

台電公司核二廠一號機 反應爐支撐裙板錨定螺栓斷裂處置報告



台灣電力公司
101年5月18日

報告大綱

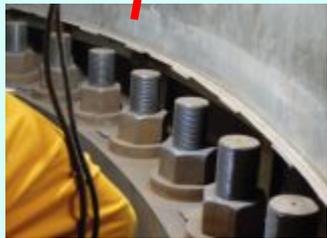
- 壹、背景說明
- 貳、台電公司處理流程說明
- 參、螺栓斷裂肇因分析
- 肆、7支螺栓修復計畫
- 伍、螺栓完整性、結構及周邊組件運轉安全驗證
- 陸、安全分析
- 柒、地震儀瞬間顯示0.29g之分析及說明
- 捌、振動監測計畫及加強檢測計畫
- 玖、結語

壹、背景說明

一、反應爐支撐裙板錨定螺栓功能說明

1. 內外側共有120支錨定螺栓
2. 主要功能係將反應爐底部支撐裙板固定在鋼筋混凝土基座上
3. 而反應爐各項組件之重量係靠鋼筋混凝土基座支撐。

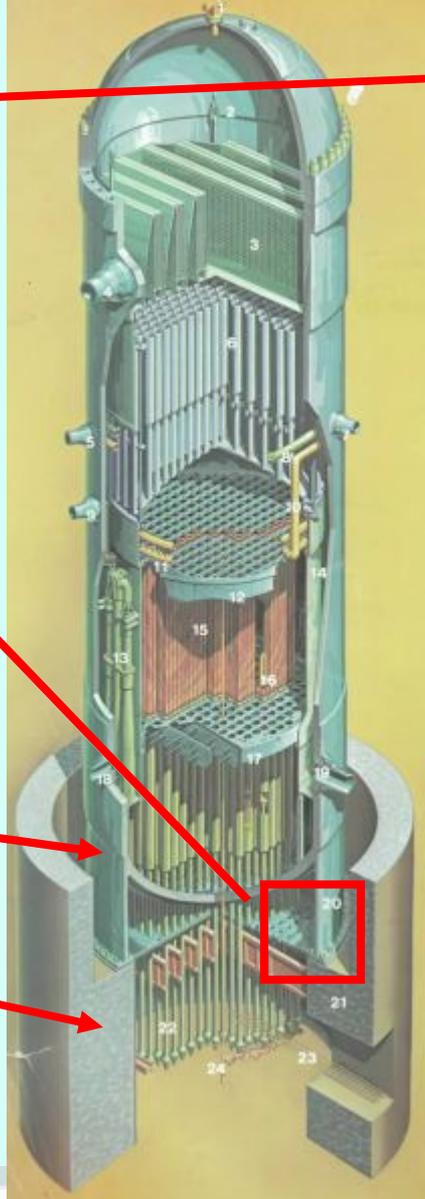
圖1、反應爐支撐裙板錨定螺栓相關位置圖



裙板

反應爐
基座

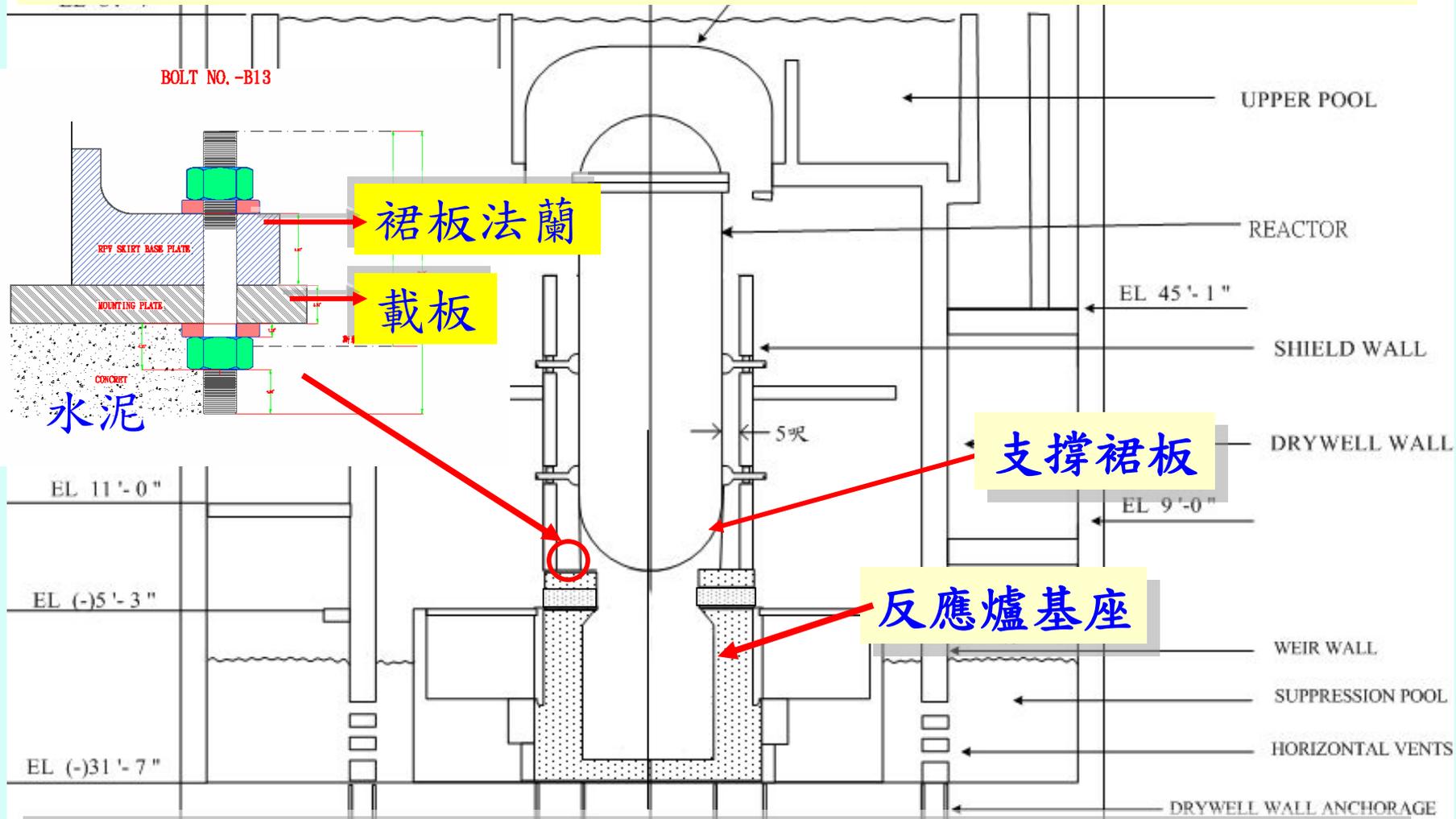
This text block contains labels for the skirt plate and reactor base. Red arrows point from these labels to the corresponding parts in the central cutaway diagram.



螺栓為A-540 B23
Class 1
直徑3吋 (7.6公分)
長度26吋 (66公分)

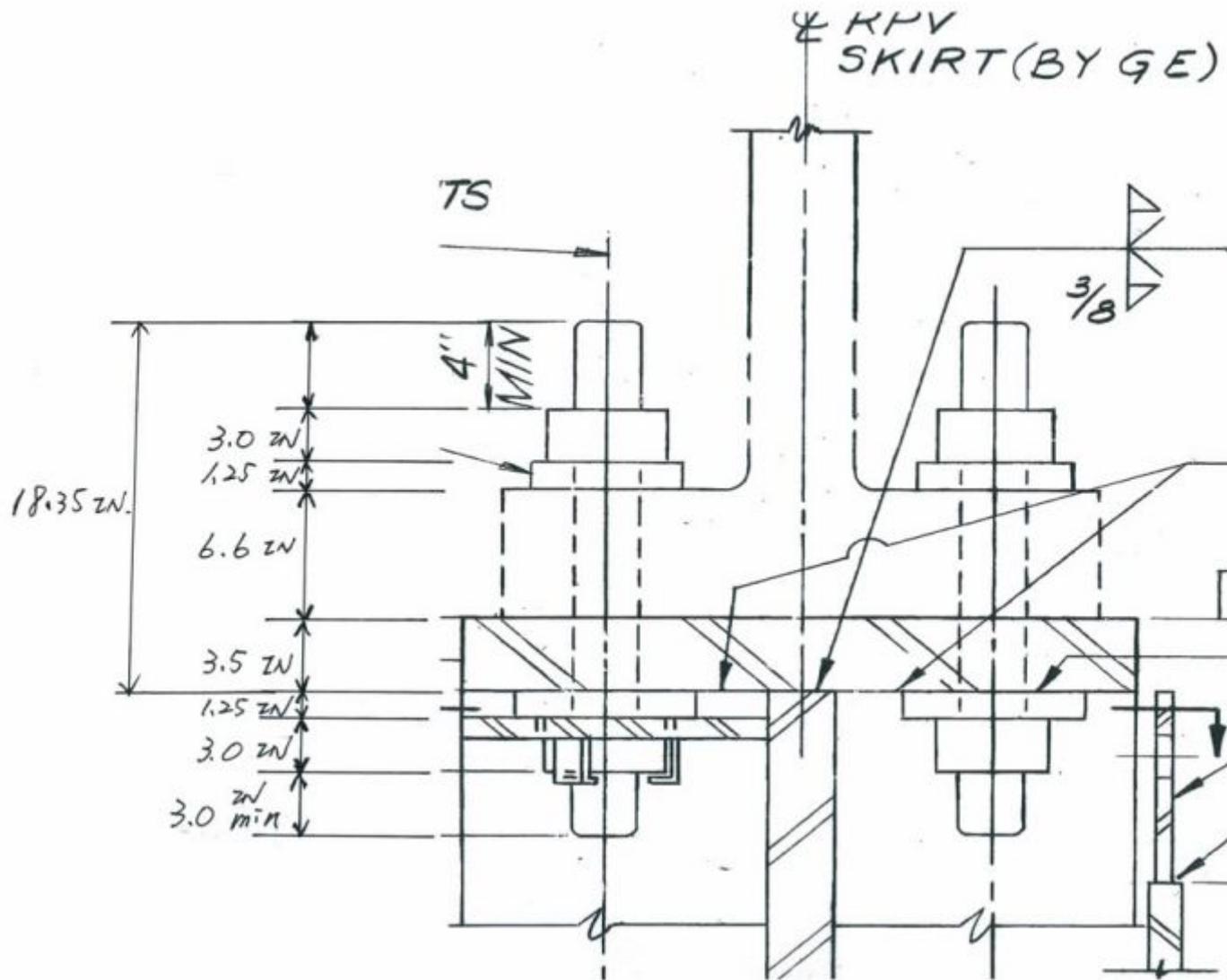
This text block provides technical specifications for the bolts used in the reactor assembly.

圖2、反應爐支撐裙板錨定螺栓設備說明



1. 反應爐支撐裙板錨定螺栓功用，是防止反應爐橫向滑動。
2. 反應爐及其內部組件之重量，係靠鋼筋混凝土基座支撐。

圖3、錨定螺栓結構尺寸(右側代表內圖)



壹、背景說明(續)

二、檢查發現過程摘要

1. 台電核二廠一號機依計畫於101年3月16日停機歲修，更換核燃料並執行各項設備檢查維修。於大修期間執行反應爐支撐裙板錨定螺栓目視及超音波檢測時，發現支撐裙板內側有1支錨定螺栓斷裂。
2. 另從檢測訊號顯示2支疑似斷裂，4支有輕微裂紋。
3. 其餘113支螺栓超音波檢測合格。
4. 針對本次反應爐支撐裙板錨定螺栓檢查結果，核二廠立即依據品保程序進行後續處理，並通報原子能委員會。

圖4、反應爐支撐裙板錨定螺栓斷裂相關位置圖(紅色：斷裂，黑色：近似斷裂，灰色：瑕疵指示)

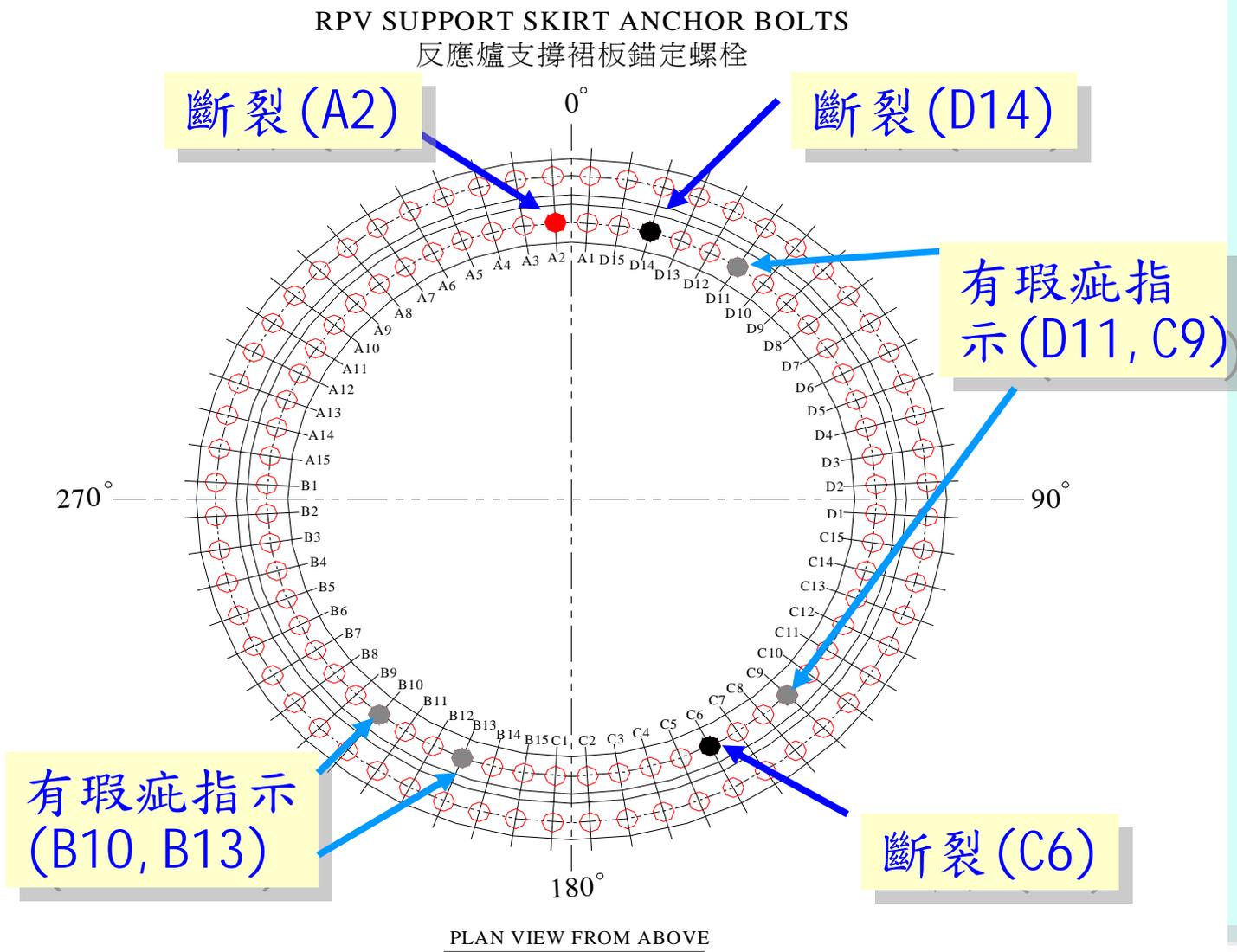


圖5、錨定螺栓斷裂/裂紋示意圖

Outer ring

Inner ring

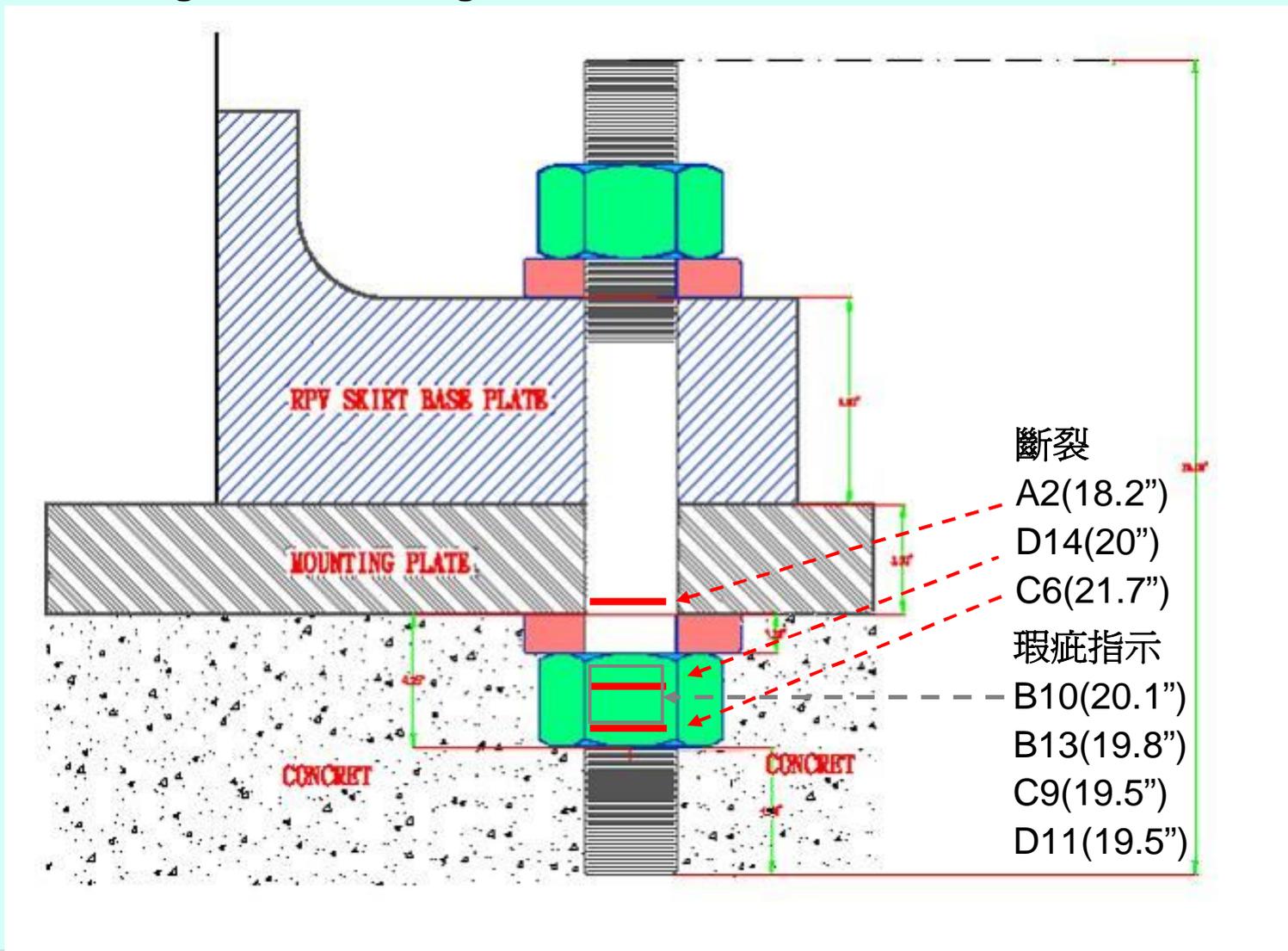


圖6、A2螺栓斷面照片，(A)為原始形貌，(B)為清理後形貌；I為破斷起裂源，A為龜裂成長區，F為最終拉斷區)

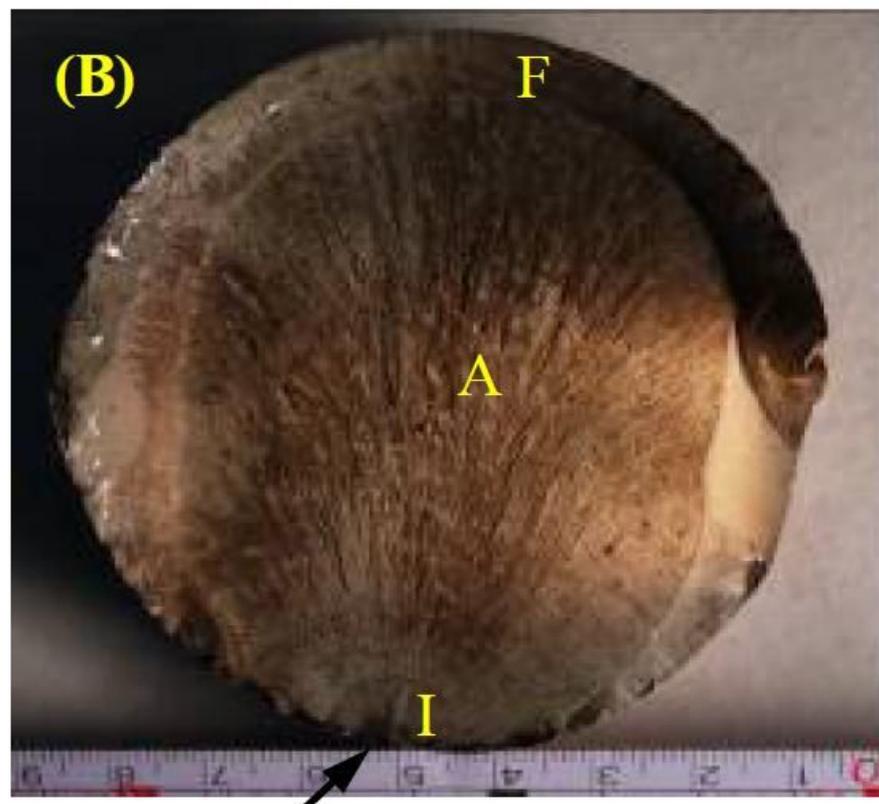
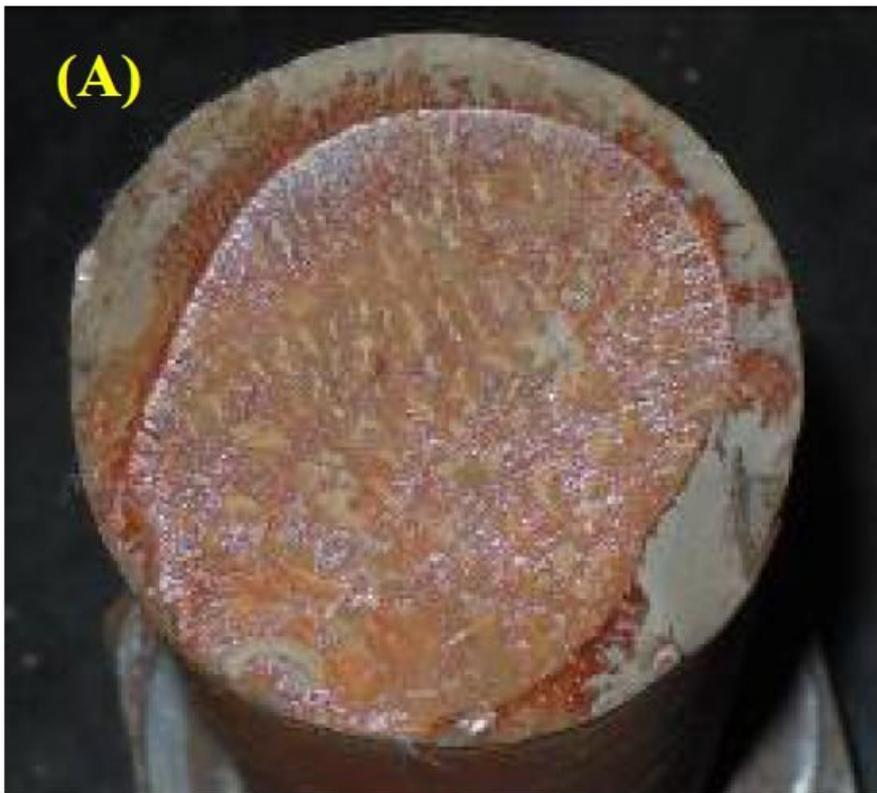


圖7、4支裂紋螺栓照片

D11裂紋情形



C9裂紋情形

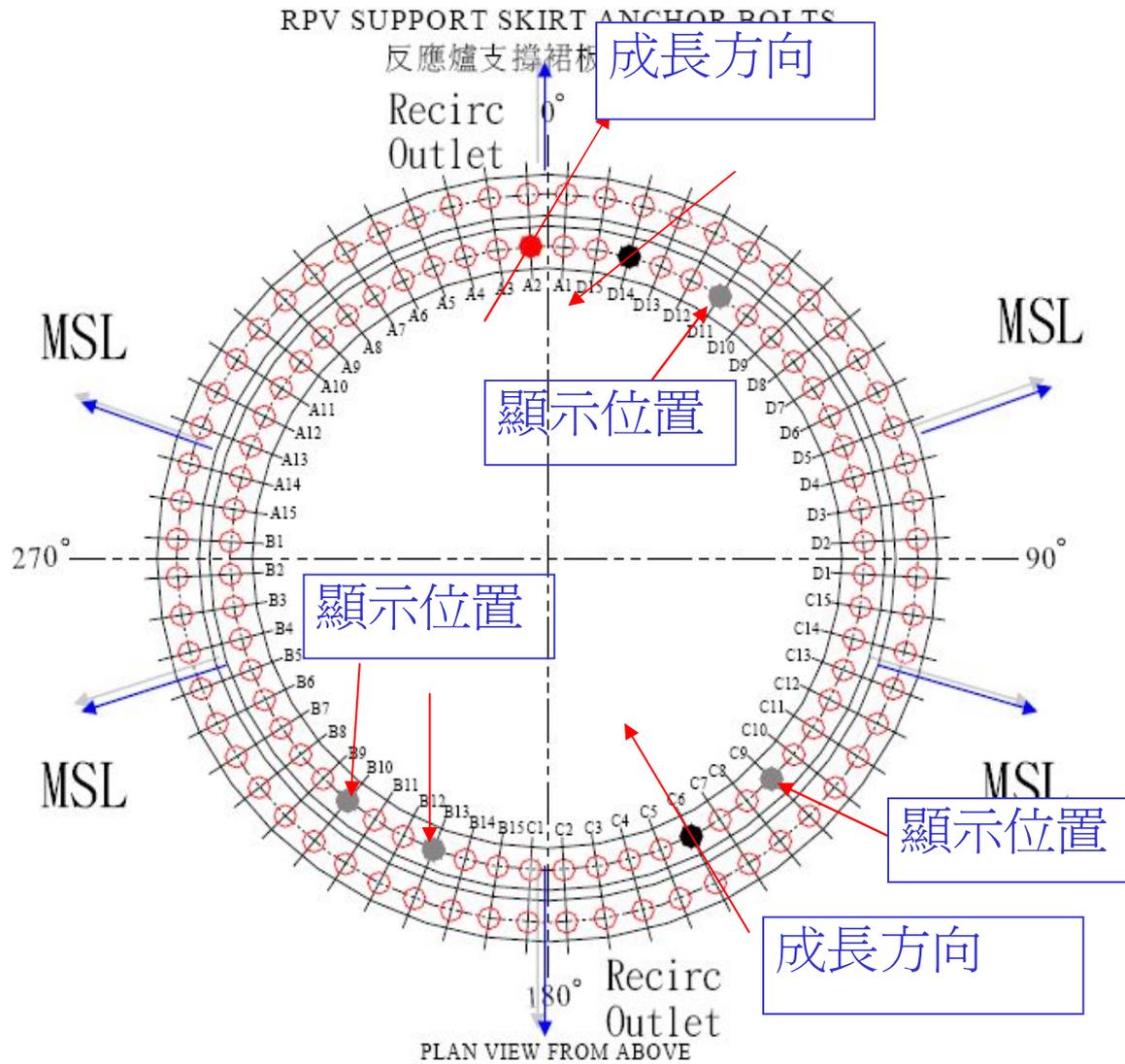


B10裂紋情形



B13裂紋情形

圖8、裂紋起始及成長方向並無一致性



- A2已斷裂
- C6, D14無回波, 研判已近斷裂
- B10、B13、C9、D11有瑕疵指示

貳、台電公司處理流程說明

一、立即成立專案小組

1. 立即成立專案小組，由核能副總經理/專業總工程師擔任召集人。
2. 邀請國內外專家
 - 1) 核能研究所及工研院材化所相關專家參與
 - 2) 原廠奇異公司及貝泰顧問公司協助
3. 該專案小組包括
 - 1) 對外溝通分組
 - 2) 技術支援分組
 - 3) 評估分析分組
4. 專案小組目前已向原能會進行4次專案報告



3/23發現7支問題錨定螺栓

3/23開立NCD-101032¹

3/23通報原能會駐廠視察員

按管制作業程序

成立專案小組

技術支援分組

評估分析分組

對外溝通分組

7支螺栓
修復計畫

113支螺
栓檢測

肇因分析

地震儀
0.29 g²的
確認與肇
因探討

未來運轉
監測計畫

安全分析

安全度評
估
PRA/PS
A³

即時發佈新聞稿
及對外澄清說明

熱室金相
分析含化
性分析

材料機械
性質分析

確認剩餘
113支螺
栓反應爐
仍有足夠
安全餘裕

螺栓修復
後機組運
轉安全評
估分析

向原能會進行專案報告及答覆審查委員意見

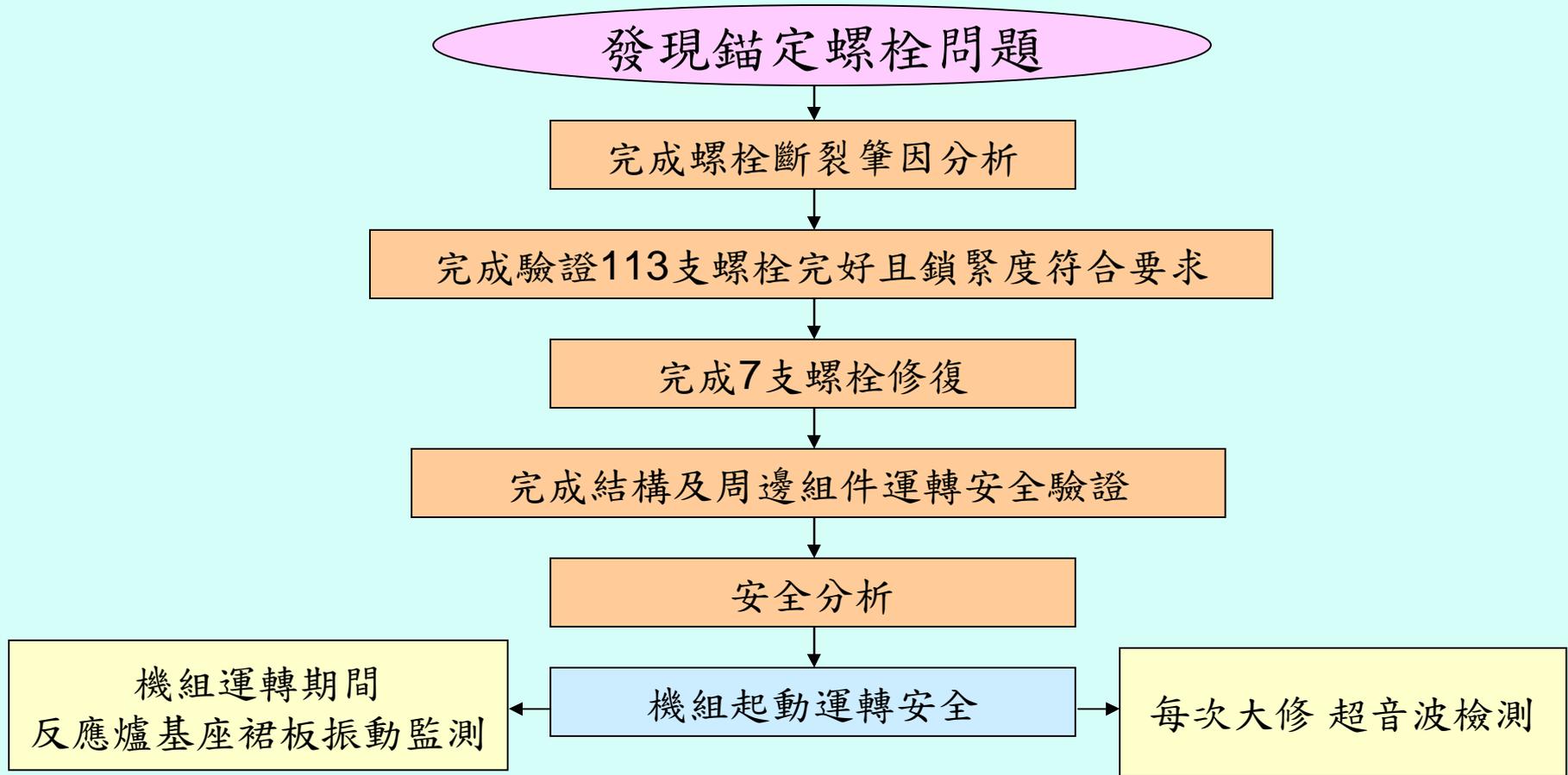
註1：NCD：品質不符合通知

註2：g：重力加速度

註3：PRA/PSA：安全度評估

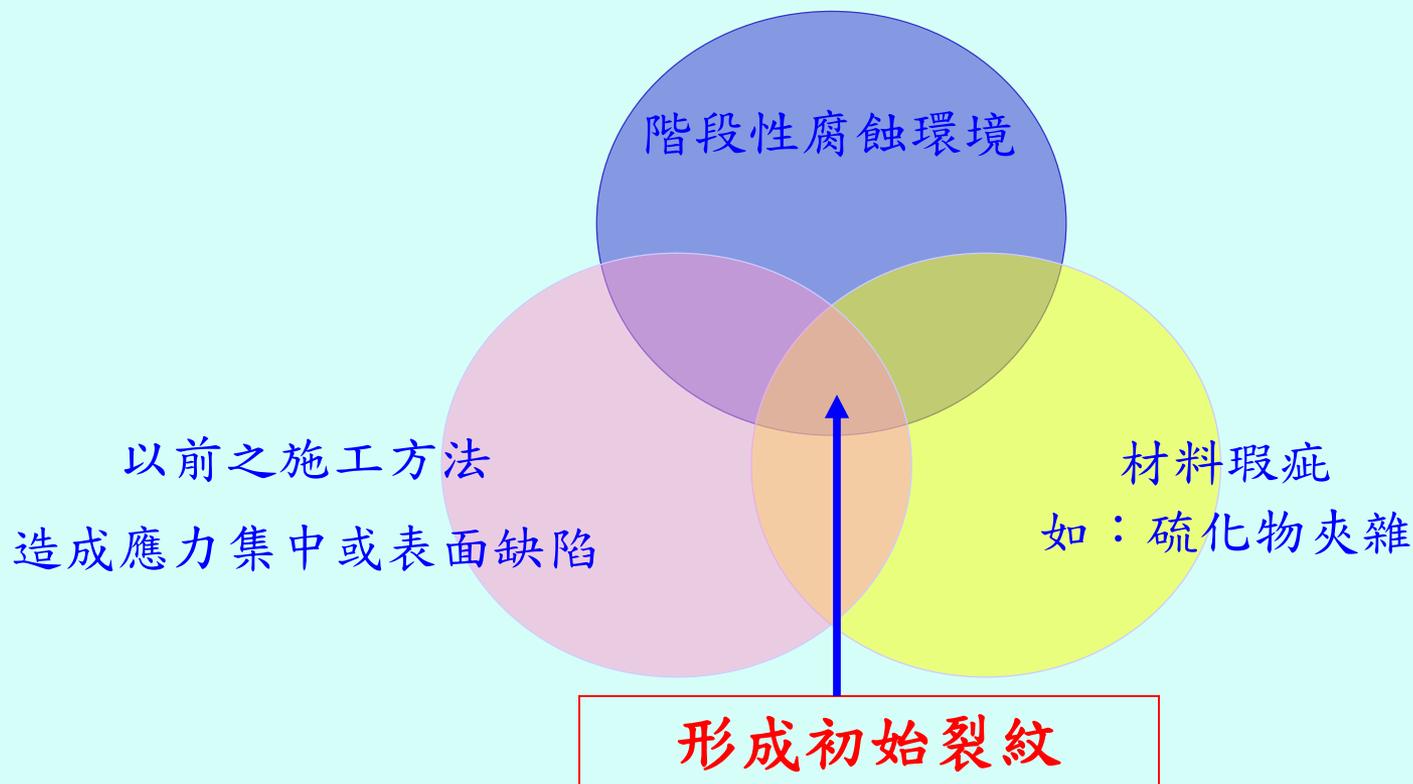
貳、台電公司處理流程說明(續)

二、核二廠一號機反應爐支撐裙板錨定螺栓破損事件處理流程



參、肇因分析

一、支撐裙板錨定螺栓起裂之肇因：應力腐蝕龜裂(SCC)



參、肇因分析(續)

階段性腐蝕環境



以前之施工方法造成
應力集中或表面缺陷



材料瑕疵
如：硫化物夾雜

應力腐蝕龜裂

不同長度之沿晶
裂紋

運轉中負荷

長裂紋，釋放大幅預力，
承受較高之疲勞負荷，
 ΔK 大於門檻值疲勞性裂
紋成長至斷裂

短裂紋，些微預力釋放，
承受較低之疲勞負荷，
 ΔK 小於門檻值或在門檻
值區域無裂紋成長或成長
速率極為緩慢

肆、7支螺栓修復計畫

一、根據奇異公司及本公司安全分析

在已知7支螺栓未修復前，其餘113支螺栓在設計基準最嚴苛故障狀況下，其所承受的應力，仍有足夠安全餘裕，安全分析報告結果仍符合原設計基準，反應爐運轉安全無虞。

二、為保守安全考量，本公司已依照奇異公司提供之檢修計畫，循原設計規範要求完成7支螺栓更換作業。

肆、7支螺栓修復計畫(續)

三、奇異公司提供之修復內容如下：

1. 專業人員及機具，緊急動員來現場施作；
2. 提供修復所需之核能級螺栓材料（含派員赴廠執行製程監督）；
3. 工程設計、結構安全分析；
4. 以及符合核能法規所需之品保作業等。

肆、7支螺栓修復計畫(續)

四、螺栓修復作業過程摘要

1. 於4月3日向原能會說明修復規劃。
2. 於4月10日完成6支錨定螺栓更換。
3. 最後1支螺栓(編號A2)，因現場位置有其他管線設備干擾，造成施工極為困難，經本公司與奇異公司人員進行多次討論及現場模擬後，於4月21日順利展開修復工作，在4月27日已完成所有螺栓修復作業。
4. 分3次拉伸螺栓至所需之鎖緊度，安裝完成後，以超音波測量儀量測其伸長量，確認達到設計鎖緊度。
5. 於鎖緊完成24小時後，進行螺栓鎖緊度再確認，最後以超音波檢測確認螺栓內部無瑕疵，驗證施工過程螺栓材料完整。

肆、7支螺栓修復計畫(續)

四、螺栓修復作業過程摘要(續)

6. 最後再執行7支已修復螺栓之灌漿回填，並按程序書鑽心取樣進行3天測試抗壓強度符合混凝土設計規範之要求。
7. 前述整個修復過程由本公司相關品保單位及奇異公司確認符合設計要求，並留存紀錄。

經本公司檢修後反應爐裙板錨定螺栓已恢復原設計保守之安全餘裕。

①斷裂及裂紋螺栓之移除：在反應爐支撐裙板錨定螺栓內圈區域，進行螺栓底部之包覆水泥移除



底部水泥移除



因應施工空間狹小，以蹲姿進行水泥移除工作

② 安裝新螺栓組件

工作前模擬操作



現場安裝及鎖緊度測試



新螺栓安裝完成



③ 安裝完成後24小時, 驗證
螺栓鎖緊度符合標準



④ 灌漿復原



伍、螺栓完整性、結構及周邊組件 運轉安全驗證

一、螺栓完整性檢測

1. 螺栓鎖緊度驗證：

- 1) 為確保113支螺栓保有足夠的設計預力，以560千磅(KIPS)（510千磅(KIPS)加上10%裕度）拉伸螺栓，驗證螺栓仍在鎖緊狀態。
- 2) 施作過程並經總處審查工作組及核能監查員(ANII)人員查證。

伍、螺栓完整性、結構及周邊組件 運轉安全驗證(續)

一、螺栓完整性檢測

2. 超音波檢測：

- 1) 檢測方式及檢測所需之校準規塊比照美國機械工程師協會(ASME)的標準，且檢測人員為美國電力研究院(EPRI)螺栓超音波檢測能力驗證檢定合格人員。
- 2) 所有螺栓經超音波檢測合格，檢測過程已錄影存證，每根螺栓超音波檢測紀錄均經總處審查工作組及核能監查員(ANII)人員查證。

伍、螺栓完整性、結構及周邊組件 運轉安全驗證(續)

二、結構及周邊組件運轉安全驗證

台電公司核二廠已於1號機EOC22大修中完成相關檢測，檢測結果正常，其詳細項目如下：

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. 依運轉期間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。

伍、螺栓完整性、結構及周邊組件 運轉安全驗證(續)

二、結構及周邊組件運轉安全驗證(續)

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. 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。
6. 程序書575「地震緊急程序書」執行全廠巡視。
7. 程序書295「反應爐壓力槽系統洩漏試驗」。

所有螺栓之完整性及反應爐結構、周邊組件驗證結果正常

陸、安全分析

1. 保守假設核二廠1號機反應爐支撐裙板每支錨定螺栓均潛在2.5 mm之裂縫，在運轉過程中，承受設計基準最嚴苛之故障狀況時，不會有發生螺栓立即斷裂之疑慮。
2. 承受可能的交變應力，包括地震力(含蒸汽沖放)、每次起停機反應爐支撐裙板之外漲內縮及量測到的垂直振動等，其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。因此，核二廠1號機可繼續安全運轉一個週期以上無虞。

柒、地震儀瞬間顯示0.29g之分析及說明

一、觸動地震儀說明

1. 核二廠一號機於3月16日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。
2. 其中垂直向瞬間達0.29g，經分析其反應頻譜及事後校正紀錄，均可證明此訊號失真。
3. 此地震儀送國家地震工程研究中心進行測試，確認該訊號已失真，因此會有異常的振動訊號產生。

柒、地震儀瞬間顯示0.29g之分析及說明(續)

二、地震儀改善措施

1. 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)，已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。
2. 為提高此地震儀之可靠度，將定期更換此地震儀。

柒、地震儀瞬間顯示0.29g之分析及說明(續)

二、地震儀改善措施(續)

改善後

改善前

移除護欄



增加鋼樑



捌、振動監測計畫及加強檢測計畫

一、振動監測計畫(監測反應爐基座裙板之振動情況)：

反應爐基座外牆加裝8只振動加速儀

1. 利用實體線路接至主控室，可即時提供運轉人員監視異常振動訊號。
2. 即時存取資料，並每月進行資料分析及舊有資料之比對判定，以長期監測振動狀況。

二、加強檢測計畫

規劃每次大修皆執行超音波檢測。

捌、振動監測計畫及加強檢測計畫(續)

振動監測改善及計畫-1

反應爐

加速度規

95°	H	X.XXXXg
501	V	X.XXXXg

加速度規

30°	H	X.XXXXg
XIT-504	V	X.XXXXg

加速度規

XITS	X	X.XXXXg
302	Y	X.XXXXg

Pump A
1P-43A

加速度規

XITS	X	X.XXXXg
307	Y	X.XXXXg
	Z	X.XXXXg

加速度規

217°	H	X.XXXXg
XIT-502	V	X.XXXXg

加速度規

增8只振動加速規

注意
轉中此處噪音
過八十五分貝
戴耳塞或耳罩

08/04/2012 14:28

08/04/2012 14:08

09/04/2012 14:25

08/04/2012 14:07

玖、結語

- 一、反應爐支撐裙板錨定螺栓起裂原因為建廠初期露天環境之階段性腐蝕、加上以前之施工方法、再因材料瑕疵，此三種因素同時存在時產生不同長度之沿晶裂紋。
- 二、螺栓裂紋初始成長機制於施工結束及環境改善後即會停止。
- 三、7支缺陷之錨定螺栓已依據原設計規範更換完成。
- 四、所有螺栓已執行超音波檢測及鎖緊度再驗證，結果符合設計需求，其完整性已確認合格。

玖、結語(續)

- 五、反應爐結構及周邊組件檢測結果正常。
- 六、破壞力學及疲勞分析結果顯示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。
- 七、已建立監測計畫及每次大修執行超音波檢測，可確保錨定螺栓之完整性。
- 八、基於上述，核二廠一號機可繼續安全運轉。
- 九、相關報告依程序需送原子能委員會審查，確認機組安全無虞後，方可重新起動。

核能發電
追求卓越

安全第一
品質為先



敬請
批評指教

