

管線及設備掃瞄及篩選檢測技術之應用

鄭錦智 莊耀清 蔣振芳

高雄煉油廠安環組設備檢查課

摘 要

在石化廠或煉油廠中，製程管線及設備為生產之重要元素且多載有易燃易爆具毒性之流體，設備管線若有腐蝕缺陷或問題存在則會降低其強度而造成破裂洩漏，甚至將導致工場非計劃性停爐或工安事故。目前公司現行的定期檢查作業，向來是以傳統的非破壞檢測方法，執行定點的檢查以瞭解設備管線的腐蝕情況，而這些既有的傳統方法常受限於檢測速度及單一的檢測位置，使得我們無法完全掌握設備管線的劣化情況。但於眾多管線或設備中，若僅於短短的歲修中並無足夠時間進行全面性之檢查。因此常有一些管線或設備因無法進行檢查而於操作中洩漏或損壞，以致發生事故。且以往之檢測技術較無法涵蓋大範圍及大面積之生產設備及管線，若要詳細檢查則需耗費許多人力、物力及時間來進行，所以在生產及工業安全兩方面常無法同時兼顧。高雄煉油廠多年前即已引進國外發展之先進大範圍篩選及掃瞄技術來克服上述之困難，其中包含導波檢測、電磁超音波檢測、紅外線檢測等，本文將介紹這些檢測技術之基本原理及其應用案例供各單位參考，期望可以適時的應用此技術之優點進而降低管線設備腐蝕破裂所造成的工場非計劃性停爐及工安事故。

壹、前 言

在石化、煉油等工廠中，製程管線及設備為生產之重要元素且多載有易燃易爆具毒性之流體。但於眾多管線設備中，常因檢測技術因素導致無法有效且全面的檢查而於操作中洩漏或損壞，以致發生非計劃停爐、工安事故或人員傷亡。除此之外以往的檢測技術較無法涵蓋眾多且密密麻麻之生產管線，若要詳細檢查則需耗費許多人力、物力及時間來進行，所以在生產及工業安全兩方面常無法同時兼顧。目前中油公司高雄煉油廠引進國外發展的一些先進線上檢測技術及大範圍篩選技術來克服上述之困難，其中包含導波檢測法、電磁超音波、紅外線熱影像檢測法等檢測技術。

紅外線熱影像檢測技術因其屬於非接觸式的檢測方法，故近幾年來國內在紅外線的應用上已有愈來愈多之趨勢，舉凡加熱爐內燃燒情形、爐管之溫度遙測、保溫保冷材之劣化評估、輸配電線路之檢測、配電盤之電氣接點及機械上之泵、馬達 等等皆可找到其應用之處。而目前台灣向來是以傳統的非破壞檢測方法，執行局部母材擇點超音波測厚以瞭解管線的腐蝕情況。而這些既有的傳統方法常受限於檢測速度及局部的檢測範圍，使得我們無法完全掌握管線整體的減薄劣化情況，故國際上乃發展電磁超音波激發藍姆波的檢測技術用來克服上述的困難點，其中包含導波檢測及電磁超音波檢測。電磁超音波的產生乃利用永久磁鐵產生的磁場與線圈通電後於金屬平板導體表面感應產生渦電流場，藉由磁場與感應渦電流之間的作用，可於金屬導體平板上激振並接收藍姆波來進行檢測，此法可針對在兩探頭間之金屬進行偵測是否有減薄。導波檢測法是一種針對管線缺陷檢測之非破壞檢測方法，此法可快速篩選出管線中之腐蝕缺陷，且一次激發檢測距離可達數十公尺，若發現可能之缺陷時則再利用其它檢測技術進行細部檢測，而此技術檢測時只需去除探頭置放處之保溫保冷材供探頭置放即可進行檢測，利用此檢測技術可避免擇點測厚會遺漏正好有腐蝕之區域，但對局部較小之孔蝕及裂縫其檢測靈敏度會稍嫌不足。

貳、紅外線檢測法之原理及應用

紅外線熱影像檢測技術主要是利用當物體本身溫度大於絕對零度時會輻射紅外線的原理而來，經由紅外線熱影像儀接收物體所輻射的紅外線能量並將其感測所得之能量分布情形轉成肉眼可觀看之影像而顯示於儀器螢幕上，檢測分析人員可利用此螢幕上之紅外線熱分布情形及溫度值而監控或預知設備是否有異常狀況發生。紅外線熱影像檢測技術在國外已廣泛使用於醫學、工業、軍事等用途上。單就工業上的用途而言也已遍及於石化、電力、鋼鐵、製造、研究 等方面，多不勝舉。因其屬於非接觸式的檢測方法且可經由影像而達到可視性，再加上其具有大面積掃描的特性，所以很適合應用於大

範圍線上之設備檢測上。因上述原因使得紅外線檢測技術在國內工業上之應用已有愈來愈多之趨勢，舉凡加熱爐內燃燒情形、爐管之溫度遙測及熱斑情形之監測、保溫保冷材之劣化評估、輸配電線路之檢測、配電盤之電氣接點及機械上之泵、馬達 等等皆可找到其應用之處。

紅外線是屬於電磁波譜上波長 $0.75\sim 1000\ \mu\text{m}$ 之電磁波，凡物體溫度大於絕對溫度時，皆會輻射紅外線；且不同的溫度所輻射的紅外線能量必定不同。紅外線檢測器所接收的能量，除了被測物體本身因溫度不同所輻射之紅外線能量外，還包括其它物體或環境所輻射之紅外線經由被測物之反射及經由穿透被測物而到達檢測器之能量，且其接收的能量也與被測物的放射率有關。所以檢測器所吸收之紅外線能量可表示為

$$E_m = E_0 + E_b + E_s$$

其中 E_m 為檢測器所感應之紅外線能量， E_0 為被測物本身所輻射出之紅外線能量， E_b 為反射源本身所輻射出之紅外線能量， E_s 為穿透源本身所輻射出之紅外線能量， ϵ 為被測物之放射率， ρ 為被測物之反射率， τ 為被測物之穿透率。

所以紅外線儀器上所感測到之能量不僅僅只有被測物所輻射的紅外線能量而已，另外還包括反射、透射的能量，故在做紅外線檢測時須考慮一些技術層面上的問題，若這些問題被忽略了則會產生重大的誤差而導致誤判。譬如：

1. 放射率、反射率、穿透率所給之值是否正確，若不正確則所量得之溫度即會有誤差發生。
2. 有反射、穿透現象存在時，反射源、穿透源能量如何定量是一個問題。
3. 如何利用一些輔助設備及技術來減少放射率、反射率等的錯誤估計值。如利用恆溫箱，具高放射率的點漆 等，來求得較正確的放射率。
4. 利用特殊紅外線反射鏡來求得反射源輻射能量。

除了上述所提之外，還有許許多多該注意的檢測技巧及知識被運用在紅外線檢測上。所以檢測人員若不具備有關紅外線檢測之技術及知識而冒然進行紅外線測溫檢測工作，則可能對儀器所顯示之現象及溫度信以為真而導致嚴重之錯誤判定，是故對於紅外線檢測工作而言，足夠的檢測知識是不可少的。

圖一是可攜式紅外線熱像儀於化工廠熱分布掃瞄之情形，其重量已可與攝影機相比擬並可由一人獨立操作，其方便性及遙測之功能可由此略而見之。圖二是硫磺工場之反應加熱器因燃燒噴嘴故障發生偏燒而使得耐火泥崩落導致鋼板溫度偏高，若不即時檢測出此問題區域則將會造成金屬殼板的高溫氧化減薄而導致破漏釀成火災。圖三是電磁開關之 W 相負載過高造成導線溫度偏高情形，利用紅外線掃瞄此配電設備可迅速地找出有問題點而馬上進行維修，且因是非接觸式檢測故檢測時更具安全性無受觸電之顧慮。圖四是紅外線熱影像用於蒸汽管線之保溫材料包覆之檢測案例，藉此找出問題點以避免

能源之浪費並避免冷凝水提前產生而撞擊汽機葉片而故障。

參、電磁超音波檢測法之原理及應用

電磁超音波的產生乃利用永久磁鐵產生的磁場與線圈通電後於金屬平板導體表面感應產生渦電流場，藉由磁場與感應渦電流之間的作用，可於金屬導體平板上激振並接收藍姆波，如圖五所示。電磁超音波探頭之線圈銅線的間距將主導激振藍姆波之波長 ($\lambda = 2 \times d$)， d 為線圈間距， λ 為波長。當 2 倍線圈間距為 $2d$ mm 時，在平板中所激振傳遞的藍姆波波長也為 $2d$ mm。在相速度頻散曲線圖中，由於相速度為頻率與波長的乘積，因此我們可以控制一波長，在不同頻率板厚乘積下即可激振不同藍姆波模態，例如可激振出 S_0 、 A_0 、 S_1 、 A_1 等四種模態。

當電磁超音波檢測前，須先測試上述模態的那一個模態在儀器上對缺陷的反應訊號顯示結果較容易區分，再選擇此一模態進行檢測。本實驗所使用之商用儀器為 WIS 公司之 Pipe Eye System，如圖六所示。經由儀器上的訊號產生器產生欲激發的模態訊號，再經由訊號放大器送出訊號給激發探頭上的線圈而產生激發訊號，經由探頭及被測物上的磁場與感應渦電流之間的作用，可於管子之金屬導體上激振藍姆波。而藍姆波經波傳遞的過程而到達接收線圈，接收線圈感應到訊號後再經由控制箱做訊號之處理，然後顯示於示波器上，並於電腦上儲存及相關之後續訊號分析及顯示等功能。圖七是電磁超音波檢測腐蝕管線之訊號圖，圖八為現場電磁超音波檢測管線的情形。

貳、導波檢測法之原理及應用

導波(guide wave)技術係用探頭激振產生之特殊超音波(藍姆波，Lamb wave)入射於管件表面。導波的基本檢測方式是用環狀陣列探頭以軸對稱方式安裝在管線外壁並激發所選定之藍姆波模態，當管件中長距離傳遞的導波模態遇不連續之界面(缺陷)時會產生波式轉換及反射之回波，經由探頭接收其回波訊號來分析研判管子是否存在缺陷之情形(如腐蝕情況及缺陷所在)。導波基本上由藍姆波所構成，而將導波應用於管線檢測，其發展最早可追溯至 1957 年，並由 Worlton 首先將藍姆波將平板中之藍姆波檢測研究擴展至圓管中之導波檢測技術。圓柱型藍姆波(導波)是由平板之藍姆波波傳理論延伸至圓管而來，導波在管線中具有快速傳遞且可長距離傳播而不易衰減的特性。此特性異於一般之超音波檢測，傳統之超音波易於衰減且檢測距離無法達到數十公尺之範圍。然而導波在介質之傳遞過程中，其波形會隨著波的傳遞而產生變化，此現象稱為頻散現象，

亦即波之傳遞速率會隨著不同的頻率而變化。

圖九為長距離管線檢測之情形。在實際管線檢測上，高架部分之管線檢查不易實施，圖十的導波檢測系統不需使用高架梯即可快速完成高架管線之檢測工作，圖十一為檢測懸空管線(塔槽至空冷器)之情形。雖然導波檢測技術可解決目前管線檢測的許多瓶頸，但在實際管線檢測上導波檢測法仍有一些限制：

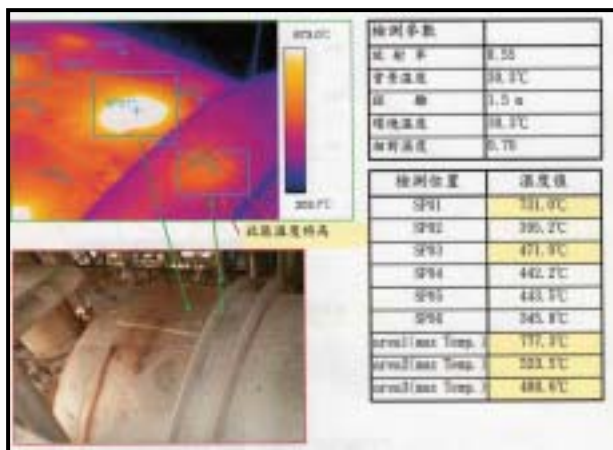
1. 導波之回波訊號的產生乃是導波在管線中傳播時遇有管線截面積改變所致之現象。是故當導波檢測技術使用在已有銹蝕斑點之老舊管線時，會將此銹蝕斑點之回波訊號大量地傳回分析儀器上而形成背景雜訊。此雜訊會影響導波偵測管線微小缺陷之靈敏度，且此背景雜訊亦會消耗傳遞能量而降低導波在管線上傳播之距離。
2. 一般管線為了保溫或防蝕的目的，必須在管線外層包覆保溫材料或塗覆瀝青等包覆材料。這些包覆材料若以緊密的方式包裹著管線則會使導波之傳遞能量衰減掉，尤以瀝青為最，它會令原來可檢測幾十公尺長之導波訊號衰減至僅剩下可傳播幾公尺長的距離。
3. 導波在管線傳播時，遇有彎管(Bend)時皆會有回波傳回接收端，而曲率半徑太小之小彎管(直徑 3 吋以下)，將使彎管上之缺陷無法辨識。況且管線上的彎管會讓回波訊號失真(Distorsion)，故在規劃檢測範圍時，每次的檢測距離儘量不要涵蓋 2 個以上的彎管在內。
4. 導波法對管線上的支管(Branches)、通風管(Vents)及排水管(Drains)處的管中腐蝕現象無法偵測出。

伍、結論

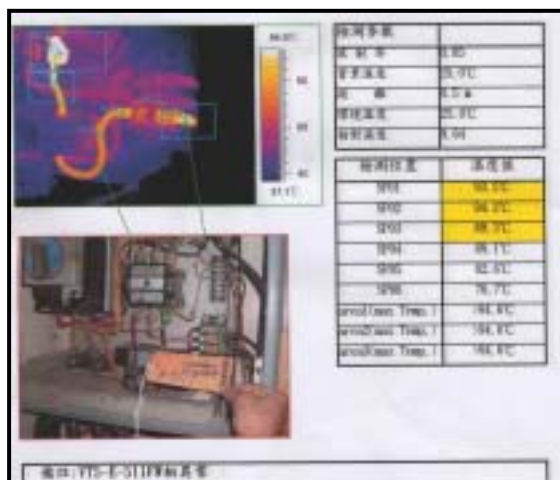
中油公司高雄煉油廠引進國外發展之紅外線熱影像檢測技術、電磁超音波檢測技術、導波檢測技術等線上檢測技術及大範圍篩選技術來解決大量設備管線檢測之問題。希望藉由本文介紹的這些檢測技術的應用案例，拋磚引玉期望對本公司其它廠區可以參考引進使用。而關於以上這些技術高雄煉油廠目前投入人力進行這些技術之落實及經驗獲得，目前有些已有許多檢測經驗，有些已開始進行廠區內管線及設備之檢測測試，希望不久的將來對本公司之設備安全會有一些幫助。



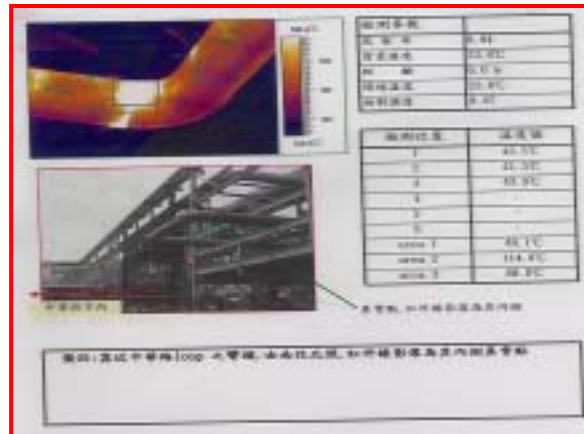
圖一 可攜式紅外線熱像儀於化工廠熱分布掃瞄之情形。



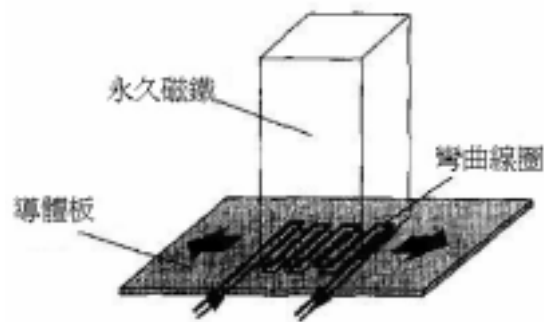
圖二 反應加熱爐外部熱分布檢測



圖三 紅外線量測電磁開關之影像



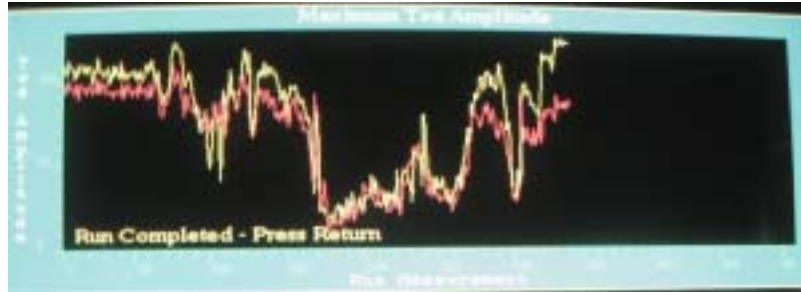
圖四 紅外線量測保溫材料劣化之影像



圖五 電磁超音波激發藍姆波架設示意圖(資料來源 kal tenbache, 1998)



圖六 電磁超音波儀器(右邊)及探頭(左邊)



圖七 電磁超音波儀器檢測腐蝕管線訊號圖



圖八 現場電磁超音波儀器檢測管線情形



圖九 導波檢測法於長距離管線之量測



圖十 利用導波檢測過馬路高架管線之腐蝕



圖十一 利用導波檢測塔槽至空冷器之管線