

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：蘇兩傳-核能工程監、林宏儒-核能工程師

派赴國家：美國

出國期間：自民國 106 年 6 月 10 日至 106 年 8 月 3 日

報告日期：民國 106 年 8 月 25 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 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)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話  
蘇兩傳、林宏儒/台灣電力公司/核能發電處/核能工程監、核能工程師/(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 106 年 6 月 10 日至 106 年 8 月 03 日

出國地區：美國北卡州夏洛特電力研究院

報告日期：106 年 8 月 25 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：(二百至三百字)

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：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量測、管路焊道(含 IGSCC)自動相位陣列超音波檢測、管路焊道裂縫(含 IGSCC)深度自動相位陣列超音波量測、異材焊道自動相位陣列超音波檢測、管路焊道(含 IGSCC)傳統相位陣列自動超音波檢測、異材焊道自動傳統超音波檢測、螺栓手動超音波檢測等 9 項 18 科。

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

## 目 錄

內 容	頁次
一、目的與過程	2
二、 管路焊道(含 IGSCC)手動相位陣列超音波檢測 能力驗證考試	4
三、 管路焊道裂縫(含 IGSCC)深度手動相位陣列超音波 量測能力驗證考試	10
四、 管路焊道(含 IGSCC)自動相位陣列超音波檢測 能力驗證考試	17
五、 管路焊道裂縫(含 IGSCC)深度自動相位陣列超音波量測 能力驗證考試	19
六、 異材管路焊道自動相位陣列超音波檢測能力驗證考試	21
七、 管路焊道(含 IGSCC)自動傳統超音波檢測能力驗證考試	23
八、 異材管路焊道自動傳統超音波檢測能力驗證考試	26
九、 螺栓(Bolts)及螺樁(Studs)直束超音波檢測能力驗證考試	28
十、 心得及建議	31

## 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等超音波檢測考照項目。

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

- Supplement 2—Wrought Austenitic
- Supplement 3—Ferritic
- Supplement 9—Cast Austenitic
- Supplement 10—Dissimilar Metal
- Supplement 11—Overlay

### (二)、壓力槽部分

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

### (三)、其他

- 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，今年因為能源政策轉向預算調整，僅選派 2 人參加 9 項 18 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：螺栓(Bolts)及螺樁(Studs)直束手動傳統、管路焊道(含 IGSCC)手動相位陣列、管路焊道裂縫(含 IGSCC)深度量測手動相位陣列、管路焊道(含 IGSCC)自動相位陣列、管路焊道裂縫(含 IGSCC)深度量測自動相位陣列、異材焊道自動相位陣列、管路焊道(含 IGSCC)

自動傳統、異材焊道自動傳統等。

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，目前使用相位陣列式超音波檢測儀器參加各項能力驗證之人員已很普遍。本次除了繼續派員攜帶手動相位陣列式超音波檢測儀器外；自動超音波檢測能力驗證本次仍使用向攸聯借用 Laptop，目前暫存在 EPRI 專供考試使用，免除跟 Wesdyne 租借電腦之高額費用，目前此 Laptop 經 Wesdyne MR.蕭 安裝更新後已有軟體授權，此部分包括碳鋼、不銹鋼管路焊道檢測(含 IGSCC)、管路焊道裂縫深度量測(含 IGSCC) 及異材焊道檢測。

超音波檢測能力驗證(傳統/相位陣列、手動/自動)考試結果

項目	姓名		蘇兩傳	林宏儒
	結果			
管路焊道(含 IGSCC)手動相位陣列	檢測能力		NA	合格
	長度量測		NA	合格
管路焊道裂縫(含 IGSCC)深度量測手動相位陣列			NA	合格
螺栓(Bolts)及螺樁(Studs)直束手動傳統			合格	NA
管路焊道(含 IGSCC)自動傳統(WDI-119C)	碳鋼	檢測能力	合格	NA
		長度量測	合格	
	不銹鋼	檢測能力	合格	NA
		長度量測	合格	
異材管路焊道自動傳統(WDI-119A)	檢測能力		合格	NA
	長度量測		合格	
	深度量測		合格	
管路焊道(含 IGSCC)自動相位陣列(WDI-1023)	碳鋼	檢測能力	合格	NA
		長度量測	合格	
	不銹鋼	檢測能力	合格	NA
		長度量測	合格	NA
管路焊道裂縫深度自動相位陣列(WDI-1024)			合格	NA
異材管路焊道自動相位陣列(WDI-1025)	檢測能力		合格	NA
	長度量測		合格	NA
	深度量測		合格	NA

異材管路焊道自動相位陣列 (ZETEC-OmniScanPA_03)	深度量測	合格	NA
---------------------------------------	------	----	----

## 二、管路焊道(含 IGSCC)手動相位陣列超音波檢測能力驗證考試

### 1. 考前準備事項

- (1). 儀器：GEIT 公司 Phasor XS、Zetec Omniscan MX 或更高階、或 Harfang X-32 任何一家曾驗證過之儀器均可。
- (2). 探頭：本次驗證使用 Phasor XS 與其搭配之探頭依程序書規定。
- (3). 設定檔：一般橫波探頭必須依程序書主要參數設定表，依使用之探頭及楔形塊分別設定參數並存檔，以方便檢測時取用。縱波探頭需用 EPRI 驗證考試檔案。Phasor XS 儀器軟體版本規定使用 1.2 版作為驗證考試用，其他較新版本可在現場使用。
- (4). 其他器材如鋼尺(英制 10 進位)、布尺、拆裝探頭工具(帶柄六角板手及一字起子)自己準備，SD 卡 2GB(含)以下才能讀取，高容量尚無法使用。
- (5). 基本校正塊：針對碳鋼、不銹鋼試件 EPRI 有完整各相應編號之校正塊，考生依試件編號管徑取用校正塊，校準只需讀取 ID 刻槽記錄其振幅、dB、音程即可(從 45°~55°任選一角度執行校準)。
- (6). 熟習探頭清單、校準、瑕疵等記錄之填寫，避免錯誤發生，做完試件必須完成紀錄表送交考官，考官即會前來查驗儀器設定、校準及瑕疵位置長度驗證(考生作給考官看)。

### 2. 程序書摘要：

- (1). 本次驗證採用 EPRI 正式發行 EPRI-PIPE-MPA-1\_Rev0 通用程序書，GEIT 公司 Phasor XS 儀器。
- (2). EPRI-PIPE-MPA-1\_Rev0 版其內容摘要簡述如下：
  - A. 奧斯田鐵及肥粒鐵之管徑及管壁厚範圍應參照程序書規定。
  - B. 瑕疵範圍應參照程序書規定說明如下：
    1. 近邊檢測：掃描與檢測部位在銲道同側。
    2. 遠邊檢測：掃描與檢測部位在銲道不同側。
    3. 程式書不適用於檢測鑄造不銹鋼金屬。
    4. 程式書對於近邊檢測遠邊瑕疵及長度量測無法達到完全適用，但已採用最佳可能檢測方法 (best effort)。
  - C. 程序書應使用 GEIT Phasor XS 手動相位陣列超音波瑕疵檢測儀，儀器之必要設定請參考本程序書 Table 2 建立設定檔。
  - D. 儀器軟體版本應為 1.20。更新的軟體版本應符合程序書要求之基本圖像顯

示、GEIT 管控生效之軟體、及影響振幅及輸出之靈敏度與精確度之必要參數均無變更。

- E. 目前驗證過之相位陣列式探頭和楔形塊組合如 Table 1，其他探頭之必要設定值相同但是序號不同者不需再驗證亦可使用。
- F. 檢測範圍：檢測體積至少應涵蓋自鉚道兩側鉚趾算起分別至母材 1/4 吋距離，以及自鉚道底部算起至其鉚道體積三分之一範圍。
- G. 檢測技術：以材質類型、厚度範圍選擇符合的換能器、音波傳送模式、換能器頻率、音圈、檢測角度、角度階(angle step)。探頭和楔形塊組合參考本程序書 Table 1 選用。橫波為主要音波傳送模式，執行管壁厚度大於 0.50 吋之奧斯田鐵單邊檢測時，應使用橫波及縱波探頭進行鉚道遠邊之瑕疵檢測及瑕疵長度量測。探頭頻率應採用程序書二-2-G 表 A，二-2-G 表 B，  
\*探頭音圈尺寸適用於橫波與縱波模式。雙探頭尺寸適用發射音圈尺寸。  
探頭角度選擇：螢幕呈現扇形掃描圖，橫波角度由 35 度至 70 度，縱波角度由 40 度至 70 度，度階 1 度。得使用更大範圍的檢測角度來善加利用螢幕圖像，但需符合以下條件：(1)增大的角度幅度需能包含合格角度的全部檢測範圍。(2)不得以能獲取額外涵蓋範圍之增大的角度取代合格的角度。(3)橫波角度高於 30 度；縱波角度高於 20 度，橫波或縱波角度低於 80 度。縱波探頭僅一組其聚焦距離依管徑及厚度不同按下表選擇適用之設定檔：雙陣列縱波探頭之設定檔案係藉由外來軟體設計計算出來並且由 GEIT 生產及控管。這些設定檔案必須由 GEIT 提供使用並且不得修改，如前述縱波探頭聚焦距離設定檔選擇表。
- H. 校準：
- a. 探頭晶片、電纜線及探頭耦合檢查：確保每次開始檢測及結束檢測時換能器和楔形塊都完全耦合。晶片失效的數量不得高於下列標準：  
16 顆晶片的探頭，失效的晶片不得超過 2 顆。8 顆晶片的探頭，失效的晶片不得多於 1 顆。執行縱波檢測選取 4"至 7"的設定檔案時，只使用探頭每邊 15 顆有效晶片以外的 10 顆，因此探頭每邊失效的晶片不得多於 1 顆。管路大於 7"的其餘設定檔使用了每邊 15 顆晶片的縱波探頭，因此可接受每邊失效 2 顆晶片。如果晶片失效的數量超過上述規定，則之前完成的晶片查核後執行過的所有檢測均應作廢並且重新檢測。
- b. 儀器設定參數：陣列探頭搭配各楔形塊應依符合程序書要求設定重要參數。
- c. 選擇 45°~55°任一角度於參考規塊驗證角度的誤差應在+/- 3°以內。
- d. 迴掃範圍最小應能自鉚道兩側充分的涵蓋規定之檢測體積，迴掃範圍最大應不得影響解析度。
- e. 從 45°~55°任選一角度建立參考靈敏度，反射體可選基本校正塊之內表面刻槽，替代校準規塊深度最接近測件公稱厚度之人工刻槽，或參考規塊相對深度之人工刻槽尖端或側鑽孔，將振幅調整到 80 %~90%的全螢幕高度，並記

錄於校準表。

#### I. 檢測

- a. 軸向檢測：檢測平行於鐸道之瑕疵，掃描時探頭應擺動大約 $\pm 20^\circ$ 。
- b. 周向掃描：檢測非平行於鐸道之瑕疵，探頭斜向鐸道根部掃描時，探頭與鐸道熔線之夾角以介於 $10^\circ \sim 45^\circ$ 為宜。
- c. IGSCC 試件之檢測靈敏度：探頭置於測件臨近鐸道母材上，以 $45^\circ \sim 60^\circ$ 角，調整增益，使內表面回波訊號(ID roll)介於5%~20%全螢幕高度。
- d. 非 IGSCC 試件之檢測靈敏度(掃描增益)：探頭置於參考規塊上，以 $45^\circ \sim 60^\circ$ 角，調整增益，使內表面刻槽介於80% ~ 90%全螢幕高度。

#### J. 評估顯示

- a. 瑕疵顯示：顯示有很好之訊號雜訊比，探頭前後移動時，能以多個角度觀察到扇形圖像內分佈於各個角度範圍的顯示。左右擺動探頭時，訊號振幅駐留或增加的顯示。
- b. 長度量測：在測件內表面取得完美的瑕疵顯示訊號回波，將探頭沿瑕疵長度的兩個方向移動，直到訊號回波降到20%全螢幕高度。
- c. 遠邊瑕疵及 IGSCC 長度量測：奧斯田鐵遠邊瑕疵(音波必須穿過鐸道)及 IGSCC 瑕疵長度時應延著瑕疵長度的兩個方向掃描，直到訊號回波消失在背景雜訊中。

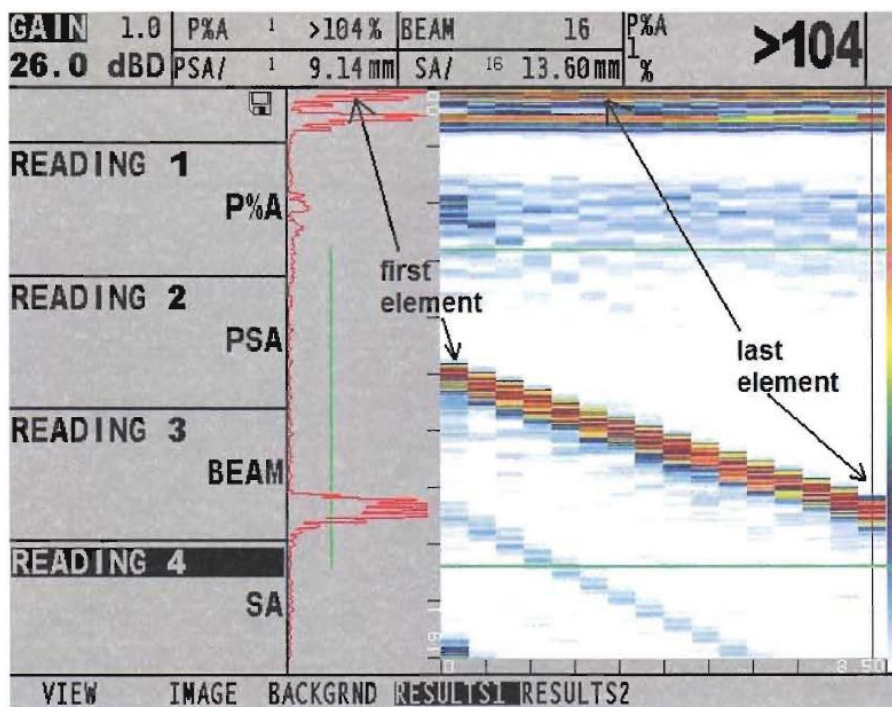
K. 記錄與報告：校準記錄及檢測結果應完整填寫。

### 3. 驗證過程要點

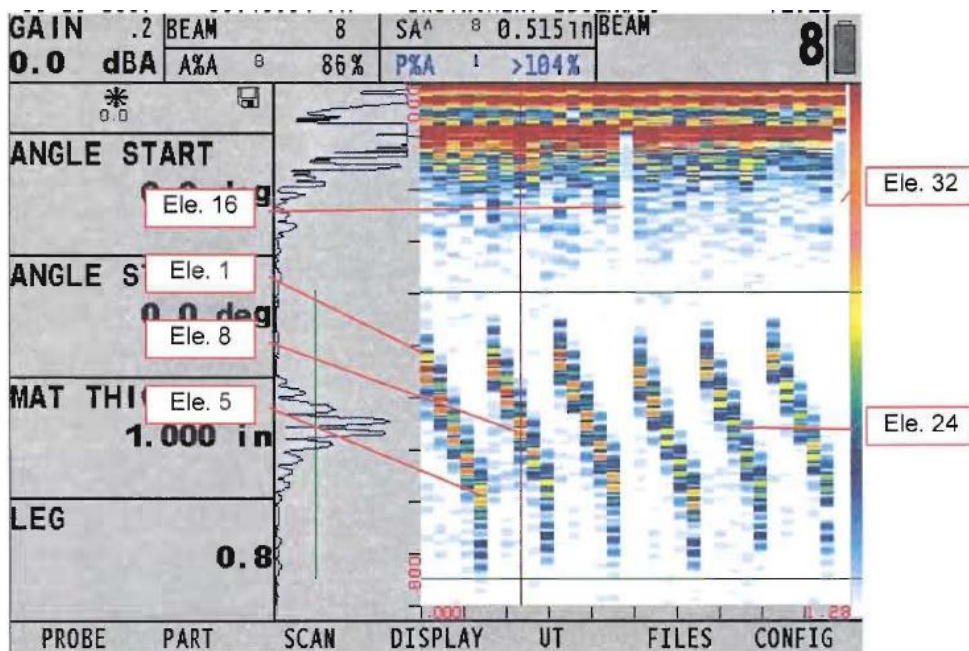
- (1). 本次驗證首次以相位陣列超音波檢測儀執行，因此必須涵蓋所有碳鋼、不銹鋼及 IGSCC 試件，管徑自2吋至36吋；考官會發一張考試件清單，上面會註明試件名稱，檢測時要一一查對，避免考官給錯試件。
- (2). 慣例先考碳鋼試件，再考不銹鋼，IGSCC 試件最後考，考試期間依試件材質厚度按程序書要求選擇適用探頭與楔形塊，EPRI 針對每一種試件均有對應之基本校正規塊，校準記錄最好以該規塊做或以其他規塊替代亦可。
- (3). 儀器設定檔(含晶片功能測試檔)均由 EPRI 提供，檢測期間再依試件 Recall 設定檔，但有些設定參數程序書要求屬於必要者(essential)必須遵照不得更改，考官查證時會一一檢查。
- (4). 檢測過程應確認瑕疵位置(上下游座標)、長度，並填寫紀錄表，與校準表及探頭清單送交考官執行驗證，在驗證瑕疵位置過程中，如發現在自己填寫答案有問題或是想要修改部分只要符合答案均可修改。



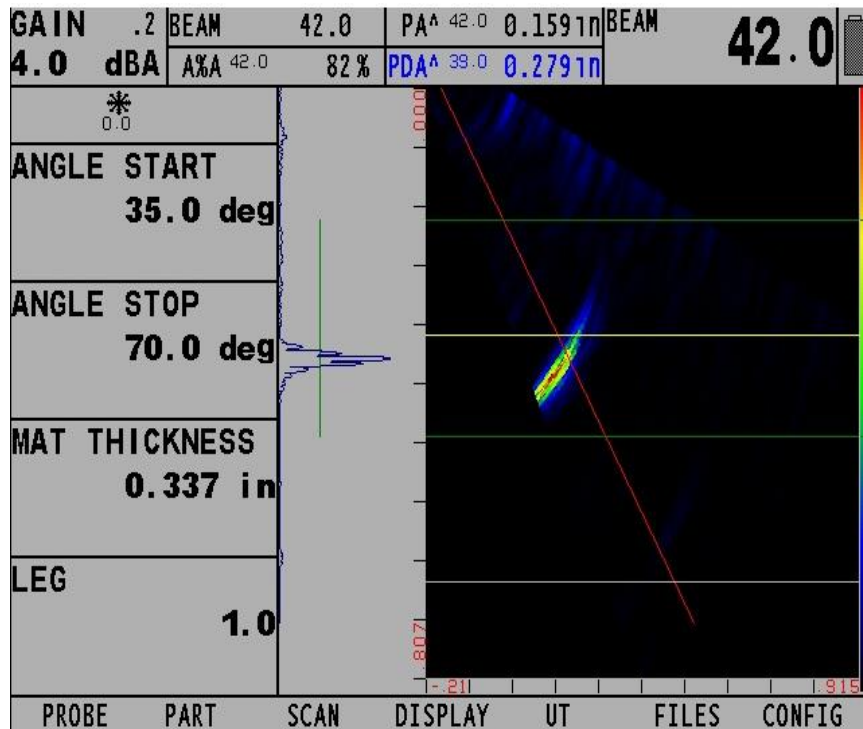
- (5). 執行驗證最後為 ELEMENT CHECK，打開適當設定檔再按 HOME 鍵後，轉動右邊旋鈕再確定每個位元是否有效。



上圖 16 elements 陣列探頭功能測試



上圖雙陣列探頭功能測試



碳鋼基本校正塊校準訊號圖例

#### 4. 經驗分享

- (1). PDI 考試前與考試過程中，可做練習塊並將答案送交考官核對，如有顯著差異考官會特別告知，至於 IGSCC 練習塊部份有提供卷夾可供答案查詢。
- (2). 首次考 PDI 者涵蓋碳鋼和不銹鋼(包含 IGSCC)試件，通常不銹鋼(含 IGSCC)單邊檢測比較難，IGSCC 次之。
- (3). 碳鋼檢測大中小管徑均有，小管徑 4 吋與 6 吋厚度分別為 0.344 吋和 0.432 吋，建議使用 4MHz(013)探頭，當周向掃描時，建議使用短楔形塊(160)，使用時宜後退掃描，因前端易積耦合劑高角度易產生雜訊。
- (4). 碳鋼中管徑 12 吋厚度為 0.688 吋，建議使用 4MHz(013)探頭，單邊檢測建議使用 1.5MHz(441)探頭，此管件無焊冠要清楚中心線位置，分辨根部與幾何形狀，缺陷通常都很清楚可以看到。
- (5). 碳鋼大管徑 50 吋厚度為 3.85 吋，建議使用 2MHz(450)探頭，CLAD ID 故僅可得 1/2V 的訊號，缺陷會從低角度延伸到高角度，缺陷有時會很長，在量測長度時，宜小心，並比對練習件訊號。
- (6). 碳鋼檢測到的缺陷訊號，必定可以從雙邊同時檢出，如果只有一邊有就要斟酌考量，以避免 FALSE CALL。
- (7). 不銹鋼檢測大中小管徑均有，小管徑自 2 吋到 6 吋，厚度為 0.237 到 0.432 吋，雙邊檢測建議使用 4MHz(013)探頭，單邊檢測程序書規定要使用 2.25 MHz 以下頻率的探頭，所以要使用 2MHz(012)探頭，小管徑焊道有時較寬，SECTOR SCAN

- 高角度可以清晰的觀察到缺陷的位置，會發現瑕疵訊號於 Leg1 與 Leg2 之間出現，但幾何形狀訊號會於 Leg1 區內出現。
- (8). 不銹鋼中管徑 12 吋與 24 吋厚度為 0.688 吋和 1.5 吋，檢測時宜作圖觀察缺陷、幾何形狀、根部位置關係，厚度 0.688 吋雙邊與單邊檢測建議使用 1.5MHz(441) 探頭，厚度 1.5 吋雙邊與單邊檢測建議使用 2.25MHz(450) 探頭，程序書規定 0.5 吋以上單邊檢測須加做縱波探頭，檢測時宜比對練習塊訊號。
  - (9). 不銹鋼大管徑 35 吋與 36 吋厚度分別為 2.65 吋和 2.9 吋厚度，檢測時宜作圖觀察缺陷、幾何形狀、根部位置關係，建議先使用 2.25MHz(450) 探頭，單邊檢測亦須加做縱波探頭。
  - (10). 不銹鋼大管徑厚度 2.65 吋、2.9 吋及 IGSCC 之單邊 SCAN 難度比較高，宜多練習並熟練縱波探頭，並了解波式轉換。
  - (11). IGSCC 單邊檢測比較難，需使用更高角度在對邊檢測，建議使用 55 度到 68 度觀察 A-SCAN，看波形的變化，有時橫波 1.5MHz(441) 或 2.25MHz(450) 探頭可以觀察到對邊訊號，縱波探頭使用亦較難，宜多做練習塊做訊號比對之用。
  - (12). IGSCC 做雙邊檢測時，兩邊厚度有差，檢測 dB 會有所不同。建議可以從 0 dB 開始檢測，每次增加 6 dB。IGSCC 回波強度至少高於雜訊 3 倍、形狀唯一且訊號有密集回波非單一波峯。
  - (13). IGSCC 試塊與一般不銹鋼植入瑕疵回波狀態不太一樣，因為晶間應力腐蝕龜裂較緊密反射訊號較弱，縱波效果差，使用 1.5MHz(441) 橫波探頭較適合檢測，檢測時 Skew 若能看到訊號上下或稍微斜角訊號反而強，較有可能為 IGSCC，並與相對應之練習塊比較，訊號相似者才是 IGSCC。
  - (14). IGSCC 周向掃描，使用 1.5MHz(441) 及 2MHz(012) 探頭，短楔形塊做近邊檢測，遠邊則以長楔形塊為主，必要時要增加耦合劑，並在焊冠上做掃描。
  - (15). 找 AXIAL FLAW 很耗時與繁瑣，可以在試件分段掃描，有時缺陷會出現在靠近角落的地方，會誤以為是斷面回波，要仔細檢查。
  - (16). IGSCC 單邊檢測之長度量測，比較困難有時訊號可能會中斷，並在一小段過後又接續產生，定長度時要小心避免叫太短。
  - (17). 每一試件檢測前要先查看圖面，充分了解其幾何形狀。比如碳鋼 526 試件(直徑 50 吋，厚度 3.85 吋)，由其圖面得知底部應有 Counter Bore 訊號，檢測時若有很明顯的周向瑕疵訊號，應仔細研判，區分出瑕疵與 Counter Bore 訊號，再叫瑕疵長度。
  - (18). 每一試件都要用所有適用之探頭執行檢測，比如雙邊檢測碳鋼 423 試件時，依據訓練教材，主要檢測探頭為 013，若僅以 013 探頭檢測，則可能有些周向瑕疵作不到，但用 450 或 441 探頭則可作到。

### 三、管路焊道裂縫(含 IGSCC)深度手動相位陣列超音波量測能力驗證考試

#### 1. 考前準備事項

- (1)儀器：GEIT 公司 Phasor XS、Zetec Omniscan MX 或更高階、或 Harfang X-32 任何一家曾驗證過之儀器均可。
- (2)探頭：本次驗證使用 Phasor XS 與其搭配之探頭及楔形塊程序書規定。
- (3)設定檔：橫波探頭須依程序書主要參數設定表，依使用探頭及楔形塊組合分別設定參數並存檔，檢測時取用。縱波探頭需用 EPRI 驗證考試檔案。Phasor XS 儀器軟體版本可使用 1.2 或 2.72 版作為驗證考試用，其他較新版本可在現場使用。
- (4)其他器材如鋼尺(英制 10 進位)、布尺、拆裝探頭工具(帶柄六角板手及一字起子)自己準備，SD 卡 2GB(含)以下才能讀取，高容量尚無法使用。
- (5)規塊：針對碳鋼、不銹鋼試件 EPRI 有各類型校正及參考規塊，考生依試件材質、管徑及厚度取用適用之參考規塊，此等規塊需有不同深度比例之側鑽孔或刻槽。參考靈敏度可從 45°~55°任選一角度校準，取得校正或參考規塊之反射體，調整振幅使其達到 80~90% FSH。量測裂縫深度時再依其預估值選用對應之側鑽孔或刻槽校準該角度，使量測值更為準確。
- (6)熟習校準、裂縫深度等記錄之填寫，避免錯誤發生，探頭清單由 EPRI 提供、做完試件必須完成紀錄表送交考官，考官即會前來查驗儀器設定、校準及裂縫深度訊號驗證(考生秀給考官看)。

#### 2. 程序書摘要

- (1)本次驗證考試以 Procedure for Manual Phased Array Ultrasonic Through-Wall Sizing In Pipe Welds (EPRI-PIPE-TWS-MPA-1 R0) 2013 年 2 月 1 日發行之通用程序書為主，採用 GEIT 公司 Phasor XS 儀器。
- (2)程序書內容摘要列述如下：
  - A. 奧斯田鐵及肥粒鐵之管徑及管壁厚範圍應依程式書規定。
  - B. 焊冠應磨平以免影響裂縫深度量測執行。
  - C. 本程序書適用於可雙邊掃描內表面裂縫之深度量測，或僅能單邊掃描且裂縫位於近邊者。
  - D. 本程序書不適用於僅能單邊掃描且裂縫位於遠邊者。
  - E. 已驗證適用之探頭和楔形塊組合可參考本程序書 Table 1 選用，同品牌、型號、晶片(數量、編排、尺寸、間距、形狀)、及頻率，不同序號探頭可

更換，不須再驗證。不同品牌探頭但其他晶片參數及頻率相同者，符合 ASME Sec. XI Appendix VIII-4110 規定者亦可使用。

F. 探頭之楔形塊可為一體成型或非一體成型。

G. 儀器之必要設定請參考本程序書 Table 2 建立設定檔。

H. 量測技術：

量測技術主要以絕對到達時間法(Absolute Arrival Time Technique, AATT)為主，直接取得裂縫尖端繞射回波，藉由儀器讀取 A-Scan 或 S-Scan 顯示之剩餘厚度值(RL)，再換算其裂縫深度值。此法適用於橫波或縱波折射角度 35°~80°，可量測所有深度。

相對到達時間法(Relative Arrival Time Technique, RATT)：同時取得裂縫底部及尖端回波(訊號)，其回波間距即為裂縫深度，此法適用於橫波或縱波折射角度 35°~60°，適合量測淺裂縫。

奧斯田鐵材料厚度 $\geq 0.5$ 吋，可用縱波確認裂縫是否成長伸入焊材內。

\*探頭音圈尺寸適用於橫波與縱波模式。雙探頭適用發射音圈尺寸。

探頭角度選擇：螢幕呈現扇形掃描圖，橫波角度由 35 度至 80 度，縱波角度由 40 度至 70 度，度階 1 度。縱波探頭和楔形塊組其聚焦距離依管徑及厚度不同選擇適用之設定檔：雙陣列縱波探頭之設定檔案係藉由外來軟體設計計算出來並且由 GEIT 生產及控管。這些設定檔案必須由 GEIT 提供使用並且不得修改。

I. 校準：

a. 探頭晶片、電纜線及探頭耦合檢查：確保每次開始檢測及結束檢測時換能器和楔形塊都完全耦合。晶片失效的數量不得高於下列標準：

16 顆晶片的探頭，失效的晶片不得超過 2 顆。

8 顆晶片的探頭，失效的晶片不得多於 1 顆。

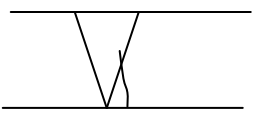

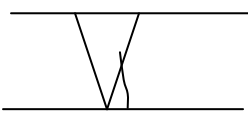
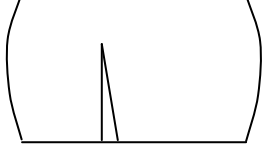
執行縱波檢測選取 4"至 7"的設定檔案時，只使用探頭每邊 15 顆有效晶片以外的 10 顆，因此探頭每邊失效的晶片不得多於 1 顆。管路大於 7"的其餘設定檔使用了每邊 15 顆晶片的縱波探頭，因此可接受每邊失效 2 顆晶片。如果晶片失效的數量超過上述規定，則之前完成的晶片查核後執行過的所有檢測均應作廢並且重新檢測。

b. 儀器設定參數：陣列探頭搭配各楔形塊應依程序書規定設定重要參數。

c. 選擇 40°~50°任一角度於參考規塊驗證角度的誤差應在 $\pm 3^\circ$ 以內。

d. 選擇 45°~55°任一角度於校正或參考規塊之反射體(側鑽孔、刻槽或弧面)，調整 dB 使振幅為 80~90%FSH，此 dB 即為參考靈敏度，另存設定檔(以方便考官驗證)，並填入紀錄表。

e. 深度量測 碳鋼、不銹鋼試件：

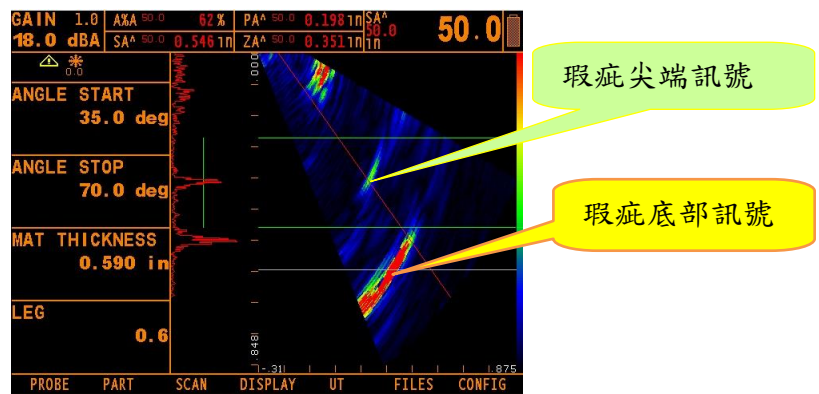
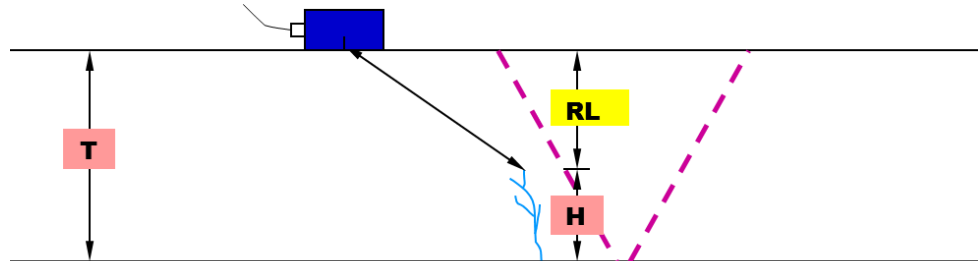
	OD	厚度 (t)	探頭	校準規塊	備註
CS & SS	4"	0.337	4M-013	1"ID notch or SDH block	5M-624 量深 Flaw for 0~0.3" Remaining Ligament 效果類似 TRCR 傳統 探頭
	6"	0.432	5M-624		
	12"	0.688			
CS & SS	36"	2.625	2M-450	SS SDH block CS thick step wedge block	
	50"	3.85			
<p>註 1：SS 當 crack tip 接近或穿過焊熔線時，tip 訊號 / 焊熔線雜訊互相干擾，須用 RL wave 才看清 tip。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p>註 2：CS crack tip 很清楚。薄壁 (t &lt; 0.75") 當 crack tip 訊號很雜亂時，從反方向或降低 gain 量測。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div>					

IGSCC 試件：校準規塊 1"ID notch block

	OD	T	探頭/角度	註	
IGSCC	20"	0.800"	2M 為主 編號 :012	量淺瑕疵 (20%)	
			2M 編號 :450	輔助辨認 crack 淺 / 中 / 深 量中瑕疵 (50%)	
			5M 編號:624	量深瑕疵 for 0~0.3" Remaining Ligament (80%)	
深度量測定性評估觀察 要點			45°S	定位 -marking 觀察波型	找最大回波位置 很複雜(深) / 普通 (中) / 很單純(淺)
			52°S	觀察波型	很複雜(深) / 普通 (中) / 很單純(淺)
			60°S	2-nd leg echo dynamic	很長(深) / 普通 (中) / 無(淺)
			70°S	觀察回波	很高(深) / 普通 (中) / 無(淺)
			扇形影像	2-nd leg	多層次(深) / 普通

		crack face echo	(中) / 無(淺) 0.65"(深) 0.4"(中) 0.2"(淺)
--	--	--------------------	---

f. 記錄與報告：校準記錄及量測結果應完整填寫。





### 3. 驗證過程要點

- (1) 本次驗證首次以相位陣列超音波檢測儀執行，因此必須涵蓋所有碳鋼、不銹鋼及 IGSCC 試件，管徑自 4 吋至 36 吋。
- (2) 通常先考碳鋼試件，再考不銹鋼，IGSCC 試件最後考，考試期間依試件材質厚度按程序書要求選擇適用探頭與楔形塊，EPRI 針對每一種試件均有對應之基本校正規塊，校準記錄最好以該規塊做或以其他規塊替代亦可。
- (3) 儀器設定檔(含晶片功能測試檔)可沿用檢測所存的設定檔稍作修改或依程序書內容自行設定存檔於 SD Card，檢測期間再依試件 Recall 設定檔，有些設定參數程序書要求屬於必要者(essential)必須依照不得更改，考官查證時會一一檢查。
- (4) 考官出一份試題指定瑕疵約略位置，其中 IGSCC 針對開窗區量測瑕疵深度，其他考題僅指出瑕疵位置，量測時須找出該瑕疵最深位置提報，填寫紀錄表、校準表及探頭清單送交考官執行驗證。
- (5) 缺陷瑕疵深度：管路焊道由於運轉條件下，管路壓力、溫度之變化，產生疲勞龜裂，或是晶間腐蝕龜裂持壓能力不符合原先設計之要求，所以焊道瑕疵深度量測用以評估瑕疵之深度，是否須覆焊或者換管處理。
- (6) 陣列式超音波檢測儀之深度量測，與傳統超音波檢測大致上相同，僅是瑕疵之尖端繞射回波是以圖像方式指引，檢測者量測瑕疵的最深回波，更容易判斷。因此只要對陣列式圖像有具體的了解及多加練習，參加此項考試並不太難。
- (7) 焊道瑕疵深度量測，首先須定性(瑕疵是深或淺)，再定量(瑕疵之高度量測)，陣列式量測方法是以 2.25MHz 探頭 115-000-450 大能量探頭用 60°直接對瑕疵面觀察第二次回波高低做定性深、中、淺之大略評估。焊道瑕疵均有一定之長度，其最高瑕疵位置大部分均在中間位置，故 EPRI 所指定之量測位置需左右平移，找出其最高瑕疵位置再給予量測，以免誤差太大。
- (8) 陣列式瑕疵回波以 60°評估在第一 LEG 回波是波式以半 V 所偵測回波能量。而波式以全 V 所偵測回波能量，即是 60°橫波圖像用來評估第二 LEG 尾巴之長度，來評估瑕疵高度深、中、淺之依據。若是尾巴長度很長表示全 V 回波所得到瑕疵高度很高在 A-SCAN 之波式動態會呈現很長之動態，以此驗證尾巴長表示瑕疵很高大約 50%~85%之間。若是尾巴很短表示瑕疵很低大約 10%~25%之間，若是尾巴約位置中間表示瑕疵中等大約 20%~45%之間。以此方法表示第一 LEG 與第二 LEG 之長度即為焊道之厚度，以此厚度相對應尾巴長度做瑕疵深、中、淺之定性評估。



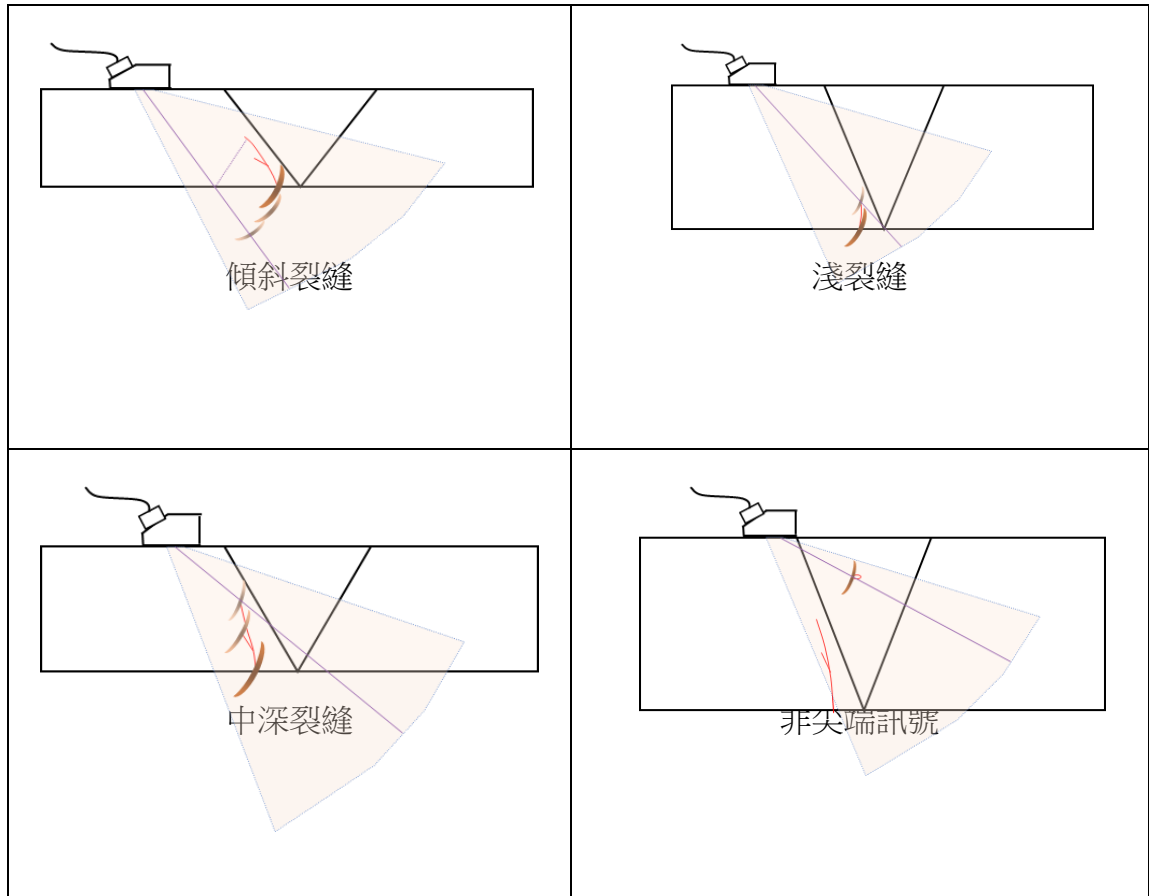
#### 4. 經驗分享

- (1) 可以先做練習塊將答案送給考官核對，如有顯著差異考官會特別告知。考試期間亦可要求做練習塊比對。
- (2) 表面不平，有斜坡時，推探頭向前觀察 FLAW FACE echo，常突然中斷。起因表面斜坡與不平整。同一個 Flaw，拉探頭後退，觀察 2-nd leg echo dynamic，45/52/60/70/扇形影像等，效果佳。
- (3) CS 可雙邊量測；SS & IGSCC 只可從本邊量測；對邊可能有另一條 crack。
- (4) 提報 Flaw high 答案最好勿 < 10%；勿 > 90%。
- (5) 量測瑕疵深度主要探頭為 2MHz 雙晶縱波(115-500-012)三顆，其他探頭輔助用，高頻探頭對裂縫尖端較敏感，但穿透性差。
- (6) 每個探頭以 45°校正 SDH 或 Notch 尖端，得 80%FSH 訊號，存成報告檔；寫好校正紀錄，試做一個試件請考官核對無誤後，copy 9 份。每完成一件，將決定答案所用的探頭校正紀錄、Indication Form (單件)、Indication Form (全部試件)、Inventory sheet (考官提供的 Table 1 探頭列表) 等，交卷請考官核對簽名後，就可換下一件。首次考試含 Guide Practice 需 7 工作天。
- (7) 瑕疵訊號於 Leg1 與 Leg2 之間出現，有助於裂縫淺、中、深的判定。IGSCC 做定性評估時，450(2.25MHz)探頭有時會有較多雜訊，013(4MHz)可得良好的瑕疵底部及尖端回波，觀察底部回波之動態(低至高角度回波持續之範圍)，動態愈短愈淺，反之則愈深。
- (8) IGSCC 試塊與一般不銹鋼植入瑕疵回波狀態不太一樣，因為晶間應力腐蝕龜裂較緊密反射訊號較弱，縱波效果差，4.0MHz 橫波探頭較適合裂縫深度量測，量測時 Skew 若能看到裂縫面訊號(裂縫高度中或深者)，將探頭往前推移找尋尖端繞射回波訊號，讀取深度值 (=剩餘厚度)。
- (9) 當瑕疵尖端深度小於 1/2 厚度時，尖端影像通常在底部影像左上方，而瑕疵尖端深度大於 1/2 厚度時，尖端影像通常在底部影像右上方，確認尖端訊號應驗證 PA 值(探頭前緣至瑕疵之水平距離)對應之位置，必須合理，否則訊號有可能非來自瑕疵尖端。
- (10) 瑕疵座向若屬於較傾斜者，訊號影像呈現在 LEG 1 與 LEG 2 之間，此時 LEG 1 範圍內不易取得尖端影像，必須將探頭後退觀察 LEG 1 與 LEG 2 之間較易取得尖端影像，此時瑕疵深度=ZA-T。
- (11) 厚度小於等於 0.5" 時，用 013 探頭，而瑕疵小於等於 0.2" (RL)時，要用 60°或 65°，而瑕疵大於 0.2" (RL)時，以 50°~60°量測，深的(RL 值較小)瑕疵須以 65°來量測。

(12) 試件厚度大於 0.5” ，瑕疵小於等於 0.2” (RL 較小時) ，以 60°量測；瑕疵大於 0.2” 小於等於 0.5” 時，以 50°~60°量測；瑕疵 RL 大於 0.5” ，以 45°量測較準。

(13) 要隨時以校準規塊隨時驗證是否量測準確。

裂縫深度量測訊號示意圖



#### 四、管路焊道(含 IGSCC) 相位陣列自動超音波檢測能力驗證考試

##### 1. 前言

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，目前使用相位陣列式超音波檢測儀器參加各項能力驗證之人員已逐漸增加，未來將成為主流技術。

本次參加相位陣列式自動超音波管路焊道檢測數據的資料評估( Data Evaluation ) 能力驗證，包括肥粒鐵系、奧斯田鐵系(含 IGSCC)檢測和瑕疵長度量測。

##### 2. 程序書

本次驗證採用程序書如下：

檢測、瑕疵長度量測是使用 Wesdyne 公司程序書 WDI-STD-1023\_Rev0 , Generic Procedure for Ultrasonic Examination of Ferritic and Austenitic Piping Welds Using the IntraPhase Automated Phased Array Imaging System 。

##### 3. 驗證考試過程要述

###### (1)出國前考試準備

###### a 資料評估檢測設備

向公司借升級版原廠超音波資料分析檢測設備

AMDATA IntraSpect Acquisition and Analysis software , 7.10.3 版升級 7.11 版

###### b 熟習程序書 WDI-STD-1023 , Rev.0

###### c 熟習分析軟體 IntraSpect\_Phased Array Imaging 應用

###### d 熟練升級版原廠超音波資料分析檢測設備訓練分析教材

###### e 熟讀 ISI-UT-21-20 鋼管銲道相位陣列自動超音波檢測程序書

###### (2)美國\_電力研究院(EPRI)驗證考試

###### a 資料評估檢測設備

超音波資料分析檢測設備

AMDATA IntraSpect Acquisition and Analysis software , 7. 17 版

程序書 WDI-STD-1023 , Rev.0

###### b 考試前，分析練習試件，約二工作天，瞭解瑕疵記錄填寫、瑕疵 screen prints 數位資料儲存。

###### c 考試時，約五工作天，資料評估前，逐項核對考試試件數位資料與考試試件清單內容，若有差異應即向考官反應。

###### d 考試試件資料評估完，填寫瑕疵記錄、瑕疵 screen prints 數位資料儲存。全部應考試件評估完成應填寫瑕疵記錄表、瑕疵 screen prints 數位資料儲存，應避免錯誤或遺漏，核對記錄無誤後，全部應考試件瑕疵記錄送交考官。

###### (3)驗證考試超音波資料分析評估過程簡述：

###### a 本人首次參加相位陣列式自動超音波管路焊道檢測數據的資料評估( Data Evaluation )能力驗證考試，因此必須涵蓋所有管路焊道包括肥粒鐵系、奧斯田鐵系(含 IGSCC)瑕疵檢出與長度量測。

###### b 考試試件資料：包含肥粒鐵系、奧斯田鐵系及奧斯田鐵系 IGSCC，共考 11 件。

- c 試件資料依慣例先分析肥粒鐵系試件，再分析奧斯田鐵系，奧斯田鐵系 IGSCC 試件最後分析。

#### 4. 經驗分享

- (1)先評估練習試件將答案送給考官核對，如有顯著差異考官會特別告知，IGSCC 練習試件答案可自行查閱卷夾。保留練習試件數位資料，考試期間，若須要可與考試試件比對。
- (2)其瑕疵信號通常兩側均能檢出，某些有明顯幾何形狀信號回應(整個檢測長度皆有展示類似信號回應者)。
- (3)碳鋼管徑 50 吋試件內部有護層，考試期間，可比對練習件如有瑕疵即有明顯回波影像從護層介面回波竄升。
- (4)為獲精準瑕疵長度估量，以練習試件模擬，微調瑕疵信號定位點，使愈接近練習試件瑕疵長度物理值。
- (5)奧斯田鐵系練習試件：管徑 6 吋、管徑 12 吋、管徑 35 吋、管徑 36 吋各一件，考試試件管徑 36 吋為單邊掃瞄檢測。
- (6)遇到試件訊號不合理時、回歸超音波基本觀念思考為何會有這種訊號，以及瑕疵在試塊的位置及方向，同時再仔細查看資料收集的必要參數，再比較試件全部方向掃瞄訊號，比對資料評估結果與試件瑕疵物理值。

## 五、管路焊道裂縫(含 IGSCC)深度量測相位陣列式自動超音波檢測能力驗證考試

### 1. 前言

通過檢測能力驗證後，繼續參加管路焊道裂縫(含 IGSCC)深度量測相位陣列式自動超音波檢測數據的資料評估( Data Evaluation ) 能力驗證，深度量測的焊道種類包括肥粒鐵系、奧斯田鐵系(含 IGSCC)。

### 2. 程序書

本次驗證採用程序書：

Westinghouse Wesdyne 發行 WDI-STD-1024\_Rev0，Generic Procedure for Ultrasonic Examination of Ferritic and Austenitic Piping Welds Using the IntraPhase Automated Phased Array Imaging System。

### 3. 管路焊道裂縫(含 IGSCC)深度量測相位陣列式(Phased Array)自動超音波之資料評估能力驗證考試過程要述

#### (1)出國前考試準備

##### a 資料評估檢測設備

向公司借升級版原廠超音波資料分析檢測設備

AMDATA IntraSpect Acquisition and Analysis software，7.10.3 版升級 7.11 版

##### b 熟習程序書 WDI-STD-1024，Rev.0

##### c 熟習分析軟體 IntraSpect\_Phased Array Imaging 應用

##### d 熟練升級版原廠超音波資料分析檢測設備訓練分析教材

#### (2)美國\_電力研究院(EPRI)驗證考試

##### a 資料評估檢測設備

超音波資料分析檢測設備(EPRI 提供)

AMDATA IntraSpect Acquisition and Analysis software，7. 17 版  
程序書 WDI-STD-1024，Rev.0

##### b 考試前，分析練習試件，約二工作天，瞭解瑕疵深度量測記錄填寫、瑕疵深度量測 screen prints 數位資料儲存。

##### c 考試時，約三個工作天，資料評估前，逐項核對考試試件數位資料與考試試件清單內容，若有差異應即向考官反應。

##### d 考試試件資料評估完，填寫瑕疵深度量測記錄表、瑕疵深度量測 screen prints 數位資料儲存，應避免錯誤或遺漏，核對記錄無誤後，全部應考試件瑕疵記錄送交考官。

#### (3)驗證考試超音波資料分析評估過程簡述：

##### a 本人首次參加管路焊道裂縫(含 IGSCC)深度量測相位陣列式自動超音波之資料評估( Data Evaluation )能力驗證考試，因此必須涵蓋所有管路焊道包括肥粒鐵系、奧斯田鐵系(含 IGSCC)之瑕疵深度量測。

##### b 考試試件資料：包含肥粒鐵系、奧斯田鐵系及奧斯田鐵系 IGSCC，共考 10 件。

c 試件資料依慣例先分析肥粒鐵系試件，再分析奧斯田鐵系，奧斯田鐵系 IGSCC 試件最後分析，依 WDI-STD-1024，Rev.0 程序書，主要評估深度是參考程書 10.2 節內容，在進入深度量測前需要依照考官給的瑕疵大略位置進

行長度估 並從此段長度中找尋最大的深度，先行分辨瑕疵的淺中深，如程序書 10.2.2.e 所示，而比較深的瑕疵找尋訊號的 Tip 位置，如程序書圖 10.2.2 所示為較的 瑕疵會 Pancake Stack 產生：

#### 4. 經驗分享

- (1) 練習前要向考官要求提供練習件位置的實際厚度，此厚度與程序書的試塊厚度會有差異。考前練習或考試中練習，可將練習試件答案交給考官並核對答案，若有明顯誤差考官會提醒，IGSCC 練習試件有提供紙本翻閱。
- (2) 練習件掃描檔中，很多參數值都有幫考生設定好，如厚度值、管外徑、Gate 值等，但考試件有些參數值並沒有輸入，考生要熟悉每個試件焊道結構，並依據程序書計算適當的 Gate 值與使用的適合角度去量測深度值。
- (3) 深度量測練習與考試時，考官會提供練習塊與考試件厚度值，用來計算正確的瑕疵高度， $Flaw\ Height = 試件厚度 - RL(剩餘厚度)$
- (4) 肥粒鐵系練習試件：管徑 6 吋\*1 件、管徑 12 吋\*2 件、管徑 36 吋\*3、管徑 50 吋\*2 件，每一練習試件評估完後，交與考官驗證是否正確，但誤差值多少並不會告知，僅會在量錯深度時，告知是叫太深或太淺，如果不清楚應再問 more RL or less RL，確認考官的真正說法。
- (5) 肥粒鐵系大管徑厚度約 3-3.5 吋，練習試件淺中深瑕疵均有，可以研究深度的變化，並在考試時可以適時的比對瑕疵信號，通常比較深的瑕疵會有 Pancake Stack 狀況。奧斯田鐵系練習試件：管徑 6 吋、12 吋、24 吋各一件、管徑 36 吋有兩件，每個試件約一到三段長度範圍的深度量測練習，一般均有涵蓋到淺中深，在考試時，可以適時的叫出練習件的紀錄來比對訊號，讓自己對要叫的瑕疵深度有信心。
- (6) 奧斯田鐵考試試件：淺瑕疵裂縫高度 15%-30%左右，較淺的瑕疵通常比較難找到 Tip 訊號，我主要是觀察 B-Scan 與 A-Scan 訊號，看 Corner 訊號旁邊是否有同時打到 Tip 的訊號，若前方有訊號則移動 Cursor 去量測前方較深的位置。奧斯田鐵考試試件遇到淺瑕疵，裂縫高度低於 0.2 吋左右，較淺的瑕疵通常比較難找到 Tip 訊號，參考 1024 程序書說明將游標放在試件厚度的位置，然後將游標從低角度慢慢往高角度移動，同時振幅會降低，注意觀察當往高角度移動時同時振幅會上升，這個轉折的位置就是可能是 Tip 的訊號。
- (8) IGSCC 深度量測考試：歸納自己使用的方法，主要還是先判斷瑕疵的淺中深，比對練習試件，較深的瑕疵通常可以看到 Tip，直接用縱波掃描訊號量測深度值較佳，淺的主要看是否有同時打到 Corner 與 Tip 找到訊號最大位置，直接移動 Cursor 到前方 A-Scan 的峰值讀取深度值，中深度的主要觀察 B-Scan Sector 比對練習試件的訊號，主要還是用縱波掃描信號來決定深度值。

## 六、異材管路焊道自動相位陣列式超音波檢測能力驗證考試

### 1. 前言

核電廠 RPV Nozzle 再循環等之管嘴銲道即為異材銲道，異材銲道之超音波檢測有別於一般管路銲道，主要原因在：不同金屬音速不同，不同金屬間有界面存在，再加上 Battering 與 cladding，增加音波回波複雜度與檢測困難度。

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，目前使用相位陣列式超音波檢測儀器參加各項能力驗證之人員已逐漸增加，未來將成為主流技術。

本人為第一次參加相位陣列式自動超音波異材管路焊道檢測數據的資料評估 ( Data Evaluation ) 能力驗證，異材管路焊道包括瑕疵檢出、長度量測及深度量測三部分。

### 2. 程序書

本次驗證採用程序書：

Westinghouse Wesdyne 發行 WDI-STD-1025\_Rev3, Generic Procedure for Ultrasonic Examination of Nozzle to Safe-End and Piping Dissimilar Metal Welds Using the IntraPhase Phased Array Imaging System。

### 3. 異材焊道 PA-AUT 檢測數據資料評估能力驗證考試過程要述

#### (1)出國前考試準備

##### a 資料評估檢測設備

向公司借升級版原廠超音波資料分析檢測設備

AMDATA IntraSpect Acquisition and Analysis software, 7.10.3 版升級 7.11 版

##### b 熟習程序書 WDI-STD-1025, Rev.3

##### c 熟習分析軟體 IntraSpect\_Phased Array Imaging 應用

##### d 熟練升級版原廠超音波資料分析檢測設備訓練分析教材

##### e 熟讀 ISI-UT-21-21 異材銲道相位陣列自動超音波檢測程序書

#### (2)美國\_電力研究院(EPRI)驗證考試

##### a 資料評估檢測設備

超音波資料分析檢測設備(EPRI 提供)

AMDATA IntraSpect Acquisition and Analysis software, 7.17 版

程序書 WDI-STD-1025, Rev.3

##### b 考試前，分析練習試件，約二工作天，瞭解瑕疵記錄填寫、瑕疵 screen prints 數位資料儲存。

##### c 考試時，約五工作天，資料評估前，逐項核對考試試件數位資料與考試試件清單內容，若有差異應即向考官反應。

##### d 考試試件資料評估完，填寫瑕疵記錄、瑕疵 screen prints 數位資料儲存。全部應考試件評估完，完成應填寫瑕疵記錄表、瑕疵 screen prints 數位資料儲存，應避免錯誤或遺漏，核對記錄無誤後，全部應考試件瑕疵記錄送交考官。

(3) 驗證考試超音波資料分析評估過程簡述：

- a 首次參加異材管路焊道相位陣列式自動超音波檢測數據的資料評估( Data Evaluation )能力驗證考試，驗證範圍涵蓋瑕疵檢出、長度量測與深度量測。
- b 考試試件資料：  
703\*1、705\*2、706\*1、707\*1、708\*2、710\*1、712\*1 共考 9 件；除 708 雙側掃描，其餘皆單側掃描。
- c 試件資料分析流程，先分析中管徑試件\_705、706、707，再分析大管徑試件\_708、710，最後分析小管徑試件\_703、超大管徑試件\_712；依 WDI-STD-1025，Rev.3 程序書進行資料分析。

#### 4. 經驗分享

- (1) 練習過程中應熟悉每個異材試件焊道結構，並輸入適當的參數值，如厚度、管外徑、Gate 值，並依據程序書規定選擇適合的角度來量測瑕疵長度與深度值。
- (2) 異材焊道練習試件有分 OP 與 CP 掃描檔，OP 檔可供考生翻閱答案，CP 檔則可將答案填寫於瑕疵紀錄表中，交於考官核對答案，答案若有明顯差異考官會告知。
- (3) 異材試件練習過程中，可將不同角度所量測的長度與深度值交於考官核對答案，以得到最接近的答案值。
- (4) 周向檢測於發現軸向瑕疵時，通常兩個方向均有瑕疵顯示。
- (5) 量測瑕疵深度時，為得到較接近之深度值，應參考程序書 table 7.1.8，使用適當之角度量測瑕疵的深度。
- (6) 異材焊道評估時，應注意瑕疵是否有與內表面連結，當遇到較深瑕疵時，要符合各個角度都能檢測到為原則。
- (7) 較厚的異材試件要留意 B-Scan 圖像，確認瑕疵 Tip 是由底部推疊上去的，避免叫錯 Tip，而造成失敗。



## 七、管路焊道(含 IGSCC)自動傳統超音波檢測能力驗證考試

### 1. 考前準備事項

儀器：本次仍使用向攸聯借用 Laptop，目前暫存在 EPRI 專供考試使用，免除跟 Wesdyne 租借電腦之高額費用，考試前 EPRI 將練習試件灌入電腦中，一旦完成所有練習試件即可要求開始考試，考試場所與手動超音波檢測考場相同管制區域。

試題：本次使用新版程序書所以 EPRI 認為應屬再第一次驗證考試，試題需包含碳鋼、不銹鋼及 IGSCC 試件，單邊掃描或雙邊掃描都有。

### 2. 使用程序書：

(1). 本次能力驗證考試是使用 Wesdyne 程序書：Generic Procedure for Ultrasonic Examination of Piping Welds Using the Intraspect Automated Imaging System WDI-STD-119-C，以及由 INTRASPECT 自動超音波檢測系統取得之檢測資料，資料研判分析人員使用此系統及程序書執行檢測研判之資格驗證考試。

(2). 奧斯田鐵及肥粒鐵之管徑及管壁厚範圍詳如 WDI-STD-119-C 版程序書規定。

(3). 檢測技術：

1. 雙邊檢測平行焊道之瑕疵：

a) 非 IGSCC 檢測 — 如檢測範圍能涵蓋規定之區域時，低角度探頭為主要檢測，一般為 45°探頭。當幾何形狀限制 45°探頭檢測範圍時，改用 60°探頭。當幾何形狀限制 45°或 60°探頭檢測範圍時，改用 70°探頭。當被檢物厚度小於 0.50"時，可選擇 60°或 70°探頭替代 45°探頭。

b) IGSCC 檢測 — 如檢測範圍能涵蓋規定近側之內表面 HAZ 區域時，45°探頭為主要檢測探頭。如果當次檢測前已執行過 45°探頭，確定無法涵蓋檢測範圍，則改用 60°探頭。為進一步評估瑕疵時，加做 45°或 60°探頭。

2. 只能單邊檢測平行焊道之瑕疵時，須增加考慮下列因素：

a) 同側檢測時，其檢測技術及程序同於雙邊檢測。

b) 只能單邊檢測之不銹鋼材料厚度等於或小於 0.50"時，須用 70°橫波探頭做遠邊瑕疵之檢測及長度量測。

c) 只能單邊檢測之不銹鋼材料（IGSCC 或非 IGSCC）厚度大於 0.50"時，須用檢測範圍能涵蓋規定遠邊區域之縱波探頭做遠邊瑕疵之檢測及長度量測。

d) 只能單邊檢測之 IGSCC 不銹鋼材料厚度大於 0.50"時，須加用 60°橫波探頭做遠邊瑕疵之檢測及長度量測。

e) 只能單邊檢測之碳鋼材料，須用檢測範圍能涵蓋規定遠邊區域之橫波探頭做遠邊瑕疵之檢測及長度量測。

3. 檢測垂直焊道之瑕疵：

a) 主要用 45°探頭以 10°~30°轉角（Skew）從被檢物之母材表面處向焊道檢測。其轉角角度應考慮焊冠寬度、材料厚度及探頭角度，使探頭音束能適當地涵蓋焊根（weld root）及熱影響區（HAZ）。

### 3. 資料研判要領:

如果出現以下情形時則該顯示可能是幾何形狀：

- a) 在焊道的中心線上或幾何形狀(配接孔)附近出現之顯示，可由厚度及外形來分析。
- b) 貫穿掃描全長其振幅及位置不變之連續或間斷之顯示。
- c) 在深度方向無回波動態移動(echo dynamic travel)之顯示。
- d) 改由較高角度探頭掃描，訊號顯著降低或得不到訊號。
- e) 縱波探頭從配接孔得到波式轉換之橫波訊號。
- f) 出現在焊道的音響界面或附近之顯示。
- g) 與內表面不連接之顯示。
- h) 全周 360°有相似而振幅相異之斷斷續續顯示。

如果出現以下情形時則該顯示可能是缺陷顯示：

- a) 有高的訊號雜訊比之顯示，可透過升降振幅顏色棒調整訊號雜訊比來觀察。
- b) 偏離如焊根或配接孔等正常幾何形狀之顯示。
- c) 有幾處獨特、不連續、高峰振幅之顯示。
- d) 在 C、B 及 B' 側面掃描圖像資料有幾處獨特、不連續、高峰振幅之顯示。
- e) 改由較高角度探頭掃描，訊號顯著提高之顯示。
- f) 周向轉角掃描檢測時發現有軸向顯示，可能是周向龜裂帶有縱向(axial)分歧之裂紋。
- g) 有明確起點及終點之顯示。
- h) 貫穿壁厚之顯示。
- i) 對周向瑕疵來說，顯示可從焊道的對面來確認。但超音波可能無法穿透不銹鋼焊道而不適用。
- j) 對軸向瑕疵來說，顯示可從對面或用不同角度探頭或轉角。

當一個顯示被判為缺陷時，以下情形為瑕疵與內表面連結：

- a) 橫波回波深度位於內表面厚度上下。
- b) 研判 A 及 B 掃描圖，缺陷及內表面幾何形狀之間沒有明顯分離。
- c) 縱波探頭的掃描有縱波回波顯示及伴隨橫波回波顯示。
- d) 不銹鋼單邊檢測遠邊瑕疵時，音波須穿過焊道，由於音波會折射及被檢物厚度不定，不容易確定瑕疵與內表面是否有連結。

顯示之長度量測("L"量測)

- a) L 長度量測須記錄至 0.1 吋。
- b) 長度須從近邊量測，如因阻礙或瑕疵方向而無法有效從近邊量測，則可從遠邊量測供近邊量測參考。
  - c) 長度量測須用回波較佳的低角度探頭。
  - d) 瑕疵長度量測為沿瑕疵兩端量至訊號降低至雜波高度處為止之長度。

### 4. 經驗分享

- (1). 考試前應將所有練習試件完全做完，並將答案送交考官核對，對於練習件有錯誤的試件，在正式考試時應特別注意。

- (2). 考試時有疑慮的試件時，選擇相對應的練習件再作練習、其信號應有可參考之處，對於正確的評估研判有很大幫助。
- (3). 調整儀器 Gate 設定十分重要，每一試件不同音束之 Gate 範圍大小及位置均須調整至適當位置，Gate 如能含蓋正確的內表面檢測區域，A、B、C 掃描即能顯示出音波的反射信號。
- (4). 研判分析前每一試件均須參考其鐸道剖面圖，尤其對薄厚度寬鐸冠試件要特別注意觀察高角度音束的信號，對高角度音束其 Gate 應作適當調整，使能含蓋 ID 以及 ID 反射音程。
- (5). 特別注意單邊掃描的試件，此次再驗證考試一半以上試件均為單邊檢測，而單邊檢測之練習件極為有限，建議可選擇相對應的雙邊檢測練習件，遮蔽住另一側，只由一側來觀察對面缺陷的顯示信號，作為單邊檢測練習用試件。
- (6). 注意幾個不銹鋼試塊當初將 45、60、70 此 3 個角度分別收集在 channel 1、channel 2、channel 3，所以要從不同 Channel 打開不同角度，才能分析評估所有資料。
- (7). Conventional UT 檢測如使用之探頭不多時依然具有優點，費用低廉，信號易於研判，A-SCAN 有較清楚超音波動態模式。

## 八、異材管路焊道自動傳統超音波檢測能力驗證考試

### 1. 前言

核電廠 RPV Nozzle 再循環等之管嘴銲道即為異材銲道，異材銲道之超音波檢測有別於一般管路銲道，主要原因在：不同金屬音速不同，不同金屬間有界面存在，再加上 Battering 與 cladding，增加音波回波複雜度與檢測困難度，採用自動超音波檢測技術應用於管路、壓力容器焊道可以更有效檢測存在或成長中的缺陷。

個人第一次參加傳統自動超音波異材管路焊道檢測數據的資料評估( Data Evaluation ) 能力驗證，此項程序書僅包括瑕疵檢出、長度量測 2 部分，有關深度量測則在通過後獨立驗證。

### 2. 程序書

本次驗證採用程序書：Westinghouse Wesdyne 發行 WDI-STD-119-A\_Rev2, Generic Procedure for Ultrasonic Examination of Nozzle to Safe-End and Piping Dissimilar Metal Welds Using the Intraspect Automated Imaging System，以及由 INTRASPECT 自動超音波檢測系統取得之檢測資料，資料研判分析人員使用此系統及程序書執行檢測研判之資格驗證考試。

### 3. 異材焊道 PA-AUT 檢測數據資料評估能力驗證考試過程要述

#### (1)出國前考試準備

##### a 資料評估檢測設備

向公司借升級版原廠超音波資料分析檢測設備

AMDATA IntraSpect Acquisition and Analysis software，7.10.3 版升級 7.11 版

##### b 熟習程序書 WDI-STD-119-A\_Rev2

##### c 熟習分析軟體 IntraSpect\_Phased Array Imaging 應用

##### d 熟練升級版原廠超音波資料分析檢測設備訓練分析教材

##### e 熟讀 ISI-UT-21-21 異材銲道傳統自動超音波檢測程序書

#### (2)美國\_電力研究院(EPRI)驗證考試

##### a 資料評估檢測設備

超音波資料分析檢測設備(EPRI 提供)

AMDATA IntraSpect Acquisition and Analysis software，7. 17 版

##### b 考試前，分析練習試件，約二~三工作天，瞭解瑕疵記錄填寫、瑕疵 screen prints 數位資料儲存。

##### c 考試時，約五工作天，資料評估前，逐項核對考試試件數位資料與考試試件清單內容，若有差異應即向考官反應。

##### d 考試試件資料評估完，填寫瑕疵記錄、瑕疵 screen prints 數位資料儲存。全部應考試件評估完成應填寫瑕疵記錄表、瑕疵 screen prints 數位資料儲存，應避免錯誤或遺漏，核對記錄無誤後，全部應考試件瑕疵記錄送交考官。

#### (3)驗證考試超音波資料分析評估過程簡述：

##### a 首次參加異材管路焊道傳統自動超音波檢測數據的資料評估( Data Evaluation )能力驗證考試，驗證範圍涵蓋瑕疵檢出、長度量測與深度量測。

##### b 考試試件資料：701\*1、703\*1、705\*2、706\*2、707\*1、708\*1、710\*1、710\*1、712\*1 共考 11 件；單、雙側掃瞄都有。

c 試件資料分析流程，先分析中管徑試件\_705、706、707，再分析大管徑試件\_708、710，最後分析小管徑試件\_703、701 及超大管徑試件\_712；依 WDI-STD-119-A，Rev.2 程序書，資料分析流程圖及深度評估流程圖進行。

#### 4. 經驗分享

- (1) 練習過程中應熟悉每個異材試件焊道結構，並輸入適當的參數值，如厚度、管外徑、Gate 值，並依據程序書規定選擇適合的角度來量測瑕疵長度與深度值。
- (2) 異材焊道練習試件有分 OP 與 CP 掃描檔，OP 檔可供考生翻閱答案，CP 檔則可將答案填寫於瑕疵紀錄表中，交於考官核對答案，答案若有明顯差異考官會告知。
- (3) 異材試件練習過程中，可將不同角度所量測的長度與深度值交於考官核對答案，以得到最接近的答案值。
- (4) 周向檢測於發現軸向瑕疵時，通常兩個方向均有瑕疵顯示。
- (5) 量測瑕疵深度時，為得到較接近之深度值，應參考程序書依淺、中、深，使用適當之角度量測瑕疵的深度。
- (6) 異材焊道評估時，應注意瑕疵是否有與內表面連結，當遇到較深瑕疵時，要符合各個角度都能檢測到為原則。
- (7) 深度量測時較厚的異材試件要留意 B-Scan 圖像，確認瑕疵 Tip 是由底部推疊上去的，避免叫錯 Tip，而造成失敗。
- (8) 軸向深度量測時要查看曲度校正是否啟動，同時查看此試塊相關參數是否正確，交報告前要再詳細計算所有的數據。

## 九、螺栓(Bolts)及螺樁(Studs)直束超音波檢測能力驗證考試

### 1.0 前言

本次考試係根據 EPRI 程序書 PDI-UT-5 Revision 17 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。

### 2.0 考試須知及規範

- 2.1 鍛造肥粒鐵螺栓及螺樁四類型，本次試件共 5 件。直徑 2" ~6.82"，長度 8.0" ~57.75"。
- 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。
- 2.3 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。
- 2.4 不得以鉛筆作答，必須用墨水筆作答。
- 2.5 可以向 EPRI 借用經由 EPRI 認證的探頭及連接線。
- 2.6 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。
- 2.7 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。
- 2.8 考試時可以利用練習試件做為考試件的參考。
- 2.9 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。
- 2.10 考完試後須將試件上的耦合劑及註記擦拭乾淨。
- 2.11 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。

### 3.0 檢測設備

- 3.1 使用經由 EPRI 認證的 USN 60 超音波檢測儀。
- 3.2 使用經由 EPRI 認證的圓形、單晶、10.0MHz、0.50" 的 0° 縱波探頭。
- 3.3 換能器須能提供校準時來自人工刻槽回波 2:1 的信號/雜訊比。

### 4.0 校準

- 4.1 使用參考規塊 (Ref.Block) IIW TYPE 1 設定線性螢幕距離。
- 4.2 使用與考試件相同材質、直徑、長度並且在內穿孔 (inner bore hole) 的表面和外徑的螺絲表面具有周向人工刻槽的校準規塊 (Cal.Block) 執行校準。
- 4.3 迴掃範圍應能完全涵蓋每一個檢測區域 (examination zone)。

### 5.0 參考靈敏度校準

- 5.1 Zone 1- 調整增益控制，使來自校塊之 Z1 的人工刻槽信號回波達到全螢幕高的 80%。

5.2 Zone 2- 調整增益控制，使來自校塊之 Z2 的人工刻槽信號回波達到全螢幕高的 80%。

## 6.0 檢測範圍

6.1 Zone 1 的檢測範圍：為螺栓及螺樁自頂部與螺身一體的螺帽厚度下緣延伸一寸以及頂部無螺帽之螺栓及螺樁自螺絲區域下緣延伸一寸。

6.2 Zone 2 的檢測範圍：為 Zone 1 底定後剩餘的區域就是 Zone 2 的檢測範圍。

## 7.0 掃描技巧

7.1 應執行軸向及周向掃描，掃描時每一道間距須有使用的晶片尺寸至少 10% 的重疊。

7.2 掃描速度每秒不得超過 2 寸。

7.3 檢測時的掃描靈敏度以校準增益即可。

## 8.0 評估顯示

8.1 超音波回波不論振幅高低，應探討該回波的形狀、型別及位置以完成評估。

8.2 有時候並非來自人工刻槽、瑕疵繞射或超音波反射的信號會使檢測員誤認。這些自然產生的超音波脈波重疊信號被歸因為是”纏繞”（wrap around）的結果。為了超音波飛行時間能獲得長距離的金屬路徑，而使得脈波重覆率過高的時候，就會發生脈波重疊的現象。評估此一現象的技術如下。

8.2.1 以連續的幾個步驟來降低儀器的脈波重覆率，如果信號回波改變了迴掃位置或信號回波消失，則表示此為脈波重疊所產生的纏繞現象。

8.2.2 PRF MODE 置於 autolow 時可以消除幾何形狀回波。

8.2.3 PRF MODE 置於 manual 時按下鍵，並轉動 USN 60 的右旋轉輪，如果信號是來自脈波重疊所產生的纏繞現象，則此信號會隨著旋轉輪的轉動而在時基線上跑動。

8.3 使用 10MHz 探頭來評估顯示。

8.4 頸部及底部的瑕疵用儀器上能將信號回波從 GATE MODE 利用 GATE B 起始位置調整在擬放大處、範圍設定約 1 吋，局部放大 GATE B（magnify）的功能加以確認。

## 9.0 經驗分享

9.1 本次向 EPRI 借用 USN 60 SW 儀器及探頭，EPRI 提供探頭四顆均是 10MHz，經測試最好的是 HAR A10(10MHZ)這顆探頭校準。

9.2 開始實作前需熟讀程序書，考官亦會發給 Table1 與 Table2，Table1 為使用探頭資訊，Table2 為儀器參數設定，所有校準完成後考試前，考官會先一一驗證 USN 60 有關儀器參數設定。

- 9.3 開始考試前，需認識與受測試件相同之練習件的材質、構造、直徑、長度、檢測區域、人工刻槽位置等，不計時間，依 Table2 完成儀器參數設定後，使用 IIW TYPE1 的規塊以 1 吋及 4 吋進行 AUTOCAL，所有試件均使用此校準儀器數據填寫後試件位置留空，請考官影印 5 份供考試時使用，實際考試時僅需調整 RANGE 後儲存不同檔名，在校準紀錄表空白處填寫試件編號及 RANGE，可以節省很多時間。
- 9.4 練習件 901 的校準螺栓為 T 型螺栓，離頂部 1.18" 的頸部安排了一個人工刻槽，則 Zone 1 的時基距離為  $1.18" + 1" = 2.28"$ 。為能保持解析度，設定 4" 的全螢幕寬較理想。這個 notch 的回波與螺帽的回波連在一起，必須在正確的方位角 (Azimuth Degree) 掃描到兩個連在一起此起彼落的信號時，利用儀器上的放大 (magnify) 功能將信號局部放大後方能確認，將此信號振幅定在全螢幕高的 80 到 100%，即完成 Zone 1 校準。Zone 2 校準將全螢幕寬定在 10.0"，雖然 8.55" notch 幾乎已在底部，只要確認和底部回波連在一起的 notch 回波，此試件底部中心孔回波 (圖面沒有顯示有中心孔但實際有，可以將練習件拿出來查看) 出現大約在 8.4" 要特別注意分辨，也就是不管從任何角度進去，最後探頭在中間位置會出現此訊號。
- 9.5 檢測時以校準 dB 為佳，正確的校準，檢測瑕疵時才能事半功倍。
- 9.6 練習件 903 的校準較為困難，EPRI 的探頭性能不錯，只要角度正確，初波後的信號就是 0.19" 的 notch。校準時，探頭約露出 1/4 放置在材料表面外緣上，露出的 1/4 必須用耦合劑連著下面突出的螺紋才能檢測到 0.19" 的 notch。
- 9.7 練習件 905 ZONE1 校準的方式及困難度與 901 相同，ZONE2 校準則比較簡單。
- 9.8 練習件 908 的中心有內穿孔，又稱之為排列設定孔 (Alignment Hole)。所以校準 Zone 2 時，依次序為內穿孔信號在前，隨後緊跟著和底部回波幾乎連在一起的 notch 回波。
- 9.9 必須完成軸向及周向掃描。
- 9.10 每個考試件限時 30 分鐘交卷，所以在開考前完成校準報告，可以節省時間。
- 9.11 建議考前可以 GUIDE PRACTICE 對考試比較有幫助亦能抓住重點，避免 FALSE CALL 和 MISS CALL，因為只要多叫一個瑕疵與少叫一個瑕疵，就不通過了。
- 9.12 校正用螺栓上之刻槽如均能檢測得到，只要針對幾何形狀變化區域多練習，則容易通過驗證。
- 9.13 直徑較小之螺栓檢測遠端瑕疵時，探頭需往中心移動才可測得。
- 9.14 分區校準存檔，驗證時先檢測第 1 區再檢測第 2 區，分別記錄瑕疵位置及方位。
- 9.15 建議從最大的 908 開始檢測，由大至小依序進行檢測。



## 十、心得與建議

1. 因為能源政策轉向預算刪減，本次僅安排 2 位人員赴 EPRI 參加 PDI，由資深人員帶新進同事一起赴美，由於人數少相較以往有幾點差異，生活上人少容易協調，但租車費用因人少分擔比較吃力，其次考慮事故保險等原因只能由 1 人開車也比較辛苦。
2. 每年出國人員均有詳盡出國報告，不同考照者的體會不盡相同，累積的經驗對未來參加考照者幫助很大，平常宜多研讀應用，出國前做好準備，並至林訓多做模擬試片檢測練習，相信技術更能紮根。
3. EPRI 今年開始會員費用使用規定有改變，沒有所謂 SRA FUND 固定額度經費，但是會員權益不受影響，例如參加 PDI 考試不用考慮金額，以往 RPV 項目因為考慮每日場地使用費無法參加，往後可以安排 RPV 項目同時包含考試前訓練及練習，以提高考試通過率。
4. EPRI 定期為所有的會員舉辦與電廠相關的各種維護講習、研討會、工作會議等，這是會員應有的權利，建議本公司能有計畫安排適當人員參與，其次也可以上 EPRI 網站登記有興趣的項目，定期收到 EPRI 最新的資料。
5. 本次因應資深人員離退，再次安排人員於 EPRI 參加傳統及相位陣列自動超音波檢測(PA-AUT)資料評估驗證，獲致不錯的成果，現場檢測作業將可由傳統逐漸轉為相位陣列自動超音波檢測，未來需加強訓練年輕人員對 PA-AUT 資料分析能力，以盡早做好技術傳承。