

# 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

核二廠 2 號機週期 25 爐心設計審查

頁數 10 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/陳德隆/23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

劉鴻光/台灣電力公司/核能發電處/十一等核能工程監/02-23667088

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他（洽公）

出國期間：2016/8/27~2016/9/9 出國地區：美國華盛頓州

報告日期：2016/10/3

分類號/目

關鍵詞：填換爐心設計、AREVA 公司

內容摘要：（二百至三百字）

本次任務主要審查核二廠 2 號機週期 25(Kuosheng Unit 2 Cycle 25) 填換爐心設計分析所用之計算書及相關文件。

本次審查任務工作包括審查 KS2C25 填換爐心設計文件、處理 9 項預先提出之稽查需求及電廠未來營運待討論問題。進行正式審查工作前先拜會 AREVA 公司工作小組成員，討論稽查之需求及審查標準，審查期間本次審查工作成員與 AREVA 公司工程師對於進行審查意見進行多次討論及溝通。最後於完成本次審查任務後與 AREVA 公司人員進行稽查後會議。本次審查團隊共提出 2 項審查建議事項，供 AREVA 公司參考或檢討修正。

整體而言，本次爐心設計審查符合本公司之爐心設計審查指引所載及 AREVA 公司內部之接受標準。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.nat.gov.tw/reportwork>)



出國報告（出國類別：洽公）

## 核二廠 2 號機週期 25 爐心設計審查

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：劉鴻光 核能發電處核能工程監

派赴國家：美國

出國期間：105 年 8 月 27 日至 9 月 9 日

報告日期：105 年 10 月 3 日

# 目 錄

內 容	頁次
壹、出國目的	1
貳、出國行程	2
參、任務過程	4
一、KS2C25 填換爐心設計審查	4
二、KS2C25 填換爐心設計審查查核表	9
三、審查期間訪談摘要	26
四、審查期間重要討論會摘要	30
五、審查後會議摘要	31
肆、結論、心得與建議事項	32

## 壹、出國目的

本次出國往返程共計 14 日，主要任務為赴美國對負責核一、二廠填換爐心之設計廠家亞瑞華公司 (AREVA)，審查核二廠 2 號機週期 25(Kuosheng Unit2 Cycle25, 簡稱 KS2C25) 有關填換爐心設計分析作業，包括填換爐心安全分析報告 (Reload Licensing Analysis, RLA)、可用性評估報告 (Operability Assessment, OA)、填換爐心設計指引、作業程序書、計算書及填換爐心燃料佈局安排是否符合安全性及本公司爐心設計之要求。

核二廠已於 KS2C23 完成 SPU 中幅度功率提升，本次 KS2C25 爐心特性除延續前次週期的各項 SPU 設定進行設計與分析，並首次使用新版的 ACE Rev.2(下稱 ACE-2) 爐心計算程式。為查核及瞭解 AREVA 公司是否仍確實依相關程序書執行 SPU 後評估分析工作，本次審查係與核能研究所遴選之專業人員派赴廠家共同執行 KS2C25 填換爐心設計及安全評估分析審查工作，確保 AREVA 公司執行填換爐心設計結果與設計品質符合本公司實際需求。本次任務除審查 AREVA 公司執行 KS2C25 填換爐心設計之計算書(Calculation Notebooks)文件外，並進一步與廠家討論未來電廠各種可能的運轉週期模式，其對於燃料利用及爐心熱限值是否有影響，以確保核能電廠運轉之安全。

本次任務除審查 AREVA 公司執行 KS2C25 填換爐心設計外，也安排核能研究所人員赴 AREVA 公司協助本次審查任務進行，並與該公司相關技術人員進行討論，以進一步了解爐心佈局設計與晶格設計之流程與執行相關分析的細節是否符合既定程序。此外，並針對驗證 ACE-2 所遭遇之困難，與 AREVA 人員交換意見。

本次審查任務主要審查 KS2C25 之填換爐心設計，審查方式係針對該公司爐心設計技術規範與計算書文件進行審查，並查對爐心設計工作站之輸入檔與輸出檔，審查期間如有疑問則即時對 AREVA 公司人員提出並進行討論釐清，以便完成 KS2C25 填換爐心設計審查查核表內之各項議題審查。於審查完成後召開審查後會議，與 AREVA 公司負責本公司 KS2C25 之中子設計、安全分析及暫態分析工程師、主管，進行審查討論。本次審查工作總計向 AREVA 公司提出 2 項審查建議，供 AREVA 公司進一步參考或改正。經由本次審查結果，確認 AREVA 公司執行核二廠 2 號機週期 25(KS2C25) 填換爐心安全分析報告，可符合 AREVA 公司內部及本公司所要求之接受標準。

## 貳、出國行程

105 年 8 月 27 日至 105 年 9 月 9 日(含往返程 5 日)共計 14 日，於美國華盛頓州里其蘭市(Richland, WA) AREVA 公司執行本項任務。詳細行程如下:

日期	行程	摘要
8/27 (六)	台北→西雅圖	往程：由台北搭機前往西雅圖。
8/28 (日)	西雅圖→巴斯科→里其蘭	往程：由西雅圖搭機至巴斯科，之後改乘車至里其蘭。
8/29 (一)	AREVA 公司	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1). 辦理入廠手續及相關訓練(保安、工安及輻安)。</li> <li>(2). 拜會爐心設計相關人員。</li> <li>(3). 建立稽查用之電腦工作站及相關計算書收集。</li> <li>(4). 與爐心設計資深工程師討論本次預送 AREVA 公司之稽查議題。</li> <li>(5). 與工程師 Kenneth Green 討論 ACE-2 之程式驗證問題。</li> </ol>
8/30 (二)	AREVA 公司	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1). 進行 KS2C25 爐心設計審查。</li> <li>(2). 與 AREVA 人員討論 SLMCPR 的改變原因。</li> <li>(3). 與 AREVA 討論核二廠未來運轉之模式。</li> <li>(4). 與 AREVA 討論預估目標 Keff 之意義及誤差影響。</li> <li>(5). 與 AREVA 討論 ACE Correlation 議題。</li> </ol>
8/31 (三)	AREVA 公司	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1). 進行 KS2C25 爐心設計審查。</li> <li>(2). 審查團隊工作及問題討論。</li> <li>(3). 參訪燃料製造工廠。</li> </ol>

9/1 (四)	AREVA 公司	(1). 進行 KS2C25 爐心設計審查。 (2). 與 AREVA 爐心設計團隊討論核一廠及核二廠如採用功率遞減方式 (coast down) 運轉，對於爐心設計之影響。
9/2 (五)	AREVA 公司	(1). 進行 KS2C25 爐心設計審查。 (2). 與爐心設計資深工程師 Dang 討論本次預送 AREVA 公司之稽查議題。
9/3 (六) ~ 9/4 (日)	里其蘭	星期假日。
9/5 (一)	AREVA 公司	整理本次審查結果及審查任務之建議事項。
9/6 (二)	AREVA 公司	(1). 與 AREVA 公司人員進行審查後會議(Exit Meeting)。 (2). 彙總本次審查結果。
9/7 (三)	里其蘭 → 巴斯科 → 西雅圖	返程：由里其蘭驅車至巴斯科，搭機至西雅圖。
9/8 (四) ~ 9/9 (五)	西雅圖 → 台北	返程：由西雅圖搭機回台北。

## 參、任務過程

本次任務由劉鴻光及 2 位核能研究所人員執行，並分三方面進行審查。首先，

1. 以『台電沸水式反應器爐心設計審查指引』為依據進行『KS2C25 填換爐心設計審查』，配合 AREVA 公司提供之填換爐心設計指引及相關之計算書進行數據查驗，並隨時與負責工程師討論澄清，完成 KS2C25 填換爐心設計審查查核表內之各項技術議題之審查。
2. 其次，根據審查團出發前提交給 AREVA 之欲討論議題以及針對核電廠未來運轉可能發生之情境，與 AREVA 公司相關人員進行討論。
3. 最後，召開『審查後會議』，將此行之審查結果提出建議供 AREVA 公司參考與改進。

## 一、 審查期間參訪行程及重要訪談摘要

1. AREVA 公司安排參觀核燃料製造廠行程。

【答】：本次審查團隊於抵達 AREVA 公司後，有鑒於核研所之新進同仁尚未見過核燃料製造過程，因此臨時向負責本公司核一、二廠燃料合約執行之專案經理 FOLLETT Robert (Bob) 提議安排燃料製造工廠參訪行程，而 AREVA 公司也回應樂意配合。於是安排於 8 月 31 日(三)下午，由 Bob 帶領我們一行 3 人開始參觀工廠區域。一路上遇到的工作人員都很熟稔的和 Bob 打招呼，Bob 解釋因其前一個職務是在工廠生產線服務，因此與工廠內工作人員都非常熟悉。

我們到訪的第一站是鈾轉化廠，AREVA 公司的鈾料係接收來自濃縮公司的 UF<sub>6</sub>。鈾轉化依其方式分為濕式轉化及乾式轉化，各有其專屬工廠。濕式轉化廠利用化學藥劑將本公司買到的鈾料溶解，再轉化為適合用來燒結為燃料丸的粉狀型式；乾式轉化則不需經過溶解的步驟，但因乾式轉化受限於原料鈾料型式，故仍須搭配濕式轉化。在其控制室內共有 3 台終端機監控鈾轉化槽流程，由於其工作人員須長期面對鈾原料，職特別詢問其每年接受之輻射劑量約為 0.2~0.3mSv，遠低於其年行政管限制制值 30mSv。

第二站是參觀燃料製造廠，廠內設備與職 18 年前之參觀經驗相較，已增設許多自動化設備，對於提升燃料製作品質極有助益。整個生產線的產品均利用履歷條碼進行流程管制，配合電腦進行中央管理，可確保各項組裝元件之正確性。燃料裝填工作係由通過考核的工作人員負責，且為確保裝填燃料之正確性及安全性，非工作人員不得進入紅線標示之工作區域。填入燃料丸之燃料棒須經過資深工程師之掃描檢查，該檢查是利用中子及加馬射線來分辨燃料束軸向的濃縮度，以驗證燃料軸向裝填的正確性。

最後一站是參觀燃料組件加工廠，本區貯存及處理組裝燃料束所需的零件。對於部分由其他工廠製作之燃料組件，如燃料束底座、異物濾網等，則是運到本處後再進行細部拋光。Bob 為了讓我們感受處理前後之差異，特地展示了兩個燃料束底座，其表面光滑度果然差異極為明顯。

本次現場旅程歷時約 2 小時，整體而言可以發現各個工作地點均極為整齊清潔，工作人員動作有條不紊的穿梭其間，對於每一步驟皆搭配電腦紀錄，使得生產歷程及工作責任歸屬明確可循，符合 ISO 品保要求。

2. 針對本公司核一廠及核二廠未來可能會有分時運轉或降載運轉之情況，由於以往各廠並無長時間降載運轉或是將週期長期切割之經驗，因此請 AREVA 中子分組說明上述情況是否會影響爐心設計及運轉期間的熱限值餘裕。

【答】：一般而言，各週期之填換爐心設計皆是以滿載運轉之情況進行規劃，如果運轉中本公司需要讓機組降載甚至停機，由於主要是靠減少爐心流量來調整功率降載，所以爐心燃料的燃耗基本上是整體均勻的減少，並不會有局部相對大變動，因此原本之爐心設計結果仍能繼續適用，可以不須重新再分析。將來核二廠如能啟用護箱裝載池，從如期除役的角度考慮爐心再裝填規劃，建議可以採用減少更換燃料束搭配分時降載運轉之方式，例如將更換燃料數由平均 180 束減少至 110~140 束，加上每年 9 月~隔年 4 月降載至 70%運轉，週期容量因數約為  $(8*0.7+10*1)/18*100%=87%$ 。如此，核二廠可繼續運轉 3~4 個週期，即可達成兩部機依規劃期程除役之目標。

3. 關於核二廠的熱爐及冷爐之目標增殖因數 (keff)，AREVA 如何確保反應電廠最新爐心追隨計算結果？

Dang 說明：AREVA 訂有計算書 FS1-001543 追蹤兩部機多個週期(#1：週期 21~23；#2：週期 21~22)之 step-through 計算(另有計算書 32-9103372-000 蒐集週期 20 之前的數據)，整理各燃耗對應之冷爐 Keff 值進行趨勢分析及最大偏差值(#1：2.5mk；#2：3.4mk)，結果符合 EMF-2158(P)(A)表 2.2 規定最高 5mk 之限值，並據以訂出合理冷爐 Keff 之上下限範圍。對於熱爐部分，亦有 cycle specific core flow 計算書處理其數據，計算結果週期內熱爐 keff 之最大標準差為 0.94mk，跨週期之 keff 之最大標準差為 0.85mk，結果符合 EMF-2158(P)(A)表 2.2 規定最高 5mk 之限值。

4. 在 ACE/ATRIUM-10 臨界功率計算關係式中，有一個名為” ACEKASSM” 的子程式，其內容為計算 K 因子，然而在 POWERPLEX 程式中之 K 因子是用其與燃耗之規係表內插而得，請問兩者有何差異？

【答】：MICROBURN-B2 同時支援美國及歐盟的方法論。歐盟版的不使用節點功率重組(pin power reconstruction)，故係提供 K 因子之燃耗函數表作為內插運算及控制之用，此符合歐盟業界之作法；而在美國版則未提供此功能選項，改以子程式處理。

5. 請問 MICROBURN B2 程式中之” Reflector response matrix elements” 是如何取得數值？

【答】：Reflector response matrix elements 之取得方法已在 MICROBURN B2 理論手冊對應章節中說明，其中包括敘述 Reflector response matrix 之 8 個元素，以及這些元素之定義。

6. 在 MICROBURN-B2 程式中 Keff 值計算方法之實質意義為何？

【答】：理論上臨界時 Keff 須等於 1；然而，實用上數值分析是有誤差的，因此 Keff 很難求出等於 1 的解。從運轉的角度來看，算出來的 Keff 值是反映了分析時爐心的臨界情況。

7. AREVA 提供給台電公司的 ACE revision 2 的測試檔案中缺少測試檔及其執行檔、輸入檔與輸出檔，請再確認是否已完整提供。之前，本公司已就此問題透

過電子郵件向 AREVA 公司多次反應，另外於今年初的 kick-off 會議中亦曾與 AREVA 人員當面溝通，惟始終未能解決。故利用此次機會再度提出與 AREVA 討論。

【答】：問題提出後，AREVA 人員原本認為這些檔案應該都包含在上次提供給本公司的光碟中。但 AREVA 提供的光碟中的確未含這些檔案，因此持續與其溝通，說明光碟中的確未收錄這些檔案。為了解決此問題，AREVA 接待人員另找來 ACE correlation 的專家參與討論。該專家認為光碟中所提供的測試的檔案已足夠測試 ACE correlation 的安裝是否正確，缺少測試安裝正確性的相關檔案亦無影響。不過核研所人員堅持所缺檔案是 ACE 所有副程式中最重要的一個，一旦有缺即無法測試其安裝的正確性。AREVA 最後同意另以光碟的形式將所需的檔案正式提供給本公司核發處，再由本公司轉交核研所。

## 二、 審查後總結

審查後會議參加人員有本次審查團成員、AREVA 公司負責執行本公司核二廠爐心設計及安全分析專案人員參加。本次審查團隊人員共提出 2 項建議事項供 AREVA 公司參考及檢討修正。

## 肆、結論、心得與建議事項

### 一、結論

本次審查 AREVA 公司執行本公司 KS2C25 填換爐心設計，符合本公司及 AREVA 公司內部所要求之接受標準，因此 KS2C25 之填換爐心設計結果為可接受。另外針對本公司預先提送的 8 項議題，AREVA 公司亦在審查期間以討論會方式提供答覆，或另外提供文件報告電子檔供本公司參考。

### 二、心得

1. 本次為職首次赴海外執行爐心設計審查工作，行前為掌握本次工作之內容，已參考多位同仁之工作資料，並複製其中重點文資作為隨身參考之用，以期在短短的一周工作時間內完成所有的審查項目，惟因時逢核二廠裝載池案送原能會審查初期，有許多意見須分工或彙總，無暇專心準備出國事宜，待實際赴廠家開始查核後才發現有許多準備不周之處。首先是與 AREVA 對於審查準備的事前聯繫不足，原本職以為本項例行工作已行之有年，應有一套約定成俗之流程可循，基本事項如準備審查資料應不須特別叮嚀廠家，以致到達 AREVA 時，才發現廠家所提供之文件資料較以往所列清單減少約 3 成，必須在查核過程中不時索取相關計算書資料，是以本項溝通工作絕不可偷懶省略。其次是在議題準備方面，本次核二廠提出之有關爐心計算程式之實際運算問題，職行前寄送給 AREVA 後並未追蹤其處理情況，到廠家後才發現 AREVA 工程師無法從字面上了解核二廠所提問題之要點，其回應未能完全滿足核二廠同仁之需求。
2. 因前年本公司財務吃緊，今年爐心設計審查之出國名額僅有 1 名，無法如往常以老手帶新手之方式執行，職雖無此項工作經驗亦只能戮力以赴，所幸本次核研所有 2 名研究人員一同執行且其中一位已有多次審查經驗，在審查團隊一同作業下使得本次工作得以順利進行。
3. 由於職以往的工作職務主要為核安資料維護及輻射劑量評估，較少接觸核心設計，本次藉由執行爐心設計審查之壓力，促使自己研讀與 KS2R24 及 KS2C25 相關之各項廠家文件及公司對應審查資料，讓職對於爐心方面收穫良多，這些努力在後來與 AREVA 的審查討論中也的確獲得回報，這應該就是輪調幫助個人成長的證明。不過，AREVA 的接待人員也有反應本公司前往執行審查的人員更換頻度極高，起初他還很積極想向台電人員解說所負責的專業領域，以便

下次審查時更好溝通，但是幾次下來卻發現始終在面對新人，現在已經沒有當初的熱忱了。職認為這點事實上也反應了本公司目前現場基層所面臨的情形，即是基層持續不斷的學習新領域，當有能力回饋時又面臨下一輪的調動或升遷，使得公司訓練人員的成本偏高，但卻不一定能取得對應之收益。

### 三、建議

1. 本次爐心審查工作主要是遵照「填換爐心設計獨立審查及稽查指引」之內容執行。惟本指引已使用多年，廠家人員反映有少數審查項目之內容已因廠家更新程序(例如，由 **Siemens** 程式更新成 **AREVA** 程式)而需刪改。再者，對於初次執行本工作之人員而言，本審查指引是很重要的工作依據，然而因其中對於審查項目的敘述相當簡略，對於各項目需審查的對應文件、需注意之審查重點，以及限值標準來源均未交代清楚，使得新手很難據以獨力執行審查作業。未來如公司仍需限縮本項工作出國名額為 1 名，則建議應考慮更新本審查指引並增列前置準備作業，以利新手奉派時能夠在最短時間內掌握本項工作之要點。
2. 此次赴國外執行審查任務是由職與核研所中子分組同仁共同執行，由於核研所同仁對於核心計算程式已有深入之研究，因此能與 **AREVA** 工程師進行深入討論，尤其是針對本週期甫更新使用之 **ACE Rev.2** 程式，就驗證計算結果時所發現之問題進行溝通，職因而能從旁參與討論，學習到較專業之議題。因此建議日後之審查工作應積極邀請核研所同仁一同參與，可提升本公司審查人員之學習深度。