

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書
(出國類別：會議)

參加 NACE 2003 年會及參訪檢測公司

服務機關：中國石油公司煉製研究所

出國人職稱：工程師兼組長

姓名：何永盛

出國地點：美國

出國日期：92/3/15 90/3/21

報告日期：92/6/2

參加 NACE 2003 年會及參訪檢測公司

目 次

一、前言

二、行程和工作摘要

三、參加 NACE 2003 年會

四、參訪參訪檢測公司

五、心得和建議

六、參考資料

七、附件

附件一、 NACE 會議相關資料

附件二、 Spectrum 公司設備及資料

附件三、 中油公司煉研所適用性評估應用實例

一、前言

NACE [National Association of Corrosion Engineers]年會是世界上最大型的防蝕會議之一，每年 3、4 月間於美國各大都市舉行年會，全球各地防蝕方面的專家齊聚一堂討論各領域面臨的腐蝕問題及解決之道。本公司煉研所每年均會派員參加，除了蒐集會議相關防蝕發展資料外，也能和一些旅外華人專家討論。今年職和總公司總工程師室李政端先生一同前往美國聖地牙哥參加 2003 年年會。

雖然今年由於全球經濟不景氣及美伊戰爭的影響，參加人數及參展廠商均較往年減少甚多，然而 NACE 年會仍如往常般舉行，主題為機會的海洋 (Ocean of Opportunity)，內容包括技術委員會議、技術研討會、論文壁報、儀器展及腐蝕相關書籍展售等可說是內容相當豐富。NACE 創立於 1943 年，今年正值 60 週年慶，會中也一併頒獎給防蝕科技各領域有傑出貢獻人士。

參加 NACE 年會後，回程順道前往洛杉磯 Spectrum 檢測公司參訪，由於該公司在煉油廠歲修檢測方面之經驗相當豐富，除了參訪該公司外也請教本公司一些設備檢測之問題，這些國外煉油廠實務經驗將可提供本公司未來歲修檢測方面的參考。

二、行程和工作摘要

時 間	行程/工作摘要	地 點
3/15	啟程飛往美國聖地牙哥	台灣→ 洛杉磯→ 聖地牙哥
3/16-18	參加 NACE 防蝕會議	聖地牙哥
3/19-20	拜訪 Spectrum 檢測公司	洛杉磯
3/21	結束會議及參訪啟程回台灣	洛杉磯→ 台灣

三、參加 NACE 2003 年會

NACE 技術研討會共有 37 個專題，約 460 篇論文發表（詳如附件一），由於時間相互重疊的關係僅能挑選與業務相關的專題參加，包括冷卻水處理、煉油工業腐蝕及陰極防蝕等三個專題。同仁若對其他專題內容有興趣可參考技術論文光碟片 CD-ROM，此光碟於煉研所資料圖書館中館藏。以下摘錄冷卻水處理及煉製設備保溫層下腐蝕兩部份重點：

(一) 冷卻水處理

由於冷卻水處理廠商間惡性競標導致本公司各廠換熱器等設備破損及停爐造成公司嚴重損失，總公司遂要求煉研所開發冷卻水添加劑產品及處理技術並協助現場進行冷卻水處理。自 88 年 2 月起煉研所冷卻水團隊逐漸接手至 91 年 12 月已處理本公司的冷卻水塔已達 32 座[共 34 座]，總處理量達全公司冷卻水循環量 95% 以上，平均每年處理費用約新台幣 6 千萬元。經煉研所接手處理冷卻水塔後現場顯著的延長換熱器操作週期，減少非計劃性停爐，提昇煉製品質。

一般而言，冷卻水處理套裝技術包括：

1. 處理方案及產品供應：依現場需求進行藥劑配方之評估試驗，放大生產後於現場試用及推廣。
2. 自動添加監控設備及遠端監控系統：以自動添加控制系統有效控制藥劑添加狀況，降低人為疏忽機會，並藉由遠端監控系統克服空間距離，隨時掌握系統狀況。
3. 建立線上監測設備：以腐蝕監測系統、積污模擬器及微生物監測等系統，及早反應系統腐蝕、積污及微生物生長情況。
4. 技術服務：提供藥劑分析、超音波流量測定、洩漏分析及破損診

斷等技術服務協助現場解決問題。

冷卻水處理面臨的主要問題包括結垢、腐蝕及微生物控制三大問題。微生物控制是今年 NACE 年會水處理技術討論的主題，以下謹就冷卻水微生物控制方面論文做一摘述。

以煉研所添加劑小組的實際操作經驗顯示，微生物控制是否適當直接影響到系統處理良窳。因此，在這次年會中特別注意到殺菌劑的最新發展以提供冷卻水處理團隊未來操作的參考。由世界知名廠商 BioLab，GeBetz，Ondeo-Nalco 及 Dow Chemical 等的技術發展看來，值得我們注意的是 BCDMH(Bromo-chloro-dimethylhydantoin)系列氧化型殺菌劑的使用便利性及 DBDMH(1,3-Dibromo-dimethylhydantoin)的發展，以下簡要說明其效能。

(1) BCDMH(Bromo-chloro-dimethyl-hydantoin)系列

Dow Chemical 在 2002 年即曾提出 BCDMH 在冷卻水系統的微生物解決方案及處理經驗，配合現場使用的菌落數監控技術，HMT，由於其所顯示的趨勢非常準確，是一個有用的及時資訊，當年即獲得冷卻水處理廠商的關心及注意。然而 Dow Chemical 所提出的 BCDMH 產品只有藥片(tablets)，顆粒狀(granules)及粉末狀(powder)，使用上必須透過 brominator 設備將這些粉末顆粒溶解後

再使用，雖然藥劑性能備受肯定，但因必須掌握 brominator 設備上包括 feed rate , contact time 及水溫各種參數的調整才能將藥劑投加於系統而使其發揮功效，因而造成操作者使用上的諸多困擾，也因此對其推廣造成相當程度的限制。今年 BioLab 公司針對這些使用問題做了改善，將其改成可用 pump 泵送的型態，可很方便的直接應用在大型的工業用冷卻水塔上⁽¹⁾。

B.R. Sook 在論文中提到發展可用 pump 泵送的 gel 型態的 BCDMH，除了解決以往需使用 brominator 的困擾及限制外，新產品也具有下面幾個優點：

(i)較易溶解：

實驗室的溶解度測試數據顯示，可用 pump 泵送的 gel 型態 (BromiCideR gel)，溶解速率比傳統粉末狀的 BCDMH 快了約十倍，而由溶解到可量測到所有溶解的氧化鹵素時間更從 52 分鐘縮短到約 4 分鐘，可見新產品在操作簡易及方便性上確有明顯的改善

(ii)較易泵送：

實驗室顯示，gel 型態的產品，在 pump 不同 stroke 上的泵送速率(feed rate)幾乎可以保持恆定，現場實際的使用經驗，feed rate 在不同 stroke 上的泵送 variation 也只在 5.2 到 6.1%，證明該產品使用在現場泵送的可行性。

(iii)效能相同:

實驗顯示,BCDMH 原有的微生物控制性能不會因產品型態由 powder 改成 gel 而有所改變,這個結果雖是一般常識所可預知與理解的,但作者仍以實驗佐證並在論文中特別予以強調,以排除使用者的疑慮。

(iv)儲存穩定性高:

眾所皆知,殺菌劑使用除其性能表現外,也需注意其產品穩定性,如果產品放置不久即變質,即使性能優異,也很難符合現場操作的需求;作者為確認產品穩定性能,乃將產品密封再於 0、3、6、9、12、18 個月不同儲存時間後取樣做其濃度測試,結果顯示,產品於六個月儲存時間的相對 loss 百分比只有 4.5%,更長時間後也不再變化,證明產品穩定度可以達到現場儲存及作業需求。

(2) DBDMH(1,3-dibromo-dimethyl-hydantoin)產品發展

相對於 BCDMH 在產品型態上的改變以符合現場泵送的需求外,今年在冷卻水微生物控制技術上,也有另一支與其結構相似但更有競爭力的新產品被提出⁽²⁾,特性如下所述:

(i)化學本質上的考量

DBDMH 分子結構上含有兩個-Br, 因此其在轉化成 HOBr 時比 Br₂ 本身還多,這個結果使其在性能表現上更具優勢。若與同時含

Br 與 Cl 的 BCDMH 比較，在維持相同的系統殘餘量(same level of free residual)前提下，DBDMH 也比 BCDMH 更易達成目標且添加量更少，因此 DBDMH 是一性能優異又具市場競爭力的 bromine-release 產品。

(ii)性能測試

論文中特別以水塔中常見的 slime-forming organism, *Pseudomonas aeruginosa* 所成的 biofilm 處理能力做性能測試，處理藥劑包括 DBDMH、BCDMH、Trichlor 及漂白水。實驗結果顯示，DBDMH 藥劑可以最低 free residual 達到應有效果，即使與 SBC(stabilized bromine chloride)及傳統的 NaOCl+NaBr 在 Pittsburgh Model Water System(PMWS)對 Planktonic 及 Biofilm 的比較上，DBDMH 也有良好的性能表現。

(iii)處理性質

雖然 DBDMH 比 Trichlor(trichlorocyanuric acid)、BCDMH 及 BCMEH(bromochloromethylethylhydantoin)的對水溶解度稍低，但因其飽和溶液的 pH 約在 6.6，則比其他藥劑的低 pH 更方便處理及操作，又因 Halogen 蒸汽在低 pH 下更易產生，這種特性也使得 DBDMH 比起其他藥劑對人體更具安全性，這是 DBDMH 另外一個吸引人之處。

(iv)腐蝕特性

為確認藥劑對系統設備的影響，論文中使用碳鋼及銅材料的 LPR probe 做相關的腐蝕測試。結果顯示，藥劑對銅的均勻腐蝕及碳鋼的點蝕影響較大，銅材的均勻腐蝕隨藥劑添加而增加，只要停止加藥，腐蝕傾向隨即降低，碳鋼的腐蝕變化則與此相反，這種趨勢變化，作者的解釋是因碳鋼起始的腐蝕乃因微生物腐蝕所起，藥劑添加阻止微生物活動而使腐蝕率降低。至於 DBDMH 及 BCDMH 的腐蝕特性比較，數據顯示 DBDMH 具有較低的腐蝕傾向，這也使得 DBDMH 比 BCDMH 更具使用潛力；作者更在論文中引述 BCDMH 及 DBDMH 在不同現場的實際測試比較，結果也顯示 DBDMH 比 BCDMH 更有效果，特別值得注意的是，藥劑性能表現並不包括細菌數的改變，這個結果反應出平常監控的 bacteria count 數據，所能表現的意義是有限的。

以上有關冷卻水微生物控制的新產品可供煉研所冷卻水添加劑團隊參考使用。

(二) 煉製設備保溫層下腐蝕(CUI, Corrosion Under Insulation)

煉製設備保溫層下腐蝕，共 7 篇論文發表，主要探討形成機制和新的檢查方法以及改善策略。由於本公司最近也發生，因此對 ExxonMobil 公司發表之論文⁽³⁾非常值得參考。一般設備為了降低能

耗、防火、保冷和保護人員避免燙傷，常會在設備和管線外部包覆保溫材、混凝土或噴漿處理。在 1970 年以後陸續發現在保溫層下有腐蝕現象，1980 年以後更多，即所謂保溫層下腐蝕(CUI Corrosion Under Insulation)，主要因素為(A)為降低更多能耗，因此很多較低溫的設備亦作保溫材包覆、(B)新的有機發泡材質保溫材大量使用、(C)新製程操作在更低溫度和循環溫度和(D)不鏽鋼大量使用。在防火材混凝土方面主要問題來自(A)不適當的混凝土混合、(B)鋼材未做塗漆處理、(C)錯誤的塗漆處理、(D)不當設計和(E)頂部未做塗漆、密封和防水處理。

保溫層下腐蝕(CUI)主要機制為溫度介於-4 ~120 之間，當水氣滲入到保溫材和設備間隙時，不易揮發乾燥，保持濕熱狀態，再加上溶氧或氯離子的作用下，導致碳鋼設備形成氧化鐵銹而減薄，最後耐壓不足而洩漏，亦可能導致承受不住自重而挫曲或風力以及地震力作用而傾倒，公司四輕塔槽問題即為 CUI 問題。但對不鏽鋼而言則為則為龜裂和孔蝕問題，主要機制為氯離子應力腐蝕。根據資料顯示因 CUI 洩漏 80% 主要為管線，壽命分成兩群組一為 16~20 年，此一群組主要來自 NPS 4"以下，因壁厚較薄，另一為 26 年以上，此一群組主要來自 NPS 6"以下，因壁厚較厚。在損失方面統計顯示(A)60~80%管線維護費用用於 CUI、(B)NDE 和檢查費用接近重新塗漆費用和(C)修補 CUI 的費用占維修總預算 10%。

目前工業界 CUI 管理計劃大致包括(A)藉由保溫材的設計和安裝來排除水分進入、(B)應用有機塗層、(C)定期重新噴砂、塗漆和保溫和(D)NDE 檢測。

目前防蝕對策主要方向包括：

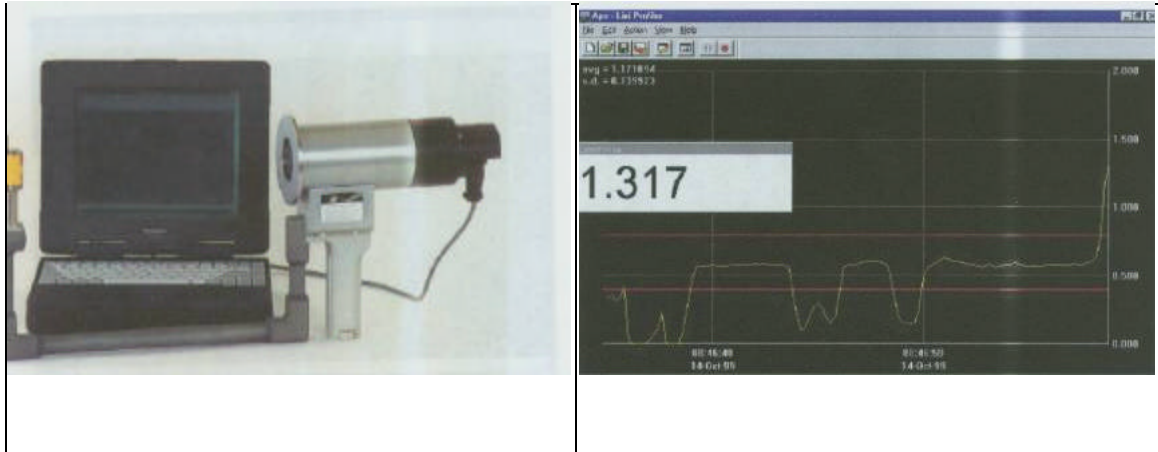
(i)、表面塗覆：塗層方面主要常用為 (A)熱噴塗鋁，此方法在 1970 年代由美國海軍發展應用在 CUI，累積的經驗後來變成 DOD-STD 2138，剛開始使用時初期費用較高，但壽命比有機塗層高，後來隨著設備改善例如沉積效率高和儀器可移動性高，大幅降低施工費用，尤其在石化業市場漸漸增大；(B)有機塗層在 CUI 的預防上至今仍是重要方法，過去缺點為塗層脆裂老化和具可滲透性，然而目前多家廠商已開發新配方，大幅增進滲透阻力，使得塗層在 CUI 的防蝕上仍保有市場性。

(ii)、小管徑管線改用不鏽鋼：3 NPS 以下管徑銲道多且較薄，塗漆效果不佳，常需費較多心思去維護和檢查，一般可改用不鏽鋼材質外加鋁皮包覆，可達到防蝕效果，其起始用費比碳鋼外加塗層貴 15~25%，但以使用壽命來看，是比後者便宜。不鏽鋼管線外加鋁箔包覆，如前所述，主要機制為氯離子應力龜裂腐蝕和孔蝕問題，外加鋁箔包覆可扮演陽極角色，保護設備避免上述問題，設備安裝容易，且價格便宜，歐洲使用較普遍。

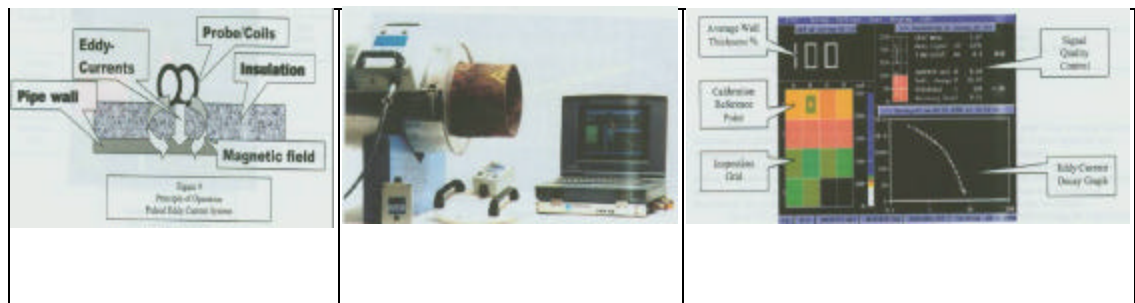
(iii)、外加保護籠罩：對於一些因擔心人員燙傷而進行的保溫層施工方式，可將保溫層拆除改用外加保護籠罩，但設備仍需塗漆，這比起保溫層費用低約 5~15%，且將來維護費用低廉。

檢查技術方面發展重點為不拆保溫的情況下可檢查保溫層下之腐蝕⁽⁴⁾，主要技術包括：(1)掃描即時 RT[Real-time radiograph]：原理和傳統 RT 相同，用同位素 Gd-153 射源，穿透管壁另一端用 CCD

接收輻射強度，厚度愈厚，輻射強度衰減愈嚴重，將訊號變化量數位化，檢測時沿著管子長度或圓周方向掃描，可得管子厚度的趨勢，可清楚局部腐蝕的區域。儀器和典型訊號如下圖所示。



(2) PEC[Pulsed eddy current]：主要利用渦電流在材質中擴散會逐漸衰減最後達底部消失的特性，來測量壁厚值，其作法為發射一脈衝渦電流，再以接收線圈接收其衰減時間，此法可不用拆除保溫層直接量測壁厚變化趨勢。原理、儀器和數據示意圖如下圖所示。



四、參訪參訪檢測公司

此行除了參加 NACE 年會外，回程也順道參訪檢測公司。

此次參訪位於洛杉磯的 Spectrum Inspection Engineering Inc. 公司。

該公司主要業務包括檢測技術服務及檢測設備開發及銷售（詳如附

件二) 檢測技術服務包括適用性評估(Fitness-For-Service, FFS) 以及 Local thin area、Blister and lamination、Pitting、General corrosion、Fire damage 及 Failure analysis 等評估及歲修檢測(Turn/around inspection)。檢測設備銷售方面主要是開發超音波 TOFT(Time of flight diffraction) 檢測設備,暖機時間短(約 10 分鐘) 及一次檢測可同時獲得有關 A,B,C, scan 及 Corrosion mapping 資訊及數位影像是此套設備的特色,據悉這套設備是世界上第一套具有此方面功能的設備。對於壓力容器、銲道及硫化氫應力腐蝕(如氫氣導致裂紋, HIC(Hydrogen induced cracking)均甚有助益。目前為單槽(Single channel)作業,據悉目前該公司正開發多槽作業及自動化作業設備中,未來本公司採購類似設備時可參考引進以提昇檢測速度及品質。

適用性評估及現場快速有效的檢測是公司維修及停爐檢查時非常重要的工具。煉研所技術服務組設備安全及效能提昇團隊蘇俊吉經理及陳孟宏先生等對使用適用性評估技術於壓力容器、地下儲槽、塔槽、管線等均有已有相當的經驗。Spectrum 公司認為中油公司對使用較久的設備及材料進行適用性評估是相當重要的,對本公司已建立適用性評估技術及使用到現場相當訝異,使用上若有任何問題該公司均樂於提供建議及協助。

煉製設備失效所導致洩漏事件，常使工廠蒙受人員傷亡、環境衝擊、減產、檢修成本提高和經營環境惡化等巨額損失。在油品自由化後，各工場為強化競爭力，降低檢修成本、延長工場操作週期和縮短大修時程是必然的趨勢，如何兼顧安全和獲利率是工場常面臨的現實問題。80%設備故障風險損失主要來自於 20%的設備，因此設備風險檢修管理系統的建立已是目前國際各大煉油廠相當重視的議題。

設備風險檢修管理的理論基礎和架構的發展，以及現場導入流程和經驗，主要包括腐蝕環路規劃、可靠度手冊建制、風險檢查基準評估(RBI)和設備預知檢修電腦管理系統的開發等四部份，依據失效機率和失效嚴重性所導出的設備風險等級和劣化模組，進而擬定工場大修檢修規劃和預防措施，同時以適用性評估(FFS)技術作為設備缺陷檢修決策最適化工具，最後並對所遭遇的問題和未來改善方向加以討論；將 RBI、FFS 和線上監控等先進技術導入石油煉製工業之檢修管理中，從原來以設備使用時間基準(Time-Based)和劣化狀況基準(Condition-Based)的檢修管理做法轉變為以風險為基準(Risk-Based)。未來工作將持續和現場合作累積更多實務經驗和應用成效，以爭取工場延長開放年限，進而降低檢修成本，如此才有助於提高煉製和石化工場在全球的競爭力。

適用性評估為對 RBI 高風險設備執行檢查所發現的設備缺陷，其結構完整性進行量化工程評估，以決定設備後續處理措施(汰換、鐸補、限制操作條件或繼續使用)，以維護工場操作安全，以往

的做法是一旦發現缺陷時,以操作或維修中心考量,直接採取研磨、鐸補或汰換措施,但實務上常必須增加大修時程或維修成本來進行,況且國外經驗也發現有些設備鐸補不易,勉強鐸補反而折損設備壽命,API 在 2000 年公佈 API 579⁽⁵⁾,提供業者適用性評估依據準則,共分 9 大損傷模組的分析評估方法,接受標準分 Level 1、Level 2 和 Level 3 三級,Level 1 最為保守,但分析方法簡單,Level 3 分析需應用到有限元素分析法,所需參數和資料愈多,需專業人員才能執行,尤其需具備應力和破壞力學知識,煉研所技術服務組亦積極開發和建立各項劣化設備評估程序並以予軟體化,目前已建立均勻薄化、局部薄化、孔蝕、變形和火災材質劣化模組的適用性評估技術,可符合 API 579 Level 3 之要求並予以電腦化,目前已有壓力容器、地上式儲槽、管線和 LPG 球型槽等實務評估經驗。

除了進行適用性評估外,在修補區域附近放置應變規(Strain gauge)來追蹤使用情況也可取得很重要的資訊。這些資料可以經由現場資訊系統及網路在煉研所電腦直接顯示。附件三便是煉研所近年來在 LPG、四輕、及現場運用的案例⁽⁶⁾。

五、心得和建議

1. 感謝公司派職前往美國聖地牙哥參加 2003 年 NACE 年會及參訪檢測公司,了解國外發展趨勢及取得會議技術資料,對執

行業務及未來工作規劃有相當助益。

2. 適用性評估技術對公司未來現場操作甚為重要。林園廠保溫層內部腐蝕導致材料減薄引起之適用性問題便是一例。對設備老舊的工廠更是重要，可經由技術評估確保工廠操作安全，減少工安問題。和國外具實務經驗的檢測公司建立聯繫管道對公司新技術引進及設備的維修資訊的取得是相當重要的。

3.現階段本公司在加熱爐、IR 熱像技術、RBI(風險基準檢測，Risk-based inspection)、設備適用性評估 (FFS) 及長途輸油管線監控方面均建立自有技術且現場實務經驗日趨成熟。快速有效的檢測技術以及自動化、多功能檢測設備是未來檢測技術發展的方向，本所將協同現場建立以提昇歲修停爐檢修品質。

六、參考資料

1. B.R. Sook, T.F. Ling, A.D. Harrison ? A New Thixotropic Form of Bromo-chloro-dimethylhydantoin: A Case Study ?, paper No. 03715, Corrosion 2003.
2. Christopher J. Nalepa ? New Bromine-releasing Granules for Microbiological Control of Cooling Water ?, paper No.03716, Corrosion 2003.
3. B.J. Fitzgerald, P. Lazar, R. M. Kay and S. Winnik, ?Strategies to Prevent Corrosion under Insulation in Petrochemical Industry

Piping ?, Paper No. 03029,Corrosion 2003.

4. R. W. Pechacek ?Advanced NDE Methods of Inspecting Insulated Vessels and Piping for ID Corrosion Under Insulation (CUI) ?, Paper No. 03031,Corrosion 2003.
5. API 579 Recommended Practice on Fitness for Service, API, 2000.
6. 陳孟宏、蘇俊吉?適用性評估[FFS]案例?, 中油公司煉製研究所技術服務組.

七、附件

附件一、 NACE 會議相關資料

附件二、 Spectrum 公司設備及資料

附件三、 中油公司煉研所適用性評估現場應用實例