

超音波檢測技術

黃啟貞



台灣金屬材料品質管有限公司
Taiwan Metal Quality Control Co. Ltd
Tel. 07-8019312, 8019340 Fax. 07-8063017
WEB: www.tmqc.com.tw
E-mail: tmqc.hcj@msa.hinet.net

1. 超音波之基本原理

1.1 波動原理及波式

1.1.1 彈性介質：

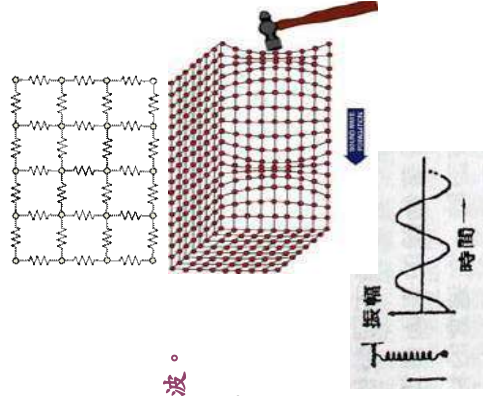
物質粒子與粒子間的鍵結，存在一種彈性力，此種物質稱為彈性介質，惟有彈性介質才能傳送音波。

1.1.2 波動：

※物質中的粒子受外力來回作用，產生機械性振盪；音波藉此而傳送，稱為波動。

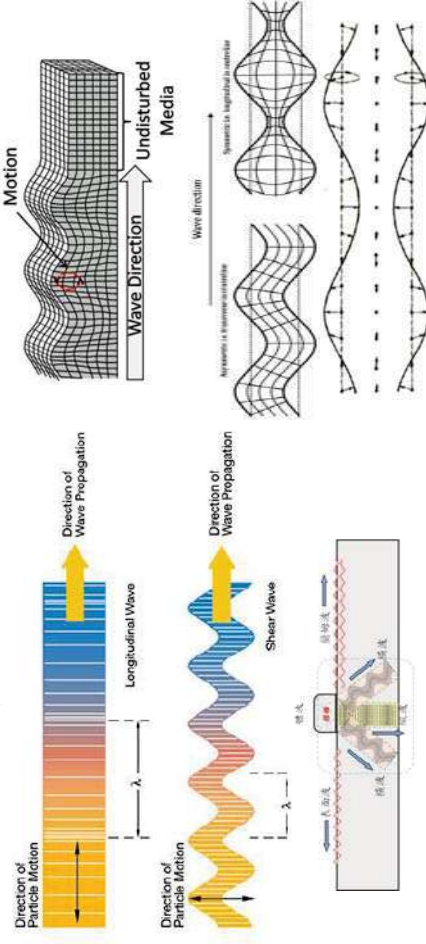
1.1.3 振盪：

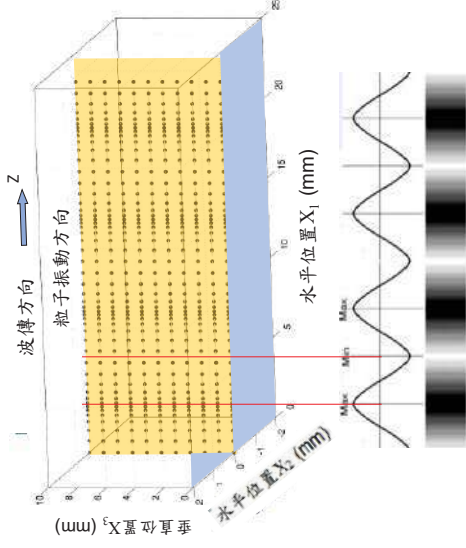
物質受彈性力作用，產生往復性振盪，其位移與時間的關係，最常見者成正弦波，稱為諧振盪。



1.1.4 UT 超音波檢測-波動原理及波式

• 縱波、橫波、表面波、藍姆波

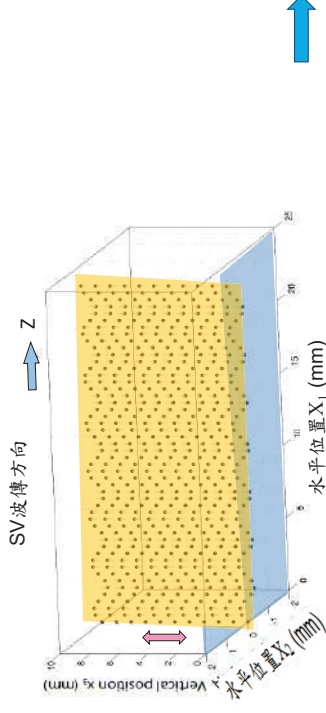




1.1.1.5. 縱波：

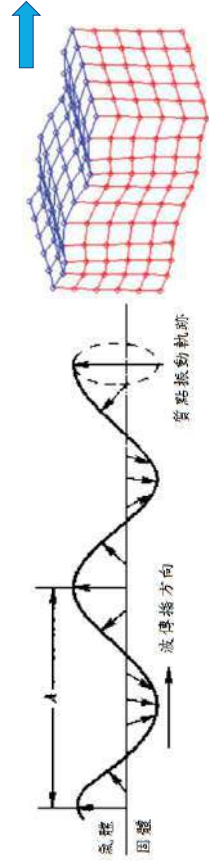
- ※物質粒子振動方向平行音波傳送方向又稱為密度波、壓縮波、彈性波。
- ※此種波可存在於氣體、液體及固體中。

- ### 1.1.1.6. 橫波：
- ※物質粒子振動方向垂直音波傳送方向；又稱為剪力波。
 - ※此種波只存在於固體中。



1.1.1.7 表面波：

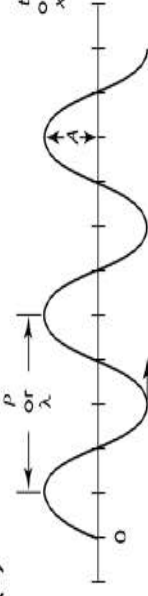
- ※物質粒子成橢圓形運動方式的波動；又稱為瑞利波。
- ※此波僅沿著物體的表面（深入物體內約 1 波長）傳送。



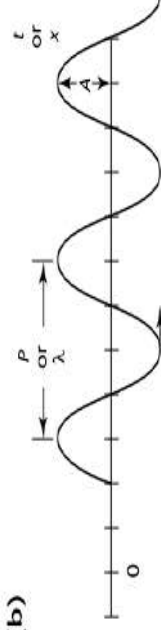
1.2 頻率、音速和波長

1.2.1. 週期：物質粒子完成一個振盪循環所需要的時間。

1.2.2. 頻率：(a)



1.2.3. 音速：(b)



1.2.4. 波長：(b)

$$C = f \cdot \lambda$$

1.2 頻率、音速和波長

超音波在幾種常見物質中的音速及5MHz時的波長：

物質	密度 (g/cm^3)	縱波 (m/s)	波長 (mm)	橫波 (m/s)	波長 (mm)
鋁	2.69	6300	1.2	3130	0.63
銅	7.8	5900	1.2	3200	0.64
甘油	1.26	1900	0.38	-	-
水	1	1500	0.38	-	-
空氣	0.0012	340	0.07	-	-

1.3 音壓、能量和音阻抗

※ 音壓：

- ※ 檢測中最重要之參數。
- ※ 同相位粒子所構成之平面上，每單位面積所承受之力。
- ※ 縱波音壓受垂直力，橫波音壓受切向力。

※ 音功率強度與音壓的關係：

$$J = P^2/2Z \quad P: \text{音壓} \quad N/m^2 \quad J: \text{音功率強度} \quad W/m^2 \quad Z: \text{音阻抗} \quad N \cdot s/m^3$$

※ 音阻抗：材料抵抗音波傳送的阻力，

單位為 $N \cdot s/m^3$ 。

$$Z = \rho \times C$$

1.4 何謂超音波

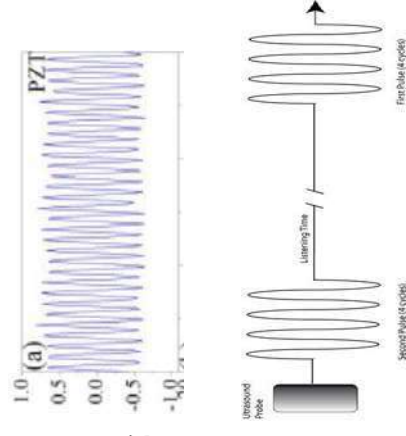
- ※ 人耳可聽到的音波頻率為16KHz—20KHz，而常用的超音波頻率為0.5MHz—25MHz。
- ※ 一種機械波，需在彈性介質中方可傳送。
- ※ 超音波與一般音波的音速相同，但超音波的頻率較高，音壓及能量較大。
- ※ 一般音波擴散的很寬，較無方向性；而超音波因高頻而具有很強的方向性，音束集中。

1.5 連續波和脈波

※ 連續波：

- 儀器或探頭所產生的超音波為連續不斷者謂之；多用於共振法及穿透法中。

※ 脈波：儀器或探頭所產生的超音波為衰減性的脈動稱之；多用於脈波回波法。



1.6 超音波之應用

超音波探傷



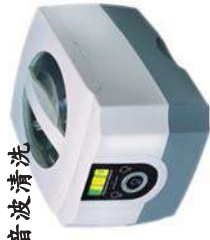
超音波掃瞄



超音波測厚



超音波清洗



超音波鐸接

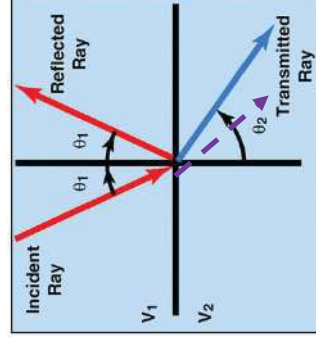


2. 音波傳送特性

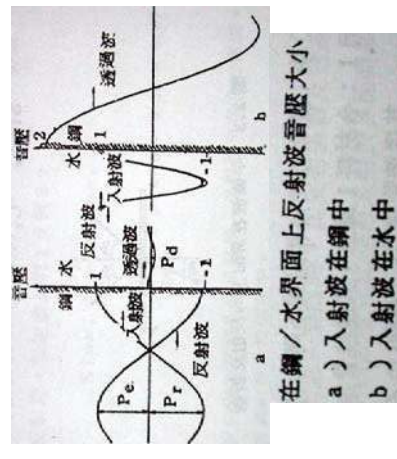
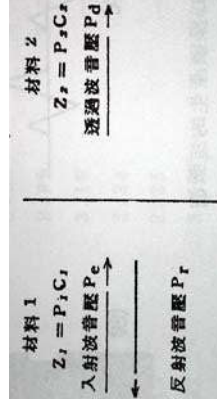
2.1 反射、折射及波式轉換

- ※**界面**：相鄰二不同材料之界面。
- ※**反射**：音波入射碰到界面時，部份音波沿原方向或與法線成對稱前進的現象。
- ※**折射**：音波入射碰到界面時，部份音波穿透到另一介質中，但前進方向偏斜的現象。
- ※**波式轉換**：反射或折射的波式不同於入射波式的現象。

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$



• 透過



在鋼/水界面上反射波音壓大小
 a) 入射波在鋼中
 b) 入射波在水中

※ 偏斜入射 -- 折射定律、界面音壓、及波式轉換

※ 折射定律及波式轉換

a. 折射定律。

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

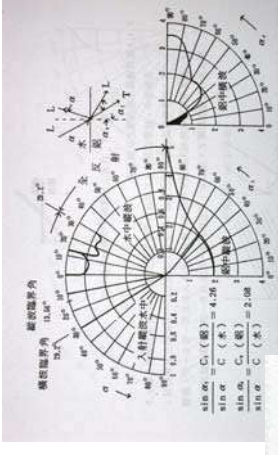
b. 反射及折射均可能發生波式轉換。

c. 縱波存於氣體、液體、固體中。橫波僅存於固體中。

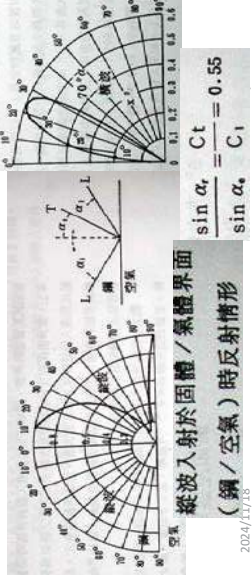
d. 全反射：入射波未穿透界面，被完全反射的現象。

e. 縱波臨界角：當入射角大於某一角度時，其縱波折射角等於90度，即縱波全反射為縱波臨界角。

f. 橫波臨界角：當入射角大於某一角度時，其橫波折射角等於90度，即橫波全反射為橫波臨界角。



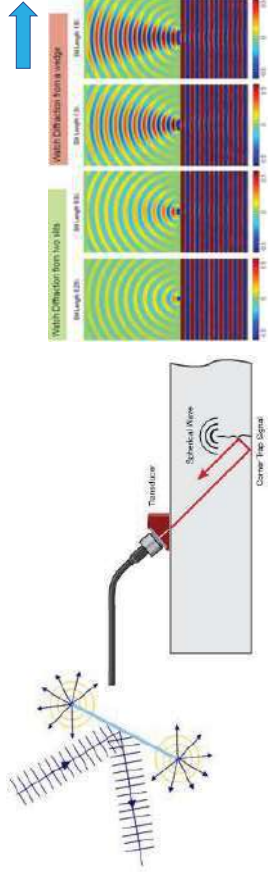
水/鋁介面



2.2 繞射

※ 音波繞過特定界面(如角隅、小隙縫、裂縫尖端)而前進的現象。

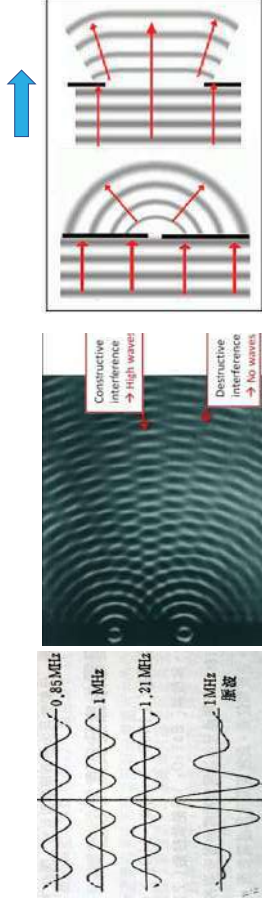
※ 繞射波常以球面波或圓柱波傳送，衰減較快，也可反射傳回被探頭所接收，唯能量較低。



2.3 干涉現象、合成波和駐波

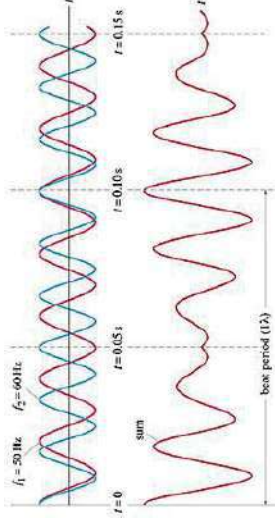
※ 干涉

- a. 兩音波相遇，因相位差而造成音強度消長的現象。
- b. 兩音波的路線差是波長的整數倍，才有加強性的干涉效應。



重疊原理：

※兩相遇音波，其合成位移為各別音波在該點位移量的線性相加（代數和）。

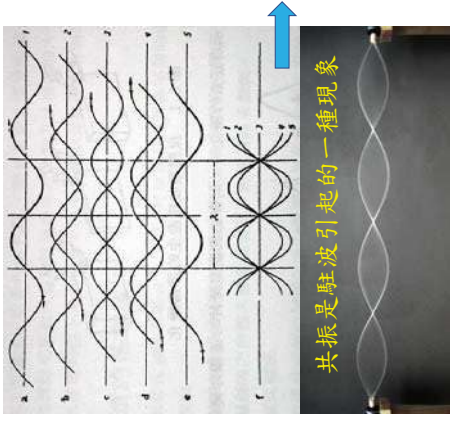


※合成波

- 兩個以上的音波相遇，可應用重疊原理合成一個新的音波，稱為合成波。
- 子音波的數量越多，頻率越廣，則合成波越窄，

※駐波

- 合成波的一種特例。
- 固定界面上的入射波與反射波相遇，必定形成駐波。

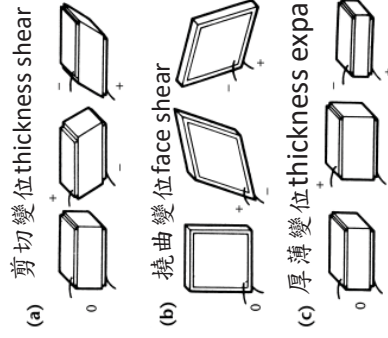
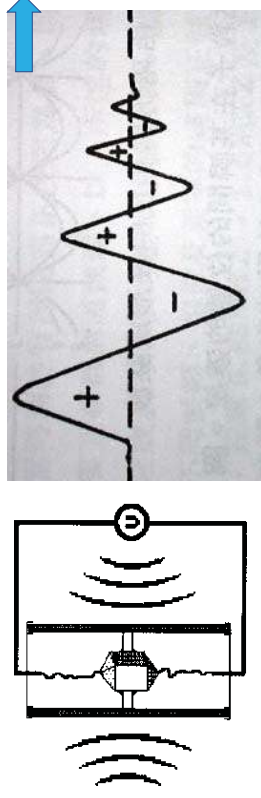


3. 超音波的產生及接收

3.1 壓電材料、壓電效應、反壓電效應

- ※ 壓電材料：常見的壓電材料如 LiNbO_3 (鋰酸鋰)、 SiO_2 、 LiSO_4 、 PbNbO_6 (偏鋇酸鉛)、 BaTiO_3 、 PZT 。
- ※ 壓電效應：利用壓電物質受壓力而變位、振盪→產生電位差的現象。
- ※ 反壓電效應：電能→機械能的現象。

a. 壓電物質產生超音波的原理



反壓電效應
(厚薄變位
thickness
expansion)

常用壓電材料主要性能參數

名稱	d_{33} ($\times 10^{-12} \text{V}\cdot\text{m}/\text{V}$)	g_{33} ($\times 10^{-3} \text{V}\cdot\text{m}/\text{V}$)	K_t	C (m/s)	Z ($\times 10^3 \text{g}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$)	Q _r	T _c (°C)	N _f (MHz·mm)
單 晶 材 料	石英 2.31	5.0	0.1	5740	15.2	10^{4-6}	550	2.87
	硫酸鋰 16	17.5	0.3	5470	11.2	---	75	2.73
	碘酸鋰 18.1	32	0.51	4130	18.5	<100	256	2.06
多 晶 材 料	鈮酸鋇 6.0	2.3	0.49	7400	34.8	>105	1200	3.7
	鈦酸鋇 190	1.8	0.38	5470	30	300	115	2.6
	58	3.3	0.43	4240	32.8	1050	460	2.12
	PZT-4 289	2.6	0.51	4000	30.0	500	328	2.0
	PZT-5 374	2.48	0.49	4350	33.7	75	365	1.89
	PZT-8 225	2.5	0.48	4580	33	1000	300	2.07

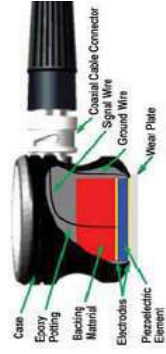
3.2 超音波探頭的基本構造

依超音波探頭的特性或使用場合，可分成五類：

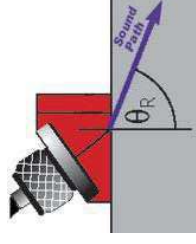
- ※直束、斜束探頭
- ※遲延探頭
- ※接觸式、浸液式探頭
- ※雙晶探頭



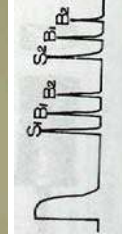
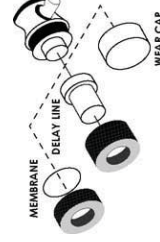
※直束探頭



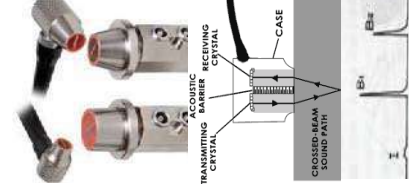
※斜束探頭



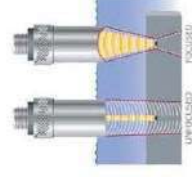
※遲延探頭



※雙晶探頭



※接觸式、浸液式探頭 (聚焦)



3.3 探頭的超音波特性和

A. 頻率和壓電薄片厚度的關係--共振現象：

- ※超音波因同相而互相增強的現象。
- ※超音波在壓電薄片兩固定界面來回波動，形成駐波，造成共振。
- ※當壓電薄片的厚度等於半波長的奇數倍會產生最強的共振。

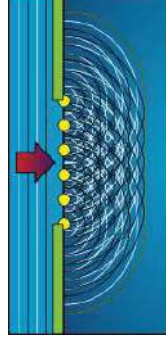
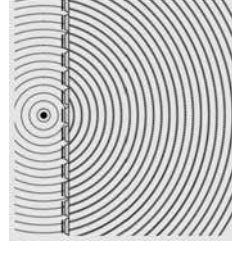
B. 基本頻率：壓電薄片產生共振的最低頻率。

C. 諧振頻率：基本頻率的整數倍頻率稱之。

D. 換能器之音場

a. 豪更斯原理

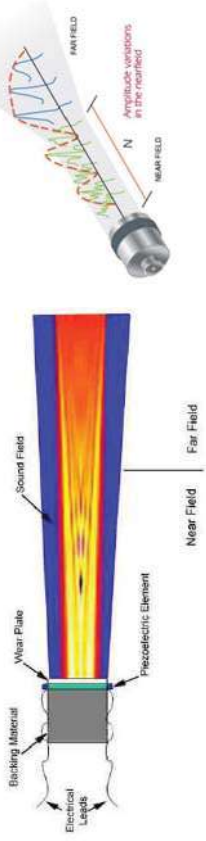
- ※任何波形均可由無數個同頻率的球形波組合而成。
- ※壓電薄片表面上的每一點均可視為點波源，且子波的速率等於原波速。
- ※各點波源所產生的波互相干涉，壓電薄片的正前方成為平面波。



D. 音場：

- ※ 近場：音場內，音波干涉現象顯著，音壓強弱變化複雜的區域。
- ※ 遠場：音場內，音壓強弱變化均勻的區域。

$$\text{近場長度 (N)} = [D^2 \cdot \lambda^2] / 4\lambda$$



※ 遠場及音束發散角

- a. 遠場中，音壓強弱分佈曲線及照片。
- b. 遠場內，音束中心軸的音壓變化。

$$P = P_0 \cdot \pi \cdot (N/a)$$

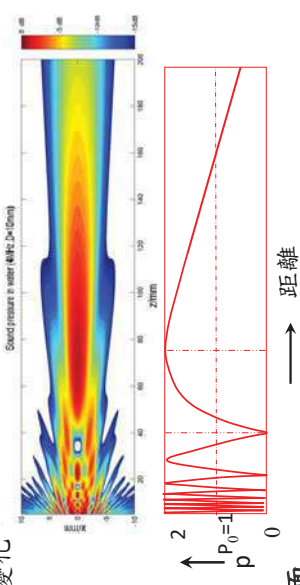
$$= P_0 \cdot (S/\lambda) \cdot (1/a)$$

S: 壓電薄片之面積

a: 距壓電薄片表面之距離

c. 音壓與距離成反比。

d. 遠場中，超音波可視為以球面波的波式傳送。



e. 音束發散角：

$$\text{Sin} \theta_0 = 1.22 \lambda / D$$

θ_0 ：發散角



f. 超音波的方向性：

- ※ D/λ 愈大，其方向特性愈強，即不易發散。
- ※ 同強度之超音波探頭以不同方向入射，接收效率不同。
- ※ 直束探頭垂直入射瑕疵，反射之信號最大。

4. 超音波之衰減

4.1 超音波的發散

1. 隨著距離的增加，超音波的能量減弱、音波強度減弱、音壓減弱。
2. D/λ 比值大，發散角小，音速較集中，衰減較慢。

4.2 音波吸收

1. 音能 \rightarrow 熱能 (粒子振盪的煞車作用)。
2. 頻率增加 (靈敏度增大)，**散射** 作用增大，而吸收作用較不明顯。
3. 吸收作用只會減弱訊號而不會造成雜訊。
4. 吸收衰減係數： $\alpha_a = C_1 \cdot f$

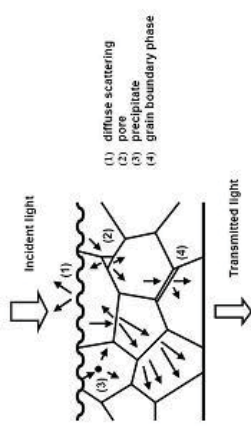
4.3 音波散射

1. 物質**內部的不均質**，如孔洞、偏析、第二相、晶界等產生許多小界面，造成音阻抗改變、偏斜界面等問題；以致音波被折射、反射、衰減等現象，影響超音波的傳送。
2. 一般而言橫波衰減比縱波大。
3. 溫度愈高，衰減愈大。

4. 非等方向性：被測物內不同的組織結構方向具有不同音速的現象。

5. 晶粒尺寸問題

- ※ 晶粒尺寸 $>$ 波長，音波直接被晶界面幾何折射。
- ※ 晶粒尺寸 $<$ 波長，有兩種情況：



◎ 晶粒尺寸約 0.001 到 0.01 倍波長時，無散射問題。

◎ 晶粒尺寸約 0.1 到 1 倍波長時，散射非常顯著。

6. 散射衰減係數： $\alpha_s = C_2 \cdot d^3 \cdot f^4$

4.4 分貝之計算

$$1. \text{dB} = 20 \log (P_1/P_2)$$

2. 分貝與訊號放大、衰減的關係

dB	衰減後振幅 %	放大倍數	dB	衰減後振幅 %	放大倍數
0.0	100	1.00	10.0	32	3.16
2.0	79	1.26	12.0	25	3.98
4.0	63	1.59	20.0	10.0	10.00
6.0	50	2.00	50.0	0.32	316.23
8.0	40	2.51	100	0.001	100000

5. 超音波的基本測試方法及其原理

信號檢出方法:

超音波檢測方法依信號檢出方法的不同，可分為四種：

- 1). 脈波回波法
- 2). 陰影法、強度法、穿透傳送法
- 3). 共振法
- 4). 傳送時間法

5.1 脈波回波法

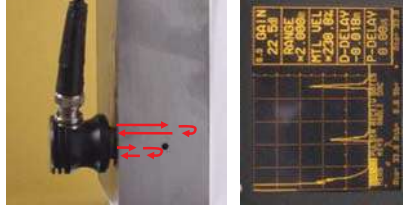
※脈波回波法是最常用及最重要的方法，大部份的規範均以此種方法。

※在脈波回波式儀器上所顯示的圖形一般為

A掃描表示法。

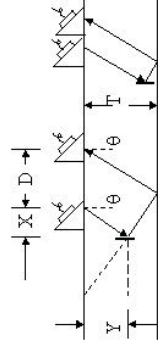
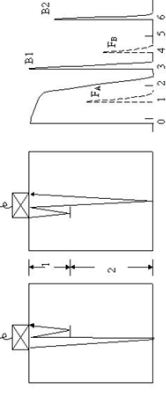
※ A掃描表示法之縱座標代表：信號高度(振幅)。

橫座標代表信號出現之時間、距離



※影響反射信號大小的因素：

- ◎ 瑕疵的大小。
- ◎ 瑕疵的形狀。
- ◎ 瑕疵的種類。
- ◎ 瑕疵的表面光滑程度。
- ◎ 瑕疵與音束的相對方向。
- ◎ 瑕疵和探頭間的音波路徑長度。

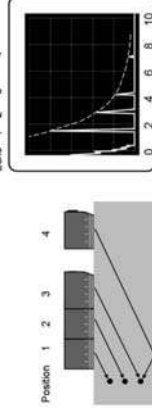
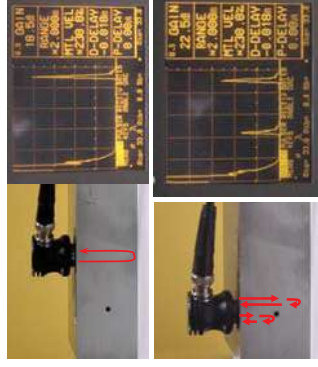


5.1.1 直束檢測法

※直束檢測時，如被檢物表面和背面平行且光滑時，則有背面回波。

- ◎ 超音波已否穿透整個厚度。
- ◎ 是否維持一定的耦合及靈敏度水準。
- ◎ 檢知不和音束垂直的瑕疵或成群的疏松組織。

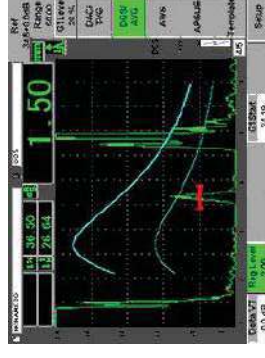
※斜束檢測時，無背面回波，故無上述便利。



※距離振幅校正曲線

在脈波回波法中，若瑕疵為遠場中較音束為小的瑕疵：

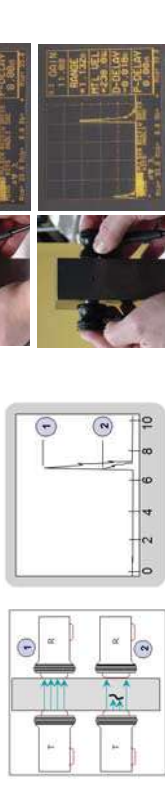
- ◎ 瑕疵回波信號與壓電晶體大小成正比。
- ◎ 瑕疵回波信號與瑕疵反射面積成正比。
- ◎ 瑕疵回波信號與波長的平方成反比。
- ◎ 瑕疵回波信號與音波路徑平方成反比。



5.2 傳送時間法

※ 傳送時間法係利用超音波傳送所需
的時間來推算出試件厚度。

※ 傳送時間法係利用比較超音波
穿過相同的試件所花的時間，
來判斷試件是否有瑕疵



2024/11/18

TMOC

45

5.3 耦合方法

※ 耦合方法可分為接觸法及浸液法。

1) 直接接觸法

※ 接觸法即檢測時探頭和被檢物直接接觸的檢測法。檢測時在被檢物
表面施加一層耦合劑，以利超音波的傳送。

※ 一般應用於手動檢測。

※ 耦合不易穩定，而造成檢測靈敏度的不穩定。
(如粗糙、曲率、耦合薄膜、手壓力)

※ 接觸法的最大優點是設備簡單，操作方便。



2024/11/18

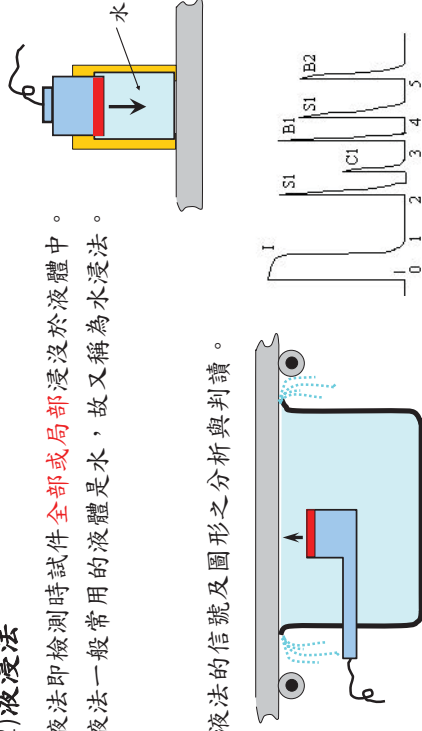
TMOC

46

2) 液浸法

※ 浸液法即檢測時試件全部或局部浸沒於液體中。
※ 浸液法一般常用的液體是水，故又稱為水浸法。

※ 浸液法的信號及圖形之分析與判讀。



2024/11/18

TMOC

47

※ 浸液法的優點：

◎ 因探頭不直接和被檢物接觸，便於作高速之自動檢測。

◎ 表面粗糙程度對檢測的限制較小。

◎ 因不直接和被檢物接觸，故探頭損壞的機會較小。

◎ 可用較高頻率的探頭，便於作精密檢測。

◎ 自動檢測中的定位較準。

◎ 耦合穩定，可維持一定的檢測靈敏度。

◎ 可使起始脈波遠離入射面，而提高表面的鑑別力。

◎ 可連續調變超音波的入射角，以產生各種不同角度及
波式的超音波。

2024/11/18

TMOC

48

5.4 音束方向

由於超音波進入檢測面的方向不同，檢測方法可分為：**直束檢測**及**斜束檢測**。

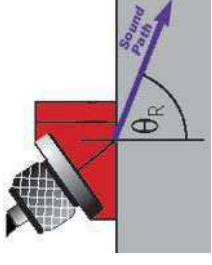
1) 直束檢測

- ※ 超音波以垂直入射面的方向進入被檢物。
- ※ 適於檢出和入射面平行及方向性較不強烈的瑕疵。
- ※ 不適於檢出和入射面不平行及方向性強烈的瑕疵。
(如裂縫或熔合不良)



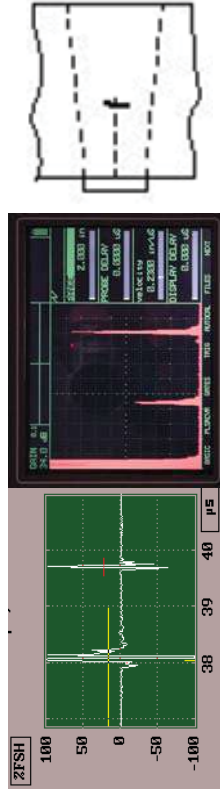
2) 斜束檢測

- ※ 超音波以偏斜入射面的方向進入被檢物。
- ※ 適於檢出和入射面不平行、方向性強烈或不強烈的瑕疵。
- ※ 不適於檢出和入射面平行的瑕疵。(如銅板疊層)
- ※ 因斜束探頭音束有一定的射束角，故並不能檢出所有方向的偏斜瑕疵，必須使用兩個或數個不同角度探頭，才能涵蓋各不同反射面的瑕疵。
- ※ 因無背面回波可觀察，故檢測時要確知是否維持一定的靈敏度。



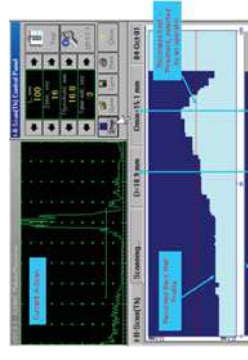
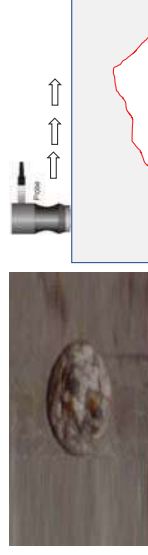
5.5 信號顯示或記錄方法

- 1) **A 掃描表示法**(一般超音波儀器最常用的表示法)
 - ※ 水平軸代表信號出現之時間或回波音程。
 - ※ 垂直軸代表信號振幅，和瑕疵大小有關但無絕對。



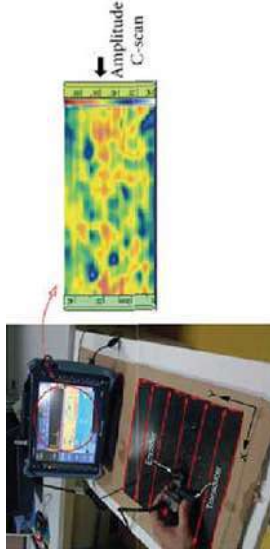
2). B 掃描表示法

- ※ 探頭在被檢物上沿一直線掃描時，所獲得的A掃描信號組合在一起即成為**B掃描圖形**。
- ※ B掃描顯示被檢物某一斷面上瑕疵分佈情形。



3). C 掃描表示法

- ※ 顯示內部瑕疵分佈的位置。
- ※ 在螢幕的顯示如同射線照相檢測法一樣，可以清楚看出瑕疵之分佈情形及形狀。無法如B掃描顯示出缺陷深度。



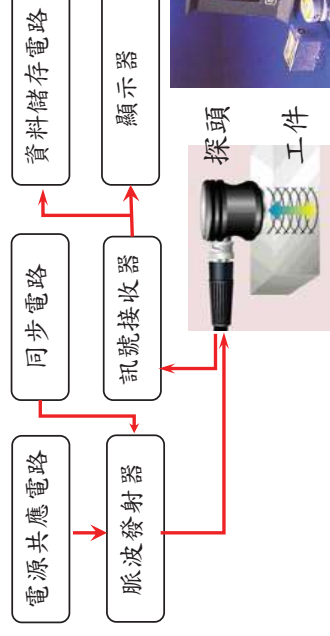
6. 超音波檢測儀

6.1 脈波反射式超音波檢測儀

- ※ 由內部之射頻振盪器產生電壓脈動。
- ※ 經同軸電纜送至探頭將電壓脈動變成機械振盪的超音波而傳送入被檢物中。
- ※ 反射回來的超音波經探頭再將機械振盪又轉換為電的脈波信號，經放大後顯示於陰極射線管上(CRT)。

6.2 超音波檢測儀的基本電路

超音波檢測儀係由六個基本電路組合而成，如圖所示，其功能分述如下：



7. 檢測參數之選擇

7.1 頻率

7.1.1 需檢出的最小瑕疵尺寸：

- 1). 可靠檢出之最小瑕疵約一個波長。
- 2). 檢測時須選擇適當的頻率，最好波長不大於需檢出的最小瑕疵尺寸。

7.1.2 材料對超音波的衰減：

- 1). 頻率越高，超音波的衰減越快。
- 2). 超音波在粗晶材料中，頻率越高，散射越顯著，造成信號對雜訊比(S/N比)降低。

※7.1.3 在可使用的頻率範圍內，頻率愈高靈敏度愈高：

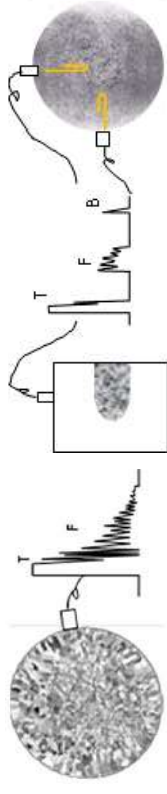
- 1). 在衰減係數 α 低時，頻率愈高(波長愈短)瑕疵靈敏度愈高。
- 2). 若超過可使用的頻率範圍，瑕疵回波反而降低。

※7.1.4 表面粗糙程度：

- 1). 表面是否粗糙，以波長為量度作標準。
- 2). 檢測面太粗(表面凹凸之高度差 \geq 波長)，則超音波在表面產生嚴重的散射，反射回波亦會再次產生嚴重的散射。
- 3). 瑕疵表面很粗糙，亦會產生嚴重的散射，使探頭接收到的信號不但微弱且波形變寬。
- 4). 綜合上述，檢測面或瑕疵表面較粗時，不可用太高的頻率。

7.1.5 反射界面的明顯程度：

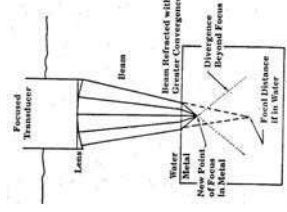
- 1). 反射界面不明顯，如彈性係數均勻地變化而不是突然變化之瑕疵；或鑄件中心之外部有一層細小氣孔(海綿狀)之空洞。
- 2). 可選用較大的波長來改善之。



7.2 探頭

7.2.1 探頭型式：

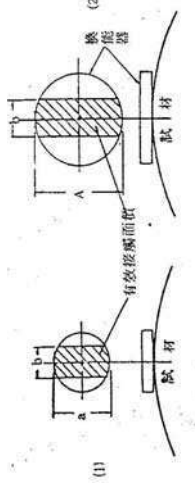
- ※ 接觸式直束探頭。
- ※ 接觸式斜束探頭。
- ※ 浸液式探頭。
- ※ 雙晶探頭。
- ※ 遲延探頭。



7.2.2 決定探頭大小應考慮下列因素：

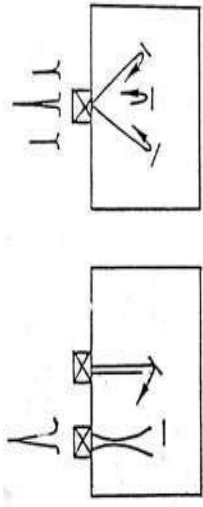
※ 被測物之形狀及大小：

- a. 探頭與被檢物間的接觸面積小，不但會改變音束的形狀且會造成超音波傳送效率的低落。
- b. 選用適當的探頭大小以提高面積率及靈敏度。
- c. 檢測焊道時如果表面未磨平，則母材愈薄所用探頭應愈小。



※7.2.3 發散角(射束角)大小的考慮： $\sin\theta = 1.22(\lambda/D)$

- a. 發散角大，衰減大，不適用於檢測較厚的試件。
- b. 發散角大，涵蓋範圍大，適用於檢測不和音束中心軸垂直的瑕疵。
- c. 發散角小，音束集中，可傳送較遠的距離，但不適用於檢測不和音束中心軸垂直的瑕疵。



7.2.4 檢出瑕疵大小的考慮：

- a. 利用探頭的近場檢測時： $(N = D^2/4\lambda)$

- ┆ 探頭愈大，瑕疵回波愈小。
- ┆ 瑕疵愈小，瑕疵回波愈小。
- ┆ 探頭的大小 = 或 < 瑕疵之尺寸時，瑕疵回波大，靈敏度較高。

- b. 利用探頭的遠場檢測時：

瑕疵與音束截面大小之比愈大時，瑕疵回波大，靈敏度愈高。

7.2.5 決定探頭角度(檢測鋁道時)

- ※ **一般觀念:**探頭角度的選擇以“**母材厚度**”為依據。
 - a.母材薄時，使用大的折射角。
 - b.母材厚時，使用小的折射角，可減少探頭的掃描範圍
- ※ **新觀念:**探頭角度的選擇一切均以**是否能檢出瑕疵為依歸**。
 - a.針對瑕疵的方向來選擇探頭的角度。
 - b.使用多種角度，以求檢測的可靠性。(PAUT可克服)

7.3 鑑別力

鑑別力可區分為：

入射面鑑別力、內部瑕疵鑑別力、背面鑑別力。

※ **入射面鑑別力：**

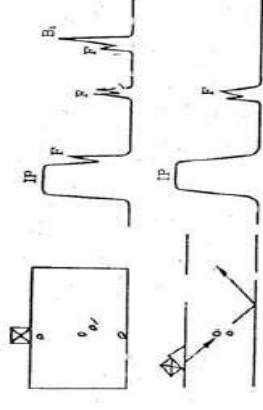
指檢出靠近入射面瑕疵的能力。

※ **背面鑑別力：**

指檢出靠近背面瑕疵的能力。

※ **內部瑕疵鑑別力：**

指分辨內部相鄰瑕疵的能力。



7.3.1 鑑別力之改善方法：選用適當的探頭、調整超音波儀器。

***選用適當的探頭：**

- a.探頭**頻率愈高**，**波長愈短**，鑑別力**愈好**。
- b.直束探頭入射面鑑別力差。
- c.雙晶探頭、遲延探頭入射面鑑別力好。
- d.浸液檢測法入射面鑑別力好。
- e.寬頻帶探頭，脈波寬度窄，鑑別力好。
- f.窄頻帶探頭，脈波寬度寬，鑑別力差。

***調整超音波儀器：**

- a.阻尼(Damping)加大，鑑別力好。
- b.脈波高度減少，鑑別力好。
- c.脈波寬度減少，鑑別力好。

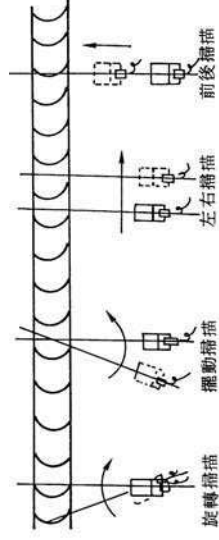
7.4 靈敏度

即檢測系統能夠可靠地檢出所希求之最小瑕疵及種類

- a) 儀器之脈波能量強，靈敏度好，鑑別力差。
- b) 阻尼加大，靈敏度差，鑑別力好。
- c) 如有不同種類的**最小瑕疵**需檢出時，應以**反射信號最弱的**作為調整靈敏度的依據。
- d) 作靈敏度校準時，一切條件應與檢測時相同，如以規塊來作靈敏度校準或距離振幅校正曲線，則須以**轉換法**推算為試件靈敏度。

7.5 掃描方式及範圍

- ※ 掃描方式：以能檢出必須檢出的各種瑕疵為基本要求。
- ※ 掃描的範圍：必須能使超音波的方向掃過全部應檢查的表面或體積。



斜束探頭對缺陷形狀之四種基本掃描法

7.6 掃描速率必須考慮下列因素：

- 7.6.1. 接觸法中，若掃描速率太快，則探頭的磨損極快。
- 7.6.2 浸液法中，因探頭不和檢測面接觸，故掃描速度可以快些。

※ 信號識別的可靠性：

掃描速度太快，信號在螢幕上一閃而過，可能會被忽略掉。

※ 檢測重疊率的考慮：

- a. 為提高檢測的可靠性，檢測掃描時要有相當的重疊率。
- b. 接觸掃描之速度一般要求應低於150mm/Sec。

7.7 耦合劑 (選擇耦合劑時至少應考慮下列因素)

7.7.1 被檢物表面粗度：

被檢物表面愈粗糙，則應用愈黏稠的耦合劑。

7.7.2 被檢物表面形狀及大小：

若被檢物表面的曲率半徑小，則接觸面積小，應用愈黏稠的耦合劑，其流動性小，並可填補接觸面的空隙。

7.7.3 被檢物表面溫度：

- a) 一般探頭大多適用於 -20°C ~ 80°C。
- b) 若要應用於高溫時，應選用高溫耦合劑。
- c) 耦合劑在低溫下其流動性或沾濕性(親和性)會變差，故在檢測前應先作試驗，以鑑定其效果。

7.7.4 音阻抗的匹配：

$Z_2 = \sqrt{Z_1 \cdot Z_3}$ 時，超音波的傳送效果最好。

Z_1 ：探頭表面之音阻抗。

Z_2 ：耦合劑之音阻抗。

Z_3 ：被檢物之音阻抗。

7.7.5 工作姿勢：

檢測顯著或頭頂上的銲道時，應用較黏稠的耦合劑。

7.7.6 有害成份之限制：

耦合劑不可含有有害被檢物的成份。

8. 影響檢測結果之變數

■ 影響超音波檢測儀螢幕(CRT)上的回波顯示之兩項因素：

a) 內在因素：

是試材在製造或使用中產生的，如試件材質、晶粒大小、是否熱處理及瑕疵種類、大小、形狀、方向、位置..等。

b) 外在因素：

即稱之為“影響檢測結果的變數”，如儀器的特性、探頭的特性、接觸面的粗度、換能器的接觸狀況、耦合劑的種類、試件的外形....等。

8.1 儀器特性的變化

8.1.1 螢幕水平線性：

可正確地讀出回波的射束路程，以判斷瑕疵的正確位置。

8.1.2 螢幕垂直線性：

可正確地顯示回波的高低，藉以判定瑕疵的大小。

8.1.3 增益控制線性：

可正確地表現出增益(dB)的增減與回波升降的特性，以防誤判。

8.1.4 鑑別力：

能明確地分辨兩相鄰的瑕疵。

8.2 換能器之接觸狀況

1). 接觸壓力：

※ 在換能器上施以不同的壓力，回波高度將隨之變動。

※ 一般以施加一公斤左右為宜。

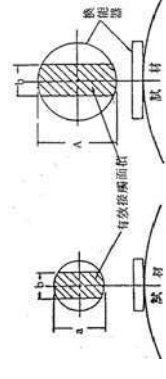
2). 換能器接觸面積之大小：

※ 換能器射束角依換能器與試材接觸面積大小而改變。

※ 增加換能器與試材接觸面積的方法：

- 1、加裝換能器保護膜。
- 2、使用較稠的耦合劑。

※ 換能器與試材接觸的面積率愈大，檢測靈敏度愈高。



$$\begin{aligned} \text{狀況(1) 面積率} &= \frac{\text{有效接觸面積}}{\text{換能器面積}} = \frac{a \times b}{A \times B} = \frac{4b}{\pi A} \\ \text{狀況(2) 面積率} &= \frac{\text{有效接觸面積}}{\text{換能器面積}} = \frac{A \times b}{A \times A} = \frac{4b}{\pi A} \\ \therefore A &> a \end{aligned}$$

8.3 被檢物的變化

1). 檢測面狀況(表面粗度)

※ 機械加工面與超音波傳送之關係。



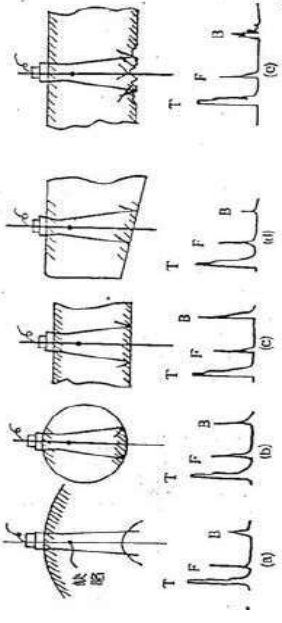
※ 表面粗度 $> 1/3 \lambda$ 時：

1. 瑕疵回波消失
2. 音場變形
3. 發射波寬變寬
4. 底面回波降低或消失

※ 粗糙的檢測面宜選用較低頻的探頭並配以黏度較高的耦合劑。

2). 底面的影響：

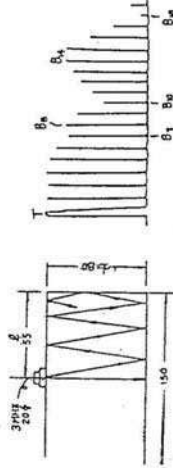
- ※ 底面形狀為影響底面回波大小的主要因素，尤以底面回波法檢測時更是重要。
- ※ 底面形狀引起的衰減情形。



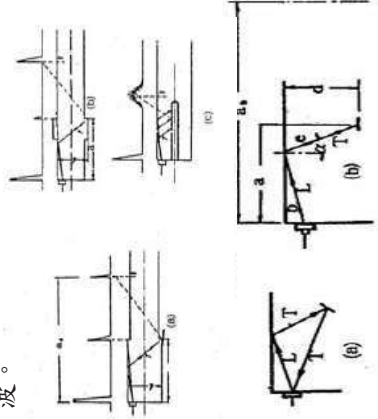
3). 側面的影響

※ 音束在試材中碰到端面或側面時，常會產生干涉及波式轉換等現象，而影響螢幕上回波狀況。

※ 音束碰到角隅時，其相位將改變 180° 。

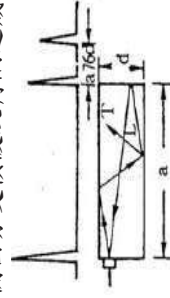


※ 側面分支橫波及角隅造成之回波。



分支橫波向直波反射回到換能器無干擾回波
(b) 波式再轉換成縱波回到換能器

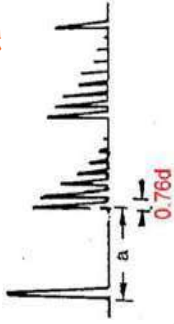
※ 側面分支橫波及角隅造成之回波。



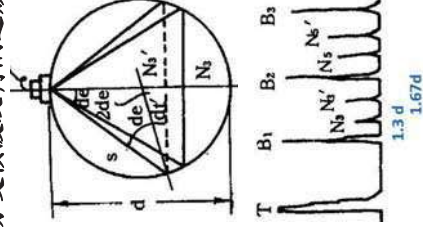
細長工件之遲延回波

$$\Delta x = \frac{nd}{2} \sqrt{(C_L/C_S)^2 - 1}$$

銅：0.76d
鋁：0.88d

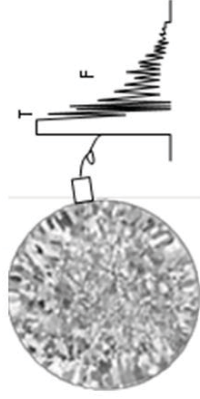


※ 側面分支橫波及角隅造成之回波。



4) 金相組織

- ※ UT檢測過程中，金相組織的變化所造成最大影響即**衰減**。
- ※ 鑄鋼件檢測時，常因晶粒粗大而發生**散射**，產生雜訊(林狀波)。



8.4 接觸媒質(耦合劑)

- ※ 超音波檢測時，常利用水、油、CMC...等為媒介，使超音波由探頭傳送入試材以達到檢測的目的。

- ※ 音阻抗的匹配：

$$Z_2 = \sqrt{Z_1 Z_3} \text{ 時，超音波的傳送效果最好}$$

Z_1 ：探頭表面之音阻抗。

Z_2 ：耦合劑之音阻抗。

Z_3 ：被檢物之音阻抗。

- ※ 檢測試材所使用的耦合劑，應與儀器校正時所使用的耦合劑一致。

9. 校準規塊

校準規塊可分為 **比較規塊** 和 **標準規塊**。

※ 比較規塊 須具備之條件(檢測材料用)

1. 與被檢物相同材質及熱處理或音響特性近似之材質。
2. 表面的尺寸及外形且不會顯著影響評估者。
3. 表面狀況近似者。
4. 適當的平底孔或側鑽孔及孔徑。
5. 再相同儀器下對振幅及距離應具有檢測重現性。

※ 標準規塊 須具備下列之條件(校準儀器用)

1. 特定的尺寸及外形。
2. 表面須經精加工而光滑。
3. 具有低衰減係數之特定材料。
4. 有規律之平底孔或側鑽孔及孔徑。
5. 規塊組應為相同材質及熱處理。

9.1 CNS STB-G型標準規塊

※ STB-G 型標準規塊之材質：高碳鉻軸承鍛鋼

※ 目的如下：

- 1、作儀器系統距離振幅校準用。(DAC)
- 2、作儀器系統面積振幅校準用。(AAC)
- 3、作檢測時靈敏度設定及比較用。
- 4、作換能器特性試驗用。

CNS STB-G 尺寸和形狀

(1) 距離振幅組：(DAC)

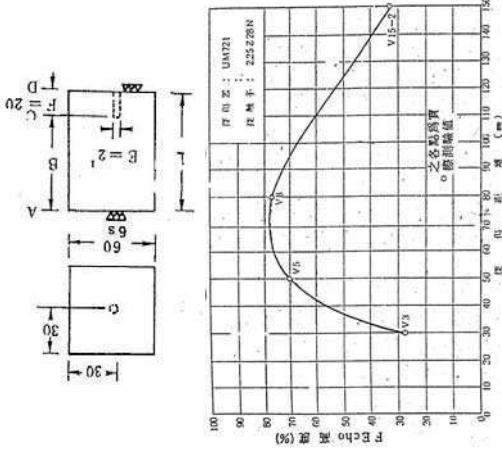
其外形尺寸和形狀如表9.1及圖9.1所示。

表 9.1 STB-G 之距離振幅組尺寸

規格編號	V2	V3	V5	V8	V15-2
尺寸代號					
B	20	30	50	80	150
E	2	2	2	2	2
F	20	20	20	20	30
L	40	50	70	100	180

單位：mm

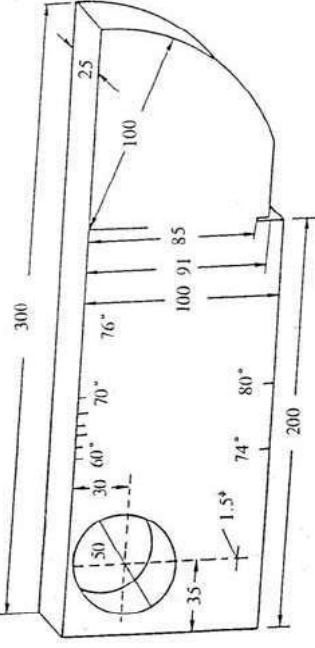
註：代號見圖 9.1 說明



9.2 CNS STB A1 標準規塊

CNS STB A1 標準規塊之目的如下：

- 1、距離調整。
- 2、水平線性校準。
- 3、鑑別力校準。
- 4、入射點校準。
- 5、折射角校準。
- 6、靈敏度設定。

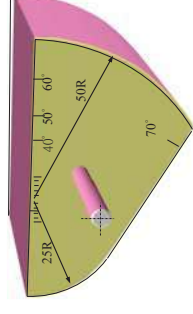


9.3 H.D.ROMPAS 比較規塊

此規塊材質同 A1 標準規塊，厚度為 12.5mm 並有二個不同直徑之圓弧和直徑 2mm 之橫向側鑽孔。

本規塊之主要目的為：

- 1、距離調整設定。
- 2、入射點校準。
- 3、折射角之校準。
- 4、靈敏度之設定。



9.4 ASTM T533 比較規塊

此規塊之孔徑及側鑽孔位置隨被檢物之厚度範圍而變，主要乃是以比較規塊側鑽孔孔徑之大小作為被檢物允收品質之評估依據。

此一規塊主要應用於斜束檢測靈敏度之設定，掃描面為寬度方向，即平底孔之軸向與音束成垂直。

此規塊之主要目的如下：

- 1、距離振幅曲線之建立。
- 2、品質評鑑位準之區分建立。

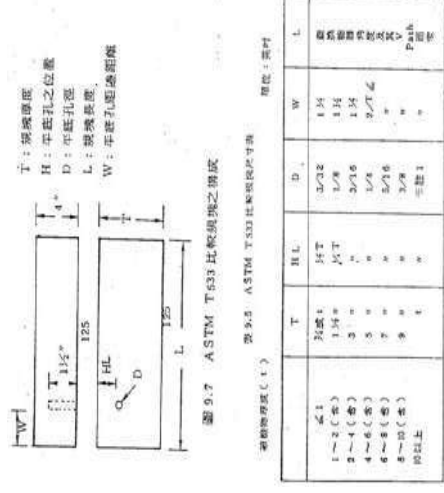
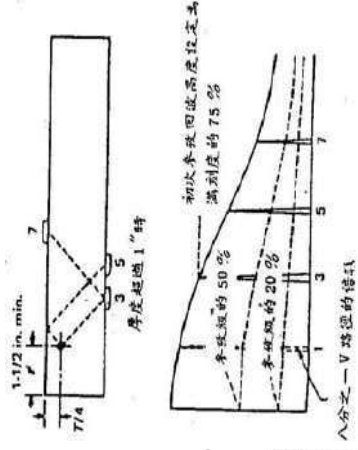


圖 9.7 ASTM T533 比較規塊之構成



斜束探傷之 DAC 曲線 (板厚 1 吋)

10. 如何執行直束檢測



10.1 開機準備

操作儀器前應熟讀其操作手冊，以得最佳之操作效果。

10.2 換能器選擇

- ※ 決定直束換能器型式：
 - 接觸型、水浸型、雙晶型、遲延探頭、聚焦型。
- ※ 確認換能器之功能仍為正常：
 1. 設定頻率
 2. 接上同軸纜線
 3. 測試信號

1). 換能器之頻率選擇-依規範或下列條件

- ※ 頻率高，波長短，愈能檢出小瑕疵。
- ※ 頻率高，鑑別力高，適合檢測近層薄件。
- ※ 頻率高，射束角小，瑕疵定位性好。
- ※ **粗晶粒**之材質，晶界散射衰減大，宜用低頻探頭。
- ※ 工件厚度/直徑大，距離遠，宜用低頻探頭。
- ※ 工件**表面粗糙**，表面散射衰減大，宜用低頻率。



2024/11/18

TMOC

93

2). 換能器之大小-依規範或下列條件

- ◎ $\sin r_0 = 1.22\lambda/D$
換能器大，射束角小，擴散損失小，靈敏度高。
- ◎ $N = D^2 - \lambda^2 / 4\lambda$
換能器小，近場短，近距離之瑕疵定位好。
- ※ 大型工件厚度大，距離遠，宜選用大探頭。
- ※ 直徑相同之工件，換能器較大者，靈敏度較高。
- ※ 採用接觸面積較大者，可獲得較高之靈敏度。
- ※ 近距離之瑕疵定位，宜選用小尺寸換能器。

2024/11/18

TMOC

94

10.3 規塊的選用-依規範或下列條件

- ※ 標準規塊主要用以儀器校準：
- ※ 比較規塊主要用以設定：
 - ◎ 靈敏度：規範指定之人工瑕疵靈敏度。
 - ◎ 水平全尺度
 - ◎ 建立DAC或DGS
- ※ 設定直束水平全尺度（距離）：調整**粗調鈕**，使至少大/等於欲檢測距離之刻度位置。如：250mm, 500mm, 1m
- ※ 直束法靈敏度設定
 - a. **底面回波法**：
調整第一個健全部之底面回波(B_G, B₁)達到規範規定之回波高度基準，表示法如 -B_G:80% 或 B₁:80%。
 - b. **標準或比較規塊法**：
以規塊之人工瑕疵為反射源，調整至所需之回波高度，表示法如 -STB-G V15-2:50%。

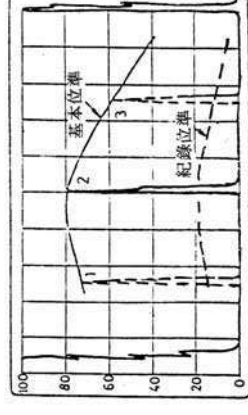
2024/11/18

TMOC

95

c. 距離振幅補償法：

利用一組/一塊規塊，含大小相同、距離不同之人工瑕疵，得到不同之回波高度基準，作一DAC曲線，以為評估靈敏度之方法，表示法如：DAC, F_{1.5}:80%
(F_{1.5}表示人工瑕疵之孔徑為1.5mm)。



2024/11/18

TMOC

96

10.4 掃描方式及區域之決定

1). 掃描區域之決定

- ※ 依被檢物承受應力之狀況決定。
- ※ 依被檢物製造之特性決定。如：鑄件、鍛造、軋延、擠壓...等。
- ※ 依被檢物可能發生之位置方向來決定。如：夾層、裂紋...等。
- ※ 依被檢物可能發生瑕疵種類來決定。如：鍛件縮孔、偏析、裂紋...等。
- ※ 依被檢物形狀來決定。

2). 掃描方式之決定

- ※ 掃描方式有下列各種：
 - 全面連續性掃描(100%掃描)
 - 某一檢測面或帶狀線上之連續性掃描
 - 某一檢測區內間隔性之線狀連續性掃描或點狀掃描

※ 掃描方式之決定原則：

- 工件承受應力之大小情況
- 工件中出現瑕疵的頻率
- 工件於使用時之安全顧慮性

10.5 檢測面處理及接觸媒質之使用

- ※ 工件檢測面上過度粗糙、銹蝕、有鬆脫油漆或其它異物者，皆應清除乾淨並或磨平。
- ※ 接觸媒質之使用原則：**表面粗糙或垂直懸垂者**，使用黏稠之媒質；有防銹之顧慮者，選用油脂及機油。

接觸媒質之黏稠性如下

高	油脂	漿糊	100%水玻璃	60%水玻璃	甘油	50%水玻璃	機油	輕機油	水	低
		CMC								

10.6 掃描速度及掃描重疊

※ 掃描速度

- a. **自動掃描**較人工掃描之顯示穩定，掃描速度約 **1M/秒** 以內。
- b. **人工掃描**—最高速度以不超過150 mm/秒 (6吋/秒)掃描時探頭之壓力—**0.5~1公斤**。

※ 掃描重疊

為使檢測涵蓋整個檢測區域，故掃描時掃描道間換能器晶體宜有**10%**之重疊。

10.7 直束檢測之顯示判讀

※ 顯示判讀

- a. **底面回波激降或消失**：須確認是否因被檢物外形，檢測面或底面過度粗糙、耦合劑不足、換能器與工件接觸面過小、或儀器/接線間之問題所造成。
- b. **瑕疵回波**：如於螢幕間出現之顯示，須確認是否為周圍之電氣干擾、遲延回波或幻影回波所造成。
- c. **其他雜訊回波**
 - **遲延回波(DeLay Echo)**：係由於外形所造成通常出現於 $B_1 \sim B_2$ 之間。
 - **電氣雜訊**：乃是由接觸不良、晶體破損周圍電氣干擾所引起，使回波訊號閃爍不定，有時像下雨斑點。
 - **雜訊回波**：工件晶粒太粗或表面粗糙，引起音波散射造成雜訊回波。

10.10 記錄

對於確認為瑕疵之回波，應就該顯示之：

長度

位置

大小

方向

高度

整個波形

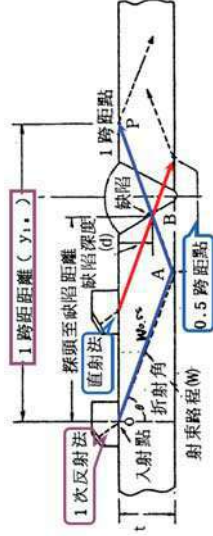
詳細記錄，並判定是否合於規範之要求。

11、如何執行斜束檢測



斜束檢測：

利用超音波斜射束之中心線傾斜入射被檢物使被檢物內產生不同角度之橫波或縱波來檢測物件內之瑕疵。



11.1 斜束檢測應用之幾何學

※定義——跨距、V 路徑、直射法、一次反射法。
※公式：

$$0.5 \text{ 跨距之射束路程} : W_{0.5s} = t / \cos \theta$$

$$1 \text{ 跨距之射束路程} : W_{1s} = 2t / \cos \theta$$

$$0.5 \text{ 跨距距離} : Y_{0.5s} = t \cdot \tan \theta$$

$$1 \text{ 跨距距離} : Y_{1s} = 2t \cdot \tan \theta$$

$$\text{瑕疵深度 (直射法)} : d = W \cdot \cos \theta$$

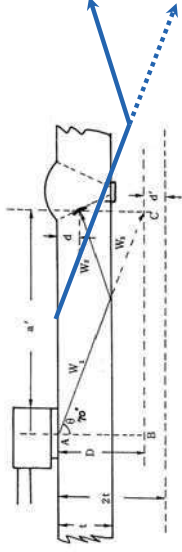
$$\text{瑕疵深度 (一次反射法)} : d = 2t - W \cos \theta$$

$$\text{探頭至瑕疵距離} : a = W \cdot \sin \theta$$

$$D = (W_1 + W_2 + W_3) = W_1 + W_2 = W \cdot \cos \theta$$

$$d = d' = 2t - D$$

$$a' = W \cdot \sin \theta$$



11.2 檢測前準備事項

a. 收集資料

工件之尺寸、外形、材質、製造方法、熱處理狀況、表面狀況及相關合約及接受標準資料做了解。

b. 儀器性能校準

儀器須確保其性能符合使用規範之校準需求，如國家標準：總號11224[脈波反射式超音波檢測儀系統評鑑]。

c. 選擇換能器

※原則上依規範之規定選擇適當之換能器。

※另需考慮材質晶粒大小、工件表面粗糙度等對檢測靈敏度之影響。

※折射角 60° 之換能器對於垂直工件表面之瑕疵會有約20dB之波式轉換損失，須加以注意。

對接焊道與板厚之選用關係

折射角	IIW	WI*	KrautKramer		NDIS 2540 - 74
			無焊冠	有焊冠	
80°	—	—	5 ~ 15	5 ~ 20	—
70°	< 40	10 ~ 35	15 ~ 30	20 ~ 40	< 40
60°	25 ~ 50	35 ~ 50	30 ~ 60	> 40	40 ~ 60
45°	> 30	50 ~ 75	> 60	—	> 60

對接焊道與板厚 (mm) 之關係

d. 規塊選定

※檢測儀器靈敏度設定以“標準規塊”做“比較標準”來設定。

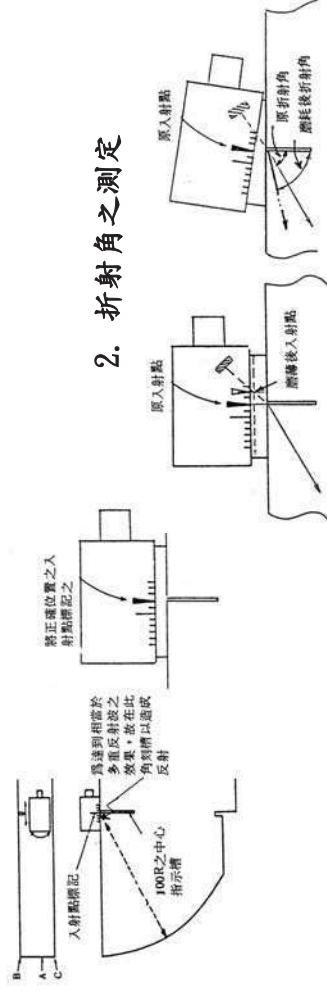
※比較規塊原則上需與實際工件有相同之音速、音阻抗和衰減特性等。

※適合斜束檢測之規塊有：

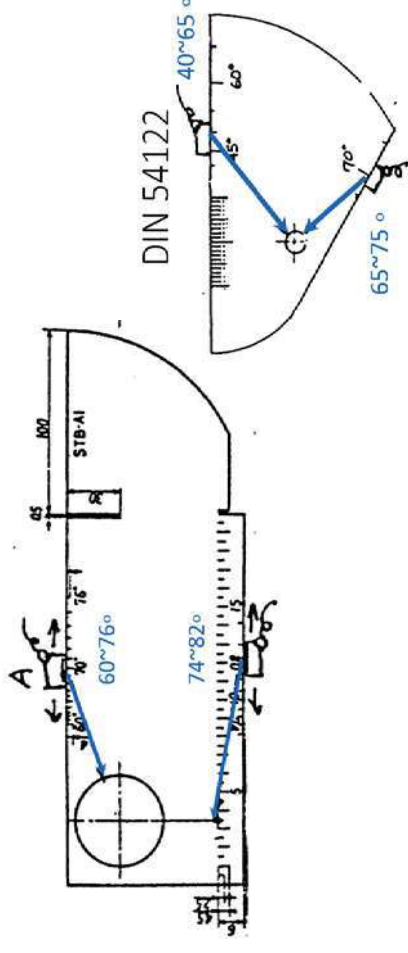
ASME T-441, T-541, 542, AWS D5C, HD ROMPAS, IIW Type I, II,
JIS STBA1, A2, A3.

11.3 檢測前儀器之調整與設定

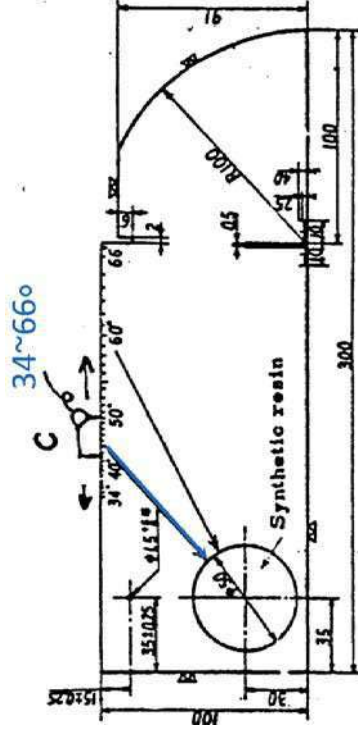
1. 入射點之標定



折射角之測定 (STB A1)



折射角之測定

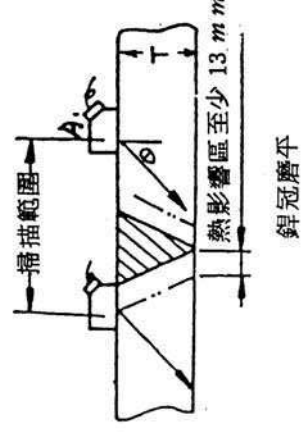


3. 水平全尺度之設定及零點之歸零

※水平全尺度之設定原則為儘可能小，但至少以涵蓋整個檢測範圍為原則。

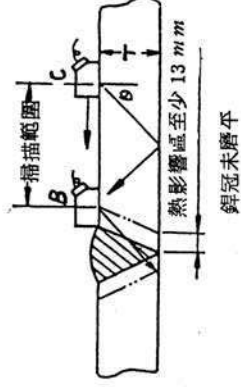
◎ 直射法

適用於銲冠磨平之銲道，水平全尺度設定以超過 $1/2V$ 路徑時即可。



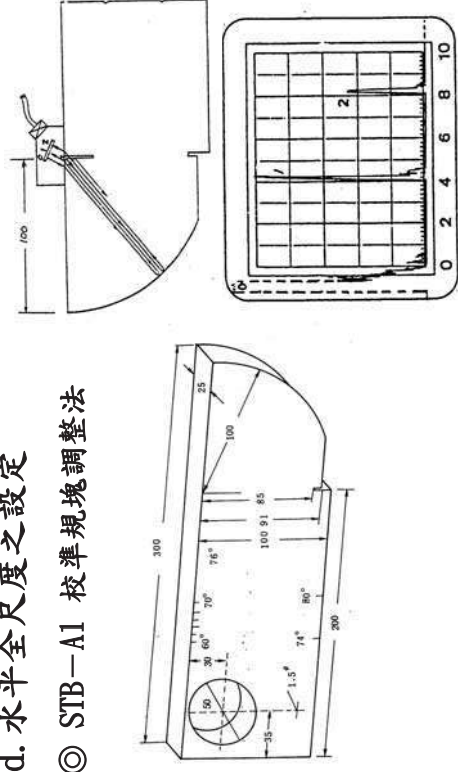
◎ 一次反射法

◎ 鐸冠沒有磨平時，為能使掃描音束能夠涵蓋整個鐸道和熱影響區水平全尺度之設定須超過IV之路徑設定水平全尺度。



d. 水平全尺度之設定

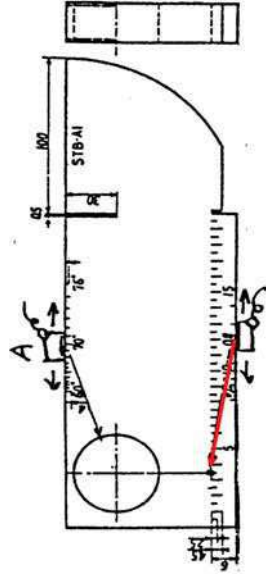
◎ STB-A1 校準規塊調整法



4. 靈敏度設定方法

◎ 單一人造瑕疵法：

只利用一個人造瑕疵，如AWS D1.1鋼結構檢測法利用IIW Type1規塊 $\phi 1.5$ 貫穿孔來設定敏感度。



<p>系(變型)槽 B (變型)槽</p>	<p>圓形(直徑 X 深) : 5.00mmϕ (3.0mm) X 12.7 P (零件槽)</p>	<p>圓形(直徑 X 深) : 5.00mmϕ (3.0mm) X 12.7 P (零件槽)</p>	<p>圓形(直徑 X 深) : 5.00mmϕ (3.0mm) X 12.7 P (零件槽)</p>
<p>圓形(直徑 X 深) : 5.00mmϕ (3.0mm) X 12.7 P (零件槽)</p>	<p>圓形(直徑 X 深) : 5.00mmϕ (3.0mm) X 12.7 P (零件槽)</p>	<p>圓形(直徑 X 深) : 5.00mmϕ (3.0mm) X 12.7 P (零件槽)</p>	<p>圓形(直徑 X 深) : 5.00mmϕ (3.0mm) X 12.7 P (零件槽)</p>

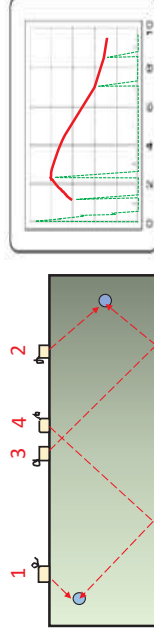
4.1 靈敏度設定

※常見模擬天然瑕疵之人工瑕疵以供作靈敏度設定有以下幾種：

- ◎ 側鑽孔——如JIS Z3060 RB-4 上之孔。
- ◎ 貫穿孔——如JIS STB-A1 上之孔。
- ◎ 沈孔——如JIS STB-A2 上之孔。
- ◎ 刻槽——如API 規塊上之方型、U型或V型槽。

◎ 距離振幅校正(DAC)法：

利用一個或多個同樣大小但不同音波路徑之人工瑕疵分別在同感度下取得其波峰並於螢幕前壓克力上劃成之平滑曲線者，大部份之規塊皆採用此法。



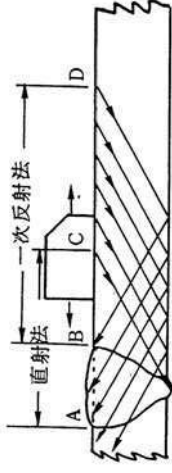
決定掃描區域

11.4 檢測面之處理

任何於檢測面上上會防礙探頭移動之異物如焊濺物、鬆脫銹皮、銹蝕、表面過於粗糙皆應去除之。

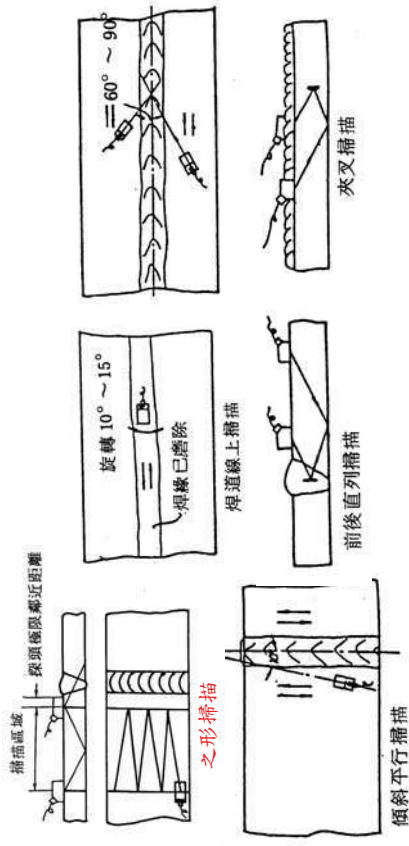
11.5 決定掃描區域

銲冠磨平者可利用直射法，銲冠未磨平者須用一次反射法，確保檢測到所有須檢測之區域。



11.6 接觸媒質與掃描

- ※之形掃描——銲道粗掃描時之掃描法。
- ※夾叉掃描——用於檢測橫向裂紋及其他垂直焊道方向之缺陷。
- ※斜平行掃描——掃描方向與銲道約成10度左右用於檢查非平行銲道之瑕疵。
- ※前後直列掃描——用於檢測X形接頭中間之間隙法。
- ※焊道線上掃描——當銲冠磨平時方可使用此法。

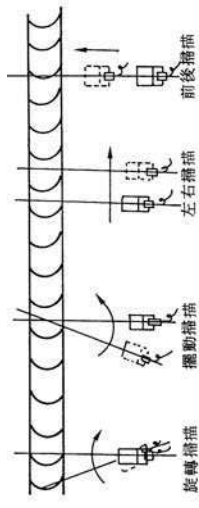


11.6 詳細掃描

※左右掃描——評估瑕疵長度時探頭平行銲道掃描之方法，長度之評估以探頭之中心為準。

※前後移動——將探頭垂直直銲道而前後移動之方法，最主要用於檢知缺陷之深度。

※旋轉與擺動掃描——此兩種方法皆是用於推定缺陷之方向和形狀之方法。

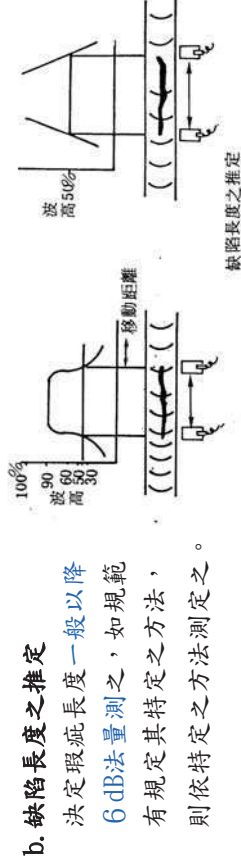


斜楔探頭對缺陷形狀之四種基本掃描法

11.7 顯示判讀

a. 缺陷位置之推定

發現下回波時，移動探頭求得回波最高值後固定，然後可依公式求得其離探頭之水平距離和深度。



b. 缺陷長度之推定

決定瑕疵長度一般以降

6 dB法量測之，如規範

有規定其特定之方法，

則依特定之方法測定之。

12. 儀器系統特性評鑑

12.1 目的及適用範圍

本標準適用於A掃描表示法之視像式(Video)或射頻式(RF)脈波反射式超音波檢測儀器系統之螢幕水平線性、螢幕垂直線性、增幅線性、雜訊比、鑑別力等特性之評鑑。

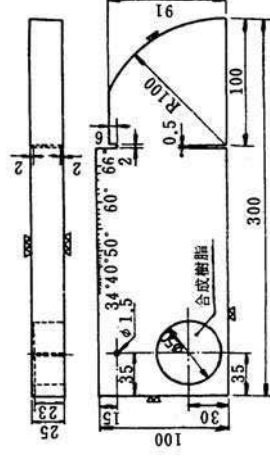
12.2 校正時機

1. 定期之系統特性評鑑至少每三個月一次，或超過三個月未使用而在使用前校正之。
2. 儀器修護後或影響第4節特性。
3. 新購入且於使用前，對系統評鑑之建立時。

儀器系統特性評鑑

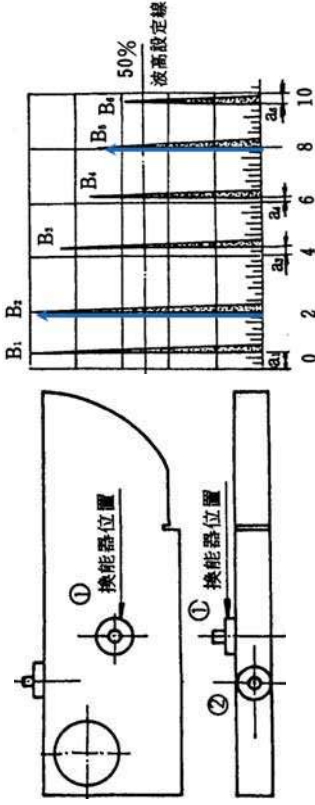
12.3 裝 備：校 準 規 塊

執行脈波反射式超音波檢測儀器系統特性評鑑之標準規塊為A1型標準規塊(STB-A1)。



a. 螢幕水平線性之校正步驟

- (1) 使用 2MHz 直束換能器和 STB-A1 標準規塊。
- (2) 將換能器置於 STB-A1 標準規塊上之位置 (1) 或 (2)。



螢幕水平線性之評鑑表

Bn	CRT 全尺 度刻劃(A)	實際刻劃 (B)	差 值 $a_n = 1B - A$
1	0		
2	20	20	0
3	40		
4	60		
5	80	80	0
6	100		

合格基準：

每一底面回波位置之 (a_{max})
應在 2% 之內。

最大偏差值 $a_{max} = \frac{\quad}{\quad} \%$
合格口 不合格口

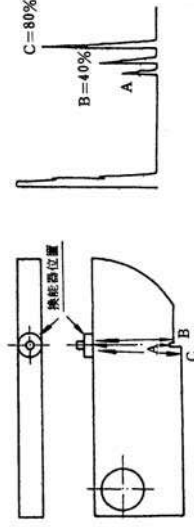
b. 螢幕垂直線性 (意義、校正步驟)

※意義：

螢幕垂直線性以回波振幅表示，不良時直接影響讀取振幅精確度。

※校正步驟：

- (1) 使用 2MHz 直束換能器和 STB-A1 標準規塊。
- (2) 將換能器置於 STB-A1 標準規塊上，位置如下圖



螢幕垂直線性之評鑑表

dB 值	B 回波 高度值%	C 回波 高度值%	D = $\frac{C-B}{2}$
+2			
0	40	80	0
-2			
-4			
-6			
-8			
-10			
-12			

$D_{max} = \frac{\quad}{\quad} \%$

合格口 不合格口

合格基準：

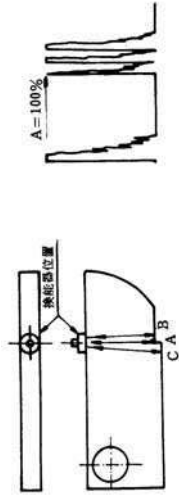
每次 B 之回波高度值應為 C 之回波高度值
的一半，且其半差值 $(D = |C/2 - B|)$
不得超過全尺度之 5%。

CS 制度——dB, Pulse Energy 制度——
SFB

dB數	增益之理論值(%)	增益之實際值(%)	D=(1)-(2) 偏差值%
0	100	100	0.0
2	79.4		
4	63.1		
6	50.1		
8	39.8		
10	31.6		
12	25.1		
14	20.0		
16	15.8		
18	12.6		
20	10.0		
22	7.9		
24	6.3		
26	5.0		

D_{max}-D_{min} = _____ % 合格口 不合格口

C. 增幅線性之步驟



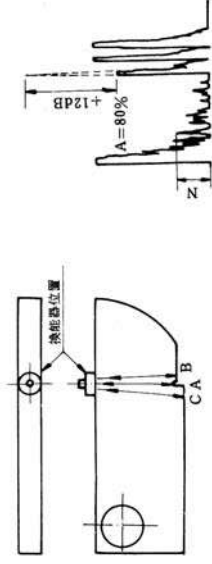
合格基準：

回波高度之偏差值不得超過8%之全尺度。

d. 雜訊比之意義、步驟

※意義：

雜波會遮蔽瑕疵回波，限制對瑕疵之偵檢能力，因此儀器雜訊比(S/N)應在某一數值以上。



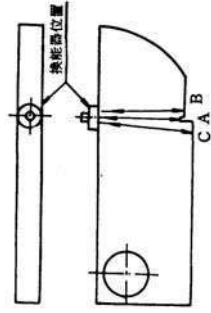
合格基準：

雜訊回波高度不得超過20%之全尺度。

e. 鑑別力之意義

※意義：

鑑別力涵蓋超音波檢測儀、換能器和相互連結件等整體組合之影響，確保超音波檢測儀鑑別兩相鄰反射源(瑕疵與瑕疵、界面與瑕疵、界面與界面)緊鄰程度之能力。



※ 鑑別力之步驟、合格基準

根據回波波形，應用下列任一適當公式求鑑別力(R)：

i) 狀況如圖右(i)時：

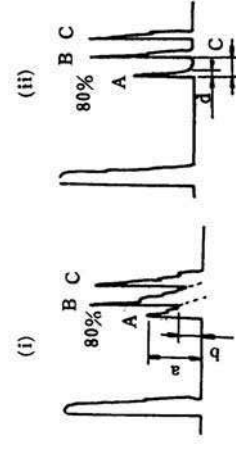
$$R = (91 - 85) \left[\frac{a}{a - b} \right] \text{ mm} \\ = 6 \left[\frac{a}{a - b} \right] \text{ mm}$$

ii) 狀況如圖右(ii)時：

$$R = (91 - 85) \left(\frac{d}{c} \right) \\ = (6 \frac{d}{c}) \text{ mm}$$

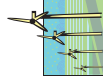
合格基準：

鑑別力 (R) 不得超過 **2.5個波長 (2.5λ)**。



13. 如何應用規範執行 檢測

- 檢測程序乃是針對某一類或某一種被檢物所規範應遵行的檢測順序。
- 檢測程序通常是依據規範、標準、規格等之文件資料並考慮實際檢測之問題予以擬定。
- 檢測程序宜經實證(Demonstration)以確認方法之正確性。



大型鍛鋼品超音波檢測程序

一、適用範圍

用於ASME SEC III DIV.1 SUB. NB 核能用壓力容器機件用之大型鍛件之UT直束法及斜束法檢測。

二、責任

Level I :執行檢測工作，Level II，III監督及指導。

Level II :執行檢測工作，設定及標準UT設備，判讀及評估瑕疵顯示。製作檢測程序、指導、監督及實務上之訓練Level I。

Level III :UT方法建立、判讀及評估檢測結果。負責訓練及監督Level I，II。



三、應用文件

1. ASME BPV Code Sec. II-1980
2. ASME BPV Code Sec. III Div. 1 Subsec. NB –1980
3. ASME BPV Code Sec. V-1980
4. ASNT SNT-TC
5. ROCSNT PQ-01
6. TMMC QCP-CAUT-01

四、裝備

4.1 儀器

※儀器應至少能接用頻率為1MHz至5MHz之公稱頻率。

4.2 比較規塊

- ※應與被檢物同材質及熱處理；相同或接近之直徑或厚度。
- ※比較規塊材料宜以直束換能器充份檢測，並無瑕疵顯示超過底面回波者。

4.3 接觸媒質

※檢測時和較準時所用之接觸媒質應相同。

五、儀器校準：波高線性，增幅線性及水平線性。

2024/11/18

TMOC

137

六、程序

6.1 檢測時機

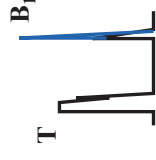
不管直束或斜束檢測應於熱處理後並機械性質合格後但於鑽孔、切鍵槽、銑槽、或機械加工前實施。

6.2 掃描

- ※換能器每道掃描應至少有10%之重疊。
- ※掃描速率不得超過150mm/sec。

6.3 直束檢測

- 底面回波法
- ※置換能器於工件健全部並調B₁使其波高約75%稱之為比較位準。
- ※以比較位準加6dB掃描並對周向及軸向整體掃描。



2024/11/18

TMOC

138

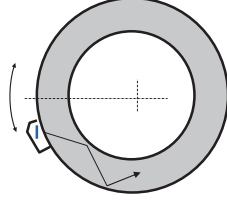
6.4 斜束檢測

6.4.1 環狀及中空鍛件應由周向雙向實施檢測。

6.4.2 使用1MHz X 45°斜束換能器但過厚致無法校正者除外。對於中空鍛件其外徑/內徑比超過2:1者，換能器宜加楔形塊以使音波能抵達內側。

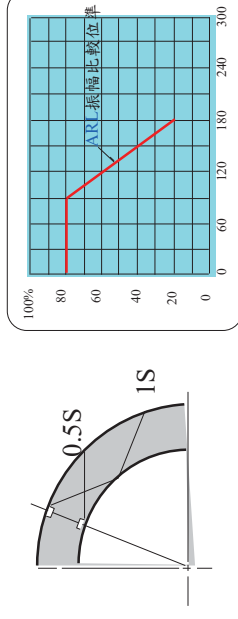
6.4.3 比較規塊之內外徑軸向及周向刻槽，並以此刻槽分別建立一100%之振幅比較位準(Amplitude Reference Level ARL)

6.4.4 以100%之振幅比較位準加6dB掃描，外徑分別作軸向及周向雙向整面掃描。
評估顯示時以100%振幅比較位準評估之。



ARL製作

- ※以自內徑側的軸向方形刻槽（如圖1、圖2）能獲得約75%之波高，並以此感度再由外徑側的刻槽求得其波高。將此二波高點連線得100%振幅比較位準。



2024/11/18

TMOC

139

2024/11/18

TMOC

140

七、記錄

記錄之顯示須經買賣雙方協議否則不得視為剔退之條件。

7.1 直束檢測

※單一顯示其振幅超過鄰近健全區底面回波之10%者。(F>10%B_G)

※相同平面出現之顯示且其面積大於換能器直徑之二倍。(F_A>2D_T)

※連續性之群集顯示其振幅大於等於5%之底面回波者。(F_C≥5%B_G)

※底面回波衰減超過20%之健全區底面回波者。(B_F≥20%B_G)

7.2 斜束檢測

顯示等於或大於50%之振幅比較位準者。(F ≥ 50%ARL)

八、接受標準

8.1 直束檢測

※非因幾何形狀影響而導致之底面回波完全消失，或顯示導致底面回波降至5%螢幕高度以下時均不予接受。(B_F<5%)

8.2 斜束檢測

※瑕疵顯示其波高超過振幅比較位準者不予接受。(F>100%ARL)

鋼對接銲道之超音波檢測法

一、適用範圍

- 6mm以上平板。
- O.D. > 500mm之曲面。
- t/O.D. < 0.1。
- 全滲透銲道。
- 脈波反射式超音波檢測儀。
- 手動檢測。

二、一般要求

- 雙方應議訂超音波檢測的範圍、位置、比率、顯示區分線(L,M,H)
- 規章、標準之要求。
- 檢測前檢測人員應對被檢物的材質及製程有相當的知識。
- 檢測人員的基本技能。

三、檢驗時機

- ▶ 鐸完冷至室溫。
- ▶ 鐸完經適當時間(如高張力鋼)。
- ▶ 熱處理前。
- ▶ 熱處理後。
- ▶ 修補後。
- ▶ 特別要求實施時。
- ▶ 合約要求。

四、裝備

- #### 4.1 超音波檢測儀
- ▶ 脈波反射式、視像顯示超音波顯示系統。
 - ▶ 2~5 MHz 頻率範圍。
 - ▶ 閘波(Gate)裝置。
- #### 4.2 換能器

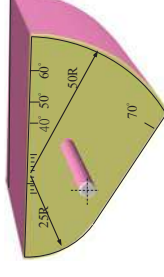
◎直束	◎斜束
公稱頻率2~5 MHz	公稱頻率2~5 MHz
晶體尺度 10~30 mm	晶體面積500mm ²
	最大尺度25mm

4.3 接觸媒質

- ▶ 依表面粗度選用。
- ▶ 污損材料或妨礙後續作業者檢測完成應清除。

4.4 校準規塊

- ◎標準規塊
- AI型(STB-A1)(CNS 2947 G3057 奧斯田晶粒度 7號以上)。
- ◎比較規塊
- RB-1(材質同AI型)。



三、檢驗時機

- ▶ 鐸完冷至室溫。
- ▶ 鐸完經適當時間(如高張力鋼)。
- ▶ 熱處理前。
- ▶ 熱處理後。
- ▶ 修補後。
- ▶ 特別要求實施時。
- ▶ 合約要求。

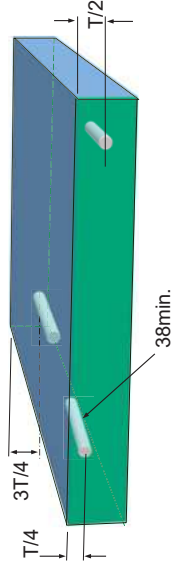
四、裝備

- #### 4.1 超音波檢測儀
- ▶ 脈波反射式、視像顯示超音波顯示系統。
 - ▶ 2~5 MHz 頻率範圍。
 - ▶ 閘波(Gate)裝置。
- #### 4.2 換能器

◎直束	◎斜束
公稱頻率2~5 MHz	公稱頻率2~5 MHz
晶體尺度 10~30 mm	晶體面積500mm ²
	最大尺度25mm

RB - 2

銲件母材厚度t	校準規塊厚度T	邊鑽孔孔徑d
6以上至25以下	19或t	2.4
超過25至50	38或t	3.2
超過50至100	75或t	4.8
超過100至150	125或t	6.4
超過150至200	175或t	7.9
超過200至250	225或t	9.5
超過250,	t	每超過50mm厚 直徑增1.6mm



RB - 2 (與被檢物材料
超音波特性和相似者)。

五、裝備校準

- ▶ 螢幕水平線性 CNS 11224 Z8053 第5節。
- ▶ 螢幕垂直線性 CNS 11224 Z8053 第6節。
- ▶ 增幅線性 CNS 11224 Z8053 第7節。
- ▶ 鑑別力 CNS 11224 Z8053 第9節。

六、系統校準之查核

- ### 6.1. 查核項目：檢測範圍(距離)及DAC曲線(振幅)
- ### 6.2. 查核時機：
- ▶ 連續工作至少每12小時。
 - ▶ 檢測系統任一部份更換後。(如電源、換能器、同軸纜線、接觸媒質等)。
 - ▶ 換人操作。
 - ▶ 次檢驗完成後。

6.3. 查核方法(利用RB - 2)

- 6.3.1 利用RB - 2 (原製作DAC曲線之比較規塊)之任一側鑽孔比對：
- 射束路程：若誤差>5%FS 或 讀數之10%(取大者) 應重新校準且自上次有效校準以後之工作重新檢測。
 - 波高度：
 - >原波高之20%:自上次有效校準以後所測得瑕疵回波大於記錄位準者均須重新評估。
 - ≤原波高之20%:自上次有效校準以後之工作重新檢測。
- 6.3.2 利用RB - 1型比較規塊
- DAC曲線設定完後立即以同一換能器對準RB - 1之貫穿孔，記錄波高讀數及射束路程。
 - 查核波高及射束路程之方法同前。

七、表面處理

- ◎清除妨礙換能器掃描及音波傳送之污物(濺渣、鏽皮-----)。
- ◎以直束法檢測鐸道時鐸冠應磨平。

八、檢測技術

直束法:

- 1.檢查母材(夾層)。
- 2.檢測鐸道及其熱影響區。
- 3.換能器頻率及尺度之選擇

板厚(mm)	換能器頻率	直徑(mm)
6 以上 至 13	雙晶 5MHz	--
超過 13 至 20	單晶 5MHz	20~25
超過 20 至 40	單晶 5MHz	20~25
超過 40 至 60	單晶 2 MHz(2.25)	20~25
超過 60 至 100	單晶 2 MHz(2.25)	20~25
超過 100 至 160	單晶 2 MHz(2.25)	20~25
超過 160 至 200	單晶 2 MHz(2.25)	20~25

斜束法檢測

- 鐸道及其熱影響區之全體積必須以斜束檢測之。
- 斜束檢測之換能器、折射角及尺寸之選擇建議。

母材厚度(mm)	折射角(度)	尺寸(mm)	頻率(MHz)
6以上 至 12	70	8 x 9	4(5)
超過 12 至 40	70 或 60	8 x 9 或 20 x 25	2(2.25), 4(5)
超過 40 至 60	60	8 x 9 或 20 x 25	2(2.25), 4(5)
超過 60	45	20 x 25	2(2.25)

九、檢驗程序

9.1. 掃描速率

150mm/Sec., 超過須檢定。

9.2. 掃描重疊

至少為晶體尺寸之 10%。

9.3. 母材直束檢查

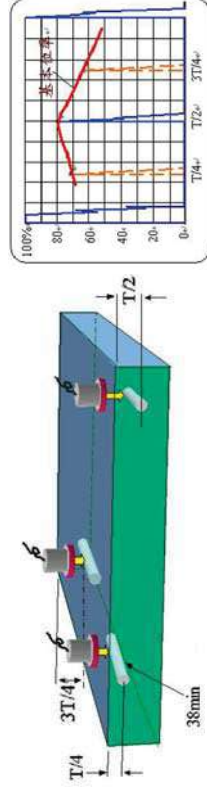
- 斜束檢測之檢測表面均應 100% 以直束檢測之。
- 依 CNS 11399 壓力容器用鋼板直束法超音波檢驗法。
- 可記錄瑕疵應記錄以作為斜束檢測之判定參考。

9.4. 直束鉸道檢測

※ 鉸道已磨平。

X.1 檢測範圍之設定

- 使用 RB-2 規塊。
 - 調整水平全尺度使至少涵蓋母材厚度範圍。
- #### X.2 直束 DAC 曲線製作

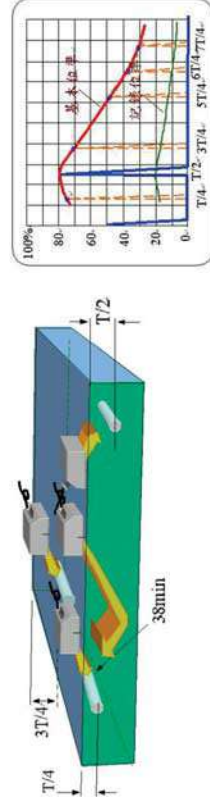


9.5. 斜束鉸道掃描

X.1 檢測範圍之設定

- 確定入射點、折射角。
- 調整水平全尺度使能涵蓋一個跨距之射束路程。

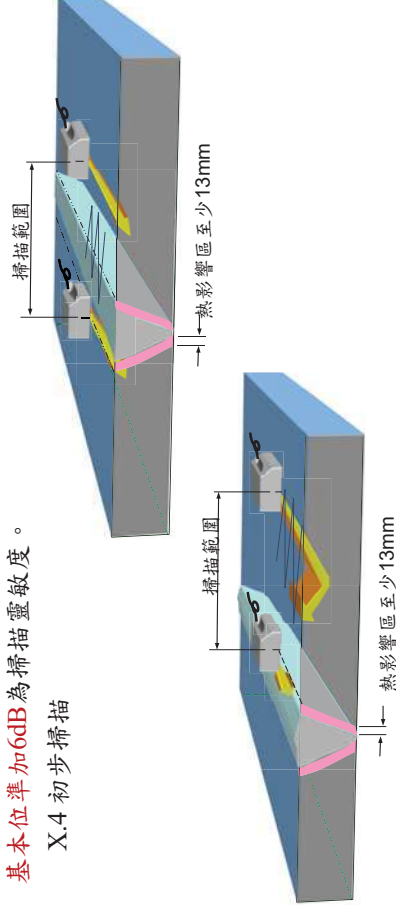
X.2 斜束 DAC 曲線製作



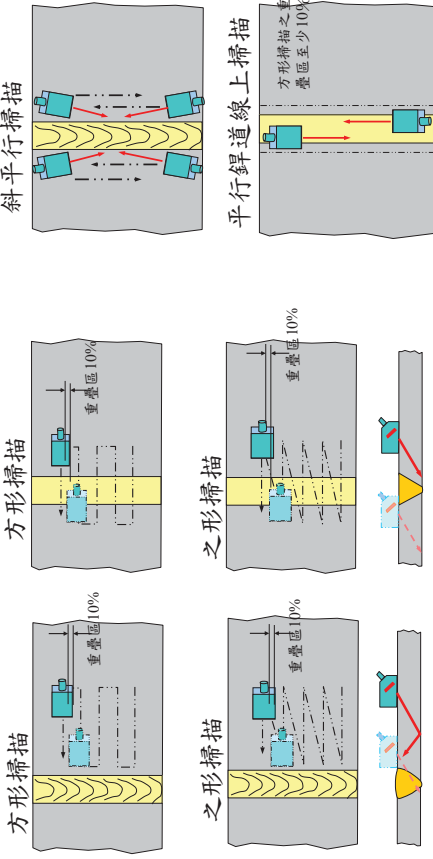
X.3 掃描靈敏度之設定

基本位準加 6dB 為掃描靈敏度。

X.4 初步掃描



掃描方式

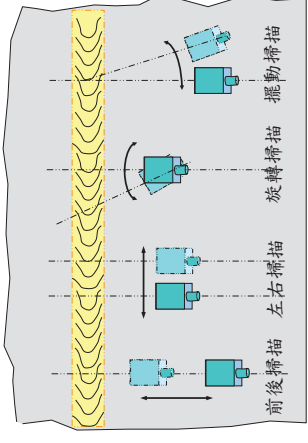


X.5 詳細掃描

- 基本位準詳加掃描評估。
- 依13.4.12 記錄瑕疵。
- 依13.4.13 評估瑕疵。

X.6 掃描方式

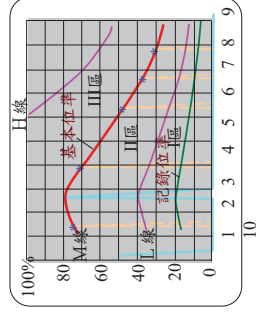
- 前後掃描:深度及位置。
- 左右掃描:長度。
- 旋轉掃描測:座向及形狀。
- 擺動掃描測:方向及形狀。



十、顯示評估

10.1 應先辨別表面波、波式轉換、幾何形狀所造成的無關顯示或錯誤顯示還是需要判定的瑕疵顯示。

10.2 判定為瑕疵之顯示應依12、13節之規定記錄及評估。



十一、顯示區分

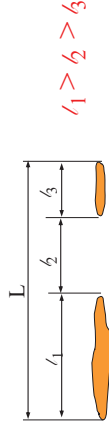
- M 線 (基本位準)
- H 線 (M 線 + 6dB)
- L 線 (M 線 - 6dB)

十二、瑕疵記錄

12.1 詳細掃描後超過記錄位準之瑕疵顯示均應記錄其位置、深度、長度、回波高度。

12.2 瑕疵長度的決定

- 換能器平行瑕疵移動掃描，-6dB 為其邊界。
- 相鄰瑕疵間隔若小於大瑕疵則應連同間隔視為單一瑕疵 (L = l₁ > l₂ > l₃)。反之各自視為單獨瑕疵。



十三、接受基準

13.1 表3顯示區分(若未協定通常選用M線)。

13.2 表4瑕疵許可長度。

13.3 雙方協議訂定

表3 顯示區分

瑕疵回波高度範圍	顯示區分
記錄位準以上,L線未滿	I區
L線以上,M線未滿	II區
M線以上,H線未滿	III區

表4 瑕疵許可長度

母材厚度(t)	瑕疵許可長度
6mm 以上至20mm	6mm
超過20mm至60mm	t/3
超過60mm	20mm

十四、檢測紀錄

※宜包含下列項目：

- 檢測儀之廠牌、型號、校準日期。
- 被檢物之工程名稱、編號、編號、銲材及母材之材質。
- 銲接接頭之形狀、尺寸、銲接方法。
- 檢測時機、檢測面之表面狀況。
- 檢測規範、檢測範圍。
- 換能器之種類、頻率、折射角度和尺寸。
- 接觸媒質。 ○ 校準規塊。 ○ 檢測靈敏度。
- 瑕疵之位置、深度、長度及等級。
- 檢測日期、檢測人員及資格。

14. 先進檢測技術 Advanced NDT Techniques

14.1 相位陣列式超音波技術 PAUT

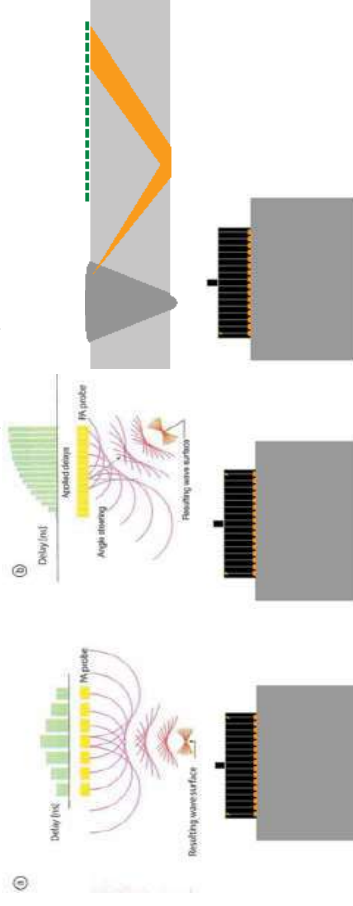
14.2 TOFD

14.3 IRIS 超音波檢測

14.4 EMAT

14.1 相位陣列式超音波技術 PAUT

PAUT 操控 射束聚焦原理 a) 直束 b) 斜束

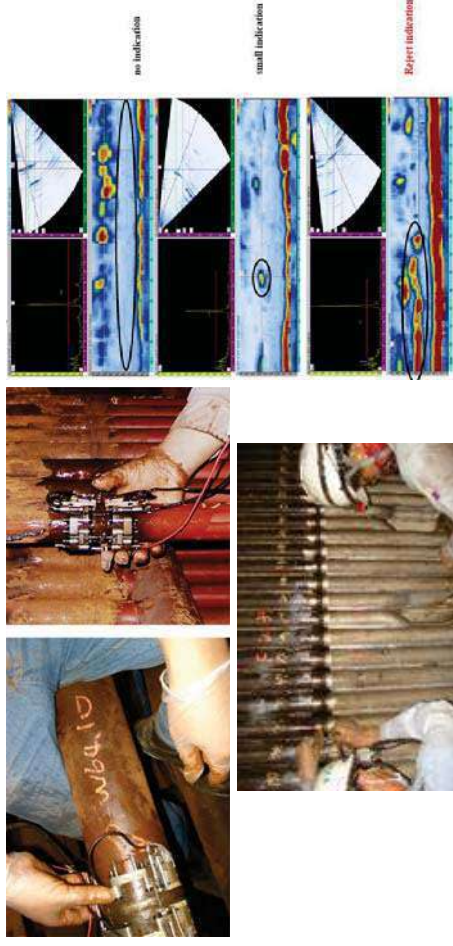




2024/11/18

TMOC

165

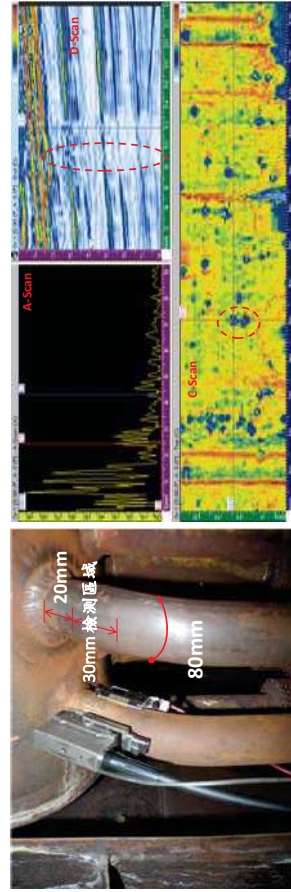


2024/11/18

TMOC

166

PAUT 爐管腐蝕成像檢測(Corrosion Mapping) 檢測位置說明----FAC

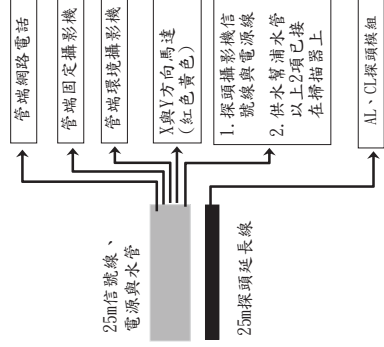


2024/11/18

TMOC

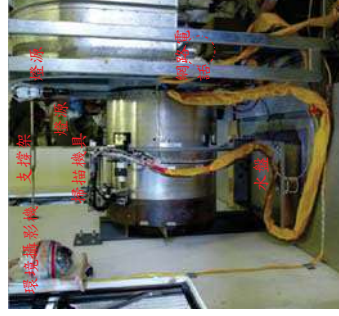
167

檢測現場區： 外接控制區



現場設備

1. 掃瞄器及其組件
2. 水盤
3. 支撐架裝置
4. 抽水馬達
5. 延長線等其他零件
6. 燈源*4



2024/11/18

TMOC

168



核能廠管嘴異材銲道
搖控全自動PAUT



14.2 TOFD技術- 瑕疵尺寸量測

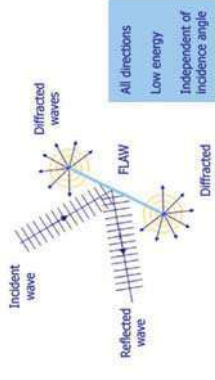
TOFD (Time of Flight Diffraction)

- a. 目的: 準確的量測裂縫深度及長度特性。
- b. 應用對象: 壓力容器及儲槽等銲道或厚板。

c. 特點:

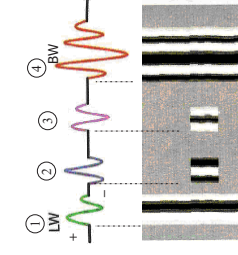
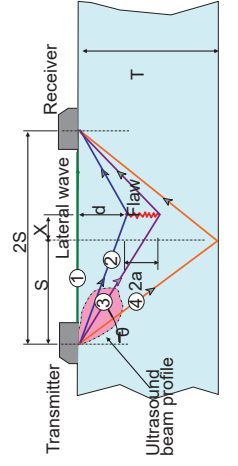
- ☺ 量測精度高(±1mm)
- ☺ 檢測速率高(2-4m/min)
- ☺ 缺陷尺寸量測及監控
- ☺ 缺陷方位幾乎不影響檢測效果
- ☺ 不以訊號振幅高低判斷缺陷大小
- ☺ A-、B-、D-Scan影像顯示外, 可透過各種後處理, 強化檢測數據分析

原理:

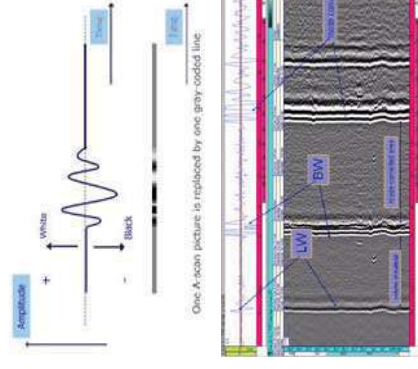


訊號擷取:

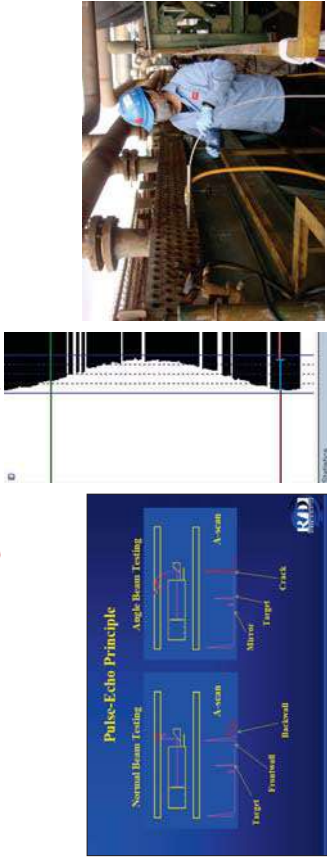
擷取其繞射波傳送時間之差異, 經由電腦軟體計算出瑕疵之尺寸。



訊號表現



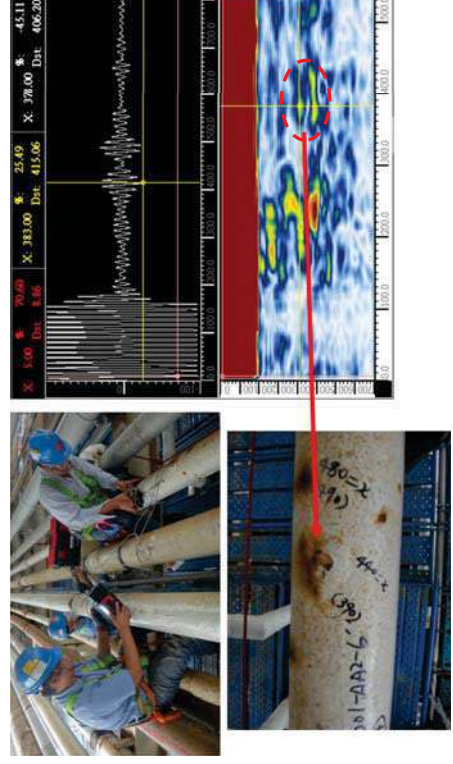
14.3 IRIS超音波檢測



WT	WL (%)
2.41	21
2.43	20

14.4 電磁超音波檢測技術 (Electromagnetic Acoustic Inspection)

超音波探頭及電磁超音波探頭激振超音波



Thanks for Your Attention



台灣金屬材料品管有限公司
公司地址:高雄小港區漢民路702號7樓
公司網址: <http://www.tmqc.com.tw>