

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書

出國類別：(考察)

研習高階非破壞檢測技術應用

(

裝

釘

線

)

服務機關：中油公司煉製事業部高雄煉油廠工安組

出國人職稱：機械工程師

姓名：陳志平

出國地點：英國

出國期間：95/ 6/10~95/6/16

報告日期：95/8/22

一、目的

此次赴英國考察主要目的為：參訪與討論用於設備管線檢測之高階非破壞檢測技術及相關檢測儀器發展情形並吸取國外新發展檢測儀器及技術之應用情形，可做未來本廠檢查技術之規劃及引進參考。希望藉此提昇未來檢測技術之有效性及可靠性，確保工廠設備操作之完整性及可靠度。

二、過程

本次參訪的主要公司為英國 Phoenix Inspection Systems 公司如圖 1、2 所示，Phoenix 公司主要以非破壞測試解決技術聞名，並應用於航太、能源、方法、鐵道等工業。全球許多知名公司信賴 Phoenix 公司技術與專業並透過他們的協助來確保安全標準並增進檢測品質與效率。

Phoenix 公司主要產品與技術

- 手動與自動超音波掃瞄器
- 超音波標準與特殊探頭（transducers）
- 透平機（Turbine）檢測設備
- 多頻超音波儀器

- 洩漏與阻塞 (leakage and blockage) 偵測設備

- 技術支援、研發與定製產品

個人報告內容主要針對目前於國外較新發展的飛行時間繞射法 (TOFD) 及相位陣列式超音波檢測 (PAUT) 技術與應用做介紹。

(一) 飛行時間繞射法 (Time of Flight Diffraction Method, TOFD)

1. 原理: TOFD 之檢測是以斜束縱波雙探頭, 一發一收方式藉由瑕疵上下尖端產生繞射來擷取其繞射波傳送的時間差, 經由 TOFD 電腦軟體計算出瑕疵的尺寸。探頭角度範圍從 45° 至 70° , 而發射探頭在發射超音波訊號時會在物件表面產生表面波及物件底面會產生底面反射波, 若在發射探頭與接收探頭之音波涵蓋範圍內有長形缺陷則會在缺陷兩端產生繞射波, 如以 A-scan 信號顯示方式則會有上下尖端訊號產生, 如圖 3 所示。其最大優點適用於從外部精確檢測各種缺陷, 由於訊號均經電腦處理及儲存, 能方便未來準確的追蹤缺陷劣化的趨勢。由於從外部檢測, 也是替代檢查的有效利器之一。所需技術層次較高, 常用於容易產生應力裂紋之儲槽反應器、管線、塔槽等之檢測。

目前國外進行之超音波檢測模式乃利用快速篩選技術如
一般非破壞、導波、EMAT 等技術，當找到可能有缺陷或腐蝕
的地方，再以更精確的超音波探傷技術來進行真正缺陷的判
讀確定及精確量測。據瞭不僅英國甚至歐美各國繞射波飛行
時間法（TOFD）技術在精密量測中扮演相當重要角色，並已
成普遍技術，一般檢測公司、承包商均有此項服務。反觀本
廠尚屬啟蒙階段，對各種缺陷顯示及判斷仍未臻成熟；國內
部分以台電公司技術成熟度較高，其他民間檢測公司則仍未
見有此技術。
2. Phoenix 公司繞射波飛行時間法（TOFD）檢測儀器：
TD POCKET SCAN 是 Phoenix 公司最新發展的有關 TOFD 檢
測儀器如圖 4 所示，體積小可攜式、口袋型 TOFD 超音波檢測
儀器，多頻設計除 TOFD 外，Pulse Echo 及 corrosion mapping
亦可融入一體一起使用。TOFD 檢測角規及探頭如圖 5 所示，
輕巧之配備可提供 TOFD 快速手動掃瞄及結果記錄；探頭之
選擇有 2、2.5、3.5、5、10、15MHZ，探頭角度則有 45°、
60°、70°三種。適用於扁平鋼板、管線及彎曲表面之設備檢
測。TOFD 檢測使用軟體為『TOFD TOOLS』可將 TOFD 檢測資

料模式化並做轉換判斷處理，功能可謂相當強，如圖 6 所示。其他有 Pulse Echo/corrosion mapping 即時 A, B, C 與 D image 影像處理、轉換分析等功能；管線檢測時可同時結合 TOFD/ Pulse Echo/corrosion mapping 三種檢測，只要掃描一次即可獲得母材或焊道內部缺陷/底部缺陷/腐蝕情況分布之數據。圖 7、8、9 所示即為 TOFD/ Pulse Echo/corrosion mapping 三種檢測之結果。

3. Phoenix 公司 db-ut 檢測系統

db-ut 超音波檢測系統是將上述 TOFD/ Pulse Echo/corrosion mapping 三種檢測方法再加上適用於頂部表面檢測利器之 creeping wave 融入一體，此系統配合功能強大數據收集與離線分析軟體成為一完整輕巧、可攜式可將受檢物包含表面 (creeping wave)、內部 (TOFD)、底部 (Pulse Echo) 整體超音波檢測完整呈現，並且可在 window 98/ME/NT2000/XP 操作，外型有如筆記型電腦如圖 10 所示其操作檢測結果與數據處理如圖 11、12 所示。



圖 1：英國 Phoenix Inspection Systems 公司



圖 2：與 Phoenix Inspection Systems 公司 Paul Ryan
Jim Knowles 研討高階非破壞檢測技術

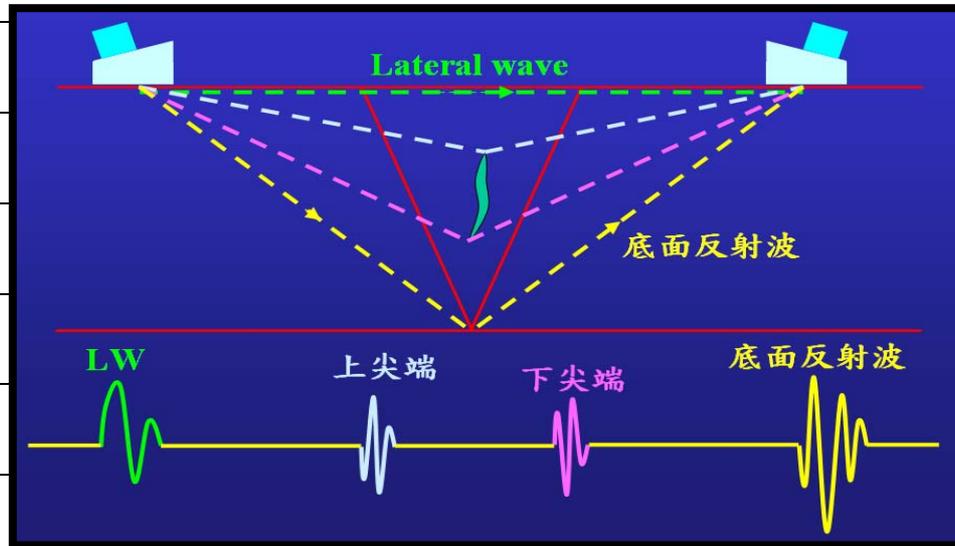


圖 3：A-scan 訊號顯示瑕疵上下尖端產生訊號



圖 4：TD POCKET SCAN 是 Phoenix 公司最新發展的 TOFD 檢測儀器

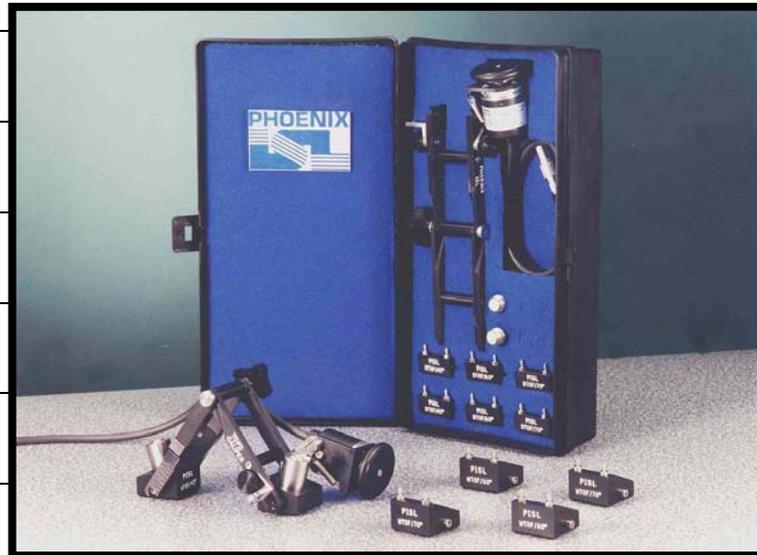
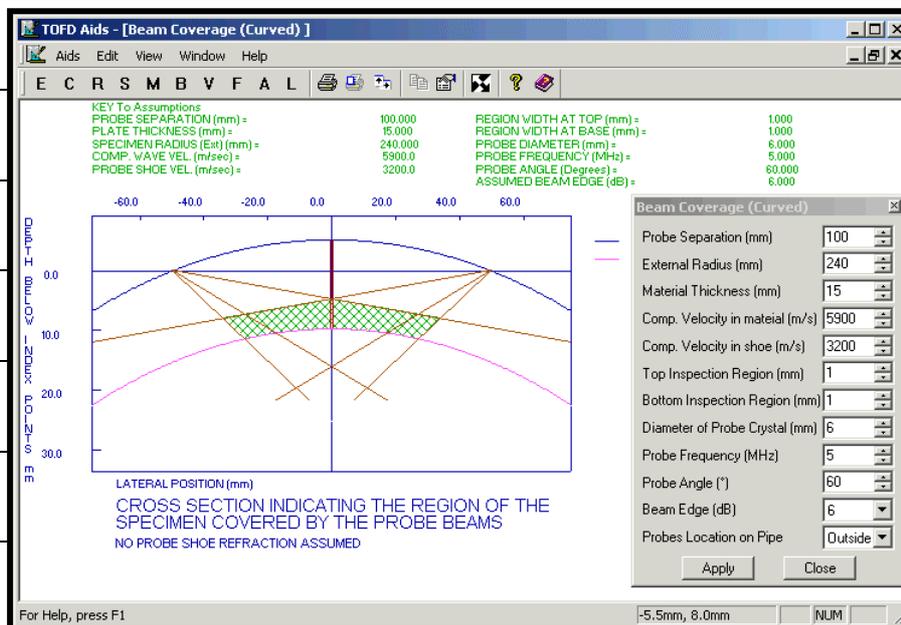


圖 5：TOFD 檢測角規及探頭，簡易輕巧之配備可提供
TOFD 快速手動掃瞄及檢測結果記錄。



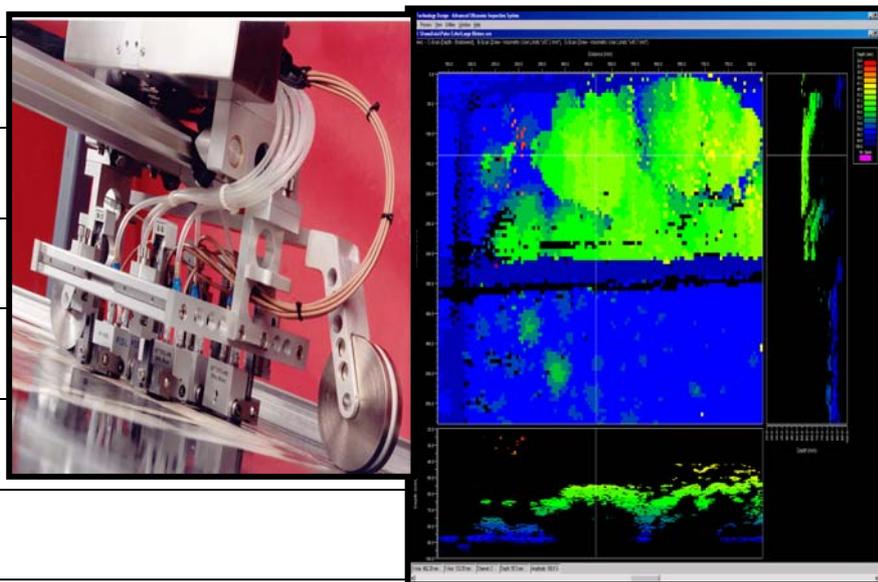
出國人員報告用紙

圖 6：可將 TOFD 檢測資料模式化並做轉換判斷處理

『TOFD TOOLS』軟體



圖 7：TOFD Inspection 與結果分析



出國人員報告用紙

圖 8：Pulse Echo 自動掃描檢測結果分析

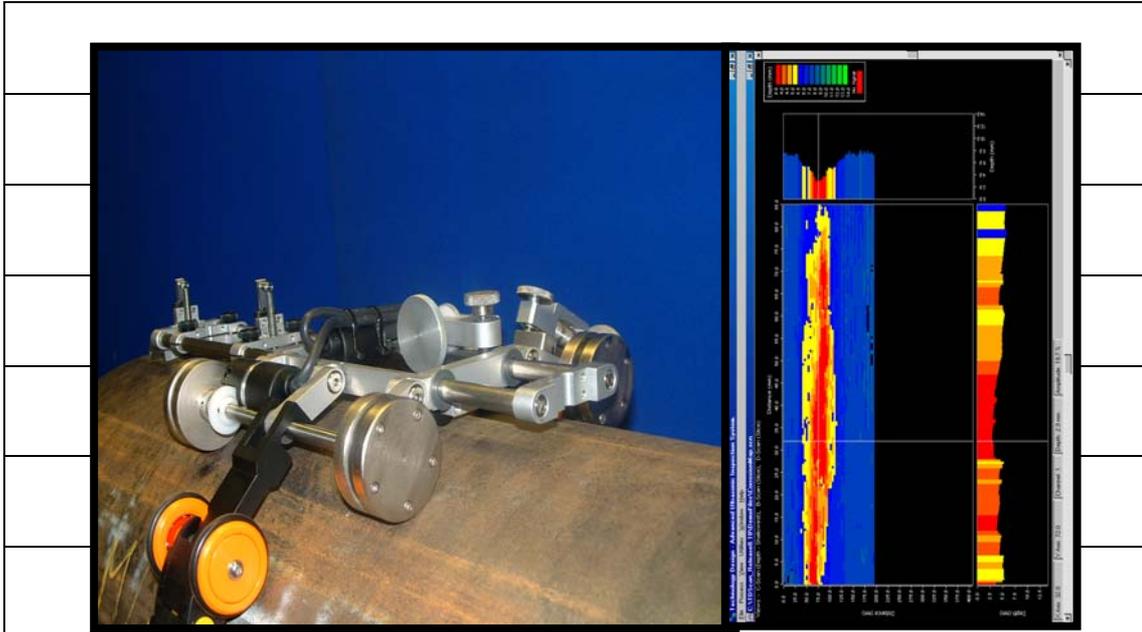


圖 9：corrosion mapping 自動掃描檢測結果腐蝕分析

出國人員報告用紙



圖 10：Phoenix 公司 db-ut 檢測系統

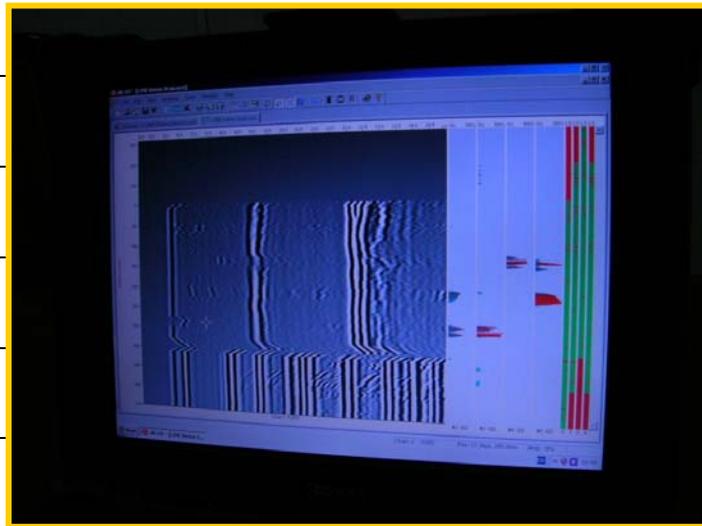


圖 11：受檢物包含表面、內部及底部可利用 creeping Wave
TOFD、Pulse Echo 超音波檢測並完整呈現。

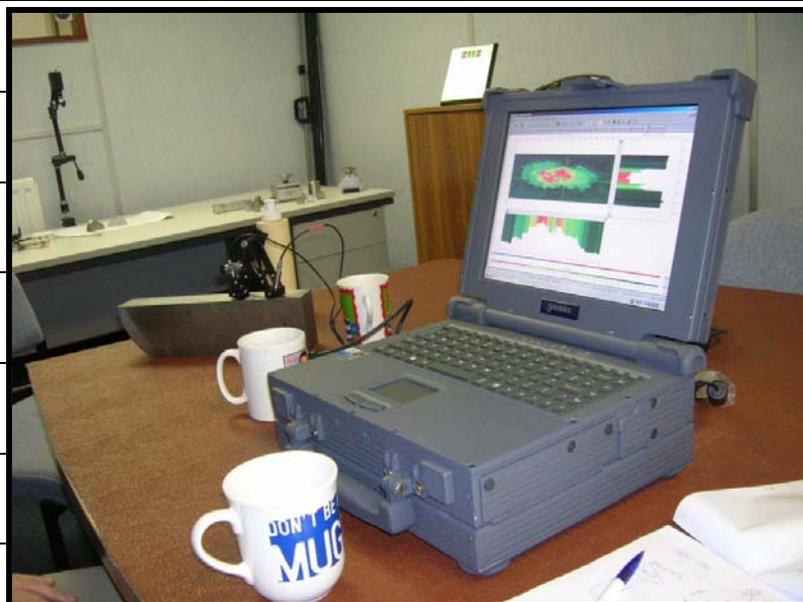


圖 12：db-ut 檢測系統銀幕所示則為 corrosion mapping
分析結果

(二) 相位陣列式超音波檢測(Phased Array Ultrasonic Testing, PAUT)

1. 原理：

相位陣列探頭由一系列的個別晶體所構成，每一晶體可各自產生時間平移且每一晶體皆有個別的連結線，利用時間平移使波產生干涉作用搭配楔形塊以達到不同角度的掃瞄範圍。

利用其強大的運算系統可將多數 A-scan 處理成 2-D 的扇型模式掃瞄 Sectorial-scan(S-scan)方便檢測人員判讀，如圖 13。

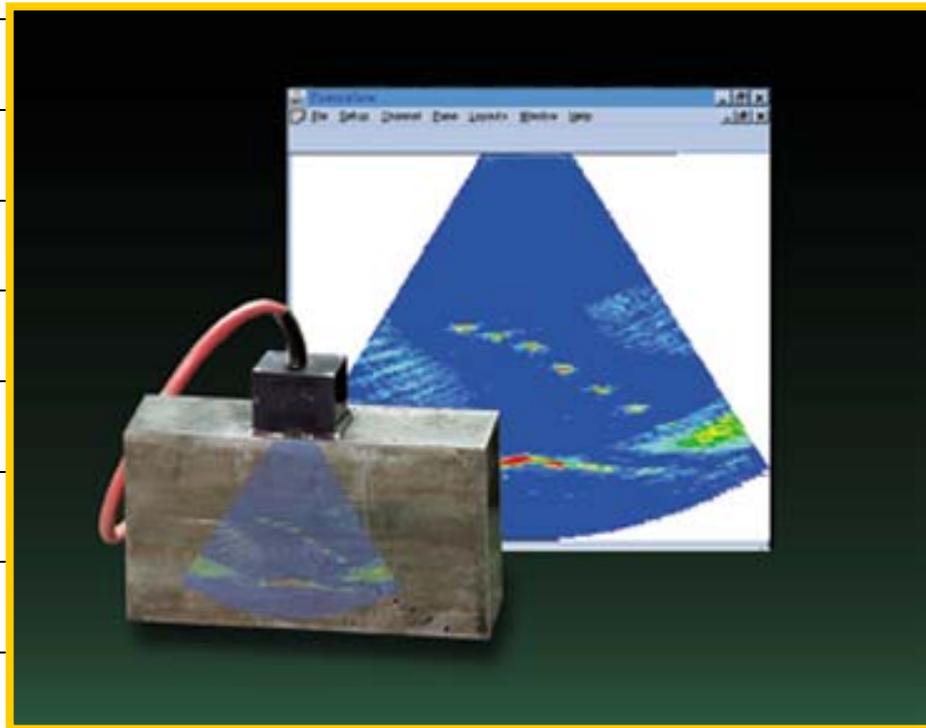


圖 13：Sectorial-scan 示意圖

2. Phoenix 公司相位陣列式超音波檢測儀器：

TD Focus Scan 相位陣列式超音波檢測儀是 Phoenix 公司最新產品（圖 14），新的軟體能幫使用者完全控制角度、焦距及入射點尺寸，因此多探頭的設計在 TD Focus Scan 相位陣列式超音波檢測儀是不需要的；此款相位陣列式超音波掃描技術優點是：

- 能提供高規格掃描而不會有移失部分。
- 由於波束角度為可變的，利用適當訊號對雜訊比更可確保檢測品質，不用擔心缺陷的幾何形狀與型態。
- 重量輕、體積只比筆記型電腦大一點可隨身攜帶。
- 多功能設計，除了相位陣列式超音波外，還可提供飛行時間繞射法(Time of Flight Diffraction Method, TOFD)、Pulse Echo、腐蝕監測 (corrosion monitoring) 等多重超音波功能使用。
- 使用全範圍 Phased Array 超音波探頭 (full range of transducers)
- 可作缺陷深度測量、分析，不同於一般傳統超音波 C 掃描結果只為 planar surface of defect。（圖 15）



圖 14：Phoenix 公司 TD Focus Scan 相位陣列式超音波檢測儀

出國人員報告用紙

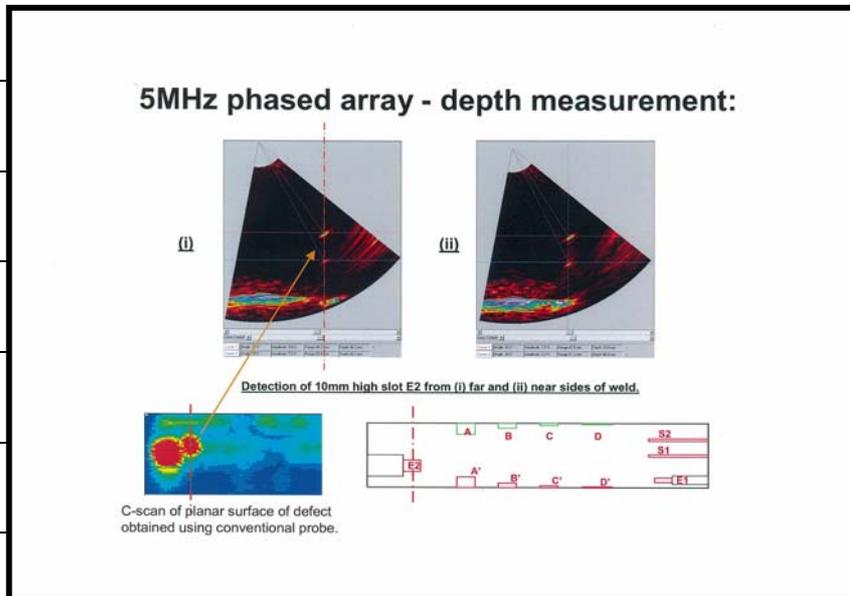


圖 15：相位陣列式超音波檢測儀作缺陷深度測量與分析

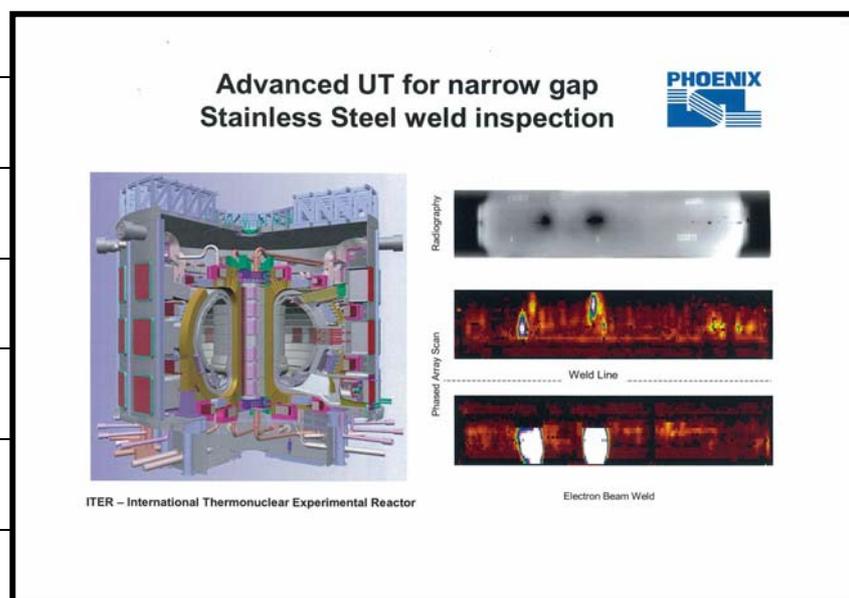
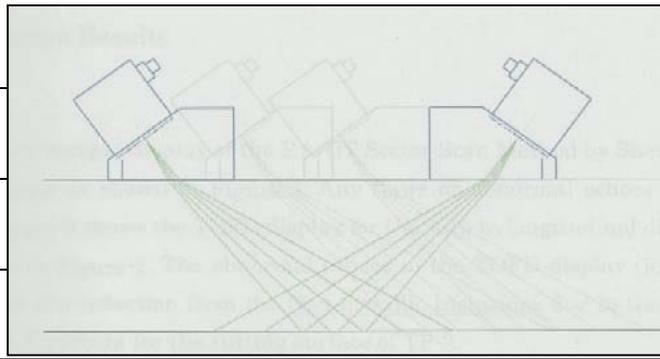


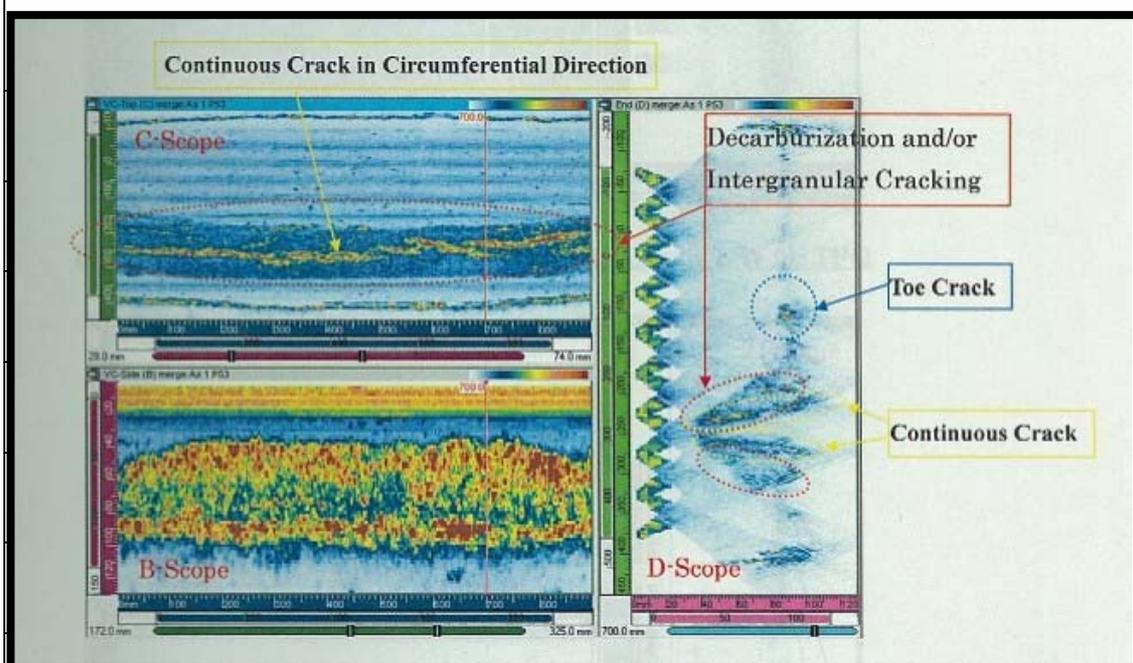
圖 16：利用相位陣列式超音波檢測儀作不銹鋼熱核實驗反應器狹窄焊道檢測，與 RT 射線檢測照片比對印證 Phased Array 掃描結果精準。

出國人員報告用紙

- 圖 16 則說明透過先進之相位陣列式超音波檢測儀掃描結果，免去傳統超音波許多訊號人為判斷的缺點，可直接得到如 RT 射線檢測照片般精準的顯示。
- 利用相位陣列式超音波檢測 shear wave 掃描可用來做高溫氫攻擊 (HTHA) 偵測，如 圖 17 說明碳鋼、鉻鉬鋼受到高溫氫攻擊時，典型的脫碳 (decarburization) 及微裂紋 (fissure) 可以 PAUT 技術偵測並呈現。



利用 shear wave 作 PAUT 扇型掃描示意圖



出國人員報告用紙

圖 17：上圖為 shear wave 掃描示意圖，下圖則為碳鉬鋼受到高溫氫攻擊時，相位陣列式超音波檢測 shear wave 掃描 PAUT 技術所偵測到氫攻擊典型的脫碳及晶粒微裂紋（decarburization、intergranular cracking /fissure）。

3. 檢測掃描器（scanners）應用：

在執行先進超音波掃瞄過程中，掃描器（scanners）扮演非常重要角色；Phoenix 公司除了投入探頭製造與先進超音波儀器研發，並在手動與自動掃描器（scanners）設計與製造花費許多精力，並以精密優良的功能獨步於全球。這些手動與自動掃描器（scanners）已廣泛應用在管線、壓力容器與 Turbine 轉子等設備檢測工作。

手動掃描器（scanners）應用在管線如圖 18，壓力容器手動掃描則如圖 7 所示；目前本廠已有此手動掃描器（scanners）設備應用在 TOFD 檢測工作。

出國人員報告用紙



圖 18：手動掃描器（scanners）

自動掃描器（scanners）應用則是目前整個先進超音波自動化發展的主軸，此點 Phoenix 公司設計與製造許多款可供手動與自動切換掃描之掃描器（scanners）並成功應用在檢測領域。

圖 19 是 Phoenix 公司 Beltscan 自動掃描器，利用強力磁鐵緊密貼合管線不需任何軌道即可作自動掃描，並可立刻調整掃描帶（Belt）；適用管外徑範圍 200~1000 mm，安裝容易現場並排管線管與管間距離只需 50 mm 空間即可安裝；也可轉換為手動掃描。材質方面肥粒鐵系及沃斯田鐵系、鐵磁性及非鐵磁性均適用；探頭方面最大可裝載 4 個，彈性配備各式探頭，可作 TOFD/Pulse Echo/corrosion 方面檢測。

出國人員報告用紙

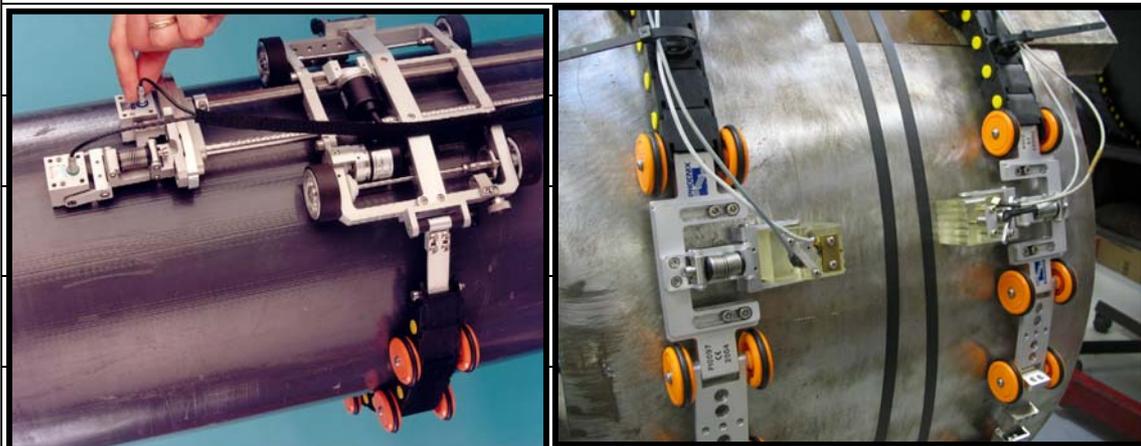
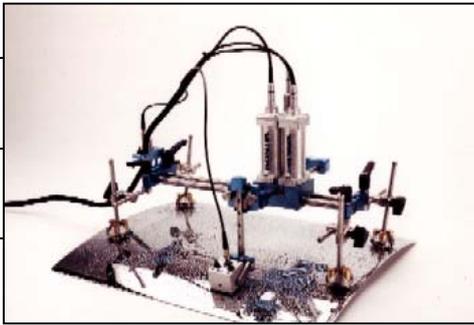


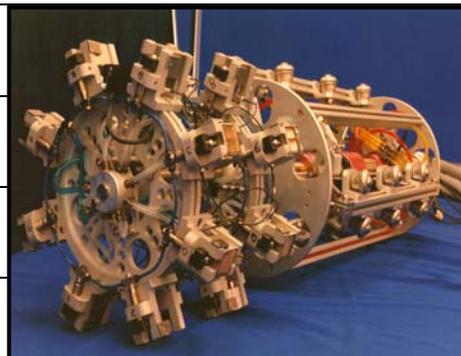
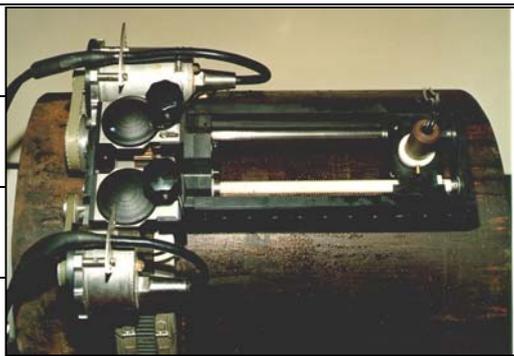
圖 19：Phoenix 公司設計生產 Beltscan 自動掃描器（左圖），右圖則為改良型，管外徑範圍為 200~1000 mm 均適用。

其他各式掃描器說明如圖 20 所示。



左圖 spider 掃描器為可調性 X-Y 掃描器適用於設備檢測。

右圖 sage 掃描器適用於管線、彎頭及 nozzle 焊道（外徑大於 100 mm）檢測。



左圖 seascan 掃描器為自動適用於水面下管線（10-56 吋）可作海底 corrosion mapping。

右圖 primo 掃描器適用於從管線內部檢測，搭配多探頭使用可作渦電流、目視、表面分布及超音波檢測。

圖 20：Phoenix 公司設計生產各式掃描器說明

Turbine 轉子等其他設備超音波檢測工作，利用 Trim 專門掃瞄器可作 disc、disc shoulder、disc flank with skew、disc neck、blade fixing flank 等零組件超音波檢測，如圖 21 所示。



圖 21：可作 Turbine 高階超音波檢測工作之 Trim 掃瞄器

圖 22 則為 TSIS Auto Rotor Bore System，應用 8 組超音波及渦電流結合可用來檢測 Rotor 及 LP Turbine shaft，避免軸承破損；歐洲德國 Siemens Power Generation 等多家電力公司 Radial Bore Inspection of an LP Turbine Rotor 如圖 23 採用 8 組高階超音波及渦電流探頭外加自動掃描器檢測 LP Turbine Rotor 之情形。



圖 22：左圖為 steam turbine 高階超音波檢測。

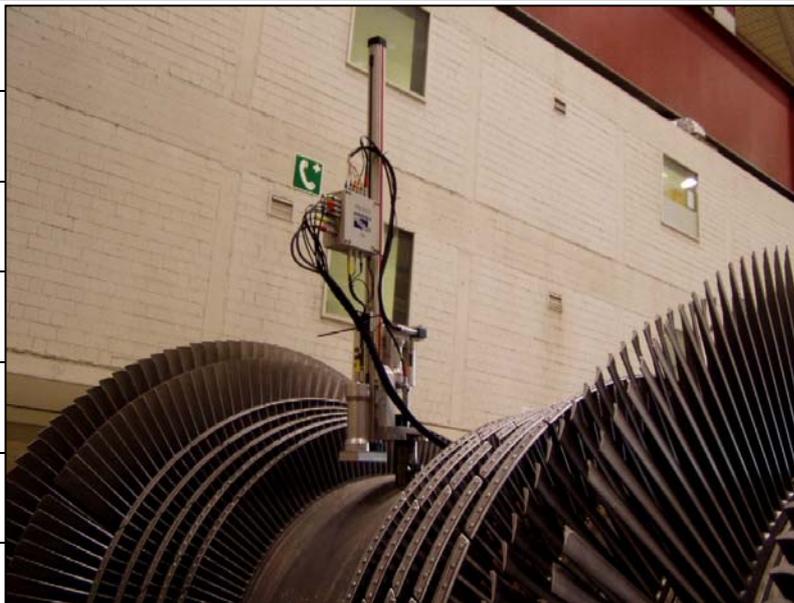


圖 23：為 Siemens Power Generation 公司對 LP Turbine 轉子作 Radial Bore Inspection。

三、心得

目前新穎非破壞檢測設備及技術發展非常快速，國外有許多先進之非破壞檢測設備、儀器、軟體技術陸續發展出來，與過去比較，其研發重點不外是要使檢測之靈敏度增大、增加準確度、輕巧易於攜帶、節省檢測時間檢測人工及花費、自動化掃描、增加檢測之可信度、克服以往人工檢測所遇到之瓶頸。

自動化檢測、線上檢測、大面積篩選技術及如何更準確檢測缺陷尺寸的非破壞檢測方法是其發展之主軸；TOFD、PAUT 高階超音波檢測與自動掃瞄器就是重點項目之一。

英、美等國之石化工業多引用多種先進之檢測技術來達到設備管線之操作安全性。除了先進之檢測技術皆聘請廠外之專業非破壞檢測公司進行檢測並作適用性評估（FFS），雖然價錢昂貴、但為了操作安全性仍願意花這個錢投資。反觀國內之非破壞檢測公司經過近 20 餘年之發展，仍停留在傳統非破壞檢驗階段，素質遠不如英、美等國；因此促使台塑與中油、中鋼、台電等國營事業仍需投入相當多人力與資金在高階及新開發檢測技術摸索探討與研究上；其目的就是為了確

保工廠設備操作之安全性及可靠度。

目前高雄廠也已購入 TOFD、PAUT 高階超音波檢測之儀器並已逐步展開檢測技術摸索、檢測資料、模式建構等工作，礙於人力關係，雖離技術成熟尚有段距離，但是經驗與能力建立後，相信應該會和渦電流檢測、紅外線熱影像檢測技術一樣，成功地應用在本廠設備與管線檢測。

檢測人力部份，台塑石化綜觀國外石化公司之檢測發展之趨勢與國內承商素質低無法執行高階檢測，4 年的時間其檢測人員就增加了 3 倍，且其檢測人員只專職非破壞檢測工作。

他們對其『保養中心檢測組』重視的程度值得我們學習。此

點與英國 Phoenix 公司 MR. Paul 點出他們公司檢測信念就是

高階檢測技術除了需要資金投入購買儀器設備外，也需要專職檢測人員全心參與、不停地研究利用建構經驗才會成功。

基於以上，個人認為雖然大環境在改變，也不利於本廠在高階檢測技術展與落實，但在國內承商無法達到英、美水準之前，我們仍得靠自己努力不能放棄，因為高階檢測技術之建構及風險評估技術（RBI）對本廠老舊設備及管線操作之安全性及可靠度提升意義重大。

四、建議

1. 引進 Beltscan 管線自動掃描設備並搭配多探頭設計（包含 TOFD、PAUT、Corrosion Mapping 等）落實於實際現場管線檢測上，可用來檢測腐蝕型態硫化氫應力腐蝕裂紋、氫引劣、薄化等管線母材及焊道（例如 LPG 管線等），有助於提升本公司工廠持續操作之安全性及可靠性，另外亦可作為延長開放或替代檢查之替代檢查方法之一種。

2. 有鑑於本廠氣體壓縮機動葉片與靜葉片等配件過去曾發生啟用後不久即斷裂事件，造成工廠鉅大生產損失；建議新製氣體壓縮機動葉片與靜葉片等配件除了傳統 MT/PT 表面或次表面檢測外，合約應要求承商加作 PAUT 高階超音波檢測，以確保新製品內部品質無嚴重瑕疵，提升壓縮機可靠度。

3. 由於高階檢測技術除了需要大量經費購買儀器及設備，更需要高級人力來研發及建構，要達成熟可供應用所需時間長。建議成立一專責單位整合高階檢測技術之人力及物力，可由煉研所主導，避免資源分散及重覆浪費；如此可建立高階先

進之檢測技術及專業人才供各工廠於大修或平時操作中應用，確保各工場之操作安全。

4.引進 Dual PAUT 扇型掃描與 Dual TOFD 多探頭設計以期實際應用在現場作為檢測反應器、高溫氫氣管線氫攻擊與石油焦工場 Coke Drum 群板填角焊道疲勞裂紋等之利器。

出國人員報告用紙