

行政院及所屬各機關出國報告  
出國類別：實習

(裝訂線)

# 核能電廠營運檢測超音波 訓練及考照

服務機關：臺灣電力公司核能發電處  
出國人 職 稱：核能工程師/機械檢驗員  
姓 名：陳振宇 陸錚

出國地區：美國北卡電力研究院  
出國日期：民國 90 年 7 月 7 日  
報告日期：民國 90 年 9 月 12 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訓練及考照

頁數 14 含附件： 有 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

台灣電力公司/ /

陳振宇,陸錚/台灣電力公司/核能發電處/核能工程師,機械檢驗員/(02)24985990 轉 2759

出國類別： 1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：自90年7月7日至8月25日

出國地區：美國北卡電力研究院

報告日期：90年9月12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)

依照法規規定，核能電廠管路設備必須執行超音波檢測，檢測人員必須通過能力驗證(Performance Demonstration)資格考試方得執行檢測工作。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)能力驗證考試、裂縫深度評估(Depth Sizing)能力驗證考試、螺栓與螺樁檢測能力驗證考試，在考試前並接受練習指導(Practice Guide)。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，對未來核能電廠管路設備執行檢測工作頗有助益。

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

## 目 錄

<u>內容</u>	<u>頁次</u>
一、電力研究院 EPRI 能力驗證(P D)之現況	1
二、裂縫檢測(Detection)能力驗證考試	3
三、裂縫深度評估(Depth Sizing)能力驗證考試	8
四、螺栓與螺樁(Bolts & Studs)檢測能力驗證考試	11
五、討論與建議	14

## 一、電力研究院 EPRI 能力驗證 (Performance Demonstration) 之現況

ASME Code 96 年增訂版 Appendix VIII 補充說明 (supplement) 中，詳細規定各項檢測能力驗證 (Performance Demonstration) 之標準與要求，部份能力驗證項目本隊已完成，有部份美國電力研究院 EPRI 尚未執行或已執行而本隊尚未能參者，針對各項驗證範圍與特性分別說明於後：

### 1. 本隊現已完成之四項能力驗證

- (1) supplement 2 不鏽鋼材質焊道檢測
- (2) supplement 3 碳鋼材質焊道檢測
- (3) supplement 8 螺栓及螺樁檢測
- (4) supplement 11 不鏽鋼覆層焊道檢測

### 2. 其餘尚未執行之能力驗證

- (1) supplement 4 - 具有保護層 ID Cladding 之反應爐槽體焊道檢測，不含法蘭對槽體 flange to vessel 及 Head to flange 頂蓋對法蘭焊道，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"，EPRI 已接受驗證。
- (2) supplement 5 - 槽體管嘴內緣 Vessel IRS 檢測，EPRI 將在明年底左右執行，檢測程序書將在半年內出版
- (3) 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 Sizing 之 R.M.S 允許較寬 0.250"，EPRI 已接受驗證。
- (4) supplement 7 - 管嘴對槽體焊道檢測，此項考試必須先通過 supplement 4 & supplement 6 兩項考試，才能考 Nozzle to Vessel 之周向龜裂檢測，通過了 supplement 5 Nozzle IRS 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
- (5) supplement 9 - 高衰減鑄造不鏽鋼檢測，法規尚未要求此項

(6) supplement 10 檢測不同材質 Dissimilar 焊道檢測，EPRI 將在 2002 年 11 月才會開始執行，檢測程序書將在半年內出版

## 二、裂縫檢測(Detection)能力驗證考試

裂縫檢測包括碳鋼及不銹鋼(含 IGSCC)管的 Detection, Length Sizing, 檢測掃描方式包含單邊及雙邊。

### 1. 碳鋼檢測：

#### 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，如下表所示：

儀器設定	探頭頻率	阻尼	慮波	波長	頻率	脈波重覆率
Sonic 136	1.0	500	1,2,or3	500 n/s	1.0	4 KHz
Sonic 136	1.5	500	1,2,or3	334 n/s	2.25 MHz	4 KHz
Sonic 136	2.0	500	1,2,or3	250 n/s	2.25 MHz	4 KHz
Sonic 136	2.25	500	1,2,or3	222 n/s	2.25 MHz	4 KHz
Sonic 136	3.0	500	1,2,or3	168 n/s	2.25 MHz	4 KHz
Sonic 136	3.5	500	1,2,or3	144 n/s	2.25 MHz	4 KHz
Sonic 136	4.0	500	1,2,or3	126 n/s	5.0	4 KHz
Sonic 136	5.0	500	1,2,or3	100 n/s	5.0	4 KHz

(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

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偶合效果，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" to 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

- (3) 檢測校準時需先設定螢幕距離 Screen Distance，使螢幕距離能夠含蓋檢測區域，焊道底部  $1/3T$ ，及焊道兩旁  $1/4"$ ，見下圖，再建立校準規塊凹槽之信號達到全螢幕之 80%即可。

### 焊道檢測區域

## Required Examination Volume

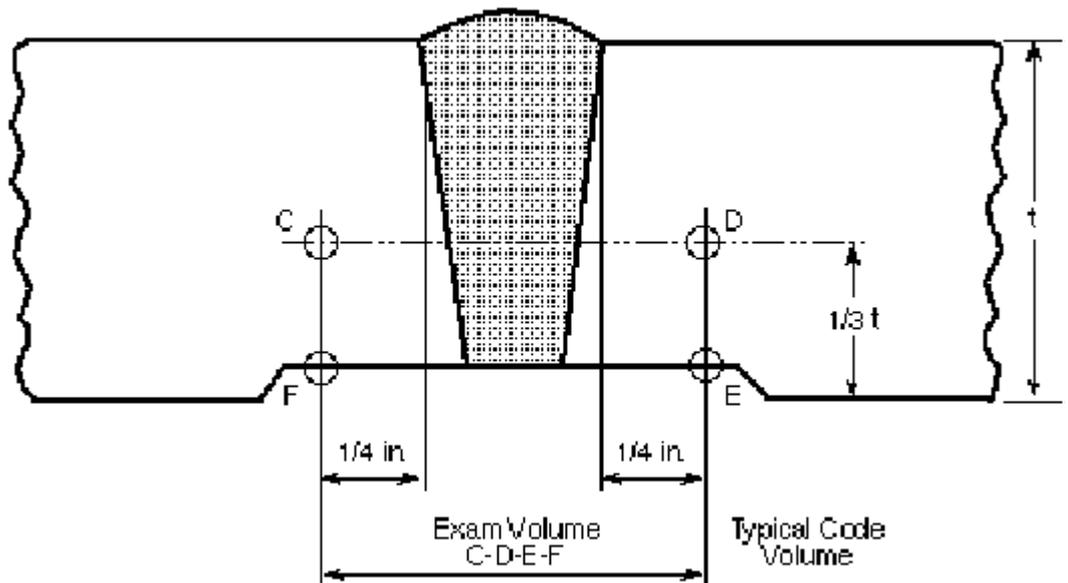


Figure 1

### 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，否則容易造成誤判 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)：

1) 考試內容：

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"。

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 to 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 to 2.25	1.5 to 2.25	1.0 to 2.25	1.0 to 2.25	to 5.0	to 5.0
> 2.00"	1.5	1.5	1.5 to 2.25	1.5 to 2.25	1.0 to 2.25	1.0 to 2.25	1.0 to 2.25	1.0 to 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。

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。

3) 檢測與信號評估：

檢測與信號評估作法上大至與碳鋼檢測相同，但對單邊檢測大於 0.5 吋厚之不銹鋼管至少要使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使用 70 度之橫波來檢測。

4) 注意事項：

對於 IGSCC 之檢測，雖然試塊只有 2-3 塊，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。

### 三、裂縫深度評估(Depth Sizing)能力驗證考試

#### 1. 考試內容：

每人各考十塊試件，其中包含三塊 IGSCC 試件、七塊一般 S.S.與 C.S.試件，每塊各有一個缺陷。考試時間規定為 16 小時，但實際考試時並無硬性規定，因為考試時考試件與練習件可隨時交替執行掃描。

#### 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"	2.25 – 5.0 MHz	2.0 – 5.0 MHz
> 0.50" - ≤ 2.0"	1.5 – 5.0 MHz	2.0 – 5.0 MHz
> 2.0"	1.5 – 5.0 MHz	1.0 – 5.0 MHz

最初評估完成之後，則可另外使用更高頻率之探頭作進一步之評估。

程序書對於所使用之探頭尺寸規定如下：

公稱管徑 t	橫波探頭 最大尺寸	橫波探頭 最大尺寸	縱波探頭 最大尺寸	縱波探頭 最大尺寸
	inches	mm	inches	mm
2" to 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

#### 3. 評估方法

對不同厚度試件具有不同深度之缺陷，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覆波觀察法來量測(AATT or RATT or Bi-modal)，詳細搭配方式列於下表：

材質厚度 ≤ 0.50"		
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"	60° - 70°	絕對時間法或相對時間法
材質厚度 > 0.50" - ≤ 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" - ≤ 0.70"	60° - 70°	絕對時間法或覆波觀察法
> 0.70"	45° - 60°	絕對法或相對法或覆波觀察法
材質厚度 > 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" - ≤ 0.70"	60° - 70°	絕對時間法或覆波觀察法
> 0.70"	45° - 60°	絕對法或相對法或覆波觀察法

實際評估：

- 1) 較小厚度試件 (厚度 < 0.5") 用 60S 與 70S (5 MHz / 0.25") 評估, 再用 ODCR、60L 與 70L 驗證。因 45S 之起始波會擋住較深的回波, 故通常不用。
- 2) 中等厚度試件 (厚度介於 0.5"-1.5") 用 45S、60s 與 70s 評估, 並彼此互相驗證。
- 3) 較大厚度試件 (厚度 > 1.5") 先用 45S (2.25 MHz / 0.5") 4" FSW (in depth) 找到 flaw base, 探頭再往前移可找到 flaw tip, 而可得知其大約之深度。再將螢幕距離調到 tip 大約深度處 (例如調到 2"-3" 之 1" FSW in depth), 再用 45S、60s 作較精確的評估, 通常橫波較縱波為佳。

#### 4. 評分方式

十塊試件的十個缺陷, 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：

$$RMS = \left[ \frac{\sum (m_i - t_i)^2}{10} \right]^{1/2}$$

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) 較大厚度之試件，其缺陷深度範圍大，誤差度相對的也較大，很容易誤差即會超過 0.125" 之標準，故其校準時的準確度相當重要，校準完成後須以適當之參考規塊驗證。
- 2) 有 cladding 的 C.S. 試件，其內表面會有 cladding 的回波，必須先找到與此波在一起的缺陷波，然後將探頭往前移，缺陷波也會隨之往前移，直到探頭再往前移缺陷波會立即下降消失時，此時之缺陷波為其 tip 回波。其他較大厚度之試件也須用此方法找 tip 所在位置。
- 3) 有些較大厚度之 C.S. 試件（含有 cladding 者），在 tip 回波找到之後，若再往前移，會突然出現另外一個高的回波，此波常會被誤判為 tip 回波，因而叫錯答案。其實它只是 inclusion 之類，並非所欲評估缺陷之一部份。其辨認方法為此類回波不是隨著探頭往前移動時一直存在的波（缺陷波則會一直存在），而是獨立的單一回波。
- 4) 中等厚度與較大厚度之 C.S. 試件，其缺陷深度通常可用直波探頭驗證之。
- 5) IGSCC 之三塊試件，其缺陷深度通常是淺、中度、深各一，深度範圍各為 0.04"-0.24"、0.24"-0.48"、0.48"-0.76"，由 30-70-70 方法之 CE1 與 CE2 即可得知其深度範圍，再用 45s 與 60s 正確評估。
- 6) 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。
- 7) 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。

#### 四、螺栓與螺樁(Bolts & Studs)檢測能力驗證考試

##### 1. ASME Code 的規定：

###### 1) 對試件的要求：

- (1) 要 Full Scale Section.
- (2) 化學成分、張力特性、金相結構、檢測面狀況等要與現場試件相似。
- (3) 在外表面螺牙部位及中心孔內表面要製作圓周方向的 Notch，其深度與面積如下表：

螺件直徑	Notch 深度	Notch 反射面積 (平方吋)
2~4 吋	0.107 吋	0.027
> 4 吋	0.157 吋	0.059

###### 2) 合格標準：

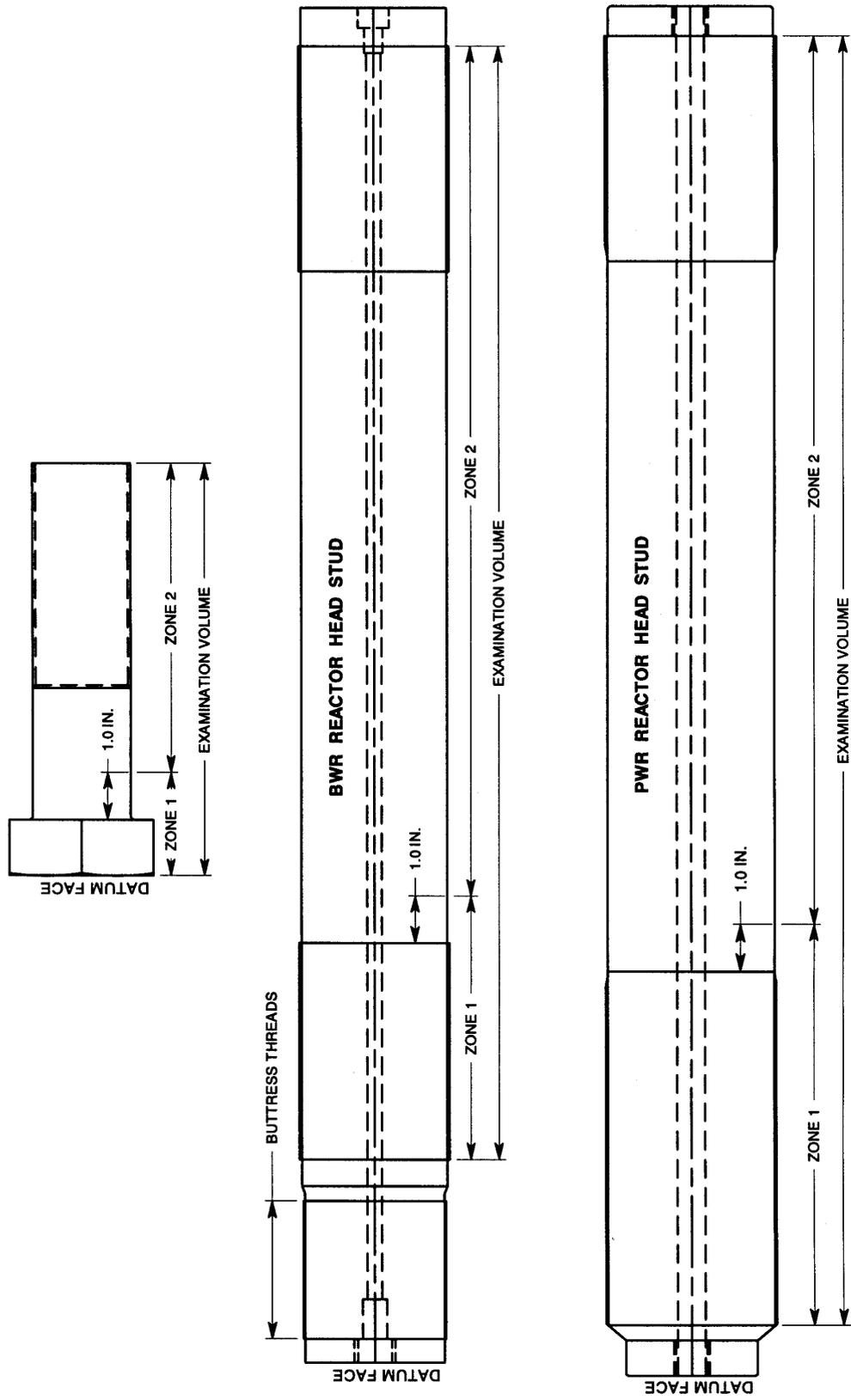
能檢測到 Notch，而且軸向位置誤差在  $\pm 0.5$  吋或  $\pm 5\%$  全長度 (取大值)。

##### 2. 考試情形：

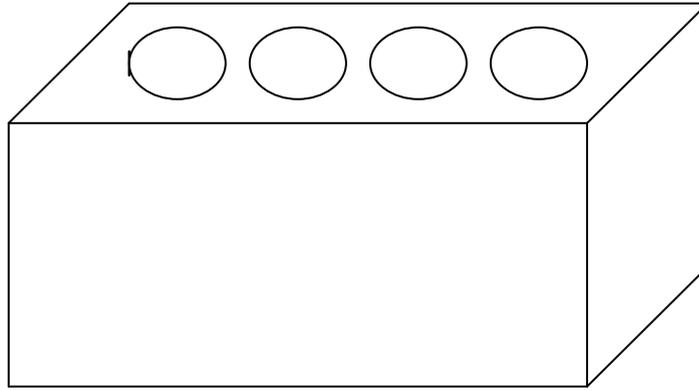
###### 1) 考試分成兩種：

- (1) 第一種：以直波從 Top End 檢測，再由中心孔以 70s 探頭驗證直波探頭找到之缺陷，直波考試限時 30 分鐘，角波驗證考試限時 60 分鐘，針對近區 Zone1 與遠區 Zone2 (如下圖) 作分別校正與檢測。
- (2) 第二種：由中心孔以 70° S 橫波探頭檢測，再由直波從 Top End 驗證 70° S 橫波探頭找到之缺陷。

**Figure 1**  
**Examination Volume**



2) 每類 Bolt/Stud 均密封如下圖：



3. 注意事項：

- 1) 此行驗證最新發展的探頭可以有效的從 Bolt/Stud 兩端檢測到 Code 規定的小缺陷。
- 2) 檢測時，調整 Notch 訊號之 Amplitude 為 50~80% FSH 即可，Gain 太大容易造成 False Call.
- 3) 考試時沒有可供練習之試件，故須充份利用唯一的 Calibration Block，特別揣摩靠近遠/近兩端及直徑變化區的有 Notch 與無 Notch 之訊號差異，最好針對該區域作局部放大來研判。

## 五、討論與建議

- 1) Harisonic PN 410 10Mhz 直束探頭，對 bolting 檢測解析度極佳，適用 2"至 6.82"直徑，8"至 57.75"長之螺件。RPV Stud 檢測如使用直波也較為迅速正確，其對 ID 及 OD 之缺陷均看的極清楚，中心孔探頭為有疑問時輔助之用，本隊尚無此種探頭可考慮購買。
- 2) 0.5", 1.5 Mhz KB-A 複合材料探頭，及 KB-A 廠牌 0.375"及 0.5" 70 度 Wedge，考試時均可使用到，目前考試時均是向人借用可考慮購買。
- 3) KB-A 之 Wedge 角度較準，EPRI 的練習指導不建議使用 Megasonic 探頭，Megasonic 探頭頻率不準，對 IGSCC 不同 Facet 缺陷反射效果較差，使用 Megasonic 探頭 EPRI 均要求提出頻譜分析。
- 4) EPRI 的練習指導亦不建議使用 Sonic-1200s 儀器，因其解析度較差，本次 Bolting 考試使用 K'K USN60，其對直波之解析度不錯，對 IGSCC 之解析度尚須進一步評估了解，其數位信號轉數據要比 Sonic-1200s 快，掃描時不必擔心信號出現太慢的問題。

