

出國報告(出國類別：開會)

## 參加壓水式核電廠反應爐冷卻水泵研討會 (Workshop) 報告

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：鄭易林 核三廠機械組反應器維護員

派赴國家：美國

出國期間：104年6月21日至104年6月28日

報告日期：104年7月22日

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加壓水式核電廠反應爐冷卻水泵研討會 (Workshop) 報告

頁數 8 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/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

鄭易林/台灣電力公司/核能三廠/反應器維護員/08-8893470-2412

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他 開會

出國期間：104 年 6 月 21 日至 104 年 6 月 28 日 出國地區：美國

報告日期：104 年 7 月 22 日

分類號 / 目：

關鍵詞：反應爐冷卻水泵、RCP、一號軸封、反應爐冷卻水、SHIELD

內容摘要：(二百至三百字)

1. 本次的研討會為期四天(包含第一天晚上歡迎宴)，分為四大部分為 RCP PUMP 簡述、RCP MOTOR 簡述、RCP SEAL 簡述、及其他業界發展及資訊更新，透過研討會即時討論及經驗分享交流方式收穫良多。

2. 本次的研討會發表新一代 SHIELD Shutdown Seal(SDS)的設計原理，並於研討會場後方設置實體 mock-up 可讓參加之會員親身操作，使設計變更讓人更容易理解，另外更研發新的 O-Ring 材質使軸封 O-Ring 之壽命可以延長至 12 年。

3. 本次研討會中和參與友廠 RCP 相關維護人員有良好的互動，並分享安裝 SHIELD Shutdown Seal(SDS)後 NO.1 Leakoff 的趨勢變化情形，也更新了世界 PWR 電廠各型號之 RCP 安裝” SHIELD” 之進度。

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

## 目 次

	(頁碼)
一、目 的 . . . . .	1
二、過 程 . . . . .	1
三、心 得 . . . . .	1
四、建 議 . . . . .	8



## 一、目的：

- (一) 壓水式反應爐冷卻水泵維護為電廠重要工作之一。反應爐冷卻水泵(RCP)一旦故障，可能使電廠降載，如果軸封損壞狀況發生，甚者釀成反應爐水外洩重大事故。熟悉 RCP 馬達、泵、軸封維護技術，使其維持正常功能是確保 RCP 運轉與安全最恰當的維護方法。
- (二) 本廠有承諾大會當世界上 93A-1 型 RCP 超過 1/3 機組安裝” SHIELD”時，本廠開始進行採購安裝事宜，故參加此研討會可蒐集最新” SHIELD” 安裝資訊，更新本廠 RCP 軸封維護計畫。

## 二、過程：

- 104 年 06 月 21 日~06 月 21 日 往程（桃園－美國拉斯維加斯）
- 06 月 22 日~06 月 25 日 參加壓水式核電廠反應爐冷卻水泵研討會  
(Workshop)
- 06 月 26 日~06 月 28 日 返程（美國拉斯維加斯－桃園）

## 三、心得：

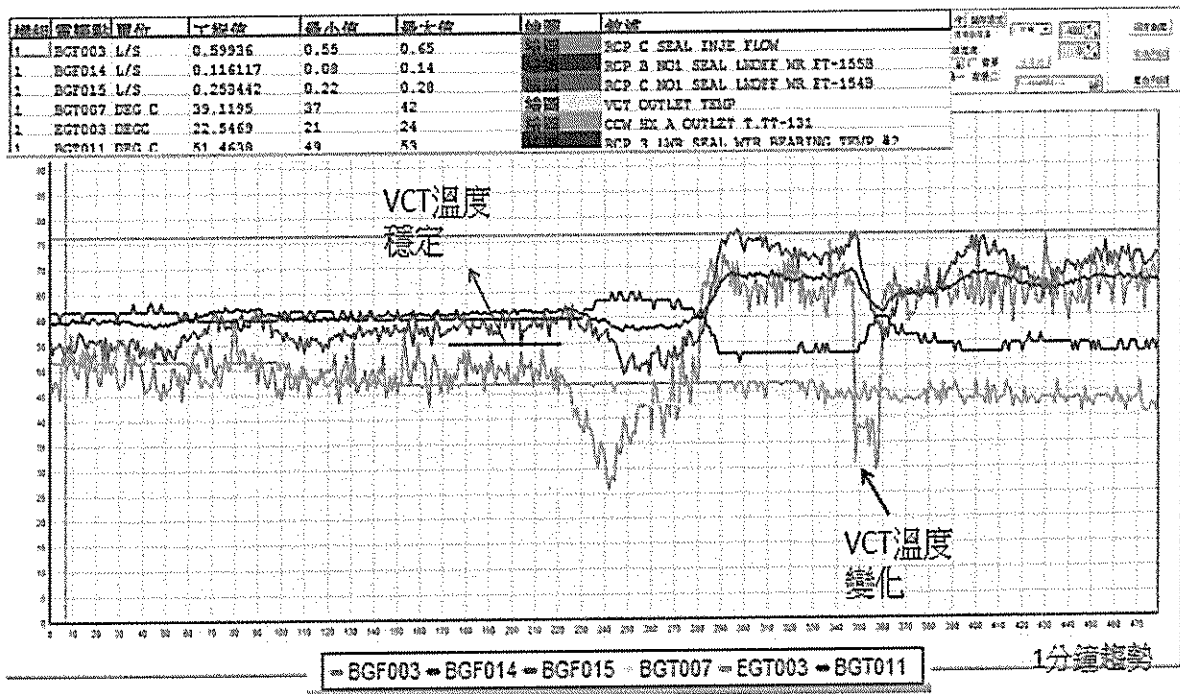
1. 目前西屋公司於世界核能電廠 RCP 類別所佔的比重分析如下表一

MODE NO.	IN SERVICE	RATIO
63	9	3.0%
70	5	1.6%
93	23	7.6%
93A	161	53.0%
93A-1	64	21.1%
93D	21	6.9%
100A	8	2.6%
100D	13	4.3%
TOTAL	304	

表一

由表一可知本廠所使用的型號 93A-1 為世界第二大宗的型號。

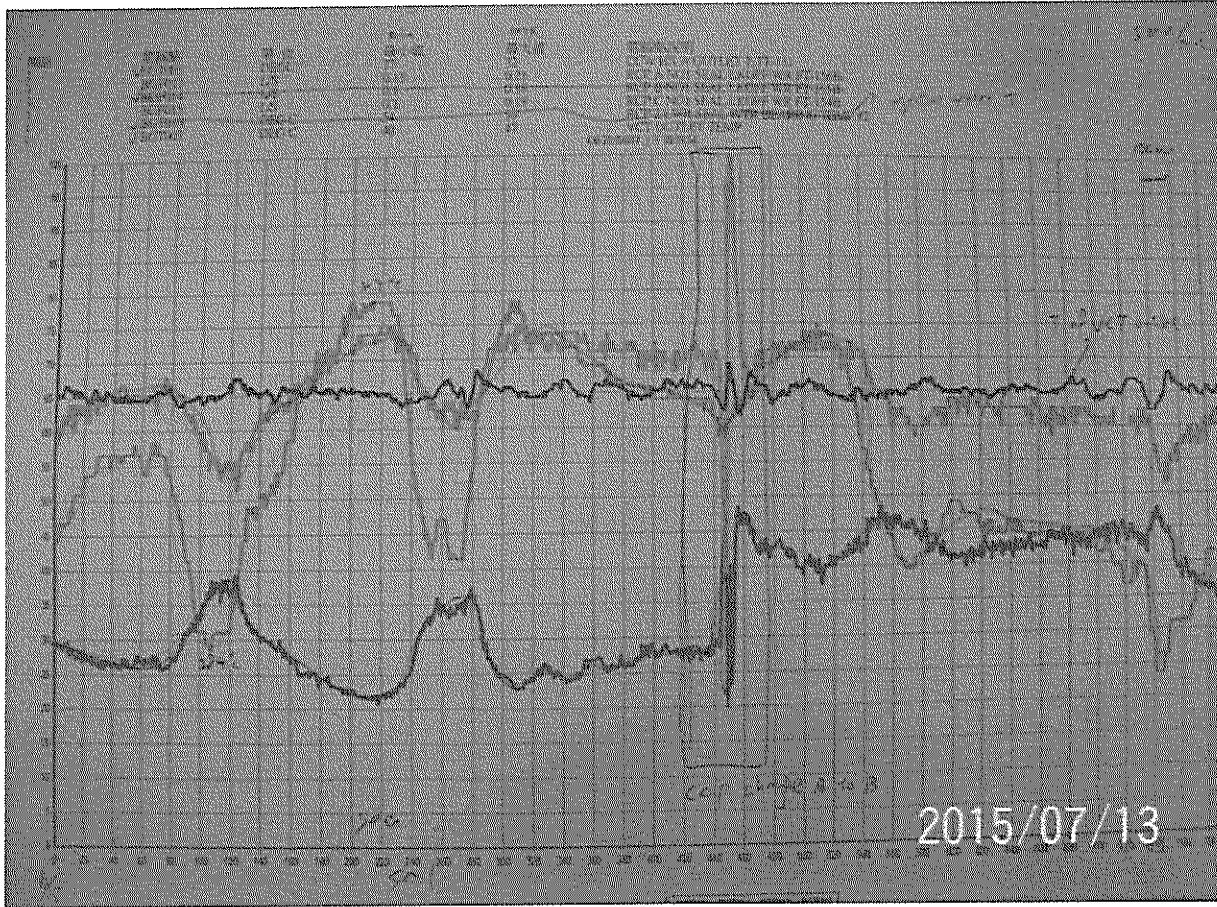
在 RCP SEAL 簡介的會議中，講員有舉例到 RCP NO 1 Leakoff 受到 VCT outlet temperature 的影響曲線，本廠情形如下圖一



圖一

由圖一我們可以知道當 VCT 溫度下降時再回復，NO 1 leakoff 會先有短暫的下降，之後因 VCT 出口溫度提高使得 NO 1 leakoff 因長期效應而提升，但整體洩漏量改變到一個新的低點，此現象符合本廠一號機於 103.12 中旬因 RCP C 台 NO 1 leakoff High 處理的方法有些許相同(本廠是採取快速降低 VCT outlet 出口溫度，再進行緩慢調升)。但此 NO.1 leakoff 的變化曲線讓我感到好奇的有兩點 A.圖一曲線是真實電廠的 RCP 所繪製的曲線嗎? B.如果是真實電廠的曲線! 為何該電廠可以控制 RCP NO.1 Leakoff 的變化僅和 VCT outlet temperature 有關，而不是和海水溫度有關係? 因為核三廠的 NO.1 leakoff 是受到 CCW outlet 有明顯呈反比的關聯(而 CCW 是靠海水冷卻的，故核三廠的 NO.1 leakoff 在正

常運轉下是受到海水溫度所影響的)，如下圖二

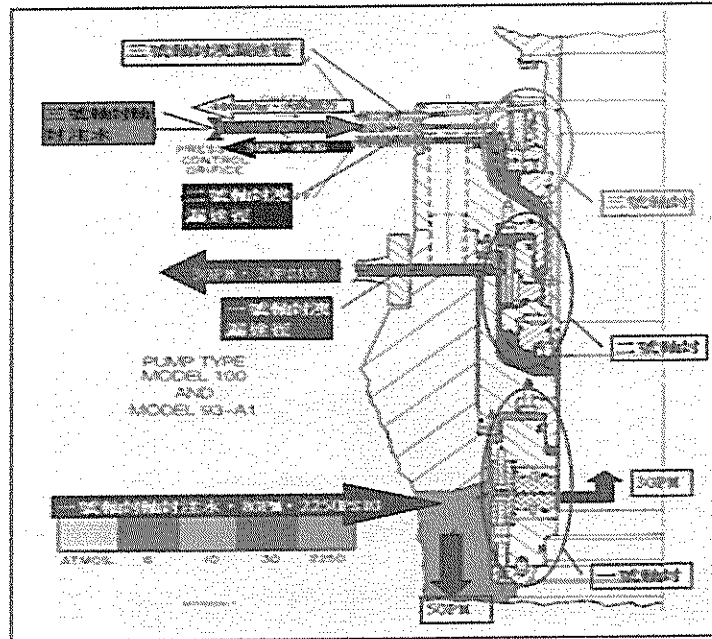


圖二

於是在研討會中場休息時，拿著核三廠 RCP NO.1 leakoff 曲線詢問 RCP SEAL 的講員後得知兩個重大的心得：

第一 圖一所描繪的曲線是某一電廠 93A Type 的真實曲線，該電廠並非使用海水進行 CCW 冷卻，而是使用湖水進行冷卻，故該電廠其 CCW 出口的水溫不會有明顯的起伏，而核三廠是使用海水來冷卻 CCW，而台灣處於太平洋黑潮洋流，有夏季及冬季洋流之分別，並且每日會受到太陽照射影響而有水溫上的變化，故核三廠 CCW outlet temperature 會受到海水溫度影響進而影響到 RCP NO.1 Leakoff Rate。

第二 93A Type 的 RCP 和 93A-1 的 Seal Injection 至 Seal Leakoff 路徑有明顯的不同，其中 93A-1 的 Seal Injection 流經 NO.1 SEAL 的距離相較 RCP 93A Type 的路徑短如下圖三，故當 Seal Injection 一有溫度變化時，路徑短的就會因為黏性效應(溫度高使得黏滯係數較小，反之亦然) 使得 NO.1 Leakoff 會馬上變化，其溫度容忍度的餘裕相對校小。



圖三

後續和其他電廠的 RCP 工程師及西屋技師討論此核三廠 93A-1 NO.1 Leakoff 的控制心得後，發現其他電廠也有相同的趨勢且西屋技師認為沒有控制在一個定值是沒有關係的，只要控制在 1~5GPM 不違反廠家說明書所規定的範圍即可。

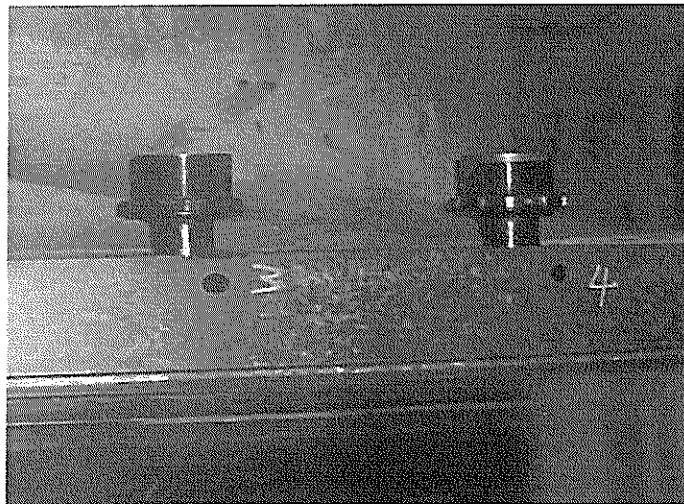
除此之外有討論到 NO.1 Seal 失效時，不建議把 NO.1 Leakoff 隔離掉，因保持 NO.1 leakoff 可使 NO.1 seal 的污垢或軸封組件析出物不會累積在 NO.2 seal 的軸封面上造成石磨環的磨損。

2. 在技術更新的方面主要和 RCP PUMP 有相關的有以下四項

A. 西屋公司發表新的 RCP O-Ring 材料 7228D，且 NRC 已經完成 ELAP 及 FLEX 的 review，其新材料可將其壽命由原本 6 年延長至 12 年，可減少維護頻率增加設備的穩定性，降低設備因過度維護造成的損壞。

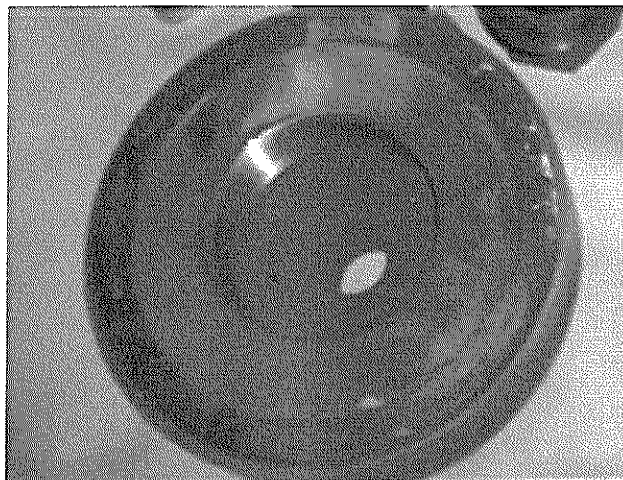


B.RCP 轉向導片的螺栓因在其他電廠 2014 年有發現因 IGSCC 而斷裂，西屋有變更材質為 316 SST，且尺寸由原本的 1" 增加為 1.5"，並監測其使用情形發現 27000~91000 運轉小時(大約 10 年)，取樣 792 只進行檢查發現有 461 只有 Indication，但沒有任何一只螺栓有斷裂之情形；檢視本廠的檢測週期為 6 cycle(9 年)進行一次內檢，本廠於 104.5~7 月進行 RCP 內部組件檢修發現 23 只轉向導片螺栓有 5 只 PT 發現裂痕，目前核三廠 RCP 轉向導片螺栓已全數更換新材料為 316 SST，無運轉中斷裂之虞，如圖四。



圖四

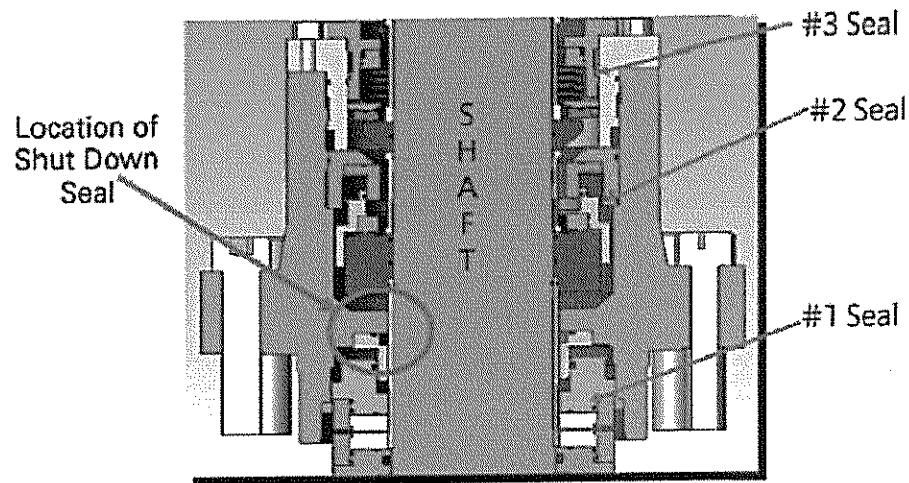
C.新屋公司開發新型葉輪螺栓，使用液壓固定方式，本廠使用舊款葉輪螺栓採鎖牙後焊接固定方式，如圖五



圖五

D. 本次西屋公司針對福島後改善措施 SHIELD Shutdown Seal (SDS) 進行設計、材料的變更，本次推出的為 SHIELDIII (Generation 3)，其中第三代和第二代在驅動器的設計上有很大的變更，使最大的收縮力由原本的 14LB 增加為 217LB，大幅增加使用時功能作動的可靠度，並且改變 Piston 的材質為 Inconel，其原由是因為先前測試階段，Piston 原材料造成腐蝕導致摩擦力增加使得摩擦力大過收縮驅動力，而導致 SHIELD 作動失敗。

而在會場後方有實體 SHIELDIII (Generation 3) MOCK-UP 可供操作，方便與會者理解其原理，其裝設位置如下圖六。



Location of SHIELD passive thermal shutdown seal

圖六

經和 AREVA 的 PSDS (和西屋公司 SHIELD 相同作用之產品) 相比較發現，西屋公司採用驅動器的方式較為洽當，因 AREVA 的 PSDS 是採用當溫度到達某一高溫時，特殊有機間格物會”融化”使 Sealing Spilt Ring 密合達到減少 Leakoff Rate 的效果，若有機間格物融化未完全或其裂解物流到 NO.2 Seal 或 NO.3 Seal 時，會造成密封石墨面磨損，使 NO.2 or NO.3 Leakoff Rate 有增加的可能。

並且於研討會休息時間和已經安裝西屋公司 SHIELD 電廠(Beaver Valley2)的機械工程師討論其安裝 SHIELD 後 NO.1 Leakoff Rate 的變化情形是否有改變——其結果為 NO.1 Leakoff Rate 的變化趨勢仍和 CCW 水溫及 seal injection 溫度有關係，和目前核三廠控制 NO.1 Leakoff Rate 之經驗相同。

3. 針對 RCP NO.1 Seal 在受到溫度、壓力暫態時的反應，於 EPRI 報告中有敘述當降低軸封住水溫度時會有增加流體黏性及降低熱變形兩種效應所組合，當提升軸封住水溫度時反之亦然。於本次 Seal 研討會中，西屋公司進一步分享實驗室針對暫態效應時軸封的模擬結果，而 Flowserve 也有相同研究。

其模擬結果充分解釋提升軸封住水溫度時，軸封外部先受熱膨脹導致膜厚降低，此行為和 EPRI 報告所敘述溫度提升的短期效應相符。

4. 於 RCP 研討會中場休息時間和其他電廠維護同仁有互相交流 RCP NO.1 軸封維護心得有以下 3 點

A. 西屋 RCP 軸封技師分享清洗一號軸封表面氧化鐵沉積物之經驗為——當新軸封運轉第一個燃料週期後，若於大修期間無法使用除礦水擦拭清除，其氧化鐵沉積物會隨運轉時間增加而強化其沉積物緻密度導致氧化鐵沉積物無法移除。

B. 大陸大亞灣電廠機械工程師針對一號軸封氧化鐵沉積物之移除方法有提供其心得——使用特殊清洗劑(威第爾精密儀器清洗劑)配合菜瓜布進行擦拭可充分移除其氧化鐵沉積物；而擦拭後的軸封將會使用一號軸封測試模組，進行洩漏量檢測是否符合於廠家說明書規定。

C. 大陸大亞灣電廠機械工程師另有分享一號軸封動環安裝時，於動環軸封上四只螺栓鎖磅需十分平均，此動作會影響到一號軸封水膜厚度進而影響到一號軸封洩漏量的穩定度，本廠維護程序書 700-M-010 步驟 6.14.7 亦有訂定相關維護關鍵步驟。

#### 四、建議：

1. 本次參加研討會發現本廠使用的 RCP 形式 93A-1 其市占率佔全世界第二，經西屋技師說明 93A-1 形式對於軸封注水溫度變化的容忍度較 93A 形式低，建議電廠後續有需要增設新系統或設備時，可對不同形式的產品進行評估，採購大多市佔率的型號有助提升電廠連續運轉的可靠度。
2. 目前大陸新成立國家電力投資集團公司，是大陸三大核電開發建設營運商之一，具有核電研發、設計、製造、建設和營運管理等完整的產業鏈優勢，於建廠時期有制定相關技術轉移的條約，故建廠後可自行開發製造安全相關 Q/R1 等設備，而目前台電公司核能電廠其維護費用有部分為採購安全相關 Q/R1 設備備品，若能本土生產製造可大幅降低營運維護成本，若往後國家有興建核能電廠之政策時，可參考對岸採購之形式將技術轉移納入採購規範之中，亦可對往後台電公司成立事業部之成本降低有相當大之助益。
3. 本研討會於會後交流時間不僅有互相分享 RCP 相關維護策略，而西屋技術支援工程師亦有分享國外更換反應爐爐蓋、蒸汽產生器將圍阻體切開的相關訊息，對台電公司核電廠延役所需要進行的設備更新增加不少信心。本次出國參加西屋公司舉辦壓水式核電廠反應爐冷卻水泵研討會（Workshop），承蒙各級長官支持及國外機構協助配合，所獲得之相關資料及交流經驗，日後可做為本公司強化設備維護及意外事故發生時，RCP 應變能力之參考。而目前法國 AREVA 公司亦有生產相關福島後因應措施之設備，建議可派員參加 AREVA 舉辦之研討會了解相關設計上之差異，往後設計變更時可針對核三廠系統設計，選用可靠度較高之設備及備品。