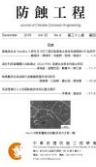




防蝕工程學會

防蝕工程

期刊網址：<http://www.anticorr.org.tw>



10.6376/JCCE.201812\_32(4).0004

## 長途管線出入土段腐蝕檢測技術之整合應用 Integrated NDT Techniques for Onshore Transmission Pipeline SAI Corrosion Inspection

李秉鴻<sup>\*1</sup>、黃啟貞<sup>1</sup>

Ping Hung Lee<sup>\*1</sup>, Chi-Jen Huang<sup>1</sup>

### 中文摘要

工業管線在石化、煉油、鋼鐵與發電產業扮演著相當重要的角色，除於場區內負責輸送製程物料及產物的管線系統外，廠與廠間物料輸送管線亦扮了演重要角色。若管線安全性管理不當，引起洩漏或爆炸都將造成巨大的人力物力損失，更嚴重者將引起難以挽回的工安事故。在台灣，自 2014 年高雄地下管線的洩漏事故對公眾安全造成莫大的影響，長途地下管線檢查和安全管理相關議題在過去幾年來為大家所關心的焦點。隨著電腦計算能力提升，非破壞性檢測技術近幾年來也有突破性的發展，本文乃整合多項非破壞檢測技術應用於長途地下管線腐蝕的檢測，包括管內檢測（IP 檢測）、導波檢測、定量電磁超音波檢測與脈衝渦電流檢測等，針對長途管線在工場內與掛橋管線的明管段以及長途管線埋地段未開挖與開挖後的腐蝕檢測，導入上述四項檢測方法於長途管線的不同管段部位，同時提出管線腐蝕檢測加監測作為管線長照 2.0 之實際作為，為管線安全的管理提供一項解決方案。

**關鍵詞：**長途管線、穿牆界面腐蝕、非破壞檢測。

### Abstract

Industrial pipelines play a very important role in the petrochemical, refining, steel and power generation industries. Most of these pipelines are buried and their integrity is highly important. Defects like corruptions and cracks destruct the integrity of pipeline and can cause highly dangerous damage results. In Taiwan, the explosion of buried pipelines in Kaohsiung in 2014 has had a major impact on public safety. The issues related to pipelines inspection and safety management have been the focus of attention in the past few years. This paper integrates multiple non-destructive testing technologies for long-distance pipelines corrosion inspection, including in-line

收到日期：107 年 11 月 29 日

修訂日期：109 年 3 月 26 日

接受日期：109 年 11 月 8 日

<sup>1</sup>台灣金屬材料品管有限公司

<sup>1</sup> Taiwan Metal Quality Control Co. Ltd.

\*聯絡作者：leehung1218@gmail.com

inspection (IP inspection), guided wave testing, quantitative electromagnetic ultrasonic testing, and pulsed eddy current testing, etc. For the different parts of the long-distance pipelines, the 4 testing methods are applied to different pipe section. Meanwhile, pipeline corrosion monitoring is proposed as the long term care 2.0 of pipelines, which provides a solution for pipeline safety management.

**Keywords:** Pipeline; Corrosion; NDT.

## 1. 前言

長途管線最常見也是最詳細的檢查方法為採用智慧型檢測器(Intelligent PIG, IP)<sup>[1]</sup>進行全管線腐蝕檢測，經由自管內通行檢測器後來掌握完整的管線訊息，如管壁厚度變化、凹陷變形狀況和管線方位走向等，所獲得數據可做為管線完整性分析之用。但並非所有管線都適合採用，如管徑小於 3 吋或因管線時間久遠資訊不齊可能存在卡管風險等，對於這些屬於 unpiggable 的管線，如何有效篩選較有可能發生腐蝕的位置，配合合適的檢查方法掌握管線腐蝕情形將相當重要。長途管線一般可分為埋地段管線與出入土段管線，針對出入土段管線，過往檢測案例指出最常發現嚴重腐蝕的位置集中在位於土壤交界面、管線支撐和穿牆/橋墩附近位置，其原因多為管線外部的防蝕包覆材料發生劣化現象，經多年後使得該位置管線出現類似包覆下腐蝕(CUI)，影響管線操作安全。

針對管線腐蝕檢測技術，國內外已有相當多檢測方法，如導波法<sup>[2]</sup>，定量電磁超音波法<sup>[3]</sup>，脈衝渦電流檢測<sup>[4]</sup>與射線輪廓照相檢測等技術備應用於各式各樣的管線條件上。導波檢測法在國外

已為相當成熟的技術並且有許多應用於長途管線檢測地案例，導波檢測法針對管線腐蝕主要提供輕度、中度與嚴重等三級之分類篩選，結果雖不適用於腐蝕狀況量化之評估，但是在不拆除管支撐包覆材料或不開挖出土界面處土壤等條件下可快篩掌握管線腐蝕情形，針對所發現異常點可再輔以其他技術進行腐蝕程度量化。

## 2. 長途管線腐蝕類型

依 ASME B31.8S 長途管線潛在危害區分為與時間相關、與時間無關和穩定存在三大類，其中腐蝕劣化問題屬於與時間相關者，隨時間增長腐蝕問題愈趨嚴重，進而導致設備耐壓強度降低無法承受操作壓力而造成意外發生，不同於地上設備，長途管線多數設於地面下僅少數於地上，如過河段管架橋或廠區內管段，因此不同區域所潛在的腐蝕類型受所處環境的不同可能相差甚大。常見發生在長途管線的外部腐蝕類型如表一所示。圖一(左)為埋地管段開挖後局部包覆失效導致管壁局部腐蝕；圖一(右)為場內出入土管段界面腐蝕。



圖 1 長途管線腐蝕：埋地管段腐蝕(左)，出入土界面腐蝕(右)。

Figure 1 Pipe Corrosion: Buried pipe corrosion (Left), soil-air interface corrosion (Right).

表 1 長途管線腐蝕類型。

Table 1 Long range pipeline corrosion types.

類型	原因	對策
一般腐蝕或點蝕	無適當的陰極防蝕保護電位	確認或改善管線保護電位
雜散電流腐蝕	DC or AC 電流影響	確認 DC & AC 來源
土壤微生物腐蝕(MIC)	微生物活動	不易排除原因，改善防蝕系統
軸向細長型腐蝕	局部屏蔽或無效的陰極保護	管線外觀突起處防蝕帶重新包覆
選擇性腐蝕	異種金屬銲道銜接處	可能須透過 IP 檢測確認是否存在
大氣腐蝕	外部環境影響	管體和土壤交界處
包覆下腐蝕	外部防蝕塗料/包覆劣化導致水份長期存在於管壁與包覆間	管支撐處、穿牆處和土壤交界處

### 3. 長途管線檢測方法

#### 3.1 智慧型管線檢測<sup>[1]</sup>

智慧型管線檢測方式（或稱為智慧型 PIG, Smart PIG 或 Intelligent PIG，簡稱 IP）於 2000 年後，隨著技術進步陸續發展出更多樣化之檢測方式，提供更準確的檢測結果和針對更缺陷檢測方法及機制。IP 檢測器所採用的技術原理普遍基於磁通漏(MFL)或超音波(UT)所發展出，依其檢測對象可分兩大類，一為對金屬減薄類型缺陷(Metal loss)的檢查，另一則專為找出軸向細長型缺陷/裂紋類型缺陷(Axial narrow/crack)所設計。其中，MFL 類檢測器又依磁力線配置可分為軸向(Axial)、周向(Circumferential)和螺旋式(Spiral)，而 UT 則分為壁厚量測(UTMW)和裂紋檢測(UTCD)，此外，近年來採用電磁超音波(EMAT)和渦電流(Eddy Current)技術的 IP 檢測器也陸續開始出現在市場上，以滿足管線業者對管線安全管理上的需求。

目前全球市場上有超過數十家廠商提供長途

管線 IP 檢測相關服務，而各家廠家的檢測技術和能力各有所長和限制，選擇前了解有關於各種不同 ILI 檢測技術是很重要的。舉例來說，在選用 ILI 檢測工具時應相當的審慎，需充分瞭解管線特性和檢測設備特性，從中選擇到最合適的解決方案，方能精準的檢測出管線內部缺陷特徵或是異常及潛在威脅。

#### 3.2 導波檢測<sup>[2]</sup>

導波檢測技術乃以環狀陣列壓電探頭在管線上產生導波扭矩模態 T(0,1)，利用導波可在管線上長距離傳遞的特性，快速篩檢出長途管線上有嚴重腐蝕之區域。在長途管線上若為埋地管段，需局部開挖與拆除包覆方能安裝探頭，且檢測距離受到包覆層與土壤的影響每邊僅能檢測 5~8 公尺；若為長途管線明管段，如掛橋管線、廠內出入土段管線、清管站管線等區域則可在不開挖的條件下完成出入土或進出橋墩管段的腐蝕快篩檢測，將管線區分為正常、輕度腐蝕、中度腐蝕與



剩餘壁厚，管壁越薄則消散速度越快，利用脈衝渦電流可再不拆除包覆防蝕帶的條件下測得管壁剩餘壁厚，若藉由搭配掃描裝置則可將掃描過的區域進行腐蝕成像，並計算出最小剩餘壁厚。若

以導波快篩多支出入土段管線，發現其中有些管線有包覆下腐蝕訊號，則可採用脈衝渦電流進行腐蝕成像，評估出該段最小剩餘壁厚以及腐蝕分佈位置。



圖 3 應用定量電磁超音波於出入土段檢測案例。  
Figure 3 Case study: soil interface corrosion inspection using QEUT.

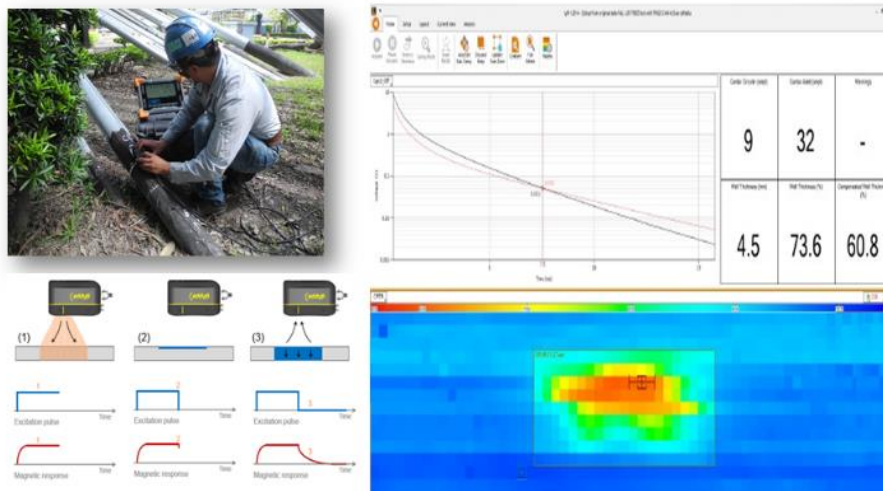


圖 4 應用脈衝渦電流檢測出入土段包覆下腐蝕。  
Figure 4 Case study: soil interface corrosion inspection using PEC.

### 3.4 長途管線腐蝕監測-導波監測技術

管線的監測就像人體的健康監測一樣，如果能藉由監測系統及時反應出管線腐蝕正在劇烈發生或者管線已經發生洩漏，這樣便能把管線風險降到最低。長途管線可藉由智慧型檢測器進行一次性檢查，將嚴重腐蝕點開挖驗證並進行管線更新或修補，但對於中度腐蝕區域或者沒有修補的腐蝕點往往只是更新破舊的包覆材料以及加強陰

極防蝕。近年來導波檢測技術也朝向導波監測系統進行開發，針對重要管段、難以接近的管段或者已知位置的腐蝕點可安裝永久式導波探頭，再將訊號線拉到方便收集訊號的位置，固定時間擷取該處導波訊號，比較多次記錄下來的訊號可由訊號的“差異”來定義出所監測的管線是否有正在發生的腐蝕現象，或者是否有外力破壞(如打孔盜

油)造成的管線嚴重損傷，如圖 5 所示，將導波探頭安裝於過路段一側，針對馬路通過的管段進行監測，訊號線接頭拉至地面上來安裝有利於檢測人員定期到此過路段進行訊號收集，每次訊號可

針對過路段進行腐蝕評估，若有局部異常訊號點，則可分析該訊號點成長趨勢，評估此區腐蝕活動是否活躍進行中。

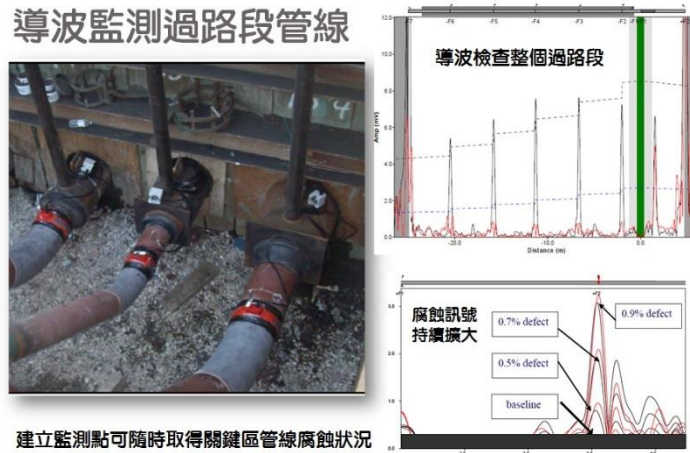


圖 5 導波監測長途管線過路段腐蝕。  
Figure 5 Guided wave testing for corrosion monitoring at the road crossing.

#### 4. 結論

台灣有眾多管線分佈於台灣西部，石化業上游到下游工廠原物料的運送，天然氣瓦斯由天然氣廠運送至各個發電廠、工業用戶與家庭用戶，各種油品也都藉由長途管線來完成輸送，原物料與天然氣的洩漏可能導致爆炸、油品的洩漏往往會造成我們居住環境的污染，因此長途管線之健康檢查極需藉由定期非破壞性檢測來了解我們使

用管線的狀況，目前國內傾向以智慧型檢測器每五年進行全管線腐蝕檢測。如下圖 7 所示，對於不適合 IP 檢測的管線(unpiggable pipeline)或尚未執行 IP 檢測的管線，或是已施行 IP 的管線已知出入土段管線存在腐蝕異常點，本研究所述 3 種非破壞性檢測技術可對長途管線有效持續追蹤腐蝕變化情形。

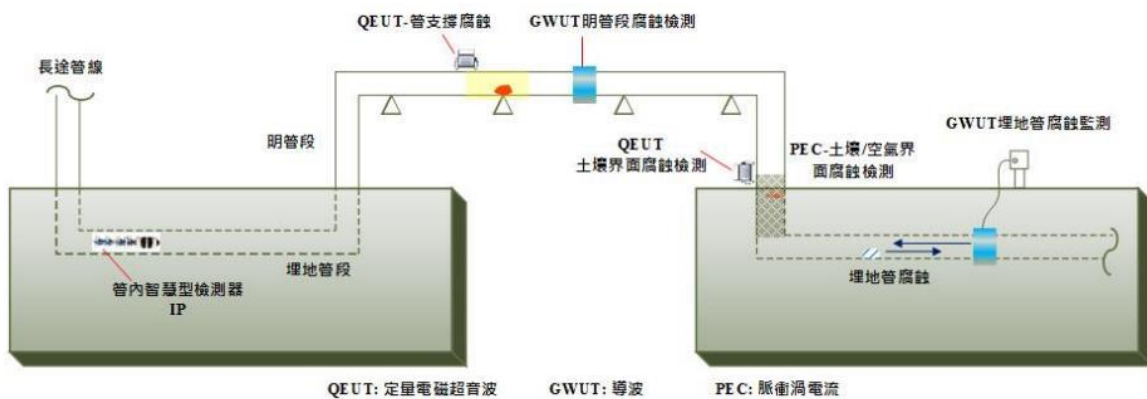


圖 6 多種非破壞檢測技術搭配應用於長途管線檢測。  
Figure 6 Multiple-NDT techniques for long-range pipeline inspection.

## 參考文獻

- [1] "Discontinuity inspection in pipelines: A comparison review.", Coramik, Mustafa, and Yavuz Ege., Measurement, 111 (2017), pp.359-373.
- [2] “導波應用於長距離管線之非破壞檢測技術”，楊旭光、鄭錦文、李秉鴻，中興工程季刊，第102期，2009年，第71~78頁。
- [3] P.H. Lee, C.J. Huang, J.C. Tu and S.T. Wang, “Use of EMAT for Monitoring Pipe Support Corrosion Detected by an Internal PIG”, Proceedings of the 15th Asia Pacific Non-Destructive Testing, Singapore (2017).
- [4] M. Grenier, V.D. Carpentier, M. Rochette and F. Hardy, “Pulsed Eddy Current: New Developments for Corrosion Under Insulation Examinations”, Proceedings of the 19th World Conference in Non-Destructive Testing, Munich, Germany (2016).