台電公司 核二廠一號機
反應爐支撐裙板錨定螺栓斷裂事件
暨修復後運轉安全評估報告(R.3)

編寫	審查	副廠長	廠長
核二核能發電部 運轉品管課長 101. 6. 15 張雄仁	核二品質經理 101. 6. 14 楊勝勳	核二核能發電部 副廠長 101. 6. 15 李清河	核二核能發電部 廠長 101. 6. 15 劉增喜

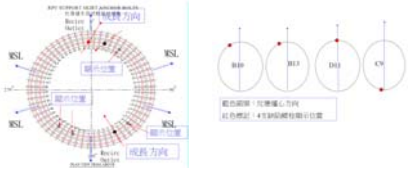
中華民國 101 年 6 月 15 日

改版說明

Rev.1 版：

改版時間：101.05.29

目錄相關章節之頁次亦配合下列變更一併修訂。

章節	依據	頁數	原內容	變更後內容	說明
第壹章 摘要	第四次審查會會議決議事項第 IV-3 項審查意見要求辦理	1		螺栓於拆除前均標示與反應爐爐心之相對位置，經比對金相分析判定裂紋之方向：3 支斷裂螺栓之裂紋成長方向及 4 支有裂紋顯示螺栓之裂紋位置如下圖所示，由裂紋成長方向及裂紋位置觀察，其與反應爐並無特定方向。	新增整段文字
		2			新增圖示
		2,3	台電公司對於有 3 支螺栓斷裂，4 支有裂紋瑕疵的發生原因，邀集國內外專家，進行肇因分析。發現本案的起始肇因乃是階段性腐蝕性環境、以前之施工方法較為老舊造成的應力集中或表面缺陷、及材料瑕疵而產生應力腐蝕龜裂(SCC)（詳細肇因分析詳本報告第柒章-肇因分析）	台電公司對於有 3 支螺栓斷裂，4 支有裂紋瑕疵的發生原因，邀集國內外專家，進行肇因分析。發現本案的起始裂紋肇因乃是階段性腐蝕性環境、以前之施工方法較為老舊造成的應力集中或表面缺陷、及材料瑕疵三者同時存在而產生應力腐蝕龜裂(SCC)。而該起始裂紋是上述三條件隨機組合形成，因此可推論與分佈於內圈或南、北兩側無關連。(詳細肇因分析詳本報告第柒章-肇因分析）	新增文字如底線標示

章節	依據	頁數	原內容	變更後內容	說明
		9	核二廠一號機有缺陷之 7 支錨定螺栓均已依原設計且由原廠家依品保程序修復完成，全數螺栓經鎖緊度(預力)試驗合格，並經超音波檢測確認其完整性符合規定。同時，已釐清螺栓斷裂之肇因，且即使現有錨定螺栓中有超音波未能檢測出之裂紋存在，此裂紋是不會成長或是成長速率極為緩慢，並經本公司安全運轉評估分析結果，運轉過程中錨定螺栓不致有發生立即斷裂及疲勞破壞之疑慮。	核二廠一號機有缺陷之 7 支錨定螺栓均已依原設計且由原廠家依品保程序修復完成，全數螺栓經鎖緊度(預力)試驗合格，並經超音波檢測確認其完整性符合規定。同時，已釐清螺栓斷裂之肇因，並無特定之位置與方向性。且即使現有錨定螺栓中有超音波未能檢測出之裂紋存在，此裂紋是不會成長或是成長速率極為緩慢，並經本公司安全運轉評估分析結果，運轉過程中錨定螺栓不致有發生立即斷裂及疲勞破壞之疑慮。	新增文字如底線標示
第捌章、安全運轉評估	「核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告 Rev.3」依據委員審查意見第四次審查意見 IV-18 及 IV-19 問題修訂為第 4 版，「核二廠 1		核二廠 1 號機反應爐支撐裙板錨定螺栓安全運轉評估報告 Rev.1 附件「核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告」Rev.3	核二廠 1 號機反應爐支撐裙板錨定螺栓安全運轉評估報告Rev.2 附件「核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告」Rev.4	變更版次，修訂內容詳如報告內改版說明所示

章節	依據	頁數	原內容	變更後內容	說明
	號機反應爐支撐裙板錨定螺栓安全運轉評估報告Rev.1」配合更正為第2版。				

Rev.2 版：

改版時間：101.06.05

目錄相關章節之頁次亦配合下列變更一併修訂。

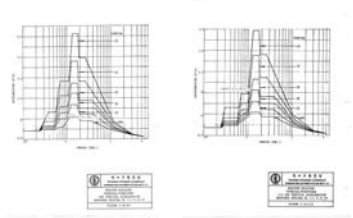
章節	依據	頁數	原內容	變更後內容	說明
第壹章 摘要	原能會審查查見，要求「核二廠1號機反應爐支撐裙板錨定螺栓安全運轉評估報告」結論應與附件「核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告」之結論一致	7~9	核二廠一號機於EOC-22大修，完成7支斷裂或有瑕疵之螺栓修復工作後，120支錨定螺栓經UT檢測未再發現裂縫顯示，但為能確切掌握反應爐相關結構之安全，本公司則進行安全運轉評估。保守假設錨定螺栓仍有可能存在UT檢測無法判讀的瑕疵，進行破壞力學分析，並預估可能承受之反覆交變負載進行疲勞壽命評估。 分析中保守假設UT檢測無法判讀的裂縫深度為2.5 mm，並假設裂縫發生在螺牙根部。而錨定螺栓可能承受之反覆交變應力，包括反應爐整體結構承受之地震力、安全釋壓閥沖放、機組起動後支撐裙板因外漲所施加之熱力矩以及因	核二廠1號機反應爐支撐裙板120支錨定螺栓雖於本次大修經UT檢測未發現裂縫顯示，但為能確切掌握反應爐相關結構之安全，本公司保守假設錨定螺栓仍有可能存在UT檢測無法判讀的瑕疵，進行破壞力學分析，並預估可能之承受反覆交變負載進行疲勞壽命評估。分析中保守假設UT檢測無法判讀的裂縫深度為2.5 mm，並假設裂縫發生在螺牙根部。 破壞力學分析結果顯示，反應爐支撐裙板錨定螺栓承受設計基準最嚴苛之故障狀況(Faulted Condition)之負載時，受力最嚴重之螺栓發生脆斷時之臨界裂縫深度為	整段文字改寫

			反應爐急停而產生之交變垂直上揚力等，綜合評估結果顯示，即使假設核二廠反應爐支撐裙板每支錨定螺栓在螺牙根部均存在 2.5 mm 之裂縫，於運轉過程中，萬一發生設計基準最嚴苛之故障狀況(Faulted Condition)負載時，不至於有發生螺栓立即斷裂之疑慮；而承受可能的反覆交變應力，包括地震力、安全釋壓閥沖放、機組起動後支撐裙板因外漲所施加之熱力矩以及因反應爐急停而產生之交變垂直上揚力等，機組 40 年發生之應力循環數均遠低於螺栓之疲勞裂縫成長壽命(斷裂前之容許應力循環數)。 另探討 A2、C6 及 D14 螺栓斷裂面觀察到的疲勞裂紋成長機制，研判疲勞裂縫成長驅使力應為運轉中持續存在之輕微振動力，造成螺栓承受輕微交變應力，由於此項交變應力遠低於螺栓材料之疲勞極限值，設計中並未予考慮。 進一步評估，假設其餘 113 支螺栓螺牙根部均存在 2.5 mm UT 未檢測出之裂縫，運轉中持續承受交變應力，則 2.5 mm 深度以下之裂縫不致於產生疲勞裂縫成長。 如更保守假設 2.5mm 裂縫於運轉中持續承受交變應力仍會產生疲勞裂縫成長，則其疲勞壽命至少有一個運轉週期，下個週期之 UT 檢測前，不至於有結構安全疑慮。 故依上述之評估及探討結果，以及配合妥善的 UT 檢測計畫，得到核二廠	0.397 in (10.08 mm)，因此，假設目前錨定螺栓有現存 2.5 mm 之裂縫深度，在發生 Faulted Condition 時，不致有發生脆性斷裂之疑慮。 另疲勞分析方面，本分析針對錨定螺栓可能承受之反覆交變應力，包括地震力(含SRV沖放)、運轉中支撐裙板因外漲所施加之thermal moment、反應爐急停而產生之交變垂直上揚力以及由斷裂螺栓破斷面金相檢驗結果推估螺栓可能於運轉中承受之交變應力等，對假設目前錨定螺栓在螺牙根部有現存2.5 mm之裂縫深度之情況下，評估螺栓之疲勞壽命。評估結果顯示，地震力(含SRV沖放)及thermal moment之交變應力導致裂縫由2.5 mm成長至斷裂之應力循環數均遠大於保守估計機組運轉40年發生之應力循環數，換言之，此項交變負載對反應爐支撐裙板錨定螺栓之疲勞破壞沒有威脅性。針對OSG-XE-105強震儀記錄研判可能因反應爐急停產生之交變垂直上揚力進行疲勞評估結果，假設目前錨定螺栓螺牙根部有現存2.5 mm之裂縫深度時，承受反應爐急停之交變應力不致於產生疲勞裂縫成長。另由斷裂螺栓破斷面金相檢驗結果所推估螺栓於運轉中可能承受之交變應力，因此項應力極低，對於假設螺牙根部有現存2.5 mm裂縫深度之錨定螺栓不致於產生疲勞裂縫成長，因此，亦	

			1 號機反應爐支撐裙板錨定螺栓可繼續安全運轉一個週期以上無虞之結論。 詳細之安全運轉評估，及其相關破壞力學及疲勞評估報告，詳如第捌章-「安全運轉評估」。	無疲勞破壞之疑慮。 本分析亦考慮上述各項交變應力可能同一時間發生，因此，上列各項交變應力必須疊加，並比照ASME Section XI，Appendix L之要求，考量累積疲勞損傷，計算螺栓承受疊加交變應力後之累積疲勞裂縫成長量。另裂縫成長過程中，螺栓預張力會鬆弛，導致交變應力有增強效應，本分析亦一併考量。 考慮上列各項交變應力疊加後，分析結果顯示，錨定螺栓繼續運轉40年，在考慮裂縫成長導致預張應力下降及交變應力增強效應下，預估螺栓裂縫將由假設之2.5 mm成長至2.95100 mm，離螺栓發生斷裂之臨界裂縫深度10.08 mm仍有相當餘裕。分析結果亦顯示，由斷裂螺栓破斷面金相檢驗結果所推估螺栓可能承受運轉中持續之交變應力，雖為經常性交變負載，但由於此項應力極低，對於2.5mm之淺裂縫而言，運轉期間，其 ΔK_{th} 均小於產生疲勞裂縫成長之門檻值 $2.5\ Mpa\sqrt{m}$，不致於產生疲勞裂縫成長。 綜合以上分析結果顯示，配合超音波檢測，確保螺栓之初始裂縫深度均在 2.5 mm 以內，則核二廠 1 號機繼續安全運轉一個週期以上無虞。 詳細之安全運轉評估，及其相關破壞力學及疲勞評	

				估報告，詳如第捌章-「核二廠 1 號機反應爐支撐裙板錨定螺栓安全運轉評估報告 Rev.4」。	
第伍章地震儀瞬間顯示 0.29g 之分析處理與後續監測	第四次審查會會議決議事項第 III-AEC-8 項審查意見要求辦理	1	目錄 8.3 核二廠 FSAR 3.7 附圖 3.7A-126/136。	目錄 8.3 核二廠FSAR 3.7 附圖 3.7A-126/136/83 /112。	新增文字如底線標示
	第四次審查會會議決議事項第 III-AEC-8 項審查意見要求辦理	3	三.1.b 另核二廠反應爐之基礎振動模式頻率為 8.29 Hz，經由反應爐垂直方向之設計基準反應譜(高程-8’，詳附件 3)，查得反應爐裙板位置其垂直加速度 OBE 約為 0.57 g，SSE 約為 0.93 g(反應爐基座高程-9’4”處垂直向加速度 OBE 為 0.16g，SSE 為 0.37g)。而核二廠反應爐支撐裙板之固定螺栓於設計時，亦採用反應爐之分析數據作為設計參數，即考慮 OBE 及 SSE 之設計條件。而地震儀記錄到最高之垂直加速度值 0.29 g，小於反應爐垂直設計加速度 0.57 g (OBE)及 0.93 g (SSE)，故仍在設計安全範圍之內。	三 1.b 另核二廠反應爐之基礎振動模式頻率為 8.29 Hz，經由反應爐垂直方向之設計基準反應譜(高程-8’，詳附件 3)，查得反應爐裙板位置其垂直加速度OBE約為 0.57 g，SSE 約為 0.93 g(反應爐基座高程-9’4”處垂直向加速度OBE為 0.16g，SSE為 0.37g)。而核二廠反應爐支撐裙板之固定螺栓於設計時，亦採用反應爐之分析數據作為設計參數，即考慮OBE及SSE之設計條件。而地震儀記錄到最高之垂直加速度值 0.29 g，小於反應爐垂直設計加速度 0.57 g (OBE)及 0.93 g (SSE)，故反應爐支撐裙板之固定螺栓仍在設計安全範圍之內。此外，由於反應爐係座落於反應爐基座上，在相同高程上之反應爐基座裙板之基礎振動模式頻率亦考慮為 8.29Hz，而由其對應至反應爐基座裙板垂直方向之設計基準反應譜(高程-9.33’ ，地震儀所在位置)，查得其垂直加速度OBE	新增文字如底線標示

				約為 0.77 g，SSE約為 1.1 g。因此，在保守性評估下，101/03/16 05:50 反應爐基座地震儀所測量之局部區域瞬間振動量 0.29g，仍在反應爐基座裙板設計安全範圍內。	
	第三次審查會會議決議事項第 III-AEC-8 項及第四次審查會會議決議事項第 IV-8/10 項審查意見要求辦理	4	四.1 由以往背景訊號分析，地震監測系統所有地震儀中，僅有反應爐基座地震儀位於高輻射、高溫環境，且此地震儀垂直向長期處於高頻振動環境(安裝處之鐵板平台或護欄振動引發之高頻訊號)，此一背景振動量約為 0.01g 左右；因此在此惡劣且長期高振動的環境下，經過一段時間後即可能會造成感震器內部組件(平衡元件)之疲乏，因而造成零點晃動及訊號的不穩定。	四.1 由以往背景訊號分析，~~地震監測系統所有地震儀中，僅有反應爐基座地震儀位於高輻射、高溫環境，且~~此地震儀垂直向長期處於高頻振動環境(機組正常運轉中反應爐再循環泵運轉、管路、爐心水流及安裝處之鐵板平台或護欄振動引發之~~高頻~~訊號)，此一背景振動量約為 0.01g~0.02g左右；因此在~~此惡劣且~~長期高振動的環境下，經過一段時間後即可能會造成感震器內部組件(平衡元件)之疲乏，因而造成零點晃動及訊號的不穩定。	新增文字如底線標示
	第二次審查會會議決議事項第 II-9 項及第四次審查會會議決議事項第 IV-8/10 項審查意見要求辦理	5	五.2 為減少地震儀所在位置之外在高頻干擾(如安裝處之鐵板平台或護欄，可能引發高頻背景)，所以已將於 101/05/15 前在地震儀安裝處之鐵板平台增加斜撐支架或鋼樑，並移除平台上之護欄，改善後可減輕地震儀受外在高頻干擾訊號的影響；另為提高此地震儀之可靠度，亦將定期更換此地震儀(每次大修)。	五.2 ~~為減少地震儀所在位置之外在高頻干擾(如安裝處之鐵板平台或護欄，可能引發高頻背景)，所以已將於 101/05/15 前在地震儀安裝處之鐵板平台增加斜撐支架或鋼樑，並移除平台上之護欄，改善後可減輕地震儀受外在高頻干擾訊號的影響~~為使地震儀基座與結構物更加Rigid，讓地震儀可以更真實反應實際振動狀況，已再針對此地震儀基座進行鋼樑補強及護欄移除改善，並已於 5/15 施工完成；另為提高	刪除文字如雙刪除線 新增文字如底線標示

				此地震儀之可靠度，亦將定期更換此地震儀(每次大修)。	
	第三次審查會會議決議事項第 III-AEC-8 項審查意見要求辦理	5		五.4 在特殊程序書資料收集期間，為提供振動監測方案之臨時性的監控標準，將以 95 年地震監測系統更新後機組正常運轉中反應爐基座地震儀之垂直向最高背景值 0.025g為參考依據，並暫以原反應爐基座地震儀OBE設定值 0.16g與背景最高加速值 0.025g之平均值約 0.1g作為警示值；當機組正常運轉中 8 只振動加速規數值超過 0.1g時(不含地震力引動)，將由維護人員藉由頻譜分析討論後判斷確切肇因，再決定機組降載或停機。上述警示值為臨時性之設定值，將依機組啟動後 8 只振動加速規實際運轉之振動值，視需要修訂此臨時性之設定值。	新增整段文字
	第三次審查會會議決議事項第 III-AEC-8 項審查意見要求辦理	6	八 3 核二廠 FSAR 3.7 附圖 3.7A-126/136。	八.3 核二廠FSAR 3.7 附圖 3.7A-126/136/83/112。	新增文字如底線標示
	第三次審查會會議決議事項第 III-AEC-8 項審查意見要求辦理	20/22/23	附件 3-核二廠 FSAR 3.7 附圖 3.7A-126/136	附件 3-核二廠FSAR 3.7 附圖 3.7A-126/136/83/112 	新增文字如底線標示及附件圖片

第捌章、安全運轉評估	原能會審查查見，要求「核二廠1號機反應爐支撐裙板錨定螺栓安全運轉評估報告」結論應與附件「核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告」之結論一致，另附件「核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告」Rev.4依據工材所101.5.31之審查意見修訂為附件Rev. 5		核二廠1號機反應爐支撐裙板錨定螺栓安全運轉評估報告 Rev.2 附件「核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告」Rev.4	核二廠1號機反應爐支撐裙板錨定螺栓安全運轉評估報告Rev.4 附件「核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告」Rev.5	變更版次，修訂內容詳如報告內改版說明所示

Rev.3 版：

改版時間：101.06.15

目錄頁次本次改版無須配合修訂。

章節	依據	頁數	原內容	變更後內容	說明
第伍章地震儀瞬間顯示 0.29g 之分析處理與後續監測	大會會核字第 1010009127 號函	3	二.5 綜上所述，在 101/03/16 05:50 當運轉模式開關切至停機位置時，反應爐基座裙板附近瞬間有振動力產生，而此地震儀因安裝於反應爐基座裙板處，雖然地震儀係量測地震行為及地震量大小之儀器，對於振動量的量測並非為適當之儀器，但是此局部區域瞬間之振動量亦會讓此地震儀有所反應。	二.5 綜上所述，在 101/03/16 05:50 當運轉模式開關切至停機位置時，反應爐基座裙板附近瞬間有振動力產生，而此地震儀因安裝於反應爐基座裙板處，~~雖然地震儀係量測地震行為及地震量大小之儀器，對於振動量的量測並非為適當之儀器，但是~~因此局部區域瞬間之振動量亦會讓此地震儀有所反應。	刪除文字如雙刪除線 新增文字如底線標示
第伍章地震儀瞬間顯示 0.29g 之分析處理與後續監測	委員審查意見	3	三 1.b 另核二廠反應爐之基礎振動模式頻率為 8.29 Hz，經由反應爐垂直方向之設計基準反應譜(高程-8’，詳附件 3)，查得反應爐裙板位置其垂直加速度 OBE 約為 0.57 g，SSE 約為 0.93 g(反應爐基座高程-9’4”處垂直向加速度 OBE 為 0.16g，SSE 為 0.37g)。而核二廠反應爐支撐裙板之固定螺栓於設計時，亦採用反應爐之分析數據作為設計參數，即考慮 OBE 及 SSE 之設計條件。而地震儀記錄到最高之垂直加速度值 0.29 g，小於反應爐垂	三 1.b 另核二廠反應爐之基礎振動模式頻率為 8.29 Hz，經由反應爐垂直方向之設計基準反應譜(高程-8’，詳附件 3)，查得反應爐裙板位置其垂直加速度 OBE 約為 0.57 g，SSE 約為 0.93 g(~~反應爐基座高程-9’4”處垂直向加速度 OBE 為 0.16g，SSE 為 0.37g~~)。而核二廠反應爐支撐裙板之固定螺栓於設計時，亦採用反應爐之分析數據作為設計參數，即考慮 OBE 及 SSE 之設計條件。而地震儀記錄到最高之垂直加速度值 0.29 g，小於反應爐垂直設計加速度 0.57 g (OBE)及 0.93 g (SSE)，故反	刪除文字如雙刪除線

章節	依據	頁數	原內容	變更後內容	說明
			直設計加速度 0.57 g (OBE)及 0.93 g (SSE)，故反應爐支撐裙板之固定螺栓仍在設計安全範圍之內。此外，由於反應爐係座落於反應爐基座上，在相同高程上之反應爐基座裙板之基礎振動模式頻率亦考慮為 8.29Hz，而由其對應至反應爐基座裙板垂直方向之設計基準反應譜(高程-9.33’，地震儀所在位置)，查得其垂直加速度 OBE 約為 0.77 g，SSE 約為 1.1 g。因此，在保守性評估下，101/03/16 05:50 反應爐基座地震儀所測量之局部區域瞬間振動量 0.29g，仍在反應爐基座裙板設計安全範圍內。	應爐支撐裙板之固定螺栓仍在設計安全範圍之內。此外，由於反應爐係座落於反應爐基座上，在相同高程上之反應爐基座裙板之基礎振動模式頻率亦考慮為 8.29Hz，而由其對應至反應爐基座裙板垂直方向之設計基準反應譜(高程-9.33’，地震儀所在位置)，查得其垂直加速度 OBE 約為 0.77 g，SSE 約為 1.1 g。因此，在保守性評估下，101/03/16 05:50 反應爐基座地震儀所測量之局部區域瞬間振動量 0.29g，仍在反應爐基座裙板設計安全範圍內。	
第伍章地震儀瞬間顯示 0.29g 之分析處理與後續監測	大會會核字第 1010009127 號函	4	三.2 另檢視 3 支損壞錨定螺栓斷裂處之氧化層已存在一段時間，並非新的斷裂面，所以錨定螺栓斷裂原因與 0.29 g 振動量並無關係。	三.2 另檢視 3 支損壞錨定螺栓斷裂處之氧化層已存在一段時間，並非新的斷裂面，~~所以錨定螺栓斷裂原因與 0.29 g振動量並無關係~~故推論 0.29g振動量並非造成錨定螺栓斷裂之主因。	刪除文字如雙刪除線 新增文字如底線標示
第伍章地震儀瞬間顯示 0.29g 之分析處理與後續監測	大會會核字第 1010009127 號函	6	六.2 雖然地震儀係量測地震行為及地震量大小之儀器，對於振動量的量測並非為適當之儀器，但是此局部區域瞬間之振動量亦會讓此地震儀有所反應，因此儘管 0.29g 振動量影響時間相當短，同時	六.2 ~~雖然地震儀係量測地震行為及地震量大小之儀器，對於振動量的量測並非為適當之儀器，但是此局部區域瞬間之振動量亦會讓此地震儀有所反應，因此~~儘管 0.29g係局部區域之瞬間振動量，影響時間相當短，同	刪除文字如雙刪除線 新增文字如底線標示

章節	依據	頁數	原內容	變更後內容	說明
			包含了部份失真訊號，依保守性評估，0.29g 瞬間振動量亦不會對錨定螺栓及反應爐造成損害，且與錨定螺栓斷裂原因無關。	時包含了部份失真訊號，但仍依保守性評估及決策進行設備檢查，0.29g瞬間振動量~~亦不會~~並未對錨定螺栓及反應爐造成損害，且與錨定螺栓斷裂原因無關。	

核二廠一號機反應爐支撐裙板錨定螺栓斷裂事件暨修復後運轉安全評估報告

總　目　錄

頁　次

第壹章、摘要

一、事件說明---------- 1

二、7 支螺栓修復作業 ----------3

三、螺栓完整性確認 ----------3

四、超音波檢測 ----------4 R1

五、地震儀瞬間顯示 0.29g 之分析處理與後續監測 ----------4

六、結構、周邊組件運轉安全評估 ----------5

七、肇因分析 ----------6

八、安全運轉評估 ----------7

九、總結 ----------9 R2

頁　次

第貳章、7 支螺栓修復作業

一、前言 ----------1

二、修復過程及結果 ----------1

三、結語 ----------3

四、附件

附件一及附件二、1109.09 按法規要求執行機械組件之修理與更換及 SP-2012-04 反應爐支撐裙板錨定螺栓安裝程序書施工紀錄

附件三、GE 品質符合證明

附件四、螺栓安裝人員訓練記錄

附件五、安裝螺栓使用儀器校驗記錄

頁　次

第參章、螺栓完整性確認

一、前言 ----------1
二、螺栓預力查驗 ----------1
三、超音波再檢測 ----------2
四、螺栓抗拉強度機械性質測試 ----------2
五、假設 2.5mm 未檢出裂紋之安全評估 ----------3
六、結語 ----------3
七、附件
附件 1：GE 預力查驗執行結果說明。
附件 2：超音波(UT)檢測結果。
附件 3：硬度測試轉換抗拉強度結果。
附件 4：核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告。

頁　次

第肆章、超音波檢測

Pre-load 前超音波檢測報告

一、檢測概述 ----------1
二、檢測結果 ----------1
三、評估裂紋深度 ----------1
四、結論 ----------2
五、附件
附件 5.1 錨定螺栓檢測編號及分佈圖
附件 5.2 螺件超音波檢測報告
附件 5.3 超音波檢測訊號圖
附件 5.4 超音波檢測校準規塊圖

Pre-load 後超音波檢測報告

一、檢測概述 ----------1
二、檢測經過 ----------1
三、檢測結果 ----------2
四、附件

附件 4.1 錨定螺栓檢測編號及分佈圖
附件 4.2 螺件超音波檢測報告(含超音波檢測波型圖)
附件 4.3 120 支錨定螺栓超音波檢測過程錄影 ------- 光碟片

頁　次

第伍章、地震儀瞬間顯示 0.29g 之分析處理與後續監測
一、前言 ----------2
二、0.29g 來源與訊號分析----------2
三、0.29g 對系統組件影響----------3
四、地震儀不穩定訊號探討 ----------4
五、振動監測改善及計畫 ----------5
六、討論與結論 ----------5
七、參考資料 ----------6
八、附件 ----------6
附件 8.1 歷年大修停機期間反應爐基座地震儀觸發紀錄整理
附件 8.2 核二廠地震儀比對試驗
附件 8.3 核二廠 FSAR 3.7 附圖 3.7A-126/136/83/112 R2

頁　次

第陸章、結構、周邊組件運轉安全評估
一、前言 ----------1
二、結構安全評估 ----------1
三、周邊組件運轉安全評估 ----------2
四、結語 ----------3
五、附件
附件一、GE 公司 708.3.4「反應器內部組件目視檢查」執行結果摘要。
附件二、安全管路/管嘴非破壞檢測結果。
附件三、一號機反應爐支撐裙板目視檢查紀錄。
附件四、程序書 612.3.7「控制棒驅動殼支架」檢查紀錄。
附件五、程序書 575「地震緊急程序書」檢查紀錄。
附件六、程序書 295「反應爐壓力槽系統洩漏試驗」執行記錄。

頁　次

第柒章、肇因分析

一、肇因分析立案審核表 ----------4

二、報告背景 ----------5

三、收集事件資料 ----------7

四、是否拍照存證 ----------7

五、故障元件分析 ----------7

六、廠家建議/參考文件 ----------7

七、肇因分析推演 ----------7

八、重建故障現象 ----------8

九、肇因認定 ---------- 10

十、經肇因分析結果, 本事故之肇因屬於 ---------- 12

十一、以往類似事件 ---------- 13

十二、電廠內同類型潛在故障/失誤評估---------- 14

十三、改正行動及預防再發生措施 ---------- 14

十四、改正措施之執行 ---------- 14

十五、附件資料

附件 1：反應爐支撐裙板錨定螺栓超音波檢測報告

附件 2：破損螺栓斷面及瑕疵照片

附件 3：核二廠一號機損錨定螺栓微量元表分析結果

附件 4：缺陷螺栓機械性質比較表

附件 5：破損螺栓 Phased Array 超音波評估報告

附件 6：核二廠一號機 EOC22 反應爐支撐裙板 A2 錨定螺栓斷裂熱室檢驗初步報告

附件 7：核二廠一號機 EOC22 反應爐支撐裙板 C6 錨定螺栓斷裂熱室檢驗初步報告

附件 8：核二廠一號機 EOC22 反應爐支撐裙板 D14 錨定螺栓斷裂熱室檢驗初步報告

附件 9：核二廠一號機 EOC22 反應爐支撐裙板 B10 錨定螺栓斷裂熱室檢驗初步報告

附件 10 : Joint-Diagrams
附件 11 : FATIGUE CRACK GROWTH BEHAVIOR of AISI 4340
附件 12 : EPRI_NP_5769
附件 13 : 工研院材化所螺栓失效過程分析推論
附件 14 : NUREG-1801 Rev.2

頁 次

第捌章、安全運轉評估
核二廠 1 號機反應爐支撐裙板錨定螺栓安全運轉評估報告 Rev.4
版次說明 ----------1
一、前言 ----------3
二、評估概述 ----------3
三、評估結論 ----------4
附件：
核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告，Rev.5

R2

第壹章

摘　　要

第壹章、摘要

目　　錄

頁　次

一、事件說明---------- 1
二、7 支螺栓修復作業----------3
三、螺栓完整性確認----------3
四、超音波檢測----------4
五、地震儀瞬間顯示 0.29g 之分析處理與後續監測----------4
六、結構、周邊組件運轉安全評估----------5
七、肇因分析----------6
八、安全運轉評估----------7
九、總結----------9

R1

R2

第壹章、摘要

一、事件說明

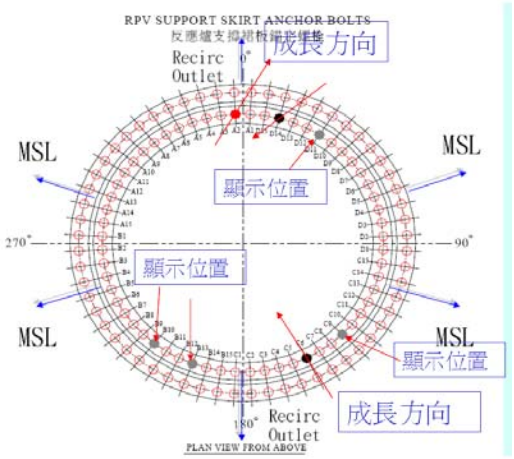
核二廠依二號機 EOC-21 大修之反應爐支撐裙板錨定螺栓(RPV Support Skirt Anchor Bolts)斷裂事件處理報告承諾事項，於一號機 EOC-22 大修執行支撐裙板錨定螺栓超音波(UT)檢測。

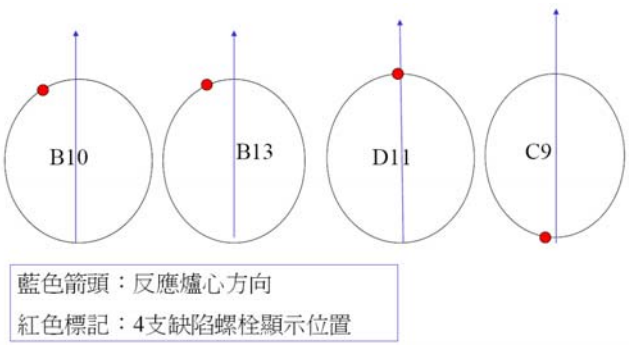
核二廠遂於 101 年 3 月 23 日一號機 EOC-22 大修期間，進行一號機反應爐支撐裙板錨定螺栓 UT 檢測前之清潔作業時，發現位於支撐裙板內圈 357 度位置，編號 A2 之螺栓已經斷裂。斷裂位置為自頂部以下約 18.2 吋位置。核二廠即開立「品質不符通知(NONCONFORMING CONDITION DISPOSITION)」(以下簡稱 NCD)(NCD 編號為 10132)進行處理。並同時依據「核子反應器設施停止運轉後再起動管制辦法」規定，以「書面通報」通報原能會。

續於 101 年 3 月 24 日進行其餘 119 支錨定螺栓之超音波檢測，另發現有 2 支螺栓(編號 C6、D14)研判已接近斷裂，4 支螺栓(編號 B10、B13、C9、D11)有裂紋顯示。台電公司於發現此一狀況時，除立即洽原設計廠家美國奇異公司，積極尋求修復方法外，亦進行安全評估，確認其安全餘裕無虞。

螺栓修復分兩階段進行，分別於 4 月 11 日以及 4 月 27 日完成共 7 支螺栓之現場修復作業(修復作業詳本報告第貳章-7 支螺栓修復作業)。

螺栓於拆除前均標示與反應爐爐心之相對位置，經比對金相分析判定裂紋之方向:3 支斷裂螺栓之裂紋成長方向及 4 支有裂紋顯示螺栓之裂紋位置如下圖所示，由裂紋成長方向及裂紋位置觀察，其與反應爐並無特定方向。 R1





R1

另為能確保螺栓鎖緊度(預力)仍能符合需求，已全數執行鎖緊度(預力)測試，測試後再次針對所有的 120 支螺栓，進行超音波檢測，檢查結果均符合。(螺栓完整性的確認與超音波檢測詳本報告第參章-螺栓完整性確認，及第肆章-超音波檢測)

然於一號機大修前機組停機過程中(101 年 3 月 16 日)，發生地震儀瞬間顯示 0.29g，電廠依保守性決策，進行相關評估及設備檢查，查證廠房及設備均無損壞。而為能釐清此一瞬間顯示 0.29g 與後續發現螺栓斷裂之關連性，遂將該地震儀送校比對，確認其垂直向有不穩定現象。同時為提供運轉中之監測資訊，新裝設 8 只振動加速規，搭配既有之地震儀，並配合必要之管制程序，以建立反應爐基座裙板之完整監測機制。(相關分析處理詳本報告第伍章-地震儀瞬間顯示 0.29g 之分析處理與後續監測)

再者核二廠為確認反應爐相關組件及周邊組件之完整性，進行多項之檢查，經檢查結果均合格(相關檢查項目與範圍詳本報告第陸章-結構、周邊組件運轉安全評估)

台電公司對於有 3 支螺栓斷裂，4 支有裂紋瑕疵的發生原因，邀集國內外專家，進行肇因分析。發現本案的起始裂紋肇因乃是階段性腐蝕性環境、以前之施工方法較為老舊造成的應

R1

力集中或表面缺陷、及材料瑕疵三者同時存在而產生應力腐蝕龜裂(SCC)。而該起始裂紋是上述三條件隨機組合形成，因此可推論與分佈於內圈或南、北兩側無關連。(詳細肇因分析詳本報告第柒章-肇因分析)

R1

雖然 7 支螺栓已修復，且 120 支錨定螺栓經 UT 檢測未再發現裂縫顯示，但為能確切掌握反應爐相關結構之安全，本公司則進行安全運轉評估，以確保核二廠一號機能運轉一個週期安全無虞。(詳細安全分析評估詳本報告第捌章-安全運轉評估)

上述第貳章至第捌章之摘要，摘錄於下列第二至第八節。

二、7 支螺栓修復作業

螺栓之修復分兩階段進行，第一階段於 4 月 11 日完成 B10、B13、C6、C9、D11、D14 等 6 支螺栓的更換、灌漿作業，並於 4 月 17 日現場鑽心取樣執行抗壓強度測試。第二階段於 4 月 27 日完成 A2 螺栓之更換及灌漿，並於灌漿同時灌注測試試塊，於 3 天及 7 天後進行抗壓強度測試。此次修復作業係依照奇異公司提供之檢修計畫，依循原設計規範進行錨定螺栓更換，修復後已恢復原設計保守之安全餘裕。整個修復過程由台電公司相關品保單位及奇異公司確認符合設計要求。奇異公司於工作完成後確認施工品質符合要求，並簽署品質保證證明。

詳細之修復作業說明以及相關之文件、測試紀錄，詳如第貳章-「7 支螺栓修復作業」。

三、螺栓完整性確認

7 支受損之錨定螺栓均已依原設計修復，已恢復其原設計功能。而其餘 113 支螺栓則再進一步確認其結構完整性，包括「螺栓預力查驗」、「超音波再檢測」、以量測硬度方式推算「螺栓抗拉強度機械性質評估」、及假設螺栓存在有 2.5mm 未檢出裂紋之情況下進行「破壞力學及疲勞壽命評估」，各項檢測及分析結果可完全確認 113 支螺栓之功能完整。

再由肇因分析結果可知，螺栓裂紋初始成長機制於施工結束及環境改善後即停止，因此爾後運轉中，將不致出現新增裂紋。即使現有剩餘 113 支錨定螺栓中有超音波未能檢測出而當時已經產生之裂紋存在，則依裂紋成長機制，此裂紋將不會成長或是成長速率極為緩慢。對可能有成長的裂紋，因其成長速率極為緩慢，本公司核二廠已規畫於每次大修執行螺栓超音波檢測，可有效追蹤發現成長之裂紋，確保機組安全運轉無虞。

詳細之螺栓完整性說明以及相關之文件、測試紀錄以及評估報告，詳如第參章-「螺栓完整性確認」。

四、超音波檢測

核二廠對 7 支不合格之螺栓更換修復，並進行其餘螺栓之鎖緊度(預力 preload)查驗。preload 後，再執行全部 120 支螺栓(含 7 支內圈新螺栓)之超音波檢測，檢測結果全部合格，無任何瑕疵顯示。此次檢測已錄影存證。

詳細之超音波檢測方式、過程、測試人員、結果，以及相關之檢測報告，詳如第肆章-「超音波檢測」。

五、地震儀瞬間顯示 0.29g 之分析處理與後續監測

101 年 3 月 16 日 核二廠一號機大修停機過程中，將反應爐運轉模式開關切至停機位置時，觸動反應爐基座裙板處附近之地震儀，記錄之訊號顯示垂直向最大加速度值達 0.29g。分析其歷時圖及富氏譜，此地震儀在觸發前即有不穩定現象(零點上下晃動)，而在觸發後，則呈現不對稱性，為一向上脈衝波，振動訊號超過 0.2g 之時間僅為 0.2 秒。

事後進行校正、測試及送往國家地震工程研究中心進行訊號比對，此地震儀在垂直向有不穩定現象產生，因此當時所量得之 0.29g 振動波為失真訊號。地震儀動作後，核二廠即依保守性決

策，進行相關評估及設備檢查，查證廠房及設備均無損壞，並無受 0.29g 振動波衝擊影響，0.29g 瞬間振動量依評估亦不會對錨定螺栓及反應爐造成損害，且與錨定螺栓斷裂原因無關。

由於反應爐基座裙板處附近之地震儀長期處於高頻振動(安裝處之鐵板平台或護欄振動引發之高頻訊號)的環境下，經過一段時間後即可能使感震器內部組件疲乏，因而造成零點晃動及訊號的不穩定。因此已針對此地震儀安裝處之鐵板平台鋼樑補強，並移除護欄進行改善，同時已新增 8 只振動加速規，搭配既有之地震儀，以建立反應爐基座裙板之完整監測機制。

有關地震儀瞬間顯示 0.29g 之分析處理與後續監測之詳細說明，以及地震儀比對試驗報告，詳如第伍章–「地震儀瞬間顯示 0.29g 之分析處理與後續監測」。

六、結構、周邊組件運轉安全評估

核二廠一號機於 101 年 3 月 16 日停機過程，當將運轉模式開關轉至停機位置時，觸動反應爐基座裙板附近之地震儀，其中垂直向最大加速度值達 0.29g，經分析其反應頻譜、事後校正紀錄、事前背景訊號分析，判定訊號有失真之現象。惟本公司核二廠仍對組件結構、周邊組件檢查安全運轉進行評估。

安全評估部分則包括對結構安全評估以及對周邊組件運轉安全評估。評估結果可符合安全設計上的要求。

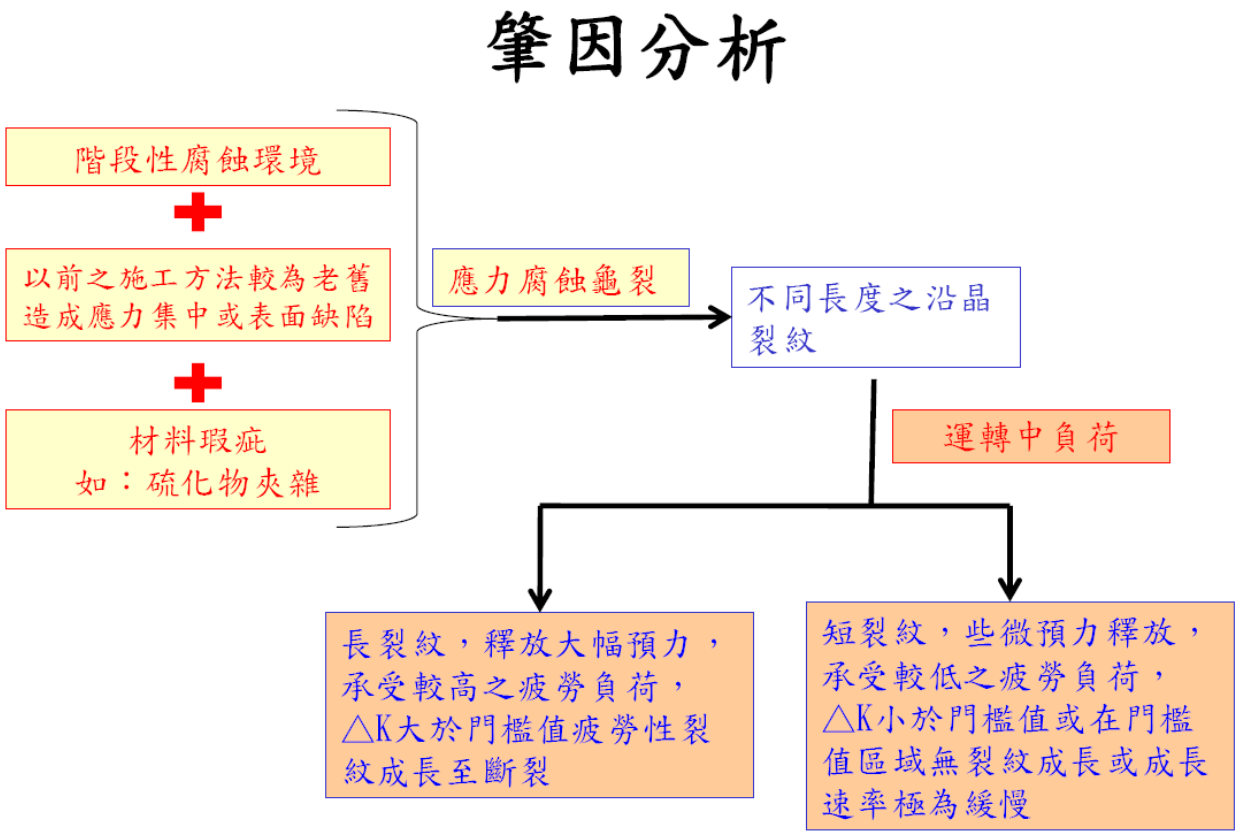
同時，核二廠於一號機 EOC-22 大修期間，亦執行多項檢查作業，如「反應器內部組件目視檢查」(程序書 708.3.4)、依檢測計畫執行安全管路/管嘴非破壞檢測(共檢測 59 口)、「核能級組件支撐目視檢查程序書」(程序書 732.6-IST)檢查反應爐支撐裙板、「控制棒驅動殼支架檢查」(程序書 612.3.7)、「地震緊急程序書」(程序書 575)執行全廠巡視，以及「反應爐壓力

槽系統洩漏試驗」(程序書 295)進行整體之洩漏測試。各項檢測結果均正常，反應爐周邊組件並無損壞情形。

詳細之結構、周邊組件檢查紀錄及評估報告等，詳如第陸章-「結構、周邊組件運轉安全評估」。

七、肇因分析

針對本案之肇因，核二廠委託核研所進行金相檢驗破壞分析，同時亦請工研院材化所，對破損螺栓進行機械性質分析。經由美國奇異公司、核研所、工研院、學校教授以及台電公司等國內外單位共同參與本案肇因研判探討，並依據核二廠 157「肇因分析作業程序書」進行肇因分析推演，可歸納以下肇因機制



由以上分析，階段性腐蝕性環境、以前之施工方法較為老舊造成的應力集中或表面缺陷、及材料瑕疵而產生應力腐蝕龜裂(SCC)是本案的起始肇因。

施工過程造成應力集中或表面損傷為隨機之行為，且於施工過程結束後，此瑕疵即已定形。另建廠期間，反應爐槽安座後之初期，裙板錨定螺栓處於露天的階段性腐蝕環境，於後續環境改善後，其對螺栓造成的腐蝕影響即消失。因此，螺栓裂紋初始成長機制於施工結束及環境改善後即停止，因此不會有新增裂紋。

詳細之肇因分析報告，及其相關熱室檢驗、機械性質、失效過程推論等報告，詳如第柒章-「肇因分析」。

八、安全運轉評估

核二廠 1 號機反應爐支撐裙板 120 支錨定螺栓雖於本次大修經 UT 檢測未發現裂縫顯示，但為能確切掌握反應爐相關結構之安全，本公司保守假設錨定螺栓仍有可能存在 UT 檢測無法判讀的瑕疵，進行破壞力學分析，並預估可能之承受反覆交變負載進行疲勞壽命評估。分析中保守假設 UT 檢測無法判讀的裂縫深度為 2.5 mm，並假設裂縫發生在螺牙根部。 R2

破壞力學分析結果顯示，反應爐支撐裙板錨定螺栓承受設計基準最嚴苛之故障狀況(Faulted Condition)之負載時，受力最嚴重之螺栓發生脆斷時之臨界裂縫深度為 0.397 in (10.08 mm)，因此，假設目前錨定螺栓有現存 2.5 mm 之裂縫深度，在發生 Faulted Condition 時，不致有發生脆性斷裂之疑慮。

另疲勞分析方面，本分析針對錨定螺栓可能承受之反覆交變應力，包括地震力(含SRV沖放)、運轉中支撐裙板因外漲所施加之thermal moment、反應爐急停而產生之交變垂直上揚力以及由斷裂螺栓破斷面金相檢驗結果推估螺栓可能於運轉中承受之交變應力等，對假設目前錨定螺栓在螺牙根部有現存2.5 mm之裂縫深度之情況下，評估螺栓之疲勞壽命。評估結果顯示，地震力(含SRV沖放)及thermal moment之交變應力導致裂縫由2.5 mm成長至

斷裂之應力循環數均遠大於保守估計機組運轉40年發生之應力循環數，換言之，此項交變負載對反應爐支撐裙板錨定螺栓之疲勞破壞沒有威脅性。針對OSG-XE-105強震儀記錄研判可能因反應爐急停產生之交變垂直上揚力進行疲勞評估結果，假設目前錨定螺栓螺牙根部有現存2.5 mm之裂縫深度時，承受反應爐急停之交變應力不致於產生疲勞裂縫成長。另由斷裂螺栓破斷面金相檢驗結果所推估螺栓於運轉中可能承受之交變應力，因此項應力極低，對於假設螺牙根部有現存2.5 mm裂縫深度之錨定螺栓不致於產生疲勞裂縫成長，因此，亦無疲勞破壞之疑慮。

本分析亦考慮上述各項交變應力可能同一時間發生，因此，上列各項交變應力必須疊加，並比照ASME Section XI，Appendix L之要求，考量累積疲勞損傷，計算螺栓承受疊加交變應力後之累積疲勞裂縫成長量。另裂縫成長過程中，螺栓預張力會鬆弛，導致交變應力有增強效應，本分析亦一併考量。

考慮上列各項交變應力疊加後，分析結果顯示，錨定螺栓繼續運轉40年，在考慮裂縫成長導致預張應力下降及交變應力增強效應下，預估螺栓裂縫將由假設之2.5 mm成長至2.95100 mm，離螺栓發生斷裂之臨界裂縫深度10.08 mm仍有相當餘裕。分析結果亦顯示，由斷裂螺栓破斷面金相檢驗結果所推估螺栓可能承受運轉中持續之交變應力，雖為經常性交變負載，但由於此項應力極低，對於2.5mm之淺裂縫而言，運轉期間，其ΔK_{th}均小於產生疲勞裂縫成長之門檻值2.5$Mpa\sqrt{m}$，不致於產生疲勞裂縫成長。

綜合以上分析結果顯示，配合超音波檢測，確保螺栓之初始裂縫深度均在 2.5 mm 以內，則核二廠 1 號機繼續安全運轉一個週期以上無虞。

詳細之安全運轉評估，及其相關破壞力學及疲勞評估報

R2

告，詳如第捌章-「核二廠 1 號機反應爐支撐裙板錨定螺栓安全運轉評估報告 Rev.4」。 R2

九、結語

核二廠一號機有缺陷之 7 支錨定螺栓均已依原設計且由原廠家依品保程序修復完成，全數螺栓經鎖緊度(預力)試驗合格，並經超音波檢測確認其完整性符合規定。同時，已釐清螺栓斷裂之肇因，並無特定之位置與方向性。且即使現有錨定螺栓中有超音波未能檢測出之裂紋存在，此裂紋是不會成長或是成長速率極為緩慢，並經本公司安全運轉評估分析結果，運轉過程中錨定螺栓不致有發生立即斷裂及疲勞破壞之疑慮。 R1

核二廠於本次一號機 EOC-22 大修期間，亦針對反應爐結構、周邊組件依計畫進行檢測，結果均合格。同時，爾後每次大修均將執行螺栓超音波檢測，並新增 8 只振動加速規，搭配既有之地震儀，建立反應爐基座裙板之完整監測機制，確保錨定螺栓之安全性。

故核二廠一號機應可繼續安全運轉一個週期以上無虞。

第 貳 章

7 支螺栓修復作業

目　錄

一、　前言 ---------- 1

二、 修復過程及結果---------- 1

三、結語---------- 3

四、附件---------- 3

核二廠一號機反應爐支撐裙板錨定螺栓修復報告

一、前言：

核二廠依 2EOC-21 反應爐支撐裙板錨定螺栓(RPV Support Skirt Anchor Bolts)斷裂事件處理報告承諾事項，於 1EOC-22 大修執行 1 號機支撐裙板錨定螺栓超音波檢測。

於 101 年 3 月 23 日執行一號機反應爐支撐裙板錨定螺栓 UT 檢測前置清潔作業時，發現位於支撐裙板內圈 357 度位置，編號 A2 之螺栓已經斷裂。

後續於 101 年 3 月 24 日進行其餘 119 支錨定螺栓超音波檢測，發現有 2 支幾近斷裂，有 4 支有裂紋顯示。

二、修復過程及結果：

101 年 3 月 23 日發現一號機反應爐支撐裙板錨定螺栓 A2 斷裂，立即於當日提報 NCD-101032，並通報原能會。

反應爐支撐裙板錨定螺栓下部墊圈、螺帽及 3 吋的螺牙係包覆於 5000 磅高強度水泥中，欲將螺栓移除必需將下部水泥敲除。RPV 重量及其他如 LOCA、SSE 等所產生之應力主要是由 RPV Pedestal 支撐，Pedestal 結構則由下列二者組成：

1. 內外層 LINER PLATE。
2. 與 LINER PLATE 上之剪力釘結合之鋼筋混凝土。

由於內圈螺栓(Anchor Bolts)附近之無筋混凝土區域並無剪力釘，因此無筋混凝土之作用為承受垂直載重及防震。而且更換螺栓所移除之混凝土區域僅向下面為混凝土，其餘 5 個面(前、後、左、右及上)均為鋼板(liner plate)，因此當螺栓更換完成後，重新灌漿，且新填補之混凝土其抗壓強度為 5000 psi 以上，故即使混凝土有新舊接合面亦不影響垂直載重之承受力。

由以上評估移除下部螺栓組件之包覆水泥，並於螺栓安裝完成後重新灌漿，並不影響原結構。本次灌漿水泥為 Embeco 880，依據材料規範在 30℃環境下，施灌完成後 24 小時，強度可達 5000psi。

圖一為經敲除水泥後所顯現之下部螺栓組件，為保留破斷/裂紋螺栓裂面，以供後續金相分析，故於螺栓切除過程必須採取適當的手段以保存破斷/裂紋裂面。首先依據超音波檢測結果，得知螺栓之破斷/裂紋位置，並於以氧乙炔切割時與破斷/裂紋位置保留適當之距離以避免破壞破斷/裂紋裂面。如圖二所示，必要時先切除下部螺牙位置，之後切除上部螺帽，此時殘餘螺栓組件將向下滑落而露出螺桿中心部位，再於適當位置切斷；此時上側螺栓自上方抽出，而下部組件則自下方移除。再根據螺栓破斷/裂紋裂面位置，車取試片供作金相分析所需。

螺栓之修復分兩階段進行，第一階段進行 B10、B13、C6、C9、D11、D14 等 6 支螺栓的更換。第二階段進行 A2 螺栓之修復。螺栓更換修復完全依照原設計規範，包括材料及結構設計。依程序書 1109.09 按法規要求執行機械組件之修理與更換及特殊作業程序書 (SP-2012-04 反應爐支撐裙板錨定螺栓安裝程序書)進行。

- 材料：
  - 螺栓：ASME SA-540 GR B23 Class 1
  - 螺帽：ASME SA-540 GR B23 Class 1
  - 墊圈：ASME SA-572 GR55
- 螺栓安裝及鎖緊

所有執行螺栓安裝、鎖磅的工作人員在現場工作開始前，均已完成相關的操作訓練。

螺栓之安裝及鎖緊係依據程序書 SP-2012-04「反應爐支撐裙板錨定螺栓安裝程序書」執行組裝，完成後以液壓螺栓拉伸機分 3 次拉伸螺栓至所需之預力，並於每階段之拉伸完成後，以超音波測量儀量測

其伸長量，確認達到設計預力。於鎖緊完成 24 小時後，進行螺栓預力再確認。並於螺栓鎖緊完成後，最後以超音波全體積檢測確認螺栓內部無瑕疵，驗證施工過程沒有對材料造成損壞，之後再施以灌漿回填。施工過程由電廠品質組、總處審查工作組及 ANII 人員查證。

第一階段進行 B10、B13、C6、C9、D11、D14 等 6 支螺栓的更換於 4 月 11 日完成更換、灌漿，並於 4 月 17 日現場鑽心取樣執行 7 天之強度測試。全部施工過程紀錄詳如附件一施工紀錄。

第二階段 A2 螺栓修復於 4 月 27 日完成更換、管漿，並於灌漿同時灌注測試試塊，於 3 天及 7 天後進行強渡測試。全部施工過程紀錄詳如附件二施工紀錄。

三、結語：

台電公司此次修復作業係依照奇異公司提供之檢修計畫，依循原設計規範要求進行螺栓更換，完成錨定螺栓更換修復，經檢修後已恢復原設計保守之安全餘裕。

整個修復過程由台電公司相關品保單位及奇異公司確認符合設計要求。奇異公司於工作完成後確認施工及品質符合，並簽署品質保證證明(附件三)。

四、附件：

附件一及附件二、1109.09 按法規要求執行機械組件之修理與更換及 SP-2012-04 反應爐支撐裙板錨定螺栓安裝程序書施工紀錄

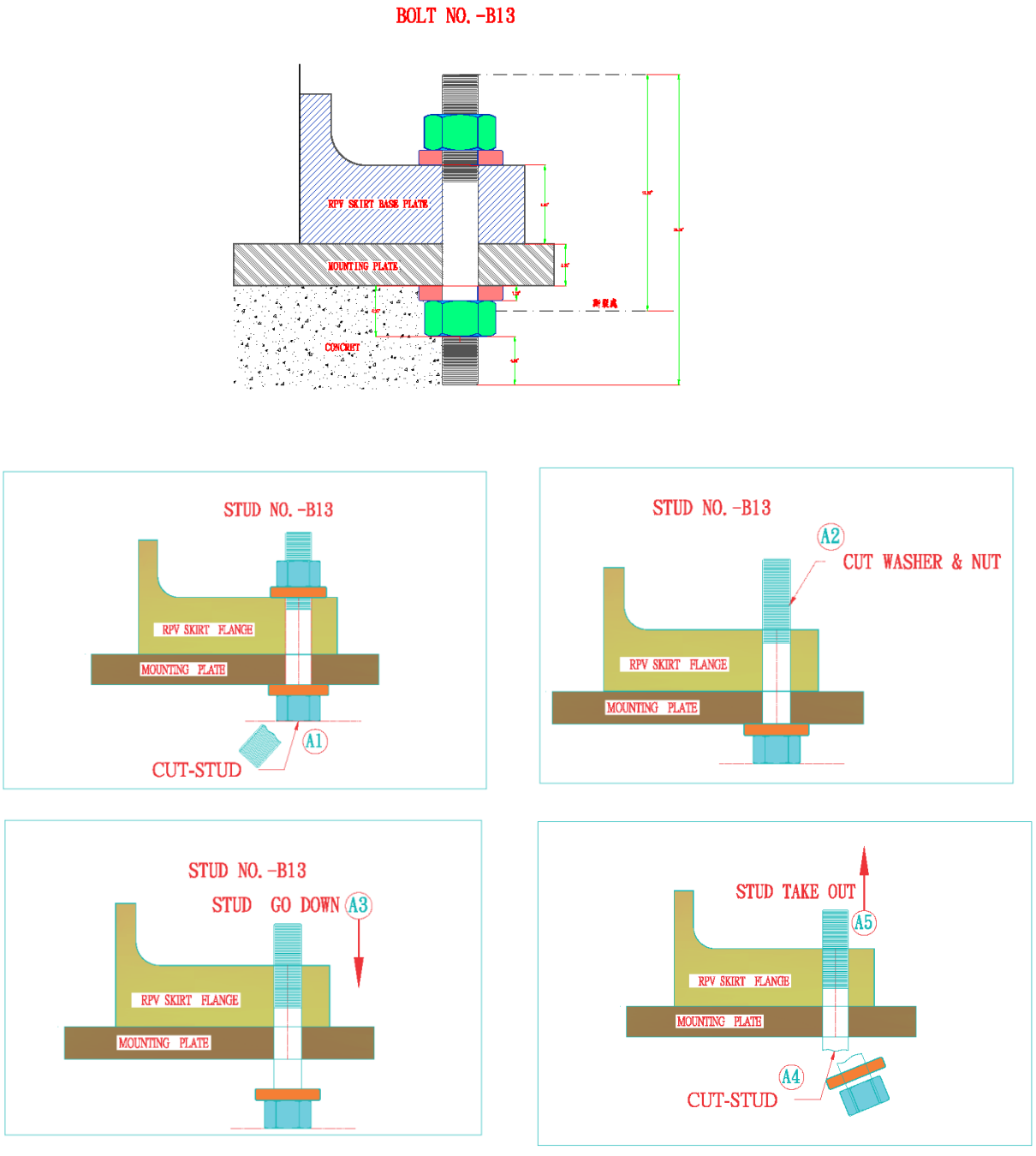
附件三、GE 品質符合證明

附件四、螺栓安裝人員訓練記錄

附件五、安裝螺栓使用儀器校驗記錄



圖一、反應爐支撐裙板錨定螺栓錨定螺栓下部水泥移除



圖二、斷裂錨定螺栓切割移除

PCN3

表格 1109.09B

按法規之修理/更換評估表

NCD/DCR/請修單/大修 153 項目編號：NCD 編號：101032 系統：N.A. 銲道編號：N.A.

（一）、瑕疵/損壞/失效說明(DCR/請修單/大修 153 項目須說明修理/更換位置)

（a）發現經過：

執行反應爐支撐裙板錨定螺栓 UT 檢測前之清潔作業時，發現位於裙板內側零度位置編號 A2 之一只直徑 3 吋，長度 26 吋之錨定螺栓斷裂。

（b）瑕疵/缺陷說明： （c）位置：反應爐支撐裙板錨定螺栓

編號 A2 現場已斷；另 UT 檢測結果：C6、D14 共 2 支無背波顯示，判斷已接近斷裂，B10、B13、C9、D11 共 4 支有顯示(Indications)。(詳如附件)

本修理方案已於 4/6 赴原能會簡報. 並獲得同意.

（d）檢測方法：UT 檢測程序書：ISI-UT-24-3 版次：1

（e）材質說明：Stud & Nut：ASTM A540 GR B23；Washer：ASTM A572 GR55

（二）、（1）肇因初步分析結果：N.A.

（2）■是 □否 有安全顧慮

維修組/改善組：

承辦人簽章 機械組 101.3.30 楊東拾 課長/經理簽章： 營運測試課長 101.3.31 汪雅政 機械經理 101.3.31 戚鶴年

（三）、法規適用性：

（a） 設備組件原建造法規：ASME SEC Ⅲ 1971 and 1972 Add.

（b） 更換時使用之建造法規：☑ASME SEC Ⅲ 1971 and 1972 Add.□ASME SEC Ⅲ_____

（c） 修理時使用之法規：ASME SEC XI ~~1995 and 1996 Add~~ 2004 Add.(同每十年營運期間檢測計畫)

（d） 引用新版法規，是否符合本廠原設計基礎 （是 □否 □）未引用。本次以2004年版.

（e） 修理方法/更換件是否可改善瑕疵/缺陷造成之原因 （是 ☑否 □）

（f） 是否需修改原設計或採購規範 （是 □否 ☑）

（g） 是否需 ASME STAMP （是 □否 □）NA

（四）、修理/更換方法： □金屬移除修理 □電銲 □硬銲 ☑機械連結 □填料填補

設計允許之最小壁厚度：（ 吋）銲接程序書編號：NA

是否需預熱 （是 □否 □） 是否需熱處理 （是 □否 □）NA

（五）、檢測方法：

修理中（□RT □UT □MT □PT □VT），修理後（□RT ☑UT □MT □PT ☑VT □VT-C）

壓力測試 □ 靜水壓測試 □ 氣壓測試 ☑系統洩漏測試 □ILRT

改善組：

承辦人簽章： 機械設計課長 101.4.5 尤文田 審核人簽章：尤文田 經理簽章： 改善經理 101.4.5 陳景輝

駐廠安全小組轉「授權核能檢查員」(ANII)審查：同意

授權核能檢查員簽章： 核能研究所 ANII 江根鋒 101.4.5

備註：※上列項目若不適用請填 「NA」，並在備註欄中說明

PCN3

表格 1109.09C

按法規之修理/更換計劃及稽查通知/記錄表 [Rev.14]

通知品質組訂定查證點及請駐廠安全小組轉 ANII 監查　品質組：　駐廠安全小組：

註：品質組及 ANII 請於「簽章欄」內（）處訂定查證點。

文件編號：NCD-101032		適用建造之法規：ASME SEC III 1971 with 1972 Add.			範圍：系統：AA 設備/銲道編號：Anchor Bolts				圖號：C-341
處理順序	計劃/執行內容	程序書/規範編號	接受標準	預定執行日期	執行結果	執行者	品質查證簽章	監查員 ANII 監查簽章	備註
	一、預備作業：								
	修理/更換評估表（表二）已完成						（）	（）	
	最小設計厚度						（）	（）	
	參考點之設立						（）	（）	
	二、瑕疵移除：								
	機械研磨						（）	（）	
	熱切移除(預熱溫度___℃)						（）	（）	
	三、非破壞性檢測： 修理中(□MT □PT □VT) 缺陷移除後 (□MT □PT □VT)	□_____							
	四、凹陷測量								
	量測儀器編號： 校正日期：_____ 有效期限：_____						（）	（）	
	缺陷長度（L） 凹穴深度（最深處）（A） 佔母材厚度 母材剩餘壁厚		A/L		_____吋 _____吋 _____吋 _____吋		（）	（）	
	五、標記轉移或原有標記查證						（）	（）	
	六、管件內襯處理						（）	（）	
	七、修理銲補								
	銲接工作(預熱溫度___℃)						（）	（）	
	銲後熱處理						（）	（）	
	八、組件更換								
1	機械連結	SP-2012-04	詳執行程序書	101.4.10	如附程序書	101.4.11 汪雅政	(H)	（）	
	銲接連結（銲接程序書）						（）	（）	
	銲後熱處理						（）	（）	

PCN3

處理順序	計劃/執行內容	程序書/規範編號	接受標準	預定執行日期	執行結果	執行者	品質查證簽章	監查員ANII監查簽章	備註
	九、銲後NDE檢測 (□RT □MT □PT □VT)	□_____					( )	( )	
	十、壓力試驗	□_____					( )	( )	
	十一、圖面修改								
	銲道編號增修						( )	( )	
	材料Heat No.增修						( )	( )	
	十二、營運前之檢測或測試 檢測（測試）種類： _____								
	(一)、檢測隊資料更新						( )	( )	
	(二)、營運測試課資料更新					二核能發電廠 管理測試課長 簽 101.4.11 汪雅政	( )	( )	
2	十三、施工程序書	SP-2012-04	如附程序書	101.4.10	完成.				
	十四、ANII審查						NA		

[Rev.16]

※註 1.「處理順序」欄，由維修組依實際執行步驟，填入1，2，3...之次序，若不需執行則留空或填「NA」，若需增加執行步驟，請於空白列填入.（執行時，若無現行程序書可資引用，相關組應另編寫特殊程序書，再予列入）

2. 維修組依實際作業要求，填入程序書/規範編號，接受標準及預定執行日期後，送品質組訂定停留查證點。

3. 品質組/駐廠安全小組/ANII於（）內，訂定停留查證點（以H代表）後，退維修組執行。

4. 於執行第十二項前，維修組應檢附施工完成圖面晒件，通知檢測隊或營運測試課執行 。 [Rev.13]

5. ASME Class I銲道在執行法規修理/更換後須會檢測隊執行Preservice inspection (PSI)。 [Rev.16]

PCN3

NIS-2 業主營運期間按 ASME 法規之修理/更換報告

1. 業主：台灣電力公司

2. 廠別：第二核能發電廠 3. 機組別—燃料週期：# 1 —MOC/EOC 22 [Rev.15]

4. a)適用建造法規之版次：ASME-Ⅲ 1971 ；增補版：1972 ；法規事例：NA

b)按法規之修理/更換引用之 ASME-XI 版次： 2004 立版 [Rev.16]

5. 依據施工文件：DCR/NCD/請修單/大修 153 項目： NCD-101032 [Rev.15]

6. 按法規之修理/更換作業名稱及工作摘要：

以原設計修復 D14、C6、B13、D11、C9、B10 等 6 支反應爐支撐裙板錨定螺栓螺栓

7. 修理/更換後之試驗：□靜水壓□氣壓□系統洩漏■免作壓力試驗

□其它試驗壓力_____psig；測試溫度_____℃/℉ [Rev.16]

8. 備註：

(若有製造廠家之資料報告(Data Reports)，需列為附件)

表格 1109.09 D-1

PCN3

9. 符合證明書

CERTIFICATE OF COMPLIANCE

我們證實本報告上述之陳述係正確的，且本修理/更換案係遵照 ASME-XI 規章之規定執行。

簽署：_____(經辦組課長或經理)　[Rev.16]

10. 營運監查證明書

CERTFICATE OF INSERVICE INSPECTION

我，下列簽署人，持有原子能委員會認可監查機構，核能研究所核發之有效運轉期間監查員證書，於 101 年 4 月 5 日至 101 年 4 月 13 日期間，已盡我所能針對本修理/更換報告中所敘述之組件執行監查查證，且確信，業主已依據 ASME 規章第十一部所規定之第 III 個十年營運期間檢測計劃書，執行本修理/更換報告中所敘述之檢測及應採取之矯正措施。

本證明書之簽署並不表示監查員及其雇主針對本修理/更換報告中所敘述之相關檢測及其矯正措施，承擔任何明示、默示之擔保。並且亦不表示監查員及其雇主針對任何因監查查證所導致的人身傷害或者財產損毀或者任何種類的損失，必須承擔任何形式的責任。

監查員簽名 核能研究所 ANII 江根鏵　證書類別 運轉期間監查

中華民國 101 年 4 月 13 日

PCN3

特殊程序書審核意見表　　附件二

特殊程序書名稱/編號：SP-2012-04 反應爐支撐裙板錨定螺栓安裝程序書

※審查判定	機	電	儀	修	化	保	廢	工	CP	供	政	緊	人	訓			核章	編寫者	課長/經理
						V	V		V									楊東拾 101.4.8	

安全評估：

1. 已隨附 150A 表並完成第壹欄之安全分析與適用性判定與說明 ■是

執行版

2. 是否為原能會/總處要求送審項目 □是(依據：　　) ■否

3. 單一故障之最壞情況及其預防措施說明：　101.4.-9

錨定螺栓拉伸預力不足，其預防措施為依循程序書中所提事先進行相關安裝設備之檢驗，及分 3 階段對螺栓施加拉力，並記錄存證。

參予討論者(相關職系/專長 3 人)：楊東拾 101.4.5　陳春波 101.4.5　呂漢強 101.4.5　討論日期：101年4月5日

編寫者：楊東拾 101.4.8　課長：汪雅政 101.4.9　經理：[illegible] 101.4.9

安全評估：依 150A 表判定是否須送原能會 □是 ☑否　品質組：[illegible] 101.4.9

SORC 委員審查：

核技組：林志保 101.4.9　改善組：陳景旗 101.4.9

運轉組：[illegible]　值班經理：吳盛章 101.4.9

品質組：楊勝勳 101.4.9

相關 SORC 委員：『機/修』：N/A　『儀/電』：N/A　『保健』：鄭琨琮 101.4.9

『化』：N/A　『其他』：[illegible]

第 914 次 SORC 會議通過

安管副廠長：[illegible] 101.4.9　運轉副廠長：游白揚 101.4.9　維護副廠長：李慶瑞(代) 101.4.9　柯福園 101.4.9

廠長（SORC 主席）：[illegible]

※審查意見欄不敷使用時,請使用審查意見欄續頁(表格 120F-1)。　[Rev.14]

※ 值班經理、運轉組、品質組、核技組、改善組等爲必審單位，不列入此審查判定欄內。

※ 若此份特殊程序書需送原能會/總處審查，(如可能造成反應器急停、發電機/汽機跳脫)，則特殊程序書之執行結果需再送 SORC 審查(詳如 120.1 程序書附件三)　[Rev.16]

名稱：反應爐支撐裙板錨定螺栓安裝程序書(RPV Skirt Bolt Installation Procedure)

目　　錄

1.0 目的及適用範圍

2.0 準備事項

3.0 注意事項

4.0 參考資料圖面

5.0 機組預期之反應

6.0 工作程序及方法

1.0 目的及適用範圍

本程序書可提供執行 1E0C22 大修期間，反應爐支撐裙板錨定螺栓安裝之依據，其由奇異公司所執行之工作程序以英文說明。

2.0 準備事項

2.1 安裝反應爐支撐裙板錨定螺栓準備事項，請參閱廠家相關程序書中所述之準備事項。

2.2 確認反應爐支撐裙板孔洞灌漿所需水泥之數量，若以每個孔洞 9 吋立方計算，6 個孔洞共需 25kg 裝水泥 7 袋。

3.0 注意事項

3.1 安裝反應爐支撐裙板錨定螺栓注意事項，請參閱廠家相關程序書中所述之注意事項。

3.2 反應爐支撐裙板孔洞灌漿所需水泥之型號爲 Embeco 880。

3.3 反應爐支撐裙板孔洞灌漿之水泥需留 4 片水泥試片，2 片試片 3 日後測試，2 片試片 7 日後測試。

4.0 參考圖面

執行本程序書之安裝作業須參考奇異公司(或其合作廠家)相關機電設備、控制圖面及使用手冊等，如本程序書相關章節所列。

5.0 機組預期之反應

本程序書之工作爲針對反應爐支撐裙板錨定螺栓安裝作業，除應遵守工安及輻防之規定外，與運轉中之機組無系統關聯。

6.0 工作程序及方法

6.1 反應爐支撐裙板錨定螺栓安裝程序，本程序書檢查作業之工作程序及方法如下列廠家程序書所述：

Vessel Skirt Bolt Replacement Project Installation Specification(附件一)

Implement of Vessel Skirt Bolt Replacement Work Control Plan(附件二)

6.2 反應爐支撐裙板孔洞灌漿程序

6.2.1 確認孔洞灌漿表面至少有 2~3 公分深度的粗糙面。

6.2.2 清理孔洞灌漿表面上的所有砂土(使用吸塵器)。

6.2.3 復原孔洞蓋板(蓋板上方應保留 2~3 吋缺口以方便灌注水泥)。

6.2.4 每袋水泥(25 公斤)裝需添加除礦水 4.4±0.3 公升(要先加 3 公升水後再邊加水邊攪拌，水不要一次加足)。

6.2.5 使用電動攪拌器進行攪拌(溫度需維持於 10~35℃)。

6.2.6 用除礦水完全潤濕灌漿表面(使用噴霧器或其他相同功能設備)。

6.2.7 開始灌漿並填滿孔洞，必要時使用輔助舌板(用完移除)。

6.2.8 將蓋板上方缺口封閉(水泥定型需 4 小時 40 分鐘)。

6.2.9 環境溫度 30℃時需靜置 24 小時(20℃時需靜置 48 小時)，強度方可達 5000 磅。

HITACHI

RPV Skirt Bolt Replacement project was performed to the GEH Quality program Per NEDC-32286P Revision 9, Quality Assurance Manual for International Services.

John Eure 04/12/12
Quality Team Leader Asia

分隊長：蔡錫聯　經理：陳勝雄 地址：新北市萬里區野柳里八斗 60 號 電話：02-24985990 轉 2758 傳真：02-24982624	台電核能發電處 DEPARTMENT OF NUCLEAR GENERATION, TPC 非破壞檢測隊核二分隊 2ND NDT SECTION, NDT TEAM **螺件超音波檢測報告** BOLTING ULTRASONIC EXAMINATION REPORT	報告編號：10104099 REPORT NO 檢測日期：101.04.11 DATE 頁次：第 1 頁，共 2 頁 PAGE OF

廠別：核二廠 SITE　機組別：#1 UNIT　螺件長度：26″ BOLTING LENGTH　螺件外徑：3″ Φ BOLTING OD

程序書編號：ISI-UT-24-3 PROCEDURE NO.　版次/變更通知單編號：1/1 REVISION NO./PCN NO.　校準紀錄編號：01 CALIBRATION SHEET NO.

材質：■碳鋼 CS □不銹鋼 SS 其他：OTHER　規塊與測件之溫差≦25°F(14℃)：■是 YES □否 NO
COMPONENT TEMP. WITHIN 25°F(14℃) OF CAL BLOCK

探頭角度 ANGLE USED	0° (ZONE 1)	0° (ZONE 2)		
掃描靈敏度：SCAN SENSITIVITY	54dB	66dB		dB

系統 / 組件 SYSTEM / COMP.	螺件編號 IDENTIFICATIONS	檢測結果 RESULT 合格 ACCEPT	檢測結果 RESULT 不合格 REJECT	應記錄之顯示 RECORDABLE INDICATIONS 無 NO	應記錄之顯示 RECORDABLE INDICATIONS 有 YES	備註 REMARKS
RPV Skirt 錨定螺栓	B10	✓		✓		更換安裝後檢測
	B13	✓		✓		更換安裝後檢測
	C6	✓		✓		更換安裝後檢測
	C9	✓		✓		更換安裝後檢測
	D11	✓		✓		更換安裝後檢測
	D14	✓		✓		更換安裝後檢測

檢測限制：
LIMITATIONS

檢測員：陳敏榮 EXAMINER(S)　級別：II LEVEL
　　級別： LEVEL

審核者：廖春生 REVIEWED BY　級別：III LEVEL　日期：Apr.11,12 DATE

超音波檢測校準紀錄
CALIBRATION RECORD OF ULTRASONIC EXAMINATION

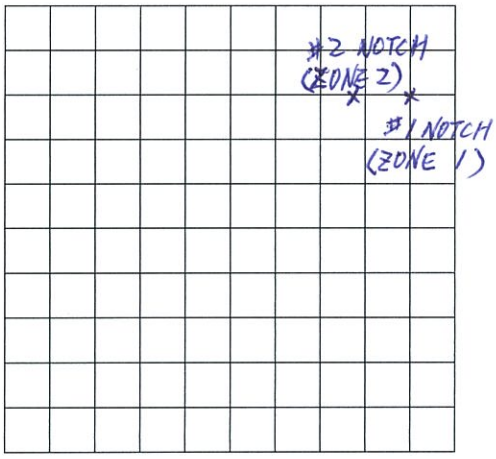
報告編號：REPORT NO 10104099
校準紀錄編號：CAL. RECORD NO. 01
檢測日期：DATE 101.04.11

廠別：核二廠 SITE　機組別：1 UNIT　程序書編號：ISI-UT-24-03 PROCEDURE NO.　版次/變更通知單編號：1/1 REVISION NO./PCN NO.

超音波儀器廠牌：KRAUTKRAMER INSTRUMENT MANUFACTURER　機型：USN 60 MODEL　序號：00YT09 SERIAL NO.

校準規塊編號：259 CALIBRATION BLOCK NO.　溫度：26℃ TEMP.　耦合劑：ULTRAGEL II COUPLANT　批號：07225 BATCH NO.

校準時間：16：00
INITIAL CAL. TIME



ZONE 1 / ZONE 2

全螢幕寬 = 10"/30" 吋
FULL SCREEN WIDE INCHES

校準驗證
CALIBRATION VERIFICATION

時間 TIME	振幅高度 AMPLITUDE 合格 YES	振幅高度 AMPLITUDE 不合格 NO	水平讀數 SWEEP READING 合格 YES	水平讀數 SWEEP READING 不合格 NO
16：40	V		V	

測件名稱：
EXAM. AREA / WELD
RPV Skirt 錨定螺栓：B10、B13、C6、C9、D11、D14 更換安裝後檢測。

	探頭 1 SEARCH UNIT 1	探頭 2 SEARCH UNIT 2
廠牌 BRAND	STAVELEY	
型式 STYLE	A10L	
序號 SERIAL NO.	1246	
尺寸 SIZE	0.5"Φ	
頻率 FREQ.	10MHz	
波式 MODE	L-WAVE	
公稱角度 NOM. ANGLE	0°	
量測角度 MEAS. ANGLE	NA	

儀器設定
INSTRUMENT SETTINGS

頻率 FREQ.	10MHz	10MHz
雜訊抑制 REJECT	0%	0%
迴掃範圍 SWEEP RANGE	10.00"	30.00"
迴掃遲延 SWEEP DELAY	P.D：0.3375μS D.D：0.000μS	P.D：0.3375μS D.D：0.000μS
音速 VELOCITY	0.2323"/μS	0.2323"/μS
阻尼/濾波 DAMPING / FILTER	1KΩ / FULL WAVE	1KΩ / FULL WAVE
脈波寬度 PULSE WIDTH	NA	NA
脈波重覆率 PRR	AUTOLOW	AUTOLOW
靈敏度 SENSITIVITY	ZONE 1 54 ⊥ ∥	ZONE2 66 ⊥ ∥
信號線長度 CABLE LENGTH	2M	2M
信號線型式 CABLE TYPE	RG59/u	RG59/u

檢測員：EXAMINER(S) 陳敏榮 許敏菜　級別：LEVEL II
　　級別：LEVEL
審核者：REVIEWED BY 廖春生　級別：LEVEL III　日期：DATE 101.11.12

分隊長：蔡錫聯　經理：陳勝雄 地址：新北市萬里區野柳里八斗 60 號 電話：02-24985990 轉 2758 傳真：02-24982624	台電核能發電處 DEPARTMENT OF NUCLEAR GENERATION, TPC 非破壞檢測隊核二分隊 2ND NDT SECTION, NDT TEAM **螺件超音波檢測報告** BOLTING ULTRASONIC EXAMINATION REPORT	報告編號：10104100 REPORT NO 檢測日期：101.04.10 DATE 頁次：第 1 頁，共 2 頁 PAGE OF

廠別：核二廠 SITE　機組別：#1 UNIT　螺件長度：26″ BOLTING LENGTH　螺件外徑：3″ Φ BOLTING OD

程序書編號：ISI-UT-24-3 PROCEDURE NO.　版次/變更通知單編號：1/1 REVISION NO./PCN NO.　校準紀錄編號：01 CALIBRATION SHEET NO.

材質：■碳鋼 CS □不銹鋼 SS 其他：OTHER　規塊與測件之溫差≦25°F(14°C)：■是 YES □否 NO
COMPONENT TEMP. WITHIN 25°F(14°C) OF CAL BLOCK

探頭角度 ANGLE USED	0° (ZONE 1)	0° (ZONE 2)		
掃描靈敏度：SCAN SENSITIVITY	54dB	66dB		dB

系統 / 組件 SYSTEM / COMP.	螺件編號 IDENTIFICATIONS	檢測結果 RESULT 合格 ACCEPT	檢測結果 RESULT 不合格 REJECT	應記錄之顯示 RECORDABLE INDICATIONS 無 NO	應記錄之顯示 RECORDABLE INDICATIONS 有 YES	備註 REMARKS
RPV Skirt 錨定螺栓	C2	✓		✓		PRE-LOAD CHECK 後檢測

檢測限制：
LIMITATIONS

檢測員：陳敏榮 EXAMINER(S)　級別：II LEVEL

級別：　LEVEL

審核者：龐春生 REVIEWED BY　級別：III LEVEL　日期：Apr.10.12 DATE

超音波檢測校準紀錄
CALIBRATION RECORD OF ULTRASONIC EXAMINATION

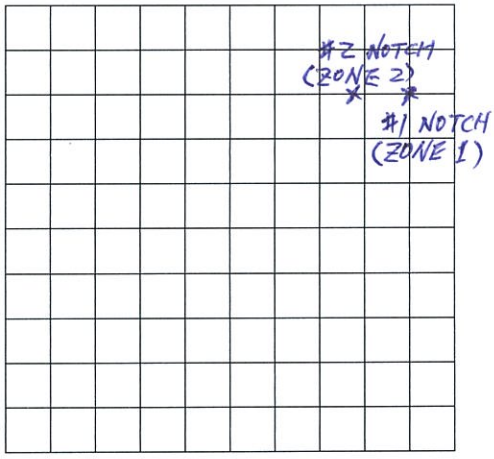
報告編號：REPORT NO 10104100
校準紀錄編號：CAL. RECORD NO. 01
檢測日期：DATE 101.04.10

廠別：SITE 核二廠 機組別：UNIT 1 程序書編號：PROCEDURE NO. ISI-UT-24-03 版次/變更通知單編號：REVISION NO./PCN NO. 1/1

超音波儀器廠牌：INSTRUMENT MANUFACTURER KRAUTKRAMER 機型：MODEL USN 60 序號：SERIAL NO. 00YT09

校準規塊編號：CALIBRATION BLOCK NO. 259 溫度：TEMP. 26℃ 耦合劑：COUPLANT ULTRAGEL II 批號：BATCH NO. 07225

校準時間：INITIAL CAL. TIME 15：45



ZONE 1 / ZONE 2

全螢幕寬 = FULL SCREEN WIDE 10"/30" 吋 INCHES

校準驗證
CALIBRATION VERIFICATION

時間 TIME	振幅高度 AMPLITUDE 合格 YES	振幅高度 AMPLITUDE 不合格 NO	水平讀數 SWEEP READING 合格 YES	水平讀數 SWEEP READING 不合格 NO
16：10	V		V	

測件名稱：EXAM. AREA / WELD
RPV Skirt 錨定螺栓：C2 PRE-LOAD CHECK 後檢測

	探頭 1 SEARCH UNIT 1	探頭 2 SEARCH UNIT 2
廠牌 BRAND	STAVELEY	
型式 STYLE	A10L	
序號 SERIAL NO.	1246	
尺寸 SIZE	0.5"Φ	
頻率 FREQ.	10MHz	
波式 MODE	L-WAVE	
公稱角度 NOM. ANGLE	0°	
量測角度 MEAS. ANGLE	NA	

儀器設定 INSTRUMENT SETTINGS

頻率 FREQ.	10MHz	10MHz
雜訊抑制 REJECT	0%	0%
迴掃範圍 SWEEP RANGE	10.00"	30.00"
迴掃遲延 SWEEP DELAY	P.D：0.3375μS D.D：0.000μS	P.D：0.3375μS D.D：0.000μS
音速 VELOCITY	0.2323"/μS	0.2323"/μS
阻尼 / 濾波 DAMPING / FILTER	1KΩ / FULL WAVE	1KΩ / FULL WAVE
脈波寬度 PULSE WIDTH	NA	NA
脈波重覆率 PRR	AUTOLOW	AUTOLOW
靈敏度 SENSITIVITY	ZONE 1 54 ⊥ ∥	ZONE2 66 ⊥ ∥
信號線長度 CABLE LENGTH	2M	2M
信號線型式 CABLE TYPE	RG59/u	RG59/u

檢測員：EXAMINER(S) 陳敏榮 陳敏榮 級別：LEVEL II

級別：LEVEL

審核者：REVIEWED BY 廖春生 級別：LEVEL III 日期：DATE Apr.10.12

鑫鼎工程有限公司 材料試驗室

地址：新北市淡水區淡金路三段三號 電話：(02)2629-2620 傳真：(02)8631-6481

Civil Engineering Laboratory 0501

混凝土鑽心試體抗壓強度試驗報告

委託單位： 台灣電力公司第二核能發電廠
地　　址： 新北市萬里區野柳里八斗60號
承 包 商： 昌賢工程有限公司
監造單位： 核二廠機械組
取樣人員： 昌賢工程有限公司-簡進田
送驗單位： 昌賢工程有限公司-簡進田
工程名稱： #1.2號機反應爐基座UT檢測配合工作
結構部位： 反應爐基座

報告編號： C 1203277
頁　　次： 第 壹 頁共 壹 頁
收件日期： 101 年 4 月 18 日
試驗日期： 101 年 4 月 18 日 11 時
報告日期： 101 年 4 月 18 日
澆灌日期： 101 年 4 月 11 日
鑽取日期： 101 年 4 月 17 日 9 時
設計強度： 350 kgf/cm^2
材　　齡： 7 天
標稱最大粒徑： --- mm

會驗人員： 機械組-黃奕偉　　試驗方法： CNS1238 (2005年版)

試體編號 (取樣部位)	試體平均尺寸 (cm)			抗壓面積 (cm^2)	修正係數	最大荷重 (kgf)	抗壓強度			強度達成率 (%)	破壞形態	試體加載方向	密度 (g/cm^3)
	直徑	高度					kgf/cm^2	psi	MPa				
		蓋平前	蓋平後										
1	5.51	8.4	8.8	23.84	0.97	13170	536	7621	52.5	153.1	C	----	----
以下空白													

KD-27-03 (99/10/06 J)

附 註：

一、本批試體養護情況如下表：

試體首次封存時間： -- 年 -- 月 -- 日 -- 時	端面處理方式： 加水處理
端面處理後再封存時間： -- 年 -- 月 -- 日 -- 時	
試體收件後至抗壓試驗前之養護條件： 委託者指定	本試驗執行人員： 詹仁傑。

二、本報告結果除非另有說明否則僅對送驗樣品負責；另未經書面許可，不可部分複製。

三、計算流程：最大荷重(kgf)÷抗壓面積(cm^2)×修正係數=抗壓強度(kgf/cm^2)
最大荷重(kgf)÷抗壓面積(cm^2)×修正係數×14.2227=抗壓強度(psi)
最大荷重(kgf)÷抗壓面積(cm^2)×修正係數×0.0980665=抗壓強度(MPa)
抗壓強度(kgf/cm^2)÷設計強度(kgf/cm^2)×100%=強度達成率(%)
單位換算係依據：1 kgf/cm^2=14.2227psi，1 kgf/cm^2=0.0980665MPa。

四、破壞形態圖示如下：

(A) (B) (C) (D) (E)



報告簽署人：

鑫鼎材料試驗室 試驗報告專用章 TAF 0501號

PCN3

表格 1109.09B

按法規之修理/更換評估表

NCD/DCR/請修單/大修 153 項目編號：NCD101032 系統： 銲道編號：

（一）、瑕疵/損壞/失效說明(DCR/請修單/大修 153 項目須說明修理/更換位置)

（a）發現經過：執行反應爐支撐裙板錨定螺栓 UT 檢測，發現位於裙板內側編号 A2 之 3"ϕ×26"L 螺栓斷裂

（b）瑕疵/缺陷說明：編号 A2 螺栓斷裂

（c）位置：反應爐支撐裙板錨定螺栓

（d）檢測方法： UT 檢測程序書：ISI-UT-24-3 版次： 1

（e）材質說明：Stud & Nut : ASTM A540 GR B23 ; Washer : ASTM A572 GR 55

（二）、（1）肇因初步分析結果：NA

（2）☑是 □否 有安全顧慮

維修組/改善組：

承辦人簽章 101.4.23 張正位 課長/經理簽章： 101.4.23 汪雅政 101.4.23 臧鶴年

（三）、法規適用性：

（a） 設備組件原建造法規：ASME SEC III 1971 and 1972 Add.

（b） 更換時使用之建造法規：☑ASME SEC III 1971 and 1972 Add.□ASME SEC III_____

（c） 修理時使用之法規：ASME SEC XI ~~1995 and 1996 Add~~ 2004.(同每十年營運期間檢測計畫)

（d） 引用新版法規，是否符合本廠原設計基礎 （是 □否 □）未引用 本項以 2004年版

（e） 修理方法/更換件是否可改善瑕疵/缺陷造成之原因 （是 ☑否 □）

（f） 是否需修改原設計或採購規範 （是 □否 ☑）

（g） 是否需 ASME STAMP （是 □否 □）NA

（四）、修理/更換方法： □金屬移除修理 □電銲 □硬銲 ☑機械連結 □填料填補

設計允許之最小壁厚度：（ 吋）銲接程序書編號：NA

是否需預熱 （是 □否 □） 是否需熱處理 （是 □否 □）NA

（五）、檢測方法：

修理中（□RT □UT □MT □PT □VT），修理後（□RT ☑UT □MT □PT □VT □VT-C）

壓力測試 □ 靜水壓測試 □ 氣壓測試 □系統洩漏測試 □ILRT

改善組：

承辦人簽章：101.4.23 王健富 審核人簽章：101.4.23 王健富 AT 經理簽章：101.4.23 陳景輝

駐廠安全小組轉「授權核能檢查員」(ANII)審查：同意

授權核能檢查員簽章：核能研究所 ANII 江根鏞 101.4.23

備註：※上列項目若不適用請填 「NA」，並在備註欄中說明

PCN3

表格 1109.09C

按法規之修理/更換計劃及稽查通知/記錄表 [Rev.14]

通知品質組訂定查證點及請駐廠安全小組轉 ANII 監查　品質組：高仲彥 101.4.25　駐廠安全小組：彭武台 101.4.25

註：品質組及 ANII 請於「簽章欄」內（）處訂定查證點。

文件編號：NCD-101032		適用建造之法規：ASME Sec III 1971 with 1972 Add.			範圍：系統：AA 設備/銲道編號：Anchor Bolt			圖號：C-341	
處理順序	計劃/執行內容	程序書/規範編號	接受標準	預定執行日期	執行結果	執行者	品質查證簽章	監查員 ANII 監查簽章	備註
	一、預備作業：								
	修理/更換評估表（表二）已完成						（）	（）	
	最小設計厚度						（）	（）	
	參考點之設立						（）	（）	
	二、瑕疵移除：								
	機械研磨						（）	（）	
	熱切移除(預熱溫度___℃)						（）	（）	
	三、非破壞性檢測： 修理中(□MT □PT □VT) 缺陷移除後 (□MT □PT □VT)	□_____							
	四、凹陷測量								
	量測儀器編號： 校正日期：_____ 有效期限：_____						（）	（）	
	缺陷長度（L） 凹穴深度（最深處）（A） 佔母材厚度 母材剩餘壁厚		A/L		_____吋 _____吋 _____吋 _____吋		（）	（）	
	五、標記轉移或原有標記查證						（）	（）	
	六、管件內襯處理						（）	（）	
	七、修理銲補								
	銲接工作(預熱溫度___℃)						（）	（）	
	銲後熱處理						（）	（）	
	八、組件更換								
	機械連結	SP-2012-04	詳執行程序書	101.4.21	如附程序書	101.4.23	（）	（）	
	銲接連結（銲接程序書）						（）	（）	
	銲後熱處理						（）	（）	

PCN3

處理順序	計劃/執行內容	程序書/規範編號	接受標準	預定執行日期	執行結果	執行者	品質查證簽章	監查員ANII監查簽章	備註
	九、銲後NDE檢測 (□RT □MT □PT □VT)	□_____					( )	( )	
	十、壓力試驗	□_____					( )	( )	
	十一、圖面修改								
	銲道編號增修						( )	( )	
	材料Heat No.增修						( )	( )	
	十二、營運前之檢測或測試 檢測（測試）種類： UT							(R)陳耀堯 101.04.26.	
	(一)、檢測隊資料更新						( )	( )	
	(二)、營運測試課資料更新	NA					( )	( )	
	十三、施工程序書	SP-2012-04 熱切割程序書	101.4.21						
	十二.a. Tension Preload 數據							(R) 陳耀堯 101.04.26.	
	b. 24小時後伸長量check						(H) 2013 Apr.26	(R) 陳耀堯 101.04.26.	
	十四、ANII審查						NA		

[Rev.16]

※註 1.「處理順序」欄，由維修組依實際執行步驟，填入 1，2，3...之次序，若不需執行則留空或填「NA」，若需增加執行步驟，請於空白列填入.（執行時，若無現行程序書可資引用，相關組應另編寫特殊程序書，再予列入）

2. 維修組依實際作業要求，填入程序書/規範編號，接受標準及預定執行日期後，送品質組訂定停留查證點。

3. 品質組/駐廠安全小組/ANII 於（ ）內，訂定停留查證點（以 H 代表）後，退維修組執行。

4. 於執行第十二項前，維修組應檢附施工完成圖面晒件，通知檢測隊或營運測試課執行 。 [Rev.13]

5. ASME Class I 銲道在執行法規修理/更換後須會檢測隊執行 Preservice inspection (PSI)。 [Rev.16]

PCN3

NIS-2 業主營運期間按 ASME 法規之修理/更換報告

1. 業主：台灣電力公司

2. 廠別：第二核能發電廠 3. 機組別—燃料週期：#1—MOC/EOC22 [Rev.15]

4. a)適用建造法規之版次：ASME-III 1971 ；增補版：1972 ；法規事例：_____

   b)按法規之修理/更換引用之 ASME-XI 版次：~~1995 及 1996 增補版~~ 2004年版 [Rev.16]

5. 依據施工文件：DCR/NCD/請修單/大修 153 項目：NCD-101032 [Rev.15]

6. 按法規之修理/更換作業名稱及工作摘要：

   以原設計修復 A2 反應爐支撐裙板錨定螺栓

7. 修理/更換後之試驗：☐靜水壓☐氣壓☐系統洩漏☑免作壓力試驗

   ☐其它試驗壓力_____psig；測試溫度_____℃/°F [Rev.16]

8. 備註：_____

（若有製造廠家之資料報告(Data Reports)，需列為附件）

表格 1109.09 D-1

PCN3

9. 符合證明書

CERTIFICATE OF COMPLIANCE

我們證實本報告上述之陳述係正確的，且本修理/更換案係遵照 ASME-XI 規章之規定執行。

核能發電 管理師 學 101. 4. 27 汪雅政

簽署：_____(經辦組課長或經理)　[Rev. 16]

10. 營運監查證明書

CERTFICATE OF INSERVICE INSPECTION

我，下列簽署人，持有原子能委員會認可監查機構，核能研究所核發之有效運轉期間監查員證書，於101年04月21日至101年04月27日期間，已盡我所能針對本修理/更換報告中所敘述之組件執行監查查證，且確信，業主已依據 ASME 規章第十一部所規定之第四個十年營運期間檢測計劃書，執行本修理/更換報告中所敘述之檢測及應採取之矯正措施。

本證明書之簽署並不表示監查員及其雇主針對本修理/更換報告中所敘述之相關檢測及其矯正措施，承擔任何明示、默示之擔保。並且亦不表示監查員及其雇主針對任何因監查查證所導致的人身傷害或者財產損毀或者任何種類的損失，必須承擔任何形式的責任。

監查員簽名 陳繼堯　證書類別 運轉期間監查

中華民國101年04月27日

表格 1109.09 D-2

台灣電力公司第二核能發電廠

營運手冊程序書變更通知單

程序書編號: SP-2012-04　　版次: 11　　變更通知單編號: [illegible]

名　　稱: 反應爐支撐裙板錨定螺栓安裝程序書

一、 變更原因：修訂安裝 A2 錨定螺栓增加 Work Control Plan

二、 變更依據：

(一)本案依據

(1) □原能會違規/注意改進事項(編號_____)(2)□原能會備忘錄(編號_____)

(3) □管制案件(編號_____) (4)□核管會議(___年___月份) (5)□異常事件報告(編號_____)

(6) □品質改正通知單(編號_____) (7) □其他上級單位要求(編號_____)

(二)本案依據

(1) □DCR(編號____) (2) □NCD(編號____) (3) □TSC(編號_____)(4) □FSAR 變更(編號_____)

(5) □設定點變更(編號_____) (6) □技術資訊(編號_____)(7) □10CFR50.59

(三)本案依據　　■其他 同上

【注意：本案之變更依據若爲第(一)類，即爲涉及新增承諾事項或刪除/變更原承諾事項之修改時，則需依程序書 120 中第 6.5.2 節之規定修訂方式編寫。在修訂程序書時，應於承諾事項適當之處以括號將案件編號註記於後。而若有其它如人爲疏失或特殊維修/運轉操作經驗，當值得作經驗回饋案例時，則以加註[基礎]表格之方式來編寫】

三、此次修訂若涉及下列內容請附相關文件晒件或註明文件出處：

1. 圖面(包括 P&ID,CWD,E,M 等)

□是-請註明圖號及相關位置(如 P&ID M-65-1,E-6)　　■ 否

_____

執行版

2. 設定點變更

□ 是-請附設定點變更申請書　　■ 否

3. Tech. Spec. /FSAR

□ 是-請附相關章節內容　　■ 否

101. 4. 26

4. 廠家說明書

□ 是-請附相關章節內容　　■ 否

5. DCR 工程指示表/設計變更摘要表

□ 是-請附相關章節內容　　■ 否

6. 其他 _____

□ 是-請附相關章節內容　　■ 否

四. 是否刪除/變更運轉規範所規定之程序或要求：□是，原因：_____　　■否

五. 是否涉及偵測試驗週期變更:　　□ 是　　■ 否

※六. 是否涉及 ERF 系統：　　□ 是　　■ 否

※七. 是否會降低系統運轉/維護品質或放寬人員資格/條件：□ 是　　■ 否　[Rev.25]

八. 運轉組確認須修改張貼式運轉指示(POI)□是 POI 編號_____■否 運轉組核章_____[Rev.28]

九. 請評估本件 PCN 是否需列入訓練

□ 需列入訓練

訓練組別：_____，會該組核章_____

訓練方式：

□ 課堂授課

□ 實地操作

□ 資料傳閱

□ 其他 _____

■ 否

※十. 評估是否涉及作業改變或環境變更，且增加工安風險等級。□ 是　　■ 否　[Rev.25]

(若評估結果爲『是』，應填寫 1107.07I-5 表，且評估爲 B 級以上者，應加會『工安組』審查)。

十一. 變更內容/意見/審核欄

頁　次	段　號	變　更　內　容
P.12-14 增加 A2 Work control plan 3 頁		原程序書 P.12-17 換成此附件 3 頁 詳如附件

※ 審　查　意　見

※開 立 者：　課長/經理：　認養人：

參予討論者(相關職系/專長 3 人)：　討論日期：101.4.25

	值主任/值班經理		運轉經理/ SORC 秘書
	有關工程師/安管課(600 系列)		品質經理
相關審查人員			其他單位代表
			模 中 主 任
			安管副廠長
			維護副廠長
			運轉副廠長
			SORC 主席

☐ 偵測試驗週期變更已登記建檔_____(MMCS) _____(ERF) } 此兩項流程俟 PCN 核定後由 DCC 負責處理

☐ 相關訓練已列入 TN-_____列管_____(模 中)

☐張貼式運轉指示(POI)已修改，PCN 核准後晒送運轉組。 [Rev.28]

※註:編寫者或審查者認爲有需要送 SORC 會議審查，請簽章後再註明"送 SORC 審查"字樣。

※意見審查欄不敷使用時,請使用審查意見欄續頁(表格 120F-4).

※凡涉及 ERF 系統者，必須於審查時及核准後加會電算組。 [Rev.25]

※凡涉及會降低系統運轉/維護品質或放寬人員資格/條件者，審查人員審查時，須特別留意。[Rev.25]

SP-2012-04

Table of Stud Dimensions

Serial Number	Fabricator Measured Length and temperature (inches/°F)	Fabricator Measured Minimum Diameter (inches)
001	26.006 / 69	3.001
002	26.003 / 69	3.000
003	26.007 / 69	3.000
004	26.006 / 69	2.999
005	26.004 / 69	3.000
006	26.003 / 69	3.000
007	26.004 / 70	2.997
008	26.001 / 70	3.000
009	26.006 / 70	3.000

Location A02 Acceptance Criteria

	Elongation Acceptance Criteria by Stud Serial Number (inches)			
Tension (kips)	S/N 007	S/N 004	S/Ns 002, 003, 005, 006, 008, 009	S/N 001
340	0.026	0.026	0.026	0.026
510	0.038	0.038	0.038	0.038
680	0.051	0.051	0.051	0.051
620	0.047	0.047	0.047	0.047
680 Re-tension	0.051	0.051	0.051	0.051

Location B10 Acceptance Criteria

	Elongation Acceptance Criteria by Stud Serial Number (inches)			
Tension (kips)	S/N 007	S/N 004	S/Ns 002, 003, 005, 006, 008, 009	S/N 001
340	0.026	0.026	0.026	0.026
510	0.038	0.038	0.038	0.038
680	0.051	0.051	0.051	0.051
620	0.047	0.047	0.047	0.047
680 Re-tension	0.051	0.051	0.051	0.051

Location B13 Acceptance Criteria

	Elongation Acceptance Criteria by Stud Serial Number (inches)			
Tension (kips)	S/N 007	S/N 004	S/Ns 002, 003, 005, 006, 008, 009	S/N 001
340	0.026	0.025	0.025	0.025
510	0.038	0.038	0.038	0.038
680	0.051	0.051	0.051	0.051
620	0.047	0.046	0.046	0.046
680 Re-tension	0.051	0.051	0.051	0.051

GEHI PROPRIETARY INFORMATION

Location C06 Acceptance Criteria

Tension (kips)	Elongation Acceptance Criteria by Stud Serial Number (inches)			
	S/N 007	S/N 004	S/Ns 002, 003, 005, 006, 008, 009	S/N 001
340	0.025	0.025	0.025	0.025
510	0.038	0.038	0.038	0.037
680	0.050	0.050	0.050	0.050
620	0.046	0.046	0.046	0.046
680 Re-tension	0.050	0.050	0.050	0.050

Location C09 Acceptance Criteria

Tension (kips)	Elongation Acceptance Criteria by Stud Serial Number (inches)			
	S/N 007	S/N 004	S/Ns 002, 003, 005, 006, 008, 009	S/N 001
340	0.025	0.025	0.025	0.025
510	0.037	0.037	0.037	0.037
680	0.050	0.050	0.050	0.050
620	0.046	0.045	0.045	0.045
680 Re-tension	0.050	0.050	0.050	0.050

Location D11 Acceptance Criteria

Tension (kips)	Elongation Acceptance Criteria by Stud Serial Number (inches)			
	S/N 007	S/N 004	S/Ns 002, 003, 005, 006, 008, 009	S/N 001
340	0.025	0.025	0.025	0.025
510	0.038	0.038	0.038	0.038
680	0.051	0.050	0.050	0.050
620	0.046	0.046	0.046	0.046
680 Re-tension	0.051	0.050	0.050	0.050

Location D14 Acceptance Criteria

Tension (kips)	Elongation Acceptance Criteria by Stud Serial Number (inches)			
	S/N 007	S/N 004	S/Ns 002, 003, 005, 006, 008, 009	S/N 001
340	0.025	0.025	0.025	0.025
510	0.038	0.038	0.038	0.037
680	0.050	0.050	0.050	0.050
620	0.046	0.046	0.046	0.046
680 Re-tension	0.050	0.050	0.050	0.050

GEHI PROPRIETARY INFORMATION

SP-2012-04

Tensioning Data Sheet

Location A2 INNER Stud S/N 006 Minimum Diameter 3.000

Fabricator measured length / ambient temperature = 26.003 in / 69 °F

Site ambient temperature = °F 71°F @ laydown area in Drywell

Cal ID 272777

Cal due date 01-04-13

Corrected fabricator length=(site ambient temp-fabricator ambient temp)*(6.5x10^{-6}in/in/°F)*(26.006 in)+26.006 in

Corrected fabricator length = 26.0033 in (Value for Reference if site length measured)

As-measured site length = N/A in Cal ID N/A

Cal due date N/A

UT measured length = 25.9994 in Cal ID 1414

Cal due date 04-04-2013

	Tension Applied (kips)	Tensioner Pressure (Reference Only)	Target Elongation (0.XXX in)	Tolerance (0.XXX in)	Measured Elongation (0.XXX in)
1st Pull	340	9,984 psi	0.026	N/A	0.0160
2nd Pull	510	14,796 psi	0.038	N/A	0.0337
3rd Pull (82°F @ Flange)	680	19,968 psi	0.051	±0.005	0.0548
24 hr check (87°F @ Flange)	620	N/A	0.047 Minimum	N/A	0.0541
Retension (if required)	680	19,968 psi	0.051	±0.005	N/A

GEHI PROPRIETARY INFORMATION

HITACHI

Work Control Plan

Title: Kuosheng 1 EOC22 Vessel Skirt Bolt Repair- **Bolt # A-2 S/N #** 006		**Document No.:** KS1-EOC22-VSB-WCP-001
Work Description: Implementation of Vessel Skirt Bolt Replacement		**Revision:** 0
Project: Vessel Skirt Bolt Replacement	**Project No.:** 180980 / 180962	**Page** 1 **Of** 3

Project Manager Approval (Signature & Date)	**Client Approval** (Signature & Date)
QA Approval (Signature & Date)	**(As Required)**

Sequence No.	Operation, Examination or Test To Be Performed		Hold, Witness Or Check Point		Sequence Completed Initial/Stamp and Date			Record		Comments
	Description	Procedure and Revision	QA	Client	Prod.	QA	Client	Req'd	Record No.	
1	Verify personnel requirements and prerequisites have been met.	KS1-EOC22-VSB-SWP-001, Rev 1 Section 3 & 4	H		4-25-12	4-25-12				
2	Remove protective coating from bolt being installed.	KS1-EOC22-VSB-SWP-001, Rev 1 Section 5.1			4-25-12					
3	Perform Zero load UT and caliper measurements, record results on datasheet, and compare with As-Built Data	KS1-EOC22-VSB-SWP-001, Rev 1 Section 5.2-5.3			4-25-12					

SP-2012-04

R: 11 /part

HITACHI

Work Control Plan (Continuation Page)

Title: Kuosheng 1 EOC22 Vessel Skirt Bolt Repair **Bolt # A-2 S/N #** 006	Document No.: KS1-EOC22-VSB-WCP-001	Page 2 Of 3

Sequence No.	Operation, Examination or Test To Be Performed		Hold, Witness Or Check Point		Sequence Completed Initial/Stamp and Date			Record		Comments
	Description	Procedure and Revision	QA	Client	Prod.	QA	Client	Req'd	Record No.	
4	Identify proper bolt installation location and perform preliminary inspections.	KS1-EOC22-VSB-SWP-001, Rev 1 Section 6.1 – 6.3			4-25-12					
5	Ensure bolt threads are clean and free of debris, and coat threads with a light coat of thread lubricant.	KS1-EOC22-VSB-SWP-001, Rev 1 Section 6.4 – 6.5			4-25-12					
6	Install replacement hardware and hand tighten. Confirm minimum thread exposure using Go-No-Go gages **NOTE: The upper washer has a 6.5 inch outer diameter and the lower washer has a 7 inch outer diameter.**	KS1-EOC22-VSBM-SWP-001, Rev 1 Section 6.6-6.7	H		4-25-12	R 4-25-12	101. 4. 25 陳春波			
7	Install tensioner and tension in three stages. Record elongation measurements on datasheets.	KS1-EOC22-VSB-SWP-001, Rev 1 Section 6.8 – 6.9	C		4-25-12	R 4-25-12	101. 4. 25 陳春波			

Form ISQ-309a (9610)

SP-VSB-04

K1-11/part

HITACHI

Work Control Plan (Continuation Page)

Title: Kuosheng 1 EOC22 Vessel Skirt Bolt Repair **Bolt # A-2 S/N #**	Document No.: KS1-EOC22-VSB-WCP-001	Page 3 Of 3

Sequence No.	Operation, Examination or Test To Be Performed		Hold, Witness Or Check Point		Sequence Completed Initial/Stamp and Date			Record		Comments
	Description	Procedure and Revision	QA	Client	Prod.	QA	Client	Req'd	Record No.	
8	Remove any excess lubricant from the stud threads.	KS1-EOC22-VSB-SWP-001, Rev 1 Section 6.10			4-25-12					
9	After 24 hrs. re-check elongation corresponding to 620kips and record results on datasheet.	KS1-EOC22-VSB-SWP-001, Rev 1 Section 6.11	C		4-26-12	4-26-12	機械組 101. 4. 26 陳春波 Q.C.			
10	Verify customer performs integrity check of installed bolts.	KS1-EOC22-VSB-SWP-001, Rev 1 Section 6.12	C		4-27-12	4-27-12	機械組 101. 4. 27 陳春波 Q.C.			
11	Perform Final QA Review	NEDC-32286 Rev 10	H			4-27-12	機械組 101. 4. 27 陳春波			

Q H

Q H

Sp-2012-04

R: 11 /Pm2

分隊長：蔡錫聯　經理：陳勝雄 地址：新北市萬里區野柳里八斗 60 號 電話：02-24985990 轉 2758 傳真：02-24982624	台電核能發電處 DEPARTMENT OF NUCLEAR GENERATION, TPC 非破壞檢測隊核二分隊 2ND NDT SECTION, NDT TEAM **螺件超音波檢測報告** BOLTING ULTRASONIC EXAMINATION REPORT	報告編號：10104121 REPORT NO 檢測日期：101.04.26 DATE 頁次：第 1 頁，共 2 頁 PAGE OF

廠別：核二廠 SITE　機組別：#1 UNIT　螺件長度：26″ BOLTING LENGTH　螺件外徑：3″ Φ BOLTING OD

程序書編號：ISI-UT-24-3 PROCEDURE NO.　版次/變更通知單編號：1/1 REVISION NO./PCN NO.　校準紀錄編號：10104121 CALIBRATION SHEET NO.

材質：■碳鋼 CS □不銹鋼 SS 其他：_____ OTHER　規塊與測件之溫差≦25°F(14℃)：■是 YES □否 NO
COMPONENT TEMP. WITHIN 25°F(14℃) OF CAL BLOCK

探頭角度 ANGLE USED	0°			
掃描靈敏度：SCAN SENSITIVITY	66dB			

系統 / 組件 SYSTEM / COMP.	螺件編號 IDENTIFICATIONS	檢測結果 RESULT 合格 ACCEPT	檢測結果 RESULT 不合格 REJECT	應記錄之顯示 RECORDABLE INDICATIONS 無 NO	應記錄之顯示 RECORDABLE INDICATIONS 有 YES	備註 REMARKS
RPV Skirt 錨定螺栓	A2	✓		✓		內圈，安裝後檢測
	×					

檢測限制：
LIMITATIONS

檢測員：陳根宇 EXAMINER(S)　級別：III LEVEL　審核者：廖春生 REVIEWED BY
×　級別：_____ LEVEL　級別：III LEVEL　日期：Apr.26.12 DATE

陳根宇 04.26.12

超音波檢測校準紀錄
CALIBRATION RECORD OF ULTRASONIC EXAMINATION

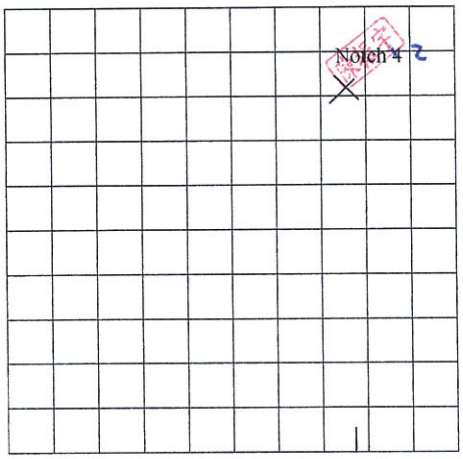
報告編號：REPORT NO 10104121
校準紀錄編號：CAL. RECORD NO. 10104121-01
檢測日期：DATE 101.04.26

廠別：SITE 核二廠 機組別：UNIT 1 程序書編號：PROCEDURE NO. ISI-UT-24-03 版次/變更通知單編號：REVISION NO./PCN NO. 1/1

超音波儀器廠牌：INSTRUMENT MANUFACTURER KRAUTKRAMER 機型：MODEL USN 60 序號：SERIAL NO. 00YT09

校準規塊編號：CALIBRATION BLOCK NO. 259 溫度：TEMP. 26℃ 耦合劑：COUPLANT ULTRAGEL II 批號：BATCH NO. 07225

校準時間：INITIAL CAL. TIME 13：45



全螢幕寬＝FULL SCREEN WIDE 30" 吋 INCHES

校準驗證
CALIBRATION VERIFICATION

時間 TIME	振幅高度 AMPLITUDE 合格 YES	振幅高度 AMPLITUDE 不合格 NO	水平讀數 SWEEP READING 合格 YES	水平讀數 SWEEP READING 不合格 NO
15：10	V		V	

測件名稱：EXAM. AREA / WELD
RPV Skirt 錨定螺栓： A2 安裝後檢測

	探頭 1 SEARCH UNIT 1	探頭 2 SEARCH UNIT 2
廠牌：BRAND	STAVELEY	
型式：STYLE	A10L	
序號：SERIAL NO.	1246	
尺寸：SIZE	0.5"Φ	
頻率：FREQ.	10MHz	
波式：MODE	L-WAVE	
公稱角度：NOM. ANGLE	0°	
量測角度：MEAS. ANGLE	NA	

儀器設定
INSTRUMENT SETTINGS

頻率：FREQ.	10MHz	
雜訊抑制：REJECT	0%	
迴掃範圍：SWEEP RANGE	10.00"	
迴掃遲延：SWEEP DELAY	P.D：0.3375μS D.D：0.000μS	
音速：VELOCITY	0.2323"/μS	
阻尼 / 濾波：DAMPING / FILTER	1KΩ / FULL WAVE	
脈波寬度：PULSE WIDTH	NA	
脈波重覆率：PRR	AUTOLOW	
靈敏度：SENSITIVITY	NOTCH 66	
信號線長度：CABLE LENGTH	2M	
信號線型式：CABLE TYPE	RG59/u	

檢測員：EXAMINER(S) 陳振宇 級別：LEVEL III

級別：LEVEL

審核者：REVIEWED BY 廖春生 級別：LEVEL II 日期：DATE Apr.26.12

鑫鼎工程有限公司 材料試驗室

地址：新北市淡水區淡金路三段三號 電話：(02)2629-2620 傳真：(02)8631-6481

Civil Engineering Laboratory 0501

混凝土圓柱試體抗壓強度試驗報告

委託單位： 台灣電力公司第二核能發電廠
地　　址： 新北市萬里區野柳里八斗60號
業　　主： 台灣電力公司第二核能發電廠
承 包 商： 昌賢工程有限公司
送驗單位： 昌賢工程有限公司-吳朝凱
取樣人員： 昌賢工程有限公司-吳百倉
工程名稱： #1、2號機反應爐基座UT檢測配合工作

報告編號： B 1203643
頁　　次： 第 壹 頁共 壹 頁
收件日期： 101 年 4 月 30 日
試驗時間： 101 年 4 月 30 日 11時
報告日期： 101 年 4 月 30 日
試驗方法： CNS1232 (2002年版)
設計強度： 350 kgf/cm^2
試體數量： 1 顆 材齡： 3 天
製模時間： 101 年 4 月 27 日

會驗人員： 台電第二核能發電廠機械組-呂漢強

試體編號 (取樣部位)	試體平均尺寸 (mm) 直徑	高度	抗壓面積 (cm^2)	修正係數	最大荷重 (kgf)	抗壓強度 kgf/cm^2	psi	MPa	強度達成率 (%)	破壞形態	試體或蓋平之缺陷
1	120.05	240	113.19	1.00	52940	468	6652	45.9	133.7	B	無異狀
以下空白											

KD-27-02 (99/09/01 J)

附 註：

一、本批試體製作及養護責任單位如下表：

製作單位： 同承包商	養護單位： 工地
養護方式： 自然環境	養護條件： 室溫
養護起始時間： 101 年 4 月 28 日 9 時	養護結束時間： 101 年 4 月 30 日 10 時

二、收件時試體乾濕狀態： 面乾 ； 試驗時試體乾濕狀態： 面乾 。

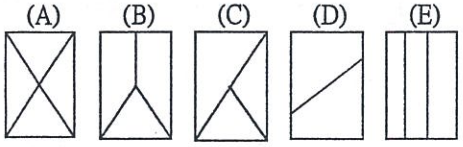
三、試體承壓面處理方式：磨平 ； 處理單位：本試驗室。試驗執行人員：王維紹。

四、本報告結果除非另有說明否則僅對送驗樣品負責；另未經書面許可，不可部分複製。

五、計算流程：最大荷重(kgf)÷抗壓面積(cm^2)×修正係數=抗壓強度(kgf/cm^2)
最大荷重(kgf)÷抗壓面積(cm^2)×修正係數×14.2227=抗壓強度(psi)
最大荷重(kgf)÷抗壓面積(cm^2)×修正係數×0.0980665=抗壓強度(MPa)
抗壓強度(kgf/cm^2)÷設計強度(kgf/cm^2)×100%=強度達成率(%)
單位換算係依據：1 kgf/cm^2=14.2227psi，1 kgf/cm^2=0.0980665MPa。

六、破壞形態圖示如下：

(A) (B) (C) (D) (E)



報告簽署人：

鑫鼎材料試驗室 試驗報告專用章 TAF 0501號

鑫鼎工程有限公司 材料試驗室

地址：新北市淡水區淡金路三段三號 電話：(02)2629-2620 傳真：(02)8631-6481

Civil Engineering Laboratory 0501

混凝土圓柱試體抗壓強度試驗報告

委託單位： 台灣電力公司第二核能發電廠
地　　址： 新北市萬里區野柳里八斗60號
業　　主： 台灣電力公司第二核能發電廠
承 包 商： 昌賢工程有限公司
取樣人員： 昌賢工程有限公司-吳百倉
送驗單位： 昌賢工程有限公司-吳朝凱
工程名稱： #1、2號機反應爐基座UT檢測配合工作

報告編號： B 1203658
頁　　次： 第 壹 頁共 壹 頁
收件日期： 101 年 4 月 30 日
試驗時間： 101 年 4 月 30 日 15時
報告日期： 101 年 4 月 30 日
試驗方法： CNS1232 (2002年版)
設計強度： 350 kgf/cm^2
試體數量： 1 顆 材齡： 3 天
製模時間： 101 年 4 月 27 日

會驗人員： 台電第二核能發電廠機械組-呂漢強

試體編號 (取樣部位)	試體平均尺寸 (mm) 直徑	高度	抗壓面積 (cm^2)	修正係數	最大荷重 (kgf)	抗壓強度 kgf/cm^2	psi	MPa	強度達成率 (%)	破壞形態	試體或蓋平之缺陷
1	120.16	240	113.40	1.00	53610	473	6724	46.4	135.1	B	無異狀
以下空白											

KD-27-02 (99/09/01 J)

附 註：

一、本批試體製作及養護責任單位如下表：

製作單位： 同承包商	養護單位： 工地
養護方式： 自然環境	養護條件： 室溫
養護起始時間： 101 年 4 月 28 日 9 時	養護結束時間： 101 年 4 月 30 日 10 時

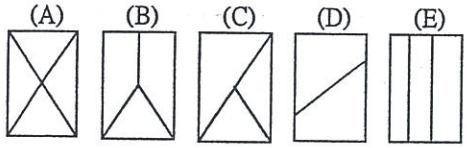
二、收件時試體乾濕狀態： 面乾 ； 試驗時試體乾濕狀態： 面乾 。

三、試體承壓面處理方式：磨平 ； 處理單位：本試驗室。試驗執行人員：王維紹。

四、本報告結果除非另有說明否則僅對送驗樣品負責；另未經書面許可，不可部分複製。

五、計算流程：最大荷重(kgf)÷抗壓面積(cm^2)×修正係數=抗壓強度(kgf/cm^2)
最大荷重(kgf)÷抗壓面積(cm^2)×修正係數×14.2227=抗壓強度(psi)
最大荷重(kgf)÷抗壓面積(cm^2)×修正係數×0.0980665=抗壓強度(MPa)
抗壓強度(kgf/cm^2)÷設計強度(kgf/cm^2)×100%=強度達成率(%)
單位換算係依據：1 kgf/cm^2=14.2227psi，1 kgf/cm^2=0.0980665MPa。

六、破壞形態圖示如下：



報告簽署人：

鑫鼎材料試驗室 試驗報告專用章 TAF 0501號

鑫鼎工程有限公司 材料試驗室

地址：新北市淡水區淡金路三段三號 電話：(02)2629-2620 傳真：(02)8631-6481

TAF
Civil Engineering Laboratory
0501

混凝土圓柱試體抗壓強度試驗報告

委託單位： 台灣電力公司第二核能發電廠
地　　址： 新北市萬里區野柳里八斗60號
業　　主： 台灣電力公司第二核能發電廠
承 包 商： 昌賢工程有限公司
取樣人員： 昌賢工程有限公司-吳百倉
送驗單位： 昌賢工程有限公司-吳朝凱
工程名稱： #1、2號機反應爐基座UT檢測配合工作

報告編號： B 1203730
頁　　次： 第 壹 頁共 壹 頁
收件日期： 101 年 5 月 4 日
試驗時間： 101 年 5 月 4 日
報告日期： 101 年 5 月 4 日
試驗方法： CNS1232 (2002年版)
設計強度： 350 kgf/cm^2
試體數量： 1 顆 材齡： 7 天
製模時間： 101 年 4 月 27 日

會驗人員： 台電第二核能發電廠機械組-呂漢強

試體編號 (取樣部位)	試體平均尺寸 (mm) 直徑	高度	抗壓面積 (cm^2)	修正係數	最大荷重 (kgf)	抗壓強度 kgf/cm^2	psi	MPa	強度達成率 (%)	破壞形態	試體或蓋平之缺陷
1	120.40	237	113.85	1.00	56757	499	7090	48.9	142.6	C	無異狀
以下空白											

KD-27-02 (99/09/01 J)

附 註：

一、本批試體製作及養護責任單位如下表：

製作單位： 同承包商	養護單位： 工地
養護方式： 自然環境	養護條件： 室溫
養護起始時間： 101 年 4 月 28 日 9 時	養護結束時間： 101 年 5 月 4 日 10 時

二、收件時試體乾濕狀態： 面乾 ； 試驗時試體乾濕狀態： 潮濕 。

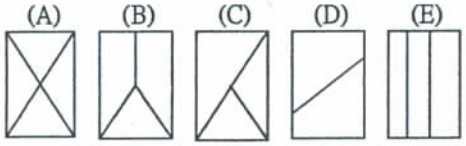
三、試體承壓面處理方式：磨平 ； 處理單位：本試驗室。試驗執行人員：翁業昌。

四、本報告結果除非另有說明否則僅對送驗樣品負責；另未經書面許可，不可部分複製。

五、計算流程：最大荷重(kgf)÷抗壓面積(cm^2)×修正係數=抗壓強度(kgf/cm^2)
最大荷重(kgf)÷抗壓面積(cm^2)×修正係數×14.2227=抗壓強度(psi)
最大荷重(kgf)÷抗壓面積(cm^2)×修正係數×0.0980665=抗壓強度(MPa)
抗壓強度(kgf/cm^2)÷設計強度(kgf/cm^2)×100%=強度達成率(%)
單位換算係依據：1 kgf/cm^2=14.2227psi，1 kgf/cm^2=0.0980665MPa。

六、破壞形態圖示如下：

(A) (B) (C) (D) (E)



報告簽署人：

鑫鼎材料試驗室 試驗報告專用章 TAF 0501號

附件三

HITACHI

RPV Skirt Bolt Replacement project was performed to the GEH Quality program Per NEDC-32286P Revision 9, Quality Assurance Manual for International Services.

John Eure 04/12/12
Quality Team Leader Asia

附件四

HITACHI

Training Record

Location/Project	Kousheng Unit 1/ RPV Skirt Bolt Replacement	Date	04-08-12
Training Hours	2 Hours	Page	1 of 2

Program/Subject

Project Training, Safety, Procedures

Attendance

Name	Position/Title	Signature
James Stewart	Field Machinist	James Stewart
Hemanuel Rodrigo	~~Field Tech~~ Field Tech	Hemanuel M
Jose Emilio SILVA	FIELD TECH.	Jose Silva
CHARLIE GREGORY	Field Tech / U.T.	Charlie Gregory II
RANDY WALLACE	PROJECT MANAGER	Randy Wallace
EDDY K. BABB	Field Tech	Eddy Babb
Klinton Lew	Field Tech	Klinton Lew
Patrick Gerhardt	Field Tech / U.T.	P. Gerhardt
Marc Collins	Tech	Marc Collins
MICHAEL FITZGERALD	TECH	M. Fitzgerald
MICHAEL HEATH	LEVEL III	M. A. Heath
Peter Sutton	TECH	Peter Sutton
MICHAEL MARSIGLIO	MTA	M. Marsiglio
Leslie Richter	mech Tech	Leslie Richter
PETER KEMLING	TOOLING SPECIALIST	Peter Kemling

Instructor	Doug Holmgrem	Signature	Doug W Holmgrem
Title/Organization	Lead Engineer.	Date	04-08-12

Form ISQ-330 (9610)

HITACHI

Training Record

Location/Project	Kousheng Unit 1/ RPV Skirt Bolt Replacement	**Date**	04-08-12
Training Hours	2 Hours	**Page**	2 of 2

Program/Subject

Project Training, Safety, Procedures

Attendance

Name	Position/Title	Signature
Dan Mierski	Mechanical Engineer	
John Ellis	QA Team Leader Asia	
Gerald Henschel	APM / Shift Lead	
Hugo Roony	PM	
Kensuke Takai	TD	
Kim Jakhund	TD	
DAVID W. COOLEY	TD	
Gregory Franklin	QA/QC	

Instructor Doug Holmgrem **Signature**

Title/Organization Lead Engineer **Date** 04-08-12

Form ISQ-330 (9610)

HITACHI

Training Record

Location/Project	Kousheng Unit 1/ RPV Skirt Bolt Replacement	Date	04-08-12
Training Hours	2 Hours	Page	of

Program/Subject

Project Mock –up Training

Attendance

Name	Position/Title	Signature
JOHN EURE	QA TEAM LEADER ASIA	
Gerald Henschel	Asst PM/Shift Lead	
Doug Holmgren	Shift Lead	
Kensuke Takai	TD	
Kim Jakklund	TD	
Leslie Richter	Mech Tech	
Hemanuel Rodriguez	Fiel Tech	
Jose Emilio SILVA	Field TECH	
RANDY WALLACE	PROJ. Man	
Dan Micrski	Engineer	
Jamey Stewart	Field Machinist	
PETER KEMLING	TOOLING SPECIALIST	
Peter Sutto	Tech.	
Charlie Gregory	V.T. Field Tech	
DAVID W. COOLEY	TD	

Instructor	M. Armstrong , G, Henschel	Signature	
Title/Organization	PD.APM/ Assent Management Serv.	Date	04-08-12

Form ISQ-330 (9610)

International Bolting Technologies, Inc.

April 2, 2012

To Whom It May Concern:

Charlie Gregory and Patrick Gerhardt, of Bolttech Mannings, have successfully completed two training courses, performed by International Bolting Technologies, Inc., on ultrasonic bolt elongation and load measurement using the Norbar USM. Each course required 16 hours of theory and practical training, as well as passing both written and practical examinations.

Please feel free to contact me with any questions you may have concerning the training program.

Sincerely,

Gregory J. Young

Vice-President

Email: gyoung@ibt-usa.com

附件五

HITACHI

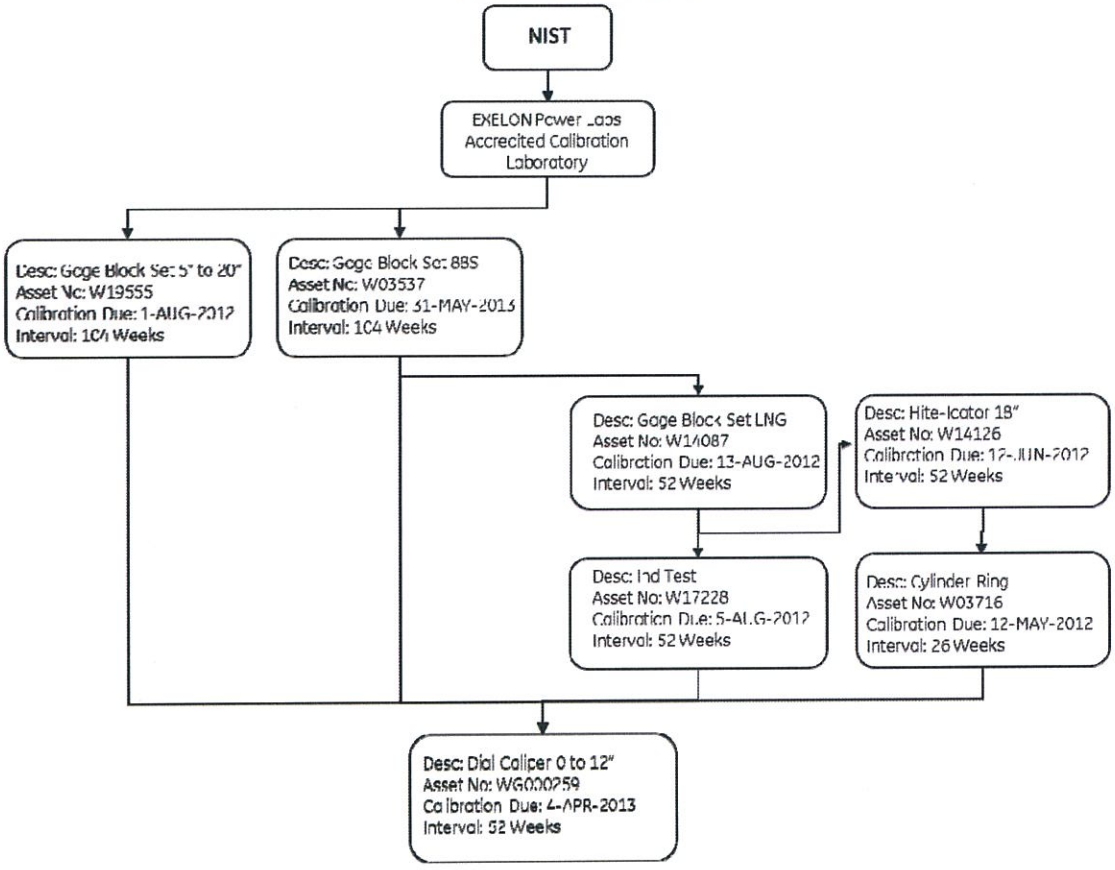
GE-Hitachi Nuclear Energy
SCO Gage Lab
3901 Castle Hayne Road
Wilmington, NC 28401

Record of Calibration

Asset/Control No.:	WG000259	**As Received:**	In Tolerance
Description:	Mitutoyo Dial Caliper 0-12" Model: 505-677 SN: 11597522	**As Returned:**	In Tolerance
Calibrated by:	Charles Benton	**Calibration Date:**	4-APR-2012
Service Performed:	Calibration	**Calibration Due Date:**	4-APR-2013
Procedure:	GIS B13 Rev. 4	**Calibration Cycle:**	52 Weeks

This calibration was performed in accordance with GE-Hitachi Nuclear Energy, Nuclear Quality Assurance Manual NEDO-11209-A, Revision 9, Dated August 8, 2011. The measurement standards used are traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST).

Trace Tree



Review:	Charles Benton **Calibration Inspector**	**Signature:** *eSignature* *Completed electronically signature on file*	**Date: 4-APR-2012**
Approval:	Mark L. Gerdes **Support Services Quality Manager**	**Signature:**	**Date: 4-APR-2012**

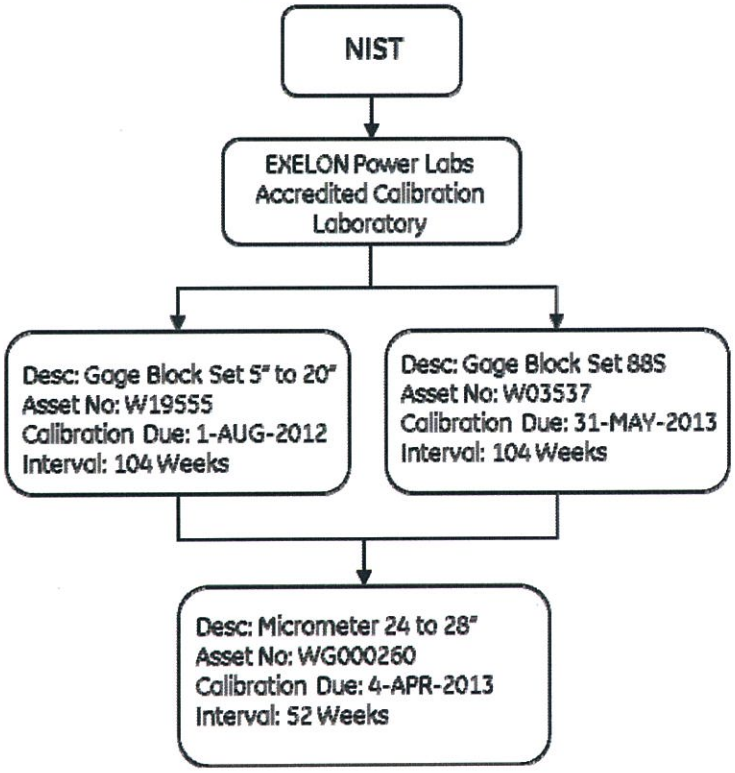
GE-Hitachi Nuclear Energy
SCO Gage Lab
3901 Castle Hayne Road
Wilmington, NC 28401

Record of Calibration

Asset/Control No.:	WG000260	**As Received:**	In Tolerance
Description:	SPI Micrometer 24-28" Model: 13-495-7 SN: 110256713	**As Returned:**	In Tolerance
Calibrated by:	Charles Benton	**Calibration Date:**	4-APR-2012
Service Performed:	Calibration	**Calibration Due Date:**	4-APR-2013
Procedure:	GIS B01 Rev. 8	**Calibration Cycle:**	52 Weeks

This calibration was performed in accordance with GE-Hitachi Nuclear Energy, Nuclear Quality Assurance Manual NEDO-11209-A, Revision 9, Dated August 8, 2011. The measurement standards used are traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST).

Trace Tree



Review:	Charles Benton **Calibration Inspector**	**Signature:** *eSignature* *Completed electronically signature on file*	**Date:** 4-APR-2012
Approval:	Mark L. Gerdes **Support Services Quality Manager**	**Signature:**	**Date:** 4-APR-2012

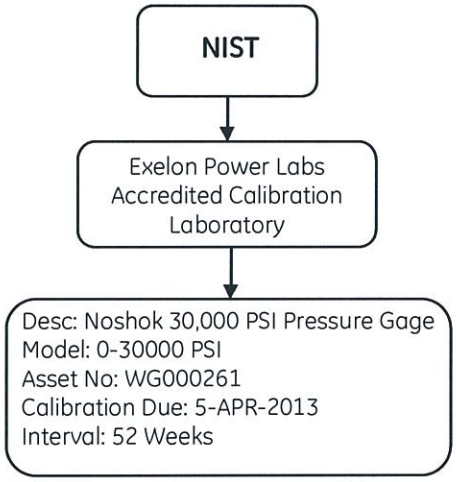
GE-Hitachi Nuclear Energy
SCO Gage Lab
3901 Castle Hayne Road
Wilmington, NC 28401

Record of Calibration

Asset/Control No.:	WG000261	**As Received:**	In Tolerance
Description:	Noshok 30,000 PSI Pressure Gage Model: 0-30000 PSI	**As Returned:**	In Tolerance
Calibrated by:	Charles Benton/Exelon Power Labs	**Calibration Date:**	5-APR-2012
Service Performed:	Calibration	**Calibration Due Date:**	5-APR-2013
Procedure:	GIS B81 Rev. 6/006.5 Rev. 31931.11	**Calibration Cycle:**	52 Weeks

This calibration was performed in accordance with GE-Hitachi Nuclear Energy, Nuclear Quality Assurance Manual NEDO-11209-A, Revision 9, Dated August 8, 2011. The measurement standards used are traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST).

Trace Tree



Review:	Charles Benton **Calibration Inspector**	**Signature:** *eSignature* *Completed electronically signature on file*	**Date:** 5-APR-2012
Approval:	Mark L. Gerdes **Support Services Quality Manager**	**Signature:**	**Date:** 5-APR-2012

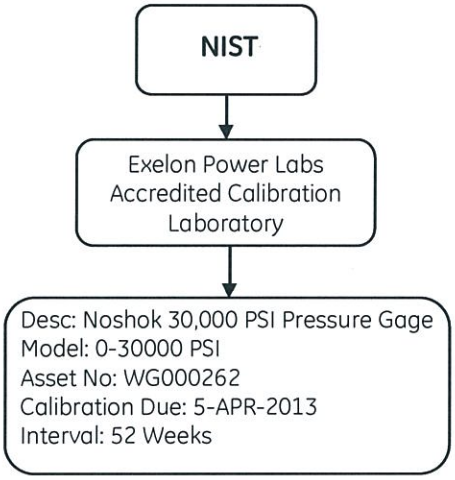
GE-Hitachi Nuclear Energy
SCO Gage Lab
3901 Castle Hayne Road
Wilmington, NC 28401

Record of Calibration

Asset/Control No.:	WG000262	**As Received:**	In Tolerance
Description:	Noshok 30,000 PSI Pressure Gage Model: 0-30000 PSI	**As Returned:**	In Tolerance
Calibrated by:	Charles Benton/Exelon Power Labs	**Calibration Date:**	5-APR-2012
Service Performed:	Calibration	**Calibration Due Date:**	5-APR-2013
Procedure:	GIS B81 Rev. 6/006.5 Rev. 31931.11	**Calibration Cycle:**	52 Weeks

This calibration was performed in accordance with GE-Hitachi Nuclear Energy, Nuclear Quality Assurance Manual NEDO-11209-A, Revision 9, Dated August 8, 2011. The measurement standards used are traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST).

Trace Tree



Review:	Charles Benton **Calibration Inspector**	**Signature:** *eSignature* *Completed electronically signature on file*	**Date: 5-APR-2012**
Approval:	Mark L. Gerdes **Support Services Quality Manager**	**Signature:**	**Date: 5-APR-2012**

QF .20

CERTIFICATE OF CALIBRATION

The instrument identified below has been manufactured in accordance to factory quality procedures and tested to standards traceable to the National Institute of Standards and Technology.

Mode USM-3 Serial No. 1414 PCB sn:4009

Date of issue: April 4, 2012 Technician: J. Meisterling

CERTIFICATE NUMBER: NTTI 063

Cal Bar 1 Physical: 76.190 Ultrasonic: 76.190

Cal Bar 2 Physical: 152.382 Ultrasonic: 152.382

System Zero Value: -47.1 Velocity: 5989360

Block S/N: N 425A-B Certificate Number: 821/238344-03

Transducer Model: 712 5 MHz Serial Number: 499

TCXO Measurement (20 MHz ±500Hz): 20.000090

Norbar Torque Tools Inc.
Bolting Equipment and Calibration Services
36400 Biltmore Place Willoughby, Ohio 44904
TEL: 440-953-1180 FAX:440-953-9336
www.norbar.com

QF .20

CERTIFICATE OF CALIBRATION

The instrument identified below has been manufactured in accordance to factory quality procedures and tested to standards traceable to the National Institute of Standards and Technology.

Mode USM-3 Serial No. 1415 PCB sn:4007

Date of issue: April 4, 2012 Technician: J. Meisterling

CERTIFICATE NUMBER: NTTI 063

Cal Bar 1 Physical: 76.190 Ultrasonic: 76.190

Cal Bar 2 Physical: 152.382 Ultrasonic: 152.382

System Zero Value: -50.3 Velocity: 5989601

Block S/N: N 425A-B Certificate Number: 821/238344-03

Transducer Model: 712 5 MHz Serial Number: 499

TCXO Measurement (20 MHz ±500Hz): 19.999952

Norbar Torque Tools Inc.
Bolting Equipment and Calibration Services
36400 Biltmore Place Willoughby, Ohio 44904
TEL: 440-953-1180 FAX:440-953-9336
www.norbar.com

第 參 章

螺栓完整性確認

目　錄

一、 前言 ---------- 1

二、 螺栓預力查驗---------- 1

三、 超音波再檢測---------- 2

四、 螺栓抗拉強度機械性質測試---------- 2

五、 假設 2.5mm 未檢出裂紋之安全評估---------- 3

六、 結語---------- 3

七、 附件---------- 4

核二廠一號機 113 支反應爐支撐裙板錨定螺栓完整性報告

一、前言：

核二廠 1 號機 EOC-22 大修期間，於 101 年 3 月 23 日執行反應爐支撐裙板錨定螺栓清潔維護及超音波檢查(UT)，發現內圈編號 A2 錨定螺栓已斷裂，內圈編號 D14 及 C6 共 2 支錨定螺栓，超音波(UT)顯示背波消失，判斷已接近斷裂。另 4 支內圈編號分別為 B10, B13, C9, D11 之螺栓有顯示(INDICATIONS)，但背波顯示良好。上列 7 支有瑕疵螺栓均已修復完成，其餘 113 支螺栓雖於本次大修經 UT 檢測未發現裂縫顯示，本公司仍規劃下列各項作業，以確認錨定螺栓功能完整。

- 螺栓預力查驗
- 超音波再檢測
- 螺栓抗拉強度機械性質測試
- 假設 2.5mm 未檢出裂紋之安全評估

以上各項作業均已完成，以下各節摘要說明執行結果。

二、螺栓預力查驗：

依學理論述(An Introduction to the Design and Behavior of Bolted Joints, Bickford)：螺栓預力之鬆弛僅發生於有限的時間內，大部份預力的鬆弛發生於完成螺栓鎖緊後之當時，且隨著時間預力鬆弛率將趨近於零。(As described in An Introduction to the Design and Behavior of Bolted Joints, Bickford, Chapter 6, a bolted joint will experience relaxation for an indefinite period of time, with most of the relaxation occurring immediately upon tensioning. The rate of relaxation approaches zero as time passes. This phenomenon has already been accounted for in the tensioning procedure used for the studs.)

因此新裝螺栓於鎖緊時都會鎖比設計需求要多的預力，以備螺栓鎖緊鬆弛發生時，仍有符合設計需求所需的預力。

錨定螺栓查驗預力之執行，係以計算書對螺栓預力要求 510KIPS 加上 10%裕度，而得 560KIPS 以驗證螺帽仍在壓緊狀態。執行時依據程序書「SP-21012-04 反應爐支撐裙板錨定螺栓安裝程序書」，施作過程經機械組、品質組現場查證及總處審查工作組、授權核能檢察員(ANII)人員查證。113 支錨定螺栓預力查驗工作，已於 101 年 5 月 3 日全部執行完畢，查驗結果全部合格，螺帽墊圈無鬆動現象，執行過程記錄文件已完整保存。

三、超音波再檢測：

101 年 3 月 24 日已完成全部 1 號機反應爐支撐裙板錨定螺栓超音波檢查，檢測結果除 A2、C6、D14、B10、B13、C9、D11 螺栓外全部合格。

本公司為確保 113 支螺栓於預力查驗測試過程中沒有遭受非預期的損傷，於螺栓預力查驗測試完成後，對 113 支螺栓及新裝之 7 支螺栓再度執行超音波(UT)檢測，檢測結果合格。每根螺栓之檢測波形均逐支完整紀錄，且檢測過程已錄影存證。每根螺栓 UT 檢測紀錄均經品質組現場查證及總處審查工作組、授權核能檢察員(ANⅡ)人員查證。檢測結果詳如附件 1。

四、螺栓抗拉強度機械性質評估：

螺栓抗拉強度的機械性質評估，是利用破損的 7 支螺栓之硬度量測與實際測試所得的抗拉強度建立換算關係式，再利用現場剩餘 113 支螺栓之硬度測試值，推算出剩餘 113 支螺栓抗拉強度，結果詳如附件 2，表中亦列出對應螺栓母材批號之關係。

由附件 2 中，顯示剩餘 113 支螺栓之最低抗拉強度為內圈 C8 之 148.86ksi。而根據 B13 之抗拉強度實測結果，推算 C8 降伏強度仍大

於 120.5ksi，仍能符合原設計接受標準。

五、假設 2.5mm 未檢出裂紋之安全評估：

由於螺栓裂紋初始成長機制於施工結束及環境改善後即停止，因此不會有新增裂紋。即使現有剩餘 113 支錨定螺栓中有超音波未能檢測出而當時已經產生之裂紋存在，則依裂紋成長機制，此裂紋將不會成長或是成長速率極為緩慢。另依本公司核能安全處所進行的核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告評估結論：

1. 破壞力學分析結果顯示，反應爐支撐裙板錨定螺栓承受設計基準最嚴苛之故障狀況(Faulted Condition)之負載時，受力最嚴重之螺栓發生脆斷時之臨界裂縫深度為 0.397 in (10.08 mm)，因此，假設目前錨定螺栓有現存 2.5 mm 超音波無檢測出之裂縫深度，在發生 Faulted Condition 時，不致有發生脆性斷裂之疑慮。

2. 疲勞壽命評估結果顯示，假設目前錨定螺栓有現存 2.5 mm 超音波無檢測出之裂縫深度，無論是地震力及(含)SRV 沖放之交變應力，或 thermal moment 反覆交變應力對螺栓之疲勞壽命，其應力循環數為 3.84×10^5 cycles 及 1.07×10^5 cycles，故前述交變負載對反應爐支撐裙板錨定螺栓之疲勞破壞沒有威脅性。

六、結語：

由前述之螺栓預力查驗、超音波再檢測、螺栓抗拉強度機械性質評估、假設 2.5mm 未檢出裂紋之安全評估等之完成，已可完全確認 113 支螺栓之功能完整。

由肇因分析：螺栓裂紋初始成長機制於施工結束及環境改善後即停止，因此爾後運轉中將不致出現新增裂紋。即使現有剩餘 113 支錨定螺栓中有超音波未能檢測出而當時已經產生之裂紋存在，則依裂紋

成長機制，此裂紋將不會成長或是成長速率極為緩慢。對可能有成長的裂紋，因其成長速率極為緩慢，本公司核二廠已規畫於每次大修執行螺栓超音波檢測，可有效追蹤發現成長之裂紋，確保機組安全運轉無虞。

七、附件：

附件 1：超音波(UT)檢測結果。

附件 2：硬度測試轉換抗拉強度結果。

分隊長：蔡錫聯　經理：陳勝雄
地址：新北市萬里區野柳里八斗 60 號
電話：02-24985990 轉 2758
傳真：02-24982624

台電核能發電處
DEPARTMENT OF NUCLEAR GENERATION, TPC
非破壞檢測隊核二分隊
2ND NDT SECTION, NDT TEAM

螺件超音波檢測報告
BOLTING ULTRASONIC EXAMINATION REPORT

報告編號：10105005
REPORT NO
檢測日期：101.5.2~101.5.3
DATE
頁次：第 1 頁，共 4 頁
PAGE OF

廠別：核二廠 SITE　機組別：#1 UNIT　螺件長度：26" BOLTING LENGTH　螺件外徑：3" BOLTING OD

程序書編號：ISI-UT-24-3 PROCEDURE NO.　版次/變更通知單編號：1/1 REVISION NO./PCN NO.　校準紀錄編號：01,02,03 CALIBRATION SHEET NO.

材質：☑碳鋼 CS ☐不銹鋼 SS 其他：＿＿ OTHER　規塊與測件之溫差≦25°F(14°C)：☑是 YES ☐否 NO
COMPONENT TEMP. WITHIN 25°F(14°C) OF CAL BLOCK

探頭角度 ANGLE USED	0°(校準 01)	0° (校準 02)	0° (校準 03)	
掃描靈敏度：SCAN SENSITIVITY	59dB	59dB	58.1dB	

系統 / 組件 SYSTEM / COMP.	螺件編號 IDENTIFICATIONS	檢測結果 RESULT 合格 ACCEPT	檢測結果 RESULT 不合格 REJECT	應記錄之顯示 RECORDABLE INDICATIONS 無 NO	應記錄之顯示 RECORDABLE INDICATIONS 有 YES	備註 REMARKS
反應爐支撐裙板錨定螺栓	內 A1~A15	✓		✓		
	內 B1~B15	✓		✓		
	內 C1~C15	✓		✓		
	內 D1~D15	✓		✓		
	外 A1~A15	✓		✓		
	外 B1~B15	✓		✓		
	外 C1~C15	✓		✓		
	外 D1~D15	✓		✓		

備註/檢測限制：REMARKS / LIMITATIONS
1. 螺栓未拆卸狀況下檢測(IN PLACE EXAMINATION)。
2. Preload 後檢測。
3. 120 支螺栓全部檢測，無應記錄之顯示。
4. 每支螺栓之波型示意圖另存供參，不在本報告內。

檢測員：EXAMINER(S) 楊海明　級別：LEVEL III
李朝劍　級別：LEVEL II

審核者：REVIEWED BY 蔡錫聯
級別：LEVEL III　日期：DATE 101.5.4

附件2

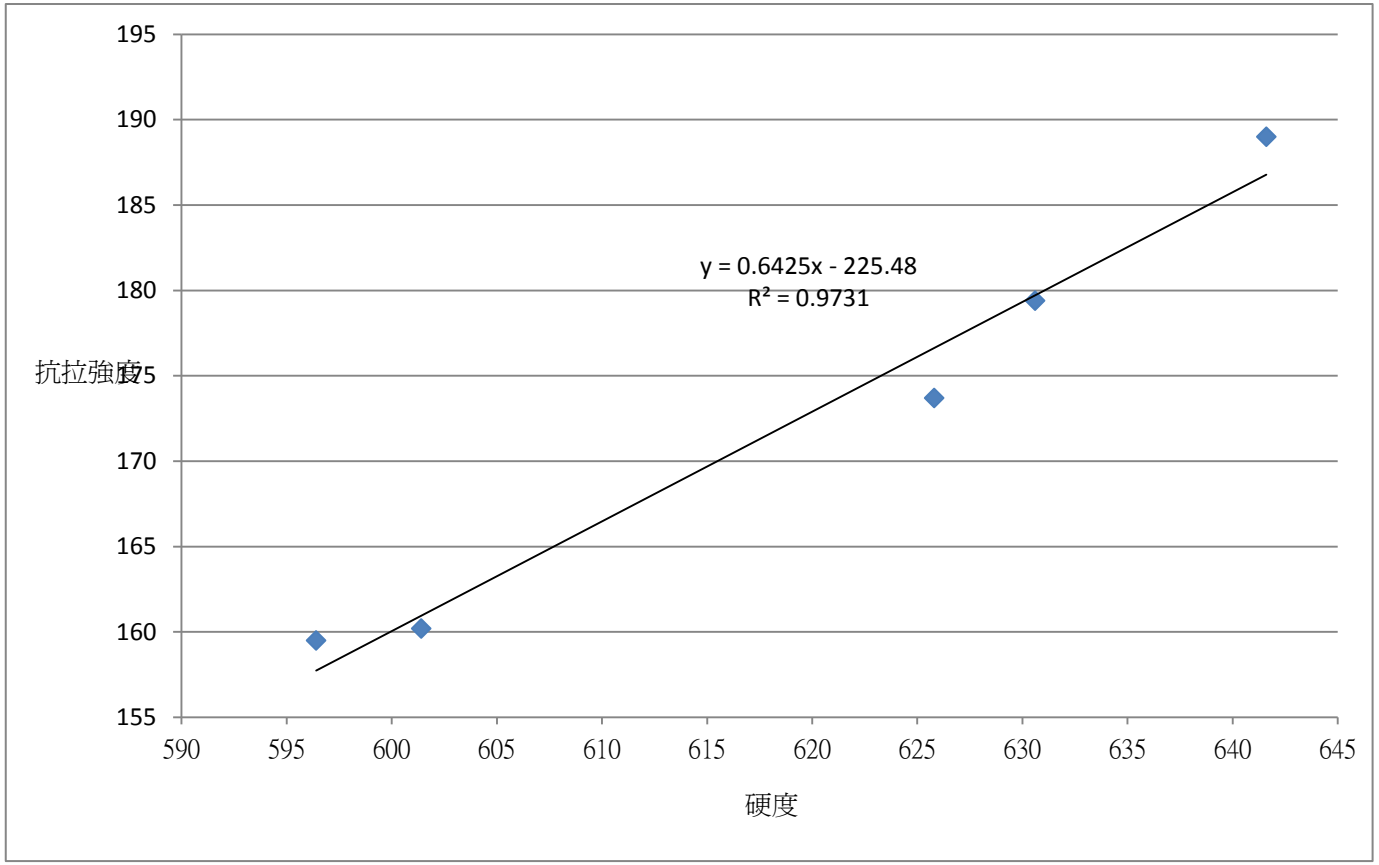
螺栓編號	實測值1	實測值2	實測值3	實測值4	實測值5	硬度平均值	硬度轉換值	抗拉強度(HB*0.490)	抗拉強度(HLD*0.2781)	計算後	爐號
						HLD	HB	ksi	ksi	ksi	
15DO	638	637	640	638	641	639	375	183.8	177.7	183.20	61765
14DO	596	591	592	578	591	590	314	153.9	164.0	157.45	61765
13DO	604	592	591	605	592	597	322	157.8	166.0	161.22	61765
12DO	592	603	604	594	595	598	323	158.3	166.2	161.63	61765
11DO	603	605	598	599	602	601	327	160.2	167.2	163.62	61765
10DO	603	612	611	598	597	604	331	162.2	168.0	165.09	61765
9DO	615	613	612	620	610	614	343	168.1	170.8	170.22	61765
8DO	595	583	590	599	593	592	316	154.8	164.6	158.70	61765
7DO	597	600	599	598	591	597	322	157.8	166.0	161.32	61765
6DO	597	596	598	599	600	598	323	158.3	166.3	161.84	61765
5DO	619	627	601	605	620	614	343	168.1	170.9	170.43	61765
4DO	599	596	598	589	590	594	319	156.3	165.3	159.96	61765
3DO	604	600	604	617	606	606	333	163.2	168.6	166.14	61765
2DO	592	596	597	603	602	598	323	158.3	166.3	161.84	61765
1DO	595	593	592	596	595	594	319	156.3	165.2	159.85	61765
15CO	619	623	604	607	622	615	344	168.6	171.0	170.74	61765
14CO	595	617	602	605	600	604	331	162.2	167.9	164.88	8073029
13CO	582	584	581	577	596	584	307	150.4	162.4	154.52	61765
12CO	609	625	615	610	621	616	346	169.5	171.3	171.26	61765
11CO	610	609	605	618	619	612	341	167.1	170.3	169.28	61765
10CO	589	590	584	582	592	587	311	152.4	163.4	156.30	61765
9CO	598	586	589	584	589	589	313	153.4	163.9	157.24	61765
8CO	597	595	592	600	589	595	320	156.8	165.4	160.06	61765
7CO	613	610	608	607	614	610	338	165.6	169.8	168.33	61765
6CO	600	603	603	599	604	602	328	160.7	167.4	163.83	61765
5CO	585	580	576	581	579	580	302	148.0	161.4	152.53	61765

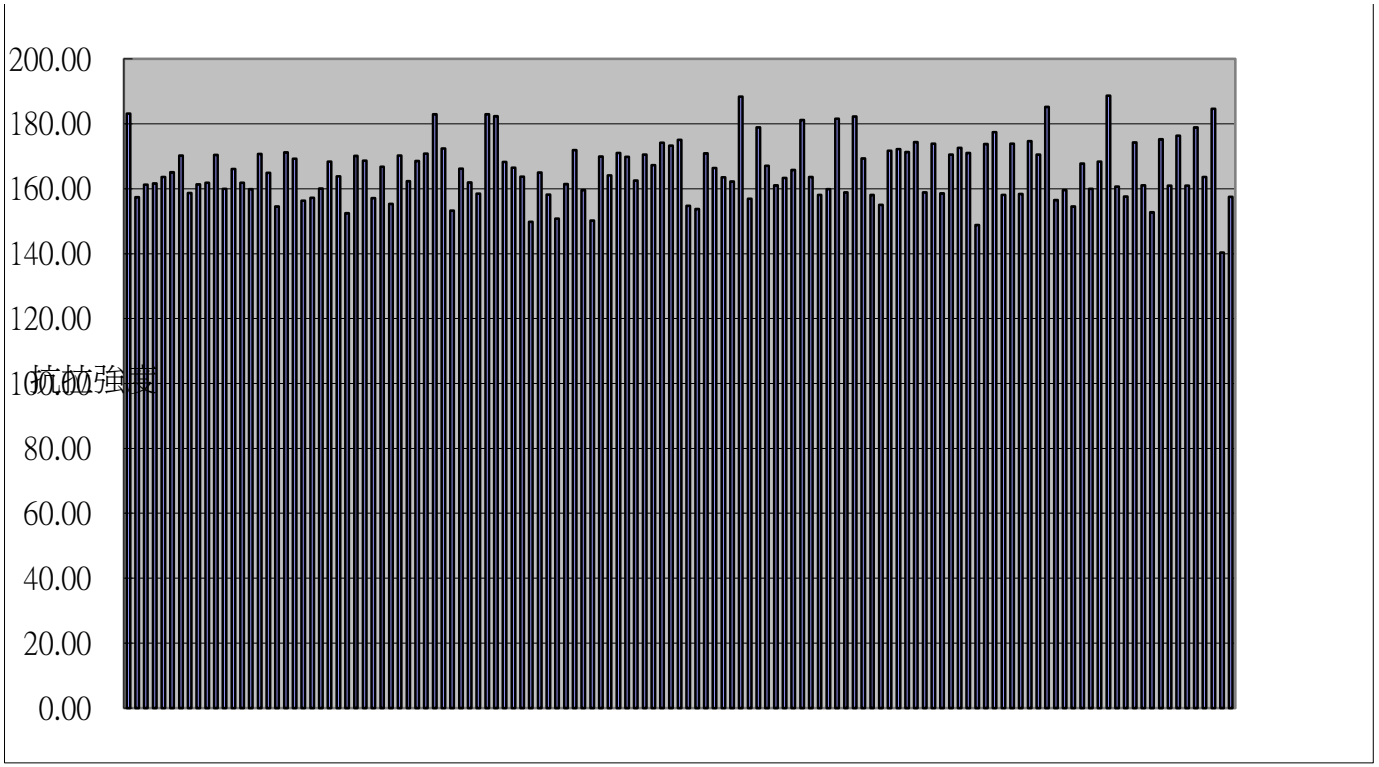
4CO	621	610	612	613	613	614	343	168.1	170.7	170.11	61765
3CO	617	603	607	621	607	611	340	166.6	169.9	168.65	61765
2CO	589	587	594	585	590	589	313	153.4	163.8	157.13	61765
1CO	601	609	610	615	602	607	335	164.2	168.9	166.76	61765
1BO	583	581	587	589	588	586	309	151.4	162.9	155.35	61765
2BO	614	615	607	614	620	614	343	168.1	170.8	170.22	61765
3BO	600	603	604	592	596	599	325	159.3	166.6	162.37	61236
4BO	617	603	615	613	606	611	340	166.6	169.9	168.54	61236
5BO	618	618	615	607	618	615	345	169.1	171.1	170.85	61236
6BO	635	640	637	639	641	638	374	183.3	177.5	182.99	61236
7BO	620	627	619	615	610	618	348	170.5	171.9	172.42	61765
8BO	581	583	588	576	580	582	305	149.5	161.7	153.26	61765
9BO	607	604	607	611	603	606	333	163.2	168.6	166.24	61236
10BO	600	591	592	603	605	598	323	158.3	166.4	161.95	61236
11BO	592	590	594	589	593	592	316	154.8	164.5	158.49	61236
12BO	638	641	640	638	635	638	374	183.3	177.5	182.99	61765
13BO	641	649	632	634	630	637	373	182.8	177.2	182.36	8073029
14BO	603	606	616	612	614	610	338	165.6	169.7	168.23	61236
15BO	615	600	611	603	605	607	335	164.2	168.8	166.45	61765
15AO	595	600	593	607	613	602	328	160.7	167.3	163.73	61765
14AO	578	573	569	575	580	575	297	145.5	159.9	149.81	61236
13AO	602	600	606	608	604	604	331	162.2	168.0	164.98	61236
12AO	586	596	596	589	588	591	315	154.4	164.4	158.18	61236
11AO	563	577	578	587	580	577	299	146.5	160.5	150.85	61236
10AO	600	599	600	592	595	597	322	157.8	166.1	161.42	61236
9AO	619	623	617	610	617	617	347	170.0	171.6	171.89	61236
8AO	594	589	597	593	595	594	319	156.3	165.1	159.54	61765
7AO	577	572	570	583	577	576	298	146.0	160.1	150.22	61236

6AO	619	618	610	615	605	613	342	167.6	170.6	169.90	61765
5AO	603	602	606	600	601	602	328	160.7	167.5	164.15	61765
4AO	615	610	616	617	620	616	346	169.5	171.2	171.06	61765
3AO	617	613	610	609	617	613	342	167.6	170.5	169.80	61236
2AO	599	595	600	593	610	599	325	159.3	166.7	162.58	61236
1AO	611	609	619	620	614	615	345	169.1	170.9	170.53	61236
1AI	615	608	603	604	612	608	336	164.6	169.2	167.29	8073029
2AI	618	620	625	621	624	622	353	173.0	172.9	174.20	NEW
3AI	615	623	624	617	620	620	351	172.0	172.4	173.25	61765
4AI	613	626	629	624	624	623	355	174.0	173.3	175.03	8073029
5AI	583	584	585	588	582	584	307	150.4	162.5	154.72	61765
6AI	582	581	586	575	589	583	306	149.9	162.0	153.78	61765
7AI	621	615	613	616	612	615	345	169.1	171.1	170.95	61765
8AI	602	598	606	614	613	607	335	164.2	168.7	166.34	8073029
9AI	601	603	599	605	598	601	327	160.2	167.2	163.52	8073029
10AI	600	599	592	605	598	599	325	159.3	166.5	162.26	8073029
11AI	648	650	647	648	651	649	390	191.1	180.4	188.43	8073029
12AI	586	584	595	590	588	589	313	153.4	163.7	156.92	8073029
13AI	630	625	632	631	635	631	365	178.9	175.4	178.91	8073029
14AI	608	609	605	606	612	608	336	164.6	169.1	167.08	8073029
15AI	592	598	595	600	598	597	322	157.8	165.9	161.11	8073029
1BI	600	602	598	601	603	601	327	160.2	167.1	163.31	8073029
2BI	606	605	610	603	604	606	333	163.2	168.4	165.82	61236
3BI	637	638	634	632	634	635	371	181.8	176.6	181.21	8073029
4BI	599	606	603	597	602	601	327	160.2	167.2	163.62	61236
5BI	592	593	588	589	592	591	315	154.4	164.3	158.07	8073029
6BI	584	592	599	600	596	594	319	156.3	165.2	159.85	8073029
7BI	629	638	636	640	636	636	372	182.3	176.8	181.63	8073029

8BI	597	588	596	589	592	592	316	154.8	164.7	158.91	8073029
9BI	643	639	636	634	633	637	373	182.8	177.1	182.26	61236
10BI	610	615	608	616	613	612	341	167.1	170.3	169.38	NEW
11BI	587	588	585	599	595	591	315	154.4	164.3	158.07	61236
12BI	580	584	581	592	588	585	308	150.9	162.7	155.04	61236
13BI	618	621	614	616	615	617	347	170.0	171.5	171.68	NEW
14BI	624	622	615	616	612	618	348	170.5	171.8	172.21	61236
15BI	615	618	616	618	614	616	346	169.5	171.4	171.37	61765
1CI	628	625	619	618	620	622	353	173.0	173.0	174.40	61765
2CI	599	596	584	593	590	592	316	154.8	164.7	158.91	61765
3CI	629	618	619	620	619	621	352	172.5	172.7	173.88	61236
4CI	592	588	595	594	590	592	316	154.8	164.6	158.60	61765
5CI	614	606	609	620	624	615	345	169.1	170.9	170.53	61236
6CI	613	618	621	619	622	619	350	171.5	172.0	172.63	NEW
7CI	619	624	610	612	613	616	346	169.5	171.2	171.06	61236
8CI	572	576	569	575	574	573	294	144.1	159.4	148.86	61236
9CI	623	620	624	618	619	621	352	172.5	172.6	173.78	NEW
10CI	636	628	625	622	628	628	361	176.9	174.6	177.44	61236
11CI	594	590	589	591	590	591	315	154.4	164.3	158.07	61765
12CI	626	625	618	620	616	621	352	172.5	172.7	173.88	61236
13CI	587	590	584	597	599	591	315	154.4	164.5	158.39	61236
14CI	626	631	620	619	617	623	355	174.0	173.1	174.72	61765
15CI	608	613	618	619	615	615	345	169.1	170.9	170.53	61236
1DI	647	644	654	632	636	643	381	186.7	178.7	185.19	61236
2DI	598	589	590	584	578	588	312	152.9	163.5	156.50	61236
3DI	585	589	602	595	597	594	319	156.3	165.1	159.54	61765
4DI	593	585	581	581	580	584	307	150.4	162.4	154.52	61236
5DI	608	615	608	601	615	609	337	165.1	169.5	167.81	61236

6DI	599	596	589	589	599	594	319	156.3	165.3	159.96	61236
7DI	611	613	610	608	610	610	338	165.6	169.8	168.33	8073029
8DI	648	653	648	651	646	649	390	191.1	180.5	188.64	61236
9DI	589	600	601	595	594	596	321	157.3	165.7	160.69	61765
10DI	588	594	595	588	585	590	314	153.9	164.1	157.66	61236
11DI	621	627	622	621	618	622	353	173.0	172.9	174.30	NEW
12DI	597	600	602	589	595	597	322	157.8	165.9	161.11	61765
13DI	582	576	579	577	589	581	304	149.0	161.5	152.74	61236
14DI	627	621	624	618	628	624	356	174.4	173.4	175.24	61236
15DI	590	598	596	595	603	596	321	157.3	165.9	161.01	61236
D14（破斷）	624	630	627	623	625	626	358	175.4	174.0(實測值173.7）	176.39	61236
C9（破斷）	605	593	603	587	594	596	321	157.3	165.9(實測值159.5）	161.01	61236
D11（破斷）	637	628	633	624	631	631	365	178.9	175.4(實測值179.4）	178.91	NA
B10（破斷）	605	602	596	601	603	601	327	160.2	167.2(實測值160.2）	163.62	61236
A2（破斷）	635	649	649	641	634	642	380	186.2	178.4(實測值189.0）	184.66	61236
B13(試片過小)	562	563	562	545	553	557	277	135.7	154.9(實測值143.3）	140.38	NA
C6(試片過小)	594	587	601	587	580	590	317	155.3	164.0(實測值175.1）	157.55	61236


195
190
185
180
175
170
165
160
155
抗拉強度
y = 0.6425x - 225.48
R² = 0.9731
590
595
600
605
610
615
620
625
630
635
640
645
硬度


200.00
180.00
160.00
140.00
120.00
100.00
80.00
60.00
40.00
20.00
0.00
抗菌強度

第 肆 章

超 音 波 檢 測

目錄

壹、核二廠一號機反應爐支撐裙板錨定螺栓 Pre-load 前超音波檢測報告

一、檢測概述 ---------- 1

二、檢測結果 ---------- 1

三、評估裂紋深度 ---------- 1

四、結論 ---------- 2

五、附件 ---------- 2

5.1 錨定螺栓檢測編號及分佈圖 ---------- 3

5.2 螺件超音波檢測報告 ---------- 4

5.3 超音波檢測訊號圖 ---------- 6

5.4 超音波檢測校準規塊圖 ---------- 8

貳、核二廠一號機反應爐支撐裙板錨定螺栓 Pre-load 後超音波檢測報告

一、檢測概述 ---------- 1

二、檢測經過 ---------- 1

三、檢測結果 ---------- 2

四、附件 ---------- 2

4.1 錨定螺栓檢測編號及分佈圖 ---------- 3

4.2 螺件超音波檢測報告(含超音波檢測波型圖) ---------- 4

4.3 120 支錨定螺栓超音波檢測過程錄影 ---------- 光碟片

核二廠一號機反應爐支撐裙板錨定螺栓
Pre-load 前超音波檢測報告

壹

核二廠一號機反應爐支撐裙板錨定螺栓 Pre-load 前超音波檢測報告

一、檢測概述：

101 年 3 月 24 日在核二廠一號機反應器廠房乾井區內對 120 支反應爐支撐裙板錨定螺栓在未拆卸下(IN PLACE EXAMINATION)實施運轉期間檢測(INSERVICE EXAMINATION OF BOLTS)。

本項檢測雖不屬於 ASME SECTION XI 檢測範圍，但檢測方式及超音波檢測校準規塊製作比照 ASME 之規定。校準規塊如附件 5.4。

錨定螺栓尺寸為直徑 3 吋，長 26 吋，上端螺牙 9 吋，下端螺牙 7 吋，中間無螺牙區為 10 吋。螺栓材質為 ASTM A-540 Gr. B23 或 B24 Class 1。

本項檢測使用手動超音波檢測儀 USN60，儀器在開始使用前於 101 年 3 月 16 日依照程序書線性校正合格。校正有效期 3 個月。

本項檢測工作人員為台電非破壞檢測隊蔡錫聯及陳敏榮，陳敏榮為資深中級超音波檢測員，蔡錫聯為高級超音波檢測師及 EPRI 螺栓超音波能力驗證(PERFORMANCE DEMONSTRATION)檢定合格人員。

二、檢測結果：

120 支錨定螺栓分內外 2 圈各 60 支，檢測編號及分佈圖如附件 5.1。

外圈 60 支檢測全部合格。

內圈編號 A2 為工作前已斷螺栓，但仍對已斷拉出部分實施檢測。

內圈編號 C6 及 D14 共 2 支，超音波顯示背波消失(NO BACKWALL REFLECTION)，判斷已接近斷裂。斷裂位置為從頂端算起 21.7”及 20”

另 4 支內圈編號分別為 B10, B13, C9, D11 有顯示(INDICATIONS)，但背波顯示良好，顯示位置從頂端算起 19.5”至 20.1”之間。對於此 4 支螺栓之顯示，研判是螺紋根部裂紋。

三、評估裂紋深度：

業界及 EPRI 對螺栓裂紋深度並無量測標準，目前最佳評估為波高與校準規塊人工瑕疵反射波高作比較，4 支螺栓之顯示位置與 23”之人工瑕疵反射波高幾乎一樣高，而顯示位置從頂端算起 19.5”至 20.1”，距離較短，因聲音距離越遠，衰減越大，使用較遠之人工瑕疵推測 19.5”至 20.1”

位置之深度應屬合理，亦即瑕疵深 2.5mm(0.1”)，截面積為 6.8mm × 2.5mm(0.27” ×0.1”)。

四、結論：

下列為不合格螺栓清單：

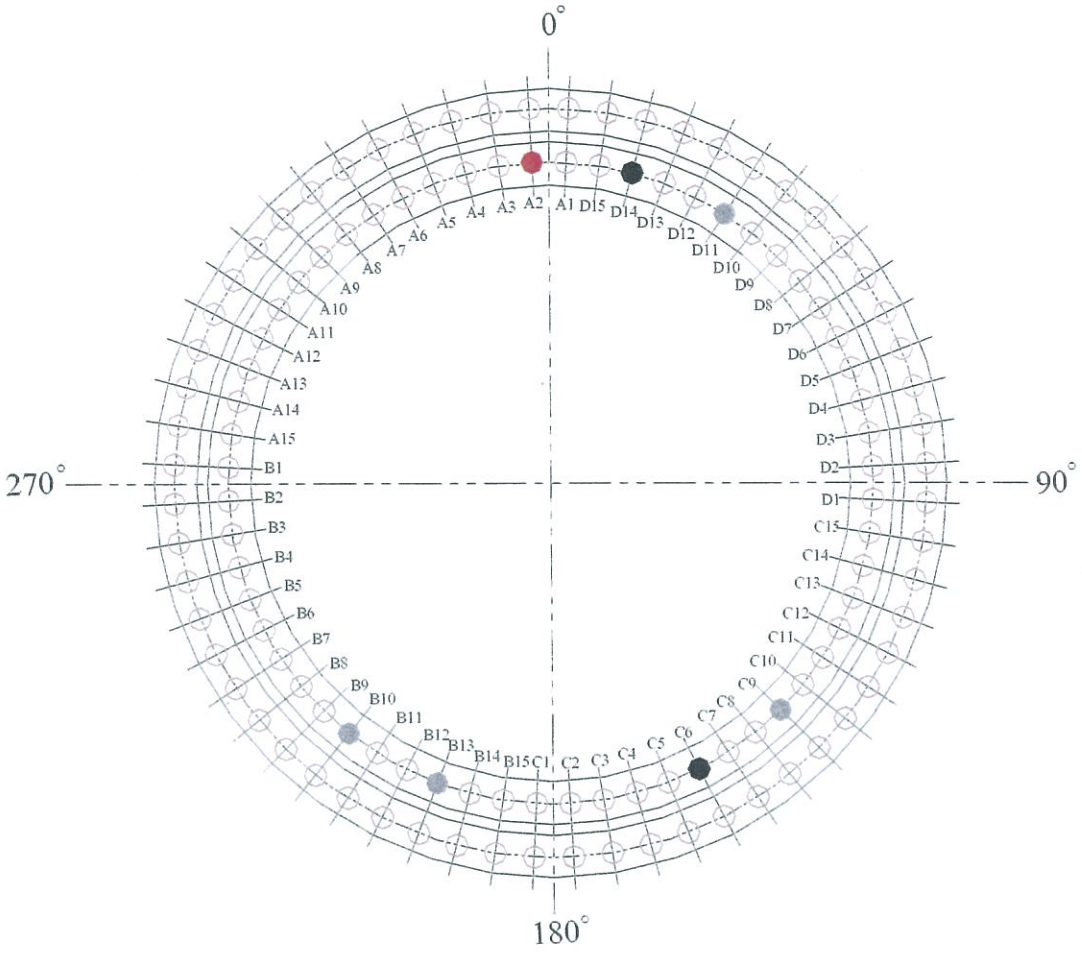
內外圈別	編號	顯示	位置
內圈	A2	斷裂	18.2”
	C6	斷裂	21.7”
	D14	斷裂	20”
	B10	裂紋	20.1”
	B13	裂紋	19.8”
	C9	裂紋	19.5”
	D11	裂紋	19.5”

五、附件

5.1 錨定螺栓檢測編號及分佈圖
5.2 螺件超音波檢測報告
5.3 超音波檢測訊號圖
5.4 超音波檢測校準規塊圖

5.1 錨定螺栓檢測編號及分佈圖

RPV SUPPORT SKIRT ANCHOR BOLTS
反應爐支撐裙板錨定螺栓



PLAN VIEW FROM ABOVE

- 已斷(BROKEN) : A2
- 背波消失(NO BACKWALL REFLECTION) : C6, D14
- 有顯示(INDICATIONS) : B10, B13, C9, D11

5.2 螺件超音波檢測報告

分隊長：蔡錫聯　經理：陳勝雄 地址：新北市萬里區野柳里八斗 60 號 電話：02-24985990 轉 2758 傳真：02-24982624	台電核能發電處 DEPARTMENT OF NUCLEAR GENERATION, TPC 非破壞檢測隊核二分隊 2ND NDT SECTION, NDT TEAM 螺件超音波檢測報告 BOLTING ULTRASONIC EXAMINATION REPORT	報告編號：10103038 REPORT NO 檢測日期：101.03.24 DATE 頁次：第 1 頁，共 2 頁 PAGE OF

廠別：核二廠 SITE　機組別：#1 UNIT　螺件長度：26" BOLTING LENGTH　螺件外徑：3" BOLTING OD

程序書編號：ISI-UT-24-3 PROCEDURE NO.　版次/變更通知單編號：1/1 REVISION NO./PCN NO.　校準紀錄編號：01 CALIBRATION SHEET NO.

材質：☑碳鋼 CS ☐不銹鋼 SS 其他：OTHER　規塊與測件之溫差≦25°F(14°C)：☑是 YES ☐否 NO
COMPONENT TEMP. WITHIN 25°F(14°C) OF CAL BLOCK

探頭角度 ANGLE USED	0° (ZONE 1)	0° (ZONE 2)		
掃描靈敏度：SCAN SENSITIVITY	54dB	66dB	dB	

系統 / 組件 SYSTEM / COMP.	螺件編號 IDENTIFICATIONS	檢測結果 RESULT 合格 ACCEPT	檢測結果 RESULT 不合格 REJECT	應記錄之顯示 RECORDABLE INDICATIONS 無 NO	應記錄之顯示 RECORDABLE INDICATIONS 有 YES	備註 REMARKS
反應爐支撐裙板錨定螺栓	內 A2, C6 內 D14		✓		✓	斷裂
	內 B10, B13 內 C9, D11		✓		✓	裂紋
	內 A1, A3~A15 內 B1~B9, B11,B12 內 B14,B15	✓		✓		
	內 C1~C5,C7,C8, 內 C10~C15 內 D1~D10, D12,D13, D15	✓		✓		
	外 A1~A15 外 B1~B15	✓		✓		
	外 C1~C15 外 D1~D15	✓		✓		

備註/檢測限制：REMARKS / LIMITATIONS
1. 螺栓未拆卸狀況下檢測(IN PLACE EXAMINATION)
2. 顯示狀況詳如「核二廠一號機反應爐支撐裙板錨定螺栓超音波檢測報告」

檢測員：EXAMINER(S) 許敏華 蔡錫聯　級別：LEVEL II III　審核者：REVIEWED BY 陳勝雄　級別：LEVEL II　日期：DATE 101.3.26

超音波檢測校準紀錄
CALIBRATION RECORD OF ULTRASONIC EXAMINATION

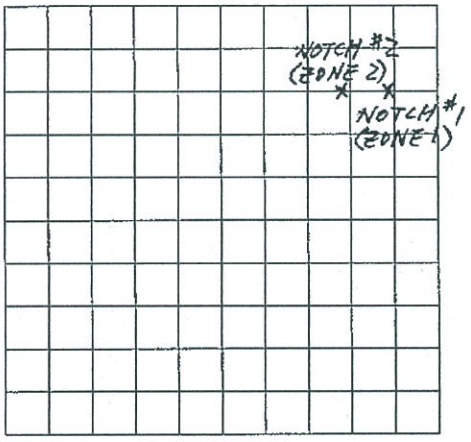
報告編號：REPORT NO 10103038
校準紀錄編號：CAL. RECORD NO. 01
檢測日期：DATE 101.03.24

廠別：核二廠 SITE　機組別：1 UNIT　程序書編號：ISI-UT-24-03 PROCEDURE NO.　版次/變更通知單編號：111 REVISION NO./PCN NO.

超音波儀器廠牌：INSTRUMENT MANUFACTURER KRAUTKRAMER　機型：MODEL USN 60　序號：SERIAL NO. 00YT09

校準規塊編號：CALIBRATION BLOCK NO. 259　溫度：TEMP. 26℃　耦合劑：COUPLANT ULTRAGEL II　批號：BATCH NO. 07225

校準時間：INITIAL CAL. TIME 09：00



ZONE 1 / ZONE 2

全螢幕寬＝FULL SCREEN WIDE 10"/30" 吋 INCHES

	探頭 1 SEARCH UNIT 1	探頭 2 SEARCH UNIT 2
廠牌：BRAND	Staveley	
型式：STYLE	A10L	
序號：SERIAL NO.	1246	
尺寸：SIZE	0.5"Φ	
頻率：FREQ.	10MHz	
波式：MODE	L-WAVE	
公稱角度：NOM. ANGLE	0°	
量測角度：MEAS. ANGLE	NA	

儀器設定 INSTRUMENT SETTINGS

頻率：FREQ.	10MHz	10MHz
雜訊抑制：REJECT	0%	0%
迴掃範圍：SWEEP RANGE	10.00"	10.00"
迴掃遲延：SWEEP DELAY	P.D：0.3375μS D.D：0.000μS	P.D：0.3375μS D.D：0.000μS
音速：VELOCITY	0.2323"/μS	0.2323"/μS
阻尼 / 濾波：DAMPING / FILTER	1000 Ω / FULL WAVE	1000Ω / FULL WAVE
脈波寬度：PULSE WIDTH	NA	NA
脈波重覆率：PRR	AUTOLOW	AUTOLOW
靈敏度：SENSITIVITY	ZONE 1 54 ⊥ ∥	ZONE2 66 ⊥ ∥
信號線長度：CABLE LENGTH	2M	2M
信號線型式：CABLE TYPE	RG59/u	RG59/u

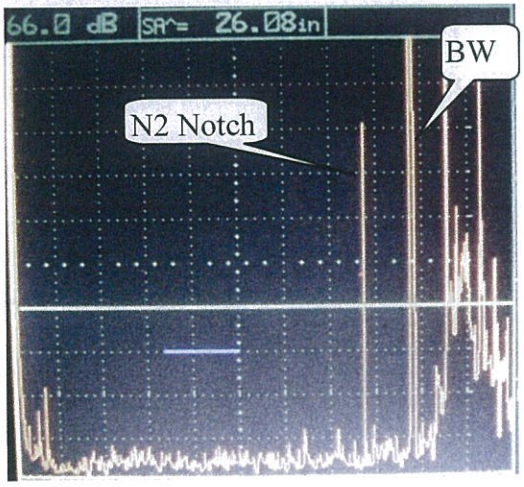
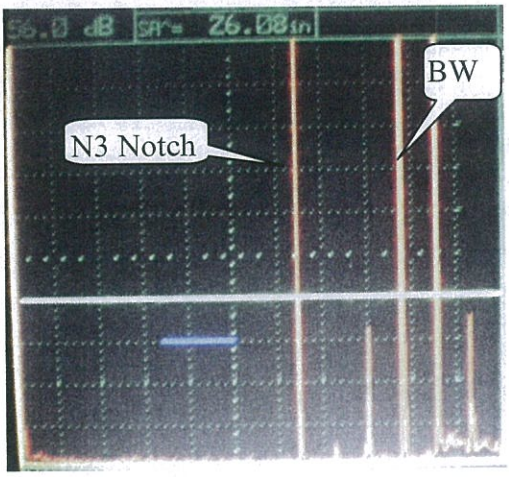
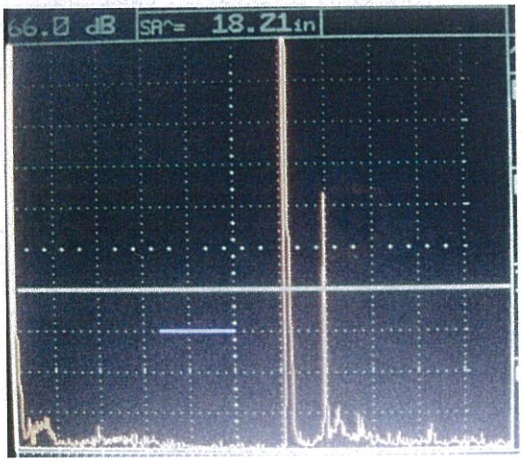
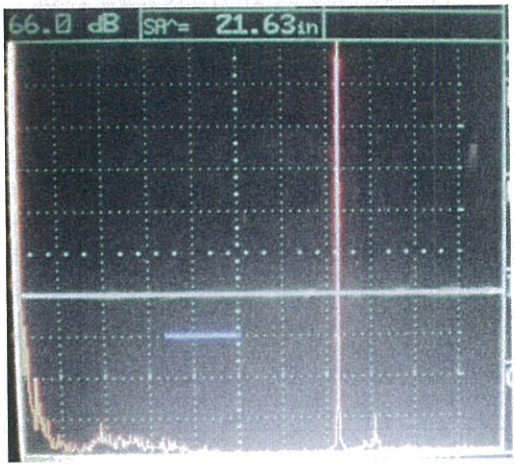
校準驗證 CALIBRATION VERIFICATION

時間 TIME	振幅高度 AMPLITUDE 合格 YES	振幅高度 AMPLITUDE 不合格 NO	水平讀數 SWEEP READING 合格 YES	水平讀數 SWEEP READING 不合格 NO
11：00	V		V	

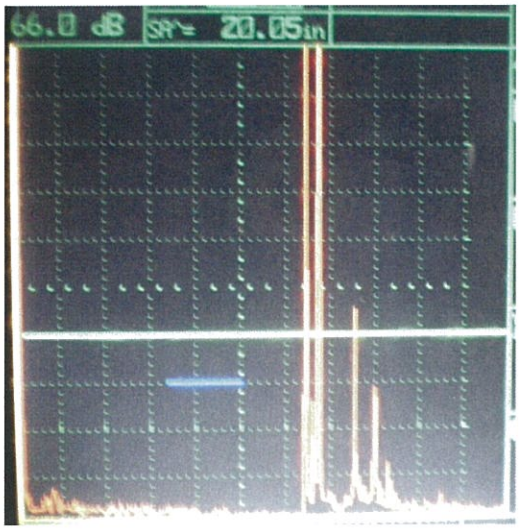
測件名稱：EXAM. AREA / WELD
反應爐支撐裙板錨定螺栓
內 A1~A15, B1~B15
C1~C15 . D1~D15
外 A1~A15, B1~B15
C1~C15 , D1~D15

檢測員：EXAMINER(S) 陳敏業　級別：LEVEL II
蔡錫聖　級別：LEVEL III

5.3 超音波檢測訊號圖

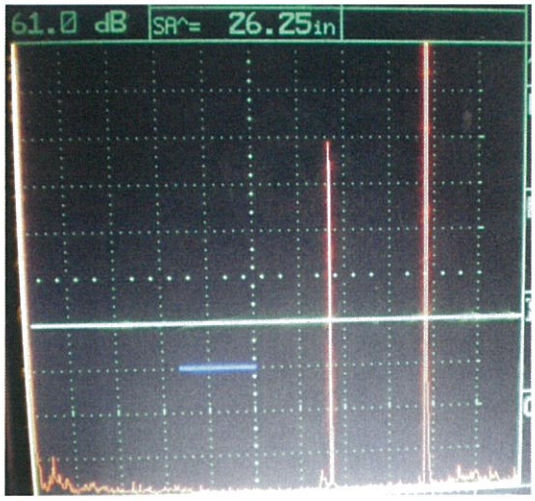
Calibration-N2 NOTCH 80%FSH  30" FSW	Calibration-N3 NOTCH 100%FSH  30" FSW
BOLT NO:A2  30" FSW	BOLT NO:C6  30" FSW

BOLT NO:D14



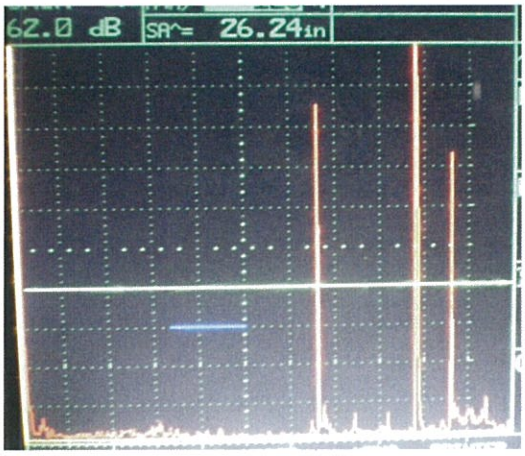
30" FSW

BOLT NO:B10



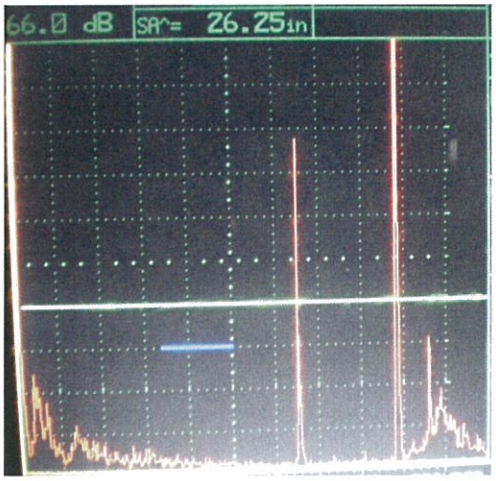
30" FSW

BOLT NO:B13



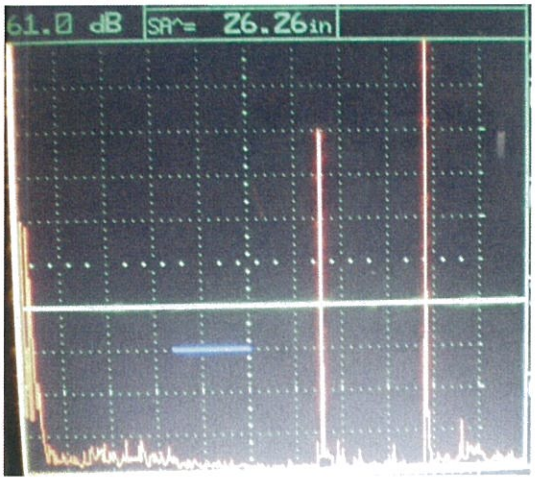
30" FSW

BOLT NO:C9



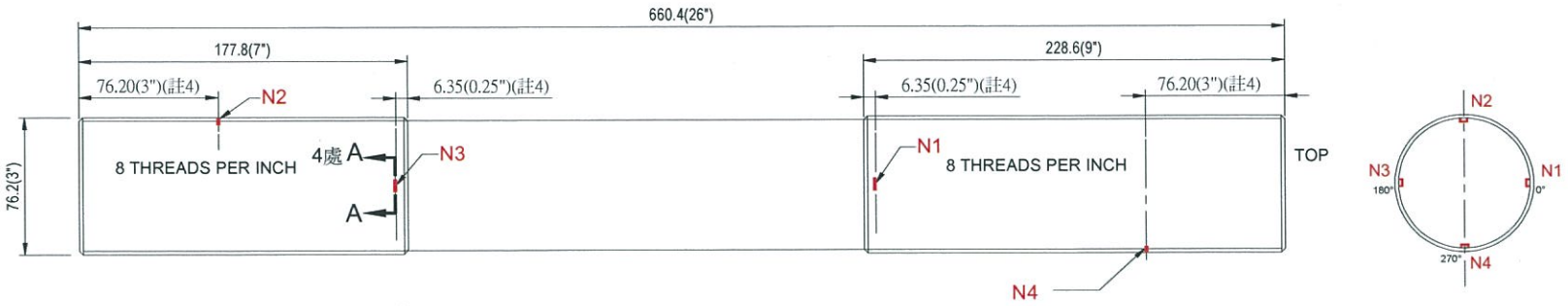
30" FSW

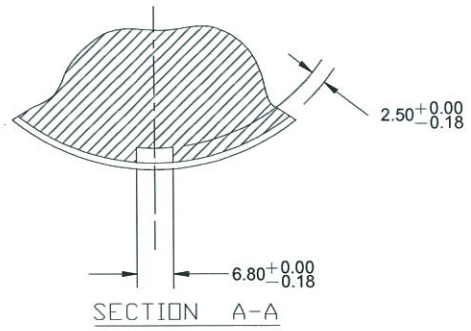
BOLT NO:D11

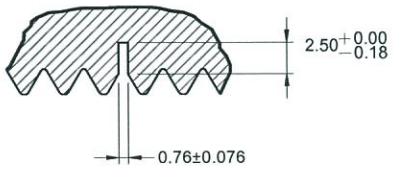


30" FSW

5.4 超音波檢測校準規塊圖







外表面凹槽寬度加工位置
(寬度中心線位於螺紋根部
，並與螺紋平行)，註4

單位：mm

核二廠一號機反應爐支撐裙板錨定螺栓
Pre-load 後超音波檢測報告

貳

一、檢測概述：

101 年 5 月 2 日至 5 月 3 日在核二廠一號機反應器廠房乾井區內對 120 支反應爐支撐裙板錨定螺栓在 preload 後未拆卸下(IN PLACE EXAMINATION)實施超音波檢測。

錨定螺栓尺寸為直徑 3 吋，長 26 吋，上端螺牙 9 吋，下端螺牙 7 吋，中間無螺牙區為 10 吋；113 支螺栓材質為 ASTM A-540 Gr. B23 或 B24 Class 1，另內圈 7 支換新螺栓為 ASME SA-540 Gr. B23 Class 1。

本項檢測使用手動超音波檢測儀 USN60 兩部，儀器編號分別為 00YT09 及 00YW3C（一部儀器大約能儲存 100 個畫面，為能儲存全部 120 支檢測畫面，需要兩部儀器)，檢測儀在開始使用前已於 101 年 3 月 16 日及 3 月 15 日執行線性驗證合格（有效期 3 個月）。

執行錨定螺栓超音波檢測所使用之程序書編號為：ISI-UT-24-3；程序書名稱為：螺件之超音波檢測。

本項檢測工作人員為台電非破壞檢測隊楊梅明及李朝凱，李朝凱為資深中級超音波檢測員及核能研究所螺栓超音波能力驗證檢定合格人員，楊梅明為高級超音波檢測師及 EPRI 螺栓超音波能力驗證檢定合格人員。

二、檢測經過：

120 支錨定螺栓分內外 2 圈，每圈各 60 支，檢測編號分別為 A1~A15、B1~B15、C1~C15、D1~D15，檢測編號及分佈圖如附件 4.1。

配合奇異公司執行 Pre-load 作業時程，檢測隊於 5 月 2 日晚上執行內圈 C1~C15、D1~D12 共 27 支螺栓檢測；5 月 3 日下午執行內圈 A1~A15、D13~D15，以及外圈 C1~C15、D1~D15 共 48 支螺栓檢測；5 月 3 日晚上執行內圈 B1~B15，以及外圈 A1~A15、B1~B15 共 45

支螺栓檢測。

檢測隊執行 120 支錨定螺栓超音波檢測整個過程，另依原能會要求錄影存證，由保健物理組以 DV 錄影機錄影於 Tape 內，再由模擬中心規劃組轉製成數位 avi 檔，並儲存於 6 片光碟內。

6 片光碟內容分別為，#1：內圈 C1~C15、D1~D2，#2：內圈 D3~D12、外圈 C1~C11，#3：外圈 C12~C15、D1~D15，#4：內圈 D13~D15、A1~A15、B1~B6，#5：內圈 B7~B15、外圈 A1~A9，#6：外圈 A10~A15、B1~B15，詳附件 4.3。

三、檢測結果：

120 支螺栓包括 7 支新螺栓 A2、B10、 B13、C6、C9、 D11、 D14（均在內圈），全部檢測合格，無任何需評估及報告之顯示。

120 支螺栓之超音波檢測波型圖，以及超音波儀器之校準波型圖附於附件 4.2 螺件超音波檢測報告內。

四、附件

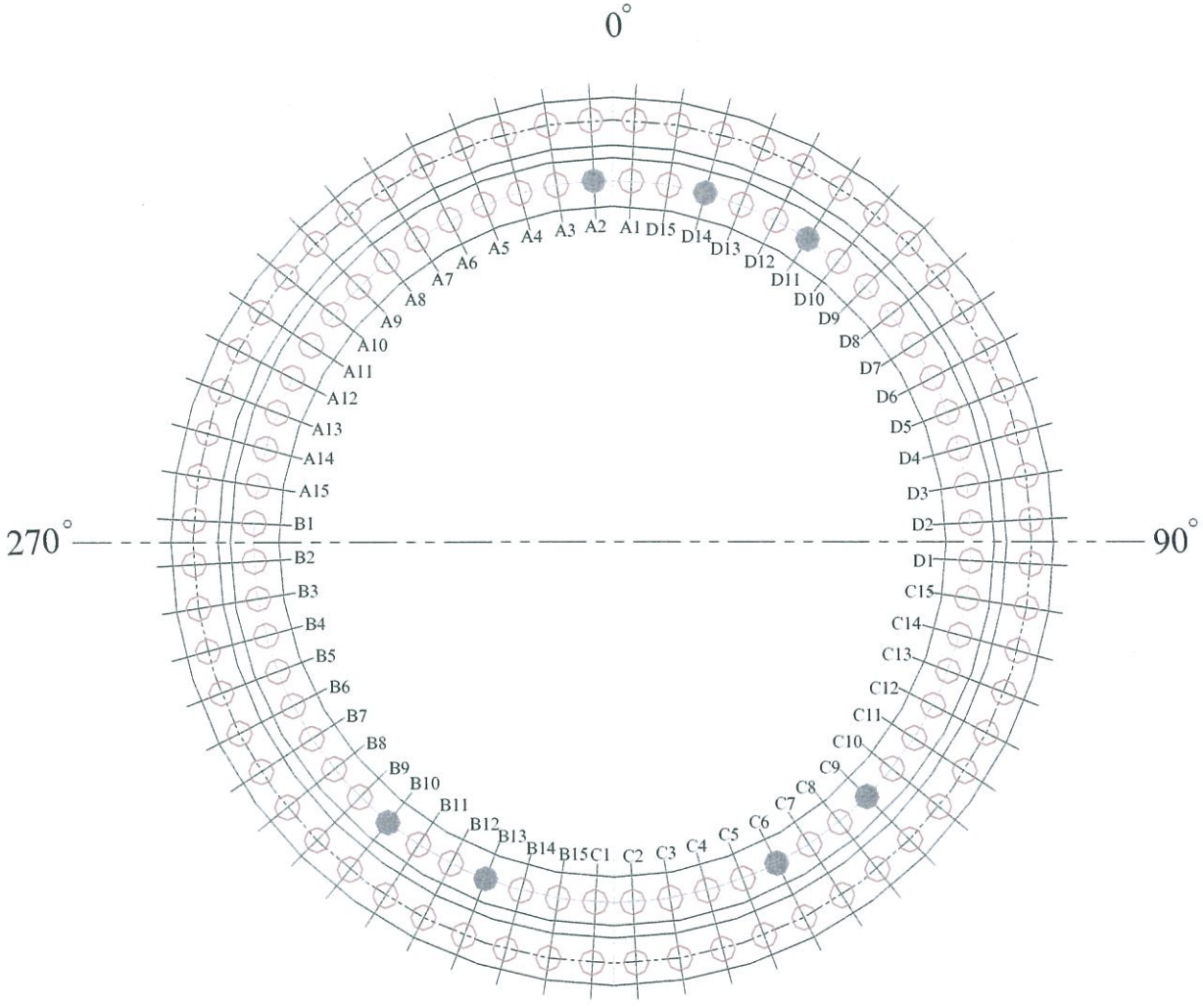
4.1 錨定螺栓檢測編號及分佈圖

4.2 螺件超音波檢測報告(含超音波檢測波型圖)

4.3 120 支錨定螺栓超音波檢測過程錄影

4.1 錨定螺栓檢測編號及分佈圖

RPV SUPPORT SKIRT ANCHOR BOLTS
反應爐支撐裙板錨定螺栓



PLAN VIEW FROM ABOVE

● 新螺栓: A2, B10, B13, C6, C9, D11, D14

4.2 螺件超音波檢測報告(含超音波檢測波型圖)

分隊長：蔡錫聯　經理：陳勝雄 地址：新北市萬里區野柳里八斗 60 號 電話：02-24985990 轉 2758 傳真：02-24982624	台電核能發電處 DEPARTMENT OF NUCLEAR GENERATION, TPC 非破壞檢測隊核二分隊 2ND NDT SECTION, NDT TEAM **螺件超音波檢測報告** BOLTING ULTRASONIC EXAMINATION REPORT	報告編號：10105005 REPORT NO 檢測日期：101.5.2~101.5.3 DATE 頁次：第 1 頁，共 48 頁 PAGE OF

廠別：核二廠 SITE　機組別：#1 UNIT　螺件長度：26" BOLTING LENGTH　螺件外徑：3" BOLTING OD

程序書編號：ISI-UT-24-3 PROCEDURE NO.　版次/變更通知單編號：1/1 REVISION NO./PCN NO.　校準紀錄編號：01,02,03 CALIBRATION SHEET NO.

材質：☑碳鋼 CS ☐不銹鋼 SS 其他：_____ OTHER　規塊與測件之溫差≦25°F(14°C)：☑是 YES ☐否 NO
COMPONENT TEMP. WITHIN 25°F(14°C) OF CAL BLOCK

探頭角度 ANGLE USED	0°(校準 01)	0° (校準 02)	0° (校準 03)	
掃描靈敏度：SCAN SENSITIVITY	59dB	59dB	58.1dB	

系統 / 組件 SYSTEM / COMP.	螺件編號 IDENTIFICATIONS	檢測結果 RESULT 合格 ACCEPT	檢測結果 RESULT 不合格 REJECT	應記錄之顯示 RECORDABLE INDICATIONS 無 NO	應記錄之顯示 RECORDABLE INDICATIONS 有 YES	備註 REMARKS
反應爐支撐裙板錨定螺栓	內 A1~A15	✓		✓		
	內 B1~B15	✓		✓		
	內 C1~C15	✓		✓		
	內 D1~D15	✓		✓		
	外 A1~A15	✓		✓		
	外 B1~B15	✓		✓		
	外 C1~C15	✓		✓		
	外 D1~D15	✓		✓		

備註/檢測限制：REMARKS / LIMITATIONS

1. 螺栓未拆卸狀況下檢測(IN PLACE EXAMINATION)，螺栓編號及結構圖附於第 5 頁。
2. Preload 後 120 支螺栓全部檢測，無應記錄之顯示。
3. 校準規塊圖附於第 6 頁。
4. 超音波儀器校準之波型圖附於第 7 及第 8 頁。
5. 每支螺栓之波型示意圖附於第 9 至 48 頁。

檢測員：EXAMINER(S) 林海明 級別：LEVEL III
李朝凱 級別：LEVEL II

審核者：REVIEWED BY 蔡錫聯
級別：LEVEL III　日期：DATE 101.5.7

報告編號：10105005
REPORT NO

校準紀錄編號：01
CAL. RECORD NO.

檢測日期：101.5.2
DATE

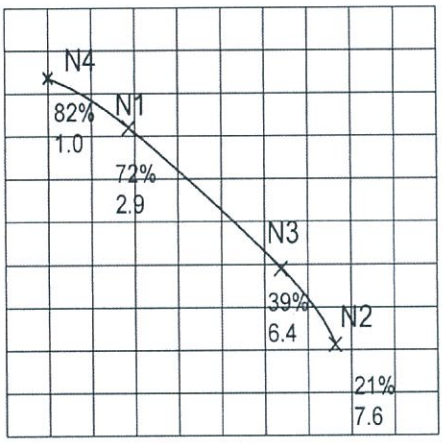
超音波檢測校準紀錄
CALIBRATION RECORD OF ULTRASONIC EXAMINATION

廠別：核二廠 SITE　機組別：1 UNIT　程序書編號：ISI-UT-24-3 PROCEDURE NO.　版次/變更通知單編號：1/1 REVISION NO./PCN NO.

超音波儀器廠牌：KRAUTKRAMER INSTRUMENT MANUFACTURER　機型：USN60 MODEL　序號：00YT09 SERIAL NO.

校準規塊編號：259 CALIBRATION BLOCK NO.　溫度：25°C TEMP.　耦合劑：ULTRAGEL II COUPLANT　批號：07225 BATCH NO.

校準時間：1805
INITIAL CAL. TIME



全螢幕寬＝ 30吋
FULL SCREEN WIDE _____ INCHES

探頭 1 SEARCH UNIT 1

廠牌 BRAND	Staveley
型式 STYLE	A10L
序號 SERIAL NO.	1203
尺寸 SIZE	0.5"Φ
頻率 FREQ.	10MHz
波式 MODE	L-WAVE
公稱角度 NOM. ANGLE	0°
量測角度 MEAS. ANGLE	NA

探頭 2 SEARCH UNIT 2

廠牌 BRAND	
型式 STYLE	
序號 SERIAL NO.	
尺寸 SIZE	
頻率 FREQ.	
波式 MODE	
公稱角度 NOM. ANGLE	
量測角度 MEAS. ANGLE	

儀器設定 INSTRUMENT SETTINGS

頻率 FREQ.	10 MHz	頻率 FREQ.	
雜訊抑制 REJECT	0	雜訊抑制 REJECT	
迴掃範圍 SWEEP RANGE	30 in	迴掃範圍 SWEEP RANGE	
迴掃遲延 SWEEP DELAY	0.3375us	迴掃遲延 SWEEP DELAY	
音速 VELOCITY	0.2323"/us	音速 VELOCITY	
阻尼 / 濾波 DAMPING / FILTER	1000 / FULL	阻尼 / 濾波 DAMPING / FILTER	
脈波寬度 PULSE WIDTH	NA	脈波寬度 PULSE WIDTH	
脈波重覆率 PRR	AUTOLOW	脈波重覆率 PRR	
靈敏度 SENSITIVITY	53 dB	靈敏度 SENSITIVITY	
信號線長度 CABLE LENGTH	2m	信號線長度 CABLE LENGTH	
信號線型式 CABLE TYPE	RG59/U	信號線型式 CABLE TYPE	

校準驗證 CALIBRATION VERIFICATION

時間 TIME	振幅高度 AMPLITUDE 合格 YES	振幅高度 AMPLITUDE 不合格 NO	水平讀數 SWEEP READING 合格 YES	水平讀數 SWEEP READING 不合格 NO
1950	V		V	

測件名稱：
EXAM. AREA / WELD

反應爐支撐裙板錨定螺栓
內 C1~C15 , D1~D12

檢測員：楊海明 EXAMINER(S)　級別：III LEVEL

李朝勳　級別：II LEVEL

審核者：麥錫聯 REVIEWED BY　級別：III LEVEL　日期：101.5.7 DATE

報告編號：10105005
REPORT NO

超音波檢測校準紀錄
CALIBRATION RECORD OF ULTRASONIC EXAMINATION

校準紀錄編號：02
CAL. RECORD NO.

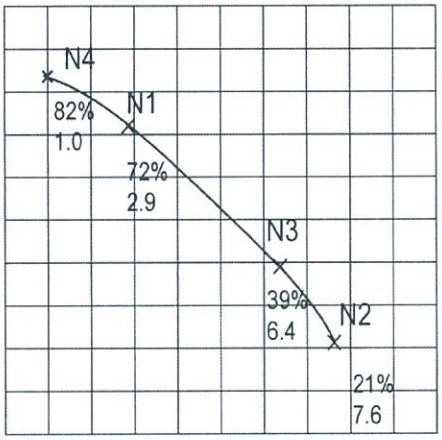
檢測日期：101.5.3
DATE

廠別：核二廠 SITE　機組別：1 UNIT　程序書編號：ISI-UT-24-3 PROCEDURE NO.　版次/變更通知單編號：1/1 REVISION NO./PCN NO.

超音波儀器廠牌：KRAUTKRAMER INSTRUMENT MANUFACTURER　機型：USN60 MODEL　序號：00YT09 SERIAL NO.

校準規塊編號：259 CALIBRATION BLOCK NO.　溫度：24°C TEMP.　耦合劑：ULTRAGEL II COUPLANT　批號：07225 BATCH NO.

校準時間：1250
INITIAL CAL. TIME



全螢幕寬＝ 30吋
FULL SCREEN WIDE _____ INCHES

探頭 1 SEARCH UNIT 1

廠牌 BRAND	Staveley
型式 STYLE	A10L
序號 SERIAL NO.	1203
尺寸 SIZE	0.5"Φ
頻率 FREQ.	10MHz
波式 MODE	L-WAVE
公稱角度 NOM. ANGLE	0°
量測角度 MEAS. ANGLE	NA

探頭 2 SEARCH UNIT 2

廠牌 BRAND	
型式 STYLE	
序號 SERIAL NO.	
尺寸 SIZE	
頻率 FREQ.	
波式 MODE	
公稱角度 NOM. ANGLE	
量測角度 MEAS. ANGLE	

儀器設定 INSTRUMENT SETTINGS

頻率 FREQ.	10 MHz
雜訊抑制 REJECT	0
迴掃範圍 SWEEP RANGE	30 in
迴掃遲延 SWEEP DELAY	0.3375us
音速 VELOCITY	0.2323"/us
阻尼 / 濾波 DAMPING / FILTER	1000 / FULL
脈波寬度 PULSE WIDTH	NA
脈波重覆率 PRR	AUTOLOW
靈敏度 SENSITIVITY	53 dB
信號線長度 CABLE LENGTH	2m
信號線型式 CABLE TYPE	RG59/U

頻率 FREQ.	
雜訊抑制 REJECT	
迴掃範圍 SWEEP RANGE	
迴掃遲延 SWEEP DELAY	
音速 VELOCITY	
阻尼 / 濾波 DAMPING / FILTER	
脈波寬度 PULSE WIDTH	
脈波重覆率 PRR	
靈敏度 SENSITIVITY	
信號線長度 CABLE LENGTH	
信號線型式 CABLE TYPE	

校準驗證 CALIBRATION VERIFICATION

時間 TIME	振幅高度 AMPLITUDE 合格 YES	振幅高度 AMPLITUDE 不合格 NO	水平讀數 SWEEP READING 合格 YES	水平讀數 SWEEP READING 不合格 NO
1520	V		V	

測件名稱：
EXAM. AREA / WELD

反應爐支撐裙板錨定螺栓
內 A1~A15 , D13~D15
外 C1~C15 , D1~D15

檢測員：楊海明 EXAMINER(S)　級別：III LEVEL

李朝凱　級別：II LEVEL

審核者：黃錦聯 REVIEWED BY　級別：III LEVEL　日期：101.5.7 DATE

報告編號：10105005
REPORT NO

超音波檢測校準紀錄
CALIBRATION RECORD OF ULTRASONIC EXAMINATION

校準紀錄編號：03
CAL. RECORD NO.

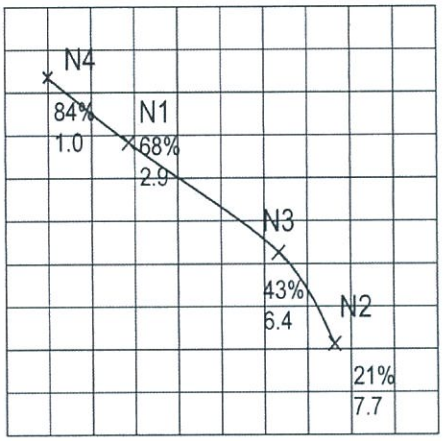
檢測日期：101.5.3
DATE

廠別：核二廠 SITE　機組別：1 UNIT　程序書編號：ISI-UT-24-3 PROCEDURE NO.　版次/變更通知單編號：1/1 REVISION NO./PCN NO.

超音波儀器廠牌：KRAUTKRAMER INSTRUMENT MANUFACTURER　機型：USN60 MODEL　序號：00YW3C SERIAL NO.

校準規塊編號：259 CALIBRATION BLOCK NO.　溫度：22°C TEMP.　耦合劑：ULTRAGEL II COUPLANT　批號：07225 BATCH NO.

校準時間：1825
INITIAL CAL. TIME



全螢幕寬 = 30吋
FULL SCREEN WIDE _____ INCHES

探頭 1 SEARCH UNIT 1

廠牌 BRAND	Staveley
型式 STYLE	A10L
序號 SERIAL NO.	1203
尺寸 SIZE	0.5"Φ
頻率 FREQ.	10MHz
波式 MODE	L-WAVE
公稱角度 NOM. ANGLE	0°
量測角度 MEAS. ANGLE	NA

探頭 2 SEARCH UNIT 2

廠牌 BRAND	
型式 STYLE	
序號 SERIAL NO.	
尺寸 SIZE	
頻率 FREQ.	
波式 MODE	
公稱角度 NOM. ANGLE	
量測角度 MEAS. ANGLE	

校準驗證
CALIBRATION VERIFICATION

時間 TIME	振幅高度 AMPLITUDE 合格 YES	振幅高度 AMPLITUDE 不合格 NO	水平讀數 SWEEP READING 合格 YES	水平讀數 SWEEP READING 不合格 NO
2010	V		V	

儀器設定
INSTRUMENT SETTINGS

頻率 FREQ.	10 MHz
雜訊抑制 REJECT	0
迴掃範圍 SWEEP RANGE	30 in
迴掃遲延 SWEEP DELAY	0.2628us
音速 VELOCITY	0.2323"/us
阻尼 / 濾波 DAMPING / FILTER	1000 / FULL
脈波寬度 PULSE WIDTH	NA
脈波重覆率 PRR	AUTOLOW
靈敏度 SENSITIVITY	52.1 dB
信號線長度 CABLE LENGTH	2m
信號線型式 CABLE TYPE	RG59/U

測件名稱：
EXAM. AREA / WELD

反應爐支撐裙板錨定螺栓
內 B1~B15
外 A1~A15 , B1~B15

檢測員：楊海明 級別：III
EXAMINER(S) LEVEL

李朝勛 級別：II
LEVEL

審核者：蔡錫聯 級別：III 日期：101.5.7
REVIEWED BY LEVEL DATE

台 灣 電 力 公 司

非破壞檢測報告簡圖記錄紙

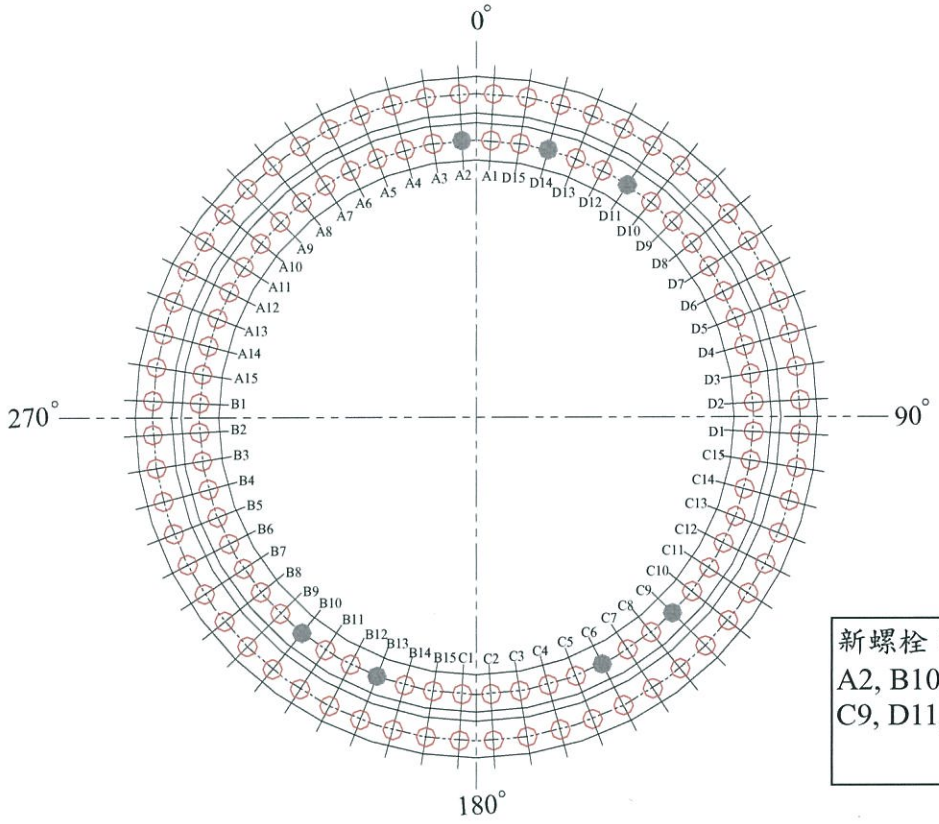
報告編號：10105005

電廠名：核二廠　　機組：1

設備或試件名稱：螺栓編號及結構圖

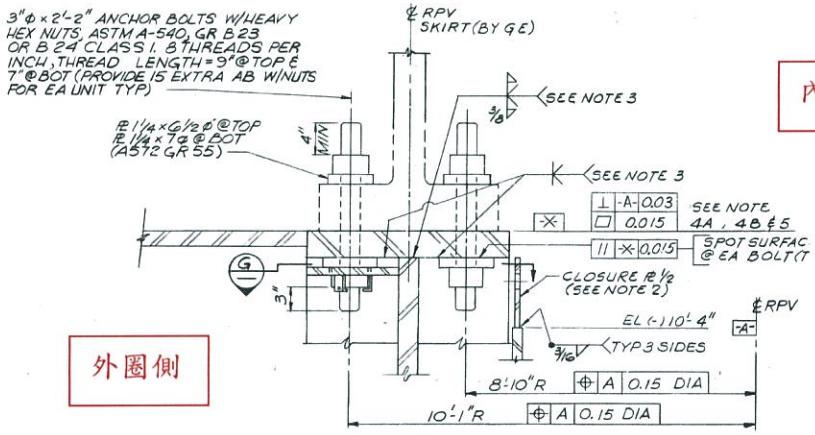
RPV SUPPORT SKIRT ANCHOR BOLTS

反應爐支撐裙板錨定螺栓



PLAN VIEW FROM ABOVE

新螺栓：
A2, B10, B13, C6,
C9, D11, D14



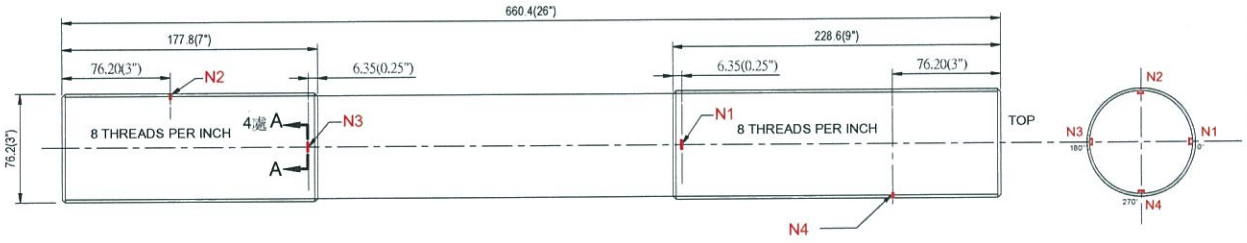
台 灣 電 力 公 司

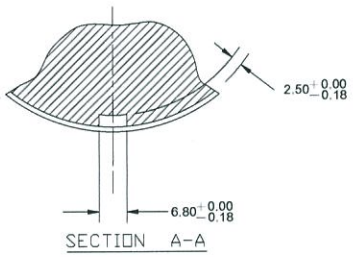
非破壞檢測報告簡圖記錄紙

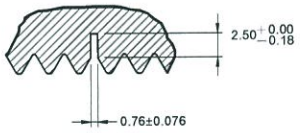
報告編號：10105005

電廠名：核二廠　　機組：1

設備或試件名稱：校準規塊圖



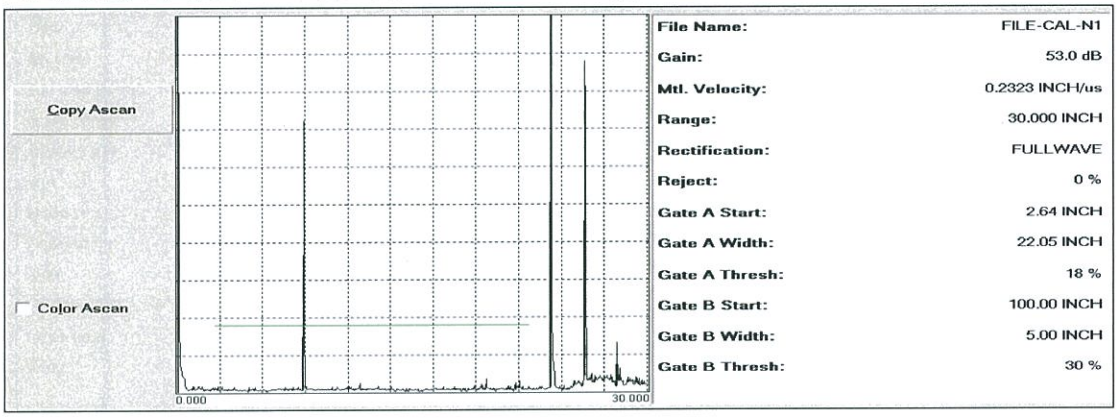


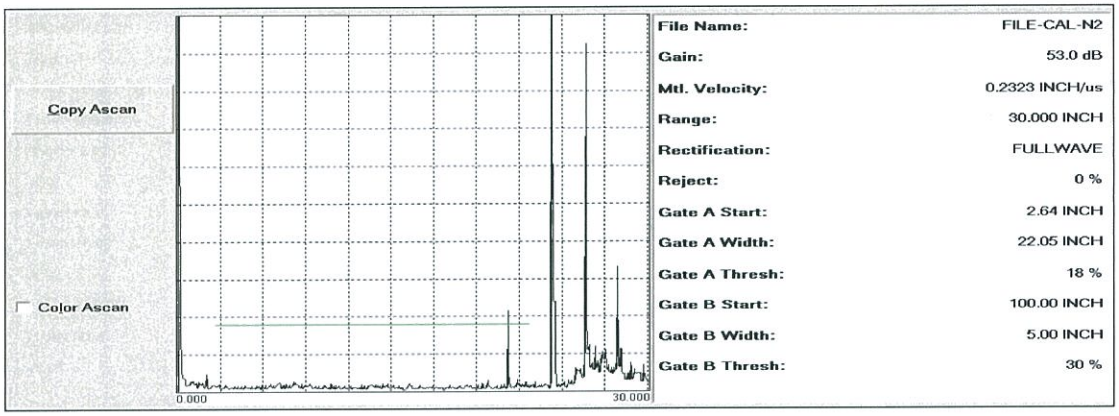


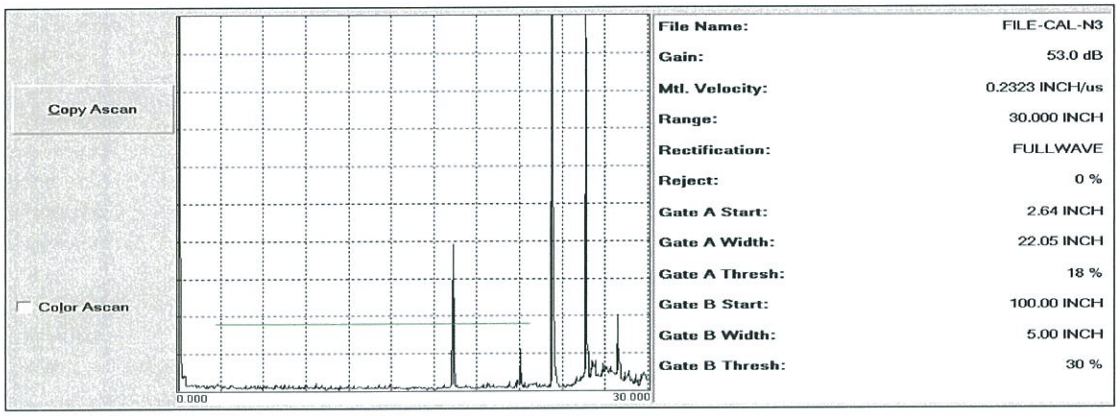
外表面凹槽寬度加工位置
(寬度中心線位於螺紋根部，並與螺紋平行)

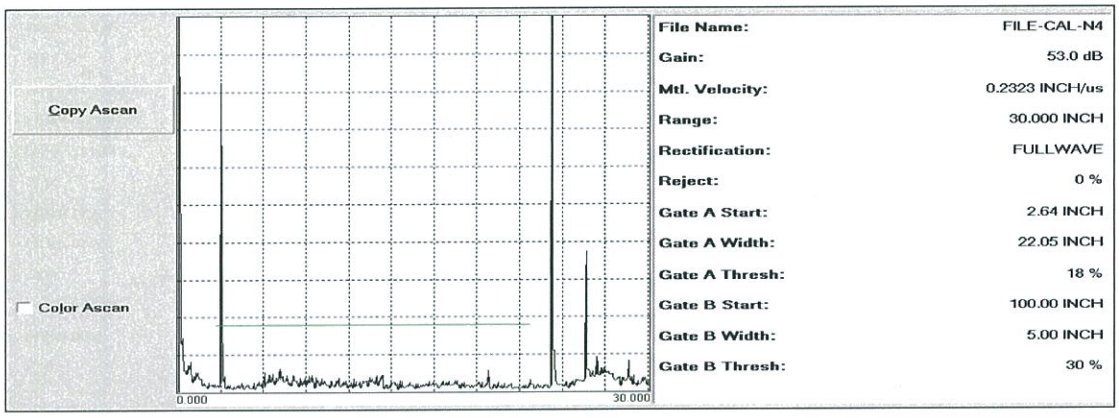
單位：mm

超音波儀器校準之波型圖　　儀器編號 00YT09

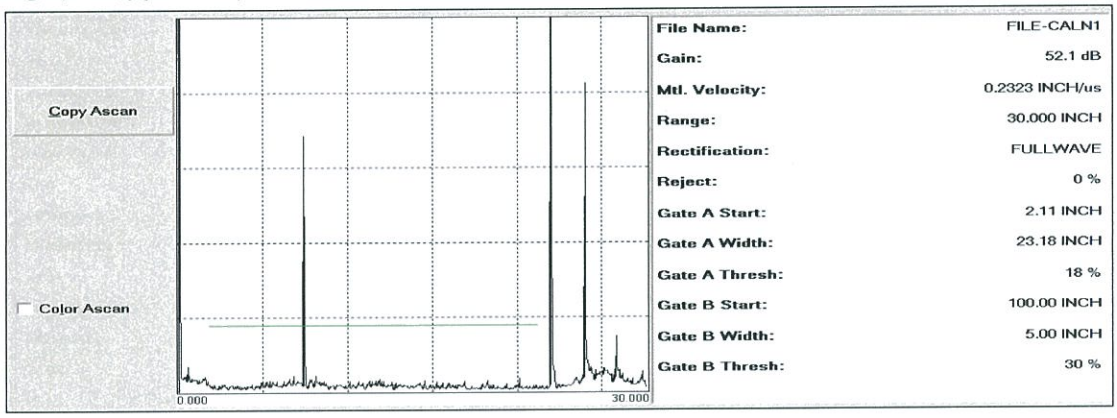


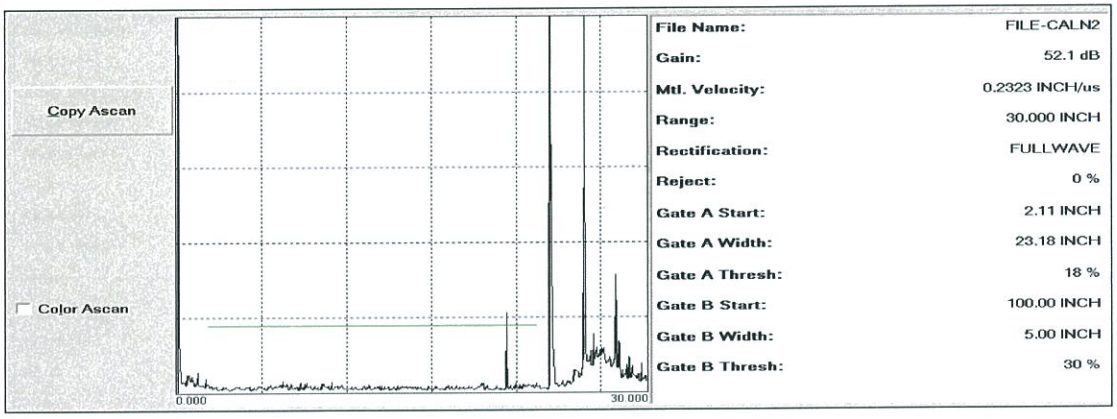


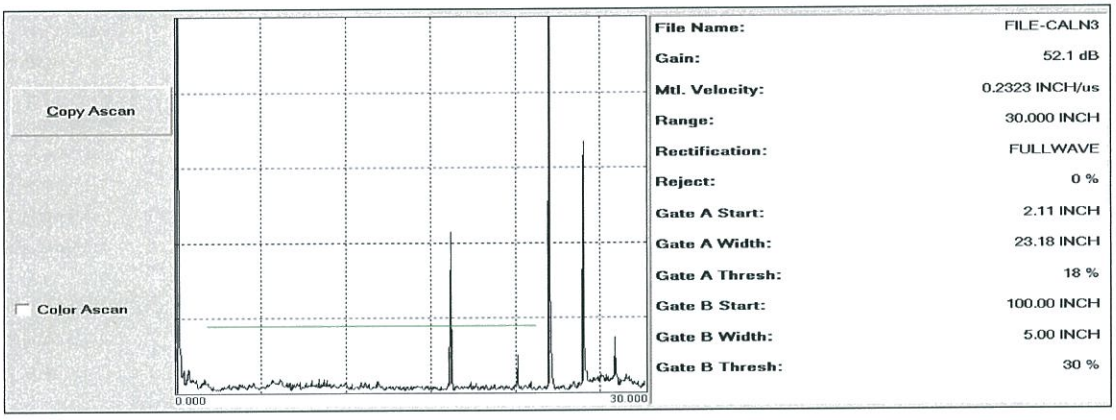


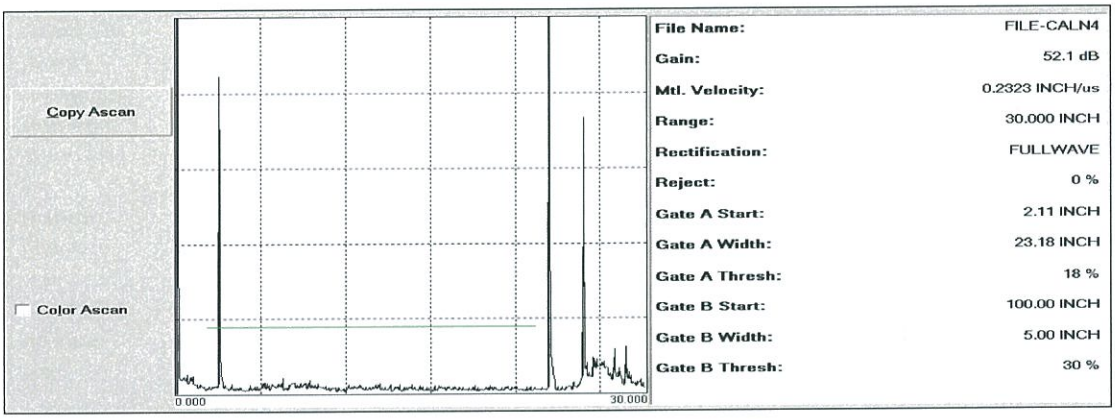


超音波儀器校準之波型圖　　儀器編號 *00YW3C*



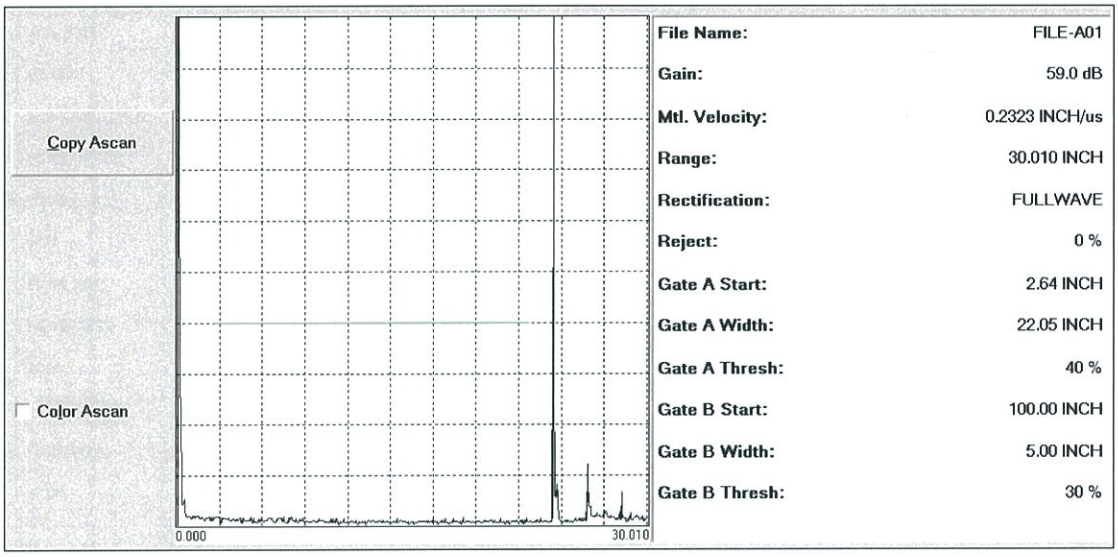


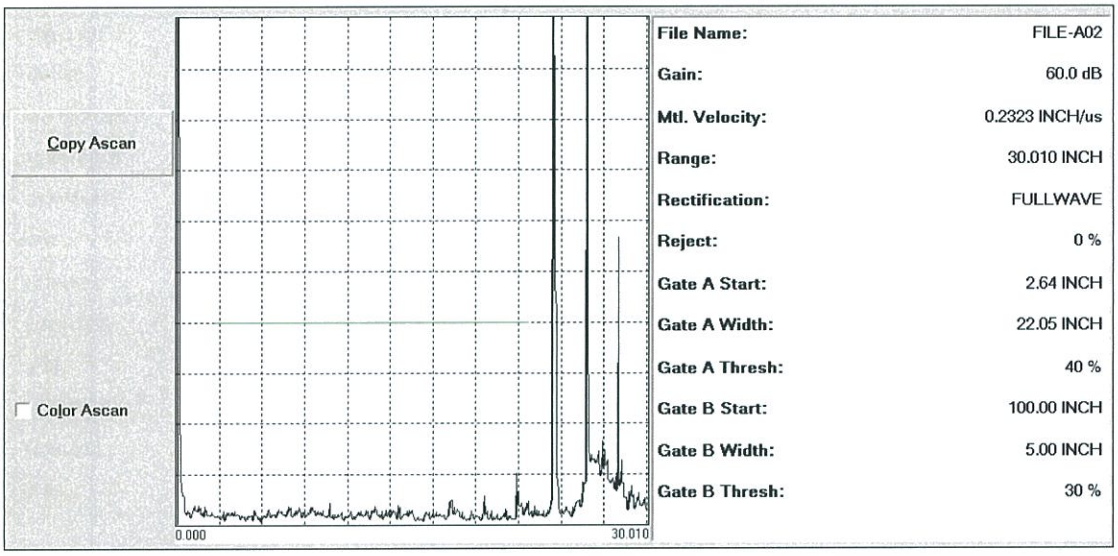


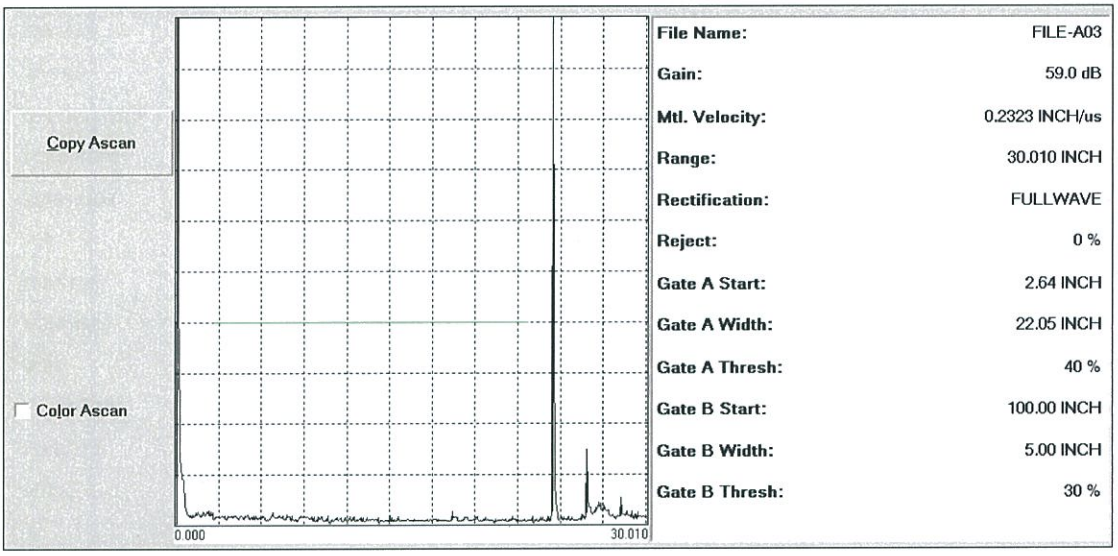


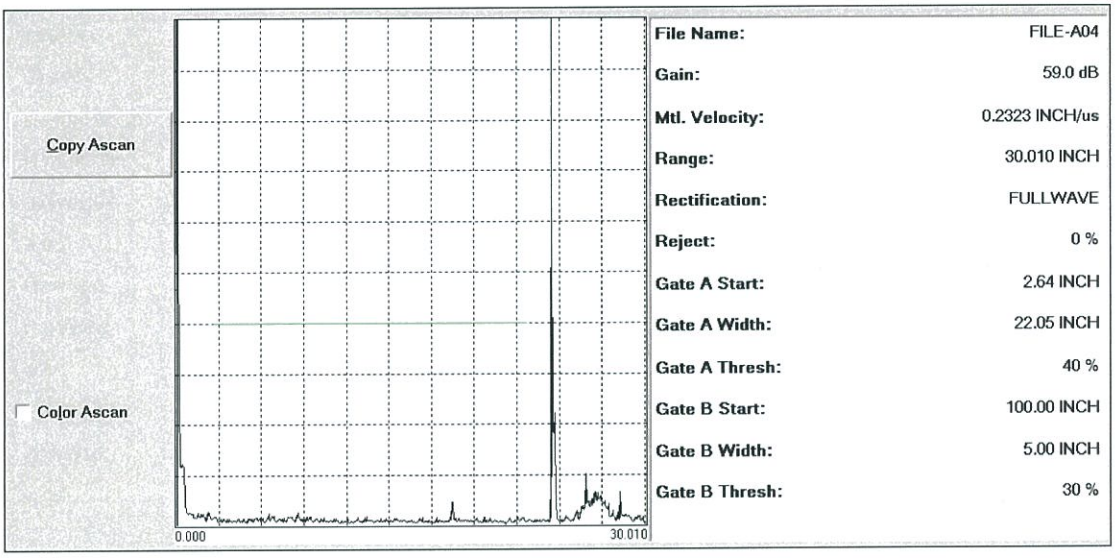
每支螺栓之波型示意圖

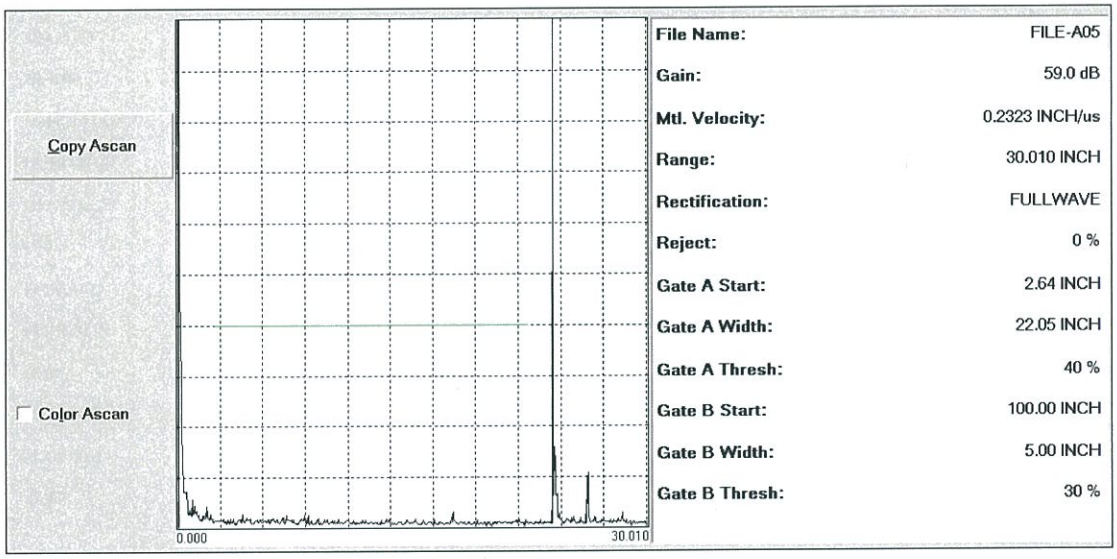
螺栓編號參見 File Name，外圈編號前加"O"英文字

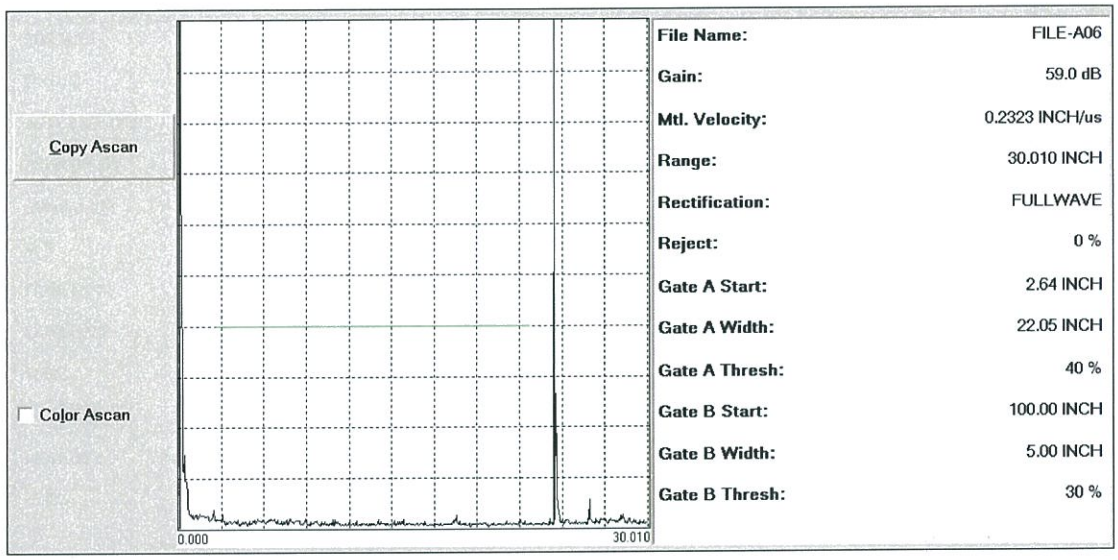


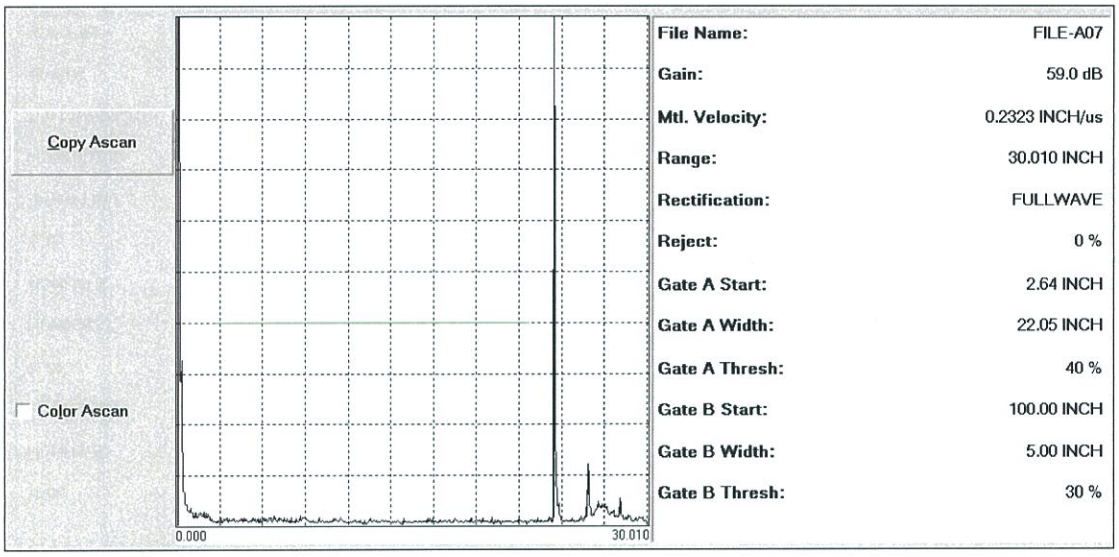


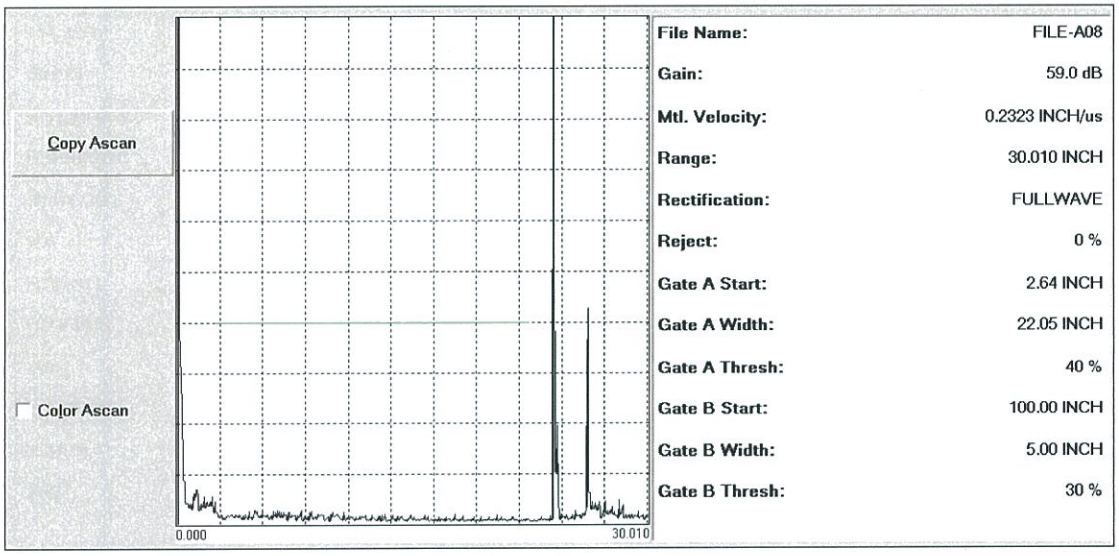


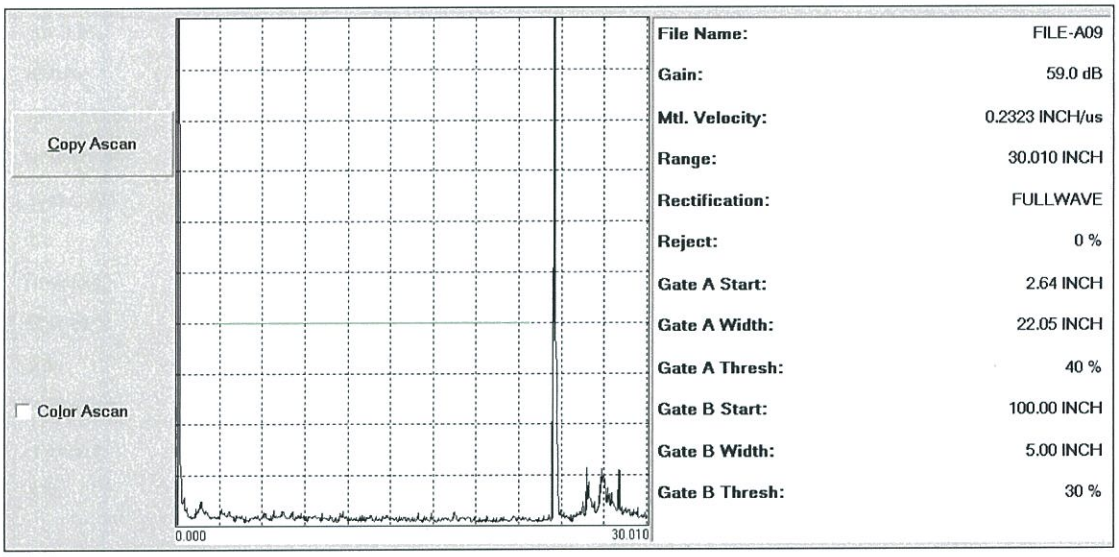

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.010
File Name: FILE-A04
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.010 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 40 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

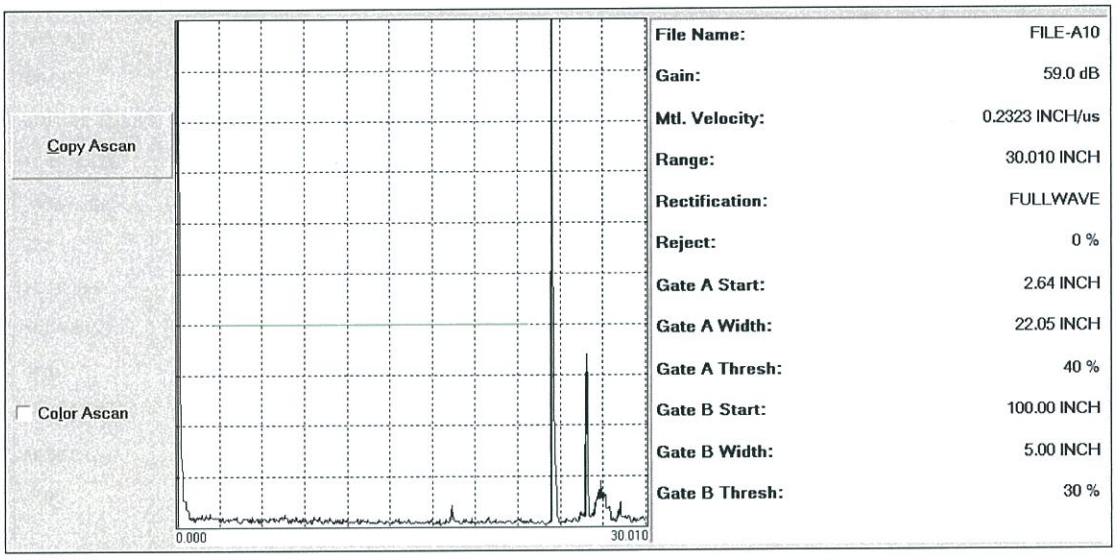

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.010
File Name: FILE-A05
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.010 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 40 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

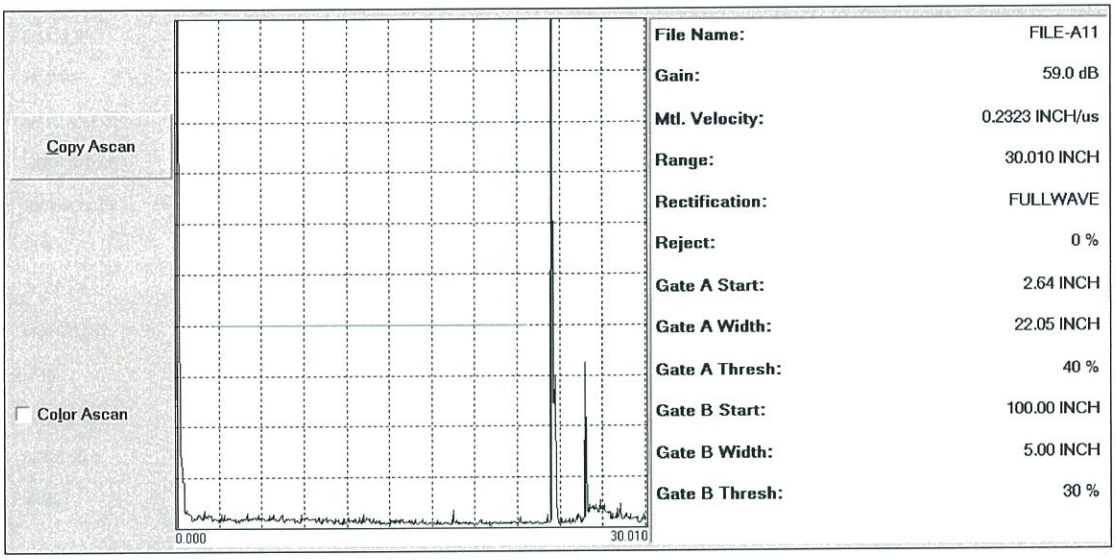

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.010
File Name: FILE-A06
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.010 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 40 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

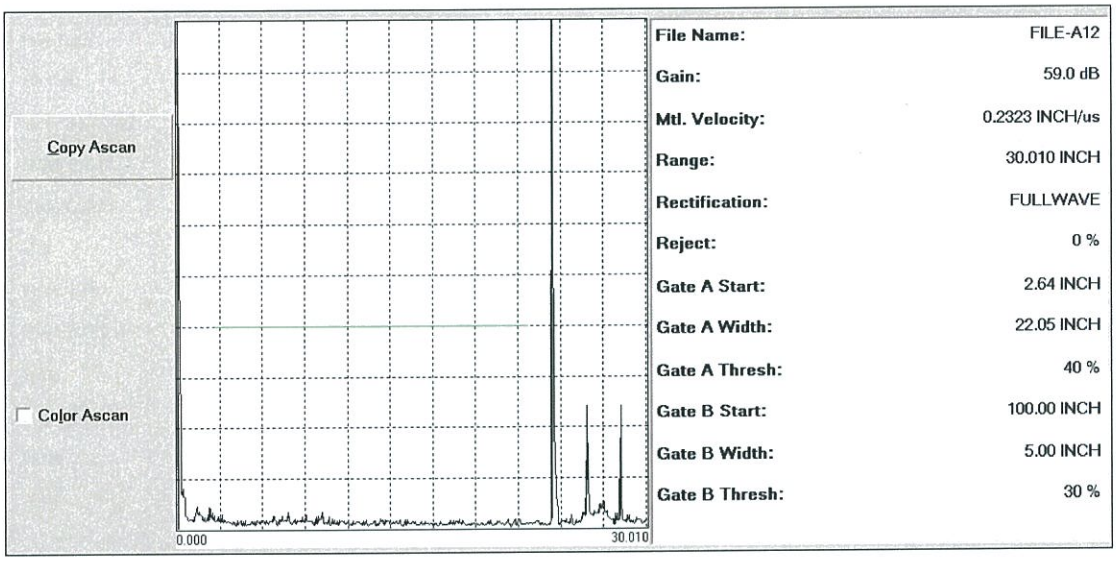

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.010
File Name: FILE-A07
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.010 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 40 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

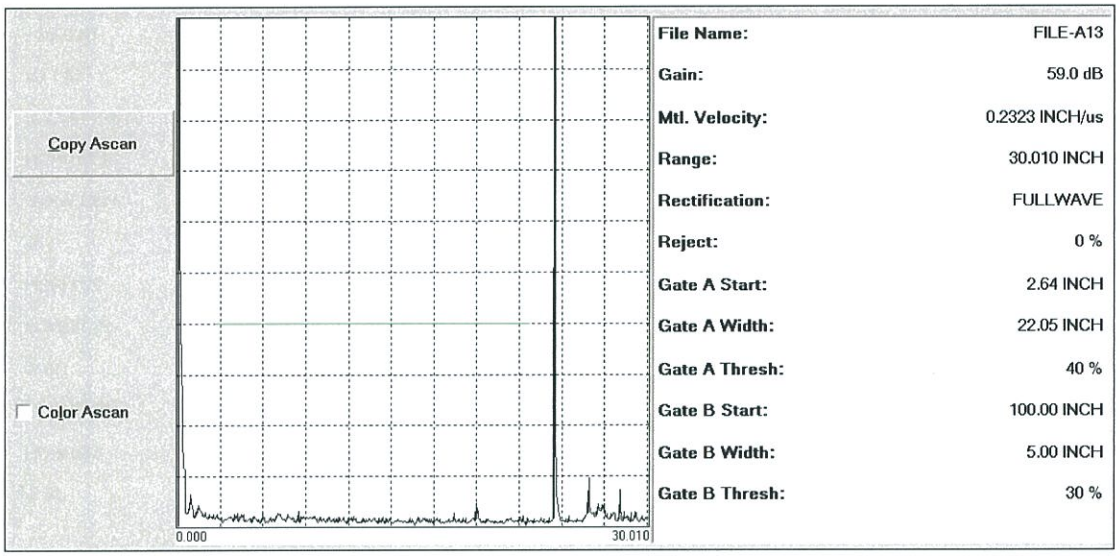

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.010
File Name: FILE-A08
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.010 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 40 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

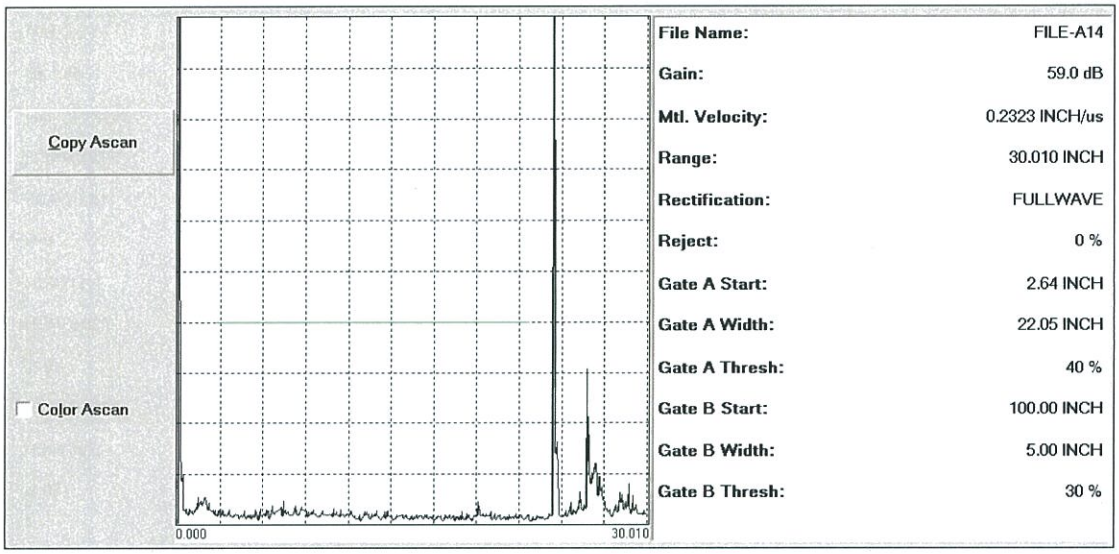

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.010
File Name: FILE-A09
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.010 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 40 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

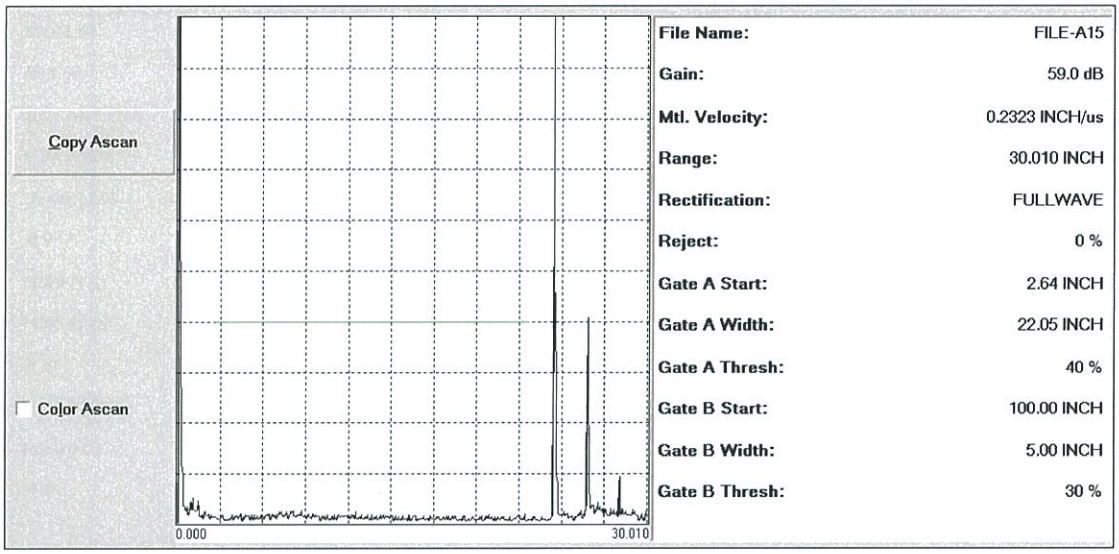

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.010
File Name: FILE-A10
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.010 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 40 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

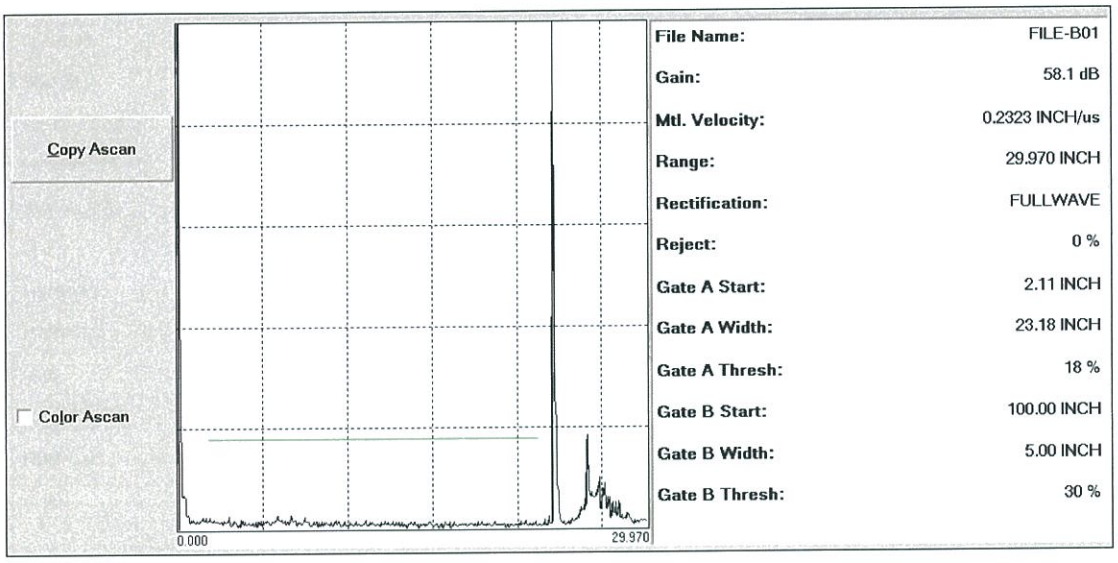

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.010
File Name: FILE-A11
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.010 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 40 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

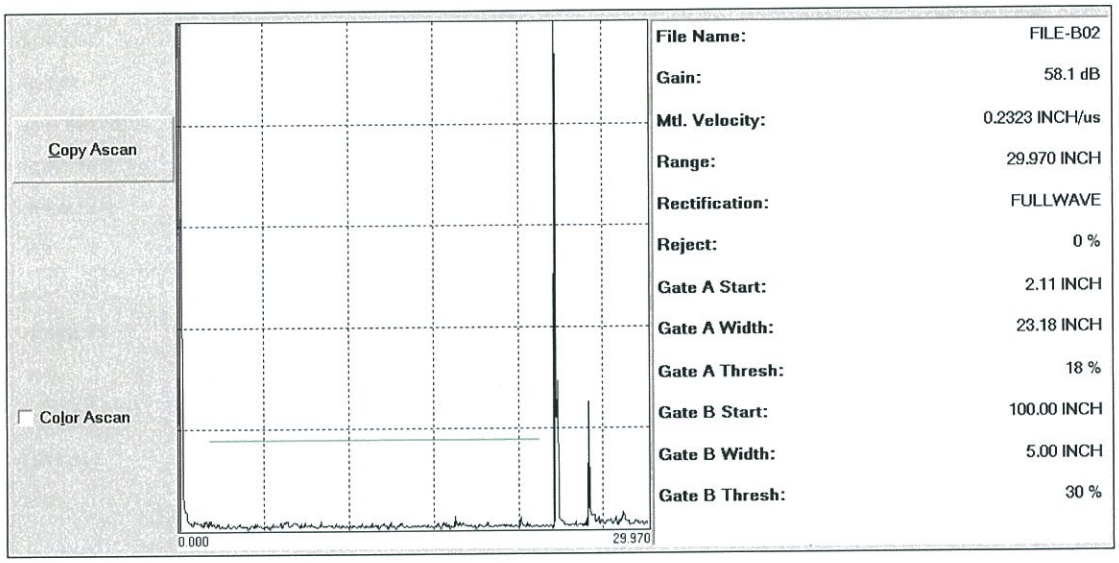

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.010
File Name: FILE-A12
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.010 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 40 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

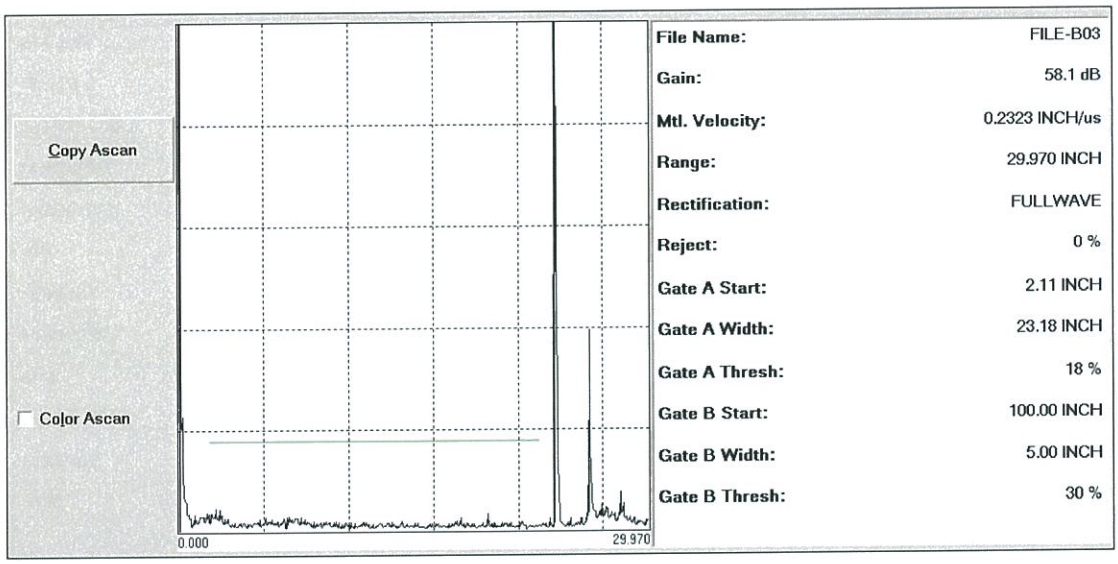

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.010
File Name: FILE-A13
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.010 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 40 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

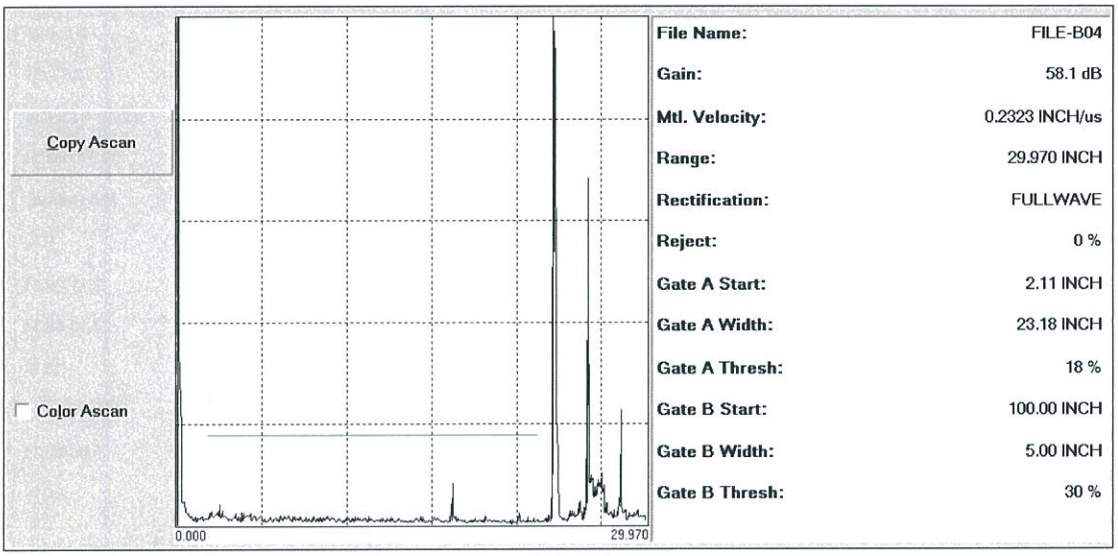

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.010
File Name: FILE-A14
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.010 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 40 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

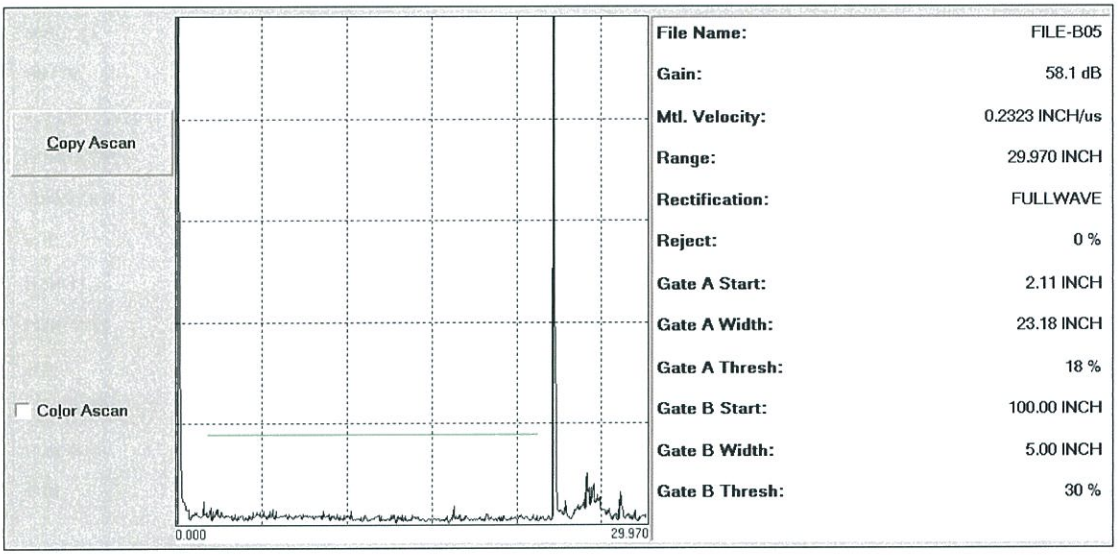

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.010
File Name: FILE-A15
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.010 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 40 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

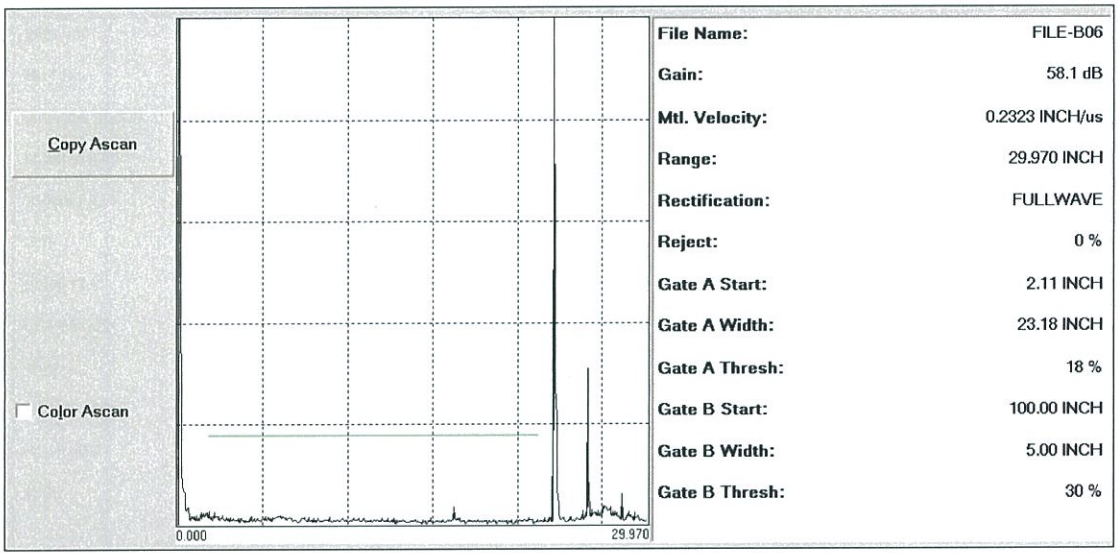

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.970
File Name: FILE-B01
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.970 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

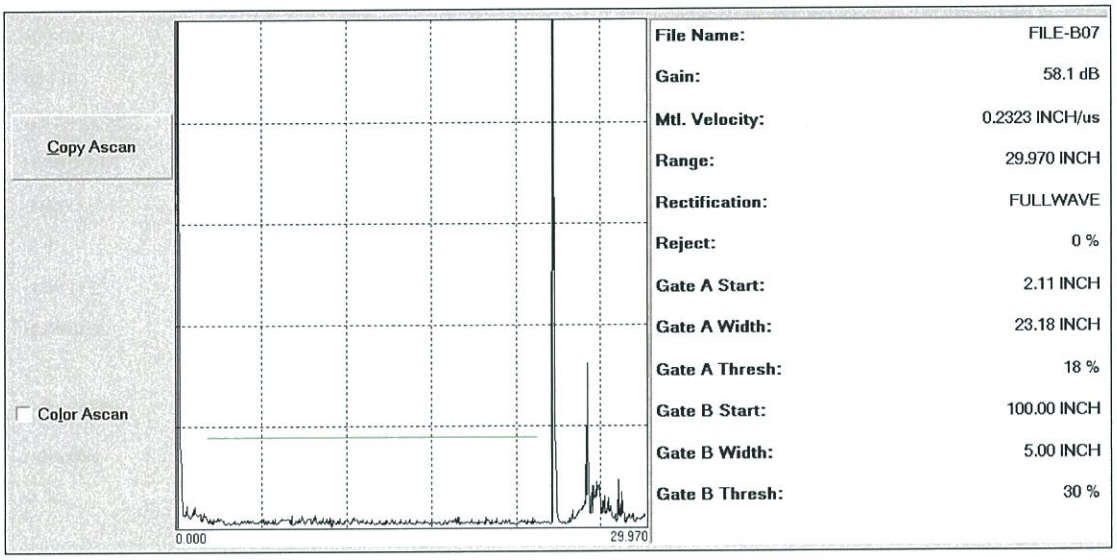

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.970
File Name: FILE-B02
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.970 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

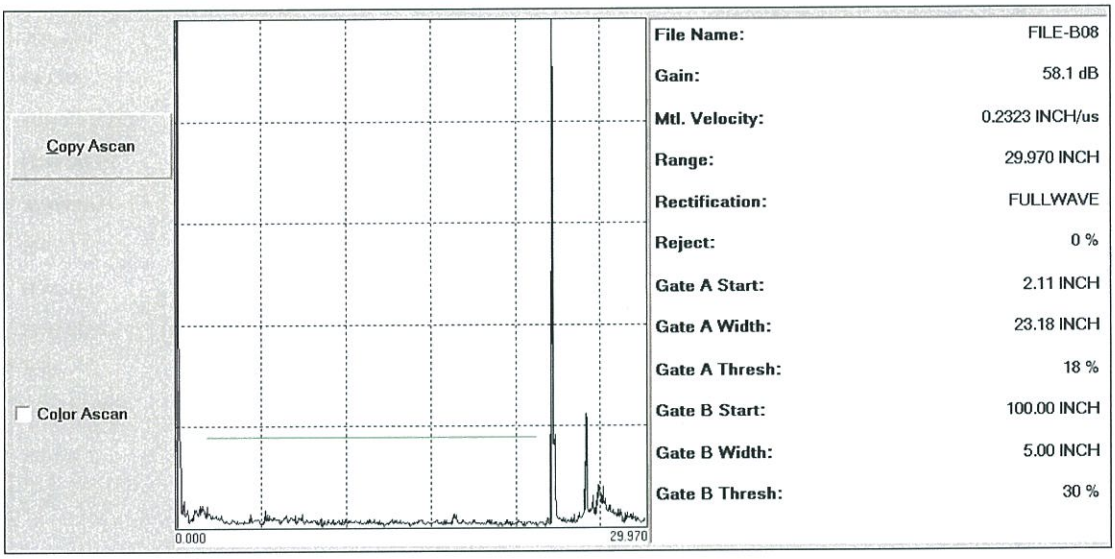

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.970
File Name: FILE-B03
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.970 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

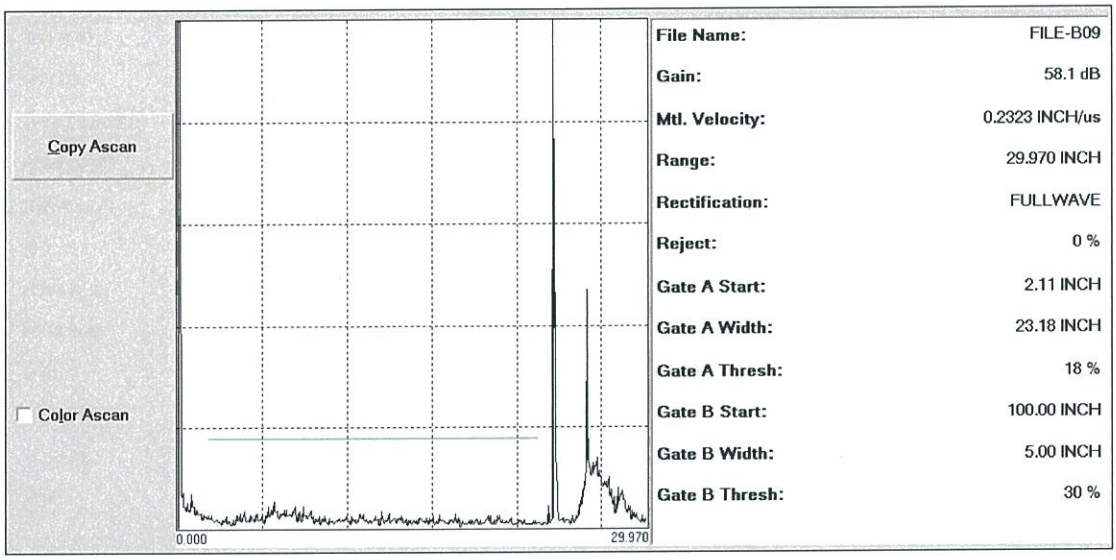

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.970
File Name: FILE-B04
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.970 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

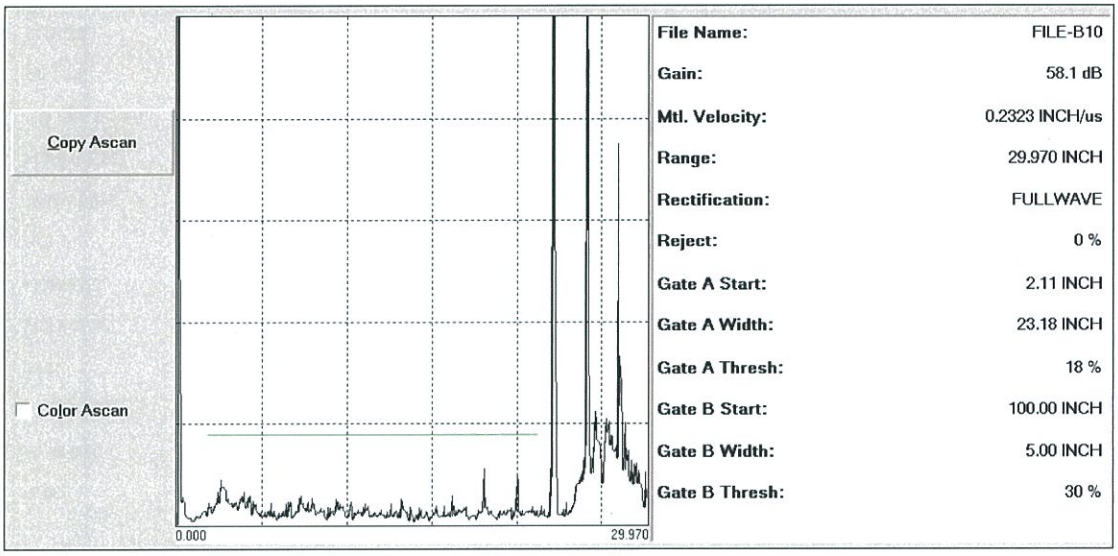

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.970
File Name: FILE-B05
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.970 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

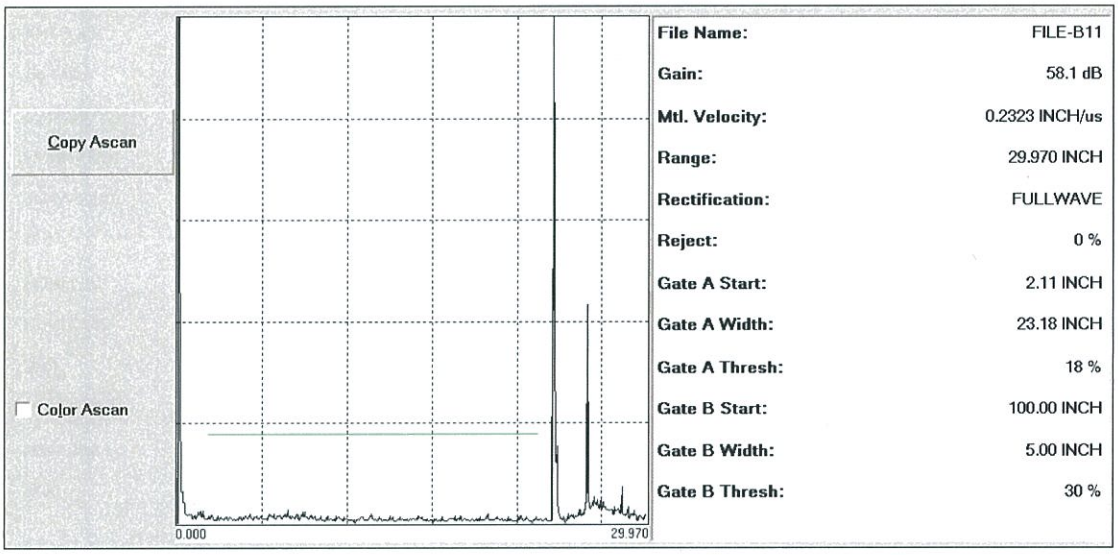

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.970
File Name: FILE-B06
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.970 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

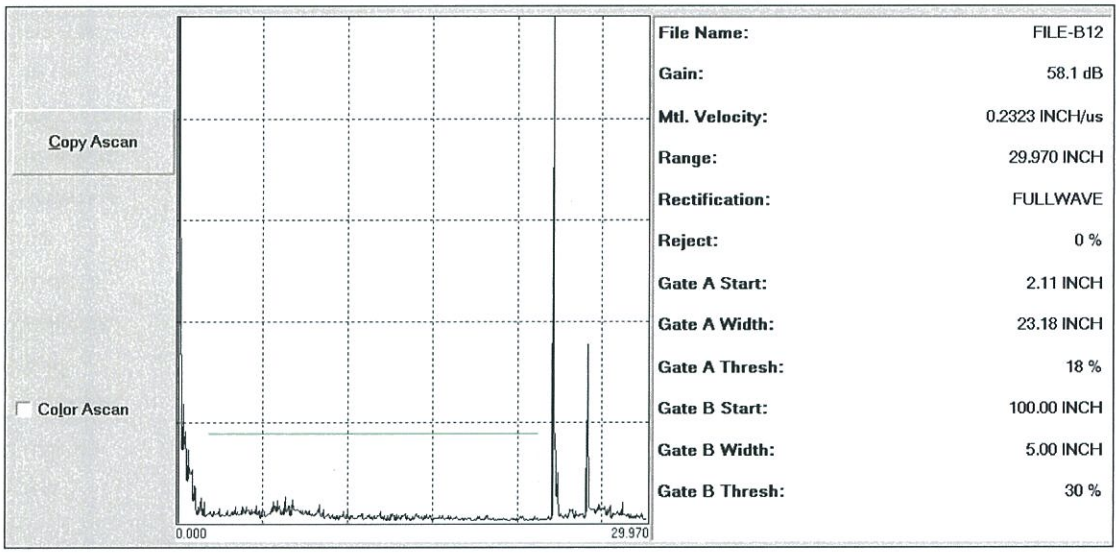

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.970
File Name: FILE-B07
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.970 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

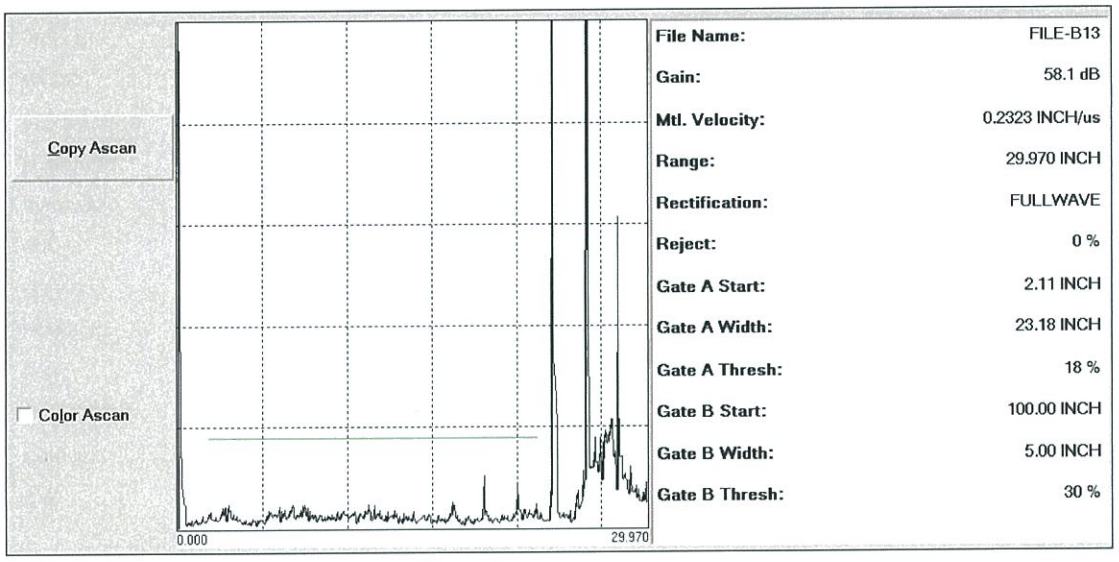

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.970
File Name: FILE-B08
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.970 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

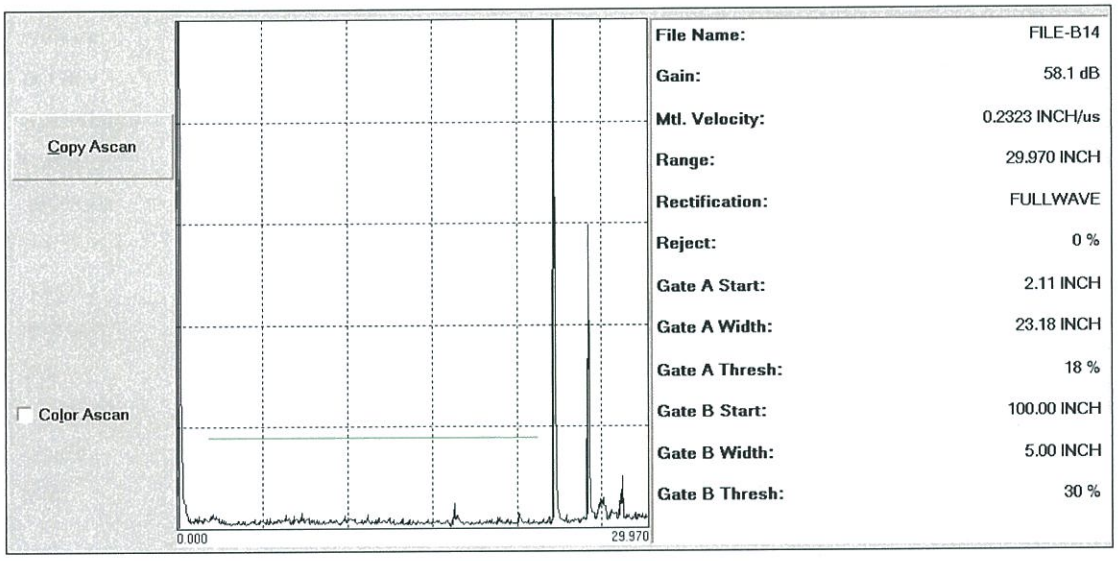

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.970
File Name: FILE-B09
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.970 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

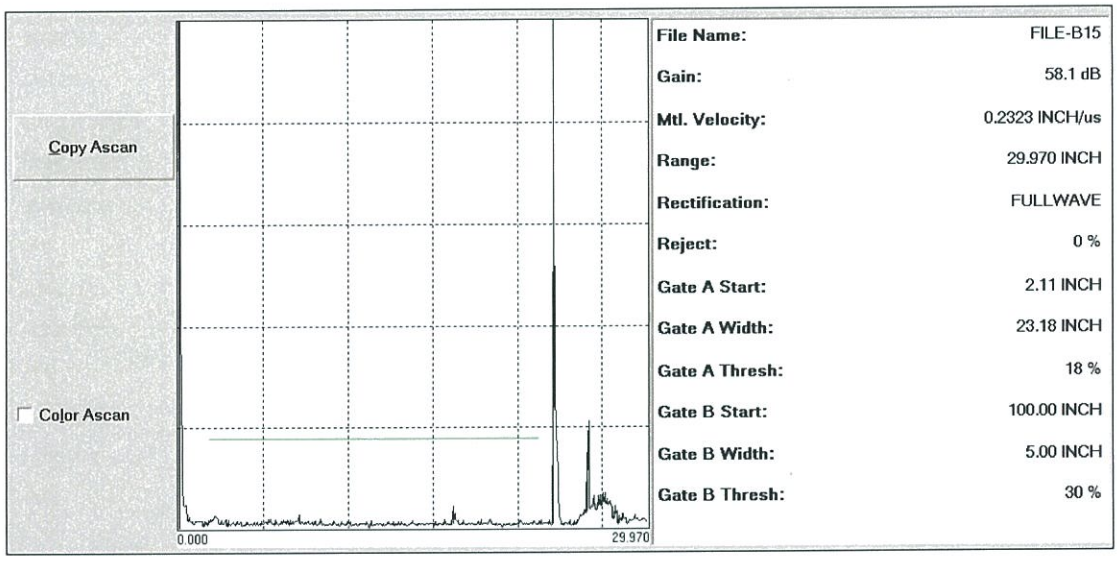

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.970
File Name: FILE-B10
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.970 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

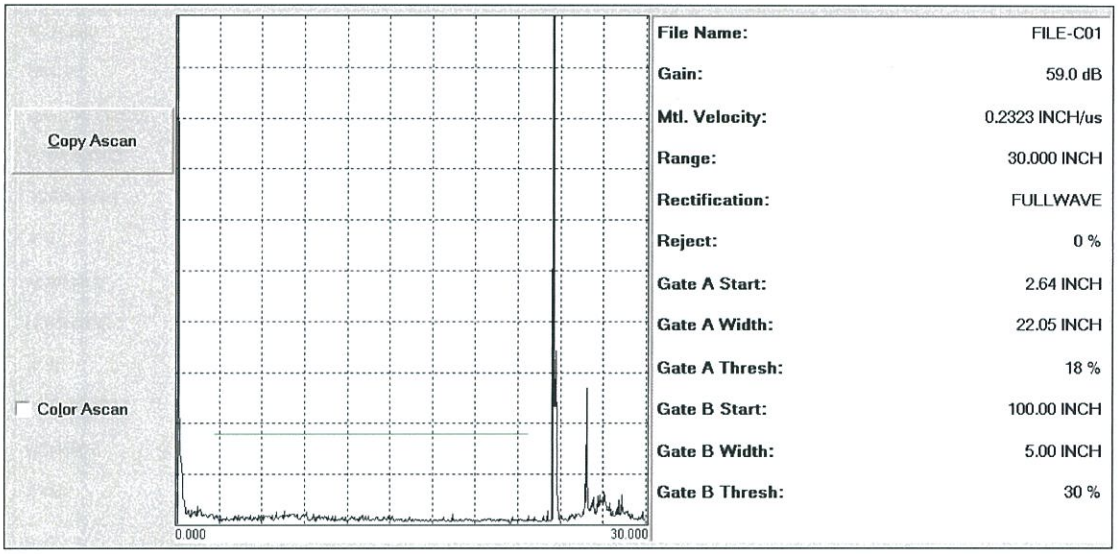

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.970
File Name: FILE-B11
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.970 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

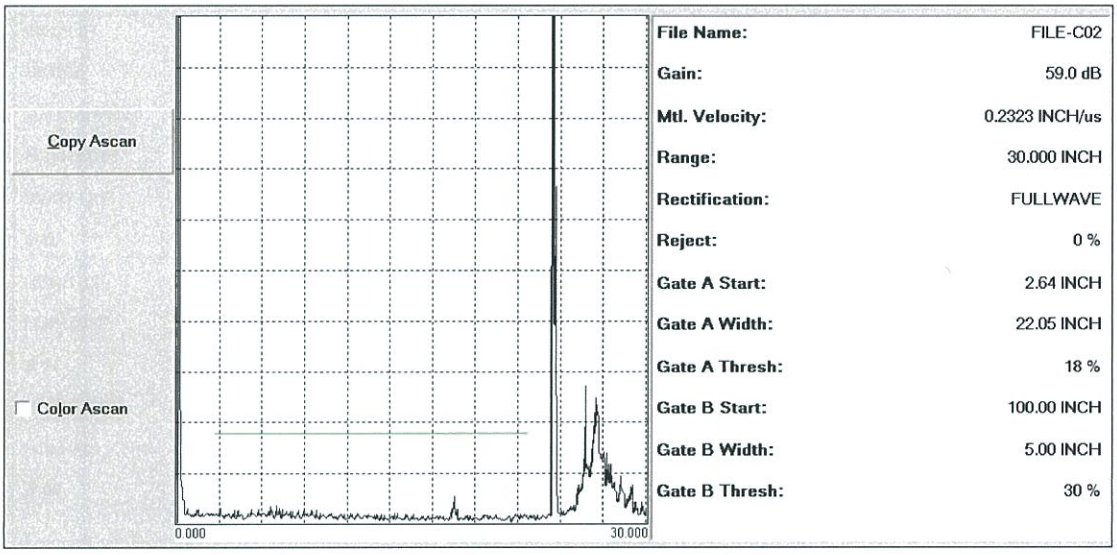

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.970
File Name: FILE-B12
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.970 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

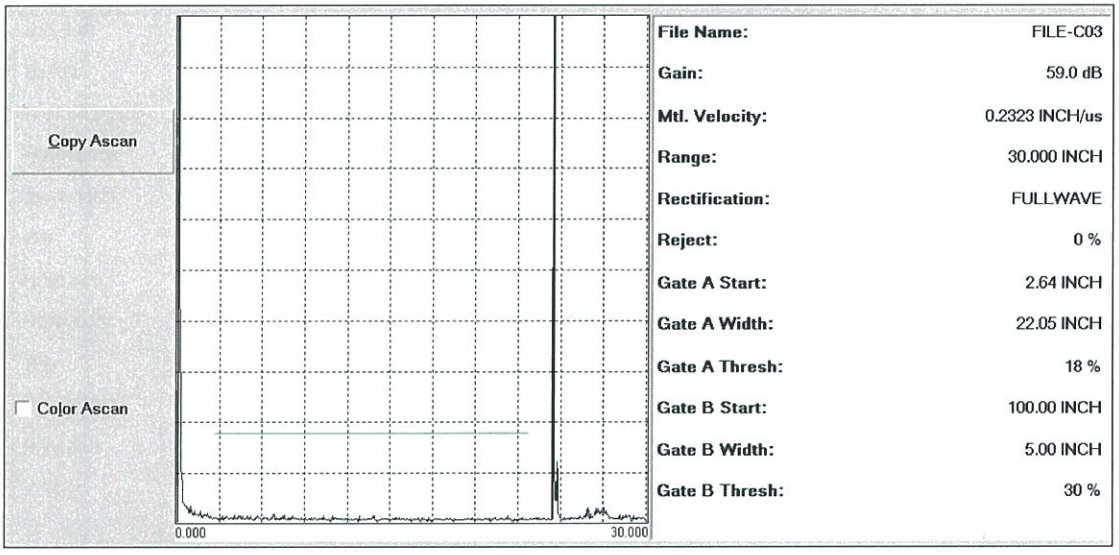

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.970
File Name: FILE-B13
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.970 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

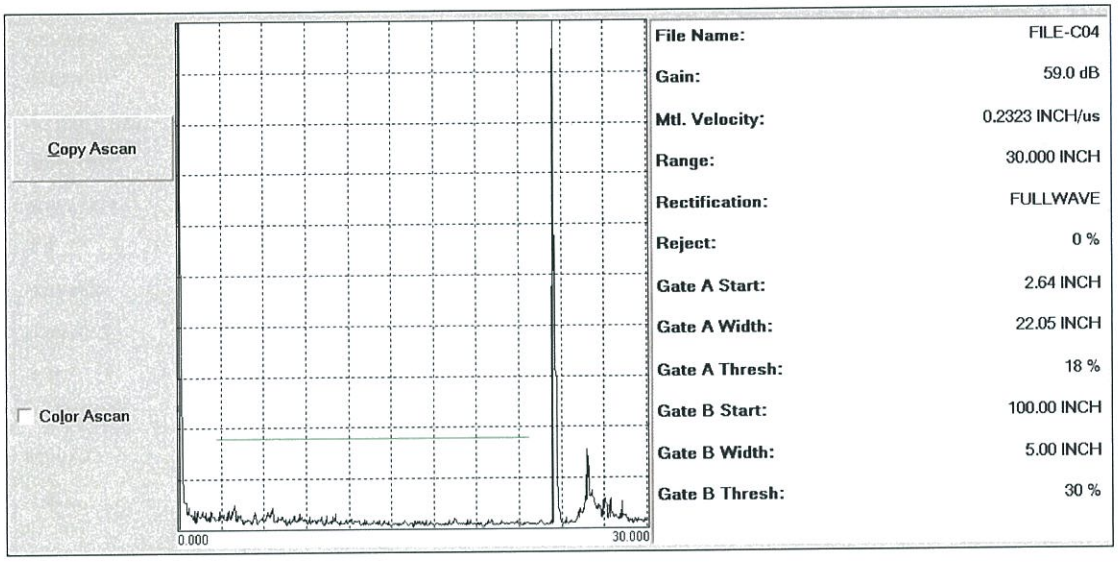

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.970
File Name: FILE-B14
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.970 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

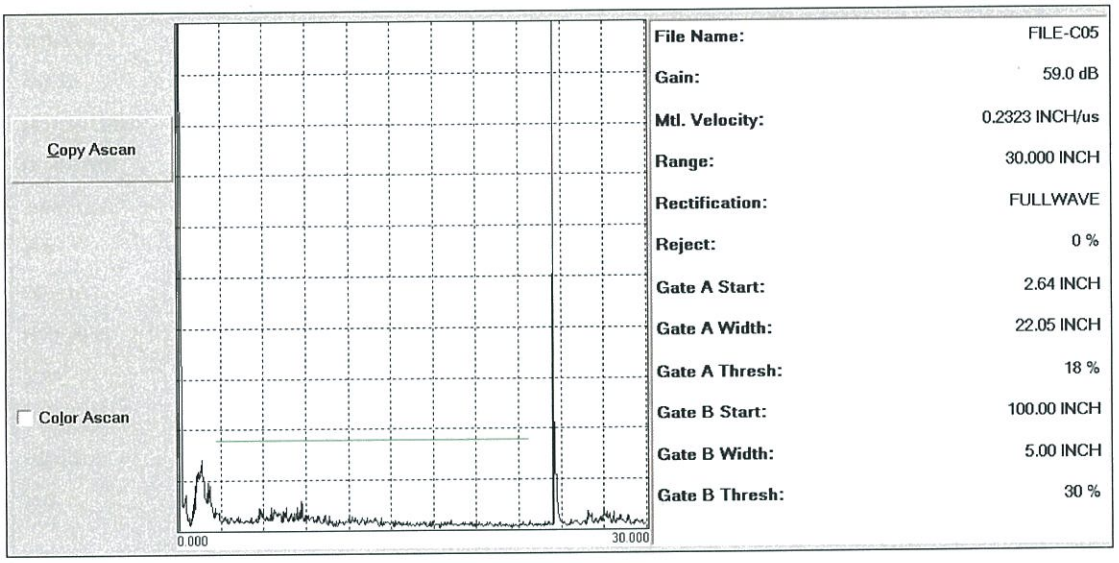

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.970
File Name: FILE-B15
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.970 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

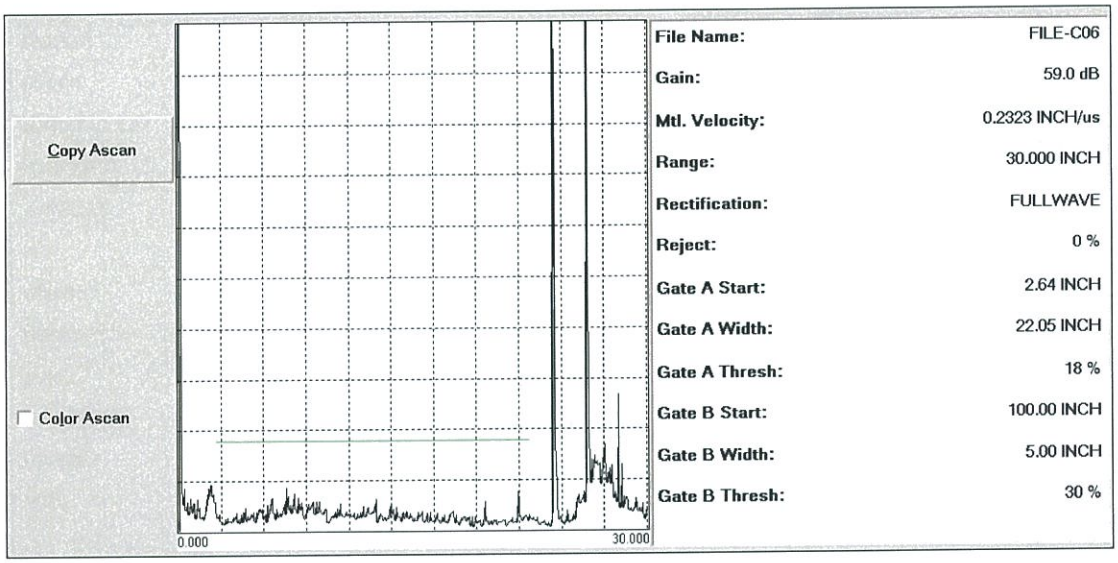

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-C01
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

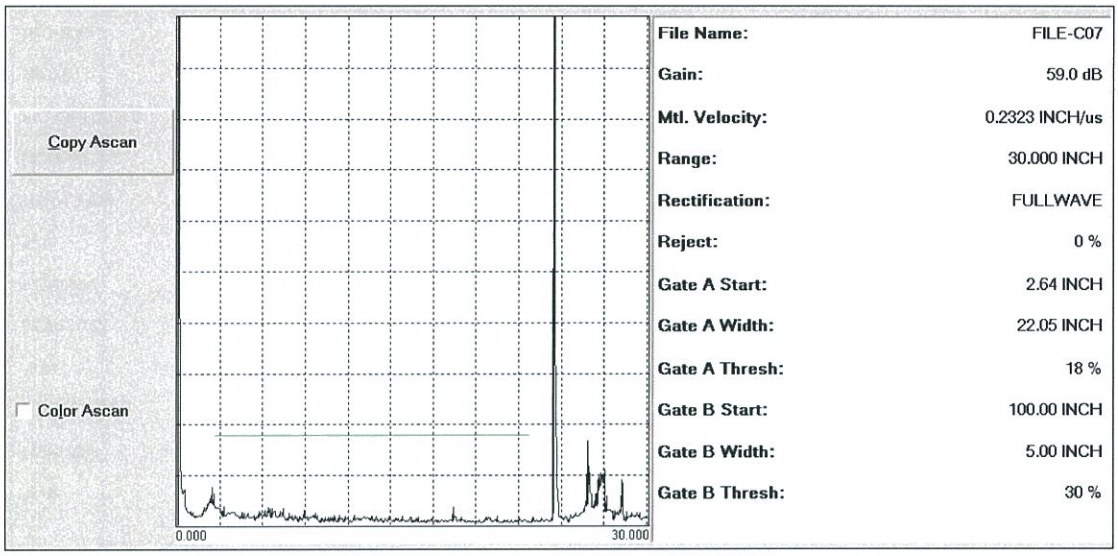

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-C02
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

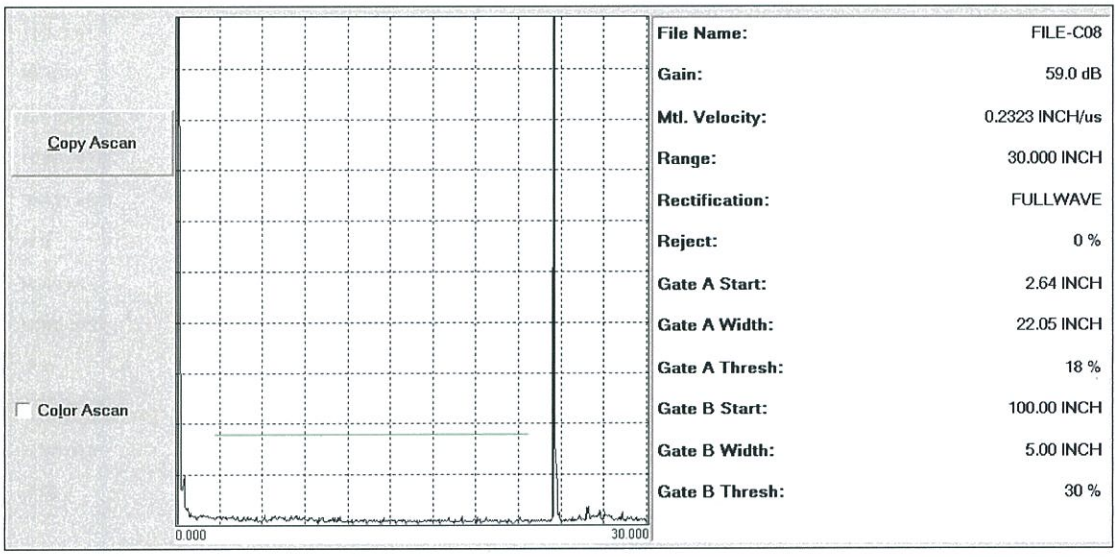

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-C03
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

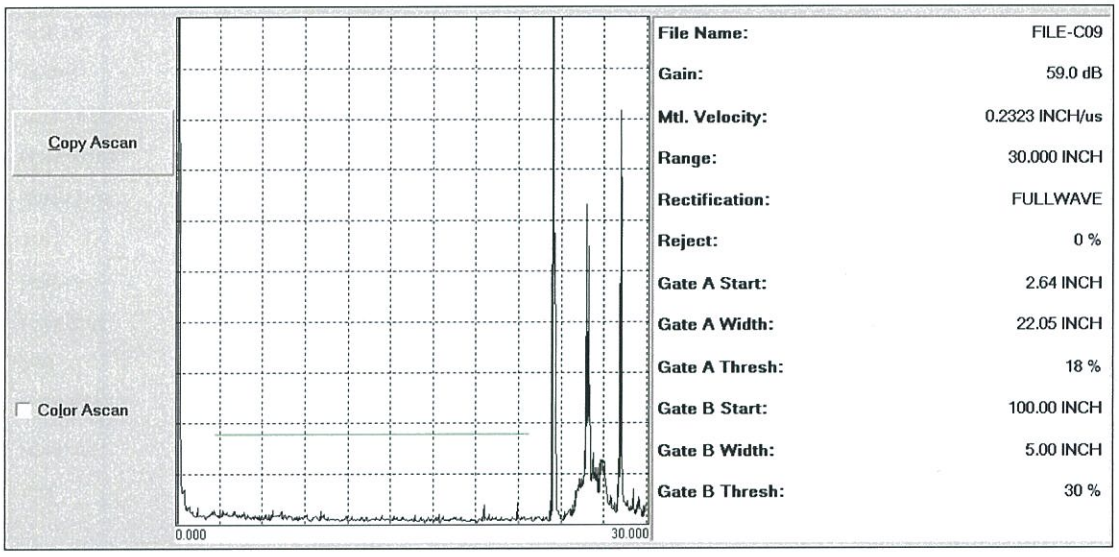

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-C04
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

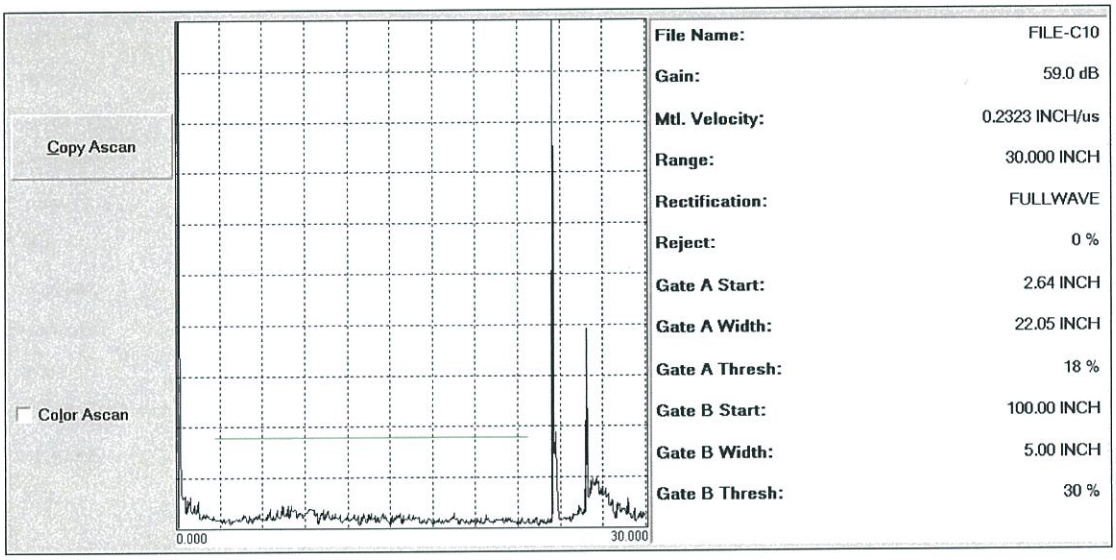

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-C05
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

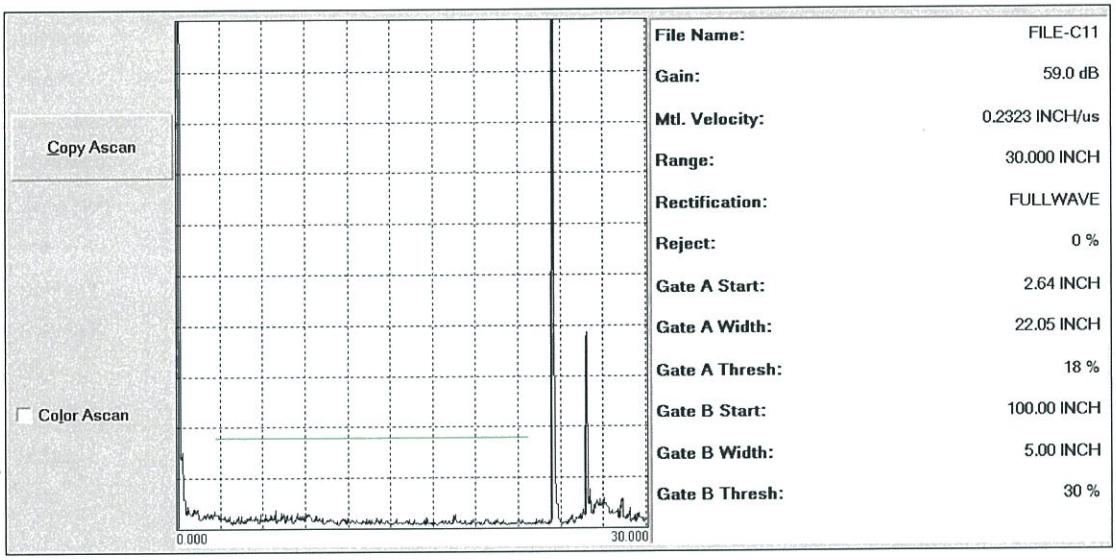

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-C06
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

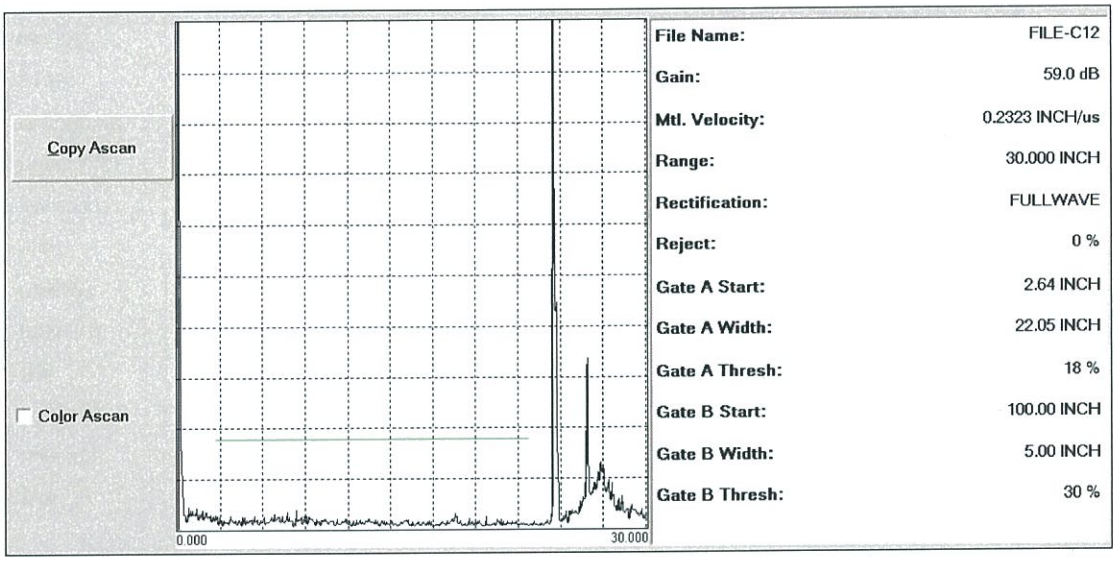

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-C07
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

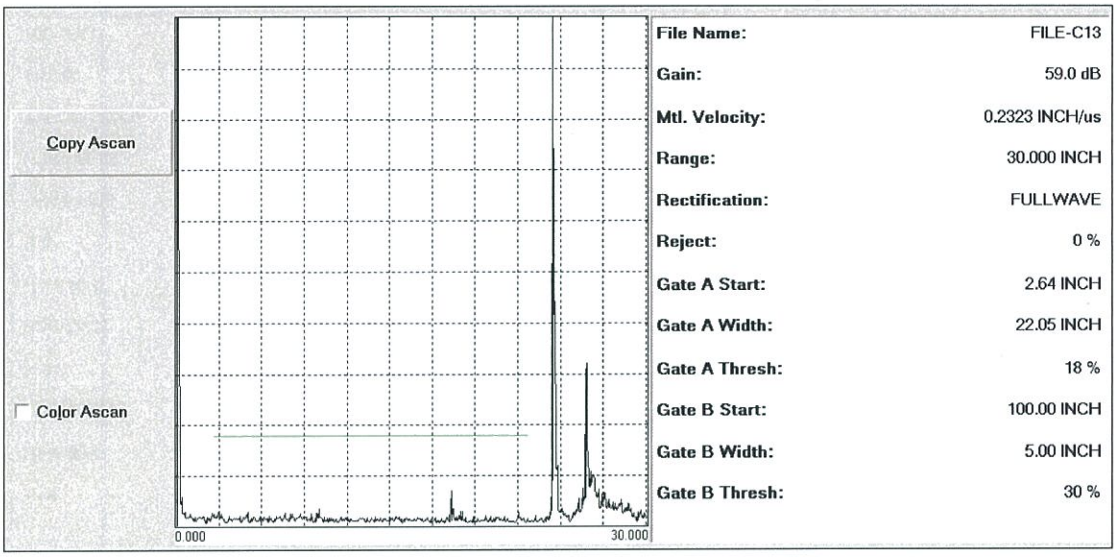

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-C08
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

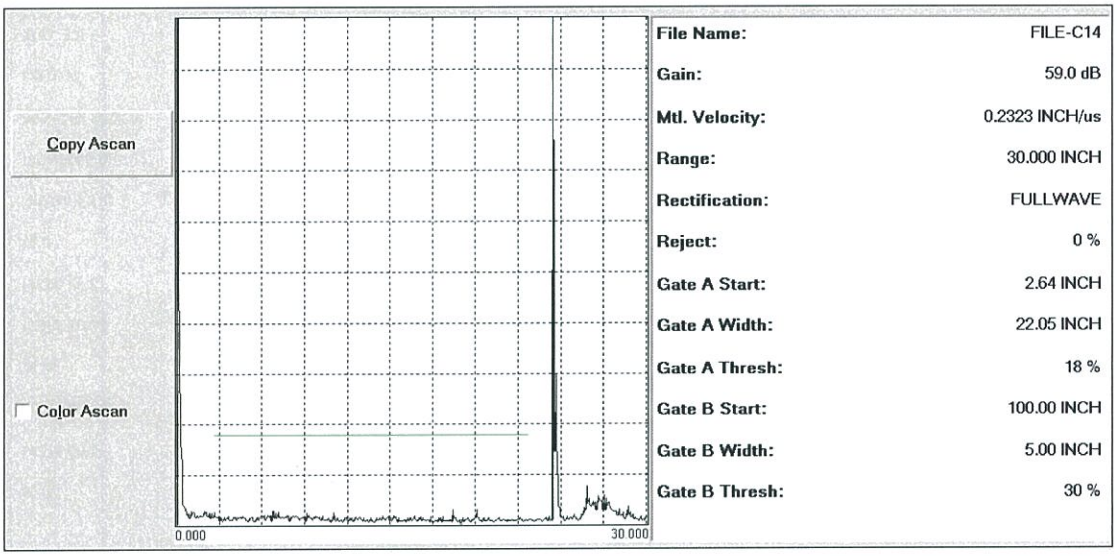

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-C09
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

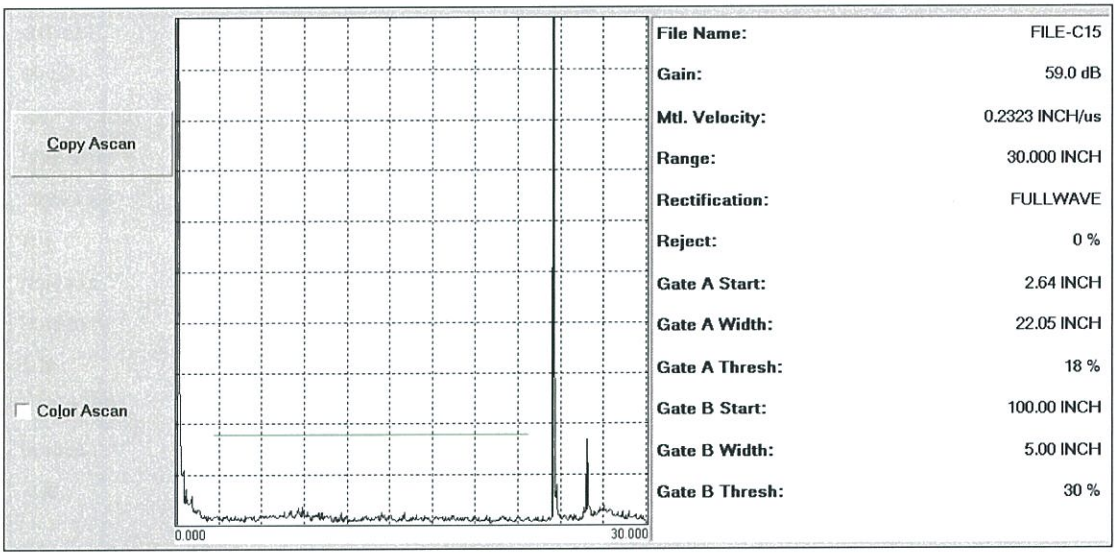

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-C10
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

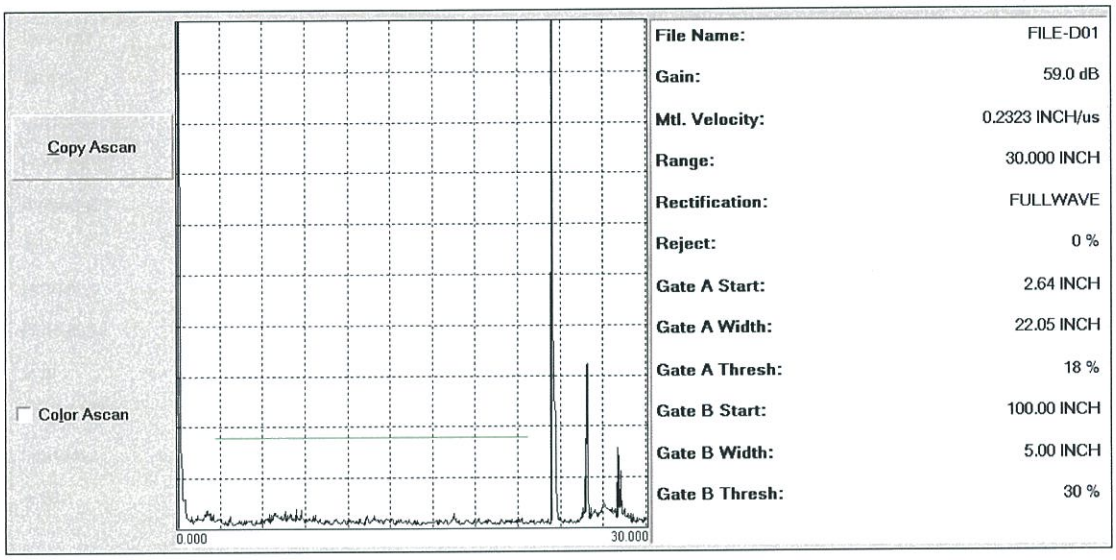

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-C11
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

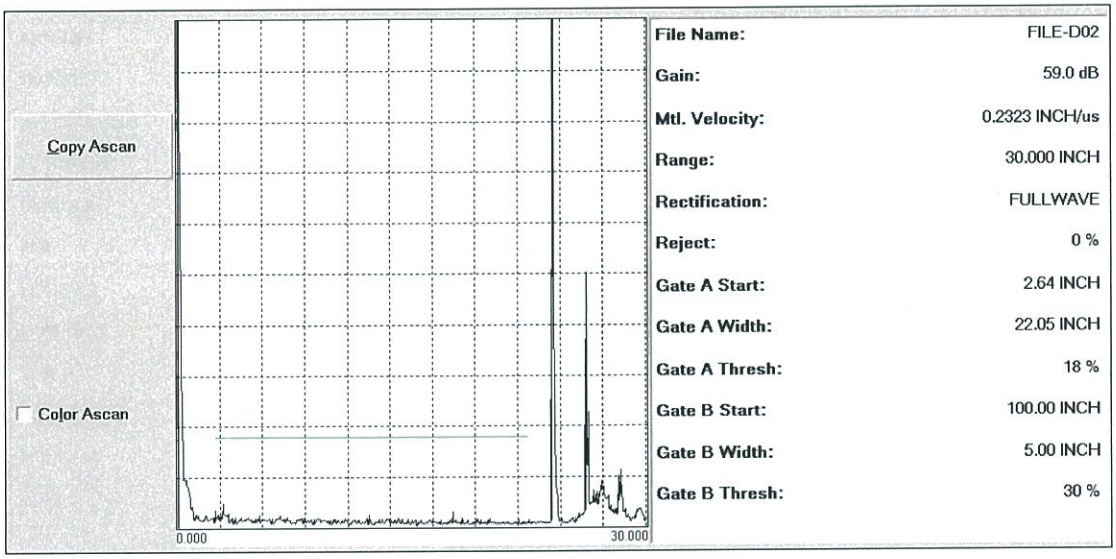

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-C12
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

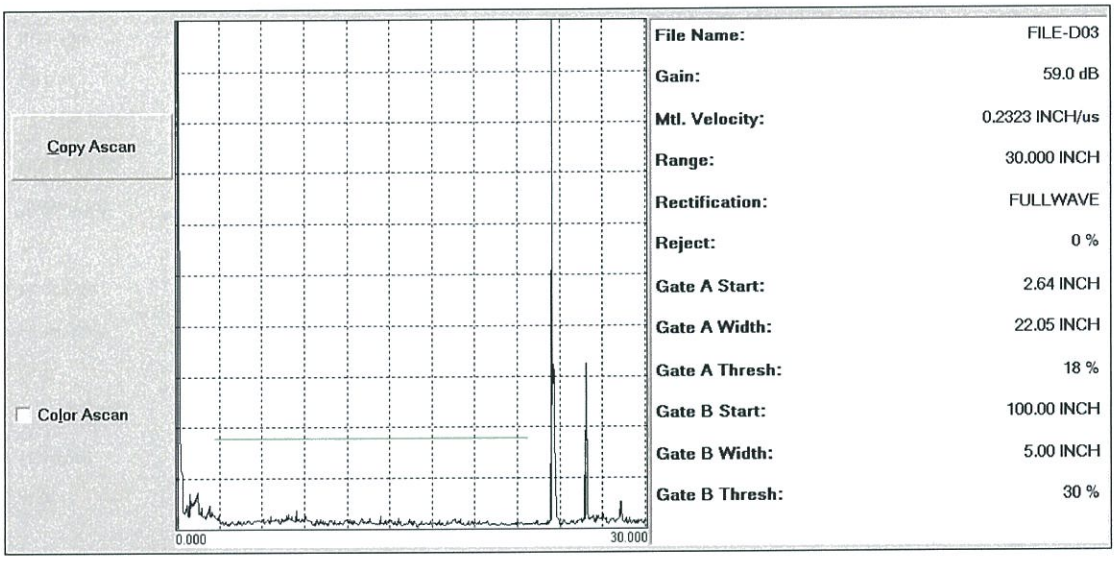

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-C13
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

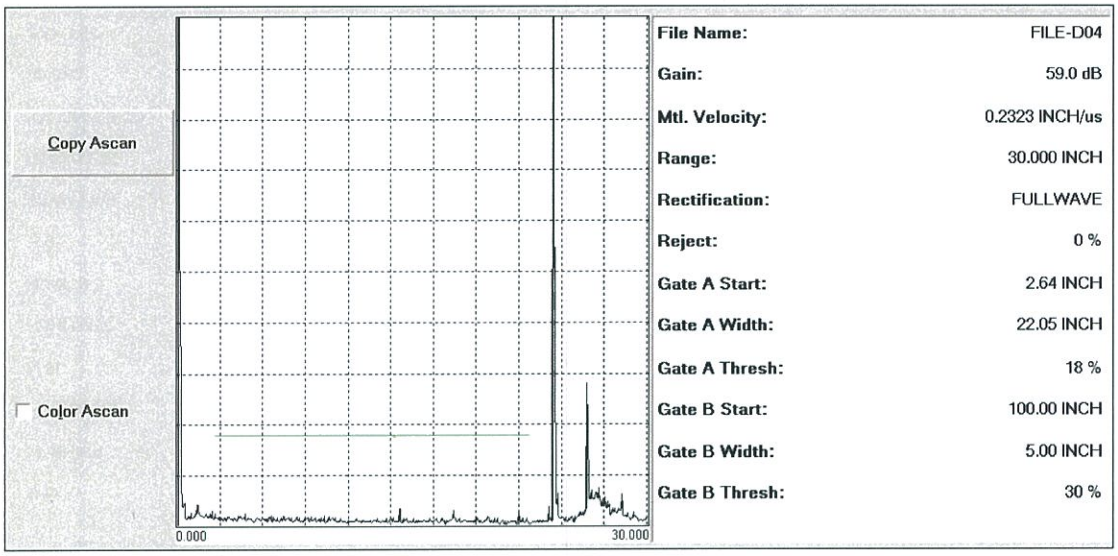

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-C14
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

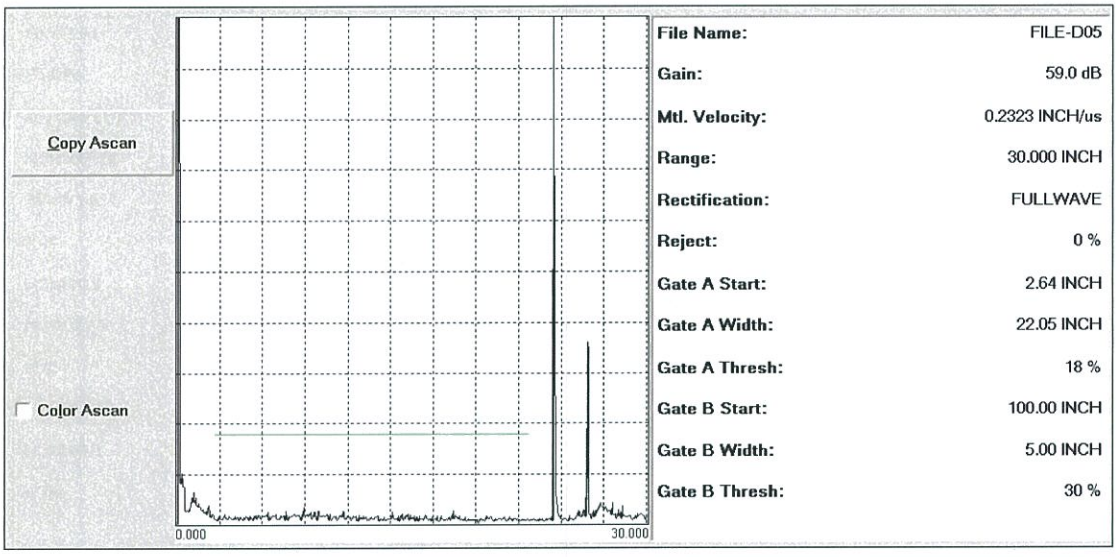

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-C15
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

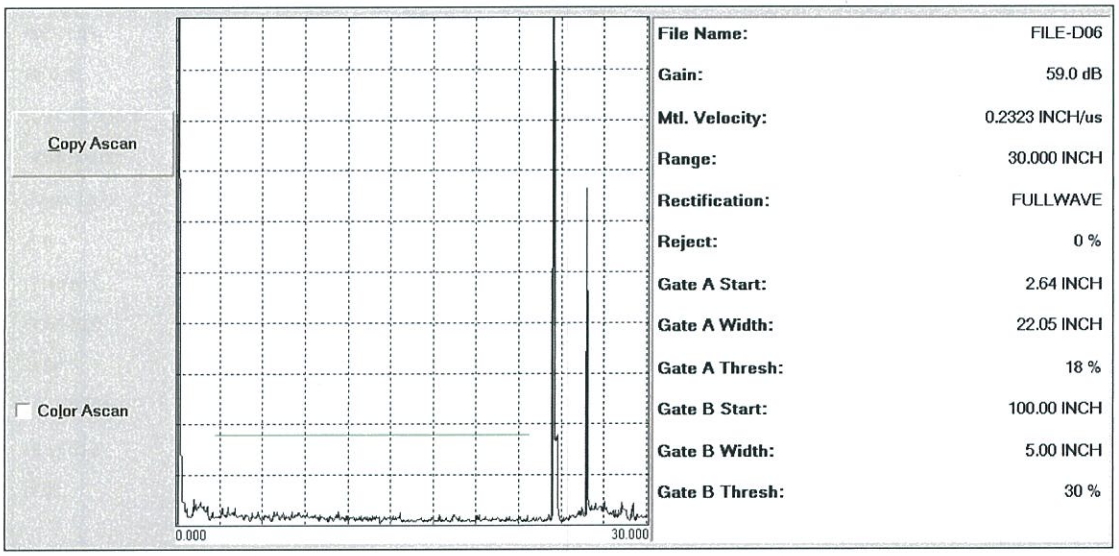

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-D01
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

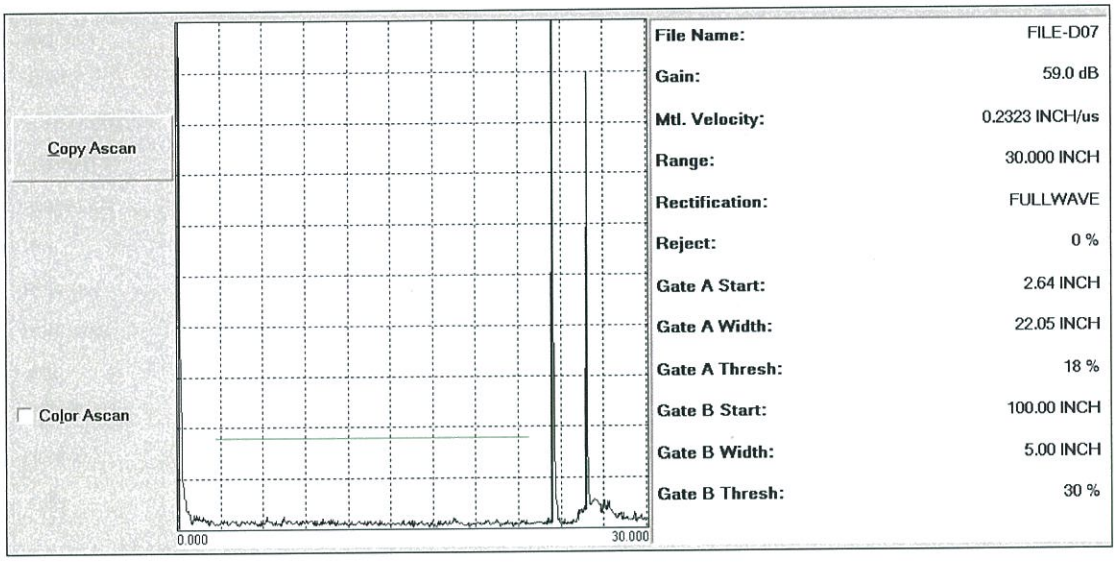

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-D02
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

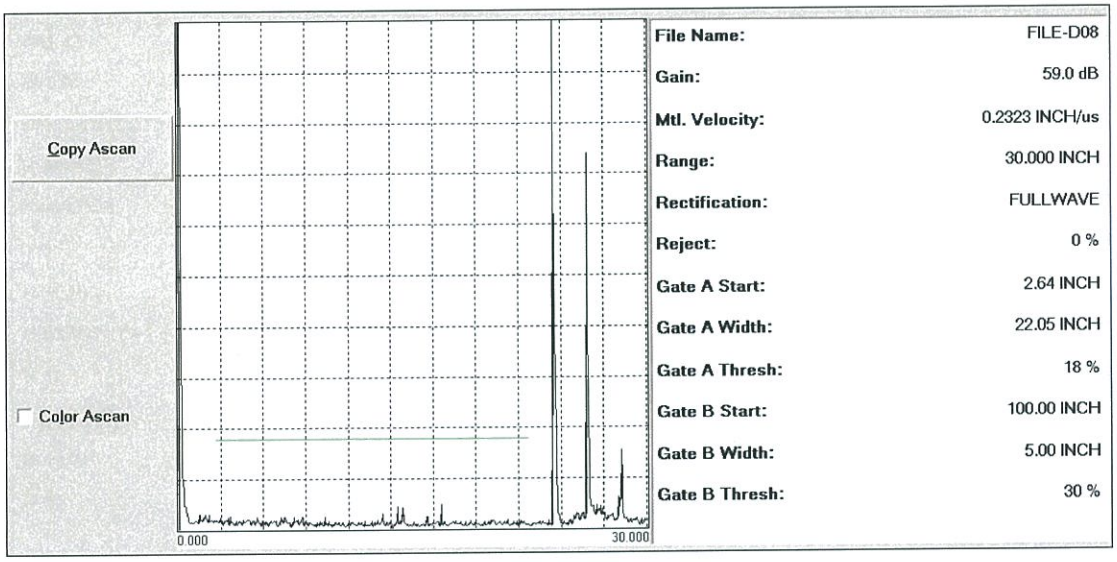

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-D03
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

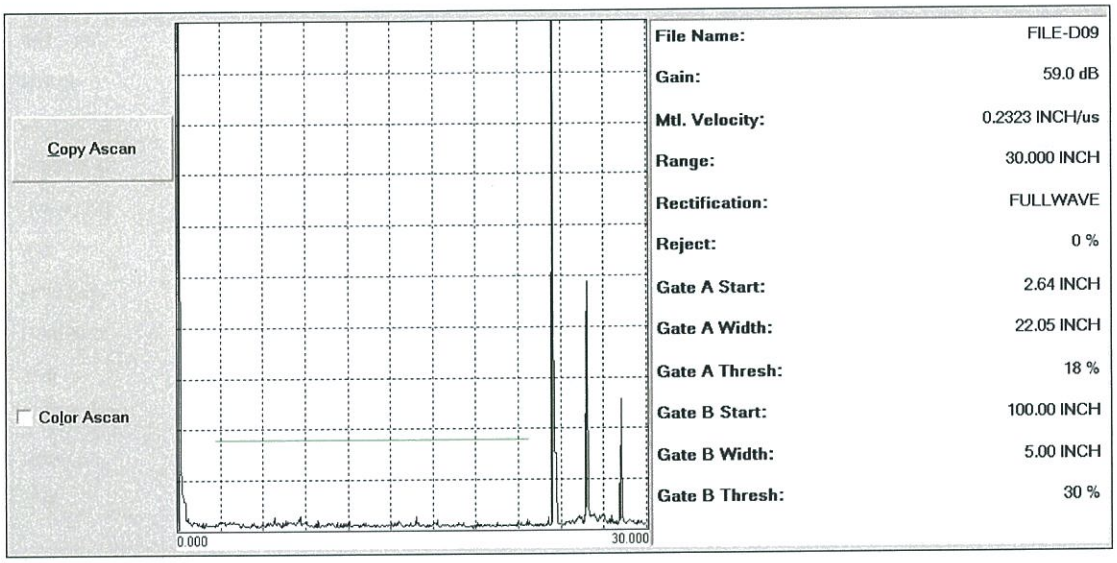

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-D04
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

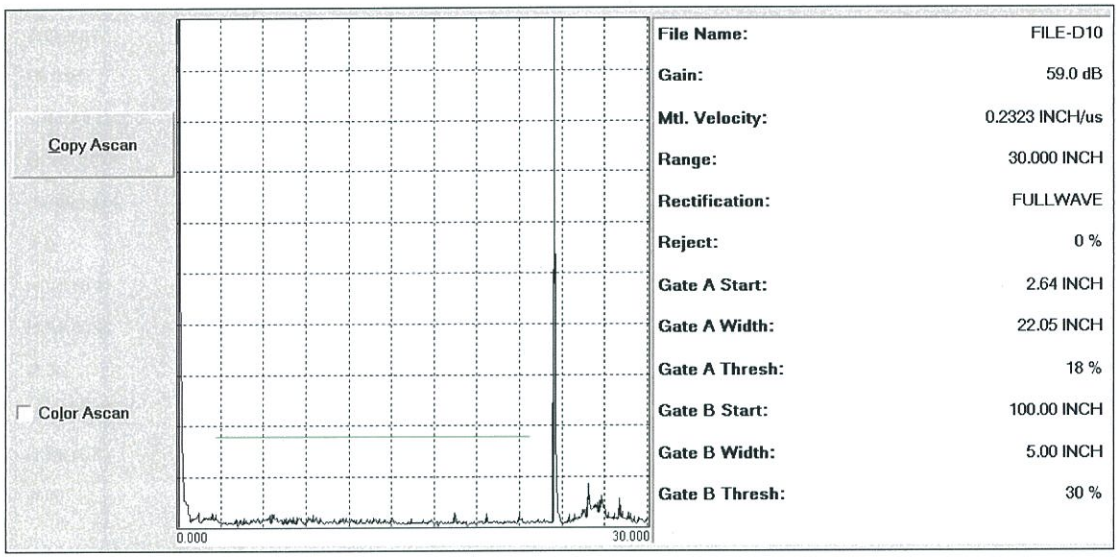

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-D05
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

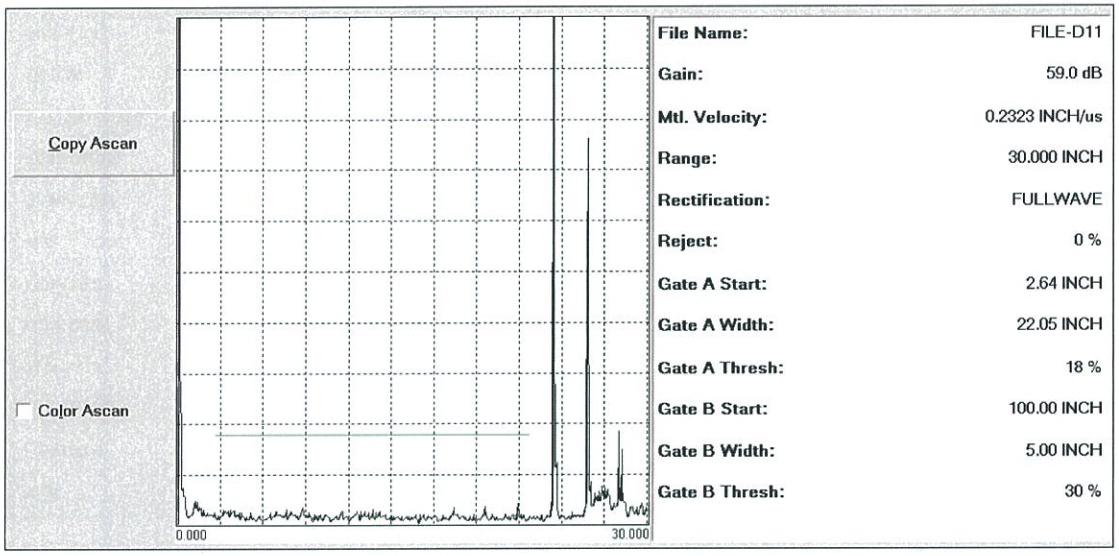

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-D06
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

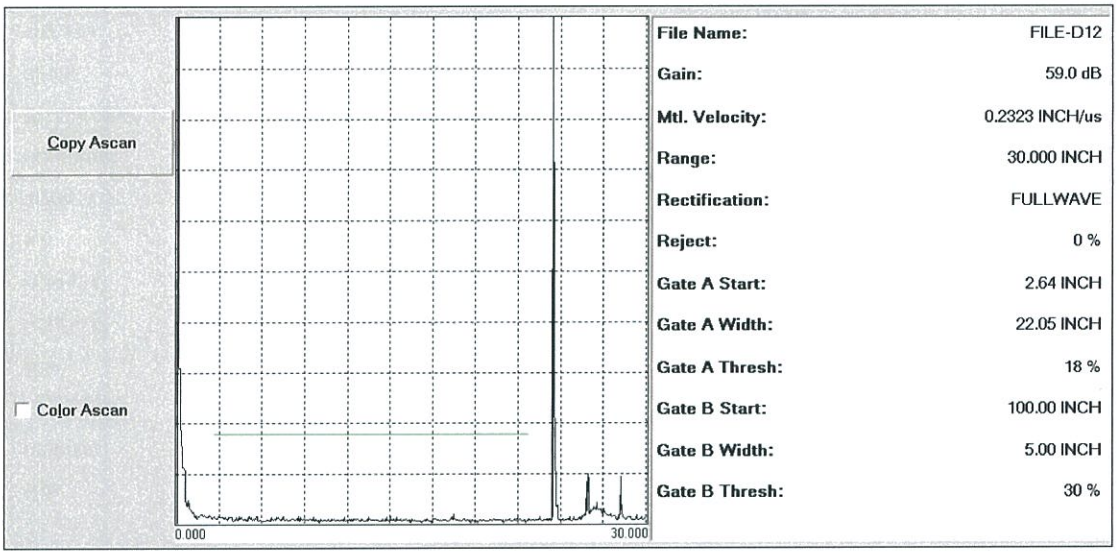

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-D07
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

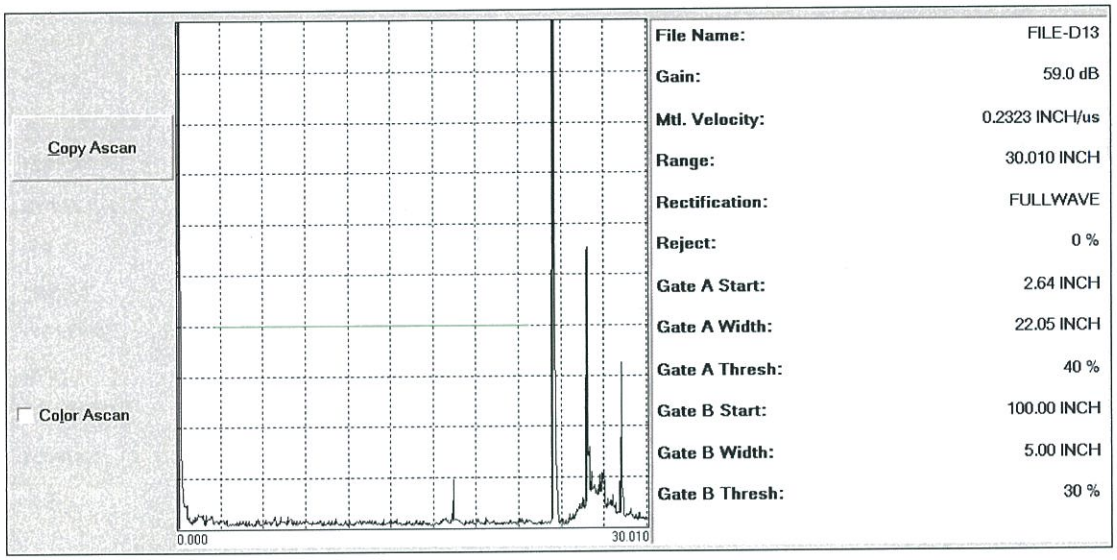

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-D08
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

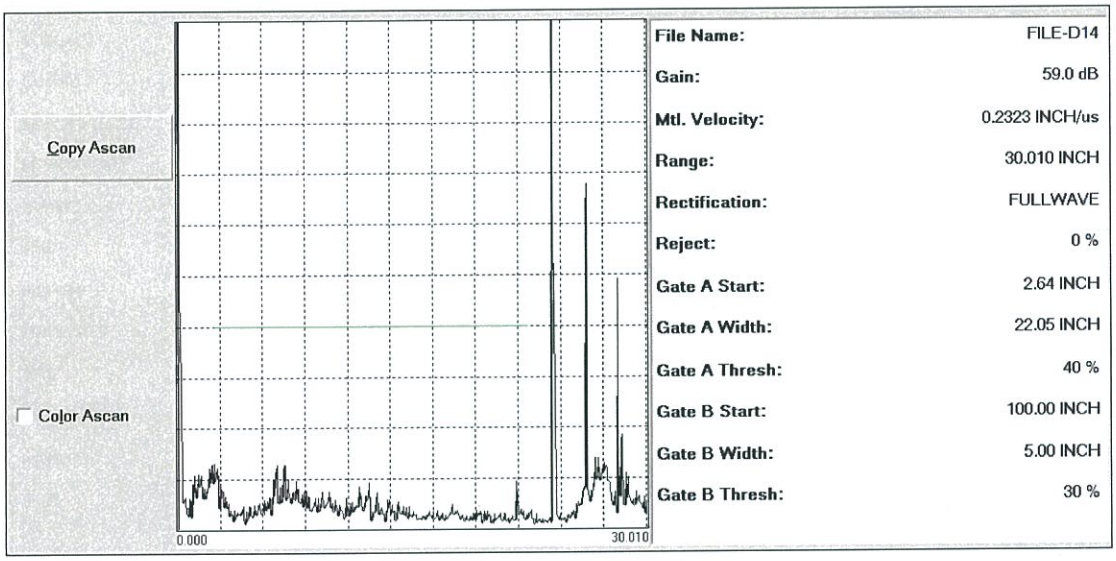

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-D09
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

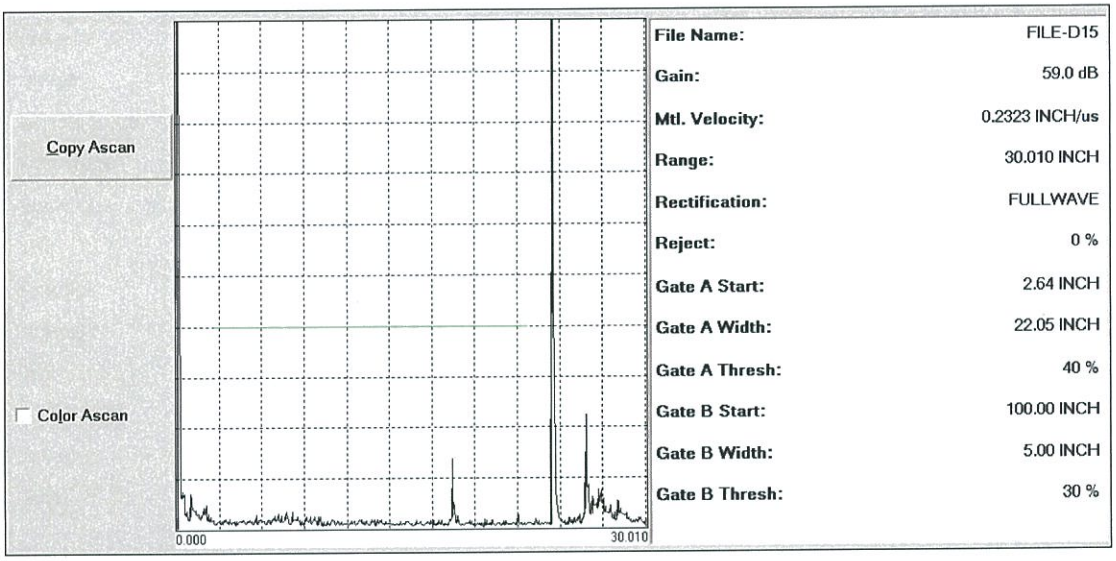

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-D10
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

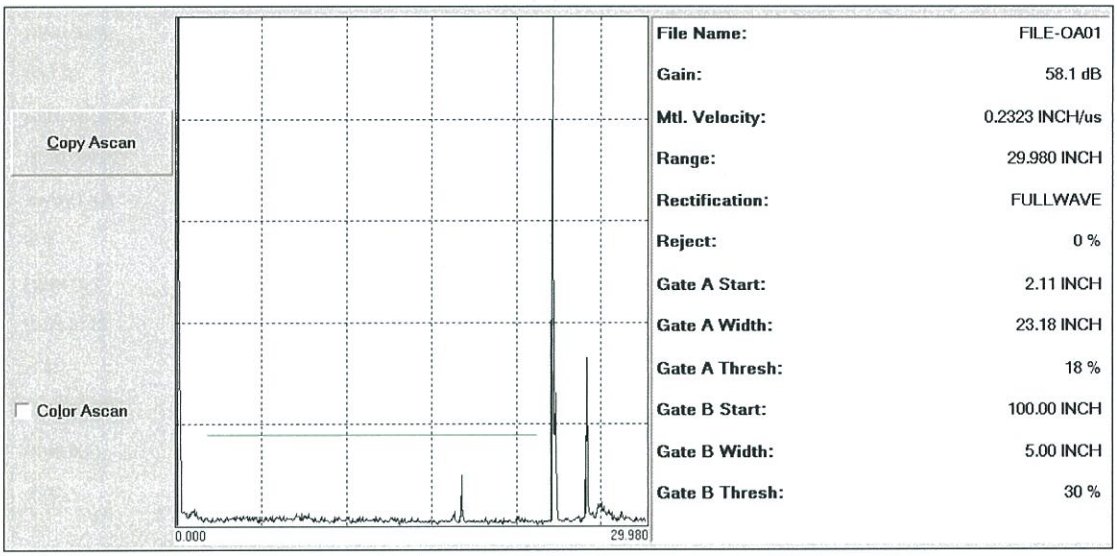

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-D11
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

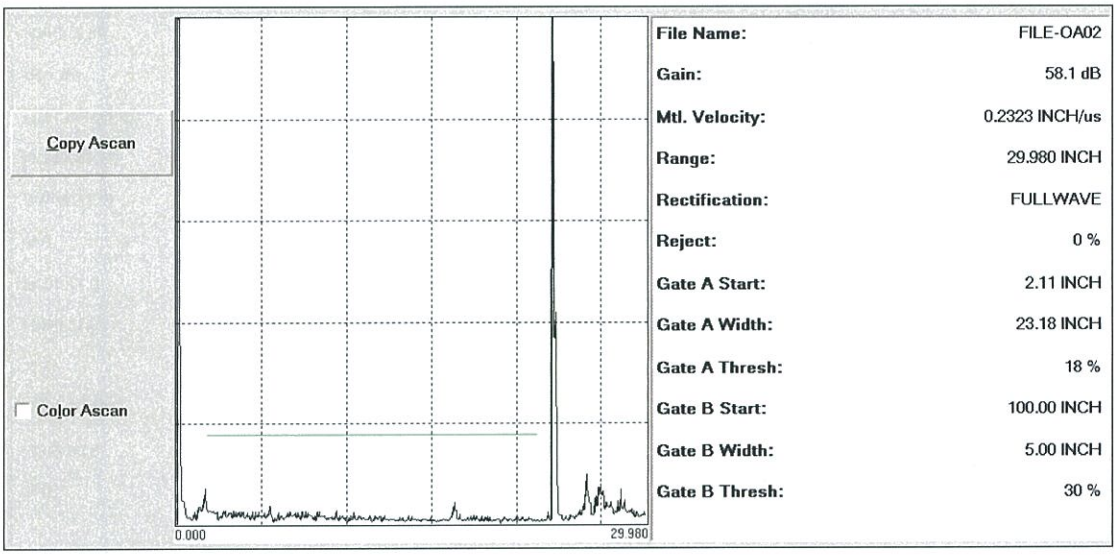

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-D12
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

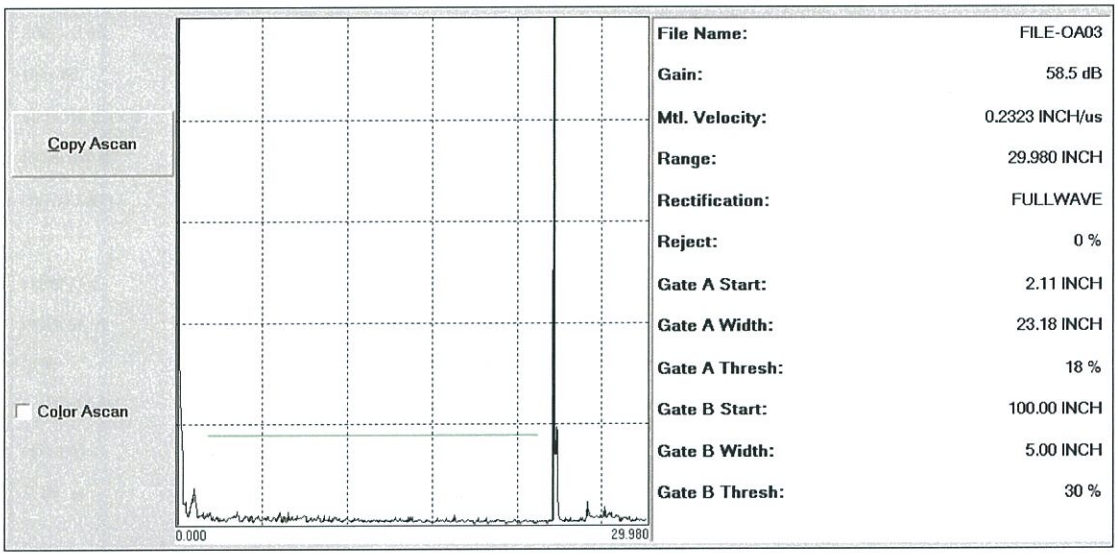

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.010
File Name: FILE-D13
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.010 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 40 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

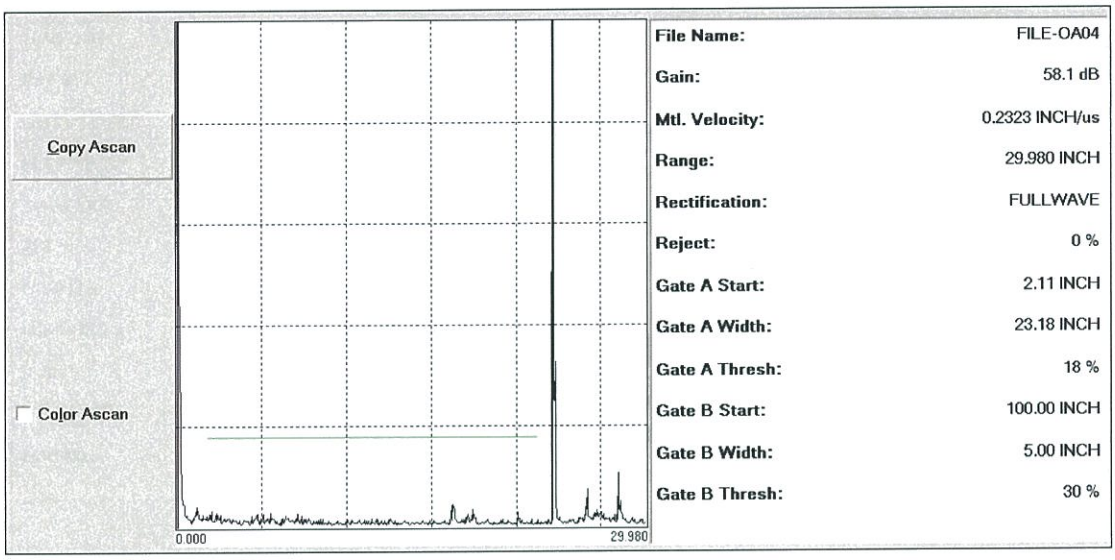

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.010
File Name: FILE-D14
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.010 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 40 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

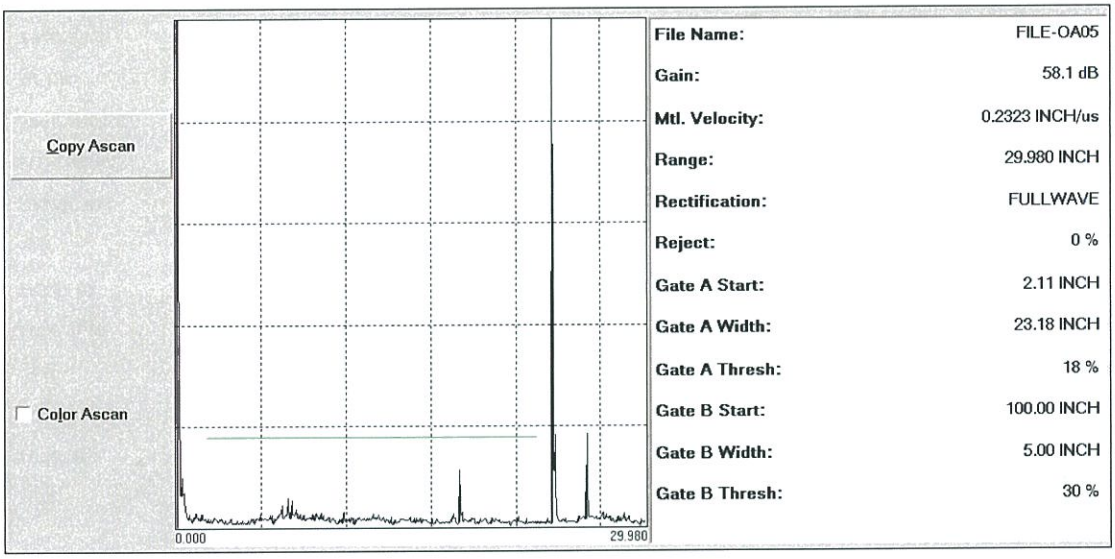

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.010
File Name: FILE-D15
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.010 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 40 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

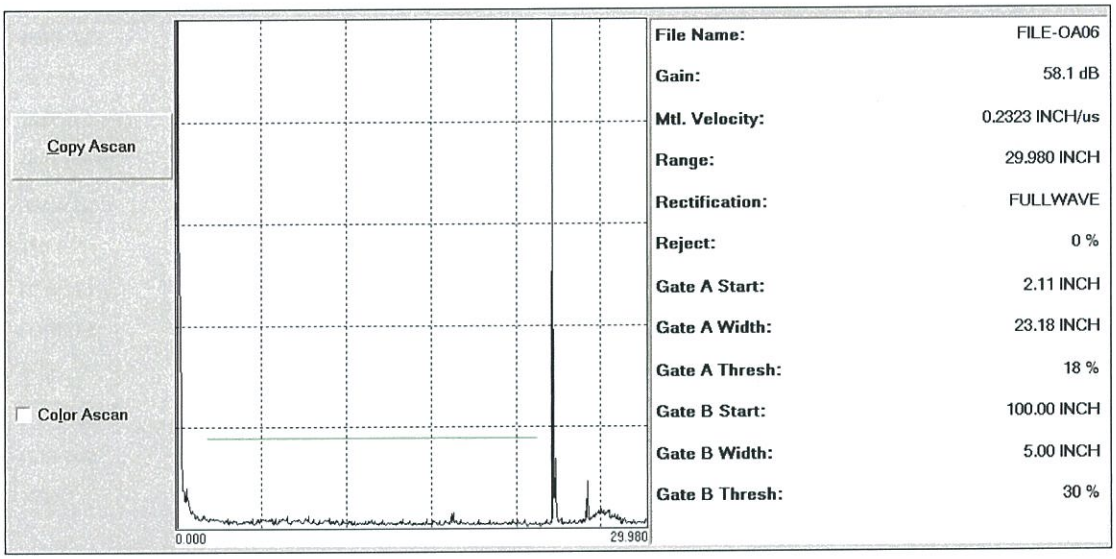

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OA01
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

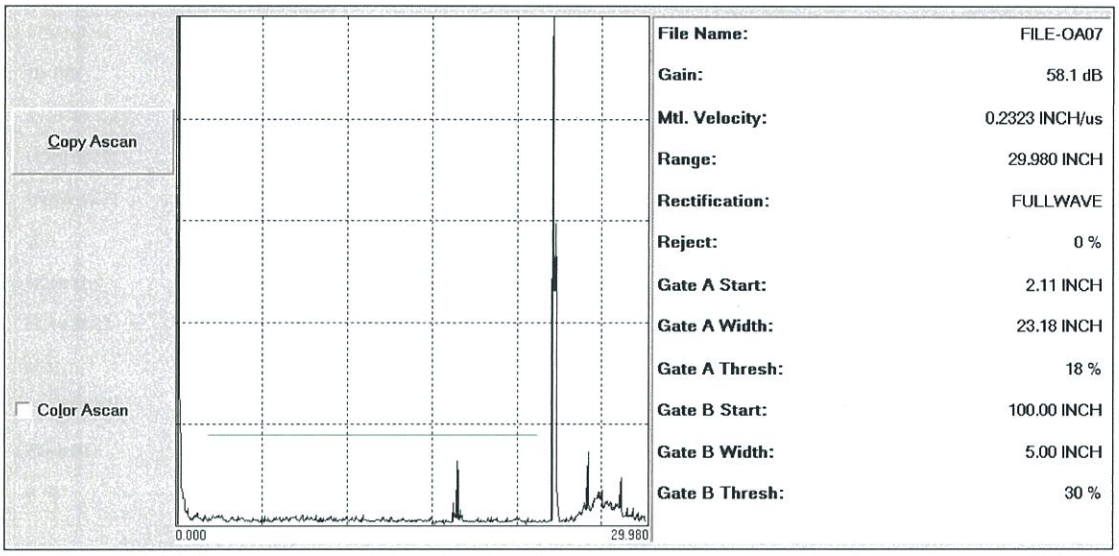

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OA02
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

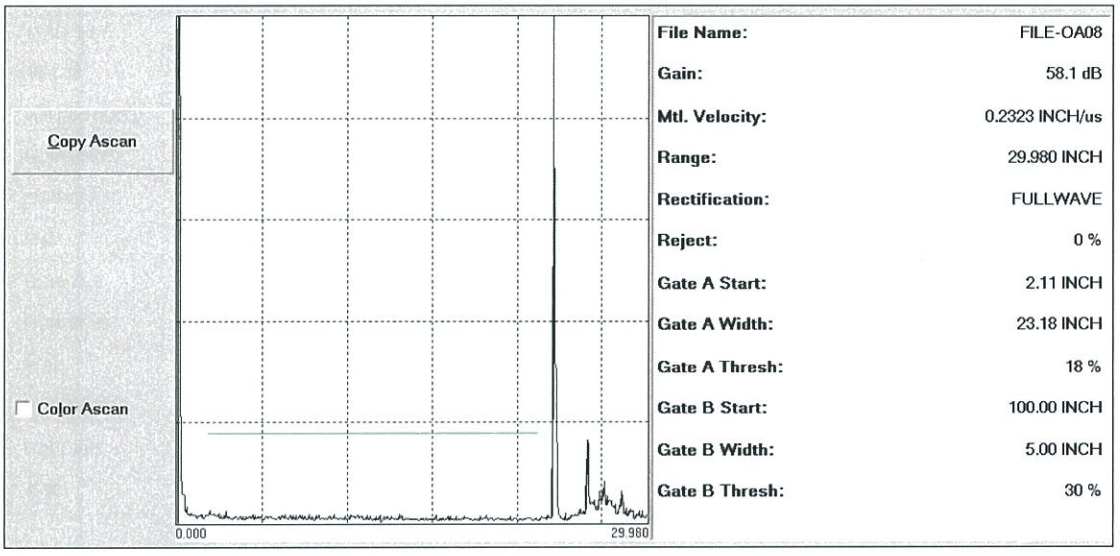

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OA03
Gain: 58.5 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

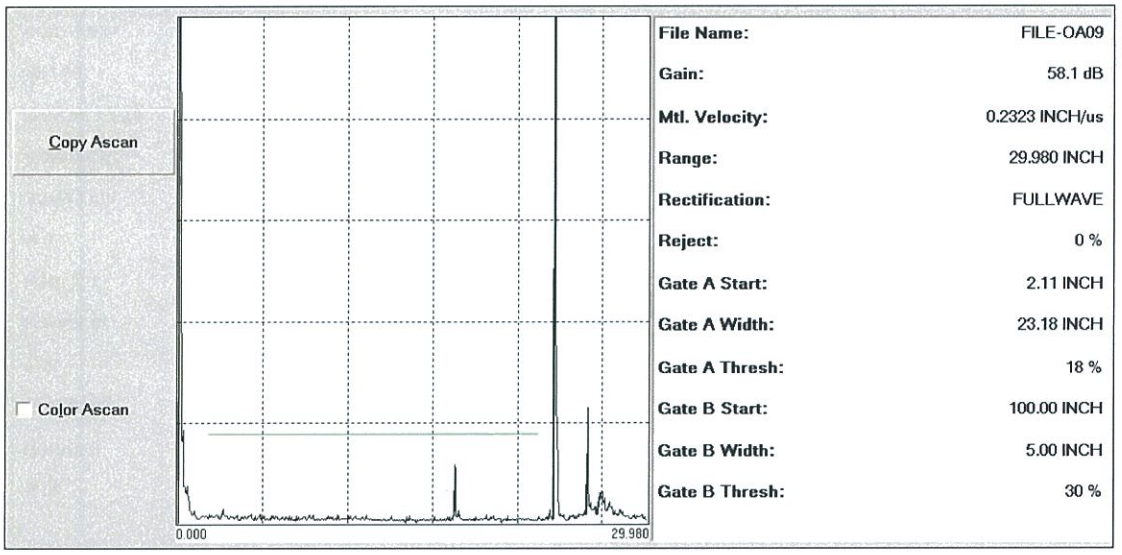

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OA04
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

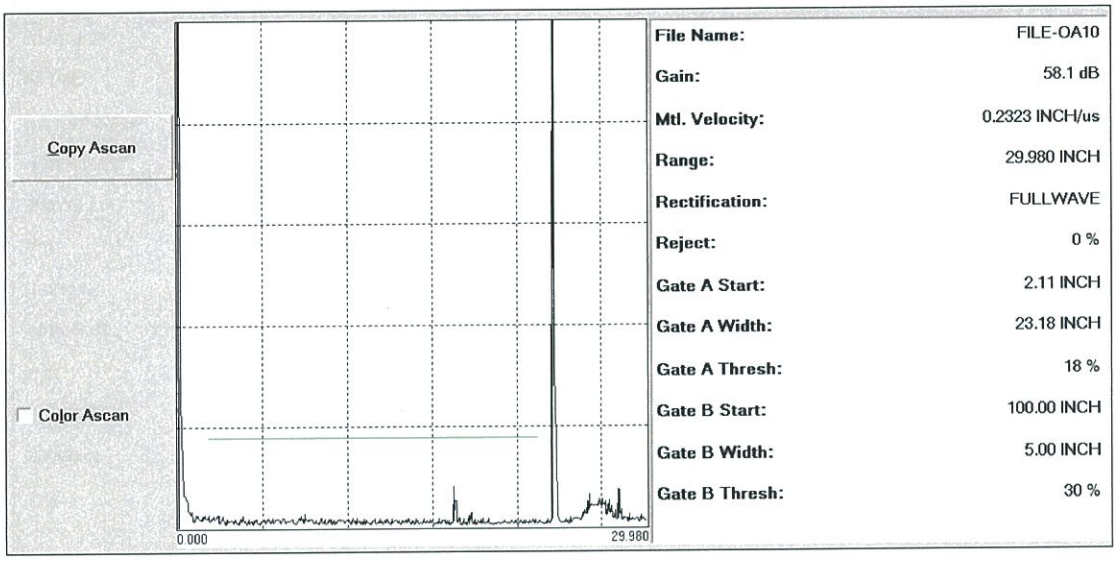

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OA05
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

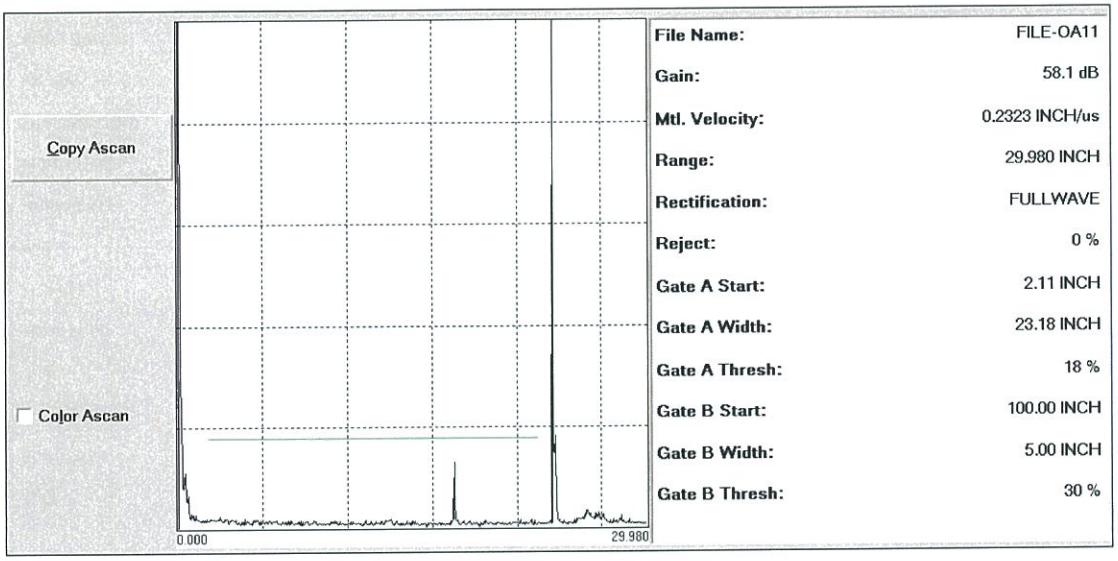

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OA06
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

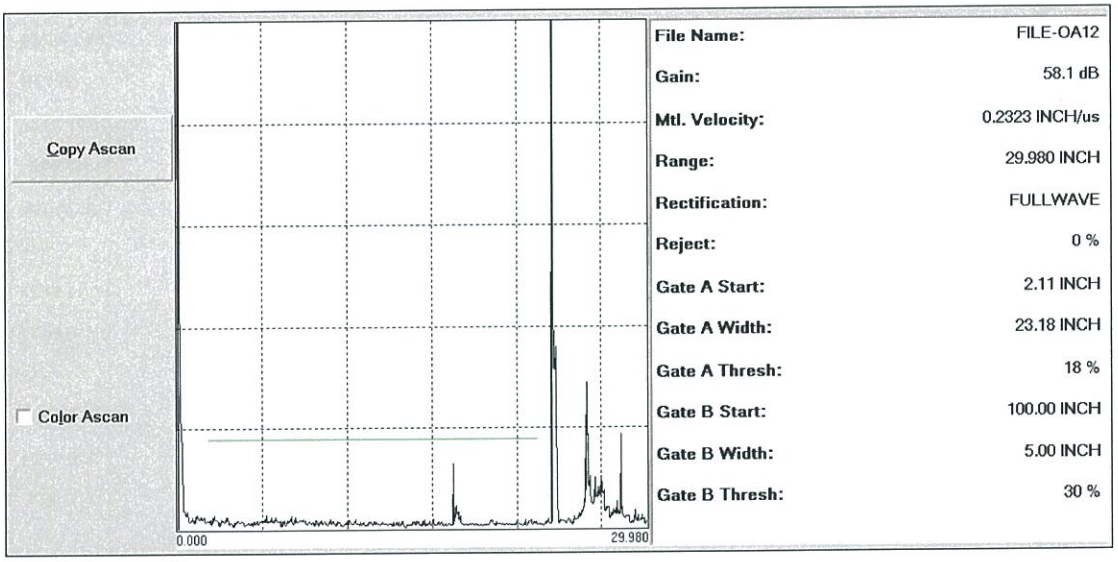

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OA07
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

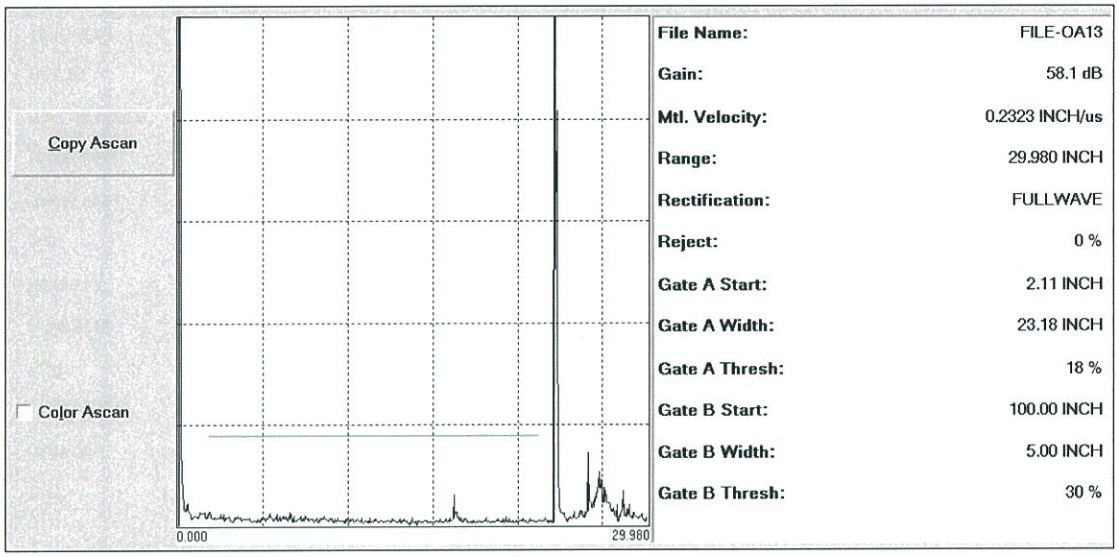

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OA08
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

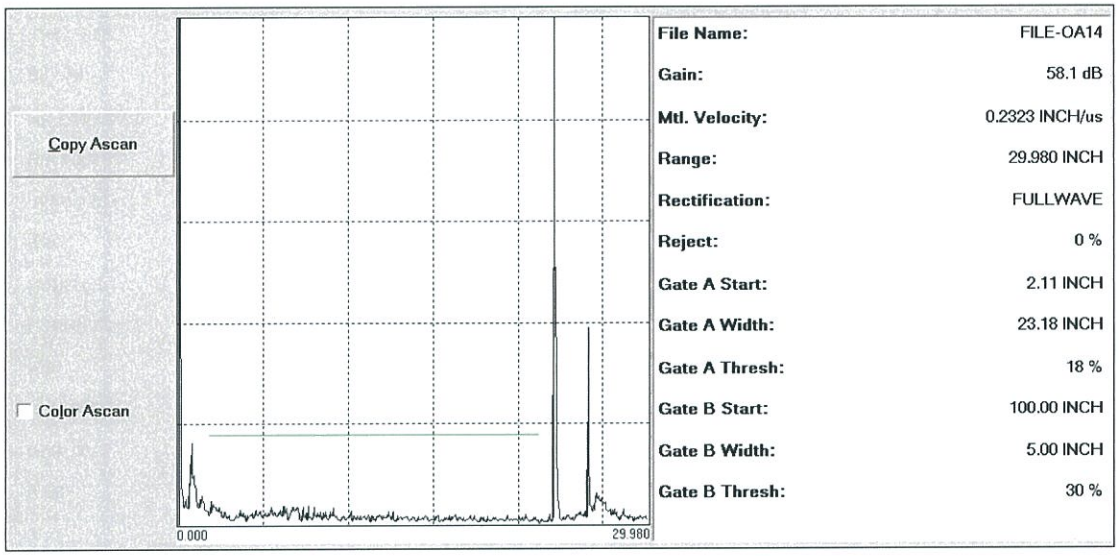

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OA09
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

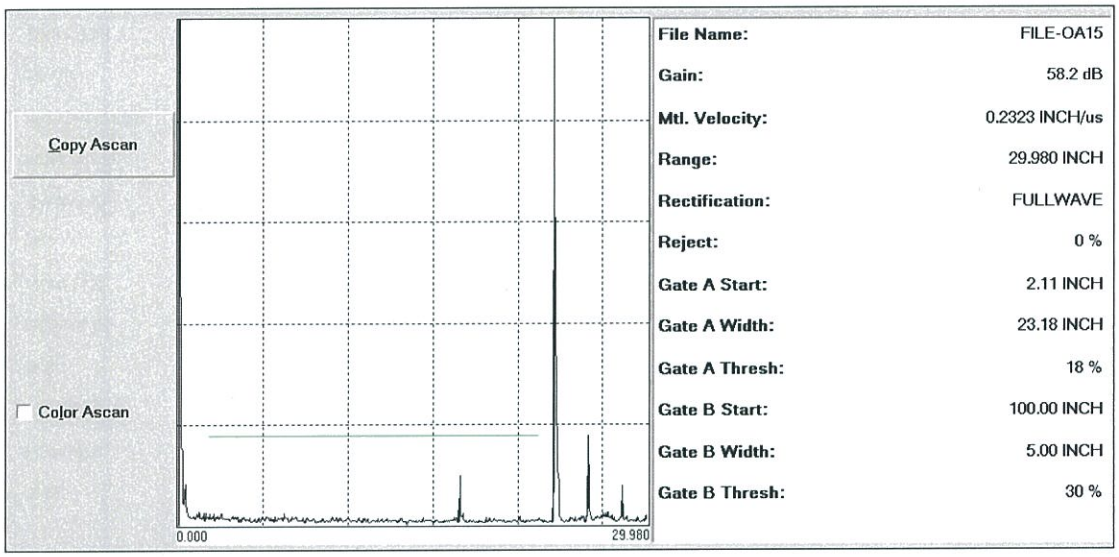

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OA10
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

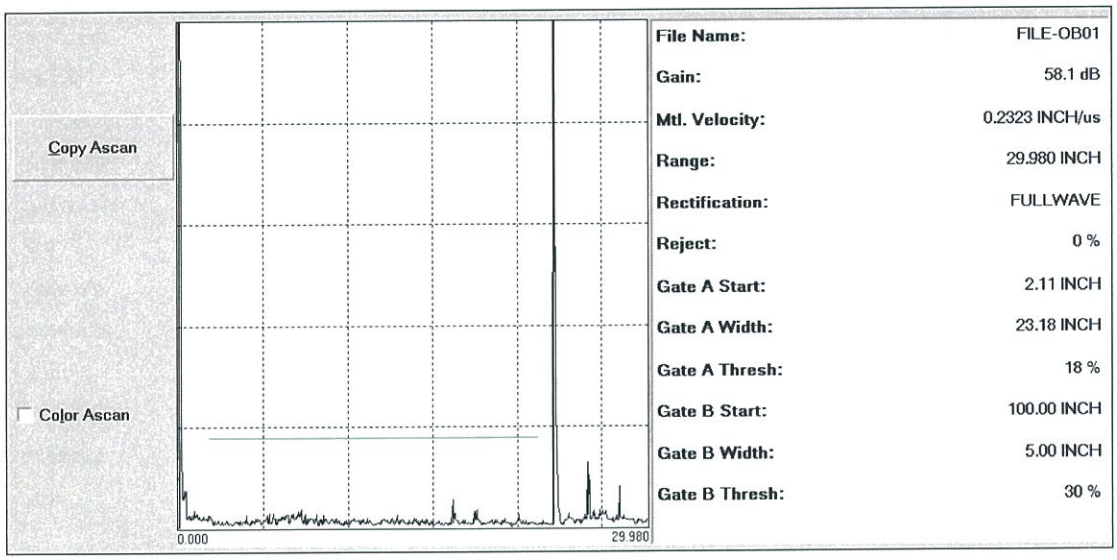

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OA11
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

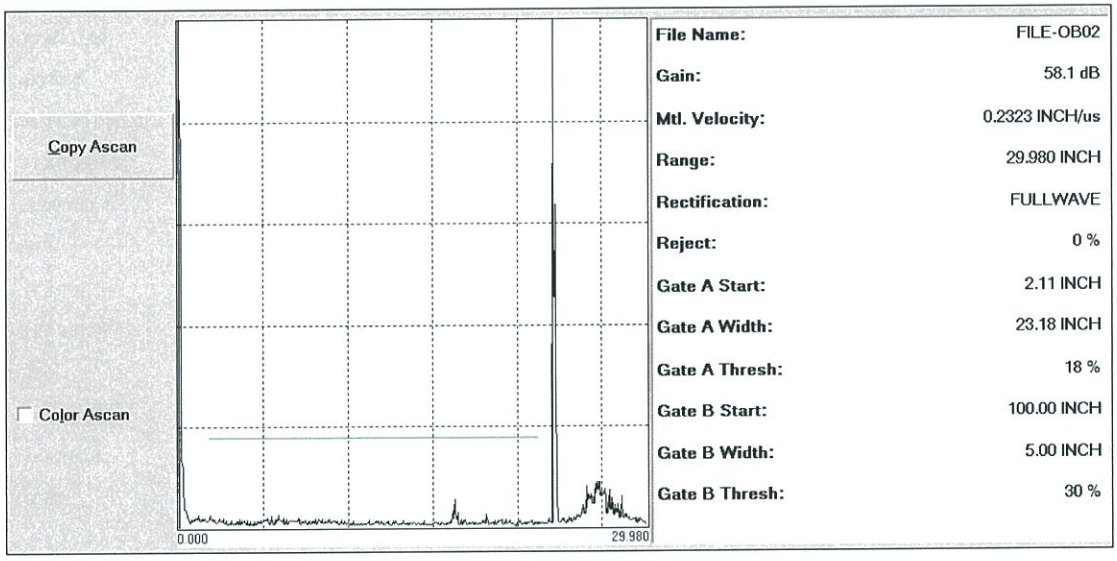

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OA12
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

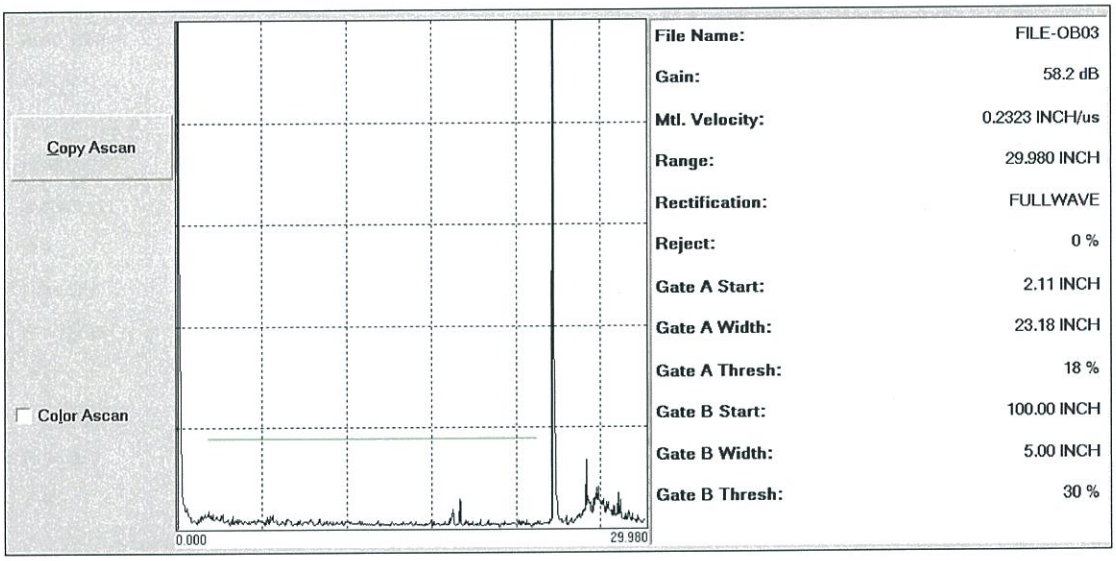

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OA13
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

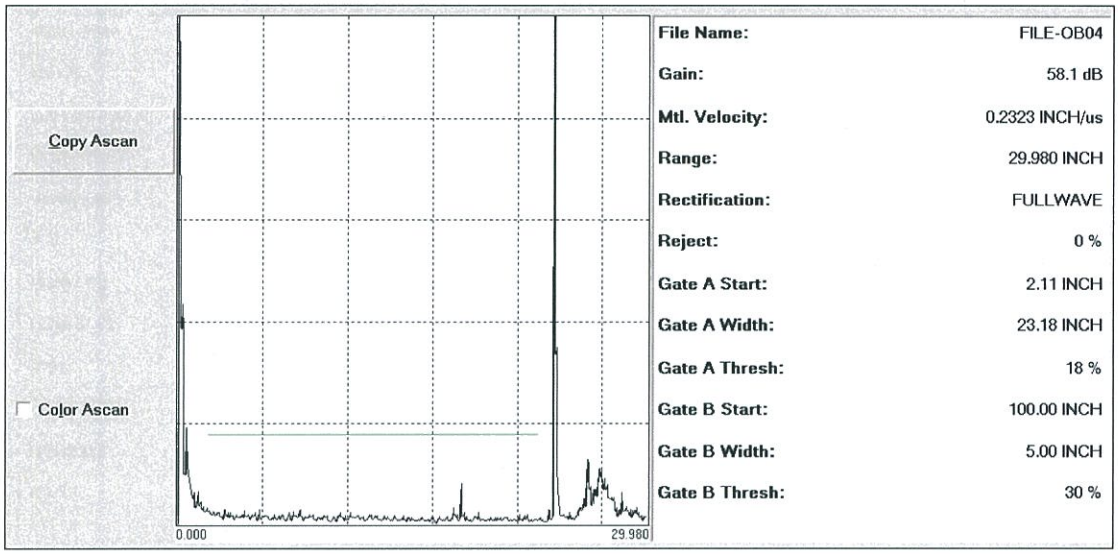

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OA14
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

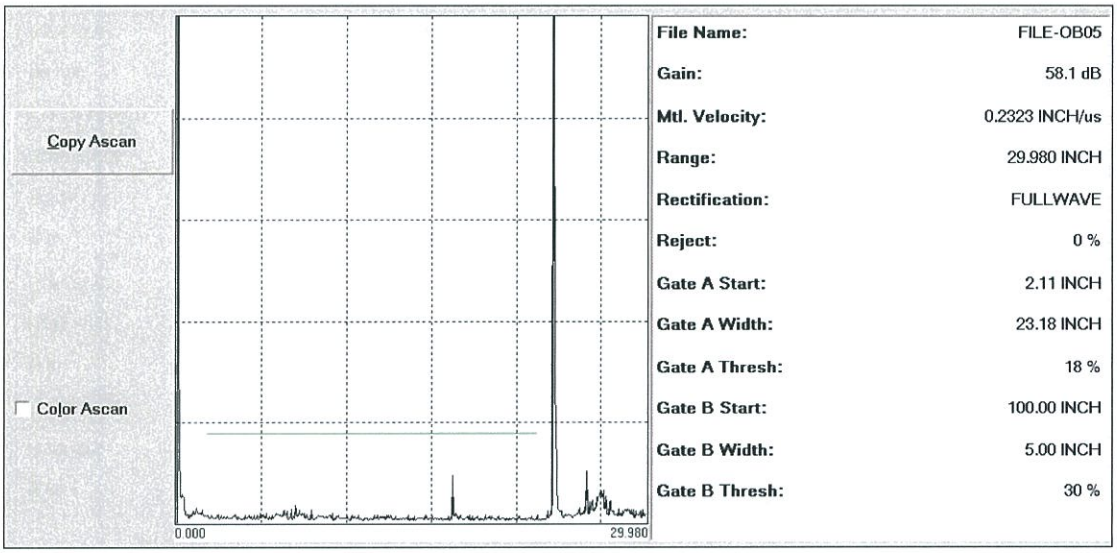

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OA15
Gain: 58.2 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

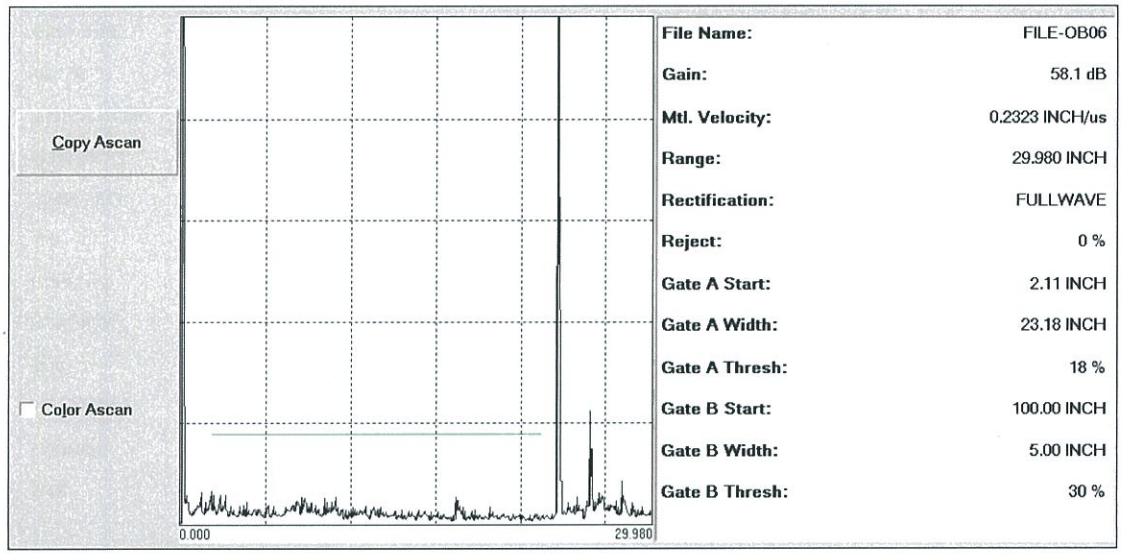

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OB01
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

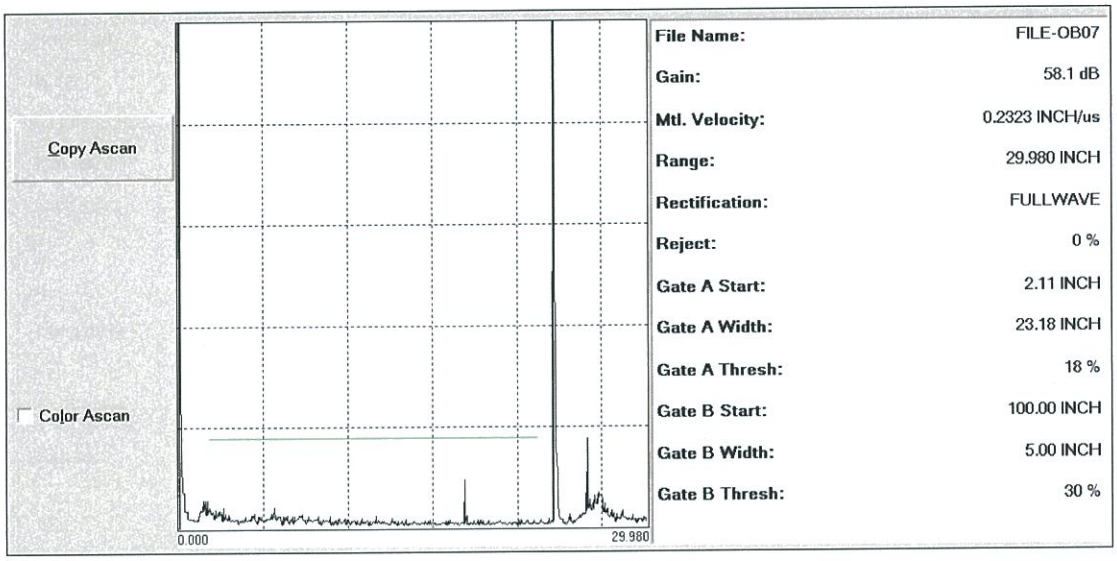

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OB02
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

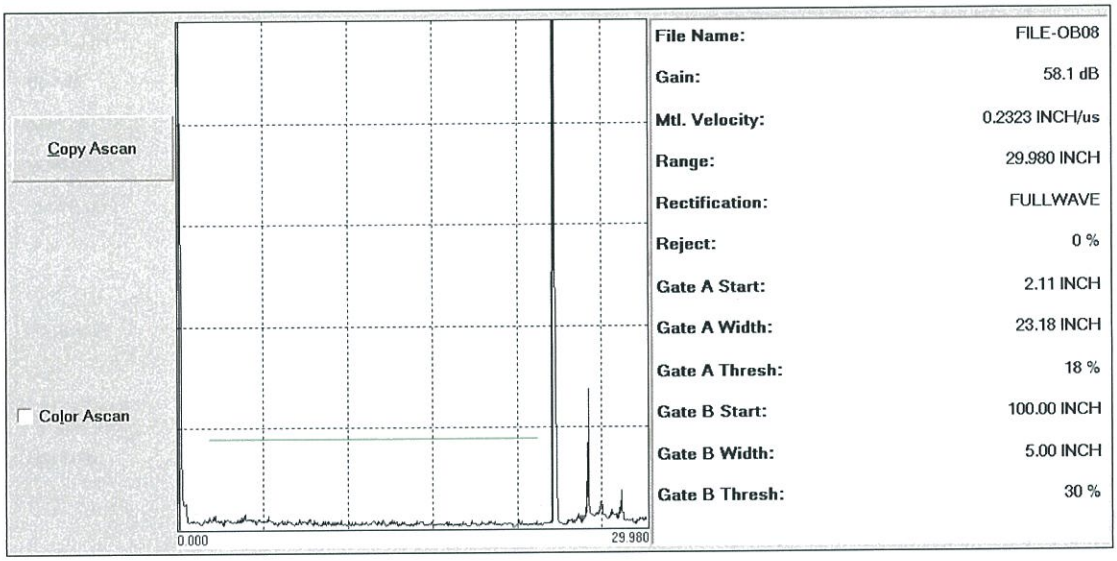

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OB03
Gain: 58.2 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

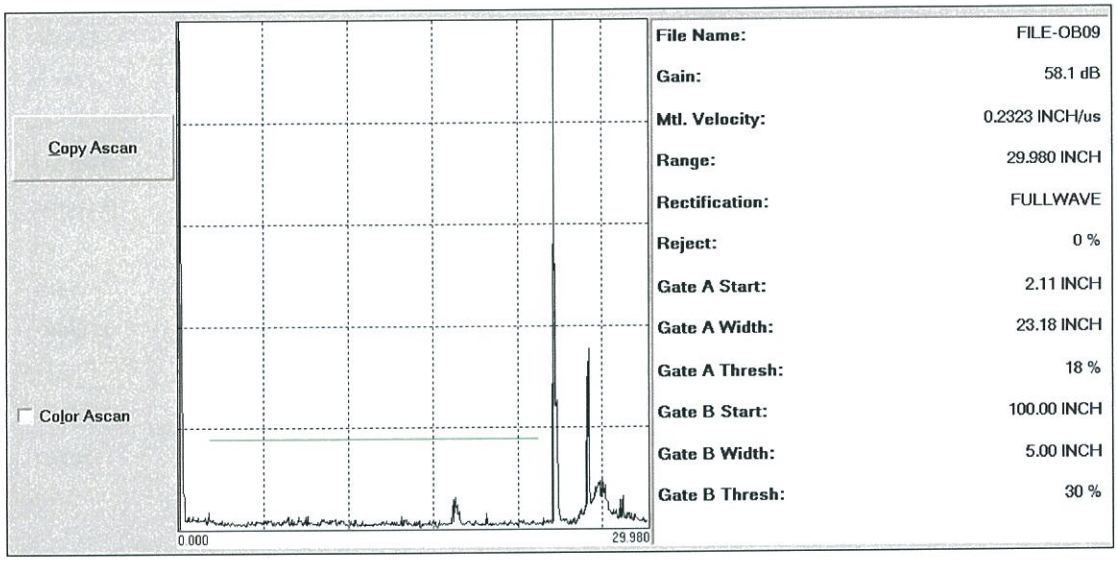

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OB04
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

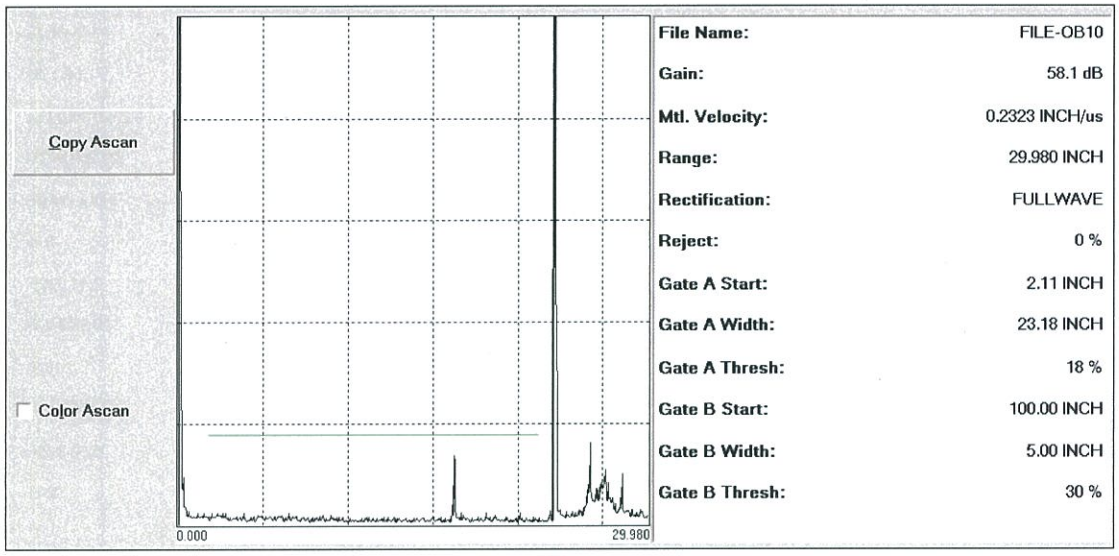

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OB05
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

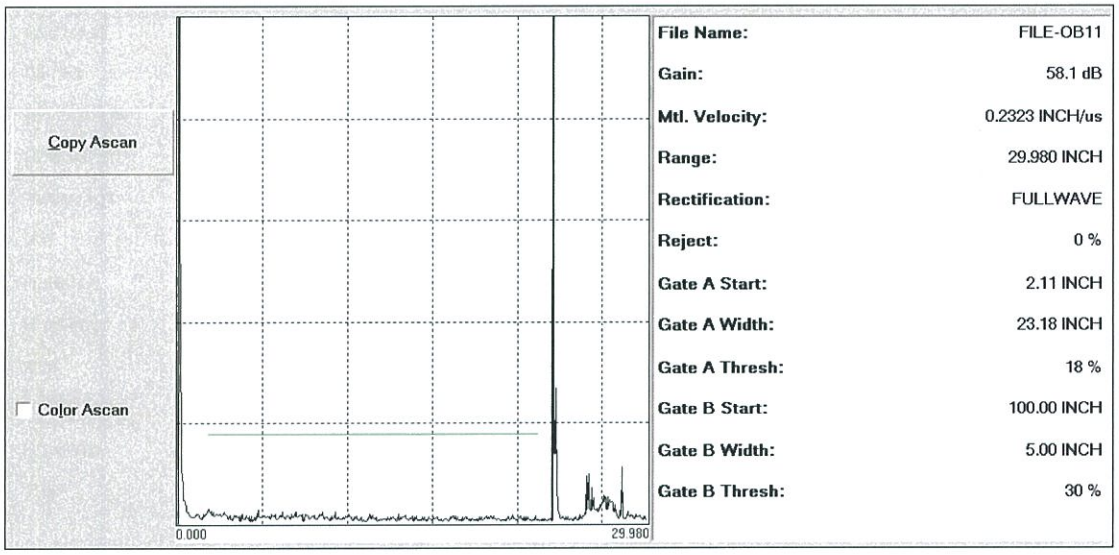

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OB06
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

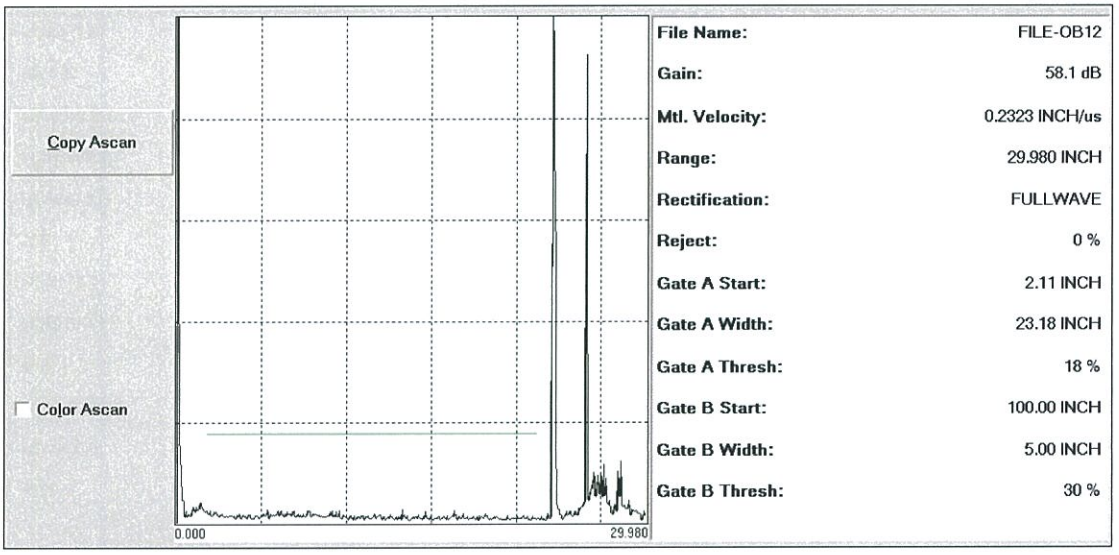

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OB07
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

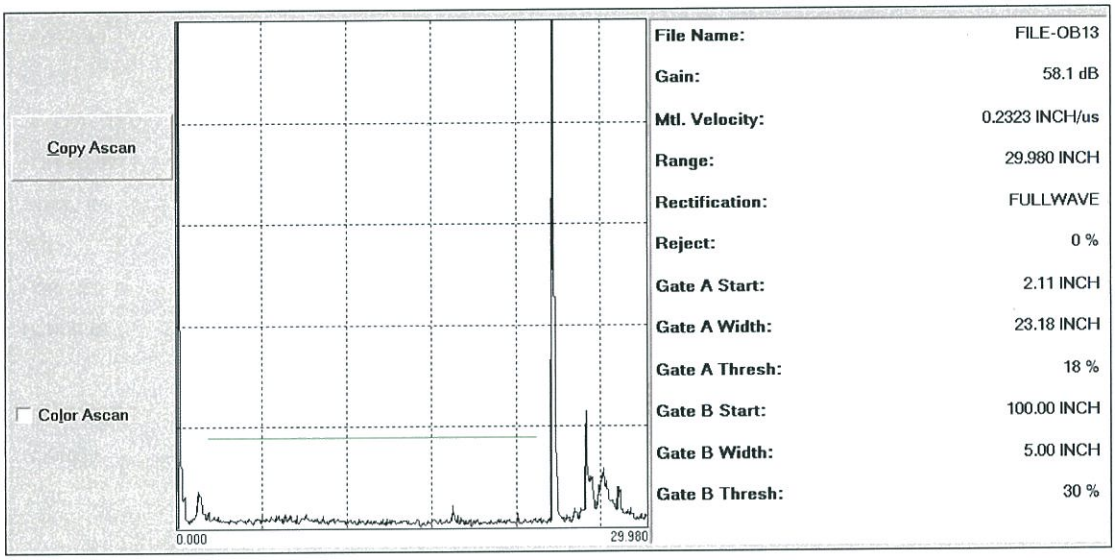

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OB08
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

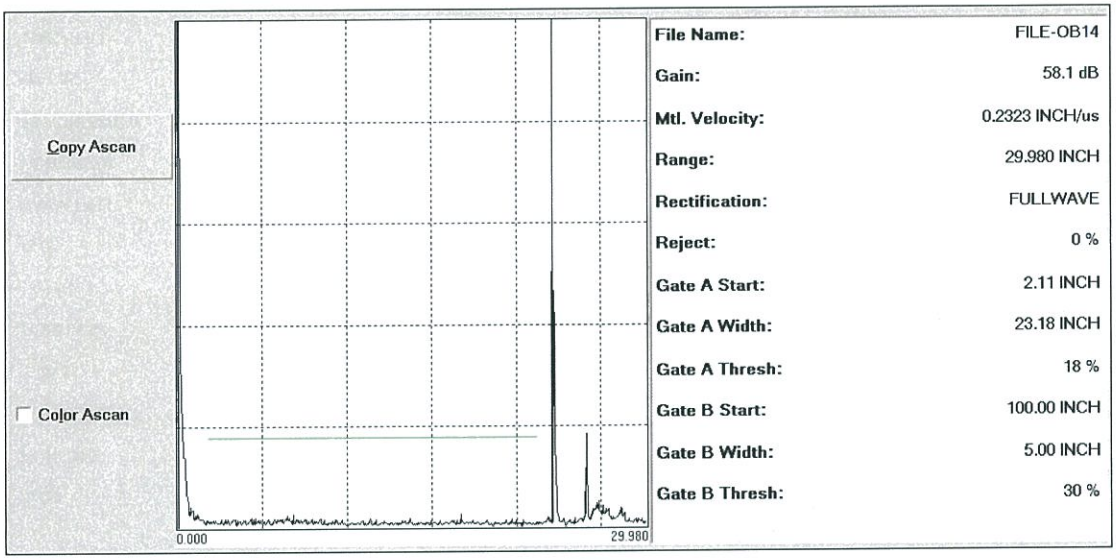

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OB09
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

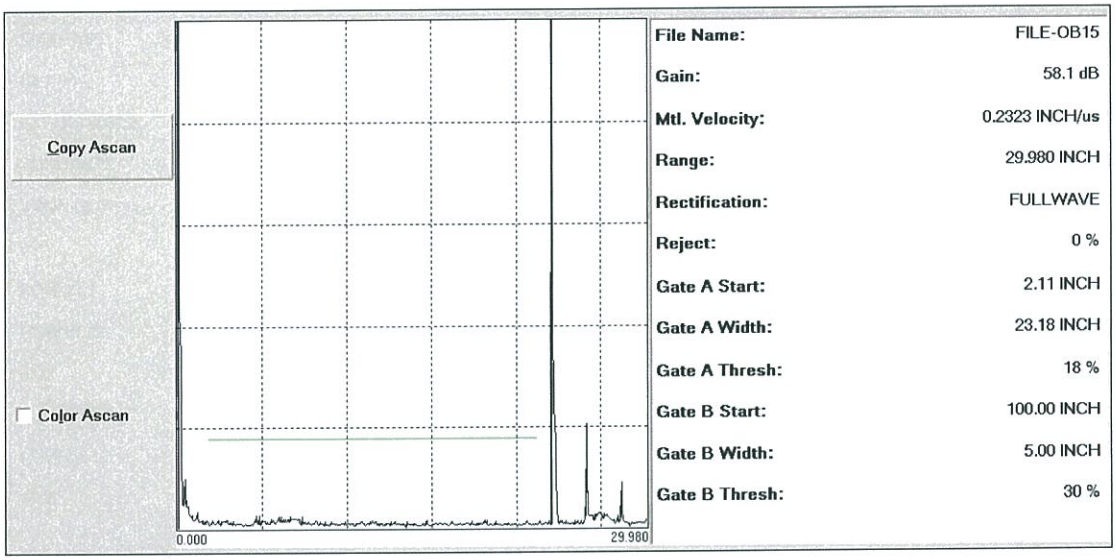

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OB10
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

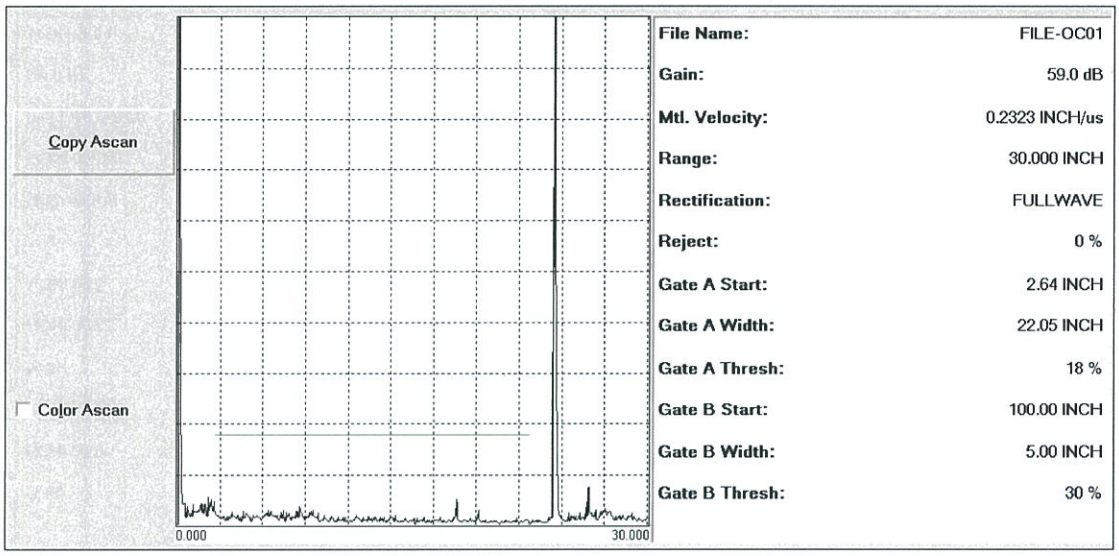

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OB11
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

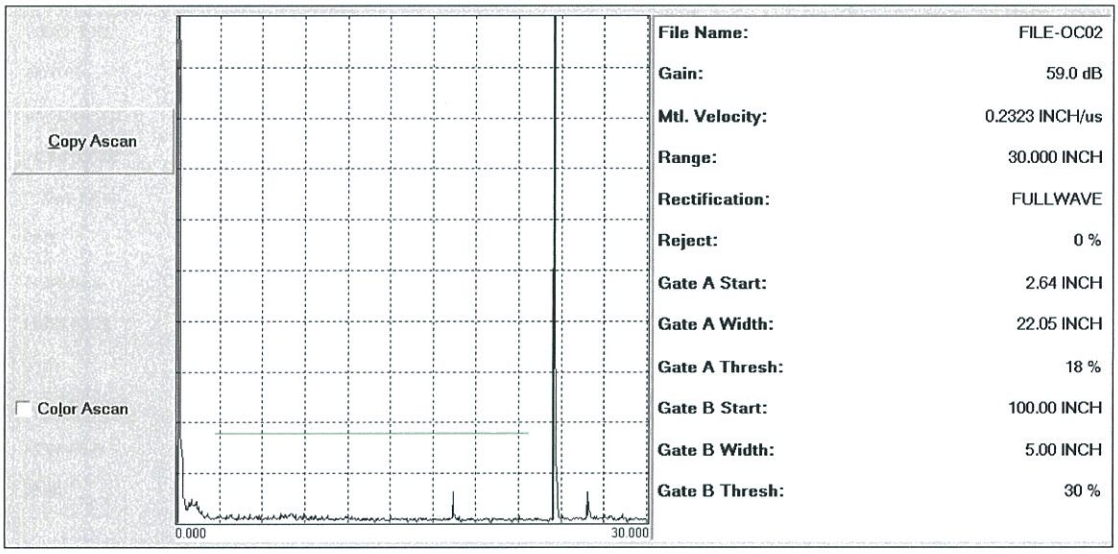

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OB12
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

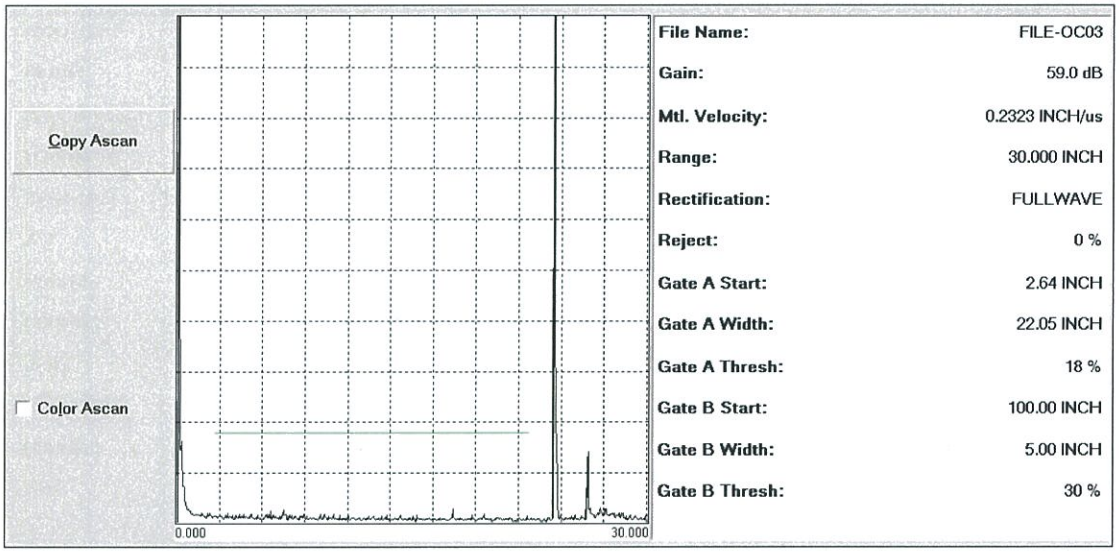

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OB13
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

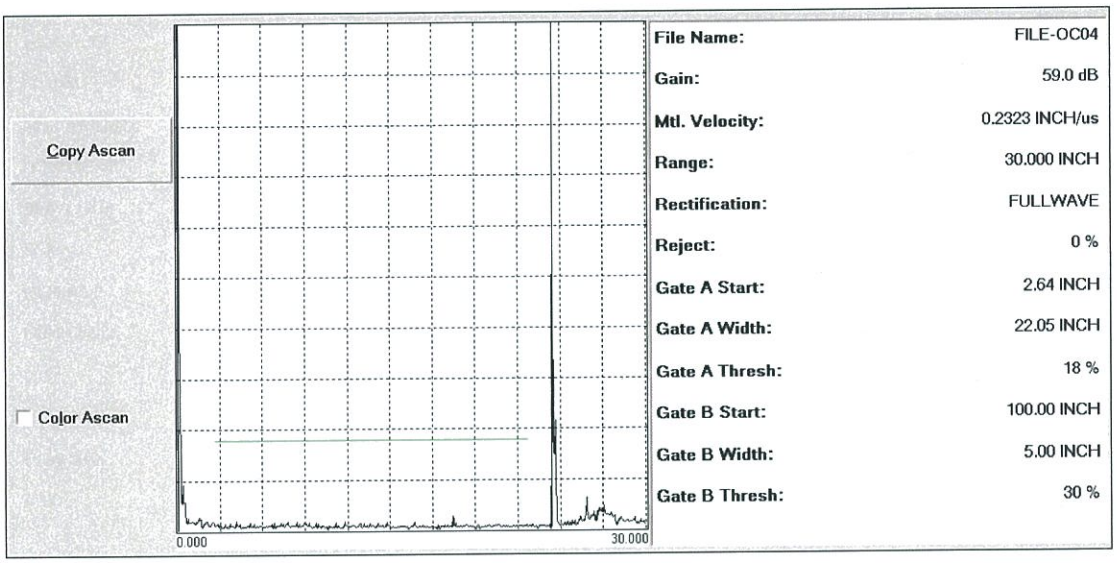

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OB14
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

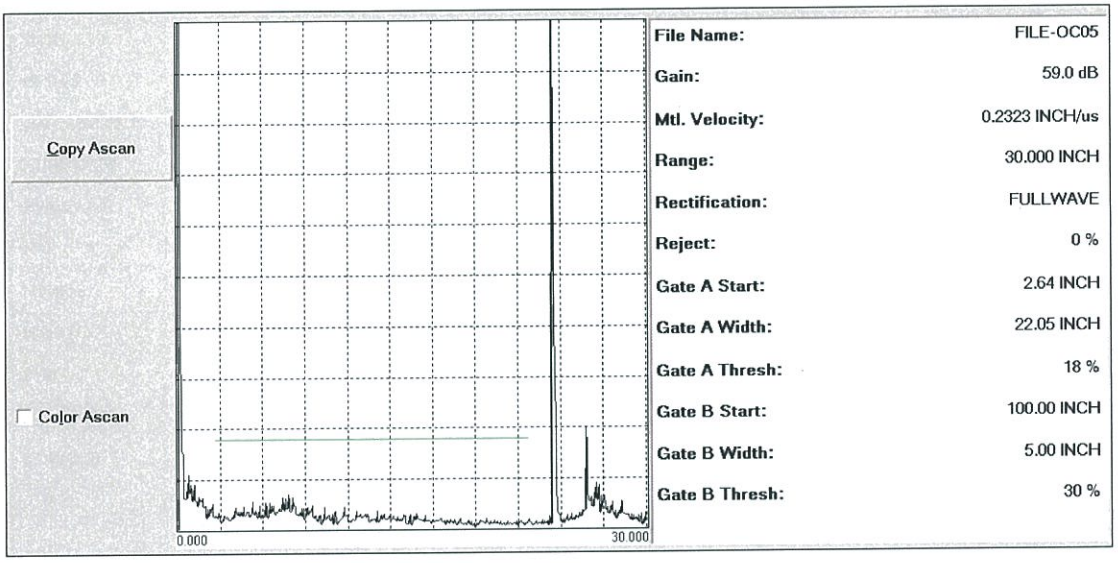

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
29.980
File Name: FILE-OB15
Gain: 58.1 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 29.980 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.11 INCH
Gate A Width: 23.18 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

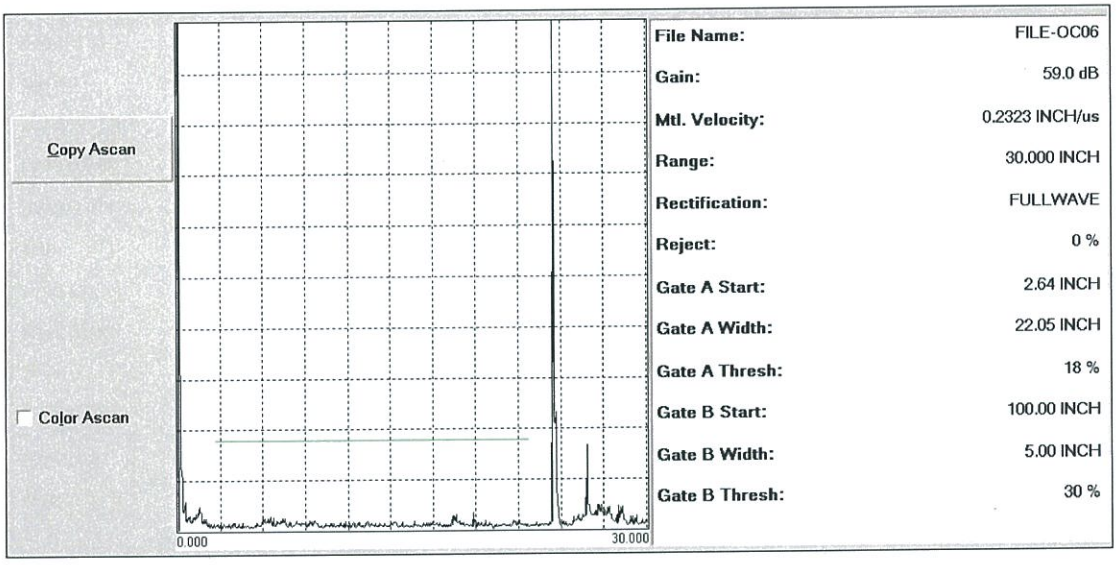

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OC01
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

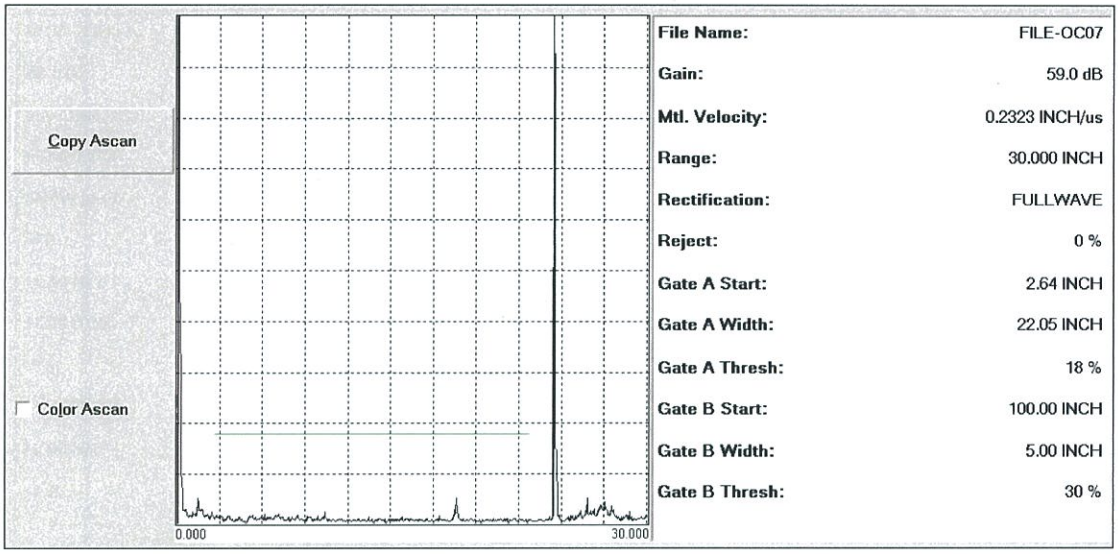

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OC02
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

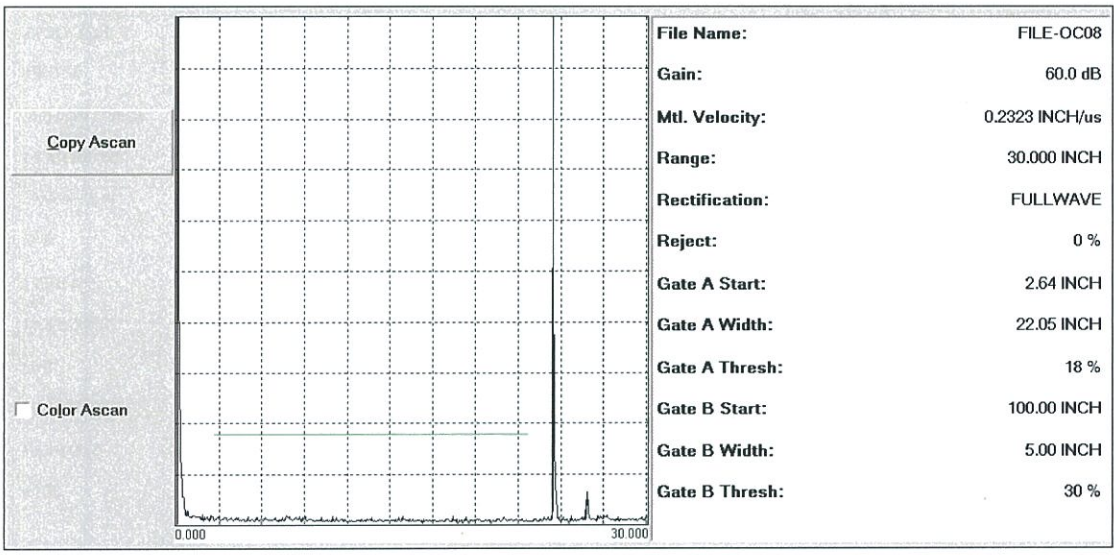

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OC03
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

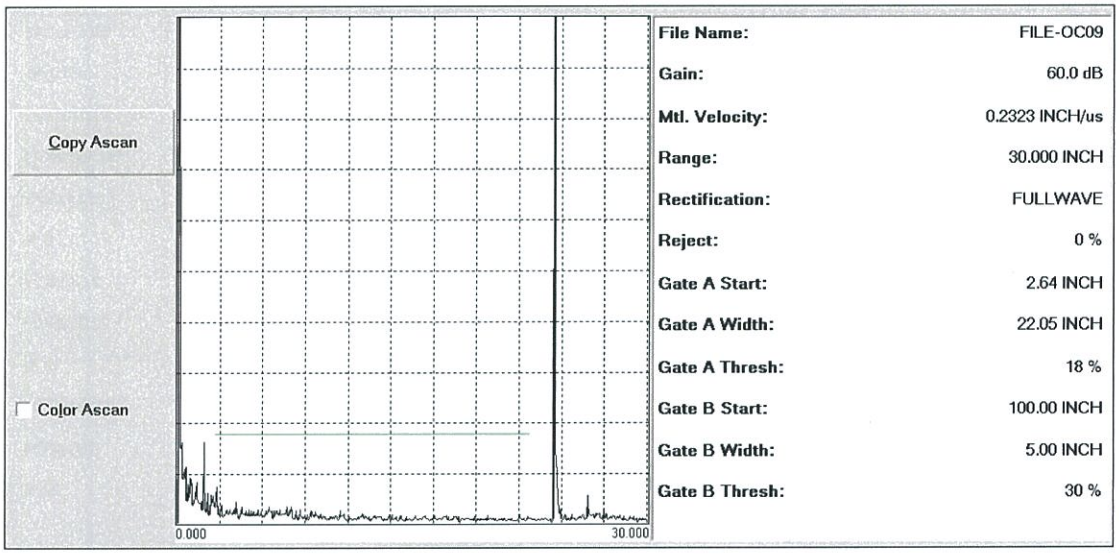

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OC04
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

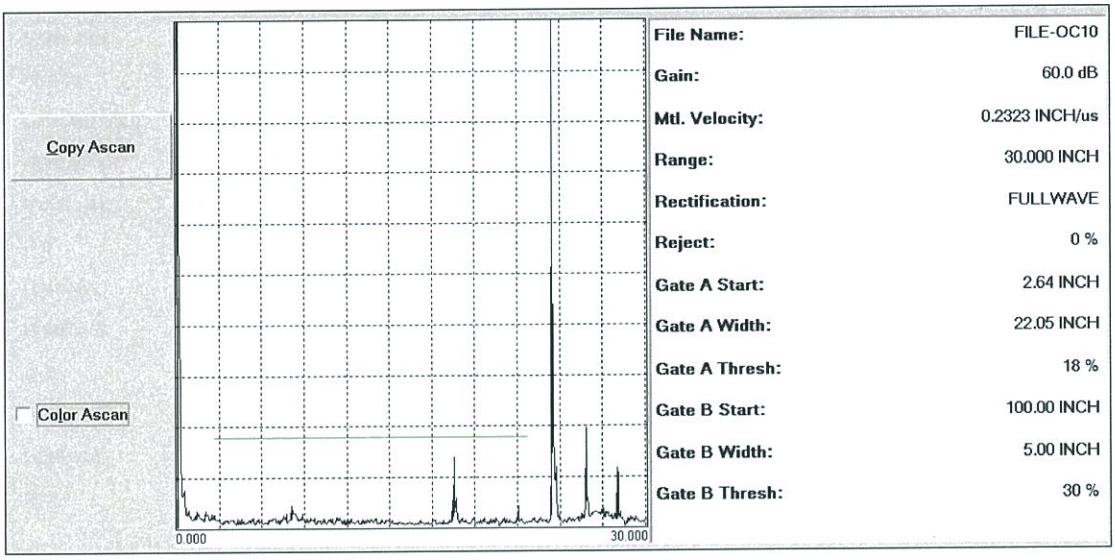

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OC05
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

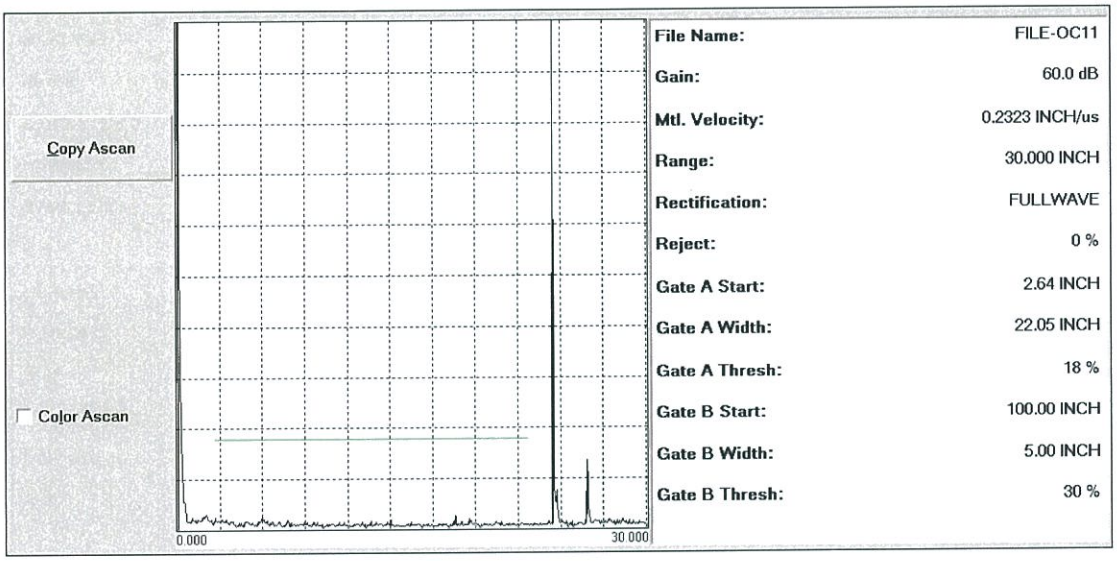

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OC06
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

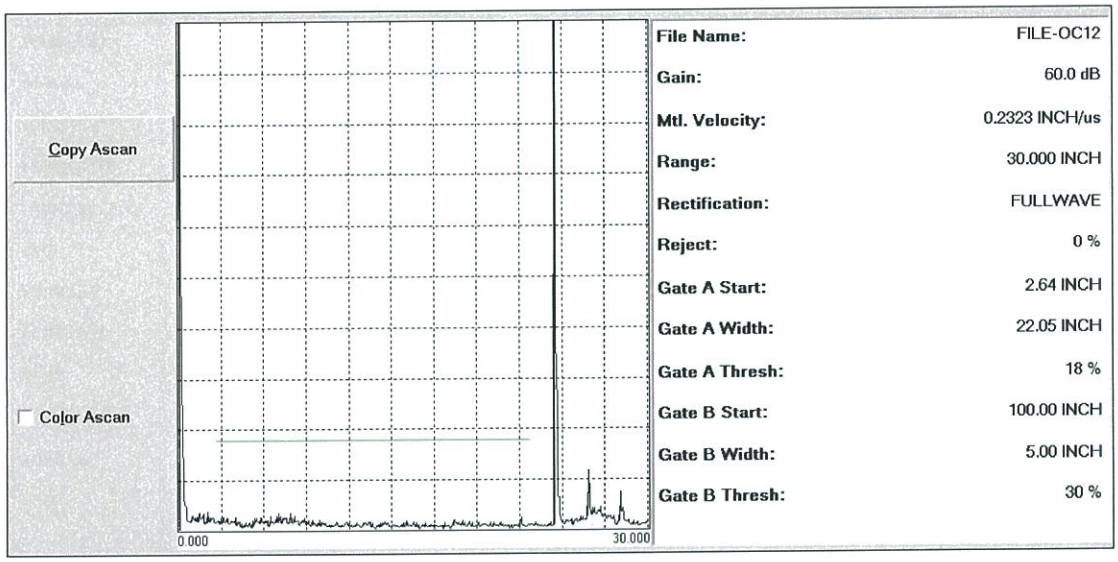

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OC07
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

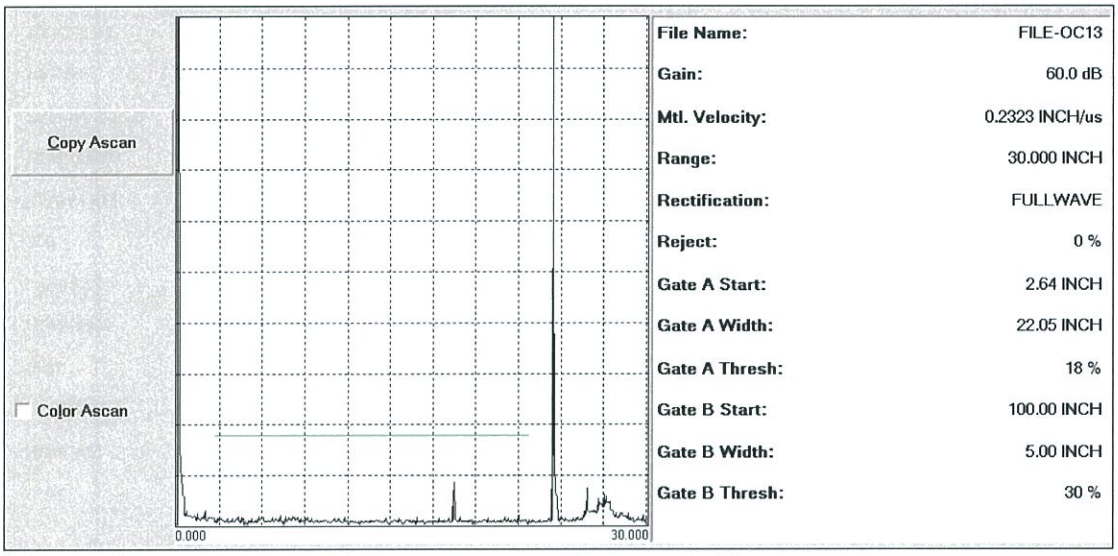

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OC08
Gain: 60.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

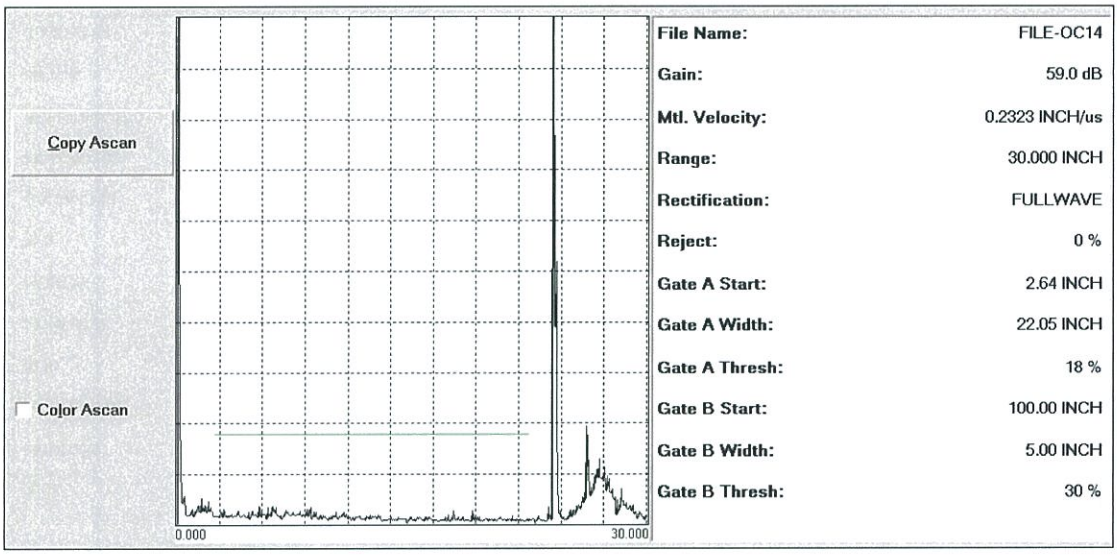

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OC09
Gain: 60.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

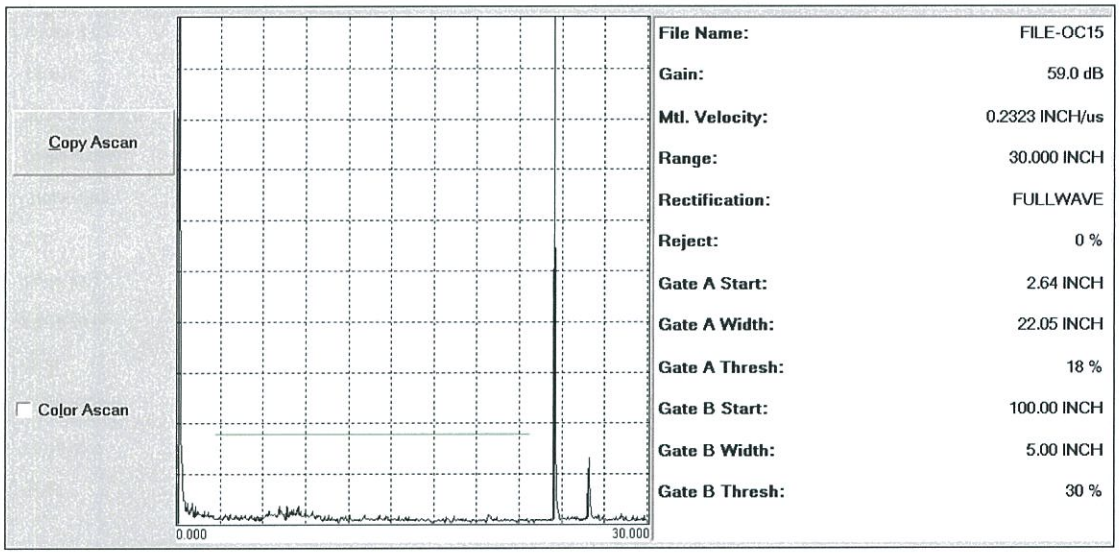

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OC10
Gain: 60.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

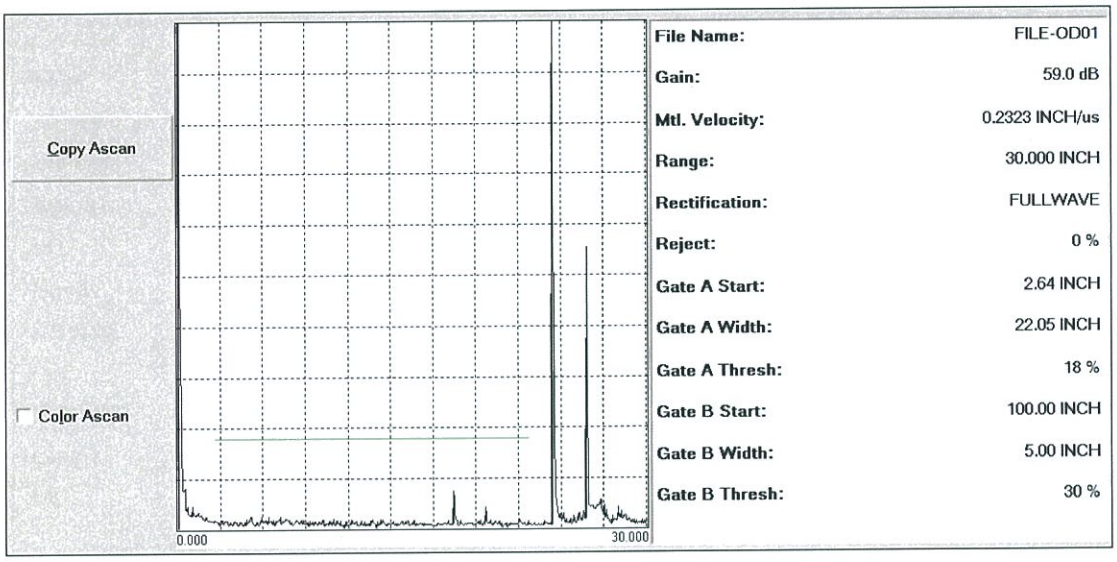

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OC11
Gain: 60.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

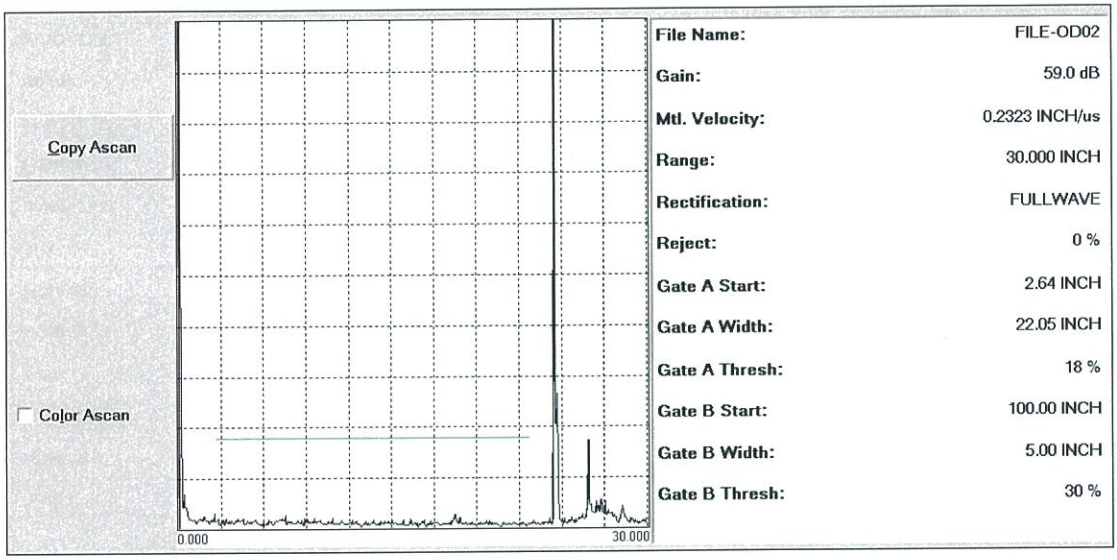

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OC12
Gain: 60.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

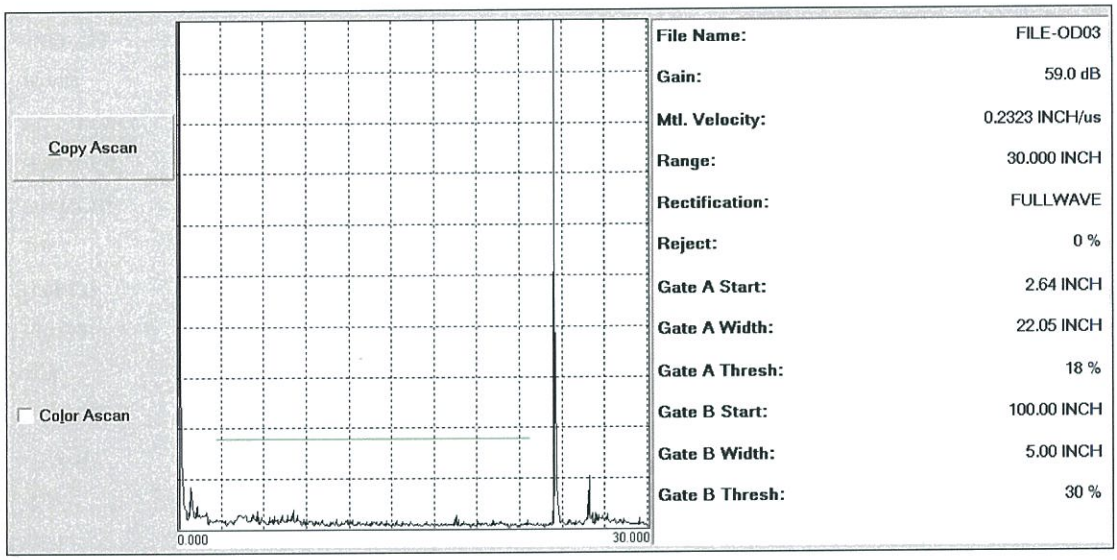

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OC13
Gain: 60.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

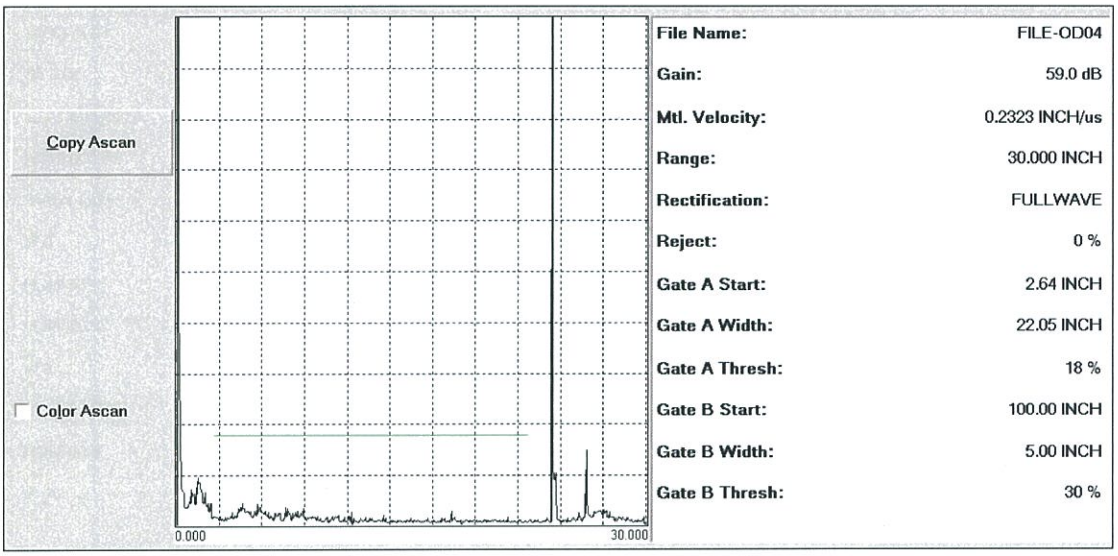

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OC14
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

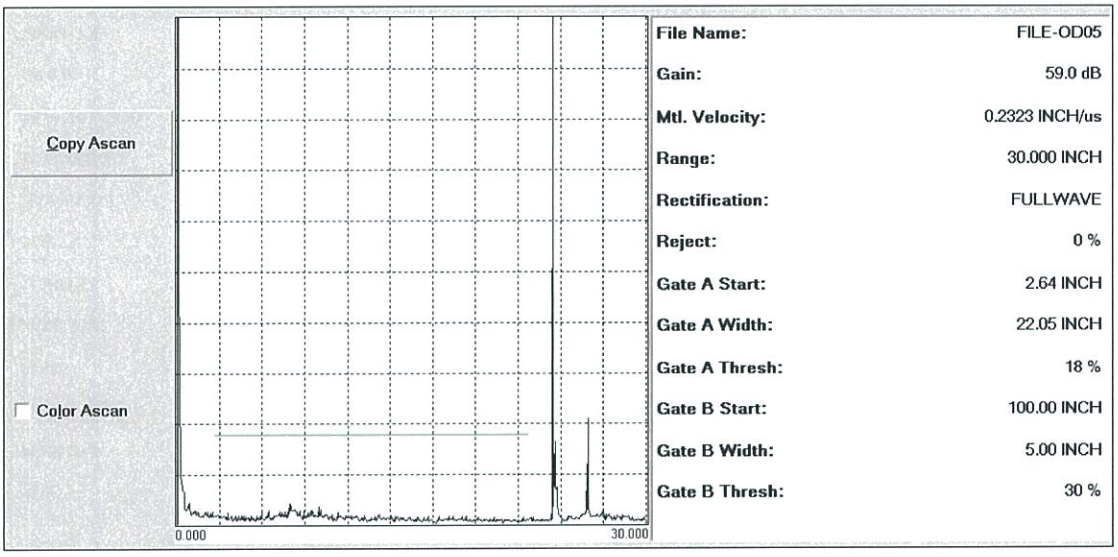

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OC15
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

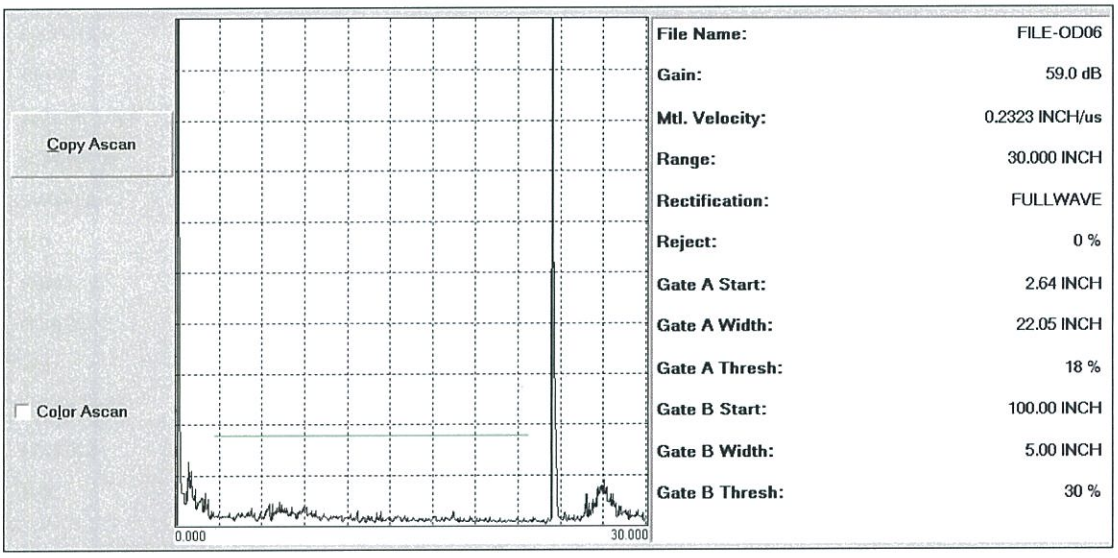

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OD01
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

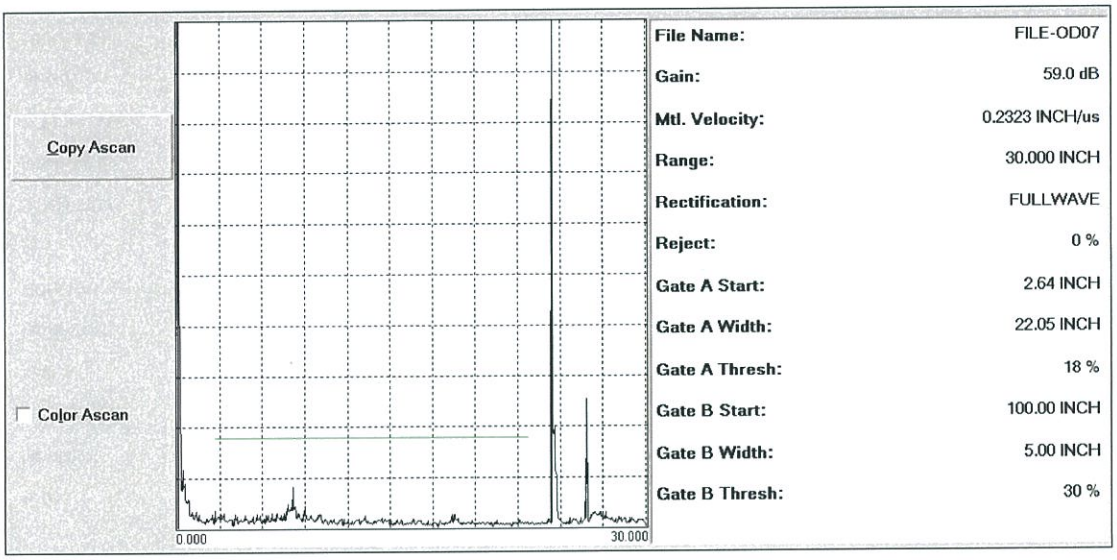

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OD02
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

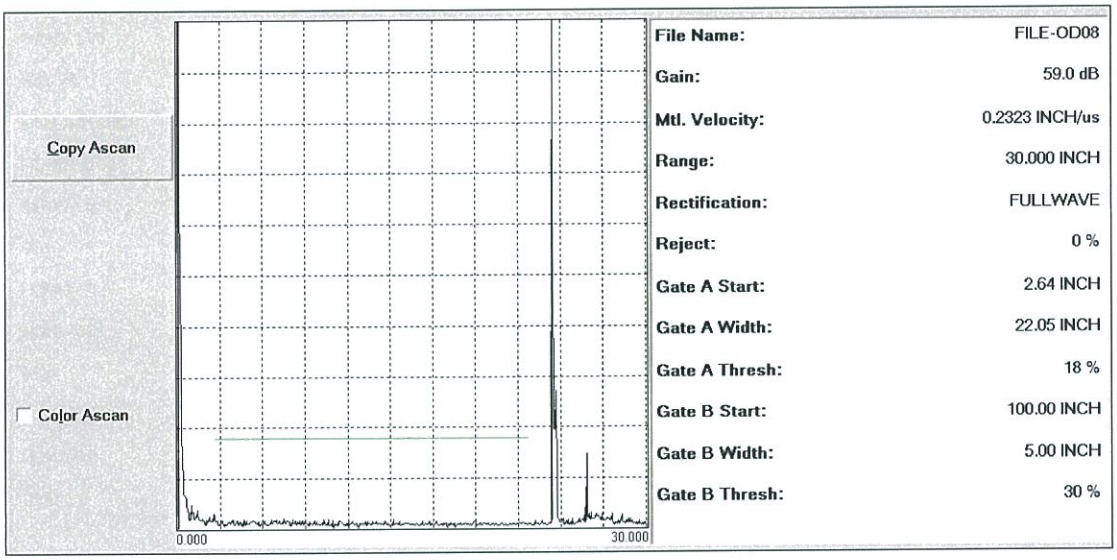

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OD03
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

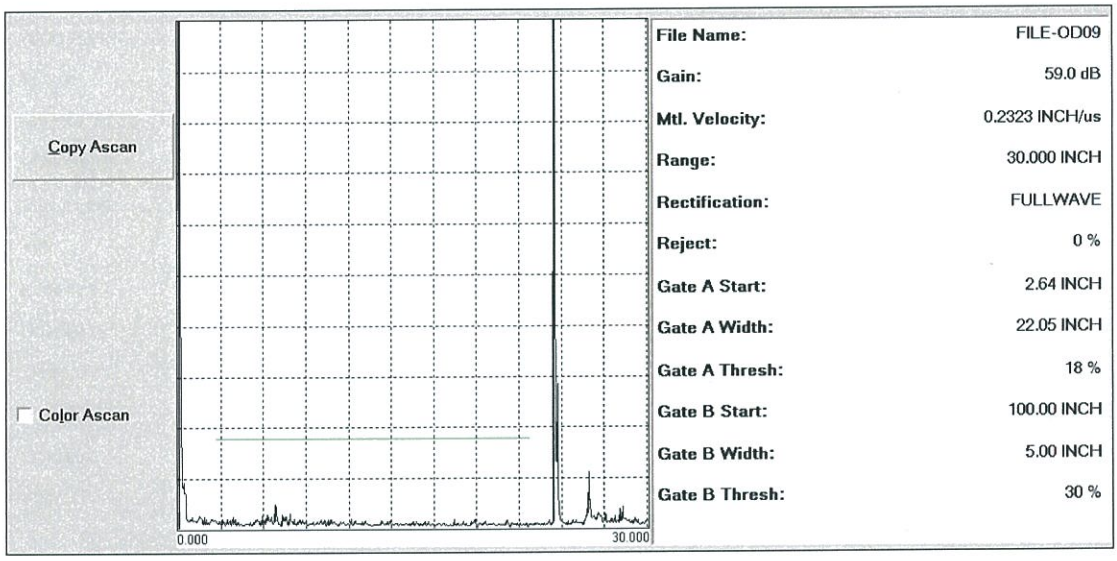

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OD04
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

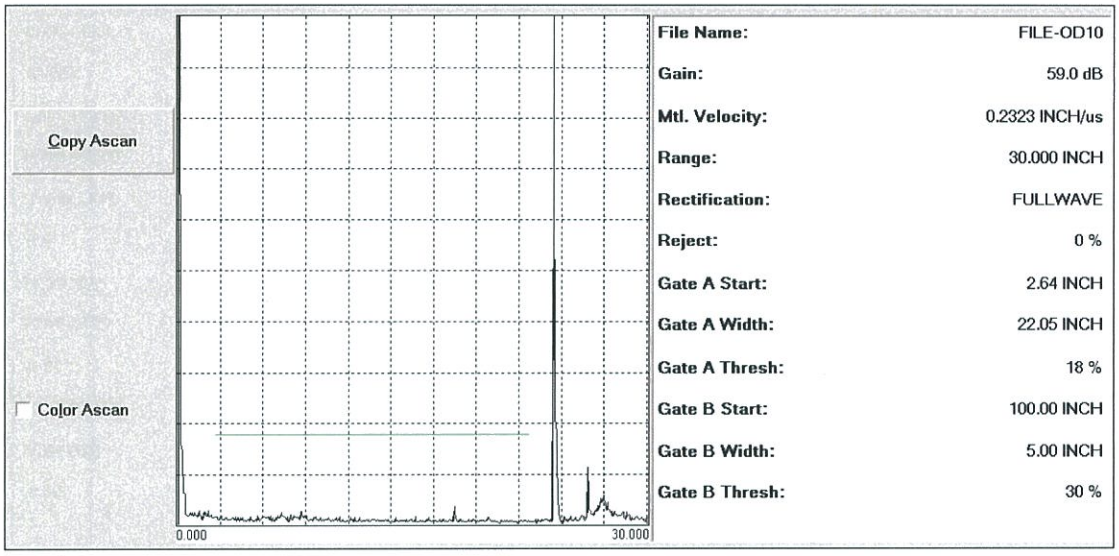

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OD05
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

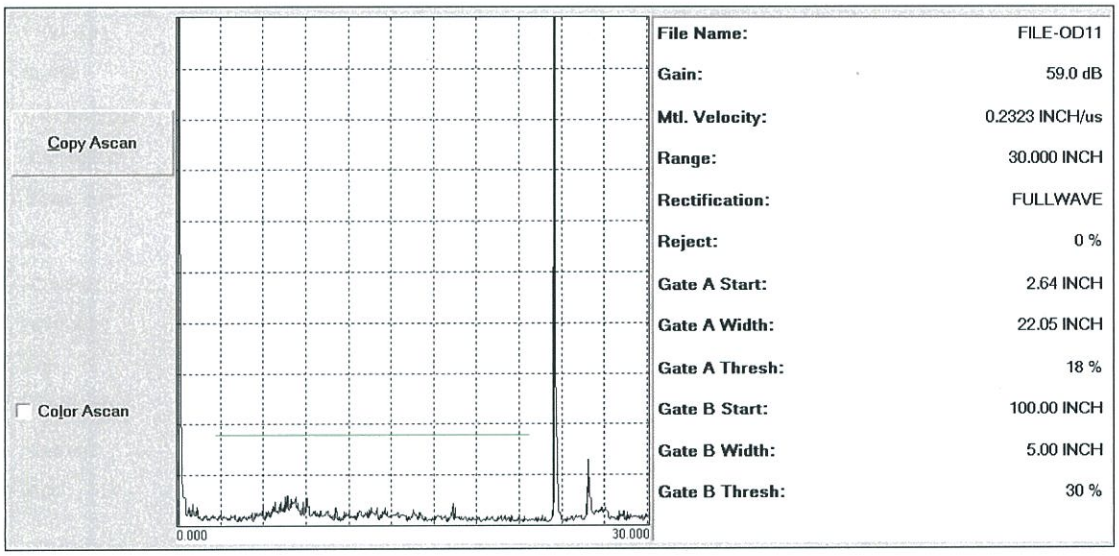

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OD06
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

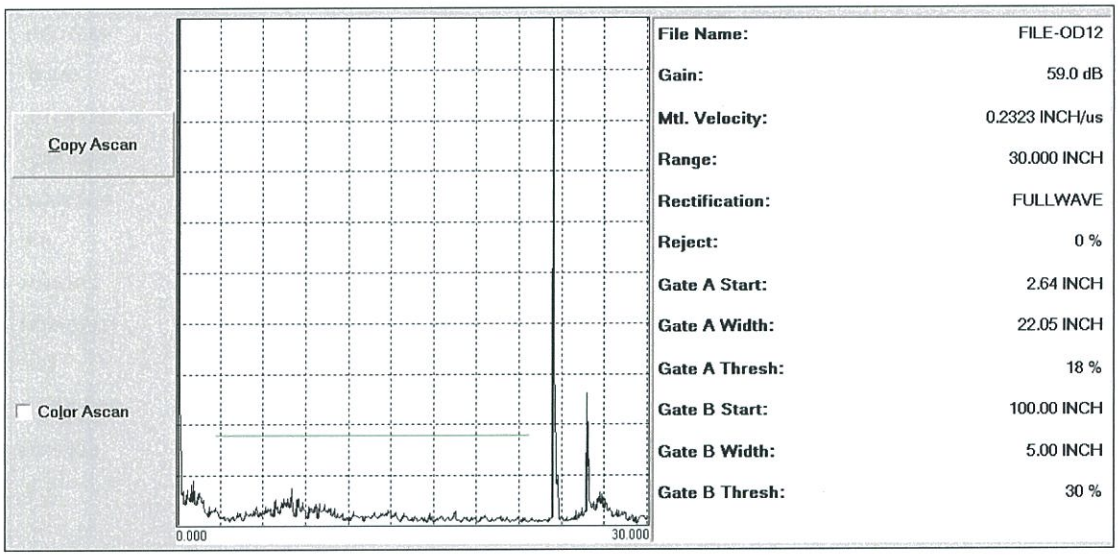

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OD07
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

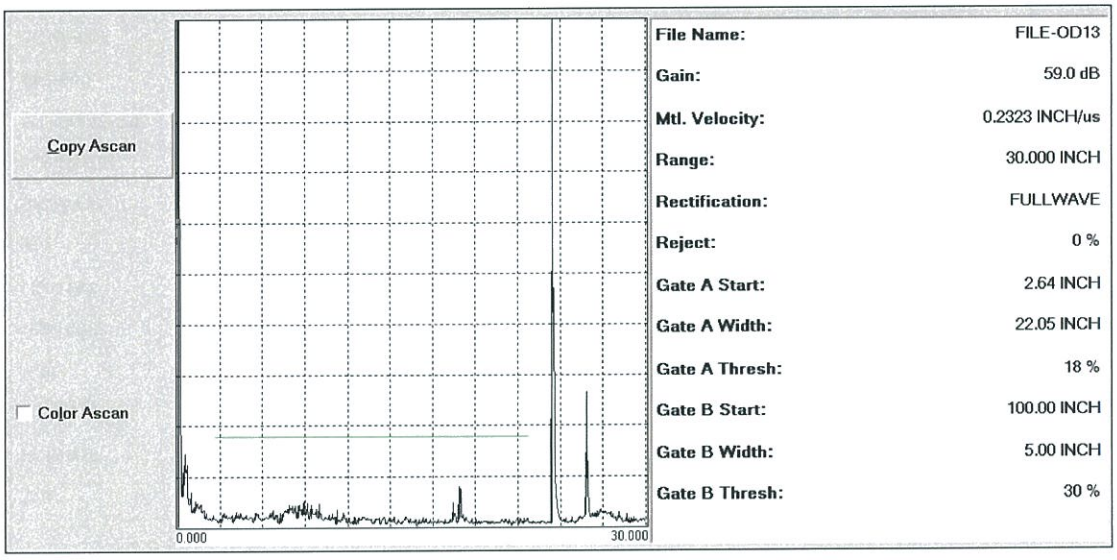

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OD08
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

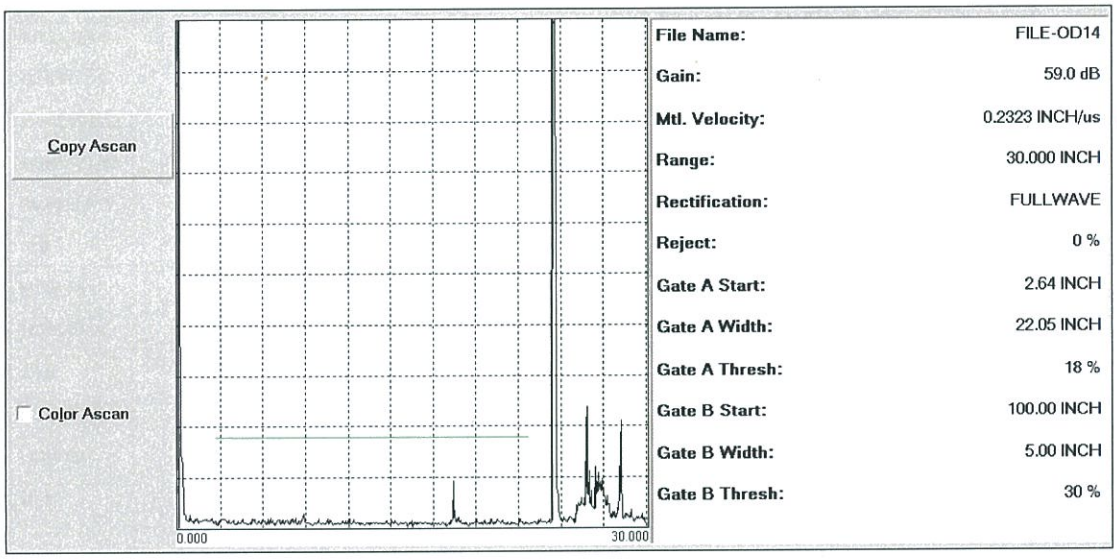

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OD09
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

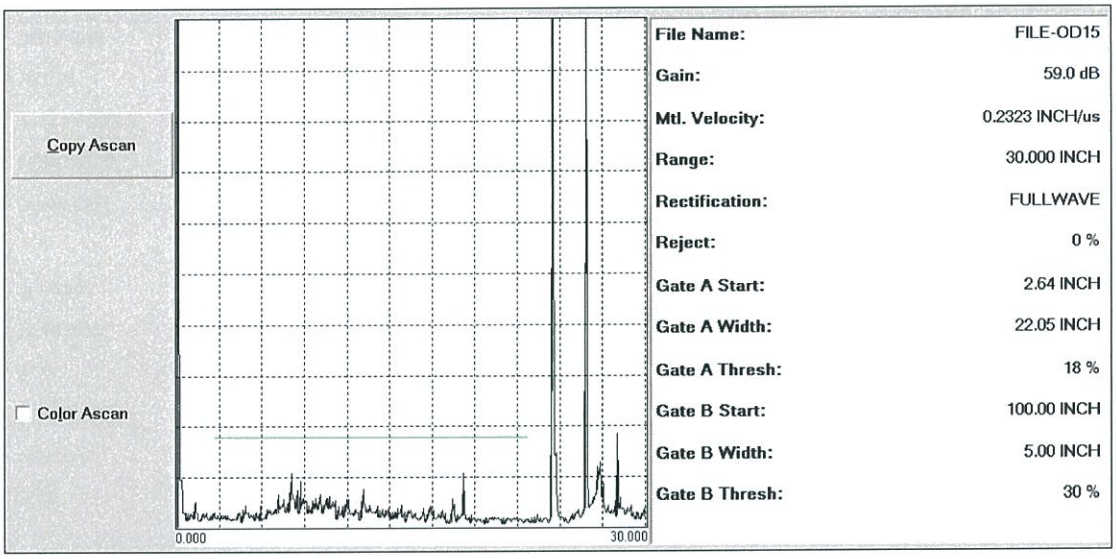

Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OD10
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %


Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OD11
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %


Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OD12
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %


Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OD13
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %


Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OD14
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %


Copy Ascan
Color Ascan
0.000
30.000
File Name: FILE-OD15
Gain: 59.0 dB
Mtl. Velocity: 0.2323 INCH/us
Range: 30.000 INCH
Rectification: FULLWAVE
Reject: 0 %
Gate A Start: 2.64 INCH
Gate A Width: 22.05 INCH
Gate A Thresh: 18 %
Gate B Start: 100.00 INCH
Gate B Width: 5.00 INCH
Gate B Thresh: 30 %

第 伍 章

地震儀瞬間顯示 0.29g
之分析處理與後續監測

目錄

一、前言……2

二、0.29g 來源與訊號分析……2

三、0.29g 對系統組件影響……3

四、地震儀不穩定訊號探討……4

五、振動監測改善及計畫……5

六、討論與結論……5

七、參考資料……6

八、附件……6

8.1 歷年大修停機期間反應爐基座地震儀觸發紀錄整理….7

8.2 核二廠地震儀比對試驗……...9

8.3 核二廠 FSAR 3.7 附圖 3.7A-126/136/83/112**……20** R2

一、前言

101/03/16 05:50 核二廠一號機大修停機時，將反應爐運轉模式開關切至停機位置時，觸動反應爐基座裙板處地震儀，其中垂直向最大加速度值達 0.29g，其歷時圖加速值瞬間向上。此一振動力係模式開關切換時，控制棒插入反應爐所產生，由於此訊號與以往紀錄有所不同，因此下面將對 0.29g 進行分析，並以保守性之評估，探討 0.29g 對系統組件影響。

二、0.29g 來源與訊號分析

1.為探討 0.29g 振動源，檢視 101/03/16 所有地震儀資料，除了反應爐基座裙板處地震儀外，其它 8 只地震儀，在垂直方向均未收錄超過 0.04 g 之加速度紀錄，因此可排除 0.29 g 是由於生物屏蔽牆之外的外力造成。同時追查以往大修停機時此地震儀之紀錄，當反應爐在執行相關測試(運轉模式開關切至停機位置及安全釋壓閥測試)時，均會有一振動力，並觸發地震儀記錄(說明如附件 1)。

2.分析 101/03/16 反應爐基座裙板處地震儀垂直向最大加速值 0.29g 之歷時圖及富氏譜，此地震儀在觸發前即有不穩定現象(零點上下晃動)，而在觸發後，其歷時波形則呈現不對稱性，為一向上脈衝波，振動訊號超過 0.2g 之時間僅為 0.2 秒。

3.為進一步追查肇因，大修期間進行反應爐基座裙板處地震儀之校正及狀況重建，發現此地震儀在南北向、東西向均正常，但垂直向訊號卻有不穩定現象。

4.將此地震儀送交至國家地震工程研究中心進行測試驗證後(詳附件 2)，其南北向、東西向均反應正常，而垂直向在引發振動後仍有不穩定的現象產生。惟仍無法判別此地震儀是在哪個時間點上已造成此不穩定現象。

5.綜上所述，在 101/03/16 05:50 當運轉模式開關切至停機位置時，反

應爐基座裙板附近瞬間有振動力產生，而此地震儀因安裝於反應爐基座裙板處，因此局部區域瞬間之振動量亦會讓此地震儀有所反應。 R3

6.當時反應爐基座裙板處地震儀所量得之 0.29g 振動波訊號，雖然包含有背景雜波、地震儀零點上下晃動之失真訊號，但為採用保守性之評估，所以也將此二者列入振動量來進行評估。

三、0.29g 對系統組件影響

1.如上述分析，儘管 0.29g 影響時間相當短，同時包含了部份失真訊號(各訊號疊加，已無法個別分離)，但為保守起見，下面將探討 0.29g 振動量對爐心影響：

a.依據核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告 4.2/4.3 節分析，在 Faulted condition(SSE+LOCA)下(承受 1083kips 垂直上揚力)，並不會對反應爐支撐裙板錨定螺栓之疲勞破壞有威脅性；因此即使有 0.29g(<SSE+LOCA)之交變垂直上揚力，亦不可能造成反應爐支撐裙板錨定螺栓疲勞破壞。

b.另核二廠反應爐之基礎振動模式頻率為 8.29 Hz，經由反應爐垂直方向之設計基準反應譜(高程-8’，詳附件 3)，查得反應爐裙板位置其垂直加速度 OBE 約為 0.57 g，SSE 約為 0.93 g。而核二廠反應爐支撐裙板之固定螺栓於設計時，亦採用反應爐之分析數據作為設計參數，即考慮 OBE 及 SSE 之設計條件。而地震儀記錄到最高之垂直加速度值 0.29 g，小於反應爐垂直設計加速度 0.57 g (OBE)及 0.93 g (SSE)，故反應爐支撐裙板之固定螺栓仍在設計安全範圍之內。此外，由於反應爐係座落於反應爐基座上，在相同高程上之反應爐基座裙板之基礎振動模式頻率亦考慮為 8.29Hz，而由其對應至反應爐基座裙板垂直方向之設計基準反應譜(高程-9.33’，地震儀所在位置)，查得其垂直加速度 OBE 約為 0.77 g，SSE 約為 1.1 g。因此，在保守性評估下，101/03/16 05:50 反應爐基座地震儀所測量之局部區域瞬間振動量 0.29g，仍在反應爐基座 R3 R2

裙板設計安全範圍內。 R2

2.另檢視 3 支損壞錨定螺栓斷裂處之氧化層已存在一段時間，並非新的斷裂面，故推論 0.29g 振動量並非造成錨定螺栓斷裂之主因。 R3

3.依下列程序書/計畫進行檢查，查證廠房及設備均無損壞及異常，並無受 0.29g 振動波衝擊影響。

a.依「反應器內部組件目視檢查程序書」執行反應爐內部組件檢查。

b.依營運檢測計畫執行安全管路/管嘴非破壞檢測，包括再循環及爐水淨化系統管路焊道與管嘴。

c.依「核能級組件支撐目視檢查程序書」檢查反應爐支撐裙板。

d.依「控制棒驅動殼支架檢查程序書」檢查控制棒驅動系統殼支架。

e.另針對支撐裙板與反應爐底相連之焊道進行檢查及依程序書執行全廠設備巡視，結果正常。

f.加壓反應爐執行洩漏測試，進一步確認和反應爐相連接的安全管路/管嘴之完整性。

四、地震儀不穩定訊號探討

1.由以往背景訊號分析，此地震儀垂直向長期處於高頻振動環境(機組正常運轉中反應爐再循環泵運轉、管路、爐心水流及安裝處之鐵板平台或護欄振動引發之訊號)，此一背景振動量約為 0.01g~0.02g 左右；因此在長期高振動的環境下，經過一段時間後即可能會造成感震器內部組件(平衡元件)之疲乏，因而造成零點晃動及訊號的不穩定。 R2

2.101/04/30 將此地震儀(S/N:100229)送往國家地震工程研究中心進行訊號比對；比對過程中，使用不同的標準振動訊號(模擬 921 大地震/8Hz 正弦波/25 Hz 正弦波)，此地震儀在水平向正常，但在垂直向的零點均會隨時間而逐漸漂移至 FULL SCALE (±10V)，進而造成垂直向訊號顯示值為 2g (OVER SCALE)；此時地震儀已無法進行自我修正，因而零點逐漸漂移。

五、振動監測改善及計畫

1.依核二廠反應爐基座裙板振動監測計畫已新增 8 只振動加速規，用來進行長期監測反應爐基座裙板之振動狀況。

2.為使地震儀基座與結構物更加 Rigid，讓地震儀可以更真實反應實際振動狀況，已再針對此地震儀基座進行鋼樑補強及護欄移除改善，並已於 5/15 施工完成；另為提高此地震儀之可靠度，亦將定期更換此地震儀(每次大修)。 R2

3.為確保反應爐運轉之安全，建立特殊程序書，用以監測記錄一號機反應爐裙板處在啟動/運轉等各階段的振動值，並依據此程序書收集反應爐裙板處振動監測所必要的背景資料，作為爾後判定機組需降載/停機之評估依據。

4.在特殊程序書資料收集期間，為提供振動監測方案之臨時性的監控標準，將以 95 年地震監測系統更新後機組正常運轉中反應爐基座地震儀之垂直向最高背景值 0.025g 為參考依據，並暫以原反應爐基座地震儀 OBE 設定值 0.16g 與背景最高加速值 0.025g 之平均值約 0.1g 作為警示值；當機組正常運轉中 8 只振動加速規數值超過 0.1g 時(不含地震力引動)，將由維護人員藉由頻譜分析討論後判斷確切肇因，再決定機組降載或停機。上述警示值為臨時性之設定值，將依機組啟動後 8 只振動加速規實際運轉之振動值，視需要修訂此臨時性之設定值。 R2

六、討論與結論

1.0.29g 振動量，係 101/03/16 05:50 反應爐基座裙板處地震儀所量得之振動量，其包含運轉模式開關切至停機位置時反應爐之振動力、背景雜波、地震儀零點上下晃動之失真訊號。

2.儘管 0.29g 係局部區域之瞬間振動量，影響時間相當短，同時包含了部份失真訊號，但仍依保守性評估及決策進行設備檢查，0.29g 瞬間振動量並未對錨定螺栓及反應爐造成損害，且與錨定螺栓斷裂原因無 R3

關。

3.另為減少地震儀外在因素干擾訊號量測，已再針對所在環境進行改善，並將定期更換此地震儀。同時已新增 8 只振動加速規，並搭配既有之地震儀，來達到相輔相成監測的目的，以建立反應爐基座裙板之完整監測機制。

七、參考資料

1.核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告。

2.核二廠終期安全分析報告書(FSAR) 3.7。

3.核二廠反應爐基座裙板振動監測計畫。

八、附件

1.歷年大修停機期間反應爐基座地震儀觸發紀錄整理。

2.核二廠地震儀比對試驗。

3.核二廠 FSAR 3.7 附圖 3.7A-126/136/83/112。

附件 1-歷年大修停機期間反應爐基座地震儀觸發紀錄整理

大修	日期	時間	最大加速值(g)	原因	說明
1EOC19	96/09/29	21:53	0.0839	S/D 切換	說明 1/2
	96/09/29	21:56	0.1158	S/D 切換	
	96/10/17	20:34	0.0452	SRV 測試	
	96/10/17	20:35	0.0330	SRV 測試	
1EOC20	98/03/09	06:57	NA	S/D 切換	說明 3
	98/04/12	01:48	0.0240	SRV 測試	
	98/04/12	02:01	0.0362	SRV 測試	
1EOC21	99/10/07	05:53	0.0406	S/D 切換	說明 4，有加裝濾波器
	99/10/07	15:17	0.0368	S/D 切換	有加裝濾波器
	99/10/30	17:07	0.0196	SRV 測試	
	99/10/30	17:16	0.0167	SRV 測試	
1EOC22	101/03/16	05:50	0.2947	S/D 切換	舊地震儀且未加裝濾波器
	101/04/14	22:33	0.0390	S/D 切換	說明 5,新地震儀並加裝濾波器

清查歷年大修停機期間之反應爐基座地震儀觸發紀錄(如上表),於運轉模式開關切至停機位置及安全釋壓閥(SRV)測試時,均會有一振動力，觸發地震儀記錄，資料說明如下：

1. 95年(1EOC18)以前核二廠地震系統為Kinemetrics DOS系統，此系統為各地震儀獨立觸發紀錄；因此，以往運轉模式開關切停機及SRV測試僅錄得弱震儀資料，而反應爐基座地震儀均未達其觸發設定(0.16g)，故未有紀錄。
2. 1EOC19大修運轉模式開關切停機及SRV均各有2筆紀錄，96/09/29 21:53及21:56係配合儀控組執行『601.12反應爐模式開關在停機位置功能測試』程序書測試，雖在該程序書中僅切換模式開關乙次，但因當時執行該程序書時仍有些步驟有疑問，故再執行切換模式開關乙次，重新確認以完成該份程序書之功能測試。
3. 1EOC20大修紀錄中，僅有2筆SRV測試引動觸發紀錄，經追查當時維護人員，此次大修運轉模式開關切停機時仍有觸發紀錄，但由於此紀

錄非真正地震所引動之紀錄，無須永久保存，當時維護人員顧及地震監測系統硬碟儲存容量問題，所以已將此次大修觸發紀錄刪除。

4.1EOC21 大修紀錄中，99/10/07 05:53 將運轉模式開關切停機位置係為配合儀控組執行『601.12 反應爐模式開關在停機位置功能測試』程序書；15:17 則是因為於 13:33 配合儀控組執行『601.2.1APRM SET DOWN 高中子通量及不動作功能測試與校正及 601.1.3 寬範圍中子偵測系統(WRNM)功能測試與校正』程序書，測試時需將運轉模式開關切置於 Refuel 位置，故待程序書執行完畢後，值班依當時運轉情況再將模式開關置回停機位置。

5. 101/03/16 停機後，依 DCR-K0-3976P2 進行地震儀移位改善案，反應爐基座地震儀 0SG-XE-105 已正式更名為 0SG-XE-135。101/04/14 觸發紀錄乃為收集新增 8 只振動加速規資料，並與地震儀數據進行比較，故再執行運轉模式開關切換測試。

附件 2-核二廠地震儀比對試驗

財團法人國家實驗研究院
國家地震工程研究中心
地震模擬實驗室
National Center for Research on Earthquake Engineering
台北市辛亥路三段 200 號 200, Sec.3, Xinhai RD, Taipei, Taiwan
Tel：886-2-6630-0888 Fax：886-2-6630-0858
http://www.ncree.org.tw 統一編號：94901073

地 震 儀
測 定 比 對 報 告

報告編號： NCREE-LT-TQM-D-T1601
2012011
報告日期： 2012 年 5 月 4 日

測試名稱：**第二核能發電廠地震儀比對試驗**

測 試 件：**地震儀** (廠牌：東京測振、型號：AS-3257、序號：100229)
(廠牌：東京測振、型號：AS-3257、序號：070605)

送測單位：**日川機械工程有限公司**

地 址：**基隆市七堵區崇智街 70-2 號**

電 話：**02-2498-8503**

上述設備經本實驗室測試，結果如內文所述。
本報告含附頁附件共 10 頁(不含本頁)，分離使用無效。

國家地震工程研究中心 地震模擬實驗室 National Center for Research on Earthquake Engineering

張國鎮

國家地震工程研究中心主任

財團法人國家實驗研究院
國家地震工程研究中心地震模擬實驗室
National Center for Research on Earthquake Engineering

測 試 報 告 使 用 說 明

1. 送測單位使用此報告時，須整份使用，非經本實驗室同意，不得任意摘錄複製。

2. 本報告僅對測試件之測試項目有效。

3. 若測試報告蓋上“重出測試報告”章，則原測試報告作廢。

林[illegible]

計 畫 主 持 人

胡[illegible]

報 告 撰 寫 人

Applicant：送測單位：日川機械工程有限公司 / 基隆市七堵區崇智街 70-2 號 / 02-2498-8503
(申請者) 委託單位：台灣電力公司-第二核能發電廠 / 新北市萬里區野柳里八斗 60 號 / 02-24985990

Date of Test(s)： 2012 年 4 月 30 日
(測試日期)

Item Tested：地震儀 (廠牌：東京測振、型號：AS-3257、序號：100229)
(測試件名稱及型號) (廠牌：東京測振、型號：AS-3257、序號：070605)

Equipment Used： 三軸向地震模擬振動台系統。
(測試系統)

Preparation for the Test：
(測試準備) 1. 二組地震儀安裝於振動台上，如圖 1、圖 2 所示，並將訊號線接至東京測振訊號放大器(型號：PC-5153F-16、序號：100230)，如圖 3 所示；經訊號放大器電壓訊號輸出端，分別連接至地震工程研究中心及東京測振之擷取系統，同時擷取比對數據。

2. 振動台地表安裝三顆加速規校正組(廠牌：Setra、型號：141A、序號：4485976、4485983、4485984)於三個軸向，由地震工程研究中心提供，如圖 4 所示。



圖 1：二組地震儀安裝於振動台、訊號放大器及資料擷取系統全圖。



圖 2：二組地震儀(廠牌：東京測振、型號：AS-3257、序號：100229、707605)安裝於振動台。



圖 3：東京測振訊號放大器及資料擷取系統。

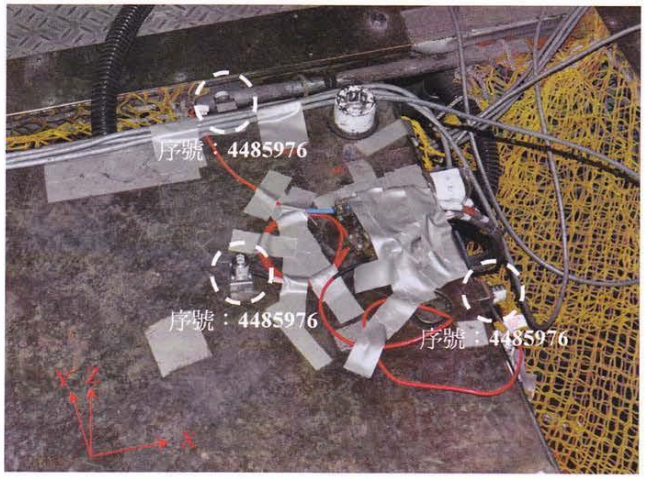


圖 4：安裝於振動台三軸向加速規校正組(廠牌：Setra、型號：141A、序號：4485976、4485983、4485984)。

Test Method：
(測試方法)　地震模擬振動台測試方法之依據：

地震模擬測試：台灣 921 集集大地震(TCU129 測站)，地震強度 7 級，三軸向同時測試。

Test Item：
(測試項目)

1. 採用 1999 年 9 月 21 日台灣 921 集集大地震(測站名稱爲 TCU0129 測站)，爲測試輸入地震歷時及正弦波，其名稱、方向、強度與測試資訊，如下表所示：

測試項目	地震歷時輸入	地震輸入方向/測試要求加速度(g*)	震度**
(1)	台灣 921 集集大地震 *(TCU129 測站，南投縣名間鄉新街國小)*三軸向地震模擬測試。	X 軸向須達 0.400 g 以上 Y 軸向須達 0.248 g 以上 Z 軸向須達 0.136 g 以上	7 (劇震)
(2)	正弦波，頻率 8Hz。	X 軸向須達 0.100 g 以上 Y 軸向須達 0.100 g 以上 Z 軸向須達 0.100 g 以上	-
(3)	正弦波，頻率 25Hz。	X 軸向須達 0.100 g 以上 Y 軸向須達 0.100 g 以上 Z 軸向須達 0.100 g 以上	-

* 1g=9.807m/s^2

** 依交通部中央氣象局於 2000 年 8 月 1 日所公告之地震震度分級表如下：

震度分級		最大地表加速度範圍(Peak Ground Acceleration, PGA)
5	強震	0.08g~0.25g
6	烈震	0.25g~0.4g
7	劇震	0.4g 以上

Test method or procedure：
(測試步驟)

1. 依據測試項目(1)至(3)，依序執行三軸向地震模擬測試。
2. 地震模擬振動台測試標準作業程序書(2011 年，2.3 版，國家地震工程研究中心)。
3. 地震模擬振動台系統評估作業程序書(2011 年，2.2 版，國家地震工程研究中心)。
4. 地震模擬振動台系統評估報告(2011 年，5.3 版，國家地震工程研究中心)。
5. 地震模擬振動台測試方法(2010 年，2.1 版，國家地震工程研究中心)。
6. 以上測試時，振動台資料取樣頻率爲 256Hz，資料擷取系統取樣頻率爲 200Hz。

Test Results：

(測試結果)

1.加速規校正組及地震儀(序號：100229、序號：070605)實際測試之地表地震歷時，其名稱、方向、強度與測試資訊，如下表所示：

測試項目	地震歷時輸入	加速規校正組	地震儀 序號：100229	地震儀 序號：070605
		地震輸入方向/ 各軸最大加速度(g)	地震輸入方向/ 各軸最大加速度(g)	地震輸入方向/ 各軸最大加速度(g)
(1)	台灣 921 集集大地震 *(TCU129 測站，南投縣名間鄉新街國小)* 三軸向地震模擬測試。	X 軸 / 0.430 g Y 軸 / 0.251 g Z 軸 / 0.158 g	X 軸 / 0.419g Y 軸 / 0.261 g Z 軸 / 2.000 g	X 軸 / 0.426 g Y 軸 / 0.260 g Z 軸 / 0.180 g
(2)	正弦波，頻率 8Hz。	X 軸 / 0.112 g Y 軸 / 0.105 g Z 軸 / 0.169 g	X 軸 / 0.124 g Y 軸 / 0.112 g Z 軸 / 2.000 g	X 軸 / 0.143 g Y 軸 / 0.104 g Z 軸 / 0.097 g
(3)	正弦波，頻率 25Hz。	X 軸 / 0.113 g Y 軸 / 0.159 g Z 軸 / 0.134 g	X 軸 / 0.129 g Y 軸 / 0.134 g Z 軸 / 2.000 g	X 軸 / 0.160 g Y 軸 / 0.130 g Z 軸 / 0.209 g

2. 加速規校正組及地震儀(序號：100229、序號：070605)，經測試項目(1)至(3)地震模擬測試後，各感測器測試結果實際加速度反應，如圖 5 至圖 13 所示。

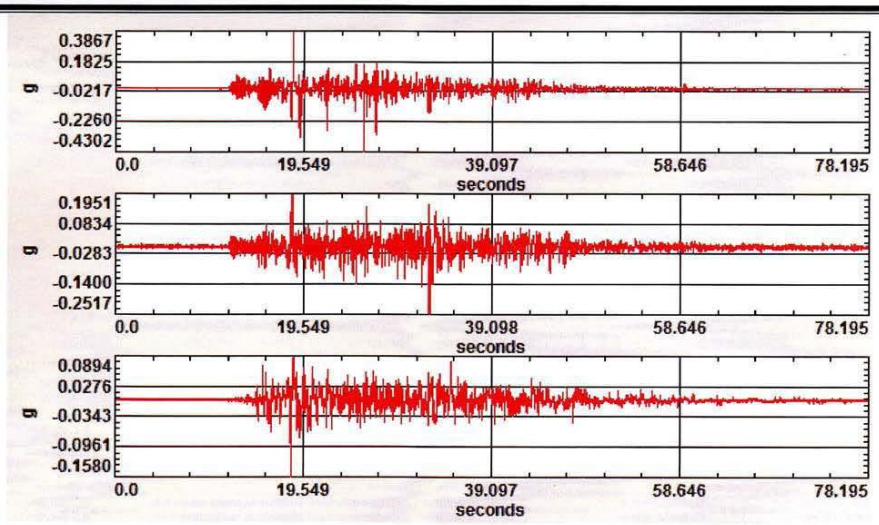


圖 5：測試項目(1)，執行台灣 921 集集大地震 TCU129 測站地震歷時測試結果，加速規校正組最大加速度值由上而下分別爲 X 向 0.430g、Y 向 0.251g 與 Z 向 0.158g。

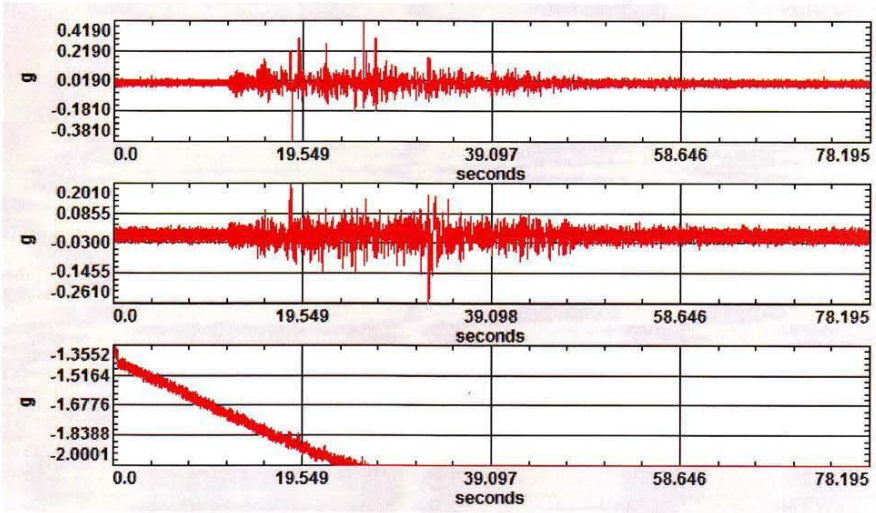


圖 6：測試項目(1)，執行台灣 921 集集大地震 TCU129 測站地震歷時測試結果，地震儀序號：100229 最大加速度值由上而下分別爲 X 向 0.419g、Y 向 0.261g 與 Z 向 2.000g。

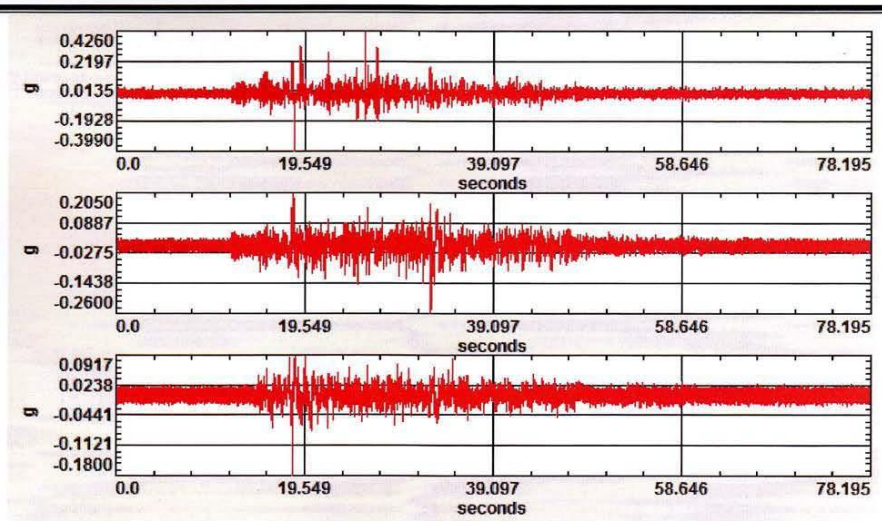


圖 7：測試項目(1)，執行台灣 921 集集大地震 TCU129 測站地震歷時測試結果，地震儀序號：070605 最大加速度值由上而下分別爲 X 向 0.426g、Y 向 0.260g 與 Z 向 0.180g。

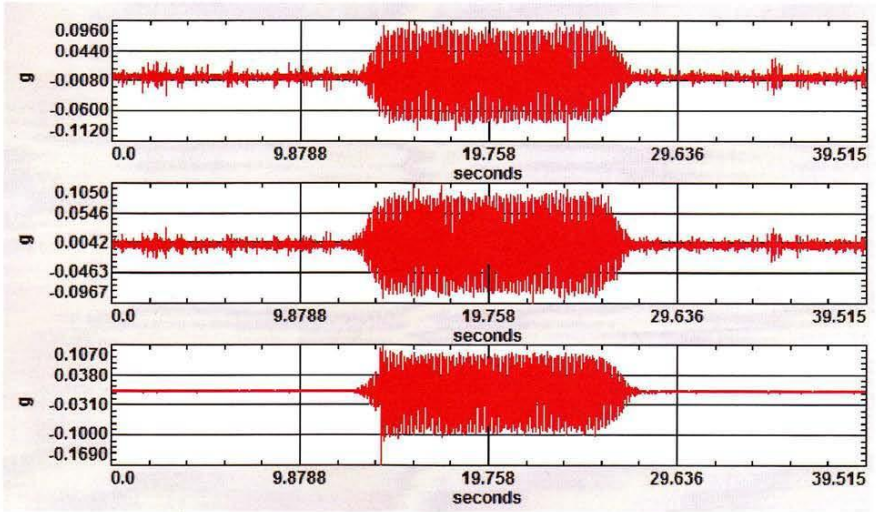


圖 8：測試項目(2)，執行正弦波，頻率 8Hz 歷時測試結果，加速規校正組最大加速度值由上而下分別爲 X 向 0.112g、Y 向 0.105g 與 Z 向 0.169g。

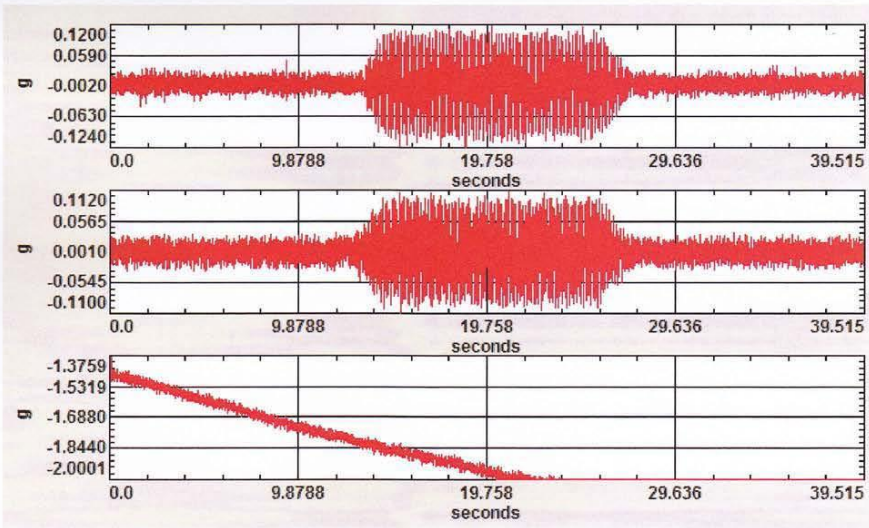


圖 9：測試項目(2)，執行正弦波，頻率 8Hz 歷時測試結果，地震儀序號：100229
最大加速度值由上而下分別爲 X 向 0.124g、Y 向 0.112g 與 Z 向 2.000g。

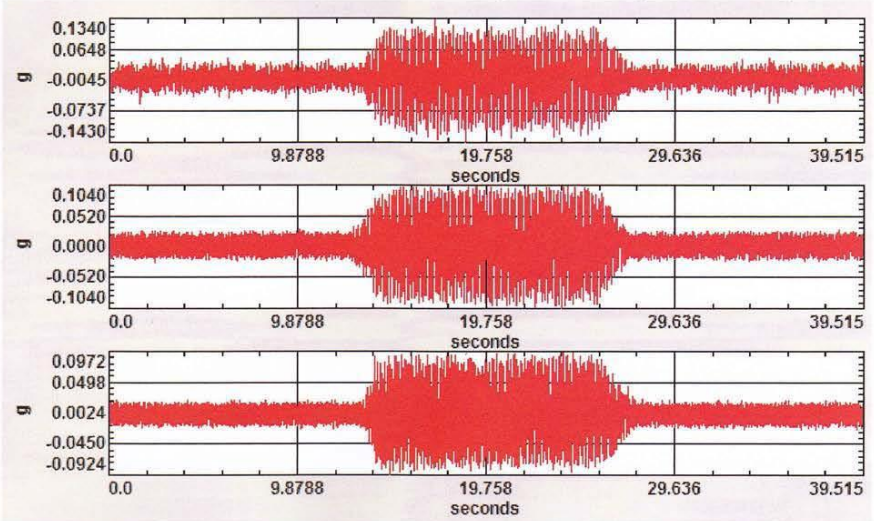


圖 10：測試項目(2)，執行正弦波，頻率 8Hz 歷時測試結果，地震儀序號：070605
最大加速度值由上而下分別爲 X 向 0.143g、Y 向 0.104g 與 Z 向 0.097g。

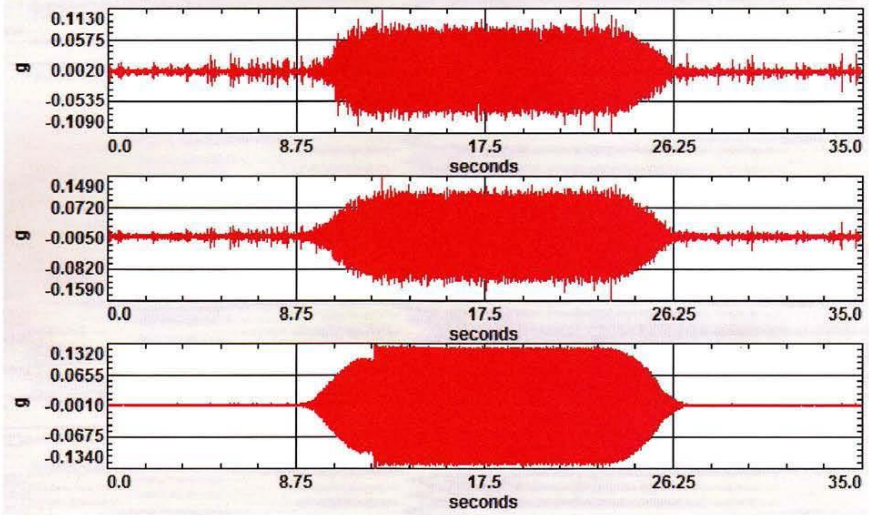


圖 11：測試項目(3)，執行正弦波，頻率 25Hz 歷時測試結果，加速規校正組最大加速度值由上而下分別爲 X 向 0.113g、Y 向 0.159g 與 Z 向 0.134g。

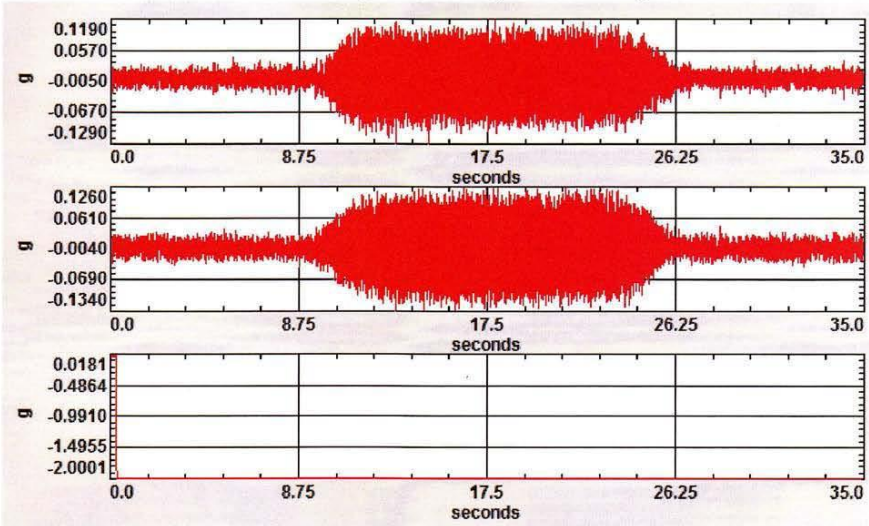


圖 12：測試項目(3)，執行正弦波，頻率 25Hz 歷時測試結果，地震儀序號：100229 最大加速度值由上而下分別爲 X 向 0.129g、Y 向 0.134g 與 Z 向 2.000g。

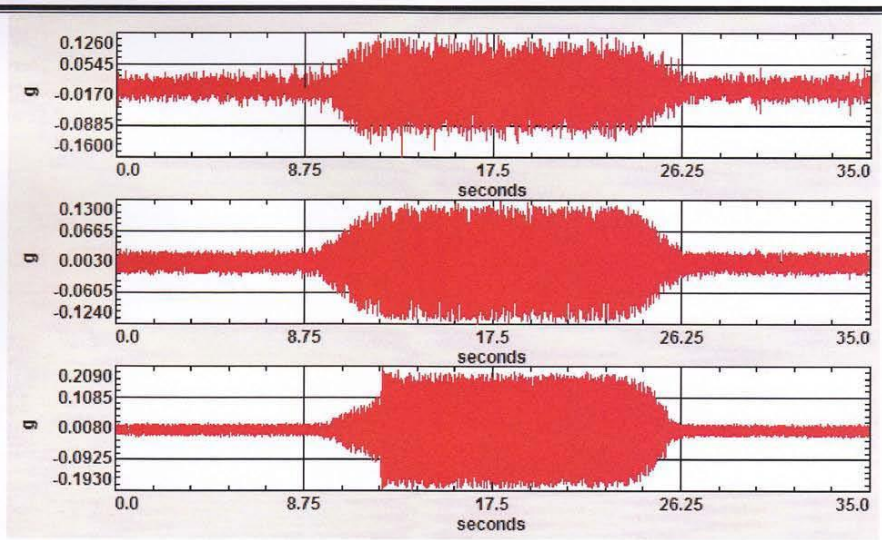
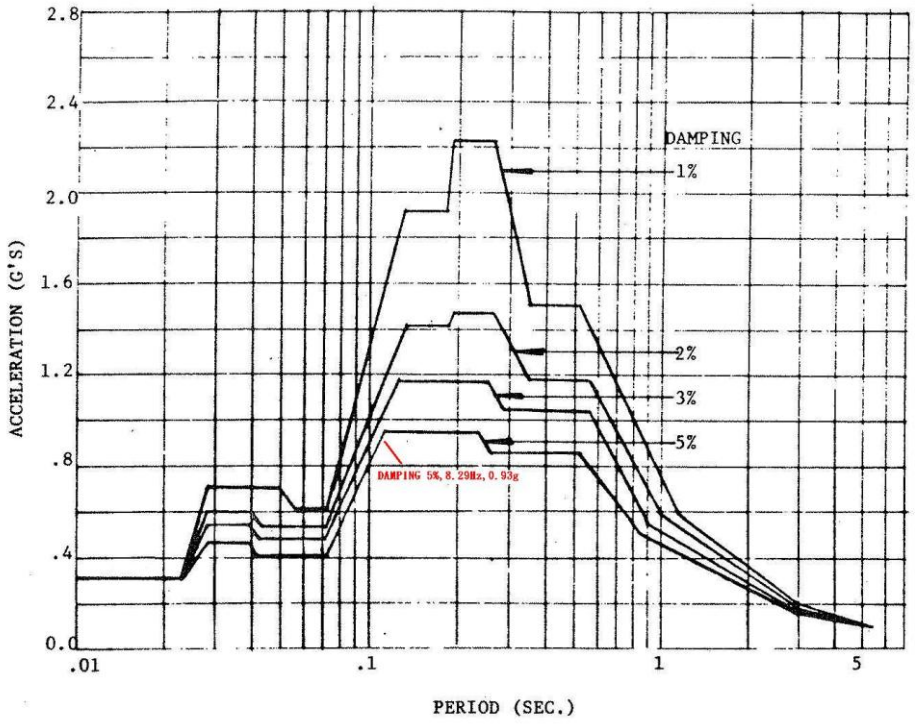


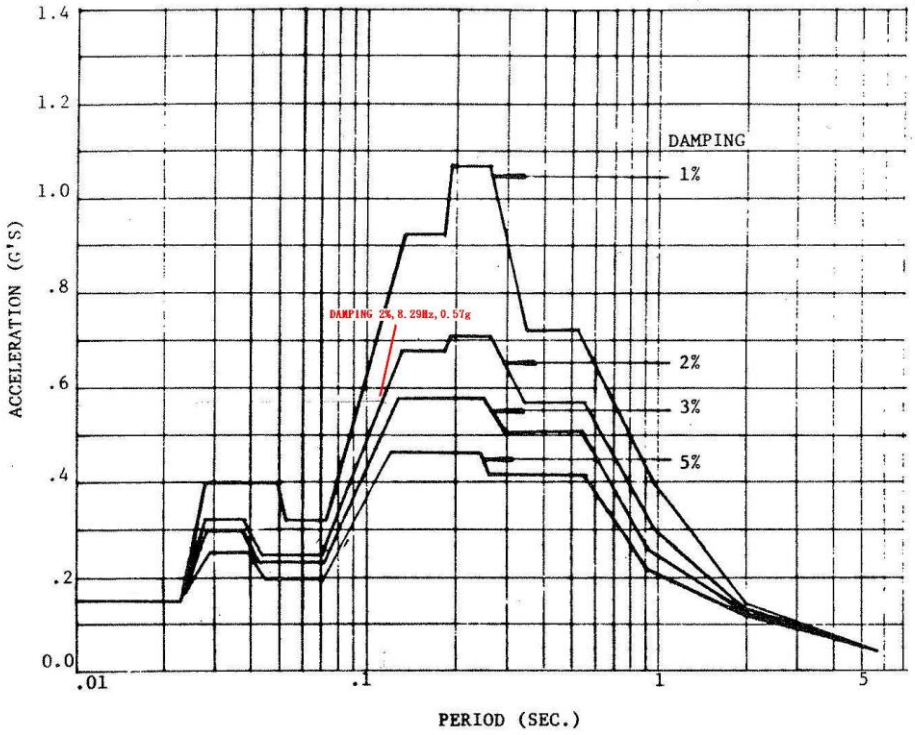
圖 13：測試項目(3)，執行正弦波，頻率 25Hz 歷時測試結果，地震儀序號：070605
最大加速度值由上而下分別爲 X 向 0.160g、Y 向 0.130g 與 Z 向 0.209g。

說明：

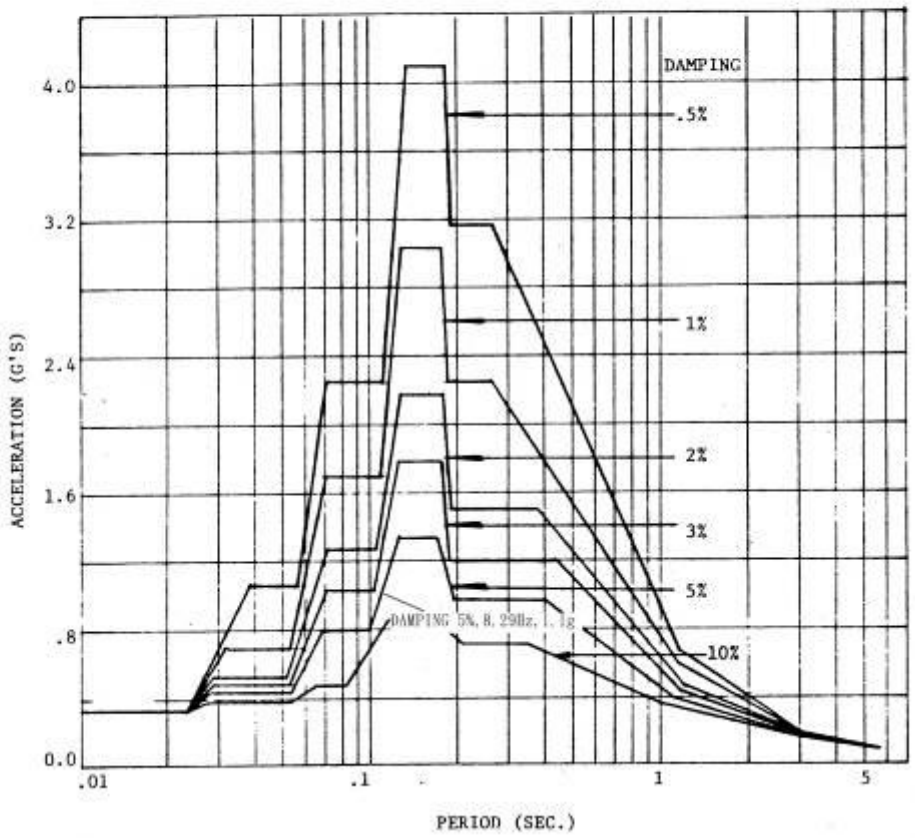
1. 非經本中心同意，申請者不得將實驗結果用於商業廣告之標示、法律訴訟之證據等用途，違者本中心將依法追訴；若有損及本中心名譽者，本中心將要求損害賠償。
2. 本報告內容僅對測試件之測試項目有效，申請者於引用本報告時不得有“通過國家地震工程研究中心測試”或“經國家地震工程研究中心認證”等擴大解釋實驗結果之用詞。



TAIPOWER	台灣電力公司 TAIWAN POWER COMPANY KUOSHENG NUCLEAR POWER STATION UNITS 1 & 2
REACTOR BUILDING REACTOR PRESSURE VESSEL SSE VERTICAL ACCELERATION RESPONSE SPECTRA EL (-) 8.0 FT	
FIGURE 3.7A-126	



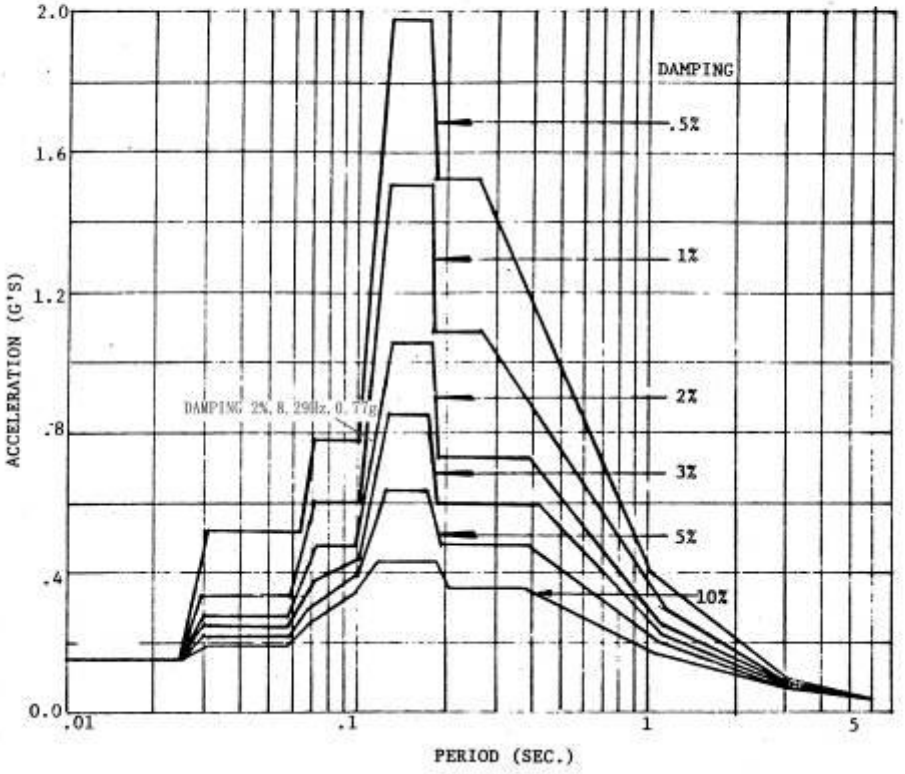
TAIPOWER	台灣電力公司 TAIWAN POWER COMPANY KUOSHENG NUCLEAR POWER STATION UNITS 1 & 2
REACTOR BUILDING REACTOR PRESSURE VESSEL 1/2 SSE VERTICAL ACCELERATION RESPONSE SPECTRA EL (-) 8.0 FT	
FIGURE 3.7A-136	



台灣電力公司
TAIWAN POWER COMPANY
KUOSHENG NUCLEAR POWER STATION UNITS 1 & 2

REACTOR BUILDING
PEDESTAL/STRUCTURE
SSE VERTICAL ACCELERATION
RESPONSE SPECTRA EL (-) 9.33 FT

FIGURE 3.7A-83



	台灣電力公司 TAIWAN POWER COMPANY KUOSHENG NUCLEAR POWER STATION UNITS 1 & 2
REACTOR BUILDING PEDESTAL/STRUCTURE 1/2 SSE VERTICAL ACCELERATION RESPONSE SPECTRA EL (-) 9.33 FT	
FIGURE 3.7A-112	

第 陸 章

結構、周邊組件運轉安全評估

目　錄

一、　前言 ----------1

二、　結構安全評估----------1

三、　周邊組件運轉安全評估----------2

四、　結語----------3

五、　附件---------- 4

核二廠一號機結構、周邊組件運轉安全評估報告

一、前言：

核二廠 1 號機 EOC-22 大修期間，於 101 年 3 月 23 日執行反應爐支撐裙板錨定螺栓清潔維護及超音波檢查(UT)，發現內圈編號 A2 錨定螺栓已斷裂，內圈編號 D14 及 C6 共 2 支錨定螺栓，超音波(UT)顯示背波消失,判斷已接近斷裂。另 4 支內圈編號分別為 B10, B13, C9, D11 之螺栓有顯示(INDICATIONS)，但背波顯示良好。上列 7 支有瑕疵螺栓均已修復完成。

核二廠一號機於 101 年 3 月 16 日停機過程,將運轉模式開關轉至停機位置時，觸動反應爐基座裙板地震儀，其中垂直向最大加速度值達 0.29g，經分析其反應頻譜、事後校正紀錄、事前背景訊號分析，判定訊號有失真之現象。惟本公司核二廠仍對組件結構、及對周邊組件檢查及安全運轉評估。

二、結構安全評估：

7 支受損之錨定螺栓均已依原設計修復，已恢復其原設計功能。而其餘 113 支螺栓則再進一步確認其結構完整性，包括螺栓預力查驗、超音波再檢測、以量測硬度方式推算螺栓之抗拉強度、及假設螺栓存在有 2.5mm 未檢出裂紋情況下之進行破壞力學及疲勞評估安全評估,各項檢測及分析結果可完全確認 113 支螺栓之功能完整(另詳陳大會之核二廠一號機 113 支反應爐支撐裙板錨定螺栓完整性報告),確保整體結構之安全。

三、周邊組件運轉安全評估：

本公司已將此地震儀送交至國家地震工程研究中心進行測試驗證後，其南北向、東西向均反應正常，而垂直向在引發振動後仍有不穩定的現象產生；故 0.29g 振動量，係 101 年 3 月 16 日 05:50 反應爐基

座裙板處地震儀所量得之振動量，其包含運轉模式開關切至停機位置時反應爐之振動力、背景雜波、地震儀零點上下晃動之失真訊號。

儘管 0.29g 影響時間相當短，同時包含了部份失真訊號(各訊號疊加，已無法個別分離)，但為保守起見，下面將探討 0.29g 振動量對爐心影響：

a.依據核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告 4.2/4.3 節分析，在 Faulted condition(SSE+LOCA)下(承受 1083kips 垂直上揚力)，並不會對反應爐支撐裙板錨定螺栓之疲勞破壞有威脅性；因此即使有 0.29g(<SSE+LOCA)之交變垂直上揚力，亦不可能造成反應爐支撐裙板錨定螺栓疲勞破壞。

b.另核二廠反應爐之基礎振動模式頻率為 8.29 Hz，經由反應爐垂直方向之設計基準反應譜(高程-8’，詳附件 2)，查得反應爐裙板位置其垂直加速度 OBE 約為 0.57 g，SSE 約為 0.93 g(反應爐基座高程-9’4”處垂直向加速度 OBE 為 0.16g，SSE 為 0.37g)。而核二廠反應爐支撐裙板之固定螺栓於設計時，亦採用反應爐之分析數據作為設計參數，即考慮 OBE 及 SSE 之設計條件。而地震儀記錄到最高之垂直加速度值 0.29 g，小於反應爐垂直設計加速度 0.57 g (OBE)及 0.93 g (SSE)，故仍在設計安全範圍之內。

地震儀係量測地震行為及地震量大小之儀器，對於振動量的量測並非為適當之儀器，但是此局部區域瞬間之振動量亦會讓此地震儀有所反應，因此儘管 0.29g 振動量影響時間相當短，同時包含了部份失真訊號，依保守性評估，0.29g 瞬間振動量亦不會對錨定螺栓及反應爐造成損害，且與錨定螺栓斷裂原因無關。

台電公司核二廠已於 1 號機 EOC22 大修中完成以下各項檢測，其項目如下：

1. 依程序書 708.3.4「反應器內部組件目視檢查」執行反應爐內部組件檢查。

2. 依營運檢測計畫執行安全管路/管嘴非破壞檢測完成，共檢測 59 口：包括再循環管路焊道 19 口，管嘴 29 口及爐水淨化系統（RWCU）管路焊道 11 口。
3. 依程序書 732.6-IST「核能級組件支撐目視檢查程序書」檢查反應爐支撐裙板。
4. 依程序書 612.3.7「控制棒驅動殼支架檢查」檢查控制棒驅動系統殼支架。
5. 程序書 575「地震緊急程序書」執行全廠巡視。
6. 程序書 295「反應爐壓力槽系統洩漏試驗」。

以上各項檢測結果正常(檢測紀錄詳如附件)，反應器周邊組件並無損壞情形。

四、結語：

損壞之 7 支錨定螺栓均已修復完成，而 113 支螺栓之完整性亦已完成確認。另由大修中對反應器系統及管嘴、管路等的檢測顯示無異常，並無受 0.29g 振動波衝擊影響，可以確認無論是反應器的結構安全或是周邊組件的運轉安全均無疑慮。

五、附件：

附件一、GE 公司 708.3.4「反應器內部組件目視檢查」執行結果摘要。

附件二、安全管路/管嘴非破壞檢測結果。

附件三、一號機反應爐支撐裙板目視檢查紀錄。

附件四、程序書 612.3.7「控制棒驅動殼支架」檢查紀錄。

附件五、程序書 575「地震緊急程序書」檢查紀錄。

附件六、程序書 295「反應爐壓力槽系統洩漏試驗」執行記錄。

HITACHI

ORIGINAL

FIGURE 10
KUOSHENG UNIT 1 EOC 22 INSPECTION RESULTS SUMMARY

Component	Inspection Result
Guide Rod 0°	No New Relevant Indications Found
Steam Dryer Support Bracket 146°	No New Relevant Indications Found
Feedwater Spargers & Blend Radius @ 225° & Brackets @ 007°, 083°, 097°, 173°, 187° and 263°	No New Relevant Indications Found
Core Spray Piping, Brackets & Welds 195° and 345° 100%	No New Relevant Indications Found
Core Spray Piping Flow Diverter 100%	No New Relevant Indications Found
Core Spray Piping Welds 190° to 350° 100% plus all other P3a and P5 Welds	No New Relevant Indications Found
Core Spray Spargers (S2/S4/SB) A-B C-D (S3a/S3b) A-B	No New Relevant Indications Found
Jet Pump Assemblies No.17 and 18 and Riser at 300°	No New Relevant Indications Found
Jet Pump Beam Assemblies: 1 through 5	No New Relevant Indications Found
Access Hole Cover 000°	No New Relevant Indications Found
Top Guide Hold Down (120° to 180°)	No New Relevant Indications Found
Steam Dryer. 000° to 180° 50% High Priority Welds, Steam Dryer. 180° to 270° 25% Medium and Low Priority Welds and Previous Indications	Reference: INR KS1-12-02 Rev. 1 No Change in Previous Indications in Support Ring
Steam Separator 270° to 360° 25%	No New Relevant Indications Found
SHSAM Assemblies 100%	Reference: K1EOC22 INR01-Rev. 1 No Change in Previous Indications Including 150° Lifting Eye Assembly
Control Rod Blades in the Core (6) Full Blades (3)	No New Relevant Indications Found
Control Rod Guide Tubes (4)	No New Relevant Indications Found
Fuel Support Castings (4)	No New Relevant Indications Found

核二廠一號機反應爐周邊相連支管嘴管路之銲道檢測說明

(一) 檢測依據：

(1) 行政院原子能委員會會核字第 1010004072 號函核備之「第二核能發電廠第四個十年運轉期間檢測計畫書」如附件 1。

(2) 美國聯邦法規，10 CFR 50.55a，December 23, 2010。如附件 2 摘錄有關部分章節(以紅字表示)。

(3) 10CFR 50.55a 所規定之工業規章及版本，即美國機械工程師學會鍋爐與壓力容器規章（ASME Boiler and Pressure Vessel Code）之第十一部（Sec XI－ Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components），2004 年版如附件 3 封面。

(二) 檢測方法：

依 ASME 鍋爐與壓力容器規章第十一部之要求，銲道須執行非破壞檢測包括體積及表面檢測。

體積檢測即超音波檢測或射線檢測；表面檢測即液滲檢測或磁粒檢測。

(三) 核二廠一號機銲道總數量：

核二廠一號機依據 ASME 鍋爐與壓力容器規章第十一部連接反應爐至檢測邊界所有管線銲道共 664 口。(包括須執行不鏽鋼管路銲道具有「晶粒間應力腐蝕龜裂」(Inter-granular Stress Corrosion Cracking, IGSCC)劣化機制銲道 185 口）。

(四) 核二廠一號機 10 年檢測銲道數量：

核二廠一號機依據 ASME 鍋爐與壓力容器規章第十一部規定 10 年最少檢測 25%銲道如附件 4 所示，包括 NOTES(1)所規定之必選及加選銲道，實際數量依據「第二核能發電廠第四個十年運轉期間檢測計畫書」，10 年檢測連接反應爐至檢測邊界所有管線銲道數量為 234 口如附件 5(其中須執行 IGSCC 檢測為

81 口)。

(五) 核二廠一號機 101 年大修檢測銲道數量：

核二廠一號機 101 年大修為第四個十年第 1 次大修檢測，依據「第二核能發電廠第四個十年運轉期間檢測計畫書」，原訂檢測不鏽鋼(IGSCC 檢測)部分 19 口，碳鋼部分 14 口。

因日本福島核電廠受災，增加焊道檢測，實際檢測數量為 IGSCC 不鏽鋼部分為 59 口，碳鋼部分仍為 14 口，共 73 口。檢測計畫管制表如附件 6。

(六) 接受標準：

瑕疵接受標準為 ASME 規章第十一部之表 IWB-3514-1 或表 IWB-3514-2(如附件 7);檢測過程中如發現瑕疵則以評估表執行評估，附件 8 為面狀瑕疵評估表。

(七) 洩漏測試

與反應爐周邊相連支管嘴/管路之焊道，亦須依 ASME 規章第十一部之表 IWB 2500-1 EXAMINATION CATEGORY B-P(如附件 9)的規定於每次大修執行 RPV leakage test ，以確保壓力邊界完整性。

本次大修於 4 月 12~13 日執行 RPV leakage test，測試結果於 RPV 壓力邊界未發現任何洩漏現象，故 RPV 壓力邊界應為完整。

(八) 核二廠一號機 101 年大修檢測人員証書

核二廠一號機 101 年大修非破壞檢測人員台電人員証書如附件 10；協力廠商人員除需具備台灣非破壞檢測協會證書外，尚需通過台電林口核能訓練中心檢定，協會證書如附件 11，檢定卡如附件 12，所有工作人員皆為中級(Level II)或高級檢測員(Level III)。

(九) 附件

附件 1　行政院原子能委員會會核字第 1010004072 號核備函
附件 2　10 CFR 50.55a 摘錄
附件 3　ASME SEC XI 封面
附件 4　Table IWB-2500-1 EXAMINATION CATEGORY B-J
附件 5　核二廠一號機 10 年檢測銲道數量
附件 6　檢測計畫管制表
附件 7　表 IWB-3514-1 及表 IWB-3514-2
附件 8　面狀瑕疵評估表
附件 9　Table IWB 2500-1 EXAMINATION CATEGORY B-P
附件 10　台電人員非破壞檢測証書
附件 11 協力廠商證書
附件 12　協力廠商檢定卡

附件1

檔　　號：
保存年限：

行政院原子能委員會　函

地址：23452新北市永和區成功路1段80號2樓
承辦人：熊大綱
連絡電話：(02)2232-2133
傳真：(02) 8231-7806
E-Mail：tkhsiung@aec.gov.tw

受文者：台灣電力股份有限公司

發文日期：中華民國101年3月13日
發文字號：會核字第1010004072號
速別：普通件
密等及解密條件或保密期限：
附件：無

主旨：貴公司第二核能發電廠一號機第四個十年運轉間檢測計畫書准予備查，後續要求事項如說明二，請 查照。

說明：

一、復 貴公司100年12月21日電核發字第10012007321號函。

二、有關ASME法規案例N-513-3與N-751之引用須另案提出申請，並經本會審查同意。

正本：台灣電力股份有限公司
副本：台灣電力股份有限公司第二核能發電廠、本會核能管制處 電2012/03/13文交11:17章

§ 50.55a Codes and standards.

Each construction permit for a utilization facility is subject to the following conditions in addition to those specified in § 50.55. Each combined license for a utilization facility is subject to the following conditions in addition to those specified in § 50.55, except that each combined license for a boiling or pressurized water-cooled nuclear power facility is subject to the conditions in paragraphs (f) and (g) of this section, but only after the Commission makes the finding under § 52.103(g) of this chapter. Each operating license for a boiling or pressurized water-cooled nuclear power facility is subject to the conditions in paragraphs (f) and (g) of this section in addition to those specified in § 50.55. Each manufacturing license, standard design approval, and standard design certification application under part 52 of this chapter is subject to the conditions in paragraphs (a), (b)(1), (b)(4), (c), (d), (e), (f)(3), and (g)(3) of this section.

(a)(1) Structures, systems, and components must be designed, fabricated, erected, constructed, tested, and inspected to quality standards commensurate with the importance of the safety function to be performed.

(2) Systems and components of boiling and pressurized water-cooled nuclear power reactors must meet the requirements of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code specified in paragraphs (b), (c), (d), (e), (f), and (g) of this section. Protection systems of nuclear power reactors of all types must meet the requirements specified in paragraph (h) of this section.

(3) Proposed alternatives to the requirements of paragraphs (c), (d), (e), (f), (g), and (h) of this section or portions thereof may be used when authorized by the Director, Office of Nuclear Reactor Regulation, or Director, Office of New Reactors, as appropriate. The applicant shall demonstrate that:

(i) The proposed alternatives would provide an acceptable level of quality and safety, or

(ii) Compliance with the specified requirements of this section would result in hardship or unusual difficulty without a compensating increase in the level of quality and safety.

(b) The following standards have been approved for incorporation by reference by the Director of the Federal Register pursuant to 5 U.S.C. 552(a) and 1 CFR part 51: Sections III and XI of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code and the ASME Code for Operation and Maintenance of Nuclear Power Plants, which are referenced in paragraphs (b)(1), (b)(2), and (b)(3) of this section; NRC Regulatory Guide 1.84, Revision 34, "Design, Fabrication, and Materials Code Case Acceptability, ASME Section III" (October 2007); NRC Regulatory Guide 1.147, Revision 15, "Inservice Inspection Code Case Acceptability, ASME Section XI, Division 1" (October 2007); and Regulatory Guide 1.192, "Operation and Maintenance Code Case Acceptability, ASME OM Code" (June 2003), which list ASME Code cases that the NRC has approved in accordance with the requirements in paragraphs (b)(4), (b)(5), and (b)(6) of this section; ASME Code Case N-729-1, "Alternative Examination Requirements for PWR Reactor Vessel Upper Heads With Nozzles Having Pressure-Retaining Partial-Penetration Welds, Section XI, Division 1" (Approval Date: March 28, 2006), which has been approved by the NRC with conditions in accordance with the requirements in paragraph (g)(6)(ii)(D) of this section; and ASME Code Case N-722, "Additional Examinations for PWR Pressure Retaining Welds in Class 1 Components Fabricated with Alloy 600/82/182 Materials, Section XI, Division 1" (Approval Date: July 5, 2005), which has been approved by the NRC with conditions in accordance with the requirements in paragraphs (g)(6)(ii)(E) of this section. Copies of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code, the ASME Code for Operation and Maintenance of Nuclear Power Plants, ASME Code Case N-729-1, and ASME Code Case N-722 may be purchased from the American Society of Mechanical Engineers, Three Park Avenue, New York, NY 10016 or through the Web http://www.asme.org/Codes/. Single copies of NRC Regulatory Guides 1.84, Revision 34; 1.147, Revision 15; and 1.192 may be obtained free of charge by writing the Reproduction and Distribution Services Section, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC 20555- 0001; or by fax to 301-415-2289; or by e-mail to DISTRIBUTION@nrc.gov. Copies of the ASME Codes and NRC Regulatory Guides

incorporated by reference in this section may be inspected at the NRC Technical Library, Two White Flint North, 11545 Rockville Pike, Rockville, MD 20852–2738 or call 301–415–5610, or at the National Archives and Records Administration (NARA). For information on the availability of this material at NARA, call 202–741–6030, or go to: *http://www.archives.gov/federal_register/code_of_federal_regulations/ibr_locations.html*.

(1) As used in this section, references to Section III of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code refer to Section III, and include the 1963 Edition through 1973 Winter Addenda, and the 1974 Edition (Division 1) through the 2004 Edition (Division 1), subject to the following limitations and modifications:

(i) *Section III Materials.* When applying the 1992 Edition of Section III, applicants or licensees must apply the 1992 Edition with the 1992 Addenda of Section II of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code.

(ii) *Weld leg dimensions.* When applying the 1989 Addenda through the latest edition, and addenda incorporated by reference in paragraph (b)(1) of this section, applicants or licensees may not apply paragraph NB–3683.4(c)(1), Footnote 11 to Figure NC–3673.2(b)–1, and Figure ND–3673.2(b)–1.

(iii) *Seismic design of piping*. Applicants and licensees may use Articles NB–3200, NB–3600, NC–3600, and ND–3600 for seismic design of piping, up to and including the 1993 Addenda, subject to the limitation specified in paragraph (b)(1)(ii) of this section. Applicants and licensees may not use these Articles for seismic design of piping in the 1994 Addenda through the latest edition and addenda incorporated by reference in paragraph (b)(1) of this section.

(iv) *Quality assurance.* When applying editions and addenda later than the 1989 Edition of Section III, the requirements of NQA-1, "Quality Assurance Requirements for Nuclear Facilities," 1986 Edition through the 1992 Edition, are acceptable for use provided that the edition and addenda of NQA-1 specified in NCA-4000 is used in conjunction with the administrative, quality, and technical provisions contained in the edition and addenda of Section III being used.

(v) *Independence of inspection.* Applicants or licensees may not apply NCA–4134.10(a) of Section III, 1995 Edition, through the latest edition and addenda incorporated by reference in paragraph (b)(1) of this section.

(vi) *Subsection NH.* The provisions in Subsection NH, "Class 1 Components in Elevated Temperature Service," 1995 Addenda through the latest edition and addenda incorporated by reference in paragraph (b)(1) of this section, may only be used for the design and construction of Type 316 stainless steel pressurizer heater sleeves where service conditions do not cause the component to reach temperatures exceeding 900 °F.

(2) As used in this section, references to Section XI of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code refer to Section XI, and include the 1970 Edition through the 1976 Winter Addenda, and the 1977 Edition (Division 1) through the 2004 Edition (Division 1), subject to the following limitations and modifications:

(i) *Limitations on specific editions and addenda*. When applying the 1974 Edition, only the addenda through the Summer 1975 Addenda may be used. When applying the 1977 Edition, all of the addenda through the Summer 1978 Addenda must also be used. Addenda and editions subsequent to the Summer 1978 Addenda, that are incorporated by reference in paragraph (b)(2) of this section are not affected by these limitations.

(ii) *Pressure-retaining welds in ASME Code Class 1 piping (applies to Table IWB-2500 and IWB-2500- 1 and Category B-J).* If the facility's application for a construction permit was docketed prior to July 1, 1978, the extent of examination for Code Class 1 pipe welds may be determined by the requirements of Table IWB- 2500 and Table IWB- 2600 Category B-J of Section XI of the ASME Code in the 1974 Edition and addenda through the Summer 1975 Addenda or other requirements the Commission may adopt.

(g) *Inservice* inspection *requirements.* Requirements for inservice testing of Class 1, Class 2, and Class 3 pumps and valves are located in § 50.55a(f).

(1) For a boiling or pressurized water-cooled nuclear power facility whose construction permit was issued before January 1, 1971, components (including supports) must meet the requirements of paragraphs (g)(4) and (g)(5) of this section to the extent practical. Components which are part of the reactor coolant pressure boundary and their supports must meet the requirements applicable to components which are classified as ASME Code Class 1. Other safety-related pressure vessels, piping, pumps and valves, and their supports must meet the requirements applicable to components which are classified as ASME Code Class 2 or Class 3.

(2) For a boiling or pressurized water-cooled nuclear power facility whose construction permit was issued on or after January 1, 1971, but before July 1, 1974, components (including supports) which are classified as ASME Code Class 1 and Class 2 must be designed and be provided with access to enable the performance of inservice examination of such components (including supports) and must meet the preservice examination requirements set forth in editions and addenda of Section XI of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code incorporated by reference in paragraph (b) of this section (or the optional ASME Code cases listed in NRC Regulatory Guide 1.147, Revision 15, that are incorporated by reference in paragraph (b) of this section) in effect six months before the date of issuance of the construction permit. The components (including supports) may meet the requirements set forth in subsequent editions and addenda of this Code which are incorporated by reference in paragraph (b) of this section (or the optional ASME Code cases listed in NRC Regulatory Guide 1.147, Revision 15, that are incorporated by reference in paragraph (b) of this section), subject to the applicable limitations and modifications.

(3) For a boiling or pressurized watercooled nuclear power facility whose construction permit under this part, or design certification, design approval, combined license, or manufacturing license under part 52 of this chapter, was issued on or after July 1, 1974:

(i) Components (including supports) which are classified as ASME Code Class 1 must be designed and be provided with access to enable the performance of inservice examination of these components and must meet the preservice examination requirements set forth in the editions and addenda of Section XI of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code incorporated by reference in paragraph (b) of this section (or the optional ASME Code cases listed in NRC Regulatory Guide 1.147, Revision 15, that are incorporated by reference in paragraph (b) of this section) applied to the construction of the particular component.

(ii) Components which are classified as ASME Code Class 2 and Class 3 and supports for components which are classified as ASME Code Class 1, Class 2, and Class 3 must be designed and be provided with access to enable the performance of inservice examination of these components and must meet the preservice examination requirements set forth in the editions and addenda of Section XI of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code incorporated by reference in paragraph (b) of this section (or the optional ASME Code Cases listed in NRC Regulatory Guide 1.147, Revision 15, that are incorporated by reference in paragraph (b) of this section) applied to the construction of the particular component.

(iii)--(iv) [Reserved]

(v) All components (including supports) may meet the requirements set forth in subsequent editions of codes and addenda or portions thereof which are incorporated by reference in paragraph (b) of this section, subject to the limitations and modifications listed therein.

(4) Throughout the service life of a boiling or pressurized water-cooled nuclear power facility, components (including supports) which are classified as ASME Code Class 1, Class 2 and Class 3 must meet the requirements, except design and access provisions and preservice examination requirements, set forth in Section XI of editions of the ASME Boiler and Pressure

Vessel Code and Addenda that become effective subsequent to editions specified in paragraphs (g)(2) and (g)(3) of this section and that are incorporated by reference in paragraph (b) of this section, to the extent practical within the limitations of design, geometry and materials of construction of the components. Components which are classified as Class MC pressure retaining components and their integral attachments, and components which are classified as Class CC pressure retaining components and their integral attachments must meet the requirements, except design and access provisions and preservice examination requirements, set forth in Section XI of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code and Addenda that are incorporated by reference in paragraph (b) of this section, subject to the limitation listed in paragraph (b)(2)(vi) of this section and the modifications listed in paragraphs (b)(2)(viii) and (b)(2)(ix) of this section, to the extent practical within the limitation of design, geometry and materials of construction of the components.

(i) Inservice examination of components and system pressure tests conducted during the initial 120-month inspection interval must comply with the requirements in the latest edition and addenda of the Code incorporated by reference in paragraph (b) of this section on the date 12 months before the date of issuance of the operating license (or the optional ASME Code cases listed in NRC Regulatory Guide 1.147, Revision 15, that are incorporated by reference in paragraph (b) of this section, subject to the limitations and modifications listed in paragraph (b) of this section.

(ii) Inservice examination of components and system pressure tests conducted during successive 120-month inspection intervals must comply with the requirements of the latest edition and addenda of the Code incorporated by reference in paragraph (b) of this section 12 months before the start of the 120-month inspection interval (or the optional ASME Code cases listed in NRC Regulatory Guide 1.147, Revision 15, that are incorporated by reference in paragraph (b) of this section), subject to the limitations and modifications listed in paragraph (b) of this section.

(iii) Licensees may, but are not required to, perform the surface examinations of High Pressure Safety Injection Systems specified in Table IWB-2500-1, Examination Category B-J, Item Numbers B9.20, B9.21, and B9.22.

(iv) Inservice examination of components and system pressure tests may meet the requirements set forth in subsequent editions and addenda that are incorporated by reference in paragraph (b) of this section, subject to the limitations and modifications listed in paragraph (b) of this section, and subject to Commission approval. Portions of editions or addenda may be used provided that all related requirements of the respective editions or addenda are met.

(v) For a boiling or pressurized watercooled nuclear power facility whose construction permit under this part or combined license under part 52 of this chapter was issued after January 1, 1956:

(A) Metal containment pressure retaining components and their integral attachments must meet the inservice inspection, repair, and replacement requirements applicable to components which are classified as ASME Code Class MC;

(B) Metallic shell and penetration liners which are pressure retaining components and their integral attachments in concrete containments must meet the inservice inspection, repair, and replacement requirements applicable to components which are classified as ASME Code Class MC; and

(C) Concrete containment pressure retaining components and their integral attachments, and the post-tensioning systems of concrete containments must meet the inservice inspection, repair, and replacement requirements applicable to components which are classified as ASME Code Class CC.

(5)(i) The inservice inspection program for a boiling or pressurized water-cooled nuclear power facility must be revised by the licensee, as necessary, to meet the requirements of paragraph (g)(4) of this section.

2004 ASME BOILER & PRESSURE VESSEL CODE

XI

AN INTERNATIONAL CODE

RULES FOR INSERVICE INSPECTION OF NUCLEAR POWER PLANT COMPONENTS

The American Society of Mechanical Engineers

TABLE IWB-2500-1 (CONT'D)
EXAMINATION CATEGORIES

EXAMINATION CATEGORY B-J, PRESSURE RETAINING WELDS IN PIPING							
					Extent and Frequency of Examination		
Item No.	Parts Examined	Examination Requirements/ Fig. No.	Examination Method	Acceptance Standard	First Inspection Interval	Successive Inspection Intervals [Note (3)]	Deferral of Examination to End of Interval
B9.10 B9.11	NPS 4 or larger (DN 100) Circumferential welds	IWB-2500-8	Surface and volumetric	IWB-3514	Welds [Notes (1) and (4)–(7)]	Same as for first interval	Not permissible
B9.20 B9.21	Less than NPS 4 (DN 100) Circumferential welds other than PWR high pressure safety injection systems	IWB-2500-8	Surface	IWB-3514	Welds [Notes (1), (4), and (5)]	Same as for first interval	Not permissible
B9.22	Circumferential welds of PWR high pressure safety injection systems		Volumetric		Welds [Notes (2), (4), (6), and (7)]		
B9.30 B9.31	Branch pipe connection welds NPS 4 or larger (DN 100)	IWB-2500-9, -10, and -11	Surface and volumetric	IWB-3514	Welds [Notes (1) and (4)–(7)]	Same as for first interval	Not permissible
B9.32	Less than NPS 4 (DN 100)		Surface		Welds [Notes (1), (4), and (5)]		
B9.40	Socket welds	IWB-2500-8	Surface	IWB-3514	Welds [Notes (1) and (4)]	Same as for first interval	Not permissible

NOTES:
(1) Examinations shall include the following:
  (a) All terminal ends in each pipe or branch run connected to vessels.
  (b) All terminal ends and joints in each pipe or branch run connected to other components where the stress levels exceed either of the following limits under loads associated with specific seismic events and operational conditions:
    (1) primary plus secondary stress intensity range of $2.4S_m$ for ferritic steel and austenitic steel
    (2) cumulative usage factor U of 0.4
  (c) All dissimilar metal welds not covered under Category B-F.
  (d) Additional piping welds so that the total number of circumferential butt welds (or branch connection or socket welds) selected for examination equals 25% of the circumferential butt welds (or branch connection or socket welds) in the reactor coolant piping system. This total does not include welds exempted by IWB-1220 or welds in Item No. B9.22. These additional welds may be located in one loop (one loop is defined for both PWR and BWR plants in the 1977 Edition).
(2) A 10% sample of PWR high pressure safety injection system circumferential welds in piping ≥ NPS $1\frac{1}{2}$ (DN 40) and < NPS 4 (DN 100) shall be selected for examination. This sample shall be selected from locations determined by the Owner as most likely to be subject to thermal fatigue. Thermal fatigue may be caused by conditions such as valve leakage or turbulence effects.
(3) The initially selected welds are to be examined in the same sequence during successive inspection intervals, to the extent practical.
(4) Includes essentially 100% of weld length.
(5) For circumferential welds with intersecting longitudinal welds, surface examination of the longitudinal piping welds is required for those portions of the welds within the examination boundaries of intersecting Examination Category B-F and B-J circumferential welds.
(6) For circumferential welds with intersecting longitudinal welds, volumetric examination of the longitudinal piping welds is required for those portions of the welds within the examination boundaries of intersecting Examination Category B-F and B-J circumferential welds. The following requirements shall also be met:
  (a) When longitudinal welds are specified and locations are known, examination requirements shall be met for both transverse and parallel flaws at the intersection of the welds and for that length of longitudinal weld within the circumferential weld examination volume.
  (b) When longitudinal welds are specified but locations are unknown, or the existence of longitudinal welds is uncertain, the examination requirements shall be met for both transverse and parallel flaws within the entire examination volume of intersecting circumferential welds.
(7) For welds in carbon or low alloy steels, only those welds showing reportable preservice transverse indications need to be examined by the ultrasonic method for reflectors transverse to the weld length direction except that circumferential welds with intersecting longitudinal welds shall meet Note (5).

核二廠一號機10年檢測銲道數量

系統	ISI圖號	構件名稱	焊道編號	檢測方法1	檢測方法2	大修別	IGSCC檢測
RWCU	A-2	4-RWCU-2B	J07	PT	UT	22	NO
RWCU	A-3	6-RWCU-2A	J06S	PT	UT	22	NO
RCIC	A-4	6-RCIC-5B	J19	PT	UT	22	NO
RHR	A-6	18-RHR-6B	J07	PT	UT	22	NO
RHR	A-8	10-RHR-6R	J23	PT	UT	22	NO
RHR	A-10	10-RHR-6T	J38	PT	UT	22	NO
LPCS	A-12	10-LPCS-8C	J05	PT	UT	22	NO
LPCS	A-12	10-LPCS-8C	J14	PT	UT	22	NO
LPCS	A-12	10-LPCS-8C	J24	PT	UT	22	NO
FW	A-13	14-FW-22AZ-B	J01	PT	UT	22	NO
FW	A-13	12-FW-22AZ-B	J03	PT	UT	22	NO
MS	A-19	24-MS-A	J04	PT	UT	22	NO
MS	A-20	PSV-141 INLET	J01	PT	UT	22	NO
RECIRC	A-26	RPV NOZZLE	N2A-F1	PT	AUT	22	YES
RECIRC	A-26	RPV NOZZLE	N2A-F2	PT	AUT	22	YES
RECIRC	A-26	RPV NOZZLE	N2H-F1	PT	AUT	22	YES
RECIRC	A-26	RPV NOZZLE	N2H-F2	PT	AUT	22	YES
RECIRC	A-39	20-RECIRC B-SUCTION	J09	PT	AUT	22	YES
RECIRC	A-39	20-RECIRC B-DISCHARGE	J15S	PT	MUT	22	YES
RECIRC	A-39	10-RECIRC N2F RISER	J2	PT	AUT	22	YES
FW	A-28	RPV NOZZLE	N4B-F1(OL)		AUT	22,23,24	YES
FW	A-28	RPV NOZZLE	N4A-F1(OL)		AUT	22,24	YES
SBLC	A-41	RPV-NOZZLE	N11-F1	PT		22,24,26,28	NO
RHR/LPCI	A-31	RPV NOZZLE	N6A-F1	PT	AUT	22,26	YES
RHR/LPCI	A-31	RPV NOZZLE	N6A-F2	PT	AUT	22,26	YES
RHR/LPCI	A-31	RPV NOZZLE	N6B-F1	PT	AUT	22,26	YES
RHR/LPCI	A-31	RPV NOZZLE	N6B-F2	PT	AUT	22,26	YES
RWCU	A-2	4-RWCU-2B	J2	PT	MUT	22,27	YES
RWCU	A-2	4-RWCU-2B	J3	PT	MUT	22,27	YES
FW	A-28	RPV NOZZLE	N4C-F1		AUT	22,27	YES
FW	A-28	RPV NOZZLE	N4D-F1		AUT	22,27	YES
CS	A-29	RPV NOZZLE	N5A-F1	PT	AUT	22,27	YES
CS	A-29	RPV NOZZLE	N5A-F2	PT	AUT	22,27	YES
RCIC	A-1	08-RCIC-1Q	J01	PT	UT	23	NO
RCIC	A-1	08-RCIC-1Q	J06	PT	UT	23	NO
RWCU	A-2	6-RWCU-2A	J04-R1	PT	UT	23	NO
RWCU	A-3	4-RWCU-44P	J02	PT	UT	23	NO
RWCU	A-3	4-RWCU-44P	J03	PT	UT	23	NO

系統	ISI圖號	構件名稱	焊道編號	檢測方法1	檢測方法2	大修別	IGSCC檢測
RWCU	A-3	4-RWCU-44P	J05	PT	UT	23	NO
RWCU	A-3	6-RWCU-2A	J16	PT	UT	23	NO
RCIC	A-4	6-RCIC-5B	J22	PT	UT	23	NO
RHR	A-6	18-RHR-6B	J08	PT	UT	23	NO
RHR	A-6	18-RHR-6B	J14	PT	UT	23	NO
RHR	A-8	10-RHR-6R	J03	PT	UT	23	NO
RHR	A-8	10-RHR-6R	J09	PT	UT	23	NO
RHR	A-9	10-RHR-6T	J01	PT	UT	23	NO
RHR	A-10	10-RHR-6T	J26	PT	UT	23	NO
HPCS	A-11	10-HPCS-7C	J07	PT	UT	23	NO
HPCS	A-11	10-HPCS-7C	J22	PT	UT	23	NO
LPCS	A-12	10-LPCS-8C	J20	PT	UT	23	NO
FW	A-13	18-FW-22AZ-A	J13	PT	UT	23	NO
FW	A-14	12-FW-22AZ-D	J03	PT	UT	23	NO
FW	A-14	18-FW-22AZ-B	J09	PT	UT	23	NO
FW	A-14	18-FW-22AZ-B	J11S	PT	UT	23	NO
FW	A-14	18-FW-22AZ-B	J13	PT	UT	23	NO
RWCU	A-18	2-RWCU-44BU	F1	PT		23	NO
RWCU	A-18	2-RWCU-44BU	J07	PT		23	NO
MS	A-19	24-MS-D	J12	PT	UT	23	NO
MS	A-20	PSV-169 INLET	J01	PT	UT	23	NO
MS	A-20	24-MS-B	J03	PT	UT	23	NO
MS	A-20	24-MS-C	J12S	PT	UT	23	NO
RECIRC	A-26	RPV NOZZLE	N2B-F1	PT	AUT	23	YES
RECIRC	A-26	RPV NOZZLE	N2B-F2	PT	AUT	23	YES
RECIRC	A-26	RPV NOZZLE	N2J-F1	PT	AUT	23	YES
RECIRC	A-26	RPV NOZZLE	N2J-F2	PT	AUT	23	YES
MS	A-27	24-MS-A	J01(N3A)	PT	UT	23	NO
MS	A-27	24-MS-D	J01(N3D)	PT	UT	23	NO
RPV	A-35	RPV NOZZLE	N10-J1	PT	UT	23	NO
RECIRC	A-38	20-RECIRC A-DISCHARGE	J15-R1	PT	AUT	23	YES
RECIRC	A-38	20-RECIRC A-DISCHARGE	J19	PT	AUT	23	YES
RECIRC	A-39	20-RECIRC B-DISCHARGE	J16S	PT	MUT	23	YES
SBLC	A-41	1.5-SBLC-4R	J1	PT		23	NO
SBLC	A-41	2-SBLC-4R	J25	PT		23	NO
RWCU	A-2	4-RWCU-2A	J1	PT	MUT	23,28	YES
RWCU	A-2	4-RWCU-2A	J2	PT	MUT	23,28	YES
RWCU	A-2	4-RWCU-2A	J3	PT	MUT	23,28	YES
RWCU	A-2	4-RWCU-2A	J4	PT	MUT	23,28	YES
RWCU	A-2	4-RWCU-2A	J5	PT	MUT	23,28	YES

系統	ISI圖號	構件名稱	焊道編號	檢測方法1	檢測方法2	大修別	IGSCC檢測
CS	A-29	RPV NOZZLE	N5B-F1	PT	AUT	23,28	YES
CS	A-29	RPV NOZZLE	N5B-F2	PT	AUT	23,28	YES
JET PUMP INSTR	A-34	RPV NOZZLE	N9A-F1	PT	MUT	23,28	YES
CRD-HYD	A-35	RPV NOZZLE	N10-F1	PT	MUT	23,28	YES
RCIC	A-1	10-RCIC-1Q	J01	PT	UT	24	NO
RWCU	A-2	4-RWCU-2A	F1	PT	MUT	24	YES
RWCU	A-2	4-RWCU-2A	F2	PT	MUT	24	YES
RWCU	A-2	4-RWCU-2A	J6	PT	MUT	24	YES
RWCU	A-2	4-RWCU-2A	J7	PT	MUT	24	YES
RWCU	A-2	4-RWCU-2B	J1	PT	MUT	24	YES
RWCU	A-2	4-RWCU-2B	J06	PT	UT	24	NO
RWCU	A-3	4-RWCU-44P	J07	PT	UT	24	NO
RWCU	A-3	6-RWCU-2A	J11	PT	UT	24	NO
RHR	A-7	10-RHR-6M	J05	PT	UT	24	NO
RHR	A-8	10-RHR-6R	J04	PT	UT	24	NO
RHR	A-9	10-RHR-6T	J11	PT	UT	24	NO
RHR	A-10	10-RHR-6T	J41	PT	UT	24	NO
HPCS	A-11	10-HPCS-7C	J13	PT	UT	24	NO
FW	A-13	14-FW-22AZ-A	J03	PT	UT	24	NO
FW	A-13	12-FW-22AZ-B	J05	PT	UT	24	NO
FW	A-14	12-FW-22AZ-D	J05	PT	UT	24	NO
MS	A-19	24-MS-A	J05	PT	UT	24	NO
MS	A-19	24-MS-A	J06S	PT	UT	24	NO
MS	A-20	24-MS-B	J04	PT	UT	24	NO
MS	A-20	24-MS-C	J17	PT	UT	24	NO
RECIRC	A-26	RPV NOZZLE	N2C-F1	PT	AUT	24	YES
RECIRC	A-26	RPV NOZZLE	N2C-F2	PT	AUT	24	YES
RECIRC	A-26	RPV NOZZLE	N2K-F1	PT	AUT	24	YES
RECIRC	A-26	RPV NOZZLE	N2K-F2	PT	AUT	24	YES
HPCS	A-30	12-HPCS-7C	J01	PT	UT	24	NO
LPCS	A-30	12-LPCS-8C	J01	PT	UT	24	NO
RHR/LPCI	A-31	RPV NOZZLE	N6C-F1	PT	AUT	24	YES
RHR/LPCI	A-31	RPV NOZZLE	N6C-F2	PT	AUT	24	YES
JET PUMP INSTR	A-34	RPV NOZZLE	N9A-J1	PT	MUT	24	YES
RECIRC	A-38	10-RECIRC N2A RISER	J2	PT	AUT	24	YES
RECIRC	A-38	20-RECIRC A-SUCTION	J06	PT	AUT	24	YES
RECIRC	A-39	20-RECIRC B-DISCHARGE	J25S	PT	MUT	24	YES
SBLC	A-41	2-SBLC-4R	J26	PT		24	NO
SBLC	A-41	RPV-NOZZLE	N11-J1	PT		24	NO
RCIC	A-1	10-RCIC-1Q	J02	PT	UT	25	NO

系統	ISI圖號	構件名稱	焊道編號	檢測方法1	檢測方法2	大修別	IGSCC檢測
RWCU	A-2	4-RWCU-2B	F1	PT	MUT	25	YES
RWCU	A-2	4-RWCU-2B	F2	PT	MUT	25	YES
RWCU	A-2	4-RWCU-2B	J4	PT	MUT	25	YES
RWCU	A-2	4-RWCU-2B	J5	PT	MUT	25	YES
RWCU	A-3	4-RWCU-44P	J13	PT	UT	25	NO
RHR	A-6	18-RHR-6B	F1	PT	AUT	25	YES
RHR	A-6	18-RHR-6B	J1	PT	AUT	25	YES
RHR	A-6	18-RHR-6B	J02	PT	UT	25	NO
RHR	A-6	18-RHR-6B	J03	PT	UT	25	NO
RHR	A-9	10-RHR-6T	J05	PT	UT	25	NO
RHR	A-10	10-RHR-6T	J25	PT	UT	25	NO
HPCS	A-11	10-HPCS-7C	J16	PT	UT	25	NO
HPCS	A-11	10-HPCS-7C	J20	PT	UT	25	NO
FW	A-13	12-FW-22AZ-A	J05	PT	UT	25	NO
FW	A-14	18-FW-22AZ-B	J05	PT	UT	25	NO
RWCU	A-17	2-RWCU-44U	J01	PT		25	NO
MS	A-19	PSV-159 INLET	J01	PT	UT	25	NO
MS	A-19	24-MS-D	J03	PT	UT	25	NO
MS	A-19	24-MS-D	J13	PT	UT	25	NO
MS	A-20	PSV-189 INLET	J01	PT	UT	25	NO
MS	A-20	24-MS-B	J09S	PT	UT	25	NO
RECIRC	A-25	RPV NOZZLE	N1B-F1		AUT	25	YES
RECIRC	A-26	RPV NOZZLE	N2D-F1	PT	AUT	25	YES
RECIRC	A-26	RPV NOZZLE	N2D-F2	PT	AUT	25	YES
MS	A-27	24-MS-B	J01(N3C)	PT	UT	25	NO
MS	A-27	24-MS-D	J02(N3D)	PT	UT	25	NO
JET PUMP INSTR	A-34	RPV NOZZLE	N9B-F1	PT	MUT	25	YES
JET PUMP INSTR	A-34	RPV NOZZLE	N9B-J1	PT	MUT	25	YES
RECIRC	A-38	16-RECIRC-A-HEADER	J5	PT	AUT	25	YES
RECIRC	A-38	20-RECIRC A-SUCTION	J08S	PT	MUT	25	YES
RECIRC	A-39	10-RECIRC N2J RISER	J3(OL)	PT	AUT	25	YES
SBLC	A-41	2-SBLC-4R	J28	PT		25	NO
SBLC	A-41	2-SBLC-4R	J29	PT		25	NO
RWCU	A-3	4-RWCU-44P	J04	PT	UT	26	NO
RCIC	A-4	6-RCIC-5B	J14	PT	UT	26	NO
RHR	A-7	10-RHR-6M	J18	PT	UT	26	NO
HPCS	A-11	10-HPCS-7C	J12	PT	UT	26	NO
LPCS	A-12	10-LPCS-8C	J16	PT	UT	26	NO
FW	A-13	12-FW-22AZ-A	J02	PT	UT	26	NO
FW	A-13	18-FW-22AZ-A	J09	PT	UT	26	NO

系統	ISI圖號	構件名稱	焊道編號	檢測方法1	檢測方法2	大修別	IGSCC檢測
FW	A-14	12-FW-22AZ-C	J05	PT	UT	26	NO
RWCU	A-16	2-RWCU-44P	J01	PT		26	NO
RWCU	A-17	2-RWCU-44U	J04	PT		26	NO
MS	A-19	24-MS-A	J03	PT	UT	26	NO
MS	A-20	24-MS-C	J04	PT	UT	26	NO
RECIRC	A-25	RPV NOZZLE	N1A-F1		AUT	26	YES
RECIRC	A-26	RPV NOZZLE	N2C-TSW(OL)	PT	AUT	26	YES
RECIRC	A-26	RPV NOZZLE	N2E-F1	PT	AUT	26	YES
RECIRC	A-26	RPV NOZZLE	N2E-F2	PT	AUT	26	YES
RECIRC	A-39	20-RECIRC B-SUCTION	J04	PT	AUT	26	YES
RECIRC	A-39	16-RECIRC-B-HEADER	J7S	PT	MUT	26	YES
SBLC	A-41	2-SBLC-4R	J06	PT		26	NO
SBLC	A-41	2-SBLC-4R	J30	PT		26	NO
RWCU	A-2	4-RWCU-2A	J09	PT	UT	27	NO
RWCU	A-3	6-RWCU-2A	J05-R1	PT	UT	27	NO
RCIC	A-4	6-RCIC-5B	J02	PT	UT	27	NO
RCIC	A-5	6-RCIC-5B	J27	PT	UT	27	NO
RCIC	A-5	6-RCIC-5B	J31	PT	UT	27	NO
RHR	A-6	18-RHR-6B	J05	PT	UT	27	NO
RHR	A-7	10-RHR-6M	J11	PT	UT	27	NO
RHR	A-7	10-RHR-6M	J16	PT	UT	27	NO
RHR	A-8	10-RHR-6R	J15	PT	UT	27	NO
RHR	A-8	10-RHR-6R	J18	PT	UT	27	NO
RHR	A-9	10-RHR-6T	J07	PT	UT	27	NO
RHR	A-9	10-RHR-6T	J22	PT	UT	27	NO
RHR	A-10	10-RHR-6T	J34	PT	UT	27	NO
RHR	A-10	10-RHR-6T	J42	PT	UT	27	NO
HPCS	A-11	10-HPCS-7C	J25	PT	UT	27	NO
LPCS	A-12	10-LPCS-8C	J13	PT	UT	27	NO
FW	A-13	14-FW-22AZ-A	J02	PT	UT	27	NO
FW	A-13	18-FW-22AZ-A	J05	PT	UT	27	NO
FW	A-14	12-FW-22AZ-C	J03	PT	UT	27	NO
FW	A-14	12-FW-22AZ-D	J01	PT	UT	27	NO
RWCU	A-15	2-RWCU-44A	J04	PT		27	NO
RWCU	A-15	2-RWCU-44A	J06	PT		27	NO
RWCU	A-18	2-RWCU-44BU	J02	PT		27	NO
MS	A-19	24-MS-D	J04	PT	UT	27	NO
MS	A-19	24-MS-D	J08S	PT	UT	27	NO
MS	A-20	24-MS-B	J07	PT	UT	27	NO
MS	A-20	24-MS-B	J16	PT	UT	27	NO

系統	ISI圖號	構件名稱	焊道編號	檢測方法1	檢測方法2	大修別	IGSCC檢測
RECIRC	A-26	RPV NOZZLE	N2F-F1	PT	AUT	27	YES
RECIRC	A-26	RPV NOZZLE	N2F-F2	PT	AUT	27	YES
RECIRC	A-38	20-RECIRC A-SUCTION	J04(OL)	PT	AUT	27	YES
RECIRC	A-38	20-RECIRC A-SUCTION	J09S	PT	MUT	27	YES
RECIRC	A-38	20-RECIRC A-DISCHARGE	J23S	PT	MUT	27	YES
RECIRC	A-39	20-RECIRC B-DISCHARGE	J20	PT	AUT	27	YES
SBLC	A-41	2-SBLC-4R	J27	PT		27	NO
RWCU	A-3	4-RWCU-44P	J08	PT	UT	28	NO
RWCU	A-3	4-RWCU-44P	J10-R1	PT	UT	28	NO
RWCU	A-3	4-RWCU-44P	J11-R1	PT	UT	28	NO
RHR	A-7	10-RHR-6M	J01	PT	UT	28	NO
RHR	A-7	10-RHR-6M	J19	PT	UT	28	NO
RHR	A-7	10-RHR-6M	J20	PT	UT	28	NO
RHR	A-8	10-RHR-6R	J20	PT	UT	28	NO
RHR	A-9	10-RHR-6T	J20	PT	UT	28	NO
RHR	A-10	10-RHR-6T	J39	PT	UT	28	NO
HPCS	A-11	10-HPCS-7C	J05	PT	UT	28	NO
LPCS	A-12	10-LPCS-8C	J25	PT	UT	28	NO
FW	A-13	12-FW-22AZ-A	J06	PT	UT	28	NO
FW	A-14	12-FW-22AZ-D	J07	PT	UT	28	NO
MS	A-19	24-MS-A	J16	PT	UT	28	NO
MS	A-19	24-MS-D	J06	PT	UT	28	NO
MS	A-20	24-MS-C	J03	PT	UT	28	NO
MS	A-20	24-MS-C	J07	PT	UT	28	NO
MS	A-20	24-MS-C	J08S	PT	UT	28	NO
RECIRC	A-26	RPV NOZZLE	N2G-F1	PT	AUT	28	YES
RECIRC	A-26	RPV NOZZLE	N2G-F2	PT	AUT	28	YES
MS	A-27	24-MS-C	J01(N3B)	PT	UT	28	NO
RECIRC	A-39	20-RECIRC B-SUCTION	J10S	PT	MUT	28	YES
RECIRC	A-39	20-RECIRC B-SUCTION	J11S	PT	MUT	28	YES
RECIRC	A-39	20-RECIRC B-DISCHARGE	J26	PT	AUT	28	YES
SBLC	A-41	2-SBLC-4R	J14	PT		28	NO
SBLC	A-41	2-SBLC-4R	J31	PT		28	NO
SBLC	A-41	2-SBLC-4R	J32	PT		28	NO
SBLC	A-41	2-SBLC-4R	J35	PT		28	NO
SBLC	A-41	2-SBLC-4R	J36	PT		28	NO
total					234		

核二廠一號機第22次大修運轉期間檢測項目及結果摘要表(IGSCC 部分)

項目	ASME 分類項目	檢測範圍 管徑－系統－管線	檢測範圍 焊道設備編號	圖號	檢測方法	校正塊編號	實際執行時程	程序書編號及版次 ISI-	檢測結果	報告編號	備註	ANII簽證
1-1	B-J B9.11	4-RWCU-2A	F1	A-2	PT MUT	211	APR/03/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-7 R1P2	合格	1-1		
1-2	B-J B9.11	4-RWCU-2A	F2	A-2	PT MUT	211	APR/03/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-7 R1P2	合格	1-2		核能研究所 ANII 陳國英
1-3	B-J B9.11	4-RWCU-2A	J1	A-2	PT MUT	75-1	APR/03/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1/-6	合格	1-3		核能研究所 ANII 陳國英
1-4	B-J B9.11	4-RWCU-2A	J2	A-2	PT MUT	211	APR/03/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1/-6	合格	1-4		
1-5	B-J B9.11	4-RWCU-2A	J3	A-2	PT MUT	211	APR/03/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1/-6	合格	1-5		
1-6	B-J B9.11	4-RWCU-2A	J4	A-2	PT MUT	211	APR/03/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1/-6	合格	1-6		
1-7	B-J B9.11	4-RWCU-2A	J5	A-2	PT MUT	211	APR/03/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1/-6	合格	1-7		
1-8	B-J B9.11	4-RWCU-2A	J6	A-2	PT MUT	211	APR/03/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1/-6	合格	1-8		
1-9	B-J B9.11	4-RWCU-2A	J7	A-2	PT MUT	211	APR/03/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1/-6	合格	1-9		
1-10	B-J B9.11	4-RWCU-2B	J2	A-2	PT MUT	211	APR/03/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1/-6	合格	1-10		核能研究所 ANII 陳國英
1-11	B-J B9.11	4-RWCU-2B	J3	A-2	PT MUT	211	APR/03/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1/-6	合格	1-11		核能研究所 ANII 陳國英
1-12	B-J B9.11	RPV NOZZLE	N10-F1	A-35	PT MUT	98	MAR/30/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-7 R1P2	合格	1-12		
1-13	B-F B5.10	RPV NOZZLE	N4A-F1(OL)	A-28	AUT	Alternative block	MAR/26/2012	UT-21-13 R2P3	合格	1-13		核能研究所 ANII 陳國英
1-14	B-F B5.10	RPV NOZZLE	N4B-F1(OL)	A-28	AUT	Alternative block	MAR/26/2012	UT-21-13 R2P3	合格	1-14		核能研究所 ANII 陳國英
1-15	B-F B5.10	RPV NOZZLE	N4C-F1	A-28	AUT	94	MAR/23/2012	UT-21-19 R0P2	合格	1-15		

核二廠一號機第22次大修運轉期間檢測項目及結果摘要表(IGSCC 部分)

項目	ASME 分類項目	檢測範圍 管徑 ─ 系統 ─ 管線	焊道設備編號	圖號	檢測方法	校正塊編號	實際執行時程	程序書編號及版次 ISI-	檢測結果	報告編號	備註	ANII簽證
1-16	B-F B5.10	RPV NOZZLE	N4D-F1	A-28	AUT	94	MAR/23/2012	UT-21-19 R0P2	合格	1-16		
1-17	B-J B9.11	RPV NOZZLE	N5A-F1	A-29	PT AUT	95	MAR/22/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-19 R0P2	合格	1-17		ANII 陳國英
1-18	B-F B5.10	RPV NOZZLE	N5A-F2	A-29	PT AUT	92A	MAR/22/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-19 R0P2	合格	1-18		ANII 陳國英
1-19	B-J B9.11	RPV NOZZLE	N6A-F1	A-31	PT AUT	95	MAR/20/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-19 R0P2	合格	1-19		
1-20	B-F B5.10	RPV NOZZLE	N6A-F2	A-31	PT AUT	92A	MAR/20/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-19 R0P2	合格	1-20		
1-21	B-J B9.11	RPV NOZZLE	N6B-F1	A-31	PT AUT	95	MAR/22/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-19 R0P2	合格	1-21		
1-22	B-F B5.10	RPV NOZZLE	N6B-F2	A-31	PT AUT	92A	MAR/22/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-19 R0P2	合格	1-22		
1-23	B-F B5.10	RPV NOZZLE	N9A-F1	A-34	PT MUT	96	APR/02/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-7 R1P2	合格	1-23		ANII 陳國英
1-24	B-J B9.11	RPV NOZZLE	N9A-J1	A-34	PT MUT	97	APR/02/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1/-6	合格	1-24		ANII 陳國英
1-25	B-J B9.11	10-RECIRC N2A RISER	J2	A-38	PT AUT	74-1	MAR/27/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-5 R1P3	合格	1-25		ANII 陳國英
1-26	B-J B9.11	16-RECIRC-A-HEADER	J5	A-38	PT AUT	72-1	MAR/27/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-5 R1P3	合格	1-26		ANII 陳國英
1-27	B-J B9.11	20-RECIRC A-DISCHARGE	J15-R1	A-38	PT AUT	71-1	MAR/29/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1/-6	合格	1-27		ANII 陳國英
1-28	B-J B9.11	20-RECIRC A-DISCHARGE	J19	A-38	PT AUT	71-1	MAR/20/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-5 R1P3	合格	1-28		
1-29	B-J B9.31	20-RECIRC A-DISCHARGE	J23S	A-38	PT MUT	71-1	APR/03/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1/-6	合格	1-29		
~~1-30~~	B-J B9.11	20-RECIRC A-SUCTION	J04(OL)	A-38	PT AUT	Alternative block	MAR/29/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-13 R2P3	合格	1-30		ANII 陳國英

核二廠一號機第22次大修運轉期間檢測項目及結果摘要表(IGSCC 部分)

項目	ASME 分類項目	檢測範圍		圖號	檢測方法	校正塊編號	實際執行時程	程序書編號及版次 ISI-	檢測結果	報告編號	備註	ANII簽證
		管徑 — 系統 — 管線	焊道設備編號									
1-31	B-J B9.11	20-RECIRC A-SUCTION	J06	A-38	PT AUT	73-1	MAR/22/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-5 R1P3	合格	1-31		
1-32	B-J B9.31	20-RECIRC A-SUCTION	J08S	A-38	PT MUT	73-1	APR/02/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1/-6	合格	1-32		
1-33	B-J B9.31	20-RECIRC A-SUCTION	J09S	A-38	PT MUT	73-1	APR/02/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1/-6	合格	1-33		
1-34	B-F B5.10	RPV NOZZLE	N1B-F1	A-25	AUT	91	MAR/27/2012	UT-21-19 R0P2	合格	1-34		
1-35	B-J B9.11	RPV NOZZLE	N2A-F1	A-26	PT AUT	99	MAR/29/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-19 R0P2	合格	1-35		
1-36	B-F B5.10	RPV NOZZLE	N2A-F2	A-26	PT AUT	92B	MAR/29/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-19 R0P2	合格	1-36		核能研究所 ANII 陳國英
1-37	B-J B9.11	RPV NOZZLE	N2B-F1	A-26	PT AUT	99	MAR/30/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-19 R0P2	合格	1-37		
1-38	B-F B5.10	RPV NOZZLE	N2B-F2	A-26	PT AUT	92B	MAR/30/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-19 R0P2	合格	1-38		
1-39	B-J B9.11	RPV NOZZLE	N2C-F1	A-26	PT AUT	99	MAR/30/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-19 R0P2	合格	1-39		核能研究所 ANII 陳國英
1-40	B-F B5.10	RPV NOZZLE	N2C-F2	A-26	PT AUT	92B	MAR/30/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-19 R0P2	合格	1-40		
1-41	B-J B9.11	RPV NOZZLE	N2D-F1	A-26	PT AUT	99	APR/02/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-19 R0P2	合格	1-41		
1-42	B-F B5.10	RPV NOZZLE	N2D-F2	A-26	PT AUT	92B	APR/02/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-19 R0P2	合格	1-42		核能研究所 ANII 陳國英
1-43	B-J B9.11	RPV NOZZLE	N2E-F1	A-26	PT AUT	99	APR/02/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-19 R0P2	合格	1-43		核能研究所 ANII 陳國英
1-44	B-F B5.10	RPV NOZZLE	N2E-F2	A-26	PT AUT	92B	APR/02/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-19 R0P2	合格	1-44		
1-45	B-J B9.11	10-RECIRC N2F RISER	J2	A-39	PT AUT	74-1	APR/02/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-5 R1P3	合格	1-45		

核二廠一號機第22次大修運轉期間檢測項目及結果摘要表(IGSCC 部分)

項目	ASME 分類項目	檢測範圍 管徑 ─系統 ─管線	檢測範圍 焊道設備編號	圖號	檢測方法	校正塊編號	實際執行時程	程序書編號及版次 ISI-	檢測結果	報告編號	備註	ANII簽證
1-46	B-J B9.11	10-RECIRC N2J RISER	J3(OL)	A-39	PT AUT	Alternative block	MAR/29/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-13 R2P3	合格	1-46		ANII 陳國英
1-47	B-J B9.31	20-RECIRC B-DISCHARGE	J15S	A-39	PT MUT	71-1	APR/05/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1/-6	合格	1-47		
1-48	B-J B9.31	20-RECIRC B-DISCHARGE	J16S	A-39	PT MUT	71-1	APR/05/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1/-6	合格	1-48		ANII 陳國英
1-49	B-J B9.11	20-RECIRC B-DISCHARGE	J20	A-39	PT AUT	71-1	MAR/22/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-5 R1P3	合格	1-49		
1-50	B-J B9.31	20-RECIRC B-DISCHARGE	J25S	A-39	PT MUT	71-1	APR/05/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1/-6	合格	1-50		
1-51	B-J B9.11	20-RECIRC B-SUCTION	J04	A-39	PT AUT	73-1	MAR/26/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-5 R1P3	合格	1-51		
1-52	B-J B9.11	20-RECIRC B-SUCTION	J09	A-39	PT AUT	73-1	MAR/26/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-5 R1P3	合格	1-52		ANII 陳國英
1-53	B-J B9.31	20-RECIRC B-SUCTION	J10S	A-39	PT MUT	73-1	APR/04/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1/-6	合格	1-53		
1-54	B-J B9.31	20-RECIRC B-SUCTION	J11S	A-39	PT MUT	73-1	APR/04/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1/-6	合格	1-54		
1-55	B-F B5.10	RPV NOZZLE	N1A-F1	A-25	AUT	91	MAR/26/2012	UT-21-19 R0P2	合格	1-55		
1-56	B-F B5.10	RPV NOZZLE	N2F-F2	A-26	PT AUT	92B	APR/02/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-19 R0P2	合格	1-56		
1-57	B-F B5.10	RPV NOZZLE	N2G-F2	A-26	PT AUT	92B	MAR/30/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-19 R0P2	合格	1-57		ANII 陳國英
1-58	B-F B5.10	RPV NOZZLE	N2H-F2	A-26	PT AUT	92B	MAR/30/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-19 R0P2	合格	1-58		
1-59	B-F B5.10	RPV NOZZLE	N2K-F2	A-26	PT AUT	92B	MAR/30/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-19 R0P2	合格	1-59		ANII 陳國英

核二廠一號機第22次大修運轉期間檢測項目及結果摘要表(IGSCC 部分)

項目	ASME 分類項目	檢測範圍		圖號	檢測方法	校正塊編號	實際執行時程	程序書編號及版次 ISI-	檢測結果	報告編號	備註	ANII簽證
		管徑 — 系統 —管線	焊道設備編號									

註：1.依核二廠一號機10年運轉期間檢測計畫原爲19口。
2.鑑於日本福島核電廠受災，加強焊道檢測：經統計於10年應執行檢測共有81 口，其中24口已於EOC-21作過結果均合格，EOC-22大修檢測其餘57口，及繼續追蹤檢測覆層銲道N4A-F1(OL)及N4B-F1(OL)2口，共59口。

經辦：101.4.6 陳振宇　　分隊長：101.4.6 蔡錫聯　　檢測隊經理：101.4.6 蔡錫[illegible]

核二廠一號機第22次大修運轉期間檢測項目及結果摘要表(ASME 規章部分)

 民國101年4月

項目	ASME 分類項目	檢測範圍 管徑 ─ 系統 ─ 管線	檢測範圍 焊道設備編號	圖號	檢測方法	校正塊編號	實際執行時程	程序書編號及版次 ISI-	檢測結果	報告編號	備註	ANII簽證
2-1	B-J B9.11	4-RWCU-2B	J07	A-2	PT UT	078	MAR/29/201	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1	合格	2-1		
2-2	B-J B9.31	6-RWCU-2A	J06S	A-3	PT UT	077	MAR/30/201	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1	合格	2-2		
2-3	B-J B9.11	6-RCIC-5B	J19	A-4	PT UT	077	MAR/30/201	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1	合格	2-3		
2-4	B-J B9.11	18-RHR-6B	J07	A-6	PT UT	002	MAR/29/201	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1	合格	2-4		核能研究所 ANII 陳
2-5	B-J B9.11	10-RHR-6R	J23	A-8	PT UT*	004	MAR/31/201	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1	合格	2-5		
2-6	B-J B9.11	10-RHR-6T	J38	A-10	PT UT*	004	MAR/31/201	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1	合格	2-6		
2-7	B-J B9.11	10-LPCS-8C	J05	A-12	PT UT	004	APR/2/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1	合格	2-7		核能研究所 ANII 陳
2-8	B-J B9.11	10-LPCS-8C	J14	A-12	PT UT	004	APR/2/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1	合格	2-8		核能研究所 ANII 陳
2-9	B-J B9.11	10-LPCS-8C	J24	A-12	PT UT*	004	MAR/21/201	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1	合格	2-9		
2-10	B-J B9.11	12-FW-22AZ-B	J03	A-13	PT UT*	003	MAR/21/201	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1	合格	2-10		
2-11	B-J B9.11	14-FW-22AZ-B	J01	A-13	PT UT*	076	MAR/31/201	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1	合格	2-11		核能研究所 ANII 陳
2-12	B-J B9.11	24-MS-A	J04	A-19	PT UT	070-1	MAR/31/201	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1	合格	2-12		核能研究所 ANII 陳
2-13	B-J B9.11	PSV-141 INLET	J01	A-20	PT UT	083	MAR/31/201	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1	合格	2-13		
~~2-14~~	~~B-G-1 B6.10~~	~~RPV CLOSURE HEAD~~	~~NUT~~	~~A-23~~	~~VT-1~~		~~MAR/28/201~~	~~VT-21-1 R2P2~~	~~合格~~	~~2-14~~	~~A1~A8,B1~B2~~	~~核能研究所 ANII 陳~~
~~2-15~~	~~B-G-1 B6.20~~	~~RPV CLOSURE HEAD~~	~~STUD~~	~~A-23~~	~~UT~~	~~081R1~~	~~MAR/28/201~~	~~UT-21-15 R1P2~~	~~合格~~	~~2-15~~	~~A1~A8,B1~B2~~	~~核能研究所 ANII 陳~~

~~1100118~~

核二廠一號機第22次大修運轉期間檢測項目及結果摘要表(ASME 規章部分)

項目	ASME 分類項目	檢測範圍 管徑 — 系統 — 管線	檢測範圍 焊道設備編號	圖號	檢測方法	校正塊編號	實際執行時程	程序書編號及版次 ISI-	檢測結果	報告編號	備註	ANII簽證
2-16	B-G-1 B6.50	RPV CLOSURE HEAD	WASHER	A-23	VT-1		MAR/28/201	VT-21-1 R2P2	合格	2-16	A1~A8,B1~B2	
2-17	B-G-1 B6.40	RPV FLANGE	THREAD	A-23	UT	123	MAR/17/201	UT-21-3 R0P2	合格	2-17	A1~A8,B1~B2	
2-18	B-G-1 B6.190	RECIRC PUMP 1P-43B	FLANGE SURFACE	A-40	VT-1			VT-21-1 R2P2	NA	NA	泵未拆解	
2-19	B-G-1 B6.200	RECIRC PUMP 1P-43B	NUTS AND WASHERS	A-40	VT-1		MAR/29/201	VT-21-1 R2P2	合格	2-19	Recirc pump B	
2-20	B-G-1 B6.180	RECIRC PUMP 1P-43B	STUDS	A-40	UT	202	MAR/29/201	UT-21-15 R1P2	合格	2-20		
2-21	B-F B5.20	RPV-NOZZLE	N11-F1	A-41	PT		APR/6/2012	PT-21-1 R1P2	合格	2-21	老化管理加強檢測	
2-22	C-F-2 C5.51	18-MS-1G	C01	B-11	PT UT	255	APR/6/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1	合格	2-22		
2-23	C-F-2 C5.51	10-CRD-3BD	C13	B-15	PT UT	219	APR/3/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1	合格	2-23		
2-24	C-F-2 C5.51	10-CRD-3BD	C16	B-15	PT UT	219	APR/3/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1	合格	2-24		
2-25	C-F-2 C5.51	10-CRD-3BD	C19	B-15	PT UT	219	APR/3/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1	合格	2-25		
2-26	C-F-2 C5.51	10-CRD-3BD	C20	B-15	PT UT	219	APR/3/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1	合格	2-26		
2-27	C-F-2 C5.51	10-CRD-3BE	C22	B-18	PT UT	219	APR/3/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1	合格	2-27		
2-28	C-G C6.10	6-RCIC-5A	PUMP OUTLET	B-19	PT		MAR/29/201	PT-21-1 R1P2	合格	2-28	RCIC PUMP 1P-46	
2-29	C-F-2 C5.51	6-RCIC-5A	C38	B-20	PT UT*	217	APR/4/2012	PT-21-1 R1P2 UT-21-1 R1P1	合格	2-29		
2-30	C-G C6.10	6-RCIC-5E	PUMP INLET	B-21	PT		MAR/29/201	PT-21-1 R1P2	合格	2-30	RCIC PUMP 1P-46	

TABLE IWB-3514-1
ALLOWABLE PLANAR FLAWS

Material: Ferritic steels that meet the requirements of NB-2300 and the specified minimum yield strength of 50 ksi (350 MPa) or less at 100°F (40°C)

	Volumetric Examination Method, Nominal Wall Thickness,[1,2] t, in. (mm)									
	0.312 (8)		1.0 (25)		2.0 (50)		3.0 (75)		4.0 (100) and Over	
Aspect Ratio,[1] a/ℓ	Surface Flaw, a/t, %	Subsurface Flaw,[3,4] a/t, %	Surface Flaw, a/t, %	Subsurface Flaw,[3,4] a/t, %	Surface Flaw, a/t, %	Subsurface Flaw,[3,4] a/t, %	Surface Flaw, a/t, %	Subsurface Flaw,[3,4] a/t, %	Surface Flaw, a/t, %	Subsurface Flaw,[3,4] a/t, %
Preservice Examination										
0.00	7.4	9.2 Y	6.7	8.4 Y	5.7	7.2 Y	4.7	5.8 Y	3.7	4.6 Y
0.05	7.9	9.6 Y	7.2	8.7 Y	6.2	7.5 Y	5.0	6.1 Y	4.0	4.8 Y
0.10	8.7	10.4 Y	7.9	9.5 Y	6.8	8.1 Y	5.5	6.6 Y	4.3	5.2 Y
0.15	9.6	11.5 Y	8.8	10.5 Y	7.5	9.0 Y	6.1	7.3 Y	4.8	5.8 Y
0.20	9.6	11.5 Y	9.9	11.8 Y	8.4	10.1 Y	6.9	8.2 Y	5.4	6.5 Y
0.25	9.6	11.5 Y	9.9	11.8 Y	9.5	11.4 Y	7.8	9.3 Y	6.1	7.3 Y
0.30	9.6	11.5 Y	9.9	11.8 Y	9.5	11.4 Y	8.8	10.5 Y	6.9	8.2 Y
0.35	9.6	11.5 Y	9.9	11.8 Y	9.5	11.4 Y	8.8	11.8 Y	6.9	9.3 Y
0.40	9.6	11.5 Y	9.9	11.8 Y	9.5	11.4 Y	8.8	11.8 Y	6.9	10.4 Y
0.45	9.6	11.5 Y	9.9	11.8 Y	9.5	11.4 Y	8.8	11.8 Y	6.9	11.6 Y
0.50	9.6	11.5 Y	9.9	11.8 Y	9.5	11.4 Y	8.8	11.8 Y	6.9	11.6 Y
Inservice Examination										
0.00	11.1	13.8 Y	10.0	12.6 Y	8.5	10.8 Y	7.0	8.7 Y	5.5	6.9 Y
0.05	11.8	14.4 Y	10.8	13.0 Y	9.3	11.2 Y	7.5	9.1 Y	6.0	7.2 Y
0.10	13.0	15.6 Y	11.8	14.2 Y	10.2	12.1 Y	8.2	9.9 Y	6.4	7.8 Y
0.15	14.4	17.2 Y	13.2	15.7 Y	11.2	13.5 Y	9.1	10.9 Y	7.2	8.7 Y
0.20	14.4	17.2 Y	14.8	17.7 Y	12.6	15.1 Y	10.3	12.3 Y	8.1	9.7 Y
0.25	14.4	17.2 Y	14.8	17.7 Y	14.2	17.1 Y	11.7	13.9 Y	9.1	10.9 Y
0.30	14.4	17.2 Y	14.8	17.7 Y	14.2	17.1 Y	13.2	15.7 Y	10.3	12.3 Y
0.35	14.4	17.2 Y	14.8	17.7 Y	14.2	17.1 Y	13.2	17.7 Y	10.3	13.9 Y
0.40	14.4	17.2 Y	14.8	17.7 Y	14.2	17.1 Y	13.2	17.7 Y	10.3	15.6 Y
0.45	14.4	17.2 Y	14.8	17.7 Y	14.2	17.1 Y	13.2	17.7 Y	10.3	17.4 Y
0.50	14.4	17.2 Y	14.8	17.7 Y	14.2	17.1 Y	13.2	17.7 Y	10.3	17.4 Y

NOTES:
(1) For intermediate flaw aspect ratios a/ℓ and thickness t, linear interpolation is permissible. Refer to IWA-3200(b) and (c).
(2) t is nominal wall thickness or actual wall thickness as determined by UT examination.
(3) The total depth of a subsurface flaw in $2a$.
(4) $Y = (S/t)/(a/t) = S/a$. If $S < 0.4d$, the flaw is classified as a surface flaw. If $Y > 1.0$, use $Y = 1.0$.

TABLE IWB-3514-2
ALLOWABLE PLANAR FLAWS

Material: Austenitic steels that meet the requirements for the specified minimum yield strength of 35 ksi (240 MPa) or less at 100°F (40°C)

Aspect Ratio,[1] a/ℓ	Volumetric Examination Method, Nominal Wall Thickness,[1,2] t, in. (mm)								Surface Examination Method	
	0.312 (8)		1.0 (25)		2.0 (50)		3.0 (75)			
	Surface Flaw, a/t, %	Subsurface Flaw,[3,4] a/t, %	Surface Flaw, a/t, %	Subsurface Flaw,[3,4] a/t, %	Surface Flaw, a/t, %	Subsurface Flaw,[3,4] a/t, %	Surface Flaw, a/t, %	Subsurface Flaw,[3,4] a/t, %	Nom. Wall Thickness,[1,2] t, in. (mm)	Flaw Length, ℓ, in. (mm)
Preservice Examination										
0.00	9.4	9.4 Y	8.5	8.5 Y	8.0	8.0 Y	7.6	7.6 Y	0.312 (8) or less	1/8 (3)
0.05	9.6	9.6 Y	8.6	8.6 Y	8.2	8.2 Y	7.7	7.7 Y		
0.10	9.8	9.8 Y	8.8	8.8 Y	8.3	8.3 Y	7.8	7.8 Y	1.0 (25)	3/16 (5)
0.15	9.9	9.9 Y	8.9	8.9 Y	8.4	8.4 Y	7.9	7.9 Y		
0.20	10.0	10.0 Y	9.1	9.1 Y	8.6	8.6 Y	8.1	8.1 Y	2.0 (50)	1/4 (6)
0.25	10.0	10.0 Y	9.2	9.2 Y	8.7	8.7 Y	8.2	8.2 Y		
0.30	10.0	10.0 Y	9.4	9.4 Y	8.9	8.9 Y	8.3	8.3 Y	3.0 (75) and over	1/4 (6)
0.35	10.0	10.0 Y	9.5	9.5 Y	9.0	9.0 Y	8.5	8.5 Y		
0.40	10.0	10.0 Y	9.7	9.7 Y	9.1	9.1 Y	8.6	8.6 Y		
0.45	10.0	10.0 Y	9.8	9.8 Y	9.3	9.3 Y	8.7	8.7 Y		
0.50	10.0	10.0 Y	10.0	10.0 Y	9.4	9.4 Y	8.9	8.9 Y		
Inservice Examination										
0.00	11.7	11.7 Y	10.6	10.6 Y	10.0	10.0 Y	9.5	9.5 Y	0.312 (8) or less	0.2 (5)
0.05	12.0	12.0 Y	10.7	10.7 Y	10.2	10.2 Y	9.6	9.6 Y		
0.10	12.2	12.2 Y	11.0	11.0 Y	10.4	10.4 Y	9.7	9.7 Y	1.0 (25)	0.25 (6)
0.15	12.4	12.4 Y	11.1	11.1 Y	10.5	10.5 Y	9.9	9.9 Y		
0.20	12.5	12.5 Y	11.4	11.4 Y	10.7	10.7 Y	10.1	10.1 Y	2.0 (50)	0.45 (11)
0.25	12.5	12.5 Y	11.5	11.5 Y	10.9	10.9 Y	10.2	10.2 Y		
0.30	12.5	12.5 Y	11.7	11.7 Y	11.1	11.1 Y	10.4	10.4 Y	3.0 (75) and over	0.65 (16)
0.35	12.5	12.5 Y	11.9	11.9 Y	11.2	11.2 Y	10.6	10.6 Y		
0.40	12.5	12.5 Y	12.1	12.1 Y	11.4	11.4 Y	10.7	10.7 Y		
0.45	12.5	12.5 Y	12.2	12.2 Y	11.6	11.6 Y	10.9	10.9 Y		
0.50	12.5	12.5 Y	12.5	12.5 Y	11.7	11.7 Y	11.1	11.1 Y		

NOTES:

(1) For intermediate flaw aspect ratios a/ℓ and thickness t, linear interpolation is permissible. Refer to IWA-3200(b) and (c).

(2) t is nominal wall thickness or actual wall thickness as determined by UT examination.

(3) The total depth of a subsurface flaw in $2a$.

(4) $Y = (S/t)/(a/t) = S/a$. If $S < 0.4d$, the flaw is classified as a surface flaw. If $Y > 1.0$, use $Y = 1.0$.

面狀瑕疵(Planar Flaw)評估表

<table>
<tr><td colspan="2">瑕疵編號：</td><td colspan="2">瑕疵編號：</td></tr>
<tr><td colspan="2">S, 瑕疵至表面距離 =
d, 瑕疵高之一半 =
當 $S<0.4d$, 瑕疵為表面瑕疵</td><td colspan="2">S, 瑕疵至表面距離 =
d, 瑕疵高之一半 =
當 $S<0.4d$, 瑕疵為表面瑕疵</td></tr>
<tr><td>表面瑕疵 ☐
$a = 2d+S$ =</td><td>次表面瑕疵 ☐
$a = d$
$Y = S/a$ =
(當 $Y>1.0$, 則 $Y=1.0$)</td><td>表面瑕疵 ☐
$a = 2d+S$ =</td><td>次表面瑕疵 ☐
$a = d$
$Y = S/a$ =
(當 $Y>1.0$, 則 $Y=1.0$)</td></tr>
<tr><td colspan="2">l, 瑕疵長度 =
($l \geqq 2a$)
t, 公稱壁厚 =</td><td colspan="2">l, 瑕疵長度 =
($l \geqq 2a$)
t, 公稱壁厚 =</td></tr>
<tr><td colspan="2">a/l =
a/t =</td><td colspan="2">a/l =
a/t =</td></tr>
<tr><td colspan="2">評估結果：
☐ 合格
☐ 不合格</td><td colspan="2">評估結果：
☐ 合格
☐ 不合格</td></tr>
<tr><td colspan="2">瑕疵編號：</td><td colspan="2">瑕疵編號：</td></tr>
<tr><td colspan="2">S, 瑕疵至表面距離 =
d, 瑕疵高之一半 =
當 $S<0.4d$, 瑕疵為表面瑕疵</td><td colspan="2">S, 瑕疵至表面距離 =
d, 瑕疵高之一半 =
當 $S<0.4d$, 瑕疵為表面瑕疵</td></tr>
<tr><td>表面瑕疵 ☐
$a = 2d+S$ =</td><td>次表面瑕疵 ☐
$a = d$
$Y = S/a$ =
(當 $Y>1.0$, 則 $Y=1.0$)</td><td>表面瑕疵 ☐
$a = 2d+S$ =</td><td>次表面瑕疵 ☐
$a = d$
$Y = S/a$ =
(當 $Y>1.0$, 則 $Y=1.0$)</td></tr>
<tr><td colspan="2">l, 瑕疵長度 =
($l \geqq 2a$)
t, 公稱壁厚 =</td><td colspan="2">l, 瑕疵長度 =
($l \geqq 2a$)
t, 公稱壁厚 =</td></tr>
<tr><td colspan="2">a/l =
a/t =</td><td colspan="2">a/l =
a/t =</td></tr>
<tr><td colspan="2">評估結果：
☐ 合格
☐ 不合格</td><td colspan="2">評估結果：
☐ 合格
☐ 不合格</td></tr>
</table>

評估員：_____ 級別：___ 日期：_____ 審核者：_____ 級別：___ 日期：_____

TABLE IWB-2500-1 (CONT'D)
EXAMINATION CATEGORIES

EXAMINATION CATEGORY B-P, ALL PRESSURE RETAINING COMPONENTS							
Item No.	Parts Examined	Test Requirements	Examination Method [Note (1)]	Acceptance Standard	Extent and Frequency of Examination		Deferral of Examination to End of Interval
					First Inspection Interval	Successive Inspection Intervals	
B15.10	Pressure retaining components	System leakage test (IWB-5220)	Visual, VT-2	IWB-3522	Each refueling outage [Note (2)]	Same as for first interval	Not permissible

NOTES:
(1) Visual examination of IWA-5240.
(2) The system leakage test (IWB-5220) shall be conducted prior to plant startup following a reactor refueling outage.

台電人員非破壞檢測証書

人員姓名	檢測方法與等級	
蔡錫聯	超音波檢測（UT）-高級	液滲檢測(PT)－高級
許炳森	超音波檢測（UT）-高級	液滲檢測(PT)－高級
陳振宇	超音波檢測（UT）-高級	
蘇成泉	超音波檢測（UT）-中級	液滲檢測(PT)－中級
黃榮生	超音波檢測（UT）-中級	液滲檢測(PT)－中級
胡明權	超音波檢測（UT）-高級	液滲檢測(PT)－高級
張聰賢	超音波檢測（UT）-中級	液滲檢測(PT)－中級
林智雄	超音波檢測（UT）-中級	液滲檢測(PT)－中級
周金生	超音波檢測（UT）-中級	液滲檢測(PT)－中級
陸　錚	超音波檢測（UT）-中級	液滲檢測(PT)－中級
廖春生	超音波檢測（UT）-高級	液滲檢測(PT)－高級
黃大志	超音波檢測（UT）-中級	液滲檢測(PT)－中級
陳敏榮	超音波檢測（UT）-中級	液滲檢測(PT)－中級
張宗寶	超音波檢測（UT）-中級	

台灣電力公司

非破壞檢測師證書

姓名(代號)	蔡錫聯 [redacted]			
出生日期	[redacted]			
檢測方法	超音波檢測		等級	高級
證書字號	訓發98-223	效期	103/08/	
審定人	廖春生	檢證	許泛舟	

中華民國 98 年 07 月 28 日

校印 黃昭鵬

台電公司

非破壞檢測師證書

姓名(代號)	蔡錫聯 [redacted]				
出生日期	[redacted]				
檢測方法	液滲檢測		等級	高級	
證書字號	訓發98-184		效期	103/08/	
審定人	廖春生		授證人	許泛舟	

中華民國 98年07月28日

校印 黃昭臨

台灣電力公司
TAIWAN POWER COMPANY

證書字號： 訓證-727735

茲證明 Be it Known that

許炳森 [redacted] hsu bin-sen

係民國 [redacted]年[redacted]月[redacted]日 生業已符合本公司非破壞檢測從業人員合格基準之規定授予

has met heretofore established and published Requirements for TPC NDT Certification

非 破 壞 檢 測 師 證 書

Certificate of NDT Personnel Qualification

合格授證之檢測方式暨有效期限詳列如下

The Nondestructive Testing Methods as specified below

檢測方法：RT 等級：III TESTING METHOD LEVEL	檢測方法：MT 等級：III TESTING METHOD LEVEL	檢測方法：✓UT 等級：III TESTING METHOD LEVEL	檢測方法：PT 等級：III TESTING METHOD LEVEL
到期年月：104/07 EXPIRATION DATE	到期年月：104/07 EXPIRATION DATE	到期年月：104/07 EXPIRATION DATE	到期年月：104/07 EXPIRATION DATE
審 定 人：許炳森 EVALUATED BY	審 定 人：陳振宇 EVALUATED BY	審 定 人：陳振宇 EVALUATED BY	審 定 人：許炳森 EVALUATED BY
授 證 人：許泛舟 CERTIFIED BY	授 證 人：許泛舟 CERTIFIED BY	授 證 人：許泛舟 CERTIFIED BY	授 證 人：許泛舟 CERTIFIED BY
檢測方法：VT-1 等級：III TESTING METHOD LEVEL	檢測方法： 等級： TESTING METHOD LEVEL	檢測方法： 等級： TESTING METHOD LEVEL	檢測方法： 等級： TESTING METHOD LEVEL
到期年月：104/07 EXPIRATION DATE	到期年月： EXPIRATION DATE	到期年月： EXPIRATION DATE	到期年月： EXPIRATION DATE
審 定 人：陶嘉惲 EVALUATED BY	審 定 人： EVALUATED BY	審 定 人： EVALUATED BY	審 定 人： EVALUATED BY
授 證 人：許泛舟 CERTIFIED BY	授 證 人： CERTIFIED BY	授 證 人： CERTIFIED BY	授 證 人： CERTIFIED BY

中 華 民 國 99年 07月

校印黃玉山

台電公司

非破壞檢測師證書

姓名(代號)	陳振宇 [redacted]				
出生日期	[redacted]				
檢測方法	超音波檢測			等級	高級
證書字號	訓發98-224		效期	103/08/	
審定人	廖春生		核證	許泛舟	

中華民國 98 年 07 月 28 日

校印 黃昭鵬

台灣電力公司
TAIWAN POWER COMPANY

證書字號： 訓證-822864

茲證明 Be it Known that

蘇成泉 [redacted] SU CHUNG-CHUAN

係民國 [redacted]年[redacted]月[redacted]日 生業已符合本公司非破壞檢測從業人員合格基準之規定授予

has met heretofore established and published Requirements for TPC NDT Certification

非 破 壞 檢 測 師 證 書

Certificate of NDT Personnel Qualification

合格授證之檢測方式暨有效期限詳列如下

The Nondestructive Testing Methods as specified below

檢測方法 TESTING METHOD: RT 等級 LEVEL: II 到期年月 EXPIRATION DATE: 102/07 審定人 EVALUATED BY: 薛國輝 授證人 CERTIFIED BY: 許泛舟	檢測方法 TESTING METHOD: MT 等級 LEVEL: II 到期年月 EXPIRATION DATE: 102/07 審定人 EVALUATED BY: 薛國輝 授證人 CERTIFIED BY: 許泛舟	檢測方法 TESTING METHOD: ✓ UT 等級 LEVEL: II 到期年月 EXPIRATION DATE: 102/07 審定人 EVALUATED BY: 薛國輝 授證人 CERTIFIED BY: 許泛舟	檢測方法 TESTING METHOD: PT 等級 LEVEL: II 到期年月 EXPIRATION DATE: 102/07 審定人 EVALUATED BY: 薛國輝 授證人 CERTIFIED BY: 許泛舟
檢測方法 TESTING METHOD: ET 等級 LEVEL: I 到期年月 EXPIRATION DATE: 102/07 審定人 EVALUATED BY: 薛國輝 授證人 CERTIFIED BY: 許泛舟	檢測方法 TESTING METHOD: VT-1 等級 LEVEL: II 到期年月 EXPIRATION DATE: 102/07 審定人 EVALUATED BY: 薛國輝 授證人 CERTIFIED BY: 許泛舟	檢測方法 TESTING METHOD: 等級 LEVEL: 到期年月 EXPIRATION DATE: 審定人 EVALUATED BY: 授證人 CERTIFIED BY:	檢測方法 TESTING METHOD: 等級 LEVEL: 到期年月 EXPIRATION DATE: 審定人 EVALUATED BY: 授證人 CERTIFIED BY:

UT·ET核電廠ISI檢測資格
效期限定至100年3月

中 華 民 國 99年 07月

校印

台湾電力公司
TAIWAN POWER COMPANY

證書字號： 訓證-554547

茲證明 Be it Known that

黃榮生 [redacted] HUANG JUNG-SHENG

係民國 [redacted] 年 [redacted] 月 [redacted] 日 生業已符合本公司非破壞檢測從業人員合格基準之規定授予

has met heretofore established and published Requirements for TPC NDT Certification

非 破 壞 檢 測 師 證 書

Certificate of NDT Personnel Qualification

合格授證之檢測方式暨有效期限詳列如下

The Nondestructive Testing Methods as specified below

檢測方法：MT 等級：II TESTING METHOD LEVEL 到期年月：102/07 EXPIRATION DATE 審 定 人：陳振宇 EVALUATED BY 授 證 人：許泛舟 CERTIFIED BY	檢測方法：✓ UT 等級：II TESTING METHOD LEVEL 到期年月：102/07 EXPIRATION DATE 審 定 人：陳振宇 EVALUATED BY 授 證 人：許泛舟 CERTIFIED BY	檢測方法：PT 等級：II TESTING METHOD LEVEL 到期年月：102/07 EXPIRATION DATE 審 定 人：許炳森 EVALUATED BY 授 證 人：許泛舟 CERTIFIED BY	檢測方法：ET 等級：I TESTING METHOD LEVEL 到期年月：102/07 EXPIRATION DATE 審 定 人：薛國輝 EVALUATED BY 授 證 人：許泛舟 CERTIFIED BY
檢測方法：VT-1 等級：II TESTING METHOD LEVEL 到期年月：102/07 EXPIRATION DATE 審 定 人：陶嘉悌 EVALUATED BY 授 證 人：許泛舟 CERTIFIED BY	檢測方法： 等級： TESTING METHOD LEVEL 到期年月： EXPIRATION DATE 審 定 人： EVALUATED BY 授 證 人： CERTIFIED BY	檢測方法： 等級： TESTING METHOD LEVEL 到期年月： EXPIRATION DATE 審 定 人： EVALUATED BY 授 證 人： CERTIFIED BY	檢測方法： 等級： TESTING METHOD LEVEL 到期年月： EXPIRATION DATE 審 定 人： EVALUATED BY 授 證 人： CERTIFIED BY

UT·ET核電廠[illegible]檢測資格
效期限定至[illegible]年9月

中 華 民 國 99年 07月

校印 黃玉山

台灣電力公司
TAIWAN POWER COMPANY

證書字號：訓證-819161

茲證明 Be it Known that

胡明權 [redacted] HU MING-CHUAN

係民國[redacted]年[redacted]月[redacted]日 生業已符合本公司非破壞檢測從業人員合格基準之規定授予

has met heretofore established and published Requirements for TPC NDT Certification

非 破 壞 檢 測 師 證 書

Certificate of NDT Personnel Qualification

合格授證之檢測方式暨有效期限詳列如下

The Nondestructive Testing Methods as specified below

檢測方法 TESTING METHOD：RT 等級 LEVEL：III 到期年月 EXPIRATION DATE：104/07 審定人 EVALUATED BY：許炳森 授證人 CERTIFIED BY：許泛舟	檢測方法 TESTING METHOD：MT 等級 LEVEL：III 到期年月 EXPIRATION DATE：104/07 審定人 EVALUATED BY：許炳森 授證人 CERTIFIED BY：許泛舟	檢測方法 TESTING METHOD：√ UT 等級 LEVEL：III 到期年月 EXPIRATION DATE：104/07 審定人 EVALUATED BY：許炳森 授證人 CERTIFIED BY：許泛舟	檢測方法 TESTING METHOD：PT 等級 LEVEL：III 到期年月 EXPIRATION DATE：104/07 審定人 EVALUATED BY：許炳森 授證人 CERTIFIED BY：許泛舟
檢測方法 TESTING METHOD：ET 等級 LEVEL：II 到期年月 EXPIRATION DATE：102/07 審定人 EVALUATED BY：薛國輝 授證人 CERTIFIED BY：許泛舟	檢測方法 TESTING METHOD：VT-1 等級 LEVEL：II 到期年月 EXPIRATION DATE：102/07 審定人 EVALUATED BY：許炳森 授證人 CERTIFIED BY：許泛舟	檢測方法 TESTING METHOD：　等級 LEVEL： 到期年月 EXPIRATION DATE： 審定人 EVALUATED BY： 授證人 CERTIFIED BY：	檢測方法 TESTING METHOD：　等級 LEVEL： 到期年月 EXPIRATION DATE： 審定人 EVALUATED BY： 授證人 CERTIFIED BY：

UT·ET核電廠ISI檢測資格
效期限定至[redacted]年[redacted]月

中 華 民 國

99年 07月

校印 董玉山

台灣電力公司
TAIWAN POWER COMPANY

證書字號：訓證-822751

茲證明 Be it Known that

張聰賢 [redacted] CHANG TSUNG-HSIEN

係民國[redacted]年[redacted]月[redacted]日 生業已符合本公司非破壞檢測從業人員合格基準之規定授予

has met heretofore established and published Requirements for TPC NDT Certification

非 破 壞 檢 測 師 證 書

Certificate of NDT Personnel Qualification

合格授證之檢測方式暨有效期限詳列如下

The Nondestructive Testing Methods as specified below

檢測方法：RT 等級：II TESTING METHOD LEVEL 到期年月：102/07 EXPIRATION DATE 審 定 人：許炳森 EVALUATED BY 授 證 人：許泛舟 CERTIFIED BY	檢測方法：MT 等級：II TESTING METHOD LEVEL 到期年月：102/07 EXPIRATION DATE 審 定 人：許炳森 EVALUATED BY 授 證 人：許泛舟 CERTIFIED BY	檢測方法：UT 等級：II TESTING METHOD LEVEL 到期年月：102/07 EXPIRATION DATE 審 定 人：許炳森 EVALUATED BY 授 證 人：許泛舟 CERTIFIED BY	檢測方法：PT 等級：II TESTING METHOD LEVEL 到期年月：102/07 EXPIRATION DATE 審 定 人：許炳森 EVALUATED BY 授 證 人：許泛舟 CERTIFIED BY
檢測方法：ET 等級：II TESTING METHOD LEVEL 到期年月：102/07 EXPIRATION DATE 審 定 人：薛國輝 EVALUATED BY 授 證 人：許泛舟 CERTIFIED BY	檢測方法：VT-1 等級：II TESTING METHOD LEVEL 到期年月：102/07 EXPIRATION DATE 審 定 人：許炳森 EVALUATED BY 授 證 人：許泛舟 CERTIFIED BY	檢測方法： 等級： TESTING METHOD LEVEL 到期年月： EXPIRATION DATE 審 定 人： EVALUATED BY 授 證 人： CERTIFIED BY	檢測方法： 等級： TESTING METHOD LEVEL 到期年月： EXPIRATION DATE 審 定 人： EVALUATED BY 授 證 人： CERTIFIED BY

UT·ET核電廠[illegible]測資格
效期限定至[illegible]年9月

中 華 民 國 99年 07月

校印 黃玉山

台灣電力公司
TAIWAN POWER COMPANY

證書字號：訓證-822825

茲證明 Be it Known that

林智雄 [redacted] LIN CHIH-HSIUNG

係民國 [redacted] 年 [redacted] 月 [redacted] 日 生業已符合本公司非破壞檢測從業人員合格基準之規定授予

has met heretofore established and published Requirements for TPC NDT Certification ;

非 破 壞 檢 測 師 證 書

Certificate of NDT Personnel Qualification

合格授證之檢測方式暨有效期限詳列如下

The Nondestructive Testing Methods as specified below

檢測方法 TESTING METHOD：RT 等級 LEVEL：I 到期年月 EXPIRATION DATE：102/07 審定人 EVALUATED BY：許炳森 授證人 CERTIFIED BY：許泛舟	檢測方法 TESTING METHOD：MT 等級 LEVEL：II 到期年月 EXPIRATION DATE：102/07 審定人 EVALUATED BY：魏健能 授證人 CERTIFIED BY：許泛舟	檢測方法 TESTING METHOD：✓ UT 等級 LEVEL：II 到期年月 EXPIRATION DATE：102/07 審定人 EVALUATED BY：魏健能 授證人 CERTIFIED BY：許泛舟	檢測方法 TESTING METHOD：PT 等級 LEVEL：II 到期年月 EXPIRATION DATE：102/07 審定人 EVALUATED BY：魏健能 授證人 CERTIFIED BY：許泛舟
檢測方法 TESTING METHOD：ET 等級 LEVEL：II 到期年月 EXPIRATION DATE：102/07 審定人 EVALUATED BY：魏健能 授證人 CERTIFIED BY：許泛舟	檢測方法 TESTING METHOD：VT-1 等級 LEVEL：II 到期年月 EXPIRATION DATE：102/07 審定人 EVALUATED BY：魏健能 授證人 CERTIFIED BY：許泛舟	檢測方法 TESTING METHOD： 等級 LEVEL： 到期年月 EXPIRATION DATE： 審定人 EVALUATED BY： 授證人 CERTIFIED BY：	檢測方法 TESTING METHOD： 等級 LEVEL： 到期年月 EXPIRATION DATE： 審定人 EVALUATED BY： 授證人 CERTIFIED BY：

UT·ET核電廠ISI檢測資格
效期限定至100年9月

中 華 民 國 99年 07月

台灣電力公司
TAIWAN POWER COMPANY

證書字號：訓證-876591

茲證明 Be it Known that

周金生 [redacted] CHOU KIN-SHENG

係民國 [redacted]年[redacted]月[redacted]日 生業已符合本公司非破壞檢測從業人員合格基準之規定授予
has met heretofore established and published Requirements for TPC NDT Certification

非 破 壞 檢 測 師 證 書
Certificate of NDT Personnel Qualification

合格授證之檢測方式暨有效期限詳列如下
The Nondestructive Testing Methods as specified below

檢測方法：TESTING METHOD VT-1 等級：LEVEL II 到期年月：EXPIRATION DATE 103/07 審 定 人：EVALUATED BY 蔡錫聯 授 證 人：CERTIFIED BY 許泛舟	檢測方法：TESTING METHOD ET 等級：LEVEL II 到期年月：EXPIRATION DATE 103/07 審 定 人：EVALUATED BY 陳勝雄 授 證 人：CERTIFIED BY 許泛舟	檢測方法：TESTING METHOD UT 等級：LEVEL II 到期年月：EXPIRATION DATE 103/07 審 定 人：EVALUATED BY 陳振宇 授 證 人：CERTIFIED BY 許泛舟	檢測方法：TESTING METHOD PT 等級：LEVEL II 到期年月：EXPIRATION DATE 103/07 審 定 人：EVALUATED BY 蔡錫聯 授 證 人：CERTIFIED BY 許泛舟
檢測方法：TESTING METHOD MT 等級：LEVEL II 到期年月：EXPIRATION DATE 103/07 審 定 人：EVALUATED BY 蔡錫聯 授 證 人：CERTIFIED BY 許泛舟	檢測方法：TESTING METHOD 等級：LEVEL 到期年月：EXPIRATION DATE 審 定 人：EVALUATED BY 授 證 人：CERTIFIED BY	檢測方法：TESTING METHOD 等級：LEVEL 到期年月：EXPIRATION DATE 審 定 人：EVALUATED BY 授 證 人：CERTIFIED BY	檢測方法：TESTING METHOD 等級：LEVEL 到期年月：EXPIRATION DATE 審 定 人：EVALUATED BY 授 證 人：CERTIFIED BY

中 華 民 國 100年 07月

校印 黃玉山

台灣電力公司
TAIWAN POWER COMPANY

證書字號：訓證-846752

茲證明 Be it Known that

陸錚 [redacted] LUH JENG

係民國 [redacted] 年 [redacted] 月 [redacted] 日 生業已符合本公司非破壞檢測從業人員合格基準之規定授予

has met heretofore established and published Requirements for TPC NDT Certification

非 破 壞 檢 測 師 證 書

Certificate of NDT Personnel Qualification

合格授證之檢測方式暨有效期限詳列如下

The Nondestructive Testing Methods as specified below

檢測方法 TESTING METHOD：RT 等級 LEVEL：II	檢測方法 TESTING METHOD：MT 等級 LEVEL：II	檢測方法 TESTING METHOD：UT 等級 LEVEL：II	檢測方法 TESTING METHOD：PT 等級 LEVEL：II
到期年月 EXPIRATION DATE：102/07	到期年月 EXPIRATION DATE：102/07	到期年月 EXPIRATION DATE：102/07	到期年月 EXPIRATION DATE：102/07
審定人 EVALUATED BY：薛國輝	審定人 EVALUATED BY：薛國輝	審定人 EVALUATED BY：薛國輝	審定人 EVALUATED BY：薛國輝
授證人 CERTIFIED BY：許泛舟	授證人 CERTIFIED BY：許泛舟	授證人 CERTIFIED BY：許泛舟	授證人 CERTIFIED BY：許泛舟
檢測方法 TESTING METHOD：ET 等級 LEVEL：I	檢測方法 TESTING METHOD：VT-1 等級 LEVEL：II	檢測方法 TESTING METHOD： 等級 LEVEL：	檢測方法 TESTING METHOD： 等級 LEVEL：
到期年月 EXPIRATION DATE：102/07	到期年月 EXPIRATION DATE：102/07	到期年月 EXPIRATION DATE：	到期年月 EXPIRATION DATE：
審定人 EVALUATED BY：薛國輝	審定人 EVALUATED BY：薛國輝	審定人 EVALUATED BY：	審定人 EVALUATED BY：
授證人 CERTIFIED BY：許泛舟	授證人 CERTIFIED BY：許泛舟	授證人 CERTIFIED BY：	授證人 CERTIFIED BY：

UT、ET核電廠ISI檢測資格
效期限定至101年9月

中 華 民 國 99年 07月

校印黃玉山

台灣電力公司
TAIWAN POWER COMPANY

證書字號：訓證-825190

茲證明 Be it Known that

廖春生 [redacted] LIAO Chuen-Sheng

係民國 [redacted] 年 [redacted] 月 [redacted] 日 生業已符合本公司非破壞檢測從業人員合格基準之規定授予

has met heretofore established and published Requirements for TPC NDT Certification

非 破 壞 檢 測 師 證 書

Certificate of NDT Personnel Qualification

合格授證之檢測方式暨有效期限詳列如下

The Nondestructive Testing Methods as specified below

檢測方法 TESTING METHOD：RT 等級 LEVEL：III 到期年月 EXPIRATION DATE：104/07 審定人 EVALUATED BY：薛國輝 授證人 CERTIFIED BY：許泛舟	檢測方法 TESTING METHOD：MT 等級 LEVEL：III 到期年月 EXPIRATION DATE：104/07 審定人 EVALUATED BY：薛國輝 授證人 CERTIFIED BY：許泛舟	檢測方法 TESTING METHOD：UT 等級 LEVEL：III 到期年月 EXPIRATION DATE：104/07 審定人 EVALUATED BY：薛國輝 授證人 CERTIFIED BY：許泛舟	檢測方法 TESTING METHOD：PT 等級 LEVEL：III 到期年月 EXPIRATION DATE：104/07 審定人 EVALUATED BY：薛國輝 授證人 CERTIFIED BY：許泛舟
檢測方法 TESTING METHOD：VT-1 等級 LEVEL：III 到期年月 EXPIRATION DATE：104/07 審定人 EVALUATED BY：薛國輝 授證人 CERTIFIED BY：許泛舟	檢測方法 TESTING METHOD： 等級 LEVEL： 到期年月 EXPIRATION DATE： 審定人 EVALUATED BY： 授證人 CERTIFIED BY：	檢測方法 TESTING METHOD： 等級 LEVEL： 到期年月 EXPIRATION DATE： 審定人 EVALUATED BY： 授證人 CERTIFIED BY：	檢測方法 TESTING METHOD： 等級 LEVEL： 到期年月 EXPIRATION DATE： 審定人 EVALUATED BY： 授證人 CERTIFIED BY：

[redacted]

中 華 民 國 99年 07月

校印黃玉

台灣電力公司
TAIWAN POWER COMPANY

證書字號：訓證-874154

茲證明 Be it Known that

黃大志 [redacted] HUANG TA-CHIH

係民國 [redacted]年[redacted]月[redacted]日 生業已符合本公司非破壞檢測從業人員合格基準之規定授予

has met heretofore established and published Requirements for TPC NDT Certification

非 破 壞 檢 測 師 證 書

Certificate of NDT Personnel Qualification

合格授證之檢測方式暨有效期限詳列如下

The Nondestructive Testing Methods as specified below

檢測方法：RT 等級：II TESTING METHOD LEVEL 到期年月：102/07 EXPIRATION DATE 審定人：薛國輝 EVALUATED BY 授證人：許泛舟 CERTIFIED BY	檢測方法：MT 等級：II TESTING METHOD LEVEL 到期年月：102/07 EXPIRATION DATE 審定人：蔡錫聯 EVALUATED BY 授證人：許泛舟 CERTIFIED BY	檢測方法：UT 等級：II TESTING METHOD LEVEL 到期年月：102/07 EXPIRATION DATE 審定人：蔡錫聯 EVALUATED BY 授證人：許泛舟 CERTIFIED BY	檢測方法：PT 等級：II TESTING METHOD LEVEL 到期年月：102/07 EXPIRATION DATE 審定人：蔡錫聯 EVALUATED BY 授證人：許泛舟 CERTIFIED BY
檢測方法：ET 等級：1 TESTING METHOD LEVEL 到期年月：102/07 EXPIRATION DATE 審定人：薛國輝 EVALUATED BY 授證人：許泛舟 CERTIFIED BY	檢測方法：VT-1 等級：II TESTING METHOD LEVEL 到期年月：102/07 EXPIRATION DATE 審定人：蔡錫聯 EVALUATED BY 授證人：許泛舟 CERTIFIED BY	檢測方法： 等級： TESTING METHOD LEVEL 到期年月： EXPIRATION DATE 審定人： EVALUATED BY 授證人： CERTIFIED BY	檢測方法： 等級： TESTING METHOD LEVEL 到期年月： EXPIRATION DATE 審定人： EVALUATED BY 授證人： CERTIFIED BY

UT·ET核電廠ISI檢測資格
效期限定至[redacted]年[redacted]月

中 華 民 國

99年 07月

校印 黃玉[illegible]

台灣電力公司
TAIWAN POWER COMPANY

證書字號：訓證-874267

茲證明 Be it Known that

陳敏榮 [redacted] CHEN MIIN-JUNG

係民國 [redacted] 年 [redacted] 月 [redacted] 日 生業已符合本公司非破壞檢測從業人員合格基準之規定授予

has met heretofore established and published Requirements for TPC NDT Certification ;

非 破 壞 檢 測 師 證 書
Certificate of NDT Personnel Qualification

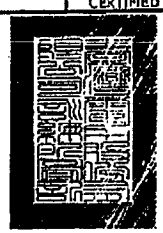
合格授證之檢測方式暨有效期限詳列如下

The Nondestructive Testing Methods as specified below

檢測方法 TESTING METHOD：RT 等級 LEVEL：II 到期年月 EXPIRATION DATE：102/07 審定人 EVALUATED BY：薛國輝 授證人 CERTIFIED BY：許泛舟	檢測方法 TESTING METHOD：MT 等級 LEVEL：II 到期年月 EXPIRATION DATE：102/07 審定人 EVALUATED BY：蔡錫聯 授證人 CERTIFIED BY：許泛舟	檢測方法 TESTING METHOD：UT 等級 LEVEL：II 到期年月 EXPIRATION DATE：102/07 審定人 EVALUATED BY：蔡錫聯 授證人 CERTIFIED BY：許泛舟	檢測方法 TESTING METHOD：PT 等級 LEVEL：II 到期年月 EXPIRATION DATE：102/07 審定人 EVALUATED BY：蔡錫聯 授證人 CERTIFIED BY：許泛舟
檢測方法 TESTING METHOD：ET 等級 LEVEL：I 到期年月 EXPIRATION DATE：102/07 審定人 EVALUATED BY：薛國輝 授證人 CERTIFIED BY：許泛舟	檢測方法 TESTING METHOD：VT-1 等級 LEVEL：II 到期年月 EXPIRATION DATE：102/07 審定人 EVALUATED BY：蔡錫聯 授證人 CERTIFIED BY：許泛舟	檢測方法 TESTING METHOD： 等級 LEVEL： 到期年月 EXPIRATION DATE： 審定人 EVALUATED BY： 授證人 CERTIFIED BY：	檢測方法 TESTING METHOD： 等級 LEVEL： 到期年月 EXPIRATION DATE： 審定人 EVALUATED BY： 授證人 CERTIFIED BY：

UT-ET核電級 [illegible]
效期限 [illegible]

中 華 民 國



99年 07月

校印 黃玉山

台電公司 電力發展

非破壞檢測師證書

姓名(代號)	張崇寶 ([redacted])			
出生日期	[redacted]			
檢測方法	超音波檢測		等級	中級
證書字號	訓發98-217	效期	101/08/	
審定人	廖春生	核證	許泛舟	

中華民國 98年07月28日

校印 黃昭鳴

協力廠商非破壞檢測証書

人員姓名	檢測方法與等級	
施逸隆	超音波檢測（UT）-中級	液滲檢測(PT)－中級
陳志宗	液滲檢測(PT)－中級	
廖志成	超音波檢測（UT）-中級	液滲檢測(PT)－中級
黃清溪	超音波檢測（UT）-中級	液滲檢測(PT)－中級
林寧碧	液滲檢測(PT)－中級	
楊介麒	液滲檢測(PT)－中級	

財團法人 中華民國非破壞檢測協會

The Nondestructive Testing Society of China-Taipei

Well-Known Test

茲證明

has met certain established requirements for ROUTINE Certification as

非破壞檢測合格證書

NDT LEVEL II

In the Nondestructive Testing Methods as specified in the Endorsements

NID-009

Certificate No.: PQ-NID-009	Certificate No.: PQ-NID-009	Certificate No.: PQ-NID-009	Certificate No.: PQ-NID-009	Certificate No.: PQ-NID-009
ET LEVEL II	UT LEVEL II	MT LEVEL II	PT LEVEL II	RT LEVEL II
TESTING METHOD	TESTING METHOD	TESTING METHOD	TESTING METHOD	TESTING METHOD
JUNE. 2010 — JUNE. 2013	OCT. 2011 — OCT. 2014	OCT. 2009 — OCT. 2012	JUNE. 2011 — JUNE. 2014	OCT. 2011 — OCT. 2014
ISSUE DATE — EXPIRATION DATE	ISSUE DATE — EXPIRATION DATE	ISSUE DATE — EXPIRATION DATE	ISSUE DATE — EXPIRATION DATE	ISSUE DATE — EXPIRATION DATE
蘇詠舜	蘇詠舜	蘇詠舜	蘇詠舜	蘇詠舜
CHAIRMAN-PQCC	CHAIRMAN-PQCC	CHAIRMAN-PQCC	CHAIRMAN-PQCC	CHAIRMAN-PQCC

財團法人 中華民國非破壞檢測協會人員資格證書

The Nondestructive Testing Society of China-Taipei

茲 證 明 Be it known that

陳志宗 JYH-TZONG CHERN

業已符合本協會非破壞檢測人員合格基準之規定應授予

has met heretofore established and published Requirements for ROCSNT-PQ-01 Certification as

中級檢測師資格

NDT LEVEL II

合格授證之檢測方法暨有效期限詳列如下

In the Nondestructive Testing Methods as specified in the Endorsements

KD-712

許之祥 翁開盛

總 經 理 人員評審委員會召集人 證 號

(President) (Chairman-Personnel Qualification and Certification Committee) (Certificate Number)

與正本相符

Endorsements: The Holder of this Certificate has been Certified by NTSCT as NDT Level II in the General Requirements for the NDT Methods specified Below:

Certificate No.: PQ-KD-712	Certificate No.: PQ-KD-712
✓ PT LEVEL II	MT LEVEL II
TESTING METHOD	TESTING METHOD
JUNE, 2010 ISSUE DATE	JUNE, 2010 ISSUE DATE
JUNE, 2013 EXPIRATION DATE	JUNE, 2013 EXPIRATION DATE
蘇銘舜 CHAIRMAN-PQCC	蘇銘舜 CHAIRMAN-PQCC

財團法人 中華民國非破壞檢測協會人員資格證書

The Nondestructive Testing Society of China-Taipei



茲證明 Be it known that

廖志成

JYH-CHERN LIAW

業已符合本協會非破壞檢測人員合格基準之規定應授予

has met heretofore established and published Requirements for ROCSNT-PQ-01 Certification as

中級檢測師資格

NDT LEVEL II

合格授證之檢測方法暨有效期限詳列如下

In the Nondestructive Testing Methods as specified in the Endorsements

許文雄 總理 (President)

翁閱盛 人員評審委員會召集人 (Chairman-Personnel Qualification and Certification Committee)

This Certificate has been Certified by NDSCT as NDT Level II in the General Requirements for the NDT Methods specified Below:

Certificate No. : PQ-NB-471			
RT LEVEL II			
TESTING METHOD			
OCT. 2010	OCT. 2013		
ISSUE DATE	EXPIRATION DATE		
蘇詠舜			
CHAIRMAN-PQCC			

Certificate No. : PQ-NB-471			
PT LEVEL II			
TESTING METHOD			
JUNE. 2010	JUNE. 2013		
ISSUE DATE	EXPIRATION DATE		
蘇詠舜			
CHAIRMAN-PQCC			

Certificate No. : PQ-NB-471			
UT LEVEL II			
TESTING METHOD			
OCT. 2010	OCT. 2013		
ISSUE DATE	EXPIRATION DATE		
蘇詠舜			
CHAIRMAN-PQCC			

Certificate No. : PQ-NB-471	
VT LEVEL II	
TESTING METHOD	
OCT. 2011	OCT. 2014
ISSUE DATE	EXPIRATION DATE
蘇詠舜	
CHAIRMAN-PQCC	

與正本相符

PQ-NB-471

證書號碼

(Certificate Number)

財團法人中華民國非破壞檢測協會 非破壞檢測從業人員資格證明

The Republic of China's Society for Nondestructive Testing



Be It Known that

CHING-SHI HUANG

茲證明 先生 姓名 鄭世煌

係 省 市 縣 人民國 年 月 日生業已符合

本協會非破壞檢測從業人員合格基準之規定應授予

has met heretofore established and published Requirements for ROCSNT-PQ-01 Certification as

中級檢測師資格

NDT LEVEL II

合格授證之檢測方法暨有效期限詳列於後

In the Nondestructive Testing Methods as specified in the Endorsements

理事長 (President)　　人員評審委員會主任委員 (Chairman, Personnel Qualification and Certification Committee)

證號 (Certificate Number) PQ-KA-109

Endorsements: The Holder of this Certificate has been Certified by ROCSNT as NDT Level II on the General Requirements for the NDT Methods specified Below.

Certificate No. PQ-KA-109	Certificate No. PQ-KA-109	Certificate No. PQ-KA-109	Certificate No. PQ-KA-109
RT LEVEL II	MT LEVEL II	UT LEVEL II	VT LEVEL II
TESTING METHOD	TESTING METHOD	TESTING METHOD	TESTING METHOD
OCT. 2011 OCT. 2014	OCT. 2011 OCT. 2014	OCT. 2011 OCT. 2014	OCT. 2011 OCT. 2014
ISSUE DATE EXPIRATION DATE	ISSUE DATE EXPIRATION DATE	ISSUE DATE EXPIRATION DATE	ISSUE DATE EXPIRATION DATE
蘇冰舜	蘇冰舜	蘇冰舜	蘇冰舜
CHAIRMAN, PQCC	CHAIRMAN, PQCC	CHAIRMAN, PQCC	CHAIRMAN, PQCC

副本 正本

財團法人

中華民國非破壞檢測協會

The Nondestructive Testing Society of China-Taipei

茲 證 明 Be it known that

林寧碧 *NING-BI LIN*

業已符合本協會非破壞檢測人員合格基準之規定應授予

has met heretofore established and published Requirements for ROCSNT-PQ-01 Certification as

中級檢測師資格證書

NDT LEVEL II

合格授證之檢測方法暨有效期限詳列如下

In the Nondestructive Testing Methods as specified in the Endorsements

總經理 (President)

人員評審委員會召集人 (Chairman-Personnel Qualification and Certification Committee)

NHA-516 證號 (Certificate Number)

Endorsements-The Holder of this Certificate has been Certified by NTSCT as NDT Level I in the General Requirements for the NDT Methods specified Below:

Certificate No.: PQ-NHA-516	Certificate No.: PQ-NHA-516	Certificate No.: PQ-NHA-516
PT LEVEL II	MT LEVEL II	VT LEVEL II
TESTING METHOD	TESTING METHOD	TESTING METHOD
OCT. 2010 / OCT. 2013	OCT. 2010 / OCT. 2013	OCT. 2010 / OCT. 2013
ISSUE DATE / EXPIRATION DATE	ISSUE DATE / EXPIRATION DATE	ISSUE DATE / EXPIRATION DATE
蘇詠舜	蘇詠舜	蘇詠舜
CHAIRMAN-PQCC	CHAIRMAN-PQCC	CHAIRMAN-PQCC

與正本相符

財團法人 台灣非破壞檢測協會

The Society for Nondestructive Testing & Certification of Taiwan

茲 證 明 Be it known that

楊介麒

業已符合本協會非破壞檢測人員合格基準之規定應授予

has met heretofore established and published Requirements for ROCSNT-PQ-01 Certification as

中級檢測師資格證書

NDT LEVEL II

合格授證之檢測方法暨有效期限詳列如下

In the Nondestructive Testing Methods as specified in the Endorsements

總經理 (President)	人員評審委員會召集人 (Chairman-Personnel Qualification and Certification Committee)	證號 (Certificate Number)
許文雄	蘇詠舜	NMC-206

Endorsements-The Holder of this Certificate has been Certified by NTSCT as NDT Level II in the General Requirements for the NDT Methods specified Below:

Certificate No.	PQ-NMC-206
MT LEVEL II	
TESTING METHOD	
JUNE 2009	JUNE 2012
ISSUE DATE	EXPIRATION DATE
蘇詠舜	
CHAIRMAN-PQCC	

Certificate No.	PQ-NMC-206
PT LEVEL II	
TESTING METHOD	
OCT. 2009	OCT. 2012
ISSUE DATE	EXPIRATION DATE
蘇詠舜	
CHAIRMAN-PQCC	

〔副正本〕

協力廠商技術人員資格檢定卡

人員姓名	檢定項目	
施逸隆	核能電廠運轉期間中級超音波檢測	中級液滲檢測
陳志宗	中級液滲檢測	
廖志成	中級液滲檢測	
黃清溪	中級液滲檢測	
林寧碧	中級液滲檢測	
楊介麒	中級液滲檢測	

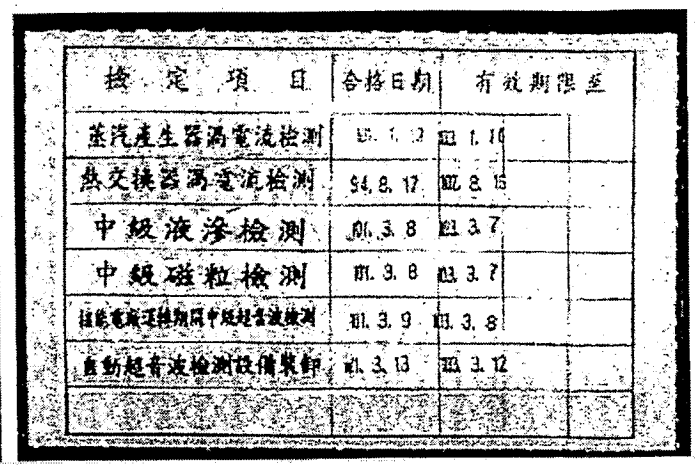
施逸隆



台灣電力公司核能電廠
承包商技術人員資格檢定卡

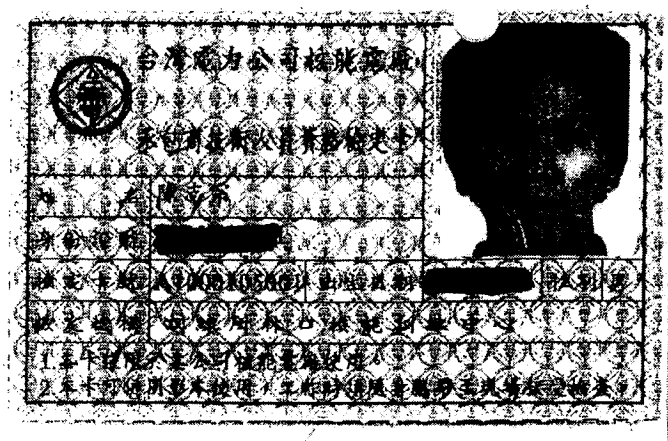
姓　名	施逸隆
身份証號	[redacted]
檢定卡號	E940810002
出生日期	[redacted]
性別	男
檢定機構	訓練所核口檢能訓練中心

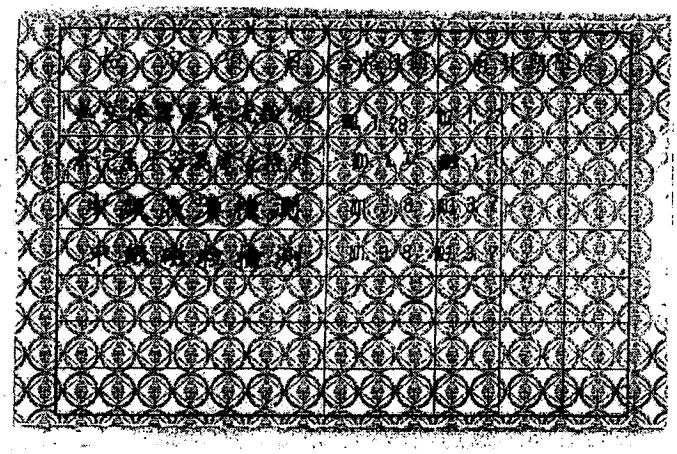
1.本卡僅限於本公司核能電廠使用。
2.本卡可使用影本檢附，工作時須隨身攜帶並現場接受檢查。



檢定項目	合格日期	有效期限至
蒸汽產生器渦電流檢測	[illegible]	101. 1. 16
熱交換器渦電流檢測	94. 8. 17	100. 8. 16
中級液滲檢測	90. 3. 8	93. 3. 7
中級磁粒檢測	90. 3. 8	93. 3. 7
核能電廠運轉期間中級超音波檢測	90. 3. 9	93. 3. 8
自動超音波檢測設備操作	90. 3. 13	93. 3. 12

陳志宗





廖志成

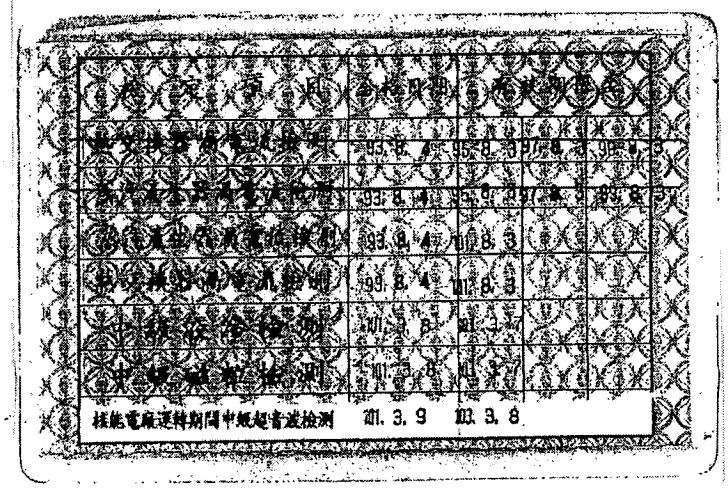
台灣電力公司核能電廠

承包商技術人員資格檢定卡



姓　　名	廖志成
身份證號	[redacted]
檢定卡號	E930707003　出生日期 [redacted]　性別 男
檢定機構	訓練所林口核能訓練中心 [redacted]

1.本卡僅限於本公司核能電廠使用。
2.本卡可併同影本使用，工作時須隨身攜帶至現場接受檢查。



核安檢查與氣密試驗	93.8.4	95.8.3	97.8.3
核安品保與管理訓練	93.8.4	97.8.3	99.8.3
核安廠內緊急應變訓練	93.8.4	101.8.3	
輻射偵檢與電氣訓練	93.8.4	101.8.3	
中華民國體檢	101.3.8	101.3.8	
中華民國體檢	101.3.8	101.3.8	
核能電廠運轉期間中級超音波檢測	101.3.9	103.3.8	

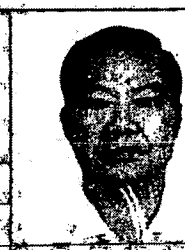
黃清溪

台灣電力公司核能電廠

承包商技術人員資格認定卡

姓名	黃清溪
身分證號	[redacted]
檢定證號	A3(B)(C)(D)(E)(F)(G)(H)(I)(J)(K)(L)(M)(N)(O)(P)(Q)(R)(S)(T)(U)(V)(W)(X)(Y)(Z) 出生日期 [redacted] 性別 男
檢定機構	財團法人中技社非破壞檢查

1.本卡僅限於本公司核能電廠使用。
2.本卡可併同影本使用，工作時須隨身攜帶並現場經管機關查驗。



檢定項目	合格日期	有效期限		
數位超音波探測	100. 1. 28	102. 1. 27		
中線液滲檢測	101. 3. 8	103. 3. 7		
中線磁粉檢測	101. 3. 8	103. 3. 7		

林享碧



台灣電力公司核能電廠

承包商技術人員資格確定卡

姓名 林享碧

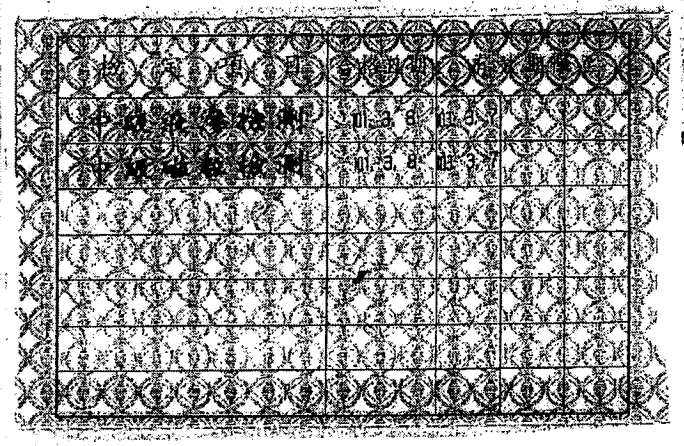
身分證號 [redacted]

核安卡號 C10102031067 集體團體 [redacted] 性別 男

訓練地點 南部林口核能訓練中心

1.本卡僅限於本公司核能電廠使用。

2.本卡如有偽冒影本使用，立即吊銷並追繳費用並送警檢究辦查。



本廠統計資料	III. 3. 8	III. 3. 9				
本廠歷練資料	III. 3. 8	III. 3. 37				

楊介鹿其

台灣電力公司核能電廠

承包商技術人員資格檢定卡



姓名	楊介麒
身分證號	[redacted]
檢定卡號	[redacted] 出生日期 [redacted] 性別 男
檢定機構	訓練所林口核能訓練中心

1.本卡僅限於本公司核能電廠使用。
2.本卡可併同影本使用，工作時須隨身攜帶至現場接受檢查。

檢定項目	合格日期	有效期限至		
中級液滲檢測	101. 3. 8	103. 3. 7		
中級磁粒檢測	101. 3. 8	103. 3. 7		

附表 3　　[Rev.11]

核二廠組件支撐目視檢查記錄表

機組 1 大修次 22

支撐號碼 支撐弧板與反應爐蓋 檢查採直接式 V 間接式 _____

檢查員簽章 [illegible] LEVEL II 查證員簽章 _____

檢查項目	檢查結果
VT-3 目視檢查	
1.支撐組件之型號、尺寸、位置,是否符合圖面要求,間隙是否在容許範圍內,墊片是否適當.	正常 V 異常說明 _____
2.所有螺栓、螺帽、固定零件是否均已安裝鎖緊並已正確配合無鬆動現象.	正常 V 異常說明 _____
3.彈簧支撐之冷機設定點調整是否正常	正常 NA 異常說明 _____
4.支撐與構架間焊道是否有腐蝕現象	正常 V 異常說明 _____
5.支撐表面是否有磨損或剝蝕存在.	正常 V 異常說明 _____
6.支撐之機械／電焊接合處是否完整	正常 V 異常說明 _____
7.各部零件有無變形、損壞、遺失情況	正常 V 異常說明 _____
8.開口銷是否正常,開口端是否張開	正常 NA 異常說明 _____
建議事項： 報告審查人 張正德 LEVEL II DATE 101.4.10 審查意見 合格	

註：此表適用於 CLASS-1 及 2 之組件支撐.

第二核能發電廠營運程序書

品質成套文件明細暨審查表

#1 機 EOC 22　主辦組: 機械組　Package No. ME-21

工作內容：控制棒驅動殼支架檢查

DIV 別：☐ DIV I　☐ DIV II　☐ DIV III　■ NON-DIV

類 別：■ A 臨界前　☐ B 併聯前　☐ C 90% 額定熱功率

品質等級：■ Q　☐ R　☐ NQNR　☐其他＿＿＿＿

工作項目：（請詳註文件編號）

■ 偵測試驗程序書　☐ DCR　☐ 請修單　☐ EMR　☐ RER

☐維護檢修程序書　☐ 管制追蹤案件　☐ NCD　☐ CAR　☐ ACAR

文件編號：612.3.7

☐ 承諾原能會/原能會要求辦理事項：＿＿＿＿

☐ 其他文件：＿＿＿＿

統計項目 ＼ 品質等級		Q & R1	NQ & NR1
本成套文件中大修維修項目之件數(依承修單位統計) (運轉偵測試驗、DCR、EMR、CAR、ACAR、及其他非維修工作者等免填本統計表)	包　商 1 理　宏 公司	145Q	
	包　商 2＿＿＿＿公司		
	修 護 處		
	電廠自辦		

工作週期：☐18 個月　■每次大修　☐計劃性停機　☐其他：＿＿＿＿

工　期：完工日期 101.03.22　繳件日期 101.03.23(完工後三天內繳出為原則)

執行結果：■ 正常　☐ 不正常(請詳述原因)

原因：NA

承辦人 蕭國瑋 101.3.23　課　長 林琦琰 101.3.23　主辦組經理 臧鶴年 101.3.23

品 質 組
審查結果：審查合格　僅文件審查 DOCUMENTS REVIEW ONLY

審查人員 高仲彥 101.3.24　課　長 [illegible] 101.3.24　品質組經理 張維仁 101.3.24

核安處駐廠小組
審 查 結 果：文件審查合格

潘天佑 101.3.26　彭武台 101.3.26　林崑南 101.3.26

表 153-6

台灣電力公司 第二核能發電廠 營運手冊 新編/改版程序書校正表	編號	612.3.7
	版次	12
	日期	90年1月11日

名稱	控制棒驅動殼支架檢查		
認養人	林琦瑛	類別	**段落查証類**

校正者：

DCC：_____ 101.3.13

認養人：_____

品質課長：_____

台灣電力公司
第二核能發電廠
營運手冊
程序書修訂記錄表

編號	6.12.217	名稱	控制棒驅動殼支架檢查			
版次	編寫者	翻譯者	初審者	複審者	校稿	
11	R.HEARTY	楊嘉烽		蔡昇川	林正昆	

版次	PCN1	PCN2	PCN3	PCN4	PCN5	PCN6
	變更頁次	變更頁次	變更頁次	變更頁次	變更頁次	變更頁次
11	項秉遠	楊嘉烽	林琦瑛			
	2、4	1、1-1、4、5、6	全	改PC12版		
12	郭進興	更名	邱玉文	郭進興		
	1	1、2、3	1	1、2		

程序書按其使用需要而分成下列四種類型

程序書使用類別	程 序 書 使 用 要 求
逐步確認類 (A)	1.程序書需帶在身邊. 2.依照程序書的步驟順序執行每一個步驟. 3.步驟執行前先把該步驟內容讀出再執行. 4.步驟執行後視需要由工作人員簽名. 5.若執行時有兩個以上地點,可事先晒印影本,執行者在各自影本簽名, 執行完成再轉抄至執行版.
段落查證類 (B)	1.程序書需放在工作現場. 2.工作進行中不必逐步查看程序書,但需經常核對程序書,以確定所有步驟都已正確執行. 3.在每個段落或作業活動完成後,視需要由工作人員簽名. 4.若執行時有兩個以上地點,可事先晒印影本,執行者在各自影本簽名,執行完成再轉抄至執行版.
參 考 類 (C)	1.程序書不必帶到現場. 2.憑記憶執行程序書的內容與規定. 3.但 300 系列程序書後面之 VALVE CHECK LIST、INST. CHECK LIST、POWER CHECK LIST 例外,仍應逐一簽名,若由兩人以上共同執行,可事先晒印影本, 執行者在各自影本簽名, 執行完成再轉抄至執行版.
混 合 類 (D)	1.依照程序書內使用分類之標示,並參照(A)至(C) 類要求分別執行工作.

注意：本份程序書如有缺頁或晒印不清楚請立即通知補齊　　品質課 DCC 分機 (2688)

PCN4　　修訂日期：97-09-08

名稱：控制棒驅動殼支架檢查

一.目的

在控制棒驅動殼支架區域有維修或回裝工作之後，提供一個控制棒驅動殼支架的檢查程序書。

二.討論

控制棒驅動殼支架的功用是提供一個保護裝置，萬一控制棒驅動殼在反應爐壓力下破損時，防止控制棒墜落。只要在大修期間，爐底有任何控制棒驅動殼支架在拆卸過後成檢修工作後，則在起動前，此檢查就需執行。如技術手冊 TRS 3.1.2.1 所要求。

三.參考資料：

A.奇異公司說明圖號：767E556，105D5161。

B.奇異反應爐系統安裝說明書 22A4330。

C.核二廠技術手冊 TRS 3.1.2.1。

D.核二廠運轉與維護手冊(VOL. II ，PART1)。

E.附圖一、奇異公司說明圖號：767E556。〔Rev.11〕

F.附圖二、六吋長金屬模具量具。〔Rev.11〕

G.附圖三、SUPPORTDETAILSVIEW。〔Rev.11〕

H.附圖四、控制棒驅動殼支架結構。〔Rev.11〕

四.所需器材

A.簽名同意表(SIGN OFF SHEET)。

B.查證表(INSPECTION CHECK LIST)。

C.六吋長金屬直尺，或六吋長金屬模具量具。(例如附圖二所示)

D.手電筒。

PCN4

五.事前準備

A.在執行檢查前，所有爐底的工作和控制棒驅動殼支架的安裝需先完成。(儀器的校驗、調整....等，與驅動殼支架無關的工作，不在此限)。

B.向保健物理組查詢可進入時間和輻射劑量控制條件。

六.注意事項

A.由於爐底區域具有極高之輻射污染，故在檢查前人員和器材的防污染工作需先做好。

B.爲了減少輻射劑量，爐底的停留時間必須由保健物理組來控制。在執行本程序書之前，對於控制棒支架的結構和檢查的要求標準必須要先熟練和認知。

C.在檢查途中，不要去嘗試校正太大的偏差。

D.在檢查過程中，應小心勿撞及相關儀控組件，避免造成反應爐半急停之警報。

[Rev.12]

七.檢查程序

A.必須先知道間隙標準及輻射控制資料，包括停留時間等由保健物理組查詢。

B.本檢查需得值班主任同意。

C.需穿防護衣(輻射污染)。

D.進入爐底，並照查證表執行檢查。

E.脫除防護衣物，並偵測表面污染。

F.檢查完成後，需通知值班主任及保健物理人員。

PCN2

八.執行簽証表

程序書 612.3.7 簽名同意表

A.保健物理組認可及停留時間.

認可同意人：[signature] 日期：101/3/22 停留時間：4 h

工作負責人簽名：[signature]

B.值班主任已認可同意：101.3.22 劉嘉洋

C.檢查已執行及誤差記錄如下：_____

誤差：_____

_____

_____

_____

_____

查證表如附頁._____

D.檢查完成後已通知保健物理組.[signature] 3.22

E.檢查執行人：[signature] 日期：101.3.22

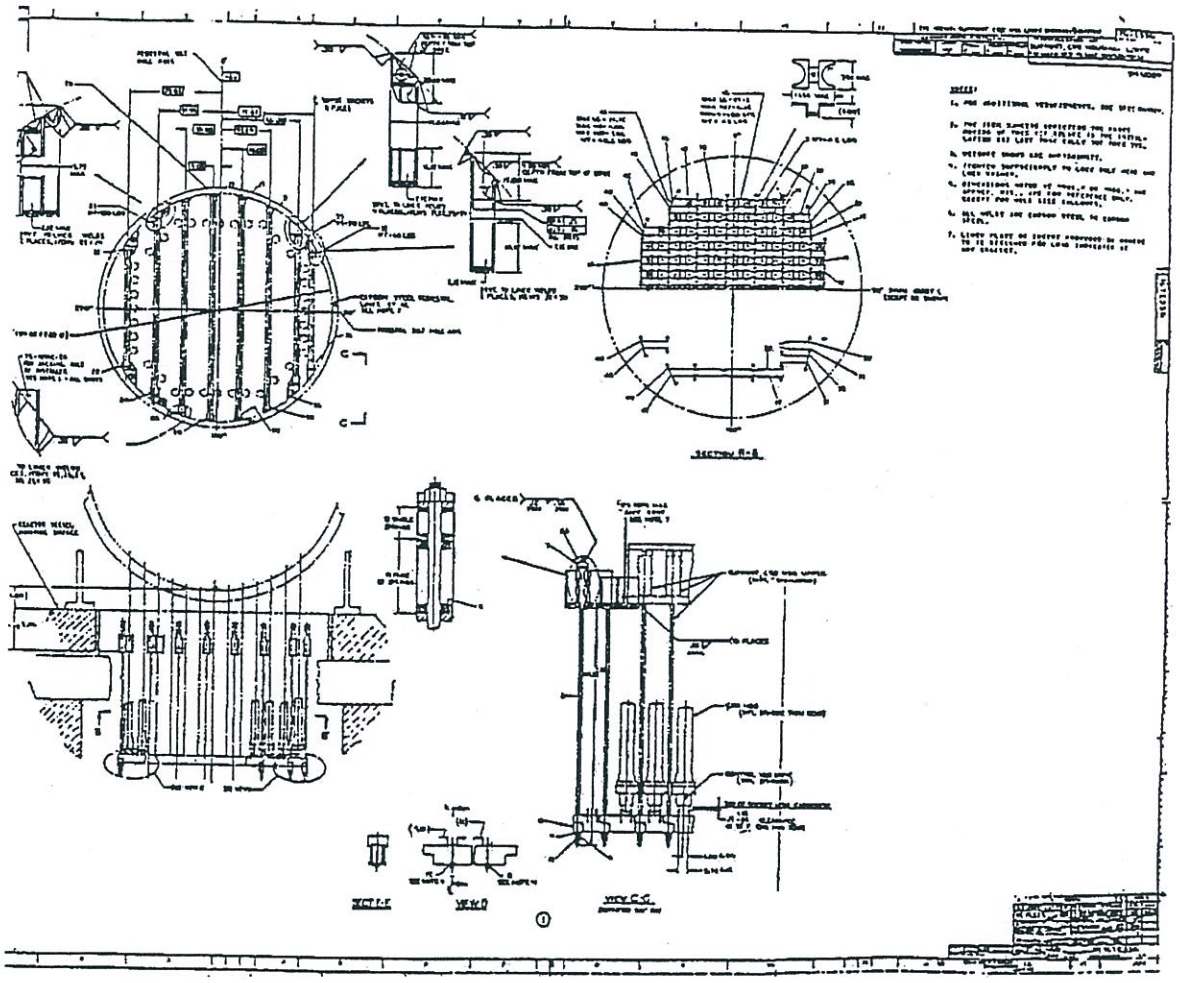
F.值班主任認可：101.3.23 劉嘉洋 日期：_____

台灣電力公司　　第二核能發電廠　　612.3.7

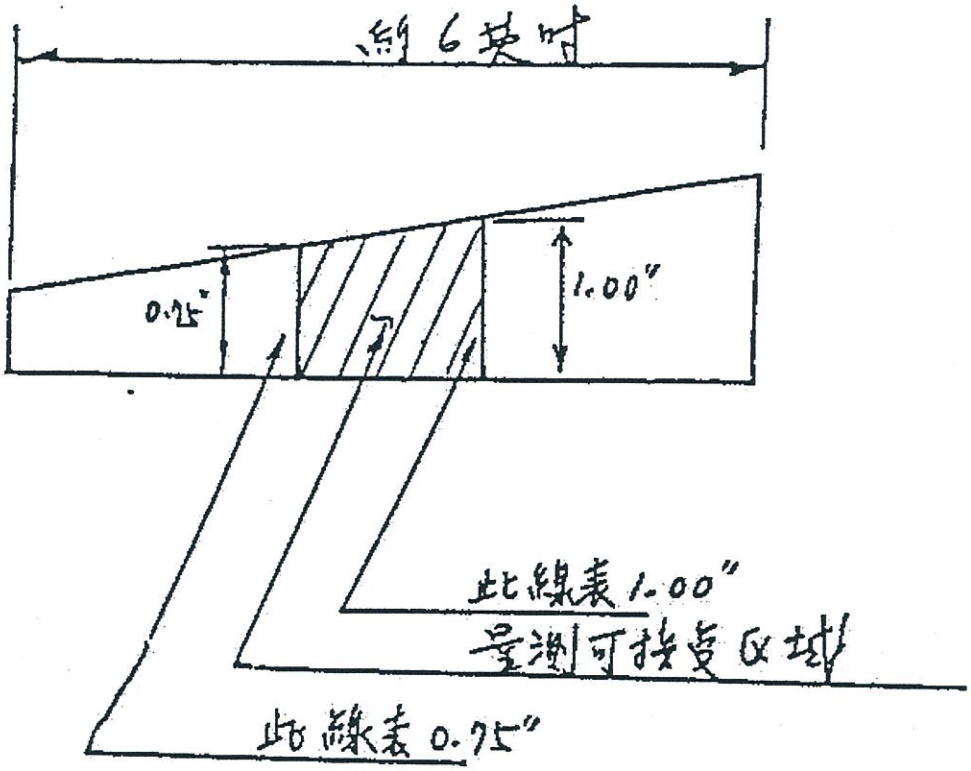
偵測試驗程序書執行簽証表

步驟編號	執行內容及結果	簽章/日期
1	每一根吊架懸吊桿(HANGERROD)均安裝墊圈(WASHER)鎖緊螺帽(JAMNUT)和螺帽(NUT)，並檢查合格。	複查者：吳東原 3/22
2	每一個支持桿(SUPPORTBAR)均安裝定位，檢查合格。	複查者：吳東原 3/22
3	所有的架骨板(GRIDPLATES)均安裝定位，檢查合格。	複查者：吳東原 3/22
4	所有的架骨夾(GRIDCLAMP)均安裝定位，而且架骨螺栓(GRIDBOLT)已鎖緊。	複查者：吳東原 3/22
Q ★5	用目視和接觸檢查並測量-控制棒殼支架和控制棒法蘭底部六角頭螺栓之間的間隙，在控制棒驅動殼的溫度於 70°F時檢查。 +0.25″ (間隙爲 0.75″) -0.00″	複查者：吳東原 3/22 品質查証者：NA
6	檢查所有的接頭(CONNECTORS)已鎖定。	複查者：吳東原 3/22
7	檢查可伸縮的中子偵測儀器(8×IRM，4×SRM)和控制棒驅動殼支架之間彼此無干擾	複查者：吳東原 3/22
8	檢查並清除所有遺留下之破碎殘餘物。	複查者：吳東原 3/22

圖一〔Rev.11〕



附圖二〔Rev.11〕



（圖二）：六吋棧魚骨校具量具

附圖三〔Rev.11〕

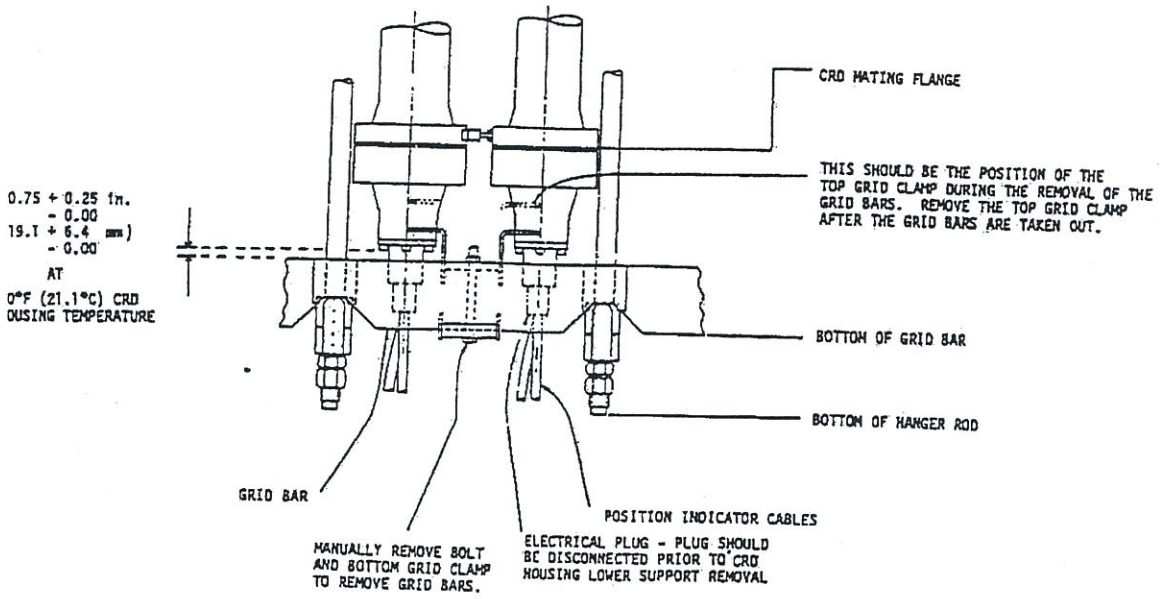
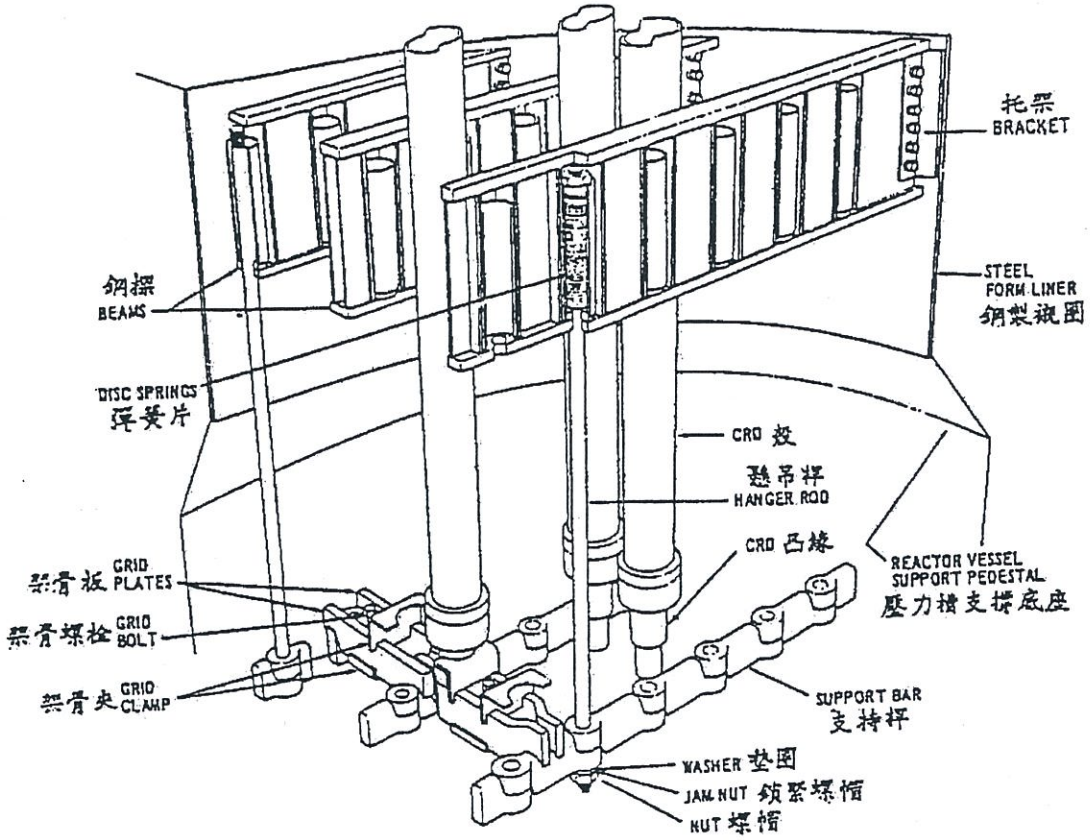


Figure 2-18. CRD Lower Housing Support Details View from 0-180 Degrees Azimuth

附圖四〔Rev.11〕



附圖四：控制棒驅動殼支持結構

附件十：偵測試驗申請和審查表(表格 1111.01H)　〔Rev.12〕

台灣電力公司第二核能發電廠

偵 測 試 驗 申 請 和 審 查 表

執行單位（包括值班部門）：

機組 #1

程序書編號 612.3.7　版次 12　變更通知單編號＿＿＿＿

名稱 控制棒驅動殼支架檢查

反應爐模式　□運轉中　□起動　□熱待機　□熱停機　☑冷停機　□裝填燃料

反應爐功率 0 %　發電機出力 0 MWe

此次試驗係(1)□定期性 (2)☑檢修後 (3)□因＿＿＿設備 INOP (4)□＿＿＿可用性驗証測試 (5)□其他

本組訂於 101 年 03 月 22 日 14 時執行以上偵測試驗。請惠示可否如期進行。

工程師 蕭國璋 101.3.22　課長/值主任 林琦瑛 代 101.3.22　經理/值班經理 臧鶴年 101.3.22

值班部門意見：

☑ 請如期進行

□ 請延期至　年　月　日　時　分執行

□ 其他

原　因：＿＿＿＿

值班主任 劉嘉洋 101.3.22　值班經理 林品儀 101.3.22

執行情形：

☑ 測試前已完成 TBM 討論

☑ 測試成員已清楚明瞭事故或暫態時，將測試設備恢復可用狀態之緊急復原操作 [Rev.15]

開始時間 101.03.22 14:00　完成時間 101.03.22 15:00

□ 值班人員復歸後，執行人複查確認受測設備/系統已復原

執行人 蕭國璋 101.3.22　查證人 NA　（品質工程師）高仲彥

執行後審查意見：

異常狀況：

NA

處理措施：

NA

值班主任 □已詳細審查測試結果合乎標準 劉嘉洋 101.3.23　值班經理 林品儀 101.3.23

有關課課長 林琦瑛 代 101.3.23　有關組經理 臧鶴年 101.3.23

運轉經理 東孟訓 101.3.23　品質經理 鍾天忠 101.3.24

主管副廠長＿＿＿＿　主管核安副廠長 張雄仁 代

PCN2

附件 5-4

工具箱(協議)會議查對表　□核二廠　☑承攬商

<值班以外部門適用>（請於適用方格打勾及討論，並做適當填註說明）　[Rev.38]

工作名稱：反應器控制棒驅動機構(CRD)及液壓控制單元(HCU)檢修工作

機組：☑一號機 □二號機 □共　用　　日期/時間 10.3.22 10820

一、任務、人力及文件

☑工作負責人已預先研讀了解作業內容
☑工作敘述 ☑最新版程序書*
☑最新版圖面 ☑提醒程序書內注意事項
☑任務分配(主控制室前盤、背盤、現場、執行者、複查者及任務說明)
☑身心狀態(精神、體能作業限制)
***程序書不妥，要暫停工作，先讓設備穩定，待程序書修改後再執行。**

三、機組之安全

1.隔離掛卡(遵守掛卡作業準則/事先取得副卡/邊界閥禁止暫銷卡)
□須提「檢修工作臨時拆/跨接線紀錄表」(拆開之線頭絕緣包紮並標識)(程序書 1102.01G 表)
□須提「檢修工作連絡書」(含是否需隔離 CO_2 之考慮)
☑工作前確認洩壓/洩水(程序書 266)/洩油完成(程序書 266.1)

2.核安(設備本身及環境因素均應考慮)
☑潛在跳機危險□關鍵性組件(程序書 112)
□已做保守性研判及決策

3.工具使用
☑量具在有效校正期內 □注意工具之絕緣包紮
☑借用鑰匙 □三用電錶使用正確檔位
☑工具數量及尺寸齊全

4.廢料系統及水質影響
□化學品/油漆申請(程序書 105)
□廢油依規定處理(程序書 144.2)

5.防範異物侵入系統(程序書 116.1)
□管路和設備開口使用防止異物入侵罩(入侵罩領用依程序書 116 附件 9.7 執行)
□在 3F/7F 燃料池及抑壓池上方工作時，要將易掉落的工具，以繩索繫緊
☑工作告一段落或完成後，應檢查工具數量及完整性，並將四周環境清理乾淨
□回裝封閉前應再次確認內部無異物

二、人員之安全

1.工安
☑個人護具檢查 □需提「動火申請」(程序書 151)
□須提「潛在危害作業聯絡單」(程序書 105)
□吊掛 □高架 □酸鹼 □缺氧 □感電□油氣：使用「安全作業標準」(參考程序書 105 及 105.1～105.6)。相關作業之危害辨識表可由主網頁/管理資訊/一般通用表格區/潛在危害項目危害辨識表/下載使用。
☑危害因素告知：(墜落、滑倒、火災、燙傷、割傷、撞傷、壓傷、夾傷、捲入、粉塵、音、感電、爆炸、缺氧、其他＿＿＿＿)
☑安全措施：小心燙傷

2.輻安
☑RWP(程序書 907) ☑現場 ARM 警報注意
☑操作/施工中輻射/污染可能變動
□須與 HP 事前討論 □其他

四、其他

□是□否須召開工後會(請勾選召開依據，可複選)(註)
□非預期事件發生時之應變方式(先讓機組及設備安全穩定，待查明原因後再繼續工作)
＿＿＿＿＿＿
須執行☑「雙重確認」 ☑「三向溝通」
☑政策宣導【程序書遵循、五分鐘哲學、上下課觀念、工安四大必遵事項（1.紅卡 2.安全帽 3.安全繩 4.接地線）其他＿＿＿＿】
□是□否 會引發控制室警報(含廢控室、開關場等)
□橫向連繫(對象/內容＿＿＿＿＿＿
＿＿＿＿＿＿)
□交接連繫(對象/內容＿＿＿＿＿＿
＿＿＿＿＿＿)
☑以往經驗回饋：☑JIT 編號：060
□KM 標題＿＿＿＿＿＿)
□其他(請摘述)＿＿＿＿＿＿
□發包工作，向包商要求之停留查證項目＿＿＿＿＿＿
□其他＿＿＿＿＿＿

必要提醒事項：□1.執行作業時，須隨時保持質疑之態度，發現與原先討論狀況有所差異時，應立即回報，再討論
□2.自我查證(S T A R →暫停、慎思、執行、驗證)執行方法的重點宣導(程序書 169)

會議呼喚(由工作人員視工作項目決定呼喚內容—對於人員及設備有安全顧慮之提醒)：認識線dvv3更

註：下列事項請召開工後會並留存紀錄(程序書 104 附件 5-5)：
開會依據項目(1~4 項為承包商必開工後會之項目)：1.□第一次執行之工作、2.□ Q 及 R1 設備檢修工作、
3.□執行有潛在性跳機/危險工作、4.□工作中發生虛驚事件(Near Miss)、5.□非例行性、
6.□重要設備/3 個月(含)以上偵測試驗、7.□新手參與、8.□優良典範、9.□發生異常狀況(含人員作業疏失)、
10.□本次工作有經驗承傳或建議事項、11.□其他。

工作人員　核二廠：
承攬商：

主持人(工作負責人/領班)：詹文華
指導/查核人及意見：

程序書名稱：管理實務

列印日期：

台灣電力公司 第二核能發電廠

偵測試驗申請和審查表

執行單位（包括值班部門）：

機組 1

程序書編號 575 版次 _____ 變更通知單編號 _____

名稱 地震緊急程序書

反應爐模式 □運轉中 □起動 □熱待機 ☑熱停機 □冷停機 □裝填燃料

反應爐功率 2 % 發電機出力 0 MWe

此次試驗係(1)☑定期性 (2)□檢修後(3)□因____設備 INOP(4)□____可用性驗証測試 (5)□其他

本課訂於 101 年 3 月 16 日 時執行以上偵測試驗。請惠示可否如期進行。

工程師 _____ 課長/值主任 _____ 經理/值班經理 _____

值班部門意見：

☑ 請如期進行

□ 請延期至 年 月 日 時 分執行

□ 其他

原 因：_____

值班主任 _____ 值班經理 _____

執行情形：

NA 測試前已完成 TBM 討論。

NA 測試成員已清楚明瞭事故或暫態時，將測試設備恢復可用狀態之緊急復原操作

開始時間 07:20 完成時間 08:00

NA 值班人員復歸後，執行人複查確認受測設備/系統已復原。

執行人 _____ 查證人 NA （品質工程師）

執行後審查意見：

異常狀況：_____

處理措施：_____

值班主任 ☑已詳細審查測試結果合乎標準 _____ 值班經理 _____

有關課課長 _____ 有關組經理 _____

運 轉 經 理 _____ 品 質 經 理 _____

主管副廠長 _____ 主管核安副廠長 _____

表 格 1111.01H

台灣電力公司 第二核能發電廠 營運手冊 新編/改版程序書校正表	編號	575
	版次	21
	日期	99年8月11日

名稱	地震緊急程序書		
認養人	F班#1ARO	類別	逐步確認類(A)

校正者:

認養人: 第二核能發電廠 值班部門 99.8.11 黃奕南代

管制版 第二核能發電廠 品質組 99.8.11 羅明堂

DCC: _____

品質經理: 第二核能發電廠 品質經理室 99.8.11 陶嘉悌(P)

表 格120A

台灣電力公司
第二核能發電廠
營運手冊
程序書修訂記錄表

編號	575	名稱	地震緊急程序書			
版次	編寫者	翻譯者	初審者	複審者	校稿	
11						
版次	PCN1	PCN2	PCN3	PCN4	PCN5	PCN6
	變更頁次	變更頁次	變更頁次	變更頁次	變更頁次	變更頁次
19	朱再昇	楊敬明				
	1、2	改20版				
20	高士唐	林調聰	黃嘉榮	楊敬明	許亞狂	5-1 高士唐
	1、7、10	1、2、7、8	1、3、11	1、3、11	1~22	1、7、10 改21版
21	高士唐	高士唐	劉啟鵬	林榮祺	劉家駿	
	1、2	1、2	1、14、18	7、5、6	1	

PCN5　　修訂日期：100-05-11

名稱 ：地震緊急程序書

一. 概述

A. 本廠的重要結構體及特殊安全設施（ENGINEERED SAFETY FEATURE, ESF）之地震設計，是被要求在美國核管會（USNRC）所定之以能承受由地基而來的“安全停機地震（SAFE-SHUTDOWN EARTHGUAKE, SSE）”的設計標準，但因地震爲不可知之外來災害，強震後可能導致系統及設備不同模式的損壞，所以地震後應立即按本程序書執行. [Rev.17]

B. 本廠地震監測系統（在 OC103 盤），加裝弱震儀一套，編號爲 OSG-XE-109(CH.25/26/27)，動作值爲 0.0015G，即本國地震等級一級之震度，動作時亦會於 OC99 盤產生地震動作警報，並於OC103 盤列印地震報表，而地震儀OSG-XE-101/102 /103若未動作表示未達0.01G以上之震度.[AN-KS-99-006 注改案]　　[Rev.21]

C. 本廠依原能會要求，增設強震時反應器自動急停裝置，二號機於 EOC-17 大修施工，一號機於 EOC-18 大修施工，各於輔機廠房 3 樓及 1 樓增設 8 組感測器，任一軸向加速度感測器偵測到震度達設定點，即動作 RPS 控道，構成反應器半急停，若另一控道亦同時處於半急停狀況則引動反應器急停。　　[Rev.15]

D. 地震監測儀器之編號及監測位置如下:

監測位置	加速計 (監測範圍)	記錄器控道 OSG-XR-146	觸　發 設定值	OBE 設定值	SSE 設定值	反　應 頻譜
自由場 (在主警衛室前花園)	OSG-XE-101 (±2G)	X 軸向 CH-1	H：0.01G	NA	NA	NA
		Y 軸向 CH-2	H：0.01G	NA	NA	NA
		Z 軸向 CH-3	V：0.01G	NA	NA	NA
包封容器底座 EL(-)40'0"	OSG-XE-102 (±2G)	X 軸向 CH-4	H：0.012G	H：0.24G	H：0.48G	有
		Y 軸向 CH-5	H：0.012G	H：0.24G	H：0.48G	有
		Z 軸向 CH-6	V：0.01G	V：0.20G	V：0.39G	有

PCN2

測位置	加速計 (監測範圍)	記錄器控道 OSG-XR-146	觸　發 設定值	OBE 設定值	SSE 設定值	反應 頻譜
包封容器 結構體 EL(+)106' 2 1/4"	OSG-XE-103 (±2G)	X 軸向 CH-7	H：0.02G	NA	NA	有
		Y 軸向 CH-8	H：0.02G	NA	NA	有
		Z 軸向 CH-9	V：0.015G	NA	NA	有
乾井外側結 構體 EL (+)3'0"	OSG-XE-104 (±2G)	X 軸向 CH-10	NA	NA	NA	有
		Y 軸向 CH-11	NA	NA	NA	有
		Z 軸向 CH-12	NA	NA	NA	有
反應爐基座 EL(-)9'4"	OSG-XE-105 (±2G)	X 軸向 CH-13	NA	H：0.26G	H：0.50G	有
		Y 軸向 CH-14	NA	H：0.26G	H：0.50G	有
		Z 軸向 CH-15	NA	V：0.16G	V：0.33G	有
輔機間 頂樓板 EL(+)76'3"	OSG-XE-106 (±2G)	X 軸向 CH-16	NA	NA	NA	有
		Y 軸向 CH-17	NA	NA	NA	有
		Z 軸向 CH-18	NA	NA	NA	有
主控制室 EL(+)30'0"	OSG-XE-107 (±2G)	X 軸向 CH-19	NA	NA	NA	有
		Y 軸向 CH-20	NA	NA	NA	有
		Z 軸向 CH-21	NA	NA	NA	有
輔機間底板 EL(-)40'0"	OSG-XE-108 (±2G)	X 軸向 CH-22	NA	H：0.21G	H：0.42G	有
		Y 軸向 CH-23	NA	H：0.21G	H：0.42G	有
		Z 軸向 CH-24	NA	V：0.22G	V：0.40G	有
包封容器 底座 EL(-)40'0"	OSG-XE-109 (LOW RANGE) (±0.25G)	X 軸向 CH-25	H:0.0015G	NA	NA	有
		Y 軸向 CH-26	H:0.0015G	NA	NA	有
		Z 軸向 CH-27	V:0.0015G	NA	NA	有
中央氣象局 自由場 (在主警衛室 前花園)	OSG-XERS-133 (±1G)	L，V，T 軸向	H：0.004G V：0.004G	NA	NA	NA

注意：1. 目前地震儀之觸發設定值均爲 Peak 值。

2. 因儀器觸發爲未經零點修正之 Peak 值，若含儀器誤差(0.0005G)則可能會有地震強度(時域)資料顯示較低，但已達到觸發弱震儀之狀況[AN-KS-99-006 注改案]。 [Rev.21]

E. 強震時反應器自動急停裝置之編號及監測位置如下：

監測位置 高度	感測器編號 方位	軸向跳脫 設定值	跳脫儀器編號 盤面編號	跳脫電驛 (RPS 控道：盤號)
輔助廠房 一樓(底層) EL　： (-)40'-0"	1SG-XE-118 東北角	H：水平軸向 (L、T) V:垂直軸向(V) H=0.16G V=0.17G	1/2SG-XTSH-118 1/2S-217	C71-K40A (A1；1/2C09)
	1SG-XE-119 西北角		1/2SG-XTSH-119 1/2S-218	C71-K40B (B1；1/2C09)
	1SG-XE-120 西南角		1/2SG-XTSH-120 1/2S-219	C71-K40C (A2；1/2C11)
	1SG-XE-121 東南角		1/2SG-XTSH-121 1/2S-220	C71-K40D (B2；1/2C11)
輔助廠房 三樓(中層) EL：(+)3'-2"	1SG-XE-122 東北角	H：水平軸向 (L、T) V:垂直軸向(V) H=0.21G V=0.19G	1/2SG-XTSH-122 1/2S-217	C71-K40A (A1；1/2C09)
	1SG-XE-123 西北角		1/2SG-XTSH-123 1/2S-218	C71-K40B (B1；1/2C09)
	1SG-XE-124 西南角		1/2SG-XTSH-124 1/2S-219	C71-K40C (A2；1/2C11)
	1SG-XE-125 東南角		1/2SG-XTSH-125 1/2S-220	C71-K40D (B2；1/2C11)

F. 當地震發生後，依 TR 3.3.9.2 節之 TRS 3.3.9.2.4 及 TRS 3.3.9.2.5 規定，依 TABLE 3.3.9.2-1 所列之地震儀器在監測 CONTAINMENT BASE 之地震加速峰值大小，另通知儀控人員執行程序書 609 地震監視儀器系統控道查驗或 609.1 地震監視系統功能測試及校正試驗. [Rev.20]

二. 參考文件

A. 原程序書 575 "地震緊急程序書".

B. 核技處備忘錄 (76) 核技土字第 7607-2560 號, "核能電廠強震後評估步驟".

C. DCR-3101 地震儀更新施工文件，DCR-2817/2818 增設強震自動急停裝置. [Rev.16]

D. TR 3.3.9.2

E. 核一、二、三廠地震與強震緊急處理程序檢討改進事項決議.

三. 職責

1. 值班經理依程序書 575 要求,通知維護組,進行程序書 575.1 強震後機組詳細檢查. [Rev.17]

2. 運轉審查委員會(SORC)負責於強震事故後,評估全廠檢查與試驗的結果.

四. 定義 [Rev.19]

重大損害(Significant Damage)定義

重大損害(實體或功能) 係指對機組安全運轉所需設備和結構的運轉、功能或可靠性，有潛在不利影響的損害。重大損害可由下列單一、組合或全部跡象來顯示：

混凝土結構：新的或地震引起的混凝土裂縫寬度＞0.06 吋，混凝土剝落且可見架構變形。(註 1)

鋼結構：新的或地震引起的可見彈性變形或結合處之裂縫、螺栓、螺栓孔或鋼件的變形。

管路：因地震新生或使其洩漏增加的接合處穿管洩漏、管路完全或部分脫離、因截面積損失或流量控制閥失效導致重大流量減少(＞10%)。(註 2)

分配系統之支架：當支架不再具執行其支援設計功能。(註 3)

機械或電氣設備：錨定系統可見之扭曲、組件基座的滑動，附加於分配系統的破裂 (洩漏)，一般的條痕或機械本體、殼側或掩蓋體 (House) 之彎曲。(註 4)

轉動設備要求：轉動設備過度的異音、振動或溫度。

註 1：混凝土裂縫寬度≧0.06 吋，表示超出強度限值。

註 2：保溫材料損害、管路的刮痕或凹陷不視爲重大損害。

PCN4

註 3：不論彎曲或變形，只要仍能執行設計功能，均不視爲重大損害。

註 4：設備本體或外殼的局部凹陷及刮傷，不視爲重大損害。

功能受損定義

指影響系統、組件及結構執行其安全功能之可用或可靠性的實體或其他重大損害。輕微受損如混凝土結構之微細裂縫，不構成能受損。

實體受損(Physical Damage)定義

能以目視檢查發現系統、組件及結構之損害(即破裂零件；裂縫；彈性變形；接合組件異位；過度磨損；或轉動設備過度異音、震動或溫度；等等)。這些損害有可能或不可能執行其應有功能。

五. 採取措施 [Rev.19]

A.立即行動

遇地震(＞OBE)自動急停反應爐後，『預期需執行"RPV 緊急洩壓"』進入 500.EOP (500.3)，手動調低蒸汽旁通及壓力調整系統(SB & PR)壓力設定或手動開啓 BPV，執行快速降壓降至 35 kg/cm^2 後儘速進入冷停機，並執行程序書 577.2 檢視是否有海嘯侵襲本廠。[Rev.21]

1.主控制室運轉員：

a. 監視控制盤面及機組運轉狀況，確定地震效應。

b. 發現任何異狀通知值班主任。

c. 注意集水池水位警報或水位指示。

d. 注意上池、下池及抑壓池水位警報或水位指示。

e. 地震時非運轉中的系統或設備，在使用前先確認可用性。

f. 若機組因自動保護系統動作而停機，要將機組帶到安全停機狀態。 [Rev.18]

PCN4

2.值班主任：

a. 指派人員確認地震/儀器警報之確實性。

b. 若地震監測儀器系統不可用，依運轉規範處理，並通知儀控組進行檢修。

c. 下令停止燃料挪移工作。若燃料台車吊有燃料時，確認燃料台車正常後，將燃料置於安全位置。

d. 依棒位、功率或其他相關變數，確認反應度沒有發生變化。

e. 確認集水池水位正常且集水池泵沒有異常動作。

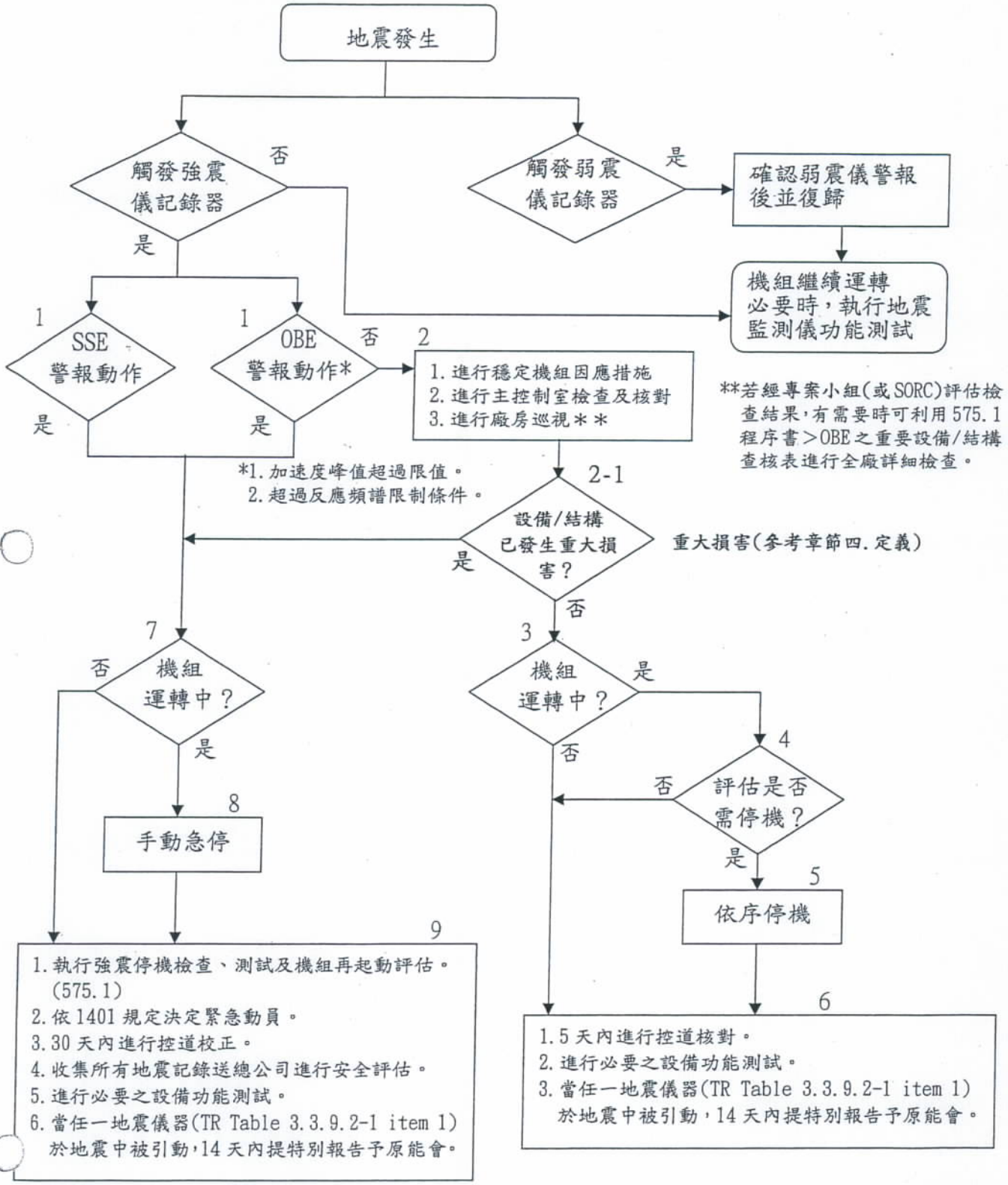
f. 依地震警報，決定地震是否超過 OBE 或 SSE。

g. 依 1401-H 類「自然災害及其他影響機組安全情況」緊急應變行動基準條件，決定應採取之緊急動員規定。

B.持續行動

地震後，依核能電廠強震後緊急處理步驟流程圖(附圖一)，執行相關步驟。

附圖一　　核能電廠強震後緊急處理步驟流程圖



流程步驟說明(阿拉伯數字爲步驟編號)：

0. 地震發生

查看那些地震警報出現：(OC99 盤警報出現,至 OC103 盤查看何種警報出現)注意警報須同時判斷那些警報動作,以最嚴重的來執行.

- 弱震儀警報出現時,地震儀確認復歸弱震警報,機組繼續運轉,必要時通知儀控組執行地震監測儀功能測試. [Rev.17]
- 若〝FREE FIELD SEISMIC INSTRUMENT TRIGGER〞警報出現，爲中央氣象局在本廠自由場動作，無須採取任何措施。 [Rev.14]
- 強震儀觸發警報出現(Alarm Level 2，即 CH-1～9 有任一觸發)，頻譜分析選定 Damping＝5%之設定曲線且於頻譜 0~10Hz 間有明顯峰值時,進入步驟 1；若強震儀觸發警報未出現，機組繼續運轉，必要時通知儀控組執行地震監測儀功能測試。 [Rev.20]
- 若 1/2C03 盤“SESIMIC INTENSITY HIGH A1/A2/B1/B2 SUBSYSTEM TRIP”警報出現，請依據程序書 574.46 第 46 號警報窗內容執行。 [Rev.18]

【注意】

爲防止地震儀誤動作引起不必要之停機操作,若警報出現時,需確定較輕之地震儀亦已動作,確認後採取行動.

1. OBE 警報未出現時(註一),進入步驟 2. [Rev.17]

OBE 警報出現時(註一),進入步驟 7.

註：OBE 警報出現時，即任一加速度峰值超過限值或超過反應頻譜(DBRS)限制條件。[Rev.17]

SSE 警報出現時(註一),進入步驟 7.

2. 執行下列行動 [Rev.17]

1) 密切監視反應爐功率及發電機出力變化之情形，依本廠標準操作程序書、異常操作程序書、緊急操作程序書及運轉技術規範，採取穩定機組之因應措施。 [Rev.17]

2) 值班依附件一(主控制室檢查及核對表)及附件二(廠房巡視表),執行檢查及核對，並應於 24 小時內完成。若附件一(主控制室檢查及核對表)及附件二(廠房巡視表)檢查結果，如機組運轉功能受到影響時，送運轉審查委員會再評估。 [Rev.19]

3) 值班經理/值主任應研判機組設備受損狀況，決定是否繼續運轉、依序停機、或手動急停。

機組是否繼續運轉判定原則： [Rev.19]

a.未大於 OBE 且巡視未發現重大損害，機組可繼續運轉。

b.未大於 OBE，發生下列任一狀況，機組需停機。

- 巡視發現設備重大損害(參考四.定義)，影響機組運轉安全。
- 因地震事件導致重大輻射外釋。
- 地震事件導致系統不可用，依運轉規範之規定，機組需停機。

進入步驟 2-1. [Rev.19]

2-1.設備/結構已發生重大損害？ [Rev.19]

重大損害(Significant Damage)定義(參考四.定義)

#若否,進入步驟 3

#若是,進入步驟 7

3. 機組是否運轉中？ [Rev.17]

#若否,進入步驟 6. [Rev.17]

#若是,進入步驟 4. [Rev.17]

4. 評估是否需停機？

研判機組狀況，決定是否繼續運轉或停機。

#若否,進入步驟 6。

#若是,進入步驟 5。

5. 依序停機。

1)依序停機前須先查驗安全停機必須可用之設備，俾執行必要修復或另覓替代設備。安全停機必須可用之設備係指：餘熱移除系統(水泵與熱交換器)、主要水源(CST)、廠內緊急電力(EDG、蓄電池、AC/DC BUS)、監控安全停機的重要儀控設備、補水系統(RCIC、HPCS、LPCS、LPCI)等。

查驗方式爲執行附件四(安全停機監視儀器查核表)及附件五(安全停機設備查核表)。設備若有異況或劣化，通知維護組處理。 [Rev.19]

2)安全停機必須可用之設備查驗後確認可用或有替代設備或方法後，依營運程序書之規定步驟停機後，進入步驟 6。 [Rev.20]

6. 執行下列行動：

(1) 5 天內進行控道核對. [Rev.20]

(2) 進行必要的設備功能測試. [Rev.17]

(3) 當任一地震儀器(TR Table 3.3.9.2-1 item 1)於地震中被引動，應於發生地震後 14 天內，提特別報告予原能會。 [Rev.20]

7. 機組是否運轉中？

#若否,進入步驟 9.

#若是,進入步驟 8.

8. 手動急停

急停後執行相關營運程序書,進入步驟 9.

9. 執行下列行動:

(1) 執行強震停機檢查、測試及機組再起動評估 (575.1) [Rev.19]

(2) 依 1401 規定決定緊急動員。 [Rev.17]

(3) 30 天內進行控道校正. [Rev.20]

(4) 收集所有地震記錄送總公司進行安全評估. [Rev.17]

(5) 當任一地震儀器(TR Table 3.3.9.2-1 item 1)於地震中被引動，應於發生地震後 14 天內，提特別報告予原能會。 [Rev.20]

(6) 進行必要的設備功能測試.

【注意】

1. 地震對核子反應器設施運轉安全構成實質威脅或嚴重阻礙核子反應器設施人員執行安全運轉，依「核子反應器設施異常事件報告及立即通報作業辦法」應於一小時內通報原能會，事後並需提出書面報告。[AN-KS-93-010 注改案]　[Rev.14]
2. 當發生有感地震且控制室強震儀警報被觸發,依程序書 1401-H 類「自然災害及其他影響機組安全情況」緊急應變行動基準條件，決定應採取之緊急動員規定。　[Rev.15]

註一:本廠 OBE & SSE 警報設定值

Operation Basis Earthquake (OBE,運轉基準地震) :

在考量區域性及當地的地理、地震學以及當地的地層材料特性下,核電廠在設計運轉壽命期合理地預期發生在廠址之地震.　[Rev.20]

Safe Shutdown Earthquake (SSE,安全停機地震):

考量區域性及當地的地理、地震學以及當地的地層材料特性下,以最大地震潛能評估爲基礎之地震.

地震強度資料之操作及反應譜比較準則

A. 地震強度資料之操作及取得：（詳附件三）

B. 地震反應譜比較準則

1. 錄得反應譜之 g 值中任何一點不得超過預存於頻譜分析儀中各頻率點 g 值之 10%.
2. 錄得反應譜之 g 值與預存於頻譜分析儀中各頻率點之 g 值比較(75 個頻率點),其中不得有任何 3 點以上(含 3 點)超過預存於頻譜分析儀中之 g 值(頻譜分析儀會顯示).
3. 再查錄得反應譜各頻率點之 g 值，其中任何連續 5 個頻率點中，不得有 2 點以上(含 2 點)超過預存於頻譜分析儀中之 g 值(頻譜分析儀會顯示).以上預存於頻譜分析儀之 g 值,係指設計反應譜(各高程設計反應譜載於 FSAR 3.7 節):
4. 地震反應頻譜超過預存準則,則於 OC99 盤顯示警報信號,提供運轉員必要的參考.

五．後續措施

1．值班經理依機組狀況及附件一(主控制室檢查及核對表)、附件二(廠房巡視表)檢查結果，若機組運轉功能受到影響時，送運轉審查委員會再評估。運轉審查委員會評估結果，決定是否依 575.1 程序書之重要設備/結構查核表進行全廠詳細檢查。 [Rev.17]

2．對受損的設備開立請修單，請維護部門檢修。 [Rev.17]

附件一　主控制室檢查及核對表　　[Rev.17]

主控制室部份(☑一號機/□二號機)

一、檢查一次系統壓力邊界各參數：

1. 反應爐冷卻水溫度：161.8 ℃　　正常✓異常＿＿

2. 反應爐壓力：5.59 kg/cm² 正常✓異常＿＿

3. 飼水流量：61 T/HR　　正常✓異常＿＿

4. 蒸汽流量：523 T/HR　　正常✓異常＿＿

5. 主蒸汽管輻射監測器：A 189 MR/HR　　正常✓異常＿＿

B 171 MR/HR　　正常✓異常＿＿

C 154 MR/HR　　正常✓異常＿＿

D 215 MR/HR　　正常✓異常＿＿

6. 反應爐廠房排氣輻射監測器：A 141 MR/HR　　正常✓異常＿＿

B 107 MR/HR　　正常✓異常＿＿

C 138 MR/HR　　正常✓異常＿＿

D 135 MR/HR　　正常✓異常＿＿

7. 反應爐水位：78.5 cm　　正常✓異常＿＿

8. 乾井壓力：0 kg/cm² 正常✓異常＿＿

9. 乾井溫度：38.0 ℃　　正常✓異常＿＿

二、檢查一次系統壓力邊界是否有設備鬆脫造成異常

1. 檢查乾井壓力,溫度是否有不正常的變化.　　正常✓異常＿＿

2. 查看反應爐槽凸緣密封處洩漏警報未出現　　正常✓異常＿＿

(1C01 盤 H13A-A4 第 20 窗)

3. 檢查 RWCU & ECCS 系統是否有不正常的變化.　　正常✓異常＿＿

PCN3

4. 乾井洩水坑是否水位異常上升.　正常✓異常_____

5. 寬範圍圍阻體輻射偵測是否有過高的指示.　正常✓異常_____

三、檢查儀控裝置跳脫、非安全相關及耐震設備的異常

1. 在 C01 盤檢查任何一次圍阻體隔離時指示.　正常✓異常_____[Rev.18]

2. 檢查其他所有洩水坑是否水位異常上升.　正常✓異常_____

3. 檢查所有的區域輻射偵測器是否有過高的指示.　正常✓異常_____

4. 檢查 13.8KV、4.16KV、480V 及 DC 電力設備是否有誤動作而跳脫.　正常✓異常_____

5. 檢查各記錄器指示及變化,有無異常現象.　正常✓異常_____

6. 查看各警報盤有無異常警報.　正常✓異常_____

四、檢查控制室內下列振動監測儀器　[Rev.18]

1. 主汽機振動儀器(510 程序書)　正常✓異常_____

2. 再循環泵振動儀器(528 程序書)　正常✓異常_____

3. 飼水泵振動儀器(574.11 程序書)　正常✓異常_____[Rev.21]

4. 飼水泵汽機振動儀器(523.1;574.11 程序書)　正常✓異常_____[Rev.21]

五、檢查重要的低壓儲存槽液位指

1. SBLC 硼液儲存槽液位是否正常.　正常✓異常_____

2. 抑壓池水位是否正常.　正常✓異常_____

3. CST 水位是否正常.　正常✓異常_____

4. 上池水位是否正常.　正常✓異常_____

六、檢查中子偵測儀器

1. 中子偵測儀器是否有不正常的讀數.　正常✓異常_____

2. 中子偵測儀器是否有不可用.　正常✓異常_____

七、檢查 Off Gas Vent Pipe Rad Mon(HF-RITS-206)偵測儀器

1．偵測儀器是否有不正常的讀數.　　正常 ✓ 異常＿＿

2．偵測儀器是否有不可用.　　正常 ✓ 異常＿＿

異常狀況：NONE

檢查者：101. 3. 16 黃品來　　值主任：101. 3. 16 陳坤元

※機組運轉功能是否受到影響　☐是：送運轉審查委員會　☑否

值班經理：3/16

附件二　廠房巡視表　[Rev.17]

一. 反應器廠房:

1. 查看各系統管路支架是否正常，無變形或移位. 是 V 否＿＿[Rev.15]
2. 查看各系統管路及閥是否正常，無損壞或洩漏. 是 V 否＿＿[Rev.15]
3. 查看 SBLC 系統是否正常. 是 V 否＿＿
4. 查看反應器廠房消防系統是否正常. 是 V 否＿＿
5. 查看各系統各閥是否正常，無損壞或洩漏. 是 V 否＿＿[Rev.15]
6. 查看抑壓池水位是否正常. 是 V 否＿＿
7. 查看控制棒驅動機構是否正常. 是 V 否＿＿
8. 查看圍阻體穿越器是否正常. 是 V 否＿＿
9. 查看儀器架及控制盤是否正常，無損壞. 是 V 否＿＿[Rev.15]
10. 查看 RWCU 設備是否正常. 是 V 否＿＿
11. 查看上池水位是否正常. 是 V 否＿＿
12. 查看反應器廠房空調系統是否正常. 是 V 否＿＿
13. 查看七樓各類吊車是否正常. 是 V 否＿＿
14. 查看二樓及七樓人員氣鎖門是否正常. 是 V 否＿＿
15. 查看二樓及七樓機件氣鎖門是否正常. 是 V 否＿＿
16. 查看乾井機件氣鎖門是否正常. 是 V 否＿＿
17. 查看反應器廠房內集水池系統是否正常. 是 V 否＿＿
18. 查看再循環系統HPU設備是否正常. 是 V 否＿＿[Rev.18]

異常狀況 : None

檢查者 : 郭晉昌　日期 : 101.3.16

二、輔機廠房

1. 查看各系統管路支架是否正常，無變形或移位. 是 V 否＿＿[Rev.15]
2. 查看各系統管路及閥是否正常，無損壞或洩漏. 是 V 否＿＿[Rev.15]
3. 查看 RHR A 系統是否正常. 是 V 否＿＿
4. 查看 RHR B 系統是否正常. 是 V 否＿＿
5. 查看 RHR C 系統是否正常. 是 V 否＿＿
6. 查看 RCIC 系統是否正常. 是 V 否＿＿
7. 查看 LPCS 系統是否正常. 是 V 否＿＿
8. 查看 HPCS 系統是否正常. 是 V 否＿＿
9. 查看 CRD A 系統是否正常. 是 V 否＿＿
10. 查看 CRD B 系統是否正常. 是 V 否＿＿
11. 查看 IFTS 系統是否正常. 是 V 否＿＿
12. 查看 SGTS A 系統是否正常. 是 V 否＿＿
13. 查看 SGTS B 系統是否正常. 是 V 否＿＿
14. 查看輔機廠房內空調系統是否正常. 是 V 否＿＿
15. 查看圍阻體穿越器是否正常. 是 V 否＿＿
16. 查看輔機廠房內集水池系統是否正常. 是 V 否＿＿
17. 查看儀器架及控制盤是否正常，無損壞. 是 V 否＿＿[Rev.15]
18. 查看氫氣結合系統是否正常，無損壞. 是 V 否＿＿[Rev.15]
19. 查看輔機廠房消防系統是否正常. 是 V 否＿＿

異常狀況：V one

檢查者：鄭晉昌　日期：101.3.16

PCN3

三、汽機廠房

1. 查看各系統管路支架是否正常，無變形或移位.　是 ✓ 否＿＿[Rev.15]
2. 查看各系統管路及閥是否正常，無損壞或洩漏.　是 ✓ 否＿＿[Rev.15]
3. 查看主汽機基座是否正常，無損壞.　是 ✓ 否＿＿[Rev.15]
4. 查看主蒸汽管路及汽機抽汽管是否正常，無洩漏.　是 ✓ 否＿＿[Rev.15]
5. 查看凝結水泵及管路是否正常，無洩漏及冷凝水泵振動儀器(1/2 T135)是否無異常.　是 ✓ 否＿＿[Rev.21]
6. 查看飼水泵及管路是否正常，無洩漏.　是 ✓ 否＿＿[Rev.15]
7. 查看主汽機潤滑油、高壓油系統是否正常，無洩漏.　是 ✓ 否＿＿[Rev.15]
8. 查看 TPCCW 系統是否正常.　是 ✓ 否＿＿
9. 查看 NCCW 系統是否正常.　是 ✓ 否＿＿
10. 查看汽機廠房內集水池系統是否正常.　是 ✓ 否＿＿
11. 查看汽機廠房消防系統是否正常.　是 ✓ 否＿＿
12. 查看飼水泵汽機潤滑油、高壓油系統是否正常，無洩漏.　是 ✓ 否＿＿[Rev.15]
13. 查看儀器架及控制盤是否正常，無損壞.　是 ✓ 否＿＿[Rev.15]
14. 查看空壓機系統是否正常.　是 ✓ 否＿＿
15. 查看發電機封油系統是否正常，無洩漏及損壞.　是 ✓ 否＿＿[Rev.15]
16. 查看發電機氫氣系統是否正常，無洩漏及損壞.　是 ✓ 否＿＿[Rev.15]
17. 查看 SJAE 系統是否正常，無洩漏及損壞.　是 ✓ 否＿＿[Rev.15]
18. 查看汽機廠房內空調系統是否正常.　是 ✓ 否＿＿
19. 查看汽機廠房內 HWC 設備是否正常.　是 ✓ 否＿＿[Rev.18]

異常狀況 ： None

檢查者 ： [redacted]　日期 ： 3/16

四、控制廠房

1. 查看空調系統是否正常.　　是 ✓ 否＿＿

2. 查看正常寒水機系統是否正常.　　是 ✓ 否＿＿

3. 查看緊急寒水機系統是否正常.　　是 ✓ 否＿＿

4. 查看 RPS M-G SET 系統是否正常.　　是 ✓ 否＿＿

5. 查看控制廠房消防系統是否正常.　　是 ✓ 否＿＿

6. 查看電腦室是否正常，無損壞.　　是 ✓ 否＿＿ [Rev.15]

異常狀況：None

檢查者：[illegible]　日期：101.3.16

五、廢料廠房

1. 查看各系統管路支架是否正常，無變形或移位.　　是＿＿否＿＿ [Rev.15]

2. 查看各系統管路及閥是否正常，無損壞或洩漏.　　是＿＿否＿＿ [Rev.15]

3. 查看空調系統是否正常.　　是＿＿否＿＿

4. 查看廢料廠房消防系統是否正常.　　是＿＿否＿＿

5. 查看廢料廠房內集水池系統是否正常.　　是＿＿否＿＿

6. 查看 Off Gas 系統是否正常，無洩漏及損壞.　　是＿＿否＿＿ [Rev.18]

7. 查看各廢液系統是否正常，無洩漏及損壞.　　是＿＿否＿＿ [Rev.15]

8. 查看固體廢料系統是否正常，無洩漏及損壞.　　是＿＿否＿＿ [Rev.15]

9. 查看廢控室系統無異常警報.　　是＿＿否＿＿ [Rev.15]

異常狀況：None

檢查者：＿＿＿＿　日期：＿＿＿＿

六、外圍設備部份(包含一、二號機及共用部份) 井之已執行

1. 查看 35000 公秉油槽是否正常，無損壞. 是_____否_____[Rev.15]
2. 查看生水系統是否正常，無損壞. 是_____否_____[Rev.15]
3. 查看緊急海水泵室內設備是否正常，無損壞及無異常警報. 是_____否_____[Rev.15]
4. 查看各主變壓器、輔助變壓器、緊急起動變壓器設備是否正常，無損壞. 是_____否_____[Rev.15]
5. 查看各緊急柴油發電機設備是否正常，無損壞.(包含 DIV 1、2、3 及 5th) 是_____否_____[Rev.15]
6. 查看圓潭溪設備是否正常，無損壞. 是_____否_____[Rev.15]
7. 查看進水口泵室設備是否正常，無損壞及無異常警報. 是_____否_____[Rev.15]
8. 查看輔助鍋爐設備是否正常，無損壞及無異常警報. 是_____否_____[Rev.15]
9. 查看水廠設備是否正常，無損壞及無異常警報. 是_____否_____[Rev.15]
10. 查看雜項廢液設備是否正常，無損壞及無異常警報. 是_____否_____[Rev.15]
11. 查看氣渦輪機設備是否正常，無損壞及無異常警報. 是_____否_____[Rev.15]
12. 查看開關場設備是否正常，無損壞及無異常警報. 是_____否_____[Rev.15]
13. 查看 C02 儲存槽設備是否正常，無損壞. 是_____否_____[Rev.15]
14. 查看氫氣室設備是否正常，無損壞. 是_____否_____[Rev.15]
15. 查看廠外空壓機設備是否正常，無損壞. 是_____否_____[Rev.15]
16. 查看進水口循環水泵振動是否正常. 是_____否_____[Rev.18]

異常狀況 ：_____

_____

_____

_____

_____

檢查者 ：_____ 日期 ：_____

七、電氣設備部份

1. 查看 13.8KV 配電盤是否正常. 是 ✓ 否＿＿
2. 查看 4.16KV 配電盤是否正常. 是 ✓ 否＿＿
3. 查看 480V 負載中心配電盤是否正常. 是 ✓ 否＿＿
4. 查看 480V MCC 配電盤是否正常. 是 ✓ 否＿＿
5. 查看 125V DC 系統是否正常. 是 ✓ 否＿＿
6. 查看 250V DC 系統是否正常. 是 ✓ 否＿＿
7. 查看 UPS 系統是否正常. 是 ✓ 否＿＿
8. 查看各廠房照明是否正常. 是 ✓ 否＿＿

謝永晉 3/16

八、開關場設備部份【依 KS-會核-91-7-0 備忘錄】 #2 已執行 [Rev.15]

(一) 345KV 開關場

1. 確認 GCB3510 及兩側 ABS 正常套管未斷裂. 正常_____不正常_____
2. 確認 GCB3520 及兩側 ABS 正常套管未斷裂. 正常_____不正常_____
3. 確認 GCB3530 及兩側 ABS 正常套管未斷裂. 正常_____不正常_____

3-1. 確認 GCB3540 及兩側 DS 正常 SF6 未洩漏. 正常_____不正常_____ [Rev.20]

4. 確認 GCB3550 及兩側 ABS 正常套管未斷裂. 正常_____不正常_____
5. 確認 GCB3560 及兩側 ABS 正常套管未斷裂. 正常_____不正常_____
6. 確認 GCB3570 及兩側 ABS 正常套管未斷裂. 正常_____不正常_____
7. 確認 GCB3580 及兩側 ABS 正常套管未斷裂. 正常_____不正常_____
8. 確認 GCB3590 及兩側 ABS 正常套管未斷裂. 正常_____不正常_____
9. 確認 GCB3680 及兩側 ABS 正常套管未斷裂. 正常_____不正常_____
10. 確認 GCB3690 及兩側 ABS 正常套管未斷裂. 正常_____不正常_____
11. 確認 GCB3670 及兩側 DS 正常 SF6 未洩漏. 正常_____不正常_____
12. 確認汐止二路 CCPD、LINE TRAR 正常及支持礙管未斷裂. 正常_____不正常_____
13. 確認核一二路 CCPD、LINE TRAR 正常及支持礙管未斷裂. 正常_____不正常_____
14. 確認汐止四路 CCPD、LINE TRAR 正常及支持礙管未斷裂. 正常_____不正常_____
15. 確認協和紅線 CCPD、LINE TRAR 正常及支持礙管未斷裂. 正常_____不正常_____
16. 確認 345KV #1 BUS 正常支持礙管未斷裂. 正常_____不正常_____
17. 確認 345KV #2 BUS 正常支持礙管未斷裂. 正常_____不正常_____
18. 確認核一二路懸垂礙子架空線路. 正常_____不正常_____
19. 確認汐止二路懸垂礙子架空線路. 正常_____不正常_____
20. 確認汐止四路懸垂礙子架空線路. 正常_____不正常_____
21. 確認協和紅線懸垂礙子架空線路. 正常_____不正常_____
22. 確認#1 機架空線路鐵塔. 正常_____不正常_____
23. 確認#2 機架空線路鐵塔. 正常_____不正常_____ [Rev.15]
24. 確認#1 345KV 起動變壓器 0XSUT. 正常_____不正常_____ [Rev.20]
25. 確認#2 345KV 起動變壓器 2XSUT. 正常_____不正常_____ [Rev.20]

(二) 69KV 開關場　　#2已執行

1. 確認金山線懸垂礙子架空線路. 正常_____不正常_____ [Rev.15]
2. 確認中幅線懸垂礙子架空線路. 正常_____不正常_____ [Rev.15]
3. 確認 #1 SST. 正常_____不正常_____
4. 確認 #2 SST. 正常_____不正常_____
5. 確認 GCB750 及相關 DS 正常，SF6 未洩漏. 正常_____不正常_____
6. 確認 GCB760 及相關 DS 正常，SF6 未洩漏. 正常_____不正常_____
7. 確認 GCB710 及相關 DS 正常，SF6 未洩漏. 正常_____不正常_____
8. 確認 GCB720 及相關 DS 正常，SF6 未洩漏. 正常_____不正常_____
9. 確認 GCB620 及相關 DS 正常，SF6 未洩漏. 正常_____不正常_____
10. 確認 GCB630 及相關 DS 正常，SF6 未洩漏. 正常_____不正常_____
11. 確認 GCB640 及相關 DS 正常，SF6 未洩漏. 正常_____不正常_____
12. 確認 GCB690 及相關 DS 正常，SF6 未洩漏. 正常_____不正常_____ [Rev.14]
13. 確認 GCB600 及相關 DS 正常，SF6 未洩漏. 正常_____不正常_____
14. 確認 69KV BUS 1，SF6 未洩漏. 正常_____不正常_____
15. 確認 69KV BUS 2，SF6 未洩漏. 正常_____不正常_____

異常狀況 ：_____

_____

_____

_____

_____

檢查者 ：_____ 日期 ：_____

九、燃料廠房:

1. 查看各系統管路支架是否正常，無變形或移位. 是＿＿否✓
2. 查看各系統管路及閥是否正常，無損壞或洩漏. 是＿＿否✓
3. 查看燃料廠房消防系統是否正常. 是＿＿否✓
4. 查看燃料廠房 3 樓各鐵捲門是否正常，無損壞. 是＿＿否✓
5. 查看儀器架及控制盤是否正常，無損壞. 是＿＿否✓
6. 查看燃料池水位是否正常. 是＿＿否✓
7. 查看燃料廠房空調系統是否正常. 是＿＿否✓
8. 查看 3 樓各類吊車是否正常. 是＿＿否✓
9. 查看燃料廠房內集水池系統是否正常. 是＿＿否✓

異常狀況：None

檢查者：安晉昌　日期：101.3.16

※機組運轉功能是否受到影響　□是：送運轉審查委員會　☑否

值班經理：[illegible] 3/16

附件三

A. 地震強度（時域）資料取得程序：

1. 在個人電腦的 WEB 瀏覽器 URL 上輸入「http://10.142.17.240/eqsearch.php」的文字，進入地震記錄查詢畫面。
2. 依查詢項目勾選後，點選 SEARCH 壓滑鼠左鍵或按 ENTER 鍵。
3. 點選所要之測站資料檔案名稱爲＊.TPC，直接開啓此檔案，或複製到有 EMASspc.exe 程序之目錄內。
4. 即出現地震強度(時域)之資料，點選 PRINT 壓滑鼠左鍵或按 ENTER 鍵，即可列印波形。

B. 地震頻譜資料取得程序：　　[Rev.17]

1. 在個人電腦的 WEB 瀏覽器 URL 上輸入「http://10.142.17.240/eqsearch.php」的文字，進入地震記錄查詢畫面。
2. 依查詢項目勾選後，點選 SEARCH 壓滑鼠左鍵或按 ENTER 鍵。
3. 點選所要之測站資料檔案名稱爲＊.ANA，直接開啓此檔案，或複製到有 EMASspc.exe 程序之目錄內。
4. 即出現地震強度(頻譜)之資料，依需要點選 Direction 軸向(1，2，3)，點選 Ttype(1～10)，

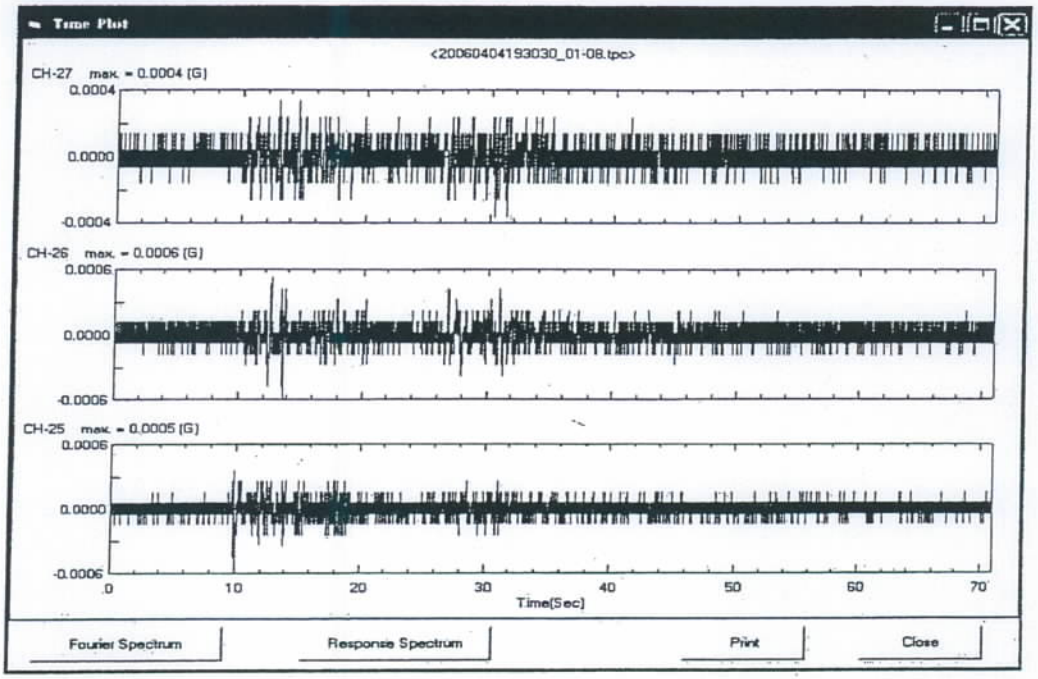
Direction：1—X 軸向(N-S)　2—Y 軸向(E-W)　3—Z 軸向(VERT)

TYPE(Damping)：

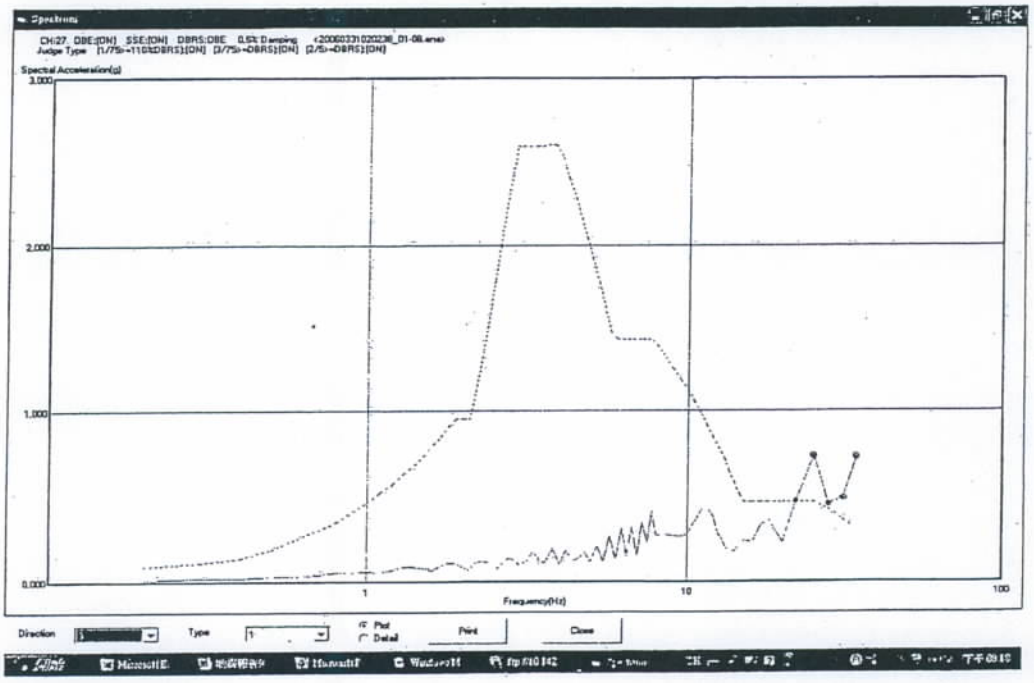
1：OBE	0.5%	6：SSE	0.5%
2：OBE	1%	7：SSE	1%
3：OBE	2%	8：SSE	2%
4：OBE	5%	9：SSE	5%
5：OBE	10%	10：SSE	10%

5. 點選 PRINT 壓滑鼠左鍵或按 ENTER 鍵，即可列印頻譜資料。

地震強度（時域）資料



地震反應譜（頻域）資料



附件四　安全停機監視儀器查核表

[Rev.19]

監視儀器	正常	異常
1.反應器水位 A 指示		
2.反應器水位 B 指示		
3.反應器水位 C 指示		
4.反應器壓力指示(寬範圍)		
5.反應器壓力記錄器指示(窄範圍)		
6.蒸汽流量 A 指示		
7.蒸汽流量 B 指示		
8.蒸汽流量 C 指示		
9.蒸汽流量 D 指示		
10.飼水流量 A 指示		
11.飼水流量 B 指示		
12.CST 水位指示		
13.抑壓池水位指示		

異常狀況 ：_____

_____

_____

_____

查核人/日期：_____

附件五　安全停機設備查核表

[Rev.19]

安全停機設備	正常	異常
1.RCIC(泵、閥、管路)		
2.HPCS(泵、閥、管路)		
3.LPCS(泵、閥、管路)		
4.LPCI(泵、閥、管路)		
5.核機冷卻水系統		
6.海水系統(CWP、渠道、水閘門)、ECW 系統		
7.聯絡調度員，瞭解電網現況。檢視主變/起變/輔助變壓器、相關斷路器及配電設備。		
8.安全相關 DC 系統、MCC、負載中心及 4.16KV 相關斷路器及配電設備，匯流排。		
9.廠內緊急電力（第一、二、三區緊急柴油發電機）		
10.緊急寒水系統(寒水機，泵等)		
11.中子偵測系統		
12.再循環水系統		
13.控制棒驅動機構		
14.RHR 系統(泵、閥、管路、熱交換器)		
15.控制室緊急 HVAC		
16.用過燃料池及其冷卻系統		
17.圍阻體隔離系統（閥隔離功能）		
18.備用硼液控制系統		

異常狀況：_____

_____

_____

_____

查核人/日期：_____

附件五.2

台灣電力公司第二核能發電廠
偵測試驗申請和審查表

執行單位（包括值班部門）：

機組 #2

程序書編號 375 版次 21 變更通知單編號 5

名稱 地震緊急程序書

反應爐模式 ☑運轉中 ☐起動 ☐熱待機 ☐熱停機 ☐冷停機 ☐裝填燃料

反應爐功率 99.98 % 發電機出力 1030 MWe

此次試驗係(1)☐定期性 (2)☐檢修後 (3)☐因_____設備 INOP (4)☐_____可用性驗証測試 (5)☑其他 因0A-XFR動作-21附盤0BE、CST報警過

本組訂於 101 年 3 月 16 日 時執行以上偵測試驗。請惠示可否如期進行。

工程師 朱益誌 101.3.16 課長/值主任 劉榮藏 101.3.16 經理/值班經理 3/16

值班部門意見：

☑ 請如期進行

☐ 請延期至 年 月 日 時 分執行

☐ 其他

原 因：_____

值班主任 劉榮藏 101.3.16 值班經理 3/16

執行情形：

☑ 測試前已完成 TBM 討論

☑ 測試成員已清楚明瞭事故或暫態時，將測試設備恢復可用狀態之緊急復原操作

開始時間 07:20 完成時間 11:30

☑ 值班人員復歸後，執行人複查確認受測設備/系統已復原

執行人 朱益誌 101.3.16 查證人 NA （品質工程師）

執行後審查意見：

異常狀況：NONE

處理措施：NA

值班主任 ☑已詳細審查測試結果合乎標準 林謝鈴 101.3.16 值班經理 蘇建榮 101.3.16

有關課課長 許德鈞 101.3.17 有關組經理_____

運轉經理_____ 品質經理 吳金典 101.3.19

主管副廠長_____ 主管核安副廠長 張維仁 101.3.24

台灣電力公司 第二核能發電廠 營運手冊 新編/改版程序書校正表	編　號	575
	版　次	21
	日　期	99 年 8 月 11 日

名　　稱	地震緊急程序書		
認　養　人	F 班#1ARO	類　別	逐步確認類(A)

校正者:

認 養 人: 二核能發電廠 值班部門 99.8.11 黃奕南 代

管制版 二核能發電廠 品質組 99.8.11 羅明堂

D C C: _____

品質經理: 二核能發電廠 品質經理 99.8.11 陶嘉悌 (P)

台灣電力公司
第二核能發電廠
營運手冊
程序書修訂記錄表

編號	575	名稱	地震緊急程序書

版次	編寫者	翻譯者	初審者	複審者	校稿	
11						

版次	PCN1	PCN2	PCN3	PCN4	PCN5	PCN6
	變更頁次	變更頁次	變更頁次	變更頁次	變更頁次	變更頁次
19	朱再昇	楊敬明				
	1、2	改20版				
20	高士彥	林調銘	黃嘉榮	楊敬明	許亞恒	5-1 高士彥
	1、7、10	1、2、7、8		1、3、11	1、22	1、7、10 改21版
21	高士彥	高士彥	劉嘉昭	林榮祺	劉家銳	
	1、2	1、2	1、14、18	7、5、6	1	

PCN5　　修訂日期：100-05-11

名稱 ：地震緊急程序書

一. 概述

A. 本廠的重要結構體及特殊安全設施（ENGINEERED SAFETY FEATURE, ESF）之地震設計，是被要求在美國核管會（USNRC）所定之以能承受由地基而來的“安全停機地震（SAFE-SHUTDOWN EARTHGUAKE, SSE）”的設計標準，但因地震爲不可知之外來災害，強震後可能導致系統及設備不同模式的損壞，所以地震後應立即按本程序書執行. [Rev.17]

B. 本廠地震監測系統（在 OC103 盤），加裝弱震儀一套，編號爲 OSG-XE-109(CH.25/26/27)，動作值爲 0.0015G，即本國地震等級一級之震度，動作時亦會於 OC99 盤產生地震動作警報，並於OC103 盤列印地震報表，而地震儀OSG-XE-101/102 /103若未動作表示未達0.01G以上之震度.[AN-KS-99-006 注改案]　　[Rev.21]

C. 本廠依原能會要求，增設強震時反應器自動急停裝置，二號機於 EOC-17 大修施工，一號機於 EOC-18 大修施工，各於輔機廠房 3 樓及 1 樓增設 8 組感測器，任一軸向加速度感測器偵測到震度達設定點，即動作 RPS 控道，構成反應器半急停，若另一控道亦同時處於半急停狀況則引動反應器急停。　　[Rev.15]

D. 地震監測儀器之編號及監測位置如下:

監測位置	加速計 (監測範圍)	記錄器控道 OSG-XR-146	觸　發 設定值	OBE 設定值	SSE 設定值	反　應 頻譜
自由場 (在主警衛室前花園)	OSG-XE-101 (±2G)	X 軸向 CH-1	H：0.01G	NA	NA	NA
		Y 軸向 CH-2	H：0.01G	NA	NA	NA
		Z 軸向 CH-3	V：0.01G	NA	NA	NA
包封容器 底座 EL(-)40'0"	OSG-XE-102 (±2G)	X 軸向 CH-4	H：0.012G	H：0.24G	H：0.48G	有
		Y 軸向 CH-5	H：0.012G	H：0.24G	H：0.48G	有
		Z 軸向 CH-6	V：0.01G	V：0.20G	V：0.39G	有

PCN2

測位置	加速計 (監測範圍)	記錄器控道 OSG-XR-146	觸　發 設定值	OBE 設定值	SSE 設定值	反應 頻譜
包封容器 結構體 EL(+)106' 2 1/4"	OSG-XE-103 (±2G)	X 軸向 CH-7	H：0.02G	NA	NA	有
		Y 軸向 CH-8	H：0.02G	NA	NA	有
		Z 軸向 CH-9	V：0.015G	NA	NA	有
乾井外側結 構體 EL (+)3'0"	OSG-XE-104 (±2G)	X 軸向 CH-10	NA	NA	NA	有
		Y 軸向 CH-11	NA	NA	NA	有
		Z 軸向 CH-12	NA	NA	NA	有
反應爐基座 EL(-)9'4"	OSG-XE-105 (±2G)	X 軸向 CH-13	NA	H：0.26G	H：0.50G	有
		Y 軸向 CH-14	NA	H：0.26G	H：0.50G	有
		Z 軸向 CH-15	NA	V：0.16G	V：0.33G	有
輔機間 頂樓板 EL(+)76'3"	OSG-XE-106 (±2G)	X 軸向 CH-16	NA	NA	NA	有
		Y 軸向 CH-17	NA	NA	NA	有
		Z 軸向 CH-18	NA	NA	NA	有
主控制室 EL(+)30'0"	OSG-XE-107 (±2G)	X 軸向 CH-19	NA	NA	NA	有
		Y 軸向 CH-20	NA	NA	NA	有
		Z 軸向 CH-21	NA	NA	NA	有
輔機間底板 EL(-)40'0"	OSG-XE-108 (±2G)	X 軸向 CH-22	NA	H：0.21G	H：0.42G	有
		Y 軸向 CH-23	NA	H：0.21G	H：0.42G	有
		Z 軸向 CH-24	NA	V：0.22G	V：0.40G	有
包封容器 底座 EL(-)40'0"	OSG-XE-109 (LOW RANGE) (±0.25G)	X 軸向 CH-25	H:0.0015G	NA	NA	有
		Y 軸向 CH-26	H:0.0015G	NA	NA	有
		Z 軸向 CH-27	V:0.0015G	NA	NA	有
中央氣象局 自由場 (在主警衛室 前花園)	OSG-XERS-133 (±1G)	L，V，T 軸向	H：0.004G V：0.004G	NA	NA	NA

注意：1. 目前地震儀之觸發設定值均爲 Peak 值。

2. 因儀器觸發爲未經零點修正之 Peak 值，若含儀器誤差(0.0005G)則可能會有地震強度(時域)資料顯示較低，但已達到觸發弱震儀之狀況[AN-KS-99-006 注改案]。 [Rev.21]

E. 強震時反應器自動急停裝置之編號及監測位置如下：

監測位置 高度	感測器編號 方位	軸向跳脫 設定值	跳脫儀器編號 盤面編號	跳脫電驛 (RPS 控道：盤號)
輔助廠房 一樓(底層) EL： (-)40'-0"	1SG-XE-118 東北角	H：水平軸向 (L、T) V：垂直軸向(V) H=0.16G V=0.17G	1/2SG-XTSH-118 1/2S-217	C71-K40A (A1；1/2C09)
	1SG-XE-119 西北角		1/2SG-XTSH-119 1/2S-218	C71-K40B (B1；1/2C09)
	1SG-XE-120 西南角		1/2SG-XTSH-120 1/2S-219	C71-K40C (A2；1/2C11)
	1SG-XE-121 東南角		1/2SG-XTSH-121 1/2S-220	C71-K40D (B2；1/2C11)
輔助廠房 三樓(中層) EL：(+)3'-2"	1SG-XE-122 東北角	H：水平軸向 (L、T) V：垂直軸向(V) H=0.21G V=0.19G	1/2SG-XTSH-122 1/2S-217	C71-K40A (A1；1/2C09)
	1SG-XE-123 西北角		1/2SG-XTSH-123 1/2S-218	C71-K40B (B1；1/2C09)
	1SG-XE-124 西南角		1/2SG-XTSH-124 1/2S-219	C71-K40C (A2；1/2C11)
	1SG-XE-125 東南角		1/2SG-XTSH-125 1/2S-220	C71-K40D (B2；1/2C11)

F. 當地震發生後，依 TR 3.3.9.2 節之 TRS 3.3.9.2.4 及 TRS 3.3.9.2.5 規定，依 TABLE 3.3.9.2-1 所列之地震儀器在監測 CONTAINMENT BASE 之地震加速峰值大小，另通知儀控人員執行程序書 609 地震監視儀器系統控道查驗或 609.1 地震監視系統功能測試及校正試驗. [Rev.20]

二. 參考文件

A. 原程序書 575 “地震緊急程序書”.

B. 核技處備忘錄 (76) 核技土字第 7607-2560 號, “核能電廠強震後評估步驟”.

C. DCR-3101 地震儀更新施工文件，DCR-2817/2818 增設強震自動急停裝置. [Rev.16]

D. TR 3.3.9.2

E. 核一、二、三廠地震與強震緊急處理程序檢討改進事項決議.

三. 職責

1. 值班經理依程序書 575 要求,通知維護組,進行程序書 575.1 強震後機組詳細檢查. [Rev.17]

2. 運轉審查委員會(SORC)負責於強震事故後,評估全廠檢查與試驗的結果.

四. 定義 [Rev.19]

重大損害(Significant Damage)定義

重大損害(實體或功能) 係指對機組安全運轉所需設備和結構的運轉、功能或可靠性，有潛在不利影響的損害。重大損害可由下列單一、組合或全部跡象來顯示：

混凝土結構：新的或地震引起的混凝土裂縫寬度＞0.06 吋，混凝土剝落且可見架構變形。(註 1)

鋼結構：新的或地震引起的可見彈性變形或結合處之裂縫、螺栓、螺栓孔或鋼件的變形。

管路：因地震新生或使其洩漏增加的接合處穿管洩漏、管路完全或部分脫離、因截面積損失或流量控制閥失效導致重大流量減少(＞10%)。(註 2)

分配系統之支架：當支架不再具執行其支援設計功能。(註 3)

機械或電氣設備：錨定系統可見之扭曲、組件基座的滑動，附加於分配系統的破裂（洩漏），一般的條痕或機械本體、殼側或掩蓋體（House）之彎曲。(註 4)

轉動設備要求：轉動設備過度的異音、振動或溫度。

註 1：混凝土裂縫寬度≧0.06 吋，表示超出強度限值。

註 2：保溫材料損害、管路的刮痕或凹陷不視爲重大損害。

PCN4

註 3：不論彎曲或變形，只要仍能執行設計功能，均不視爲重大損害。

註 4：設備本體或外殼的局部凹陷及刮傷，不視爲重大損害。

功能受損定義

指影響系統、組件及結構執行其安全功能之可用或可靠性的實體或其他重大損害。輕微受損如混凝土結構之微細裂縫，不構成能受損。

實體受損(Physical Damage)定義

能以目視檢查發現系統、組件及結構之損害(即破裂零件；裂縫；彈性變形；接合組件異位；過度磨損；或轉動設備過度異音、震動或溫度；等等)。這些損害有可能或不可能執行其應有功能。

五. 採取措施 [Rev.19]

A.立即行動

遇地震(＞OBE)自動急停反應爐後，『預期需執行"RPV 緊急洩壓"』進入 500.EOP (500.3)，手動調低蒸汽旁通及壓力調整系統(SB & PR)壓力設定或手動開啓 BPV，執行快速降壓降至 35 kg/cm^2 後儘速進入冷停機，並執行程序書 577.2 檢視是否有海嘯侵襲本廠。[Rev.21]

1.主控制室運轉員：

a. 監視控制盤面及機組運轉狀況，確定地震效應。

b. 發現任何異狀通知值班主任。

c. 注意集水池水位警報或水位指示。

d. 注意上池、下池及抑壓池水位警報或水位指示。

e. 地震時非運轉中的系統或設備，在使用前先確認可用性。

f. 若機組因自動保護系統動作而停機，要將機組帶到安全停機狀態。 [Rev.18]

PCN4

2.值班主任：

a. 指派人員確認地震/儀器警報之確實性。

b. 若地震監測儀器系統不可用，依運轉規範處理，並通知儀控組進行檢修。

c. 下令停止燃料挪移工作。若燃料台車吊有燃料時，確認燃料台車正常後，將燃料置於安全位置。

d. 依棒位、功率或其他相關變數，確認反應度沒有發生變化。

e. 確認集水池水位正常且集水池泵沒有異常動作。

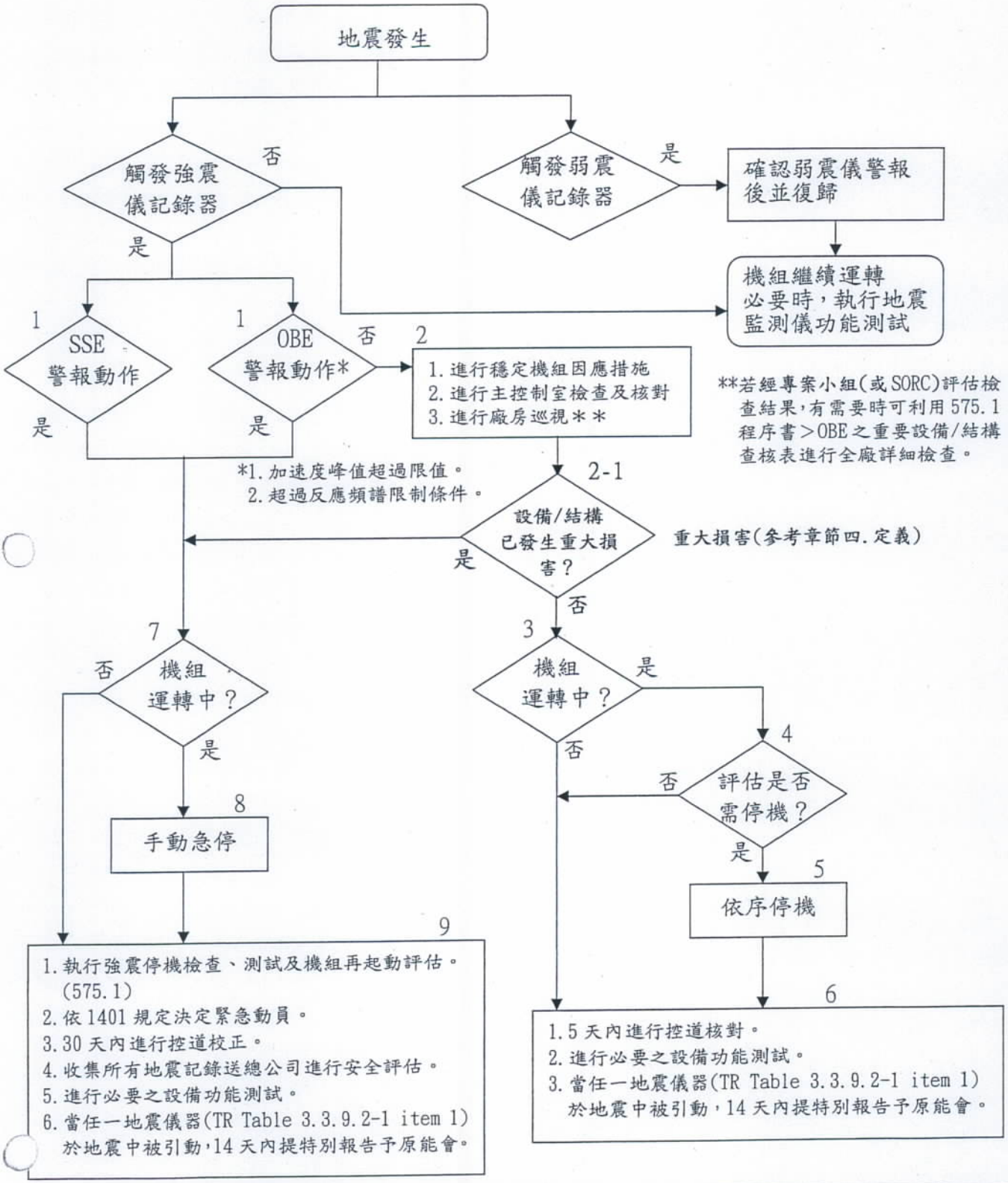
f. 依地震警報，決定地震是否超過 OBE 或 SSE。

g. 依 1401-H 類「自然災害及其他影響機組安全情況」緊急應變行動基準條件，決定應採取之緊急動員規定。

B.持續行動

地震後，依核能電廠強震後緊急處理步驟流程圖(附圖一)，執行相關步驟。

附圖一　　核能電廠強震後緊急處理步驟流程圖



流程步驟說明(阿拉伯數字爲步驟編號)：

0. 地震發生

查看那些地震警報出現：(0C99 盤警報出現,至 0C103 盤查看何種警報出現)注意警報須同時判斷那些警報動作,以最嚴重的來執行.

- 弱震儀警報出現時,地震儀確認復歸弱震警報,機組繼續運轉,必要時通知儀控組執行地震監測儀功能測試. [Rev.17]
- 若〝FREE FIELD SEISMIC INSTRUMENT TRIGGER〞警報出現，爲中央氣象局在本廠自由場動作，無須採取任何措施。 [Rev.14]
- 強震儀觸發警報出現(Alarm Level 2，即 CH-1～9 有任一觸發)，頻譜分析選定 Damping＝5%之設定曲線且於頻譜 0~10Hz 間有明顯峰值時,進入步驟 1；若強震儀觸發警報未出現，機組繼續運轉，必要時通知儀控組執行地震監測儀功能測試。 [Rev.20]
- 若 1/2C03 盤“SESIMIC INTENSITY HIGH A1/A2/B1/B2 SUBSYSTEM TRIP”警報出現，請依據程序書 574.46 第 46 號警報窗內容執行。 [Rev.18]

【注意】

爲防止地震儀誤動作引起不必要之停機操作,若警報出現時,需確定較輕之地震儀亦已動作,確認後採取行動.

1. OBE 警報未出現時(註一),進入步驟 2. [Rev.17]

OBE 警報出現時(註一),進入步驟 7.

註：OBE 警報出現時，即任一加速度峰值超過限值或超過反應頻譜(DBRS)限制條件。[Rev.17]

SSE 警報出現時(註一),進入步驟 7.

2. 執行下列行動 [Rev.17]

1) 密切監視反應爐功率及發電機出力變化之情形，依本廠標準操作程序書、異常操作程序書、緊急操作程序書及運轉技術規範，採取穩定機組之因應措施。 [Rev.17]

2) 值班依附件一(主控制室檢查及核對表)及附件二(廠房巡視表),執行檢查及核對，並應於 24 小時內完成。若附件一(主控制室檢查及核對表)及附件二(廠房巡視表)檢查結果，如機組運轉功能受到影響時，送運轉審查委員會再評估。 [Rev.19]

3) 值班經理/值主任應研判機組設備受損狀況，決定是否繼續運轉、依序停機、或手動急停。

機組是否繼續運轉判定原則： [Rev.19]

a.未大於 OBE 且巡視未發現重大損害，機組可繼續運轉。

b.未大於 OBE，發生下列任一狀況，機組需停機。

- 巡視發現設備重大損害(參考四.定義)，影響機組運轉安全。
- 因地震事件導致重大輻射外釋。
- 地震事件導致系統不可用，依運轉規範之規定，機組需停機。

進入步驟 2-1. [Rev.19]

2-1.設備/結構已發生重大損害？ [Rev.19]

重大損害(Significant Damage)定義(參考四.定義)

#若否,進入步驟 3

#若是,進入步驟 7

3. 機組是否運轉中？ [Rev.17]

#若否,進入步驟 6. [Rev.17]

#若是,進入步驟 4. [Rev.17]

4. 評估是否需停機？

研判機組狀況，決定是否繼續運轉或停機。

#若否,進入步驟 6。

#若是,進入步驟 5。

5. 依序停機。

1)依序停機前須先查驗安全停機必須可用之設備，俾執行必要修復或另覓替代設備。安全停機必須可用之設備係指：餘熱移除系統(水泵與熱交換器)、主要水源(CST)、廠內緊急電力(EDG、蓄電池、AC/DC BUS)、監控安全停機的重要儀控設備、補水系統(RCIC、HPCS、LPCS、LPCI)等。

查驗方式爲執行附件四(安全停機監視儀器查核表)及附件五(安全停機設備查核表)。設備若有異況或劣化，通知維護組處理。 [Rev.19]

2)安全停機必須可用之設備查驗後確認可用或有替代設備或方法後，依營運程序書之規定步驟停機後，進入步驟 6。 [Rev.20]

6. 執行下列行動：

(1) 5 天內進行控道核對. [Rev.20]

(2) 進行必要的設備功能測試. [Rev.17]

(3) 當任一地震儀器(TR Table 3.3.9.2-1 item 1)於地震中被引動，應於發生地震後 14 天內，提特別報告予原能會。 [Rev.20]

7. 機組是否運轉中？

#若否,進入步驟 9.

#若是,進入步驟 8.

8. 手動急停

急停後執行相關營運程序書,進入步驟 9.

9. 執行下列行動:

(1) 執行強震停機檢查、測試及機組再起動評估 (575.1) [Rev.19]

(2) 依 1401 規定決定緊急動員。 [Rev.17]

(3) 30 天內進行控道校正. [Rev.20]

(4) 收集所有地震記錄送總公司進行安全評估. [Rev.17]

(5) 當任一地震儀器(TR Table 3.3.9.2-1 item 1)於地震中被引動，應於發生地震後 14 天內，提特別報告予原能會。 [Rev.20]

(6) 進行必要的設備功能測試.

【注意】

1. 地震對核子反應器設施運轉安全構成實質威脅或嚴重阻礙核子反應器設施人員執行安全運轉，依「核子反應器設施異常事件報告及立即通報作業辦法」應於一小時內通報原能會，事後並需提出書面報告。[AN-KS-93-010 注改案]　[Rev.14]
2. 當發生有感地震且控制室強震儀警報被觸發,依程序書 1401-H 類「自然災害及其他影響機組安全情況」緊急應變行動基準條件，決定應採取之緊急動員規定。　[Rev.15]

註一:本廠 OBE & SSE 警報設定值

Operation Basis Earthquake (OBE,運轉基準地震)：

在考量區域性及當地的地理、地震學以及當地的地層材料特性下,核電廠在設計運轉壽命期合理地預期發生在廠址之地震.　[Rev.20]

Safe Shutdown Earthquake (SSE,安全停機地震):

考量區域性及當地的地理、地震學以及當地的地層材料特性下,以最大地震潛能評估爲基礎之地震.

地震強度資料之操作及反應譜比較準則

A. 地震強度資料之操作及取得：（詳附件三）

B. 地震反應譜比較準則

1. 錄得反應譜之 g 值中任何一點不得超過預存於頻譜分析儀中各頻率點 g 值之 10%.
2. 錄得反應譜之 g 值與預存於頻譜分析儀中各頻率點之 g 值比較(75 個頻率點),其中不得有任何 3 點以上(含 3 點)超過預存於頻譜分析儀中之 g 值(頻譜分析儀會顯示).
3. 再查錄得反應譜各頻率點之 g 值，其中任何連續 5 個頻率點中，不得有 2 點以上(含 2 點)超過預存於頻譜分析儀中之 g 值(頻譜分析儀會顯示).以上預存於頻譜分析儀之 g 值,係指設計反應譜(各高程設計反應譜載於 FSAR 3.7 節):
4. 地震反應頻譜超過預存準則,則於 OC99 盤顯示警報信號,提供運轉員必要的參考.

五．後續措施

1．值班經理依機組狀況及附件一(主控制室檢查及核對表)、附件二(廠房巡視表)檢查結果，若機組運轉功能受到影響時，送運轉審查委員會再評估。運轉審查委員會評估結果，決定是否依 575.1 程序書之重要設備/結構查核表進行全廠詳細檢查。 [Rev.17]

2．對受損的設備開立請修單，請維護部門檢修。 [Rev.17]

附件一　主控制室檢查及核對表　　[Rev.17]

主控制室部份(☐一號機/☑二號機)

一、檢查一次系統壓力邊界各參數：

1. 反應爐冷卻水溫度：276 ℃　　正常✓異常＿＿

2. 反應爐壓力：72.19 kg/cm²　　正常✓異常＿＿

3. 飼水流量：5622 T/HR　　正常✓異常＿＿

4. 蒸汽流量：5758 T/HR　　正常✓異常＿＿

5. 主蒸汽管輻射監測器：A 2500 MR/HR　　正常✓異常＿＿

B 2400 MR/HR　　正常✓異常＿＿

C 2330 MR/HR　　正常✓異常＿＿

D 3010 MR/HR　　正常✓異常＿＿

6. 反應爐廠房排氣輻射監測器：A 0.7 MR/HR　　正常✓異常＿＿

B 0.6 MR/HR　　正常✓異常＿＿

C 0.7 MR/HR　　正常✓異常＿＿

D 0.7 MR/HR　　正常✓異常＿＿

7. 反應爐水位：90.1 cm　　正常✓異常＿＿

8. 乾井壓力：0.003 kg/cm²　　正常✓異常＿＿

9. 乾井溫度：39.9 ℃　　正常✓異常＿＿

二、檢查一次系統壓力邊界是否有設備鬆脫造成異常

1. 檢查乾井壓力,溫度是否有不正常的變化.　　正常✓異常＿＿

2. 查看反應爐槽凸緣密封處洩漏警報未出現　　正常✓異常＿＿

(1C01 盤 H13A-A4 第 20 窗)

3. 檢查 RWCU & ECCS 系統是否有不正常的變化.　　正常✓異常＿＿

PCN3

4. 乾井洩水坑是否水位異常上升. 正常✓異常_____

5. 寬範圍圍阻體輻射偵測是否有過高的指示. 正常✓異常_____

三、檢查儀控裝置跳脫、非安全相關及耐震設備的異常

1. 在 C01 盤檢查任何一次圍阻體隔離時指示. 正常✓異常_____[Rev.18]

2. 檢查其他所有洩水坑是否水位異常上升. 正常✓異常_____

3. 檢查所有的區域輻射偵測器是否有過高的指示. 正常✓異常_____

4. 檢查 13.8KV、4.16KV、480V 及 DC 電力設備是否有誤動作而跳脫. 正常✓異常_____

5. 檢查各記錄器指示及變化,有無異常現象. 正常✓異常_____

6. 查看各警報盤有無異常警報. 正常✓異常_____

四、檢查控制室內下列振動監測儀器 [Rev.18]

1. 主汽機振動儀器(510 程序書) 正常✓異常_____

2. 再循環泵振動儀器(528 程序書) 正常✓異常_____

3. 飼水泵振動儀器(574.11 程序書) 正常✓異常_____[Rev.21]

4. 飼水泵汽機振動儀器(523.1;574.11 程序書) 正常✓異常_____[Rev.21]

五、檢查重要的低壓儲存槽液位指

1. SBLC 硼液儲存槽液位是否正常. 正常✓異常_____

2. 抑壓池水位是否正常. 正常✓異常_____

3. CST 水位是否正常. 正常✓異常_____

4. 上池水位是否正常. 正常✓異常_____

六、檢查中子偵測儀器

1. 中子偵測儀器是否有不正常的讀數. 正常✓異常_____

2. 中子偵測儀器是否有不可用. 正常✓異常_____

七、檢查 Off Gas Vent Pipe Rad Mon(HF-RITS-206)偵測儀器

1. 偵測儀器是否有不正常的讀數.　　正常 ✓ 異常＿＿＿

2. 偵測儀器是否有不可用.　　正常 ✓ 異常＿＿＿

異常狀況：None

檢查者：梁益誌　　值主任：劉榮歲

※機組運轉功能是否受到影響　□是：送運轉審查委員會　☑否

值班經理：施正忠 3/16

附件二　廠房巡視表　[Rev.17]

一. 反應器廠房:

1. 查看各系統管路支架是否正常，無變形或移位. 是 V 否＿＿[Rev.15]
2. 查看各系統管路及閥是否正常，無損壞或洩漏. 是 V 否＿＿[Rev.15]
3. 查看 SBLC 系統是否正常. 是 V 否＿＿
4. 查看反應器廠房消防系統是否正常. 是 V 否＿＿
5. 查看各系統各閥是否正常，無損壞或洩漏. 是 V 否＿＿[Rev.15]
6. 查看抑壓池水位是否正常. 是 V 否＿＿
7. 查看控制棒驅動機構是否正常. 是 V 否＿＿
8. 查看圍阻體穿越器是否正常. 是 V 否＿＿
9. 查看儀器架及控制盤是否正常，無損壞. 是 V 否＿＿[Rev.15]
10. 查看 RWCU 設備是否正常. 是 V 否＿＿
11. 查看上池水位是否正常. 是 V 否＿＿
12. 查看反應器廠房空調系統是否正常. 是 V 否＿＿
13. 查看七樓各類吊車是否正常. 是 V 否＿＿
14. 查看二樓及七樓人員氣鎖門是否正常. 是 V 否＿＿
15. 查看二樓及七樓機件氣鎖門是否正常. 是 V 否＿＿
16. 查看乾井機件氣鎖門是否正常. 是 V 否＿＿
17. 查看反應器廠房內集水池系統是否正常. 是 V 否＿＿
18. 查看再循環系統HPU設備是否正常. 是 V 否＿＿[Rev.18]

異常狀況 : 無

檢查者 : 黃仕賢　日期 : 3/16

二、輔機廠房

1. 查看各系統管路支架是否正常，無變形或移位. 是 ✓ 否 [Rev.15]
2. 查看各系統管路及閥是否正常，無損壞或洩漏. 是 ✓ 否 [Rev.15]
3. 查看 RHR A 系統是否正常. 是 ✓ 否
4. 查看 RHR B 系統是否正常. 是 ✓ 否
5. 查看 RHR C 系統是否正常. 是 ✓ 否
6. 查看 RCIC 系統是否正常. 是 ✓ 否
7. 查看 LPCS 系統是否正常. 是 ✓ 否
8. 查看 HPCS 系統是否正常. 是 ✓ 否
9. 查看 CRD A 系統是否正常. 是 ✓ 否
10. 查看 CRD B 系統是否正常. 是 ✓ 否
11. 查看 IFTS 系統是否正常. 是 ✓ 否
12. 查看 SGTS A 系統是否正常. 是 ✓ 否
13. 查看 SGTS B 系統是否正常. 是 ✓ 否
14. 查看輔機廠房內空調系統是否正常. 是 ✓ 否
15. 查看圍阻體穿越器是否正常. 是 ✓ 否
16. 查看輔機廠房內集水池系統是否正常. 是 ✓ 否
17. 查看儀器架及控制盤是否正常，無損壞. 是 ✓ 否 [Rev.15]
18. 查看氫氣結合系統是否正常，無損壞. 是 ✓ 否 [Rev.15]
19. 查看輔機廠房消防系統是否正常. 是 ✓ 否

異常狀況 ：無

檢查者 ：[illegible] 日期 ：101.3.16

PCN3

三、汽機廠房

1. 查看各系統管路支架是否正常，無變形或移位.　是 V 否＿＿[Rev.15]
2. 查看各系統管路及閥是否正常，無損壞或洩漏.　是 V 否＿＿[Rev.15]
3. 查看主汽機基座是否正常，無損壞.　是 V 否＿＿[Rev.15]
4. 查看主蒸汽管路及汽機抽汽管是否正常，無洩漏.　是 V 否＿＿[Rev.15]
5. 查看凝結水泵及管路是否正常，無洩漏及冷凝水泵振動儀器(1/2 T135)是否無異常.　是 V 否＿＿[Rev.21]
6. 查看飼水泵及管路是否正常，無洩漏.　是 V 否＿＿[Rev.15]
7. 查看主汽機潤滑油、高壓油系統是否正常，無洩漏.　是 V 否＿＿[Rev.15]
8. 查看 TPCCW 系統是否正常.　是 V 否＿＿
9. 查看 NCCW 系統是否正常.　是 V 否＿＿
10. 查看汽機廠房內集水池系統是否正常.　是 V 否＿＿
11. 查看汽機廠房消防系統是否正常.　是 V 否＿＿
12. 查看飼水泵汽機潤滑油、高壓油系統是否正常，無洩漏.　是 V 否＿＿[Rev.15]
13. 查看儀器架及控制盤是否正常，無損壞.　是 V 否＿＿[Rev.15]
14. 查看空壓機系統是否正常.　是 V 否＿＿
15. 查看發電機封油系統是否正常，無洩漏及損壞.　是 V 否＿＿[Rev.15]
16. 查看發電機氫氣系統是否正常，無洩漏及損壞.　是 V 否＿＿[Rev.15]
17. 查看 SJAE 系統是否正常，無洩漏及損壞.　是 V 否＿＿[Rev.15]
18. 查看汽機廠房內空調系統是否正常.　是 V 否＿＿
19. 查看汽機廠房內 HWC 設備是否正常.　是 V 否＿＿[Rev.18]

異常狀況：無

檢查者：李來貿　日期：101.3.16

四、控制廠房

1. 查看空調系統是否正常. 是 V 否＿＿
2. 查看正常寒水機系統是否正常. 是 V 否＿＿
3. 查看緊急寒水機系統是否正常. 是 V 否＿＿
4. 查看 RPS M-G SET 系統是否正常. 是 V 否＿＿
5. 查看控制廠房消防系統是否正常. 是 V 否＿＿
6. 查看電腦室是否正常，無損壞. 是 V 否＿＿ [Rev.15]

異常狀況 ： NP

檢查者 鄭正世 日期 ： 3/16

五、廢料廠房

1. 查看各系統管路支架是否正常，無變形或移位. 是 V 否＿＿ [Rev.15]
2. 查看各系統管路及閥是否正常，無損壞或洩漏. 是 V 否＿＿ [Rev.15]
3. 查看空調系統是否正常. 是 V 否＿＿
4. 查看廢料廠房消防系統是否正常. 是 V 否＿＿
5. 查看廢料廠房內集水池系統是否正常. 是 V 否＿＿
6. 查看 Off Gas 系統是否正常，無洩漏及損壞. 是 V 否＿＿ [Rev.18]
7. 查看各廢液系統是否正常，無洩漏及損壞. 是 V 否＿＿ [Rev.15]
8. 查看固體廢料系統是否正常，無洩漏及損壞. 是 V 否＿＿ [Rev.15]
9. 查看廢控室系統無異常警報. 是 V 否＿＿ [Rev.15]

異常狀況 ： NP

檢查者 ： 傅遠明 日期 ： 101.3.16

六、外圍設備部份(包含一、二號機及共用部份)

1. 查看 35000 公秉油槽是否正常，無損壞. 是 V 否＿＿[Rev.15]
2. 查看生水系統是否正常，無損壞. 是 V 否＿＿[Rev.15]
3. 查看緊急海水泵室內設備是否正常，無損壞及無異常警報. 是 V 否＿＿[Rev.15]
4. 查看各主變壓器、輔助變壓器、緊急起動變壓器設備是否正常，無損壞. 是 V 否＿＿[Rev.15]
5. 查看各緊急柴油發電機設備是否正常，無損壞.(包含 DIV 1、2、3 及 5th) 是 V 否＿＿[Rev.15]
6. 查看圓潭溪設備是否正常，無損壞. 是 V 否＿＿[Rev.15]
7. 查看進水口泵室設備是否正常，無損壞及無異常警報. 是 V 否＿＿[Rev.15]
8. 查看輔助鍋爐設備是否正常，無損壞及無異常警報. 是 V 否＿＿[Rev.15]
9. 查看水廠設備是否正常，無損壞及無異常警報. 是 V 否＿＿[Rev.15]
10. 查看雜項廢液設備是否正常，無損壞及無異常警報. 是 V 否＿＿[Rev.15]
11. 查看氣渦輪機設備是否正常，無損壞及無異常警報. 是 V 否＿＿[Rev.15]
12. 查看開關場設備是否正常，無損壞及無異常警報. 是 V 否＿＿[Rev.15]
13. 查看 C02 儲存槽設備是否正常，無損壞. 是 V 否＿＿[Rev.15]
14. 查看氫氣室設備是否正常，無損壞. 是 V 否＿＿[Rev.15]
15. 查看廠外空壓機設備是否正常，無損壞. 是 V 否＿＿[Rev.15]
16. 查看進水口循環水泵振動是否正常. 是 V 否＿＿[Rev.18]

異常狀況：無

檢查者：蔡成志　日期：3/6

#2

七、電氣設備部份

1. 查看 13.8KV 配電盤是否正常.	是 ✓ 否
2. 查看 4.16KV 配電盤是否正常.	是 ✓ 否
3. 查看 480V 負載中心配電盤是否正常.	是 ✓ 否
4. 查看 480V MCC 配電盤是否正常.	是 ✓ 否
5. 查看 125V DC 系統是否正常.	是 ✓ 否
6. 查看 250V DC 系統是否正常.	是 ✓ 否
7. 查看 UPS 系統是否正常.	是 ✓ 否
8. 查看各廠房照明是否正常.	是 ✓ 否

蕭志剛 3/16

八、開關場設備部份【依 KS-會核-91-7-0 備忘錄】 [Rev.15]

(一) 345KV 開關場

1. 確認 GCB3510 及兩側 ABS 正常套管未斷裂. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
2. 確認 GCB3520 及兩側 ABS 正常套管未斷裂. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
3. 確認 GCB3530 及兩側 ABS 正常套管未斷裂. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
3-1. 確認 GCB3540 及兩側 DS 正常 SF6 未洩漏. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿ [Rev.20]
4. 確認 GCB3550 及兩側 ABS 正常套管未斷裂. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
5. 確認 GCB3560 及兩側 ABS 正常套管未斷裂. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
6. 確認 GCB3570 及兩側 ABS 正常套管未斷裂. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
7. 確認 GCB3580 及兩側 ABS 正常套管未斷裂. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
8. 確認 GCB3590 及兩側 ABS 正常套管未斷裂. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
9. 確認 GCB3680 及兩側 ABS 正常套管未斷裂. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
10. 確認 GCB3690 及兩側 ABS 正常套管未斷裂. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
11. 確認 GCB3670 及兩側 DS 正常 SF6 未洩漏. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
12. 確認汐止二路 CCPD、LINE TRAR 正常及支持礙管未斷裂. 正常 ✓ 不正常＿＿＿
13. 確認核一二路 CCPD、LINE TRAR 正常及支持礙管未斷裂. 正常 ✓ 不正常＿＿＿
14. 確認汐止四路 CCPD、LINE TRAR 正常及支持礙管未斷裂. 正常 ✓ 不正常＿＿＿
15. 確認協和紅線 CCPD、LINE TRAR 正常及支持礙管未斷裂. 正常 ✓ 不正常＿＿＿
16. 確認 345KV #1 BUS 正常支持礙管未斷裂. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
17. 確認 345KV #2 BUS 正常支持礙管未斷裂. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
18. 確認核一二路懸垂礙子架空線路. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
19. 確認汐止二路懸垂礙子架空線路. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
20. 確認汐止四路懸垂礙子架空線路. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
21. 確認協和紅線懸垂礙子架空線路. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
22. 確認#1 機架空線路鐵塔. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
23. 確認#2 機架空線路鐵塔. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿ [Rev.15]
24. 確認#1 345KV 起動變壓器 0XSUT. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿ [Rev.20]
25. 確認#2 345KV 起動變壓器 2XSUT. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿ [Rev.20]

(二) 69KV 開關場

1. 確認金山線懸垂礙子架空線路. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿ [Rev.15]
2. 確認中幅線懸垂礙子架空線路. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿ [Rev.15]
3. 確認 #1 SST. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
4. 確認 #2 SST. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
5. 確認 GCB750 及相關 DS 正常，SF6 未洩漏. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
6. 確認 GCB760 及相關 DS 正常，SF6 未洩漏. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
7. 確認 GCB710 及相關 DS 正常，SF6 未洩漏. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
8. 確認 GCB720 及相關 DS 正常，SF6 未洩漏. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
9. 確認 GCB620 及相關 DS 正常，SF6 未洩漏. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
10. 確認 GCB630 及相關 DS 正常，SF6 未洩漏. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
11. 確認 GCB640 及相關 DS 正常，SF6 未洩漏. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
12. 確認 GCB690 及相關 DS 正常，SF6 未洩漏. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿ [Rev.14]
13. 確認 GCB600 及相關 DS 正常，SF6 未洩漏. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
14. 確認 69KV BUS 1，SF6 未洩漏. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿
15. 確認 69KV BUS 2，SF6 未洩漏. 正常 ✓ 不正常＿＿＿＿

異常狀況：無

檢查者：林亨祥 101.3.15　日期：101、3、16

九、燃料廠房:

1. 查看各系統管路支架是否正常，無變形或移位. 是 V 否＿＿
2. 查看各系統管路及閥是否正常，無損壞或洩漏. 是 V 否＿＿
3. 查看燃料廠房消防系統是否正常. 是 V 否＿＿
4. 查看燃料廠房 3 樓各鐵捲門是否正常，無損壞. 是 V 否＿＿
5. 查看儀器架及控制盤是否正常，無損壞. 是 V 否＿＿
6. 查看燃料池水位是否正常. 是 V 否＿＿
7. 查看燃料廠房空調系統是否正常. 是 V 否＿＿
8. 查看 3 樓各類吊車是否正常. 是 V 否＿＿
9. 查看燃料廠房內集水池系統是否正常. 是 V 否＿＿

異常狀況：無

檢查者：鄧正世　日期：3/16

※機組運轉功能是否受到影響　□是：送運轉審查委員會　☑否

值班經理：[illegible]

附件三

A. 地震強度（時域）資料取得程序：

1. 在個人電腦的 WEB 瀏覽器 URL 上輸入「http://10.142.17.240/eqsearch.php」的文字，進入地震記錄查詢畫面。
2. 依查詢項目勾選後，點選 SEARCH 壓滑鼠左鍵或按 ENTER 鍵。
3. 點選所要之測站資料檔案名稱爲＊.TPC，直接開啓此檔案，或複製到有 EMASspc.exe 程序之目錄內。
4. 即出現地震強度(時域)之資料，點選 PRINT 壓滑鼠左鍵或按 ENTER 鍵，即可列印波形。

B. 地震頻譜資料取得程序：　　[Rev.17]

1. 在個人電腦的 WEB 瀏覽器 URL 上輸入「http://10.142.17.240/eqsearch.php」的文字，進入地震記錄查詢畫面。
2. 依查詢項目勾選後，點選 SEARCH 壓滑鼠左鍵或按 ENTER 鍵。
3. 點選所要之測站資料檔案名稱爲＊.ANA，直接開啓此檔案，或複製到有 EMASspc.exe 程序之目錄內。
4. 即出現地震強度(頻譜)之資料，依需要點選 Direction 軸向(1，2，3)，點選 Ttype(1～10)，

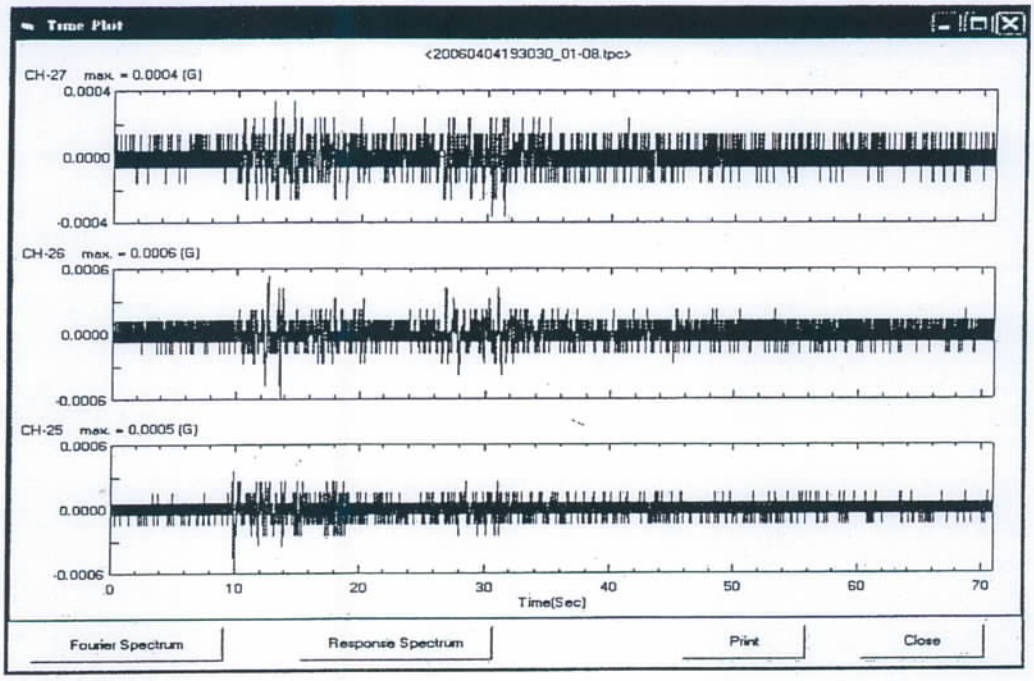
Direction：1—X 軸向(N-S)　2—Y 軸向(E-W)　3—Z 軸向(VERT)

TYPE(Damping)：

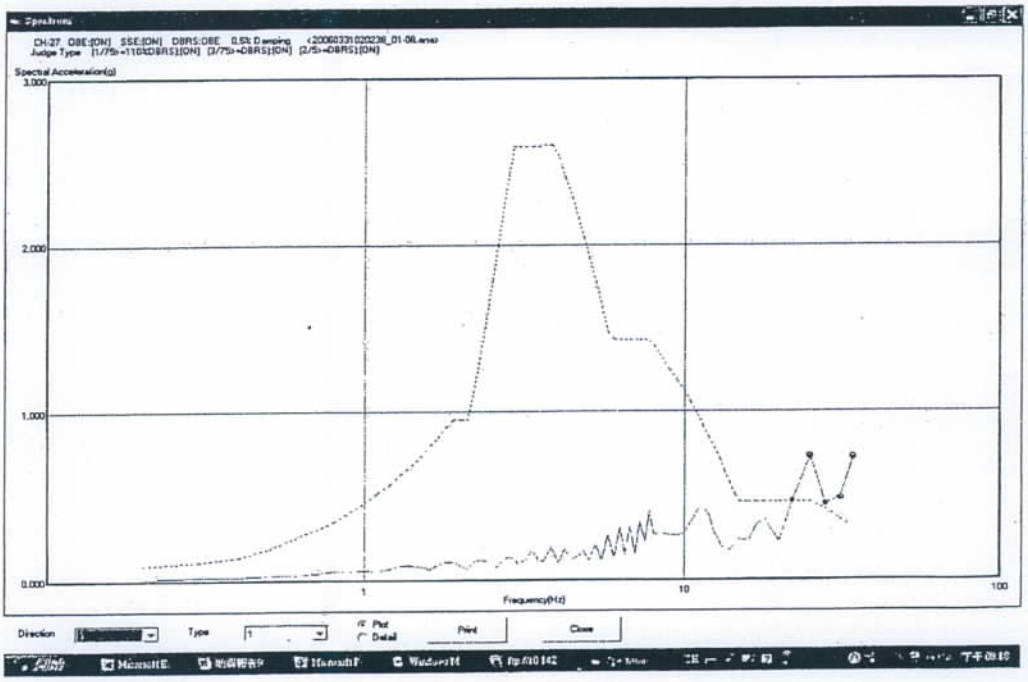
1：OBE	0.5%	6：SSE	0.5%
2：OBE	1%	7：SSE	1%
3：OBE	2%	8：SSE	2%
4：OBE	5%	9：SSE	5%
5：OBE	10%	10：SSE	10%

5. 點選 PRINT 壓滑鼠左鍵或按 ENTER 鍵，即可列印頻譜資料。

地震強度（時域）資料



地震反應譜（頻域）資料



附件四　安全停機監視儀器查核表　[Rev.19]

監視儀器	正常	異常
1.反應器水位 A 指示		
2.反應器水位 B 指示		
3.反應器水位 C 指示		
4.反應器壓力指示(寬範圍)		
5.反應器壓力記錄器指示(窄範圍)		
6.蒸汽流量 A 指示		
7.蒸汽流量 B 指示		
8.蒸汽流量 C 指示		
9.蒸汽流量 D 指示		
10.飼水流量 A 指示		
11.飼水流量 B 指示		
12.CST 水位指示		
13.抑壓池水位指示		

異常狀況 ：_____

_____

_____

_____

查核人/日期：_____

附件五　安全停機設備查核表

[Rev.19]

安全停機設備	正常	異常
1.RCIC(泵、閥、管路)		
2.HPCS(泵、閥、管路)		
3.LPCS(泵、閥、管路)		
4.LPCI(泵、閥、管路)		
5.核機冷卻水系統		
6.海水系統(CWP、渠道、水閘門)、ECW 系統		
7.聯絡調度員，瞭解電網現況。檢視主變/起變/輔助變壓器、相關斷路器及配電設備。		
8.安全相關 DC 系統、MCC、負載中心及 4.16KV 相關斷路器及配電設備，匯流排。		
9.廠內緊急電力（第一、二、三區緊急柴油發電機）		
10.緊急寒水系統(寒水機，泵等)		
11.中子偵測系統		
12.再循環水系統		
13.控制棒驅動機構		
14.RHR 系統(泵、閥、管路、熱交換器)		
15.控制室緊急 HVAC		
16.用過燃料池及其冷卻系統		
17.圍阻體隔離系統（閥隔離功能）		
18.備用硼液控制系統		

異常狀況：_____

_____

_____

_____

查核人/日期：_____

品質成套文件明細暨審查表

1 機 EOC-22 主辦組：運轉組 Package：OP-3

工作內容：反應爐壓力槽系統洩漏試驗

DIV 別：☐ DIV I ☐ DIV II ☐ DIV III ■ NON-DIV

類 別：■ A 臨界前 ☐ B 併聯前 ☐ C 90% 額定熱功率

品質等級：■ Q ☐ R ☐ NQNR ☐其他＿＿＿＿＿＿

工作項目：（請詳註文件編號）

■ 偵測試驗程序書 ☐ DCR ☐ 請修單 ☐ EMR ☐ RER

☐ 維護檢修程序書 ☐ 管制追蹤案件 ☐ NCD ☐ CAR ☐ ACAR

文件編號：295

☐ 承諾原能會/原能會要求辦理事項：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

☐ 其他文件：＿＿

統計項目 ＼ 品質等級		Q & R1	NQ & NR1
本成套文件中大修維修項目之件數(依承修單位統計) (運轉偵測試驗、DCR、EMR、CAR、ACAR、及其他非維修工作者等免填本統計表)	包 商 1＿＿＿＿公司		
	包 商 2＿＿＿＿公司		
	修 護 處		
	電廠自辦		

工作週期：■18 個月 ☐每次大修 ☐計劃性停機 ☐其他：＿＿＿＿

工 期：完工日期 101. 4. 13 繳件日期 101. 4. 13 (完工後三天內繳出為原則)

執行結果：☑ 正常 ☐ 不正常(請詳述原因)

原因：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

承辦人 顏建泰 課 長 黃允中 主辦組經理 蔡萬仁

品 質 組
審查結果：正常

審查人員 陳崇智 課 長 張雄仁 品質組經理 謝勝勳

核安處駐廠小組
審 查 結 果：文件審查符合要求

王仁宏 柯鴻亮 林慣南

附件十：偵測試驗申請和審查表(表格 1111.01H)　〔Rev.12〕

台灣電力公司第二核能發電廠

偵 測 試 驗 申 請 和 審 查 表

執行單位（包括值班部門）：

機組 #1

程序書編號 295　版次 26　變更通知單編號 0

名稱 反應爐壓力控制系統測試

反應爐模式 ☐運轉中 ☐起動 ☐熱待機 ☐熱停機 ☑冷停機 ☑裝填燃料

反應爐功率 0 %　發電機出力 0 MWe

此次試驗係(1)☐定期性 (2)☐檢修後 (3)☐因＿＿設備 INOP (4)☐＿＿可用性驗証測試 (5)☑其他 (18M0)

本組訂於 101 年 4 月 11 日 時執行以上偵測試驗。請惠示可否如期進行。

工程師 劉家號 101.4.11　課長/值主任 陳震川 101.4.11　經理/值班經理 黃再添 101.4.11

值班部門意見：

☑ 請如期進行

☐ 請延期至　年　月　日　時　分執行

☐ 其他

原　因：＿＿＿＿＿＿＿＿

值班主任 詹宗宏 101.4.11　值班經理 黃再添 101.4.11

執行情形：

☑ 測試前已完成 TBM 討論

☐ 測試成員已清楚明瞭事故或暫態時，將測試設備恢復可用狀態之緊急復原操作 [Rev.15]

開始時間 1200　完成時間 1310 (4月13日)

☑ 值班人員復歸後，執行人複查確認受測設備/系統已復原

執行人 劉家號　查證人 NA （品質工程師）

執行後審查意見：

異常狀況：劉家號 RPV Vent Line 2"-10F 前端 4" 管 Flange 處漏

處理措施：劉家號 WR:0A1-101142；降壓檢修後，再昇壓檢查測試 ok！

值班主任 ☑已詳細審查測試結果合乎標準　值班經理 施水仲 101.4.13

有關課課長 陳孟訓 101.4.13　有關組經理 陳榮智 101.4.13

運轉經理 張雄仁 101.4.13　品質經理 楊勝勳 100.4.13

主管副廠長 杜博文 101.4.13　主管核安副廠長 黃清順 101.4.13

核二廠運轉部門工具箱會議(TBM)查核表

偵測試驗/操作名稱：反應爐壓力偵測系統測試　程序書編號：295

日期：4/11　時間：1230　工作負責人：黃政勳　參加人員：陳信州 劉家弼 陳震川 許正基 林明堂 陳建興 陳秉修 [illegible]

一、工作討論：逐項勾選

☑工作負責人已預先研讀了解作業內容

☑屬重大操作，參考『重大暫態操作工具箱會議指引』並列為附件 ☐是 ☑否

☑偵測試驗或操作之目的說明及工作任務分配

☑核對相關系統之可用性、是否符合運轉規範、依規定日誌登錄

☑依程序書或操作討論：注意事項、各項限制、執行順序、系統流程

☑核對程序書是否須段落查證或逐步查證 ☑是 ☐否

☑操作指示(可複選)：☑是 ☐否

☐切電☐送電☐洩壓☐充壓☐洩水☑充水☑掛卡☐銷卡☑操作順序☐通訊建立

☐攜帶工具(管鉗、程序書、圖面、鑰匙等) ☐其他指示

☑橫向聯繫：與其他部門執行協調配合事項：☑是 ☐否

二、人員安全查證（一般指引）

1. 工安：可能有人員安全危險(可複選)（程序書 105）：☑是 ☐否

☐感電 ☐滑倒 ☐缺氧 ☐油霧 ☑噪音 ☐粉塵 ☐高架操作、墜落危險 ☐化學品灼傷

☐壓傷 ☐燙傷 ☐HWC 區域操作 ☑人員精神、體能狀況不良 ☐其他＿＿＿＿

針對人員安全顧慮，應有之防範措施(可複選)：

☐個人安全護具 ☐工安防護措施 ☐提醒工安三護(自護、互護、監護)

☐特殊防爆工具 ☐案例提示 ☑工安四大必遵事項（1.紅卡 2.安全帽 3.安全繩 4.接地線）

☐其他＿＿＿＿

2. 輻安：可能有輻射安全危險(可複選)：☑是 ☐否

☐高輻射區操作 ☐高污染區操作 ☐輻射變動區操作 ☐意外輻射污染或曝露

針對輻射安全顧慮，應有之防範措施：（可複選）

☐RWP(程序書 907)☐TLD 配章、劑量計☐現場 ARM 警報測試☐HP 輻射偵測管制建立

☐其他＿＿＿＿

三、機組及設備安全查證：（專業指引）

1. 可能造成機組潛在危險(可複選)（程序書 112）：☑是 ☐否

☐跳機或降載 ☑關鍵性組件 ☑設備跳脫 ☐違反運轉規範 ☐系統參數變化

☐反應度控制 ☐非預期安全設備動作 ☐其他＿＿＿＿

2. 可能造成設備潛在危險(可複選)：☑是 ☐否

☐設備尚未銷卡 ☐閥位不正確 ☐漏水 ☐漏汽（氣） ☐漏油

☐喪失設備支援系統(冷卻水、電源、潤滑油、氣源) ☐輻射污染、空浮

針對機組及設備潛在危險，應有之防範措施(可複選)：

☐『紅卡未銷，絕不操作』 ☐工作前影響評估 ☐工作中之參數監視

☐工作中之溝通聯繫 ☑指認呼喚 ☐三向溝通

☑雙重確認(程序書 120) ☐遵守程序書 ☐符合保守性決策

☐討論發生暫態或異常狀況因應措施＿＿＿＿

☐是否會引發控制室警報(含廢控室、開關場等)

☐其他＿＿＿＿

四、經驗提示及傳承：

☑以往疏失案例、經驗回饋提示(參考程序書經驗回饋欄)：☑是 ☐否

☑JIT 編號：NA ☑KM 標題 NA

☐其他(請摘述)＿＿＿＿

☑是否須召開工後會：☐是，請勾選召開依據(項目如下列，可複選) ☐否

☐非例行性、☐重要設備/3 個月(含)以上偵測試驗、☐新手參與、☐優良典範、

☐發生異常狀況(含人員作業疏失)、☐其他(如非預期設備動作，虛驚事件，建議事項等):

五、必要提醒事項：

☑1.『執行作業時，需隨時保持質疑之態度，發現與原先討論狀況有所差異時，應立即回報，再討論』

☑2.自我查證(S T A R →暫停、慎思、執行、驗證)執行方法的重點宣導(程序書 169)。

六、危險因子呼喚：Step by Step，注意 PPE 的配戴完成！好！

工具箱會議指導/查核人(值主任/值班經理)：黃允中 秦萬仁

[Rev.3

台灣電力公司 第二核能發電廠 營運手冊 新編/改版程序書校正表	編　號	295
	版　次	26
	日　期	100 年 12 月 14 日

名　　稱	反應爐壓力槽系統洩漏試驗		
認 養 人	F 班值班經理	類　別	逐步確認類(A)

校正者:

101.3.12

認 養 人:_____

DCC:_____

品質經理:_____

表　格 120A

台灣電力公司
第二核能發電廠
營運手冊
程序書修訂記錄表

編號	>95	名稱	反應爐壓力槽系統洩漏試驗			
版次	編寫者	翻譯者	初審者	複審者	校稿	
11						
版次	PCN1	PCN2	PCN3	PCN4	PCN5	PCN6
	變更頁次	變更頁次	變更頁次	變更頁次	變更頁次	變更頁次
19	林調銘	林調銘	黃秉南	林調銘		
	1.3.5.6.10.12.14	頁(1~38)	1.4.8	改>0版		
>0	簡孟銘	施永仲	施永仲			
	1.6.10	改>1版				
>1	游振垚					
	改>2版					
>2	更名					
	改>3版					
>3	游振垚	游振垚	林調銘			
	1.32.34.35	1.2 改>4版				
>4	ITS生效					
	改>5版					
>5	朱再昇(更名)	陳鎮熙	謝秉璋(更名)	游振垚	黃仁中	王明森
	1.35.36.37.38.40.43	1.7	1.3.6	1.15	1.12.14.15	1.6.10 改>6版
>6						

程序書按其使用需要而分成下列四種類型

程序書使用類別	程 序 書 使 用 要 求
逐步確認類 (A)	1.程序書需帶在身邊. 2.依照程序書的步驟順序執行每一個步驟. 3.步驟執行前先把該步驟內容讀出再執行. 4.步驟執行後視需要由工作人員簽名. 5.若執行時有兩個以上地點,可事先晒印影本,執行者在各自影本簽名, 執行完成再轉抄至執行版.
段落查證類 (B)	1.程序書需放在工作現場. 2.工作進行中不必逐步查看程序書,但需經常核對程序書,以確定所有步驟都已正確執行. 3.在每個段落或作業活動完成後,視需要由工作人員簽名. 4.若執行時有兩個以上地點,可事先晒印影本,執行者在各自影本簽名,執行完成再轉抄至執行版.
參 考 類 (C)	1.程序書不必帶到現場. 2.憑記憶執行程序書的內容與規定. 3.但 300 系列程序書後面之 VALVE CHECK LIST、INST. CHECK LIST、POWER CHECK LIST 例外,仍應逐一簽名,若由兩人以上共同執行,可事先晒印影本, 執行者在各自影本簽名, 執行完成再轉抄至執行版.
混 合 類 (D)	1.依照程序書內使用分類之標示,並參照(A)至(C) 類要求分別執行工作.

注意：本份程序書如有缺頁或晒印不清楚請立即通知補齊　　品質課 DCC 分機 (2688)

修訂日期：100-12-12

名稱：反應爐壓力槽系統洩漏試驗

一. 目的

提供詳細指示以做爲在對反應爐加蓋密封，主蒸汽安全釋放閥凸緣，控制棒驅動機構凸緣及其他一次系統邊界實施系統洩漏試驗時的準則. [Rev.20]

本程序書提供實施反應器壓力槽系統洩漏試驗之詳細指示及記錄，每一步驟均須經主控制室值班主任審核：

起始者 101.4.11 廖振宏　19:00　101.4.11

主控制室值班主任　時　間　日　期

完成者 101.4.13 陳坤元　10:32　101.4.13

主控制室值班主任　時　間　日　期

複核者 101.4.13 施永仲

值班經理

二. 討論

[附 註]

本程序書適用 #1 號機與 #2 號機. 除特別提示外， #2 號設備編號悉比照 #1 號設備編號；其中 ：

1. 機組代號 ： #1 號爲 1, #2 號機爲 2. 例如 1P-9A→2P-9A.

2. 管線代號 ： #2 號機爲 #1 號機＋50. 例如 1LH→51LH.

3. 閥代號 ： #2 號機爲 #1 號機＋150.例如 129ABB01→279ABB01.

A. 概述

1. 反應器壓力槽加蓋拉力密封時，RPV 必須加熱至華氏 70 度（攝氏 21.2 度）以上（運轉技術規範 LCO 3.4.11）

反應爐頂蓋已受拉力時，反應爐爐水加高至頂蓋凸緣上方兩呎，且頂蓋逸氣閥關閉．必要時停止至反應爐淨化系統非再生式熱交換器的冷卻水，旁路淨化除礦器，除礦器置於備用或停用，餘熱排除水泵停用，停機冷卻管路關閉及反應爐壓力由控制棒驅動水泵加壓至 200+0&200-25 磅／平方吋．用爐水淨化系統排水閥及控制棒驅動系統流量控制閥保持所欲的壓力．反應爐再循環系統最好能在低速運轉（但非必要）．

[注 意]

a. 在試驗的每一步驟，驗證反應爐冷卻水系統溫度及壓力均符合本廠運轉規範 LCO 3.4.11 中附圖 B3.4.11-1a/b（一號機）或 B3.4.11-2a/b（二號機）之限制值．

b. 要停止核機冷卻水至非再生式熱交換器前，先於控制盤 H13-P623 跨接 AA-23 及 BB-32 兩點而後取出 B21H-K84A 電驛（此時反應爐水淨化水泵正運轉中）．恢復核機冷卻水至非再生式熱交換器後，將 B21H-K84A 電驛放回，並移除跨接線．

【附註】：在取出 B21H-K84A 電驛之前，應於 H13-P623 盤 BB-35 接點拆除，B21H-K84A 電驛取出後，再把接點 BB-35 接回．在裝回 B21H-K84A 電驛之前，亦採同樣之步驟，以上爲防止 G33-F004 自動信號關閉而跳脫爐水淨化水泵．　[Rev.13]

2. 在 200 磅系統洩漏試驗中，頂蓋凸緣密封或控制棒驅動機構凸緣洩漏狀況，經副廠長判斷決定後可實施 1005-1025 磅系統洩漏試驗．在 1005-1025 磅系統洩漏試驗，反應器壓力槽由 RHR 水泵加熱至定溫（參考附圖 1 或 2），而以 CRD 及 RWCU 系統保持爐壓於每分鐘 50 磅／每平方吋加壓．反應爐水加熱後，RWCU 及 CRD 系統就如同 200 磅水壓試驗一樣加壓反應爐槽及維持爐壓於 1005~1025 磅，直到 VT-2 持照查漏人員查漏完畢後，才開始降壓．　[Rev.16]

3. 此試驗之邊界包括反應爐壓力槽、儀器、主蒸汽管隔離閥、爐水淨化系統、控制棒驅動機構、安全釋壓閥、爐頂噴洒閥及反應爐再循環系統．

4. 非屬壓力邊界耐壓部位如管閥 PACKING GASKET，O-PING…等之洩漏並不影響壓力之維持者，經洩壓檢修後，不必再次執行加壓測試. [Rev.18]

5. 執行洩漏檢查之範圍包括所有反應爐壓力邊界之管閥等設備，並以最新版之 P & ID 爲依據. [Rev.13]

B. 自動動作

* 若反應爐壓力槽壓力接近安全釋壓閥之設定點 1103Psig (77.5Kg／cm^2) 時，立即停止 CRD 水泵.

C. 連鎖

確定 RHR 停機冷卻模式在壓力到達 135Psig (9.5Kg／cm^2) 前停用.

三. 參考資料

A. 終期安全分析報告書，第 5 章，第 6 章.

B. 管路儀器圖 M-10，SH.1，2，3，4，5 和 6 反應鍋爐系統，及 M-13，SH.1.

C. 中鼎圖. [Rev.17]

四. 先決條件

1. 水質要求必須符合.

通知環保化學組執行爐水水質取樣及填寫『附表三 反應爐壓力槽系統洩漏測試加壓前化學查對表』並確認水質均符合限值。

(1) 導電率(at 25℃)：限值：≦10.0uS/cm

(2) 氯離子 ：限值：≦0.5ppm

(3) PH 值 ：限值：5.3~8.6

執行者簽名：蘇文彬 5/11 [Rev.19]

1.1 若執行壓力槽系統洩漏測試時有可能使反應爐爐水溫度超過 100℃，請執行附表四合乎要求後測試時爐水溫度可超過 100℃；若測試時爐水溫度不會超過 100℃則無須執行附表四，但洩漏測試需注意不可超過 100℃。

勾選本次洩漏測試爐水溫度： ☑ 可超過 100℃　　☐ 不可超過 100℃

執行者簽名：_____ [Rev.23]

2. 以下反應爐壓力，溫度儀器及飼水儀器必須可用

執行者簽名：_____ [Rev.19]

(1) C03 盤寬範圍壓力指示器 C34-R605.

(2) C03 盤窄範圍壓力記錄器 C34-R609.

(3) C01 盤事故後壓力記錄器 B21-R623 A/B.

(4) C02 盤停機灌水水位指示器 AA-LI-410

且傳送器（B21-N027）加裝之臨時偏壓已恢復

儀執行者/日期 _____ [Rev.16]

(5) C02 盤反應爐槽溫度記錄器 AA-TR-497 _____ [Rev.19]

(6) C12 盤反應爐飼水及再循環系統儀器.

(7) C02 盤再循環泵進口溫度.

3. 反應爐頂蓋凸緣，槽殼凸緣及頂蓋溫度大於華氏 70 度.

4. 反應爐頂蓋受拉力密封.

5. 反應器頂蓋活動管路已裝妥(爐頂噴洒及寬範圍水位)且寬範圍水位參考水柱已充水.

6. 所有控制棒驅動機構均裝妥，充水及逸氣.

7. 所有控制棒液壓控制單元均已歸於使用位置.

※ 6，7 兩項可於執行 CRD SCRAM TIMING 之前完成 [Rev.15]

8. 反應爐主開關在 SHUTDOWN/REFUEL 位置.

9. 逸氣閥 B21-F001，F002，F005 開啓.

10. 檢查下列各閥均可開並關閉：

a. MSIV B21-F022A(HV-230)

MSIV B21-F022B(HV-250)

MSIV B21-F022C(HV-220)

MSIV B21-F022D(HV-240)

MSIV B21-F028A(HV-237)

MSIV B21-F028B(HV-257)

MSIV B21-F028C(HV-227)

MSIV B21-F028D(HV-247)

b. RCIC E51-F063(HV-143)

RCIC E51-F064(HV-144)

RCIC E51-F076(HV-172)

RCIC E51-F013(HV-109)

c. HPCS 系統 E22-F004(HV-116)

LPCS 系統 E21-F005(HV-112)

d. 主蒸汽管洩水閥 B21-F019(HV-302)

主蒸汽管洩水閥 B21-F016(HV-301)

e. 反應爐槽洩水閥 BB-144AB01 及 BB-144AB02 [Rev.18]

f. 爐頂逸氣閥 B21-F005 (HV-117) [Rev.18]

g. RHR E12-F042A(HV-118)

RHR E12-F042B(HV-165)

RHR E12-F042C(HV-194)

RHR E12-F023 (HV-211)

RHR E12-F053A(HV-122)

RHR E12-F053B(HV-207)

RHR E12-F008(HV-128)

RHR E12-F009(HV-127)



h. 飼水管 B21-F065A(HV-108)

B21-F077A (122AZB05)

B21-F076A (122AZB06)

B21-F064A (122AZB08)

B21-F063A (122AZB07)

B21-F031A (122RB04)

B21-F030A (122RB03)

AA-122RB14 [Rev.18]

AA-122RB13 [Rev.18]

AA-122RB07

AA-122RB08

飼水管 B21-F065B (HV-107)

B21-F076B (122AZB15) [Rev.25]

B21-F077B (122AZB16) [Rev.25]

B21-F064B (122AZB14) [Rev.25]

B21-F063B (122AZB13) [Rev.25]

B21-F031B (122RB06)

B21-F030B (122RB05)

AA-122RB09 [Rev.18]

AA-122RB10 [Rev.18]

11. 乾井冷卻器保持可用並且視需要運轉. [Rev.20]

12. 反應爐再循環泵 A/B 之 1,2 號水封，流量控制閥及進出口隔離閥均已逸氣.（爐壓在約 100PSIG 時須再行逸氣） ✓

註：若反應爐再循環泵 A/B 之 1,2 號水封，流量控制閥及進出口隔離閥未檢修或洩水且 CRD Seal Purge 未停用及水位未低於軸封高度則免執行，會「機」確認。 (機) [Rev.20]

13. CRD 泵運轉中，且水泵由冷凝水回水管取水較佳. ✓

14. 再循環水泵水封沖淨（由 CRD）使用中，且流量調於 2.5~3GPM. ✓ [Rev.25]

15. RWCU 系統 DUMP，廢料或冷凝器系統要可用. ✓

五. 限制條件

A. 運轉之限制條件-運轉規範

1. 當有照射過燃料在爐心內之任何時間，反應爐冷卻水系統之壓力槽頂部壓力不得大於1325Psig.（參閱運轉規範 2.1.2） [Rev.25]

2. a. 反應爐壓力槽除非爐溫符合運轉規範 LCO 3.4.11 中附圖 B3.4.11-1a/b(一號機) B3.4.11-2a/b (二號機)(本程序書附圖 1/2)，否則不得加壓.

   b. 水壓試驗或洩漏試驗進行中任何一小時周期內爐水溫升或溫降率小於或等於 20°F 時 P-T 限制曲線採 A 曲線，否則應採 B 曲線.

3. 反應爐頂蓋鎖緊螺栓除非爐殼凸緣及頂蓋凸緣及螺栓溫度大於等於（70 + 無延性轉變溫度）否則不得施行拉力.

4. 反應爐壓力槽除非水質在下列限值內，否則不得加壓（參閱技術手冊 TR 3.4.5） [Rev.25]

   PH 值 5.3~8.6

   導電率(at 25℃)：限值≦10.0 uS/cm

   氯離子濃度≦0.5PPM [Rev.19]

5. 反應爐溫上升或下降率，應依運轉技術規範 3.4.11 規定.

6. 運轉規範 LCO 3.10.1：若下述 4 項 MODE 3 的 LCO 均符合，爲了執行洩漏及靜水壓測試，運轉規範表 1.1-1 MODE 4 的爐水平均溫度可改爲“不適用”，而不被認爲在 MODE 3 運轉，及 LCO 3.4.10 RHR 停機冷卻系統--冷停機，可以暫停適用。

   a. LCO 3.3.6.2 二次圍阻體隔離儀器中，表 3.3.6.2-1 的功能 (Function) 1、3、4 及 6。

   b. LCO 3.6.4.1 二次圍阻體。

   c. LCO 3.6.4.2 二次圍阻體隔離閥。

   d. LCO 3.6.4.3 SGTS。

狀況	改正行動	完成時限
A. 任一上述要求不符合。	(A.1)『註：在 MODE 4 的行動措施，包括降低爐水溫度≦100℃』進入相關 LCO 的適用狀況 (Condition) 或 (A.2.1) 停止可能增加爐水溫度或壓力的作業 及 (A.2.2) 降低爐水平均溫度到≦100℃ (212°F)。	(A.1) 立即 (A.2.1) 立即 (A.2.2) 24 小時

B. 行政限制

1. 反應爐壓力應以控制的速率升降.
2. 若需要實施 1005~1025Psig 的系統洩漏試驗，則只有參與試驗的人員才允許進入乾井.
3. 參與洩漏檢查人員，應具備至少 VT-2 LEVEL-I 資格（依照本公司「非破壞檢測人員考訓與資格審定程序」之規定）未具持照查漏人員若發現洩漏痕跡，須由持照者再確認. [Rev.18]

六. 注意

A. 執行此測試前核對所有安全釋放閥的 CONTROL SW 均已置於 AUTO 位置. [Rev.13]

B. 第一個安全釋放閥將於 1103Psig 動作釋放，壓力不要接近此設定點.

C. 查漏時，注意管路或水噴射.

D. 在執行 RPV 洩漏試驗之過程中若發生 RX 急停時，應立刻停止 CRD PUMP 並以 RWCU 或其他方法降低 RPV 壓力.

E. 執行此份程序書時，應特別注意勿發生冷爐過壓.［基礎一］ [Rev.15]

F. 依據 ASME SEC.XI.1995 THROUGH 1996A 法規要求，洩漏測試之 VT-2 檢查（第二類目視檢查），到達額定壓力後，即可檢查（無持壓時間之要求）。但如有法規修理/更換後之洩漏測試，必須於此時併同執行時，必須等到達額定壓力且具備充份之持壓時間後執行，無保溫之設備及管路至少 10 分鐘持壓時間，有保溫之設備及管路持壓時間至少 4 小時後，方可執行 VT-2 洩漏檢查. [Rev.18]

二核能發電廠 值班部門專用 101. 4. 11 劉家銘

☐ 不需持壓時間	執行前 TBM	值班部門：＿＿＿＿＿＿簽名
☑ 需持壓 10 分鐘	工具箱會議	品 質 組：陳冰箱＿＿＿＿簽名
☐ 需持壓 4 小時	共同討論：	機 械 組：王建明＿＿＿＿簽名

七. 操作程序

A. 反應爐壓力槽加壓

審核

_____同時間以 DATA SHEET A 及程序書 614.6 記錄表 B/D 監視及記錄反應爐冷卻水系統之溫度壓力及反應器金屬溫度（註：每 30 分鐘記錄一次），並應依金屬溫度限制曲線之右方（如附圖 1 FOR UNIT 1，附圖 2 FOR UNIT 2）（曲線若爐水溫升溫降率超過 20°F/HR 則採用 B 曲線，否則以 A 曲線）　[Rev.19]

執行者簽字

_____1. 將反應爐爐水升高至停機灌水水位指示 B21-R605 約 800 cm（此水位計滿水位約爲 860 cm）

_____2. RHR 使用停機冷卻模式，熱交換器旁通閥 E21-F048A 及（B）開啓而熱交換器進出口閥關閉.（在壓力槽金屬溫度必須提高時使用）

_____3. 使用 RHR 系統循環經反應爐以加熱爐水. 爐水溫度攝氏 37.1 度，反應爐頂蓋凸緣溫度攝氏 34.2 度，反應爐殼凸緣溫度攝氏 35.2 度.

_____4. 向運轉組績效課取得爐心歷年累計發熱量（MIV-HR），除以單年全功率運轉發熱量 2894 * 24 * 365 (25351440) MWHR，以算得 EFPY (EFFECTIVE FULL POWER YEAR) 值，若非上班期間，無法取得爐心累計發熱量，則以實際商轉年如作爲 EFPY 值（一號機商轉日期： 70.12.28，二號機商轉日期： 72.3.16）.　[Rev.14]

EFPY: 24786

785 60 725

_____4.1 依以下步驟操作而爐溫、爐壓變化時，若爐溫變化率大於 20°F/hr，則 P-T 限制值採用 B 曲線，若爐溫變化率小於或等於 20°F/hr，則配合 EFPY 值採用適當之 A 曲線.

_____5. 關閉逸氣閥 B21-F001，F002 及 F005.

_____6. 當所有反應爐槽金屬溫度均大於附圖 1/2 之曲線（參看下列 [附註]）後，以 CRD 系統打入更多的水，使爐壓增至 50Psig.

（水壓試驗所需之最低溫度爲 70°F）

[附 註]

若以上述方式無法（或很困難）達到所需之溫度時，下列步驟可用來加熱反應爐：

（但溫度上升過程須依步驟 4.1 採取適當之 P-T 限制曲線）　[Rev.14]

a. 停止 RHR 之停機冷卻模式.

b. 將爐水降至 400 cm.

c. 檢查反應爐逸氣閥（B21-F001，F002，F005）及淨化系統之排水閥是否關閉.

d. 關閉所有內外側之主蒸汽隔離閥.

e. 檢查閥 B21-F016 及 F019 是否關閉.

f. 控制 CRD 流量使爐水升至凸緣附近（700~750 cm）且加壓反應爐至 200~250Psig，而後使用 RWCU 排水閥保持爐壓.

g. RPV 加壓期間，跨接 RPS 高壓力急停信號（1/2 C09 跨接 CC-68 與 CC-69 接點，FF-75 與 FF-76 接點；1/2C11 跨接 CC-68 與 CC-69 接點，FF-75 與 FF-76 接點）. [Rev.17]

值班部門 101.4.11 劉家銘

g. 將再循環水泵 A 及 B 之高速運轉連鎖線路予以旁路.

值班部門 101.4.11 劉家銘

h. 在 H13-P612 控制盤內跨接 BB-27，CC-33 及 BB-26，CC-32.

* 在低頻發電機組間內將開關 S118A，S119A，S120A 及 S118B，S119B，S120B 由［正常］轉至［旁路］. 要結 log，此項 Low To Hi 之前執行

h. 流量控制閥在最小位置（15% 開度）時，將再循環水泵由低速切換至高速.

注意事項： [Rev.14]

切換限制條件如下： [Rev.14]

(1) 切換時：（請參考附表）

a. 金屬溫度限制在 60℃(140°F)～85℃(185°F) 之間.

b. 爐水溫度保持低於 100℃.

c. 爐壓需與 P-T 曲線中 B CURVE 金屬溫度對應之爐壓保持有 5 kg/cm^2 餘裕.

d. 切換時爐壓不得超過 40 kg/cm^2，但需 21 kg/cm^2 (300 PSIG) 以上始得切換. [Rev.14]

(2) 切換後之高速運轉期間，限制爐水溫度不超過 100℃，爐壓不超過 P-T 曲線（依步驟 4.1 採適當曲線）.

(3) 在 SOLID 狀態下 RECIR. PUMP 低速切換至高速或 FCV 開大時，將造成爐溫、爐壓上升，必需注意其變化，必要時以調整 RWCU DUMP FLOW 來降低爐壓或將 RECIR. PUMP 切換至低速以降低爐溫，以避免爐壓、爐溫超過限制.

i. 加熱爐水使水溫升至攝氏 90~95 度（不可超過攝氏 100 度）後，再將兩台再循環水泵由高速切換至低速.

j. 加熱反應爐頂蓋及槽凸緣金屬至所須的溫度（參看附圖 1/2）.

k. 恢復步驟 g 中再循環水泵 A 及 B 之高速運轉連鎖至正常狀態.

____ 7. 降低 CRD 至能維持壓力之最小流量.

____ 8. 再循環水泵 A,B 之第 1,2 號水封，流量控制閥 A,B 及進出口隔離閥實施逸氣.

____ (機) 註：若反應爐再循環泵 A/B 之 1,2 號水封，流量控制閥及進出口隔離閥未檢修或洩水且 CRD Seal Purge 未停用及水位未低於軸封高度則免執行，會「機」確認。

____ 9. 利用淨化排水閥及 CRD 流量控制閥，將反應爐加壓並保持於 200Psig 之試驗壓力.

____ 9-1. 紀錄再循環泵水封壓力 A 台#1 14 kg/cm² #2 7 kg/cm² B 台#1 14 kg/cm² #2 7 kg/cm²。

註：#2 水封壓力約爲#1 水封壓力之一半，若有異常請立即請相關組檢修。

[Rev.25]

____ 10. 下列項目進行查漏：(本項工作爲雙重確認工作項目，須由執行者與覆查者同時簽名確認，複查者需具備目視檢測員資格.)

執 行 者/ 複 查 者 [Rev.17]

a. 所有控制棒殼凸緣. /

b. 十六個主蒸汽管安全釋放閥凸緣. /

c. 檢查下列各閥內部填封是否洩漏. /

(1) MSIV(內側) B21-F022A /

B21-F022B /

B21-F022C /

B21-F022D /

(2)爐水淨化系統 G33-F100

G33-F106

G33-F102

G33-F101

BP-144PB02 [Rev.18]

G33-F001

(3) RCIC 閥 E51-F063

(4) 反應爐再循環系統

B33-F023A

B33-F067A

B33-F060A

B33-F023B

B33-F067B

B33-F060B

(5) 所有列於四.10.a-h 邊界之閥及管路.

(6) 檢查下列儀器架上的儀器：

R03

R04

R05

R06

R07

R08

R09

R01

R02

R11

R12

R13

1S06

1S03

(7)檢查下列腔室（CHAMBER）上之 ROOT 閥：

101ESB01

101ETB01

101EUB01

101EWB01

101EVB01

101EXB01

101EYB01

101FAB01

d. 檢查下列各閥迫緊有無洩漏現象，如有應立即鎖緊或更新： [Rev.13]

AA - 122AZB01

AA - 122AZB02

AA - 122AZB03

AA - 122AZB04

AA - 122RB11

AA - HV - 107

AA - HV - 108

11. 步驟 10 之查漏項目若洩漏不能合乎標準（註），依 B 項降壓並回復正常以便作修理工作．合乎標準或不合乎標準，升降壓仍依步驟 4.1 所依曲線執行． [Rev.18]

註： 洩漏標準是指其洩漏率可能造成設備損壞或影響壓力建立或維持，且對日後機組運轉造成影響．洩漏係指各種機械接點如 O-RING，GASKET，GLAND PACKING，SOCKET....等 STATIC SEAL 洩漏，不包括 PIPING 或各種 PRESSURE CONT-AINER． [Rev.15]

陳信州 101.4.12

12. 檢查至淨化系統非再生式交換器之冷卻水是否關閉，及水溫高於華氏 135 度時，除礦器才加以旁路.

黃政勳 101.4.12

*13. 利用淨化系統之排水閥及 CRD 流量控制閥將爐壓加至 1005~1025Psig 之試驗壓力. (請注意勿過壓)

黃政勳 101.4.12

14. 紀錄再循環泵水封壓力 A 台#1 70.5 kg/cm² 、#2 33 kg/cm² 。B 台#1 12.5 kg/cm² 、#2 35 kg/cm² 。

註：#2 水封壓力約爲#1 水封壓力之一半，若有異常請立即請相關組檢修。

[Rev.22]

黃政勳 101.4.12

15. 檢查下列項目是否洩漏，若洩漏不合要求，則降壓修理洩漏處. [Rev.25]

註：其他非屬步驟 10 所列之處，若非屬壓力邊界耐壓部位如管閥 PACKING GASKET，O-RING… 等之洩漏並不影響壓力之維持者，經洩壓檢修後，不必再次執行加壓測試。 [Rev.15]

	執行者/複查者	
a. 所有控制棒殼凸緣.	/	[Rev.25]
b. 十六個主蒸汽管安全釋放閥凸緣.	/	[Rev.25]
c. 檢查下列各閥內部填封是否洩漏.	/	[Rev.25]
(1) MSIV(內側) B21-F022A	/	
B21-F022B	/	
B21-F022C	/	
B21-F022D	/	
(2)爐水淨化系統 G33-F100	/	
G33-F106	/	
G33-F102	/	
G33-F101	/	
BP-144PB02	/	[Rev.18]
G33-F001	/	

(3) RCIC 閥　　E51-F063

(4) 反應爐再循環系統

B33-F023A

B33-F067A

B33-F060A

B33-F023B

B33-F067B

B33-F060B

(5) 所有列於四.10.a-h 邊界之閥及管路.

(6) 檢查下列儀器架上的儀器：

R03

R04

R05

R06

16. 1005~1025Psig 水壓試驗完畢. [Rev.25]

17. 使用本節之 B 項降壓，且恢復系統至正常狀況. [Rev.25]

B. 降壓及回復正常狀況

執行者簽字　審核

1. 由 CRD 流量控制閥降低流量，並增加淨化系統排水閥之排水流量，使爐壓降至正常.

2. 反應爐降壓後，打開頂蓋逸閥 B21-F001 及 F002.

3. 反應爐洩壓後，立即將本節 A.6.f * 之 RPS 高壓力急停跨接信號復原. [Rev.16]

復查者：

4. 以淨化系統排放爐水至 50 吋水位.(127cm)

[注 意]

在實行洩水操作時，必須經常查看反應爐水位及爐水淨化系統排放流量，以確定乾井機件洩水槽的水不會由頂蓋逸氣管抽入反應爐.

5. 反應爐爐壓降至零壓力後，如預期 24 小時內機組不會抽棒啓動，則將再循環泵停止運轉並於 4 小時內隔離馬達冷卻水以防止絕緣變差。

[Rev.25]

6. 恢復所有系統及閥回復正常.

[注 意]

請查証 PCIS GROUP 5 之隔離信號須 RESET 以恢復 RHR SHUTDOWN COOLING 可用.

[Rev.16]

表 A RPV 重要運轉參數 (DATA SHEET A)

[Rev.19]

ITEM / TIME	RPV POST ACCIDENT RANGE RX PRESS (kg/cm²)	RPV NARROW RANGE RX PRESS (kg/cm²)	RPV WIDE RANGE RX PRESS (kg/cm²)	RX VESSEL HEAD FLANGE TEMP (℃)	RX VESSEL BOTTOM HEAD TEPM (℃)	RX VESSEL SHELL FLANGE TEMP (℃)	RX BOTTOM HEAD DRAIN TEMP (℃)	RPV WATER TEMP (℃)
	B21R623A/B (C01 盤)	C34-R609 (C03 盤)	C34-R605 (C03 盤)	AA-TR-497 (C02 盤)	AA-TR-497 (C02 盤)	AA-TR-497 (C02 盤)	AA-TR-497 (C02 盤)	
4/12 09:00	0.51 / 0.50	NA	0	61.8	67.3	63.9	81.1	79.6
09:30	14.97	NA	14.0	63.4	68.8	65.0	83.7	82.2
10:00	14.80	NA	14.73	64.8	69.4	66.3	84.1	83.7
10:30	15.61	NA	15.37	66.5	70.5	67.7	85.7	85.3
11:00	30.49	NA	30.47	68.2	71.6	69.3	89.3	86.9
11:30	32.56	NA	32.52	69.7	73.9	70.8	93.2	92.5
12:00	28.19	NA	28.87	71.9	78.6	73.3	99.0	98.9
12:30	28.35	NA	28.44	74.4	80.0	75.9	75.9	97.4
13:00	27.33	NA	27.69	76.9	79.7	77.8	97.3	96.5
13:30	28.25	NA	30.32	78.5	79.2	79.1	96.6	95.9
14:00	41.16	NA	39	79.6	80.0	79.9	100.2	99.3

1. RPV 於進行洩漏試驗時應依圖 295-1（一號機）295-2（二號機）金屬溫度限制曲線之右方（若爐水溫升率超過每小時華氏 20 度則採 B 曲線否則以 A 曲線）
2. 每 30 分鐘記錄一次（記錄 B21-623A 或 B 其中之一即可）

表 A RPV 重要運轉參數 (DATA SHEET A)

[Rev.19]

ITEM / TIME	RPV POST ACCIDENT RANGE RX PRESS (kg/cm^2)	RPV NARROW RANGE RX PRESS (kg/cm^2)	RPV WIDE RANGE RX PRESS (kg/cm^2)	RX VESSEL HEAD FLANGE TEMP (℃)	RX VESSEL BOTTOM HEAD TEPM (℃)	RX VESSEL SHELL FLANGE TEMP (℃)	RX BOTTOM HEAD DRAIN TEMP (℃)	RPV WATER TEMP (℃)
	B21R623A/B (C01 盤)	C34-R609 (C03 盤)	C34-R605 (C03 盤)	AA-TR-497 (C02 盤)	AA-TR-497 (C02 盤)	AA-TR-497 (C02 盤)	AA-TR-497 (C02 盤)	
4/12 14:30	51.59	NA	51.62	80.8	83.1	81.6	105.9	105.1
15:00	54.02	NA	53.71	82.6	86.6	83.5	111.3	110.7
15:30	55.59	NA	55.27	86.4	91.0	87.4	118.9	118.1
16:00	58.30	NA	58.33	90.4	96.9	92.3	126.9	126.1
16:30	58.78	NA	58.80	94.5	101.4	95.3	133.8	132.8
17:00	57.63	N/A	56.05	99.0	104.6	99.5	134.6	134.2
17:30	70.19	N/A	69.34	103.3	105.7	103.5	134.9	134.7
18:00	71.22	N/A	71.24	106.6	106.1	108.2	135.6	135.2
18:30	71.22	N/A	71.25	108.6	106.8	109.9	136.1	135.8
19:00	70.64	N/A	70.65	111.5	107.4	111.7	136.7	136.5

1. RPV 於進行洩漏試驗時應依圖 295-1（一號機）295-2（二號機）金屬溫度限制曲線之右方（若爐水溫升率超過每小時華氏 20 度則採 B 曲線否則以 A 曲線）
2. 每 30 分鐘記錄一次（記錄 B21-623A 或 B 其中之一即可）

表 A RPV 重要運轉參數 (DATA SHEET A)

[Rev.19]

ITEM / TIME	RPV POST ACCIDENT RANGE RX PRESS (kg/cm^2)	RPV NARROW RANGE RX PRESS (kg/cm^2)	RPV WIDE RANGE RX PRESS (kg/cm^2)	RX VESSEL HEAD FLANGE TEMP (℃)	RX VESSEL BOTTOM HEAD TEPM (℃)	RX VESSEL SHELL FLANGE TEMP (℃)	RX BOTTOM HEAD DRAIN TEMP (℃)	RPV WATER TEMP (℃)
	B21R623A/B (C01 盤)	C34-R609 (C03 盤)	C34-R605 (C03 盤)	AA-TR-497 (C02 盤)	AA-TR-497 (C02 盤)	AA-TR-497 (C02 盤)	AA-TR-497 (C02 盤)	
19:30	70.47	70.63	70.59	112.5	107.4	112.7	137.1	136.7
20:00	70.53	70.82	70.68	113.9	107.9	114.5	137.8	137.4
20:30	70.04	70.26	70.38	114.9	108.3	115.1	138.2	137.8
21:00	70.66	70.72	70.51	116.1	108.7	116.3	138.8	138.3
21:30	70.28	70.62	70.26	117.6	109.0	116.5	139.2	139.0
22:00	70.28	70.37	70.26	118.1	109.4	117.6	139.7	139.4
22:30	69.98	70.15	70.02	118.1	109.7	118.0	140.0	139.7
23:00	70.63	70.42	70.38	119.5	110.0	118.2	140.4	140.2
23:30	70.42	70.61	70.47	120.2	110.4	118.8	141.0	140.6
24:00	70.47	70.83	70.50	120.8	110.4	119.4	141.3	140.9

1. RPV 於進行洩漏試驗時應依圖 295-1（一號機）295-2（二號機）金屬溫度限制曲線之右方（若爐水溫升率超過每小時華氏 20 度則採 B 曲線否則以 A 曲線）
2. 每 30 分鐘記錄一次（記錄 B21-623A 或 B 其中之一即可）

表 A RPV 重要運轉參數 (DATA SHEET A)

[Rev.19]

ITEM / TIME	RPV POST ACCIDENT RANGE RX PRESS (kg/cm^2)	RPV NARROW RANGE RX PRESS (kg/cm^2)	RPV WIDE RANGE RX PRESS (kg/cm^2)	RX VESSEL HEAD FLANGE TEMP (℃)	RX VESSEL BOTTOM HEAD TEPM (℃)	RX VESSEL SHELL FLANGE TEMP (℃)	RX BOTTOM HEAD DRAIN TEMP (℃)	RPV WATER TEMP (℃)
	B21R623A/B (C01 盤)	C34-R609 (C03 盤)	C34-R605 (C03 盤)	AA-TR-497 (C02 盤)	AA-TR-497 (C02 盤)	AA-TR-497 (C02 盤)	AA-TR-497 (C02 盤)	
4/13 00:30 劉家銘	70.34	70.58	70.38	121.6	110.7	121.0	142.0	141.5
01:00	62.15	63.16	63.10	121.9	111.3	120.9	142.1	141.8
01:30	13.67	NA	13.46	121.9	111.1	120.9	142.3	141.8
02:00 劉家銘 101.4.13	3.19	NA	3.12	122.2	110.6	120.7	134.8	135.6
02:30	1.61	NA	1.51	121.6	102.5	120.3	109.8	110.3
03:00	0.19	NA	0.98	117.3	85.1	114.2	88.3	89.9
03:30	0	NA	0	116.8	77.0	108.2	78.4	78.9
06:00	0.34	NA	0.2	103.8	62.5	99.1	66.0	65.4
06:30	0.38	NA	0.2	96.7	64.2	92.15 張建發	67.8	67.3
05:00	0.42	NA	0.2	89.9	60.9	85.2	69.6	69.1

1. RPV 於進行洩漏試驗時應依圖 295-1（一號機）295-2（二號機）金屬溫度限制曲線之右方（若爐水溫升率超過每小時華氏 20 度則採 B 曲線否則以 A 曲線）
2. 每 30 分鐘記錄一次（記錄 B21-623A 或 B 其中之一即可）

表 A RPV 重要運轉參數 (DATA SHEET A)

[Rev.19]

ITEM / TIME	RPV POST ACCIDENT RANGE RX PRESS (kg/cm^2)	RPV NARROW RANGE RX PRESS (kg/cm^2)	RPV WIDE RANGE RX PRESS (kg/cm^2)	RX VESSEL HEAD FLANGE TEMP (℃)	RX VESSEL BOTTOM HEAD TEPM (℃)	RX VESSEL SHELL FLANGE TEMP (℃)	RX BOTTOM HEAD DRAIN TEMP (℃)	RPV WATER TEMP (℃)
	B21R623A/B (C01 盤)	C34-R609 (C03 盤)	C34-R605 (C03 盤)	AA-TR-497 (C02 盤)	AA-TR-497 (C02 盤)	AA-TR-497 (C02 盤)	AA-TR-497 (C02 盤)	
05:30	0.43	~~張進發~~ NA	0.2	86.3	61.4	81.3	71.3	70.4
06:00	0.53	NA	0.37	83.5	62.2	77.8	72.4	71.8
06:30	12.39	NA	12.20	80.5	62.8	74.9	73.9	73.3
07:00	34.84	NA	34.82	77.8	64.3	72.3	79.8	78.7
07:30	35.58	NA	35.59	75.7	69.2	71.5	88.6	87.9
08:00	35.62	NA	35.63	75.9	75.3 劉家銘	73.0	97.1	96.1
08:30	42.75	NA	39.5	79.4	87.2	77.7	108.8	108.1
09:00	51.12	NA	51.05	82.6	88.7	82.1	116	115.1
09:30	54.95	NA	54.23	86.3	92.6	86.5	122.6	121.3
10:00	58.19	NA	58.18	90.6	97.1	91.5	128.4	127.7

1. RPV 於進行洩漏試驗時應依圖 295-1（一號機）295-2（二號機）金屬溫度限制曲線之右方（若爐水溫升率超過每小時華氏 20 度則採 B 曲線否則以 A 曲線）
2. 每 30 分鐘記錄一次（記錄 B21-623A 或 B 其中之一即可）

表 A RPV 重要運轉參數 (DATA SHEET A)

[Rev.19]

ITEM / TIME	RPV POST ACCIDENT RANGE RX PRESS (kg/cm^2)	RPV NARROW RANGE RX PRESS (kg/cm^2)	RPV WIDE RANGE RX PRESS (kg/cm^2)	RX VESSEL HEAD FLANGE TEMP (℃)	RX VESSEL BOTTOM HEAD TEPM (℃)	RX VESSEL SHELL FLANGE TEMP (℃)	RX BOTTOM HEAD DRAIN TEMP (℃)	RPV WATER TEMP (℃)
	B21R623A/B (C01 盤)	C34-R609 (C03 盤)	C34-R605 (C03 盤)	AA-TR-497 (C02 盤)	AA-TR-497 (C02 盤)	AA-TR-497 (C02 盤)	AA-TR-497 (C02 盤)	
10:30	70.81	NA	70.83	96	102.9	96.8	136.2	135.2
11:00	17.7	NA	17.31	107.3	107.8	105.3	136.9	136.6
11:30	2.4	NA	2.4	108.7				

WAT NONE

1. RPV 於進行洩漏試驗時應依圖 295-1（一號機）295-2（二號機）金屬溫度限制曲線之右方（若爐水溫升率超過每小時華氏 20 度則採 B 曲線否則以 A 曲線）
2. 每 30 分鐘記錄一次（記錄 B21-623A 或 B 其中之一即可）

LEAK CHECK LIST FOR RPV

(RPV HEAD PIPING AND UNDERVESSEL)

～ RPV HEAD PIPING CHECKLIST ～

	LOCATION	CHECK AT RATED PRESS	CHECK BEFORE DEPRESS	REMARK
		INITIAL	DATE	
1.	RPV HEAD TO "TEE (6 × 6 × 4)" (6" HORIZONTAL FLANGE)	/	/	
2.	"T" TO 6 INCH RHR PIPE (6" HORIZONTAL FLANGE)	/	/	
3.	"T" TO 4 INCH VENT INSTRUMENT PIPE (4" VERTICAL FLANGE)	/	/	3法蘭滴水 →更換組件→已OK
4.	RHR 6" TO 6" CAVITY PENETRATION (6" HORIZONTAL FLANGE)	劉家坤 101.4.12	劉家坤 101.4.12 /	
5.	VENT PIPE 2" -IDF TO 2 INCH CARITY PENETRATION (2" HORIZONTAL FLANGE)	/	/	
6.	WIDE RANGE LEVEL PIPE 3/4"-1ES TO 3/4"-1ES CAVITY PENETRATION (3/4" HORIZONTAL FLANGE)	/	/	
7.	LEAK-OFF LINE PIPE(E51-F066) 3/4"-5AQ TO 3/4"-5AQ CAVITY PENETRATION (3/4" HORIZONTAL FLANGE	/	/	

VERIFY BY 劉家坤、安翰翔

Q.C. VERIFY BY N/A

[Rev.20]

~ RPV UNDERVESSEL CHECK LIST~

	LOCATION	CHECK AT RATED PRRESS	CHECK BEFORE DEPRESS	REMARK
		INITIAL/DATE	INITIAL/DATE	
1	CRD MOUNTING FLANGE (TOTAL 145)	陳沫	陳沫	
2	LPRM MOUNTING FLANGE (TOTAL 33)	陳沫	陳沫	
3	SPARE MOUNTING FLANGE (TOTAL 4)	陳沫	陳沫	
4	WRNM MOUNTING FLANGE (TOTAL 8)	10Φ. 4/12.	10Φ. @ 4/12	

VERIFY BY 陳沫 謝[illegible]

Q.C. VERIFY BY NA

RPV BOTTOM HEAD CHECK LIST ～ VT-2 目視檢查記錄表 ～

[Rev.20]

	LOCATION	QT'Y	CHECK AT RATED PR. INITIAL/DATE	CHECK BEFORE DEPR. INITIAL/DATE	REMARK
1.	CRD HOUSING WELD (HOUSING TO RPV BOTTOM HEAD)	145 CRD	詹	詹	
2.	CRD HOUSING (OUTSIDE RPV BOTTOM HDAD)	145 CRD	詹	詹	
3.	CRD HOUSING FLANGE METAL O-RING 159A2816 P002	145 CRD	詹	詹	
4.	HCU INSERT PORT METAL O-RING 159A2816 P001	145 CRD	詹	詹	
5.	HCU WITHDRAW PORT METAL O-RING 159A2816 P001	145 CRD	詹 101.4/12	詹 101 4/12	
6.	IN-CORE PENETRATION WELD (IN CORE HOUSING TO RPV BOTTOM HEAD)	WRNM × 8 SPARE × 4 LPRM × 33			
7.	IN-CORE HOUSING (OUTSIDE RPV BOTTOM HEAD)	WRNM × 8 SPARE × 4 LPRM × 33			
8.	IN-CORE HOUSING FLANGE METAL O-RING 159A2816 P004	WRNM × 8 SPARE × 4 LPRM × 33			
9.	BACK SEAT BETWEEN DRY-TUBE AND FLANGE	WRNM × 8 SPARE × 4 LPRM × 33			
10.	DRY TUBE (PRESSURE BOUNDARY)	WRNM × 8 SPARE × 4 LPRM × 33	4/12	4/12	
11.	RPV BOTTOM DRAIN NOZZLE AND PIPING 2″ -SCH160-SA106-B	1			
12.	CORE DIFF. PRE.SSURE SENSING LINE NOZZLE AND PIPING 1″ -SCH-80-SA312 TP304	1			

檢 查 者 (EXAMINER)：詹 LEVEL：I DATE：4/12

複 查 者 (VERIFY)　：[illegible] LEVEL：I DATE：4/12

NOTE： 1. 如有任何洩漏請註明於 REMARK 欄，並說明於次頁且須評估表評估.

2. 無洩漏時僅於 REMARK 欄註明即可，其它表格無須使用. [Rev.15]

3. 保溫無須拆除，亦不需進入保溫層內，除非有洩漏，確定洩漏來源時.

附錄　無洩漏　塗刷漆　VT-II L-II　　[Rev.13]

目視洩漏檢測記錄表

檢查區域：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿　機　組：1＿＿＿＿＿＿＿＿

檢 查 者：＿＿＿＿＿＿＿＿　等　級：＿＿＿＿＿＿　檢查日期：＿＿＿＿＿＿

使用工具：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿　有無保溫：＿＿＿＿＿＿＿＿

照明方式：

檢查結果（如必要請繪圖說明）：

審 查 者：＿＿＿＿＿＿　等　級：＿＿＿＿＿＿　日　期：＿＿＿＿＿＿

（無洩漏時，不需用此表格）

RPV BOTTOM HEAD CHECK LIST ～目視檢測評估表～

[Rev.19]

	LOCATION	QT'Y	評估結果（V）		備註
			合格	ACTION READ	
1.	CRD HOUSING WELD (HOUSING TO RPV BOTTOM HEAD)	145 CRD	V		
2.	CRD HOUSING (OUTSIDE RPV BOTTOM HDAD)	145 CRD	V		
3.	CRD HOUSING FLANGE METAL O-RING 159A2816 P002	145 CRD	V		
4.	HCU INSEFRT PORT METAL O-RING 159A2816 P001	145 CRD	V		
5.	HCU WITHDRAW PORT METAL O-RING 159A2816 P001	145 CRD	V		
6.	IN-CORE PENETRATION WELD (IN CORE HOUSING TO RPV BOTTOM HEAD)	WRNM × 8 SPARE × 4 LPRM × 33	V		
7.	IN-CORE HOUSING (OUTSIDE RPV BOTTOM HEAD)	WRNM × 8 SPARE × 4 LPRM × 33	V		
8.	IN-CORE HOUSING FLANGE METAL O-RING 159A2816 P004	WRNM × 8 SPARE × 4 LPRM × 33	V		
9.	BACK SEAT BETWEEN DRY-TUBE AND FLANGE	WRNM × 8 SPARE × 4 LPRM × 33	V		
10.	DRY TUBE (PRESSURE BOUNDARY)	WRNM × 8 SPARE × 4 LPRM × 33	V		
11.	RPV BOTTOM DRAIN NOZZLE AND PIPING 2″ -SCH160-SA106-B	1	V		
12.	CORE DIFF. PRESSURE SENSING LINE NOZZLE AND PIPING 1″ -SCH-80-SA312 TP304	1	V		

NOTE：接受標準及建議行動參次頁

評估者（COMMENT BY）：[illegible]　LEVEL：II

審核者（APPROVAL BY）：[illegible]　LEVEL：II

RPV BOTTOM HEAD CHECK LIST　[Rev.13]

	LOCATION	QT'Y	ACCEPTABLE RANGE	REMARK
1.	CRD HOUSING WELD (HOUSING TO RPV BOTTOM HEAD)	145 CRD	NO LEAKAGE	
2.	CRD HOUSING (OUTSIDE RPV BOTTOM HDAD)	145 CRD	NO LEAKAGE	
3.	CRD HOUSING FLANGE METAL O-RING 159A2816 P002	145 CRD	1.所有滴水狀之洩漏於大於 1000PSIG 之下加壓 8 小時,如有減小之趨勢則不須要任何之檢修爲可接受。 2.如上述之條件下，洩漏率有惡化之趨勢成爲噴水狀之洩漏須檢修. 3.MANUAL SINGLE ROD SCRAM 通常皆可止漏.	
4.	HCU INSEFRT PORT METAL O-RING 159A2816 P001	145 CRD		
5.	HCU WITHDRAW PORT METAL O-RING 159A2816 P001	145 CRD		
6.	IN-CORE PENETRATION WELD (IN CORE HOUSING TO RPV BOTTOM HEAD)	WRNM × 8 SPARE × 4 LPRM × 33		
7.	IN-CORE HOUSING (OUTSIDE RPV BOTTOM HEAD)	WRNM × 8 SPARE × 4 LPRM × 33		
8.	IN-CORE HOUSING FLANGE METAL O-RING 159A2816 P004	WRNM × 8 SPARE × 4 LPRM × 33		
9.	BACK SEAT BETWEEN DRY-TUBE AND FLANGE	WRNM × 8 SPARE × 4 LPRM × 33		
10.	DRY TUBE (PRESSURE BOUNDARY)	WRNM × 8 SPARE × 4 LPRM × 33		
11.	RPV BOTTOM DRAIN NOZZLE AND PIPING 2″ -SCH160-SA106-B	1		
12.	CORE DIFF. PRESSURE SENSING LINE NOZZLE AND PIPING 1″ -SCH-80-SA312 TP304	1		

NOTE： 1. 參考文件：G.E MAINTENANCE TRAINING COURSE-CONTROL ROD DRIVE DIAGNOSTIC TESTING 所屬之 CRD OPERATIONAL PROBLEMS 章節 6-d 段.

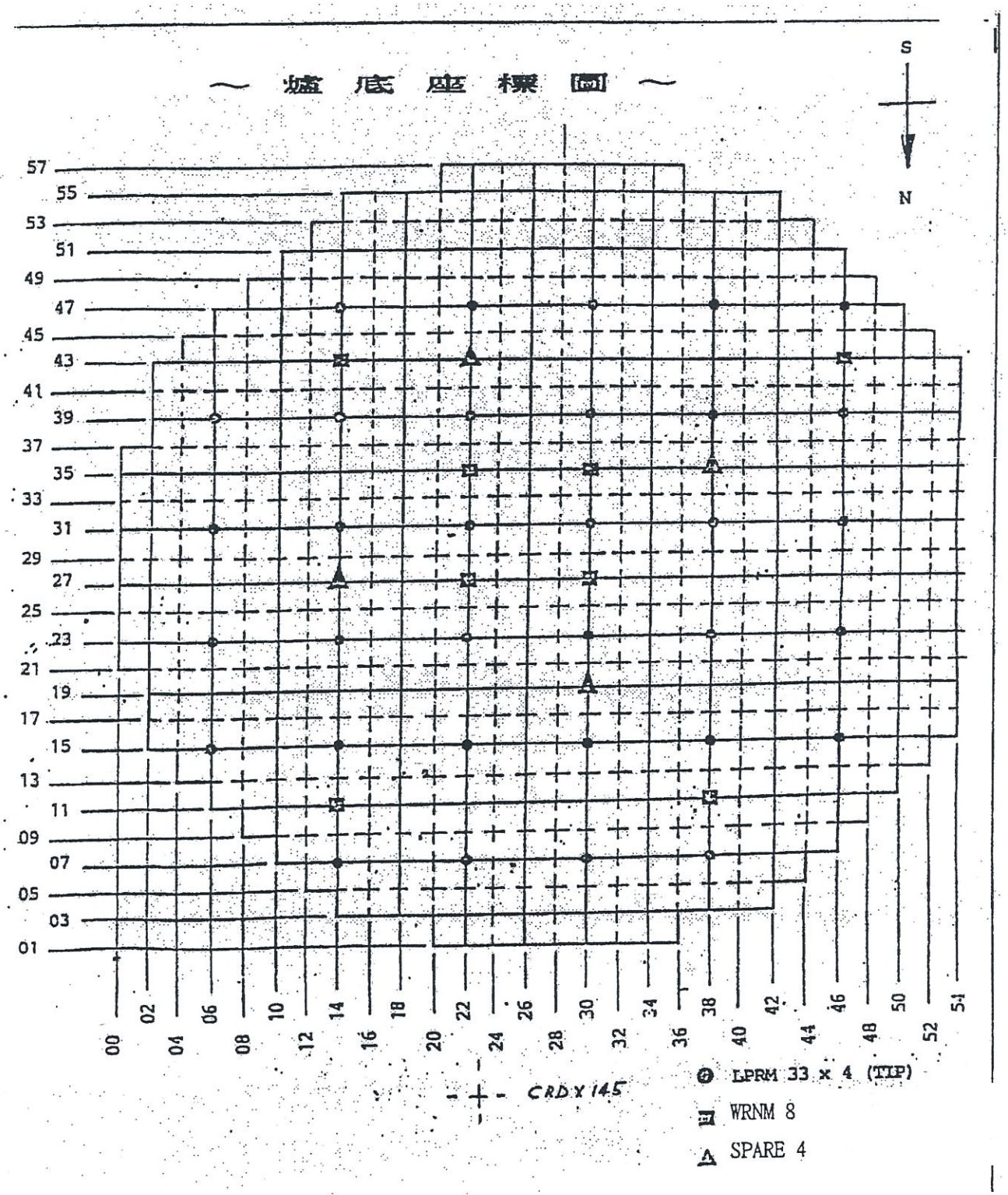
2. 執行 MANUAL (SINGLE) ROD SCRAM DRIVE AT "00" -REVERSE FLOW MAY SEAT O-RING 需先 ISOLATE CHARGINE WATER.

RPV BOTTOM HEAD CHECK LIST ～ 圖 面 對 照 表 ～

[Rev.19]

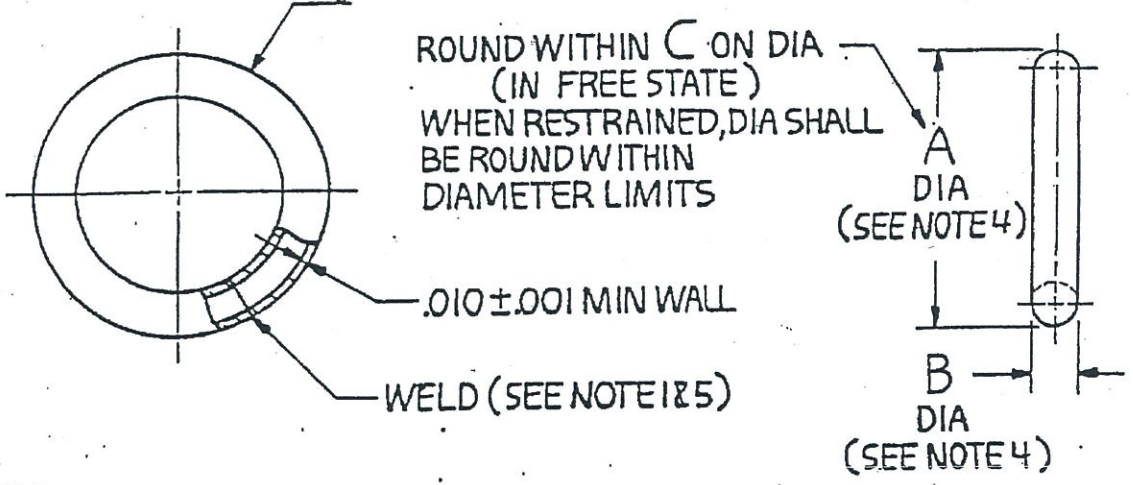
	LOCATION	QT'Y	參 考 圖 面
1.	CRD HOUSING WELD (HOUSING TO RPV BOTTOM HEAD)	145 CRD	VIEW "G" OF 762E660 (G.E. DWG.)
2.	CRD HOUSING (OUTSIDE RPV BOTTOM HDAD)	145 CRD	762E660 (G.E. DWG.)
3.	CRD HOUSING FLANGE METAL O-RING 159A2816 P002	145 CRD	VIEW "H" OF 762E461 (G.E. DWG.) GEK-45807
4.	HCU INSEFRT PORT METAL O-RING 159A2816 P001	145 CRD	VIEW "H" OF 762E461 (G.E. DWG.) GEK-45807
5.	HCU WITHDRAW PORT METAL O-RING 159A2816 P001	145 CRD	VIEW "H" OF 762E461 (G.E. DWG.) GEK-45807
6.	IN-CORE PENETRATION WELD (IN CORE HOUSING TO RPV BOTTOM HEAD)	WRNM × 8 SPARE × 4 LPRM × 33	VIEW "F" OF 762E660 (G.E. DWG.)
7.	IN-CORE HOUSING (OUTSIDE RPV BOTTOM HEAD)	WRNM × 8 SPARE × 4 LPRM × 33	762E660 (G.E. DWG.)
8.	IN-CORE HOUSING FLANGE METAL O-RING 159A2816 P004	WRNM × 8 SPARE × 4 LPRM × 33	SECTION "L-L" AND "K-K" OF G.E. DWG. NO. 762E461
9.	BACK SEAT BETWEEN DRY-TUBE AND FLANGE	WRNM × 8 SPARE × 4 LPRM × 33	G.E. DWG. NO. 133D9493 133D9489
10.	DRY TUBE (PRESSURE BOUNDARY)	WRNM × 8 SPARE × 4 LPRM × 33	G.E. DWG. NO. 133D9493 133D9489
11.	RPV BOTTOM DRAIN NOZZLE AND PIPING 2″ -SCH160-SA106-B	1	G.E. DWG. NO. 762E568
12.	CORE DIFF. PRESSURE SENSING LINE NOZZLE AND PIPING 1″ -SCH-80-SA312 TP304	1	G.E. DWG. NO. 762E568

[Rev.20]


～ 爐 底 座 標 圖 ～
S
N
57
55
53
51
49
47
45
43
41
39
37
35
33
31
29
27
25
23
21
19
17
15
13
11
09
07
05
03
01
00
02
04
06
08
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
32
34
36
38
40
42
44
46
48
50
52
54
CRD X 145
LPRM 33 x 4 (TIP)
WRNM 8
SPARE 4

DWG NO. 159A2816 [Rev.13]

159A2816 SH NO 2



NOTES:
1. METALLIC "O" RING PER AMS 7325.
2. SELF ENERGIZING (HOLES ON I.D.).
3. RING TO BE COATED WITH POLYTETRAFLUOROETHYLENE RESIN .0025 TO .0030 THICK PER AMS 2515.
4. THESE DIMENSIONS APPLY AFTER FORMING AND BEFORE COATING
5. RADIOGRAPH WELD PER 21A3709.

MATL: TYPE 321SS PER AMS 5570 OR 5576

6

PT NO.	"A" +.005 -.000	"B" ±.001	"C"	APPROVED VENDORS OR ENG. APPROVED EQUIV. UNITED AIRCRAFT PRODUCTS CAT. NO. FLUROCARBON COMP. DIV	ADVANCED PRODUCTS CO. CAT. NO.
1	1.563	.126	.030	U-200073P001	1563-7-3-TC2530V
2	5.500	.126	.090	U-200073P002	5500-7-3-TC2530V
3	1.813	.095	.030	U-2310-01813-SED	1813-5-3-TC2530V
4	1.750	.062	.030	U-2210-01750-SED	1750-3-3-TC2530V
5	5.000	.126	.090	U-2410-05000-SED	5000-7-3-TC2530V
6	1.688	.126	.030	U-2410-01688-SED	1688-7-3-TC2530V
7	5.250	.126	.090	U-2410-05250-SED	5250-7-3-TC2530V

6

SIGNATURES	DAY	MO	YR
DRAWN H.H.THIEL	19	10	64
CHECKED G.E.GRAHAM	4	11	64

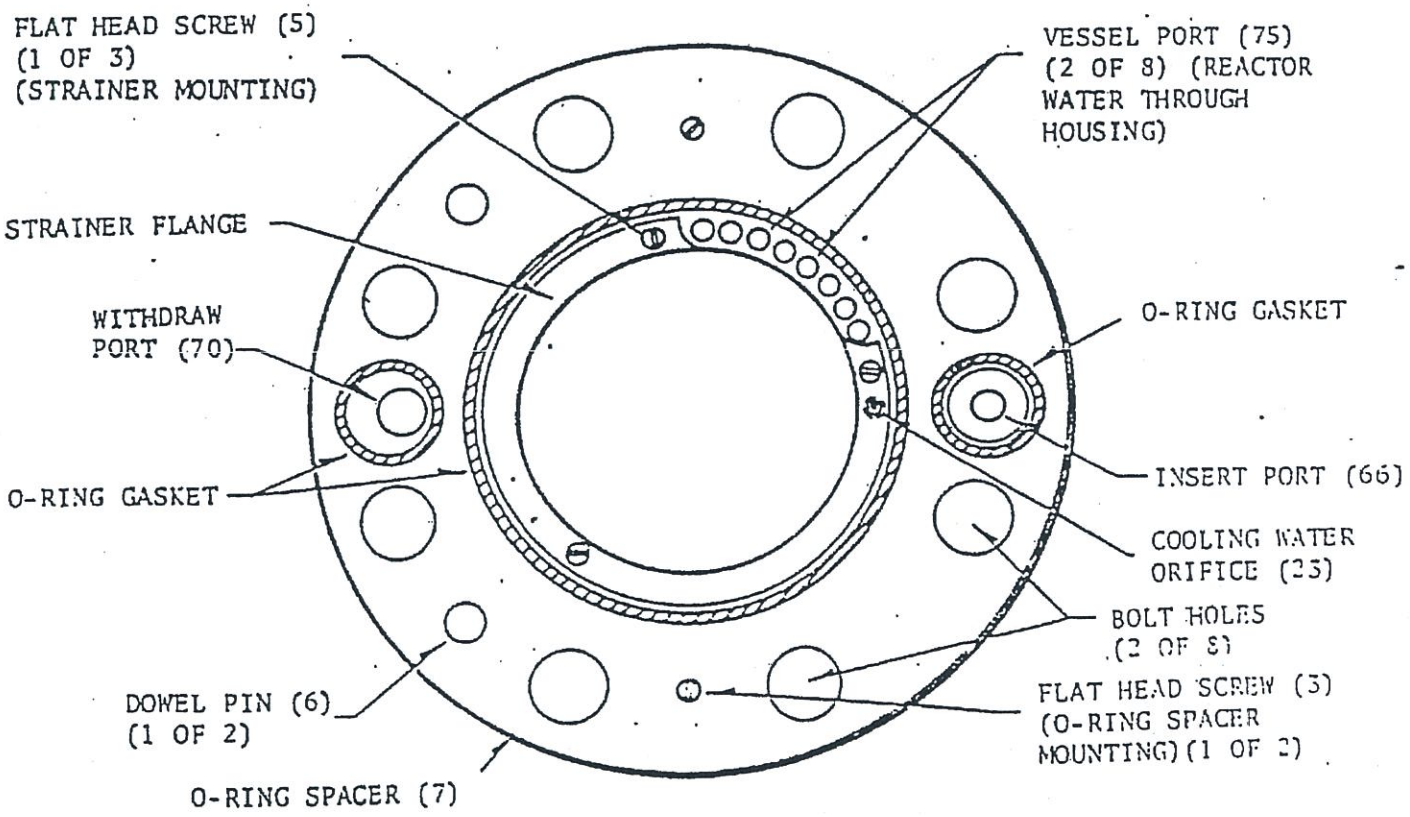
DWG No. 159A2816 REV. 6

SH No. 2 CONT ON F

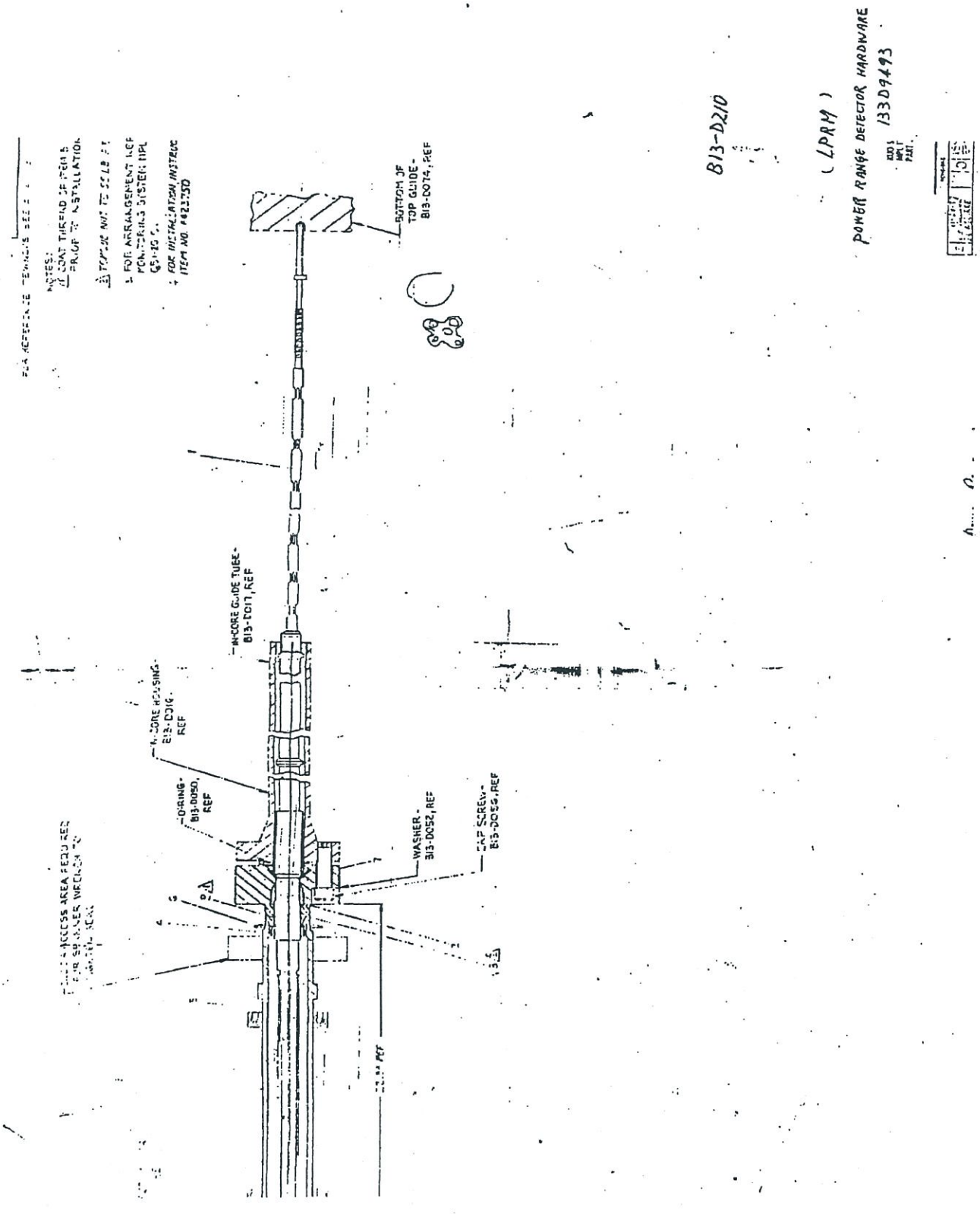
RE-901-BF (7-81) PRINTED IN U.S.A.

GENERAL ELECTRIC R

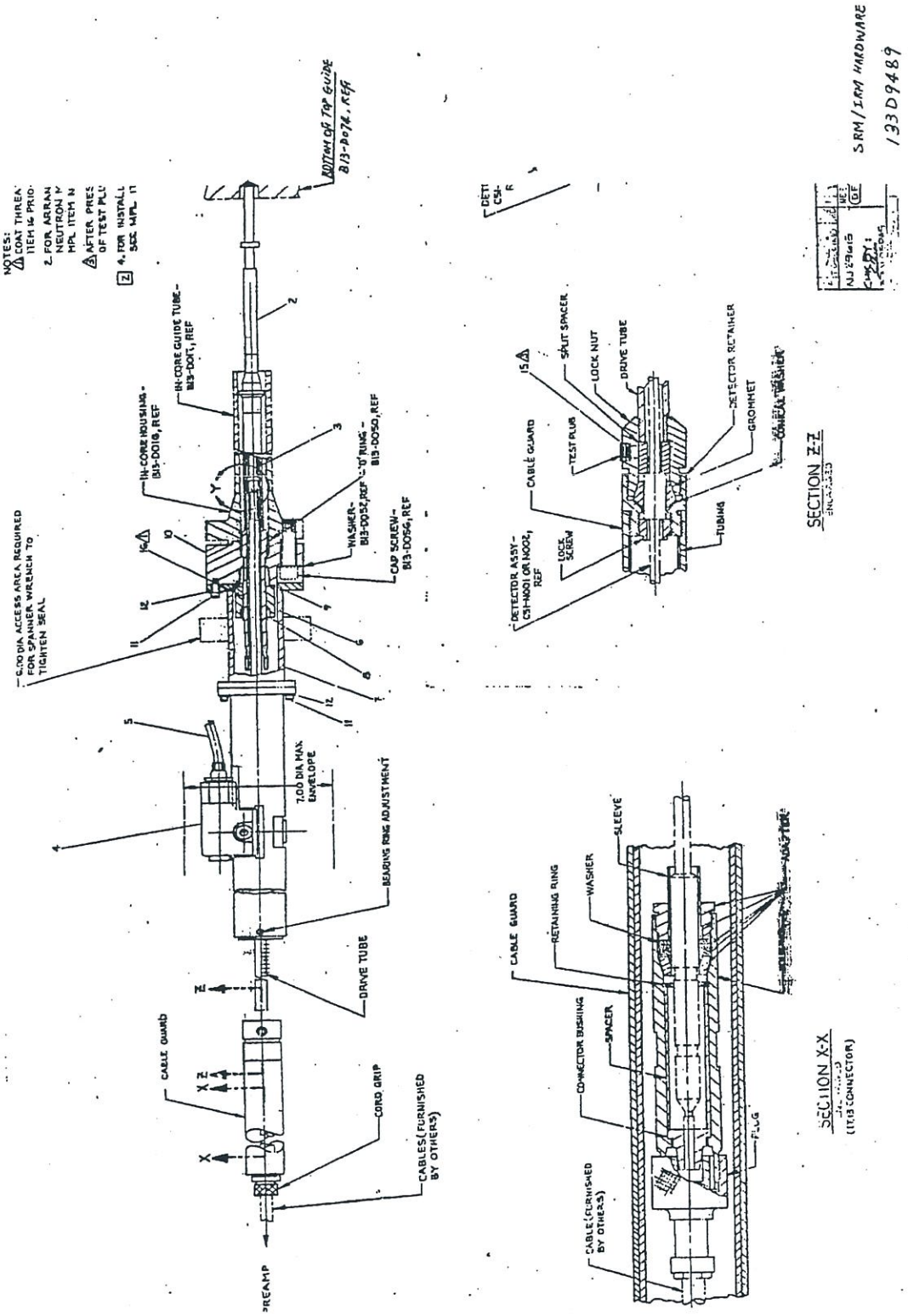
GEK-45807 [Rev.13]



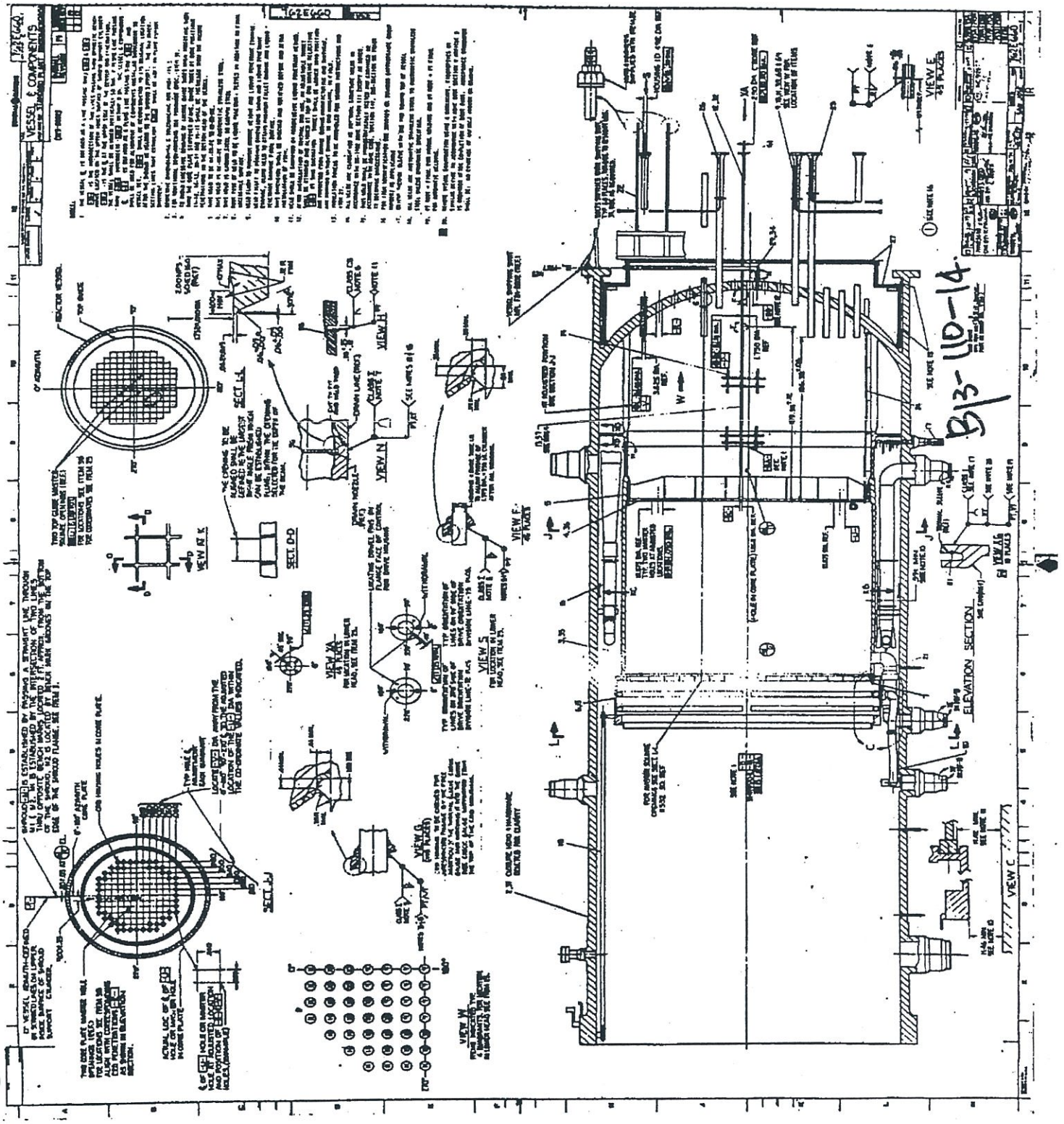
G.E. DWG. NO. 133D9493 [Rev.13]



G.E. DWG. NO. 133D9489 [Rev.13]

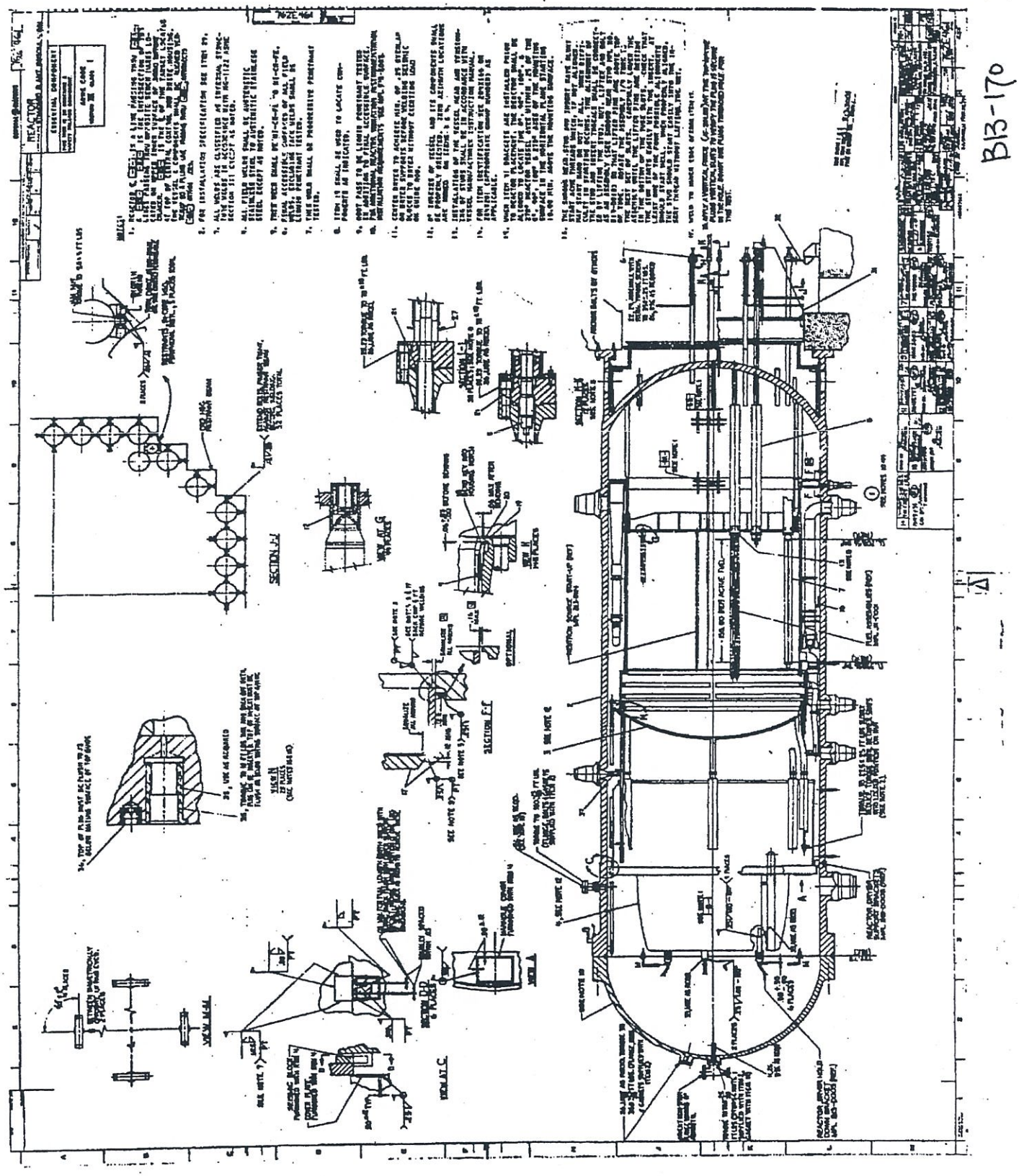


762E660 (G.E. DWG.) [Rev.13]

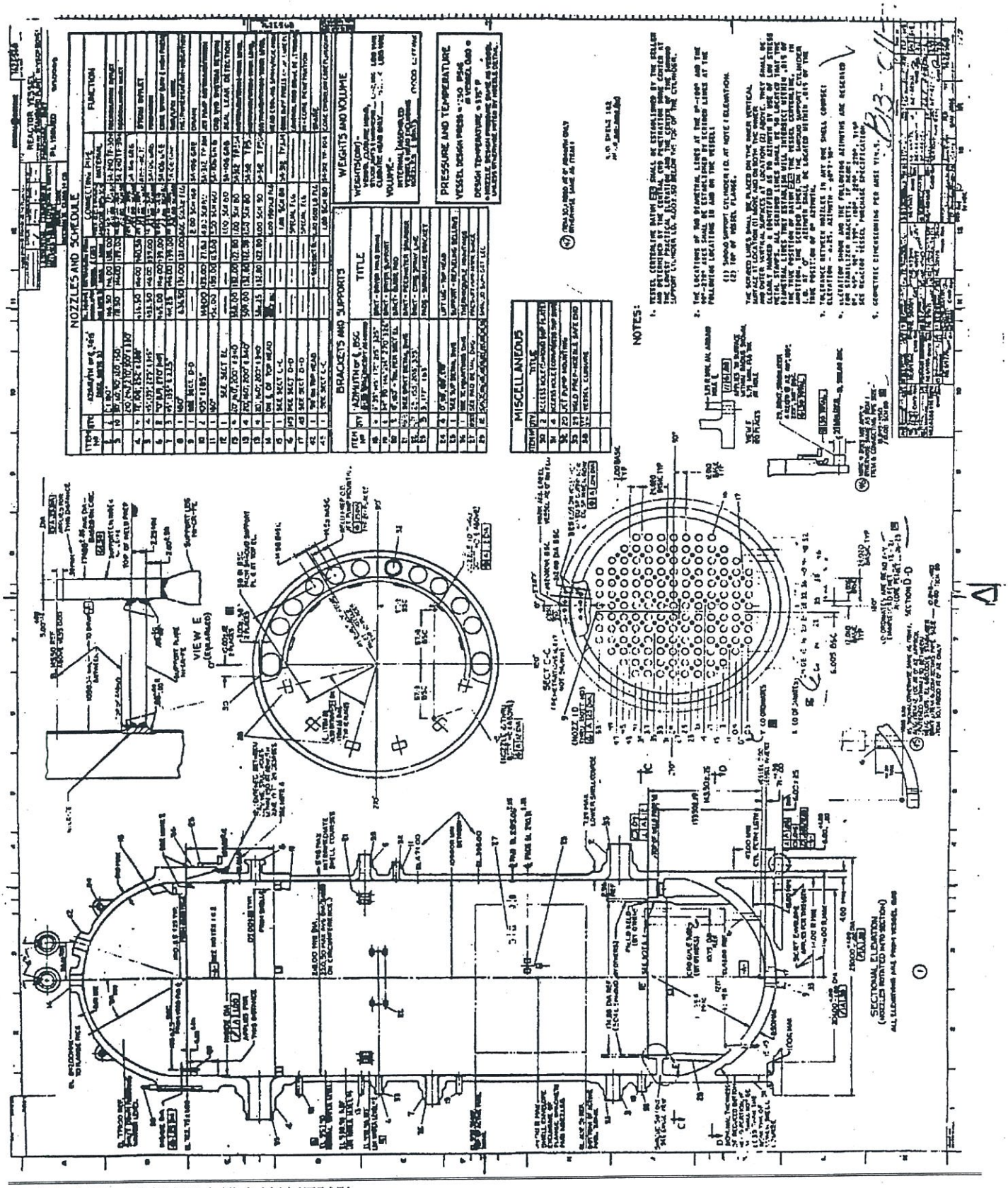


762E461 (G.E. DWG.) [Rev.13]

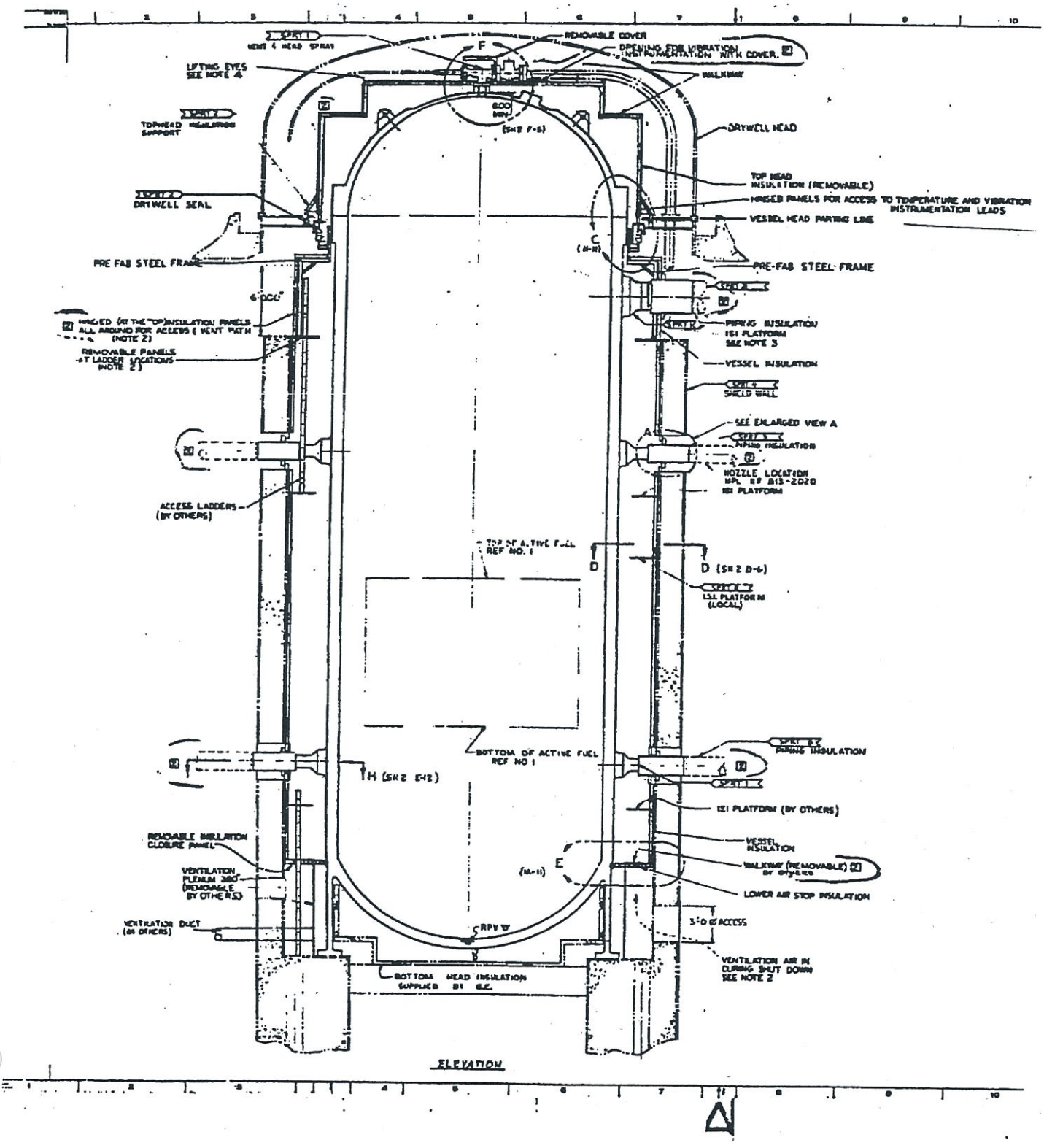
B13-170



G.E. DWG. NO. 762E568　　[Rev.13]



G.E. DWG. NO. 767E415 [Rev.13]



附表

一號機 P-T 曲線 B CURVE 金屬溫度對應之爐壓限制值

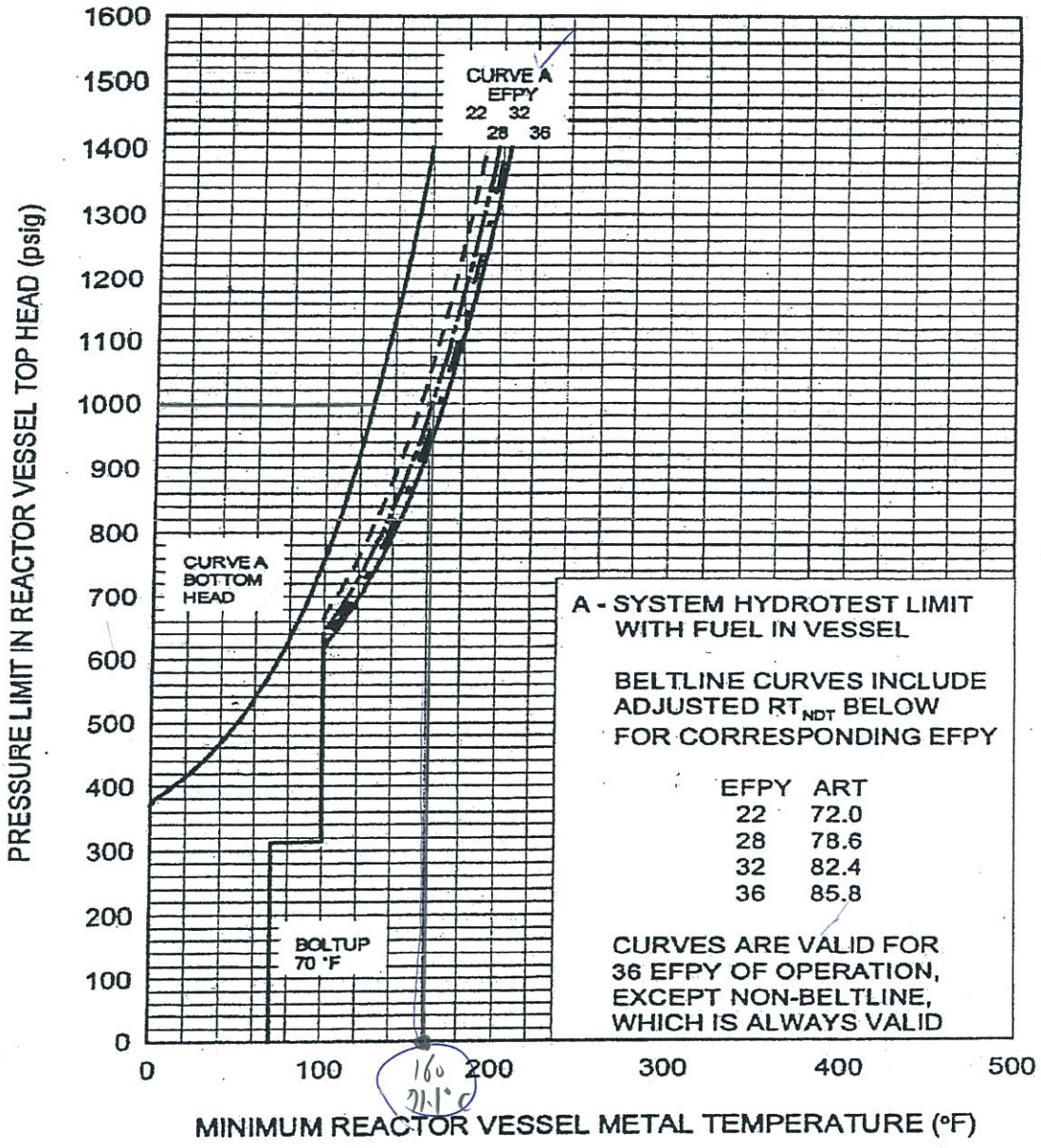
TEMP.(℃)	P-T 限制值 (kg/cm^2)	切換時限制值 (kg/cm^2)	TEMP.(℃)	P-T 限制值 (kg/cm^2)	切換時限制值 (kg/cm^2)
60.0	41.89	36.89	76.0	53.58	40.0
60.5	42.19	37.19	76.5	54.03	40.0
61.0	42.49	37.49	77.0	54.49	40.0
61.5	42.79	37.79	77.5	54.93	40.0
62.0	43.10	38.10	78.0	55.33	40.0
62.5	43.42	38.42	78.5	55.73	40.0
63.0	43.74	38.74	79.0	56.16	40.0
63.5	44.05	39.05	79.5	56.58	40.0
64.0	44.37	39.37	80.0	57.00	40.0
64.5	44.70	39.70	80.5	57.42	40.0
65.0	45.04	40.0	81.0	57.84	40.0
65.5	45.37	40.0	81.5	58.27	40.0
66.0	45.70	40.0	82.0	58.71	40.0
66.5	46.05	40.0	82.5	59.16	40.0
67.0	46.41	40.0	83.0	59.61	40.0
67.5	46.78	40.0	83.5	60.09	40.0
68.0	47.15	40.0	84.0	60.57	40.0
68.5	47.50	40.0	84.5	61.02	40.0
69.0	47.85	40.0	85.0	61.49	40.0
69.5	48.25	40.0	85.5	61.98	40.0
70.0	48.64	40.0	86.0	62.47	40.0
70.5	49.01	40.0	86.5	62.95	40.0
71.0	49.39	40.0	87.0	63.45	40.0
71.5	49.79	40.0	87.5	63.98	40.0
72.0	50.18	40.0	88.0	64.51	40.0
72.5	50.58	40.0	88.5	65.03	40.0
73.0	50.99	40.0	89.0	65.56	40.0
73.5	51.42	40.0	89.5	66.09	40.0
74.0	51.84	40.0	90.0	66.62	40.0
74.5	52.26	40.0			
75.0	52.68	40.0			
75.5	53.13	40.0			

附表

二號機 P-T 曲線 B CURVE 金屬溫度對應之爐壓限制值

TEMP.(℃)	P-T 限制值 (kg/cm^2)	切換時限制值 (kg/cm^2)	TEMP.(℃)	P-T 限制值 (kg/cm^2)	切換時限制值 (kg/cm^2)
60.0	47.62	40.0	76.0	62.25	40.0
60.5	47.98	40.0	76.5	62.81	40.0
61.0	48.38	40.0	77.0	63.33	40.0
61.5	48.76	40.0	77.5	63.91	40.0
62.0	49.13	40.0	78.0	64.53	40.0
62.5	49.52	40.0	78.5	65.12	40.0
63.0	49.92	40.0	79.0	65.70	40.0
63.5	50.31	40.0	79.5	66.29	40.0
64.0	50.71	40.0	80.0	66.92	40.0
64.5	51.14	40.0	80.5	67.56	40.0
65.0	51.56	40.0	81.0	68.19	40.0
65.5	51.98	40.0	81.5	68.82	40.0
66.0	52.40	40.0	82.0	69.46	40.0
66.5	52.83	40.0	82.5	70.09	40.0
67.0	53.28	40.0	83.0	70.76	40.0
67.5	53.73	40.0	83.5	71.43	40.0
68.0	54.19	40.0	84.0	72.09	40.0
68.5	54.64	40.0	84.5	72.79	40.0
69.0	55.11	40.0	85.0	73.50	40.0
69.5	55.59	40.0	85.5	74.20	40.0
70.0	56.04	40.0	86.0	74.91	40.0
70.5	56.51	40.0	86.5	75.61	40.0
71.0	57.00	40.0	87.0	76.35	40.0
71.5	57.49	40.0	87.5	77.09	40.0
72.0	58.00	40.0	88.0	77.85	40.0
72.5	58.52	40.0	88.5	78.58	40.0
73.0	59.00	40.0	89.0	79.34	40.0
73.5	59.52	40.0	89.5	80.07	40.0
74.0	60.05	40.0	90.0	80.84	40.0
74.5	60.58	40.0			
75.0	61.16	40.0			
75.5	61.69	40.0			

附圖 1a（一號機用）



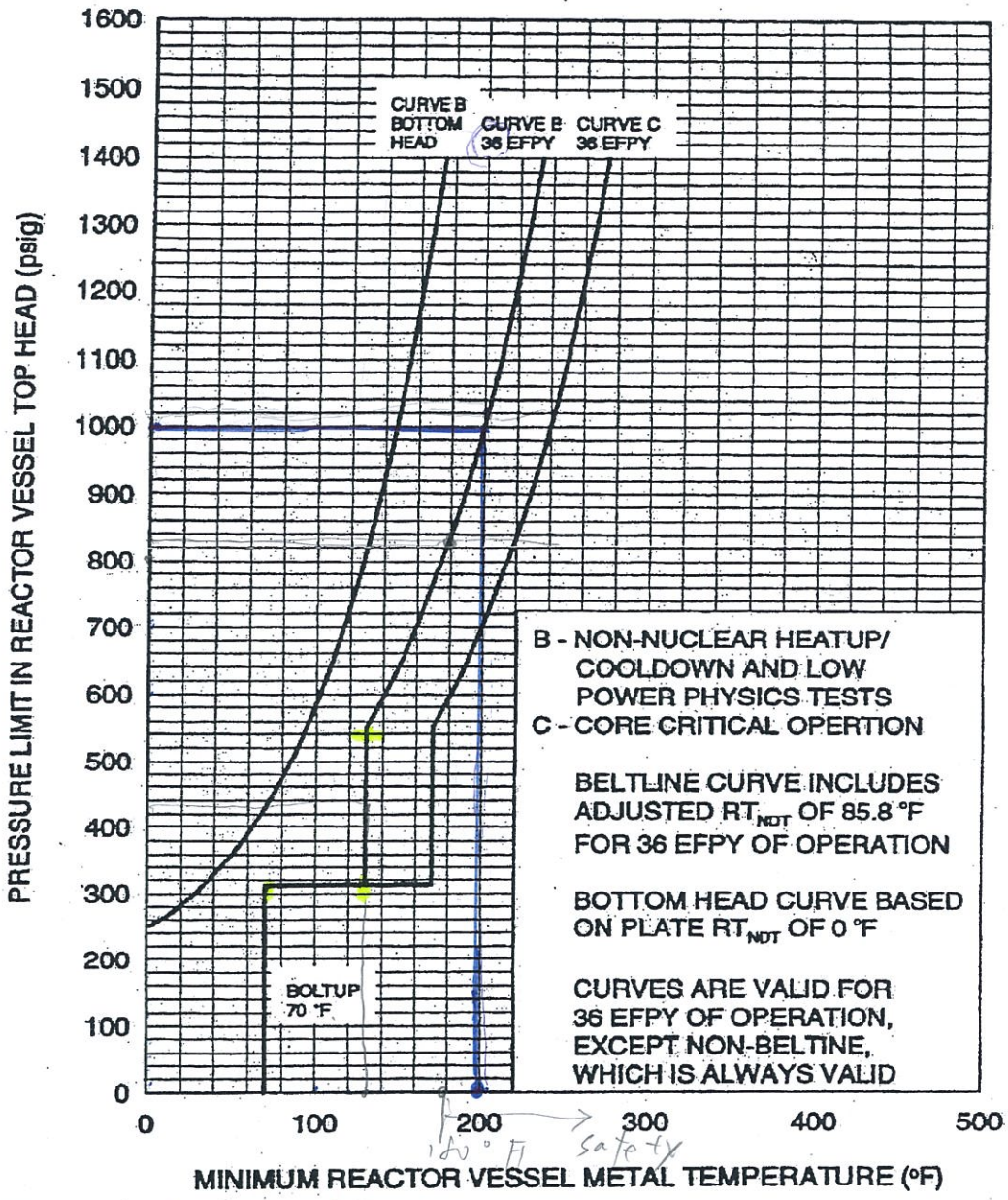
EFPY : Effective Full Power Year
ART : Adjusted Reference Temperature

台灣電力公司
TAIWAN POWER COMPANY
KUOSHENG NUCLEAR POWER STATION UNITS 1 & 2

REACTOR PRESSURES VS. MINIMUM TEMPERATURES FOR UNIT 1

FIGURE B3.4.11-1a

附圖 1b（一號機用）



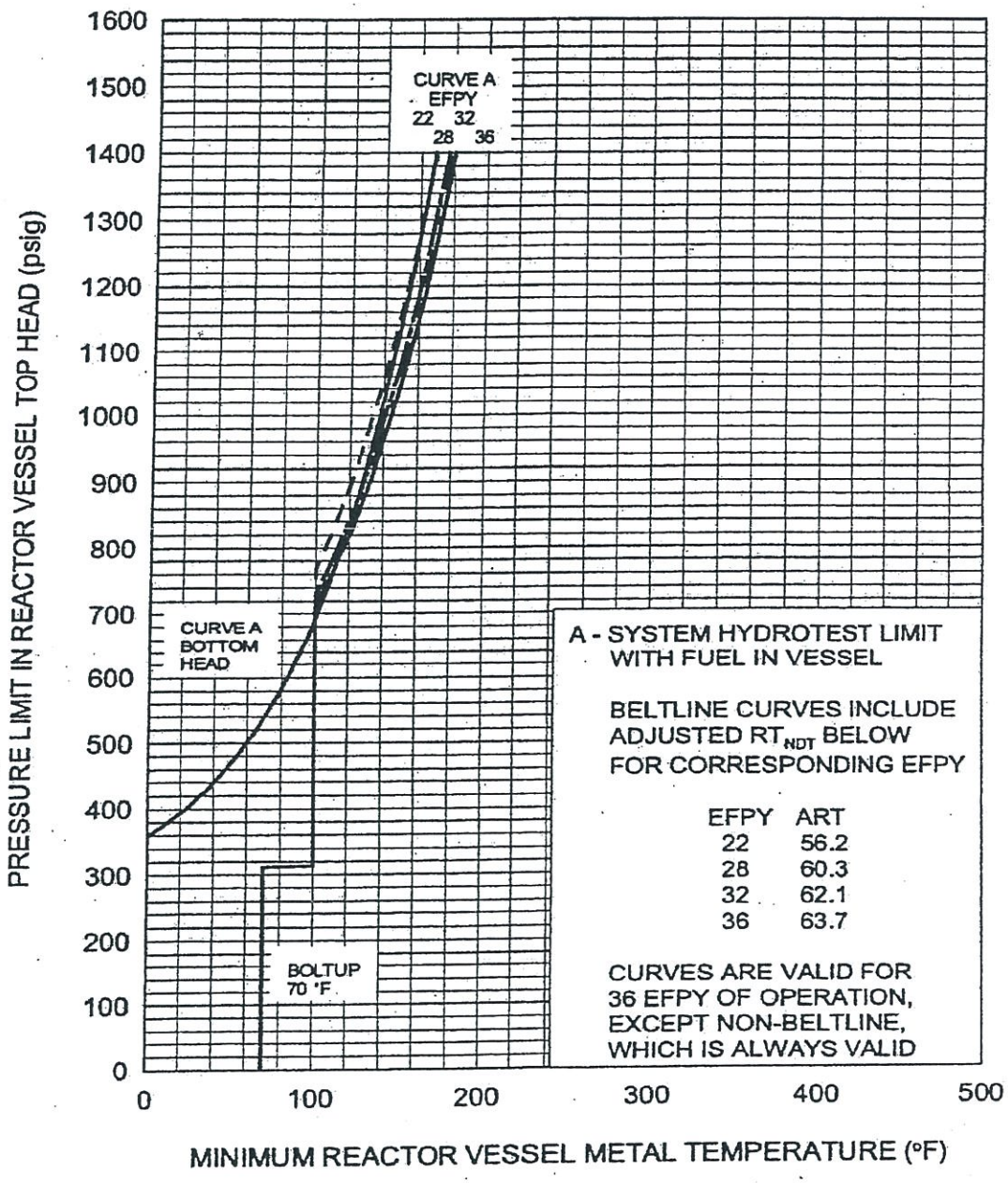
EFPY : Effective Full Power Year
NRT : Adjusted Reference Temperature

台灣電力公司
TAIWAN POWER COMPANY
KUOSHENG NUCLEAR POWER STATION UNITS 1 & 2

REACTOR PRESSURES VS. MINIMUM TEMPERATURES FOR UNIT 1

FIGURE B3.4.11-1b

附圖 2a（二號機用）



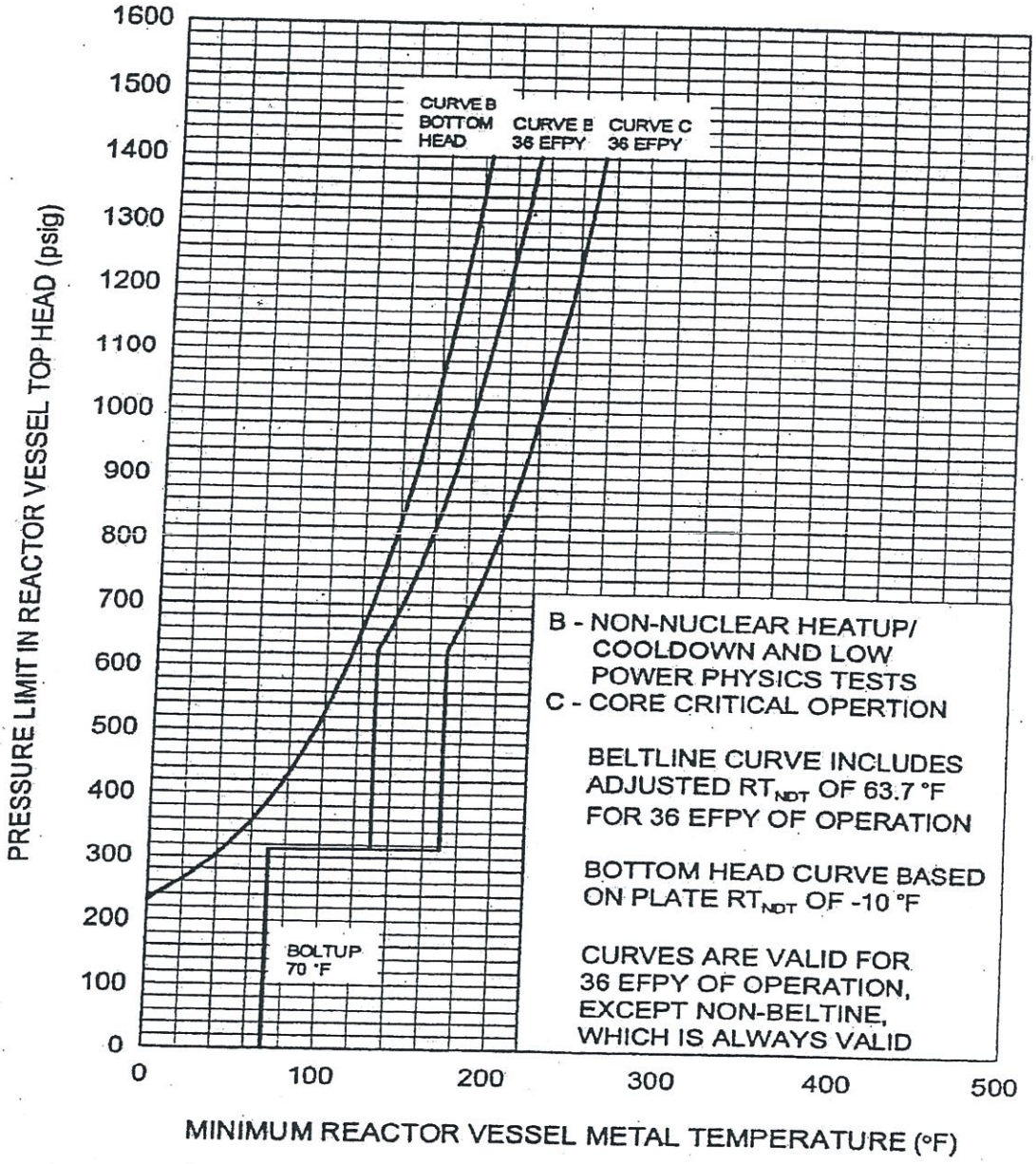
EFPY : Effective Full Power Year
ART : Adjusted Reference Temperature

台灣電力公司
TAIWAN POWER COMPANY
BUSHENG NUCLEAR POWER STATION UNITS 1 & 2

REACTOR PRESSURES VS. MINIMUM TEMPERATURES FOR UNIT 2

FIGURE B3.4.11-2a

附圖 2b （二號機用）



EFPY : Effective Full Power Year
ART : Adjusted Reference Temperature

台灣電力公司
TAIWAN POWER COMPANY
NUCLEAR POWER STATION UNITS 1 & 2

REACTOR PRESSURES VS. MINIMUM TEMPERATURES FOR UNIT 2

FIGURE B3.4.11-2b

附件一 [Rev.15]

基礎一

編　號	RER-78-21-034-0
名　稱	Rx Hi PRESS, Rx SCRAM 及 ATWS 動作
內容說明	78.11.22 一號機正進行 EOC-6 大修，反應爐在停機冷爐中，反應爐模式開關置於 S/D 位置，於是日 16:50Rx 水位儀器皆 OVER SCALE 僅能由 S/D FLOODING RANGE 讀取，但指示仍偏高，此時 CRD PUMP 仍持續補水入反應爐，於 RPV 滿水位後，CRD PUMP 繼續加壓，但運轉人員未能及時警覺 S/D FLOODING 水位指示 OVERSCALE，而反應爐仍持續加壓於是日 20:24 反應爐壓力上升至 1063 PSIG，RPS 動作，Rx SCRAM. 因儀用空氣管路掛卡，故 SRV 安全功能未動作，於 20:25 RPV 壓力達 1135 PSIG，"ATWS TRIP INITIATED" 警報出現，RECIRC PUMP B TRIP. (最高壓力爲 80.9 ±1 Kg/Cm^2)
改正及預防措施	1. 依表一每 30 分鐘確實記錄，以加強運轉員對機組運轉狀況之掌握. 2. 運轉員應確實掌握反應爐水位，壓力之變化及 RPV 進出通路之狀況，(如 HEAD VENT，SRV 可用等).

附表三

反應爐壓力槽系統洩漏測試加壓前化學查對表

機　　組：#1

取樣時間：4/11　09:10

爐水水質：

1. 導電率(at 25℃)：0.6547 uS/cm (限值：≦10.0 uS/cm)
2. 氯離子：0.55 ppb (限值：≦0.5ppm)
3. PH 值　：5.72 (限值：5.3~8.6)

測量值是否在限值內：　是 ☑　否 ☐

說明事項：無

化學分析員：蘇文彬 4/11

課長/值主任：游振造　101.4.11　　經理/值班經理：黃再添　101.4.11

(註：非上班日委請值主任，值班經理核章)

附表四

反應爐壓力槽系統洩漏測試加壓前二次圍阻體查核表

爲符合運轉規範 LCO 3.10.1，需確認下述 4 項在 MODE 3 的 LCO 均符合，相關程序書有效期限之確認請以 MMCS 查詢或向品質組查詢。

a. LCO 3.3.6.2 二次圍阻體隔離儀器中，表 3.3.6.2-1 的功能 (Function) 1、3、4 及 6。

(1) 執行記錄下列儀器功能之控道核對 (請填數值)

功能 1	反應爐水位—低 L-2(cm)	B21-N681A	B21-N681B	B21-N681C	B21-N681D
		>150	>150	>150	>150
功能 3	反應爐廠房排氣輻射-高(mR/hr)	GN-RITS-113A	GN-RITS-113B	GN-RITS-114A	GN-RITS-114B
		4.5	3.0	3.0	3.0
功能 4	反應爐水位—低 L-1(cm)	B21-N691A	B21-N691E	B21-N691B	B21-N691F
		>150	>150	>150	>150

本測試未完成前請每值繼續執行附表五之功能 1、功能 3、功能 4 控道核對。

(2) 由儀控組確認下列表 3.3.6.2-1 的功能 (Function) 1、3、4 及 6，其偵測試驗是否仍在有效期限內，儀器功能是否可用 (請填是/否)。

要求 / 可用 / 功能	控道功能測試 SR 3.3.6.2.2 (每 92 天)	跳脫單元校正 SR 3.3.6.2.3 (每 92 天)	控道校正 SR 3.3.6.2.4 (每 18 月)	邏輯功能測試 SR 3.3.6.2.5 (每 18 月)	是否可用	儀控組簽名
反應爐水位一低 L-2	有	有	有	有	是	
反應爐廠房排氣輻射高	有	無	有	有	是	
反應爐水位一低 L-1	有	有	有	有	是	
手動引動功能	無	無	無	有	是	

b. LCO 3.6.4.1 二次圍阻體需可用；下列要求須符合，請確認程序書均在有效期限內(請填是/否)

Y (1) 程序書 616.5.1 (SR 3.6.4.1.1 所有二次圍阻體機件通口是關閉及密封的及餘熱排除系統及反應爐輔助廠房蒸汽通道釋壓口均關閉. 每 31 天)

Y (2) 程序書 616.5.1 (SR 3.6.4.1.2 所有作爲爐心隔離冷卻系統及爐水淨化系統泵室壓力釋放保護的超壓保護盤均爲完整. 每 31 天)

Y (3) 程序書 616.5.1 (SR 3.6.4.1.3 除了例行進出，所有二次圍阻體進出門均須關閉. 每 31 天)

Y (4) 程序書 616.5.1.1 (SR 3.6.4.1.4 每一串備用氣體處理系統運轉在 90 秒內能將二次圍阻體抽至大於或等於 0.635 公分 (1/4 英吋) 的真空水柱. 每 18 月)

Y (5) 程序書 616.5.1.1 (SR 3.6.4.1.4 運轉每一串備用氣體處理系統一小時而且維持二次圍阻體於大於或等於 0.635 公分 (1/4 英吋) 真空水柱，而其流量不超過每秒 5804 + 10% 公升 (12300 + 10% CFM) . 每 18 月)

Y (6) 無其他不可用之異常狀況

c. LCO 3.6.4.2 二次圍阻體隔離閥需可用；下列要求須符合，請確認程序書均在有效期限內(請填是/否)。

Y (1) 程序書 616.5.2.1 (SR 3.6.4.2.1 証實對於運轉中可正常進出之區域對於事故後須保持關閉的每一個二次圍阻體隔離手動閥，盲板，其在關閉或盲板封住的完好狀態. 每 31 天)

Y (2) 程序書 616.5.2.1 (SR 3.6.4.2.2 對於運轉中無法正常進出之區域若過去 92 天內未證實則應於從模式 4 進入模式 2 或 3 之前証實對於事故後須保持關閉的每一個二次圍阻體隔離手動閥，盲板，其在關閉或盲板封住的完好狀態.)

Y (3) 程序書 616.5.2.3-IST (SR 3.6.4.2.3 証實每一個二次圍阻體動力操作或自動隔離閥，執行全行程之開關測試. 每 92 天)

Y (4) 程序書 616.5.2.2 (SR 3.6.4.2.4 證明所有二次圍阻體自動隔離閥在接受隔離測試信號時，會動作至個別的隔離位置. 每 18 月)

Y (5) 無其他不可用之異常狀況

d. LCO 3.6.4.3 SGTS 需可用；下列要求須符合，請確認程序書均在有效期限內(請填是/否)。

Y (1) 程序書 616.5.3.1 (SR 3.6.4.3.1 運轉每一串備用氣體處理系統至少 10 小時，且加熱器爲運轉中．每 31 天)

Y (2) 程序書 616.5.3.2、616.5.3.3、616.5.3.4.1、616.5.3.4.3、616.5.3.5、616.5.3.6 (SR 3.6.4.3.2 依照 Ventilation Filter Testing Program (VFTP) 執行備用氣體處理系統過濾器測試．每 18 月)

Y (3) 程序書 616.5.3.4.2 (SR 3.6.4.3.3 証實每一串備用氣體處理系統接收到真實或模擬啓動信號能自動啓動．每 18 月)

Y (4) 無其他不可用之異常狀況

需註解說明之事項：無

上述各項程序書均之可用期限及運轉規範要求是否全部符合：

☑ 是　　本次洩漏測試爐水溫度可超過 100℃

☐ 否　　本次洩漏測試爐水溫度不可超過 100℃

執行者：　　值主任：　　值班經理：

附表五

表 3.3.6.2-1 的功能(Function)1、3、4 控道核對每值查核表

執行時機：若執行壓力槽系統洩漏測試時有可能使反應爐爐水溫度超過 100℃，依附表四執行測試前核對後，在測試期間每值執行下列控道核對，直到測試完成

(1) 表 3.3.6.2-1 功能 1：反應爐水位—低 L-2(cm)（請填數值）

儀器 \ 時間	101.4.11 21:00	101.4.12 01:00	101.4.12 09:00	101.4.12 17:00	101.4.13 01:00	101.4.13 09:00		
B21-N681A	>150	>150	>150	>150	>150	>150		
B21-N681B	>150	>150	>150	>150	>150	>150		
B21-N681C	>150	>150	>150	>150	>150	>150		
B21-N681D	>150	>150	>150	>150	>150	>150		

(2) 表 3.6.2-1 功能 3：反應爐廠房排氣輻射-高(mR/hr)（請填數值）

儀器 \ 時間	101.4.11 21:00	101.4.12 01:00	101.4.12 09:00	101.4.12 17:00	101.4.13 01:00	101.4.13 09:00		
GN-RITS-113A	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5		
GN-RITS-113B	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0		
GN-RITS-114A	3.0	3.0	3.0	3.0	3.5	3.5		
GN-RITS-114B	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0		

(3) 表 3.3.6.2-1 功能 4：反應爐水位—低 L-1(cm)（請填數值）

儀器 \ 時間	101.4.11 21:00	101.4.12 01:00	101.4.12 09:00	101.4.12 17:00	101.4.13 01:00	101.4.13 09:00		
B21-N691A	>150	>150	>150	>150	>150	>150		
B21-N691E	>150	>150	>150	>150	>150	>150		
B21-N691B	>150	>150	>150	>150	>150	>150		
B21-N691F	>150	>150	>150	>150	>150	>150		

第 柒 章

肇 因 分 析

核二廠一號機反應爐支撐裙板錨定螺栓斷裂肇因分析報告

修訂說明

1. 修訂第 7 節肇因推演項次 1 中分析結果:排除氫脆及疲勞為起始之機制。
2. 修訂第 8 節重建故障現象：修訂部份用詞。
3. 修訂第 9 節肇因認定:增加初始裂紋形成機制之說明，及刪除其他 113 螺栓之監測。
4. 取消原附件 14，核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告。附件 14 由附件 15 遞補。

附表四

台灣電力公司第二核能發電廠

肇因分析報告電廠運轉審查委員審查意見表

報告名稱：1 號機 EOC22 大修檢測發現反應爐支撐裙板錨定螺栓斷裂

編號：RC-101-21-01-0　　專案組長：臧鶴年

電廠運轉審查委員	簽　章	同意欄	意　見　欄
機械及熱流委員	臧鶴年 101.5.8	☑同意 ☐不同意	
儀控委員	曾文煌 101.5.9	☑同意 ☐不同意	
電氣委員	林水泉 101.5.8	☑同意 ☐不同意	
化　學　委　員	朱方 101.5.8	☑同意 ☐不同意	
輻射安全委員	鄭琨琮 101.5.-8	☑同意 ☐不同意	
電廠設計及評估委員	陳景輝 101.5.8	☑同意 ☐不同意	尤文田 101.5.8
品　管　委　員	楊勝勳 101.5.8	☑同意 ☐不同意	
核　工　委　員	林志保 101.5.8	☑同意 ☐不同意	林宗毅 101.5.8　李德旺 101.5.8
運轉及訓練委員	朱振鋒 101.5.8	☑同意 ☐不同意	
運轉委員兼 SORC 秘書	陳孟誠 101.5.8	☑同意 ☐不同意	
安管副廠長	黃清順 101.5.9	☑同意 ☐不同意	
維護副廠長	李清河 101.5.9	☑同意 ☐不同意	
運轉副廠長	杜博文 101.5.8	☑同意 ☐不同意	
廠　長 (SORC 主席)	劉增喜 101.5.9		☑同意　☐不同意

台灣電力公司第 二 核能發電廠
肇因分析報告

1 號機 EOC22 大修檢測發現反應爐支撐裙板錨定螺栓斷裂

報告編號 RC-101-21-01-0
日　　期 :中華民國 101 年 5 月 7 日

肇因分析小組組長：
臧鶴年經理

肇因分析小組組員：
汪雅政課長
廖英辰課長
張正位
何信吉

第　一　部　份

前　期　報　告

目錄

一、肇因分析立案審核表----------4
二、報告背景 ----------5
三、收集事件資料 ----------7
四、是否拍照存證 ----------7
五、故障元件分析 ----------7
六、廠家建議/參考文件----------7
七、肇因分析推演 ----------7
八、重建故障現象 ----------8
九、肇因認定 ----------10
十、經肇因分析結果，本事故之肇因屬於----------12
十一、以往類似事件 ----------13
十二、電廠內同類型潛在故障/失誤評估----------14
十三、改正行動及預防再發生措施----------14
十四、改正措施之執行----------14
十五、附件資料 ----------15

一． 肇因分析立案審核表

附表一

肇因分析立案審核表

1. 事件原因 [Rev.14]

☐ 程序書 113.2 判定需依本程序書執行肇因分析之 RER 案件相關 RER 編號_____

☐ 反應器急停或汽輪發電機非計劃性解聯

☐ 安全系統故障或非計劃性動作

☐ 一再重覆發生的 RER 事件. 相關 RER 編號 _____

■ 主管交議之事件 (必須執行肇因分析項目)

☐ 原能會視個案情況需要之要求 (必須執行肇因分析項目)

☐ 首次出現之特別事故而造成跳機事件

☐ 其他

機組狀況：■ 停 機 ☐ 燃料更換 ☐ 起動/熱待機 ☐ 運 轉

☐ 臨界前 ☐ 並聯前 ☐ 並聯後 ☐ 解聯後

☐ 減 載 ☐ 升 載 ☐ 測試中 ☐ 其 他

反應爐功率 ： 0 %

2. 事件摘述 ：

1EOC-22 反應爐支撐裙板錨定螺栓(RPV Support Skirt Anchor Bolts)斷裂事件。

SORC 秘書 ： 陳孟訓 101. 4. 27

3. SORC 主席裁示是否須成立肇因分析案並指定本案專案組長 [Rev.16]

☑需成立肇因分析案，並由 林 藏經理 擔任專案組長

☐不需成立肇因分析案

SORC 主席 ： 劉增喜 101. 4. 30

4. 核技組負責通知專案組長組成專案小組並登錄追蹤. [Rev.16]

報告編號：RC- 101-2-01-0

經辦人 ： 林宗毅 101. 5. 2 李德旺 101. 5. 2 經理 ： 林志保 101. 5. 2

5. 專案組長填寫預定完成日期 [Rev.16]

前期報告預定於 101 年 5 月 8 日前完成

專案組長： 戚鶴年 101. 5. 5 經理 ： 戚鶴年 101. 5. 5

程序書名稱: 肇因分析作業程序書

列印日期:04/27/12

二. 報告背景 :

1. 事件名稱 : 1 號機 EOC22 大修檢測發現反應爐支撐裙板錨定螺栓斷裂

2. 事件發現 : 日 期 ___101___ 年 ___03___ 月 ___23___ 日

3. 事件摘述:

核二廠 1 號機依計畫於 101 年 3 月 16 日開始進行 EOC-22 大修，並依據 2 號機 EOC-21 反應爐支撐裙板錨定螺栓(RPV Support Skirt Anchor Bolts)斷裂事件處理報告承諾事項 ，於 1EOC-22 大修執行#1 機支撐裙板錨定螺栓（內外圈共 120 支）超音波檢測(UT)。

於 101 年 3 月 23 日執行 1 號機反應爐支撐裙板錨定螺栓 UT 檢測前之清潔作業時，發現位於支撐裙板內圈 357 度位置，編號 A2 之螺栓已經斷裂。斷裂位置為自頂部以下約 18.2 吋位置，斷裂情形如圖一。

後續於 101 年 3 月 24 日進行其餘 119 支錨定螺栓之超音波檢測，另發現有 2 支螺栓幾近斷裂(編號分別為 C6 及 D14)，有 4 支螺栓有裂紋顯示(編號分別為 B10、B13、C9、D11)；缺陷螺栓位置詳如圖二。

4. 事件經過 (按事件發生先後次序逐步敘述) :

a. 101 年 3 月 23 日執行一號機反應爐支撐裙板錨定螺栓 UT 檢測前之清潔作業時，發現編號 A2 之螺栓已經斷裂。

b. 101 年 3 月 24 日對其餘反應爐支撐裙板錨定螺栓進行 UT 檢測，檢測結果發現內圈編號 C6 及 D14 共 2 支，超音波顯示背波消失(NO BACKWALL REFLECTION)，判斷已接近斷裂，斷裂位置為從頂端算起 21.7” 及 20” ；另 4 支內圈編號分別為 B10, B13, C9, D11 有顯示(INDICATIONS)，但背波顯示良好，顯示位置從頂端算起 19.5” 至 20.1” 之間。對於此 4 支螺栓之顯示，研判是螺紋根部裂紋；其餘內圈 53 支、外圈 60 支錨定螺栓檢測全部合格。

c. 101 年 3 月 28 日專案會議確認將採移除螺栓並更換新螺栓的方式修理，

並於 4 月 3 日赴原能會簡報修復方案，原能會同意本廠進行修復方案中之螺栓切除作業(D14、C6、B13)。

d. 101 年 4 月 4 日開始進行螺栓切除作業，並將切除之螺栓部份交與核研所執行金相分析。

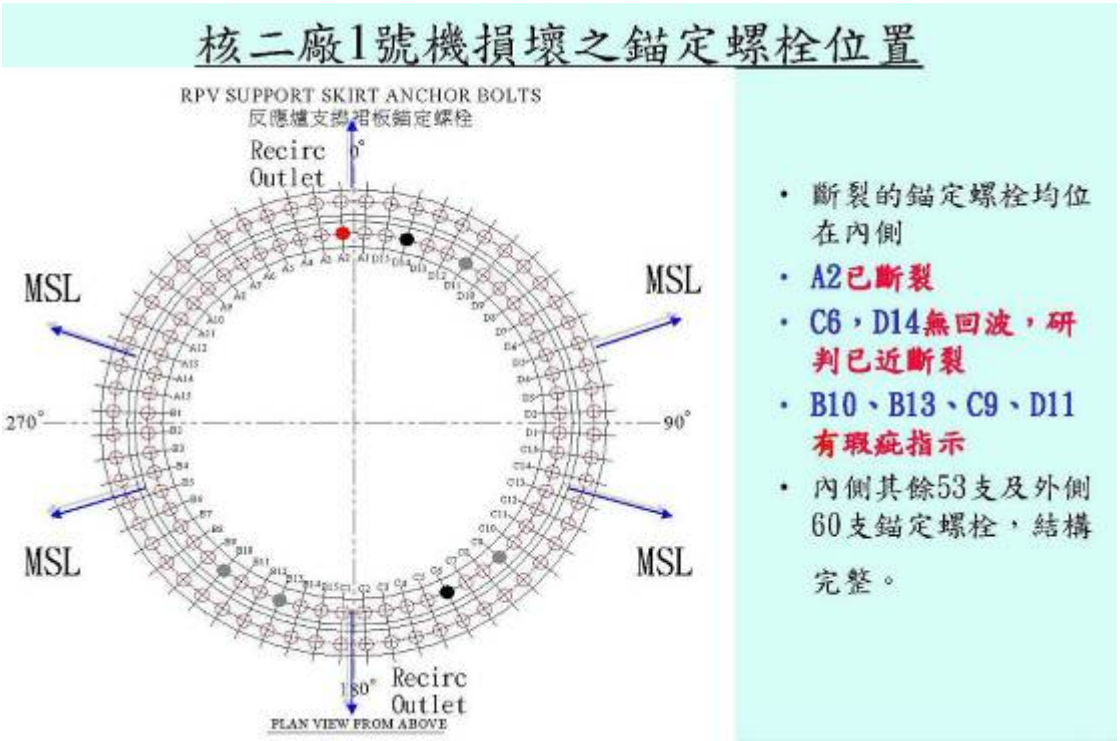
e. 101 年 4 月 8 日緊急採購之新螺栓(9 支)運抵核二廠，經 UT 檢測合格後，開始進行除編號 A2 外其餘 6 支螺栓之更換作業，並於 4 月 10 日完成；4 月 11 日完成已更換螺栓預力再確認作業及灌漿回填作業，完成修復。A2 螺栓位置因受 RWCU 系統自反應爐爐底聯結之管路影響，空間區域狹窄，施工困難度高，必須研擬其他工法，當時未一併更換，後於 4 月 26 日完成修復。

f. 本次檢測發現缺陷之反應爐支撐裙板錨定螺栓，係委託核能研究所進行破斷/裂紋的破壞分析，以進一步釐清螺栓損壞的肇因。其中，A2 螺栓上部破斷面試片於 101 年 3 月 24 日送核研所進行金相檢驗；C6 螺栓於移除過程中確認已呈斷裂，經車取兩側斷裂面試片，於 101 年 4 月 5 日送核研所進行檢驗;D14 破斷螺栓試片及另 4 支有裂紋瑕疵之試片於 101 年 4 月 12 日續送核研所檢驗。

g. 過程中並請工研院材化所對破損螺栓進行機械性質分析，及對本案肇因研判共同探討。



圖一、A2 螺栓斷裂情形



圖二、核二廠 1 號機損壞之錨定螺栓位置

三.收集事件資料

□ 事件前 ：(如附件____－)
■ 事件時 ：(如附件__1__－反應爐支撐裙板錨定螺栓超音波檢測報告)
□ 事件後 ：(如附件____－)
□ 其　他 ：(如附件____－)

四.是否拍照存證

■ 是 (如附件__2__－破損螺栓斷面及瑕疵照片)
□ 否

五.故障元件分析

□ 目　　視
□ 在廠分析
■ 送廠外分析 (如附件 3 － 9)
□ 其　　他

六.廠家建議/參考文件

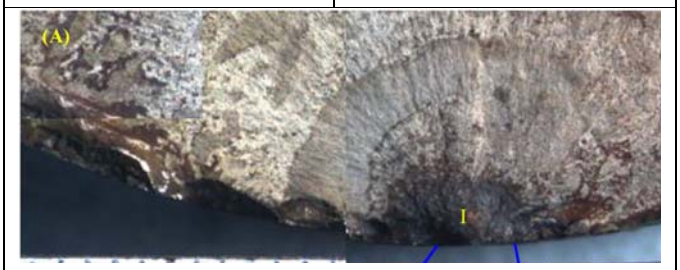
附件 10- Joint-Diagrams
附件 11- FATIGUE CRACK GROWTH BEHAVIOR of AISI 4340
附件 12- EPRI_NP_5769
附件 13-工研院材化所螺栓失效過程分析推論
附件 15-NUREG-1801 Rev2

七.肇因分析推演：（推演方式不拘）

由金相及裂紋形貌觀察可以彙整如下表：

編號	裂紋起始	裂紋深度	裂紋形貌	起始區形貌	成長區形貌	其他	備註
A2	螺桿區	斷裂	平坦	表面損傷 沿晶裂縫 腐蝕破壞形貌	疲勞裂紋	硫化物夾雜	金相分析
C6	螺牙	斷裂	平坦斜面	牙根部起始 沿晶裂縫 腐蝕破壞形貌	疲勞裂紋	硫化物夾雜	金相分析
D14	螺牙	幾近斷裂	平坦斜面	表面損傷 沿晶裂縫 腐蝕破壞形貌	疲勞裂紋	硫化物夾雜	金相分析
B10	螺牙	5~6mm	由螺紋向螺栓內部及向下延伸	牙面起始 沿晶裂縫 腐蝕破壞形貌	疲勞裂紋	硫化物夾雜	金相分析/Phased Array
B13	螺牙	4mm	無明確方向			由 Phased Array 超音波檢測其裂紋形貌與 B10 類同，判斷起始區與 B10 相同	Phased Array
C9	螺牙	1mm	無明確方向				Phased Array
D11	螺牙	8mm	由螺紋向螺栓內部及向下延伸				Phased Array

以下進行肇因分析推演：

次 序	問題點	查証結果	分析結果
1	腐蝕	■ 由金相分析發現裂紋起始區有腐蝕現象。 ■ 起始區裂紋為沿晶裂紋。 ■ 建廠初期露天環境。	■ 因建廠露天環境造成水分侵入，產生腐蝕性環境。 ■ A-540 B23 Class 1 合金鋼具有 SCC 敏感性；本案有可能是在腐蝕環境中產生初始之裂紋。由 EPRI 文獻(EPRI NP-5769 Table 4-1)(附件 12)亦可發現相同螺栓材料在高預力及溼氣環境中，有 SCC 劣化情形。 ■ 依 GALL Rev. 2 第三章結構與組件支撐之分類，核二廠 RPV anchor bolt 為 ASME Class 1 管路與組件之支撐，材質為降伏強度大於 150ksi 的高強度低合金鋼，為高強度結構螺栓組件，在室內無空調環境下的老化效應或機制可能產生應力腐蝕龜裂。(NUREG-1801 Rev2) ■ 後來隨著露天環境改善，及後續空調環境及機組運轉，積存之水
			

			分乾燥後，腐蝕環境消失，裂紋停止增長。 ■ 腐蝕性環境應為一致性，但事件結果顯示受到影響的只侷限部分螺栓，而且建廠階段之腐蝕環境並沒有相當嚴苛，因此應有某些促進裂紋生成之因素。 ■ 由裂紋起始區觀察，起始點有表面瑕疵，且裂紋走向為斜向，顯示安裝過程中之應有受到機械力造成之表面瑕疵或應力集中。 ■ 斷裂錨定螺栓斷面相當平坦，起裂破壞為脆性沿晶模式，並非疲勞造成之穿晶模式，因此疲勞不是本案起裂之原因。 ■ 斷裂之螺栓所處的環境並非充氫之環境，故排除氫脆造成起裂之原因。
2	施工方法較為老舊	■ 除 A2 外，裂紋發生於螺牙區。 ■ 裂紋起始點有機械力造成之表面瑕疵，或應力集中區域。 ■ 裂紋走向為斜向，應與機械性施力有關。	■ 依所收集之建廠施工資料，螺栓鎖磅係使用液壓板手。有可能使螺牙損傷或撕裂牙根部形成微細瑕疵，或產生應力集中點。
3	材料瑕疵	■ 由金相觀察有硫化夾雜。	■ 當硫化物接近表面或暴露於表面時，易使在安裝施力不當時之產生細微龜裂，使之於腐蝕環境存在時致使裂紋成長。 ■ 在腐蝕環境存在時因螺栓本身已施加高之拉張力，而有硫化物夾雜暴露於表面時，使之形成蝕孔及裂紋。
4	裂紋成長至斷裂	■ 裂紋成長區顯示疲勞裂紋。 ■ 由螺栓破斷面之腐蝕產物厚度，裂紋的成長緩慢。	■ 如初始裂縫過長，高剛性螺栓預力將大幅降低。微裂之螺栓仍維持大部份預力。 ■ 而預力大幅喪失之螺栓，在運轉中承受較高之疲勞負荷，加上裂縫較長及材料特性等，裂縫強度因子將高於門檻值，產生疲勞裂縫成長，裂縫會持續增長直到斷裂(附件 10)。 ■ 微裂之螺栓仍維持大部份預力，只有部份運轉之疲勞負荷傳

			遞至螺栓，相對而言,在運轉疲勞應力下,裂縫強度因子仍處於門檻值以下或在門檻值區域,裂縫成長趨向停滯或成長極為緩慢。

八.重建故障現象 : (FAILURE SCENARIO CONSTRUCTION)

反應爐支撐裙板錨定螺栓設計上受有高張預力的錨定螺栓中,在相關文獻資料上顯示為具應力腐蝕龜裂(SCC)敏感性材料。特別在某些製程上產生硫化物夾雜之螺栓兼有促進腐蝕的作用，當碰上因早期較老舊施工方法(以液壓板手鎖磅)所產生應力集中或表面缺陷，在建廠初期階段性露天環境下而產生應力腐蝕龜裂(SCC)。

因敏感性材料,伴隨施工過程產生的應力集中或表面缺陷,及建廠初期露天環境衍生之階段性腐蝕環境，所形成的應力腐蝕龜裂(SCC)於後續腐蝕環境改善(露天環境改善及區域空調建立、機組運轉)後，應力腐蝕裂紋即停止增長。此時雖於該螺栓中存有深度不一之裂紋，但由於螺栓未裂截面仍足夠負荷其承受的拉力，故螺栓不會立即斷裂。

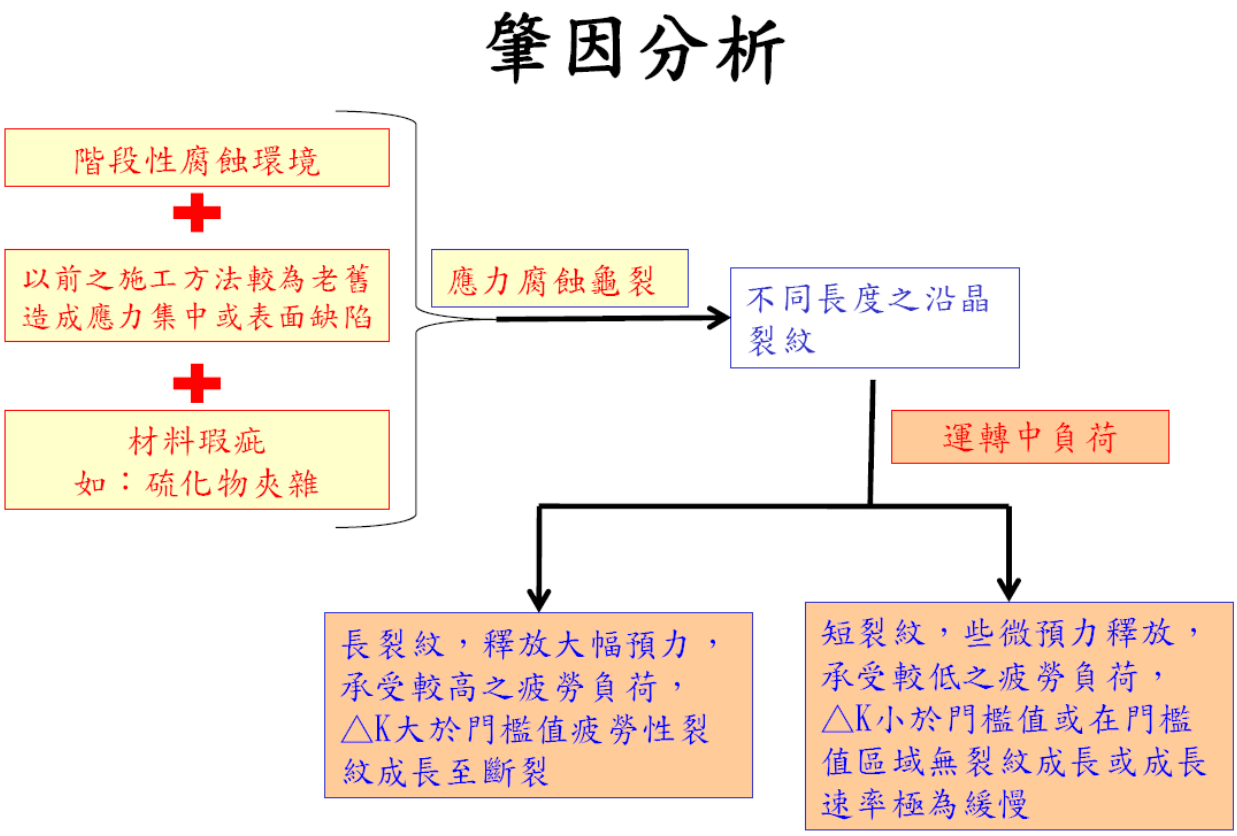
高剛性螺栓預力會因裂紋開口而釋放預力;如初始裂縫深,將大幅降低。。該螺栓之預力(其負荷分散至週邊的螺栓)，其於運轉中將承受較高疲勞負荷，且因裂縫較長，裂縫強度因子高於門檻值，相對疲勞裂縫成長速率偏高，疲勞裂縫持續增長直到斷裂。（A2、C6、D14 裂紋成長模式）

至於其他存有微裂之螺栓,仍然維持大部份預力,只有部份運轉之疲勞負荷傳遞至螺栓，相對而言，在運轉疲勞應力下，裂縫強度因子仍處於門檻值以下或在門檻區域，裂縫成長趨向停滯或非常緩慢。(B10、B13、C9、D11 裂紋成長模式)

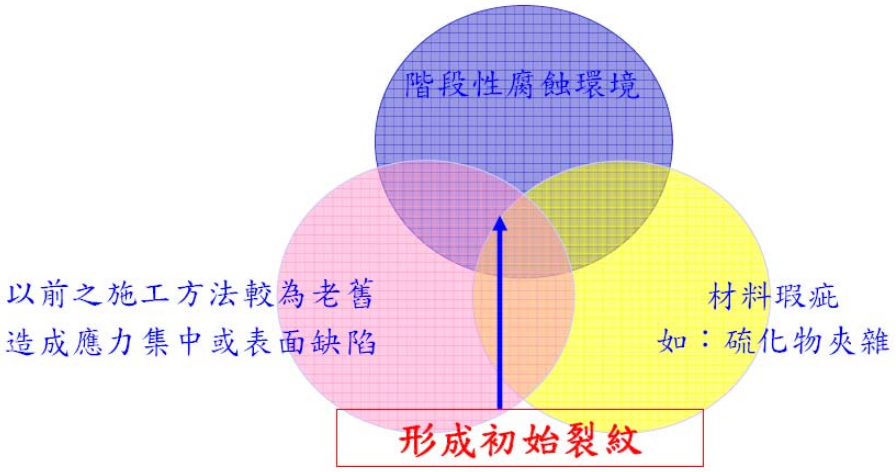
九. 肇因認定 : (綜合以上肇因分析推演, 並參考肇因分析執行人員之意見)

綜合以上肇因分析推演，螺栓斷裂可分為兩個階段；分別為裂縫起始期(crack initiation stage)及裂縫成長期(crack propagation stage)。可歸納以下肇因

機制：



由以上分析，階段性腐蝕性環境、以前之施工方法較為老舊造成的應力集中或表面缺陷、及材料瑕疵而產生應力腐蝕龜裂(SCC)是本案的起始肇因。



由以上圖示初始裂紋之形成，需三個條件同時成立，因此當階段性腐蝕環境改善後即不會有新增裂紋，而原已形成存在之腐蝕裂紋，也會停止增長。

十．經肇因分析結果，本事故之肇因屬於

1．人爲疏忽

□ 未遵循程序書工作

□ 訓練不足

□ 精神不集中

□ 工作規劃不足

□ 溝通不足 / 通訊不良

□ 其他（請說明 ：　　）

2．程序書缺失

□ 缺乏合適之程序書

□ 程序書欠週延

□ 程序書內容不正確

3．設備故障

□ 過載

□ 疲勞/振動/偏心

■ 腐蝕/孔蝕/沖蝕

□ 磨損/擦破/擦損

□ 材質老化或缺失

□ 電磁干擾

□ 設計不良

■ 製造不良

■ 施工不良

□ 維護不良

□ 肇因未查明，仍持進一步鑑定（鑑定單位:　　）

4．環境問題

■ 濕度

□ 溫度

□ 光線

□ 輻射線

□ 空間

□ 噪音

□ 鹽害

□ 其他（請說明 ：　　）

5. 其他（請說明 ：　　）

十一. 以往類似事件 ：

二號機前次大修(EOC21)於100年10月24日執行反應爐支撐裙板錨定螺栓除銹、清潔作業時，發現位於裙板外側有1支螺栓斷裂，即改以超音波檢測(法規原要求以VT-3目視檢測)其餘119支螺栓結果正常，並經評估確認可再安全運轉，一個週期後將進行修復。本次1號機大修即因本項經驗回饋，進行超音波檢測。

2號機該斷裂螺栓之肇因分析結果顯示為材料製程缺陷(孔洞)所引起的單一事故。

EPRI-NP-5769, 1973年Haddam Neck電廠SG Support Embedment Anchor Bolts 同樣材質螺栓於high preload & Moisture Environment中發生SCC。

十二.電廠內同類型潛在故障/失誤評估 ：

電廠其他設備組件經查並無類似材質用於錨定螺栓之應用。

十三. 改正行動及預防再發生措施 ：(若不適合項目，請填 NA)

1. NA 運轉維護人員訓練

需要訓練之相關組 ：

措施 ：

2. V 程序書修改（執行組：機械組）

措施 :修訂第四個 10 年運轉期間檢測計畫，將反應爐支撐裙板錨定螺栓檢測方式修訂為超音波檢測，檢測頻率為每次大修。

3. NA 設備改善（執行組： ）

措施 ：

4. NA 執行 HPES 分析

5. NA 其 他（執行組： ）

肇因分析小組組長：

十四. 改正措施之執行 ：

1. 已完成項目 ：

已於 4/26 將 1 號機所有斷裂或檢測出有暇疵之反應爐支撐裙板錨定螺栓共 7 支全數以同規格之新品更換。

執行部門簽章 ：

2. 預定完成期限 ：

(1) 短期項目及期限和執行部門

無。

執行部門簽章 ：

(2) 長期項目及期限和執行部門

1. 修訂第四個10年運轉期間檢測計畫，將反應爐支撐裙板錨定螺栓檢測方式修訂為超音波檢測，檢測頻率為每次大修。
2. 預定於 101 年 10 月 31 日前完成。

執行部門簽章 ：

3. 確認改正措施之切實執行

品質組簽章 :_____

十五.附件資料

1. 附件 1 : 反應爐支撐裙板錨定螺栓超音波檢測報告
2. 附件 2 : 破損螺栓斷面及瑕疵照片
3. 附件 3 : 核二廠一號機損錨定螺栓微量元表分析結果
4. 附件 4 : 缺陷螺栓機械性質比較表
5. 附件 5 : 破損螺栓 Phased Array 超音波評估報告
6. 附件 6 : 核二廠一號機 EOC22 反應爐支撐裙板 A2 錨定螺栓斷裂熱室檢驗初步報告
7. 附件 7 : 核二廠一號機 EOC22 反應爐支撐裙板 C6 錨定螺栓斷裂熱室檢驗初步報告
8. 附件 8 : 核二廠一號機 EOC22 反應爐支撐裙板 D14 錨定螺栓斷裂熱室檢驗初步報告
9. 附件 9 : 核二廠一號機 EOC22 反應爐支撐裙板 B10 錨定螺栓斷裂熱室檢驗初步報告
10. 附件 10 : Joint-Diagrams
11. 附件 11 : FATIGUE CRACK GROWTH BEHAVIOR of AISI 4340
12 附件 12 : EPRI_NP_5769
13. 附件 13 : 工研院材化所螺栓失效過程分析推論
14. 附件 14 : NUREG-1801 Rev.2

附件1

Testing Laboratory
0418

台灣電力公司
核能發電處
非破壞檢測隊
核二分隊
非破壞檢測報告

報告編號：10103038

頁數(含本頁)：9 頁

日期：101 年 03 月 26 日

本隊地址：台北市羅斯福路三段 242 號

申請檢測單位/地址：核二廠機械組 申請單編號：10103038

檢測件名稱(系統/設備/組件/焊道)：反應爐支撐裙板錨定螺栓 120 支

檢測方法：☐測厚， ☑UT， ☐PT， ☐MT， ☐RT， ☐ET

檢測結果摘要：

1. 1 支現場已斷，另 2 支無背波顯示，判斷已接近斷裂。
2.. 另 4 支有顯示。
3. 詳如附頁報告。

附頁：☑ 超音波檢測報告，共 8 頁。 ☐ 射線檢測報告，共＿＿＿頁。

☐ 液滲檢測報告，共＿＿＿頁。 ☐ 渦電流檢測報告，共＿＿＿頁。

☐ 磁粒檢測報告，共＿＿＿頁。 ☐ 超音波測厚報告，共＿＿＿頁。

技術主管(分隊長)：核能發電處 非破壞檢測隊 核二分隊長 101. 3. 26 蔡錫聯

負責人(檢測隊經理)：核能發電處 非破壞檢測隊 101. 3. 26 陳勝雄

備註：1.本報告僅對測試件負責。

2.除非獲得本實驗室書面同意，本檢測報告不得摘錄複製，但全部複製除外。

核二廠一號機反應爐支撐裙板錨定螺栓超音波檢測報告

一、檢測概述：

101 年 3 月 24 日在核二廠一號機反應器廠房乾井區內對 120 支反應爐支撐裙板錨定螺栓在未拆卸下(IN PLACE EXAMINATION)實施運轉期間檢測(INSERVICE EXAMINATION OF BOLTS)。

本項檢測雖不屬於 ASME SECTION XI 檢測範圍，但檢測方式及超音波檢測校準規塊製作比照 ASME 之規定。校準規塊如附件 4。

錨定螺栓尺寸為直徑 3 吋，長 26 吋，上端螺牙 9 吋，下端螺牙 7 吋，中間無螺牙區為 10 吋。螺栓材質為 ASTM A-540 Gr. B23 或 B24 Class 1。

本項檢測使用手動超音波檢測儀 USN60，儀器在開始使用前於 101 年 3 月 16 日依照程序書線性校正合格。校正有效期 3 個月。

本項檢測工作人員為台電非破壞檢測隊蔡錫聯及陳敏榮，陳敏榮為資深中級超音波檢測員，蔡錫聯為高級超音波檢測師及 EPRI 螺栓超音波能力驗證(PERFORMANCE DEMONSTRATION)檢定合格人員。

二、檢測結果：

120 支錨定螺栓分內外 2 圈各 60 支，檢測編號及分佈圖如附件 1。

外圈 60 支檢測全部合格。

內圈編號 A2 為工作前已斷螺栓，但仍對已斷拉出部分實施檢測。

內圈編號 C6 及 D14 共 2 支，超音波顯示背波消失(NO BACKWALL REFLECTION)，判斷已接近斷裂。斷裂位置為從頂端算起 21.7”及 20”

另 4 支內圈編號分別為 B10, B13, C9, D11 有顯示(INDICATIONS)，但背波顯示良好，顯示位置從頂端算起 19.5”至 20.1”之間。對於此 4 支螺栓之顯示，研判是螺紋根部裂紋。

三、評估裂紋深度：

業界及 EPRI 對螺栓裂紋深度並無量測標準，目前最佳評估為波高與校準規塊人工瑕疵反射波高作比較，4 支螺栓之顯示位置與 23”之人工瑕疵反射波高幾乎一樣高，而顯示位置從頂端算起 19.5”至 20.1”，距

離較短，因聲音距離越遠，衰減越大，使用較遠之人工瑕疵推測 19.5” 至 20.1”位置之深度應屬合理，亦即瑕疵深 2.5mm(0.1”)，截面積為 6.8mm × 2.5mm(0.27” ×0.1”)。

四、結論：

下列為不合格螺栓清單：

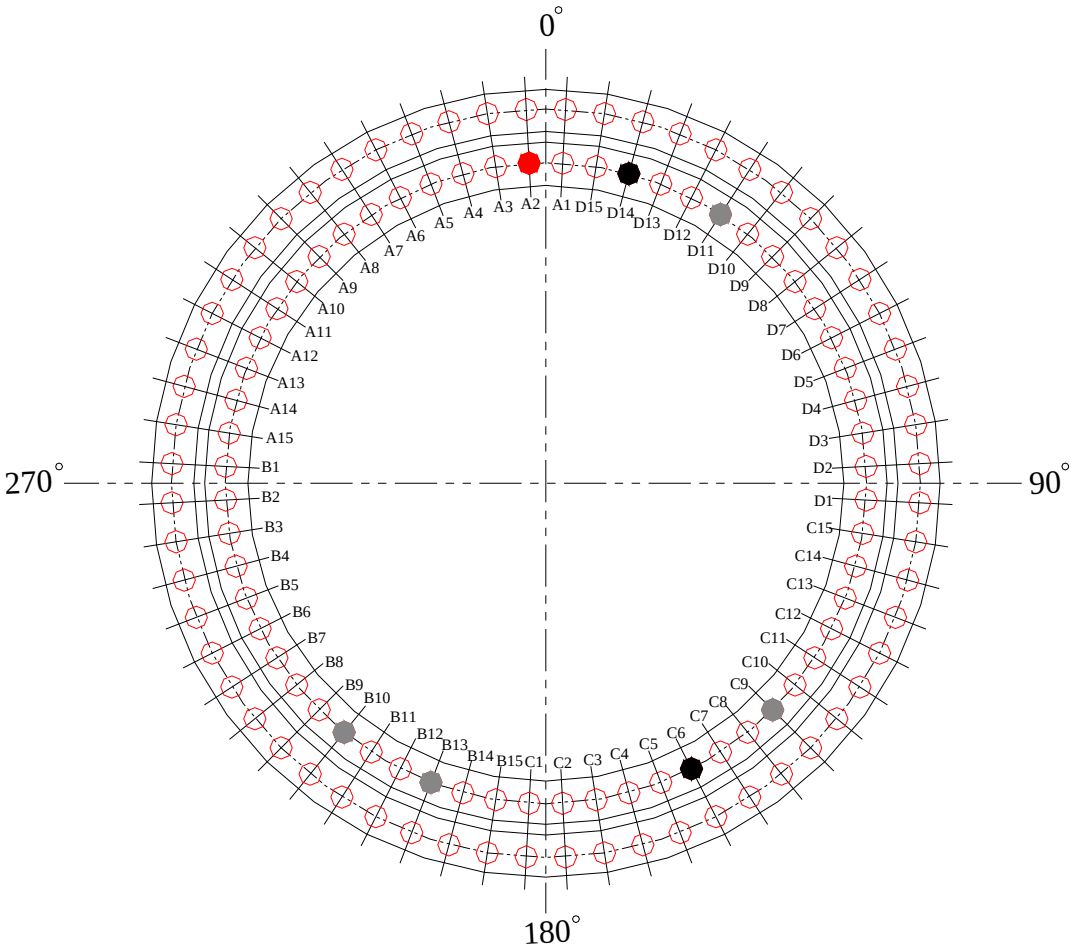
內外圈別	編號	顯示	位置
內圈	A2	斷裂	18.2”
	C6	斷裂	21.7”
	D14	斷裂	20”
	B10	裂紋	20.1”
	B13	裂紋	19.8”
	C9	裂紋	19.5”
	D11	裂紋	19.5”

五、附件

1. 錨定螺栓檢測編號及分佈圖
2. 螺件超音波檢測報告
3. 超音波檢測訊號圖
4. 超音波檢測校準規塊圖

附件 1 錨定螺栓檢測編號及分佈圖

RPV SUPPORT SKIRT ANCHOR BOLTS
反應爐支撐裙板錨定螺栓



PLAN VIEW FROM ABOVE

- 已斷(BROKEN) : A2
- 背波消失(NO BACKWALL REFLECTION) : C6, D14
- 有顯示(INDICATIONS) : B10, B13, C9, D11

分隊長：蔡錫聯　經理：陳勝雄
地址：新北市萬里區野柳里八斗 60 號
電話：02-24985990 轉 2758
傳真：02-24982624

台電核能發電處
DEPARTMENT OF NUCLEAR GENERATION, TPC
非破壞檢測隊核二分隊
2ND NDT SECTION, NDT TEAM

螺件超音波檢測報告
BOLTING ULTRASONIC EXAMINATION REPORT

報告編號：10103038
REPORT NO
檢測日期：101.03.24
DATE
頁次：第 1 頁，共 2 頁
PAGE OF

廠別：核二廠 SITE　機組別：#1 UNIT　螺件長度：26" BOLTING LENGTH　螺件外徑：3" BOLTING OD

程序書編號：ISI-UT-24-3 PROCEDURE NO.　版次/變更通知單編號：1/1 REVISION NO./PCN NO.　校準紀錄編號：01 CALIBRATION SHEET NO.

材質：☑碳鋼 CS ☐不銹鋼 SS 其他：_____ OTHER　規塊與測件之溫差≦25°F(14℃)：☑是 YES ☐否 NO
COMPONENT TEMP. WITHIN 25°F(14℃) OF CAL BLOCK

探頭角度 ANGLE USED	0° (ZONE 1)	0° (ZONE 2)		
掃描靈敏度：SCAN SENSITIVITY	54dB	66dB		dB

系統 / 組件 SYSTEM / COMP.	螺件編號 IDENTIFICATIONS	檢測結果 RESULT 合格 ACCEPT	檢測結果 RESULT 不合格 REJECT	應記錄之顯示 RECORDABLE INDICATIONS 無 NO	應記錄之顯示 RECORDABLE INDICATIONS 有 YES	備註 REMARKS
反應爐支撐裙板錨定螺栓	內 A2, C6 內 D14		✓		✓	斷裂
	內 B10, B13 內 C9, D11		✓		✓	裂紋
	內 A1, A3~A15 內 B1~B9, B11,B12 內 B14,B15	✓		✓		
	內 C1~C5,C7,C8, 內 C10~C15 內 D1~D10, D12,D13, D15	✓		✓		
	外 A1~A15 外 B1~B15	✓		✓		
	外 C1~C15 外 D1~D15	✓		✓		

備註/檢測限制：REMARKS / LIMITATIONS
1. 螺栓未拆卸狀況下檢測(IN PLACE EXAMINATION)
2. 顯示狀況詳如「核二廠一號機反應爐支撐裙板錨定螺栓超音波檢測報告」

檢測員：EXAMINER(S) 許紹華 級別：LEVEL II
蔡錫聯 級別：LEVEL III

審核者：REVIEWED BY 陳勝雄
級別：LEVEL II　日期：DATE 101.3.26

超音波檢測校準紀錄
CALIBRATION RECORD OF ULTRASONIC EXAMINATION

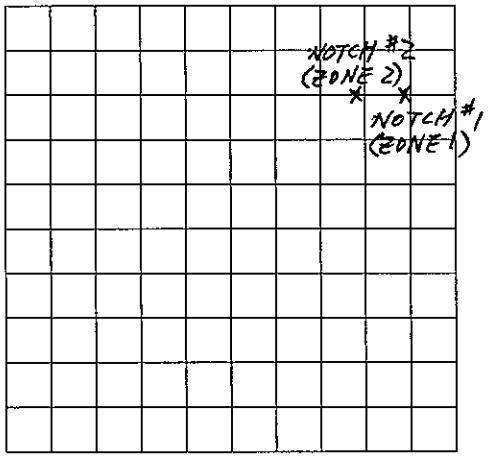
報告編號：REPORT NO 10103038
校準紀錄編號：CAL. RECORD NO. 01
檢測日期：DATE 101.03.24

廠別：核二廠 SITE ____ 機組別：1 UNIT ____ 程序書編號：ISI-UT-24-03 PROCEDURE NO. ____ 版次/變更通知單編號：1/1 REVISION NO./PCN NO. ____

超音波儀器廠牌：INSTRUMENT MANUFACTURER KRAUTKRAMER 機型：MODEL USN 60 序號：SERIAL NO. 00YT09

校準規塊編號：CALIBRATION BLOCK NO. 259 溫度：TEMP. 26℃ 耦合劑：COUPLANT ULTRAGEL II 批號：BATCH NO. 07225

校準時間：INITIAL CAL. TIME 09：00



ZONE 1 / ZONE 2

全螢幕寬＝FULL SCREEN WIDE 10"/30" 吋 INCHES

	探頭 1 SEARCH UNIT 1	探頭 2 SEARCH UNIT 2
廠牌 BRAND	Staveley	
型式 STYLE	A10L	
序號 SERIAL NO.	1246	
尺寸 SIZE	0.5"Φ	
頻率 FREQ.	10MHz	
波式 MODE	L-WAVE	
公稱角度 NOM. ANGLE	0°	
量測角度 MEAS. ANGLE	NA	

校準驗證
CALIBRATION VERIFICATION

時間 TIME	振幅高度 AMPLITUDE 合格 YES	振幅高度 AMPLITUDE 不合格 NO	水平讀數 SWEEP READING 合格 YES	水平讀數 SWEEP READING 不合格 NO
11：00	V		V	

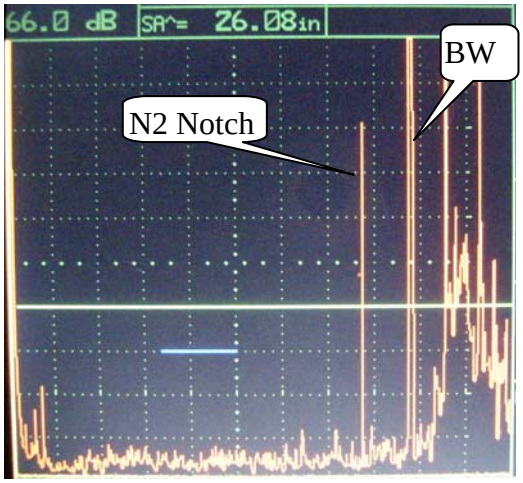
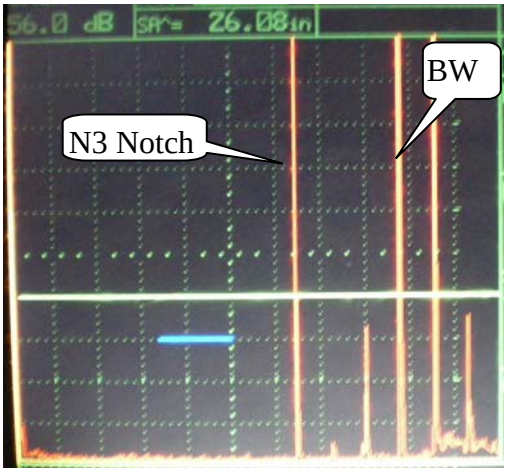
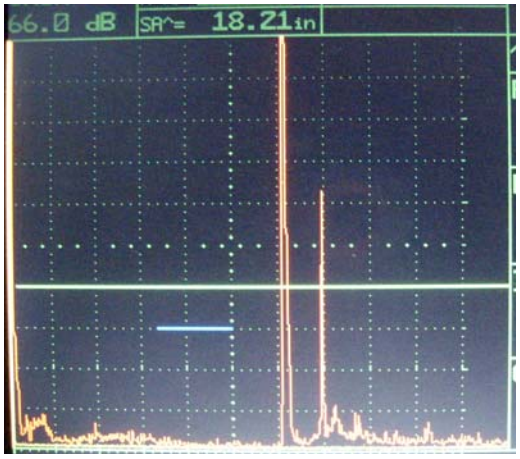
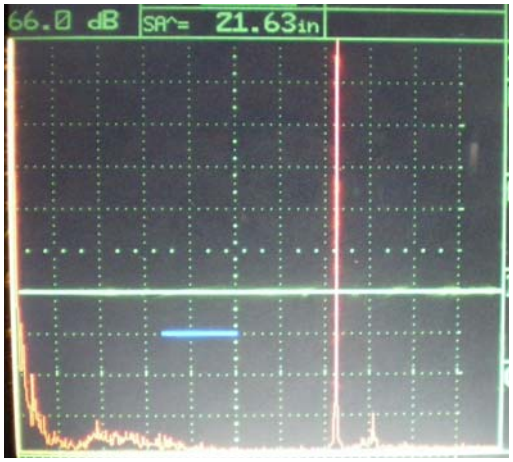
儀器設定
INSTRUMENT SETTINGS

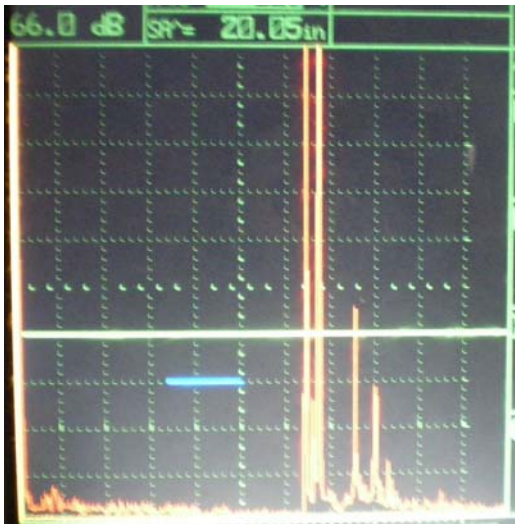
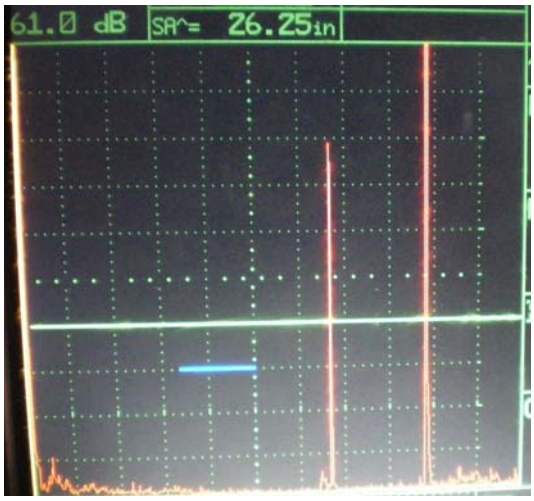
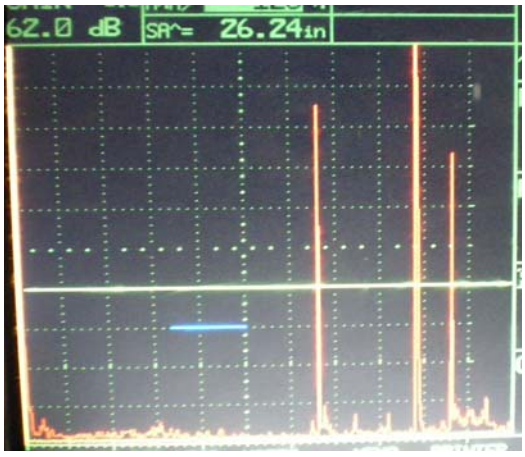
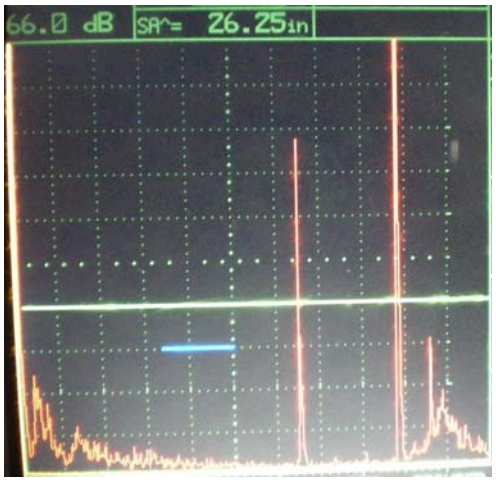
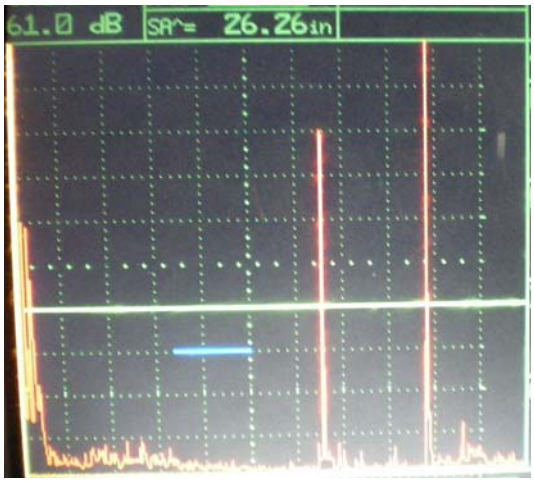
	探頭 1 SEARCH UNIT 1	探頭 2 SEARCH UNIT 2
頻率 FREQ.	10MHz	10MHz
雜訊抑制 REJECT	0%	0%
迴掃範圍 SWEEP RANGE	10.00"	10.00"
迴掃遲延 SWEEP DELAY	P.D：0.3375μS D.D：0.000μS	P.D：0.3375μS D.D：0.000μS
音速 VELOCITY	0.2323"/μS	0.2323"/μS
阻尼/濾波 DAMPING / FILTER	1000Ω / FULL WAVE	1000Ω / FULL WAVE
脈波寬度 PULSE WIDTH	NA	NA
脈波重覆率 PRR	AUTOLOW	AUTOLOW
靈敏度 SENSITIVITY	ZONE 1 54 ⊥ ∥	ZONE2 66 ⊥ ∥
信號線長度 CABLE LENGTH	2M	2M
信號線型式 CABLE TYPE	RG59/u	RG59/u

測件名稱：EXAM. AREA / WELD
反應爐支撐裙板錨定螺栓
內 A1~A15, B1~B15 C1~C15 . D1~D15
外 A1~A15, B1~B15 C1~C15 , D1~D15

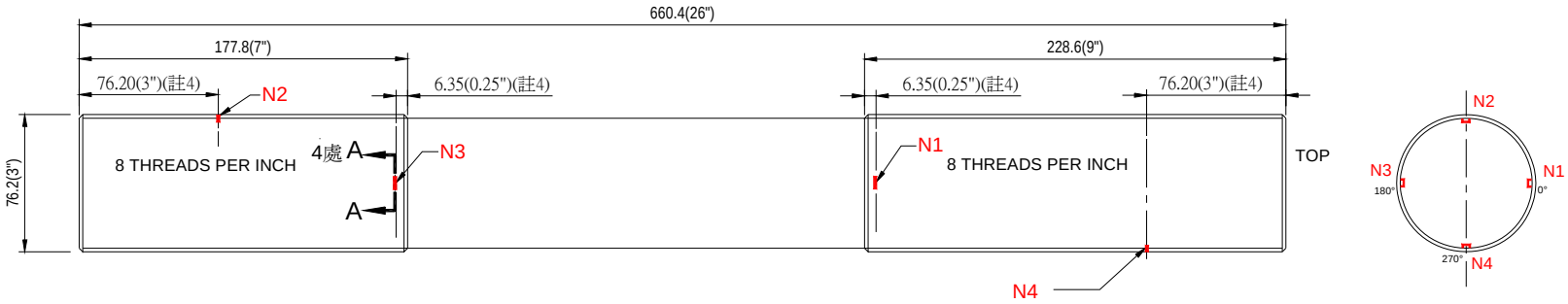
檢測員：EXAMINER(S) 陳敏茉 級別：LEVEL II
蔡錦聯 級別：LEVEL III

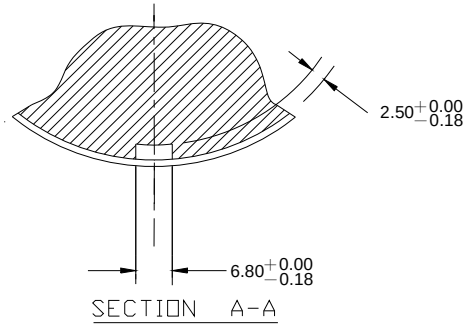
附件 3 超音波檢測訊號圖

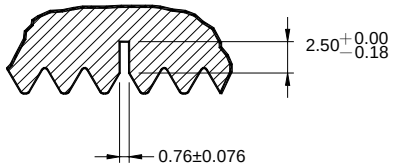
Calibration-N2 NOTCH 80%FSH  30” FSW	Calibration-N3 NOTCH 100%FSH  30” FSW
BOLT NO:A2  30” FSW	BOLT NO:C6  30” FSW

BOLT NO:D14  30” FSW	BOLT NO:B10  30” FSW
BOLT NO:B13  30” FSW	BOLT NO:C9  30” FSW
BOLT NO:D11  30” FSW	

附件 4 校準規塊圖



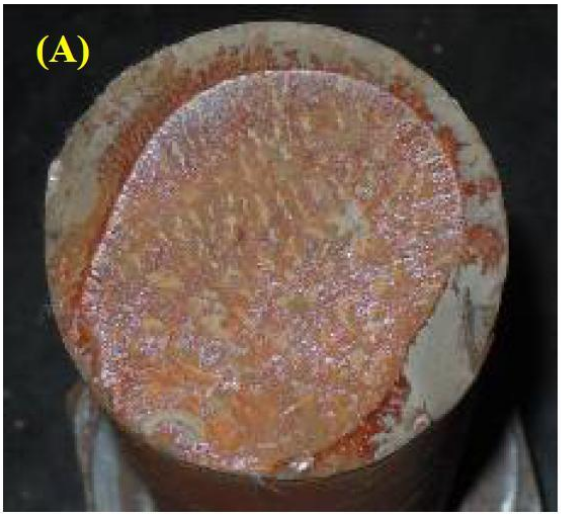


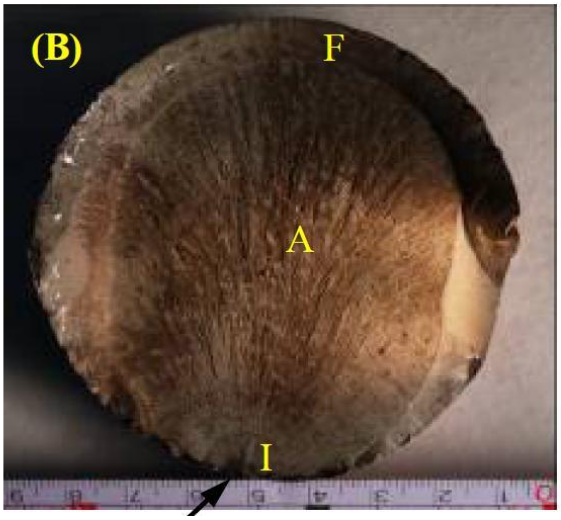


外表面凹槽寬度加工位置
(寬度中心線位於螺紋根部，並與螺紋平行)，註4

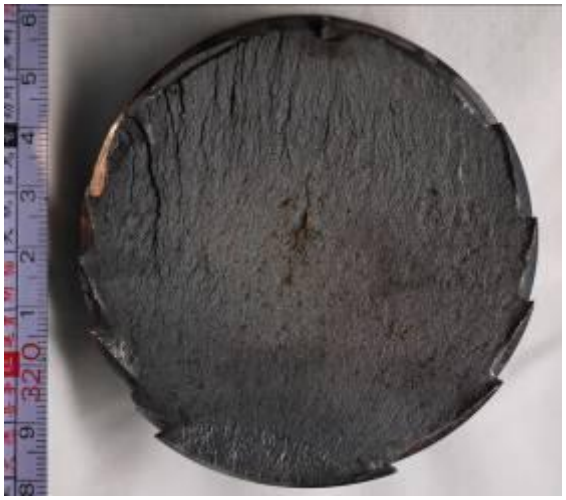
單位：mm

附件 2 破損螺栓斷面及瑕疵照片



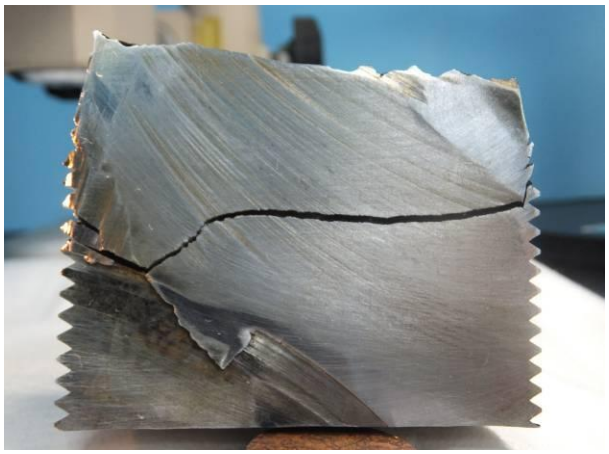


A2 螺栓斷裂形貌





C6 螺栓斷裂形貌





D14 螺栓斷裂形貌

D11裂紋情形



C9裂紋情形





B10裂紋情形



B13裂紋情形

附件 3　核二廠一號機損錨定螺栓微量元表分析結果

編號	瑕疵情形	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo
建廠規範		0.37-0.44	0.6-0.95	≦0.025	≦0.025	0.15-0.35	0.65-0.95	1.55-2.00	0.20-0.30
8073029 CMTR		0.385	0.71	0.01	0.012	0.28	0.75	1.68	0.21
61765 CMTR		0.38	0.75	0.012	0.018	0.26	0.78	1.72	0.22
61236 CMTR		0.39	0.69	0.012	0.022	0.27	0.82	1.8	0.24
A2	斷裂	0.43	0.74	0.006	0.013	0.26	0.79	1.77	0.23
C6	斷裂	0.4611	0.75	0.01	0.0244	0.28	0.78	1.73	0.23
D14	幾近斷裂	0.3851	0.73	0.01	0.0242	0.29	0.73	1.64	0.2
B10	裂紋	0.3998	0.68	0.01	0.0169	0.31	0.82	1.82	0.23
B13	裂紋	0.3876	0.75	0.01	0.0228	0.26	0.76	1.67	0.21
C9	裂紋	0.3792	0.76	0.01	0.023	0.26	0.76	1.71	0.21
D11	裂紋	0.3818	0.74	0.01	0.021	0.29	0.77	1.7	0.22
新品		0.39	0.73	0.011	0.016	0.28	0.76	1.72	0.24

附件 4　核二廠一號機損換錨定螺栓機械性質測試結果

編號	爐號	裂紋情況	抗拉強度 ksi	降伏強度 ksi	伸長率 %	斷面縮率 %	Charpy Test Ft-lb@10℉	Charpy Test Ft-lb@90℉
規範			≧165	≧150	≧10	≧35	Information Only	Information Only
建廠			168~174	155~161	15~16	52.6~54.3	26~38	48~54
建廠	61236		173.9	161.6	15	53	26~28	48~49
A2	61236	斷裂	189	171.7	14.2	46.2	試片不足	26.74
C6	61236	斷裂	175.1	154.2	14.7	45.5	19.26	26.03
D14	61236	幾近斷裂	173.7	159.1	16.6	53.1	38.52	試片不足
B10	61236	裂紋	164.2 158.2 158.1	138.6 138 138.4	16.4 17.2 17.8	53.5 53.2 53.1	28.03	42.53
B13	NA	裂紋	143.3	120.5	18.7	55.4	試片不足	42.37
C9	61236	裂紋	159.2 159.8	138.7 139.6	18.3 17.3	56.1 55.8	試片不足	43.25
D11	NA	裂紋	179.4	167.9	15.8	49.5	試片不足	40.96
新品			166~171	151~157	15~16	47~51	34~40	NA

附件5

核二廠送驗之 RPV 支撐裙板錨定螺栓

Phased Array 超音波評估報告

評估單位：核能研究所燃材組非破壞檢測實驗室

檢測標的：本次檢測螺栓共 5 件，試件編號為 B10、B13、C9、D11 及 D14，螺栓直徑為 3”，各螺栓依核二廠 NDT 結果已切為長度約 25~55mm 試件。

測試過程：

- 檢測方法及設備選用：
  - 由於螺栓切面平整度不足，且本所現有適用之 Phased Array 探頭為浸水式探頭，為避免影響超音波耦合效果，因此使用 Phased Array 浸水式檢測法，扇形掃描 S-Scan -60°~+60°（如圖 1）進行測試。
  - 目前本所無專用於螺栓檢測之自動檢測設備，因此採用手動檢測。
  - 使用設備為
    - OmniScan MX 相控陣超音波檢測儀
    - 探頭：16ETS，10MHz, 16 晶片（linear）
- 測點標示：
  - 每個螺栓分為 Top 及 Bottom 兩面，分別沿周向每 5mm 設一測點（如圖 2，箭頭指向標示為 0 度，測點為第 1 點），每面各 48 測點。
  - D14 螺栓，Top 面未修整無法執行檢測，只能執行 Bottom 面之 48 個測點，因此 5 支螺栓共 432 測點。
- 測試紀錄檔編號方式：**「螺栓編號-T（or B）-###.jpg」**
  - T 表示由 Top 面測試, B 表示由 Bottom 面測試。
  - ###為依測點編號，第 1 點為 001。
- 檢測流程：
  - Top 面以順時針方向依序檢測，Bottom 面時則以逆時針方向依序檢測。
  - 探頭在每個測點沿徑向移動，找到最大瑕疵訊號或清晰螺紋訊號後存檔。（16 晶片亦沿徑向排列）

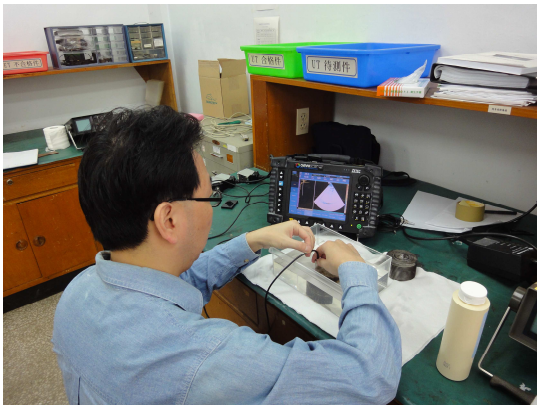


圖 1：測試儀器配置



圖 2：測試螺栓試件及測點標示

分析步驟：

由於手動單點測試只能記錄圖檔（原始資料圖檔如圖 3），測試紀錄之分析便需要使用圖形分析方式，步驟如下：

1. 依比例畫出個別螺栓試件之螺紋簡圖，再以各測點之 Top 及 Bottom 面測試圖檔進行套圖，完成測點檢測資料整合圖形（如圖 4）。
2. 依各測點檢測資料整合圖形研判瑕疵位置與螺紋之相對關係，並評估瑕疵可能尺寸及走向。

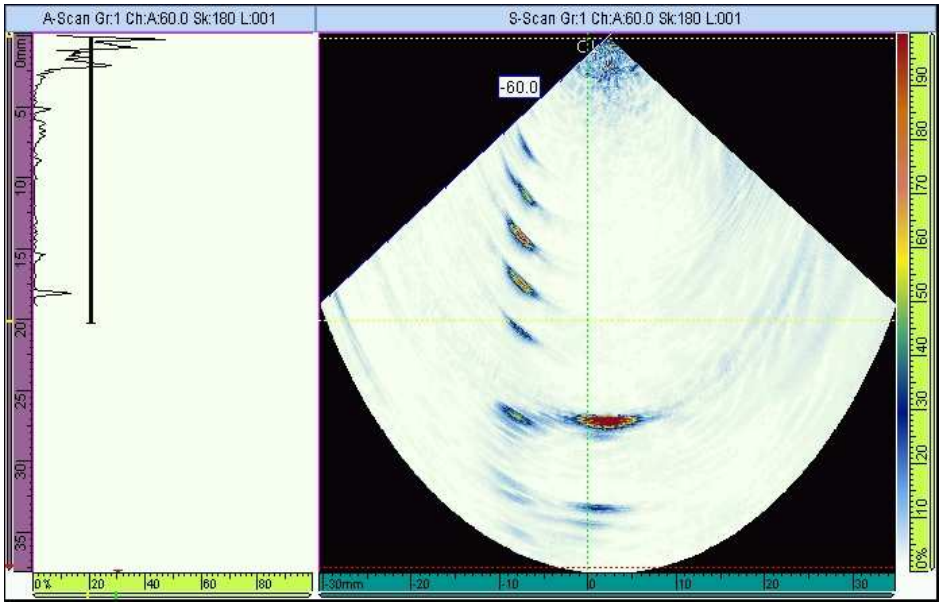


圖 3：測試紀錄檔原始資料

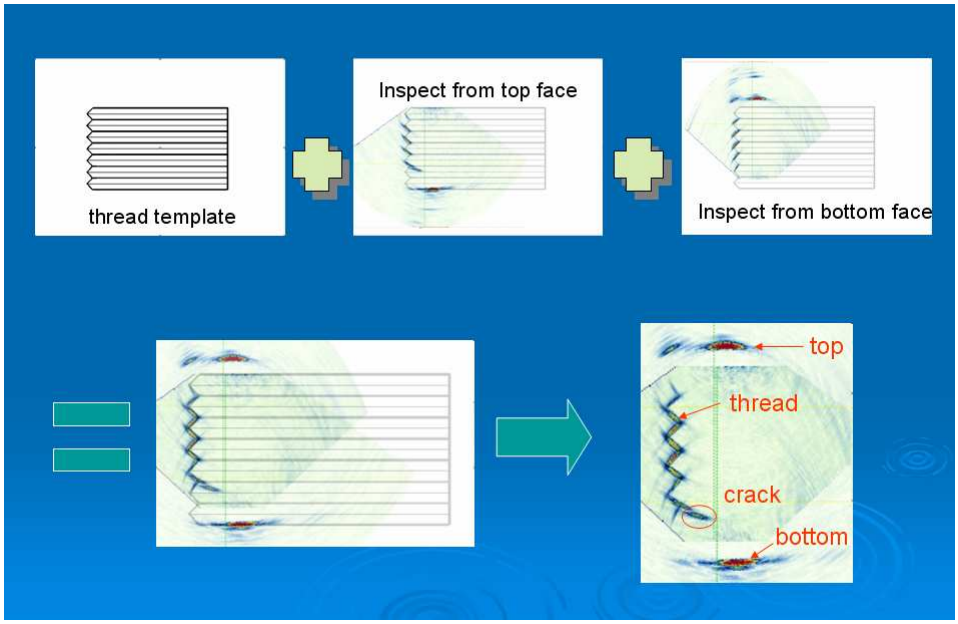


圖 4：測點檢測資料整合圖形製作範例

評估結果摘要：

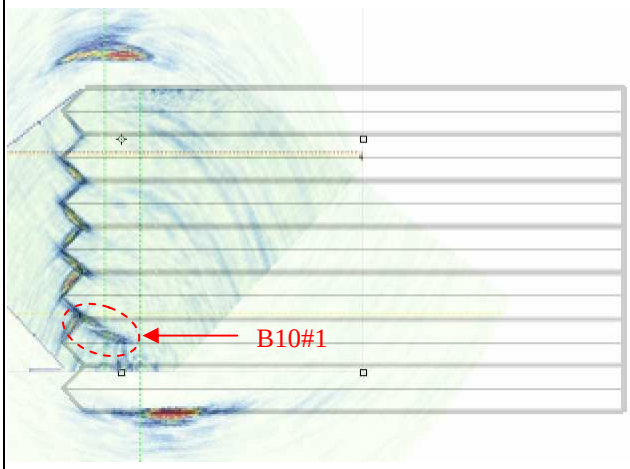
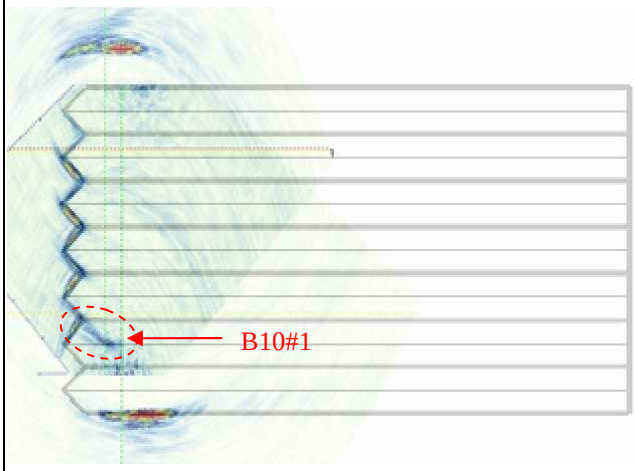
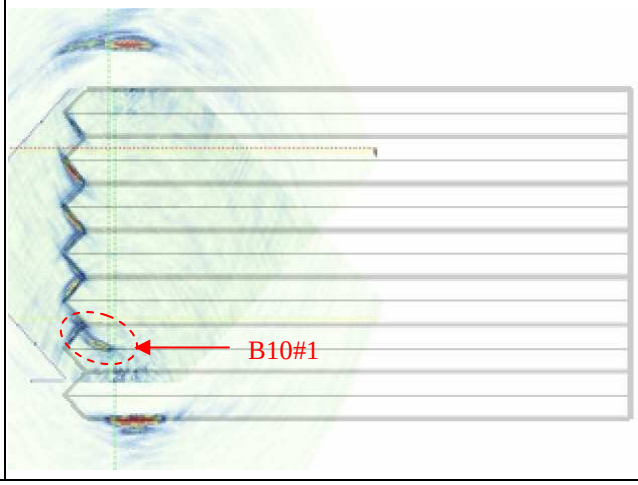
- 送驗之 5 件螺栓試件中，D14 螺栓由於頂面不平整無法執行檢測，僅底面檢測資訊不足以評估，因此未列入本報告評估結果，其餘 4 件螺栓檢測評估共 11 條裂紋，最深約 8mm，最長達 95mm（沿周向）。
  - B10 螺栓測得 1 條裂紋，長 95mm，深約 3mm，裂紋向底面延伸。
  - B13 螺栓測得 4 條裂紋，最長 90mm，最深約 6mm，裂紋向底面延伸。
  - C9 螺栓測得 1 條裂紋，長 150mm，深約 1mm。
  - D11 螺栓裂紋較複雜，且互相干擾影響檢測訊號評估，為避免誤導，此處僅列出較長及較深之主要裂紋共 5 條裂紋，最長 65mm，最深約 8mm。
- 各螺栓之評估摘要如下表一，檢出瑕疵之編號方式為「**螺栓編號#瑕疵編號**」，例如 B13#3 為編號 B13 螺栓第 3 個瑕疵；由於螺紋為周向旋轉向上，本報告描述裂紋位置與螺牙之相對位置可能在周向不同測點有一螺牙誤差。
- 各螺栓之瑕疵檢測訊號及分析請見附錄。

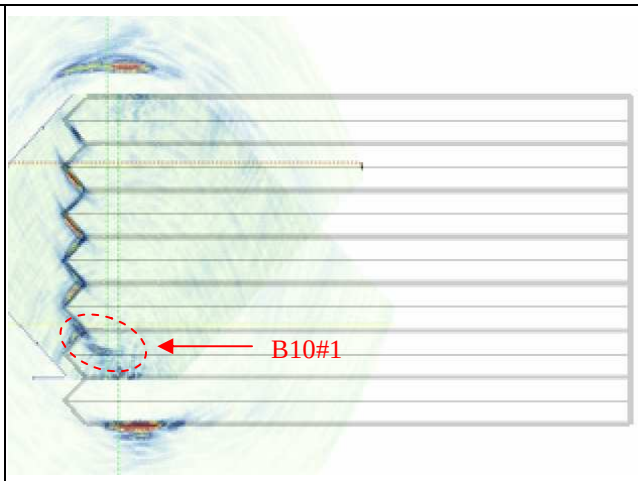
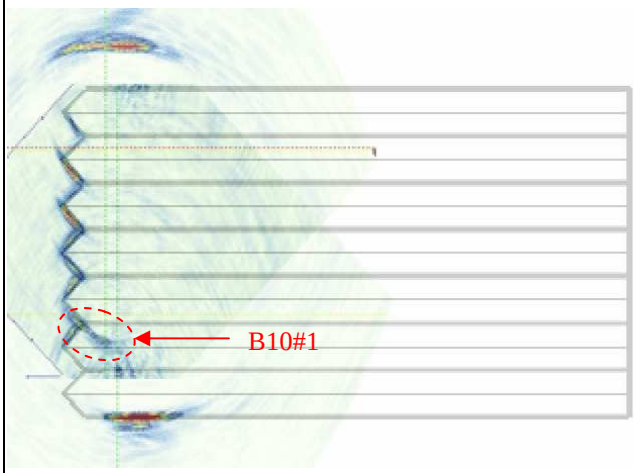
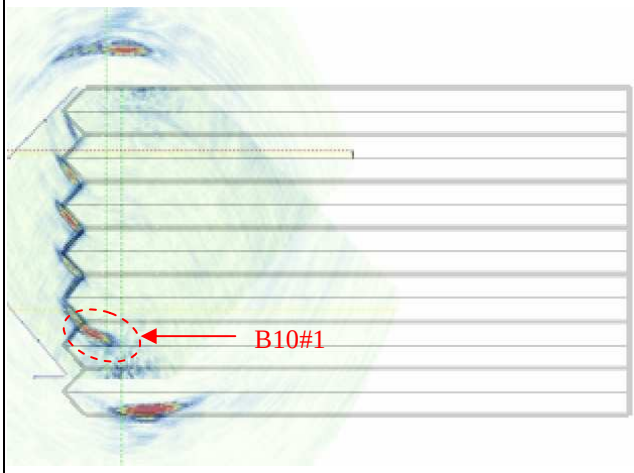
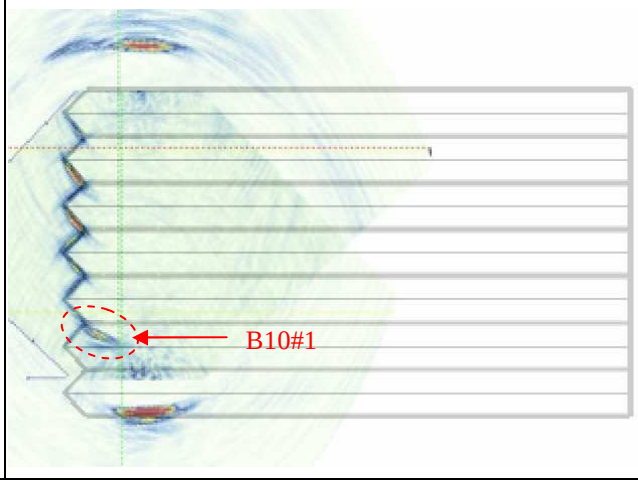
表一 各螺栓之評估摘要

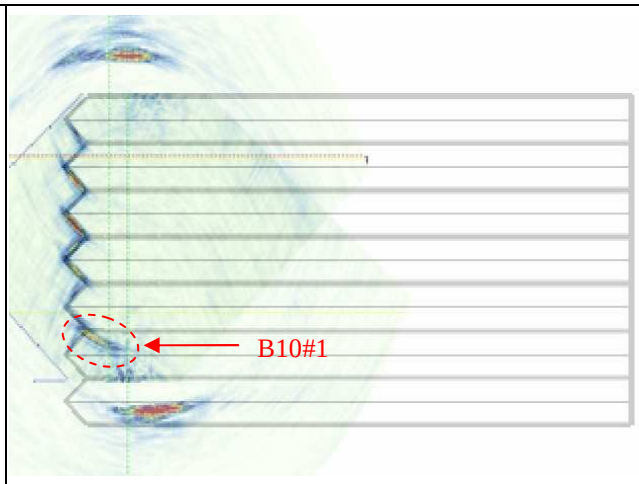
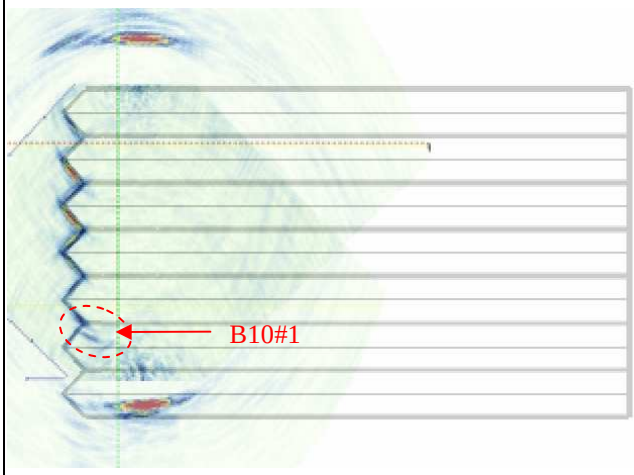
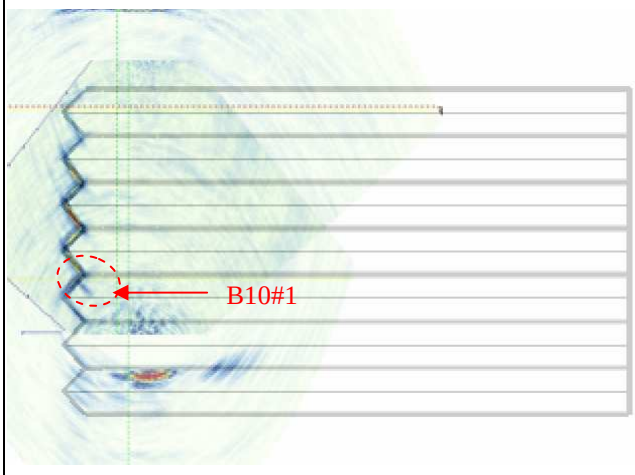
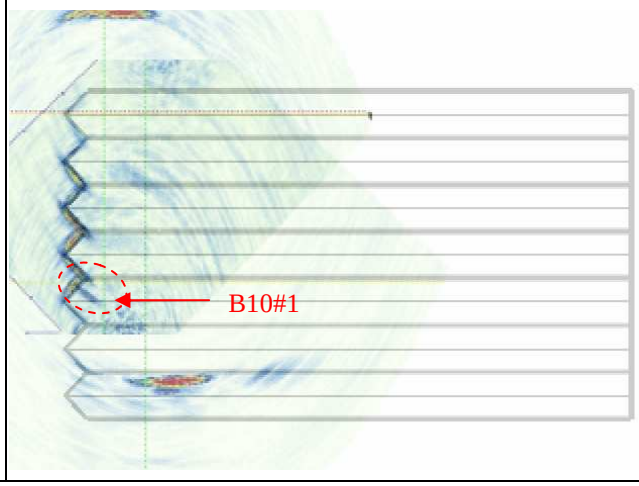
螺栓編號	瑕疵編號	特性	垂直位置	周向延伸	評估最深處（螺牙深 2mm）	其他說明
B10	B10＃1	表面裂紋	底部向上 2~3 牙間	長 95mm（測點 39~9）	約 1.5 螺牙	由螺紋向螺栓內部及向下延伸
B13	B13#1	表面裂紋	頂部向下 4~5 牙間	長 90mm（測點 39~8）	約 2 螺牙	由螺紋向螺栓內部及向下延伸
	B13#2	表面裂紋	頂部向下 7~8 牙間	長 15mm（測點 16~18）	約 1 螺牙	由螺紋向螺栓內部及向下延伸
	B13#3	表面裂紋	頂部向下 5~6 牙間	長 10mm（測點 19~20）	約 1 螺牙	無明確方向性
	B13#4	表面裂紋	頂部向下 5~6 牙間	長 10mm（測點 27~28）	約 0.5 螺牙	無明確方向性
C9	C9＃1	表面裂紋	頂部向下 2~3 牙間	長 150mm（測點 2~31）	約 0.5 螺牙	無明確方向性
D11	D11#1	表面裂紋	頂部向下 3~4 牙間	長 20mm（測點 48~3）	約 2.5 螺牙	由螺紋向螺栓內部及向上延伸
	D11#2	表面裂紋	頂部向下 6~7 牙間	長 25mm（測點 1~5）	約 1.5 螺牙	由螺紋向螺栓內部及向上延伸
	D11#3	表面裂紋	頂部向下 4~6 牙間	長 45mm（測點 8~16）	約 3 螺牙	由螺紋向螺栓內部及向上延伸
	D11#4	表面裂紋	頂部向下 5~6 牙間	長 65mm（測點 26~38）	約 4 螺牙	由螺紋向螺栓內部及向上延伸
	D11#5	表面裂紋	頂部向下 3~4 牙間	長 20mm（測點 42~45）	約 4 螺牙	由螺紋向螺栓內部及向上延伸

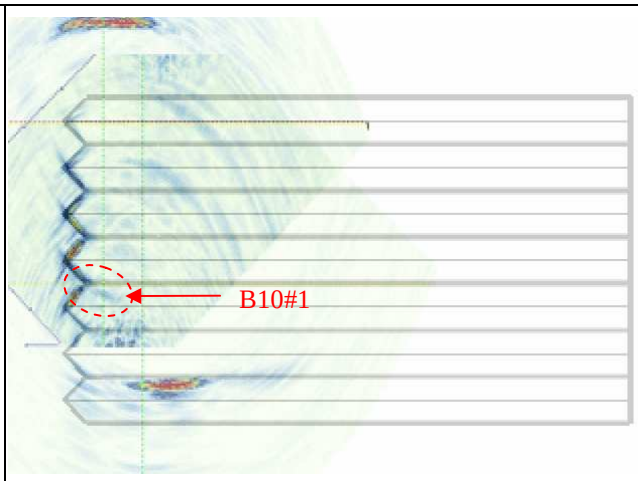
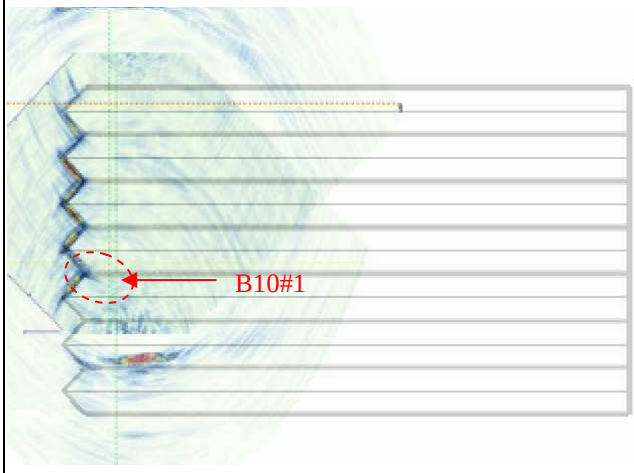
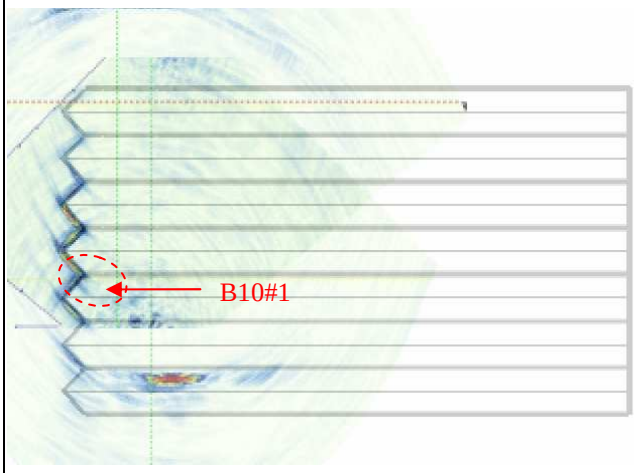
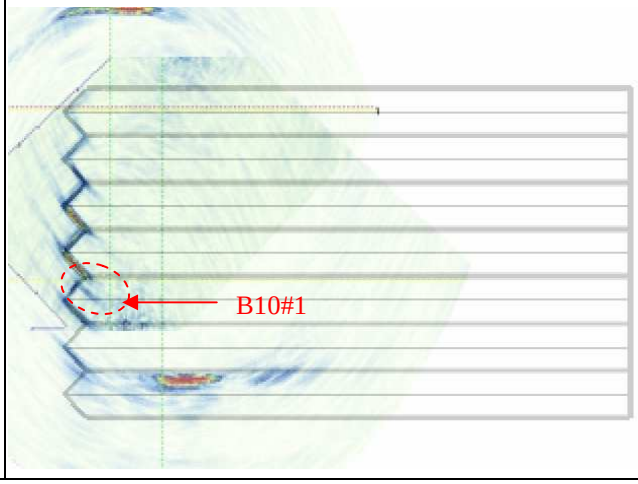
附錄
各螺栓之瑕疵檢測訊號及分析

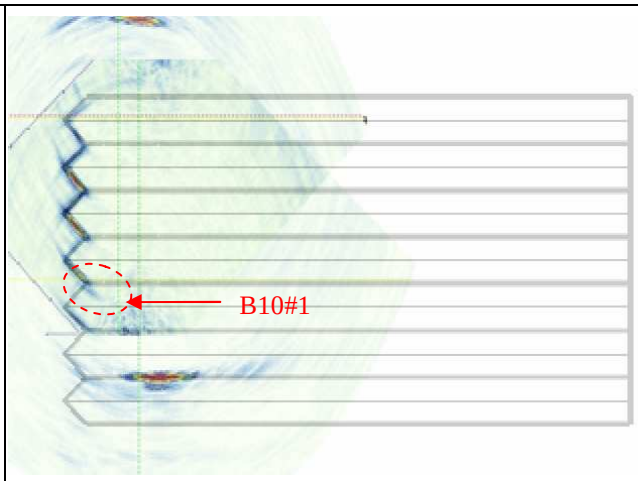
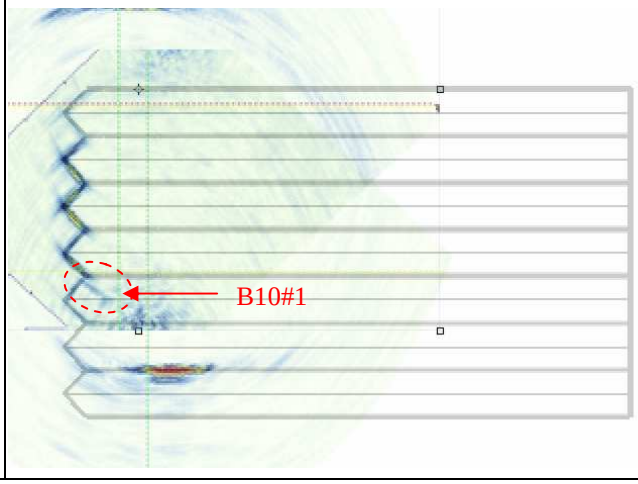
B10 測點分析：

測點	檢測資料整合圖形	分析結果
B10-001		● B10＃1 瑕疵：由底部向上第 2~3 牙間，深度約 1.5 個螺牙深，帶角度向下延伸之表面裂紋。
B10-002		● B10＃1 瑕疵：
B10-003		● B10＃1 瑕疵：

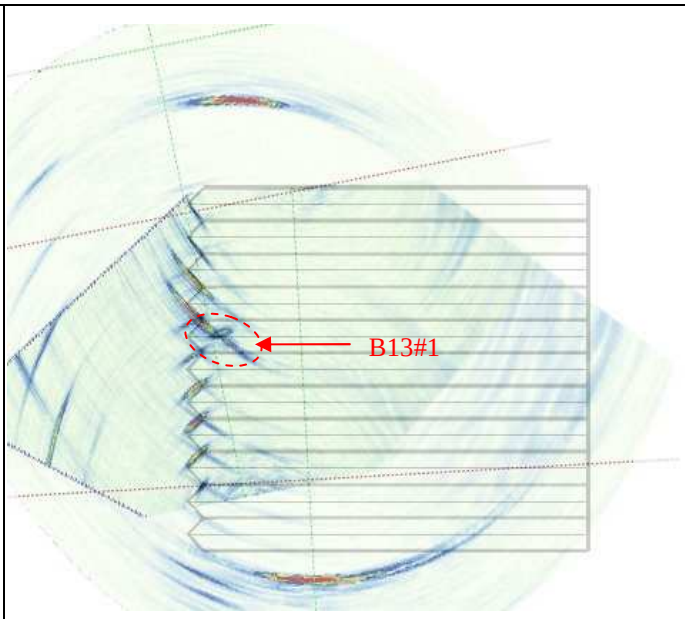
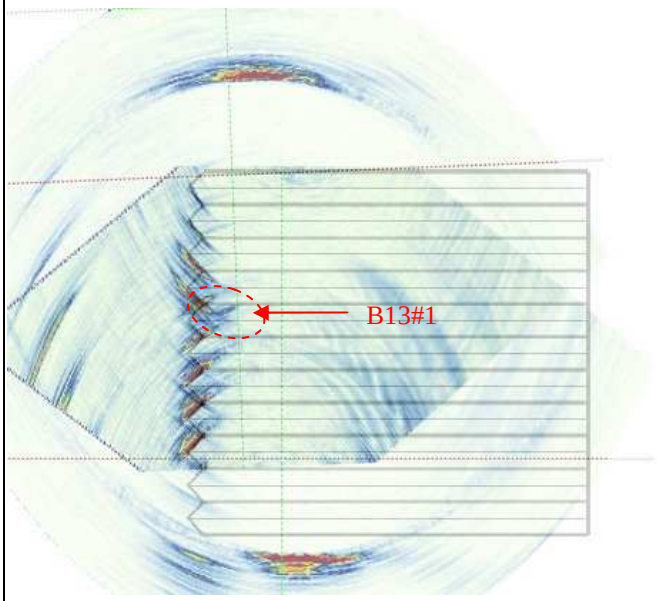
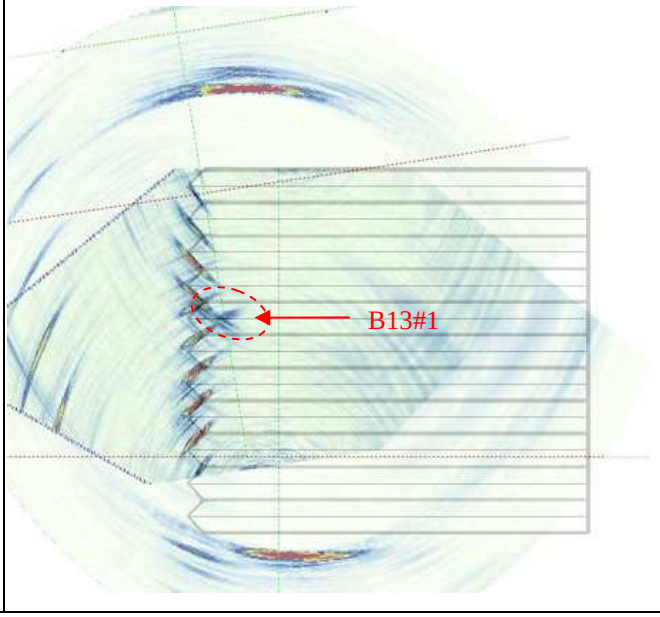
B10-004		● B10＃1 瑕疵：
B10-005		● B10＃1 瑕疵：
B10-006		● B10＃1 瑕疵：
B10-007		● B10＃1 瑕疵：

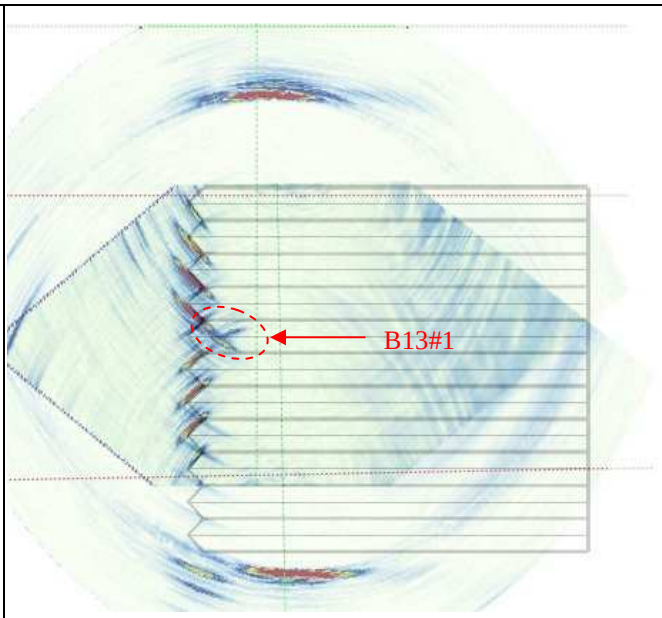
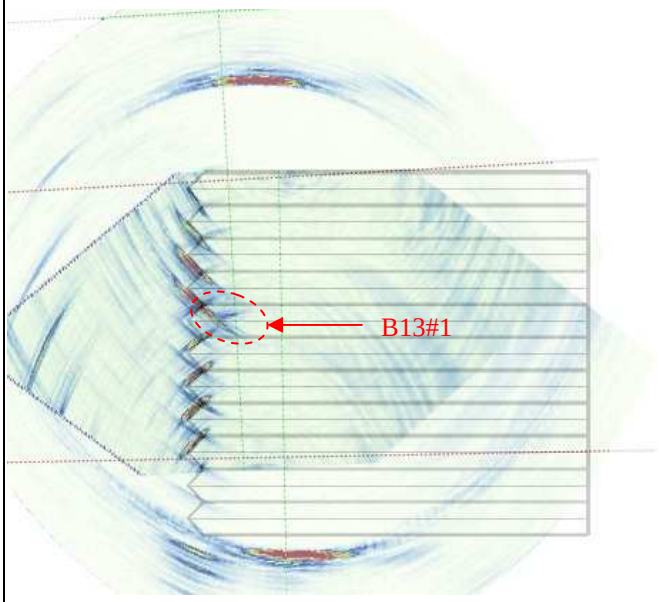
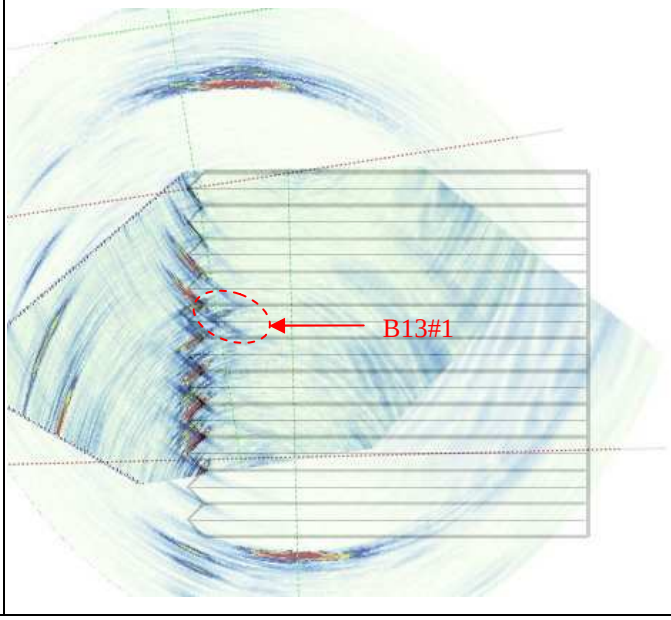
B10-008		● B10＃1 瑕疵：
B10-009		● B10＃1 瑕疵：
B10-039		● B10＃1 瑕疵：
B10-040		● B10＃1 瑕疵：

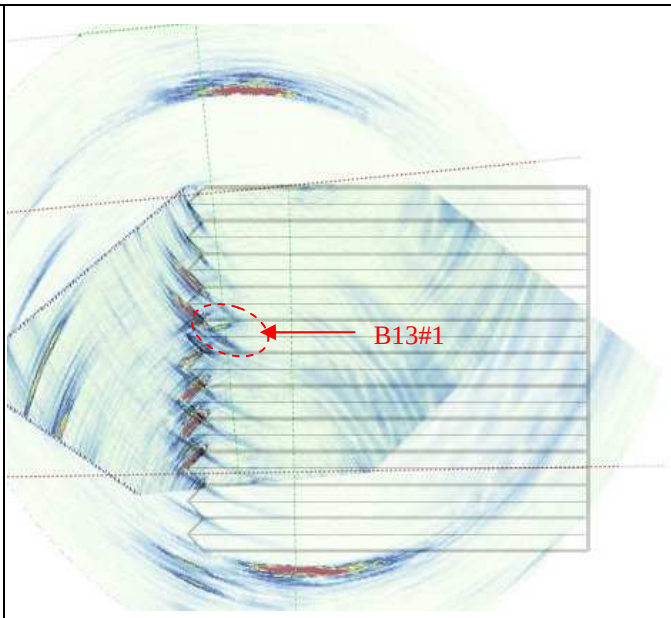
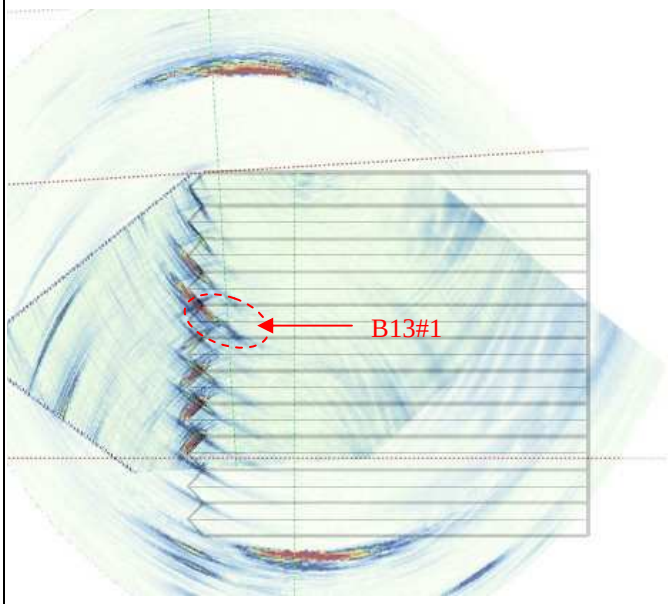
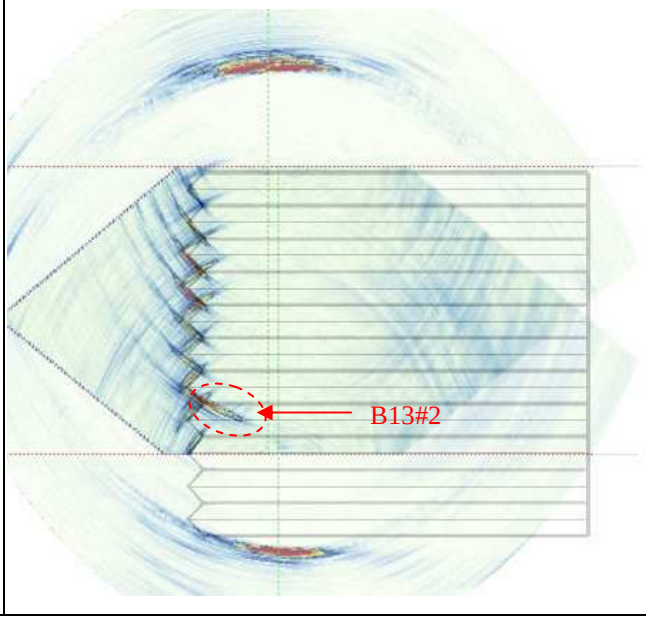
B10-041		● B10＃1 瑕疵：
B10-042		● B10＃1 瑕疵：
B10-043		● B10＃1 瑕疵：
B10-044		● B10＃1 瑕疵：

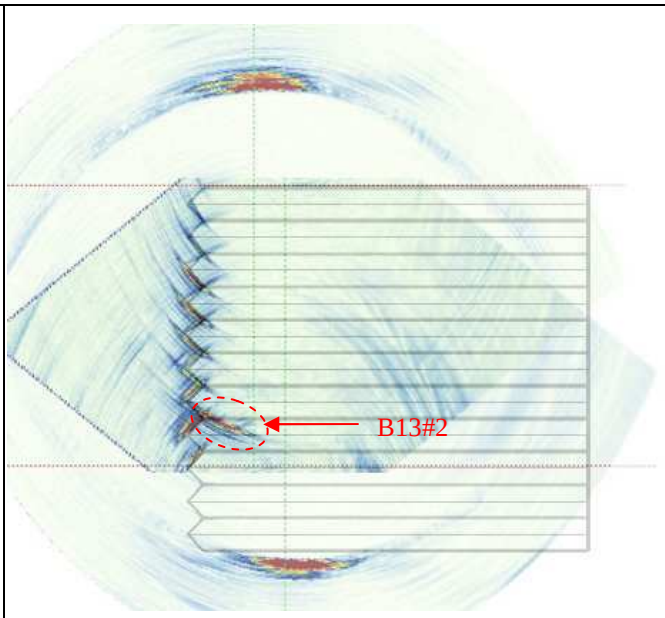
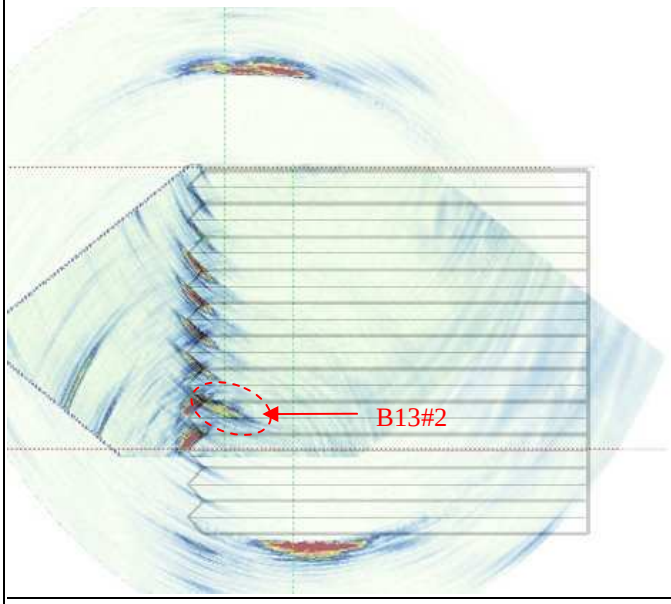
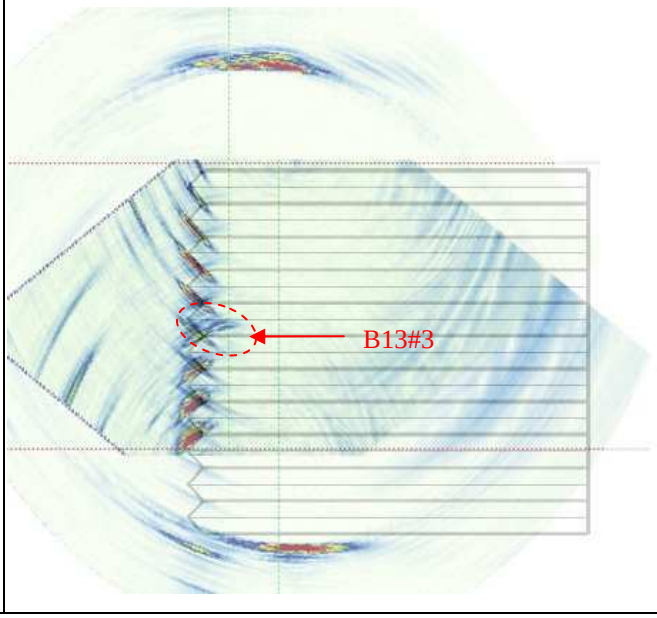
B10-047		● B10＃1 瑕疵：
B10-048		● B10＃1 瑕疵：

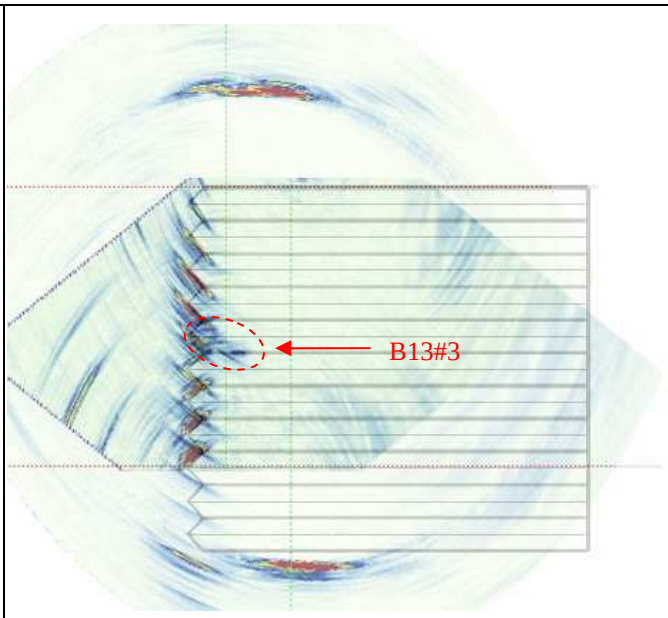
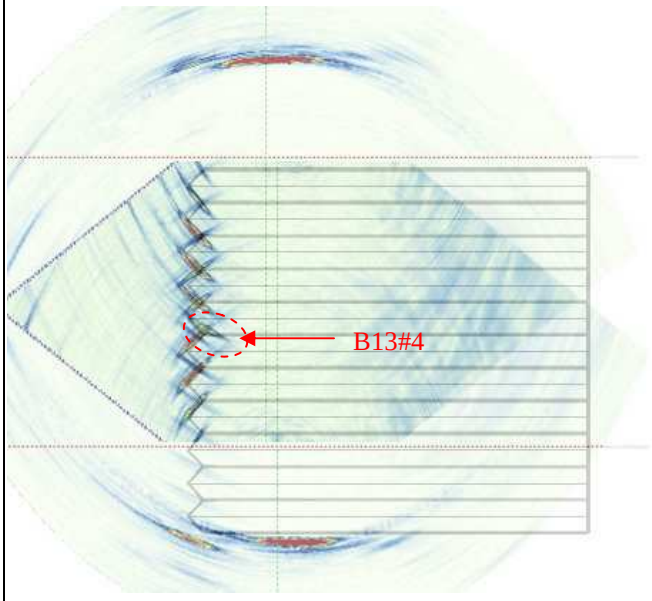
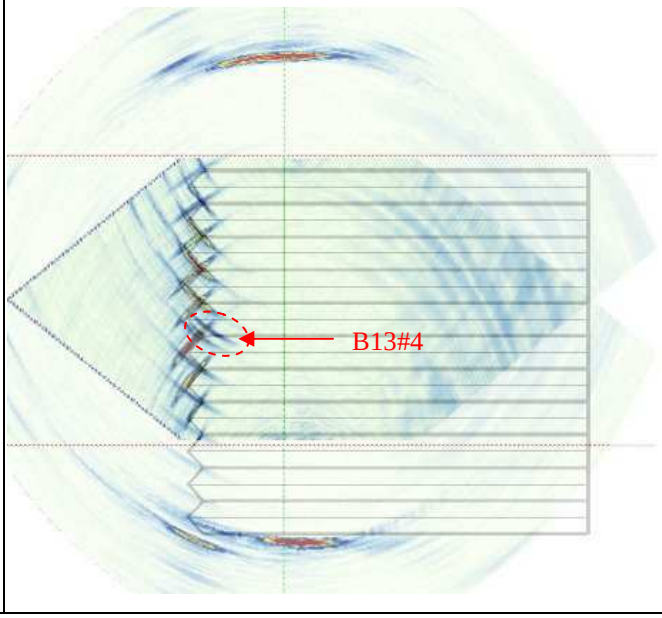
B13 測點分析：

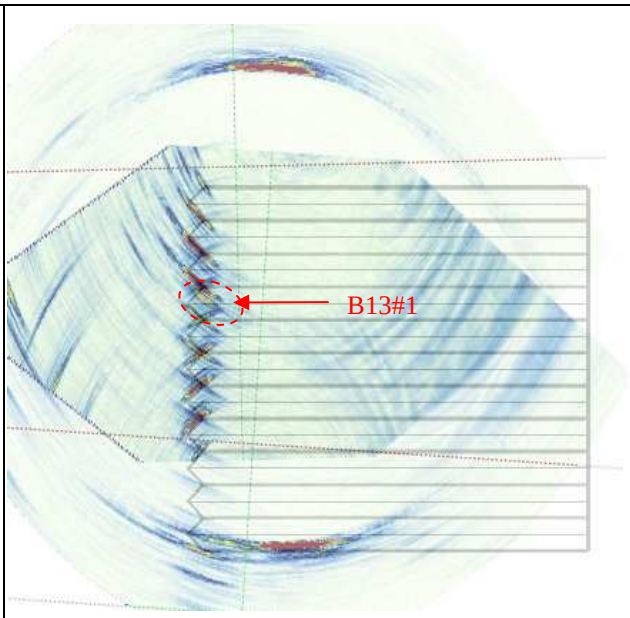
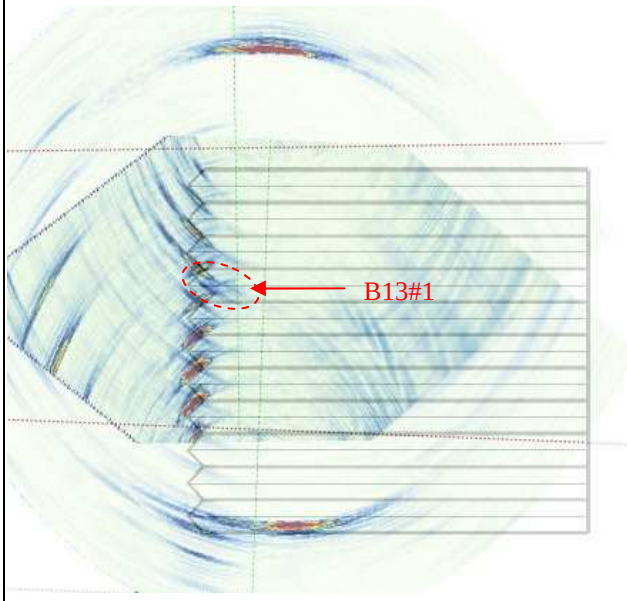
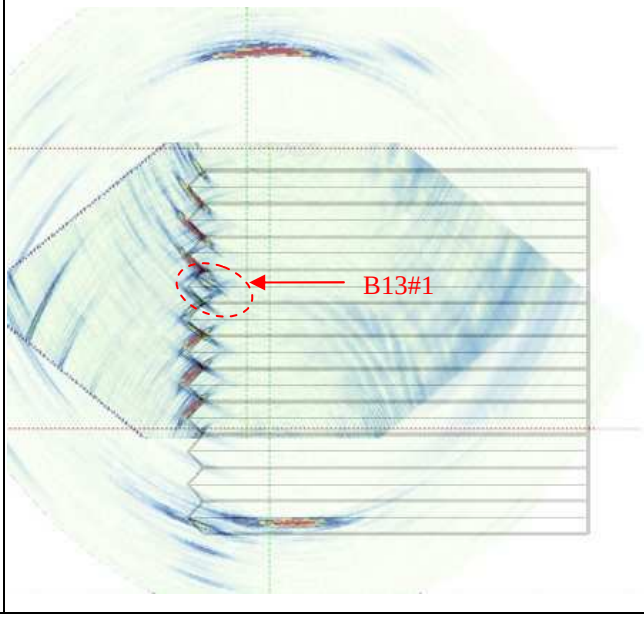
B13-001		● B13#1： 由頂部半牙（不含）以下第 4~5 牙間，深度約 1 個螺牙深。
B13-002		● B13#1：
B13-003		● B13#1：

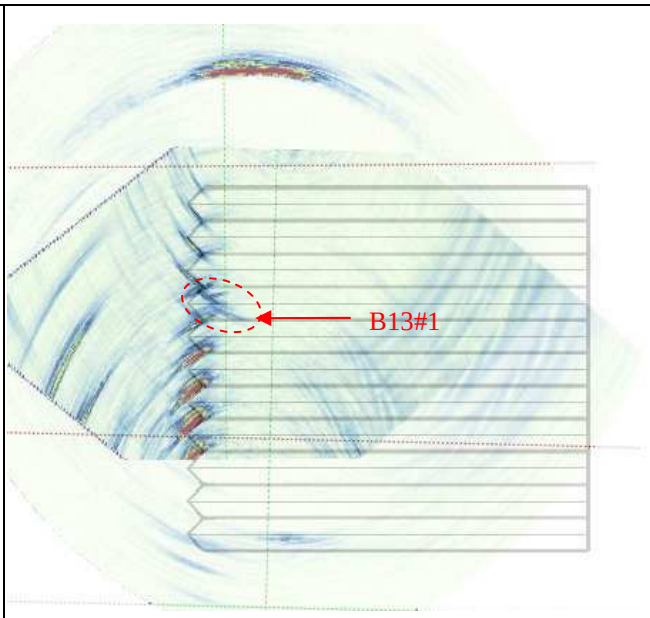
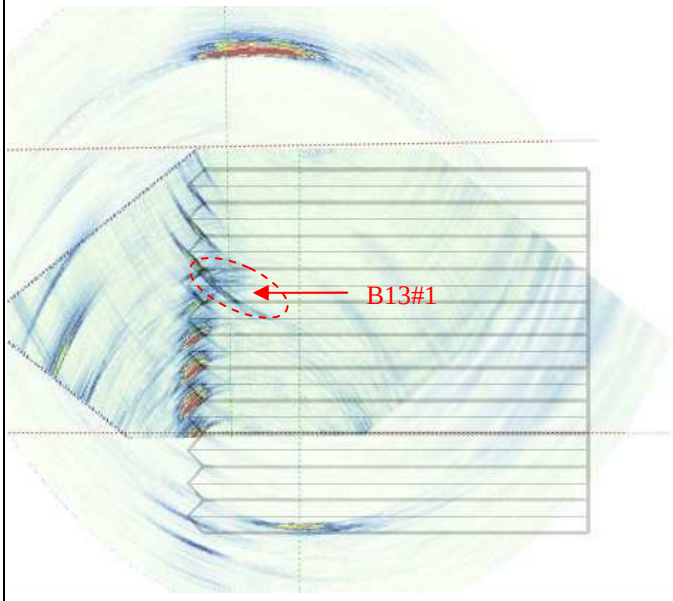
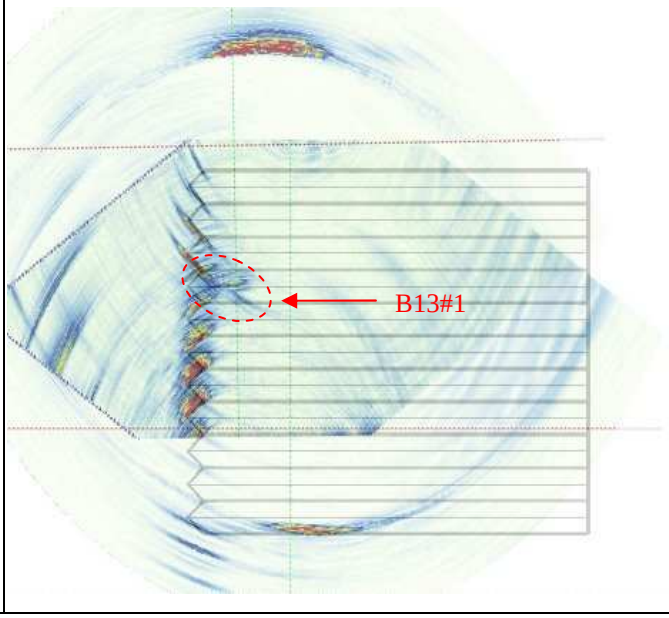
B13-004		● B13#1：
B13-005		● B13#1：
B13-006		● B13#1：

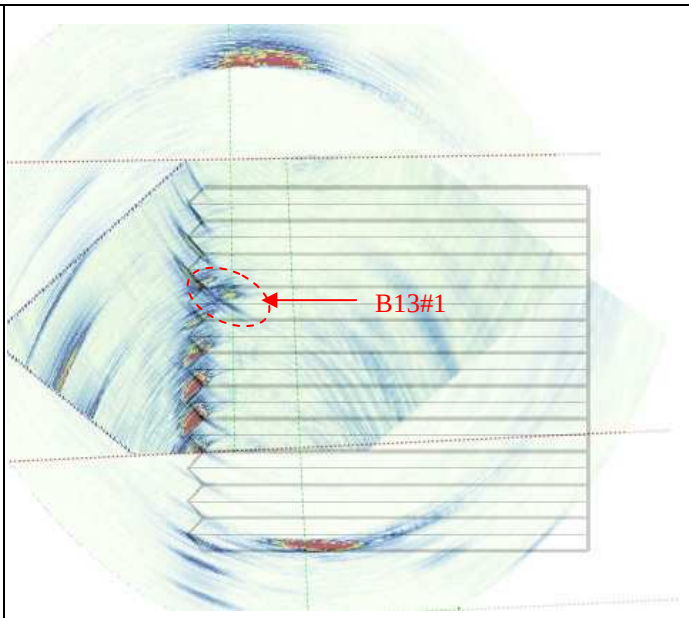
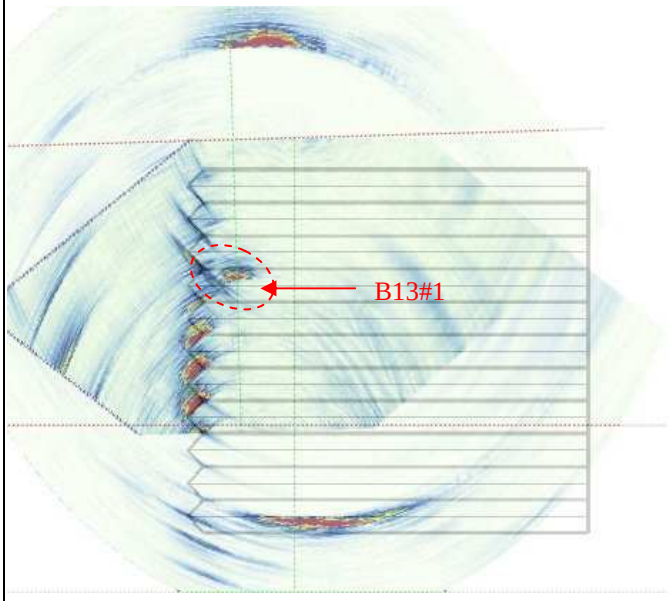
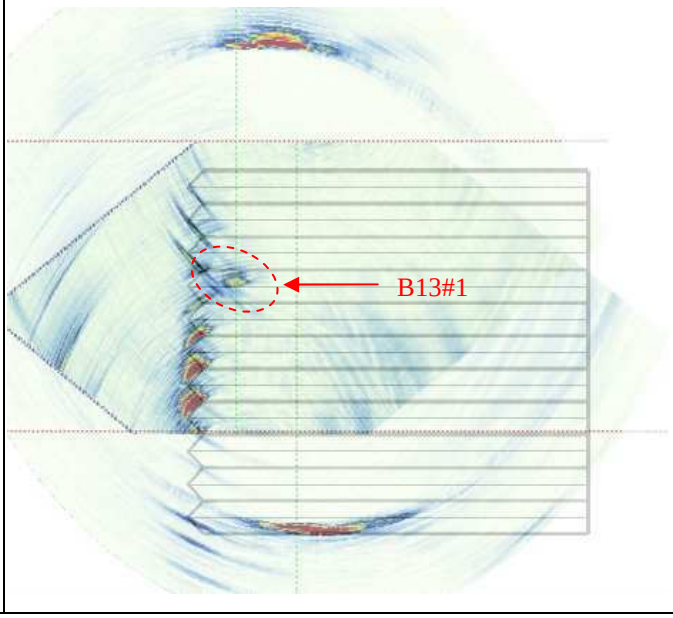
B13-007		● B13#1：
B13-008		● B13#1：
B13-016		● B13#2： 由頂部半牙（不含）以下第 5~6 牙間，深度約 1 個螺牙深。

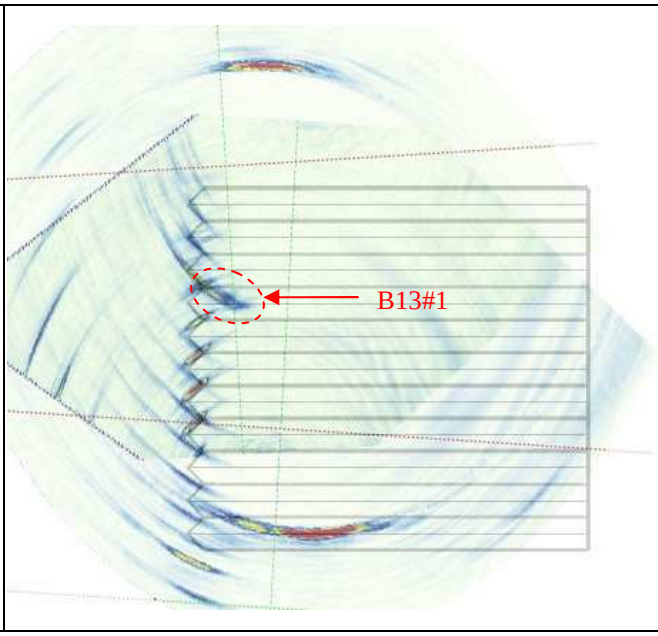
B13-017		● B13#2：
B13-018		● B13#2：
B13-019		● B13#3： 由頂部半牙（不含）以下第 5~6 牙間，深度約 1 個螺牙深。

B13-020		● B13#3：
B13-027		● B13#4： 由頂部半牙（不含）以下第 5~6 牙間，深度約 0.5 個螺牙深。
B13-028		● B13#4：

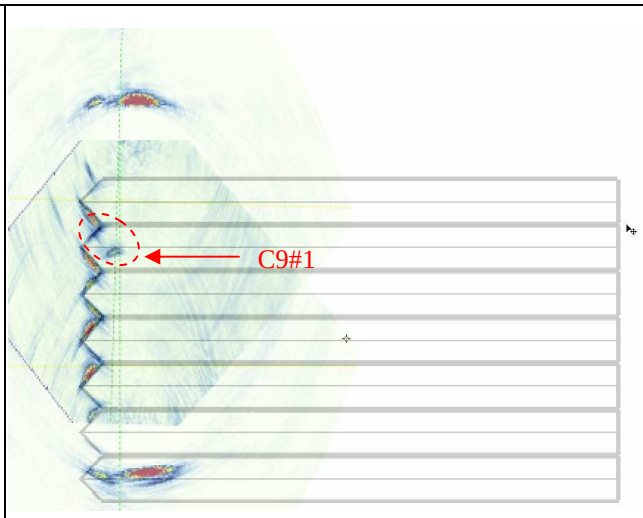
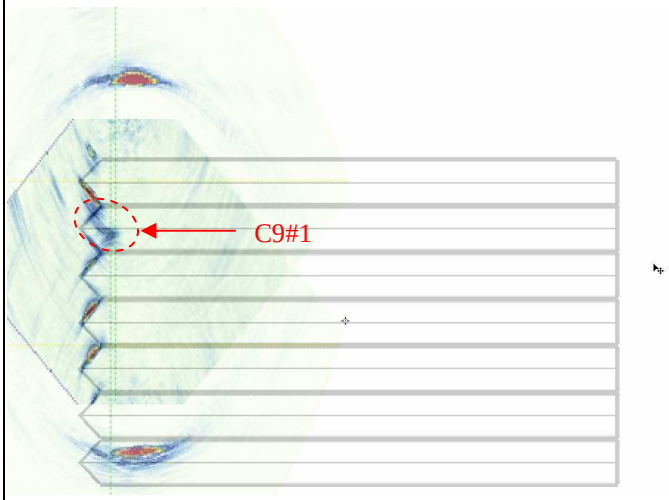
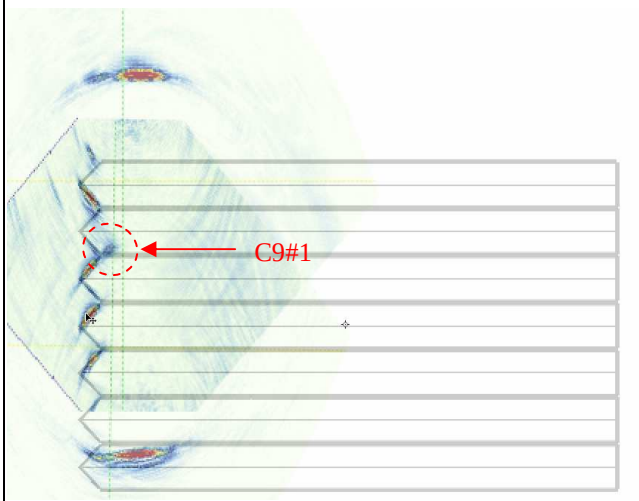
B13-039		● B13#1： 由頂部半牙（不含）以下第 3~4 牙間，深度約 0.5 個螺牙深
B13-040		● B13#1：
B13-041		● B13#1：

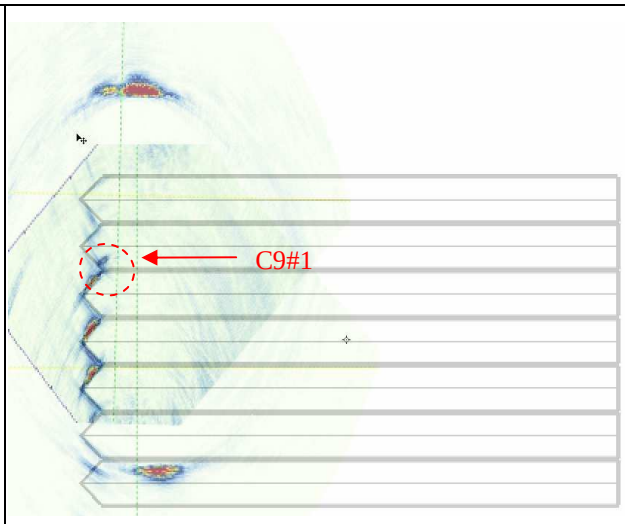
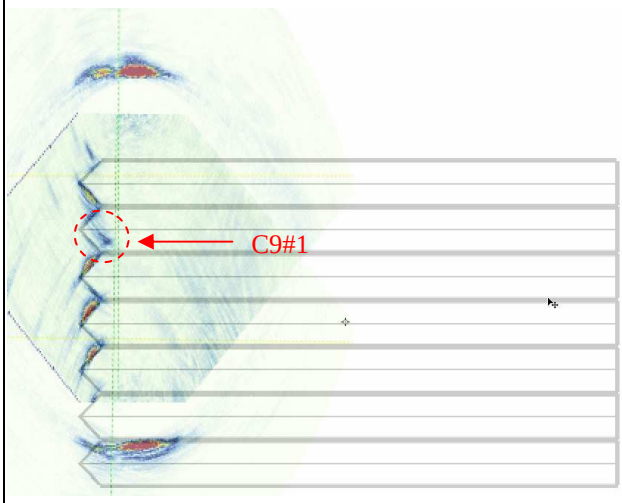
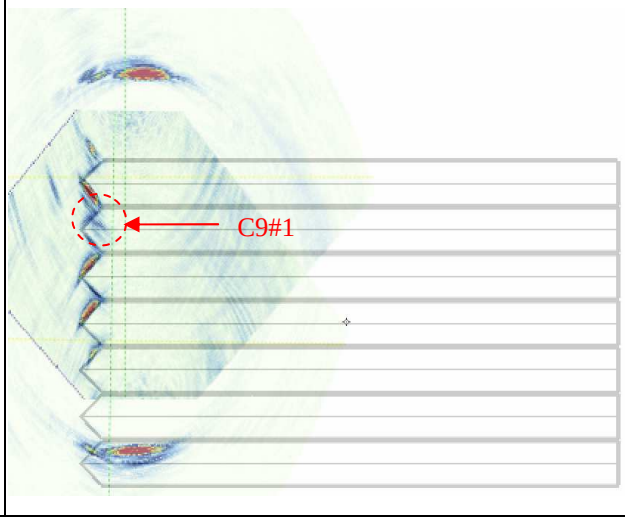
B13-042		● B13#1： 深度約2個螺牙深
B13-043		● B13#1：
B13-044		● B13#1：

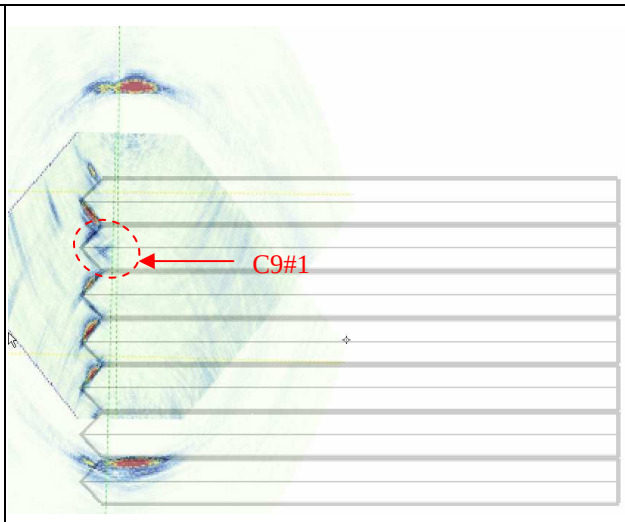
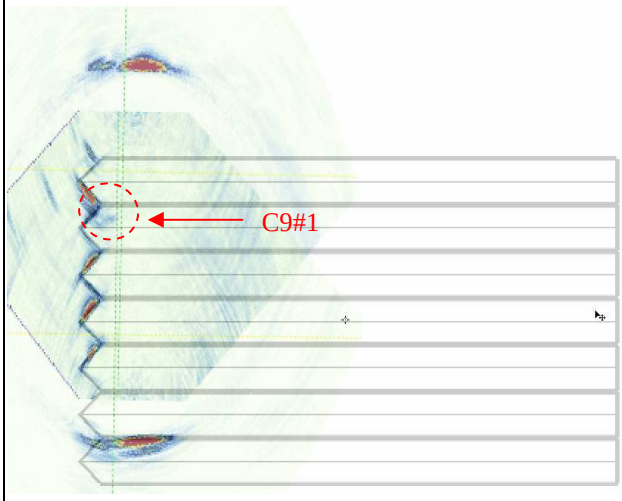
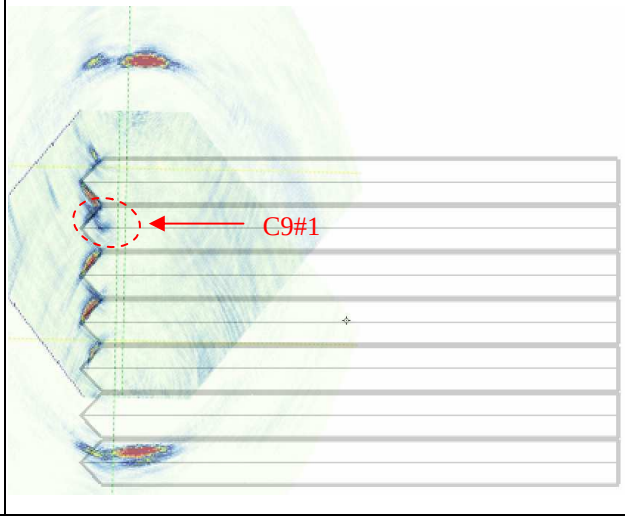
B13-045		● B13#1：
B13-046		● B13#1：
B13-047		● B13#1：

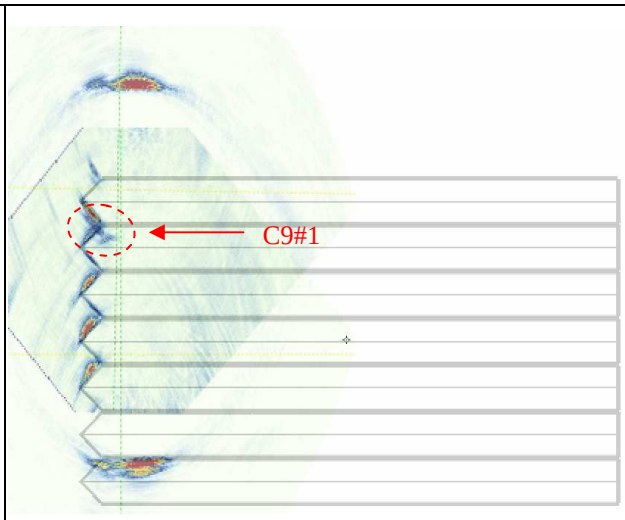
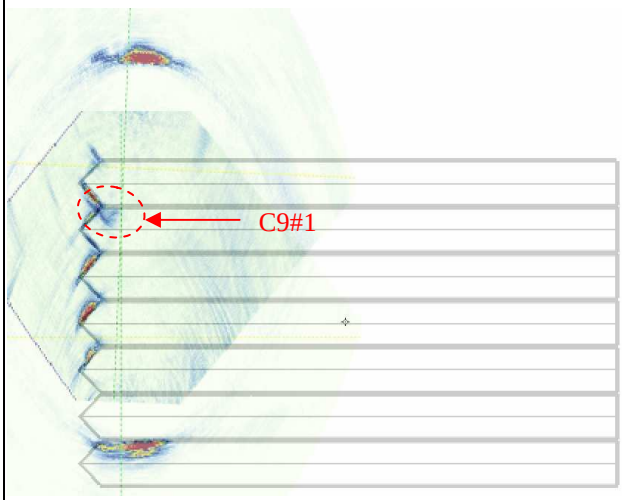
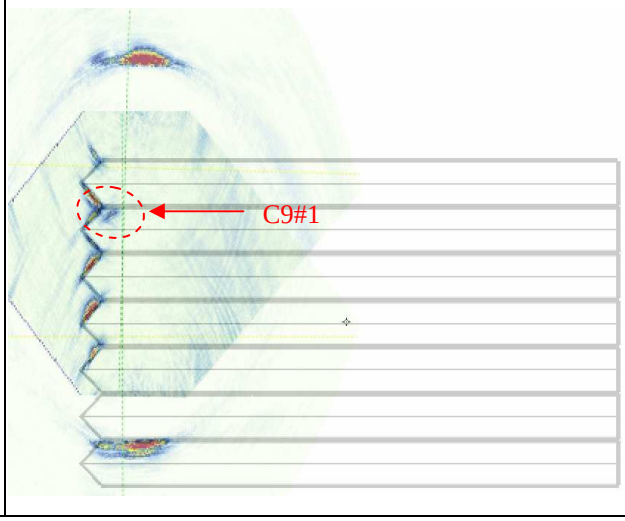
B13-048		● B13#1：

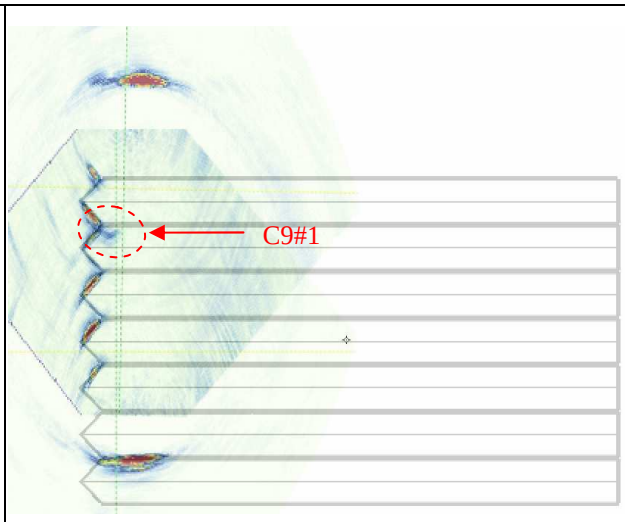
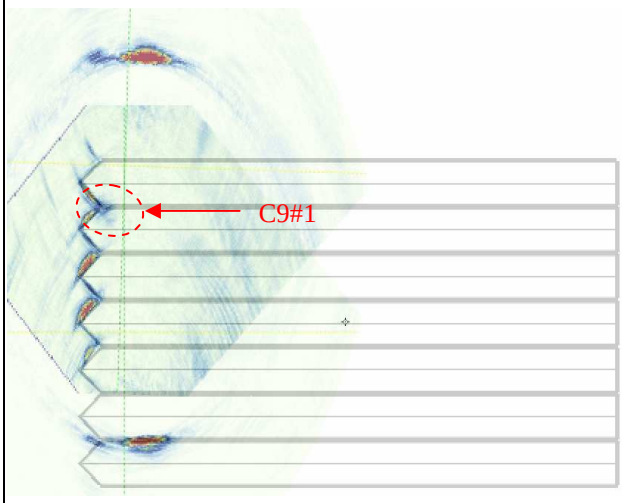
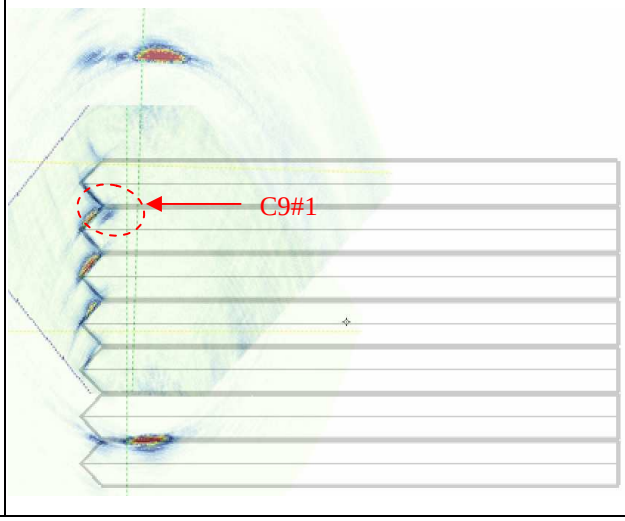
C9 測點分析：

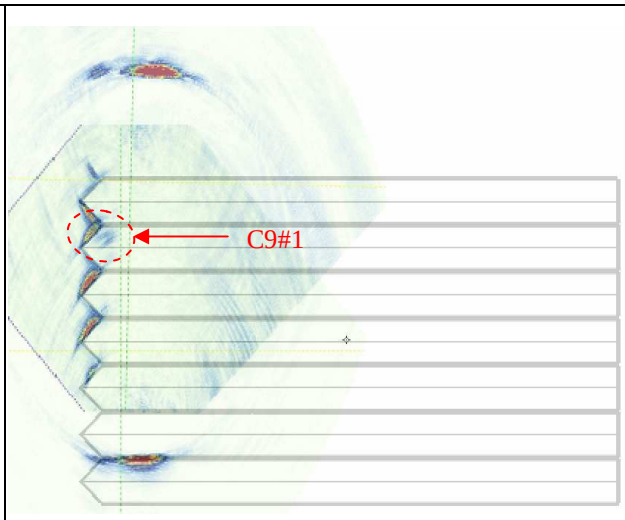
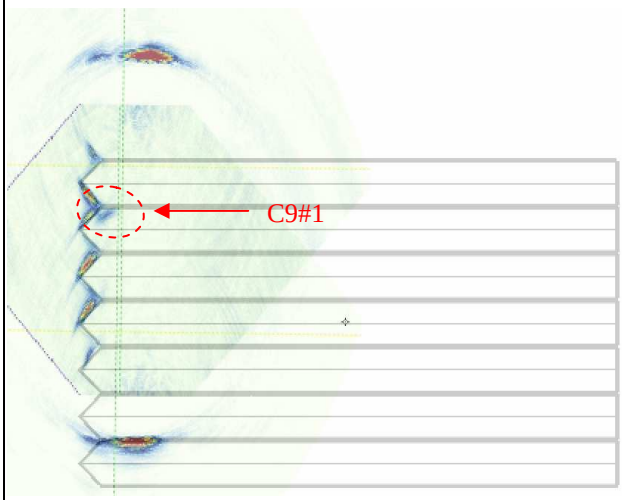
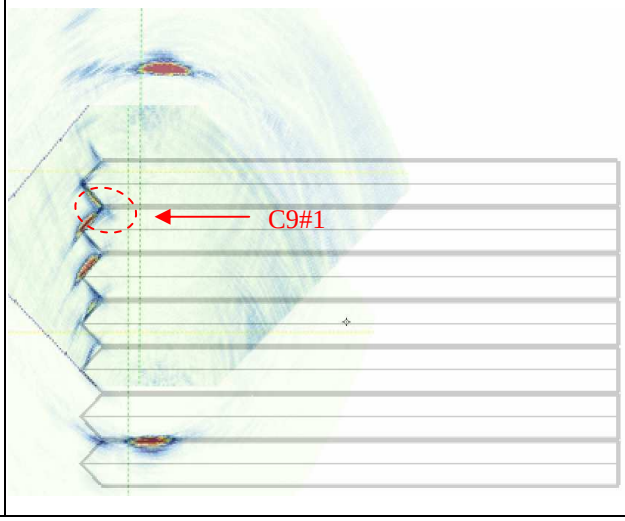
C9-002		● C9＃1 瑕疵：由頂部向下第 2~3 牙間，深度約 0.5 個螺牙深。
C9-003		● C9＃1 瑕疵：
C9-004		● C9＃1 瑕疵：

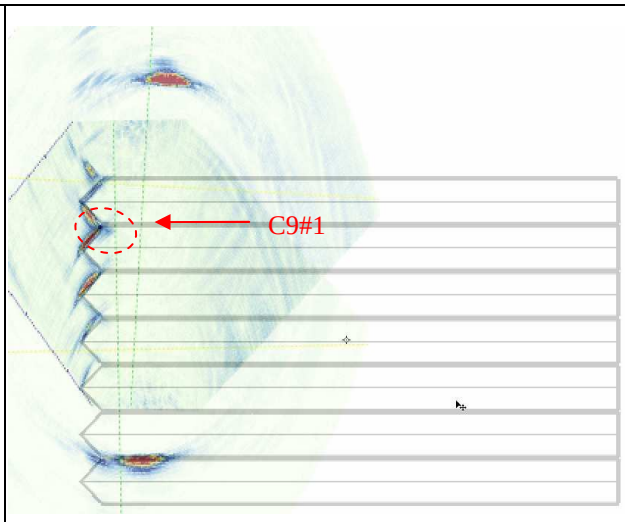
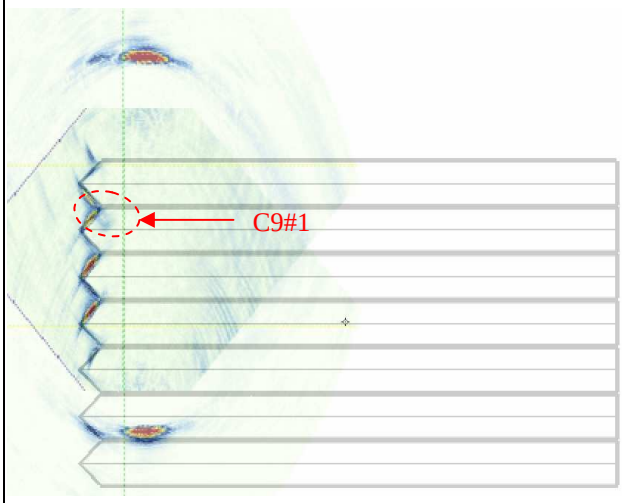
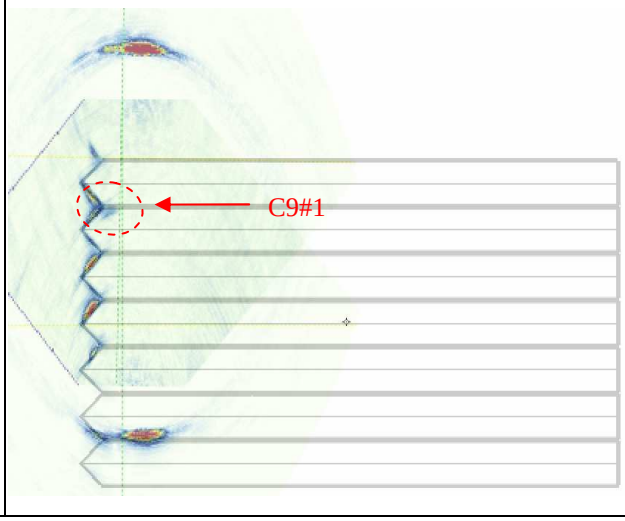
C9-006		● C9＃1 瑕疵：
C9-007		● C9＃1 瑕疵：
C9-008		● C9＃1 瑕疵：

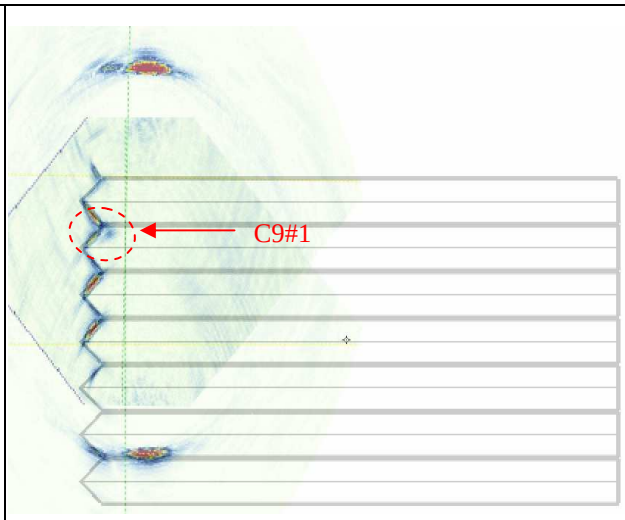
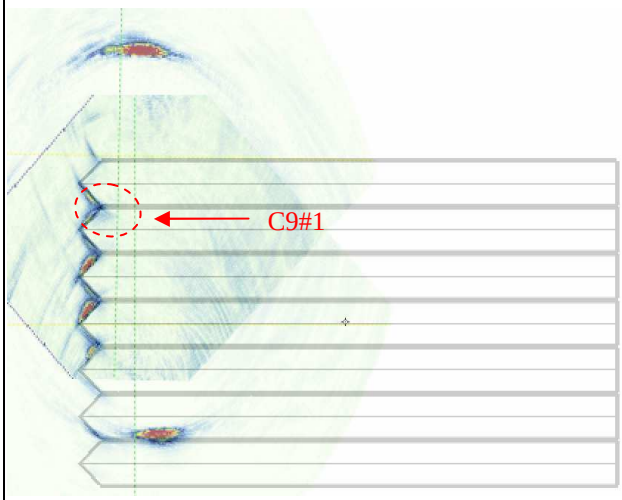
C9-009		● C9＃1 瑕疵：
C9-010		● C9＃1 瑕疵：
C9-011		● C9＃1 瑕疵：

C9-013		● C9＃1 瑕疵：
C9-014		● C9＃1 瑕疵：
C9-015		● C9＃1 瑕疵：

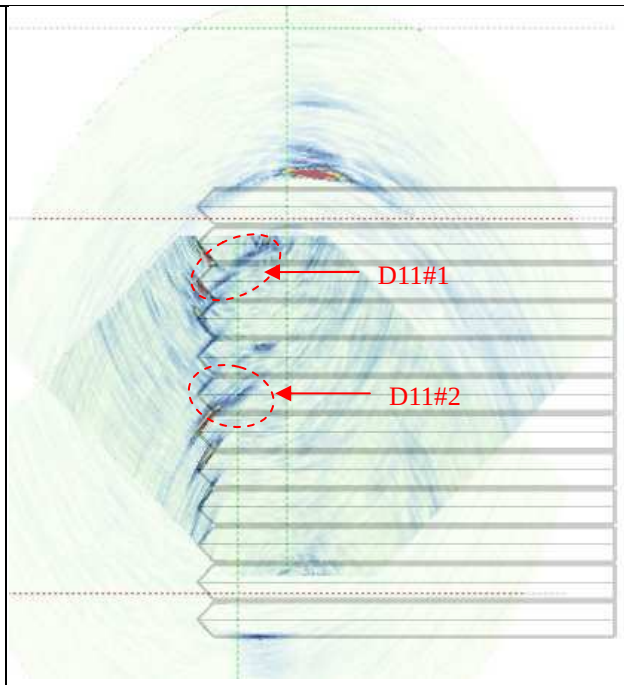
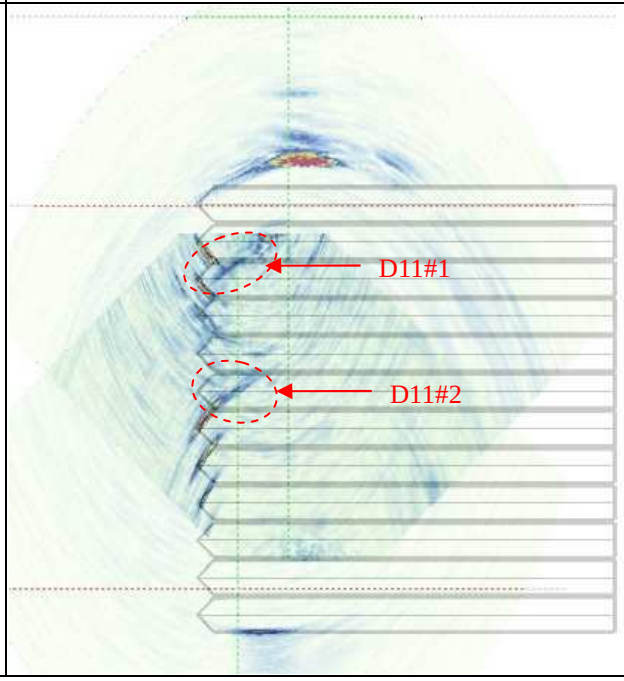
C9-016		● C9＃1 瑕疵：
C9-017		● C9＃1 瑕疵：
C9-018		● C9＃1 瑕疵：

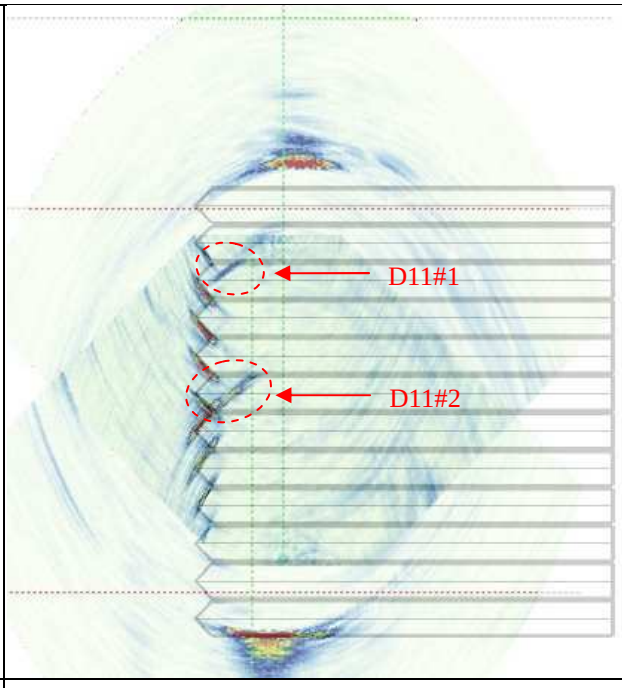
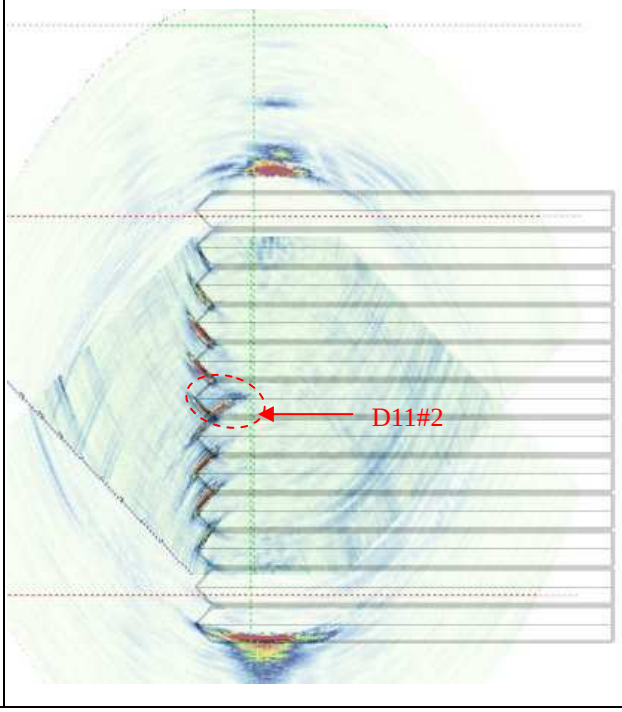
C9-019		● C9＃1 瑕疵：
C9-020		● C9＃1 瑕疵：
C9-021		無瑕疵顯示

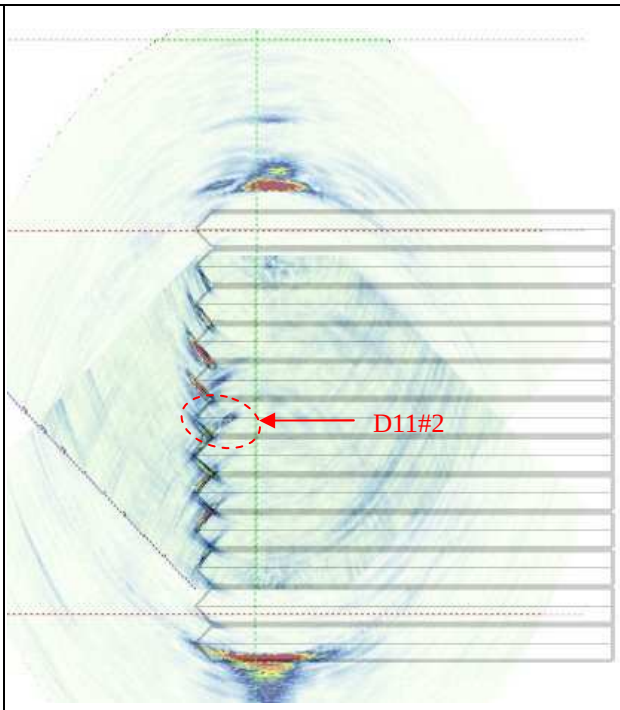
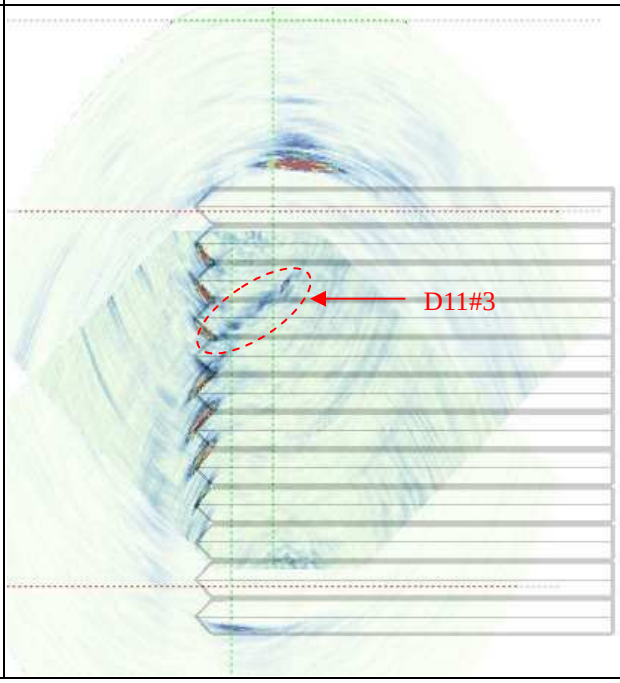
C9-022		● C9＃1 瑕疵：
C9-023		● C9＃1 瑕疵：
C9-026		● C9＃1 瑕疵：

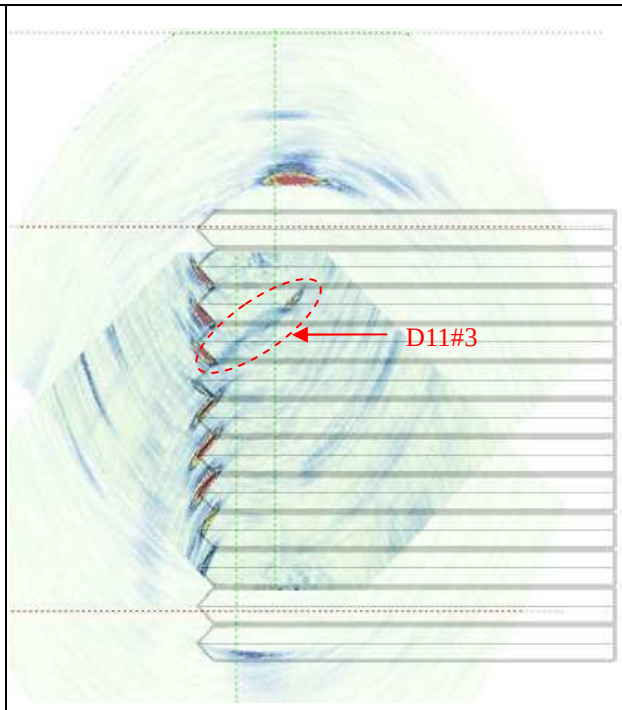
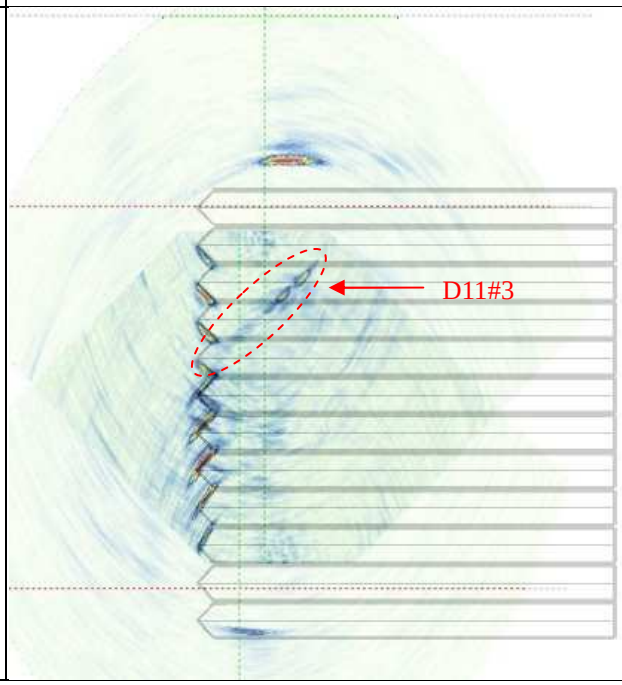
C9-028		● C9＃1 瑕疵
C9-031		● C9＃1 瑕疵

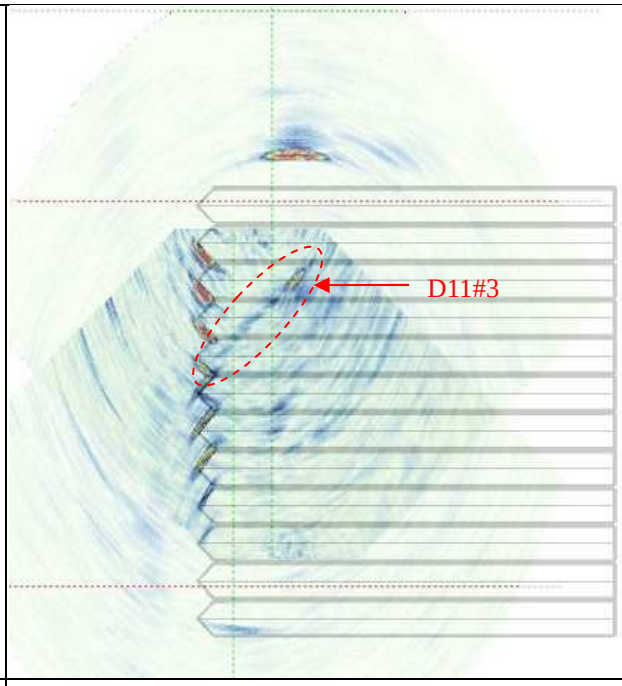
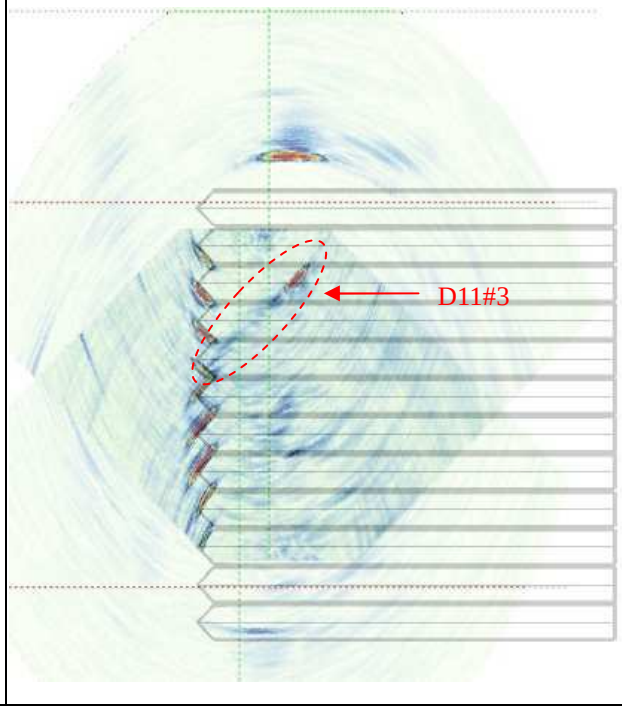
D11 測點分析：

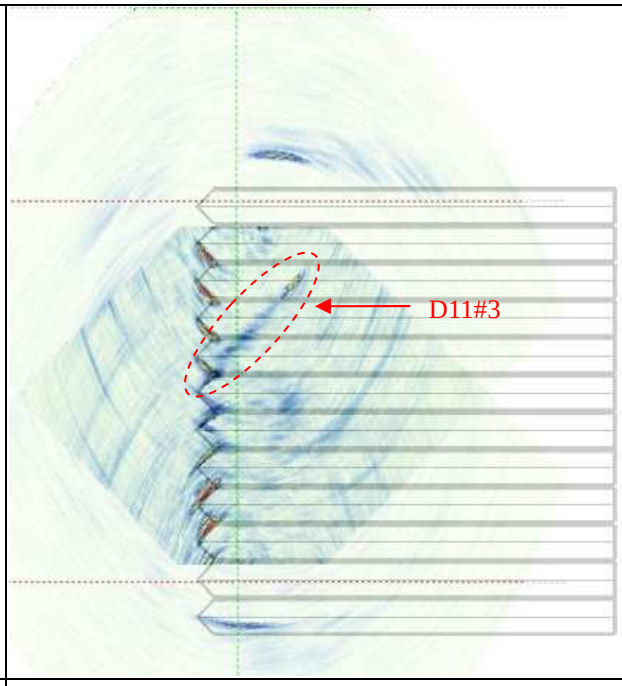
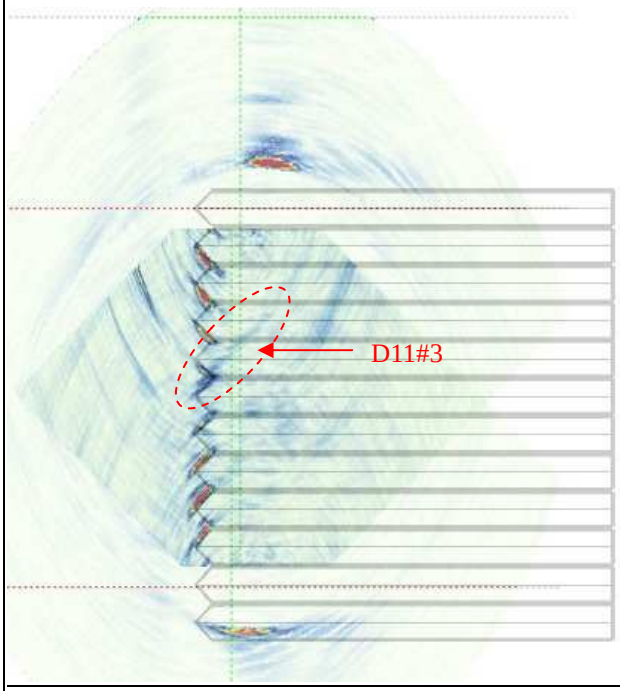
D11-001		● D11#1： 由頂部半牙（不含）以下第 2~4 牙間，深度約 2.5 個螺牙深，由螺紋向螺栓內部及頂面延伸。 ● D11#2： 由頂部半牙（不含）以下第 6~7 牙間，深度約 1.5 個螺牙深，由螺紋向螺栓內部及頂面延伸。
D11-002		● D11#1： 由頂部半牙（不含）以下第 2~4 牙間 ● D11#2：

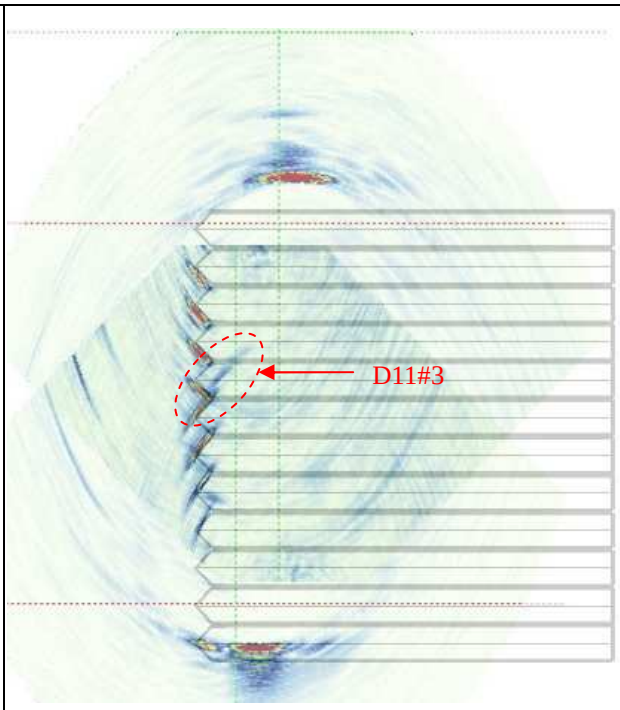
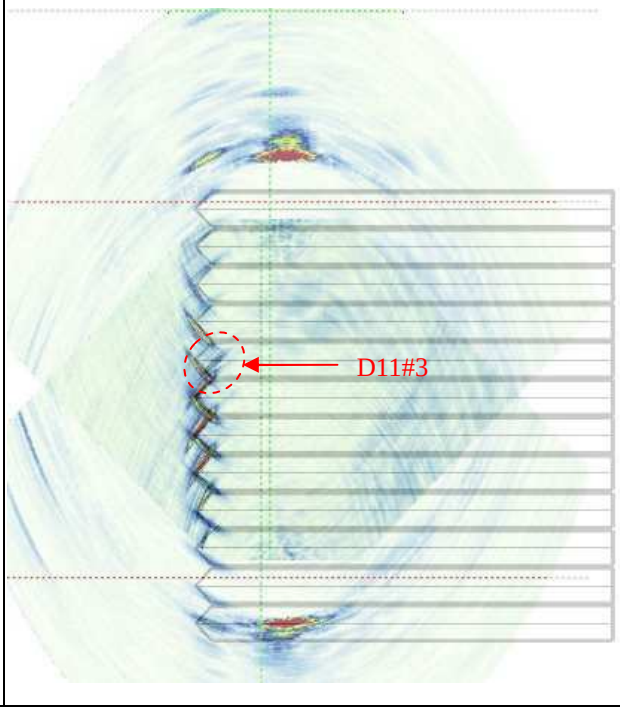
D11-003		● D11#1： ● D11#2：
D11-004		● D11#2：

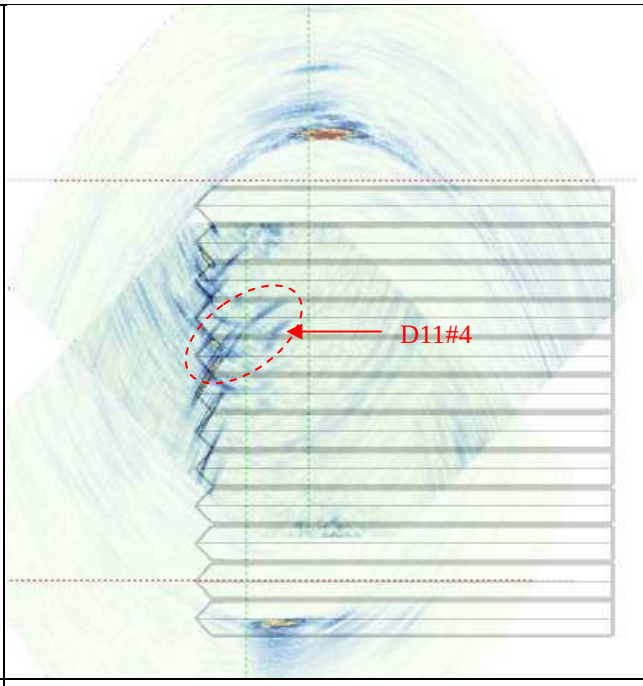
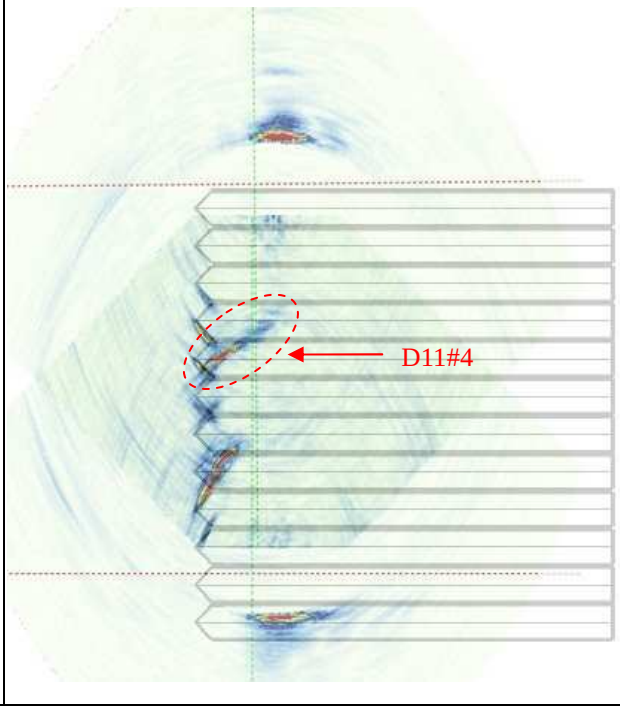
D11-005		● D11#2：
D11-008		● D11#3： 由頂部半牙（不含）以下第 4~6 牙間，深度約 4 個螺牙深，由螺紋向螺栓內部及頂面延伸。

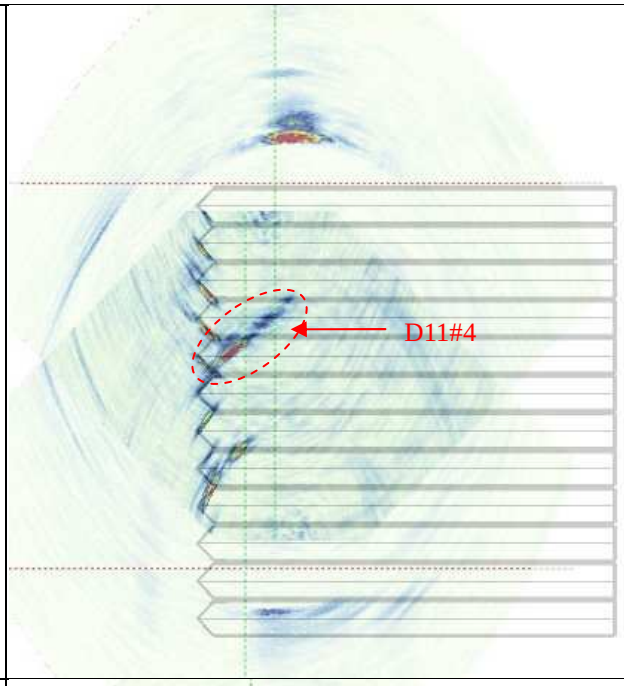
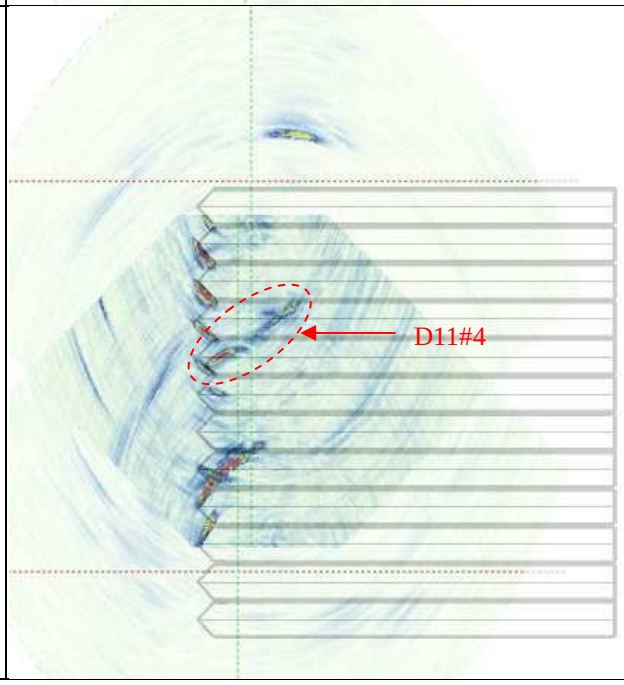
D11-009		● D11#3：
D11-010		● D11#3：

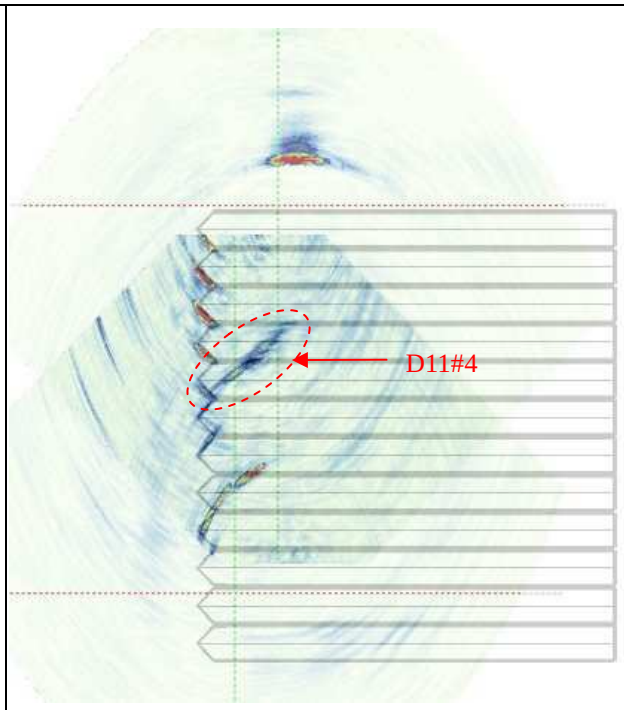
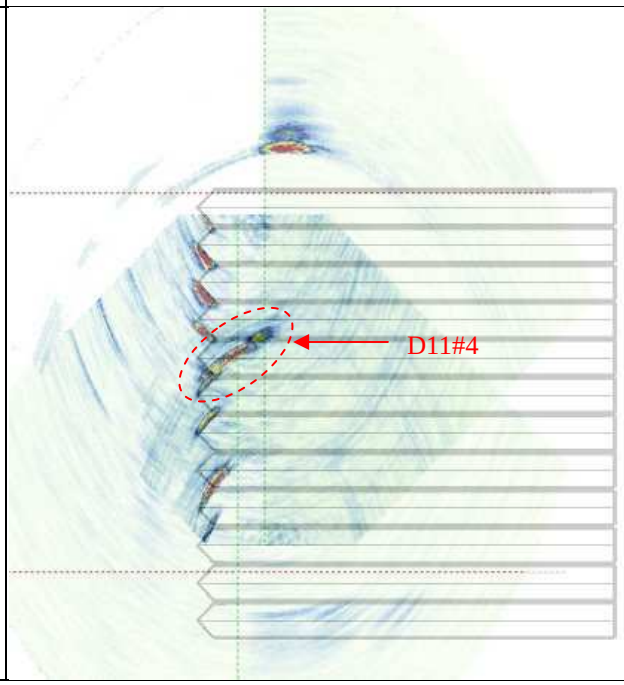
D11-011		● D11#3：
D11-012		● D11#3：

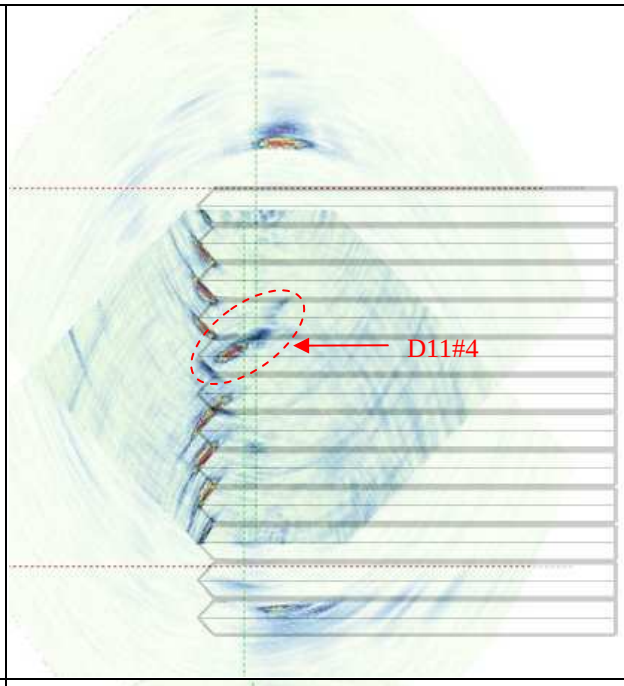
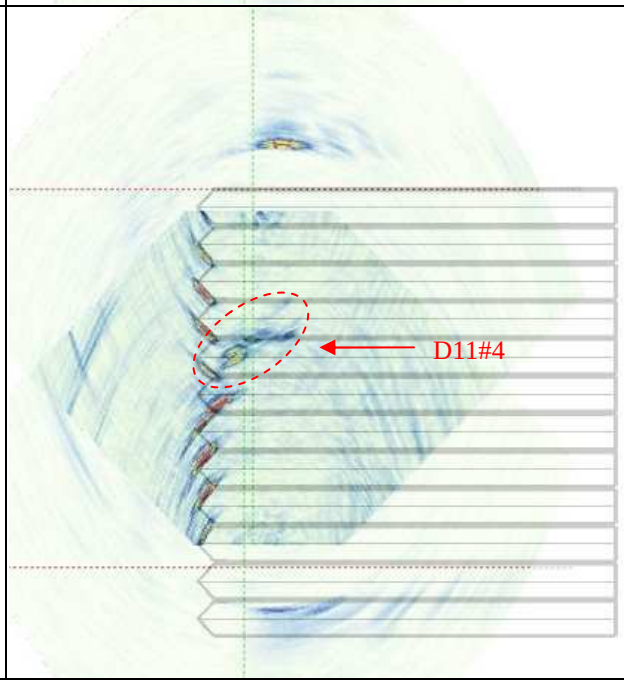
D11-013		● D11#3：
D11-014		● D11#3：

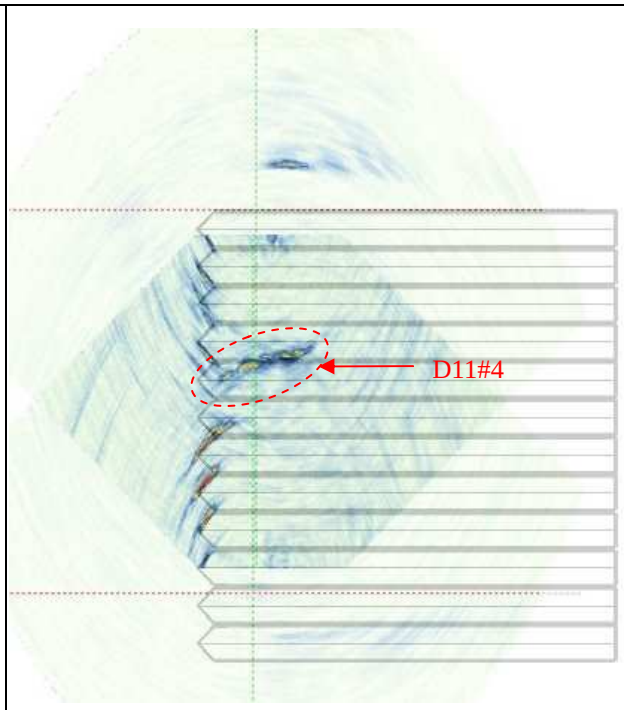
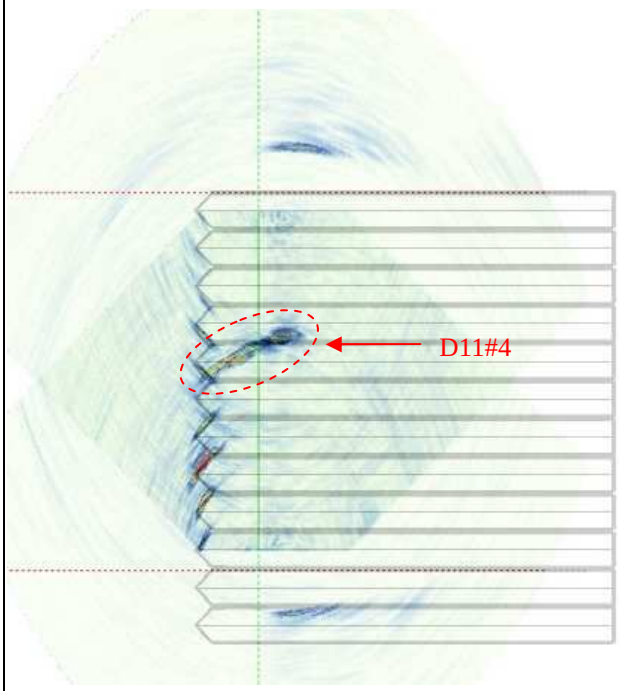
D11-015		● D11#3：
D11-016		● D11#3：

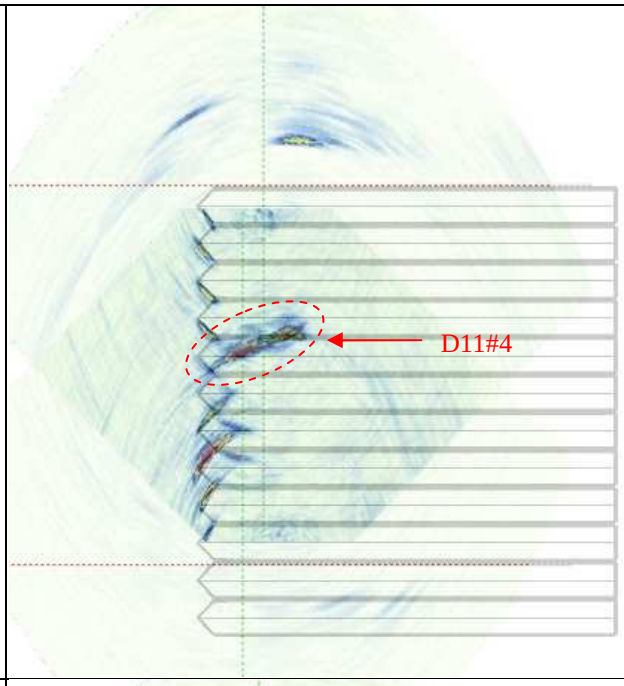
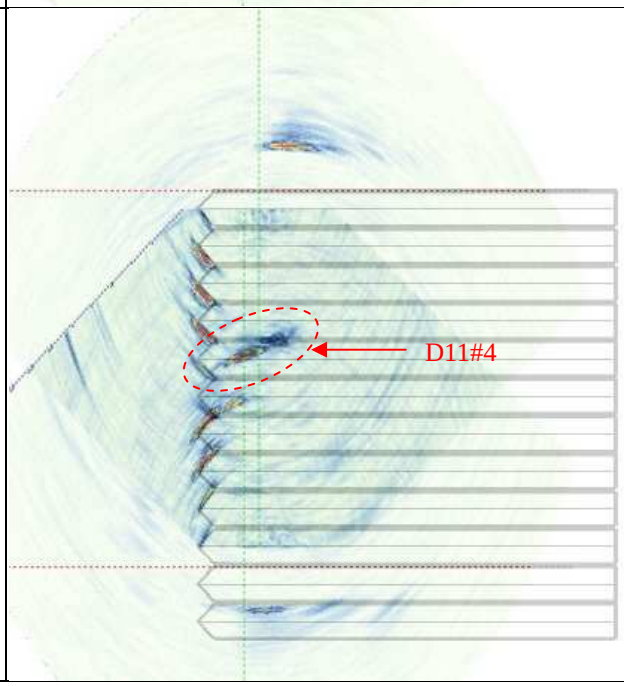
D11-026		● D11#4： 由頂部（不含頂部）以下第 4~6 牙間，深度約 4 個螺牙深，由螺紋向螺栓內部及頂面延伸。
D11-027		● D11#4：

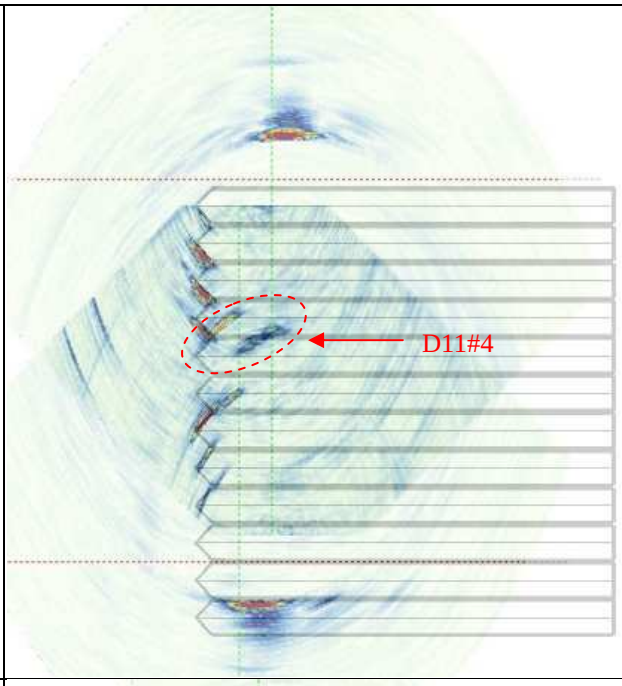
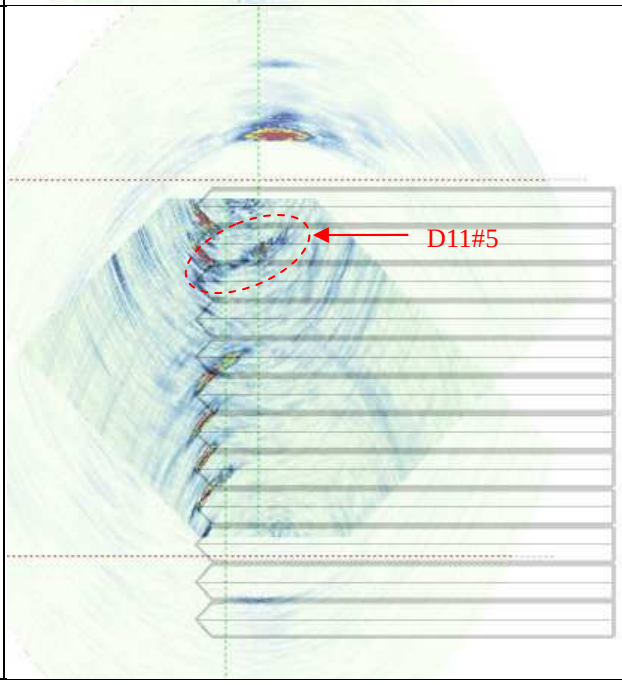
D11-028		● D11#4：
D11-029		● D11#4：

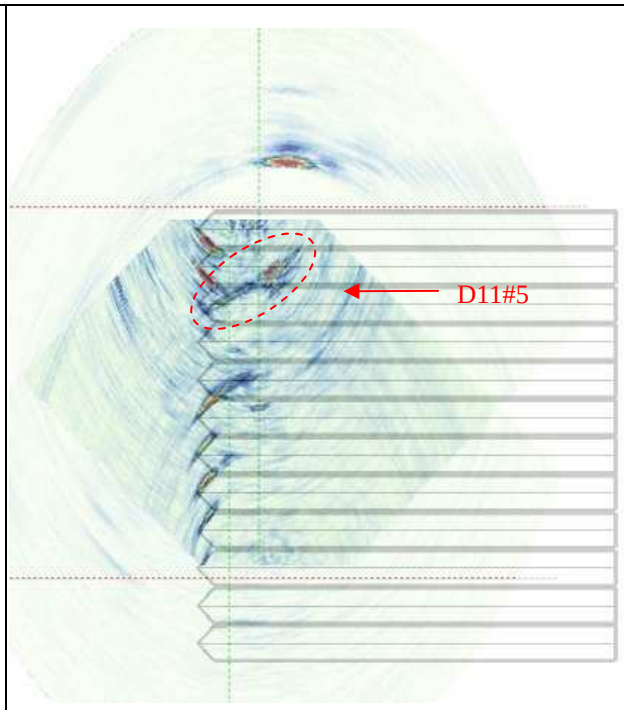
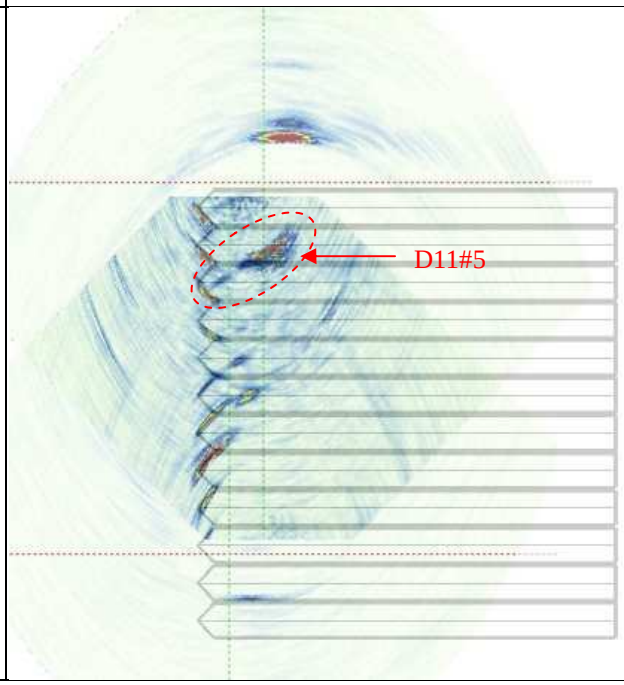
D11-030		● D11#4：
D11-031		● D11#4：

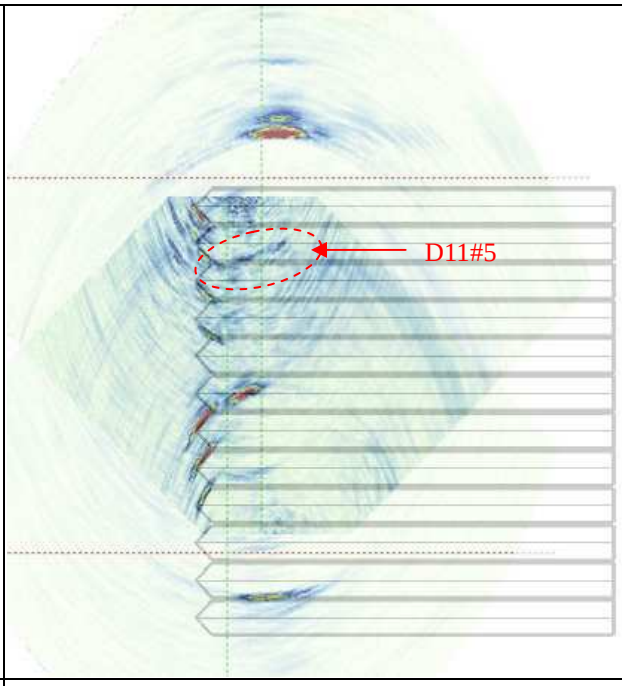
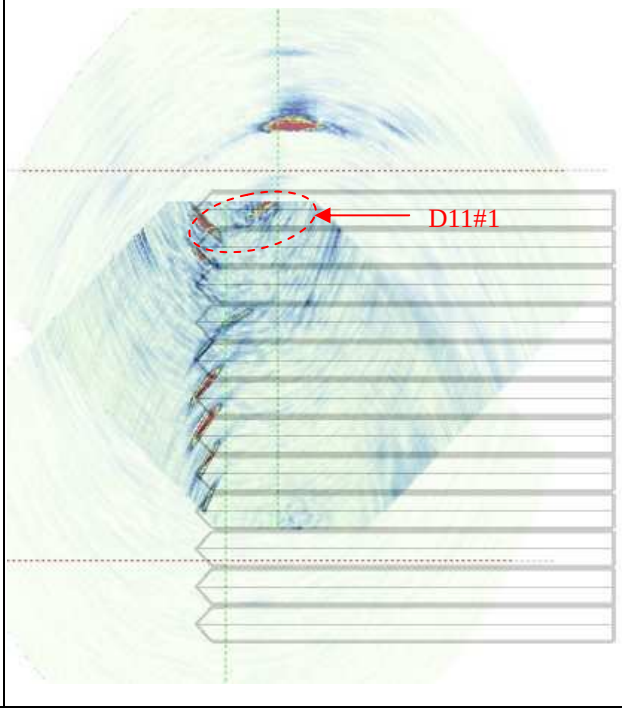
D11-032		● D11#4：
D11-033		● D11#4：

D11-034		● D11#4：
D11-035		● D11#4：

D11-036		● D11#4：
D11-037		● D11#4：

D11-038		● D11#4：
D11-042		● D11#5： 由頂部（不含頂部）以下第 3~4 牙間，深度約 4 個螺牙深，由螺紋向螺栓內部及頂面延伸。

D11-043		● D11#5：
D11-044		● D11#5：

D11-045		● D11#5：
D11-048		● D11#1：

附件6

核二廠一號機反應爐支撐裙板 A2 斷裂錨定螺栓熱室檢驗初步報告

A Preliminary Report on Hot Cell Examinations of the Broken A2 Anchor Bolt of the KSNPS Unit 1 RPV Support Skirt

限 閱 報 告

不 准 複 印

版次：2b

撰寫：張中興

審核：楊清田

行政院原子能委員會核能研究所

中華民國 101 年 5 月 7 日

1.0 執行摘要

核二廠1號機EOC22大修期間,發現反應爐支撐裙板(RPV support skirt)內側(Inner ring)有7只錨定螺栓(Anchor bolts)受損，其中A2、C6斷裂(Broken)，D14部分龜裂(Partially cracked)，另4只(B10、B13、C9、D11)有裂紋指示。為釐清螺栓受損肇因，A2斷裂螺栓經取樣後，送至核能研究所熱室進行並完成檢驗。本報告彙整、分析A2斷裂錨定螺栓熱室檢驗結果，並據此提出可能之受損機制，以作為核二廠受損肇因分析研判之參考。以下進行說明：

I 檢驗結果

1 螺栓斷口發生在螺桿部位,距離螺栓上端頂點18.2吋(位於螺栓下端螺牙上方0.8吋)，緊臨斷口處之螺桿表面嚴重磨損；

2 螺栓斷面相當平坦，巨觀破壞型貌顯現放射狀且左右對稱之徑向條紋，徑向條紋收斂於斷面邊緣，該收斂處為破斷起裂源；起裂源位置及其附近可見大小不同及部分相互連結之孔洞；由起裂源向外，可見新月紋；斷口表面披覆氧化生成物；

3 螺栓斷面起裂源微觀破壞型貌，顯現沿晶破壞、劈裂、韌窩及微裂紋，主要破壞為脆性破壞；起裂方向與螺桿具傾斜角；隨者裂紋擴展遠離起裂源，破壞顯現以韌窩為主之延性破壞；斷面可見任意分佈之孔洞；

4 斷裂螺栓材質符合反應爐支撐裙板錨定螺栓 ASTM A-540 Gr. B23 化學成分設計規範；螺桿表面微硬度測試結果為 HB400 (接近規範上限為 HB420)；經由螺桿內部微硬度測試結果 HB388，求得螺栓抗拉強度為 1312MPa(190Ksi)，為 Class 1 等級；

5 螺栓內部有長條狀硫化物。

II 分析

1 孔洞為製程瑕疵，可能原因為冶煉製程脫氧不全致使空氣殘留，或是除渣不全、或是鋼錠冷卻收縮階段形成之縮孔；

2 沿晶破壞與劈裂為脆性破壞，此脆性破壞與長條狀硫化物及熱處理(如回火微裂紋)有關；

3 由表層沈積物連續性形貌及厚度研判，A2 錨定螺栓斷面已形成有相當長之一段時間；

4 緊臨斷口之螺桿表面嚴重磨損，顯示螺桿該處與支撐裙板法蘭下方之載板相接觸，並於該處引發非預期之彎曲力矩，拉斷螺栓(斷面裂紋擴展方向左右對稱之徑向條紋，即為拉斷表徵)；

5 螺栓起裂源區域除了上述脆性沿晶破裂(晶面密佈微韌窩)外，斷面具新月腐蝕破壞形貌，裂紋面有氧化物，螺栓抗拉強度高於發生沿晶應力腐蝕龜裂之強度門檻，合理研判(並參考 D14 錨定螺栓檢驗結果與受損肇因分析)此階段裂紋成長亦受制於沿晶應力腐蝕龜

裂；

6　依據裂紋擴展階段韌窩微觀破壞形貌，研判疲勞為合理且可能之主導機制，此疲勞裂紋擴展應力條件為高應力比及高平均應力。

III 可能受損肇因及機制研判

1　A2 錨定螺栓可能受損肇因為安裝不當、材質瑕疵及階段性腐蝕(建廠初期露天環境)；

2　A2 錨定螺栓裂紋萌生機制為軸向預力+非預期外力(安裝因素)造成螺栓(材質因素)開裂；起裂後之裂紋擴展初期可能主導機制為沿晶應力腐蝕龜裂，而後轉為疲勞裂紋擴展機制。

2.0 前言及背景

核二廠依第四個 10 年運轉期間檢測計畫，於 1 號機 EOC22 大修期間檢測反應爐支撐裙板錨定螺栓，在排定進行超音波(UT)檢測之前，101 年 3 月 23 日先行發現裙板內側 A2 錨定螺栓斷裂；A2 錨定螺栓位置如圖 1 箭頭所指處(註：隨後之超音波檢測結果，發現 C6、D14，B10，B13，C9 及 D11 等 6 處有裂紋指示之訊號，此 6 處裂紋位置皆在螺栓下端螺牙部位。)。

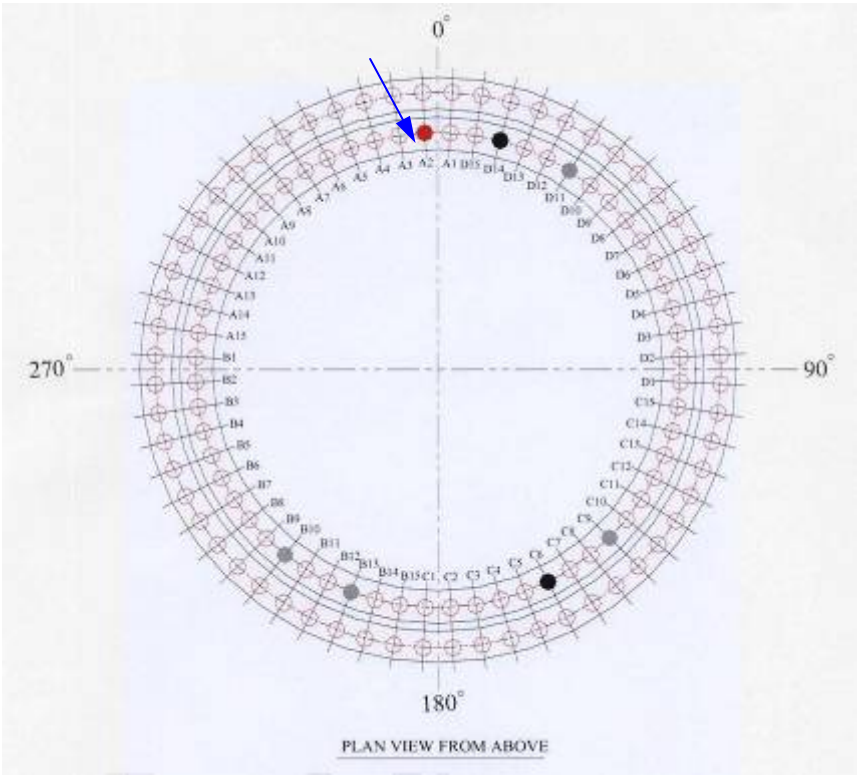


圖 1　　反應爐支撐裙板錨定螺栓分佈圖

由裙板法蘭取出之 A2 錨定螺栓，如圖 2。A2 錨定螺栓斷裂發生在由螺栓頂部算起~18.2 吋之螺桿處，距離螺栓下端螺牙約 0.8 吋。核二廠切取 A2 錨定螺栓含斷口部位 2cm 厚之螺桿(Stud)斷件，於 3 月 25 日

送至核能研究所熱室進行檢驗，以釐清斷裂錨定螺栓受損肇因。

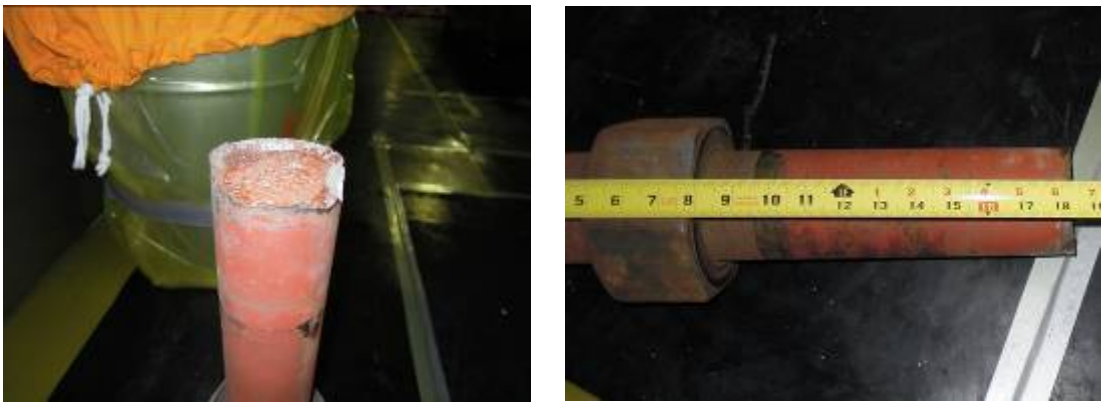


圖 2　　A2 斷裂錨定螺栓

反應爐支撐裙板內/外側(Inner/Outer ring)各有 60 只錨定螺栓(總計 120 只)，螺栓材質(設計規範要求)為 ASTM A-540 Gr B23 或 B24 Class 1 (Ref. 1)；螺栓尺寸直徑 3 吋，長度 26 吋(含上端螺牙部位 9 吋長，下端螺牙 7 吋，螺桿 10 吋)，螺栓每吋(長度)含 8 螺牙；螺帽為 6 角螺帽；圖 3 為 A2 錨定螺栓結構及斷裂位置(箭頭所指)示意。

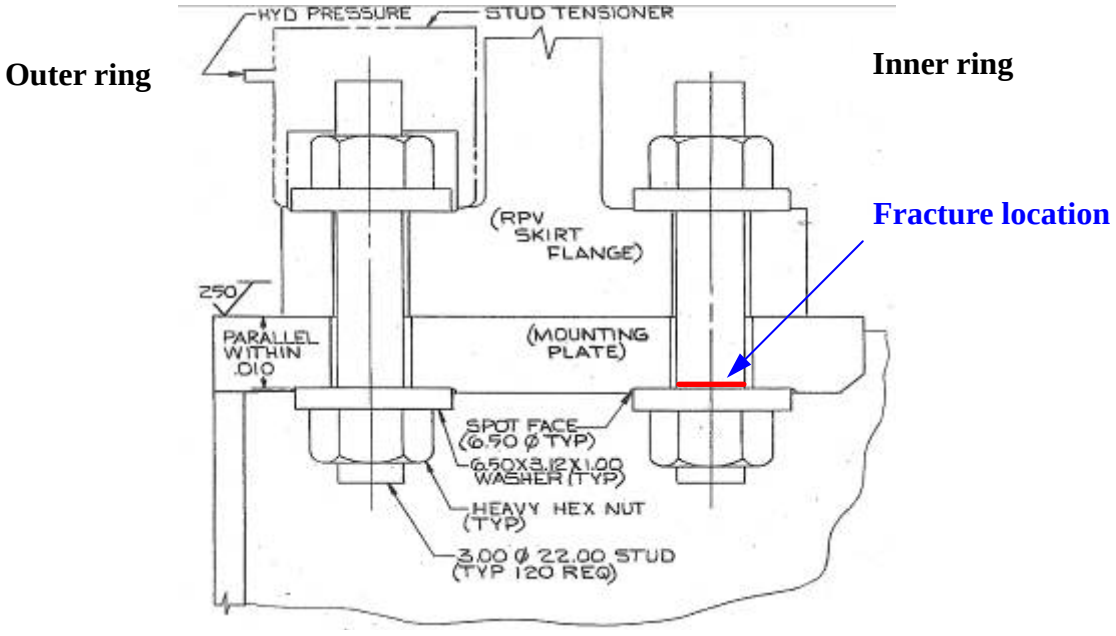


圖 3　　錨定螺栓(A2)結構與斷裂位置示意

3.0 檢驗結果

為澄清 A2 錨定螺栓斷裂成因，核研所進行並完成相關熱室檢驗，檢驗結果包含目視檢驗、低倍率斷口觀察、掃描式電子顯微鏡斷口分析、光學金相、微硬度測試及化學成份分析等結果，以下就所獲得之結果進行分析、討論，以研判斷裂成因。

3.1 目視檢驗

檢視圖 4 錨定螺栓斷口(圖 A 為斷面尚未處理之原始形貌，圖 B 為熱室去污、清理後之斷面形貌)，清楚可見呈現放射狀且左右對稱之徑向條紋(Radial marks)，那些徑向條紋收斂於圖面斷口下方邊緣 I 處(如箭矢所指)，該收斂處為破斷起裂源；螺栓開裂後，裂紋向上成長(A 區)至圖面上方最終拉斷(F 區)；龜裂成長區(A 區)相當平坦，涵蓋 90%以上之斷面，最終拉斷區(F 區)與平坦斷面呈陡峭之傾斜角；由起裂源向外、全面性、左右對稱之徑向條紋走向，為張應力/彎曲應力拉斷之結果；起裂源外圍可見新月紋(Crescent)；斷面大範圍披覆氧化生成物。

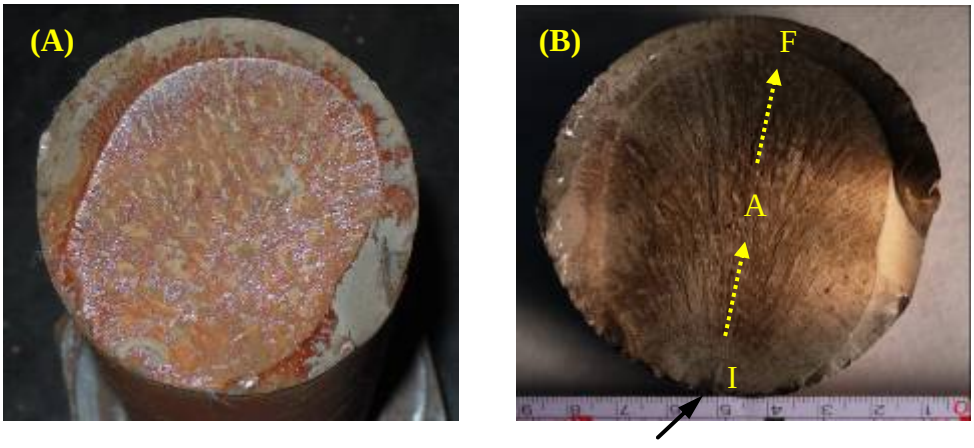


圖 4　　錨定螺栓斷口形貌

3.2 低倍率斷口觀察

圖 5(A)為圖 4 破斷起裂源位置(I)之局部放大，圖 5(B)為圖 5(A)起裂源局部放大之前視圖(Front view)，此圖清楚顯現該處大小不同且相互連結而成之孔洞，此處為破斷起裂源。圖 5(B)亦清楚可見起裂源下方之螺桿表面，已遭受嚴重磨損：桿面保護塗層喪失，桿面加工條紋(Machined marks)裸露。除此處磨損之外，圖 2 中左圖也可看見他處嚴重磨損痕跡。

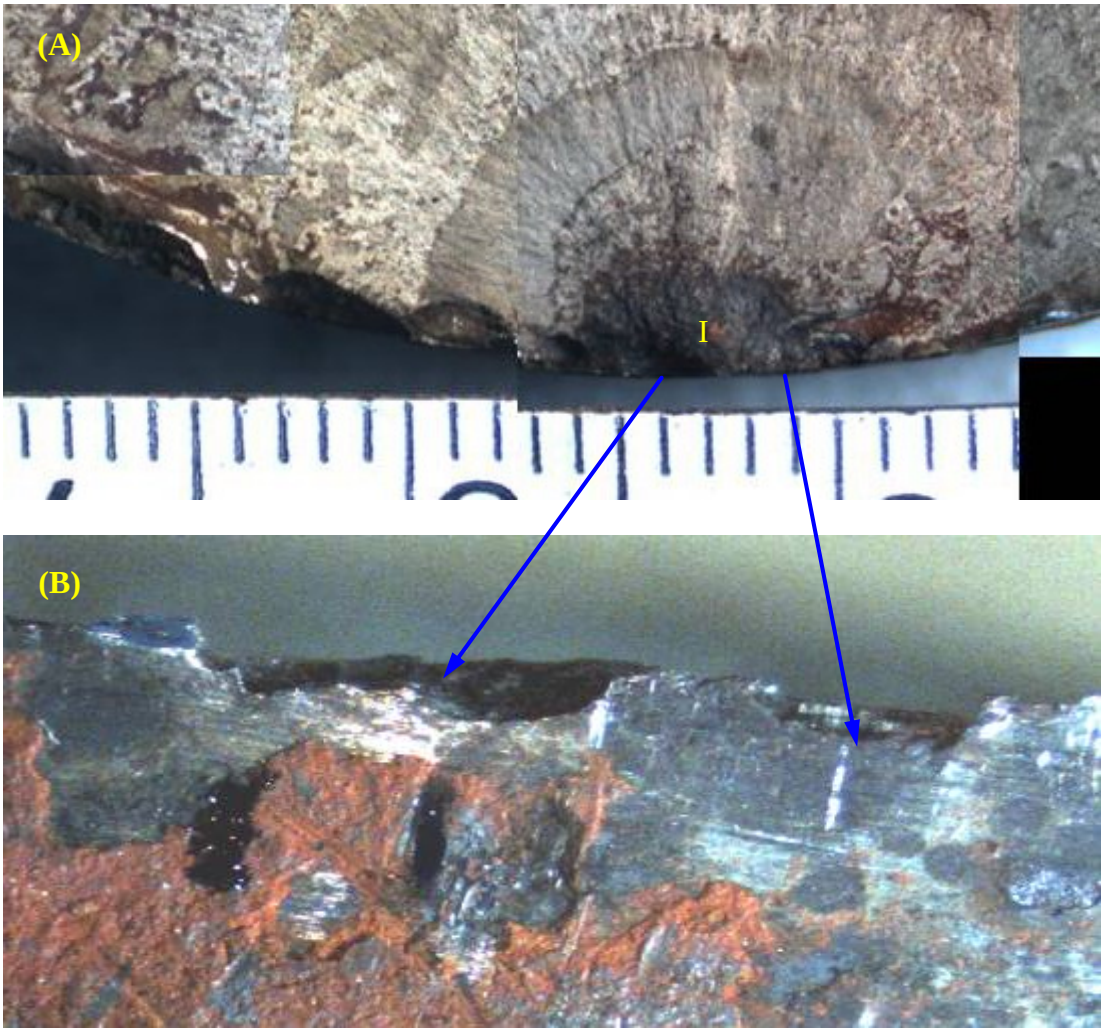


圖 5　　圖 4 破斷起裂源(O)之局部放大及前視圖

圖 6 為圖 4 局部區域之放大，此圖顯現類似海灘紋之形貌(如圖中箭矢所指)，後經 SEM 觀察確認，該處為延性破壞之韌窩(Dimples)形貌，不是疲勞破壞造成之海灘紋(巨觀疲勞表徵)；此圖中放射狀徑向條紋明顯可見。

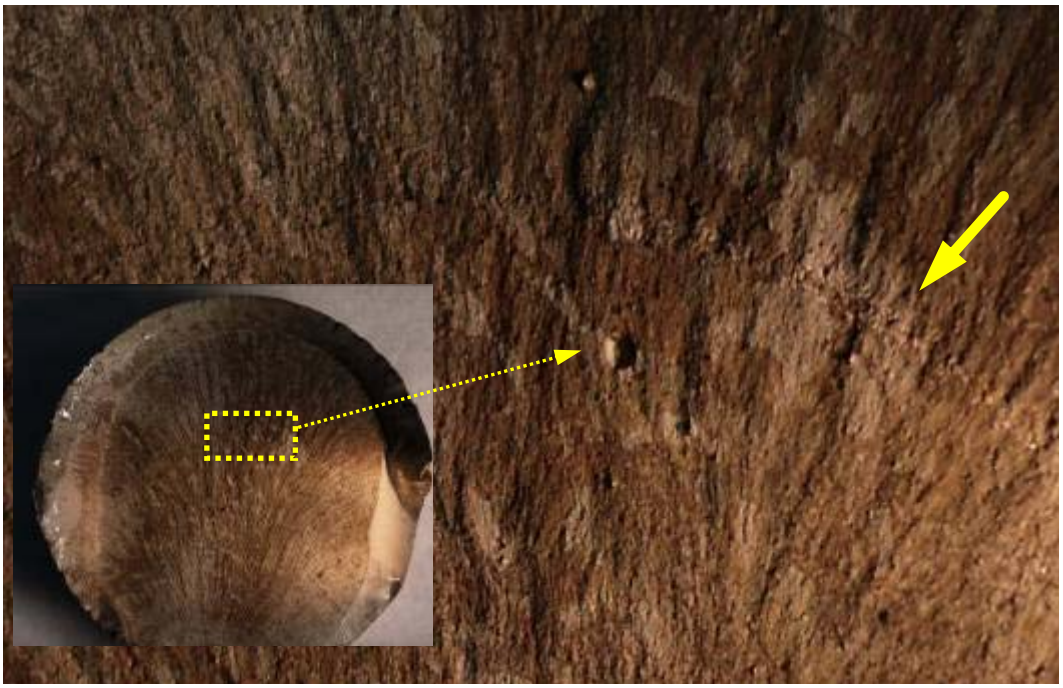


圖 6　　圖 4 局部區域之放大

3.3 微硬度測試

斷裂錨定螺栓機械性質以微硬度測試方法來評估，以確認材質等級。硬度測試區域包含螺桿表層及內部；其中表層測試範圍至少涵蓋表層 10 mm 以上之深度，以確認硬化層之有效深度；螺桿內部係指螺桿 1/2 直徑之部位。

表層測試結果平均值(13 測量點)為 HV(surface)423，最高與最低測量值分別為 435.7 及 408，標準差(deviation, σn)為 12.5；硬度分佈結果顯示，

斷裂錨定螺栓表層測量深度範圍內之硬度值差異不大，說明此斷裂錨定螺栓表層硬化能分佈均勻，且硬化層深度>10 mm。HV423 硬度相當於 HB400 (Brinell, Ref. 3)，與表 1 ASME SA-540/SA-540M 材質機械性質規範(Ref. 2)要求比較，確認斷裂錨定螺栓表層硬度值符合規範 B23 Class 1 (Dia.：to 3 inches, included)：BH 321~ 415 之要求。

Table 1 Mechanical Property Requirements of ASTM A-540 B23 Bolting Material

Grade	Class	Diameter inch	St MPa/ksi	Sy MPa/ksi	Brinell Hardness (Surface)	
			min	min	min	max
B23 (E-4340-H)	5	to 6, inc	827/120	724/105	248	311
		over 6 to 8, incl	793/115	689/100	255	321
		over 8 to 9 1⁄2, incl	793/115	689/100	262	321
	4	to 3, incl	931/135	827/120	269	341
		over 3 to 6, incl	931/135	827/120	277	352
		over 6 to 9 1⁄2, incl	931/135	827/120	285	363
	3	to 3, incl	1000/145	896/130	293	363
		over 3 to 6, incl	1000/145	896/130	302	375
		over 6 to 9 1⁄2, incl	1000/145	896/130	311	388
	2	to 3, incl	1069/155	965/140	311	388
		over 3 to 6, incl	1069/155	965/140	311	401
		over 6 to 9 1⁄2, incl	1069/155	965/140	321	415
	1	**to 3, incl**	**1138/165**	**1034/150**	**321**	**415**
		over 3 to 6, incl	1138/165	1034/150	331	429
		over 6 to 8, incl	1138/165	1034/150	341	444

螺栓內部 1/2 直徑部位之硬度測試結果：平均值為 HV(bulk)408±6.25，相當於 BH388，構造用鋼之抗拉強度(Ultimate tensile strength, St)與 BH 之關係，根據 Dohmer 準則(Ref. 3)表示如下：

$$St\ (psi) = 490 \times BH \qquad \text{for } BH>175 \qquad \textbf{(1a)}$$

$$St\ (psi) = 515 \times BH \qquad \text{for } BH<175 \qquad \textbf{(1b)}$$

依據 Eqn 1(a)得斷裂錨定螺栓抗拉強度(St)

St =490 x 388= 190,120 psi = **190 ksi** = **1312 MPa**

與表 1 機械性質規範比較，上述抗拉強度(St)評估值滿足 ASTM 規範 B23 Class 1 最低要求，但高於 RG 1.65：Materials and Inspections for Reactor Vessel Closure Studs 法規限值 **1173MPa/170Ksi** (Ref. 4)。

3.4 化學成份分析

利用感應耦合電漿光譜儀及碳硫分析儀進行斷裂錨定螺栓化學成份分析，分析結果如表 2；表中亦列出 ASTM-A540 B23/B24 化學成份規範(Ref. 2)要求，以資比對。

Table 2 Chemical compositions analysis results of the broken anchor bolt

元素	分析結果 (%)	Chemical Requirements (%)		
		B23 (E-4340-H)	B24 (4340 Mod)	B24V (4340 Mod)
C	**0.43**	0.37-0.44	0.37-0.44	0.37-0.44
Mn	**0.74**	0.60-0.95	0.70-0.90	0.60-0.95
P	**0.006**	0.025(max)	0.025(max)	0.025(max)
S	**0.013**	0.025(max)	0.025(max)	0.025(max)
Si	**0.26**	0.15-0.35	0.15-0.35	0.15-0.35
Cr	**0.79**	0.65-0.95	0.70-0.95	0.60-0.95
Ni	**1.77**	1.55-2.00	1.65-2.00	1.55-2.00
Mo	**0.23**	0.20-0.30	0.30-0.40	0.40-0.60
V	**<0.004**	……	……	0.04-0.10

表 2 分析結果中，釩(Vanadium,V)元素微量測量值，可視為測量儀器實驗誤差；C、Si、Mn、P、S、Cr、Ni 所有元素測量值，皆符合 B23/B24 化學成份規範；根據 Mo 化學成份分析結果，確認斷裂錨定螺栓材質符合 ASTM A-540 Gr.B23 規範要求；公稱組成(Nominal Composition)

為 2Ni-0.75Cr-0.25Mo。

3.5 掃描式電子顯微鏡(SEM)斷口分析

SEM 斷口觀察試片選取位置，主要為破斷起裂源區域 I 與鄰近快速拉斷區域 F，如圖 7 所示。

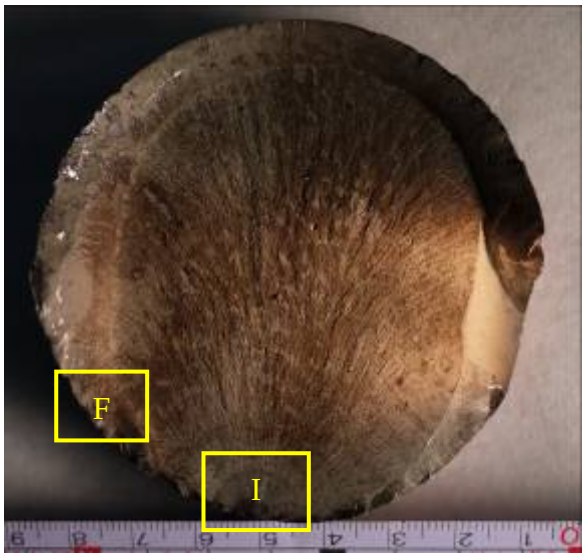


圖 7　　SEM 觀察試片選取位置

圖 7 破斷起裂源區域 I 之 SEM 觀察位置，標示於圖 8；鄰近快速拉斷區域 F 之 SEM 觀察位置，標示於圖 9。

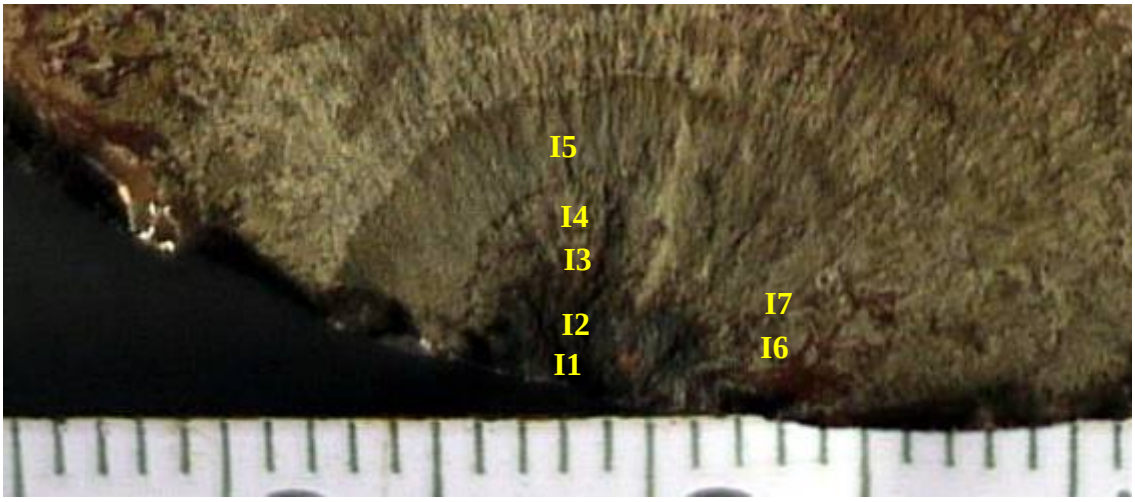


圖 8　　破斷起裂源區域 I 之 SEM 觀察位置

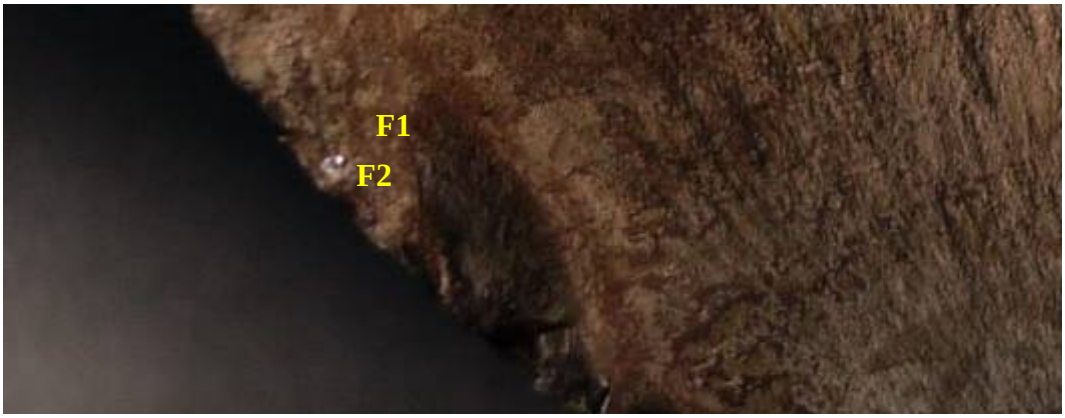


圖 9　　快速拉斷區域 F 之 SEM 觀察位置

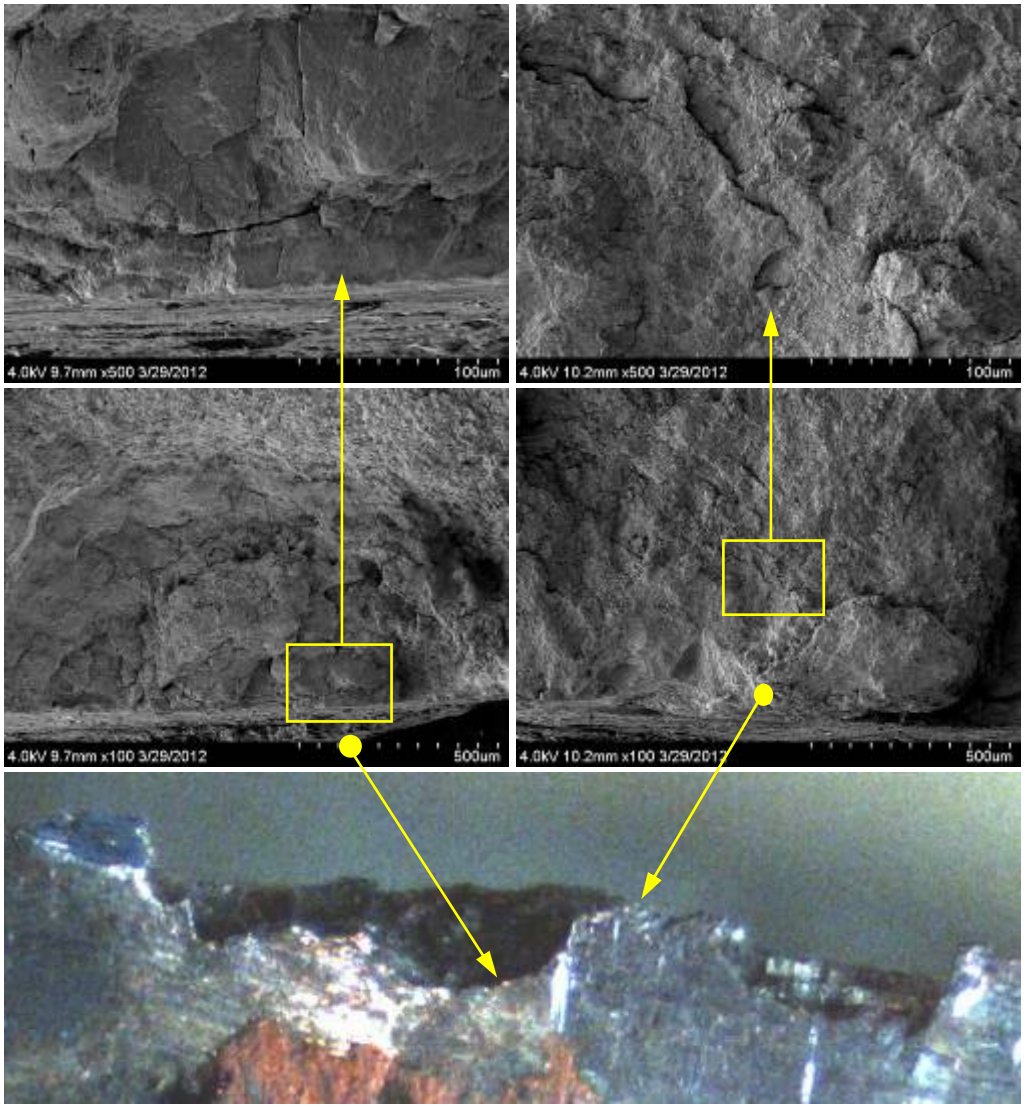


圖 10　　破斷起裂源 I1 區域 SEM 觀察

破斷起裂源 SEM 觀察區域 I1，位於裂紋萌生處之孔洞，觀察顯示如圖

10；其與圖 5 孔洞(前視圖)之相關位置，亦標示於此圖。圖 10 清楚顯示裂紋萌生處之孔洞內部，包含一些不同尺寸之小孔洞，孔洞披覆大量沈積物，此沈積物應是組織鬆散之一般氧化物，其對螺栓基材之影響，稍後有進一步之觀察及敘述。破斷起裂源 I2 觀察區域位於 I1 上方，SEM 觀察如圖 11；圖 11(A)中箭矢指出破斷起裂源孔洞邊緣，圖(B)、(C)、(D)分別為圖(A)、(B)、(C)之放大顯示。雖然此區域仍披覆沈積物，但圖(D)清楚顯示此區破壞模式為沿晶斷裂(Intergranular cracking)。

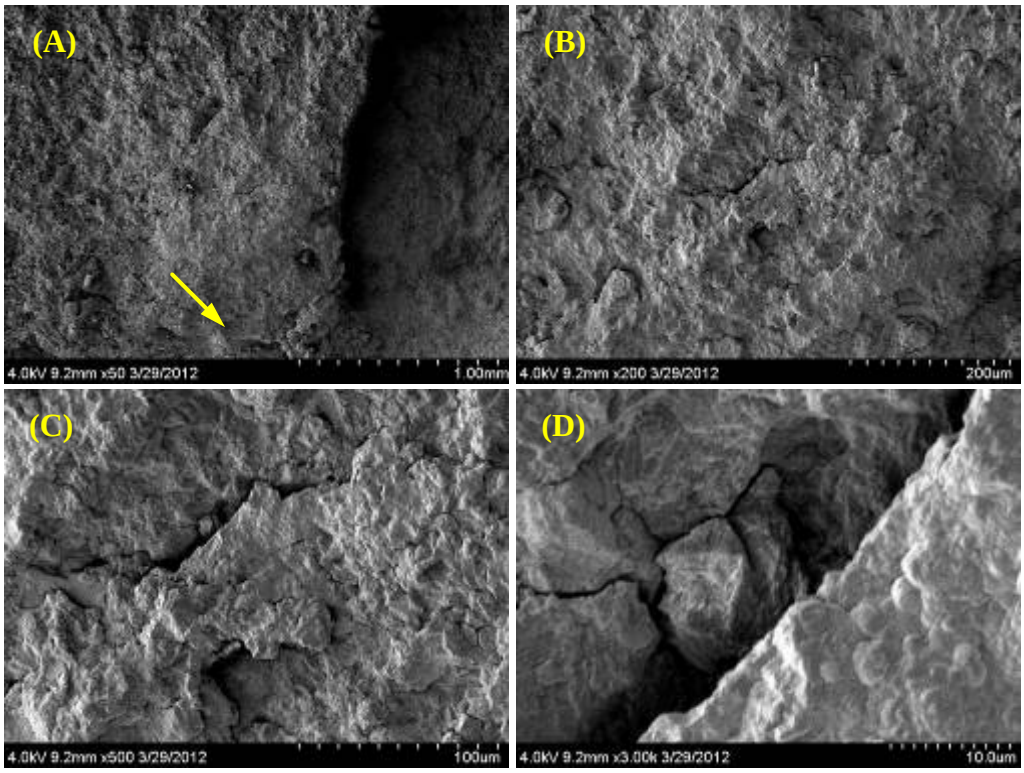


圖 11　　破斷起裂源 I2 區域 SEM 觀察

I3 觀察區域位於 I2 上方撕裂脊(Tearing ridge)位置，SEM 觀察如圖 12，圖(B)為圖(A)之放大顯示。此圖清楚顯示此區破壞模式為沿晶斷裂與劈裂(Cleavage)；劈裂細節顯示如圖(B)；此圖亦可見韌窩(Dimples)延性破

壞表徵。圖 13 為 I3 另一觀察區域，顯示螺栓內部存有孔洞(如箭矢所指)，且孔洞已與微裂紋連結。

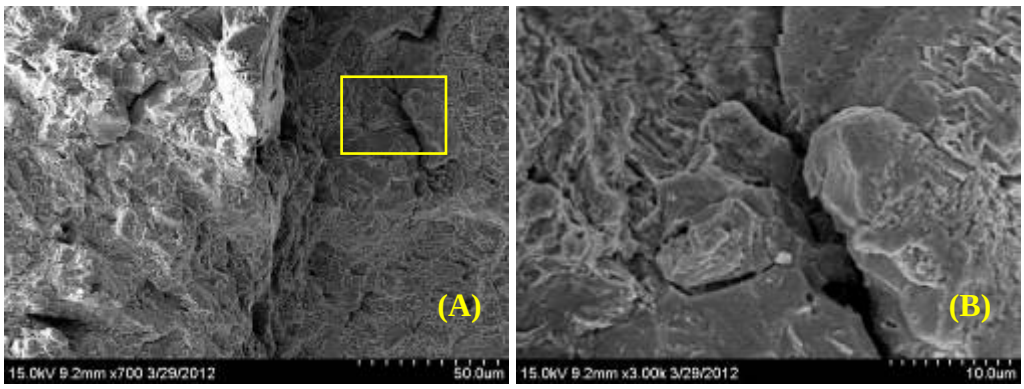


圖 12　破斷起裂源 I3 區域 SEM 觀察

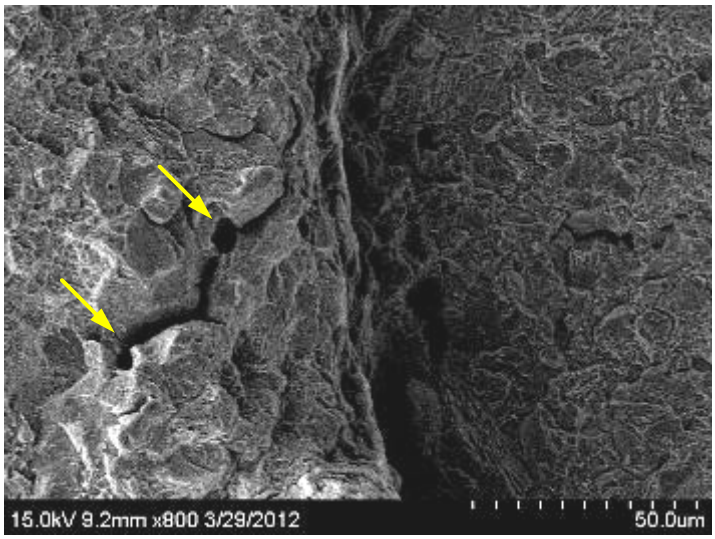


圖 13　破斷起裂源 I3 另一區域 SEM 觀察

I4 觀察區域位於 I3 上方撕裂脊位置，SEM 觀察如圖 14，圖(B)、(C)、(D)分別為圖(A)、(B)、(C)之放大顯示。此圖清楚顯示此區破壞模式為沿晶斷裂、劈裂與韌窩破壞；與圖 11、12、13 比較，圖 14 沿晶斷裂造成之晶粒分離，其晶面較不平整，反而呈現明顯之塑性變形，其原因來自此區較多之韌窩破壞；如圖 13 所示，此圖亦清楚顯示螺栓內部出現孔洞，且部分孔洞已與微裂紋連結或連結成微裂

紋(如如箭矢所指)。

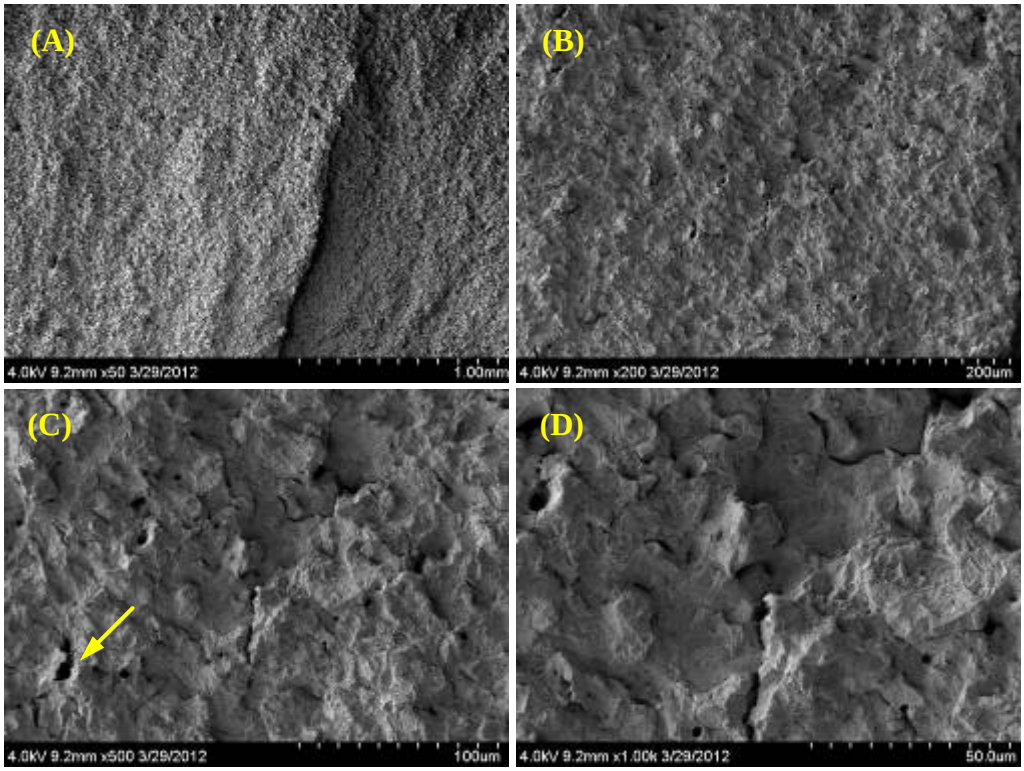


圖 14　破斷起裂源 I4 區域 SEM 觀察

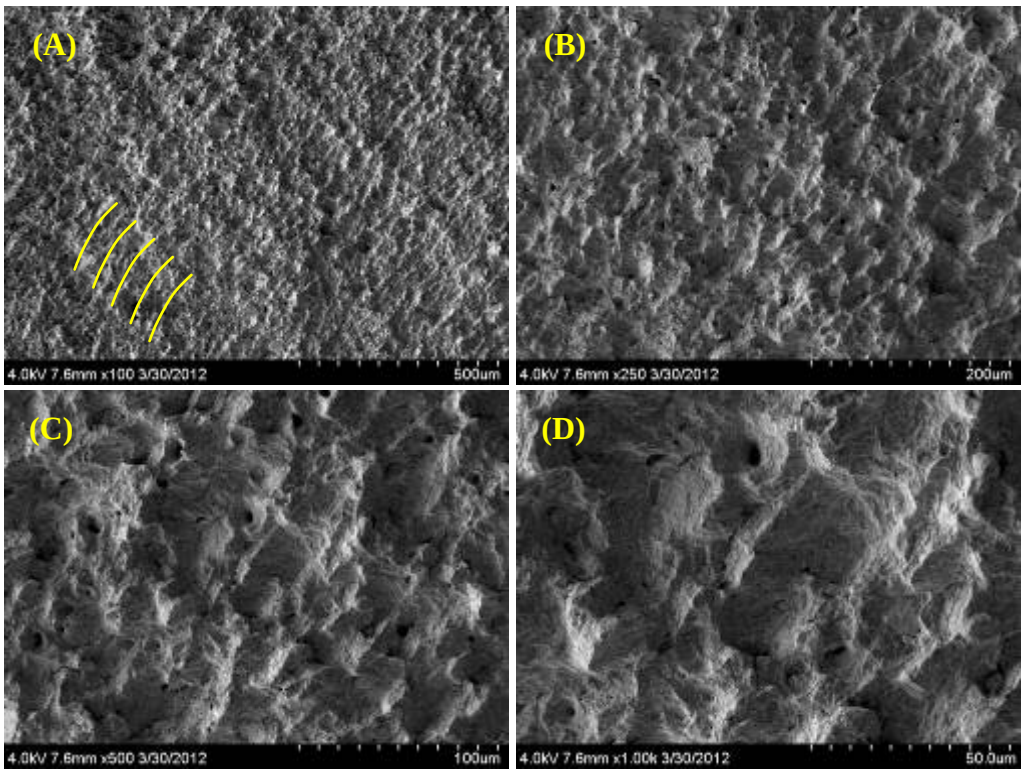


圖 15　破斷起裂源 I5 區域 SEM 觀察

圖 15 為 I5 區域之 SEM 觀察，圖(B)、(C)、(D)分別為圖(A)、(B)、(C)

之放大顯示。此圖清楚顯示螺栓內部出現許多孔洞，與圖 13、14 比較，此圖孔洞與微裂紋連結或連結成微裂紋之現象，較不明顯；劈裂與韌窩破壞為此區之主要破壞模式，沿晶斷裂不明顯；此外此區可見類似疲勞之巨觀條紋，如圖(A)中之示意。I6 區域(撕裂脊位置)SEM 觀察如圖 16，圖(B)、(C)、(D)分別為圖(A)、(B)、(C)之放大顯示。此圖清楚顯示此區之破壞模式為沿晶斷裂、劈裂與韌窩破壞；此圖與圖 14 相似，此區撕裂脊上方發生較多之塑性變形(韌窩破壞)；此區亦可見撕裂脊兩側有許多微裂紋(見圖(D)。

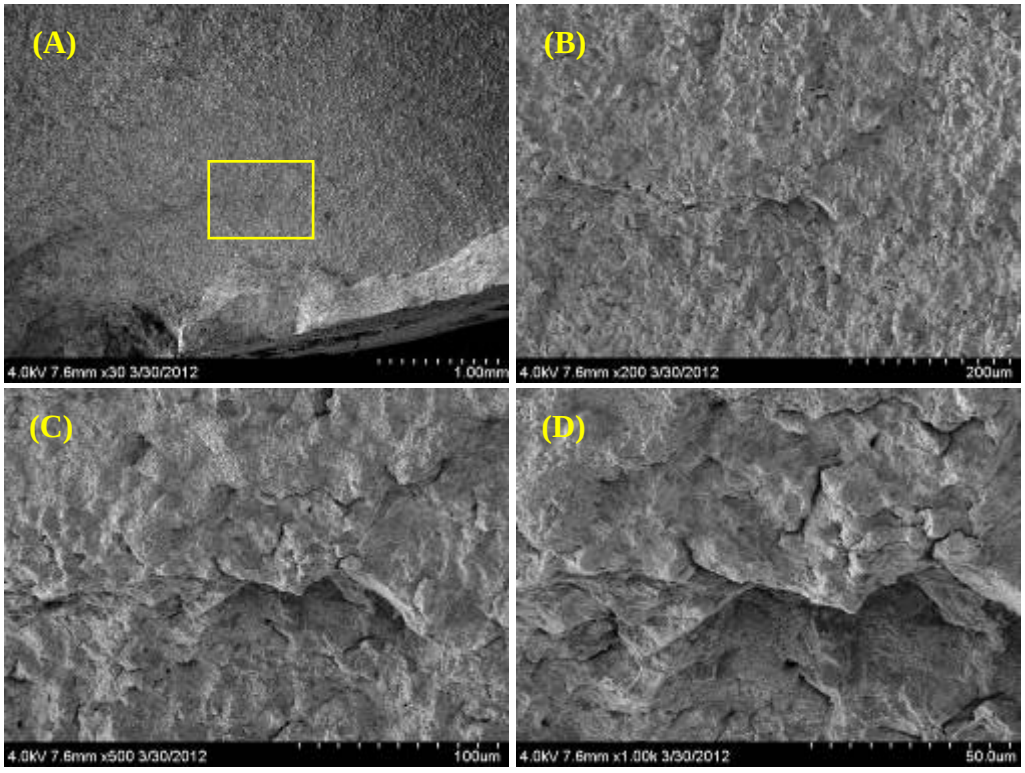


圖 16　破斷起裂源 I6 區域 SEM 觀察

I7 觀察區域位於 I6 上方，SEM 觀察如圖 17，圖(B)、(C)、(D)分別為圖(A)、(B)、(C)之放大顯示。此圖清楚顯示此區破壞模式為沿晶斷裂、

劈裂與韌窩破壞；此區可見許多微裂紋與孔洞。

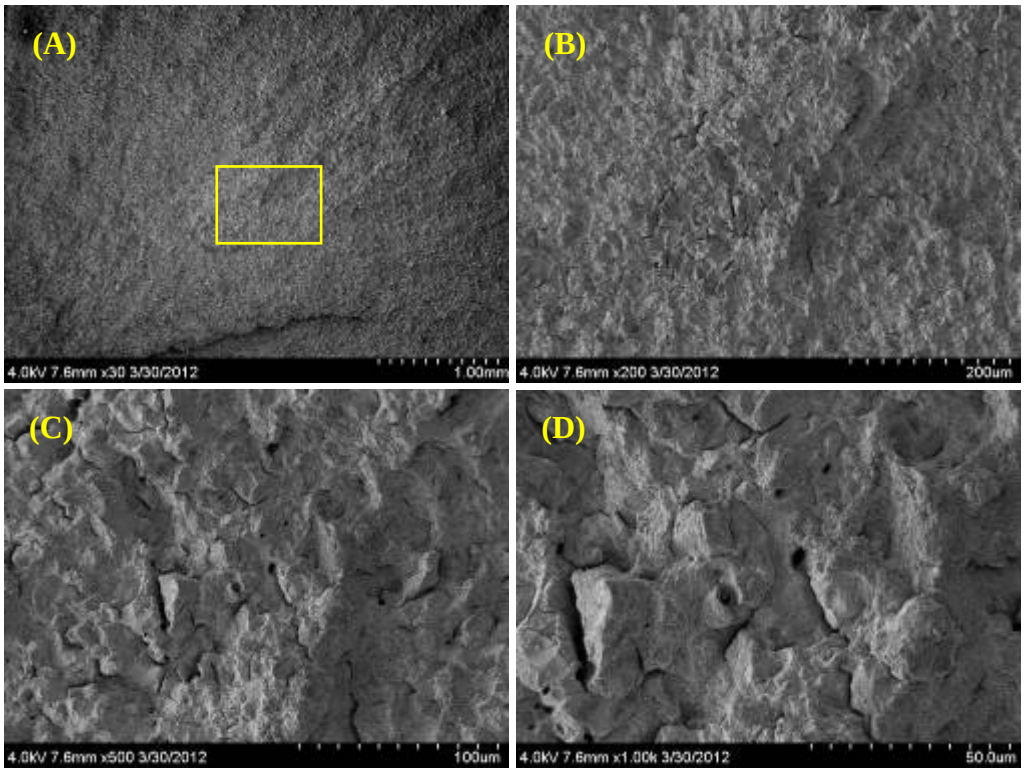


圖 17　破斷起裂源 I7 區域 SEM 觀察

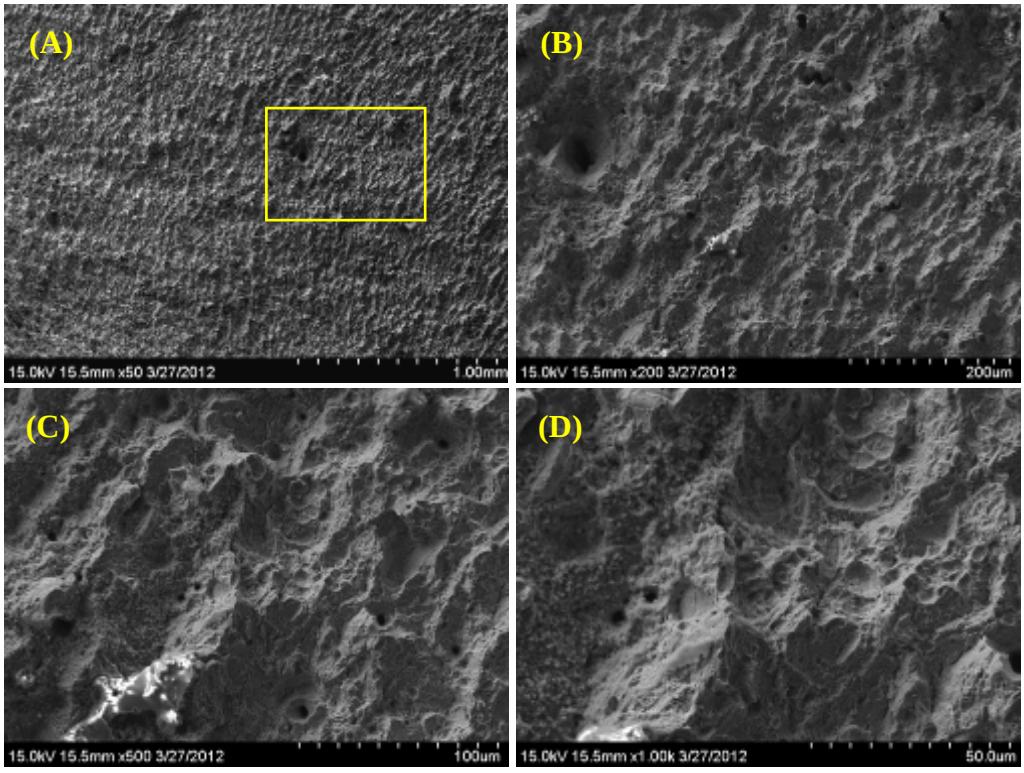


圖 18　鄰近快速拉斷區域 F1 之 SEM 觀察

圖 18 為鄰近快速拉斷區域 F1 位置之 SEM 觀察，圖(B)、(C)、(D)分別為圖(A)、(B)、(C)之放大；此圖清楚顯示韌窩破壞為此區主要破壞模式，可見少量劈裂；圖(D)中可見受剪應力而成形之大尺寸扁平韌窩；此區可見許多孔洞。圖 19 為鄰近快速拉斷區域 F2 位置之 SEM 觀察，圖(B)、(C)、(D)分別為圖(A)、(B)、(C)之放大；此圖顯示韌窩為此區主要破壞模式；亦可見一些條狀結構(Stripes, 如箭矢所指)，由於塑性變形之影響，無法確認那些條狀結構是否為疲勞條紋(Striations)。

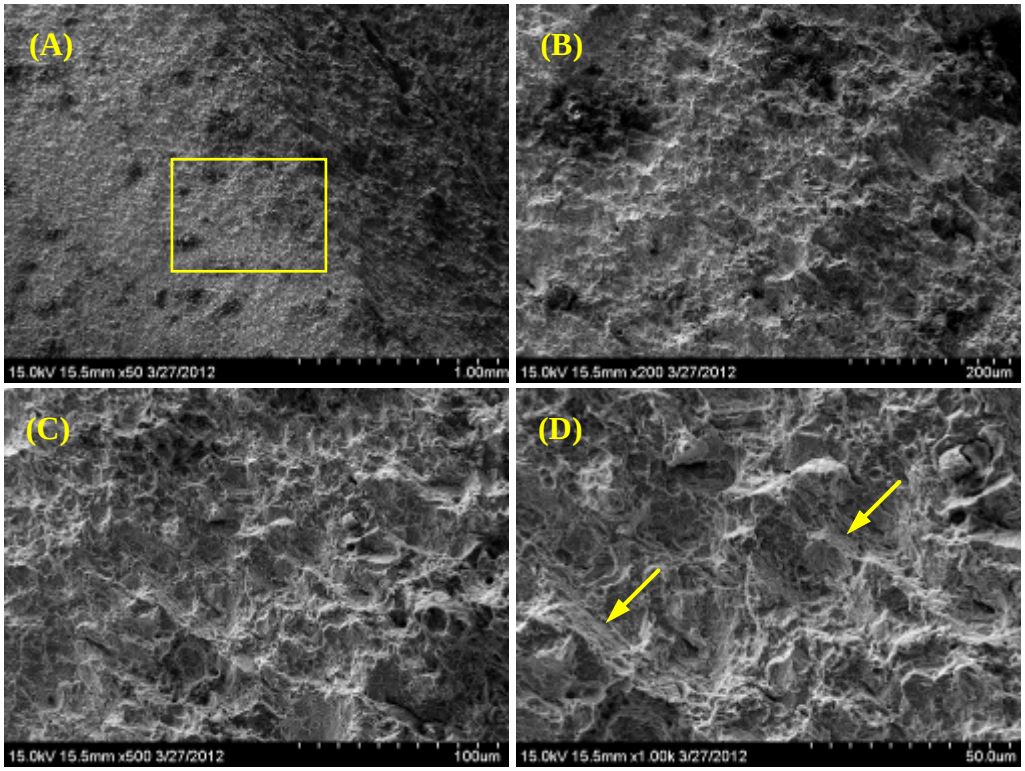


圖 19　鄰近快速拉斷區域 F2 之 SEM 觀察

3.6 掃描式電子顯微鏡(SEM)起裂源斷貌分析

圖 20 為起裂源斷貌(斷口剖面)SEM 低倍率觀察，觀察範圍(~5.6mm)涵蓋前 3.5 節所述 I1~I5 觀察區域，此圖顯示斷面披覆沈積物，I4、I5 區

域後之斷面沈積物相當薄。

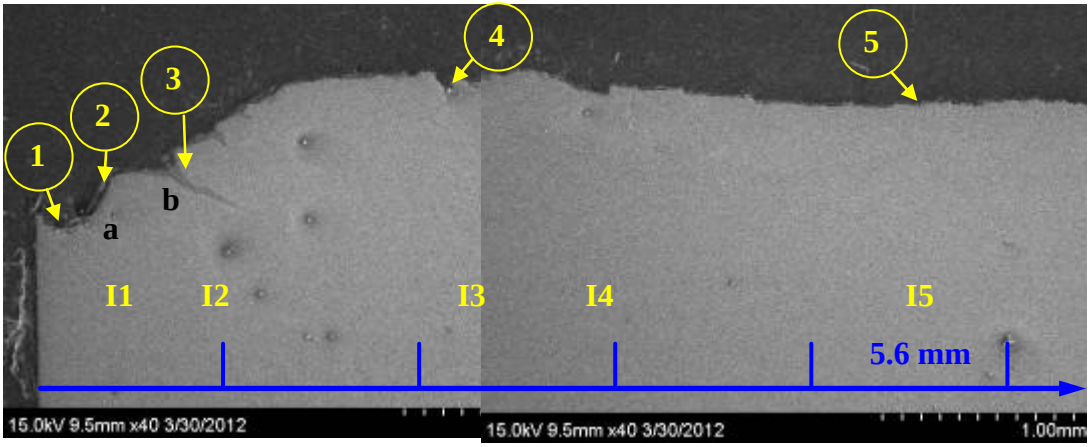


圖 20　　破斷起裂源區域(I)斷貌 SEM 觀察

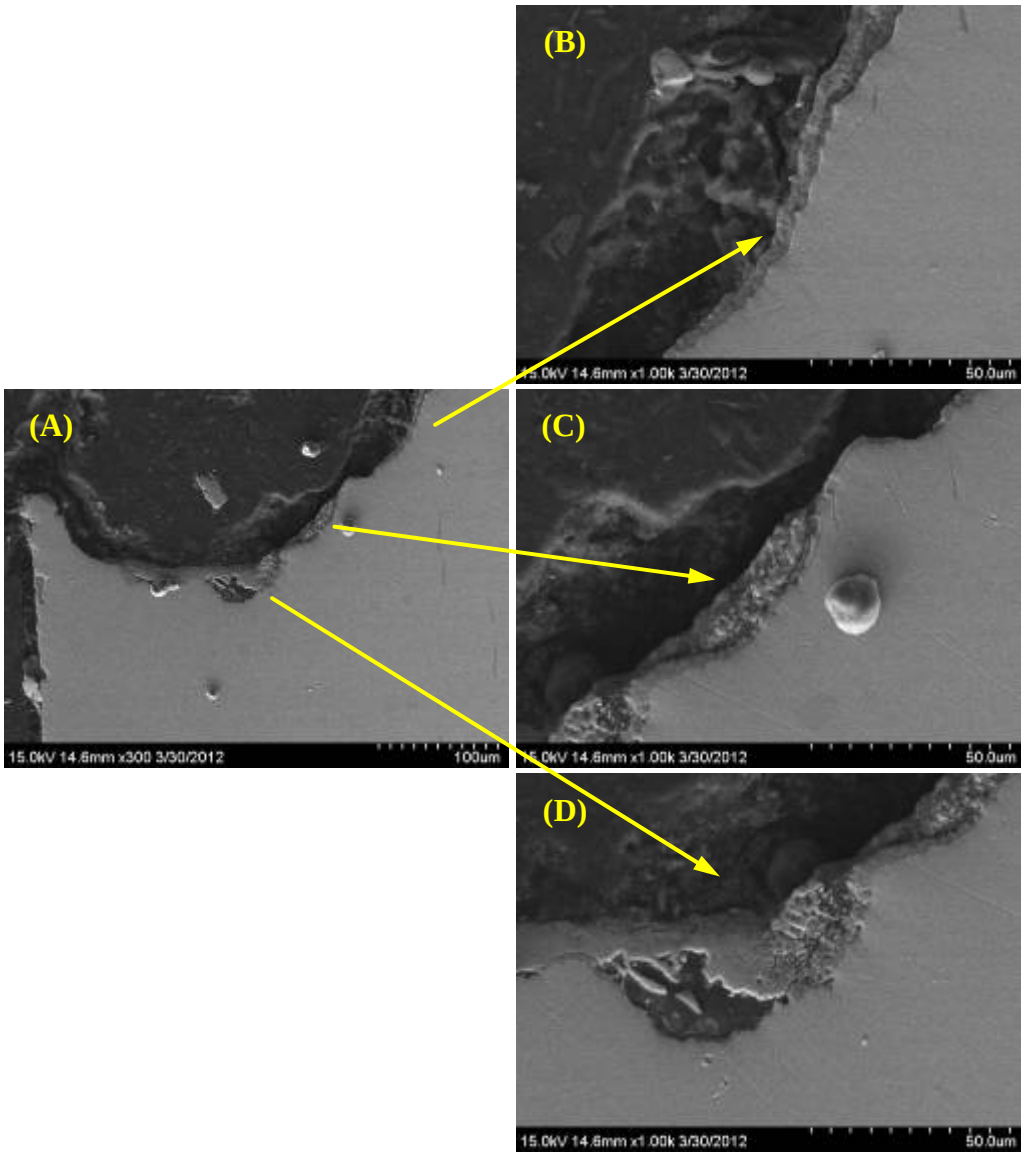


圖 21　　圖 20 中 a 處局部放大 SEM 觀察

圖 20 中 a 處局部放大顯示如圖 21，圖(B)、(C)、(D)為圖(A)之局部放大；此圖顯示表層沈積物為連續性(最大厚度為 10μm)，與基材似乎並未形成緻密之鈍化膜(Passive film)。圖 20 中 b 處局部放大顯示如圖 22，此圖顯示形成於破斷起裂源孔洞之二次裂紋(Secondary crack)，此二次裂紋表面積滿沈積物，同前所述，沈積物與基材並未形成鈍化膜。

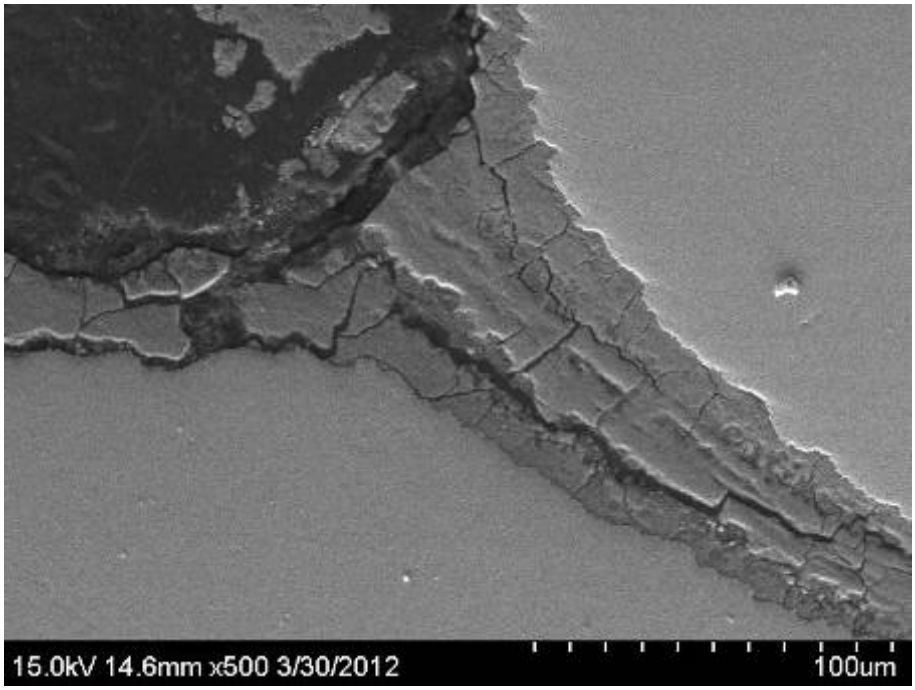


圖 22　圖 20 中 b 處局部放大 SEM 觀察

為進一步確認沈積物是一般氧化生成物或是已侵蝕基材形成之緊密鈍化膜，圖 20 之試片經蝕刻並經超音波震盪清洗處理後，再次進行 SEM 觀察，結果顯示如圖 23，圖 23(A)、(B)、(C)、(D)及(E)分別為圖 20 中標示 1、2、3、4、5 之位置。圖 23 觀察顯示，斷面表層沈積物下之螺栓基材，顯示有腐蝕破壞之表徵，如圖(A)、(D)箭矢所指，疑似孔蝕造成之蝕孔(Pitting)；圖(C)二次裂紋表面沈積物似乎沒有侵蝕基材，顯見

此表層沈積物的確只是一般氧化生成物；若沈積物不厚，其組織經超音波震盪清洗後將解離並與基材分離。

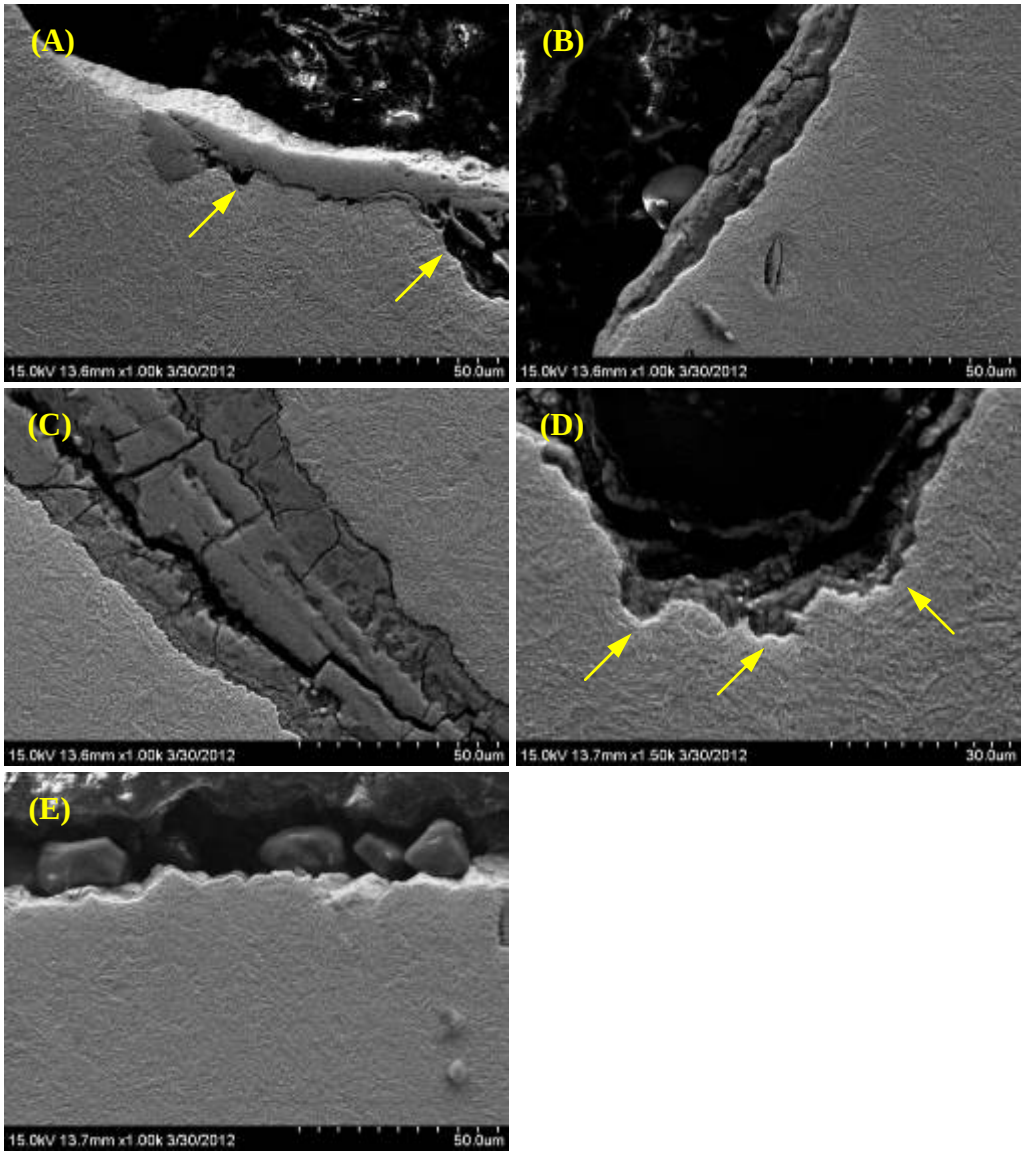


圖 23　圖(A)、(B)、(C)、(D)及(E)分別為圖 20 中 1、2、3、4、5 位置之局部 SEM 觀察

3.7 金相觀察

金相觀察試片選自螺栓表層硬化層厚度<10mm 內之區域，觀察面為垂直斷口之縱切面。圖 24 為蝕刻後之光學金相，圖(B)為圖(A)之局部放

大。圖 24 中顯示之金相，其可能之顯微組織為回火麻田散鐵(Tempering martensite)，或者如果有，再加上殘留沃斯田鐵(Retained austenite)，因為此斷裂螺栓相關熱處理施作資料並不明確，因此難以對金相顯微組織作確切之判斷。此圖中可見許多黑色小孔(如箭矢所指)。

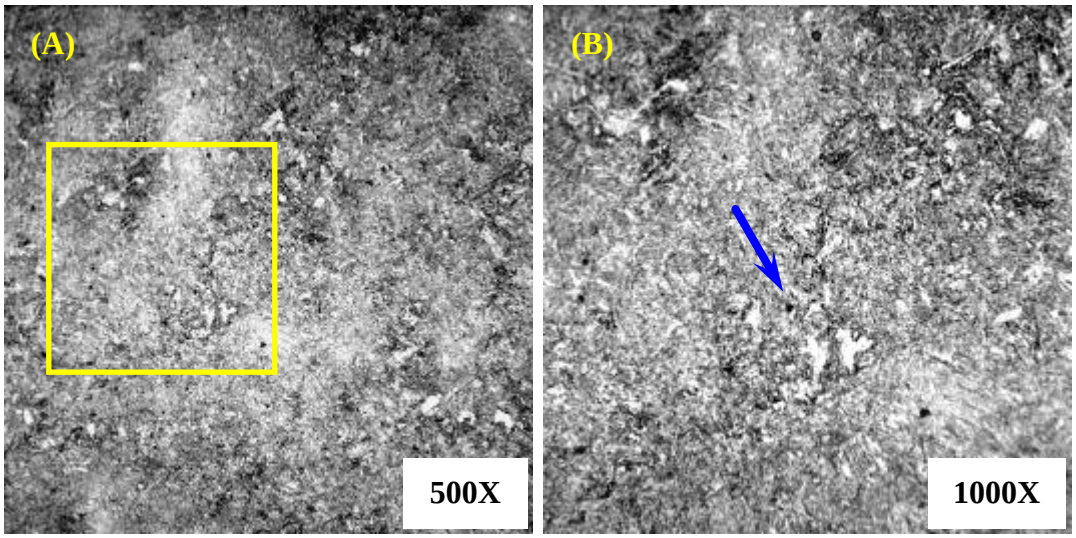


圖 24　螺栓硬化層區域內之 OM 顯微組織；圖(B)為圖(A)之局部放大

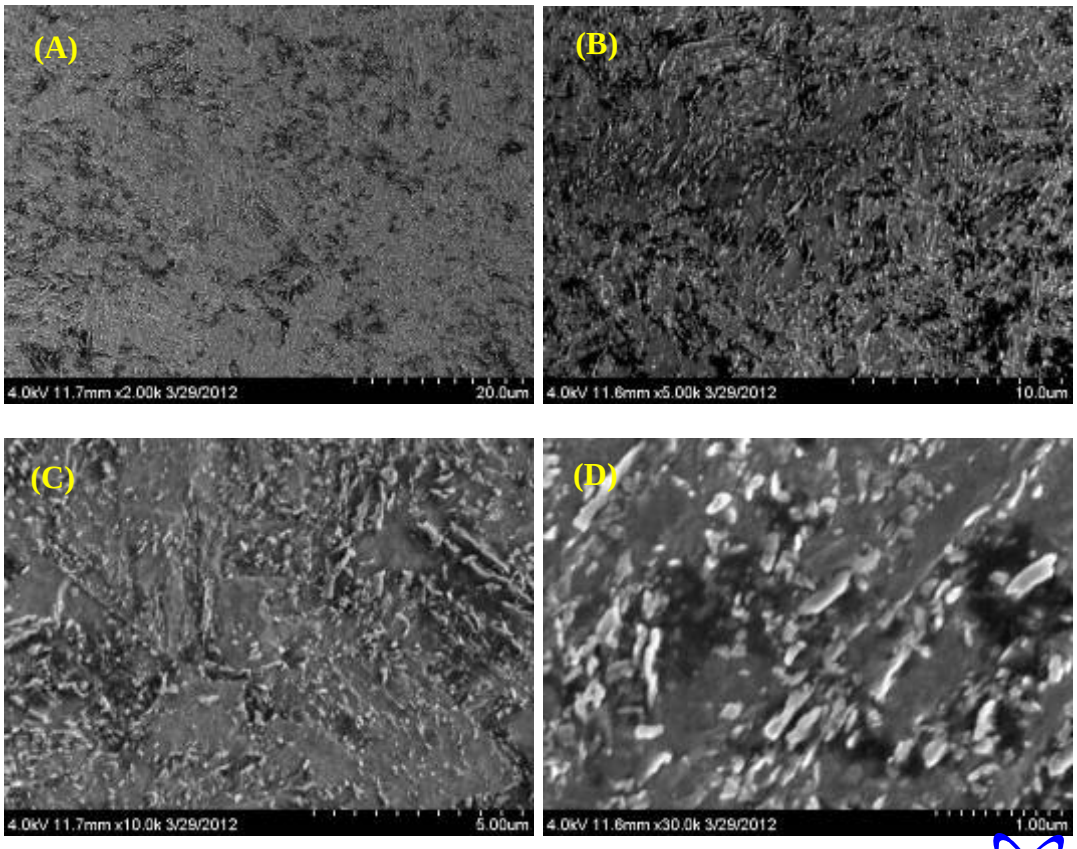


圖 25　螺栓硬化層區域內之 SEM 顯微組織

以 SEM 對圖 24 之顯微組織作更進一步觀察，結果如圖 25；圖(B)、(C)、(D)分別為圖(A)、(B)、(C)之局部放大；此圖顯示基材中有許多之棒狀(Rod-like)物，其可能為析出相且與基材具特定之相位角關係。

3.8 斷面(酸洗後)SEM 再觀察

因為斷面表層披覆氧化物，故進行酸洗(Pickling)去除表層氧化物，再經 SEM 觀察以確認真實破裂形貌。酸洗後斷面觀察結果，顯示如圖 26(圖(A)、(B)、(C)、(D)為起裂源區域不同位置之觀察)；此圖清楚顯示裂紋萌生區的確為沿晶破裂，且晶面披覆微韌窩(Micro-dimples)；圖中可見與微裂紋連結之孔洞，或孔洞連結形成之微裂紋，此為所有受檢驗之斷裂螺栓普遍可見現象；圖 27 更清楚顯示此孔洞/微裂紋形貌。

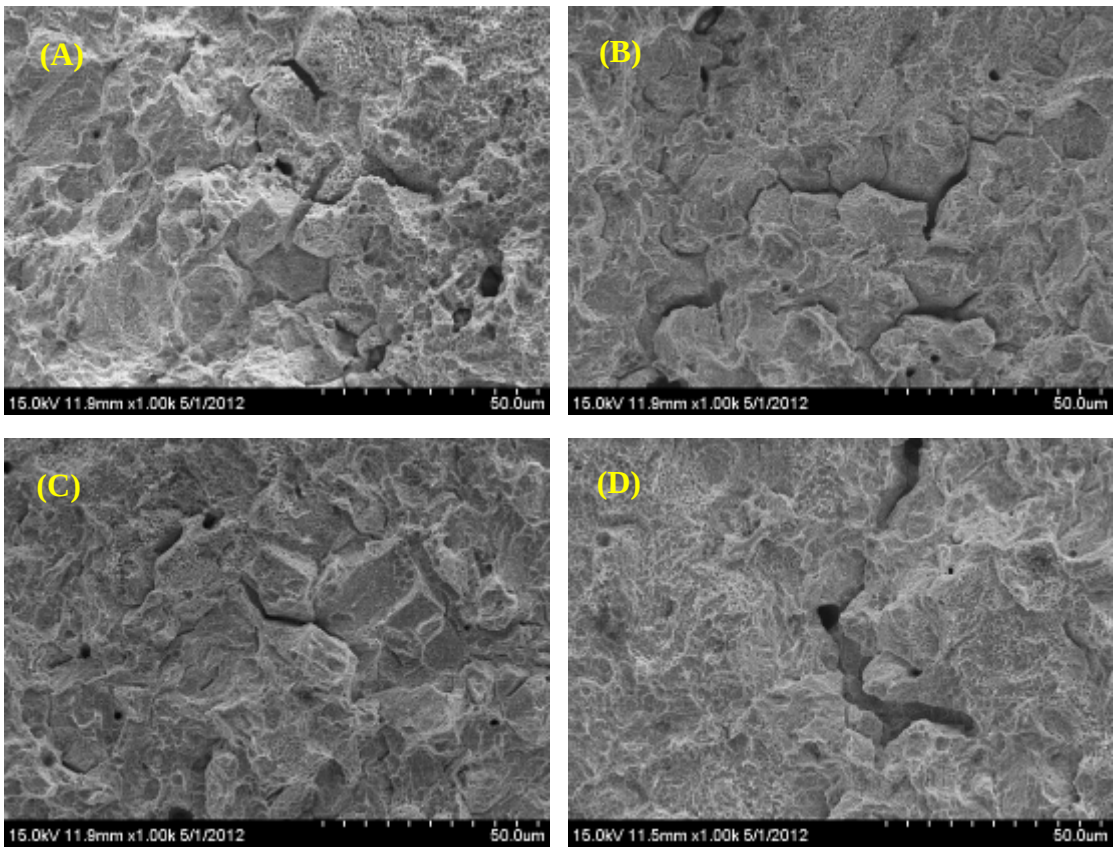


圖 26 斷面經酸洗去除表層氧化物後之 SEM 再觀察

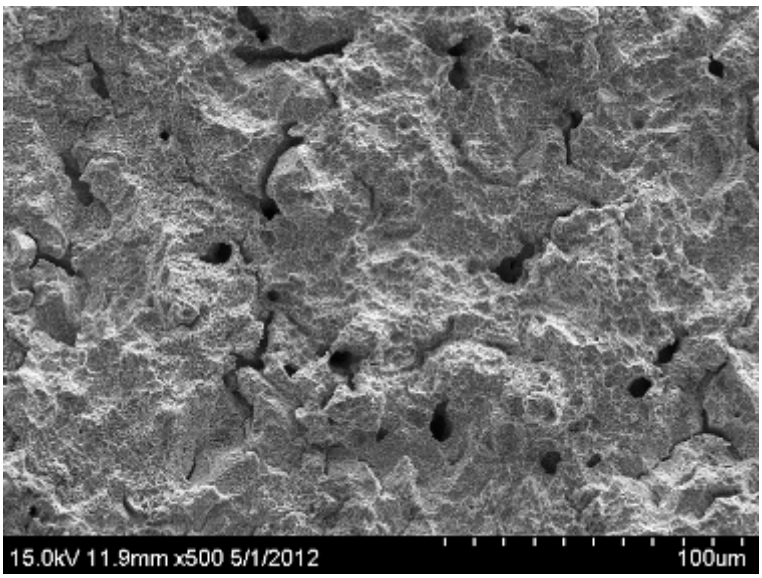


圖 27　斷面酸洗後之 SEM 再觀察，顯示孔洞/微裂紋微觀形貌

酸洗後斷面表層之全區再觀察，並未發現疲勞條紋(Striations)；對圖 6 區域(裂紋擴展區)進行 SEM 再觀察，確認該處為延性破壞韌窩形貌(圖 28(A))，不是疲勞海灘紋；但此區發現有劈裂破壞形貌，如圖 28(B)、(C)，顯示該區域之負載條件有所不同，因此造成巨觀外貌之變異。

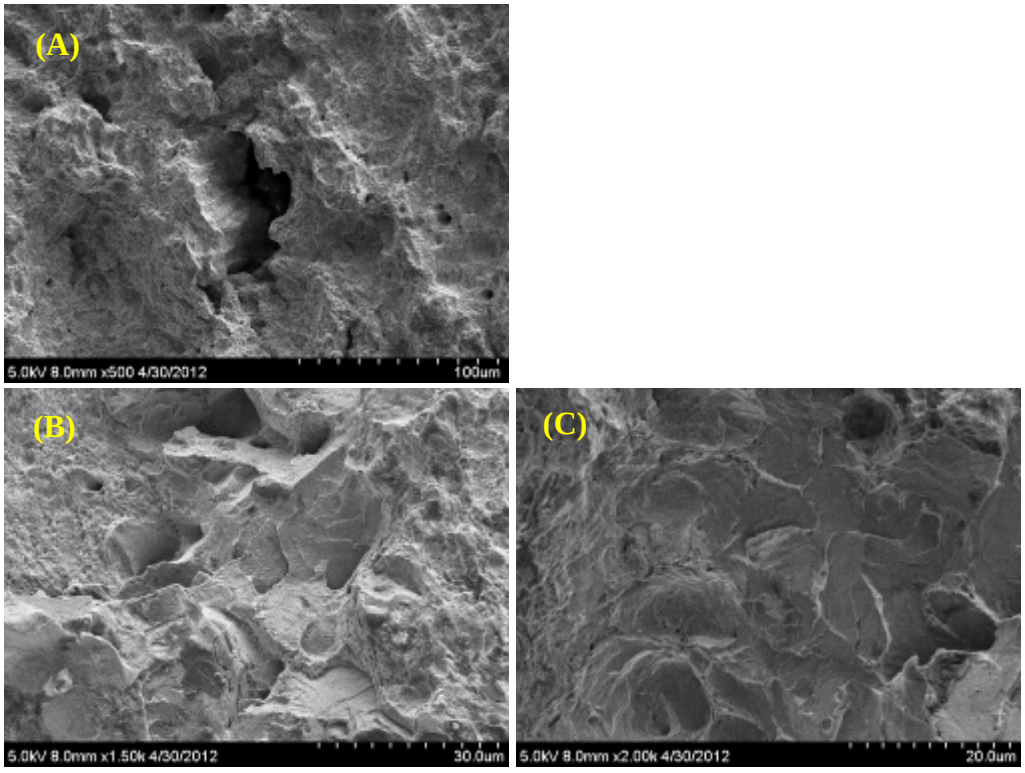


圖 28　斷面酸洗後之 SEM 再觀察(圖 6 裂紋擴展區)，顯示(A)韌窩及(B)(C)劈裂破壞形貌

4.0 檢驗結果分析與討論

依據以上 3.1~3.8 熱室檢驗結果，進行以下 A2 錨定螺栓可能受損肇因及破壞機制之討論與說明。

4.1 分析與討論

4.1.1 負載

A2 錨定螺栓斷口形貌分析，顯示該螺栓之破壞主要是拉斷(無扭斷證據)。核二廠對 3″直徑之 A2 錨定螺栓施以 680kips 之預力(pre-tension)，依原廠設計規範(Ref. 1)要求，該負載為錨定螺栓承受之單軸向拉伸應力。今硬度測試結果顯示，A2 錨定螺栓機械強度滿足 Class I 之要求(表 1)，故 680kips 之單軸向預力與 A2 錨定螺栓斷裂無直接關連。

假設所述之預力為螺栓斷裂之應力源，且 A2 錨定螺栓整體材質均勻無缺陷，若該預力提供之軸向拉伸應力足以拉斷螺栓，則斷裂應該發生在應力集中之螺牙位置。今 A2 錨定螺栓斷口位置在螺桿區，與下端螺牙頂部尚有 0.8 吋之距離，顯然就機械應力破壞而言，A2 錨定螺栓必定承受了經過重新分配之高張應力，且該張應力高於螺牙位置之集中應力。依原廠設計規範要求，螺桿部位與裙版法蘭及載板間不得接觸，於是裙版法蘭及載板之鑽孔，分別大於螺桿直徑 0.25、0.5 吋，以保有寬鬆之裕度避免摩擦。今熱室檢驗發現，A2 錨定螺栓斷口區域之螺桿表面嚴重磨損，且在螺桿其他區域亦發現特定長軸向之磨痕，顯然 A2

錨定螺栓在斷裂前必定與裙版法蘭/載板彼此接觸，引發一極大之彎曲力矩，此彎曲應力加上單軸向拉伸預應力造成 A2 錨定螺栓斷裂。

4.1.2 材質

化學成份分析結果(表 2)，確認斷裂 A2 錨定螺栓化學成份符合規範要求，為 ASTM A-540 Gr. B23 材質；硬度(表層及內部)測試結果，確認該材質滿足 Class 1 要求。

4.1.2.1 孔洞

在 A2 錨定螺栓起裂源位置，發現龜裂起裂於孔洞(圖 5)，作為應力集中源，孔洞顯然在裂紋萌生階段扮演一關鍵性角色。又在熱室檢驗中，不論是 SEM 斷口或是金相觀察，皆可發現 A2 螺栓內部存有甚多孔洞，如斷口照片 13 中可見與微裂紋連結之孔洞，或如斷口照片 14 中孔洞連結形成之微裂紋，因此可見孔洞在裂紋擴展階段，也提供相當程度之貢獻。

A2 螺栓材質，作為 RPV 錨定螺栓之結構用清淨鋼，其孔洞形成之可能原因為：冶煉製程因脫氧不全致使空氣殘留、除渣不全、或是鋼錠冷卻階段發生之縮孔；對 RPV 螺栓而言，孔洞為製程瑕疵，因此確認 A2 錨定螺栓雖然其成分符合規範要求，但其斷裂與螺栓製程直接有關。

4.1.2.2 夾雜物

A2 龜裂錨定螺栓剖面金相觀察觀察，發現基材中有許多長條狀夾雜物

(Inclusions)，經 SEM-EDX 成分分析確認該長條狀夾雜物為硫化物，其長條狀之形貌為輥壓加工之結果，其存在將不利於材料機械性質(特別是延展性與韌性)。在核二廠 2 號機 EOC21 反應爐支撐裙板錨定螺栓斷裂肇因分析(Ref. 5)中發現並確認，硫化物與基材之界面有微孔(Voids)發生，且空孔連結導致硫化物夾雜物與基材間之脫合(De-bonding)；一般而言，微孔連結導致脫合之行為，正是鋼材韌性與延性降低之一項主因。A2 錨定螺栓龜裂模式為脆性沿晶破壞，合理研判脆性龜裂與 A2 錨定螺栓龜裂與硫化物夾雜物有一定程度之關係。

4.1.2.3 淬火微裂紋

熱處理決定顯微組織，顯微組織決定機械性質，高強度低合金鋼經過適當熱處理(如淬火+回火+低溫應力消除)後，材質將具有優良之機械強度與韌性(Fracture toughness)，作為 RPV 錨定螺栓之 A2 螺栓，其機械性質必須滿足要求。今 A2 錨定螺栓開裂為脆性破裂，合理研判此應與 A2 錨定螺栓熱處理之施作，有某種程度之關連，A2 錨定螺栓中所見之孔洞/微裂紋微觀形貌(圖 26、27)，即是熱處理不當之表現。此外例如析出某些碳化物，則可能造成回火脆性；在 A2 斷裂螺栓顯微組織觀察中，發現有疑似析出相的形成，如圖 24，25，那些析出相與熱處理理息息相關，值得進一步分析研究。

4.1.3 環境

核二廠反應爐支撐裙板內側錨定螺栓使用環境為室內環境(爐心乾井)，運轉期間為乾燥高溫室內環境。前 3.6 節斷口起裂源之剖面觀察結果，顯示斷面披覆有一層沈積物，其最大厚度~10μm，發生在起裂源之孔洞內。對沈積物做進一步之 SEM 觀察，結果發現那些沈積物不是侵蝕螺栓基材所形成之腐蝕氧化物，而是金屬與空氣反應形成之一般性非鈍化氧化物，其結構鬆散，容易與螺栓表面脫離。

A2 螺栓材質本身具優良之腐蝕抗性，RG 1.65 指出，為預防發生應力腐蝕龜裂，ASTM-A540 Gr. B23 Class 1 錨定螺栓抗拉強度必須小於 1173MPa(170ksi)，今硬度測試結果分析得知，A2 斷裂錨定螺栓抗拉強度為 1312MPa(190ksi)，大於法規限值。在圖 21~23 中，可以看見蝕孔/二次裂紋破壞面披覆有沈積物，在腐蝕的環境中蝕孔/二次裂紋有進一步劣化之可能。

4.2 肇因與機制

綜合以上之分析，簡單提出 A2 斷裂錨定螺栓裂紋萌生(Crack initiation)與裂紋擴展(Crack propagation)可能肇因與機制如下。

依據熱室檢驗結果(1)龜裂起源於螺桿，起裂源斷面微觀型貌為沿晶破裂，晶面密佈微韌窩，(2)隨著遠離起裂源，斷面沿晶破裂逐漸轉為韌窩破壞型貌，(3))螺栓內部有長條狀硫化物，(5)孔洞瑕疵及可見孔洞連

結而成之微裂紋(淬火微裂紋)，及(6)起裂位置與螺栓具傾斜角，可以研判 A2 錨定螺栓因材質瑕疵，在安裝過程因軸向預應力加上來自非預期之安裝外力(彎曲力矩及扭力矩)，於是發生脆性拉裂；破壞應力源為軸向預應力加上來自非預期之安裝外力，因此脆性沿晶開裂發生在安裝過程。

依據熱室檢驗結果(1)螺栓縱剖面腐蝕破壞形貌，(2)二次裂紋，(3)裂紋面批覆氧化物，(4)斷面腐蝕孔，(5)螺栓內部有長條狀硫化物，及(6)抗拉強度 1312MPa(190ksi)，及 RG 1.65 抗沿晶應力腐蝕龜裂 RPV 螺栓材料抗拉強度/降服強度必須<1172MPa(170ksi)/1034MPa(150ksi)之規定，可以研判 A2 錨定螺栓材質抗蝕性不足，於是施工安裝造成之脆性拉裂將因沿晶應力腐蝕龜裂作用持續成長。除螺栓材質條件外，沿晶應力腐蝕龜裂需應力(上述軸向預應力加上來自非預期之安裝外力應已為充要條件)及環境因素配合。錨定螺栓所在環境為乾井室內環境，運轉期間乾井之乾燥高溫室內條件並不利於沿晶應力腐蝕龜裂之發生，因此需要之環境因素與建廠期間螺栓局部環境有關。由於建廠至反應爐正式商轉前，安裝後之錨定螺栓有一段時間暴露於室外潮濕環境，因此研判此期間為沿晶應力腐蝕龜裂發生之可能時間。此裂紋擴展機制反映在螺栓斷面便是微觀破壞形貌轉為韌窩破壞之前的沿晶破裂區域。疲勞造成之破壞亦為脆性破壞，然其形式為穿晶模式不是沿

晶模式(Ref. 5)，因此疲勞不是本案脆性破壞開裂之主因。

當裂紋成長逐漸造成預力喪失且沿晶應力腐蝕龜裂機制也停止時，合理且可能提供裂紋持續成長之機制為疲勞。疲勞是塑性誘發(Plasticity-induced)的現象，在高應力比(Load ratio)/高平均應力(Mean stress)之疲勞作用下(Ref. 6)，應力峰值(Peak stress, σmax)有很多機會達到/大於螺栓材料降服強度，並造成塑性變形；因塑性變形累積(Strain accumulation)導致窩孔成核(Nucleation)及成長(Growth)，最終造成韌窩破壞。錨定螺栓材料為體心正方(Body center tetragonal, BCT)晶體結構，此晶體結構只具有 4 個主滑移系統(Primary slip systems)，滑移不易(亦即塑性變形易累積)，因此這合理了解釋為何 A2 錨定螺栓(及所檢驗之 C6 與 D14 螺栓)於疲勞裂紋擴展階段，形成所見之韌窩破壞形貌，而不是典形疲勞條紋(Striations)。

5.0 結論(Conclusions)

以下總結 1 號機 A2 斷裂錨定螺栓熱室檢驗結果與討論，並提出可能受損肇因、機制之研判。

1 螺栓斷口發生在螺桿部位，距離螺栓上端頂點 18.2 吋(位於螺栓下端螺牙上方 0.8 吋)，緊臨斷口處之螺桿表面嚴重磨損；

2 螺栓斷面相當平坦，巨觀破壞型貌顯現放射狀且左右對稱之徑向條紋，徑向條紋收斂於斷面邊緣，該收斂處為破斷起裂源；起裂源位置及其附近可見大小不同及部分相互連結之孔洞；由起裂源向外，可見新月紋；斷口表面披覆氧化生成物；起裂方向與螺桿具傾斜角；

3 螺栓斷面起裂源微觀破壞型貌，顯現沿晶破壞、劈裂、韌窩及微裂紋，主要破壞為脆性破壞；隨者裂紋擴展遠離起裂源，破壞顯現以韌窩為主之延性破壞；區域斷面可見許多孔洞；

4 斷裂螺栓材質化學成分符合反應爐支撐裙板錨定螺栓 ASTM A-540 Gr. B23 設計規範；螺桿表面微硬度測試結果為 HB400，接近規範 HB420 上限要求；經由螺桿內部微硬度測試結果 HB388，求得螺栓抗拉強度為 1312MPa/190Ksi，為 Class 1 等級；

5 螺栓內部有長條狀硫化物；孔洞為製程瑕疵，可能原因為冶煉製程脫氧不全致使空氣殘留，或是除渣不全、或是鋼錠冷卻收縮階段形成之縮孔；

6 沿晶破壞與劈裂為脆性破壞，脆性破壞與長條狀硫化物及熱處理(如回火微裂紋)有關；

7 由表層沈積物連續性形貌及厚度研判，A2 錨定螺栓斷面已形成有相當長之一段時間；

8 緊臨斷口之螺桿表面嚴重磨損，顯示螺桿該處與支撐裙板法蘭下方之載板相接觸，並於該處引發非預期之彎曲力矩(非扭力矩)，拉斷螺栓(斷面裂紋擴展方向左右對稱之徑向條紋，即為拉斷表徵)；

9 螺栓起裂源區域除了上述脆性沿晶破裂(晶面密佈微韌窩)外，斷面具新月腐蝕破壞形貌，裂紋面有氧化物，螺栓抗拉強度高於發生沿晶應力腐蝕龜裂之強度門檻，合理研判(並參考 D14 錨定螺栓檢驗結果與受損肇因分析)此階段裂紋成長亦受制於沿晶應力腐蝕龜裂；

10 依據裂紋擴展階段韌窩微觀破壞形貌，研判疲勞為合理且可能之主導機制，此疲勞裂紋擴展應力條件為高應力比及高平均應力；

11 A2 錨定螺栓可能受損肇因為螺栓材質瑕疵及非預期之彎曲力矩；

12 A2 錨定螺栓裂紋萌生機制為軸向預力+非預期外力(安裝因素)造成螺栓(材質因素)開裂；起裂後之裂紋擴展初期可能主導機制為沿晶應力腐蝕龜裂，而後轉為疲勞裂紋擴展機制。

6.0 參考資料(References)

1 台灣電力公司，第二核能發電廠，Containment Internals Reactor Pedestal Liner Plate Sections & Details SH2, Drawing No C-342.

2 ASME Sec II Part A, Specification for Alloy-Steel Bolting Materials for Special Application, SA-540/SA-540M, pp969-981, 1998.

3 林樹均等人編著，材料工程實驗與原理，全華科技圖書股份有限公司，台北，初版，第二章，ISBN 957-21-0044-0，中華民國 88 年 11 月。

4 Regulatory Guide 1.65, Materials and Inspections for Reactor Vessel Closure Studs, Rev 1, April 2010.

5 C.J. McMahon, Jr., “Mechanisms of intergranular fracture in alloy steels”, Materials Characterization, 26(1991) pp269~287.

6 R.J. Morrissey, D.L. McDowell and T. Nicholas, “Frequency and stress ratio effects in high cycle fatigue of Ti-6Al-4V”, International Journal of Fatigue, 21(1999) pp679~685.

附件7

核二廠一號機反應爐支撐裙板
C6 斷裂錨定螺栓熱室檢驗初步報告

A Preliminary Report on Hot Cell Examinations of the Broken C6 Anchor Bolt of the KSNPS Unit 1 RPV Support Skirt

限 閱 報 告

不 准 複 印

版次：**2b**

撰寫：張中興

審核：楊清田

行政院原子能委員會核能研究所

中華民國 101 年 5 月 7 日

1.0 執行摘要

核二廠1號機EOC22大修期間,發現反應爐支撐裙板(RPV support skirt)內側(Inner ring)有 7 只錨定螺栓(Anchor bolts)受損，其中 A2、C6 斷裂(Broken)，D14 龜裂(Partially cracked)，另 4 只(B10、B13、C9、D11)有裂紋指示。為釐清螺栓受損肇因，先前已將 A2 斷裂錨定螺栓送至核能研究所熱室進行並完成檢驗，其結果與肇因分析詳見「核二廠一號機反應爐支撐裙板 A2 斷裂錨定螺栓熱室檢驗初步報告」。本報告彙整、分析 C6 斷裂錨定螺栓熱室檢驗結果，並據此提出可能之受損機制，以作為核二廠受損肇因分析研判之參考。以下進行說明：

I 檢驗結果

1 螺栓斷口位於螺栓下端螺牙，距離螺栓上端頂點 21.7 吋；

2 螺栓斷面較不平坦(相對 A2 錨定螺栓而言)，巨觀破壞型貌顯現放射狀徑向條紋，斷面上下邊緣(0°、180°)各有一起裂源，起裂源及其附近無其他如孔洞、微裂等可分辨瑕疵；斷面披覆鐵黑色沈積物；

3 螺栓龜裂起源於螺牙(面)；起裂源斷面微觀破壞型貌，顯現沿晶破裂；晶面披覆微韌窩；起裂方向與螺牙面具傾斜角；

4 斷裂螺栓材質化學成分分析結果，整體符合反應爐支撐裙板錨定螺栓 ASTM A-540 Gr. B23 設計規範；螺栓表層微硬度測試結果為 HB386，符合規範要求；依據螺栓內部微硬度測試結果 HB371，求

得螺栓抗拉強度為 1255MPa(182Ksi)，為 Class 1 等級。

5 斷裂螺栓基材中有許多長條狀夾雜物，EDX 成分分析確認長條狀夾雜物為硫化物，此與偏高之硫含量有關；

II 分析

1 二處起裂源(彼此相距 180°方位角)及其附近沒有孔洞及其他可察覺之瑕疵，顯示起裂於螺牙之效應單純來自螺牙之應力集中；

2 沿晶破裂為脆性破壞，脆性破壞與長條狀硫化物及熱處理(如回火微裂紋)有關；

3 由表層沈積物連續性形貌及厚度研判，C6 錨定螺栓斷面已形成有相當長之一段時間；

4 斷面裂紋擴展方向為由螺栓邊緣(螺牙)二處起裂源先後向內前進，最終於螺栓內部拉斷，起裂方向與螺牙面具傾斜角，顯示破壞應力源為軸向應力加上可能之彎曲應力及扭力矩；

5 螺栓起裂源區域除了上述脆性沿晶破裂(晶面密佈微韌窩)外，斷面具新月腐蝕破壞形貌，裂紋面有氧化物，螺栓抗拉強度高於發生沿晶應力腐蝕龜裂之強度門檻，參考 D14 錨定螺栓檢驗結果與受損肇因分析，合理研判此階段裂紋成長亦受制於沿晶應力腐蝕龜裂；

6 依據裂紋擴展階段韌窩微觀破壞形貌，研判疲勞為合理且可能之主導機制，此疲勞裂紋擴展應力條件為高應力比及高平均應力。

III 可能受損肇因及機制研判

1 C6 錨定螺栓可能受損肇因為安裝不當、材質瑕疵及階段性腐蝕(建廠初期露天環境)；

2 C6 錨定螺栓裂紋萌生機制為軸向預力+非預期外力(安裝因素)造成螺栓(材質因素)開裂；起裂後之裂紋擴展初期可能主導機制為沿晶應力腐蝕龜裂，而後轉為疲勞裂紋擴展機制。

2.0 前言及背景

核二廠 1 號機內側 C6 錨定螺栓位置，如圖 1 箭頭所指。C6 錨定螺栓斷裂發生在螺栓下端螺牙區域，距離螺栓上端頂點 21.7 吋，該錨定螺栓結構及斷裂位置如圖 2 所示。核二廠切取該斷裂錨定螺栓斷口二斷件(Broken counterparts，各約 1.5cm 厚)，於 4 月 5 日送至核能研究所熱室進行檢驗，以釐清斷裂錨定螺栓受損肇因。反應爐支撐裙板內/外側(Inner/Outer ring)錨定螺栓其他相關資料，詳見「核二廠一號機反應爐支撐裙板 A2 斷裂錨定螺栓熱室檢驗初步報告」。

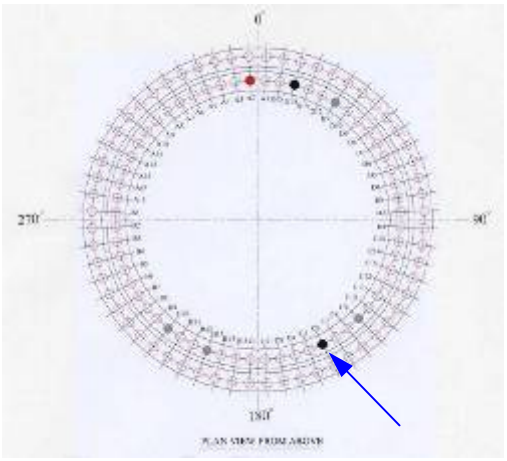


圖 1　　反應爐支撐裙板錨定螺栓分佈圖

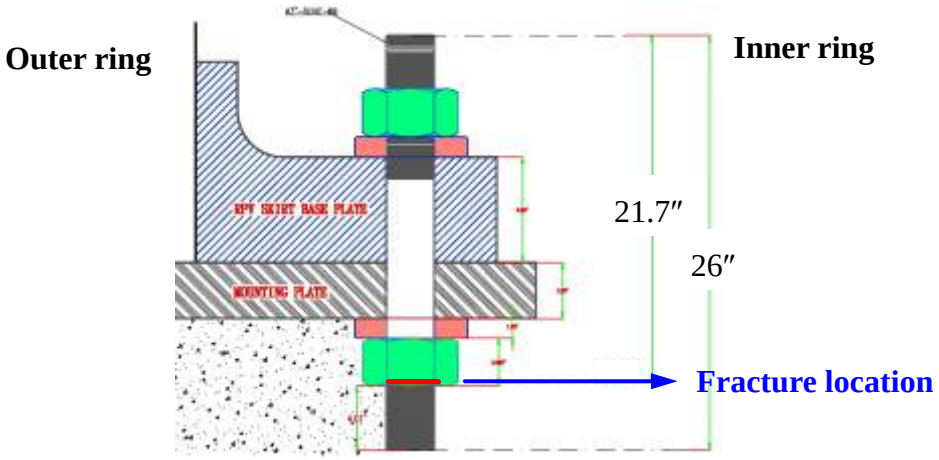


圖 2　　錨定螺栓(C6)結構及斷裂位置示意

3.0 檢驗結果

為澄清 C6 錨定螺栓斷裂成因，核研所進行並完成熱室檢驗結果，內容包含目視檢驗、低倍率斷口觀察、掃描式電子顯微鏡斷口分析、光學金相、微硬度測試及化學成份分析等結果，以下就所獲得之結果進行分析、討論，以研判斷裂成因。

3.1 目視檢驗

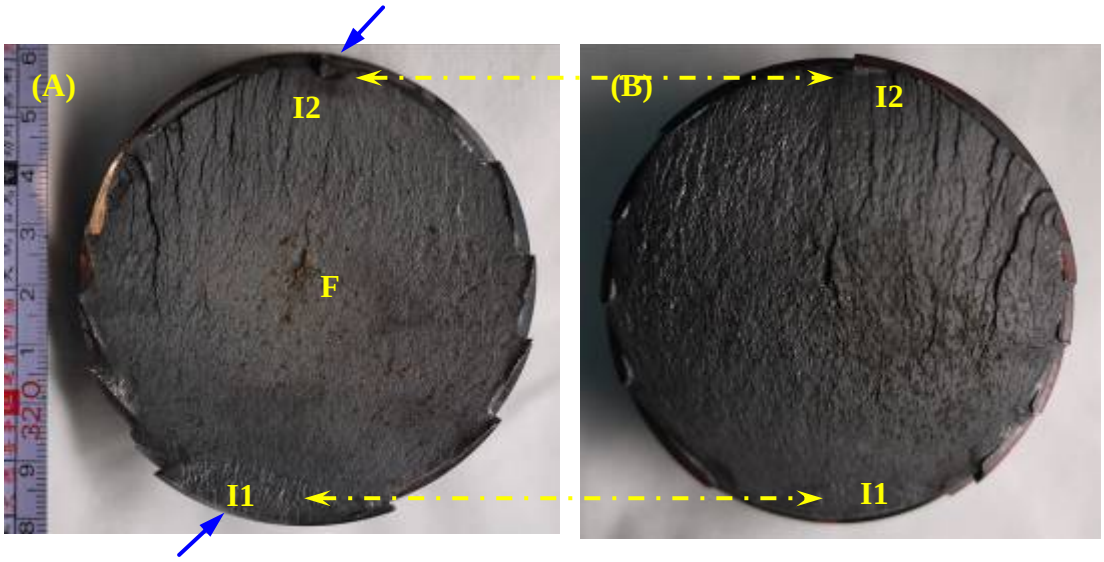


圖 3　　錨定螺栓(C6)斷口形貌

圖 3 為 C6 錨定螺栓斷口巨觀形貌(註：圖 A、B 互為斷口 2 個相對映之半面(Counterparts)，圖中顯示經熱室去污、超音波震盪清理後之斷面形貌)，斷口發生在螺牙部位，斷面呈現鐵黑色。此圖清楚顯示位於圖面中螺牙根部上、下相距 180°(方位角)之 2 處破斷起裂源(I1、I2，如箭矢所指)，龜裂分別由 I1、I2 起裂源向螺栓內部擴展(呈現放射狀之徑向條紋，Radial marks)，最後相會於內部近中心處(F)導致螺栓斷裂，此斷

裂為張應力拉斷之結果；C6 錨定螺栓斷口沒有明顯之剪力唇(Shear lips)。檢視圖中起裂源形貌及徑向條紋走勢，研判圖面中下方 I1 起裂發生時間較上方 I2 起裂發生時間早。此圖顯示斷面橫跨 5~6 個螺牙高度。比對先前檢驗之 A2 錨定螺栓斷面，此 C6 錨定螺栓斷面較不平坦，顯現不平滑、較粗之徑向條紋及條紋周遭具浮凸之斷貌。圖 4、圖 5 分別為 I1 起裂源對映半面之前視(Side view)形貌，此 2 圖顯示，起裂源螺牙根部無可辨識之孔洞及其他足以引發開裂之可疑瑕疵。

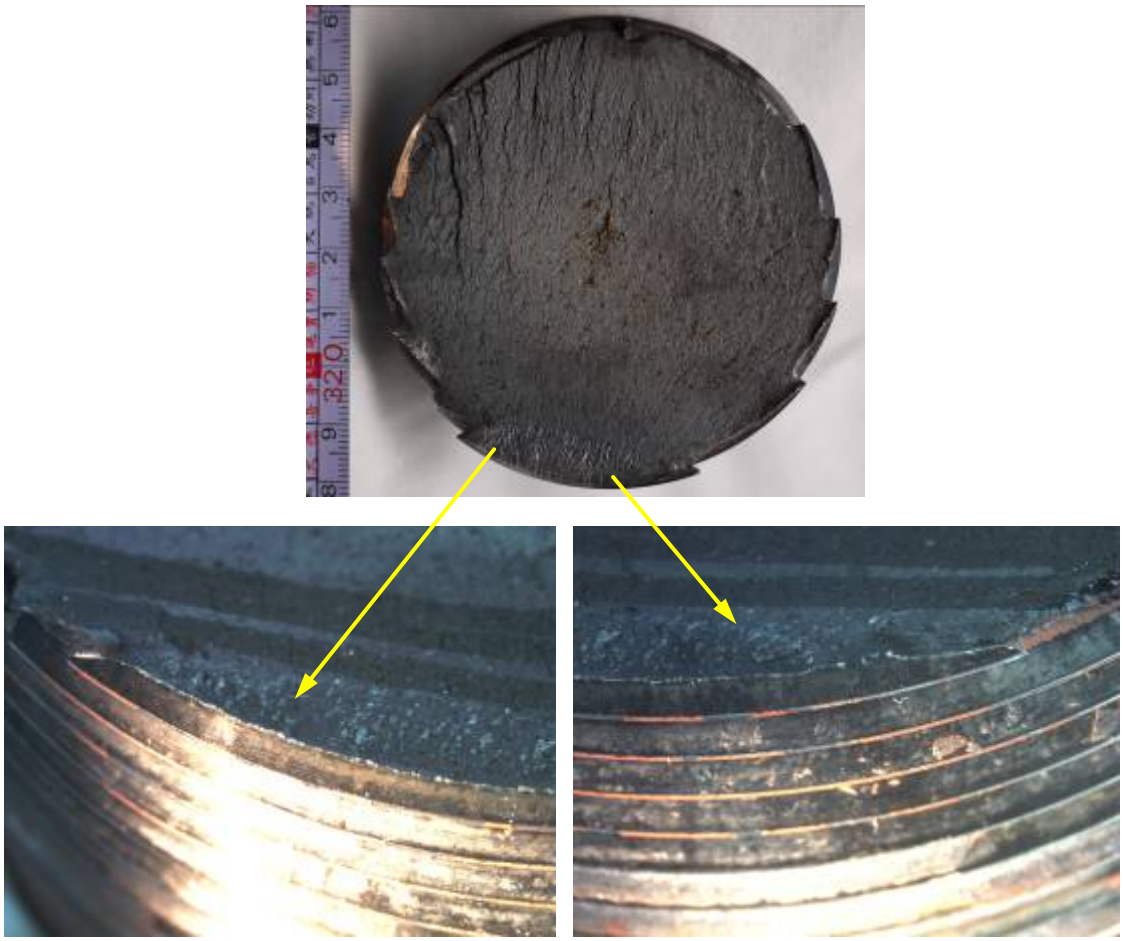


圖 4　　圖 3(A)I1 起裂源之前視局部放大

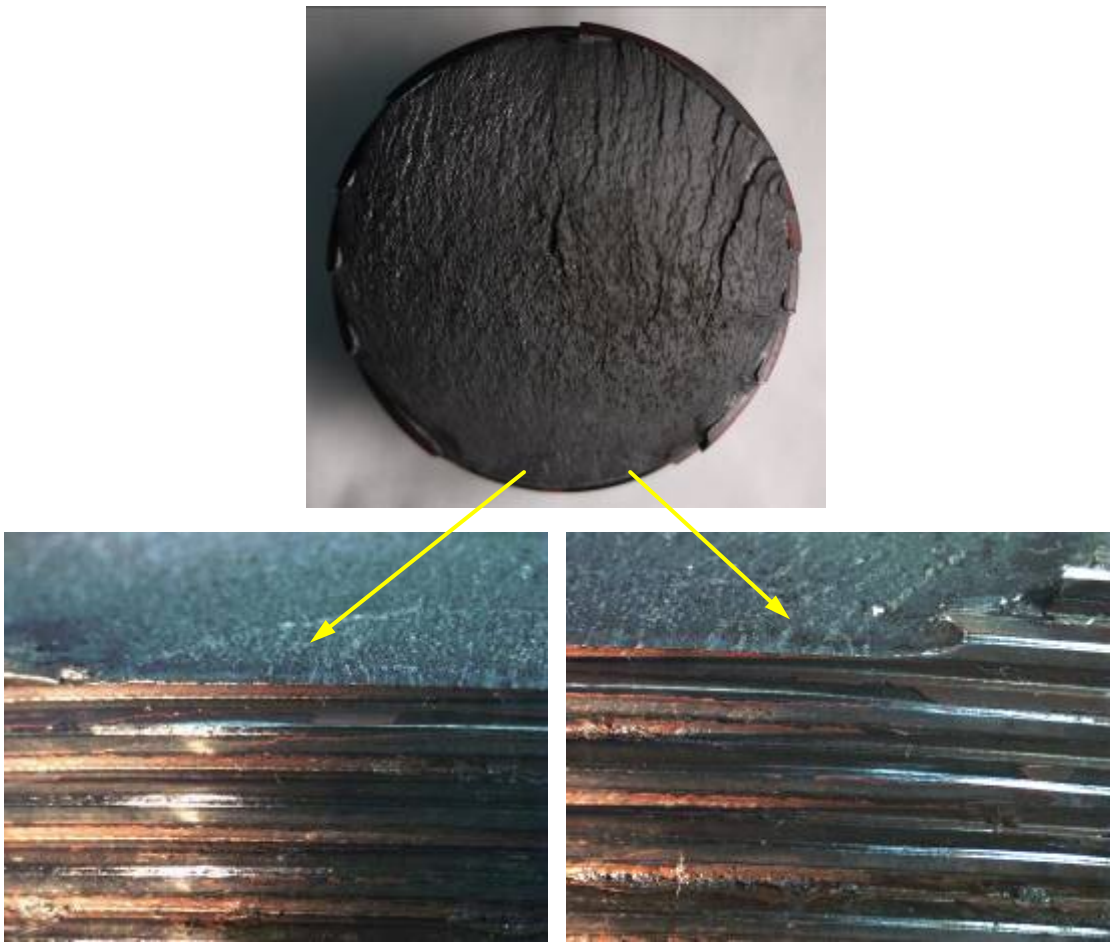


圖 5　　圖 3(B)I1 起裂源之前視局部放大

3.2 低倍率斷口觀察

破斷起裂源 I1、I2 位置之局部放大，顯示如圖 6；圖 6(A)、(C)分別為圖 3(A)破壞面起裂源 I2、I1 之局部放大，圖 6(B)、(D) 分別為圖 3(B)破壞面起裂源 I2、I1 之局部放大。此二圖顯示，不論是 I1 或是 I2，龜裂的確開裂於螺牙，且圖中可見開裂瞬間因過大之應變率導致之撕裂脊(Tearing ridges)；由於螺牙根部沒有可辨識之孔洞、微裂及其他足以引發開裂之可疑瑕疵，因此研判開裂係因螺牙應力集中所引起。開裂形成撕裂脊後，裂紋向外擴展形成放射狀之徑向條紋。對 2 只斷面進

行 360°全周向之觀察，結果並沒有發現足以引發開裂之可辨識瑕疵。於 I2 起裂源(見圖 6(A)、(B))所見之微裂，並非螺牙瑕疵，而是因不同螺牙面所造成之拉開破面。

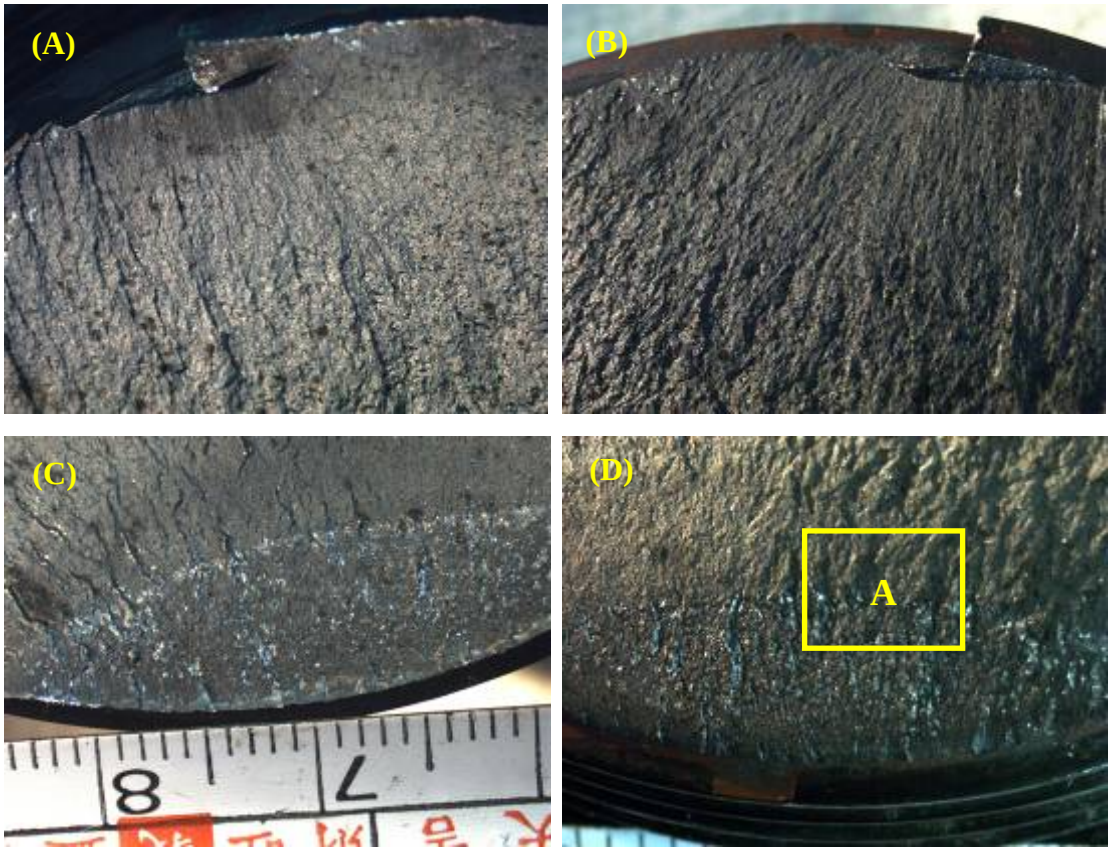


圖 6　　圖 3(A)、(B)起裂源 I1、I2 位置之局部放大



圖 7　　起裂源區域放射狀徑向條紋之一般性破壞形貌局部放大

開裂形成撕裂脊隨後向外擴展形成放射狀徑向條紋之一般性破壞形貌，顯示如圖 7(觀察區域選自圖 6(D)之局部區域 A)；此圖顯示徑向條紋周遭面貌浮凸不平，意謂塑性變形已發生。

3.3 微硬度測試

斷裂錨定螺栓機械性質以微硬度測試方法來評估，以確認材質等級。硬度測試區域包含螺栓表層及內部；其中表層測試範圍至少涵蓋表層 10 mm 以內之深度，以確認硬化層之有效深度；螺栓內部係指螺栓 1/2 直徑之部位。

Table 1 Mechanical Property Requirements of ASTM A-540 B23 Bolting Material

Grade	Class	Diameter inch	St MPa/ksi	Sy MPa/ksi	Brinell Hardness (Surface)	
			min	min	min	max
B23 (E-4340-H)	5	to 6, inc	827/120	724/105	248	311
		over 6 to 8, incl	793/115	689/100	255	321
		over 8 to 9 1⁄2, incl	793/115	689/100	262	321
	4	to 3, incl	931/135	827/120	269	341
		over 3 to 6, incl	931/135	827/120	277	352
		over 6 to 9 1⁄2, incl	931/135	827/120	285	363
	3	to 3, incl	1000/145	896/130	293	363
		over 3 to 6, incl	1000/145	896/130	302	375
		over 6 to 9 1⁄2, incl	1000/145	896/130	311	388
	2	to 3, incl	1069/155	965/140	311	388
		over 3 to 6, incl	1069/155	965/140	311	401
		over 6 to 9 1⁄2, incl	1069/155	965/140	321	415
	1	**to 3, incl**	**1138/165**	**1034/150**	**321**	**415**
		over 3 to 6, incl	1138/165	1034/150	331	429
		over 6 to 8, incl	1138/165	1034/150	341	444

表層測試結果平均值(11 測量點)為 HV(surface)410，最高與最低測量值

分別為 416 及 397，標準差(deviation, σn)為 5.98；硬度分佈結果顯示，斷裂錨定螺栓表層下方(測量深度範圍內)硬度值差異不大，說明此斷裂錨定螺栓表層硬化能分佈均勻，且硬化層深度>10 mm。HV(surface)410 硬度相當於 HB389 (Brinell Hardness, Ref. 3)，與表 1 ASME Sec II Part A, SA-540/SA-540M 材質機械性質規範(Ref. 2)比較，確認斷裂錨定螺栓表層硬度值符合規範 B23 Class 1 (Dia.：to 3 inches, included)：HB 321~ 415 之要求。

螺栓內部 1/2 直徑部位之硬度測試結果：平均值為 HV(bulk)392±4.74，相當於 HB371，構造用鋼之抗拉強度(Ultimate tensile strength, St)與 HB 之關係，根據 Dohmer 準則(Ref. 3)表示如下：

St (psi) = 490 x HB　　for HB>175　　**(1a)**

St (psi) = 515 x HB　　for HB<175　　**(1b)**

依據 Eqn 1(a)得斷裂錨定螺栓抗拉強度(St)

St =490 x 371= 181,790 psi = **182 ksi** = **1255 MPa**

與表 1 機械性質規範比較，上述抗拉強度(St)評估值滿足 ASTM 規範 B23 Class 1 最低要求，但高於 RG 1.65：Materials and Inspections for Reactor Vessel Closure Studs 法規限值 **1173MPa/170Ksi** (Ref. 4)。相對 A2 斷裂錨定螺栓而言，C6 斷裂錨定螺栓微硬度測試結果(表層及內部)與抗拉強度評估值均較低。

3.4 化學成份分析

利用感應耦合電漿光譜儀/碳硫分析儀進行斷裂錨定螺栓化學成份分析，分析結果如表 2；表中亦列出 ASTM-A540 B23/B24 化學成份規範(Ref. 2)要求，以資比對。

Table 2 Chemical compositions analysis results of the broken anchor bolt

元素	分析結果 (%)	Chemical Requirements (%)		
		B23 (E-4340-H)	B24 (4340 Mod)	B24V (4340 Mod)
C	**0.4439*[1]**	**0.37-0.44**	0.37-0.44	0.37-0.44
Mn	**0.75**	0.60-0.95	0.70-0.90	0.60-0.95
P	**0.01**	0.025(max)	0.025(max)	0.025(max)
S	**0.024**	0.025(max)	0.025(max)	0.025(max)
Si	**0.28**	0.15-0.35	0.15-0.35	0.15-0.35
Cr	**0.78**	0.65-0.95	0.70-0.95	0.60-0.95
Ni	**1.73**	1.55-2.00	1.65-2.00	1.55-2.00
Mo	**0.23**	**0.20-0.30**	0.30-0.40	0.40-0.60
V	**<0.004**	……	……	0.04-0.10

Note: ASME SA540 [C] Variation: ±0.02%

表 2 分析結果中，釩(Vanadium,V)元素微量測量值，可視為測量儀器實驗誤差；C、Si、Mn、P、S、Cr、Ni 等元素測量值，整體而言，符合 B23/B24 化學成份規範；根據 Mo 化學成份分析結果，確認斷裂錨定螺栓材質為 ASTM A-540 Gr. B23；公稱組成(Nominal composition)為 2Ni-0.75Cr-0.25Mo。*1: C6 斷裂錨定螺栓碳含量 3 次測量平均值；

第 1 次: 0.4595/0.4742/0.4564/0.4544　　得[C]mean= 0.4611%

第 2 次: 0.4280/0.4297/0.4296　　得[C]mean= 0.4291%

第 3 次: 0.4494/0.4321/0.4432　　得[C]mean= 0.4416%

3 次測量平均值　　**Avg. [C]= <u>0.4439%</u>**

3.5 掃描式電子顯微鏡(SEM)斷口分析

斷口 SEM 試樣分析觀察選取位置，為圖 3(A)中破斷起裂源 I1 區域，如圖 8 所示，圖中標示出沿裂紋擴展方向(由邊緣向內)進行之主要 SEM 觀察位置 1、2、3、4。在進行 1、2、3、4 局部位置 SEM 高倍率觀察前，對起裂源 I1 區域之邊緣(圖 8 中標示 a、b、c、d、e、f、g、h 等 8 處)先做低倍率(30X)觀察，結果顯示如圖 9 所示；圖 9(A)~(H)依序為圖 8 中標示 a~h 之 SEM 放大顯示。圖 9 之觀察顯示，I1 起裂源區域螺牙根部無任何可辨識之表面瑕疵。

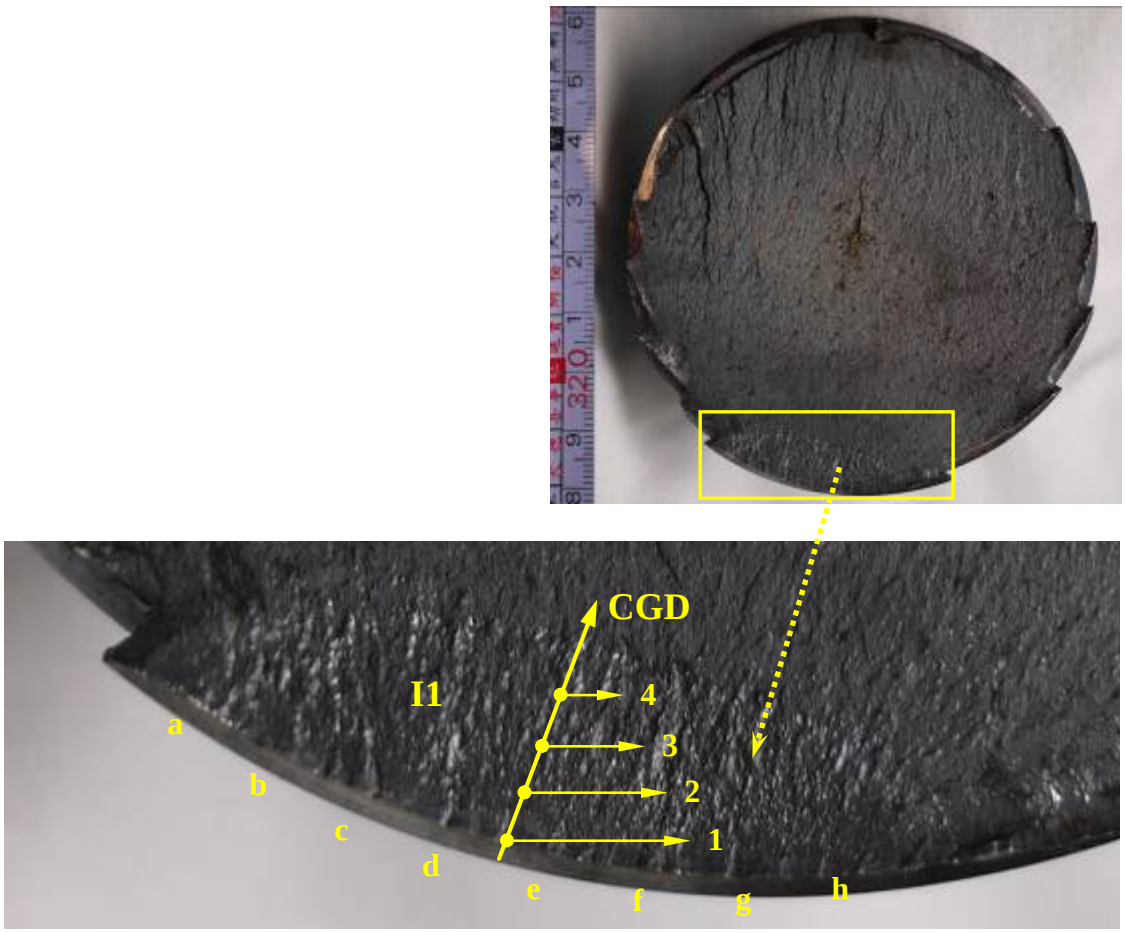


圖 8　　SEM 斷口試樣觀察選取位置

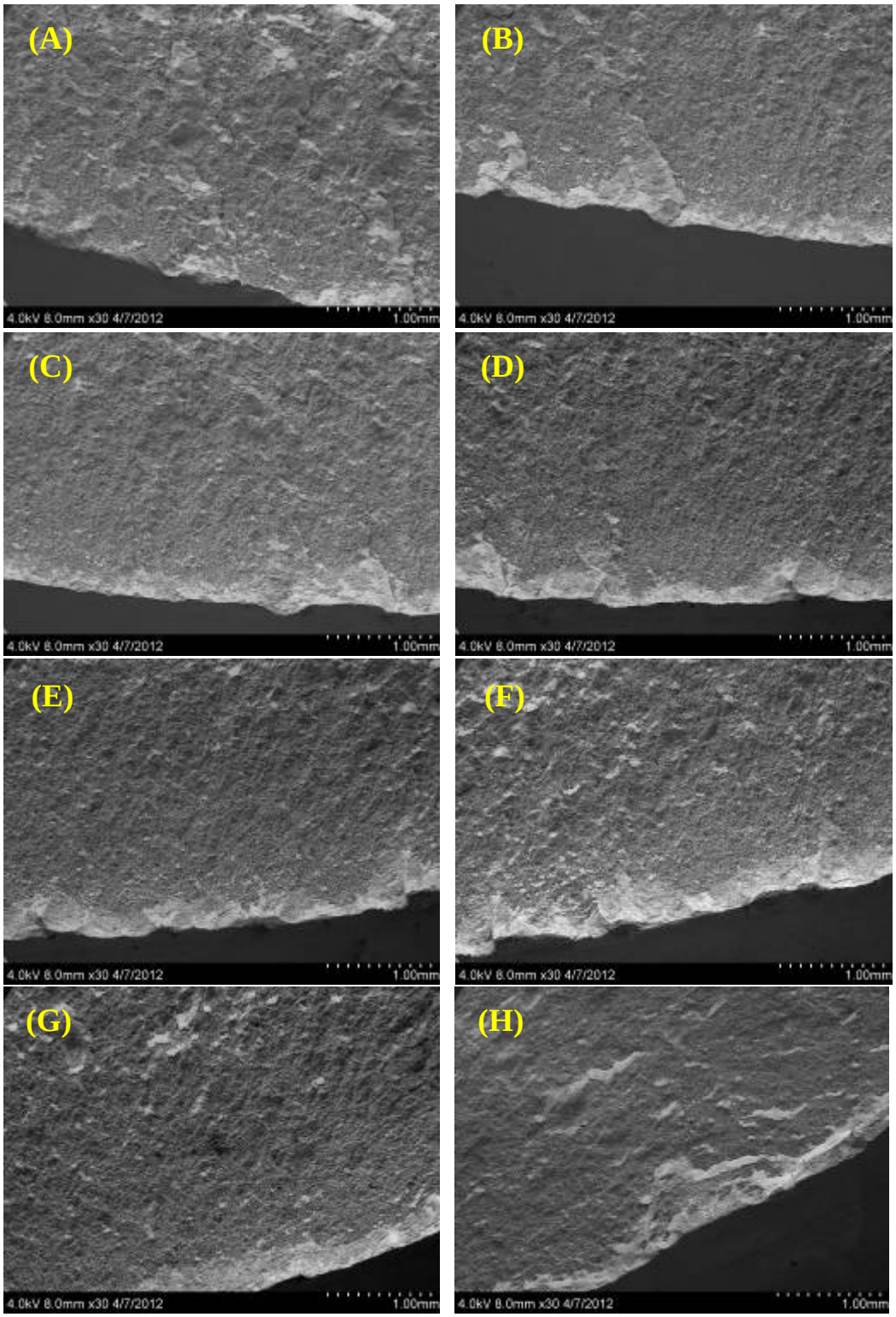
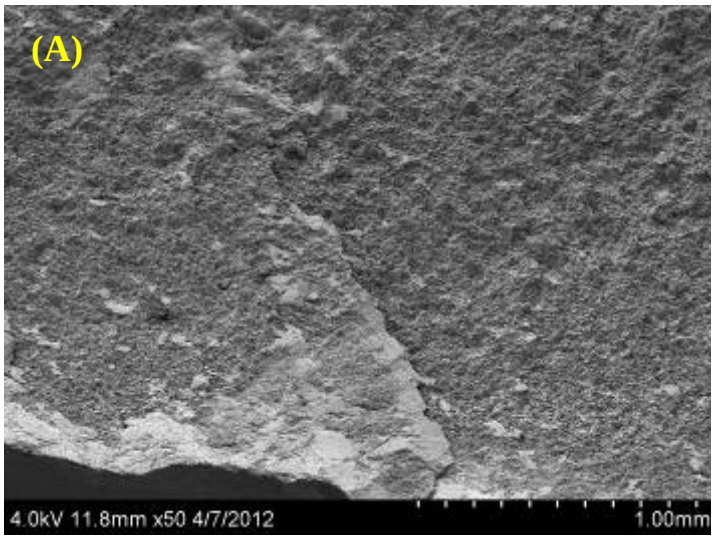
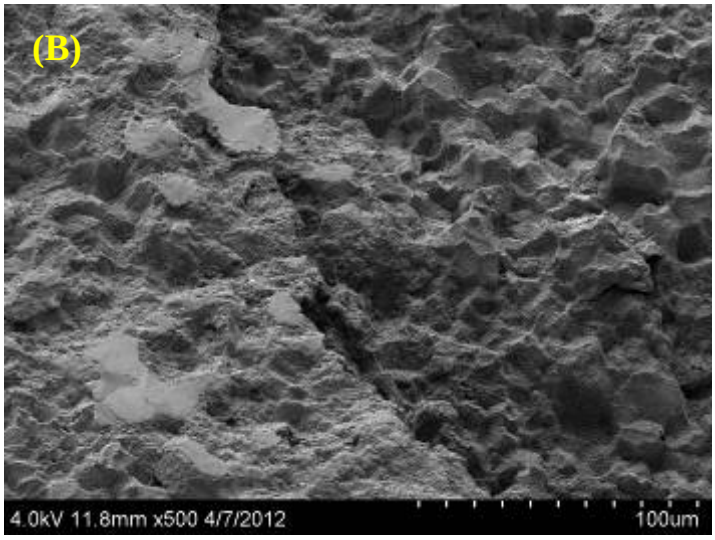


圖 9　　圖 8 中起裂源 I1 區域邊緣標示 a~h 位置 SEM 觀察

圖 8 中標示 1、2、3、4 位置之 SEM 觀察，分別顯示如圖 10、11、12、13；各圖中之分圖(B)、(C)，皆為圖(A)之細部放大。





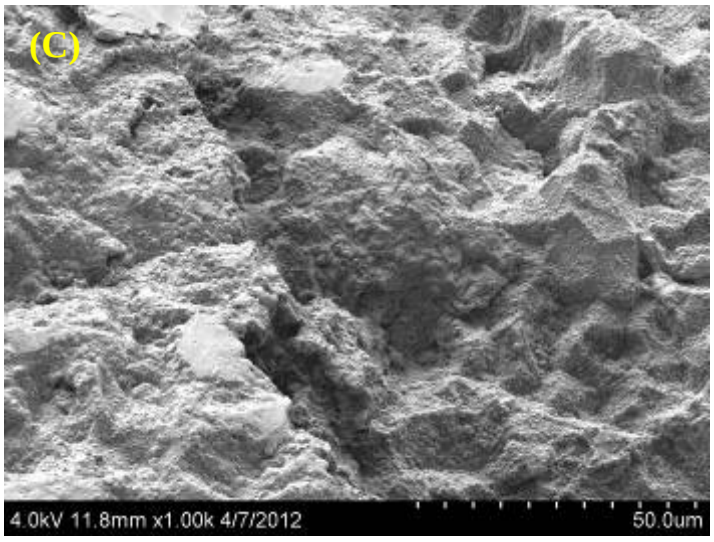


圖 10　　圖 8 位置 1 之 SEM 觀察

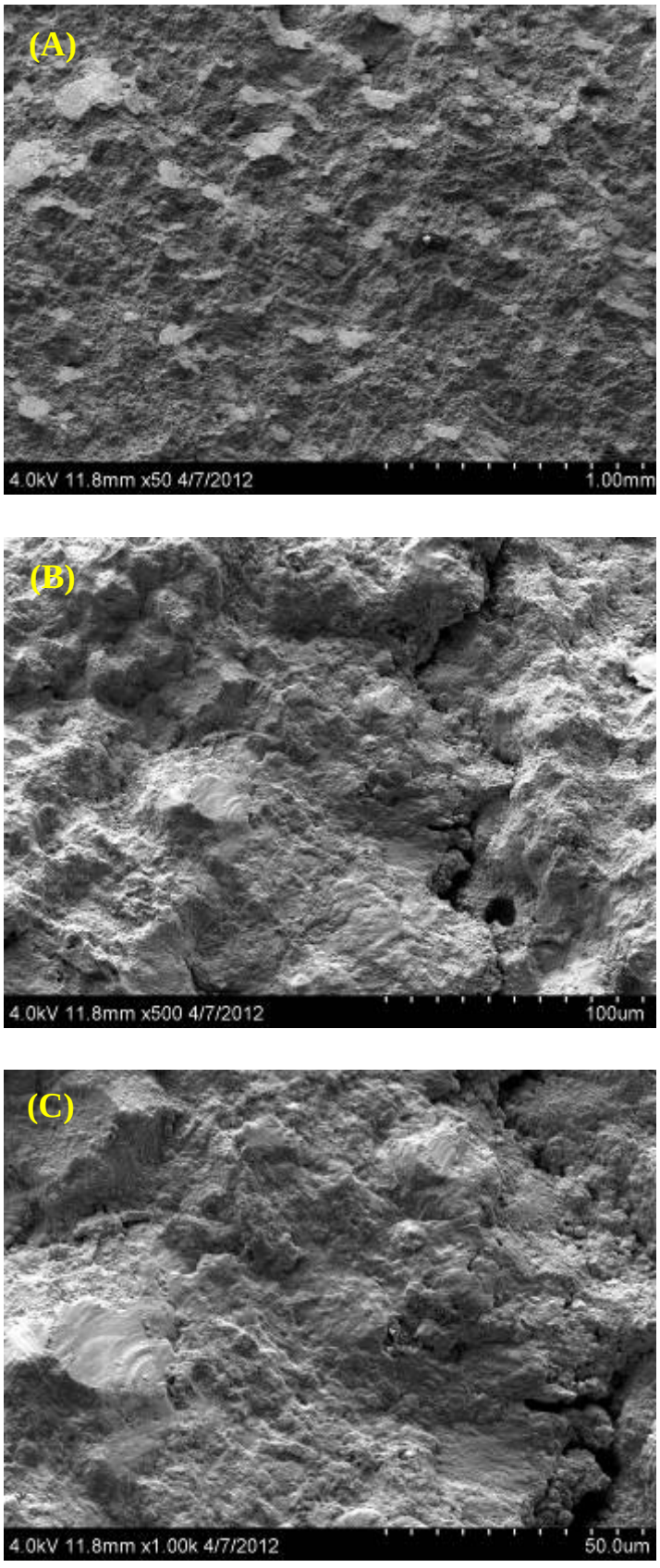


圖 11　　圖 8 位置 2 之 SEM 觀察

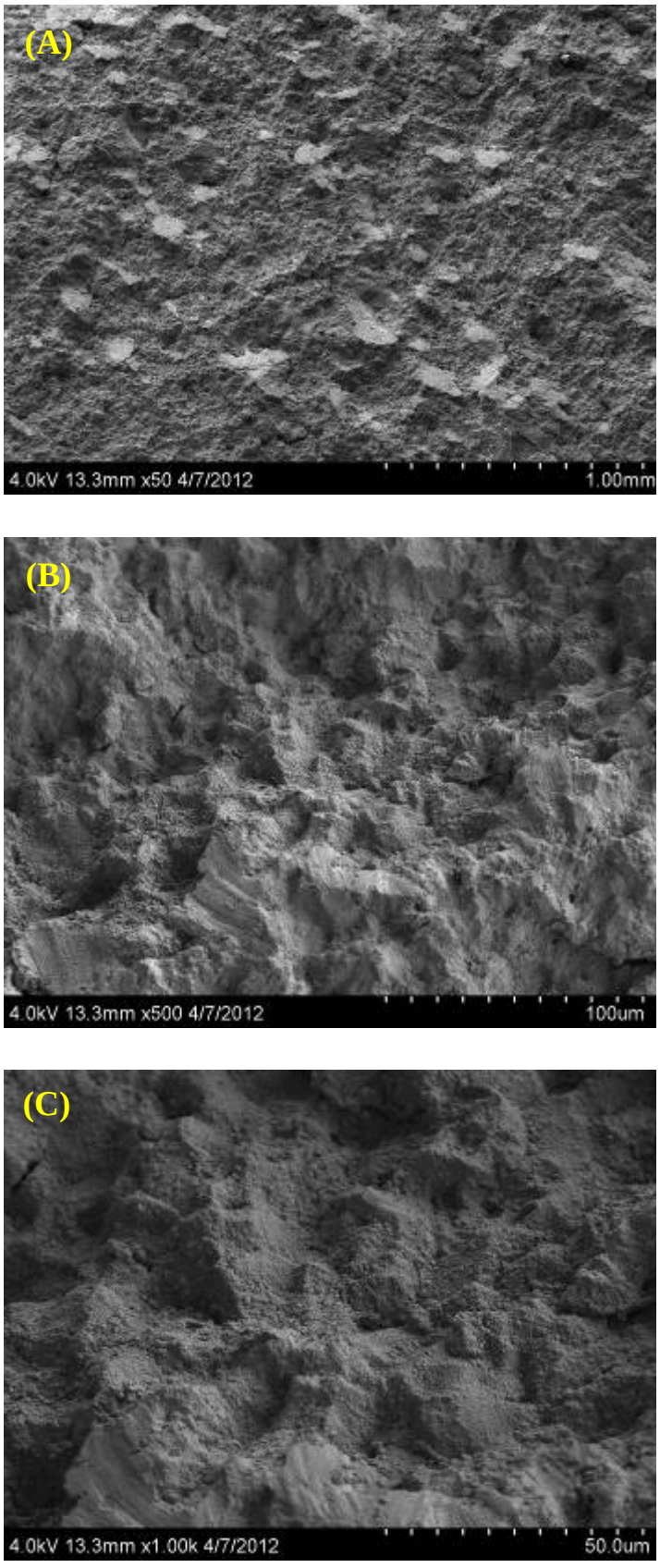


圖 12　　圖 8 位置 3 之 SEM 觀察

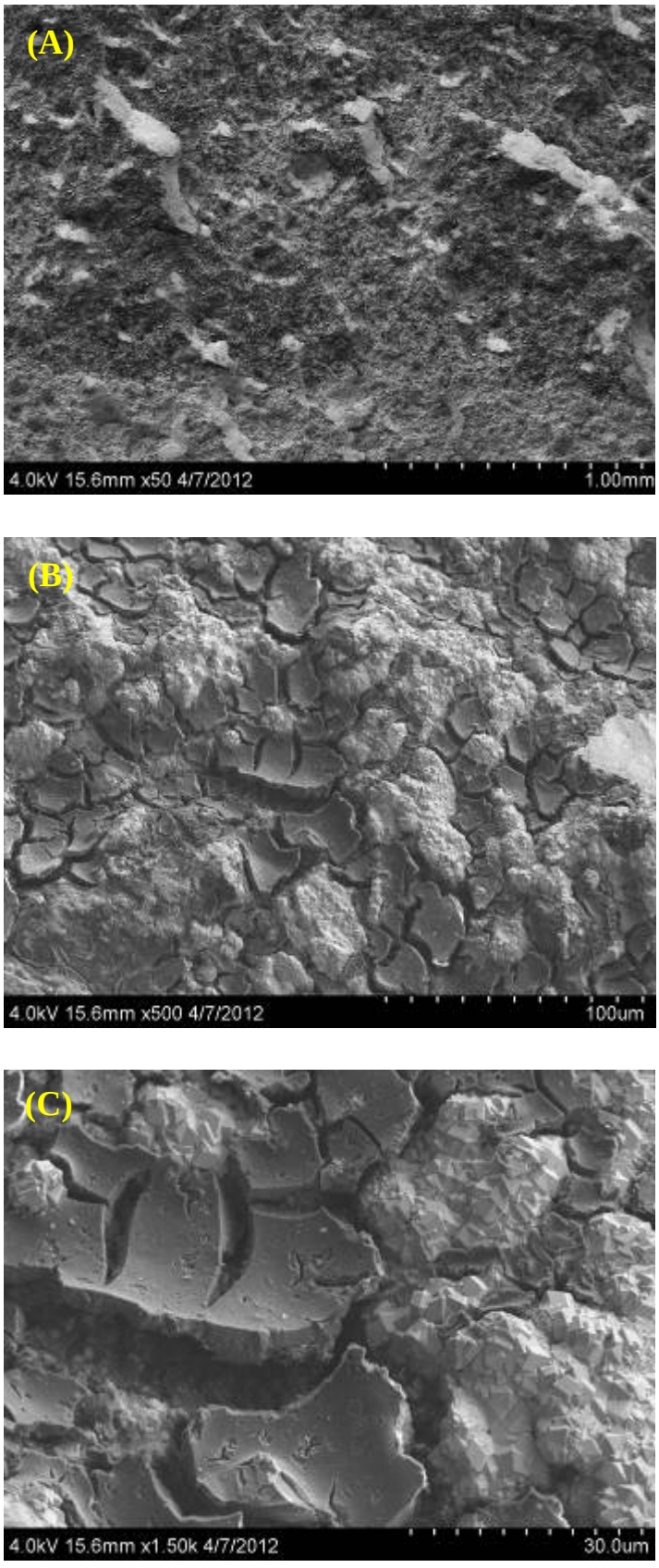


圖 13　　圖 8 位置 4 之 SEM 觀察

圖 10~13 觀察結果顯示，破斷起源區 I1 之破壞模式為沿晶破裂(Intergranular cracking)，由於非預期之沈積物堆積(特別如圖 13(B)、(C)所見)，使得其他(如果發生)如劈裂(Cleavage)、韌窩(Dimples)、疲勞條紋(Striations)等破壞形貌無法觀察到；儘管如此，由此圖組仍可看出沿晶破裂為主要破壞模式，為脆性破壞之表徵。

3.6 掃描式電子顯微鏡(SEM)起裂源斷貌分析

圖 14 為切取自圖 8 起裂源 I1 區域之剖面試片示意，圖 14 中標示 1、2、3、4 之 SEM 觀察位置，約等於圖 8 中標示 1、2、3、4 之位置。圖 15 為圖 14 之低倍率 SEM 照片，由此圖可見觀察之破斷面範圍(~10mm)幾乎跨越 2 個螺牙距離(即 1 個螺牙節距，Pitch)；龜裂起源於螺牙面；起裂方向與螺牙面具傾斜角(~90°)；又圖中標示 Thread root 2 之位置，似乎顯示螺牙根部加工不良之情況；圖 15 觀察範圍(~10mm)涵蓋硬化層深度。圖 16、17、18、19 依序為圖 14 中 1、2、3、4 之 SEM 放大顯示，各圖中之分圖(B)、(C)，皆為圖(A)之細部放大。

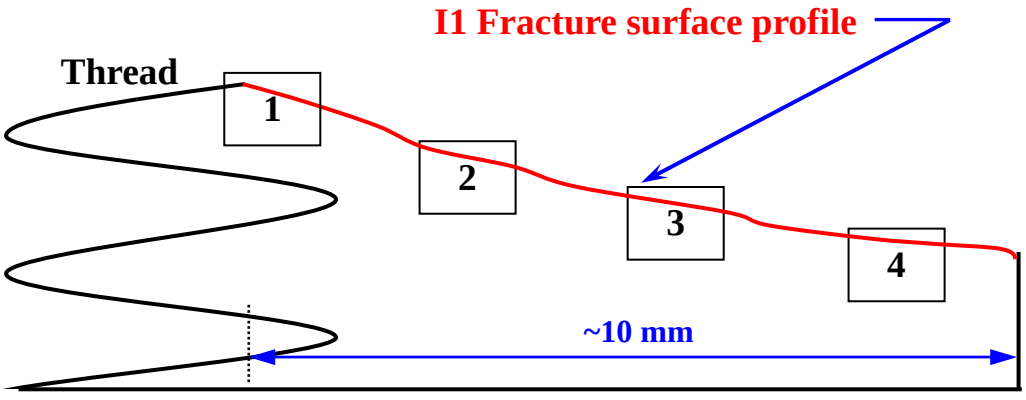


圖 14 圖 8 起裂源 I1 區域之剖面試片示意

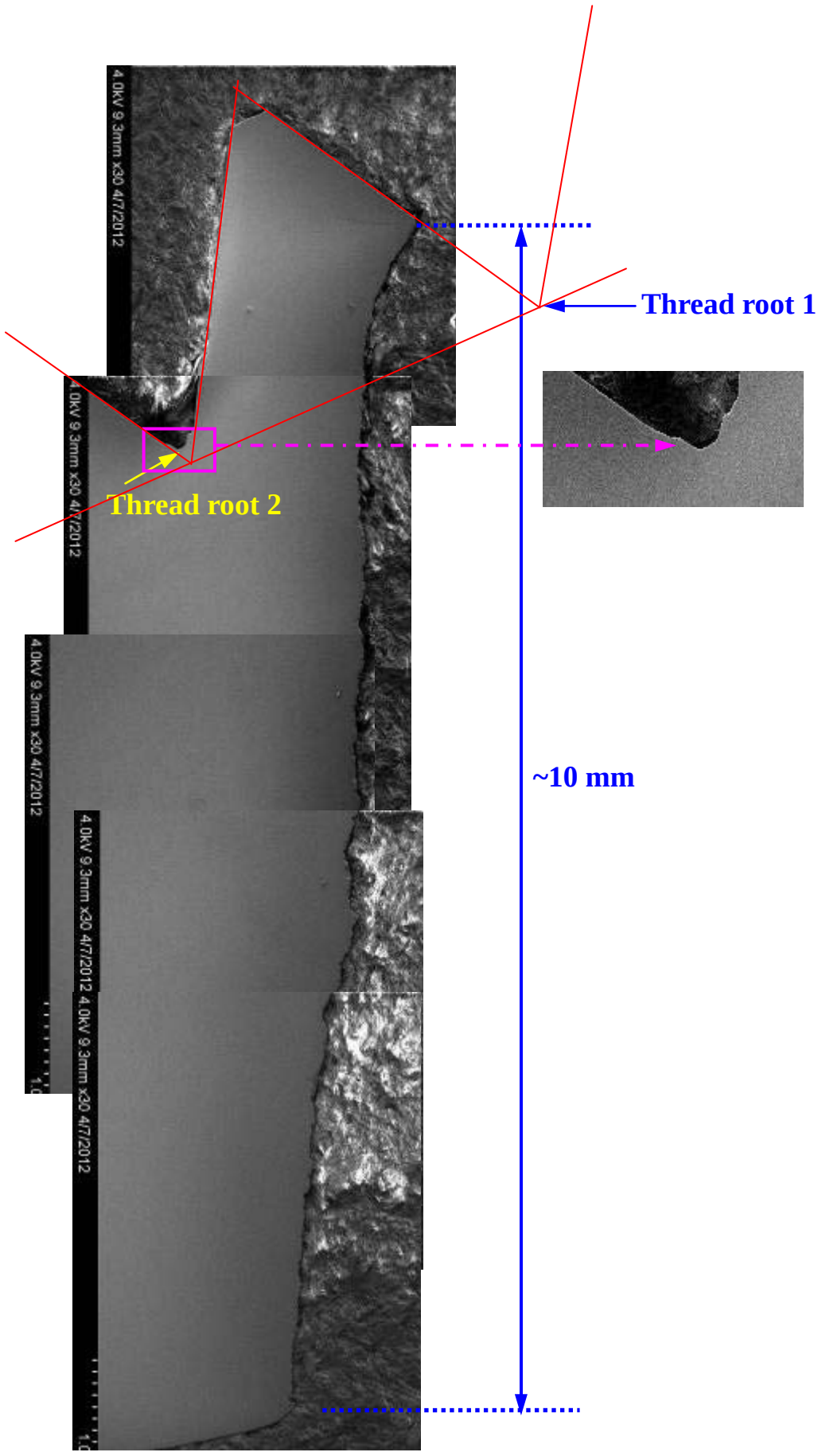


圖 15　　圖 14 起裂源 I1 區域剖面低倍率 SEM 照片

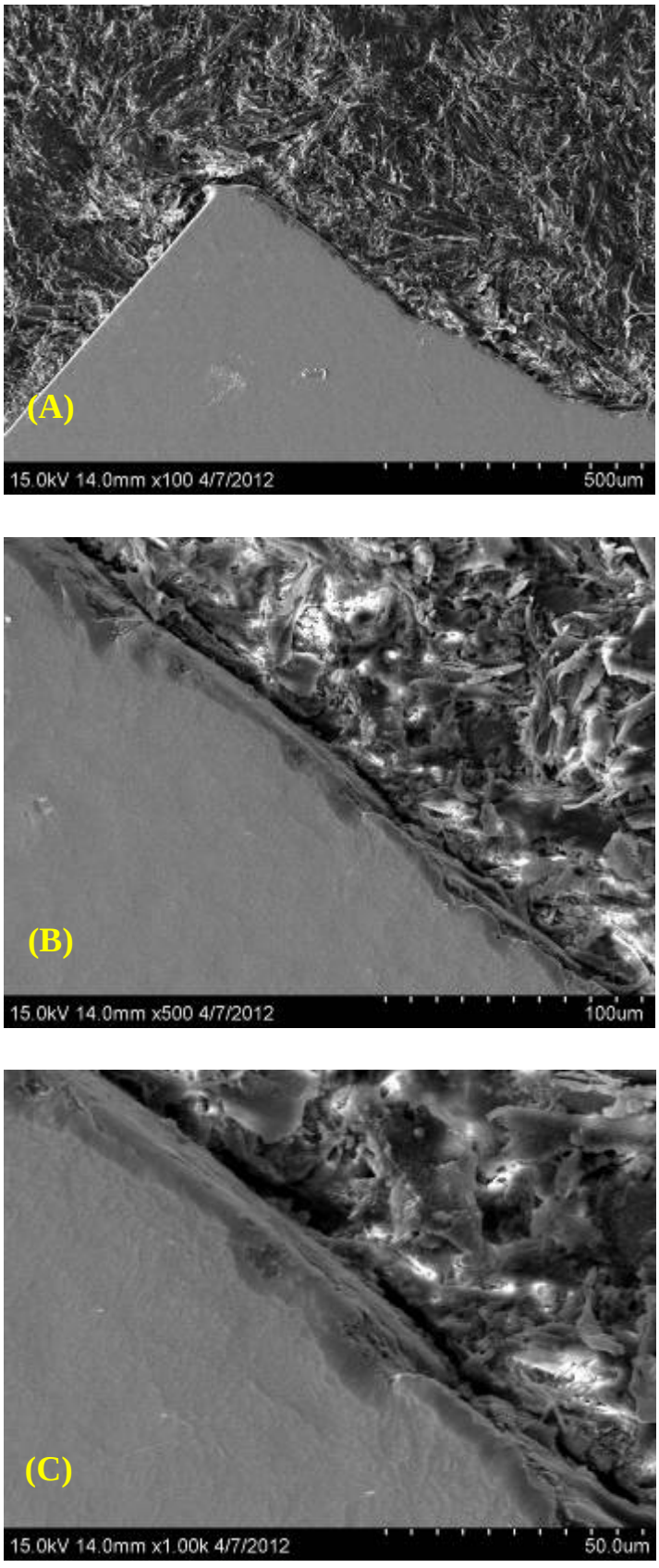
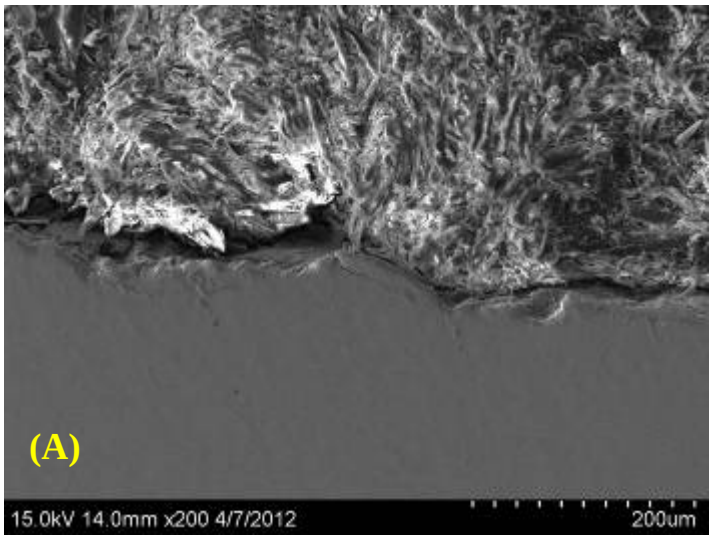
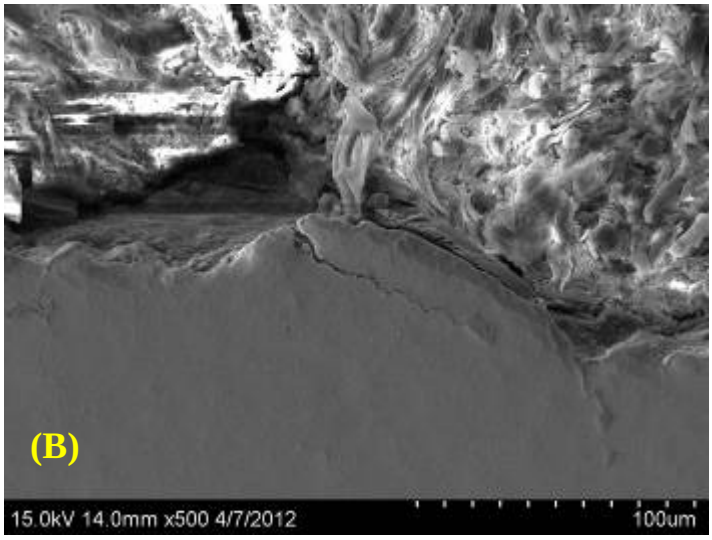


圖 16　　圖 14 中區域 1 之 SEM 放大顯示





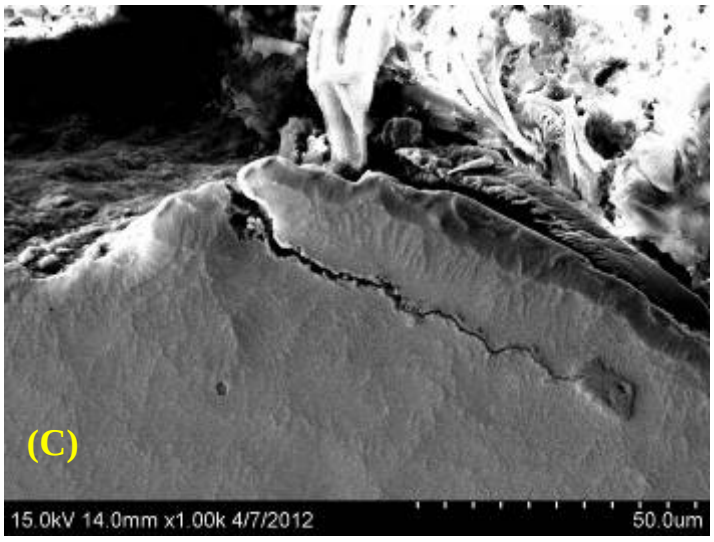


圖 17　　圖 14 中區域 2 之 SEM 放大顯示

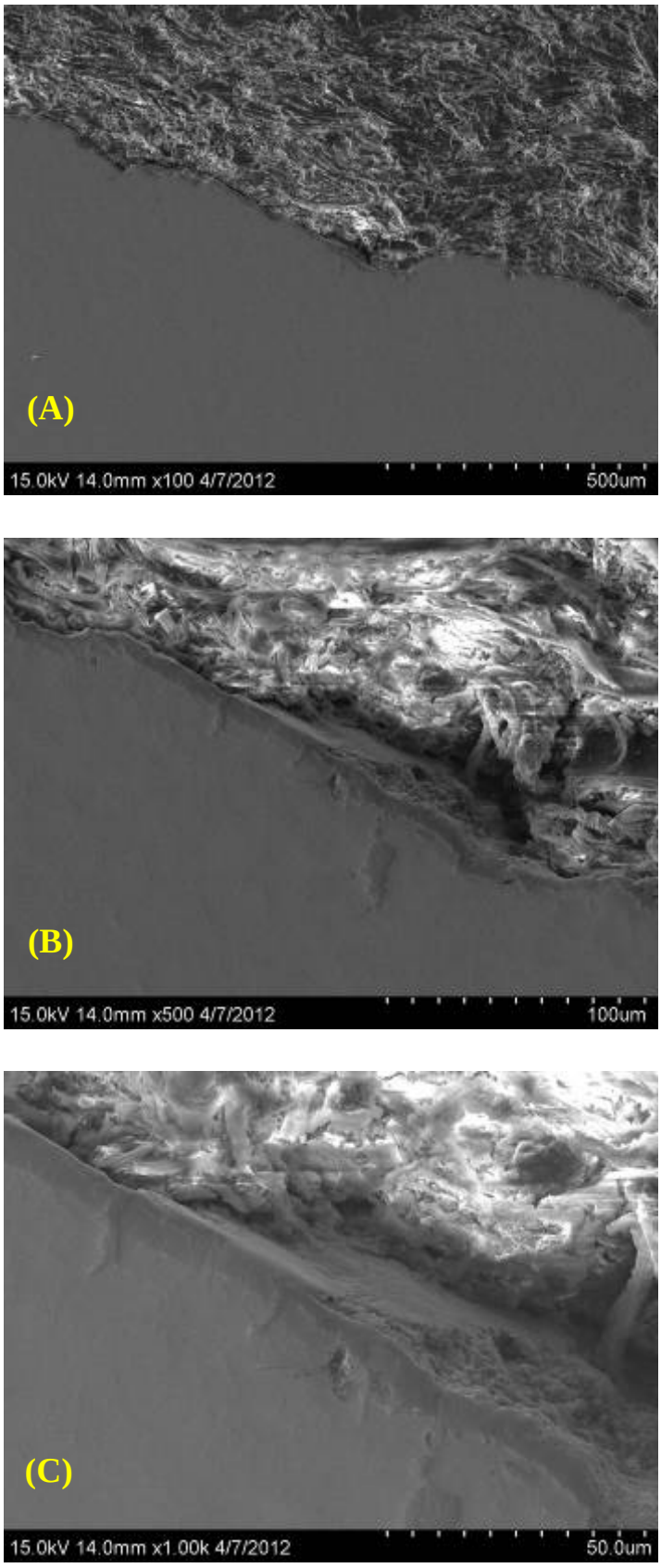


圖 18　　圖 14 中區域 3 之 SEM 放大顯示

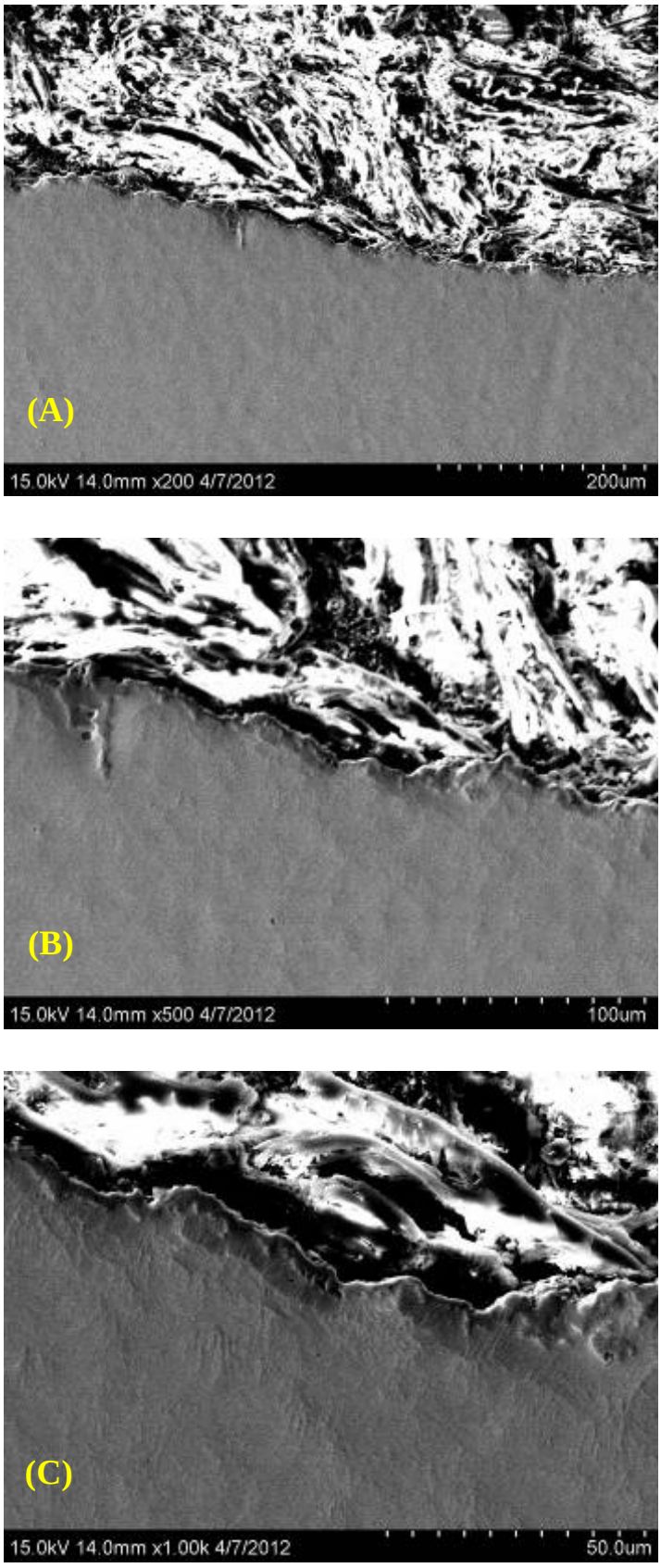


圖 19　　圖 14 中區域 4 之 SEM 放大顯示

圖 16~19 斷面剖面 SEM 觀察結果顯示，此區域表層沈積物為連續性，最大厚度<5μm，與基材似乎並未形成鈍化膜(Passive film)。圖 17(C)中二次裂紋(Secondary crack)局部放大顯示如圖 20，此圖清楚顯示二次裂紋破斷表面並未披覆沈積物；由此確認 C6 斷裂螺栓斷面沈積物是一般氧化生成物，而且沒有侵蝕基材形成緊密鈍化膜。圖 16~19 之試片經超音波震盪清洗後，已看不見圖 10~13 斷面顯示之沈積物。由於 C6 斷裂螺栓係包覆在水泥中，故此連續性表層沈積物厚度(~5μm)較 A2 斷裂螺栓起裂源區域觀察結果(~10μm)薄，是合理之結果。由此表層沈積物連續性形貌可研判，C6 錨定螺栓斷面已成形相當一段時間。

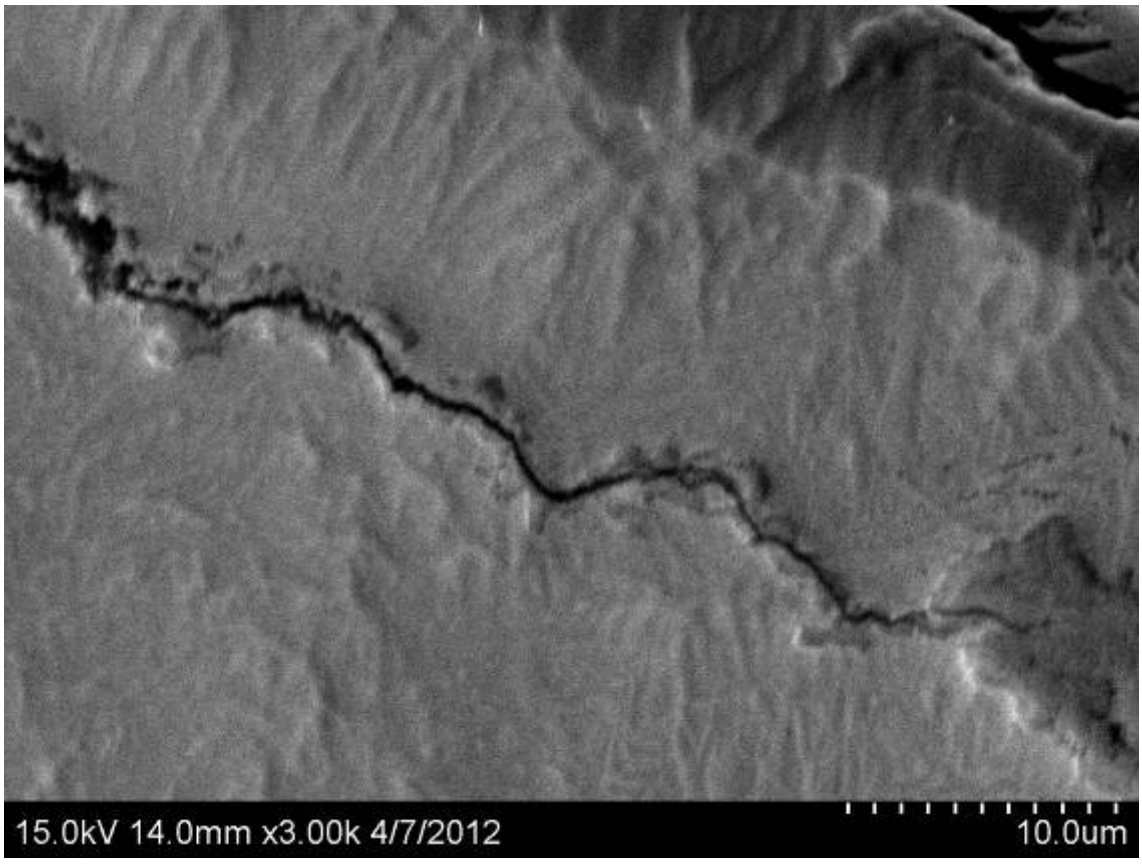


圖 20　圖 17(C) 二次裂紋局部放大

3.7 金相觀察

金相觀察試片選自螺栓表層硬化層厚度<10mm 內及螺栓內部(1/2 直徑)之區域，觀察面為垂直斷口之縱切面。圖 21(A)、(B)為螺栓表層硬化層深度內不同區域蝕刻後之光學金相，圖(C)、(D)分別為圖(A)、(B)之局部放大。圖 21 中顯示之金相，其可能之顯微組織為回火麻田散鐵(Tempering martensite)，及可能之殘留沃斯田鐵(Retained austenite)。需注意的是，因為此斷裂螺栓相關熱處理施作資料並不明確，因此難以對金相顯微組織作確切之判斷。圖 21 中並沒有明顯如 A2 斷裂螺栓內部發現之許多黑色小孔。

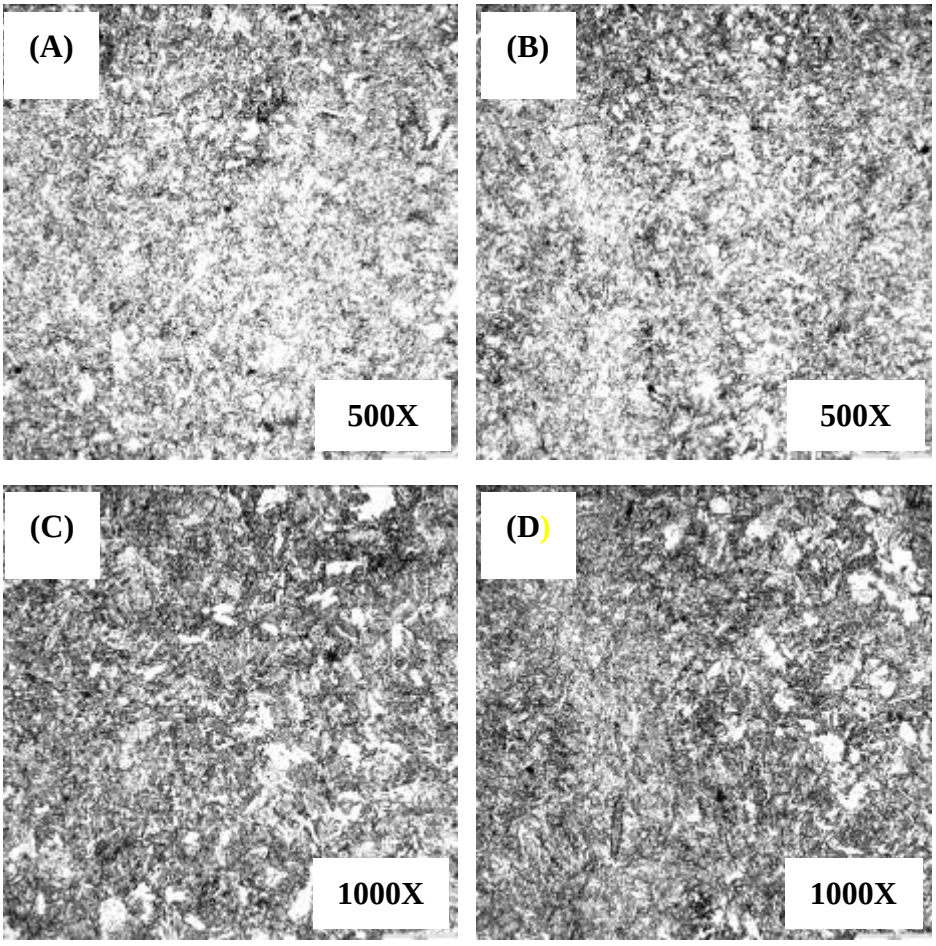


圖 21　螺栓硬化層內不同區域之 OM 顯微組織

圖 22(A)、(B)為螺栓內部(1/2 直徑)不同區域蝕刻後之光學金相，圖(C)、(D)分別為圖(A)、(B)之局部放大，圖 22 中顯示之金相與圖 21 之金相具一致性。

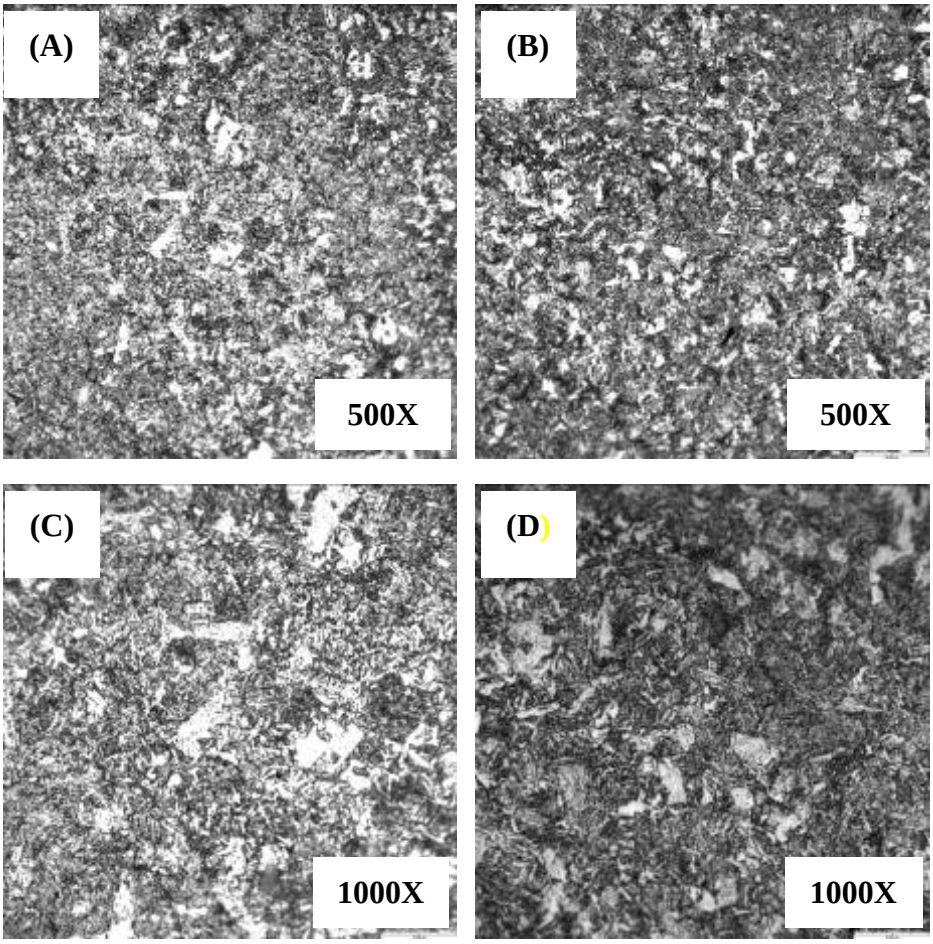
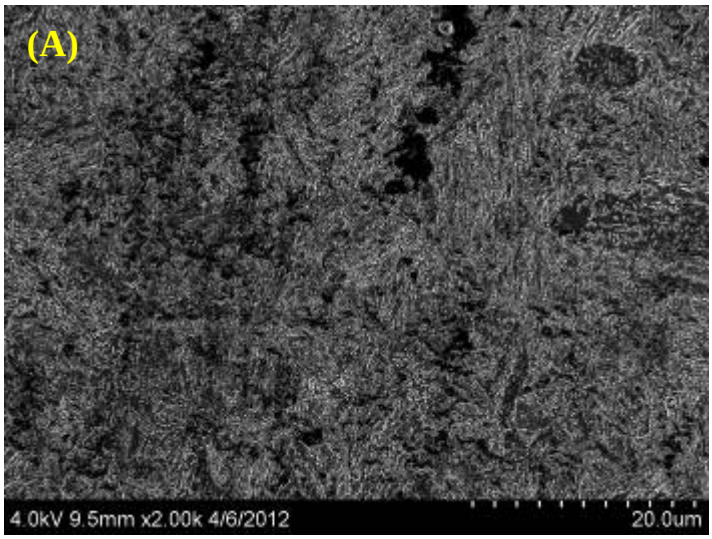
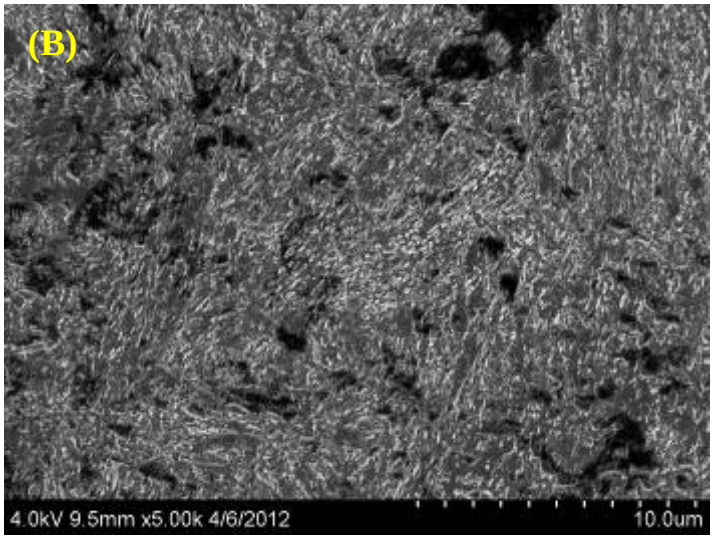


圖 22　螺栓內部(1/2 半徑)不同區域之 OM 顯微組織

以 SEM 對圖 22 之顯微組織作更進一步觀察，結果如圖 23；圖(B)、(C)分別為圖(A)、(B)之局部放大；此圖顯示基材中有許多之棒狀(Rod-like)物，其可能為析出相且與基材具特定相位角關係。C6 斷裂螺栓 SEM 觀察結果，圖 23，與 A2 斷裂螺栓 SEM 觀察結果一致。





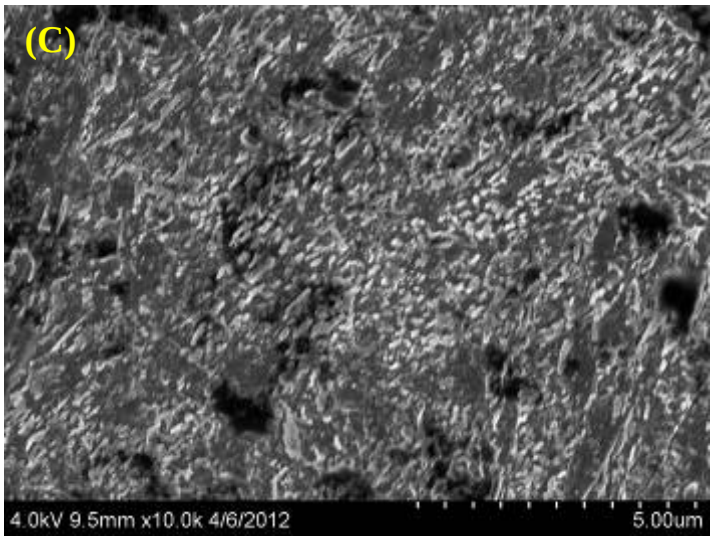


圖 23　　螺栓硬化層內之 SEM 顯微組織

進行金相觀察時，於基材中發現有許多長條狀夾雜物(Inclusions)，如圖 24 所示(圖(A)、(B)為不同觀察區域照片，圖(C)、(E)為圖(A)之放大、圖(D)為圖(B)之放大)，與 A2 斷裂螺栓觀察結果比較，C6 斷裂螺栓殘存有相當多量該類形之夾雜物；經 EDX 成分分析確認該長條狀夾雜物為硫化物，如圖 25，$(Mn_X, Mo_{1-X})S$ 為其可能之組成。

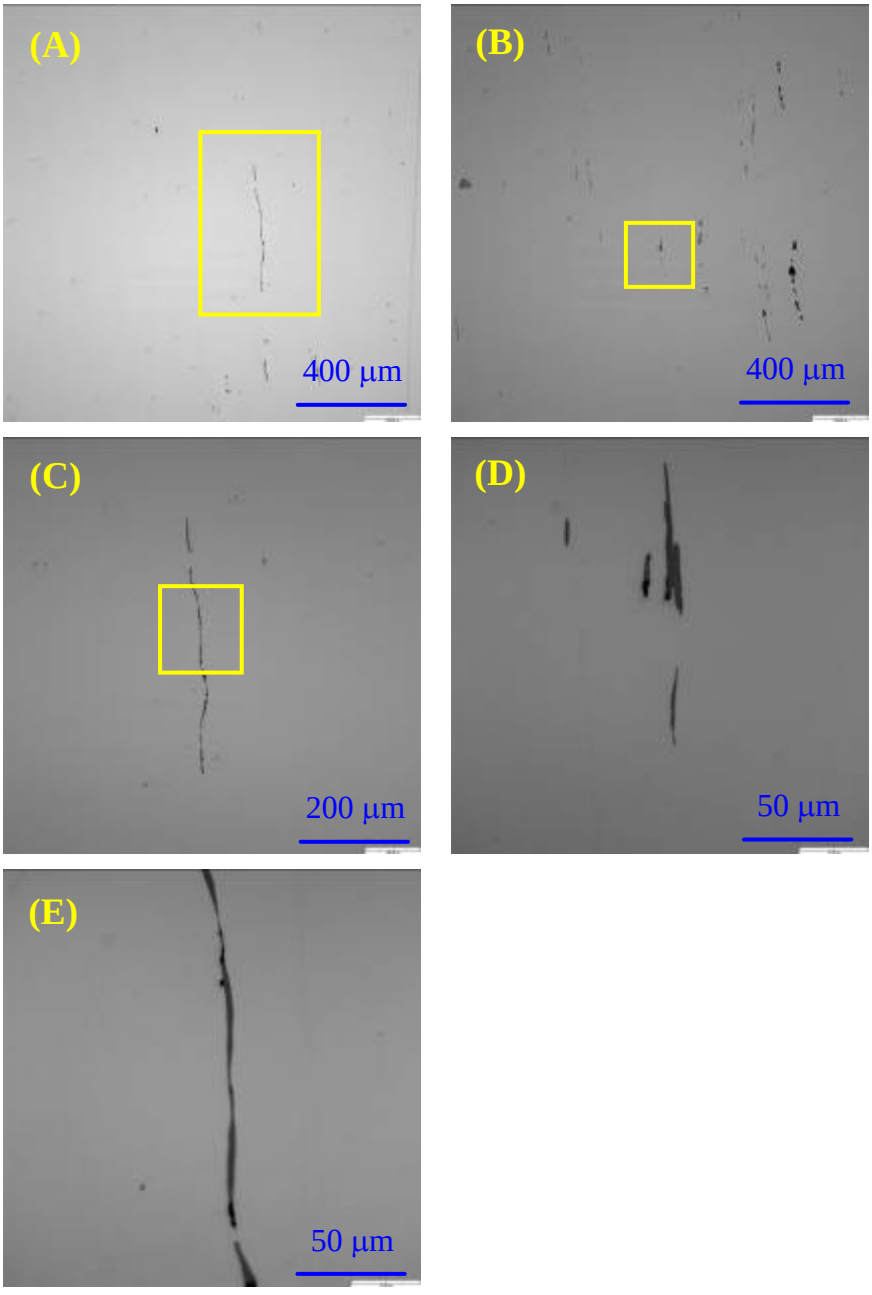


圖 24　長條狀夾雜物金相觀察

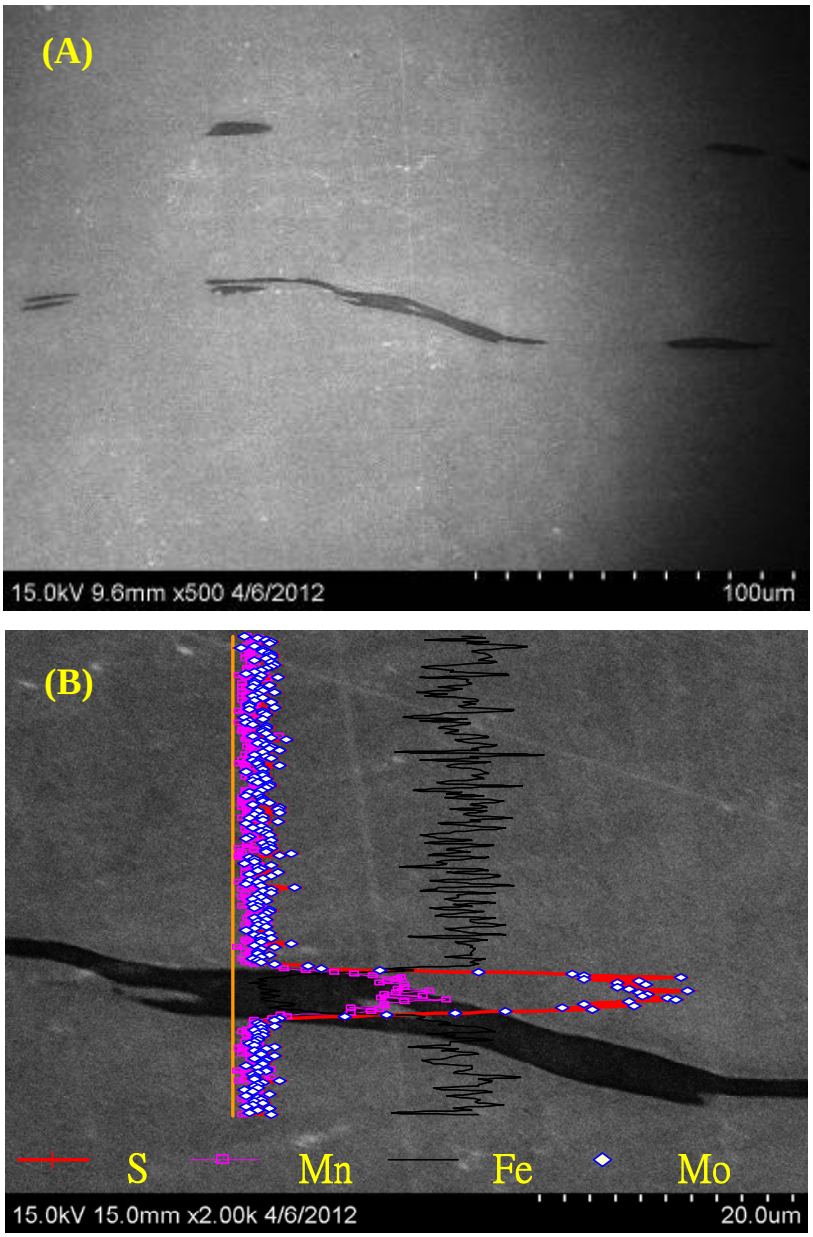


圖 25　　長條狀夾雜物 SEM-EDX 成分分析

3.8 斷面(酸洗後)SEM 再觀察

因為斷面表層披覆氧化物，故進行酸洗(Pickling)去除表層氧化物，再經 SEM 觀察以確認真實破裂形貌。酸洗後斷面表層之觀察結果顯示如圖 26(圖(A)、(B)為起裂源不同位置之觀察)；此圖清楚顯示裂紋萌生區的確為沿晶破裂，且晶面披覆微韌窩(Micro-dimples)；圖 27 可見與微

裂紋連結之孔洞，或孔洞連結形成之微裂紋(如箭矢所指)，此為所有受檢驗之斷裂螺栓普遍可見的現象；圖 28 為裂紋擴展區韌渦形貌。

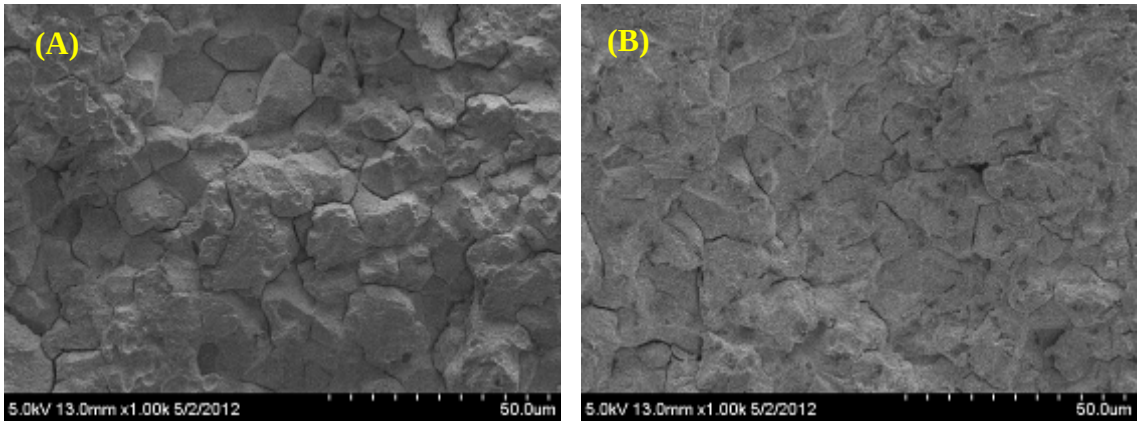


圖 26　斷面經酸洗去除表層氧化物後之 SEM 再觀察

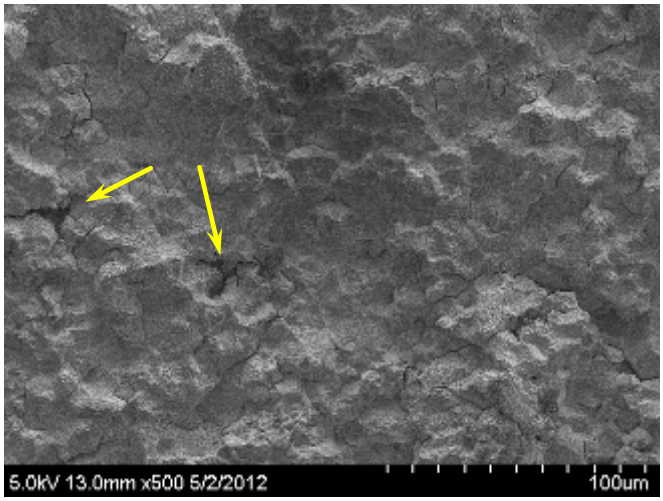


圖 27　斷面酸洗後之 SEM 再觀察，顯示孔洞/微裂紋微觀形貌

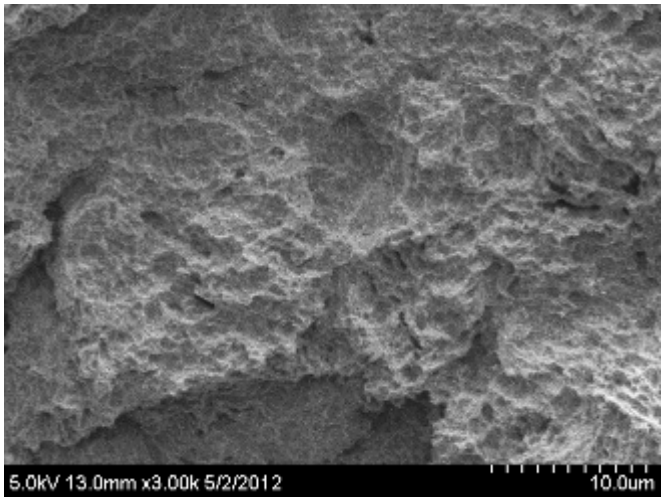


圖 28　斷面酸洗後之 SEM 再觀察，顯示裂紋擴展區韌窩形貌

4.0 檢驗結果分析與討論

依據以上 3.1~3.8 熱室檢驗結果，進行以下 C6 錨定螺栓可能受損肇因及破壞機制之討論與說明。

4.1 分析與討論

4.1.1 負載

C6 斷裂錨定螺栓斷面裂紋擴展方向，為由螺牙二處起裂源向內前進，最終在螺栓內部(近中心位置)拉斷，顯示破壞應力源為軸向應力加上可能之彎曲應力(無明顯扭力)，破壞主要是拉斷。核二廠對 3″直徑之 C6 錨定螺栓施以 680kips 之預力(pre-tension)，依原廠設計規範(Ref. 1)要求，該負載為錨定螺栓承受之單軸向拉伸應力。今硬度測試結果顯示，C6 錨定螺栓機械強度滿足 Class I 之要求(表 1)，故 680kips 之單軸向預力與 C6 錨定螺栓斷裂無直接關連。

4.1.2 材質

化學成份分析結果(表 2)，確認 C6 斷裂錨定螺栓為 ASTM A-540 Gr. B23 材質；硬度(表層及內部)測試結果，確認該材質為 Class 1 等級。

4.1.2.1 孔洞

在 C6 斷裂錨定螺栓二處起裂位置(彼此相距 180°)及其附近，沒有孔洞及其他可辨識之瑕疵；然斷面剖面觀察結果(圖 27)，仍可見孔洞連結形成之微裂紋，及/或與微裂紋連結之孔洞，此結果說明孔洞至少在裂

紋擴展階段，也提供相當程度之貢獻。。

4.1.2.2 夾雜物

3.7 節金相觀察，發現基材中有許多長條狀夾雜物(Inclusions)，EDX 成分分析確認該長條狀夾雜物為硫化物((Mn_x, Mo_{1-x})S 為可能之組成)；C6 斷裂錨定螺栓硫化物之出現，與鋼材中較高之硫含量(表 2，0.024%)有關；硫化物長條狀之形貌為輥壓加工之結果，其存在將不利於材料機械性質(特別是延展性與韌性)。在核二廠 2 號機 EOC21 反應爐支撐裙板錨定螺栓斷裂肇因分析(Ref. 5)中發現並確認，硫化物與基材之界面有空孔(Voids)發生，且空孔連結導致硫化物夾雜物與基材間之脫合(De-bonding)，此空孔連結導致脫合之行為，正是鋼材韌性與延性降低之一項主因。C6 錨定螺栓開裂模式為脆性沿晶破裂，脆性開裂與錨定螺栓硫化物夾雜物有一定程度之關係。與 A2 斷裂螺栓觀察結果比較，C6 斷裂螺栓具有較多之該類硫化物夾雜物。

4.1.2.3 淬火微裂紋

熱處理決定顯微組織，顯微組織決定機械性質，高強度低合金鋼經過適當熱處理(如淬火+回火+低溫應力消除)後，將具有優良之機械強度與韌性，作為 RPV 錨定螺栓之 C6 螺栓，其機械性質必須滿足要求。C6 斷裂錨定螺栓巨觀斷面可視為平坦，起裂破壞為脆性沿晶模式，合理研判此脆性沿晶模式與 C6 錨定螺栓熱處理之施作，有某種程度之關

連。C6 錨定螺栓中所見之孔洞/微裂紋微觀形貌(圖 27、28)，即是熱處理不當之表現。然相對 A2 錨定螺栓而言，C6 斷裂錨定螺栓斷面較不平坦，此意謂 C6 錨定螺栓較 A2 錨定螺栓有較好之延展性。不當之熱處理，例如析出某些碳化物，則可能造成回火脆性。在 C6 斷裂螺栓顯微組織觀察中，發現有疑似析出相的形成，如圖 23(目前無法確認那些相之晶體結構)，那些析出相與熱處理理息息相關，值得進一步分析研究。

4.1.3 環境

核二廠反應爐支撐裙板內側錨定螺栓使用環境為室內環境(乾井)，運轉期間為乾燥高溫；前 3.6 節斷口起裂源之剖面觀察結果，顯示斷面披覆有一層沈積物，其最大厚度~5μm，發生在起裂源區域內。C6 螺栓材質本身具優良之腐蝕抗性，RG 1.65 指出，為預防發生應力腐蝕龜裂，ASTM-A540 Gr. B23 Class 1 錨定螺栓抗拉強度必須小於 1173MPa(170ksi)，今硬度測試結果分析得知，C6 斷裂錨定螺栓抗拉強度為 1255MPa(182Ksi)，大於法規限值。在圖 18、19 中，可以看見蝕孔及二次裂紋之痕跡，在腐蝕的環境中蝕孔/二次裂紋有進一步劣化之可能。

4.2 肇因與機制

綜合以上之分析，簡單提出 C6 斷裂錨定螺栓裂紋萌生(Crack initiation)

與裂紋擴展(Crack propagation)可能肇因與機制如下。

依據熱室檢驗結果(1)龜裂起源於螺牙(面)，起裂源斷面微觀型貌為沿晶破裂，晶面密佈微韌窩，(2)隨著遠離起裂源，斷面沿晶破裂逐漸轉為韌窩破壞型貌，(3))螺栓內部有長條狀硫化物，(5)孔洞瑕疵及可見孔洞連結而成之微裂紋(淬火微裂紋)，及(6)起裂方向與螺牙面具傾斜角，可以研判 C6 錨定螺栓因材質因材質瑕疵，在安裝過程因軸向預應力加上可能之非預期安裝外力(彎曲應力，無明顯扭力)，於是發生脆性拉裂；此脆性沿晶開裂發生在安裝過程。

依據熱室檢驗結果(1)C6 錨定螺栓縱剖面腐蝕破壞形貌，(2)二次裂紋，(3)裂紋表面批覆氧化物，(4)螺栓內部長條狀硫化物，及(5)抗拉強度 1255MPa(182Ksi)，及 RG 1.65 抗沿晶應力腐蝕龜裂 RPV 螺栓材料抗拉強度/降服強度必須<1172MPa(170ksi)/1034MPa(150ksi)之規定，可以研判 C6 錨定螺栓材質抗蝕性不足，於是施工安裝造成之脆性拉裂將因沿晶應力腐蝕龜裂作用持續成長。除螺栓材質條件外，沿晶應力腐蝕龜裂需應力(上述軸向預應力加上來自非預期之安裝外力應已為充要條件)及環境因素配合。錨定螺栓所在環境為乾井室內環境，運轉期間乾井之室內乾燥高溫條件並不利於沿晶應力腐蝕龜裂之發生，因此需要之環境因素與建廠期間螺栓局部環境有關。由於建廠至反應爐正式商轉前，安裝後之錨定螺栓有一段時間暴露於室外潮濕環境，因此研判

此期間為沿晶應力腐蝕龜裂發生之可能時間。此裂紋擴展機制反映在螺栓斷面便是微觀破壞形貌轉為韌窩破壞之前的沿晶破裂區域。疲勞造成之破壞亦為脆性破壞，然其形式為穿晶模式不是沿晶模式(Ref. 6)，因此疲勞不是本案脆性破壞開裂之主因。

當裂紋成長逐漸造成預力喪失且沿晶應力腐蝕龜裂機制也停止時，合理且可能提供裂紋持續成長之機制為疲勞。疲勞是塑性誘發(Plasticity-induced)的現象，在高應力比(Load ratio)/高平均應力(Mean stress)之疲勞作用下(Ref. 7)，應力峰值(Peak stress, σmax)有很多機會達到/大於螺栓材料降服強度，並造成塑性變形；因塑性變形累積(Strain accumulation)導致窩孔成核(Nucleation)及成長(Growth)，最終造成韌窩破壞。錨定螺栓材料為體心正方(Body center tetragonal, BCT)晶體結構，此晶體結構只具有 4 個主滑移系統(Primary slip systems)，滑移不易(亦即塑性變形易累積)，因此這合理了解釋為何 C6 錨定螺栓(及所檢驗之 A2 與 D14 螺栓)於疲勞裂紋擴展階段，形成所見之韌窩破壞形貌，而不是典形疲勞條紋(Striations)。

5.0 結論(Conclusions)

以下總結 1 號機 C6 斷裂錨定螺栓熱室檢驗結果與討論，並提出可能受損肇因、機制之研判。

1 螺栓斷口位於螺栓下端螺牙，距離螺栓上端頂點 21.7 吋；

2 螺栓斷面較不平坦(相對 A2 錨定螺栓而言)，巨觀破壞型貌顯現放射狀徑向條紋，斷面上下邊緣(0°、180°)各有一起裂源，起裂源及其附近無其他如孔洞等瑕疵；斷面披覆鐵黑色沈積物；

3 螺栓龜裂起源於螺牙面；起裂源斷面微觀破壞型貌，顯現沿晶破裂；起裂方向與螺牙面具傾斜角；

4 斷裂螺栓材質化學成分，整體符合反應爐支撐裙板錨定螺栓 ASTM A-540 Gr. B23 設計規範，硫含量 0.024%接近規範 0.025%上限，相對 A2 斷裂錨定螺栓而言，C6 斷裂錨定螺栓碳、硫含量均較高；

5 斷裂螺栓基材中有許多長條狀夾雜物，EDX 成分分析確認該長條狀夾雜物為硫化物，此與偏高之硫含量有關；相對 A2 斷裂錨定螺栓而言，C6 斷裂錨定螺栓硫化物夾雜物較多；

6 螺栓表層微硬度測試結果為 HB386；螺栓內部微硬度測試結果 HB371，據此求得螺栓抗拉強度為 1255MPa(182Ksi)，為 Class 1 等級；相對 A2 斷裂錨定螺栓而言，C6 斷裂錨定螺栓微硬度測試結果(表層及內部)與抗拉強度相對較低；

7 二處起裂源及其附近沒有孔洞及其他可辨識之瑕疵，顯示起裂於螺牙之效應單純來自螺牙之應力集中；斷面裂紋擴展方向為由螺牙根部二處起裂源先後向內前進，最終於螺栓內部拉斷，起裂方向與螺牙面具傾斜角，顯示破壞應力源為軸向應力加上可能之彎曲應力及扭力矩；

8 沿晶破裂為脆性破壞，脆性破壞與長條狀硫化物及熱處理(如回火微裂紋)有關；

9 由表層沈積物連續性形貌可研判，C6 錨定螺栓斷面已成形有相當長之一段時間；

10 螺栓起裂源區域除了上述脆性沿晶破裂(晶面密佈微韌窩)外，斷面具新月腐蝕破壞形貌，裂紋面有氧化物，螺栓抗拉強度高於發生沿晶應力腐蝕龜裂之強度門檻，合理研判(並參考 D14 錨定螺栓檢驗結果與受損肇因分析)此階段裂紋成長亦受制於沿晶應力腐蝕龜裂；

11 依據裂紋擴展階段韌窩微觀破壞形貌，研判疲勞為合理且可能之主導機制，此疲勞裂紋擴展應力條件為高應力比及高平均應力；

12 C6 錨定螺栓可能受損肇因為螺栓材質瑕疵及非預期之彎曲力矩；

13 C6 錨定螺栓裂紋萌生機制為軸向預力+非預期外力(安裝因素)造成螺栓(材質因素)開裂；起裂後之裂紋擴展初期可能主導機制為沿晶應力腐蝕龜裂，而後轉為疲勞裂紋擴展機制。

6.0 參考資料(References)

1 台灣電力公司，第二核能發電廠，Containment Internals Reactor Pedestal Liner Plate Sections & Details SH2, Drawing No C-342.

2 ASME Sec II Part A, Specification for Alloy-Steel Bolting Materials for Special Application, SA-540/SA-540M, pp969-981, 1998.

3 林樹均等人編著，材料工程實驗與原理，全華科技圖書股份有限公司，台北，初版，第二章，ISBN 957-21-0044-0，中華民國 88 年 11 月。

4 Regulatory Guide 1.65, Materials and Inspections for Reactor Vessel Closure Studs, Rev 1, April 2010.

5 張中興，核能研究所，核二廠二號機 EOC21 反應爐支撐裙板錨定螺栓斷裂肇因分析總結報告，版次 2，中華民國 101 年 1 月 5 日。

6 C.J. McMahon, Jr., “Mechanisms of intergranular fracture in alloy steels”, Materials Characterization, 26(1991) pp269~287.

7 R.J. Morrissey, D.L. McDowell and T. Nicholas, “Frequency and stress ratio effects in high cycle fatigue of Ti-6Al-4V”, International Journal of Fatigue, 21(1999) pp679~685.

附件8

核二廠一號機反應爐支撐裙板
D14 龜裂錨定螺栓熱室檢驗初步報告

A Preliminary Report on Hot Cell Examinations of the Cracked D14 Anchor Bolt of the KSNPS Unit 1 RPV Support Skirt

限 閱 報 告

不 准 複 印

版次：1b

撰寫：張中興

審核：楊清田

行政院原子能委員會核能研究所

中華民國 101 年 5 月 6 日

1.0 執行摘要

核二廠1號機EOC22大修期間,發現反應爐支撐裙板(RPV support skirt)內側有7只錨定螺栓(Anchor bolts)受損，其中A2、C6斷裂(Broken)，D14龜裂(partially cracked)，另4只(B10、B13、C9、D11)有裂紋指示。為釐清螺栓受損肇因，先前已將 A2、C6 斷裂錨定螺栓送至核能研究所熱室進行並完成檢驗，結果可參見其各自之熱室檢驗報告。本報告彙整、分析 D14 斷裂錨定螺栓熱室檢驗結果，並據此提出可能之受損機制，以作為核二廠受損肇因分析研判之參考。以下進行說明：

I 檢驗結果

1 螺栓主斷面位於螺栓下端螺牙區，距離螺栓上端頂點20吋，龜裂尚未完全斷穿螺栓橫截面；

2 螺栓表面巨觀可見約75%圓周長之環向主裂；主裂紋正上方1個螺牙面、正下方4個螺牙面顯現長度不等之環向裂紋，這些環向裂紋發生在局部範圍內，此局部範圍之背面(相距 180°)則無前述主裂紋正下方所見之環向裂紋；

3 螺栓縱剖面可見所有起裂方向與螺牙面皆具一傾斜角，環向主裂垂直螺栓長軸，其裂紋開口相當寬(~1/2 螺牙面長)，主裂部分區域跨越5個螺牙面；主裂紋內部可見沈積物；

4 龜裂起源於螺牙(面)，起裂源斷面微觀破壞型貌為沿晶破裂，晶面

密佈微韌窩；螺牙根部起裂源區域可見外力造成之舊傷，隨著遠離起裂源，斷面逐漸轉為韌窩狀之微觀破壞型貌，斷面可見孔洞連結而成之微裂紋(淬火微裂紋)；

5 螺栓縱剖面微觀破壞形貌顯示腐蝕孔、二次裂紋，二次裂紋具分枝；可見數個微裂紋起裂於螺牙面，微裂紋與螺牙面幾乎垂直，此微裂紋為沿晶龜裂(龜裂表面亦批覆氧化層)且亦可見分枝；

6 龜裂螺栓材質化學成分分析結果，整體符合反應爐支撐裙板錨定螺栓 ASTM A-540 Gr. B23 設計規範；螺栓表層微硬度測試結果為 HB370；依據螺栓內部微硬度測試結果 HB361，求得螺栓抗拉強度為 1220MPa(177Ksi)，為 Class 1 等級；

7 螺栓內部有長條狀硫化物及孔洞瑕疵。

II 分析

1 主裂面及二次裂紋面皆披覆氧化物，由氧化物形貌研判 D14 錨定螺栓斷面成形已有相當長之時間；

2 起裂源區域破壞型貌為沿晶破裂，晶面密佈微韌窩，此為脆性拉裂之表徵；沿晶破裂為脆性破壞，脆性破壞與長條狀硫化物及熱處理(如回火微裂紋)有關；

3 依據局部螺牙受損及所有起裂方向與螺牙面皆具一傾斜角研判，發生脆性拉裂之破壞應力源為軸向預應力加上來自非預期之安裝外力

(彎曲力矩及扭力矩)；

4 螺栓起裂源區域除了上述脆性沿晶破裂(晶面密佈微韌窩)外，亦出現腐蝕孔、沿晶二次裂紋(具分枝微裂)及二次裂紋面氧化物等微觀破壞形貌，顯示此階段裂紋成長亦受制於沿晶應力腐蝕龜裂；

5 依據裂紋擴展階段韌窩微觀破壞形貌，研判疲勞為合理且可能之主導機制，此疲勞裂紋擴展應力條件為高應力比及高平均應力。

III 可能受損肇因及機制研判

1 D14 錨定螺栓可能受損肇因為安裝不當、材質瑕疵及階段性腐蝕(建廠初期露天環境)；

2 D14 錨定螺栓裂紋萌生機制為軸向預力+非預期外力(安裝因素)造成螺栓(材質因素)開裂；起裂後之裂紋擴展初期可能主導機制為沿晶應力腐蝕龜裂，而後轉為疲勞裂紋擴展機制。

2.0 前言及背景

核二廠 1 號機內側 D14 錨定螺栓位置，如圖 1 箭頭所指。D14 錨定螺栓龜裂發生在螺栓下端螺牙區域，距離螺栓上端頂點 20 吋，該錨定螺栓結構及龜裂位置如圖 2 所示。D14 錨定螺栓並未完全斷裂，因此核二廠切取該螺栓含龜裂部位之試片(約 4cm 厚)，於 4 月 13 日送至核能研究所熱室進行檢驗。反應爐支撐裙板內/外側(Inner/Outer ring)錨定螺栓其他相關資料，詳見「核二廠一號機反應爐支撐裙板 A2 錨定螺栓熱室檢驗初步報告」。

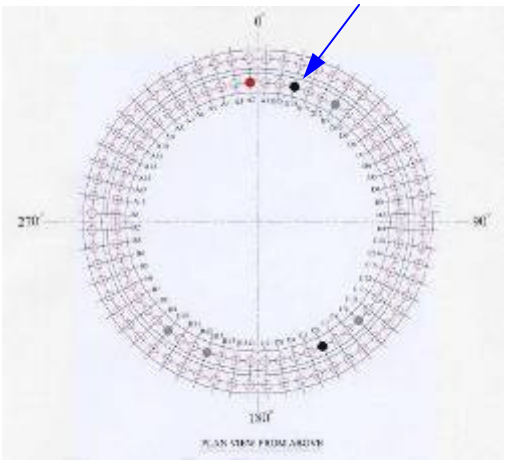


圖 1　　反應爐支撐裙板錨定螺栓分佈圖

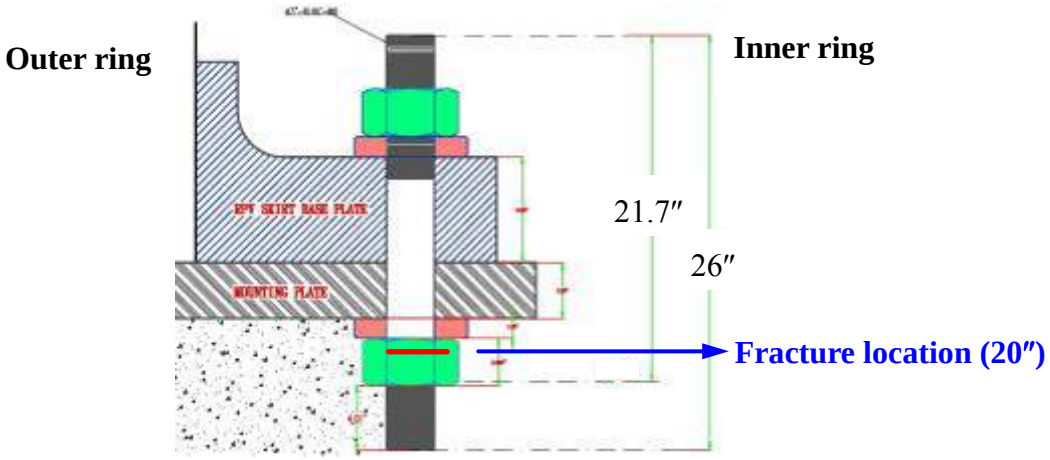


圖 2　　錨定螺栓(D14)結構及斷裂位置示意

3.0 檢驗結果

為澄清 D14 錨定螺栓龜裂成因，核研所進行並完成熱室檢驗結果，內容包含目視檢驗、低倍率斷口觀察、掃描式電子顯微鏡斷口分析、光學金相、微硬度測試及化學成份分析等結果，以下就所獲得之結果進行分析、討論，以研判龜裂成因。

3.1 目視檢驗

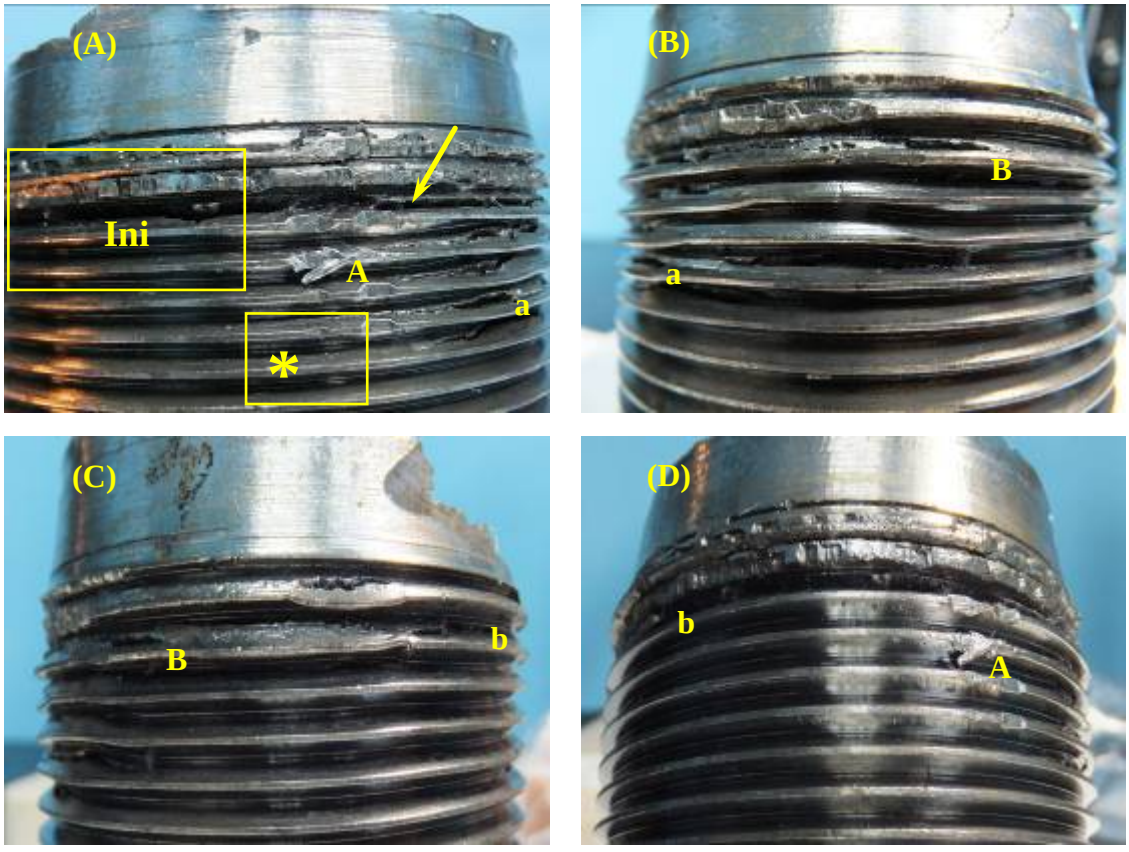


圖 3　　錨定螺栓(D14)巨觀受損形貌觀察

圖 3 為 D14 錨定螺栓全方位角(依序由(A)至(D)旋轉 360°)之正視圖，表面巨觀形貌顯示環向主裂紋(如箭矢指示)，此環向主裂紋約占 75%圓周長；主裂正上方 1 個螺牙面及正下方 4 個螺牙面亦出現長度不等之環

向裂紋，這些螺牙面環向裂紋出現在環向特定範圍內，此特定區域之背面(相距 180°)，則無前述“正下方 4 個螺牙面”上所見之環向裂紋。圖 3(A)中標示 Ini 之區域，判斷為環向主裂紋萌生區，其斷面觀察結果說明於下一節；圖 3(A)中標示星號(*)之區域，本章節稍後有進一步之剖面觀察。

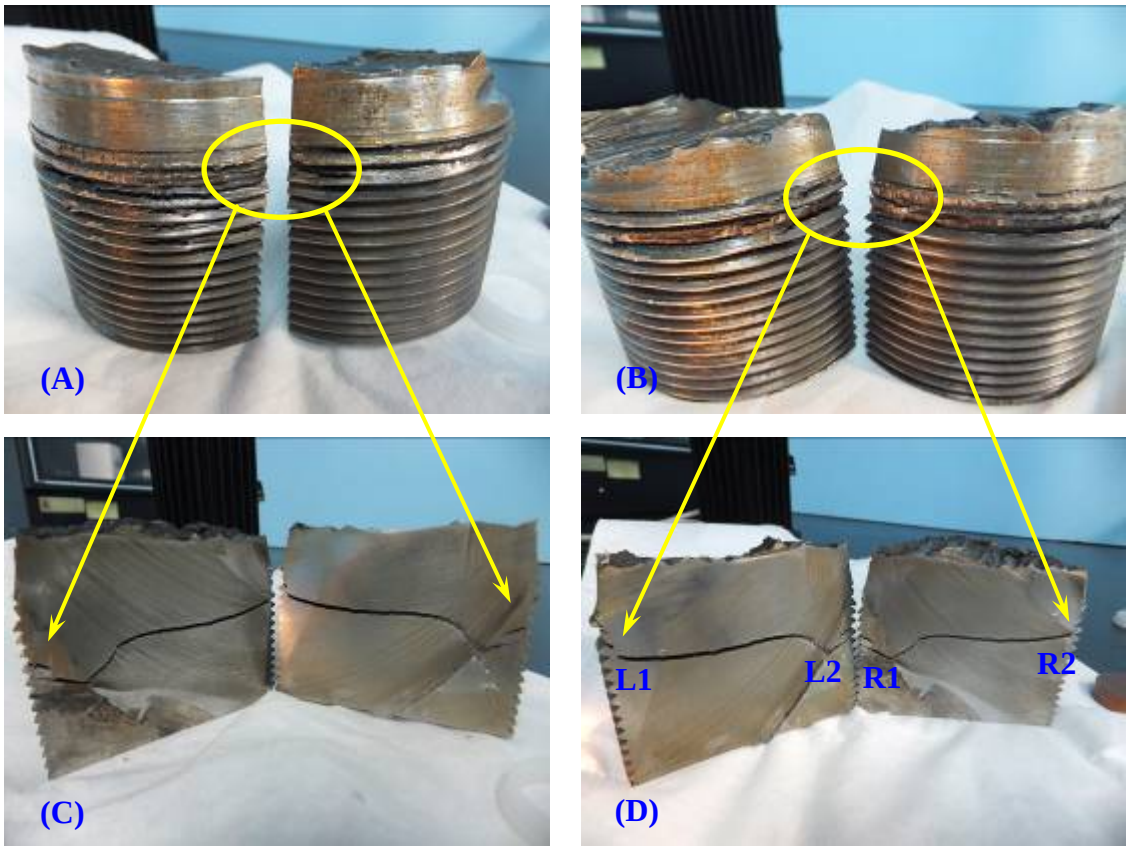


圖 4　　錨定螺栓(D14)縱剖面裂紋巨觀形貌觀察

環向主裂紋萌生區確認後，於適當位置將 D14 錨定螺栓縱剖以觀察環向裂紋形貌。圖 4 為螺栓縱剖後之巨觀形貌，圖(C)為圖(A)之剖面展視，圖(D)為圖(B)之剖面展視；圖(A)與圖(B)分別為縱剖之前後 2 端(相距約 160°)。圖 4(D)中標視 L1、L2、R1、R2 之局部放大，分別顯示如

圖 5；圖 5 中(R1)、(R2)之側視圖，分別顯示如圖中(R1S)、(R2S)。圖 4~6 螺栓縱剖面清楚顯示，環向主裂垂直螺栓長軸，其裂紋開口相當寬，約~1/2 螺牙面長，主裂部分區域跨越 5 個螺牙面；所有起裂與螺牙面具一特定傾斜角；主裂內部可見沈積物。

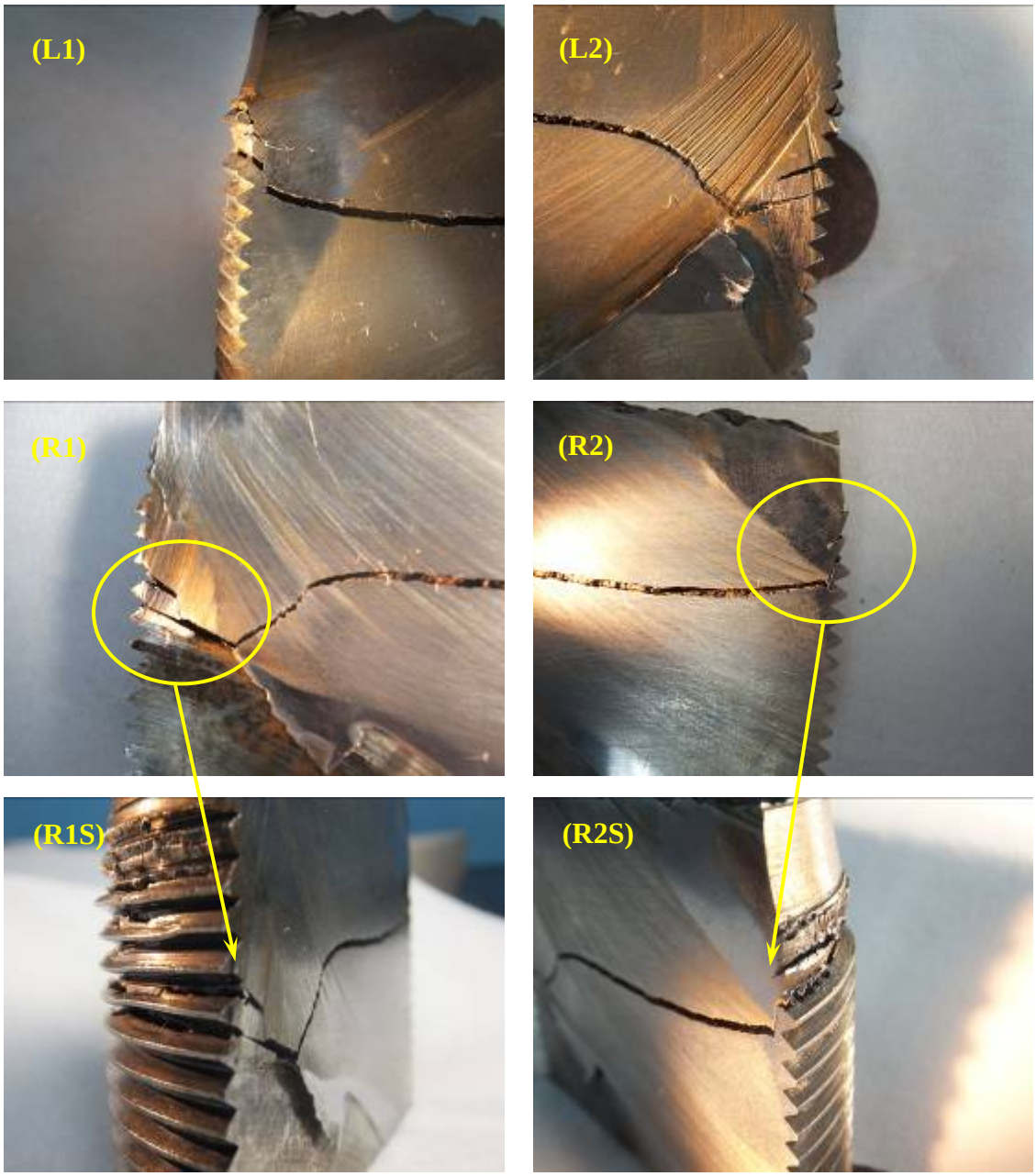


圖 5　　圖 4 中 L1、L2、R1、R2 區域之局部放大

3.2 低倍率斷口觀察

圖 3(A)中標示 Ini 之區域經判斷為環向主裂紋萌生位置後，以快、慢數速切割機分數次將該區域切取下來，由於切取後之螺栓其餘部位完整未分離，因此目前觀察重點將聚焦在 Ini 及其附近區域。



圖 6　　圖 3(A)中標示 Ini 區域之剖面局部放大

圖 6 為 D14 錨定螺栓裂紋萌生區域之巨觀形貌，依此圖中呈現放射狀之徑向條紋(Radial marks)，可以研判圖中標示 O 之位置為裂紋萌生位置；圖中右側螺牙根部標示 A 處有可疑瑕疵，經由放大觀察其形貌與色澤，可清楚得知其為外力造成之舊傷，如圖 7 中 A 處；圖 7 中清楚可見開裂瞬間因過大之應變率形成之粗撕裂脊(Coarse tearing ridges)，

圖面中間位置之撕裂脊與 A 處舊傷之間，可見新月(Crescent)條紋，如箭矢所指；此斷面有明顯鐵銹。

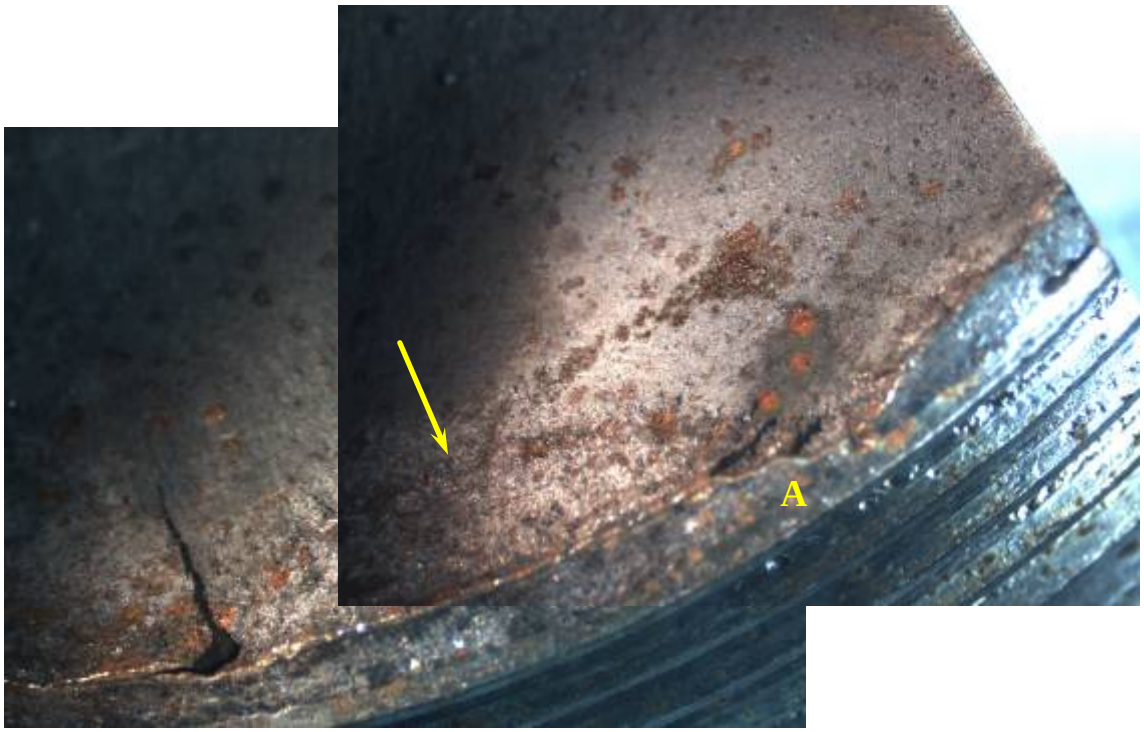


圖 7　　圖 6 區域之放大

3.3 微硬度測試

斷裂錨定螺栓機械性質以微硬度測試方法來評估，以確認材質等級。硬度測試區域包含螺栓表層及內部；其中表層測試範圍至少涵蓋表層 10 mm 以上之深度，以確認硬化層之有效深度；螺栓內部係指螺栓 1/2 直徑之部位。

表層測試結果平均值(10 測量點)為 HV(surface) 390，最高與最低測量值分別為 397.3 及 377.8，標準差(deviation, σn)為 5.65；硬度分佈結果顯示，D14 錨定螺栓表層下方(測量深度範圍內)硬度值差異不大，說明此龜裂錨定螺栓表層硬化能分佈均勻，且硬化層深度>10 mm。

HV(surface) 390 硬度相當於 HB 370 (Brinell Hardness, Ref. 3)，與表 1 ASME Sec II Part A, SA-540/SA-540M 材質機械性質規範(Ref. 2)比較，確認龜裂錨定螺栓表層硬度值符合規範 B23 Class 1 (Dia.：to 3 inches, included)：BH 321~ 415 最小要求。

Table 1 Mechanical Property Requirements of ASTM A-540 B23 Bolting Material

Grade	Class	Diameter inch	St MPa/ksi	Sy MPa/ksi	Brinell Hardness (Surface)	
			min	min	min	max
B23 (E-4340-H)	5	to 6, inc	827/120	724/105	248	311
		over 6 to 8, incl	793/115	689/100	255	321
		over 8 to 9 1⁄2, incl	793/115	689/100	262	321
	4	to 3, incl	931/135	827/120	269	341
		over 3 to 6, incl	931/135	827/120	277	352
		over 6 to 9 1⁄2, incl	931/135	827/120	285	363
	3	to 3, incl	1000/145	896/130	293	363
		over 3 to 6, incl	1000/145	896/130	302	375
		over 6 to 9 1⁄2, incl	1000/145	896/130	311	388
	2	to 3, incl	1069/155	965/140	311	388
		over 3 to 6, incl	1069/155	965/140	311	401
		over 6 to 9 1⁄2, incl	1069/155	965/140	321	415
	1	**to 3, incl**	**1138/165**	**1034/150**	**321**	**415**
		over 3 to 6, incl	1138/165	1034/150	331	429
		over 6 to 8, incl	1138/165	1034/150	341	444

螺栓內部 1/2 直徑部位之硬度測試結果：平均值為 HV(bulk) 380 ± 6.59，相當於 BH 361，構造用鋼之抗拉強度(Ultimate tensile strength, St)與 BH 之關係，根據 Dohmer 準則(Ref. 3)表示如下：

$$St\ (psi) = 490 \times BH \qquad \text{for } BH>175 \qquad \textbf{(1a)}$$

$$St\ (psi) = 515 \times BH \qquad \text{for } BH<175 \qquad \textbf{(1b)}$$

依據 Eqn 1(a)得龜裂錨定螺栓抗拉強度(St)

St =490 x 361 = 176,890 psi = **177 ksi** = **1220 MPa**

與表 1 機械性質規範比較，上述抗拉強度(St)評估值滿足 ASTM 規範 B23 Class 1 最低要求，但較 RG 1.65：Materials and Inspections for Reactor Vessel Closure Studs 法規限值 **1173MPa/170Ksi** (Ref. 4)為高。相對 A2、C6 斷裂錨定螺栓而言，D14 龜裂錨定螺栓微硬度測試結果(表層及內部)與抗拉強度評估值均較低。

3.4 化學成份分析

利用感應耦合電漿光譜儀/碳硫分析儀進行龜裂錨定螺栓化學成份分析，分析結果如表 2；表中亦列出 ASTM-A540 B23/B24 化學成份規範(Ref. 2)要求，以資比對。

Table 2 Chemical compositions analysis results of the broken anchor bolt

元素	分析結果 (%)	Chemical Requirements (%)		
		B23 (E-4340-H)	B24 (4340 Mod)	B24V (4340 Mod)
C	**0.3849**	0.37-0.44	0.37-0.44	0.37-0.44
Mn	**0.745**	0.60-0.95	0.70-0.90	0.60-0.95
P	**0.01**	0.025(max)	0.025(max)	0.025(max)
S	**0.0235**	0.025(max)	0.025(max)	0.025(max)
Si	**0.275**	0.15-0.35	0.15-0.35	0.15-0.35
Cr	**0.75**	0.65-0.95	0.70-0.95	0.60-0.95
Ni	**1.665**	1.55-2.00	1.65-2.00	1.55-2.00
Mo	**0.205**	0.20-0.30	0.30-0.40	0.40-0.60
V	**<0.015**	……	……	0.04-0.10

表 2 分析結果中，C、S 元素測量值為 3 次分析結果之平均值(每次分析測量 3~4 次)，其餘元素測量值則為 2 次分析結果之平均值。分析結果顯示，V(Vanadium,)元素微量測量值，可視為測量儀器實驗誤差；C、

Si、Mn、P、S、Cr、Ni 等元素測量值，皆符合 B23/B24 化學成份規範；根據 Mo 化學成份分析結果，確認龜裂錨定螺栓材質為 ASTM A-540 Gr.B23；公稱組成(Nominal Composition)為 2Ni-0.75Cr-0.25Mo。

3.5 掃描式電子顯微鏡(SEM)斷口分析

圖 6 中龜裂起裂源 O 位置之 SEM 觀察，如圖 8 所示；此圖顯示裂紋萌生區域之破裂形貌為沿晶破裂(Intergranular cracking)，然其表層披覆氧化物，故需進行酸洗(Pickling)去除表層氧化物，再經 SEM 觀察以確認真實破裂形貌。

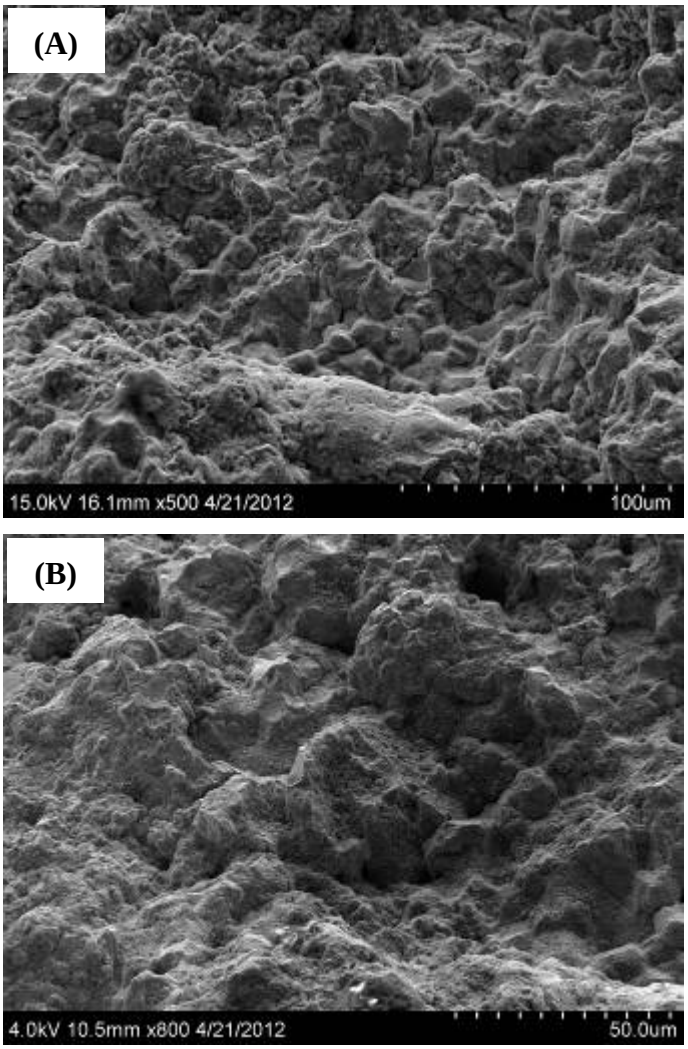


圖 8　圖 6 中裂紋萌生區域 O 位置之 SEM 觀察，圖(B)為圖(A)之放大

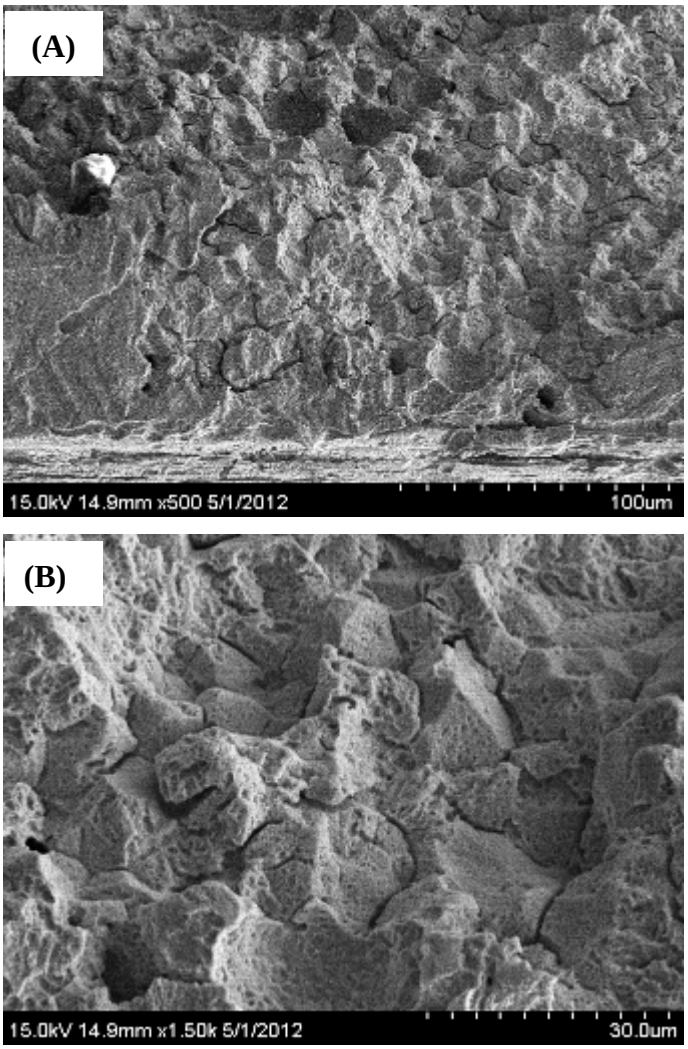


圖 9　　圖 6 裂紋萌生區域 O 位置之 SEM 觀察，圖(B)為圖(A)之放大(酸洗後)

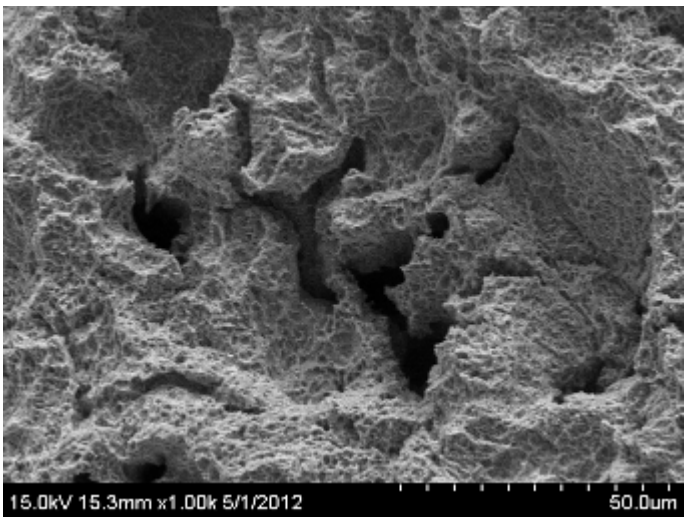


圖 10　　圖 6 裂紋萌生區域不同位置之 SEM 觀察，顯示孔洞連結成微裂紋

圖 8 裂紋萌生區經酸洗去除表層氧化物後重新觀察，結果顯示如圖 9；

此圖清楚顯示裂紋萌生區之破裂形貌，的確是沿晶破裂，且晶面表層披覆微韌窩(Micro-dimples)。圖 10 為裂紋萌生區域不同位置之 SEM 觀察，顯示孔洞連結成微裂紋。圖 6 中裂紋擴展區域 P 位置之 SEM 觀察，如圖 11 所示；此圖顯示裂紋擴展區域之破裂形貌為韌窩破裂(Dimples)。

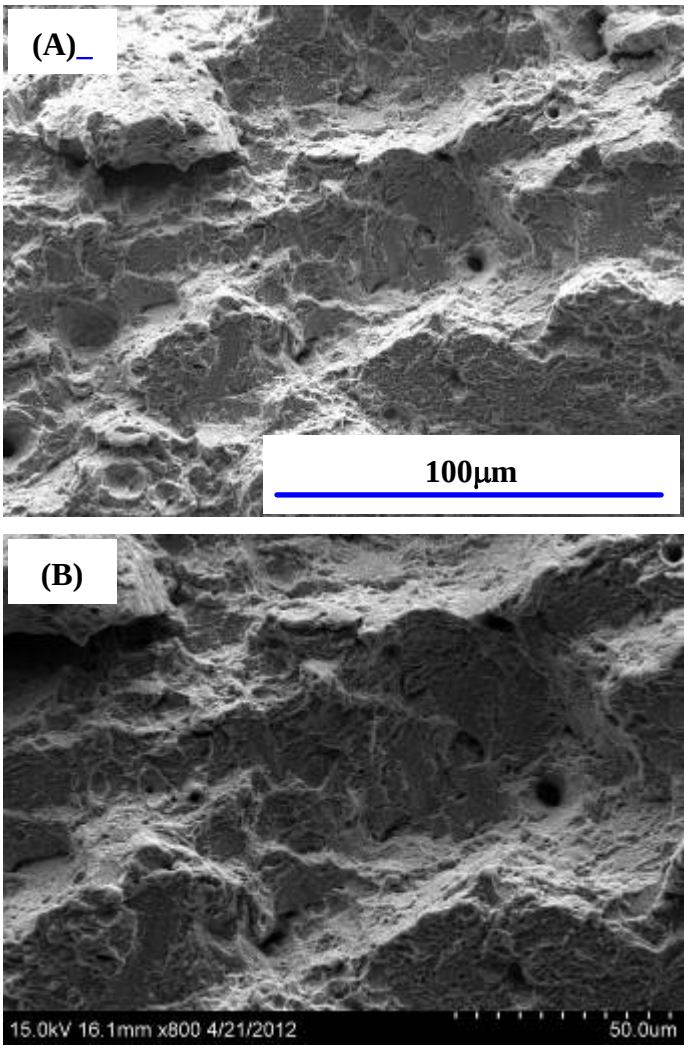


圖 11　圖 6 中裂紋擴展區域 P 位置之 SEM 觀察，圖(B)為圖(A)之放大

3.6 起裂源剖面斷貌分析

起裂源剖面斷貌觀察，結果顯示如圖 12(圖 B、C 為圖 A 之局部放大顯示)；此剖面清楚可見主裂與螺牙面幾乎相互垂直，與圖 5 中所有起

裂與螺牙面具一特定傾斜角之發現吻合。此圖清楚可見裂紋表面疑似腐蝕形成之孔洞(洞內有腐蝕氧化物)、二次裂紋(Secondary cracks)及表層腐蝕氧化物；螺牙面亦有疑似腐蝕形成之損傷痕跡。

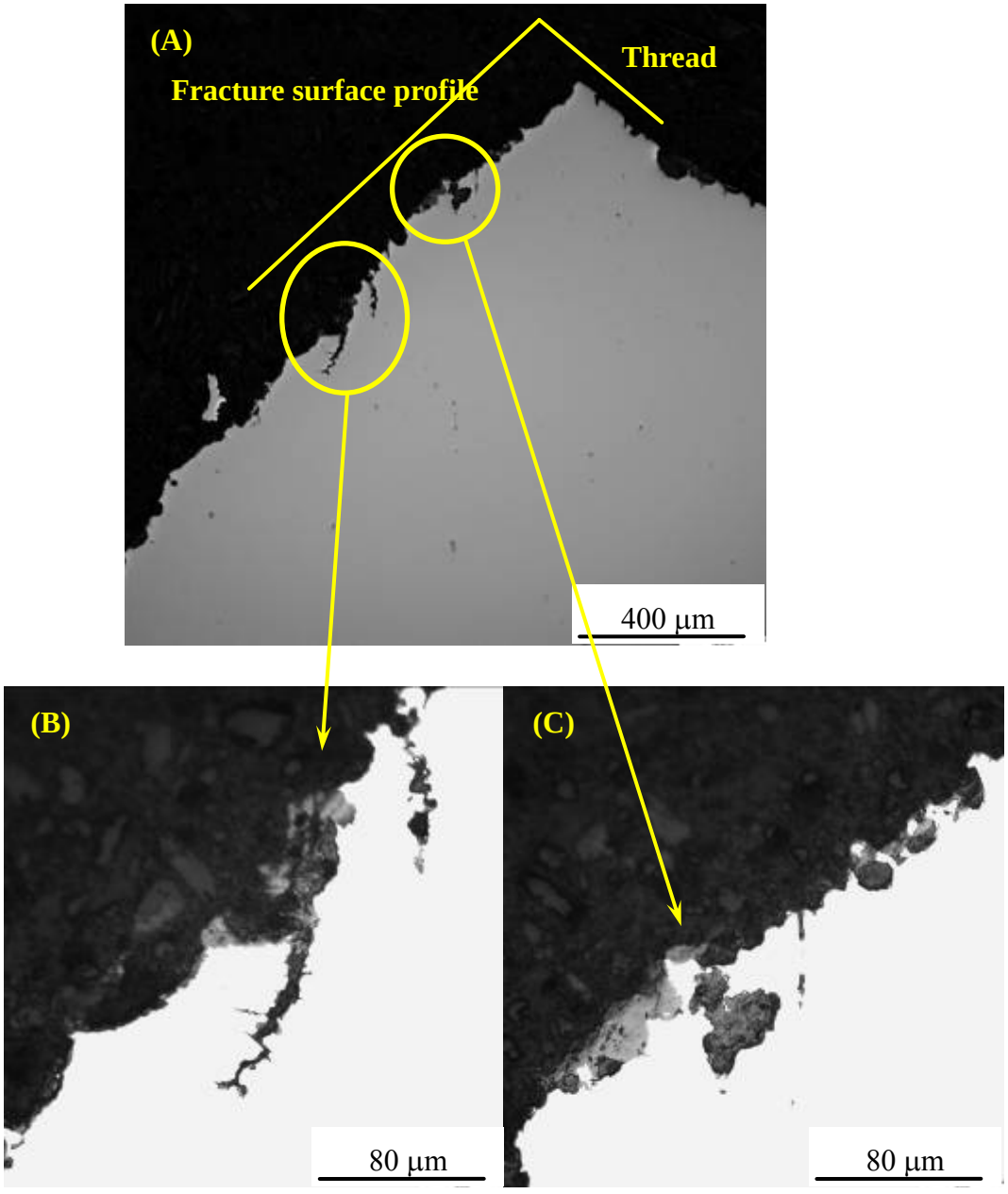


圖 12　起裂源剖面斷貌，圖(B)、(C)為圖(A)之放大

圖 13 為起裂源剖面斷貌另外區域之觀察，結果顯示有相對較大之孔洞存在，此孔洞尺寸約 0.9 mm，可能為螺栓內部既存之孔洞瑕疵。

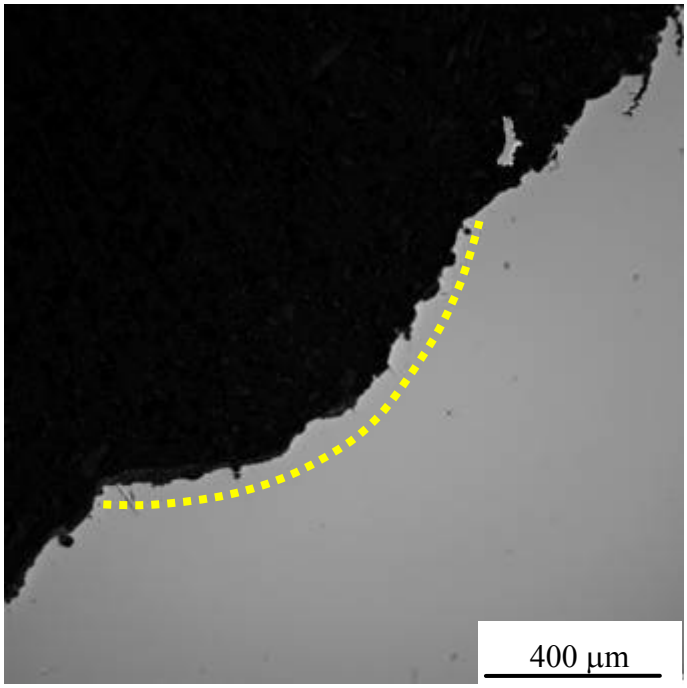


圖 13　起裂源剖面斷貌，顯示相對較大之孔洞

經大範圍之觀察，發現斷面氧化層為斷斷續續零星分佈，平均厚度≤10µm，最大厚度~70µm (如圖 14)；由此表層沈積物形貌研判，D14錨定螺栓斷面已成形相當一段時間。

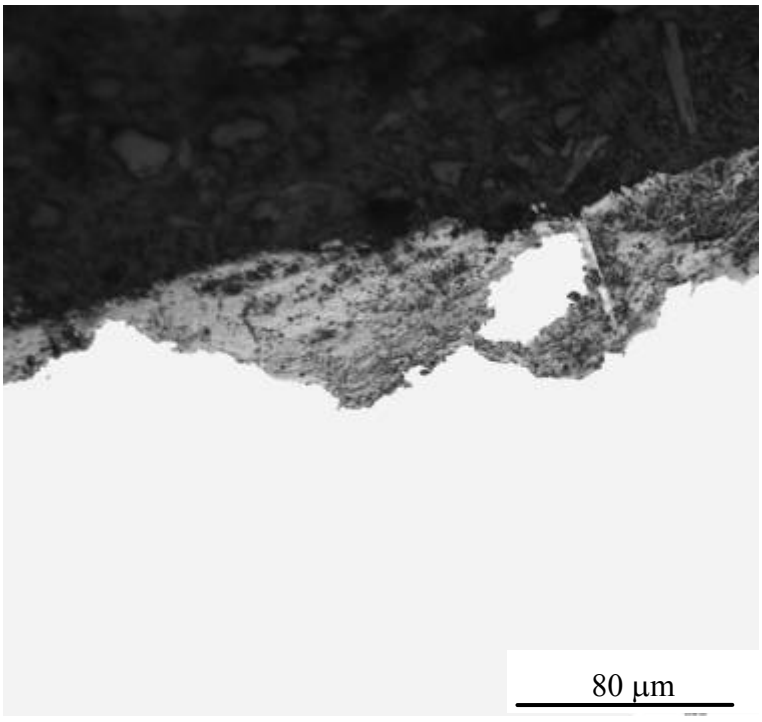


圖 14　起裂源剖面斷貌，顯示較厚之表層氧化層

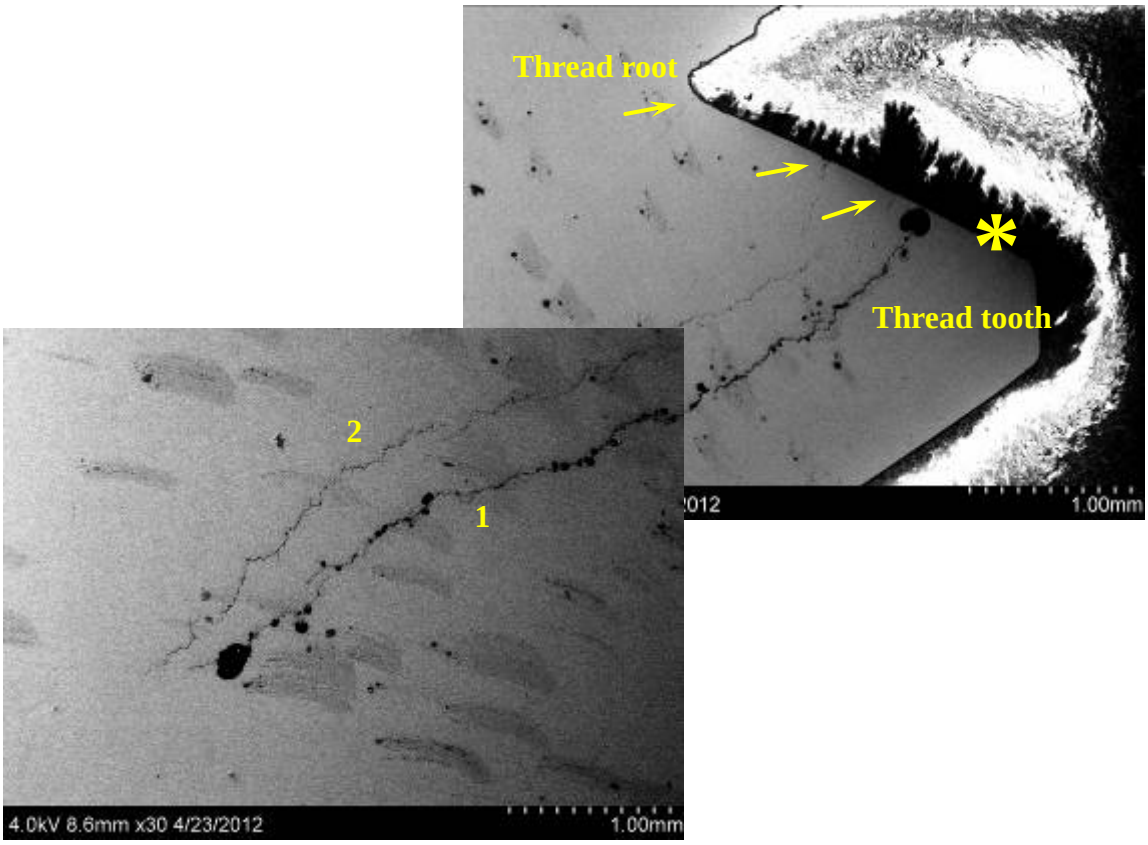


圖 15　圖 3(A)中標示星號(*)區域之剖面局部放大

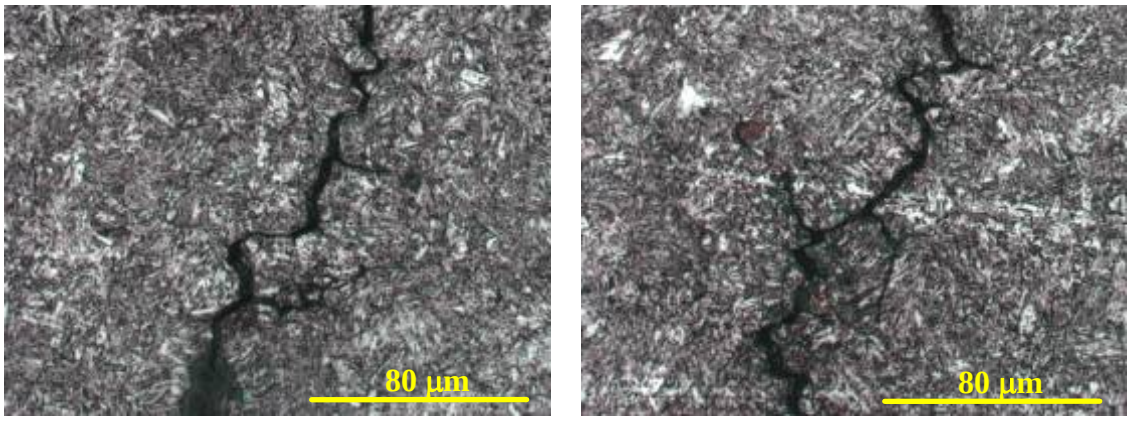


圖 16　圖 15 區域蝕刻後之局部放大

圖 3(A)中標示星號(*)區域之剖面觀察，顯示如圖 15，此區為環向主裂螺牙(標定為第 1 牙)下方第 5 牙之位置。此圖顯示 2 條長約 5.2mm 之裂紋，圖中編號 2 之裂紋並未與畫面中之螺牙面相接，研判應是由此螺牙他處成長至本圖中之位置；圖中亦可見萌生於此螺牙面之更細小

裂紋(如箭頭所指)。圖 15 區域經蝕刻後之局部放大顯示如圖 16，圖 16 裂紋似乎顯示為沿晶龜裂，且有分枝(Branch)出現。對圖 16 裂紋以 SEM 進一步觀察，顯示如圖 17；此圖清楚顯示裂紋為沿晶龜裂，有二次裂紋；晶界處可見氧化層之存在。

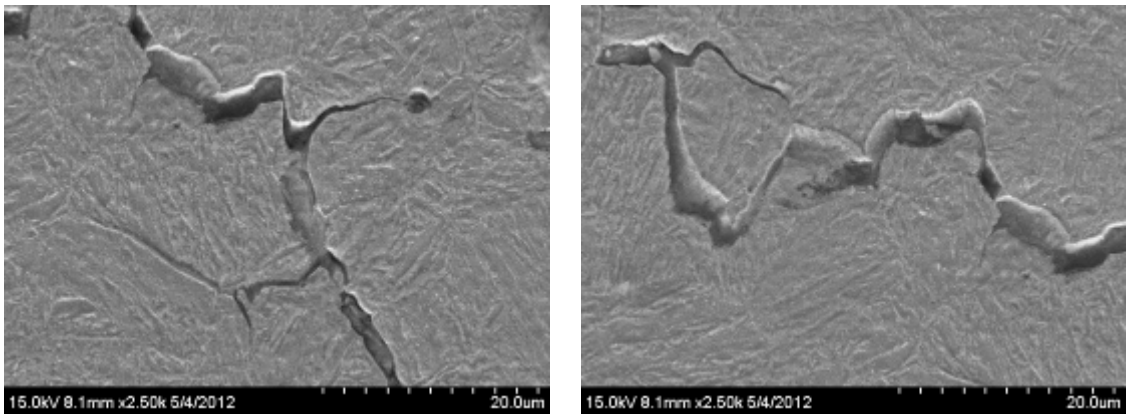


圖 17　圖 16 裂紋 SEM 局部放大觀察，顯示沿晶龜裂

3.7 金相觀察

金相觀察試片選自螺栓表層硬化層厚度<10mm 內及螺栓內部(1/2 直徑)之區域，觀察面為垂直斷口之縱切面(即螺栓長軸方向)。圖 18(A)、(B)為螺栓表層硬化層深度內不同區域蝕刻後之光學金相，圖(C)、(E)及圖(D)、(F)分別為圖(A)、(B)之局部放大。圖 18 中顯示之金相，其可能之顯微組織為回火麻田散鐵(Tempering martensite)加上殘留沃斯田鐵(Retained austenite)。圖 18 中清楚看見 D14 龜裂螺栓中殘存有多量之長條狀夾雜物(Stringer-type inclusions)，該類夾雜物類似於在 A2、C6 斷裂螺栓觀察中所發現之硫化物夾雜物。D4 龜裂螺栓內部黑色小孔洞數量，明顯少於 A2 斷裂螺栓內部小孔洞數量。

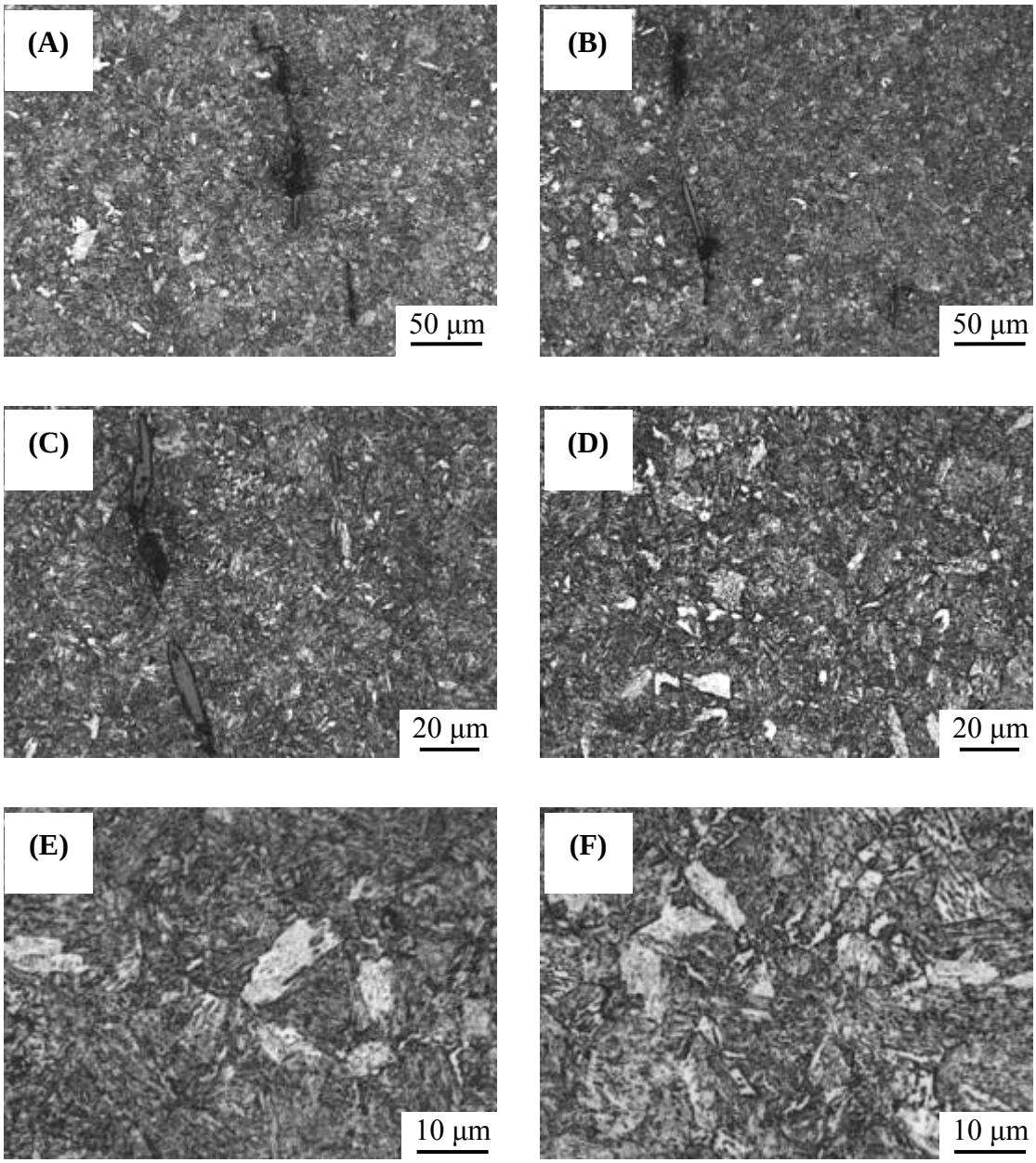


圖 18　螺栓表層硬化層深度內不同區域之 OM 顯微組織

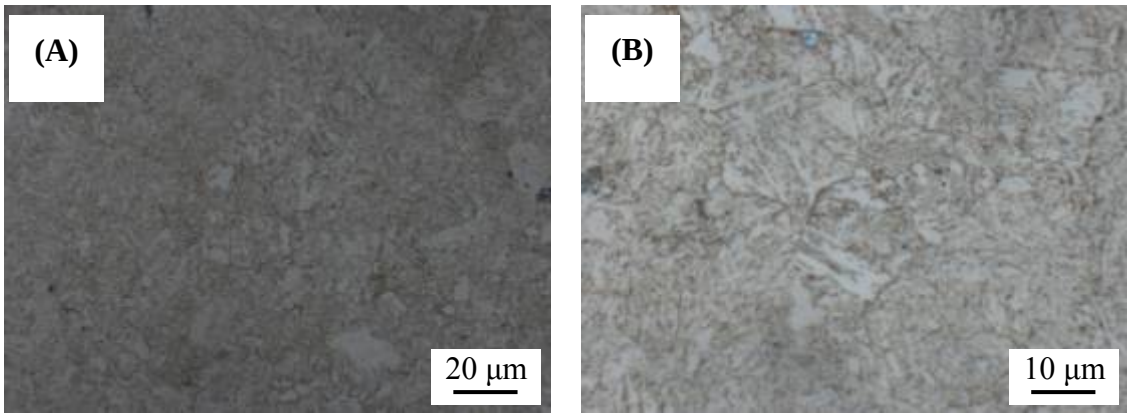


圖 19　螺栓內部區域(1/2 直徑) OM 顯微組織

圖 19 為螺栓內部(1/2 直徑)區域蝕刻後之光學金相，圖(B)別為圖(A)之局部放大，圖 19 顯示之金相與圖 18 之金相類似。

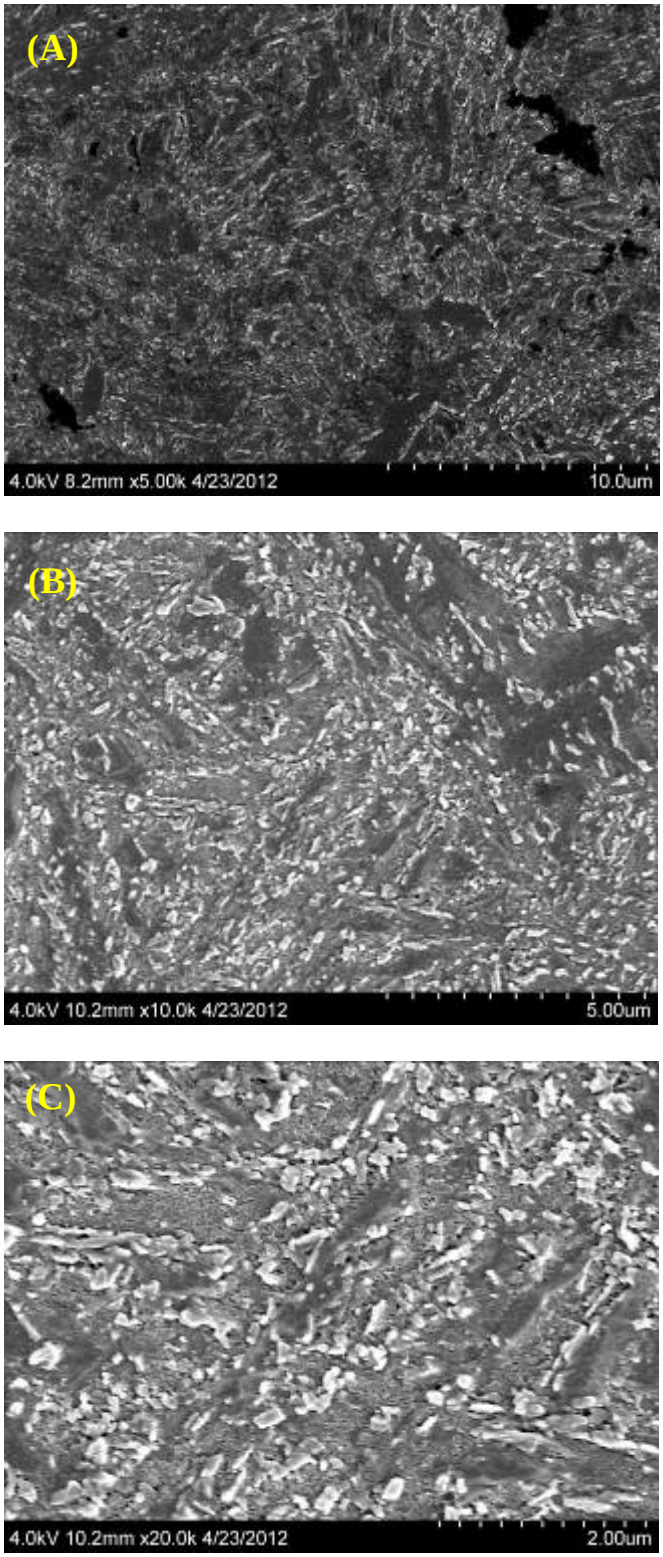


圖 20　螺栓硬化層內之 SEM 高倍率顯微組織

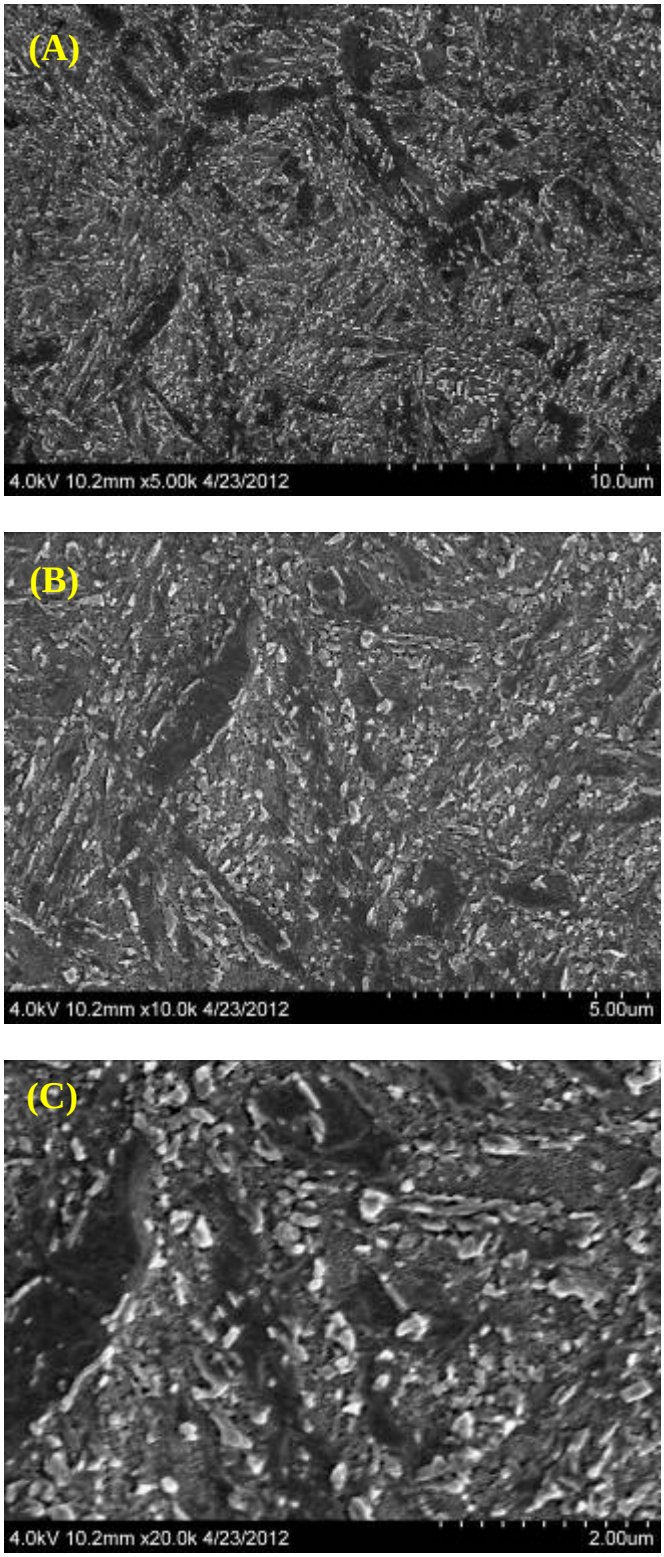


圖 21　螺栓內部(1/2 直徑)區域之 SEM 高倍率顯微組織

以 SEM 對圖 18 螺栓硬化層內、圖 19 內部區域(1/2 直徑)之顯微組織作進一步高倍率觀察，結果如圖 20、21；圖(B)、(C)分別為圖(A)、(B)

之局部放大；此圖顯示基材中有許多之棒狀(Rod-like)物，其可能為雪明碳鐵(Cementite)析出相且與基材具特定相位角關係。D14 龜裂螺栓 SEM 高倍率觀察結果(圖 20、21)，與 A2、C6 斷裂螺栓 SEM 觀察結果一致。

對圖 18 金相觀察時基材中發現之長條狀夾雜物進行再次觀察分析，不同區域觀察結果顯示如圖 22、23(圖(B)為圖(A)之放大)。圖 22、23 顯示基材中之長條狀夾雜物，圖 22 中所見長條狀夾雜物(如箭矢所指)，尺寸可達~400μm 長，~10μm 寬；此類長條狀夾雜物已經 SEM-EDX 成分分析(如 A2、C6 斷裂螺栓)，確認該長條狀夾雜物為硫化物。

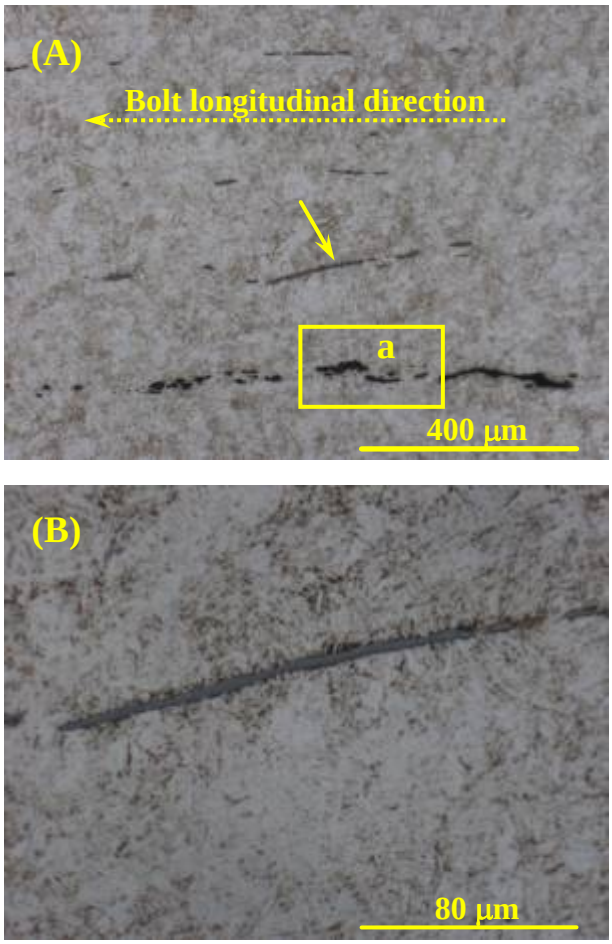


圖 22　螺栓表層硬化層深度內長條狀夾雜物 OM 觀察

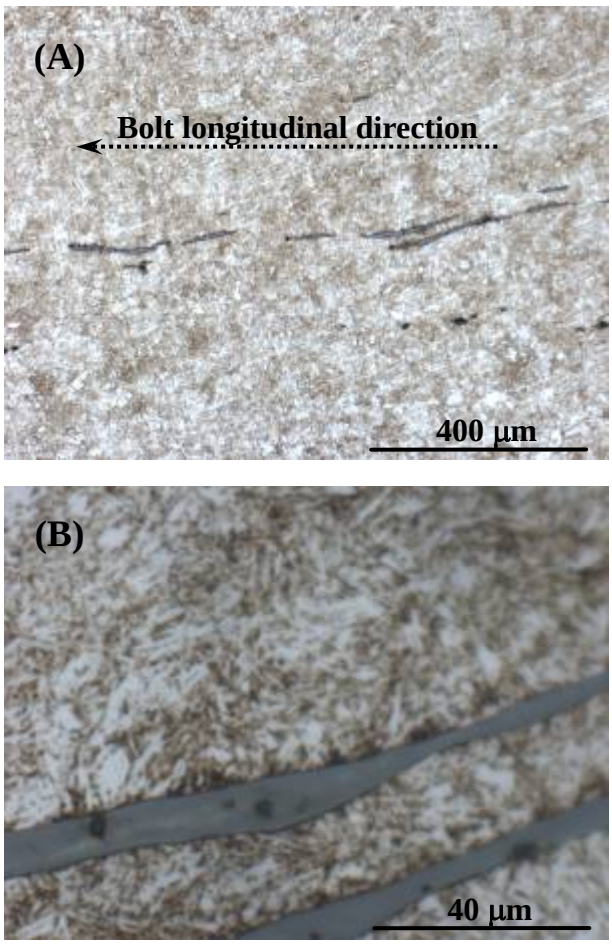


圖 23　螺栓表層硬化層深度內長條狀夾雜物 OM 觀察

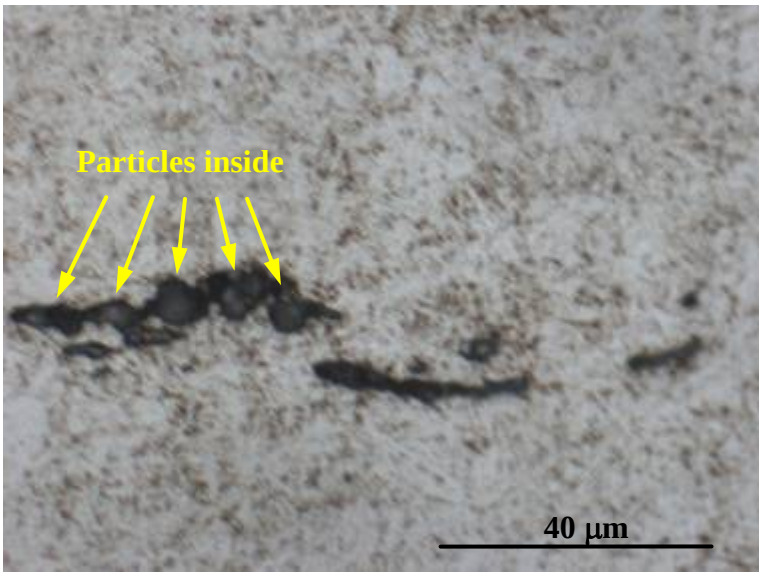


圖 24　OM 觀察顯示內含顆粒夾雜物之微裂紋

圖 22 中局部區域 a 之放大，顯示如圖 24；此圖顯示含夾雜物顆粒(非前述之長條狀夾雜物)之裂紋，該類型顆粒應為矽酸鋁鹽(脫氧劑)。

4.0 檢驗結果分析與討論

依據以上 3.1~3.8 熱室檢驗結果，進行以下 D14 錨定螺栓可能受損肇因及破壞機制之討論與說明。

4.1 分析與討論

4.1.1 負載

核二廠對 3″直徑之 D14 錨定螺栓施以 680kips 之預力(pre-tension)，依原廠設計規範(Ref. 1)要求，該負載為錨定螺栓承受之單軸向拉伸應力。今硬度測試結果顯示，D14 錨定螺栓機械強度滿足 Class I 之要求(表 1)，故 680kips 之單軸向預力與 D14 錨定螺栓龜裂無直接關連。但依據局部螺牙受損及所有起裂與螺牙面皆具一傾斜角可知，D14 錨定螺栓龜裂之破壞應力源除了軸向預應力之外，尚有來自非預期之安裝外力(彎曲力矩及扭力矩)，此複合式應力拉裂螺栓。

4.1.2 材質

化學成份分析結果(表 2)，確認 D14 龜裂錨定螺栓為 ASTM A-540 Gr. B23 材質；硬度(表層及內部)測試結果，確認該材質為 Class 1 等級。

4.1.2.1 微裂紋

D14 龜裂錨定螺栓斷面剖面觀察結果，顯示 D14 龜裂錨定螺栓孔洞連結形成之微裂紋，及/或與微裂紋連結之孔洞，形成這些微裂紋最可能原因為淬火熱處理時之熱應力撕裂。

4.1.2.2 夾雜物

D14 龜裂錨定螺栓剖面金相觀察觀察，發現基材中有許多長條狀夾雜物(Inclusions)，SEM-EDX 成分分析確認該長條狀夾雜物為硫化物；D14 龜裂錨定螺栓硫化物之出現，與鋼材中較高之硫含量有關；硫化物長條狀之形貌為輥壓加工之結果，其存在將不利於材料機械性質(特別是延展性與韌性)。在核二廠 2 號機 EOC21 反應爐支撐裙板錨定螺栓斷裂肇因分析(Ref. 5)中發現並確認，硫化物與基材之界面有微孔(Voids)發生，且空孔連結導致硫化物夾雜物與基材間之脫合(De-bonding)；一般而言，微孔連結導致脫合之行為，正是鋼材韌性與延性降低之一項主因。D14 錨定螺栓龜裂模式為脆性沿晶破壞，脆性沿晶破壞與錨定螺栓硫化物夾雜物有一定程度之關係。與 A2 斷裂螺栓觀察結果比較，D14 龜裂螺栓具有較多之該類硫化物夾雜物。

4.1.3 環境

核二廠反應爐支撐裙板內側錨定螺栓使用環境為乾井室內環境，運轉期間為乾燥高溫；D14 螺栓材質本身具優良之腐蝕抗性。但螺栓縱剖面微觀破壞形貌顯示腐蝕孔、二次裂紋，二次裂紋具分枝；可見數個微裂紋起裂於螺牙面，此微裂紋為沿晶龜裂(龜裂面亦批覆氧化層)且亦可見分枝，顯見 D14 螺栓龜裂與該螺栓局部環境有關。今又由硬度測試結果得知，D14 錨定螺栓抗拉強度為 1220MPa(177Ksi)，大於 RG 1.65

法規抗沿晶應力腐蝕龜裂(Intergranular Stress corrosion cracking, IGSCC)限值 1172MPa(170ksi)，且沿晶應力腐蝕龜裂也是沿晶脆裂，因此不排除沿晶應力腐蝕龜裂之可能。

4.2 肇因與機制

綜合以上之分析，提出以下 D14 錨定螺栓裂紋萌生(Crack initiation)與裂紋擴展(Crack propagation)可能肇因與機制。

4.2.1 肇因

依據熱室檢驗結果(1)龜裂起源於螺牙(面)，起裂源斷面微觀型貌為沿晶破裂，晶面密佈微韌窩，(2)隨著遠離起裂源，斷面沿晶破裂逐漸轉為韌窩破壞型貌，(3)主裂紋開口相當寬(~1/2 螺牙面長)，(4)螺栓內部有長條狀硫化物，(5)製程孔洞瑕疵及可見孔洞連結而成之微裂紋(淬火微裂紋)，(6)數個螺牙局部受損及所有起裂方向與螺牙面皆具傾斜角，及(7)螺牙根部起裂源區域外力造成之舊傷，可以研判 D14 錨定螺栓因材質瑕疵，在安裝過程因軸向預應力加上來自非預期之安裝外力(彎曲力矩及扭力矩)，於是在螺牙處發生脆性拉裂；由於主裂紋開口(Crack opening)相當寬，顯見軸向應力值應很高；破壞應力源為軸向預應力加上來自非預期之安裝外力，因此脆性沿晶開裂發生在安裝過程。

4.2.2 龜裂機制

依據熱室檢驗結果(1)螺栓縱剖面腐蝕破壞形貌，(2)具分枝之沿晶二次

裂紋，(3)裂紋表面批覆氧化物，(4)螺栓內部有長條狀硫化物，及(5)抗拉強度 1220MPa(177Ksi)，及 RG 1.65 抗沿晶應力腐蝕龜裂 RPV 螺栓材料抗拉強度/降服強度必須<1172MPa(170ksi)/1034MPa(150ksi)之規定，可以研判 D14 錨定螺栓材質抗蝕性不足，於是施工安裝造成之脆性拉裂將因沿晶應力腐蝕龜裂作用持續成長。除螺栓材質條件外，沿晶應力腐蝕龜裂需應力(上述軸向預應力加上來自非預期之安裝外力應已為充要條件)及環境因素配合。錨定螺栓所在環境為乾井室內環境，運轉期間乾井室內之乾燥高溫條件並不利於沿晶應力腐蝕龜裂之發生，因此需要之環境因素與建廠期間螺栓局部環境有關。由於建廠至反應爐正式商轉前，安裝後之錨定螺栓有一段時間暴露於室外潮濕環境，因此研判此期間為沿晶應力腐蝕龜裂發生之可能時間。此裂紋擴展機制反映在螺栓斷面便是微觀破壞形貌轉為韌窩破壞之前的沿晶破裂區域。疲勞造成之破壞亦為脆性破壞，然其形式為穿晶模式不是沿晶模式(Ref. 6)，因此疲勞不是本案脆性破壞開裂之主因。

當裂紋成長逐漸造成預力喪失且沿晶應力腐蝕龜裂機制也停止時，可能提供裂紋持續成長之機制為疲勞。疲勞是塑性誘發(Plasticity-induced)的現象，在高應力比(Load ratio)/高平均應力(Mean stress)之疲勞作用下(Ref. 7)，應力峰值(Peak stress, σmax)有很多機會達到/大於螺栓材料降服強度，並造成塑性變形；因塑性變形累積(Strain accumulation)導致窩

孔成核(Nucleation)及成長(Growth)，最終造成韌窩破壞。錨定螺栓材料為體心正方(Body center tetragonal, BCT)晶體結構，此晶體結構只具有4 個主滑移系統(Primary slip systems)，滑移不易(亦即塑性變形易累積)，因此這合理了解釋為何 D14 錨定螺栓(及先前所檢驗之 A2 與 C6 螺栓)於疲勞裂紋擴展階段，形成所見之韌窩破壞形貌，而不是典形之疲勞條紋(Striations)。

5.0 結論(Conclusions)

以下總結 1 號機 D14 斷裂錨定螺栓熱室檢驗結果與討論，並提出可能受損肇因、機制之研判。

1 螺栓主斷面位於螺栓下端螺牙區，距離螺栓上端頂點 20 吋，龜裂尚未完全斷穿螺栓橫截面；

2 螺栓表面巨觀可見約 75%圓周長之環向主裂；主裂紋正上方 1 個螺牙面、正下方 4 個螺牙面顯現長度不等之環向裂紋，這些環向裂紋發生在局部範圍內，此局部範圍之背面(相距 180°)則無前述主裂紋下方所見之環向裂紋；

3 螺栓縱剖面可見所有起裂方向與螺牙面皆具一傾斜角，環向主裂垂直螺栓長軸，其裂紋開口相當寬(~1/2 螺牙面長)，主裂部分區域跨越 5 個螺牙面；主裂內部可見沈積物；

4 龜裂起源於螺牙(面)，起裂源斷面微觀破壞型貌為沿晶破裂，晶面密佈微韌窩；螺牙根部起裂源區域可見外力造成之舊傷，隨著遠離起裂源，斷面逐漸轉為韌窩狀之微觀破壞型貌，斷面可見孔洞連結而成之微裂紋(淬火微裂紋)；

5 螺栓縱剖面微觀破壞形貌顯示腐蝕孔、二次裂紋，二次裂紋具分枝；可見數個微裂紋起裂於螺牙面，微裂紋與螺牙面幾乎垂直，此微裂紋為沿晶龜裂(龜裂面亦批覆氧化層)且亦可見分枝；

6 龜裂螺栓材質化學成分分析結果，整體符合反應爐支撐裙板錨定螺栓 ASTM A-540 Gr. B23 設計規範；螺栓表層微硬度測試結果為 HB370；依據螺栓內部微硬度測試結果 HB361，求得螺栓抗拉強度為 1220MPa(177Ksi)，為 Class 1 等級；

7 螺栓內部有長條狀硫化物及製程孔洞瑕疵；

8 主裂面及二次裂紋面皆披覆氧化物，由氧化物形貌研判 D14 錨定螺栓斷面成形已有相當長之時間；

9 起裂源區域破壞型貌為沿晶破裂，晶面密佈微韌窩，此為脆性拉裂之表現；脆性破壞與長條狀硫化物及熱處理(如回火微裂紋)有關；

10 依據局部螺牙受損及所有起裂方向與螺牙面皆具一傾斜角研判，發生脆性拉裂之破壞應力源為軸向預應力加上來自非預期之安裝外力(彎曲力矩及扭力矩)；

11 螺栓起裂源區域除了上述脆性沿晶破裂(晶面密佈微韌窩)外，亦出現腐蝕孔、沿晶二次裂紋(具分枝微裂)及二次裂紋面氧化物等微觀破壞形貌，顯示此階段裂紋成長亦受制於沿晶應力腐蝕龜裂；

12 依據裂紋擴展階段韌窩微觀破壞形貌，研判疲勞為合理且可能之主導機制，此疲勞裂紋擴展應力條件為高應力比及高平均應力；

13 D14 錨定螺栓可能受損肇因為螺栓材質瑕疵及安裝不當；

14 D14 錨定螺栓裂紋萌生機制為軸向預力+非預期外力(安裝因素)造成

螺栓(材質因素)開裂；起裂後之裂紋擴展初期可能主導機制為沿晶應力腐蝕龜裂，而後轉為疲勞裂紋擴展機制。

6.0 參考資料(References)

1 台灣電力公司，第二核能發電廠，Containment Internals Reactor Pedestal Liner Plate Sections & Details SH2, Drawing No C-342.

2 ASME Sec II Part A, Specification for Alloy-Steel Bolting Materials for Special Application, SA-540/SA-540M, pp969-981, 1998.

3 林樹均等人編著，材料工程實驗與原理，全華科技圖書股份有限公司，台北，初版，第二章，ISBN 957-21-0044-0，中華民國 88 年 11 月。

4 Regulatory Guide 1.65, Materials and Inspections for Reactor Vessel Closure Studs, Rev 1, April 2010.

5 張中興，核能研究所，核二廠二號機 EOC21 反應爐支撐裙板錨定螺栓斷裂肇因分析總結報告，版次 2，中華民國 101 年 1 月 5 日。

6 C.J. McMahon, Jr., “Mechanisms of intergranular fracture in alloy steels”, Materials Characterization, 26(1991) pp269~287.

7 R.J. Morrissey, D.L. McDowell and T. Nicholas, “Frequency and stress ratio effects in high cycle fatigue of Ti-6Al-4V”, International Journal of Fatigue, 21(1999) pp679~685.

附件9

核二廠一號機反應爐支撐裙板
受損 B10 錨定螺栓熱室檢驗初步報告

A Preliminary Report on Hot Cell Examinations of the Defected B10 Anchor Bolt of the KSNPS Unit 1 RPV Support Skirt

限 閱 報 告

不 准 複 印

版次：1b

撰寫：張中興

審核：楊清田

行政院原子能委員會核能研究所

中華民國 101 年 5 月 6 日

1.0 執行摘要

核二廠1號機EOC22大修期間，發現反應爐支撐裙板(RPV support skirt)內側(Inner ring)有7只錨定螺栓(Anchor bolts)受損，其中A2、C6斷裂(Broken)，D14部分龜裂(Partial cracked)，另4只(B10、B13、C9、D11)有裂紋指示。為釐清螺栓受損肇因，先前已將A2、C6、D14斷裂錨定螺栓送至核能研究所熱室進行並完成檢驗，結果可參見其各自之熱室檢驗報告。本報告依據目前B10錨定螺栓檢驗結果進行分析與研判，說明如下：

1 螺栓斷口位於螺栓下端螺牙，距離螺栓上端頂點20.1吋；

2 螺栓斷面較不平坦(相對A2錨定螺栓而言)，巨觀破壞型貌顯現多處新月形之裂紋起源；斷面披覆尖晶石結構之黑色沈積物(Fe_3O_4)；

3 螺栓裂紋成長方向平行於螺牙面，顯示遭受扭力所致，裂紋成核處為脆性沿晶斷裂，斷面上具多處二次裂紋。垂直破斷面之螺牙側面，可見裂紋分枝之應力腐蝕特徵；

4 斷裂螺栓材質化學成分，符合反應爐支撐裙板錨定螺栓 ASTM A-540 Gr. B23設計規範；

5 斷裂螺栓基材中有長條狀夾雜物，EDX成分分析確認該長條狀夾雜物為硫化物；

6 螺栓表層微硬度測試結果為 HB331；螺栓內部微硬度測試結果

HB323，接近 ASTM A-540 B23 硬度下限值(HB321)，據此求得螺栓抗拉強度為 1092MPa(158Ksi)，略低於 Class 1 等級(1135MPa)；相對 A2、C6、D14 等 3 只斷裂錨定螺栓而言，B10 錨定螺栓微硬度測試結果(表層及內部)與抗拉強度相對較低；

7 起裂源及其附近沒有發現孔洞及其他可分辨之瑕疵；

8 主裂面及二次裂紋面皆披覆氧化物，由氧化物形貌研判 D14 錨定螺栓斷面成形已有相當長之時間；

9 起裂源區域破壞型貌為沿晶破裂，晶面密佈微韌窩，此為脆性拉裂之表徵；此脆性破壞與長條狀硫化物及熱處理(如回火微裂紋)有關；

10 依據裂紋擴展階段韌窩微觀破壞形貌，研判疲勞為合理且可能之主導機制，此疲勞裂紋擴展應力條件為高應力比及高平均應力。

11 B10 錨定螺栓可能受損肇因為安裝不當、材質瑕疵及階段性腐蝕(建廠初期露天環境)；

12 B10 錨定螺栓裂紋萌生機制為軸向預力+非預期外力(安裝因素)造成螺栓(材質因素)開裂；起裂後之裂紋擴展初期可能主導機制為沿晶應力腐蝕龜裂，而後轉為疲勞裂紋擴展機制。

2.0 前言及背景

核二廠 1 號機內側 B10 錨定螺栓位置，如圖 1 箭頭所指。B10 錨定螺栓斷裂發生在螺栓下端螺牙區域，距離螺栓上端頂點 20.1 吋，該錨定螺栓結構及斷裂位置如圖 2 所示。核二廠切取具瑕疵(Indication)錨定螺栓一件(Partial through crack，約 5cm 厚)，於 4 月 12 日送至核能研究所熱室進行檢驗，以釐清斷裂錨定螺栓受損肇因。反應爐支撐裙板內/外側(Inner/Outer ring)錨定螺栓其他相關資料，詳見「核二廠一號機反應爐支撐裙板 A2 錨定螺栓熱室檢驗初步報告」。

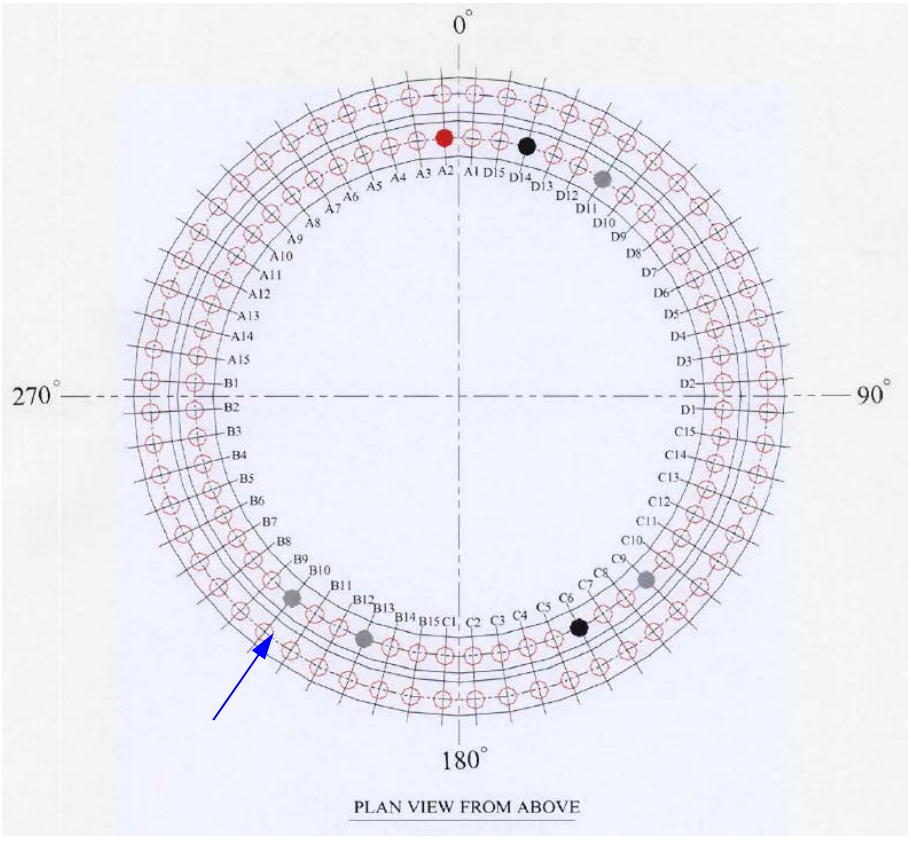


圖 1　反應爐支撐裙板錨定螺栓分佈圖，B10 為箭頭處

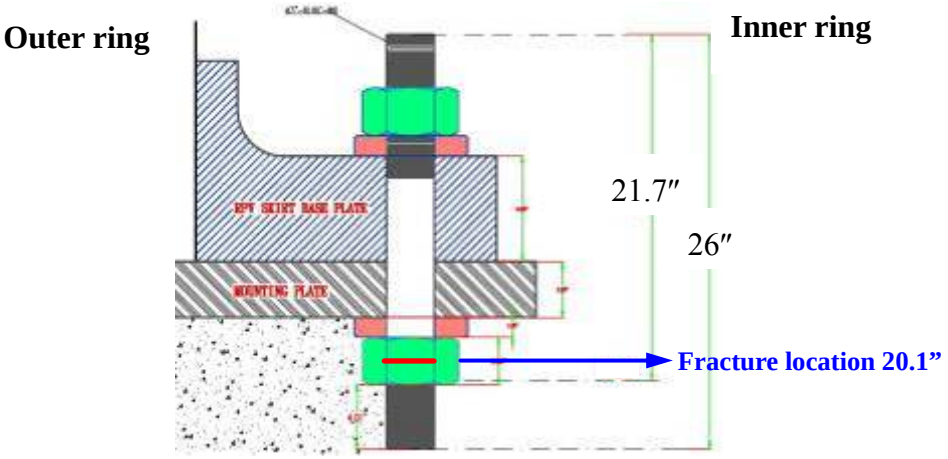


圖 2　　錨定螺栓(B10)結構及斷裂位置示意

3.0 檢驗結果

為澄清 B10 錨定螺栓斷裂成因，核研所進行並完成熱室檢驗結果，內容包含目視檢驗、低倍率斷口觀察、掃描式電子顯微鏡斷口分析、光學金相、微硬度測試及化學成份分析等結果。由於 B10 螺栓並未裂穿，藉相陣列式超音波(Phase array UT)三度空間立體圖標定裂紋位置，以鑽石切割片將未斷之範圍(Ligament)切開至裂紋附近，再經液態氮降溫處理後以敲擊方式分開上、下破斷面。以下就所獲得之結果進行分析、討論，以研判斷裂成因。

3.1 目視檢驗

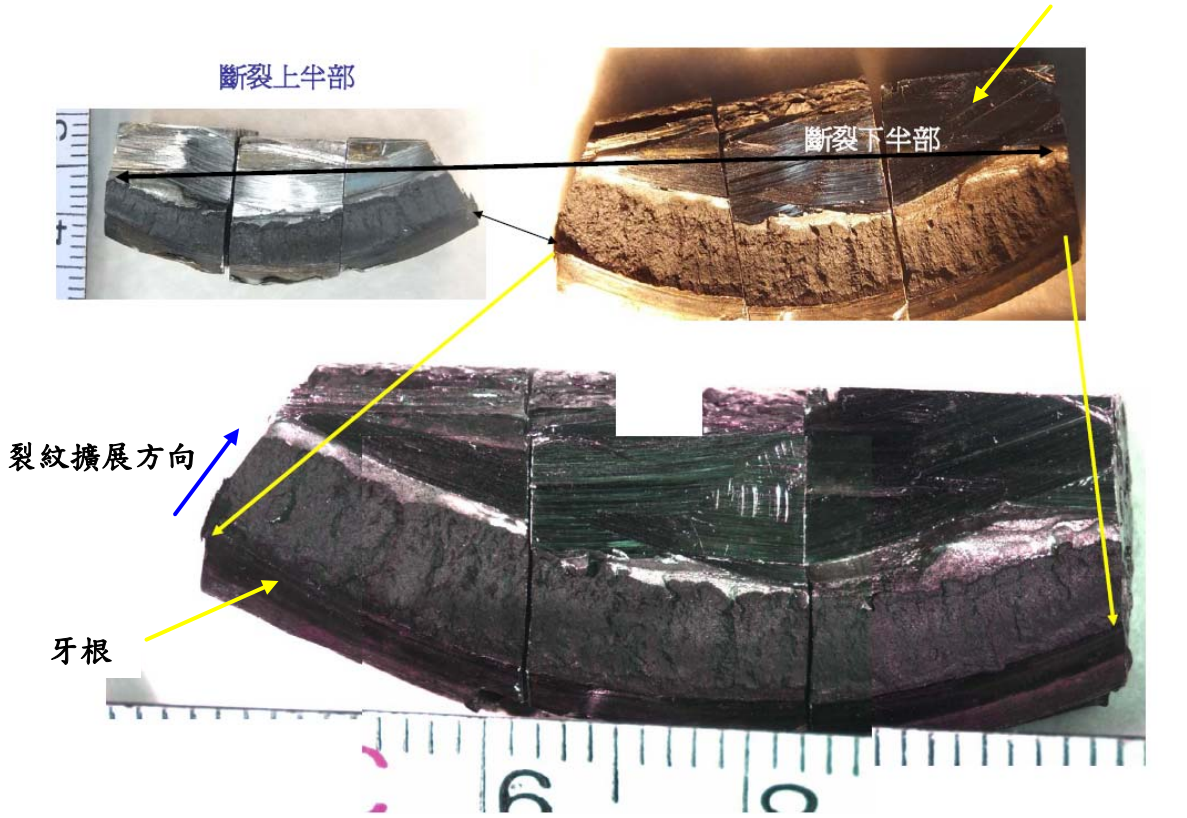


圖 3　錨定螺栓(B10)斷口形貌

圖 3 為 B10 錨定螺栓斷口巨觀形貌(註：圖左、右互為斷口 2 個相對映之半面(Counterparts)，圖中顯示經熱室去污、超音波震盪清理後之斷面形貌)，斷口發生在螺牙根部，斷面呈現黑色。此圖清楚顯示裂紋由圖面中螺牙根部多處起裂源往內延伸，龜裂深度約為 5～6mm，向螺栓內部擴展，裂紋弧長約為 35mm。

3.2 OM/SEM 觀察

圖 4 為圖 3 側面裂紋之觀察，發現裂紋平行於牙面方向生長，且裂紋均出現分枝。平行於牙面方向生長為遭受扭力之特徵；裂紋分枝則為應力腐蝕之現像。圖 5 為圖 4 裂紋之金相，可見短小之二次微裂紋，裂紋上氧化物厚度約為 10～20 μm，顯示裂紋形成已有一段時間。

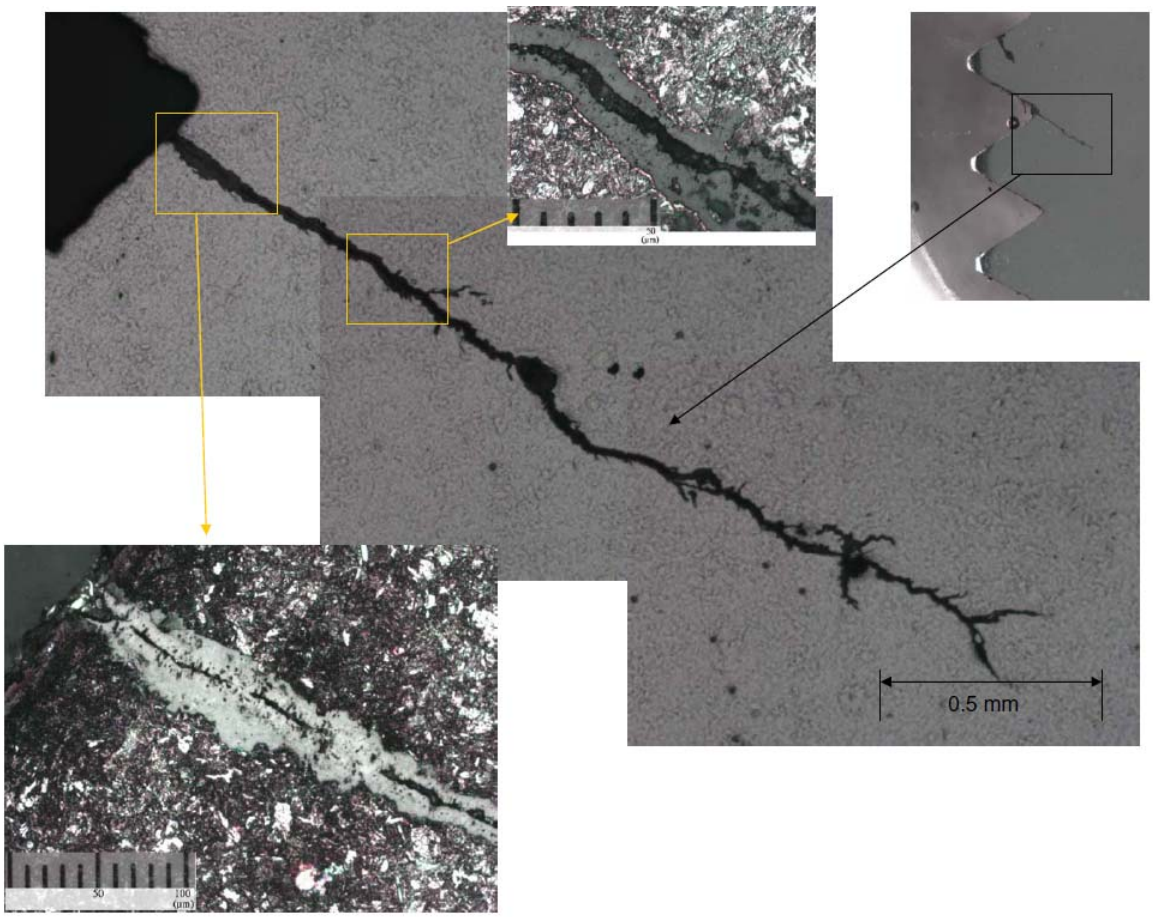


圖 4　　錨定螺栓(B10)圖 3 右側面形貌

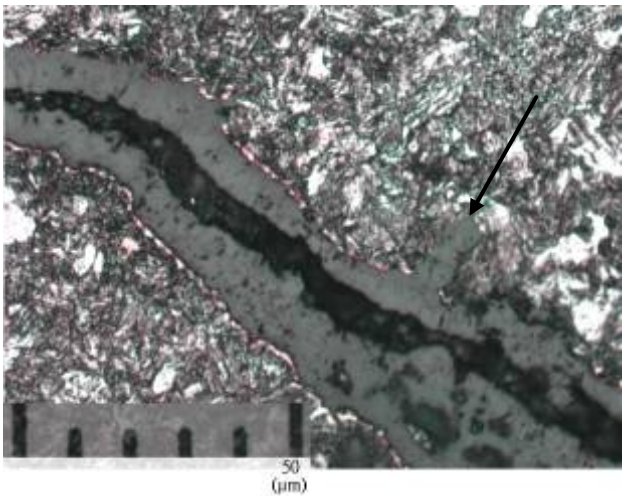


圖 5　錨定螺栓(B10)圖 4 之局部放大，箭頭處為微裂紋

破斷起裂源位置之局部放大，顯示如圖 6，可見許多二次裂紋。以圖 6 I1、I2 與 I3 為新月形(Crescent)之中心，為破壞面之起裂源，圓周可見貝殼紋之紋路。

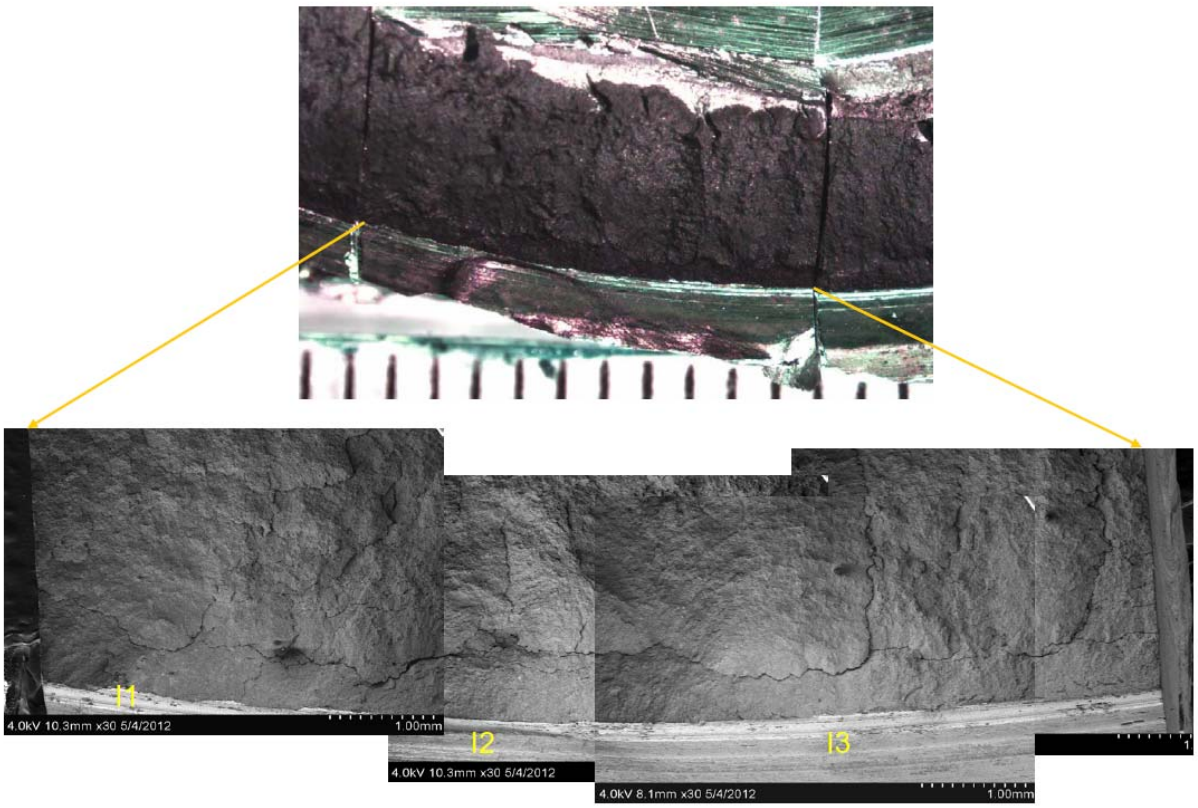
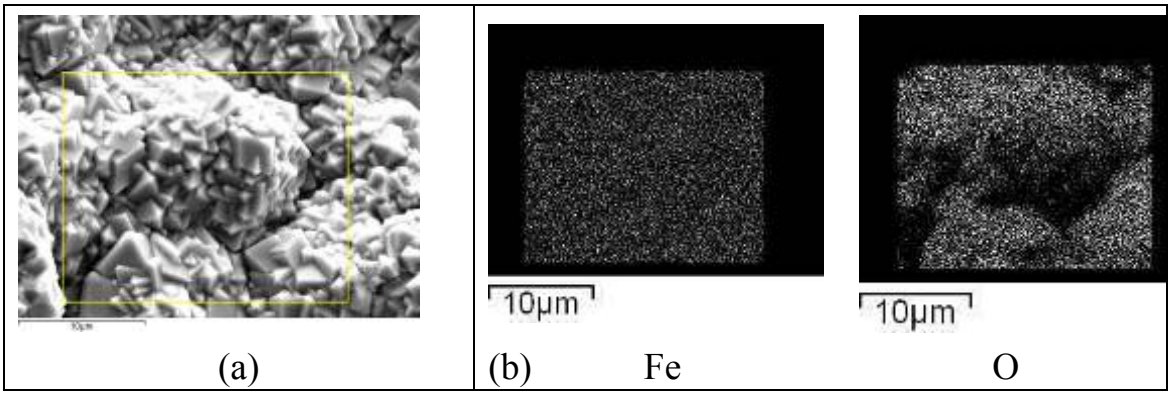


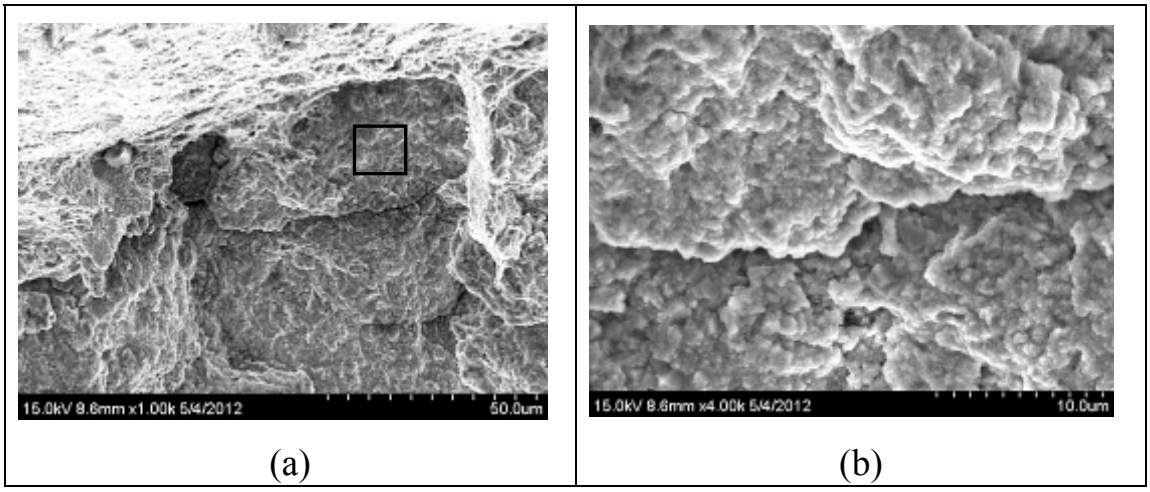
圖 6　錨定螺栓(B10)斷口形貌低倍放大圖，I1、I2 與 I3 為裂紋起源處

圖 6 破斷面上未以酸液清洗前可見尖晶石狀之氧化物如圖 7(a)，經 EDX 以 Mapping 方式鑑定成分如圖 7(b)，均為氧化鐵，以其黑色外觀判斷為 Fe_3O_4 屬於緻密形的氧化物。最後人工破裂交界之放大如圖 8，裂紋擴展區與人工破裂交界處可見韌窩狀組織，裂紋處則滿佈緻密之氧化層。



(a) (b) Fe O

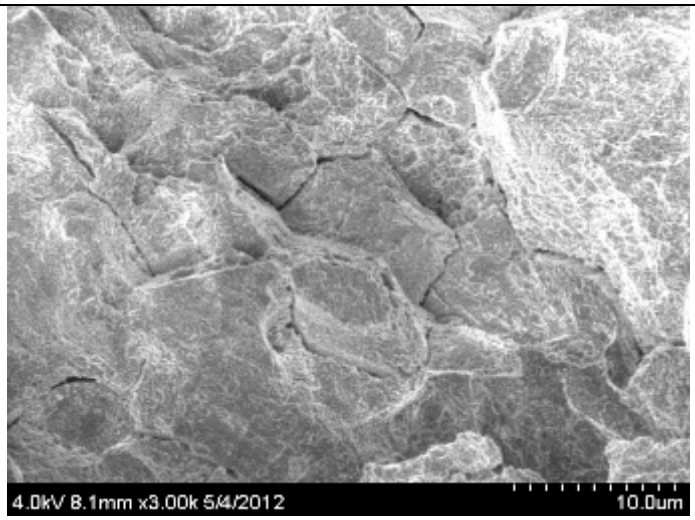
圖 7　破斷面上未酸洗前(a)尖晶石狀之氧化物，(b)Mapping 分析



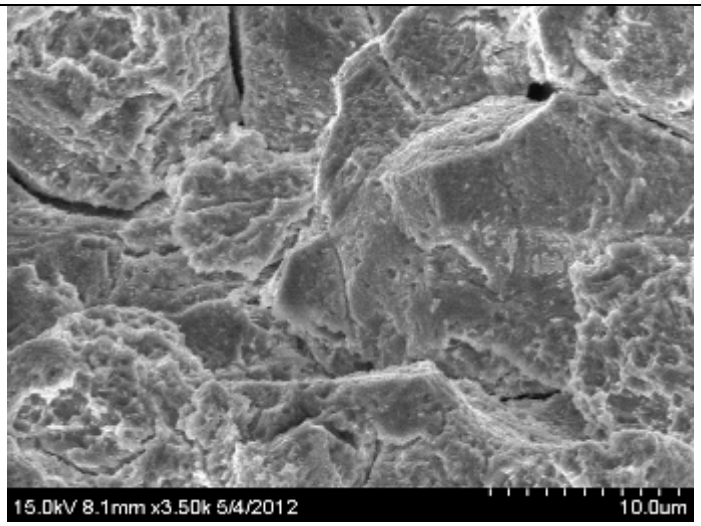
(a) (b)

圖 8　圖 3 破斷面與最後人工破裂交界之放大(a)，氧化物形貌(b)

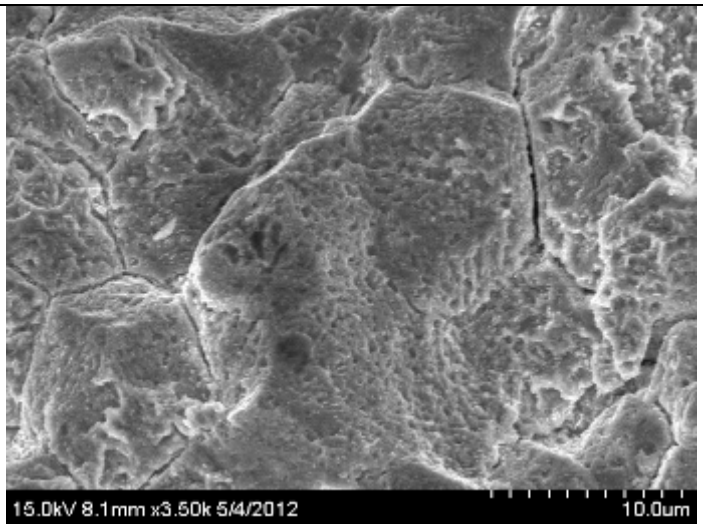
於圖 6 I1、I2 與 I3 處可見許多沿晶特徵如圖 9，遠離起裂源 I1、I2、I3 區之破斷特徵以韌窩組織為主如圖 10(a)，但仍可見沿晶特徵夾雜於韌窩組織之間如圖 10(b)。



(a)



(b)



(c)

圖 9　圖 6 放大圖之沿晶特徵(a) I1，(b) I2，(c) I3

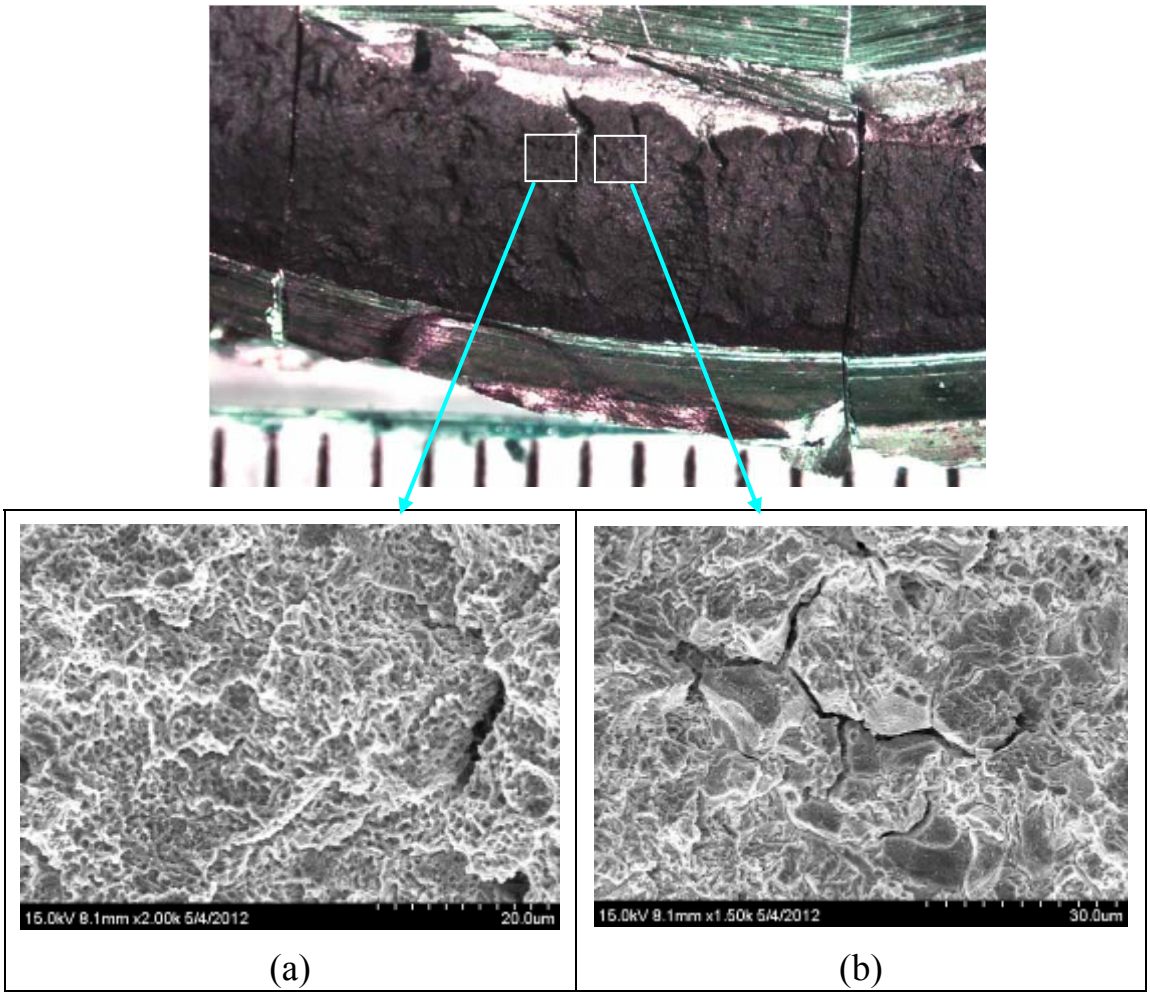


圖 10　遠離圖 6 之 I1，I2，I3 起裂源之破斷特徵(a)韌窩組織，(b)沿晶組織夾雜於韌窩組織中

3.3 微硬度測試

斷裂錨定螺栓機械性質以微硬度測試方法來評估，以確認材質等級。硬度測試區域包含螺栓表層及內部；其中表層測試範圍至少涵蓋表層 10 mm 以內之深度，以確認硬化層之有效深度；螺栓內部係指螺栓 1/2 直徑之部位。

Table 1 Mechanical Property Requirements of ASTM A-540 B23 Bolting Material

Grade	Class	Diameter inch	St MPa/ksi	Sy MPa/ksi	Brinell Hardness (Surface)	
			min	min	min	max
B23 (E-4340-H)	5	to 6, inc	827/120	724/105	248	311
		over 6 to 8, incl	793/115	689/100	255	321
		over 8 to 9 1⁄2, incl	793/115	689/100	262	321
	4	to 3, incl	931/135	827/120	269	341
		over 3 to 6, incl	931/135	827/120	277	352
		over 6 to 9 1⁄2, incl	931/135	827/120	285	363
	3	to 3, incl	1000/145	896/130	293	363
		over 3 to 6, incl	1000/145	896/130	302	375
		over 6 to 9 1⁄2, incl	1000/145	896/130	311	388
	2	to 3, incl	1069/155	965/140	311	388
		over 3 to 6, incl	1069/155	965/140	311	401
		over 6 to 9 1⁄2, incl	1069/155	965/140	321	415
	1	**to 3, incl**	**1138/165**	**1034/150**	**321**	**415**
		over 3 to 6, incl	1138/165	1034/150	331	429
		over 6 to 8, incl	1138/165	1034/150	341	444

表層測試結果平均值(8 測量點)為 HV(surface)349，最高與最低測量值分別為 360 及 342，標準差(deviation, σn)為 6.66；硬度分佈結果顯示，受損錨定螺栓表層下方(測量深度範圍內)硬度值差異不大，說明此斷裂錨定螺栓表層硬化能分佈均勻，且硬化層深度>10 mm。HV(surface)349 硬度相當於 HB331 (Brinell Hardness, Ref. 3)，與表 1 ASME Sec II Part A, SA-540/SA-540M 材質機械性質規範(Ref. 2)比較，確認斷裂錨定螺栓表層硬度值符合規範 B23 Class 1 (Dia.：to 3 inches, included)：HB 321~ 415 之要求。

螺栓內部之硬度測試結果：平均值為 HV(bulk)341.37±10.10，相當於

HB323，構造用鋼之抗拉強度(Ultimate tensile strength, St)與 HB 之關係，根據 Dohmer 準則(Ref. 3)表示如下：

St (psi) = 490 x HB　　for HB>175　　**(1a)**

St (psi) = 515 x HB　　for HB<175　　**(1b)**

依據 Eqn 1(a)得斷裂錨定螺栓抗拉強度(St)

St =490 x 323= 158,270 psi = **158 ksi** = **1092 MPa**

與表 1 機械性質規範比較，上述抗拉強度(St)評估值未達 ASTM 規範 B23 Class 1 最低要求（**1138 MPa**），但低於 RG 1.65：Materials and Inspections for Reactor Vessel Closure Studs 法規限值 **1173MPa/170Ksi** (Ref. 4)。相對 A2、C6、D14 斷裂錨定螺栓而言，B10 斷裂錨定螺栓微硬度測試結果(表層及內部)與抗拉強度評估值均較低。

3.4 化學成份分析

利用感應耦合電漿光譜儀及碳硫分析儀進行斷裂錨定螺栓化學成份分析，分析結果如表 2；表中亦列出 ASTM-A540 B23/B24 化學成份規範(Ref. 2)要求，以資比對。

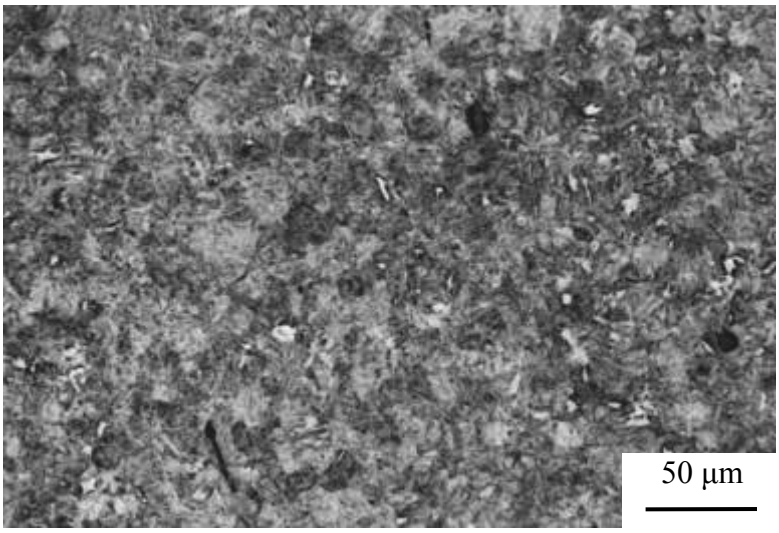
Table 2 Chemical compositions analysis results of the broken anchor bolt

元素	分析結果 (%)	Chemical Requirements (%)		
		B23 (E-4340-H)	B24 (4340 Mod)	B24V (4340 Mod)
C	**0.40**	0.37-0.44	0.37-0.44	0.37-0.44
Mn	**0.68**	0.60-0.95	0.70-0.90	0.60-0.95
P	**0.01**	0.025(max)	0.025(max)	0.025(max)
S	**0.017**	0.025(max)	0.025(max)	0.025(max)
Si	**0.31**	0.15-0.35	0.15-0.35	0.15-0.35
Cr	**0.82**	0.65-0.95	0.70-0.95	0.60-0.95
Ni	**1.82**	1.55-2.00	1.65-2.00	1.55-2.00
Mo	**0.23**	**0.20-0.30**	0.30-0.40	0.40-0.60
V	**<0.004**	……	……	0.04-0.10

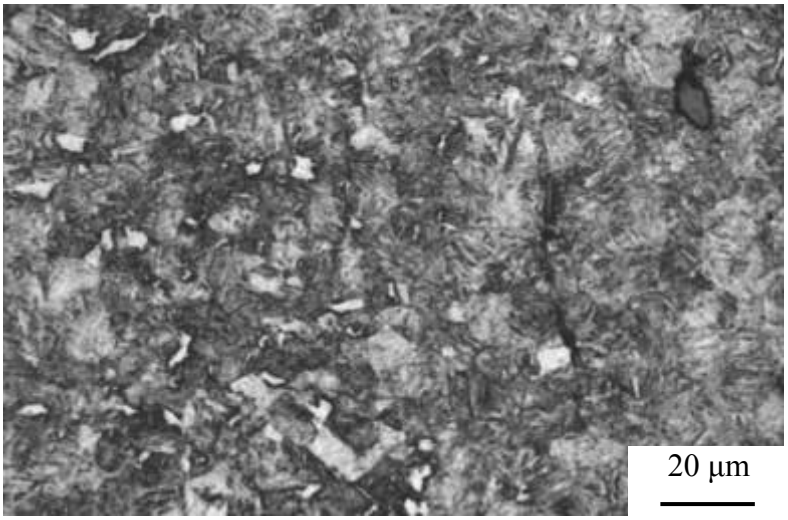
表 2 分析結果中，釩(Vanadium,V)元素微量測量值，可視為測量儀器實驗誤差；C、Si、Mn、P、S、Cr、Ni 等元素測量值，符合 B23/B24 化學成份規範；根據 Mo 化學成份分析結果，確認斷裂錨定螺栓材質為 ASTM A-540 Gr. B23；公稱組成(Nominal composition)為 2Ni-0.75Cr-0.25Mo。

3.5 金相觀察

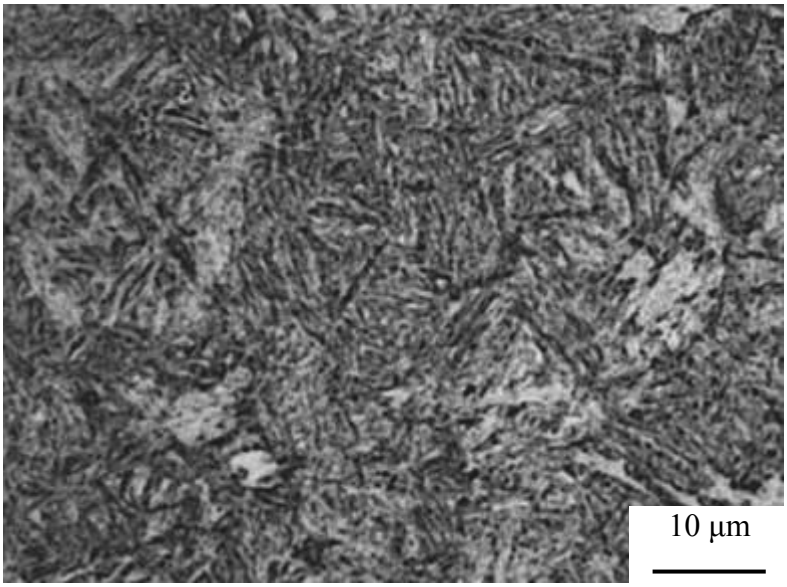
金相觀察試片選自螺栓表層硬化層厚度<10mm 內及螺栓內部(1/2 直徑)之區域，觀察面為垂直斷口之縱切面。圖 11 為螺栓表層硬化層深度內蝕刻後之光學金相，圖(b)、(c)分別為局部放大。圖 11 顯微組織為回火麻田散鐵(Tempered martensite)，基地中有從沃斯田鐵(Austenite)晶粒變態成麻田散鐵之沃斯田鐵晶界(Prior-austenite)。圖 11 中並沒有明顯如 A2 斷裂螺栓內部發現之許多黑色小孔，但仍可見硫化物之夾雜物。



(a)



(b)



(c)

圖 11　B10 之金相組織(a)低倍，(b)中倍，(c)高倍

4.0 肇因分析與討論

依據以上 3.1~3.5 熱室檢驗結果，進行以下 B10 錨定螺栓可能受損肇因之討論與說明。

4.1 肇因分析

4.1.1 負載

由圖 4 裂紋之走向可判斷裂紋受到扭力作用，形成微裂紋。而由裂紋分枝，及斷面上之沿晶破斷特徵可判斷裂紋以沿晶應力腐蝕(IGSCC)形式繼續成核。由於螺栓承受 680kips 之預力，裂紋可能以高負載比(R)之疲勞(Refs. 7 & 8)擴展繼續成長，故除成核區外大致以韌窩組織出現。

4.1.2 材質

化學成份分析結果(表 2)，確認 B10 錨定螺栓為 ASTM A-540 Gr. B23 材質成分為 Class 1 等級，但硬度值接近 ASTM A-540 B23 下限(HB321)，據此求得螺栓抗拉強度為 1092MPa(158Ksi)，略低於 Class 1 等級(1138MPa)。

4.1.2.1 孔洞

B10 錨定螺栓具多處起裂位置，沒有孔洞及其他可分辨之瑕疵，斷面剖面觀察結果亦顯示 B10 斷裂錨定螺栓無孔洞連結形成之微裂紋。

4.1.2.2 夾雜物

3.5 節金相觀察，發現基材中有長條狀夾雜物(Inclusions)，EDX 成分分

析確認該長條狀夾雜物為硫化物。

4.1.2.3 顯微組織

熱處理決定顯微組織，顯微組織決定機械性質，高強度低合金鋼經過適當熱處理(如淬火+回火+低溫應力消除)後，將具有優良之機械強度與韌性，作為 RPV 錨定螺栓之 B10 螺栓，其機械性質必須滿足要求。B10 起裂破壞為脆性沿晶模式，可能 B10 錨定螺栓熱處理不當，造成回火脆性，析出相與熱處理理息息相關，值得進一步分析研究。

4.1.3 環境

核二廠反應爐支撐裙板內側錨定螺栓所在環境為乾井室內環境，運轉期間乾井室內之乾燥高溫條件並不利於沿晶應力腐蝕龜裂之發生，因此需要之環境因素與建廠期間螺栓局部環境有關。由於建廠至反應爐正式商轉前，安裝後之錨定螺栓有一段時間暴露於室外潮濕環境，因此研判此期間為沿晶應力腐蝕龜裂發生之可能時間。

5.0 結論(Conclusions)

總結 1 號機 B10 受損錨定螺栓熱室檢驗結果如下：

1 螺栓斷口位於螺栓下端螺牙，距離螺栓上端頂點 20.1 吋；

2 螺栓斷面較不平坦(相對 A2 錨定螺栓而言)，巨觀破壞型貌顯現多處新月形之裂紋起源；斷面披覆尖晶石結構之鐵黑色沈積物(Fe_3O_4)；

3 螺栓裂紋成長方向平行於螺牙面，顯示遭受扭力所致，裂紋成核處可見脆性沿晶斷裂，斷面上具多處二次裂紋。垂直破斷面之螺牙側面，可見裂紋分枝之應力腐蝕特徵；

4 斷裂螺栓材質化學成分，符合反應爐支撐裙板錨定螺栓 ASTM A-540 Gr. B23 設計規範；

5 斷裂螺栓基材中有長條狀夾雜物，EDX 成分分析確認該長條狀夾雜物為硫化物；

6 螺栓表層微硬度測試結果為 HB331；螺栓內部微硬度測試結果 HB323，接近 ASTM A-540 B23 硬度下限值(HB321)，據此求得螺栓抗拉強度為 1092MPa(158Ksi)，略低於 Class 1 等級(1138MPa)；相對 A2、C6、D14 斷裂錨定螺栓而言，B10 錨定螺栓微硬度測試結果(表層及內部)與抗拉強度相對較低；

7 起裂源及其附近沒有發現孔洞及其他可分辨之瑕疵；

8 主裂面及二次裂紋面皆披覆氧化物，由氧化物形貌研判 B10 錨定螺

栓斷面成形已有相當長之時間；

9 起裂源區域破壞型貌為沿晶破裂，晶面密佈微韌窩，此為脆性拉裂之表徵；此脆性破壞與長條狀硫化物及熱處理(如回火微裂紋)有關；

10 依據裂紋擴展階段韌窩微觀破壞形貌，研判疲勞為合理且可能之主導機制，此疲勞裂紋擴展應力條件為高應力比及高平均應力；

11 B10 錨定螺栓可能受損肇因為安裝不當、材質瑕疵及階段性腐蝕(建廠初期露天環境)；

12 B10 錨定螺栓裂紋萌生機制為軸向預力+非預期外力(安裝因素)造成螺栓(材質因素)開裂；起裂後之裂紋擴展初期可能主導機制為沿晶應力腐蝕龜裂，而後轉為疲勞裂紋擴展機制。

6.0 參考資料(References)

1 台灣電力公司，第二核能發電廠，Containment Internals Reactor Pedestal Liner Plate Sections & Details SH2, Drawing No C-342.

2 ASME Sec II Part A, Specification for Alloy-Steel Bolting Materials for Special Application, SA-540/SA-540M, pp969-981, 1998.

3 林樹均等人編著，材料工程實驗與原理，全華科技圖書股份有限公司，台北，初版，第二章，ISBN 957-21-0044-0，中華民國 88 年 11 月。

4 Regulatory Guide 1.65, Materials and Inspections for Reactor Vessel Closure Studs, Rev 1, April 2010.

5 張中興，核能研究所，核二廠二號機 EOC21 反應爐支撐裙板錨定螺栓斷裂肇因分析總結報告，版次 2，中華民國 101 年 1 月 5 日。

6 C.J. McMahon, Jr., “Mechanisms of intergranular fracture in alloy steels”, Materials Characterization, 26(1991) pp269~287.

7 R.J. Morrissey, D.L. McDowell and T. Nicholas, “Frequency and stress ratio effects in high cycle fatigue of Ti-6Al-4V”, International Journal of Fatigue, 21(1999) pp679~685.

AN EXPLANATION OF JOINT DIAGRAMS

When bolted joints are subjected to external tensile loads, what forces and elastic deformation really exist? The majority of engineers in both the fastener manufacturing and user industries still are uncertain. Several papers, articles, and books, reflecting various stages of research into the problem have been published and the volume of this material is one reason for confusion. The purpose of this article is to clarify the various explanations that have been offered and to state the fundamental concepts which apply to forces and elastic deformations in concentrically loaded joints. The article concludes with general design formulae that take into account variations in tightening, preload loss during service, and the relation between preloads, external loads and bolt loads.

The Joint Diagram

Forces less than proof load cause elastic strains. Conversely, changes in elastic strains produce force variations. For bolted joints this concept is usually demonstrated by joint diagrams.

The most important deformations within a joint are elastic bolt elongation and elastic joint compression in the axial direction. If the bolted joint in Fig. 1 is subjected to the preload F_i the bolt elongates as shown by the line OB in Fig. 2A and the joint compresses as shown by the line OJ. These two lines, representing the spring characteristics of the bolt and joint, are combined into one diagram in Fig. 2B to show total elastic deformation.

If a concentric external load F_e is applied under the bolt head and nut in Fig. 1, the bolt elongates an additional amount while the compressed joint members partially relax. These changes in deformation with external loading are the key to the interaction of forces in bolted joints.

In Fig. 3A the external load F_e is added to the joint diagram Fe is located on the diagram by applying the upper end to an extension of OB and moving it in until the lower end contacts OJ. Since the total amount of elastic deformation (bolt plus joint) remains constant for a given preload, the external load changes the total bolt elongation to $\Delta l_B + \lambda$ and the total joint compression to $\Delta l_J - \lambda$.

In Fig. 3B the external load F_e is divided into an additional bolt load F_{eB} and the joint load F_{eJ}, which unloads the compressed joint members. The maximum bolt load is the sum of the load preload and the additional bolt load:

$$F_{B\,max} = F_i + F_{eB}$$

If the external load Fe is an alternating load, F_{eB} is that part of F_e working as an alternating bolt load, as shown in Fig. 3B. This joint diagram also illustrates that the joint absorbs more of the external load than the bolt subjected to an alternating external load.

The importance of adequate preload is shown in Fig. 3C. Comparing Fig. 3B and Fig. 3C, it can be seen that F_{eB} will remain relatively small as long as the preload F_i is greater than F_{eJ}. Fig. 3C represents a joint with insufficient preload. Under this condition, the amount of external load that the joint can absorb is limited, and the excess load must then be applied to the bolt. If the external load is alternating, the increased stress levels on the bolt produce a greatly shortened fatigue life.

When seating requires a certain minimum force or when transverse loads are to be transformed by friction, the minimum clamping load $F_{J\,min}$ is important.

$$F_{J\,min} = F_{B\,max} - F_e$$

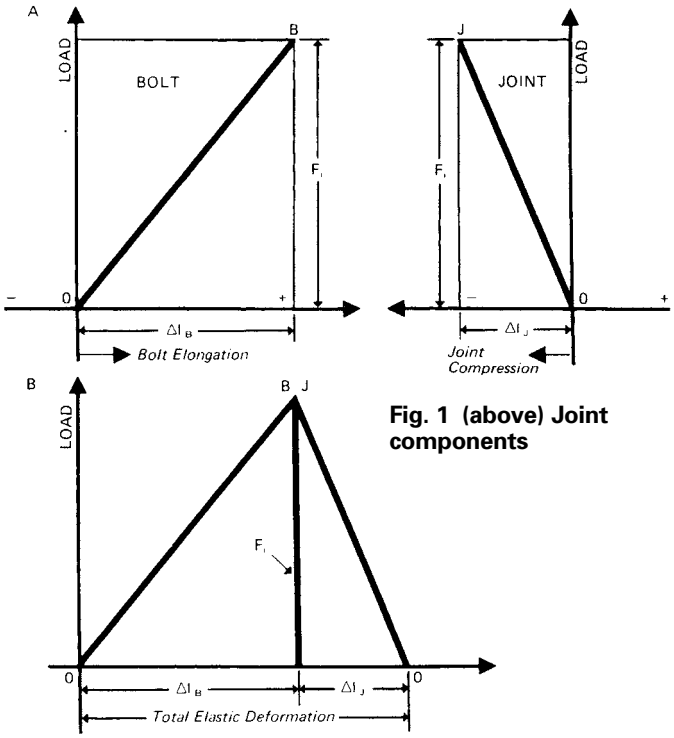


Fig. 1 (above) Joint components

Fig. 2 Joint diagram is obtained by combining load vs. deformation diagrams of bolt and joints.

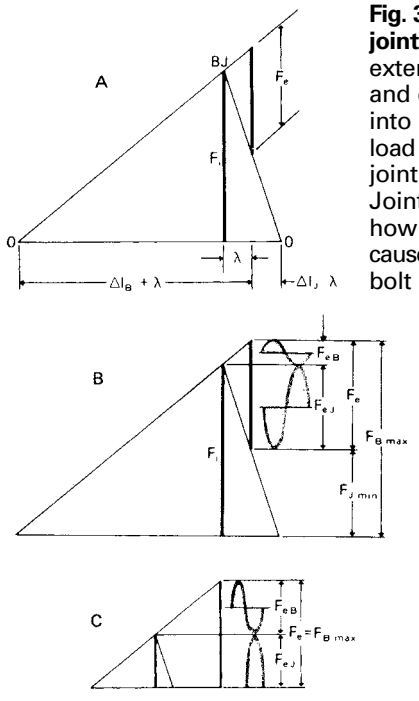


Fig. 3 The complete simple joint diagrams show external load F_e added (A), and external load divided into an additional bolt load F_{eB} and reduction in joint compression F_{eJ} (B). Joint diagram (C) shows how insufficient preload F_i causes excessive additional bolt load F_{eB}.

Spring Constants

To construct a joint diagram, it is necessary to determine the spring rates of both bolt and joint. In general, spring rate is defined as:

$$K = \frac{F}{\Delta l}$$

From Hook's law:

$$\Delta l = \frac{lF}{EA}$$

Therefore:

$$K = \frac{EA}{l}$$

To calculate the spring rate of bolts with different cross sections, the reciprocal spring rates, or compliances, of each section are added:

$$\frac{1}{K_B} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \ldots . + \frac{1}{K_n}$$

Thus, for the bolt shown in Fig. 4:

$$\frac{1}{K_B} = \frac{1}{E}\left(\frac{0.4d}{A_1} + \frac{l_1}{A_1} + \frac{l_2}{A_2} + \frac{l_3}{A_m} + \frac{0.4d}{A_m}\right)$$

where

d = the minor thread diameter and

A_m = the area of the minor thread diameter

This formula considers the elastic deformation of the head and the engaged thread with a length of 0.4d each.

Calculation of the spring rate of the compressed joint members is more difficult because it is not always obvious which parts of the joint are deformed and which are not. In general, the spring rate of a clamped part is:

$$K_J = \frac{EA_S}{l_J}$$

where A_s is the area of a substitute cylinder to be determined.

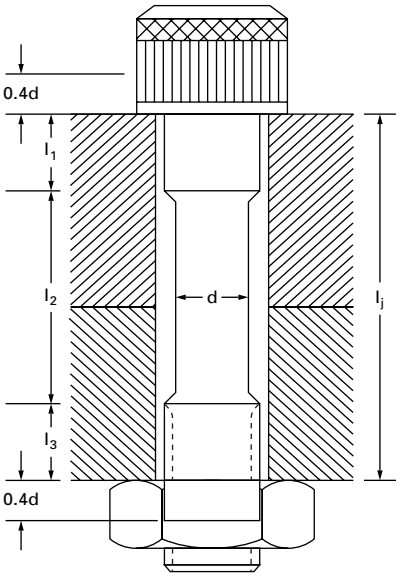


Fig. 4 Analysis of bolt lengths contributing to the bolt spring rate.

When the outside diameter of the joint is smaller than or equal to the bolt head diameter, i.e.,as in a thin bushing, the normal cross sectioned area is computed:

$$A_s = \frac{\pi}{4}(D_c^2 - D_h^2)$$

where

D_c = OD of cylinder or bushing and

D_h = hole diameter

When the outside diameter of the joint is larger than head or washer diameter D_H, the stress distribution is in the shape of a barrel, Fig 5. A series of investigations proved that the areas of the following substitute cylinders are close approximations for calculating the spring contents of concentrically loaded joints.

When the joint diameter D_J is greater than D_H but less than $3D_H$;

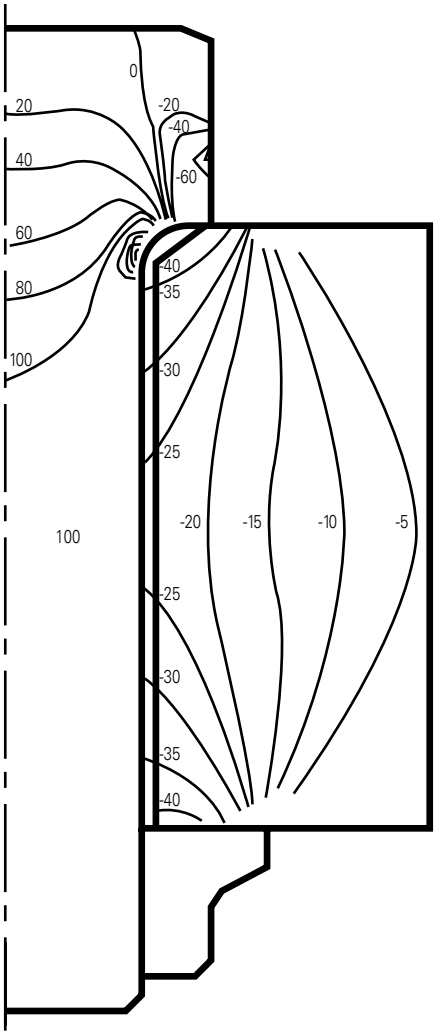


Fig. 5 Lines of equal axial stresses in a bolted joint obtained by the axisymmetric finite element method are shown for a 9/16–18 bolt preloaded to 100 KSI. Positive numbers are tensile stresses in KSI; negative numbers are compressive stresses in KSI.

$$A_s = \frac{\pi}{4}(D_H^2 - D_h^2) + \frac{\pi}{8}\left(\frac{D_J}{DH} - 1\right)\left(\frac{D_H l_J}{5} + \frac{l_J^2}{100}\right)$$

When the joint diameter D_J is equal to or greater than $3D_H$:

$$A_s = \frac{\pi}{4}[(D_H + 0.1\ l_J)^2 - D_h^2]$$

These formulae have been verified in laboratories by finite element method and by experiments.

Fig. 6 shows joint diagrams for springy bolt and stiff joint and for a stiff bolt and springy joint. These diagrams demonstrate the desirability of designing with springy bolt and a stiff joint to obtain a low additional bolt load F_{eB} and thus a low alternating stress.

The Force Ratio

Due to the geometry of the joint diagram, Fig. 7,

$$F_{eB} = \frac{F_e K_B}{K_B + K_J}$$

Defining $\Phi = \frac{K_B}{K_B + K_J}$

$F_{eB} = F_e\Phi$ and
Φ, called the Force Ratio, $= \frac{F_{eB}}{F_e}$

For complete derivation of Φ, see Fig. 7.

To assure adequate fatigue strength of the selected fastener the fatigue stress amplitude of the bolt resulting from an external load F_e is computed as follows:

$$\sigma_B = \pm \frac{F_{eB}/2}{A_m} \quad \text{or}$$

$$\sigma_B = \pm \frac{\Phi F_e}{2 A_m}$$

Effect of Loading Planes

The joint diagram in Fig 3, 6 and 7 is applicable only when the external load F_e is applied at the same loading planes as the preloaded F_i, under the bolt head and the nut. However, this is a rare case, because the external load usually affects the joint somewhere between the center of the joint and the head and the nut.

When a preloaded joint is subjected to an external load F_e at loading planes 2 and 3 in Fig. 8, F_e relieves the compression load of the joint parts between planes 2 and 3. The remainder of the system, the bolt and the joint parts between planes 1-2 and 3-4, feel additional load due to F_e applied planes 2 and 3, the joint material between planes 2 and 3 is the clamped part and all other joint members, fastener and remaining joint material, are clamping parts. Because of the location of the loading planes, the joint diagram changes from black line to the blue line. Consequently, both the additional bolt load $F_{B\,max}$ decrease significantly when the loading planes of F_e shift from under the bolt head and nut toward the joint center.

Determination of the length of the clamped parts is, however, not that simple. First, it is assumed that the external load is applied at a plane perpendicular to the bolt axis. Second, the distance of the loading planes from each other has to be estimated. This distance may be expressed as the ratio of the length of clamped parts to the total joint length. Fig. 9 shows the effect of two different loading planes on the bolt load, both joints having the same preload F_i and the same external load F_e. The lengths of the clamped parts are estimated to be $0.75 l_J$ for joint A, and $0.25 l_J$ for joint B.

In general, the external bolt load is somewhere between $F_{eB} = 1\Phi F_e$ for loading planes under head and nut and $F_{eB} = 0\Phi F_e = 0$ when loading planes are in the joint center, as shown in Fig. 10. To consider the loading planes in calculations, the formula:

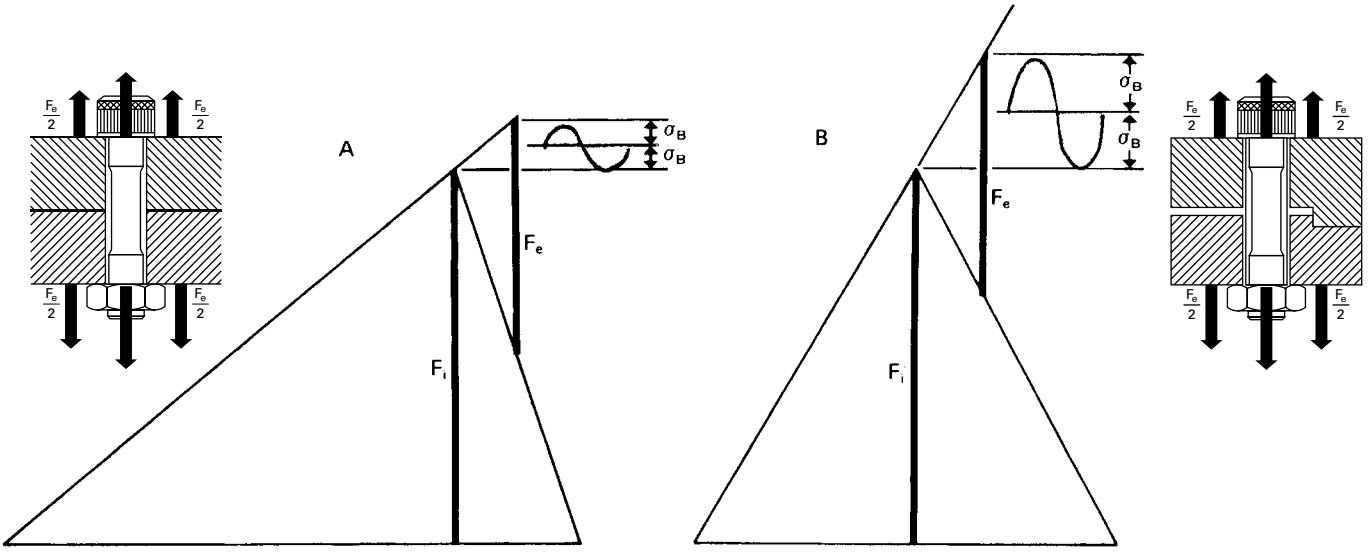


Fig. 6 Joint diagram of a springy bolt in a stiff joint (A), is compared to a diagram of a stiff bolt in a springy joint (B). Preload F_i and external load F_e are the same but diagrams show that alternating bolt stresses are significantly lower with a spring bolt in a stiff joint.

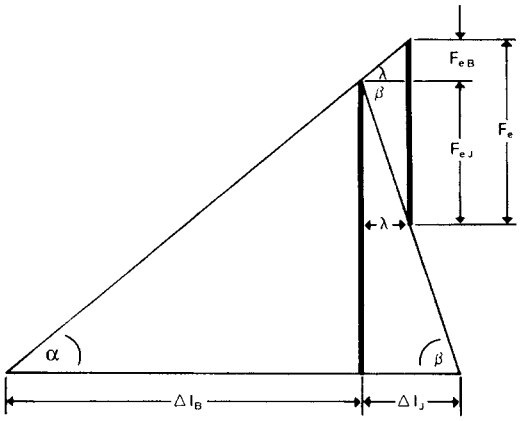


Fig. 7 Analysis of external load F_e and derivation of Force Ratio Φ.

$$\tan\alpha = \frac{F_i}{\Delta l_B} = K_B \text{ and } \tan\beta = \frac{Fi}{\Delta l_J} = K_J$$

$$\lambda = \frac{F_{eB}}{\tan\alpha} = \frac{F_{eJ}}{\tan\beta} = \frac{FeB}{K_B} = \frac{F_{eJ}}{K_J} \quad \text{or}$$

$$F_{eJ} = \lambda \tan\beta \text{ and } F_{eB} = \lambda \tan\alpha$$

Since $F_e = F_{eB} + F_{eJ}$

$F_e = F_{eB} + \lambda \tan\beta$

Substituting $\frac{F_{eB}}{\tan\alpha}$ for λ produces:

$$F_e = F_{eB} + \frac{F_{eB}\tan\beta}{\tan\alpha}$$

Multiplying both sides by tan α:

$F_e \tan\alpha = F_{eB}(\tan\alpha + \tan\beta)$ and

$$F_{eB} = \frac{F_e \tan\alpha}{\tan\alpha \tan\beta}$$

Substituting K_B for tan α and K_J for tan β

$$F_{eB} = F_e \frac{F_B}{K_B + K_J}$$

Defining $\Phi = \frac{K_B}{K_B + K_J}$

$F_{eB} = \Phi F_e$

$\Phi = \frac{F_{eB}}{F_e}$ and it becomes obvious why Φ is called force ratio.

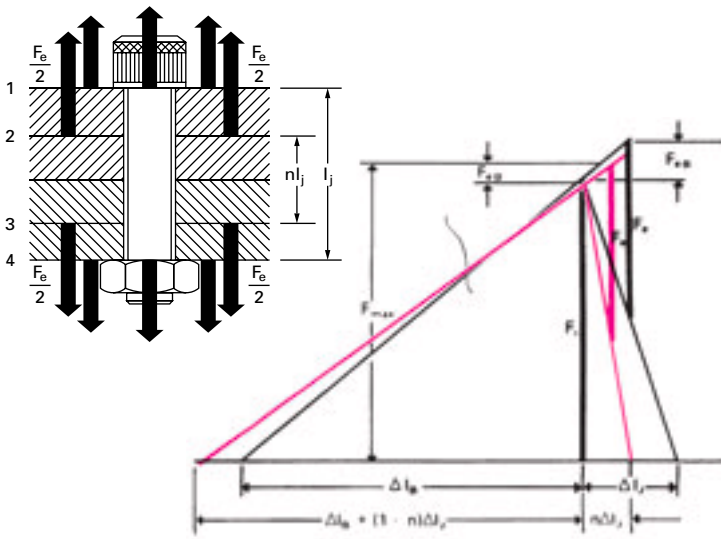


Fig. 8 Joint diagram shows effect of loading planes of F_e on bolt loads F_{eB} and $F_{B\,max}$. Black diagram shows F_{eB} and $F_{B\,max}$ resulting from F_e applied in planes 1 and 4. Orange diagram shows reduced bolt loads when Fe is applied in planes 2 and 3.

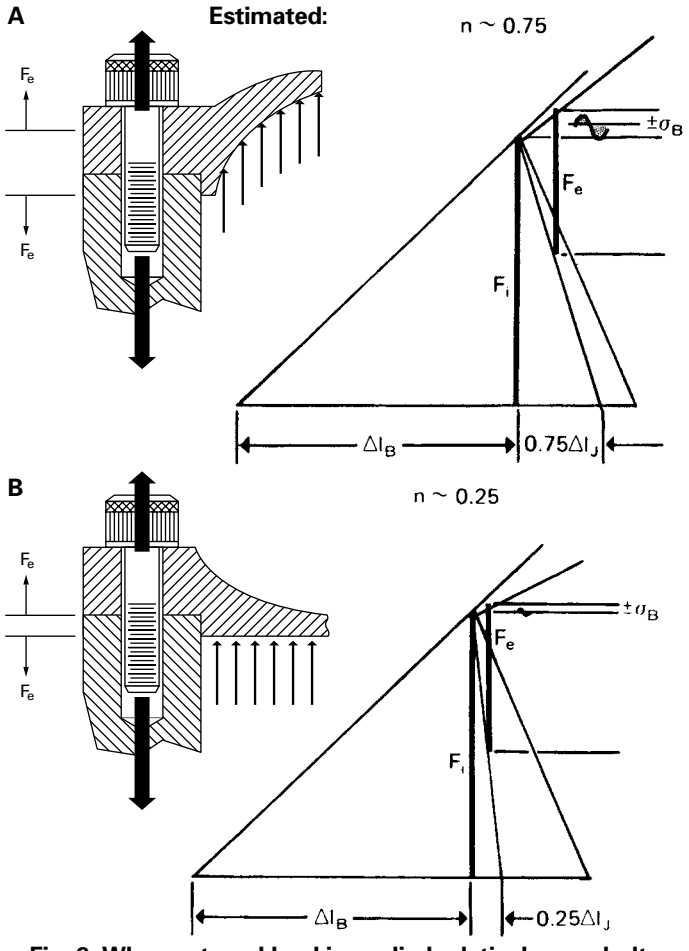


Fig. 9 When external load is applied relatively near bolt head, joint diagram shows resulting alternating stress α_B (A). When same value external load is applied relatively near joint center, lower alternating stress results (B).

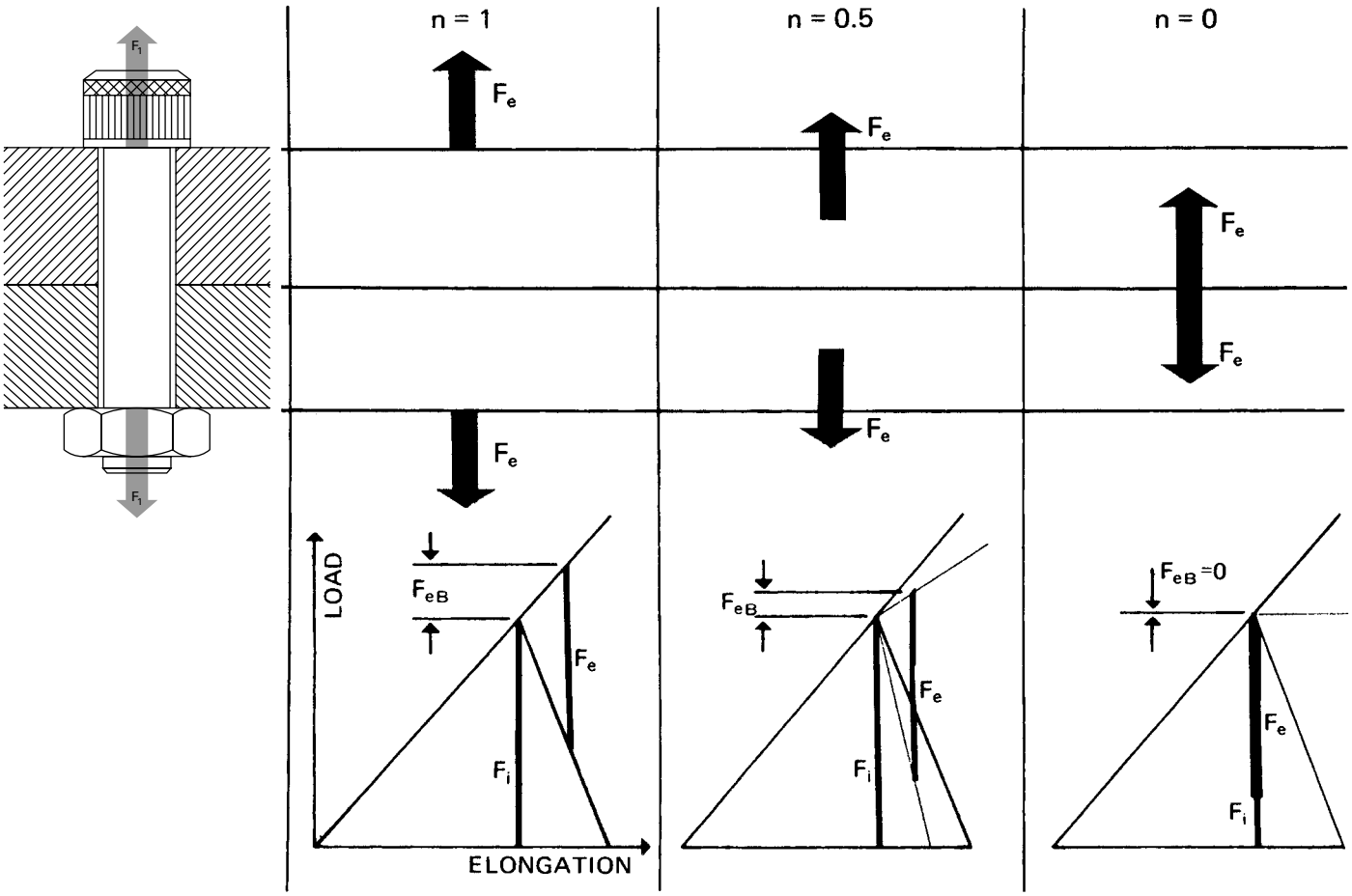


Fig. 10 Force diagrams show the effect of the loading planes of the external load on the bolt load.

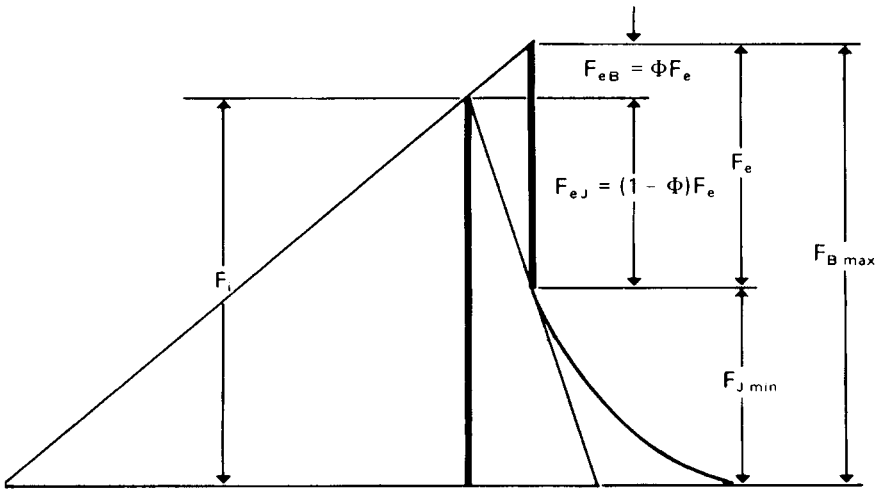


Fig. 11 Modified joint diagram shows nonlinear compression of joint at low preloads.

$F_{eB} = \Phi F_e$ must be modified to :

$F_{eB} = n \Phi F_e$

where n equals the ratio of the length of the clamped parts due to F_e to the joint length l_j. The value of n can range from 1, when F_e is applied under the head and nut, to O, when F_e is applies at the joint center. Consequently the stress amplitude:

$\sigma_B = \pm \frac{\Phi F_e}{2 A_m}$ becomes

$\sigma_B = \pm \frac{n \Phi F_e}{2 A_m}$

General Design Formulae

Hitherto, construction of the joint diagram has assumed linear resilience of both bolt and joint members. However, recent investigations have shown that this assumption is not quite true for compressed parts.

Taking these investigations into account, the joint diagram is modified to Fig. 11. The lower portion of the joint spring rate is nonlinear, and the length of the linear portion depends on the preload level F_i. The higher F_i the longer the linear portion. By choosing a sufficiently high minimum load, $F_{min}>2F_e$, the non-linear range of the joint spring rate is avoided and a linear relationship between F_{eB} and F_e is maintained.

Also from Fig. 11 this formula is derived:

$F_{i\,min} = F_{J\,min} + (1 - \Phi) F_e + \Delta F_i$

where ΔF_i is the amount of preload loss to be expected. For a properly designed joint, a preload loss $\Delta F_i = -$ (0.005 to 0.10) F_i should be expected.

The fluctuation in bolt load that results from tightening is expressed by the ratio:

$a = \frac{F_{i\,max}}{F_{i\,min}}$

where a varies between 1.25 and 3.0 depending on the tightening method.

Considering a the general design formulae are:

$F_{i\,nom} = F_{J\,min} = (1 - \Phi) F_e$

$F_{i\,max} = a [F_{j\,min} + (1 - \Phi) F_e + \Delta F_i]$

$F_{B\,max} = a [F_{j\,min} + (1 - \Phi) F_e + \Delta F_i] + \Phi F_e$

Conclusion

The three requirements of concentrically loaded joints that must be met for an integral bolted joint are:

1. The maximum bolt load FB max must be less than the bolt yield strength.

2. If the external load is alternating, the alternating stress must be less than the bolt endurance limit to avoid fatigue failures.

3. The joint will not lose any preload due to permanent set or vibration greater than the value assumed for ΔF_i .

SYMBOLS

A	Area (in.^{2})
Am	Area of minor thread diameter (in.^{2})
A_s	Area of substitute cylinder (in.^{2})
A_x	Area of bolt part 1_x (in.^{2})
d	Diameter of minor thread (in.)
D_c	Outside diameter of bushing (cylinder) (in.)
D_H	Diameter of Bolt head (in.)
D_h	Diameter of hole (in.)
D_J	Diameter of Joint
E	Modulus of Elasticity (psi)
F	Load (lb)
F_e	External load (lb.)
F_{eB}	Additinal Bolt Load due to external load (lb)
F_{eJ}	Reduced Joint load due to external load (lb)
F_i	Preload on Bolt and Joint (lb)
ΔF_i	Preload loss (–lb)
$F_{i\,min}$	Minimum preload (lb)
$F_{i\,max}$	Maximum preload (lb)
$F_{j\,nom}$	Nominal preload (lb)
$F_{B\,max}$	Maximum Bolt load (lb)
$F_{J\,min}$	Minimum Joint load (lb)
K	Spring rate (lb/in.)
K_B	Spring rate of Bolt (lb/in.)
K_J	Spring rate of Joint (lb/in.)
K_x	Spring rate of Bolt part l_x (lb/in.)
l	Length (in.)
Δl	Change in length (in.)
l_B	Length of Bolt (in.)
Δl_B	Bolt elongation due to F_i (in.)
l_J	Length of Joint (in.)
Δl_J	Joint compression to F_i (in.)
l_x	Length of Bolt part x (in.)
n	$\frac{\text{Length of clamped parts}}{\text{Total Joint Length}}$
α	Tightening factor
Φ	Force ratio
λ	Bolt and Joint elongation due to F_e (in.)
σ_B	Bolt stress amplitude (± psi)

附件11

Acta metall. Vol. 35, No. 7, pp. 1415–1432, 1987
Printed in Great Britain. All rights reserved

0001-6160/87 $3.00 + 0.00
Copyright © 1987 Pergamon Journals Ltd

FATIGUE CRACK GROWTH BEHAVIOR OF 4340 STEELS

P. K. LIAW and T. R. LEAX
Materials Analysis Department, Westinghouse R&D Center, Pittsburgh, PA 15235, U.S.A.

and

J. K. DONALD†
Professional Service Group Inc., Hellertown, PA 18055, U.S.A.

(*Received* 30 *May* 1986; *in revised form* 1 *December* 1986)

Abstract—Fatigue crack growth behavior of 4340 steels was investigated in four gaseous environments; laboratory air, wet hydrogen, dry hydrogen and dry helium. Specimen orientation does not affect crack propagation rate results. The effects of R-ratio (load ratio) and environment on crack growth rate properties are interrelated. Increasing R-ratio increases the rates of near-threshold crack propagation. Nevertheless, the effect of R-ratio on crack growth rates in air is much more significant than that in the two dry environments. Interestingly, the R-ratio effect in wet hydrogen is comparable to that in dry environments. At an R-ratio of 0.1, the rates of crack propagation in air are slower than those in dry environments while crack growth rates are essentially identical in wet hydrogen and dry environments. Increasing R-ratio was found to decrease the environmental effect. Furthermore, increasing yield strength from 700 to 1040 MPa does not affect crack propagation behavior. While surface roughness-induced crack closure is thought to be minimal in affecting gaseous-environment near-threshold crack growth behavior of 4340 steels, oxide-induced crack closure governs crack propagation kinetics. It is suggested that in moisture-containing environments, thick oxide deposits measured on fracture surfaces may not result in high crack closure levels. Nevertheless, oxide-induced crack closure rationalized the effects of R-ratio and environment on near-threshold crack growth rate properties. Furthermore, hydrogen embrittlement is believed not to play an important role in influencing wet-hydrogen environment near-threshold crack propagation behavior. At higher ΔK levels (≥ 12 MPa$\sqrt{m}$), an "intrinsic" dry hydrogen effect seems to be present, and crack closure, however, cannot account for the environmental effect.

Résumé—Nous avons étudié la croissance des fissures de fatigue dans les aciers 4340 dans quatre environnements gazeux: air ambiant, hydrogène humide, hydrogène sec et hélium sec. L'orientation des échantillons n'affecte pas les résultats concernant la vitesse de propagation des fissures. Les effets du rapport R (rapport de charge) et de l'environnement sur les propriétés de la vitesse de croissance des fissures sont liés: le fait d'accroître R augmente les vitesses de propagation des fissures près du seuil. Cependant, l'effet de R sur les vitesses de croissance des fissures est beaucoup plus important dans l'air que dans les deux environnements secs. Il est intéressant de noter que l'effet de R dans l'hydrogène humide est comparable à celui que l'on oberve dans les environnements secs. Pour un rapport R égal à 0,1, les vitesses de propagation des fissures dans l'air sont inférieures aux vitesses dans les environnements secs, alors que les vitesses de propagation sont pratiquement identiques dans l'hydrogène humide et dans les environnements secs. Le fait d'accroître R diminue l'effet de l'environnement. En outre, le fait d'accroître la limite de contrainte de 700 à 1040 MPa n'a pas d'effet sur la propagation des fissures. Alors que l'on pense que la fermeture des fissures induites par les irrégularités de surface a un effet minime sur la croissance des fissures près du seuil, en atmosphère gazeuse, dans les aciers 4340, la fermeture des fissures induite par l'oxydation gouverne la cinétique de propagation des fissures. Nous suggérons que dans des atmosphères contenant de l'humidité, les dépôts épais d'oxyde que l'on mesure sur les surfaces de rupture ne provoquent peut-être pas une importante fermeture des fissures. Cependant, la fermeture des fissures induite par l'oxyde rationalise les effets de R et de l'environnement sur la vitesse de croissance des fissures près du seuil. En outre, nous pensons que la fragilisation par l'hydrogène n'a pas une influence très importante sur la propagation des fissures près du seuil en atmosphère d'hydrogène humide. Pour des niveaux ΔK plus élevés (≥ 12 MPa$\sqrt{m}$), un effet intrinsèque de l'hydrogène sec semble se manifester, mais la fermeture des fissures ne peut pourtant pas rendre compte de l'effet de l'environnement.

Zusammenfassung—Das Rißwachstumsverhalten in 4340-Stählen wurde für vier Gasatmosphären untersucht: Laborluft, feuchter Wasserstoff, trockener Wasserstoff und trockenes Helium. Die Orientierung der Proben beeinflußt die Ergebnisse über die Rißausbreitungsgeschwindigkeit nicht. Die Einflüsse des R-Verhältnisses (Lastverhältnis) und der Umgebung auf die Rißwachstumsgeschwindigkeit hängen miteinander zusammen. Ansteigendes R-Verhältnis erhöht die Geschwindigkeit der Rißausbreitung in der Nähe der Schwelle. Jedoch ist der Einfluß des R-Verhältnisses auf die Rißgeschwindigkeiten in Luft viel deutlicher als in den beiden trockenen Gasen. Es ist interessant, daß der Einfluß des R-Verhältnisses in

†Present address: Fracture Technology Associates, Star Route, Pleasant Valley, PA 18951, U.S.A.

feuchtem Wasserstoff dem in trockenen Gasen vergleichbar ist. Bei einem R-Verhältnis von 0,1 sind die Rißgeschwindigkeiten in Luft kleiner als in den trockenen Gasen, wohingegen die Rißwachstumsraten in feuchtem Wasserstoff und den trockenen Gasen im wesentlichen gleich sind. Mit ansteigendem R-Verhältnis nimmt der Umgebungseinfluß ab. Außerdem wird das Rißausbreitungsverhalten nicht beeinflußt, wenn die Fließgrenze von 700 auf 1040 MPa steigt. Während die durch die Oberflächenrauhigkeit bedingte Rißschließung das Rißwachstumsverhalten in der Nähe der Schwelle im gasförmigen Medium nur wenig beeinflussen sollte, bestimmt die Oxid-induzierte Rißschließung die Rißausbreitungskinetik in 4340-Stählen. Es wird vorgeschlagen, daß in feuchter Umgebung die auf Bruchoberflächen gemessenen dicken Oxidschichten nicht zu hohen Rißschließungsniveaus führen. Dennoch erklärte die Oxid-induzierte Rißschließung den Einfluß von R-Verhältnis und Umgebung auf die Eigenschaften der Rißwachstumsrate in der Nähe der Schwelle. Außerdem glaubt man, daß die Wasserstoffversprödung keine wichtige Rolle bei der Beeinflussung des Rißausbreitungsverhaltens in der Nähe der Schwelle in feuchtem Wasserstoff spielt. Bei höheren ΔK-Werten ($\geq 12\,\mathrm{MPa}\sqrt{m}$) scheint ein "intrinsischer" Trockenwasserstoff-effekt vorzuliegen, die Rißschließung kann jedoch den Umgebungseinfluß nicht erklären.

1. INTRODUCTION

Fatigue crack propagation rate properties are essential for developing a life prediction methodology of machine components which experience cyclic loadings. In particular, near-threshold crack growth rate data are of vital importance for estimating the fatigue life of a structural component which is subjected to low-amplitude and high-frequency loadings. The rates of near-threshold crack propagation are very sensitive to load ratio ($R = P_{min}/P_{max}$ where P_{min} and P_{max} are the applied minimum and maximum loads, respectively), environment and microstructure [1–21]. Thus, fatigue crack growth rate properties have to be developed in closely-simulated service conditions so that accurate life predictions can be made.

In this investigation, gaseous-enviroment fatigue crack propagation rate testing was conducted on a 4340 steel. The effects of R-ratio and environment on crack growth rates were emphasized. Crack closure measurements were performed to understand gaseous-environment near-threshold crack growth kinetics. In addition, previous results [21] on a lower-strength 4340 steel are included for comparison with the present steel.

2. EXPERIMENTAL

2.1. Material

The material investigated is a quenched and tempered 4340 steel. The chemical composition (wt%) of this steel is 0.43 C, 0.012 S, 0.67 Mn, 0.006 P, 0.29 Si, 0.72 Cr, 1.72 Ni, 0.23 Mo, 0.02 V and balance Fe. Tensile properties of the present steel are listed in Table 1 which also includes the 4340 steel studied previously [21]. The yield strength level of the present steel is approximately equal to 1034 MPa which is larger than that of 700 MPa for the previous steel. Both steels have a microstructure of tempered martensite.

2.2. Fatigue crack growth testing

Two sizes of compact type (CT) specimens, 50.8 mm wide × 61 mm high × 11.4 mm thick or 38.1 mm wide × 45.7 mm high × 11.4 mm thick, were used to develop fatigue crack growth rate properties. The CT specimens machined from 4340 steel rings had two orientations; i.e. CR and LR-RL per ASTM E399 Standard [22] (see Fig. 1). Because of the limitation in the overall dimensions of the steel rings,

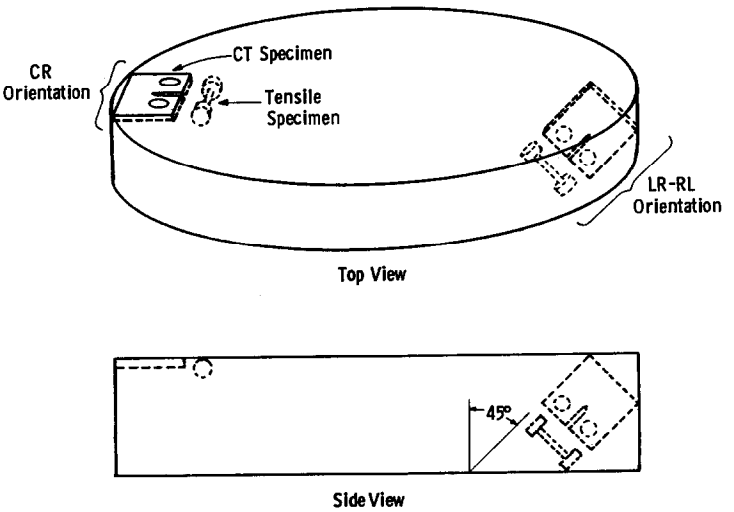


Fig. 1. Schematic of specimen orientation.

Table 1. Tensile properties of 4340 steels

Material	Orientation	0.2% offset yield strength (MPa)	Ultimate tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Reduction in area (%)
Present steel	Circumferential (CR)	1034	1131	15.5	46.8
Present steel	LR-RL	1040	1143	12.4	25.5
Previous steel[a]	Circumferential (CR)	699	852	22.8	63.0
Previous steel[a]	LR-RL	716	868	20.0	49.5

[a]Previous steel with a lower strength level [21] than the present steel.

the larger-size CT specimens are for CR orientation, and the smaller-size specimens for LR-RL orientation. Note that the material strength of CR orientation is somewhat smaller than that of LR-RL orientation (Table 1 and Fig. 1). Prior to testing, each specimen was precracked in accordance with ASTM E647 Standard [23].

A computerized electrohydraulic fatigue machine [24, 25] was used to generate crack propagation rate results. The automated fatigue test system incorporated a PDP-8-e computer with a modified MTS 433.11 interface for machine control and data acquisition. The value of stress intensity range (ΔK) was decreased or increased according to the following schedule,

$$\Delta K = \Delta K_0 e^{c(a - a_0)}$$

where ΔK_0 is the initial stress intensity range, c is a negative or positive value with a dimension of reciprocal length, a is the crack length and a_0 is the initial crack length. In this investigation, the value of c equalled $-0.059\,\text{mm}^{-1}$ or $+0.138\,\text{mm}^{-1}$. Typically, a decreasing ΔK ($c = -0.059\,\text{mm}^{-1}$) fatigue test was first conducted until the crack growth rate approached the threshold level of 10^{-10} m/cycle. Subsequently, an increasing ΔK ($c = +0.138\,\text{mm}^{-1}$) test was performed on the same specimen to develop crack propagation rate properties at higher ΔK levels ($\geq 9\,\text{MPa}\sqrt{m}$). It was observed that the decreasing and increasing ΔK tests gave consistent crack propagation rate data.

Crack length was determined by using the unloading compliance technique [26]. Specimen compliance was measured by attaching a high-frequency MTS clip-on gage on the front face of the specimen. Test frequency was equal to 100 Hz with a sinusoidal waveform. Load ratios (R) investigated were 0.1, 0.5 and 0.8.

Test environments were laboratory air, wet hydrogen, dry hydrogen and dry helium. An environmental chamber clamped to both sides of the test specimen was used to contain the various gaseous environments [27]. The desired gas constantly flowed through the chamber to maintain a fresh environment. The moisture level in laboratory air was equal to 40%. In the wet hydrogen environment, hydrogen gas with a purity of 99.99% was passed through distilled water before entering the environmental chamber. The moisture level in wet hydrogen was 100%. In dry hydrogen and dry helium environments, gas was purified by flowing through calcium chloride desiccants. The moisture level in dry gaseous environments was estimated to be 10 ppm.

Since crack closure was found to be of prime importance in influencing near-threshold fatigue crack growth behavior [1–21], crack closure levels were monitored by using the unloading compliance method [28]. In this technique, the elastic displacement was subtracted from the total displacement to increase the sensitivity to detect crack closure levels. The crack closure level was defined as the point where the load versus displacement curve began to deviate from the linear elastic unloading compliance line.

Fatigue crack growth rates (da/dN) were determined by using a modified secant method where the crack length increment (Δa) spans the adjacent first and third "a" vs "N (cycle)" data points with ΔK based on a crack length midway through the increment. Successive ΔK increments, thus, overlap each other. The crack propagation rate results of da/dN vs ΔK between 5×10^{-10} m/cycle and 5×10^{-11} m/cycle were least-squares fitted, and the value of threshold stress intensity range (ΔK_{th}) was defined as the ΔK level corresponding to a growth rate of 10^{-10} m/cycle.

2.3. Fracture surface characterizations

After crack growth rate tests were completed, fracture surfaces were carefully examined by using both optical microscopy and scanning electron microscopy (SEM). Moreover, oxide thickness and surface roughness were quantitatively measured.

The thicknesses of oxide debris present on fracture surfaces were measured by using Auger spectroscopy. An Ar^+ ion beam in the Auger spectrometer continuously bombarded oxide deposits on fracture surfaces with a sputtering rate of 95 Å/min. Note that the sputtering rate was calibrated against a standard Ta_2O_3 oxide. As Ar^+ ions sputtered the fracture surfaces, the concentration of oxygen decreased while that of iron increased. Consequently, depth profiles of oxygen and iron concentrations can be developed. The thickness of the oxide deposit was defined as the depth where the concentration of oxygen was equal to that of iron [19, 29, 30].

Surface roughnesses were characterized by a Surface Analyzer (Surfanalyzer 360 System, Clevite Corporation) [31, 32]. On the specimen fracture surface,

Table 2. Near-threshold fatigue crack growth rate properties of 4340 steels

Specimen identification	Yield strength (MPa)	Specimen orientation	Environment	Load ratio	Oxide thickness (Å)	$CTOD^{b}_{max}$ (Å)	$CTOD^{b}_{min}$ (Å)	$CTOD^{c}_{cyclic}$ (Å)	ΔK_{th} (MPa$\sqrt{m}$)	$\Delta K_{th,eff}$ (MPa$\sqrt{m}$)
ECCR26	1034	CR	Air	0.1	4066	1647	16.5	667	7.63	3.73
ECLR20	1040	LR-RL	Air	0.1	—	1553	15.5	629	7.43	4.12
ECCR33	1034	CR	Air	0.5	—	1697	424	212	4.30	—
ECCR20	1034	CR	Air	0.8	418	5150	3296	103	3.00	3.00
ECCR31	1034	CR	Wet H_2	0.1	8265	620	6.2	251	4.68	3.76
ECCR22	1034	CR	Wet H_2	0.8	2850	5850	3744	117	3.20	3.20
ECCR28	1034	CR	Dry H_2	0.1	779	612	6.1	248	4.65	3.30
ECLR07	1040	LR-RL	Dry H_2	0.5	190	2198	550	275	4.91	—
ECCR32	1034	CR	Dry H_2	0.8	380	5720	3661	114	3.16	3.16
ECCR21	1034	CR	Dry He	0.1	964	550	5.5	223	4.41	3.12
ECCR34	1034	CR	Dry He	0.5	—	1222	305	153	3.65	—
ECCR29	1034	CR	Dry He	0.8	504	5329	3411	107	3.05	3.05
ECCR30[a]	1034	CR	Dry He	0.8	542	5491	3514	110	3.09	3.09
ECLR22	1040	LR-RL	Dry He	0.8	542	5370	3437	107	3.07	3.07
ECLR23[a]	1040	LR-RL	Dry He	0.8	542	5597	3582	120	3.14	3.14
ENCR20	699	CR	Air	0.1	3634	3021	30.2	1223	8.36	4.43
ENLR08	716	LR-RL	Air	0.5	1140	3022	756	375	4.63	—
ENCR27	699	CR	Air	0.8	810	7982	5108	160	3.02	3.02
ENLR20	716	LR-RL	Air	0.8	523	7667	4907	153	2.95	2.95
ENCR22	699	CR	Wet H_2	0.1	8550	1404	14	569	5.70	3.82
ENLR06	716	LR-RL	Wet H_2	0.5	—	2144	536	266	3.90	—
ENCR32	699	CR	Wet H_2	0.8	3563	9531	6100	191	3.30	3.30
ENCR31	699	CR	Dry H_2	0.1	499	1124	11.2	455	5.10	4.25
ENCR25	699	CR	Dry H_2	0.8	437	10058	6437	201	3.39	3.39
ENCR29	699	CR	Dry He	0.1	404	875	4	354	4.50	3.28
ENLR21	716	LR-RL	Dry He	0.1	855	635	8.6	255	3.82	2.70
ENCR28	699	CR	Dry He	0.8	380	14143	243	283	4.02	4.02

[a]Duplicate tests.
[b]$CTOD/_{max\ or\ min} = 0.49\ K^2_{max\ or\ min,\ th}/\sigma_y E$ where σ_y is yield strength, E is Young's modulus and $K_{max\ or\ min,\ th}$ is the maximum or minimum stress intensity at threshold [45].
[c]$CTOD/_{cyclic} = 0.49\ \Delta K_{th}^2/2\sigma_y E$ [45].

roughness profiles were traced and recorded parallel to the crack growth direction. Roughness at a fixed ΔK is defined as the average of several measured roughness profiles. It should be noted that the roughness recorded in each trace was the arithmetic average (AA) deviation from the mean surface; this is the average of numerous measurements at the heights of the surface peaks and valleys (measured from the mean surface) [31]. The means surface referred to is the perfect surface that would be formed if all the roughness peaks were cut off and used up in filling the valleys below this surface.

3. RESULTS

3.1. Effect of specimen orientation

The rates of near-threshold crack growth were found to be identical for the two orientations of CR and LR-RL. Consistently, the values of ΔK_{th} in the air environment are insensitive to orientation, as shown in Table 2. The same behavior was observed in the dry helium environment (Table 2). It should be noted that in Table 2, duplicate dry-helium environment tests for each orientation give consistent values of ΔK_{th}. Thus, specimen orientation does not seem to affect near-threshold crack propagation behavior for the present 4340 steel. Previously, the same results were found for the lower-strength 4340 steel [21].

3.2. Effect of R*-ratio*

The influence of R-ratio on the rates of fatigue crack propagation is shown in Fig. 2(a), (b), (c) and (d) for air, wet hydrogen, dry hydrogen and dry helium environments, respectively. In air, increasing R-ratio increases the rates of near-threshold crack propagation. The effect of R-ratio on crack propagation rates increases with decreasing ΔK levels. Similarly, in wet hydrogen, dry hydrogen and dry helium environments, increasing R-ratio generally increases crack growth rates. The influence of R-ratio on the rates of crack propagation in air, however, was found to be much more pronounced than that in the other three environments. The R-ratio effect in wet hydrogen is essentially comparable to that in the two dry environments (dry hydrogen and dry helium).

3.3. Effect of environment

Crack propagation rate properties in the four gaseous environments at $R = 0.1$ are presented in Fig. 3(a). At threshold levels, the rates of crack propagation in the air environment are slower than those in the two dry environments. Similar behavior was observed in pressure vessel steels [2], rotor steels [8] and a lower-strength 4340 steel [21]. The results are in contrast with the conventional corrosion fatigue data; i.e. fatigue cracks typically grow faster in moist environments than in dry environments. Surprisingly, comparable crack propagation rate results are observed in wet hydrogen, dry hydrogen and dry helium environments.

At higher ΔK levels (≥ 10 MPa$\sqrt{m}$), crack growth rates in the dry helium environment appear to be the slowest while those in the dry hydrogen environment are the fastest. Interestingly, the rates of crack propagation in air and wet hydrogen environments are essentially equivalent.

Figure 3(b) presents crack propagation rate properties in the four environments at an R-ratio of 0.8. Crack growth rates in the four environments are essentially identical. Thus, the effect of environment on near-threshold crack propagation rates is dependent on R-ratio. Increasing R-ratio decreases the influence of environment on crack propagation behavior.

3.4. Threshold stress intensity range

To quantify the effects of load ratio and environment on near-threshold crack propagation rate properties, the values of ΔK_{th} are plotted against R-ratio, as shown in Fig. 4. Note that the values of ΔK_{th} are listed in Table 2. In the four environments, increasing R-ratio decreases ΔK_{th}. However, the effect of R-ratio on ΔK_{th} is much more significant in the air environment than in the two dry environments. For example, the ratio of ΔK_{th} at $R = 0.1$ to that at $R = 0.8$ in air is equal to 2.5, while the ratio in the two dry environments is 1.4. The dependence of ΔK_{th} on R-ratio in wet hydrogen is comparable to that in dry environments. For instance, the ratio of ΔK_{th} at R = 0.1 to that $R = 0.8$ in wet hydrogen equals 1.5.

At a low R-ratio of 0.1, the value of ΔK_{th} in air is approximately two times larger than that in the dry environments. At $R = 0.1$, ΔK_{th} in wet hydrogen is only slightly larger than those in the dry environments. Increasing R-ratio decreases the influence of environment on ΔK_{th}. At a high R-ratio of 0.8, the values of ΔK_{th} converge to a single value of 3 MPa$\sqrt{m}$ regardless of test environment.

3.5. Effect of yield strength

At $R = 0.1$, fatigue crack propagation rate results of 4340 steels with yield strength levels of 1034 and 699 MPa are compared in Fig. 5(a)–(d) for the four gaseous environments, respectively. In each environment, crack propagation rate properties are essentially comparable at the two yield strength levels. Consistently, the values of ΔK_{th} at $R = 0.1$ are nearly equivalent at these strength levels (Table 2). The same results were observed at $R = 0.8$ (Table 2). Previous investigation [1] shows that in the air environment, the value of ΔK_{th} in a 4340 steel with yield strength of 1497 MPa is 3.8 MPa$\sqrt{m}$ at $R \approx 0.1$. Thus, these results indicate that an increase in the yield strength level from 1034 to 1497 MPa decreases ΔK_{th} from 7.63 to 3.8 MPa$\sqrt{m}$ (Table 2).

3.6. Optical microscopy

Optical photos of the fracture surfaces in the four environments are presented in Figs 6 and 7 at $R = 0.1$ and 0.8, respectively. At $R = 0.1$, as fatigue cracks in

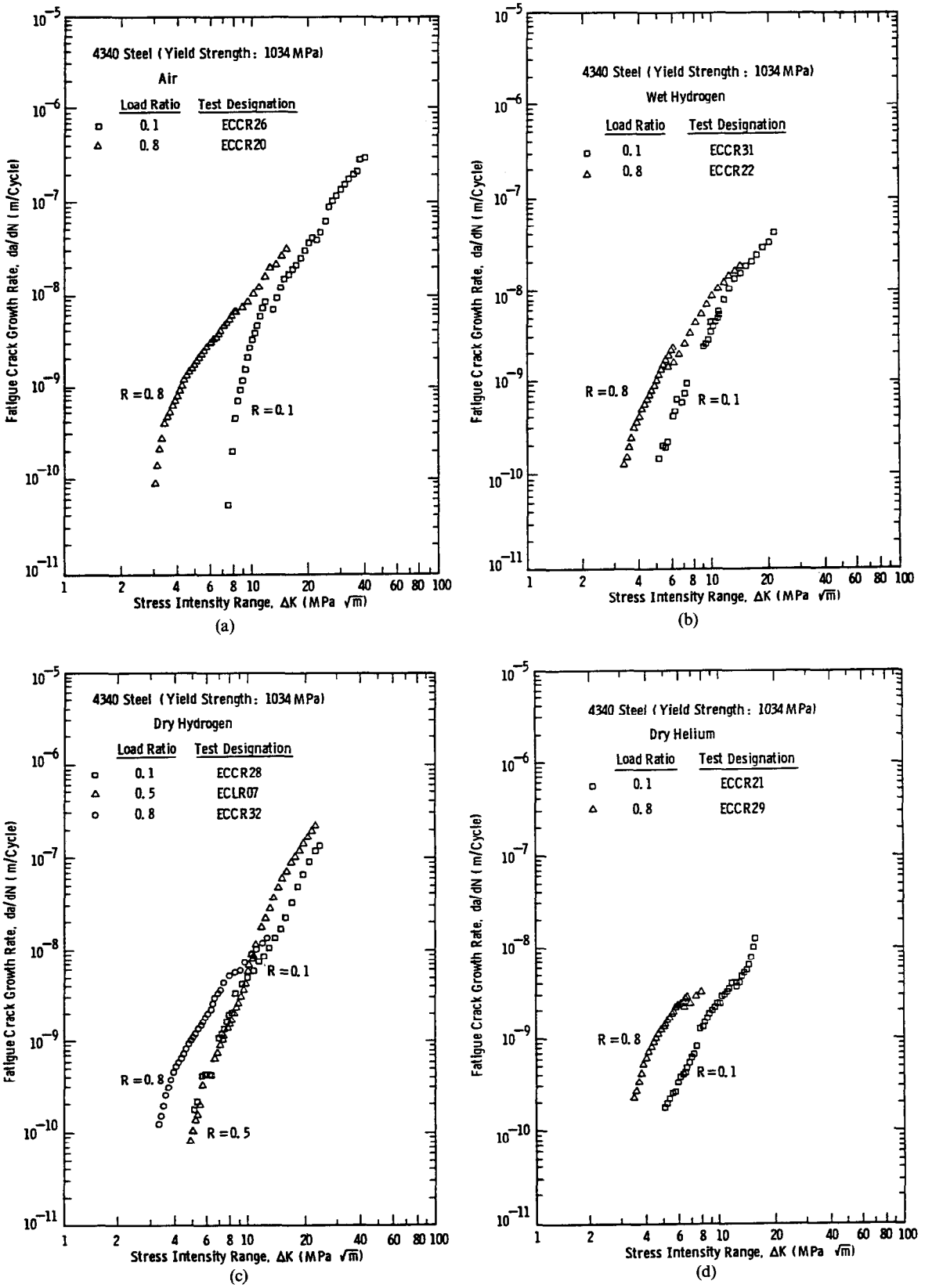


Fig. 2. (a) Effect of load ratio on crack growth rates in air. (b) Effect of load ratio on crack growth rates in wet hydrogen. (c) Effect of load ratio on crack growth rates in dry hydrogen. (d) Effect of load ratio on crack growth rates in dry helium.

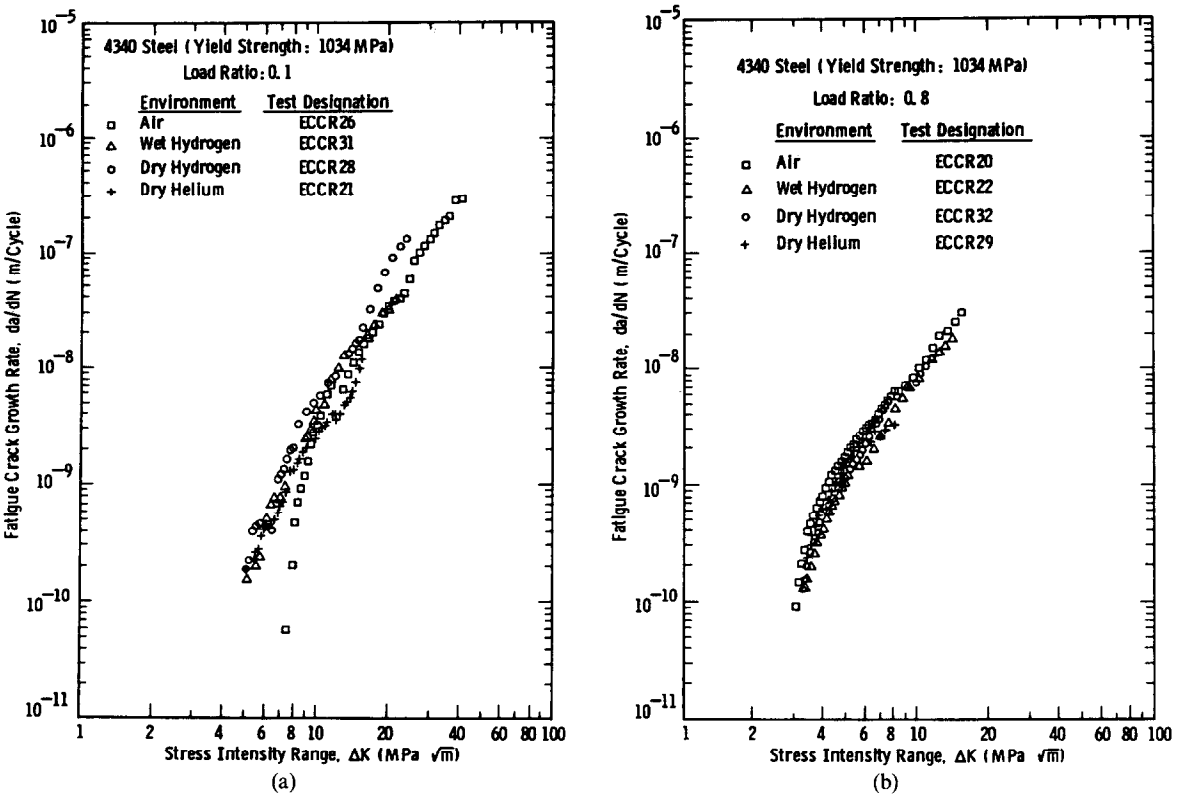


Fig. 3. (a) Effect of environment on crack growth rates at $R = 0.1$. (b) Effect of environment on crack growth rates at $R = 0.8$.

air and wet hydrogen environments approach threshold levels, oxide deposits become more visible [Fig. 6(a) and (b)]. On the other hand, the extent of oxidation was found to be much reduced in dry hydrogen and dry helium environments [Fig. 6(c) and (d)], as compared to the two wet environments (air and wet hydrogen). Similarly, oxide debris at $R = 0.8$ [Fig. 7(a)–(d)] is generally much less visible than that at $R = 0.1$ [Fig. 6(a)–(d)] regardless of test environment. Interestingly, at $R = 0.8$ some oxide debris in wet hydrogen was readily apparent at the threshold level [Fig. 7(b)], which will be discussed later. The quantatitive measurements of oxide thicknesses are included in the next section.

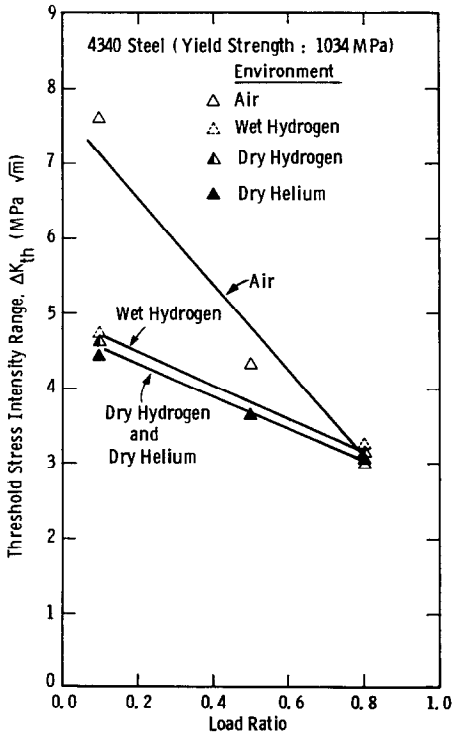


Fig. 4. Effects of load ratio and environment on ΔK_{th}.

3.7. Oxide thickness measurements

The thicknesses of oxide deposits at threshold are listed in Table 2. The values of oxide thicknesses in the four environments are plotted as a function of R-ratio, Fig. 8. In each environment, increasing R-ratios decreases oxide thickness. However, the influence of R-ratio on oxide thickness is much more significant in wet environments than in dry environments. For instance, in wet environments oxide thickness at $R = 0.1$ is about 3–10 times larger than that at $R = 0.8$, and its is two times in dry environments.

At a low R-ratio of 0.1, oxide thicknesses in wet environments are approximately four to eight times larger than those in dry environments. Increasing R-ratio generally decreases the effect of environment on oxide thickness. These trends are similar to the effects of R-ratio and environment on ΔK_{th} (Fig. 4).

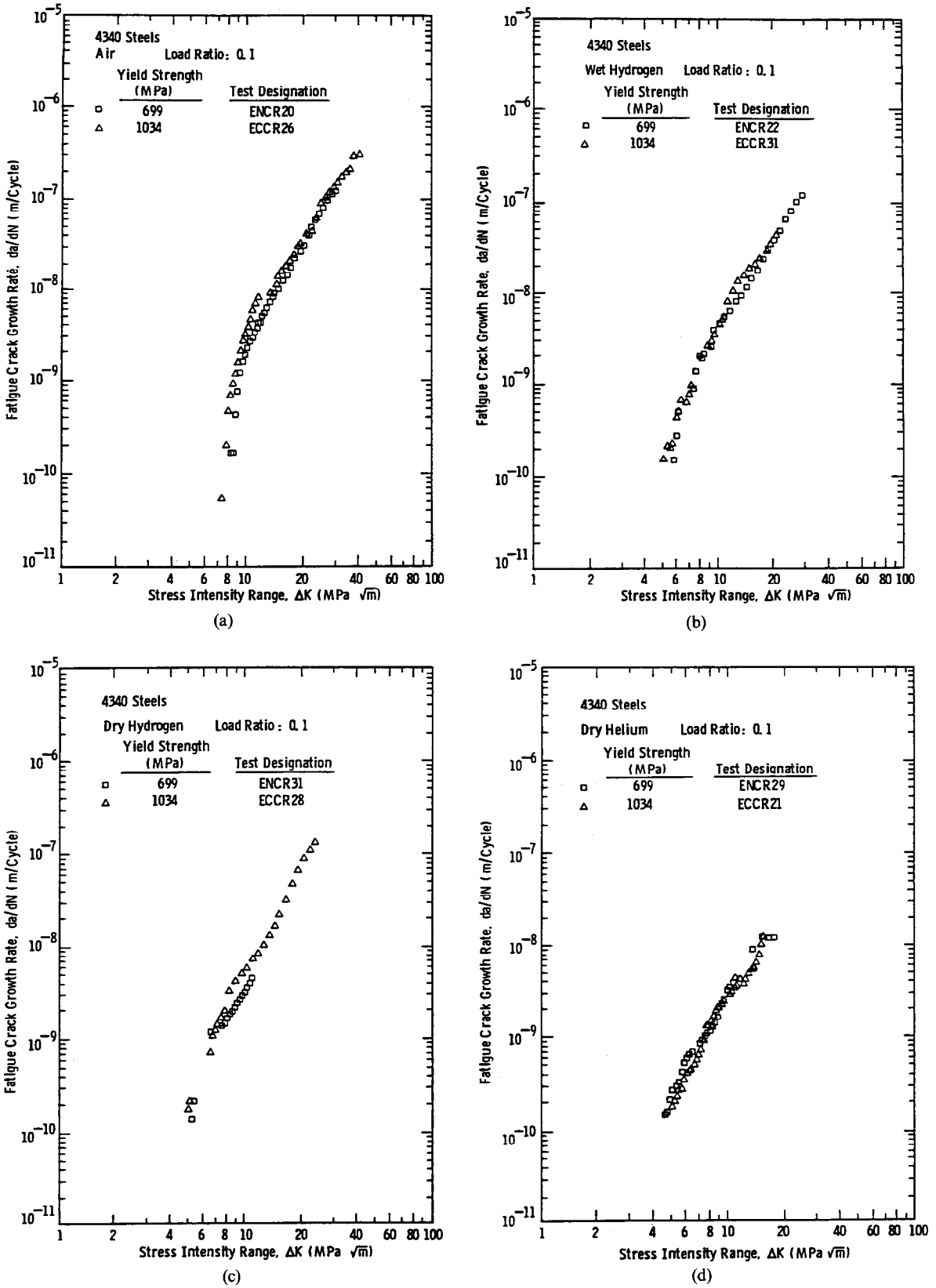


Fig. 5. (a) Effect of yield strength on crack growth rates in air. (b) Effect of yield strength on crack growth rates in wet hydrogen. (c) Effect of yield strength on crack growth rates in dry hydrogen. (d) Effect of yield strength on crack growth rates in dry helium.

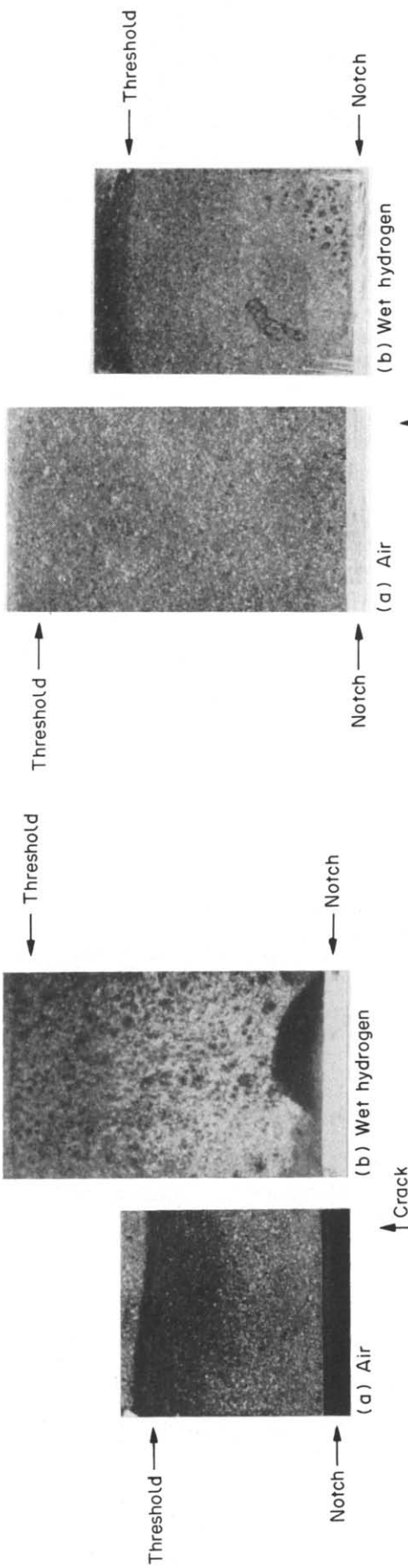


Fig. 6. Optical photos of fracture surfaces at $R = 0.1$.

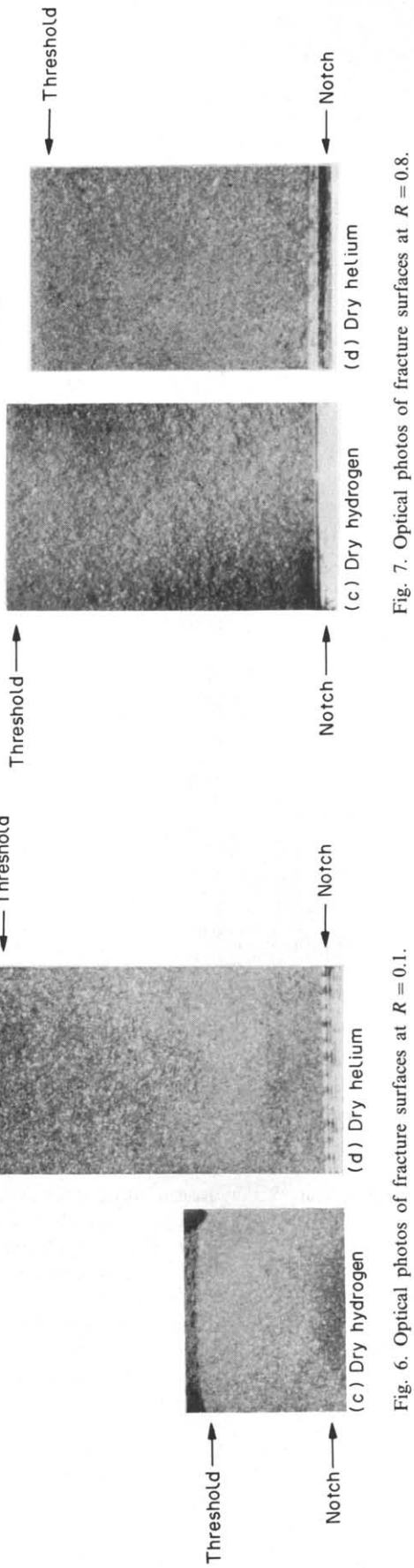


Fig. 7. Optical photos of fracture surfaces at $R = 0.8$.

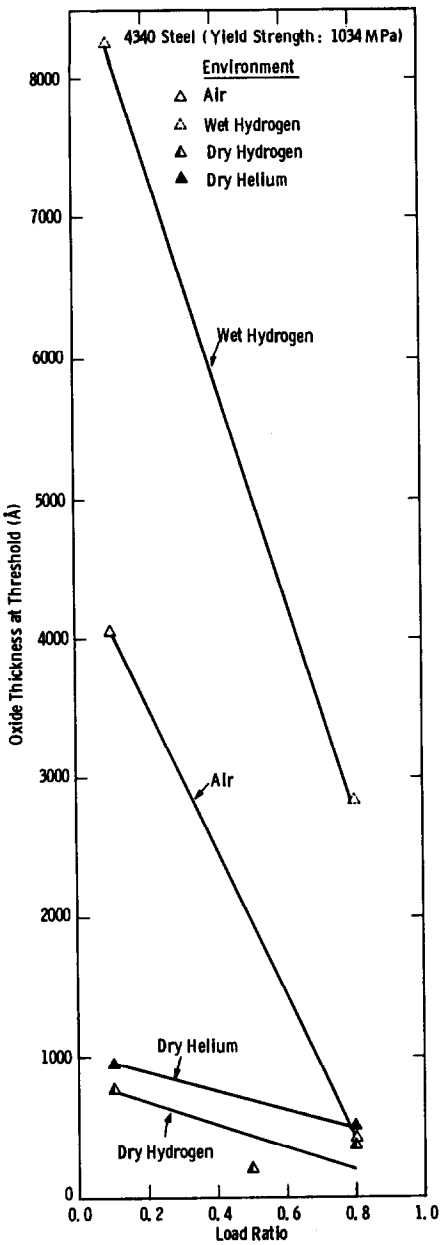


Fig. 8. Effects of load ratio and environment on oxide thickness at threshold.

Nevertheless, in wet hydrogen oxide thicknesses at R-ratio of 0.1 and 0.8 are larger than those in air. This behavior is in contrast with the ΔK_{th} data shown in Fig. 4; i.e. at $R = 0.1$, ΔK_{th} in wet hydrogen is smaller than that in air, and at $R = 0.8$, the values of ΔK_{th} in both environments are comparable. Note that in Table 2, decreasing yield strength from approximately 1050 to 700 MPa does not significantly alter oxide thicknesses at thresholds in the four gaseous environments.

The formation of oxide deposits at threshold levels is due to fretting oxidation [2, 17–20, 33] which results from plasticity-induced crack closure [34] and mode II displacements [35]. Increasing R-ratio decreases plasticity-induced crack closure and mode II displacements [2, 17–20, 34, 35], thereby resulting in less fretting oxidation and thus thinner oxide deposits, as shown in Fig. 8. The presence of moisture in wet environments apparently assists in the formation of oxide deposits. Consequently, oxide deposits in wet environments were found to be much thicker than those in dry environments.

In Fig. 6, oxide deposits become more visible as the crack approaches the threshold level (or as the value of ΔK decreases). This behavior results from larger mode II displacements or fretting oxidation with decreasing ΔK [2, 17–20, 33, 35]. Furthermore, the slower crack propagation rate with decreasing ΔK prolongs the time available for fretting oxidation at each decreased ΔK value. This trend additionally contributes to thicker oxide layers at lower ΔK levels.

To assure that fretting oxidation is the key to the formation of oxide deposits, the thicknesses of naturally formed oxide deposits on the side of the air-environment tested specimen were measured, and the average thickness is equal to 500 Å. In air at $R = 0.1$, naturally formed oxide deposits are eight times thinner than those measured at the threshold level (Table 2). Thus, fretting oxidation appears to be a prerequisite for the development of the thick oxide layers observed during near-threshold crack propagation.

3.8. Surface roughness measurements

The results of surface roughness measurements at $R = 0.1$ and 0.8 are presented in Fig. 9(a) and (b), respectively. At $R = 0.1$, surface roughnesses were found to be generally insensitive to test environment in the range of ΔK investigated. It appears that surface roughnesses slightly decrease with decreasing ΔK, although the extent of roughnesses in air and wet hydrogen environments tends to peak around ΔK levels of 14–16 MPa$\sqrt{m}$. A similar trend was also observed in pressure vessel steels [32]. Similar to the data at $R = 0.1$, gaseous environments do not significantly affect surface roughnesses at $R = 0.8$. Moreover, surface roughnesses at $R = 0.1$ and 0.8 are essentially comparable, as demonstrated in Fig. 9(b).

3.9. Scanning electron microscopy (SEM)

The SEM photos of fracture surfaces are exemplified in Fig. 10(a)–(b) for the wet hydrogen environment. At a low R-ratio of 0.1, both intergranular and transgranular fracture modes were observed regardless of test environment [Fig. 10(a)]. At high ΔK levels, there is a completely transgranular fracture mixed with secondarly cracking. As ΔK decreases, intergranular fracture begins to appear, reaches a maximum and then decreases. Note that a similar fracture mode was also reported in rotor steels [18, 20, 30], stainless steels [36], low carbon steel [4] and pressure vessel steel [32]. However, the extent of intergranular fracture in dry helium is the least among the four environments. At threshold levels, it is a completely transgranular fracture in dry environ-

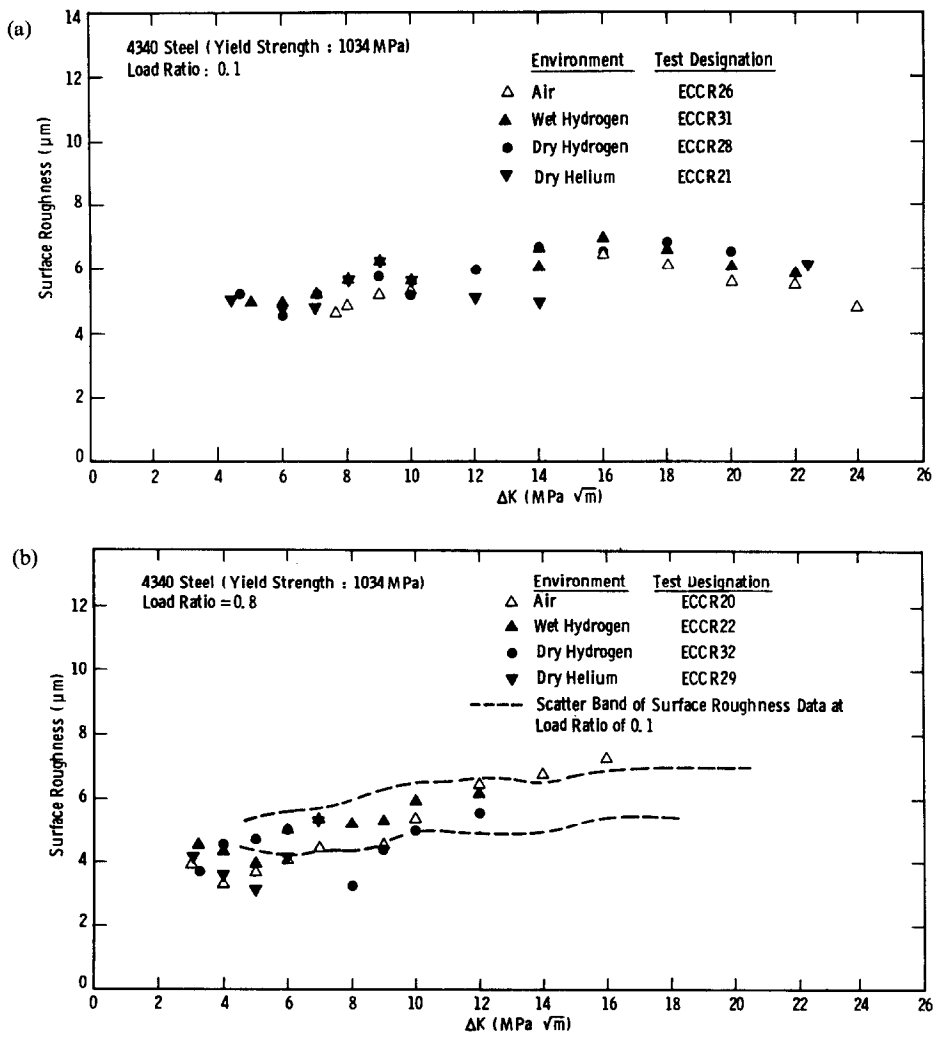


Fig. 9. (a) Surface roughness data at $R = 0.1$. (b) Surface roughness data at $R = 0.8$.

ments although a minute amount of intergranular fracture was found in wet environments [Fig. 10(a)].

At a high R-ratio of 0.8 in the four environments, transgranular fracture was found to be the dominant mode. Nevertheless, in the wet hydrogen environment, some intergranular fracture was observed [Fig. 10(b)]. Note that in wet hydrogen the extent of intergranular fracture at $R = 0.8$ is much less significant than that at $R = 0.1$ [Fig. 10(a) and (b)]. A similar trend was found in other steels [4, 18, 20, 30, 32, 36, 37]. The presence of intergranular fracture is presumably associated with hydrogen embrittlement. The reduced intergranularity at higher R-ratios is suggested to be related to the faster crack growth rates at which the gaseous environments do not have adequate time to embrittle the material around the crack tip [30]. At high ΔK levels, a limited extent of dimpled fracture was present [Fig. 10(b)]. On the other hand, fracture modes at threshold are transgranular irrespective of test environment.

Previous studies [3, 18, 20, 38] indicated that the presence of intergranular fracture might promote rougher fracture surfaces. This trend was not obvious in the present investigation, as explained hereafter. As mentioned previously, the extent of intergranular fracture at $R = 0.1$ peaks at an intermediate ΔK level in each environment, [Fig. 10(a)], but surface roughnesses tend to decrease with decreasing ΔK [Fig. 9(a)] even though roughnesses in air and wet hydrogen seem to go through a maximum. Furthermore, there is a great difference in the amount of intergranular fracture at $R = 0.1$ and 0.8 [Fig. 10(a) and (b)], and yet nearly equivalent surface roughnesses were observed at these two load ratios [Fig. 9(b)]. Thus, no strong correlation between intergranular fracture and surface roughness was found in 4340 steels.

At $R = 0.8$, fatigue cracks grow faster than at $R = 0.1$. However, the extent of intergranular fracture is much less significant at $R = 0.8$ than at $R = 0.1$. Moreover, crack growth rates at $R = 0.8$ are essentially comparable in the four environments, and yet intergranular fracture was only observed in wet hydrogen. These results indicate that the presence of

intergranular fracture does not warrant accelerated fatigue crack growth rate properties.

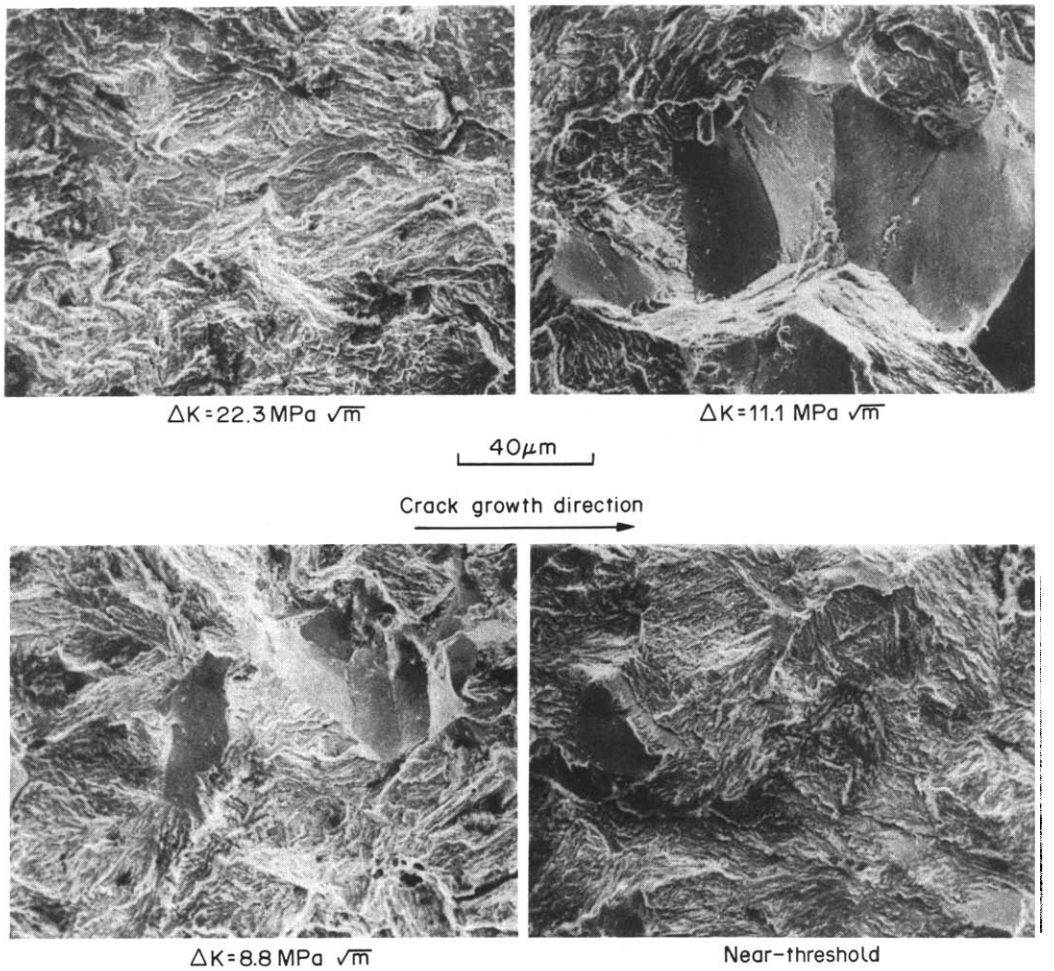
4. DISCUSSION

So far, we have observed significant effects of R-ratio and environment on fatigue crack growth behavior of 4340 steels. These effects are explained in light of crack closure measurements. Recent studies [1–20] have shown that two pertinent crack closure mechanisms govern the kinetics of near-threshold crack propagation; i.e., oxide and roughness-induced crack closure. In this investigation, oxide thicknesses were found to be very sensitive to environment and R-ratio (Figs 6–8). In contrast, surface roughnesses are relatively insensitive to environment and R-ratio [Fig. 9(a) and (b)]. Thus, oxide-induced crack closure is thought to play a much more significant role in influencing gaseous-environment near-threshold crack growth kinetics of 4340 steels than roughness-induced crack closure. In the following discussion, oxide-induced crack closure is, therefore, emphasized.

4.1. Effect of R*-ratio*

It has been reported that crack closure rationalized the influence of R-ratio on near-threshold crack growth rate properties [1–20]. The crack propagation rate results developed at various R-ratios are presented by using effective stress intensity range, ΔK_{eff}, ($\Delta K_{eff} = K_{max} - K_{closure}$ where K_{max} and $K_{closure}$ are the maximum and crack closure stress intensities, respectively), as shown in Fig. 11(a)–(d) for the four environments, respectively. It was observed that the large effect of R-ratio on crack propagation rates, as previously demonstrated in Fig. 2(a)–(d), was found to be much reduced by using ΔK_{eff} [Fig. 11(a)–(d)]. Moreover, the values of effective threshold stress intensity range, $\Delta K_{th,\,eff}$, ($\Delta K_{th,\,eff} = K_{th,\,max} - K_{th,\,closure}$ where $K_{th,\,max}$ and $K_{th,\,closure}$ are the maximum and closure stress intensities at threshold, respectively), are plotted against R-ratio in Fig. 12. In each environment, $\Delta K_{th,\,eff}$ is essentially independent of R-ratio. Thus, crack closure accounts for the influence of R-ratio on near-threshold crack propagation rate properties.

In the air environment, thick oxide deposits at $R = 0.1$ (Figs 6 and 8 and Table 2) wedge the crack



(a)

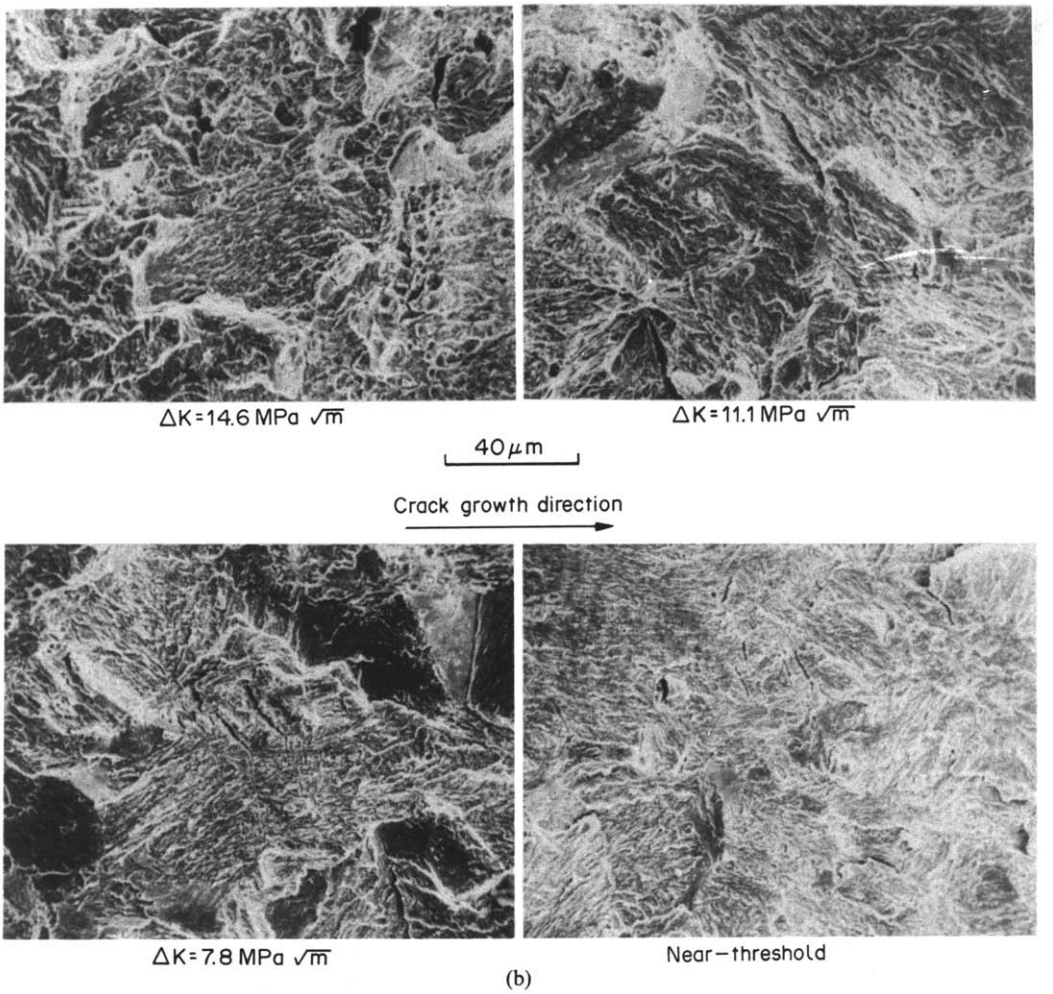


Fig. 10. (a) Fractography in wet hydrogen at $R = 0.1$. (b) Fractography in wet hydrogen at $R = 0.8$.

tip and introduce oxide-induced crack closure [2, 8, 16–20, 39] while thin oxide-layers (Figs 7 and 8 and Table 2) at $R = 0.8$ minimize the extent of oxide-induced crack closure. The significance of oxide-induced crack closure can be appreciated by comparing oxide thickness with crack tip opening displacements (CTOD), as presented in Table 2. In air, oxide thickness at $R = 0.1$ is approximately three to six times larger than CTOD's, and oxide-induced crack closure is significant. On the other hand, oxide thickness at $R = 0.8$ is 8–12 times smaller than CTOD's and oxide-induced crack closure is thought to be minimal.

In dry environments, oxide deposits at $R = 0.1$ are relatively thin (less than 1000 Å), and oxide-induced crack closure is not expected to be significant even though oxide thicknesses are comparable to CTOD's (Table 2). Furthermore, it is experimentally determined that the extent of oxide-induced crack closure in dry environments is much less pronounced than that in air, as discussed later.

In wet hydrogen, oxide thickness at $R = 0.1$ is about 13–33 times larger than CTOD's. However, it is suggested that at $R = 0.1$, oxide-induced crack closure in wet hydrogen may not be as pronounced as that in air, as explained later.

In air, the much larger extent of oxide-induced crack closure at $R = 0.1$ than at $R = 0.8$ increases $K_{closure}$ and decreases ΔK_{eff}, thereby resulting in much slower near-threshold crack growth rates and a larger ΔK_{th} at $R = 0.1$. During near-threshold crack propagation, oxide thickness typically increases with decreasing ΔK because of more mode II displacements (or fretting oxidation) at lower ΔK levels (Fig. 6). Moreover, decreasing ΔK decreases CTOD's. Consequently, the extent of oxide-induced crack closure increases with decreasing ΔK. This trend accounts for the fact that decreasing ΔK increases the difference in air-environment near-threshold crack propagation rates at $R = 0.1$ and 0.8 [Fig. 2(a)]. Similarly, the effect of R-ratio on crack propagation rates in dry environments is less pronounced than that in air because of the decreased oxide-induced crack closure in the former environments. The extent of oxide-induced crack closure in wet hydrogen was experimentally verified to be equivalent to that in dry environments (as discussed later). This behavior results in a comparable effect of R-ratio on crack

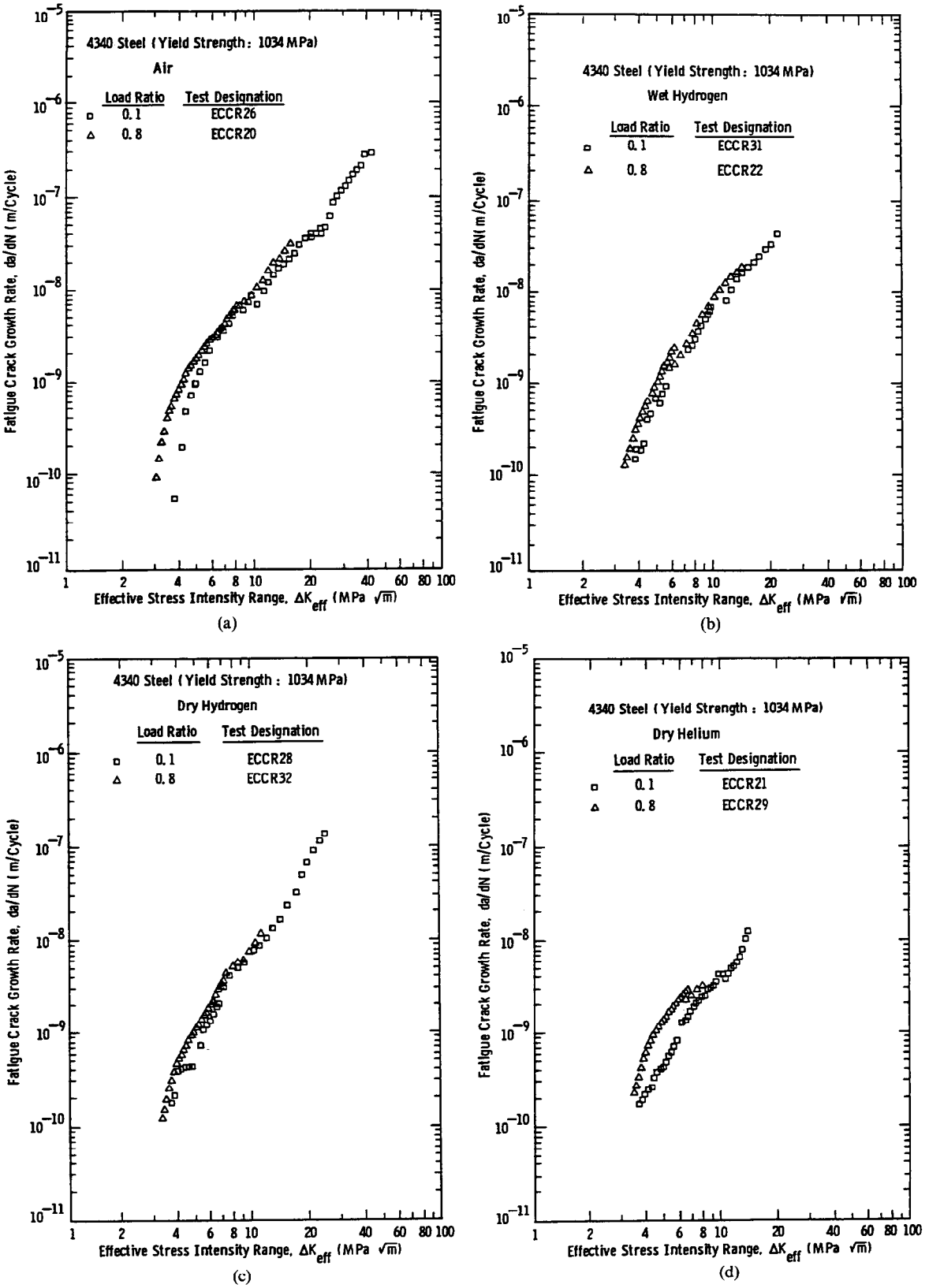


Fig. 11. (a) Crack growth rates at $R = 0.1$ and 0.8 vs ΔK_{eff} in air. (b) Crack growth rates at $R = 0.1$ and 0.8 vs ΔK_{eff} in wet hydrogen. (c) Crack growth rates at $R = 0.1$ and 0.8 vs ΔK_{eff} in dry hydrogen. (d) Crack growth rates at $R = 0.1$ and 0.8 vs ΔK_{eff} in dry helium.

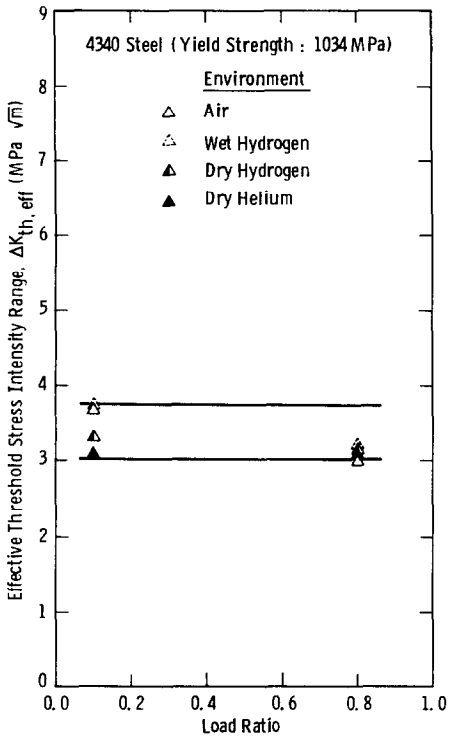


Fig. 12. $\Delta K_{th,eff}$ in four environments vs load ratio.

growth rates in dry environments and in wet hydrogen environments [Fig. 2(b)–(c) and Fig. 4].

The significance of oxide-induced crack closure in affecting the kinetics of near-threshold crack propagation is further demonstrated in the similarity betwen Figs 4 and 8. Except in the wet hydrogen environment, the effect of R-ratio on ΔK_{th} in each environment is essentially identical to that on oxide thickness. In other words, increasing R-ratio decreases ΔK_{th} and oxide thickness. The dependence of ΔK_{th} and oxide thickness on R-ratio in air is much more significant than that in dry environments. At a low R-ratio of 0.1, ΔK_{th} and oxide thickness in air are much greater than those in dry environments. At a high R-ratio of 0.8, ΔK_{th} and oxide thickness tend to converge to a single value in the three environments.

Summarizing the above discussion, oxide-induced crack closure explains the effects of R-ratio on gaseous-environment near-threshold fatigue crack growth behavior of 4340 steels.

4.2. *Effect of environment*

Recognizing the importance of oxide-induced crack closure in governing gaseous-environment near-threshold crack propagation behavior, the results of crack closure measurements at $R = 0.1$ in the four environments are presented in Fig. 13. In each environment, the values of K_{cl}/K_{max} generally increase with decreasing ΔK. This behavior is related to thicker oxide layers, and thus, a larger extent of oxide-induced crack closure at lower ΔK levels (Fig. 6 and Refs [16] and [19]). In air, crack closure levels (K_{cl}/K_{max} or K_{cl}) are higher than those in dry environments. The difference in K_{cl}/K_{max} between air and dry environments increases with decreasing ΔK. Moreover, the rate of increase in K_{cl}/K_{max} is greater in air than in dry environments. These trends correlate with thicker oxide layers, and therefore, a larger extent to oxide-induced crack closure in air than in dry environments. Consequently, the crack closure results in Fig. 13 provide a direct proof of oxide-induced crack closure present during gaseous-environment near-threshold fatigue crack growth of 4340 steels.

Interestingly, at $R = 0.1$, crack closure levels in wet hydrogen are comparable to those in dry environments, and lower than those in air (Fig. 13). In contrast, oxide thicknesses in wet hydrogen are the largest among the four environments (Table 2 and Fig. 8). These results suggest that in wet hydrogen, the measured oxide thicknesses at threshold levels may not be the effective oxide thicknesses which introduce crack closure. Thick oxide layers in wet hydrogen may result from condensation of moisture (or water) at the crack tip. During wet hydrogen-environment crack propagation, moisture (or water) will condense at the crack tip because of capillary effects [30, 40, 41]. Moreover, in the near-threshold regime, the lower applied ΔK and the correspondingly lower crack-tip radius will further promote liquid water to condense at the crack tip. After test specimens were broken apart, the condensed moisture (or water) will be left on fracture surfaces,

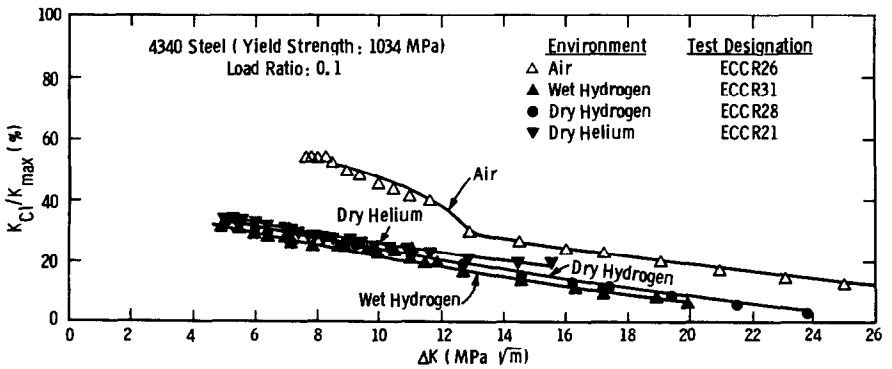


Fig. 13. K_{cl}/K_{max} vs ΔK at $R = 0.1$.

enhance oxidation, and thus form thick oxide layers. Therefore, it is suggested that during wet-hydrogen environment crack growth, the oxide layer which effectively wedges the crack tip and introduces crack closure could be much thinner than that measured on fracture surfaces. Consequently, the levels of oxide-induced crack closure in wet hydrogen could be lower than those in air, and comparable to those in dry environments (Fig. 13).

Note that the concept of moisture (water)-condensation at the crack tip in wet hydrogen is also supported by the presence of thick oxide deposits at $R = 0.8$ [Fig. 7(b) and Table 2]. As mentioned before, increasing R-ratio decreases fretting oxidation because of the decrease in mode II displacements and plasticity-induced crack closure. At $R = 0.8$, fretting oxidation at threshold levels is expected to be minimal. Thus, thick oxide debris observed at $R = 0.8$ in wet hydrogen is related to the moisture (water)-condensation effect at the crack tip.

At $R = 0.1$, higher crack closure levels in air than in dry environments (or in wet hydrogen), decreases ΔK_{eff}, thereby resulting in slower crack growth rates and a larger ΔK_{th} in air. The similar behavior was reported in pressure vessel steels [2], rotor steels [8, 42, 43], and a lower-strength 4340 steel [21]. Decreasing ΔK increases the difference in $K_{\text{cl}}/K_{\max}$ for the air and dry (or wet hydrogen) environments (Fig. 13). This trend gives a larger difference in crack propagation rates between air and other environments at lower ΔK levels [Fig. 3(a)]. The similar crack closure levels in the dry environments and in the wet hydrogen environment (Fig. 13) result in equivalent crack propagation rates [Fig. 3(a)].

At a high R-ratio of 0.8, oxide-induced crack closure in the four environments is much reduced because of thinner oxide deposits (Table 2 and Figs 6–8). Therefore, at $R = 0.8$, the effects of environment on the rates of crack growth and the values of ΔK_{th} are minimal [Figs 3(b) and 4]. In other words, increasing R-ratio decreases oxide thickness (Figs 6–8), and thus, oxide-induced crack closure, which gives reduced effects of environment on near-threshold crack propagation behavior with increasing R-ratio [Figs 3(b) and 4].

As a result, oxide-induced crack closure rationalizes the effects of environment on near-threshold crack propagation behavior of 4340 steels. This behavior is further demonstrated by plotting da/dN vs ΔK_{eff} or by plotting $\Delta K_{\text{th, eff}}$ vs R-ratio, as presented in Figs 14 and 12. It was found that the rates of near-threshold crack propagation at $R = 0.1$ were essentially comparable by using ΔK_{eff}. Moreover, the values of $\Delta K_{\text{th, eff}}$ are insensitive to test environment regardless of R-ratio.

One may argue that at $R = 0.1$ the accelerated near-threshold crack growth rates in wet hydrogen relative to the air environment [Fig. 3(a)] may be related to hydrogen embrittlement. If hydrogen embrittlement governed wet-hydrogen environment

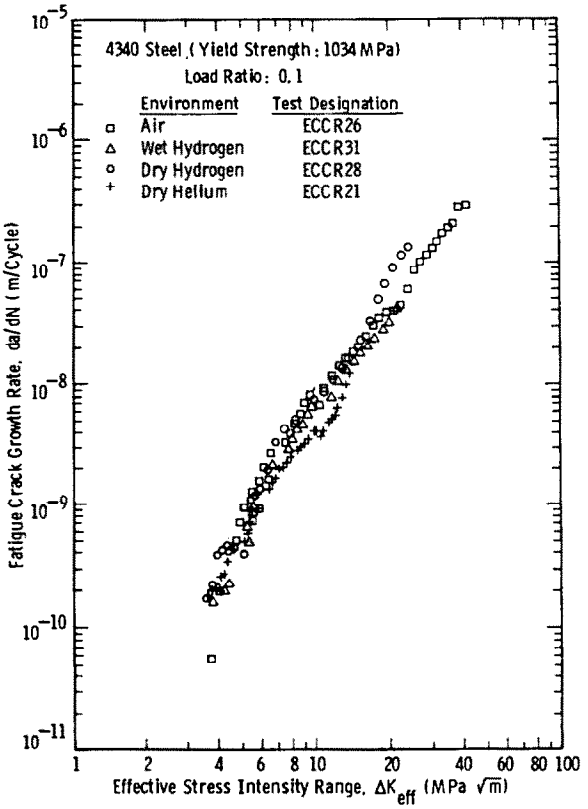


Fig. 14. Crack growth rates in four environments vs ΔK_{eff}.

crack propagation kinetics, the values of da/dN in wet hydrogen on the plot of da/dN vs ΔK_{eff} (Fig. 14) would be greater than those in air since ΔK_{eff} represents the true mechanical driving force. This trend was not observed in Fig. 14. Furthermore, hydrogen embrittlement is expected to be more detrimental to crack growth resistance at higher R-ratios because of larger hydrostatic stresses [44]. If hydrogen embrittlement dominated wet-hydrogen environment crack growth behavior, at a high R-ratio of 0.8 the rates of crack propagation in wet hydrogen would be greater than those in air. Instead, near-threshold fatigue cracks grow at similar rates in both wet hydrogen and air environments at $R = 0.8$ [Fig. 3(b)]. Thus, hydrogen embrittlement does not play a significant role in influencing wet-hydrogen near-threshold growth rate properties.

In Figs 3(a) and 14, dry hydrogen-environment crack growth rates at ΔK (ΔK_{eff}) levels $\geq 12\ \text{MPa}\sqrt{m}$ are faster than those in air and wet hydrogen environments. This trend suggests that gaseous hydrogen could be more detrimental to crack growth resistance than the moisture present in air and wet hydrogen. Consequently, an "intrinsic" dry hydrogen effect on crack growth behavior of 4340 steels seems to be found at higher ΔK values ($\geq 12\ \text{MPa}\sqrt{m}$). Moreover, the concept of crack closure cannot rationalize the environmental effect on crack propagation rates at these higher ΔK levels (Fig. 14). At higher ΔK values, the faster crack growth rates in gaseous

hydrogen than in wet environments were also observed in rotor steels [30, 41]. The elevated crack propagation rates in dry hydrogen are presumably due to a hydrogen embrittlement mechanism, the atomic hydrogen being generated from the environment-steel surface reaction. These results further suggest that at higher ΔK levels, the production of atomic hydrogen from the gaseous dissociation reaction appear to be more active than that from the moisture (water)-steel reaction.

5. CONCLUSIONS

The gaseous-environment fatigue crack growth behavior was investigated in 4340 steels. Pertinent results are summarized as follows:

1. In each gaseous environment, increasing R-ratio generally increases the rates of near-threshold crack propagation. The influence of R-ratio on crack growth behavior in air is much more significant than that in dry hydrogen, dry helium and wet hydrogen environments. The R-ratio effect is essentially comparable in wet hydrogen and dry environments.

2. At a low R-ratio of 0.1, the rates of near-threshold crack propagation in air are slower than those in dry environments. The wet hydrogen-environment crack growth rates are essentially identical to those in dry environments. At a high R-ratio of 0.8, the rates of crack propagation are equivalent in the four environments.

3. 4340 steels with yield strength levels of approximately 1040 and 700 MPa exhibit comparable fatigue crack propagation rate results. Specimen orientation was found not to affect crack growth rate properties.

4. Surface roughnesses were found to be insensitive to test environment and R-ratio, and thus, the extent of surface roughness-induced crack closure is thought to be negligible in affecting gaseous-environment near-threshold crack propagation behavior.

5. In each environment, increasing R-ratio decreases oxide thickness at threshold. The effect of R-ratio on oxide thickness in air is much more significant than that in dry environments. Oxide thicknesses in wet hydrogen are the largest among the four environments. At an R-ratio of 0.1, oxide thickness in air is larger than that in dry environments. Increasing R-ratio tends to decrease the difference in oxide thickness in the four environments.

6. The effects of R-ratio and environment on oxide thicknesses at threshold are similar to those on threshold stress intensity ranges (ΔK_{th}).

7. The higher crack closure levels in air than in dry environments correlate with the thicker oxide layers in air. Interestingly, crack closure levels in wet hydrogen are comparable to those in dry environments. In wet hydrogen, oxide layers which effectively wedge the crack tip and introduce crack closure are thought to be much smaller than those measured on fracture surfaces. It is suggested that in moisture-containing environments, large oxide thicknesses measured on fracture surfaces may not correspond to high crack closure levels.

8. The mechanism of oxide-induced crack closure provides a rationale in explaining the effects of R-ratio and environment on near-threshold fatigue crack growth behavior of 4340 steels. Hydrogen embrittlement is believed not to affect the kinetics of wet-hydrogen environment near-threshold crack propagation.

9. At higher ΔK levels ($\geq 12\,\mathrm{MPa}\sqrt{m}$), an "intrinsic" dry hydrogen effect on crack growth rates seems to be present, and crack closure cannot account for the environmental effect.

Acknowledgements—The authors are grateful to D. Detar, A. Karanovich, L. R. Conroy, P. M. Yuzawich and B. Sauka for conducting the experimental work. The encouragement from M. Schneider and B. J. Shaw is appreciated. We wish to acknowledge the financial support of Westinghouse Steam Turbine-Generator Division.

REFERENCES

1. R. O. Ritchie, *Int. Metals Rev.*, Nos 5 and 6, 205 (1979).
2. S. Suresh, G. F. Zamiski and R. O. Ritchie, *Metall. Trans.* **12A,** 1435 (1981).
3. R. D. Pendse and R. O. Ritchie, *Metall. Trans.* **16A,** 1491 (1985).
4. R. J. Cooke, P. E. Irving, G. S. Booth and C. J. Beevers, *Engng Fract. Mech.* **7,** 69 (1975).
5. J. M. Kendall and J. F. Knott, *Proc. 2nd Int. Conf. Fatigue and Fatigue Thresholds* (edited by C. J. Beevers), Vol. I, p. 307, Univ. of Birmingham, England (1984).
6. K. Minakawa and A. J. McEvily, *Proc. Int. Conf. Fatigue Thresholds*, Stockholm, Vol. 1, p. 373 (1981).
7. W. Yu, K. Esaklul and W. W. Gerberich, *Metall. Trans.* **15A,** 889 (1984).
8. A. T. Stewart, *Engng Fract. Mech.* **13,** 463 (1980).
9. G. T. Gray, J. C. Williams and A. W. Thompson, *Metall. Trans.* **14A,** 421 (1983).
10. S. Suresh, *Metall. Trans.* **16A,** 249 (1985).
11. J. L. Horng and M. E. Fine, *Proc. TMS-AIME Symp. on Concepts of Fatigue Crack Growth Threshold*, Philadelphia, Pa (edited by D. L. Davidson and S. Suresh), p. 115 (1983).
12. D. H. Park and M. E. Fine, *ibid.*, p. 145.
13. R. D. Carter, E. W. Lee, E. A. Starke and C. J. Beevers, *Metall. Trans.* **15A,** 555 (1984).
14. T. C. Lindley and C. E. Richards, *Proc. Int. Conf. Fatigue Thresholds*, Stockholm, Vol. 2, p. 1087 (1981).
15. P. C. Paris, R. J. Bucci, E. T. Wessel, W. G. Clark Jr and T. R. Mager, ASTM STP 513, p. 141 (1972).
16. P. K. Liaw, T. R. Leax, R. S. Williams and M. G. Peck, *Acta metall.* **30,** 2071 (1982).
17. P. K. Liaw, T. R. Leax and W. A. Logsdon, *Acta metall.* **31,** 1581 (1983).
18. P. K. Liaw, *Acta metall.* **33,** 1489 (1985).
19. P. K. Liaw, T. R. Leax, R. S. Williams and M. G. Peck, *Metall. Trans.* **13A,** 1607 (1982).
20. P. K. Liaw, A. Saxena, V. P. Swaminathan and T. T. Shih, *Metall. Trans.* **14A,** 1631 (1983).
21. P. K. Liaw, T. R. Leax and J. K. Donald, submitted to the *20th ASTM Natl Symp. on Fracture Mechanics* for presentation.
22. *Annual Book of ASTM Standards*, Section 3, *Metals Test Methods and Analytical Procedures*, E399 (1983).

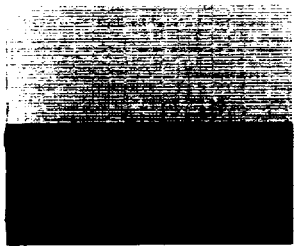
23. *Annual Book of ASTM Standards*, Section 3, *Metals Test Methods and Analytical Procedures*, E647 (1983).
24. R. S. Williams, P. K. Liaw, M. G. Peck and T. R. Leax, *Engng Fract. Mech.* **18,** 953 (1983).
25. A. Saxena, S. J. Hudak Jr, J. K. Donald and D. W. Schmidt, *J. Test Eval.* **6,** 167 (1978).
26. A. Saxena and S. J. Hudak Jr, *Int. J. Fract.* **14,** 453 (1978).
27. P. K. Liaw, *Metals Handbook*, 9th edn, Vol. 8, p. 426, Mechanical Testing, Am. Soc. Metals (1985).
28. M. Kikukawa, M. Jona and K. Tanaka, *Proc. Second Int. Conf. on Mechanical Behavior of Materials*, Boston, Mass. (edited by N. Promisel and V. Weiss), p. 716, Am. Soc. Metals, Metals Park, Ohio (1976).
29. C. S. White, S. B. thesis, MIT, Cambridge, Mass. (1980).
30. P. K. Liaw, S. J. Hudak Jr and J. K. Donald, *Metall. Trans.* **13A,** 1633 (1982).
31. *American Standard: Surface Roughness, Waviness and Lay*, Am. Soc. Mech. Engrs (1955).
32. P. K. Liaw and W. A. Logsdon, *J. Engng Mater. Tech., Trans. A.S.M.E.* **107,** 26 (1985).
33. D. Benoit, R. Namdar-Tixier and R. Tixier, *Mater. Sci. Engng* **45,** 1 (1980).
34. W. Elber, ASTM STP **486,** 230 (1970).
35. D. L. Davidson and J. Lankford, *Mater. Sci. Engng* **60,** 225 (1983).
36. P. K. Liaw, J. Anello and J. K. Donald, *Metall. Trans.* **13A,** 2177 (1982).
37. R. O. Ritchie, *MIT Fatigue and Plasticity Laboratory*, Annual Report No. 1, Department of Energy-Fossil Energy Research 12-66-79, Cambridge, Mass. (1979).
38. E. A. Esaklul, A. G. Wright and W. W. Gerberich, *Scripta metall.* **17,** 1073 (1983).
39. K. Endo, K. Komai and Y. Matsuda, *Mem. Frac. Engng*, Kyoto Univ. **31,** 25 (1969).
40. H. H. Johnson and A. M. Willner, *Appl. Mater. Res.* p. 34 (1965).
41. P. K. Liaw, S. J. Hudak Jr and J. K. Donald, ASTM STP **791,** II, 370 (1983).
42. L. K. L. Tu and B. B. Seth, *J. Test. Eval.* **6,** 66 (1978).
43. R. P. Skelton and J. R. Haigh, *Mater. Sci. Engng* **36,** 17 (1978).
44. H. G. Nelson *Proc. 2nd Int. Conf. on Mechanical Behavior of Materials*, p. 690, Am. Soc. Metals, Metals Park, Ohio, (1976).
45. D. M. Tracey, *J. Engng Mater. Tech., Trans. Am. Soc. Mech. Engrs* **98,** 146 (1976).

附件12

EPRI
Electric Power
Research Institute

Topics:
Nuclear power plants
Bolts
Fasteners
Joints
Safety engineering
In-service inspection

EPRI NP-5769
Volume 1
Project 2520-7
Final Report
April 1988



Degradation and Failure of Bolting in Nuclear Power Plants

Volume 1

Prepared by
Applied Science & Technology
Poway, California

Support Applications

In reviewing component support applications in order to discriminate between those applications requiring attention and those that do not, field failure experience was used to create the historical record of component support bolting failures. These component supports are listed in Table 4-1. It should be noted that none of the observed field failures impaired the normal operation of the component being supported; hence, attention should be focused on the supports of critical primary system components subject to accident loadings. Since damage to Class 1 components due to support failure under postulated earthquake or LOCA is a concern for the primary pressure boundary, although of low probability, the generic review should emphasize the supports of Class 1 components. Field experience has shown that steam generator supports and their anchor bolting, and the anchor bolting of reactor coolant pumps and of reactor pressure vessels support skirts have suffered from degradation by SCC. Therefore, it seems reasonable that these bolting applications should be examined. It is recommended that pressurizer support bolting also be included in the review, since primary pressure boundary integrity concerns are similar for the pressurizer and other Class 1 components.

Sizes

The review procedures for toughness and SCC proposed by the USNRC (3) included the exclusions given in NF-2300 and NC-2300, which can be applied to bolting materials for the purpose of exempting certain materials and product sizes. Bolts and studs with a nominal diameter of one inch and less were exempt from both fracture toughness and SCC review under the proposed USI A-12 resolution. Since none of the failures occurred in bolts of less than 1.25-inch diameter, it is also recommended herein that only bolts or studs greater than one inch nominal diameter be considered in the review.

Materials

Bolting failure experience summarized in Table 4-1 indicates that two general classes of steel have been involved with the reported events -- high-nickel maraging steels and low-alloy, quenched and tempered (LAQT) steels. The field experience involving these bolting materials can be categorized into four groups:

1. Materials specified as high strength or ultra-high strength (S_y > 150 ksi, where S_y is the yield strength) that failed by SCC under a combination of stress and environmental factors.

2. Materials specified as medium strength (120 ksi < S_y < 150 ksi) that failed by SCC because poor heat treatment and material variability resulted in overly hard (high strength) material condition.

Table 4-1

SUMMARY OF STRUCTURAL SUPPORT BOLTING FAILURES

Plants	Year	Application	Nom. Bolt Size	Relevant Material Specification	Specified Min. Yield Strength	Material Supplied	Failure Mode	Failure Contributors
Ginna	1970	RCP Embedment Anchor Studs	1-3/8"	A490[1]	200 ksi[2]	4140	SCC	High Preload & Borated Water Environment
Haddam Neck	1973	SG Support Embedment Anchor Studs	2-5/8"		160 ksi	4340	SCC	High Preload & Moisture Environment
Surrey 1 & 2	1974	SG Support Bolts				Vascomax 250	SCC	
Sequoyah 1 & 2	1977	SG Support Holddown Bolts	1-1/2"	A564 XM16 (H900)	220 ksi	Custom 455	SCC	Improper Fabrication
Midland 1	1979	RPV Embedment Studs	2-1/2"	A354 Gr. BD	130 ksi	4140	SCC	Improper Heat Treatment (Under Tempered)
Midland 1	1980	Pipe Whip Restraint Connection Bolts	1-1/4"	A490 Type 3	130 ksi	4140	Ductile Fracture	Improper Heat Treatment (Over Tempered)
Midland 1	1980	Pipe Whip Restraint Connection Bolts	1-1/8"	A540 Gr. B23		1018	Ductile Fracture	Wrong Material Supplied
Prairie Island 1&2	1980	SG Support Bolts	1-1/2"	A538 Gr. B	230 to 260 ksi[3]	Vascomax 250	SCC	High Local Stress and Moisture Environment
Palo Verde	1981	Piping Restraint Embedment Anchor Bolts	1-1/2"	A354 Gr. BD	130 ksi	4140	SCC	Improper Heat Treatment (Under Tempered)

Table 4-1 (Continued)

SUMMARY OF STRUCTURAL SUPPORT BOLTING FAILURES

Plants	Year	Application	Nom. Bolt Size	Relevant Material Specification	Specified Min. Yield Strength	Material Supplied	Failure Mode	Failure Contributors
Palo Verde	1981	Piping Restraint	1-1/2"	A354 Gr. BC	130 ksi	1020	[4]	Wrong Material Supplied
Waterford	1981	RCP Support Bolts		A490	130 ksi			Improper Torque

[1] This specification was reported to be used for heat treatment requirements.

[2] Based on specified minimum hardness of $45R_C$.

[3] This value corresponds to 0.2% offset yield and strength. Specified minimum tensile strength is 240 ksi.

[4] During the investigation of the SCC-related failures, at least one bolt was found to be a low strength material.

錨定螺栓失效過程分析推論

1.0 前言

核二廠 1 號機在 EOC22 大修期間反應爐支撐裙板內側錨定螺栓超音波檢測發現 7 支螺栓有破裂跡象。其中兩支(A2，C6)為完全斷裂，一支(D14)為部份斷裂，其它四支(B10，B13，C9，D11)則有裂紋指示。7 支破裂螺栓經拆卸後，送交核研所熱室進行破斷面觀察及失效分析，目前核研所已完成 A2 及 C6 螺栓斷面特徵觀察、化學成份、金相組織、硬度測試、及書面報告(Ref.1，Ref.2)。D14 螺栓已完成分析工作。B10 螺栓則有初步觀察結果。

針對核二廠 1 號機 A2、C6、D14、及 B10 錨定螺栓之熱室觀察及測試結果，工研院材化所已與核研所進行充份討論，在此提供工研院對 1 號機反應爐支撐裙板內側錨定螺栓失效原因分析及可能影響之初步意見。

2.0 螺栓斷裂主要原因

螺栓斷裂可分為兩個階段；分別為裂縫起始期(crack initiation stage)及裂縫成長期(crack propagation stage)。

2.1 裂縫起始階段

從核研所 A2、C6 螺栓失效分析報告(Ref.1，Ref.2)及 D14、B10 螺栓斷面觀察結果，討論得知螺栓起裂區之破斷面特徵皆為沿晶斷裂。從 SA540 B23 Class 1 規範顯示螺栓材質為回火麻田散鐵 4340 低合金鋼。而 4340 鋼材發生沿晶斷裂可歸究於四個可能因素，分別為：(1)氫脆現象(Hydrogen Embrittlement)，(2)回火麻田散鐵脆化現象(Tempered Martensite Embrittlement)，(3)回火脆化現象(Temper Embrittlement)，及(4)應力腐蝕破裂(Stress Corrosion cracking)(Ref.3)。以下針對此四大因素分別討論之。

(因素 1) 4340 鋼材如發生氫脆問題，主要是因為表面電鍍硬鉻或鎘過程中產生氫原子，滲入鋼材內部造成材質脆化，或者受到持續性氫來源之影響而導致晶界間強度劣化(Ref.4)。由於核二廠一號機錨定螺栓並未經過任何表面電鍍處理，或者現場存在持續性氫來源，因此可排除氫脆肇因。

(因素 2) 如果 4340 鋼材在較低的 250℃-400℃溫度範圍進行回火熱處理，容易使晶界上形成高脆性的片狀 Fe_3C 相，而發生回火麻田散鐵脆化現象，若再加上晶界位置硫和磷等雜質偏析之交互效應，更容易造成鋼材脆化問題。雖然核二廠一號機錨定螺栓不能完全排除製造過程中曾有不當回火處理之可能性，但相信不是造成起裂區沿晶破裂的主要原因。依照目前斷面觀察結果，沿晶斷裂只是局限在起裂區，裂縫成長區為疲勞或其它機制形成之穿晶斷裂面，最後破斷區之過負載(overload)斷裂面亦非沿晶斷裂；如果回火麻田散鐵脆化現象是斷裂主要原因，至少在過負載斷裂面也應出現同樣的沿晶斷裂特徵；而且如果螺栓因為不當回火處理發生嚴重脆化問題，應可預期斷裂面顯現出大量的沿晶破斷特徵，這與目前觀察結果不相吻合。因此雖不能排除熱處理過程對破裂螺栓可能有不良影響，但不是造成起裂區沿晶特徵的主要原因。

(因素 3) 4340 鋼材回火脆化較易發生在 450℃-600℃熱處理溫度範圍內，主要原因則是砷、錫、磷、或錳等雜質或元素在晶界位置產生偏析，因而造成沿晶脆化現象。如同回火麻田散鐵脆化現象一樣，回火脆化可能造成弱化晶界強度之負面影響，但不是造成沿晶破裂的主要原因。

(因素 4) 4340 鋼材的沿晶應力腐蝕破裂，其實就是受應力區裂縫尖端發生局部氫脆現象。因裂縫尖端金屬腐蝕之電化學反應，陽極區域發生金屬氧化(腐蝕)為金屬離子反應，而陰極區域發生氫離子還原成氫原子，氫原子滲透擴散至應力集中區域內晶粒界面位置，導致晶界強度弱化，進而發生沿晶破裂問題。前面所提到的不當熱處理，可能產生晶界雜質偏析，則對應力腐蝕有進一步惡化效應。因硫、磷等雜質元素為所謂的防止氫原子結合成氫分子之毒化元素(hydrogen poison)，造成有較高濃度氫原子可擴散至晶界發揮其脆化效應。

4340 鋼材之應力腐蝕現象常發生在含鹵素離子、硫酸根離子、或 60℃高溫以上鹼性的水溶液環境中(Ref.5，Ref.6，Ref. 7)， 建廠初期,反應器支撐裙板錨定螺栓在安裝後一段期間內可能暴露在有氯離子潮溼環境中。錨定螺栓在高安裝應力作用下、表面硫化雜夾物缺陷之加速效應、以及腐蝕性水溶性環境影響形成應力腐蝕破裂的三大必要條件同時存在時，核二廠一號機錨定螺栓發生應力腐蝕破裂之可能性是存在的。

反應廠房建成後,反應器與外界腐蝕環境隔離，包覆於混凝土內螺栓所暴露潮溼環境逐漸乾涸(見 Ref.2 之圖 13，沈積泥乾裂現象 Mud cracks)，腐蝕環境因素既不存在，螺栓應力腐蝕破裂則不再持續。檢查核二廠有裂紋之錨定螺栓，其沿晶斷面長短不一，裂縫深度自約 1 mm 深至 6 mm 以上不等。具 6 mm 以上裂縫深

度之 C6 螺栓及 A2 螺栓已完全斷裂，而具 1 mm 深度沿晶裂縫之 B10 螺栓，其裂縫在後續運轉期間，則是以非沿晶應力腐蝕的穿晶斷裂方式進一步成長至 5 mm 左右裂縫深度。

不同螺栓之沿晶應力腐蝕裂紋長度不一，主要是因為不同螺栓的暴露環境嚴苛度、暴露時間長短(潮溼環境形成至腐蝕溶液乾涸)、回火熱處理狀況、雜質偏析程度、表面安裝局部區域應力或表面缺陷等條件各有不同，導致不同破裂程度之沿晶應力腐蝕。

2.2 裂縫成長階段

由核研所分析報告(Ref.1 及 Ref.2)判斷，接續沿晶裂縫起裂區後所發現的裂縫成長區，其主要機制為週期性疲勞應力所造成的穿晶裂縫成長所致。原有 6 mm 以上沿晶裂紋之 C6 螺栓已完全斷裂(但實際斷裂時間未知)，而有 1 mm 深度沿晶裂縫之 B10 螺栓，在相同的週期應力條件下，疲勞裂縫只進一步成長了 5-6 mm。兩者有相當大的成長速率差異。

疲勞裂縫成長速率存在差異性，與不同螺栓具有長短不一的沿晶應力腐蝕裂縫有直接關連。螺栓之沿晶裂縫長度對裂縫尖端疲勞應力有兩方面的影響。

1. 應力強度因子(K)大致上與裂縫長度(a)平方根成正比例關係($K \propto \sqrt{a}$)，在同樣之疲勞負荷條件下，裂縫愈長，疲勞應力強度因子愈大，相對的裂縫成長速率將加快。
2. 另一影響則是當螺栓裂縫增長後，高剛性螺栓長度略增而使預力值大幅降低。如螺栓喪失原本的高預力，在運轉中，螺栓將分擔較大部份之外載疲勞負荷，裂縫尖端疲勞應力強度因子(ΔK)相對提高，裂縫成長速率進一步加快(Ref.7)。含微細裂縫之螺栓則仍可維持大部份預力，將分擔較低的外載應力，如裂縫承受之ΔK 處於門檻區域(Threshold region)或低於門檻值，(ΔK_{th})(圖 2)，裂縫則以非常緩慢速率延伸甚至成長停滯。

對於裂縫較長之螺栓，在預力喪失、外載疲勞負荷增加及裂縫強度幾何因子上升之雙重影響下，ΔK 將高於門檻區域，相對疲勞裂縫成長速率偏高，裂縫會持續增長直到斷裂，如 A2 及 C6 螺栓。而微裂之螺栓則仍維持大部份預力，只有部份的疲勞負荷傳遞至螺栓，相對而言，在運轉疲勞應力下，裂縫強度因子仍處於門檻值以下或在門檻區域，裂縫成長趨向停滯或以緩慢速率向前延伸，如 B10 螺栓。

存在較微小裂縫之螺栓，如原有 1 mm 沿晶裂紋之 B10 螺栓，從疲勞裂縫成長程度估算，30 年間約長了 5 mm，裂縫成長速率約為 0.17 mm/year；依此計算推估，

針對未檢出表面缺陷的螺栓(可能存在的裂縫起裂區長度低於偵測極限)，下一運轉週期中裂縫成長程度將低於 0.5 mm。

目前一號機反應爐支撐裙板安裝之 120 根螺栓，皆經由超音波檢驗未發現有任何瑕疵指示，即使有缺陷存在亦低於偵測下限(<2.5 mm)。在下一週期(18 個月)之運轉時間，即使成長，總長度預期將低於 3 mm 以下(< 2.5 +0.5 mm)。而表面無沿晶裂縫之螺栓，不預期疲勞裂紋有起始跡象。

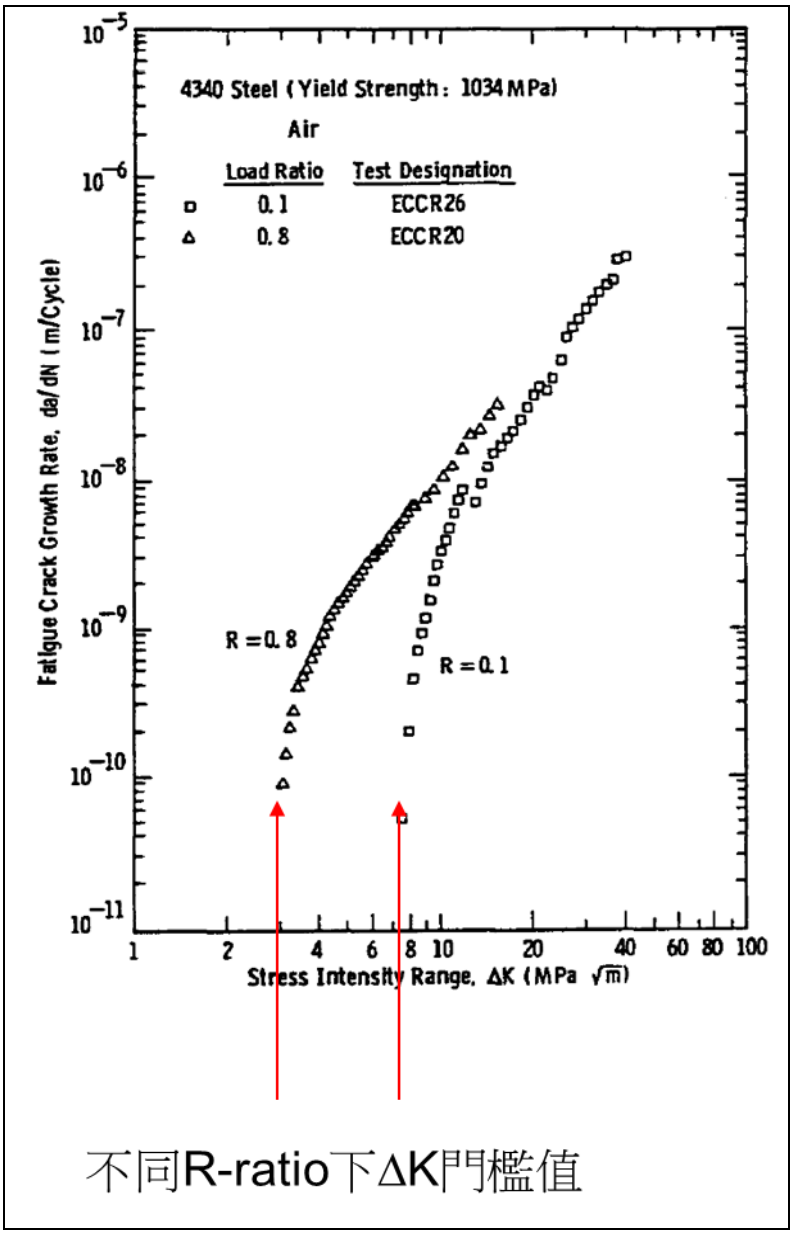


圖 2、4340 鋼材在空氣中疲勞裂縫成長曲線(Ref. 8)

3.0 結語

核二廠 1 號機反應爐支撐裙板內側 7 支破裂錨定螺栓，從其中四支螺栓之斷面分析結果可推斷，螺栓起裂主要原因為環境促進破裂所造成。裂縫起始處皆為典型之沿晶應力腐蝕破裂特徵。沿晶裂縫達到 6-7 mm 以上之螺栓，因有較大幅度預力喪失，加上裂縫較長，裂縫尖端將承受較高之疲勞應力強度因子，裂縫以較高速率成長，直到斷裂。而含 1 mm 深度沿晶應力腐蝕裂紋之螺栓，由於預力未明顯喪失，疲勞應力強度因子相對偏低，裂縫則是以緩慢的速率延伸，在 30 年運轉期間，裂縫約有 5 mm 之成長。而表面無裂紋之螺栓在下一運轉週期將不預期有裂縫起始跡象。針對未檢出表面可能缺陷，下一運轉週期中裂縫成長程度將低於 0.5 mm。

4.0 參考文獻

(Ref.1) 張中興，”核二廠一號機 EOC22 反應爐支撐裙板 A2 錨定螺栓斷裂肇因分析”，核研所，民國 101 年 4 月 4 日。

(Ref.2) 張中興，”核二廠一號機 EOC22 反應爐支撐裙板 C6 錨定螺栓斷裂肇因分析”，核研所，民國 101 年 4 月 9 日。

(Ref.3) C. J. McMahon, Jr., “Mechanisms of intergranular fracture in alloy steels”, Materials Characterization, 26(1991), p. 269-287.

(Ref.4) N. Elia, A. Shachar, B. Tal, and D. Eliezer, “Characteristics of hydrogen embrittlement stress corrosion cracking and tempered martensite embrittlement in high strength steels”, Engineering Failure Analysis, 9(2002), p. 167-184.

(Ref.5) A. M. Sullivan, “Stress corrosion crack velocity in 4340 steel”, Engineering Fracture Mechanics, 4(1972), p. 65-76.

(Ref.6) Y. Hirose and T. Mura, “Growth mechanism of stress corrosion cracking in high strength steel”, Engineering Fracture Mechanics, Vol. 19(1984), No. 6, pp. 1057-1067.

(Ref.7) Sarvesh Pal and R. N. Ibrahim, ”Role of Bayer solution concentration and temperature in stress corrosion cracking susceptibility of steel”, Corrosion Science, 53 (2001), p. 2660-2669

(Ref.8) “Threaded Fasteners – Tightening to Proper Tension”, Military Handbook, MIL-HDBK-60, March 12, 1990.

(Ref.9) P. K. Liaw, T. R. Leax, and J. K. Donald, “Fatigue crack growth behavior of 4340 steels”, Acta Metallurgica, 35(1987), No. 7, p. 1415-1432.

附件14

III B1.1	STRUCTURES AND COMPONENT SUPPORTS Class 1						
Item	**Link**	**Structure and/or Component**	**Material**	**Environment**	**Aging Effect/ Mechanism**	**Aging Management Program (AMP)**	**Further Evaluation**
III.B1.1.TP-42	III.B1.1-1(T-29)	Building concrete at locations of expansion and grouted anchors; grout pads for support base plates	Concrete; grout	Air – indoor, uncontrolled or Air – outdoor	Reduction in concrete anchor capacity due to local concrete degradation/ service-induced cracking or other concrete aging mechanisms	Chapter XI.S6, "Structures Monitoring"	No
III.B1.1.T-28	III.B1.1-2(T-28)	Constant and variable load spring hangers; guides; stops	Steel	Air – indoor, uncontrolled or Air – outdoor	Loss of mechanical function due to corrosion, distortion, dirt, overload, fatigue due to vibratory and cyclic thermal loads	Chapter XI.S3, "ASME Section XI, Subsection IWF"	No
III.B1.1.TP-41	III.B1.1-3(T-27)	High-strength structural bolting	Low-alloy steel, actual measured yield strength ≥ 150 ksi (1,034 MPa)	Air – indoor, uncontrolled	Cracking due to stress corrosion cracking	Chapter XI.S3, "ASME Section XI, Subsection IWF"	No
III.B1.1.TP-45	III.B1.1-5(T-32)	Sliding surfaces	Lubrite®; graphitic tool steel; Fluorogold; Lubrofluor	Air – indoor, uncontrolled or Air – outdoor	Loss of mechanical function due to corrosion, distortion, dirt, debris, overload, wear	Chapter XI.S3, "ASME Section XI, Subsection IWF"	No

150 ksi or 1,034 MPa. Structural bolting replacement and maintenance activities include appropriate preload and proper tightening (torque or tension) as recommended in EPRI documents, American Society for Testing of Materials (ASTM) standards, American Institute of Steel Construction (AISC) Specifications, as applicable. If the structural bolting consists of ASTM A325, ASTM F1852, and/or ASTM A490 bolts, the preventive actions for storage, lubricants, and stress corrosion cracking potential discussed in Section 2 of RCSC (Research Council for Structural Connections) publication "Specification for Structural Joints Using ASTM A325 or A490 Bolts" need to be used.

3. ***Parameters Monitored or Inspected:*** The parameters monitored or inspected include corrosion; deformation; misalignment of supports; missing, detached, or loosened support items; improper clearances of guides and stops; and improper hot or cold settings of spring supports and constant load supports. Accessible areas of sliding surfaces are monitored for debris, dirt, or indications of excessive loss of material due to wear that could prevent or restrict sliding as intended in the design basis of the support. Elastomeric vibration isolation elements are monitored for cracking, loss of material, and hardening. Structural bolts are monitored for corrosion and loss of integrity of bolted connections due to self loosening and material conditions that can affect structural integrity. High-strength structural bolting (actual measured yield strength greater than or equal to 150 ksi or 1,034 MPa) susceptible to SCC should be monitored for SCC.

4. ***Detection of Aging Effects:*** The program requires that a sample of ASME Class 1, 2, and 3 component supports that are not exempt from examination and 100% of MC component supports be examined as specified in Table IWF-2500-1. The sample size examined for ASME Class 1, 2, and 3 component supports is as specified in Table IWF-2500-1. The extent, frequency, and examination methods are designed to detect, evaluate, or repair age-related degradation before there is a loss of component support intended function. The VT-3 examination method specified by the program can reveal loss of material due to corrosion and wear, verification of clearances, settings, physical displacements, loose or missing parts, debris or dirt in accessible areas of the sliding surfaces, or loss of integrity at bolted connections. The VT-3 examination can also detect loss of material and cracking of elastomeric vibration isolation elements. VT-3 examination of elastomeric vibration isolation elements should be supplemented by feel to detect hardening if the vibration isolation function is suspect. IWF-3200 specifies that visual examinations that detect surface flaws which exceed acceptance criteria may be supplemented by either surface or volumetric examinations to determine the character of the flaw.

   For high strength structural bolting (actual measured yield strength greater than or equal to 150 ksi or 1,034 MPa) in sizes greater than 1 inch nominal diameter, volumetric examination comparable to that of ASME Code Section XI, Table IWB-2500-1, Examination Category B-G-1 should be performed to detect cracking in addition to the VT-3 examination. This volumetric examination may be waived with adequate plant-specific justification. Other structural bolting (ASTM A-325, ASTM F1852, and ASTM A490 bolts) and anchor bolts are monitored for loss of material, loose or missing nuts, and cracking of concrete around the anchor bolts.

5. ***Monitoring and Trending:*** The ASME Class 1, 2, 3, and MC component supports are examined periodically, as specified in Table IWF-2500-1. As required by IWF-2420(a), the sequence of component support examinations established during the first inspection interval is repeated during each successive inspection interval, to the extent practical. Component supports whose examinations do not reveal unacceptable degradations are accepted for

第 捌 章

安 全 運 轉 評 估

第捌章、安全運轉評估

核二廠1號機反應爐支撐裙板錨定螺栓安全運轉評估報告 Rev.4

頁　次

版次說明 ----------1
一、前言 ----------3
二、評估概述 ----------3
三、評估結論 ----------4

附件：

核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告，Rev.5

核二廠1號機反應爐支撐裙板錨定螺栓安全運轉評估報告
Rev.4

評估	審查	複核	副處長	處長
101. 6. 5 翁炯立	101. 6. 5 王琅琛	101. 6. 5 吳才基	101. 6. 5 王琅琛	101. 6. 5 簡福添

台灣電力公司核安處

101 年 6 月 5 日

「核二廠 1 號機反應爐支撐裙板錨定螺栓安全運轉評估報告」

版次說明

版次	完成日期	內容及版次差異簡要說明
Rev.1	101.5.18	1. 2.2 節：" 3.84×10^5 cycles" 更正為 " 4.02×10^5 cycles"；"<< 3.84×10^5 "更正為" << 4.02×10^5 "；" 1.07×10^5 cycles"更正為" 1.14×10^5 cycles"；"<< 1.07×10^5 "更正為 "<< 1.14×10^5 "；" 4.4×10^7 cycles"更正為" 4.61×10^7 cycles"；"<< 4.4×10^7 "更正為 "<< 4.61×10^7 "。 2. 三、評估結論：「核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告，Rev.2」更正為「核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告，Rev.3」
Rev.2	101.5.24	依單委員第四次審查意見 IV-18 及 IV-19 問題修訂如下： 1、 增加下列評估結果： ■ 由斷裂螺栓破斷面金相檢驗結果推估螺栓可能承受之交變應力及疲勞壽命評估 ■ 疊加後之交變應力。 ■ 累積疲勞裂縫成長評估方法。 ■ 裂縫成長導致預張應力下降及交變應力增強效應。 2、 三、評估結論：「核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告，Rev.3」更正為「核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告，Rev.4」
Rev.3	101.6.4	依據工材所 101.5.31 之審查意見修訂如下： 1、 2.2 節"...應力循環數為 4.61×10^7 cycles.." 更正為 "... 應力循環數為 3.70×10^7 cycles..."；"<< 4.61×10^7 "更正為"<< 3.70×10^7 "。 2、 評估結論："…. 疲勞裂痕最多成長至

		3.36649 mm…….″更正為″….疲勞裂痕最多成長至 2.9510 mm…….″ 3、 三、評估結論：「核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告，Rev.4」更正為「核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告，Rev.5」
Rev.4	101.6.6	依據「核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告，Rev.5」，更新評估結論，使兩者相符： 1、 三、評估結論：依「核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告，Rev.5」之評估內容修訂。

一、前言

核二廠 1 號機第 22 週期大修期間，於 101 年 3 月 23 日執行反應爐支撐裙板錨定螺栓 VT-3 目視檢測及超音波檢查(UT)，發現內圈編號 A2 錨定螺栓已斷裂，內圈編號 D14 及 C6 共 2 支錨定螺栓，超音波(UT)顯示背波消失，判斷已接近斷裂。另 4 支內圈編號分別為 B10, B13, C9, D11 之螺栓有顯示(indications)，但背波顯示良好。上列 7 支有瑕疵螺栓均已修復完成，其餘 113 支螺栓雖於本次大修經 UT 檢測未發現裂縫顯示，但為能確切掌握反應爐相關結構之安全，本公司保守假設錨定螺栓仍有可能存在 UT 檢測無法判讀的瑕疵，採取與原設計不同之考量方式，進行破壞力學分析，並預估可能之反覆交變負載進行疲勞壽命評估。

二、評估概述

2.1 破壞力學評估

本分析假設螺栓內部仍可能存有超音波檢測未能檢測出最大為 2.5 mm 深之裂縫，且裂縫存在於螺牙根部。破壞力學評估所採用之材料斷裂韌度係由實際測試樣本中取最低之夏比衝擊能(CVN)值，評估結果，核二廠 1 號機反應爐支撐裙板錨定螺栓於運轉中承受設計基準最嚴苛之故障狀況(Faulted Condition)負載之最大應力時，發生斷裂之臨界裂縫深度為 10.08 mm。

2.2 疲勞壽命評估

交變載荷對裂縫體會構成疲勞裂縫成長之威脅，威脅的程度則視結構體之裂縫尺寸以及其所承受交變載荷之大小而定。核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓如果有承受交變應力，則疲勞壽命多長，為本節探討之重點。核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓可能承受較明顯之交變應力有反應爐整體結構承受地震力(包括安全釋放閥沖放)、機組起動後支撐裙板因外漲所施加之熱力矩(thermal moment)以及因反應爐急停而產生之交變垂直上揚力等，這些負載均為反覆交變負載。

評估結果顯示，錨定螺栓承受RPV整體結構承受地震力(包括SRV沖放) 之交變應力時，裂縫深度由 a_0 (2.5 mm)擴展至 a_c (10.08 mm)之受力循環數為 4.02×10^5 cycles，保守預估運轉40年發生上列交變應力循環數為 19896 cycles (<< 4.02×10^5 cycles)。當承受熱力矩之交變應力時，裂縫深度由 a_0 擴展至 a_c 承受應力循環數為 1.14×10^5 cycles，保守預估運轉 40 年發生上列交變應力循環數為 100 cycles (<< 1.14×10^5)。當承受反應爐急停之交變負載下，裂縫深度由 a_0 擴展至 a_c 之應力循環數為 3.70×10^7 cycles。保守估算反應爐運轉 40 年承受此項交變應力在 1400 cycles 以內 (<< 3.70×10^7 cycles)。

疲勞壽命評估亦考慮錨定螺栓可能承受上列各項交變應力之疊加作用，並比照ASME Section XI，Appendix L之要求，考量累積疲勞損傷，計算螺栓承受疊加交變應力後之累積疲勞裂縫成長量。另一併考量裂縫成長過程中，螺栓預張力會鬆弛，導致交變應力有增強效應。

分析結果顯示，錨定螺栓繼續運轉40年，若不考慮裂縫成長導致預張應力鬆弛及交變應力增強效應，則螺栓裂縫將由2.5 mm成長至2.9502 mm，離螺栓發生斷裂之臨界裂縫深度10.08 mm尚有相當餘裕；若考慮裂縫成長導致預張應力下降及交變應力增強效應，則螺栓裂縫由2.5 mm成長至2.9510 mm，離螺栓發生斷裂之臨界裂縫深度10.08 mm仍有相當餘裕。

另由斷裂螺栓破斷面金相檢驗結果所推估螺栓可能承受運轉中持續之交變應力，雖為經常性交變負載，但由於應力極低，對於2.5mm之淺裂縫而言，運轉期間，其 ΔK_{th} 均小於產生疲勞裂縫成長之門檻值 $2.5\,Mpa\sqrt{m}$ ，不致於產生疲勞裂縫成長。

三、評估結論

核二廠 1 號機反應爐支撐裙板 120 支錨定螺栓雖於本次大修經

UT 檢測未發現裂縫顯示，但為能確切掌握反應爐相關結構之安全，本公司保守假設錨定螺栓仍有可能存在 UT 檢測無法判讀的瑕疵，進行破壞力學分析，並預估可能之承受反覆交變負載進行疲勞壽命評估。分析中保守假設 UT 檢測無法判讀的裂縫深度為 2.5 mm，並假設裂縫發生在螺牙根部。

破壞力學分析結果顯示，反應爐支撐裙板錨定螺栓承受設計基準最嚴苛之故障狀況(Faulted Condition)之負載時，受力最嚴重之螺栓發生脆斷時之臨界裂縫深度為 0.397 in (10.08 mm)，因此，假設目前錨定螺栓有現存 2.5 mm 之裂縫深度，在發生 Faulted Condition 時，不致有發生脆性斷裂之疑慮。

另疲勞分析方面，本分析針對錨定螺栓可能承受之反覆交變應力，包括地震力(含SRV沖放)、運轉中支撐裙板因外漲所施加之 thermal moment、反應爐急停而產生之交變垂直上揚力以及由斷裂螺栓破斷面金相檢驗結果推估螺栓可能於運轉中承受之交變應力等，對假設目前錨定螺栓在螺牙根部有現存2.5 mm之裂縫深度之情況下，評估螺栓之疲勞壽命。

假設上述各項交變應力不同一時間發生，則疲勞壽命評估結果顯示，地震力(含SRV沖放)之交變應力會對其產生疲勞裂縫成長，但裂縫由 2.5 mm 成長至斷裂之應力循環數為 4.02×10^5 cycles。保守估計機組運轉40年發生此項交變應力循環數為19896 cycles ($<<4.02\times10^5$)，換言之，此項交變負載對反應爐支撐裙板錨定螺栓之疲勞破壞沒有威脅性。至於thermal moment反覆交變應力對螺栓之疲勞壽命評估結果顯示，裂縫由 2.5 mm成長至斷裂之應力循環數為 1.14×10^5 cycles。保守估計每部機40年之應力循環數應在100次以內($<<1.14\times10^5$)，換言之，此項反覆交變負載對反應爐支撐裙板錨定螺栓之疲勞破壞沒有

威脅性。針對OSG-XE-105強震儀記錄研判可能因反應爐急停產生之交變垂直上揚力進行疲勞評估，假設目前錨定螺栓螺牙根部有現存2.5 mm之裂縫深度時，承受反應爐急停之交變應力應不致於產生疲勞裂縫成長，此項反覆交變負載對反應爐支撐裙板錨定螺栓之疲勞破壞沒有威脅性。另由斷裂螺栓破斷面金相檢驗結果推估螺栓於運轉中可能承受之交變應力，因此項應力極低，對於假設螺牙根部有現存2.5 mm裂縫深度之錨定螺栓不致於產生疲勞裂縫成長，因此，沒有疲勞破壞之疑慮。

本分析亦考慮上述各項交變應力可能同一時間發生，因此，上列各項交變應力必須疊加，並比照ASME Section XI，Appendix L之要求，考量累積疲勞損傷，計算螺栓承受疊加交變應力後之累積疲勞裂縫成長量。另裂縫成長過程中，螺栓預張力會鬆弛，導致交變應力有增強效應，本分析亦一併考量。

考慮上列各項交變應力疊加後，分析結果顯示，錨定螺栓繼續運轉40年，若不考慮裂縫成長導致預張應力鬆弛及交變應力增強效應，則螺栓裂縫將由2.5 mm成長至2.95023 mm，離螺栓發生斷裂之臨界裂縫深度10.08 mm尚有相當餘裕；若考慮裂縫成長導致預張應力下降及交變應力增強效應，則螺栓裂縫由2.5 mm成長至2.95100 mm，離螺栓發生斷裂之臨界裂縫深度10.08 mm仍有相當餘裕。分析結果亦顯示，由斷裂螺栓破斷面金相檢驗結果所推估螺栓可能承受運轉中持續之交變應力，雖為經常性交變負載，但由於此項應力極低，對於2.5mm之淺裂縫而言，運轉期間，其 ΔK_{th} 均小於產生疲勞裂縫成長之門檻值 $2.5\,Mpa\sqrt{m}$，不致於產生疲勞裂縫成長。

綜合以上分析結果顯示，配合超音波檢測，確保螺栓之初始裂縫深度均在2.5 mm以內，則核二廠1號機繼續安全運轉一個週期以上無虞。評估過程及結果詳如附件「核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告，Rev.5」。

核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓
破壞力學及疲勞評估報告
Rev.5

台灣電力公司

101 年 6 月 4 日

核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告

版次說明

版次	完成日期	內容及版次差異簡要說明
Rev.1	101.4.24	1. 保守假設已修復及經 UT 檢測未發現裂縫顯示錨定螺栓，仍有可能存在 UT 檢測無法判讀的瑕疵，採取與原設計不同之考量方式，進行破壞力學分析，並預估可能之變動負載進行疲勞壽命評估。 2. 假設螺栓內部仍存有 UT 未檢測出的 2.5mm 深之裂縫。 3. 假設螺栓之初始裂縫為 2.5mm＋1.95 mm＝4.45mm，並保守假設為 360 度之全周裂縫。
Rev.2	101.5.7	1. 螺栓斷裂韌度 K_{IC} ＝ 174 $ksi(in)^{1/2}$ (Rev.1)修正為 K_{IC}＝115.26 $ksi(in)^{1/2}$ 。 2. 應力強度因子 K_I 由 Rev.1 採用圓柱體 360 度全周裂紋進行計算，修正為採用外徑 3” ，8UN 螺牙螺栓，符合核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓實際幾何形狀之 K_I 計算式。評估過程保守假設裂縫存在螺紋根部。 3. 增加地震力(包括 SRV 沖放)之疲勞評估。
Rev.3	101.5.17	1. 4.2.1 節：″反應爐基礎模式振動頻率 8.29 Hz″更正為″反應爐體之基本振動自然頻率 8.29 Hz″。 2. 4.3.1 節：″受力循環數為 3.83×10^5 cycles″更正為″受力循環數為 4.02×10^5 cycles″；″19896 cycles ($<<3.83\times10^5$)″更正為″19896 cycles ($<<4.02\times10^5$)″。 3. 4.3.2 節：″受力循環數為 1.07×10^5 cycles″更正為″受力循環數為 1.14×10^5 cycles″；″100 次以內($<<1.07\times10^5$)″更正為″100 次以內($<<1.14\times10^5$)″。 4. 4.3.3 節：″應力循環數為 4.4×10^7 cycles″更正為″應力循環數為 4.61×10^7 cycles″；″($<< 4.4\times10^7$)″更正為″100 次以內($<<4.61\times10^7$)″。 5. 五、討論與結論：″應力循環數為 3.84×10^5 cycles″更正為″應力循環數為 4.02×10^5 cycles″；″$<< 3.84\times10^5$ ″更正為

		″100 次以內(<<4.02×10^5)″;″應力循環數為 1.07×10^5 cycles″更正為″應力循環數為 1.14×10^5 cycles″;″<<1.07×10^5″更正為″100 次以內(<<1.14×10^5)″;″應力循環數為 4.4×10^7 cycles″更正為″應力循環數為 4.61×10^7 cycles″;″<<4.4×10^7″更正為″100 次以內(<<4.61×10^7)″。 6. 增加工程計算資料，附件 1、1a、1b、2、2a、2b、2c、2d、2e 及 2f。
Rev. 4	101.05.23	1. 增加： 4.4 由斷裂螺栓破斷面金相檢驗結果推估螺栓可能承受之交變應力及疲勞壽命評估 4.5 疊加後之交變應力 4.6 累積疲勞裂縫成長評估方法 4.7 裂縫成長導致預張應力下降及交變應力增強效應 4.8 累積疲勞裂縫成長評估結果 2. 增加工程計算資料，附件 3、3a、3b、4、4a 及 4b。
Rev.5	101.06.04	1. 4.3.1 節 ″…△K_{th}之裂縫深度為 0.035” = 0.9mm…″更正為″…△K_{th}之裂縫深度為 0.00068” = 0.017mm……″。 2. 4.3.3 節 ″...承受△σ＝1.61 ksi (11.10 Mpa)...″更正為″...承受△σ＝1.77 ksi (12.20 Mpa)...″。附件 2e ″... 1.61..″更正為″..1.77...″ 3. 4.8.1 節 ″…裂縫會發生疲勞成長，代入(3)式…″’等 3 處更正為″…裂縫會發生疲勞成長，代入(11)式…″。 4. 附件 3a ″…0.01397…″’更正為″…0.01008…″；″…8.9e08…″’更正為″…3.9e08…″。 5. 附件 4a ″…8.9e08…″’更正為″…3.9e08…″。 6. 附件 3、附件 4 ″do i=1,nn″指令下，增加″da=0.″指令。 7. 附件 3b、附件 4b 輸出檔更新。

文件修訂審核表

文件名稱	超二廠反應爐支撐環板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告
版　　次	4

	審查意見	審查意見回覆	意見回覆確認
內容審查	☐ 無。 ■ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 審查者：[illegible] 日　期：101.6.3	■ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 ☐ 其他說明： 回覆者：[illegible] 日　期：101.6.3.	■ 已確認，無其他意見。 ☐ 詳如「審查意見與回覆解決表」 審查者：[illegible] 日　期：101.6.4
核定	■同意 ☐不同意，理由：同意審查意見回覆內容 核准人：[illegible]　日期：101/6/14		

審查意見與回覆解決表

文件名稱: 核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告 Rev. 4

Reviewer: 郭泰良、王立華 Date: 2012/6/3

Comment No.	Section / Pg.#	Comment	Resolution
1	3.2/p.5	最底下一行'螺栓螺栓軸向應力為 P/A=510/6.506…' 其中面積 6.506 如何得到？請說明。	螺栓螺牙呈螺旋狀，其有效受力面積之引用係依原設計計算書 Bechtel Cal. No. C17C12.1-2.0 所載，依據 AISC 規範，3" 8UNC 螺栓之有效受力面積為 6.506 in^2。
2	4.2.3/p.12	'…保守評估此項支撐裙板承受總垂直上揚力為 701.8 kips…'請補充說明 701.8 kips 此數字之來源。	此項垂直上揚力 701.8 kips 係假設於反應爐急停時，所有控制棒以急停壓力同時動作，而無任何緩衝裝置。但本項分析所採用之垂直上揚力並未採用 701.8 kips，而更保守假設承受 faulted condition 下之垂直上揚力 1083 kips，比 701.8 kips 稍大。

審查意見與回覆解決表

文件名稱: 核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告 Rev. 4

Reviewer: 郭泰良、王立華 Date: 2012/6/3

Comment No.	Section / Pg.#	Comment	Resolution
3	4.3.1/p.13	'…△K_{th} 之裂縫深度為 0.035" = 0.9mm…'，請補充說明數值來源。	筆誤，已在核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告 Rev. 5 更正為'…△K_{th} 之裂縫深度為 0.00068" = 0.017mm…'，計算時採用與計算臨界裂縫深度之相同方法，在交變應力為 12.43 ksi，△K_{th} $=2.5\,MPa\sqrt{m}$ $=2.2755$ $ksi\sqrt{in}$ 之條件下，產生疲勞裂縫成長之臨界裂縫尺寸為 0.00068″。
4	4.2.3/p.12 4.3.3/p.14	4.2.3 節算出之螺栓承受應力為 1.77ksi，但 4.3.3 節所用之螺栓交變應力為 1.61ksi，請說明為何不一致。	筆誤，已更正，詳如「核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告_Rev 5」，4.3.3 節及附件 2e。
5	4.8.1/p.21	'…裂縫會發生疲勞成長，代入(3)式…'等 3 處，(3)式應改為(11)式。	筆誤，已更正，詳如「核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告_Rev 5」，4.8.1 節
6	4.3/p.12 4.3.2/p.14	倒數 3 行 依圖 4 :應為圖 5 利用利用(6): 多打一次利用	筆誤，已更正，詳如「核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告_Rev 5」，4.3 及 4.3.2 節

審查意見與回覆解決表

文件名稱: 核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告 Rev. 4

Reviewer: 郭泰良、王立華 Date: 2012/6/3

Comment No.	Section / Pg.#	Comment	Resolution
7	4.1/p.9	F 應為 *a* 之函數，即 F(*a*)，但在 Eqs. (9a),(9b) 中似乎當為常數進行積分，是否有進行過其他數值處理?請說明!	為將 F 當為常數進行積分，因此裂縫由初始裂縫成長至臨界裂縫，必須分成若干小段，理論上，無窮多段可得到正確解。本分析將其分成 1000 小段進行計算，與分成 2000 小段比，疲勞壽命僅相差 0.036%。
8	3.2/p.6	螺栓裂紋深度與預緊力喪施分析使用 displacement control 之受力狀態，是否與 joint diagram 精神符合?請說明。	螺栓裂紋深度與預緊力喪施分析使用 displacement control 之受力狀態與 joint diagram 精神符合，當 preload 下降，承受之 dynamic stress 隨之增加。

文件修訂審核表

文件名稱	核二廠反應爐支撐鋼板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告
版　次	5

	審查意見	審查意見回覆	意見回覆確認
內容審查	■ 無。 □ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 審查者 日 期：104.6.9	□ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 □ 其他說明： 回覆者 日 期：	□ 已確認，無其他意見。 □ 詳如「審查意見與回覆解決表」 審查者 日 期：
核定	■同意 □不同意，理由：報告已確實依據審查意見修訂 核准人：王三華　日期：2015/6/4		

目錄

一、前言 ----------1

二、裂縫假設及應力強度因子之計算 ----------1

2.1 裂縫假設 ----------1

2.2 軸向拉張力對裂縫所引發之應力強度因子 ----------2

三、螺栓斷裂分析 ----------4

3.1 斷裂準則 ----------4

3.2 反應爐支撐裙板錨定螺栓斷裂韌度 ----------5

3.3 錨定螺栓斷裂分析 ----------7

四、疲勞裂縫壽命評估 ----------7

4.1 疲勞壽命評估方法 ----------8

4.2 反應爐支撐裙板錨定螺栓可能承受之交變負載 ----------9

4.3 疲勞壽命評估結果 ---------- 12

4.4 由斷裂螺栓破斷面金相檢驗結果推估螺栓可能承受之交變應力及疲勞壽命評估 ---------- 15

4.5 疊加後之交變應力 ---------- 16

4.6 累積疲勞裂縫成長評估方法 ---------- 18

4.7 裂縫成長導致預張應力下降及交變應力增強效應 ---------- 18

4.8 累積疲勞裂縫成長評估結果 ---------- 20

五、討論與結論 ---------- 22

六、參考資料 ---------- 24

七、附件 ---------- 25

一、前言

核二廠 1 號機 EOC-22 大修期間，於 101 年 3 月 23 日執行反應爐支撐裙板錨定螺栓 VT-3 目視檢測及超音波檢查(UT)，發現內圈編號 A2 錨定螺栓已斷裂，內圈編號 D14 及 C6 共 2 支錨定螺栓，超音波(UT)顯示背波消失，判斷已接近斷裂。另 4 支內圈編號分別為 B10, B13, C9, D11 之螺栓有顯示(INDICATIONS)，但背波顯示良好。上列 7 支有瑕疵螺栓均已修復完成，其餘 113 支螺栓雖於本次大修經 UT 檢測未發現裂縫顯示，但為能確切掌握反應爐相關結構之安全，本公司保守假設錨定螺栓仍有可能存在 UT 檢測無法判讀的瑕疵，採取與原設計不同之考量方式，進行破壞力學分析，並預估可能之反覆交變負載進行疲勞壽命評估。

二、裂縫假設及應力強度因子之計算

2.1 裂縫假設

裂縫一般可由 UT 檢測得之，雖然本公司對其餘螺栓進行 UT 檢測結果並未發現瑕疵，但為保守起見，本分析假設螺栓內部仍可能存有 UT 未能檢測出最大為 2.5 mm 深之裂縫，且裂縫存在於螺牙根部，其形狀如圖 1 所示。

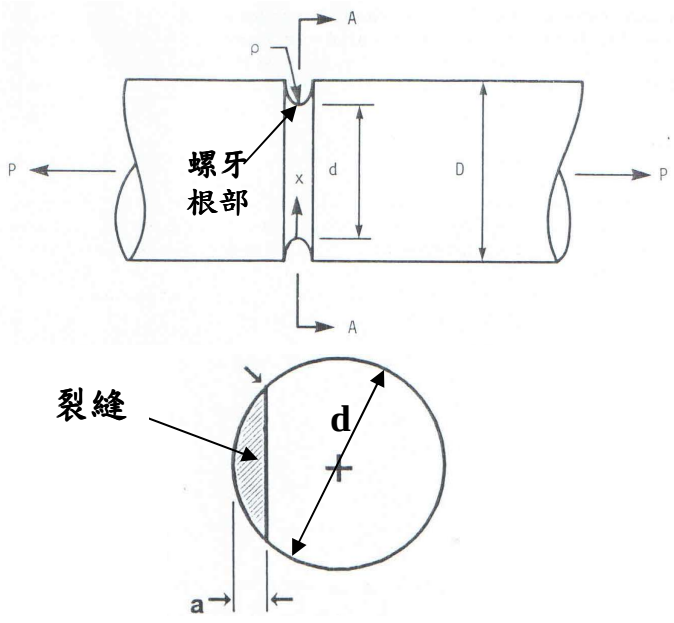


圖 1 螺栓及螺牙根部裂縫示意圖

核二廠反應爐支撐裙板 3″ϕ錨定螺栓，直徑 D＝3″，螺牙為 8UNC，螺紋根徑 d＝2.8466″，分析裂縫起始深度 a=2.5mm(0.0984″)。

2.2 軸向拉張力對裂縫所引發之應力強度因子

核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓主要承受軸向力，針對如圖 1 螺栓螺牙根部裂縫，其應力強度因子 (Stress Intensity Factor)為：

$$K_I = F\sigma\sqrt{\pi a} \quad \text{----------(1)}$$

(1)式中，

K_I：裂縫承受軸向拉張力所引發之 Mode I 應力強度因子；

F：計算 K_I 之裂縫幾何形狀修正係數；

σ：螺栓承受之軸向應力；

D：螺栓直徑

d：螺栓根徑；

a：裂縫深度。

針對直徑 D＝3″，螺牙為 8UNC 之錨定螺栓，(1)式中之裂縫幾何形狀修正係數 F 可引用 R. C. Cipolla【1】以 weight function 推導之結果進行計算，如圖 2(a)及 2(b)所示。圖 2(a)為裂縫深度 a/d＝0～0.74 之裂縫幾何形狀修正係數 F，圖 2(b)為淺裂縫(a/d＝0～0.1)放大之裂縫幾何形狀修正係數 F。圖 2(b)顯示，螺牙根部淺裂縫突升之幾何形狀修正係數 F 反映了螺牙根部應力集中效應。

本分析對圖 2(b)淺裂縫(a/d=0～0.1)之幾何形狀修正係數 F 以 3 次方多項式作曲線擬合(curve fitting)，如下式：

$$3.973 - 116.792(a/d) + 1660.950(a/d)^2 - 7902.790(a/d)^3 \text{-----(2a)}$$

圖 2(a)較深裂縫(a/d=0.1～0.74)之幾何形狀修正係數 F 則以 4 次方多項式作曲線擬合(curve fitting)，如下式：

$$1.732 - 11.043(a/d) + 49.407(a/d)^2 - 94.716(a/d)^3 + 75.452(a/d)^4 \text{----------(2b)}$$

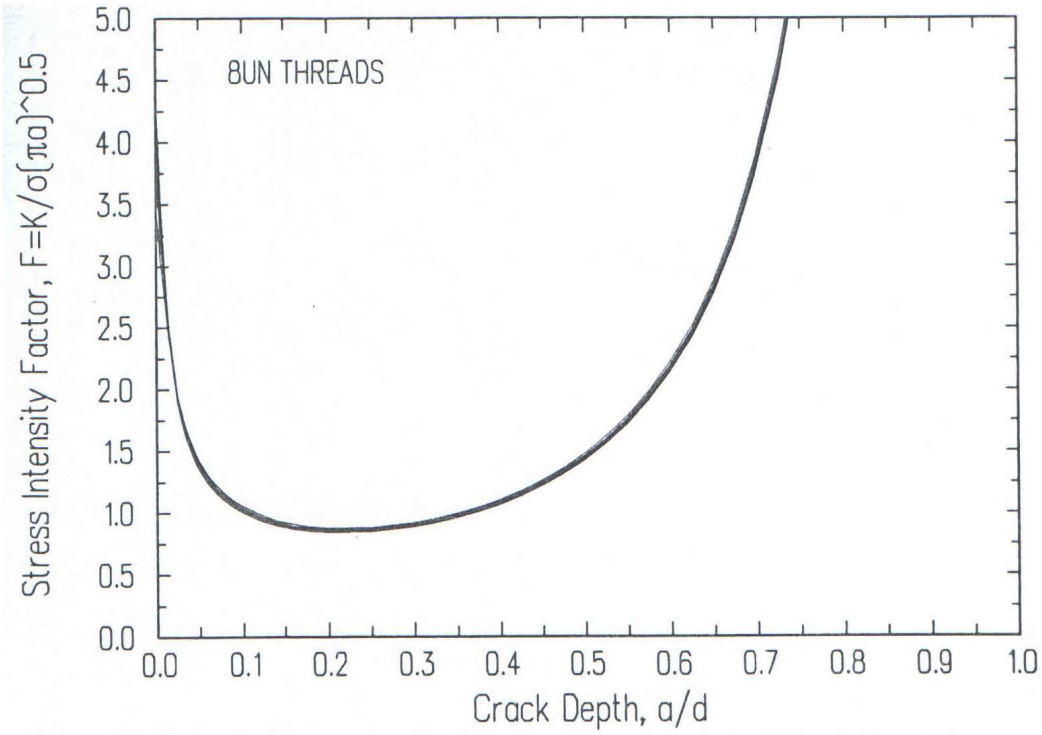


FIG. 9—*Nondimensional stress intensity factors for 1-in. to 6-in. (2.5 to 15.2-cm)-diameter fasteners with 8UN threads.*

(a) 裂縫深度 a/d＝0～0.74 之裂縫幾何形狀修正係數 F

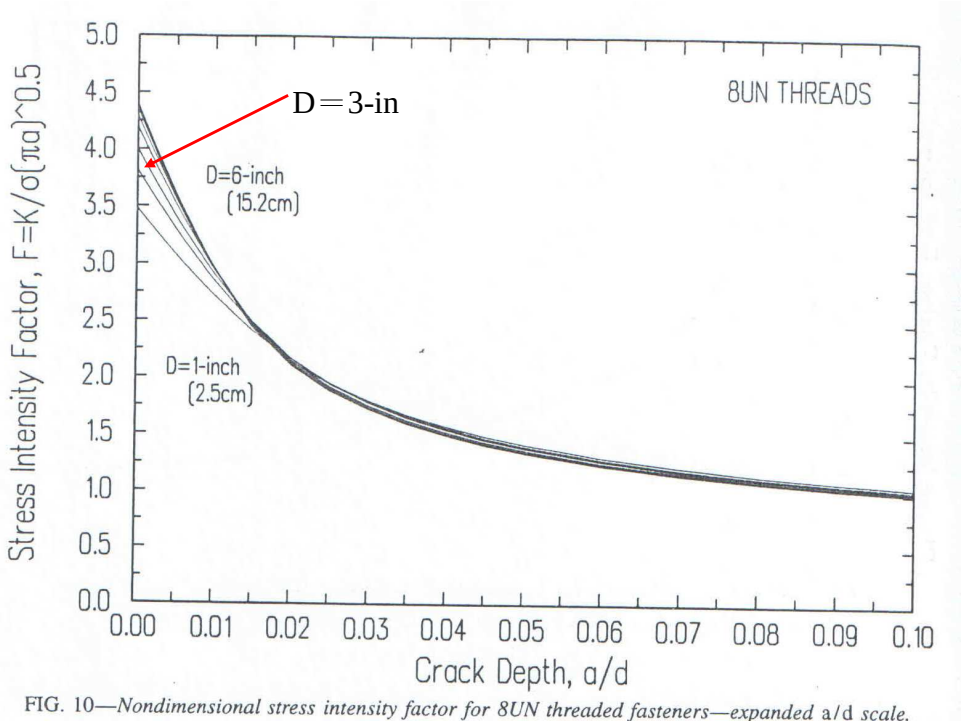


FIG. 10—*Nondimensional stress intensity factor for 8UN threaded fasteners—expanded* a/d *scale.*

(b) **裂縫深度 a/d＝0～0.1 放大之裂縫幾何形狀修正係數 F**

圖 2 直徑 1″～6″螺牙為 8UN 螺栓之裂縫幾何形狀修正係數 F

三、螺栓斷裂分析

3.1 斷裂準則

假設反應爐支撐裙板錨定螺栓螺牙根部存在一表面裂縫，引用(2a)及(2b)式可評估螺栓在運轉中承受軸向載荷之情況下，可能發生斷裂之臨界裂縫深度。依據線彈性斷裂力學(Linear Elastic Fracture Mechanics)或脆性斷裂力學(brittle fracture mechanics)之斷裂準則，脆性或準脆性材料之斷裂準則為：

$$K_I \geq K_{IC} \text{ ----------(3)}$$

(3)中，K_I 為前述之應力強度因子，螺栓承受軸向拉應力之 K_I 可引用(1)式求得。K_{IC} 則為材料之斷裂韌度(fracture toughness)，可由實驗求得。材料之韌度隨材料厚度之增加而下降，當厚度增加到一定程度後，材料韌度則下降至趨於一常數，特稱為斷裂韌度 K_{IC}，或稱為平面應變(plane strain)狀態下之韌度，亦為該材料在一定溫度下之最低韌度值。脆性斷裂力學以 K_{IC} 當為斷裂準則(fracture criterion)主要在確保評估的保守性。因為一般鋼材均具有彈塑性，裂縫開裂後不會隨即發生斷裂，而仍有相當程度的承載能力，負載持續增加才會導致裂縫繼續成長，到最後才發生斷裂，換言之，利用線彈性破壞力學評估鋼材之斷裂行為係相當保守之評估方法。

3.2 反應爐支撐裙板錨定螺栓斷裂韌度

反應爐支撐裙板錨定螺栓為 ASME A-540 Gr B23 或 B24 Class 1 材質，常溫之降服強度為 150 ksi (1035 Mpa)。為求取較為實際之螺栓斷裂韌度 K_{IC} 值，本公司已針對 3 支斷裂及 4 支有裂紋顯示之螺栓取樣進行夏比衝擊能(Charpy Impact Energy)CVN 測試，測試結果，CVN=24.94～43.25 ft-lbs 之間。目前工程界常以 Rolfe-Novak-Barsom correlation 用來將 CVN 轉換為斷裂韌度，如下式：

$$\left(\frac{K_{IC}}{S_y}\right)^2 = 5\left(\frac{CVN}{S_y} - 0.05\right) \quad \text{----------(4)}$$

(4)式中，

K_{IC}：材料之斷裂韌度，$ksi\sqrt{in}$

S_y：材料之降服強度，ksi

CVN：材料之夏比衝擊能，ft-lb

但在應用 Rolfe-Novak-Barsom correlation 進行韌度換算時，有其嚴格限制條件，即材料之降服強度 σ_y 需在 110～246 ksi 之間、夏比衝擊能 CVN 需在 16～89 ft-lb 之間以及斷裂韌度 K_{IC} 需在 87～246 $ksi\sqrt{in}$ 之間。檢視核二廠反應爐支撐裙板螺栓材料實測之 σ_y、CVN 及換算後之 K_{IC} 均符合上列限制條件，如以目前 7 組測試樣本中取最低之 CVN 24.94 ft-lbs 及其實測之降服強度 154.2 ksi (C6 螺栓)，依 Rolfe-Novak-Barsom correlation 換算，錨定螺栓之 K_{IC} =115.26 $ksi\sqrt{in}$ 。

另在學理上，假如斷裂面可確認斷裂時之裂縫尺寸，以及當時所承受之應力，即可推估出裂斷當下該材料之 K_I 值，亦即材料實際的 K_{IC}。以 CVN 值最低的 C6 螺栓而言，觀察其斷裂面在快速斷裂時之裂縫深度保守估計至少約佔螺栓受力面之 50%。螺栓裂縫尖端之應力強度因子為 $K_I = F\sigma\sqrt{\pi a}$，式中 F 為幾何形狀修正係數。C6 螺栓初始 Preload 假設為 510 kips，螺栓軸向應力為 P/A=510/6.506=73.39 ksi，斷裂前之裂縫深

度 a=螺栓受力直徑的 50%＝2.846″×50%＝1.423″。螺栓施加 preload 為位移控制(displacement control)之受力狀態，當螺栓產生裂縫後，預期 preload 會下降。本分析針對 3″螺栓(根徑為 2.8466″)施加 560 kips 及 670 kips 兩種初始 preload 後，preload 隨裂縫深度增長而下降之趨勢，以有限元素分析結果如圖 3 所示。圖 3 顯示，施加的 preload 雖有不同，但 preload 隨裂縫增長而下降之趨勢幾乎完全一樣。

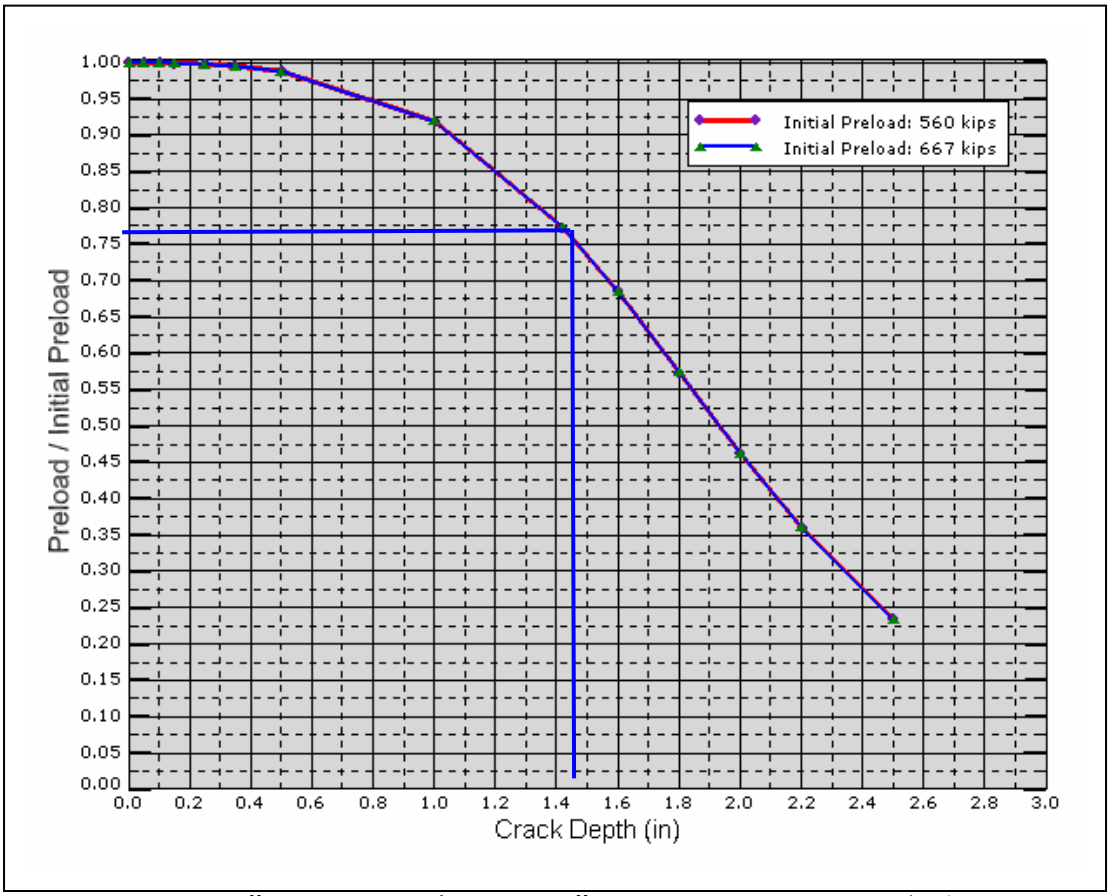


圖 3　3″螺栓(根徑為 2.8466″)施加初始 preload 後隨裂縫深度增長而下降之變化曲線

由圖 3 可知，3″-8UN 錨定螺栓裂縫深度增長至 1.423″時，其 preload 約下降至 75%，如此推估，螺栓之軸向應力應降為 73.39 ksi × 0.75 ＝55.0 ksi。

針對 3″-8UN 螺栓，在裂縫深度/受力直徑(a/d)=0.5 時，由圖 2 查得幾何形狀修正係數 F 約為 1.49。由以上數據可以推估錨定螺栓在斷裂時之 K_I

$= K_{IC} = 1.49 \times 55.0 \times \sqrt{\pi \times 1.423} = 173\ ksi\sqrt{in}$

由以上錨定螺栓 7 組測試樣本中取最低之 CVN 24.94 ft-lbs 採用工程界常用的 Rolfe-Novak-Barsom correlation 轉換為斷裂韌度 K_{IC} = $115.26\,ksi\sqrt{in}$，並與 C6 螺栓實際斷裂狀況推估結果比較，錨定螺栓採用 $K_{IC} = 115.26\,ksi\sqrt{in}$ 作為脆性斷裂之評估依據應屬合理。

3.3 錨定螺栓斷裂分析

依(3)式之斷裂準則，當結構裂縫尖端之應力強度因子 K_I 達到 K_{IC} 以上時，該結構產生斷裂。

引用(1)、(2a)及(2b)式，螺牙根部出現裂縫之錨定螺栓承受軸向力之斷裂條件為：

$$K_I = F\sigma\sqrt{\pi a} = K_{IC} \text{ ----------(5)}$$

(5)式中，幾何形狀修正係數 F 可由(2a)&(2b)式求得，(5)式所解出之裂縫深度為臨界裂縫深度(critical crack depth)，因(5)式中之 F 亦為裂縫深度 a 之函數，因此，(5)式為非線性方程式。本分析以 Fortran 編寫一程式，採用截半法(Halving the intervals)求解。

本公司針對核二廠 1 號機反應爐支撐裙板錨定螺栓於運轉中承受最大應力為設計基準最嚴苛之故障狀況(Faulted Condition)負載，螺栓應力為 111.66 ksi【2】，。利用(2a)、(2b)&(5)中，求得錨定螺栓臨界裂縫深度 a_c 為 0.397″(10.08 mm)。

四、疲勞裂縫壽命評估

交變載荷對裂縫體才會構成疲勞裂縫成長之威脅，威脅的程度則視結構體之裂縫尺寸以及其所承受交變載荷之大小而定。核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓如果有承受交變應力，則裂縫尺寸達到什麼程度會引發疲勞

裂縫成長，以及如果裂縫會疲勞成長，則疲勞壽命多長，為本節探討之重點。

4.1 疲勞壽命評估方法

依材料之疲勞特性，當結構承受交變應力後，裂縫尖端之交變應力強度因子(ΔK_I)如達到某一門檻值(ΔK_{th})時，則裂縫將開始發生疲勞裂縫成長，如下式：

$$\Delta K_I = \Delta K_{th} \text{ ----------(6)}$$

(6)式中， ΔK_I: 交變應力強度因子 (Stress Intensity Factor Range)，

ΔK_{th}：裂縫疲勞成長門檻之交變應力強度因子 (Fatigue Threshold Stress Intensity Factor Range)，

當材料承受之交變應力強度因子ΔK_I大於裂縫疲勞成長門檻值ΔK_{th}時，則裂縫將產生疲勞裂縫成長，此一階段之疲勞裂縫成長，工程評估上普遍採用 Paris' Law，裂縫之疲勞成長速率可寫為：

$$\frac{da}{dN} = C\ (\Delta K_I)^m \text{ ----------(7)}$$

(7)式中，$\frac{da}{dN}$ ： 每一受力循環之裂縫深度成長量 ，in/cycle或m/cycle。

C ： 材料疲勞特性常數，由實驗得之。

ΔK_I：交變應力強度因子，如(6)式之定義。

m ：為材料之疲勞特性常數，一般金屬材料之疲勞裂縫成長，其成長量da/dN與ΔK_I有密切關係，如繪製在log—log座標圖上，兩者的關係成一直線，m則為 $\frac{da}{dN}$ 對ΔK_I之斜率，由實驗得之。

已知初始裂縫，若評估交變應力會造成疲勞裂縫成長，則應先由(5)式求取臨界裂縫深度；疲勞裂縫成長壽命為裂縫由初始裂縫成長至臨界裂縫

之循環數，或依其承載頻率計算出壽命時間。

由(1)式可將交變應力強度因子ΔK_I表示為：

$$\Delta K_I = F\Delta\sigma\sqrt{\pi a} \text{ ----------(8)}$$

(8)式中$\Delta\sigma$為未裂截面承受之平均軸向交變應力。

將(8)式代入(7)式並積分後，即可求得疲勞裂縫成長循環數，

$$N_f = \int_0^N dN = \int_{a_0}^{a_C} \frac{da}{c(\Delta K_I)^m} = \int_{a_0}^{a_C} \frac{da}{c[F\Delta\sigma_{net}\sqrt{\pi a}]^m}$$

$$= \frac{a_C^{(1-m/2)} - a_0^{(1-m/2)}}{(1-m/2)CF^m(\pi)^{m/2}(\Delta\sigma)^m} \quad (m\neq 2)\text{---------(9a)}$$

$$= \frac{1}{C}\frac{1}{F^2(\pi)(\Delta\sigma)^2}\ln(\frac{a_c}{a_0}) \qquad (m=2)\text{----------(9b)}$$

a_0：初始裂縫深度

a_c：臨界裂縫深度

N_f：裂縫深度由a_0擴展至a_c所經歷之應力循環數

C、F、m：如前文之定義

由於幾何形狀修正係數F為裂縫深度a之函數，因此，計算裂縫深度由a_0擴展至a_c之受力循環數一般需分段計算，分段越細，越能準確反應該階段裂縫深度所對應之幾何形狀修正係數F，也越能準確獲得疲勞循環數。本分析亦以Fortran編寫一計算程式，將裂縫深度由a_0至a_c分成1000段進行計算N_f。

4.2 反應爐支撐裙板錨定螺栓可能承受之交變負載

核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓可能承受較明顯之交變應力有RPV整體結構承受地震力及SRV沖放、機組起動後支撐裙板因外漲所施加之

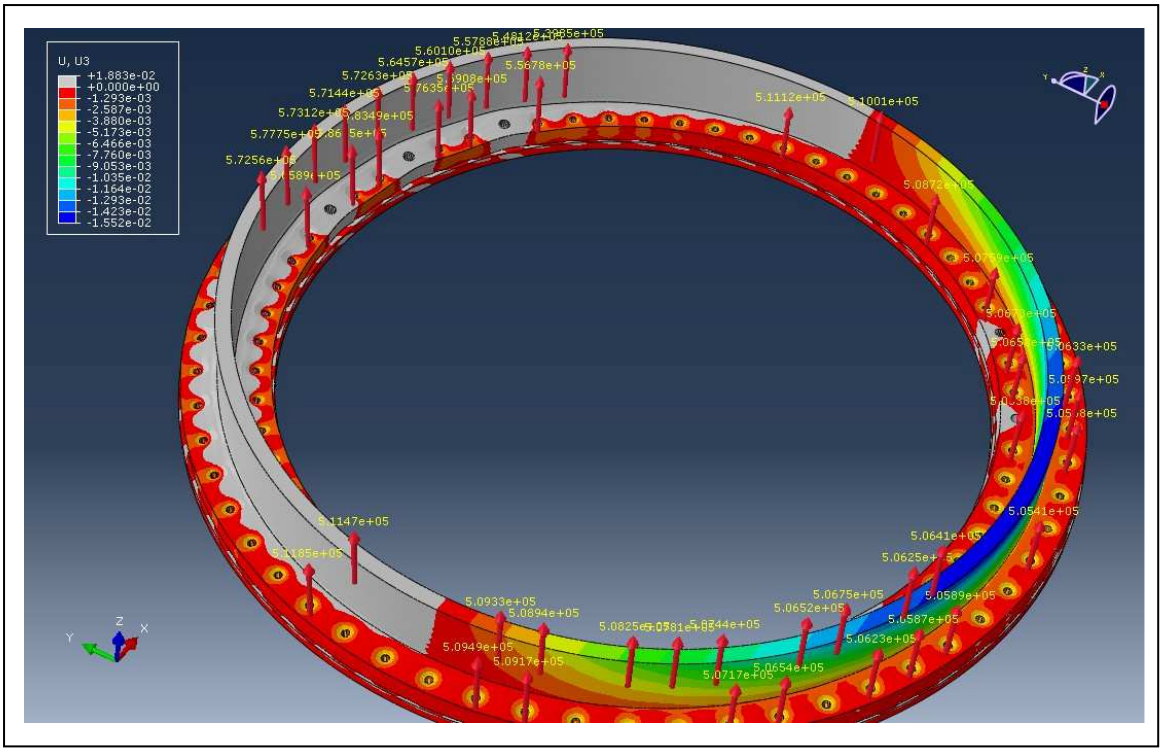
thermal moment以及由OSG-XE-105強震儀記錄研判可能因反應爐急停而產生之交變垂直上揚力，這些負載均為反覆交變負載。

4.2.1 地震力及SRV沖放交變負載

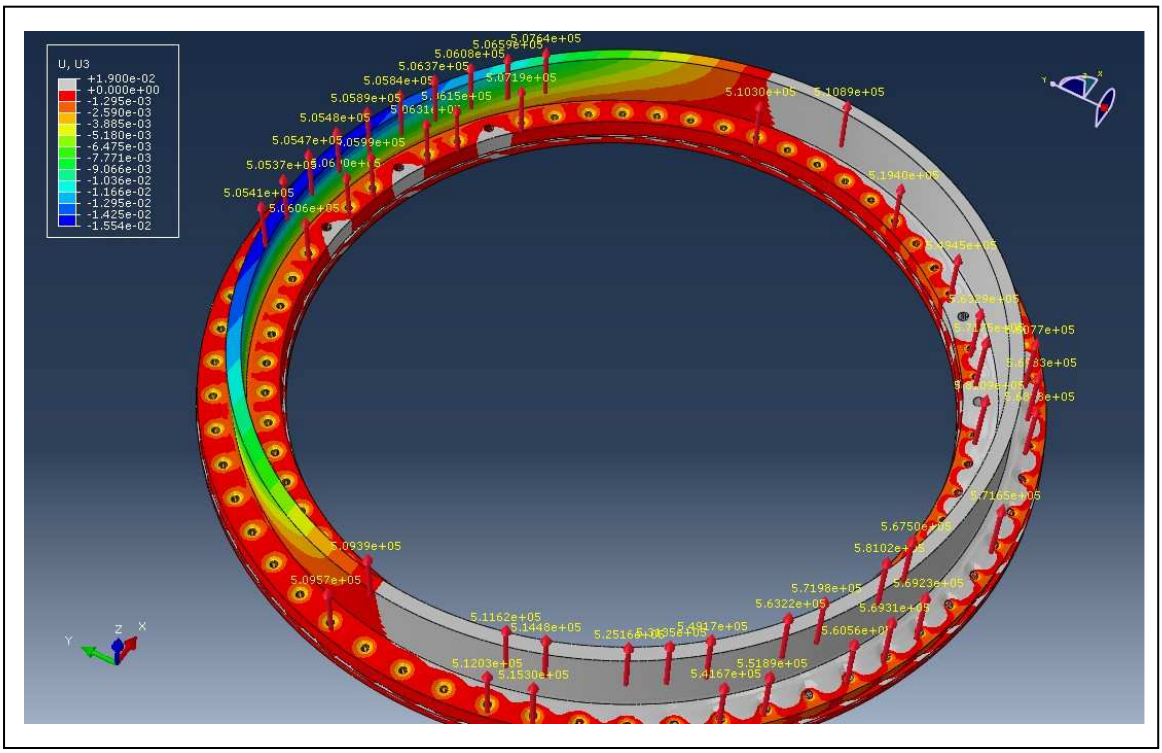
錨定螺栓於運轉中承受最嚴重之地震力為Faulted condition，在此情況下，發生安全停機地震(SSE)及SRV沖放，反應爐支撐裙板承受±3,125,000 in-kips之翻轉力矩(overturning moment)。本分析保守假設7錨定螺栓維持原來未修復前之失效情況，其餘螺栓維持最小預力510 kips之情況下，以有限元素分析螺栓之受力狀況。分析結果，圖4(a)顯示反應爐支撐裙板錨定螺栓承受正向力矩+3125000 in-kips時，受力最嚴重為緊鄰失效螺栓A2位置之螺栓，承受586.98 kips之軸向力，圖4(b) 顯示承受反向力矩-3125000 in-kips時，同樣緊鄰失效螺栓A2位置之螺栓承受505.99 kips之軸向力，因此，受力最嚴重螺栓之軸向力在586.98 kips～505.99 kips間變動，即軸向應力在90.16 ksi～77.73 ksi之間變動，承受之交變應力為90.16 ksi- 77.73 ksi＝12.43 ksi。振動頻率假設為反應爐體之基本振動自然頻率8.29 Hz，假設每次地震時間維持1分鐘，且每一運轉週期發生一次，預計運轉40年發生上列交變應力循環數為8.29×60×40＝19896 cycles。

4.2.2 Thermal Moment交變負載

針對核二廠1號機反應爐支撐裙板錨定螺栓承受Thermal moment所產生之螺栓軸向拉力，本公司以有限元素法進行分析，在保守假設7錨定螺栓維持原來未修復前之失效情況，且其他螺栓均無施加預力之情況下，受力最嚴重螺栓承受之軸向力為139.4 kips【3】，應力為139.4 kip/6.51 in^2=21.41 ksi。當停機期間，此項應力為0，因此，螺栓承受$\Delta\sigma$＝21.41 ksi之交變應力，應力循環頻率為每次起停機，預計運轉40年發生此項交變應力循環數為40 cycles。



(a) 承受正向力矩+3125000 in-kips 時螺栓之受力情形



(b)承受反向力矩-3125000 in-kips 時螺栓之受力情形

圖 4 反應爐支撐裙板錨定螺栓承受 SSE(包括 SRV 沖放)時螺栓之受力情形

4.2.3 OSG-XE-105強震儀記錄研判可能因反應爐急停而產生之交變負載

至於由OSG-XE-105強震儀記錄研判可能因反應爐急停而產生之交變垂直上揚力，保守評估此項支撐裙板承受總垂直上揚力為701.8 kips。依據本公司之評估【3】，在Faulted condition (SSE ＋LOCA)下，且保守假設假設7支錨定螺栓維持原來未修復前之失效情況，且其他螺栓均無施加預力之情況下，反應爐支撐裙板承受1083 kips之垂直上揚力時，受力最嚴重螺栓所承受之軸向力為11.52 kips，應力為11.52 kip/6.51 in^2 =1.77 ksi。由於相關應力分析均採用線彈性力學，分析之應力可以相互疊加，因此，當支撐裙板承受701.8 kips之垂直上揚力時，受力最嚴重螺栓所承受之軸向力依比例為1.77×701.8/1083＝1.15 ksi，此項應力循環頻率可假設為反應爐之基礎模式振動頻率8.29 Hz。另由OSG-XE-105強震儀記錄來看，其記錄到最高之垂直加速度值曾達到0.297 g，介於於OBE (0.2 g)及SSE (0.4 g)之間，因此本節分析反應爐急停對錨定螺栓之疲勞影響，保守假設此事件所發生之垂直上揚力比照SSE ＋LOCA之最嚴苛事故，亦即，反應爐支撐裙板在此一事件中承受1083 kips之垂直上揚力，如前所述，此時受力最嚴重螺栓所承受之軸向力為11.52 kips，應力為1.77 ksi，應力循環頻率如前述之8.29 Hz。依OSG-XE-105強震儀記錄顯示，振動信號超過OBE 0.2 g之時間為0.2秒，整個歷程由引動到回復背景值歷時1.7秒，因此，保守假設螺栓對此一事件全程承受之交變應力為1.77 ksi，經歷循環數為8.29×1.7＝14 cycles。

4.3 疲勞壽命評估結果

如前所述，反應爐支撐裙板錨定螺栓為ASME A-540 Gr B23或B24 Class 1材質，常溫之降服強度為150 ksi (1035 Mpa)，相當於AISI 4340材料。依文獻顯示【4】，降服強度為1035 Mpa之AISI 4340材料，其疲勞裂縫成長曲線如圖5所示【4】。依圖5顯示，在應力比(stress ratio，R)為0.8之情況下，材料之 ΔK_{th} 為2.5 $Mpa\sqrt{m}$，而裂縫成長區(如圖加註之AB紅色虛線)可求出Paris' Law (7)式中之疲勞常數，c＝ 4.78×10^{-11} m/cycle及m=2.32。

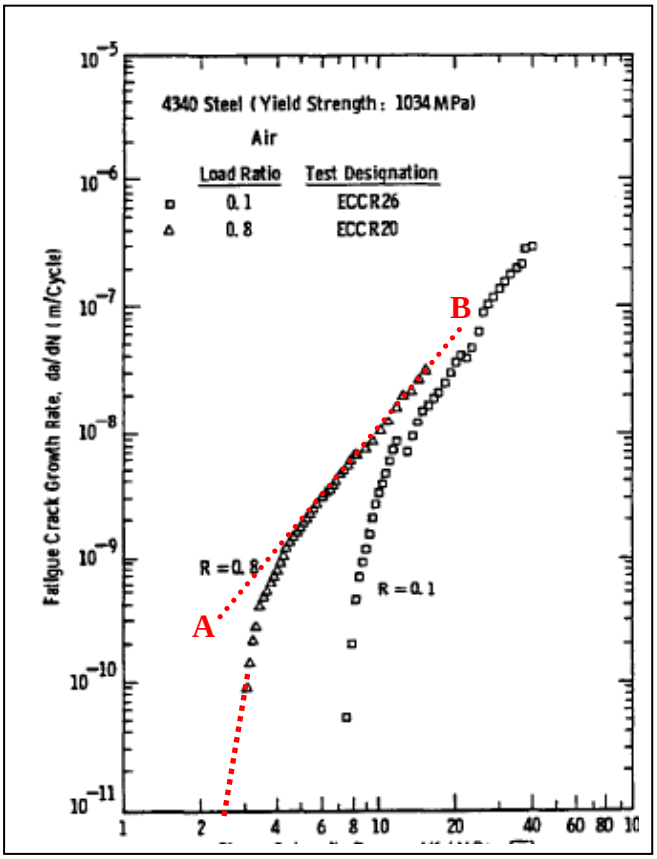


圖5　降服強度1034 Mpa 4340材料在空氣環境下之疲勞裂縫成長曲線

4.3.1 螺栓承受地震力及SRV沖放交變負載之疲勞壽命

如前所述，假設螺栓在螺牙根部存有一初始2.5 mm深的表面裂縫，並承受因地震力(包括SRV沖放)所產生之交變應力Δσ＝12.43 ksi (85.72Mpa)時，此一初始裂縫是否會產生疲勞裂紋成長。利用(6)及(8)式，並採用求解臨界裂縫深度之程式，可求得ΔK_I達到ΔK_{th}之裂縫深度為0.00068″ = 0.017 mm，小於分析假設之初始裂縫深度2.5 mm，因此，會產生疲勞裂縫成長。

因材料疲勞常數m≠2.0，利用(9a)式，針對地震力(包括SRV沖放)所產生之交變應力Δσ＝12.43 ksi，進行疲勞裂縫成長評估。計算結果，裂縫深度由a_0 (2.5 mm)擴展至a_c (10.08 mm)之受力循環數為

4.02×10^5 cycles。如前所述，預計運轉40年發生上列交變應力循環數為19896 cycles ($<<4.02\times10^5$)，換言之，此項反覆交變負載對反應爐支撐裙板錨定螺栓之疲勞破壞沒有威脅性。

4.3.2 螺栓承受thermal Moment交變負載之疲勞壽命

首先檢視假設螺栓承受thermal moment造成螺栓承受$\Delta\sigma$ ＝21.41 ksi (147.66 Mpa)之交變應力時，是否會產生疲勞裂縫成長。利用(6)及(8)式，並採用求解臨界裂縫深度之程式，可求得ΔK_I達到ΔK_{th}之裂縫深度為0.003″ = 0.1 mm。本分析對錨定螺栓所採用之假設初始裂縫深度a_0為2.5 mm，大於0.1mm，因此，會產生疲勞裂縫成長。以下繼續計算其疲勞裂縫成長壽命。

針對thermal moment造成之螺栓承受$\Delta\sigma$ ＝21.41 ksi (147.66 Mpa)之交變應力，因疲勞常數m≠2.0，利用(9a)式進行疲勞裂縫成長評估，計算結果，裂縫深度由a_0擴展至a_c 之受力循環數為1.14×10^5 cycles。由於此項thermal moment發生之應力循環頻率為每次起停機，因此，保守估計每部機40年之應力循環數應在100次以內($<<1.14\times10^5$)，換言之，此項反覆交變負載對反應爐支撐裙板錨定螺栓之疲勞破壞沒有威脅性。

4.3.3 螺栓承受反應爐急停所產生交變負載之疲勞壽命

其次，針對螺栓對OSG-XE-105強震儀記錄反應爐急停過程所承受垂直上揚交變應力進行疲勞評估。首先檢視假設螺栓承受此事件造成之螺栓承受$\Delta\sigma$ ＝1.77 ksi (12.20 Mpa)之交變應力時，材料是否會產生疲勞裂縫成長。比照前一節，利用(5)式，可求得ΔK_I達到ΔK_{th}之裂縫深度為0.694″ = 17.63 mm。由此分析結果顯示，假設錨定螺栓存在深度a_0為2.5 mm之裂縫，承受上列反應爐急停之交變應力應不致於產生疲勞裂縫成長。

雖經以上分析顯示，假想存在裂縫深度為2.5 mm之螺栓在承受反應爐急停之交變負載下，不會產生疲勞裂縫成長，但本分析仍進一步保守假設上述交變負載會讓螺栓之裂縫落在裂縫成長區。利用(9a)式，計算裂縫

深度由 a_0 擴展至 a_c 之應力循環數為 3.70×10^7 cycles。如前所述，此一事件經歷時間極短(1.7 sec)，估算每一事件承受14個應力循環數，則反應爐運轉40年估算應共承受1400個應力循環數以內($<<3.70\times10^7$)，由此分析結果顯示，此項反覆交變負載對反應爐支撐裙板錨定螺栓之疲勞破壞沒有威脅性。

4.4 由斷裂螺栓破斷面金相檢驗結果推估螺栓可能承受之交變應力及疲勞壽命評估

依金相檢驗結果，A2、C6 及 D14 螺栓斷裂面觀察到疲勞裂紋成長之前之裂縫深度為 6～8 mm，換言之，螺栓疲勞裂縫成長之初始裂縫深度為 6～8 mm，而此 3 支螺栓斷裂前之裂縫深度均佔螺栓截面之 50%以上，因此，裂縫深度至少應為 2.8466″/2=1.4233″ (36.15 mm)。

4.4.1 推估運轉中的交變應力Δσ

裂縫面可觀察到韌窩(dimples)，雖未呈現明顯的疲勞條紋，但就高強度螺栓材質而言，破斷面型態仍屬於高週次疲勞(high cycle fatigue)，研判造成螺栓疲勞裂縫成長驅使力應為運轉中持續存在之輕微振動力，導致螺栓承受輕微交變應力，由於此項交變應力遠低於螺栓材料之疲勞極限值(endurance limit)，設計中並未予考慮。依文獻【5】，回火溫度 800°F 之 4340 材料之疲勞極限為 68 ksi (un-notched)，考慮螺牙根部應力集中係數約為 4.0，疲勞極限值為 68/4=17 ksi。核二廠反應爐錨定螺栓材料回火溫度較高(900~950°F)，疲勞極限值稍高，因此，核二廠反應爐錨定螺栓之疲勞極限應比 17 ksi 稍高。

如上所述，螺栓疲勞裂縫成長之初始裂縫深度為 6～8 mm，為估算上述之交變應力需先推估螺栓材料之疲勞裂縫開始成長交變應力強度因子(ΔK_{th})。如 4.3 節所述，螺栓材料在應力比(stress ratio，R)為 0.8 之情況下，材料之 ΔK_{th} 為 $2.5\,Mpa\sqrt{m}$，依學理，應力比越高，裂縫尖端之裂縫閉合效應(crack closure)愈低，因此，ΔK_{th} 隨之越低。錨定螺栓承受高的預張應力，而交變應力極低之情況下，應力比≈1.0，目前並無文獻顯示

螺栓材料在應力比≈1.0 時之ΔK_{th}數據，但考慮當應力比 R 高於某一個值後，由於裂縫閉合效應漸小，甚至於沒有效應，因此，為推估可能最高的交變應力，可保守假設當應力比 R≈1.0 時之ΔK_{th}與 R=0.8 時相同，即ΔK_{th}=2.5 $MPa\sqrt{m}$。如前所述，螺栓在 6 mm 裂縫深度下產生疲勞裂縫成長，且ΔK_{th}=2.5 $MPa\sqrt{m}$時，推估承受之交變應力為：

$$\Delta K_I = F\Delta\sigma\sqrt{\pi a} = 1.2029\times\Delta\sigma\times\sqrt{\pi\times 0.006} = 2.5\,(MPa\sqrt{m})$$

上式中，a=6 mm，代入(2a)式，裂縫之幾何形狀修正係數 F＝1.2029，因此交變應力Δσ＝15.14 Mpa＝2.19 ksi。

4.4.2 螺栓承受運轉中交變應力之疲勞壽命評估

假設螺栓存在 a=2.5 mm 之裂縫，代入(2a)式，裂縫之幾何形狀修正係數 F＝1.594，而交變應力如前節之推估，Δσ＝15.14 Mpa，其交變應力強度因子為：

$$\Delta K_I = 1.594\times 15.14\times\sqrt{\pi\times 0.0025} = 2.14 MPa\sqrt{m} < \ 2.5 MPa\sqrt{m}$$

因此，假設螺栓螺牙根部均存在 2.5 mm 之裂縫尚不至於產生疲勞裂縫成長，機組運轉一個週期(18 個月)沒有安全疑慮。如能配合每一次大修均執行錨定螺栓 UT 檢測，確保螺栓螺牙根部裂縫均在 2.5 mm 以下，則螺栓持續承受上列推估之交變應力下不致於產生疲勞破壞。

4.5 疊加後之交變應力

以上之疲勞壽命評估均假設每一項交變應力均未在同一時間發生，但機組運轉中亦有可能同時發生多項交變應力，因此各項交變應力有疊加的可能性，本節以保守之假設，評估螺栓可能承受疊加後之交變應力。彙整前幾節之分析結果，每一運轉週期，錨定螺栓可能承受之交變應力及 cycles 如表 1：

表 1 核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓可能承受之交變應力及 cycles

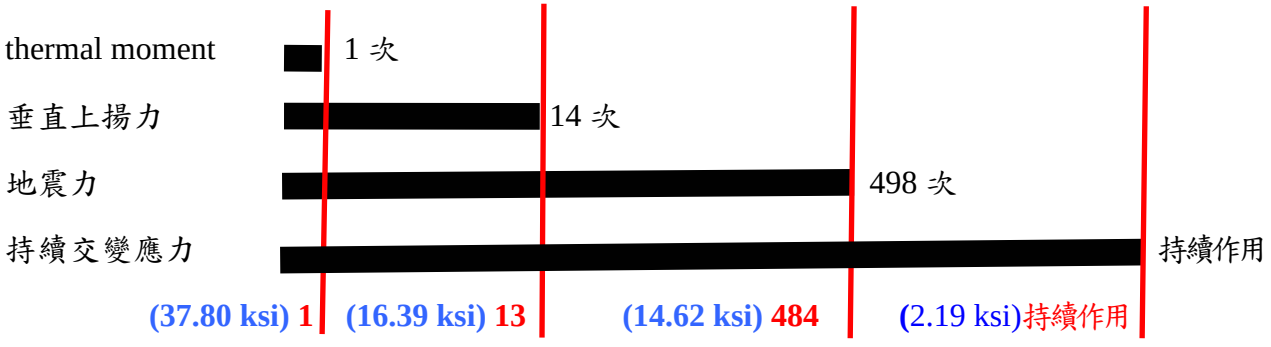
負載	交變應力 Δσ(ksi/Mpa)	每一運轉週期承受之 cycle 數 N
RPV 整體結構承受地震力(包括 SRV 沖放)	12.43/85.73	498
thermal moment	21.41/147.66	1
強震儀記錄之交變垂直上揚力	1.77/12.21	14
推估持續持受之交變應力	2.19/15.14	持續作用

考慮應力疊加之情形後，最保守之疊加情況如表 2：

表 2 核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓考慮應力疊加之情形後，承受之交變應力及 cycles

疊加負載	交變應力 Δσ(ksi/Mpa)	每一運轉週期承受之 cycle 數 N (**註**)
地震力(包括 SRV 沖放)＋thermal moment ＋交變垂直上揚力＋持續交變應力	12.43+21.41+1.77+2.19=**37.80**/**260.69**	**1**
地震力(包括 SRV 沖放)＋交變垂直上揚力＋持續交變應力	12.43+1.77+2.19=**16.39**/**113.04**	**13** (14-1)
地震力(包括 SRV 沖放)＋持續交變應力	12.43+2.19=14.62/**100.83**	**484** (498-14)
持續交變應力	2.19/15.14	持續作用

註：各交變應力疊加後發生次數(cycles)之計算示意圖：



4.6 累積疲勞裂縫成長評估方法

疲勞為一累積之劣化現象。在 ASME Section XI，Appendix L ″OPERATING PLANT FATIGUE ASSESSMENT″中，要求裂縫承受不同交變應力應累積計算裂縫成長量。

為評估錨定螺栓承受4.5節所述疊加後交變負載之累積疲勞損傷，Paris' Law 可寫如(10)式之裂縫累積成長量：

$$\int_{a_0}^{a_f} da = a_f - a_0 = \int_0^{N_f} C(\Delta K_I)^m dN = \sum C(\Delta K_I)^m \Delta N \text{ ----------(10)}$$

亦可寫成：

$$a_f = a_0 + \sum C(F\Delta\sigma)^m (\pi a)^{m/2} \Delta N \text{ ----------(11)}$$

(11)式中，

a_0：初始裂縫深度

a_f：最終裂縫深度

C,m：疲勞裂縫成長曲線常數

F：幾何形狀修正係數，如 2.2 節及(2a)、(2b)式

a：裂縫深度

d：螺栓有效直徑(2.8466″=72.3 mm))

Δσ：交變應力

ΔN：某一疊加交變應力作用之 cycle 數

4.7 裂縫成長導致預張應力下降及交變應力增強效應

螺栓預張應力會隨裂縫增長而下降，依本公司之有限元素分析結果，3″螺栓施加預張應力隨裂縫深度增長而下降之變化曲線如圖 6 所示，並可用下列 4 次多項式做曲線擬合：

$$\beta = (1.00195 - 0.04830x + 0.16420x^2 - 0.25780x^3 + 0.06030x^4 \text{ ---------(12)}$$

(12)式中，β為螺栓鬆弛率(鬆弛後預拉力/未鬆弛預拉力)；x 為裂縫深度(in)。

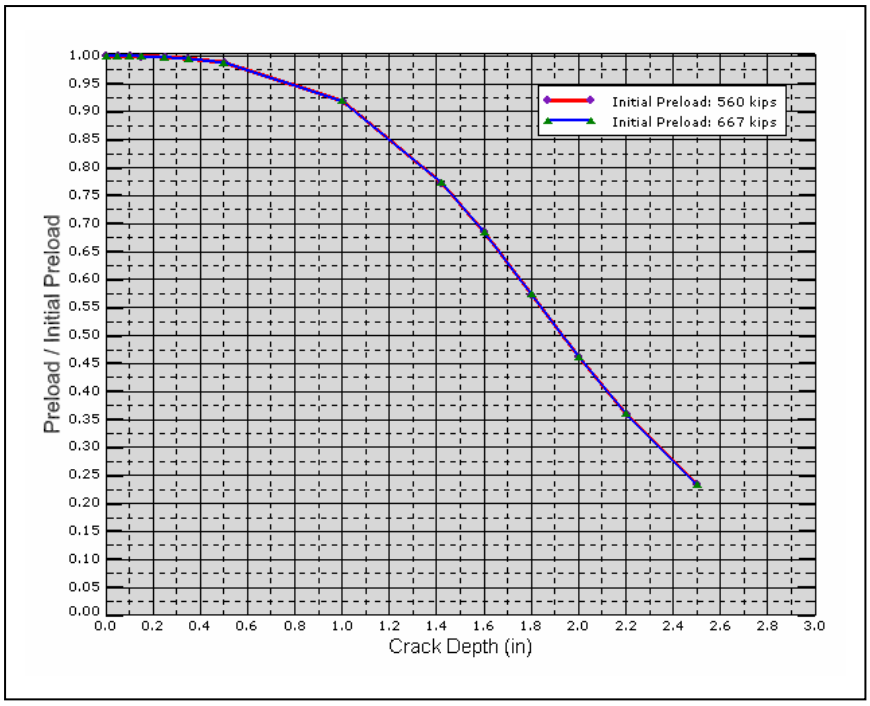


圖 6　3″螺栓施加 preload 隨裂縫深度增長而下降之變化曲線

另由有限元素分析顯示，120 支錨定螺栓中若 119 支之預拉力均維持 680 kips，而有 1 支螺栓預拉力鬆弛，則該支螺栓所承受之交變應力會增加，如表 3 所示，

表 3　120 支錨定螺栓中 119 支錨定螺栓中預拉力維持 680 kips，1 支螺栓預拉力鬆弛，承受±3,125,000 in-kips Overturning moment 時，該支螺栓所承受之交變應力變化情形

1 支螺栓預拉力 (kips)	螺栓預拉力鬆弛率 (鬆弛預拉力/未鬆弛預拉力)	交變應力 Δσ (ksi)	Δσ增加率
680(未鬆弛)	0%	4.857	0%
650	95.59%	4.954	2.0%
600	88.24%	5.283	8.8%
550	80.88%	5.587	15.0%
500	73.53%	5.893	21.3%
400	58.82%	6.560	35.1%
300	44.12%	7.387	52.1%
200	29.41%	8.478	74.6%
100	14.71%	9.812	102.0%

圖 7 為交變應力Δσ增加率與螺栓預拉力鬆弛率(鬆弛預拉力/未鬆弛預拉力)之關係線圖。

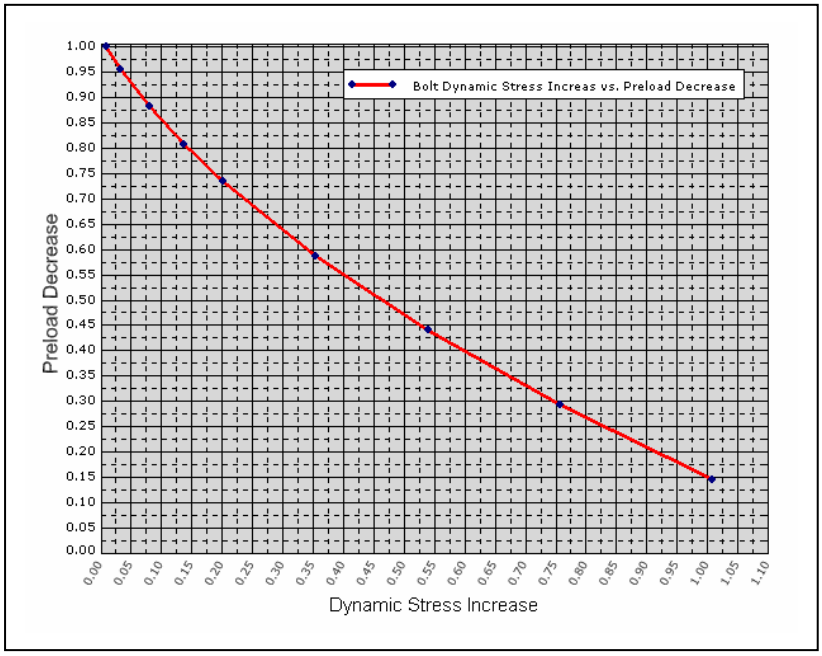


圖 7 螺栓交變應力Δσ增加率對預拉力鬆弛率之關係曲線

圖 7 之關係曲線，可用下列(13)式來表示。

$$\Delta\sigma\text{增加率} = 1.371 - 2.661\beta + 1.995\beta^2 - 0.711\beta^3 \text{----------(13)}$$

(13)式中，β為前述所定義之螺栓鬆弛率。

4.8 累積疲勞裂縫成長評估結果

考慮應力疊加之情形後，每一運轉週期，核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓可能承受之交變應力及 cycles 如表 2，以下計算螺栓之累積疲勞裂縫成長量。

4.8.1 不考慮螺栓預拉力鬆弛效應

假設錨定螺栓錨定螺牙根部均存在 2.5 mm 之初始裂縫，依上述交變應力疊加及疲勞累積效應，檢視一個週期內，螺栓之疲勞裂縫累積成長量。初始裂縫a_0＝2.5 mm，疲勞裂縫成長曲線常數 C＝ 4.78×10^{-11} m/cycle 及 m=2.32，材料之ΔK_{th}為 $2.5\,Mpa\sqrt{m}$ 。

如表 2，當螺栓承受受地震力(包括 SRV 沖放)＋thermal moment＋交變垂直上揚力+持續交變應力之疊加交變應力時，Δσ＝260.69 Mpa， N=ΔN

＝1, a/d=2.5/72.3=0.034578，代入(2a)，F＝1.5937，

代入(8)式，

$\Delta K_I = F\Delta\sigma\sqrt{\pi a} = 1.5927\times 260.69\times\sqrt{\pi\times 0.0025} = 36.83 MPa\sqrt{m} > 2.5\ Mpa\sqrt{m}$

，裂縫會發生疲勞成長，代入(11)式，

$a_f = 0.0025 + \sum 4.78\times 10^{-11}(1.5937\times 260.69)^{2.32}(\pi\times 0.0025)^{1.16}\times 1$

$= 0.0025 + 0.0000002055 = 0.0025002055$ m＝2.5002055 mm，此一裂縫深度累計至下一個交變應力循環。

如表 2,當承受地震力(包括 SRV 沖放)＋交變垂直上揚力+持續交變應力之疊加交變應力時，Δσ ＝ 113.04 Mpa， N=ΔN ＝ 13, a/d=2.50018/72.3=0.03458，代入(2a)，F＝1.5936，

代入(8)式，

$\Delta K_I = F\Delta\sigma\sqrt{\pi a} = 1.5936\times 113.04\times\sqrt{\pi\times 0.002500206} = 15.97 MPa\sqrt{m}$ >2.5 $Mpa\sqrt{m}$，裂縫會發生疲勞成長，代入(11)式，

$a_f = 0.0025002055 + \sum 4.78\times 10^{-11}(1.5936\times 113.04)^{2.32}(\pi\times 0.002500206)^{1.16}\times 13$

$= 0.0025002055 + 0.0000003844 = 0.0025005898$ m＝2.5005898 mm，此一裂縫深度累計至下一個交變應力循環。

如表 2，當承受地震力(包括 SRV 沖放) +持續交變應力之疊加交變應力時，Δσ＝100.83 Mpa， N=ΔN＝484, a/d=2.500456/72.3=0.034584，代入(2a)，F＝1.5934，代入(8)式，

$\Delta K_I = F\Delta\sigma\sqrt{\pi a} = 1.5934\times 100.83\times\sqrt{\pi\times 0.00250059} = 14.25 MPa\sqrt{m}$ >2.5 $Mpa\sqrt{m}$，裂縫會發生疲勞成長，代入(11)式，

$a_f = 0.0025005898 + \sum 4.78\times 10^{-11}(1.5934\times 100.83)^{2.32}(\pi\times 0.002500590)^{1.16}\times 484$

$= 0.0025005898 + 0.0000109767 = 0.0025115667$ m＝2.511567 mm，此一裂縫深度累計至下一個交變應力循環。

如表 2，當承受持續交變應力時，Δσ ＝ 15.14 Mpa，a/d=2.500456/72.3=0.034844，代入(2a)，F＝1.5889，代入(8)式，

$\Delta K_I = F\Delta\sigma\sqrt{\pi a} = 1.5889\times 15.14\times\sqrt{\pi\times 0.002511577} = 2.14 MPa\sqrt{m}$ <2.5

$Mpa\sqrt{m}$，因此，裂縫不會發生疲勞成長，a_f = 2.511567 mm

由以上評估顯示，機組運轉一個週期，螺栓之假設裂紋將由 2.5 mm 成長至 2.511567 mm，離螺栓發生斷裂之臨界裂縫深度 10.08 mm 尚有相當餘裕，因此，機組運轉一個週期安全無虞。

如評估至 40 個運轉年 ，則疲勞裂縫成長至 2.950234 mm。另由斷裂螺栓破斷面金相檢驗結果所推估螺栓於運轉中可能承受之交變應力，由於此項應力極低，連續運轉 40 年 ，其ΔK = 2.093～2.137 $Mpa\sqrt{m}$，均小於ΔK_{th} = 2.5 $Mpa\sqrt{m}$，仍不致於產生疲勞裂縫成長，計算結果詳如附件 3b 所示。

4.8.2 考慮螺栓預拉力鬆弛效應

若考慮如 4.7 節所述裂縫成長導致預張應力下降及交變應力增強效應，比照前一節之計算，但將(12)及(13)式納入計算中，則錨定螺栓繼續運轉 1～40 年，疲勞裂縫累積成長量為 2.95100 mm，離螺栓發生斷裂之臨界裂縫深度 10.08 mm 尚有相當餘裕。另由斷裂螺栓破斷面金相檢驗結果所推估螺栓於運轉中可能承受之交變應力，連續運轉 40 年，其ΔK = 2.095～2.138 $Mpa\sqrt{m}$，均小於ΔK_{th} = 2.5 $Mpa\sqrt{m}$，，仍不致於產生疲勞裂縫成長，計算結果詳如附件 4b 所示，由附件 4b 顯示，由於裂縫很小，預拉力鬆弛率為 0.99855～0.99816，交變應力增加率為 0.000659～0.000834，因此，運轉 40 年，裂縫深度不考慮此效應與考慮此效應分別為 2.95023 mm 及 2.95100 mm，相差不大，主要為所評估之螺栓裂縫很小，預拉力鬆弛現象尚不明顯。

五、討論與結論

核二廠 1 號機反應爐支撐裙板 120 支錨定螺栓雖於本次大修經 UT 檢測未發現裂縫顯示，但為能確切掌握反應爐相關結構之安全，本公司保守假設錨定螺栓仍有可能存在 UT 檢測無法判讀的瑕疵，進行破壞力學分析，並預估可能之承受反覆交變負載進行疲勞壽命評估。分析中保守假設 UT 檢測無法判讀的裂縫深度為 2.5 mm，並假設裂縫發生在螺牙根部。

破壞力學分析結果顯示，反應爐支撐裙板錨定螺栓承受設計基準最嚴苛之故障狀況(Faulted Condition)之負載時，受力最嚴重之螺栓發生脆斷時之臨界裂縫深度為 0.397 in (10.08 mm)，因此，假設目前錨定螺栓有現存 2.5 mm 之裂縫深度，在發生 Faulted Condition 時，不致有發生脆性斷裂之疑慮。

另本分析針對錨定螺栓可能承受之反覆交變應力，包括地震力(含SRV沖放)、運轉中支撐裙板因外漲所施加之thermal moment、反應爐急停而產生之交變垂直上揚力以及由斷裂螺栓破斷面金相檢驗結果推估螺栓可能於運轉中承受之交變應力等，對假設目前錨定螺栓在螺牙根部有現存2.5 mm之裂縫深度之情況下，評估螺栓之疲勞壽命。

假設上述各項交變應力不同一時間發生，則疲勞壽命評估結果顯示，地震力(含SRV沖放)之交變應力會對其產生疲勞裂縫成長，但裂縫由2.5 mm成長至斷裂之應力循環數為4.02×10^5 cycles。保守估計機組運轉40年發生此項交變應力循環數為19896 cycles ($<<4.02\times10^5$)，換言之，此項交變負載對反應爐支撐裙板錨定螺栓之疲勞破壞沒有威脅性。至於thermal moment反覆交變應力對螺栓之疲勞壽命評估結果顯示，裂縫由2.5 mm成長至斷裂之應力循環數為1.14×10^5 cycles。保守估計每部機40年之應力循環數應在100次以內($<<1.14\times10^5$)，換言之，此項反覆交變負載對反應爐支撐裙板錨定螺栓之疲勞破壞沒有威脅性。針對OSG-XE-105強震儀記錄研判可能因反應爐急停產生之交變垂直上揚力進行疲勞評估，假設目前錨定螺栓螺牙根部有現存2.5 mm之裂縫深度時，承受反應爐急停之交變應力應不致於產生疲勞裂縫成長，此項反覆交變負載對反應爐支撐裙板錨定螺栓之疲勞破壞沒有威脅性。由斷裂螺栓破斷面金相檢驗結果推估螺栓於運轉中可能承受之交變應力，因應力極低，對於假設螺牙根部有現存2.5 mm裂縫深度之錨定螺栓不致於產生疲勞裂縫成長，因此，沒有疲勞破壞之疑慮。

本分析亦考慮錨定螺栓可能承受上列各項交變應力之疊加作用，並比照ASME Section XI，Appendix L之要求，考量累積疲勞損傷，計算螺栓承受疊加交變應力後之累積疲勞裂縫成長量。另裂縫成長過程中，螺栓預張力會鬆弛，導致交變應力有增強效應，本分析亦一併考量。

分析結果顯示，錨定螺栓繼續運轉40年，若不考慮裂縫成長導致預張應力鬆弛及交變應力增強效應，則螺栓裂縫將由2.5 mm成長至2.95023 mm，離螺栓發生斷裂之臨界裂縫深度10.08 mm尚有相當餘裕；若考慮裂縫成長導致預張應力下降及交變應力增強效應，則螺栓裂縫由2.5 mm成長至2.95100 mm，離螺栓發生斷裂之臨界裂縫深度10.08 mm仍有相當餘裕。分析結果亦顯示，由斷裂螺栓破斷面金相檢驗結果所推估螺栓可能承受運轉中持續之交變應力，雖為經常性交變負載，但由於應力極低，對於2.5mm之淺裂縫而言，運轉期間，其ΔK_{th}均小於產生疲勞裂縫成長之門檻值2.5$Mpa\sqrt{m}$，不致於產生疲勞裂縫成長。

綜合以上分析結果顯示，配合超音波檢測，確保螺栓之初始裂縫深度均在2.5 mm以內，則核二廠1號機繼續安全運轉一個週期以上無虞。

六、參考資料

1. Russell C. Cipolla, ″Stress Intensity Factor Approximations for Cracks Located at the Thread Root Region of Fasteners″，*Structure Integrity of fasteners*, ASTM STP 1236, P. M. Toor, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1995, pp.108-125.
2. 0000-0147-5300-R1,″ Stress Calculations of Kuosheng Unit-1 RPV Skirt Studs for TPC Requested Cases ″, GEH, May, 2012.
3. 台灣電力公司，” 核二廠 1 號機 EOC-22 反應爐支撐裙板錨定螺栓斷裂結構安全分析報告”,101 年 4 月 9 日。
4. P. K. LIAW and T. R. LEAX，” Fatigue Crack Growth Behavior of

4340 Steels”， Acta metall. Vol. 35, No. 7, pp, 1415-1432, 1987.

5. H. O. Fuchs, R. I. Stephens, ″Metal Fatigue in Engineering″, A Wiley-Intercience Publication, 1980..

七、附件

附件 1：計算螺栓臨界裂縫尺寸程式(fracture.for)

附件 1a：計算螺栓臨界裂縫尺寸輸入檔(fracture.dat)

附件 1b：計算螺栓臨界裂縫尺寸輸出檔(fracture.out)

附件 2：計算螺栓疲勞壽命程式(fatigue.for)

附件 2a：計算螺栓承受地震力(包括 SRV 沖放)疲勞壽命輸入檔 (fatigue_seismic.dat)

附件 2b：計算螺栓承受地震力(包括 SRV 沖放)疲勞壽命輸出檔 (fatigue_seismic.out)

附件 2c：計算螺栓承受 thermal moment 疲勞壽命輸入檔 (fatigue_thermal.dat)

附件 2d：計算螺栓承受 thermal moment 疲勞壽命輸出檔 (fatigue_thermal.out)

附件 2e：計算螺栓承受反應爐急停垂直上揚力疲勞壽命輸入檔 (fatigue_vertical.dat)

附件 2f：計算螺栓承受反應爐急停垂直上揚力疲勞壽命輸出檔 (fatigue_vertical.out)

附件 3：計算螺栓累積疲勞裂縫成長程式(cumulated.for)

附件 3a：計算螺栓累積疲勞裂縫成長輸入檔(cumulated.dat)

附件 3b：計算螺栓累積疲勞裂縫成長輸出檔(cumulated.out)

附件 4：計算螺栓累積疲勞裂縫成長(考慮預拉力鬆弛效應)程式 (cumulated_prelax.for)

附件 4a：計算螺栓累積疲勞裂縫成長(考慮預拉力鬆弛效應)輸入檔 (cumulated_prelax.dat)

附件 4b：計算螺栓累積疲勞裂縫成長(考慮預拉力鬆弛效應)輸出檔 (cumulated_prelax.out)

工程計算輸入出值審核表

第 頁共 頁

文件名稱:	核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告 Rev.4	
計算程式編號與名稱:	1.	計算螺栓臨界裂縫尺寸尺寸程式
	2.	計算螺栓疲勞各命程式
	3.	計算螺栓累積疲勞裂縫成長程式
	4.	計算螺栓累積疲勞裂縫成長程式(考量預拉力鬆弛效應)

計算程式編號	審查意見	審查意見回覆	意見回覆確認
1	■ 無。 □ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 審查者 [illegible] 日 期：101/5/31	□ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 □ 其他說明： 回覆者 日 期：	□ 已確認，無其他意見。 □ 詳如「審查意見與回覆解決表」 審查者 日 期：
2	□ 無。 ■ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 審查者 [illegible] 日 期：101.5.31	☑ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 □ 其他說明： 回覆者 [illegible] 日 期：101.6.1	☑ 已確認，無其他意見。 □ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 審查者 [illegible] 日 期：101.6.4
3	□ 無。 ■ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 審查者 [illegible] 日 期：101.5.31	☑ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 □ 其他說明： 回覆者 [illegible] 日 期：101.6.1	☑ 已確認，無其他意見。 □ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 審查者 [illegible] 日 期：101.6.4
4	■ 無。 □ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 審查者 [illegible] 日 期：101.5.31	□ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 □ 其他說明： 回覆者 日 期：	□ 已確認，無其他意見。 □ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 審查者 日 期：
核 定	☑同意 □不同意，理由：		
	核准人：[illegible] 日期：101/6/4		

審查意見與回覆解決表

文件名稱: 核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告 Rev. 4

計算程式編號與名稱: **附件二:計算螺栓疲勞壽命程式**

Reviewer: 郭泰良 Date: 2012/5/31

Comment No.	Section / Pg.#	Comment	Resolution
1	p. 39	附件 2a 所輸入之地震交變應力誤植為 thermal moment 之交變應力(21.41)，經代入正確值 12.43 驗算後附件 2b 之輸出數值無誤，請修正報告紙版。	附件 2a 輸入檔紙板已更正如附。

審查意見與回覆解決表

文件名稱: 核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告 Rev. 4

計算程式編號與名稱: **附件三：計算螺栓累積疲勞裂縫成長程式**

Reviewer: 蔡曜隆 Date: 2012/5/31

Comment No.	Section / Pg.#	Comment	Resolution
1	p. 50	請說明輸入值 8. 9e08 於程式計算之含意。	本項數值為推估每一運轉週期，螺栓持續承受 15.14 MPa 交變應力之 cycle 數，應為 3.9e08，但由於此項交變應力所引發之交變應力強度因子 $\Delta K = 2.083 \sim 2.137\ Mpa\sqrt{m}$ (詳如附件 3b 之計算結果)，均小於 $\Delta K_{th} = 2.5\ Mpa\sqrt{m}$ ，不致於產生疲勞裂縫成長，因此，針對此項交變應力不需累積其疲勞裂縫成長量，此項數值於程式計算中並未使用。
2	p. 50	臨界裂紋深度輸入為 0. 01397，是否應為 0. 01008?請澄清!	附件 3a 為計算螺栓累積疲勞裂縫成長量，但不考慮預張應力鬆弛效應，因此，臨界裂紋深度應為 0. 01008 m。由於程式計算至 40 運轉週期累積之裂縫深度為 3.365 mm (詳如附件 3b)，遠低於臨界裂紋深度(0. 01008 m)，因此，此項輸入值並未使用，亦未影響計算結果。

Comment No.	Section / Pg.#	Comment	Resolution
3	p.51,52 p.57,58	每個 operating cycle 之第四列之 Delta K 值皆小於 $\Delta K_{th} = 2.5\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ ，為何仍有裂紋成長值?是否程式有誤，請說明。 附件 4b 亦有相同問題。	

附件 1：計算螺栓臨界裂縫尺寸程式(fracture.for)

```
c*************************************************************
c                              fracture.for
c       Calculate the critical crack depth for 3", 8UN Bolt
c                              04/30/2012
c*************************************************************
c
          real x1,x2,xtol,ftol
          integer I,nlim
          data xtol,ftol,i,nlim/0.00001,0.000001,0,50/
       open(unit=5,file='fracture.dat')
          open(unit=10,file='fracture.out')
       read(5,*) sigma,akic
          write(10,*)'sigma=',sigma,'    ksi'
            x1=0.01
          x2=0.28466
          call inthv(x1,x2,xr,xtol,ftol,nlim,i,sigma,akic)
       depth=xr
       if(i.eq.-2) then
       x1=0.28466
          x2=2.8
       call inthv1(x1,x2,xr,xtol,ftol,nlim,i,sigma,akic)
       endif
       depth=xr
       depth1=depth*25.4
       write(10,100)depth
       print*,'critical crack depth=',depth
  100    format('critical crack depth=',f12.3,'    in')
          stop
          end
C
C-------------------------------------------------------------
C
          subroutine crack(diff,x,sigma,akic)
          real x
       d=2.8466
```

```
      g1=0.
      g2=0.
        g1=3.973-116.792*(x/d)+1660.950*(x/d)**2.0
       * -7902.790*(x/d)**3.0
       g=g1
         diff=(g*sigma)**2.0*(3.1415926*x)-akic**2.0
        return
        end
C
C-------------------------------------------------------------
C
        subroutine inthv(x1,x2,xr,xtol,ftol,nlim,i,sigma,akic)
C
C
        real x1,x2,xr,xtol,ftol
        integer nlim,i,j
        real f1,f2,fr,xerr
C
C   CHECK THAT F(X1) & F(X2) DIFFER IN SIGN
C
        call crack(diff,x1,sigma,akic)
      f1=diff
      call crack(diff,x2,sigma,akic)
        f2=diff
        print*,'x1=',x1,'f1=',f1
        print*,'x2=',x2,'f2=',f2
        if ( f1*f2.gt.0.0) then
          i=-2
          print*,'FUNCTION HAS SAME SIGN AT X1 & X2'
          return
        endif
C
C   COMPUTE SEQUENCE OF POINTS CONVERGING TO THE ROOT
C
        do 20 j=1,nlim
        xr=(x1+x2)/2.0
        call crack(diff,xr,sigma,akic)
        fr=diff
```

```
      xerr=abs(x1-x2)/2.0
      if(i.eq.0) then
        print*,'AT ITERATION',j,' X= ',xr,' F(X)= ',fr
      endif
C
C   CHECK ON STOPPING CRITERIA
C
      if(xerr.le.xtol) then
        i=1
        print*,'TOLERANCE MET IN ',j,' ITERATIONS      X = ',xr,
     *    '    f(x) = ',FR
      return
      end if
C
      if(abs(fr).le.ftol) then
        i=2
        print*,'F TOLERANCE MET IN ',j,' ITERATIONS    X = ',xr,
     *    ' F(X) = ',fr
      return
      end if
C
C   COMPUTE NEXT X
C
      if(fr*f1.gt.0.0) then
        x1=xr
        f1=fr
      else
        x2=xr
        f2=fr
      end if
   20 continue
C
C   WHEN LOOP IS NORMALLY COMPLETED, NLIM IS EXCEEDED
C
       i=-1
       print*,' TOLERANCE NOT MET AFTER ',nlim,' ITERATIONS    X = ',
     * xr,' F(X) = ',fr
      return
```

```
      end
c
c
c
      subroutine crack1(diff,x,sigma,akic)
      real x
     d=2.8466
     g2=1.732-11.043*(x/d)+49.407*(x/d)**2.0
      * -94.716*(x/d)**3.0+75.452*(x/d)**4.0
      g=g2
        diff=(g*sigma)**2.0*(3.1415926*x)-akic**2.0
      return
      end
C
C-------------------------------------------------------------
C
      subroutine inthv1(x1,x2,xr,xtol,ftol,nlim,i,sigma,akic)
C
C
      real x1,x2,xr,xtol,ftol
      integer nlim,i,j
      real f1,f2,fr,xerr
C
C    CHECK THAT F(X1) & F(X2) DIFFER IN SIGN
C
      call crack1(diff,x1,sigma,akic)
     f1 = diff
     call crack1(diff,x2,sigma,akic)
      f2=diff
           print*,'x1=',x1,'f1=',f1
      print*,'x2=',x2,'f2=',f2
      if ( f1*f2.gt.0.0) then
        i=-2
        print*,'FUNCTION HAS SAME SIGN AT X1 & X2'
        return
      endif
C
C    COMPUTE SEQUENCE OF POINTS CONVERGING TO THE ROOT
```

```
C
      do 20 j=1,nlim
      xr=(x1+x2)/2.0
     call crack1(diff,xr,sigma,akic)
      fr=diff
      xerr=abs(x1-x2)/2.0
      if(i.eq.0) then
        print*,'AT ITERATION',j,' X= ',xr,' F(X)= ',fr
      endif
C
C   CHECK ON STOPPING CRITERIA
C
      if(xerr.le.xtol) then
        i=1
        print*,'TOLERANCE MET IN ',j,' ITERATIONS      X = ',xr,
     *    '    f(x) = ',FR
      return
      end if
C
      if(abs(fr).le.ftol) then
        i=2
        print*,'F TOLERANCE MET IN ',j,' ITERATIONS    X = ',xr,
     *    ' F(X) = ',fr
      return
      end if
C
C   COMPUTE NEXT X
C
      if(fr*f1.gt.0.0) then
        x1=xr
        f1=fr
      else
        x2=xr
        f2=fr
      end if
   20 continue
C
C   WHEN LOOP IS NORMALLY COMPLETED, NLIM IS EXCEEDED
```

```
C
      i=-1
      print*,' TOLERANCE NOT MET AFTER ',nlim,' ITERATIONS    X = ',
     * xr,' F(X) = ',fr
      return
      end
```

→

附件 1a：計算螺栓臨界裂縫尺寸輸入檔(fracture.dat)

111.66,115.26

附件 1b：計算螺栓臨界裂縫尺寸輸出檔(fracture.out)

```
sigma=   111.6600      ksi
critical crack depth=       0.397  in
```

附件 2：計算螺栓疲勞壽命程式(fatigue.for)

```
C*********************************************************
C                        Fatigue.FOR
C     Calculation of fatigue life of 3", 8UN cracked Bolts
c                        04/30/2012
C*********************************************************
        REAL*8 an,CYCLE,A(2000),C,GEOM,AM,AF,A0,DA,fre,sigma
        OPEN(UNIT=7,FILE='fatigue.dat')
        OPEN(UNIT=8,FILE='fatigue.out')
        READ(7,*)A0,AF,AM,C,sigma1,d,freq
      print*,A0,AF,AM,C,sigma1,d,freq
        READ(7,*)N
        CYCLE=0.0
        A(1)=A0
        an=n
        DA=(AF-A0)/AN
           sigma=sigma1*6.8966
        WRITE(8,*)'initial Crack Depth= ',A0*1000.0,'mm'
      WRITE(8,*)'Critical Crack Depth= ',af*1000.0,'mm'
      WRITE(8,*)'C = ',C
      WRITE(8,*)'m = ',am
      WRITE(8,*)'sigma = ',sigma,'      MPa','    (',sigma1,' ksi)'
      WRITE(8,*)'Calculated steps= ',n
      WRITE(8,*)'Printed in every 20 Steps '
      WRITE(8,*) 'Crack Depth (mm) ','        Elapsed Cycles'
       cycle=0.0
      WRITE(8,101) a0*1000.0,CYCLE
          DO I=2,N+1
        ai=i
      g1=0.
      g2=0.
```

```
      A(I)=A0+DA*(AI-1.0)
      if(a(i)/d.gt.0.1) go to 10
      g1=3.973-116.792*(a(i)/d)+1660.950*(a(i)/d)**2.0
     * -7902.790*(a(i)/d)**3.0
     geom=g1
   go to 20
  10 continue
      g2=1.732-11.043*(a(i)/d)+49.407*(a(i)/d)**2.0
     * -94.716*(a(i)/d)**3.0+75.452*(a(i)/d)**4.0
     geom=g2
  20 continue
   dk=geom*sigma*(3.1415926*a(i))**0.5
           CYCLE=CYCLE+(A(I)**(1.0-0.5*AM)-A(I-1)**(1.0-0.5*AM))/
     *((1.0-0.5*AM)*C*GEOM**AM*(3.1415926)**(0.5*AM)*sigma**am)
     aa=A(I)*1000.0
      if(i.eq.n+1.or.i.eq.2) WRITE(8,101) aa,CYCLE
   if(I.ne.i/20*20) go to 50
   WRITE(8,101) aa,CYCLE
  50 continue
         END DO
 101 FORMAT(f15.4,e12.3,5f15.5)
 102 FORMAT(6F15.6)
      STOP
      END→
```

附件 2a：計算螺栓承受地震力(包括 SRV 沖放)疲勞壽命輸入檔 (fatigue_seismic.dat)

```
0.0025,0.01008,2.32,4.78e-11,12.43,0.0723,8.29
1000
```

附件 2b：計算螺栓承受地震力(包括 SRV 沖放)疲勞壽命輸出檔 (fatigue_seismic.out)

```
initial Crack Depth=    2.50000000000000     mm
 Critical Crack Depth=    10.0800000000000     mm
 C =   4.780000000000000E-011
 m =    2.32000000000000
 sigma =    85.7247372407073        MPa  (   12.43000     ksi)
 Calculated steps=         1000
 Printed in every 20 Steps
 Crack Depth (mm)     Elapsed Cycles
         2.5000   0.000E+00
         2.5076   0.488E+03
         2.6440   0.937E+04
         2.7956   0.194E+05
         2.9472   0.296E+05
         3.0988   0.399E+05
         3.2504   0.503E+05
         3.4020   0.606E+05
         3.5536   0.709E+05
         3.7052   0.812E+05
         3.8568   0.912E+05
         4.0084   0.101E+06
         4.1600   0.111E+06
         4.3116   0.120E+06
         4.4632   0.129E+06
         4.6148   0.138E+06
         4.7664   0.147E+06
         4.9180   0.155E+06
         5.0696   0.163E+06
         5.2212   0.171E+06
         5.3728   0.178E+06
         5.5244   0.186E+06
         5.6760   0.193E+06
         5.8276   0.200E+06
         5.9792   0.207E+06
```

6.1308	0.213E+06
6.2824	0.220E+06
6.4340	0.227E+06
6.5856	0.234E+06
6.7372	0.241E+06
6.8888	0.248E+06
7.0404	0.255E+06
7.1920	0.263E+06
7.3436	0.271E+06
7.4952	0.279E+06
7.6468	0.286E+06
7.7984	0.294E+06
7.9500	0.301E+06
8.1016	0.309E+06
8.2532	0.316E+06
8.4048	0.324E+06
8.5564	0.331E+06
8.7080	0.338E+06
8.8596	0.346E+06
9.0112	0.353E+06
9.1628	0.360E+06
9.3144	0.367E+06
9.4660	0.374E+06
9.6176	0.381E+06
9.7692	0.388E+06
9.9208	0.395E+06
10.0724	0.402E+06
10.0800	0.402E+06

附件 2c：計算螺栓承受 thermal moment 疲勞壽命輸入檔 (fatigue_thermal.dat)

```
0.0025,0.01008,2.32,4.78e-11,21.41,0.0723,8.29
1000
```

附件 2d：計算螺栓承受 thermal moment 疲勞壽命輸出檔 (fatigue_thermal.out)

```
initial Crack Depth=    2.50000000000000      mm
Critical Crack Depth=    10.0800000000000      mm
C =   4.780000000000000E-011
m =    2.32000000000000
sigma =    147.656200014633         MPa  (    21.41000      ksi)
Calculated steps=          1000
Printed in every 20 Steps
Crack Depth (mm)     Elapsed Cycles
         2.5000    0.000E+00
         2.5076    0.138E+03
         2.6440    0.265E+04
         2.7956    0.550E+04
         2.9472    0.838E+04
         3.0988    0.113E+05
         3.2504    0.142E+05
         3.4020    0.172E+05
         3.5536    0.201E+05
         3.7052    0.230E+05
         3.8568    0.258E+05
         4.0084    0.286E+05
         4.1600    0.314E+05
         4.3116    0.340E+05
         4.4632    0.366E+05
         4.6148    0.391E+05
         4.7664    0.416E+05
         4.9180    0.439E+05
         5.0696    0.462E+05
         5.2212    0.484E+05
         5.3728    0.505E+05
         5.5244    0.526E+05
         5.6760    0.546E+05
         5.8276    0.566E+05
         5.9792    0.585E+05
```

6.1308	0.604E+05
6.2824	0.623E+05
6.4340	0.642E+05
6.5856	0.662E+05
6.7372	0.681E+05
6.8888	0.702E+05
7.0404	0.723E+05
7.1920	0.745E+05
7.3436	0.768E+05
7.4952	0.789E+05
7.6468	0.811E+05
7.7984	0.832E+05
7.9500	0.854E+05
8.1016	0.875E+05
8.2532	0.896E+05
8.4048	0.917E+05
8.5564	0.938E+05
8.7080	0.958E+05
8.8596	0.979E+05
9.0112	0.999E+05
9.1628	0.102E+06
9.3144	0.104E+06
9.4660	0.106E+06
9.6176	0.108E+06
9.7692	0.110E+06
9.9208	0.112E+06
10.0724	0.114E+06
10.0800	0.114E+06

附件 2e：計算螺栓承受反應爐急停垂直上揚力疲勞壽命輸入檔 (fatigue_vertical.dat)

```
0.0025,0.01008,2.32,4.78e-11,1.77,0.0723,8.29
1000
```

附件 2f：計算螺栓承受反應爐急停垂直上揚力疲勞壽命輸出檔 (fatigue_vertical.out)

```
 initial Crack Depth=    2.50000000000000     mm
Critical Crack Depth=    10.0800000000000     mm
C =   4.780000000000000E-011
m =    2.32000000000000
sigma =    12.2069814606361        MPa  (   1.770000     ksi)
Calculated steps=         1000
Printed in every 20 Steps
Crack Depth (mm)     Elapsed Cycles
        2.5000   0.000E+00
        2.5076   0.449E+05
        2.6440   0.862E+06
        2.7956   0.179E+07
        2.9472   0.272E+07
        3.0988   0.367E+07
        3.2504   0.462E+07
        3.4020   0.558E+07
        3.5536   0.653E+07
        3.7052   0.747E+07
        3.8568   0.840E+07
        4.0084   0.931E+07
        4.1600   0.102E+08
        4.3116   0.111E+08
        4.4632   0.119E+08
        4.6148   0.127E+08
        4.7664   0.135E+08
        4.9180   0.143E+08
        5.0696   0.150E+08
        5.2212   0.157E+08
        5.3728   0.164E+08
        5.5244   0.171E+08
        5.6760   0.177E+08
        5.8276   0.184E+08
        5.9792   0.190E+08
```

6.1308	0.196E+08
6.2824	0.203E+08
6.4340	0.209E+08
6.5856	0.215E+08
6.7372	0.221E+08
6.8888	0.228E+08
7.0404	0.235E+08
7.1920	0.242E+08
7.3436	0.249E+08
7.4952	0.256E+08
7.6468	0.263E+08
7.7984	0.270E+08
7.9500	0.277E+08
8.1016	0.284E+08
8.2532	0.291E+08
8.4048	0.298E+08
8.5564	0.305E+08
8.7080	0.311E+08
8.8596	0.318E+08
9.0112	0.325E+08
9.1628	0.331E+08
9.3144	0.338E+08
9.4660	0.344E+08
9.6176	0.351E+08
9.7692	0.357E+08
9.9208	0.363E+08
10.0724	0.370E+08
10.0800	0.370E+08

附件 3：計算螺栓累積疲勞裂縫成長程式(cumulated.for)

```
C*******************************************************
C                    cumulated.FOR
c                    05/23/2012
C*******************************************************
      REAL*8 A,C,GEOM,AM,AF,A0,DA,fre,sigma(20),an(20),d
      OPEN(UNIT=7,FILE='cumulated.DAT')
      OPEN(UNIT=8,FILE='cumulated.OUT')
      READ(7,*)A0,AF,AM,C,d,freq
    print*,A0,AF,AM,C,d,freq
      READ(7,*)NN
      A=A0
    do jj=1,nn
    READ(7,*)sigma(jj),an(jj)
    WRITE(8,*) sigma(jj),an(jj)
    enddo
    do kk=1,40
      WRITE(8,*) '--------Operating Cycle=',kk,'----------'
    do i=1,nn
      da=0.
      if(a/d.gt.0.1) go to 10
      g1=3.973-116.792*(a/d)+1660.950*(a/d)**2.0
     * -7902.790*(a/d)**3.0
     geom=g1
    go to 20
   10 continue
      g2=1.732-11.043*(a/d)+49.407*(a/d)**2.0
     * -94.716*(a/d)**3.0+75.452*(a/d)**4.0
     geom=g2
   20 continue
    dk=geom*sigma(i)*(3.1415926*a)**0.5
    if(dk.lt.2.5) go to 30
    da=c*(dk)**am*an(i)
   30 continue
    a=a+da
     aa=A*1000.0
    WRITE(8,101) aa,da,sigma(i),dk,geom
    enddo
```

```
   enddo
101 FORMAT('累積裂縫深度  =',f9.7,'  裂縫成長  =',f12.10,
     * '  交變應力=',f6.2,' Mpa',' Delta K= ',f5.2,'    F=',f8.6)
       STOP
       END→
```

附件 3a：計算螺栓累積疲勞裂縫成長輸入檔(cumulated.dat)

0.0025,0.01008,2.32,4.78e-11,0.0723,8.29
4
260.69,1
113.04,13
100.83,484
15.14,3.9e08

附件 3b：計算螺栓累積疲勞裂縫成長輸出檔(cumulated.out)

--------Operating Cycle= 1----------

累積裂縫深度 =2.5002055 裂縫成長 =0.0000002055 交變應力=260.69 Mpa Delta K= 36.820 F=1.593734

累積裂縫深度 =2.5005898 裂縫成長 =0.0000003844 交變應力=113.04 Mpa Delta K= 15.966 F=1.593648

累積裂縫深度 =2.5115666 裂縫成長 =0.0000109767 交變應力=100.83 Mpa Delta K= 14.241 F=1.593487

累積裂縫深度 =2.5115666 裂縫成長 =0.0000000000 交變應力= 15.14 Mpa Delta K= 2.137 F=1.588912

--------Operating Cycle= 2----------

累積裂縫深度 =2.5117717 裂縫成長 =0.0000002051 交變應力=260.69 Mpa Delta K= 36.794 F=1.588912

累積裂縫深度 =2.5121555 裂縫成長 =0.0000003837 交變應力=113.04 Mpa Delta K= 15.954 F=1.588827

累積裂縫深度 =2.5231137 裂縫成長 =0.0000109584 交變應力=100.83 Mpa Delta K= 14.231 F=1.588668

累積裂縫深度 =2.5231137 裂縫成長 =0.0000000000 交變應力= 15.14 Mpa Delta K= 2.135 F=1.584141

--------Operating Cycle= 3----------

累積裂縫深度 =2.5233185 裂縫成長 =0.0000002048 交變應力=260.69 Mpa Delta K= 36.767 F=1.584141

累積裂縫深度 =2.5237017 裂縫成長 =0.0000003831 交變應力=113.04 Mpa Delta K= 15.943 F=1.584057

累積裂縫深度 =2.5346420 裂縫成長 =0.0000109403 交變應力=100.83 Mpa Delta K= 14.220 F=1.583899

累積裂縫深度 =2.5346420 裂縫成長 =0.0000000000 交變應力= 15.14 Mpa Delta K= 2.134 F=1.579420

--------Operating Cycle= 4----------

累積裂縫深度 =2.5348463 裂縫成長 =0.0000002045 交變應力=260.69 Mpa Delta K= 36.741 F=1.579420

累積裂縫深度 =2.5352290 裂縫成長 =0.0000003825 交變應力=113.04 Mpa Delta K= 15.932 F=1.579337

累積裂縫深度 =2.5461512 裂縫成長 =0.0000109224 交變應力=100.83 Mpa Delta K= 14.210 F=1.579181

累積裂縫深度 =2.5461512 裂縫成長 =0.0000000000 交變應力= 15.14 Mpa Delta K= 2.132 F=1.574750

--------Operating Cycle= 10----------

累積裂縫深度 =2.6036272 裂縫成長 =0.0000002025 交變應力=260.69 Mpa Delta K= 36.593 F=1.552125

累積裂縫深度 =2.6040061 裂縫成長 =0.0000003789 交變應力=113.04 Mpa Delta K= 15.867 F=1.552047

累積裂縫深度 =2.6148264 裂縫成長 =0.0000108204 交變應力=100.83 Mpa Delta K= 14.153 F=1.551901

累積裂縫深度 =2.6148264 裂縫成長 =0.0000000000 交變應力= 15.14 Mpa Delta K= 2.124 F=1.547743

--------Operating Cycle= 15----------

累積裂縫深度 =2.6604681 裂縫成長 =0.0000002011 交變應力=260.69 Mpa Delta K= 36.479 F=1.530673

累積裂縫深度 =2.6608443 裂縫成長 =0.0000003762 交變應力=113.04 Mpa Delta K= 15.818 F=1.530599

累積裂縫深度 =2.6715868 裂縫成長 =0.0000107425 交變應力=100.83 Mpa Delta K= 14.109 F=1.530460

累積裂縫深度 =2.6715868 裂縫成長 =0.0000000000 交變應力= 15.14 Mpa Delta K= 2.117 F=1.526518

--------Operating Cycle= 20----------

累積裂縫深度 =2.7169123 裂縫成長 =0.0000001997 交變應力=260.69 Mpa Delta K= 36.374 F=1.510335

累積裂縫深度 =2.7172859 裂縫成長 =0.0000003737 交變應力=113.04 Mpa Delta K= 15.772 F=1.510265

累積裂縫深度 =2.7279570 裂縫成長 =0.0000106711 交變應力=100.83 Mpa Delta K= 14.068 F=1.510134

累積裂縫深度 =2.7279570 裂縫成長 =0.0000000000 交變應力= 15.14 Mpa Delta K= 2.111 F=1.506397

--------Operating Cycle= 25----------

累積裂縫深度 =2.7729940 裂縫成長 =0.0000001985 交變應力=260.69 Mpa Delta K= 36.279 F=1.491058

累積裂縫深度 =2.7733655 裂縫成長 =0.0000003714 交變應力=113.04 Mpa Delta K= 15.731 F=1.490991

累積裂縫深度 =2.7839718 裂縫成長 =0.0000106062 交變應力=100.83 Mpa Delta K= 14.032 F=1.490867

累積裂縫深度 =2.7839718 裂縫成長 =0.0000000000 交變應力= 15.14 Mpa Delta K= 2.106 F=1.487325

--------Operating Cycle= 30----------

累積裂縫深度 =2.8287485 裂縫成長 =0.0000001974 交變應力=260.69 Mpa Delta K= 36.193 F=1.472790

累積裂縫深度 =2.8291178 裂縫成長 =0.0000003694 交變應力=113.04 Mpa Delta K= 15.694 F=1.472727

累積裂縫深度 =2.8396659 裂縫成長 =0.0000105481 交變應力=100.83 Mpa Delta K= 13.998 F=1.472609

累積裂縫深度 =2.8396659 裂縫成長 =0.0000000000 交變應力= 15.14 Mpa Delta K= 2.101 F=1.469253

--------Operating Cycle= 35----------

累積裂縫深度 =2.8842106 裂縫成長 =0.0000001965 交變應力=260.69 Mpa Delta K= 36.116 F=1.455483

累積裂縫深度 =2.8845782 裂縫成長 =0.0000003676 交變應力=113.04 Mpa Delta K= 15.661 F=1.455424

累積裂縫深度 =2.8950748 裂縫成長 =0.0000104966 交變應力=100.83 Mpa Delta K= 13.969 F=1.455312

累積裂縫深度 =2.8950748 裂縫成長 =0.0000000000 交變應力= 15.14 Mpa Delta K= 2.097 F=1.452134

--------Operating Cycle= 40----------

累積裂縫深度 =2.9394159 裂縫成長 =0.0000001956 交變應力=260.69 Mpa Delta K= 36.050 F=1.439093

累積裂縫深度 =2.9397819 裂縫成長 =0.0000003660 交變應力=113.04 Mpa Delta K= 15.632 F=1.439036

累積裂縫深度 =2.9502337 裂縫成長 =0.0000104519 交變應力=100.83 Mpa Delta K= 13.943 F=1.438931

累積裂縫深度 =2.9502337 裂縫成長 =0.0000000000 交變應力= 15.14 Mpa Delta K= 2.093 F=1.435921

附件 4：計算螺栓累積疲勞裂縫成長(考慮預拉力鬆弛效應)程式 (cumulated_prelax.for)

```
C*****************************************************
C                    cumulated_prelax.FOR
c                   5/23/2012
C*****************************************************
      REAL*8 A,C,GEOM,AM,AF,A0,DA,fre,sigma(20),an(20),d,
     * factor,aaa,pre,stress
      OPEN(UNIT=7,FILE='cumulated_prelax.DAT')
      OPEN(UNIT=8,FILE='cumulated_prelax.OUT')
     OPEN(UNIT=9,FILE='cumulated_prelax_1.OUT')
     READ(7,*)A0,AF,AM,C,d,freq
     print*,A0,AF,AM,C,d,freq
      READ(7,*)NN
      A=A0
     do jj=1,nn
     READ(7,*)sigma(jj),an(jj)
     WRITE(8,*) sigma(jj),an(jj)
     enddo
     do kk=1,40
      WRITE(8,*) '--------Operating Cycle=',kk,'-------------'
     do i=1,nn
      da=0.
      if(a/d.gt.0.1) go to 10
      g1=3.973-116.792*(a/d)+1660.950*(a/d)**2.0
     * -7902.790*(a/d)**3.0
      geom=g1
     go to 20
   10 continue
      g2=1.732-11.043*(a/d)+49.407*(a/d)**2.0
     * -94.716*(a/d)**3.0+75.452*(a/d)**4.0
      geom=g2
   20 continue
      aaa=a*1000./25.4
      pre=1.00195-0.0483*aaa+0.1642*aaa**2.0-0.2578*aaa**3.0+
     *     0.0603*aaa**4.0
          factor=1.371-2.661*pre+1.995*pre**2.0-0.711*pre**3.0
     if(pre.gt.0.9559) factor=(1.0-pre)/(1.0-0.9559)*0.02
```

```
      WRITE(9,*)'aaa=',aaa,'pre=',pre,'factor=',factor
         stress=sigma(i)*(1.0+factor)
      dk=geom*stress*(3.1415926*a)**0.5
      if(dk.lt.2.5) go to 30
      da=c*(dk)**am*an(i)
   30 continue
       a=a+da
       aa=A*1000.0
      WRITE(8,101) aa,da,pre,factor,dk
      enddo
      enddo
  101 FORMAT('累積裂縫深度 =',f9.7,' 裂縫成長 =',f12.10,
      * ' 預力鬆弛率=',f8.5,'應力增加=',f8.6,' Delta K=',
      * f7.2)
       STOP
       END→
```

附件 4a：計算螺栓累積疲勞裂縫成長(考慮預拉力鬆弛效應)輸入檔 (cumulated_prelax.dat)

0.0025,0.01397,2.32,4.78e-11,0.0723,8.29
4
260.69,1
113.04,13
100.83,484
15.14,3.9e08

附件 4b：計算螺栓累積疲勞裂縫成長(考慮預拉力鬆弛效應)輸出檔 (cumulated_prelax.out)

--------Operating Cycle= 1----------
累積裂縫深度 =2.5002058 裂縫成長 =0.0000002058 預力鬆弛率= 0.99855 應力增加=0.000659 Delta K= 36.844
累積裂縫深度 =2.5005908 裂縫成長 =0.0000003850 預力鬆弛率= 0.99855 應力增加=0.000659 Delta K= 15.976
累積裂縫深度 =2.5115843 裂縫成長 =0.0000109935 預力鬆弛率= 0.99855 應力增加=0.000659 Delta K= 14.250
累積裂縫深度 =2.5115843 裂縫成長 =0.0000000000 預力鬆弛率= 0.99854 應力增加=0.000664 Delta K= 2.138
--------Operating Cycle= 2----------
累積裂縫深度 =2.5117898 裂縫成長 =0.0000002054 預力鬆弛率= 0.99854 應力增加=0.000664 Delta K= 36.818
累積裂縫深度 =2.5121741 裂縫成長 =0.0000003843 預力鬆弛率= 0.99854 應力增加=0.000664 Delta K= 15.965
累積裂縫深度 =2.5231493 裂縫成長 =0.0000109752 預力鬆弛率= 0.99854 應力增加=0.000664 Delta K= 14.240
累積裂縫深度 =2.5231493 裂縫成長 =0.0000000000 預力鬆弛率= 0.99853 應力增加=0.000669 Delta K= 2.137
--------Operating Cycle= 3----------
累積裂縫深度 =2.5233543 裂縫成長 =0.0000002051 預力鬆弛率= 0.99853 應力增加=0.000669 Delta K= 36.792
累積裂縫深度 =2.5237381 裂縫成長 =0.0000003837 預力鬆弛率= 0.99853 應力增加=0.000669 Delta K= 15.953
累積裂縫深度 =2.5346954 裂縫成長 =0.0000109572 預力鬆弛率= 0.99852 應力增加=0.000669 Delta K= 14.230
累積裂縫深度 =2.5346954 裂縫成長 =0.0000000000 預力鬆弛率= 0.99852 應力增加=0.000673 Delta K= 2.135
--------Operating Cycle= 4----------
累積裂縫深度 =2.5349000 裂縫成長 =0.0000002048 預力鬆弛率= 0.99852 應力增加=0.000673 Delta K= 36.766
累積裂縫深度 =2.5352831 裂縫成長 =0.0000003831 預力鬆弛率= 0.99851 應力增加=0.000674 Delta K= 15.942
累積裂縫深度 =2.5462224 裂縫成長 =0.0000109394 預力鬆弛率= 0.99851 應力增加=0.000674 Delta K= 14.220
累積裂縫深度 =2.5462224 裂縫成長 =0.0000000000 預力鬆弛率= 0.99850 應力增加=0.000678 Delta K= 2.134
--------Operating Cycle= 5----------
累積裂縫深度 =2.5464270 裂縫成長 =0.0000002044 預力鬆弛率= 0.99850 應力增加=0.000678 Delta K= 36.741
累積裂縫深度 =2.5468094 裂縫成長 =0.0000003825 預力鬆弛率= 0.99850 應力增加=0.000678 Delta K= 15.931
累積裂縫深度 =2.5577312 裂縫成長 =0.0000109218 預力鬆弛率= 0.99850 應力增加=0.000678 Delta K= 14.210
累積裂縫深度 =2.5577312 裂縫成長 =0.0000000000 預力鬆弛率= 0.99849 應力增加=0.000683 Delta K= 2.132
--------Operating Cycle= 10----------
累積裂縫深度 =2.6037893 裂縫成長 =0.0000002029 預力鬆弛率= 0.99845 應力增加=0.000701 Delta K= 36.618
累積裂縫深度 =2.6041689 裂縫成長 =0.0000003795 預力鬆弛率= 0.99845 應力增加=0.000702 Delta K= 15.878
累積裂縫深度 =2.6150067 裂縫成長 =0.0000108378 預力鬆弛率= 0.99845 應力增加=0.000702 Delta K= 14.163
累積裂縫深度 =2.6150067 裂縫成長 =0.0000000000 預力鬆弛率= 0.99844 應力增加=0.000706 Delta K= 2.125
--------Operating Cycle= 15----------
累積裂縫深度 =2.6607225 裂縫成長 =0.0000002014 預力鬆弛率= 0.99840 應力增加=0.000724 Delta K= 36.505
累積裂縫深度 =2.6610994 裂縫成長 =0.0000003768 預力鬆弛率= 0.99840 應力增加=0.000724 Delta K= 15.829
累積裂縫深度 =2.6718595 裂縫成長 =0.0000107602 預力鬆弛率= 0.99840 應力增加=0.000724 Delta K= 14.119
累積裂縫深度 =2.6718595 裂縫成長 =0.0000000000 預力鬆弛率= 0.99839 應力增加=0.000729 Delta K= 2.119

--------Operating Cycle= 20----------

累積裂縫深度 =2.7172608 裂縫成長 =0.0000002001 預力鬆弛率= 0.99835 應力增加=0.000746 Delta K= 36.401

累積裂縫深度 =2.7176352 裂縫成長 =0.0000003743 預力鬆弛率= 0.99835 應力增加=0.000746 Delta K= 15.784

累積裂縫深度 =2.7283242 裂縫成長 =0.0000106891 預力鬆弛率= 0.99835 應力增加=0.000746 Delta K= 14.079

累積裂縫深度 =2.7283242 裂縫成長 =0.0000000000 預力鬆弛率= 0.99834 應力增加=0.000751 Delta K= 2.113

--------Operating Cycle= 25----------

累積裂縫深度 =2.7734385 裂縫成長 =0.0000001989 預力鬆弛率= 0.99831 應力增加=0.000768 Delta K= 36.306

累積裂縫深度 =2.7738106 裂縫成長 =0.0000003720 預力鬆弛率= 0.99831 應力增加=0.000768 Delta K= 15.743

累積裂縫深度 =2.7844353 裂縫成長 =0.0000106247 預力鬆弛率= 0.99831 應力增加=0.000768 Delta K= 14.042

累積裂縫深度 =2.7844353 裂縫成長 =0.0000000000 預力鬆弛率= 0.99830 應力增加=0.000772 Delta K= 2.107

--------Operating Cycle= 30----------

累積裂縫深度 =2.8292909 裂縫成長 =0.0000001978 預力鬆弛率= 0.99826 應力增加=0.000789 Delta K= 36.221

累積裂縫深度 =2.8296609 裂縫成長 =0.0000003700 預力鬆弛率= 0.99826 應力增加=0.000789 Delta K= 15.706

累積裂縫深度 =2.8402276 裂縫成長 =0.0000105669 預力鬆弛率= 0.99826 應力增加=0.000789 Delta K= 14.009

累積裂縫深度 =2.8402276 裂縫成長 =0.0000000000 預力鬆弛率= 0.99825 應力增加=0.000793 Delta K= 2.103

--------Operating Cycle= 35----------

累積裂縫深度 =2.8848526 裂縫成長 =0.0000001968 預力鬆弛率= 0.99821 應力增加=0.000810 Delta K= 36.145

累積裂縫深度 =2.8852210 裂縫成長 =0.0000003682 預力鬆弛率= 0.99821 應力增加=0.000810 Delta K= 15.673

累積裂縫深度 =2.8957367 裂縫成長 =0.0000105158 預力鬆弛率= 0.99821 應力增加=0.000810 Delta K= 13.980

累積裂縫深度 =2.8957367 裂縫成長 =0.0000000000 預力鬆弛率= 0.99821 應力增加=0.000814 Delta K= 2.098

--------Operating Cycle= 40----------

累積裂縫深度 =2.9401598 裂縫成長 =0.0000001960 預力鬆弛率= 0.99817 應力增加=0.000830 Delta K= 36.079

累積裂縫深度 =2.9405265 裂縫成長 =0.0000003667 預力鬆弛率= 0.99817 應力增加=0.000830 Delta K= 15.644

累積裂縫深度 =2.9509978 裂縫成長 =0.0000104714 預力鬆弛率= 0.99817 應力增加=0.000830 Delta K= 13.954

累積裂縫深度 =2.9509978 裂縫成長 =0.0000000000 預力鬆弛率= 0.99816 應力增加=0.000834 Delta K= 2.095

工程計算輸入出值審核表

文件名稱:	核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告 Rev.4	
計算程式編號與名稱:	1.	計算螺栓臨界裂縫尺寸尺寸程式
	2.	計算螺栓疲勞壽命程式
	3.	計算螺栓累積疲勞裂縫成長程式
	4.	計算螺栓累積疲勞裂縫成長程式(考量預拉力鬆弛效應)

計算程式編號	審查意見	審查意見回覆	意見回覆確認
1	■ 無。 □ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 審查者 吳政文 日 期：101/5/31	□ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 □ 其他說明： 回覆者 日 期：	□ 已確認，無其他意見。 □ 詳如「審查意見與回覆解決表」 審查者 日 期：
2	□ 無。 ■ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 審查者 陳鑫 日 期：101.5.31	□ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 □ 其他說明： 回覆者 日 期：	☑ 已確認，無其他意見。 □ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 審查者 陳鑫 日 期：101.6.4
3	□ 無。 ■ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 審查者 蔡曜隆 日 期：101.5.31	□ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 □ 其他說明： 回覆者 日 期：	☑ 已確認，無其他意見。 □ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 審查者 蔡曜隆 日 期：101.6.4
4	■ 無。 □ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 審查者 盧廷鈞 日 期：101.5.31.	□ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 □ 其他說明： 回覆者 日 期：	□ 已確認，無其他意見。 □ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 審查者 日 期：
核 定	☑ 同意 □ 不同意，理由：		
	核准人： 王主筆	日期： 2012/6/14	

審查意見與回覆解決表

文件名稱: 核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告 Rev.4

計算程式編號與名稱: **附件二:計算螺栓疲勞壽命程式**

Reviewer: 郭泰良 Date: 2012/5/31

Comment No.	Section / Pg.#	Comment	Resolution
1	p. 39	附件 2a 所輸入之地震交變應力誤植為 thermal moment 之交變應力(21.41)，經代入正確值 12.43 驗算後附件 2b 之輸出數值無誤，請修正報告紙版。	附件 2a 輸入檔紙板已更正如附。

審查意見與回覆解決表

文件名稱: 核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告 Rev.4

計算程式編號與名稱: **附件三：計算螺栓累積疲勞裂縫成長程式**

Reviewer: 蔡曜隆 Date: 2012/5/31

Comment No.	Section / Pg.#	Comment	Resolution
1	p. 50	請說明輸入值 8.9e08 於程式計算之含意。	本項數值為推估每一運轉週期，螺栓持續承受 15.14 MPa 交變應力之 cycle 數，應為 3.9e08，但由於此項交變應力所引發之交變應力強度因子 $\Delta K = 2.083 \sim 2.137\ Mpa\sqrt{m}$ (詳如附件 3b 之計算結果)，均小於 $\Delta K_{th} = 2.5\ Mpa\sqrt{m}$，不致於產生疲勞裂縫成長，因此，針對此項交變應力不需累積其疲勞裂縫成長量，此項數值於程式計算中並未使用。將更正為 3.9e08，詳如「核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告_Rev 5」，附件 3a 及 4a。
2	p. 50	臨界裂紋深度輸入為 0.01397，是否應為 0.01008?請澄清!	附件 3a 為計算螺栓累積疲勞裂縫成長量，但不考慮預張應力鬆弛效應，因此，臨界裂紋深度應為 0.01008 m。由於程式計算至 40 運轉週期累積之裂縫深度為 2.95023 mm (詳如附件 3b)，遠低於臨界裂紋深度(0.01008 m)，因此，此項輸入值並未使用，亦未影響計算結果。但仍修訂以符合實際情況，詳如「核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告_Rev 5」，附件 3a。

Comment No.	Section / Pg.#	Comment	Resolution
3	p. 51, 52 p. 57, 58	每個 operating cycle 之第四列之 Delta K 值皆小於 $\Delta K_{th} = 2.5\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ ，為何仍有裂紋成長值?是否程式有誤，請說明。 附件 4b 亦有相同問題。	程式需再加一行指令，已修正如「核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告_Rev 5」中之附件 3、3b、4、4b 及 P.24。

文件修訂審核表

文件名稱	核二廠反應爐支撐裙板錨定螺栓破壞力學及疲勞評估報告
版　　次	5

	審查意見	審查意見回覆	意見回覆確認
內容審查	■ 無。 □ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 審查者 [signature] 日 期：101.6.4	□ 詳如「審查意見與回覆解決表」。 □ 其他說明： 回覆者 日 期：_____	□ 已確認，無其他意見。 □ 詳如「審查意見與回覆解決表」 審查者 日 期：_____
核定	■同意 □不同意，理由：報告已確實依據審查意見修訂 核准人：[signature] 日期：2012/6/14		