

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，並順道參加 SGMP Workshop 國際會議

服務機關：台灣電力公司核能發電處

姓名職稱：李紹喜-核能工程監

杜承龍-核能工程師

林智雄-高級技術專員

史亞晟-機械檢驗技術員

派赴國家：美國

出國期間：自民國 104 年 7 月 11 日至 104 年 9 月 04 日

報告日期：民國 104 年 9 月 23 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，並順道參加 SGMP Workshop 國際會議。

頁數 57 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話  
台灣電力公司/陳德隆/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話  
李紹喜、杜承龍、林智雄、史亞晟/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、機械檢驗技術員/(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：自民國 104 年 7 月 11 日至 104 年 9 月 04 日

出國地區：美國北卡州夏洛特電力研究院、奧勒岡州波特蘭

報告日期：104 年 9 月 23 日

分類號/目關鍵詞：超音波檢測能力驗證資格考試

內容摘要：(二百至三百字)

核能電廠營運期間檢測，法規規定執行超音波檢測人員必須經過檢測能力驗證資格考試，取得合格證照後才能執行各項組件之超音波檢測工作，本項檢測能力驗證資格考試由美國電力研究院非破壞檢測中心(EPRI NDE Center)辦理，本公司每年均選派核能電廠超音波檢測人員前往參加能力驗證資格考試以符合法規規定。此次能力驗證資格考試之項目包含有：管路焊道(含 IGSCC)手動相位陣列超音波檢測、管路焊道裂縫(含 IGSCC)深度手動相位陣列超音波檢測、異材焊道手動相位陣列超音波檢測與裂縫深度驗證、管路焊道(含 IGSCC)可記錄式相位陣列超音波檢測、螺栓(Bolts)及螺樁(Studs)直束超音波檢測能力驗證等 6 項 19 科。另李、林 2 員於 7 月 19 日至 7 月 23 日參加 EPRI 於奧勒岡州舉辦之 SGMP Workshop 國際會議，以了解有關蒸汽產生器相關保養維修及檢測之最新資訊，以及國外廠家對於蒸汽產生器檢測之相關經驗，作為本公司蒸汽產生器檢測之依據及參考。

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

# 目 錄

內 容	頁次
一、 目的與過程.....	2
二、 管路焊道(含 IGSCC)手動相位陣列超音波檢測能力驗證.....	4
三、 管路焊道裂縫(含 IGSCC)深度手動相位陣列超音波檢測能力 驗證.....	18
四、 異材焊道手動相位陣列超音波檢測與裂縫深度驗證.....	29
五、 螺栓(Bolts)及螺樁(Studs)直束超音波檢測能力驗證.....	39
六、 EPRI 34 <sup>TH</sup> 2015 SGMP WORKSHOP 國際會議.....	44
七、 心得與建議.....	57

## 一、目的與過程

1982 年美國 BWR 電廠不銹鋼管路焊道陸續發現有晶間應力腐蝕龜裂 (IGSCC)，為確保檢測效果，美國 NRC 要求 IGSCC 超音波檢測人員必須通過證照考試，而由美國電力研究院非破壞評估中心 (EPRI NDE Center) 發展出不銹鋼管路焊道晶間應力腐蝕龜裂超音波檢測考照制度。後來 EPRI 又陸續發展出管路焊道裂縫深度評估、管路覆層焊道裂縫檢測、異材焊道超音波檢測等超音波檢測考照項目；相位陣列式超音波檢測技術應用於管路、壓力容器焊道已臻成熟、EPRI 針對上述各種項目也新增使用相位陣列式超音波檢測、另外也增加相位陣列式超音波自動檢測或可記錄式項目。

ASME Code 1989 Addenda 首次將超音波檢測能力驗證規定於 Sec.XI Appendix VIII，要求無論 BWR 電廠或 PWR 電廠超音波檢測人員均須通過相關之能力驗證資格考試。

至 ASME Code 2007 年版為止，超音波檢測能力驗證共分為 10 個項目：

### (一)、管路焊道部分

- 1、Supplement 2 – Wrought Austenitic
- 2、Supplement 3 – Ferritic
- 3、Supplement 9 – Cast Austenitic
- 4、Supplement 10 – Dissimilar Metal
- 5、Supplement 11 – Overlay

### (二)、壓力槽部分

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

### (三)、其他

- 1、**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 4 人參加 6 項 19 科超音波檢測能力驗證資格考試，能力驗證資格考試之項目包含有：管路焊道(含 IGSCC)手動相位陣列超音波檢測、管路焊道裂縫(含 IGSCC)深度手動相位陣列超音波檢測、管路焊道(含 IGSCC)手動相位陣列儀器驗證、異材焊道手動相位陣列超音波檢測與裂縫深度驗證、管路焊道(含 IGSCC)可記錄式相位陣列超音波檢測、螺栓(Bolts)及螺樁(Studs)直束超音波檢測能力驗證等。

4 人各依規畫選項分別參加手動/自動驗證考試，考試合格結果，詳如列表：

項目	姓名		李紹喜	林智雄	杜承龍	史亞晟
	結果					
管路焊道(含 IGSCC)手動相位陣列再驗證	檢測能力		合格	合格		
	長度量測		合格	合格		
管路焊道裂縫深度量測(含 IGSCC)手動相位陣列再驗證	深度量測		合格	合格		
管路焊道(含 IGSCC)手動相位陣列儀器驗證	檢測能力(碳鋼/不銹鋼)			合格		
	長度量測(碳鋼/不銹鋼)			合格		
	深度量測(碳鋼/不銹鋼)		合格			
異材管路焊道手動相位陣列	檢測/長度/深度		合格			
管路焊道可記錄式相位陣列(Zetec)	檢測/長度		合格			
管路焊道(含 IGSCC)手動相位陣列初考	碳鋼檢測能力				合格	合格
	碳鋼長度量測				合格	合格
	不銹鋼檢測能力				合格	合格
	不銹鋼長度量測				合格	合格
管路焊道(含 IGSCC)手動相位陣列初考	碳鋼深度量測				合格	合格
	不銹鋼深度量測				合格	合格
螺栓檢測	長度量測				合格	合格

## 二、管路焊道(含 IGSCC)手動相位陣列超音波檢測能力驗證

### (一)、考前準備事項

- 1、儀器：GEIT 公司 Phasor XS、Zetec Omniscan MX 或更高階、Zetec TOPAZ、或 Harfang X-32 任何一家曾驗證過之儀器均可。
- 2、探頭：本次驗證使用 Phasor XS 與其搭配之探頭及楔形塊如下：

項次	廠家	楔形塊型號	前緣 mm(in)	Z 值 mm(in)	音速 (in/μs)	楔形塊 角度	探頭型號
1	GEIT	360-141-159	13.0mm (0.512")	10.5mm (0.413")	0.0920	38°	115-500-012 115-500-013
2	GEIT	360-141-160	10.5mm (0.413")	10.5mm (0.413")	0.0920	38°	115-500-012 115-500-013
3	GEIT	360-141-161	21.0mm (0.827")	13.0mm (0.512")	0.0920	38°	115-000-441
4	GEIT	360-141-162	12.0mm (0.472")	13.0mm (0.512")	0.0920	38°	115-000-441
5	GEIT	360-141-163	34.0mm (1.339")	23.0mm (0.906")	0.0920	38°	115-000-450
6	GEIT	360-151-028	15.24mm (0.60")	12.31mm (0.524")	0.0920	18°	115-000-481

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

### (二)、程序書摘要：

- 1、本次驗證採用 EPRI 正式發行 EPRI-PIPE-MPA-1\_Rev0 通用程序書，GEIT 公司 Phasor XS 儀器。
- 2、EPRI-PIPE-MPA-1\_Rev0 版其內容摘要列述如下：

- (1)、程序書適用於奧斯田鐵及肥粒鐵之管徑及管壁厚範圍如下表，包括奧斯田鐵系易敏感化的 IGSCC：

材質	管徑範圍		厚度範圍	
	PDI 能力驗證	適用現場	PDI 能力驗證	適用現場
奧斯田鐵	2.0"至 36"	1.5"(含)以上	0.237"至 2.90"	0.137"至 3.40"
肥粒鐵	4.0"至 50.0"	3.5"(含)以上	0.337"至 3.85"	0.237"至 4.85"

- (2)、程序書適用之瑕疵範圍如下表：

掃描位置 關係  材質	近邊檢測 <sup>1</sup>				遠邊檢測 <sup>2</sup>			
	周向瑕疵		軸向瑕疵		周向瑕疵		軸向瑕疵	
	檢出	長度 量測	檢出	長度 量測	檢出	長度 量測	檢出	長度 量測
肥粒鐵	適用	適用	適用	不適用	適用	適用	不適用	不適用
奧斯田鐵 <sup>3</sup>	適用	適用	適用	不適用	不適用 <sup>4</sup>	不適用 <sup>4</sup>	不適用	不適用

註：1.近邊檢測：掃描與檢測部位在鉚道同側。

2.遠邊檢測：掃描與檢測部位在鉚道不同側。

3.程式書不適用於檢測鑄造不銹鋼金屬。

4.程式書對於近邊檢測遠邊瑕疵及長度量測無法達到完全適用，但已採用最佳可能檢測方法（best effort）。

- (3)、程序書應使用 GEIT Phasor XS 手動相位陣列超音波瑕疵檢測儀，儀器之必要設定請參考本程序書 Table 2 建立設定檔。
- (4)、儀器軟體版本應為 1.20。更新的軟體版本應符合程序書要求之基本圖像顯示、GEIT 管控生效之軟體、及影響振幅及輸出之靈敏度與精確度之必要參數均無變更。
- (5)、目前驗證過之相位陣列式探頭和楔形塊組合如 Table 1，其他探頭之必要設定值相同但是序號不同者不需再驗證亦可使用。

TABLE 1

Instrument Manufacturer: GEIT  
 Instrument Model: Phasor XS (Note 1)  
 Procedure: EPR-PIPE-MPA-1  
 Material: Austenitic and Ferritic Pipe Welds

		Qualified Search Units			
Manufacturer	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	
Model Number	115-500-012	115-500-013	115-000-441	115-000-450	
Frequency (MHz)	2.0	4.0	1.5	2.25	
Configuration	Single	Single	Single	Single	
Number of Elements (Each)	8	16	16	16	
Element Arrangement	1x8	1x16	1x16	1x16	
Element Shape	Rectangular	Rectangular	Rectangular	Rectangular	
Primary Axis Element Spacing/Pitch (in)	0.040	0.020	0.040	0.060	
Secondary Axis Element Spacing (in)	0.354	0.354	0.472	0.748	
Aperture (in)	0.315	0.315	0.630	0.945	
Cable Length (ft)	6.6	6.6	6.6	6.6	
Maximum Number of Inactive Elements	1	2	2	2	
Required Cable Adapter(s)	None	None	None	None	
		Qualified Search Units			
Manufacturer	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	
Model Number	115-000-360	115-000-361	115-000-366	115-000-418	
Frequency (MHz)	5	5	2.25	1.5	
Configuration	Single	Single	Single	Single	
Number of Elements (Each)	16	16	16	16	
Element Arrangement	1x16	1x16	1x16	1x16	
Element Shape	Rectangular	Rectangular	Rectangular	Rectangular	
Primary Axis Element Spacing/Pitch (in)	0.016	0.025	0.025	0.016	
Secondary Axis Element Spacing (in)	0.250	0.394	0.394	0.250	
Aperture (in)	0.254	0.398	0.398	0.254	
Cable Length (ft)	10.0	10.0	10.0	10.0	
Maximum Number of Inactive Elements	2	2	2	2	
Required Cable Adapter(s)	GEIT # 022-509-351	GEIT # 022-509-351	GEIT # 022-509-351	GEIT # 022-509-351	
		Qualified Search Units			
Manufacturer	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	
Model Number	115-000-684	115-000-685	115-000-686	115-000-687	
Frequency (MHz)	5	5	2.25	1.5	
Configuration	Single	Single	Single	Single	
Number of Elements (Each)	16	16	16	16	
Element Arrangement	1x16	1x16	1x16	1x16	
Element Shape	Rectangular	Rectangular	Rectangular	Rectangular	
Primary Axis Element Spacing/Pitch (in)	0.016	0.025	0.025	0.016	
Secondary Axis Element Spacing (in)	0.250	0.394	0.394	0.250	
Aperture (in)	0.254	0.398	0.398	0.254	
Cable Length (ft)	10.0	10.0	10.0	10.0	
Maximum Number of Inactive Elements	2	2	2	2	
Required Cable Adapter(s)	None	None	None	None	

TABLE 1

Instrument Manufacturer: GEIT  
 Instrument Model: Phasor XS (Note 1)  
 Procedure: EPRI-PIPE-MPA-1  
 Material: Austenitic and Ferritic Pipe Welds

		Qualified Wedges and Applicability															
Wedge Manufacturer	Wedge Part Number	GEIT		360-141-159		GEIT		360-141-160		GEIT		360-141-161		GEIT			
		Fer	Aust	IGSCC	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Array Manufacturer	115-500-012	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Array Part Number	115-500-013	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Wedge Velocity (in/us)	0.092	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Wedge Contour Diameter (in)	Flat	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Wedge Cut Angle (Deg)	38.0	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Roof Angle (Deg)	0.0	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
X Offset (in)	0.512	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Z Offset (in)	0.413	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Probe Category	A	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Material Applicability		Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Detection Access Applicability		Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Length Sizing Access Applicability		Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Qualified Wedges and Applicability																	
Wedge Manufacturer	360-141-163	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Wedge Part Number	360-141-028	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Array Manufacturer	115-000-450	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Array Part Number	115-000-481 (Note 2)	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Wedge Velocity (in/us)	0.092	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Wedge Contour Diameter (in)	Flat	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Wedge Cut Angle (Deg)	38.0	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Roof Angle (Deg)	0.0	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
X Offset (in)	1.339	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Z Offset (in)	0.906	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Probe Category	A	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Material Applicability		Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Detection Access Applicability		Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Length Sizing Access Applicability		Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Qualified Wedges and Applicability																	
Wedge Manufacturer	360-141-085	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Wedge Part Number	360-141-085	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Array Manufacturer	115-000-419	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Array Part Number	115-000-688	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Wedge Velocity (in/us)	0.092	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Wedge Contour Diameter (in)	Flat	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Wedge Cut Angle (Deg)	35.0	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Roof Angle (Deg)	0.0	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
X Offset (in)	0.835	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Z Offset (in)	0.481	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Probe Category	A	Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Material Applicability		Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Detection Access Applicability		Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
Length Sizing Access Applicability		Single	NA	NA	NA	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual

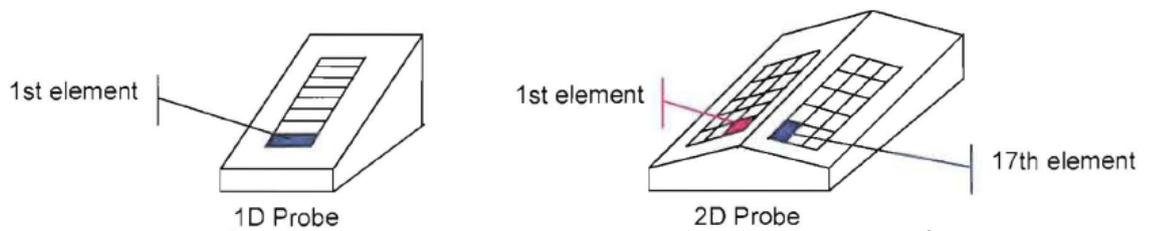
TABLE 1												
Instrument Manufacturer: GEIT Instrument Model: Phasor XS (Note 1)						Procedure: EPRI-PIPE-MPA-1 Material: Austenitic and Ferritic Pipe Welds						
Qualified Wedges and Applicability												
	GEIT		GEIT		GEIT		GEIT		GEIT		GEIT	
	360-141-086	360-141-086	115-000-360	115-000-684	360-141-086	360-141-086	115-000-418	115-000-687	360-141-087	360-141-087	115-000-419	115-000-688
Wedge Manufacturer	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT
Wedge Part Number	360-141-086	360-141-086	115-000-360	115-000-684	360-141-086	360-141-086	115-000-418	115-000-687	360-141-087	360-141-087	115-000-419	115-000-688
Array Manufacturer	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT
Array Part Number	115-000-360	115-000-360	115-000-360	115-000-684	115-000-360	115-000-360	115-000-418	115-000-687	115-000-360	115-000-360	115-000-419	115-000-688
Wedge Velocity (in/us)	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092
Wedge Contour Diameter (in)	Flat	Flat	Flat	Flat	Flat	Flat	Flat	Flat	Flat	Flat	Flat	Flat
Wedge Cut Angle (Deg)	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0
Roof Angle (Deg)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
X Offset (in)	0.458	0.458	0.458	0.458	0.458	0.458	0.458	0.458	0.458	0.458	0.458	0.605
Z Offset (in)	0.334	0.334	0.334	0.334	0.334	0.334	0.334	0.334	0.334	0.334	0.381	0.381
Probe Category	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Material Applicability	Fer	Aust	IGSCC	IGSCC	Fer	Aust	IGSCC	IGSCC	Fer	Aust	IGSCC	IGSCC
Detection Access Applicability	Single	Dual	NA	NA	Single	Dual	NA	NA	Single	Dual	NA	NA
Length/String Access Applicability	Single	Dual	NA	NA	Single	Dual	NA	NA	Single	Dual	NA	NA
Qualified Wedges and Applicability												
	GEIT		GEIT		GEIT		GEIT		GEIT		GEIT	
	360-141-087	360-141-087	115-000-361	115-000-686	360-141-087	360-141-087	115-000-361	115-000-685	360-141-087	360-141-087	115-000-361	115-000-685
Wedge Manufacturer	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT
Wedge Part Number	360-141-087	360-141-087	115-000-361	115-000-686	360-141-087	360-141-087	115-000-361	115-000-685	360-141-087	360-141-087	115-000-361	115-000-685
Array Manufacturer	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT	GEIT
Array Part Number	115-000-361	115-000-361	115-000-361	115-000-686	115-000-361	115-000-361	115-000-361	115-000-685	115-000-361	115-000-361	115-000-361	115-000-685
Wedge Velocity (in/us)	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092
Wedge Contour Diameter (in)	Flat	Flat	Flat	Flat	Flat	Flat	Flat	Flat	Flat	Flat	Flat	Flat
Wedge Cut Angle (Deg)	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0
Roof Angle (Deg)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
X Offset (in)	0.605	0.605	0.605	0.605	0.605	0.605	0.605	0.605	0.605	0.605	0.605	0.605
Z Offset (in)	0.381	0.381	0.381	0.381	0.381	0.381	0.381	0.381	0.381	0.381	0.381	0.381
Probe Category	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Material Applicability	Fer	Aust	IGSCC	IGSCC	Fer	Aust	IGSCC	IGSCC	Fer	Aust	IGSCC	IGSCC
Detection Access Applicability	Single	Dual	NA	NA	Single	Dual	NA	NA	Single	Dual	NA	NA
Length/String Access Applicability	Single	Dual	NA	NA	Single	Dual	NA	NA	Single	Dual	NA	NA

**Note 1:** This instrument is not capable of performing electronic beam skewing.

**Note 2:** Setup files for dual array longitudinal wave search units are created with the assistance of external software and are generated and controlled by GEIT. These files must be used as provided by GEIT and shall not be altered in any way. (See APPENDIX A of this Table 1 for guidance on longitudinal wave selection.)

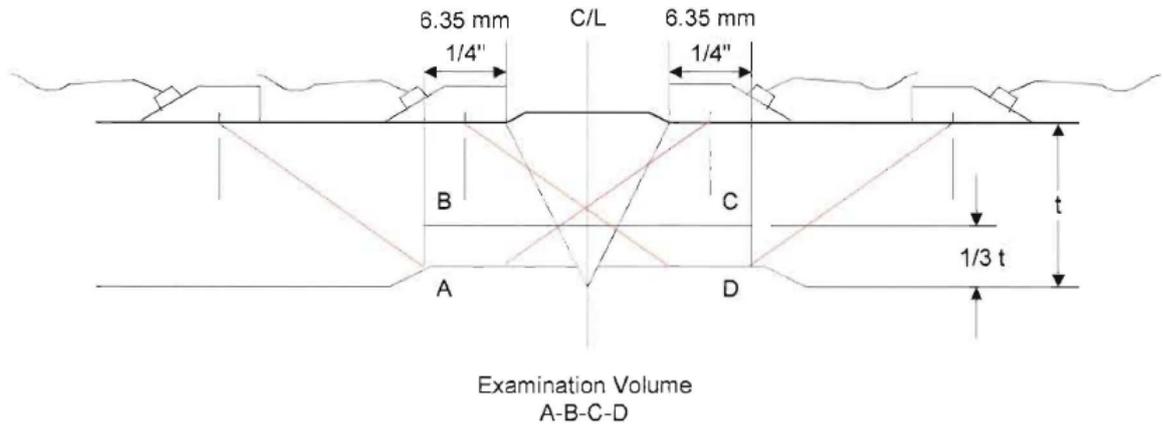
**Note 3:** A maximum of two inactive elements (per side) are allowed when the examination setup is intended to use all fifteen elements. A maximum of one inactive element (per side) is allowed when the examination setup is intended to use only ten elements.

**Qualification Applicability Legend. See procedure PDQS for qualification limitations.**  
**Fer** - Indicates that the search unit/wedge combination is qualified for use on Ferritic materials  
**Aust** - Indicates that the search unit/wedge combination is qualified for use on Austenitic materials  
**IGSCC** - Indicates that the search unit/wedge combination is qualified for use on austenitic material susceptible to IGSCC  
**Single** - Indicates that the search unit/wedge combination is qualified for both single and dual side access configurations  
**Dual** - Indicates that the search unit/wedge combination is qualified for dual side access configurations only (no single side)  
**NA** - Not Applicable



(6)、檢測範圍：

檢測體積至少應涵蓋自鉚道兩側鉚趾算起分別至母材 1/4 吋距離，以及自鉚道底部算起至其鉚道體積三分之一範圍，如下圖 A-B-C-D 之範圍。



(7)、檢測技術：以材質類型、厚度範圍選擇符合的換能器、音波傳送模式、換能器頻率、音圈、檢測角度、角度階(angle step)。

探頭和楔形塊組合參考本程序書 Table 1 選用。

橫波為主要音波傳送模式，執行管壁厚度大於 0.50 吋之奧斯田鐵單邊檢測時，應使用橫波及縱波探頭進行鉚道遠邊之瑕疵檢測及瑕疵長度量測。

探頭頻率應採用二-2-G 表 A，二-2-G 表 B

二-2-G 表 A 探頭公稱中心頻率 奧斯田鐵

Nominal Pipe Wall Thickness Range	Shear Wave Frequency (MHz)		Longitudinal Frequency (MHz)
	IGSCC EXAM	NON- IGSCC EXAM	IGSCC and NON-IGSCC EXAMS
≤0.30"	2.0 to 2.25	2.0 to 5.0(Note 1)	2.0 to 5.0
>0.30" to ≤0.50"	1.5 to 2.25	1.5 to 5.0(Note 1)	1.5 to 5.0
>0.50"	1.5	1.5 to 2.25	1.5 to 2.25

Note 1：單邊掃描構件檢測鉚道遠邊，橫波探頭最高頻率應為 2.25 MHz。

二-2-G 表 B 探頭公稱中心頻率 肥粒鐵

Nominal Pipe Wall Thickness Range	Shear Wave Frequency (MHz)	Longitudinal Frequency (MHz)
≤0.50"	2.0 to 5.0	1.5 to 5.0
>0.50" to ≤2.00"	1.5 to 5.0	
>2.00"	1.5 to 2.25	

探頭音圈尺寸(Aperture Size) 應依下表選取音圈尺寸：

Nominal Pipe Diameter Range	Maximum Aperture Size Inches*
2" to 4" inclusive	0.50"
Greater than 4" to 12" inclusive	0.75"
Greater than 12"	1.50"

\*探頭音圈尺寸適用於橫波與縱波模式。雙探頭尺寸適用發射音圈尺寸。

探頭角度選擇：螢幕呈現扇形掃描圖，橫波角度由 35 度至 70 度，縱波角度由 40 度至 70 度，度階 1 度。

得使用更大範圍的檢測角度來善加利用螢幕圖像，但需符合以下條件：(1)增大的角度幅度需能包含合格角度的全部檢測範圍。(2)不得以能獲取額外涵蓋範圍之增大的角度取代合格的角度。(3)橫波角度高於 30 度；縱波角度高於 20 度，橫波或縱波角度低於 80 度。

縱波探頭僅一組其聚焦距離依管徑及厚度不同按下表選擇適用之設定檔：

Diameter	Thickness Range	Wedge model	Transducer model	Set up File Name
4" to 7" inclusive	> .50" - .60"	360-151-028	115-000-481	D04F050
	> 0.60" - 0.90"			D04F075
	>0.90" - 1.25"			D04F100
	>1.25" - 1.75"			D04F150
	>1.75"			D04F200
>7" to 12" inclusive	> .50" - .60"			D07F050
	> 0.60" - 0.90"			D07F075
	>0.90" - 1.25"			D07F100
	>1.25" - 1.75"			D07F150
	>1.75"			D07F200
>12" to 24" inclusive	> .50" - .60"			D12F050
	> 0.60" - 0.90"			D12F075
	>0.90" - 1.25"			D12F100
	>1.25" - 1.75"			D12F150
	>1.75"			D12F200
> 24"	> .50" - .60"	D24F050		
	> 0.60" - 0.90"	D24F075		
	>0.90" - 1.25"	D24F100		
	>1.25" - 1.75"	D24F150		
	>1.75"	D24F200		

雙陣列縱波探頭之設定檔案係藉由外來軟體設計計算出來並且由 GEIT 生產及控管。這些設定檔案必須由 GEIT 提供使用並且不得修改，如前述縱波探頭聚焦距離設定檔選擇表。

(8)、校準：

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

(A) 16 顆晶片的探頭，失效的晶片不得超過 2 顆。

(B) 8 顆晶片的探頭，失效的晶片不得多於 1 顆。

執行縱波檢測選取 4"至 7"的設定檔案時，只使用探頭每邊 15 顆有效晶

片以外的 10 顆，因此探頭每邊失效的晶片不得多於 1 顆。管路大於 7" 的其餘設定檔使用了每邊 15 顆晶片的縱波探頭，因此可接受每邊失效 2 顆晶片。

如果晶片失效的數量超過上述規定，則之前完成的晶片查核後執行過的所有檢測均應作廢並且重新檢測。

B. 儀器設定參數：陣列探頭搭配各楔形塊應依下表設定重要參數。

<b>GAIN TOGGLE</b>			
<b>dBd:</b> Shall be set at 0.0		<b>dba:</b> shall be set as required	
<b>PROBE MENU</b>			
<b>(Sub-menu)</b>	<b>(Tab)</b>	<b>(Value)</b>	
Probe Geometry	Frequency	(See Table 1) [3]	
	Number of Elements	(See Table 1) [4]	
	Pitch	(See Table 1)	
Wedge Data	Element 1 Position	Low end	
Wedge Geometry	Velocity	.0920 in/μs [1]	
	Wedge Front	X offset (See Table 1)	
	Offset Z	Z Offset (See Table 1)	
	Angle	(See Table 1)	
Offset	Probe Delay	Per 7.5	
	Origin Offset	0.0	
<b>PART MENU</b>			
<b>(Sub-menu)</b>	<b>(Tab)</b>	<b>(Value)</b>	
Plan	Velocity L	.2283 in/μs	.2323 in/μs
	Velocity S	.1220 in/μs	.1260 in/μs
	Material [5]	Steel Stnlss	Steel Mild
	MAT THICKNESS	Nominal Thickness (±10%)	
<b>SCAN MENU</b>			
<b>(Sub-menu)</b>	<b>(Tab)</b>	<b>(Value)</b>	
Electronic	Type	Sector	
	Focal Point	Unfocused [6]	
	Wave Type	Shear or Longitudinal	
Scan Pattern	Angle Start	Per 6.7	
	Angle Stop	Per 6.7	
	Angle Step	Per 6.7	
Aperture	Number of Steps	1	
	First Element	1	
	Aperture Size	# of Elements ( 8,10,15,or16 to match probe configuration )	
	Aperture Step	1	
<b>DISPLAY MENU</b>			
<b>(Sub-menu)</b>	<b>(Tab)</b>	<b>(Value)</b>	
View	Angle corrected	On	
	Ascan Mode	Bud	
<b>UT MENU</b>			
<b>(Sub-menu)</b>	<b>(Tab)</b>	<b>(Value)</b>	
Base	Display delay	0.0	
	Material [5]	Steel Stnlss (Austenitic) or Mild Steel (Ferritic)	
	LEG	As Required [7]	
Pulser	Voltage	150V [2]	
	Width	1/freq./2 (rounded to 0.00)	
	PRF Value	Auto High	
Receiver	Frequency	Broadband 0.6-6.5	
	Ascan Rectify	Fullwave	
NRM/ TCG	CYC GAIN CNTL	0.00	

- 註：[1]系統預設值的楔形塊材質為多苯乙烯(Rexolite)時之音速為 0.0920 in/ $\mu$ s。  
 楔形塊材質為樹脂玻璃(Plexiglas)時之音速為 0.1086 in/ $\mu$ s。  
 [2]校準時得暫時降低電壓將校準回波引領到 80-90%全螢幕高度。  
 [3]頻率 2.25MHz 之探頭應設定為 2.2MHz。  
 [4] 32---双陣列縱波探頭(115-000-481)。  
 [5] CUSTOM---双陣列縱波探頭(115-000-481)。  
 [6] 見表 1 附錄 A 115-000-481 探頭設定值。  
 [7] 見下表，調整需依 EPRI-PIPE-MPA-1\_Rev0 程序書 paragraph 7.4。

Nominal Thickness	Recommended Initial Leg Setting
$\leq 0.50"$	2.6
$>0.50"$	0.9

- C. 選擇 45°~55°任一角度於參考規塊驗證角度的誤差應在 $\pm 3^\circ$ 以內。
- D. 迴掃範圍最小應能自鐸道兩側充分的涵蓋規定之檢測體積，迴掃範圍最大應不得影響解析度。
- E. 從 45°~55°任選一角度建立參考靈敏度，反射體可選基本校正塊之內表面刻槽，替代校準規塊深度最接近測件公稱厚度之人工刻槽，或參考規塊相對深度之人工刻槽尖端或側鑽孔，將振幅調整到 80 %~90%的全螢幕高度，並記錄於校準表。

#### (9)、檢測

- A. 軸向檢測：檢測平行於鐸道之瑕疵，掃描時探頭應擺動大約 $\pm 20^\circ$ 。
- B. 周向掃描：檢測非平行於鐸道之瑕疵，探頭斜向鐸道根部掃描時，探頭與鐸道熔線之夾角以介於 10°~45°為宜。
- C. 檢測靈敏度(掃描增益)：探頭置於測件臨近鐸道母材上，以 45°~60°角，調整增益，使內表面回波訊號(ID roll)介於 5%~20%全螢幕高度。

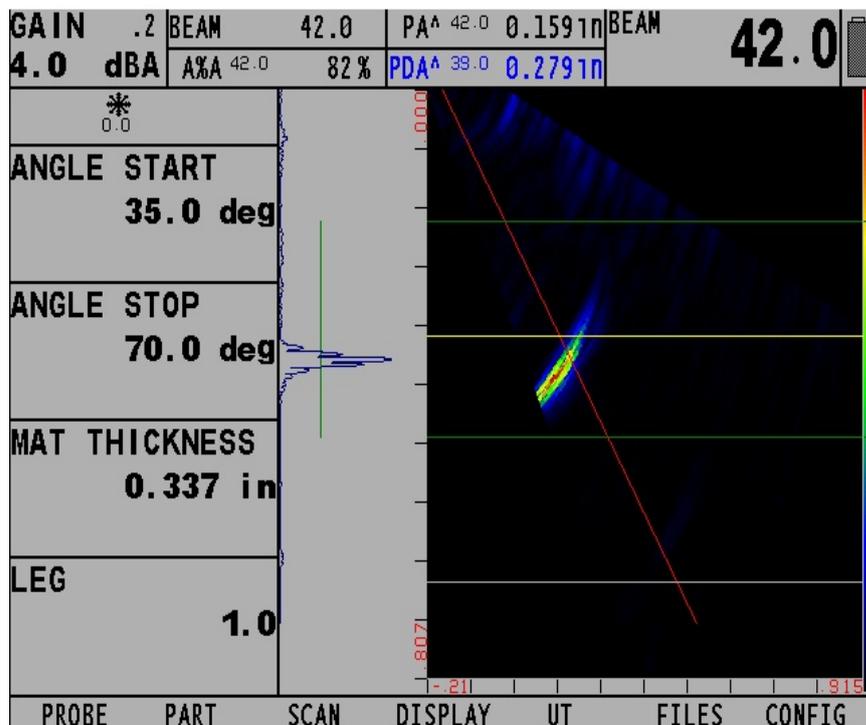
#### (10)、評估顯示

- A. 瑕疵顯示：顯示有很好之訊號雜訊比，並且有明顯之開始及結束點。能以多重角度觀察到扇形圖像內分佈於各個角度範圍的顯示。可觀察到有幾處具有獨特尖端之振幅。左右擺動探頭時，訊號振幅駐留或增加的顯示。
- B. 長度量測：在測件內表面取得完美的瑕疵顯示訊號回波，調整增益使訊號達到 80%全螢幕高度，將探頭沿瑕疵長度的兩個方向移動，直到訊號回波降到 20%全螢幕高度。
- C. 遠邊瑕疵及 IGSCC 長度量測：奧斯田鐵遠邊瑕疵(音波必須穿過鐸道)及 IGSCC 瑕疵長度時應延著瑕疵長度的兩個方向掃描，直到訊號回波消失在背景雜訊中。

(11)、記錄與報告：校準記錄及檢測結果應完整填寫。

### (三)、驗證過程要點

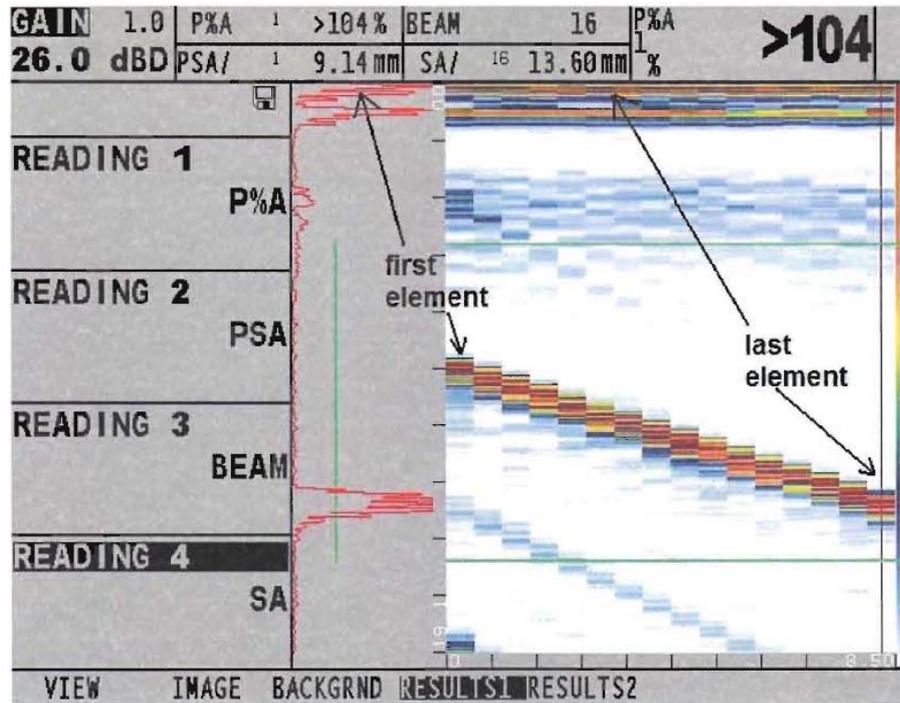
- (1)、本次驗證為首次以相位陣列超音波檢測儀執行，因此必須涵蓋所有碳鋼、不銹鋼及 IGSCC 試件共 13 件，管徑自 2 吋至 36 吋；考官會發一張考試件清單，上面會註明試件名稱，如 525/Y DN，表示試件編號為 525/Y 單邊檢測於下游側，302/B BOTH 表示試件編號為 302/B 雙邊檢測，檢測時要一一查對，避免考官給錯試件。
- (2)、慣例先考碳鋼試件，再考不銹鋼，IGSCC 試件最後考，考試期間依試件材質厚度按程序書要求選擇適用探頭與楔形塊，EPRI 針對每一種試件均有對應之基本校正規塊，部分校準規塊的周向與軸向 ID Notch 是做在不同規塊上面，校準記錄最好以該規塊做或以其他規塊替代亦可。



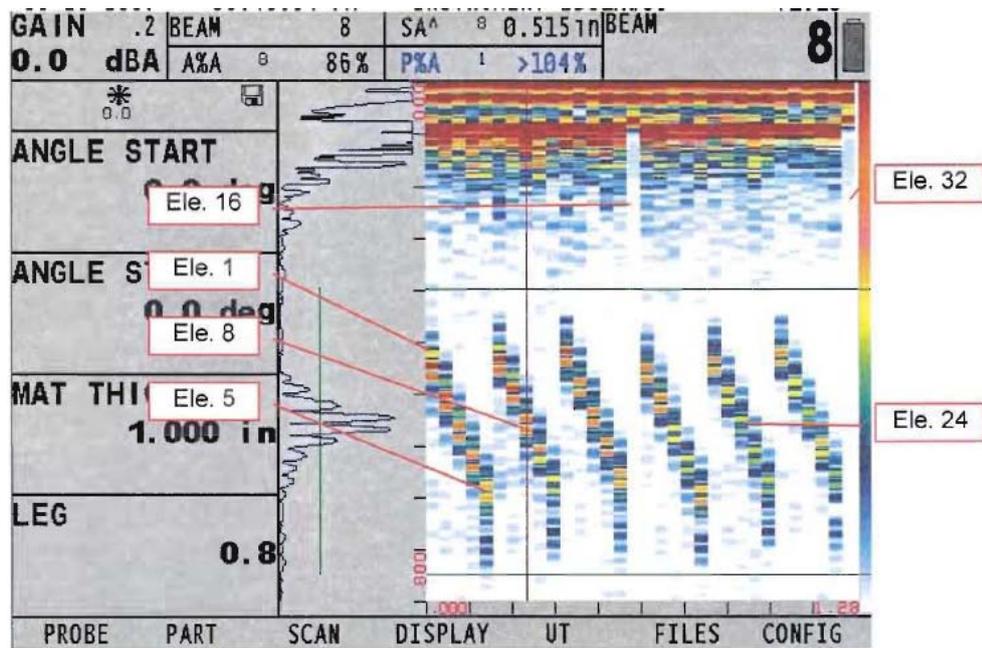
碳鋼基本校正塊校準訊號圖例

- (3)、儀器設定檔(含晶片功能測試檔)均由 EPRI 提供，檢測期間再依試件 Recall 設定檔，但有些設定參數程序書要求屬於必要者(essential)必須遵照不得更改，考官查證時會一一檢查。
- (4)、檢測過程應確認瑕疵位置(上下游座標)、長度，並填寫紀錄表(Indication Report)，與校準表(Calibration Record)及探頭清單(Inventory List)送交考官執行驗證，在驗證瑕疵位置過程中，如發現在自己填寫答案有問題或是想要修改部分只要符合答案均可修改。
- (5)、執行驗證最後為 ELEMENT CHECK，打開適當設定檔再按 HOME 鍵後，轉

動右邊旋鈕再確定每個位元是否有效。



上圖 16 elements 陣列探頭功能測試



上圖雙陣列探頭功能測試

#### (四)、經驗分享

- (1)、本次考 PDI 涵蓋碳鋼和不銹鋼(包含 IGSCC)試件，共考 13 件，分別為碳鋼 3 件，不銹鋼 7 件，IGSCC 3 件。
- (2)、查看碳鋼、不銹鋼和 IGSCC 個別試件之圖面，了解個別管徑大小、厚度(如下圖)，並依照其特性使用同性質 ASME 校準規塊進行首次校準設定並編碼後存檔。一來可確保檢測和後續再檢測或最終校準設定資料一致性，二來可縮短重複設定時間。

碳鋼	外徑	厚度	不銹鋼	外徑	厚度
412	4.0"	0.337"	301	2.0"	0.344"
422	6.0"	0.432"	302	4.0"	0.237"
423	12.0"	0.688"	303	4.0"	0.337"
424	35.0"	2.00"	305	6.0"	0.432"
525	37.0"	3.125"	306	12.0"	0.688"
526	50.0"	3.85"	307	24.0"	1.50"
			309	36.0"	2.625"
			310	35.0"	2.9"

- (3)、驗證考試期間內可系統性的先進行練習塊練習，了解各種規格管件銲道和幾何形狀(如銲道根部 Root、配接孔 Counter Bore)造成回波型態，藉此判斷所呈現訊號是否瑕疵訊號。
- (4)、運用儀器檢測到訊號之 Sound Path(音束路徑)、Surface Distance、Flaw Depth(瑕疵深度)和設定 Gate(閘波)，依此定義訊號位置且配合已知圖面幾何形狀來判斷訊號是否有有效瑕疵。
- (5)、每一試件都要用所有適用之探頭執行檢測，比如雙邊檢測碳鋼 423 試件時，依據訓練教材，主要檢測探頭為 013，若僅以 013 探頭檢測，則可能有些周向瑕疵檢測不到，但用 450 或 441 探頭則可檢測到。
- (6)、碳鋼檢測大中小管徑均有，小管徑 4 吋與 6 吋厚度分別為 0.344 吋和 0.432 吋，建議使用 4MHz(013)探頭，當周向掃描時，建議使用短楔形塊(160)，使用時宜後退掃描，因前端易堆積耦合劑高角度易產生雜訊。
- (7)、碳鋼中管徑 12 吋厚度為 0.688 吋，建議使用 4MHz(013)探頭，單邊檢測建議使用 1.5MHz(441)探頭，此管件無焊冠要清楚中心線位置，分辨根部與幾何形狀，缺陷通常都很清楚可以看到。
- (8)、碳鋼大管徑 50 吋厚度為 3.85 吋，有 CLAD ID，SECTOR SCAN 可以清楚看

到此訊號，缺陷會從低角度延伸到高角度，缺陷有時會很長，在量測長度時，宜小心，並比對練習件訊號。

- (9)、碳鋼檢測通常兩邊都可以檢測的到缺陷訊號，最好兩邊都做確認，如果只有一邊有就要斟酌考量，以避免 FALSE CALL。
- (10)、不銹鋼檢測大中小管徑均有，小管徑自 2 吋到 6 吋，厚度為 0.237 到 0.432 吋，雙邊檢測建議使用 4MHz(013)探頭，單邊檢測程序書規定要使用 2.25 MHz 以下頻率的探頭，所以要使用 2MHz(012)探頭，小管徑焊道有時較寬，SECTOR SCAN 高角度可以清晰的觀察到缺陷的位置，會發現瑕疵訊號於 Leg1 與 Leg2 之間出現，但幾何形狀訊號會於 Leg1 區內出現，小管子有時用 1 ½V 觀察缺陷較好用。
- (11)、不銹鋼中管徑 12 吋與 24 吋厚度為 0.688 吋和 1.5 吋，檢測時宜作圖觀察缺陷、幾何形狀、根部位置關係，厚度 0.688 吋雙邊與單邊檢測建議使用 1.5MHz(441)探頭，厚度 1.5 吋雙邊與單邊檢測建議使用 2.25MHz(450)探頭，程序書規定 0.5 吋以上單邊檢測須加做縱波探頭，檢測時宜比對練習塊訊號。
- (12)、不銹鋼大管徑 35 吋與 36 吋厚度分別為 2.65 吋和 2.9 吋厚度，檢測時宜作圖觀察缺陷、幾何形狀、根部位置關係，建議先使用 2.25MHz(450)探頭，單邊檢測亦須加做縱波探頭。
- (13)、不銹鋼大管徑厚度 2.65 吋、2.9 吋及 IGSCC 之單邊 SCAN 難度比較高，宜多練習並熟練縱波探頭，並了解波式轉換。
- (14)、IGSCC 試件厚度範圍 0.8 吋到 1.4 吋左右，建議使用 1.5MHz(441)探頭，2.25MHz (450)探頭可以做輔助之用，近邊檢測時，使用 50 到 60 度觀察 A-SCAN，探頭需要前後移動觀察波形變化，觀察 SECTOR SCAN 可以清楚看到從低角度到 60 度左右都可以有回波，考試時亦多比較相似的 IGSCC 練習塊。
- (15)、IGSCC 單邊檢測比較難，需使用更高角度在對邊檢測，建議使用 55 度到 65 度觀察 A-SCAN，看波形的變化，有時橫波 1.5MHz(441)或 2.25MHz(450)探頭可以觀察到對邊訊號，縱波探頭使用亦較難，宜多做練習塊做訊號比對之用。

- (16)、IGSCC 做雙邊檢測時，兩邊厚度有差，檢測 dB 會有所不同。
- (17)、IGSCC 試塊與一般不銹鋼植入瑕疵回波狀態不太一樣，因為晶間應力腐蝕龜裂較緊密反射訊號較弱，縱波效果差，使用 1.5MHz(441)橫波探頭較適合檢測，檢測時 Skew 若能看到訊號上下或稍微斜角訊號反而強，較有可能為 IGSCC，並與相對應之練習塊比較，訊號相似者才是 IGSCC。
- (18)、IGSCC 周向掃描，使用 1.5MHz(441)探頭，宜使用短楔形塊(162)做檢測，必要時要增加耦合劑，並在焊冠上做掃描。
- (19)、定瑕疵長度的時候要注意訊號可能中斷一小段之後又出現，建議當瑕疵訊號結束後再掃描一吋的距離，避免長度叫太短。
- (20)、有時候周向瑕疵不一定與焊道水平，探頭需要擺動(skew)一個角度才會出現。

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

#### (一)、考前準備事項

1、儀器：GEIT 公司 Phasor XS、Zetec Omniscan MX 或更高階、Zetec TOPAZ、或 Harfang X-32 任何一家曾驗證過之儀器均可。

2、探頭：本次驗證使用 Phasor XS 與其搭配之探頭及楔形塊如下

項次	廠家	楔形塊型號	前緣 mm(in)	Z 值 mm(in)	音速 (in/μs)	頻率	探頭型號
1	GEIT	360-141-159	13.0mm (0.512")	10.5mm (0.413")	0.0920	4M	115-500-013
2	GEIT	360-141-161	21.0mm (0.827")	13.0mm (0.512")	0.0920	1.5M	115-000-441
3	GEIT	360-141-163	34.0mm (1.339")	23.0mm (0.906")	0.0920	2.25M	115-000-450
4	GEIT	360-151-028	15.0mm (0.591")	12.0mm (0.472")	0.0920	1.5M	115-000-481

3、設定檔：使用 EPRI 所提供的橫波及縱波探頭及楔形塊組合檔案，依檢測試件另存新檔，供測驗時取用。儀器軟體版本可使用 1.2 或 2.72 版作。

4、其他器材如鋼尺(英制 10 進位)、布尺、拆裝探頭工具(帶柄六角板手及一字起子)自己準備，SD 卡 2GB(含)以下才能讀取，大容量尚無法使用。

5、規塊：針對碳鋼、不銹鋼試件 EPRI 有各類型校正及參考規塊，考生依試件材質、管徑及厚度取用適用之參考規塊，此等規塊需有不同深度比例之側鑽孔或刻槽。參考靈敏度可從 45°~55°任選一角度校準，取得校正或參考規塊之反射體，調整振幅使其達到 80~90% FSH。量測裂縫深度時再依其預估值選用對應之側鑽孔或刻槽校準該角度，使量測值更為準確。

6、熟習校準、裂縫深度等記錄之填寫，避免錯誤發生，探頭清單由 EPRI 提供、做完試件必須完成紀錄表送交考官，考官即會前來查驗儀器設定、校準及裂縫深度訊號驗證(考生秀給考官看)。

#### (二)、程序書摘要

1、本次驗證考試以 Procedure for Manual Phased Array Ultrasonic Through-Wall Sizing In Pipe Welds (EPRI-PIPE-TWS-MPA-1 R0) 2013 年 2 月 1 日發行之通用程序書為主，採用 GEIT 公司 Phasor XS 儀器。

2、程序書內容摘要列述如下：

(1)、程式書適用於奧斯田鐵及肥粒鐵之管徑及管壁厚範圍如下表，包括奧斯田鐵系易敏感化的 IGSCC：

材質	管徑範圍		厚度範圍	
	PDI 能力驗證	適用現場	PDI 能力驗證	適用現場

奧斯田鐵	4.0"至 36"	4.0"(含)以上	0.337"至 2.625"	0.237"至 3.125"
肥粒鐵	4.0"至 50.0"	3.5"(含)以上	0.337"至 3.85"	0.237"至 4.85"

- (2)、焊冠應磨平以免影響裂縫深度量測執行。
- (3)、本程序書適用於可雙邊掃描內表面裂縫之深度量測，或僅能單邊掃描且裂縫位於近邊者。
- (4)、本程序書不適用於單邊掃描且裂縫位於遠邊者。
- (5)、已驗證適用之探頭和楔形塊組合可參考本程序書 Table 1 選用，同品牌、型號、晶片(數量、編排、尺寸、間距、形狀)、及頻率，不同序號探頭可更換，不須再驗證。不同品牌探頭但其他晶片參數及頻率相同者，符合 ASME Sec. XI Appendix VIII-4110 規定者亦可使用。
- (6)、探頭之楔形塊可為一體成型或非一體成型。
- (7)、儀器之必要設定請參考本程序書 Table 2 建立設定檔。
- (8)、量測技術：

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

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

奧斯田鐵材料厚度≥0.5 吋，可用縱波確認裂縫是否成長伸入焊材內。

探頭頻率(Frequency)及音圈(Aperture)範圍選擇如下表：

材料厚度 或 剩餘厚度 (RL)	≤0.50"	>0.50" to ≤1.00"	>1.00" to ≤1.50"	>1.50"
探頭頻率 (MHz)	2.0 to 5.0	1.5 to 5.0	1.5 to 4.0	1.5 to 2.25
最小音圈 (Aperture)	0.20"	0.30"	0.30"	0.50"
最大音圈 (Aperture)	0.40"	1.00"	1.00"	1.50"

\*探頭音圈尺寸適用於橫波與縱波模式。雙探頭適用發射音圈尺寸。

探頭角度選擇：螢幕呈現扇形掃描圖，橫波角度由 35 度至 80 度，縱波角度由 40 度至 70 度，度階 1 度。

縱波探頭和楔形塊組其聚焦距離依管徑及厚度不同按下表選擇適用之設定檔：

Diameter	Thickness Range	Wedge model	Transducer model	Set up File Name
4" to 7" inclusive	>.50" – .60"	118-340-360	115-000-481	D04F050
	> 0.60" – 0.90"			D04F075
	>0.90" – 1.25"			D04F100
	>1.25" – 1.75"			D04F150
	>1.75"			D04F200
>7" to 12" inclusive	>.50" – .60"			D07F050
	> 0.60" – 0.90"			D07F075
	>0.90" – 1.25"			D07F100
	>1.25" – 1.75"			D07F150
	>1.75"			D07F200
>12" to 24" inclusive	>.50" – .60"			D12F050
	> 0.60" – 0.90"			D12F075
	>0.90" – 1.25"			D12F100
	>1.25" – 1.75"			D12F150
	>1.75"			D12F200
> 24"	>.50" – .60"			D24F050
	> 0.60" – 0.90"			D24F075
	>0.90" – 1.25"			D24F100
	>1.25" – 1.75"			D24F150
	>1.75"			D24F200

双陣列縱波探頭之設定檔案係藉由外來軟體設計計算出來並且由 GEIT 生產及控管。這些設定檔案必須由 GEIT 提供使用並且不得修改，如前述縱波探頭聚焦距離設定檔選擇表。

(9)、校準：

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

16 顆晶片的探頭，失效的晶片不得超過 2 顆。

8 顆晶片的探頭，失效的晶片不得多於 1 顆。

執行縱波檢測選取 4"至 7"的設定檔案時，只使用探頭每邊 15 顆有效晶片以外的 10 顆，因此探頭每邊失效的晶片不得多於 1 顆。管路大於 7"的其餘設定檔使用了每邊 15 顆晶片的縱波探頭，因此可接受每邊失效 2 顆晶片。

如果晶片失效的數量超過上述規定，則之前完成的晶片查核後執行過的所有檢測均應作廢並且重新檢測。

B. 儀器設定參數：陣列探頭搭配各楔形塊應依下表設定重要參數。

<b>GAIN TOGGLE</b>			
<b>dBd:</b> Shall be set at 0.0		<b>dBa:</b> shall be set as required	
<b>PROBE MENU</b>			
<b>(Sub-menu)</b>	<b>(Tab)</b>	<b>(Value)</b>	
Probe Geometry	Frequency	(See Table 1) [3]	
	Number of Elements	(See Table 1) [4]	
	Pitch	(See Table 1)	
Wedge Data	Element 1 Position	Low end	
Wedge Geometry	Velocity	.0920 in/μs [1]	
	Wedge Front	X offset (See Table 1)	
	Offset Z	Z Offset (See Table 1)	
	Angle	(See Table 1)	
Offset	Probe Delay	Per 7.5	
	Origin Offset	0.0	
<b>PART MENU</b>			
<b>(Sub-menu)</b>	<b>(Tab)</b>	<b>(Value)</b>	
Plan	Velocity L	.2283 in/μs	.2323 in/μs
	Velocity S	.1220 in/μs	.1260 in/μs
	Material [5]	Steel Stnlss	Steel Mild
	MAT THICKNESS	Nominal Thickness (±10%)	
<b>SCAN MENU</b>			
<b>(Sub-menu)</b>	<b>(Tab)</b>	<b>(Value)</b>	
Electronic	Type	Sector	
	Focal Point	Unfocused [6]	
	Wave Type	Shear or Longitudinal	
Scan Pattern	Angle Start	Per 6.7	
	Angle Stop	Per 6.7	
	Angle Step	Per 6.7	
Aperture	Number of Steps	1	
	First Element	1	
	Aperture Size	# of Elements ( 8,10,15,or16 to match probe configuration )	
	Aperture Step	1	
<b>DISPLAY MENU</b>			
<b>(Sub-menu)</b>	<b>(Tab)</b>	<b>(Value)</b>	
View	Angle corrected	On	
	Ascan Mode	Bud	
Results 1	Reading 1	A%	
	Reading 2	SA	
	Reading 3	PA	
	Reading 4	ZA	
<b>UT MENU</b>			
<b>(Sub-menu)</b>	<b>(Tab)</b>	<b>(Value)</b>	
Base	Display delay	0.0	
	Material [5]	Steel Stnlss (Austenitic) or Mild Steel (Ferritic)	
	LEG	As Required [7]	
Pulser	Voltage	150V [2]	
	Width	1/freq./2 (rounded to 0.00)	
	PRF Value	Auto Mid	
Receiver	Frequency	Broadband 0.6-6.5	
	Ascan Rectify	Fullwave	
NRM/ TCG	CYC GAIN CNTL	0.00	

註：[1]系統預設值的楔形塊材質為多苯乙烯(Rexolite)時之音速為 0.0920 in/μs。

楔形塊材質為樹脂玻璃(Plexiglas)時之音速為 0.1086 in/μs。

[2]校準時得暫時降低電壓將校準回波引領到 80-90%全螢幕高度。

[3]頻率 2.25MHz 之探頭應設定為 2.2MHz。

[4] 32---双陣列縱波探頭(115-000-481)。

[5] CUSTOM---双陣列縱波探頭(115-000-481)。

[6] 見表 1 附錄 A 115-000-481 探頭設定值。

[7] 見下表，調整需依 EPRI-PIPE-TWS-MPA-1 R0 程序書 paragraph 7.4。

管件厚度	≤0.50"	>0.50" to ≤2.0"	>2.0"
最小時基範圍	2T	2T	2T
最大時基範圍	6T	4T	4T
角度	60°	60°	45°

C. 選擇 40°~50°任一角度於參考規塊驗證角度的誤差應在 +/- 3°以內。

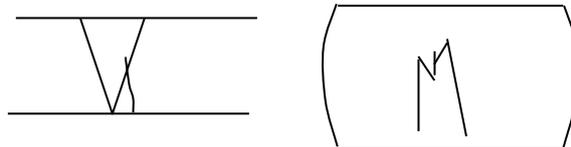
D. 選擇 45°~55°任一角度於校正或參考規塊之反射體(側鑽孔、刻槽或弧面)，調整 dB 使振幅為 80~90%FSH，此 dB 即為參考靈敏度，另存設定檔(以方便考官驗證)，並填入紀錄表。

### (10)、深度量測

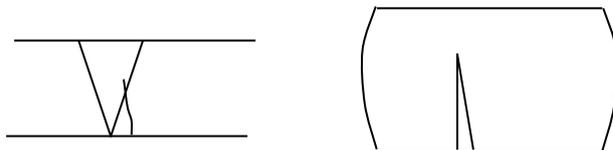
A. 碳鋼、不銹鋼試件：

材質	外徑	厚度	檢出探頭	校塊	備註
CS & SS	4"	0.337	4M(013)	1"ID notch or SDH block	搭配 1.5M(441)確認
	6"	0.432			
	12"	0.688			
CS & SS	36"	2.625	2.25M(450)	SS SDH block CS thick step wedge block	搭配 1.5M(441)及 1.5M(481)確認
	50"	3.85			

註 1：SS 當 crack tip 接近或穿過焊熔線時，tip 訊號 / 焊熔線雜訊互相干擾，須用 RL wave 才看清 tip。



註 2：CS crack tip 很清楚。薄壁 (t<0.75") 當 crack tip 訊號很雜亂時，從反方向或降低 gain 量測。



B. IGSCC 試件：校塊 1"ID notch block or SDH block

材質	外徑	厚度	檢出探頭	備註(先定性再定量檢出)
IGSCC	20"	0.800"	1.5M(441)	定性：使用 2.25M(450)或 1.5M(441)
				目的：判定 Flaw 之淺 / 中 / 深
				檢出：搭配 4M(013)確認

深度量測定性評估觀察要點：

以探頭 2.25M(450) 或 1.5M(441)用 60°為基準，直接面對瑕疵觀察回波信號高

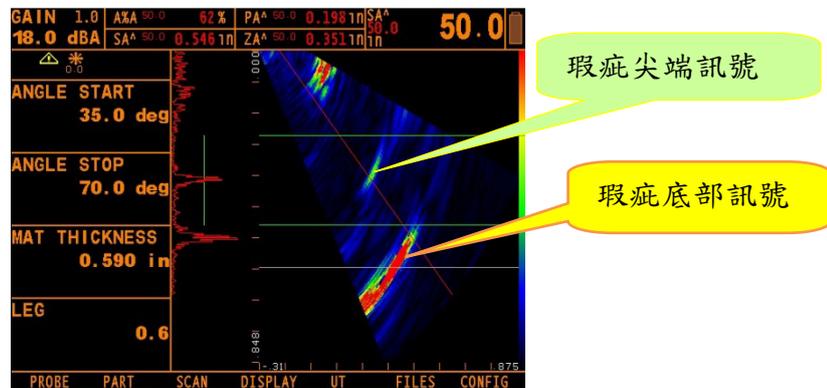
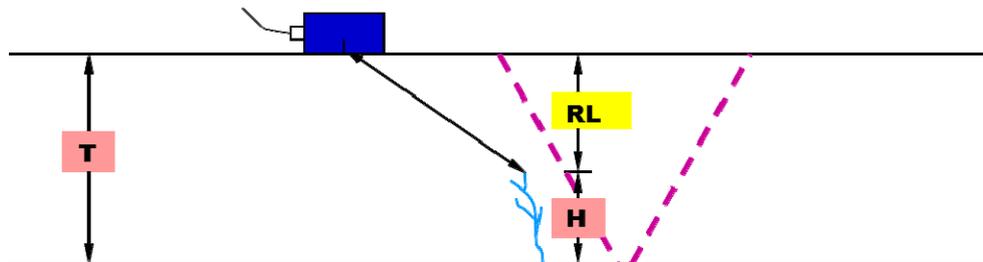
低做定性淺、中、深評估，回波信號越高表瑕疵越深。

(11)、最後深度範圍量測技術與角度要求如下表：

材料厚度 $\leq 0.50''$		
材料剩餘厚度	FOCAL LAW ANGLE(s)	量測技術
$\leq 0.20''$	60° 及較大者	AATT
$> 0.20''$	50°-65°	AATT 或 RATT*
材料厚度 $> 0.50''$		
材料剩餘厚度	FOCAL LAW ANGLE(s)	量測技術
$\leq 0.20''$	60° 及較大者	AATT
$> 0.20''$ TO $\leq 0.50''$	50°-65°	AATT
$> 0.50''$	40°-50°	AATT 或 RATT*

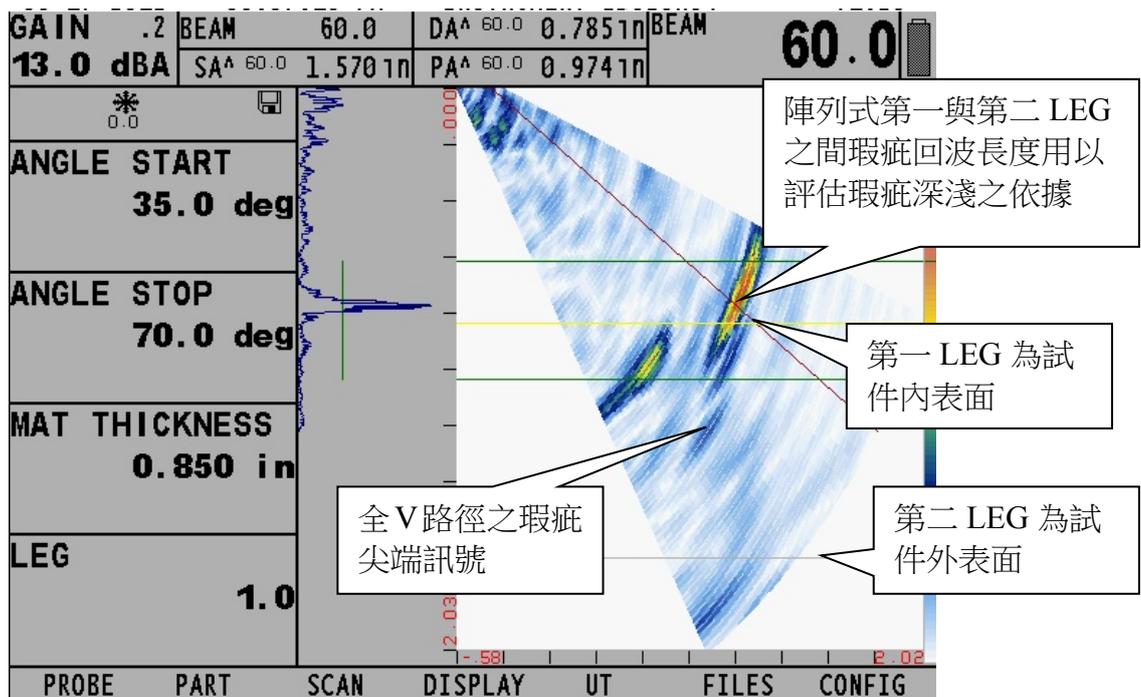
\*RATT 技術僅適用裂縫深度為  $\leq 20\%T$  且垂直無偏斜者。

(12)、記錄與報告：校準記錄及量測結果應完整填寫。



### (三)、驗證過程要點

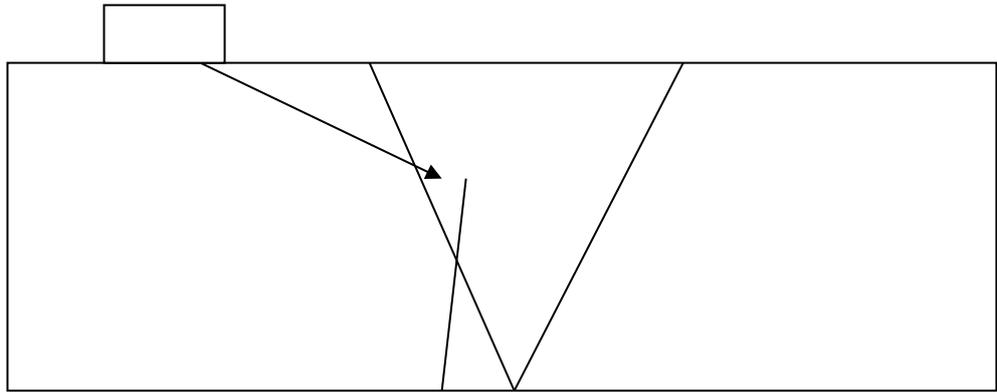
- 1、本次驗證首次以相位陣列超音波檢測儀執行，因此必須涵蓋所有碳鋼、不銹鋼及 IGSCC 試件，共考 10 件，管徑自 4 吋至 36 吋。
- 2、通常先考碳鋼試件，再考不銹鋼，IGSCC 試件最後考，考試期間依試件材質厚度按程序書要求選擇適用探頭與楔形塊，EPRI 針對每一種試件均有對應之基本校正規塊，校準記錄最好以該規塊做或以其他規塊替代亦可。
- 3、儀器設定檔(含晶片功能測試檔)可沿用檢測所存的設定檔稍作修改或依程序書內容自行設定存檔於 SD Card，檢測期間再依試件 Recall 設定檔，有些設定參數程序書要求屬於必要者(essential)必須依照不得更改，考官查證時會一一檢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



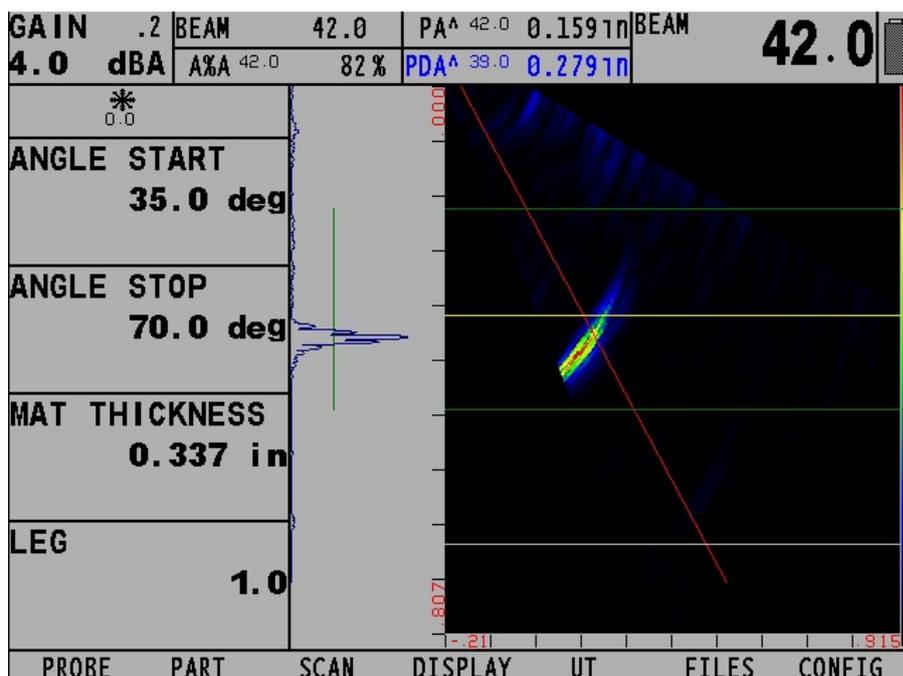
陣列式圖像 60°橫波回波長度大略評估瑕疵高低

- 9、量測瑕疵深度所需探頭為 2.25MHz(115-000-450)、4MHz(115-500-013)、1.5MHz 雙晶縱波(115-000-481)三顆探頭即可。量測深度試件有碳鋼、不銹鋼、IGSCC 共 10 件，其中碳鋼 4 件、不銹鋼 3 件、IGSCC 3 件。管徑大小除 3 件 IGSCC 固定外，其餘 7 件大中小任意調配。其中 IGSCC 深度瑕疵一件，中深度兩件或中淺各一件。
- 10、大管件深度量測，如 526 或 309 深瑕疵接近表面時，先以 450 探頭量測再以 013 探頭量測互相驗證，較準確。因其厚度約為 2.5 吋(309)，526 為 3.8 吋，其容許誤差僅為±10%，故誤差很大時即可能不合格。瑕疵很高時先以 450 探頭量測，再以 013 探頭量測近表面深度，因 013 探頭是 4MHz 對近表面有很好的解析度。以 013 探頭量測時須注意儀器之設定，量測時均以 ZA 來評估(未修正厚度)，DA 所指示之深度，因為已經修正過之厚度只能供參考。
- 11、量測不銹鋼 309(2.5 吋)厚時，瑕疵深度由內表面延伸至中間層有可能延伸至焊道內部，此時橫波能量測量受焊道晶粒粗大影響無法穿透，就必須以縱波探頭 481 來量測。

481 縱波探頭用以穿透粗晶粒焊道



- 12、量測 IGSCC 測件時，須注意表面粗糙之不平整需要大量耦合劑來填補粗糙面。當探頭所量測尖端繞射回波由瑕疵反射面之高振幅回波，觀察至低振幅回波，無法偵測真正尖端繞射波時，可以 SKEW 探頭則可發現尖端繞射回波與瑕疵面回波連接在一起。
- 13、量測 IGSCC 做定性評估時，需觀察焊道表面是否有低陷狀況，若低陷情況目視可見時，雖然 60° 可見到中長度之回波圖像(中長度尾巴)，要特別注意，60° 之橫波探頭位於低陷之表面時，探頭可能是以 55° 或是更低之角度偵測到全 V 之回波圖像，真正的瑕疵為淺瑕疵而誤認為是中等深度之瑕疵。
- 14、瑕疵量測時，先確認焊道之雜訊圖像，再確認瑕疵所在的 CORNER 訊號，再量測深度。量測技術除淺缺陷外均以 AATT 絕對到達尖端繞射距離為依據。即是所量測之值為瑕疵距離表面之剩餘厚度(RL)，再以焊道之實際厚度減去 RL 值為瑕疵高度，此兩種數值，均要在報告上填報。



421 碳鋼基本校正塊校準訊號圖例

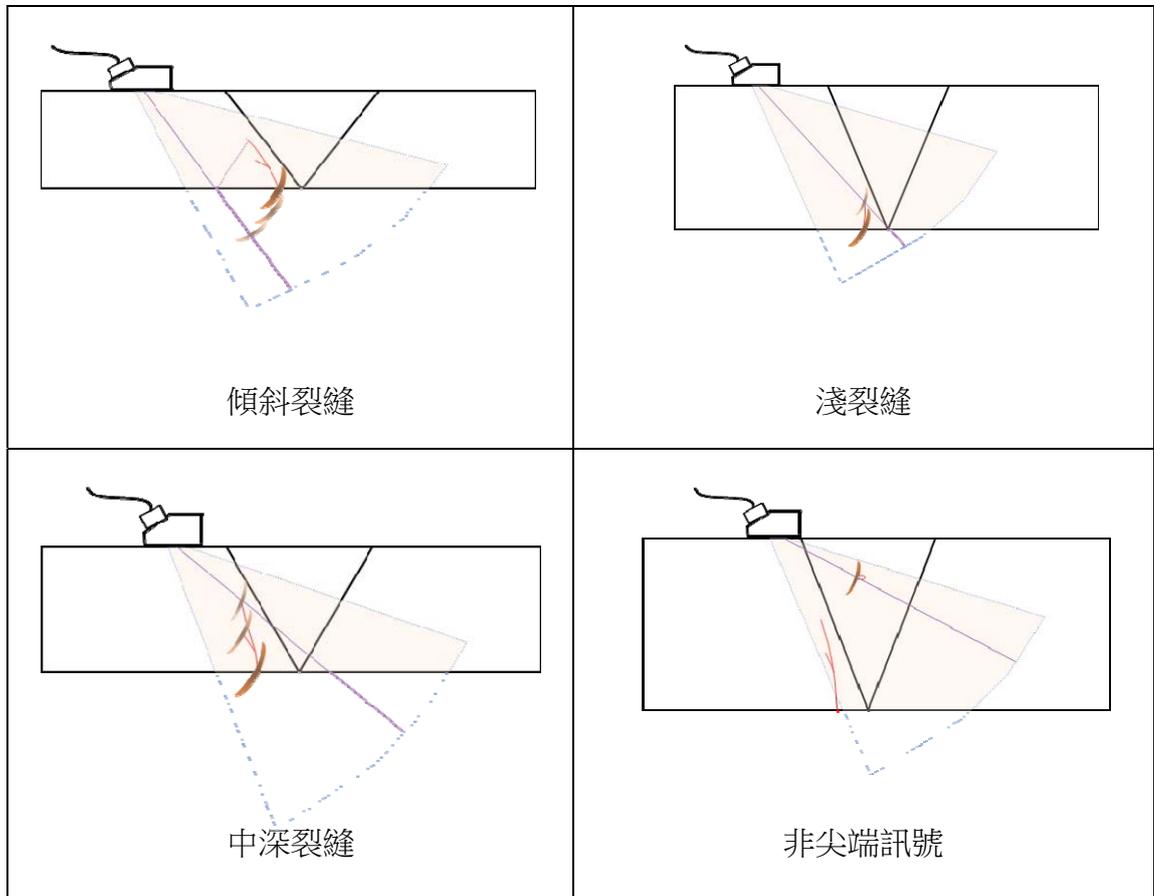
#### (四)、經驗分享

- 1、可以先做練習塊將答案送給考官核對，如有顯著差異考官會特別告知。考試期間亦可要求做練習塊比對。
- 2、表面不平，有斜坡時，推探頭向前觀察 FLAW FACE echo，常突然中斷。起因表面斜坡與不平整。同一個 Flaw，探頭拉後退，觀察 leg 1~ leg 2 間之 echo dynamic。
- 3、CS 可雙邊量測； SS & IGSCC 只可從本邊量測；對邊可能有另一條 crack。
- 4、提報 Flaw high 答案最好勿 < 10%；勿 > 90%。
- 5、SS 307/309 試件用 RL wave 補強。效果佳。
- 6、量測瑕疵深度主要探頭為 2.25MHz(115-000-450)、4MHz(115-500-013)、1.5MHz 雙晶縱波(115-000-481)三顆，其他探頭輔助用，高頻探頭對裂縫尖端較敏感，但穿透性差。
- 7、每個探頭以 45°校正 SDH 或 Notch 尖端，得 80%FSH 訊號，存成報告檔；寫好校正紀錄，試做一個試件請考官核對無誤後，copy 9 份。每完成一件，將決定答案所用的探頭校正紀錄表、Indication Form (單件答案表)、Indication Form (全部試件答案表)、Inventory sheet (探頭列表由考官填寫)等 4 份，交卷請考官核對簽名後，就可換下一件。首次考 10 件(IGSCC 3 件 12"OD、CS 4 件-50"OD 厚度 3.85"1 件 4"/6"/12"OD 各 1 件、SS 3 件-36"OD 厚度 2.65"1 件 4"/12"OD 各 1 件)，含 Guide Practice 約需 3~5 工作天。
- 8、瑕疵訊號於 Leg1 與 Leg2 之間出現，有助於裂縫淺、中、深的判定。IGSCC 做定性評估時，450(2.25MHz)探頭有時會有較多雜訊，013(4MHz)可得良好的瑕疵底部及尖端回波，觀察底部回波之動態(低至高角度回波持續之範圍)，動態愈短愈淺，反之則愈深。
- 9、IGSCC 試塊與一般不銹鋼植入瑕疵回波狀態不太一樣，因為晶間應力腐蝕龜裂較緊密反射訊號較弱，縱波效果差，4.0MHz 橫波探頭較適合裂縫深度量測，量測時 Skew 若能看到裂縫面訊號(裂縫高度中或深者)，將探頭往前推移找尋尖端繞射回波訊號，讀取深度值(=剩餘厚度)。
- 10、當瑕疵尖端深度小於 1/2 厚度時，尖端影像通常在底部影像左上方，而瑕疵尖端深度大於 1/2 厚度時，尖端影像通常在底部影像右上方，確認尖端訊號應驗證 PA 值(探頭前緣至瑕疵之水平距離)對應之位置，必須合理，否則訊號有可能非來自瑕疵尖端。
- 11、瑕疵座向若屬於較傾斜者，訊號影像呈現在 LEG 1 與 LEG 2 之間，此時 LEG 1 範圍內不易取得尖端影像，必須將探頭後退觀察 LEG 1 與 LEG 2 之間較易取得尖端影像，此時瑕疵深度=ZA-T。

12、不銹鋼試件之尖端訊號，要驗證是否附近有氣孔，而影響量測之準確度。

13、要隨時以校準規塊隨時驗證是否量測準確。

裂縫深度量測訊號示意圖



#### 四、異材焊道手動相位陣列超音波檢測與裂縫深度驗證

##### (一)、考前準備事項

###### 1、設備與器材：

檢測儀：ZETEC TOPAZ相位陣列超音波檢測儀

檢測探頭：115-000-524、543、590、592 16x2共4個陣列探頭、

楔形塊：360-152-054、057、139、140、360-152-131~134及360-152-143~146共12個。

其他工具：楔形塊拆裝工具、耦合劑、參考規塊(適用各管徑弧度具有等比深度側鑽孔及圓弧等反射體)、鋼尺與布尺。

2、異材焊道檢測技術：這是在EPRI首次使用ZETEC TOPAZ手動相位陣列超音波檢測儀針對異材焊道的考照，EPRI請MAEK DENIS製作此儀器的設定檔，THOMAS指導與實際操作練習件的瑕疵檢測、長度及深度量測。

##### (二)、檢測程序摘要

###### 1、儀器設定基本資料：

(1)、ZETEC TOPAZ手動相位陣列超音波檢測儀相關的異材焊道檢測設定檔

(Law files)有25個，其中CHK64.law為探頭晶片及頻道檢查，PDI過程中經常需要測試確認探頭性能。檢測設定檔分為縱波及橫波，校準完成後另存其他檔名，以方便取用，原始檔名為\*.law。

(2)、檢測設定檔中有規定為必要設定值(Essential Values)者，應依程序書

TABLE-2規定逐項確認是否正確，上述參數會在結果查核時逐項核對。

(3)、考試之\*.law檔在規劃時，依探頭晶片數關閉1~2個晶片，已確定在現場有晶片損壞其數量，在程序書規定數量內其結果仍為有效。

(4)、考試件與設定檔選用一覽表如下：

Wedge #	Diameter (in)	Array#	Sample	Focal Path (in)	Number of element	Topaz Law (Longitudinal)	Topaz Law (Shear)
360-151-054	Flat	115-000-592/591	712	5.25	16	O32Z21054L2570Q1M1Z4.law	O32Z21054S3565Q1M1Z4.law
360-151-057	Flat	115-000-590/545	712	3.00	16	O32Z21057L2570Q1M1Z4.law	O32Z21057S3565Q1M1Z4.law
360-152-132	24.0	115-000-590/545	708.709	2.00	16	O32Z2132L2570Q1M1Z4.law	O32Z2132S3565Q1M1Z4.law
360-152-131	24.0	115-000-590/545	708.709	2.00	16	O32Z2131L2570Q1M1Z4.law	O32Z2131S3565Q1M1Z4.law
360-152-134	30.0	115-000-590/545	710	2.00	16	O32Z2134L2570Q1M1Z4.law	O32Z2134S3565Q1M1Z4.law
360-152-133	30.0	115-000-590/545	710	2.00	16	O32Z2133L2570Q1M1Z4.law	O32Z2133S3565Q1M1Z4.law
360-152-146	2.0	115-000-524/485	701	0.75	8	O32Z2146L2570Q2M1Z4.law	O32Z2146S3565Q2M1Z4.law
360-152-145	2.0	115-000-524/485	701	0.75	8	O32Z2145L2570Q2M1Z4.law	O32Z2145S3565Q2M1Z4.law
360-152-144	5.5	115-000-524/485	703	1.00	8	O32Z2144L2570Q2M1Z4.law	O32Z2144S2570Q2M1Z4.law
360-152-143	5.5	115-000-524/485	703	1.00	8	O32Z2143L2570Q2M1Z4.law	O32Z2143S2570Q2M1Z4.law
360-152-140	16.0	115-000-543/542	705. 706. 707	1.25	16	O32Z2140L2570Q1M1Z4.law	O32Z2140S2570Q1M1Z4.law
360-152-139	16.0	115-000-543/542	705. 706. 707	1.25	16	O32Z2139L2570Q1M1Z4.law	O32Z2139S2570Q1M1Z4.law

2、晶片及頻道檢查：與覆層焊道檢測element check同(使用CHK64設定檔)。

3、校準程序：

(1)、時基長度通常等於1.6倍的材料厚度，檢測過程亦可隨觀測需要調整。

(2)、縱波或橫波檢測靈敏度以35°~60°任選一角度(建議固定45°)，選擇任一側鑽孔或刻槽，調整dB使振幅約在80%FSH，並記錄於校準報告。

4、檢測程序：

(1)、確認試件編號與標示流向與考試清單相符，並依試件尺寸標示焊道中心線與法規要求檢測邊界線，後依45°畫出近邊與遠邊檢測分界線。

(2)、近邊母材部分需以橫波優先檢測確認近邊試件瑕疵，母材及穿越焊道或介面之檢測以縱波為主，軸向掃描如以柵欄式掃描路徑至少需有單一或傳送晶體的50%重疊率，有多處調和金屬(Buttering)應分段檢測確認不同位置的瑕疵。

(3)、周向掃描以順時鐘及反時鐘兩個方向為主，掃描重疊率至少需有單一或傳送晶體的50%。

(4)、掃瞄速度每秒不超過2"，縱波檢測扇形角度範圍為25°~70°，橫波檢測扇形

角度範圍為35°~65°。

(5)、掃描靈敏度以60°或更高角度為基準，調整dB使雜訊介於5~20%FSH，監視掃描接觸面需使用較低角度範圍(25°~35°)。

(6)、檢測範圍應涵蓋100%全體積，包括軸向掃描及周向掃描。

5、瑕疵長度量測：

(1)、瑕疵長度量測以瑕疵同側為主，如因探頭位置受限或瑕疵座向因素則可由對邊量測。

(2)、使瑕疵信號最高振幅調整到80%FSH，再觀測瑕疵兩邊端點至瑕疵信號消失為止，如為近邊瑕疵則端點量測至瑕疵信號降至20%FSH。

6、瑕疵深度量測：

(1)、瑕疵深度量測以絕對到達時間法為主，由A-Scan或S-Scan觀察找出瑕疵尖端信號(tip signal)，直接讀出其剩餘厚度。

(2)、觀察瑕疵尖端信號(tip signal)找出最佳量測角度，驗證其對應側鑽孔讀值，如有誤差可調整探頭遲延(wedge Delay)校正讀值，再量測該尖端信號，以求得較準確之深度(厚度－剩餘厚度)。

(3)、軸向瑕疵剩餘厚度量測可以音程(Metal Path)查附錄C之對應表，或使用相同外徑曲度的校正塊之相對應側鑽孔驗證剩餘厚度。

### (三)、驗證過程要點

1、檢測程序書編號為EPRI-DMW-PA-1 R1。

2、考場會提供完整DMW指引文件、相關焊道結構圖、所需用Topaz之設定檔，探頭清單(Inventory List)。

3、調和金屬(Buttering)介面回波及焊道雜訊易干擾瑕疵判讀，檢測時需留意。

4、報表文件包括校準表、瑕疵位置長度記錄表(考官要求將RL值標註於每個瑕疵旁)。

5、考官驗證儀器相關必要設定值(Essential Values)，亦包括校準及瑕疵長度、深度，

某些深度可能需調整Wedge Delay值，調整後尚需驗證對應之側鑽孔。

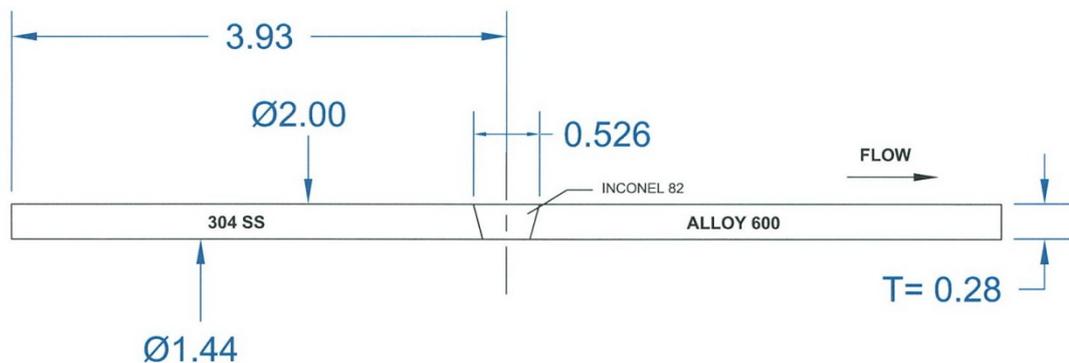
(四)、經驗分享

1、考試件編號與相關尺寸與厚度對應如下表

DM SPECIMENS											
Small Category				Medium Category				Large Category			
Sample ID	O.D. (INCHES)		Thickness (INCHES)	Sample ID	O.D. (INCHES)		Thickness (INCHES)	Sample ID	O.D. (INCHES)		Thickness (INCHES)
701	2.000		0.280	705	14.250		1.150	709	23.00		1.570
702 (US)	3.790		0.585	706	12.300		1.150	709	27.00		1.720
702 (DS)	4.250		0.800	707	12.750		1.150	710	30.00		2.150
703	5.000		0.600	708	18.400		2.000	712	Flat		5.200
704 (US)	5.000		0.805								
704 (DS)	5.400		1.051								

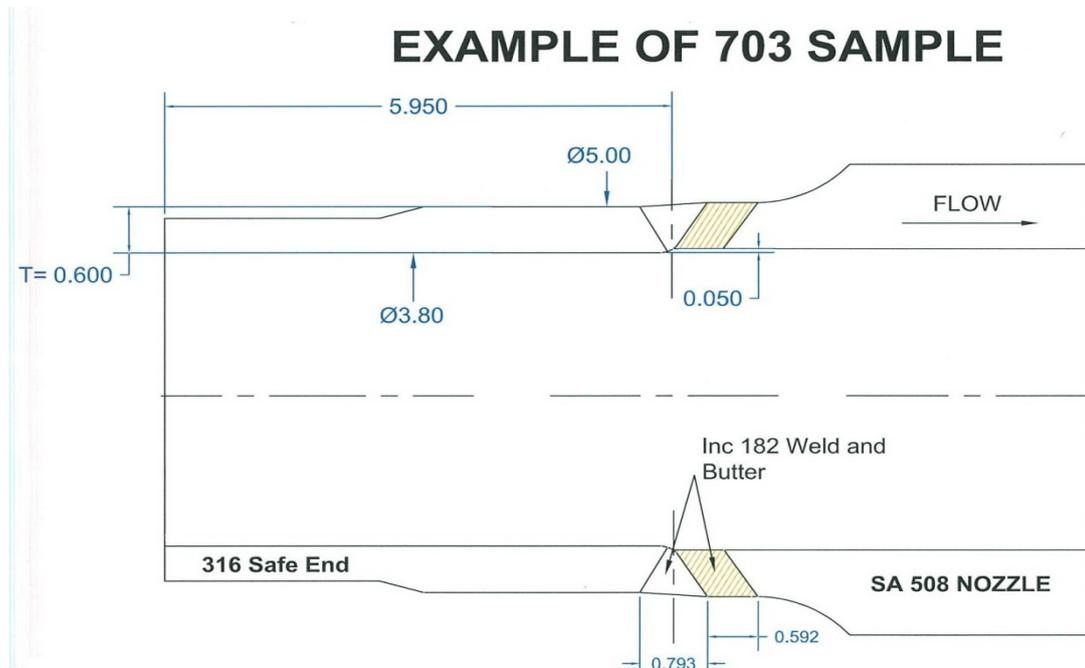
2、此次考試由小管開始做起，701/C 2吋管僅0.28吋厚，找到上游側有兩條周向瑕疵，701/H 雜訊很多，周向、軸向掃描找不到瑕疵只好以NRI報告。

- (1)、因使用曲面楔形塊在周向掃描時無法轉角(Skew)須小心觀察波的動態。
- (2)、建議螢幕設定為0.8T注意1/2T的區域。
- (3)、橫波周向掃描近邊母材檢測(解析度較佳)，縱波周向掃描近邊母材檢測(依45°畫出近邊與遠邊檢測分界線之上游側)。
- (4)、縱波周向掃描近邊調和金屬(Buttering)區檢測(依45°畫出近邊與遠邊檢測分界線之下游側至下游側法規要求檢測邊界線區域)。
- (5)、縱波雙向軸向掃描法規要求檢測邊界線範圍內區域。
- (6)、焊道剖面圖與相關資訊如下圖



3、703/X 5吋管0.6吋厚，軸向掃描找到兩處周向信號。

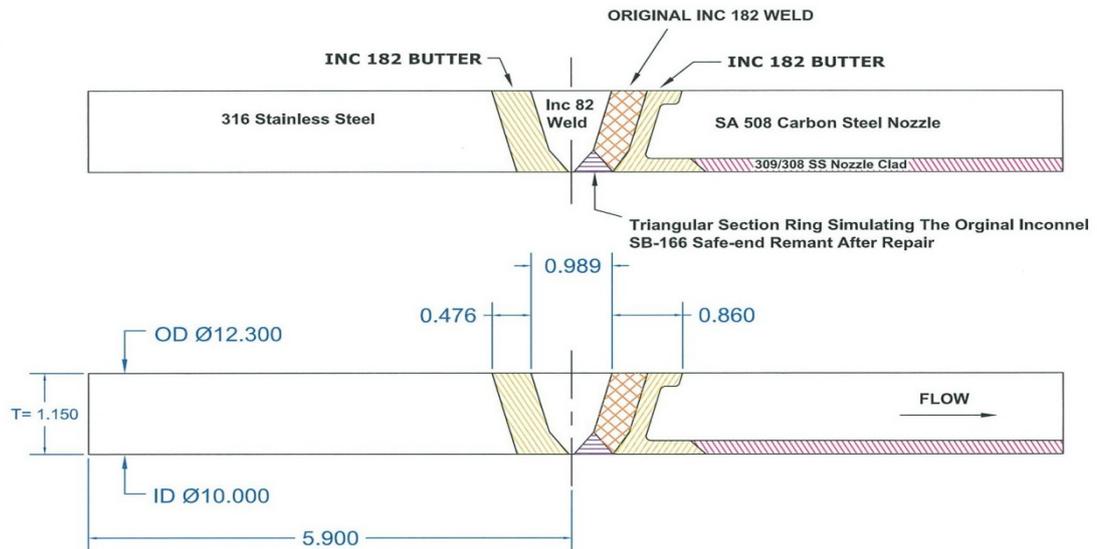
- (1)、建議螢幕設定為0.6T注意1/2T的區域。
- (2)、焊道剖面圖與相關資訊如下圖



4、706/G、707/Q、708/Z試件使用同一楔形塊，每塊焊道Buttering結構不同，所以雜訊與介面波的呈現各不相同。試件從Buttering來的雜訊特多，周向掃描從底部及近表面來的信號回波很雜，故很難分辨是否有軸向瑕疵。

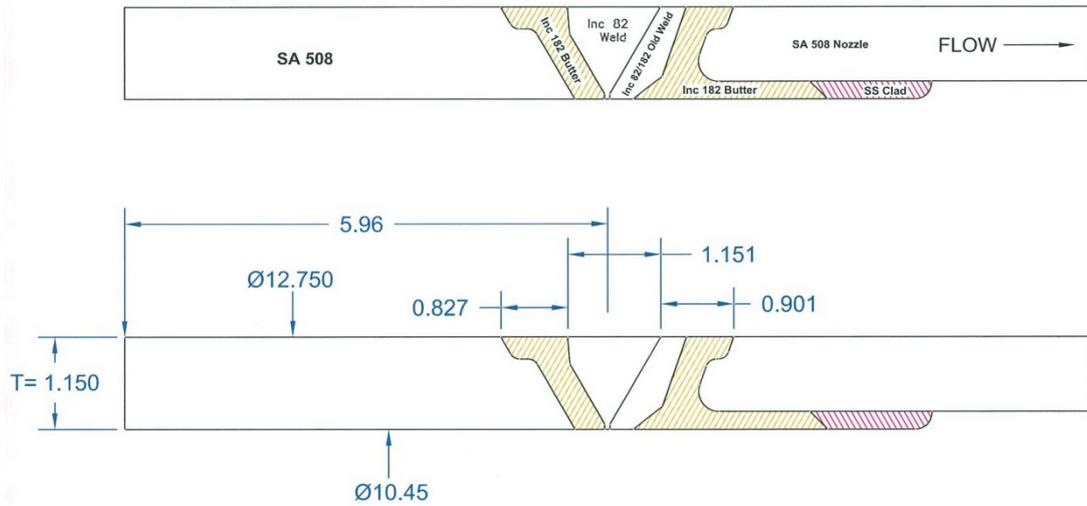
- (1)、706有2處調和金屬(Buttering)應分3段周向掃描檢測確認不同位置的瑕疵。
  - A. 橫波周向掃描近邊母材檢測(解析度較佳)，縱波周向掃描近邊母材檢測(依45°畫出近邊與遠邊檢測分界線之上游側)。
  - B. 縱波周向掃描近邊調和金屬(Buttering)區檢測(依45°畫出近邊與遠邊檢測分界線之下游側至焊道中心線區域)，並可應用下游側檢測確認。
  - C. 縱波周向掃描遠邊調和金屬(Buttering)區檢測(依45°畫出焊道中心線下游側至下游側法規要求檢測邊界線區域)。
- (2)、縱波雙向軸向掃描法規要求檢測邊界線範圍內區域。
- (3)、建議螢幕設定為0.6T注意1/2T的區域。

## EXAMPLE OF 706 SAMPLE



- (4)、707有2處調和金屬(Buttering)應分3段周向掃描檢測確認不同位置的瑕疵。
- 橫波周向掃描近邊母材檢測(解析度較佳)，縱波周向掃描近邊母材檢測(依45°畫出近邊與遠邊檢測分界線之上游側)。
  - 縱波周向掃描近邊調和金屬(Buttering)區檢測(依45°畫出近邊與遠邊檢測分界線之下游側至焊道中心線區域)，並可應用下游側檢測確認。
  - 縱波周向掃描遠邊調和金屬(Buttering)區檢測(依45°畫出焊道中心線下游側至下游側法規要求檢測邊界線區域)。
  - 縱波雙向軸向掃描法規要求檢測邊界線範圍內區域。
  - 議螢幕設定為0.6T注意1/2T的區域。

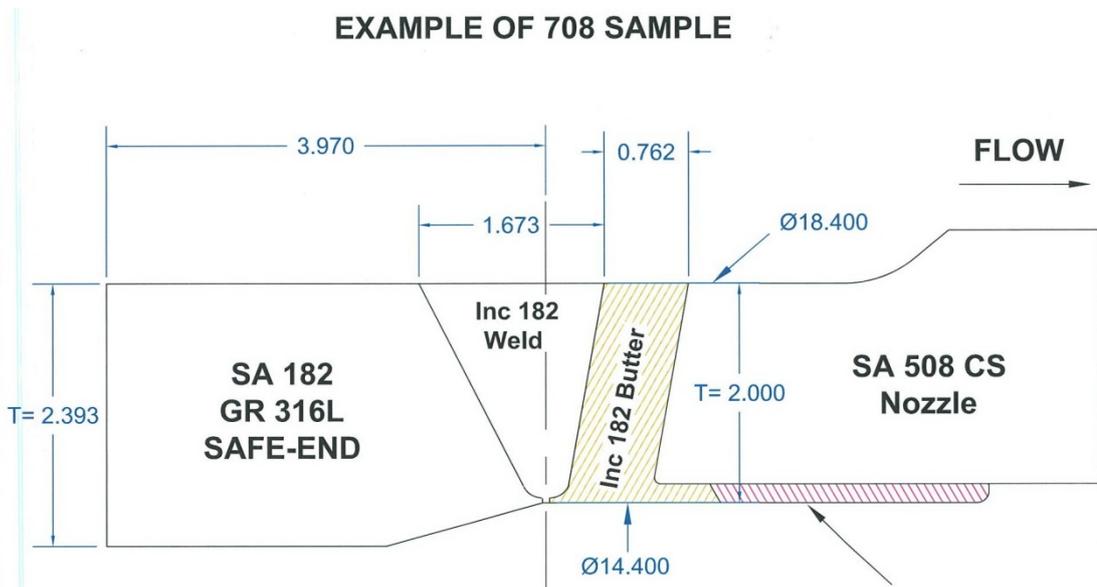
## EXAMPLE OF 707 SAMPLE



(5)、708有1處調和金屬(Buttering)應分2段周向掃描檢測確認不同位置的瑕疵。

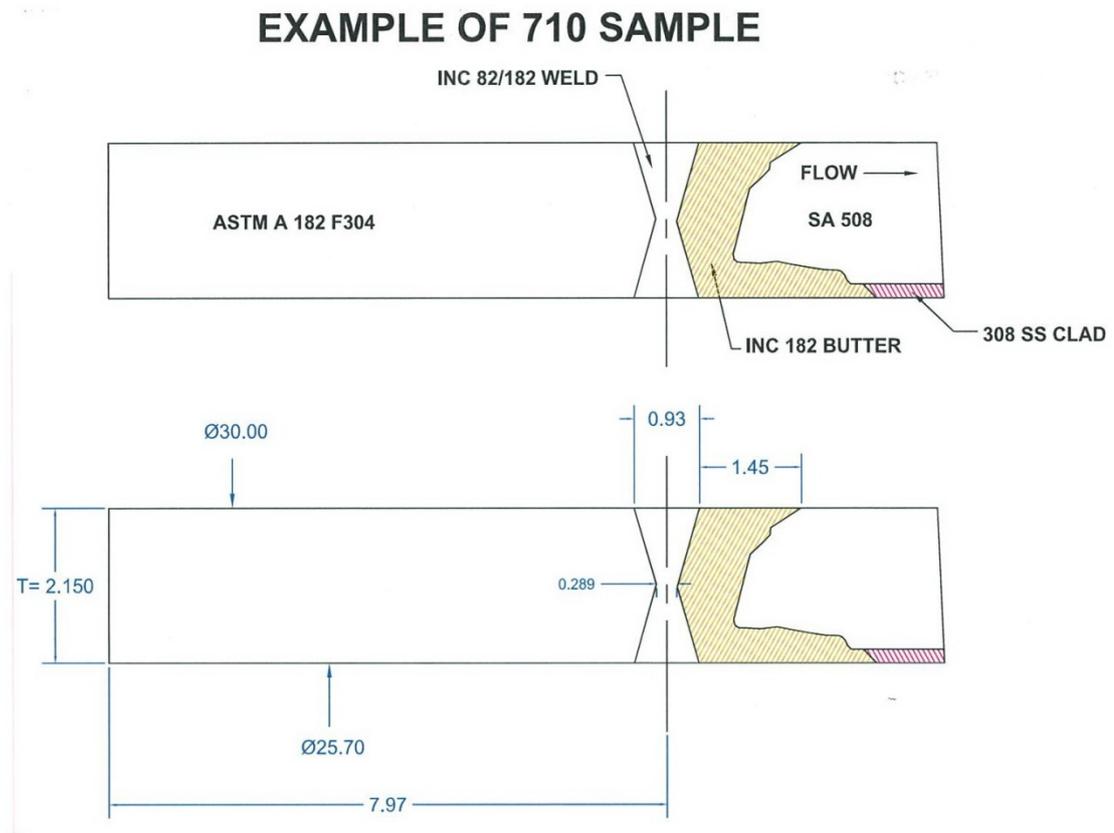
- 橫波周向掃描近邊母材檢測(解析度較佳)，縱波周向掃描近邊母材檢測(依45°畫出近邊與遠邊檢測分界線之上游側)。
- 縱波周向掃描遠邊調和金屬(Buttering)區檢測(依45°畫出焊道中心線下游側至下游側法規要求檢測邊界線區域)。
- 縱波雙向軸向掃描法規要求檢測邊界線範圍內區域。
- 建議螢幕設定為0.6T注意1/2T的區域。

## EXAMPLE OF 708 SAMPLE



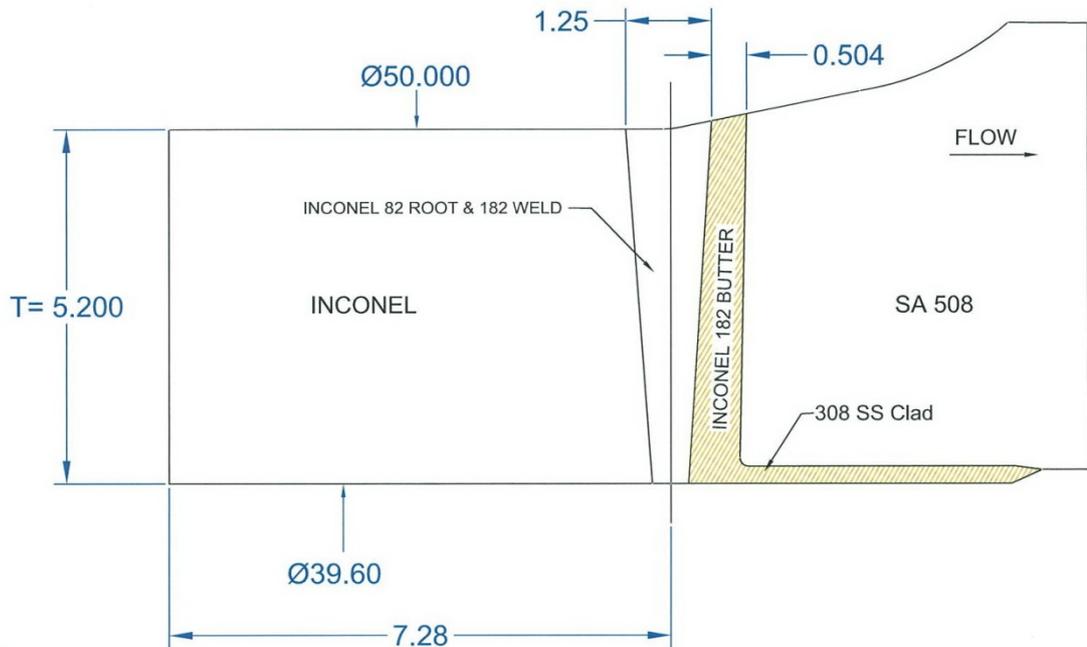
5、710/Z試件(2.15吋厚上下雙V焊道單側有Buttering底部延伸至護層cladding)，此試件超難，有如雜草中找另一株不同的草，瑕疵大都是藏在雜訊裡。

- (1)、710有1處調和金屬(Buttering)應分2段周向掃描檢測確認不同位置的瑕疵。
- A. 橫波周向掃描近邊母材檢測(解析度較佳)，縱波周向掃描近邊母材檢測(依45°畫出近邊與遠邊檢測分界線之上游側)。
  - B. 縱波周向掃描遠邊調和金屬(Buttering)區檢測(依45°畫出焊道中心線下游側至下游側法規要求檢測邊界線區域)，深度量測易受雙V焊道中心干擾。
  - C. 縱波雙向軸向掃描法規要求檢測邊界線範圍內區域。
  - D. 建議螢幕設定為0.6T注意1/2T的區域。



6、712/R 5.2吋厚試件，使用較大型探頭(115-000-592)，很容易找到周向瑕疵，而且瑕疵往上之連結信號很清楚，考試塊瑕疵較深，練習塊較淺，直接以此探頭即可測深，考試塊需使用另外一顆探頭測深(聚焦距離3.0")。

### EXAMPLE OF 712 SAMPLE



- (1)、712有1處調和金屬(Buttering)應分2段周向掃描檢測確認不同位置的瑕疵。
- A. 橫波周向掃描近邊母材檢測(解析度較佳)，縱波周向掃描近邊母材檢測(依45°畫出近邊與遠邊檢測分界線之上游側)。
  - B. 縱波周向掃描遠邊調和金屬(Buttering)區檢測(依45°畫出焊道中心線下游側至下游側法規要求檢測邊界線區域)。
  - C. 縱波雙向軸向掃描法規要求檢測邊界線範圍內區域。
  - D. 建議螢幕設定為0.6T注意1/2T的區域。

7、本次DM考試結果瑕疵總共叫了13個，12個周向瑕疵1個軸向瑕疵，失敗原因有false call也有miss call。

8、檢測時應有一致的步驟完成每個試件的檢測、長度量測與深度量測

- (1)、瑕疵檢測: 周向瑕疵觀察 $50^{\circ}\sim 55^{\circ}$ (軸向瑕疵觀察 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$ ) A-SCAN ID回波，應用管路焊道裂縫(含IGSCC)檢測經驗與瑕疵判定準則與多種關查驗證方法。
- (2)、瑕疵長度量測: 周向瑕疵觀察 $50^{\circ}\sim 55^{\circ}$ (軸向瑕疵觀察 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$ ) A-SCAN ID回波與S-SCAN波的動態消失位置作為端點，上游母材取80%(MAX)至20%(MIN)方法；焊道、調和金屬(Buttering)區取至訊號消失點。
- (3)、瑕疵深度量測: 周向瑕疵觀察 $50^{\circ}\sim 55^{\circ}$ (軸向瑕疵觀察 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$ ) A-SCAN ID回波與S-SCAN波的動態，探頭緩步往前觀察尖端繞射波位置，若剩餘厚度大於0.5” 使用 $45^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 量測尖端繞射波之讀值；若剩餘厚度小於0.5” 使用 $50^{\circ}\sim 65^{\circ}$ 量測尖端繞射波之讀值。

9、軸向瑕疵應可從雙向確認者才是，注意平移、扭轉與前後等觀察回波動態。

10、注意瑕疵面在ID的走向與在尖端處的走向可能不同。

11、Location、Location、Location

- (1)、Location 1: 確認試件上下游標示與0點起算位置
- (2)、Location 2: 確認探頭檢測方向與在試件上下游標示與0點起算相對位置
- (3)、Location 3: 確認超音波訊號在試件上下游標示與0點起算相對位置

12、Comform、Comform、Comform

- (1)、Comform 1: 確認瑕疵位置與經驗法則相符。
- (2)、Comform 2: 確認瑕疵回波位置可用高角度或另一方向檢測相符。
- (3)、Comform 3: 確認瑕疵回波動態可用平移、扭轉與前後等觀察，與瑕疵特徵相符。

## 五、螺栓(Bolts)及螺樁(Studs)直束超音波檢測能力驗證

### (一)、前言

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

### (二)、考前準備事項

- 1、鍛造肥粒鐵螺栓及螺樁四件，試件為 901、903、905、908。直徑 2" ~6.82"，長度 8.0" ~57.75"。
- 2、使用 O°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。
- 3、提、背包及電子設備、手機等集中放置於門口。
- 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。
- 5、不得以鉛筆作答，必須用墨水筆作答。
- 6、必須使用經由 EPRI 認證的超音波檢測設備。
- 7、可以向 EPRI 借用經由 EPRI 認證的探頭及連接線。
- 8、所有的瑕疵都可以檢測出來。
- 9、EPRI 不再告知考生(Candidate)任何一科考試瑕疵的數量。
- 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。
- 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。
- 12、考試時可以利用練習試件做為考試件的參考。
- 13、時間到交卷時，考生(Candidate)的校準報告必須齊備，並且將答案成立的過程實際秀給 EPRI 考官。
- 14、考完試後須將試件上的耦合劑及註記擦拭乾淨。
- 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考場。
- 16、黃色紙(Yellow Paper)及手寫的筆記、便條紙等均不得攜出考場。

### (三)、檢測程序摘要

- 1、檢測設備
  - (1)、使用經由 EPRI 認證的 USN 60 超音波檢測儀。
  - (2)、使用經由 EPRI 認證的圓形、單晶、10.0MHz、0.50" 的 O°縱波探頭。

(3)、換能器須能提供校準時來自人工刻槽回波 2 : 1 的信號/雜訊比。

## 2、校準

(1)、使用參考規塊 (Ref.Block) IIW、DSC, step wedges 設定線性螢幕距離。

(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。

(3)、迴掃範圍應能完全涵蓋每一個檢測區域 (examination zone)。

## 3、參考靈敏度校準

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

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

## 4、檢測範圍

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

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

## 5、掃描技巧

(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。

(2)、掃描速度每秒不得超過 2 寸。

(3)、檢測時的掃描靈敏度以校準增益即可。

## 6、評估顯示

(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。

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

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

B. PRF MODE 置於 autolow 時可以消除幾何形狀回波。

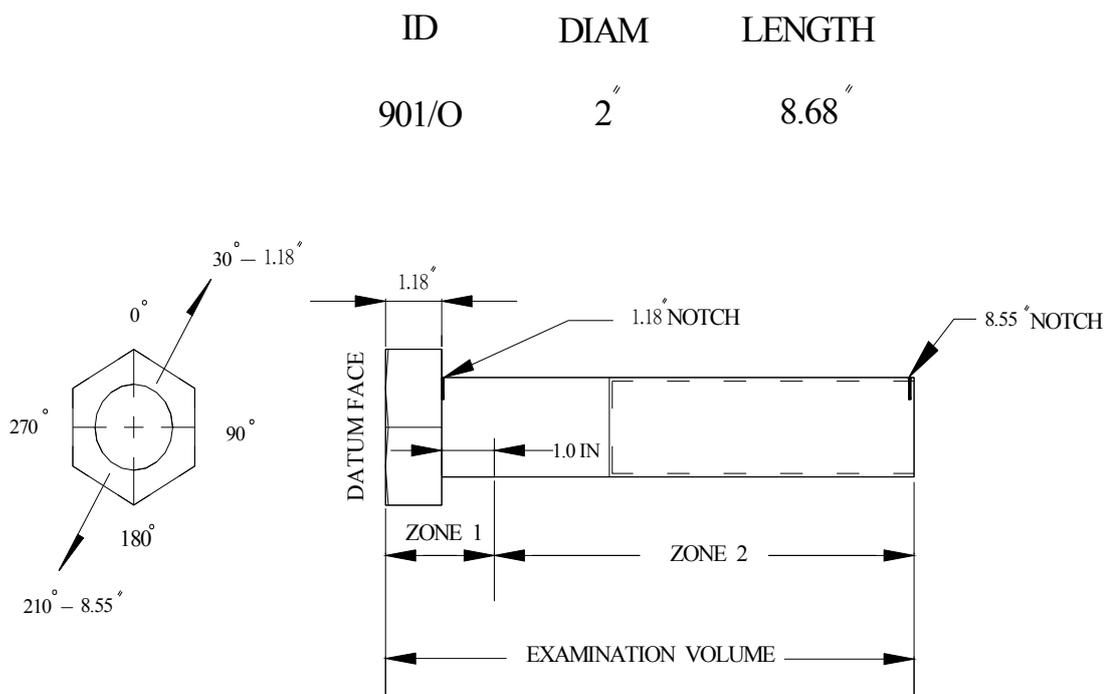
C. PRF MODE 置於 manual 時按下鍵，並轉動 USN 60 的右旋轉輪，如果信號是來自脈波重疊所產生的纏繞現象，則此信號會隨著旋轉輪的轉動而在時基線上跑動。

(3)、使用 10MHz 探頭來評估顯示。

(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。

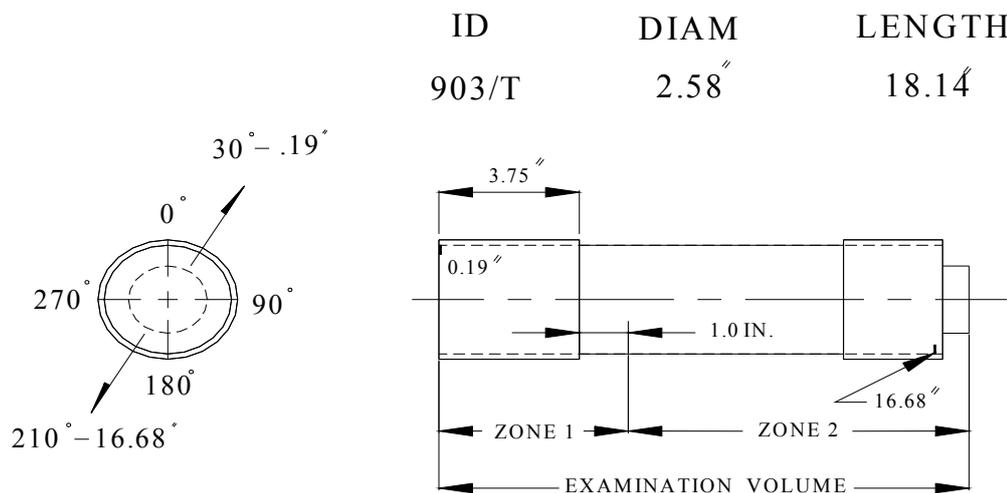
#### (四)、驗證過程要點

- 1、本次向 EPRI 借用 USN 60 儀器及探頭，EPRI 提供探頭四顆均是 10MHz，本人是使用 HAR A10(10MHZ)這顆探頭校準。
- 2、開始實作前需熟讀程序書，考官亦會發給 Table1 與 Table2，Table1 為使用探頭資訊，Table2 為儀器參數設定，這次使用 USN 60 有關儀器參數設定方面考官會一一驗證。
- 3、開始考試前，需認識與受測試件相同之練習件的材質、構造、直徑、長度、檢測區域、人工刻槽位置等，不計時間。
- 4、練習件 901 的校準螺栓為 T 型螺栓，離頂部 1.18" 的頸部安排了一個人工刻槽，則 Zone 1 的時基距離為  $1.18" + 1" = 2.28"$ 。為能保持解析度，設定 4" 的全螢幕寬較理想。

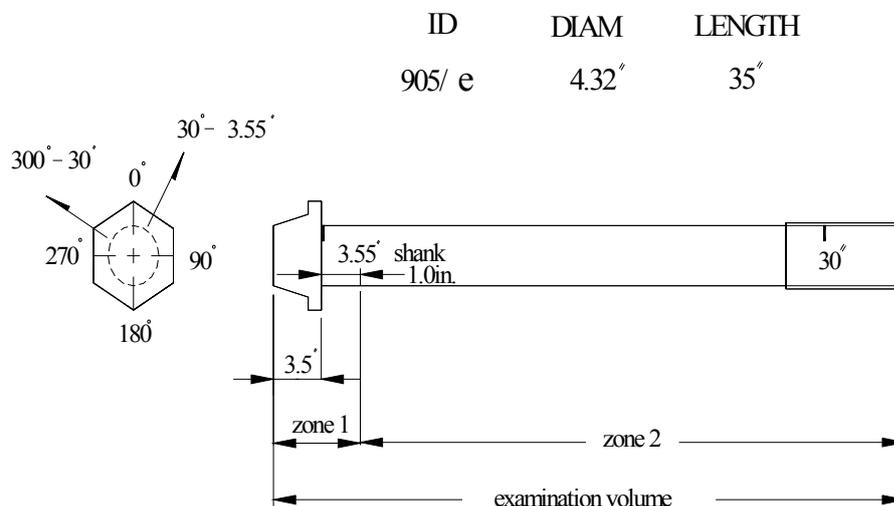


- (1)、這個 notch 的回波與螺帽的回波連在一起，必須在正確的方位角（Azimuth Degree）掃描到兩個連在一起此起彼落的信號時，利用儀器上的放大（magnify）功能將信號局部放大後方能確認，將此信號振幅定在全螢幕高的 80 到 100%，即完成 Zone 1 校準。
- (2)、雖然 8.55" notch 幾乎已在底部，將全螢幕寬定在 10.0"，只要確認和底部回波連在一起的 notch 回波，依照 Zone 1 校準方式，則可完成 Zone 2 校準。
- (3)、檢測時以校準 dB 為佳，正確的校準，檢測瑕疵時才能事半功倍。

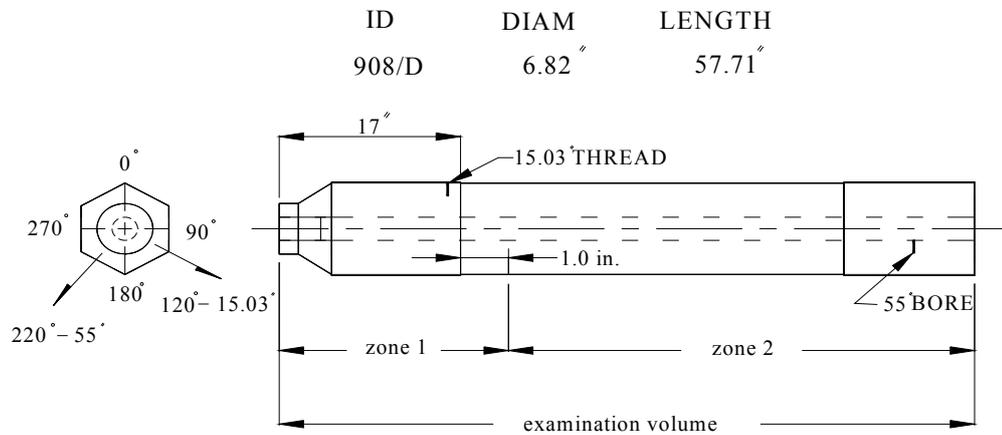
5、練習件 903 的校準較為困難，EPRI 的探頭性能不錯，只要角度正確，初波後的信號就是 0.19" 的 notch。校準時，探頭約露出 1/4 放置在材料表面外緣上，露出的 1/4 必須用耦合劑連著下面突出的螺紋才能檢測到 0.19" 的 notch。



6、練習件 905 ZONE1 校準的方式及困難度與 901 相同，ZONE2 校準則比較簡單。



7、練習件 908 的中心有內穿孔，又稱之為排列設定孔（Alignment Hole）。所以校準 Zone 2 時，依次序為內穿孔信號在前，隨後緊跟著和底部回波幾乎連在一起的 notch 回波。



8、必須完成軸向及周向掃描。

#### (五)、經驗分享

- 1、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。
- 2、建議考前可以 GUIDE PRACTICE 對考試比較有幫助亦能抓住重點，避免 FALSE CALL 和 MISS CALL，因為只要多叫一個瑕疵與少叫一個瑕疵，就不通過了。
- 3、校正用螺栓上之刻槽如均能檢測得到，只要針對幾何形狀變化區域多練習，則容易通過驗證。
- 4、直徑較小之螺栓檢測遠端瑕疵時，探頭需往中心移動才可測得。
- 5、分區校準存檔，驗證時先檢測第 1 區再檢測第 2 區，分別記錄瑕疵位置及方位。

## 六、EPRI 34<sup>TH</sup> 2015 SGMP WORKSHOP 國際會議

### (一)、EPRI SGMP 第 34 屆大會說明

- (1)、從 7 月 21 日至 7 月 23 日共 3 天在奧勒岡州波特蘭市希爾頓飯店舉行,共有八個國家 126 位來賓與會,分別來自政府管制機關、電力業者、學者、與非破壞公司業者等齊聚一堂。



- (2)、針對蒸汽產生器從法規管制、導則改版、業界評估、運轉與檢測經驗、一次側結構完整性、新檢測研判技術、二次側結構清洗與目視確認完整性等不同議題共 31 篇報告,大家討論熱烈,所提議題對未來有關蒸汽產生器維護擬定檢測規劃與預防保養有很好的助益。





## (二)、**EPRI SGMP 大會議題**

大會為求議事順暢蒸汽產生器共分 8 個主題依序討論:

- 1、蒸汽產生器運轉現況
- 2、渦電流自動研判技術
- 3、檢測技術討論
- 4、國際蒸汽產生器運轉經驗
- 5、管束完整性
- 6、管束完整性模態與模擬技術
- 7、蒸汽產生器二次側檢測與維護
- 8、單輪渦電流自動研判技術推動現況

## (三)、**EPRI SGMP 八項主題中個別重要資訊**

僅就上述八項主題中個別重要資訊分述於後:

### 1、蒸汽產生器運轉現況:

(1)、由美國 NRC 相關人員說明:

- A. 2015 年有 3 部機組因異物而在一次側洩漏引起強迫停機檢修。
- B. 有關蒸汽產生器一次側水室隔板有龜裂議題，仍持續審查延壽機組的各項文件是否符合延壽要求。
- C. 更新後之蒸汽產生器管與管板結合處焊道，應符合 ASME NB-3000 之相關要求。

D. 現有蒸汽產生器運轉狀況良好。

(2)、由 INPO 報告 PWR SG 運轉同業評估指引

A. INPO 已於 2011 年建立蒸汽產生器同業評估指引。

B. 說明應用同業評估縮小中間差異並追求卓越。

C. 同業評估推動，已使蒸汽產生器各項運轉績效更上層樓。

(3)、Watts Bar Unit 2 2015 年第 1 次核准啟動經驗。

A. Watts Bar Unit 2 於 1973 建廠至 2013 滿 40 年尚未運轉。

B. 啟動申請準備工作:完整整修方案。

(A) 更換高低壓飼水熱交換器管材質由銅鎳管換成不銹鋼管。

(B) 更換冷凝器水箱銅鎳管。

(C) 更換蒸氣再熱器熱交換器管材質由銅鎳管換成不銹鋼管。

(D) 移除蒸汽產生器沖放槽並更新 2 做再生熱交換器。

(E) 添加氬氣分離系統，以控制冷凝器溶氧。

(F) 冷凝系統管路於沖洗時增加過濾鐵裝置。

(G) 安裝氬氣保護和增壓系統的蒸汽產生器二次側。

(H) 電廠增設補充液氬系統。

(I) 增加 500000 加侖軟化水儲槽，提供持續衝放淨化。

(J) 增建淨水廠。

(K) 增添蒸汽產生器二次側化學添加系統，以允許加入硼酸和氯化銨。

(L) 蒸汽產生器整修淤泥清洗端口。

(M) 蒸汽產生器安裝蒸汽產生器上部組件檢查平台。

(N) 蒸汽產生器安裝輔助飼水管嘴與相關管路至上部組件。

(O) 蒸汽產生器增加支撐環支持輔助飼水管。

(P) 蒸汽產生器修改蒸汽產生器預熱區入水管嘴。

(Q) 蒸汽產生器為確保蒸汽產生器管與管板結合執行機械擴管作業。

(R) 蒸汽產生器 R1 與 R2 U 型管熱處理作業。

(S) 蒸汽產生器熱端管板增加珠擊消除擴管應力。

(T) 蒸汽產生器修訂汽水含量準則。

- (U) 蒸汽產生器廣泛的異物搜索和檢索工作。
- (V) 蒸汽產生器淤泥清洗計畫。
- (W) 蒸汽產生器數位監控系統。
- (X) 增加異物抓取系統減少入侵蒸汽產生器機率。
- (Y) 針對蒸汽產生器沖放系統管路發生龜裂執行工程評估。
- (Z) 改善蒸汽產生器一次側與二次側水化學處理訂定運轉準則。

## 2、渦電流自動研判技術

本專題共 3 家公司發表，渦電流自動研判技術：

- (1)、**ZETEC** 公司：發表 *RevospECT Pro* 自動研判系統。
- (2)、西屋公司：發表 **TITAN(Total Integrated Tube ANalysis)**自動研判系統。
- (3)、**AREVA** 公司：發表 **AIDA(Auto Integrated Data analys)** 自動研判系統。

上述三家產品均通過 ERPI SGMP AAPDD 驗證亦符合 EPRI SGMP 檢測指引的要求。

## 3、檢測技術討論

- (1)、亞利桑那電力公司報告 **Palo Verde Unit 3** 第 18 次大修使用軸繞探頭渦電流檢測經驗。

- A. **Palo Verde Unit 3** 於 2007 年更換 CE 型蒸汽產生器。
- B. 軸繞探頭渦電流檢測發現在 R165C76 管板上緣異物磨損。
- C. 因 CE 型蒸汽產生器使用  $\square$  型管，故其檢測分 2 種方法：

- (A) 半管檢測： $\square$  型管不易推送、常有訊號不良剔退狀況、推送速度需常改變、每根管須檢測 2 次、常有磨損訊號報告 2 次。
- (B) 全管檢測：推送速度需常改變，探頭耗損大。

為改善上述問題、改變探頭耐折與轉彎強度、增加氣動推送功能。已提升檢測速度與使用兩輪自動研判，縮短檢測工時與降低人員輻射曝露劑量。

- (2)、Zetec 公司介紹新歷史資料比對研判技術，可在非大修期間預先了解管束結構變化，進而針對特定變化機制，擬定下次大修追蹤計畫，於大修時可確認其管束結構完整性。
- (3)、法國 EDF 公司報告使用，軸繞探頭渦電流檢測訊號評估第 7 支撐板處積垢阻塞情況：其運用軸繞探頭於不同支撐板收集因積垢堆積造成訊號變化並經訊號處理量測積垢堆積訊號振幅與相位，加入目視驗證積垢堆積比例，以統計工

程求得經驗公式計算平均堆積率。

#### 4、國際蒸汽產生器運轉經驗

##### (1)、由日本三菱公司報告核電安全與可靠度改善作業

A. 日本將核監管職能獨立於核推廣組織，建立核監管局（NRA）作為一個獨立的委員會：負責核電廠運轉安全管制，保安監控，核能安全查核，輻射監測和管控的放射性同位素等業務。

##### (A) 新增核能法規預防：

- (1) 防範飛機故意墜毀。
- (2) 抑制放射性物質擴散措施。
- (3) 防止圍阻體與反應器槽體失效措施。
- (4) 防止爐心核燃料熔毀措施。

##### (B) 新強化核能法規

- (1) 考慮圍阻體內淹水氾濫措施。
- (2) 考慮自然現象，除了地震和海嘯火山爆發龍捲風和森林火災等多重災害應變措施。
- (3) 火災防護。
- (4) 備用電源可靠度。
- (5) 強化結構、組件、系統效能。
- (6) 提升抗震與防海嘯能力。

(C) 個核電廠為達上述要求：例如三菱建構 22 公尺高與 1.6 公里防海嘯牆與建置耐震 8.7 級防災應變中心等以符合管制要求。

(D) 上述改善作為須完成並提完整文件送審，作為重新啟動申請基礎，日本電廠壓水式有 15 部機陸續完成並提出重新啟動申請；沸水式有 9 部機陸續完成並提出重新啟動申請。

##### B. 日本三菱公司安全與可靠度改善作為

(A) 強化電廠安全評估：風險評估、應變測試、事故預防與肇因改善監控。

(B) 強化電廠與維護單位合作：事件評估、預防保養、劣化與壽命評估與維修計畫與維護。

(C) 提升非破壞檢測與研判技術、確認結構設備完整性。

(2)、法國 INSN 單位報告其國內 SG 運轉狀況

- A. 所有 600MA 材料均已更換完成,有 26 部機使用 600TT 與 32 部機使用 690TT 材料。
- B. 600TT 材料發現管外應力腐蝕龜裂在管板上緣。
- C. 使用旋轉探頭檢測 ROW1 U 型管區,未發現管外應力腐蝕龜裂。
- D. 強化清洗第 7 支撐板積垢堆積,以減少影響寬幅水位晃動與不均勻高速流場增加流衝振動與增加高周疲勞龜裂風險。
- E. 有些 600TT 機組塞管以達 10%經重新評估安全運轉塞管上限為 17%。
- F. 水室隔板應力腐蝕龜裂檢測,已有 100 部 SG 檢測完成,12 部 SG 發現龜裂,更換後 SG 破壞測試裂縫均限制在 2mm 身以內(水室隔板厚 34mm)。
- G. EDF 公司計畫在 600TT 之 SG 在運轉 40 年以前更換。
- H. EDF 公司之 690TTSG 未發生洩漏與超限磨損。

5、管束完整性

(1)、西屋公司報告:更新抗震棒位置與 U 型管疲勞龜裂研究

- A. 背景:依 NRC Bulletin 88-02 與 Information Notice 2005-29, “Steam Generator Tube and Support Configuration” describes importance of evaluating as-found tube support conditions 及 Information Notice 2007-37 describes three SG tube failures at one EdF plant. 另 In 2008 an SG primary-to-secondary side leak caused unscheduled shutdown of a different EdF plant 與 Operating experiences led to reconsideration by the French of calculations for all SG tubes with AVB support pattern anomalies in the entire French reactor fleet 等案例及規定持續探討研究本議題。
- B. 西屋公司開發了一種方法來確定 AVB 插入模式和評估疲勞龜裂,1985 年後製程有 QA 管控並留下書面文件,確認設計與製造維持在設計公差內,並將 AVB 與管間隙控制在設計公差內。
- C. 確認 NORTH ANNA 破管與 AVB 無關。
- D. 定期清除積垢堆積與定期監測,可有效控制疲勞龜裂風險。

(2)、西屋公司報告:管在結構的磨損壽命週期。

- A. 最新檢測數據顯示 W-F 型蒸汽產生器 (SG) 於>20 EFPY 後仍有新磨損於每個 SG 約 100 處; CE-型蒸汽產生器 (SG) 於~20 EFPY 後仍有新磨損於每個 SG 約 600 處。

- B. 積垢堆積在結構處阻擾雙向流流動是造成新磨損的主要成因。
  - C. 深度與磨損體積關係非線性。
  - D. 積垢堆積造成質量增加,其對自然頻率與振幅影響微乎其微。
- (3)、ARIVA 公司報告:異物對運轉影響與工程評估
- A. 異物造成洩漏有很高的機率。
  - B. 針對異物位置(外圍或在管束內)、異物種類、異物質料與尺寸,其對發生洩漏機率進行評估。
  - C. 針對異物質料庫作研判與整理並進行 2 階段評估異物磨損成長率作為篩選準則。
- (4)、西屋公司報告:渦電流檢測取樣比例與擴展檢測指引。
- A. EPRI 檢測指引與完整性評估指引將同步改版,並將原檢測指引 APPENDX-A 取樣率刪除,有關取樣準則改於完整性評估指引中。
  - B. 早期關於取樣的觀點是建立在經驗與 600MA 合金管經驗,當發現腐蝕劣化機制,預期往後檢測會大量檢測出相關劣化,蒸汽產生器(SG)被持續每個大修檢測監控。
  - C. 二項式抽樣模型在壓水式蒸汽產生器檢測指引的修訂前實施,更換渦電流採樣假設模型,實際的做法是不用更換取樣,使用合適的檢測技術,在停機時每個管檢測一次,由於相對大量的管檢測,違反二項式抽樣模型的假設且其影響微不足道。
  - D. 現有運轉壓水式蒸汽產生器以 600TT 與 690TT 為主,當發現腐蝕劣化機制,僅有少數被檢測出相關劣化,減少檢測周期的可能性,取樣的觀點是建立在要求實施的範圍提供了一個高概率的劣化機制不在蒸汽產生器內。
  - E. 超幾何分佈最能代表應用取樣,模型假設不放回抽樣並確定管樣本量及,確定的假設存在缺陷管的位置數,模型提供了與採樣的至少一個有缺陷的管相關的概率。
  - F. 50%的樣本提供合理的保證,至少有一個缺陷時,很少有缺陷的管子被假定是整個蒸汽產生器傳熱管的分佈將更加考驗,表明概率不考慮在給定的蒸汽產生器管的數量。這些結果適用於所有蒸汽產生器的認證。如果和使用這些樣本規模擴大的目的時,風險的評估應該關於尺寸和檢測到標誌的位置上進行。

## 6、管束完整性模態與模擬技術

(1)、密西根州立大學報告:渦電流檢測模擬模型

A. 渦電流檢測模擬模型效益

- (A) 可預測不同幾何形狀的缺陷的渦電流檢測探頭信號。
- (B) 探頭擺動，頻率，探頭測量污泥特性的影響。
- (C) 現場/缺陷相互作用的可視化。
- (D) 傳感器/系統設計優化。
- (E) 產生缺陷信號的試驗台。
- (F) 以低成本算出常用的檢測模型概率（POD）。
- (G) 使用逆向工程模型尋找複雜信號的根本原因。
- (H) 它提供了一種廉價和快速的方法來模擬現實的缺陷幾何。

B. 渦電流檢測模擬模型應用對象:

- (A) 公用電力工程:協助複雜的信號解釋與管一致性評估,協助 POD 計算。
- (B) 檢測供應商:協助信號解讀,協助 SSPD 發展。
- (C) 探頭開發商:支援探頭的設計,。
- (D) NDE 教官:培訓工具、產生訓練的數據信號。
- (E) 研究人員/資格機構:生成探頭技術資料信號（ETSS）、產生性能驗證信號（QDA/ AAPDD）。

C. 渦電流檢測模擬模型現在開發應用介紹

- (A) 發展出多種探頭配置的模型,軸繞,陣列, RPC 等探頭。
- (B) 設置 SGTSIM 對 EPRI 之高速電腦運行。
- (C) 基於 Linux 的 SGTSIM 開發的用於測試高性能計算的實現。
- (D) Linux 版本的安裝在 EPRI 之高速電腦。
- (E) 逆向工程 - 估計缺陷的信號真正的深度剖析。
- (F) 培訓 dataset-信號產生的,其中的實驗數據是 ETSS 數據庫不可用者。
- (G) 雜訊納入為 POD 研判模擬信號。
- (H) 模擬複雜的信號:鬆動的異物(碳鋼,不銹鋼,銅)、管對管磨損與凹陷。

(2)、奧立岡國家實驗室:替代旋轉探頭龜裂深度量測研究

- A. 檢測困難:複雜的磨損與龜裂相伴訊號。
- B. 進行比對 NDE 檢測評估結果與事件斷口數據。
- C. 各研究子項結果報告。
- D. 結論

- (A) 應力腐蝕龜裂使用的一般的渦流檢測旋轉探頭。
  - (1) 簡單的幾何形狀的缺陷，無論線圈/探頭類型均可檢出。
  - (2) 多樣綜合的材料缺陷的信號判定,它可以成為檢出的一大挑戰。
- (B) 深度量測（即基於階段的深度剖析）結果是簡單的 SCC 裂紋狀缺陷的幾何形狀基本一致。
  - (1) 在估計的長度部分較少變異。
  - (2) 加工缺陷的長度部分，沒有明確的趨勢高估或低估深度。
- (C) 深度量測的一致性對些缺陷形態可能是一個挑戰。
  - (1) 沒有任何一個探頭可以提供所有的缺陷類型的可靠的深度大小量測。
  - (2) 探頭對於具有簡單的幾何形狀的缺陷可產生可靠的結果；但複雜/多樣綜合的材料缺陷無法提供準確估計的深度大小。
  - (3) 對特定缺陷類型評估比對深度的量測效果,可幫助選擇一個比較合適的技術。
- (D) 一致的電蝕刻槽深度量測結果,無法與實際裂縫深度尺寸一致。結果可能差異的因素如:探頭類型、測試頻率和處理方法、缺陷形態、雜訊干擾。
- (E) 信號後處理可以對檢測和定量顯著影響,對於複雜與複合的不連續管外缺陷的信號尤其如此。

(3)、ARIVA 公司報告:蒙地卡羅全管束評估效益

- A. 已有 8 年現場運用經驗。
- B. 適用各類型蒸汽產生器。
- C. 蒙地卡羅全管束模型介紹。
- D. 可應用於狀況評估(CM)與運轉評估(OA)與磨損成長率評估。

(4)、西屋公司報告: 平面位移觀測與研判。

- A. 對加州 San Onofre 核電廠 2 號機與 3 號機因管洩漏停機事故肇因說明
- B. 加州 San Onofre 核電廠 3 號機,換新蒸汽產生器剛運轉 11 個月便發生管洩漏停機事故主因:管對管磨損(TTW),有觀測出明顯平面位移,約有 200 支管群聚發生管對管磨損(TTW)在熱端,且有明顯磨損在熱端的七支撐板與雙邊抗震棒磨損在抗震棒處
- C. 加州 San Onofre 核電廠 2 號機,僅有 2 支管對管磨損(TTW)但很輕微, 沒有明顯平面位移觀測, 西屋基於技術參數, 確定一個合理的解釋管對管磨損(TTW)這些管和劣化機制與 3 號機不同, 在第 80/81 列管其 PSI/ ISI 非常獨特的磨損圖案接近的結果, 和 ISI 間隙測量支持立論: 2 號機管對管磨損(TTW)與 3 號機管對管磨損(TTW)機制不同。
- D. 西屋認為 3 號機管對管磨損(TTW)機制,是平面位移已超過限制流體彈性振動間隙二階的結果。
- E. 設計流程、管間距、AVB 的設計細節、管束大小與組裝做法均與 3 號機造成管對管磨損(TTW)機制有關。
- F. 西屋設計的蒸汽產生器無上述疑慮。

## 7、蒸汽產生器二次側檢測與維護

### (1)、DUKE 電力公司: 蒸汽產生器二次側檢測

- A. 蒸汽產生器二次側目視檢測,使用光纖數位攝影目視探頭。
  - (A) 尺寸小加上鋁製導片能容易深入管束間隙
  - (B) 數位解析度與清晰度提升
- B. 建立管束目視檢測能力與結果(盲測) 模型供驗證考試, 並邀請目視檢測供應商參與目視檢測能力驗證,其結果為:
  - (A) 所有供應商都符合目視檢測能力驗證的最低要求。
  - (B) 每個供應商有能力操控攝影鏡頭, 檢查環形周圍的區域, 並充分識別每一個異物的能力。
  - (C) 每個供應商可以去管束內定位和尺寸量測。
  - (D) 所有的供應商有能力, 從周邊區域內的 5 個管間隙的範圍內移除異物。
- C. 好的目視檢測, 能確認高流場處異物與移除, 減少異物造成洩漏停機機率。

### (2)、西屋公司報告: 蒸汽產生器二次側維護策略

- (A) 蒸汽產生器二次側維護策略是讓蒸汽產生器持續安全運轉與消除劣化機制因子。

(B) 介紹西屋蒸汽產生器二次側維護工具組合

- (1) 淤泥清洗工具: Stellar<sup>®</sup>
- (2) 化學軟洗配方: iASCA(軟化積垢) & Consolidated Deposit Extraction (CODE 結塊淤泥鬆脫)。
- (3) 應用程序按計劃與實施的首選: 對碳鋼, 不銹鋼或鎳合金管均無腐蝕, 無操作或人的行為錯誤因素, 沒有安全或環境問題, 無任何意見或投訴的氣味。

(3)、BWXT 公司報告: 蒸汽產生器二次側規劃與清洗

- (A) 結合積垢成分分析、即時目視監控、熱流分析、渦電流檢測結果與適當清洗方法達成工程評估的蒸汽產生器二次側規劃與清洗。
- (B) 說明蒸汽產生器不同管束樣式的其清洗盲區。
- (C) 現場清洗經驗與成果介紹。

(4)、ROLLS-ROYCE 公司報告: 蒸汽產生器二次側異物

- (A) 歷年異物檢出統計。
- (B) 歷年異物類別統計。
- (C) 蒸汽產生器二次側異物拾取工具介紹。
- (D) 現場蒸汽產生器二次側異物拾取成果。
- (E) 現場蒸汽產生器二次側導流板區異物。

8、單輪渦電流自動研判技術推動現況

(1)、EPRI 報告: 開發單輪渦電流自動研判技術

A. 蒸汽產生器渦電流檢測, 現在數據研判環境的改變是較不頻繁的檢查, 並縮短的檢查時間, 更少的數據研判師和更多的自動化, 雙輪人工數據研判, 正在替換為(手動研判+自動研判)或(雙輪自動研判)或(單輪自動研判)。

B. 目的:

- (A) 制定和實施旨在保證檢測供應商在新環境中不同的自動研判方法所需的性能, 在複雜的情況引入不同的研判方法, 並建立可被應用到整個行業間明確和合理的導則。定義全自動化數據研判的方法, 使執行一單輪研判/單一平台的過程能提供與目前公認的兩輪數據研判過程有相同的性能。

- (B) 確定單輪研判/單一平台的自動研判方法,數據研判和識別方法走向的基本面影響,並為其提供導則;針對開發、驗證和實施的研判架構和研判過程,建立共同立場方面的詞彙提供使用說明;對單輪研判/單一平台的數據研判,重點識別和可能的評估技術解決方案,應用到整個數據研判過程。
- (C) 確定單輪研判/單一平台的數據研判過程,必須有隨機性和多樣性,從而提供防禦縱深,並保證可接受的 POD。
- (D) 確定數據研判處理,其容易產生錯誤與偏差,能提出方法避免再發生或完全排除。
- (E) 建立數據研判過程的單輪研判/單一平台自動研判的記錄和查核性能演示原則。
- (F) 提高 POD/ CL 要求和/或增加研判可行性,使單輪研判/單一平台自動研判,對所有劣化機制,位置和缺陷深度,進一步的要求可能帶來的影響,優於兩輪數據研判處理的性能。
- (G) 推薦一致性能演示過程中,包括驗收標準,以確保所有“未知”劣化機制有高的檢測可信度。

#### C. 效益:

- (A) 相對於自動化數據研判各方面的信息提供完整的結構,讓可用的選項和挑戰有充分的認識。
- (B) 為制定相關的自動化數據研判一般過程的技術基礎和現場具體指導。
- (C) 自動研判可用於所有的技術(軸繞,陣列,旋轉),多種研判方法聲稱的個人技術中的供應商。手動/自動,單/雙,單平台/雙平台,單項技術/多種技術,評審/決策過程的自動化 - 這構成了一個特殊的檢查數據進行研判時,會打開很多選項。數據研判可以多種方式進行調整。與此同時,作業準則提供了比較客制的選項指出多元性,獨立性和團隊的明確定義術語的確切含義。

#### D. 策略

- (A) 現有 (Rev.7) 和即將 (Rev.8) 的指導方針,儘管被認為是它們將不被用於限制的數據分析選項或方案的選擇。
- (B) 我們的目標是分析並提供可能的技術和組織解決方案準則,同時意圖嘗試以滿足該準則。
- (C) 我們與所有的開發自動分析軟件的供應商(即,ARIVA,西屋,Zetec),

在項目過程中進行協商。

(D) 我們與可能會涉及數據分析的其他機構（即，ANL，MSU）進行協商。

#### (四)、經驗分享

- 1、訪問參加國際會議可了解國外專業檢測設備儀器，法規與指引修訂方向，美國電廠工作的經驗，渦電流自動研判技術技術，對於本公司執行核能相關渦電流檢測與未來執行現場維護工作有很大之助益。
- 2、會議排程緊湊，建議先取得書面資料並針對有興趣項目先行研讀可容易掌握會議焦點。
- 3、會議室溫度對我們而言太低應準備小夾克因應。
- 4、旅宿部分應注意 EPRI 資訊於特定時間享有參與會議優惠。

## 七、心得與建議

1. 每年出國人員均有詳盡出國報告，不同考照者的體會不盡相同，累積的經驗對未來參加考照者幫助很大，平常宜多研讀應用，出國前做好準備，並至林訓多做模擬試片檢測練習，相信技術更能紮根。
2. 據統計資料顯示參加能力驗證及格率不超過 5 成，要順利通過驗證除了超音波技術熟練、要充分瞭解考試內容規則、吸收以前輩的經驗、更須要足夠的訓練，本次出發前特別要求安排新考人員到 EPRI 後先訓練(本訓練另外收費)，EPRI 由 MAEK DENIS 團隊規畫請 THOMAS 指導與實際操作練習件的瑕疵檢測、長度及深度量測，經過訓練，可調整時差與熟悉考試規則與練習 IGSCC 試件並作經驗傳承，本次始能順利通過驗證考試，建議下次能參考辦理。
3. EPRI 開始增加超音波能力驗證訓練班，目前以傳統為主，由 John Langevin 當講師；陣列超音波能力驗證訓練班則由 MAEK DENIS 團隊規畫，已建議在申請文件中增加選項，考試場實作練習收費方式，每個考試項目考生自行使用練習試件第 1 天收費 1000 元,第 2 天起每天 250 元，依此類推 5 天收費 2000 元，建議下次能規劃辦理。
4. 本次能力驗證考試費用使用 EPRI PDI SRA 專款付費，因該項專款不能隔年應用，本次大家順利通過仍有結餘，建議應用於各電廠管嘴尚未完成模組規劃的項目使該專款效益最大化。