

NRD-NPP-92-05

核二廠二號機第十五次大修管制報告

(水壓試驗)

行政院原子能委員會
核能管制處

中華民國九十二年二月

目 錄

壹、背景說明.....	1
貳、試驗作業說明.....	1
參、歷次試驗結果整理.....	4
肆、本次試驗結果.....	5
伍、綜合結論.....	9

圖目錄

圖一、備用硼液控制系統圖.....	12
圖二、水壓試驗 P-T 限制曲線圖.....	13
圖三、水壓試驗壓力變化圖.....	14
圖四、水壓試驗爐水溫度變化圖.....	15
圖五、水壓試驗 P-T 曲線圖.....	16
圖六、水壓試驗發現洩漏處照片.....	17
圖七、水壓試驗發現洩漏處管路位置圖.....	18

核二廠二號機第十五次大修管制報告

(水壓試驗)

壹、背景說明

依據核二廠終期安全分析報告 (FSAR) 之 5.2.4 節規定，電廠每十年須依據 ASME Code Section XI 表 IS-500 執行系統水壓試驗 (Hydrostatic Test)。亦即在機組停機時，以較高於正常運轉之系統壓力，測試冷卻水壓力邊界之完整性。此項水壓試驗執行之目的在確認屬於 ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, Class 1 之組件符合 ASME Code Section XI 之要求，以確保一次系統壓力邊界之完整性。有關核二廠此項測試所應涵括之設備與組件，詳如次章之說明。核管處有鑑於此項測試在安全上之重要性，本次大修此項作業即事先規劃為視察之重要項目之一。

貳、試驗作業說明

根據核二廠程序書 295.1 「ASME CLASS 1 系統水壓試驗」之說明，本項水壓試驗之方法，首先以餘熱移除 (RHR) 系統先將爐水溫度加熱至 87°C (188.6°F)，再利用控制棒驅動 (CRD) 系統打水使爐壓增至 200psig，此時進行第一階段查漏作業。完成 200psig 查漏作業並確認無洩漏發生後，再調整 CRD 流量控制閥將反應爐加

壓至 1,130psig (依 ASME Code Section XI 規定，在測試溫度 200°F 之測試壓力為系統額定功率相對應之實際運轉壓力 1,040 psig 的 1.088 倍)，並利用爐水淨化 (RWCU) 系統之排水閥及 CRD 流量控制閥將反應爐壓力維持在 1,130~1,145psig 間，此時應注意壓力之控制，依運轉規範 16.2.1.3 規定壓力槽頂部壓力不得大於 1,325psig。在達到持住時間(Holding Time)，即指受測系統加壓達到規定之測試條件，至 VT-2 目視檢測開始前之壓力保持時間，依水壓試驗規定，附有保溫裝置系統者之持住時間須達四小時以上，無保溫者則為 10 分鐘，之後方進行 VT-2 目視洩漏檢查。

核二廠本項水壓試驗之檢測範圍包括反應爐冷卻水壓力邊界 (Reactor Coolant Pressure Boundary) 涵括之壓力槽、管、閥、泵等，亦即包括：反應爐壓力槽、反應爐頂部法蘭及管閥、反應爐底部、所有控制棒殼凸緣 (CRD Housing Flange)、主蒸汽管安全釋壓閥凸緣 (MSL S/R Valve Flange)，以及主蒸汽管隔離閥 (MSIV)、爐心隔離冷卻系統 (RCIC) E51-F063/F064、爐水淨化 (RWCU) 系統 G33-F001/F100/F101/F102、再循環水系統 B33-F023A/F023B/F060A/F060B/F067A/F067B 等隔離閥，和 Valve Line-up Check List 邊界之管閥及相關儀器架 (R01~R13) 上儀器之根閥等。

核二廠此項 VT-2 目視洩漏檢查，係依據程序書 1269 (營運期

間系統壓力測試 VT-2 目視檢測規範) 規定 , 凡執行 VT-2 目試檢測人員皆須通過台電公司檢定考試 , 並至少具有 Level I 以上資格 , 檢測結果之研判則須由具有 Level II 或 Level III 資格之人員執行。此外根據該程序書之規定 , 此項測試可以在不拆除保溫裝置系統之情況下檢查。檢查垂直管時應檢查該直管最低點處是否洩漏 , 水平管則須檢查所有保溫接縫處。若是發現洩漏 , 則應拆除保溫以確定洩漏之位置。

倘若發現有洩漏且其位置屬於耐壓部位 (Pressure Retaining Area) , 則電廠應提品質不符通知 (NCD) 處理 ; 如非屬耐壓部位 (管閥之 Packing Gasket 、 O-Ring..... 等) 之洩漏 , 亦即並不影響系統壓力之維持者 , 經洩壓檢修後 , 不必再次執行加壓測試。

此外對於備用硼液控制 (SBLC) 系統在 C41-F007 Check Valve 後段之管路亦執行加壓測試 , 由於該段管路無法於 RPV 加壓時執行測試 , 因此該部份之測試係配合偵測試驗 612.5.2 「備用硼液控制系統 18 個月可用性核對 」時執行 , 亦即當爆破閥執行完爆破功能測試後 , 利用其於開啟狀態時 , 起動硼液注射泵 , 使其出口壓力達 1,220psig 並持住 10 分鐘後 , 由核二廠機械課具有 VT-2 LEVEL 以上資格之目視檢測人員 , 執行自爆破閥 2BH-HV-111A/B(C41-F004A/B) 至手動注入閥 2BH-HV-112(C41-F008) 間管閥目視洩漏檢

查。備用硼液控制系統如圖一所示，其中紅色標示之管路，即為本次水壓試驗執行目視洩漏檢查之範圍。

參、歷次試驗結果整理

根據核二廠終期安全分析報告 (FSAR) 之 5.2.4 節規定，系統水壓試驗之執行頻率為每十年執行一次，因此核二廠二號機自開始商業運轉至今，僅於 EOC-7 期間 (八十一年三月) 曾執行過。根據上次執行水壓試驗之紀錄，當時共發現下列三處洩漏：

- (1) 爐水淨化系統之再循環水 A Loop 進口閥 2BP-HV-102 (G33-F106) 及反應爐爐底洩水閥 2BP-HV-105 (G33-F101) 之 Gland Packing 滴水，
- (2) 再循環水系統 A/B Loop 流量控制閥 BB-HV-114/214 (B33-F060A/B) 之 Vent Valve Cap 滴水，
- (3) 安全釋壓閥 AA-PSV-169 (B21-F047B) 進口法蘭 Gasket 滴水。

上述洩漏處均屬非耐壓部位 (Non-Pressure Retaining Area)，經更換備品後依規定無須再次執行水壓試驗。並且於機組大修結束再起動過程中曾執行檢查，並未發現有洩漏現象。此次水壓試驗時亦曾針對這些洩漏位置執行檢查，結果並未發現有洩漏現象。

肆、本次試驗結果

此次核二廠二號機之水壓試驗係於十二月十八日至十九日間執行，試驗期間，原能會核管處視察人員於十八日開始執行 200psig 第一次查漏作業時，便會同核二廠工作人員進行現場查證作業，查證工作並持續至反應爐降壓至 1,000psig，執行控制棒急停插入時間以及控制棒葉片完整性監測試驗時為止。此外，於十一月二十七日下午四時餘，執行備用硼液控制（SBLC）系統在手動注入閥 2BH-HV-112(C41-F008)後段之管路加壓測試過程中，核管處視察員亦全程執行現場查證。

一、試驗經過

十二月十七日完成水壓試驗之管路 Line-up，但現場發現反應爐頂逸氣閥 AA-HV-114 (B21-F001) 無法關閉，經檢查係由於 Actuator 與 Valve Yoke 聯結面之螺栓被頂開。經更換螺栓後重新測試完成，恢復可用。

十二月十八日 6 時 42 分開始加溫，依據運轉課績效股提供之爐心歷年累計發熱量 402,073,838 MW-HR 除以單年功率運轉發熱量 25,351,440 MW-HR，求出 EFPY (Effective Full Power Year) 值為 15.86。依照運轉規範 16.3.4.6.1 之規定，測試過程每小時爐水溫度變化率必須小於或等於 $20^{\circ}\text{F}/\text{Hr}$ ，並且其壓力-溫度曲線須符合運轉

規範圖 16.3.4.6.1-2 曲線 A (如圖二) 之要求。

依程序於 6 時 55 分關閉反應爐頂逸氣閥 AA-HV-114 (B21-F001) 及 AA-HV-111 (B21-F002)，開始加壓。約一小時後，於反應爐壓力達 200 psig 時進行第一次查漏作業，此次查漏作業係由機械課林先生與王先生執行，檢查結果未發現有洩漏的狀況。

系統繼續加壓，於 9 時 44 分反應爐壓力達 430 psig 時，發現反應爐水淨化系統除礦過濾器 A 串之流量指示晃動，經重新校正流量控制器 (2BP-FC-214) 後，流量指示恢復正常。

系統穩定後，機械課執行程序書 704.3 「反應爐再循環泵大修後試運轉之振動監視」，以確認再循環泵於分解檢查大修後之振動未超過限值。於 11 時 4 分，再循環泵 B 台由高速切換至低速時，因低頻馬達發電機組 (LFMG Set) 之發電機磁場斷路器 CB1B 跳脫，造成 LFMG Set 發電機無電壓而致切換失敗。電廠人員調整再循環泵 B 台 LFMG Set 發電機 AVR 卡片之 Stability 之設定，使其不致於起動暫態反應時，因電壓變化過大而使過壓保護動作跳脫 LFMG Set 發電機磁場斷路器。調經整後測試再循環泵 B 台由高速切換低速正常，反應器繼續加壓。

系統壓力於 14 時 14 分達到 1,130psig，依規定於持住時間四小時之後，機械課人員黃先生、林先生、郭先生、徐先生等四人開始

進行查漏。發現主蒸汽管 C 上之高流量跳脫儀器偵測管 1"-51JD 接頭處鋸道上有一砂孔漏水，因洩漏之位置屬於耐壓部位（Pressure Retaining Area），電廠依規定提品質不符案件 NCD（編號：ME-2-91-125）處理，其餘位置則未發現洩漏的現象。

於查漏完成後，電廠人員於 19 時 26 分開始執行反應爐降壓。在反應爐壓力達 1,000psig 後，於 20 時 20 分開始執行 612.3.3-IST 「控制棒急停插入時間」以及 1037 「控制棒葉片完整性監測」兩項測試工作，至十二月十九日清晨 6 時左右完成測試，測試結果皆符合規定，反應爐乃繼續降壓。

反應爐壓力至 430 psig 時，機械課再度執行 704.3 「反應爐再循環泵大修後試運轉之振動監視」，測試過程中再循環泵 A 台由低速切換高速運轉失敗，經查原因為其流量控制閥（B33-F060A）之位置開關故障，於更換該位置開關後重新測試切換操作正常，再度開始反應爐降壓，至 12 時 43 分，反應爐壓力降至零，完成水壓試驗。測試過程之反應爐壓力、水溫及水溫變化率之變化如圖三及圖四所示，由相關參數顯示，每小時爐水溫度變化率皆能控制在小於 20°F/Hr ，且全程反應爐爐水溫度皆未超過 100°C （若超過則進入運轉模式 3）；測試壓力最高達 1,130.85 psig，亦遠低於運轉規範規定之壓力限值 1325 psig。此外，其壓力-溫度曲線亦符合運轉規範規

定，水壓試驗全程之壓力-溫度曲線圖如圖五所示。

另於十一月二十七日配合偵測試驗 612.5.2 「備用硼液控制系統 18 個月可用性核對」時，執行備用硼液控制 (SBLIC) 系統在 C41-F007 止回閥 (Check Valve) 後段管路之加壓測試。於 16 時 20 分起動硼液注射泵 2P-41A，使其出口壓力達 1,235 psig。維持運轉十分鐘後，由機械課陳先生、張先生兩位執行自爆破閥 2BH-HV-111A/B(C41-F004A/B)至手動注入閥 2BH-HV-112(C41-F008)間管閥之目視洩漏檢查，結果未發現洩漏。

二、試驗結果

本次水壓試驗發現一處洩漏，係位於主蒸汽管 C 上之高流量跳脫儀器偵測管接頭處鋸道上有一砂孔漏水（如圖六、七），該處可見兩道細小水柱噴出。核二廠除開立請修單 OD2-910665 外，由於該洩漏係屬於耐壓部位，故提品質不符案件 NCD（編號：ME-2-91-125）處理。

由於發現之砂孔洩漏，其管徑為 1 吋，屬於套管上且管徑小於 3 吋，因此電廠大修時執行之管路薄化檢測，並未涵蓋此位置。也就是說自機組商業運轉以來，並未曾針對此位置進行檢測過。而當發現該洩漏時，曾針對其他三條主蒸汽管之相同位置進行檢查，確認並無相同之洩漏存在。至於發生砂孔洩漏之肇因，判定應屬施

工瑕疵。

對洩漏砂孔之焊補作業之相關程序，係依據核二廠程序書 1115.02 「按法規要求執行機械組件之修理與更換管制程序書」執行。焊補作業之程序係先將缺陷之砂孔，以「機械移除方式」做缺陷移除、研磨並清理乾淨後，接著執行焊補前滲透液檢測（PT），檢測合格後才進行電焊修補，焊補完成後須再執行 PT 檢測合格，方完成此項作業。核二廠於十二月十九日 22 時 30 分完成洩漏砂孔之焊補作業，相關文件並依規定經過授權核能檢查員（ANII）審核通過。

依據 IWA-4540 Pressure Testing Of Class 1,2 and 3 項目（b）（5）之規定：管路、閥和接頭之公稱管徑小於或等於 1 吋者，其修理與更換免再執行水壓試驗。且於機組大修結束再起動過程中，對此焊補處曾再度執行洩漏目視檢查，未發現有洩漏現象。

伍、綜合結論

核二廠二號機此次大修執行十年一次之水壓試驗，雖然在反應爐升降壓過程中，曾因其他試驗發生一些異常事項以致稍有耽誤外，大致而言堪稱順利。綜合視察過程查證所見，總結如下：

一、此次核二廠執行水壓試驗現場之查漏人員，共有機械課七位工作同仁參與。經實際查證其證照資格，確認全部皆通過台電公

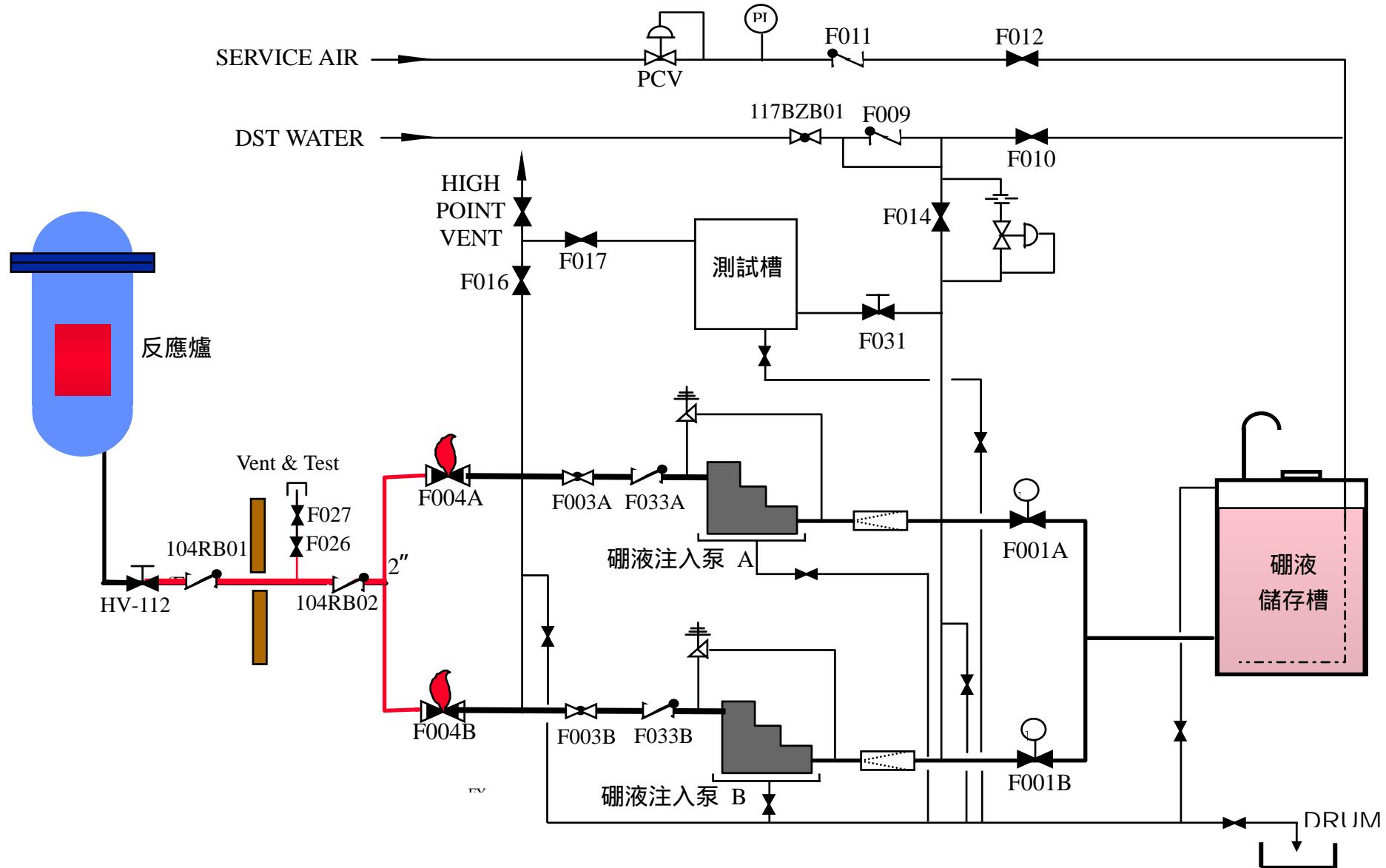
司檢定考試，具非破壞檢測 VT-2 目視檢查執照資格。其中除郭先生、陳先生兩人僅具非破壞檢測 VT-2 目視檢查 Level I 執照資格外，其餘五人均具 VT-2 目視檢查 Level II 執照資格，且所有人員之執照均在有效期限內。

二、由於核二廠曾於七十八年發生反應爐冷爐過壓之異常事件，因此在執行水壓試驗過程中，特別注意其溫度之上升率及壓力之控制。經查證試驗過程中，其每小時爐水溫升率皆能控制在小於 20°F/Hr ；測試壓力最高達 1,130.85 psig，低於運轉規範規定之壓力限值 1,325 psig；此外，試驗期間之壓力-溫度曲線亦符合運轉規範規定。

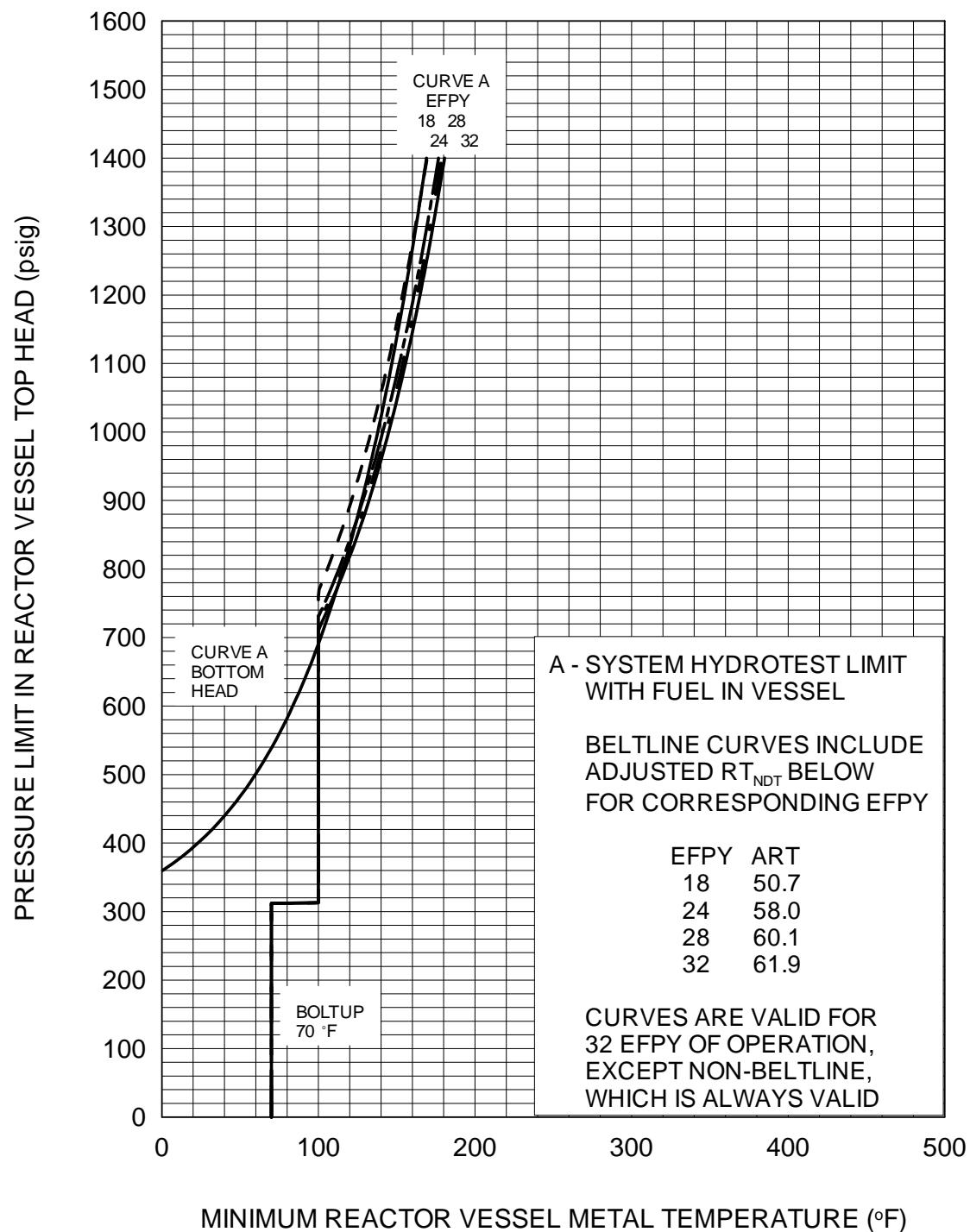
三、本次水壓試驗發現一處洩漏，係位於主蒸汽管 C 上之 1 吋高流量跳脫儀器偵測管接頭處鋸道上有一砂孔漏水。電廠已依規定提 NCD 處理，該洩漏砂孔之焊補作業已於十二月十九日 22 時 30 分完成，並於十二月二十八日二號機 EOC-15 大修後再起動申請時，經原能會審查通過。然而鑑於此次發現洩漏之焊道，自商業運轉以來從未實施過檢測，而類似焊道須待發生洩漏方能得知。因此建議台電公司針對此次之結果加以檢討，對發現洩漏及其他類似之焊道訂定檢測計畫，於每次大修期間執行 PT，俾能及早發現存在之洩漏。

四、由於本項水壓試驗係每十年執行一次，上次試驗迄今，執行之程序書 295.1 已經過三次的改版，提出之程序書變更案高達二十份，變動不可謂不大。建議電廠對於此類長執行週期之重要測試，應及早建立相關之經驗回饋機制，俾供下次執行時之參考。下次執行此項試驗前，應對相關執行人員集中講習，說明執行工作應注意之事項，如此對於執行之成效將會有所助益。

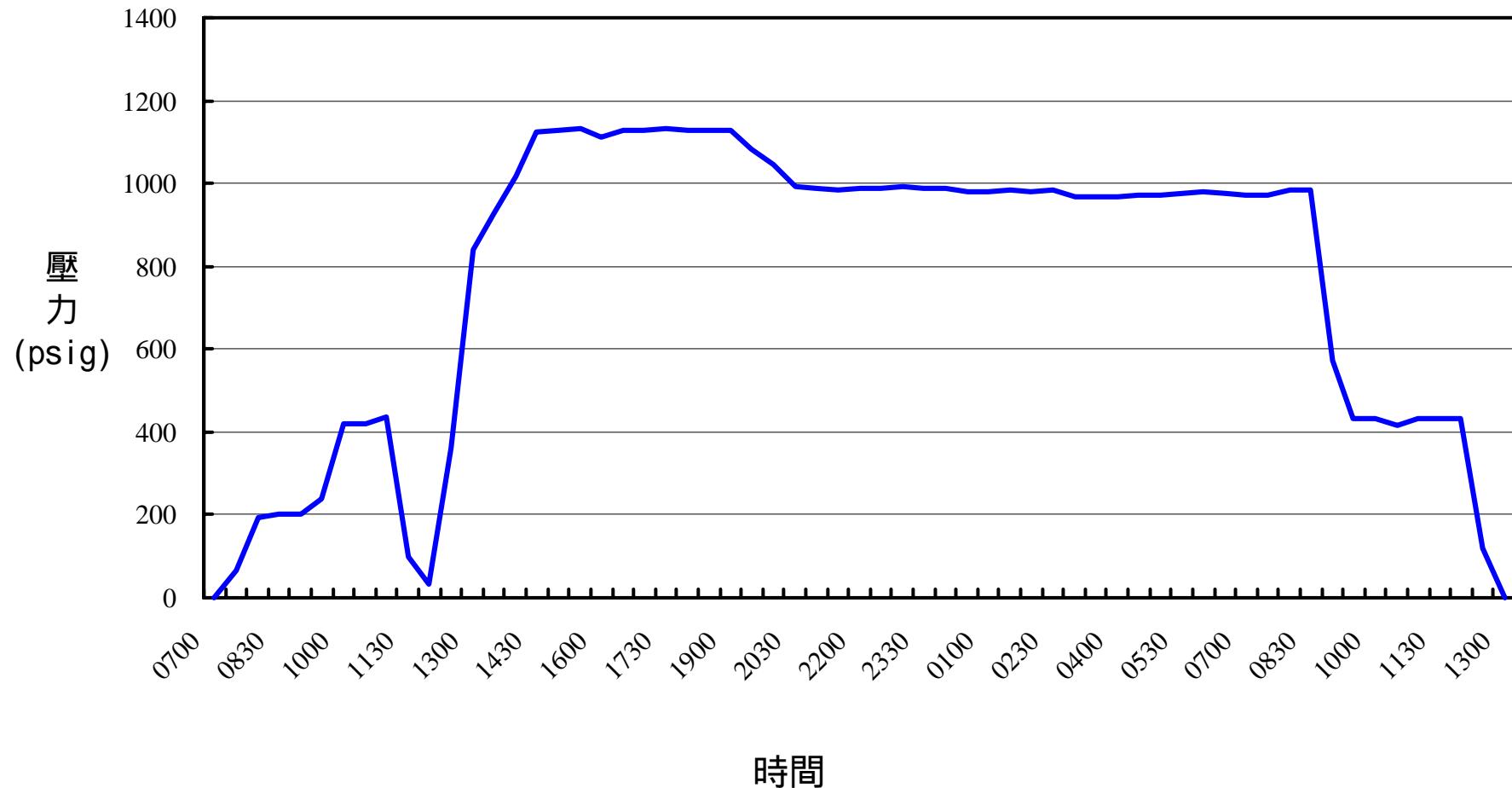
五、由於電廠之換照申請必須於運轉執照到期半年前提出，因此核二廠二號機第二次十年換照申請資料並未涵蓋此次測試之結果。鑑於此為每十年執行一次之重要測試，測試結果若能納入換照之申請資料，將更符合核電廠十年健檢之精神。故建議下次執行時機提前一個燃料週期（即 EOC-20），如此便可將其列於下一次之十年換照申請資料中。



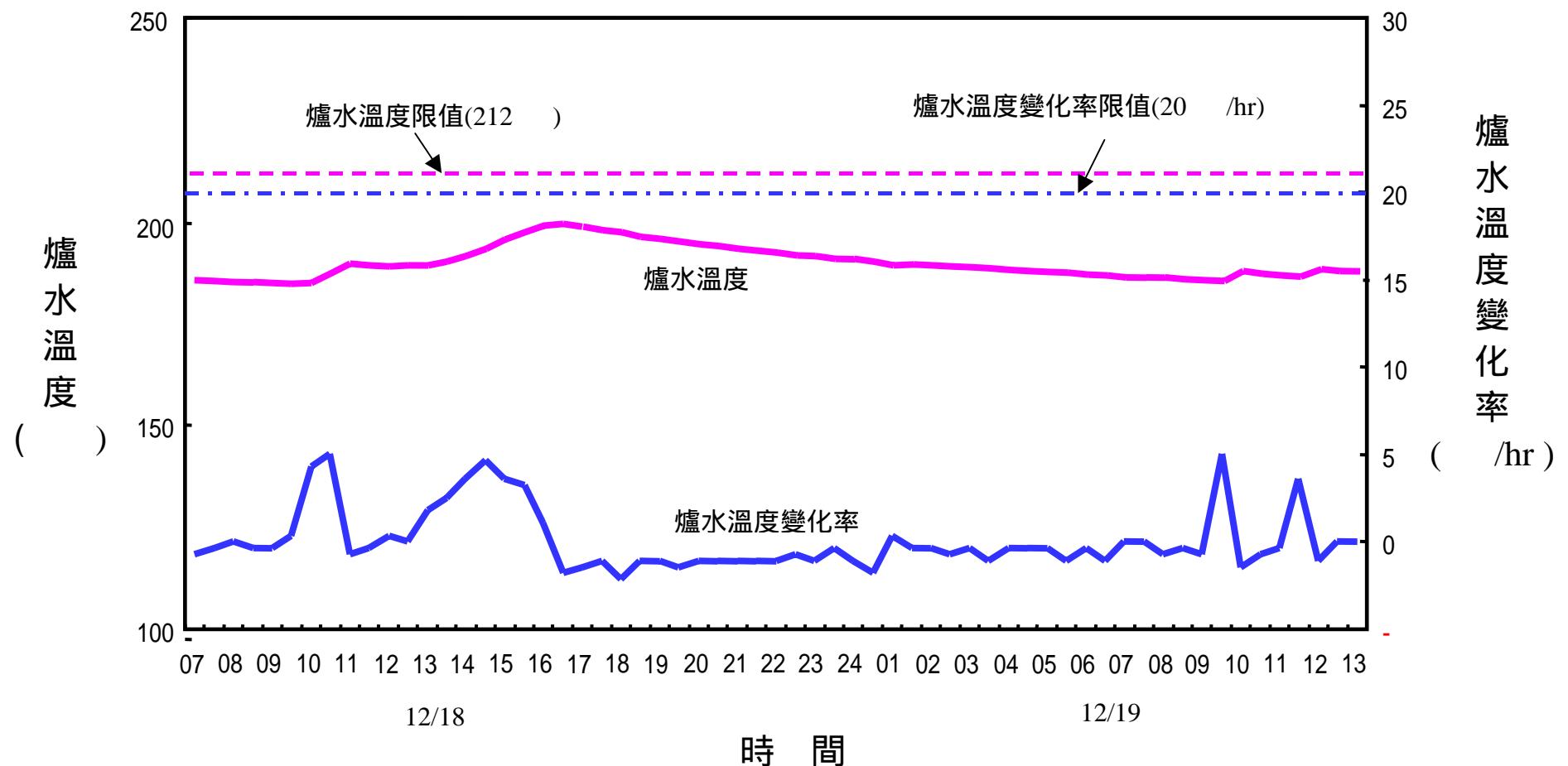
圖一、備用硼液控制系統圖



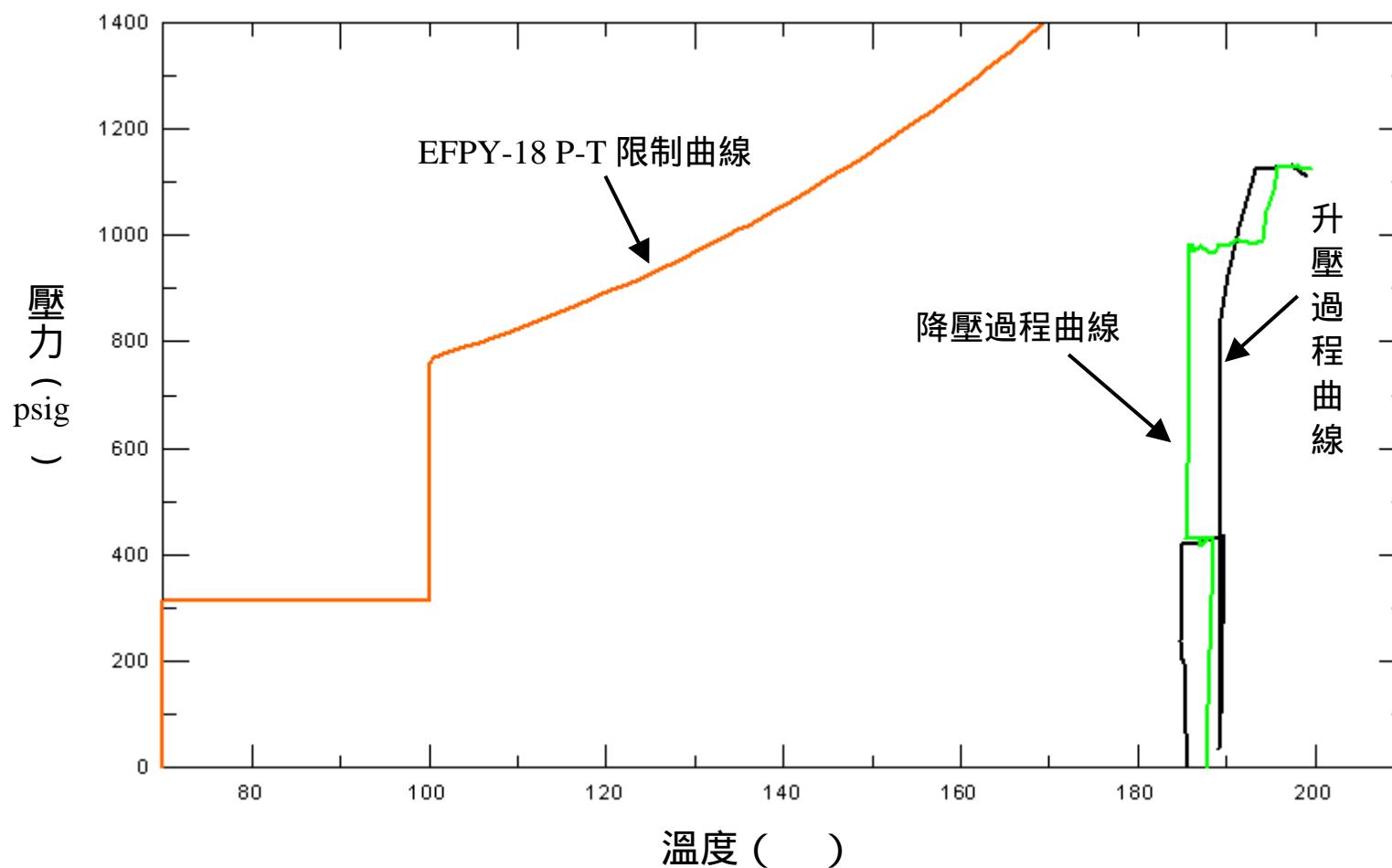
圖二、水壓試驗 P-T 限制曲線圖



圖三、水壓試驗壓力變化圖



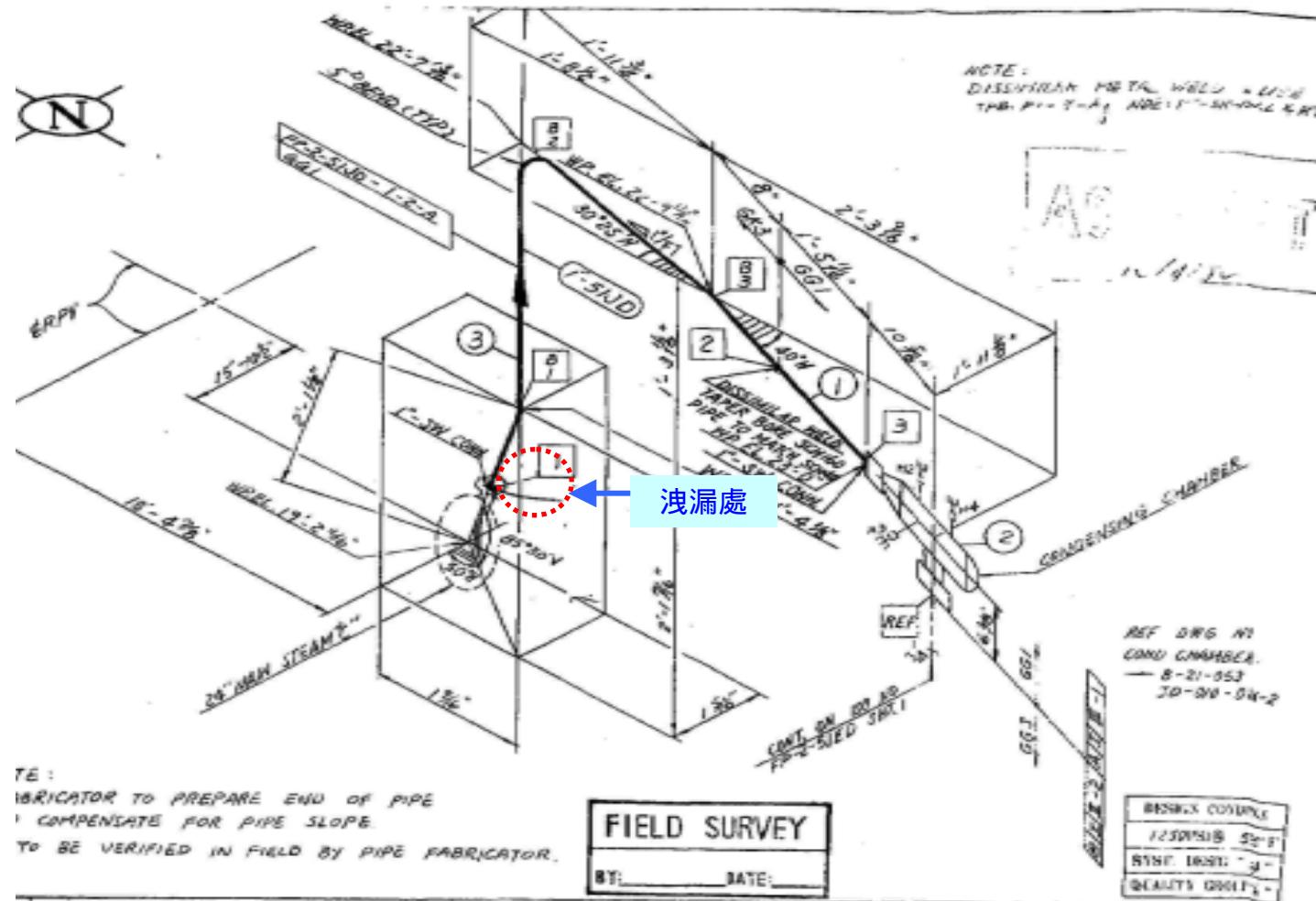
圖四、水壓試驗爐水溫度變化圖



圖五、水壓試驗 P-T 曲線圖



圖六、水壓試驗發現洩漏處照片



圖七、水壓試驗發現洩漏處管路位置圖