

行政院及所屬各機關出國報告  
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：臺灣電力公司核能發電處  
出國人 職 稱：核能工程監/核能工程師  
/技術員  
姓 名：施順動慶/蘇兩傳  
/陸 錚  
出國地區：美國北卡電力研究院  
出國日期：自民國 94 年 6 月 25 日  
至民國 94 年 8 月 8 日  
報告日期：民國 94 年 9 月 15 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 37 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

施順動慶/台灣電力公司/核能發電處/核能工程監/(02)23667067

蘇兩傳/台灣電力公司/核能發電處/核能工程師/(02)23667067

陸 錚/台灣電力公司/核能發電處/技術員/(02)23667067

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：自94年6月25日至8月8日 出國地區：美國北卡電力研究院

報告日期：94年9月15日

分類號/目

關鍵詞：超音波檢測訓練，能力驗證考試

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評估中心(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研習，並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：裂縫檢測(Detection)能力驗證考試、裂縫深度評估(Depth Sizing)能力驗證考試、覆層焊道檢測(Overlay)能力驗證考試、不同材質焊道檢測(Dissimilar Metal)能力驗證考試、螺栓(Bolts)及螺樁(Studs)直波超音波檢測能力驗證考試等五項。考試結果本次參加的三人有兩人順利取得其中四項能力驗證考試之合格證明，另一人取得其中二項能力驗證考試之合格證明，成果十分卓著。

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	1
二、 裂縫檢測( <b>Detection</b> )能力驗證考試	2
三、 裂縫深度評估( <b>Depth Sizing</b> )能力驗證考試	8
四、 覆層焊道檢測( <b>Overlay</b> )能力驗證考試	15
五、 不同材質焊道( <b>Dissimilar Metal</b> )能力驗證考試	22
六、 螺栓( <b>Bolts</b> )及螺樁( <b>Studs</b> )直波超音波檢測能力 驗證考試	30
七、 討論與建議	36

## 一、目的與過程

沸水式核能電廠再循環管路發生晶間應力腐蝕龜裂開始於 1980 年代，經過 20 餘年檢測技術及設備改進以提升核能營運安全，檢測人員技術能力評鑑是確保檢測品質要件，因此美國核能電廠營運檢測管制法規，要求執行核能電廠超音波檢測人員，需經過檢測能力驗證(Performance Demonstration)考試，取得合格證明後才可以執行各種組件超音波檢測工作，證書效期滿之換證亦須經過能力驗證資格再考試合格者，才能繼續擔任該項工作。

美國核管會及核能電廠的業主為因應法規需求，將本項檢測能力驗證資格考試，委由美國電力研究院非破壞檢測評估中心(EPRI NDE Center)辦理，本公司依各核能機組檢測需求參加為會員，並每年選派核能電廠超音波檢測人員參加研習與能力驗證資格考試，以符合法規規定。

此次共選派三人參加超音波檢測能力驗證資格考試，於 94 年 6 月 25 日出國至 8 月 8 日返國共計 45 天，出國期間視考試進度時程及證照需求，分別參加下列資格考試：裂縫檢測(Detection)能力驗證再授證考試、裂縫深度評估(Depth Sizing)能力驗證考試與再授證考試、覆層焊道檢測(Overlay)能力驗證考試、螺栓(Bolts)及螺樁(Studs)直波超音波檢測能力驗證考試，各項考試前先接受指導練習 (Guide Practice)，再進行實作驗證考試。本次研習三人限於時間無法全部參加每項資格驗證考試，不過仍盡力參與，考試結果取得合格證照之項目亦不少(詳如下表)，成果堪稱豐碩，對核能電廠設備執行營運檢測工作頗有助益。

姓名	項目 合格		裂縫 深度 評估	覆層 焊道 檢測	不同材質焊道檢測		螺栓及 螺樁 檢測
	檢測能力	長度量測			檢測能力	長度量測	
施順動慶	合格	合格	合格	合格	合格	合格	
蘇 兩 傳	合格	合格			合格	合格	
陸 錚	合格		合格		合格		合格

## 二、裂縫檢測(Detection)能力驗證考試

### 1) 前言

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。本次參加三人均為再授證考試，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(IGSCC)及瑕疵(IGSCC)之長度量測。

### 2) 考試須知及規範

- A. 晶間應力腐蝕龜裂(IGSCC)試件 4 塊，試件編號 308，外徑 12"~24"，厚度 0.80"~1.40"，一塊由上游接近銲道執行單邊檢測及 3 塊雙邊檢測。3 塊雙邊檢測的試件其中 2 塊有縱向銲道。
- B. 提、背包及電子設備、手機等集中放在門口。
- C. 考試有時間限制。
- D. 不得以鉛筆作答，必須使用墨水筆作答。
- E. 必須使用通過 EPRI 認證的超音波檢測設備。
- F. 可向 EPRI 借用認證過的各式探頭。
- G. 所有的 IGSCC 都可以檢測出來。
- H. 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。
- I. EPRI 不再告知 candidate 任何一科考試瑕疵的數量。
- J. 本科目不提供校準規塊(Cal.Block)，得使用替代規塊(Alt.Block)校準。
- K. 將單邊檢測試件的遠邊及銲道包括銲道近邊的熔線都包覆起來。
- L. 考試時可以利用練習試件做為考試試件的參考。
- M. 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秀給 EPRI 考官
- N. 考完試後須將試件上的註記及耦合劑擦拭乾淨。
- O. 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後方能攜出熱室。
- P. Yellow Paper 及手寫的筆記、便條紙等都不得攜出熱室。

### 3) 檢測設備

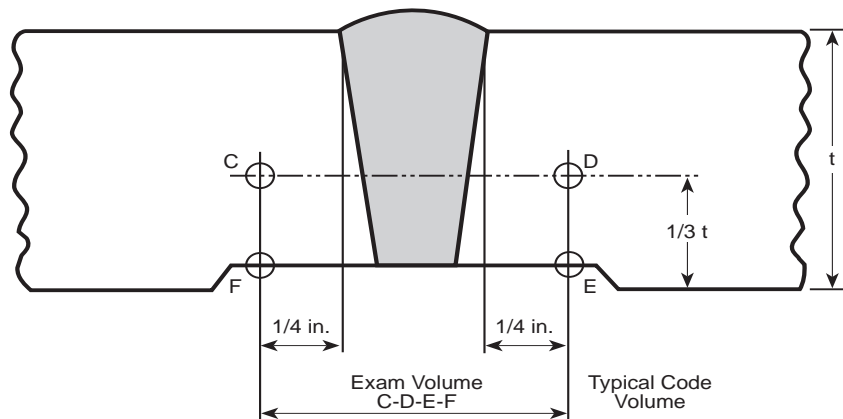
- A. 本次參加驗證三人都使用經過 EPRI 認證的超音波檢測儀 USN 60 及連接線。
- B. 使用經過 EPRI 認證的 Krautkramer 製造的非一體成形橫波複合(Composite)換能器，換能器角度包含了 45、60、70 度，換能器尺寸包括直徑.250"、.375"、.500"，頻率為 1.5MHz、2.25MHz。
- C. 管壁厚度大於 0.50"的奧斯田鐵單邊檢測必須加做縱波檢測，故使用經過 EPRI 認證的 TRD 及 Megasonic CSS(CGD 可以使用，但是不能列入選用探頭總覽報告表格裡)系列的一體成形、頻率為 1.0MHz~2.0MHz、聚焦深度為 0.80"~1.50"的折射縱波探頭。
- D. 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

- A. 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。
- B. 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。
- C. 檢測校準時需先設定螢幕距離 Screen Distance，使螢幕距離能夠涵蓋檢測區域，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，再建立校準規塊內凹槽之參考信號達到全螢幕 80% 即可。

焊道檢測區域



## 5) 參考靈敏度

- A. 必須建立參考靈敏度，以便執行檢測時可以互相比對。
- B. 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。
- C. 在欲檢測的試件上，將探頭以周向緊鄰銲道放置，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。)
- D. 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，還可消除來自銲道和外表面時有時無的雜訊。
- E. 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

- A. 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(探頭背向銲道)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。
- B. 在使用 60 和 70 度高角度探頭掃描的時候，來自管壁內表面(ID roll)的的折射縱波回波信號也許不容易辨識，可以以"平均水平時基雜訊"來代替內表面回波信號。

## 7) 檢測技術

- A. 使用 1/2V-path 檢測技術。
- B. 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 或 5.0 <sup>1</sup>	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

- C. 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	
		Inches	mm
$\geq 2"$ $\leq 4"$	0.25"	0.20 × 0.30	5 × 10
$> 4"$ $\leq 12"$	0.50"	0.30 × 0.60	10 × 14
$> 12"$ $\leq 24"$	0.50" × 1.0"	0.60 × 1.0	16 × 26
$> 24"$	1.0"	1.0 × 2.0	26 × 51

- D.在考試件上以鉛筆標示鐸道中心線。
- E.在考試件的上、下游以鉛筆標示各個角度探頭的入射點到鐸道中心線的距離。例如： $T \times \tan 45 = 45^\circ$  的探頭入射點到鐸道中心線的距離，以確定音波能有效的涵蓋檢測區域， $60^\circ$  及  $70^\circ$  依此類推。
- F.依照 EPRI Yellow Paper 排定的探頭順序掃描檢測： $45^\circ S-1.5\text{MHz} > 45^\circ S-2.25\text{MHz} > 60^\circ S-1.5\text{MHz} > 60^\circ S-2.25\text{MHz} > \text{RL}$
- G.執行雙邊軸向檢測時，音波必須從兩個方向垂直於鐸道軸線，即將探頭置於鐸道兩側，使音束垂直射向鐸道掃描。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鐸道到達遠邊的檢測區域。
- H.執行周向檢測時，將  $45^\circ S$  探頭置於母材上，以足夠的音波斜向鐸道的方式掃描。掃描時，探頭歪斜指向鐸道的角度以 10 到 45 度最適合。由於周向檢測 IGSCC 試件時經常受到鐸冠阻擋，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鐸道上執行周向檢測時，得塗抹較厚的耦合劑。
- I.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

- A.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。
- B.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、右斜向鐸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)沿著鐸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)繪製鐸道剖視圖時，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(鐸冠磨平時)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。
- C.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、右斜向鐸道



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) 沿著銲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) 繪製銲道剖視圖時，不位於如熱影響區等可能生長瑕疵區域的顯示。 7)繪製銲道剖視圖時，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

A.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，探頭越接近銲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°Shear1.5MHz 檢出銲道兩側的可疑顯示，再以 45°Shear2.25MHz 探頭驗證。如果 45°Shear2.25MHz 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°Shear2.25MHz 來檢測銲道兩側的可疑顯示。反之，則使用 60°Shear1.5MHz 來檢測銲道兩側的可疑顯示。

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銲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。

B.雖然 IGSCC 檢測考試試件只有 4 塊，但是困難度也最高。檢測時宜從銲道後方母材往熔線方向做 Raster Scan(光柵式掃描)，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銲根、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。至於銲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銲冠上執行周向檢測，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，仔細一點的話，在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。

C.造成我首次再認證失敗的 308/M，是一塊單邊檢測的 24"試件。考試開始時先從近邊開始檢測，在確認近邊一個周向的 IGSCC、並且量測好瑕疵長度後就開始執行遠邊檢測。當執行單邊檢測而在鐸道遠邊發現有下列任何一種情形的顯示時，可以確定為瑕疵：1) 橫波及縱波都能檢測確認的顯示。 2) 使用低角度探頭在鐸冠上檢測確認的顯示。這個方法由於鐸冠連同遠邊母材已於考試前包覆起來，所以無法採用。 3)使用高角度探頭穿越鐸道材料檢測確認的顯示。 4) 使用不同頻率探頭檢測確認的顯示。例如當以 1.5MHz 檢測出瑕疵時，再以 2.25MHz 檢測確認。

我在執行遠邊檢測時，在檢測區域檢測出兩個周向瑕疵，並且均符合以上 1)、3)、4) 之要求，卻因為這兩個周向瑕疵的信號/雜訊比小於 4:1 而被我排除在外，換言之，我忽略了這兩個位於遠邊僅有 30%的瑕疵。雖然 EPRI 考官不告知 Candidate 考試失敗的原因，但是我在隨後的補考矯正了這方面的缺失，因而通過 IGSCC Detection 再認證考試。

補考試件中的一塊考試件--308/W，差一點讓我再度滑鐵盧，此一難得的經驗在這裡提出來和各位同仁分享。我在確認下游的軸向瑕疵後復又徘徊在上游兩個周向顯示的信號間難以決定。最後我做了正確的抉擇，我放棄了其中一個在螢幕上具有 RL、CE1、CE2 信號的周向顯示，而選擇了振幅僅 60% (Reference Level) 並且具備 IGSCC 特性的周向顯示，原因很單純，結構類似 Corner 的 Long Seam 才會具有如此完美的回波信號，而這種完美的回波信號不可能來自 IGSCC。

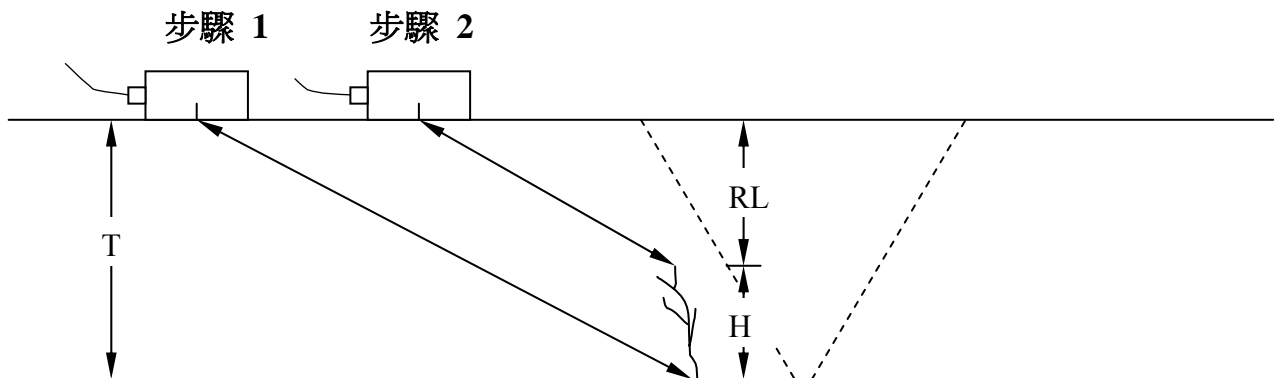
因此，Candidate 極需要建立幾個正確的觀念：1)淺的 IGSCC 通常難以從對邊檢測確認。 2)出現在管壁厚度大於 1.5"的 IGSCC 通常難以從對邊檢測確認。 3) 不要忽略信號/雜訊比小於 4:1 的顯示。 4)根據程序書檢測。 5)選用音波能接近鐸道根部的探頭。 6)充分了解鐸道的結構、大小管對接、鐸冠及管壁厚度的變化等，方能順利檢出瑕疵。

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。

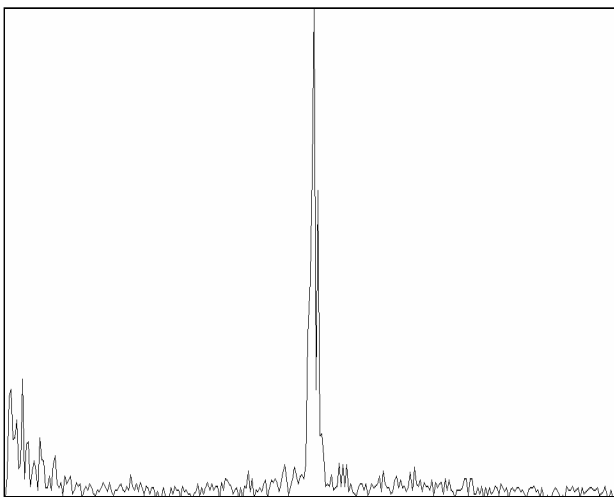
### 三、裂縫深度評估(Depth Sizing)能力驗證考試

電廠營運後所產生之瑕疵，經檢測出瑕疵所在，再利用裂縫深度超音波量測技術，將裂縫之深度給予數字化的呈現。裂縫深度超音波量測技術可分為 A.音波行程(時間)絕對法(AATT) B.音波行程(時間)相對法(RATT) C.波式轉換法(Bi-model)。

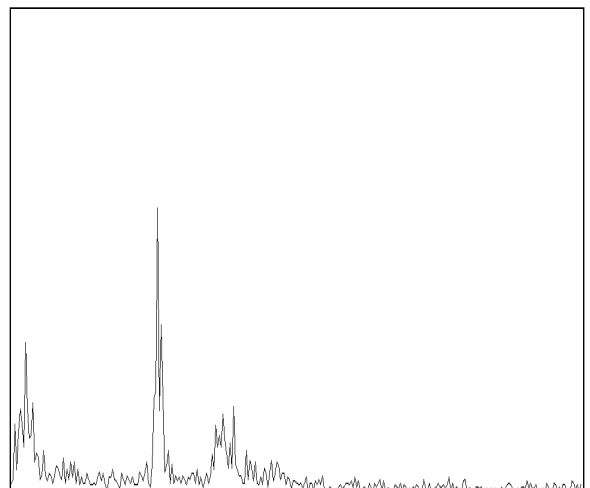
#### A.音波行程(時間)絕對法(AATT)：



T = 試件厚度  
H = 裂縫高度(深度)  
RL = 剩餘厚度



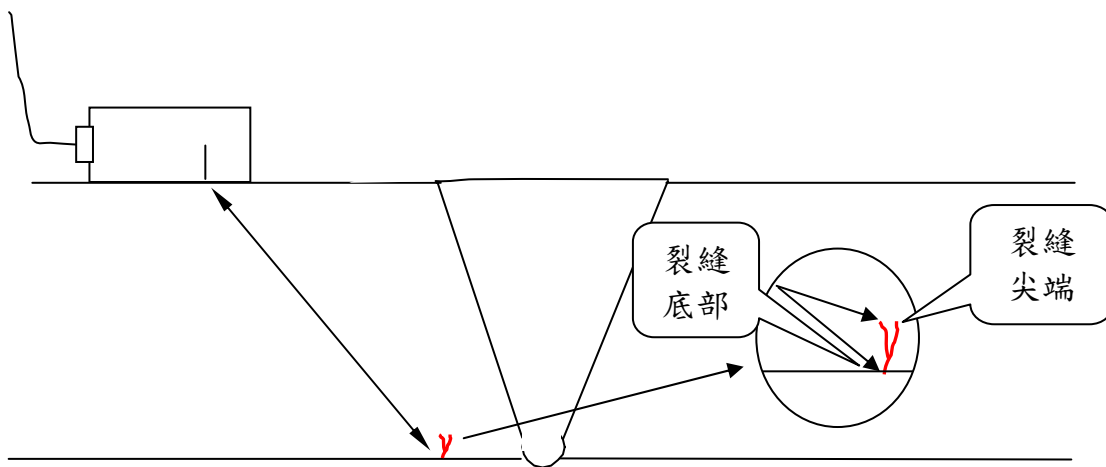
步驟 1. 取得裂縫底部(角隅)回波



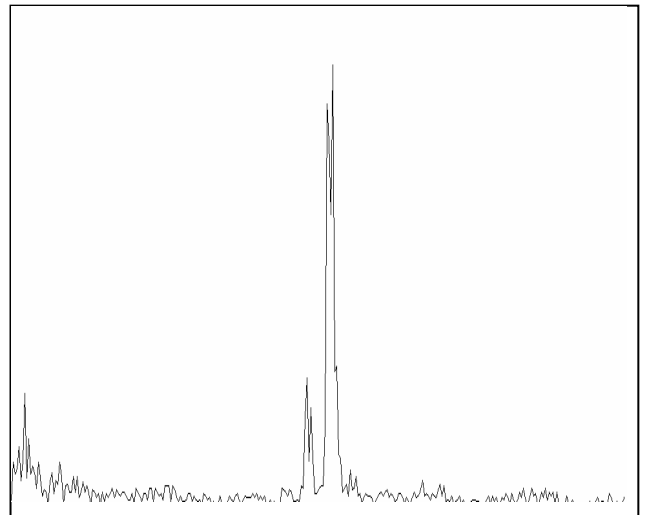
步驟 2. 探頭往前移取得裂縫尖端 (flaw tip)回波

- 可使用標準參考校準塊或等比例深度側鑽孔/刻槽校準塊執行儀器校準程序。
- 螢幕水平距離校準可採取等比例深度校準(Depth Calibration)或音波行進距離(Metal Path)校準(探頭入射角必須正確)。
- 直接由檢測面量測尖端回波行進時間(距離)得知裂縫高度(深度)。(本法必須取得最大振幅之尖端回波，通常由瑕疵側量測，若使用縱波量測時音波可由遠邊穿過焊道取得裂縫尖端面之回波，此時需將探頭再前移降 3dB 振幅之回波位置，才是真正裂縫深度。)
- 螢幕呈現之回波讀值為剩餘厚度(RL)，裂縫高度(H)=試件厚度(T)－剩餘厚度(RL)。

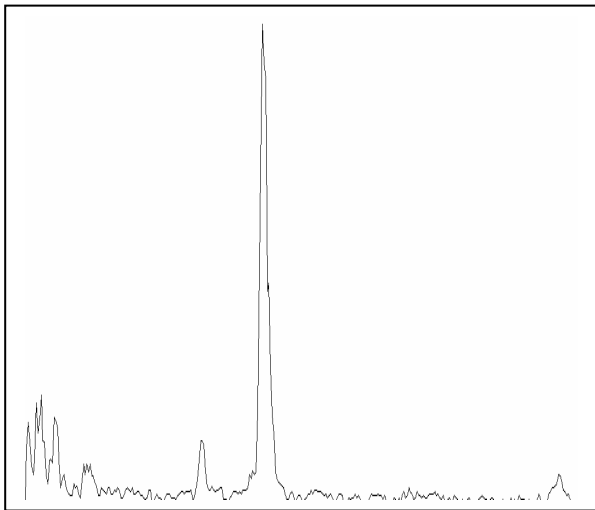
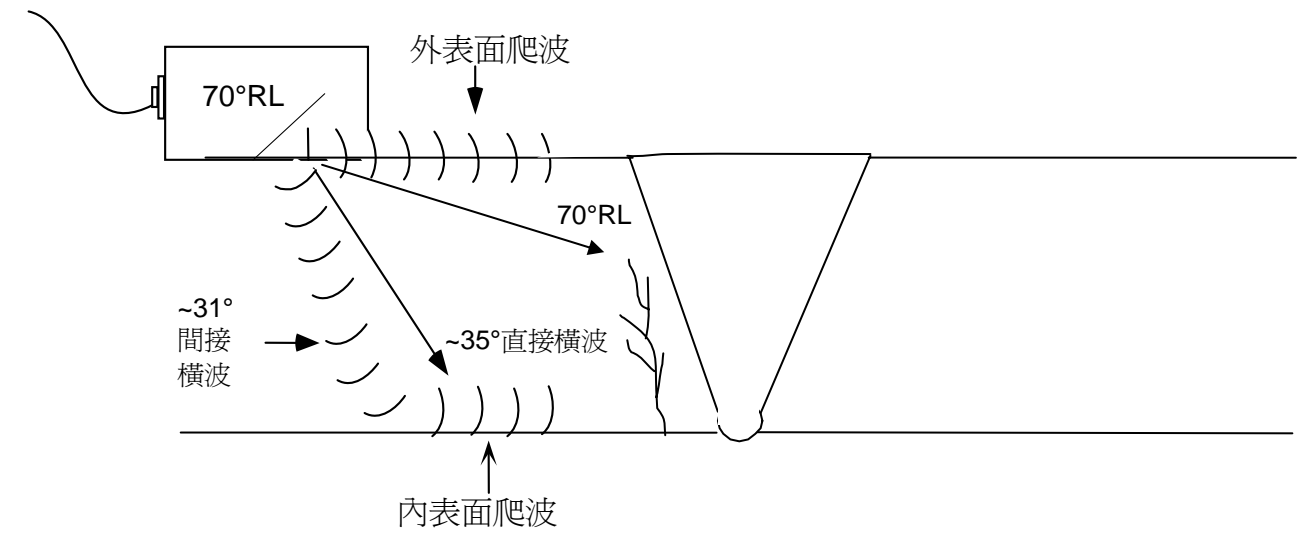
### B.音波行程(時間)相對法(RATT)



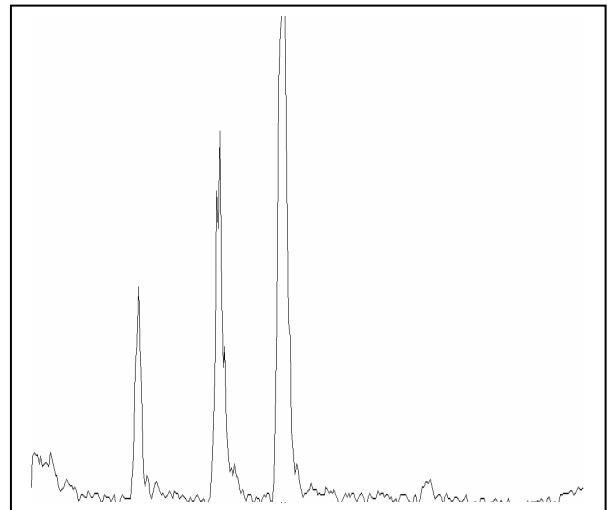
- 使用等比例深度刻槽校準塊，同時取得淺刻槽之底部及尖端回波執行螢幕水平距離校準，使讀值等於刻槽高度。
- 量測試件時可前後移動探頭觀察裂縫底部回波前方伴隨消長之尖端回波，不需取得最大振幅回波，由兩波間距即可算出裂縫高度。
- 由於音束擴散角之限制，相對法僅適用在淺裂縫之量測(低於 0.3")。



### C. 波式轉換法(Bi-model)



淺裂縫



深裂縫

- 內表面爬波可取得裂縫底部之回波。
- 由於裂縫不高因此波式轉換回波相對較低。
- 無直接縱波之回波訊號。

- 內表面爬波可取得裂縫底部之回波。
- 由於裂縫較高因此波式轉換回波有足夠之反射面，其振幅大小與裂縫深度約成正比關係。
- 直接縱波可取得較深裂縫之尖端回波訊號。

## 1. 內容：

裂縫深度評估能力驗證授證考試每人各考十塊：為碳鋼四塊、不銹鋼六塊(其中三塊為 IGSCC)，再授證考試則只需考五塊全為 IGSCC 試件。每塊均各指定一個位置，應試者需一一將各該指定處之裂縫深度量測評估後紀錄，考試時間初考 3 天，再授證考試 2 天。

## 2. 程序書規定

程序書對於最初評估所使用之探頭頻率規定如下：

試件厚度 t	橫波探頭	縱波探頭
$t \leq 0.50''$	2.25 – 5.0 MHz	2.0 – 5.0 MHz
$0.50'' < t \leq 2.0''$	1.5 – 5.0 MHz	2.0 – 5.0 MHz
$t > 2.0''$	1.5 – 5.0 MHz	1.0 – 5.0 MHz

最初評估完成之後，則可另外使用更高頻率之探頭作進一步之評估。

程序書對於所使用之探頭尺寸規定如下：

公稱管徑 D	橫波探頭最大尺寸 <u>inches</u>	橫波探頭最大尺寸 <u>mm</u>	縱波探頭最大尺寸 <u>inches</u>	縱波探頭最大尺寸 <u>mm</u>
$2'' \leq D \leq 4''$	0.25	7	0.20 x 0.30	5 x 10
$4'' < D \leq 12''$	0.50	13	0.30 x 0.60	10 x 14
$12'' < D \leq 24''$	0.50 x 1.0	16 x 10*	0.60 x 1.0	16 x 26
$D > 24''$	1.0	16 x 10*	1.0 x 2.0	26 x 51

\*橢圓形晶片探頭

## 3. 評估方法

對不同深度之缺陷，可依程序書規定使用不同角度橫波探頭，並配合各種不同的量測方法－音波行程(時間)絕對法(AATT)、音波行程(時間)相對法(RATT)、波式轉換法 (Bi-model)，詳細搭配方式列於下表：

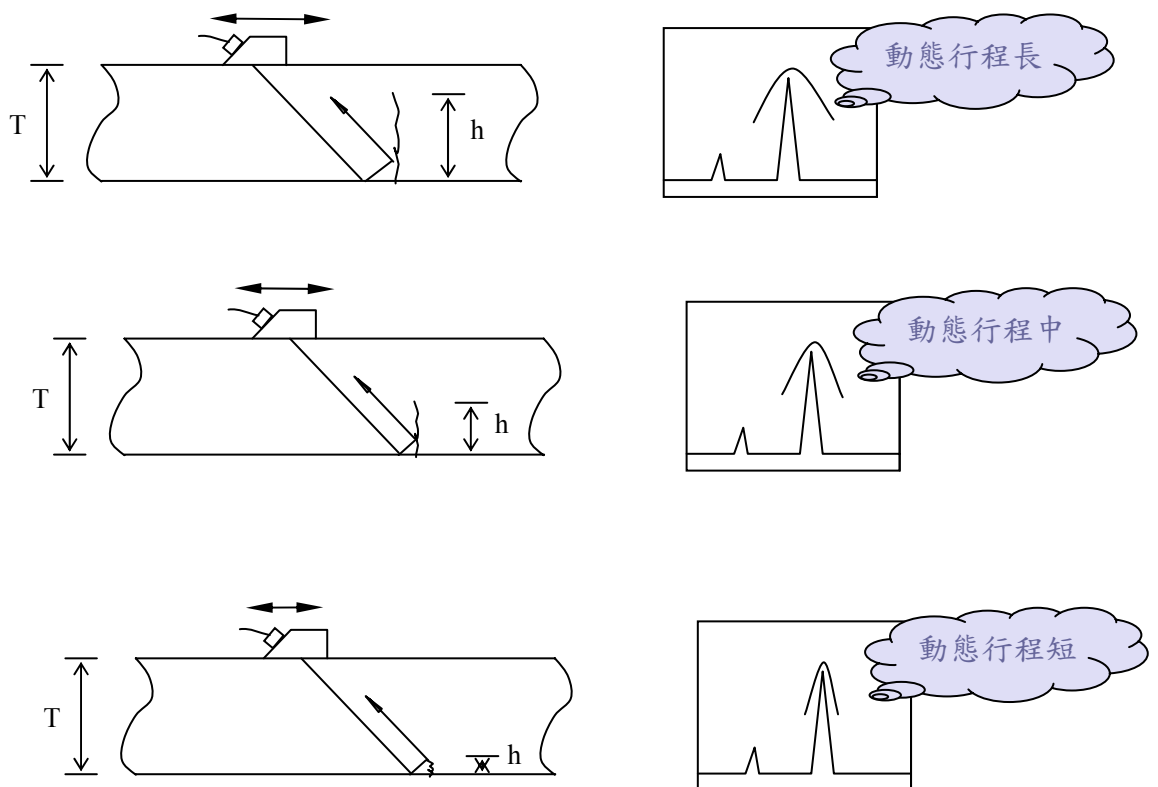
材質厚度 $\leq 0.50''$		
缺陷剩餘高度 Remaining Ligament (RL)	探頭角度 Angle(s)	量測方法 Technique(s)
$RL \leq 0.20''$	70° and ODCR	絕對法
$RL > 0.20''$	60° ~ 70°	絕對法或相對法*
0.50'' < 材質厚度 $\leq 1.00''$		

缺陷剩餘高度 Remaining Ligament (RL)	探頭角度 Angle(s)	量測方法 Technique(s)
$RL \leq 0.20''$	$70^\circ$ and ODCR	絕對法
$RL > 0.20'' \sim \leq 0.70''$	$60^\circ \sim 70^\circ$	絕對法或波式轉換法
$RL > 0.70''$	$45^\circ \sim 60^\circ$	絕對法或相對法*或波式轉換法
<b>材質厚度 &gt; 1.00''</b>		
缺陷剩餘高度 Remaining Ligament (RL)	探頭角度 Angle(s)	量測方法 Technique(s)
$RL \leq 0.20''$	$70^\circ$ and ODCR	絕對法
$RL > 0.20'' \sim \leq 0.70''$	$60^\circ \sim 70^\circ$	絕對法或波式轉換法
$RL > 0.70''$	$45^\circ \sim 60^\circ$	絕對法或相對法*或波式轉換法

首先利用 WSY-70 探頭針對瑕疵所在給予量測，當深瑕疵 (>30%) 時 CE1 會有一定程度的振幅程現。當瑕疵為較淺 (<30%) 時，CE1 之振幅很小或幾乎沒有。

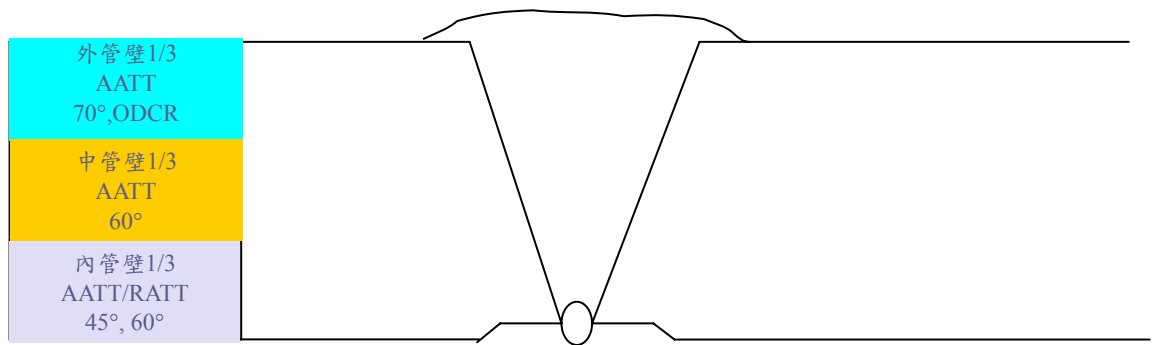
由此可粗判瑕疵是深或淺。再以表面爬波探頭(OD Creeping)驗證粗判是否正確。若瑕疵很深達到外表面附近，表面探頭會有很明顯之回波，且很敏感。反之瑕疵很淺則不顯示。也可使用  $45^\circ$  橫波做全 V 掃描，當探頭音波直接打在瑕疵根部時，將探頭往後移動(即是全 V 掃描)，若是瑕疵很深則回波會延續很長(即是波之動態很長)，反之則立即消失(即是動態很短)。

如下圖所示：



由以上之量測後，再以音波距離絕對法依瑕疵深、中、淺，以不同之探頭給

予量測。橫波探頭 70°量測近表面之瑕疵(<0.3'')，60°橫波量測中階層之瑕疵(0.3''~ 0.6'')，45°橫波量測淺瑕疵(0.6''~ 1.0'')。如下圖所示：



瑕疵量測時，因焊道並非很平整，必須持穩探頭使探頭與表面最大之接觸，而得到最大之尖端回波(尖端回波能量很小並不易辨認)。最佳的方式是將探頭能量直接打在瑕疵根部，此時有最大的回波反應。再將探頭往前緩慢移動，可在探頭能量持續接近瑕疵尖端時，根部回波會消失，而隨即出現之微弱回波即是尖端衛星波。再依尖端回波出現之位置對應事先校正好儀器螢幕之時基線代表剩餘厚度(RL)，讀出其值即可，或設定儀器螢幕之閘門(Gate)範圍，自動顯示回波之對應值。

於量測時有時因瑕疵並非呈直立狀態，若瑕疵是傾斜向探頭側時，量測時要由反方向量測較為可行。反方向量測時，探頭回波通常為瑕疵面回波而非瑕疵根部回波。此時應將探頭得到之最大回波再往前推，才能直接打在尖端上(約降 3DB 的能量)。

橫波 45°、60°、70°之量測方法均相同，但每一種量測技術均無法達到絕對準確，必須互相驗證或輔以折射縱波 60°來驗證(量測方法亦同)，並取適當量測值才可得到較可靠之瑕疵高度。

#### 4. 評分方式

每塊試件各指定一處位置量測缺陷深度，及格標準為所有試件統計其所叫缺陷深度與實際缺陷深度誤差總和之均方根值(RMS)不可大於 0.125''，而 RMS 值的計算公式如下：

$$RMS = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - t_i)^2}{n} \right]^{1/2}$$

其中  $t_i$  為實際缺陷深度  
 $m_i$  為所叫缺陷深度  
 $n$  為試件數



## 5. 注意事項

- 1) IGSCC 之五塊試件，其缺陷深度通常是淺、中、深都有，先以 30-70-70 方法之 CE1 與 CE2 即可得知其深度範圍，再用 45S 與 60RL 或 ODCR 作正確評估。
- 2) 在作考試件之前應先作練習件，並將所叫之答案與標準答案比對，以了解所使用之評估方法的正確性與校準的準確性，並作適度之修正。
- 3) 報表上所要填寫的缺陷深度與 Remaining Ligament 答案，應特別注意不可弄錯。
- 4) 謹慎遵循程序書邏輯推理流程圖，妥適運用正確的探頭焦距、穿透能力和被檢物表面適切接觸，以準確量測缺陷深度；切忌將淺缺陷深度誤測為深缺陷深度或將深缺陷深度誤測為淺缺陷深度，因多數考試不合格者均有此慘痛的失敗經驗。

#### 四、覆層焊道檢測(Overlay)能力驗證考試

##### 1. 資格驗證內容

考照時間限制：6 天(不含練習時間)

程序書編號：PDI-UT-8 Rev. D

本項驗證考試程序書改版新增 2 吋不同材質焊道覆層檢測試件 2 塊，加上原來 5 塊共 7 塊。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"~0.702"	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"

##### 2. ASME規章要求摘要(Sec. XI 附錄 8 補充 11)

- a. 可使用同一試件作為檢測及長度深度量測。
- b. 每組試件至少需含三種不同管徑(該公稱管徑之 0.9~1.5 倍均可接受)。
- c. 母材瑕疵須為裂縫且於焊道熱影響區開口在內表面，同時延伸深度至少 75%厚度，亦可 100%穿透母材進入覆層。
- d. 熔合不良或疊層至少佔覆層瑕疵的 40%，龜裂至少佔 20%，其餘可為任一型式。
- e. 軸向瑕疵至少佔 20%但低於 40%，其餘為周向瑕疵。
- f. 試件之評量單位(grading units)須分為母材及覆層兩種(其範圍詳述於該章節)。
- g. 每組檢測件之瑕疵數量須由表 VIII-S2-1，每個檢測組最少含 5 個母材及覆層瑕疵評量單位、10 個非母材及覆層瑕疵評量單位。
- h. 每組長度、深度量測試件之瑕疵總數最少為 10 個，其中至少 30%為覆層瑕疵，40%為底部裂上來之裂縫。軸向瑕疵至少佔 20%但低於 40%，其餘為周向瑕疵。僅母材周向裂縫需長度量測，深度量測試件組須包括最少兩個延伸至覆層至少 0.1 吋之不同位置裂縫。

表 VIII-S2-10 檢測能力驗證合格標準

檢測合格標準		誤判合格標準	
瑕疵評量單位數量	最少檢測數量	非瑕疵評量單位數量	最多誤判數量
5	5	10	0
6	6	12	1
7	6	14	1
8	7	16	2
9	7	18	2
10	8	20	3
11	9	22	3
12	9	24	3
13	10	26	4
14	10	28	5
15	11	30	5
16	12	32	6
17	12	34	6
18	13	36	7
19	13	38	7
20	14	40	8

能力驗證及格標準：

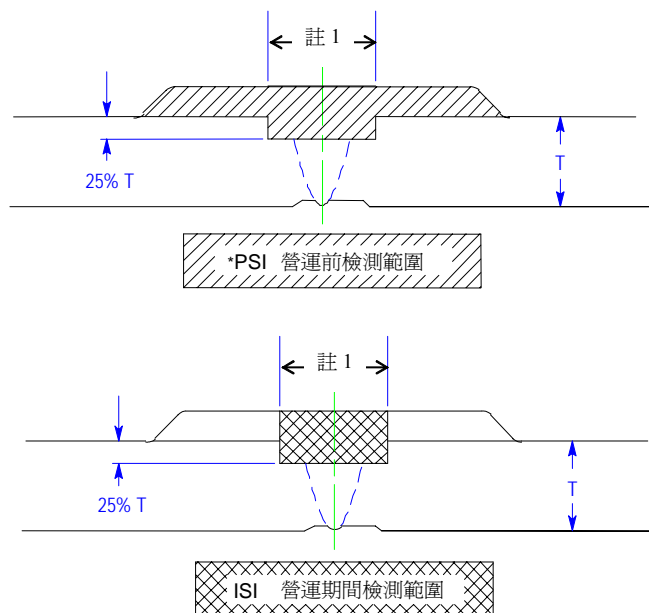
- (1) 缺陷檢出率 80% 以上
- (2) 誤叫率 (False Call) 10% 以下
- (3) 長度的 RMS  $\leq 0.75"$  (不含 Axial 的長度)
- (4) 深度的 RMS  $\leq 0.125"$  (不含 LOB & IBLOF 的深度)

以上 4 項全部合格才算通過考試。

驗證不合格補考時視情況可只考 ISI 或 PSI 或全部重考。

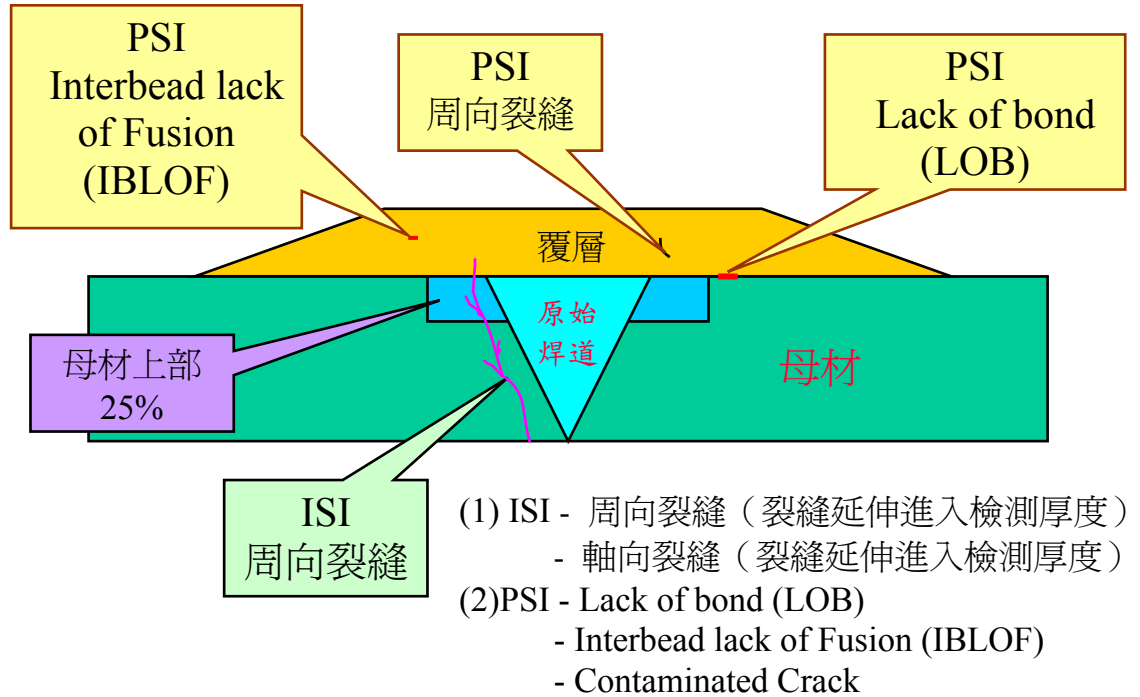
### 3. 覆層銲道超音波檢測介紹

#### a. 覆層銲道檢測範圍



註 1：檢測寬度需涵蓋原始焊冠兩側焊熔線外加至少 0.5 吋，如焊冠寬度或位置不清楚，則須檢測整個覆層焊道表面。

b. 覆層焊道缺陷類別



檢測厚度=母材上部 25%+覆層厚度

c. PSI 瑕疵檢測探頭選用

覆層厚度	探頭角度
≤0.4"	0°, 70°, ODCR (註 1,2,3)
> 0.4" <0.7 "	0°, 70° (註 2,3)
≥ 0.7 "	0°, 60°, 70° (註 2,3)

註 1：假如聚焦深度符合檢測要求，ODCR 探頭可被 70° 取代。

註 2：70° 如無法涵蓋近表面或最大檢測深度時，需加做 ODCR 或 60° 涵蓋檢測範圍。

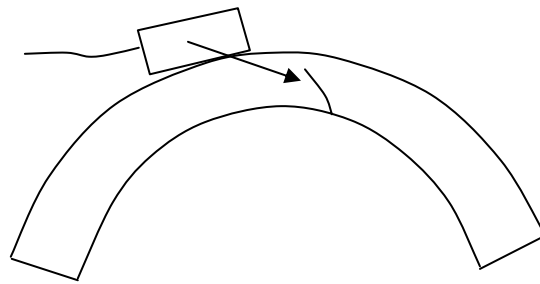
註 3：若 70° 檢測到瑕疵，則該瑕疵區域需加做 ODCR。

d. PSI 原管路母材部分及 ISI 龜裂－檢測探頭選用

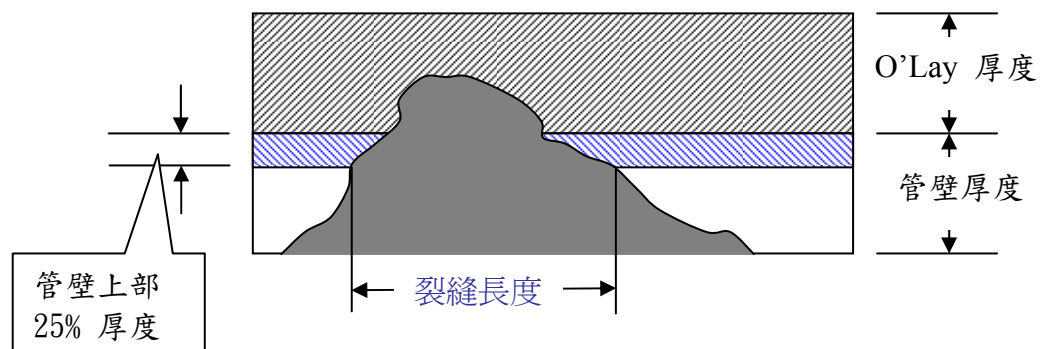
覆層厚度	軸向掃描探頭角度	周向掃描探頭角度
≤0.4"	60° 或 70°	45° 或 60°
> 0.4" <0.7 "	45° 或 60°	45° 或 60°
≥ 0.7 "	45°	45°

#### e. 注意事項

- 1) 考試時需先以角波檢測完畢，經監考官簽認後，再以直波檢測（理由是：直波可能見到所有考試件的缺陷，與現場自然缺陷不同，故 PDI 計劃特別做此規定）。角波檢測與直波檢測所叫缺陷即使重複也不扣分。
- 2) 每一缺陷深度以最深深度之剩餘厚度報告。
- 3) 報告要註明缺陷為：
  - (1) ISI 或 PSI 缺陷
  - (2) 周向或軸向
  - (3) Crack 或 LOB
  - (4) 位置 X 起點、終點
  - (5) 位置 Y 起點、終點
  - (6) 長度
  - (7) RL (Remaining Ligament)
- 4) Axial 缺陷深度量測需矯正弧度造成的誤差，可將探頭入射角及音束行進距離(Metal Path)等數據紀錄於報告上，由 EPRI 考評人員以電腦運算。



- 5) 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。

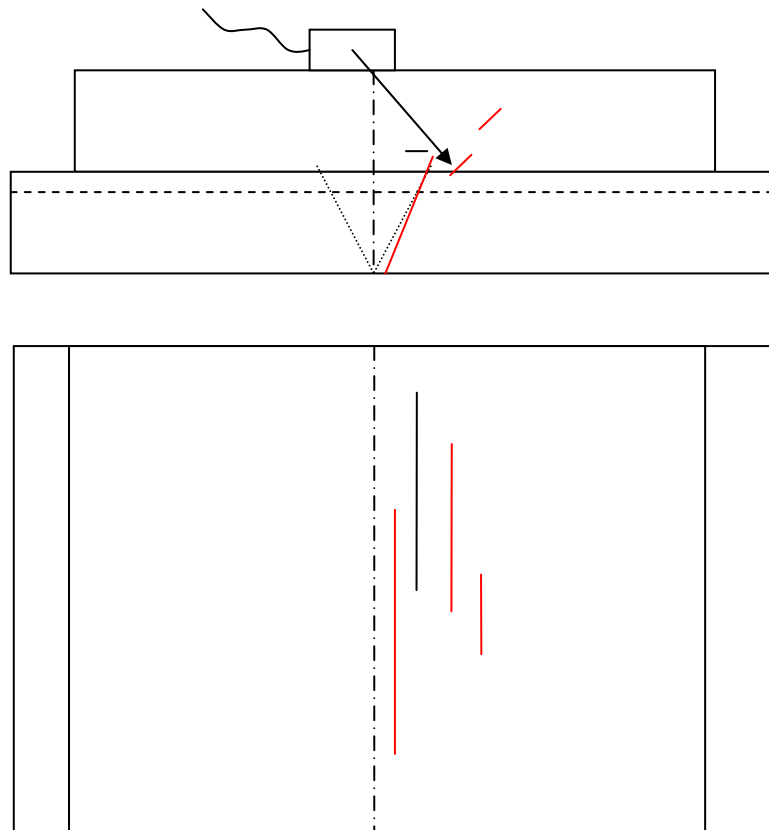


#### 4. 經驗回饋

- (1) ISI 部份以 45°RL 或 60°RL 檢測、70°RL 或 TrCr 輔助，PSI 部份以 70°RL 檢測，TrCr 輔助。角波檢測完畢才以直波檢測（PDI 規定）。

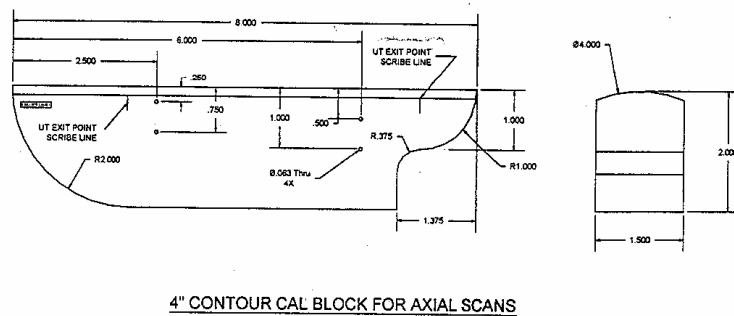
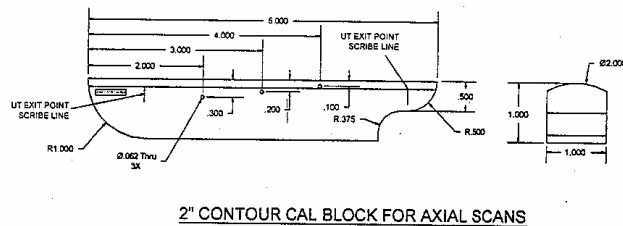
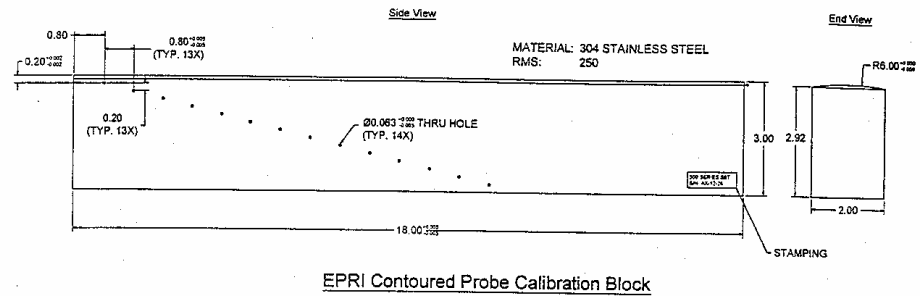
- (2) 頻率以 2 MHz 較佳。
- (3) ISI 缺陷都在原焊道之兩側，有些缺陷並未延伸至檢測區內(原焊道上方 25%)則不需列入報告，檢測時需小心分辨。然後才檢測 PSI 缺陷。
- (4) 28"管件檢測時，厚度大於 1.0"部份，若以 60°RL 檢測，會有偏折現象造成檢測誤差，只能用 45°RL 探頭，晶體大小約 2 (16X26 mm)，聚焦約為 FS=55 mm。但對於剩餘厚度小於 0.7"之 PSI 缺陷可能會遺漏檢出，需使用聚焦較短的 45°RL 探頭再掃描過，才不會漏掉 PSI 缺陷。
- (5) 28"管件 ISI 裂縫深度量測中，須注意很容易量得太深，在找到 tip 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。
- (6) 留意双晶折射縱波探頭的檢測靈敏區，其靈敏區有效範圍為焦距的 0.5 倍至 1.5 倍。
- (7) ISI 瑕疵皆分布於原始焊道兩側，其訊號由上部 25%以下往上連結，而 PSI 瑕疵訊號連接深度有限，僅在覆層厚度範圍。
- (8) 周向 ISI Crack 檢測時，可將探頭入射點置於鐸道中心線上，分別向上、下游掃描，打 Crack 的 Face，有助於分辨上、下游同時存在的 Crack。將每一各別缺陷信號詳細分辨，將其位置及深度標示鐸道橫剖面上，再將探頭沿周向橫移，量測每一各別裂縫的周向長度，可有效的量測裂縫長度並分辨裂縫與 LOB。

如下圖所示：



- (9) 依據 Troy 之說法:凡是 EPRI Overlay 試塊,檢測到 Axial Flaw 時,該 Flaw 一定延伸至上部 25%之檢測範圍,不會故意設陷阱。
- (10) ODCR(70C2)量測剩餘厚度通常效果不錯(除了 28"以外),校準時可採用 Metal Path 方式,同時將正確角度輸入儀器內,即可讀出 Depth (DA)及 1/2 跳距(RA)。
- (11) EPRI 針對不同管徑覆層焊道製作多種曲形校準塊,適合對應之曲面探頭校準,可使精準度提高。

如下圖所示:



**Figure 4**  
**Contoured Probe Alternative Calibration Block for Axial Scans**

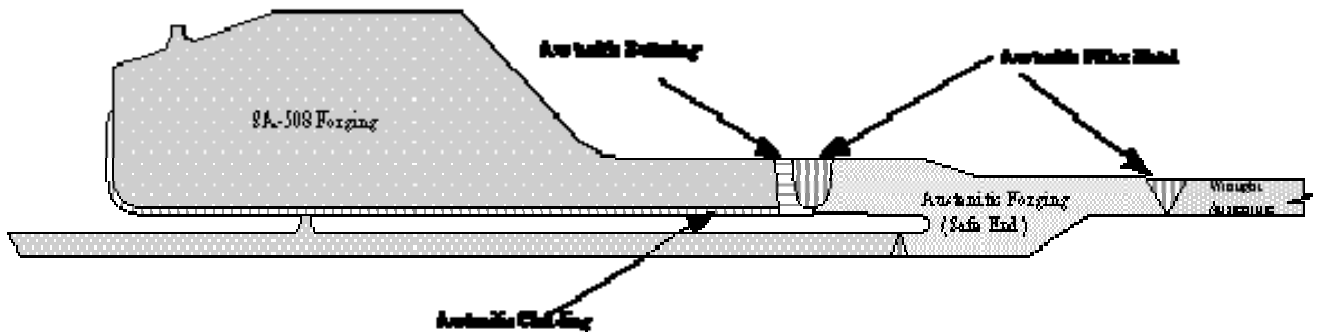




## 五、不同材質焊道(Dissimilar Metal)能力驗證考試

### (一) 前言

DM (Dissimilar Metal Weld) 不同材質之焊道，在核電廠反應爐結構中，為使反應爐之爐水進出管嘴與不同材質的管路有效連接，故有此特別之設計。DM 就是將不同材質做連接的焊道如 SS316 連接 SA508，以 INCONEL 182 BUTTER 焊於管嘴 SA508 碳鋼材質上，再以 INCONEL 182 or 82 將 SS316 與 INCONEL 182 BUTTER 連接，確保管路之完整性，維持反應爐壓力邊界之完整。



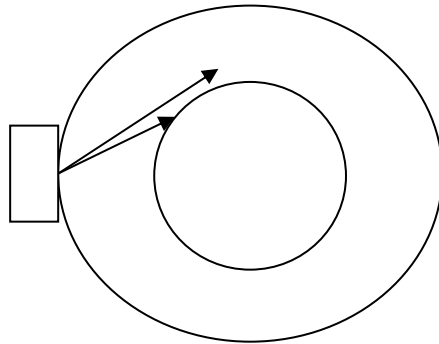
INCONEL 材質本身晶粒，不易以傳統之橫波探頭穿越檢測，必須以高穿透性低頻之折射縱波探頭來檢測。EPRI 美國電力研究所建構之 DM 焊道試件 11 件，管壁厚度 0.28”~ 5.16”，管徑大小為 2”~ 36”及平板構件。檢測 DM 焊道首先需考慮探頭穿透管壁厚度之聚焦，且考慮管材表面弧度，如何有效的傳遞超音波能量。譬如 1” 管壁厚以 45°來檢測，其內表面之長度聚焦為 1.4” ，60°為 2.0” ，而 70°則為 2.8” 。

### (二) 檢測注意事項

1. 仔細閱讀程序書：程序書詳細說明了檢測時應該使用的儀器，檢測的方法，檢測探頭參數設定等
2. 瞭解試塊焊道結構尺寸：EPRI 設計之管件可分為 11 種，每種均有不同之焊道結構，檢測前須了解焊道設計之詳細資料。
3. 挑選適用探頭(檢測軸向 Flaw)：有效的聚焦深度，才能找到 FLAW，如果用錯了探頭將無法檢測所要的瑕疵，這是特別注意的地方。檢測周向 Flaw 時則須考慮有效的最大入射角。
4. 11 件試片均為單邊掃描，音波的路徑很重要，需留意探頭有效之檢測區域及掃描範圍。應在每一試塊檢測前先分別畫上焊道中心線及 45 度、60 度線掃描範圍，依探頭 SCAN 時的位置判定瑕疵位置。在量測長度時需注意探頭之聚焦深度，若聚焦太短而量測無法達道底層，而長度不夠長。
5. 規劃考試流程：考試時每次推出一組尺寸相似試塊，分為 Small(701,702,703,704)、Mid(705,706,707)、Big(708,709,710) 及 Super

Big(712)四組，等考生交出檢測報告後再送另一組，建議從 Mid 或 Big 組開始建立信心，好的開始是成功的一半。

6. 充分利用練習試塊：DM 考試時與其他 PDI 不同，EPRI 未提供有 NOTCH 的規塊，因此考生只能利用練習試塊的 Flaw，根據此 Flaw 的振幅高度，設定檢測時 Gain 值，但大部分練習試塊 Flaw 很深振幅高,參考檢測 db 值要小心謹慎。
7. 因 DM 主要為反爐管嘴與管件之連接，單邊掃描時瑕疵均有很高之訊號雜訊比，通常為 4 倍以上，所以周向(CIRC)的瑕疵只要選對探頭，瑕疵訊號並不難辨認。為了增加檢測之困難度，試件中設計了許多之軸向(AXIAL)瑕疵。每一試件組合中最少有 3 個 AXIAL。而且有些 AXIAL 非常的淺。在檢測時一定要用 45°縱波來掃描，並且有些試件之探頭角度亦有限制。



70146°

70246°

70349°

70442°

70552°

此為最大的容許角度，超過此角度有可能打不到根部。

而且每一方向皆要掃描，並做 SKEW 掃描，找到瑕疵後再用 60°做驗證。AXIAL 之瑕疵訊號因試件表面曲面之緣故，折射縱波特有之 CE1 及 CE2 並不明顯。

8. SCAN 規定範圍：Scan 範圍包括調和金屬(butter)、整個厚度及焊道兩邊 1/4 吋，如 704 試塊軸向 Scan 時探頭放在斜坡上，但是周向 Scan 探頭則放在焊道上。
9. 分辨 Flaw 與界面回波：折射縱波進入 butter 界面時或如 710 試塊有上下雙 V 單邊 Buttering,界面回波非常明顯，須要仔細分辨 Flaw 與界面回波，不可任意提高 Gain。
- 10.綜合 DM 的考試經驗，檢測時需多加耦合劑使探頭與試件表面耦合良好，掃描速率不大於每秒 2 吋。考試當中需對照著焊道設計圖做，了解焊道所有資訊。檢測程序書規定折射縱波檢測後須用橫波來驗證。但橫波穿透能

力不強，只能做到近邊側之缺陷。除非是管壁厚度低於 0.5 吋才以橫波檢測為主。但校準記錄上仍得要有橫波之記錄。且要有其 db 值。掃描之靈敏度以 10~20% 雜訊即可。各種折射縱波探頭 EPRI 均有提供。

### (三) 策略與回饋

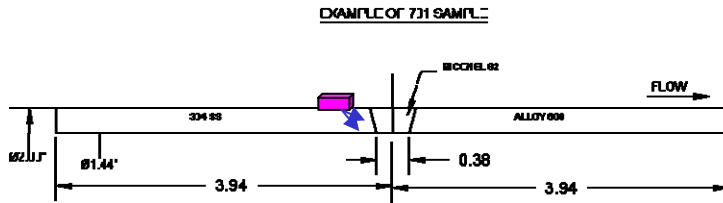
1. 保守策略 Call Flaw：考試規則 MISS CALL 允許 20%，FALSE CALL 只允許 10%，每組大約允許 2 個 Miss 卻只允許 1 個 Fass，採取較保守策略只 Call 較明確 Flaw，EPRI 有句名言：“False Call Kill You”，因為大部分練習試塊 Flaw 很深振幅高，如果考試試塊的 Indication 較淺時振幅不太夠時，“CALL OR NOT CALL”就要小心謹慎。
2. 長度量測用 45 度探頭：長度量測時以振幅快速下降至 Noise Level 為端點，在兩端點再前後 Scan 確定振幅未上升，例如 708 試塊加考長度量測時，在一端點前後 Scan 振幅又上升綿延約 1 吋，707 試塊長度量測時，在一端點前後 Scan 振幅回升至 30~40%綿延約 0.7 吋，不高不低難以決定，叫 0.35 吋，其次根據 EPRI 指導人員說明：長度量測重考及格率只有 1/3，此外長度量測應以 2MHZ 之 45°為主。若以 60°來量測則是擴散角較大，量測長度可能過長而導致長度量測失敗。例如 703 試塊加考長度量測時，縱波探頭無法有效找到 Flaw，只有 45 度橫波探頭才能找到 Flaw。在程序書中規定長度量測須包括一定數量及各類型的 Flaw，所以當考生通過 DETECTION 時，長度量測部份加考試塊是常見的，甚至加考 2 塊試塊。
3. Flaw 數量類型：每一試件組合中大約有 12~15 的 Flaw，最少有 3 個 AXIAL，可能有 1 或 2 塊試件是 NRI，其次 Flaw 分佈包括在母材，焊道、buttering 位置。

三組試件 Flaw 數量類型統計表

Flaw 組別	近邊 (周向 Circ)	遠邊 (周向 Circ)	軸向 Axial	總數	NRI 試塊
SET 1	2	8	5	15	2
SET 2	2	7	3	12	2
SET 3	1	8	4	13	2

(四) 各類型試塊形狀及檢測要領

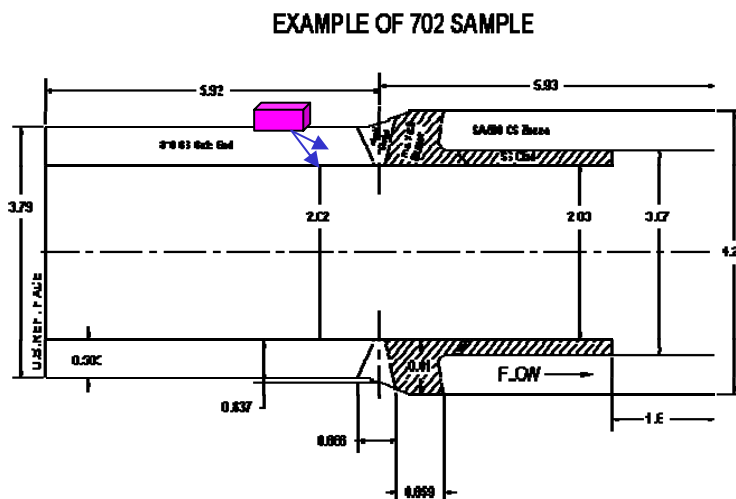
試塊類型：701 BWR Standby Liquid Control



701: 2吋管  
 軸向檢測:  
 0.25吋, 2.25MHZ, 45S, 60S  
 及70S.  
 周向檢測:  
 小於45S.

練習試塊在中心線偏上游負  
 1吋有Axial Flow, 沒有Circ  
 Flow但是有Buttering與焊  
 道界面回波.

試塊類型：702 PWR Pressurizer Spary

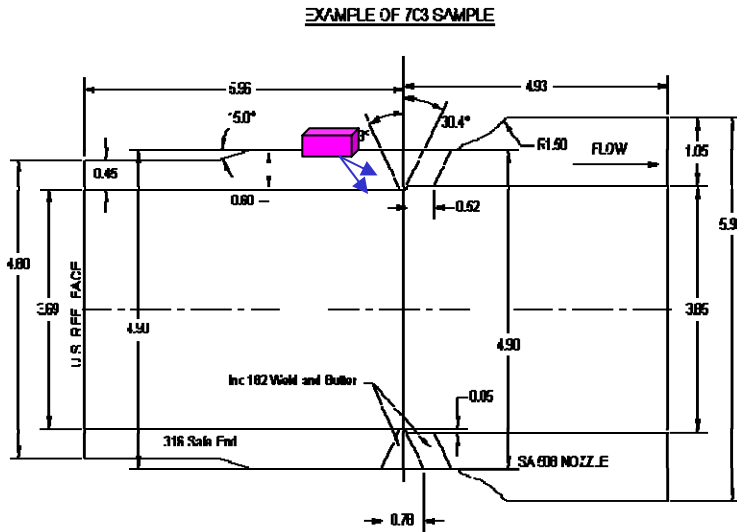


702: 0.8吋厚  
 軸向檢測:  
 以0.25, 2.25MHZ, 60S  
 及CSS60L2-FS(15, 23) 或  
 CSS70L2-FS15.  
 周向檢測:

練習試塊有Circ Flaw但  
 是深度大約70%非常容易  
 檢測, 小心考試試塊檢測  
 db設定.

## 試塊類型：703

## BWR CRD&Jet Pump



703: 0.6吋厚

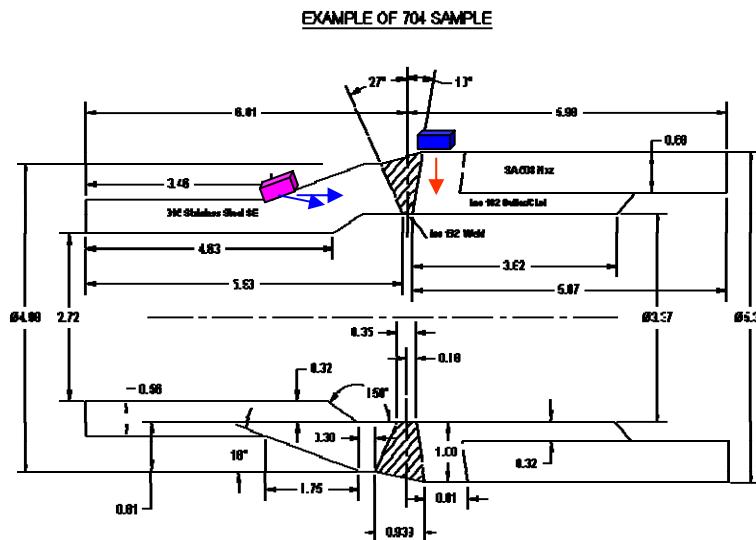
軸向檢測：  
以0.25, 2.25MHZ, 60S  
及CSS60L2-FS(15, 23) 或  
CSS70L2-FS15.

周向檢測：  
CSS31L2-FS25.

結構與702相似。

## 試塊類型：704

## PWR Pressurizer Spray Nozzle



704: 厚度變化0.56-1吋

軸向檢測：  
0.375, 2.25MHZ, 60S, 70S  
及CSS70L2-FS(23).

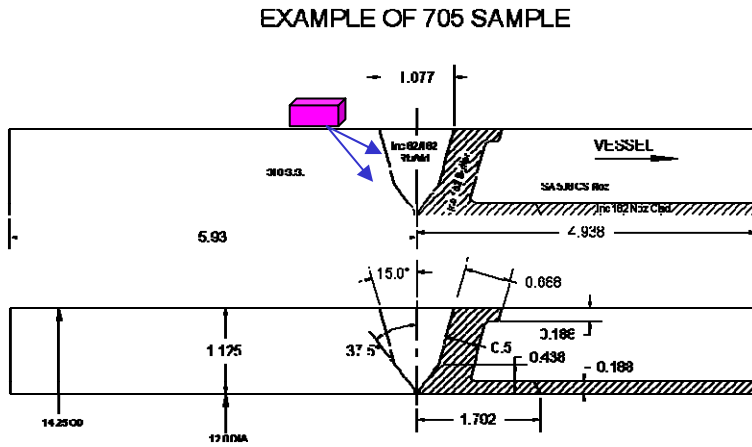
周向檢測：  
CSS31L2-FS33.

結構特殊, 在斜面上軸向  
檢測, 在Buttering上周向  
檢測, 長度量測要在焊道  
上.

當檢測 704 管件時因有幾何形狀如上圖, 須在曲面上掃描要事先規劃好音波路徑, 關如 A 為 45°音束所含蓋的範圍只能檢測探頭側焊根前之瑕疵, B 為 60°音束所含蓋的範圍只能檢測焊根附近之瑕疵, C 為 70°音束所含蓋的範圍只能檢測探頭對側之瑕疵。

試塊類型：705

BWR Standby N2 Nozzle



705: 厚度1.125吋

軸向檢測:

0.375, 2.25MHZ, 45S, 60S  
及45L2-(30), 60L2(55),  
CSS60L2(38).

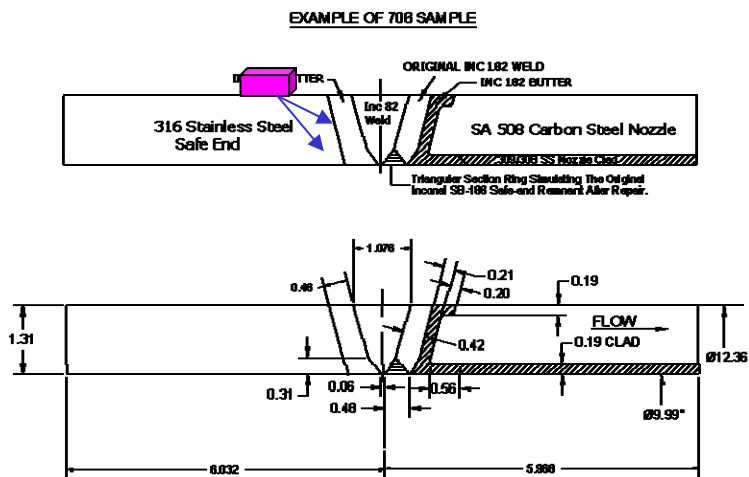
周向檢測:

45L2-(30).

單邊Buttering容易檢測.

試塊類型：706

BWR N2 Nozzle Replacement



706: 厚度1.31吋

軸向檢測:

45L2-(30), 60L1.5(40),  
CSS60L2(38).

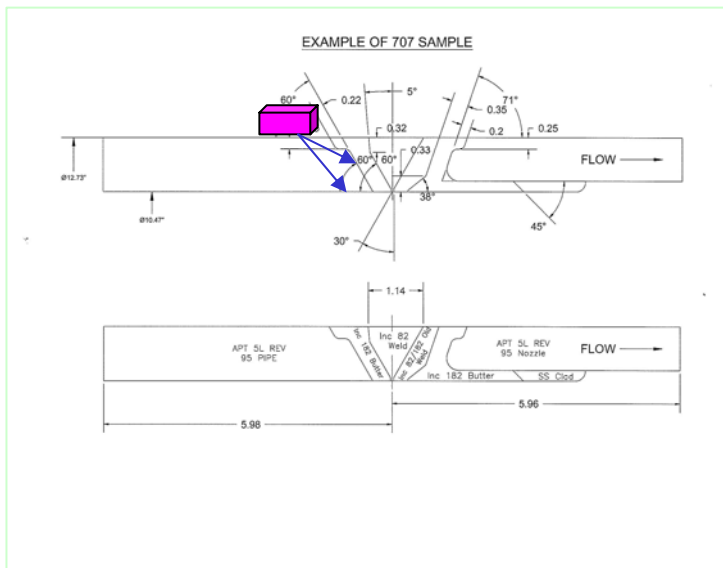
周向檢測:

45L1-(30), 45L2-(30).

雙邊Buttering只能使用  
縱波檢測, 小心檢測db設  
定, 要仔細分辨Buttering  
與焊道界面回波, 探頭往  
前推時, Flaw有ce1, ce2回  
波但不高.

試塊類型：707

BWR N4 N5 N6 Nozzle



707: 厚度1.1吋

軸向檢測:

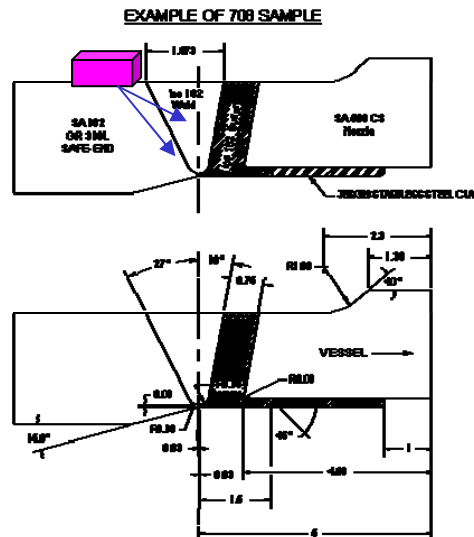
45L2-(30), 60L1.5(40),  
CSS60L2(38).

周向檢測:

雙邊Buttering只能使用  
縱波檢測, 小心檢測db設  
定, 要仔細分辨Buttering  
與焊道界面回波.

試塊類型：708

PWR 18" Pressurizer Surge Nozzle



708: 厚度2吋

軸向檢測:

45L1.5(75), 60L1.5(105)  
,  
CSS60L1.5(76).

周向檢測:

40L1.5(77), 45L1.5(76).

單邊Buttering容易檢測.

試塊類型：709 BWR Recirculation N1 Nozzle

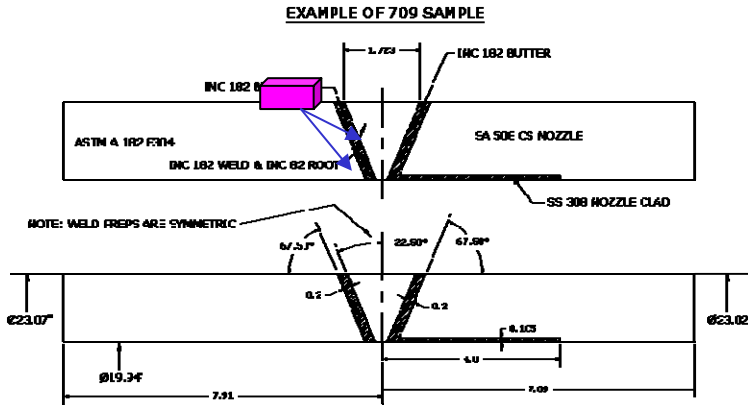
709: 厚度1.57吋

軸向檢測:

45L1.5(40), 60L1.5(75),  
CSS60L1.5(76).

周向檢測:

40L1.5(56), 42L1.0(75).



雙邊Buttering只能使用縱波檢測, 小心檢測db設定, 要仔細分辨Buttering與焊道界面回波.

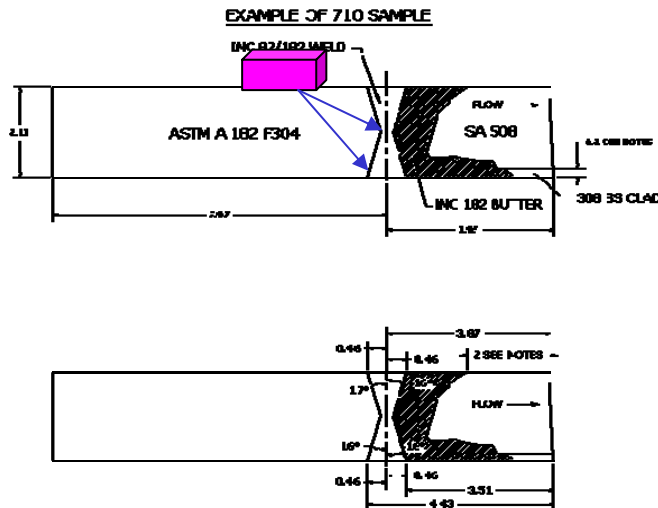
試塊類型：710 28" BWR N1 Nozzle  
Double-V

710: 厚度2.15吋

軸向檢測:

45L1.5(75), 60L1.5(105),  
CSS60L1.5(76).

周向檢測:

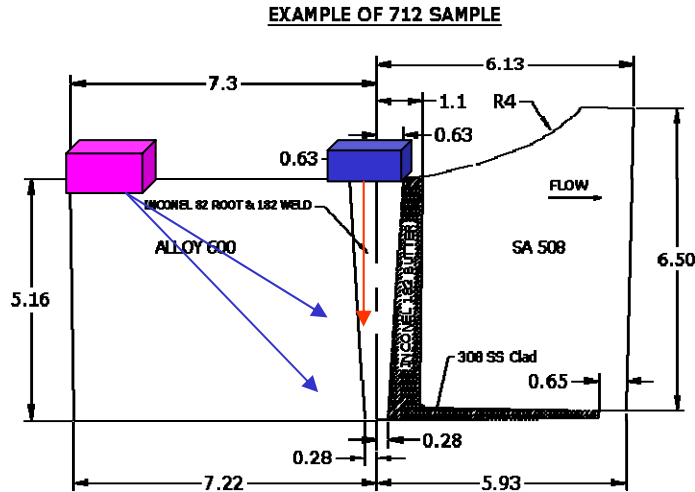


上下雙V單邊Buttering, 界面回波明顯, 練習試塊有Axial Flow, 沒有Circ Flow, 考試時參考708檢測db設定.



試塊類型：712  
narrow groove weld Nozzle

PWR S/G



712: 厚度5.16吋  
軸向檢測:  
45L1(100), 60L1(125).  
周向檢測:  
40L1(100).

45L1容易分辨訊號, 60L1確認Flaw與Corner回波, 因為試塊長度不夠(10吋), 60L在沒有Flaw處直接打到Corner, 回波很高是很好參考的反指標, 周向檢測db值與軸向相同即可。

## 六、螺栓(Bolts)及螺樁(Studs)直波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 C 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件，試件編號 901/O、903/T、905/E、908/D。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 提、背包及電子設備、手機等集中放置於門口。
- 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。
- 2.5 不得以鉛筆作答，必須用墨水筆作答。
- 2.6 必須使用經由 EPRI 認證的超音波檢測設備。
- 2.7 可以向 EPRI 借用經由 EPRI 認證的探頭及連接線。
- 2.8 所有的瑕疵都可以檢測出來。
- 2.9 EPRI 不再告知 Candidate 任何一科考試瑕疵的數量。

- 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。
- 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。
- 2.12 考試時可以利用練習試件做為考試件的參考。
- 2.13 時間到交卷時，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。
- 2.14 考完試後須將試件上的耦合劑及註記擦拭乾淨。
- 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。
- 2.16 Yellow Paper 及手寫的筆記、便條紙等均不得攜出熱室。

### **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 O°縱波探頭。
- 3.3 同形式的 5MHz 探頭，可用來和 10.0MHz 在檢測時互相比對，或者在評估顯示時使用。
- 3.4 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、DSC，step wedges 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 地區 1 (Zone 1) - 調整增益控制，使來自地區 1 的人工刻槽信號回波達到全螢幕高的 80%。
- 5.2 地區 2 (Zone 2) - 調整增益控制，使來自地區 1 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 地區 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延伸一寸以及頂部無螺帽之螺栓及螺樁自螺絲區域延伸一寸。
- 6.2 地區 1 (Zone 1) 的檢測範圍底定後剩餘的區域就是地區 2 (Zone 2) 的檢測範圍。

## 7.0 掃描技巧

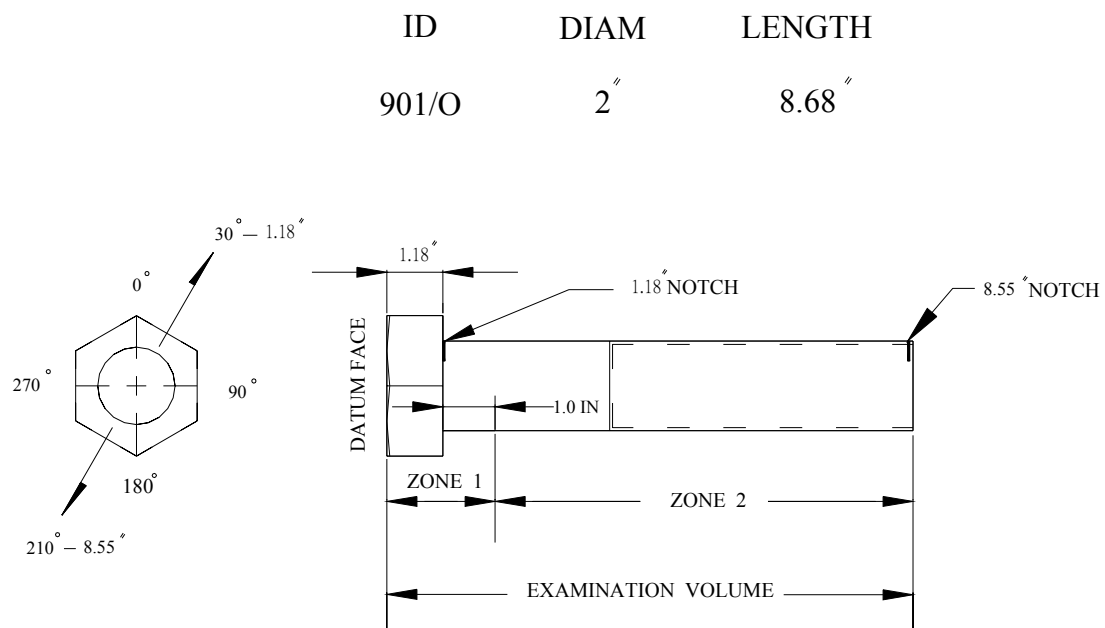
- 7.1 應執行軸向及周向掃描，掃描時每一道間距須有使用的晶片尺寸至少 10 %的重疊。
- 7.2 掃描速度每秒不得超過 2 寸。
- 7.3 檢測時的掃描靈敏度增益宜設定在校準時來自人工刻槽 50 到 80%的信號回波。

## 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。爲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，則表示此爲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 5MHz 探頭來評估顯示。
- 8.4 頸部及底部的瑕疵宜善用儀器上能將信號回波局部放大（magnify）的功能加以確認。

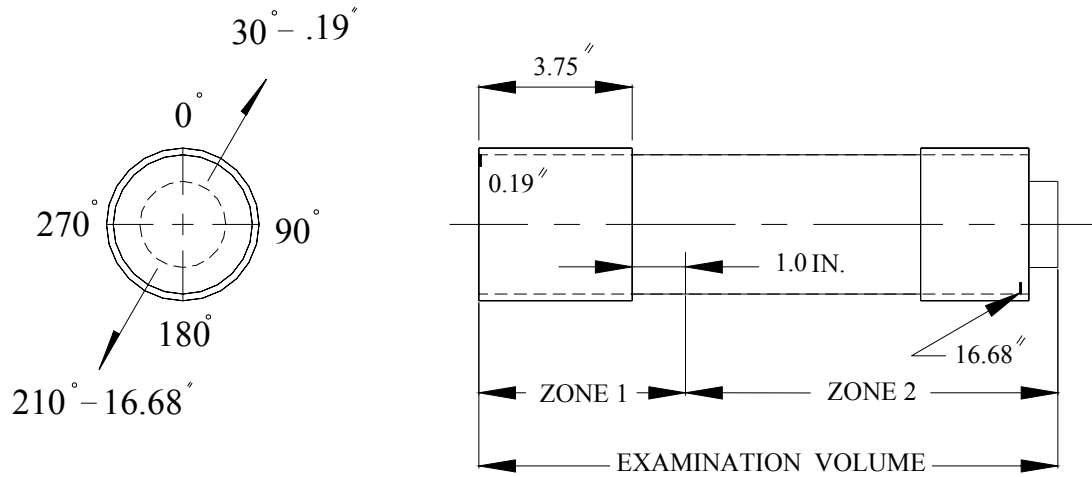
## 9.0 結論

- 9.1 EPRI 借給 Candidate 四顆 10.0MHz-0.500" 的 O°縱波探頭及連接線。經測試後，其中一顆故障。以上方包覆了圓形塑膠的探頭最適合，不但好拿而且掃描時很順暢。
- 9.2 開始實作前需熟讀程序書，不計時間。
- 9.3 開始實作前需認識考試件的材質、構造、直徑、長度、檢測區域、人工刻槽位置等，不計時間。



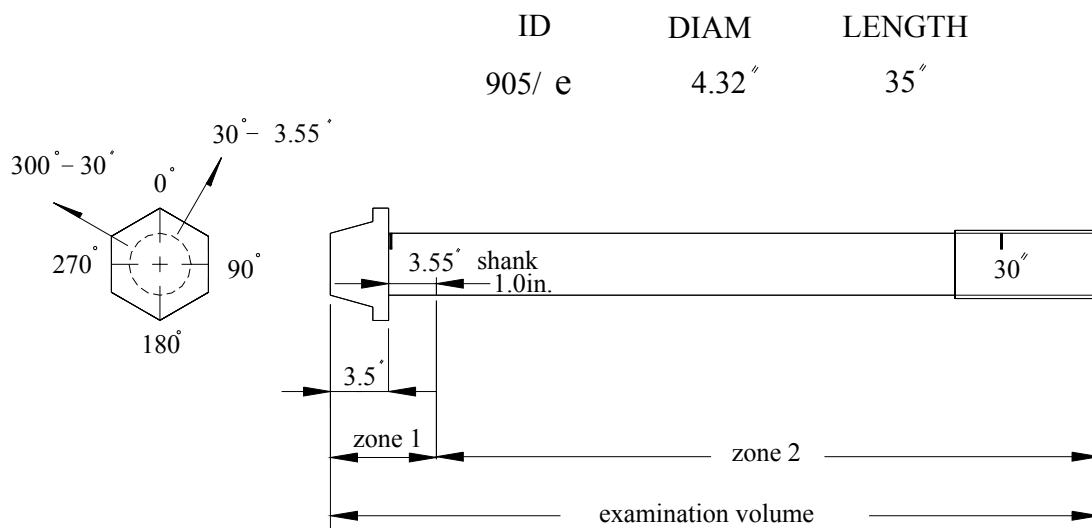
- 9.4 考試件 901/O 的校準螺栓為 T 型螺栓，離頂部 1.18" 的頸部安排了一個人工刻槽，則 zone 1 的時基距離為  $1.18" + 1" = 2.28"$ 。為能保持解析度，設定 4" 的全螢幕寬較理想。
- 這個 notch 的回波與螺帽的回波連在一起，必須在正確的方位角 (Azimuth Degree) 掃描到兩個連在一起此起彼落的信號時，利用儀器上的放大 (magnify) 功能將信號局部放大後方能確認，將此信號振幅定在全螢幕高的 80 到 100%，即完成 zone 1 校準。
- 雖然 8.55" notch 幾乎已在底部，將全螢幕寬定在 10.0"，只要確認和底部回波連在一起的 notch 回波，依照 zone 1 校準方式，則可完成 zone 2 校準。
- 9.5 檢測時以 cal.dB 為佳，正確的校準，檢測瑕疵時才能事半功倍。
- 9.6 考試檢測結果，zone 1 無瑕疵，zone 2 檢出一個瑕疵。

ID	DIAM	LENGTH
903/T	2.58"	18.14"



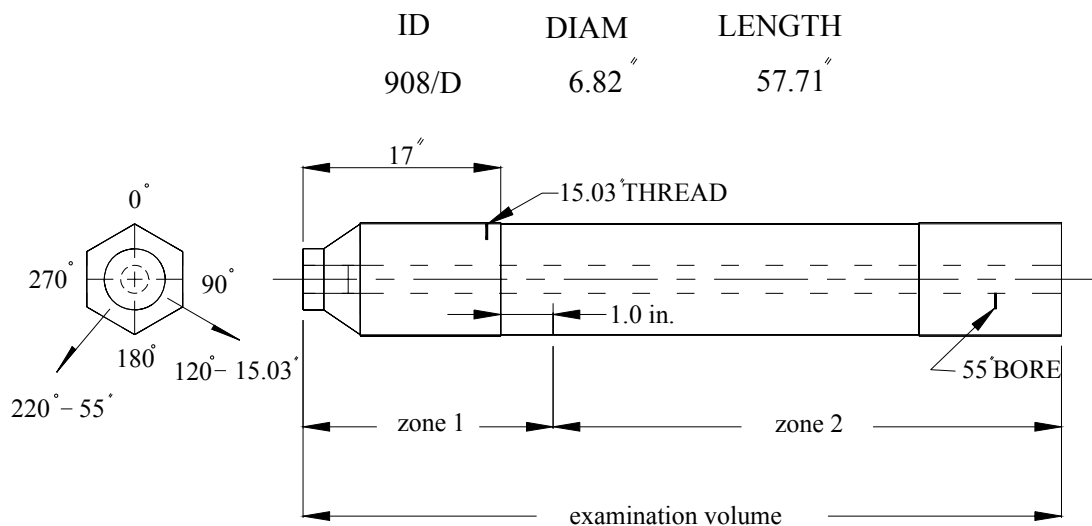
9.7 903/T 的校準較為困難，EPRI 的探頭性能不錯，只要角度正確，初波後的信號就是 0.19" 的 notch。校準時，探頭約露出 1/4 放置在 DATUM FACE 外緣上，露出的 1/4 必須用耦合劑連著下面突出的螺紋才能檢測到 0.19" 的 notch。以 gate 量測出來的深度為 0.203"。

9.8 考試檢測結果，zone 1 無瑕疵，zone 2 檢出兩個瑕疵。



9.9 905/e 校準的方式及困難度與 901/O 相同，

9.10 考試檢測結果，zone 1 檢出兩個瑕疵，其中一個瑕疵和 3.55" 的 notch 相似，並且位在外緣，如果不夠仔細就檢測不到。zone 2 檢出一個瑕疵。



9.11 908/D 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。

9.12 必須完成軸向及周向掃描。

9.13 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。

9.14 考試檢測結果，zone 1 及 zone 2 各有一個瑕疵。

## 七、討論與建議

1. EPRI 發行各項能力驗證考試的“Guided Practice”，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. 林訓練習塊瑕疵走向較 EPRI 試塊傾斜度大，建議增購幾塊斜度小者。
3. 日本核電廠 SS316 管路焊道(與核一廠再循環管路相似)，有部份裂縫穿入焊接材料內，建議在林訓增購類似練習塊。
4. 自動超音波 Phase Array 檢測技術已漸成未來主流，在 EPRI 考相關證照者已漸趨普遍，使用之設備大都為 RD TECH.產品，佔有率相當高，宜陸續引進跟上潮流，提升自主能力，減少人員暴露劑量。
5. 覆層焊道檢測(Overlay)能力驗證考試試件已重新設計製作，又增加 2 吋不同材質焊道覆層檢測，比舊有的考試困難許多，需要同時做檢測 (Detection)、長度評估(Length Sizing)與深度評估(Depth Sizing)，對軸向 (axial) 瑕疵深度評估更須細心，且要選用適合的探頭配合公司現有性能良好的數位式 K'K USN60 超音波檢測儀器，又在赴 EPRI 考試前，預先於林口訓練中心作好儀器探頭所需的校正，以模擬試件實做練習，準備越充分考試越有信心。
6. EPRI 覆層焊道檢測新版程序書首次執行驗證，仍在評估中，定案後即會公佈於 EPRI PDI 網頁，下一批考生可先閱讀作準備。覆層焊道檢測使用之曲形校準塊在程序書內有設計圖，可考慮購置建立以利曲面探頭校準，另外在覆層焊道檢測考試時可考慮一邊練習一邊考同管徑之試件，節省尋找探頭的時間。
7. 不同材質焊道 DM (Dissimilar Metal Weld) 檢測能力驗證資格考試，今年已列入重點優先項目之一，且獲致優良成績；建議依各核能電廠機組管路 DM 焊道之尺寸、特性與檢測需要，逐步購買直至有足夠的專用檢測探頭(需

具有曲面，以增加檢測靈敏度)，以符合法規要求，且不需再請國外合格檢測員參與核能機組營運期間檢測工作。

8. 將每年在 EPRI 參加 PD 能力驗證考試經驗做整理，在檢測人員之間互相切磋交流傳承，則除了後續參加考試可提高及格率外對整體人員精進檢測技術會有極大助益。
9. 本項超音波檢測能力驗證考照需要較長時間，出國任務被類為實習，出國期間日用費每天僅美金 54 元(折合台幣約 1700 元)，連最簡單的旅館幾乎都住不起，更遑論生活交通等開支，希望未來能有合理的生活日用費。
10. EPRI 能力驗證考照及練習費用每人約需 7000 美元左右，由考生攜帶至 EPRI 繳交風險較大(匯兌損失、旅途遺失等)，建議此項費用委由綜研所統籌依實際考照費用發票繳交。