

出國報告（出國類別：實習）

# 核能電廠營運檢測超音波檢測人員 能力驗證訓練及資格證照考試

服務機關：台灣電力公司核能發電處

姓名職稱：李紹喜-核能工程監

陳俊宇-核能工程師

史亞晟-機械檢驗技術員

派赴國家：美國

出國期間：自民國 107 年 6 月 23 日至 107 年 8 月 16 日

報告日期：民國 107 年 9 月 17 日

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：核能電廠營運檢測超音波檢測人員能力驗證訓練及資格證  
照考試

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)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

李紹喜、陳俊宇、史亞晟/台灣電力公司/核能發電處/核能工程監、核能工  
程師、機械檢驗技術員/(02)23667066

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：自民國 107 年 6 月 23 日至 107 年 8 月 16 日

出國地區：美國北卡州夏洛特電力研究院

報告日期：107 年 9 月 17 日

分類號/目關鍵詞：超音波檢測能力驗證資格考試

內容摘要：

核能電廠營運期間檢測，法規規定執行超音波檢測人員必須經過檢測能力驗證資格考試，取得合格證照後才能執行各項組件之超音波檢測工作，本項檢測能力驗證資格考試由美國電力研究院非破壞檢測中心(EPRI NDE Center)辦理，本公司每年均選派核能電廠超音波檢測人員前往參加能力驗證資格考試以符合法規規定。此次能力驗證資格考試之項目包含有：反應器爐壁焊道裂縫檢測(RPV ,S4/6)、異材焊道手動相位陣列超音波檢測與裂縫深度驗證、管路焊道裂縫(含 IGSCC)深度手動相位陣列超音波檢測、反應器爐壁焊道裂縫深度量測 (RPV Depth Sizing ,S4/5/7)、螺栓(Bolts)及螺樁(Studs)直束超音波檢測能力驗證等 6 項 19 科。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網

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

## 目 次

一 .目的與過程 .....	1
二 .反應器爐壁焊道(PRV S4/6)裂縫手動相位陣列超音波檢測能力驗證考試 .....	3
三 .管路焊道裂縫(含IGSCC)深度手動相位陣列超音波檢測能力驗證 .....	3
四 .異材焊道手動相位陣列超音波檢測與裂縫深度驗證 .....	3
五 .反應器爐壁焊道裂縫深度量測 (RPV Depth Sizing,S4/5/7) 能力驗證考試 .....	5
六 .螺栓(Bolts)及螺樁(Studs)直束超音波檢測能力驗證 .....	6
七 .心得與建議 .....	8

## 一.目的與過程

1982年美國 BWR 電廠不銹鋼管路焊道陸續發現有晶間應力腐蝕龜裂 (IGSCC)，為確保檢測效果，美國 NRC 要求 IGSCC 超音波檢測人員必須通過證照考試，而由美國電力研究院非破壞評估中心 (EPRI NDE Center) 發展出不銹鋼管路焊道晶間應力腐蝕龜裂超音波檢測考照制度。後來 EPRI 又陸續發展出管路焊道裂縫深度評估、管路覆層焊道裂縫檢測、異材焊道超音波檢測等超音波檢測考照項目；相位陣列式超音波檢測技術應用於管路、壓力容器焊道已臻成熟、EPRI 針對上述各種項目也新增使用相位陣列式超音波檢測、另外也增加相位陣列式超音波自動檢測或可記錄式項目。

ASME Code 1989 Addenda 首次將超音波檢測能力驗證規定於 Sec.XI Appendix VIII，要求無論 BWR 電廠或 PWR 電廠超音波檢測人員均須通過相關之能力驗證資格考試。

至 ASME Code 2007 年版為止，超音波檢測能力驗證共分為 10 個項目：

### (一). 管路焊道部分

1. Supplement 2—Wrought Austenitic
2. Supplement 3—Ferritic
3. Supplement 9—Cast Austenitic
4. Supplement 10—Dissimilar Metal
5. Supplement 11—Overlay

### (二). 壓力槽部分

1. Supplement 4—Clad/Base Metal Interface Region
2. Supplement 5—Nozzle examinations from the outside surface
3. Supplement 6—Reactor vessel welds other than clad/base metal interface
4. Supplement 7—Nozzle examinations from the inside surface

### (三). 其他

1. Supplement 8—Bolts and Studs

為因應能力驗證之要求，美國 15 家電力公司組成一合作計畫 PDI (Performance Demonstration Initiative)，由 EPRI NDE Center 逐步將能力驗證資格考試項目所需要之軟硬體建立，目前除了 Supplement 9 (Cast austenitic piping welds) 外，

其他項目已經接受電力公司非破壞檢測人員能力驗證資格考試。

本公司自 1985 年起每年選派適當人員赴 EPRI 參加上述管路焊道超音波檢測能力驗證資格考試。今年共選派 3 人參加 6 項 13 科超音波檢測能力驗證資格考試，能力驗證資格考試之項目包含有：管路焊道(含 IGSCC)手動相位陣列超音波檢測、管路焊道裂縫(含 IGSCC)深度手動相位陣列超音波檢測、管路焊道(含 IGSCC)手動相位陣列儀器驗證、異材焊道手動相位陣列超音波檢測與裂縫深度驗證、管路焊道(含 IGSCC)可記錄式相位陣列超音波檢測、螺栓(Bolts)及螺樁(Studs)直束超音波檢測能力驗證等。

3 人各依規畫選項分別參加手動各項超音波能力驗證考試合格結果，詳如列表：

項	結果	姓名		
		李紹喜	陳俊宇	史亞晟
反應器爐壁焊道手動相位陣列裂縫檢測 Supplement 4 驗證	檢測能力	NA	合格	合格
	長度量測	NA	合格	合格
	深度量測	NA	合格	合格
反應器爐壁焊道手動相位陣列裂縫檢測 Supplement 6 驗證	檢測能力	NA	合格	合格
	長度量測	NA	合格	合格
	深度量測	NA	合格	合格
管路焊道裂縫深度量測(含 IGSCC) 手動相位陣列檢測驗證	深度量測	NA	合格	NA
異材管路焊道手動相位陣列檢測驗證	檢測能力	NA	合格	合格
	長度量測	NA	合格	合格
	深度量測	NA	合格	合格
反應器爐壁焊道裂縫深度量測 Supplement 4/5/7 檢測驗證	Supplement 4	合格	NA	NA
	Supplement 5/7	合格	NA	NA
螺栓檢測驗證	檢測能力	合格	NA	NA

## 二.反應器爐壁焊道(PRV S4/6)裂縫手動相位陣列超音波檢測能力驗證考試

### 2.1.考前準備事項

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

### 2.2.程序書摘要

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

### 2.3.驗證過程要點

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

### 2.4.經驗回饋

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

## 三.管路焊道裂縫(含 IGSCC)深度手動相位陣列超音波檢測能力驗證

### 3.1.考前準備事項

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

### 3.2.程序書摘要

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

### 3.3.驗證過程要點

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

### 3.4.經驗分享

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

## 四.異材焊道手動相位陣列超音波檢測與裂縫深度驗證

### 4.1.前言

Dissimilar Material Weld (DM) 異材焊道，是核能電廠反應爐結構中，為使反應爐之爐水進出管嘴與管路能有效連接，故有此特別設計。DM 就是將不同材質之焊道如 SS316 連接 SA508，以英高鎳 182 Butter 焊於管嘴 SA508 碳鋼材質上，再以英高鎳 182 或 82 將 SS316 與英高鎳 182 Butter 連接，確保管路與焊道，以維持反應爐壓力邊界之完整性，如下圖圖例。

涉及智慧財產權，本圖表不予以顯示

圖 4.1 異材焊道圖例

依據 ASME Code – Section XI – Appendix VIII 的要求，在執行 DM 異材焊道超音波檢測時，其程序書、設備和人員均需經過 PDI 驗證。為此 EPRI 美國電力研究所建構之 DM 焊道 PDI，從管壁厚度 0.28 吋～5.16 吋，管徑大小為 2 吋～36 吋及平板構件，編號 701～712，共有 11 種試件(711 從缺)。

傳統之橫波探頭不易穿越 DM 焊道，只能以高穿透性及低頻之折射縱波來檢測。檢測 DM 焊道首先需考慮探頭穿越管壁厚度之聚焦，且考慮管材的曲率，如何有效的傳遞超音波。

#### 4.2. 考前準備事項

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

#### 4.3. 檢測檔建置程序摘要

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

#### 4.4. 檢測程序摘要

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

#### 4.5. 驗證過程要點

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

#### 4.6. 經驗回饋

4.6.1. 本次 DM 能力驗證考試共有 9 個試件，依序為 701、703、705x2、706、708、709、710 和 712。依照前人考試經驗建議，從中尺寸試件開始練習和考試。

##### 4.6.2. 705 & 706 試件

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

##### 4.6.3. 708 & 709 試件

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

#### 4.6.4.710 試件

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

#### 4.6.5.712 試件

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

#### 4.6.6.703 試件

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

#### 4.6.7.701 試件

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

#### 4.6.8.心得

本次 DM 考試結果瑕疵總共叫了 13 個，18 個周向瑕疵 4 個軸向瑕疵。結果順利通過 detection、length sizing 和 through wall sizing。

### 五.反應器爐壁焊道裂縫深度量測 (RPV Depth Sizing,S4/5/7) 能力驗證考試

#### 5.1.ASME 規章有關反應器壓力槽體焊道 supplement 4 檢測龜裂深度評估能力驗證考試規定：

5.1.1.supplement 4 —具有保護層 ID Clad 之反應爐槽體焊道檢測，不合法蘭對槽體 (Flange to Vessel) 及頂蓋對法蘭 (Head to Flange) 焊道，其龜裂均由保護層與母材之界面生出，龜裂深度評估 (Sizing) 之 R.M.S 只允許 0.150"。

#### 5.1.2.能力驗證檢測程序書 (PDI-UT-7 Rev.H)

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

#### 5.1.3.檢測瑕疵瑕疵高度探頭：

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

#### 5.1.4.檢測校準：

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

#### 5.1.5.檢測儀器：

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

#### 5.1.6.瑕疵參數建立：

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

#### 5.1.7.檢測瑕疵高度



涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

#### 5.1.8. 考試心得：

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

### 5.2. 反應器管嘴內弧部位超音波深度評估檢測

#### 5.2.1. ASME 規章有關反應器壓力槽體焊道檢查及其能力驗證考試規定：

- a. supplement 5 – 反應器管嘴內弧部位軸向瑕疵檢測(RPV Nozzle Inside Radius Section)具有或無保護層 ID Clad 之管嘴內弧部位檢測，龜裂深度評估 (Sizing) 之 R.M.S 只允許 0.150"。
- b. Supplement 7 – 反應器管嘴焊道(Supplement 7 – RPV Nozzle-to-Vessel Weld) 具有或無保護層 ID Clad 之管嘴焊道檢測，龜裂深度評估之 R.M.S 只允許 0.150"。

#### 5.2.2. 管嘴焊道與管嘴內弧部位超音波檢測電腦模型建立 (NOZZLE ULTRASONIC EXAMINATION MODELING PROCESS)

涉及智慧財產權，本節內容不予以顯示

#### 5.2.3. 反應器管嘴內弧部位軸向瑕疵高度量測技術 (Nozzle Inner Corner Region Sizing Examination)

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

#### 5.2.4. 反應器管嘴內弧部位軸向瑕疵之瑕疵高度檢測

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

#### 5.2.5. 心得報告：

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

## 六. 螺栓(Bolts)及螺樁(Studs)直束超音波檢測能力驗證

### 6.1. 前言

- 6.1.1. 本次考試係根據 EPRI 程序書 PDI-UT-5 Revision D 以手動脈波反射式超音波檢測儀自螺栓及螺樁的頂部檢出肥粒鐵系位於檢測區域內之瑕疵。

### 6.2. 考試須知及規範

- 6.2.1. 鍛造肥粒鐵螺栓及螺樁四件，試件為 901、903、905、908。直徑 2"~6.82"，長度 8.0"~57.75"。

- 6.2.2. 使用 0° 縱波探頭檢測、定位並且評估與螺栓及螺樁軸線垂直而成周向走向的人工刻槽或瑕疵。
- 6.2.3. 提、背包及電子設備、手機等集中放置於門口。
- 6.2.4. 每一個考試件限時 30 分鐘交卷，校準、填寫校準報告及練習不計時間。
- 6.2.5. 不得以鉛筆作答，必須用墨水筆作答。
- 6.2.6. 必須使用經由 EPRI 認證的超音波檢測設備。
- 6.2.7. 可以向 EPRI 借用經由 EPRI 認證的探頭及連接線。
- 6.2.8. 所有的瑕疵都可以檢測出來。
- 6.2.9. EPRI 不再告知考生(Candidate)任何一科考試瑕疵的數量。
- 6.2.10. 本科目每一個編號的考試件各有一支包含人工刻槽及可供練習的校準試件。
- 6.2.11. 考試件及校準試件都放置於密封的木箱裡，只能在露出的頂部檢測，瑕疵方位角可藉由鎖固之六角螺帽或本體結構辨識推算。
- 6.2.12. 考試時可以利用練習試件做為考試件的參考。
- 6.2.13. 時間到交卷時，考生(Candidate)的校準報告必須齊備，並且將答案成立的過程實際秀給 EPRI 考官。
- 6.2.14. 考完試後須將試件上的耦合劑及註記擦拭乾淨。
- 6.2.15. 數台監視器監視中，超音波檢測儀 USN 60 必須經由 EPRI 人員刪除儲存的檔案資料後方可攜出熱室。
- 6.2.16. 黃色紙(Yellow Paper)及手寫的筆記、便條紙等均不得攜出熱室。

### 6.3. 檢測設備

涉及智慧財產權，本節內容不予以顯示

### 6.4. 校準

涉及智慧財產權，本節內容不予以顯示

### 6.5. 參考靈敏度校準

涉及智慧財產權，本節內容不予以顯示

### 6.6. 檢測範圍

涉及智慧財產權，本節內容不予以顯示

### 6.7. 掃描技巧

涉及智慧財產權，本節內容不予以顯示

### 6.8. 評估顯示

涉及智慧財產權，本節內容不予以顯示

## 6.9. 結論

涉及專業技術內容，本節內容不予以顯示

## 七. 心得與建議

- 7.1. 本次來美 EPRI 人員均好奇台灣關閉核能的能源政策，我們說明台電遵守政府綠能政策；其間有大陸派員，安排駐 EPRI 期間 2 年(攜家帶眷)，學習相關 EPRI 技術，兩岸在核能領域此消彼長，對核能從業人員有很大衝擊。
- 7.2. 本公司自 2017 與 2018 退出 EPRI SGMP 會員，但本次出國拜訪 SGMP 人員了解 SGMP 任務，其中 SGMP 將於 2018 年底前，增修 QDA 考試須加考陣列探頭要求，所有已獲 QDA 證照人員都需加考陣列探頭 QDA 考試緩衝期 1 年，此考試修訂將影響公司現自主執行之蒸汽產生器研判作業，強烈建議 2019 年盡速重加入 EPRI SGMP 會員，俾便取得 QDA PC 版考試資料庫，並安排蒸汽產生器研判人員完成加考陣列探頭 QDA 考試，才能符合管制規定順利完成蒸汽產生器研檢測作業