

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書  
(出國類別:其他)

參加 TWI 公司煉製設備安全和檢查研討  
(Petroleum Industry Safety  
and Equipment Inspection )

服 務 機 關:中國石油公司煉製研究所  
出國人職稱:機械工程師  
姓 名:蘇俊吉

出國地點:英國

出國日期:94 年 6 月 18 日~94 年 6 月 24 日

報告日期:94 年 9 月 6 日

# 摘 要

此次奉派出國主要赴英國焊接研究機構(TWI)參加煉製設備安全和檢查(Petroleum Industry Safety and Equipment Inspection)研討,出國日期從94年6月18日至94年6月24日,扣除旅程和時差,實際參訪日期為四天,主要參訪行程內容包括專家研討和實驗室參訪兩部分,研討內容主要討論包括歐洲延長開放現況和歐盟新法規介紹、風險評估技術(RBI)在設備檢修的發展和應用現況、RBI應用實務經驗介紹和加熱爐/鍋爐壽命評估的技術發展應用,實驗室參訪包括TWI和Pi兩家公司之實驗室設備和討論研究方向

主要心得和建議事項總結如下:

1. 歐洲國家設備開放檢查週期均大於國內目前2年的週期,且仍努力設法延長目前的操作週期,以提高設備利用率和增加產銷調度,以提高競爭力,國內公司亦應朝此方向努力。
2. 風險檢查基準評估(RBI)技術不再僅是一種理論和發展階段,已進入應用實務,在歐洲已逐漸為各國法規接受,作為設備延長開放安全評估和延長週期的工具,而各工場也藉由RBI的執行來改善重要工場整體安全性、降低檢查和維修時程、延長檢查和維修週期以及降低延長檢查和維修費用,此和本公司營運策略符合。
3. 定量RBI/RBM是未來應用趨勢且較準確,但所需工程和時間較大,因此需由團隊來進行,此和國內大部分由一個人統包進行有很大差異。
4. 執行RBI/RBM成功關鍵因素為選對團隊成員、指派合適的LEDAER、選擇可靠度的工具和分析方法、評估產生結果應有後續作為。
5. 一個公司要推動有效和可靠的RBI,應建立一套統一的準則,包括RBI程序、主要參數定義和稽核機制等,公司亦應朝此方面努力。
6. 建議國內和本公司應積極了解、分析和熟悉歐盟壓力容器EN13445新法規內容,以因應將來從歐盟國家購置設備時,在設計、規範開立以及驗收檢驗能符合要求,降低採購爭議和符合台灣相關法規要求。
7. 應積極建立相關國外煉製設備安全專家聯繫網路或加入會員,以其能快速獲得資訊和技術交流,對現場突發案件的解決和公司營運應有相當大助益。

關鍵詞:風險檢查基準、延長開放、壽命評估、非破壞檢測技術

# 目 次

一、目的

二、行程和工作摘要

三、參訪心得報告

四、結論和建議事項

五、附件

附件一 TWI 公司 2005 年 6 月份年報

附件二 煉製設備安全和檢查研討相關簡報資料

附件三 考察期間所收集之相關文獻和資料彙整

## 一、目的

煉製工場設備和管線提昇安全可靠度、延長開放檢查、降低非計劃性停爐和縮短大修時程是本公司目前營運重點方向之一，其中設備安全和相關檢修問題是首先要考慮的課題，過去個人研究和現場技術工作重點主要為現場設備劣化問題損傷診斷和改善、工場大修設備檢查重點規劃和協助工場延長開放檢查申請等，過去國內此方面的做法大致依循或參考美國和日本的模式，在歐洲系統方面的資訊較少接觸，相關資料和工業實務經驗也較為欠缺，本次參訪英國焊接研究機構(TWI, The Welding Institute)機構，透過其系列安排-研討會和實驗室參訪，收集討論目前和未來歐洲系統之做法和發展趨勢，作為本公司未來此方面工作技術的改善和提昇以及開發或技術引進方向的參考。

此次奉派出國日期從 94 年 6 月 18 日至 94 年 6 月 24 日，扣除飛機行程和時差因素，實際在英國參訪日期為四天，主要參訪行程內容研討會和實驗室參訪兩部分，研討內容主要討論包括歐洲延長開放況和歐盟新法規介紹、風險評估技術(RBI)在設備檢修的發展和應用現況、RBI 應用實務經驗介紹和加熱爐/鍋爐壽命評估的技術發展應用，實驗室參訪包括 TWI 和 Pi 兩家公司之實驗室設備和討論研究方向，涵蓋的主題相當完整，且大部分為實務經驗，非一般學術論文發表所能及，相當實用，所提供資料也非一般雜誌論文所能見的，很多新的做法、觀念和實務經驗值得本公司學習，對未來對現場技術服務能力的提昇相當有助益，亦可作為未來擬定研究發展方向的依據。

## 二、行程和工作摘要

整個考察行程和工作摘要表列如下

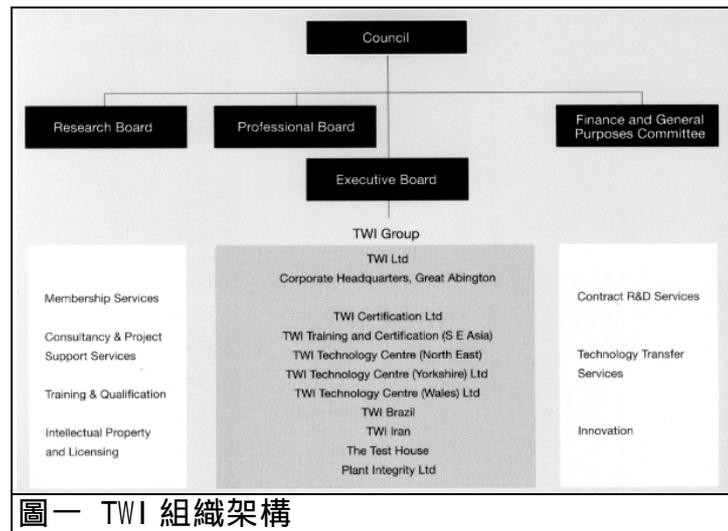
定起訖日期	天數	到達地點	詳細工作內容
94.06.18	1	高雄-英國倫敦	起程
94.06.19- 94.06.22	4	倫敦	參加 TWI 公司 Petroleum Industry Safety and Equipment Inspection 研討以及 TWI 和 Pi 公司實驗室參訪
94.06.23~ 94.06.24	2	倫敦-高雄	返程
合計	7		

整個參訪過程和重點說明如下：

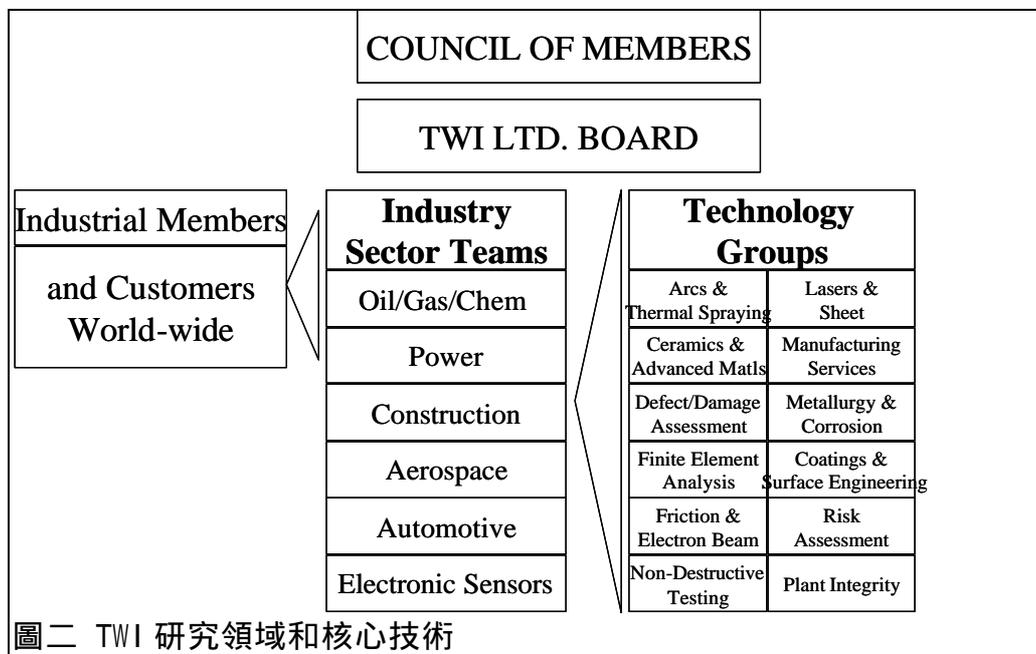
### 三、參訪心得報告

#### (1) TWI 研究機構介紹

本次參訪對象為設在英國的焊接研究機構(The Welding Institute, 以下簡稱 TWI)總部,其位在英國劍橋 Great Abington 之 Granta Park 工業區內,是一個非營利之研究和技術開發機構,成立於 1946 年,初期研究開發的重點為焊接技術,後來擴展到和焊接相關的技術領域,例如結構評估、可靠度評估、材料腐蝕評估和檢測技術等,主要經費來源為工業會員贊助和進行工業聯合研究計劃,其組織架構和單位如圖一所示,除總部外,在其他地方設置有 9 個單位,其研究領域和核心技術如圖二,其核心技術主要包括表面處理(電漿和熱噴塗、塗覆)、焊接技術(雷射焊接、摩擦焊接、電子束焊接)、陶瓷和先進材料研究、風險評估、工場完整性、非破壞檢測、材料與腐蝕、有限元素分析和缺陷以及損傷評估,研究領域包括石油和化學工業、發電工業、工程結構、航太、運輸工業、電子元件和生醫等,同時參與英國政府法規訂定以及舉辦人員訓練和認證等業務,英國總部目前員工約有 450 人,年度經費約 3 千萬英鎊(約台幣 18 億元),另外有 300 萬英鎊(約台幣 1.8 億元)進行創新研究計劃,目前加入贊助該機構之公司會員為 3500 家,6000 個人會員,如附件一,包括全世界各種工業,其中全世界知名之探勘、煉製和石化公司均列名其中,台灣有四家公司加入,包括 Air Liquide Taiwan、Bella ID Solution、China American Petrochemical Co. Ltd(中美合)和 Formosa Petrochemical Corp(台塑石化),會員每年需繳交會費,會費是依據公司員工數和營業額來決定,會員享有以下權利(A)可免費取得 TWI 核心計劃研究成果,包括技術和工業經驗調查、製造、銲補、維修等技術期刊以及核心技術研究報告、(B)可免費透過網站使用該公司資料庫,取得相關工業指引和相關資訊和(C)免費技術顧問(電話或 E-MAIL):1 小時內免費。



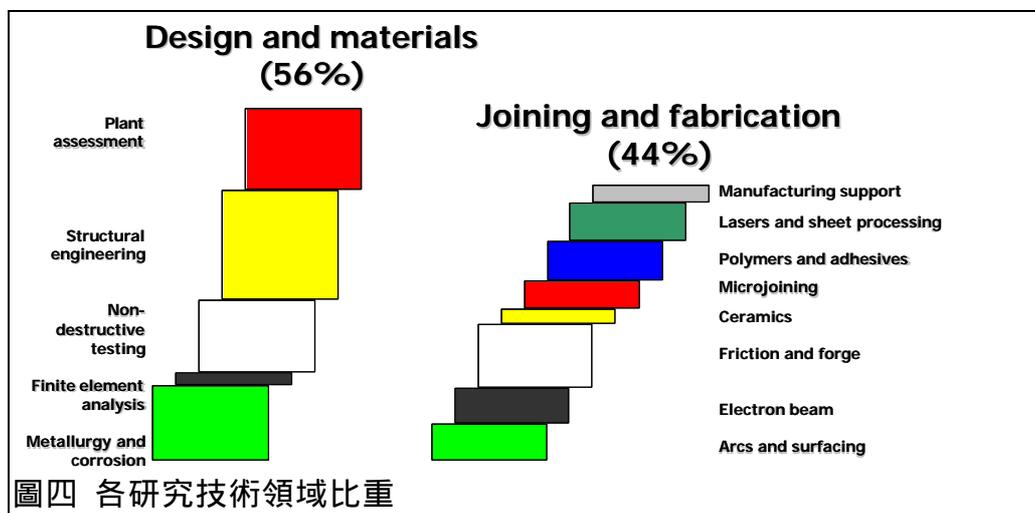
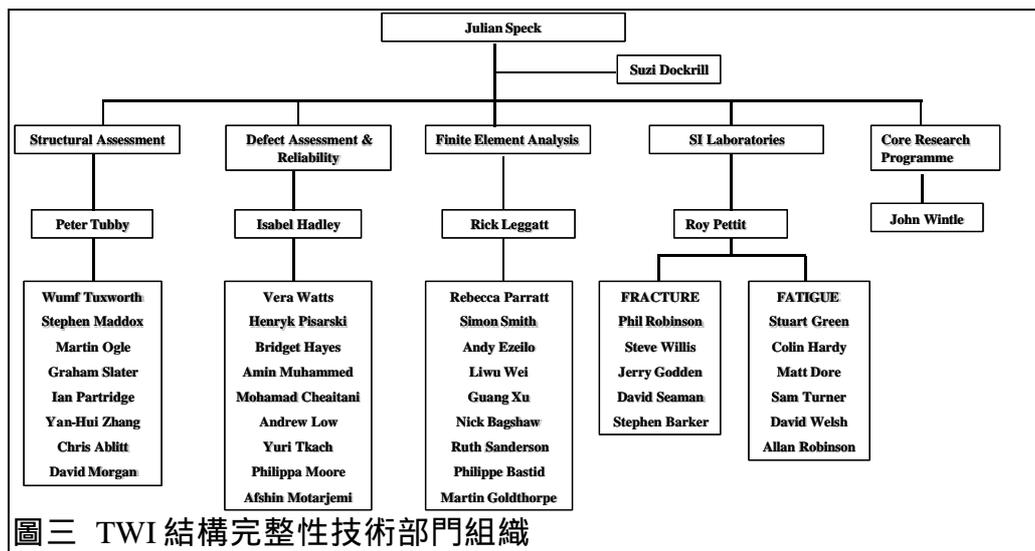
圖一 TWI 組織架構



圖二 TWI 研究領域和核心技術

本次主要拜訪對象為 TWI 結構完整性技術部門 (Structural Integrity Technology Group), 因研究領域和本公司在安全評估研究工作較一致, 其主要技術領域包括 (A) 缺陷評估: 利用工程評估、機率統計技術和創新材料試驗來進行工業設備缺陷的安全評估、(B) 有限元素分析: 包括應力和破壞力學分析、焊接模擬、超音波模式建立、殘留應力和變形預估和量測和 (C) 結構安全評估: 利用疲勞試驗、風險檢查評估基準 (RBI) 以及適用性評估 (FFS) 等技術來對設備進行設計、維護和銲補等研究和技術開發工作, 此部門組織架構如圖三, 人員約 40 多人, 各研究技術領域比重如圖四所示, 其中在工場評估、工程結構、非破壞檢查以及冶金和腐蝕等方面投入較多資源, 在該公司 2005 年 6 份年報中亦指出該公司計畫業務成長主要來自此方面業務的貢獻, 如附件一, 圖五為筆者參訪 TWI 合影照片, 此次講師和實驗室

拜訪對象包括結構完整性技術部門經理 Julian B. Speck、市場部經理 Fred Delany、電力部經理 Brian J Cane、有限元素分析部門計劃主持人 Weiguang Xu(此人為華裔)、Pi 公司經理 David W Whittle 以及 技術經理 Peter J Mudge 等,同時也報告本公司在工場安全評估和檢測研究開發以及現場做法交換經驗,因工作性質和未來目標以及需求大致相同,因此討論相當熱絡,TWI 表示希望日後有機會也能拜訪本公司。





圖五 拜訪 TWI 留影

## (2) 研討內容心得報告

本次研討主題主要包括 (A) 各國設備檢查開放現況和歐盟新法規介紹、(B) 風險評估技術 (RBI) 理論和檢修應用實務介紹、(C) 風險評估技術應用現場經驗介紹和 (D) 加熱爐管和鍋爐管壽命評估介紹, 主要重點說明如下

### (A) 各國設備檢查開放現況和做法以及歐盟新法規介紹

歐洲各國煉製設備開放檢查主要基於 (a) 政府法規要求、(b) 預防重大損傷、(c) 增加設備可靠度、(d) 延長設備壽命和 (e) 提供保險方面在安全的確認, 目前歐洲各國設備開放檢查週期和延長開放情況彙整如下表

國家	設備	開放檢查週期現況	未來延長開放可能性
英國	鍋爐、壓力容器、儲槽、管線	沒有規範檢查週期, 業主必須指派負責人撰寫檢查計劃書	
比利時	1. 鍋爐 2. 蒸氣槽 3. 壓力容器 4. 大氣儲槽 5. 管線	1. 2 年 2. 3 年 3. 5~10 年 4. 20 年 5. 無規定	1. 可能延長為 4 年, 特殊情況為 13 個月 2. 可能延長 3. 無腐蝕性可延長大於 10 年 4. 可能延長
法國	1. 壓力容器 2. 外海鍋爐 3. 加熱爐 4. 大氣儲槽 5. 管線	1. 5~10 年 2. 3 年 3. 3 年 4. 10 年 (原油和乾淨產品), 20	1. 工場決定延長週期, 送 DRIRE 審核 2. 無 3. 獲得 DRIRE 認可可延長為 5 年

國家	設備	開放檢查週期現況	未來延長開放可能性
		年(熱的產品) 5. 無規定	4. 進行聲射檢查可延長 5. 無
德國	1. 壓力容器 (CLASS 4、5、 7 含汽鼓,容 積大於 1000 公升) 2. 壓力容器 (CLASS 1、2、 3、6 含加熱 爐,容積小於 1000 公升) 3. 加熱式蒸氣 鍋爐 4. 蒸氣裂解 5. 大氣儲槽 6. 管線	1. 內部 5 年,外部 2 年 2. 無法規限制,依 據經驗 3. 3 年 4. 3 年 5. 5 年 6. 5 年	1. 無須認可,可延長 6 個月 2. 無 3. 無 4. 無 5. 依據檢查程度可延長為 10 年 6. 無
義大利	1. 鍋爐和汽鼓 2. 壓力容器 3. 加熱爐 4. 大氣儲槽 5. 管線	1. 2 年或主要銲 補後 1 年 2. 10 年 3. 4 年 4. 柏油槽 15 年 5. 無	1. 延長 2 個月無須認可 2. 具彈性但可能更短 3. 無 4. 無 5. 無
荷蘭	1. 壓力容器 2. 鍋爐/加熱爐 3. 大氣儲槽 4. 管線	1. 4~6 年(和壓力 容器型態有關) 2. 2 年 3. 12 年 4. 和連接的壓力 容器相同	1. 最高 12 年 2. 4 年 3. 最高 18 年 4. 和連接的壓力容器相同
挪威	1. 鍋爐/汽鼓/ 空氣壓容 2. 壓力容器	最新法規(2002 年)規定 5 年,鍋爐 尚未公佈	無

國家	設備	開放檢查週期現況	未來延長開放可能性
	3. 大氣儲槽 4. 管線		
瑞典	1. 鍋爐/汽鼓 2. 壓力容器 3. 冷凍儲槽 ( <10 )	1. 1 年 2. 3 年 3. 6 年	1. 2 年 2. 6 年 3. 無

由上表之數據可看出在歐洲現況壓力容器檢查週期普遍比台灣法規規定2年更長,且各國趨勢進一步設法延長開放檢查週期,各國檢查計劃做法包括依據法規規定、設備狀況、可靠度狀況和風險基準,而風險基準是大家認為的未來趨勢。

英國檢查方面法規無規定設備開放檢查週期,由業主自行決定,其精神為將安全和檢查計劃規定視為業主的責任,安全應被詳細規定,違反規定業主會被起訴,其主管單位為健康安全部門(Health and Safety Executive, 以下簡稱 HSE),類似台灣勞檢所,新建設備檢查依據 1999 年 PER(Pressure Equipment Regulations)法規,使用中設備檢查依據 2000 年 PSSR(Pressure Systems Safety Regulations)法規,PSSR 其中一段規定”業主不應操作一個系統,除非已撰寫檢查書面報告或由被認可的人員(主管)簽證過”,所謂被認可(主管)的人員定義為負責檢查工作的人、應獨立於操作系統、具經驗的第三者或單位,同時應具備客觀和專業公正無私,英國法規規定檢查範圍包括(a)所有保護裝置、(b)缺陷存在可能引起高度危險之所有壓力容器和管線和(c)缺陷存在可能引起高度危險之所有管線上組件,同時強調不同組件應依據各組件之風險等級進行不同檢查週期,風險檢查基準(RBI)是英國安全法規精神之全部,其他英國工業標準和規定包括 Approved code of practice、Safety Assessment Federation(SAFed)和 Institute of Petroleum。

歐盟成立前,原先各國有自己的法規,歐盟成立後,為求貿易統一,新建立 EN13445(以下簡稱 EN)壓力容器建造法規做為歐盟貿易的標準,新的觀念和技術被引進,和原有法規以及美國規定不盡雷同,有些趨於嚴格,有些方面則較以往寬鬆,例如EN13445在設計上材料特性採用實際出廠材料性質,不是以往法規之表列最小容許應力值,此點產生兩方面效應,將來設備材料更薄,另一方面低品質鋼供應商將搶佔高品質鋼供應商的市場、EN 列入設備週期、在衝擊試驗方面以往依厚度和溫度來決

定是否進行,但 EN 規定均應進行,此點較美規嚴格,新建設備檢查方面,相同壓力容器建造時,第一座進行 100%檢查,若無問題其他僅需進行 10%檢查,此點較以往寬鬆,檢測人員資格認證需由第三者,美國則由公司自行認證,因內容繁多,時間關係研討會中無一一介紹,建議國內和本公司應儘早積極了解此新歐盟法規 EN13445,進行分析、比較和熟悉,以因應將來從歐盟國家採購新設備時在設計、規範開立以及驗收檢驗等方面能符合要求,降低採購爭議和符合台灣相關法規檢驗要求。

#### (B) 風險評估技術(RBI)在檢修應用實務介紹

風險檢查評估基準(RBI)技術在英國基於符合法規要求、安全、技術和財物效益上需求而逐漸被廣泛採用,在法規層面上,自從 2000 年 PSSR 法規取代 1989 年之壓力系統和運送氣體容器法規 (Pressure Systems and Transportable Gas Containers Regulations),其要求為業主要撰寫檢查計劃書或認證設備是適用性的,RBI 符合法規中進行風險評估和風險管理的要求,英國 HSE 在 1999 年公佈 RBI 程序做為壓力和非壓力系統執行 RBI 之依據,HSE 在 2001 年委託 TWI 和 R&SA 完成 RBI 最適化實務指引(The Best Practice Guide),2003 年 HSE 完成簽署;在安全層面上,RBI 是利用知識和經驗來提供一套合理的評估程序,進一步針對特殊肇因和失效影響面進行消除、防制和降低風險的工作,RBI 的執行使工場操作更具可靠度、相對事故頻率降低以及提昇安全性,同時降低一些不必要和困難的檢查工作、相對降低檢查員之意外風險,意味著不用大量檢查工作亦可提高工場操作可靠度;就技術層面而言,透過 RBI 的執行可達到以下目的:設備檢查規劃、鑑別設備潛在劣化的位置、應用適用性評估技術來評估失效的可能性以及提昇非破壞檢測技術;在財物效益層面上,可有效縮短停爐時間、延長設備開放檢查週期、降低非計劃性停爐和降低工場保險費率,此亦為目前本公司營運管理重點目標。

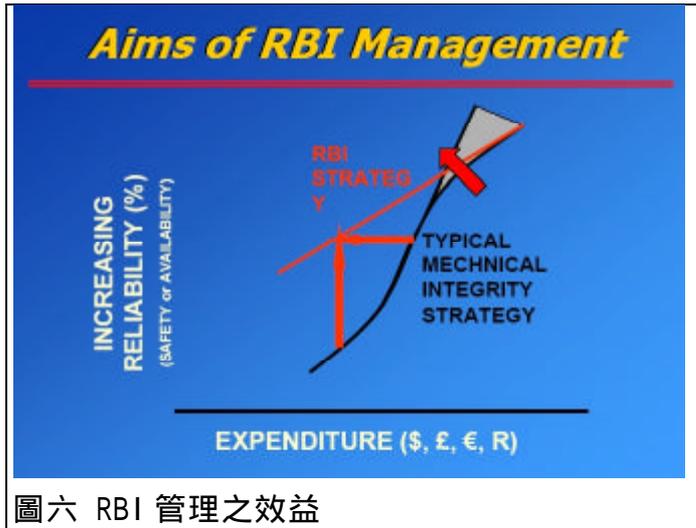
英國 RBI 方法和邏輯建立在 API 580,風險檢查基準評估(RBI)的計算主要由設備失效機率(Probability of Failure,PoF)和失效後果嚴重性(Consequence of Failure,CoF)兩項因素來求得

$$RISK=PoF \times CoF$$

設備失效機率和失效後果計算結果分別分成 5 等級,也就是以 5 x 5 矩陣來表示設備風險等級,主要分為低、中、中高和高風險四級,依此對設備進行風險分級,目的是對高風險等級設備加強檢查、維修、安全防護、操作和管理等措施,以降低風險,損傷模式和劣化速率預估主要依

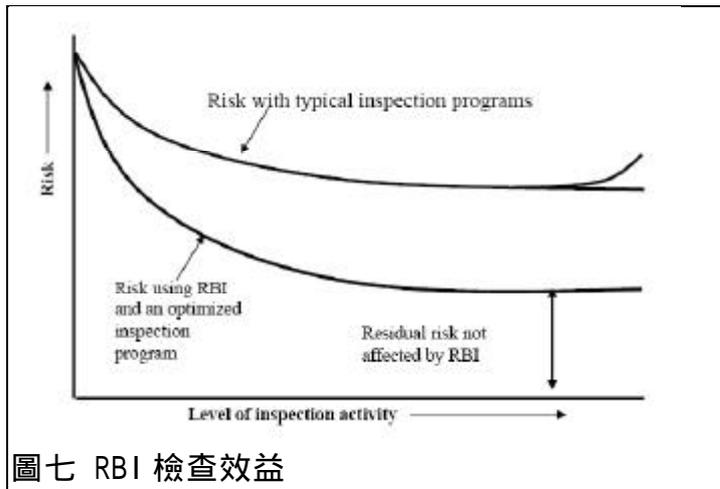
據文獻和國外知名協會(例如美國石油協會,API 和美國防蝕協會,NACE)等所發表之數據、經驗公式和煉油廠發生案例以及經驗值來進行,大致可將導致煉油固定設備和管線洩漏的可預估之損傷模式歸納出薄化(Thinning)、應力龜裂(SCC)、材質劣化和保溫層下腐蝕(CUI),薄化的損傷機制主要包括鹽酸腐蝕、酸水腐蝕、高溫氧化、高溫硫化、石油腦酸腐蝕、沖蝕和鹼性腐蝕等;應力龜裂(SCC)的損傷機制主要包括為鹼性應力腐蝕、氯離子應力腐蝕、硫化氫應力腐蝕、聚硫酸應力腐蝕、疲勞應力腐蝕、氫侵蝕和潛變;材質劣化包括回火脆化、sigma脆化、885脆化、碳化脆化、氫脆化和石墨化;保溫層下腐蝕(CUI)主要發生在溫度-20 ~120 存在保溫的設備,保溫狀況和周邊存在的環境是影響CUI腐蝕速率的主要因素;效後果(CoF)計算主要考慮由製程內容物的特性(毒性、爆炸性、燃燒性)、壓力、溫度、洩漏量和影響範圍來計算事故發生後對於人員安全性成本、設備損壞成本和企業停產經濟損失等整體財物損失,作為失效後果評估指標,重要輸入參數包括隔離區段內設備尺寸、相態、製程流體種類、有毒物質、設備價值、人口密度、人員傷亡成本和停產損失等。

RBI 和傳統檢查方法比較,傳統方法:(a)Time-Based:所有設備均在同一時間檢查,檢查項目一樣、(b)傳統方法著重於目視,對於應力腐蝕以及潛變等損傷型態無法檢查出來、(c)水壓試驗:無法提供缺陷狀況和(d)過去檢查著重壓力容器,但經驗顯示管線過去損傷頻率最高;RBI 方法為:(a)檢查的執行依據設備風險,高風險高投資,低風險低投資、(b)利用最適當檢查技術:根據風險所導出之劣化機制選擇相對有效的檢查工具、(c)依據殘留壽命來考慮失效的可能性,不是依據水壓試驗和(d)考慮整體工場:包括所有固定設備、管線和閥體,RBI 的效益包括(a)鑑別和了解可能的劣化機制、(b)鑑別和了解可能的失效嚴重度、(c)針對高風險區域進行最佳化檢修程序、(d)改善操作的安全性、(e)降低工場失效的財物損失、(f)替代檢查方案的研擬、(g)停爐時間進行有效檢查、(h)規劃合理的檢查計劃包括週期、位置 and 技術和(i)鑑別操作異常的敏感度以便進行製程緊密監測和控制,由圖六顯示相同的投資費用 RBI 管理策略比傳統的策略可增加設備可靠度(包括安全和設備利用率),同時也可降低投資費用達到相同的設備可靠度。



圖六 RBI 管理之效益

在檢查設備效益上,由圖七可看出風險隨著檢查的程度增加而降低,但是 RBI 的做法比傳統的做法明顯降低設備風險,同時要達到相同的低風險等級,RBI 的方法所需的檢查程度明顯比傳統做法降低很多,另外由此圖可看出RBI 無法完全消除設備風險,主要原因為(a)風險不可能完全沒有和(b)RBI 風險降低著重於設備檢查,其餘來自操作、人為和儀控上的失誤不在 RBI 領域內。



圖七 RBI 檢查效益

RBI 評估結果主要的產出物為檢查計劃,檢查計劃包括優先設備、劣化型態、檢查方法、檢查範圍和時間,不同劣化型態之檢查方法的有效性亦不同,如圖八所示 降低檢查費用非 RBI 的主要目的,其附加價值為去除無效和不當的檢查、降低低風險設備的檢查資源、利用線上檢測技術取代開放檢查和去除過度頻繁的檢查行為。

Technique	Thinning	Surface Cracks	Embedded Cracks	Micro Fissures	Metallurgical Changes	Dimension Changes	Blisters
VT	1-4	3-4	X	X	X	1-4	1-4
UT Straight	X	3-X	3-X	3-4	X	X	1-3
UT Shear	X	1-3	1-3	3-4	X	X	X
WFMPI	X	1-3	3-X	X	X	X	X
PT	X	1-4	X	X	X	X	X
AE	1-4	1-4	1-4	3-X	X	X	3-X
EC	1-3	1-3	1-3	3-X	X	X	X
MFL	1-4	X	X	X	X	X	X
RT	1-4	3-X	3-X	X	X	1-3	X
Dimension	1-4	X	X	X	X	1-3	X
Metallography	X	3-4	3-4	3-4	1-3	X	X

1 – Very good; 2 – Good; 3 – Average; 4 – Poor; X - Ineffective

圖八 不同劣化型態之檢查方法的有效性

### (C) 風險評估技術(RBI)工業應用經驗介紹

英國 HSE 曾提供三組工場(包括分子篩設備,加氫處理工場和壓力釜)數據給 50 家公司進行 RBI,再針對其中 5 家公司進行詳細訪談,結果發現這五家公司在劣化機制判定、失效嚴重度分析結果、整體風險和檢查週期訂定等方面均不一致,經分析在人的因素、使用方法和工具以及參數輸入定義不一為主要影響變數,因此英國政府認為進行 RBI 需要有一套統一的準則,包括 RBI 程序、主要參數定義和稽核機制等,RBI 程序定義分為七大步驟包括 RBI 評估團隊的成立、資料收集、失效後果鑑別、失效機率鑑別、檢查計劃、檢查和適用性評估和再評估等;RBI 稽核機制包括十大要項:(a)過程的評估:公司重視程度、動機和理由、由何人來主導、(b)系統定義:公司檢查系統定義、考慮的風險因素、(c)團隊的角色和權責:檢查權限、檢查報告向誰負責、團隊主導人、經費和資源的能力、(d)資料的完整性:每項設備數據的多寡、數據如何取得、(e)分析程序:RBI 和其他危害分析的相關性、誰負責潛在劣化機制的分析、失效機率多高、(f)檢查計劃:檢查計劃中設備如何選擇、何時開始第一次檢查計劃、兩次檢查週期的設定標準、(g)檢查有效性:針對特殊劣化機制如何改變檢查程序、有無機制來確認檢查員是可勝任的、如何評量檢查可靠度、(h)適用性評估:檢查結果如何評估、誰負責適用性評估、如何管理高風險設備、(i)回饋:如何將檢查結果回饋到風險分析中、工場管理者/操作員/檢查員/風險評估者之間溝通機制為何和(j)程序審查和稽核機制:管理部門如何審查檢查規劃程序、管理程序所涵蓋的範圍、管理部門對程序影響的程度。

另外 TWI 在 2001~2002 年對 600 家公司進行 RBI 和 RBM (Risk Based Maintenance) 的結果問卷,約 15%回覆,從回覆的問卷中統計有關化學和煉油業的資料,顯示(a)98%表示 RBI/RBM 執行結果符合和超越原先預期、(b)僅 16%表示會等 2 年後才會導入 RBI/RBM、(c)37%採用目前已發表的方法(例如 API、ASME)進行、(d)45%採用定量方法、(e)準確度方面:30%認為定性 RBI 決定困難,12%認為非常準確,28%認為定量 RBI 困難決定,44%認為非常準確、(f)78%已應用 RBI/RBM 在一般壓力容器檢查評估上,且打算繼續使用、(g)57%顯示他們的政府會接受 RBI/RBM 做為檢查週期的設定、(h)29%表示評估結果需接受政府單位認可、(i)60%認為評估的獨立性是重要的、(j)成員參與程度:人員方面 47%為部分時間,團隊方面 28%為部分時間、(k)分析軟體:76%購買現成軟體,46%表示目前正在用,48%表示未來會用、(h)訓練方面:90%以上認為絕對需要的,此外也針對推動 RBI/RBM 的動機和理由進行調查結果,重要性依序排列如下:改善重要工場整體安全性、降低檢查和維修時程、延長檢查和維修週期、降低延長檢查和維修費用、將工場依潛在影響生產中斷損失分類、將工場依潛在造成人員傷亡分類和將工場依潛在造成環境影響分類,而影響 RBI/RBM 成功之關鍵因素調查結果排序如下:團隊成員選對人才、指派合適的 LEADER、工具和分析方法的可靠度、RBI/RBM 產生結果後續作為、過去檢查和維修數據品質、工具和分析方法的容易程度、RBI/RBM 評估的執行速度。

由以上資料顯示為了改善重要工場整體安全性、降低檢查和維修時程、延長檢查和維修週期以及降低延長檢查和維修費用而進行 RBI/RBM 各國工場的需求,定量 RBI/RBM 是未來趨勢且較準確,而執行 RBI/RBM 成功關鍵因素為團隊成員選對人才、指派合適的 LEADER、工具和分析方法的可靠度、RBI/RBM 產生結果後續作為,在技術上應建立統一的準則,包括 RBI 程序、主要參數定義和稽核機制等,。

#### (D) 加熱爐爐管和鍋爐管壽命評估案例介紹

TWI 介紹特別介紹一個典型安全壽命評估範例(加熱爐爐管和鍋爐管壽命評估案例),此範例結合(a)RBI、(b)非關鍵性設備利用決定論之壽命評估方法、(c)關鍵性設備利用機率論之壽命評估方法以及(d)建議處理方案:包括未來檢查、銲補和再評估之技術等;首先透過 RBI 鑑別損傷機制、審閱過去檢修理使和現況分級;決定論之壽命評估方法依據 API 530 和 API 579,輸入參數包括設計最小強度、最高使用溫度、最高操作壓力、原設計爐管尺寸、減薄速率(極值法或平均值)和操作時數,

計算公式如下

平均減薄速率

$$[\text{SUM}(\text{Earliest UT data}) - \text{SUM}(\text{Latest UT data})] / \text{檢測數量} = \text{Average Dt}$$

$$\text{Dt} / \text{time} = \text{Average MTR}$$

統計法減薄速率

Average MTR + 2 standard deviations

潛變壽命評估

Larson Miller Parameter (LMP)

$$= A_{0m} + A_{1m}S + A_{2m}S^2 + (A_{3m} \cdot \ln S) + (A_{4m} \cdot \exp(S))$$

$A_x$  = Material parameter from Appendix F, API 579

S = Stress

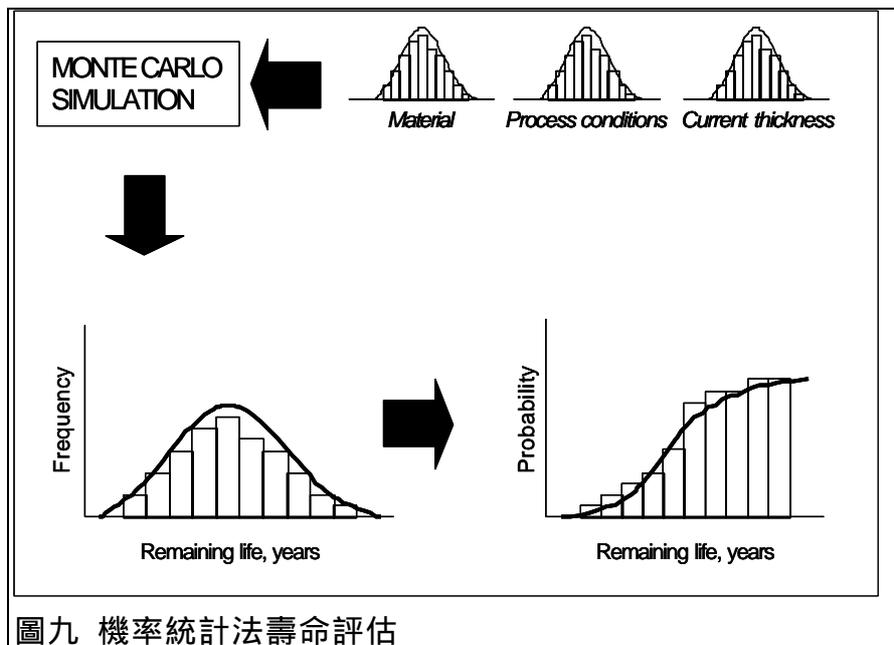
From Larson Miller Curves In API 530

$$\text{LMP} = (T_d + 460)(C + \log_{10} L_d) \cdot 10^{-3}$$

$L_d$  = Remaining Life

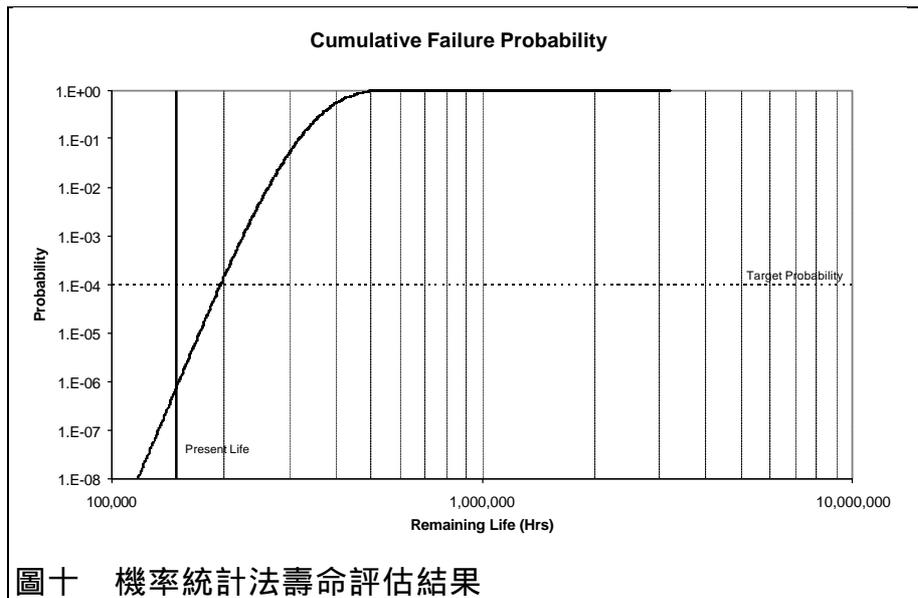
$T_d$  = Metal temperature

由於輸入參數管壁溫度量測、過去壁厚量測數據以及腐蝕速率計算等均存在不確定性,因此 TWI 引進機率統計法以求更精準之壽命預估,主要採用 "Monte-Carlo" 方法模擬,其方法和流程如圖九所示



圖九 機率統計法壽命評估

所得結果如圖十所示,例如目前此爐管在操作時數 200000 小時機率為  $10^{-6}$ ,但在 400000 小時操作時數機率為  $8 \times 10^{-2}$ ,損傷機率大為增加。



圖十 機率統計法壽命評估結果

本案在建議處理方案包括下次設定檢查週期、監控 BFW 水值、安裝爐管表面熱電耦以記錄火焰不平衡異常狀況、震動之爐管進行疲勞檢查同時改善震動源，開發紅外線量測程序以及相關操作記錄和除焦作業均應文件化。

以上研討簡報資料如附件二

### (3) 實驗室參訪

本次拜訪除相關議題研討外，同時安排 TWI 和 Pi 實驗室參觀，更進一步了解其在工業界技術服務能力以及研發設備和方向，包括

#### (A) 工程技術上：

破壞力學評估和測試、疲勞調查和壽命改善、壽命延長 (life extension)、鐳補和更換、腐蝕評估、微機械模式分析、潛變疲勞和腐蝕模式建立、現場應變和應力量測、利用應變規監測疲勞週期、利用應變規量測裂紋成長速率、管線/壓力容器和板特殊組件之測試、先進應力和有限元素分析、焊接材料試驗、殘留應力量測、分析和評估、可靠度評估-包括檢查可靠度評估、檢查人員評鑑、機率分析和極限分析、材料和缺陷數據資料庫建立，該公司累積相當多材料數據，相對有利於提高設備安全評估的準確性。

設備包括拉伸試驗機:universal test machines (0.1kN - 2000kN)，疲勞試驗機,wide plate test facilities (axial and bi-axial)，drop weight and instrumented drop facility,壓力容器試驗系統,模擬環境試驗系統。

#### (B) 材料方面：

該單位研究發展材料包括鐵基和非鐵基材料、塑膠材料、陶瓷和複合材料、防蝕材料、耐模材料以及表面處理,研究領域包括材料焊接性質、材料選用、破損診斷和改善、專家認證和技術支援、材料微結構分析、堆鍍和熱噴塗、腐蝕試驗和預測、鍍件腐蝕性質、腐蝕疲勞、工業標準評估和認證、現場材質評估、化學成份分析和氫氣量測,該公司累積相當多材料破損案例和腐蝕試驗數據,因此在設備問題改善和風險評估上將更為準確且快速。

主要設備包括(a)環境和硫化氫實驗室:進行一般研發、品質確認和腐蝕疲勞試驗、(b)full-ring and constant load testing of tensile and beam specimens、(c)高溫高壓釜:進行拉伸試和腐蝕試驗、(d)硫化氫環境下慢應變拉伸試驗、(e)高壓 H<sub>2</sub>S / CO<sub>2</sub> 環境下之 PH 值量測、(f)氫氣壓力釜、(g)電化學試驗儀 (DC and AC techniques)、(h)鍍道、母材和塗覆之間隙腐蝕試驗、(i)CPT and CCT testing、(j)腐蝕試驗設備,包括 direct exposure testing, sustained load cracking and dead-weight tensile testing (含低溫和高溫環境) 以及陰極防蝕、(k)冶金實驗室, including metals and ceramics preparation, plastics sectioning、(l)SEM/EDS 和(m)化學成分分析實驗室。

(C ):非破壞檢測技術:

主要技術包括(a)手動和自動超音波脈波技, P-scan、T-scan、C-scan immersion system,PC based flaw detector、(b)時間差繞射超音波技術(TOFD),Microplus TOFD,法規逐漸接納此方法以取代傳統射線(RT)檢測、(c)即時和數位化放射線檢查技術,microfocus and real time radiography, 400kV X-ray facility、(d)手動和自動渦電流技術,Lizard EMA and ACFM systems、(e)液滲檢查技術、(f)磁粒檢測技術、(g)熱影像檢測技術,thermal imaging、(h)高溫超音波、(i)長距離低頻超音波,應用在管線檢測,其主要改善為以聚焦法克服以往訊號判斷不易的問題和(j)相陣列超音波:此方法對於結構幾何形狀不對稱和 TOFD 無法進行的檢測相當實用,但技術層次較高

檢測應用材料包括肥粒鐵系鋼材、沃斯田鐵系鋼材、雙相不鏽鋼、鋁合金、鈦合金、碳纖維材料

圖十一至圖十四為參觀 TWI 和 Pi 公司的實景照片,參觀過程所收集到之技術資料和文獻彙整如附件三



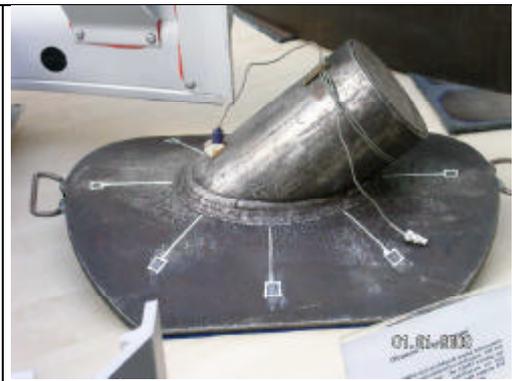
圖十一 參觀 TWI 實驗室留影



圖十二 參觀 Pi NDT 實驗室留影



圖十三 管線實體疲勞試驗設備



圖十四 插管超音波檢測技術開發

#### 四、結論和建議事項

相當感謝公司和長官給予機會，赴英國考察，參加和本身工作業務相關之研討會並參訪廠商，學習和研討有關歐洲國家之設備安全和檢測方面的做法和發展趨勢、同時收集相關技術資料和國外專家當面討論，相當實用，一些資料在一般雜誌和論文中並不易收集到，和本公司目前做法相互對照，截長補短，未來將此次所得到的資訊和技術，能應用到現場技術服務和研發工作上，以提昇現場技術服務的能力，同時也提供將來研發和技術引進的思考方向，在整個行程中也認識各方面領域的專家，留下一個未來資訊和問題交流管道。

主要結論和建議總結如下：

1. 歐洲國家設備開放檢查週期均大於國內目前2年的週期，且仍努力設法延長目前的操作週期，以提高設備利用率和增加產銷調度，以提高競爭力，國內公司亦應朝此方向努力。
2. 風險檢查基準評估(RBI)技術不再僅是一種理論和發展階段，已進入應用實務，在歐洲已逐漸為各國法規接受，作為設備延長開放安全評估和延

長週期的工具,而各工場也藉由 RBI 的執行來改善重要工場整體安全性、降低檢查和維修時程、延長檢查和維修週期以及降低延長檢查和維修費用,此和本公司營運策略符合。

3. 定量 RBI/RBM 是未來應用趨勢且較準確,但所需工程和時間較大,因此需由團隊來進行,此和國內大部分由一個人統包進行有很大差異。
4. 執行 RBI/RBM 成功關鍵因素為選對團隊成員、指派合適的 LEDAER、選擇可靠度的工具和分析方法、評估產生結果應有後續作為。
5. 一個公司要推動有效和可靠的 RBI,應建立一套統一的準則,包括 RBI 程序、主要參數定義和稽核機制等,公司亦應朝此方面努力。
6. 建議國內和本公司應積極了解、分析和熟悉歐盟壓力容器 EN13445 新法規內容,以因應將來從歐盟國家購置設備時,在設計、規範開立以及驗收檢驗能符合要求,降低採購爭議和符合台灣相關法規要求。
7. 應積極建立相關國外煉製設備安全專家聯繫網路或加入會員,以其能快速獲得資訊和技術交流,對現場突發案件的解決和公司營運應有相當大助益。

## 五、附件

附件一 TWI 公司 2005 年 6 月份年報

附件二 煉製設備安全和檢查研討相關簡報資料

附件三 考察期間所收集之相關文獻和資料彙整