

出國報告（出國類別：洽公）

赴德國及荷蘭參加第十八屆管線技術研討會(The 18<sup>th</sup> Pipeline Technology Conference, PTC Berlin)及拜訪 IP 檢測公司

服務機關：台灣中油股份有限公司

姓名職稱：楊家敦處長

姓名職稱：詹世鴻組長

派赴國家：德國、荷蘭

出國期間：112 年 5 月 6 日至 5 月 14 日

報告日期：112 年 6 月 1 日

# 參加第十八屆管線技術研討會(The 18th Pipeline Technology Conference, PTC Berlin) 及拜訪 IP 檢測公司報告

## 摘要

本次赴德國柏林參加第十八屆管線技術研討會(PTC 2023)，有來自世界各地 58 個不同國家中的 82 家技術參展公司，83 家管線營運商(包含台灣中油公司)，超過 1,000 名與會者，規模和國際化程度為歷年來最高。

本次管線研討會，聽取來自各地不同管線營運商、技術廠商及學術研究單位在面臨能源轉型新議題及各式挑戰下，所進行方向及未來趨勢評估，包括 IP 檢測技術、洩漏監測技術、現行管線摻氫或輸氫或輸二氧化碳等，相關的技術會議共 100 多場專題演講，使與會者能深入瞭解管線技術的最新發展。

另受 IP(Intelligent Pipeline Inspection Gauge)檢測原廠邀請，安排於管線技術研討會後行程，參訪總部位於德國之 Rosen 公司及總部位於荷蘭之 Intero 公司，就 IP 檢測技術及管線完整性等相關議題，進行意見交流與對談。

## 目次

摘要 .....	2
壹、出國目的 .....	4
貳、公務行程安排及工作內容 .....	5
參、具體成效 .....	6
肆、心得及建議 .....	16

# 出國報告書本文

## 壹、 出國目的

第十八屆管線技術研討會(The 18th Pipeline Technology Conference, PTC)於德國柏林(Berlin)舉辦，出國參訪前已取得本次管線技術研討會(PTC)會議議程，其中針對管線技術研討成果發表會，規劃本次參訪主要議題如下：

1. IP 檢測技術進展 (ILI, Inline Inspection)
2. 管線完整性管理 (Integrity Management)
3. 天然氣管線摻配氫氣 (Hydrogen)
4. 洩漏監測及監控 (Leak Detection & Monitoring)

基於上述 4 個主要議題，透過本次管線技術研討會(PTC)，使與會者能深入瞭解目前國際各管線營運商及技術廠商之最新發展技術及管理方法。此外，聽取來自各國有關管線操作經驗及管線檢測技術精進作為，作為擬定管理策略之參考，並評估能否具體實踐於中油公司管線安全管理。

112年初IP檢測原廠德國Rosen公司執行副總、荷蘭Intero公司執行長分別拜訪長途管線處，進行管線檢測技術交流研討，會議中兩家原廠提出正式邀請函，邀請中油公司派代表團前往德國柏林進行訪問並參加歐洲最大之管線技術研討會(PTC 2023)。管線技術研討會(PTC)結束後，赴上述兩家原廠總部參訪設備技術研發中心、設備製造組裝過程及其相關零組件開發，同時雙方亦進行技術交流簡報會議，IP原廠說明目前專注於管線營運商管線議題上，可提供各式管線檢測解決方案及分析缺陷精度與能力，針對管線存在各種缺陷型態的不同，進而制訂出IP檢測解決方案。

## 貳、公務行程安排及工作內容

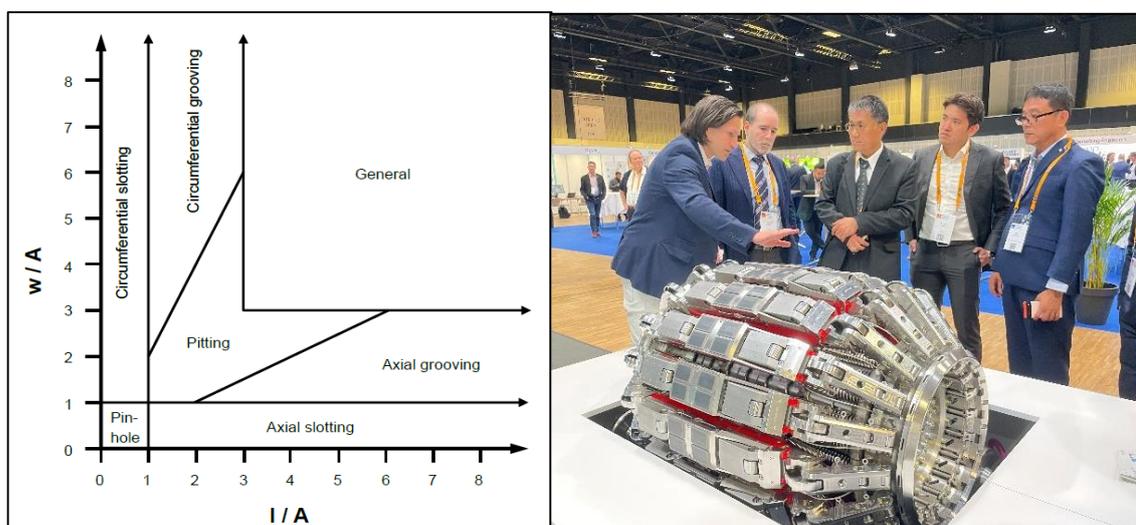
日期	工作內容	天數
112年5月6日 週六	桃園機場啟程至德國柏林（經維也納機場轉機）	1
112年5月7日 週日	維也納機場轉機至德國柏林(Berlin)	1
112年5月8日 至112年5月10日 週一至週三	參加第十八屆管線技術研討會 (The 18th Pipeline Technology Conference, PTC Berlin)	3
112年5月11日 週四	參訪IP檢測技術原廠Rosen技術研發中心及訓練基地總部（德國-林根(Lingen)）	1
112年5月12日 週五	參訪IP檢測技術原廠Intero技術研發中心及訓練基地總部（荷蘭-特里希特(Tricht)）	1
112年5月13日 至112年5月14日 週六至周日	阿姆斯特丹(Amsterdam)機場啟程返回桃園機場	2

## 參、具體成效

此次計畫參與德國柏林管線技術研討會(PTC)，讓與會人員充分瞭解國外管線營運商及檢測廠商所開發最新技術，及身為管線營運商所需面臨挑戰與因應作為及建議辦法。藉由此次參訪機會吸取管線檢測及完整性管理等寶貴經驗，以作為中油公司後續推動管線相關業務借鏡及經驗法則參考，具體成效包含以下三項主要議題：

### 一、IP檢測技術進展 (ILI, Inline Inspection)

1. 本次參展技術廠家皆於會場展示與提供最新且成熟開發的管線IP檢測技術，其中包含超高解析度(Ultra High Resolution)能力之磁通漏(MFL)、超音波(UT)檢測技術。主要針對管線內、外部金屬減薄檢測能力解析度之顯著提升，並早已具備API 1163及POF 100等國際標準中所定義缺陷腐蝕型態中之針孔(Pin-hole)尺寸(圖一)，目前公司招標工作說明書所使用IP檢測技術檢析能力規範最小檢測能力為點蝕(Pitting)(圖一)，任何小於 $1t \times 1t$  ( $t$  = 管材設計壁厚值)於現行執行IP檢測過程中，無法被識別及檢測出其腐蝕型態缺陷。



圖一、腐蝕缺陷型態



圖二、電磁超音波(EMAT)

2. 本次會場參展技術廠家皆不約而同陳列出目前最新裂紋檢測技術(Crack Detection)，透過常規IP檢測程序及方法，技術廠商已經成功開發量產並掛載於IP檢測器載體上(圖二)，例如：電磁超音波 (Electromagnetic Ultrasonic Detection Technology, EMAT)檢測技術、相位式陣列超音波(Phased Array

Ultrasonic Testing, PAUT)，其檢測精度能力已能檢測最小缺陷尺寸長寬矩陣為1mm×1mm。

3. 目前公司於招標工作說明書IP檢測工具要求規範，大都明訂要求IP檢測原廠磁通漏(MFL)及超音波(UT)技術其最低檢測性能要求之檢析度須滿足最小長、寬10mm×10mm解析能力，然而目前IP檢測原廠技術上顯然可提供超高解析度(Ultra High Resolution)能力之磁通漏(MFL)、超音波(UT)檢測技術，惟在規劃執行具備此超高解析度IP檢測與一般解析度IP檢測，存在執行預算成本上之差異；有鑑於近來公司發生某些地下管線洩漏或虛驚事件，探究其根本原因都是針孔(Pinhole)腐蝕處造成管線失效破損，破孔面積尺寸皆小於10mm×10mm。換言之，應適度檢視及修訂中油公司執行IP檢測工具精度能力規範，以期達到能識別管線內、外部極小尺寸金屬減薄缺陷能力。惟修訂契約使用超高解析度(Ultra High Resolution)檢測精度規範，將使IP檢測廠商成本顯著增加，初期應針對管線輸送操作之內容物特性及危害分級進行風險分類，將高風險地下管線優先規劃使用超高解析度檢測工具。

## 二、天然氣管線摻配氫氣 (Hydrogen)

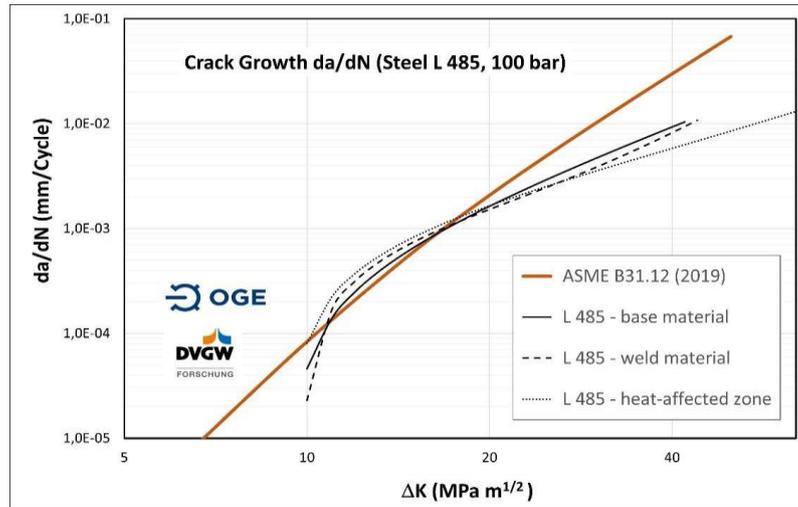
來自大學及學術研究單位、相關檢測技術部門所發表之主題，皆聚焦在天然氣管線輸送過程，可行性評估與制定配套措施於新設管線或既有管線上、營運中管線安全有效地摻配氫氣比例，及識別後果與未來可能帶來管線完整性衝擊及危害。相關輸送氫氣之探討議題分述如下：

### 1. 德國-材料試驗相關

1.1 德國使用典型管線鋼種的代表性橫截面進行斷裂力學測試，研究發現其適用於氫氣運輸，並能遵守規定的最小斷裂韌性，裂紋增長符合預期值。材料試驗結果與ASME B 31.12比較後證實，當前和既有的管線材料都明顯滿足ASME B 31.12要求的最低斷裂韌性。此外，可以擴展延伸至關於裂紋增長的應用範圍，特別是關於額外引入平均應力和氫氣壓力對裂紋增長的影響。

1.2 德國針對所使用的鋼材級別進行的斷裂力學測試結果表明（圖三），它們適用於氫氣供應，甚至適用於更高強度的材料，測試證實材料結構和相關的不

同延展性對裂紋增長的相互關係，在通常的變化範圍內只有很小幅度的影響，因此，這些研究結果顯示德國的高壓輸氣管線完全可以滿足輸氫氣條件。



圖三、裂紋增長材料試驗

2. 碳鋼管線中發生氫脆的主要問題在於將氫氣引入管線系統後，原先已存在的內部製造缺陷，如分層(Laminations)、夾雜物(Inclusions)和空隙(Voids)可能會成為誘發裂紋增長的主因。因為上述既有存在管線內部之缺陷將會藉由氫離子重新形成分子氫，並增加空隙內或裂紋尖端處的壓力，這會導致破裂並損害管線完整性。
3. 管線輸送氫氣所面對之管線完整性潛在的解決方案及策略包含：
  - 3.1 管線使用及建置的完整性歷史（包括潛在異常）進行全面性評估，以確定其是否適合轉換為氫氣輸送。
  - 3.2 評估氫氣對每個完整性工作環節威脅的影響，例如陰極防蝕保護控制和正確方向 (Right-Of-Way, ROW) 及高後果區 (High Consequence Areas, HCA) 影響的變化。
  - 3.3 實施降低氫脆風險的措施，例如使用不易脆化的材料或應用可減少氫滲透的保護塗層。
  - 3.4 透過定期檢查和測試監測管線狀況和性能，以檢測及監測任何退化或損壞跡象。
  - 3.5 制訂和實施全面的完整性管理計劃，包括風險評估、緩解策略和故障及制

訂緊急情況下的應變計劃。

3.6 選用較高級別之碳鋼材料不見得適用於氫氣管線，相反的對於低強度碳鋼材料是相對安全的。

#### 4. 歐盟天然氣與氫氣管線的監管和安全標準：

4.1 由於歐洲缺乏相關輸送氫氣安全標準，在歐洲設計氫氣管線面臨挑戰，與單純輸送天然氣管線不同處，在於氫氣管線的設計沒有既定規範且經過驗證的工業標準。

4.2 天然氣管線的監管業務和相關安全標準已經確立並得到驗證，為其設計提供了良好基礎。然而，歐洲新設的氫氣管線並非如此，氫氣對材料性能的不利影響，氫分子尺寸小導致的更高洩漏和滲透性，以及氫氣的可燃性和可爆性範圍導致的更高的危險，必須格外小心地加以解決。因此，歐盟需要一個標準化的氫氣管線規範來確保其安全設計和操作營運。

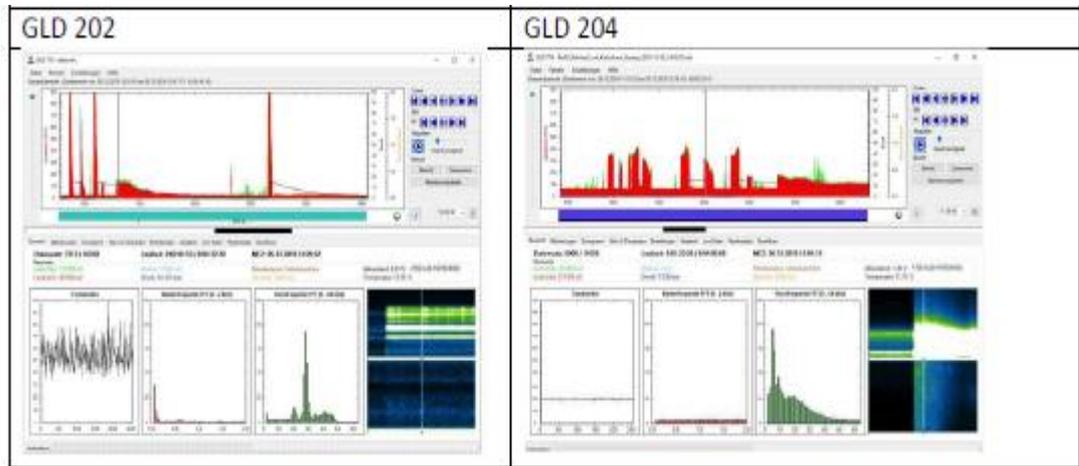
5. 除管線議題外，本次研討會亦有企業致力於氫氣輸送所需之相關機械套件，貝克休斯(Baker Hughes)機械驅動套件(Mechanical-drive Package)開發和優化的最新信息，該套件可實現基於現有站點基礎設施的管線中摻入20% vol.的氫氣混合。燃氣輪機的燃氣混合能力和壓縮機性能的升級解決方案將針對管線壓縮站的具體應用進行描述。此外，還介紹用於 100% 氫氣管線站的貝克休斯(Baker Hughes)渦輪壓縮機解決方案的增強和優化，配備 NovaLT™ 16 燃氣輪機，能夠以高達 100%氫氣的燃氣成分和高壓比離心壓縮機運行技術，適用於提供所需的壓縮負荷，保持單個壓縮機主體佈置。

### 三、洩漏監測及監控 (Leak Detection & Monitoring)

#### 1. 線上洩漏監測器 (Inline Leak Detection Tools)

1.1 德商哥茨伯格洩漏監測(GOTTSSBERG Leak Detection, GLD)為管線洩漏監測系統(Leak Detection System, LDS)供應商，有別於以往LDS利用負壓力波 (Negative Pressure Wave, NPW)、聲學(Acoustic)和質量平衡法(Mass Balance)來測量管線洩漏量及洩漏位置。哥茨伯格(GOTTSSBERG)公司通過搭載到傳統檢測器(Pig)上來檢測洩漏噪音，由承壓輸送之液態或氣態管線內

所有洩漏類型都會產生對應之聲學信號，可以全面檢測記載蒐集到該信號並將其與管線內的其他聲頻或噪音區分開來，故GLD聲學傳感器蒐集檢測訊號會生成管線的所有聲學圖像（圖四）。



圖四、檢測器數據採集之各段聲頻及聲學成像

1.2 在GLD Pig檢查運行期間，所有聲學音譜都由記錄和評估（圖五），通過高度靈敏的信號和聲學頻率分析，即使是最小的洩漏也可以在軟體的評估中與聲學剖面中的其他噪聲清楚地區分開來，因此防止了因檢測而採集錯誤數據之警報，此外，針對已知熟悉的背景噪音來源有助於在管線內進行洩漏定位。



圖五、GLD Pig



圖六、GLD於各型尺寸所搭之載體

1.3 在GLD Pig檢查運行期間，亦可搭載慣性測量系統(IMU)，並透過路面定位裝置結合GLD Pig檢測紀錄結果，精準定位管線洩漏位置。

2. 管線洩漏監測可通過多種技術進行。這些包括內部和外部系統，例如 API 1130 中關於管線計算管線監控(Computational Pipeline Monitoring, CPM)的描述。因此，選擇合適的洩漏監測系統(LDS)對於管線營運商來說並不是一件容易的事。

系統必須滿足應用的需求並符合相關法規。雖然在過去通常是選擇內部系統還是外部系統，但組合技術的原因有多種，瞭解如何將不同的洩漏監測技術集成到一個系統中。以石油出口管線的洩漏監測為例，在此應用中基於擴展性即時瞬態模型(E-RTTM)的內部洩漏監測系統與分佈式溫度傳感外部系統(DTS)相結合，應用不同的程序要求和特殊功能技術，以提升洩漏監測系統(LDS)性能。藉由此次參訪能瞭解新科技管線測漏系統開發趨勢，預期可有助於推動與工研院LDS技術移轉案，並完成目前LDS各廠牌系整整合，以降低建置及維護成本。

#### 四、IP檢測公司技術交流與拜訪（Rosen公司與Intero公司）

##### 1. 德國Rosen公司(Rosen Group)

1.1 Rosen公司(圖七)成立於1981年，並迅速發展以管線檢測為主之業務，且持續深入發展涉及相關領域，至今Rosen公司仍然是私有企業，在全球擁有由4,000多名員工組成的團隊，其業務遍及120多個國家。



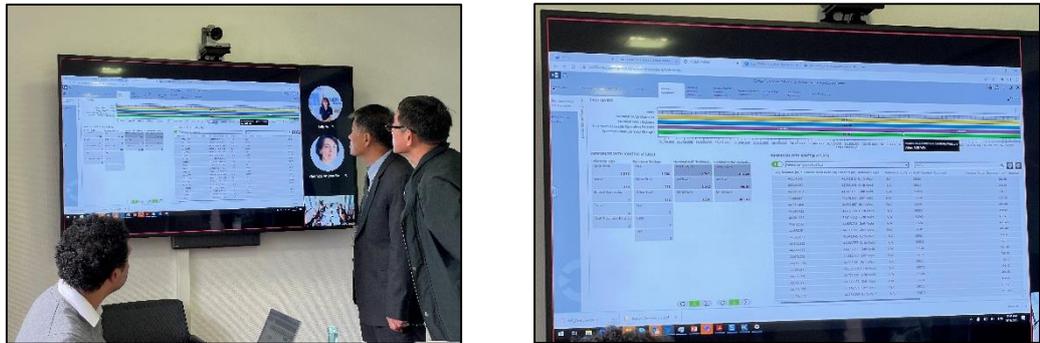
圖七、Rosen公司德國總部



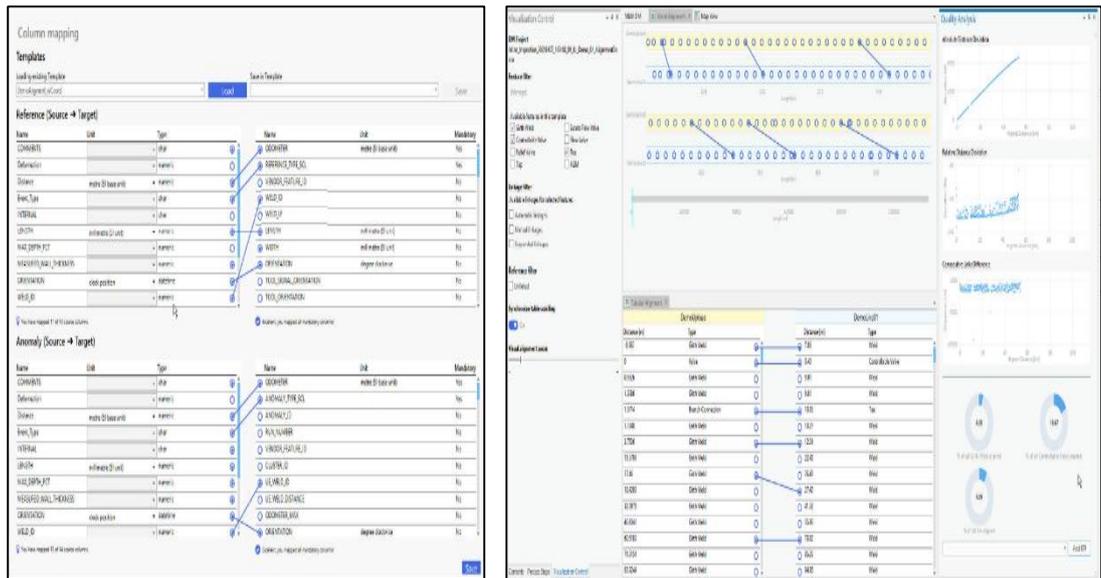
圖八、Rosen公司團隊簡報說明

1.2 本次受邀參訪Rosen公司位於德國林根(Lingen)總部設備技術研發中心(R&D)、設備製造組裝過程及其相關零組件開發。Rosen公司展示並簡報說明(圖八)執行管線完整性管理細節，並可提供客戶各種IP檢測方案，如超高解析磁漏技術(Ultra MFL-A)、適用於天然氣管線之電磁超音波(EMAT)裂紋檢測技術、特殊檢測之自走式IP檢測技術，Rosen副總說明訪客於總部設備技術研發中心全程禁止攝錄影。

1.3 Rosen公司技術研發及軟體分析部門也說明在未來執行中油公司IP檢測工作，能夠遵照國際規範POF 100及POF 110要求，提供IP檢測原始數據所相對應之數據交換UPT（HDF5）格式及相關檢測數據庫管理軟體，其中包含未來多次IP檢測數據中，基於缺陷比對(Defect Matching)及訊號比對(Signal Matching)可提供與過往IP檢測歷史之比對工作。



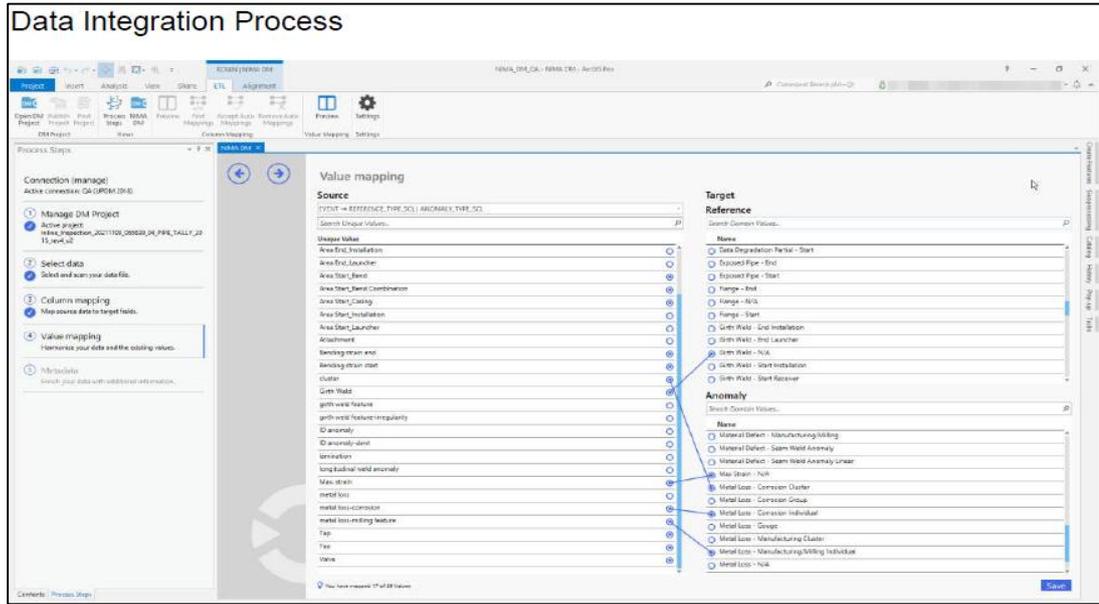
圖九、NIMA軟體平台數據比對資料庫模組



圖九、NIMA軟體平台數據比對資料庫模組

1.4 NIMA軟體應用於資產數據資料庫及完整性管理。由Rosen公司自主研發之NIMA軟體平台，能有效整合關於地上儲槽檢測、管線IP檢測數據資料庫，並依照客戶要求客製化需求進行大數據分析管理、量化風險評估及全面性資產完整性評估等工作。其中，NIMA平台針對多次IP檢測數據比對模型及後台程式模組化之設定考量相當全面（圖九、圖十），而非使用IP檢測管線特徵表

(Pipe Tally)數字對齊方式，進行相當粗淺的數據比對。



圖十、NIMA軟體平台數據比對資料庫模組

## 2. 荷蘭Intero公司(Intero Integrity Services)

2.1 Intero公司(圖十一、圖十二)是一家將創新技術、關鍵見解、最先進設備和先進數據管理與簡化的項目方法相結合之檢驗和工業服務廠商，同時整合關鍵超音波檢測技術(UT)應用於常規IP檢測、熱交換器及爐管檢測(3吋以下)、自走式履帶機器人檢測。



圖十一、Intero總部及模擬試驗測試場



圖十二、UT超音波即時檢測顯像展示及管線模擬驗證測試迴路

2.2 本次受邀參訪Intero公司位於荷蘭特里希特(Tricht)總部設備技術研發中心 (R&D)、設備製造組裝過程及其相關零組件開發。Intero公司展示並簡報說明執行管線完整性管理細節，並可提供客戶各種IP檢測方案，如超高解析超音波技術 (Ultra High Resolution)、特殊檢測項目提供攜帶式IP檢測技術，並已開發4吋、6吋及8吋超音波多探頭檢測設備 (圖十三)，有別於以往技術核心在於單探頭旋轉式之檢測儀器，其精確度更高且檢測運行速度更快。12吋多探頭超音波檢測工具已研發規劃中，預計在明年113年第一季推出並配合客戶之檢測需求。



圖十三、UT超音波4吋~8吋多探頭部件展示

2.3 Intero公司技術研發及軟體分析部門也說明在未來執行中油公司IP檢測工作中，能夠遵照國際規範POF 100及POF 110要求，提供IP檢測原始數據所相對應之數據交換UPT (HDF5) 格式，並說明當前尚未針對未來在執行POF 100

及POF 110規範架構，使用UPT（HDF5）格式進行多次IP檢測數據比對；目前亦未聽聞有第三方軟體公司基於UPT to UPT比對開發相關軟體，但也樂觀看待在未來3至5年間，因應管線IP檢測市場需求，必定會有開發商或第三方授權之軟體供UPT比對使用。

## 肆、心得及建議

此次參與於德國柏林舉辦之第十八屆管線技術研討會(The 18th Pipeline Technology Conference, PTC Berlin)及參訪管線IP檢測技術原廠，於出國參訪前即已計畫出訪目的及討論議題，依本次參訪結果，獲致以下建議。

### 一、IP 檢測技術

管線 IP 檢測技術應是目前管線完整性管理有效的技術之一，本次管線技術研討會(PTC)及參訪兩家 IP 檢測技術原廠發現，不管是磁通漏技術(MFL)或超音波技術(UT)，IP 檢測儀器均有長足進步，例如 Rosen 公司發表電磁超音波(EMAT)檢測儀器，可檢測出甚小之軸向及橫向裂紋，及可檢測出 1mm x 1mm 大小缺陷，另有多家公司亦發表可檢測出 3mm x 3mm 大小之缺陷，亦有可檢測出軸向及橫向裂紋之儀器，惟經現場初步瞭解，此類儀器之檢測費用約為一般檢測儀器檢測費用 3~5 倍。

中油公司自 105 年起大量執行管線 IP 檢測，使用一般規範之 IP 檢測器，以瞭解管線情形並據以進行維修，迄今完成 100 多條管線 IP 檢測。從過去檢測經驗中發現，存在國內無自主 IP 檢測儀器之技術、缺乏資料判讀人員、檢測費用高、不易檢測出針孔缺陷及短期承做廠商不足等問題，且近年來中油公司管線洩漏有很大比例屬針孔洩漏，因此變更現行 IP 檢測規範，對現有管線進行分類，挑選出適當管線在預算許可下引進較精密儀器檢測，應是中油公司未來在 IP 檢測須加以改進之處，另因中油公司管線數量龐大，長度達 7000 公里，開發自主檢測能力與儀器亦是中油公司在未來可精進的方向。

另中油公司管線 IP 檢測已逐步進入第二輪(或以上)檢測，亟須對兩次(或以上)之檢測資料進行比對，以有效掌握管線缺陷成長率，正確計算管線使用壽命，過去慣用以兩次檢測之管線缺陷進行數據比對相對不精準，管線技術研討會(PTC)於近年推出 POF100/110 規範，要求各 IP 檢測廠商依前述規範製備檢測資料，使不同檢測廠之資料得以在相同平台上進行比對，實為對管線營運商之一大福音，依此規範未來可進行檢測信號比對(Signal Matching)，其精準度將遠優於缺陷比對(Defect Matching)。此次參訪兩家 IP 技術原廠，皆表示可依 POF110 規範製作檢測資料檔案，其中一家表示可依此資料格式進行兩次檢測資料之信號比對，另有一家則表示可洽請第三方公司協助進行比對，綜合兩家公司之說明與討論，中油公司應為未來 POF110 信號比對預做準備。

### 二、氫氣摻入天然氣以減少碳排放量

在過去十年中，人類付出了巨大的努力來解決氫價值鏈的技術挑戰。在通往氫燃料經濟的道路上，氫的運輸、分配和儲存是主要挑戰。在可能的氫氣運輸方式中，今天技術成熟的管線網絡運輸似乎被認為是最簡單的方式，世界正在尋找管線中

的氫氣混合，以利用現有網絡，為建設氫氣做準備，然氫氣對中硬度材質管線異常的威脅已成為一個關鍵的焦點領域。使用 IP 檢測可發現表徵管線上的材料硬度異常，包括峰值硬度、外表面或內表面的位置、尺寸等的變化。

利用現有輸氣(油)管線改輸送氫氣或於現有天然氣管線摻入氫氣以減少碳排是目前許多國家或企業努力研究或進行的方向，有鑑於氫氣洩漏的危險極高，許多研究文獻均提及氫氣可能造成之影響，不單是管線需要被檢視，相關的設備、閥件、配件、儀器及壓縮機等均須全面檢視，本次管線技術研討會(PTC)有數場研究發表指出，對於輸氫管線，中低規範之管材顯然優於高級規範管材，中油公司目前使用之天然氣或油料管線材質(大都為 API 5L X52)改用來輸送氫氣並無明顯問題，然對於管線原生之缺陷則須特別注意，可利用檢測技術確認後加以修復排除，另外對於氫氣規範亦須加以規定，易造成管線或設備材質異常之成份須加以限制。

### 三、管線洩漏監測系統

本次研討會有多家廠商發表管線洩漏監測系統(LDS)新技術，值得在未來適當時機加以引進，以及時發現管線洩漏。以中油公司而言，在石油及工業管線目前已建置多套洩漏監測系統(LDS)，但因建置年份、技術均不盡相同，目前已有系統過多且管理不易情形發生，亟須整合現有多套系統以利現場操作人員易使用與管理。另為監測系統開發及維護上，中油公司應積極與國內相關機構進行技術合作，嘗試建立自主的洩漏監測系統(LDS)，以利未來系統整合與維護。

此次出國參與管線技術研討會(PTC)，並參訪兩家 IP 檢測技術原廠，深刻瞭解到做為管線營運商應對所屬管線安全負起責任，對於管線維護、檢測與完整性管理均應落實執行，同時依照國際規範及國內法規要求，與時俱進。中油公司近年來對管線完整性管理均依照相關法規範依序執行，惟執行細緻程度仍有待強化，例如 IP 檢測儀器規範、POF100 與 POF110 符合度、兩次或多次 IP 檢測數據或信號比對等仍有待精進。

而面對未來零碳趨勢，現有使用中管線配合移轉改輸送氫氣或摻配氫氣或二氧化碳等，亦是大勢所趨，因此掌握時效積極對現有管線進行完整性管理，有效檢測出管線缺陷狀況並加以修復，除可確保目前管線操作安全外，更可為未來管線改輸送其他物質奠定安全基礎。