

超音波應用於鋼板之檢測

彭朋畿¹，張沛倫²，李國鍵³，施嘉裕⁴

¹ 中龍鋼鐵股份有限公司 冶金技術處 課長 (國立中央大學 工學博士)

²⁻⁴ 中龍鋼鐵股份有限公司 冶金技術處 NDT 中級檢測師

摘要

利用非破壞檢測方法可有效維護鋼結構之品質，並提供工程界定性及定量之分析結果，其中超音波非破壞檢測技術可檢測鋼結構之鋼板及鐸道等缺陷，以利控管施工品質。本文簡介鋼板超音波檢測原理及技術，並參考美國法規 ASME A435，介紹其評估方法與校正程序，以供現場工程人員參考及查核。

一、前言

由於台灣氣候潮濕且位於環太平洋地震帶，因此結構物深受腐蝕劣化及地震災害的威脅。在經歷了 921 集集大地震後，鋼結構大樓之耐震效果越來越受重視，因此鋼板之進料檢驗更顯重要。

鋼板之非破壞檢測技術以超音波檢測為主，超音波可檢測鋼板內部之夾層或點狀瑕疵。有關鋼板超音波之檢測標準包括日本之建築結構用之鋼板超音波檢測作業標準(JIS G 0901)及壓力容器用之鋼板超音波檢測作業標準(JIS G0801)、美國之鋼板直束超音波檢測作業標準(ASME SA-435、ASTM A 435)及特殊用途之平面鋼板與覆面鋼板直束超音波檢測作業標準(ASME SA578、ASTM A578)、與中華民國壓力容器用之鋼板直束超音波檢測作業標準(CNS 11399)及結構用之鋼板超音波直束檢測作業標準(CNS 12845)。本文將簡介美國之鋼板直束超音波檢測作業標準(ASME SA-435、ASTM A 435)，以利工程人員評估與參考。

二、基本原理

1. 超音波產生原理

一般人耳可聽見之音波範圍約在 16HZ 至 20KHZ，若頻率高於此範圍則稱為超音波 (Ultrasonic)。超音波檢測法是利用音波振動導入材料內部，以檢測表面或內部缺陷之非破壞檢測方法。一般金屬超音波檢測之頻率範圍由 1MHZ 至 25MHZ，其中以 1MHZ 至 5MHZ 最常用。其原理主要是將壓電材料所製造之探頭，應用壓電效應達成能量轉換以產生超音波，並經由耦合劑傳入工件。在工件內超音波的傳遞速率需視材料而定，當傳至不同介面時，超音波會有反射或折射現象，因此藉由分析反射或透射所呈現的訊號，可檢測出材料瑕疵及其性質 [1]。

2. 超音波之探頭種類

超音波探頭主要是由壓電薄片、背面填料、導線及耐磨層組成。壓電薄片經極化後，具有壓電特性，其兩面鍍上金屬膜，接上導線以便電壓分佈於表面。背面填料用金屬粉末（如銀、鋁等）和膠調成，並吸收超音波適當能量，使其脈波具有適當鑑別力。由於超音波檢測所採用之壓電式探頭是依據其本身的機械振動來產生訊號，故須與受

測物表面維持良好的接觸。為預防壓電晶體薄片磨損或破裂，因此一般都會在壓電晶體的前緣黏貼塑膠耐磨層，或在探頭與受測物間塗抹耦合劑，甚至直接使用浸泡於水中的浸液式探頭等，來保護探頭免於受損 [2]。

超音波探頭依其特性或使用之場合不同，可區分為不同之種類，如直束探頭、斜束探頭及浸液式探頭等。本試驗除使用一般單晶直束探頭執行檢測外，並考量現場補強鋼板厚度若較薄，可另選用雙晶(直束)探頭以克服一般探頭由於起始脈波有相當之寬度，而易遮掩較薄物件背面回波之情形。雙晶探頭有兩片相鄰之壓電薄片，一片作超音波發射，另一片作接收。由於其起始脈波可能完全沒有或很小，因此可相對提高背面回波之鑑別力 [3]。

3. 超音波之反射與折射

超音波為應力波之一種，因此需藉由介質才能傳遞，然而不同之介質其音阻抗亦不同（音阻抗為波速 V 與材料密度之乘積），在不同的物質中，音阻抗與物質之密度成正比。所以當超音波經過兩種不同介質時，入射波形成部分反射波及部分折射波之狀態，而超音波的傳遞受衰減、反射及折射的影響，其能量將愈來愈弱。且入射角 (α) 與折射角 (β) 其關係遵循 Snell's 定律 [4, 5]：

$$\sin\alpha / \sin\beta = V_1/V_2 \quad (2-1)$$

假設有兩種材料相接，其音阻抗分別為 Z_1 及 Z_2 。當超音波音壓 P_e ，由材料甲垂直入射於介面時，反射波之波式與入射波相同但方向相反，其音壓為 P_r 。而傳送入材料乙之折射波之波式和方向均與入射波相同，音壓為 P_d 。其音壓間之關係如下〔2〕：

$$P_r / P_e = R \quad (2-2)$$

$$P_d / P_e = D \quad (2-3)$$

其中 R 及 D 為音壓之反射係數與透過係數，其與音阻抗(Z)間之關係如下〔2〕：

$$R = Z_2 - Z_1 / Z_2 + Z_1 \quad (2-4)$$

$$D = 2Z_2 / Z_2 + Z_1 \quad (2-5)$$

鋼板超音波檢測其使用超音波直束探頭垂直入射於鋼板試件，由於鋼板音阻抗(Z_1)大於空氣音阻抗(Z_2)，將其代入(2-4)式得一負值，表示入射波之相位與反射波相差 180° ，故超音波儀器上將顯示反射波之訊號(即鋼板之背面回波)，且兩物質之音阻抗差異愈大，反射波訊號將愈強。由於空氣之音阻抗極小，所以將產生一強烈之反射波訊號，並且幾乎無折射之行為。另若鋼板內部有瑕疵，入射波將形成部分反

射波及部分折射波之狀態。本方法即利用反射波訊號之有無與衰減，以確認鋼板內部之瑕疵(如圖一所示)。



圖一 鋼板超音波檢測

4.分析原理

超音波檢測法一般可依訊號之分析方式、發射方式及顯示方式來分類，而本文之訊號分析方式採用脈波回波法，超音波探頭髮射方式使用直束法，超音波儀器顯示方式使用 A 掃描 (A - Scan)。

(1)超音波之反射：

兩種特性不同之材料相鄰所構成之交界面稱為介面，當超音波由

材料甲入射於材料乙之介面時，部分超音波將反射回到材料甲中（即超音波之反射現象），部分超音波將傳入於材料乙中（即超音波之折射現象）。

(2)脈波回波法：

超音波之信號檢測方式有很多種，如脈波回波法、投補法及透射法等，其中脈波回波法為目前最常用之方法。其利用超音波在物質傳送遭遇到介面時，部分信號會在介面產生反射現象，而反射信號如果循原來路徑回到發射探頭接收，則成為回波。脈波回波法即藉由回波信號之高低、形狀或出現位置，來判定檢測工件之瑕疵或其他特性。

三、法規要求

本文介紹美國 ASME A435 法規(Standard Specification for Straight-Beam Ultrasonic Examination of Steel Plates)〔6〕，其目的地主要為維護生產之鋼板品質所訂定之相關檢測程序。並適用於½吋(12.5 mm)以上厚度之軋延全淨碳鋼及合金鋼板之脈波回波直束超音波檢測，同時執行檢測與記錄人員需取得 NDT 初級檢測員以上之資格，檢測結果之判定與報告撰寫需取得 NDT 中級檢測師以上之資格(本公

司針對檢測結果之判定以 NDT 高級檢測師簽署)。

1. 設備儀器

需由具超音波檢測儀器資格鑑定合格之人員進行檢測。換能器尺寸通常為直徑 1~1 $\frac{1}{8}$ 吋(25~30 mm)或 1 in² (625 mm²)，且最小有效面積不得小於 0.7 in² (450 mm²)，以直接接觸、液浸或液柱耦合之任一方法進行檢測。耦合劑可為水、溶水油或甘油，但一般鋼板檢測用水為耦合劑(如圖二所示)。



圖二 水為耦合劑

本文建議採用 2 $\frac{1}{4}$ MHz 標準之檢測頻率，若基於鋼板厚度、晶粒尺寸、材料微觀組織及儀器特性等因素，亦可要求選用較高或較低之檢測頻率。但若為低於 1 MHz 之頻率，僅能於買方同意情形下才能

採用。檢測時需能產生清晰且易於判讀之信號波形，因此亦可採用其它換能器評定，以精確分析缺陷之信號變化。

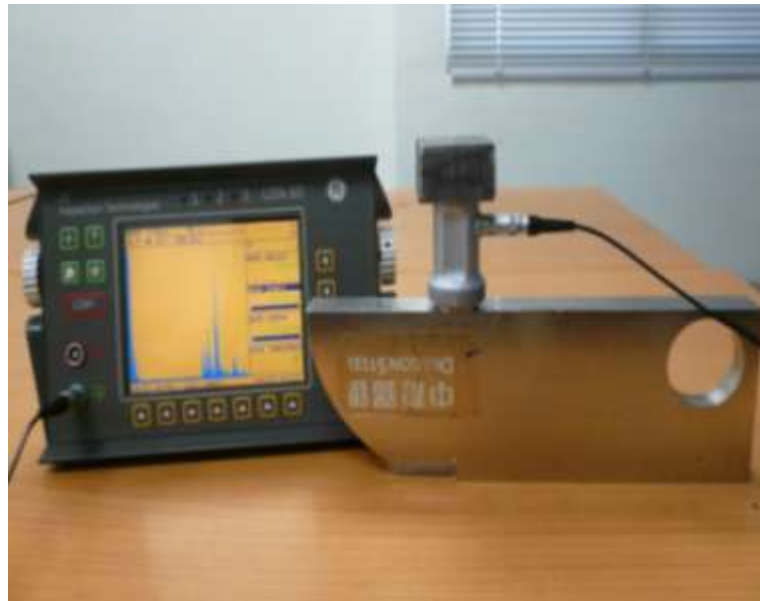
2. 儀器校正要求

有關儀校部分，超音波檢測儀之螢幕垂直線性與振幅控制線性需符合 ASME Sec. V [7] 之校正規定。檢測儀器系統查核時機包括檢測前、檢測後、操作時間超過 4 小時者(至少每 4 小時查核一次)及更換儀具或更換檢測人員時。另查核項目包括水平全尺度範圍及掃描感度等兩項。查核結果若有異常，將異常情形記錄於檢測記錄，並由中級檢測師以上判定是否對檢測結果有影響。若認定對檢測結果有影響，同時則自上次系統查核合格後所檢測者均需重新檢測，以確保儀器準確性。

(1) 螢幕波高線性(Screen Height Linearity)

可使用 IIW TYPE 1 校準規塊，移動換能器使回波訊號比為 1:2，再將較高訊號調至 80 % 全螢幕高度，使訊號回波高度分別為 40 % 和 80 % (如圖三所示)。固定換能器並調整增益控制鈕，每次順序調整 2 dB 並讀取兩回波高度值，使較高波高訊號範圍由 100 % 至 20 %，波高讀值需準確至 $\pm 1\%$ 。每次較低波高訊號應為較高波高訊號之一半值，且其半差值不得超過 5 % 之全螢幕高度，相關程序可參考 ASME Sec.

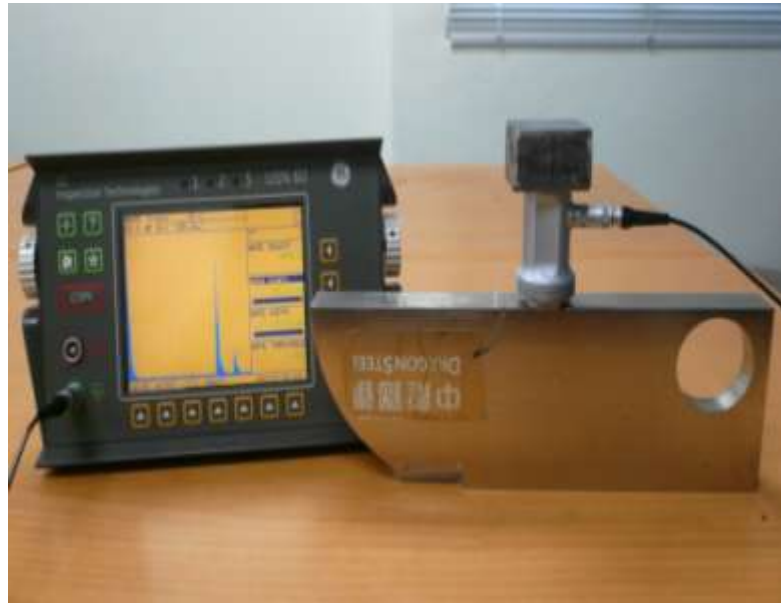
V 法規。



圖三 螢幕波高線性校正

(2) 振幅控制線性 (Amplitude Control Linearity)

可使用 IIW TYPE 1 校準規塊，將直束換能器置於 IIW TYPE 1 校準規塊上，雜訊消除鈕應設定在“0”或“OFF”位置(如圖四所示)。由反射回波如表 1 所列之 dB 值依序增、減 6 dB，並記錄 dB 數增、減後之訊號波高讀值，回波信號高度讀值需準確至全螢幕 $\pm 1\%$ 。合格基準 dB 數增、減後之訊號波高振幅讀值應落在表 1 所示之合格範圍內，相關程序可參考 ASME Sec. V 法規。



圖四 振幅控制線性校正

表 1 振幅控制線性合格基準

回波高度值	dB 增、減值	波高合格範圍
80 %	- 6 dB	32~48 %
80 %	- 12 dB	16~24 %
40 %	+ 6 dB	64~96 %
20 %	+ 12 dB	64~96 %

3. 取樣及準備

鋼板表面必須清潔且保持適當平坦，使得掃描時鋼板正常部之底面回波能保持在 50 % 垂直全尺度以上。檢測時機可為軋延後、正常化後或其它方式熱處理後(依據客戶之需求而定)，另客戶訂單為淬火

回火處理(Quenched and Tempered)之鋼板必須在熱處理後檢測。鋼板表面如有不規則及可能妨礙檢測之異物應予以清除，必要時得以研磨或其它適當方式處理之。所有規定之識別標記，若於處理表面以達到必要之表面粗糙度而被移除掉時，應重新補上，以利超音波有效及完整之傳遞於鋼板內。

4. 檢測程序

檢測應於鋼板之任一主要表面進行，若發現有接近驗收標準之瑕疵，則可要求從另一主要表面進行檢查。規定需作淬火和回火之鋼板，應於熱處理後再行檢測。檢測方法可為水浸法、水膜法、水箱法或直接接觸法。

首先將換能器置於鋼板內之正常部，調整感度鈕使底面回波 B1 高度為最小 50 % 至最大 75 % 之全尺度信號。感度設定後將換能器於鋼板面移動至少 6" (150 mm) 或鋼板厚度距離(取較大者)，若發現底面回波 B1 螢幕水平位置變化，則需改變換能器位置及重新調整儀器。

5. 掃描方式

掃描方式可為下列三種方式，包括分別沿平行及垂直軋延方向每間隔 9" (225 mm) 一道作格子狀掃描、垂直軋延方向每間隔 4" (100 mm) 一道作平行掃描及平行軋延方向每間隔 3" (75 mm) 或更短距離一

道作平行掃描。

檢測位置應自鋼板中心或某一角隅開始量起，且掃描面上距邊緣週圍 2" (50 mm) 範圍內皆需全部掃描。如經合約協議，可從鋼板一主要表面作 100 % 連續掃描。掃描方向應與軋延方向成垂直或平行連續檢測，且每道路徑間需至少有換能器尺寸之 10 % 的重疊區域。另手動掃描之最大掃描速率不得超過 6 in/sec (150 mm/sec)。

6. 顯示評估與接受基準

記錄所有使底面回波 B1 完全消失之瑕疵，且對底面回波 B1 完全消失，並伴隨連續出現瑕疵信號處之鄰近格線面積連續掃描。瑕疵邊緣以移動換能器遠離瑕疵中心，直到瑕疵回波與底面回波同高，以此時換能器中心點位置為瑕疵邊緣，在鋼板上約為換能器中心點之處作記號。重覆上述動作，直到建立整個瑕疵範圍為止，相關正確評估可參考 ASTM A435 法規。。

ASTM A435 法規之接受基準是以有任何一個記錄的瑕疵尺寸無法被 3" (75 mm) 或二分之一板厚(取較大者)直徑之圓包圍者，判定為不合格。

四、結論

鋼結構之超音波檢測可針對鋼板及銲道執行品質檢驗，例如銲道超音波檢測可確保新建鋼結構大樓之樑柱對接銲道品質，以確保結構應力有效傳遞，並提升整體結構之安全。

目前鋼結構材料日新月異，並朝向耐震、防火及耐候性等不斷發展。同時各國針對鋼板超音波檢測之法規及標準眾多，其檢測方式、接收標準與校正程序均不同，因此工程人員與檢測人員須確認相關法規及允收標準，以避免工程爭議。另專業檢測人員之養成不易，有賴業界對品質之重視與法規之推動，如此方能彰顯鋼結構之高強度、高韌性及施工迅速等優點。

五、參考文獻

1. 金崇勳，機械材料，復文書局，台南(1995)。
2. 吳學文、黃啟貞、陳必貫、葉競榮，超音波檢測法（初級），中華民國非破壞檢測協會(1988)。
3. 葉競榮、徐鴻發，超音波檢測法（中級），中華民國非破壞檢測協會(1990)。
4. 江嘉慶、吳志興，「以超音波檢測混凝土內部鋼筋保護層厚度」，

碩士論文，國立屏東科技大學土木工程系，屏東(2001)。

5. 黃茂坤，”工業用超音波檢測彙編”，中船公司高雄總廠，1996年。
6. ASME Boiler and Pressure Vessel Committee, “ASME A 435 Standard Specification for Straight-Beam Ultrasonic Examination of Steel Plates,” American Society of Mechanical Engineers (2007).
7. ASME Boiler and Pressure Vessel Committee, “ASME Sec. V Nondestructive Examination,” American Society of Mechanical Engineers (1998).