

核四廠一號機反應器壓力容器安裝
視察報告

行政院子能委員核能管制處
中華民國九十四年六月二十日

目 錄

壹、前言.....	1
貳、視察說明.....	2
參、視察經過.....	11
肆、結論.....	33
伍、視察照片.....	35
附件.....	70

壹、前言

有鑑於國內能源自給率低，及接踵發生的國際性石油危機等，為求能源供應穩定，避免受到石油、天然氣及煤炭等原料供需波動影響，自六十年代初期，政府即開始執行一連串的商业核能發電計畫。直到七十年代已陸續完成核一、二、三廠等建廠及商業運轉之目標，以別於傳統的水力及火力等發電型態，甚至核能發電在國內電力能源供給環中，曾一度超過 50% 以上的供電量，因此在穩定電力供應，協助國內經濟產業的競爭發展上值得肯定。緊接著在核四建廠計畫過程，因美國三哩島及蘇聯車諾比等核電廠事故，使得國際反核勢力抬頭，面對反核聲浪在西方國家方興未艾，加上國內電力能源備載容量偏高等諸多內外因素，也導致核四建廠計畫在七十年代初期完成整地作業後，即暫時停止建廠工程。直到八十年代為紓解高科技產業消耗大量電力帶來缺電的困境，國際環境保護團體對於溫室效應的輿論壓力，以及聯合國對於各國二氧化碳排放限制等，經過冗長的核能議題辯論並取得共識後，使得核四建廠計畫得以再度展開。台電公司於完成各項招標法定程序後，終於在 88 年開始進行土建工程。

在整個核四建廠過程中，不斷為社會多方關注及討論的議題，雖或曾面臨停建及規範更迭等諸多不利因素影響，但在從業人員一致努力下，核四廠一號機之反應器壓力槽 (Reactor Pressure Vessel, RPV) 終於在 94 年 3 月下旬順利完成安裝作業，這在核四廠建廠前後歷經二十餘年的過程，應是一重要的里程碑，象徵最重要的發電設備標的終於在工程推展中踏出第一步，已由初期的土建工程進入發電設備安裝的主體機電工程。根據資料顯示，截至 94 年 2 月底之核四建廠工程進度，

總進度已達到 58.6%，雖然發包及設計部分接近完成階段，然實體施工部分之進度仍在 43.82%，尚未達到一半，與原計畫進度仍有一段落差。由於核四建廠工程極為複雜，因此冀望本次 RPV 的安裝，也是建廠的一個分水嶺，代表建廠工程進入另一階段，使進度更上一層。

基於核能管制之職責及對於核四建廠期間的重點查證措施，原子能委員會在本次一號機 RPV 安裝過程，即組成專案視察小組，執行此項作業視察工作。RPV 安裝作業涉及各種不同的工程領域，專業分工及界面協調尤為關鍵，由於 RPV 在放置於基座前係儲放在倉庫中，之間的運輸及吊運等作業均須透過專業人員執行，因此準備工作早在去年已開始著手進行；此外，RPV 本體和儲存環境的維護及基座相關設備的安裝也都須同時執行，緊接著 RPV 放置後的定位工作及施工期間的維護也都必須完成或持續進行，因此各項作業所引用的程序書在台電公司與各承包廠家的合作下須事先撰寫完成，俾便遵循。本視察即針對此次的 RPV 安裝規劃及執行過程進行查核工作，並將此次視察所發現之缺失建議台電公司改善，使下次二號機 RPV 的安裝工作更臻完善，確保機組將來運轉安全無虞。

貳、視察說明

本次視察工作，實際上自去(93)年第四季即已開始準備，首先由參與本次視察之本會核研所同仁著手收集相關資料，接著並撰寫「RPV 安裝視察導則」俾供參考遵循。同時為配合一號機 RPV 安裝作業時程，自今年初已安排視察工作並陸續展開(附件一)，根據工作性質及施工順序分為六大項目，分別是：

1. 地錨螺栓安裝(Anchor Bolt Installation)

2. 承載板安裝(Bearing Plate Installation)
3. RPV 運輸及吊運(RPV Transportation and Lifting)
4. RPV 安裝及定位(RPV Installation and Alignment)
5. 穩定器安裝(Stabilizer Installation)
6. RPV 儲存及維護(RPV Storage and Environment Control)

上列第 1、2 項是 RPV 基座現場進行地錨螺栓及承載板放置作業，屬安裝工作之前置作業，第 3 項是 RPV 自倉庫運吊至安裝現場之作業，緊接著是第 4 項的 RPV 安裝定位及鎖磅，是本次作業之主體性工作，第 5 項是防止 RPV 受側向力影響的工作，至於第 6 項則是 RPV 放置於基座後之儲存維護，須持續執行至建廠完成之項目。各項視察內容在視察經過將另有詳細說明。至於作業程序方面，各項作業均備有程序書可供遵循，其中第 1、2 及 5 等三項之程序書與 RPV 安裝有直接關係，主要是顧問公司(中鼎)根據 GE 公司文件-反應器槽安裝規範(Reactor Vessel Installation Specification, 編號 26A5273)，同時參酌其他相關工程圖面編寫，並徵得 GE 公司同意後始正式發行之程序書；至於其它部分，則是顧問公司根據計畫書及工業法規之作業規定，經檢討改善後所研擬者。另外，有關本次視察主體 RPV 之各項設計功能及參數，如核四廠反應器結構及反應器基座等之簡要介紹如下，期能對 RPV 安裝工程更深入瞭解。

一、ABWR 反應器結構功能簡介

核四廠為進步型沸水式核能電廠(Advanced Boiling Water Reactor, ABWR)，共安裝兩部機組，每部機組有一座反應器壓力槽(Reactor Pressure Vessel, RPV)(附件二)為奇異公司設計，設計使用壽命為 40 燃

料循環周期，額定熱功率輸出為 3926MWt，一號機反應器壓力槽為日本的日立公司(HITACHI)子公司 Babcock-Hitachi K.K.(BHK)製造，二號機反應器壓力槽為日本的東芝公司 (TOSHIBA) 下包商石川島播磨重工業株式會社(IHI)製造，反應器壓力槽主要的功用是用來包封爐心、內部組件和反應器冷卻水，做為完整性的屏蔽，以防止壓力槽內放射性物質外洩到乾井，並提供可產生高乾度飽和蒸汽之空間。在壓力槽發生一次系統破管，造成冷卻水流失事故時，可以供給一個足夠冷卻爐心的淹沒水容量空間。核反應加熱爐水，產生成蒸汽，經過汽水分離器及乾燥器，導出反應器壓力槽外驅動汽輪發電機組做功，產生電力。汽輪發電機組由日本三菱公司(MITSUBISHI)製造提供，額定出力為 1356MWe。

(一)反應器壓力槽設計基準考量分為安全功能及發電功能分敘如下：

1.安全功能：

- (1)反應器壓力槽與內部組件提供爐心灌水所需的容積，在發生壓力邊界破裂的情況下，能確保爐心有足夠的冷卻。壓力槽有穿越管能提供數種壓力槽灌水的方法。
- (2)防止內部組件變形，保證控制棒及緊急爐心冷卻系統都能發揮其安全功能。
- (3)反應器壓力槽是反應器冷卻水壓力邊界(Reactor Coolant Pressure Boundary, RCPB)的主要部份。
- (4)反應器壓力槽要能支持控制爐心反應度的系統。
- (5)反應器壓力槽系統在控制棒驅動系統外殼(Control Rod Driver Housing)故障的事故，也要能包容控制棒與驅動機構，以防控

制棒射出。

- (6)反應器壓力槽系統在結構體故障的事故中，也要能包容爐內循環水泵(Reactor Internal Pump, RIP)，以免其損害在爐槽下方的控制棒驅動液壓管與其它組件。

2.發電功能：

- (1)任何預期正常運轉情況下，提供適當的冷卻水分佈，使爐心功率運轉而不損壞燃料。
- (2)燃料填換時，爐蓋、乾燥器、汽水分離器與同一組件之側板蓋等能方便拆除，內部循環水泵方便檢查。
- (3)蒸汽在進入汽機前，水份要能由蒸汽中移除。
- (4)使返回爐心的飼水與由汽水分離器分離出來的循環飽和水充分混合，使降流區的水成為溫度均勻的過冷水，提高內部循環水泵的淨正壓吸水頭(Net Positive Suction Head, NPSH)。
- (5)能提供數種停機熱移除的方式。

(二)反應器壓力槽主要組件簡介

反應器壓力槽是依照美國機械工程師學會第三篇(ASME Code Section III Div I)鍋爐與壓力容器法規來設計、製造、測試與檢驗，壓力槽與支持系統的設計要符合第一類耐震的要求。於日本組裝製造的反應器壓力槽並不包括內部的主要組件，如乾燥器、汽水分離器、燃料棒、控制棒、功率偵檢器、內部循環水泵等，此等組件需待反應器壓力槽安裝定位之後組裝。核四廠一號機 RPV 於 92 年 6 月 18 日 17 時運抵核四 RPV 儲存倉庫，二號機 RPV 於 93 年 7 月 7 日 14 時運抵核四 RPV 儲存倉庫，反應器壓力槽與爐蓋分成兩大組件運送，內部充

填氮氣以防止銹蝕。

運抵核四 RPV 儲存倉庫的反應器壓力槽主要結構組件包括爐蓋 (Closure Head)、殼環(Shell Ring)、球形底蓋(Spherical Shell)、壓力槽支持裙板(Support Skirt)、噴嘴(Nozzle)、爐心側板支撐及支撐環(Core Shroud Leg and Ring)以及內部循環水泵馬達殼(Internal Motor Casing)等。

1. 爐蓋

反應器壓力槽是由一個有凸緣法蘭的半球形的爐蓋鎖在壓力槽上法蘭(Top Flange)所組成，爐蓋總重量 1009kN (約 103 公噸)。爐蓋材料為(SA-533 Type B Class 1)，爐蓋內徑 3353mm，最大厚度有 115mm。爐蓋凸緣材料為(SA-508 Class 3)，爐蓋內部表面處於蒸汽環境不易腐蝕，故未予不銹鋼覆鍍。凸緣法蘭覆鍍 1/8”厚英高鎳，有兩同心圓槽，為安裝鍍銀英高鎳 O 型封環位置，二環之間設有測漏裝置，可以偵測反應器壓力槽凸緣密封是否有洩漏。

2. 殼環與球形底蓋

反應器壓力槽主體是由四層殼環銲接而成，上方有凸緣法蘭與爐蓋凸緣法蘭以螺栓連結組成，下方與球形底蓋銲接而成，總重量 9092kN (約 928 公噸)。第一、二層殼環材質(SA-508 Class 3)為一體鍛造，第三、四層材質(SA-533 Type B Class 1)為淬火回火(Quenched and Tempered)材料，滾壓製成兩半圓後銲接，內部表面覆鍍 1/8”不銹鋼。

球形底蓋材質為(SA-508 Class 3)，內部覆鍍 1/8”英高鎳，有 10 支內部循環水泵(Reactor Internal Pump, RIP)、205 支控制棒

殼、52 支局部功率階偵檢器、10 支起動階中子偵檢器、1 支底部洩水管、4 支爐心底鈹差壓儀器管、4 支內部循環水泵差壓儀器管等貫穿短管(Stub Tube)。

3. 壓力槽支持裙鈹

壓力槽支持裙鈹由壓力槽向外延伸成錐形，壓力槽安裝時支持裙鈹法蘭將座落在反應器基座承載架(Reactor Pedestal Bracket)上方的承載鈹。錐形的支持裙鈹與圓筒狀的 BWR 壓力槽支持裙鈹不相同，如此在 ABWR 爐底下方才有足夠的空間安裝內部循環水泵。壓力槽支持裙鈹材質為(SA-533 Type B Class 1)。

4. 噴嘴(Nozzles)

反應器壓力槽上有 4 支主蒸汽管噴嘴、6 支飼水進口管噴嘴、2 支低壓爐心灌水/停機冷卻系統回水管(LPCF/SDC)噴嘴、3 支停機冷卻系統取水管(SDC)噴嘴、2 支高壓爐心灌水(HPCF)噴嘴及 12 支水位儀器管噴嘴，噴嘴材料為(SA-508 Class 3)，內部表面覆鍍 1/8" 不銹鋼。

5. 爐心側鈹支撐及支撐環

有 10 支爐心側鈹支撐(材質 SB-168)銲接在球形底蓋，上接支撐環(材質 SB-168)，其上再接爐心側鈹(Core Shroud)，此項尚未安裝。甲鈹(Pump Deck)銲接於爐心側鈹和壓力槽內壁，作為內部循環水泵之擴散管的橫向與垂直的支撐。

6. 內部循環水泵馬達殼

10 支內部循環水泵馬達殼銲接於球形底蓋的貫穿孔，為 ABWR 與 BWR 最主要不同之處，以內部循環水泵代替外部的再

循環水管及循環水泵，新設計可免除再循環水管的晶粒間應力腐蝕(Inter Granular Stress Corrosion Crack, IGSCC)產生的破管問題。

二、反應器基座簡介

核四廠反應器基座(Pedestal)係承載核能電廠最重要的反應器，依據核四廠初期安全分析報告(PSAR)第三章，反應器基座之鋼構銲接作業應遵循 1990 年版美國銲接協會(American Welding Society, AWS)鋼鐵銲接規範(Steel Welding Code D1.1)，簡稱 AWS D1.1-90。反應器基座分成五層製造，第一層是反應器承載的基礎，為一雙圓柱型鋼構，分內、外兩圈鋼板，中間以肋板徑向連接，於中國造船廠分塊(Block)組裝銲接，運送至核四工地後安裝、組立銲接成一體，基座座落在反應器廠房地錨環型鋼板(Upper RPV Pedestal Anchorage Ring Plate)，該鋼板下為鋼筋混凝土，共厚達 5.5 公尺的圍阻體基礎層(Foundation Mat)，反應器基座安裝檢查完成後，基座內部安裝有十支乾井銜接逸氣管(Drywell Connecting Vents, DCVs)、上乾井洩水管、主蒸汽洩壓閘閥罩排氣管、導線管等管路，基座內部更以混凝土填充，作為輻射屏蔽之用。

反應器基座第一層(Shell 1)，高 12.70 公尺，外徑 14 公尺，內徑 10.6 公尺之雙圓柱狀鋼構，重約 480 公噸，因體積龐大，為因應運輸之便利性與可行性，於工廠製造時分成四塊各涵蓋 90⁰ 圓弧之扇型鋼構，運送至核四工地後再將四塊鋼構依設計位置定位，並加以組立銲接而形成完整之第一層基座鋼構，內板(Inner Shell)為 A572 Gr 65 厚 32mm 之碳鋼板，外板(outer shell)為 A533 Type B Class 2 低合

金淬火回火鋼，其厚度亦為 32mm，但外鈹外側另被覆以 3.2mm 之 A240 Type 304L 不銹鋼，內、外鈹間以厚 38mm 之 A572 Gr 50 碳鋼徑向銲接接合，稱之為肋鈹(Rib Plate)，共有 20 塊肋鈹，隔成 20 艙。每間隔一艙安裝一支外徑 1213mm 不銹鋼乾井銲接逸氣管共 10 支，其上方有通道連接上、下乾井區，乾井銲接逸氣管向下延伸與三支外徑 700mm 之水平向逸氣出口管，進入抑壓池(Suppression Pool)，同時裝有一支水平通水管，管內裝設可溶性灌水閥，作為嚴重事故時，高溫會將之熔解而使抑壓池水能進入下乾井區，以提供冷卻水保護基礎(Base Mat)。

第一層基座外鈹銲接，依照施工規範要求，所有之淬火回火鋼銲後均要執行銲後熱處理(Post Weld Heat Treatment, PWHT)，以減少銲後的收縮應力。濕井的正常水位是 7.05 公尺，第一層基座鋼構外鈹被覆不銹鋼祇作為防銹蝕之用，基座強度計算並不包括不銹鋼的厚度，所有在外鈹銲接的支撐架不可直接銲在被覆不銹鋼上，而應將被覆不銹鋼磨除，再以不銹鋼 E309L 堆疊銲接(Build Up)一塊厚 6mm 以上的不銹鋼支撐墊鈹(Spacer Plate)並執行銲後熱處理，以作為主蒸汽洩壓閥排汽管支撐架、主蒸汽洩壓閥閥罩排氣管支撐架、濕井溫度元件支撐架及導線管支撐架銲接時的熱緩衝(Thermal Buffer)用，如此可免除因銲接支撐架的熱影響區(Heat Affected Zone, HAZ)到達 A533 Type B Class 2 材料，而再執行一次銲後熱處理。

反應器基座第二層(Shell 2)，高 2.200 公尺，外徑 14 公尺，內徑 10.6 公尺之雙圓柱狀鋼構，重約 102 公噸，於中國造船公司預組成四塊鋼構，運送至核四工地，依設計位置定位，並加以組立銲接而

形成完整之第二層基座鋼構，內鈹(Inner Shell)為 A572 Gr 65 厚 32mm 之碳鋼鈹，外鈹為 A572 Gr 65 厚 32mm 之碳鋼鈹，肋鈹 A572 Gr 50 厚 38mm，第三、四、五層材料規範皆與第二層相同，第二層安裝八支真空破除器(Vacuum Breaker)連接濕井和下乾井。

反應器基座第三層(Shell 3)，高 2.010 公尺，外徑 14 公尺，內徑 8.2 公尺之雙圓柱狀鋼構，重約 191.7 公噸，於中國造船公司預組成四塊鋼構，運送至核四工地，並加以組立銲接而形成完整之第三層基座鋼構，反應器將座落在此層內部的支撐架上，安裝反應器支撐架(RPV Support Bracket)材料為 A572 Gr 65 厚度 80mm，使用大型平面銑床將安裝面銑平，該支撐架之下方為下乾井，以 120 支的地錨螺栓(Anchor Bolt)將反應器連結在一起。

反應器基座第四層(Shell 4)，高 2.365 公尺，外徑 14 公尺，內徑 10.6 公尺之雙圓柱狀鋼構，重約 120 公噸，於中國造船公司預組成四塊鋼構，運送至核四工地，並加以組立定位銲接而形成完整之第四層基座鋼構。

反應器基座第五層(Shell 5)，高 1.200 公尺，外徑 12.6 公尺，內徑 9.4 公尺之圓柱狀鋼構，重約 58.2 公噸，於中國造船公司預組成四塊鋼構，在核四工地的工廠組裝銲接成一塊第五層，直接吊放安裝，第五層的外圈銲接一塊凸緣外徑 7.100 公尺。並用一塊 A516 Gr 70 厚 16mm 之碳鋼封鈹(Seal Plate)與反應器鋼筋強化混凝土包封容器(Reinforced Concrete Containment Vessel, RCCV)的襯鈹銲接，其上再澆置 1.2 公尺厚的混凝土，形成隔膜地板(Diaphragm Floor)，將一次圍阻體分隔成上乾井和濕井。

參、視察經過

一、地錨螺栓安裝

地錨螺栓安裝工程依施工順序包含反應器基座支撐托架地錨螺栓孔鑽孔、反應器基座支撐托架平面加工、模鈹安裝與地錨螺栓安裝、地錨螺栓混凝土澆置等重要工作項目，重點視察結果分項彙整於下：

1. 基座支撐托架鑽孔

前文曾介紹 RPV 支撐裙鈹將坐落於此結構上，RPV 支撐裙鈹(RPV Skirt Flange)上設計有 120 個螺栓孔，支撐托架上下鈹須配合 RPV 支撐裙鈹上螺栓孔之 Hole Pattern 鑽孔。依據 GE 公司施工規範「Reactor Interface Control Drawing (ICD)」，支撐托架上下鈹各 120 個螺栓孔直徑尺寸為 74 ± 0^1 mm，螺栓孔中心點位於以基座中心為圓心，直徑 8810 mm 之圓周上，鄰近孔洞中心以基座中心為圓心，每 3° 等距離分布，上下鈹各 120 個孔洞需垂直相對應，孔洞中心位置容許誤差為 ± 0.9 mm。

不同於後續其他由中鼎公司負責施工之 RPV 安裝相關作業，此項工程屬於反應器基座安裝的一部分，承包商為中船公司。中船公司採用之施工方式相當傳統，孔洞中心點劃線再以中心衝定位後，移動式鑽床逐一於支撐托架上鈹鑽孔加工，下鈹則利用加長鑽頭以類似方式施工。

孔洞中心點角度之測量，中船公司係採用光學經緯儀，但是孔洞中心點半徑之測量方式則相當傳統，以校正過之鋼捲尺測量。測量結果符合 GE 施工規範設計值。

依據「Reactor Vessel Installation Specification」，後續作業承包商中鼎公司需驗收確認支撐托架上下鈹各 120 個螺栓孔尺寸及位置，中鼎公司採行之測量方式與中船公司雷同，孔洞中心點半徑之測量方式亦以校正過之鋼捲尺測量，測量結果符合 GE 施工規範設計值。

2. 基座支撐托架上鈹平面加工

基座支撐托架鑽孔加工完成後，中鼎公司接續執行支撐托架上鈹平面加工，以作為日後 RPV 安裝之承載基準平面。機械加工後，支撐托架上鈹平面須符合施工規範「Reactor Vessel Installation Specification」Note 21 之要求，其規定為加工面水平 (Level) $\leq 0.8\text{mm}$ ；平整度 (Flat) $\leq 0.4\text{mm}$ ；表面粗糙度 $\leq 6.3\ \mu\text{m}$ ；上鈹平面高程： $8232\pm 3\text{mm}$ 。

中鼎公司將此大型工件平面機械加工委託國外專業公司執行，將巨型工具母機 CSLM (Circular Self Leveling Mill Machine) 架設在反應器基座內部，調整 CSLM 水平後，執行支撐托架上鈹平面加工。查證其加工後測量檢驗紀錄，符合施工規範要求。

3. 模鈹安裝與地錨螺栓安裝

基座支撐托架上鈹平面加工完成後，後續工程為地錨螺栓安裝，依據「Reactor Vessel Installation Specification」，施工者須依據 RPV 原製造廠家提供之工程圖面，製備模鈹 (Template) 並組合安裝以供地錨螺栓 (Anchor Bolt) 安裝時使用。原設計之安裝基本概念為要求施工者利用模鈹模擬 RPV Skirt Flange Hole Pattern 之精度要求，先將模鈹安裝於支撐托架上鈹平面，藉由模鈹精度要

求來確保 120 支地錨螺栓安裝後，能符合工程界面條件要求。依據中鼎公司程序書「RPV Anchor Bolt Installation & Inspection Procedure」，模鈹、套管(Bush)、地錨螺栓相對關係應如附件三 所示，套管屬於模鈹重要零件，主要功能除可更精準限制地錨螺栓安裝位置之外，在地錨螺栓預力鎖磅時，鎖磅扭力藉旋轉螺帽，將鎖磅力經由套管垂直傳至模鈹，達到固定模鈹與地錨螺栓及地錨螺栓預力之目的。套管細部尺寸及與模鈹之相對關係局部放大如附件四。如果 Pedestal Bracket Plate 上孔洞中心位置符合施工圖面誤差範圍，而且 Template 上 Hole Pattern 之精度尺寸亦符合設計要求，理論上地錨螺栓應可如附件三 般順利安裝進入 Bush、Template 與 Pedestal Bracket Plate 孔洞中。

現場視察發現，Template、Bush、Anchor Bolt 安裝施工並不如上述理論上順理成章般順利，部分 Anchor Bolt、Bush 順利座落於相對之 Template 孔洞之中，但也有部分地錨螺栓安裝位置超過容許誤差，經調整 Template 位置後，仍有超過半數之 Bush 需要加工擴大誤差容許度後，地錨螺栓方能順利進入 Pedestal Bracket Plate 上孔洞內。

中鼎公司藉由機械加工方式使 Bush 下方外徑減少，利用外加碳鋼片將地錨螺栓固定，待地錨螺栓逐一測量定位後，於地錨螺栓鎖磅前再以銲接方式將 Template、Bush 及外加碳鋼片固定，避免鎖磅作業時導致地錨螺栓位移。

依據中鼎公司程序書「RPV Anchor Bolt Installation & Inspection Procedure」，三支上方可安裝定位銷(Dowel Pin)之地錨

螺栓須依序安裝於基座承架上孔洞位置，位置編號分別是 40、80、120，現場視察發現模鈹上孔洞編號 40 位置竟然安裝一般之地錨螺栓，經詢問汽源課及中鼎公司工程師後，已澄清其原因。係原廠地錨螺栓上方之編號與基座承架上孔洞位置編號並不完全一致所引起（節錄自原製造圖 KUO-190-079），孔洞位置編號 1~39，應安裝之地錨螺栓上方之編號為 301-1~301-39；孔洞位置編號 41~79，應安裝之地錨螺栓上方之編號為 301-40~301-78；孔洞位置編號 81~119，應安裝之地錨螺栓上方之編號為 301-79~301-117；另三支應安裝於孔洞位置編號 40、80、120 之定位銷地錨螺栓，螺栓上方之編號為依序為 301-118、301-119、301-120。中鼎公司為便於現場工作人員確認，將螺栓上方編號後面數字預先寫在 Template 孔洞上方作為記號。現場抽查地錨螺栓安裝順位，含可以安裝定位銷之地錨螺栓，地錨螺栓安裝順位經查證應符合程序書及原廠物料編號之相關規定。

依據「Reactor Vessel Installation Specification」，基座支撐托架表面與地錨螺栓螺帽接觸處之油漆、銹皮、髒污均須於地錨螺栓安裝前予以清除。現場視察發現，基座支撐托架下鈹表面除了部份鐸道表面鐸冠磨平處符合上述規定外，其餘部分表面之原鋅粉底漆(Primer)並未去除。經施工處發函請 GE 公司澄清後，GE 公司以電子郵件回覆，指出底漆(Primer)比塗漆(Paint)薄，且具有較強附著力，將底漆留在基座表面並不違反原 GE 規範要求。GE 公司雖然僅以電子郵件方式說明 Primer 與 Paint 之差異，以程序而言應可視為解釋規範，規範內容無須修改之虞。

依據「Reactor Vessel Installation Specification」及程序書，地錨螺栓安裝合格標準為伸出量 $275\pm 5\text{mm}$ ；中心位置半徑 $4405\pm 1\text{mm}$ ；垂直傾斜度 $\leq 0.5\text{mm}/200\text{mm}$ ，方位角度誤差 ≤ 46.8 秒；中心間距 $203.6\pm 1.0\text{mm}$ ，此外 120 支地錨螺栓安裝後需依據程序書規定執行鎖磅作業，磅數為 $470\pm 98\text{N}\cdot\text{m}$ 。

中鼎公司依規範及程序書規定分別於地錨螺栓鎖磅前、後逐一測量 120 支地錨螺栓安裝精度，中鼎公司除利用全測站經緯儀、分度計(Protractor)等經校驗之精密測量儀器之外，地錨螺栓中心點半徑之測量方式，仍以校正過之鋼捲尺測量。查證中鼎公司「反應器地錨螺栓高程及位置檢驗紀錄表」，120 支地錨螺栓高程及位置符合施工規範接受標準，且鎖磅作業依規定順序以扭力扳手(Torque Wrench)執行。

4.地錨螺栓混凝土澆置

120 支地錨螺栓在 RPV 安裝工程中扮演結構組件與設備固定之功能，前文安裝位置精準度要求，目的為符合後續 RPV 安裝介面條件；基座支撐托架內部混凝土澆置，目的則為永久固定地錨螺栓，使其成為結構之一部分。依據 GE 公司「Reactor Vessel Installation Specification」5.7 Template Removal 規定，地錨螺栓混凝土強度須達到設計抗壓強度或更高，才能將 Template 移除。視察發現下列事實，其一：地錨螺栓混凝土澆置時間為 2 月 7 日，設計強度為 4000psi；其二：Template 拆除時間為 2 月 22 日，混凝土養護時間僅 15 天；其三：依據品質課提供之混凝土圓柱試體抗壓強度試驗報告，2 月 14 日二個試體材齡 7 天之抗壓強度

分別為 2923 及 3144psi，3 月 7 日二個試體材齡 28 天之抗壓強度分別為 5842 及 5884psi，並無證明 Template 拆除前混凝土強度已達到設計抗壓強度之佐證文件；其四：施工處汽源課、土木課主辦工程師均認為 GE 規範該項要求無意義且不合工程常規，而品質課對於此規範要求並未確實掌握。

GE 規範中對於地錨螺栓混凝土強度要求相當明確，原文如下：「The template shall not be removed until concrete of the steel structure of Reactor Pressure Vessel Foundation (Pedestal) is cured and attains its design compression strength or higher.」。從落實品保制度的角度著眼，如果台電公司認為此規定無意義且不合工程常規，應正式要求原設計者更改規範。雖然 RPV 安裝已完成，仍建議台電公司應儘速澄清此規範要求之適用性，並作為二號機地錨螺栓混凝土施工之依據。

另外根據坊間出版之測量學書籍所述，捲尺測量技術可能產生(1)捲尺未拉直(2)對點不準(3)最小刻劃以下讀數估計不準等偶然誤差。建議施工處應督促核四承包廠家，採用更精準測量技術，盡量降低人員操作因素(Human Factor)可能誤差，才能更有信心確認工程介面條件已完全符合原設計規範。

二、承載板安裝

地錨螺栓安裝完成且混凝土強度須達到設計抗壓強度，移除已完成階段性功能的 Template 後，後續工程為承載板(Bearing Plate)安裝作業。一號機承載板材料為 SA-36，由二個半圓組合而成外形類似土星環之金屬環狀組件，其尺寸為外徑 8998mm、內徑 8230mm、厚度 50mm、

重量約為 4359Kg。原廠家日本 Babcock-Hitachi K.K.(BHK)公司設計工程圖面「KUO-190-065」顯示，承載鈑之製造、檢驗需遵循 ASME Code Sec III DIV. 1 Subsection NF 規範之相關規定與要求。

承載鈑將安裝於基座支撐托架加工面上，RPV 支撐裙鈑直接坐落其上。承載鈑由 RPV 原製造廠家設計、製造，其主要功能有二，除能提供 RPV 與結構間全平面承載條件之外，另一功能為容許施工者配合現場施工現況與 RPV 支撐裙鈑施工精確度，利用墊片(Shim)插入承載鈑與基座支撐托架之間，微調承載鈑平面水平，以確保 RPV 安裝後爐體垂直度。依據「Reactor Vessel Installation Specification」，若 RPV 支撐裙鈑平面相對於爐體中心線之垂直度(Perpendicularity)不大於 0.8mm，則承載鈑安裝之合格標準需依原製造廠規範要求。查證原廠家 BHK 公司工程圖面「KUO-190-078」及中鼎公司程序書「RPV Unit 1 Bearing Plate Installation and Inspection Procedure」規定，安裝合格標準為承載鈑上表面 18 個位置內外共 36 個測量點之最大水平傾斜量(Inclination of Elevation) $\leq 0.4\text{mm}$ 。另查閱一號機 RPV 品質文件中原製造商之完成品尺寸圖(As Built Drawing)，圖號 AS-2(L1)RPV-0107 (1/2)，RPV Skirt Flange 與 RPV Centerline 之垂直度誤差最大值出現在 45°位置上，數值為-0.76mm，其絕對值小於 GE 規範 0.8mm，查證結果確認承載鈑安裝最大水平傾斜量之合格標準為不大於 0.4mm。

中鼎公司於 94 年 3 月 10 日開始承載鈑吊裝作業，3 月 17 日施工處完成安裝後會驗，此期間本會同仁全程參與承載鈑安裝作業，視察過程概要彙整於下：

1. 依據原廠工程圖面「KUO-190-078」及中鼎公司程序書「RPV Unit

1 Bearing Plate Installation and Inspection Procedure」，二片半圓形承載鈹應先組成一體後，並於安裝過程中維持承載鈹水平吊移。但中鼎公司因現場屏蔽牆內部上方仍有一半施工架尚未拆除，於是因地制宜採用逐一將單片承載鈹吊運入基座內部再行組合安裝之施工方式，明顯與程序書規定不符。於現場向汽源課、品質課及中鼎公司提出質疑後，施工處要求承包商中鼎公司徵詢原製造廠及 GE 公司意見，經確認原設計者及原製造商均同意更改後之施工方式，於 3 月 11 日完成作業程序書變更後，中鼎公司再依據程序繼續進行後續安裝工程。

2. 依據 GE 公司「Reactor Vessel Installation Specification」，基座支撐托架加工面與承載鈹表面防銹塗層(Rust Prevention Agent)及塗漆(Paint)或銹垢(Scale)均須完全清除。中鼎公司原預訂 3 月 12 日要執行承載鈹調整水平工作，但 11 日晚一場雨由屏蔽牆的開口飄入淋濕基座支撐托架和承載鈹，雨水甚至滲入二者接觸面夾縫中，接合面明顯有銹蝕產生。中鼎公司以調整螺栓將承載鈹頂起約一公分的縫細，以乾布擦拭再用壓縮空氣吹乾淨，但是無法將銹漬完全清除，在施工處督促之下，中鼎公司利用吊掛(Chain Block) 將承載鈹吊起後徹底清潔，基座支撐托架加工面與承載鈹表面清潔狀況始能完全符合施工規範要求。

3. 現場視察安裝後水平測量作業方面，3 月 14 日第一次測量結果，最大水平傾斜量為 0.8mm，經中鼎公司以墊片調整後，3 月 17 日施工處會驗結果，最大水平傾斜量為 0.4mm，符合最大水平傾斜量 $\leq 0.4\text{mm}$ 之施工規範要求。

4.為保護承載鈹表面和地錨螺栓的螺牙，中鼎公司特製塑膠套將每支地錨螺栓套住，並以耐火布蓋住承載鈹，同時在屏蔽牆上安裝臨時遮護鈹，防止上方墜落物或銲接火星等異物可能造成之損壞。承載鈹內部支架(紅色鋼樑)於3月19日依程序書規定切除後吊離，後續研磨作業亦於當日順利完成。承載鈹安裝作業完成後，基座內部至此已經完成RPV吊裝前所有前置準備作業。

三、RPV 運輸及吊運作業

本項作業共分為兩階段進行，分別由不同承包商承攬專業性工作，一為運輸作業，另一為吊裝工作。第一階段是RPV自儲存倉庫搬運至待吊裝之等待區，接著先在等待區拆卸裝於支持裙鈹之儲運架、及RPV之前因儲運架包封未處理之底部保養工作後，再由該區域吊運至RPV基座之安裝位上，進行安裝對位等工作，整體作業及查證經過說明如下。

(一) RPV 自儲存區至待吊區之運輸作業

台電公司龍門施工處為使得一號機RPV之搬運能安全順利，並且對提供重件通行之運輸道路，能及早發現其缺失以謀補救，於94年3月13日依照RPV試運作業施工計畫書(C2739-71P-060 Rev.0)模擬重量測試運輸，將模擬試運驗證所使用的設備及方法，加以修正、改善缺失以符合RPV實際運輸所需之最終條件。

此次承攬一號機RPV運輸作業之承包商是陸海運輸公司(Sea & Land)，主要運輸工具是運輸專用之自走式油壓特種板車，其尺寸(L×W×H)為24161mm×8974mm×10087mm，承載部分僅RPV重量就有1007噸，另運輸架為87噸，RPV試運時之總重共1094噸。試運配重

法碼之準備，是於 RPV 儲存倉庫前面以 20 呎空櫃裝填沙及水泥塊組立而成，並將貨櫃均勻交錯放置，並以固定器安置於承荷重量 1500 噸自走式油壓特種板車。3 月 13 日 10 時 06 分一號機反應器壓力槽循規劃之搬運路線行進，由儲存區運輸至待吊裝位置，10 時 43 分運抵一號機反應器廠房南側，完成 RPV 模擬試運作業，並驗證試運作業計畫書確實可行。

3 月 18 日上午 9 時 15 分開始執行一號機反應器壓力槽搬運作業，10 時安全順利搬運至指定卸運位置。其運輸情形查證結果如下：

- 1.查證一號機 RPV 試運作業施工計畫書及中鼎公司 RPV 試運堆高機自主檢查表(QC-07-060)、RPV 試運設備器材裝(卸)車作業自主檢查表(QC-09-060)、RPV 試運自走式油壓特種板車輪胎裝載自主檢查表(QC-09-060)、RPV 試運移動式輪胎／履帶起重機自主檢表(QC-17-060)、反應器壓力容器試運自主檢查表(QC-14-060)之結果，確認檢驗內容、檢驗標準及檢驗方式均符合程序書規定，中鼎公司自主檢驗結果均符合檢驗標準之規定。
- 2.查證 RPV 試運堆高機檢驗表(TG-07-060)、設備器材裝(卸)車作業檢驗表(TG-09-060)、自走式油壓特種板車輪胎裝車檢驗表(TG-13-060)、移動式輪胎／履帶起動機檢驗表(TG-17-060)及反應器壓力容器試運作業檢驗表(TG-14-060)之結果，確認檢驗內容、檢驗標準及檢驗方式符合程序書規定，各項檢驗結果均符合檢驗標準之規定。
- 3.查證 RPV 搬運及裝(卸)車作業檢驗表(龍門源 004-M-053-002)之結果，確認 RPV 吊裝檢驗作業前均依施工計畫書執行查驗，另

查證 RPV 裝運位置、RPV 固定方式、檢驗人員及機具車輛等之查驗均符合施工計畫規定。

- 4.查證 RPV 運輸指揮系統，運輸道路補強及運輸道路障礙物排除情形，結果均符合計畫書規定。此次搬運道路補強及障礙物排除之主要項目為路燈暫移除、水溝及地下電纜人孔平鋪鐵板。
- 5.查證一號機 RPV 運輸行進路線，發現 RPV 運輸路線在一號機汽機廠房南側轉角處未確實依照試運輸路線圖先後退調向而直接行大右轉，此舉雖與試運路線圖不符，但其操作不至影響運輸作業及設備安全，故不要求台電作進一步說明。

(二)RPV 吊裝作業

本次 RPV 之吊裝作業，除所使用之吊裝機具為目前世界上最大，吊升能力達 3600 噸大型吊車外，尚須多輛起重機具協助配合相關作業才能順利完成，為使 RPV 吊裝作業能在審慎且安全的情況下順利進行，本次視察係將吊裝機具之可用性列為重點查證項目，包括：維護保養情形、操作人員之證照、機具之使用期限等。經查證結果，本次吊裝所預定使用之機具有(1)固定式起重機(MSG-50)，(2)409 噸履帶式起重機，(3)120 噸履帶式起重機，(4)120 噸卡車式起重機，(5)吊卡車(框式附加吊桿)，(6)23 噸堆高機，(7)7 噸堆高機，以上之起重機其使用有效期均在規定日期內，操作員亦均取得操作執照。包括荷蘭籍 MAMMOET 公司提供之 MSG-50 主吊車，其三名外籍操作員業已於 94 年 3 月 1 日~9 日接受我國安全衛生教育訓練，符合我國法規之規定。

RPV 於試吊過程中，龍門施工處施工課及品管人員已依程序書 IMP-TGD-010 設備器材搬運及吊裝檢驗作業規定之檢驗內容，查對主

吊車之相關機構之完整性、安全性，檢查結果均符合檢驗標準，因此確認本次 RPV 吊裝作業中所使用之吊裝機具符合安全性。

綜合本項視察結果，除個別查證上述兩項外，也針對吊運過程之整體性進行瞭解。本次一號機 RPV 之吊運工作，依時程原定 3 月 15 日開始啟運，因待勞委會北部勞檢所核准檢查合格證，較原定時程延後兩天(3 月 17 日)，並於 3 月 20 日才自等待區開始吊裝。由於承包作業之公司及人員均深具專業能力，且經事前的詳細規劃，因此運輸及吊運過程並未發生延誤，使得本項工作順利完成。惟其中仍有部分缺失值得改善，主要是整體性工作之協調及遵守品保準則等層面：

1. 整體性工作協調方面：本次搬運及吊裝計畫書分別由海陸運輸公司及 MAMMOET 公司各自規劃編寫，MAMMOET 公司在本次吊裝計畫案中，為因應突發事件，在防範吊運意外上，對於遇緊急狀況時之人員疏散等規劃相當嚴謹，雖屬 MAMMOET 公司規劃之個案，但實際上若發生時，勢將影響整體吊運工作。作為整體吊運工作之一環，理應在作業展開前透過協調會充分規劃，並視狀況事先安排人員訓練或講習。經查詢結果，得知作業全程除對防火及醫護外，對於足以影響共通性問題之狀況，如可能導致作業中止之負面環境等，並未詳細規劃或加強訓練，使面對問題時能協調一致。建議審查各承辦單位之計畫書時，對涉及影響整體作業之應變方式宜加以整合，以確保人員及設備安全。
2. 對於作業期間，面臨不符作業程序書之步驟，依品質保證規定執行方面：本次吊運期間，在待吊區拆卸支撐裙板之儲運架時，基於工安規定，不得在懸吊物底下施工。因事先未考慮到此項，導

致須臨時製作支架，將 RPV 置於支架上進行拆卸儲運架及清理等作業。由於係一臨時增加之步驟，工作涉及分配支架及吊車間之負荷及選用適當材質等。根據品保程序規定，更改執行步驟時，主要考量是無負面影響，其次是為確保工作順利，因此對品質有影響之作業文件，應依管控程序修訂及核定使用。經查證結果，得知本次作業並未依規定處理，雖順利完成，但過程並不夠嚴謹亦不符合品保規定。建議在作業期間，面臨不符作業程序之步驟，應依品質保證規定修改程序書。

- 3.另外，本次吊裝作業地面上曾預先鋪設橡皮鋼絲墊板，經證實無法承受自走式油壓特種板車多次輾壓，建議應預先列入考量，督促承包廠改善，俾便日後執行二號機 RPV 吊裝作業時，更臻完善。

四、RPV 安裝後垂直度測量與地錨螺栓鎖磅

3 月 11 日本會同仁曾發現 GE 公司規範「Reactor Vessel Installation Specification」中關於 RPV Alignment 之墊片計算公式錯誤，經確認後緊急要求施工處澄清，發現 GE 公司已先發現該項錯誤，並已於 2005/01/25 完成上述規範修正，施工處及中鼎公司亦依據修正後規範，於 3 月 17 日完成現場作業程序書改版作業。

依據施工規範「Reactor Vessel Installation Specification」，RPV 安裝後需執行爐心側板支撐平面(Shroud Support Level)及上法蘭(Top Flange)二個高程位置垂直度測量(附件五之 CB 點及 CC 點)。施工者必須於 RPV 爐底中心控制棒穿越管(Center CRD Bottom Head Penetration)(附件五之 CA 點)建立 RPV 爐體中心鉛垂線參考點，並於爐心側板支撐平

面及上法蘭二個高程位置上，依據原廠建立之方位角標示，利用 0.25mm 以下之細鋼絲(Fine Wire)並於後方懸吊 2~3 公斤重物，分別在 $0^{\circ}-180^{\circ}$ 以及 $90^{\circ}-270^{\circ}$ 建立二條緊繃的軸線，細鋼絲交會點即為 RPV 爐體於上述二個高程位置上之中心點。RPV 安裝後爐體垂直度合格標準在爐心側板支撐平面高程位置為 $\leq 0.6\text{mm}$ ，上法蘭高程位置為 $\leq 7.5\text{mm}$ 。

施工規範「Reactor Vessel Installation Specification」另有規定，每一處高程位置垂直度測量必須由兩組測量人員獨立執行，取其平均值作為結果。RPV 垂直度測量時機至少須在定位後地錨螺栓鎖磅前、及地錨螺栓鎖磅完成後各需執行一次。RPV 定位後即需依序執行爐心側板支撐平面及上法蘭二個高程位置垂直度測量，二個高程位置垂直度均合格後，再依規範要求依序、對稱執行地錨螺栓鎖磅作業，地錨螺栓鎖磅完成後需再度執行二個高程位置垂直度測量。任何一次測量結果超過合格標準，則須執行爐體垂直度調整，再重複上述測量及地錨螺栓鎖磅作業。施工規範要求地錨螺栓需依其規範要求鎖磅順序，依序、對稱執行螺栓鎖磅，鎖磅扭力值為 $470\pm 98\text{N}\cdot\text{m}$ 。

依程序書「RPV Installation, Alignment & Inspection Procedure」規定，中鼎公司於爐心側板支撐平面及上法蘭二個高程位置上建立細鋼絲交會之垂直度測量點後，必須分三階段進行反應爐壓力槽垂直度測量。第一階段為鎖磅前，第二階段為相對位置 40 支地錨螺栓鎖磅後(扭力值為 $245\pm 29\text{N}\cdot\text{m}$)，第三階段亦即最後階段則為 120 支地錨螺栓鎖磅後。使用測量儀具為校驗合格之垂直儀，測量儀具安裝固定於下乾井並盡可能接近 RPV 爐底中心控制棒穿越管。垂直儀目的在於建立假想

爐體鉛垂線，測量人員得以經由垂直儀之光學鏡頭，目視判斷假想鉛垂線與爐心側板支撐平面及上法蘭二個高程位置上已建立之細鋼絲交會點之距離，距離之判斷則仰賴事先放置之校驗過鋼尺上之刻度。

3月21日第一次測量結果，中鼎公司兩位測量人員及龍門施工處兩位測量人員在CB點所測量之數據分別整理如下：(單位：mm，合格標準 $\leq 0.6\text{mm}$)

$$\text{中鼎：No.1} \quad X=0.1 \quad Y=0 \quad ; \quad R(X^2+Y^2)^{1/2} = 0.1$$

$$\text{No.2} \quad X=0.1 \quad Y=0 \quad ; \quad R(X^2+Y^2)^{1/2} = 0.1$$

$$\text{平均值} \quad X=0.1 \quad Y=0 \quad ; \quad R(X^2+Y^2)^{1/2} = 0.1$$

$$\text{台電：No.1} \quad X=0.25 \quad Y=0 \quad ; \quad R(X^2+Y^2)^{1/2} = 0.25$$

$$\text{No.2} \quad X=0.25 \quad Y=0 \quad ; \quad R(X^2+Y^2)^{1/2} = 0.25$$

$$\text{平均值} \quad X=0.25 \quad Y=0 \quad ; \quad R(X^2+Y^2)^{1/2} = 0.25$$

中鼎公司兩位測量人員及龍門施工處兩位測量人員在CC點所測量之數據分別如下：(單位：mm，合格標準 $\leq 7.5\text{mm}$)

$$\text{中鼎：No.1} \quad X=2 \quad Y=-1 \quad ; \quad R(X^2+Y^2)^{1/2} = 2.24$$

$$\text{No.2} \quad X=2 \quad Y=-1 \quad ; \quad R(X^2+Y^2)^{1/2} = 2.24$$

$$\text{平均值} \quad X=2 \quad Y=-1 \quad ; \quad R(X^2+Y^2)^{1/2} = 2.24$$

$$\text{台電：No.1} \quad X=2 \quad Y=-1 \quad ; \quad R(X^2+Y^2)^{1/2} = 2.24$$

$$\text{No.2} \quad X=2 \quad Y=-2 \quad ; \quad R(X^2+Y^2)^{1/2} = 2.83$$

$$\text{平均值} \quad X=2 \quad Y=-1.5 \quad ; \quad R(X^2+Y^2)^{1/2} = 2.5$$

第一階段為鎖磅前，中鼎公司在CB點之垂直度測量值均小於0.6mm之合格標準，而在CC點之測量值均遠小於7.5mm之合格標準，

台電龍門施工處會驗結果也符合規範。第一次反應爐壓力槽垂直度測量合格後，隨即由二組操作人員進行第一階段 40 支地錨螺栓對稱鎖磅，此階段鎖磅扭力值為 245 ± 29 N-m。在鎖磅前中鼎公司已先清潔螺栓之螺帽、墊片及螺牙並塗抹 DAG-156 潤滑油，40 支地錨螺栓對稱鎖磅完成後，由龍門施工處檢驗人員會驗合格，再進行第二次反應爐壓力槽垂直度測量。龍門施工處兩位測量人員經過會驗後，確認 CB 點及 CC 點均在誤差容許範圍之內，並未產生偏移現象，第二階段測量數據與第一階段完全相同。

第二階段完成後，另外 80 支地錨螺栓與 RPV 裙板法蘭螺孔間超過 4mm 間隙者，中鼎公司依規定必須以碳鋼片填塞後再灌滿 Devcon F2，待 Devcon F2 硬化後，才可執行後續螺栓鎖磅。第三階段地錨螺栓鎖磅依程序書規定扭力值為 470 ± 98 N-m，中鼎公司之鎖磅機具採用油壓鎖磅機，扭力值設定為 475N-m。80 支在鎖磅前已先清潔螺栓之螺帽、墊片及螺牙並塗抹 DAG-156 潤滑油，經檢查合格後，中鼎公司二組操作人員隨即進行第二階段 80 支地錨螺栓對稱順時鐘方向鎖磅，確認 80 支地錨螺栓鎖磅完成後，再行拆卸第二階段之 40 支地錨螺栓螺帽，以碳鋼片填塞灌滿 Devcon F2。待 Devcon F2 硬化後，在先清潔螺栓之螺帽、墊片及螺牙並塗抹 DAG-156 潤滑油，然後再使用油壓鎖磅機進行最後之對稱鎖磅，扭力值設定為 475N-m。120 支地錨螺栓全部鎖磅完成後，台電龍門施工處兩名檢驗員進行 120 支地錨螺栓 100% 複驗，而複驗之方式則採用兩支人工扭力扳手，扭力值設定為 472N-m 對稱依序進行最後之鎖磅複驗，鎖磅複驗經台電龍門施工處兩名檢驗員確認核可後，隨即進行第三次反應爐壓力槽垂直度測量。第三次亦即

最後一次反應爐壓力槽垂直度測量，測量之儀具、程序皆與第一、二次相同。

3月24日第三次測量結果，中鼎公司兩位測量人員及龍門施工處兩位測量人員在CB點所測量之數據分別整理如下：

$$\text{中鼎：No.1 } X=0.25 \quad Y=0 \quad ; \quad R(X^2+Y^2)^{1/2} = 0.25$$

$$\text{No.2 } X=0.25 \quad Y=0 \quad ; \quad R(X^2+Y^2)^{1/2} = 0.25$$

$$\text{平均值 } X=0.25 \quad Y=0 \quad ; \quad R(X^2+Y^2)^{1/2} = 0.25$$

$$\text{台電：No.1 } X=0.25 \quad Y=0 \quad ; \quad R(X^2+Y^2)^{1/2} = 0.25$$

$$\text{No.2 } X=0.35 \quad Y=0 \quad ; \quad R(X^2+Y^2)^{1/2} = 0.35$$

$$\text{平均值 } X=0.3 \quad Y=0 \quad ; \quad R(X^2+Y^2)^{1/2} = 0.3$$

中鼎公司兩位測量人員及龍門施工處兩位測量人員在CC點所測量之數據分別如下：

$$\text{中鼎：No.1 } X=1 \quad Y=-2 \quad ; \quad R(X^2+Y^2)^{1/2} = 2.24$$

$$\text{No.2 } X=1 \quad Y=-2 \quad ; \quad R(X^2+Y^2)^{1/2} = 2.24$$

$$\text{平均值：} \quad X=1 \quad Y=-2 \quad ; \quad R(X^2+Y^2)^{1/2} = 2.24$$

$$\text{台電：No.1 } X=1 \quad Y=-1.5 \quad ; \quad R(X^2+Y^2)^{1/2} = 1.8$$

$$\text{No.2 } X=1 \quad Y=-1 \quad ; \quad R(X^2+Y^2)^{1/2} = 1.41$$

$$\text{平均值：} \quad X=1 \quad Y=-1.25 \quad ; \quad R(X^2+Y^2)^{1/2} = 1.6$$

兩組人員在CB點之測量值均小於0.6mm，而在CC點之測量值亦遠小於7.5mm之合格標準。

RPV爐體垂直度測量，於三階段中分別由中鼎公司、台電龍門施工處各兩組測量人員獨立執行，查證其測量結果數據均明顯低於接受

標準，而且承載鈹最大水平傾斜量符合施工規範要求，RPV 爐體安裝之垂直度符合設計要求應可確認。

五、穩定器安裝

1.穩定器功能

反應器壓力槽的穩定器(Stabilizer)原製造廠家為日本 Hitachi, Ltd 公司，依據原廠圖面(圖號 310PB05-350, RPV Stabilizer)，穩定器為 Class 1 支撐組件，製造與檢驗必須依照 ASME Section III, Subsection NF 相關規定。廠房高層 EL.18440mm 位置，屏蔽牆內部支撐架(RSW Support Bracket)上，須安裝 8 組反應器壓力槽穩定器，主要目的在承受地震、破管或其他反應器廠房振動事故時之橫向振動負載，限制反應器壓力槽之振動，並進而保護微調控制棒驅動機構(Fine Motion Control Rod Drive, FMCRD)及爐內儀器管與其他組件。

2.穩定器施工介面

穩定器安裝在屏蔽牆支撐架，屏蔽牆支撐架由中船公司負責施工，完成後交由中鼎公司進行穩定器安裝作業。屏蔽牆支撐架安裝圖由 GE 公司設計，圖號 105E2576，根據 Detail-A 剖面圖可知在屏蔽牆支撐架和穩定器之間有一塊 19mm 墊鈹，但未標示尺寸。在 31113-1U71-58284(Reactor Building RPV Shield Wall Sections and Detail)的 DETAIL -1 設計有一塊(19x270x1730mm)墊鈹，其目的為增加穩定器高層。而根據 Hitachi, Ltd 公司穩定器製造圖 310PB05-350 的 Section C-C 並無墊鈹的設計。

中船公司依照 GE 設計圖，規劃細部製造圖，圖號 Dwg. No.

C237B-144-A055-5/7 的 Detail-1 和 Section-1，在屏蔽牆支撐架上設計有一塊墊板(厚 x 寬 x 長:19x270x1730mm)，中船公司於廠製時已將墊板銲接在屏蔽牆支撐架上。

穩定器的外觀框架尺寸(長 x 寬 x 高: 1677x432x586 mm)，共有 8 組方位在(00°、45°、90°、135°、180°、225°、270°、315°)，安裝高層 EL.+18440mm，由於穩定器的寬 432mm 大於墊板的寬 270mm，安裝時靠屏蔽牆的墊板將在穩定器下方而無法銲接，經施工處提出反映後，GE 公司提出 FDDR (Field Deviation Disposition Request ,編號 LT1-00252)，提出兩項處理方案供台電公司選擇，方案一為將墊板加寬 155mm，使墊板突出穩定器，以利填角銲接，方案二為將銲好的墊板除掉，而把整組的屏蔽牆支撐架往上提升 19mm，施工處汽源課選擇方案一。

3.屏蔽牆支撐架施工

屏蔽牆支撐架吊運路線的選擇，因反應器的膨脹器(RPV Refueling Bellow)接頭外徑 4195 mm 與屏蔽牆外徑 4830 mm 之間隙只有 635 mm，小於屏蔽牆支撐架寬 850 mm，因此無法以吊車直接吊放安裝。施工處於安裝前規劃，要求中船公司用木板製作 1 比 1 的實體木模，實地演練吊裝運送路線，由高層 EL.18800 的人員開口(Personnel Access)吊入，該開口在 160°及 340°方位角位置上各有一個，利用實體木模實際吊裝運送至安裝位置，以預先確定吊裝運送動線之可行性。

屏蔽牆支撐架吊至開口後，尚需用使吊掛(Chain Block)轉換運送至定位，該動線必須銲接臨時人員支架及吊掛支架，工作辛

苦艱難，人員及設備安全必須十分小心。94年4月14日開始吊裝，當天共吊裝運送3組屏蔽牆支撐架，點銲在屏蔽牆上，15日再將5組屏蔽牆支撐架吊運安裝定位。屏蔽牆支撐架銲接與其後續MT(磁粒檢測)非破壞檢驗作業於94年4月29日順利完成，非破壞檢測結果符合施工規範要求。

4.穩定器安裝

根據設計，穩定器安裝在屏蔽牆支撐架上方，以全周填角銲與屏蔽牆支撐架墊板銜接，銲後須執行之非破壞檢驗作業為PT(液滲檢測)。視察發現，反應器外徑至屏蔽牆支撐架的最窄間隙約為113 mm，在屏蔽牆支撐架的兩邊約有231 mm間隙，銲工須在寬度僅有113 mm至231 mm的間隙，900 mm遠的下方位置，利用手工電銲(Shield Metal Arc Welding, SMAW)，以仰銲之銲姿銲接穩定器下方的填角銲銲道，施工困難度相當高。中鼎公司採以銲工左、右手分別於二端施銲，銲接方式為手工遮護氣體銲弧銲接(Shield Metal Arc Welding, SMAW)。

5.穩定器間隙調整

依照GE公司「Installation Drawing Stabilizer, Reactor Vessel, 105E2576」安裝圖規定，穩定器之軛(Yoke)與反應器支撐架中心線公差，應在1 mm以內，彈簧預力為1000KN，穩定器間隙調整如下：

- (1)反應器在第一次加熱前(Heat Up)，測量銅線(Copper Wire)直徑，並記錄直徑值(R1)，組裝墊片(Shim)和銅線鎖在RPV Bracket螺絲處。調整墊片厚度使銅線、RPV Bracket、軛(兩

組)與墊片密合接觸。

(2)第一次加熱後，取下銅線，測量被壓縮後的直徑，並記錄直徑值 (R2)。

(3)調整墊片，使墊片和軛(兩組)的間隙等於 $(R1-R2+0.25)$ mm。

由於穩定器間隙調整是在試運轉之後，此時廠房結構等都已完成，查閱已知的資料得知，屏蔽牆上端高程為 EL +21200mm，其上方之一次圍阻體頂層樓版 (RCCV Top Slab) 高程為 EL+21300mm，空間只有 100 mm 之縫隙，人員無法由此進入，因此穩定器間隙調整只能由 EL+18600mm 的人員開口進入，雖每隔 45° 有一屏蔽牆支撐架，但兩者之間尚相隔有一大段距離，且屏蔽牆內壁並無其他通道或爬梯等設備通往穩定器，工作人員如何接近穩定器並調整間隙，且如果燃料棒已經產生核分裂反應，該區域應是高輻射區域。穩定器間隙調整工作必須同時兼顧現場施工狀況及工作人員輻射防護作業，建議台電公司務必事先規劃妥善研擬方案以因應。

六、RPV 儲存與環境控制

RPV 吊裝作業為核四建廠工程重要新里程，吊裝作業期間之安全性固為重要，而 RPV 吊裝後之設備組件安裝工作，則是邁入建廠工程新階段的開始，自 3 月 21 日 RPV 安裝後至將來建廠完工尚有一段時日，建廠過程仍有諸多事項仍須逐一克服，除土建及機電工程外，設備的儲存維護工作，也將嚴重影響日後施工品質良窳及核能安全。以 RPV 儲存環境為例，RPV 材質深受儲存環境影響，因此攸關核能機組壽命之課題，如何做好儲存環境及管理，達到所承諾的工程品質，是不可忽視的重要事項。吊裝期間，經查 RPV 吊入基座之區域環境情

形不盡理想，仍有許多雜物包括電焊纜線、廢棄鐵線等隨意棄置。如：因吊裝時程緊湊，Bearing Plate 固定架之切割研磨作業於吊裝前一日完成，然經多日後，RPV 下方之控制棒驅動機構維修平台區域仍舊雜亂未加以清理；另外，RPV 放置周圍裝有 4 台抽排風機，並未全部運轉，亦是造成該區域空氣不佳原因之一。

原台電公司龍門施工處承諾，RPV 吊裝後之儲存環境將根據 ASME NQA-2 有關核設施品保要求進行管制，查證結果，在 RPV 吊裝後仍遲未執行。經向施工單位反映後，才臨時設置人員管制站進行人員及機具之管制，但 RPV 吊裝後之儲存環境管理作業程序書或計畫仍未建立，因此相關之作業尚無依據，欠缺周詳規劃可供遵行。至 3 月 30 日為止，RPV 已吊裝至現場已有 10 天之久，視察發現其 RPV 之儲存環境管理仍有待改善，諸分述如下：

1. 依 ASME NQA-2 之規範，RPV 區域已進行 2 級(RPV 內部)及 3 級(RPV 外部)管制，經查證結果，其管制作業並未落實，人員進出仍有未依規定登記情形。如何才能作好人員機具之管制，及應由何者執行及管制站設置地點等，施工單位應儘速檢討改進。
2. 工作人員安全部分，RPV 自 3 月 26 日已開始進行現場充氮儲存，至 3 月 30 日充氮壓力達 0.2kg/cm^2 ，3 月 29 日曾發現洩漏情形，經迅速處理後已止漏。雖然承包商(中鼎公司)曾於充氮期間進行 4 次洩漏偵測檢查(約一天一次)，但由於 RPV 下方之工作人員，每一時刻均須承受氮氣洩漏之潛在危險，施工單位應速裝置連續洩漏偵測預警裝置，以維護工作人員安全(連續洩漏偵測預警裝置已於 4 月 4 日裝置並測試完成)。

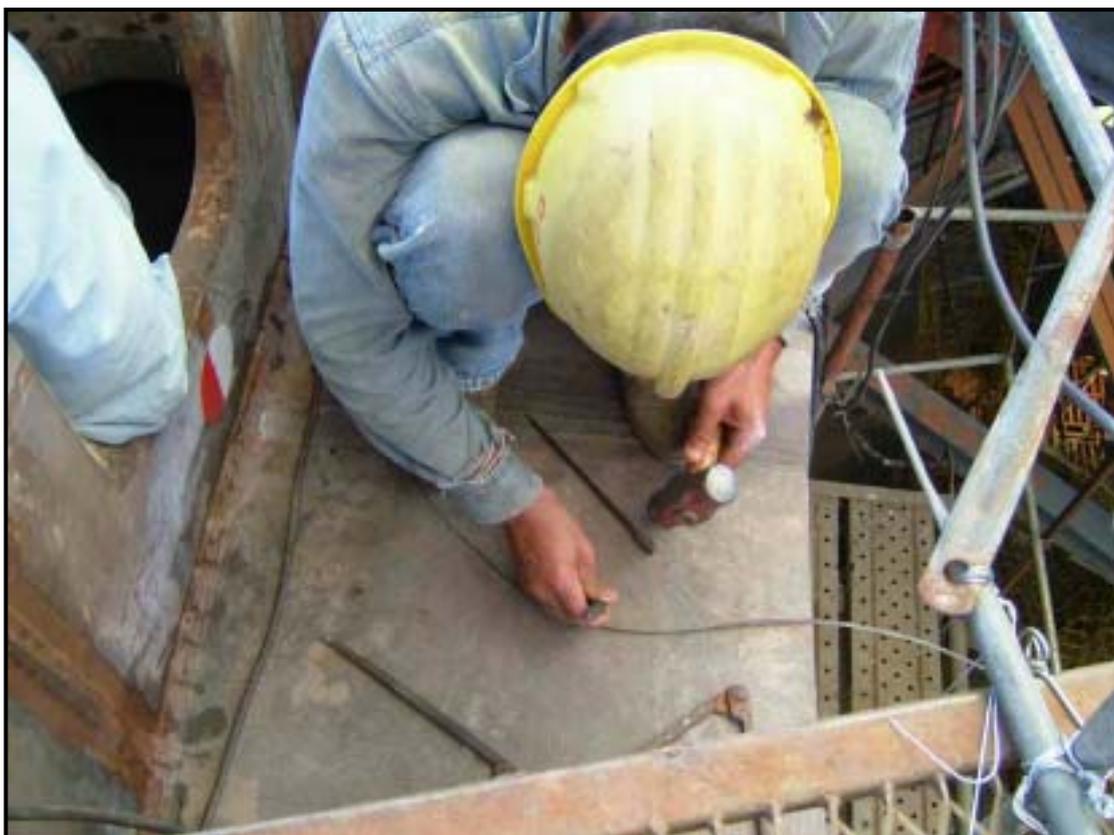
- 3.目前 RPV 所在區域設置有四台抽排風機等臨時通風設備，其通風能力是否足以防止 RPV 外部產生凝結水，避免影響儲存品質；及日後底座區域大量焊接作業進行時，能否保持工作環境良好空氣品質及噪音問題，建議宜儘速處理。
- 4.目前執行之各項管制作業似乎缺乏完整之執行計畫，如 RPV 安裝後之頂部遮雨棚經兩個月，至五月月下旬才安置完成，稍嫌落後。施工單位應依現場狀況事先擬定有關 RPV 安裝後之維護保養及儲存環境維持等作業計畫，以利執行。

肆、結論

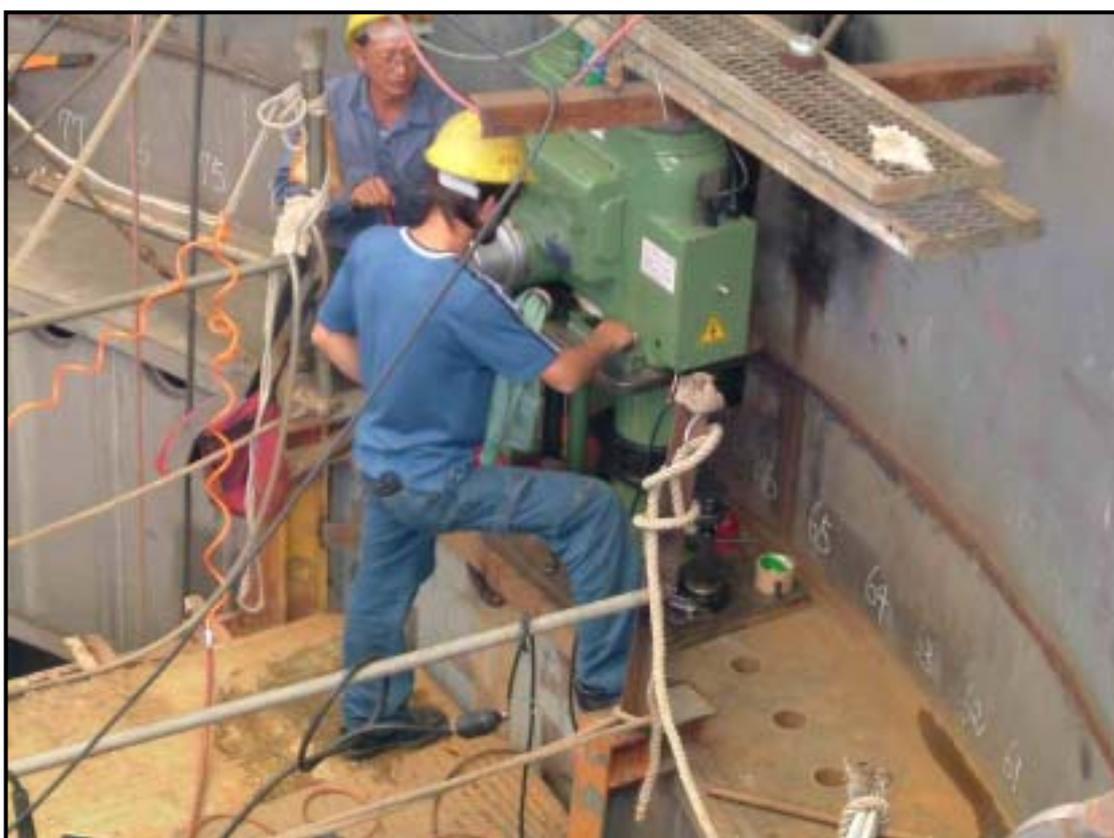
此次 RPV 安裝的準備工作，從核四施工單位之會議次數及紀錄得知，自 RPV 基座建造開始(91 年)，即針對 RPV 吊裝事宜持續召開「RPV 吊裝前施工協調會議」，迄安裝前夕共開過 63 次協調會，因此安裝工作得以順利完成，是長年悉心規劃的成果。核四廠一號機 RPV 安裝工作已告一段落，雖然過程難免遭遇波折，仍能逐一克服，足以肯定核四建廠工作人員近年來所付出的努力；然接續的工作如：另階段的圍阻體及其他土建工程、機電工程，以及二號機將於年內也將展開 RPV 的吊裝工作等，展望未來諸多建廠相關工作，仍有待從業人員智能的發揮及不斷的努力。

綜合本次 RPV 安裝過程，論及各專業角色，像司吊運工作之承包商等，其專業技術足以睥睨全球，毋庸置疑；惟整體而言，在法規及制度面上，發現仍有些缺失尚待改進，本會已將視察結果所發現之各

項缺失及建議事項彙整後，另發注意改進事項要求台電公司龍門施工處改善(附件六)。另外，台電公司對於本次 RPV 安裝過程，也已在進行檢討，若能秉持積極的態度執行，並藉此經驗回饋到二號機，將使下次 RPV 吊裝工作更加紮實且順利。



照片一 支撐托架孔洞中心點劃線後以中心衝定位



照片二 支撐托架上鉸鑽孔加工



照片三 下鉸以加長鑽頭施工中



照片四 支撐托架上鋁平面加工



照片五 Anchor Bolt 座落於模鋁孔洞中



照片六 利用外加碳鋼片將地錨螺栓固定



照片七 可安裝定位銷之地錨螺栓



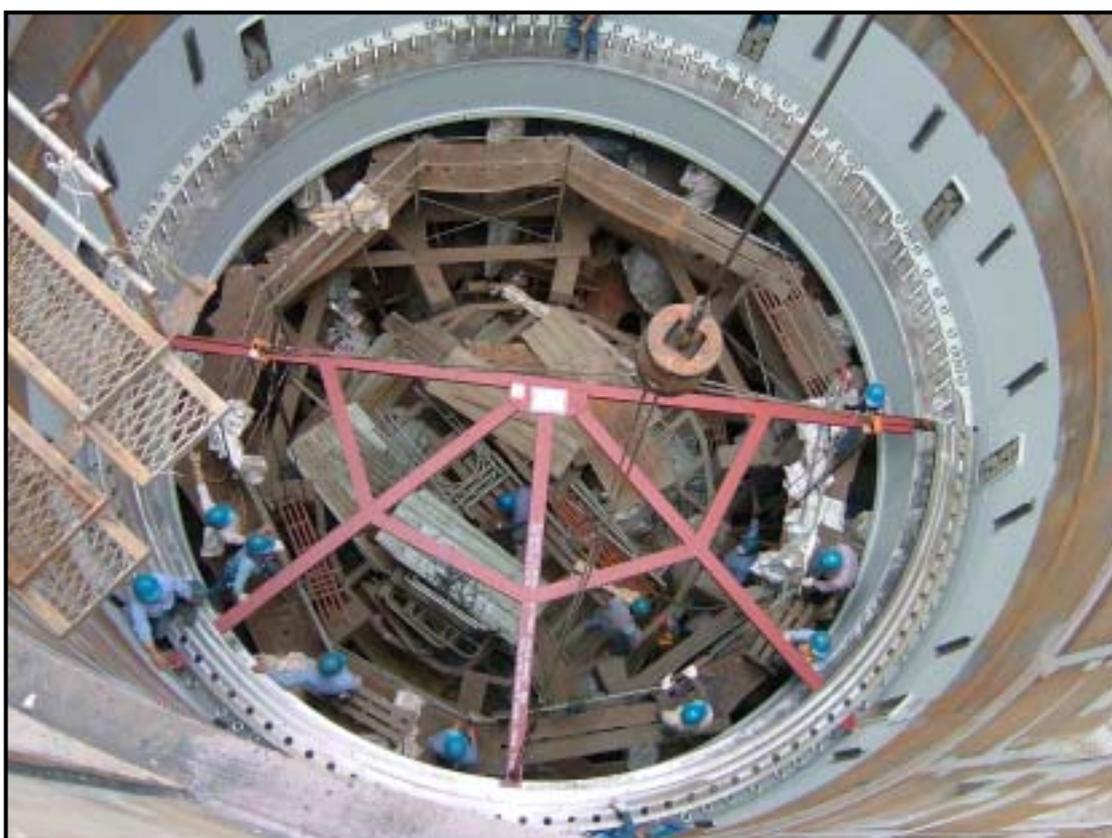
照片八 未去除之部分表面原鋅粉底漆(Primer)



照片九 以校正過之鋼捲尺測量地錨螺栓中心點半徑



照片十 半圓組合之金屬環狀承載鈹組件



照片十一 單片承載鈹吊運入基座內部再行組合安裝



照片十二 安裝後水平測量作業



照片十三 在屏蔽牆上安裝臨時遮護鈹



照片十四 承載板內部支架切除後吊離



照片十五 存放專用倉庫之 RPV



照片十六 存放專用倉庫 RPV Head



照片十七 模擬運輸過程之一



照片十八 模擬運輸過程之二



照片十九 模擬吊裝過程之一



照片二十 模擬吊裝過程之二



照片二十一 RPV 運輸過程之一



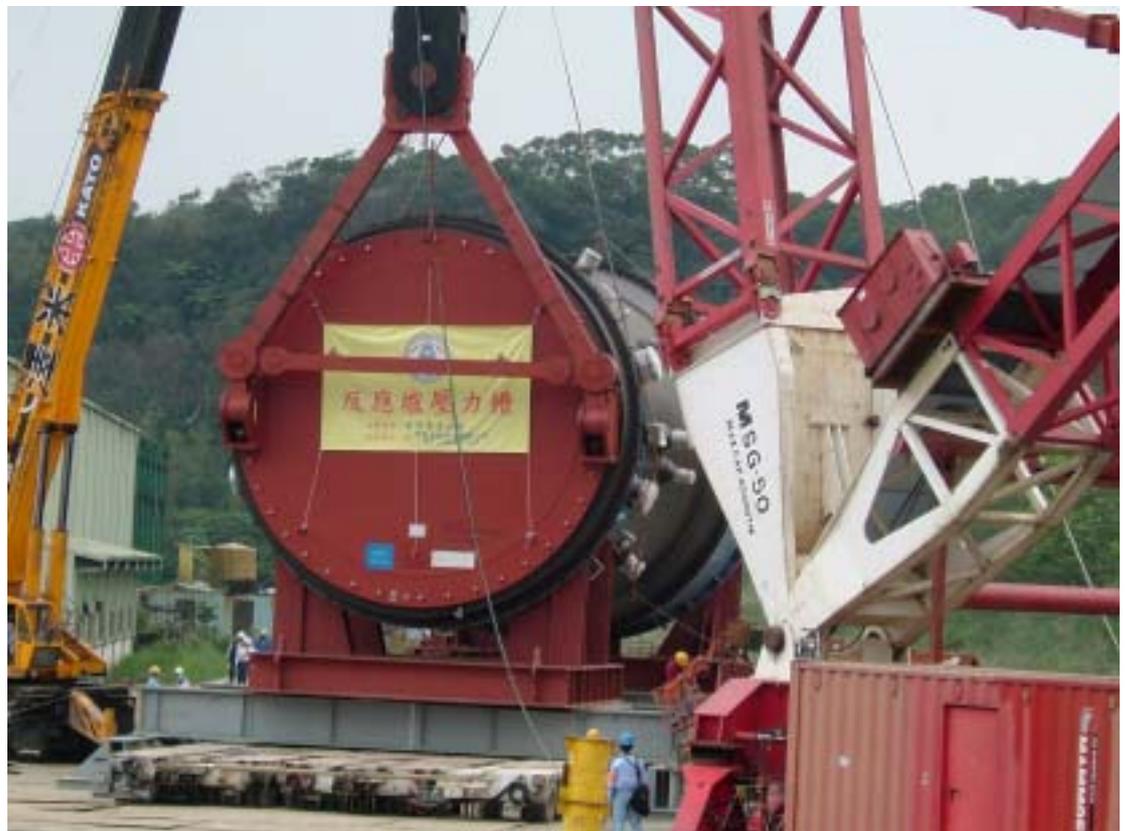
照片二十二 RPV 運輸過程之二



照片二十三 RPV 運輸過程之三



照片二十四 RPV 運輸過程之四



照片二十五 RPV 運輸過程之五（至待吊區）



照片二十六 RPV 在待吊區直立過程之一



照片二十七 RPV 在待吊區直立過程之二



照片二十四八 RPV 在待區準備拆卸支撐裙鈹之儲運架之一



照片二十九 RPV 在待區準備拆卸支撐裙鈹之儲運架之二



照片三十 RPV 吊裝過程之一



照片三十一 RPV 吊裝過程之二



照片三十二 RPV 吊裝過程之三



照片三十三 RPV 吊裝過程之四



照片三十四 RPV 吊裝過程之五



照片三十五 RPV 吊裝過程之六



照片三十六 RPV 吊裝過程之七



照片三十七 RPV 吊裝過程之八



照片三十八 RPV 吊裝過程之九



照三十九 RPV 吊裝過程之十



照片四十 RPV 吊裝過程之十一



照片四十一 RPV 吊裝過程之十二



照片四十二 RPV 吊裝過程之十三



照片四十三 RPV 吊裝過程之十四



照片四十四 RPV 吊裝過程之十五



照片四十五 RPV 吊裝過程之十六



照片四十六 RPV 吊裝過程之十七



照片四十七 RPV 吊裝過程之十八



照片四十八 RPV 吊裝過程之十九



照片四十九 RPV 吊裝過程之二十



照片五十 RPV 吊裝過程之二十一



照片五十一 RPV 吊裝過程之二十二



照片五十二 地錨螺栓鎖磅後於爐底中心使用垂直儀測量



照片五十三 校驗過鋼尺上之刻度



照片十四 鋼尺量測細鋼絲交會點之距離



照片五十五 油壓鎖磅機進行最後之對稱鎖磅



照片五十六 人工扭力扳手複驗鎖磅



照片五十七 屏蔽牆支撐架實體木模（穩定器）



照片五十八 屏蔽牆支撐架銲接完成（穩定器）



照片五十九 RPV 爐底穿越管以紅色管塞氣密保護內部



照片六十 RPV 安裝後下乾井實景圖



照片六十一 RPV 底部控制棒穿越管



照片六十二 RPV 底部 RIP 局部之一



照片六十三 RPV 底部 RIP 局部之二



照片六十四 RPV 安裝後以帆布臨時防雨



照片六十五 RPV 屏蔽牆穿越孔安裝遮雨窗



照片六十六 RPV 頂部遮雨棚安裝完成後之圖景



照片六十七 RPV 遮雨棚仰視圖

核四廠一號機 RPV 安裝視察計畫

一、視察人員

(一) 領隊：黃科長智宗

(二) 視察人員

本會人員：石門環、姜文騰、林喬源、邱正哲

核研所專家：廖俐毅、楊慶威、吳毓秀、張瑞金、史美嘉

二、視察時程

時間：94年1月至5月

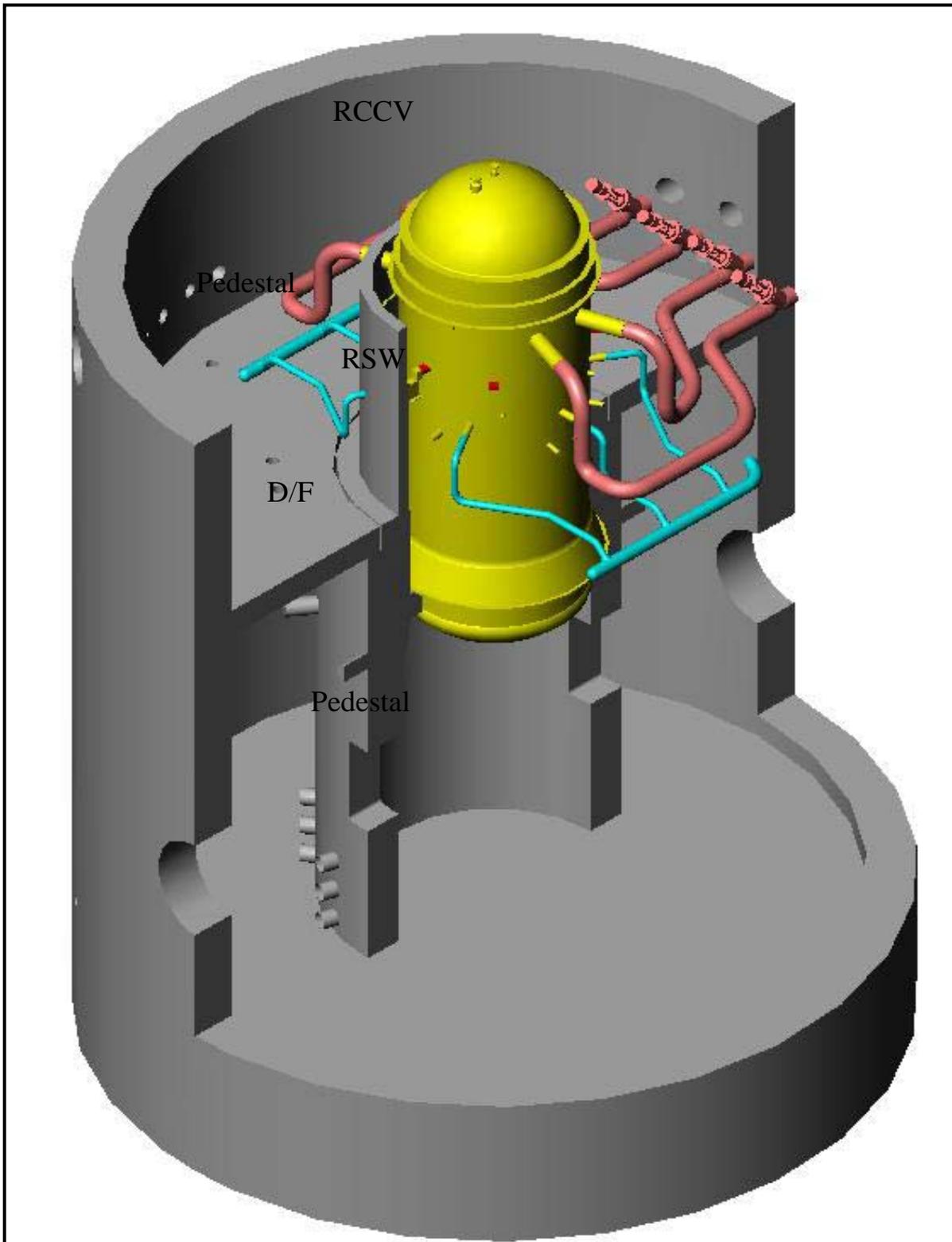
三、視察項目

1. Anchor Bolt Installation
2. Bearing Plate Installation
3. RPV Transportation and Lifting
4. RPV Installation and Alignment
5. Stabilizer Installation
6. RPV Storage and Environment Control

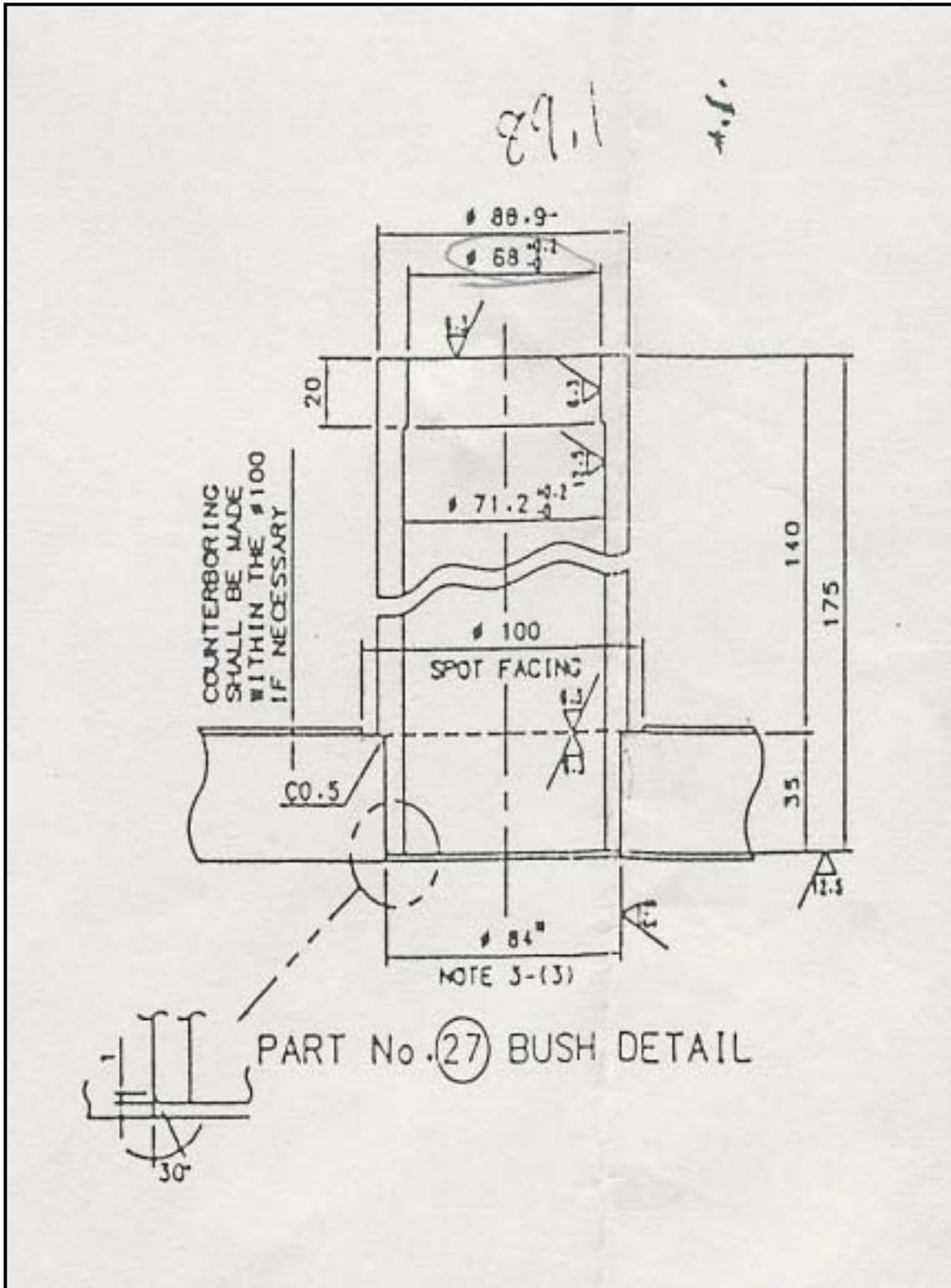
四、注意事項

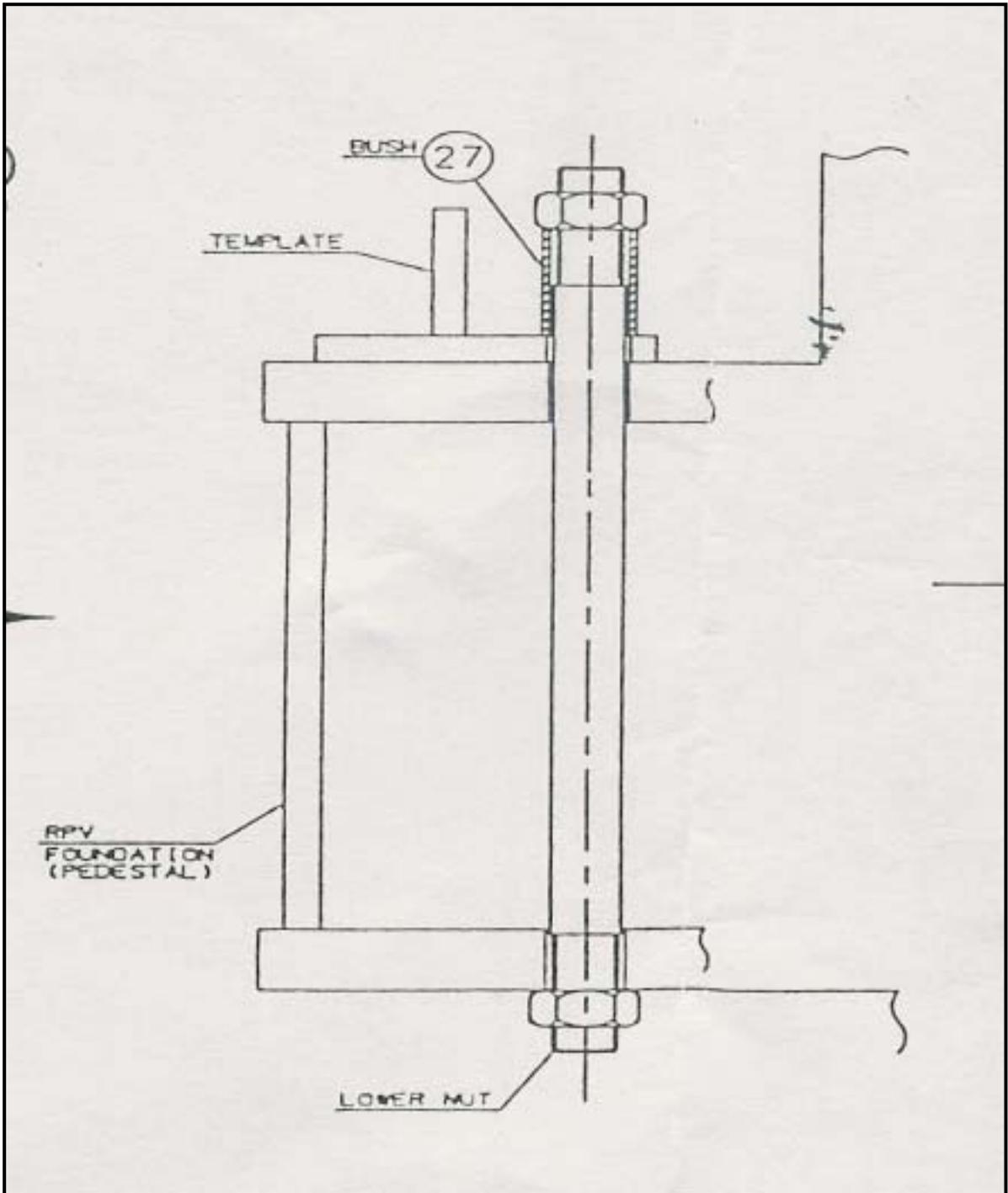
為配合各視察事項，請參加視察同仁掌握各項作業執行時機。

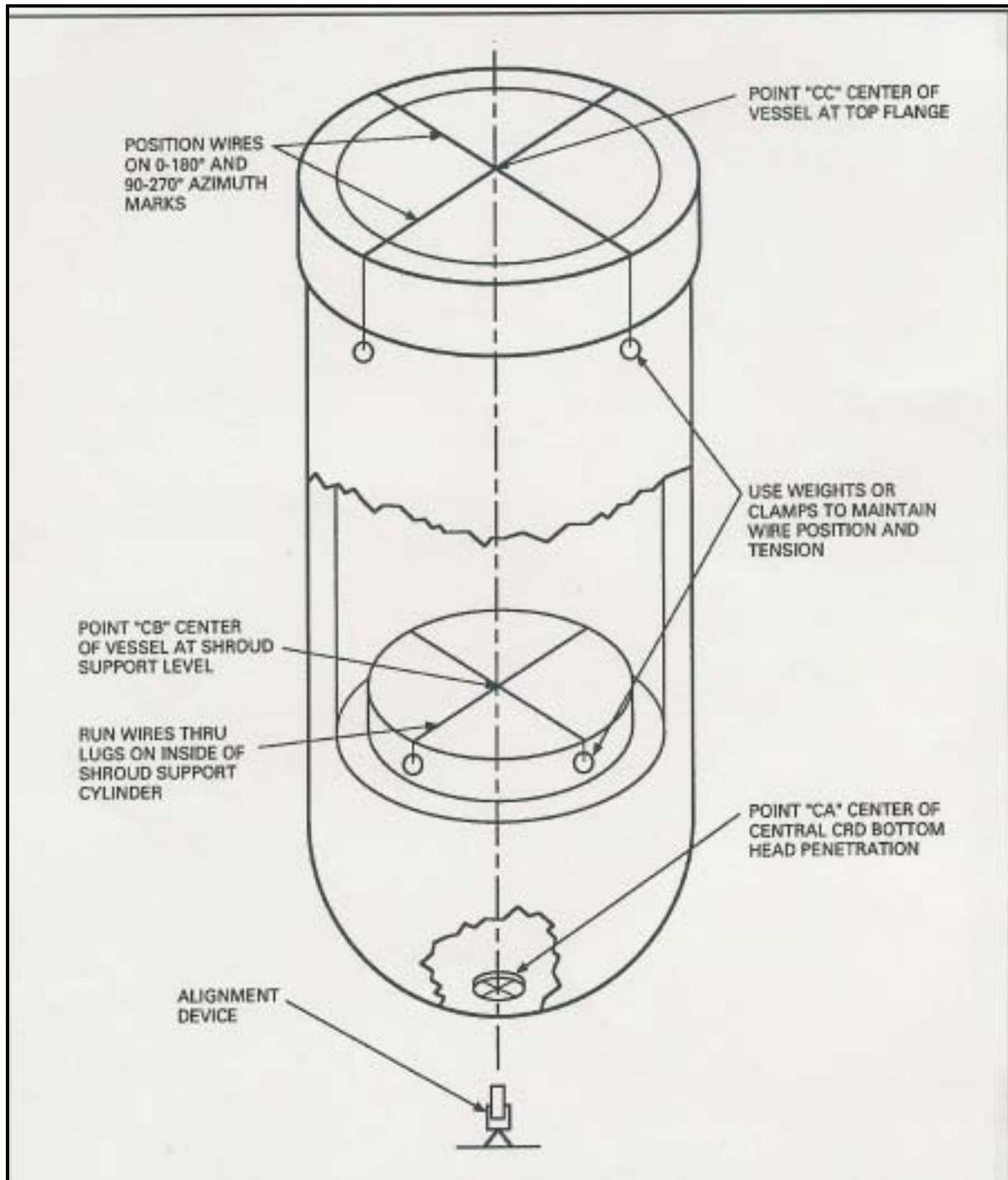
本案承辦人：邱正哲 (02)2232-2143



反應爐及基座示意圖







核能工程注意改進事項

編號	AN-LM-94-007	日期	94年6月9日
廠別	龍門施工處	承辦人	邱正哲 2232-2143
<p>注改事項：核四廠一號機 RPV 安裝視察建議改善事項。</p> <p>內 容：</p> <p>一、 基座支撐托架鑽孔以及基座支撐托架上鈹平面加工兩項工程，分別由中船公司及中鼎公司負責施工，工程介面劃分確實有改善之空間，建議施工處如能重新整合，使承包廠家之事權統一，並採行較精密之加工方法與較高精度之測量技術，應可有效減少施工介面衝突與爭議，更能有效掌握施工品質與時程。另外，部分量測工具仍然沿用捲尺，根據坊間出版之測量學書籍所述，捲尺測量技術可能產生(1)捲尺未拉直(2)對點不準(3)最小刻劃以下讀數估計不準等偶然誤差。建議施工處應督促核四承包廠家，採用更精準測量技術，儘量降低人員操作因素(Human Factor)可能誤差，才能更有信心確認工程介面條件已完全符合原設計規範。</p> <p>二、 Template 為安裝地錨螺栓之特殊工具，目的在確保 120 支地錨螺栓與 RPV 支撐裙鈹螺栓孔之間，其工程介面條件能完全吻合。一號機 RPV 安裝使用之 Template 已經喪失其原設計目的，建議二號機 RPV 地錨螺栓安裝仍應回歸施工規範與程序書規定，若承包廠家仍執意採行一號機施工方式，則應修改施工規範與程序書，以期符合品保體制並確實反映現場施工實況。</p> <p>三、 基座支撐托架內部混凝土強度須達到設計抗壓強度或更高才能將 Template 移除，此一施工規範要求相當明確。從落實品保制度的角度著眼，如果台電公司認為此規定無意義且不合工</p>			

核能工程注意改進事項 (續頁)

程常規，應正式要求原設計者更改規範。雖然 RPV 安裝已完成，仍建議台電公司應儘速澄清此規範要求之適用性，並作為二號機地錨螺栓混凝土施工之依據。

四、中鼎公司因地制宜採用逐一將單片承載鈹吊運入基座內部再行組合安裝之施工方式，明顯與程序書規定不符，經完成作業程序書變更後，中鼎公司再依據修改後程序書繼續進行後續安裝工程。雖然二號機承載鈹為單一工件，不至於再出現類似狀況，仍建議施工處督促承包廠家預先掌握，先期徵詢原設計廠家意見，預先配合工程現況修正相關程序書。能確實遵守程序書及施工規範要求，應是落實核四工程品管最重要之品保原則。

五、本次搬運及吊裝計畫書分別由海陸運輸公司及 MAMMOET 公司各自規劃編寫，MAMMOET 公司在本次吊裝計畫案中，為因應突發事件，在防範吊運意外上，對於遇緊急狀況時之人員疏散等規劃相當嚴謹，雖屬 MAMMOET 公司規劃之個案，但實際上若發生時，勢將影響整體吊運工作。作為整體吊運工作之一環，理應在作業展開前透過協調會充分規劃，並視狀況事先安排人員訓練或講習。經查詢結果，得知作業全程除對防火及醫護外，對於足以影響共通性問題之狀況，如可能導致作業中止之負面環境等，並未詳細規劃或加強訓練，使面對問題時能協調一致。建議審查各承辦單位之計畫書時，對涉及影響整體性工作之應變措施宜加以協調整合，以確保人員及設備安全。

六、一般而言，現場施工者必須遵循施工規範與程序書，品管、

核能工程注意改進事項 (續頁)

品保等亦必須依據施工規範與程序書執行相關品質作業。然而施工規範與程序書亦可能有誤，及早發現並更正相信更能厚植核能工程品質堅實之基礎。本次吊運期間，在待吊區拆卸支撐裙板之儲運架時，基於工安規定，不得在懸吊物底下施工。因事先未考慮到此項，導致須臨時製作支架，將 RPV 置於支架上進行拆卸儲運架及清理等作業。由於係一臨時增加之步驟，工作涉及分配支架及吊車間之負荷及選用適當材質等。根據品保程序規定，更改執行步驟時，主要考量是無負面影響，再為確保工作順利，因此對品質有影響之作業文件，應依管控程序修訂及核定使用。經查證結果，得知本次作業並未依規定處理，雖順利完成，但過程並不夠嚴謹亦不符合品保規定。建議對於作業期間，面臨不符作業程序之步驟，應依品質保證規定修改程序書。

七、 本次進行 RPV 吊裝作業時，地面上曾預先鋪設之橡皮鋼絲墊板，經證實無法承受自走式油壓特種板車多次輾壓，建議應預先列入考量，督促承包廠改善，俾便日後執行 RPV 吊裝作業時更臻完善。

八、 RPV 爐體垂直度測量係利用鋼尺上之刻度，然而鋼尺最小刻度為 0.5mm，而在爐心側板支撐平面中心點 CB 之合格標準為 0.6mm 以內，所幸此次測量結果相當明確，倘若測量值大於 0.5mm，將可能產生爭議。目前玻璃蝕刻量具頗為精密，且國內民間廠家均有承製能力，建議考量訂製 0.1mm 刻度精度並經校驗之玻璃蝕刻量具，相信測量結果必能更精確，也可有效避免量具因素而衍生之爭議。其次 RPV 爐體垂直度測量僅留

核能工程注意改進事項 (續頁)

下測量數據，並無影像紀錄可供佐證，鑑於其特殊性與重要性，利用光學技術將測量時之垂直儀中心標記、細鋼絲交會點與精密量具同時成像，應是可以考量作為建立佐證影像紀錄之方式。

九、螺栓鎖磅扭力值之設計，工程上考量之因素有：螺栓材質、尺寸、材料降服應力、設備溫度及壓力等參數。核四廠 RPV 地錨螺栓材料為 SA540 B23 CL3，螺牙尺寸為 M64。參考美國電力研究所技術報告 EPRI-NP-5067, Good Bolting Practices, A Reference Manual For Nuclear Power Plant Maintenance Personnel, Volume 1: Large Bolt Manual，第 89 頁 TABLE H --Torque Chart for 50% of Yield Using a 0.2 Nut Factor and Room Temp Yield Strengths, UNC Thread Series，此表中對於 2-3/4 英吋 SA540 B23 CL3 螺栓鎖磅扭力建議值為 14687 ft-lbs，約為 19901 N-m。核四廠 RPV 地錨螺栓鎖磅扭力設計值僅為 470 ± 98 N-m，約僅為 EPRI I-NP-5067 報告中建議值之 2.36%，二者之間差異相當懸殊。建議台電公司請原設計廠家 GE 公司，再度確認地錨螺栓鎖磅扭力值之正確性，GE 公司應有義務提供 470 ± 98 N-m 之設計依據與工程考量。

十、依據 GE 公司施工規範「Installation Specification for Reactor Assembly, 26A5271」，其中 6.22 節 RPV Stabilizers 對於 RPV 穩定器安裝要求僅有簡短一段文字敘述：「Installation of the vessel stabilizers shall be in accordance with Reactor Vessel Stabilizer Installation drawing.」，GE 公司施工規範「Installation drawing Stabilizer, Reactor Vessel, 105E2576」中有關穩定器安

核能工程注意改進事項 (續頁)

裝調整之規定已於前文中敘述，然而規範中對於 Heat-Up 狀態下，反應器之溫度、壓力並無明確定義，鑑於 RPV 軸向及周向熱膨脹伸張量(Thermal Expansion)與其溫度、壓力直接相關，且其調整作業的確存在現場施工困難度，建議台電公司相關單位(核技處、龍門施工處、核四廠)儘速釐清穩定器安裝調整規定，並妥善研擬方案以克服現場施工困難。

十一、依 ASME NQA-2 之規範，RPV 區域已進行 2 級 (RPV 內部) 及 3 級 (RPV 外部) 管制，經查證結果，其管制作業並未落實，人員進出仍有未依規定登記情形。如何才能作好人員機具之管制，及應由何者執行及管制站設置地點等，施工單位應儘速檢討改進。

十二、RPV 自 3 月 26 日已開始進行現場充氮儲存，至 3 月 30 日充氮壓力達 0.2kg/cm²，3 月 29 日曾發現洩漏情形，經迅速處理後已止漏。雖然承包商(中鼎公司)曾於充氮期間進行 4 次洩漏偵側檢查 (約一天一次)，但由於 RPV 下方之工作人員，每一時刻均須承受氮氣洩漏之潛在危險，施工單位應速裝置連續洩漏偵測預警裝置，以維護工作人員安全 (連續洩漏偵測預警裝置已於 4 月 4 日裝置並測試完成)。

十三、目前 RPV 所在區域設置有四台抽排風機等臨時通風設備，其通風能力是否足以防止 RPV 外部產生凝結水，避免影響儲存品質；及日後底座區域大量焊接作業進行時，能否保持工作環境良好空氣品質及噪音問題等，建議宜儘速處理。

十四、目前執行之各項管制作業似乎缺乏完整之執行計畫，如 RPV 安裝後之頂部遮雨棚經兩個月，至五月下旬才安置完成，稍

核能工程注意改進事項 (續頁)

嫌落後。另外穩定器安裝作業遲至六月上旬尚未安裝完成，所幸期間並無較大規模之地震發生，否則設備可能受損狀況之評估，將直接衝擊到核能安全之層次。本會同仁曾於 93 年 12 月提出建議，然而施工處與中船公司、中鼎公司因 RPV 安裝時程緊迫，未能事前詳細研究，預先發現施工圖面衝突以及現場施工困難度。台電公司作為工程管理者，應擷取寶貴經驗，事先未雨綢繆，才能使核四工程更順利推展，核能安全更有保障。

十五、就品管及品保立場而言，現場施工者必須遵循施工規範與程序書，然而施工規範與程序書亦可能出錯，宜秉持求真之精神，及早發現及更正，相信更能厚植核能工程品質堅實之基礎。另外，一號機 RPV 安裝作業已順利完成，對於本次視察所發現之缺失及施工處自行發現檢討之事項，建議台電公司審慎評估後再決定二號機 RPV 安裝時機，以降低後續工作之複雜度及風險。

參考文件：