

摘要

本專題研究-「油氣管線管理研究」，係本公司八十八年下半年至八十九年度之國外專題研究計畫，主要目的在於研究先進國家油氣管線之管理制度、法規，並研究英國油氣公司在管線設計、營運操作、維護保養、監控及檢測上之相關管理制度方法，與管線完整性管理之作法(Pipeline Integrity Management)，俾利引進，作為應用於本公司之參考，以改善、提升本公司管線管理能力，降低管線工安機率，減少損失。

本報告內容主要包括：英國管線法規 Pipelines Act 1962，管線實務準則 British Standard Code of practice for Pipelines 簡稱 BS8010，管線安全準則 Pipeline Safety Code 等有關之標準及規定，英國管線之相關權利與義務規定介紹，英、美、歐、俄等主要國家管線準則比較，英國 BPA 公司之 UKOP 管線系統完整性管理作法與相關技術探討，LICENERGY 公司之管線洩漏監控系統，與歐洲管線技術與管理相關論文。

油氣管線管理研究報告

目 錄

章節	頁次
1. 目的	3
2. 行程	3
3. 管線法規	4
3.1 英國管線法	4
3.2 英國管線實務準則	5
3.3 英國管線相關法規彙整	5
3.4 主要國家管線準則比較	7
4. BPA 公司管線管理	10
4.1 簡介	10
4.2 UKOP 管線系統介紹	11
4.3 管線完整性管理	11
5. LICENERGY 公司管線洩漏監控系統	17
5.1 簡介	17
5.2 洩漏偵測	17
6. 結論與建議	20
7. 附錄(原文)	21
附錄一：【A guide to the Pipelines Safety Regulation 1996】	
附錄二：【British Standard Code of Practice for Pipelines】 part 1.	
附錄三：【British Standard Code of Practice for Pipelines】 part 2.	
附錄四：混凝土保護面板示意圖	
附錄五：【Pipeline Safety Code】英國石油協會之管線安全準則	
附錄六：BPA 公司管線管理資料	
附錄七：LICENERGY 公司管線洩漏監控系統	
附錄八：管線技術與管理相關論文	

1. 目的

我國地狹人稠，而本公司長途輸油氣管線總長超過五千公里，遍佈台灣西部人口密集區域。管線一旦發生洩漏，極易造成百姓身家財產損失，為有效管理本公司長途輸油氣管線，強化本公司管線管理制度，故至先進國外油氣公司實地瞭解管線之設計、鋪設、監控、營運管理及檢測等詳細之做法，俾利參考引進國外優良管理方法，以改善提升本公司管線管理能力，避免發生油氣外洩工安事故。

油氣管線之管理，公司十分重視，也是本處年度重點工作之一，本專題研究－「油氣管線管理研究」，研究重點主要在於蒐集英國政府管線管理法規，及至英國管線專業代營機構 BRITISH PIPELINE AGENCY LIMITED (BPA) 公司、管線監測技術廠商 LICENERGY 公司進行有關研究，以瞭解國外之制度及作法。核定之工作計畫採現場實務研究及資料蒐集研究等方式進行，並進行下列主要工作：

蒐集英國政府管線管理有關之法令、標準。

研究油氣公司管線管理在設計、建造、營運管理、監控及檢測等詳細之做法，並與當地公司技術人員討論。

參觀、瞭解管線實地作業情形。

預估效益：

瞭解先進國家及國外油氣公司管線管理作法及制度。

獲取國外油氣公司管線之設計、建造、營運管理、監控及檢測等詳細之作法。

瞭解國外管線管理作法，強化本公司管線管理制度，提升管線管理能力。

建立優質管線管理制度，降低管線工安事故，減少損失，提升公司形象。

2. 行程

9月12日至9月13日 起程赴英國。

9月14日至10月13日 於英國管線專業代營機構BPA公司研習其UKOP管線系統完整性管理作法，並至輸油監控中心實地參

訪、研究管線作業情形，並蒐集研究英國政府管線管理有關之法令及標準。

10月14日至10月23日 於LICENERGY公司研究管線洩漏監控系統。

10月24日至10月25日 返程回台北。

3. 管線法規

3.1 英國管線法

管線法【Pipelines Act 1962】-英國管線法早於1962年即頒布施行，經數次修訂條文，於1996年更名為管線安全法【Pipelines Safety Regulation 1996】。英國官方之衛生及安全執行部門（Health and Safety Executive HSE）另發行—管線安全法規指導書【A guide to the Pipelines Safety Regulation 1996】（詳附錄一），該指導書係對管線安全法1至31條作補充說明，藉以幫助管線操作者、與管線有關業者瞭解、遵循與參考，或那些受法規影響而須了解法規者提供相關指導。

英國管線安全法適用於英國內陸及大陸棚裏所有陸上海上管線，並取代1962年早期的管線法，使更具完整性，接近目標背景及風險基礎。其主要內容在於規範管線之設計、建造、輸轉操作上的規定、管線經過處地主之權利義務、地方政府權限、民眾居住或工作於靠近管線之注意事項，用以降低環境風險指數，確保管線安全，法規並提供了管線安全完整的意義。

英國管線安全法共計31條Regulations，內容主要分為4部份，概述如下：

Part 1. 介紹 Introduction

法規 1~ 4 條—法律引用，解釋說明，定義，應用。

Part 2. 總則 General

法規 5~17 條—管線設計，系統安全，安全檢查，輸運物質，建造安裝，管線操作，管線檢測，緊急應變處理，管線維護，報廢，毀損，預防危害，協力合作。

Part 3. 危險管線事故 Major accident hazard pipelines

法規 18~27 條—危險液體，緊急關斷閥，建造前通告，使用前通告，

其他通告，事故預防文件，緊急處理程序，事故應變計畫，過渡期條款。

Part 4. 雜項 Miscellaneous

法規 28~31 條 – 防範措施，免除執照，1962 年管線法之廢除，法規廢止與修改。

3.2 英國管線實務準則

英國管線實務準則【British Standard Code of practice for Pipelines】，簡稱 BS8010，係英國國家標準局（British Standards Institution BSI）制定。該準則對管線提供實務上之相關標準規定，藉以幫助管線業者遵循與參考。英國管線實務準則共 4 冊，其中 2 冊與石油業管線有關，概述如下：

Part 1. Pipelines on land : general

陸管：總則

共六章節 – 原則，例行事務，土地徵用及其他權益，管線安裝及使用，操作、維護、修理及檢測，報廢。（詳附錄二）

Part 2. Pipelines on land : design, construction and installation

陸管：設計、建造與安裝

共九章節 – 原則，設計，材質，防蝕保護，中繼站，建造，品質保證，壓力測試，啟用。（詳附錄三）

3.3 英國管線相關法規彙整

(1) 【Pipelines Act 1962】管線法

(2) 【British Standard Code of practice for Pipelines】

英國管線實務準則

(3) 【Requisitioned Land and War Works Act 1948】土地及工廠徵用法

(4) 【The Land Powers Defence Act 1958】土地權益保障法

(5) 【Shell-Mex and BP (London Airport Pipeline) Act 1959】

Shell 及 BP 石油公司（倫敦機場管線）法

(6)【Esso Petroleum Company Act 1961】Esso 石油公司法

英國石油工業管線業者，皆須遵照上述 6 種與管線有關之法律規定辦理。1960 年代英國管線法，規定輸送油氣之鋼質管線，其設計標準須達使用 20 年之設計年限(design life)，近年已提高設計標準須達 40 年之使用年限。管線法規定埋設管線皆須依相關規定及標準辦理，並須向政府之管線建造權責單位 Pipeline Construction Authorization (PCA) 申請，取得同意後始可埋設。政府有權退回管線施設申請，尤其是在甲至乙地已有管線存在的情況，政府通常不會同意另一家業者重複鋪設管線，一般只會核准乙至丙路段，但依法律規定，後申請業者有權使用前業者甲至乙地管線，惟須經由協商方式簽立合約，支付甲至乙地管線泵輸費，再將油料由乙地輸運至丙地。

英國政府視油氣管線屬高危險管線，管線法規定須於管線上方安設警告標示，通過道路下之油氣管線，須於道路兩端安設警告標示外，另須於道路下鋪設混凝土面板來保護管線，因此多數油公司或管線業者基於安全與成本考量，管線多儘量埋設於低危險區之農地或牧場。業者一般於規劃埋設管線前，通常會先舉辦公聽會向附近民眾與地主說明，依土地法之規定與地主協商以取得管線通過權，並根據土地權益保障法之規定跟地主協議相關補償，法律規定採一次補償給付。補償範圍包括土地使用權利金，即地役權(easement)補償(慣例上以每公尺來計價)，地上物、作物等之損壞補償。工程損壞固定設施者另須加以修復，如圍牆、水溝、道路等。

英國法律另規定只要 70%之地主同意，業者即可申請埋設管線，政府相對地有義務協商其餘 30%之地主以解決管線通過問題，然而業者通常都不會這麼做，而是經由協商直到獲得全部地主同意，才會申請埋設管線，因此往往從管線規劃、協商至申請常須耗費數年之久，有時常因採繞道方式致建造費用過鉅，最後不得不放棄計畫。一旦取得地主同意，業者依法則擁有管線路徑兩旁各 3 公尺土地之地役權，在此 6 公尺土地範圍內任何危害管線的活動皆受到管制。管線相關安全規定，概述如下：

- (1) 所有工作應依照指導書之規定。
- (2) 不可擅自提升或降低管線地役權通過範圍地表高度。

- (3) 混凝土保護面板是永久被要求安設於管線穿越道路處、泊車區及臨時工地，用以保護管線，管線業者應派代表在其監督下公佈管線位置，並定期作包覆檢查及修護。混凝土保護面板示意圖，詳如附錄四所示。
- (4) 管線通過範圍應用標識樁明顯標出相關資料。
- (5) 為防止過多穿越管線之物體或其他管線，如排水溝、電纜、水管等等，管線應盡可能集中共同交會於一處，或交會處儘量減少。
- (6) 管線路徑應安設管線標識佈告，且由所有者（發啟者）支付此費用。管線標識須裝於穿越道路的兩邊及其它任何有必要的地方。
- (7) 管線地役權範圍內不能有建築物、建築工事或不當挖掘。
- (8) 管線地役權範圍應總是在空曠地區。
- (9) 管線陰極防蝕會腐蝕鄰近地區的金屬構造，所有者有責任保護建築物避免受到腐蝕。
- (10) 管線地役權範圍禁止種植樹木（灌木）。
- (11) 未經獲得管線操作者或其代理業者事前之協議，不得於管線 400 米（1300 英尺）範圍內使用炸藥。
- (12) 未經獲得管線操作者或其代理業者事前之協議，不得於管線 30 米（100 英尺）範圍內挖掘打樁。

英國石油協會（Institution of Petroleum IP）也發行一冊管線安全準則【Pipeline Safety Code】（詳附錄五），該準則對石油工業所使用之油氣鋼質管線，提供管線在設計安全、建造與操作技術上的一般要求與說明，藉以幫助石油工業管線業者依循參考。

管線安全準則，內容分為十一章節，概述如下：

共十一章－適用範圍、土地調查、設備材質、管線設計、建造、中繼站、清洗測試啟用、防蝕保護、操作維護、緊急應變、海底管線。

3.4 主要國家管線準則比較

列表比較歐洲地區、英、美及俄國等國家，管線規定差異處如下：

Country 國家	Code 準則	Title 標題
英國	BS8010-Section 2.8 1992	Code of Practice for Pipelines -Steel for Oil & Gas 油氣鋼質管線之實務準則
英國	IGE/TD/1 – Ed3 1993	Steel Pipelines for High Pressure Gas Transmission 輸送高壓氣體之鋼質管線
美國	ASME/ANSI B31.8 – 1995	Gas Transmission & Piping Systems 氣體輸運及管線系統
歐洲	ISO/FDIS 13623 – 2000	Petroleum & Natural Gas Industries -Pipeline Transportation Systems 石油及天然氣業之管線運輸系統
俄國	SniP 2.05.06-85 – 1988	Construction norms & Regulations -Trunk & Pipelines 油槽與管線之建造基準及規定

Code 準則	Design Factor 設計因子	Min. Cover Depth 最小埋設深度	Block Valve Space 關斷閥距離
BS8010	Max.0.72(rural)down to <0.3(urban)	0.9 m	16km maximum 最大距離 16km
IGE/TD/1	Max.0.72(rural)down to <0.3(suburban)	Typically 1.1 m	Not Specified 未明定
ASME/ANSI B31.8	Max.0.80(remote)- Min. undefined	0.6 m(remote)	32km maximum 最大距離 32km
ISO/FDIS 13623	Max.0.83(remote)- Min. undefined	0.6m(rural)to 1.2 m(urban/crossings)	Not Specified 未明定
SniP	Typically up to Max.0.90(remote)	1.0 m(rural)	Maximum 30km and either side of river crossings 最大距離30km及穿越 河流之任一端

Code 準則	Classifications 分類	Testing 測試
BS8010	Class 1 (rural) Class 2 (intermediate) Class 3 (urban)	24 hours test between 90% & 150% Max operating pressure (MOP) or 2 hours test at min 1.25 x MOP 24 小時測試壓力介於 90%至 150%最大操作壓力之間或最小以 1.25 倍最大操作壓力測試 2 小時
IGE/TD/1	Type R (rural) Type S (suburban) Type T (town)	For design factor ≤ 0.3 , Minimum 1.5 x design pressure。 設計因子小於等於 0.3 者最小以 1.5 倍設計壓力測試 For design factor > 0.3 , 1.5 x design pressure may be allowable 24 hours。 設計因子大於 0.3 者以 1.5 倍設計壓力測試 24 小時
ASME/ANSI B31.8	Class 1 (rural) Class 2 (intermediate) Class 3 (urban) Class 4 (city)	For design factor ≤ 0.3 , Minimum 1.5 x design pressure。 設計因子小於等於 0.3 者最小以 1.5 倍設計壓力測試 For design factor > 0.3 , 1.5 x design pressure may be allowable 24 hours。 設計因子大於 0.3 者以 1.5 倍設計壓力測試 24 小時
ISO/FDIS 13623	Class 1 (remote) Class 2 (rural) Class 3 (intermediate) Class 4 (urban) Class 5 (city)	1 hour test at 1.2 ~ 1.4 x MOP (depending on location) then 8 hours at 1.1 x MOP 以 1.2 至 1.4 倍最大操作壓力測試 1 小時，之後以 1.1 倍最大操作壓力測試 8 小時
SnIP	Not Specified	24 hours test at 1.1 x MOP then 12 hours at MOP 以 1.1 倍最大操作壓力測試 24 小時，之後以最大操作壓力測試 12 小時

4. BPA 公司管線管理

4.1 簡介

BRITISH PIPELINE AGENCY LIMITED (BPA) 公司為英國一管線專業代營公司，經英國國家標準局 (BSI) 註冊登記，具有執照之民營業者，負責營運管理取名為 UKOP 之輸油管線系統。該油管及相關泵站、儲槽、監控等設備，係 BP、Shell、Texaco、Mobil、Fina 等 5 家油公司出資興建，同時並於 1965 年底合資成立 BPA 公司，聘請石油工業背景之專業人員代為營運管理與維護。其中 BP 及 Shell 兩油公司為最大股東。BPA 公司現有工作人員約 100 人，其中行政管理、財會、工程技術與諮詢服務等工作團隊約 30 餘人於倫敦北郊總部上班，其餘 60 餘人於 Kingsbury 之輸油監控中心、部分泵站及 terminal 等現場單位執行操作業務。

UKOP 輸油管線系統經不斷更新及加裝設備，目前可以說已十分現代化、自動化。該管線於 Kingsbury 輸油監控中心裝設有 SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) 輸油監控系統，該系統非常完整，配備有壓力計 (pressure meters)、流量計 (flow meters)、密度計 (density meters)、顏色計 (color meters)、溫度計 (temperature meters)、管式迴路校驗器 (prover loop) 等幾種重要偵測儀器，經由電腦設定，定時自動收集輸油資料作分析處理，達到即時線上監控輸油狀況，並以完全自動化遙控 (remote) 方式來執行各項作業，可遙控泵浦、閥門作啟閉動作及能自動控制切換油槽，因而降低人為操作失誤之機率確保輸油安全與節省不少人力。六百多公里之管線年輸油量達 1200 萬噸，卻只須不到 100 人力即可完成操作管理等工作，可見該管線展現高績效、高效益。

UKOP 管線目前幾乎 24 小時輸油以供應市場需要。主要替 BP、Shell 等油公司，負責從英格蘭東南岸之 Thames 及西北岸之 Mersey 等煉油廠輸運成品油，以供應中部地區 4 行政區及都市使用，並肩負倫敦 Heathrow 和 Gatwick 二國際機場航空燃油輸運。

4.2 UKOP 管線系統介紹

由 3 完整的管線系統組成，其中 Thames-Mersey 管線系統為多種油品輸運管線(multi-product pipeline)。

	Thames-Mersey	West London	Walton-Gatwick
長度	505km	62km	36km
建造年份	1965-68	1968(&84)	1984
管徑	10-14 吋	6-10 吋	10 吋
輸運油品類別	8 種	航空燃油	航空燃油
1999 輸油量	7538 千噸	3135 千噸	1485 千噸

輸運 8 種油品 (95、98 無鉛，高汽，高柴 diesel，普柴 gas oil，航空燃油 aviation，煤油 kerosene 等)。

8 泵站。

4 輸入口、17 個 terminal 供應英國 4 行政區域。

由 Kingsbury 輸油監控中心完全自動監控操作，1990 年更新 SCADA 系統。

5 油公司所有：BP、Shell、Texaco、Mobil、Fina。

1999 年總輸油量 1215.8 萬噸。

4.3 管線完整性管理

科技上的檢定、評估計算與緩和惡化為方法學的一部分，現在一般已被接受成為管線管理實務上良好的作法，且被管線所有者及操作者認為屬完整性的管理，主要考量管線設計、建造、操作、維護與檢測等方面，其目的在於確保管線持續地運作安全。管理作法與步驟可分為許多行動，有些行動是被認為必須用於任何管線系統且定期實施，有些具特殊優點的方法則被考量用於特殊管線系統或特殊需求之時。

BPA 公司同時使用許多方法隨時確保管線的安全與完整，避免管線受到危害。這些方法主要包括：

- (1) 即時線上洩漏監測，經由 SCADA 監控系統高精確度計量器，獲得準確輸油量資料作比對，微小油量不平衡時即產生警報，以確保輸油安全。
- (2) 經常維護管線防蝕保護系統，包括執行管線包覆與陰極防蝕調查。

- (3) 空中和地表週期性監視巡邏，尤其注意高風險地區管線。
- (4) 有系統地與地主、地方主管機構、管線附近廠商密切聯繫，以確保其工作不會對管線造成危害。
- (5) 使用高解析度管線檢測工具週期性地實施檢測，以提供管線詳細狀況，了解惡化情形並定出所需之修護工作。

BPA 公司管線管理哲學，基本要求完整系統、保證油料品質、合理計價、滿足需求與控制成本。首要考量在於系統完整，並須注重人員訓練、缺陷管理、外力聯繫、緊急應變、維護與檢測等工作之執行與落實。BPA 管線安全管理系統 (pipeline safety management system) 涵蓋層面極廣，主要包括下列 11 個管控因子：

- (1) 風險評估 Risk Assessment
- (2) 制訂計劃 Programme Planning
- (3) 績效衡量與報告 Performance Measurement & Reporting
- (4) 管理檢視 Management Review
- (5) 部屬參與 Staff Involvement
- (6) 事件/事故調查 Incident/accident Investigation
- (7) 法令遵循 Legislative Compliance
- (8) 系統發展 System Development
- (9) 安檢訓練 HSEQ Training
- (10) 員工溝通 Staff Communications
- (11) 緊急應變準備 Emergency Preparedness

BPA 公司管線管理方式實務上著重：

- 洩漏偵測 (leak detection)
- 腐蝕保護 (corrosion protection)
- 路徑管理 (wayleave management)
- 聯繫與教育 (liaison and education)
- 線上檢測 (on-line inspection)
- 壓力測試 (pressure testing)

緊急應變計畫 (emergency planning) 等方面，詳細內容與作法說明於下：

(A) 洩漏偵測(leak detection)：使用科技及目測。

a. 科技(technology)

在英國，監控及資料收集 Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) 系統，被要求應用於管線輸油洩漏監控已有數十年的歷史。雖然此技術與科技已相當成熟，然而電腦與通訊技術的進步仍促使 SCADA 系統不斷地改進。系統運作成功與否取決於設備使用的能力及儀器的準確度。體積質量平衡 壓力監視 管線模擬及統計等技術皆須應用在 SCADA 系統。洩漏偵測為管線完整性管理之一部份，管線系統規劃同時應考量洩漏監測功能。目前尚無完美的管線測漏儀器問世，也沒有某一種技術能夠完全地偵測出微小洩漏，市場上任何一種測漏儀器與技術皆有其極限，安裝 SCADA 系統的費用亦不便宜，不過良好、完整、穩定的 SCADA 系統以及建立合適的管線管理系統，有助於維護保養及確保輸油安全，環保要求高之國家尤其有其必要。

b. 目測(visual detection)

一般係於管線路徑上，步行目視地表或空中偵查地面有無油料洩漏跡象。小洩漏造成地表土壤有油跡，而經由巡查人員目測發現之機會極低，通常地主與居民是適時提供管線洩漏狀況消息的最大來源者。因此與地主或居民建立保持良好關係是必要的，常因而避免發生意外與減輕損失。

(B) 腐蝕保護 (corrosion protection)：使用管線包覆與陰極防蝕方法。

防止管線腐蝕係使用包覆將管線與土壤隔離來防止，加上使用陰極防蝕方法將腐蝕作用局限於聯結地床上來保護管線避免腐蝕。此兩種方法為互補的，任何一方失能，皆可依靠另一方的功能來保護管線，但是管線操作者仍須經常檢查系統，確保此兩種保護裝置功能正常，能提供足夠保護，否則萬一此兩種保護裝置同時失能，管線將會快速腐蝕。

a. 包覆(coatings)

包覆材質之優劣影響防蝕效果，隨著工業進步，管線包覆材料已由早期使用瀝青(bitumen)加亞麻布塗覆，後來使用 PE 防蝕帶包覆，最近則進步到使用環氧基樹脂(epoxy)作為包覆材料，使得防蝕效果大大提高。管線操作者通常須定期實施包覆劣化檢測，找出管線包覆劣化之處、迷失電流之處加以改善，或調整陰極防蝕系統。

b. 陰極防蝕 (cathodic protection)

陰極防蝕法是 Himpfrey Davy 先生於 1820 年代首次提出，直到 1930 年代才被普遍使用於輸運油氣之高壓鋼質管線。今日陰極防蝕技術仍大多被用來保護地下鋼管。常用的陰極防蝕方法有兩種：犧牲陽極法與外加電流法。犧牲陽極法是比較簡單的系統，以安設一金屬陽極讓其成為腐蝕端來保護管線本體，常用鎂金屬作為金屬陽極。外加電流法是比較複雜的系統，外加直流電的費用也比較高，但其保護的距離較遠，防蝕效果亦較好。

(C) 路徑管理 (wayleave management)：注重監視巡邏與教育。

a. 地表巡邏 (ground surveillance)

外力機具或地表狀況改變造成管線損壞之機率，通常可經由管理及路徑監視有效地加以降低。管線操作者須監視管線上任何可能影響管線的活動，通常經常性地監視管線狀況，實施道路巡邏。

b. 空中監視 (aerial monitoring)

使用直昇機或飛機巡查攝影，直昇機巡查機動性高可立即降落進一步作調查、處理或向控制中心報告請求支援。空中偵查通常採不定期實施。

(D) 聯繫與教育 (liaison and education)

道路開挖工程可概分為經授權與未經授權兩類，經授權作業之工程，管線操作者會得知且能與施工單位討論預防措施。未經授權者常因不知道有管線存在，使用重型機械挖掘而造成管線破損。因此管線操作者常須與地主、地方主管機構、附近廠商密切聯繫，進行教育宣導，經由介紹說明、錄影帶教育與提供宣導文件、管線有關資料，清楚告知管線路線、聯繫電

話、聯繫單位、失能後果與預防措施等，以避免管線受毀損。此行動須經常性實施，亦可使用有線電視來宣導。

(E) 線上檢測(on-line inspection)：使用智慧型 pig 檢測。

線上檢測是一種可直接量測管壁缺陷的非破壞性方法。所使用的儀器被稱為智慧型通管器(intelligent pig)，檢測方式係將 pig 置於管線內，以慢速輸油狀態下量測，藉由磁通漏或超音波原理，連續量測紀錄管壁狀況資料，經儀器判讀與電腦分析，可精確測出管線缺陷大小與位置、描繪缺陷情況，得知腐蝕深度、長度、軸向位置及有無機械性破壞，如凹陷、變形情況等。作智慧型 pig 檢測前，須先清管及作幾何變形調查，清管經由施打 clean pig 數次直到管內積垢清除為止，而幾何變形調查是經由施打 geometric pig 來查看管線內徑變化、彎曲度、真圓度等情況，以確認執行智慧型 pig 之適合度，避免卡管。pig 檢測須週期性實施，與前次檢測資料作比對，來計算管線腐蝕速率或了解腐蝕變化情況，評估缺陷影響程度，進而擬定開挖修護規模與計畫，及推估或修正下次檢測時程。

BPA 公司使用 intelligent pig 週期性地實施管線檢測，每年檢測一小段、7 年為一週期。該公司最近 3 年實施的檢測，有 2 次委託荷蘭 HROSEN(HRE)公司代為檢測服務，1 次委託英國 PII 公司檢測。BPA 公司管線專家對 pig 檢測服務廠商技術評比如下：

No.1 -英國 PII 公司，擁有 30 年檢測服務經驗與技術，近年另併購德國知名的 PIPETRONIX 公司，該公司檢測精確度最佳，惟其檢測費用亦最貴。

No.2 -荷蘭 HROSEN(HRE)公司、美國 TUBOSCOPE 公司、美國 T.D.WILSON 公司，其中 HRE 公司軟體分析資料技術強為其特色。

另挪威 A.G.R. 公司以專門提供大口徑管線檢測服務著名。

(F) 壓力測試(pressure testing)：使用加壓檢查。

管線是否正常、能否承受輸油壓力，最簡單的方法可經由壓力測試得

知。英國管線實務準則 BS8010 對壓力測試的規定為，以最大操作壓力的 90%至 150%間之壓力測試 24 小時，或最小須以 1.25 倍最大操作壓力測試 2 小時。加壓測試，管線恐有破裂之虞其風險較高，然而能確定管線處於良好狀況之下，能承受輸油壓力，較能放心使用。管線有無微小洩漏，亦可用保壓測試得知，保壓係以低於平時輸油之壓力作一長時間之監視，保壓測試管線無破裂之虞較無風險，惟其僅代表測試當時管線是處於良好狀況。

(G) 緊急應變計畫(emergency planning)

管線失能的危害程度可經由嚴密的緊急應變加以降低。事前察覺、預防與處理程序成為完整性管理步驟的一部分。為使應變計畫有效，必須經常對全體操作同仁、主管及支援服務者實施訓練，告知相關處理行動並落實應變能力。緊急應變能否有效成功，主要在於平時之訓練成果。

BPA 公司管線管理例行維護之工作項目，表列如下：

項 目	頻 率	項 目	頻 率
臨海地區管線巡邏	每日	管線巡邏	每週
空中勘查及攝影	每月	步行巡邏	每年
臨海地區管線洩漏勘查	每年	管線標示維護	視需要
關斷閥系統檢查	每月	關斷閥完整功能測試	每年
外單位聯繫	每年	外單位管理	視需要
通告與報導	每月	緊急求助	視需要
陰極防蝕啟用測試	一次	陰極防蝕電位檢查	每月
陰極防蝕調查	每半年	陰極防蝕影響評估	2 年
緊密電位測量	5 年	智慧型 pig 檢測 (7 年一週期)	每年

BPA 公司自豪在其 30 多年完整性管理之下,UKOP 輸油管線系統呈現非常穩定(stable)之狀況，績效卓越非常令顧客滿意，具有高效率輸油能量與高精度計量能力，能達到小於 $\pm 0.1\%$ 管輸盈虧標準，優於官方 $\pm 0.15\%$ 盈虧標準。關於此點，BPA 強調係將 U 型管式迴路校驗器 (prover loop) 常態使用於 UKOP 管

線，定時 on-line 校驗流量計準確度，經由所測得循環路徑（round trips）脈波數、壓力、溫度與密度等資料，利用電腦立即自動計算通過校驗器流量，即時校對 Turbine 流量計讀數並建立常態差異值。遇流量計讀數常態差異值過大時，SCADA 系統立即於終端機顯示異常並發出警告訊號，可自動或手動切換使用備用流量計，以隨時確保輸油量之準確性，使得 UKOP 輸油管線系統實務經驗上展現超水準之管輸績效。

5. LICENERGY 公司管線洩漏監控系統

5.1 簡介

LICENERGY 公司是一家丹麥公司，成立於 1976 年，並於 1998 年股票上市。其在油、天然氣、水等公用設施管線上為有名的廠商，以能提供即時操作動態模擬技術與洩漏偵測技術著名。該公司從事專業連接技術和商業應用，在即時環境下提供給操作員和管理者全盤信息，並且在技術極限內安全地操作系統。該公司在歐洲、中東、印度、美國、加拿大等地區設有辦事處，目前正進行成立中國北京辦事處，為中國當地客戶、油、氣公司等提供技術服務。整體而言，LICENERGY 公司涉及力學模擬技術的所有方面，專長從設計研究到複雜的即時系統技術及其供應、安裝與移交。許多國際的諮詢公司、工程承包商、管線營運公司、SCADA 供應商、油、氣公司等均使用該公司的軟體，客戶遍及全世界，目前有 125 個線上用戶，具有成功豐富的線上執行經驗，包括世界上現存最複雜的管線系統，由於獲得眾多客戶的信任與評價，使得 LICENERGY 公司在任何領域，如油和天然氣、水供給系統、加熱管線等方面，都成為世界著名和經驗豐富的即時應用軟體供應廠商。

5.2 洩漏偵測

管線在操作使用後需隨時檢測管線狀態，早期找出可疑的地方，可防止嚴重的洩漏事故發生。偵測管線洩漏的方法，簡單的方法為目視檢查，複雜的方法是用儀器蒐集資料加上電腦分析系統來監視洩漏。偵測的目標在於能快速偵察出洩漏發生，並判定洩漏位置及洩漏量，以便立即處理防止嚴重的災害發生。

一個實用的洩漏偵測系統，需能兼顧系統適切性及經濟性，經由引用多種測漏方法，發揮各自特點來達到整體效能。

管線洩漏偵測的方式可區分為兩種，一種是管外偵測，如以眼睛審視管線外觀，或利用儀器偵測管線周圍或地下土壤是否有油、氣溢出，另外一種是管內偵測，包括量測管中油、氣壓力、流量、密度與溫度，與常態值比較以檢知管線是否有異常情況，利用電腦作力學模式模擬分析，求取整個管線內的動態情況，以找出洩漏可疑點，各種偵測方法分別敘述如下：

(A) 管外偵測方式

a. 目視法

目視法是最古老的一種方法，對地上管線較有效，管線變形彎曲甚至破裂、溢出都可藉目視檢視出來。目視法的成效與人員巡視管線的週期與用心程度有關，對於地下管線則只能依據地面上土壤或植物生態變化據以推斷。

b. 管線週圍量測法

利用可燃性氣體偵測儀器，量測管線週圍環境或土壤以測知洩漏。通常由巡邏人員攜帶偵測儀器及探棒，沿著管線經過地段檢測，藉以量測油氣濃度來判斷是否有洩漏發生。

(B) 管內偵測方式

a. 質量平衡法

這種方法主要是利用管線兩端進出量的量測計算來推斷是否有洩漏現象，基本上管線之出量若小於進量即表示有可能發生洩漏，精確的測漏必須加入溫度、壓力及密度的補償，以求取精確的質量平衡。

b. 保壓法

當管線有洩漏發生時管線兩端壓力會隨之降低，藉著能否保持管存壓力可檢測出是否有洩漏。惟此方法的缺點在於難於決定洩漏的位置。

c. 壓力變化法

當管線發生洩漏時管線壓力會快速下降，所以監視壓降速率可以偵測是否

有洩漏並計算推知洩漏可能位置。

d. 音波測漏法

當有突然的管裂發生洩漏時會產生音波，這種波會由漏孔位置往管線兩端傳送。藉量測兩端音波到達的時間差，可以用來測知洩漏的位置，另外藉由測量音波振幅衰減程度，亦可測知洩漏尺寸大小。此種方法係將接收器安裝於同管線兩端，將測得的訊號經過濾波消除雜訊並計算時間延遲，以獲得洩漏位置。

e. 動態模擬法

主要利用質量平衡法來作為洩漏偵測依據，加上精確的溫度、壓力及密度補償，並利用電腦程式來模擬整個管線系統，能在即時情況下了解管線輸運狀況。此方法須裝設多種精密儀器及電腦化設備，能即時蒐集訊號與處理，包括流量、壓力、溫度與密度值，經由流體力學模擬比較實際值與預測值，假如兩者差值超過某一個常態值則表示有洩漏的可能。動態模式將管線分成許多小段，應用流體力學原理逐次計算存量、流量、壓力值，這種計算方式包括解下列聯立方程式：

質量平衡方程式(conservation of mass)

動量平衡方程式(conservation of momentum)

能量平衡方程式(conservation of energy)

狀態方程式(equation of state)

動態模擬可補償管線因為管壁膨脹、高程變化及熱傳導所造成的影響，以及由於磨擦所造成的能量損失，用以正確估算流體動態。動態模式也會自動修正調整某些參數，使測量值與模擬預測值一致，並能提供有關洩漏孔大小及位置之資料，並降低誤警報機率有效的偵測洩漏。

LICENERGY 公司油、氣管網測漏系統“LICMONITOR”，主要即根據質量守衡原理和利用動態模擬法所發展出來之即時（real time）線上（on-line）與動態（dynamic）測漏系統，具有回應快速、維護容易、高靈敏度、低誤報率、中文工作畫面編輯、輸出/入數據顯示、時序顯示視窗、流體狀態剖面顯示視窗等功能。其 PIPELINE STUDIO 軟體則為經工業界驗證有名的油、氣管網暫態（transient）靜態（steady state）與離線（off-line）模擬分析工具。

就目前的測漏技術而言，並沒有任何一種單獨的技術能解決所有的問題，每種技術的測漏效能決定於管線本身的組態及功能要求，有時要考慮同時使用多重技術以達成目標。

6. 結論與建議

石油及其成品為重要能源與物資，同時也是各種石化產品的基本原料，英、美等先進國家對油料之輸運訂有相當安全的管理規則，其中使用管線來輸運油料是目前所知最安全的方法，它有良好的歷史記錄。近年來隨著時代的改變，科技的進步，管理管線的方法亦隨之改變，加上環保要求考量，如何管理管線？已成為很重要的議題。許多油氣公司董事會、經理階層基於安全顧慮與投資效益理由，經常質詢管線操作部門，你們如何管理管線？事實上，以英國為例，政府制訂有管線安全法，明確要求管線操作者須擁有安全的管理系統。此管理系統係指經公司最高管理階層核准之正式文件化形式，並施行於管線部門所有員工。

管線完整性管理作法，必須兼顧設計、建造、操作、維護管理等方面，才能確保管線安全。首先應從管線決定鋪設規劃設計開始就須考量，對建造施工階段的工程品質尤須注重，包括管線材質選擇、路徑選擇、焊接程序與技術、回填方式、新管啟用測試等。在管線施工安裝階段，所有的程序均須遵循標準工程規範並落實實務作法，尤須特別注重鋼管品質、焊道檢查、防蝕包覆施工、陰極防蝕施工、管線埋入及覆土施工等環節。管線在完成施工亦須確實試壓，確保管線的完整性。整體而言，在設計建造操作上，一般通常可經由使用制式的標準及程序來保障管線的品質，也就是依據公認的準則(code)來設計管線，例如 ASME B31、BS8010，因此管線很容易展現有效率和符合安全。然而在維護管理上，雖然有許多方法業已被使用了數十年，卻仍然很難訂定一套公認的準則來管理管線，因為沒有任何一種成熟的系統是完全有效的。不同性質公司應自行判斷，選擇適合自己的作法。

油氣管線所輸送的物質屬高危險性，這種管線在設計、施工、操作、維護上的安全係數要求較嚴格，不同於其他一般管線系統。本公司現有油料輸送管

線超過五千公里，管線皆依照美國機械工程標準 ASME B31 來設計施工，符合公認的安全規範，然台灣雨水多且地質環境差，管線容易腐蝕，所以基本上應特別注重施工品質的控制，以減緩腐蝕確保使用壽命。在操作、維護管理上嚴格來講，應該還有很大的改善空間，尤其在面對日趨嚴格的環保標準及油品自由化挑戰，為確保管線營運操作安全，有必要參考先進國家、油公司之經驗，並倣效 BPA 公司之管理理念與完整性作法，使用現代化的電腦、通訊、量測及應用軟體技術，以自動化方式來強化本公司管線操作管理技能，以建立優質之管線管理，提升輸運效能降低營運成本，並期能避免發生油氣外洩工安事故或降低危害程度減少公司損失。最後十分感謝長官給予出國機會及磨練，也謝謝家人的配合與支持，得以順利完成本專題研究。

7. 附錄(原文)

附錄一：【A guide to the Pipelines Safety Regulation 1996】

英國管線安全法規指導書

附錄二：【British Standard Code of Practice for Pipelines】part1.

英國管線實務準則 1

附錄三：【British Standard Code of Practice for Pipelines】part2.

英國管線實務準則 2

附錄四：混凝土保護面板示意圖

附錄五：【Pipeline Safety Code】管線安全準則

附錄六：BPA 公司管線管理資料

附錄七：LICENERGY 公司管線洩漏監控系統

附錄八：管線技術與管理相關論文