

核四復工品質視察報告

行政院原子能委員會

核能管制處

中華民國九十年四月二十日

目 錄

壹、前言	1
貳、視察方式	3
參、視察結果	5
肆、結論	17
附圖	18
附件一、核四復工品質視察計畫	24
附件二、核四復工品質管制要求事項	26
附件三、協助視察之教授審查意見表	29

壹、前言

龍門核能電廠自 88 年 3 月 31 日澆置第一塊混凝土以來，經 89 年 5 月 20 日經濟部辦理核四再評估，暫緩核四工程各項採購及工程公告招標，89 年 10 月 27 日行政院宣布核四停建，施工中各工程就現狀暫停施工，以及 90 年 2 月 14 日行政院宣布核四復工續建，各項工程或解約或陸續施工並恢復招標作業，使得核四工程進度受阻，為評估停工所造成的影響並確保建廠施工品質，特別辦理「核四復工品質視察計畫」。

核四工程一、二號機總進度截至九十年三月底止，累計實際施工進度為 8.12%（預計進度 16.80%），停工期間均未有進度，其中一號機主體工程進度為：反應器廠房結構基礎（Basemat）已完成，外牆 OW1-17-1 分塊完成；RCCV Liner 第 1~4 層吊裝中；控制廠房基礎（Basemat）已完成。內外牆筋已排紮；汽機廠房基礎第一、二區塊已完成，第三區塊鋼筋及模板組立完成。二號機主體工程之進度則為：反應器廠房基礎（Basemat）已完成；RCCV Liner 第一層吊裝中；控制廠房基礎（Basemat）已完成，內外牆筋已排紮；汽機廠房基礎開挖已完成，將增作地球物理探測工作，目前正辦理發包作業中。

本次定期視察計畫分本會及學者專家兩組，由核能管制處陳建源技正率隊，本會視察人員包括劉允平、張國榮、黃偉平，學者專家包括黃兆龍博士、林志棟博士、李後龍博士及高家楊，視察期間為 90 年 3 月 27 日至 90 年 3 月 30 日共計四天，視察總人力為 28 人天，詳細視察計畫如附件一。本次視察之重點為：復工品質檢驗計畫及工程銜接作業、已施築之土木結構品質（含鋼筋及混凝土）檢驗作業、特殊製程品質查證、設備與器材之倉儲與管理、品質文件與紀錄管制、人員資格與訓練、品質管制與品保稽查功能、廠務與工安管理。

貳、視察方式

本次視察所採取之方式包括（視察相關活動，如圖一至十二）：

- 一、文件審查：包括(一)外購合約已交運設備品質查驗紀錄、(二)工程品質查驗紀錄（含設備品質、測量儀器校正、品質文件紀錄等）、(三)工安查驗紀錄（包括開挖面穩定、施工機具及設施查驗紀錄）(四)人員資格與訓練等，以確認其復工前品質符合品保要求。
- 二、現場作業之巡視及查證：包括配合視察期間現場狀況了解，赴工地巡視，並查驗一、二號機現場鋼筋抽樣點及鋼筋銹蝕情形、會同專家學者進行現場評鑑、現場工安及廠區清潔檢查、特殊製程品質查證、鐸條管制作業查驗及倉儲管理現況等，以確認其施工品質符合復工前品保要求。
- 三、人員訪談：包括與被稽查單位相關作業執行人員之面談，以瞭解復工品質查證之執行作業專業能力及符合品保作業之情形，並交換對復工相關品保制度執行之意見，以評估復工品質查證落實執行情形。

四、視察團隊之小組討論：每天稽查作業完成後，由領隊召開討論會議，分組成員提出視察發現摘要，並交換意見以整合並調整視察之深度與廣度，以達成團隊視察之目的。

參、視察結果

一、本會視察結果

(一) 澆置混凝土前所有鋼筋上之浮鏽、污泥或青苔，以及可能降低握裹力之雜質均應清除潔淨。

(二) 外露鋼筋取樣測試報告應補充部份：

應依據取樣測試分析結果所得之腐蝕率公式推估外露鋼筋之安全期限，如超出法規標準應作設計分析再作必要之補強。

(三) 一號機 R /B、 C/B、 T/B及二號機C/B工程品質查驗項目已完成，部份外牆防水膜有脫落或破損、混凝土表面長青苔及測量基點傾斜等，請在復工時確實回復以符合品質要求。

(四) 施工設備，包括測量儀器(NI及混凝土供應)執行校驗時程已順延，復工前請QA/QC確實列管查証。另，測量儀器校正查驗已完成，經查驗仍在有效期間。

(五) 中船鐸條儲存間烤箱溫度計校期(89/11/28)已超過，鐸條品質應澄清其品質後方能使用。

(六) 倉儲作業已有明顯改善，但在器材維護方面仍有幾項小缺失，例如：RHR泵Canister內壁有生鏽情形、露天管節Cap脫落及防護蓋帆布上方積水等，請再加強。此外，部份器材在到貨2~3個月後方驗收，可能影響器材維護品質，建議縮短待驗時間。

(七) 部份ASME第2、3類管節之RT底片未隨QRP送工管課存檔，以及DCC儲存區之相對溼度偏高之問題亦應再改善。

(八) 有關施工災害事故通報程序中，危害狀況中之(三)工安衛生災害、(四)環境影響事項及(六)民眾陳情事件等三類，請通報原能會。(電話：2363-4180分機350或302、FAX：2363-5377，並副知駐廠辦公室。)

(九) 停工後施工處人員中，AE有28人離職、台電則有9人離職(其中6位技術員、3位工程師)，在人員方面如需具有資格檢定要求者，品質處應確實把關審查。

(十) 工安方面

1. 復工前應再針對工作平台、樓梯、支架、扶手等各項臨時工作物詳細檢視，特別是桿件鬆動、結構支撐不足等，

應予以加強，老舊及銹蝕嚴重應予以更換或更新，以確保施工安全。

2. 鋼筋加工廠各項機電設備，應在動工前完成功能測試，吊車等危險設備均應重新檢驗，以上要求之測試及檢驗完成前(不論目前之安檢是否仍在有效期限)均應進行管制，以避免實際動工前使用，而潛在影響工安。
3. 鋼筋組立之工作支架為非安全等級，其品質亦未經檢查，因此停工期間工作支架之焊接點，是否有材質劣化、鬆動等現象，以致有影響工安之虞，施工處亦應列為查驗項目之一。
4. 工地消防設備，因停工造成設備缺乏保養而拆除，復工前應將消防設備更新、復原，並確保有效使用，以維工安。

(十一) 一號機主蒸汽隔離閥(MSIV)共八只，奇異公司已於89年8月4日送達施工處，惟送達時，閥之主體及操作機構聯結一起，造成操作機構無法依規定進行儲存期間之維護保養(儲存超過六個月後，每四星期測試動作乙次)，目

前已逾維護保養週期甚久，應速改善。

(十二)「核四復工計畫外購合約已交運設備品質查驗紀錄」

中，查驗項目之「週期」除打勾外，應填入正確之維護週期及實際實施維護之日期，其他如電氣設備之「電阻值」及部份儀器之「充氮壓力」亦應填入查驗時之量測值，以便與標準值比對。

(十三)一號機機RCCV Liner Corner Plate(CN 01 9 ; CWA 1

9)依圖面C237B-143-B004須執行UT及VBT兩項非破壞性檢測，該鐸道為開單斜 45° 槽有背襯板(38× 6.4t)，Root Opening 6.4mm。在UT檢測部份，先以直束縱波探頭檢測掃描母材區是否有夾層存在，另以 45° 及 70° 斜束橫波探頭檢測鐸道區及熱影響區。檢測結果發現鐸道編號46 61在相同位置，約主鐸道根部區有超音波反射信號，其信號振幅大於20%DAC，該缺陷經研判為溶入不足(Incomplete Penetration , IP)，依法規要求，該鐸道為不可接受。經查該鐸道由三位鐸工完成，此三位鐸工為中船公司的下包商，其鐸工資格皆經考試合格，

且在有效期間內，所使用的銲接程序書(WPS)亦符合要求，然而發生整條圓周銲道有90%以上不合法規要求的缺陷。為避免二號機在RCCV Liner Corner Plate相同銲道發生同樣問題，請相關單位(如主辦課、NDE股、電銲品質股等)應進行肇因分析解決問題，而後續不合格焊道的剷修亦須注意重新銲補後對銲道品質的影響。

(十四) 銲接管制方面

1. 一號機 RCCV Liner Plate 第四層已組立，經現場觀察結果發現該層與第三層間之對位(Alignment)參差不齊，有的間距過大，有的左右嚴重錯開，建議未來施銲前應確實查驗 Fit-up 狀況以免影響銲接品質及後續 NDE 與剷修作業要求。
2. 就銲接品質而言，NDE 與電銲管制關係密切，建議未來 NDE 檢測結果若影響品質之肇因有出自銲接作業者，能將情形回饋給電銲品質股以期能共同研商合理的處置措施，並避免後續作業及二號機出現相同缺失。

3. 電鍍品質股以鍍工考照管制為其鍍接品管的重要手段，而鍍接現場查驗卻是其重點工作，預期未來的工作量將相當可觀，建議該股能依其人力資源適當的調配各項功能的優先順序，以便能順利的完成所賦予的角色及滿足品管的要求。
4. 汽源課所建立之鍍接總查對表對鍍道處置狀況的追溯相當方便，值得稱許。

二、學者專家意見

(一)黃兆龍教授審查意見

1.復工計畫品質查證：

- (1)復工可考慮趕工計劃。
- (2)簡化行政程序。
- (3)復工後宜建全品保計劃、事前技術說明、技術訓練、工作人力訓練及評鑑。
- (4)查驗工作宜建立標準檢驗查核表，檢驗結果之檢討及修正。
- (5)三級品管是否能增加料源源頭管制工作。

2.鋼筋取樣驗證報告審查：

- (1)鋼筋腐蝕速率的量測及報告，顯示出可能之影響。(可參考工材所的電信局規範)。
- (2)鋼筋有效斷面積之折減為重要量測項目。
- (3)如果鋼筋銹蝕過大，應檢討結構安全性。
- (4)品質查驗資料宜繪出分佈圖。

3.現場實勘意見：

- (1)現場鋼筋產生均勻腐蝕 (uniform corrosion)，約厚 0.1mm 以上，按照國內外資料顯示在 $13\sim 530\ \mu\text{m}/\text{yr}$ 範圍，即 $0.013\sim 0.53\text{mm}/\text{yr}$ ，其腐蝕厚度仍在安全範圍，建議施工前必須以水刀清洗鬆銹後才能澆置混凝土。另，在施工前宜追蹤量測腐蝕速率。
- (2)現場混凝土在版部份有積水並產生海藻 對表面混凝土產生中和現象，故在施工前必須完全清除，並將表面以水刀洗淨，方可澆置混凝土。

4.綜合評估及建議：

- (1)復工計畫內宜將已完成部份清楚以圖面及顏色區

分，並表明未完成部份之數量及工程時程。且應配合
土木 402-88「混凝土工程施工規範與解說」擬定趕工
計畫，加速完成主結構。

(2)復工後新舊工程，5M（人、機、料、資金、方法）
等銜接界面問題，宜在發包前與工區工作人員及可能
投標施工廠商進行資訊交換及訓練溝通，期使所有人員
進入狀況。

(3)鋼筋取樣驗證仍須包括腐蝕速率，並與國內外腐率
13~530 $\mu\text{m/yr}$ ，頭城 65.74 $\mu\text{m/yr}$ 作比較，施工前必須
將鋼筋表面鬆銹，混凝土表面清洗及清除淨潔，露
出健康部份，才可以施工。

(4)施工等待期間，宜將已完成之資料系統化，作成資訊
（Information）並與文獻資訊比對，充分顯示核電廠
健康之結構體質，並以適當海報宣示，以提昇核工品
質之接受性。

(二) 林志棟教授審查意見

1. 復工計畫品質查證：

- (1) 核四工程「復工品質查證計畫書」係依據 90 年 2 月 16 日原能會核管處所召開「核四復工討論會」之決議提出，內容分成設備查證、設計品質查證、施工品質查證等三部份。
- (2) 外購合約製造中，設備品質查證計畫係由石威 (S&W) 公司在國外執行，依 S&W PP2-18-0 程序書 LPR Quality Verification Plans for Foreign Fabricated Equipment 執行。
- (3) 內製設備製造品質查證計畫及預定查證時程係由核火工處設備品質課會同合約廠商及國內有關製造人員共同執行，依據 NFD-QLTE-01(N)T 程序書，承商設備品質計畫書，以及各內製廠商停工期間之「設備保存與保護計畫及設備儲存作業程序書」執行三種不同停工狀況之查證，預定 3 月底完成查證。
- (4) 設計品質查證計畫分成文件保存與保護計畫執行查證

及各設計廠商人員查證及 DCIS 品質查證計畫，部份在四月底完成，另一部份依設計時程控制。

- (5)施工品質查證計畫分外購合約、已交運設備品質查驗及預定查驗時程，工程品質查驗及預定查證時程分器材設備、測量基準、文件紀錄三部份，以及工安及人員查驗，以上皆預計於三月底完成。

2.鋼筋取樣驗證審查：

- (1)鋼筋取樣係由龍門施工處於 90 年 3 月 1 日及 3 月 2 日會同相關人員至現場取樣切割鋼筋樣品，a.反應器廠房(R/B)及控制廠房(C/B)共 43 支，b.汽機廠房(T/B)14 支，c.鋼筋加工廠(R/B)及(C/B)共 30 支，合計 87 支。
- (2)87 支鋼筋分別進行單位重(除銹前後)、節高、節距、間隙寬度、降伏強度、抗拉強度、伸長率等項目，全部合乎 ASTM A615 及 ASTM 370。
- (3)建議進行施工鋼筋前後之比較，如各種號數之平數值之各種檢定分析，以印證施工前後之差異。

3.現場實勘意見：

現場實勘分核島區及汽機島區、鋼筋加工廠、預拌廠三部份

(1)汽機島區及核島區部份，施工品質良好，鋼筋部份，標稱直徑 NO.18 有少許銹斑，小號(<NO.8)鋼筋，由於表面積較大及加工彎曲部份有斑銹。

(2)鋼筋加工廠：鋼筋儲存保護措施良好。

(3)預拌廠：待工狀況維護良好。

4.綜合評估及建議：

(1)「核四工程復工品質查證計畫書」，「外露鋼筋取樣測試報告及比較資料圖表」內容詳細完整。

(2)「外露鋼筋抽樣查驗及試驗報告」結果顯示，皆符合品質規定。

(3)鋼筋加工廠及預拌混凝土廠在待工狀況維護良好。

建議事項：

(1)本工區限於政治考慮停工及復工，影響工程師士氣，乃本工程復工關係品質之最不確定因素，如何提昇士氣乃

本工程復工之最大問題。

- (2)各項復工計畫以及整合專業時程掌控(IPS)之追蹤回饋、落實、未雨綢繆，以避免如二號機汽機廠房之基礎變更問題。
- (3)復工計畫中有關鋼筋腐蝕問題，請補充施工前後之品質統計分析，沒有差異報告(不顯著)。
- (4)設計廠商人員工作持續性及新進人員查證應加強。

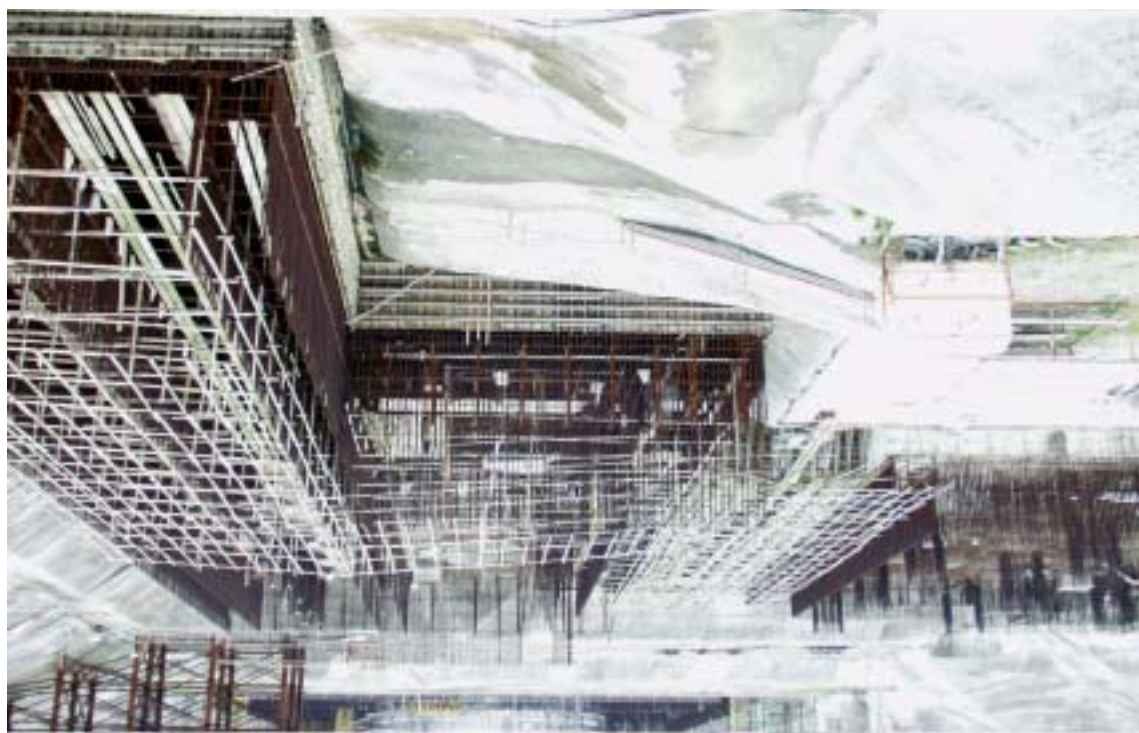
肆、結論

此次視察小組就現場之查証及品質文件之審查中發現，在「外露鋼筋抽樣查驗及試驗報告」部份依試驗結果顯示，已排紮鋼筋或存放於鋼筋加工廠內之鋼筋品質，皆仍符合設計品質規定，惟鋼筋之腐蝕速率問題，龍門施工處仍應依照二位教授之審查意見，增加量測鋼筋有效斷面積之折減分析，並就腐蝕速率作安全期限之趨勢研判。銲接管制發現之一號機 RCCV Liner Plate 有對位參差不齊，及 90%以上銲道溶入不足之品質不符法規要求的缺陷問題，相關單位應進行肇因分析，並於未來施銲前確實改善。

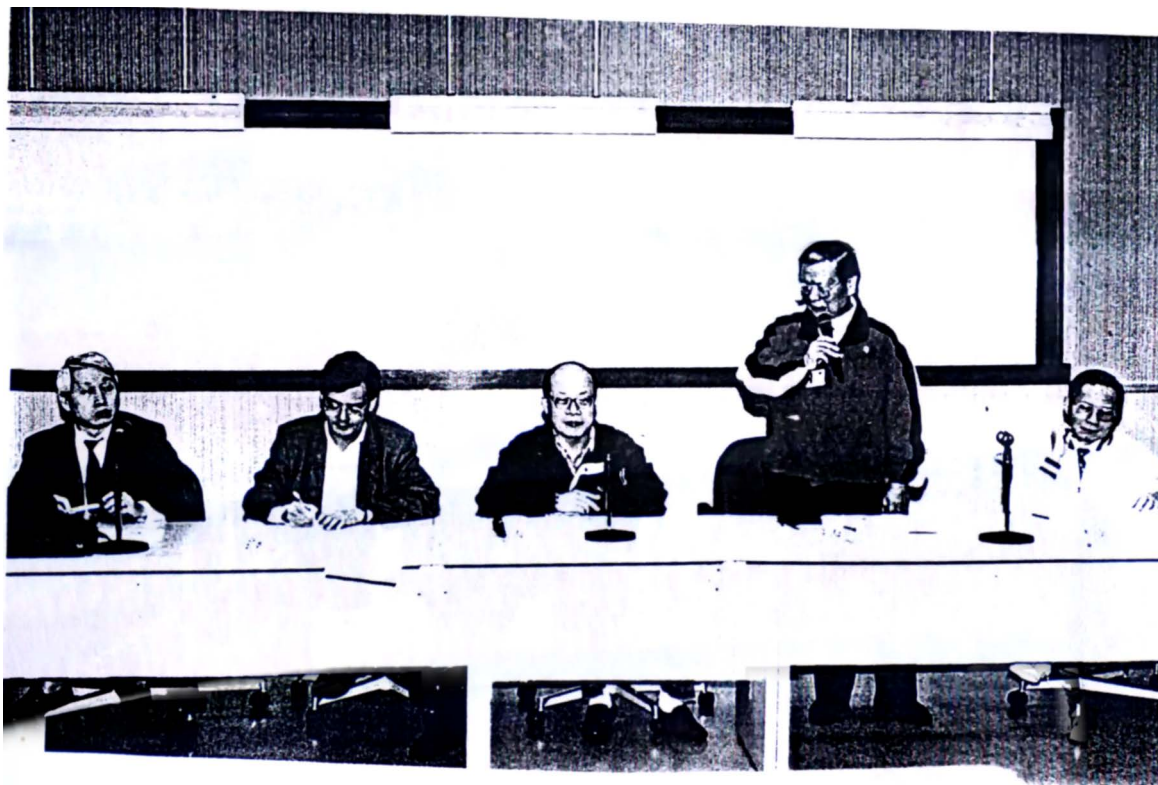
其他在倉儲管制、工安、環保及資料儲存、人員訓練等，仍有改善空間，龍門施工處應於正式復工前完全改正，以確保良好之施工品質。



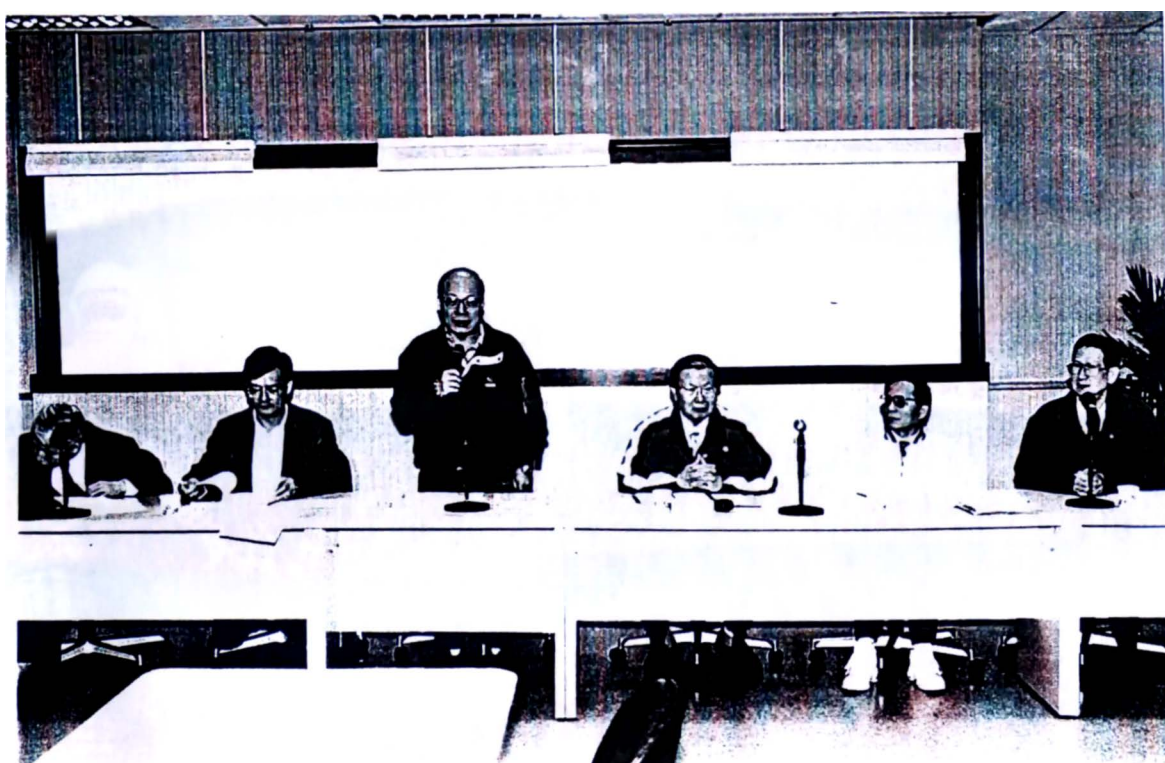
圖一：一號機反應器廠房現況



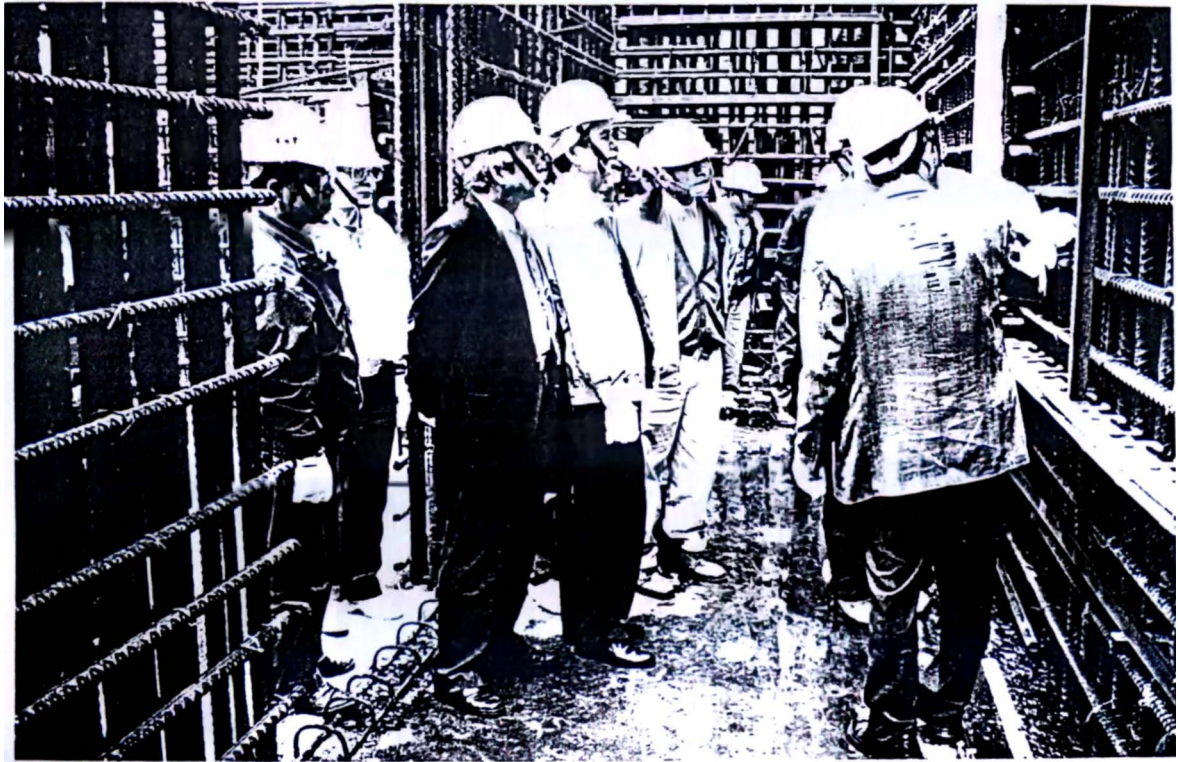
圖二：一號機汽機廠房現況



圖三：視察前會議 (補)



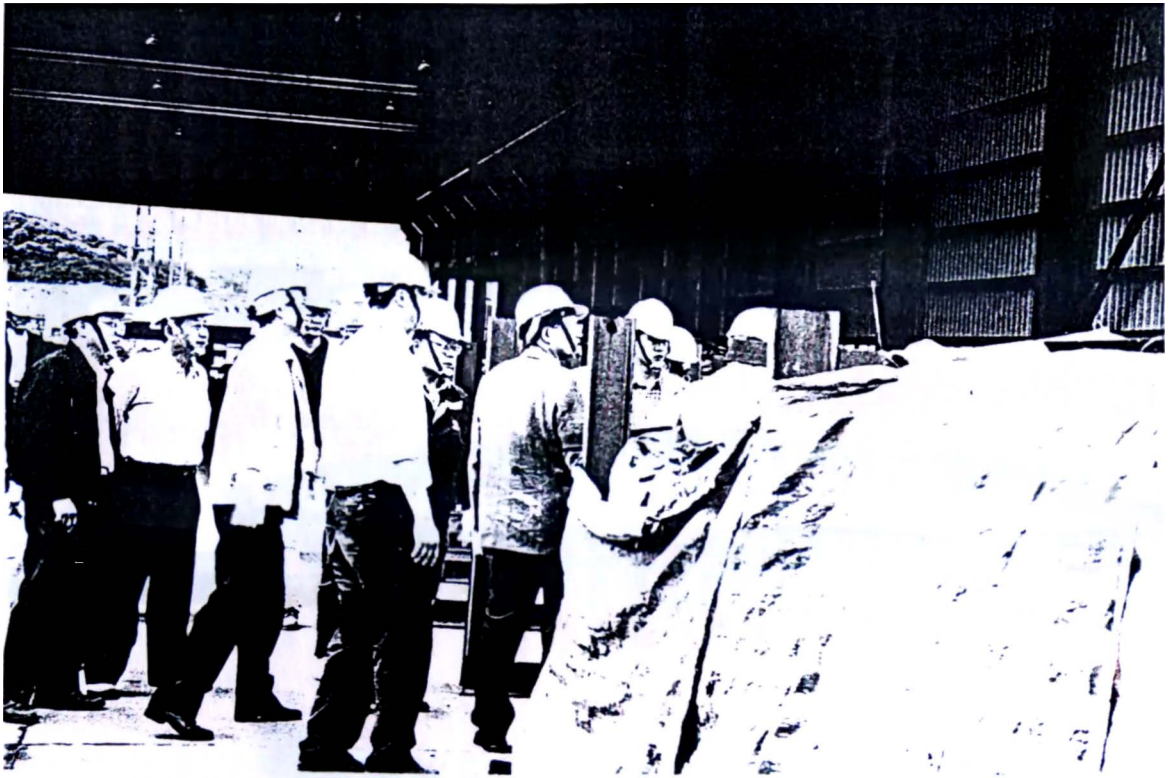
圖四：視察後會議 (補)



圖五：視察核島區鋼筋銹蝕狀況 (補)



圖六：視察汽機島區鋼筋銹蝕狀況 (補)



圖七：視察鋼筋加工廠鋼筋儲存情形 (補)



圖八：視察鋼筋取樣材料試驗後試體破壞情形 (補)



圖九：視察預拌凝土場作業機具保養情形 (補)



圖十：視察資料管制中心文件資料儲存情形 (補)



圖十一：視察倉儲管理



圖十二：視察重件碼頭 (補)

核 四 復 工 品 質 視 察 計 畫

一、視察編組

1.領 隊：陳技正建源

2.視察人員：

(1) 本會：黃智宗、盧延良、黃偉平、林喬源、劉允平、
張國榮。

(2) 學者專家：陳振川博士、黃兆龍博士、林志棟博士、
李後龍博士、高家揚先生。

二、視察時程

九十年三月二十七日至九十年三月三十日（計四天）。

視察前會議：三月二十七日上午十時（地點請施工處安排）。

視察後會議：三月三十日下午一時三十分（地點請施工處安排）。

三、視察項目

- 1.復工品質檢驗計畫及工程銜接作業。
- 2.已施築之土木結構品質（含鋼筋及混凝土）檢驗作業。
- 3.特殊製程品質查驗。
- 4.設備與器材之倉儲與管理。
- 5.品質文件與紀錄管制。
- 6.人員資格與訓練。
- 7.品質管制與品保稽查功能。
- 8.廠務與工安管理。

四、注意事項

1. 視察前會議請施工處提出工程現況及復工品質管制作業報告。
2. 本案承辦人：劉允平（TEL：23634180 分機 352）

核四復工品質視察要求事項

緣起	90.3.27~30 現場視察	日期	90 年 4 月 20 日
1. 澆置混凝土前所有鋼筋上之浮鏽、污泥或青苔，以及可能降低握裹力之雜質均應清除潔淨。 2. 外露鋼筋取樣測試報告應補充部份： 請依據取樣測試分析結果所得之腐蝕率公式推估外露鋼筋之安全期限，如超出法規標準應作設計分析再作必要之補強。 3. 一號機 R /B、C/B、T/B及二號機C/B工程品質查驗項目已完成，部份外牆防水膜有脫落或破損、混凝土表面長青苔及測量基點傾斜等，請在復工時確實回復以符合品質要求。 4. 施工設備，包括測量儀器(NI及混凝土供應)執行時程已順延，復工前請QA/QC確實列管查証。 5. 中船鐸條儲存間烤箱溫度計校期(89/11/28)已超過，鐸條品質應澄清其品質後方能使用。 6. 倉儲作業已有明顯改善，但在器材維護方面仍有幾項小缺失，例如：RHR泵Canister內壁有生鏽情形、露天管節Cap脫落及防護蓋帆布上方積水等，請再加強。此外部份器材在到貨2 3個月後方驗收，可能影響器材維護品質，建議縮短待驗時間。 7. 部份ASME第2、3類管節之RT底片未隨QRP送工管課存檔，以及DCC儲存區之相對溼度偏高之問題亦請改善。 8. 有關施工災害事故通報程序中，危害狀況中之(三)工安衛生災害、(四)環境影響事項及(六)民眾陳情事件等三類，請通報原能會。(電話：2363-4180分機350或302、FAX：2363-5377，並副知駐廠辦公室。) 9. 停工後施工處人員中，AE有28人離職、台電則有9人離職（其中6位技術員、3位工程師），在人員方面包括AE及工程師如需具有資格檢定要求者，品質處應確實把關審查。			

核四復工品質視察要求事項(續)

緣起	90.3.27~30 現場視察	日期	90 年 4 月 20 日
10. 工安方面			
(1) 復工前請務必再針對工作平台、樓梯、支架、扶手等各項臨時工作物詳細檢視，特別是桿件鬆動、結構支撐不足等予以加強，老舊及銹蝕嚴重應予以更換或更新，以確保施工安全。 (2) 鋼筋加工廠各項機電設備，應在動工前完成功能測試，吊車等危險設備均應重新檢驗，以上要求之測試及檢驗完成前(不論目前之安檢是否仍在有效期限)均應進行管制，以避免實際動工前使用，而潛在影響工安。 (3) 鋼筋組立之工作支架為非安全等級，其品質亦未經檢查，因此停工期間工作支架之焊接點，是否有材質劣化、鬆動等現象，以致有影響工安之虞，亦請施工處列為查驗項目之一。 (4) 工地消防設備，因停工造成設備缺乏保養而拆除，請於復工前將消防設備更新、復原，並確保有效使用，以維工安。			
11. 一號機主蒸汽隔離閥(MSIV)共八只，奇異公司已於89年8月4日送達施工處，惟送達時，閥之主體及操作機構聯結一起，造成操作機構無法依規定進行儲存期間之維護保養(儲存超過六個月後，每四星期測試動作乙次)，目前已逾維護保養週期甚久，請速改善。			
12. 「核四復工計畫外購合約已交運設備品質查驗紀錄」中，查驗項目之「週期」除打勾外，請填入正確之維護週期及實際實施維護之日期，其他如電氣設備之「電阻值」及部份儀器之「充氮壓力」亦應填入查驗時之量測值，以便與標準值比對。			
13. #1機RCCV Liner Corner Plate(CN 01 9 ; CWA 1 9)依圖面C237B-143-B004須執行UT及VBT兩項非破壞性檢測，檢測結果發現鐸道編號46 61皆發現在相同位置，約主鐸道根部區有超音			

核四復工品質視察要求事項(續)

緣起	90.3.27~30 現場視察	日期	90 年 4 月 20 日
波反射信號，其信號振幅大於20%DAC，該缺陷經研判為溶入不足(Incomplete Penetration, IP)，依法規要求，該鐸道為不可接受。經查該鐸道由三位鐸工完成，此三位鐸工為中船公司的下包商，其鐸工資格皆經考試合格，且在有效期間內，所使用的鐸接程序書(WPS)亦符合要求，然而卻發生整條圓周鐸道有90%以上不合法規要求的缺陷。為避免二號機在RCCV Liner Corner Plate相同鐸道發生同樣問題，請相關單位(如主辦課、NDE股、電鐸品質股等)進行肇因分析解決問題，而後續不合格焊道的剷修亦須注意重新鐸補後對鐸道品質的影響。			
14. 鐸接管制方面 (1) 一號機RCCV Liner Plate第四層已組立，經現場觀察結果發現該層與第三層間之對位(Alignment)參差不齊，有的間距過大，有的左右嚴重錯開，建議未來施鐸前應確實查驗Fit-up狀況，以免影響鐸接品質及後續NDE與剷修作業要求。 (2) 就鐸接品質而言，NDE與電鐸管制關係密切，建議未來NDE檢測結果若影響品質之肇因有出自鐸接作業者，能將情形回饋給電鐸品質股以期能共同研商合理的處置措施，並避免後續作業及二號機出現相同缺失。 (3) 電鐸品質股以鐸工考照管制為其鐸接品管的重要手段，而鐸接現場查驗卻是其重點工作，預期未來的工作量將相當可觀，建議該股能依其人力資源適當的調配各項功能的優先順序，以便能順利的完成所賦予的角色及滿足品管的要求。			
15. 鋼筋有效斷面積之折減為鋼筋銹蝕之重要量測項目，應落實此量測工作並作成紀錄，以利日後分析研判。			