

陸、非破壞性檢驗

六、超音波檢驗

講解討論

講解討論時數：2小時

參考資料：

- 一、技令 33B-1-1，第四篇
- 二、美國電力研究學會非破壞檢驗訓練教材
- 三、中華民國非破壞性檢測協會訓練教材
- 四、美國非破壞檢測協會訓練教材
- 五、中國國家標準脈波反射式超音波檢驗法通則。

講授內容：

壹、概述：

人耳可以聽見之波動，其頻率約在 16HZ 至 20KHZ 之間，如果波動頻率高於此範圍，則人類將無法聽見，我們稱此音波為超音波。在非破壞檢驗之應用上，常用之超音波頻率約在 0.5MHZ 至 25MHZ 之間，而其中又以 1 MHZ 至 5MHZ 最為常用。

貳、音波種類：

超音波於彈性點中傳遞，視介質質

點之振動型式與超音波傳遞方向之關係，可將超音波波動之型式分為下列幾種：

一、縱波：

(一) 質點前後振動和音波傳遞方向相同如圖 6-6-1；由於此種波係由壓縮力及彈性力所造成，故又稱之壓縮波或彈性波。

(二) 縱波可存在於氣體、液體及固體中。

(三) 於物質中傳遞較橫波或表面波為快。

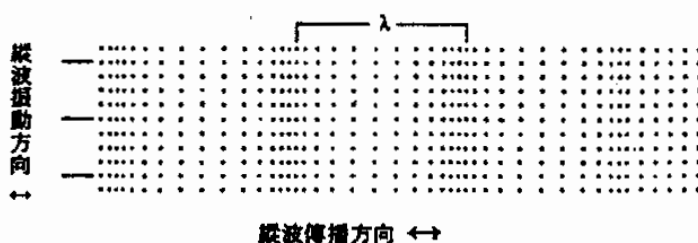


圖 6-6-1 縱波振動與傳播方向

二、橫波：

(一) 質點振動方向與音波傳遞方向成垂直（如圖 6-6-2）。

(二) 僅存在於固體中。氣體和液體因物質質點間之距離較大，彼此間作用力薄弱，難以傳送切向力，因此無法傳

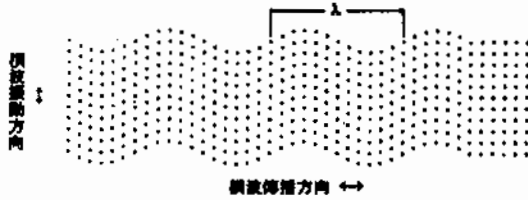


圖 6-6-2 橫波振動與傳播方向

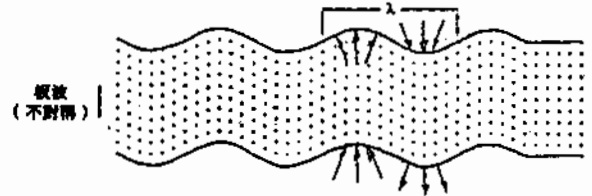


圖 6-6-4 板波不對稱型

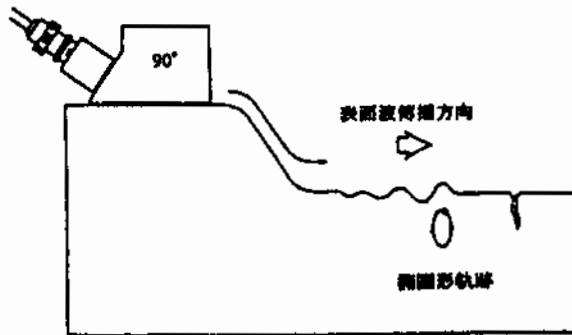


圖 6-6-3 表面波況表面傳播

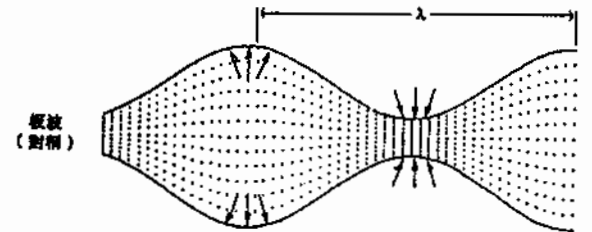


圖 6-6-5 板波對稱型

兩種模式 (如圖 6-6-4, 6-6-5)。

(三) 藍姆波主要用於檢測薄板和薄管內之夾層、裂紋或檢測複合材料之膠合情況。

送橫波。

(三) 傳遞速度約為縱波之一半。

三、表面波：

(一) 表面波主要係指音波沿物質表面傳遞而質點沿橢圓形軌跡振動，其有效透入深度約為一個波長範圍 (如圖 6-6-3)

(二) 傳遞速度約為橫波之 0.9 倍。

四、藍姆波：

(一) 僅能於薄板材料中行進，故又稱之為板波。

(二) 藍姆波在薄板中傳遞時，薄板上下表層質點沿橢圓形軌跡振動。薄板中層質點以縱波分量或橫波分量振動，進而構成全板振動，可以分成對稱型(S)型及非對稱型(A)型

參、音波傳送特性：

一、反射、折射及波式轉換：

當音波由物質甲入射於其與物質乙間之界面時，部份超音波被反射回到物質甲中，此種現象稱為反射；同時部份超音波可改變行進路徑傳送入物質乙中，稱之稱折射；反射或折射超音波之波式可以和入射波相同，但也可能不同，當不同之波式發生時，稱之為波式轉換；因此，當超音波入射於一

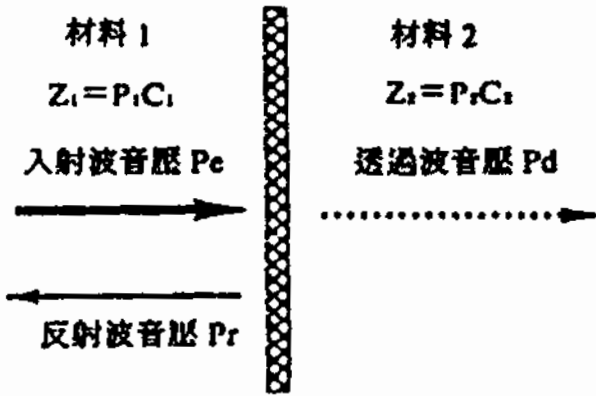
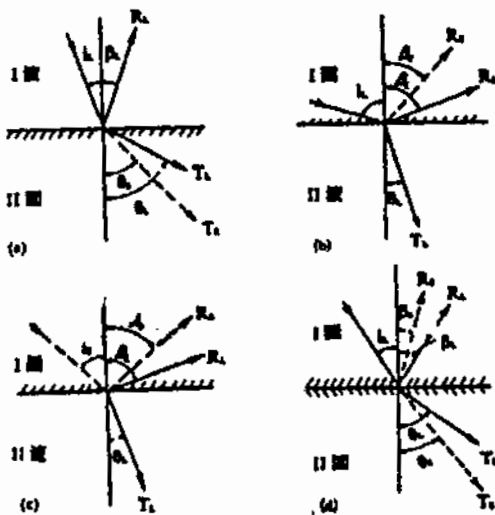


圖 6-6-6 垂直入射波與透過

界面時，可同時發生反射、折射及波式轉換等三種現象。

- (一) 當音波垂直射入至界面只會發生反射或透過現象，不會發生波式轉換。(如圖 6-6-6)
- (二) 當音波傾斜入射時，反射、折射及波式轉換都可能發生(如圖 6-6-7)。其基本公式為：



i: 入射角 r: 反射角 t: 折射角 R: 反射角 T: 透射波
右下角之 L 為橫波 S 為縱波

圖 6-6-7 液體和固體、固體和固體在界面中傾斜入射之反射與折射

二、超音波繞射與散射：

(一) 繞射：

在一定條件下(如遭遇尖銳邊緣、入射波不垂直瑕疵等狀況)，超音波之傳送方向將不再遵守直線行進之規律，而會繞過障礙物或通小孔後擴展傳送，我們稱之繞射(如圖 6-6-8)。

(二) 散射：

超音波在傳送過程中，遇到缺陷、異質界面或粗晶界時所產生之不規則反射或折射現象稱之散射。散射將使音

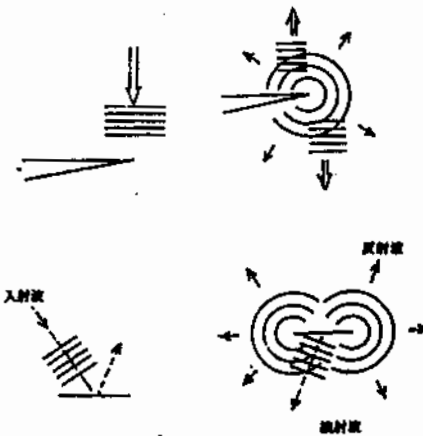


圖 6-6-8 尖銳的幾何結構可以產生音波繞射現象

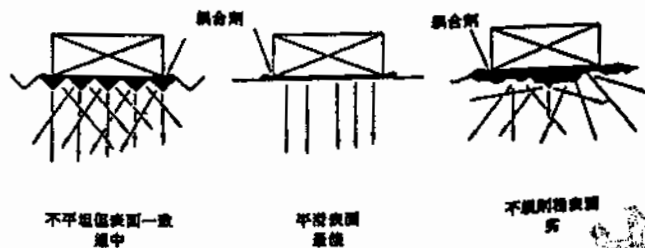


圖 6-6-9 表面狀況引起的音波散射

能分散、穿透力降低和引起不規則之草狀回波，進而導致信號比及檢測靈敏度降低（如圖 6-6-9）

三、超音波之衰減：

通常產生衰減的原因主要有下列三項：

(一) 由音束擴散引起之衰減：

超音波在遠場中以發散角向外發散，使超音波之能量隨著距離之增加，而逐漸分散，造成單位面積之音壓及音能下降。D/λ 比值大的發散角較小，音束較集中，衰減較慢；反之，則衰減較快。

(二) 由散射引起之衰減：

音波傳送過程中遇到不同音阻抗介質所組成之介面時，會產生散亂反射，音能分散造成散射衰減，散射衰減隨使用頻率增加而增大，且橫波引起之衰減大於縱波。

(三) 由吸收引起之衰減：

粒子產生振動時，必須克服

介質粒子間之粘滯力和摩擦力而做功，進而造成音能損耗，這部份損耗的音能將轉換成熱能。這種由介質之粘滯吸收而將音能轉成熱能，使音能減少的現象稱之為吸收衰減。

肆、超音波之產生及接收：

超音波之產生及接收係利用壓電材料之特定壓電效應來實現，由於壓電效應為可逆效應，可化電能為機械能，當外加電壓振幅愈大時，則壓電晶體伸縮變化愈大，產生之超音波愈強，我們可以用壓電晶片來製作超音波換能器（如圖 6-6-10），發射超音波和接收回波並轉換成電信號於儀器上顯示出來，進而達到檢測之目的。

一、壓電材料：

常見之壓電材料有鈮酸鋰 (LiNbO₃)、石英 (SiO₂)、硫酸鋰 (LiSO₄)、偏鈮酸鉛 (PbNb₂O₆)、鈦酸鋇 (BaTiO₃) 及銦鈦酸鋇 (PZT) 等。其中硫酸鋰之接收效率最佳；而產生及接收之總效率則以銦鈦酸鋇為最好，因此目前大部份的超音波換能器均以其作為材料。

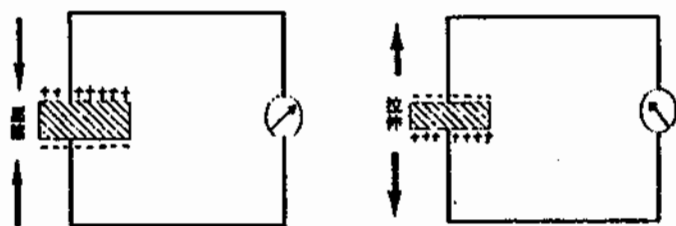


圖 6-6-10 逆壓電效應。

二、換能器之基本構造：

超音波換能器的種類繁多，但是它們的基本結構有共同之處，一般均由晶片、阻尼器、保護膜組成。另外還必須有同軸電纜線、插頭、外殼等。斜束換能器之保護膜為有機玻璃之楔形塊（如圖 6-6-11）。

三、換能器之超音波特性：

(一) 近場、遠場：

在近場中音壓的強弱變化複雜，因此，缺陷不易檢測出，音束軸線上最後一個最

強點至壓電薄片間之距離稱為近場長度（如圖 6-6-12）

$$N = \frac{D^2 - \lambda^2}{4\lambda}$$

N：近場長度
D：壓電薄直徑
 λ ：超音波波長

距離小於 N 稱之近距離音場，距離大於 N 則稱遠距離音場，在遠場其音壓隨距離增大而逐漸變小。

(二) 音束發散角：

發散角 θ (音束半擴散角) 是音場主音束和相鄰副瓣音

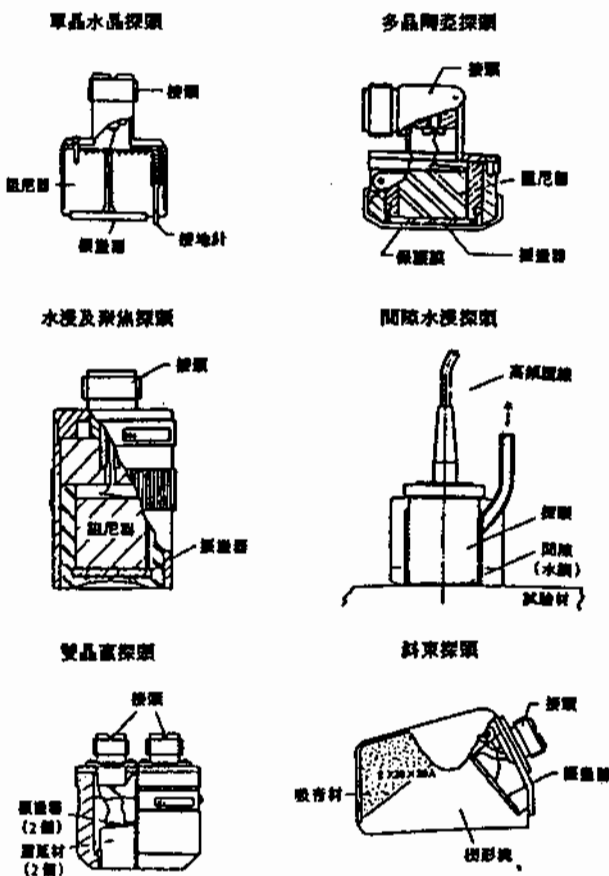


圖 6-6-11 各種型式探頭

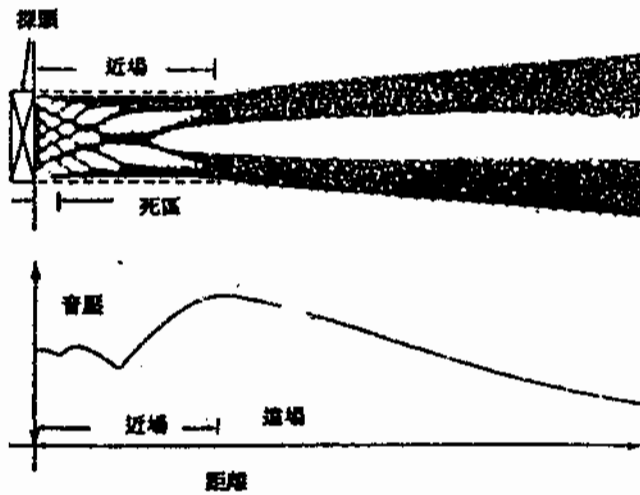


圖 6-6-12 近場與遠場音束示意圖

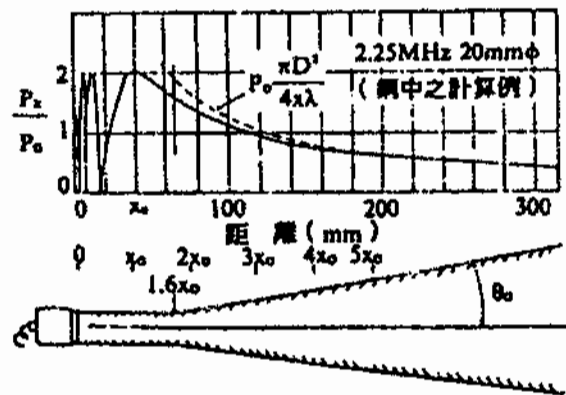


圖 6-6-13 探頭之作用音場的形式

之間切線。它取決於壓電晶片直徑 D 的大小和音波波長 (λ) (如圖 6-6-13)。 θ 愈大音場能量愈分散，檢測靈敏度愈低，不同形狀和尺寸的壓電晶片，其發散角 θ 為：

$$\sin \theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

λ : 音波波長
 D : 壓電薄片直徑
 θ : 發散角

伍、缺陷顯示方式：

超音波檢驗一般有三種顯示方式，

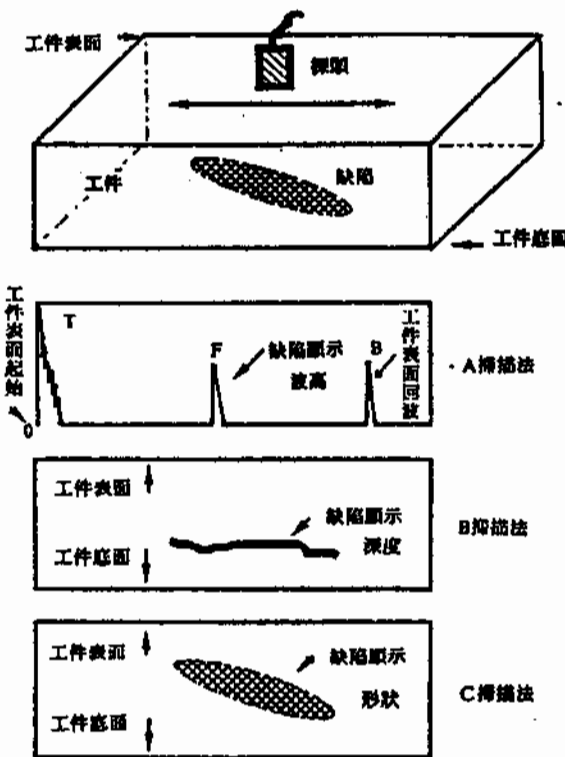


圖 6-6-14 超音波掃描顯示方法

超音波檢測缺陷顯示方式 (A 型顯示法)

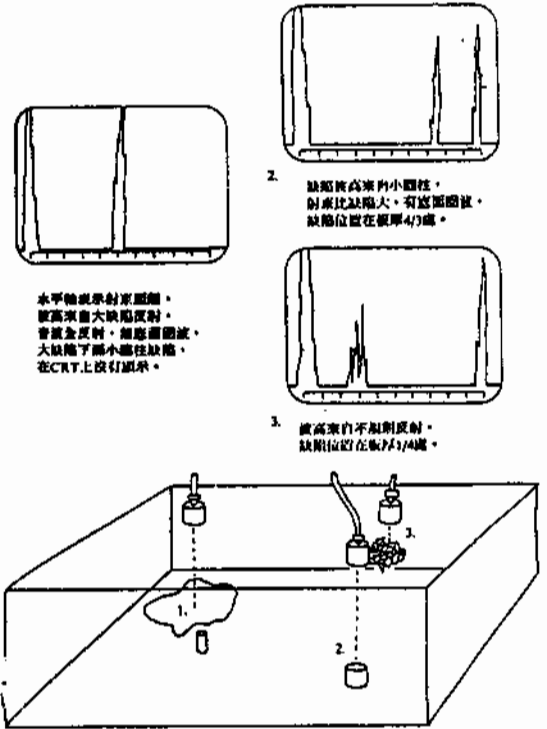


圖 6-6-15 A 掃描法

即 A 掃描顯示法、B 掃描顯示法、C 掃描顯示法。其中 A 掃描顯示法橫軸代表掃描範圍，縱軸代表缺陷反射波高；B 掃描顯示法則顯示缺陷深度；C 掃描顯示法則顯示缺陷之形狀。(如圖 6-6-14, 6-6-15, 6-6-16, 6-6-17)。

陸、檢測設備：

超音波檢測儀由其內部之射頻振盪器產生電壓脈動，經由測試之同軸纜線輸送至換能器，將電之脈波變成機械振盪之超音波而傳送入被檢

超音波檢測缺陷顯示方式 (B型顯示法)

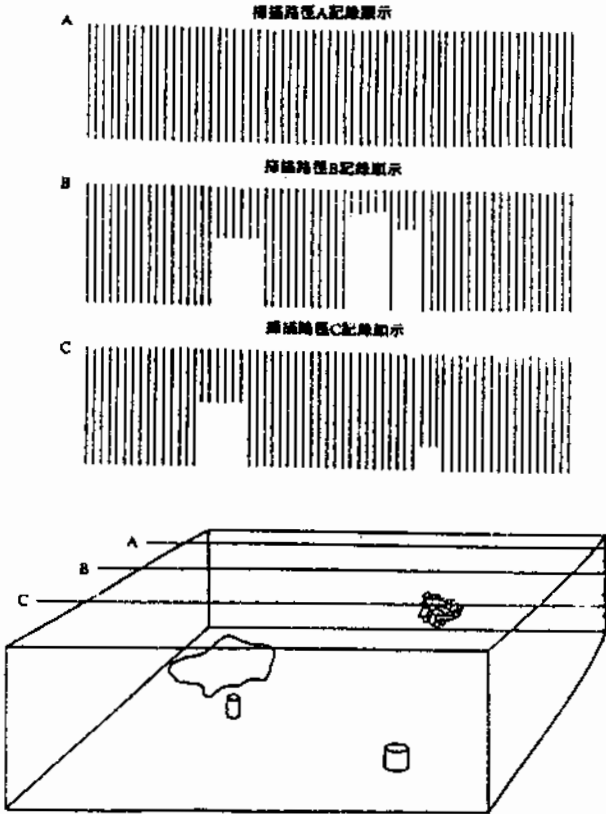


圖 6-6-16 B 掃描法

物，當被檢物內反射回來之音波由換能器接收，並將此機械振盪轉換成電之脈波信號，經放大後顯示於陰極射線管螢幕上，探傷儀面板上各鈕之功能（如圖 6-6-18）

一、測定範圍鈕：

分 50 mm、100 mm、200 mm、500 mm、1000mm、2000mm 多段變換。測定範圍刻度板上時間軸由 0 點至 50 刻劃之距離，在此距離作概略調整。

二、零點調整鈕：

超音波檢測缺陷顯示方式 (C型顯示法)

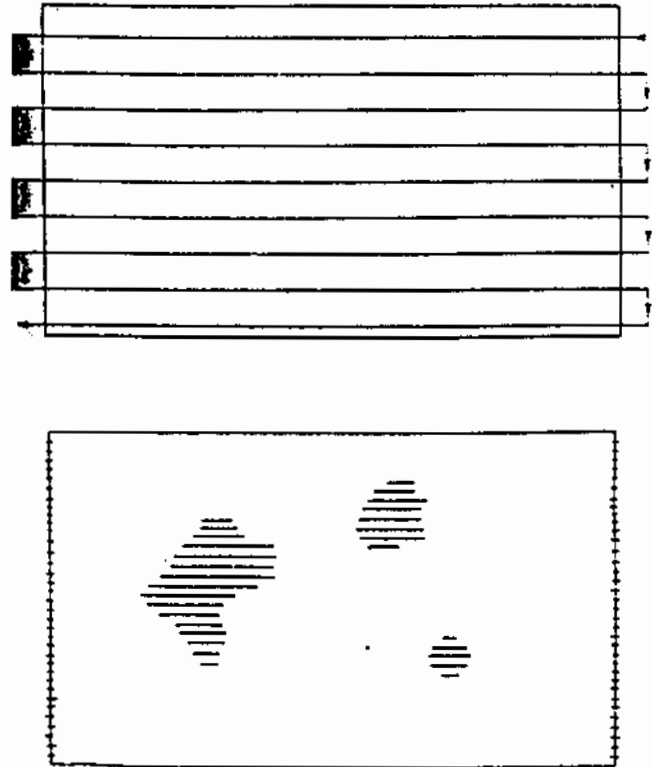


圖 6-6-17 C 掃描法

水平調整也稱零點調整，它可以在不改變掃描速度情況下，使整個時間軸左右移動。它和測定範圍的粗調、細調鈕相配合後，用於斜束換能器橫波檢測時之零點校正及直束換能

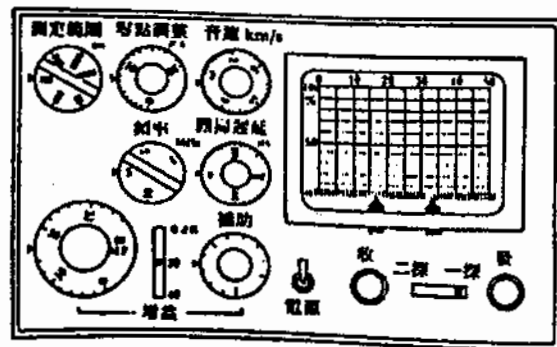


圖 6-6-18 超音波儀器面板

器、斜束換能之檢測範圍調整。

三、增益調整鈕：

增益調整鈕有粗調、細調和微調。增益微調又稱為靈敏度控制鈕。一般粗調為 20dB、120dB、10dB；細調為 2dB、1dB；微調增益量為 0-1dB。

四、重複頻率鈕：

提高重複頻率可使單位時間內掃描次數相對增加，螢幕圖像重現次數增多，因此增強螢幕顯示亮度。一般手動操作之探傷儀，重複頻率不宜過高，以免產生螢幕閃爍現象及產生幻影回波。

所謂幻影回波即為提高重複頻率後，第一個同步脈波週期內之殘波落在第二個同步脈波週

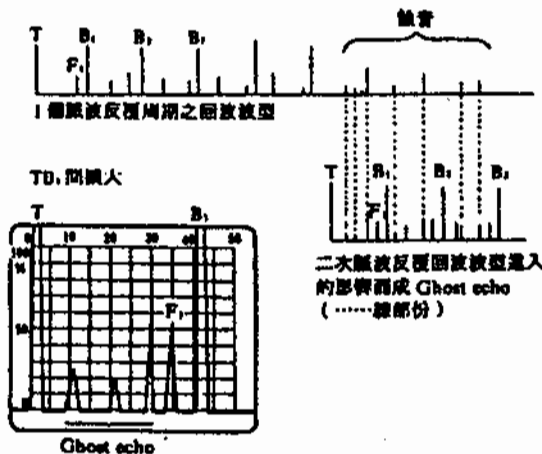


圖 6-6-19 脈頻波頻率過多時之檢測圖形

期前段而產生波形重現之現象，對於缺陷之研判將產生影響如圖 6-6-19。

五、音速鈕：

作為測定範圍細調用。

六、回掃遲延鈕：

水平軸上整個脈波之起始點調整，配合測定範圍鈕調整時間軸符合比例。

七、雜波抑制鈕：

一般檢測時，若雜波很大，可藉此鈕抑制振幅大較小之雜訊，提高顯示之信號比。但使用此鈕後，儀器垂直線性變

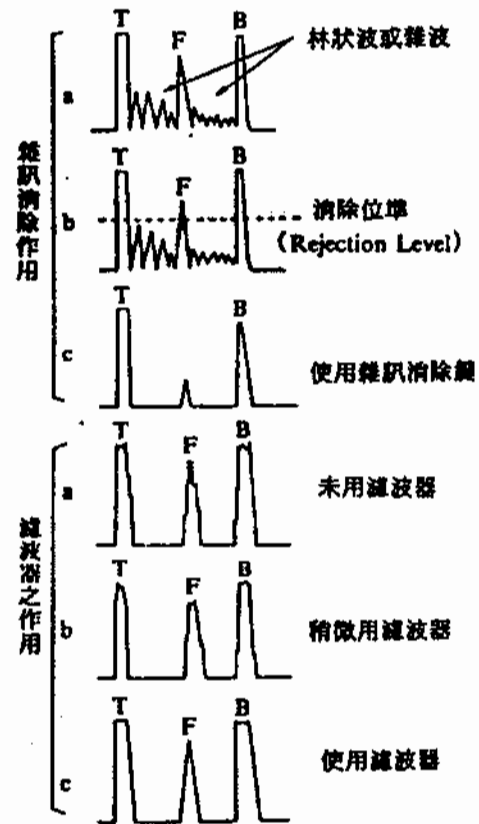


圖 6-6-20 雜訊消除及濾波器

壞、動態範圍變小，易遺漏小缺陷指示。如圖 6-6-20

八、距離振幅補償鈕：

距離振幅補償電路亦稱之 DAC 電路，它將離換能器不同深度、相同尺寸之缺陷反射體可能因音束擴散、材質衰減引起之差異用電子方式加以修正，使之得到同樣高度之回波。如圖 6-6-21

柒、結論：

影響超音波檢測之因素繁多，諸如受檢物中有無瑕疵，瑕疵的種類、大小、形狀、位置、方向、材質之疏鬆程度、結晶顆粒大小、是否經過熱處理……等，這些內在因素係在製造或使用中產生。然而有些外在因素例如檢測儀器的特性、換能器的特性、接觸面之粗度、換能器之接觸狀況、耦合劑之種類、受檢物本身之外形……等。同樣和內在因素一樣會影響 CRT 上之回波顯示，亦即說檢測之可靠性除了必須瞭解受檢物特性之外尚須掌握上述外在因素對整體檢測結果干擾之程度才能對受檢物之良劣作正確之評估。

習題：

- 一、音波有那幾種？
- 二、音波衰減之原因為何？
- 三、請繪出超音波檢查之缺陷顯示圖形。
- 四、如何獲得正確之超音波驗測結果？

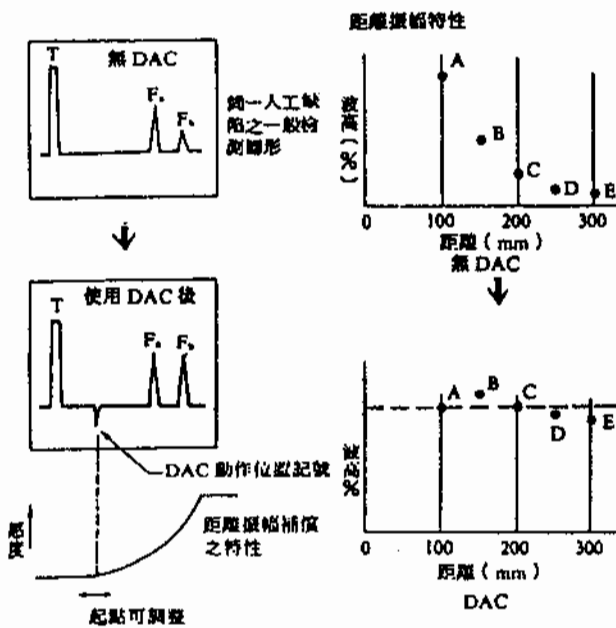


圖 6-6-21 距離振幅補償(DAC)