

行政院及所屬各機關出國報告

( 出國類別：實習 )

實習反應器內部爐心噴灑管路

檢修或換新工程報告

服務機關：台灣電力公司

第一核能發電廠

出國人 職 稱：核能工程師

姓 名：黃建榮

出國地區：美國

出國期間： 91.07.15 ~ 91.07.28

報告日期： 91.09.18

93/009103263

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

實習反應器內部爐心噴灑管路

頁數 12 含附件：是否

檢修或換新工程報告

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：

台灣電力公司 / 陳德隆 / (02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

黃建榮/ 台灣電力公司/ 核一廠 /核能工程師 / (02)2638-3501 轉 3279

出國類別： 1 考察  2 進修  3 研究  4 實習  5.其他

出國期間：91.07.15 ~91.07.28

出國地區：美國

報告日期：91.09.18

分類號/目：

關鍵詞：爐心噴灑管路；EDM

內容摘要：(二百至三百字)

一、出國目的：

本廠壹號機反應器內部爐心噴灑管路在爐心側板所發現的超音波龜裂缺陷及於噴嘴 S2 焊道處所發現的目視龜裂顯示，即將於壹號機 EOC-19 由反應器設計廠家奇異進行下管段更換及 S2 管夾加裝等檢修工作，而所設計的工具是否合乎使用及人員訓練是否純熟，將為安裝工作是否成功的一項重要因素，而此項工具驗證及實物模擬、人員訓練的實作部份係於廠家美國聖荷西市的反應器模擬廠房內進行，因此此次出國主要目的是藉其進行工具驗證及實物模擬、人員訓練的機會，研習其相關技術，希能對以後的施工工作有所助益。另赴法瑪通公司就爐心噴灑管路檢修或換新工程等相關議題，研習其最新的發展與經驗，俾供他日檢修及施工的參考。

二、實習內容與心得：

爐心噴灑管路檢修更換工作步驟，包括尺寸確認工作、障礙物切除、表面清理、防止異物入侵行動、降流管限制器安裝、舊彎頭切除、連結介面 EDM 加工、新組件的按裝、螺栓的鎖磅、防鬆定位、目視檢查等工作項目，所使用的工具包括空間量具、障礙物切割工具、管路限制及移動工具、管路切割工具、管路接頭精細加工工具、螺絲孔切割工具、推動定位工具、切割物移出工具、特殊尺寸量具、各種螺栓之鎖磅工具、各種螺栓防鬆之 Crimp 工具等，可謂相關龐雜。

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

目	錄	頁次
一、出國目的	-----	2
二、出國行程	-----	2
三、實習內容	-----	2~11
四、結論與建議	-----	11~12

## 一、出國目的

本廠壹號機反應器內部爐心噴洒管路在爐心側板所發現的超音波龜裂缺陷及於噴嘴 S2 焊道處所發現的目視龜裂顯示，即將於壹號機 EOC-19 大修由反應器設計廠家奇異進行下管段更換 (Lower Sectional Replacement) 及 S2 管夾加裝等爐心噴洒管路檢修工作，其中前項係針對靠側板處缺陷的更換工作，而後者則係針對噴嘴 S2 焊道缺陷的修理方式，對於管路的檢修更換工作則因為是水中作業，且為高輻射背景場所，因此所有檢修工作均須使用遙控水底作業方式進行，故所設計的工具是否合乎使用及人員訓練是否純熟，將為安裝工作是否成功的一項重要因素，而此項工具驗證及實物模擬、人員訓練的實作部份係於廠家奇異公司於美國聖荷西市的反應器模擬廠房內進行，因此此次出國主要目的是藉其工具驗證及實物模擬、人員訓練的機會，研習其相關技術，希能對以後的施工工作有所助益。另赴法瑪通 (Framatome) 公司就爐心噴洒管路檢修或換新工程等相關議題，研習其最新的發展與經驗，俾供他日檢修及施工的參考。

## 二、行程概要

91.07.15~91.07.16	往程 (臺北—紐約—華盛頓特區)
91.07.17~91.07.21	研習爐心噴洒管路檢修經驗及發展
91.07.22~91.07.26	研習爐心噴洒管路檢修工具驗證及實物模擬
91.07.27~91.07.28	返程 (聖荷西—舊金山—臺北)

## 三、實習內容

在聖荷西的奇異公司的反應器模擬廠房內，以一角度為 75 度全比例模型，平面圖如圖一，其中並模擬了部分的障礙物，如 top guide wedge nut，並實際進行此障礙物的工具驗證與人

員的訓練工作，比例模型高度圖可參考圖二，全比例模型照片如圖三，在正常

狀況時工作人員除 EDM 操作人員是在樓板工作外，其他人員則於燃料吊車上，並偶而需要洩水並將人員以吊具吊入以接近操作工具及工作物，用以探討可能的工具改善途徑。所須

使用的工具並有改善空間之工具茲列舉如下種類（如不含 EDM 及 Swarf 系統時；Swarf 係做為切削碎屑收集用）：

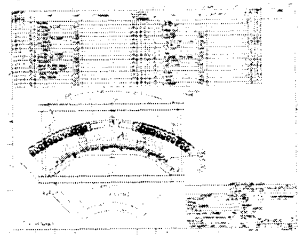
（一）、空間量具（二）、障礙物切割工具（三）、管路限制及移動工具（四）、管路切割工具（五）、管路

接頭精細加工工具（六）、螺絲孔切割工具（七）、推動定位工具（八）、切割物移出工具（九）、特殊尺寸量具（十）、各種螺栓之鎖磅工具（十一）、各種螺栓防鬆之 Crimp 工具。廠家依照原先規畫之訓練計劃，將所有工作人員訓練成熟悉自己的工作領域，訓練為期兩週，唯大多數奇異工作人員仍需參與檢定與測試過程，因此前後需進行四週左右，此一訓練對於這大型更換作業之成功非常有利，包括教室及現場密集操作演練。

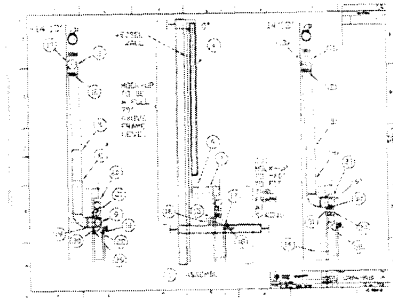
相較於使用這麼龐雜的工具，Framatome 公司則針對

Thermal-Sleeve 內 p9 隱藏焊道的

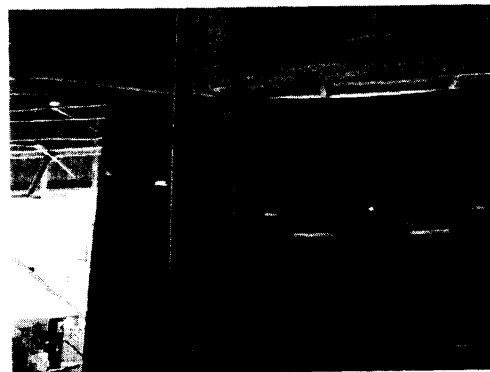
UT 檢測進行較為積極的研究發展，只要驗證此焊道的完整性，則可忽略較常發現位於側板處的龜裂，由於新開發的技



圖一



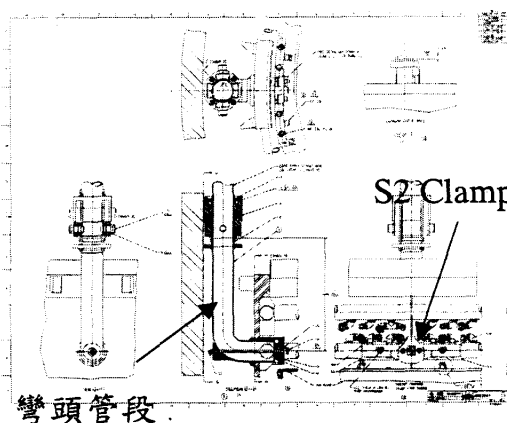
圖二



圖三

術必須經美國核管單位的核准，而該公司則正透過美國大電力研究所驗證以獲得官方的正式採信，且宣稱於數月內即可達成目標，由於他們知道本廠此時反應器內部爐心噴洒管路龜裂狀況，因此極有興趣一試，同時並了解了該公司執行爐心噴洒管路超音波檢測能力，他們並非使用奇異公司以潛水艇的方式來尋找及定位焊道，因為須要使用燃料吊車做工具的定位工作，因此在執行上會佔用緊要路徑的時間，但是相反的所花費的總時間只約二、三天左右。

本廠壹號機爐心噴洒管路有4處龜裂，即 A1, A21, B1, B21，另 166 度 Sparger T-Box 處 IVVI 發現約 2.4”長之 Indication，經 DCR 設計，前者採取依國外 Brown Ferry 3 經驗，將 Downcomer



圖四

自 slip joint 起至側板部份予以切除，而以機械式接頭設計的彎頭管段取代（如圖四），而新的管段與側板是以凹槽接頭銜接，且該接頭直徑是大於原缺陷部位之直徑，應是考量須涵蓋缺陷所致，全部四支 Downcomer 均列入 DCR 範圍，而後者的缺陷則以於 T-Box 及兩側 Sparger 處加裝 S2 Clamp，因為此 Clamp 是以 Anchor plate 利用 Draw bolt 與彎頭管段銜接，且另以 Seal plate bolt 將 seal plate 壓著 T-Box cover plate 因此該設計另有修理 S1（此為 T-Box cover 與 T-Box 間焊道）焊道缺陷之附屬作用（仍如圖四），雖然目前只於 166 度 Sparger T-Box 一處有缺陷，但考量未來在其他角度發生缺陷的可能，及所增加的費用有限等考量下，因此將全部四處 Sparger T-Box 均列入 DCR 範圍。

現以本廠現有爐心狀況說明施工的步驟如下：

a、尺寸確認工作：

1. 現有爐心噴灑管路 Downcomer (4 支) 外徑以 Go/No-Go 規確認尺寸範圍。(工具如圖五右)
2. 爐壁與 Shroud 間 Annulus 寬度以 Go/NO-Go 規確認尺寸範圍。(工具如圖五左)
3. 下排 Sparger 噴嘴與管路間之尺寸以圖六工具確認。



圖五



圖六

4. 以 Sparger 噴嘴位置量測工具量測噴嘴相對位置之尺寸，以供管夾(Clamp)做最後加工確認之參考 (工具如圖七)。



圖七

b、防止異物入侵行動：

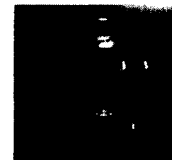
1. 安裝放電加工碎屑收集系統 (Swarf System) 並測試運轉正常。
2. 於 JET PUMP 1. 2. 9. 10. 11. 12. 19. 20 按裝臨時覆蓋。
3. 於爐心 TOP GUIDE 部份地區按裝臨時覆蓋 (此部份必需配合 CRB 抽棒隔離及 DBG 移出)。

c、表面清理 (視需要)

為避免 EDM 接地夾具的導電不良，視需要清理表面 (Brushing)。

d、障礙物切除

1. 以 EDM 切除 Shroud Lifting Lug (只 194° 一處)。使用 EDM 工具如圖八
2. 以 EDM 切除 TOP Guide Wedge Nut 之上部 (只



圖八

200° 及 340° 兩處) 工具如圖九

e、降流管 (Downcomer)限制器安裝

1. 限制器包括限制座 (StrongBack)(圖十) 及對向千斤頂 (Cross Vessel Jack) (圖十一) 與爐壁托架管夾 (Vessel Bracket Clamp) (圖十二) 所組成。

2. 限制座的功用在使降流管於下於管路切除後，仍維持於在原有位置 (圓週向及徑向)，且可藉機調整其各方向施力及位移。

3. 對向千斤頂(Cross Vessel Jack)則做為降流管於爐心往爐壁方向力量的支撐，且對爐壁產生張力使得限制座能有圓週向之磨擦限制力。

4. 爐壁托架管夾 (Vessel Bracket Clamp)則做為降流管於垂直方向的限制器。

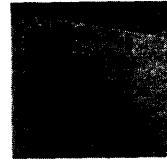
5. 14° 與 346° 降流管使用一組限制座，166° 與 194° 則使用另一組限制座。

6. 按裝兩只限制座，之後於兩組限制座間以對向千斤頂連結。

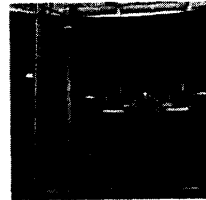
7. 因應溫度變化故每 4 小時調整對向千斤頂使其保持 25 呎磅之扭力。

8. 按裝爐壁托架管夾 (於水平管路上，每支降流管需按裝 1 處爐壁托架管夾)

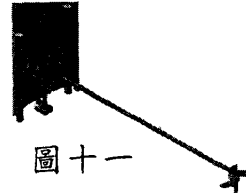
9. 將每支降流管以限制座之機構調整使其有向爐壁方向之預力(將上滑塊順時針轉兩圈)，如此可使 EDM 作靠側板側之管路切割時，於割開後不至於使管路夾住工具。



圖九



圖十



圖十一



圖十二



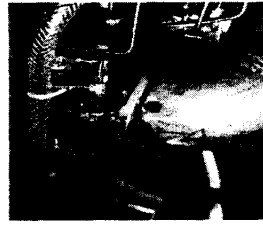
圖十三



#### f. 舊彎頭切除

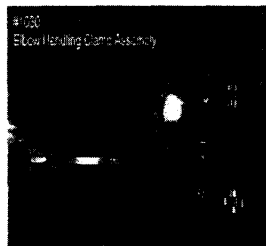


圖十四



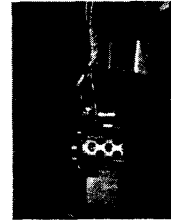
圖十五

1. 彎頭切割 EDM 工具（圖十三）是由垂直管路切割器（圖



圖十六

圖十七→



十四）與水平熱套筒（Thermal Sleeve）切割器（圖十五）所組成。

2. 按裝彎頭切割 EDM 工具並將水平熱套筒切割器以彎頭移出管夾（圖十六）推向固定位置，使其 6 支腳至少有 4 支與 Shroud 壁接觸。
3. 在安裝彎頭切割 EDM 工具後須按裝彎頭移出管夾，以將切斷後的彎頭夾住並移出，此彎頭移出管夾另具有將水平熱套筒（Thermal Sleeve）切割器往 Shroud 壁推送之功能。
4. 進行垂直管路切割與水平熱套筒切割，需於垂直管路切割完成前先完成水平熱套筒切割。
5. 移出切割斷之彎頭。

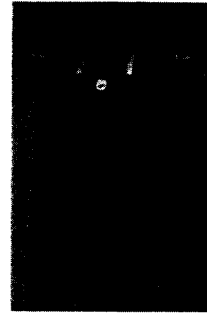
#### g、連結介面 EDM 加工

1. Shroud Spotface EDM：按裝 Shroud Spotface EDM 工具（圖十七），使其對心塞均勻的塞入切開後的圓孔內，利用此工具上的 4 個極限開關（上、下、左、右四個角度各一個）來

控制其與未切割面的距離（以上、下及左、右開關為一組，並以其是否各同時動作來判斷）以反時針做粗切割、順時方向做細加工，依圖尺寸完成凹槽 EDM。

#### 2. Downcomer Facing and Lateral Pin Hole EDM

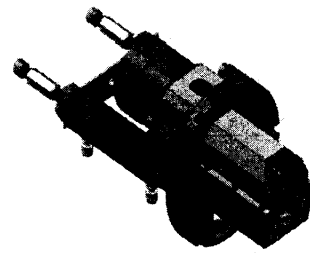
按裝切割工具（圖十八）並將 Spot Face Ring 完全接觸，再確認位置指示器歸零，否則需調整 Strong Back 使得降流管稍微移動以得到歸零結果，接著進行 Lateral Pin Hole 及 facing 的 EDM 工作。



圖十八

#### 3. T-Box Cover Plate 的 EDM

由 ANNULUS 側將切割工具（圖十九）由圓孔處插入並藉由 Spot Face 的凹槽做定位，此



EDM 切割出 T-BOX Plate 上 Draw Bolt 之穿越孔。 圖十九

#### 4. Spotface Datum (圖廿) 及 S2 Measurement 工具按裝 (圖廿一)

此二種不同工具前者由 annulus 側伸入 T-BOX 孔而與後者裝置於爐心 T-BOX 處相連結，前者係協助定位用，在定位後由以 S-2 Measurement 工具的三支獨立 Probe 各自延伸後量出 T-BOX Plate 至 Shroud 的距離以供 Anchor Plate 三處支撐腳實際所需長度用（需做長度加工）。



圖廿

#### 5. S-2 Stop Bolt EDM 加工

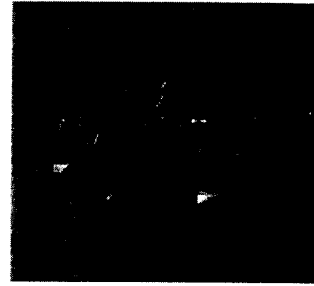
加工主要目的是產生左右兩處 Clamp 上 Stop Bolt 於 Sparger 管上的穿越孔，使用的工具有 datum tool (同圖廿) 及 S2 EDM 工



圖廿一

具(圖廿二)，而前面步驟所量的三支腳尺寸則用以調整 S2 EDM 工具上支撐腳的長度，且仍需藉 datum tool 與 spot

face 的凹槽做中心定位，加工前仍需確認 S2 EDM 工具的三支腳與 Shroud 接觸且 S2 EDM 的 sparger 管夾與管路 sparger 接觸。



圖廿二

#### h、新組件的按裝

##### 1. 彎頭組件按裝：

- 甲、依圖按裝 Lower Elbow Coupling 與 housing 組件並在其間按裝二塊臨時 housing 墊塊，其中較長的置於靠側板側，整個組件是組裝在 LSR 按裝 Strong Back 工具上。
- 乙、按裝兩支側向螺栓的 Keeper（此為左牙）並 Stake，鎖上側向螺栓（Lateral Pin），使其螺栓端只至 housing 內緣。

丙、按裝螺桿/墊圈及 Keeper Nut（手鎖緊）。

丁、楔塊(Wedge)4個，則暫以 Retainer 持住於上方而尚未置入於 housing 內。

戊、裝入 Draw Bolt Nut 於 Strong Back 的 Retainer 上，至此所有 Dowell Pin 孔出口應已擊凹。



圖廿三

己、將整個組件（圖廿三）及 Strong Back 置入於水線下並套入降流管處，鬆開螺桿至多二圈，取下臨時 housing 墊塊。

庚、將側向螺栓與管上加工孔對準，以側向螺栓鎖緊工具將螺栓旋入，至此只需手旋緊即可。

辛、取下楔塊 Retainer，使楔塊置入，按裝彎頭 push 工具使彎頭法蘭凸出處置入於側板上 Spotface 凹槽。

##### 2. S2 Clamp 按裝

- i. 將 S2 Clamp 按裝於 Clamp 安裝工具上，以 lock bolts 固定。

- ii. 將 Stop Bolt 鎖磅及 Crimp 工具置於 Clamp 按裝工具上，並使鎖磅工具與 Stop Bolt 以 ball Hex 咬住。Stop Bolt 只需部份旋入。
- iii. Clamp Bolt 只部份旋入以便使 Clamp 開口能按裝入 Sparger 管路上。
- iv. 按裝 Seal plate 使其於 Anchor plate 中心位置，另將 Seal plate 調整螺栓的鎖磅及 Crimp 工具置入確認能與 S2 clamp 對正，之後移出。
- v. 將 Draw Bolt 置於其按裝工具內，再將兩者一起置於 S2 clamp 按裝工具中。
- vi. 將整組 S2 clamp 工具置入水中 S2 T-Box 處，將其推送往側板處，對正兩個 Stop Bolt 的孔，稍微定位後，鎖上 Clamp Bolt 約 5 圈，使得組件不致鬆散。
- vii. 將 Draw Bolt 推入孔內使其與先前接頭之 Keeper Nut 結合，並稍微鎖緊。
- viii. 按裝 Seal plate 調整螺栓的鎖磅及 Crimp 工具，使調整螺栓轉動半圈以放鬆 Seal plate，取出工具。
- ix. 稍微鎖緊 Stop Bolt 及 Clamp Bolt，再鎖緊 Stop Bolts，再鎖緊 Draw Bolt，移出 Draw Bolt 按裝工具。
- x. 確定 S2 clamp 的 Anchor plate 三支腳與側板壁或法蘭接觸。
- xi. 按裝 Draw Bolt 鎖磅工具，並將 Draw Bolt 鎖磅，之後移出鎖磅工具。
- xii. 按裝 Seal plate 調整螺栓的鎖磅及 Crimp 工具，鎖緊螺栓確認螺栓定位在 Seal plate 內。
- xiii. 將 Clamp Bolt 鎖磅及 Stop Bolt 鎖磅，再將調整螺栓鎖磅確認 Clamp 接觸點均定位及螺栓於 keeper 內之位置。
- xiv. 將調整螺栓的 Keeper Crimp，再依規定將 Draw Bolt Keeper，Stop Bolts Keeper，Clamp Bolt Keeper 做 Crimp 工

作。

- xv. 確認所有 S2 Clamp 的螺栓均已 Crimp，之後移出所有 S2 Clamp 工具。
- 3. Housing Bolts 的鎖磅。
- 4. 側向螺栓 (Lateral Bolt) 的 Crimp 工作。
- 5. Housing Bolts 的 Crimp 工作。
- 6. 檢查：以水底電視記錄及做 VT-3 的檢查，以確定彎頭至側板間有無定位，檢查項目還包括：
  - i. Draw bolt Keeper Crimp
  - ii. Anchor Bolts Keeper Crimp
  - iii. Anchor plate 組件與 Shroud 的接觸
  - iv. Anchor plate 組件外觀
  - v. 側向螺栓 Crimp
  - vi. Housing Bolt Crimp
  - vii. Housing 組件外觀
  - viii. Wedge 的座落位置
  - ix. Draw Bolt 螺栓
  - x. 側板上 Spotface Sealing Surface

Framatome 公司在爐心噴洒管路檢修及更換技術，目前仍止於給電廠做緊急應變計畫用，例如該管路由爐壁之 Thermal Sleeve 起至進側板彎頭的更換規劃（此為類似西班牙 Nuclenor 核電廠換管的範圍），畢竟全世界已完成管路更換的電廠數仍是區區可數。

#### 四、結論與建議：

- 1. 爐心噴洒管路檢修及更換將於#1 機第十九次大修執行，依奇異公司的規劃，為節省施工時間及儘量縮短大修工期，使用了輔助工作平台，但也藉此之便，控制棒葉片的檢查及 IVVI 工作也將蒙受

其惠，因可較多組人員同時檢查，節省了總檢查時間，由於控制棒葉片的檢查在未來的數次大修可能難以避免，或許解決了輔助工作平台機具的儲存問題，即可能要求奇異公司在例行 IVVI 或控制棒葉片檢查時提供較多人力，或許可減少工期數天之譜，那其效益將相當可觀了。

2. Framatome 公司在爐心噴洒管路的隱藏焊道的檢測已接近完成（是否可靠則仍須藉公信力單位的認定），但可以想像得到的是：可以免除龐大的硬體及更換費用與可觀的大修更換工期的損失，目前本廠二號機爐心噴洒管路在每次大修均執行超音波及目視檢測，以追蹤現有四處的龜裂顯示，雖然目前龜裂顯示長度仍小，但其潛在性的不安因素仍舊，或許有另外一種選擇，對總體效益是明顯的。
3. 之前購買的爐心噴洒管路下管段 LSR 備品將於一號機 EOC-19 時依 DCR-2009 設計安裝使用，若有考慮二號機也要進行檢修時（即使在龜裂顯示長度仍小時），應及早準備材料，以免屆時用料不及與成本增加，且可能的後續文件處理的困擾。
4. 本次壹號機爐心噴洒管路檢修的備品，是依反應器原設計圖面的尺寸進行硬體的設計與採購，其中降流管（Downcomer）中心至側板間的現場實際距離與原設計之差異對整個工程施工是否順利有重要關鍵，因為下管彎頭組件的前述距離已是固定，若施工時已將降流管切除後才發現誤差很大，則在安裝後會造成大的 cold spring，故應在切管前先以量規量測以做為後續施工參考。