經濟部能源局

電磁超音波管線腐蝕檢測應用於管線入土端腐蝕高風險範圍抽測之可 行性報告

109年度

1. 目的/概述

天然氣輸送管線進出站或在穿跨越段,一般以混凝土固定, 防止管線內應力作用下發生縱向或橫向位移,由於混凝土呈鹼 性,土包裹部份管線電位高為陰極,而未包覆部分管線電位低為 陽極,因此管線在出土端極易發生腐蝕情況,目前管線皆有 PE 包覆層隔絕土壤接觸,但是曝露於日照環境易產生包覆劣化現 象,因此間接造成管線腐蝕情形發生的可能性。

對於管線出、入土端之土壤介面,依據 API 570 之要求必須 定期針對此位置進行開挖檢查,以掌握其腐蝕狀況,若在不開挖 的情況下 IP 檢測結果準確性最好但費用高,並且不是所有管線 皆可執行 IP 檢測,尤其是場站內複雜的管線進出土壤介面,僅 能仰賴直接開挖進行目視及厚度量測,其耗費的時間與經費也不 裴,因此尋求不同的檢測技術,期望有機會克服管線入土端檢測 困難問題,例如近來長途管線檢測使用之導波(guided wave) 系統,在管線露出部位將導波超音波信號延管線打向遠端,以檢 查其存在的腐蝕狀況,在此計畫之可行性評估方式,將以超音波 導波技術(guided wave ultrasonic technology, GWUT)由土壤上 方藉由電磁超音波或壓電晶片打入導波訊號,進行評估管線入土 端腐蝕狀況之檢測能力與準確性,作為後續是否可作為土壤介面 之腐蝕檢測技術。

2. 執行方法

超音波導波管線腐蝕檢測(GWUT)法使用圍繞於管線圓周 全周的音波壓電晶片探頭,或是鐵鈷帶狀傳感器,利用連續脈衝 回波法(Pulse-Echo Method)將特定頻率之萊姆波(Lamb Wave)可快速檢測結構缺陷之技術。萊姆波亦稱板波(Plate Wave),是傳遞於有限厚度平板中之彈性波。由於萊姆波能在平

2

板中傳播相當長的距離而不衰減,且對材料不連續間斷會產生反 射、穿透及波式轉換等現象,如圖 1 所示,因此,可利用萊姆 波回波技術,針對平板或圓管的材料特性及完整性進行檢測。檢 測儀器會藉著軟體將探頭所接收到的回波訊號加以分析比對,以 判斷管線內外壁是否有腐蝕或裂縫之現象,如圖 2 所示。



3. 執行內容

常規使用之超音波檢測應用於缺陷檢出測量厚度等,A-Scan,B-Scan 掃描法,應用單晶體探頭進行點線掃描,或以C-Scan 掃描及 Phased Array Ultrasonic Technology (PAUT)相位陣列 式超音波檢測法可達到小面積近距離範圍檢測,使用於非接觸式 的地下管線,常規超音波則有其侷限性,因此新的超音波檢測應 用方法 (guided wave ultrasonic technology, GWUT)"導波"成為 地下管線檢測之選項。

超音波之A, B, C-Scan 及 PAUT 檢測,因工件接觸式的限制,波式傳遞單向性以及音速路徑限制,無法有效全面檢測管

線,因此運用超音波導波技術之連續脈衝回波檢測提供管線入土 端檢測之可能性。



圖 3 A, B-Scan 超音波測厚計





量测位量圈

位置	管厚						
编统	设计值	段計值 0°		180°	270°	倘往	
1	Sgp-6.6mm	7.10	7.92	7.67	7.83	6″	

圖 4 天然氣管線地上管超音波測厚

導波可以實現比常規超音波測試方法有更大的檢查範圍,導 波利用結構邊界(例如板的表面或管道的 OD 和 ID)之間的共 振將結構本身作為音波傳導媒介。因此,儘管常規的超音波系統 通常只能檢查非常接近換能器或直接位於換能器下方的區域,但 導波系統可以檢測到距離換能器數英尺遠,在沒有阻礙的情況下 甚至可達幾百英呎的距離。由於導波的獨特特性,與傳統的 UT 相比,它們還能夠在低頻下檢測出缺陷。



圖 5 超音波厚度量測及導波波式傳遞差異

管線入土端腐蝕高風險範圍抽測之可行性評估,探討不同型 式導波設備進行差異分析,對地下管線缺陷檢出能力的差異化進 行比較。

- (1) 名詞解釋
- 109 年度
- (a)吸收-在超音波檢測中,係指超音波射束在材料中,其音能持續被轉換成熱能的一種現象,因而造成音能信號衰減。
- (b)衰減-超音波在介質內傳送時,由於擴散、吸收和散射等現象, 所導致的音能損失。
- (c)振幅——變量數值從零值起之變化量,可為尖峰振幅、最大振幅等。
- (d)死區(不感區)—超音波檢測系統能檢測出被檢物內最靠近檢測 面之瑕疵的最小射束路徑。
- (e)起始脈波—因延遲掃描而顯現於螢幕上的第一個顯示訊號,表 示自換能器晶體表面放射的超音波能量。

- (f)距離幅度校正(DAC)曲線—在一定的靈敏度下,對相同大小的反射信號,在不同的射束路程所得的回波波峰所連結而成的 平滑曲線。該曲線可校正一定的距離內,因衰減和幅度下降的 反射信號估算橫截面變化。
- (g)鑑別力-超音波檢測系統其分辨兩鄰近瑕疵或瑕疵與界面間緊 鄰程度的能力。

(h)裸管--此指人工缺陷標準管件未經柏油防蝕帶包覆之鋼管。

(2) 導波系統 經 澶 部 能 源 局

目前常用於管線檢測的導波系統,分別是 Magnetostrictive Sensor (MsS)系統及 GUL Wavemaker 系統兩種類型。提供超音波激發和 接收管線中的導波, MsS 系統以電磁傳感器為主, GUL Wavemaker 為 壓電陣列傳感器。

A. MsS 電磁傳感器

MsS 系統是單脈波模式,缺陷檢測靈敏度、檢查範圍、適用 性以及探頭等設備較為簡易,操作上不使用換能器環,因此 MsS 探頭可以 360°覆蓋在管道上一體成形,對管線尺寸沒有限制,導 波激發收電磁信號使用之傳感鐵鈷帶,可隨著管線尺寸大小進行 剪裁,設備包含控制電腦、激發接收系統、電磁傳感模組、線束 及鐵鈷帶。

7



圖 6 MsS 導波系統



圖 7 管線及鐵鈷帶



圖 8 電磁信號傳送線束



圖 9 電磁信號傳感器



圖 10 管線檢測施作情況



圖 11 管線檢測情況

B. 壓電陣列傳感器

壓電陣列傳感器型式導波為長距離多模式導波(Long Range Ultrasonic Testing, LRUT)系統,依據管線大小尺寸可以以16或

32 通道或更多通道的接收線路連接壓電陣列傳感器,具有時間延 遲和振幅控制功能,亦可使用低頻導波從一個位置檢查或監視數 百英尺的管線。系統能夠檢測壁厚的任何變化,通過聚焦技術提 供有關圓周範圍的顯示信息。系統包括永久或臨時放置在管道上 的電磁伸縮軸環,脈衝發生器/接收器單元以及軟體等部份。



圖 12 脈衝發生器/接收器單元



圖 13 多通道壓電陣列傳感器配置



圖 14 管線檢測情況

(3) 管線腐蝕人工缺陷製作 部 能 源 局

地下管線存在腐蝕類型包含;均勻腐蝕(Uniform corrosion)、點蝕、 雜質沖蝕、雜散電流腐蝕等,天然氣輸送管線出入土端界面存在混凝 土或土壤,在包覆老化劣化的情況下,電位腐蝕極易發生,因此間接 造成管線腐蝕情形發生的可能性。

電磁超音波管線腐蝕檢測評估應用於管線入土端腐蝕高風險範 圍抽測之可行性,針對地下管線可能存在之缺陷大小,離入土端距離 等情況製作人工缺陷標準管件,以人工缺陷深度變化、缺陷與導波發 射距離及缺陷面積等特性予以加工製作,施加包覆後埋設於土壤內部, 進行檢測記錄並提供實際管線缺陷信號比對,以已知的導波信號判斷 實際管線的狀況,人工缺陷的檢出將提高天然氣管線實際缺陷的檢測 靈敏度。



圖 15 實地開挖發現管線包覆破損情況



圖 16 包覆破損造成管線局部腐蝕



圖 17 管線腐蝕示意圖

電磁超音波管線腐蝕檢測評估應用於管線入土端腐蝕高風險範 圍抽測之可行性執行方式,針對地下管線可能存在之缺陷大小,距離 入土端之距離等情況製作人工缺陷標準管件,標準管件以長度 6 公 尺 8 英吋 SCH40 材質鋼管製作缺陷,人工缺陷加工完成後再以防蝕 帶包覆,實地埋設進行實驗,人工缺陷分佈在管線截面不同角度,模 擬導波對缺陷相位識別的確認,人工缺陷深度與管壁厚度之比例,以 及人工缺陷截面積與管件截面積之比例如下表所示,人工缺陷加工設 計圖(如圖 18 至圖 22 所示),以模擬管線實際腐蝕減薄情況。

缺陷深度(mm)	管壁厚度	截面積(mm)	截面
	損失比例%		損失比例%
t: 08	12%	Dia.10 x 0.8t	0.1%
t: 2.4	29%	Dia.10 x 2.4t	0.5%
t: 4.0	48%	Dia.10 x 4.0t	0.7%
		Dia.15 x 4.0t	1.1%
	AU OF	Dia.30 x 4.0t	2.2%

表 1 8 英吋鋼管人工缺陷壁厚及截面積減損比例設計

A. 人工缺陷標準管件施工設計



圖 18 人工缺陷標準管件施工設計圖



圖 21 距離下管口 0.8m 處人工缺陷加工設計



圖 22 距離上管口 1.8m 處人工缺陷加工尺寸設計

人工缺陷管件加工規格, Pipe 材質: SCH40(t=8.13)

◎8"管,長度6m

◎採彎管加工

◎頭尾距端面1300、800位置及下彎頭處製作人工缺陷(鑽孔)◎缺陷深度以鑽頭平行區為基準

◎缺陷深度加工精度±0.1

◎製作缺陷加工後以柏油帶包覆整支管件,土壤上方不包覆◎管件上端面配置法蘭,下端面以銲接盲封

B. 人工缺陷標準管件施工實際加工成型件

製作人工缺陷標準管件,原標準管件設計以長度6公尺8英 吋 SCH40 材質鋼管製作缺陷,考慮管線實際存在對接銲接情況, 因此在原設計彎管端面增加一截真管,以全周銲接方式連接,延 伸長度6公尺,全周銲接處可作為導波信號校準使用,人工缺陷 標準管件延伸設計及實際完成件(如圖 63 所示),詳細人工缺陷尺 寸、管件壁厚損失及管件截面損失(如表 2 所示)。



圖 23 人工缺陷標準管件施工設計圖

表 2 人工缺陷標準管件施工實際尺寸

人工缺陷	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	備註
距離(m)	1.66	1.96	2.26	2.53	2.53	3.63	3.90	4.19	4.64	4.96	5.25	6.00	
直徑(mm)	10	10	10	15	15,15	10	10	10	10	10	10	銲道	兰名庇
深度(mm)	4.0	1.0	2.4	4.0	4.0	1.0	4.0	2.4	4.0	1.0	2.4	0	東巴瓜
角度(度)	210	90	330	0	180	150	270	30	240	120	0	全周	巴・八
壁厚損失%	48%	12%	29%	48%	48%	12%	48%	29%	48%	12%	29%		尘畎佰
截面損失%	0.7%	0.1%	0.5%	1.1%	2.2%	0.1%	0.7%	0.5%	0.7%	0.1%	0.5%		
人工缺陷	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	備註
距離(m)	6.94	7.24	7.55	8.45	8.45	9.35	9.65	9.96	10.55	10.85	11.15	12.00	
直徑(mm)	10	10	10	15	15,15	10	10	10	10	10	10	銲道	
深度(mm)	4.0	1.0	2.4	4.0	4.0	1.0	4.0	2.4	4.0	1.0	2.4	0	
角度(度)	210	90	330	0	180	150	270	30	240	120	0	全周	
壁厚損失%	48%	12%	29%	48%	48%	12%	48%	29%	48%	12%	29%		
截面損失%	0.7%	0.1%	0.5%	1.1%	2.2%	0.1%	0.7%	0.5%	0.7%	0.1%	0.5%		

人工缺陷距離之計算方式,以法蘭銲道為零點,逐一記錄每一缺陷之距離,對應人工缺陷之直徑、深度及管件圓周 角度,並計算管件壁厚損失比例以及管件截面積損失比例,以作為電磁超音波法(GWUT)應用電磁超音波管線腐蝕檢 测,缺陷信號檢出之依據。

人工缺陷標準管件進行電磁超音波法測試現場(如圖 24 至圖 26),以及柏油防蝕帶披覆之人工缺陷標準管測試現場 (如圖 27 至圖 29)。



圖 24 人工缺陷標準管件加工成型



圖 25 人工缺陷標準管件加工成型



圖 26 人工缺陷標準管件加工成型法蘭面處



圖 27 人工缺陷標準管件加工成型披覆柏油防蝕帶



圖 28 人工缺陷標準管件加工成型披覆柏油防蝕帶法蘭面處



圖 29 人工缺陷標準管件加工成型披覆柏油防蝕帶



圖 30 人工缺陷標準管件加工成型披覆柏油防蝕帶

圖 31 標準管件人工缺陷 Dia. 15mm x 2



圖 32 標準管件人工缺陷 Dia. 10mm



圖 33 標準管件人工缺陷



圖 34 標準管件人工缺陷鑽孔深度 2.4mm



圖 35 標準管件人工缺陷 Dia. 15mm x 2



圖 36 標準管件人工缺陷鑽孔深度 4.0mm

(4) 測試場導波實驗

A. MsSR 電磁傳感超音波檢測系統進行裸管導波檢測

考慮業者管線實際埋設於地下,適合裝設電磁傳感模組位置僅在斜管處以 及靠近法蘭處,因此電磁傳感模組安裝距離法蘭1.4m處(如圖 37~圖 40 所示), 導波向人工缺陷標準管末端發射信號,並以多頻傳感器分別以32,45,64,90,128, 180,250KHz頻率激發超音波(如圖 41 所示),依據多頻超音波信號傳遞的強弱、 距離,以得到不同大小和不同距離的回波信號,進而分析檢測的敏度。



圖 37 MsSR 電磁傳感超音波對人工缺陷標準管進行導波檢測



圖 38 MsSR 電磁傳感超音波檢測系統



圖 39 傳感模組安裝距離法蘭 1.4m 位置



圖 40 MsSR 電磁傳感模組安裝



圖 41 MsSR 多頻電磁傳感模組(32, 45, 64, 90, 128, 180, 250KHz)安裝

依據 MsSR 電磁傳感超音波檢測系統進行裸管導波檢測,檢測所得到的信號(如圖 42 所示),反射信號標示之 F1 為法蘭, MsS1 為起啟脈波, D1~D11 為 人工缺陷反射信號, W1 為銲接銲道反射信號, EP1 為管件終點反射信號。曲線 圖 X 軸為音波路徑距離, Y 軸為回波反射信號,其依回波反射強弱呈現正相關 顯示, X 軸零點之前(左側)信號為法蘭的反射信號,距離 10m~12m 出現強振 幅反射信號為管件端面反射信號加成造成,此信號與起始脈波信號,皆無法做為缺陷判別使用。

電磁傳感模組超音波檢測雖然使用多頻傳感器,但是音波傳遞依循物理特性,低頻信號可以有遠距離傳遞效果,但是缺陷鑑別靈敏度較差,高頻信號可以得到較佳的缺陷鑑別力,但是衰減大傳遞距離短。因此多頻傳感器應用於此 人工缺陷標準管時,在 32KHz 和 45KHz 時得到較佳的缺陷反射信號,缺陷特 徵亦比較顯著,尤其在 45KHz 時缺陷特徵信號特別明顯。



圖 42 裸管導波檢測人工缺陷反射信號標定

電磁傳感超音波檢測音波波速之決定,以電磁傳感模組安裝位置到管件全 周銲道距離4.6m及管件末端12m兩者為校正點,再反推音波波速為3080m/sec, 以此值確認各個人工缺陷位置與檢測音波反射信號。

考慮缺陷在不同距離產生可能的衰減,距離振幅曲線(DAC)設定於4.6m 全 周銲接處之回波信號波峰為主,補償距離造成的信號衰減(如圖 43 所示)。



表	3	導波檢測信號分析
1	\mathcal{I}	

Sym.	Dist.(m)	% Refl.	Comment	
F1	-1.31	47.7	Flange; D1 (1.1, 1.96);	
MsS1	0.00	12	Initial Pulse;	
D1	1.15	6.3	Defect; 82.6-% wall loss;	
D2	1.51	12.7	Defect; 100.0-% wall loss;	
D3	2.31	3.0	Defect; 50.1-% wall loss; D1-F1 (2.5, 2.42);	
D4	2.56	2.5	Defect; 44.7-% wall loss;	
D5	3.23	1.7	Defect; 34.9-% wall loss;	
D6	3.84	3.1	Defect; 51.1-% wall loss;	
W1	4.65	4.5	Weld;	
D7	5.33	2.6	Defect; 45.3-% wall loss;	
D8	5.67	3.3	Defect; 53:7-% wall loss;	
D9	6.11	6.1	Defect; 80.8-% wall loss;	
D10	7.00	4.8	Defect; 68.8-% wall loss;	
D11	9.17	4.7	Defect; 67.7-% wall loss;	
EP1	11.98	38.3	End of Pipe;	

電磁傳感超音波檢測人工缺陷裸管,依檢測結果得到 D1~D11 等 11 個人工 缺陷反射信號,缺陷距離定位、回波振幅高度及管壁厚度損失計算(如表 3 所 示)。

回波位置				D1	D2	D3	D4		D5		D6	W1	備註
人工缺陷	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
距離(m)	0.3	0.6	0.9	1.17	1.17	2.27	2.54	2.83	3.28	3.6	3.89	4.64	
直徑(mm)	10	10	10	15	15,15	10	10	10	10	10	10	銲道	
深度(mm)	4.0	1.0	2.4	4.0	4.0	1.0	4.0	2.4	4.0	1.0	2.4	0	
角度(度)	210	90	330	0	180	150	270	30	240	120	0	全周	
壁厚損失%	48%	12%	29%	48%	48%	12%	48%	29%	48%	12%	29%		
截面損失%	0.7%	0.1%	0.5%	1.1%	2.2%	0.1%	0.7%	0.5%	0.7%	0.1%	0.5%		
						1 (
回波位置	D7	D8	D9	D10			\sim		D11				備註
人工缺陷	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
距離(m)	5.58	5.88	6.19	7.09	7.09	7.99	8.29	8.6	9.19	9.49	9.79	10.64	
直徑(mm)	10	10	10	15	15,15	10	10	10	10	10	10	銲道	
深度(mm)	4.0	1.0	2.4	4.0	4.0	1.0	4.0	2.4	4.0	1.0	2.4	0	
角度(度)	210	90	330	0	180	150	270	30	240	120	0	全周	
壁厚損失%	48%	12%	29%	48%	48%	12%	48%	29%	48%	12%	29%		
截面損失%	0.7%	0.1%	0.5%	1.1%	2.2%	0.1%	0.7%	0.5%	0.7%	0.1%	0.5%		

表 4 MsSR 檢測系統導波檢測信號與管件施工實際尺寸對照表

MsSR 電磁傳感超音波檢測系統進行裸管導波檢測,檢測結果與實際缺陷尺寸比對,對缺陷的定位在 4.6m 全周銲 道之前距離數值相當準確,經過全周銲道後缺陷位置前移,且回波信號不易辨識,經過 7m 以後受到管件尾部端面反射 回波干擾,信號放大後完全無法辨別。另外,因距離振幅曲線(DAC)設定於 4.6m 全周銲接處之回波信號波峰,以致其它 缺陷信號反射振幅偏高,經系統計算後管件壁厚損失數值也顯示出異常嚴重。 由於前項距離振幅曲線(DAC)設定於 4.6m 全周銲接處,導致缺陷信號振幅 及壁厚損失數值失真,因此修改距離振幅曲線(DAC)設定於管件截面 Dia.15mm x 3,人工缺陷回波信號 1.1m 處為基準,位置(如圖 44 之 D1 回波信號)。



Sym	Dist.(m)	% Refl.	Comment
F1	-1.31	47.7	Flange; D1 (1.1, 1.96);
MsS1	0.00	855	Initial Pulse;
D1	1.14	2.3	Defect; 41.5-% wall loss;
D2	2.31	3.0	Defect; 50.1-% wall loss;
D3	2.56	2.3	Defect; 42.2-% wall loss;
D4	3.21	1.9	Defect; 36.4-% wall loss;
D5	3.84	3.1	Defect; 51.1-% wall loss;
VV1	4.57	4.0	Weld;
DS	5.58	1.3	Defect; 28.9-% wall loss;
D7	5.88	0.9	Defect; 22.8-% wall loss;
DB	6.11	6.1	Defect; 80.8-% wall loss;
DS	7.01	4.9	Defect; 69.6-% wall loss;
D10	7.22	6.8	Defect; 86.8-% wall loss;
D11	8.67	6.2	Defect; 81.7-% wall loss;
EP1	11.98	38.3	End of Pipe;

表 5 MsSR 檢測系統導波檢測信號分析

修改距離振幅曲線(DAC)設定後,反射信號重新標示之 F1 為法蘭, MsS1 為 起啟脈波, D1~D11 為人工缺陷反射信號, W1 為銲接銲道反射信號, EP1 為管 件終點反射信號(如圖 44 所示)。

檢測結果與實際缺陷尺寸比對(如表 6),對缺陷的定位在 4.6m 全周銲道之前,距離數值僅有些微誤差,經過全周銲道後缺陷位置 D6~D8 (6.1m) 距離仍相當明確,且回波信號可以明顯辨識,經過 7m 以後受到管件尾部端面反射回波干擾,信號放大後無法辨別。對於設定距離振幅曲線(DAC)在管件截面 Dia.15mm x 3 比設定在 4.6m 全周銲接處,其壁厚損失比較接近真實情況,但是仍有落差,因此,MsSR 電磁傳感超音波檢測系統計算之壁厚損失,僅能作為減薄趨勢之參考使用。

回波位置				D1	D1	D2	D3		D4		D5	W1	備註
人工缺陷	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
距離(m)	0.3	0.6	0.9	1.17	1.17	2.27	2.54	2.83	3.28	3.6	3.89	4.64	
直徑(mm)	10	10	10	15	15,15	10	10	<i>10</i>	10	10	10	銲道	
深度(mm)	4.0	1.0	2.4	4.0	4.0	1.0	4.0	2.4	4.0	1.0	2.4	0	
角度(度)	210	90	330	0	180	150	270	30	240	120	0	全周	
壁厚損失%	48%	12%	29%	48%	48%	12%	48%	29%	48%	12%	29%		
截面損失%	0.7%	0.1%	0.5%	1.1%	2.2%	0.1%	0.7%	0.5%	0.7%	0.1%	0.5%		
						1 (-							
回波位置	D6	D7	D8	D9				D11					備註
人工缺陷	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
距離(m)	5.58	5.88	6.19	7.09	7.09	7.99	8.29	8.6	9.19	9.49	9.79	10.64	
直徑(mm)	10	10	10	15	15,15	10	10	10	10	10	10	銲道	
深度(mm)	4.0	1.0	2.4	4.0	4.0	1.0	4.0	2.4	4.0	1.0	2.4	0	
角度(度)	210	90	330	0	180	150	270	30	240	120	0	全周	
壁厚損失%	<u>48%</u>	12%	29%	48%	48%	12%	<mark>48%</mark>	29%	48%	12%	29%		
截面損失%	0.7%	0.1%	0.5%	1.1%	2.2%	0.1%	0.7%	0.5%	0.7%	0.1%	0.5%		

表 6 MsSR 檢測系統導波檢測信號與管件施工實際尺寸對照表

B. MsSR 電磁傳感超音波導波檢測系統包覆管線(未埋地)導波檢測(I)

人工缺陷標準管件經柏油防蝕帶包覆,未埋入壤之前進行 MsSR 電磁傳感 超音波導波檢測,比較柏油防蝕帶包覆前及管件埋入土壤後之檢測信號差異。

電磁傳感模組安裝距離法蘭 1.4m 處(如圖 46~圖 49 所示),導波向人工缺陷標準管末端發射信號,並以多頻傳感器分別以 32,45,64,90,128,180,250KHz 頻率激發超音波(如圖 41 所示),依據多頻超音波信號傳遞的強弱、距離,以得 到不同大小和不同距離的回波信號,進而分析檢測的靈敏度。



圖 46 MsSR 電磁傳感超音波對已包覆之人工缺陷標準管進行導波檢測



圖 47 傳感模組安裝距離法蘭 1.4m 位置



圖 48 傳感模組安裝距離法蘭 1.4m 位置



圖 49 MsSR 多頻電磁傳感模組(32, 45, 64, 90, 128, 180, 250KHz)安裝

電磁傳感超音波檢測音波波速為 3080m/sec,以此值確認各個人工缺陷位置 與檢測音波反射信號,多頻傳感器應用於此人工缺陷標準管時,在以 32KHz 為 比較頻率參考信號,90KHz 時得到鑑別力較佳的缺陷反射信號(如圖 50)。



圖 50 導波檢測人工缺陷反射信號標定

電磁傳感超音波檢測柏油防蝕帶包覆之人工缺陷標準管,依檢測結果得到 Q1~Q9 等9個反射信號,MsS1為起啟脈波,4.6m處銲道信號沒有顯示。依檢 測結果判斷,經過柏油防蝕帶包覆後的人工缺陷標準管,導波信號在電磁傳感 模組安裝位置起至 4m 之後完全衰減,不再有回波顯示,可以得知柏油防蝕帶 吸收了大部份的導波信號。

考慮回波信號的振幅高度 30%附近的反射信號易於解析,距離振幅曲線 (DAC)設定於回波信號振幅 30%波峰處,此回波信號距離約 2m (如圖 51 所示)。



圖 51 導波檢測信號 DAC 設定

檢測結果(表 7)與實際缺陷尺寸(表 8)進行比對,導波主要反射信 號 Q1, Q2 來自 Dia.15mm x 3 截面積最大的人工缺陷,反射信號 Q5 可能來 自 2.54m 人工缺陷,反射信號 Q6 可能來自 3.28m 人工缺陷,人工缺陷標準 管包覆柏油防蝕帶後,也造成導波反射信號距離延遲 0.2~0.3m。其它反射信 號皆無法有效辨別。由此可得知鋼管包覆柏油防蝕帶後導波傳送有效距離從 原來 7m 降至 3.2m 左右,4.6m 全周銲接處完全無回波顯示。

表 7 導波檢測信號分析

Sym.	Dist.(m)	% Refl.	Comment	
MsS1	0.00		Initial Pulse;	
Q1	1.34	15.0	Indication; 100.0-% wall loss;	
Q2	1.47	5.2	Indication; 72.7-% wall loss;	
Q3	1.74	2.4	Indication; 43.6-% wall loss;	
Q4	2.03	1.4	Indication; 30.0-% wall loss; Q3-Q2-Q3 (2.0, 0.00)	
Q5	2.30	0.9	Indication; 22.7-% well loss; Q4-Q3-Q2 (2.3, 0.00).	
QG	2.96	1.7	Indication; 34.4-% wall loss;	
Q7	3.25	0.7	Indication; 18.3-% wall loss; Q5-Q1-Q5 (3.3, 0.00).	
Q8	3.77	0.8	Indication; 20.1-% wall loss;	
Q9	4.03	0.9	Indication; 22.9-% wall loss;	

表 8 MsSR 檢測系統導波檢測信號與管件施工實際尺寸對照表

回波位置				Q1	Q2		Q5		Q6				備註
人工缺陷	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
距離(m)	0.3	0.6	0.9	1.17	1.17	2.27	2.54	2.83	3.28	3.6	3.89	4.64	
直徑(mm)	10	10	10	15	15,15	10	10	10	10	10	10	銲道	
深度(mm)	4.0	1.0	2.4	4.0	4.0	1.0	4.0	2.4	4.0	1.0	2.4	0	
角度(度)	210	90	330	0	180	150	270	30	240	120	0	全周	
壁厚損失%	48%	12%	29%	48%	48%	12%	48%	29%	48%	12%	29%		
截面損失%	0.7%	0.1%	0.5%	1.1%	2.2%	0.1%	0.7%	0.5%	0.7%	0.1%	0.5%		
回波位置													備註
人工缺陷	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
距離(m)	5.58	5.88	6.19	7.09	7.09	7.99	8.29	8.6	9.19	9.49	9.79	10.64	
直徑(mm)	10	10	10	15	15,15	10	10	10	10	10	10	銲道	
深度(mm)	4.0	1.0	2.4	4.0	4.0	1.0	4.0	2.4	4.0	1.0	2.4	0	
角度(度)	210	90	330	0	180	150	270	30	240	120	0	全周	
壁厚損失%	48%	12%	29%	48%	48%	12%	48%	29%	48%	12%	29%		
截面損失%	0.7%	0.1%	0.5%	1.1%	2.2%	0.1%	0.7%	0.5%	0.7%	0.1%	0.5%		

C. MsSR 電磁傳感超音波導波檢測系統進行包覆管線(未埋地)導波檢測(II)

人工缺陷標準管件經柏油防蝕帶包覆,未埋入壤之前進行 MsSR 電磁傳感 超音波導波檢測,比較電磁傳感模組安裝距離柏油防蝕帶包覆前及遠離柏油防 蝕帶包覆之檢測信號差異。

電磁傳感模組安裝距離法蘭 0.5m 處(如圖 52~圖 55)遠離柏油防蝕帶,導 波向人工缺陷標準管末端發射信號,並以多頻傳感器分別以 32,45,64,90,128, 180,250KHz 頻率激發超音波(如圖 56 所示),依據多頻超音波信號傳遞的強弱、 距離,以得到不同大小和不同距離的回波信號,進而分析檢測的靈敏度。



圖 52 電磁傳感超音波對已包覆之人工缺陷標準管進行導波檢測



圖 53 傳感模組安裝距離法蘭 0.5m 位置



圖 54 傳感模組安裝距離法蘭 0.5m 位置



圖 55 傳感模組安裝



圖 56 MsSR 多頻電磁傳感模組(32, 45, 64, 90, 128, 180, 250KHz)安裝

電磁傳感超音波檢測音波波速為 3080m/sec,多頻傳感器應用於此人工缺陷標準管時,導波頻率在 32KHz 時得到鑑別力較佳的缺陷反射信號,90KHz 為比較頻率參考信號(如圖 57)。



圖 57 導波檢測人工缺陷反射信號標定

電磁傳感超音波檢測柏油防蝕帶包覆之人工缺陷標準管,依檢測結果得到 Q1~Q8 等 8 個反射信號(如圖 57 所示), MsS1 為起啟脈波, 5.5m 處有銲道 Q6 信號顯示,並以銲道回波信號校正音速為 3000m/sec。考慮回波信號振幅高度及 反射信號易於解析,距離振幅曲線(DAC)設定於回波信號 Q3 處,此回波信號距 離約 2.2m (如圖 58 所示)。

38



依檢測結果顯示,電磁傳感模組安裝遠離柏油防蝕帶包覆或人工缺陷 lm 的 距離時,MsSR 電磁傳感超音波導波檢測系統仍可檢測出 5m 距離內的大型缺陷 (如表 9~表 10 所示),柏油防蝕帶對導波信號的吸收程度影響較少,但對導波 距離的衰減仍然明顯。

表 10 MsSR 檢測系統導波檢測信號與管件施工實際尺寸對照表

回波位置	Q1		Q2	Q3	Q3				Q4			Q6	備註
人工缺陷	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
距離(m)	1.16	1.46	1.76	2.03	2.03	3.16	3.40	3.69	4.14	4.46	4.75	5.50	
直徑(mm)	10	10	10	15	15,15	10	10	10	10	10	10	銲道	
深度(mm)	4.0	1.0	2.4	4.0	4.0	1.0	4.0	2.4	4.0	1.0	2.4	0	
角度(度)	210	90	330	0	180	150	270	30	240	120	0	全周	
壁厚損失%	48%	12%	29%	48%	48%	12%	48%	29%	48%	12%	29%		
截面損失%	0.7%	0.1%	0.5%	1.1%	2.2%	0.1%	0.7%	0.5%	0.7%	0.1%	0.5%		
回波位置													備註
人工缺陷	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
距離(m)	6.44	6.74	7.05	7.95	7.94	8.85	9.15	9.46	10.05	10.35	10.65	11.5	
直徑(mm)	10	10	10	15	15,15	10	10	10	10	10	10	銲道	
深度(mm)	4.0	1.0	2.4	4.0	4.0	1.0	4.0	2.4	4.0	1.0	2.4	0	
角度(度)	210	90	330	0	180	150	270	30	240	120	0	全周	
壁厚損失%	<mark>48%</mark>	12%	29%	<mark>48%</mark>	48%	12%	<u>48%</u>	29%	<mark>48%</mark>	12%	29%		
截面損失%	0.7%	0.1%	0.5%	1.1%	2.2%	0.1%	0.7%	0.5%	0.7%	0.1%	0.5%		
						109	平反						

D. MsSR 電磁傳感超音波導波檢測系統進行埋地管線導波檢測

人工缺陷標準管經柏油防蝕帶包覆後埋入地下,進行 MsSR 電磁傳感超音 波導波檢測,電磁傳感模組安裝距離法蘭 1.4m 處,比較柏油防蝕帶包覆後 管件埋地前及埋入地下後之檢測信號差異(如圖 59~圖 61 所示),導波向人 工缺陷標準管末端發射信號,並以多頻傳感器分別以 32,45,64,90,128,180, 250KHz 頻率激發超音波(如圖 62 所示)







圖 60 傳感模組安裝距離法蘭 1.4m 位置



圖 61 傳感模組安裝距離法蘭 1.4m 位置



圖 62 MsSR 多頻電磁傳感模組(32, 45, 64, 90, 128, 180, 250KHz)安裝

電磁傳感超音波檢測音波波速為 3080m/sec,多頻傳感器應用於此人工缺陷標準管時,導波頻率在 32KHz 與 90KHz 回波信號較佳,以此兩組信號進行比對(如圖 57)。



電磁傳感超音波檢測柏油防蝕帶包覆埋地後之人工缺陷標準管,依檢測結 果得到 Q1~Q9 等 9 個反射信號(如圖 63 所示), MsS1 為起啟脈波, 4.6m 處有 銲道 Q9 信號顯示,並以銲道回波信號校正音速為 3080m/sec。考慮回波信號振 幅高度及反射信號易於解析,距離振幅曲線(DAC)設定於回波信號 Q1 波峰處, 此回波信號距離約 0.5m (如圖 64 所示)。



依檢測結果顯示,柏油防蝕帶包覆人工缺陷標準管,埋入地下後仍可檢測 出人工缺陷,但是距離定位有提前現象,反射信號 Q2,Q3 可對應較大截面損失 的人工缺陷,反射信號 Q1,Q6,Q7 有人工缺陷顯示,但回波信號不明顯。

此結果對應業者場站實際管線包覆柏油防蝕帶,出入土端介面,電磁傳感 超音波導波檢測可在 3m 以內得,得到一定的缺陷檢出能力。

表 12 MsSR 檢測系統導波檢測信號與管件施工實際尺寸對照表

回波位置	Q1			Q2	Q3		Q6		Q7			Q9	備註
人工缺陷	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
距離(m)	0.3	0.6	0.9	1.17	1.17	2.27	2.54	2.83	3.28	3.6	3.89	4.64	
直徑(mm)	10	10	10	15	15,15	10	10	10	10	10	10	銲道	
深度(mm)	4.0	1.0	2.4	4.0	4.0	1.0	4.0	2.4	4.0	1.0	2.4	0	
角度(度)	210	90	330	0	180	150	270	30	240	120	0	全周	
壁厚損失%	48%	12%	29%	48%	48%	12%	48%	29%	48%	12%	29%		
截面損失%	0.7%	0.1%	0.5%	1.1%	2.2%	0.1%	0.7%	0.5%	0.7%	0.1%	0.5%		
回波位置							\sim						備註
人工缺陷	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
距離(m)	5.58	5.88	6.19	7.09	7.09	7.99	8.29	8.6	9.19	9.49	9.79	10.64	
直徑(mm)	10	10	10	15	15,15	10	10	10	10	10	10	銲道	
深度(mm)	4.0	1.0	2.4	4.0	4.0	1.0	4.0	2.4	4.0	1.0	2.4	0	
角度(度)	210	90	330	0	180	150	270	30	240	120	0	全周	
壁厚損失%	48%	12%	29%	48%	48%	12%	48%	29%	48%	12%	29%		
截面損失%	0.7%	0.1%	0.5%	1.1%	2.2%	0.1%	0.7%	0.5%	0.7%	0.1%	0.5%		

E. 長距離多模式(LRUT)導波系統裸管檢測

長距離多模式(LRUT)導波系統使用 8 英吋鋼管套環 24 組發射/接收模組, 每一組模組裝置 5 顆壓電晶片,共計使用 120 顆壓電晶片以陣列式方式排列, 負責導波音波的發射/接收工作,壓電式發射/接收模組反向裝設於貼近法蘭 0.3m 位置(如圖 65~圖 67 所示),以減低不感區範圍的影響,導波以 Backword 方向,向人工缺陷標準管末端發射信號。



圖 65 壓電式模組對人工缺陷標準裸管進行導波檢測



圖 66 壓電式模組安裝距離法蘭 0.3m 位置



圖 67 壓電式模組安裝示意圖

依據長距離多模式(LRUT)導波系統進行裸管導波檢測,檢測所得到的信號 (如圖 68 所示),反射回波信號紅色線條來自管件 0°及 180°方向回波,藍色線 條代表來自管件 90°及 270°方向回波,棕色線條代表前兩者的複合回波,黑色 線條代表全對稱反射回波,曲線圖右方暗色區塊為不感區,水平位置 5.6m 處及 12m 處回波為銲道及端面回波,距離振幅曲線(DAC)設定於 5.6m 全周銲接處之 回波信號波峰為主,補償距離造成的信號衰減,音速以距離校正為 4810m/sec。

長距離多模式(LRUT)系統應用於此人工缺陷標準管檢測時,可產生 20,27, 37,51,61,71,81,91 至 161KHz 等不同頻率之超音波,亦可自定檢測頻率,檢測 時壓電式模組依據設定頻率,以各個單一頻率逐一激發導波進行檢測,檢視檢 測結果得到 61KHz 回波信號最適合判讀,並進行缺陷標定及分析。

47



表 13 長距離多模式(LRUT)系統導波檢測信號分析

ID	Diagnosis	Tool (m) 🔻	Amp. (dB)		5	Weld	-5.60	19.23
20	Reflector	-1.09	7.64		23	Reflector	-6.24	11.92
21	Reflector	-1.65	4.29		17	Reflector	-6.37	4.62
4	Reflector	-2.27	11.92		24	Reflector	-6.45	9.41
22	See info	-2.52	8.86		25	Reflector	-6.89	8.51
16	Reflector	-3.14	2.64		18	Reflector	-7.78	12.02
15	Reflector	-3.82	5.67	1	26	See info	-9.10	10.77
14	Reflector	-4.26	5.37		19	Weld	-11.04	32.14

表 14 長距離多模式(LRUT)系統導波檢測信號與管件施工實際尺寸對照表

回波位置				4	4				14			5	備註
人工缺陷	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
距離(m)	1.36	1.66	1.96	2.23	2.23	3.33	3.60	3.89	4.34	4.66	495	5.70	
直徑(mm)	10	10	10	15	15,15	10	10	10	10	10	10	銲道	
深度(mm)	4.0	1.0	2.4	4.0	4.0	1.0	4.0	2.4	4.0	1.0	2.4	0	
角度(度)	210	90	330	0	180	150	270	30	240	120	0	全周	
壁厚損失%	48%	12%	29%	48%	48%	12%	48%	29%	48%	12%	29%		
截面損失%	0.7%	0.1%	0.5%	1.1%	2.2%	0.1%	0.7%	0.5%	0.7%	0.1%	0.5%		

回波位置	17												備註
人工缺陷	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
距離(m)	6.34	6.94	7.25	8.15	8.15	9.05	9.35	9.66	10.25	10.55	10.85	11.70	
直徑(mm)	10	10	10	15	15,15	10	10	10	10	10	10	銲道	
深度(mm)	4.0	1.0	2.4	4.0	4.0	1.0	4.0	2.4	4.0	1.0	2.4	0	
角度(度)	210	90	330	0	180	150	270	30	240	120	0	全周	
壁厚損失%	48%	12%	29%	48%	48%	12%	48%	29%	48%	12%	29%		
截面損失%	0.7%	0.1%	0.5%	1.1%	2.2%	0.1%	0.7%	0.5%	0.7%	0.1%	0.5%		

長距離多模式(LRUT)系統導波檢測人工缺陷裸管,依檢測結果得到5個明 顯的人工缺陷反射信號,缺陷距離定位、回波振幅高度計算(如表 13 所示)。檢 測結果與實際缺陷尺寸比對,2.2m處 Dia.15mm x 3、4.3m處 Dia.10mm 以及 6.3m處 Dia.10mm 之人工缺陷信號有回波顯示,5.7m 銲接回波信號最為明顯。

F. 長距離多模式(LRUT)導波系統檢測包覆管線(未埋地)導波檢測(I)

人工缺陷標準管件經柏油防蝕帶包覆,未埋入土壤之前進行長距離多模式 (LRUT)系統道波檢測,壓電式發射/接收模組裝設於斜管位置距離法蘭 1.5m 處, 向人工缺陷標準管末端發射導波(如圖 69~圖 71 所示)。



圖 69 壓電式模組對人工缺陷標準裸管進行導波檢測



圖 70 壓電式模組安裝距離法蘭 1.5m 位置



圖 71 壓電式模組安裝距離法蘭 1.5m 位置

依據長距離多模式(LRUT)導波系統進行裸管導波檢測,檢測所得到的信號 (如圖 72 所示),導波音速為 4810m/sec。

長距離多模式(LRUT)系統導波檢測人工缺陷裸管,依檢測結果得到4個明 顯的人工缺陷反射信號,缺陷距離定位(如圖 72 及表 15 所示)。檢測結果與實 際缺陷尺寸比對,1m處 Dia.15mm x 3、2.4m處 Dia.10mm、3.14m處 Dia.10mm、 5.4m處 Dia.10mm 之人工缺陷信號有回波顯示,4.5m 銲接回波信號無法辨別。 1m - Dia.15mm x 3 此處信號位於不感區內,故系統無法列入計算,需以人工判 斷。

壓電式發射/接收模組安裝靠近柏油防蝕帶包覆時,人工缺陷信號衰減嚴重 致使銲接處無回波顯示,有效檢測距離僅在3m左右。



表 15 長距離多模式(LRUT)系統導波檢測信號與管件施工實際尺寸對照表

6	7	8	0				
2.13		0	9	10	11	12	
2.13	2.40	2.69	3.14	3.46	3.75	4.50	
710	10	10	10	10	10	銲道	
1.0	4.0	2.4	4.0	1.0	2.4	0	
150	270	30	240	120	0	全周	
12%	48%	29%	48%	12%	29%		
0.1%	0.7%	0.5%	0.7%	0.1%	0.5%		
							備註
18	19	20	21	22	23	24	
7.85	8.15	8.46	9.05	9.35	9.65	10.5	
10	10	10	10	10	10	銲道	
1.0	4.0	2.4	4.0	1.0	2.4	0	
150	270	30	240	120	0	全周	
12%	<mark>48%</mark>	29%	48%	12%	29%		
0.1%	0.7%	0.5%	0.7%	0.1%	0.5%		
	2.13 10 1.0 150 12% 0.1% 18 7.85 10 1.0 150 12% 0.1%	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	2.15 2.40 2.09 3.14 3.40 3.75 4.50 101010101010 4.5 1.0 4.0 2.4 4.0 1.0 2.4 0 150 270 30 240 120 0 $2 \ B$ 12% 48% 29% 48% 12% 29% 0.1% 0.7% 0.5% 0.7% 0.1% 0.5% 0.1% 0.7% 0.5% 0.7% 0.1% 0.5% 18 19 20 21 22 23 24 7.85 8.15 8.46 9.05 9.35 9.65 10.5 10 10 10 10 10 10 4.0 2.4 0 1.0 4.0 2.4 4.0 1.0 2.4 0 150 270 30 240 120 0 $2 \ B$ 12% 48% 29% 48% 12% 29% 0.1% 0.7% 0.5% 0.7% 0.1% 0.5%				

G. 長距離多模式(LRUT)導波系統檢測包覆管線(未埋地)導波檢測(II)

人工缺陷標準管件經柏油防蝕帶包覆,未埋入土壤之前進行長距離多模式 (LRUT)系統道波檢測,壓電式發射/接收模組裝設於距離法蘭 0.5m 處,向人工 缺陷標準管末端發射導波(如圖 73~圖 75 所示)。



圖 73 壓電式模組對人工缺陷標準裸管進行導波檢測



圖 74 壓電式模組安裝距離法蘭 0.5m 位置



圖 75 壓電式模組安裝距離法蘭 0.5m 位置

依據長距離多模式(LRUT)導波系統進行裸管導波檢測,檢測所得到的信號 (如圖 76 所示),導波音速為 4810m/sec。

長距離多模式(LRUT)系統導波檢測人工缺陷裸管,依檢測結果得到4個明 顯的人工缺陷反射信號,缺陷距離定位(如圖 76 及表 15 所示)。檢測結果與實 際缺陷尺寸比對,2m處 Dia.15mm x 3、3.4m處 Dia.10mm、4.1m處 Dia.10mm、 6.4m處 Dia.10mm 之人工缺陷信號有回波顯示,5.5m 銲接回波信號無法辨別。 1.1m-Dia.10mm 此處信號位於不感區邊界,系統無法列入計算,需以人工判斷。

壓電式發射/接收模組安裝遠離柏油防蝕帶達 1m 時,人工缺陷信號同樣產 生衰減,但是缺陷特徵信號略可判讀,銲接處同樣無回波顯示,有效檢測距離 約在 4m 左右,相較於靠近柏油防蝕帶安裝壓電式發射/接收模組時效果較佳。

55



表 16 長距離多模式(LRUT)系統導波檢測信號與管件施工實際尺寸對照表

3				1 0		11				佣社
5	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1.76	2.03	2.03	3.16	3.40	3.69	4.14	4.46	4.75	5.50	
10	15	15,15	10	10	10	10	10	10	銲道	
2.4	4.0	4.0	1.0	4.0	2.4	4.0	1.0	2.4	0	
330	0	180	150	270	30	240	120	0	全周	
29%	48%	48%	12%	48%	29%	48%	12%	29%		
0.5%	1.1%	2.2%	0.1%	0.7%	0.5%	0.7%	0.1%	0.5%		
										備註
15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
7.05	7.95	7.94	8.85	9.15	9.46	10.05	10.35	10.65	11.5	
10	15	15,15	10	10	10	10	10	10	銲道	
2.4	4.0	4.0	1.0	4.0	2.4	4.0	1.0	2.4	0	
330	0	180	150	270	30	240	120	0	全周	
29%	48%	<u>48%</u>	12%	<u>48%</u>	29%	<u>48%</u>	12%	29%		
0.5%	1.1%	2.2%	0.1%	0.7%	0.5%	0.7%	0.1%	0.5%		
	$ \begin{array}{r} 1.76 \\ 10 \\ 2.4 \\ 330 \\ 29\% \\ 0.5\% \\ \hline 15 \\ 7.05 \\ 10 \\ 2.4 \\ 330 \\ 29\% \\ 0.5\% \\ \hline 0.5\% \\ 0.5\% \\ \hline 0.5\% \\ \hline 0.5\% \\ $	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	1.76 2.03 2.03 3.16 3.40 3.69 4.14 4.46 4.75 5.50 10 15 15,15 10 11

(5) 苗栗供氣中心通霄轉輸中心導波實驗

A. 長距離多模式(LRUT)導波系統檢測

針對苗栗供氣中心通霄轉輸中心 8 吋管線入土端,進行長距離多模式 (LRUT)導波檢測,壓電式發射/接收模組安裝 8 吋管距離水泥地界面上方 0.5m 處,向入土端管線發射導波(如圖 77~圖 81 所示)。



圖 77 苗栗供氣中心通霄轉輸中心 8 吋管線及設備配置



圖 78 苗栗供氣中心通霄轉輸中心 8 吋管線配置



圖 798 吋管線長距離多模式(LRUT)導波系統安裝



圖 80 壓電式模組距離法蘭 0.5m 位置進行安裝



圖 81 壓電式模組配置



長距離多模式(LRUT)系統導波檢測對通霄轉輸中心 8 吋管線進行檢測,由 於業者無法提供原始施工圖,無法確知埋地管線有無銲道,導波波速設定與人 工缺陷標準管相同為 4810m/sec,距離振幅曲線(DAC)設定以水平位置 2m 處信 號為參考點,標定回波反射信號(如圖 82),以人工判斷距離位於 0.9m, 1.2m, 2.2m, 3.2m 及 4.2m 處,可觀察到 5 個反射信號,但是以檢測系統運算則無法辨 識結果而出現誤差,雖然人工可以判定接近入土端地下線有反射信號,但無相 關施工背景資料,因此無法判別這些信號產生原因。

經濟部能源局

B. MsSR 電磁傳感超音波導波系統檢測

針對苗栗供氣中心通霄轉輸中心 8 吋管線入土端,進行 MsSR 電磁傳感超 音波導波檢測,多頻傳感模組安裝於 8 吋管距離水泥地界面上方 0.6m 處,向入 土端管線發射導波(如圖 83~圖 85 所示)。



圖 838 吋管線壓電式模組進行安裝



圖 848 吋管線 MsSR 多頻電磁傳感模組安裝



圖 85 MsSR 電磁傳感超音波導波檢測系統現場測試情況

MsSR 電磁傳感超音波導波系統對通霄轉輸中心 8 吋管線進行檢測,由於 無法確知埋地管線有無銲道,導波波速設定與人工缺陷標準管相同為 3080m/sec, 距離振幅曲線(DAC)設定以水平位置 0.8m 處信號為參考點,標定回波反射信號 (如圖 86、圖 87)。



表 17 導波檢測信號分析

Sym.	Dist (m)	% Refl.	Comment
MsS1	0.00	-	Initial Pulse;
Q1	0.56	4.8	Indication; 69.0-% wall loss;
Q2	0.82	33.7	Indication; 100.0-% wall loss;
Q3	1.06	1.9	Indication; 37.0-% wall loss;
Q4	1.64	1.9	Indication: 36.3-% wall loss; Q3-Q1-Q3 (1.6, 0.00);
Q5	2.06	1.5	Indication; 31.3-% wall loss; Q4-Q3-Q1 (2.1, 0.00);
QS	4.82	0.7	Indication; 18.8-% wall loss;

電磁傳感超音波導波檢測 8 吋管線,依檢測結果得到 Q1~Q6 等 6 個回波反射信號,計算反射距離 (如表 17 所示),反射信號 Q1 推測為入土端水泥界面信號,與長距離多模式(LRUT)導波系統檢測結果相同,雖然可以判定接近入土端地下線有反射信號,但無相關施工背景資料,因此也無法判別信號產生原因。

MsSR 電磁傳感超音波導波系統與長距離多模式(LRUT)導波系統,兩者的 檢測結果相互之間亦無法參照比對,歸結原因為地下管線無特徵信號參考,特 徵信號可能為銲道、支撐或其它結構物體。

- (6) 可行性評估結論
 - A. MsSR 電磁式超音波導波系統音波的傳遞不受彎管加工而影響傳遞,由實驗 得知彎管不影響缺陷定位。
 - B. MsSR 電磁式超音波導波系統經過柏油防蝕帶包覆後的人工缺陷標準管,電磁傳感模組安裝位置若靠近管線包覆時,導波信號在電磁傳感模組安裝位置起至 3.2m 之後嚴重衰減,不再有回波顯示,柏油蝕帶吸收了大部份的導波信號。若是電磁傳感模組安裝與柏油防蝕帶包覆保持 1m 以上的距離時,MsSR 電磁傳感超音波導波檢測系統仍可檢測出 4m 距離內的大型缺陷。
 - C. 長距離多模式(LRUT)導波系統壓電式發射/接收模組安裝靠近柏油防蝕帶 包覆時,人工缺陷信號衰減嚴重致使銲接處無回波顯示,有效檢測距離僅 在 3m 左右,若壓電式發射/接收模組安裝距離柏油防蝕帶包覆 1m 時,人工 缺陷信號同樣產生衰減,但是缺陷特徵信號略可判讀,銲接處同樣無回波 顯示,有效檢測距離增加 1m 約可達到 4m 左右。
 - D. MsSR 電磁式超音波導波系統和長距離多模式(LRUT)導波系統,在導波發

射模組 1m 以內的瑕疵信號無法有效檢測,尤其是長距離多模式(LRUT)導 波系統更為明顯。

- E. 電磁傳感超音波導波檢測對業者場站實際管線,包覆柏油防蝕帶之出入土端介面,可以得到一定的缺陷檢出能力,長距離多模式(LRUT)導波系統對近距離的檢測效果略差一些。
- F. 人工缺陷標準管的製作除了做為瑕疵檢測的參考、缺陷定位、材料音速校 正及觀察包覆狀況影響之外,也期望可以做為業者 8 吋營運管線檢測時參 考之標準件,但是經由實驗得知,不同導波檢測系統之間存在材料音速差 異,管線包覆材料差異,以及包覆材料老化與否之差異,因此導波在人工缺 陷標準管實驗得到的檢測靈敏度,無法提供業者營運中的管線做檢測參照 使用。
- G. 綜整以上實驗結果顯示,導波可以做為包覆管線出入土端近距離的檢測, 但是實際操作上,埋地後的地下管線無特徵點提供導波系統進行校正和信號比對,可以提供比對的特徵點可以是銲道、管線支撐結構物等,因此導波即使檢測出回波反射信號,仍無法判斷此信號是否為瑕疵或缺陷或其它結構物的存在。

目前業者使用的地下管線出入土端之導波的檢測,除非可以確知 4m 以內存在 可以提供導波校正參考的結構物,否則以電磁超音波法(GWUT)應用電磁超音波管 線腐蝕檢測新技術,評估應用於管線入土端腐蝕高風險範圍抽測為不可行之。