

出國報告（出國類別：實習）

**實習「營運決策」及
異質焊道預覆焊技術**

服務機關：台電第三核能發電廠

姓名職稱：林榮宜（機械經理）

派赴國家：美國

出國期間：96.07.14~96.07.28

報告日期：96.09.05

QP - 08 - 00 F04

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：實習「營運決策」及異質焊道預覆焊技術

頁數 31 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：

林榮宜/台灣電力公司/核三廠/機械經理/(08)8893470~2400

出國類別： 1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：96.07.14~96.07.28

出國地區：美國

報告日期：96.09.05

分類號/目：

關鍵詞：營運決策 調壓槽 預覆焊 異質焊道 ODM PWR WANO

內容摘要：(二百至三百字)

- 一、電廠管理階層對異常狀況或設備劣化，雖然還未達到必須採取行動標準，但這些劣化如果長期的累積，仍然會侵蝕核能的安全，此時所採取的預防導正措施，必須做出之決策，稱為營運決策 ODM (Operational Decision-Making)。WANO 推動該決策模式於各會員核電廠，期能提升核能安全，Waterford 核電廠即為營運決策標竿電廠之一，本次實習承蒙該電廠提供頗多經驗與資料，足供本公司借鏡。
- 二、今年初 NRC 對美國 40 部 PWR 核能機組發出 CAL(confirmatory action letter)要求電廠對調壓槽異質焊道實施檢查或預覆焊，核三廠調壓槽使用之異質焊道材質與美國電廠相同，有必要實施檢查及預覆焊，為評估預覆焊技術本土化的可能性與關鍵技術，於 WANO 安排之行程外，至 WSI 及 PCI 等兩家覆焊專業公司實習，對於覆焊所需之關鍵技術與焊接過程可能遭遇的困難，深入探討瞭解，對本土技術研發大有助益。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網

(<http://open.nat.gov.tw/reportwork>)

目 錄

	<u>頁數</u>
一、目的.....	4
二、過程.....	5
三、心得.....	5
(一)Waterford 核電廠「營運決策」研習.....	5~17
(二)異質焊道覆焊技術實習.....	17~25
(三)覆焊可能遭遇之困難與防治.....	25~27
(四)ASME 法規 Code Case 在覆焊程序之應用.....	27~29
(五)覆焊技術本土化.....	30
四、結論與建議.....	30~31

一、目的：

前往美國Waterford 3 核能電廠就“營運決策”方面進行標竿學習與研討，從該廠“營運決策”之實務運作與案例探討中，深入了解營運決策之有效組織與作業機制，並依各種短、長期風險狀況，擬定執行計畫，使行動、責任、補救措施及後備計畫等決策方案，以提供經營管理者在有系統且專注的營運決策文化下，執行有效的營運決策，以長保核能電廠在保守無風險之營運決策下，增進營運績效與安全運轉，並藉此避免核能電廠發生嚴重之安全事件。

WANO安排之電廠營運決策研習交流，使有機會與美國電廠同業間交流研討，對同業電廠而言使用共通的職場語言，彼此間有種他鄉遇知音的感覺，加上美國民族開放的性格，很多資料毫不保留的提供，能夠達到實習目的。

NRC對美國40部PWR核能機組發出CAL(confirmatory action letter)要求電廠對調壓槽異質焊道實施檢查或預覆焊，目前美國三家焊接施工的公司，行程已排至2008年春季，無暇兼顧海外市場，核三廠調壓槽使用之異質焊道材質與美國電廠相同，有必要實施檢查及預覆焊，為評估自行研究之可能性與預覆焊本土化的技術重點，更要學得預覆焊所需之關鍵技術與焊接過程可能遭遇的困難，及防治之道。

對於覆焊公司而言，台電仍然是個潛在的客戶，樂意技術研討，並提供所需的資料，實習過程中根據實際模型操作學得技術關鍵點，並深入探討各廠家技術優缺點，相互印證，整合出覆焊技術本土化可能遭遇的困難，並尋求防治之方法。

二、過程：

奉派出國人員

核能一廠，運轉組：吳才基經理

核能三廠，機械組：林榮宜經理

96年07月14日~07月15日 行程（高雄 台北 洛杉磯 紐奧良 Waterford電廠）

07月16日~07月18日 與waterford核電廠工程人員交流討論共20個題目及電廠觀摩(除CTMT)。

核一廠吳才基經理於Waterford核電廠完成營運決策研習後先行返國，

往後調壓槽預覆焊技術行程則由核三廠林榮宜經理前往研習。

07月19日~07月22日 至WSI公司研習覆焊關鍵技術及可能遭遇困難。

07月23日~07月26日 至PCI公司研習覆焊關鍵技術及可能遭遇困難。

07月27日~07月28日 返程（美國 台北 高雄）

三、心得：

（一） Waterford 核電廠「營運決策」研習：

- 1、營運決策研習為交流之主題，三天的研習過程中，本廠提出共 20 項討論題目，包括平時維護、大修作業、及未來重大改善案，除了 3 項因系統不同未能討論外，其餘都知無不言，言無不盡，Waterford 核電廠更不吝將所有相關程序書提供參考
電廠交流項目報告如下：

Waterford 為 Entergy 電力公司轄下 12 座核電廠之一，核島區為 CE 設計之 2 只 S/G 4 台 RCP 之 PWR 電廠，汽輪機則由西屋公司提供，總發電量 1,157MW，自 1985 年 9 月 24 日開始商業運轉，員工 550 人，其中工程人員有 100 名，運轉值班每班 12 人五班共 60 人，每值上班 12 小時。其營運決策的運作為美國標竿電廠，大修最快 25 天，目前規劃則為 31 天，Waterford 核電廠 ODMI 自 2006 年開

始運作至今年七月共有 7 份報告，茲詳列如下。

2006/12/18 Primary to Secondary leakage and S/G 1&2 Tube Plugging
/stabilization due to Batwing Relocation 。

2006/12/25 Startup Transformer “ B ” Positive Acetylene。

2007/01/22 Reactor Coolant Pump 2A shaft vibration。

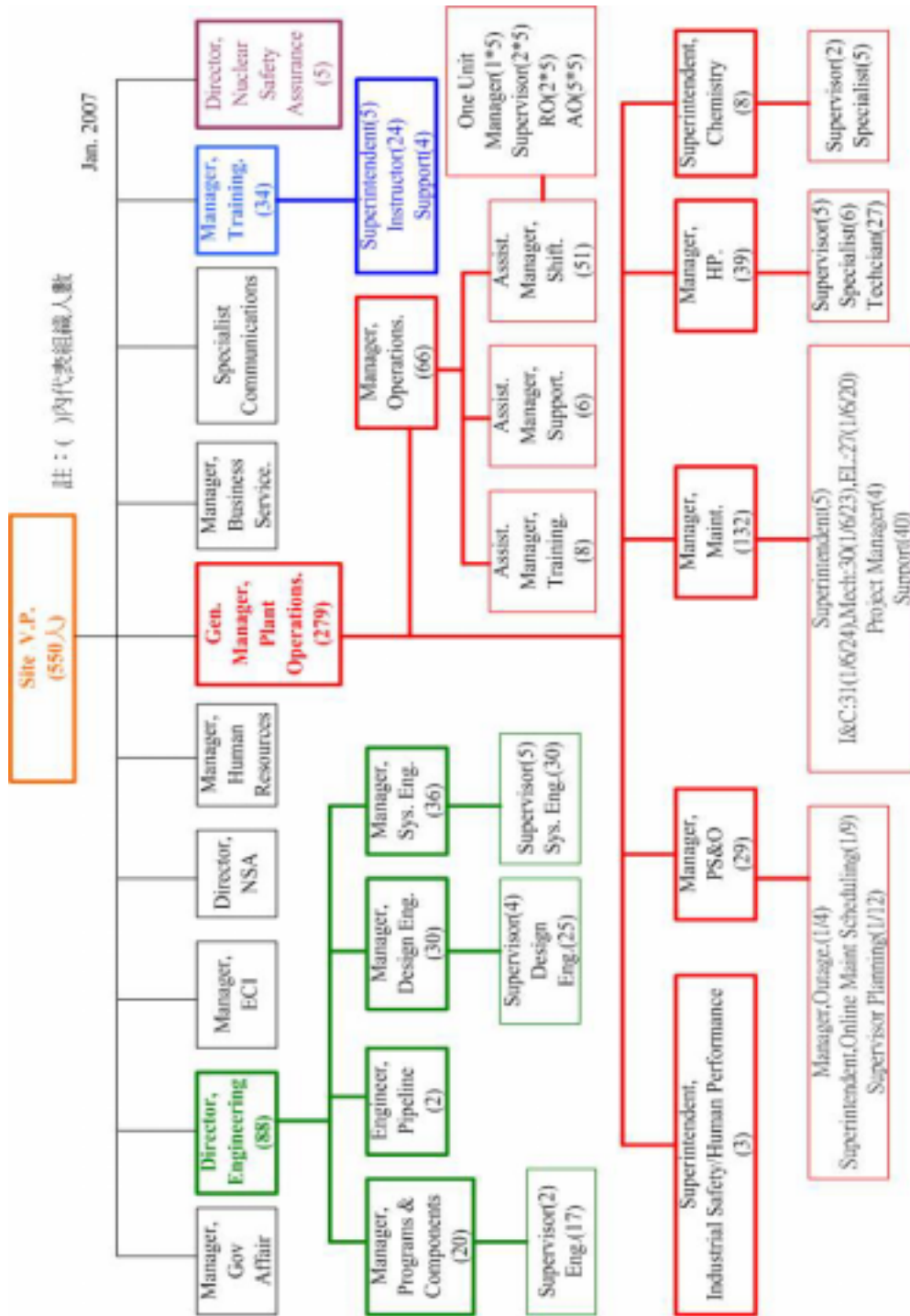
2007/02/28 Reactor Coolant System leakage Monitoring program for
Pressurizer Dissimilar Metal Welds。

2007/05/09 Failure of AC Air side seal oil pump to maintain Generator
Gas Differential pressure。

2007/06/13 WF3 Cycle 15 Fuel Failure。

2007/06/20 ODMI for Built in Air Accumulator B of MSIV ” A ” leakage。

2、電廠組織



3、研討內容：

研討內容分為“營運決策”作業依據、“營運決策”作業程序、“營運決策”案件探討及其他交流事項等四部份。分別敘述如下：

(1) “營運決策”作業依據

Waterford 3 核能電廠屬於 Entergy Nuclear 部門 12 座核能電廠之一座運轉核能電廠，隸屬於 Entergy Corporation，Entergy Nuclear 部門依據 INPO 2001 年 12 月版“Principles for Effective Operational Decision-Making, ”、1989 年 3 月版“Principles for Enhancing Professionalism of Nuclear Personnel, ”、1999 年 12 月版“Principles for Effective Self-Assessment and Corrective Action Program, ”及 1994 年 11 月版“Management and Leadership Development, ”等相關文件，研擬該公司核能部門統一之“營運決策”作業程序書。其中主要依據為 INPO 2001 年 12 月版“Principles for Effective Operational Decision-Making, ”相當類同於 WANO GL 2002-01 有效營運決策原則之內容。

提供一可用之原則與準則，協助管理階層有制度及系統，來積極建立營運決策文化，以維持安全及可靠之穩定運轉，其內容主要是針對電廠管理階層在因應未達執照相關文件與定義之起始條件時，且於現行程序書中未清楚規範之劣化狀況等議題下，如何下達決策之準則。

Entergy Nuclear 則是依據下列六大準則(類同於 WANO GL 2002-01)，擬定其“營運決策”作業程序書，分述如下：

A. 對可能危害安全及可靠運轉之狀況要能認知，並迅速提報處理。

各階層無論是經理、督察員或基層員工均需能認知及不容忍任何危害或降低電廠安全餘裕或可靠度的狀況。並將此狀況連同可行方案，即時提報管理階層處理之作為。

B. 建立決策及執行機制，使權責區分，讓電廠員工均能充分瞭解。

讓電廠各階層員工了解其對決策過程之責任與分工。當電廠狀況有變化時，參與員工可直接並即時的意見回饋。

C. 判定危機可能後果，並謹慎評估備用方案。

考量運轉可能危機、遵守執照要求及安全餘裕之影響及其後果，並明確分辨風險影響範圍，以最嚴謹之態度研擬最佳解決方案，同時瞭解每一備用方案之風險，擬定執行計畫。

D. 決策之訂定基於長、短期風險，並對不同狀況之選擇其整體衝擊要充分瞭解。

採取的行動必須進行廣泛及不良後果的檢討，基於對風險與可能後果之嚴謹考量，對於替代方案之瞭解與影響至為重要，因而決策務必非常嚴格謹慎執行。

E. 實施計畫之執行，務必落實責任分工及補救措施與後備計畫等配合執行，以確保達成預期目標成果。

有效的實施計畫包括預期行動、職位與責任、補救措施與後備計畫，以獲得預期目標成果。同時讓參與員工完全瞭解計畫與決策之基準。在執行期間，遇狀況改變時，即時反應並通知決策管理階層。

F. 定期決策成效之評估。

營運決策之成效是由電廠管理階層與員工共同發掘、分享、強化與學習。決策者係經由系統化及程序途徑以實績與公司期望、工業高標準及運轉經驗進行分析評估及資訊回饋，使其學到過往經驗並用來改善決策程序，以確保決策效能之提昇，而此一有效的決策模式，對未來類似情況可重複使用以提昇成功機率。

(2) “營運決策” 作業程序

A. 狀況報告：(Condition Report, CR)

當安全或可靠性之相關議題出現時，狀況報告是整個運轉決策過程的起點。電廠任何層級員工若發現有可能危害安全及可靠運轉之狀況，都應迅速向部門主管提出處理報告。

B. 狀況報告 (CR) 審查：

部門主管或值班經理提出之狀況報告於狀況審查會 (Condition Review Group, CRG) 討論判定是否成立 ODMI (Operational Decision Making Issues, ODMI)，狀況審查會主席由電廠運轉總經理 (General Manager, Plant Operations) 來擔任。

狀況報告 (CR) 成立 ODMI 後，再由狀況審查會指派適當的人員擔任 ODMI 經理來主持研究解決此一狀況，但必須為接近問題核心的部門擔任。

註：Waterford 3 電廠運轉總經理職位相當於本公司廠長與副廠長職務之間角色。(參考該廠組織圖)

C. ODMI 小組

(A). ODMI 經理：

ODMI 經理負責組成 ODMI 小組，負責完成狀況審查委員會所交付之任務。

ODMI 經理工作有：

- a. 選定適當 ODMI 主辦人員及組員。
- b. 協助 ODMI 主辦人員共同解決 ODMI。
- c. 管理 ODMI 小組作業。
- d. 整合由組員所提出的文件及計畫。
- e. 主持 ODMI 小組會議。
- f. 適時提出 ODMI 實施計畫送狀況審查會確認通過。
- g. 定期向狀況審查會報告說明 ODMI 執行情形。

(B).ODMI 主辦人員

ODMI 主辦人員務必非常清楚認知此狀況對電廠之危害或劣化情勢與影響。

ODMI 主辦人員工作有：

- a. 調查 ODMI 狀況與影響。
- b. 引進組織內/外部專家參與
- c. 整合組織內/外部各項資源。
- d. 工業界運轉經驗之運用。
- e. ODMI 小組與各部門溝通協調工作。如 CRG，運轉部門及值班人員。
- f. 負責追蹤 ODMI 計畫之執行。

D. ODMI 實施計畫

ODMI 實施計畫無論是定義問題、提出假設、驗證方法、訂定解決方案與風險評估，在 ODMI 小組會議需運用議事技巧，讓組員能暢所欲言，群策群力，在制定決策前需了解所有可能的影響因子。ODMI 實施計畫內容包括以下項目：

- (A) ODMI 名稱/編號/成立日期。
- (B) ODMI 修訂版本。
- (C) ODMI 經理。
- (D) ODMI 主辦人員。
- (E) ODMI 小組組員。
- (F) ODMI 實施計畫目標與範圍。
- (G) 運轉經驗。
- (H) ODMI 影響後果之風險評估。
- (I) 假設論述及建議措施。
- (J) 特殊行動/引用的程序書/相關執行者/要求完成期限。

- (K) 補償性措施。
- (L) 執行過程及可能造成後果。
- (M) 觸發點及採取行動。

事先訂定觸發點一旦觸及，電廠人員將採取預先擬定之行動方案，執行部門則逐步依循執行，以確保行動之完整性，包括程序書引用、角色認定和執行時機。

- (N) 中止點及暫停準則。
- (O) 電廠目前處理現況。
- (P) 參考資料。
- (Q) 溝通計畫。
- (R) 監視行動。
- (S) 結論。
- (T) ODMI 主辦人員/經理簽署同意。
- (U) 核准。

E. ODMI 結案

當惡化的設備/電廠狀況獲得改善後，ODMI 小組召開會議討論整個 ODMI 執行過程，並備齊過程中所有產生的文件後，向狀況審查會申請審查同意結案。

F. 定期審查 ODMI

- (A) 狀況審查會定期評估審查未結案 ODMI 之系統現況及實施計畫適當性。
- (B) 電廠安全審查委員會(Onsite Safety Review Committee , OSRC) 審查所有新成立 ODMI 實施計畫有無違反公眾安全、工安或電廠安全，並定期審查未結案 ODMI 實施計畫之執行對電廠安全衝擊之總和影響。

註：OSRC 類似於目前電廠運轉審查委員會(SORC)

G. 記錄：所有成套文件與記錄需永久保存。

(3) “營運決策” 案件探討：

Waterford 3 NPS(Fuel Cycle 15) ODMI 案件：7 件

案件	Title	Date of ODMI	Rev.	結案	Team Members of ODMI
1	Primary to Secondary Leakage and STM Gen. 1 & 2 Tube Plugging/Stabilization due to Batwing Relocation	2004.6.23	6	未	6 人 ODMI 經理：2 人 ODMI 主辦員：2 人 成員：2 人
2	Rx Coolant Pump 2A Shaft Vibration	2006.10.25	1	未	8 人 ODMI 經理：2 人 ODMI 主辦員：2 人 成員：4 人
3	Startup Transformer “B” Positive Acetylene	2006.12.25	4	未	5 人 ODMI 經理：1 人 ODMI 主辦員：1 人 成員：3 人
4	Rx Coolant Sys. Leakage Monitoring Program for Pressurizer Dissimilar Metal Welds	2007.2.28	0	未	4 人 ODMI 經理：1 人 ODMI 主辦員：1 人 成員：2 人
5	Failure of AC Side Seal Oil Pump to Maintain Gen. Gas Differential Pr.	2007.5.5	1	未	5 人 ODMI 經理：1 人 ODMI 主辦員：1 人 成員：3 人
6	MFIV “A” Control Air Leakage	2007.5.24	1	未	5 人 ODMI 經理：1 人 ODMI 主辦員：1 人 成員：3 人
7	WF 3 Cycle 15 Fuel Failure	2007.6.13	0	未	6 人 ODMI 經理：1 人 ODMI 主辦員：1 人 成員：4 人

Waterford 3 核能電廠每 Fuel Cycle 平均約略有 6~7 件 ODMI 案件，由上述案例探討可歸納成立 ODMI 案件因素如下：

- A. 長期劣化可能影響機組核能安全之案件則列入 ODMI 案件追蹤。
- B. 長期劣化可能使機組降載或停機影響營運之案件亦列入 ODMI 案件追蹤。
- C. 長期劣化可能造成重大設備損害之案件也列入 ODMI 案件追蹤。
- D. 另從上述案例探討中得知 Waterford 3 核能電廠之 ODMI 小組成員多以接近問題核心的部門參與，成員人數以精實為主，主要以提昇 ODMI 小組工作效率與效能。

(4)其他交流事項

除探討 ODMI 外，其他討論的題目與結論說明如下：

A. Refueling outage FME：

Waterford 電廠無論輔機廠房及汽機廠房，在固定角落皆放置 FME 箱，裡內有幾個抽屜放置多種大小尺寸之異物入侵防止袋、塞子、封口套等，另有程序書及專屬檢查員嚴格執行管理。

大修期間由緊計人員支援 FME 管理，若進入異物管制區如 Re-fueling Pool 各項攜入物包括眼鏡皆要登記，出來時逐一檢查，即使掉一支眼鏡的小螺絲，都必須要登記評估。因電廠大修繁忙，此項異物入侵的管理則由緊計小組執行。

B. Tilting Check Valve at Auxiliary Feed Water Pump Discharge

輔助飼水泵出口使用的是 swing check valve，平時起機與停機都使用起動飼水泵，馬達帶動及汽機帶動輔助飼水泵僅在緊急情況使用，因此沒有止回閥斷 pin 的問題，在紀錄中汽機帶動輔助飼水泵出口使用 Anchor Darling 止回閥，曾經因 pivot pin 歪斜致閥洩漏。

C. Measures of Hurricane (As typhoon in Taiwan)

Waterford 的汽機廠房為露天沒有遮蔽，而颶風在紐澳良地區造成災害至今都還令人聞之心驚。

若遇颶風來襲，由緊計小組主導應變時宜，在廠內會留有 2 班運轉人員及維護人員待命。

2005 年 8 月 KATRINA 颶風來襲，廠內留了 128 人待命。

D. Cavity Seal Installation During Refueling Outage

Cavity Seal 很早就換成永久式封焊 Cavity Seal，平時開啟 6 個通風口，大修期間只要將通風口封閉即可灌水吊起爐蓋。

E. Radwaste Management

Waterford 的廢料處理僅負責裝桶，運至南卡羅來納之廢料儲存中心存放，以桶計價，對於我們提供高溶縮及廢料減溶的 CD 片頗感興趣，我們亦送一片 CD (核研所製作)給對方最高經理人。

F. Mid--Loop Maintenance during Refueling Outage

大修熱半水位之時間約 3~4 天，除非有運轉中洩漏者否則不拆修，Packing 的更換則以運轉中有發現洩漏才更換，否則不更換，維修時間很短，主要是維修的設備根據 Condition Base 決定是否大修。

G. Leakage Monitoring & Inspection during Operation

大家碰到的問題都差不多，只要大修期間做好維護品質，不大需要進入洩漏檢查，即使需要檢查亦根據程序書逐步檢查。

H. Requirements Of Valve Repacking Interval

Repacking 的數量不多，根據運轉情形而定，運轉中無洩漏者在大修期間並不 Repacking，每一只閥之 Packing 都有一張類似身分證紀錄所有資料、照片及運轉情形，大家共同的結論是 Do Good Not Do Too Much，

早期亦做很多 Repacking 甚至塞了很多 Packing 結果還是漏，後來根據 EPRI 的研究報告，只用四條 Packing 反而不漏。

I. Reactor Vessel O-Ring Seating-Face Cleaning Method

目前並無使用機械清理，電廠也在尋求自動清理設備，但在爐蓋回裝前先以水柱將 RV 法蘭面及 O 型環面清洗，爐蓋回裝後則以長柄工具用布把清理，最後才用人工以清潔布及丙酮擦拭。

J. Pressurizer Man-way Cover Gasket Replacement Interval

每次大修都將調壓槽人孔蓋開啟，作為 RCS 的逸氣通路。

K. Pressurizer Nozzle Dissimilar Weld Overlay

2008 春將實施預覆焊，除調壓槽 6 口外再增加三口 RCP 噴嘴共 9 口焊道，合約將與 WSI 公司簽訂。

L. Reactor Vessel Head Replacement

RPV 爐蓋預計 2011 年更換，與西屋公司簽約由韓國 Doosen 提供鍛造材料，西班牙 ENSA 製作。

M. Steam Generator Secondary Side Cleaning & Replacement

S/G 二次側每兩 cycle 實施一次 sludge lancing，S/G 目前鐵溶度為 1.8ppb，做過兩次化學清洗，因 S/G 上方隔板支架脫落，壓到中部 Tube 致塞管達 11%，已規劃 2011 年換 S/G，訂單要排至 5 年後交貨，因時程緊迫不僅加價且由韓國及西班牙製作才可趕得上 2011 年更換。

對於新的 S/G 則提供多年來運轉需要改善之處，這也是共同的想法，茲列為參考如下：

- (A) 飼水環管改善不要讓二次側之 Loose part 進入 S/G 底部。
- (B) 每 2 個 Tube support plate 間有一 3 英吋手孔作為觀察上下 Tube support plate 阻塞情形。
- (C) 手孔增大為 8" 方便 Tube Sheet 清洗。

(D) 一次人孔改為 18 ” 方便安裝 Nozzle Dam 及渦電流檢測。

(E) Man-way 及 Hand-hole 使用 Hydro nut 。

(F) 管底板外圍 Blow-down 區改為低凹，可承接 Blow-down 的 Sludge。

(G) Channel Head 底部改為平整，去除 S/G Drain 使底部不積水。

(H) AVB 改善。

(I) Channel head 內部要 Polishing 平滑，減少污染物積存，且較好除污。

(J) 熱端及冷端提高 4-5 英吋使半水位的高度較高。

電廠的 S/G ECT 包給西屋公司做，價格不斷上漲，雖然電廠負責人心裡很不舒服，只能抱怨很貴，但關鍵技術交給別人的結果大抵如此。

N. Target Rock Solenoid Valve Maintenance

現場問題大都相同，其程序書可供參考。

O. PZR & Main Steam Safety Valve Setting Pressure During Refueling Outage

安全閥測試 PZR 部分 2 只安全閥，另購 2 只備品，大修後則送至 500 哩外的南卡羅來納測試中心作測試，大修則直接更換，因此停機及起機並無再測試。

主蒸汽管安全閥則線上測試，是在大修前 3 天機組 100% 時測試，雖推行此測試方法初期有很多人質疑，但經過 10 幾年，並無不良效應，其他美國電廠也很多施行此方法測試，電廠方面也考慮採購 SPVD 測試設備。

P. Burier Piping for Sea Water of Cooling System

面臨密西西比河，使用河水冷卻，CCW 則在廠內建一封閉系統，以冷卻塔冷卻，無海水之埋管檢查問題。

(二)、異質焊道覆焊技術實習

1. 美國年輕一代不願意從事 3D(危險、髒、困難)的工作，與國內年輕人類似，而焊接工作則是標準 3D 工作，很難招到新人，因此未來的焊接工作將朝向自動焊接以

減少人力需求，對於核能發電廠有關之焊接因為輻射環境因素更需要以自動焊接為之，對自動焊接而言，工作人員不僅需要具備焊接技術了解焊接原理，具備觀察金屬熔融狀態的能力，更要具備自動控制系統知識，以便能夠操作自動焊接機，一般而言，會做焊接工作的技術員大都不精於自動控制，而擅長自動控制者不一定是焊接技術良好者。

很難去找焊接工人施予自動控制訓練，只好找具有控制或電機人員施予焊接訓練，很多人不見得適合這種工作，只能進用大批人員再逐一淘汰，另外機械與電控工程師更是重要，其主要工作在設計焊頭及焊機維修，一組自動焊接人員之組合有工作人員為 4 人，其中設備操作 1 人，現場設備觀察 2 人，儀控 1 人。

焊機與焊頭都有專業廠商製作，但只供應陽春型焊頭，因核能電廠所用之焊頭皆為特殊焊頭，市場並不廣泛使用，外界也不很了解核電廠的需求，因此焊頭必須自行改裝，焊頭之設計不能寄望焊頭公司設計完好供給使用，必須自己購買馬達、鏡頭、電纜線，用自己的 mock-up 設計，或者採購標準焊頭再自行修改使用，如完全靠焊頭設計公司，將面臨很多現場配合性的問題。

2. 任何一個調壓槽執行覆焊都需要下列程序：

(1) 焊道設計：

焊道設計的目的主要根據原始焊道之材料測試報告所含有之成分如硫、碳、鎳 等分析並計算焊接後之殘留應力，最重要的是考量超音波檢查所需要的幾何形狀，設計出覆焊的厚度與長度，供給施焊者之依據。

當覆焊完成也要根據最後量測的實際厚度再計算殘餘應力，與覆焊厚度、長度等構成之外壓應力，這些設計上的考量在 MRP-169 都有說明。

為了精確計算焊道之殘留應力與材料成分必要根據製造時的紀錄如 CMTR 與檢測報告，由製造當時之檢測報告可以看出製造期間的修理情形，由這些資料可以分析修理後之殘留應力。

美國在焊道設計情形如下：

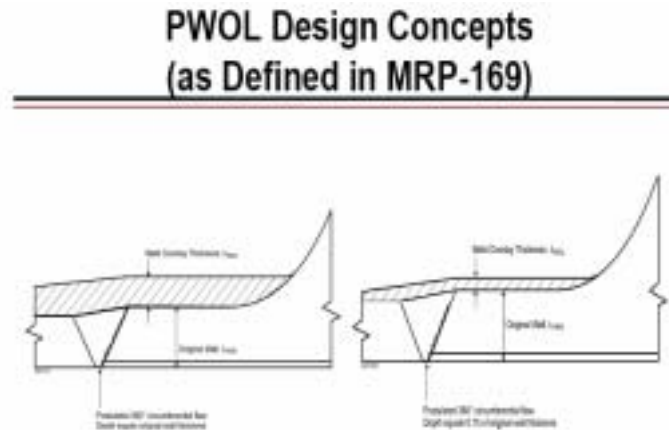
西屋：採保守策略，焊道設計較厚且長，風險低但施焊時間較長。

SIA：焊肉設計較短且薄，施焊時間短，有檢測不到之風險，在 Ocone 電廠

有案例發生，因此焊道設計在考慮檢測的可執行方面是一個重要考量。

台灣：國內研究機構有一些學者在焊道設計方面頗有研究，這是本土化的優勢

價格：美國本土電廠約 US\$30~50 萬，我國核電廠收到報價約 US\$80~100 萬。



(2) 焊道檢測：

新式超音波檢測技術不斷被研發出來，以前經由 EPRI 認證通過的 PDI Phase Array 檢測方式，由 SIA 經 EPRI 認證合格之 LPA(Liner Phase Array) 超音波檢測可以節省五分之四的時間，如果使用 PDI 認證之超音波檢測方式，檢查時間較長，在目前檢測異質焊道仍以 PDI 認證較普遍，LPA 為較新的方法。

台電檢測隊已經認證，具備 PDI Phase Array UT 檢測能力。

(3) 焊道施焊：

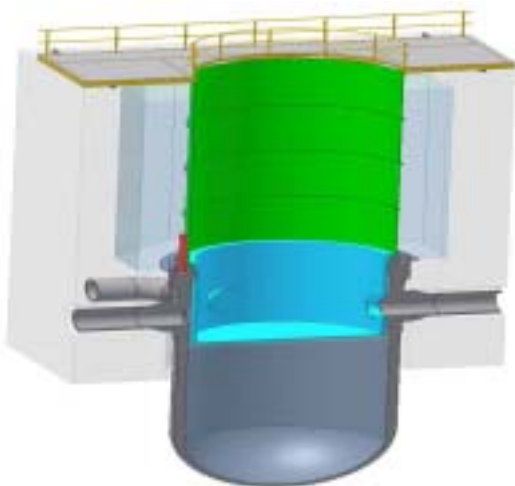
PWR 核電廠異質焊道有兩個位置，一處為 RPV 噴嘴異質焊道，另一處為調壓槽噴嘴異質焊道，這兩種位置不同的異質焊道因為空間大小差異頗大而有兩種施焊技術，就調壓槽方面而言，只要在異質焊道外部管圓周焊上 6~7 層焊肉，達到焊道設計要求即可，而且所有施焊廠家皆用同樣方法，但 RPV 噴嘴異質焊道則有三種焊接技術：

A. 機械式應力改善程序法，簡稱 MSIP(Mechanical Stress Improvement

Process)：當覆焊位置有支架，從支架兩側施行覆焊使其產生壓應力，這種

方法除了 V.C Summer 做過一次，並未在其他核電廠施工，顯示有其技術上之缺點，目前這種方法不再採行。

- B. 管內覆焊法(Inlay Overlay):這種方法須將 RPV 下內部組件移出，再放入一只與下內部組件大小之圓筒，圓筒內部再加上一只可輻射屏蔽材質之短圓筒，自動焊接設備及人員則在圓筒內作業，利用自動工具伸入冷端或熱端焊道位置，將原有 A182/82 焊道車除一部份，再以自動焊接設備在管內覆焊一層 A152/52 焊道，這種施焊技術可達到需要之壓應力，雖然技術要求較高，但人員劑量與工作時間相對減少，當然費用也高，每部機約美金 1200 萬以上，對於 RPV 噴嘴位置狹窄，有大型支架，設備難接近及輻射劑量高的環境，這種施焊技術被視為最佳選擇，目前 Westinghouse 與 Areva 致力於發展此種技術。



C. 管外部覆焊:與調壓槽噴嘴異質焊道覆焊相同原理與做法,這種方法雖然施工費用較低,每部機約美金 800 萬以上,但人員劑量的管制與支架移除、回復、機械架設等問題仍須克服。

至於核三廠要走那一個方式施工,將於大修期間量測 RPV 焊道空間,並觀察美國核電廠在 RPV 噴嘴異質焊道預覆焊之採行方式,再評估選擇。

下列報告調壓槽覆焊需要準備事項及其技術重點:

(A).市場概況:

WSI:工程師來自西屋、CE、ABB 等,其發展覆焊較早,技術較先進,因自行拿訂單,價格較具競爭性。

PCI:工程師同樣來自 ABB、WSI、CE 等挖角,技術亦有相當水準,因核能部分訂單與西屋結盟,競爭力稍遜。

價格:調壓槽 6 個噴嘴異質焊道預覆焊每部機約美金 300 萬以上

市場佔有情形分析:WSI 約佔有 50%,PCI 約 35%,AREVA 約 15%

(B).工作準備:

執行調壓槽覆焊除了焊道設計、焊道檢測、接著就要進行焊接程序書的準備,PQR、WPS 是焊接作業執行的重要文件,在進行 PQR、WPS 時,大致有下列工作:



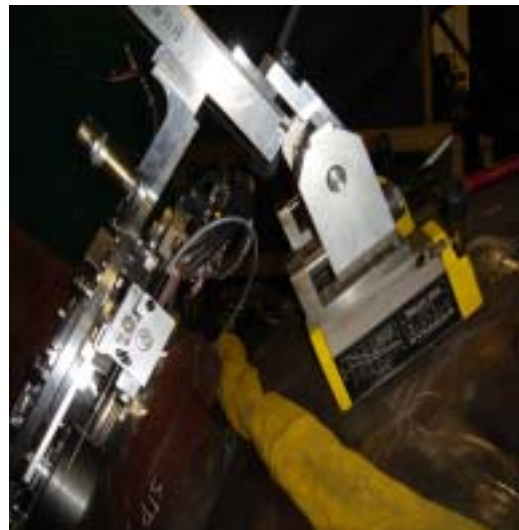
a. MOCK UP 製作：

模型製作必須參考現場的情形，繪出 1:1 的各項實際管路佈置圖，包括空間的支架、洩水管以及每一組支架、洩水管與欲焊管嘴間之尺寸，尤其空間的環境尺寸更不可忽視，目前市面上有一種紅外線掃描照相設備，藉由掃描器的功能將每一設備支架、管路標示清楚，而且還有尺寸都可以利用此掃描機器定位出來，下列為模型製作照片：



b. 焊機焊頭架設：

當模型製作完成後，焊頭則架設在模型上，並連接焊機，至於電纜線要從哪個位置進出，也要在模型試作時做好紀錄，為了避免到現場慌亂，Real Size 模型訓練是一個很重要的步驟，工作人員借由模型訓練可以很熟練並快速安裝焊接機械，減少劑量接受。



c. 模型焊接：

要真正的在模型施焊，而且程序要完全遵照程序書，在模型焊接的過程必須視同現場實際作業，舉凡電流強度、焊接速度、移動間距、層間溫度、焊線供給速度、旋轉方向等都要實際操作，並用此一程序來鑑定焊工資格，修改焊接程序等。

Equipment Solid Modeling



d 在模型上模擬焊接可能遭遇的問題：

特殊金屬之電焊，往往出現許多意想不到的問題，如熔合不良，龜裂、夾渣等這些問題，必須先在模型上就各種可能發生的原因，模擬失敗情形，再運用修理原則去修理，並建立修理程序書，這一部份為模擬訓練，不可或缺的一項，尤其是修理程序書的建立更要實際模擬出現的缺失，以實際缺失作為修理的標靶，再把修理的紀錄製作程序書。



e. 焊工的訓練：

不論召集的人員背景如何，至少有高中(工)以上學歷，並施以手焊訓練，使之具備焊接基礎，尤其焊接位置及 6G 的變化，電流、熔泥流動情形，都要具備相當的知識，才可能施焊過程中注意各種「金屬熔泥」的狀態，避免失敗。除了焊工訓練外，每一個人都要訓練操作設備及檢修設備的基本技能。



f. 儀電設備修護員：

所有自動焊接設備、電焊機、電焊頭、視訊裝備都由精密電子零件組成，在電焊作業進行中，這些精密零組件長時間暴露在高溫環境下，很容易因零件劣化，燒毀而影響焊接工作，這種非預期的設備故障往往讓焊道品質降低，甚至龜裂而需要修理焊道，因此熟悉整體電焊設備的儀電人員更不可或缺，當焊接工作進行時，設備的穩定性更是重要。



g. 焊接工程師：

工程師具有整體的知識，除了設備功能、維護觀念、施焊注意事項，更要耳熟能詳，當現場發生任何狀況必須快速反應，避免狀況惡化，甚至碰到焊頭不符，有足夠能力修改設計製造，此人為施焊之靈魂人物。

照片顯示為覆焊完成情形：



(三) 覆焊可能遭遇之困難與防治

覆焊在研發的初期，遭遇了很多困難，這些困難也是覆焊公司所謂的 Know-How，因此，具備這種經驗的技術者很多被高薪挖角，實習覆焊，很重要的一件事就是瞭解其問題所在與處理的方法，就覆焊過程中可能遭遇的困難說明如下：

1. Oxide Floaters :此現象為比較特殊的，因此並未有特別的中文翻譯名詞，一般應為氧化懸浮物(有點像鋸渣)
2. Hot Solidification Cracking 一般稱為熱凝固裂縫(區別在於裂縫產生是在凝固的前後)
3. Ductility Dip Cracking 此現象也是特殊的銲接材料才有，因此並未有特別的中文翻譯名詞，主要的成因為是裂縫產生介於熱裂與冷裂之間，在晶界之間物質的延性較差，導致此現象。

以上三者的現象屬於特殊焊接狀況才會產生的。

4. Lack of Interbead Bonding :層間融合不良(每一銲層)

5. Interface Fusion 界面融合(基材與鍍材), 一般 NDT 通稱為 IF 融合不良
6. Interface Porosity 界面氣孔



7. 對於上述覆焊過程可能的缺陷, 茲說明其歷史由來與防治之道:

1950 年代核電工業建造主要材料為鎳-鉻-鐵 Inconel 600 合金, 採用 A182/82 焊條填料, 到了 1970 年代發現這類材料與焊材存有 IGSCC 現象。往後研究證明鎳合金中鉻元素含量與抵抗 IGSCC 能力有關, 當含鉻 30% 的鎳合金在輻射環境具有最佳抵抗 SCC 的能力, 因此 Inconel 690 應運而生, 其焊材 A152 /52 也被廣泛應用。

大約 1995 年美國海軍研究小組以 A152/52 焊絲進行焊接, 發現熱影響交界區有龜裂現象, 稱為失延龜裂 DDC(Ductility Dip Cracking), 有些則發生在液相凝固區產生之裂紋稱為熱龜裂 Hot Cracking 其與硫含量有關。

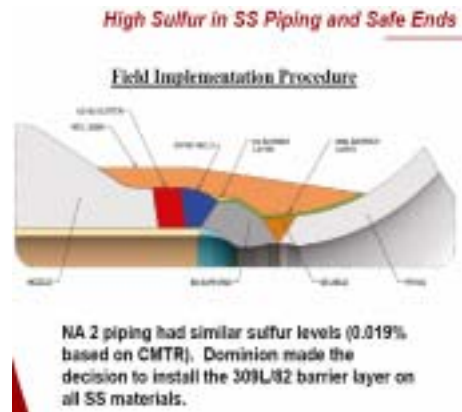
夾渣 Flouters & 氣孔: 鋁鈦元素造成, 在加入適量的去氧劑後, 材料中鋁的含量可以控制到 0.01% 左右, 在加入了適量的氮固定劑後, 鈦的有效成分可高達 0.4% 左右, 這種改善方法可以有效抑制夾渣與氣孔的產生。

至於控制焊接熱龜裂的產生則從矽與稀有金屬含量下手, 當矽控制在 0.05%-0.40% 之間, (取決於採用哪一種焊接技術之電流與速度), 鈮的含量在 0.5%-0.8% 之間, 錳的含量在 0.5%-0.8% 之間時, 足以將硫控制在一個合理含量。

當所有相關元素都處在一個合適的範圍以內，晶界元素硼和鋇即可以控制 DDC 的產生。實驗中發現，殘留的硼的含量在 0.0005%-0.004% 之間、鋇的含量在 0.004%-0.015% 之間就已經可以產生明顯的效果。

整體而言，在進行上述控制的同時 ” 焊根龜裂趨勢 ” 有了緩解。所有元素處於恰當平衡之際，即使降低鋁和鈦元素的含量也不會帶來負面影響。控制鋁和鈦的含量的結果就能大大減少了 “ 浮渣 ” 產生的可能性。

控制鋁和鈦的含量並減少 “ 浮渣 ” ，也使部分氧化物和氮化物分解，減少了焊縫夾雜物所產生氣孔等的缺陷。上述缺失之改善由填料著手，因此使用 F52M 焊材，覆焊底道先焊一層 309L 可以防止焊道缺陷與龜裂發生。



(四)ASME 法規 Code Case 在覆焊程序之應用:

執行異質焊道覆焊需要應用 6 個 Code Case 分別是 N-504-2、N-638-1、N-638-4、N-695、N-2142-2、及 N-740，上述 Code Case 部分已併入 CODE，而執行調壓槽覆焊需要的是 N-638 及 N-740，下列僅就各 Code Case 業者詢問簡述如下：

N-504-2

問題：

依據 ASME Sec.XI 1989 年(含)與 1990 年增補版為止的 IWA-412Q 1989 年與 1991 年增補版至 1995 年版 (含) 的 IWA-4170(b)、1995 年與 1995 年補增版及其後版次的 IWA-4410 等條文的規定，管路缺陷(DEFECT)可採移(磨)除方式將瑕疵(FLAW)減少至建廠規章(CONSTRUCTION CODE)或 Sec.XI 可接受的程度。對於此種藉移(磨)除以減少管路缺陷的方式，請問是否可以在管路表面施焊以增加管路厚度作為替代規定(如此即可減少缺陷的磨除量或甚至不磨除)，而後依據上述規章評估管路缺陷之可接受性？

回答：

對於沃斯田不銹鋼的缺陷，ASME 規章條文允許將其移(磨)除至符合 1983 與 1985 年增補版或其後版次所規定的尺寸。業主若欲採用管路表面覆焊(WELD OVERLAY/WELD REINFORCEMENT)作為替代規定，須符合(a)~(m)要求：

N-638-1

問題：

在沒有預熱或焊後熱處理的情況下，可否利用自動或機械式 GTAW 回火焊珠焊接技術，對 Class 1 組件進行銲接工作？

回答：

當組件排水有困難，或因輻射因素，以致實務上無法依照建造法規所指定的方式進行預熱或焊後熱處理時，仍然可以利用自動或機械式 GTAW 回火焊珠焊接技術，對 P 號碼 1,3,12A,12B 和 12C(SA-302 Grade B 除外)材料和其相連結的焊道進行修補；以及 P 號碼 8 或 P 號碼 43 材料對 P 號碼 1,3,12A,12B,和 12C(SA-302 Grade B 除外)材料進行銲接連結。

N-638-4

問題：

CLASS 1 組件 GTAW(自動或手動)回火焊珠焊接技術的預熱及 PWHT 之 IWA-4400 要求是否可替代？

回答：

下述 1(a)的材料及焊道，CLASS 1 組件 GTAW(自動或手動)回火焊珠焊接技術的預熱及 PWHT 之 IWA-4400 要求，若因不可行，則可依 1~5 的修正，但仍需遵循其他 IWA-4000 要求

N-695

問題：

APP.VIII, SUPPLEMENT 10 之相異金屬管路焊道資格要求是否可替代？

回答：

APP.VIII, SUPPLEMENT 10 之相異金屬管路焊道資格要求可以下述要求替代

N-2142-2

問題：

是否有替代的規定可用來歸類 UNS N06052 及 UNS N06054 等鎳-鉻-鐵焊接熔填金屬，使其符合表一之化學成份要求，但其他方面符合 AWS A5.14，以減少焊接程序及焊接人員資格檢定之數量？

回答：

要符合表一 UNS N06052 及 UNS 06054 鎳-鉻-鐵焊接熔填金屬之化學成份，且其他方面符合 AWS A5.14 之規定，以達到減少焊接程序及人員資格檢定的目的，可以考慮 F-No.43。而且在焊接程序說明書、焊接程序檢定紀錄及焊接人員資格檢定紀錄中，必須將這些焊材標識為 UNS N06052 及 N06054。

N-740

問題：

是否允許以覆焊增加管路、組件、或焊道厚度的方式以降低缺陷使成為可接受的瑕疵尺寸，以作為 IWA-4410 及 IWA-4611 條款的替代方式？

回答：

若符合下述要求，在沃斯田不銹鋼或奧斯田系鎳合金(若需要時可包括肥粒鐵母材)管路、組件、或焊道可依據 IWB-3640 以覆焊增加厚度的方式以降低缺陷使成為可接受的瑕疵尺寸。

(五) 覆焊技術本土化：

從美國兩家覆焊專業公司實習後，原對覆焊技術充滿神秘與不確定的心理面，轉化為對該新技術之興趣與信心，環顧國內人才濟濟，自行發展本土化技術應非難事，就長期觀之，若不發展本土覆焊技術，將永遠被外國廠商箝制。

研發設計需要快速採購或製造零件組裝，甚至面對挫折與失敗，以國內研究機構能力配合台電需要，研發本土化技術為一可行方式。在研發覆焊技術本土化同時亦須訓練具備自動控制與電焊人才，唯有經過嚴格篩選與長期訓練，才能培育真正人才，在人才培育過程中，人員的素質及工作態度更需要挑選，必要時給予額外津貼，鼓勵工作人員在輻射區的作業，這些都是公營單位在制度上需要突破之處。

PZR 異質焊道覆焊為一次作業的工作，完成後其焊頭將不再使用，必須自己設計才能瞭解其功能以做緊急檢修，不能寄望 PZR 覆焊的焊頭與 Hot-leg、Cold-leg 可以重複使用，因 H/L、C/L 目前有兩種方式，即外部覆焊與內部覆焊，美國電廠並未開始類似工作，看來內部覆焊可能成為美國核電廠之主流，至於選擇那一種修理方式進行研發，或是委外施工，需要再觀察。

除了上述調壓槽覆焊外，尚有許多未來需要自動焊接的焊道、覆焊或輻射區焊接等焊接技術有待開發如：

1. Bottom mount 覆焊
2. 爐蓋穿越管之覆焊。
3. Conopy seal 覆焊。
4. H/L、C/L 之覆焊。

四、結論與建議事項

Waterford 電廠實習部分：

- (一) 總處建立統一標準化 ODM 程序書，以利各廠有一致性營運決策之執行。
- (二) Waterford 3 NPS 組織系統工程師部門共編制 36 人，並細分 Reactor/BOP/機械/電氣/儀控/FIN 系統等，針對電廠系統議題專職負責研究、研擬解決方案或系統工

程規劃，以確保系統可靠安全運轉。建議電廠也能參考 Waterford 3 核能電廠建立系統工程師組織部門，以提昇電廠系統營運之品質與效率。

- (三) 本公司核電廠在工程(Engineering)能力與人力方面，落後外國一大截，與電廠討論時發現韓國電力公司派三員年輕工程師，常駐電廠工程部門學習工程規劃與運作，若要核電廠永續經營，這種投資是必要的。

覆焊技術實習部分的建議：

- (一) 自動焊接應用於核電廠將成為未來電焊工作之主流，回火珠焊被稱為知易行難的技術，其應用面也越來越廣，相關的技術與程序必須及早建立，不宜長期靠外國支援。
- (二) 自動焊接技術應用於核電廠，不僅需投資設備與不斷練習，更需要訓練一群專業人員不斷精進技術，以國內市場狀況是有困難，若將培育之人才及技術拓展至外國電廠服務為目標，才能保持永續經營。
- (三) 與外國電廠不論技術或文化交流，可以獲得觀念及工作方法改善，學習他人長處以彌補自己缺點，因此，有必要增加出國研討項目與員額。