

龍門核能電廠第 54 次定期視察報告

(1 號機一次圍阻體結構完整性測試視察)

行政院原子能委員會核能管制處

中華民國 103 年 9 月 30 日

摘 要

一次圍阻體結構完整性測試係一次圍阻體系統施工後結構承載能力完整性與包封能力完整性的測試工作，屬於須由設計廠家參與並進行現場檢查確認的重要測試工作項目，本會也列為需全程參與並查核其作業符合測試要求的重要視察工作項目。配合龍門電廠規劃於 103 年 2 月底至 3 月間，辦理 1 號機一次圍阻體結構完整性與整體性洩漏率測試(SIT/ILRT)時程，同時考量本項視察需多人日夜輪班進行全程視察的情形，本會便以龍門電廠「1 號機一次圍阻體 SIT 及 ILRT 測試」作為龍門計畫第 54 次定期視察計畫的視察項目。惟 SIT 測試作業完成後，台電公司因故決定暫停(延後)ILRT 測試作業，因此本次定期視察實際執行 SIT 測試的視察工作。

SIT 測試可概分為先備事項(含文件移交及測試前準備事項)、現場測試作業執行，以及測試完成後之後續現場巡視與測試結果數據資料評估等三階段作業。第一階段之先備事項經台電公司簡報說明準備作業完成情形，以及完成管制追蹤案件改善與 SIT 測試作業程序書審查作業，並以現場視察查證測試準備事項符合後，本會始同意台電公司進行第二階段之現場測試作業，並配合輪班於現場執行視察，查證測試作業之符合性，見證重要測試項目之執行與記錄。第三階段除由設計單位奇異公司對龍門電廠 1 號機圍阻體壓力邊界之「鋼筋混凝土結構外牆面、地板與天花板外表面有無裂縫」、「乾/濕井內襯鋼板表面有無變形或缺陷」等執行測試前、中、後之目視檢查與紀錄比對評估外，並由其依據測試期間圍阻體內空間安裝之變位計與施工期間預埋設於圍阻體結構內應變計所量測獲得之數據資料，進行一次圍阻體之結構承載能力評估。本項測試依奇異公

司之評估報告(GEHTP-2014-1017)，顯示龍門電廠 1 號機圍阻體可滿足 ASME B&PV Code(1989 年版)Section III Division 2 Subsection CC-6410 之接受標準。

本會在前述各階段均採取適當之管制作為，除第二階段之現場測試期間以定期視察方式辦理測試作業之見證與符合性查證外，並以駐廠視察及文件審查方式完成其餘兩階段之管制工作。為完整呈現前述三階段一次圍阻體結構完整性測試之視察結果，本報告亦將第一階段之先備事項於駐廠期間之視察情形，以及第三階段之現場巡視與測試數據資料評估結果之審查情形，納入本視察報告中。

目 錄

	<u>頁</u>
	<u>次</u>
壹、前言.....	1
貳、視察之測試作業說明.....	3
參、視察情形與結果.....	5
肆、結論.....	18
伍、參考文件.....	19
附件一 本次定期視察之 SIT 專案團隊視察計畫.....	20
附件二 視察活動照片.....	23

壹、前言

依「核子反應器設施管制法」第七條及「核子反應器設施品質保證準則」規定，核子反應器設施經營者應建立符合核子反應器設施品質保證準則要求之品質保證方案，明訂從事會影響核能安全有關功能作業之人員、部門及機構之權責，以及作業需達成之品質目標、執行功能及品質保證功能，期確保核能工程品質。台電公司乃根據「核子反應器設施品質保證準則」編寫「核四工程品質保證方案」，並經本會核備後，做為龍門核能電廠建廠工程中核能安全有關項目及作業之品質保證要求及執行依據。而為確保龍門核電廠興建品質，確保日後之運轉安全，本會乃依據「核子反應器設施管制法」第十四條規定，派員執行工地駐廠視察、每季定期團隊視察及不定期之專案視察等作業。

本次定期視察配合台電公司龍門電廠之測試規劃時程，選擇龍門電廠 1 號機一次圍阻體結構完整性測試(以下簡稱 SIT)作為視察主題，依本會視察作業程序書 NRD-IP-134「圍阻體結構完整性測試視察程序書」規定，SIT 與整體性洩漏率測試(ILRT)係接續進行，並由 SIT 先行實施，故本項視察作業乃事先規劃並擬定「龍門電廠 1 號機 SIT/ILRT 專案團隊視察計畫」如附件一，惟 SIT 測試完成後，於 ILRT 測試執行初期台電公司決定暫停 ILRT 測試，待完成洩漏源之查漏與修補後，再繼續執行 ILRT 測試，故本次視察期間僅就 SIT 測試之執行，進行視察作業，本報告亦僅針對本會對 SIT 測試執行視察情形與結果說明(ILRT 測試作業台電公司已於 103 年 6 月完成測試，本會將就此部分測試視察情形與結果，另提報告說明)。以下概述本次 SIT 測試視察計畫之主要內容，包括：視察目的、視察依據、視察執行方式、視察項目與區域，以及視察時程等：

- 一、視察目的：經由本會視察員之現場觀察，確認台電公司確實依程序書執行測試、記錄與評估，以驗證測試之結果以及評估之正確性，並確保設備及人員安全。
- 二、視察依據：包括(1)本會核能管制處 NRD-IP-134 之「圍阻體結構完整性測試視察程序書」、(2) 龍門施工處施工後測試程序書 PCT-CIV-065 「RCCV Structural Integrity Test(一次圍阻體結構完整性測試)」、(3) 龍門核能發電廠試運轉測試程序書 POTP-074 「一次圍阻體結構完整性及整體洩漏率測試」。
- 三、視察執行方式：由於現場 SIT/ILRT 測試為 24 小時日夜持續進行，故在龍門電廠測試期間，本會以輪值方式排班每班 2 位視察員執行視察。
- 四、視察項目與區域：主要依測試程序書查證測試作業之加壓、目視檢查與數據擷取等視察工作，包括視察主控制室與現場數據機設備之資料擷取、加壓站設備操作與升、降壓控制以及現場目視檢查並記錄，以及各執行單位、QC、QA 與 GEH 人員現場巡查、停留查證選點之查證作業簽署確認等執行情形，並適時參與測試相關會議。
- 五、視察時程：SIT 測試台電公司實際於 103 年 2 月 26 日開使現場加壓作業，並於 3 月 5 日完成降壓靜置與相關測試數據之蒐集之測試時程，本會視察人員依序進行現場視察工作。

貳、視察之測試作業說明

龍門電廠 1 號機一次圍阻體結構完整性試驗(Structural Integrity Test, SIT)的目的係為驗證鋼筋混凝土包封圍阻體(RCCV)壓力邊界的設計與結構能適當的抵抗最大壓力負載。為了驗證此項功能，依據 1989 年版 ASME B&PV Section III, Division 2, Subsection CC-6000 規範規定，可採空氣加壓的方式對鋼筋混凝土包封圍阻體結構體之內部空間均衡加壓，將一次圍阻體內壓力由 1 大氣壓力加壓至 1.15 倍圍阻體設計壓力(即 358.9kPaG)，並檢查確認一次圍阻體結構經此壓力測試後，可符合測試規範規定之接受標準，以驗證一次圍阻體結構能符合原結構設計要求，屬燃料裝填前應完成測試項目之一。

龍門電廠之一次圍阻體為低洩漏之鋼筋強化混凝土結構，其內牆表面另覆內襯鋼板，以確保氣密。圓柱型之圍阻體內部，有一橫隔樓板(Diaphragm Floor)及反應爐基座(Reactor Pedestal)將之區分成上乾井、下乾井及抑壓室(Suppression Chamber)等三個區域。而此圍阻體鋼筋混凝土牆體所構成維持壓力邊界完整之各個結構單元與設備如下：RCCV 牆及其鋼襯板、RCCV 褥基及其鋼襯板、RCCV 頂版及其鋼襯板、乾井頂蓋、機械管路穿越器、電氣設備穿越器、人員與設備通道之穿越器及其氣鎖門、襯板上設備支撐之埋板，另位於乾井與抑壓室之間，構成圍阻體壓力邊界的結構亦需考量納入的包括：橫隔樓版及其襯板、安全釋放閥排氣管(SRVDL)及其穿越器、反應器壓力容器(RPV)基座、乾井通氣孔與其他位於乾井與抑壓室之間的穿越器、出入通道等，共劃分為 18 類，在 SIT 正式測試前須先確認其先備條件均已完成並移交電廠接收。

本測試作業屬於建造完成後之施工後測試(PCT)項目，台電公司龍門施工處制訂了編號 PCT-CIV-065 之一次圍阻體結

構完整性測試 (RCCV Structural Integrity Test)程序書(參考文件一)，此測試作業則並須依據 POTP-074 之一次圍阻體結構完整性及整體洩漏率測試程序書(參考文件二)之測試與操作的程序，進行加壓、持壓、降壓、測試數據讀取等作業。測試作業主要目的在取得以下數據資料：1 鋼筋混凝土應變量測、2 變位變量(位移)、3 裂縫觀測、4 金屬組件應變量測，其中第 1、4 項之應變量測僅須於原型機組(prototype)之 1 號機執行(即未來 2 號機僅量測第 2&3 項數據資料)，以上數據資料測試後將進一步依照 PCT-CIV-065 之 SIT 測試程序書第 2 節之接受標準評估其符合性。此外在 SIT 測試作業期間，將一併執行「一次圍阻體氣鎖門開關測試」與「一次圍阻體抑壓池旁通洩漏測試」，在測試期間本會亦進行抽查見證，惟因視察期間未發現有測試程序或測試結果有不符合情形，且其另屬系統試運轉測試項目，故本定期視察報告並未涵蓋此二項測試結果。

參、視察情形與結果

本項龍門電廠 1 號機圍阻體結構完整性測試作業 (SIT) 視察工作，包括：先備事項(含文件移交及測試準備事項)之完成情形查證、現場測試期間之輪班派員現場見證與作業符合性查證、現場測試完成後之後續現場巡視結果與測試結果數據資料評估結果等三部分，分別詳述如下：

一、SIT 測試作業之先備條件及準備情形查證

龍門電廠 1 號機圍阻體結構完整性測試作業主要目的在驗證此測試之主體結構符合原結構設計要求。故測試作業前須確認 1 號機圍阻體結構施工完成，相關結構、系統、組件之施工管制追蹤文件(不符合報告(NCR)、設計變更文件(DCN/FDDR)、以及本會開立之各項管制追蹤案件等)均已結案，並依程序完成品保審查與系統文件移交。故本會在本項測試之先備事項視察作業中，主要依序就圍阻體結構施工完成及文件移交情形、圍阻體結構完整性測試程序書審查，以及圍阻體結構完整性現場測試設備準備情形執行查證，以下分別說明查證結果情形：

(一)圍阻體結構施工完成及文件移交情形

龍門電廠 1 號機圍阻體結構施工完成之先備作業審查工作，經台電公司兩度來會簡報說明辦理完成之作業進度，台電公司陸續完成所有與 1 號機圍阻體有關之不符合報告(NCR)、設計變更文件(DCN/FDDR)，並依圍阻體 18 個單元分別建立品質文件移交清冊，完成 QA 移交品保審查以及電廠接收品質審查。另外於圍阻體結構在分區施築並澆置混凝土期間，依規定每區塊須預留 2 顆供 SIT 測試前壓驗之混凝土圓柱試體，台電公司已依其原 SIT 作業準備期程，於 99 年 7 月間完成所有 SIT 混凝土試體壓驗作業，雖然與正式 SIT 測試時程提前約 3

年半，但以其試體壓驗主要在取得混凝土實際參數(楊式係數 E 值與波松比 ν 值)與設計參數之間差異，供評估分析參考使用，在 SIT 混凝土試體養護期將近 10 年情形下，試體結構品質已呈穩定狀態，故試體壓驗結果不會有太大變化，況且壓驗所得楊式係數為 $3.3\sim 3.8\times 10^4\text{MPa}$ ，較設計值 $2.79\times 10^4\text{MPa}$ 高，屬相對保守，故 SIT 混凝土試體於 SIT 測試前 3 年半執行之壓驗結果，應不致影響測試評估結果。

此外屬於本會開立之各項管制追蹤案件包括：(1)違規案件編號 EF-LM-98-003 之一號機儀控系統設備安裝工程及微調控制棒驅動機構電纜托架支架安裝作業未執行檢驗相關品質作業；(2)注意改進事項編號 AN-LM-102-013 之焊附於圍阻體襯板之支撐架作業依 CC Code 相關規定施作符合性；(3) 注意改進事項編號 AN-LM-101-004 之一次圍阻體襯板之電氣及儀控管路支架安裝缺失；(4)一號機 RB 廠房 RCCV LINER 受損修復報告專案審查案件；(5)一號機反應廠房一次圍阻體上乾井襯板之鐸附件改善作業計畫專案審查案件等，本會在先備作業查證初期，雖有少部分尚未完全改善或仍須再澄清項目，但經本會視察人員於正式測試前現場審查相關品質文件，確認台電公司已完成所有管制案件應改善或澄清項目並完成結案。

(二)圍阻體結構完整性測試程序書審查

本會針對龍門電廠之一次圍阻體結構完整性測試計畫，經參考國內外相關管制資訊，訂定視察程序書編號 NRD-IP-134 之「圍阻體結構完整性測試視察程序書」(參考文件三)，依據該程序書之相關測試作業要求規定，審查台電公司龍門施工處之一次圍阻體結構完整性測試程序書內容是否符合 NRD-IP-134 之「圍阻體結構完整性測試視察程序書」規定，相關審查意見及處理說明如下：

- 1.依視察程序書之參一(二)2、有關混凝土圍阻體於壓力測試期間規定「每次等量增加壓力，須至少維持固定壓力 1 小時以上，再紀錄其位移量與應變量。」，經審查龍門施工處之一次圍阻體結構完整性測試程序書執行壓力測試各階段增壓或降壓後之持壓時間，僅維持 15 分鐘持壓時間，與視察程序書規定不符，經本會視察前參與龍門電廠 SIT/ILRT 測試作業先備會議討論時，即於會中表達該項不一致情形，龍門施工處經與設計單位奇異公司討論後，修改程序書中持壓時間的規定，一律延長至 1 小時以上，始進行後續位移量與應變量等各項規定記錄工作，與本會之視察程序書要求一致。
- 2.依視察程序書之參一(二)3 規定「測試壓力為 1.15 倍圍阻體設計壓力」及視察程序書之參一(三)1 規定「在達到最大壓力 50%後，加壓速率以測試壓力之 1/10 逐步加壓到 1.1 倍測試壓力」。依據龍門電廠終期安全分析報告(FSAR)第 6 章 6.2-1 圍阻體參數表之乾/濕井設計壓力為 309.9kPaG，故龍門施工處之一次圍阻體結構完整性測試程序書執行之測試壓力為 309.9kPaG 的 1.15 倍即 356.39kPaG 之測試壓力值，經審查該測試程序書在 200kPaG 前均以 < 20 kPa/hr 的加壓速率控制，故台電公司之程序書均符合本會視察程序書要求規定。但基於 50%最大測試壓力為 178.2kPaG，在與台電公司討論後，台電公司進一步依照其升壓速率控制程序，提前於於 175kPaG 加壓至 200kPaG 期間降為 <10kPa/hr 的加壓速率控制，升壓控制更為保守，在本會執行測試前查證時，台電公司亦完成程序書修改作業。
- 3.依視察程序書之參二(二) 有關混凝土圍阻體應查證事項要求於最大測試壓力下，查證裂縫型式紀錄。在台電公司龍門施工處之一次圍阻體結構完整性測試程序書規定，僅於加壓前與完全解壓後須進行一次圍阻體邊界混凝土外表面及內

表面襯板結構之目視檢查，在最大測試壓力時僅執行選定 8 處 Mapping 位置檢查，除一次圍阻體邊界混凝土內表面襯板之目視檢查因尚未解壓，無法進入乾/濕井中檢查外，一次圍阻體邊界混凝土外表面也未執行相關檢查，為避免在最大測試壓力下，一次圍阻體外表面在 8 處選定範圍以外位置，有發生須進行評估之應記錄裂縫與型式，卻疏漏未記錄的可能，故要求台電公司於最大測試壓力持壓期間對一次圍阻體混凝土結構外表面，仍須進行一次全面性 RCCV Wall 外表面目視檢查，以確保裂縫型式之檢查完整性並記錄的要求。龍門施工處經與設計單位奇異公司討論後，修改程序書中於加壓至最大測試壓力並符合持壓時間規定後，新增一次圍阻體混凝土結構外表面目視檢查作業。

(三)圍阻體結構完整性測試設備準備情形(照片 1~4)

先備事項的符合性查證工作，除前述結構施工、相關管制追蹤案件結案，以及備妥測試作業程序書外，為配合 SIT 測試之主要目的在取得圍阻體上/下乾/濕井空間內加壓期間，須量取以及監測之數據資料包括溫度、混凝土應變、金屬應變、大氣資料、圍阻體結構體變位、混凝土表面裂縫等 6 項數據資料，包括施工期間預先埋置在圍阻體之鋼筋應變計(即混凝土應變量)共 209 組、系統設備之溫度與壓力計、以及臨時安裝共 58 組金屬設備應變計、61 組鋼鋼線變位計，以及劃定圍阻體邊界結構外部之混凝土共八處之表面裂縫監測的繪製 (Mapping)之位置選定與設定。本項先備查證作業，於正式加壓測試前，亦均已確認完成，其中包括 209 組鋼筋應變計雖有 17 組失效，但經系統設計廠家奇異公司評估，失效之應變計在位置與數量上，不會對混凝土應變量的評估作業造成影響；在儀器設備的有效性方面，本會依視察程序書 NRD-IP-134 之「圍阻體結構完整性測試視察程序書」參三(一)1、有關審查

測試紀錄作業需查證儀器設備之校正和誤差範圍是否在允許值內的相關規定，經查證各項儀器設備均經過合格廠家廠驗校準，設備使用符合規格，查證期間亦見證其在溫度計的現場誤差校驗作業，校驗結果誤差值為 0.05°C ，小於最小精確度之 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 要求，符合 In Situ 的校驗要求。

在現場架設之鈹鋼線及變位計，係用以量測加壓測試期間結構體的變位情形，是否未超過最大允許變位量，以及解壓後是否有恢復原結構位置，沒有殘留應變的永久變形。此 61 組變位計安裝後現場設備經長距離拉線佈設及中間站的資料擷取模組等將現場數據資料傳送至最終站資料收集器(DAS 系統)，因外校時未考慮傳遞可能偏差的情形，故現場讀取數據有無產生偏差的可能，以致變位計於現場安裝後，須進一步確認現場讀取數據結果沒有偏差須補校正的情形。經現場人員訪談核四廠電算組人員及其廠商工作人員後，亦認為確有必要執行此長距離拉線後之現場安裝讀值再確認工作，但台電公司未執行本項現場安裝後讀值準確性再確認。經本會視察員要求測試前先完成此再確認作業，或於測試後補作此再確認作業程序，若有前述偏差須立即回饋測試期間所讀取資料進行修正，始得以作為測試結果數據之相關判讀與評估工作。台電公司在收到本會視察發現問題後，於正式測試前，由 GEH TA 及 QA 人員重新開啟上乾井氣鎖門進入執行變位計再確認驗證作業，經現場隨機抽驗上乾井安裝之三組變位計以 10mm 厚薄規量測，於最終站資料收集器中得到 9.977、10.061 與 9.902mm 之結果，顯示偏差量均小於 2%，也低於本會視察程序書 5% 規定，因此現場變位計之讀值偏差再確認可直接讀取，沒有需補償調校的問題。

另外，依規定須劃定混凝土圍阻體邊界結構外部之混凝土表面裂縫監測的繪製(Mapping)位置選定與設定的先備作業，

經設計廠家 GEH 分析後，考量結構承載較大、大開口位置以及結構位置比對性等，共選定 8 處裂縫觀測位置，其中有二處位於圍阻體頂版(RCCV Top Slab)之樓板南北各 1 處，其餘 6 處分別在各樓層之圍阻體 0 度、90 度與 180 度之外牆面表面上，依 GEH 公司施工規範選取面積須大於 4m^2 (符合規範 ASME Sec. III Div2 CC-6233 要求 40ft^2 之 3.716m^2)，與表面格線繪製；另依 CC-6225 規定，裂縫寬度須採用光學比較儀 (Optical Comparator) 或 Wire GaGEH 進行量測，其規定光學比較儀須能測量最小寬度 $0.005\text{in.}(0.127\text{mm})$ 之裂縫，以及解析度為 $0.003\text{in.}(0.076\text{mm})$ 。本測試前，施工處已備妥 8 組裂縫量測光學比較儀，最小刻度為 0.05mm ，符合精度要求。經現場視察亦確認先備作業已依程序劃定裂縫觀測區域、表面濕式研磨、標繪 30cm 格線，以及噴透明漆保護等，完成設定作業。

二、一號機圍阻體結構完整性測試作業現場查證(照片 5~11)

龍門電廠 1 號機圍阻體結構完整性測試作業為本會設定之停留查證作業，本會亦擬定「龍門電廠 1 號機 SIT/ILRT 專案團隊視察計畫」，於龍門電廠測試期間，以 24 小時日夜輪值方式排班執行視察，重要視察情形摘錄如下：

(一)龍門電廠 1 號機圍阻體結構完整性測試作業依原申請測試期程係自 103 年 2 月 19 日開始測試加壓，惟經本會對先備條件及準備情形展開查證，應改善或澄清致未結案部分尚未完全獲得本會審查同意；最後一項未結案事項為「一號機反應器廠房一次圍阻體上乾井襯板之鐸附件改善作業計畫執行與查證結果報告」經現場視察相關作業及文件查核後，台電公司於 103 年 2 月 24 所提報辦理情形之答覆內容，本會確認可符合規範要求後，乃同意該項結案。故台電公司更改正式測試日期為 2 日後之 2 月 26 日開始加壓測試。

(二)本會依「龍門電廠 1 號機 SIT/ILRT 專案團隊視察計畫」之現場輪班視察工作，於 103 年 2 月 26 日早上開始。台電公司之測試作業於當日凌晨先進行 50kPa 試加壓查漏工作，在確認僅有一處已掛卡應關閉的 T62 閥仍開啟，並現場立即手動關閉後於早上 07:27 開始降壓，到約 11:00 降至大氣壓，由於加壓至完全解壓依 GEH 規定須靜置至少 4 小時，使圍阻體混凝土結構體各部位回復原來位置，以及使 SIT-DAS 的資料擷取系統歸零設定動作，不會被殘餘未回復讀值影響。最後台電公司於下午 4 時 30 分召開工作會議，決定下午 6 時正式加壓，但因 SIT-DAS 歸零儲存後重新起動不順利，以及部分 SIT-DAS 無訊息，在查明無訊號來源設備為 RB EL.4800mm 西側現場 SIT-DAS，並重新復歸其電源後，於 2 月 26 日 23:00 確認 SIT-DAS 系統恢復正常運作，於 2 月 26 日 23:53 宣佈讀取 0 kPaG 時各鋼筋應變計、金屬組件應變計、變位計、溫度元件及環境參數等數據，於 2 月 26 日 23:57 宣佈開始加壓，其加壓速率經本會視察員現場查核約 17 kPa/hr，符合程序書不可大於 20 kPa/hr 之要求。

(三)在整個加壓過程，台電公司測試作業依計畫完成階段壓力之升壓速率控制(17~18kPaG)、持壓時間 1 小時，以及 SIT-DAS 之各項數據資料讀取等，均符合依規定程序加壓控制操作與記錄之要求。在升壓至最大壓力前，於圍阻體壓力達 153.3 kPaA 時，須執行一次圍阻體穿越件查漏及乾井氣鎖門與設備通道組件查漏作業，發現在 Close 位置之 ACS 通大氣之內側過壓保護隔離閥 T31-ABV-0032 靠濕井側法蘭，整圈有洩漏情形，推估係墊片老化損壞需更換，以及 T31-ABV-0007 上游溫度元件 T31-TE-0005 之 Thermal Well 也有洩漏情形，因 SIT 測試完成後須接著執行 ILRT

測試，故須於此階段先辦理查漏工作，若有洩漏但不影響 SIT 完成測試，查漏發現可於 ILRT 測試前改善完成即可，故台電公司經召開工具箱會議(TBM)時，決定請電廠相關人員進行現場評估並備料，預定於 SIT 測試完成 24 小時靜置後 ILRT 測試前進行修復，此作業程序未違反其測試作業程序書規定以及本會安全管制要求，惟於 ILRT 測試前須確認其完成洩漏源之修復改善。

- (四)依測試程序書規定圍阻體加壓至最大測試壓力期間，將分別依不同速率加壓控制，在 0~175kPaG 為 < 20kPa/hr 的加壓速率控制；175~350 kPaG 為 < 10kPa/hr 的加壓速率控制；350~356.39 kPaG 為 < 5kPa/hr 的加壓速率控制(實際加壓值均會增加約 4~5kPa，以免洩漏量影響測試壓力值有效性)，經現場視察見證其測試控制及結果數據讀取等，均依規定作業執行。在升至最大測試壓力時，與各階段持壓後須作業項目最大不同為須再執行一次圍阻體目視檢查，係本會要求於最大測試壓力下，須再對測試邊界圍阻體外部結構之牆與樓版之外表面，執行再檢查確認有無影響結構評估之情形。測試作業歷經約 45 小時升壓後，於 3 月 1 日 01:00 乾/濕井測試壓力達最大測試壓力值控制範圍 456.80/456.51kPaA，隨後由 GEH 的 TA(技術顧問)與反應器廠房結構設計廠家日本清水公司人員，以及台電公司各相關主辦、QC 與 QA 等單位人員，執行一次圍阻體外表面共計六個樓層 76 個房間或區域的混凝土表面目視檢查，本會視察人員共計 5 員亦配合巡查作業，進行見證視察。視察結果主要於 RB 411、RB 444 房間及下乾井 hatch 附近之 RB231 區域，本會視察人員發現須紀錄評估之裂縫，並通知龍門施工處土木組進行量測與記錄，經現場初步評估該裂縫寬度雖達須記錄之 0.25mm 以上，但目視仍

屬細微裂縫，其代表著混凝土對鋼筋握裹應力傳遞至鋼筋以及混凝土之低抗拉強度、高抗壓強度之材料特性的結構機制表現，除非達一定之裂縫寬度與深度，確認鋼筋存在應力降伏狀態，否則在彈性狀態下，該裂縫屬於鋼筋混凝土結構的合理表現。

(五)在歷經最大壓力測試並完成持壓與圍阻體目視檢查及數據讀取記錄後，開始進行降壓作業，降壓期間於圍阻體設計壓力 309.9kPaG 時，一併執行乾/濕井之人員與設備氣鎖門相關鐸道洩漏測試，以及乾井維持 309.9kPaG 壓力，濕井陸續降至 137.3kPaG 時，執行程序書 POTP-144 乾/濕井間最大設計差壓之旁通洩漏測試，此二測試報告另有視察員見證測試進行並審查測試結果報告。最後測試作業在乾/濕井均降至完全解壓到 0kPaG 後，除依程序讀取當時數據資料外，將先靜置 24 小時後在讀取測試數據資料，確認相關變形與變位回復情形，有無永久變形的情形，並再執行一次最後的圍阻體結構目視檢查，確認有無結構損壞現象，之後始可開啟圍阻體進行查漏或修理有洩漏之設備。現場視察作業情形並無發現有違反作業程序情形，測試過程應記錄項目亦依規定辦理。

三、測試結果數據資料與現場巡視紀錄結果之評估作業查證

台電公司各相關單位與人員在「龍門電廠 1 號機圍阻體結構完整性測試作業」測試期間，整體上包含測試作業之操作與控制，以及見證檢查，均依程序進行檢查、操作、記錄、確認簽署的工作，其中亦包括 GEH 見證檢查的停留查證點，在 GEH 技術顧問人員執行後，亦完成查核後簽署。測試過程若遇有須修改程序時，則依程序規定完成修改後再執行相關測試作業，在本會視察人員現場查證作業期間，沒有發現有不符程序作業的情形。本項 SIT 的測試作業的最後結果，即根據此升降壓

期間之測試紀錄，包含 SIT-DAS 系統上之鋼筋應變計數據、安裝鋼鋼線之變位計數據，以及系統壓力、溫度等電腦數據資料，以及現場巡視的目視檢查紀錄，提供電廠設計廠家奇異 (GEH) 公司技術顧問進行最後評估作業，並由 GEH 提出是否符合設計與施工規範之接受標準的評估結果報告，再送台電公司審查確認。

本項評估作業在 103 年 3 月上旬現場測試作業完成後，台電公司隨即將測試紀錄資料提供 GEH 公司辦理評估，GEH 公司評估後於 103 年 5 月 6 日提出初版之評估結果報告，經台電公司設計部門審查表示意見，最後 GEH 公司提出相關補充修訂後之評估結果報告 (參考文件四)，經台電公司審查同意後，於 103 年 8 月 4 日定版發行，經本會審視評估報告之「Evaluation of Test Results」、「Comparison of Test Data with Acceptance Criteria」與「Conclusion」三部分後，摘述如下：

(一) Evaluation of Test Results

「龍門電廠 1 號機圍阻體結構完整性測試作業」測試升降壓期間，依程序規定如實記錄之數據資料，在 GEH 公司評估報告之「Evaluation of Test Results」單元中，依比例轉換繪製變化圖，包括 181 組混凝土應變變化圖、61 組圍阻體結構空間相對位移變化圖、173 組金屬設備應變計變化圖、12 組圍阻體內外側溫度計量側變化圖及 8 處共 13 張之混凝土表面裂縫成長變化圖，以附錄附於報告中(附錄 A：鋼筋混凝土應變量測資料；附錄 B：變位量測資料；附錄 C：金屬組件應變量測資料；附錄 D：溫度計量測資料；附錄 E：混凝土裂縫觀測資料)。

附錄之量測資料在應變、變位與溫度部分，相關變化圖於升降壓期間之大致呈穩定狀態；而裂縫成長變化，則依規定將

寬度大於 0.25mm 及長度大於 150 mm 裂縫，於各觀測階段，以採用黃(0kPaG 時)、紅(200kPaG 時)、綠(358.9kPaG 時)、黑(DW/WW 分別為降壓至 309.9/137.3kPaG 時)、藍(0kPaG 時) 不同顏色色筆，逐一將現場描繪標註之裂縫，再繪製於程序書格式文件中，綜合而言，測試期間所觀察發現之裂縫，其寬度多在 0.5mm 左右，且抽查未發現裂縫寬度有大於 1mm 之紀錄。

(二) 「Comparison of Test Data with Acceptance Criteria」共有五項接受標準：

1. 第一項是根據附錄 A 之混凝土應變變化圖，評估圍阻體結構內鋼筋有無降伏情形，依照 GEH 技術評估報告第 3.1.(1)節與 3.2.(2)節規定，RCCV 的結構鋼筋需符合 ASTM A-615 Gr.60 之材料性質，鋼筋降伏須達 2,000 μ m/m，而實際加壓產生之應變量小，在彈性變形範圍內，沒有塑性變形，故 GEH 評估無鋼筋降伏情形。
2. 第二項是根據附錄 E 之混凝土裂縫觀測成長變化圖以及圍阻體混凝土結構外表面與圍阻體結構內襯鋼板表面之目視檢查結果(屬 GEH 公司於測試前、中、後親自現場檢查的項目)，評估圍阻體結構有無永久變形的情形，由於裂縫觀測紀錄結果多屬於加壓前即存在之裂縫，加壓後裂縫成長不顯著，外部混凝土牆表面也無剝落情形，以及圍阻體襯板無扭曲變形的發現，顯示結構體在彈性之受力與變形範圍內，故 GEH 公司評估無永久變形的情形。
3. 第三項是依據 GEH 技術評估報告 3.1.(6) 節中所預測上乾井最大變形量所安裝的四個變位計位置，在測試後如 GEH 技術評估報告之 TABLE 26 顯示四個變位計的變形恢復情況，經完全解壓 24 小時後，四個變位計的恢復率

在 87~94%之間，符合變位恢復率超過 70%以上之接受標準。

4.第四項接受標準是最大變形量(位移)的限制要求，依 GEH 技術評估報告之 TABLE 26 顯示四個變位計的最大變形量均小於預測最大變形量，滿足接受標準的要求。

5.第五項則是美國核管會檢查手冊針對圍阻體結構整體測試結果，評估是否符合 ASME B&PV Sec. III Div. 2 Subsection CC 2.03 節之檢查規定，項目包括：

(1)圍阻體結構整體測試期間所使用的儀器與設備之校正和範圍皆符合下列規定：

i.應變計裝置功能在良好狀態，足以測得最大應變的 $\pm 5\%$ 的準確度。

ii.用以量測混凝土應變的變位計最大量測範圍需大於 4 英吋以上。

iii 壓力計刻度顯示壓力測試範圍，需介於 1.5 倍到 2 倍測試壓力範圍。

vi 壓力錶於測試前，皆以標準載重測試或主要量測儀器進行校準。

(2)審查已執行完成的數據分析，確定以下內容為正確：

i.由合格和有經驗的人執行評估和數據分析。

ii.變形和應變的量測值與預測最大值間差異已圓滿處理。

iii.觀察混凝土結構或鋼襯板無永久性的破壞。

(3)檢視附錄 B 之變位量測紀錄，對於垂直方向變形量、圍阻體牆之徑向及最大的開口處徑向變形量，這些量測已符合下列規定：

i.選定的量測點符合程序書的預定位置。

- ii.量測變形儀器已進行校準，符合 GEH 技術評估報告 3.1.(5)節有關測試程序或適用法規規定的精度要求。
- iii 試驗結果符合 ASME B&PV Sec. III Div. 2 Subsection CC -6213 章節之設計接受標準範圍。

(4)在檢視附錄 A 之混凝土應變量測紀錄，在圍阻體牆和褥基的交接處以及最大開口處的混凝土應變量，符合以下規定：

- i.應變量測值符合 ASME B&PV Sec. III Div. 2 Subsection CC -6213 之原設計接受標準範圍。
- ii.本圍阻體測試後如有任何重大修改或修補，則須重做測試。(本項目要求在日後若有圍阻體結構之重大修改或修補情形，台電公司依規定須陳報本會審查，所以不會有未管制而不符本項要求情形。)

以上第五項所執行檢查項目經 GEH 現場確認及審查後之評估結果，符合 ASME B&PV Sec. III Div. 2 Subsection CC 2.03 節要求。

(三)Conclusion

GEH 技術評估報告最後單元將測試評估作成結論，依 2014 年 06 月 06 日 GEH 所發佈之龍門電廠 1 號機 RCCV 結構完整性報告 31113-1U71-1111 及其附錄實際所測得之數據，經與 ASME B&PV Sec. III Div. 2 Subsection CC -6213 節規定之最低接受標準比較後，GEH 確認龍門電廠 1 號機 RCCV 施工成果已符合結構完整性測試規定標準。

肆、結論

本次(第 54 次)定期視察報告係針對龍門電廠 1 號機一次圍阻體結構完整性測試作業本會的整體管制作業視察結果，其內容包括：(1)在正式測試前以駐廠視察方式，查證先備事項(含文件移交及測試準備事項)之完成情形查證，同時亦包括與台電公司進行數次測試計畫作業討論與測試程序書審查；(2)於定期視察期間依本會擬定之「龍門電廠 1 號機 SIT/ILRT 專案團隊視察計畫」執行現場測試之 24 小時見證與作業符合性查證；(3)查證場測試完成後之後續現場巡視結果與測試結果數據資料完成評估結果報告之審閱，確認是否符合設計規範各項測試接受標準等。

視察過程中，本會視察員提出的相關管制要求，台電公司均積極回應與準備，由測試結果資料能獲得完整紀錄，可以確認作業的準備充分；而由測試紀錄與 GEH 的最後評估結果顯示龍門電廠 1 號機鋼筋混凝土圍阻體結構在最大測試壓力下，圍阻體結構之應力與應變仍然是在彈性變位的範圍內，結構鋼筋沒有降伏的現象，也沒有永久變形的發現，並符合 ASME B&PV Code Sec.III Div.2 Subsection CC-6410 接受標準的要求。因此，龍門電廠 1 號機鋼筋混凝土圍阻體結構設計與施工後的結構強度與完整性，可以提供 1 號機反應爐安全運轉的良好屏蔽與結構保護的功能。

伍、參考文件

- 一、施工後測試之一次圍阻體結構完整性測試程序書 (PCT-CIV-065)
- 二、試運轉測試之一次圍阻體結構完整性及整體洩漏率測試程序書(POTP-074)
- 三、圍阻體結構完整性測試視察程序書(NRD-IP-134)
- 四、GEH 評估結果報告 Unit 1 RCCV Structural Integrity Test Report(31113-1U71-1111)

龍門電廠 1 號機 SIT/ILRT 測試專案團隊視察計畫

一、目的：

執行龍門電廠 1 號機 SIT/ILRT（一次圍阻體結構完整性測試及整體洩漏率測試）試運轉測試視察作業，經由視察員之現場觀察，確認台電公司確實依程序書執行測試記錄與評估，以驗證測試程序及結果評估之正確性，並確保設備及人員安全。

二、視察依據：

1. 本會核能管制處視察作業程序書 NRD-IP-709「圍阻體整體洩漏率測試視察程序書」。
2. 龍門核能發電廠試運轉測試程序書 POTP-074「一次圍阻體結構完整性及整體洩漏率測試(SIT & ILRT)」，第 2 版。
3. 龍門施工處施工後測試程序書 PCT-CIV-065「RCCV Structural Integrity Test(一次圍阻體結構完整性測試)」，第 2B 版。

三、測試及視察時間：

龍門電廠 1 號機 SIT/ILRT 試運轉測試規劃於 103 年 2 月 26 日到 3 月 9 日正式執行。SIT 自 2 月 26 日上午開始加壓，3 月 2 日凌晨降至大氣壓力；ILRT 自 3 月 4 日凌晨開始加壓，3 月 9 日上午降至大氣壓力，結束測試。

四、視察執行方式：

1. 由於 SIT/ILRT 測試為 24 小時日夜持續進行，鑑於本會視察人力及業務負擔，以輪值方式排班執行視察。輪值表規劃如附錄一。

- 2.視察員以核四廠專案小組及核四起動測試管制專案小組視察員為主，再加熟悉龍門電廠之其他三位技正，輪值分配時段力求平均。
- 3.視察輪值時段分白天班(7:30~20:30)及夜間班(20:00~8:00)，各時段配置視察員兩名，第一位為當值負責人，熟悉龍門電廠，帶領第二位組員執行視察。
- 4.本會 SIT 視察負責人為張國榮技正，ILRT 視察負責人為洪子傑技正，測試執行期間為白天班當值負責人。
- 5.交接班時間為上午 07:30~08:00 及晚上 20:00~20:30，須交代前一時段進行情形及須注意事項。
- 6.各時段當值負責人須提供視察報告表一份，交測試視察負責人，做為視察紀錄、書面交接資料及最終視察報告依據。
- 7.測試期間本會視察作業中心為 1 號機 ACB 四樓駐廠辦公室。
- 8.用餐及休息時間由同組視察員自行協調。
- 9.視察員對於排定時間若有不便，可自行協商調換(但不可同值兩員均為資淺人員)，並須知會測試視察負責人。
- 10.測試期間若發生非預期狀況而延長測試期程，視察員排班依 SIT 及 ILRT 各輪值表循環持續進行視察。

五、視察項目與區域：

- 1.視察任務包括主要測試作業(加壓、目視檢視等)視察、現場巡查(主控制室、加壓站、數據擷取站等)及參加測試相關會議。
- 2.SIT 及 ILRT 測試視察負責人於測試前視察測試先備條件及準備情形。

六、視察要領與文件：

視察前會議訂於 2 月 20 日下午於本會六樓會議室舉行，說明 SIT/ILRT 測試程序與視察要領，測試相關資料（程序書、視察指引、表格及簡報等）電子檔將另寄送視察員。

視察活動照片



照片 1：SIT 測試前先備測試儀器之現場視察



照片 2：SIT 測試前先備測試儀器之現場視察（金屬設備應變計安裝）



照片 3：測試前先備測試儀器設施之現場視察（鋼鋼線及變位計）



照片 4：SIT 測試作業現場加壓控制站(加壓前)



照片 5：SIT 測試加壓中 GEH 設計顧問現場目視檢查



照片 6：SIT 測試加壓中現場目視檢查發現洩漏處
(1T31 ACS ABV-0032 內側過壓保護隔離閥)



照片 7：SIT 測試加壓中原能會視察員現場目視檢查
(混凝土裂縫 Mapping)



照片 8：SIT 測試加壓中原能會對加壓操作現場之視察情形



照片 9：SIT 測試最大壓力持壓期間之混凝土裂縫 Mapping 現場檢查與記錄作業情形



照片 10：SIT 測試最大壓力持壓期間之 RCCV 外牆現場目視檢查作業情形



照片 11：SIT 測試完全解壓後之 RCCV 外牆與混凝土裂縫 Mapping
現場目視檢查作業情形