

# 目錄

## 第壹章 緒論

- 一、前言 . . . . . 1
- 二、研究動機目的及範圍 . . . . . 2

## 第貳章 文獻回顧

- 一、超音波簡介 . . . . . 4
- 二、器材及設備 . . . . . 4

## 第參章 超音波探傷的發展與理論

- 一、超音波產生之原理 . . . . . 6
- 二、超音波檢測方法 . . . . . 13

## 第肆章 實驗內容

- 一、UIC 60 鋼軌簡介 . . . . . 20
- 二、儀器設備 . . . . . 21
- 三、人工缺陷規塊製作 . . . . . 21
- 四、儀器校正 . . . . . 22
- 五、儀器實際檢測 . . . . . 25
- 六、進行破壞試驗 . . . . . 41

## 第伍章 超音波對 UIC 60 鋼軌焊道檢測的探討

- 一、超音波在 UIC 60 鋼軌焊道軌腹部份檢測 : . . . . . 46
- 二、超音波在 UIC 60 鋼軌焊道軌頭部份檢測 : . . . . . 46
- 三、檢測的探討超音波在 UIC 60 鋼軌焊道軌腹部份檢測 . 47

## 第陸章 結論與建議

- 一、結論超音波在 UIC 60 鋼軌焊道軌腹部份檢測 : . . . . . 51
- 二、建議超音波在 UIC 60 鋼軌焊道軌腹部份檢測 : . . . . . 52

## 表目次

表 1-1 93-96 路線故障 (含無責任) 行車事故分析表 . . . . .	2
表 4-1 UIC 60 鋼軌成份表 . . . . .	20
表 4-2 UIC 60 鋼軌焊道破壞試驗報告單 . . . . .	42

## 圖目次

圖 3-1 波動產生的音波種類	6
圖 3-2 橫波	7
圖 3-3 表面波	8
圖 3-4 藍姆波	9
圖 3-5 音波的反射及折射	11
圖 3-6 超音波訊號顯示	12
圖 3-7 直束檢測法	15
圖 3-8 斜束檢測法	16
圖 3-9 投捕檢測法	18
圖 3-10 表面波檢測法	18
圖 3-11 穿透傳送檢測法	19
圖 4-1 UIC60 鋼軌斷面圖	20
圖 4-2 超音波探傷儀	21
圖 4-3 人工缺陷規塊成品圖	22
圖 4-4 人工缺陷規塊尺寸圖	22
圖 4-5 45° (斜束) 探頭對軌條瑕疵孔的檢測示意圖	23
圖 4-6 45° (斜束) 探頭對軌底校正波形數值圖	23

圖 4-7	45° (斜束) 探頭對軌條焊道瑕疵孔的檢測示意圖	24
圖 4-8	45° (斜束) 探頭對軌條焊道瑕疵孔檢測波形數值圖	24
圖 4-9	UIC 60 鋼軌鋁熱劑焊道圖 (預熱不足)	26
圖 4-10	45° (斜束) 探頭對軌腹焊道的檢測示意圖	26
圖 4-11	45° (斜束) 探頭對軌腹焊道 (預熱不足) 施測波形數值圖	26
圖 4-12	70° (斜束) 探頭對軌頭焊道的檢測示意圖	27
圖 4-13	70° (斜束) 探頭對軌頭焊道 (預熱不足) 的波形數值圖一	27
圖 4-14	70° (斜束) 探頭對軌頭焊道 (預熱不足) 的波形數值圖二	28
圖 4-15	70° (斜束) 探頭對軌頭焊道 (預熱不足) 的波形數值圖三	28
圖 4-16	UIC 60 鋼軌鋁熱劑焊道圖 (漏漿)	29
圖 4-17	45° (斜束) 探頭對軌腹焊道 (漏漿) 施測波形數值圖	29
圖 4-18	70° (斜束) 探頭對軌頭焊道 (漏漿) 的波形數值圖一	30
圖 4-19	70° (斜束) 探頭對軌頭焊道 (漏漿) 的波形數值圖二	30
圖 4-20	70° (斜束) 探頭對軌頭焊道 (漏漿) 的波形數值圖三	31
圖 4-21	UIC 60 鋼軌鋁熱劑焊道圖 (北工段)	31
圖 4-22	45° (斜束) 探頭對軌腹焊道 (北工段) 施測波形數值圖	31
圖 4-23	70° (斜束) 探頭對軌頭焊道 (北工段) 施測波形數值圖	32
圖 4-24	UIC 60 鋼軌鋁熱劑焊道圖 (中工段)	32

圖 4-25	45° (斜束) 探頭對軌腹焊道 (中工段) 施測波形數值圖	• 33
圖 4-26	70° (斜束) 探頭對軌頭焊道 (中工段) 施測波形數值圖	• 33
圖 4-27	UIC 60 鋼軌鋁熱劑焊道圖 (嘉工段)	• • • • • 34
圖 4-28	45° (斜束) 探頭對軌腹焊道 (嘉工段) 施測波形數值圖	• 34
圖 4-29	70° (斜束) 探頭對軌頭焊道 (嘉工段) 施測波形數值圖	• 35
圖 4-30	UIC 60 鋼軌鋁熱劑焊道圖 (高工段)	• • • • • 35
圖 4-31	45° (斜束) 探頭對軌腹焊道 (高工段) 施測波形數值圖	• 36
圖 4-32	70° (斜束) 探頭對軌頭焊道 (高工段) 施測波形數值圖	• 36
圖 4-33	UIC 60 鋼軌鋁熱劑焊道圖 (宜工段)	• • • • • 37
圖 4-34	45° (斜束) 探頭對軌腹焊道 (宜工段) 施測波形數值圖	• 37
圖 4-35	70° (斜束) 探頭對軌頭焊道 (宜工段) 施測波形數值圖	• 38
圖 4-36	UIC 60 鋼軌鋁熱劑焊道圖 (花工段)	• • • • • 38
圖 4-37	45° (斜束) 探頭對軌腹焊道 (花工段) 施測波形數值圖	• 39
圖 4-38	70° (斜束) 探頭對軌頭焊道 (花工段) 施測波形數值圖	• 39
圖 4-39	UIC 60 鋼軌鋁熱劑焊道圖 (東工段)	• • • • • 40
圖 4-40	45° (斜束) 探頭對軌腹焊道 (東工段) 施測波形數值圖	• 40
圖 4-41	70° (斜束) 探頭對軌頭焊道 (東工段) 施測波形數值圖	• 41
圖 4-42	工務養護總隊 UIC60 鋼軌焊道斷面圖一 (預熱不足)	• • • 43

圖 4-43	工務養護總隊 UIC60 鋼軌焊道斷面圖二 (預熱不足)	43
圖 4-44	台北工務段 UIC60 鋼軌焊道斷面圖	43
圖 4-45	台中工務段 UIC60 鋼軌焊道斷面圖	44
圖 4-46	嘉義工務段 UIC60 鋼軌焊道斷面圖	44
圖 4-47	高雄工務段 UIC60 鋼軌焊道斷面圖	44
圖 4-48	宜蘭工務段 UIC60 鋼軌焊道斷面圖	45
圖 4-49	花蓮工務段 UIC60 鋼軌焊道斷面圖	45
圖 4-50	台東工務段 UIC60 鋼軌焊道斷面圖	45
圖 5-1	UIC 60 鋼軌焊道 (預熱不足) 斷面圖	46
圖 5-2	45°探頭對鋼軌 (預熱不足) 軌腹焊道的檢測示意圖	46
圖 5-3	45°探頭對鋼軌 (預熱不足) 軌腹焊道的檢測波形數值圖	47
圖 5-4	UIC 60 鋼軌焊道 (預熱不足) 斷面圖	47
圖 5-5	70°探頭對鋼軌 (預熱不足) 軌腹焊道的檢測示意圖一	48
圖 5-6	70°探頭對鋼軌 (預熱不足) 軌腹焊道的檢測波形數值圖一	48
圖 5-7	70°探頭對鋼軌 (預熱不足) 軌腹焊道的檢測示意圖二	49
圖 5-8	70°探頭對鋼軌 (預熱不足) 軌腹焊道的檢測波形數值圖二	49
圖 5-9	70°探頭對鋼軌 (預熱不足) 軌腹焊道的檢測示意圖三	49
圖 5-10	70°探頭對鋼軌 (預熱不足) 軌腹焊道的檢測波形數值圖三	50

# 第壹章 緒論

## 一、前言

目前臺鐵路購之鋼軌因製造、搬運、裝卸作業等需要，鋼軌長度為 25m，但因鋼軌接頭為軌道結構的最大弱點，受高速行駛列車的巨大衝擊，極易下沉、鬆動而變形弱化，且研究發現，將道碴、枕木、鋼軌、鋼軌扣件視為軌道整體結構，利用軌枕及道岔阻力控制其伸縮，則鋼軌伸縮僅發生於兩端各約 100m 範圍內，中間部份則為不動區間，若鋼軌超過 200m，則無論超過多少，其伸縮量並無變化，故可由焊接取代鋼軌接頭，而焊接鋼軌長度超過在最大溫度升降變化下，其中央部份有不動區間者，稱為連續焊接鋼軌 (continuous weld rail)，簡稱長軌 (long rail)。

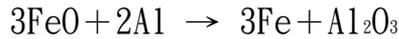
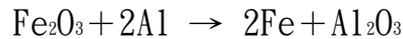
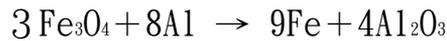
長軌在冬季內部產生軸拉力，為避免軸拉力拉斷鋼軌，焊接強度必須足夠，目前長軌焊接方式有四，分述如下：

(一) 瓦斯壓接法：將兩根鋼軌介面對合壓緊，再以瓦斯火燄加熱介面，待斷面呈熔融狀態後，以高壓急速壓緊，使兩根鋼軌接合成一根。

(二) 電阻火花法 1：將兩根鋼軌介面輕輕對合，並分別接上大電流的正負極，重複開通再切斷電源，利用電阻加熱鋼軌，並產生火花，至鋼軌介面達熔融狀態後，順鋼軌軸向加上衝擊壓力，使鋼軌接合成一體。

(三) 封閉式電弧焊：鋼軌與焊條通上直流電，使產生電弧，電弧熱量熔化焊條，將鋼軌熔接。

(四) 熱劑焊接：根據氧化鐵與鋁作用，還原為鐵的原理：



此種化學反應極強烈，同時發生大量反應熱，使反應產生的鐵達熔融狀態，理論上溫度約達 3100℃。

反應產生的氧化鋁及其他添加劑稱為爐渣，比重較輕，浮在熔融鐵上層。反應完成後，將熔融鐵導入鋼軌接縫處預先裝妥的鑄模內，硬化後將兩根鋼軌熔接。

臺鐵較常使用的長軌焊接方式為電阻火花法及熱劑焊接法。

## 二、研究動機目的及範圍

依據工務處風險管理簡報之 93-96 路線故障（含無責任）行車事故分析顯示，見表 1-1 所示，其每年所發生行車事故的種類最高者幾為鋼軌斷裂，鋼軌斷裂後有可能發生軌道電路短路造成號誌故障等情事，若斷裂處持續擴大將影響列車運轉及行車安全。

表 1-1 93-96 路線故障（含無責任）行車事故分析表

項目 \ 年	93	94	95	96
鋼軌斷裂	20	18	18	13
鋼軌挫曲	0	1	1	3
豪雨、樹木傾倒	12	13	8	14

土石流	0	0	2	1
其它	1	9	6	5
合計	33	41	35	36

鋼軌斷裂處通常位於鋼軌之焊道斷面，其中又以現場施作之鋁熱劑焊接之焊道，因天候、工作環境及施作人員之專業能力良莠不齊，品質更是難以掌握。

為了降低鐵路局行車事故鋼軌斷裂發生的次數，鋼軌焊道斷面品質的檢測自然益形重要。

鋼軌焊道斷面的檢測通常以超音波探傷儀最為方便快捷，本次研究將藉由工務處主辦之 97 年度鋁熱劑焊接人員訓練班之便，以鋼軌未預熱、藥包受潮等影響焊道品質因素擇二試作 2 組 UIC60 之鋁熱劑瑕疵焊道，再以本隊之 EPOCH 4B 超音波探傷儀檢測其焊道，觀察其檢測波形及檢測數值後再進行破壞試驗，比對其破壞斷面與之前超音波儀器檢測波形及檢測數值。

本研究之目的希望藉由預設之鋼軌焊道之瑕疵因素，經由超音波探傷儀之檢測及鋼軌破壞試驗之比對所建立之資料庫，是否可應用於在路線上實施超音波檢測時，依據超音波檢測波形及數值而判定焊道瑕疵形成的原因，若可，將可提升鋁熱劑焊接之品質，降低行車事故，使鐵路行車有舒適、安全的環境。

## 第貳章 文獻回顧

### 一、超音波簡介

超音波檢測是利用高頻振動的音波導入材料內部，藉以檢測材料表面或內部缺陷之非破壞檢測方法。此檢測法除用於檢測缺陷外，尚可用於量測試件厚度，進一步若利用音波在材料內部的穿透性差異或音速改變情形，可輔助用於分析材料物理性質、晶粒尺寸或顯微組織等，對材料學研究貢獻甚大。此外，由於超音波檢測係利用音波高頻振動的原理，因此只要音波能量能完全穿透檢測物厚度，不論是金屬或非金屬試件皆可檢測，此特點使其在非破壞檢測方法中應用更為廣泛。

### 二、器材及設備

#### (一) 超音波探傷儀：

工業上用於非破壞檢測者多以探傷用之脈波反射式超音波檢測儀居多(A 掃描訊號顯示)。脈波反射式超音波檢測儀是以高頻脈衝產生器產生電壓脈動，經由同軸電纜線傳輸至換能器中，換能器將電的脈波震盪變成機械震盪之超音波而傳送入檢測物內，並接收來自表面、缺陷及底面等機械震盪的回波，再轉換成脈動的電壓訊號，經放大電路增幅並藉由掃描電路時序控制而將此回波訊號先後顯示於示波器螢幕上。

#### (二) 校準規塊

超音波檢測為建立缺陷大小評估的比對根據，並瞭解儀器特性是否達到使用條件標準，必須視檢測需要製作不同形狀、大小

及人工缺陷的校準規塊。

### (三) 探頭(Probe)

探頭亦稱換能器(Transducer)，主要由壓電晶體(Piezoelectric Crystal)構成，當通以交流電時，壓電晶體會發生高頻振動而產生超音波，藉以發射進入檢測物內，當反射回波撞擊探頭時，壓電晶體會使其轉換成交流脈波訊號，因此探頭兼備音波發射與接收之雙重作用。超音波探頭依其使用場合不同，區分為接觸式探頭(Contact Probe)及浸液式探頭(Immersion Probe)兩種；若依使用目的不同，則區分為直束探頭(Straight Beam Probe)、斜束探頭(Angle Beam Probe)、可變角度探頭(Changeable Angle Probe)、雙晶探頭(Twin Probe)、遲延探頭(Delay Probe)、漆刷型探頭(Paint Brush Probe)及聚焦探頭(Focusing Probe)。

### (四) 耦合劑

在檢測時於探頭與檢測物表面間添加水、油或漿糊等物質，藉以趕走空氣，避免音波能量損失而以較佳的傳送效率進入檢測物內部，此等接觸媒質，稱為耦合劑(Couplant)。耦合劑於檢測時應穩定滯留於檢測面上，於完成檢測後，必須容易清除，且不能對檢測物或探頭造成損害。實用上耦合劑以罐裝或瓶裝居多，選用時應注意其化學特性，並注意適用溫度。

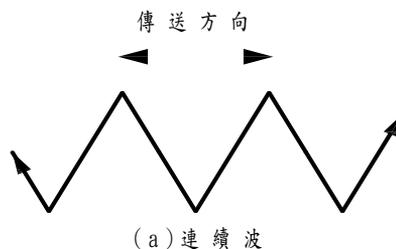
## 第參章 超音波探傷的發展與理論

### 一、超音波產生之原理

人耳可以聽見的音波，頻率約在 6Hz 至 20KHz 之間，若波動的頻率高於此範圍，則音波無法為人類所聽見，稱其為超音波(Ultrasonic 在非破壞檢測應用上，超音波頻率約在 0.5MHz 至 25MHz 之間，而其中尤以 1MHz 至 5MHz 最為常用。此等壓電材料製成之晶體薄片，當外加一正負交變的電壓訊號時，則晶體薄片會形成厚薄變化而產生壓縮震盪的現象，於是便形成超音波。當超音波傳送進入檢測物內部時，若碰觸到介面而被反射回來，此時超音波脈波正負交變的波形會使得壓電晶體薄片承受正負交變的壓縮力。壓縮力愈大則晶體薄片兩面所產生的電壓愈大，此電壓訊號經檢測儀電路增幅放大後而呈現於顯示器上。

#### (一) 音波的種類

當物質中的粒子受外力作用而產生機械性震盪時，即發生波動現象。波動產生的音波若是連續不斷的，即稱為連續波(Continuous Wave); 否則當音波呈現衰減的脈動波形時，則稱為脈波(Pulse Wave)，如圖 3-1 所示。超音波因音波波動特性不同，產生下列四種不同的波式：



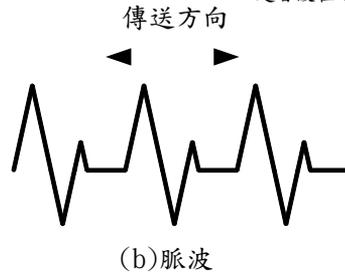


圖 3-1 波動產生的音波種類

### 1、縱波

物質粒子之振動方向與波傳送方向平行者，稱為縱波 (Longitudinal Wave)。此波以疏密相間方式傳遞，因此亦稱疏密波；且由於波是藉由壓縮力及彈性力造成，所以又稱壓縮波或彈性波。由於固體、液體及氣體可傳送壓縮力，因此縱波可存在於此三相內。

### 2、橫波

物質粒子之振動方向與波傳送方向垂直者，稱為橫波 (Transverse Wave)，亦稱剪力波 (Shear Wave)，如圖 3-2 所示。由於氣體及液體中物質粒子間距離較大，相互間作用力較弱，難以傳送切向力，因此不能傳遞橫波，使得橫波僅能存在於固體中。

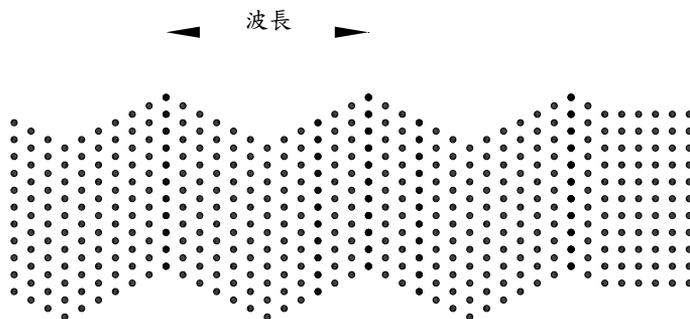


圖 3-2 橫波

### 3、表面波

波以某一角度入射於物體表面時，因橫波與縱波相互干涉的結果，使得波動僅沿物體表面傳送，稱為表面波(Surface Wave)，如圖 3-3 所示。表面波是沿著固體及氣體介面傳遞，特別適合複雜輪廓物體表面缺陷之檢測。對於固體表面使用之耦合劑，必須是極薄的膜層，否則表面波將難以傳送而無法檢測表面缺陷。

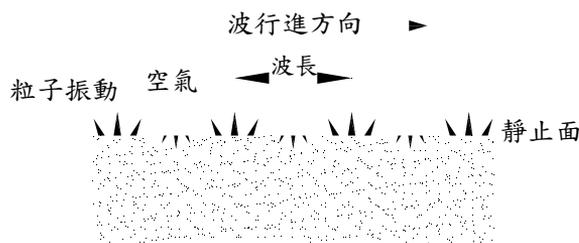


圖 3-3 表面波

### 4、藍姆波

波以某些角度入射於極薄的複合材料或金屬板表面時，在適當的材料密度、彈性係數、厚度及波動頻率下，會產生藍姆波(Lamb wave)。藍姆波又稱平板波(Plate Wave)，可傳送於物體的內部及上、下表面。藍姆波依物質粒子運動方向與受檢物中心軸是否對稱，可區分為下列兩種：

#### (1) 擴張波(Dilatational Wave):

為對稱的藍姆波，沿著受檢物中心軸會產生壓縮

(縱向的粒子位移;同時在受檢物上、下表面

產生沿著橢圓方向的位移，如圖 3-4(a)所示。

(2) 彎曲波(Bending Wave):

為非對稱的藍姆波，沿著受檢物中心軸會產生

剪力方向(橫向)的粒子位移;同時在受檢物

上、下表面亦產生沿著橢圓方向的位移，如圖

3-4(b)所示。

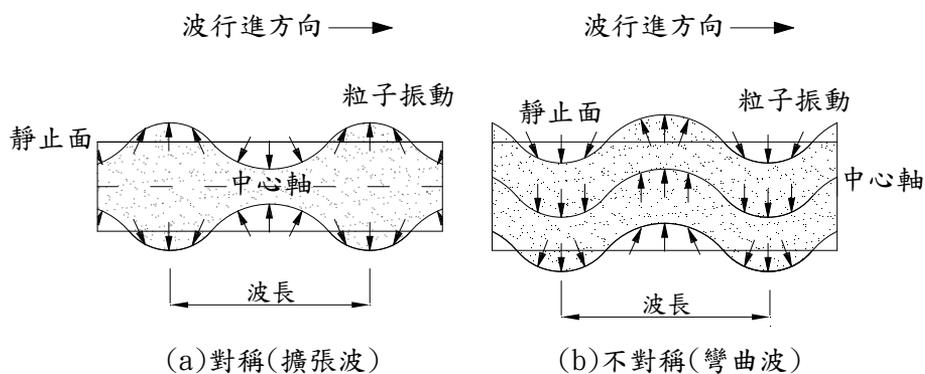


圖 3-4 藍姆波

(二) 音波傳送速率

超音波在物質中傳送的快慢程度，稱為音速(Acoustic Velocity)。同一物質中相同波式的音速接近定值，但不同波式時其音速會發生改變。一般而言，在相同的均質物質中，縱波的音速約為橫波的两倍(鋼中約 1.8 倍)，表面波音速小於橫波(在鋼中約為橫波之 0.92 倍)。常見物質中不同波式的音速。

(三) 音壓及音阻抗

音壓是表示同相位粒子構成之平面上，單位面積所承受的壓縮力。音壓愈大則波動粒子振動愈大，其音波強度愈大。音波在

物質中傳送時所受的阻礙程度以音阻抗  $Z$ (Acoustic Impedance) 來表示;其大小等於材料密度( $P$ )與音速( $@$ )的乘積。在不同物質中,音阻抗與其密度成正比,而在同一物質中,由於不同波式其音速不同,因此音阻抗並不相同。

#### (四) 音波的反射及折射

當音波由介質 1 入射至另一種特性不同的介質 2 時,在音波到達二介質介面時,音波會發生反射(Reflection)、折射(Refraction)或波式轉換的現象,如圖 3-5 所示。為進一步瞭解入射音波及折射音波特性,可利用折射定律(司乃耳定律)。

在圖 3-5(a)及(b)中,入射縱波進入介質 2 時部介音波發生波式轉換為橫波,使得縱波及橫波同時存在於介質 2 中,此結果若應用於實際檢測訊號的判別,將發生混淆而無法正確判定缺陷是由縱波或橫波所偵測到。因此超音波檢測實用上,斜束探頭多利用塑膠楔形塊以決定入射縱波角度,藉以控制所要的折射波波式及折射角,且一般多以能在檢測物內僅產生折射橫波為目的。

由圖 3-5(c)可知,當音波入射角增大至  $\alpha$  角度以上時,由介質 1 入射的縱波,在介質 2 中發生全反射(縱波折射角為  $91^\circ$  或更大)而完全消失,僅留存折射橫波,此角度稱為縱波臨界角(第一臨界角)。同理,在圖 3-5(d)中,當音波入射角加大至  $\alpha$  角度以上時,由介質 1 入射的縱波,在介質 2 中發生全反射而回至介質 1,此時折射;橫波亦消失(橫波折射角為  $90^\circ$  或更大),

稱此角度為橫波臨界角(第二臨界角)。綜合圖 3-5(c)及圖 3-5(d)得知，當音波入射角介於縱波及橫波臨界角之間時，則折射波僅為橫波，此狀況即適合超音波之檢測。

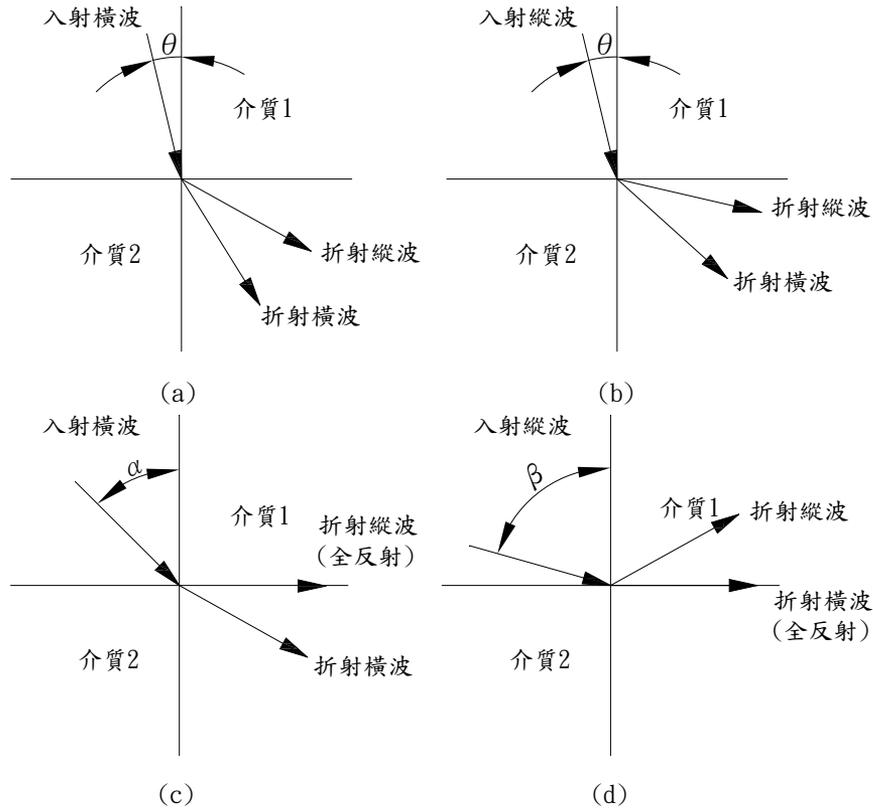


圖 3-5 音波的反射及折射

### (五) 音波的發散及衰減

超音波音束作用的範圍稱為音場(Acoustic Field)，由於超音波音束隨著壓電晶體薄片距離改變，其音壓並非一致性變化；因此以距離壓電晶體薄片最遠(最右)的一個最強音壓點為分界點，由此點向左與壓電薄片間的區域，稱為近場(Near Field)，而由此點向右的區域，稱為遠場(Far Field)。

超音波強度的減弱，主要來自發散及衰減兩項因素：

### 1、發散(Divergence)：

主要因超音波音束在遠場中以發散角向外發散，致使音波強度隨距離增加而逐漸減弱。

### 2、衰減(Attenuation)：

均質物質對超音波強度(音壓)不曾造成減弱，然一般材料或多或少都會使超音波強度造成衰減，其原因來自於吸收與散射兩種現象。

#### (1) 吸收：

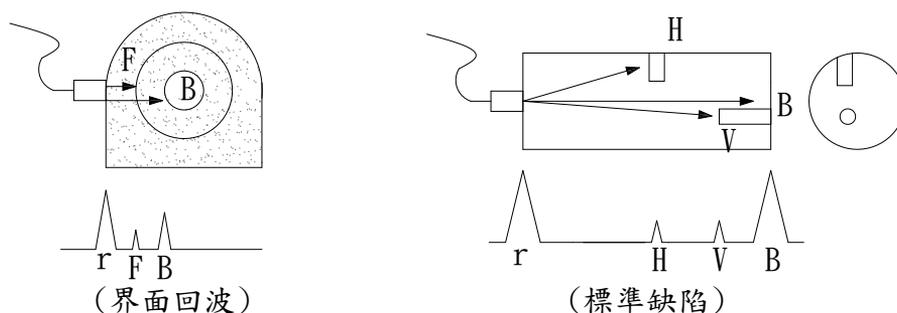
材料將音束能量轉換為熱能而散失，使得音束強度降低。

#### (2) 散射：

由於材料的非均質性，包括雜質、氣孔、晶界…等阻礙音束傳送而形成許多音束分量，致使超音波強度減弱。

### (六) 超音波訊號顯示與訊號記錄之符號

為分辨檢測物幾何形狀及缺陷造成之回波訊號顯示，超音波訊號以符號加以記錄，配合檢測實例圖形說明，如圖 3-6 所示。



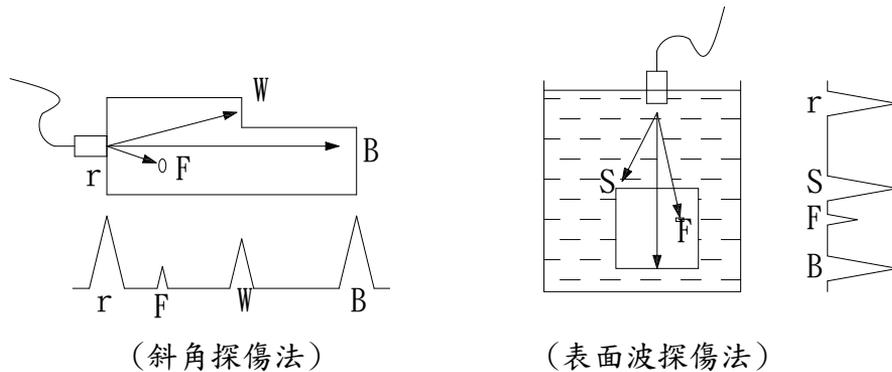


圖 3-6 超音波訊號顯示

## 二、超音波檢測方法

### (一) 依探頭耦合方法區分

#### 1、接觸檢測法(Contact Testing)

檢測時探頭與檢測物直接接觸的檢測法，一般在二者間須加入耦合劑以趕走空氣而利於音波傳送進入檢測物內。當檢測面粗糙或為曲面時，宜採用較黏稠之耦合劑，如漿糊、黃油等。對於一般性檢測，可用較稀的液體，如水、甘油及機油等。接觸檢測法由於探頭與檢測面直接接觸，其間之摩擦力阻礙探頭的滑動，因此適合慢速或手動的檢測。

#### 2、浸液檢測法(Immersion Testing)

對於檢測物因形狀限制、表面過於粗糙或厚度薄等因素，以致不適合利用探頭直接接觸檢測時，可採用浸液法檢測。此法檢測時將檢測物全部或局部浸沒於液體中，或使用噴水等方法

法。浸液常用之液體為水，但其他能傳送超音波之液體亦可。浸液檢測法由於探頭與檢測物不直接接觸，因此適合應用於高速之自動檢測上。

## (二) 依訊號檢出方式區分

超音波檢測方法依訊號檢出方式不同，可分為脈波反射法(Pulse Echo method)、雙晶探頭檢測法(Twin Crystal Method)、投捕檢測法(Pitch-Catch Method)、表面波檢測法(Surface Wave Method)及穿透傳送法(Through Transmission Method)等，茲分述如下：

### 1、脈波反射法(Pulse Echo method)：

脈波反射法是超音波檢測最常用的方法，螢幕水準軸表示訊號出現的時間或回波在檢測物中所走的路徑長度，而垂直軸表示訊號高度。超音波進入檢測物而碰觸一介面或缺陷時，部份音波即被反射而循原路徑回來，並為探頭接收成回波訊號而顯示於儀器的螢幕上。由於檢測時須事先設定螢幕之水準距離(時間)範圍，因此即可根據起始脈波(Initial Pulse)、缺陷回波(Defect Echo)及底面回波(Bottom Echo)位在儀器螢幕上之水準位置，並配合檢測物厚度、探頭位置及其音束路徑的幾何關係換算求得缺陷的位置。同時，螢幕上顯示的訊號高度，並不一定表示缺陷大小，必須在人工缺陷規塊的校準比對下，推測缺陷大小，因為影響反射訊號強度的因素很多，諸如缺陷

的大小、形狀、表面狀況，以及缺陷與音束間的方向等均是。

以脈波反射檢出回波訊號的檢測方法，常見有下列幾種，其選用時機，端視是否能得到最大缺陷回波及便利檢測為原則。當超音波音束方向與缺陷垂直時，可得最大的缺陷回波訊號，此時缺陷檢出效果最佳。

### (1) 直束檢測法(Straight Beam Testing)

利用直束探頭髮射超音波縱波以垂直入射面方向進入檢測物的檢測方法，稱為直束檢測，如圖 3-7 所示。當檢測物尺寸較厚而對稱、表面平坦或平滑者常採用直束探頭檢測。

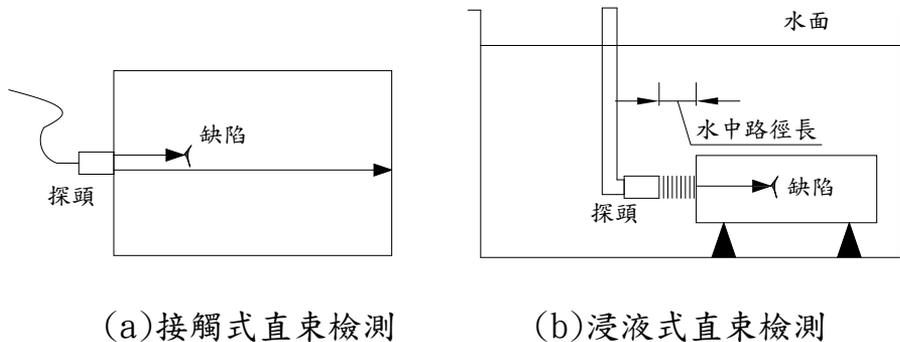


圖 3-7 直束檢測法

圖 3-7(a)所示為接觸式直束檢測，檢測物內部有缺陷，其缺陷回波訊號在起始脈波及底面回波間出現而被檢測到。圖 3-7(b)所示為浸液式直束檢測。當音束與缺陷之反射面垂直時可得最大回波訊號，因此直束檢測較適宜檢測與入射面平行或方向性較不強烈的缺陷，如含

渣或氣孔等。對於鐸道缺陷檢測，如裂縫或熔合不良等，因其缺陷方向常不平行於音波入射面，且方向性較強烈，故即使是將鐸冠磨平亦難檢測出重要缺陷。此外，直束檢測法中，若檢測物背面與入射面平行，大多有底面回波。檢測時可利用有無底面回波以判斷超音波是否完全穿透整個檢測物，同時可藉由維持一定的底面回波高度，以穩定檢測靈敏度。直束檢測時在螢幕上直接讀出缺陷之射束距離，即為其在探頭正前方(下方)之深度，因此不必經由計算就可得知缺陷的位置。

## (2) 斜束檢測法(Angle Beam Testing)

利用斜束探頭髮射超音波以偏斜方向進入入射面之檢測方法，稱為斜束檢測，如圖 3-8 所示。對於檢測物因形狀限制、製造方法、缺陷位置等關係，如鑄件、鐸件、管件或中空件等常採用斜束檢測。

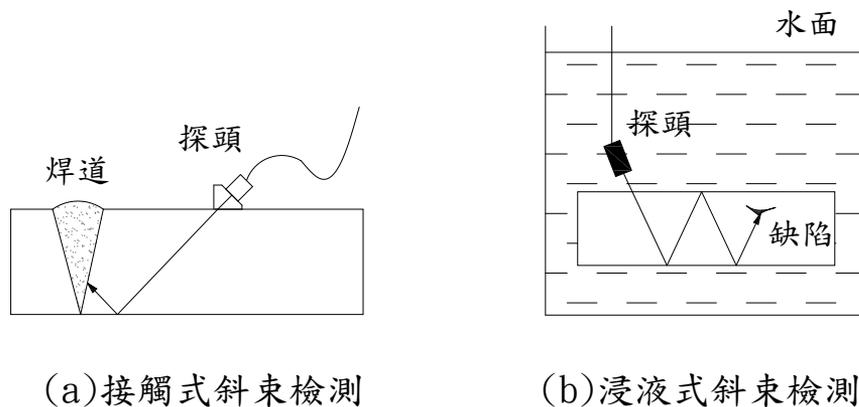


圖 3-8 斜束檢測法

圖 3-8(a)為接觸式斜束檢測鐸道缺陷的例圖，而圖 3-8(b)為浸液式斜束檢測板件內缺陷的例圖。超音波音束偏斜的目的，主要使入射縱波在檢測物內產生不同角度的折射橫波、折射縱波或表面波以檢測缺陷，在使用上以產生折射橫波為最普遍。此外，偏斜的超音波音束，可使得超音波與欲檢測的缺陷垂直，以期獲得較大的缺陷回波及檢測靈敏度，因此甚適合鐸道缺陷的檢測。由於斜束檢測法無背面回波，故不具直束檢測之優點與便利。斜束檢測時應使探頭掃描區域涵蓋整個檢測範圍。

## 2、雙晶探頭檢測法(Twin Crystal Method):

同一探頭包含兩個相鄰的壓電晶體，一晶體發射超音波，另一晶體接收超音波，超音波音波皆為縱波型式。由於此一設計，電壓脈動訊號不須傳輸至放大器內，因此起始脈波甚小，甚適合用於薄件檢測近表面缺陷。此種探頭之檢測靈敏範圍在兩音波射束相交區間，因此過於接近表面或太深的缺陷較難偵測到檢測死區(Dead Zone)。

## 3、投捕檢測法(Pitch-Catch Method)

如圖 3-9 所示，兩個分離的探頭在檢測物上之不同位置，分別擔任發射及接收超音波的功能。發射探頭所發射的超音波，經缺陷反射後部分音波恰為另一探頭所接收，藉由調整兩探頭間距離，便可檢測到物體表面下不同深度的缺陷。

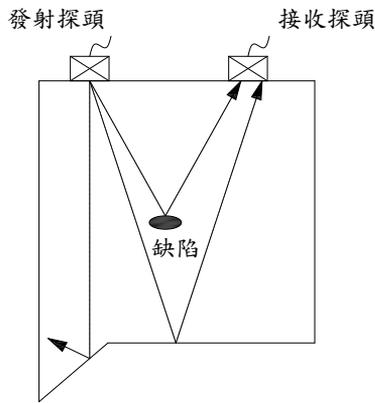


圖 3-9 投捕檢測法

#### 4、表面波檢測法(Surface Wave Method)：

表面波檢測法係利用特殊的斜束探頭，恰好使折射橫波到達橫波臨界角(第二臨界角)而全反射為表面波，如圖 3-10 所示。此法適合偵測檢測物的表面缺陷，當表面波能量集中時，對於任何種類的表面缺陷，諸如空孔、油漬、裂縫等均能產生缺陷回波而被檢測到。

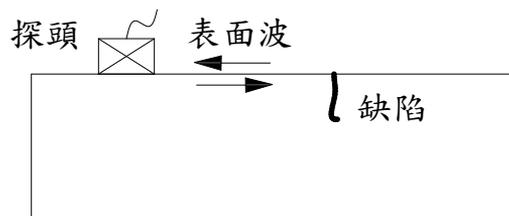


圖 3-10 表面波檢測法

#### 5、穿透傳送檢測法(Through Transmission Method)：

此法是偵測傳送波訊號強弱藉以判斷是否有缺陷的方法，因此另稱強度法(Strength Method)。其方法為一個探頭髮

射超音波，而在檢測面的對邊以另一個探頭負責接收超音波訊號(採用直束探頭或斜束探頭均可)。當檢測物中無缺陷時，音波將毫無阻礙地傳送，可接收到較高的訊號高度(強度大);若檢測物中有缺陷，則音波傳送時部分音波為缺陷所反射，因此接收到較低的訊號高度，如圖 3-11 所示。

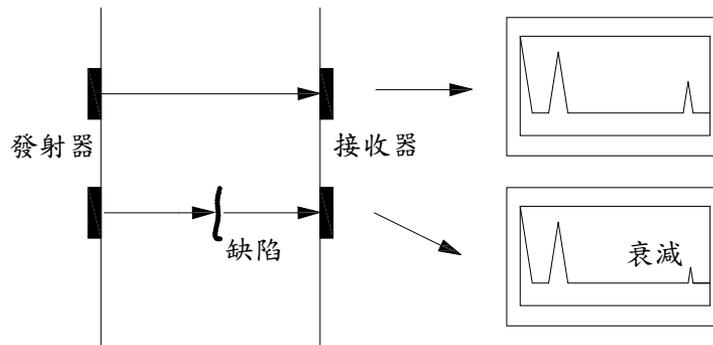


圖 3-11 穿透傳送檢測法

此種檢測方法有下列兩種缺點：

- (1) 不能顯示缺陷位置。
- (2) 微量的訊號降低，未必由缺陷造成，因此可能造成誤判而降低可靠度。



## 二、儀器設備

本研究採用 OLYMPUS 所生產之超音波探傷儀—EPOCH 4B；如圖 4-2 所示。儀器設計以發射端與接收端探頭為一體型式，詳細規格如下：

靈敏度：最高達 110 分貝，解析度從 0.1 到 6 分貝可選

單位：公制

波速範圍：635 至 15240 m/s

測量範圍：4 至 5000 mm

折射角度：固定值為  $0^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $70^\circ$  等 4 組。

脈衝型式：負尖波脈衝、可調式矩形波

整流類型：全波、正半波、負半波及非整流射頻波

檢測方式：脈波反射、雙晶或穿透



圖 4-2 超音波探傷儀

## 三、人工缺陷規塊製作

先以熱劑焊接標準作業程式焊接兩端各約 1M 長之 UIC60 鋼軌，取其包含焊道長 45cm 之軌條，於一端無焊道部份之適當位置鑽一 3mm 瑕疵孔，另焊道處之軌腹適當位置也鑽一 3mm 瑕疵孔，成品見圖 4-3，詳細位置標

註見圖 4-4：



圖 4-3 人工缺陷規塊成品圖

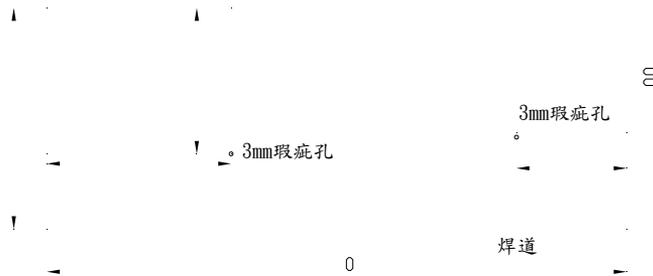


圖 4-4 人工缺陷規塊尺寸圖

#### 四、儀器校正

(一)  $45^\circ$  (斜束) 探頭校正：

1、 $45^\circ$  (斜束) 探頭對軌條瑕疵孔深度的校正：

以游標卡尺於無焊道軌條邊緣 113.5mm 處定位並於該

點軌頭面倒入適量之耦合液，再將套上 45° 楔形塊之 2.25MHz、半徑 0.25" 斜束探頭垂直且緊密的置於其定位點，調整數據至最佳化，靈敏度定為 60db，波速調整至 3047m/s，儀器面板顯示瑕疵孔深度為 113.47mm，與真實尺寸相符，其施作示意圖 4-5，校正波形數值見圖 4-6。



圖 4-5 45°（斜束）探頭對軌條瑕疵孔的檢測示意圖

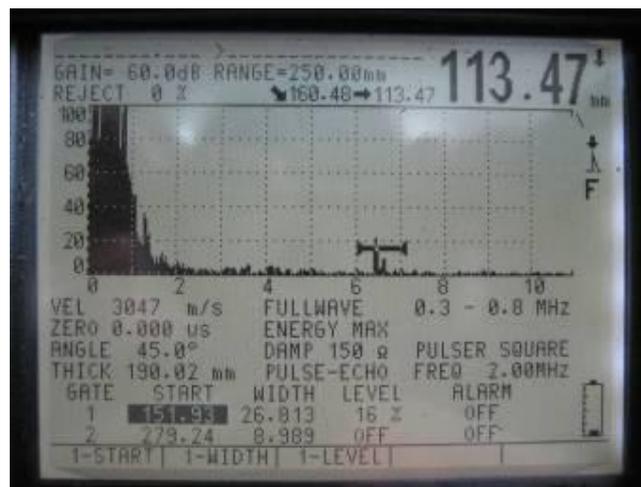


圖 4-6 45°（斜束）探頭對軌條瑕疵孔校正波形數值圖

2、45°（斜束）探頭對軌條焊道瑕疵孔的檢測：

以游標卡尺於軌條焊道瑕疵孔正上方左側 100.5mm 處定位並於該點軌頭面倒入適量之耦合液，再將套上 45° 楔形塊之 2.25MHz、半徑 0.25" 斜束探頭垂直且緊密的置於其定位點，讀取超音波探傷儀數據，儀器面板顯示瑕疵孔深度為 100.46mm，與實際深度相符，故確認超音波儀器校正完成，其施作示意圖 4-7，施測波形數值見圖 4-8。

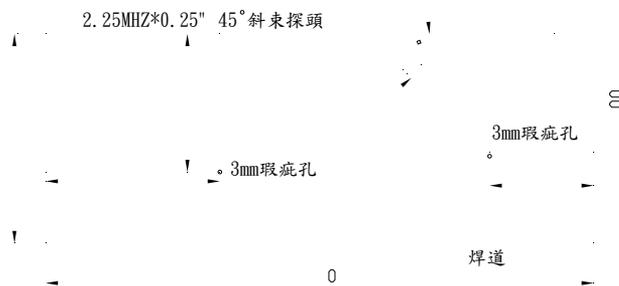


圖 4-7 45°（斜束）探頭對軌條焊道瑕疵孔的檢測示意圖

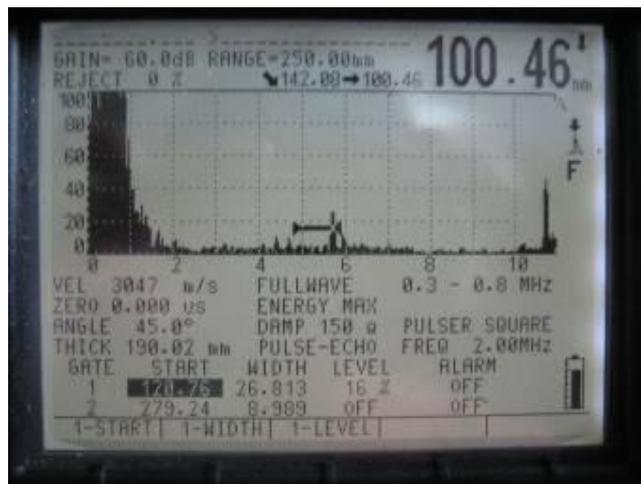


圖 4-8 45°（斜束）探頭對軌條焊道瑕疵孔施測波形數值圖

3、70°（斜束）探頭對軌條瑕疵孔深度的校正：

因本隊並無足夠長度及強度之 3 分鑽頭進行軌頭處之鑽孔，

固沿用 45°（斜束）探頭的校正數據。

## 五、儀器實際檢測

本隊藉由 97 年度鋁熱劑焊接人員訓練之便，施作一組預熱不足，一組漏漿之鋁熱劑焊接瑕疵焊道，與各段正常施作之鋁熱劑焊接焊道一同進行超音波非破壞檢測，而在超音波檢測上，因為偏斜的超音波音束，可使得超音波與欲檢測的缺陷垂直，可以獲得較大的缺陷回波及檢測靈敏度，故於鐸道缺陷的檢測上，0° 直束探頭並不經常使用，因此僅以 45°（斜束）探頭對軌腹焊縫及 70°（斜束）探頭對軌頭焊縫進行施測，其檢測結果分述如下：

### （一）、預熱不足

1、45°（斜束）探頭於軌腹焊道的檢測：

以游標卡尺於軌條焊道側邊 172mm 處定位並於該處軌頭面倒入適量之耦合液，再將套上 45° 楔形塊之 2.25 MHz、半徑 0.25" 探頭垂直且緊密的置於軌頭中心，將探頭平順的往焊道方向推進直至越過，以校正之數據施測，軌條見圖 4-9，施測示意圖 4-10，施測時發生異常波形數值見圖 4-11。



圖 4-9 UIC60 鋼軌鋁熱劑焊道圖 (預熱不足)

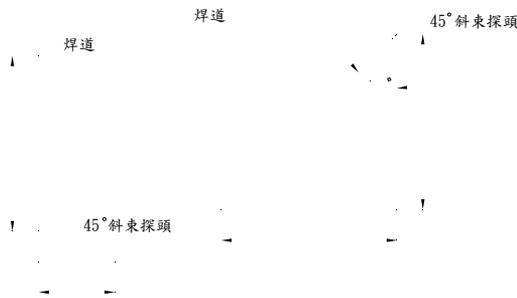


圖 4-10 45° (斜束) 探頭對軌腹的檢測示意圖

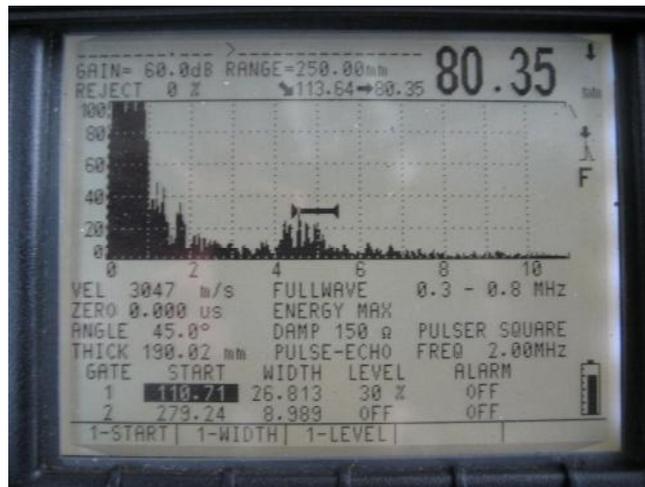


圖 4-11 45° (斜束) 探頭對軌腹焊道(預熱不足)施測波形數值圖

2、70°（斜束）探頭於軌頭焊道的檢測：

以游標卡尺於軌條焊道側邊 140mm 處定位並於該處軌頭面倒入適量之耦合液，再將套上 45° 楔形塊之 2.25MHz、半徑 0.25" 探頭垂直且緊密的置於其上，將探頭平順的一邊左右晃動一邊往焊道方向推進直至越過，以校正之數據施測，施測示意圖 4-12，施測時發生異常波形數值由遠而近見圖 4-13、4-14、4-15。

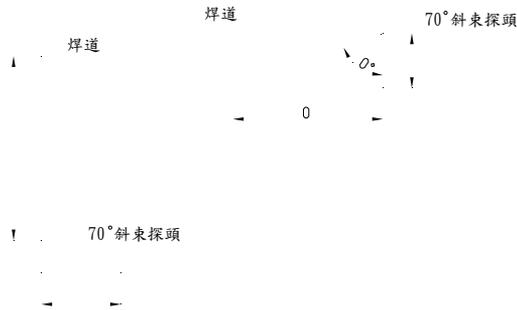
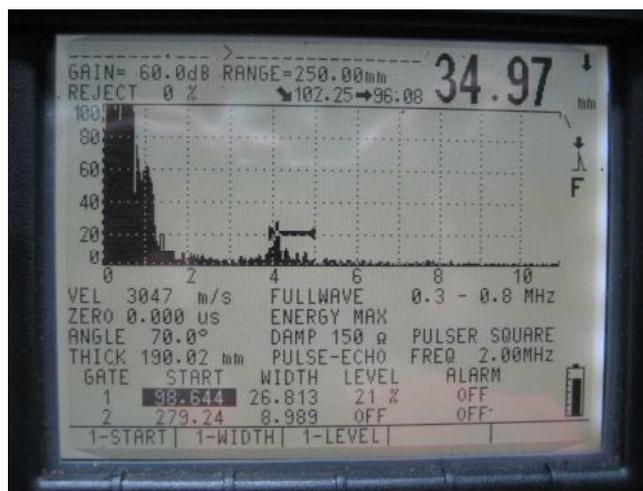


圖 4-12 70°（斜束）探頭對軌頭的檢測示意圖



4-13 70°（斜束）探頭對軌頭焊道(預熱不足)檢測示意圖一

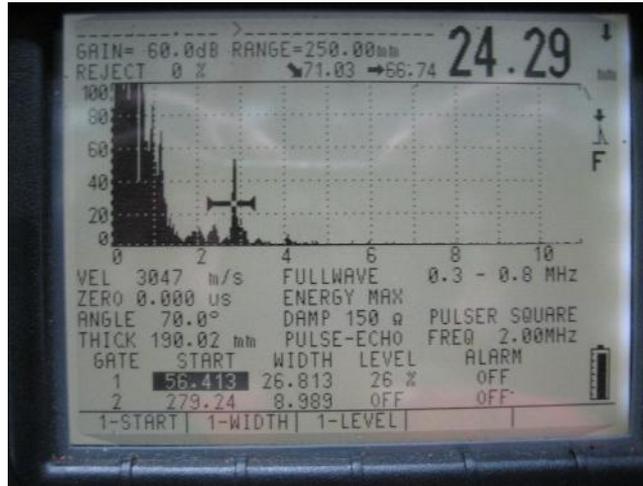


圖 4-14 70° (斜束) 探頭對軌頭焊道(預熱不足)檢測示意圖二



圖 4-15 70° (斜束) 探頭對軌頭焊道(預熱不足)檢測示意圖三

## (二)、漏漿

### 1、45° (斜束) 探頭於軌腹焊道的檢測：

以前述方法進行檢測，軌條見圖 4-16，施測時發生異常波形數值見圖 4-17。



圖 4-16 UIC60 鋼軌鋁熱劑焊道圖 (漏漿)

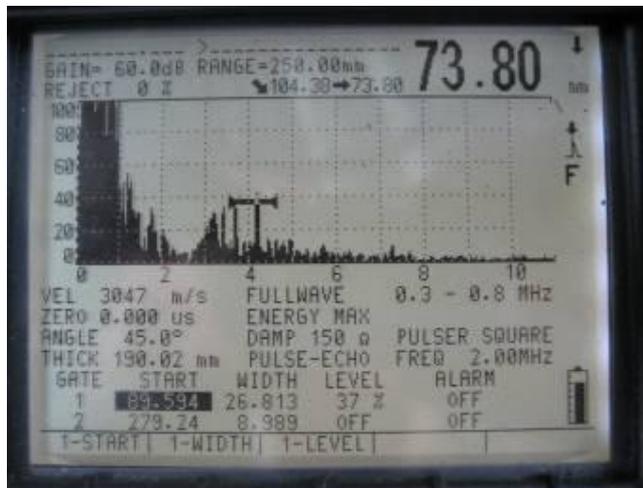


圖 4-17 45° (斜束) 探頭對軌腹焊道(漏漿)施測波形數值圖

2、70° (斜束) 探頭於軌頭焊道的檢測：

以前述方法進行檢測，施測時發生異常波形數值由遠

而近見圖 4-18、4-19、4-20。

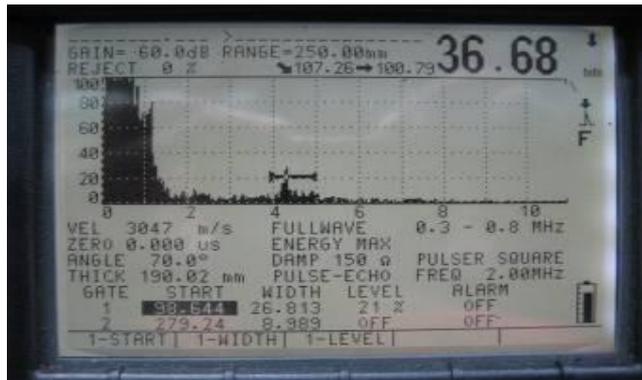


圖 4-18 70° (斜束) 探頭對軌頭焊道(漏漿)檢測波形數值示意圖一

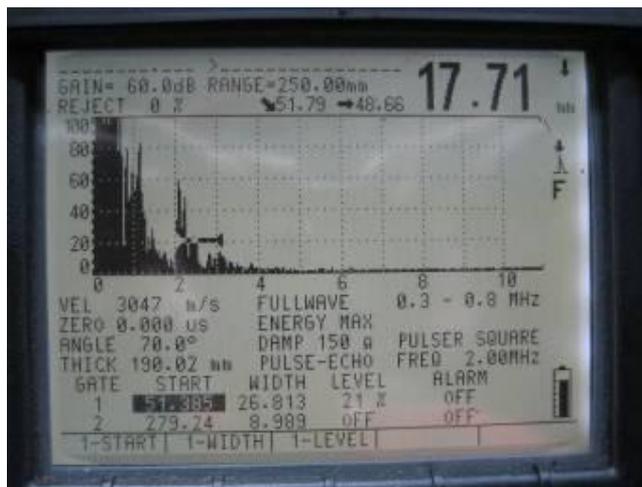


圖 4-19 70° (斜束) 探頭對軌頭焊道(漏漿)檢測波形數值示意圖二

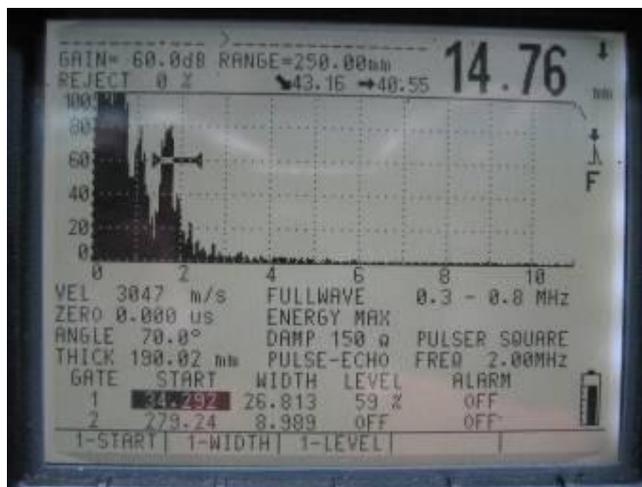


圖 4-20 70° (斜束) 探頭對軌頭焊道(漏漿)檢測波形數值示意圖三

(三)、北工段施作之鋁熱劑焊道

1、45° (斜束) 探頭於軌腹焊道的檢測：

以前述方法進行檢測，軌條見圖 4-21，施測時無發生異常波形數值見圖 4-22。



圖 4-21 UIC60 鋼軌鋁熱劑焊道圖 (北工段)

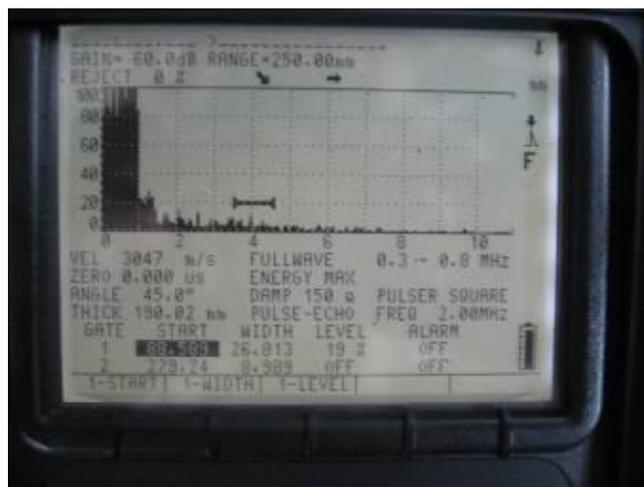


圖 4-22 45° (斜束) 探頭對軌腹焊道(北工段)施測波形數值圖

2、70°（斜束）探頭於軌頭焊道的檢測：

以前述方法進行檢測，施測時並無發生異常波形見圖 4-23。

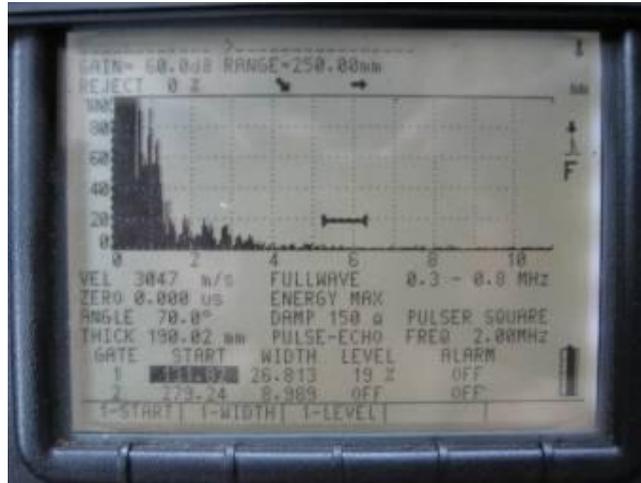


圖 4-23 70°（斜束）探頭對軌頭焊道（北工段）檢測波形數值示意圖

（四）、中工段施作之鋁熱劑焊道

1、45°（斜束）探頭於軌腹焊道的檢測：

以前述方法進行檢測，軌條見圖 4-24，施測時並無發生異常波形見圖 4-25。



圖 4-24 UIC60 鋼軌鋁熱劑焊道圖（中工段）

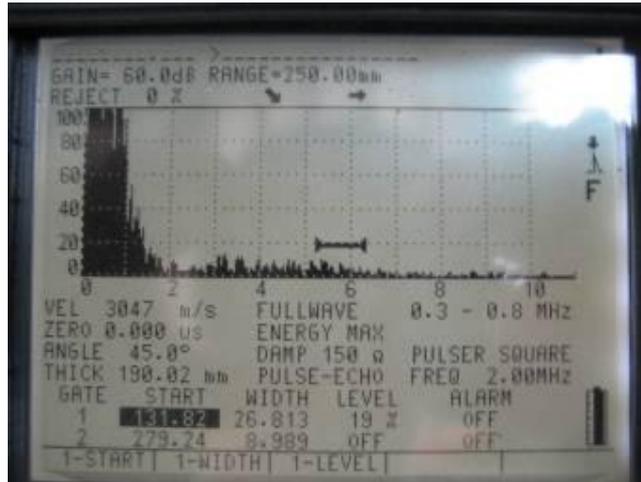


圖 4-25 45° (斜束) 探頭對軌腹焊道(中工段)施測波形數值圖

2、70° (斜束) 探頭於軌頭焊道的檢測：

以前述方法進行檢測，施測時並無發生異常波形見圖 4-26。

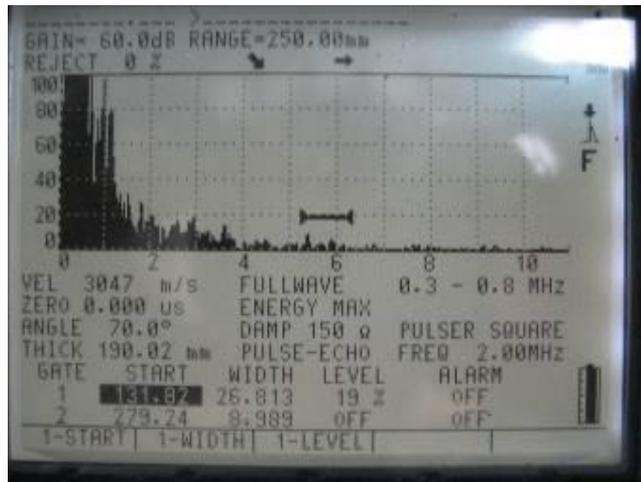


圖 4-26 70° (斜束) 探頭對軌頭焊道(中工段)檢測波形數值示意圖

(五)、嘉工段施作之鋁熱劑焊道

1、45° (斜束) 探頭於軌腹焊道的檢測：

以前述方法進行檢測，軌條見圖 4-27，施測時並無發生異常波

形，見圖 4-28。



圖 4-27 UIC60 鋼軌鋁熱劑焊道圖 (嘉工段)

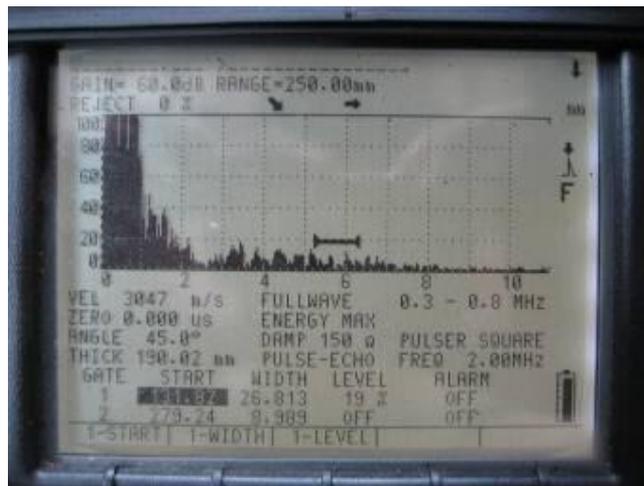


圖 4-28 45° (斜束) 探頭對軌腹焊道(嘉工段)施測波形數值圖

2、70° (斜束) 探頭於軌頭焊道的檢測：

以前述方法進行檢測，施測時並無發生異常波形，見圖 4-29。

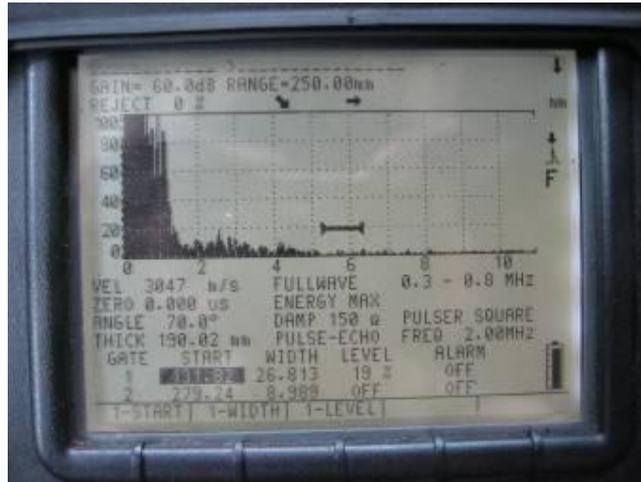


圖 4-29 70°（斜束）探頭對軌頭焊道(嘉工段)檢測波形數值示意圖

#### (六)、高工段施作之鋁熱劑焊道

##### 1、45°（斜束）探頭於軌腹焊道的檢測：

以前述方法進行檢測，軌條見圖 4-30，施測時並無發生異常波形，見圖 4-31。



圖 4-30 UIC60 鋼軌鋁熱劑焊道圖（高工段）

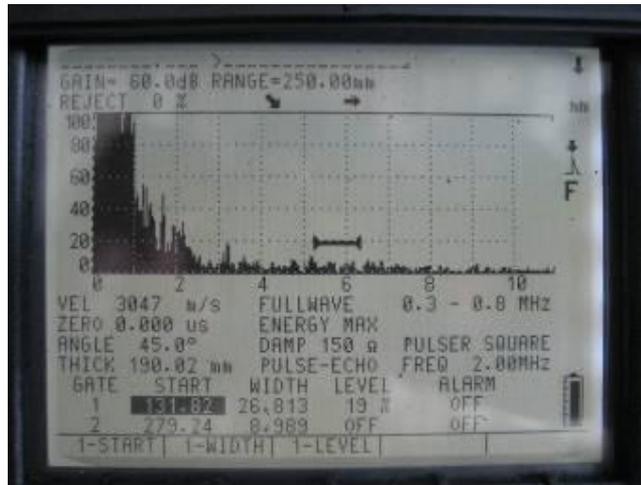


圖 4-31 45°（斜束）探頭對軌腹焊道(高工段)施測波形數值圖

2、70°（斜束）探頭於軌頭焊道的檢測：

以前述方法進行檢測，施測時並無發生異常波形，見圖 4-32。

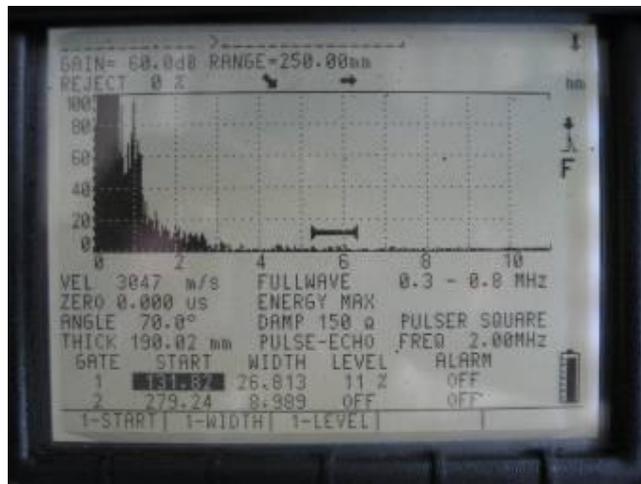


圖 4-32 70°（斜束）探頭對軌頭焊道(高工段)檢測波形數值示意圖

(七)、宜工段施作之鋁熱劑焊道

1、45° (斜束) 探頭於軌腹焊道的檢測：

以前述方法進行檢測，軌條見圖 4-33，施測時並無發生異常波形，見圖 4-34。



圖 4-33 UIC60 鋼軌鋁熱劑焊道圖 (宜工段)

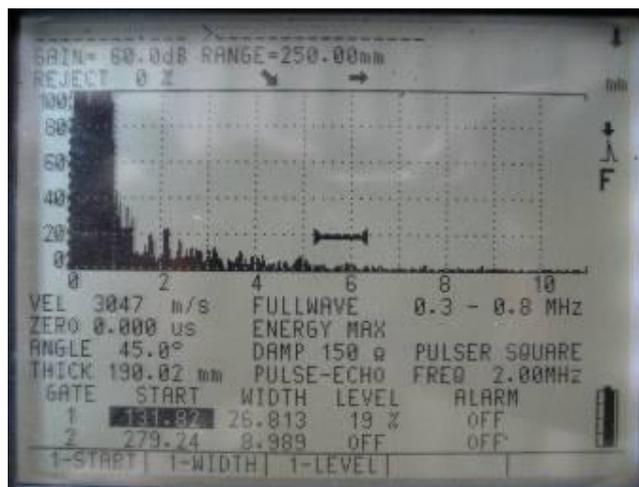


圖 4-34 45° (斜束) 探頭對軌腹焊道(宜工段)施測波形數值圖

2、70°（斜束）探頭於軌頭焊道的檢測：

以前述方法進行檢測，施測時並無發生異常波形，見圖 4-35。

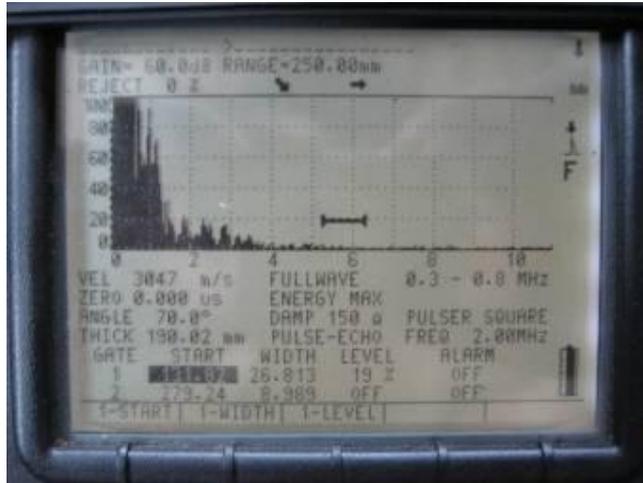


圖 4-35 70°（斜束）探頭對軌頭焊道(宜工段)檢測波形數值示意圖

#### (八)、花工段施作之鋁熱劑焊道

1、45°（斜束）探頭於軌腹焊道的檢測：

以前述方法進行檢測，軌條見圖 4-36，施測時並無發生異常波形，見圖 4-37。



圖 4-36 UIC60 鋼軌鋁熱劑焊道圖（花工段）

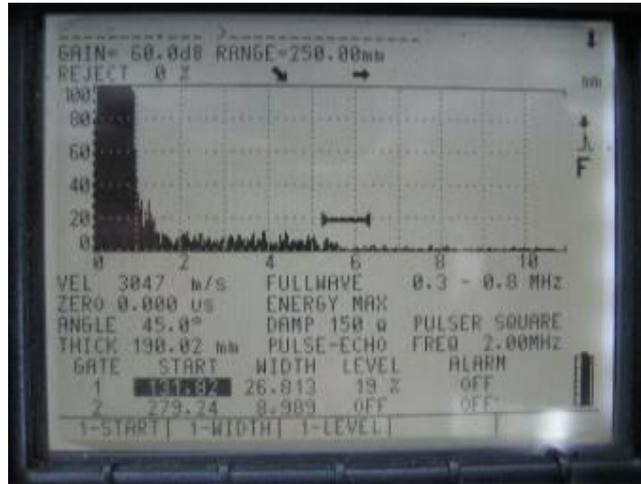


圖 4-37 45° (斜束) 探頭對軌腹焊道(花工段)施測波形數值圖

2、70° (斜束) 探頭於軌頭焊道的檢測：

以前述方法進行檢測，施測時並無發生異常波形，見圖 4-38。

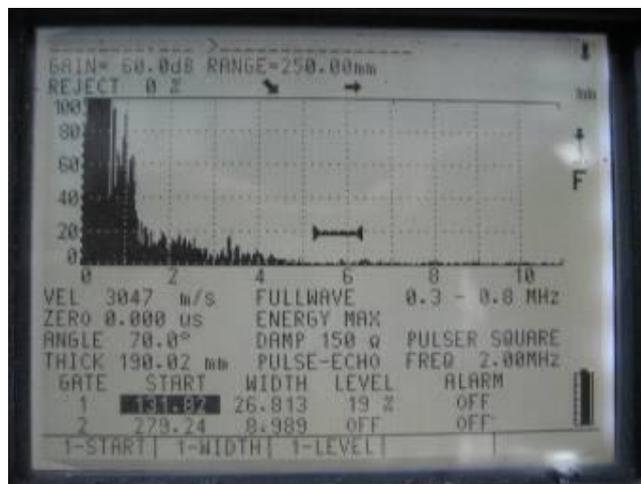


圖 4-38 70° (斜束) 探頭對軌頭焊道(花工段)檢測波形數值示意圖

(九)、東工段施作之鋁熱劑焊道

1、45° (斜束) 探頭於軌腹焊道的檢測：

以前述方法進行檢測，軌條見圖 4-39，施測時並無發生異常波形，見圖 4-40。



圖 4-39 UIC60 鋼軌鋁熱劑焊道圖 (東工段)

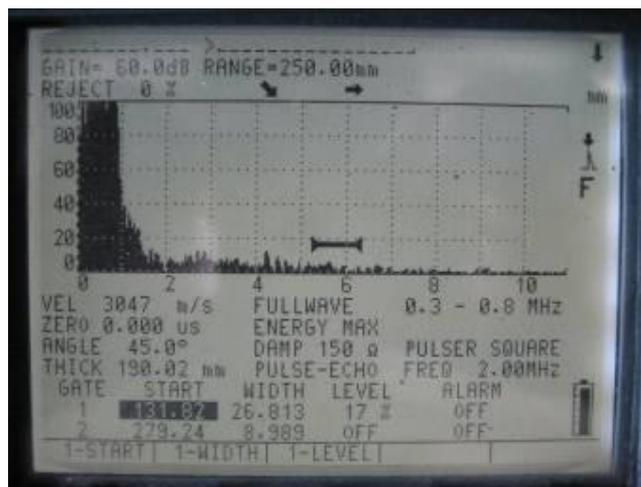


圖 4-40 45° (斜束) 探頭對軌腹焊道(東工段)施測波形圖

## 2、70°（斜束）探頭於軌頭焊道的檢測：

以前述方法進行檢測，施測時並無發生異常波形，見圖 4-41。

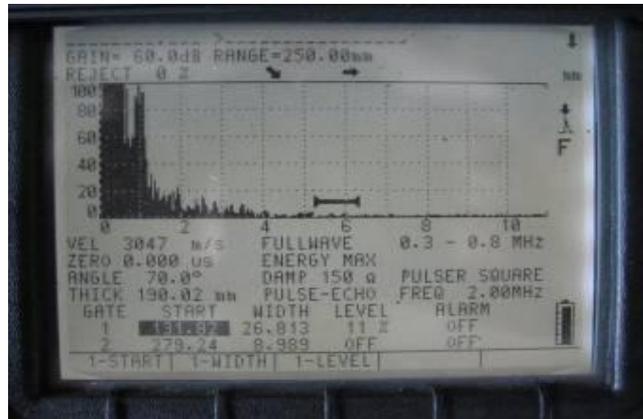


圖 4-41 70°（斜束）探頭對軌頭焊道(東工段)檢測波形示意圖

## 六、進行破壞試驗：

將工務養護總隊製作預熱不足之瑕疵鋁熱焊接鋼軌及各工務段鋁熱焊接鋼軌載至成功大學以液壓結構試驗機（500 噸）進行 UIC60 鋼軌焊道破壞試驗之試驗報告見表 4-2 及破壞後之各段隊之焊接鋼軌斷面見圖 4-42~4-49，其中除工務養護總隊所製作之預熱不足之瑕疵品外，各段之鋼軌焊接斷面均無瑕疵，且破壞強度均符合規定之 100t 以上，而工務養護總隊製作之預熱不足鋼軌焊接斷面可以看出明顯的軌頭及軌腹有明顯的裂縫及孔洞，其破壞強度僅約 72.8t，詳細討論見下章。

表 4-2 UIC60 鋼軌焊道破壞試驗報告單

國立成功大學土木工程學系

結構材料試驗報告單

第 2 頁 共 2 頁

(97) 第 SB0045 號

發文日期： 97 年 7 月 8 日

工程名稱： UIC60 鋼軌鋁熱劑焊道破壞試驗

製品工廠： 工務養護總隊

委託者： 工務養護總隊

取樣者： 陳俊吉

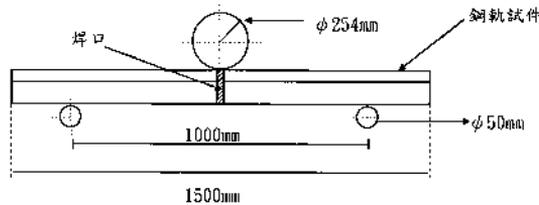
送樣者： 陳俊吉

會驗者： 陳俊吉

試樣名稱： UIC60 鋼軌焊道

收到日期： 97 年 7 月 8 日

編號	試樣來源	破壞荷重(Ton)	撓度(mm)	備註
1	台北工務段	140.8	37	焊接處斷裂
2	台中工務段	138.7	30	焊接處斷裂
3	嘉義工務段	149.8	43	焊接處斷裂
4	高雄工務段	138.5	30	焊接處斷裂
5	宜蘭工務段	150.6	48	焊接處斷裂
6	花蓮工務段	136.6	30	焊接處斷裂
7	台東工務段	143.8	32	焊接處斷裂
8	工務養護總隊	72.8	18	焊接處斷裂



備註

本試樣並非由試驗室方面取樣或送樣，故所列紀錄僅對所收到試樣本負責。

覆核者

試驗者





圖 4-42 工務養護總隊 UIC60 鋼軌焊道斷面圖一（預熱不足）



圖 4-43 工務養護總隊 UIC60 鋼軌焊道斷面圖二（預熱不足）



圖 4-44 台北工務段 UIC60 鋼軌焊道斷面圖



圖 4-45 台中工務段 UIC60 鋼軌焊道斷面圖



圖 4-46 嘉義工務段 UIC60 鋼軌焊道斷面圖



圖 4-47 高雄工務段 UIC60 鋼軌焊道斷面圖



4-48 宜蘭工務段 UIC60 鋼軌焊道斷面圖



圖 4-49 花蓮工務段 UIC60 鋼軌焊道斷面圖



圖 4-50 台東工務段 UIC60 鋼軌焊道斷面圖

## 第五章 超音波對 UIC60 鋼軌焊道檢測的探討

由 4.5 之檢測結果，可證實超音波探傷儀確實可應用於鋼軌焊道上的檢測，本章將對 UIC60 鋼軌焊道瑕疵品部份（預熱不足）的超音波檢測進行探討，試分述如下：

### 一、超音波在 UIC60 鋼軌焊道軌腹部份檢測：

依據焊道破壞斷面，可以明顯看出軌腹下方有部份有數個寬約 3~4mm 的孔隙，超音波探傷儀以 45° 探頭於距缺陷 80.35mm 檢測出缺陷深度為 80.35mm，其波高約略 30，焊道斷面見圖 5-1，檢測示意見圖 5-2，檢測波形見圖 5-3

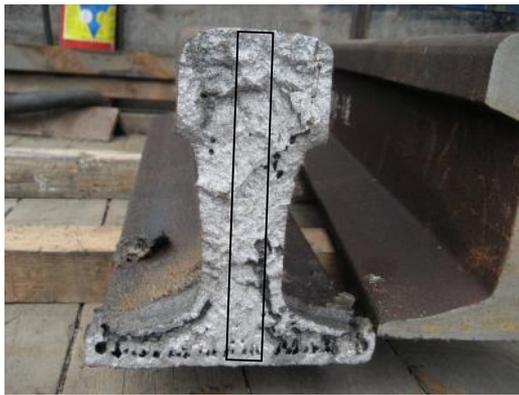


圖 5-1 UIC60 鋼軌焊道（預熱不足）焊道斷面圖

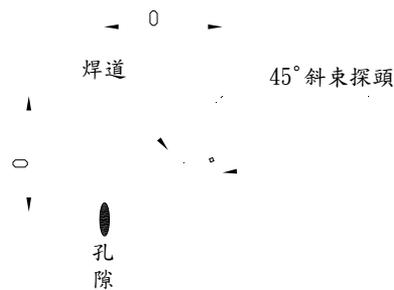


圖 5-2 45° 探頭對鋼軌（預熱不足）軌腹焊道的檢測示意圖

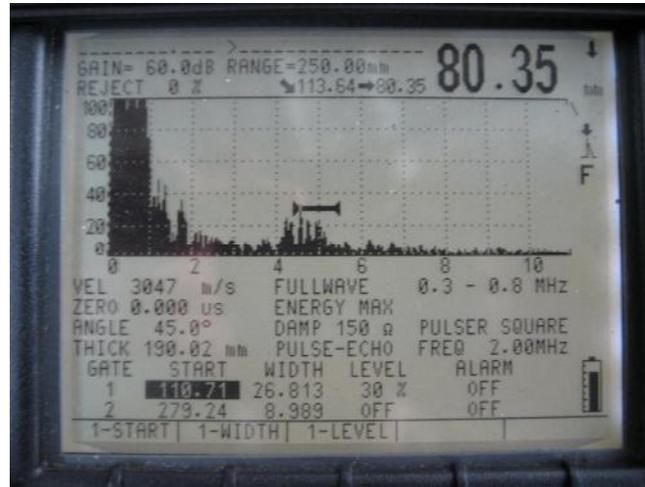


圖 5-3 45°探頭對鋼軌（預熱不足）軌腹焊道的檢測波形數值圖

## 二、超音波在 UIC60 鋼軌焊道軌頭部份檢測：

依據焊道破壞斷面，可以明顯看出軌頭有一長度約 4cm 的狹長裂縫，超音波探傷儀以 70°探頭於距裂縫 96.08mm 檢測出缺陷深度為 34.97mm，其波高僅略超過 20，焊道斷面見圖 5-4，檢測示意圖 5-5，檢測波形見圖 5-6。

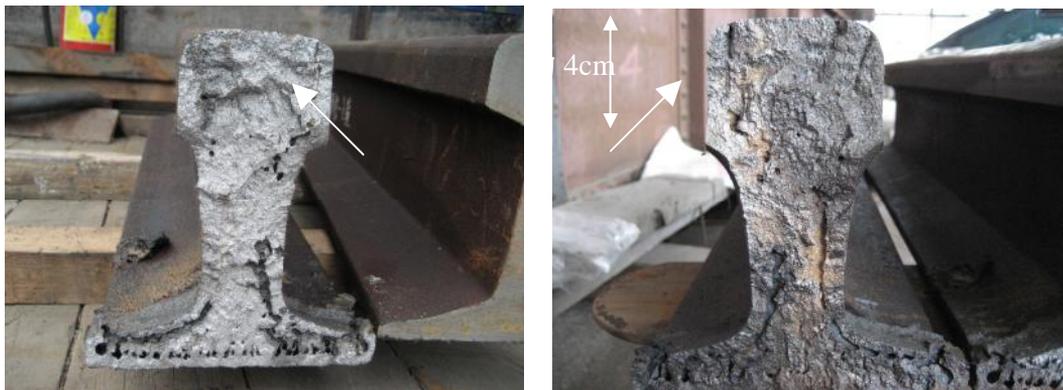


圖 5-4 UIC60 鋼軌焊道（預熱不足）焊道斷面圖

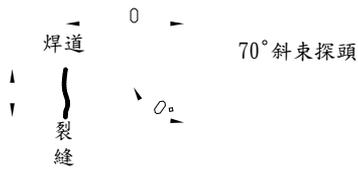


圖 5-5 70°探頭對鋼軌（預熱不足）軌腹焊道的檢測示意圖一

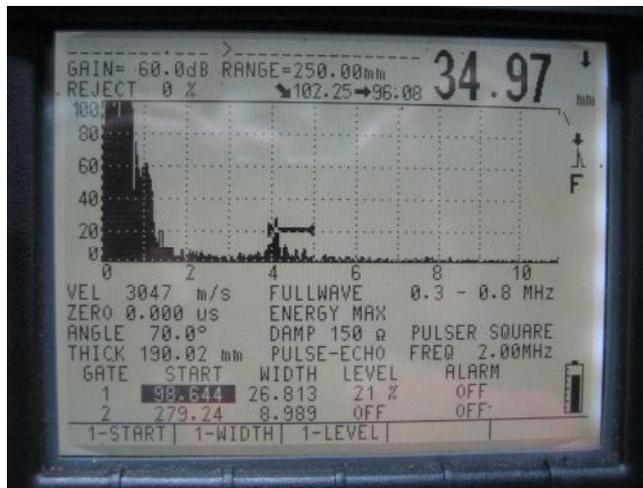


圖 5-6 70°探頭對鋼軌（預熱不足）軌腹焊道的檢測波形數值圖一

將探頭持續往焊道方向移動，螢幕顯示之波形也隨之往前移動，表示其缺陷是連續的，且波高也越來越高，在超音波探傷儀於距裂縫 66.74mm 時檢測出缺陷深度為 24.29mm，其波高幾達 60，檢測示意圖 5-7，檢測波形見圖 5-8。

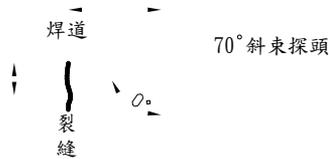
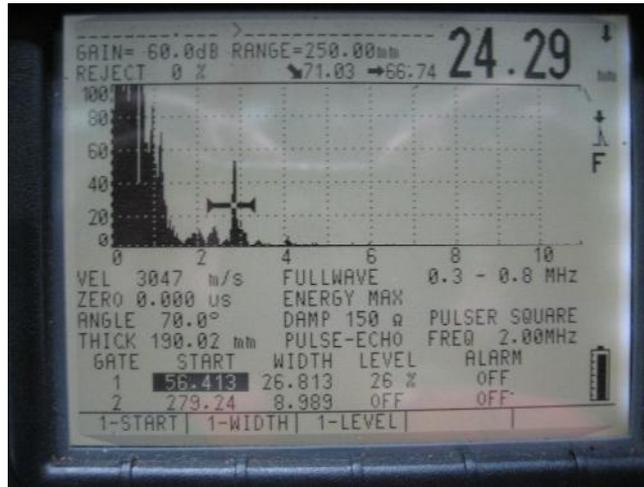


圖 5-7 70°探頭對鋼軌（預熱不足）軌腹焊道的檢測示意圖二



70°探頭對鋼軌（預熱不足）軌腹焊道的檢測波形數值圖二

持續將探頭持續往焊道方向移動，同樣的，螢幕顯示之波形也隨之往前移動，在超音波探傷儀於距裂縫 40.95mm 時檢測出缺陷深度為 14.90mm，其波高超過 60，檢測示意圖 5-9，檢測波形見圖 5-10，若再繼續往焊道方向前進，缺陷回波將與干擾回波合併，故無法再進行檢測。

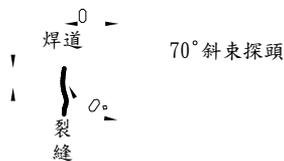


圖 5-9 70°探頭對鋼軌（預熱不足）軌腹焊道的檢測示意圖三



圖 5-10 70°探頭對鋼軌（預熱不足）軌腹焊道的檢測波形數值圖三

### 三、檢測的探討：

由以上的超音波非破壞檢測與破壞試驗相比較，超音波非破壞檢驗可以實際應用在 UIC60 的鋼軌焊道非破壞檢測上，以本次故意施作之預熱不足的瑕疵品而言，檢測情形探討如下：

- (一) 探頭一定要位於軌面中央，即軌腹上方處，若有偏移，極易造成誤判，又由於鋁熱劑焊接模具的關係，導致軌腹斷面積的加大，其加大的部份基本上是不能檢測的。
- (二) 當有數個孔洞位於附近時，因回波互相干擾，只能概估其範圍。
- (三) 超音波檢測到缺陷的距離與波高成反比，距離愈近，波高越高，當波形是連續往上遞增時，可以判定為一連續垂直裂縫，如瑕疵焊道斷面所示之垂直裂縫。

## 第陸章 結論與建議

### 一、結論

超音波檢測儀器的操作是一項簡易的工作，但對於缺陷顯示的確認及判定，檢測人員除應具備基本原理知識外，尚應熟悉檢測物製造過程、冶金特性及外觀並輔以豐富經驗，乃能正確判讀。

#### (一) 缺陷顯示的確認

超音波檢測作業常因探頭耦合情形、檢測物表面狀況、幾何形狀而造成底面回波巨降或消失、產生遲延回波、表面干擾回波或雜訊回波等非缺陷顯示。因此須將這些非缺陷造成的無關顯示充分釐清，如此才能正確判讀缺陷顯示。

#### (二) 缺陷種類的判定

檢測物因本身材質特性或製造方法不同的影響，而產生各種形式的缺陷。這些缺陷因形狀及方向性不同，當被檢出時其波形顯示有所不同，因此可依此判斷出為何種缺陷，如檢測本次瑕疵品軌腹焊道部份，可以看到數個波峰，即可判斷為數個孔隙缺陷，而軌頭焊道部份，可以看到連續向上的波形，可判斷為連續裂縫，但由於缺陷種類繁多，判斷時須具有相當經驗。

#### (三) 缺陷位置的判定

缺陷位置的判定，若是單一缺陷，本儀器可根據檢測設定範圍內音波所在位置的距離直接讀取，即可推估，但若是數個缺陷聚集，因互相干擾之因素影響，只能概估其位置。

## 二、建議

建議鐵路局不論是以電阻火花、熱劑焊接等方法焊接鋼軌，於焊接完成後，對抽驗部份，均以超音波探傷儀先行檢測後，再施以破壞試驗，比照前後之差異，及對瑕疵部份建立完整之資料庫，待超音波鋼軌探傷技術成熟後，即可以超音波探傷儀對鋼軌焊道進行全面的檢測，如此，相信對鐵路局行車安全品質的提升、經費的節省以及在超音波探傷的應用，都有所得益。

## 參考文獻

- 1、黃民仁編著，2005，新世紀鐵路工程學，文笙書局。
- 2、陳葆襄、陳明欽合著，1985，鐵路軌條之研究，台灣鐵路管理局印行。
- 3、黃存夫編著，1991，非破壞檢測概論，財團法人非破壞檢測協會出版社。
- 4、吳學文、黃啟貞、陳必貫、葉競榮合編，1987，超音波檢測法（初級），財團法人非破壞檢測協會出版社。
- 5、葉競榮、徐鴻發合編，1990，超音波檢測法（中級），財團法人非破壞檢測協會出版社。
- 6、OLYMPUS, " Epoch 4B User 's Manual. " , 2004