

出國報告（出國類別：洽公）

龍門計畫二號機反應器蒸汽供應系統暨  
相關系統設備裝機及裝機後施工測試協  
調事宜

服務機關：台灣電力公司 龍門施工處

姓名職稱：顏國華 汽源管路課長

派赴國家：日本

出國期間：100.12.31 ~ 101.01.09








報告日期：101.3.3

## 出國報告審核表

出國報告名稱：龍門計畫二號機反應器蒸汽供應系統暨相關系統設備裝機及裝機後施工測試協調事宜		
出國人姓名	職稱	服務單位
顏國華	汽源管路課長	龍門施工處
出國期間：100年12月31日至101年01月09日		報告繳交日期：101年3月3日
出國計畫主辦機關審核意見	<input checked="" type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 2.格式完整（本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」） <input type="checkbox"/> 3.內容充實完備。 <input checked="" type="checkbox"/> 4.建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 5.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 6.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 7.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 8.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會（說明會），與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 9.其他處理意見及方式：	
層轉機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1.同意主辦機關審核意見 <input type="checkbox"/> 全部 <input type="checkbox"/> 部分_____（填寫審核意見編號） <input type="checkbox"/> 2.退回補正，原因：_____ <input type="checkbox"/> 3.其他處理意見：	

說明：

- 一、 出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。
- 二、 各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 三、 審核作業應於報告提出後二個月內完成。

報告人：  單位：  主管：  主管處：  主管：  總經理：  副總經理： 

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：龍門計畫 2 號機反應器蒸汽供應系統暨相關系統設備  
裝機及裝機後施工測試協調事宜

頁數 18 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司 / 陳德隆 / (02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：顏國華 / 台灣電力公司 / 龍  
門施工處 / 汽源管路課長 /  
02-24902401-2391

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他(洽公)

出國期間：100 年 12 月 31 日~101 年 01 月 09 日 出國地區：日本

報告日期：101 年 3 月 3 日

分類號/目

關鍵詞：龍門計畫，反應器蒸汽供應系統，施工後測試，壓力測試，  
反應器水壓測試，模組化，ABWR

內容摘要：

本公司龍門計畫機組(核能四廠)核島區核反應爐及主要系統設備係由日本日立公司及東芝公司設計製造，其對於日本核能電廠建廠之經驗皆已超過 20 部機組，且累積了 40 多年的經驗。此兩公司更依據其累計之經驗所建立之資料庫，分別發展出機組建廠模擬系統 Advanced Plant Integrated CAD System(日立公司)及 6DCAD 系統(東芝公司)，用於規劃核能機組由設計、廠房及設備佈置、採購、施工及施工人力之管控等。

本次洽公分別由日立公司及東芝公司之專案計畫及工程人員，藉由經驗交流、問題提問、面對面討論等方式，了解機組安裝整體規劃管理的重要性及新觀念，還有施工後測試的各項要領及執行注意事項等，以促進二號機施工後測試之進行及往後核能機組安裝之參考。

其包含下列內容：

- (一) 核能機組暨相關系統設備之施工安裝。
- (二) 施工後系統壓力測試。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://open.nat.gov.tw>)

# 目 錄

	頁次
壹、 國外公務之內容與過程 .....	1
一、 目的 .....	1
二、 行程與工作項目 .....	1
貳、 執行過程與內容 .....	3
一、 核能機組暨相關系統設備之施工安裝 .....	3
二、 系統設備之施工後系統壓力測試 .....	7
三、 龍門計畫裝機模式及施工後測試之比較 .....	10
參、 國外公務之心得與感想 .....	11
肆、 建議事項 .....	12

## 圖目錄

頁次

附圖一：Advanced Plant Integrated CAD System 模擬系統 .....	4
附圖二：6DCAD System 模擬系統 .....	4
附圖三：主/次要徑區域之時程模組 .....	6
附圖四：管路高密度設置區域之成本模組 .....	6

## 壹、國外公務之目的與行程

### 一、目的：

核四計畫一、二號機施工過程中，迭遇廠家設計疑意、設備廠家製造問題或延誤交貨至影響施工後測試等工期，依一號機施工經驗，龍門工地以往以書面文件等方式之聯繫，常遇問題狀況對方未能充分瞭解，以致文件往返多達數十次，時間長達四、五個月或更長，而有緩不濟急之情形發生，為減免工期排程延誤，對於關鍵工作困難之排除，除文書往來外，派員至相關廠家作面對面溝通、有利於快速取得相關資料並澄清疑問。反應器蒸汽供應系統暨相關系統設備為核四計畫之關鍵系統設備，且設備數量繁多，因部分設備採購運抵工地時間已長達7、8年或更長時間，對於二號機裝機及施工後測試期間可能發生狀況為何，亟需預做因應及規劃，期能在如期、如質等前提下，達成上級交辦任務。

### 二、行程與工作項目

職顏國華依「龍門計畫二號機反應器蒸汽供應系統暨相關系統設備裝機及裝機後施工測試協調事宜」，奉派赴龍門計畫核島區主要系統設備製造及設計廠家日立公司(HITACHI)及東芝公司(TOSHIBA)洽系統設備裝機及裝機後施工測試協調事宜，其包含下列內容：

- (一) 核能機組暨相關系統設備之施工安裝。
- (二) 系統設備之施工後系統壓力測試。

本次洽公期間為 10 天。詳細行程及工作項目如下表：

起迄日期	前往公司/停留城市	工作項目
100.12.31~ 100.12.31	往 程	台北— 東京
101.01.01~ 101.01.05	Hitachi 公司/東京	核島區相關系統設備裝機及裝機後壓力試驗協調
101.01.06~ 101.01.08	Toshiba 公司/橫濱 (1/8 公畢返住東京)	反應器蒸汽供應系統暨相關系統設備裝機及裝機後壓力試驗協調
101.01.09~ 101.01.09	回 程	東京— 台北

## 貳、執行過程與內容

此次出國任務主要係與龍門計畫機組，核島區主要系統設備設計及製造廠商 Hitachi 及 Toshiba 公司之專案計畫及工程人員，藉其對核能電廠機組超過 40 年之豐富建廠經驗，就 ABWR 機組各主要系統暨相關系統設備之施工安裝及施工後之系統壓力測試與協調等，作面對面溝通、經驗交流及疑問澄清。

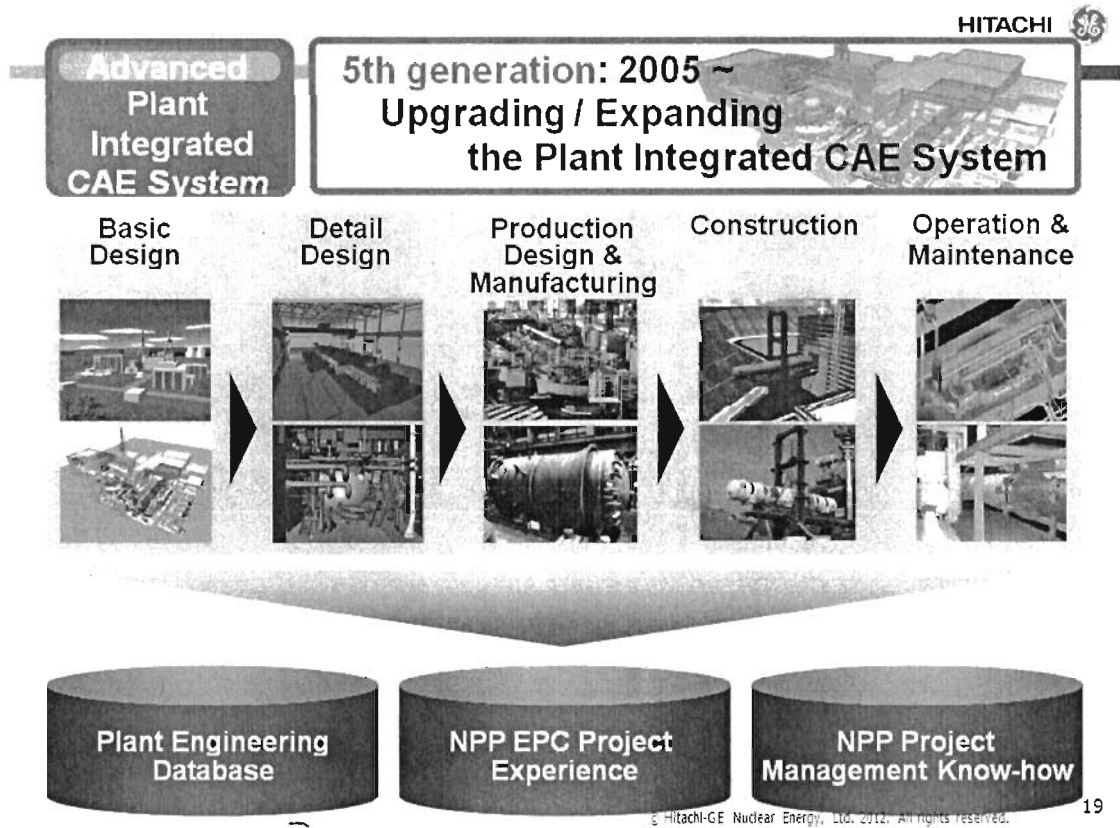
### 一、核能機組暨相關系統設備之施工安裝

Hitachi 及 Toshiba 公司參與 BWR 及 ABWR 機組之設計、設備製造供應及機組安裝數量，皆已超過 20 座以上，累積之建廠經驗更超過 40 年。此兩公司更依據其累計之經驗所建立之龐大資料庫，配合 3D CAD 系統發展出機組建廠模擬系統，用於規劃核能機組由設計、廠房及設備佈置、購料、施工方式、施工順序及施工人力之管理與控制等。一般而言，依該系統規劃建廠的時間為 9~10 年，其中執照取得和設計約需 4~5 年，施工安裝亦約需 4~5 年。

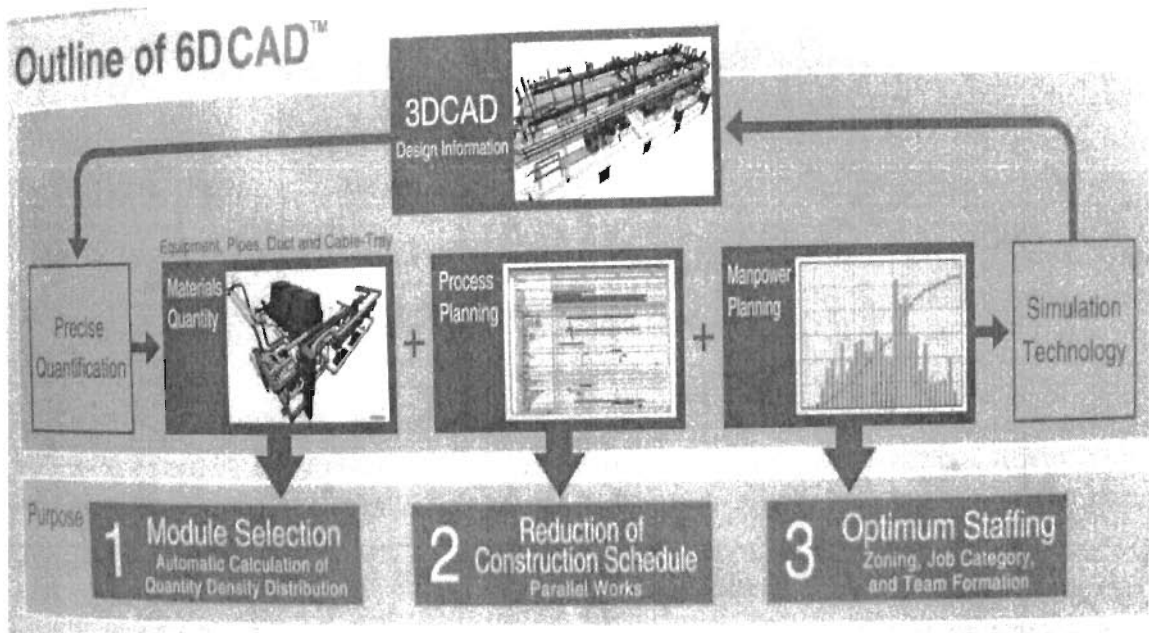
基本上，Hitachi 及 Toshiba 兩公司之建廠模式都是以大統包方式，採整廠整體安裝設置來考量，並不針對各個或單一系統安裝來考量。Hitachi 所使用的模擬系統稱之為 Advanced Plant Integrated CAD System，系統概述圖詳如圖一；而 Toshiba 所使用的模擬系統則稱之為 6DCAD System，系統概述圖則如圖二。基本上，此兩系統皆是利用已建置完成之 3D CAD 資料庫來進行設計，再利用設計完成之精確量化資料，並考量安裝模式進行設備及管路模組化設計，藉由工作平行展開、最佳人力規畫等達成降低成本及縮減工期之目的，使機組得以如期、如質完工發電。



圖一：Advanced Plant Integrated CAD System 模擬系統



圖二：6DCAD System 模擬系統

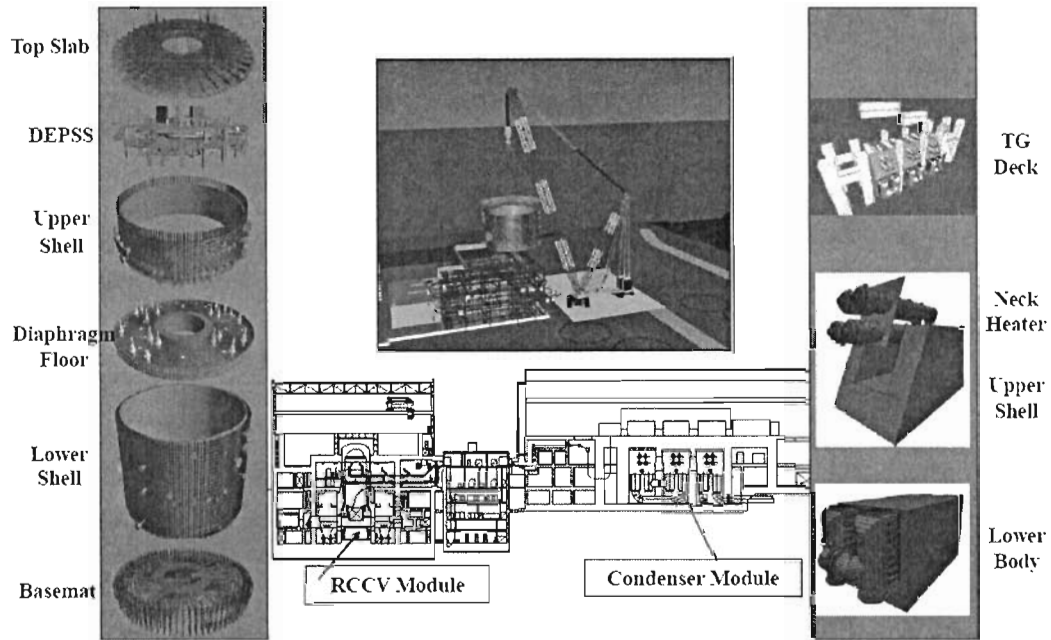


採用上述模擬系統規劃建廠，若欲達到最佳預期效果及目的，基本上須採用大統包制度來建廠，且須在設計完成(含購置設備相關負載資料取得、模組化設備規劃、製造時程規劃、施工時程規劃等)後開始以開頂式(Open-top Method)及模組化(Modular Construction)方式作業和施工。如此才能展開多方位之平行作業，並在統一的、精確的管理指揮系統與途徑下，進行設計、購料、製造、施工安裝順序、施工界面及施工管理的全面性、整體性的建廠作業。

模組化設計及施工之優點為以多方位平行作業來縮短工期、減少現場工作及建廠人力、提升廠製產能及品質、現場工作更為安全有效率、可標準化用於新建電廠；缺點則為須增加模組化之規劃管理工作、增加作業腹地面積、增加臨時支撐結構、材料需較早購得、增加運輸費用(大型拖車或駁船)、增加大型吊裝設備等。模組化設計及施工可施行的程度，尚需視周邊產、工業能否配合來決定，例如有無核能級廠商可配合等等。若無，單是船運及內陸運輸就會是個大問題。

另模組化設計規劃並非單純指將機械設備或系統管路模組化而已，而是要考慮建廠期間所有相關的時程模組及成本模組等。所謂時程模組，就是要將會影響主/次要徑時程區域之工作，設計成模組來施工；而成本模組則是要將設備管路高密度設置區域，設計成模組來施工，並利用平行作業以達減省施工時程及降低成本之目的。典型的時程模組有 RCCV 模組(含 Top Slab 模組、DEPSS 模組、Diaphragm Floor 模組、Lower Shell 模組等)及冷凝器模組等，如圖三所示。典型的成本模組則有 Turbine Drive Feed Water Pump Room 模組、HCU Room 模組、管路及管閥模組等，如圖四所示。其他區域，則可採用預製管節來減少現場組裝焊接作業。

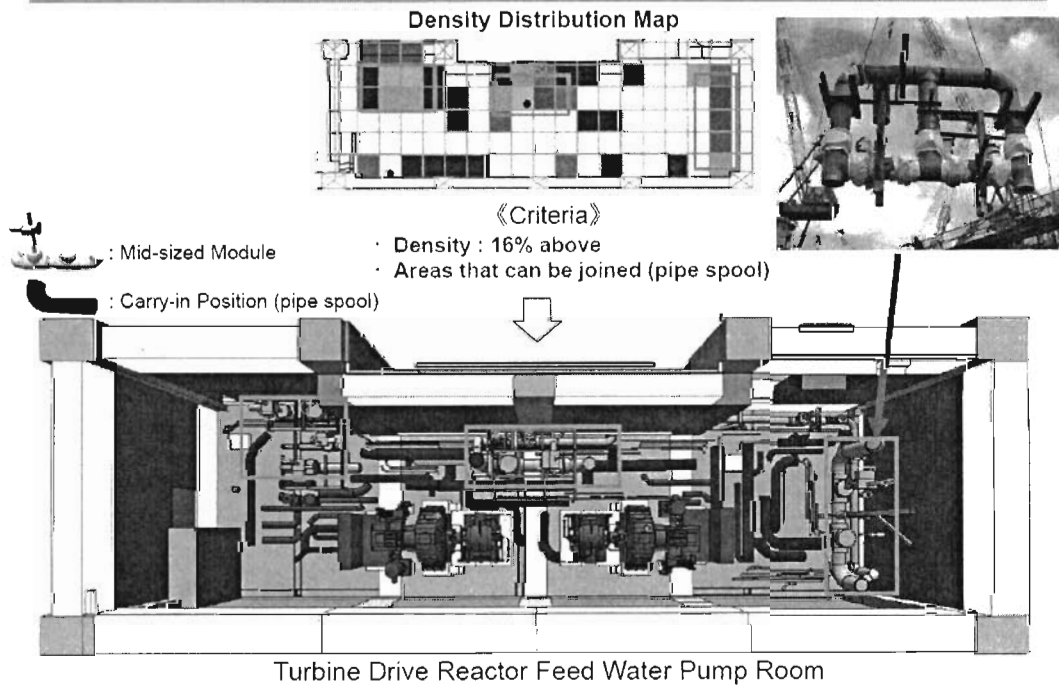
圖三：主/次要徑區域之時程模組



**TOSHIBA**  
Leading Innovation >>>

Copyright © 2010 Toshiba America Nuclear Energy. All rights reserved.

圖四：管路高密度設置區域之成本模組



**TOSHIBA**  
Leading Innovation >>>

Copyright © 2010 Toshiba America Nuclear Energy. All rights reserved.

## 二、系統設備之施工後系統壓力測試

龍門計畫前因國內政經情勢之變更，歷經停建及復建之紛擾，造成各項合約履行之重大爭議，再加施工界面眾多，需耗費極多人力人時來協調整合，導致安裝工期延後；後又遇日本福島事故，核能電廠營運安全倍受關注，為確保安全運轉須再增作各項補強及緊急處理系統及設備，使燃料裝填時程再受衝擊。經此過程，二號機之各項系統設備及管路等，從運抵龍門工地至今，大部分多已歷七、八寒暑，更甚者亦有超過十年者。如何使這些系統得以順利進行試運轉，施工後測試是否完善充足，便成為一個很重要的課題。

另職於出國公務前不久，被指派為二號機施工後測試小組之水壓測試部分聯絡人，故恰好利用此次洽公機會，藉由問題提問及討論方式，澄清了解一號機執行壓力測試所遭遇困難與問題，以供二號機執行壓力測試參考。茲將洽詢討論之結果整理如下：

(一)、問：系統設備及管路經長時間儲存(7~8年以上)及安裝後，在試運轉前應進行之檢查及施工後測試項目有哪些？

答：●系統壓力測試。

●系統沖洗。

●儀器調整校正。

●設備單機測試。

●儀電設備絕緣量測檢查。

●現場 Walk Down 檢查，包含管路吊支架檢查、管路斜率檢查、管閥流向檢查、幫浦和風機手

動轉動檢查等等。

●幫浦和風機馬達單機測試及幫浦單機測試等。

(二)、問：如何規畫安裝後之測試，尤其是系統壓力測試？

答：系統壓力測試一般都在系統設備、管路及吊支架安裝完成後執行，其測試範圍須以系統之設計壓力來劃分，並以幫浦或管閥處來區隔。但若系統係採逐一樓層向上安裝或需配合特殊需求(如模組化管路、埋於水泥內之管路等)安裝，則可先行隔離執行壓力測試。

(三)、問：在東京電力公司柏崎刈羽電廠第六及七號機，壓力測試是以系統為單位執行，還是區分為小範圍執行？

答：壓力測試之測試範圍一般須考量系統狀況、設計壓力、隔離設施及施工方式來決定。例如 class 1 的管路，因其直接與反應爐相連接，且要到一次圍阻體外才有管閥可隔離，故須全部 class 1 的管路與反應爐一併試壓。

(四)、問：在上述機組，有沒有採用氣壓測試來取代水壓測試？如果有，要注意哪些事項？

答：除了避免水入侵的系統，如儀用空氣系統、廠用空氣系統、大氣控制系統(Atmosphere Control System)、蒸汽抽汽系統、輔助蒸汽系統等等，採用汽壓測試外，為了安全考量都採用水壓測試。採用氣壓測試時，為防止洩漏時氣體洩漏噴射之危險，須將測試區域隔離並禁止人員進入測試區。另為免影響其他作業，這些系統之氣壓測試都利用假日時執行。

(五)、問：壓力測試時，加壓幫浦是否可持續運轉？因為龍門機組有些系統採用很多蝶型閥，如寒水系統(P24)、反應器廠房冷卻水系統(P21)、海水系統(P26)等，而該型式之管閥並非設計用來關斷，當其位於試壓邊界時常會內漏而導致試壓失敗。

答：壓力測試時，加壓幫浦一般並不持續運轉，但都隨時準備啟動以補充因洩漏引起之壓力降低。在日本，蝶型閥並不被設計用在關斷隔離用途上，若蝶型閥剛好位於試壓邊界上，可將試壓範圍外擴到次一個可關斷之閘閥或球閥處。

(六)、問：系統壓力測試完成後，因故修改管路後可否免再做壓力測試。

答：基本上，系統壓力測試要在系統管路全部安裝完成後才執行。若不得已需再修改，修改後仍需做壓力測試，但若執行有困難時，日本之法規允許使用 RT、UT 或 MT 取代，惟須報請管制機關同意。但是，ASME SEC III 法規並無類似規定可引用。

(七)、問：除了以管閥或盲板隔離壓力測試之測試範圍外，有沒有其他方法可縮小測試範圍，如冷凍法等，以減省試壓時間。

答：在日本，都是以管閥或盲板隔離壓力測試之測試範圍。Hitachi 及 Toshiba 皆無使用冷凍法隔離試壓範圍之經驗。

(八)、問：壓力測試後應注意或需執行之事項有哪些？

答：壓力測試後應注意將隔離試壓範圍之裝置拆除(如盲板等)，並恢復管閥之開關位置，尤其要記

得將安全閥之鎖定裝置解除。另外，在試運轉前要記得將流量元件回裝，彈簧吊支架之保護插銷要抽除並作設定調整。

### 三、龍門計畫裝機模式及施工後測試之比較

#### (一)、裝機部份：

本公司發電機組以往皆採設備包方式規劃施工，近十幾年來才開始採主廠區統包方式建廠，大潭電廠堪稱範例。龍門計畫原亦擬採用相同統包方式辦理，但因招標過程遭遇困難而不得不加以切割成設備包方式辦理。設計雖採 3D CAD 系統設計，亦採開頂式方式施工，但卻沒有使用模組化設計及施工來平行展開相關作業，而是採邊設計、邊購料、邊施工，且土建、機械、儀控、電氣各自發包採用傳統方式施工。

因為是邊設計、邊購料、邊施工，設計者無法及時取得實際之材料規格資訊，也無法在土木結構施作前及時修訂以預設值設計造成之偏差，造成介面及抵觸增加，協調整合時間大增；又因為未使用模組化設計及施工，設備及管路等無法平行展開模組化製造，而是於每一層樓板封模前，逐項設備、逐個管閥、逐條管節吊運到現場粗定位，待水泥澆灌完成鷹架拆除後，才能進場組立安裝及焊接；再加上未能有效管控施工順序，使得施工規劃、協調、人力及時間都極劇增加。另國內政治情勢更替造成之困擾，使得龍門機組興建更行艱辛、更為長久。

#### (二)、施工後測試部分：

經此次與 Hitachi 及 Toshiba 公司人員進行經驗交流與討論，龍門機組設備及管路從運抵工地至今安裝雖平均已約達十年之久，但比較日本經驗施工後測試之系統壓力

測試，無論是測試前、測試中、測試後，應執行及注意事項基本上是一致的。由此可印證，龍門機組一號機於試運轉前執行之施工後測試是完善的、符合需求的，亦更可增加安全試運轉及發電之信心。綜上，二號機比照一號機執行施工後側試，其周延性應無疑慮。

### 參、國外公務之心得與感想

本次任務行程較為短促，洽公內容也較為專業，且正值本公司全力排除各項技術性及非技術性之困難、動員趲趕一號機試運轉，期能早日進行燃料裝填，且二號機準備進入施工後測試階段之際，心中倍感壓力，但也期待此行所學能對整體計畫後續安裝施工及測試試運轉有所助益。過程中對日方Hitachi及Toshiba人員之研討說明甚感謝意，也對日本工程師對己身工作之責任心及嚴謹態度感到欽佩，不論是設計、模組化安裝、維修動線等整體規劃及工作協調管理，或各部門或工作團隊之全面品質管理或流程再造等創新作為，都令職留下深刻印象。

現階段龍門工程，一號機已進入系統移交及試運轉階段；二號機機械部分已開始進行系統沖洗及水壓測試等階段，待儀電系統完成即可進入施工後測試。個人深深感觸廠區內所有從業人員，不論是甲方台電工程師、AE支援人力或乙方承包商及其協力廠商管理人員、現場作業人員等，若能體認國家核能建設之堅定目標，專注自我工作層面之改造及執行效率之提升，全力投入建廠相關工作，並奉獻自我完成大我整體使命，必能有助任務工程目標之達成，使龍門機組



早日發電商轉，讓全民得以享用更優質安全的電力系統。

#### 肆、建議事項

一、新建核能機組建議儘可能採用大統包方式興建(包含廠房土建工程)。核能機組建廠金額鉅大，採用大統包方式發包興建，標務工作或許相當艱辛，但卻可在統一的管理指揮途徑下，由設計、製造、安裝、施工順序、施工後測試等做整體規劃管控，使電廠得以如期、如質完工發電。

二、若無法採用大統包方式興建，建議：

(一)、應於設備材料採購定案及設計完成後，才開始施工，切勿邊設計、邊購料、邊施工，如此才能減少介面衝突與設計修改，工期及工程品質才能有效管控。

(二)、施工順序規劃管理應委由有經驗之團隊執掌，Field Run之作業要嚴加管控，進場時機更要確實掌握，以免隨意作業造成各種干擾，反而需花費更多之時間及成本來導正。

三、設備及管路建議儘可能採用模組化設計及安裝，如此方可展開工廠及現場之平行作業，不僅可提高工程品質、減少現場作業，進而可使工期得以有效掌控。

四、關於施工後測試部分：

(一)、除可由單一部門執行之工作，如系統壓力測試、管支架設定調整、止回閥及安全閥檢查等等，可於適當時機逕行執行或平行執行外，其他需機、儀、電配合之測試項目，應於機、儀、電全部施工完成後再執行，儘量避免使用臨時設施執行，以收事半功倍之效。

(二)、應成立施工後測試指揮中心，對如RPV水壓測試等需大量人力執行之測試項目、幫浦單機試運轉等須機、儀、電配合之測試項目及有先後順序之測試項目，作統一規劃、人力調度及介面協調，避免各行其事，甚至相互干擾，進而影響整體測試行程。