

電力研究簡訊

Power Research Newsletter

104年第3季 (104.07 No.97)

台電綜合研究所 **TPRI**

地址：(10091)台北市羅斯福路4段198號 電話：(02)2360-1084 傳真：(02)2364-9611

目錄

研究計畫成果

- 一、台電分散式知識管理系統之建置與應用.....1
- 二、IEC-61850變電所架構及示範建置.....2
- 三、低壓路燈開關故障原因分析與改善研究.....3
- 四、FGD性能提昇改善研究.....4
- 五、M501F導火筒內外氣封之再生研究.....7
- 六、固態氧化物燃料電池多層電池堆研製及其測試系統建置.....8

台灣電力公司
 使命：滿足用戶多元化的電力需求、促進國家競爭力的提升、維護股東及員工的合理權益。
 願景：成為具有卓越聲望的世界級電力事業集團。
 經營理念：誠信、關懷、創新、服務。

研究計畫成果

一、台電分散式知識管理系統之建置與應用

(電力經濟研究室：余長河、林鍾洋、碩網公司)

由於不同部門之間對知識的需求並不相同，且為了管理上的便利，知識管理必定走向分散式的架構，且為了滿足知識的分享，分散式的知識管理系統必須要有整合與分享的機制，根據本公司經營會議指示：本公司各單位對知識的需求並不相同且為便於管理與推廣，知識管理未來將走向分散式的架構，故建置分散式知識管理系統，以活絡知識社群及衡量績效。

建置分散式知識管理系統首先須輔導成立專門議題討論社群，由各單位自行掌控與推廣專門議題討論社群之各項工作，並強化專門議題討論社群之各項功能，再以行動化與雲端化為應用目標，讓同仁在任何時間與地點都可以參加專門議題討論社群之各項活動，以充分發揮分散式知識管理系統的最大優點。另外，加強與推廣專家諮詢與診斷系統也是目前知識管理的重點工作之一，將構建綜研所、修護處及各單位等專家諮詢與診斷系統，以提供諮詢與輔導服務，加強推廣專家諮詢機制，構建完整知識管理系統平台及其相關誘因機制。最後再整合集中式與分散式知識管理系統入口，且整合入口須具備商業智慧以衡量全公司知識管理績效指標。

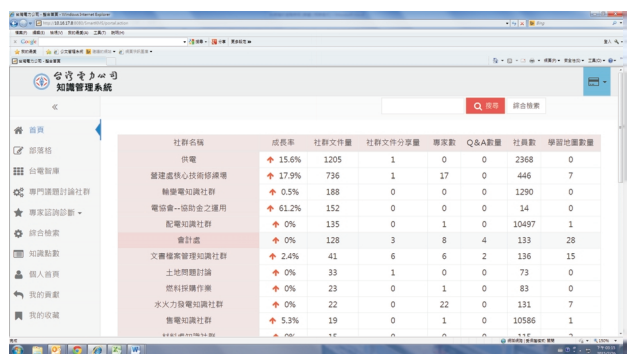


圖 1 台電分散式知識管理系統



圖 2 營建處核心技術修練場知識社群

二、IEC 61850 變電所架構及示範建置

(電力研究室：柯喬元、廖政立、蒲冠志)

(一) 緣起：

對電力公司而言，單一的國際通用標準就可以滿足所有的設計需求，IEC 61850 不但可自由的進行 IED 各種功能的配置，也讓不同廠商的設備提供了互操作 (Interoperability) 的可能性。IEC 61850 含蓋了電網自動化的各個層面。它與傳統變電所主要的通訊協定不同點在於能提供一般物件導向變電站事件 (GOOSE, Generic Object Oriented Substation Event) 功能與取樣值 (Sampled Values) 通訊機制，使設備更加智慧化。

IEC 61850 主要特點是：支援各製造商 IED 的互操作性 (Interoperability) 成爲一套整合式系統、IED 間的高速數據傳輸具點對點通信、先進的物件導向模型，模型包含整個資料規格、適當的匯流排拓撲可提高可靠性。

(二) 邏輯節點：

IEC 61850 將變電所的實體設備虛擬化成爲不同的邏輯節點 (Logic Node)，邏輯節點內可再細分爲不同的狀態、屬性，這部份在 IEC 61850-7-4 標準 (兼容邏輯節點和數據類) 中有詳細說明，內容包含了邏輯節點的定義、資料物件及邏輯定址。各項邏輯設備與變電所間的基本通信結構則定義在 IEC 61850-7-2 標準中，該標準提到抽象通信服務介面的描述、抽象通信服務的規範、服務資料庫的模型...等。站控層 (Station Level) 和間隔層 (Bay Level) 之間通信網路的映射則在 IEC 61850-8-1 進行說明。

每一邏輯節點可根據需求選用不同的 Data Object，每個 Data Object 可選擇名稱、位置、資料性質與數值等資料 (Data) 與屬性 (Attribute) 之描述。邏輯節點之集合爲邏輯設備 (Logic Device, LD)，可作爲邏輯節點功能分類之用，意指一個邏輯設備包含數個邏輯節點。在此標準的最上層資訊模型爲邏輯設備的集合，即智慧型電子裝置 (IED)，一台 IED 可以同時包含數個邏輯設備，以此階層式物件導向的資料結構，供規劃人員更方便管理與擴充。

(三) IEC 61850 變電站架構：

變電站自動化的所有功能可以劃分爲三個層次：處理層、間隔層、站控層 (process, bay, and station level)。處理層位於最下層，開關設備置於其中，而感應器和執行器，則作爲監視和操作開關所需的裝置。處理層所包含設備有斷路器 IED，電流、電壓互感器等。

間隔層則位於中間層，是保護配電控制設備的地方，這些設備一般都以硬線連接到間隔層。傳輸的數據基本上由二進制和模擬輸入/輸出資訊組

成，諸如電壓和電流互感器的輸出和來自保護電驛的跳脫控制。站控層位於最上層，系統的電腦、人機界面 (HMI) 和閘道器 (Gateway) 皆集中在此，以連接到網路控制中心。處理層的 IED 基於區域網路 (LAN) 技術，連接到處理層匯流排。未來的願景是將所有處理層的設備連接到處理層匯流排，如此一來，就沒有硬接線的需求了。

站控層和間隔層之間使用乙太網路技術進行各種資料傳遞，每個間隔裡包含數個保護或控制 IED，站匯流排 (Station Bus) 資料傳輸主要使用 IEC 61850-8-1 標準，架構如圖 1 所示。

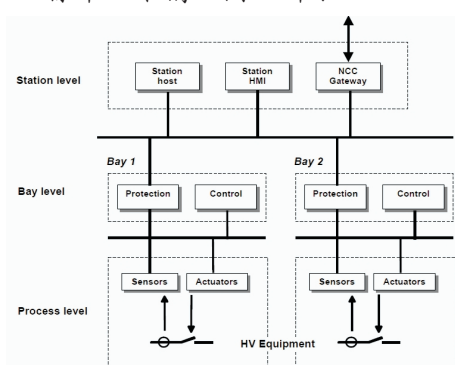


圖 1 IEC 61850 變電站自動化架構

(四) 拓撲結構：

IEC 61850 系列標準不需特定類型的解決方案，乙太網路提供了匯流排靈活的基礎，考慮備援、性能，不同解決方案對干擾和網路安全的影響有所不同。

拓撲結構有不同的利弊，有些拓撲結構的性能更好，有些則注重備援機制。考慮可用性、可靠性的情況下，一般會採用環狀的匯流排拓撲結構。但是在某些情況下，星型也是可以接受的方案。它取決於變電站是否需要堅固且可靠的拓撲結構。將變電站進行分類，並提出在間隔層合適的架構，就有可能找到的每個變電站的最佳解決方案類型。

環形拓撲結構有一個環路末端交換機、一個額外交換機連接到該變電站設備，可以透過串接的交換機來實現高可靠性。而在小型和較不重要的地方，備援是非必要的，使用多個乙太網路交換機成本太高，此時星形拓撲結構是合理的選擇。

(五) 示範建置-新社先導型 IEC 61850 變電所：

大部分國內外應用初期導入以部分功能實作 IEC 61850 系統爲主，通訊主要以 IEC 61850-8-1 具高速點對點對等 GOOSE 訊息通信交換及客戶端-伺服器 (Client-Server) MMS 通信。以實體銅線連接 CT/PT 到 IED 類比輸入端、CB 輔助接點到 IED 光隔離輸入端、IED 二進制輸出到控制點 (如斷路器

跳脫線圈或變壓器電壓切換器接點開關)。變電所內設備間之通信以 Ethernet 網絡架構進行訊息交換。

全功能實作 IEC 61850 系統，以國內外應用現況來講目前還不算很普遍，新社先導型系統含完整的 IEC 61850 變電所保護及自動化通訊系統。使用 Station BUS (IEC 61850-8-1) 及 Process Bus (IEC61850-8-1 和-9-2)。實體銅線只用於-直流或交流電源、CT/PT 二次側到合併單元 (MU)、以及斷路器的輔助觸點和跳脫線圈到斷路器 IED。

新社先導型 IEC 61850 計畫中有多顆 IED 用來作保護、GOOSE 信號的傳遞測試。為避免影響原系統之引起誤跳脫，電流訊號皆從 CT2 引接，主要驗證 IEC 61850 特性、保護邏輯，不執行實際跳脫功能，但回授跳脫訊號。

目前新社變電所 CB 1510 作輸電線保護 (過

流、測距)、CB 1750 作變壓器保護、CB 310 作饋線保護。處理層匯流排有引接 6 組 Merge Unit (4 組 SAM600 CT、2 組 SAM600 VT)，彼此以串聯方式連接，MU 可透過光纖傳遞 IEC 61850-9-2 LE 格式的電壓、電流訊號至保護電驛。

本示範建置共有 4 台 IED，分別為 ABB 的 RET 670、RED 670、REF 615、ALSTOM 的 P546，各作不同保護使用。REF 615 則接收 CB1750 的開關狀態，以 Latch Relay(類似 CB 測試)作 CB 的控制驗證。ALSTOM 的 P546 負責測試 CB 310 的保護功能。上述 IED 皆可接收 1PPS 信號作時間同步，並可接收傳統 CT、VT 或 MU 所送出 IEC 61850-9-2 LE 的 CT、VT 信號。本系統 SCADA 主監控畫面如圖 2 所示。未來將增設另一回路 IED 並擴充其他功能。

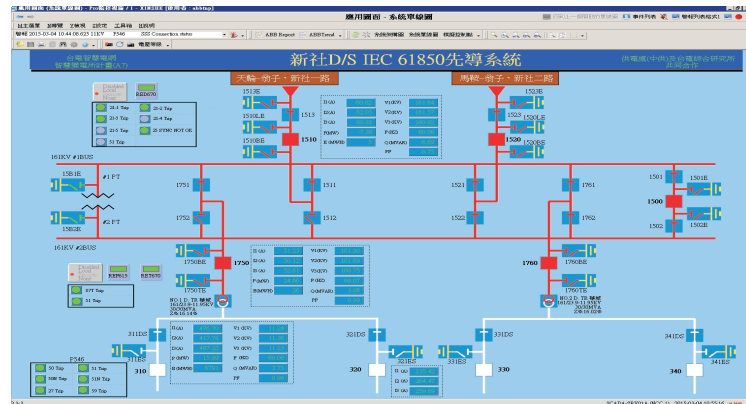


圖 2 新社先導型 IEC 61850 變電所 SCADA/HMI 畫

三、低壓路燈開關故障原因分析與改善研究

(負載管理研究室：張文曜、蘇嬛嬛)

(一) 研究背景與目的：

隨著經濟快速發展，城市現代化建設步伐加快，人們對城市道路照明及亮化工程需求提昇，對於路燈穩定性、運轉品質要求也更為嚴格。民國 60 年台灣工業發展初期，路燈控制開關從油浸式交流接觸器開始，歷經了彈簧機械式開關、水銀式開關以及 SCR 控制開關後，於 2000 年時採用真空式接觸器作為控制開關直至今日。

本研究目的在於台電開始採用真空接觸式路燈開關以來，故障狀況層出不窮，尤其多以接觸器不正常工作為大宗，台電公司也為此勞心勞力，除要多次到現場進行路燈開關更換，還得不斷接受民眾來電抱怨。因此，若要解決真空接觸式開關故障率居高不下之問題，須加以進行研究，尋找出詳細故障原因，並提出解決方案。

(二) 研究方法與內容：

首先了解路燈系統現行控制方式、路燈開關材規、電路設計與一些相關之背景資料。接著蒐集近年來各區營業處發生路燈開關損壞案例資料，分析

其損壞原因及蒐集國外(如歐、美、日)至少三國之路燈管理相關資料。完成資料蒐集與分析後，開始檢討現行路燈開關電路設計及零件規格與分析各類型路燈燈具(如水銀燈、鹵素燈、螢光燈、鈉燈、複金屬燈及 LED 燈)之啓閉特性對路燈開關之影響，並對路燈開關進行負載分析，探討傳統路燈與 LED 路燈的差異性以及提出一套路燈開關管理與維護方法。此外，本研究利用設備實驗來分析電力品質、溫度、濕度對路燈開關之影響，並提出改善措施。預計由案例資料內選定特殊區域 5 處(含)以上，進行現場監測，每一量測點皆監測 7 天(含)以上。最後，對於現行之低壓路燈開關材規亦提出修改建議。

(三) 成果及應用：

本研究釐清了低壓路燈真空接觸式開關故障率居高不下之問題所在，藉由蒐集、分析國內外損害案例資料與路燈管理資料，找出詳細故障原因，提出解決方案。除了資料整理之外，亦檢討現行路燈開關電路設計及零件規格，分析路燈的啓閉特性、

電力品質、溫度、濕度之影響，並進行負載分析，提出負載管理方法。

除了理論探討，本研究規劃一套管理路燈或其開關設備的自動化工具。此監控系統設計透過 GPRS 無線通訊作為傳輸媒介；考慮資訊存取便利性，後端採用 Web based 網路式伺服架構，輔以 SQL

為核心資料庫技術開發的人機操作界面，可滿足遠端同時多位客戶端存取路燈即時狀態數據和查詢歷史資料的需求。

實作的部分，由案例資料中選定 5 個區域，進行現場監測，每一量測點監測 7 天（含）以上。最後對於現行之低壓路燈開關材規提出修正建議。

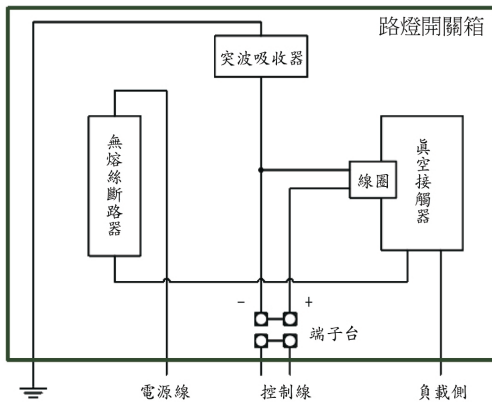


圖 1 現行真空接觸式路燈開關之接線示意圖

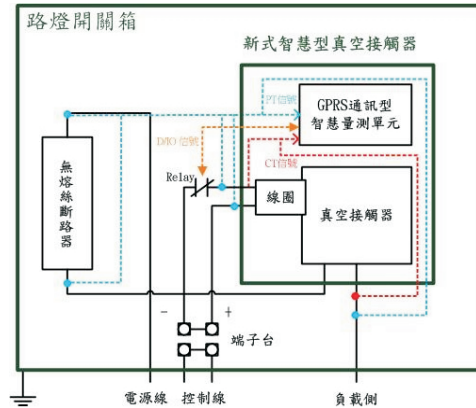


圖 2 新式智慧型路燈開關



圖 3 路燈開關遙測系統首頁畫面

(一) 研究背景：

濕式石灰石煙氣脫硫（簡稱 FGD）為目前本公司採行之商業脫硫技術，系統由石灰石漿液、吸收塔及各級旋風分離器、石膏工廠等單元所構成，依煙氣流向，上游為除灰之靜電集塵器，其後承接煙氣換熱器（GGH）、經由煙囪排放，而流程尾水餵入廢水處理系統，亦為主要來源，由於處理大量酸性氣體，系統運作性能不佳時，由於煙氣中硫氧化物

（SO_x）脫逸、廢水處理系統不堪負荷等，致超出煙氣、放流水等排放標準而須降載或甚至停機，須改燃高價低硫煤，另因流程各組件容易遭受強酸腐蝕、石膏結垢等而需更換、清理等問題亦時有所聞而不容忽視。

依據流程原理，系統運轉性能指標應包含 SO₂ 脫除效率、吸收劑使用率、結垢潛勢等，個別主要影響因子及可調控特性等如表 1，除煤質硫份、負

載、進口煙氣等難以調控外，溶液化學、機械結構等可有限調控，而石灰石特性、漿液 pH 或漿液密度、供氧或氣/液比等因子則屬可直接調控特性，欲提昇性能可優先由此著手，此外也可考量施用節能增效助劑之可行性，此類助劑宣稱其反應機理主要

包含(1)降低石灰石漿液表面張力，促進石灰石溶解及石膏生成(2)可穩定或促進二氧化硫溶解反應，使 SO_2 易於轉換成亞硫酸鹽，從而繼續溶解反應(3)緩衝吸收塔漿液 pH 值，增加漿液吸收 SO_2 的能力。

表 1 石灰石-石膏煙氣脫硫系統之運轉性能指標及主要因子

指標		SO ₂ 脫除效率	吸收劑使用率	結垢潛勢
主要因子	化學	漿液 pH(D) 漿液中過量石灰石(D) 溶液化學(L) 進口 SO ₂ 負荷(N)	漿液 pH(D) 溶液化學(L) 固相滯留時間(D) 表面積(研磨尺寸)(L)	氧化(L 或 D) 石灰石使用率(D) 漿液密度(D) 反應槽體積(L)
	機械	氣/液比(D) 吸收塔質傳特性(L) 氣/液分佈(L)	石灰石反應性(L)	除霧器設計及噴水(L)

註：D 為可直接調控、L 為有限調控、N 為無法調控

(二) 研究內容：

以 pH 自動恆定控制 (pH-Stat) 模式，探討石灰石粒度、助劑之溶解特性及漿液穩定性，另建構煙氣吸收模擬設施，如圖 1，探討漿液 pH 設定、氧化環境、助劑等對於系統運作之影響。

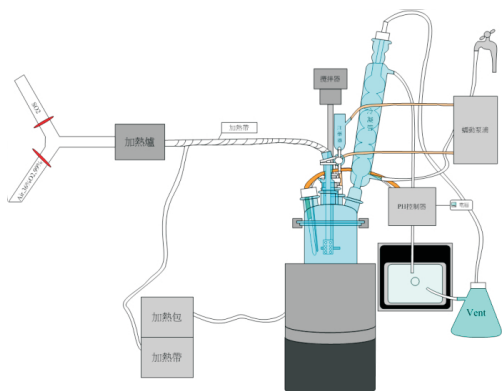


圖 1 煙氣吸收模擬設施

(三) 研究結果：

1. 石灰石粉特性

FGD 運作所需石灰石粉粒度要求為 90% 以上需低於 44um，圖 2 為吸收塔漿液設定 pH 5.5 運轉時，某電廠磨粉機正常與異常磨粉 (平均粒徑 76um) 狀態之溶解比較，異常時 80% 溶解之時間將延遲 2 倍以上，且漿液 pH 擾動較大，而圖 3 顯示正常磨粉再添少量 (2.5mM) 助劑時可進一步加速溶解約 2.5 倍，圖 4 及圖 5 分別說明粒度與漿液中石灰石含量對於漿液 pH 調控穩定性之影響，異常磨粉及漿液中石灰石粉含量不足 (與 pH 設定有關) 時，有可能因溶解不及而須緊急加鹼操作，此與實際運轉經驗相符。

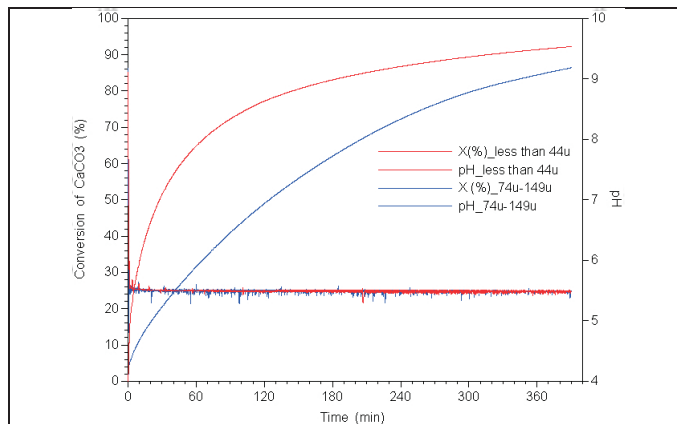


圖 2 不同石灰石粉粒徑之溶解速率比較

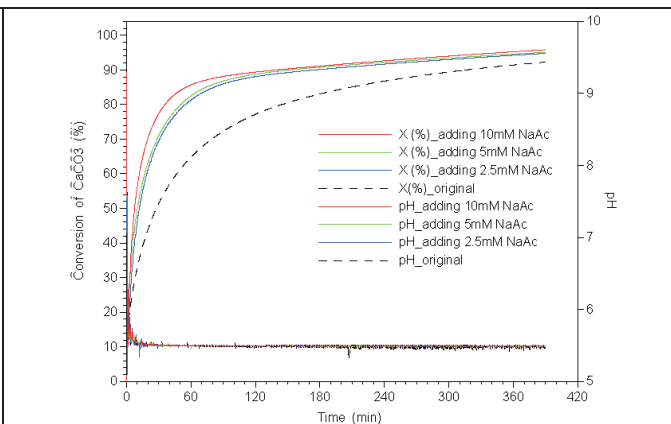


圖 3 模擬現場磨粉添加助劑之溶解

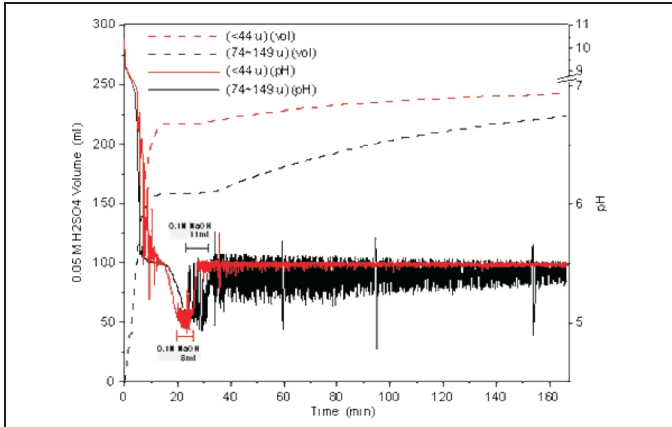


圖 4 石灰石粉粒徑對於漿液之穩定性

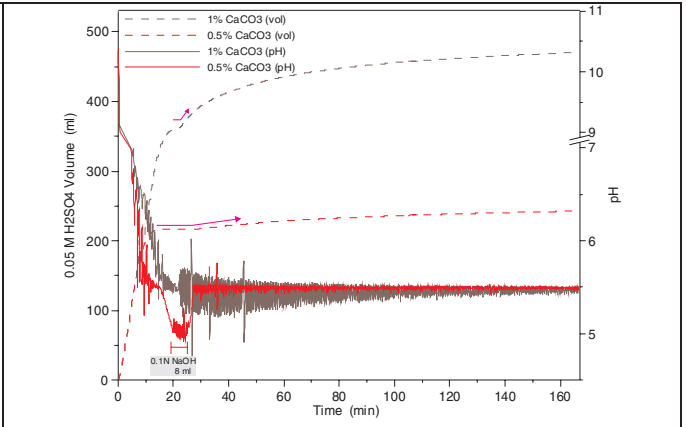


圖 5 石灰石粉濃度對於漿液之穩定性

2. 漿液 pH 設定及氧化環境

依據眾多文獻報導，考量石灰石粉溶解及煙氣中 SO₂ 吸收，FGD 吸收塔漿液應調控於 pH 5.2-5.8，本公司目前採行 pH 4.8 或 pH 5.2 運轉，於 3 種供氧環境下分別進行 pH 4.5、4.75、5.0、5.25、5.5 漿液之模擬試驗，結果如圖 6-圖 9，圖 6(A)、圖 6(B)、圖 6(C)等說明 pH 5.25 時若供氧不足時，漿液 pH 有無法調控現象，pH 5.5 時尤為明顯，原因與石灰

石粉溶解不及，與中間產物亞硫酸鈣障蔽石灰石顆粒表面及 HSO₃-氧化釋放 H⁺等效應有關，不過如圖 7，pH 提升運作確定益於煙氣吸收，另比較圖 8、圖 9，產製石膏速率主要與供氧是否充足有關，若供氧不足時可藉由添加少量助劑而提高，其原因應與加速石灰石粉溶解及促進漿液吸收煙氣中 SO₂ 之穩定性有關。

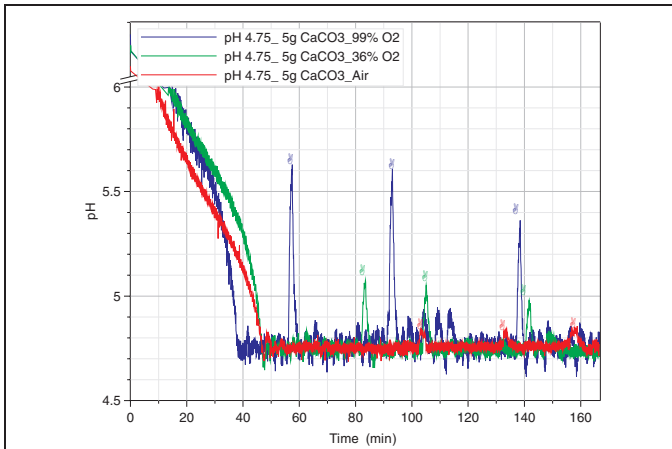


圖 6(A) 不同氧氣環境下漿液於 pH 4.75 之運作

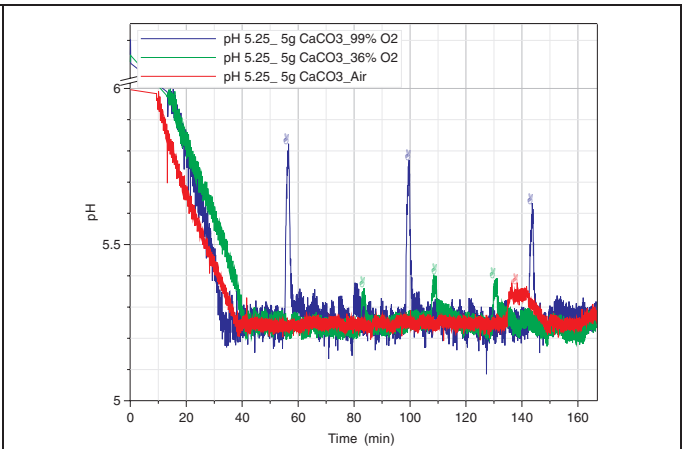


圖 6(B) 不同氧氣環境下漿液於 pH 5.25 之運作

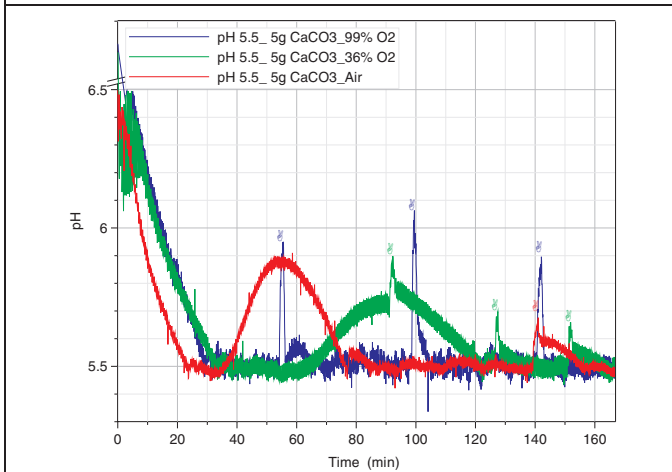


圖 6(C) 不同氧氣環境下漿液於 pH 5.5 之運作

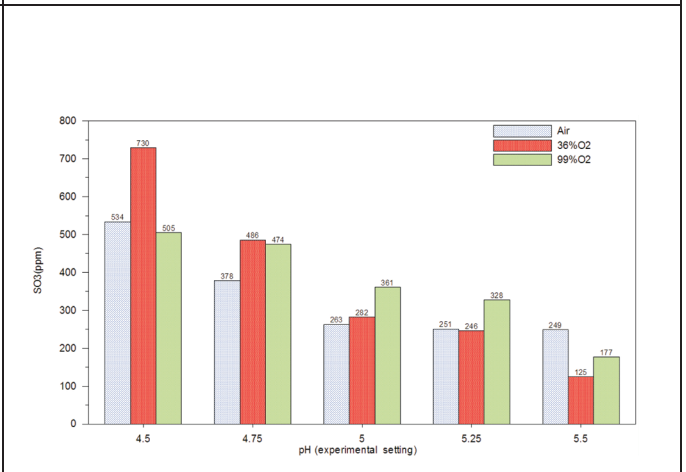


圖 7 不同氧環境及漿液 pH 下之逸氣 SO₂ 濃度

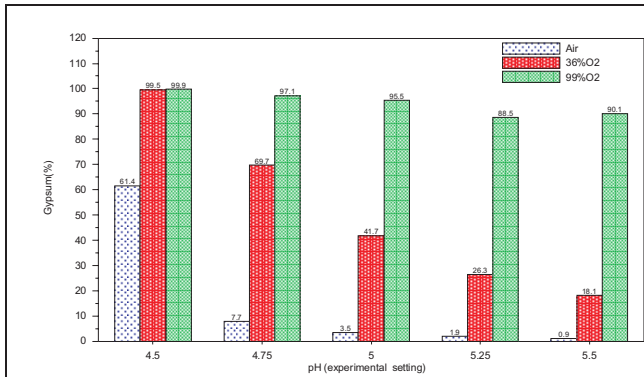


圖 8 無助劑不同氧環境及漿液 pH 下之石膏純度

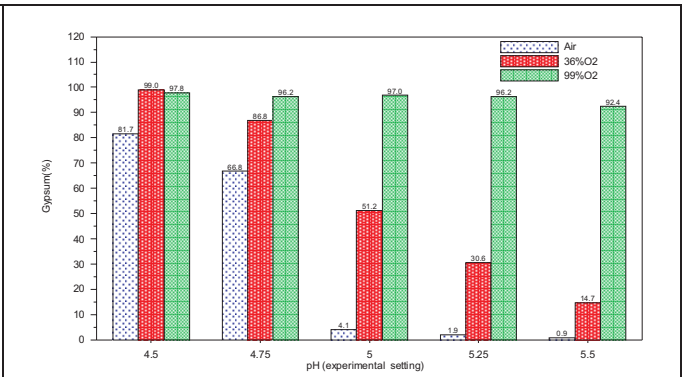


圖 9 加助劑不同氧環境及漿液 pH 下之石膏純度

(四) 研究結論：

1. 研究實驗結果顯示石灰石粉粒徑、漿液 pH 設定、供氧環境等直接或有限度控制參數，均為攸關 FGD 系統整體運作效率之主要因素。
2. 本公司 FGD 吸收塔之漿液 pH 調控設定有略微偏低現象，發電單位已參照本研究結果，準備逐步

提昇並進行試驗，以節省燃用高價低硫煤之營運成本，及因應日益加嚴之環保排放標準。

研究結果顯示添加助劑具有進一步提昇 FGD 系統運作性能之可行性，對於施用種類、作業參數、經濟性等，建議仍須再進行充份探討。

五、M501F 導火筒內外氣封之再生研究

(能源研究室：吳憲政、王敬堯、鐘震洲；大潭電廠：陳貞鳴、詹文榮)

本公司現有 M501F 氣渦輪機機組導火筒內、外氣封依原廠定義屬消耗性備品，經使用 8000EOH 即產生與導火筒及靜葉接觸區之高溫磨耗；本體冷卻孔區產生高溫氧化及熱疲勞龜裂（圖 1），影響機組運轉之安全性，而須將龜裂內、外氣封更換為新品。上述內、外氣封，每組原廠報價為台幣 30 萬元，每部機組需內氣封 16 個，外氣封 16 個，每部機需花費 480 萬台幣，目前三菱機組共有 7 部機，若全部更換需花費 3360 萬元。

應用葉片再生產線之相關設備及再生技術進行內外氣封之再生，使內外氣封能自壽終正寢前能回春再度使用（圖 2）。進行內外氣封再生處理之製程包括：(1)龜裂區域之 CNC 車除及人工磨除裂縫；(2)NDT 檢查；(3)應用雷射粉末銲接技術覆銲抗磨耗區；(4)應用雷射銲接技術銲接龜裂區；(5)應用氬銲製程局部銲修龜裂區，(6)銲後熱處理；(7)CNC 精密尺寸加工；(8)細孔放電加工，(9)應用大氣電漿技術

進行絕熱塗層噴塗等加工製程。協助電廠進行 4 部機之再生處理，經再生處理之內外氣封其使用狀況良好，經大修拆除檢視並未產生龜裂及嚴重磨耗情況，依使用情況推估可自 8000EOH 使用至 12000EOH。內、外氣封，每組原廠報價為台幣 30 萬元，每部機組需內氣封 16 個，外氣封 16 個，每部機需花費 480 萬台幣，目前大潭電廠及南部電廠共有 7 部機，若全部更換需花費 3360 萬元。已報廢品再生費用約為 43900 元，年度大修需更新約 7 部機 112 組，每年再生可節省購置新品之維護費用支出為 2868.32 萬元，後續平行展開效益約 4917.12 元，若考慮機組壽齡 30 年，共可節省 79903.2 萬元，總效益為 85230.08 萬元。本研究建立本公司自主之 M501F 內外氣封之再生技術，化腐朽為神奇將原廠及一般人認為拋棄之消耗品，令其再生回春再度使用，降低公司維護費用支出，充份運用葉片再生產線之能量，創造多元之再生產品。



圖 1 產生熱疲勞龜裂之內氣封照片

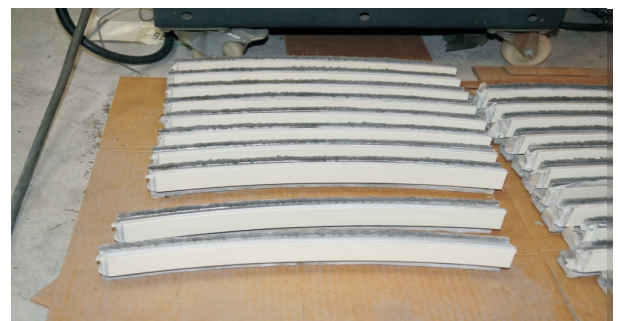


圖 2 經再生完成後之外氣封照片

六、固態氧化物燃料電池多層電池堆研製及其測試系統建置

(化學與環境研究室：李文台、張書維、吳成有)

(一) 研究背景：

為解決地球暖化以及因應能源枯竭之危機，積極開發潔淨能源為全球各國之共識。在各式綠能發電系統中，高溫固態氧化物燃料電池 (Solid Oxide Fuel Cell) - 以下簡稱 SOFC，具有極高之能量利用效率與可使用燃料種類多之優勢。SOFC 可作為獨立運作之分散式發電系統，減少中央供電系統在電力運輸過程之能量損耗，另外也能作為再生能源盈虧發電之調節功能。現今不論德國、日本、美國等先進國家，皆在 SOFC 上投入相當大資源發展，並且已達到商品化之規模。本計畫以 SOFC 電池堆性能評估能力建置與國際技術發展現況之掌握為主，希望未來在公司引進國內外 SOFC 電池堆時，能作為初期購入評估之基礎與往後電池堆問題診斷與維護能力。

(二) 研究方法：

欲具備評估 SOFC 電池堆之性能與掌握電池堆維護診斷之能力，了解 SOFC 單元電池之組成與核心電池堆結構及設計，為建立評估能力之重要一環。因此，本研究以建置 SOFC 性能平台為主，自行製作 SOFC 單元電池為輔，以達評估與診斷電池之能力。

(三) 研究成果：

自製 SOFC 單元電池

本計畫利用薄帶法 (Tape) 製作 SOFC 電池，其電極材料，包含常見之電解質材料-鈦穩定氧化鋯 (YSZ-Yttria stabilized zirconia)、陽極材料-氧化鎳/鈦穩定氧化鋯 (NiO_2/YSZ) 和陰極材料-銅錳錳氧化物/鈦穩定氧化鋯 (LSM/YSZ)，經過裁切堆疊、熱水均壓以及高溫煅燒成型，最後完成 SOFC 單元電池之製作，成果如圖 1，其中圖左為電解質支撐型單元電池，圖右為陽極支撐型單元電池。

自製 SOFC 電池堆

SOFC 電池堆之結構與設計十分複雜，而電池堆的主要結構簡單可分為(1)上下端版(2)單元電池(3)連接極以及(4)密封材料所組成；而在端版與連接極的氣體流道設計也是相當重要一環。圖 2 為自製電池堆之單元電池組及其拆解圖，圖 3 為自製電池堆與其拆解圖。

SOFC 性能量測暨診斷平台

目前已分別建立 3 種不同規模之 SOFC 電池測試平台，如圖 4，由圖左上至右上為鈕扣型電池測試平台、單元平板型電池測試平台以及短電池堆測試平台。3 種不同規模之測試平台除了用以測試不同電極大小之電池外，其目的與功能也略有差異，說明簡述如下。

1. 鈕扣型電池測試平台

此測試平台可用來量測電極面積 1.33cm^2 之 SOFC 鈕扣型電池，並可評估不同電池材料對性能的影響，以及不同氣體燃料對電池之影響。

2. 單元平板型電池測試平台

此測試平台可用來量測電極面積 16cm^2 之

SOFC 平板型電池，並可用來評估電池活化參數與長效性與診斷單元電池劣化原因。

3. 短電池堆測試平台

此測試平台可用來量測 5-20 層之短電池堆，除了短電池堆性能測試外，也可作為電池堆可行性評估與診斷電池堆零組件可靠性。

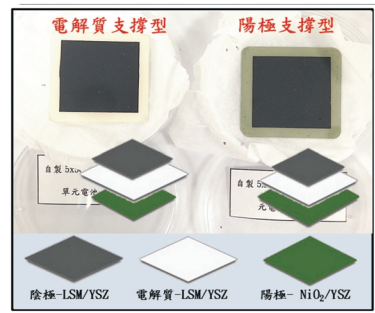


圖 1 自製 SOFC 單元電池，圖左為電解質支撐型電池，圖右為陽極支撐型電池

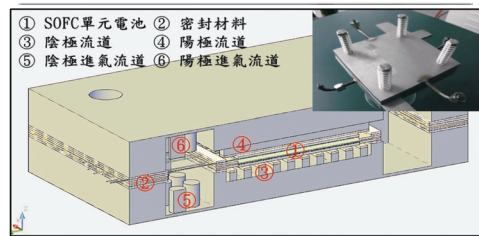


圖 2 自製電池堆之單元電池組拆解圖，圖右上為單元電池組實體圖

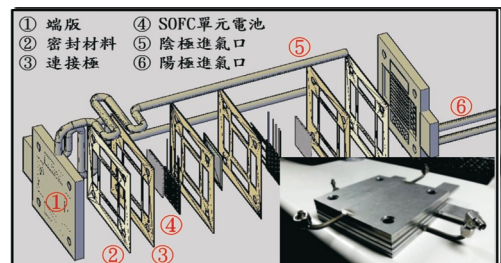


圖 3 自製電池堆之拆解圖，圖右下為電池堆實體圖

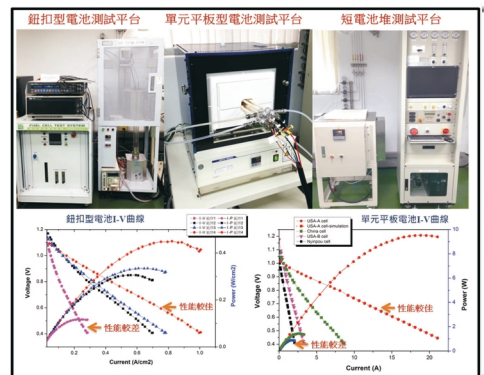


圖 4 SOFC 性能量測暨診斷平台，圖左上至右上分別為鈕扣型、單元平板型以及短電池堆性能量測暨診斷平台；圖左下為鈕扣型電池性能曲線，圖右下為平板型電池性能曲線。