

核四廠餘熱移除系統熱交換器(RHR Hx)

品質文件查證報告

行政院原子能委員會

核能研究所 核能管制處

中華民國九十二年八月二十日

目 錄

頁次

一、	前言.....	1
二、	餘熱移除系統熱交換器簡介.....	1
三、	查證項目.....	1
四、	查證過程.....	2
五、	查證結果.....	3
六、	結論與建議.....	7

一、 前言

本報告摘要敘述核研所支援核四廠安全管制專案小組，配合原能會核管處之規劃，於 92 年 5 月 20-22 日間赴核四工地，執行核四廠 RHR 熱交換器(簡稱 RHR Hx)品質文件專案查證之項目、過程、結果及主要發現。

二、 餘熱移除系統熱交換器簡介

核能電廠停機後，核燃料分裂產生的核種仍會繼續衰變，並產生約 1.5% 機組功率的餘熱（餘熱功率會快速降低，一天後餘熱大約僅剩 0.2%）。因此，核能電廠均須設計餘熱移除系統(Residual Heat Removal，簡稱 RHR)，以提供核能機組停機後爐心及某些特定設備、系統的冷卻功能。為了達成此一移除餘熱之功能及目的，核四廠一、二號機分別設計使用三台相同的熱交換器(簡稱 RHR Hx)。其設計能量可提供反應爐機組停機後，於 24 小時內將爐水冷卻至 60（以三台熱交換器同時運轉冷卻）。即使只以兩台熱交換器運轉，亦可在 36 小時內將爐水冷卻至 100，以確保反應爐爐心、燃料及壓力槽的安全。由於 RHR Hx 係提供機組停機安全及餘熱移除之功能，依據安全等級分類原則，應屬於安全等級第二級(Safety Class 2)、耐震第一類之安全設備。

三、 查證項目

本次執行之 RHR Hx 專案查證之品質文件包括：

1. 各組件材料測試證明文件(Certification of Material Test Report：簡稱 CMTR)。
2. 製造品質文件，包括特殊製程紀錄如銲接人員資格、銲接材料品質文件、銲道非破壞檢驗紀錄及水壓測試紀錄等。

3. 設計報告及施工圖面。
4. 熱交換器儲存及 NCR 處理現況。

為了能於短時間內有效達成品質查證之目的，在執行查證作業前，先收集研讀下列參考資料：

1. ABWR 訓練教材(關於餘熱移除系統部份)。
2. ASME 相關之材料規範。
3. ASME 相關設計、製造及檢驗部分之規範。
4. 台電公司及 GE 公司之招標採購規範。
5. 主要承包廠商之品質保證系統及製造品質計畫。
6. 相關之製造及測試程序書。

四、 查證過程

本次進行核四廠餘熱移除系統熱交換器之品質文件專案查證，除查證前已收集相關資料研讀，並擬定查證計畫，於查證前一週提交原能會核管處參考。實際之文件查證作業係由核研所支援核四廠安全管制專案小組組長楊清田博士及三名小組成員所組成之視察團隊所共同執行。查證作業執行期間亦曾分別至一號機反應器廠房及二號機 RHR Hx 儲存倉庫視察熱交換器之儲存狀況及安裝作業不符合狀況通報(NCR)之處理情形。另於 92 年 5 月 22 日下午查證作業結束前，曾召集台電核四工程品質督導會報督導組及龍門施工處有關部門就查證之發現及結果，進行初步之討論及澄清說明。查證作業之摘要初步報告則於 92 年 6 月 27 日，併同原能會龍門核電廠第十一次定期視察後討論會，提交台電核安

處及相關單位參考處理。

五、 查證結果

1. 核四廠 RHR Hx 由 GE 公司承包，實際上，GE 公司再下包交由具 ASME 認證資格(Certificate Holder)之美國 Joseph Oat Corporation (簡稱 JOC 公司) 負責設計製造。各種組件及材料亦由 JOC 公司，向各認證合格廠商購買使用。
2. RHR Hx 為反應爐停機後，提供反應爐心冷卻，移除衰變熱的主要設備之一。其整體設備之安全等級雖如前述係分類為 Safety Class 2，但其中之個別組件因其所擔負之安全功能及重要性略有差異，致個別組件之安全等級亦再有所區別。依據 RHR Hx 組合圖之說明，熱交換器一次側(或稱為管側)之安全等級屬於 ASME Sec. III Safety Class 2。而二次側(或稱為殼側)則屬於 Safety Class 3。至於分隔管側與殼側的主要組件，如熱交換管(Tube)、管板(Tube Sheet)及管板與一、二次側殼體(Shell)法蘭之鎖緊螺栓等，依法規之分類要求精神其安全等級應屬於 Safety Class 2。
3. 查證結果及待澄清改善事項摘要

核四廠 RHR 熱交換器之品質文件包括材料測試報告(簡稱 CMTR)、製造及非破壞檢測、水壓測試等均整理完備，且經權責審查、核准或提出具體之證明，是一份易於追蹤查證的品質文件。雖然，依據本次專案查證之發現，可確認大部分品質文件及實際製造作業等均能符合相關品質規範要求，惟視察人員認為下列各項視察發現仍有再作澄清或加以改善使之完善之處。

- (1) 安全等級分類問題：如上說明，組合 Tube sheet, Bonnet 及殼體的螺栓應屬於 ASME Sec. III Safety Class 2，然而螺栓製造廠商 NOVA

Machine Products Corp.所提供之 COC(Certificate of Compliance)記載其製造係依據 ASME Sec. III ND (即 Safety Class 3) , 需請製造廠家進一步澄清或做適當之處理。

(2) ASME 規範適用問題：Bonnet Head 及 Shell Head 分別屬於一、二次側之重要組件，其設計製造應分別適用 ASME Sec.III NC 及 ND 章節。但查證其原製造廠商 Trinity Industries Inc.所提供之材料測試證明文件，顯示其製造係依據 ASME Sec.VIII UG-79 及 UG-81，需請製造廠家加以澄清或做適當之處理。

(3) 材料規範適用問題：配合第(1)項螺栓之螺帽，其材料規範依據螺帽供應廠商 NOVA Machine Products Corp.規定，應依據 ASME SA-194。但查證其 CMTR，除 NOVA 提供之品質證明文件顯示已正確依據 ASME SA-194 外，原材料供應廠商 Lasalle Steel Company 及測試公司或實驗室之材料測試報告均記載其材料屬於 ASME SA-193。需進一步予以澄清或做適當之處理。

(4) 螺栓及螺帽之衝擊測試

核四廠 RHR Hx 最低使用溫度為 50 ，而根據材料規範 ASME SA-193/ SA-193M 及 SA-194/SA-194M 之規定，當螺栓或螺帽於低溫使用時，應依據 SA-320 之規定執行衝擊測試。依查證結果，用於製作螺栓的三批材料(其爐號分別為#70204、#69313 及#97079)之衝擊測試溫度分別在 + 50F、 + 10F、 - 20F 執行(如附件四)，且其衝擊值均大於 20ft-lb，符合上述材料規範規定，衝擊測試須在低於使用溫度的條件下測試之規定。

(5) 非破壞檢測範圍及檢測結果之查證

RHR Hx 於 Shell、Nozzle、Flange 及熱交換管與管板等接合均涉及銲接作業等特殊製程。因此，JOC 提出之熱交換器設計圖面，已針對各銲道規劃其應執行之非破壞檢測及整體水壓測試。查證六台 RHR Hx 非破壞檢測記錄，有下列需再洽製造廠家進行澄清之部份：

- A.對於多處需執行液滲檢測(PT)之銲道，其品質文件除僅註記”All Final Welds”，未明確列出受檢測銲道內容，不符合一般銲道 NDT 檢驗標識原則外。
- B.銲道編號 100、101、120-122 等為殼側 Shell 及 Head 之接合銲道，其安全等級屬於 Safety Class 3，已依據 ASME Code 規定抽樣執行放射線檢測(RT)，符合相關規定。另殼側噴嘴銲道 201、202，依據規範規定，亦應執行抽樣 RT 檢測，雖於設計圖面已標示要求執行 RT 檢驗，但於品質文件中缺少噴嘴銲道之 RT 檢測紀錄。另根據 ASME Code Sec. III ND-5221 規定，編號 200 銲道應執行 RT 檢驗，但設計圖卻未要求執行 RT 檢驗，品質文件中也無上述噴嘴銲道之 RT 檢驗紀錄。
- C.管側相關銲道之安全等級均屬於 Safety Class 2，JOC 已依規定執行 100 % 之 RT 檢驗，符合相關規範之規定。但在各項 RT 檢驗紀錄中仍有部分待澄清或改進之缺失：如底片編號標示與報告文件圖面不一致；部份不合格銲道未註明不合格原因。另缺少二號機 A 台編號 206 銲道之 RT 檢驗紀錄。

- (6) 品質文件中”Supplier Transmittal Form for Lungmen Project “未經 GE 公司相關權責人員先行簽字核可，台電公司的代表石威公司人員卻已簽字認可。另發現部分品質文件石威公司人員幾乎在同一天簽字同意交運。台電及石威公司應加強其審查品質(實際上品質文件中仍有甚多重複或編排錯誤)。
- (7) 根據 JOC 報告分類，RHR HX 設計報告屬於 Document Class A 即相關設計報告應送業主審查，並以書面文件認可，但其 RHR HX 之設計報告卻無法證明 GE 及台電公司或其代表已完成實質審查及認可。另 Seismic Qualification Report (報告編號 J2577-1-a/f)分析之參考依據為 ASME Code Sec.III ND,NF and Appendices,1989, No Addenda.由於 RHR Hx Seismic Analysis 亦涉及管側殼體相關支撐及殼板之分析設計，其安全分類屬 Safety Class 2，故其參考依據是否應包括 NC 章節，需再加以澄清確認。
- (8) 設計厚度安全餘裕問題:根據 JOC 應力分析報告”ASME Code Calculation, Residual Heat Removal Heat Exchangers”報告編號 J-2577-1 A-F, Page 10 第 3.2 節 Bonnet Head 最小需求厚度 0.658 吋，與實際設計公稱厚度(nominal thickness)0.660 吋相近，雖然符合設計需求，但有必要評估製造容許誤差對此一設計之影響。
- (9) 為探求底座螺孔與預埋螺栓位置偏移之肇因，特赴現場瞭解並以簡易方法量測分析。發現 RHR Hx 底座基板各螺孔孔間距離並不相等，此與設計圖顯示之各螺孔孔間距應相等有所不符，故其肇因可能是底座基钣鑽孔時，未正確按圖施工之故。其雖非影響安全之因素，但卻造

成現場施工之困擾。建議台電公司對類似組件安裝界面加強管控，並對承包商加強要求管理。

六、 結論與建議

1. 負責 RHR Heat Exchanger 設計製造之美國 Joseph Oat Corporation 公司為 ASME 認證合格廠商，其品質保證制度大致上依循 ASME 系統運作，大部分品質文件及實際製造均符合相關品質規範要求。
2. 部分應進一步澄清改善或以適當程序修正之查證發現，已依程序簽發視察發現通報表三份(INER-LM-92-010~012)。原能會核管處亦參考上述視察發現，提出四份注意改進事項(AN-HQ-92-001~004)及一份備忘錄(HQ-會核-92-08-0)，請台電公司相關單位參考改善。

註：本報告為精簡篇幅有關附件及參考資料均未附上，如對報告內容有任何疑慮及需進一步資料，請洽本會牛效中科長，TEL：02-2232-2140