

出國報告 (出國類別：實習)

核能電廠營運檢測超音波檢測 人員能力驗證資格證照考試

服務機關：臺灣電力公司核能發電處
姓名職稱：李紹喜、張聰賢、陸 錚
/核能工程師、高級技術專員

派赴國家：美國

出國期間：自民國 97 年 6 月 14 日至 97 年 8 月 2 日

報告日期：民國 97 年 9 月 03 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資格證照考試

頁數 38 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、張聰賢、陸 錚/台灣電力公司/核能發電處/核能工程師、高級技術專員/(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97年6月14日至8月2日 出國地區: 美國北卡電力研究院

報告日期: 97年9月03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(Performance Demonstration)資格考試，取得合格證明後才能執行各種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：管路焊道超音波裂縫檢測(Detection)、管路焊道超音波裂縫深度量測 (Depth Sizing)、覆層焊道檢測(Overlay)、反應器爐壁焊道裂縫檢測(PRV Detection)等四項。考試結果，本次參加的三人中有一人四項均合格，另兩人各有二項合格。

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

目 錄

<u>內 容</u>	<u>頁次</u>
一、目的與過程	2
二、裂縫檢測(Detection)能力驗證考試	3
三、裂縫深度量測 (Depth Sizing) 能力驗證考試	11
四、覆層焊道檢測(Overlay)能力驗證考試	16
五、反應器爐壁焊道裂縫檢測(PRV Detection) 能力驗證考試	25
六、討論與建議	38

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檢測中心 (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 Code1998 止，超音波檢測能力驗證共分為 10 個項目：

1、管路焊道部分

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

2、壓力槽部分

- Supplement 4—RPV Clad/Base Metal Interface Region
- Supplement 5—RPV Nozzle Inside Radius Section
- Supplement 6—RPV Welds Other Than Clad/Base Metal Interface
- Supplement 7—RPV Nozzle-to-Vessel Weld

3、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，今年共選派三人參加四種超音波檢測能力驗證資格考試，分別為：裂縫檢測 (Detection)、裂縫深度量測 (Depth Sizing)、覆層焊道檢測 (Overlay)、反應器爐壁焊道裂縫檢測 (RPV Detection)。

資格考試結果，有一人四項均合格，另兩人各有二項合格：

姓名 \ 項目 合格	裂縫檢測		裂縫 深度 量測	覆層 焊道檢測	反應器爐壁焊道 裂縫檢測	
	檢測 能力	長度 量測			Supplement 4	Supplement 6
李 紹 喜	合格	未測 試	合格	合格	合格	合格
張 聰 賢	合格	合格		未測試	合格	
陸 錚			合格	未測試		合格

二、管路焊道裂縫檢測(Detection)能力驗證考試

1. 前言

管路焊道裂縫檢測包括碳鋼(再授證考試免考碳鋼)及不銹鋼(含 IGSCC)的裂縫檢測與長度量測，檢測掃描方式包含單邊及雙邊。本次有三人參加再授證考試，不考碳鋼，僅考不銹鋼(含 IGSCC)的裂縫檢測與長度量測，考試是以手動脈波反射式超音波檢測儀自鋼管外表面檢出奧斯田鐵系位於檢測區域內之瑕疵(含 IGSCC)及瑕疵(含 IGSCC)之長度量測。

2. 考試須知及規範

- (1)再授證考試，考 4 塊不銹鋼、3 塊或 4 塊 IGSCC 試件，試件編號 308，外徑 12"~24"，厚度 0.80"~1.40"，一塊由上游或下游接近銲道執行單邊檢測及 3 塊雙邊檢測。
- (2)提、背包及電子設備、手機等集中放在門口。

- (3)考試有時間限制。
- (4)不得以鉛筆作答，必須使用墨水筆作答。
- (5)必須使用通過 EPRI 認證的超音波檢測設備。
- (6)可向 EPRI 借用認證過的各式探頭。
- (7)所有的 IGSCC 都可以檢測出來。
- (8)在答案卷上填寫瑕疵的外徑長度即可，不需換算成實際內徑長度。
- (9)EPRI 不再告知 candidate 任何一科考試瑕疵的數量。
- (10)本科目不提供校準規塊(Cal.Block)，得使用替代規塊(Alt.Block)校準。
- (11)單邊檢測試件的遠邊及焊道包括焊道近邊的熔線都包覆起來，但有標示焊道中心。
- (12)考試時練習試件可以做為考試試件的參考。
- (13)交卷前，candidate 的校準報告必須齊備，並且將答案成立的過程實際操作給 EPRI 考官看。
- (14)考完試後須將試件上的註記及耦合劑擦拭乾淨。
- (15)熱室有數台監視器監看中，超音波檢測儀 USN 60 必須經由 EPRI 人員刪除儲存的檔案資料(或 reset)後方能攜出熱室。
- (16)Yellow Paper 及手寫的筆記、便條紙等都不得攜出熱室。

3. 檢測設備

- (1)本次參加驗證三人都使用各自從臺灣攜帶至美國經過 EPRI 認證的超音波檢測儀 USN 60、檢測換能器及連接線。

(2)使用經過EPRI 認證的Krautkramer製造的非一體成形橫波複合(Composite)換能器，換能器角度包含了 45°、60°、70°，換能器尺寸包括直徑.250"、.375"、.500"，頻率為 1.5MHz、2.25MHz。

(3)管壁厚度大於 0.50"的奧斯田鐵單邊檢測必須加做縱波檢測，借用經過 EPRI 認證的 RTD 及 Megasonic CSS 系列的一體成形、頻率為 1.0MHz~2.0MHz、聚焦深度為 0.80"~1.50"的折射縱波探頭。

(4) USN-60 數位超音波檢測儀，其設定要求如下表所示：

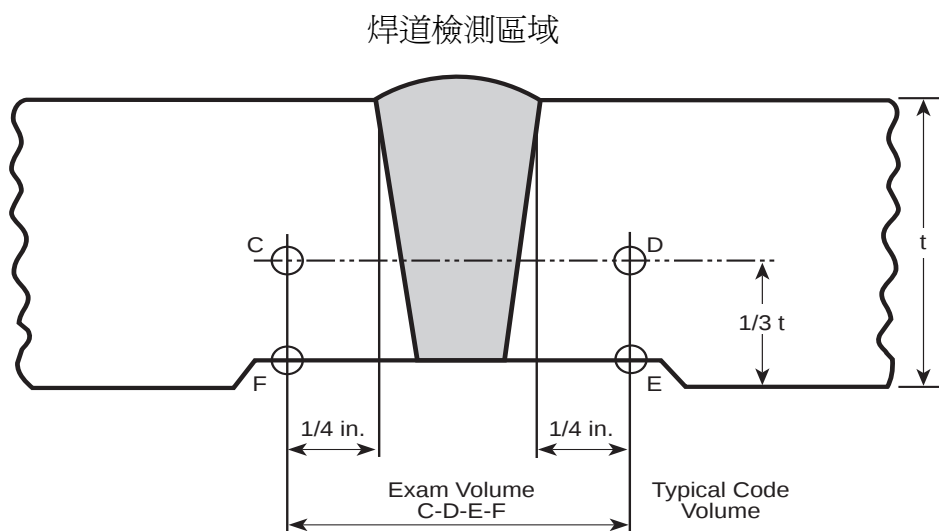
USN-60							
探頭頻率 (MHz)	Energy	阻尼	PRF Mode	儀器頻率 (MHz)	Rectify	Reject	Display Start
1.0	High	1k	Auto high	1.0	Full Wave	0	IP
1.5	High	1k	Auto high	2.0 or 2.25	Full Wave	0	IP
2.0	High	1k	Auto high	2.0 or 2.25	Full Wave	0	IP
2.25	High	1k	Auto high	2.0 or 2.25	Full Wave	0	IP
3.0	High	1k	Auto high	2.0 or 2.25	Full Wave	0	IP
3.5	High	1k	Auto high	4.0 or 5.0	Full Wave	0	IP
4.0	High	1k	Auto high	4.0 or 5.0	Full Wave	0	IP
5.0	High	1k	Auto high	4.0 or 5.0	Full Wave	0	IP

4. 校準

(1)校準前在合適的參考規塊 (IIW、Rompas) 上量測，確定實際探頭角度和入射點。

(2)最小的全螢幕寬(FSW)必須能涵蓋檢測區域並且足以提供音波路徑的變動。

(3)檢測校準時需先設定螢幕距離 Screen Distance，使螢幕距離能夠含蓋檢測區域，從焊道底部起 $1/3T$ ，及焊道兩旁各 $1/4"$ 範圍，如下圖所示 C-D-E-F 為檢測區域。



5. 參考靈敏度

- (1)必須建立參考靈敏度，以便執行檢測時可以互相比對。
- (2)將探頭放置於替代校準規塊上(EPRI HT834036)，在探頭的有效範圍內取得來自替代校準規塊內表面人工刻槽的最大回波，調整增益使振幅高度在全螢幕高度的 80%~90%之間。
- (3)在欲檢測的試件上，將探頭以周向緊鄰焊道放置，取得來自試件邊緣的回波信號，調整增益使振幅高度在全螢幕高度的 100%(試件的銲道兩側都用此模式建立參考靈敏度。)
- (4)將內表面回波放在螢幕第七格較為適當，除了增加螢幕解析度，還可消除來自焊道和外表面時有時無的雜訊。
- (5)以上建立的參考靈敏度適用於軸向和周向檢測。

6. 檢測靈敏度

(1) 檢測靈敏度必須在欲檢測的試件上建立。將探頭放置在銲道(探頭背向焊道)旁的母材上，然後調整增益，直到管壁內表面(ID roll)的回波信號振幅在全螢幕高的 5~20% 之間，依照經驗法則，又以 10% 為最適當，因為 Candidate 將不會忽略僅及 30% 的瑕疵。

(2) 在使用 60° 和 70° 高角度探頭掃描的時候，來自管壁內表面(ID roll)的回波信號也許不容易辨識，可以"平均水平時基雜訊"來代替內表面回波信號。

7. 檢測技術

(1) 使用 1/2V-path 檢測技術。

(2) 探頭之公稱中心頻率應自下表選用：

奧斯田鐵系

公稱壁厚	橫波頻率 MHz				折射縱波頻率 MHz			
	IGSCC 檢測		非 IGSCC 檢測		IGSCC 檢測		非 IGSCC 檢測	
	雙側掃描	單側掃描	雙側掃描	單側掃描	雙側掃描	單側掃描	雙側掃描	單側掃描
≤0.50"	2.25	2.25	2.0 2.25 或 5.0 ¹	2.0 或 2.25	4.0 或 5.0	4.0 或 5.0	4.0 或 5.0	4.0 或 5.0
>0.50" ≤2.00	1.5	1.5	2.0 或 2.25	2.0 或 2.25	1.5 至 2.25	1.5 至 2.25	2.0 至 5.0	2.0 至 5.0
>2.00"	1.5	1.5	2.0 或 2.25	2.0 或 2.25	1.5 至 2.25	1.5 至 2.25	1.0 至 2.25	1.0 至 2.25

(3) 探頭之晶體尺寸應自下表選用：

公稱管徑	允許之最大橫波探頭 晶體尺寸	允許之最大縱波探頭晶體尺寸	
		<u>Inches</u>	<u>mm</u>
≥2" ≤4"	0.25"	0.20 × 0.30	5 × 10
>4" ≤12"	0.50"	0.30 × 0.60	10 × 14
>12" ≤24"	0.50" × 1.0"	0.60 × 1.0	16 × 26
>24"	1.0"	1.0 × 2.0	26 × 51

- (4)在考試件上以鉛筆標示銲道中心線。
- (5)在考試件的上、下游以鉛筆標示各個角度探頭的入射點到銲道中心線的檢測面距離。例如： $T \times \tan 45^\circ = 45^\circ$ 的探頭入射點到銲道中心線的檢測面距離，以確定音波能有效的涵蓋檢測區域， 60° 及 70° 依此類推。
- (6)依照 EPRI Yellow Paper 排定的探頭順序掃描檢測： $45^\circ S_{1.5MHz} \rightarrow 45^\circ S_{2.25MHz} \rightarrow 60^\circ S_{1.5MHz} \rightarrow 60^\circ S_{2.25MHz} \rightarrow 70^\circ S_{1.5MHz} \rightarrow RL$ 。
- (7)執行雙邊軸向檢測時，音波必須從兩個方向垂直於銲道軸線，即將探頭置於銲道兩側，使音束垂直射向銲道掃描。執行單邊軸向檢測時，必須確認高角度的橫波及縱波能穿過銲道到達遠邊的檢測區域。
- (8)執行周向檢測時，將 $45^\circ S$ 探頭置於母材上，以足夠的音波斜向銲道的方式掃描。掃描時，探頭歪斜指向銲道的角度以 10° 到 45° 最適合。由於周向檢測 IGSCC 試件時經常受到焊冠阻擋，應選用經過研磨的楔形塊以及尺寸較小的探頭。或許有必要在粗糙的銲道上執行周向檢測時，得塗抹較厚的耦合劑。
- (9)檢測時注意事項：1)經常和練習試件的信號比對。 2)對可疑的顯示以設定參考靈敏度 (Reference Level) 時的增益加以過濾。 3)加強檢測雜訊/信號比小於 1:4 的顯示。 4)比對 Flaw Area 及 Unflawed Area 的信號。

8. 評估顯示

- (1)所有可疑的瑕疵顯示，不論振幅高低都有擴大檢查的必要，俾能對可疑瑕疵顯示的特徵和所在位置等提出更為精準的評估。
- (2)瑕疵顯示特性：1)或許可從對邊檢測確認的顯示。 2)探頭向左、右斜向銲道掃描時信號仍然駐留的顯示。 3)使用高角度探頭掃描時，仍然具有相當振幅的顯示。 4)有明確的起始點和結束點的顯示。 5)沿著銲道長度平移探頭時信號會在時基線上發生位移變化以及信號振幅會在時基線上起伏不定的顯示。 6)繪製銲道剖視圖時，位於如熱影響區等可能生長瑕疵區域的顯示。 7)具有瑕疵尖端的

顯示。 8)具有高信號/雜訊比的顯示。 9)探頭前後移動時，信號緩升緩降的顯示。 10)探頭前後移動時，信號呈現自動扶梯(Escalator)狀的顯示。 11)探頭前(焊冠磨平時)後移動時，信號呈現"行走"狀態的顯示。 12)在近邊執行單邊檢測平移探頭時，所產生的獨特回波。 13)執行單邊檢測時，經由不同角度探頭確認的顯示。

(3)幾何形狀顯示特性：1)無法從對邊檢測確認的顯示。 2)探頭向左、右斜向焊道掃描時信號迅速下沉的顯示。 3)使用高角度探頭掃描時，信號消失或信號振幅銳減的顯示。 4)其它的檢測區域也有同樣信號的顯示。 5)沿著焊道長度平移探頭時信號不會在時基線上發生位移變化以及信號在時基線上的振幅保持協調的顯示。 6)繪製焊道剖視圖時，不位於如熱影響區等可能生長瑕疵區域的顯示。 7)繪製焊道剖視圖時，發現是已知幾何形狀、可以經由 0° 探頭檢測確認的顯示。 8)在近邊執行單邊檢測時，遠邊將不會產生幾何形狀回波。 9)難以再次產生信號的顯示。 10)執行單邊檢測時，無法經由不同角度探頭確認的顯示。

9. 結論

(1)探頭的使用以橫波為主，楔形塊前緣及兩側均盡量磨除，磨除時將探頭連接到儀器，一面研磨一面觀看儀器上之 Standing wave，只要雜訊不影響到 ID，可以盡量磨，探頭越接近焊道中心越能獲得較佳的回波動態，所以均使用小尺寸的 0.375"探頭，較少使用 0.5"探頭。遇到表面粗糙不平時，則使用 0.25"探頭。IGSCC 之檢測以獲得較佳之 Accessibility 為主。

先以 45°shear 1.5MHz 檢出焊道兩側的可疑顯示，再以 45°shear 2.25MHz 探頭驗證。如果 45°shear 2.25MHz 探頭的音波穿透能力及信號品質優於 45°shear 1.5MHz，則繼續使用 60°shear 2.25MHz 來檢測焊道兩側的可疑顯示。反之，則使用 60°shear 1.5MHz 來檢測焊道兩側的可疑顯示。

由於配接孔等幾何形狀、使 45°shear 檢出瑕疵回波不易與幾何形狀回波分離時，繼續使用 60°shear 檢出瑕疵回波，必要時須用 70°shear 驗證。

由於 IGSCC 回波反射頻率不一，有時 60° 2.25MHz 探頭能截取比 1.5MHz 更好的信號，有時比 1.5MHz 差，一般而言，1.5MHz 可以檢出所有的瑕疵，2.25MHz 也許對某些瑕疵的檢出比 1.5MHz 來得好。

比較困難的是 EPRI 的試件在檢測區域表面接近焊道熔線之掃描位置都安排了凹陷，探頭進入凹陷區域時，信號斷續不明，探頭後退會失去信號，後退太遠又掃描不到根部，其中一塊上的幾個缺陷要由遠端(Far Side)來決定，遇到這種狀況時，宜改用小尺寸探頭執行檢測。

單邊檢測時來自遠邊振幅高的信號僅能參考，宜使用 EPRI 認證的各式探頭確認瑕疵信號，然後以 45° shear 量測出來的數據為準，以降低瑕疵長度誤差，也要注意縱波探頭在試件內因為波式轉換產生的回波信號或是幾何形狀產生的回波信號。

- (2)雖然 IGSCC 檢測考試試件只有 4 塊，但是困難度也最高。檢測時宜從焊道後方母材往熔線方向做 Raster Scan，一方面調整出適宜的信號雜訊比，另一方面可以觀察來自母材內表面和焊根、配接孔等幾何形狀回波、甚至於瑕疵回波的相異處。檢出一或幾個疑似 IGSCC 的信號後，必須以多種不同角度的探頭來互相驗證。至於焊冠的阻擋及粗糙不平的試件表面，都可以以更換楔塊角度及探頭尺寸來克服。小尺寸的 45° 橫波探頭適合在粗糙的焊冠上執行周向檢測，並且比大尺寸的探頭更能接近熔線以檢出軸向瑕疵。

由於 IGSCC 多生成在 Weld Root 和 Counterbore 之間的熱影響區，以直波檢出和 IGSCC 信號相似的 Counterbore 位置是一個重要的步驟。

在評估方面有幾個重點，首先，瑕疵回波的幾個特性必須充分掌握，例如: Faced Signal Obviously、Signal Walk on Baseline for a Distance、Dual Sided Access 使用相同以及不同角度探頭而檢出位置相同並且特性相同的信號等。其次，使用適當角度的探頭和適度降低增益控制(Reference Level)、而且水平基

線上完全沒有雜訊的情形下，瑕疵尖端很容易被檢出，並且明確的顯示在 Baseline 上。

每一塊試件的幾何形狀各有不同，但是每一塊試件的瑕疵特性都是相同的。

三、裂縫深度量測 (Depth Sizing) 能力驗證考試

1. 關鍵要素:

(1) 了解儀器探頭等設備

*推薦以深度校準儀器

*使用金屬路徑(Metal Path)校準需先量測探頭角度

(2) 了解瑕疵類型及回波形態

*熱疲勞及機械疲勞瑕疵較容易觀察其尖端回波。

*IGSCC 除了與 TF/MF 之振幅略有差異外並且呈現多面體回波。

(3) 選用探頭

*45°s、60°s、70°s、60RL、70RL、70C2、WSY70、80°ODCR(適用厚度 ≤ 0.30 "之試件)。

*Megasonics CGD 70C2 對中深及深瑕疵尖端具有極佳之檢出能力，可在 EPRI 考試時使用但不得列入使用探頭表格。

(4) 了解探頭限制

*聚焦深度

*穿透能力

*和測件表面接觸情形

2. 檢測前先判定瑕疵深度

(1) 檢測瑕疵並且觀察其特性

以 60 度橫波及 WSY70 大致確定瑕疵深度，IGSCC 試件厚度為 0.80"，全螢幕寬為 1.0"

* 淺-為試件厚度的 5%-30%，即 0.04"-0.24"

* 中深-爲試件厚度的 31%-60%，即 0.25"-0.48"

* 深-爲試件厚度的 61%-100%，即 0.49"-0.80"

(2) 目前使用確認瑕疵深度的有效方法

選用能充分表現回波信號動態的 60 度橫波以金屬路徑(Metal Path)校準深度後將振幅 80%之瑕疵 ID 置於螢幕第 4 格取得一個全 V 的金屬路徑(OD 在螢幕第 8 格)。將探頭向後拉直到信號掉落到 20%FSH，然後記錄位置。大致上來說如果瑕疵 ID 回波信號在探頭向後拉時快速下降則爲淺瑕疵，宜選擇 10%-30%人工刻槽替代規塊(Alternative Block)比對確認。如果瑕疵 ID 回波信號有一段行程則爲中深瑕疵，宜選擇 40%-60%人工刻槽替代規塊(Alternative Block)比對確認。如果瑕疵 ID 回波信號直達螢幕第 8 格 OD 則爲深瑕疵，宜選擇 70%-90%人工刻槽替代規塊(Alternative Block)比對確認即完成瑕疵淺、中、深的初深度確認。

(3) WSY70 時基線範圍(Time Base Range)校準後置於 10%-90%之人工刻槽替代規塊上，在 CE2 爲 100%FSH 的狀態下取得 CE1 的全螢幕高如下：

10% ID NOTCH at 4%FSH	淺瑕疵
20% ID NOTCH at 6%FSH	"
30% ID NOTCH at 10%FSH	"
40% ID NOTCH at 14%FSH	中深瑕疵
50% ID NOTCH at 18%FSH	"
60% ID NOTCH at 22%FSH	"
70% ID NOTCH at 22%FSH	深瑕疵
80% ID NOTCH at 22%FSH	"

90% ID NOTCH at 22%FSH "

3. 練習試件

- (1) 迅速作完五塊練習試件(一次推出兩塊給考生)並了解每一塊練習試件的特性
- (2) 繳出的練習試件答案只要符合淺、中深、深之一，EPRI 會表示 OK 但不會告訴考生詳細的答案數字，例如練習試件 P1-2，考生繳出的答案為 0.60"，雖然深度符合，但是正確的答案為 0.73"，超過接受標準 0.125"，將造成考試失敗。我們也證實了 Vessel PDI 盲目測驗(Blind Test)時 EPRI 只告之甲生大多數考生都能檢出而甲生卻失誤的地方，如甲生失誤的地方為大多數考生檢不出來的瑕疵則 EPRI 可能避而不提，乙生犯的錯誤和甲生雷同則 EPRI 不一定會告之乙生。所以量測瑕疵尖端時需仔細謹慎。
- (3) 考試試件 2007 年起已全部更新，植入的幾何形狀更多，量測瑕疵深度的困難度也隨之提高

4. 考試重點須知

- (1) 熟讀程序書 PDI-UT-3 Rev.C
- (2) 需以墨水筆作答(Vessel PDI 許可用鉛筆作答及繪圖)
- (3) 只有一天可以 Guided Practice 講解、校準儀器、填寫校準表格及使用探頭表格及實作練習試件。考試時一次發給兩塊試件，總計五塊試件必須兩天考完
- (4) IGSCC 發生在上游側，因此永遠自上游側窗口檢出瑕疵並量測瑕疵尖端。鉗道下游側也開窗口，可以兩邊檢測驗證，唯下游側窗口只能容納 60 度的 Metal Path。
- (5) EPRI 考官必須驗證考生答案的優點：
 - * 考生係依據程序書選用儀器、探頭、校準、檢測及記錄。
 - * 考生不是以瑕疵的淺、中深、深的比例決定瑕疵深度。

* 考生校準時會留意考官驗證時必檢查的儀器參數正確性，例如儀器的 RANGE、PROBE DELAY、VELOCITY、ENERGY、DAMPING、PRF MODE、FREQUENCY、RECTIFY...ETC。

* 驗證過程中考官發現答案卷記錄的數據與考生實際驗證有出入時會提醒考生，由考生自行決定維持原答案或更正答案。

(6) 絕對到達時間法(AATT)除了可以將第八格之瑕疵 ID 向前推進的方式取得瑕疵 Tip 外，亦可將全螢幕寬，即 range 加倍將瑕疵 ID 置於螢幕第四格(0.8"，第八格為 1.6")，以探頭向後退的檢測方式取得瑕疵 Tip。如 Tip 出現在第五格，則 $1.60" - 1.0" = 0.6"$ ，Tip 出現在第六格，則 $1.60" - 1.2" = 0.4"$ ，依此類推。

5. 檢測技術:

(1) 首先使用各式探頭做一個初步的深度量測



(2) 消去法步驟

- * 不是淺瑕疵，因為 45 度在瑕疵根部前推不到 tip 而且 WSY 70 顯示 CE1 振幅超過 14%
- * 不是深瑕疵，因為 70 度在深區域找不到 tip 而且 WSY 70 顯示 CE1 振幅低於 10%或只能察覺 CE2 前的時基線上有一微小的 CE1 在蠕動
- * 確認如果是深瑕疵則 70°s、60°RL、70C2 等探頭都可檢測到 tip
- * 同時量測形質相似的練習試件，例如薄的奧斯田鐵、中等厚度的奧斯田鐵等

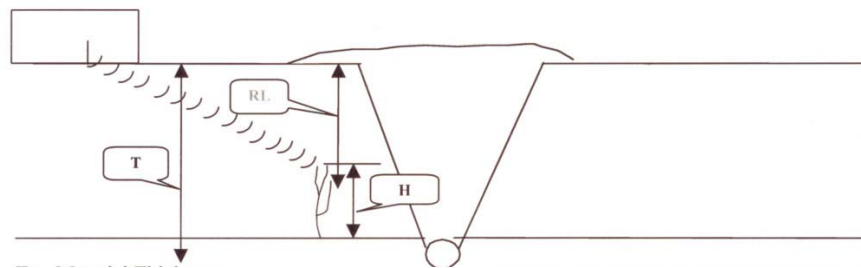
*熟悉每一塊練習試件的特性

(3) 自檢出並確認瑕疵到推出瑕疵尖端等一以貫之的作業程序

註:下圖為厚度 1 寸之試件，如果試件厚度增加或減少，則三個不同深度區域所使用的角度必須更迭

例如:60 度橫波適用於薄試件的淺瑕疵而 70 度橫波量測薄試件的中深瑕疵最有效。量測厚度大於 1 寸之近表面 1/3 檢測區域時，視需要使用有別於圖示記載之其他角度。

Absolute Arrival Time Technique (AATT)



T=試件厚度

H=瑕疵高度(使用自檢測掃描表面檢出瑕疵尖端回波之直接量測法，校準使用標準參考規塊，可用深度或金屬路徑校準)

RL=餘留厚度 (自螢幕直接讀到餘留厚度)

計算式:

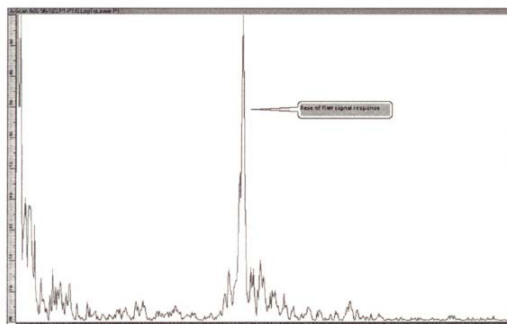
$T - RL = \text{瑕疵高度}$

$T - H = \text{餘留厚度}$

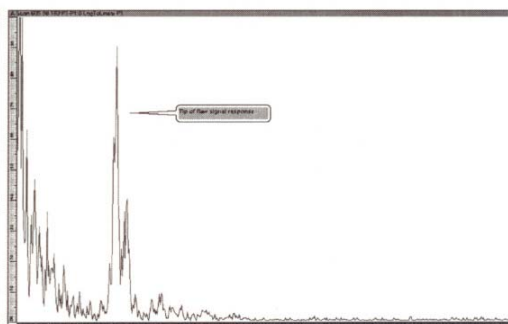
步驟 1. 定出與內表面連接之瑕疵位置

步驟 2. 緩緩將探頭向前推使音波通過瑕疵面後抵達瑕疵尖端

瑕疵回波信號



瑕疵尖端回波信號



(4) 在試件檢測窗口畫好 60 度及 70 度(45 度的入射點到瑕疵 ID 的距離等同試件厚度)探頭入射點:Tx 角度 $\tan = \frac{\text{探頭入射點至瑕疵 ID 的距離}}{\text{厚度}}$ 以確保音波入射後得到正確的反射源回波

- * 留意來自鐸道的雜訊

- * IGSCC 瑕疵回波迴異於肥粒鐵及奧斯田鐵

- * 使用同 Non-IGSCC 之消去法並且在每一個試件以各式探頭量測

- * 確認:如果是這個深度則

- * 60 度應該看到瑕疵尖端回波信號...

- * 45 度最適合量測...

- * WSY70 會顯示出瑕疵究竟是那一種深度...

- * 以更換探頭尺寸、頻率、聚焦深度等來取得瑕疵全貌

- * 和練習試件比對

四、覆層焊道檢測(Overlay)能力驗證考試

1. 資格考試內容概述

(1) 考照時間限制: 10 天(含練習時間)

程序書編號: PDI-UT-8 Rev.F, 包含不銹鋼及相異金屬之覆層焊道檢測, 與舊版程序書最大的差異在於對探頭選用作更嚴格的規範, 考試通過可檢測核一、核二、核三等覆層焊道。

(2) 本項驗證考試共 7 塊, 包含 2"、4"、6"、12"、28"。

2" PSI+ISI 有 6 種 TYPE, 試件含 1 塊標準型及 1 塊非標準型, 4" PSI+ISI, 6" PSI+ISI, 12" 1 塊 ISI 1 塊 PSI, 28" PSI+ISI。每一試塊均有詳細圖面標示其管厚、Overlay 厚度、檢測範圍、外徑周長 OD 等資料, 考試時應多加利用圖面資料, 詳如下表:

試件分類	2"標準型 PSI+ ISI	2"非標準型 PSI+ ISI	4" PSI+ ISI	6" PSI+ ISI	12" PSI	12" ISI	28" PSI+ ISI
Overlay 外徑	2.3",2.37"	3.9"~4.66"	4.93"	7.23"	12.73"	12.73"	29.41"
周長	~7.4"	12.3"~14.6"	15.5"	22.7"	40"	40"	92.4"
管壁厚度	0.226",0.269"	0.5"~0.879"	0.363"	0.405"	0.66"	0.92"	1.11"
Overlay 厚度	0.152",0.184"	0.37"~0.55"	0.244"	0.417"	0.42"	0.32"/0.45"	1.16"
全厚	0.378",0.453"	0.95"~1.33"	0.607"	0.823"	1.08"	1.24"/1.37"	2.27"
檢測厚度	0.209",0.252"	0.532"~0.70 2"	0.335"	0.518"	0.42"	0.55"/0.68"	1.438"
檢測長度	全管	全管	全管	全管	11.0"	21.0"	16.0"

(3)報告要註明缺陷爲：

1)ISI或PSI缺陷

2)周向或軸向缺陷

3)缺陷爲Crack或LOB

4)位置X起點、終點

5)位置Y起點、終點

6)缺陷長度

7)RL (Remaining Ligament)，報告最深之剩餘厚度，Axial 缺陷深度量勿需矯正，EPRI考評人員以電腦運算。

檢測報告上缺陷類別要作正確圈選，否則即使DETECTION正確亦屬錯誤False Call。

(4)PSI 焊接過程應只具有周向瑕疵，但依程序書依然要用周向角度探頭作周向檢測校準。

(5)考試時需先以角波檢測 ISI 缺陷，再作 PSI 檢測，經監考官簽認後再作直波檢測，角波檢測與直波檢測所叫缺陷即使重複也不扣分，建議做完直波檢測發現角波檢測缺陷爲 LOB 時，應將角波檢測結果劃去簽名，更正爲 LOB 方便評分。

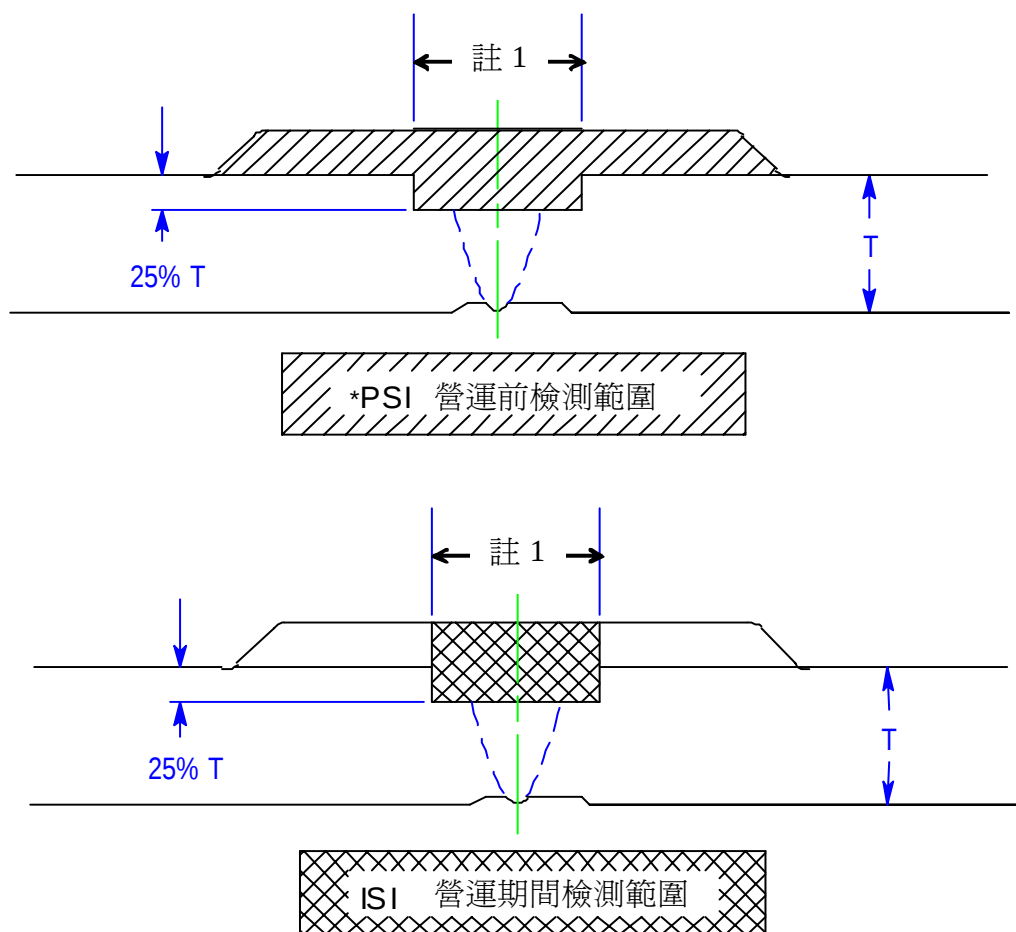
(6)能力驗證及格標準：

- 1) 缺陷檢出率80%以上
- 2) 誤叫率 (False Call) 10%以下
- 3) 長度的RMS $\leq 0.75"$ (不含Axial的長度)
- 4) 深度的RMS $\leq 0.125"$

以上 4 項全部合格才算通過考試。

2. 覆層焊道超音波檢測技術

(1)覆層焊道檢測範圍



註1：檢測寬度需涵蓋原始缺陷及焊冠兩側焊熔線(含熔媒BUTTERING)外至少0.5吋範圍，如焊冠寬度或位置不清楚，則須檢測整個覆層焊道表面。

(2)覆層焊道缺陷類別

1) ISI - 周向裂縫（裂縫延伸進入檢測厚度）

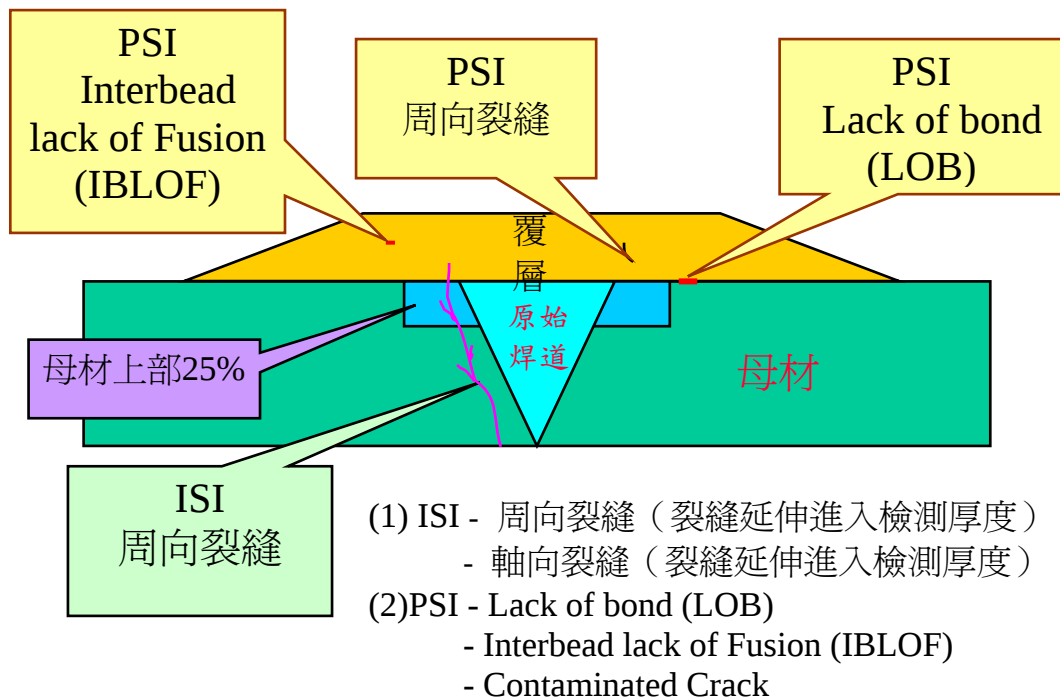
- 軸向裂縫（裂縫延伸進入檢測厚度）

2) PSI - Lack of bond (LOB)

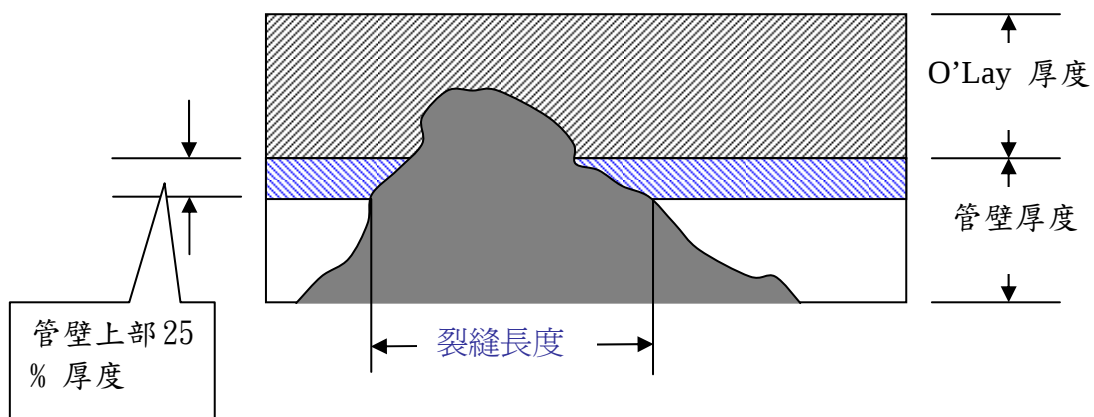
- Interbead lack of Fusion (IBLOF)

- Contaminated Crack

檢測厚度=母材上部25%+覆層厚度



ISI 裂縫長度量測是量測已延伸進入檢測厚度部份之裂縫長度，如下圖所示。



(3)探頭的選擇

1)探頭頻率的選擇

覆層厚度	覆層材料檢測	母材檢測
≤0.30"	2.0 - 4.0 MHz	2.0 or 2.25 MHz
> 0.30"	1.5- 2.25 MHz	1.5 - 2.25 MHz

2)探頭角度的選擇

標準型PSI覆層材料的檢測角度：

覆層厚度	探頭角度
<0.60"	0°, 70°, ODCR
≥0.60"	0, 60, 70, ODCR

周向檢測時的角度除照上表選用，至少其中一角度尚須小於公式

$$\sin^{-1}\left(\frac{\text{OriginalPipeOD}}{\text{ActualOD}}\right)$$

求得之角度3度。

如下圖所，示由於OD曲面的關係，要用更小的入射角方能達到相同的檢測深度。

標準型PSI/ISI 原母材部分的檢測角度：

覆層厚度	軸向掃描 探頭角度	周向掃描 探頭角度
≤ 0.40"	60 or 70	45 or 60
> 0.40" <0.60"	45 or 60	45 or 60
≥0.60"	45	45

周向檢測時的角度除照上表選用，至少其中一角度尚須小於公式

$$\sin^{-1}\left(\frac{\text{Upper25\%ExamVolume}}{\text{ActualOD}}\right)$$

求得之角度3度。

對非標準形Non-Standard Overlays上列二表適用，但由於OD表面斜坡TAPER或幾何形狀改變，周向或軸向檢測探頭角度有時亦須作適當修正，或使用模擬塊mock up來驗證正確的探頭角度。

3)探頭焦距(FOCAL DEPTH)的選擇

對標準型覆層檢測，探頭焦距由檢測的覆層厚度(檢測區域)來決定。

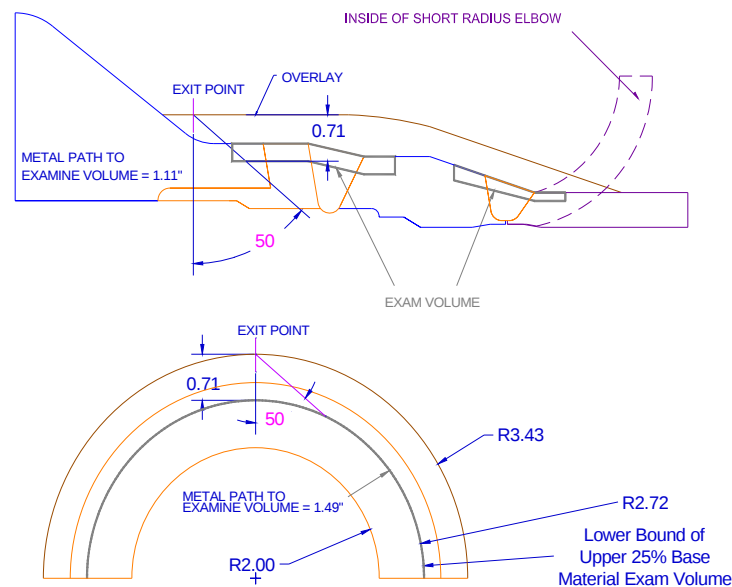
對厚度<0.60 PSI覆層檢測，70探頭焦距為覆層厚度之60%到125%。

對厚度≥0.60 PSI 覆層檢測，60探頭焦距為覆層厚度之 60%到125%，70 探

頭焦距為覆層厚度之 25%到75%。

對ISI 覆層檢測，探頭焦距為ISI檢測區域之 60%到 125%對 ODCR探頭之焦距為對近表面 0.10” 深之側鑽孔 能得到一最少5:1雜訊比信號之焦距值。

但對周向檢測時尚須考慮到由於OD curvature造成音程的改變，音程的改變可由以下公式求得， 也就是將檢測深度作一適當的修正後再求其適合之探頭焦距。



$$sp^2 = [r^2 + r1^2] - [2(r2(r1))] \times [\cos \{((\sin^{-1}(r2 + r1)\sin \theta)) - \theta\}]$$

Example :

$$sp^2 = [3.43^2 + 2.72^2] - [2(3.43(2.72))] \times [\cos \{((\sin^{-1}(3.43 + 2.72)\sin 50^\circ)) - 50^\circ\}]$$

$$sp^2 = [11.76 + 7.40] - [2(9.33)] \times [\cos \{((\sin^{-1}(1.26)\sin 50^\circ)) - 50^\circ\}]$$

$$sp^2 = [11.76 + 7.40] - [2(9.33)] \times [\cos \{((\sin^{-1}(1.26).766) - 50^\circ)\}]$$

$$sp^2 = [11.76 + 7.40] - [18.66] \times [\cos \{((\sin^{-1}(.965)) - 50^\circ)\}]$$

$$sp^2 = [11.76 + 7.40] - [18.66] \times [\cos \{(74.83) - 50^\circ\}]$$

$$sp^2 = [11.76 + 7.40] - [18.66] \times [\cos \{24.83\}]$$

$$sp^2 = [11.76 + 7.40] - [18.66] \times [.908]$$

$$sp^2 = [19.16] - [16.94]$$

$$sp^2 = 2.22$$

$$sp = \sqrt{2.22}$$

$$sp \cong 1.49$$

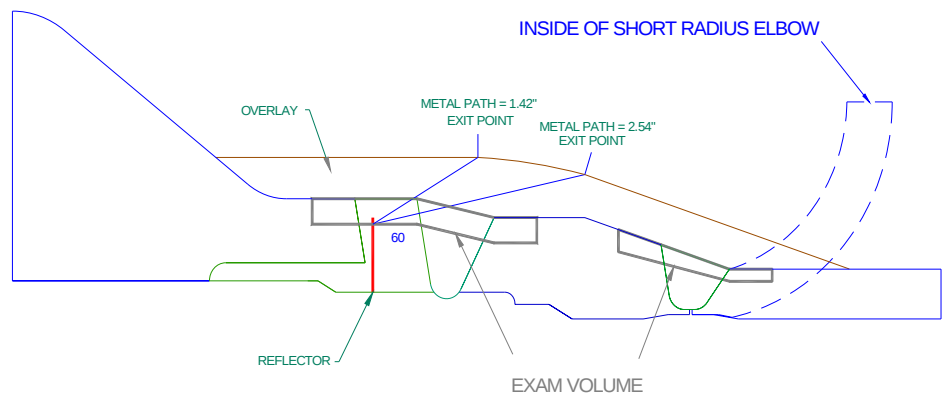
$$r1 = \text{InsideRad (Upper 25 \%)}$$

$$r2 = \text{OutsideRad}$$

$$sp = \text{SoundPath}$$

$$\theta = \text{ReflectedAngle}$$

對非標準型覆層檢測探頭焦距決定與標準型相同。但由於OD表面斜坡TAPER造成音程之增加，探頭焦距亦須作適當修正(如下圖示)。



4) 探頭尺寸(SIZE)的選擇

探頭的選擇由下表E1由已知的探頭角度、頻率、探頭焦距查得。

如果檢測焦距是落在表上探頭的最小及最大焦距兩側，此時選擇更大尺寸或更小尺寸之探頭，使檢測焦距落在探頭焦距範圍的中間。

Table E1
Focal Sound Path(焦距行程) in Inches

Minimum and Maximum achievable Focus (estimated) for RL Transducers													
Element Size		2(7x10)		2(8x14)		2(10x18)		2(15x25)		2(20x34)		2(24x42)	
Housing Size		20x20mm		25x25mm		30x30mm		40x40mm		50x50mm		60x60mm	
Freq	Angle	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
1.0	45			0.39	0.98	0.59	1.18	0.79	2.17	1.18	3.15	1.57	4.72
	60			0.39	0.79	0.59	1.18	0.79	1.77	0.98	2.95	1.38	4.33
	70			0.39	0.79	0.59	1.18	0.59	1.77	0.98	2.95	1.18	3.94
1.5	45			0.39	1.18	0.59	1.57	0.79	2.56	1.38	3.94	1.77	5.31
	60			0.39	1.18	0.59	1.57	0.79	2.36	1.18	3.54	1.57	4.92
	70			0.39	0.98	0.59	1.18	0.79	2.36	1.18	3.35	1.38	4.53
2.0	45	0.39	0.98	0.59	1.18	0.79	1.77	0.98	3.35	1.57	5.12	1.77	6.30
	60	0.39	0.98	0.39	1.18	0.59	1.57	0.79	2.95	1.18	4.72	1.57	5.51
	70	0.39	0.79	0.39	0.98	0.59	1.38	0.79	2.76	1.18	4.33	1.38	4.92
4.0	45	0.39	1.38	0.79	2.36	0.98	3.54	1.18	3.94				
	60	0.39	1.38	0.59	2.17	0.79	2.76	0.98	3.54				
	70	0.39	1.18	0.39	1.97	0.59	2.56	0.79	3.35				

Table E2
Focal Depth((焦距深度) in Inches

Minimum and Maximum achievable Focus (estimated) for RL Transducers													
Element Size		2(7x10)		2(8x14)		2(10x18)		2(15x25)		2(20x34)		2(24x42)	
Housing Size		20x20mm		25x25mm		30x30mm		40x40mm		50x50mm		60x60mm	
Freq.	Angle	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
1.0	45			0.28	0.70	0.42	0.84	0.56	1.53	0.84	2.23	1.11	3.34
	60			0.20	0.39	0.30	0.59	0.39	0.89	0.49	1.48	0.69	2.17
	70			0.13	0.27	0.20	0.40	0.20	0.61	0.34	1.01	0.40	1.35
1.5	45			0.28	0.84	0.42	1.11	0.56	1.81	0.97	2.78	1.25	3.76
	60			0.20	0.59	0.30	0.79	0.39	1.18	0.59	1.77	0.79	2.46
	70			0.13	0.34	0.20	0.40	0.27	0.81	0.40	1.14	0.47	1.55
2.0	45	0.28	0.70	0.42	0.84	0.56	1.25	0.70	2.37	1.11	3.62	1.25	4.45
	60	0.20	0.49	0.20	0.59	0.30	0.79	0.39	1.48	0.59	2.36	0.79	2.76
	70	0.13	0.27	0.13	0.34	0.20	0.47	0.27	0.94	0.40	1.48	0.47	1.68
4.0	45	0.28	0.97	0.56	1.67	0.70	2.51	0.84	2.78				
	60	0.20	0.69	0.30	1.08	0.39	1.38	0.49	1.77				
	70	0.13	0.40	0.13	0.67	0.20	0.88	0.27	1.14				

Table F
最大直波探頭尺寸

管外徑實際尺寸	最大圓形直波探頭尺寸	
< 2.0"	0.30"	8mm
≥2.0"	0.70"	18mm

5)探頭曲度(CURVATURE)的選擇

Table G
決定檢測探頭是否須要曲度

Search units should be contoured if;		Search units shall be contoured if;	
$D \leq \left[\frac{(A \times A)}{2} \right]$	MM	$D \leq \left[\frac{(A \times A)}{3} \right]$	MM
$D \leq \left[\frac{(A \times A)}{.079} \right]$	Inches	$D \leq \left[\frac{(A \times A)}{.113} \right]$	Inches
A = 軸向掃描為探頭寬度 =周向掃描為探頭footprint 尺寸		A = 軸向掃描為探頭寬度 =周向掃描為探頭footprint 尺寸	
D =管外徑實際尺寸		D =管外徑實際尺寸	

Note: “footprint” 定義為探頭沿試件曲面方向的尺寸.

Table H
決定探頭最大的Contour

管外徑實際尺寸	超過管外徑最大Contour Diameter
< 4.0"	1"
≥4.0" to 10"	2"
>10" to <18"	4"
≥18" to 23"	6"
>23"	10"

3. 心得與感想

(1)探頭的選用多利用 EPRI 的探頭清單，該清單已將探頭角度焦距及曲度由小到大排列，先確定周向、軸向、或非標準 WOL 的檢測深度，很快就能找到須要的探頭。選好一批探頭後，先請監考官檢查是否符合程序書規定，然後進行校正紀錄與檢測，應遵守程序書對覆銲厚度不同所修正的要求應符合。

(2)28"管件檢測時，厚度大於 1.0"部份，若以 60°RL 檢測，會有偏折現象造成檢測誤差，只能用 45°RL 探頭，晶體大小約 2 (16X26 mm)，聚焦約為 FS=55 mm。但對於剩餘厚度小於 0.7"之 PSI 缺陷可能會遺漏檢出，需使用聚焦較短的 45°RL

探頭再掃描過，才不會漏掉 PSI 缺陷。

(3) 28"管件 ISI 裂縫深度量測中，須注意很容易量得太深，在找到 tip 時因信號很強而誤以為是 face 會將探頭再往前推移，找到一個信號誤認為是 tip 而產生很大誤差；儘量利用練習試塊核對答案，可發現嚴重的錯誤，尤其 RL 超過 0.5 吋者更需小心，稍一疏忽即可能考不過關。管徑 28 吋試件可先從對邊打 Crack Face，找出裂縫位置與概略長度，在以 45°從本邊量測裂縫長度與 RL。

(4) 依 28"、12"、4"、6"、2"次序分批檢測，先作 ISI 後作 PSI，先作檢測及缺陷種類辨識，再作缺陷長度與深度評估。覆層焊道檢測較耗時，但是其及格率也最高。熟練的深度評估技術有助覆層焊道能力驗證通過。

五、反應器壓力槽焊道手動 UT 檢測(RPV Weld Detection)能力驗證考試

1. 考前準備：

因從去年前輩的考試經驗傳承，需有萬全的準備才有機會通過此僅用一顆縱波探頭，且及格率低的手動超音波能力驗證考試。

(1) 了解 ASME 規章有關反應器壓力槽焊道檢查及其能力驗證考試規定，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。

(2) 至 ASME Code1998 止，超音波檢測能力驗證共分為 10 個項目：

1)、管路焊道部分

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

2)、壓力槽部分

- Supplement 4—RPV Clad/Base Metal Interface Region+15%T
- Supplement 5—RPV Nozzle Inside Radius Section
- Supplement 6—RPV Welds Other Than Clad/Base Metal Interface
- Supplement 7—RPV Nozzle-to-Vessel Weld

(3)RPV 試件瑕疵包括 Thermal Fatigue、Mechanical Fatigue、Slag 與一些 Notch。

1)supplement 4 —具有保護層 ID Clad 之反應爐槽體焊道檢測，不含法蘭對槽體 (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"。

Supplement 6—不具有保護層之反應爐槽體焊道檢測，與 supplement 4 不同處在於其龜裂均位於槽壁中，非由保護層與母材之界面生出，龜裂深度評估之 R.M.S 允許較寬，為 0.250"。supplement 4,6 EPRI 已接受驗證。

2)Supplement 5—槽體管嘴內緣 (Nozzle Inside Corner Region) 檢測，簡稱 NICR。NICR 已有程序書、設備、人員通過 PDI。

Code Case N-552 要求 Modeling 決定 Misorientation angle and metal path。

3)supplement 7—管嘴對槽體 (Nozzle to Vessel) 焊道檢測，此項考試必須先通過 supplement 4 & supplement 6 兩項單邊檢測考試，才能考 Nozzle to Vessel 之周向龜裂檢測，通過了 supplement 5 NICR 考試者，才能考 Nozzle to Vessel 之軸向龜裂檢測，所以要考 Nozzle to Vessel 各種方向龜裂者，必須先通過 supplement 4&5&6 之 PDI。

4)EPRI 目前對 Supplement 4,6 之試件 BWR 有練習塊一塊，考試件 4 塊，厚度 6.88"；PWR 無練習塊，考試件 3 塊，厚度 11"。Supplement 5,7 之試件 BWR

有練習塊一塊，上面之 Nozzle 分別為 5", 12", 28"，考試件 3~4 塊；PWR 無練習塊，考試件 2 塊，從 ID 檢測。

(4)依 ASME CodeSec.XI Appendix VIII 要求 Supplement 4—RPV Clad/Base Metal Interface Region 及 Supplement 6—RPV Welds Other Than Clad/Base Metal Interface 均單獨列為單項驗證，若計算瑕疵數量小於或等於 11 個時，其不允許有 miss call，大於 11 個至 15 個時只允許有一個 miss call；其 false call 個數則依檢測面積（單位：平方呎）/10，約只允許有一個 false call。

(5)了解程序書（PDI-UT-6 Rev.F）的要求

1)單一 60RL 縱波探頭檢測全體積所有瑕疵，包括 Supplement 4 與 Supplement 6。

2)單邊檢測認證 Supplement 4 與 Supplement 6。

3)分成校正區域 1（Zone 1）和校正區域 2（Zone 2）二部分校正，其瑕疵判定亦須符合程序書的要求。

a.Zone 1 瑕疵判定：區域 1 近表面掃瞄靈敏度至少以校正 dB 再加上 14Db 時，判定是否有信號雜訊比至少大於 3 比 1 者，且其顯示信號超過掃瞄靈敏度之 20%全螢幕高度者應列入記錄、將探頭往前推，是否 28°S 波式轉換橫波也有顯示信號、從 90°方向檢測是否也有顯示信號、顯示信號是否有走動顯示、顯示信號是否有面狀顯示回波動態特性、顯示信號是否有尖端繞射信號特性。

b.Zone 2 瑕疵判定：區域 2 掃瞄靈敏度調整為內側鑲層(ID Clad)與母材介面回波約 20%FSH 時，判定是否有信號雜訊比至少大於 3 比 1 者，且其顯示信號明顯與內側鑲層(ID Clad)與母材介面回波分離、將探頭往前推，是否 28°S 波式轉換橫波也有顯示信號、從 90°方向檢測是否也有顯示信號、顯示信號是否有走動顯示、顯示信號是否有面狀顯示回波動態特性、顯示信號是否有尖端繞射信號特性。

4)探頭掃瞄速度不得超過每秒 3 吋；探頭掃瞄重疊不得少於音波發射晶片面積之 50%。

5)可能的幾何訊號：表面凹陷、偏析、內側鑲層(ID Clad)與母材介面回波等

(6)了解 60RL 縱波探頭的基本特性

1)28S 橫波在螢幕顯示位置：

假設 $AB=1$ 依直角三角形畢氏定律 $AP_1=2$ ； $AB=AP_2*\sin 62=AP_1*\sin 30$

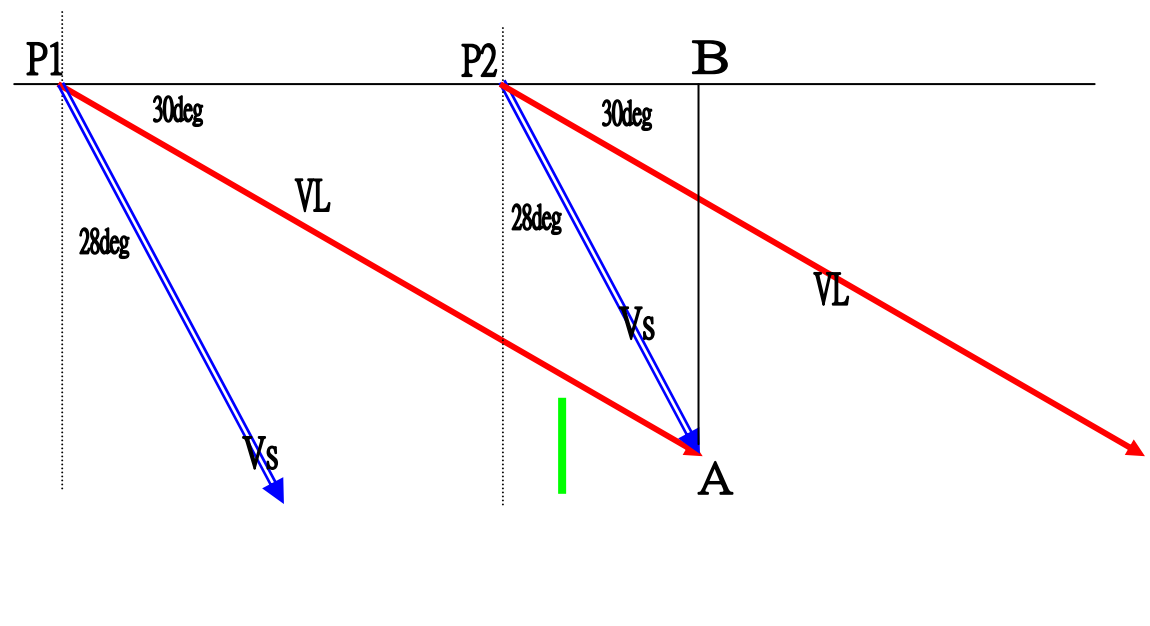
$BP_1=AP_1*\sin 60$ $BP_2=AP_2*\sin 28$ $AP_2=1/\sin 62=1.132570051$

在以縱波為主的距離校正其 28S 橫波(AP_2)依史聶爾定律轉換為縱波顯示為

$VL/V_s*AP_2=1.132570051*0.233/0.127=2.08$ 較 AP_1 顯示稍後一些。

BP_1 等於 USN60 儀器內設值 PA ，故在 P_1 位置可量測其 PA 標註 B 點(瑕疵位置)。

*當探頭 P_1 由移至 P_2 時，則其讀得的 PA 值為橫波轉換縱波顯示的投影值，若相信為瑕疵位置，則會變成錯誤必須小心注意。



2) 28S 橫波在試件入射位置：

程序書要求應使用縱波探頭產生的伴隨橫波驗證瑕疵位置。故已知 B 點瑕疵位置迅速求得橫波入設點 P_2 驗證可確認瑕疵無誤，其方法有二：

a.以 BP_1 及 BP_2 比值求得關係式：

$$\tan 30=BA/BP_1 \quad BA=\tan 30*BP_1$$

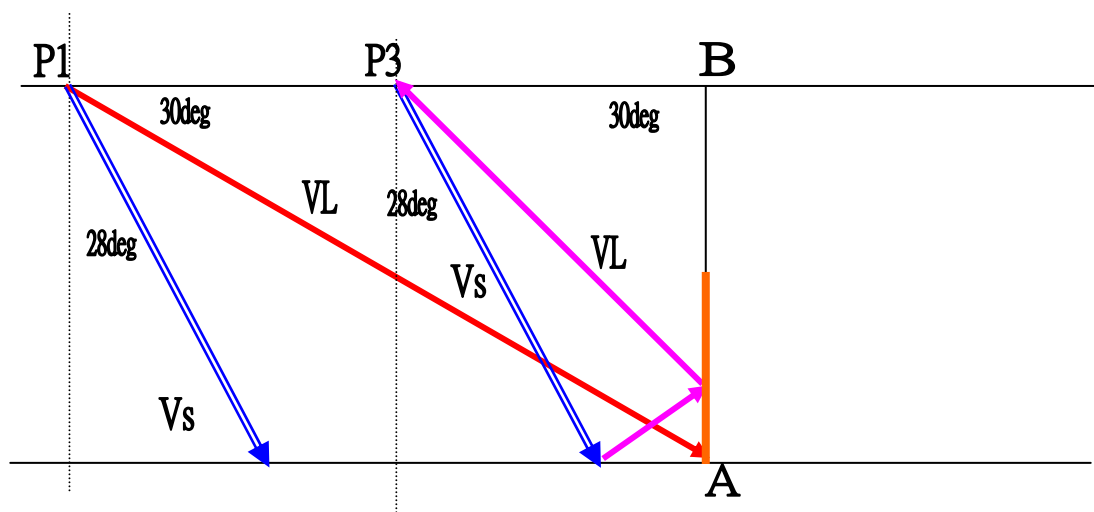
$$\tan 62=BA/BP_2 \quad BA=\tan 62*BP_2$$

$$\text{故 } BP_2/BP_1=\tan 30/\tan 62=0.303 \quad BP_2=0.303*BP_1(\text{約 } 1/3)$$

b. 以 BA 求得 BP2 值的關係式：

$$BP2 = BA / \tan 62 \quad BP2 = 0.53 * BA (\text{約 } 1/2)$$

3) 60RL 縱波探頭有 28 橫波在底部至 $1/2t$ 還會產生 28S-60RL-60RL 的波式轉換，其出現的位置粗估在約 $BP3 = 1/2 BP1$ 位置



2. 考前練習：

(1) 儀器校正規定：使用超音波檢測的儀器和探頭均須經過 EPRI 驗證合格方可使用；即使是有相同尺寸、頻率和焦距，如果沒有經過 EPRI 驗證合格的廠牌，也不可使用。

(2) 選用程序書內探頭 TABLE 內的探頭校正。

下表所列探頭為美國電力研究院提供，均經其驗證合格可供使用。

廠牌	型式	編號	頻率	焦距長度	尺寸大小
RTD	Long Wave 60°TRL2-Aust SA3°	94-757	2MHz	FS~125	2(24x42)
RTD	Long Wave 60°TRL2-Aust SA4°	96-110	2MHz	FS~150	2(24x42)
SIGMA	22BC-60L	SDC3-99001USA	3MHz	F10	2(1.1x6.2)

(3) 校正分成區域 1 (Zone 1) 和區域 2 (Zone 2) 二部分，如下：

1) 校正區域 1：近表面 60°L 校正

a. 維持超音波檢測儀器設定的一致性，被檢材質是肥粒鐵碳鋼，橫波速度

0.127in/us，縱波速度 0.233in/us，使用 auto cal 用 DC 規塊 2 吋及 4 吋校正。

b. 可以音波路徑校正或以試件深度校正。超音波檢測儀器全螢幕寬足夠容納試件上半部體積，即自反應器爐壁外表面起至爐壁焊道厚度 50% 深，建議全螢幕寬訂為 10 吋音波路徑，每小格 1 吋音波路徑。

c. 靈敏度設定是以反應器爐壁校正規塊側鑽孔 T/4 回波振幅調至全螢幕高度 80%。

2) 校正區域 2：全部被檢體積 60°L 校正

a. 同樣維持超音波檢測儀器設定的一致性，被檢材質是肥粒鐵碳鋼，橫波速度 0.127in/us，縱波速度 0.233in/us，使用 auto cal 用 DC 規塊 2 吋及 4 吋校正。

b. 可以音波路徑校正或以試件深度校正。超音波檢測儀器全螢幕寬足夠容納試件全部體積，即反應器爐壁焊道全部厚度再加上 25% 爐壁焊道厚度，建議全螢幕寬訂為 20 吋音波路徑，每小格 2 吋音波路徑。

c. 靈敏度設定是以反應器爐壁校正規塊內側底部凹槽回波振幅調至全螢幕高度 80%。

上述完成校正應將探頭規範填入 INVENTORY SHEET，及依程序書儀器設定 TABLE 完成校正並填寫 CALIBRATION SHEET。

(4) 儀器閘道(Gate)與顯示讀值設定：均設為 PEAK VALUE。

1) 校正區域 1：以近表面 60°L 出現處設定

Gate-A：範圍 0~8 吋與振幅 20%FSH，顯示 Gate-A 音波路徑(SA)、顯示 Gate-A 深度量測(DA)、顯示 Gate-A 探頭與瑕疵表面距離(PA)。

Gate-B：範圍 0~2 吋與振幅 18%FSH，顯示 Gate-B 探頭與瑕疵表面距離(PB)，並設定啟動警報音響，提醒注意以免漏失近表面缺陷

2) 校正區域 2：內側鑲層(ID Clad)與母材介面回波約 20%FSH 時 60°L 出現處設定

Gate-A：範圍 8~13 吋與振幅 20%FSH，顯示 Gate-A 音波路徑(SA)、顯示 Gate-A

深度量測(DA)、顯示 Gate-A 探頭與瑕疵表面距離(PA)。

Gate-B:範圍 12~15 吋與振幅 25%FSH,顯示 Gate-B 探頭與瑕疵表面距離(PB)。

(5)已知缺陷位置試塊練習：

試塊編號:181P 內含 17 個缺陷，有夾渣、龜裂、焊接的熔合不良，專供練習用

編號	外表面 半徑長	內表面 半徑長	母材 厚度	內表面護 層厚度	總厚度	母材 材質	內表面護 層材質	總重
P	129.63"	123.00"	6.30"	0.33"	6.63"	肥粒鐵	不銹鋼	5480 磅

練習重點：

- 1) 校正區域 1：以近表面 60°L 出現處，確認 Gate-A 音波路徑 (SA)、Gate-A 深度量測(DA)、Gate-A 探頭與瑕疵表面距離(PA)與實體缺陷物理值相符，若有差異應為調探頭入射角值使趨近物理值，消除微量偏差。

依程序書要求驗證，是否有信號雜訊比至少大於 3 比 1 者，且其顯示信號超過掃描靈敏度之 20%全螢幕高度者應列入記錄、將探頭往前推，是否 28°S 波式轉換橫波也有顯示信號在 0.3PA 處出現且稍後縱波出現位置、從 90°方向檢測是否也有顯示信號、顯示信號是否有走動顯示、顯示信號是否有面狀顯示回波動態特性、顯示信號是否有尖端繞射信號特性。

近表面 60°L 出現處，Gate-B 啟動警報音響。

- 2) 校正區域 2：內側鑲層(ID Clad)與母材介面回波約 20%FSH 時 60°L 出現處設定，確認 Gate-A 音波路徑 (SA)、Gate-A 深度量測(DA)、Gate-A 探頭與瑕疵表面距離(PA)與實體缺陷物理值相符，若有差異應為調探頭入射角值使趨近物理值，消除微量偏差。

依程序書要求驗證，區域 2 掃描靈敏度調整為內側鑲層(ID Clad)與母材介面回波約 20%FSH 時，判定是否有信號雜訊比至少大於 3 比 1 者，且其顯示信號明顯與內側鑲層(ID Clad)與母材介面回波分離、將探頭往前推，是否 28°S 波式轉換橫波也有顯示信號、

從 90° 方向檢測是否也有顯示信號、顯示信號是否有走動顯示、顯示信號是否有面狀顯示回波動態特性、顯示信號是否有尖端繞射信號特性。

驗證 60RL 縱波探頭有 28S 橫波在在約 1/2 PA 位置，產生的波式轉換，並觀察其回波動態特性。

注意分辨 60RL、28S-60RL-60RL、28S 的其回波動態特性及其出現位置。

(6)導引練習(guide practice)：在考試塊上執行，不准交談、不准互看、同考試要求一樣，完成作答，後送請監考官評量，依狀況要求重新檢測或重新評估瑕疵。

考試試塊共 4 件，如下表：

編號	外表面縱向長	外表面周向弧長	母材厚度	內表面護層厚度	總厚度	母材材質	內表面護層材質	總重
M	48"	58"	6.79"	0.25"	7.04"	肥粒鐵	不銹鋼	5480 磅
N	48"	58"	6.79"	0.31"	7.10"	肥粒鐵	不銹鋼	5480 磅
O	48"	58"	6.88"	0.28"	7.16"	肥粒鐵	不銹鋼	5480 磅
P	48"	58"	6.88"	0.29"	7.17"	肥粒鐵	不銹鋼	5480 磅

練習重點：3 個長方形檢測區塊（12"x10"x6.88"+0.25"clad、12"x12"x6.88"+0.25"clad 或 12"x114"x6.88"+0.25" clad 不等）

1)學習標定檢測區塊(Patch)、緩衝區、掃描區域，確認檢測方向與檢測位置。

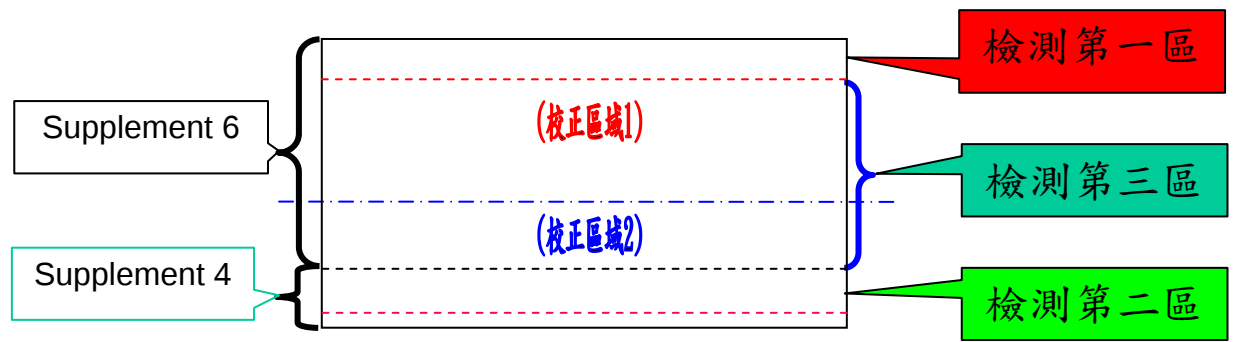
2)建立完整檢測作業流程：建議方式

檢測區分:3 個區域：

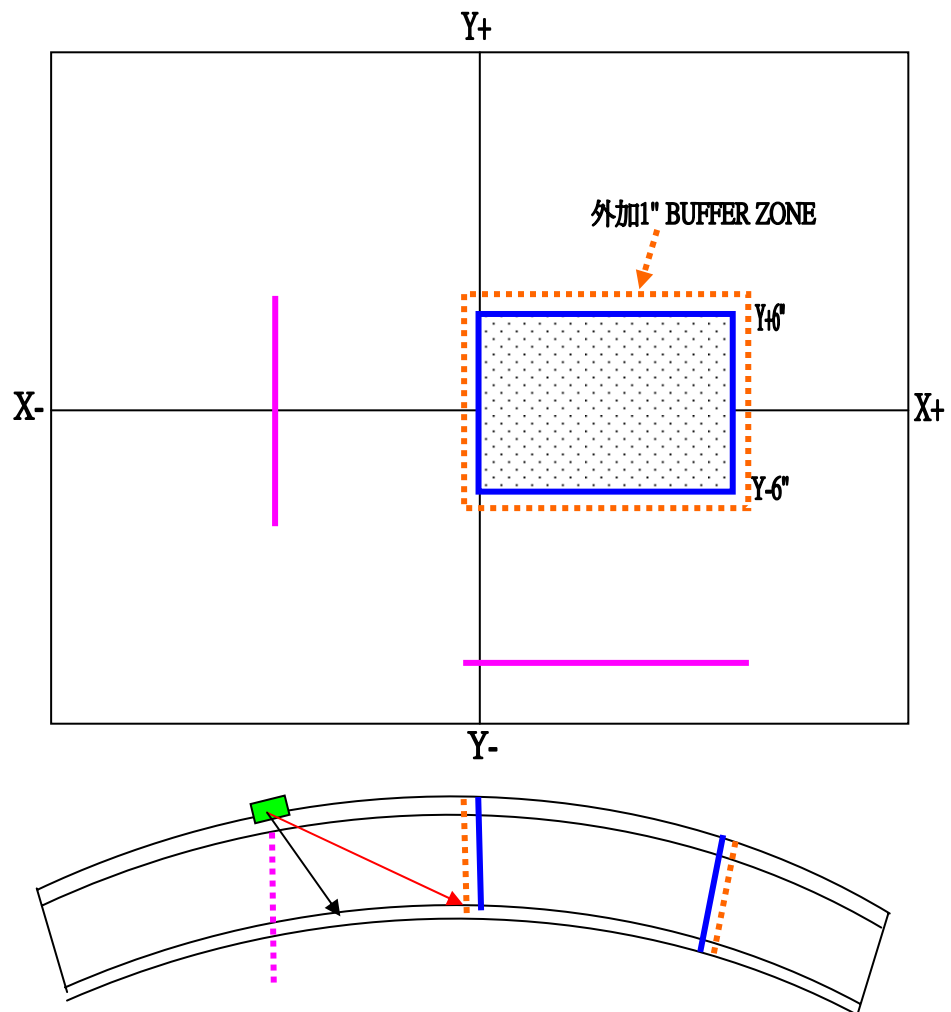
檢測第一區：外表面 1" 區域加強檢測

檢測第二區：Supplement 4-The clad + 15%T

檢測第三區：Supplement 6: Outer 85%T



RPV 試件圖示



- a. 檢測第一區：(校正區域 1) 先做軸向掃描(0~X+)，雙手導正探頭永遠保持與座標垂直，注意檢測區回波反應是否與已知缺陷位置試塊練習相同，若有迅速依 60RL 的 PA 標示瑕疵位置及標定長度後依探頭掃描重疊大於 50% 要求，完成軸向掃描，後相同作法完成週向掃描。

注意警報出現時，應停止掃描，並加強注意其波的動態符合瑕

疵的要求。

- b. 檢測第二區：(校正區域 2) 執行 Supplement 4 檢測，注意掃描區域的完整性，其內側鑲層(ID Clad)與母材介面回波附近是否有 60° L 出現，若有迅速依 60RL 的 PA 標示瑕疵位置及標定長度，並注意 28S-60RL-60RL、28S 的其回波動態特性出現，後依探頭掃描重疊大於 50%要求，完成軸向掃描，後相同作法完成週向掃描。
- c. 檢測第三區：(校正區域 2) 執行 Supplement 6 檢測，注意掃描區域的完整性，其內側鑲層(ID Clad)與母材介面回波（定在 20%FSH）前是否有 60° L 出現，若有迅速依 60RL 的 PA 標示瑕疵位置及標定長度，並注意 28S-60RL-60RL、28S 的其回波動態特性出現，後依探頭掃描重疊大於 50%要求，完成軸向掃描，後相同作法完成週向掃描。並注意先前標定的瑕疵是否明確無疑。

將所有瑕疵位置依 1:2 尺寸繪至 A4 或 LETTER SIZE 紙上，依序確認其 28S 與 90° 方向 60° L 是否出現瑕疵動態特性，若是則依程序書 50%振幅降低法計錄與標定瑕疵長度與高度，用 X-Y-Z 標示清楚。

填寫瑕疵紀錄表與完成 1:1 尺寸 A3 上視圖與側視圖及簽名，交由監考官評核。

3)調配檢測速度，不疾不徐，專注清楚每一回波的來源，多重驗證。

4)掃描技巧：

- a.知道應該掃描的範圍。
- b.慢速掃描能觀察缺陷的回波。
- c.可重複叫出你所確認的缺陷。
- d.軸向掃描有必要放大增益。
- e.充分塗滿藕合劑。

5)檢測技術規定：

- a.探頭掃描速度不得超過每秒 3 吋。
- b.探頭掃描重疊不得少於音波發射晶片面積之 50%。
- c.區域 1 近表面掃描靈敏度至少以校正 dB 再加上 14dB。

- d. 區域 2 整個全部被檢測體積掃瞄靈敏度，至少為內側鑲層(ID Clad)與母材介面回波振幅調至 20%全螢幕高度。

6) 顯示評估：

a. 內表面缺陷顯示信號：

內表面顯示信號與內側鑲層(ID Clad)與母材介面回波比較，其信號雜訊比至少大於 3 比 1 者，須要記錄。

b. 非內表面缺陷顯示信號：

其顯示信號超過掃瞄靈敏度之 20%全螢幕高度者，須要記錄。

c. 所有顯示信號確認：

a) 將探頭往前推，是否 28°S 波式轉換橫波也有顯示信號。

b) 從 90°方向檢測是否也有顯示信號。

c) 顯示信號是否有走動顯示。

d) 顯示信號是否有面狀顯示回波動態特性。

e) 顯示信號是否有尖端繞射信號特性。

7) 顯示記錄：

a. 記錄顯示信號之最大振幅。

b. 記錄顯示信號之最大金屬路徑或深度。

c. 記錄探頭離顯示信號之水平距離。

d. 以顯示之最大振幅之 50%量測長度兩旁端點。

3. 考試概述：

考試區塊(Patch)位於焊道及兩側熱影響區域，形狀為長方形或正方形，縱向長度 12" 固定，周向弧長 10"、12"、14"、15" 或 20" 不等。每一件考試試塊劃分出來的考試區塊數目不定。監考官指定考試區塊(Patch)與檢測方向，不得違背要求。

(1) 每一件考試試塊劃分為幾個考試區塊(Patch)。

(2) 每人每次考試區塊(Patch)數目一般為三區塊、四區塊或五區塊不等，分布於不同試塊，分雙邊掃瞄或單邊掃瞄兩種證照。選考單邊掃瞄者，限制僅能上游側單邊掃瞄(0°和順時鐘 90°，介於 0°和 90°之間可以 skew)或僅能下游側單邊掃瞄(180°和反時鐘 270°，介於 180°和 270°之間可以 skew)。

- (3) 每件考試區塊之考試時間沒有限制，唯其計費方式係按日計價，考越久費用越高。
- (4) 每只考試區塊檢測完成，必須繳驗校準紀錄，並以其提供之圖紙描繪缺陷位置之上視圖 (X-Y) 與側視圖 (X-Z)。
- (5) 監考官對於考生所作的缺陷均逐一查證，並作詢問。
- (6) 監考官詢問查證完後，考生必須清除考試區塊上的所有標記與藕合劑。
- (7) 初次考試包括 Supplement 4—RPV Clad/Base Metal Interface Region 及 Supplement 6—RPV Welds Other Than Clad/Base Metal Interface 均單獨列為單項驗證，由考後經驗分析，若，其 Supplement 4 瑕疵數少則不允許 MISSCALL，Supplement 6 瑕疵數多則允許 MISS CALL。

4. 檢測經驗回饋：

(1)應考對策：

- 1)熟練超音波儀器的操控，熟練超音波檢測的原理及充分了解 60RL 縱波探頭的基本特性。
- 2)相信所有缺陷均可由自動和手動檢測出來。
- 3)相信程序書，熟練與遵守程序書的要求，完成檢測與報告。
- 4)先在編號：181 練習規塊上練習，熟悉檢測的技巧。理出合理的檢測步驟，自考試開始至終保持步調一致，不採捷徑投機取巧。
- 5)切記在檢測體積內找答案，而非在掃描體積內找答案。先概略掃描，勾繪出檢測體積中的顯示，再逐步分析縱向和周向缺陷數目。
- 6)繪圖，在腦海內保持者 X-Y-Z 座標圖，留意檢測表面曲度與產生的入射折射角。找到缺陷，馬上圖繪顯示位置，防範於混淆。
- 7)瞭解 60° 折射縱波的探頭帶有伴隨 28° 橫波的特性，28° 橫波可用來確認缺陷；但橫波射入試件可能產生折射；音波入射到面狀瑕疵，可能產生波式轉換；這些都可能導致誤叫。

8)檢視文件報告的完整性，瑕疵編號採累加方式編號，繳件之前要 100%確認每一個答案，不鑽牛角尖挖掘以免造成誤叫。

9)不必要的壓力不要加諸在自身上，不要因別的考生繳件而影響自身的穩定情緒，調配檢測速度，不疾不徐，專注清楚每一回波的來源，多重驗證，重考浪費更多時間體力與經費。

10)多利用考場提供的磁吸鋼尺與十進位兩呎鋼尺及十進位一呎鋼尺，作為探頭移動導板，在長距離移動時確保探頭不偏斜與確認探頭掃描重疊，不小於音波發射晶片面積之 50%，與十進位兩呎鋼尺及十進位一呎鋼尺隨時確認回波位置避免失誤。

11)考試塊無鐸道，沒有特殊的幾何形狀陷阱，但有偏析訊號與表面凹陷干擾。

(2)可導致 False call 失敗的情形

- A. Gain 太高，找出小的合格間斷。
- B.將 28S-60RL-60RL 及 28S 誤認為 60RL。
- C.在週向掃描時誤認非檢測區瑕疵的 28S-60RL-60RL 或 28S 為 60RL。
- D.探頭 SKEW 找出非對應的瑕疵。
- F.未執行多重確認(28S 與 90 度方向)。

(3)可導致 Miss call 失敗的情形

- A.掃描速度太快，或檢測章法混亂以致有檢測區域未掃描。
- B.接近外表面缺陷其 60RL 接近螢幕邊又未設警報以致漏檢。
- C.在週向掃描時 60RL 與 28S-60RL-60RL 或 28S 再同螢幕出現，其有可能為波式轉換亦有可能相臨的兩個瑕疵的縱波被檢出應設法釐清以免漏檢。

5. 心得與感想

(1)EPRI 所發行供考生研讀之"Guided Practice"與 RPV 實作無答練習相當重要，內容為指引各能力驗證考試的檢測方法與注意事項，對人員之參加考試與檢測技巧有幫助，若能細心體會遵行則容易通過考試。

(2)各項考試之尺寸計算與答案填寫均以英吋為主，且為十進位方式，故建議攜帶十進位之小鋼尺，量測時較為方便，也較精確。

- (3)考試過程中若對試件較無把握，可暫不交答案卷，待最後有時間再作，但須等別人不用此試件時才可作。
- (4)核能電廠工作人員辦理赴美國簽證有時需要 50~60 天，日後出國人員須提早辦理（網路申辦）。

六、討論與建議

1. 經洽詢 EPRI 提供辦公空間供台電員工使用，已獲正面回應，應於提出資格考試安排申請時，同時提出辦公空間及網路電話設施需求，以利 EPRI 協助安排準備。
2. EPRI 使用相位或相位陣列式檢測設備，已建立通用程序書，執行管路銲道、異材銲道及覆層銲道檢測，美國境內已多家公司參與能力驗證，建議本隊列為未來檢測發展方向。
3. RPV supplement 7—管嘴對槽體（Nozzle to Vessel）焊道檢測，此項考試必須先通過 supplement 4 & supplement 6 兩項單邊檢測考試，才能考 Nozzle to Vessel 之焊道檢測，核電廠營運檢測已有需求，若能建立本隊在該部分之檢測自主性，可減少委外發包替公司創造更大營運利潤，建議儘早規劃。
4. 公司已加入 EPRI—SGMP 組織，建議於出國行程加入其相關運作訓練及參加其 WORK SHOP 會議，可獲得與公司相關議題的業界看法與解決方案，有利於業務推動。
5. EPRI 重視經驗傳承將剛退休的有經驗者回聘，第一年每星期上班 4 天，第二年每星期上班 3 天，第三年每星期上班 2 天傳承經驗，在公司人才青黃不接時或許可借鏡規劃。