

核能四廠一號機反應爐基座第一層組立
及
第一階段銲接作業視察報告

行政院原子能委員會

核能研究所 核能管制處

中華民國九十二年五月十五日

目 錄

	頁碼
1. 前言	1
2. 基座簡介及視察範圍	2
3. 視察依據	2
4. 視察重點項目	4
5. 視察執行與發現	5
6. 結論與建議	10

核能四廠一號機反應爐基座第一層組立及 第一階段銲接作業視察報告

1. 前言

核能四廠一號機反應爐基座的施工，歷經因誤用銲條而重做第二-五層以及第一層輔助鈹改善作業等過程，因此原能會對基座後續施工作業之品質自然甚為關注與重視，在同意台電公司復工後迄今，原能會已二度派遣視察人員前往中船公司高雄廠進行視察，結果顯示台電及中船公司確已依其承諾謹慎執行相關作業。至於核四工地方面，原能會視察人員亦持續注意第一層基座施工之動態及品質，九十二年三月間，第一層基座之施工已進入組立安裝階段。由於反應爐基座係承載核能電廠最重要的反應爐，而基座第一層更是反應爐承載的基礎，其施工品質的良窳，攸關核能安全至鉅。因此原能會乃委託核研所核四建廠安全管制支援小組組成視察團隊，針對第一層基座現場組立銲接作業執行專案視察，以持續督促台電及中船公司落實施工品管作業，確保基座施工品質能符合規範要求。

在本次視察作業中，視察人員係針對基座第一層 Shell 11 之吊裝，Shell 11~Shell 14 之粗組立、調整、定位、量測及主結構垂直銲道之銲接等作業，以直接觀察、研議各項作業程序書、設計圖面、作業紀錄及面談等方式進行視察工作。由於施工期間各相關負責單位的謹慎核對、評估，因而及早發現基座第一層底部與基鈹銲接作業必須略作修正，並將陸續進行後續之技術評估加以確認。因此本次視察銲接部分僅包括已完成之主結構垂直銲道，至於基座底部與基鈹銲接則將俟施工單位完成技術評估及程序書修正審核後，再列為下階段視察重點。由於目前視察作業已暫

告一段落，因此視察人員謹就本階段視察經過及結論撰擬本報告，以做為未來基座製造安裝後續管制作業之參考。

2. 基座簡介及視察範圍

反應爐基座第一層(SHELL 1)，為高 12.7 公尺，外徑 7 公尺，內徑 5.3 公尺之圓筒狀鋼構。內鈹(inner shell)為 A572 Gr 65 厚 32mm 之碳鋼；外鈹(outer shell)為 A533 Type B Class 2 低合金鋼，其厚度亦為 32mm，但外鈹外側另被覆以 3.2mm 之 SS304L 不銹鋼。內、外鈹間以厚 38mm A572 Gr 50 碳鋼銲接接合，稱之為肋鈹(rib plate)，部分內、外鈹及肋鈹之空間另安裝有不銹鋼 Vent Pipe。

基座第一層總重約 480 公噸，且體積龐大，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（分別稱為 RS11、RS12、RS13 及 RS14，如照片一所示為 RS11 以吊車操作之情形）。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。

本次專案視察之範圍即為一號機反應爐基座第一層四片扇形鋼構之組立定位及內鈹、外鈹接合之垂直銲道銲接作業。視察目的為經由鋼構銲接作業之直接觀察及作業紀錄審查，查證核四廠一號機基座組立、銲接作業之執行是否符合相關規範及程序書要求，以確保施工品質，並確認相關作業及結構設備之安全性。

3. 視察依據

本次視察作業係依據核子反應器設施管制法第十四條；視察內容主要依據則為核四廠反應爐基座工程承諾應

遵循之規範或標準、工作程序書、銲接程序書及相關設計圖面等，並簡述於下：

3.1 規範或標準

依據核四廠初期安全分析報告(PSAR)第三章，反應爐基座(Pedestal)之鋼構銲接作業應遵循 1990 年版美國銲接協會(AWS, American Welding Society)鋼鐵銲接規範(Steel Welding Code D1.1)，簡稱 AWS D1.1-90。

3.2 程序書：

第一層基座組立、銲接作業應遵循之相關作業程序書彙整如下：

3.2.1 作業程序書

- 基座製造安裝及檢驗程序書 C237 程-44-1001A Rev 7 (中船公司)：用於基座製造、安裝、檢驗之作業程序書

3.2.2 銲接程序書(WPS, Welding Procedure Specification)

- 銲接程序說明書 C237 程-62-1206 Rev 1 (中船公司)：適用於基座外板垂直銲道(銲道編號 w273-w276)之銲接
- 銲接程序說明書 C237 程-62-1220 Rev 1 (中船公司)：適用於基座內板垂直銲道(銲道編號 w277-w280) 之銲接

3.2.3 銲接檢驗程序書

- 銲接作業檢驗程序書 LMP-QLD-011 版次 2 (龍門施工處)：施工處品質人員銲接作業檢驗依據

3.3 設計圖面

- Installation for RPV Pedestal(2/7) C237B-144-B004
- Installation for RPV Pedestal(5/7)C237B-144-B007 Rev 2
- Installation for RPV Pedestal(7/7) C237B-144-B009

4. 視察重點項目

4.1 安裝與檢驗

依據基座製造安裝及檢驗程序書 C237 程-44-1001A Rev 7，安裝後檢驗項目包含半徑、高程、水平、垂直偏離度、弧度及開孔之尺寸、方位、高程等。

4.2 銲接前檢查

銲接作業前主要檢查項目包括現場是否使用正確之銲接程序書及工程圖面、銲工人員資格、銲條使用與管制、銲道表面狀況(surface condition)、銲道底部間隙(root opening)、銲道對準誤差(alignment offset)等。

4.3 銲接作業中檢查

銲接作業中主要檢查項目包括預熱溫度(preheat temperature)、層間溫度(interpass temperature)、銲後持溫、背鏟(backing gouging)及背鏟後 PT 等作業是否符合規範/程序書規定。

4.4 銲接作業環境

除銲接相關作業視察外，因基座內、外鈹垂直銲道銲接作業需要高空搭架及可能在缺氧之作業環境下工作，充分妥適之作業環境亦為確保銲接品質的重要條件之一，因此本次視察亦將銲工作業環境準備（含工作區環境整理）列為視察規劃項目。

4.5 其他

視察過程中若發現其他相關事項，亦規劃隨時查閱法規規範相關規定，即時適當處置。

5. 視察執行與發現

本次專案視察前預先將規劃項目之規範、程序書相關規定重點整理為視察檢驗依據，據以為視察作業執行時參考，視察作業之執行情況除分三次至現場觀察實際作業情形，其時間分別為 92/03/31、92/04/07~08 及 92/04/23 等共四天，此外，亦蒐集作業紀錄、檢查表等進行文件查證。視察發現摘要敘述如下：

5.1 安裝與檢驗作業查證

本項作業屬中船公司自主檢驗項目，目的在於銲接工作執行前先行確認第一層基座安裝於正確位置，且相關尺寸誤差均於設計範圍內，以期銲接作業後整體尺寸誤差符合設計要求。

中船公司於反應器廠房(reactor building)中心以鉛垂線建立量測基準(照片二)，利用光學儀器量測四片扇形鋼構安裝定位後之半徑、高程、水平等項目尺寸，垂直偏離度則利用垂懸重物方式逐一量測(照片三)，這些檢驗項目每隔 30⁰ 量測一次紀錄於檢驗表中。查證中船公司自主檢驗結果符合規範及程序書要求，其中弧度及開孔尺寸、方位、高程等檢驗項目已於高雄廠工件製造過程中檢驗，未列入工地現場安裝檢驗項目，另，垂直偏離度量測結果可視為工件準直度偏差之佐證。

5.2 銲接前檢查查證

5.2.1 現場使用銲接程序書及工程圖面查證

銲接工作現場視察發現，中船公司領班攜帶正確之銲接程序書及工程圖面於工作現場使用。

5.2.2 銲工人員資格查證

工程作業期間視察人員曾針對多位現場作業銲工查核其銲工識別證，確認其銲工人員資格均符合台電龍門施工處之要求，並可執行現場當時所使用之銲接程序書。

5.2.3 現場銲條使用與管制查證

現場作業銲工均依規定攜帶個人專用銲條保溫筒（照片四），並保持電源正常操作。視察作業中特別提及 AWS D1.1-90 Table 4.6 中有關低氫銲條容許暴露於空氣中時間之規定，E8016G（內鈹銲道使用之銲條）最多 2 小時、E9016G（外鈹銲道使用之銲條）最多 1 小時，中船公司領班亦表示明白上述銲條使用與管制之規範要求。

5.2.4 銲道開槽與組立檢查查證

視察依據列於表三。查證龍門施工處 S 級銲道對接銲作業檢查表中表面清潔度檢查項目，經辦課與品質課檢驗結果均為符合。根部間隙與銲口定位檢驗，中船公司核四工程銲接自主檢查表及龍門施工處 S 級銲道對接銲作業檢查表原亦僅定性描述為符合，立即建議凡涉及定量檢驗項目應於檢驗表中填明檢驗標準數值，中船公司與施工處均立即配合改善。另視察中發現 W274 銲道部分位置根部間隙可能超過規定（照片五），經中船公司確認後，依 AWS D1.1 第 3.3.4.1 節規定執行修正，並紀錄於檢驗表中，符合相關作業程序。

5.2.5 鐸道標示

由於每條垂直鐸道長達 12.7 公尺，故分上、中、下三段分由三位鐸工進行鐸接工作。並事先在鐸道旁依規定噴上鐸道編號、鐸工姓名及以符號標示應使用之鐸條總類，符合中船公司承諾之作業方式。

5.3 鐸接作業中檢查查證

鐸接作業中主要之檢查項目為預熱溫度、層間溫度、鐸後持溫、背鏟及背鏟後 PT 等作業是否符合規範/程序書規定。因內鈹鐸道與外鈹鐸道依據之規定不盡相同，分別敘述於下。

5.3.1 內鈹鐸道 W277~W280

視察依據列於表四，視察發現，現場預熱及層間溫度加熱方式採用高雄廠經驗，以排管燃燒氧乙炔加熱母材（照片六）。內鈹母材為厚度 32mm 之 A572 Gr65 Group III 材料，其中預熱、層間溫度二項，表四中僅要求最低 66°C，中船公司基於工程經驗將其提高為最低 138°C，查證中船公司核四工程鐸接自主檢查表，已將其值填寫於檢驗項目中，但龍門施工處 S 級鐸道對接鐸作業檢查表僅定性描述為符合，立即建議凡涉及定量檢驗項目應於檢驗表中填明檢驗標準數值，施工處立即配合改善。預熱溫度量測係利用紅外線溫度量測儀測量（照片七），查證其儀器校正標示，確認仍在校正有效時間內。預熱及層間溫度二項檢驗項目，中船公司及龍門施工處檢驗結果符合規定及承諾。另，雖然 AWS 及程序書並無鐸後持溫要求，中船公司為盡量降低鐸道中殘存氫氣，內鈹鐸道雙 V 槽任一面鐸道完成後，均持續以加熱

排管加熱至 275°C 持溫 2 小時後，再覆蓋絕熱帶(isolation belt)緩慢冷卻至環境溫度（照片八）。

上述預熱及層間溫度檢驗，施工處於檢驗表以定性方式描述為符合，檢驗作業方式與 5.2.4 鐸道開槽與組立檢查查證中視察發現相同，除當場建議改善外，並於 92 年 5 月 5 日簽發視察備忘錄(編號 LM-會核-92-13-0)。請相關施工單位參考改善。

由於內鈹鐸道為雙 V 開槽全滲透鐸接設計，依鐸接程序書規定，第一面 V 槽鐸道完成後必須執行背鏟，且為確保背鏟研磨之品質，以避免可能之缺陷，背鏟後須進行 PT 檢驗。查證中船公司均依規定執行第一面 V 槽鐸道背鏟及鐸道背鏟後 PT 檢驗作業。

5.3.2 外鈹鐸道 W273~W276

外鈹（母材為 A533 B2）鐸道之鐸接除使用鐸條為 E9016G 及鐸前預熱、層間溫度與及鐸後持溫等溫度限值略有差異外，其加溫、量測方法均與內鈹鐸道鐸接相同。查證龍門施工處 S 級鐸道對接鐸作業檢查表及中船公司核四工程鐸接自主檢查表，其涉及量化之檢驗項目已依建議填寫於相關檢驗欄位中，作業符合程序書要求。

外鈹鐸道開槽設計與內鈹鐸道相同，亦須執行第一面 V 槽鐸道背鏟及鐸道背鏟後 PT 檢驗作業，查證中船公司均依規定執行相關作業及檢驗。

5.4 鐸接作業環境準備查證

龍門施工處及中船公司均非常重視現場工作環境工安條件，事先搭立工作平台，並要求工作人員須佩帶高空作業專用安全帶。此外，因基座第一層內、外鈹之間

工作環境類似半密閉空間，鐸道加熱期間不斷產生大量煙塵，除現場亦設置抽氣設備將煙塵排出，並於測量氧氣濃度合乎規定後，方准許鐸工進入工作區施鐸。現場查證上述作業，並查證氧氣濃度量測儀校正標示，確認仍在校正有效時間內。上述作業環境準備符合勞工安全衛生設施規則第二百二十五條及第二百九十九條第四款相關規定。另外，中船公司鑒於內、外鈹間可能因鐸道加熱，導致鐸工作業環境溫度過高，特設計將加壓空氣管連接至鐸工工作服內，既可有效冷卻鐸工身體，增加環境換氣率，強化鐸工工作安全保障，並可避免高速空氣氣流影響鐸道品質。

視察過程中亦發現，龍門施工處及中船公司為避免基座工程受天候影響，於基座上方架設大型棚架，並加強現場作業廠區環境整理，對確保基座工程品質應有助益。

5.5 視察作業其他發現

視察 W274 鐸道 (RS12、RS13 外鈹垂直鐸道) 內側鐸接前檢查時發現，RS13 外鈹內側在高程 EL 2300 處遺留填角鐸加強鈹移除痕跡 (見照片五右側下方)，經查工程圖 C237B-144-B009、C237B-144-A014 發現，此類加強鈹(尺寸為 32x1061x300)共 29 片，環繞第一層基座外鈹內側，中心線位置高度為 EL 2300，鐸接方式為填角鐸，其中 135⁰~144⁰(RS12-RS13)加強鈹因妨礙外鈹垂直鐸道施工，中船為考量鐸接作業之可接近性予以移除部份加強鈹，預計日後移除剩餘部份後，加強鈹再依相關程序書施工。檢視另二處 36⁰~45⁰(RS11-RS12)、315⁰~324⁰(RS14-RS11)位置上類似狀況加強鈹，發現尚未施工，符

合設計施工順序。

依據 AWS D1.1-90 3.7.5 The Engineer shall be notified before improper fitted and welded members are cut apart.，已銲接之加強鈹逕予移除似不符規範，於是要求龍門施工處及中船公司移除上述加強鈹前，應進行技術評估並依適當程序處理。

基座第一層垂銲道施工期間，施工處及中船公司亦同時規劃後續基座與底鈹銲接作業，施工單位主動發現基鈹銲接後熱處理作業可能導致基層混凝土溫度過高，目前已按規定提出變更作業程序並進行技術評估作業。

施工單位及早發現可能發生衝突之工程界面條件，並依規定進行相關技術評估以確保工程品質，謹慎處理之態度值得肯定。

6. 結論與建議

- 6.1 基座第一層組立、銲接作業大部分均能符合相關規範及程序書規定，中船公司實際作業執行之內、外鈹垂直銲道預熱與層間溫度要求高過規範及程序書規定，及增加執行內鈹垂直銲道銲後持溫作業，對於銲道品質之提昇應有正面效益。
- 6.2 施工處與中船公司以謹慎態度執行基座第一層組立與銲接作業，對各項作業安全及銲接工作均充分考量，並確實準備執行，值得肯定。
- 6.3 大部分組立及銲接作業均符合相關規定，少部分仍須強化之事項如 S 級銲道對接銲作業檢查表中，檢驗涉及量化數值之項目應明確填註接受標準，施工處及中船公司

已充分配合改善，或將經技術評估後循適當作業程序改善。

- 6.4 一號機基座工地現場組立與銲接工程，已完成第一層基座內、外鈹垂直銲道碳鋼母材之銲接作業。後續工程，如外鈹銲道外層不銹鋼 cladding 銲接、非破壞檢測作業、銲道銲後熱處理以及後續第一層與基鈹組立銲接、第二到五層組立銲接作業等現場工作將持續進行，以配合即將運抵工地之一號機反應爐後續安裝工程，上述基座後續工程未來仍將列為重點視察項目。
- 6.5 本次視察過程所發現之相關事項，核研所視察人員已先後透過原能會發出六件視察備忘錄，除要求台電及中船公司針對視察過程所發現之相關事項進行改善外，並要求相關單位將一號機基座安裝之經驗回饋至未來二號機基座之作業上，以提升整體作業之品質。



照片一：基座第一層扇形鋼構體(RS 11 吊裝作業)



照片二：鉛垂線建立量測基準



照片三：垂直偏離度量測



照片四：現場使用之鐸條保溫筒



照片五：部分鐸道根部間隙超過規定



照片六：鐸道預熱



照片七：鐸道預熱溫度量測



照片八：鐸後持溫，再覆蓋絕熱帶緩慢冷卻至環境溫度