

核四廠 1 號機管路水壓測試
專案視察報告

行政院原子能委員會核能管制處
中華民國 97 年 12 月 24 日

目 錄

一、前 言	1
二、視察說明	2
三、視察結果	4
四、結論與建議	7
五、參考資料	8
附件：	
附件一、核四廠 1 號機管路水壓測試專案視察計畫	10
附件二、管路水壓測試視察照片	12

一、前 言

台電公司核四廠 1 號機重要系統設備、管路與支架系統大部分已經安裝完成，雖然目前仍有部分工程還在施工中，已完工設備則陸續進入施工後測試（post-construction test）階段。依據美國機械工程師協會（ASME）及廠家施工安裝規範之規定，管路系統於完工後須進行沖洗及靜水壓測試（hydrostatic testing），以驗證管路焊道之完整性，也是屬於施工後測試項目之一。不同品質等級的管路有不同的測試要求，基本上屬於 ASME B&PVC Section III Class 1, 2, 3 等級的管路測試壓力為設計壓力的 1.25 倍；屬於 ASME B31.1 等級的管路測試壓力則為設計壓力的 1.5 倍。依據 ASME 規定，管路加壓至測試壓力後須至少持壓 10 分鐘，然後降壓至設計壓力，並持壓進行管路焊道洩漏檢驗。詳細之測試要求與作業程序請參見後列之「參考資料」。管路水壓測試由龍門施工處主導執行，原則上核島區 Class 1 管路由汽源組負責，Class 2, 3 及其他管路由配管組負責。

核四廠 1 號機管路沖洗作業自今（97）年 2 月開始進行，目前重要系統之管路大部分均已經完成沖洗並封存。管路靜水壓測試則於今年 9 月開始進行，依測試排程先進行緊急爐心冷卻系統（ECCS），包括高壓爐心灌水系統（HPCF）、餘熱移除系統（RHR）及爐心隔離冷卻系統（RCIC），以及反應爐廠房冷卻水系統（RBCW）的管路測試。原能會為了解核四廠執行施工後測試狀況，因此於 9 月底進行之龍門計畫第 32 次定期視察，將施工後測試作業執行現況與品保制度列為視察項目之一。視察期間僅有兩

項 HPCF 管路進行水壓測試，可供現場查證。然而視察結果發現多項缺失，尤其發現測試團隊缺乏經驗，測試前準備工作不確實，現場未按照程序書執行測試及記錄，品質組人員未積極執行職責等缺失。除於當場及視察後會議提出視察發現及改善意見外，為求再次驗證管路水壓測試品質，本會於 11 月會同對進步型沸水式反應器（ABWR）建廠管制作業經驗甚為豐富之日本獨立行政法人原子力安全基盤機構（JNES）專家 2 人，進行 5 天核四廠 1 號機管路水壓測試專案視察。此次專案視察為求能更深入瞭解核四廠管路水壓測試執行現況與規劃，因此藉由現場查證與記錄查核方式執行視察，並期望借重日本專家的法規認知與實務檢查經驗，能對核四廠測試作業管制提供實質的助益與參考。

本次專案視察作業由原能會核能管制處核四起動測試管制專案小組趙科長擔任領隊，率領原能會核能管制處視察員（3 人）及核能研究所專家（2 人），與由 2 位核能協進會專家陪同之日本獨立行政法人原子力安全基盤機構（JNES）2 位專家等共同組成視察團隊，自 11 月 10 日至 11 月 14 日於核四廠工地進行 5 天。本次定期視察之實施項目及人員等，請參見核四廠 1 號機管路水壓測試專案視察計畫（附件一）。

二、視察說明

核四廠 1 號機管路靜水壓測試作業隨著龍門施工處工程完工進度及沖洗作業的推展而持續進行。管路水壓測試是一種破壞性的測試，因此規定在使用年限內只能進行 10 次測試。施工後測試

進行之管路水壓測試，最主要的目的係為驗證管路上焊道之完整性，以確保往後使用期間內一定的品質保證。

本會為瞭解核四廠執行管路水壓測試作業情形，參考本會施工後測試視察程序書、核四廠及龍門施工處相關程序書指引、美國 ASME 及 GE 公司相關規範進行視察，視察範圍為 1 號機已完工管路靜水壓測試作業，視察項目請參見附件一。

本次專案視察以現場查證、程序書與測試紀錄查證及問題討論三種方式進行。「問題討論」由日本專家、原能會視察員及台電人員就實務問題及視察發現進行問答討論，以釐清視察之問題點及日方經驗，作為日後本會管制作業之參考。

目前核四廠每個系統的管路水壓測試依測試壓力及隔離狀況分成多個測試區段（test package）。核島區須測試之 32 個系統共區分為 715 個測試區段，數量相當龐大，也須耗費大量人力與資源。這種作法與日本不同，日本電廠以系統取向，原則上一個系統進行一次整體管路水壓測試，如有不同壓力再分次執行，即使有多串管路的系統也是一次做完。會有這樣的差別主要是因為核四廠管路系統上許多泵、熱交換器、加熱器或特殊裝置等，其製造廠家在出廠前已經進行過壓力測試，因此廠家要求不得再進行壓力測試，必須予以隔離。而日本設備製造廠家基於整體規劃，已考量並准許管路壓力測試時一併進行設備壓力測試，因此可以大範圍執行管路水壓測試。龍門施工處先前已經體認到此項問題，因此開始著手檢討區段劃分作法，儘可能將可以一起執行測試的區段整合，以期節省人力時間。雖已有部分成果，但是獲致

的效益有限，至今仍無法大幅降低區段總數。

現場查證包括管路施工承包商中鼎公司測試用壓力錶、溫度計、加壓泵以及相關校驗紀錄文件，及至現場實地查證龍門施工處執行管路水壓測試之準備狀況及作業流程。程序書與測試紀錄查證，則主要查證施工處已經完成之系統管路水壓測試文件及施工處使用之測試程序書是否適當與符合 ASME 規定等。

三、視察結果：

(一) 管路水壓測試程序書內容審查

1. 中鼎公司之管路水壓測試程序書雖為英文，但其先備條件敘述已頗為詳細，但未增設查證簽署欄位以查證是否已確實執行。建議增加簽署欄。
2. 台電公司龍門施工處現行所使用之施工後測試程序書，及其內所附之檢驗表，只述明檢驗文件須完成，並未建立詳細之查證表，未詳列包括測試範圍內之 NCR、FDR 及原能會開立之管制文件（如注改、備忘錄）等是否均已確實結案、查漏人員資格是否符合等規定，因此建議增加先備條件查證表並設立簽名欄位以方便品保人員逐一查證確認是否已確實執行。

(二) 管路水壓測試儀器校驗查證

施工處管路水壓測試使用之測量儀器由中鼎公司負責校驗。現場查證中鼎公司的設備與校正儀器均符合程序書要求，校驗紀錄與校驗期限（壓力錶校正期限為兩週，校正儀器每年

外送校驗 1 次，溫度計及游標尺每年外送校正 2 次) 均符合規定。

(三) 現場實地查證管路水壓測試執行

1. 龍門施工處配管組執行 HPCF-C 串管路水壓測試現場圖表齊備，包括升降壓力圖與水質檢驗表。測試負責人指揮明確，品質管制人員也確實執行任務。測試前舉行之工具箱會議，已依規定執行並填寫表格。現場設備與照明（無須搭架）、人員裝備服裝等均符合規定。整個測試過程均遵照測試程序書步驟進行。前次本會執行視察所發現之缺失龍門施工處均已改善，此次未發現明顯缺失。
2. 核四廠 Class 2 管路廠製銲道表面現均已磨平並塗有防銹油漆，造成管路廠製銲道不易查證，建議水壓測試前應先加以註記或貼標籤以方便辨識及查漏。
3. 建議於測試現場加掛「測試組織表」，明確標示測試人員責任權限。
4. 執行水壓測試時使用之壓力圖表建議加入 1.06 倍測試壓力限制之數值，以避免誤指示或誤操作而超過限值。
5. 測試現場張貼之系統圖中的閘門開關與測試狀況並不一致，建議應標示相同，以方便確認閘門操作是否正確。
6. 反應爐爐蓋洩漏管路水壓測試管路分別由配管組及汽源組負責，汽源組加壓路徑有部份管路係屬配管組負責，但因未協調同時進行測試，此部分管路汽源組並不負責進行查漏，造成此部份管路必須加壓兩次，對於管路材質有不良影響，施

工處應於事前妥善規劃以避免同一段管路重複加壓或測試。

7. 原訂進行之反應爐爐蓋洩漏管路水壓測試因為一台加壓泵的故障且無備品而取消，對於現場準備、人員工時與測試進度均有不必要的負面影響。建議台電公司對於重要測試設備與儀器能多預備幾套備品。

(四) 廠務管理與工安

1. 配管組執行 HPCF-C 串管路水壓測試房間內仍有他項施工遺留之管架雜物，廠務管理與清潔方面仍應再加強。
2. 執行水壓測試時，相關灌水路徑接頭部份鑑於有破漏機會，建議臨時管路接頭應避開周邊電器設備以免因破漏造成感電事故或設備故障。
3. 現場巡查時發現若干應改善之工安問題：工作人員走道常有物料雜物堆積現象，行人走道空間有電纜、電線下垂妨害人員通過（只要稍微拉緊或臨時固定即可改善）。例如測試現場風扇的電線即是如此，有人員幾乎被絆倒；又走道旁臨時水管接頭脫落，大量噴出流水，雖然次日已改善，仍請台電公司再加強工安巡查。
4. 在中鼎公司配管加工廠發現有 SUS 鋼管直接放置於地上或遭工作人員踩踏的情形，造成管路不必要之損傷。於施工現場巡查時也常發現工人直接坐或踩在成堆的管路上。這些有可能是安全級的管路，建議應有配管置放之管理措施。
5. 現場巡查時發現有不銹鋼管與碳鋼支架直接接觸的情形，有造成材質腐蝕的疑慮，應予避免。也普遍發現有不銹鋼管上

使用鐵絲纏繞或吊掛的情形，如果鐵絲的材質不是不銹鋼，容易產生管路腐蝕現象，建議台電公司全面清查移除。

6. RPV 頂蓋法蘭的測漏孔應注意避免異物掉入。視察發現 RPV 頂蓋法蘭的接合面係使用膠帶防護，建議確認此膠帶是否為無氯膠帶，以免產生腐蝕。另建議驗證此膠帶是否則足以防護異物撞擊。
7. 巡查時發現部分進行支架 Tig 焊接之現場附近有風扇正在運轉，應注意風對焊接的影響。

(五) 測試檢驗紀錄查核

龍門施工處執行管路水壓測試係採分段實施方式執行，個別系統水壓測試作業是否均已確實執行完畢，只有執行單位執行管控，未見三級品保制度確認測試範圍之完整性，建議改善。

四、結論與建議：

核四廠由於施工廠家與設備供應廠家不同，以致未能預先規劃依壓力不同而執行水壓測試，導致核四廠許多系統管路必須分區段執行測試，例如核島區的管路水壓測試區段總數即高達 715 個，因此全數執行是一項龐大的工程。初期由於施工處測試人員欠缺經驗，的確出現一些作業上缺失，影響測試品質。本次專案視察之目的即為了強化管路水壓測試作業管制，發掘潛在問題，確保測試品質。經過一週的視察行程，確實已經達成預期目標。而兩位 JNES 專家提供了他們對於管路水壓測試實務經驗上的寶

貴意見，尤其是從不同的制度及文化面向，包括法規、準備工作及實際作業等層面，透過每天的「問題與回答」討論機制，提供日本方面的經驗及思維，使原能會及台電公司都有所助益。

綜合此次專案視察，由視察結果可以看出龍門施工處執行管路水壓測試作業已有相當進步，基本上已能符合測試程序書之要求與規定，只是在執行細節上有些瑕疵需要再改進，並未發現重大之缺失。然而，在品保、工安、廠務管理及工程管理上都發現一些缺失，這些都是一般性的問題，也是長時間存在的，在別項施工及測試作業一樣會出現，原能會在多次視察活動中也屢屢提出這些問題。此次隨同視察的日本專家，在巡查期間亦將這些現象反映出來。由於這些通病，造成核四工程品質的潛在問題與安全隱憂。希望台電公司能再投入更多的資源與心力，矯正這些問題，原能會亦將持續執行管制職責，使往後的測試作業能更確實有效，為將來核四廠的順利營運與核能安全奠定基礎。

五、參考資料

1. 核管處 NRD-IP-701 「施工後測試視察程序書」附錄 2 「管路系統及組件之施工後測試視察」
2. 核四廠 PCT 程序書 PCT-OPP-102 「施工後測試作業流程」
3. 龍門施工處 PCT 程序書 PCT-PPD-001 「系統/組件壓力測試流程」
4. 龍門施工處 LMP-QLD-030 「壓力測試檢驗作業程序書」第 4 版

5. 核四計畫專案工程作業程序書 PWP-117 「壓力測試作業程序書」第 0 版
6. 核四廠工作指引文件 NE-04 「壓力測試作業指引」
7. 中鼎工程公司施工作業程序書 2902-71P-3043(NE) 「Piping Hydrotest Procedure」
8. ASME B&PVC Sec. III (1989 年版)
9. ASME B31.1 Power Pining (1995 年版)
10. GE Nuclear Energy 31113.72.0410 「Piping Installation Specification」, 1999.

核四廠 1 號機管路水壓測試專案視察計畫

一、視察人員

(一)領隊：趙科長衛武

(二)視察人員

本會人員：石門環、洪子傑、宋清泉

核研所專家：廖俐毅、文玉奇

日本專家：日本獨立行政法人原子力安全基磐機構專家二人

二、視察時程

(一)時間：97 年 11 月 10 日至 14 日

(二)視察前會議：97 年 11 月 10 日（星期一）上午 10 時

(三)視察後會議：97 年 11 月 14 日（星期五）下午 13 時 30 分

三、視察項目

(一)核四廠 1 號機管路水壓測試執行現況查證

(二)管路水壓測試設備及臨時組件之安裝及校驗紀錄查證

(三)管路水壓測試過壓時之保護設備查證

(四)水壓測試區域之搭架與照明查證

(五)管路水壓測試相關測試程序書與測試紀錄文件查證

四、注意事項：

- (一) 視察前會議時，請提出下列簡報：核四廠管路水壓測試執行現況
及未來行程規劃。
- (二) 請針對各視察項目指派連絡人，全程協助視察相關事宜。

五、視察前請將本次視察所需相關資料送至視察辦公室：

- (一) 管路水壓測試設備及臨時組件之安裝及校驗紀錄
- (二) 品保人員針對水壓測試先前準備條件查核紀錄
- (三) 管路水壓相關測試程序書
- (四) 已執行完成之管路水壓測試 marked up P&ID、及其相關鐸道目錄與鐸道 ISO 圖與已執行完成之測試記錄

六、本案承辦人：宋清泉 (TEL：2232-2125)

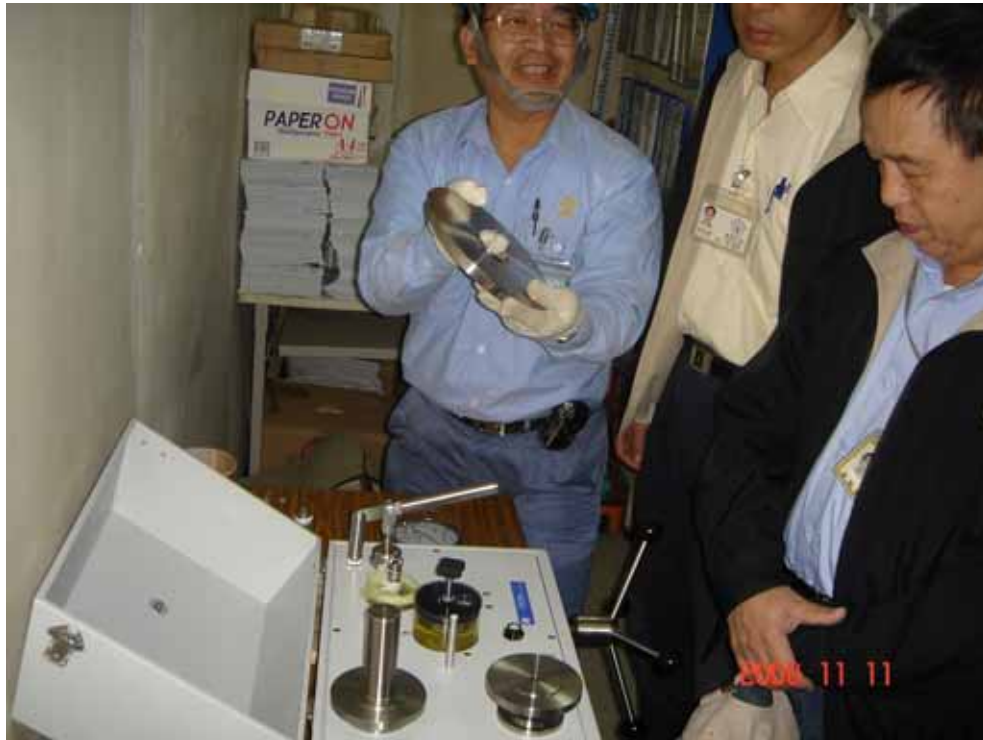
核四廠 1 號機管路水壓測試專案視察照片



兩位日本專家與本會視察團隊進行汽機廠房巡視



視察團隊前往中鼎公司辦公室查閱儀器校正紀錄



中鼎公司人員解說壓力表校驗儀器的使用



使用於 HPCF 管路水壓測試的加壓泵



HPCF 管路塗有防銹油漆，造成管路廠製銲道不易查證



視察期間每日下午與日本專家面對面進行問題討論



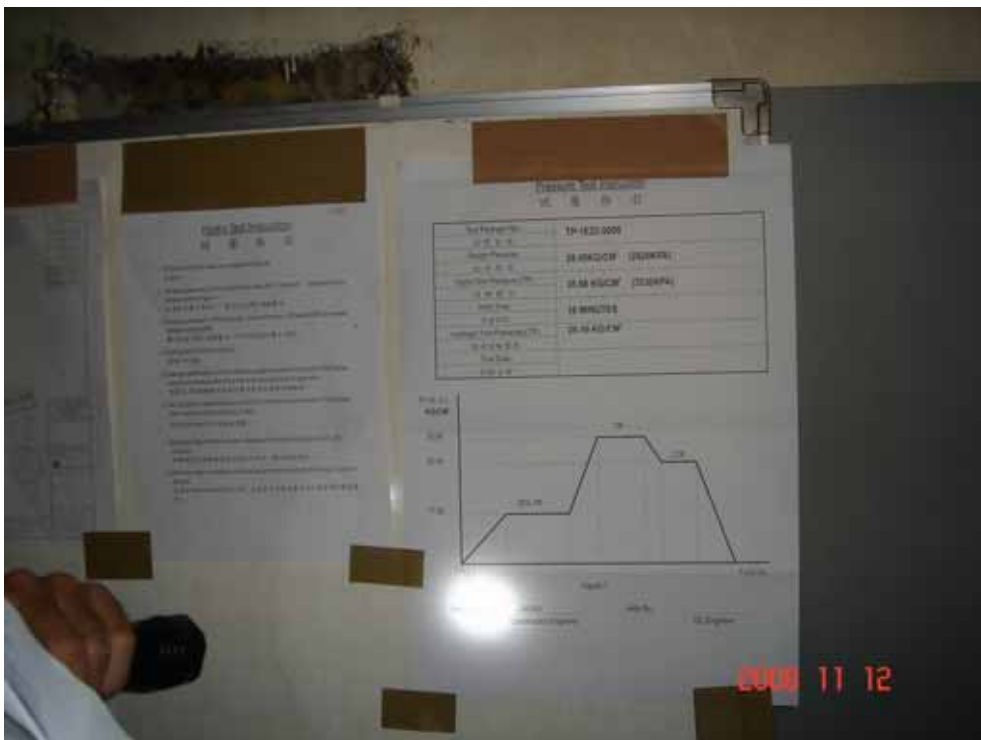
11月12日早上8點在配管組進行測試前工具箱會議



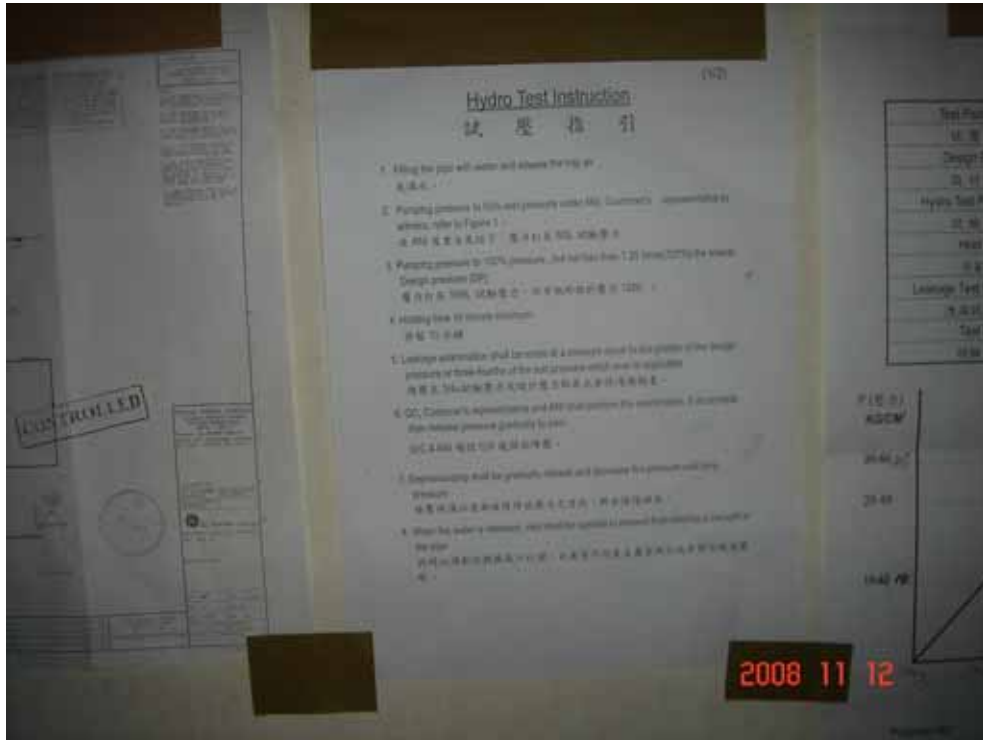
測試負責人顏課長向視察員解說程序書



管路水壓測試現場仍堆放他項施工遺留之管架雜物



管路水壓測試現場張貼的升降壓力圖及數據表



管路水壓測試現場張貼的試壓指引



管路水壓測試現場張貼的管路圖



管路水壓測試的壓力錶，指示為測試壓力 36kg/cm^2



日本專家與視察人員進行討論



廠房不銹鋼管路纏繞及吊掛鐵絲的情形



不銹鋼管與碳鋼支架直接接觸



視察後會議