

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：蔡錫聯、許炳森、楊海明、陳振宇  
/核能工程監、核能工程師

派赴國家：美國

出國期間：自民國 95 年 6 月 10 日至 95 年 7 月 28 日

報告日期：民國 95 年 8 月 31 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 35 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

蔡錫聯、許炳森、楊海明、陳振宇/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95年6月10日至7月28日 出國地區：美國北卡電力研究院

報告日期：95年8月31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：裂縫檢測(Detection)、覆層焊道檢測(Overlay)、相異金屬焊道檢測(Dissimilar Metal)等三項。考試結果，本次參加的四人中有兩人三項均合格，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

內 容	頁次
一、目的與過程	2
二、裂縫檢測(Detection)能力驗證考試	3
三、覆層焊道檢測(Overlay)能力驗證考試	12
四、相異金屬焊道檢測(DM)能力驗證考試	20
五、討論與建議	34

## 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爲 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

爲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，今年共選派四人參加三種超音波檢測能力驗證資格考試，分別爲：裂縫檢測 (Detection)、覆層焊道檢測 (Overlay)、相異金屬焊道檢測 (Dissimilar Metal)。

資格考試結果，有兩人三項均合格，另兩人各有二項合格：

姓名	裂縫檢測		覆層焊道檢測	相異金屬焊道檢測	
	檢測能力	長度量測		檢測能力	長度量測
蔡錫聯	合格	合格	合格	合格	合格
許炳森	合格	合格	合格	合格	合格
陳振宇			合格	合格	合格
楊海明	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。本次有四人參加，一人爲初次授證考試，僅考碳鋼及不銹鋼(不含 IGSCC)的裂縫檢測與長度量測，另三人爲再授證考試，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(IGSCC)及瑕疵(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 塊有縱向焊道。
- (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)將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。
- (12)考試時可以利用練習試件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秀給 EPRI 考官
- (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)本次參加驗證四人都使用經過 EPRI 認證的超音波檢測儀 USN 60 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 度，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，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。

(4) USN-60 數位超音波檢測儀，其設定要求如下表所示：

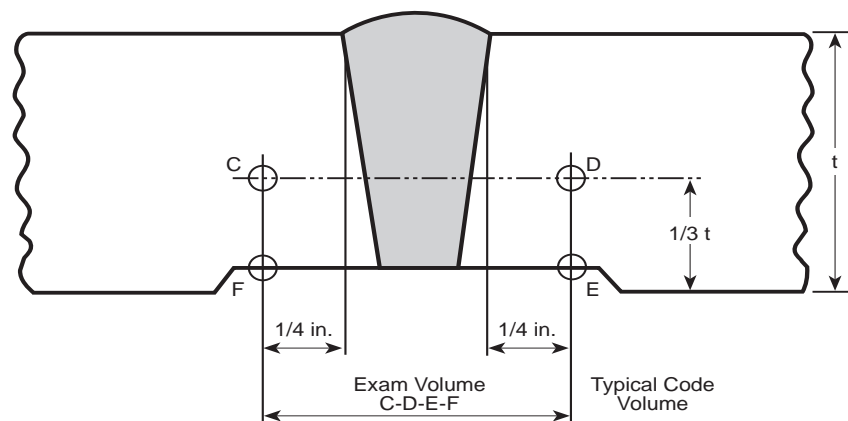
USN-60							
探頭頻率 (MHz)	Energy	阻尼	PRF Mode	儀器頻率 (MHz)	Rectify	Reject	Display Start
1.0	High	1k	Auto high	1.0	Full Wave	0	IP
1.5	High	1k	Auto high	2.0 or 2.25	Full Wave	0	IP
2.0	High	1k	Auto high	2.0 or 2.25	Full Wave	0	IP
2.25	High	1k	Auto high	2.0 or 2.25	Full Wave	0	IP
3.0	High	1k	Auto high	2.0 or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

- (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 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

- (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 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

(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	
		Inches	mm
≥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距離。例如： $T \times \tan 45 = 45^\circ$  的探頭入射點到銲道中心線的距離，以確定音波能有效的涵蓋檢測區域， $60^\circ$  及  $70^\circ$  依此類推。

(6)依照 EPRI Yellow Paper 排定的探頭順序掃描檢測： $45^\circ\text{S}-1.5\text{MHz} > 45^\circ\text{S}-2.25\text{MHz} > 60^\circ\text{S}-1.5\text{MHz} > 60^\circ\text{S}-2.25\text{MHz} > \text{RL}$

(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°S 探頭置於母材上，以足夠的音波斜向焊道的方式掃描。掃描時，探頭歪斜指向焊道的角度以 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、右斜向焊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)沿著焊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)繪製焊道剖視圖時，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，探頭越接近銲焊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 檢出焊道兩側的可疑顯示，再以 45°Shear 2.25MHz 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°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 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 (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，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。

(3)考試時，EPRI 對准予考生 Relook 之新規定比以前嚴格，考生想要 Relook 須提出對程序書強而有力的理由，EPRI 考官才會核准。這次我因檢測完所有試塊仍未找到 Axial Indication，研判可能藏在 306 試塊裡面，所以要求考官要 Relook 306 試塊，考官問我要 Relook 理由，我回答說我 miss a Axial Indication，他認為該理由與程序書無關，不准我 Relook。所以任一試塊要很有把握才繳卷，否則想要 Relook 須看考官臉色。

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、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：7 天(不含練習時間)

程序書編號：PDI-UT-8 Rev.E，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。

(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。

(3)報告要註明缺陷為：

- 1) ISI 或 PSI 缺陷
- 2) 周向或軸向缺陷

3)缺陷為Crack或LOB或LACK OF FUSION

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波檢測，角波檢測與直波檢測所叫缺陷即使重複也不扣分。

(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

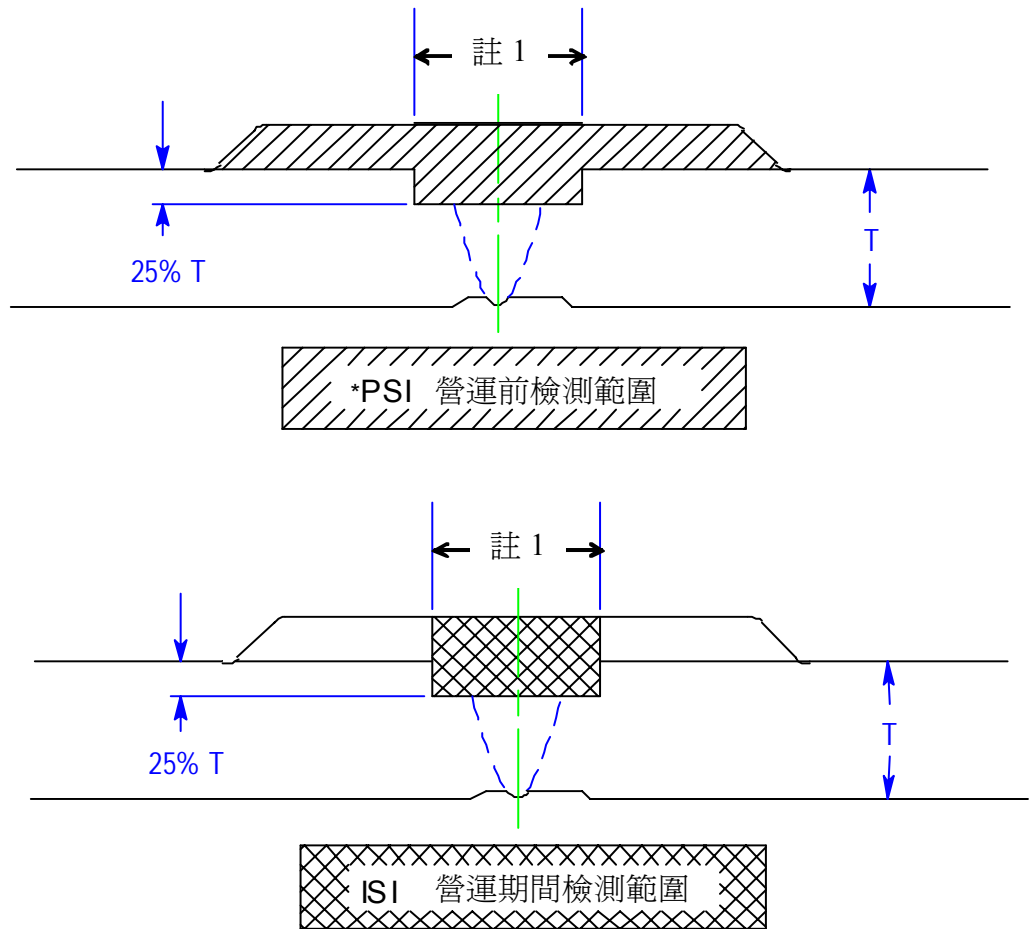
3) 長度的RMS $\leq$ 0.75" (不含Axial的長度)

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



### (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。

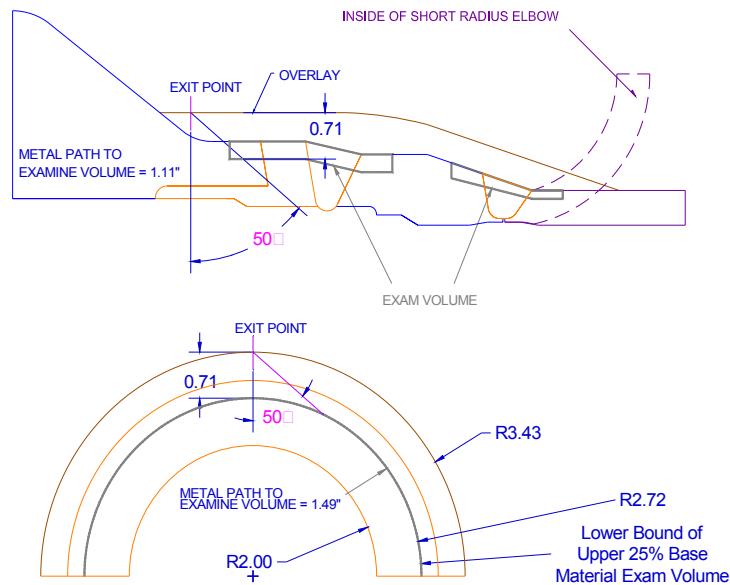
對厚度<0.60 PSI覆層檢測，70探頭焦距為覆層厚度之60%到125%。

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 :

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

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

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

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

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

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

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

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

$$sp^2 = 2.22$$

$$sp = \sqrt{2.22}$$

$$sp \approx 1.49$$

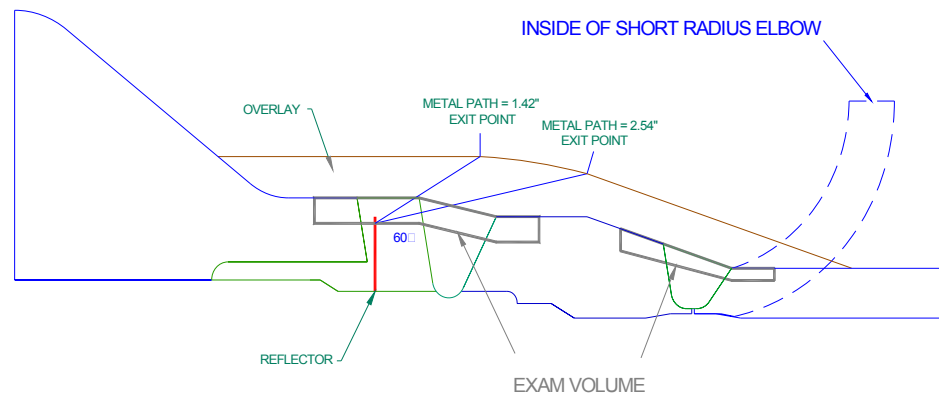
r1 = InsideRad (Upper 25%)

r2 = OutSideRad

sp = SoundPath

θ = Re fractedAngle

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 OVL 的檢測深度，很快就能找到須要的探頭。

(2)覆層焊道檢測較耗時，須要先作檢測，再作缺陷長度深度評估，以及缺陷種類辨識，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

(3)新版程序書對探頭的選用作更嚴格的規範，也更能幫助檢測出缺陷，程序書內的各項數據設定儘量熟記，考試時方不致手忙腳亂，未來的檢測工作更能迅速正確的執行。

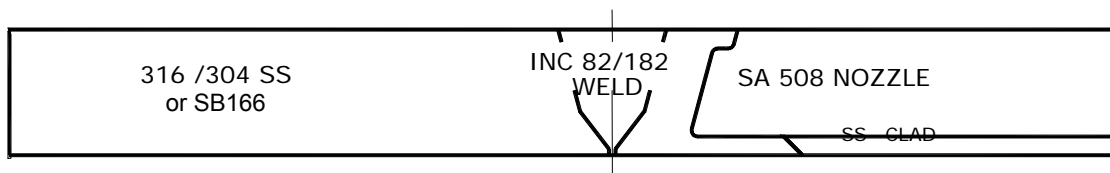
(4)練習指導時常提到 devil advocate 的觀念，就是以不利於自己的角度去檢視自己的檢測結果，避免先入為主的觀念，有時會發現到意想不到的錯誤。

#### 四、相異金屬焊道檢測(Dissimilar Metal)能力驗證考試

##### 1. 前言

相異金屬焊道(dissimilar metal welds)指兩邊母材為：(a)碳鋼或低合金鋼，與高合金鋼；(b)碳鋼或低合金鋼，與高鎳合金；(c)高合金鋼，與高鎳合金。

典型的相異金屬焊道如下圖：一邊為 RPV Nozzle(低合金鋼 SA508)，一邊為安全端(不銹鋼或鎳合金 SB166)，低合金鋼母材金屬與焊道間有一層英高鎳之調和金屬(Inconel Battering)，RPV Nozzle 有時在內表面焊上不銹鋼敷層(clad)。



核電廠 RPV Nozzle 再循環等之管嘴焊道即為相異金屬焊道，相異金屬焊道之超音波檢測有別於一般管路焊道，主要原因為不同金屬音速不同，不同金屬間又有界面存在，再加上 Buttering 及 clad，更增加檢測困難度。

英高鎳之調和金屬材質本身晶粒，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。

檢測相異金屬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。

## 2. 程序書注意事項

- (1)從 2006 年 3 月 EPRI PDI 程序書已從 B 版改為 C 版 (PDI-UT-10 Revision C)，其內容大幅更動，對超音波探頭規定非常嚴謹，考照時間因程序書及探頭使用及校正非常繁複，從去年的 6 天延長為 7 天(不含練習時間)。
- (2)依照程序書挑選適用探頭，EPRI 監考人員會仔細查對考生使用之探頭是否合乎程序書規定，以前少數幾個探頭就能檢測，已經不可能，尤其探頭的聚焦深度，必須合乎規定。
- (3)探頭晶片尺寸對縱波探頭聚焦範圍有絕對影響，程序書列出對於特定尺寸、角度、頻率最有效之聚焦範圍。

縱波探頭之聚焦範圍													
晶體尺寸		2(7x10)		2(8x14)		2(10x18)		2(15x25)		2(20x34)		2(24x42)	
頻率	角度	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

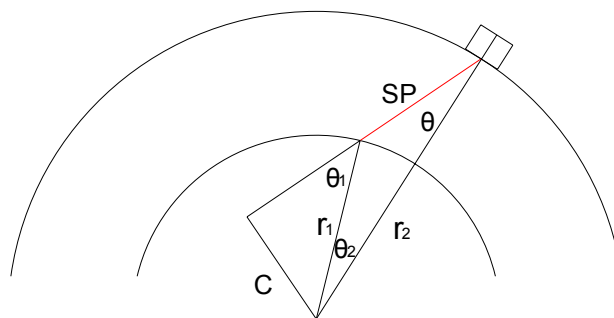
	70			0.39	0.79	0.59	1.18	0.59	1.77	0.98	2.95	1.18	3.94
1.5	45			0.39	1.18	0.59	1.57	0.79	2.56	1.38	3.94	1.77	5.31
	60			0.39	1.18	0.59	1.57	0.79	2.36	1.18	3.54	1.57	4.92
	70			0.39	0.98	0.59	1.18	0.79	2.36	1.18	3.35	1.38	4.53
2.0	45	0.39	0.98	0.59	1.18	0.79	1.77	0.98	3.35	1.57	5.12	1.77	6.30
	60	0.39	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				

(4)雙晶縱波探頭聚焦之範圍是以在聚焦點高峰訊號強度前後特定值定

之，聚焦點(及其聚焦範圍)的選擇必須符合下列情況：

- 1)軸向掃描：探頭公稱角度 $\leq 52^\circ$ ，主要靠角隅反射回波，聚焦點須位於75%至125%測件之厚度；探頭公稱角度 $> 52^\circ$ ，主要靠面狀瑕疵(Planar Flaw)之面反射回波，聚焦點須位於60%至110%測件之厚度。當檢測面是斜面時，檢測員必須將增加之音程(metal path)列入考量(如704

2)周



$$\begin{aligned}
 c &= r_2 \cdot \sin \theta \\
 c &= r_1 \cdot \sin \theta_1 \\
 r_2 \cdot \sin \theta &= r_1 \cdot \sin \theta_1 \\
 \theta_1 &= \arcsin \left[ \left( \frac{r_2}{r_1} \right) \cdot \sin \theta \right] \\
 \theta_2 &= \theta_1 - \theta \\
 SP &= \sqrt{r_2^2 + r_1^2 - 2r_2r_1 \cos \theta_2}
 \end{aligned}$$

試舉一例：704試塊遠邊OD為5.35"，ID為3.37"，周向掃描， $\sin^{-1}$

$(3.37/5.35) = 39^\circ$ ，亦即超過 $39^\circ$ 即無法打到內表面，選擇較小角



度，譬如 $31^\circ$ （外表面 $31^\circ$ 時，內表面為 $55^\circ$ ）， $\theta_1 = \sin^{-1}[(r_2/r_1) \times \sin \theta]$

$$= \sin^{-1} [(5.35/3.37) \times \sin 31^\circ] = 54.85^\circ$$

$$\theta_2 = \theta_1 - \theta = 54.85 - 31 = 23.85^\circ$$

$$SP^2 = r_2^2 + r_1^2 - 2r_2r_1 \cos \theta_2 = 2.68^2 + 1.69^2 - 2 \times 2.68 \times 1.69 \times \cos 23.85$$

$$= 1.76$$

音程SP=1.33"，換算為33.8mm

周向掃描聚焦點須位於75%至125%測件之厚度，即25 mm至42 mm。

結論：採用 $31^\circ$ ，聚焦點介於25 mm至42 mm，接觸面為曲面5.35"至7.35"之適合探頭。

- (5)接觸面為平面之橫波探頭晶片尺寸規定如下表。若使用接觸面為曲面以獲得更佳接觸之探頭，最大的晶片尺寸容許超過下表所定。

測件外徑 尺寸	最大的橫波 晶片尺寸	
	圓形	橢圓形
1.5"~≤ 6.0"	0.25"	7mm
>6.0"~≤ 10.0"	0.375"	10mm
>10.0"~≤ 18.0"	0.50"	13mm
>18.0"	1.0"	32mm

註：對雙晶探頭晶片之最大尺寸以發射晶片為主。對橢圓形探頭容許最大晶片尺寸以短徑尺寸為主。

- (6)縱波探頭尺寸決定後需依下表決定接觸面是否為曲面：

測件外徑比下列公式小者 建議為曲面	測件外徑比下列公式小者 必須為曲面
$D \leq \left[ \frac{(A \times A)}{2} \right]$ mm	$D \leq \left[ \frac{(A \times A)}{3} \right]$ mm
$D \leq \left[ \frac{(A \times A)}{.079} \right]$ 英吋	$D \leq \left[ \frac{(A \times A)}{.113} \right]$ 英吋
A=探頭沿測件圓弧方向寬度 D=測件外徑	

(7)接觸面曲度大於測件外徑之寬限度：

接觸面為曲面之探頭其曲度必須大於實際測件外徑，其寬限度如下表：

實際測件外徑	接觸面曲度大於測件外徑之寬限度
< 4.0"	1"
≥ 4.0" to 10"	2"
> 10" to <18"	4"
≥18" to 23"	6"
>23"	10"

(8)長度量測必須採用：

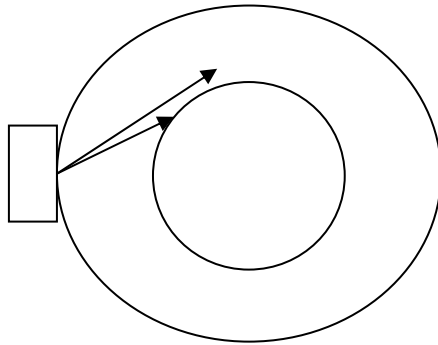
- 1)回波訊號位於遠邊時，將探頭沿瑕疵長度兩方向移動，直到訊號消失於雜訊為止。
- 2)回波訊號位於鐸道中心或位於近邊時，將探頭沿瑕疵長度兩方向移動，直到訊號降低到20%全螢幕高(12dB)為止。

### 3. 檢測注意事項

- (1)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。
- (2)11 件試片均為單邊掃描，音波的路徑很重要，需留意掃描範圍。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。
- (3)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。
- (4)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。

(5)因 DM 主要為反應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。



701	46°
702	38°
703	49°
704	39°
705	57°
706	54°
707	55°
708	48°
709	60°
710	59°

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。

- (6)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。
- (7)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 Battering, 界面回波非常明顯，須要仔分辨 Flaw 與界面回波，不可任意提高 Gain。
- (8)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。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。

#### 4. 策略與回饋

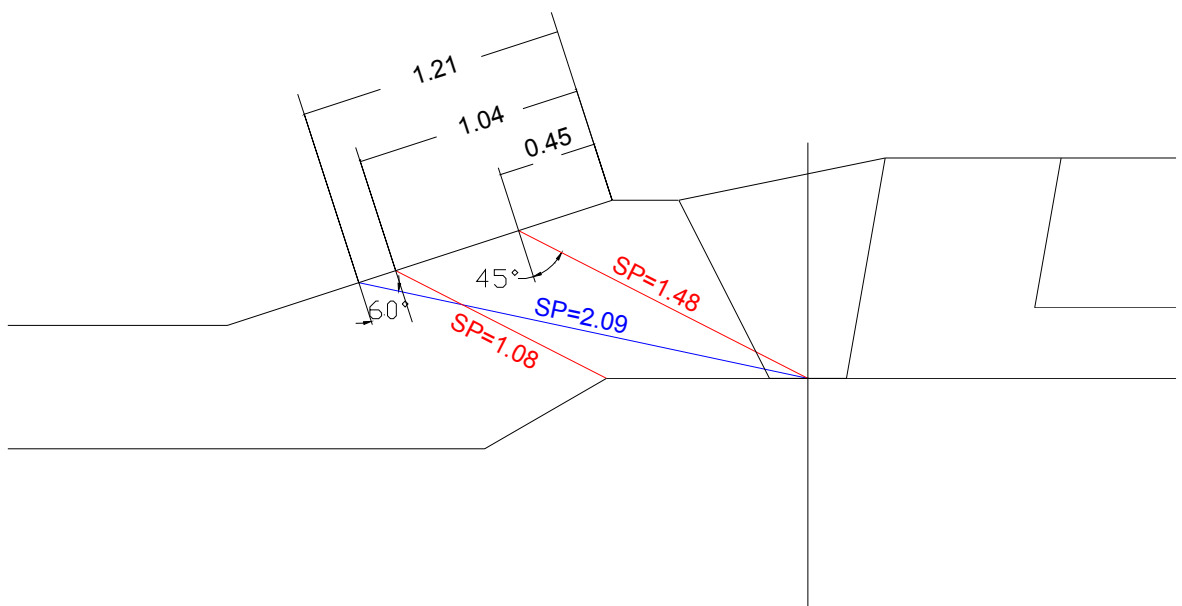
- (1)保守策略 Call Flaw：考試規則 MISS CALL 允許 20%，FALSE CALL 只允許 10%，每組大約允許 2 個 MISS 卻只允許 1 個 FALSE，採取較保守策略只 Call 較明確 Flaw，因為大部分練習試塊 Flaw 很深振幅高，如果考試試塊的 Indication 較淺時振幅不太夠時，"CALL OR NOT CALL"就要小心謹慎。
- (2)Flaw 數量類型：每一試件組合中大約有 12~15 的 Flaw，最少有 3 個 AXIAL，可能有 1 或 2 塊試件是 NRI，其次 Flaw 分佈包括在母材，焊道、battering 位置。

四組試件 Flaw 數量類型統計表

Flaw 組別	周向 Circ	軸向 Axial	總數	NRI 試塊
SET 2	10	3	13	1
SET 3	10	4	14	2
SET 4	10	3	13	2
SET 6	10	4	14	1

註：SET 3 Detection 完，加考 1 塊長度量測試塊。

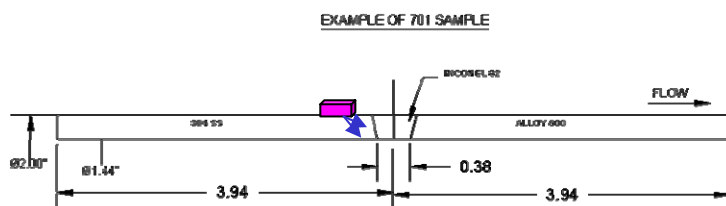
- (3)大顆縱波探頭使用 Ultragel II 時，移動探頭有吸住的感覺時，耦合劑可加水稀釋，探頭移動較好，並且耦合效果更好。
- (4)縱波探頭周向檢測 Axial 軸向瑕疵時，60° 探頭雖然不符合程序書規定，但瑕疵有一些深度時，60° 探頭可打到瑕疵的面，得到非常高的訊號，回波動態模式明顯，非常容易檢測出。
- (5)不要忽略橫波探頭，近邊瑕疵檢測用縱波探頭訊號不見得好，橫波探頭反而有又高又清楚的訊號。
- (6)704 幾何形狀特殊，經仔細計算後角度及音波路程如下圖供參考：



- (7)704 用縱波探頭軸向掃描，幾何形狀及模式轉換產生之回波雜亂，用 60°或 70°橫波在斜面掃描，非常容易檢測。
- (8)建議先軸向掃描周向瑕疵，否則考生可能掃描半天檢出軸向瑕疵，結果再做軸向掃描時，才發覺為周向瑕疵之軸向分量。
- (9)701 軸向瑕疵非常難找，建議先做軸向掃描，注意是否有稍微高起之訊號，再針對高起之訊號處周向掃描軸向瑕疵。
- (10)712 因厚度 5.16 吋厚，瑕疵與幾何形狀回波訊號集中在一起，可將 Gate 設定 2 吋左右，使用 USN60 儀器 Gate 的"magnify"功能，將 Gate 放大整個螢幕，可以幫助分析個別訊號。

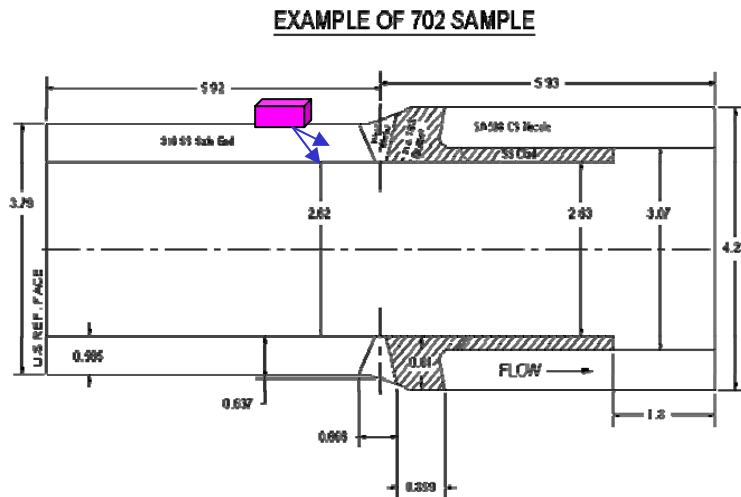
## 5. 各類型試塊形狀

### 試塊類型：701 BWR Standby Liquid Control



練習試塊在5.6"中心線負1吋有Axial Flaw，沒有Circ Flaw但是有Buttering與焊道界面回波。

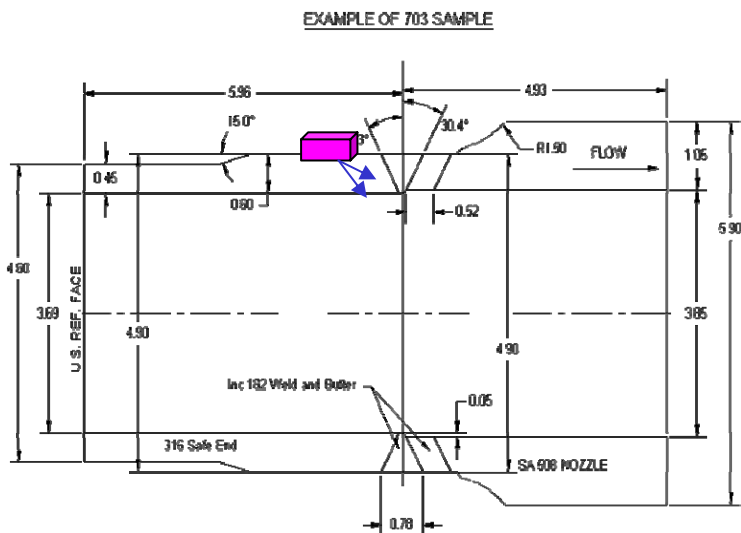
試塊類型：702 PWR Pressurizer Spary



702: 0.8吋厚

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。

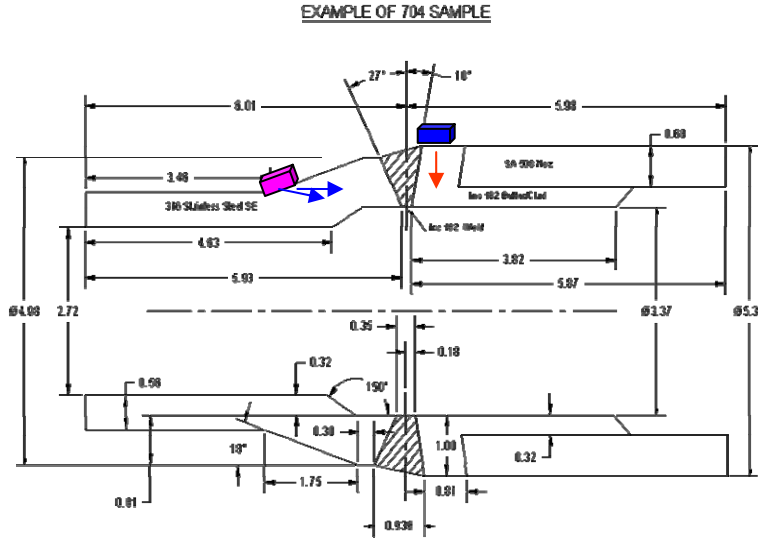
試塊類型：703 BWR CRD&Jet Pump



703: 0.6吋厚

結構與702相似。

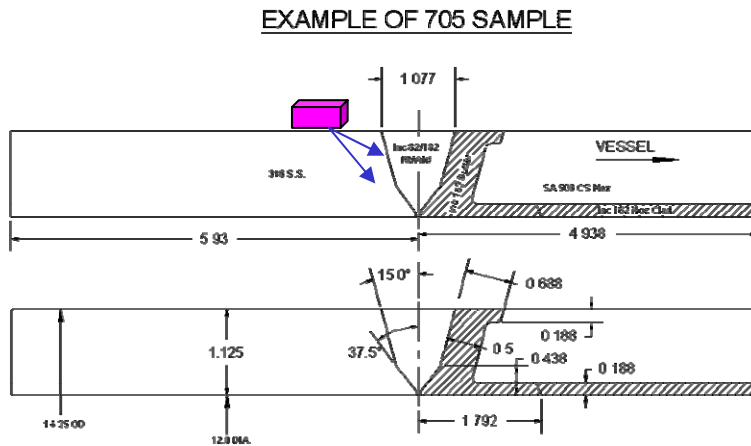
試塊類型：704 PWR Pressurizer Spray Nozzle



704: 厚度變化0.56~1吋

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。

試塊類型：705 BWR Standby N2 Nozzle

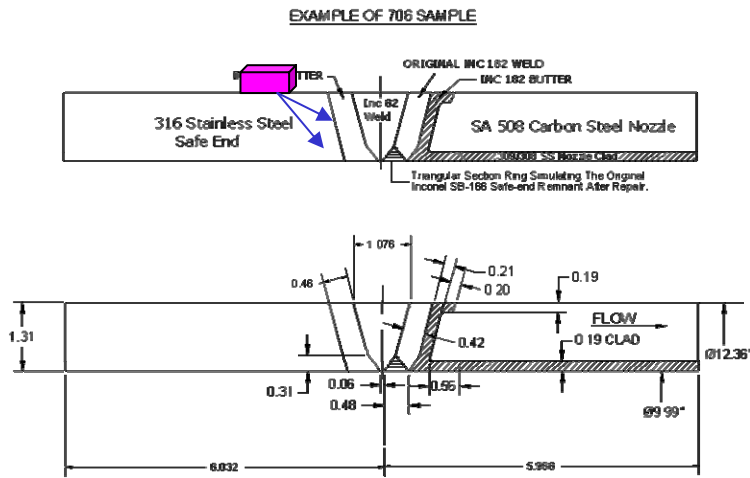


705: 厚度1.125吋

單邊Buttering容易檢測.

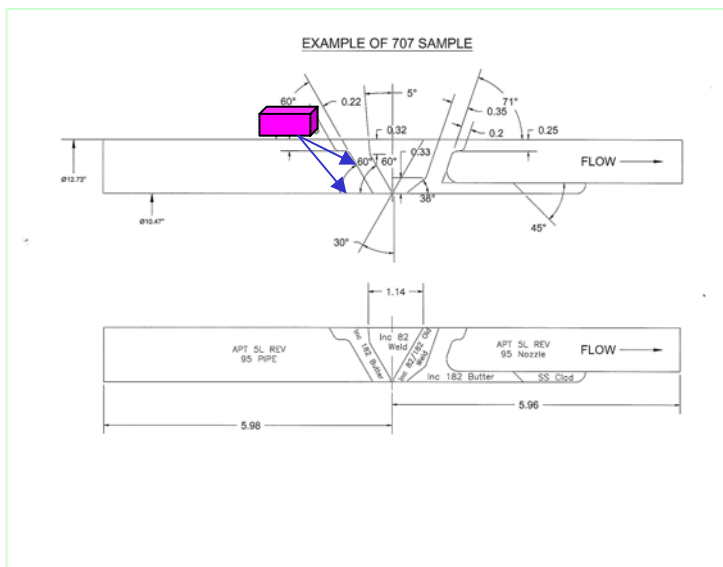


試塊類型：706 BWR N2 Nozzle Replacement



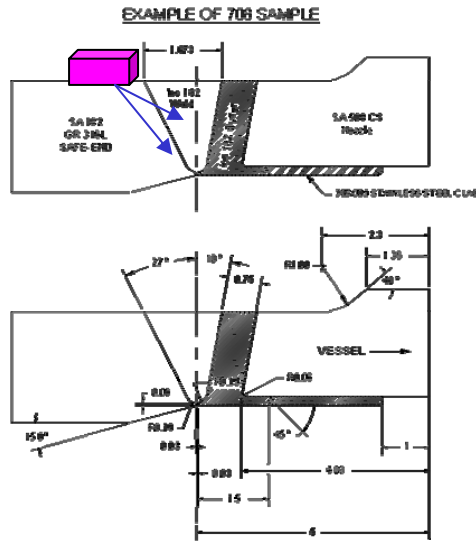
706: 厚度1.31吋

試塊類型：707 BWR N4 N5 N6 Nozzle



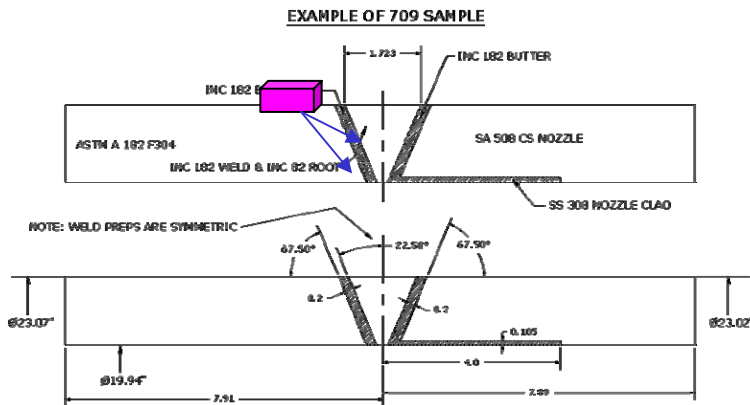
707: 厚度1.1吋

試塊類型：708 PWR 18" Pressurizer Surge Nozzle



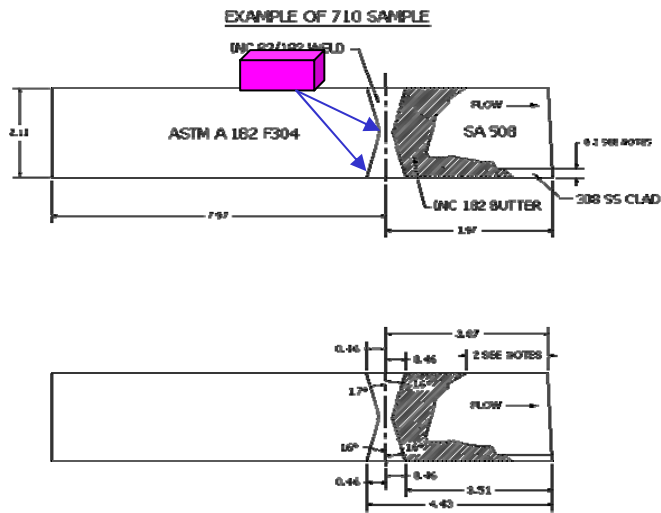
708: 厚度2吋  
單邊Buttering容易檢測。

試塊類型：709 BWR Recirculation N1 Nozzle



709: 厚度1.57吋

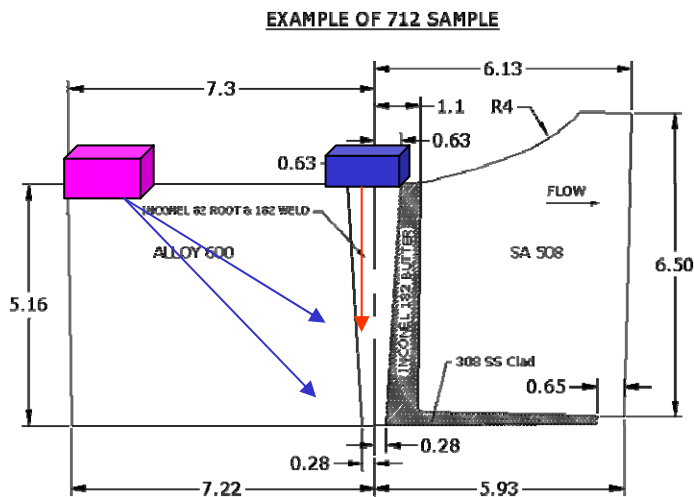
試塊類型：710 28" BWR N1 Nozzle  
Double-V



710: 厚度2.15吋

試塊類型：712  
narrow groove weld Nozzle

PWR S/G



712: 厚度5.16吋

練習試塊有7吋之瑕疵。

## 五、討論與建議

1. EPRI 所發行供考生研讀之"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. 覆層焊道檢測及相異金屬焊道檢測之程序書對探頭之曲度與焦距有更詳細之要求，EPRI 已準備有齊全的探頭，可以不必再帶探頭，但建議攜帶計算機，以便計算曲度與焦距。
3. 為因應覆層焊道檢測及相異金屬焊道檢測對探頭曲度與焦距之要求，各分隊應針對所在電廠之需求，及早採購需用之探頭；此外，也應採購適用之參考規塊。
4. 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。
5. 由於相異金屬焊道檢測考試之重點在軸向瑕疵(數量占 30~70%)，故練習時應加強對軸向瑕疵之認知，以增加考試時之信心。
6. 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。
7. ASME Code 超音波檢測能力驗證之管路焊道部分，本公司已每年派人參加資格考試，建議在壓力槽部分，在可行範圍內，及早規劃，派人參加考試，如此可為公司省下請國外合格檢測人員來執行檢測之費用。
8. 建議向 EPRI 報名參加資格考試要早一點，避免因名額已滿後再被安排進去，而造成考試人員過多，探頭及練習用試件不敷使用。

9. 本次出國四人之考試訓練費預算全部編給蔡錫聯，由其個人支領再分給其他三人，以致報銷時造成困擾；建議出國預算應編給個人，不要編給同一人。