

## 摘要

本次考察拜訪荷蘭殼牌(Shell)石油集團一個服務性子公司 Shell Global Solutions International 之 MIE 部門，以及位於荷蘭鹿特丹與英國之倫敦及近郊之其他檢測技術服務或儀器公司 RTD、GUL、TSC 等。

經由本次考察，得以認識一家具規模的油公司在製程設施安全管理上所做之努力，包括從風險角度出發之檢查作為(Risk-Based Inspection, RBI)之實施與推動、非破壞檢測技術與應用，設施安全維護之評估等之作為。同時，亦觀察到經由這些努力而開啟該公司另一項業務與發展，以及彼此間橫向之溝通、結合不同領域之技術而衍生出整合性的解決方案與技術服務。

再者，對於在先進國家面對問題的坦然態度與正向思考，以及產官學間彼此開放的對待與交流，構建出為解決問題而研發檢測技術與儀器之良好環境，使得檢測技術之研發與應用在先進國家得以蓬勃發展，從而位居領先與領導之優勢地位，亦有深刻之體認。

於文末，將綜理此次考察行程中之所見、所聞，與反觀公司製程設施安全管理現況之所思，所引發對於國內與公司相關課題之未來作法，提出個人之淺見。

# 製程設施安全管理考察報告

## 目 錄

章節	頁次
1. 目的 .....	3
2. 參訪行程 .....	3
3. 製程設施安全管理之作為 .....	3
3.1 從風險角度出發之檢查作為(Risk-Based Inspection, RBI)之 實施與推動.....	3
3.2 製程設施安全管理之查核與評估.....	9
3.3 管撐部位管線狀況安全檢查之案例報導.....	10
4. 非破壞檢測技術與儀器 .....	11
4.1 RTD 公司 .....	11
4.2 GUL 公司之 Guided Wave 技術與 Wavemaker 儀器.....	12
4.3 TSC 公司之 ACFM 技術 .....	14
5. 製程設施安全管理與檢查 .....	17
6. 結論與建議 .....	18
7. 附錄(原文) .....	20
附錄一：Shell Global Solutions International 之 S-RBI , FAIR , CORAS 之資 料與其刊物 <b>Impact</b> 對 Pipe Support Tool 之報導	
附錄二：RTD 公司簡介 , Beetle , INCOTEST 與海底管檢測資料	
附錄三：GUL 公司 Wavemaker 資料與 RTD 介紹 Guided Wave 技術之資料	
附錄四：TSC 公司 ACFM 之資料	

## 1. 目的

我國即將加入世界貿易組織 WTO，成為世界經濟體系中堂堂正正、平起平坐的一員，與世界各國自由平等地進行經貿往來，對外貿占有經濟最高比重的我國而言，重要性可見一斑。加入 WTO 的前奏之一即為油品市場之自由化，而本公司之民營化，除為國家既定之政策外，該前奏之影響更將加速本公司民營化之腳步，國內同業之競爭則為另一股不可忽視的壓力。

面對這些已然來臨的變革壓力，公司各方面皆須有其因應之策略：管理求其效率，行銷求其通路之暢通與市場之最大，生產求其成本之降低與產量之最高。以後者而言，為求生產成本之降低與產量之最高，製程設施之安全管理則為諸多措施中極重要之一環，減少不必要之維修，可降低維護費用；增進設施之安全，可提高產能增加收益，且可防範意外事故之發生，減少停產與傷害之損失。因此，製程設施之安全管理，對工廠之生產效益，具有關鍵性之影響。

在面對國外與國內之競爭，檢討自身現況之同時，了解先進國家在製程設施安全管理上之作為與先進檢測技術之應用與發展，作為改進之參考，以期縮短改善之時程，迎頭趕上，進而提升自身之競爭力，正面應對無可迴避之挑戰。

## 2. 參訪行程

7月31日至8月4日 參訪 Shell Global Solutions International 公司 RBI 之實施與推動、非破壞檢測技術與應用、及設施安全維護評估等之作為，以及參觀 RTD 公司非破壞檢測儀器與技術之應用概況。

8月5日至8月9日 前往英國，訪問 GUL 公司參觀 Guided Wave 儀器 Wavemaker 之應用與發展；以及訪問 TSC 公司之 ACFM 儀器及其研發與應用。

## 3. 製程設施安全管理之作為

殼牌(Shell)石油為世界知名之跨國性石油公司，集團總部設在荷蘭。Shell

自身所擁有的煉油廠散佈世界各地，自有其內部彼此訊息流通的運作機制，對於共通性與普遍性的課題較易結合眾多力量去面對與處理，因此得以創造出某些獨特的解決方案與技術。而在經營環境之變遷下，將長期所累積下來諸多具有競爭力的內部技術獨立出來，成立提供解決問題之技術服務公司 Shell Global Solutions International，不僅協助 Shell 集團內部解決問題，亦對集團以外的業界提供服務。本次主要接洽之業務部門，為 Shell Global Solutions International 內之 Materials and Inspection Engineering 部門，簡稱 MIE，該部門從事製程設施安全與檢查之業務。

### 3.1 從風險角度出發之檢查作為(Risk-Based Inspection, RBI)之實施與推動

對於製程設施之安全檢查，以往皆以定時定期的方式加以管理，在規定的期限之內，對所有設施進行檢查。然而各種設施由於操作使用上所處的環境(包括內容物、溫度、壓力)不同，劣化的機制與劣化的速率各異，不分對象，齊頭式的規定—時間一到，一律停工進行檢查—就顯得不盡恰當，從而有依劣化之速率快慢而決定檢查週期的作法。即便如此，個別設施其損壞後造成對工廠生產、生命財產、與環境上的影響尚有程度上的差異，若不分設施損壞之影響程度大小，對於劣化速度較快之設施一概縮短檢查週期，加強管理，亦顯得過於嚴苛。因此而有風險概念之導入—捨棄齊頭式的管理規定，對於風險較高者要求加強管理與檢查。近年來，美國石油學會(American Petroleum Institute, API)結合石油業界的努力，從風險的角度出發，制訂了 API 580 的文件，雖然位階上還屬於建議性規範，實質上，RBI 的精神卻已陸續明訂在等同法律規定之壓力容器(API 510)、製程管線(API 570)與儲油槽(API 653)等檢查規範之中。由於美國 API 之法令(Code)已經准許 RBI 的作法，美國的石油業者得以將相關之檢查資源做最有效的運用，工廠亦能減少不必要的停工與檢查，得以在有效降低風險的情況下提高生產效能，使其競爭力大為提高。歐洲大陸的國家亦是相同的演進情形。在美國制訂 API 580 的過程當中，亦有來自歐洲的大油公司(BP, Shell, Total 等)參與其中。同時，Shell 公司在荷蘭的總部亦自行發展其 RBI，

稱為 S-RBI，並在其美國以外的煉油廠推行（鄰國日本亦感受到這股趨勢以及來自企業主與經濟競爭的壓力，近年來亦已相當幅度的轉向風險概念的法令規定）。

Shell 公司之 S-RBI 與 API 觀念上相同，如圖 RBI-1 所示：

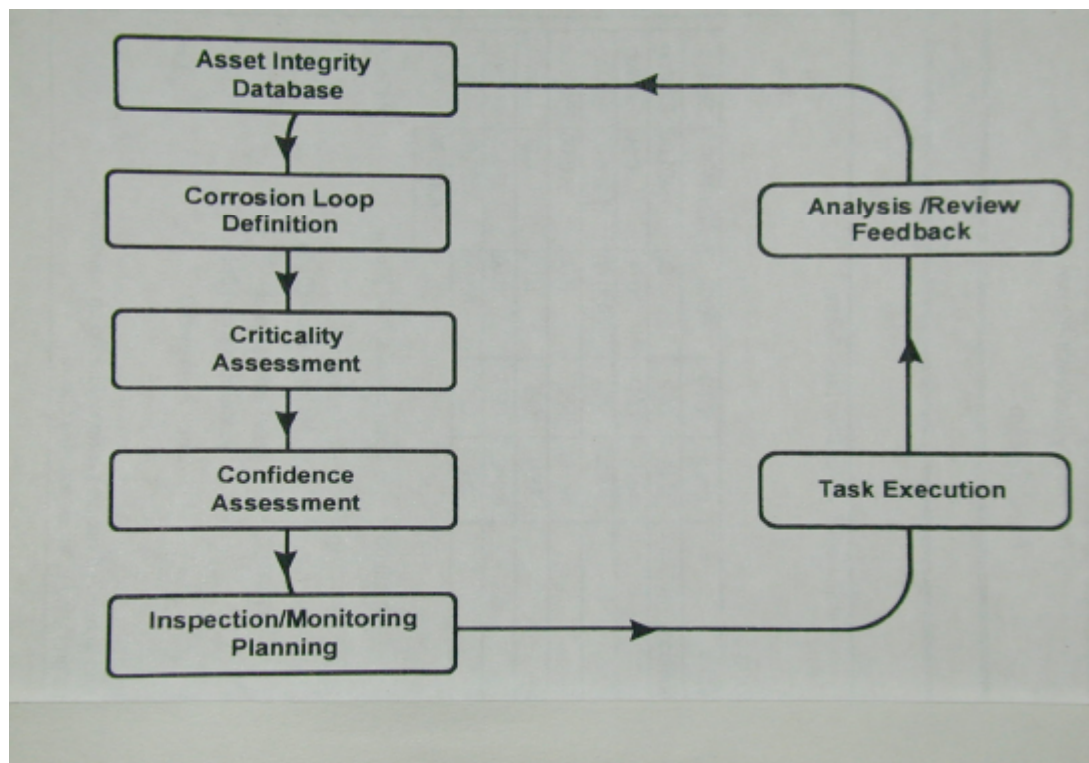


圖 RBI-1 S-RBI 概念之示意圖

對於固定式之製程設施，先從其設計與檢查資料整備起，再將製程上依各個部分之環境特性予以歸類，建立腐蝕環路，再針對各環路中之各個設備或管線進行風險評估與分級，然後訂定檢查計畫，實施檢查之後再將檢查結果與原先之風險評估資料比對與修改，再修正日後之檢查計畫，如此週而復始，以有效降低與掌握製程上之風險。

風險之定義，概為「事故發生之機率」與「事故之嚴重程度」兩者之相乘積，亦即

$$\text{風險} = \text{事故發生之機率} \times \text{事故之嚴重程度}$$

「事故發生之機率」主要視該設備所處的環境而定，內容物之溫度、壓力、腐蝕因子之存在與否、設施之材質、檢查(方法與品質)之有效性、製造之工程標準與處理過程等諸多因素，決定該設施發生事故之概率高低。而「事故之嚴重程度」則著重在該設施發生事故造成之後果，內容物之組成、溫度、壓力、設施與內容物之容量、破損型態、周遭環境、該設施失效對整個製程或更高層面之影響、對人員與環境之衝擊等各種因素之綜合考量，決定該設施發生事故後之嚴重程度。將「事故發生之機率」與「事故之嚴重程度」兩者分別由低至高分為數個等級，一者作為縱軸，另一者作為橫軸，則可在該座標圖(稱為風險矩陣圖，如圖 RBI-2)上分為高低不等的風險分級，各個製程設施因為其「事故發生之機率」與「事故之嚴重程度」高低等級之不同，會落於該風險矩陣圖上不同之位置，最後可以統計出在該風險矩陣圖上整個製程所有固定式設施之風險等級高低之分佈情形。

		損壞之可能性	S-RBI 風險等級				
事故發生之機率等級	H	高	L	H	E	X	X
	M	中	L	M	H	E	X
	L	低	N	L	M	H	E
	N	可忽略	N	N	L	M	H
嚴重性分類	經濟損失		無或輕微	小	局部	大	重大
	人員傷亡		無或輕微	小傷害	大傷害	一人死亡	多人死亡
	環境衝擊		無或輕微	小	局部	大	重大
嚴重程度等級			N	L	M	H	E

代碼說明：N---可忽略， L---低， M---中， H---高， E---極高， X---不容許

圖 RBI-2 製程設施之風險矩陣圖(S-RBI之風險分級)

但在實施之具體作法上,Shell 公司之 S-RBI 與 API 之 RBI 兩者較大之差異在於風險之分級。API RBI 的分級法則是公開而且統一的作法,因為它有一套公開發行的軟體可作為分級的工具,所有分級過程中需要考慮的問題除了在 API 580 文件中明白列出,在該套軟體之中亦完整呈現。Shell 公司之 S-RBI 則不同,在風險機率之分級方面,S-RBI 有所謂損壞之可能性(Susceptibility to Failure, StF),而其 StF 之高低分類需藉助於其自行建立之劣化資料庫(Degradation Library),該資料庫則為非開放性,其流通性與普遍性可能不如 API RBI。同樣,事故嚴重性之分級 S-RBI 亦有其獨特的一系列問題探討與作法。再者,API RBI 可以一系列到底,做到定量 RBI,以充足之統計資料作背景,將 RBI 結果確實依照美國業界標準予以量化,S-RBI 則未進行量化統計,唯 RBI 並非所有設施必須皆要量化不可,因為單一設施的量化處理必須收集整理龐大的相關資訊,極為耗時,通常的作法僅針對風險評估分級中最高之前幾個設施進行定量之 RBI,企圖評估降低風險至某個水準所需花費的成本與可得到之效益,作為經營者決策之參考。如果不進行量化 RBI,差別僅是缺少這些數據,經營者必須自行判斷、下決策,保守的作法自然是將該等風險完全消除。探詢其推動 S-RBI 之動力與誘因,仍舊與 API 之理念相同:風險低可以減免檢查之部分需界定出來,以節省檢查資源,風險高的則須更加強管理與檢查,一切以務實做考量,在維護設施安全的情形下讓工廠能最高效益的生產運轉,同時設法理性說服政府機關,朝正向的安全管理發展,且可提升設施安全與經濟效益,創造雙贏。

國內法令目前仍然實施最原始的定時定期檢查的規定,如前所述,這種作法有其緣起,早期亦有其需要;即便在目前的環境,亦不適合全然推翻,但若一味沿襲舊規,隨著國內市場的國際化,相關產業勢必因為競爭力不足而迅速失去市場地位、甚至從市場上消失。然則具體作法為何?政府與企業,其各自應如何作為?竊以為,唯有迎頭趕上一途,且要加緊腳步,別無良策。在法令方面,有賴政策的重大轉向—其實,主管機關對風險之概念並非毫無所悉,對國際上的相關趨勢亦非渾然不覺。曾經,主管機關內部做過許多研究,並多次

邀集部分相關企業研商行動方案，雖然尚未達大步向前的情形，但可稱得上已有突破，唯最後因多方人事更迭而終告停擺，殊為可惜。其實，以美國為例，目前仍然有定時定期的檢查規定，並未完全廢除。對於規模較小的工廠，由於業務量有限，基於成本上之考量，通常不會設置腐蝕或檢查方面的專業人員，因此唯有完全依照最簡單的原始作法，定時定期實施檢查，這種規定是合理也是必須的，而法令對於這些小規模的工廠亦是如此規定。然而，企業到達一定規模，基於其自身經營風險之考慮，對於腐蝕、材料、製程、檢查等各方面的業務必須有所作為，因而設置有這些領域的人員，來解決相關的問題，增進生產設施的安全，降低經營上的風險，以追求更高的利潤；再者，經過長期累積的實務作為，這些企業已能有效掌握與管理其自身生產設施的安全重點所在。對於這些具規模的企業，政府應以查核的角度加以管理，督導其自我管理是否健全、有無缺失、如何更加完善，而不應以最原始的法令強迫加諸其身上——不管有無安全顧慮，一律定時停工受檢，就如一件衣服硬要套在所有不同身材的人身上，任何人皆知其不可行。再一例：如果法令規定，不管何種從業人員、不管年齡大小，一律每年實施全身健康檢查，受害的恐怕還是全體國民——即便是檢查費用全免，到頭來花的還是全民納的稅，請假去檢查身體，扣的亦是民眾自己的收入，這時候，民眾還能接受惡法亦法的說詞否？在期待主管機關主動任事與積極作為之同時，公司自身切勿消極以法令規定的束縛做為自身競爭力不足的藉口，更應加速 RBI 之全面推動與對官方的遊說。即便法令尚未改變，及早更完整地掌握自身製程設施的風險與高低之所在，便已能降低自身營運上之風險，提高自我之競爭力。畢竟我們已無法置身於國際競爭之外，國內法令更已無法保護國內企業面對的國內法令所無法規範的國外優勢競爭，能依賴的唯有自我改革、自我提升。

### 3.2 製程設施安全管理之查核與評估

Shell 集團內各煉油廠對於自身製程設施之安全管理各有其運作之模式，彼此間雖然有內部網路可以彼此交流，具體作為仍然各異，其成效亦各自不同。最早美國部門一部份人員構思出一套評估方法，嘗試瞭解某些煉油廠在製程設



施安全管理上之優勢與短處，並給予適當量化的評分。後來，實施成效被認同，從而向集團內部推展應用，並發展出一套服務產品，稱為 Focused Asset Integrity Review，簡稱 FAIR，同時亦對集團以外之業界提供服務。它提供一份類似問卷的表格，供煉油廠或化學工廠相關部門的人員填寫，包括操作、維修、製程技術、專案以及檢查部門的成員。訪談內容涵蓋組織架構，部門之職責與能力，授權情形，部門人員之技術能力，決策之執行，人員資格與訓練，技術支援程度，品保與品管之程序與運作，訊息之流通，資訊之分享，部門間之溝通等等，大約訪談 15 至 20 人(視工廠規模而定)。其評估小組成員包含材料、腐蝕、檢查與機械工程方面具有 15 年以上經驗之專業人員。同時做出受訪工廠在製程安全管理方面優勢與缺點之評估報告，並依據該評估小組之經驗提供適當之改善建議，最後利用一套評估軟體做評分。該評分以最理想的管理狀況為 1000 分，將優劣等級分為 500 分以下需要大力改善，500-600 分有待改善，600-700 分可再提升，700-800 分良好，800-900 分優秀，900 分以上最優秀等六級。

依據 Shell Global Solutions 之資料，其所評估過的 13 家工廠(以 Shell 集團內者居多)中，優秀者一家達 848 分，700 分以上良好者四家，這些工廠可稱為做到預知管理的程度；500 分以上者有三家，對製程設施安全管理之作為大致能獲得經營階層之支持；500 分以下者有五家(最低者 390 分)，這些工廠對於製程設施安全的問題被刻意或無心的忽略或其推動遭遇到阻力。而一些較常發現的缺失包括：

- \* 設施超過應檢查期限而未檢查
- \* 使用不合適的檢查方法
- \* 對於臨時性的修復工作未做妥善的管理，或變更管理上有缺失
- \* 添加劑注入點之管理不良
- \* 對於製程操作之安全範圍認知不足
- \* 缺乏材質辨認的認知與管理
- \* 製程上改變的訊息未傳達至檢查部門
- \* 對製程設施之適當檢查頻率管制不足
- \* 腐蝕管理有待改進

藉由第三者客觀的角度，來對自身的業務管理與日常的運作做一番檢討與評估，不失為改進缺失與自我提升的方法之一。其實，數年前再保公司多次對各廠的查訪與檢討，所做成的諸多建議，亦應是一種改善的動力，如果這些改善建議確實落實與加以改善，並且轉化成一種運作的標準機制，且持續運作下去，在製程設施之安全管理上應已有顯著提升；反之，如果那些建議被當成個別案件去處理，成為相關部門被追蹤而被動處理的改進事項，當這些改進建議被認為處理完畢，不再受追蹤以後，相信事過境遷，不會再有人去關心與注意，將來相同問題仍然會再發生，事故將再重演，如此一來，過去的努力終成白費一場，殊為可惜。果真如此，FAIR 的功能將無從發揮，僅僅是參與的部門人員辛苦一場，陪外人玩一趟，草草收場。若預期如此，則無須考慮 FAIR。所以，檢討或反思以往再保公司的建議事項在自己單位的處理方式與情形，大致可以估算經過 FAIR 評估之後會得到何種分數，屬於哪種等級。

### 3.3 管撐部位管線狀況安全檢查之案例報導

在此行獲贈的 Shell Global Solutions 發行的一份刊物 (Impact Issue 3, 2001) 中，有一篇管撐部位管線狀況安全檢查的案例報導：英國某處的油氣接收站至今已有 32 年，建造之初，工程人員預估相關生產井之油氣生產應該在相關設施之腐蝕會造成問題前就先枯竭，所以未考慮腐蝕的問題。結果後來又有新生產井發現，該接收站前景又重現光明，然而，原先未考慮的腐蝕問題變成必須克服的困難。後來該站人員利用 Shell Global Solutions 開發的檢測儀器 (想當然爾) Pipe Support Tool 與技術，委託檢測人員於半年內順利完成 25,000 個管撐部位的安全檢查。

從該篇報導中得知，管撐處管線安全狀況的檢查不是一個容易的問題，傳統作法是將管線拉高或頂舉，進行目視檢查，但是眾所皆知，許多現場環境的狀況無法如此做，這種情形就必須尋求適當的解決之道，權責部門就需正確而務實的去處理—現況能克服的迅速解決，不能立即解決的設法尋求支援或協助，而不應草率從事，整體環境上亦不宜給相關部門施加過大的壓力而迫使非

草率從事無以為應，畢竟幕僚與所屬人員都在完成被交付的任務，以及協助解決管理者的問題，增加一項工作通常即代表某些待完成的工作必須有所調整，如果一項任務無法有效的執行，其所耗去的資源必然排擠掉其他原可正常運作的任務，最終仍為管理者之損失。

## 4. 非破壞檢測技術與儀器

### 4.1 RTD 公司

Röntgen Technische Dienst b.v.，簡稱 RTD 公司，屬於吾人所熟悉之勞氏集團(Lloyd's Register Group)之一支，總公司設於荷蘭之鹿特丹，成立已超過 60 年。其專業領域在非破壞檢測、工程檢驗以及破壞性試驗。一方面提供檢測服務與技術諮詢，一方面從事相關技術之研究發展，同時將其研發出來之儀器技術租售給其相同領域之檢測服務業者。換言之，RTD 尋找並使用世界上可利用之儀器技術從事檢測服務，但是也自行研發新技術與應用，再利用研發之成果提供更新更高層次之技術服務，而且也對同業之間開放競爭，顯見該公司所具備之高度自信與開放的經營理念，能夠在業界占有一席之地，絕非偶然。

RTD 公司檢測技術服務項目極為廣泛，從基礎之目視檢查(其實，目視檢查乃所有檢查工作中最重要的一項，就如同醫生看病之望聞問切的基本功夫，人員不具備此一根基，充其量僅算是檢測的一項工具，仍稱不上是一位檢查員；美國 ASME 規定，對於無法目視檢查的部位，不管經過多少種其他非破壞檢查方法檢查合格，其焊接效率就達不到最高值 1，可見目視檢查之重要性，此點應是檢查從業人員之基本認知)，其他傳統之非破壞檢測(RT、UT、ET、LT)，硬度測試，材質辨認(PMI)，到自動化或改良之 RT(如 Real Time RT、高能量線性加速器檢測 Flash RT 等)、UT(如 IRIS Beetle—自動爬升之超音波測厚儀器、TOFD、P-Scan 等)、ET(如其研發之 Pulse Eddy Current 儀器 INCOTEST)，以及其他特殊技術如 MFL、ACFM、紅外線熱影像檢測，甚至較新的由英國 GUL 公司研發出來之長距離超音波(Guided Wave)檢測技術等，幾乎大部分世界上在

使用的技術 RTD 皆可提供服務。此外，RTD 亦提供技術諮詢，包括檢測技術之選用與品保管理，同時也提供停爐大修之檢測服務，可謂允文允武，有理論亦有實務，RTD 具備此種特性，頗令人印象深刻。

RTD 尚有另外一項業務，就是海底管線之檢測服務(據該公司所稱，已經有一百次以上之檢測實績)。一般長途管線之 PIG 檢測，皆由長途管線的一端通入 PIG，沿線進行檢測，最後再由管線另一端—檢測終點—將 PIG 取出，這種設計，對於陸地上之長途管線頗為合適，但對於海底管線則有困難。海底管線一端在陸地上，可以放入或接收 PIG，但另一端在海上，而且有蛇管或 PLEM，不論要放入或接收 PIG 皆極為困難。所以 RTD 設計一種有線的 PIG，在 PIG 後端接有纜線驅動，檢測訊號亦為有線接收，因此檢測作業結束後或檢測途中有特殊情況必須中斷作業時，可藉由該纜線將 PIG 原路收回。此種設計可以減免外海作業困難、複雜、不確定性高等不利的因素，而且不至於牽涉到海上其他之作業活動，使得海底管檢測之作業較為單純。

除此之外，依據 RTD 檢測之經驗與實務推斷，海底管線特別是原油之卸收管線，最嚴重之腐蝕問題通常發生在管線的五至七點鐘方向的底部，因為輸送終了殘存的腐蝕性海水皆留在管線底部，所以在底部發生腐蝕減薄的機率最高，因此，其 PIG 超音波探頭的分佈亦配合此種現象的需要，將半數的超音波探頭密集放置於管線底部，另一半的探頭則平均分佈於圓周之其他部分，可說是合理的探頭設計。

## 4.2 GUL 公司之 Guided Wave 技術與 Wavemaker 儀器

位於英國倫敦大學帝國學院(Imperial College)內的 Guided Ultrasonics Ltd.，簡稱 GUL 公司，基本上是一家產學合作下所產生的公司。來自產業界檢測技術上的需求，經由學術單位與研究機構合作研發，而有超音波 Guided wave 技術在實務上應用之商業化。

這種檢測技術需求之一，起源自產業界的一次案例。某煉油廠之一條管線長年檢測記錄皆正常，結果仍然發生洩漏的事故，而且洩漏位置就在長年監測點的附近不遠，此次事故突顯出舊有檢測技術上的盲點與不足，因此期望能有檢查範圍更廣的技術可用，此即 Global Inspection 之觀念。以往強調檢測技術之準確性，對於所檢測的位置，其安全狀況固然可以正確掌握，但對於檢測位置以外區域的情況，則全然無從得知。嘗試從另一個角度思考，對檢測結果之準確性要求不必那麼高，但是希望能掌握更大範圍大致的概況，遇到有值得懷疑或顧慮的情形，再對該區域附近進行較密集較嚴謹的檢測，反而更切合實務上的需要。Global Inspection 的觀念即是希望能快速地做較大範圍的過濾性檢測，再來針對所過濾出需進一步檢測的部分利用其他方法詳加檢測。GUL 就標榜其 Wavemaker 儀器為”Rapid Pipe Screening System”，也稱 Guided Wave 技術為”Pipe Screening Technique”。

Guided Wave 的探頭與管子作乾式接觸(無須一般超音波檢測所需之耦合劑)，使在管材內外壁之間產生整個斷面一致傳遞的 Lamb Wave，稱為板波。由於使用之頻率低(大致在 30kHz 附近)，傳遞距離較遠，可一次檢測較長的範圍，一般情形大約探頭部位的前後方向各 20 公尺，檢測能力大約是管壁斷面積的 5%，亦即，對於管壁減薄量(面積)相當於管壁斷面積的 5% 以上的缺陷可以檢測出來。

Guided Wave 技術目前主要應用於管線之過濾性檢測，例如對於高架直行管線可於地面處往上檢測，免除搭架的需求，但由於 Lamb Wave 在經過轉彎時會失去較多能量，通常僅能檢測至第二個彎頭前之部分，三通、法蘭等部位亦為檢測之障礙，必須在另一側佈置探頭進行檢測。對於穿越路面處較易發生腐蝕的部位亦可進行檢測，待過濾出有問題的部位再進行開挖。對於保溫管線，亦可僅拆除少數部位之保溫實施大範圍 100% 的過濾，以尋找有問題的部位。

GUL 公司並未實際提供現場檢測之服務，而是供應檢測儀器與軟體，教育訓練，技術支援與諮詢。由於使用該儀器進行檢測需要經過較完整深入的教育

訓練, GUL 希望實際使用其產品進行檢測作業的公司能夠長期持續運用該儀器技術, 才能熟悉與正確的使用, 若僅是偶而使用一次, 恐怕不易養成所需要的技術能力。因此, Guided Wave 的技術雖然是一項有效率的工作, 卻不容易技術生根, 但是若擁有此技術, 確是一項技術上的優勢, 無怪乎 RTD 公司立即涉足此技術, 並積極從事該項檢測服務工作。GUL 公司還計畫繼續往換熱器管之檢測應用、油槽底板檢測、甚至壓力容器之檢測等更複雜的領域發展, 相信世界上會陸續有更多的檢測服務業者會參與投入。( Guided Wave 技術產品並非僅 GUL 公司之 Wavemaker 一種, 另一家公司 PIL: Plant Integrity Limited 亦有類似的產品 Teletest 更早在業界販售與提供服務, 兩種產品使用不同模式的 Lamb Wave 進行檢測, 詳細之比較有部分具規模之公司部門在進行評估。 )

#### 4.3 TSC 公司之 ACFM

Alternating Current Field Measurement, 簡稱為 ACFM, 係英國 Technical Software Consultants Limited 簡稱 TSC 公司, 源自外海鑽油平台水面下鋼構主體檢測作業之需要所研發出來, 為一種檢測金屬材料表面裂紋的技術與儀器。以圖 ACFM-1 做說明:

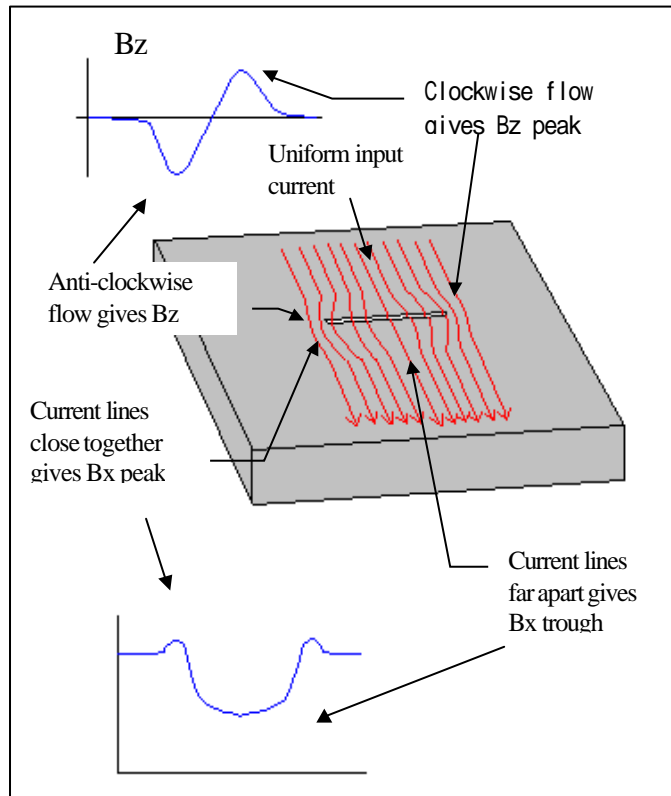


圖 ACFM-1 ACFM 之基本原理：交流電通過一表面缺陷時產生磁場之變化

在一良好的金屬表面，當一交流電場以平行於金屬表面之 Y 方向通過時，在 X 方向會產生一均勻的磁場  $B_x$ ，其他方向的磁場分量則為零；如果該金屬表面有一條垂直於 Y 方向的表面裂紋，這時，整個電磁場的行為就不一樣——電流會偏向裂紋的兩端集中並沿著裂紋的表面通過，因此，產生的磁場也就有所不同：

1. X 方向部分， $B_x$ ：在裂紋兩端的磁場最強，逐漸向中間轉為最弱，而其高低差異之大小則與裂紋的深度有關。
2. Z 方向部分， $B_z$ ：在裂紋兩端的上方產生最高與最低的磁場。

將量測到的磁場分量  $B_x$  與  $B_z$  之變化利用軟體進行分析，即可得知該表面裂紋之長度與深度。同時，為方便檢測數據之研判與現場檢測人員的判斷，將  $B_x$  作為 Y 軸， $B_z$  作為 X 軸，則在表面裂紋附近  $B_x$  與  $B_z$  變化情形會形成一封閉的軌跡，如同圖 ACFM-2 右側之圖形：

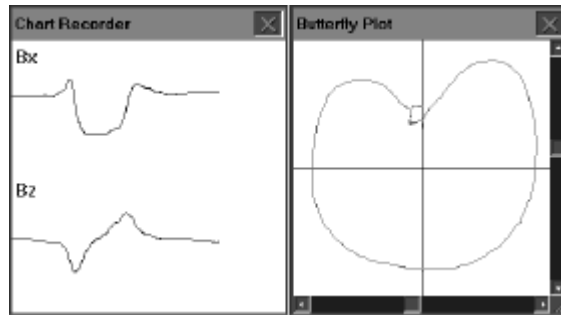


圖 ACFM-2 將表面裂縫處之  $B_x$  與  $B_z$  做圖，其軌跡形成一封閉的 Butterfly Plot

由於其形狀像蝴蝶，所以被稱為 Butterfly Plot。它是表面裂縫存在的最明顯特徵，只要檢測過程中出現這種 Butterfly Plot，就可確定偵測到表面裂縫。因為 Butterfly Plot 對材料之導磁性(permeability)、探頭與物件間之離距(lift off)之敏感度不高，所以大體上可適用於鐵磁性與非鐵磁性物件之檢測，表面若有塗裝或是有一般的浮銹，仍然可以實施檢測，同時，探頭移動速度的要求不高，檢測速度較傳統之 MT 與 PT 快，而且檢測能力亦高。除此之外，由於 ACFM 利用數學模型去分析檢測得到之數據，可省去類似 ET 檢測需做事前標準(或參考)規塊比對或校正之步驟，提高檢測作業之方便性。

對於製程設施之焊道與母材之檢測，ACFM 皆有合適的探頭可供選用，亦有用於檢測螺栓螺牙部位之探頭設計，稱得上是多樣性，可以解決不少檢測實務上的困難。因此，ACFM 應是值得利用的一項檢測技術。甚且 TSC 亦將往球形槽內壁裂縫之自動化檢測發展，企圖取代傳統需要噴砂除鏽或去除內壁塗裝方可進行之 MT。

若更精確些探討，在裂縫深度之評估上，裂縫垂直於物件表面時，所得到裂縫深度之數據是正確的。但若裂縫與物件表面並非垂直，則所謂裂縫深度，就與裂縫根部至物件表面之距離有所不同，這種情形，就不能盲目相信 ACFM 的結果，而需依賴檢測人員對缺陷之成因與特性的瞭解與認識。其實，所有之檢測技術與應用，對檢查人員而言，皆僅是輔助工具，檢查人員必須本著專業上的認知，去對檢測結果作綜合的判斷與判定，才能獲得正確與可信賴的結論。



## 5. 製程設施安全管理與檢查

製程設施的安全管理是多方面的，設施之生產使用會使設施劣化，需要檢查人員去檢查與瞭解設施之堪用情況。對於有問題的設施需要去維修，經過維修部門修復的設施需要檢查以確認維修的品質良好。檢查人員需要設施之操作與使用情形之訊息，以便掌握適當之檢查時機與檢查方法。檢查所發現設施異常的情形，必須讓操作人員瞭解，以便有所警覺與調整因應，避免問題重複發生。常見的情形是檢查人員發現異常，並無法明確瞭解其原因，可能操作部門亦有所存疑，此時，唯有賴彼此間之溝通與共同探討，找出最終的根由，方能對症下藥，形成雙贏，否則任何單方面的努力若無法解決問題，耗費過多資源在錯誤的方向上，沒有一方獲得利益，等於雙輸。操作部門對於發生的問題不瞭解原因，檢查部門不能找出問題點，皆非工廠之福。

國外煉油業為了追求更高的利潤，常常會尋找更便宜的原油，以降低成本。但低價的原油往往代表品質較差，對製程設施之操作與使用壽命皆有負面的影響，然而亦非全無獲益的機會，一味排斥低價原油恐非因應之道，所以 Shell Global Solutions 針對此問題尋求解決之道。它結合技術部門對製程的瞭解，探討低價原油組成對設施操作之影響與如何調整操作；利用材料與腐蝕人員的專業經驗，評估低價原油對製程設施所產生的腐蝕劣化的影響，以及需採取的因應對策，最後綜合評估因應所需之費用與購油所節省之成本兩相比較，有利潤存在，就依事前規劃好之因應對策去處理，從而獲得效益。此一技術服務，稱為 Crude Oil Risk Assessment Service，簡稱 CORAS。概念上如此，實務上尚須經過其專業人員現場實地收集資料與分析，經過一番核算，才能提出建議方案。

此項服務固然屬市場上之服務商品，其報導難免有廣告的成分(據稱國內已有業者對該商品有所探詢)。但須指出的是，原油來源的差異會對操作上有所影響，此點應已被普遍認知，然而對製程設施造成的影響究竟有多少認識？有認識者是否將此種訊息在腐蝕控制上有所因應？此種進料改變之訊息又有多少傳遞至檢查部門？檢查部門對此種資訊有無收集，如何因應？諸多疑問令人感覺是「頗有改進的空間」。

製程設施處於何種環境，會有哪些劣化的機制，其劣化速率如何，皆是檢查部門人員應掌握的資訊。製程設施之重要性如何，事故對製程人員環境的影響如何，則又是另一個需共同瞭解的問題。有限的檢查資源，如何做最有效的運用，對製程設施做最大效益的檢測與掌握，應是迫切的問題。這諸多的問題，綜合起來就是 API 所訂定的 Risk-Based Inspection 的課題。除此之外，檢查人員為做好 RBI 的作為，尚須致力接觸世界上檢測技術的應用與發展，瞭解這些檢查技術如何協助解決製程設施安全檢查的問題。國外相關資訊之發達與流通之快，縱然國內環境尚不易提供這些先進技術發揮之舞台，瞭解其優劣之勢，待必要時即可隨時引進上場。以今年管鞋問題的處理過程為例，如果初期能及時掌握正確可行之技術訊息，或許會有一番不同的發展吧。

## 6. 結論與建議

製程設施安全之管理，是提高工廠生產效率必要的前提，設施經常有狀況，讓相關人員疲於奔命，如何奢談利潤。其中安全檢查為安全管理極為重要的因素，它協助檢查出製程設施的問題所在，在設施發生事故之前提出預警，及早因應與改善。更進一步的作為應是界定出設施之風險所在，並予以有效掌握與監控，讓設施能在安全的狀況下努力生產。此即從風險角度出發之檢查作為—RBI 所追求的目標。此一作為在國際業界已如火如荼的展開，為面對已然來臨之挑戰與競爭，更不能絲毫懈怠。

先進國家之政策已能迎合此種趨勢，營造法令上有利的誘因，使得 RBI 發展極為迅速。國內法令規範尚未進步及此，使得誘因不足，一方面期待政府決策部門多方探究，尋找出政府與企業雙贏的正確方向；一方面企業本身更應加緊腳步，儘速實施，即便法令尚未容許，在界定出其製程設施之風險高低所在後，即可調整檢查資源之運用。依據統計，設施風險高低數量之比例仍然符合所謂 20-80 定律，亦即高風險之設施大約佔 20%，這些設施即占有全部製程風險的 80%。雖然仍須如期停工大修，已可集中目標於 20% 的高風險設施之檢修作業，當可相當程度縮短大修的時程，提高設備利用率、增加產量。

具體作法可以先期借用外部資源，對重點工場先行實施，在實施之同時，

務必努力建立自我之技術能力。因為 RBI 為一持續的檢查作為，不可能永遠倚賴外力。API 之 RBI 文件與軟體，為國際上通行的版本，應儘速引進，讓檢查人員及早熟悉，以加速外力協助進行 RBI 時自身技術能力之建立。甚且，該軟體目前仍在持續的改善之中，此時期取得，除能獲得最新之資訊，尚能瞭解其演進與發展過程，參與度與切身感兼具，對日後 RBI 之落實更有助益。

除 RBI 能協助製程設施之安全管理，相關部門人員日常之溝通與訊息交流亦為極重要之一環。各部門既然共同謀求設施之安全，彼此的訊息應充分交流，一方面建立起彼此之向心力，同時可隨時有效掌握設施運轉之狀況或遭遇之問題，以便加以有效解決，避免不必要之推測甚至錯誤的判斷。為加強相關部門人員之溝通與聯繫，應以同階層間的日常溝通最為有效，彼此較無隔閡，可做充分之交談，而且規模不求大，兩三人之間效果最好，太多人成為會議的形式，過於正式，無法切入問題核心。在許多人數過多的會議中，時常可見到大部分的人在旁聽，對問題之解決實質幫助不大。基層人員與業務上往來的其他部門人員最為密切，相關的問題亦最切身，他們可以解決的問題就讓他們去解決，事事請示主管，不僅浪費資源，且容易養成不負責任與不敢負責的心態，如何讓業務推動下去？主管庶務纏身，如何能做好管理？如何去思考方向？如何去求進步？雖然身處防弊重於興利的環境，仍然該誘導部屬正向思考，使其勇於任事，方能營造積極的風氣與愉悅的工作環境。雖然屬於理想，「相信部屬是優秀的，他們就會是優秀的；認為部屬是被動的，他們就真是被動的」，仍是自我惕勵的格言。

Shell Global Solutions 得以自 Shell 集團獨立出來，主要來自其優異之整合能力。S-RBI 結合製程技術、材料、腐蝕、檢查的專業技術，CORAS 結合製程、腐蝕、維修的專業領域，FAIR 結合製程技術、腐蝕、檢查、維修的專業經驗，在在顯示其立足點在於橫向的整合能力；即便是某些單一檢測技術與儀器的研發，何嘗不是源自於現場實務上之需求。由此又可印證橫向溝通的重要性。

面對問題的處理態度則是另一項深切的感受。如前所述，Guided Wave 技術起源於一個事故的發生，發生事故的部位就在例行檢測而且一直顯示狀況正常的部位附近，由於該問題獲得正面的處理態度，讓主辦部門積極正確的提出

技術支援的需求而且獲得支持，才有該技術的商業化。試想，如果當時的環境是急就章，一切要求迅速解決，極可能為了應付政策要求，反而耗費過多而且不當的資源與人力，末了，在一番疲憊不堪的任務結束之後，恐難有餘力去思考正確的解決之道。主辦部門之需求能獲得支持，主要來自專業上的被信任，獲得信任即可獲得授權，從而可主動積極任事。遇到事情，感受最切身的自當是主辦部門，他必然去克服困難、積極解決，可讓管理者專注於其他關連與更深層影響的課題。

對於檢查技術與儀器之蓬勃發展，檢查部門應有責任去收集相關資訊，設法保持與世界同步，許多煉油業者對於技術諮詢的需求極高，而且多不是免費的，可見技術資訊是有價的。各部門有限的人力可能無法取得所有資訊，付費固然是一種管道，參與國際會議亦不失為可行的方案。以 Shell 集團之作法為例，一位新近的相同領域的員工，可以在短短數年之內獲得相當於其他事業員工十年以上的經歷，相對的，出席國際會議與討論的機會，亦遠多於一般事業的員工。兩相比較，不難看出何種投資之效益較高？據了解，國內同業之理念上近似於國際上之作法，隱然已開始形成威脅。因應之道，不外加速尋求技術諮詢之管道，從而推廣新技術資訊之交流，以普遍開拓檢查部門之認知，與提升其業務之水準，增進製程設施更高之安全管理。

## 7. 附錄

附錄一：Shell Global Solutions International 之 S-RBI, FAIR, CORAS 之資料與其刊物 **Impact** 對 Pipe Support Tool 之報導

附錄二：RTD 公司簡介, Beetle, INCOTEST 與海底管檢測資料

附錄三：GUL 公司 Wavemaker 資料與 RTD 介紹 Guided Wave 技術之資料

附錄四：TSC 公司 ACFM 之資料