

出國報告（出國類別：洽公）

核能一廠一號機 CS1R23 批次 填換核燃料製程稽查

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：詹世亮 稽查

派赴國家：美國

出國期間：96 年 11 月 26 日至 12 月 14 日

報告日期：97 年 1 月 17 日

核能一廠一號機 CS1R23 批次填換核燃料製程稽查

出國報告

目 錄

	頁次
壹、目的-----	3
貳、過程-----	3
參、內容-----	3
肆、心得與感想-----	13
伍、建議事項-----	14

壹、目的

依據本公司核能營運品保方案中有關廠商稽查之規定，以及本公司向原能會報備之「核燃料製造稽查改進計畫」中承諾加強對核燃料製造廠執行稽查，因此各核能機組每批次填換核燃料之製造，本公司均派員赴各核燃料製造廠執行製程稽查作業，以確保本公司所購買之核燃料符合採購規範與品保要求。AREVA 公司提供核一廠填換核燃料 CS1-R23 批次核燃料共計 124 組，AREVA 公司預定於 96 年 11 月至 12 月陸續展開各項製程，為符合前述要求，因此本公司派員執行核一廠一號機 CS1-R23 (CSH1-24) 批次核燃料製程稽查，藉以監督燃料製造廠遵循核燃料製造相關作業程序書與品質保證規範的規定作業，以確保本公司所購核燃料之品質，以提高核能機組運轉之可靠度和安全性，達到卓越的營運績效。

貳、過程

96.11.26~96.11.27	台北—西雅圖—里其蘭	往程
96.11.28~96.12.11	里其蘭	CS1-R23 批次核燃料製程稽查
96.12.12~96.12.14	里其蘭—西雅圖—台北	返程

參、內容

一、依據文件

1. 美國聯邦法規 10CFR50 APPENDIX B
2. AREVA NP 核燃料製造廠程序書及品質規範文件
3. 核燃料製造合約品保條款
4. CS1-R23 Characteristics Specification

5. CS1-R23 Project Part List

二、稽查範圍

1. 燃料丸製造管制
2. 燃料棒製造管制
3. 燃料束組裝作業管制
4. 核燃料生產品質管制作業
5. 本批次核燃料產製期間狀態報告審查
6. 器材接收檢驗紀錄審查

三、稽查結果

1. 燃料丸製造與檢驗作業

(1) 現場觀察壓製作業

- a. 現場觀察第 3 台燃料丸壓製機進行批號 422-03 燃料丸生產壓製作業之過程，作業現場有參數表 (Production Parameters Sheet) 以供核對，由參數表查證其所依據之 Tooling Map 編號為 750，證明該台壓製機可以壓製合格的燃料丸，此項作業符合相關程序書規定。
- b. 觀察第 3 台燃料丸壓製機操作員的操作，包括燃料粉末每次換桶時執行上沖模具的對準，以標準燃料丸確定螺旋測微器的正確性，以及選取生丸浸泡入酒精至少 3 秒檢查是否有氣泡產生以檢查端面缺口、週面缺口或裂痕瑕疵等，操作員執行此項作業符合程序書規定。
- c. 燃料丸壓製機依據 SOP-40332 Rotary Press Operation 程序書規定，凸輪轉軸軸承上下軸心每運轉 100 小時需手動添加潤滑油脂，現場並有

潤滑油添加指示卡 (Spindle Bearings Lubed Clutch Hours) 標示潤滑油添加與到期時間。查證壓製機之潤滑油添加指示卡，發現第 3 台壓製機指示卡標示添加滑油時間 4610 小時、到期時間 4710 小時，但計時器讀數為 4597 小時，經 AREVA 查閱紀錄發現係筆誤，已當場更正為添加滑油時間 4510 小時、到期時間 4610 小時。

(2) 現場觀察燃料丸研磨作業

- a. 燃料丸研磨採用溼式研磨，利用去離子水 (De-Ionized Water) 沖洗，研磨速度 (輸送帶速度) 不可超過 200 RPM，研磨後的燃料丸需乾燥，烘乾溫度要求 230°F~280°F，烘乾後的燃料丸經過雷射測微儀以管制燃料丸研磨直徑，燃料丸通過雷射直徑管制後，操作員目視檢查燃料丸外觀表面的完整性，剔除有端面缺口、週面缺口或裂痕瑕疵的不合格燃料丸。
- b. 現場觀察第 3 台燃料丸研磨機的 Regulating Wheel RPM 儀錶讀數為 184 RPM，研磨後的烘乾溫度為 260°F，符合程序書規定。
- c. 依據 SOP-40344 規定，燃料丸研磨作業必須在每值開始前、每次停止超過 20 分鐘之前後、每連續運轉 2 小時後，須執行雷射測微儀標準器校正。審查燃料丸研磨機操作員之記錄簿，校正頻次符合程序書的規定。

(3) 燃料丸製造檢驗作業

- a. 燃料丸製造檢驗依據 SOP-40787 Pellet Inspection and Standard Rework 之規定程序執

行，操作員目視檢查每盤燃料丸之外觀表面完整性，剔除有瑕疵的不合格燃料丸，檢驗標準為 EMF-2020 Quality Production Standard R-341 Revision:0，此標準以圖像標示不合格之表面缺口與裂痕，並且張貼於檢查台前面，方便檢驗時對照使用。Product Quality 再根據 SOP-40784 Pellet OverSEER Function 之規定抽查執行燃料丸 overcheck，若每盤燃料丸 overcheck 發現不合格的燃料丸為 4 個以內，狀態為 Fully Acceptable (green)，每盤燃料丸 overcheck 不合格的燃料丸為 5 至 10 個，狀態為 Acceptable (yellow)，若發現 11 個以上不合格燃料丸，則狀態為 Rejected (red)，需停止燃料丸研磨作業，並填發 Condition Report (CR) 追蹤，以及檢查前次 overcheck 抽查後之所有燃料丸，待檢查為可接受後才能重新啟動燃料丸研磨作業。查閱 Overchecks 紀錄顯示，CS1-R23 燃料丸至 12/10/2007 為止已執行 155 次之抽查，狀態為 Rejected (red) 者有 3 次，均已依規定程序處理及簽發 CR 記錄處理情形。

- b. 燃料丸製造檢驗除了外觀表面目視檢查外，另包括檢測燃料丸的直徑、長度、重量、密度、端面平行偏差，及使用 CONOSCAN 2000 雷射照相系統檢測燃料丸端面與表面粗糙度檢驗等，每一批號之燃料丸完成檢驗後即簽發檢驗報告 (Pellet Batch Release Inspection Results)，記錄各項檢驗數據及判定是否合格。現場觀察燃料丸檢驗作業，查證使用之各項檢測儀器均有貼上校正標

籤，且在校正有效期限內，符合規定。審查燃料丸製造檢驗紀錄編號：454642603P、454642604P、454642180、454642401P、454642601P、454642203、454641802 等，審查結果未發現異常情形。

2. 燃料棒製造與檢驗作業

(1) 現場觀察燃料棒製造作業

- a. 燃料棒製造包括下端塞電焊、燃料丸裝填、上端塞電焊與燃料棒檢驗等作業。下端塞電焊作業依據 SOP-40458 Lower and Upper USW Welding of Fuel Rods 及焊接程序 MCP-30295 設定及執行自動焊接，先由電腦讀取燃料棒條碼，燃料棒充氮氣清潔後，下端塞自動裝填入燃料棒，電焊完成後自動檢查焊道完整性。作業現場備有電焊參數表、Tooling Pick List、End Welder Setup Checkoff Log Sheet、Sample Plan 等文件供使用，查證自動電焊機電腦參數設定是否符合焊接程序參數，核對電腦參數設定包括電流、weld force、Chamber 壓力、真空、焊接時間等，抽查結果設定正確，自動電焊機上之各指示儀錶均有貼上校正標籤，且在校正有效期限內，符合規定。
- b. 燃料丸利用震動自動裝填入燃料棒，操作員從燃料丸儲存櫃(vault)選取一盤(sheet)燃料丸放入裝填床，電腦先讀取盤(sheet)的電腦條碼，以確定是否選擇正確的合約號碼、爐號、濃度的燃料丸，若使用不正確的燃料丸，觸控式電腦銀幕將顯示錯誤無法操作。若選擇正確的燃料丸，電腦

雷射則自動掃描選擇需要裝填的燃料丸數量，雷射光束並指示操作員用夾子移開每行超過數量的燃料丸，當需要裝填的燃料丸數量正確後，利用震動自動裝填入燃料棒內。觀察操作員執行燃料丸裝填作業，未發現不符合程序書規定事項。

- c. 燃料棒上端塞電焊作業使用焊接程序 MCP-30296，查閱自動電焊機電腦參數設定是否符合焊接程序參數，經核對電焊機的電流、weld force、Chamber 壓力、真空、焊接時間等設定，結果皆正確。

(2)現場觀察燃料棒檢驗作業

- a. 燃料棒檢測使用主動式/被動式燃料棒檢驗系統 (AFRAS- Active Fuel Rod Assay System)，量測燃料棒的相對密度分布。每天每值的操作員於作業前，須先使用標準棒校正，每次掃描 2 支燃料棒。鈾棒使用主動式 γ 檢測，可燃毒物棒使用被動式 γ 檢測，檢測結果電腦自動判讀可接受或不可接受。觀察操作員執行 γ 檢測作業，並未發現異常情形。
- b. 燃料棒再依據 Inspection Plan ROD-CSH1-24 執行直度及長度尺寸之檢驗，另外每支燃料棒轉動 360 度檢查是否有抓痕、汙點等，觀察作業過程並未發現異常情形。完成檢驗之燃料棒 50 根為一組進行氦探漏檢測(Helium Leak Check)作業，並列印檢測結果，實際洩漏率值小於拒絕限值(reject limit)判讀結果為「接受」，觀察操作員操作燃料棒氦探漏檢測作業符合程序書規定。

c. 燃料棒製造與檢驗的所有過程均可由電腦系統追蹤，抽查 Rod Trace 紀錄發現 STD ROD(156631) 之步驟 0070，其執行最後檢驗所依據之 Inspection Plan 編號為 ROD-CSH1-24，但 PLFR(156633) 燃料棒之步驟 0070，最後檢驗所依據之 Inspection Plan 編號卻以 XXX 顯示，AREVA 人員澄清說明所有燃料棒最後檢驗均依據 Inspection Plan ROD-CSH1-24 執行，電腦程式已完成修正，Rod Trace 已能標示正確之 Inspection Plan 編號。

3. 現場觀察燃料束組裝作業

(1) CS1-R23 批次燃料束總共有 124 組，編號為 C1E001 ~ C1E060 及 C1E501 ~ C1E564，燃料型式為 Atrium-10，10×10，內含 83 支全長燃料棒與 8 支 partial length 燃料棒及一支水匣 (water channel)，水匣尺寸相當於 3×3 之位置大小。操作員將底部繫板與間隔板以及間隔板的保護板在組裝平台固定妥當，先經檢驗員檢查後，操作員用手動控制驅動器，先驅動 8 支短棒 (partial length) 至底部繫板定位點，再經過檢驗員檢查。燃料棒的插入參數與位置已先經過審核並輸入電腦，操作員依據插棒順序，從燃料棒儲存箱 (tray) 讀取燃料棒電腦條碼後，燃料棒送到組裝平台，燃料棒經電腦核對後，依據設定的插入速度通過間隔板最後到底部繫板定位。所有的燃料棒完成插入完成後，再安裝頂部繫板，經檢驗員檢查後，完成燃料束組裝作業。觀察操作員的作業，並未發現不符合情形，惟

發現張貼於工作區牆面參考用之燃料束組裝圖並非屬於核一廠計畫，經稽查員告知後，已於次日更換為正確之組裝圖。

- (2) 燃料束組裝完成後，操作員將燃料束組裝平台豎立，再將燃料束吊離組裝平台，移至垂直檢查站檢查，檢查員使用量具及目視方式檢查燃料棒組間隙、尺寸、是否有異物等，查證使用之各項量規均有貼上校正標籤，且在校正有效期限內，符合規定。檢查合格後，將燃料束放入沖洗槽清洗，洗除棉線、手指紋、金屬碎屑或其他有機污染物。燃料束清洗完成後，再吊起移至乾燥箱用加熱乾燥空氣吹乾，再由檢查員目視檢查並將運輸隔片插入燃料束內，燃料束套上橘色塑膠套後放入運輸箱內。觀察操作員的作業過程，並未發現不符合情形。

4. 核燃料生產品質管制作業

- (1) 核燃料生產品質管制作業係依據 SOP-40796 Product Surveillance Inspections 執行，以確保核燃料製造過程的操作、檢驗、輸送作業正確的遵照程序書之作業指令執行。Product Quality Surveillance 項目分為化學操作/分析、燃料丸製作、燃料棒組操作、繫板與組件等四大類。每年 10 月 Product Quality Supervisor 會做年度審查，提出審查結果報告給 Quality Manager，經查 10/1/2006 ~ 10/1/2007 期間共執行 90 次 Surveillance，審查結果符合程序書要求及可接受。審查 FRM-40796A Receipt Inspection Surveillance Inspection Plan & Report、

FRM-40796B Rod Assembly Surveillance Inspection Plan & Report、FRM-40796C Pellet Surveillance Inspection Plan & Report、FRM-40796E Bundle Assembly Surveillance Inspection Plan & Report 等報告紀錄，未發現異常情形。

(2) 抽查核燃料產製作業過程操作人員之資格與訓練：燃料丸研磨 Charles Cave, Robert Erskine; 燃料棒下端塞電焊 Mike Crow; 燃料棒 AFRAS 檢驗 Larry Fitzgerald; 燃料束組裝 Garry Leingang, Christopher Hutzeiman 等。經查燃料丸研磨作業 Robert Erskine 仍在訓練期間，尚未取得資格，需在合格操作員之監督下作業，符合程序書規定，其餘人員資格與訓練資料審查均符合。

5. 審查本批次核燃料產製期間狀態報告

AREVA 核燃料製造廠已建立一套完整之狀況報告(CR-Condition Report) 網際電腦化系統 WebCAP(Web Corrective Action Program)，適用於採購、設計、製造、檢驗、品管、品保各種異常狀況之確認、評估、提報、改正、預防、肇因分析、趨勢分析及追蹤等建立的改正行動計畫。本批次核燃料產製期間至 12/10/2007 止共開立 7 件 CR，審查狀態報告編號：2007-3941、2007-4058、2007-4911、2007-5904、2007-6139、2007-6144、2007-6174 等，審查結果符合程序書 SOP-1703-77 Fuel America Corrective Action Program 的作業規定。

6. 審查器材接收檢驗紀錄

- (1)本批次核燃料之燃料護套(Cladding)由 AREVA 公司德國 Duisburg 廠供應，審查燃料護套製造品質檢驗證明(Inspection Certificate)，發現未包含規範 08-5058438 LTP-2 Tubing for Fuel Rod Cladding Appendix A Quality Sampling Requirements 所列之 Archive Sample 項目之檢查結果，經 AREVA 核燃料製造廠澄清說明該項目符合規範 08-5062827 BWR Fuel Assembly and Channel Archive Requirements 的要求，此規範亦已列在 Inspection Certificate 中，已可符合規範要求。另銦錠已依合約規定確認氮、磷、鈉含量，且氮含量小於 20ppm 與磷含量小於 30ppm，皆符合本公司合約要求，審查結果未發現不符合事項。
- (2)本批次核燃料 Cage Assembly(水棒結合 8 片間隔板-Spacer)有 124 組，由 AREVA 公司德國 Karlstein 廠供應，審查製造品質檢驗證明(Inspection Certificate)，發現未包含規範 A1C-1000950-1 Cage Assembly 第 4.2 節 Inspections and Controls on the Square Tube 之檢查結果，經 AREVA 核燃料製造廠聯絡該公司德國 Karlstein 廠補送 Square Tube 之製造品質檢驗證明(Inspection Certificate)，審查結果未發現不符合事項。
- (3)材料經接收檢驗合格後，均附有 Accept 標籤，註明 Release Batch,材料 Part List No.,驗收放行人員編號等資訊，並且印有條碼可供電腦追蹤，審查底部繫板鑄件、頂部繫板鑄件、燃料棒上端塞、燃料棒下端塞、燃料護套等之接收檢驗紀錄，檢驗

項目包括核對材質證明、尺寸及表面目視檢查等，
審查結果未發現不符合事項。

7. 稽查結果

本次稽查透過現場觀察核燃料製程之進行與審查已完成的品質紀錄文件，並未發現有重大品質缺失，稽查期間現場觀察結果及需進一步澄清說明事項已於稽查後會議澄清，無待處理或追蹤項目。

肆、心得與感想

本次出國稽查心得與感想為 AREVA 核燃料製造廠對於作業現場的工作安全非常注重，操作及檢驗程序書均會將工作安全的要求列入其中，此種作法值得本公司電廠借鏡。AREVA 核燃料製造廠要求進入工廠內必須戴上護目鏡，若現場音量大於一定值時，如機械加工廠，亦需強制帶耳塞，避免造成傷害。生產設備如燃料丸壓製機、燃料丸研磨機、燃料棒端塞焊接機、燃料棒檢查機台、燃料束組裝台等均為自動化生產線，操作設備的介面是透過電腦。設備四周均劃有框線，並裝設紅外線，機器啟動時，任何人均不得超越框線，否則紅外線裝置立即關閉機器，避免發生危險。此次稽查員進入作業現場前，AREVA 核燃料製造廠陪同人員即一再慎重提醒此項規定。

AREVA 核燃料製造廠生產設備均為自動化生產線，對於各項電腦系統之設定及設備之操作，均已制訂詳細之程序書以供遵循，程序書附有圖片顯示實際現場狀況，作業現場亦有 Operator Aid 詳列重要之操作步驟及注意事項，可增進操作員及檢驗員瞭解與遵行作業規定，維持產品品質的穩定。

伍、建議事項

核燃料的生產，除了燃料丸、燃料棒製造與燃料束組裝等作業由 AREVA 公司里其蘭核燃料製造廠負責外，燃料束組中的重要組件，如繫板鑄件、燃料護套、Cage Assembly 等是由其下包廠商供應，建議對於此等重要組件的製造廠商應做適度的稽查、監督，以維持核燃料品質的穩定。