

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：台灣電力公司核能發電處

姓名職稱：陳勝雄、陳振宇、李紹喜、蔣年發、林智雄
/核能工程監、核能工程師、高級技術專員

派赴國家：美國

出國期間：自民國 98 年 6 月 20 日至 98 年 8 月 8 日

報告日期：民國 98 年 9 月 17 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

核能電廠營運檢測超音波檢測人員能力驗證資格證照考試

頁數 66 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

陳勝雄、陳振宇、李紹喜、蔣年發、林智雄/台灣電力公司/核能發電處/核能工程監、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98年6月20日至8月8日 出國地區：美國北卡電力研究院

報告日期：98年9月17日

分類號/目

關鍵詞：超音波檢測能力驗證資格考試

內容摘要：(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與長度量測(Detection & Length Sizing)、管路焊道超音波裂縫深度量測(Depth Sizing)、相異金屬焊道檢測(Dissimilar Metal)、反應器爐壁焊道裂縫檢測(RPV Detection)、反應器爐壁焊道裂縫長度與深度量測(RPV Length Sizing & Depth Sizing)等五項九科。五人各依規劃選項參加考試，本次考試結果參加的五人中有一人三項五科合格，三人三項四科合格，一人三項三科合格。

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

目 次

<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	10
四、異材焊道檢測(Dissimilar Metal)能力驗證考試	14
五、反應器爐壁焊道(S4/6)裂縫檢測(PRV Detection) 能力驗證考試	27
六、反應器爐壁焊道(S5/7)裂縫檢測(PRV Detection) 能力驗證考試	40
七、反應器爐壁焊道裂縫長度與深度量測 (RPV Length Sizing & Depth Sizing) 能力驗證考試	57
八、心得及建議	64

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

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，今年共選派五人參加五項九科超音波檢測能力驗證資格考試，分別為：管路焊道超音波裂縫檢測與長度量測(Detection & Length Sizing)、管路焊道超音波裂縫深度量測 (Depth Sizing)、相異金屬焊道檢測(Dissimilar Metal)、反應器爐壁焊道裂縫檢測(RPV Detection)、反應器爐壁焊道裂縫長度與深度量測 (RPV Length Sizing & Depth Sizing) 等五項九科。五人各依規劃選項參加考試，本次考試結果參加的五人中有一人三項五科合格，三人三項四科合格，一人三項三科合格。

資格考試結果，有各項考試均有合格，詳如下表：

姓名	項目 合格		裂縫 深度 量測	異材 焊道 檢測	反應器爐壁焊道 裂縫檢測			反應器爐壁焊 道	
	檢測 能力	長度 量測			Supplement 4	Supplement 6	Supplement 5/7	4/6 長度 量測	6 裂縫 深度 量測
陳勝雄	合格	合格	合格	合格	NA	NA	NA	NA	NA
陳振宇	合格	未通 過	合格	NA	合格	未通 過	NA	NA	NA
李紹喜	NA	NA	NA	NA	NA	NA	合格 x2	合格	合格
蔣年發	合格	合格	未通 過	NA	合格	合格	NA	NA	NA
林智雄	合格	合格	合格	NA	合格	合格	NA	NA	NA

二、裂縫檢測(Detection)能力驗證考試

1. 前言

本次裂縫檢測為再授證考試，免考碳鋼，只考不銹鋼(含 IGSCC)的裂縫檢測與長度量測，檢測試件包含單邊及雙邊，掃描方式為周向掃描及軸向掃描。本次有四

人參加，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)試塊數量有不銹鋼 4 塊、3 塊或 4 塊 IGSCC 試件，試件編號 308，外徑 12"~24"，厚度 0.80"~1.40"，單邊掃描檢測一般是不銹鋼試件一塊、IGSCC 試件一塊，由上游或下游接近銲道執行掃描，其他皆雙邊掃描檢測。
- (2)提、背包、私人物品及電子設備、手機等集中放在門口。
- (3)考試有時間限制，一般是三天。
- (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 不會告知 candidate 任何一科考試瑕疵的數量，也不准去猜測或數瑕疵的數量，且一經發現還會中止考試。
- (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，但有標示焊道寬度。
- (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、探頭清單必須齊備，並且將答案成立的過程實際秀給 EPRI 考官
- (14)交卷後須將試件上的註記及耦合劑清除乾淨。

(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。

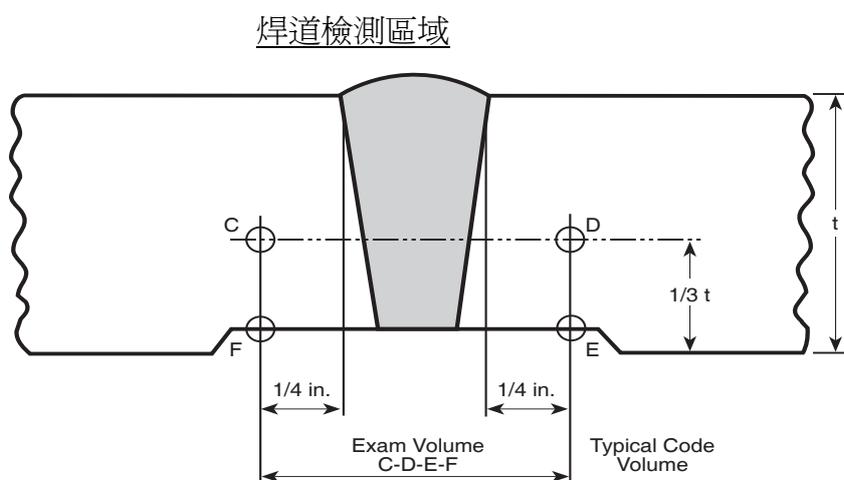
(3)管壁厚度大於 0.50"的奧斯田鐵單邊檢測必須加做縱波檢測，故使用經過 EPRI 認證的 RTD 及 Megasonic CSS(CGD 可以使用，但是不能列入選用探頭總覽報告表格裡)系列的一體成形、頻率為 1.0MHz~2.0MHz、聚焦深度為 0.80"~1.50"的折射縱波探頭。

(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	Rejec t	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。



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五格較為適當，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 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	
		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

(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： $Tx \tan 45 = 45^\circ$ 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° 及 70° 依此類推。

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

(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度最適合。由於周向檢測 IGSCC 試件時經常受到銲冠阻擋，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)單邊檢測的試件是挑戰性較高的部份，有時若遠邊的裂縫離焊道根部較遠，橫波很難穿過焊道去打到缺陷，宜使用 EPRI 認證的縱波探頭確認瑕疵信號，然後再詳細的用各角度如 45°或 60°的橫波來確認瑕疵長度，但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)IGSCC 檢測考試試件是困難度最高的部份。檢測時宜從鐸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鐸根、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。至於鐸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鐸冠上執行周向檢測，並且比大尺寸的探頭更能接近熔線以檢出軸向瑕疵。

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)缺陷波形的動態反應是一項非常重要的參考依據，若動態反應小，也就是在螢幕上波式行走的格數少，一定是 Geometry 來的信號，反之就是缺陷。

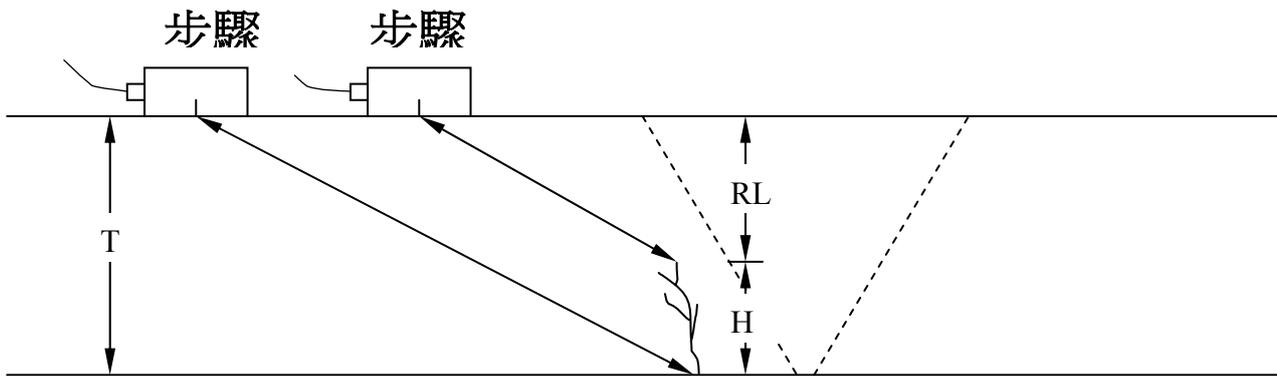
三、裂縫深度量測 (Depth Sizing) 能力驗證考試

1. 資格考試內容概述:

本次裂縫深度評估能力授證考試因參與之人員均屬再授證考試，只需考五塊全為 IGSCC 試件。每塊均各指定一個位置，應試者需將各指定區域之裂縫深度執行量測後，將裂縫高度、剩餘厚度、裂縫位置之鐸道厚度填在答案紙交卷。考試時間為2天。

2. 基本原理:

裂縫深度量測的基本原理依然是利用裂縫尖端(flaw tip)繞射回波，由螢幕上讀取其剩餘厚度RL，而裂縫深度即為試件厚度T減去剩餘厚度RL的數值。



T = 試件厚度
 H = 裂縫高度(深度)
 RL = 剩餘厚度

3. 量測方法

(1) 檢測前先以WSY70 做定性量測，先約略判定瑕疵可能深度。

其做法為利用10%-90%之人工刻槽規塊，將CE2 定為100%FSH 的狀態下取得CE1 的全螢幕高如下：

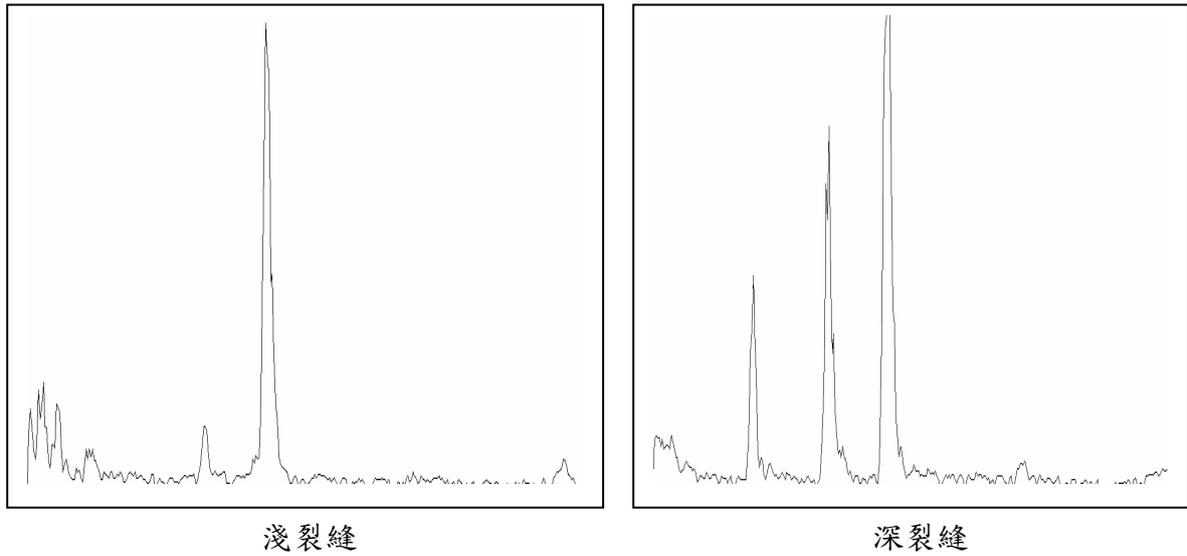
- 10% ID NOTCH at 4%FSH 淺瑕疵
- 20% ID NOTCH at 6%FSH 淺瑕疵
- 30% ID NOTCH at 10%FSH 淺瑕疵
- 40% ID NOTCH at 14%FSH 中深瑕疵
- 50% ID NOTCH at 18%FSH 中深瑕疵
- 60% ID NOTCH at 22%FSH 中深瑕疵
- 70% ID NOTCH at 22%FSH 深瑕疵
- 80% ID NOTCH at 22%FSH 深瑕疵
- 90% ID NOTCH at 22%FSH 深瑕疵

淺瑕疵-為試件厚度的5%-30%，即0.04"-0.24"

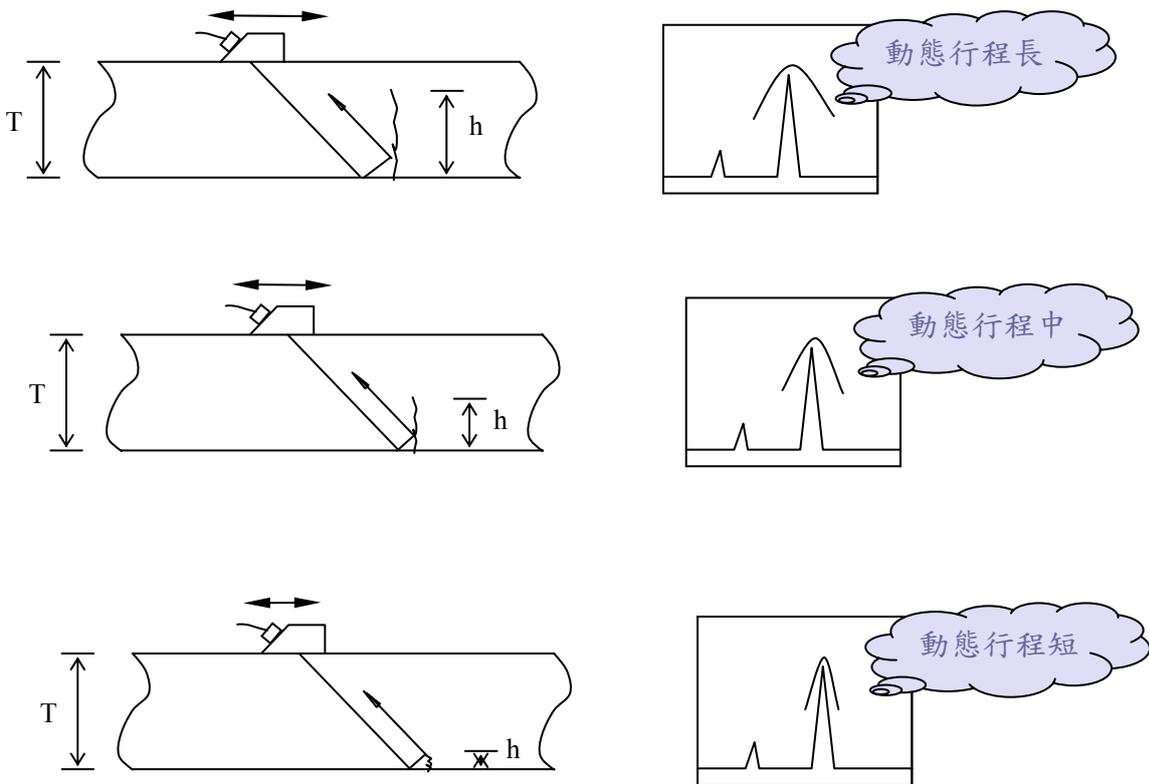
中深-為試件厚度的31%-60%，即0.25"-0.48"

深瑕疵-為試件厚度的61%-100%，即0.49"-0.80"。

檢測時觀察CE1信號高度大致可預估瑕疵深度，如下圖所示，再用適合探頭做更準確的深度量測。



(2)或 45° 橫波做全V掃描，將探頭前後移動，若是瑕疵很深則回波會延續很長，反之則立即消失(即是動態很短)，由回波動態模式如下圖所示，先大略評估瑕疵的深淺。



初步評估瑕疵之深度後再依程序書規定方法做定量量測。定量量測對不同深度之缺陷須使用不同角度探頭，並搭配各種不同的量測方法—絕對法(AATT)、相對法(RATT)、

波式轉換法 (Bi-model)，詳細方法列於下表所示：

0.50" < 材質厚度 ≤ 1.00"		
缺陷剩餘高度 Remaining Ligament (RL)	探頭角度 Angle(s)	量測方法 Technique(s)
RL ≤ 0.20"	70° and ODCR	絕對法
RL > 0.20" ~ ≤ 0.70"	60° ~ 70°	絕對法或波式轉換法
RL > 0.70"	45° ~ 60°	絕對法或相對法*或波式轉換法

4. 考試重點須知

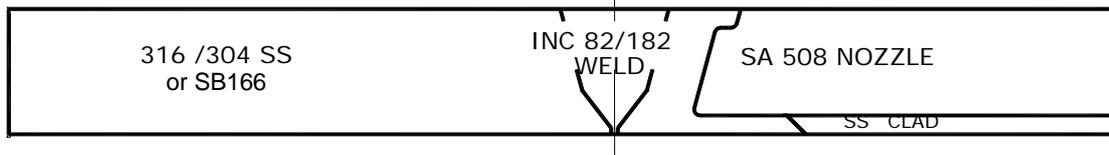
- (1) 熟讀程序書PDI-UT-3 Rev.C。
- (2) 考試時間包含練習試件的時間共兩天，迅速作完五塊練習試件並了解每一塊練習試件的特性。
- (3) 完成檢測試件後考官會驗證儀器參數的正確性，例如儀器的RANGE、PROBE DELAY、VELOCITY、ENERGY、DAMPING、PRF MODE、FREQUENCY、RECTIFY。檢測校準紀錄表要正確不能違反程序書。
- (4) 絕對到達時間法(AATT)除了可以向前推進以Half-V方式取得瑕疵Tip 外，亦可將探頭向後退的檢測方式以Full-V取得瑕疵Tip，對淺瑕疵Full-V方式會有更好的尖端繞射信號。
- (5) 多利用EPRI 2Mhz的高角度爬波探頭，針對深的瑕疵做快速的篩選。此探頭對0.5吋深的信號均能得到可見的信號，而考試件均為0.8吋厚IGSCC試件，此表示深度評估時只要針對內表面0.3吋區域之瑕疵做深度量測即可含蓋全試件之厚度。
- (6) 答案紙填寫的裂縫深度與剩餘厚度 (Remaining Ligament)，應特別注意不可弄錯。
- (7) 注意裂縫高度中，角隅至尖端回波信號的連續性，切忌將淺裂縫誤測為深裂縫或將深裂縫誤測為淺裂縫。
- (8) 在檢測試件的掃描範圍內要找到最深處的瑕疵深度。一般來說瑕疵深度量測考試時間最短也較為輕鬆，但EPRI似乎對考試件做了更技巧的設計，有塊試件的瑕疵平均深度約為0.25吋，在距離邊緣半吋處的瑕疵深度突然陡升為0.5吋，所以在測試件的掃描範圍內要做全面的瑕疵深度量測。

四、異材銲道檢測(Dissimilar Metal)能力驗證考試

1. 前言

異材銲道(dissimilar metal welds)指兩邊母材為：(1)碳鋼或低合金鋼，與高合金鋼；(2)碳鋼或低合金鋼，與高鎳合金；(3)高合金鋼，與高鎳合金。

典型的異材銲道如下圖：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銲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(Cladding)。



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。

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 銲道試件 11 件，管壁厚度 0.28"~ 5.16"，管徑大小為 2"~36"及平板構件。

檢測異材銲道首先需考慮探頭之聚焦深度，且考慮管材表面弧度，才能有效的傳遞超音波能量到所要檢測位置，達到檢測瑕疵的目的。

2. 程序書注意事項

- (1) 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，對超音波探頭規定更嚴謹，考照時間因程序書探頭使用與校正規定繁複，從以往的 6、7 天而統整為 10 天(不管初考或補考，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於程序書，包括探頭的頻率、尺寸、弧度與聚焦深度，全部必須在規定範圍內。注意：程序書已不再適用探頭頻率 1.0M。
- (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				

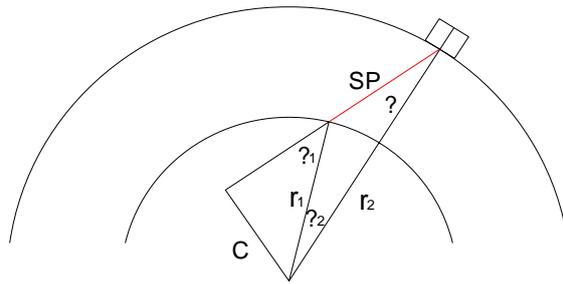
(4)雙晶縱波探頭聚焦之範圍是以在聚焦點高峰訊號強度前後特定值定之，聚焦點(及其聚焦範圍)的選擇必須符合下列情況：

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試塊)。

試舉一例：712試塊厚度為5.16"，45°探頭音程為7.30"，換算為185mm，聚焦點須位於75%至125%，即139 mm至231 mm，以前使用45L1(100)，不符合程序書規定。現已改用45L1.5(140)。

2)周向掃描：聚焦點須位於75%至125%測件之厚度，周向掃描需計算測件曲度增加之音程。

曲度增加之音程可用幾何數學算出，如下列計算式：



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

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° 即無法打到內表面，選擇較小角度，譬如 31° （外表面 31° 時，內表面為 55° ），

$$\theta_1 = \sin^{-1}[(r_2/r_1) \times \sin \theta] = \sin^{-1}[(5.35/3.37) \times \sin 31^\circ] = 54.85^\circ$$

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

$$SP^2 = r_2^2 + r_1^2 - 2r_2r_1 \cos \theta_2 = 2.68^2 + 1.69^2 - 2 \times 2.68 \times 1.69 \times \cos 23.85 = 1.76$$

音程SP = 1.33"，換算為33.8mm

周向掃描聚焦範圍在75%至125%測件之厚度，即25 mm至42 mm。

結論：採用 31° ，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：

探頭接觸面之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：

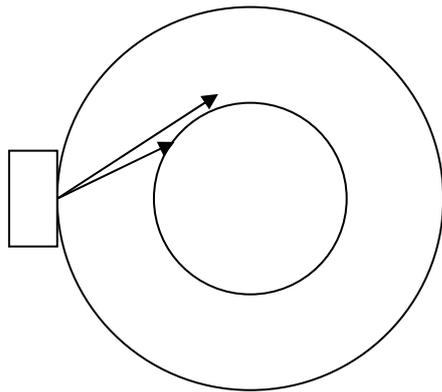
先找到缺陷最大回波調 db 至 80~90% FSH

- 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)瞭解試塊鐸道結構尺寸：EPRI 依各型核電廠現有異材鐸道所設計之管件可分為 11 種，每種均有不同之鐸道結構，檢測時須詳細了解鐸道設計圖資料。
- (2) 11 件試塊除 701,702,704 外其餘均為單邊掃描，需留意掃描範圍與探頭位置。檢測前在每一試塊分別畫上鐸道中心線及 45 度、60 度線掃描範圍，Scan 到信號最大時由探頭位置判定瑕疵位置在近邊或遠邊。

- (3)規畫考試流程：考試試塊共分爲 Small(701,702,703,704)、Mid(705,706,707)、Big(708,709,710)及 Super Big(712)四組，考試時每次推出一組尺寸相近試塊，完成檢測交出報告後再送另一組繼續檢測，建議從 Mid 組開始作熟悉後建立信心，完成後換到 Small 組依序至全部完成較為順利。
- (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。檢測到需報告的缺陷時，要用另紙記下信號最大時探頭位置，且調整 db 值到 80~90% FSH 紀錄此時 db 值及所用探頭，以備重複檢視正確性與重現此缺陷信號給監考員之依據。
- (5)異材銲道爲反應爐管嘴與管路之連接，檢測時只要選對探頭瑕疵均有很高之訊號雜訊比，周向(CIRC)的瑕疵訊號亦不難辨認。每一試件組合中最少有 3 個 Axial。有些 Axial 可能較淺。檢測時一定要用合適角度的縱波探頭來掃描，有些試件因管徑與厚度關係，周向掃描之探頭角度須特別注意，以免因入射角選擇不當而無法有效檢測。



70146°

70238°/46°

70349°

70439°/42°

70557°

70654°

70755°

70848°

70960°

71059°

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(buttering)、整個厚度及銲道兩側各 1/4 吋，如 704 試塊軸向 Scan 時探頭放在斜坡上，但是周向 Scan 探頭則放在銲道與 buttering 上。

(7)分辨 Flaw 與界面回波：折射縱波進入 buttering 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。考試當中需對照著銲道設計圖做，了解銲道所有資訊。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。

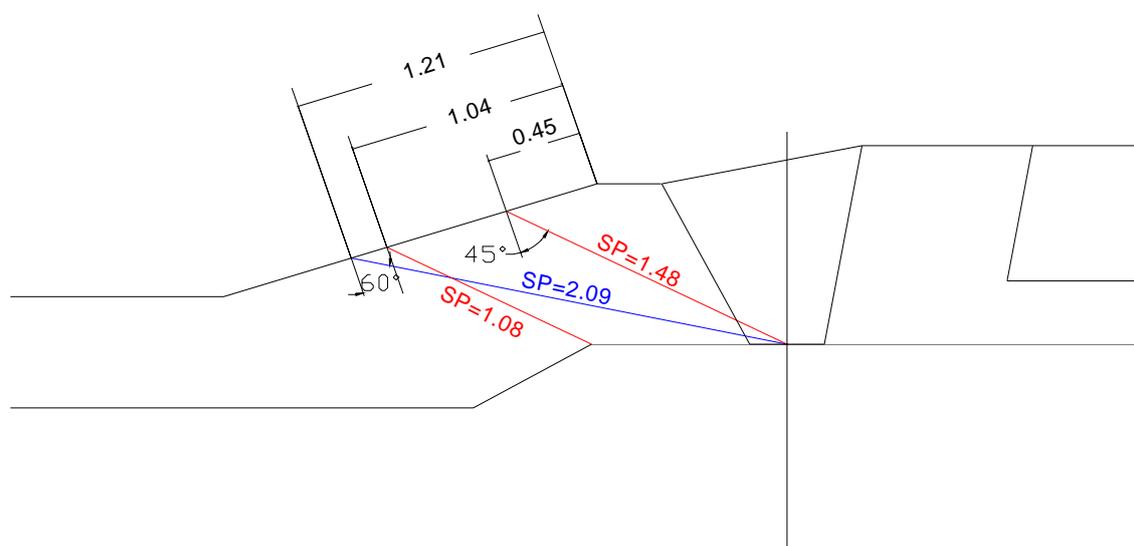
(2)Flaw 數量類型：每一試件組合中大約有 12~15 的 Flaw，最少有 3 個 Axial，可能有 1 或 2 塊試件是 NRI，其次 Flaw 分佈包括在母材，銲道、buttering 位置。

各組試件 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 3,6 Detection 完，加考 1 塊長度量測試塊。

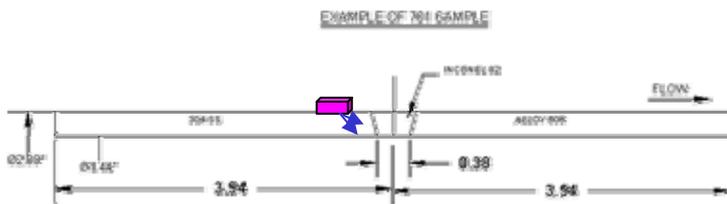
- (3)大的縱波探頭使用耦合劑時，移動探頭有吸住的感覺時，耦合劑可加水稀釋，探頭移動較好，並且耦合效果更好。
- (4)縱波探頭周向檢測 Axial 軸向瑕疵時，60°探頭雖然不符合程序書規定，但瑕疵有一些深度時，60°探頭可打到瑕疵的面，得到非常高的訊號，回波動態模式明顯，非常容易檢測出。
- (5)不要忽略橫波探頭，近邊瑕疵檢測用縱波探頭訊號不見得好，橫波探頭反而有又高又清楚的訊號。
- (6)704 幾何形狀特殊，經仔細計算後角度及音波路程如下圖供參考：



- (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 USN 60 儀器 Gate 的"magnify"功能，將 Gate 放大至整個螢幕，可以幫助分析個別訊號。

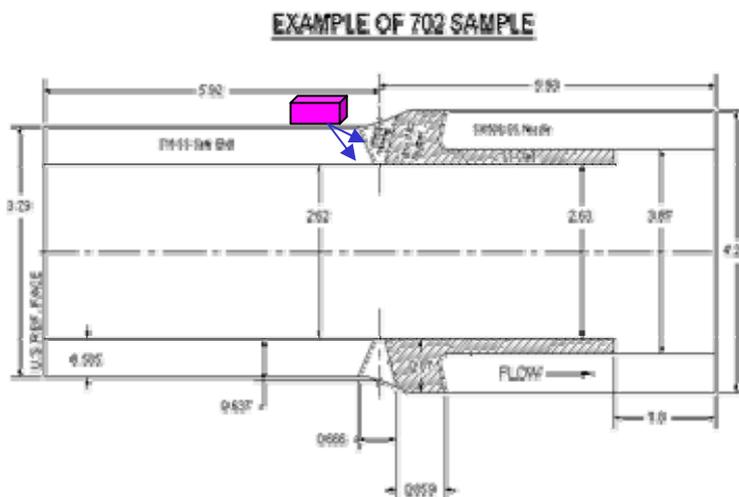
5. 各類型試塊形狀

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與銲道界面回波。

試塊類型：702 PWR Pressurizer Spary



702: 0.585/0.8吋厚

軸向檢測:

0.25,2.25MHz,45S or 60S
及4/6Ax45FS21/29&

4/6Ax60FS30/41.

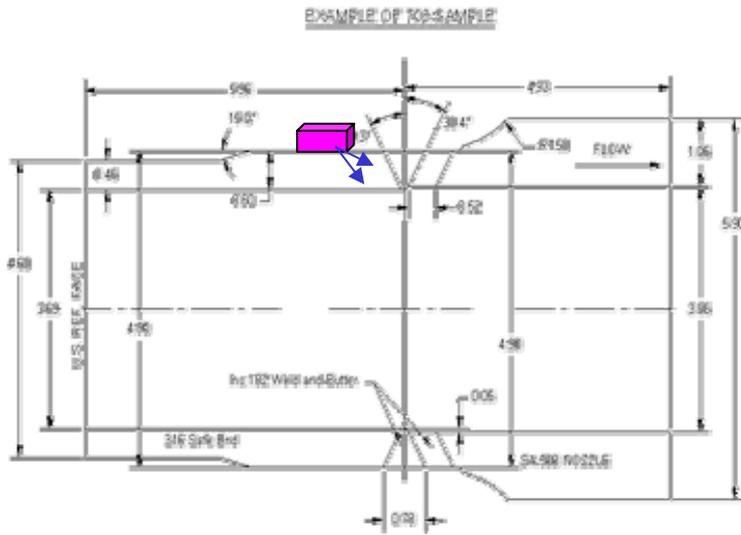
周向檢測:

45S,4/6Circ35FS26/35

注意上游側與下游側外徑不同，需使用不同弧度探頭
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:

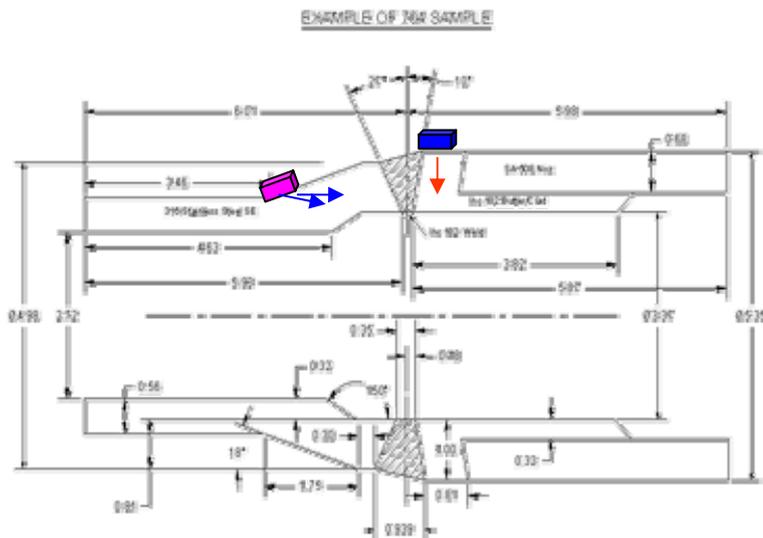
0.25,2.25MHz,45S or 60S,
6Ax45FS22,5Ax60FS30.

周向檢測:

6Circ35FS25.

試塊類型：704

PWR Pressurizer Spray Nozzle



704: 厚度變化0.56~1吋

軸向檢測:

0.25,2.25MHz,45,60,70S6
Ax45FS36, 6Ax60FS51.

周向檢測:

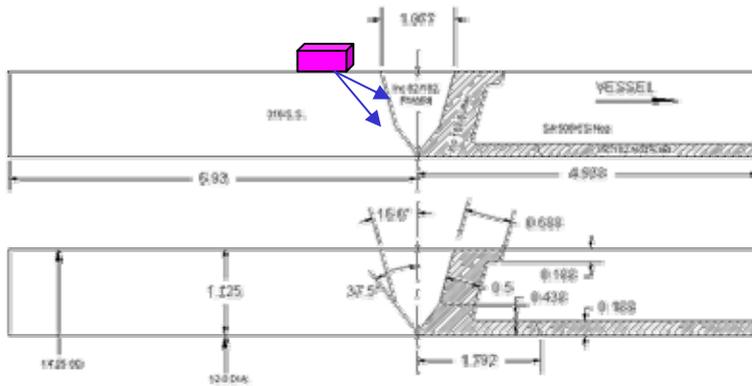
45S,6Circ31FS40

結構特殊，在斜面上軸向檢
測，在Buttering上周向檢
測，長度量測要在鐸道上。

試塊類型：705

BWR Standby N2 Nozzle

EXAMPLE OF 705 SAMPLE

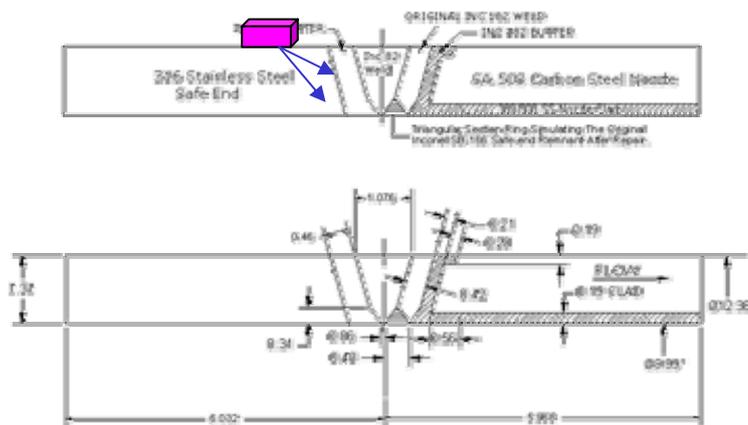


705: 厚度1.125吋
 軸向檢測:
 0.375,2.25MHz,45S,60S
 15Ax45FS41,
 15Ax60FS57
 周向檢測:
 45S,15Circ45 FS50.
 單邊Buttering容易檢測。

試塊類型：706

BWR N2 Nozzle Replacement

EXAMPLE OF 706 SAMPLE

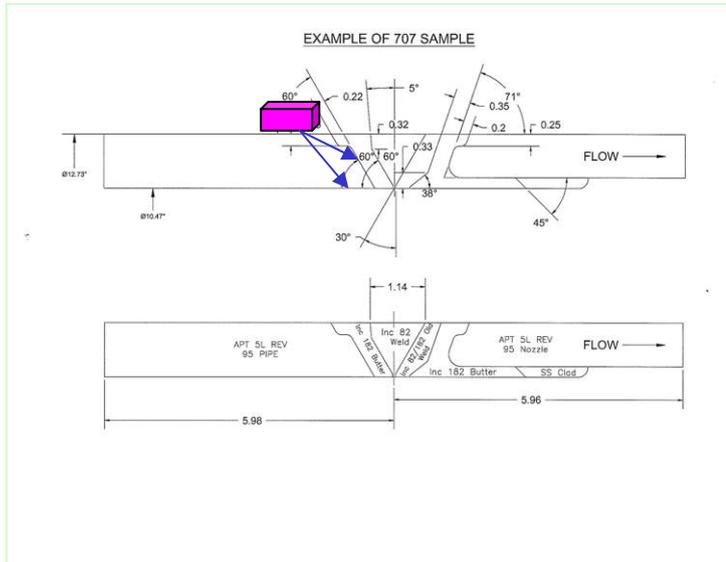


706: 厚度1.31吋
 軸向檢測:
 45S, 60S,15Ax45FS47,
 15Ax60FS67.
 周向檢測:
 45S, 15Circ45FS55

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:

45S,60S,16Ax45FS41,
15Ax60FS57.

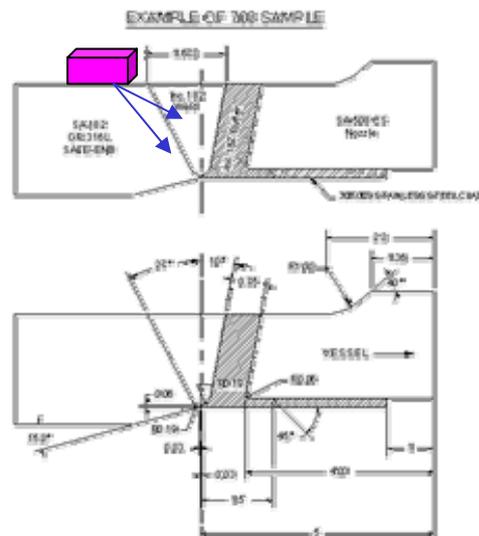
周向檢測:

45S,15Circ45FS50

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：708

PWR 18" Pressurizer Surge Nozzle



708: 厚度2吋

軸向檢測:

45S,60S,24Ax45FS72,
24Ax60FS102.

周向檢測:

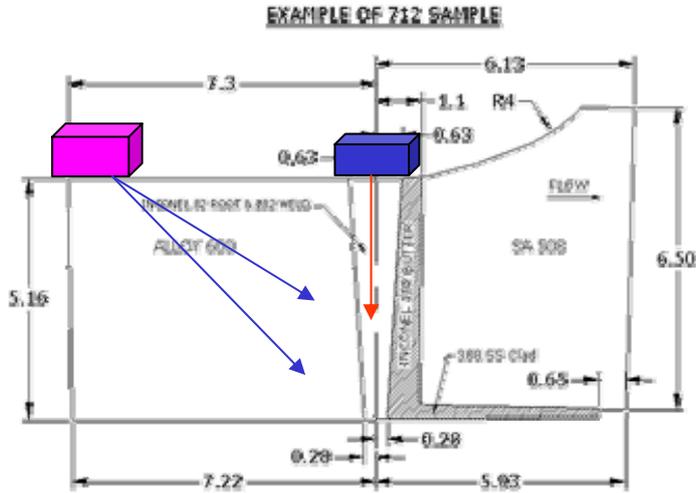
45S,24Circ45FS80

單邊Buttering容易檢測。

試塊類型：712

narrow groove weld Nozzle

PWR S/G



712: 厚度5.16吋

軸向檢測:

FLAT45L1.5FS140,60L1.5
(125).(勿用最大探頭)

周向檢測:

FLAT45L1.5FS140.

45L1.5容易分辨訊號,60L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,周向檢測db

值與軸向相同即可

練習試塊有7吋之瑕疵。

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:

(1)RPV 檢測依 ASME XI APPENDIX VIII 可分為

SUPPLEMENT 4—為內表面不包括 CLADDING 整體積 15%之厚度及

SUPPLEMENT 6—除了 4 以外 85%整體積之檢測。

兩部份因所必須檢出之人工瑕疵數量，依每人所分派之檢測區域不同而容許失誤或錯叫而所不同。若 SUPPLEMENT 4 其一定總面積(平方呎)內，超過 10 個以上才容許有一個失誤。若未超過 10 個，則不得有所失誤。所以及格標準為零失誤或准許失誤一個。相同的在 SUPPLEMENT 6 也同樣規定。

(2)檢測區塊由考官指定，指定區塊內由軸向(RPV 縱向)從中心線算起正負各 6”，周向部份由考試區塊決定，可為 10”或 12”或更長。考試區塊可為 3 塊或 4 塊。雖然檢測面積僅為 3 至 4 平方英尺，但考試所必須檢出之瑕疵數量有所限制，所以檢測時間花費就相當可觀。

2. (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 Cladding 之反應爐槽體焊道檢測，不合法蘭對槽體 (Flange to Vessel) 及頂蓋對法蘭 (Head to Flange) 焊道，其龜裂均由保護層與母材之界面生出，龜裂深度評估 (Sizing) 之 R.M.S 只允許 0.150"。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 Cladding)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 Cladding)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 Cladding)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 $AP1=2$; $AB=AP2*\sin62=AP1*\sin30$

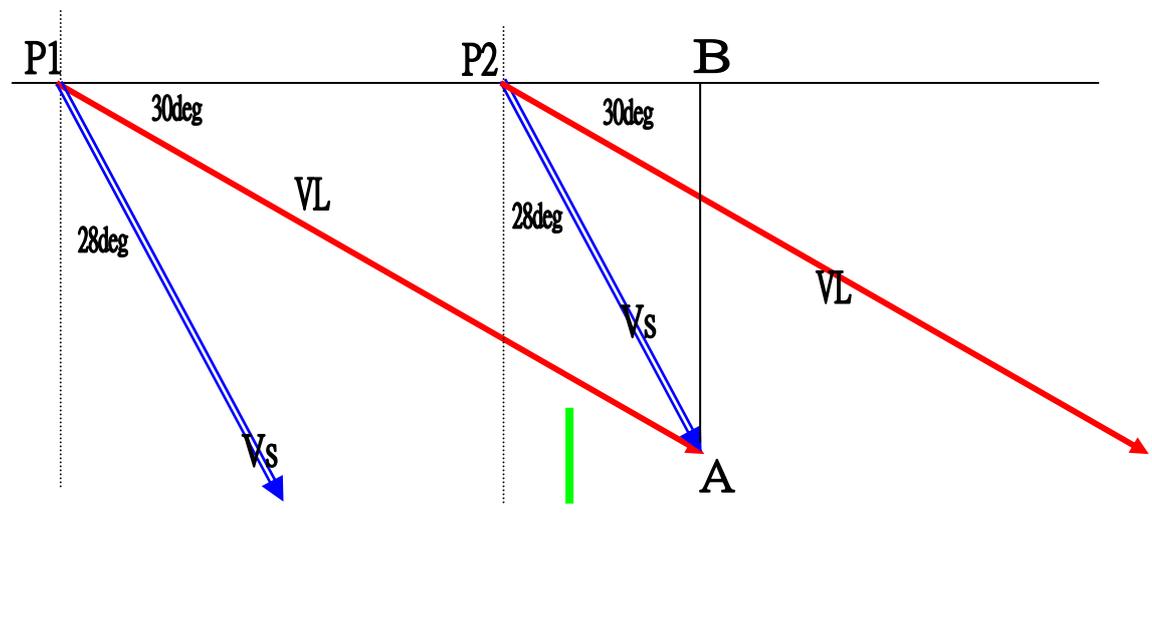
$$BP1=AP1*\sin60 \quad BP2=AP2*\sin28 \quad AP2=1/\sin62=1.132570051$$

在以縱波爲主的距離校正其 28S 橫波(AP2)依史聶爾定律轉換爲縱波顯示爲

$$VL/Vs*AP2=1.132570051*0.233/0.127=2.08 \text{ 較 } AP1 \text{ 顯示稍後一些。}$$

BP1 等於 USN60 儀器內設值 PA，故在 P1 位置可量測其 PA 標註 B 點(瑕疵位置)。

*當探頭 P1 由移至 P2 時，則其讀得的 PA 值爲橫波轉換縱波顯示的投影值，若相信爲瑕疵位置，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 P2 驗證可確認瑕疵無誤，其方法有二：

a. 以 BP1 及 BP2 比值求得關係式：

$$\tan30=BA/BP1 \quad BA=\tan30*BP1$$

$$\tan62=BA/BP2 \quad BA=\tan62*BP2$$

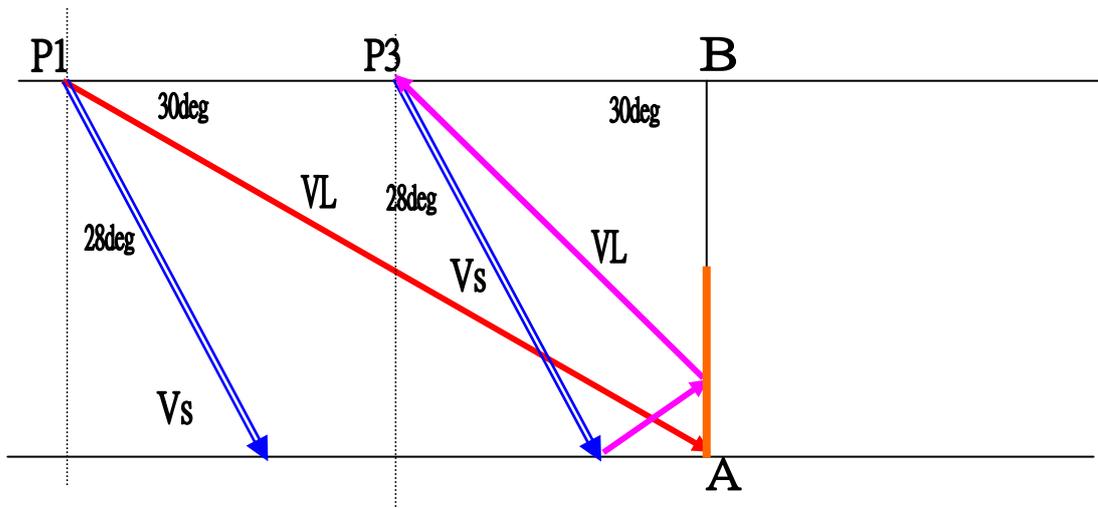
$$\text{故 } BP2/BP1=\tan30/\tan62=0.303 \quad BP2=0.303*BP1(\text{約 } 1/3)$$

b. 以 BA 求得 BP2 值的關係式：

$$BP2= BA/\tan62 \quad BP2=0.53*BA(\text{約 } 1/2)$$

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。



3. 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	SDC3-99001US A	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

- 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，其橫波速度 0.127in/us，縱波速度 0.233in/us，使用 DC 規塊 2 吋及 4 吋自動音程校正。
- 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。
- 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 80%FSH。

2) 校正區域 2：全部被檢體積 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，其橫波速度 0.127in/us，縱波速度 0.233in/us，使用 DC 規塊 2 吋及 4 吋自動音程校正。
 - 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 80%FSH。
- 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 Cladding)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 啓動警報音響。

- 2) 校正區域 2：內側鑲層(ID Cladding)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 掃瞄靈敏度調整為內側鑲層(ID Cladding)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 Cladding)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 的回波動態特性及其出現位置。

- (6)導引練習(guide platicce)：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。

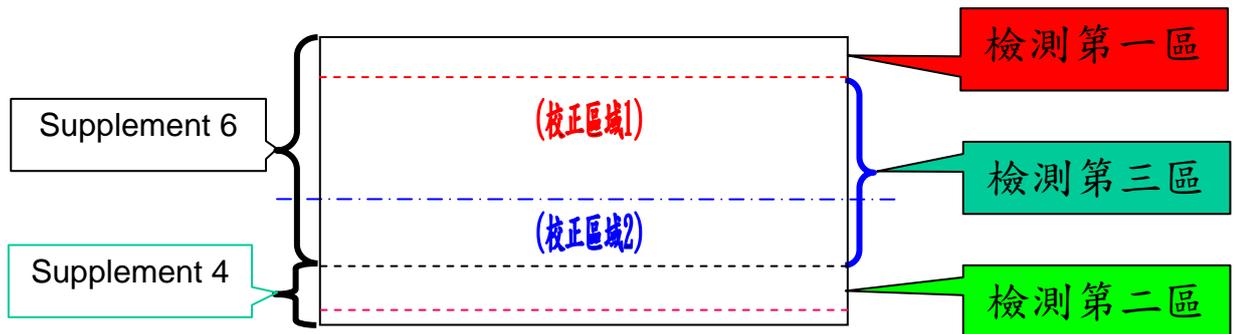
2)建立完整檢測作業流程：建議方式

檢測區分:3 個區域：

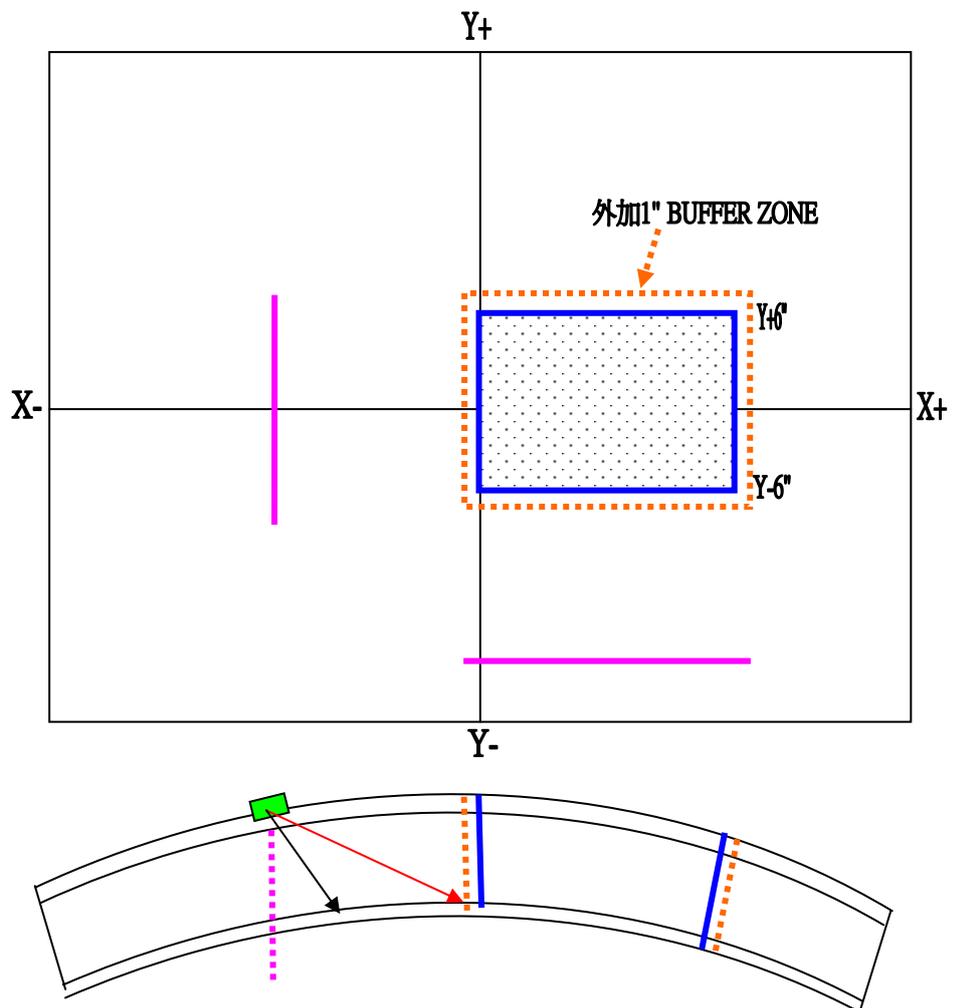
檢測第一區: 外表面 1" 區域加強檢測

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瞄重疊大於 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 Cladding)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，後依探頭掃瞄重疊大於 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 Cladding)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，後依探頭掃瞄重疊大於 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 度方向 60°L 是否出現瑕疵動態特性，若是則依程序書 50%振幅絳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)掃瞄技巧：

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

5) 檢測技術規定：

- a.探頭掃瞄速度不得超過每秒 3 吋。
- b.探頭掃瞄重疊不得少於音波發射晶片面積之 50%。
- c.區域 1 近表面掃瞄靈敏度至少以校正 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 Cladding)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 Cladding)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。

4. 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。

5. 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，而非在掃瞄體積內找答案。先概略掃瞄，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。

6. 心得與感想

- 1). 檢測區域分爲 ZONE 1 and 2，但 ZONE 2 最好先掃描內表面注意 ID 內表面微小瑕疵後，再以同樣設定掃描中間層之瑕疵，最後再掃描 ZONE 1 之瑕疵。
- 2). 檢測速率不得大於每秒 3 吋，且最好雙手持穩探頭以利獲得最佳之回波。軸向掃描 Y 方向時，須從邊緣開始掃描。
- 3). 各項考試之尺寸計算與答案填寫均以英吋爲主，且爲十進位方式，故建議攜帶十進位之小鋼尺，量測時較爲方便，也較精確。
- 4). 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。
- 5). 當獲得回波訊號時必須重復驗證，及探頭轉 90 度同樣長度驗證，不得馬虎。當執行每一道掃描須有 50%之重疊。
- 6). 回波有良好動態，有良好雜訊比均要檢出。但材質偏析(SEGREGATE)之瑕疵屬製造可接受瑕疵，故儀器回波呈現如一座山之訊號，原則上不用檢出。
- 7). 當檢測出瑕疵時須量測出其長度，量測原則爲將瑕疵最大回波定在 80%螢幕高度，再平移探頭至回波降至 40%螢幕高度，此點爲探頭正中央視爲此一瑕疵此方向之長度截止點。再以同樣方式量測另一端之長度截止點，再將長度繪製於 SA 距離之垂直表面上。瑕疵高度(DA)量測同樣量測原則爲將瑕疵最大回波定在 80%螢幕高度，再前進探頭至回波降至 40%螢幕高度，此點爲 DA 值爲距離表面之剩餘厚度，瑕疵之上面高度，同樣量測將瑕疵最大回波後退探頭至回波降至 40%螢幕高度，此點爲 DA 值爲距離表面之最下方之高度，此上下距離爲瑕疵之高度。
- 8). 當記錄瑕疵位置，Y 值爲軸向分爲正 6 吋至負 6 吋。X 值爲最左邊算起均是正值。將所量測之值繪製於側視及頂視圖爲一比一尺寸繪製，作爲評分之依據。

六、反應器爐壁焊道(S5/7)裂縫檢測(PRIV Detection)能力驗證考試

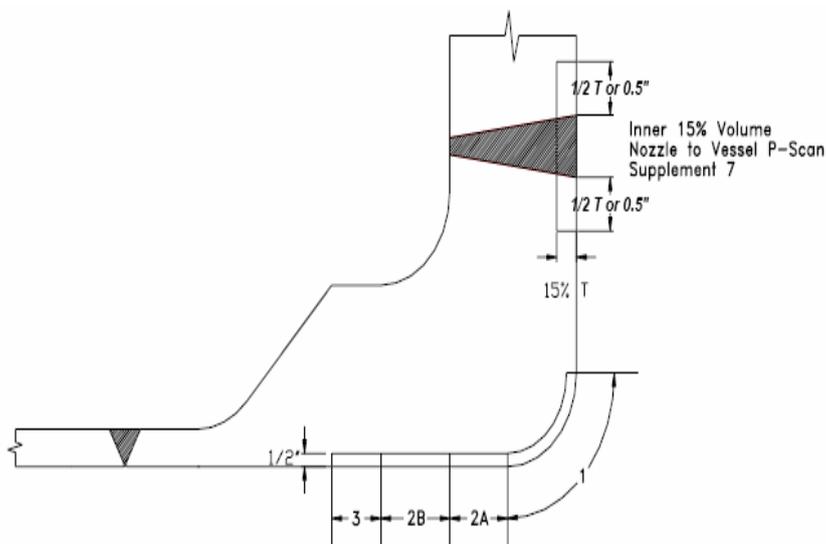
反應器管嘴焊道(Supplement 7 – RPV Nozzle-to-Vessel Weld)與管嘴內弧部位
(Supplement 5 – RPV Nozzle Inside Radius Section)超音波檢測

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

1.1. 美國電力研究所非破壞檢測中心試算表模組(EPRI Nondestructive Evaluation Center Spreadsheet Model)

美國電力研究所(EPRI)超音波檢測能力驗證合格程序書：PDI-UT-11 Rev-F，主要檢測範圍為：反應器管嘴焊道週向檢測15%ID與管嘴內弧部位軸向瑕疵檢測如圖1.1，ASME規章第十一部要求的反應器管嘴內弧部位檢測軸向瑕疵如圖1.2。因反應器管嘴形狀與反應器本體為多曲面結合，超音波路徑與瑕疵對應位置為複雜立體曲面關係，需透過電腦模型計算才能正確。

美國電力研究所(EPRI) 經多年開發建立「電力研究所非破壞檢測中心試算表模組」，結合PDI-UT-11程序書通過PDI認證，現場檢測須將所有管嘴的幾何形狀的尺寸交由EPRI 建立電腦模型，以規畫超音波適當角度與曲面供特定管嘴檢測。



- ASME Code Volume: Zones 1 and 2A
- BWROG Examination Volume: Zones 1, 2A, 2B and 3
- Inner 15% of the IWB-2500-7 nozzle to vessel volume or as modified by Code Case

圖1.1、RPV管嘴焊道週向檢測15%ID與管嘴內弧部位檢測

被檢測表面瑕疵位置「S」參數如圖2，S=0定為管嘴內弧部位檢測起點，S=MAX定為管嘴內弧部位檢測終點。

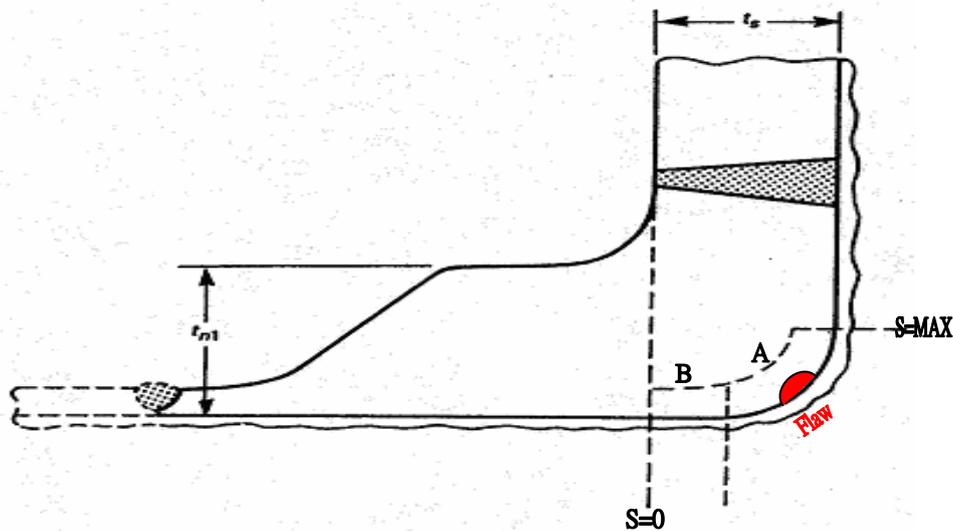


圖1.2、ASME 規章第十一部要求的管嘴內弧部位檢測軸向瑕疵

1.2. 反應器管嘴的幾何形狀

反應器管嘴的幾何形狀的尺寸輸入參數(Nozzle Inner Corner Region Detection Examination Model Input Parameters)

現場檢測須將所有反應器管嘴的幾何形狀的尺寸參數(如圖1.3)，如下列資料，交由 EPRI 建立電腦模型，確定檢測參數：檢測入射角、偏斜角、檢測曲面弧度、超因波音程與檢測位置。

1.2.1. 內表面尺寸 (Inside Surface Dimensions):

- Rbore: 反應器管嘴內半徑(Nozzle bore radius)
- Rbi: 反應器管嘴內弧半徑(Inside corner region radius)
- Rvi: 反應器爐體內半徑(Vessel inside radius)

1.2.2. 外表面尺寸(Outside Surface Dimensions):

- Rnozzle: 反應器管嘴外半徑(Nozzle boss radius)
- Rbo: 反應器管嘴外弧半徑(Nozzle blend radius)
- Rvo: 反應器爐體外半徑(Vessel outside radius)

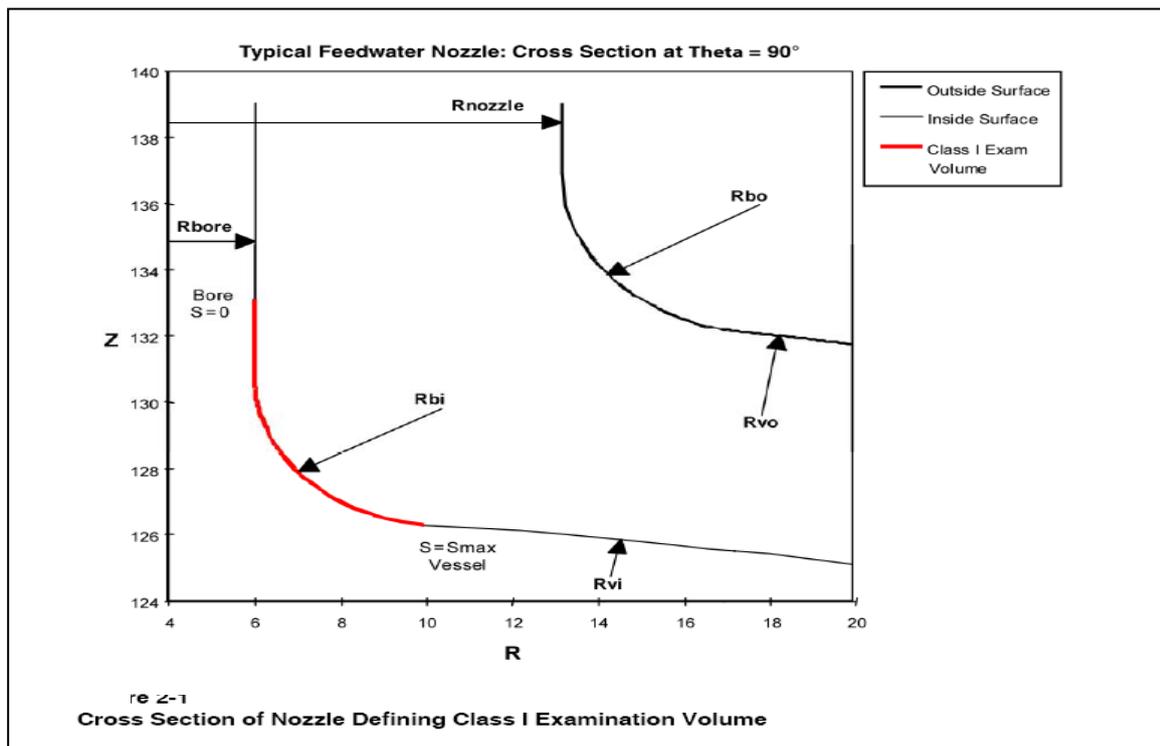


圖1.3、ASME 規章第十一部要求的反應器管嘴幾何形狀的尺寸參數

以EPRI考試試件R171P N2的反應器管嘴幾何形狀的尺寸參數(如表1)

表1、R171P N2 and R154 N2 Nozzle Geometry Inputs to Spreadsheet Model

內表面尺寸(Inside Surface Dimensions)			外表面尺寸 Outside Surface Dimensions		
	英吋 Inches	公釐 Millimeters		英吋 Inches	公釐 Millimeters
Rbore	5.795	147.2	Rnozzle	11.745	298.3
Rbi	3.27	83.1	Rbo	3.44	87.4
Rvi	109.795	2788.8	Rvo	115.97	2945.6

1.3. 反應器管嘴內弧部位軸向瑕疵檢測角隅反應設計(*Beam Angle at the Flaw and Corner Trap Response*)

反應器管嘴內弧部位軸向瑕疵檢測角隅反應設計，是以入射角 70° 超音波橫波探頭在反應器本體外壁與管嘴外弧位置，以特定的偏斜角入射，在管嘴內弧部位軸向瑕疵產生 45° 角隅反應，使檢測探頭接收反射回波如圖1.4，超音波立體入射、偏斜角、反射與瑕疵反射偏斜角(*Misorientation Angles*)示意圖如圖1.5，超音波多曲面立體入射、偏斜角與反射示意圖如圖1.6。

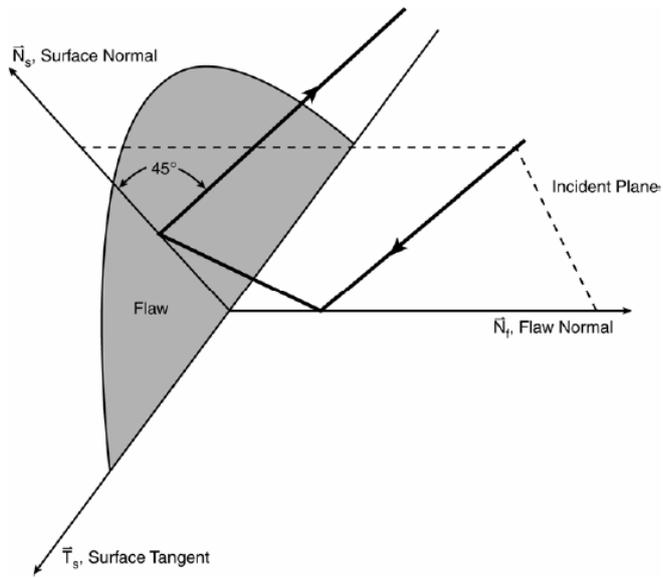


圖1.4、超音波入射角、特定的偏斜角、45°角隅反應

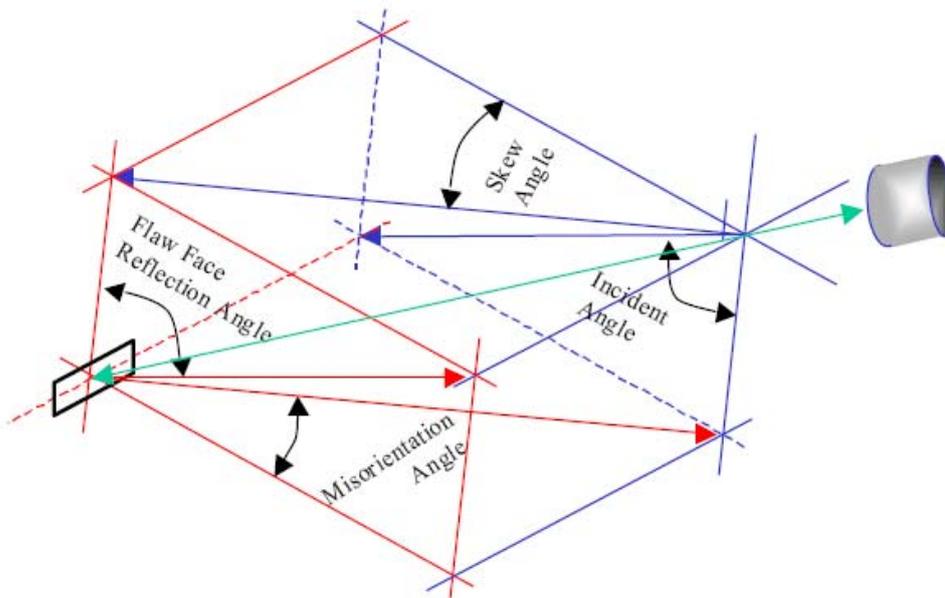


圖1.5、反應器管嘴超音波立體入射、偏斜角、反射與瑕疵反射偏斜角示意圖

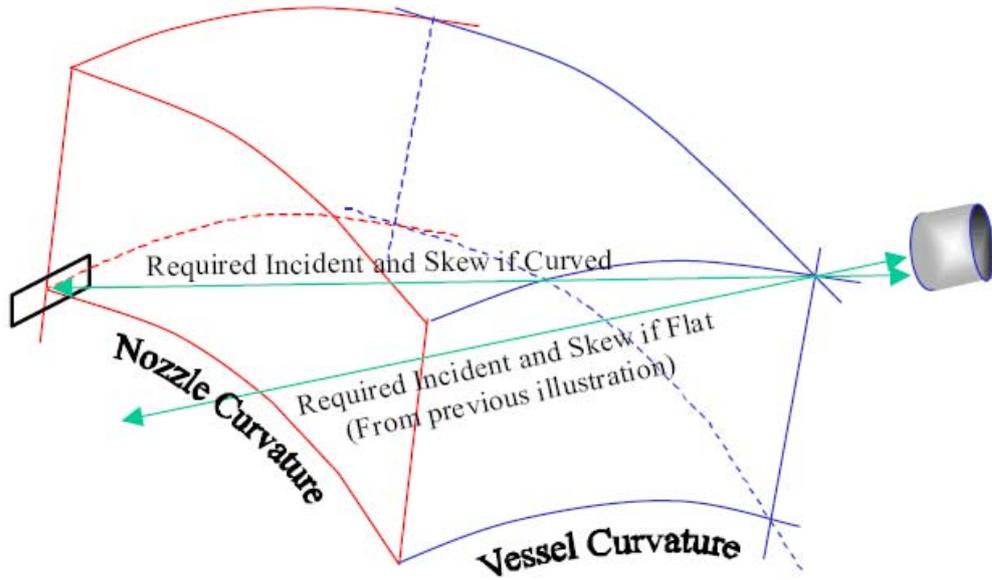


圖1.6、反應器管嘴超音波多曲面立體入射、偏斜角與反射示意圖

1.4. 反應器管嘴超音波偏斜角(*Probe Skew Nomenclature*)如圖1.7所示

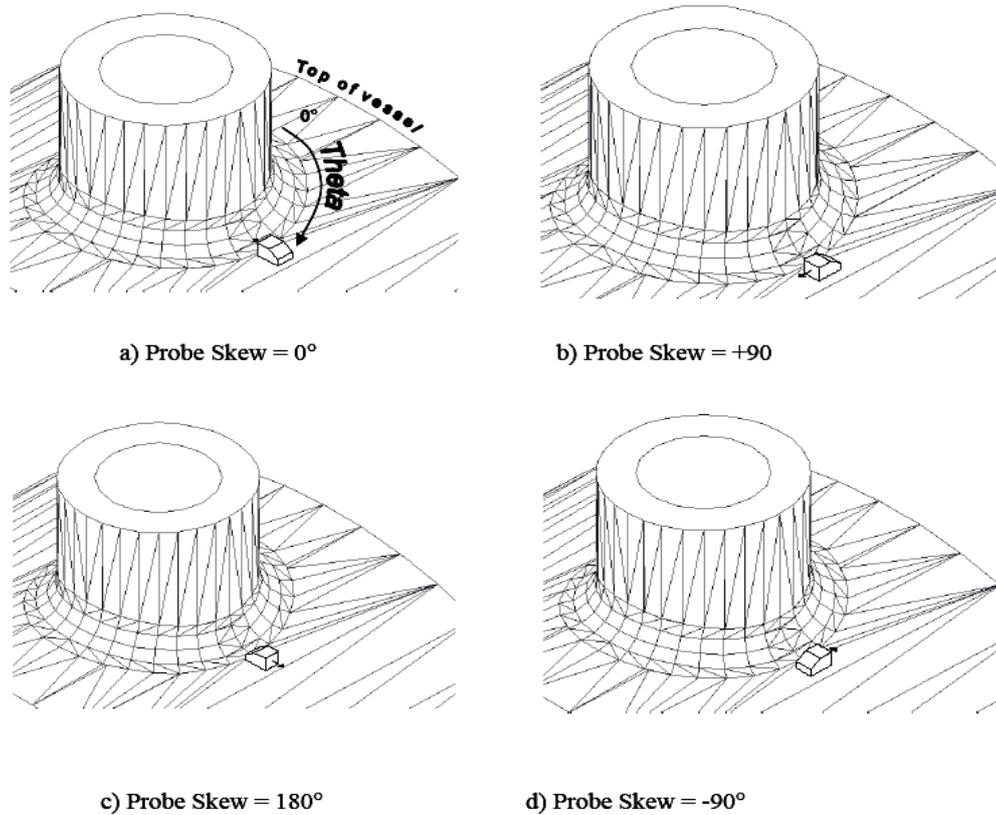


圖1.7、反應器管嘴超音波偏斜角(*Probe Skew Nomenclature*)

2. 反應器管嘴內弧部位軸向瑕疵檢測技術說明(*Normal Incidence Blend Radius and Vessel Shell Detection Techniques*)

以EPRI考試試件R171P N2的反應器管嘴幾何形狀的檢測參數(如表2)為例：

表2、EPRI考試試件R171P N2的反應器管嘴幾何形狀的檢測參數(EPRI Generic Normal

Incidence Detection Techniques for PDI Nozzle R171P and R154 N2)

入射角 Probe Angle	偏斜角 Probe Skew	檢測位置 Scan Surface	最小楔塊弧度 Minimum Wedge Radius		檢測波式 Mode of Propagation
			英吋 Inches	公釐 Millimeters	
70°	±23°	管嘴外弧 Blend	3.06	77.7	橫波 Shear Wave
70°	±(11° to 35°)	反應器爐體 Vessel	平面 Flat	平面 Flat	橫波 Shear Wave

2.1. 管嘴外弧 (Blend) 位置需要用超音波特定弧形與偏斜角曲面楔塊 (如圖2.1) 與管嘴外弧密合，檢測掃描方向有順時針 (clockwise) 及逆時針 (counterclockwise) 均需搭配偏斜角曲面楔塊。



圖2.1、特定弧形與偏斜角曲面楔塊

2.2. EPRI考試試件R171P N2的反應器管嘴幾何形狀，經「電力研究所非破壞檢測中心試算表模組」，計算反應器管嘴內弧部位超音波檢測軸向瑕疵之入射角與偏斜角對應

圖像，如圖2.2，設定以70°橫波，偏斜角(11° to 35°)作為檢測應用基準，入射角與偏斜角對應圖像如圖2.3。

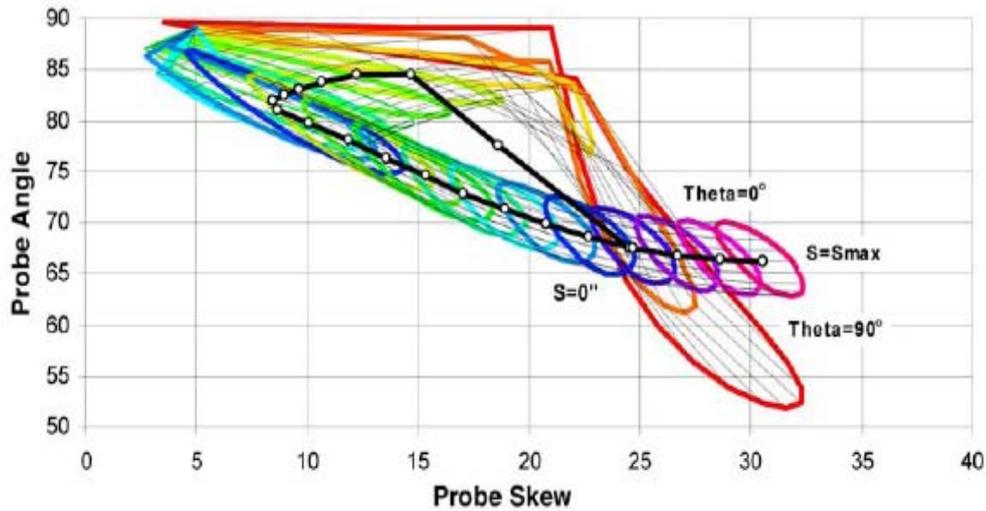


圖2.2、反應器管嘴內弧部位超音波檢測軸向瑕疵之入射角與偏斜角對應圖像

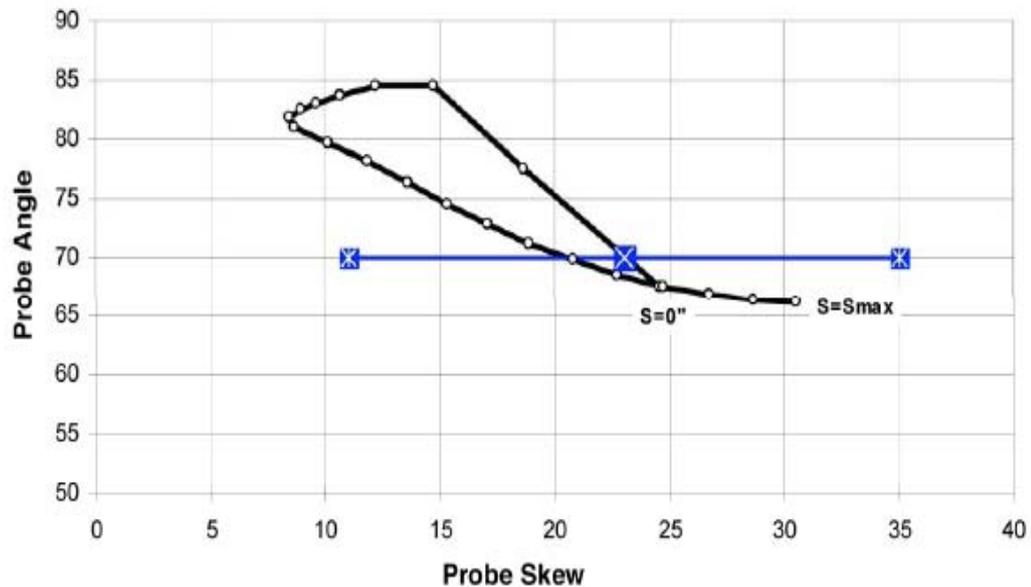


圖2.3、70°橫波，偏斜角(11° to 35°)作為超音波檢測應用基準入射角與偏斜角對應圖像

2.3. 反應器管嘴檢測座標說明如圖2.4

2.4. 選定超音波入射角與偏斜角後檢測位置、超音波音程、瑕疵反射偏斜角限定要求如表3，當結果超出表3所述各項要求時，其檢測的有效性應被質疑，需再驗證。在管嘴外弧部位70°橫波，偏斜角(23°)的檢測剖面圖例如圖2.5；在反應器爐體部位70°橫波，偏斜角(11° to 35°)的檢測剖面圖例如圖2.6。

2. 5. EPRI考試試件R171P N2的反應器管嘴幾何形狀，經「電力研究所非破壞檢測中心試算表模組」，計算反應器管嘴內弧部位超音波檢測軸向瑕疵，在管嘴外弧部位70°橫波，偏斜角(23°)的檢測含蓋圖例如圖2.7；在反應器爐體部位70°橫波，偏斜角(11° to 35°)的檢測含蓋圖例如圖2.8；100%反應器管嘴內弧部位超音波檢測如圖16，反應器管嘴內弧部位超音波音程變化圖例如圖2.9，反應器管嘴內弧部位超音波入射角變化圖例如圖2.10。

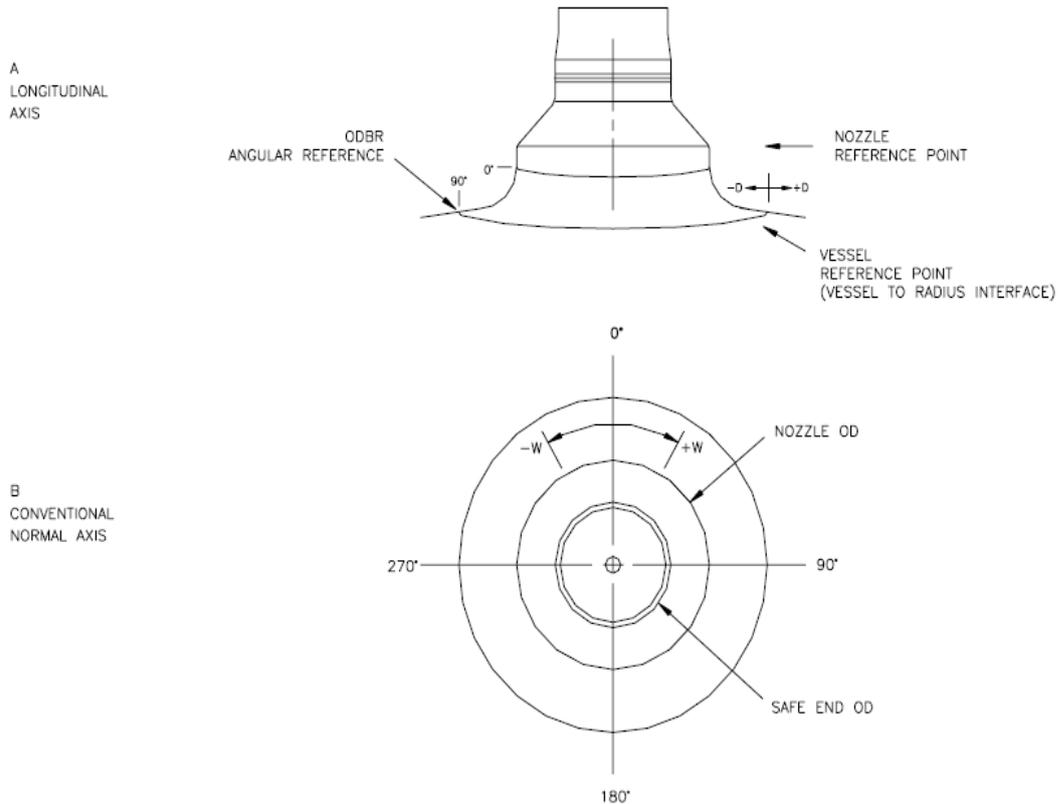


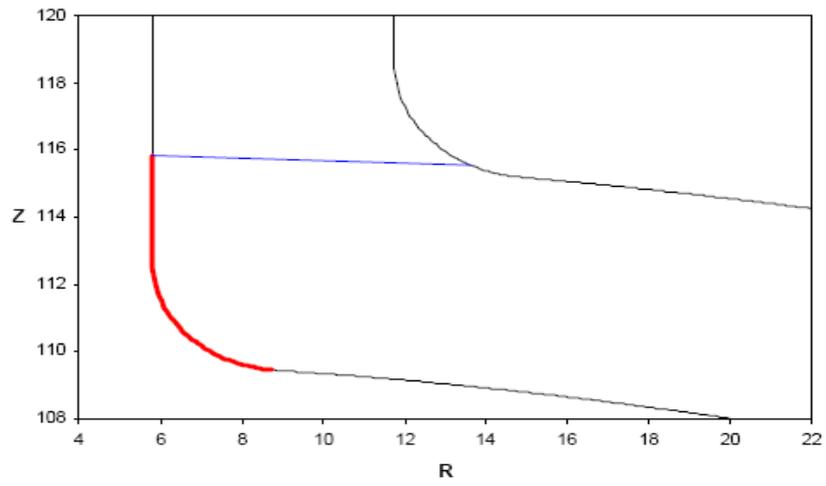
圖2.4、反應器管嘴檢測座標說明

表3、超音波入射角與偏斜角後檢測位置、超音波音程、瑕疵反射偏斜角限定要求 (*Model Output Parameters: Probe Position, Metal Path, and Misorientation Angles.*)

EPRI Generic Normal Incidence Detection Techniques for PDI Nozzle R171P and R154 N2)

入射角 Probe Angle	偏斜角 Probe Skew	檢測位置 Scan Surface	最小徑向尺寸 Min R		最大徑向尺寸 Max R		最小音程 Min MP		最大音程 Max MP		最大瑕疵反射偏斜角 Max Misorientation ⁿ
			英吋 in.	公釐 mm	英吋 in.	公釐 mm	英吋 in.	公釐 mm	英吋 in.	公釐 mm	
70°	±23°	管嘴外弧 Blend	13.61	345.7	15.42	391.7	9.44	239.8	13.84	351.5	16
70°	±(11° to 35°)	反應器爐體 Vessel	15.61	396.5	21.88	555.8	12.2	310.1	20.24	514.1	12

PDIR171 N2 & R154 N2 Nozzle; 70/23bd



PDIR171 N2 & R154 N2 Nozzle; 70/23bd

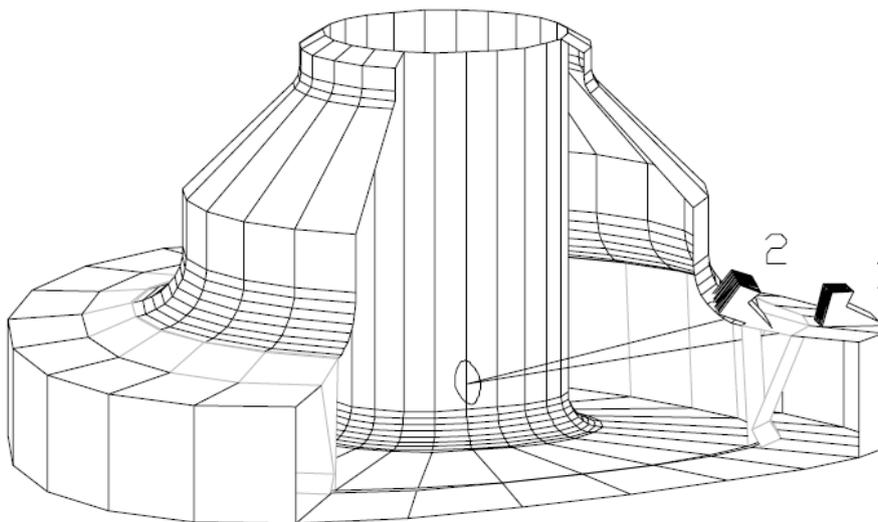
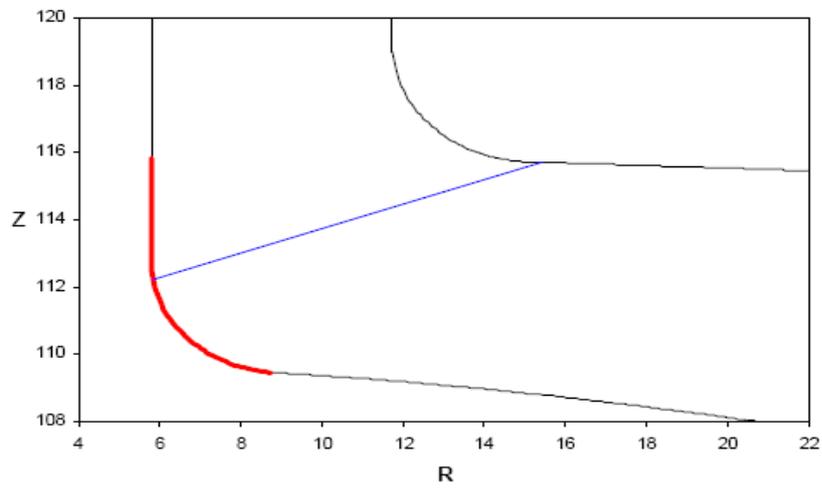
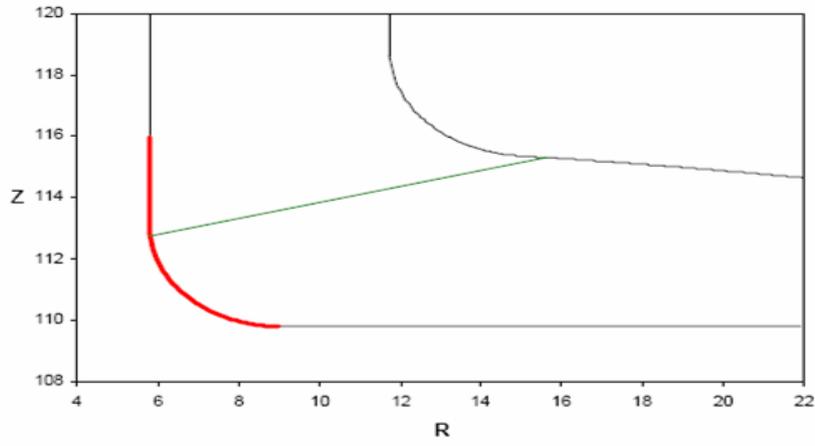


圖2.5、管嘴檢測在管嘴外弧部位 $\theta=115$ 至 176 處以 70° 橫波，偏斜角(23°)的檢測剖面圖例

PDI R171 N2 & R154 N2 Nozzle; 70/(11 to 35)vs



PDI R171 N2 & R154 N2 Nozzle; 70/(11 to 35)vs

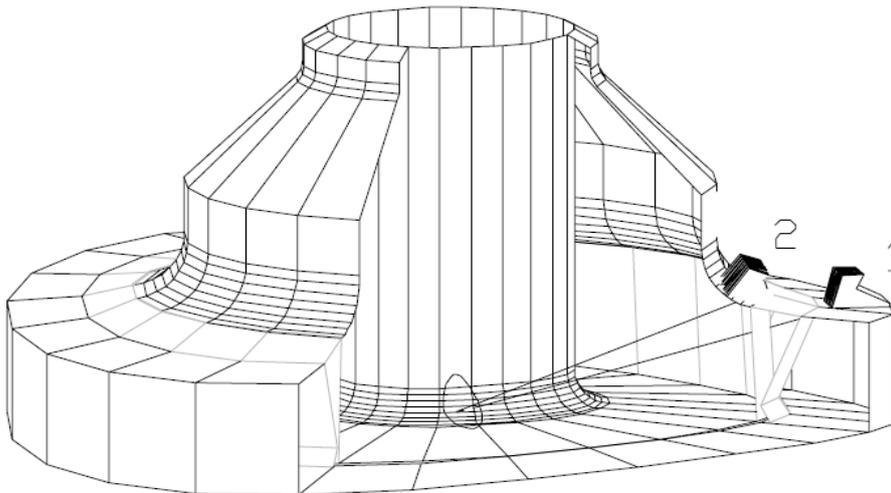
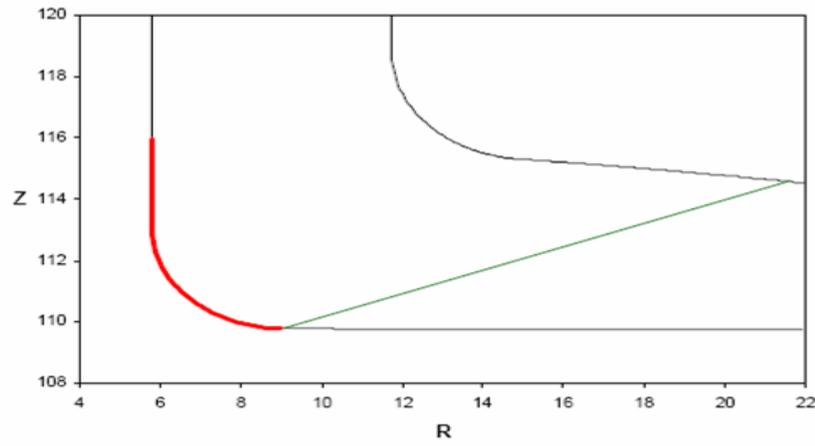


圖2.6、管嘴檢測在反應器爐體部位 $\theta=53$ 至 236 處以 70° 橫波，偏斜角 $(11^\circ$ to $35^\circ)$ 的檢測剖面圖例

3. 反應器管嘴內弧部位軸向瑕疵檢測

3.1. 檢測儀器：需使用已認證的儀器詳PDI-UT-11 TABLE1，本隊使用USN60。

3.2. 檢測、長度評估與瑕疵高度評估探頭：需使用已認證的儀器及探頭詳PDI-UT-11 TABLE1以USN60為例：

探頭應用	探頭製造商/型號	波式/角度	頻率	探頭形式與晶片數	探頭尺寸
檢測	KBA (COMP-G)/ 389-055-750	橫波/70°	2.25Mhz	圓形/單獨晶片	0.75"

3.3. 檢測探頭楔塊(檢測試件R171P N2的反應器管嘴為例)：1.橫波/70°平板楔塊，從反應器爐體檢測；2.橫波/70°含偏斜角+23°與3.06"半徑曲面楔塊，從管嘴外弧逆時針方向檢測；3.橫波/70°含偏斜角-23°與3.06"半徑曲面楔塊從管嘴外弧順時針方向檢測。

3.4. 檢測距離校準：建議使用DSC距離校準規塊4"與8"校準，螢幕距離設25"FSW。

3.5. 檢測零敏度校準：使用參考規塊內面凹槽在螢幕顯示80%FSH。

3.6. 設GATE A為數位顯示讀值，起點定最小音程，終點定最大音程；GATE B為螢幕數位放大顯示螢幕倍率。

3.7. 標定考試範圍(000~180)與檢測掃描範圍(檢測試件R171P N2的反應器管嘴為例)如圖3.1。

檢測位置 Scan Surface	偏斜角 Probe Angle	入射角 Probe Skew	dir.	EXAM AREA (deg)		徑向尺寸 Radius position				ref pos. in.	音程 MP		最大瑕疵反射偏斜角 Max Misorientation
				L1	L2	最小 min (in)	最大 max (in)	最小 min	最大 max				
Blend	70°	±23°	CCW	60	250	13.61	6.71	15.61	8.71	6.9	9.44	13.84	16
Blend	70°	±23°	CW	290	135	13.61	6.71	15.61	8.71	6.9	9.44	13.84	16
Vessel	70°	±(11° to 35°)	CCW	45	250	15.61	8.71	21.88	14.98	6.9	12.21	20.24	12
Vessel	70°	±(11° to 35°)	CW	290	135	15.61	8.71	21.88	14.98	6.9	12.21	20.24	12

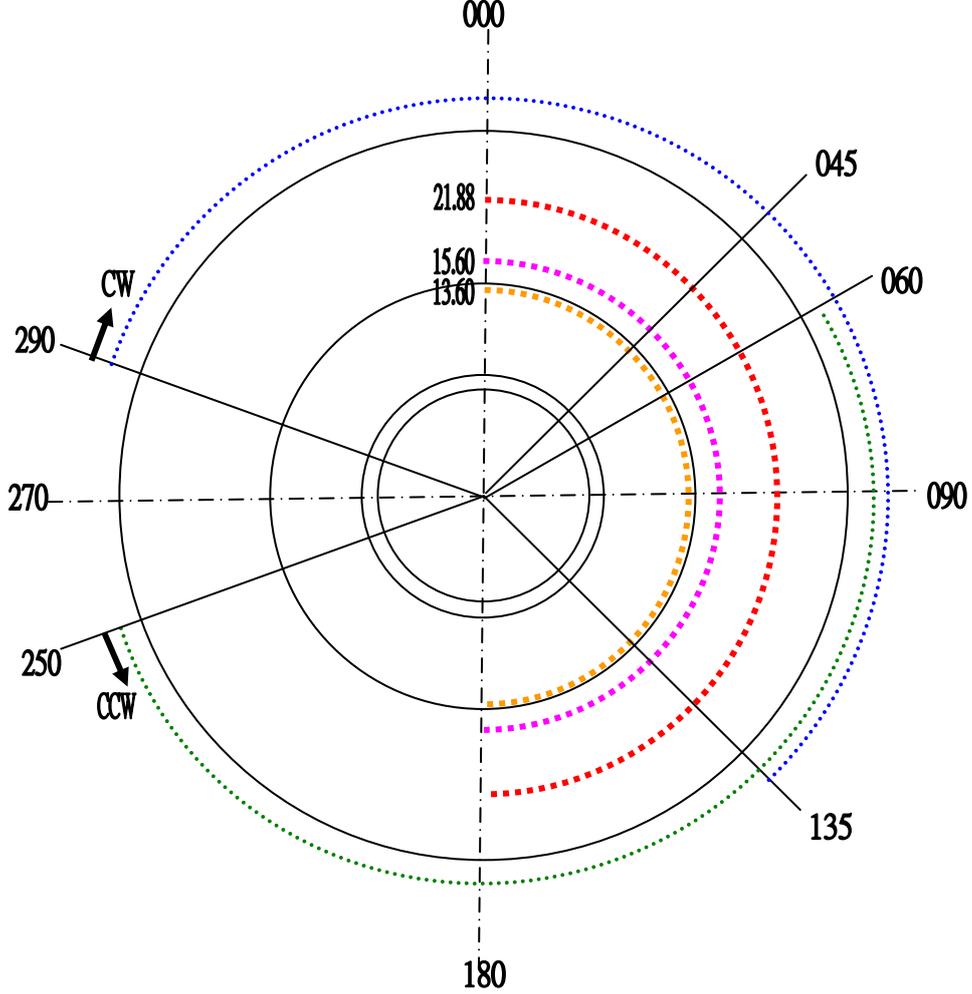


圖3.1、標定考試範圍(000~180)與檢測掃描範圍(檢測試件-R171P N2的反應器管嘴為例)

3.8. 架設徑向量規與雷射偏斜角儀於檢測管嘴外徑上 (管嘴外徑定為參考值圖3.1中為6.9吋) 詳圖3.2 A、B、C。



圖3.2 A、架設徑向量規與雷射偏斜角儀於檢測管嘴外徑上。



圖3.2 B、架設徑向量規與雷射偏斜角儀於檢測管嘴外徑上_偏斜角。

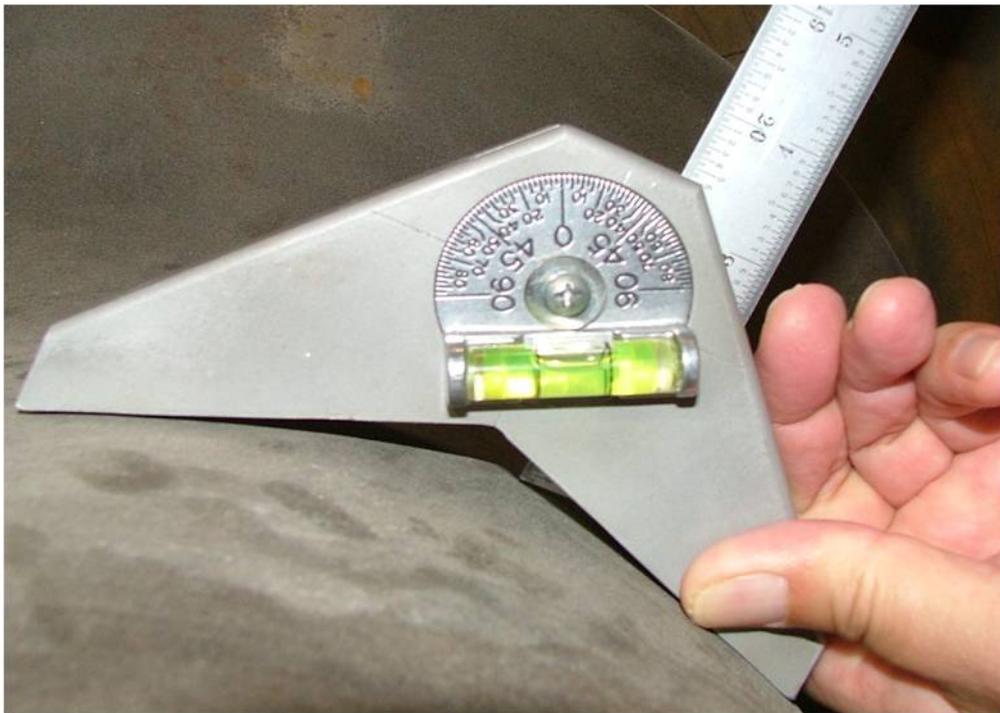


圖3.2 C、架設徑向量規與雷射偏斜角儀於檢測管嘴外徑上-距離0點角度。

3. 9. 在管嘴外弧部位檢測掃瞄範圍以速率小於每秒3吋，以50%探頭大小重疊掃瞄，朝管嘴內弧軸面逆（順）時針方向，以平行於管嘴外弧或垂直於管嘴外弧移動探頭，保持偏斜角23度掃瞄檢測，確認檢測區域內有瑕疵回波音程在最小音程與最大音程範圍內，觀察回波動態是否有瑕疵回波動態特性，判定為瑕疵回波時找出最大回波位

置，以極座標方式標定探頭位置記錄（距離0點角度、徑向距離+管嘴外徑、最大回波音程），輸入「EPRI 3D Nozzle Modeling Toolkit V1.0」軟體如下圖3.3，計算出瑕疵極座標位置與最大瑕疵反射偏斜角。

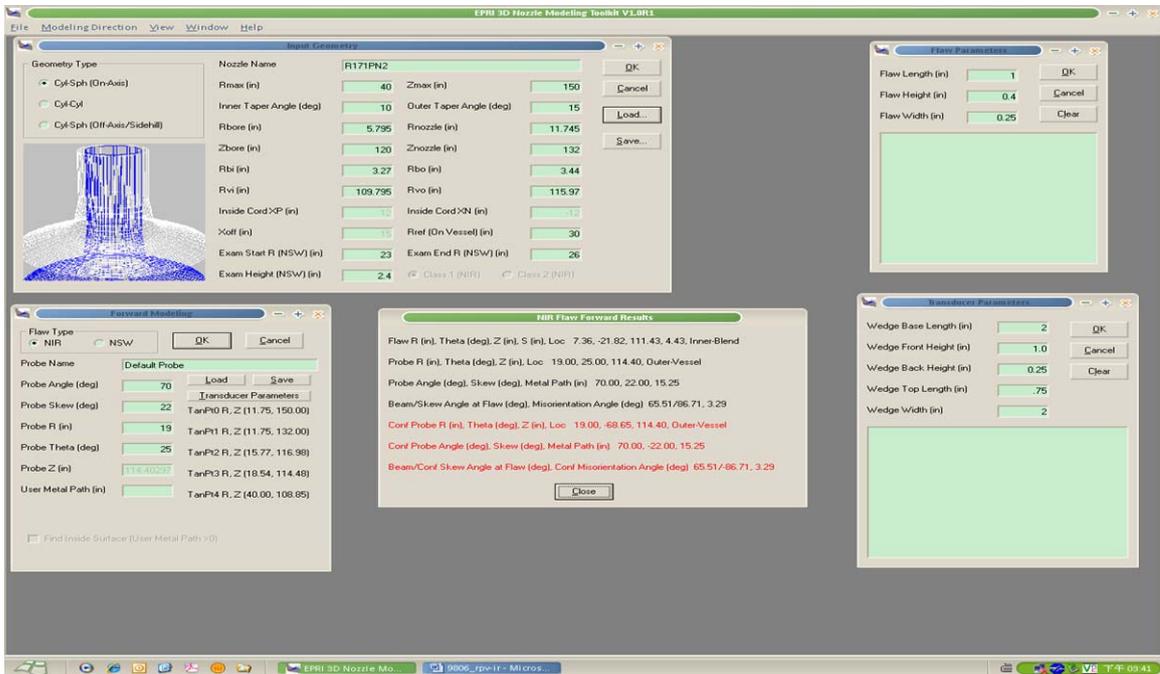


圖3.3 「EPRI 3D Nozzle Modeling Toolkit V1.0」軟體計算出瑕疵極座標位置

- 3.10. 在反應器爐體部位檢測掃瞄範圍以速率小於每秒3吋，以50%探頭大小重疊掃瞄，朝管嘴內弧軸面逆（順）時針方向，以平行於管嘴外弧或垂直於管嘴外弧移動探頭，保持偏斜角11至35度掃瞄檢測，確認檢測區域內有瑕疵回波音程在最小音程與最大音程範圍內，觀察回波動態是否有瑕疵回波動態特性，判定為瑕疵回波時找出最大回波位置，以極座標方式標定探頭位置記錄（距離0點角度、徑向距離+管嘴外徑、最大回波音程），輸入「EPRI 3D Nozzle Modeling Toolkit V1.0」軟體，計算出瑕疵極座標位置與最大瑕疵反射偏斜角。
- 3.11. 記錄瑕疵極座標位置（距離0點角度、徑向距離、瑕疵S）與最大瑕疵反射偏斜角，確認瑕疵極座標位置是在管嘴內弧位置，最大瑕疵反射偏斜角在程序書要求範圍內，上述位置在另一方向逆（順）時針檢測的瑕疵角度偏差在9.8度內，瑕疵徑向距離偏差在1吋內，瑕疵S距離偏差在1吋內，可判定瑕疵極座標位置為有效位置。
- 3.12. 重複3.9、3.10、3.11步驟在相同逆（順）時針檢測方向，探頭標定位置附近，找出2-3個最大回波位置，輸入「EPRI 3D Nozzle Modeling Toolkit V1.0」軟體如下圖

- 3.4，計算出瑕疵極座標位置與最大瑕疵反射偏斜角，並判定是否為有效瑕疵位置。
- 3.13. 將上述有效瑕疵位置的極座標角度，求算術平均數，作為最後瑕疵位置。
- 3.14. 重複3.9、3.10、3.11、3.13步驟，完成檢測區域並提出最後瑕疵位置報告與其瑕疵S距離及瑕疵位置為ZONE-A或ZONE-B。

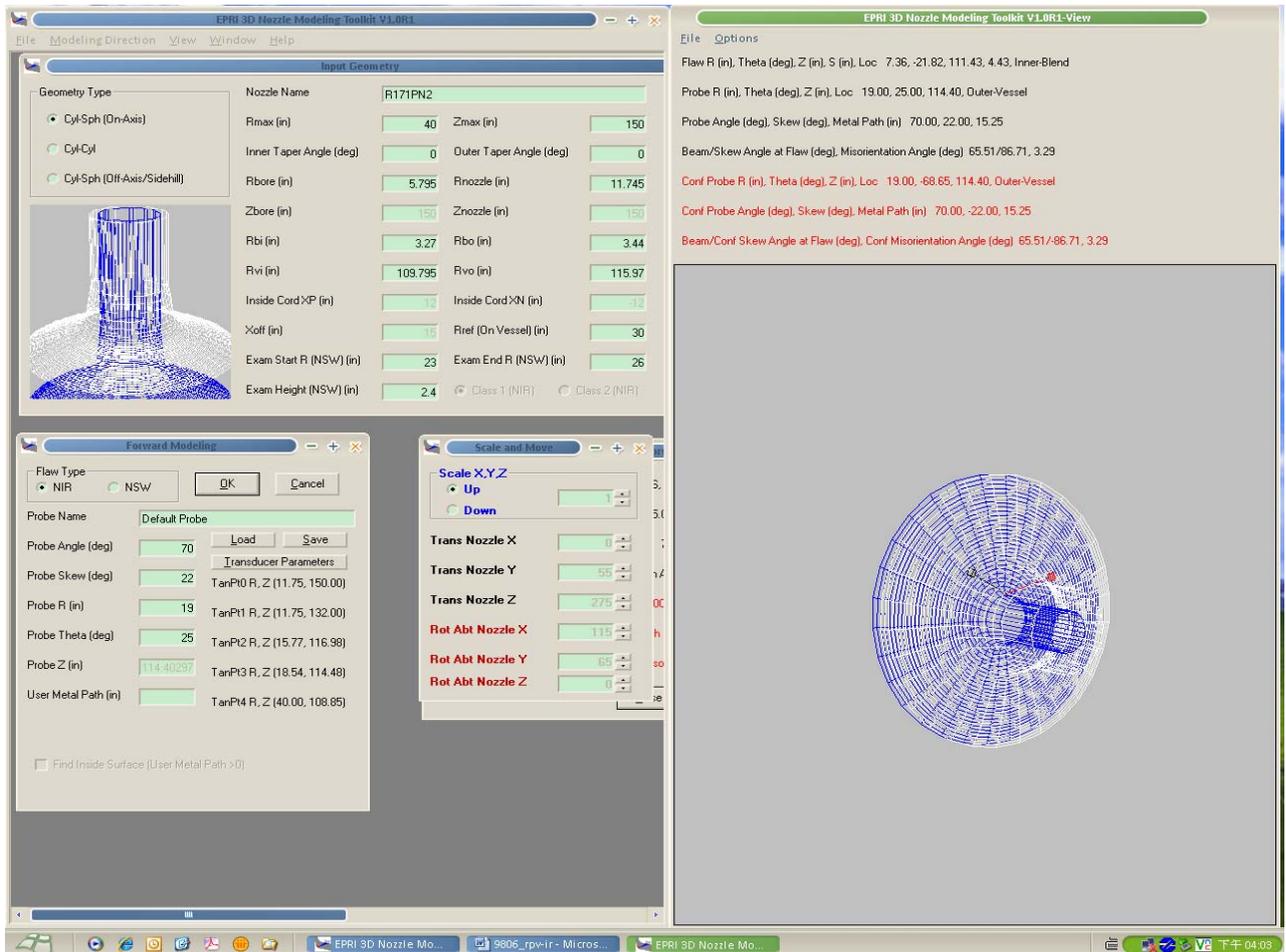


圖3.4找出最大回波位置，輸入「EPRI 3D Nozzle Modeling Toolkit V1.0」軟體視窗

4. 反應器管嘴焊道檢測(Nozzle-to-Shell Weld Examination)

- 4.1. 反應器管嘴焊道檢測週向檢測15%ID部份，反應器管嘴焊道軸向瑕疵檢測角隅反應設計，是以入射角45°超音波橫波探頭在反應器本體外壁與管嘴外弧位置，以特定的偏斜角入射，在管嘴內弧部位軸向瑕疵產生45°角隅反應，使檢測探頭接收反射回波；反應器管嘴焊道檢測週向檢測15%ID，超音波檢測區域示意圖如圖4.1。
- 4.2. 以EPRI考試試件R171PN1的反應器管嘴幾何形狀的檢測參數(如表4)

表 4、EPRI 考試試件 R171PN1 的反應器管嘴幾何形狀的檢測參數(PDI R171PN1

Nozzle-to-Shell Geometry Inputs to Spreadsheet Model)

Inside Surface Dimension			Outside Surface Dimension		
	Inches	Millimeters		Inches	Millimeters
Weld Start R	12.5	317.5	Weld End R	17.5	444.5
Rbore	5.8	147.3	Rnozzle	11.75	298.5
Rbi	3.19	81	Rbo	3.06	77.7
Rvi	110.19	2798.8	Rvo	116.44	2957.6

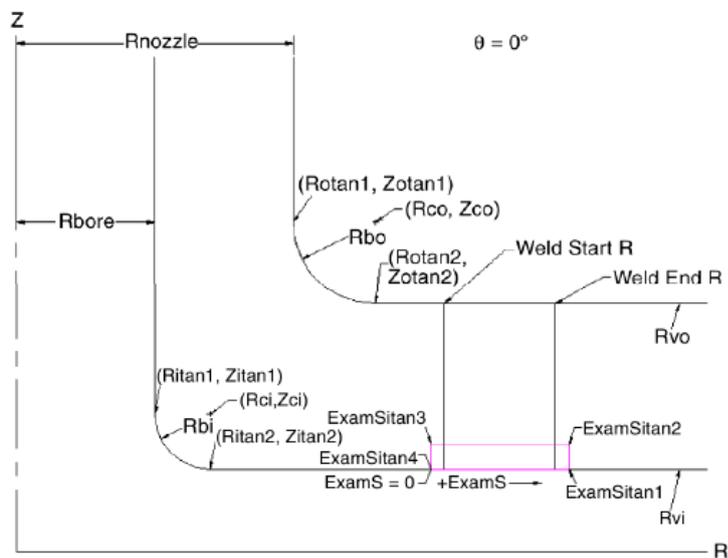


Figure 2-26
Cross Section Showing Nozzle-to-Shell Weld and Definition of Class I Examination Volume

圖 4.1、反應器管嘴焊道檢測週向檢測 15%ID 超音波檢測區域示意圖。

4. 3. EPRI考試試件R171P N1的反應器管嘴焊道幾何形狀，經「電力研究所非破壞檢測中心試算表模組」，計算反應器管嘴焊道檢測部位超音波檢測軸向瑕疵入射角與偏斜角對應圖像，如圖4.2，入射角與偏斜角參數如表4.1，設定以45°橫波，偏斜角(53° to 78°)作為檢測應用基準，入射角與偏斜角對應圖像如圖4.3。

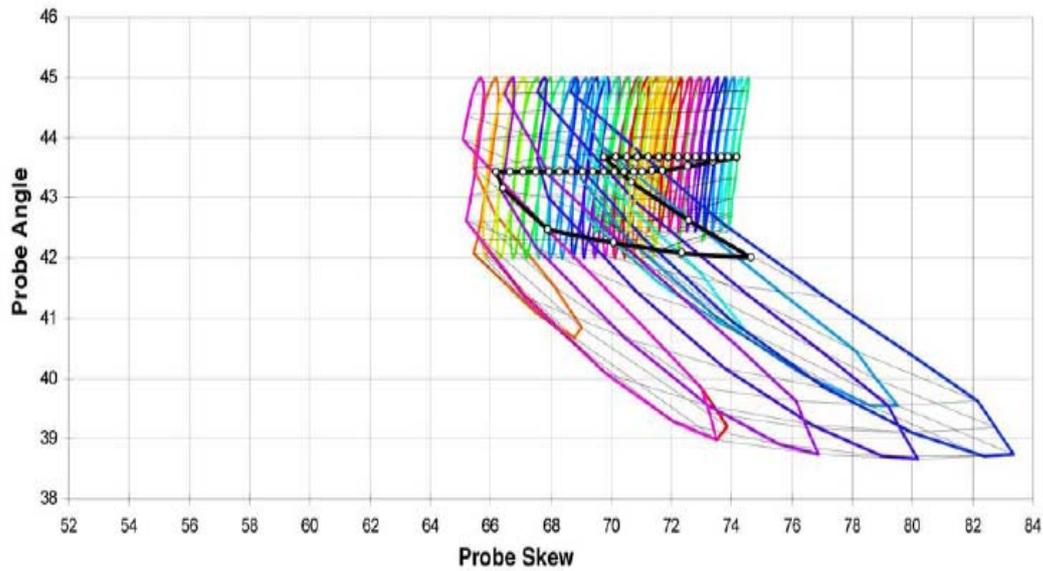


圖 4.2、反應器管嘴焊道檢測部位超音波檢測軸向瑕疵入射角與偏斜角對應圖像。

表 4.1、反應器管嘴焊道入射角與偏斜角參數(Spreadsheet Model Technique for PDI R171P N1 Nozzle-to-Shell Weld)

入射角 Probe Angle	偏斜角 Probe Skew	檢測位置 Scan Surface	Minimum Wedge Radius	檢測波式 Mode of Propagation
45°	±(53° to 78°)	Vessel	Flat	橫波 Shear Wave

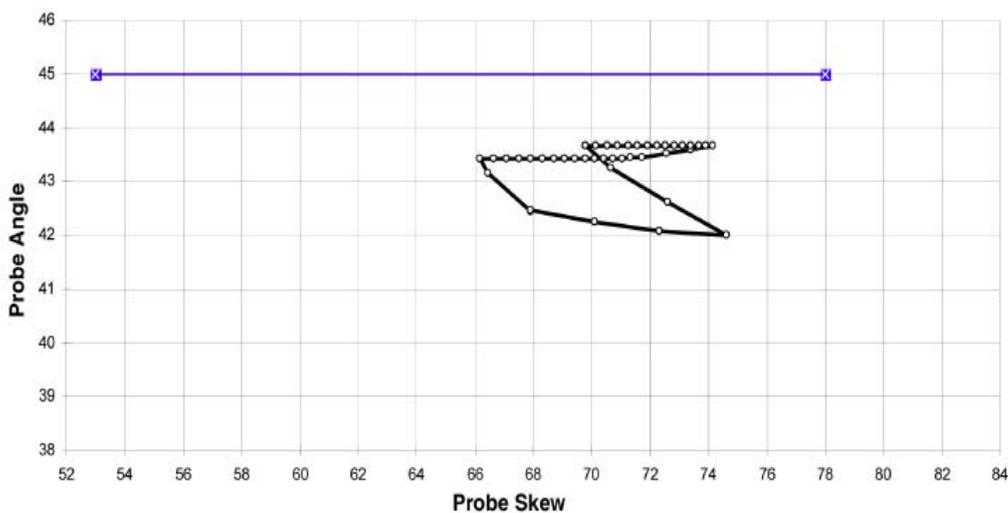


圖 4.3、設定以 45°橫波，偏斜角(53°to 78°)作為檢測應用基準，入射角與偏斜角對應圖像。

4. 4. EPRI考試試件R171P N1的反應器管嘴幾何形狀，經「電力研究所非破壞檢測中心試算表模組」，計算反應器管嘴焊道超音波檢測軸向瑕疵，在管嘴焊道附近反應器本

體部位45°橫波，偏斜角(53°/78°)的檢測含蓋圖例如圖4.4。

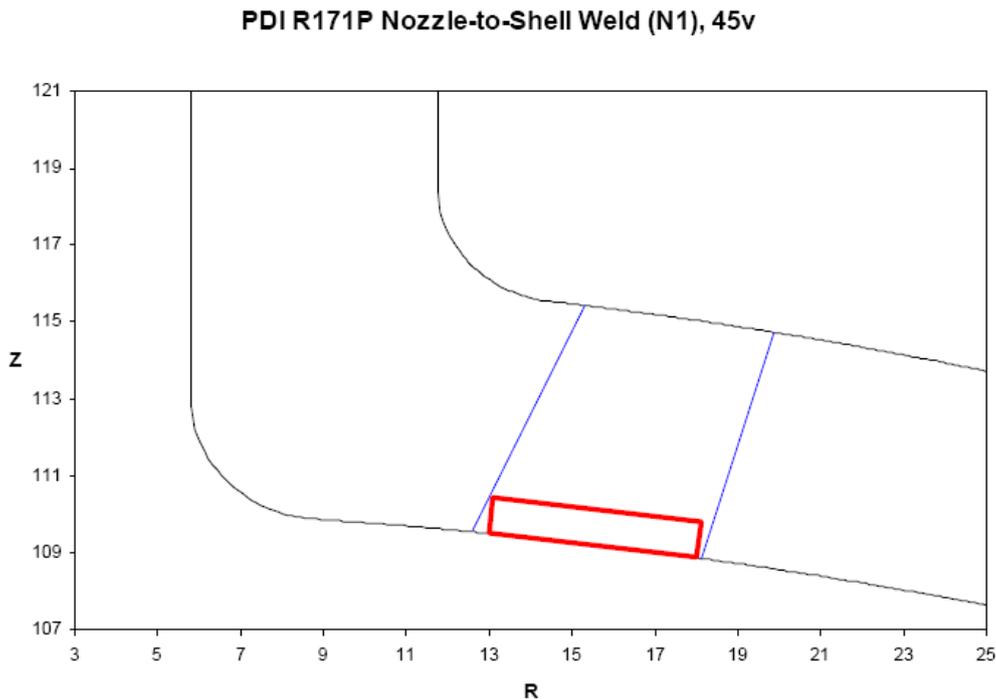


圖4.4、在管嘴焊道附近反應器本體部位 $\theta=90^\circ$ 處以45°橫波，偏斜角(53°/78°)的檢測含蓋圖例

七、反應器爐壁焊道裂縫長度與深度量測 (RPV Length Sizing & Depth Sizing) 能力驗證考試

1. 反應器爐壁焊道超音波檢測瑕疵長度與高度量測

1.1. ASME 規章有關反應器壓力槽體焊道檢查及其能力驗證考試規定：

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

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"。

1.2. 能力驗證檢測程序書 (PDI-UT-7 Rev.F)

1.2.1. 檢測儀器：需使用已認證的儀器詳PDI-UT-7 TABLE1，本隊使用USN60，其重要設定參數亦規定在TABLE1內，參數均須符合。

1.2.2. 檢測瑕疵長度與瑕疵高度探頭：需使用已認證的儀器及探頭詳PDI-UT-7 TABLE1
以USN60為例：

探頭應用	探頭製造商/型號	波式/角度	頻率	探頭形式與晶片數	探頭尺寸
檢測瑕疵長度與瑕疵高度	KBA (COMP-G)/ 113-242-591	橫波/45 ⁰	2.25Mhz	圓形/單獨晶片	0.5”
	KBA (COMP-G)/ 113-242-591	橫波/60 ⁰	2.25Mhz	圓形/單獨晶片	0.5”

1.2.3. 檢測校準：可以音波路徑校正或以試件深度校正，分為三區敘述如下

- 近表面區(0~2”)：音程範圍 (或SW) =2.0”
以側鑽孔深0.3”與0.7”作校準
- 檢測體積區(OD-2”~ID-2”)：音程範圍 (或SW) =2.0”~6.0”
以側鑽孔深1.5”與3.7”作校準
- 內側鑲層(ID Cladding)與母材介面區(ID-2”~ ID Cladding)：音程範圍 (或SW) =7.5”
以側鑽孔深5.5”與7.5”作校準

1.2.4. 瑕疵參數建立：

- 以0⁰探頭建立試件厚度；確認瑕疵與參考零點的(X, Y, Z)座標對應位置，及探頭與瑕疵對應位置。
- 應確認瑕疵偏斜與走向，在瑕疵上、下平行與左、右垂直位置互相驗證
- 受限現場幾何形狀限制，採單邊檢測應與敘述說明。
- 驗證為非瑕疵時，應與敘述說明幾何形狀或音速轉向成因。

1.3. 檢測瑕疵長度

1.3.1.1. 近表面區(0~2”)：

- 45⁰橫波：定位較上位的尖端繞射波，並找出最大尖端繞射反應訊號處，調整增益使其振幅在90-100%FSH，沿著瑕疵長度兩端平行移動，當訊號降至20%FSH時標定其位置L1，再沿著瑕疵長度另端移動，當訊號降至20%FSH時標定其位置L2，瑕疵長度為L1與L2的差值。
- 60⁰橫波：定位較上位的尖端繞射波，並找出最大尖端繞射反應訊號處，調整增益使其振幅在80%FSH，沿著瑕疵長度兩端平行移動，當訊號降至40%FSH

時標定其位置L1，再沿著瑕疵長度另端移動，當訊號降至40%FSH時標定其位置L2，瑕疵長度為L1與L2的差值。

1.3.1.2. 檢測體積區(OD-2”~ID-2”)：與近表面區技術相同。

1.3.1.3. 內側鑲層(ID Cladding)與母材介面區(ID-2”~ ID Cladding)：

- 45⁰橫波：定位較上位的尖端繞射波，並找出最大尖端繞射反應訊號處，調整增益使其振幅在80%FSH，沿著瑕疵長度兩端平行移動，當訊號降至40%FSH時標定其位置L1，再沿著瑕疵長度另端移動，當訊號降至40%FSH時標定其位置L2，瑕疵長度為L1與L2的差值。
- 當較低位的尖端繞射波訊號，較上位的尖端繞射波訊號有更好雜訊比時亦可用來建立瑕疵長度。
- 當沿著瑕疵長度兩端平行移動時，應使探頭與瑕疵保持垂直與固定距離，最好應用平尺作引導；且須確認其訊號降至40%FSH時，再往外平行移動確認已無更高訊號，若有時應繼續平行移動，確認後定為新瑕疵長度端點，重新量度端點差值。
- 如果條件允許，從相反方向（180度），依上述技術，建立瑕疵長度，互相印證。

1.4. 檢測瑕疵高度

1.4.1. 當瑕疵高度 ≤ 0.375 ”時應用相對時間到達(RATT)技術，瑕疵高度 > 0.375 ”時應用絕對時間到達(AATT)技術。

1.4.2. 瑕疵高度量測，如果條件允許，從相反方向（180度）建立瑕疵高度量測互相印證。

1.4.3. 近表面區(0~2”)：

- 0~1”：應用60⁰橫波量測，45⁰橫波驗證。
- 1”~2”：應用45⁰橫波量測，60⁰橫波驗證。

1.4.4. 檢測體積區(OD-2”~ID-2”)：應用45⁰橫波量測，60⁰橫波驗證。

1.4.5. 內側鑲層(ID Cladding)與母材介面區(ID-2”~ ID Cladding)：應用45⁰橫波量測，60⁰橫波驗證。

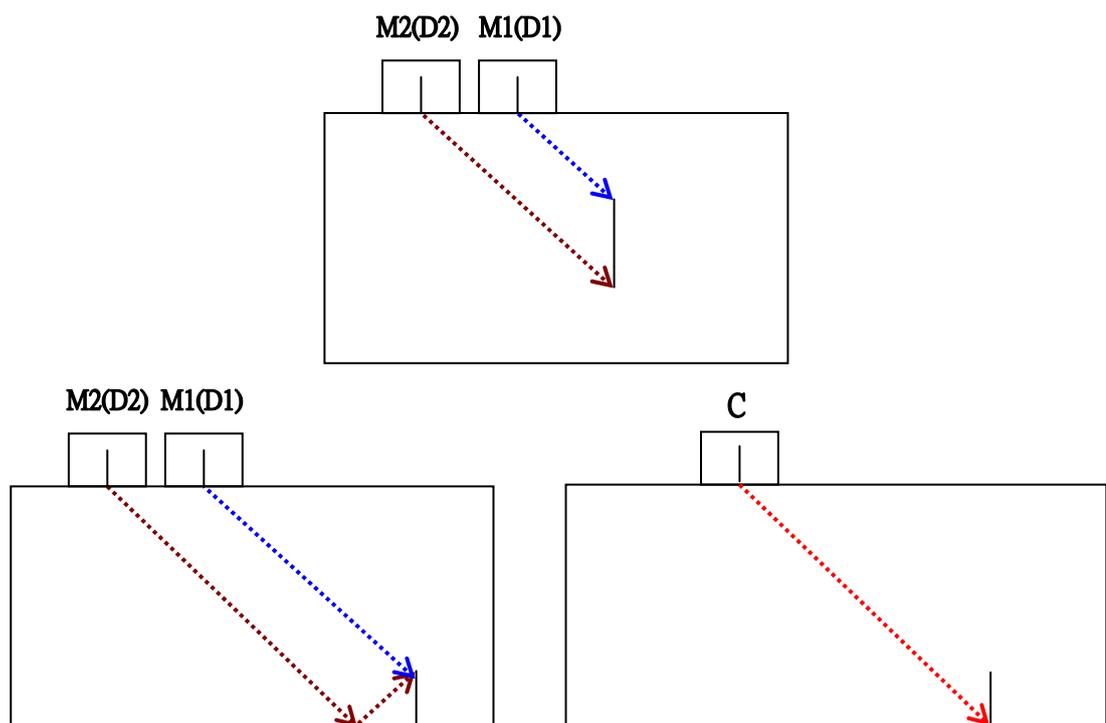
1.4.6. 絕對時間到達(AATT)技術：

1.4.6.1. 瑕疵與OD表面連接：定位較上位的尖端繞射波，並找出最大尖端繞射反應訊號處，記錄其音程值 (M) 或瑕疵高度值(D)； $TWE=M \times \cos\theta=D$ 。

1.4.6.2. 瑕疵未與OD表面與ID介面連接：定位較上位的尖端繞射波，並找出最大尖端繞射反應訊號處，記錄其音程值 (M1) 或瑕疵高度值(D1)，調整增益使其振幅在50%~70%FSH，與瑕疵長度垂直方向往後移動，找到較下位的尖端繞射波，附近平行移動找出最大尖端繞射反應訊號處，記錄其音程值 (M2) 或瑕疵高度值(D2)； $TWE=(M2-M1) \times \cos\theta=D2-D1$

1.4.6.3. 瑕疵與ID介面連接：

- 定位較上位的尖端繞射波，並找出最大尖端繞射反應訊號處，記錄其音程值 (M1) 或瑕疵高度值(D1)，調整增益使其振幅在50%~70%FSH，與瑕疵長度垂直方向往後移動，找到較下位的尖端繞射波，附近平行移動找出最大尖端繞射反應訊號處，記錄其音程值 (M2) 或瑕疵高度值(D2)
- 定位ID角隅回波與瑕疵長度垂直方向往前或往後移動，ID角隅回波會走出 (WALK) 內側鑲層(ID Cladding)與母材介面回波，找出最大回波並記錄其音程值 (C)。
- $TWE=(M2-M1) \times \cos\theta/2=(M2-C) \times \cos\theta=(C-M1) \times \cos\theta$ 或
- $TWE=D2-D1/2= D2-C= C- D1$



絕對時間到達(AATT)技術圖示

1.5. 考試心得:

1.5.1. 面狀瑕疵的型態非單一矩形或方型，亦有梯形、倒梯形、不對稱型等故長度量測位置至少於瑕疵上緣、瑕疵中央與瑕疵下緣量測，取最長的位置，定面狀瑕疵起點與終點。

1.5.2. 同上，面狀瑕疵的高度量測，亦取瑕疵上緣與瑕疵下緣量測取最長的位置。尤其需要多觀察尖端繞射波的特性，確定後須平移確定有一長度非單一點。

1.5.3. 儀器校準應使用4吋與8吋作距離校準，並在故定側鑽孔驗證深度與探頭至側鑽孔水平距離，微調入射角使誤差最少。

1.5.4. 因面狀瑕疵位置與方向不同建議使用下列校準範圍:

- 瑕疵深度0~2”(RANGE=5”)：應用60⁰橫波量測，GATE-A：顯示SA、DA、RA；GATE-B：顯示DB與螢幕放大倍率(2~2.5)。
- 瑕疵深度0~2”(RANGE=4”)：應用45⁰橫波量測，GATE-A：顯示SA、DA、RA；GATE-B：顯示DB與螢幕放大倍率(2~2.5)。
- 瑕疵深度0~6”(RANGE=15”)：應用60⁰橫波量測，GATE-A：顯示SA、DA、RA；GATE-B：顯示DB與螢幕放大倍率(2~2.5)。
- 瑕疵深度0~6”(RANGE=12”)：應用45⁰橫波量測，GATE-A：顯示SA、DA、RA；GATE-B：顯示DB與螢幕放大倍率(2~2.5)。
- 軸向瑕疵深度0~7.5”(RANGE=18”)：應用60⁰橫波量測，GATE-A：顯示SA、DA、RA；GATE-B：顯示DB與螢幕放大倍率(2.5~3.5)，微調入射角使深度與探頭至側鑽孔水平距離誤差最少。
- 軸向瑕疵深度0~7.5”(RANGE=15”)：應用45⁰橫波量測，GATE-A：顯示SA、DA、RA；GATE-B：顯示DB與螢幕放大倍率(2.5~3.5)，微調入射角使深度與探頭至側鑽孔水平距離誤差最少。
- 周向瑕疵深度0~7.5”(RANGE=18”)：應用60⁰橫波量測，GATE-A：顯示SA、DA、RA；GATE-B：顯示DB與螢幕放大倍率(2.5~3.5)，微調入射角使深度與探頭至側鑽孔水平距離誤差最少。

- 周向瑕疵深度0~7.5” (RANGE=15”)：應用45°橫波量測，GATE-A：顯示SA、DA、RA；GATE-B：顯示DB與螢幕放大倍率(2.5~3.5)，微調入射角使深度與探頭至側鑽孔水平距離誤差最少。

1.5.5. supplement 4 –具有保護層ID Cladding之反應爐槽體焊道檢測，瑕疵下緣接近ID CLADDING部份，非全部到保護層ID Cladding底，仍舊需觀察TIP後報告瑕疵高度。

2. 反應器管嘴內弧部位軸向瑕疵瑕疵高度檢測

2.1. 檢測儀器：需使用已認證的儀器詳PDI-UT-11 TABLE1，本隊使用USN60。

2.2. 檢測、長度評估與瑕疵高度評估探頭：需使用已認證的儀器及探頭詳PDI-UT-11 TABLE1以USN60為例：

探頭應用	探頭製造商/型號	波式/角度	頻率	探頭形式與晶片數	探頭尺寸
瑕疵高度評估	KBA (COMP-G)/ 389-055-750	橫波/70°、 55°、25°、 35°	2.25Mhz	圓形/單獨晶片	0.75”

2.3. 檢測瑕疵高度評估探頭楔塊(檢測試件R171P N2的反應器管嘴為例)：1. 橫波/70°含偏斜角+19°與3.06”半徑曲面楔塊，從管嘴外弧逆時針方向檢測；2. 橫波/70°含偏斜角-19°與3.06”半徑曲面楔塊從管嘴外弧順時針方向檢測；3.橫波/55°含偏斜角+22°與3.06”半徑曲面楔塊，從管嘴外弧逆時針方向檢測；4.橫波/55°含偏斜角-22°與3.06”半徑曲面楔塊從管嘴外弧順時針方向檢測；5.橫波/25°含偏斜角+90°與3.06”半徑曲面楔塊，從管嘴外弧逆時針方向檢測；6.橫波/25°含偏斜角-90°與3.06”半徑曲面楔塊從管嘴外弧順時針方向檢測；7.橫波/35°含偏斜角+120°與3.06”半徑曲面楔塊，從管嘴外弧逆時針方向檢測；4.橫波/35°含偏斜角-120°與3.06”半徑曲面楔塊從管嘴外弧順時針方向檢測。

2.4. 檢測距離校準：建議使用DSC距離校準規塊4”與8”校準，螢幕距離設15”FSW。

2.5. 檢測零敏度校準：使用參考規塊內面凹槽在螢幕顯示80%FSH。

2.6. 設GATE A為數位顯示讀值，起點定最小音程，終點定最大音程；GATE B為螢幕數位放大顯示螢幕倍率。

2.7. 瑕疵高度評估檢測瑕疵位置，由「電力研究所非破壞檢測中心試算表模組」試算，

提供相關的檢測探頭的入射角、偏斜角、極座標位置與ID音程位置，自行建立檢測清單範例如下表：

瑕疵位置 S	入射角 Probe Angle	偏斜角 Probe Skew	檢測位置 Scan Surface			模擬音程 ID MP	音程 MP1	音程 MP2	音程差 ΔMP	瑕疵反射 FLAW θ	TWE= $\Delta MP \times \cos(\theta)$
			Radiou s position	Radiou s OD	positio n θ						
2.5	70	19	7.5	6.9	145	10.2				48	
3.5	55	22	7.1	6.9	142	9.8				45	
4.5	55	22	7.3	6.9	140	10				41	0.212
5.5	55	22	7.5	6.9	140	10.1				38	0.208
6.5	25	90	5.8	6.9	146	9.6				42	0.207
7.5	35	120	6.4	6.9	153	10.8				46	
2.5	70	-19	7.4	6.9	85	10.1				50	
3.5	55	-22	7.0	6.9	84	9.6				46	
4.5	55	-22	7.2	6.9	86	9.8				43	0.206
5.5	55	-22	7.4	6.9	87	10.1				40	0.201
6.5	25	-90	5.7	6.9	88	9.5				44	0.209
7.5	35	-120	5.3	6.9	88	10.6				48	

- 2.8. 架設徑向量規與雷射偏斜角儀於檢測管嘴外徑上(管嘴外徑定為參考值圖19中為6.9吋)，並依選定的探頭將偏斜角、極座標位置，以雷射十字點標示管嘴外弧部位探頭位置。
- 2.9. 將選擇的探頭中心對應於雷射十字點，保持需求的偏斜角度掃描，朝管嘴內弧軸面順(逆)時針方向檢測，確認是否有瑕疵ID回波，以平行於管嘴外弧或垂直於管嘴外弧輕微移動探頭，觀察是否有瑕疵尖端繞射波(TIP)伴隨瑕疵ID回波，觀察回波動態是否有瑕疵尖端繞射回波動態特性，確認與記錄檢測區域內瑕疵ID回波音程與瑕疵尖端繞射波音程。
- 2.10. 瑕疵高度評估技術應用RATT方法找出瑕疵尖端繞射波(TIP)與瑕疵ID回波的音程差值乘上該瑕疵入射角的餘弦值($\cos\theta$)為瑕疵高度。
- 2.11. 重複2.8、2.9、2.10步驟在相同逆(順)時針檢測方向，探頭標定位置，記錄瑕疵ID回波音程與瑕疵尖端繞射波音程，並計算瑕疵高度。
- 2.12. 重複2.8、2.9、2.10、2.11步驟，完成所有探頭位置瑕疵高度量測，並提出瑕疵高度評估報告。

八、心得與建議

1. 本次已洽得 EPRI 提供臨時辦公空間及電話與網路連線之基本配置，方便考照期間人員作息與部分辦公需求，對考照任務能順利達成幫助頗多，建議往後考照任務之規劃安排宜比照此需求洽請 EPRI 配合時程安排提供。
2. EPRI 所發行之各種"Guided Practice"與 RPV 實作無答練習相當重要，需確實在練習塊細心作實做體會，幫助各項能力驗證考試使用正確檢測方法，對參加考試人員的檢測技巧精進大有助益，建議要融會貫通並細心遵行才容易通過考試。
3. EPRI 已建立有多種相位陣列式檢測系統的能力驗證，不論執行管路銲道 IGSCC 檢測、異材銲道及覆層銲道檢測，其通用程序書亦均漸趨建立完備，建議本公司應積極導入此類相位陣列式檢測系統，以提升檢測技術並推動赴 EPRI 參與這項能力驗證考照。
4. RPV Supplement 5—管嘴內弧(RPV Nozzle Inside Radius)與 Supplement 7—管嘴對槽體 (Nozzle to Vessel) 焊道檢測，此兩項能力驗證必須是具有 Supplement 4 & Supplement 6 兩項能力驗證合格者；本次已有 1 人通過 RPV Supplement 5/7，另有 2 人通過 RPV Supplement 4/6，建議明年選派人員應考時，應規劃同時有 3 人考 RPV Supplement 4/6 與 Supplement 5/7，以備有更多合格檢測人員才符合核電廠營運檢測之需求，建立本公司 RPV 此部分檢測自主性，減少委外發包費用。
5. 反應爐壁檢測 Supplement 5/7 能力驗證非常複雜而困難，建議下次要參加應考人員應先仔細研讀此報告，並與已考過的人研討作充分準備，則可增加通過考照的機會。
6. 本公司人員參加美國 EPRI 能力驗證考照，此為管制單位要求核能電廠檢測人員必須持有有效之證照始能從事檢測工作，在 EPRI 進行的一序列考照項目均嚴格要求與在核能電廠實際檢測工作無異，甚至考試壓力更大且每日工作時間更長，此項出國任務與實習或研習無關，卻被歸列為出國實習，致日用費（每日 USD 54 元）對應考人員在國外之食、住、行等方面造成極度限縮實為不宜，嚴重影響考試成果與後續應考人員參與意願。建議應將出國類別改列為國外特殊工作證照考照，出國期間所需費用亦應比照變更核列。