

行政院及所屬各機關出國報告
出國類別：實習

核能電廠營運檢測超音波檢測人員能力驗證訓練及資格證照考試

服務機關：核能發電處
出國人職稱：核能工程監/核能工程師
姓名：張景隆 / 李紹喜、胡明權

出國地區：美國
出國日期：民國 92 年 6 月 21 日
報告日期：民國 92 年 9 月 15 日

63 / 109202132

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

Ccp202132

頁數 19 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)23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

張景隆、李紹喜、胡明權/台灣電力公司/核能發電處/核能工程監、核能工程師、核能工程師
/(02)24985990-ext.2758

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：自92年6月21日至8月3日

出國地區：美國

報告日期：92年9月15日

分類號/目

關鍵詞：超音波檢測訓練，能力驗證考試

內容摘要：(二百至三百字)

核能電廠營運期間檢測所採用之法規，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，取得合格證明後方能擔任各種組件之檢測工作，本項檢測能力驗證資格考試在美國電力研究院非破壞檢測評估中心(EPRI NDE Center)辦理，本公司核能電廠超音波檢測人員針對此項規定每年派員前往研習並參加能力驗證資格考試。此次驗證資格考試之項目分別為裂縫檢測(Detection)能力驗證考試、裂縫深度評估(Depth Sizing)能力驗證考試、覆層焊道檢測(Overlay)能力驗證考試等三項。考試結果參加的三人均取得此三項能力驗證考試之合格證明，成效十分卓著。

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

目 錄

<u>內容</u>	<u>頁次</u>
一、前言	2
二、裂縫檢測(Detection)能力驗證及再授證考試	3
三、裂縫深度評估(Depth Sizing)能力驗證再授證考試	12
四、覆層焊道檢測(Overlay)能力驗證考試	15
五、討論與建議	19

一、前言

檢測人員 UT 能力驗證制度的建立起因於 1970 年左右美國沸水式核電廠再循環管路，陸續發生晶間應力腐蝕龜裂，為確保檢測成效而推行此制度，經過多年檢測技術的改進提升了核能營運安全，但精進檢測人員能力更是確保檢測品質的要件，故美國核能電廠營運法規，特要求核電廠重要構件超音波檢測，其執行超音波非破壞檢測人員需經過檢測能力驗證(Performance Demonstration)資格考試，取得合格證明後方能擔任各種組件檢測工作，而換證亦必須再經過檢測能力驗證(Performance Demonstration)資格考試，方能繼續擔任各種組件檢測工作。

美國核管會及核能電廠的業主因應法規需求，將本項檢測能力驗證資格考試，委由美國電力研究院非破壞檢測評估中心(EPRI NDE Center)辦理，本公司核能電廠超音波非破壞檢測人員，針對此項規定每年派員研習並參加能力驗證資格考試。

此次在美國電力研究院非破壞檢測中心(EPRI NDE Center)，共參加三種超音波檢測能力驗證資格考試，分別為裂縫檢測(Detection)能力驗證再授證考試、裂縫深度評估(Depth Sizing)能力驗證考試與再授證考試、覆層焊道檢測(Overlay)能力驗證考試，在考試前並接受練習指導(Guide Practice)。本次研習

除了順利通過資格驗證考試外，並進一步了解美國核能電廠目前正在執行及將要執行各項能力驗證的狀況，整體而言，收穫良多，對未來核能電廠設備執行檢測工作頗有助益。

二、裂縫檢測(Detection)能力驗證再授證考試

裂縫檢測包括碳鋼(再授證考試免考碳鋼)及不銹鋼管(含IGSCC)的檢測 (Detection)，裂縫長度量測 (Length Sizing)，檢測掃描方式包含單邊及雙邊。

1. 碳鋼檢測：(認證程序書：PDI-UT-1)

1) 考試內容：

碳鋼檢測試塊共 4 塊，尺寸由 4"~50"，厚度由 0.337"~3.85"。

2) 使用之儀器、探頭及檢測校準(Calibration)：

(1) 使用之儀器，及儀器之數據設定，均作嚴格之規定，不得隨意使用，本次使用 USN-60 型數位超音波檢測儀其要求的設定如下表所示：

USN-60							
探頭 頻率	Energy	阻尼	PRF Mode	儀器頻率 (MHz)	Rectify	Reject	Display Start
1.0	High	1000	Auto high	1.0	Full Wave	0	IP
1.5	High	1000	Auto high	2.0 or 2.25	Full Wave	0	IP
2.0	High	1000	Auto high	2.0 or 2.25	Full Wave	0	IP
2.25	High	1000	Auto high	2.0 or 2.25	Full Wave	0	IP
3.0	High	1000	Auto high	2.0 or 2.25	Full Wave	0	IP
3.5	High	1000	Auto high	4.0 or 5.0	Full Wave	0	IP
4.0	High	1000	Auto high	4.0 or 5.0	Full Wave	0	IP
5.0	High	1000	Auto high	4.0 or 5.0	Full Wave	0	IP

(2) 探頭頻率之選擇需依照下表規定：

試件厚度	橫波頻率	縱波頻率
0.5" or less	5.0 MHz	4.0 or 5.0 MHz
Great than 0.50"	2.25 MHz	2.0 or 2.25 MHz

(3) 檢測不同管徑時要用規定之不同大小探頭來檢測，以

達到被測物與探頭間最佳之耦合效果，探頭尺寸之選

擇須依照下列之規定：

公稱管徑	最大橫波尺寸 inches	最大橫波尺寸 mm	最大縱波尺寸 inches	最大縱波尺寸 mm
2"~4" inclusive	0.25	7	0.20 x 0.30	5 x 10
Greater than 4" to 12" inclusive	0.50	13	0.30 x 0.60	10 x 14
Greater than 12" to 24" inclusive	0.50 x 1.0	16 x 10	0.60 x 1.0	16 x 26
Greater than 24"	1.0	16 x 10	1.0 x 2.0	26 x 51

- (4) 檢測校準時需先設定螢幕距離 (Screen Distance)，使螢幕距離能夠含蓋檢測區域，焊道底部 $1/3T$ ，及焊道兩旁 $1/4"$ ，見下圖，再建立校準規塊內凹槽之信號達到全螢幕之 80%，調整 Range 鈕使其在螢幕 5.0 位置，方便觀察波的動態特性。

- (5) 焊道檢測區域

Required Examination Volume

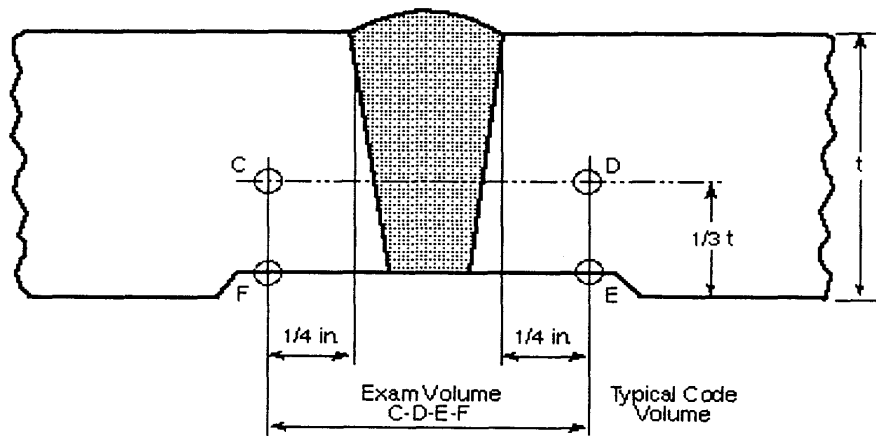


Figure 1

3) 檢測與信號評估：

檢測時由於焊冠太寬，或管壁太薄，致使 45°探頭無法含蓋檢測區域時，則可使用 60°或 70°之探頭，當三者均無法含蓋檢測區域時，可考慮使用 1&1/2V 之方法。探頭掃描時需作至少 20°之搖擺，以及至少 10%超音波換能器之重疊，掃描速度不能大於每秒 3 吋。探頭需作垂直以及平行焊道之掃描，以檢測出平行及垂直焊道之缺陷，掃描之靈敏度可定雜訊在 5%~20%之全螢幕高。

信號評估正確與否，決定考試之成敗；分辨幾何形狀信號或是缺陷信號，可由探頭位置、探頭角度、信號特性，或由焊道兩邊相互掃描驗證來決定，可歸納成如下數點：

- (1) 同一探頭，焊道整圈掃描均得相同信號，信號未有任何改變，可能是幾何形狀信號。
- (2) 信號位置研判來自 counter bore，而從焊道對邊掃描無任何信號產生，可能是幾何形狀信號。
- (3) 信號位置研判來自 counter bore 或焊道根部，改用其他探頭時，信號減弱或消失，可能是幾何形狀信號。
- (4) 探頭水平移動，信號高度均未改變，可能是幾何形狀信號。

- (5) 探頭水平移動，信號由單一轉變為多重時，可能是缺陷的信號。
- (6) 信號位置研判來自 counter bore，而從焊道對邊掃描亦可得到相同位置之信號，可能是缺陷的信號。
- (7) 不同角度之探頭，均可得到同一位置之信號，可能是缺陷的信號。
- (8) 任何與幾何形狀信號不太相同之信號，可能是缺陷的信號。

4) 注意事項：

- (1) 對於 2"~4" 薄管檢測，儘量使用 70/60S 來含蓋檢測區域，少用 1&1/2V 法，對單邊檢測之焊道，可增加 0.25"，5MHz 橫波或折射縱波 RL 探頭，及由焊冠上掃描驗證。
- (2) 檢測中大管徑用 45/60S 探頭相互比較信號，注意區分由焊道對邊產生之信號，不要造成混淆。
- (3) 檢測靈敏度不要太高，否則容易誤判造成 False Call。因為試件規塊缺陷之音波反射信號約略與校正塊人工凹槽之反射信號相當。

(4) 檢測軸向龜裂 Axial Crack 時可不必由焊冠上掃描，

試件規塊軸向龜裂之製作，均延伸至母材。

(5) 作長度評估 Length Sizing 時，可使用 5MHz 探頭，

來區分幾何形狀及缺陷之信號，高頻探頭可得到更

佳之解析度。

2. 不銹鋼檢測(含 IGSCC)：(認證程序書：PDI-UT-2)

1) 考試內容：

初授證考試：不銹鋼檢測試塊共 9 塊，其中包含 2~3 塊

IGSCC 試塊，尺寸由 2"~36"，厚度由 0.237"~2.90"。

再授證考試：不銹鋼檢測試塊共 7-8 塊，其中包含 3~4 塊

IGSCC 試塊，尺寸由 12"~28"，厚度由 0.8"~1.50"。

2) 使用儀器、探頭及校準(Calibration)：

使用之儀器，及儀器之數據設定，均與碳鋼相同。

探頭頻率之選擇需依照下表規定：

公稱管徑	橫波頻率(Mhz)				縱波頻率(Mhz)			
	IGSCC 檢測		非 IGSCC 檢測		IGSCC 檢測		非 IGSCC 檢測	
	雙邊 檢測	單邊 檢測	雙邊 檢測	單邊 檢測	雙邊 檢測	單邊檢 測	雙邊檢 測	單邊 檢測
≤ 0.50"	2.25	2.25	2.0~ 5.0	2.0 or 2.25	4.0 or 5.0	4.0 or 5.0	4.0 or 5.0	4.0 or 5.0
> 0.50" ~ 2.00"	1.5	1.5	1.5~ 2.25	1.5~ 2.25	1.0~ 2.25	1.0~ 2.25	to 5.0	to 5.0
> 2.00"	1.5	1.5	1.5~ 2.25	1.5~ 2.25	1.0~ 2.25	1.0~ 2.25	1.0~ 2.25	1.0~ 2.25

由上表可知對 IGSCC 的檢測多使用低頻率高穿透能力的音波，來增進檢測靈敏度，而薄管雙邊檢測時多利用高頻 5MHz 的探頭來增進檢測的解析度。

不銹鋼 PDI 檢測試塊：在決定選用探頭的大小以及檢測校準(Calibration)時，依照碳鋼焊道檢測的作法即可。

不銹鋼 IGSCC 檢測試塊：焊道與兩邊母材晶粒結構差異可能很大，必須每塊試件、每邊設定，才不致遺漏缺陷，在 IGSCC 試件更是如此。檢測校準時需先設定螢幕距離 Screen Distance，調整 Range 鈕使其檢測邊的角隅在螢幕 7.0 位置，定靈敏度使雜訊在 10%~20%之全螢幕高，方便觀察波的動態行為。

3) 檢測與信號評估：

不銹鋼 PDI 檢測試塊：檢測與信號評估作法上大致與碳鋼檢測相同，但對單邊檢測大於 0.5 吋厚之不銹鋼管至少要用折射縱波探頭來檢測；對於薄管單邊檢測之不銹鋼管焊道至少要用 70 度之橫波來檢測。

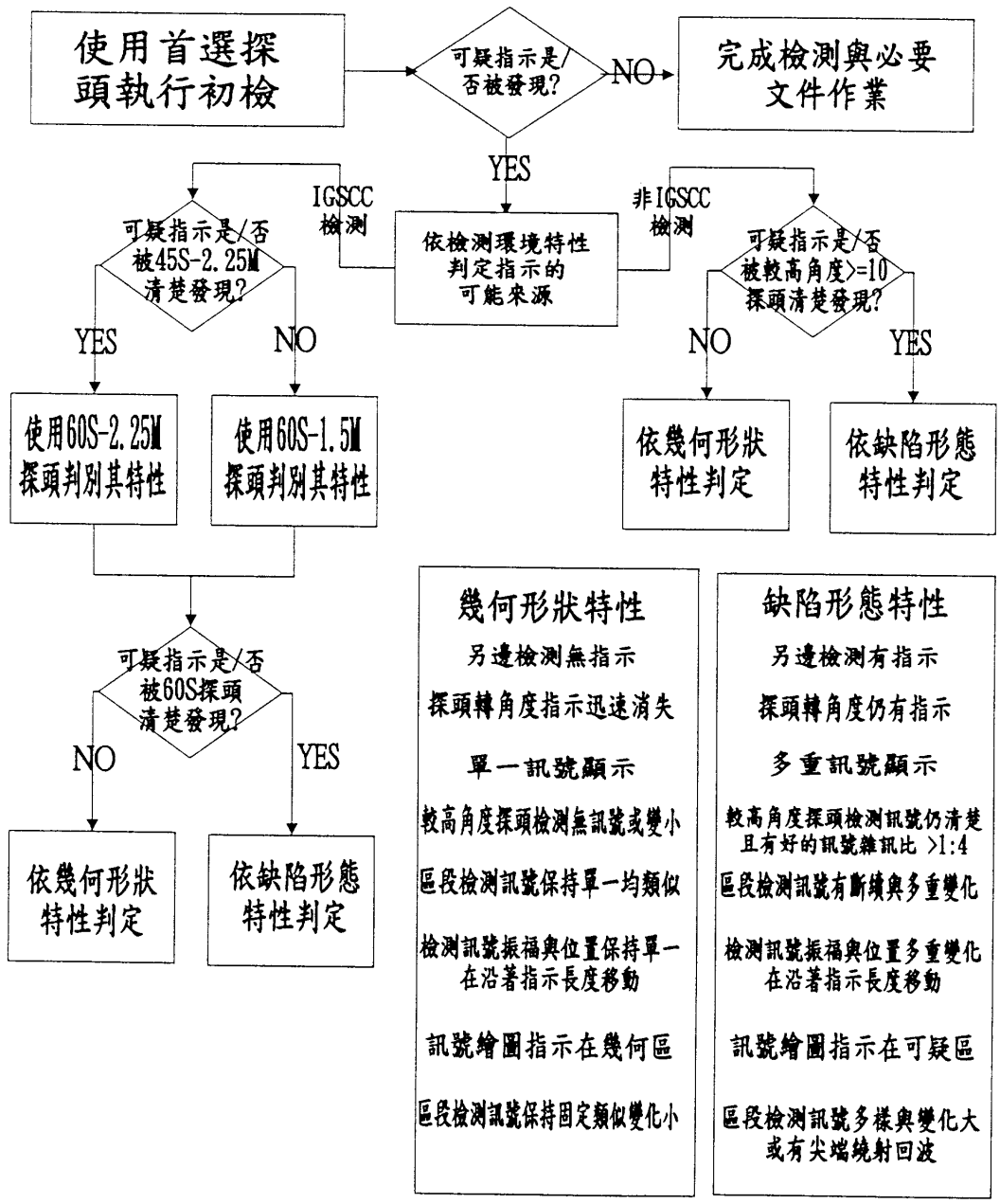
不銹鋼 IGSCC 檢測試塊：檢測應優先使用 0.375" 1.5M 45S 探頭，對單邊檢測至少要用折射縱波探頭來檢測，其檢

測流程如次頁。

4) 注意事項：

(1) 不銹鋼 PDI 檢測試塊：將厚度相似且可用相同校準的試件歸成一組檢測，並依先檢測雙邊檢測試件再檢測單邊檢測試件。檢測探頭建議依 45°S(1.5M)、45°S(2.25M)、(1.5M 或 2.25)60°S、60°L 順序檢測，並注意比對訊號位置與振幅的差異，以區分缺陷及 ID 幾何形狀，45°S(1.5M) 或 60°S(1.5M) 單邊檢測有好的檢測能力要善加應用；使用縱波探頭應注意探頭位置太接近焊道回波的多重性容易造成誤判。

(2) 不銹鋼 IGSCC 檢測試塊：對於 IGSCC 之檢測，雖然試塊只有 2-3 塊（初授證考試）及 3-4 塊（再授證考試），但失敗率也最高，應特別注意掃描時速度應儘量緩慢，因為有些 IGSCC 訊號極微弱，雜訊與 IGSCC 訊號幾乎同高，只認定高的 IGSCC 訊號，很可能會有 False Call。對 IGSCC 之檢測，無特別技巧，只有仔細觀察其波的特性，依照程序書規定，使用 45/60S 探頭相互驗證；不要試圖找出初始的缺陷（5%），檢測時間越久越容易造成誤判。



三、裂縫深度評估(Depth Sizing)能力驗證再授證考試

1. 考試內容：

每人各考五塊 IGSCC 試件，每塊各有一個缺陷，考試時間
無硬性規定。

2. 程序書規定

程序書對於最初評估所使用之探頭頻率規定如下：

試件厚度	橫波探頭	縱波探頭
0.50" < t ≤ 2.0"	1.5 ~ 5.0 MHz	2.0 ~ 5.0 MHz

最初評估完成之後，則可另外使用更高頻率之探頭作進一步之評估。

程序書對於所使用之探頭尺寸規定如下：

公稱管徑 t	橫波探頭	橫波探頭	縱波探頭	縱波探頭
	最大尺寸	最大尺寸	最大尺寸	最大尺寸
	<u>inches</u>	<u>mm</u>	<u>inches</u>	<u>mm</u>
12" < t ≤ 24"	0.50 x 1.0	16 x 10	0.60 x 1.0	16 x 26

3. 評估方法

對不同深度之缺陷，可使用程序書規定之各種不同角度探頭，並配合使用各種不同的量測方法—絕對時間法或相對時間法或複波觀察法來量測(AATT or RATT or Bi-model)，詳細搭配方式列於下表：

材質厚度 0.50" < t ≤ 1.00"		
缺陷剩餘高度	探頭角度	量測方法
≤ 0.20"	70° and ODCR	絕對時間法
0.20" < t ≤ 0.70"	60° ~ 70°	絕對時間法或複波觀察法
> 0.70"	45° ~ 60°	絕對法或相對法或複波觀察法

4. 評分方式

五塊試件共五個缺陷，其及格標準為所叫缺陷深度與實際缺陷深度誤差之 RMS 值不可大於 0.125"，而 RMS 值的計算公式如下：

$$RMS = \left[\frac{\sum_{i=1}^5 (m_i - t_i)^2}{5} \right]^{1/2}$$

其中 t_i 為實際缺陷深度
 m_i 為所叫缺陷深度

5. 注意事項

- 1) IGSCC 之五塊試件，其缺陷深度通常是淺、中、深都有，先由 30-70-70 方法之 CE1 與 CE2 即可得知其深度範圍，再用 45s 與 60RL 或 ODCR 作正確評估。
- 2) 在作考試件之前應先作練習件，並將所叫之答案與標準答案比對，以了解所使用之評估方法的正確性與校準的準確性，並作適度之修正。
- 3) 報表上所要填寫的缺陷深度與 Remaining Ligament 答案，應特別注意不可弄錯。
- 4) 謹慎遵循程序書邏輯推理流程圖，妥切運用探頭焦距、

穿透能力和被檢物表面適切接觸，以準確量測缺陷深度；切記將淺缺陷深度誤測為深缺陷深度或將深缺陷深度誤測為淺缺陷深度，因多數不合格考生均有此失敗經驗。

四、覆層焊道檢測(Overlay)能力驗證考試

1. 考試試件共 5 件，列如下表：

試件分類	4" PSI+ ISI	6" PSI+ ISI	12" PSI	12" ISI	28" PSI+ ISI
Overlay 外徑	4.93"	7.23"	12.73"	12.73"	29.41"
周長	15.5"	22.7"	40"	40"	92.4"
管壁厚度	0.363"	0.405"	0.66"	0.92"	1.11"
Overlay 厚度	0.244"	0.417"	0.42"	0.32"	1.16"
全厚	0.607"	0.823"	1.08"	1.24"	2.27"
檢測厚度	0.335"	0.518"	0.42"	0.550"	1.438"
檢測長度	全管	全管	8.0"	21.0"	16.0"

2. 缺陷類別

(1) ISI -a、周向裂縫（裂縫延伸進入檢測厚度才算）

-b、軸向裂縫（裂縫延伸進入檢測厚度才算）

(2) PSI-a、Lack of bond (LOB)

-b、Interbead lack of bond (IBLOB)

-c、Contaminated Crack

3. 4"/6"/28"試件，每件均包含 ISI 與 PSI 缺陷。12"試件分成 2 件，分別包含 ISI 與 PSI 缺陷。

4. 報告要註明缺陷為：

(1) ISI 或 PSI

- (2) 周向或軸向
- (3) Crack 或 LOB
- (4) X 起點、終點
- (5) Y 起點、終點
- (6) 長度
- (7) RL (Remaining Ligament)

5. 合格標準：

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

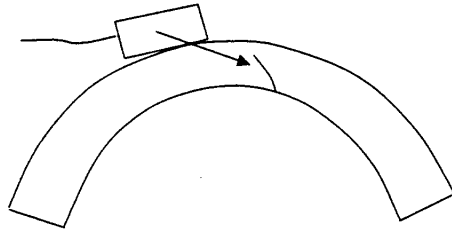
以上 4 項全部通過才算通過考試。

重考時視情況可只考 ISI 或 PSI 或 全部重考。

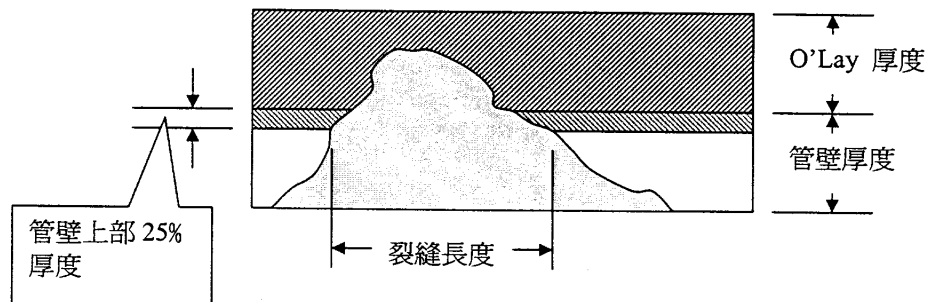
6. 考試時需先以角波檢測完畢，經監考官簽認後，再以直波檢測（理由是：直波可見所有考試件的缺陷，與現場自然缺陷不同，故 PDI 計劃特別做此規定）。角波檢測與直波檢測所叫缺陷即使重複也不扣分。

7. 每一缺陷深度以最深深度報告。

8. Axial 缺陷深度量測需矯正弧度造成的誤差。



9. 長度量測 (ISI) 只量已延伸進入檢測厚度部份之裂縫長度，如下圖所示。

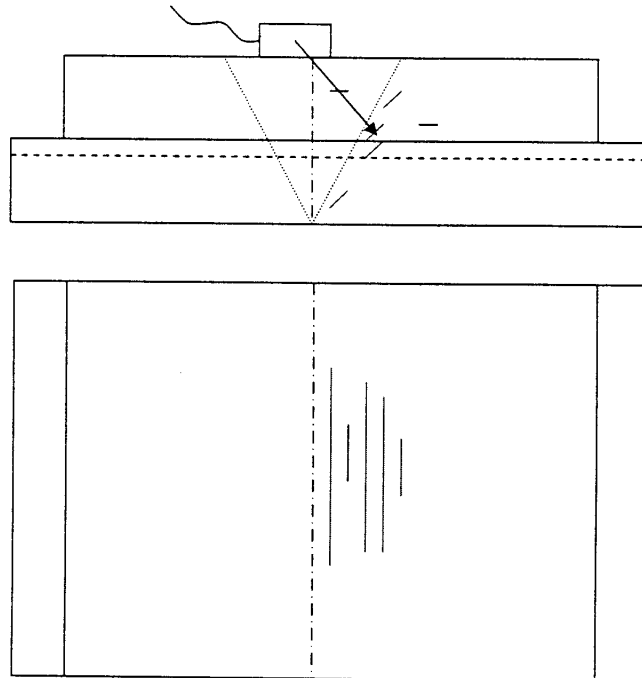


10. 檢測對策：

- (1) ISI 部份以 45° RL 或 60° RL 檢測、 70° RL 或 TrCr 輔助，PSI 部份以 70° RL 檢測，TrCr 輔助。角波檢測完畢才以直波檢測 (PDI 規定)。
- (2) 頻率以 2 MHz 較佳。
- (3) ISI 缺陷先檢測，然後才檢測 PSI 缺陷。
- (4) 28" 管件檢測時，厚度大於 1.0" 部份，若以 60° RL 檢測，會有偏折現象，只能以 45° RL 為之。探頭焦距為 55 mm。

(5) 留意双晶折射縱波探頭頂角和靈敏區，其靈敏區有效範圍為焦距的 0.5 倍至 1.5 倍。

(6) 周向 ISI Crack 檢測時，可將探頭入射點置於鉸道中心線上，分別向上、下游掃描，打 Crack 的 Face，有助於分辨上、下游同時存在的 Crack。若將每一個別波峰抓住，將其位置及深度標示鉸道橫剖面上，再將探頭沿周向橫移，量測每一個別波峰的周向長度，可有效的量測裂縫長度並分辨裂縫與 LOB。



五、討論與建議

1. EPRI 所發行供考生研讀之“Guided Practice”，內容不錯，按照其方法考試通過的機會比較大。
2. 覆層焊道檢測(Overlay)能力驗證考試是新的考試，雖然比舊的考試難許多，同時牽涉到檢測(Detection)、長度評估(Length Sizing)、深度評估(Depth Sizing)，尤其軸向(axial)瑕疵深度評估佔相當數量，但考生採用輕便型數位式的 K'K USN60 MUT 儀器多有所助益；又若赴 EPRI 之前，在本國林訓規塊充足、實驗環境良好，預先作好儀器探頭的精緻校正並自我研習多種疑難雜症試件，更會有莫大助益。
3. 近 20 年因公司正確的核能營運政策，支持檢測人員參與美國超音波檢測能力驗證資格考試的研習與檢定，確保了公司核能營運的安全；據聞韓國因核能機組持續增加，近幾年亦花了大筆的經費，派團赴美國電力研究院非破壞檢測中心及核能之檢測公司研習，參加超音波檢測能力驗證資格考試，並與電力研究院非破壞檢測中心簽約，引進非 IGSCC 部分的超音波檢測能力驗證資格考試之軟硬體系統至其國內使用；日本則因爐心構件龜裂問題已嚴重影響機組營運，最近又接洽歐美之檢測公司學習相關超音波檢測技術以解決其問題，由此日韓二例可見檢測技術經驗與人員檢定之交流觀摩，何其重要！建議本公司持續每年派員赴美研習及接受檢定考照，以符合法規並吸收國外經驗，增進技術水準，俾能確保本公司營運檢測自主，進而節省營運費用！