

電力研究簡訊

Power Research Newsletter

106年第2季 (106.04 No.104)

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、M501F燃料噴嘴之再生研發.....1
 - 二、二氧化碳地質封存先導試驗場址地球物理及地質調查成果.....2
 - 三、台電系統發電機組調度運轉成本分析測試平台.....3
 - 四、夏興電廠運轉資料庫建置.....4
 - 五、空調自動需量反應試驗計畫.....6
- #### 研發與試驗活動
- 即時數位模擬系統應用於發電機故障分析.....7

台灣電力公司

使命：以合理成本及友善環境的方式，提供社會多元發展所需的穩定電力。

願景：成為卓越且值得信賴的世界級電力事業集團。

經營理念：誠信、關懷、服務、成長。

研究計畫成果

一、M501F燃料噴嘴之再生研發 (能源研究室：吳憲政、王敬堯、鐘震洲、洪崇雄、詹文榮)

本研究研發M501F氣渦輪機燃料噴嘴(含M501G Pilot噴嘴)再生處理製程，建立自主維修能力與噴嘴流量測試規範，不但減少噴嘴之數量，並且以降低營運成本，確保機組之營運安全，提高可用率及可靠性。研究內容包括：噴嘴之材質分析、噴嘴細部尺寸及3D模型建立、噴嘴流道之檢查及流道清洗處理、噴嘴之檢修規範、噴嘴之絕熱塗層再生處理製程、噴嘴流量測試技術及相關再生規範之建立。文中針對M501F氣渦輪機燃燒室噴嘴進行再生研究，經由噴嘴精密流

量測試、母材與塗層之金相組織觀察及機械性質測試，以建立噴嘴之流量阻抗曲線、母材拉伸機械性質、絕熱塗層之孔洞率及鍵結強度，配合噴嘴細部尺寸與3D模型之建立，作為損傷噴嘴銲修再生之標準，並可作為燃料噴嘴再生時更換新組件或自製組件應用基準。由實體件之氬銲銲修及噴銲再生建立M501F氣渦輪機燃料噴嘴實體件之銲補製程、噴銲再生製程及維修規範，研究結果作為氣渦輪機燃料噴嘴之再生及電廠現場維護之參考。

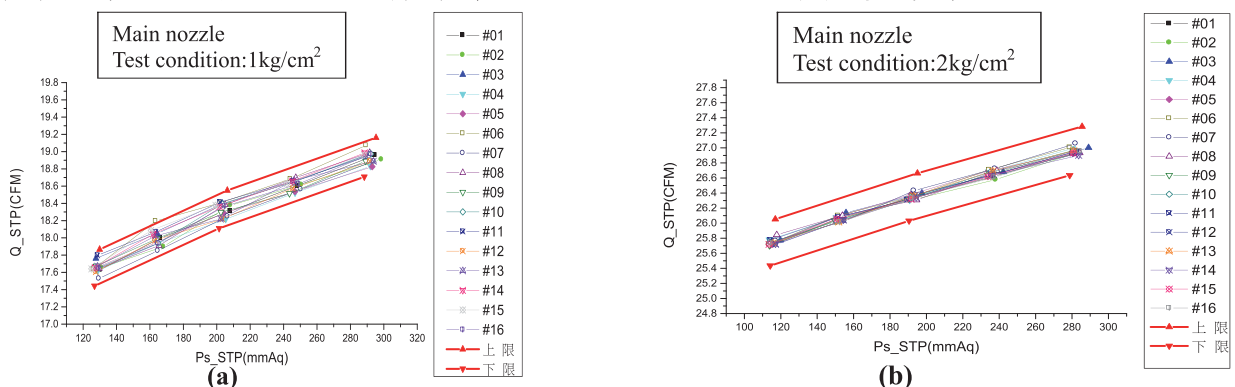
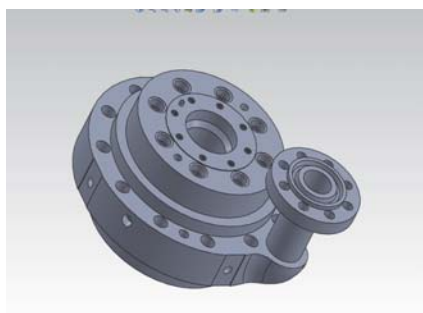
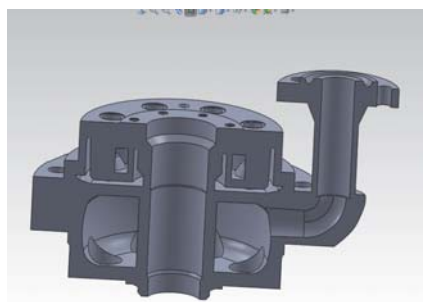


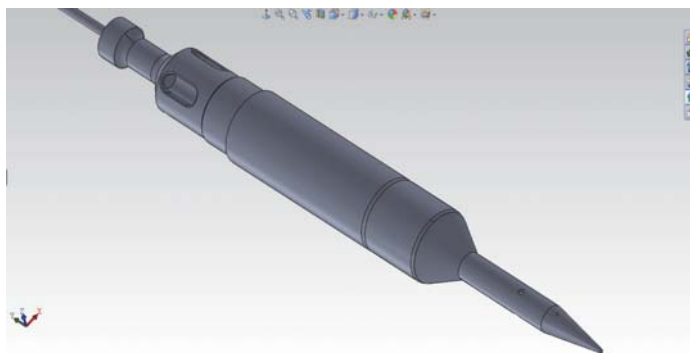
圖1 火力電廠M501F燃料噴嘴經精密流量量測之流量阻抗曲線：(a)、(b)為主流量噴嘴分別在1, 2 kg/cm²氣源條件。



(a)



(b)



(c)

圖2 M501F主燃料噴嘴經正向建模設計之燃料噴嘴3D模型：
(a)、(b)本體結構；(c)噴嘴雙燃料燃燒通道。

二、二氧化碳地質封存先導試驗場址地球物理及地質調查成果

(化學與環境研究室：楊明偉、莊宗諭、黃鐘；營建處地質組：焦中輝、黃連通、楊萬慧；
中興工程顧問社：俞旗文、楊智豪)

(一) 主要成果：

本案目標為利用地球物理探勘、深鑽與井測之成果，建構出二氧化碳地質封存試驗場址之地下地層模型，成為未來二氧化碳試灌注時儲集層容量計算與安全性評估之基本資料。本公司已於2010年完成二氧化碳地質封存場址之反射震波探勘，初步測得台電彰工電廠預定地下方，台西盆地南側上新更新世地層的大致地質層序結構，確認其目標地層位態大致為水平，並略向東北方傾斜，傾角未超過5度（圖1）；場址調查結果並初步確認目標地層內無斷層存在跡象，且區域地震活動性極低。經整合評估現有已知各項實測與地質文獻資料，以及綜合場址客觀條件，以彰工電廠預定地作為先導試驗場址，進行後續發展地質封存所需的工作規劃，應具相當可行性。

由於場址下方目標蓋層「錦水頁岩」、以及目標儲集層「桂竹林層、觀音山砂岩」之厚度於無法藉由反射震波探測法測得精確之數據，因此本公司於2013年於彰工電廠預定地完成

一口3,000公尺之地質探勘深鑽井（TPCS-M1井，圖2），成果如下所列：

1. TPCS-M1深井自2012年年初開始鑽掘，直到2013年11月14日深度鑽達3,000公尺。在經歷677回次後，共回收總長度約1,379公尺的岩心，平均提取率約為92%。
2. 經TPCS-M1井深鑽所取樣岩心，利用沉積岩相變化與鈣質超微化石生物帶分析成果，並與附近地區中油既有深鑽的地層的對比，與參酌區域台西前陸盆地岩石地層分布資料，綜整分析本區深度3,000公尺以內之盆地尺度地質模型，主要層序由上至下依序包括：
 - (1) 頭嵛山層（0~1,717公尺），1,717公尺
 - (2) 卓蘭層（深度1,717~2,135公尺），厚度418公尺
 - (3) 錦水頁岩（深度2,135~2,295公尺），厚度160公尺
 - (4) 桂竹林層（深度2,295~2,450公尺），厚度155公尺

- (5) 觀音山砂岩（深度2, 450~2, 608公尺），厚度158公尺
 - (6) 打鹿頁岩（深度2, 608~2, 800公尺），厚度192公尺
 - (7) 北寮砂岩（深度2, 800~3, 005公尺），厚度至少205公尺
3. 先導試驗所規劃之目標注儲系統包括錦水頁岩（目標蓋層）與桂竹林層（目標儲集層）。經TPCS-M1井驗證，此注儲系統分布於井深2, 135~2, 450公尺間，井下厚度分別為錦水頁岩：160公尺與桂竹林層：155公尺。桂竹林層下部之觀音山砂岩（深度2, 450~2, 608公尺）亦經由岩心判釋與試驗驗證為屬高砂岩含量地層，因此應可作為目標儲集層，井下厚度為158公尺。
4. 本階段推估台西盆地南側有效封存潛能合計137.3億噸。據本地質模型層序資料顯示，候選具潛能之有效儲層應有3處（台西上中下部），除桂竹林層與觀音山砂岩外，尚可考慮卓蘭層（深度1, 717~2, 135公尺）、北寮砂岩（深度2, 800~3, 005公尺）等，其有效盆地封存量分別初估如下：

- (1) 以桂竹林層與觀音山砂岩為有效儲層，錦水頁岩為目標蓋層的情境，評估其有效盆地封存量為62.7億噸。
- (2) 卓蘭層井下厚度為418公尺，其下部約有一厚約200公尺之砂岩段，可為具潛能之有效儲層（台西上部），經評估其有效盆地封存量為49.3億噸。
- (3) 北寮砂岩實際井下厚度為未知，本層（台西下部）厚度若以底部深度為3, 000公尺（對應最大灌入深度），保守評估其有效盆地封存量為25.3億噸。

(二) 未來展望：

由於目前已完成之地球物理與地質鑽探資料分別為不連續之二維地質剖面以及單點柱狀資料，因此在整體三維地質模型建構上仍有可以加強之空間。未來將參考國外之二氧化碳地質封存計畫，針對二氧化碳地質封存先導試驗場址進行大量微型地震儀（Geophone）之佈設，於收集背景微震動資料後進行噪訊地震學之分析，以建立高精細度之地下地層構造模型，進而推算先導灌注試驗進行時，二氧化碳可能之遷徙範圍，以確保試驗進行之安全性。

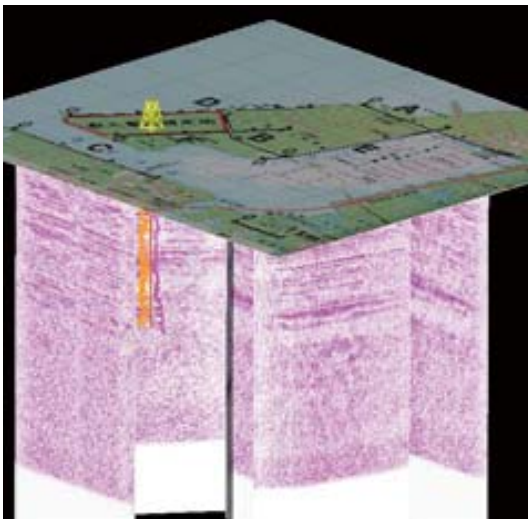


圖1 二氧化碳地質封存先導試驗場址震測與井測資料三維整合成果



圖2 二氧化碳地質封存先導試驗場址深鑽井架空拍圖

三、台電系統發電機組調度運轉成本分析測試平台

（電力經濟與社會研究室：洪育民；台灣經濟研究院：黃奕儒、卓金和、陸臺根）

(一) 研究背景及目的：

面對國內朝向電力市場自由化發展，未來獨立發電業者、汽電共生業者、再生能源業者等可將生產之電能，透過輸、配電業代輸給其用戶。為瞭解電力系統變化對發電機組運轉模式影響，本計畫參考國外電業估算成本機制，

研擬台電相關估算方法，按各類型發電機組提供的電能、各項輔助服務電力產品，評估相關成本，並建置成本計算分析測試平台，以利台電公司能確實釐清電能與輔助服務之成本內涵與成本數額，並為未來電力市場開放預做準備。

(二)研究方法及內容：

因應政府劃分電能與輔助服務成本規劃方向。首先匯整過去國內外理論基礎以及發展經驗，探討美、英、澳、新加坡輔助服務的種類、成本、分攤方法與交易機制；再者，彙整國內外成本計價的輔助服務方法並完成建置有關台電公司發電機組電能、輔助服務成本估算。最後，建置成本估算分析測試平台，以資訊自動化作業方式，進行相關資料讀取及修正處理，提供相關輸出報表及資料分析。

(三)成果及其應用：

本研究以機組排程理論為基礎，並依電力



圖1 各項輔助服務成本計算模型

公司的供電原則及需求運用的時效性和發生的機率，來建立電能、線損、壅塞、向上頻率調節、向下頻率調節、30分鐘備轉容量和60分鐘備轉容量等各項成本的計算順序，並依各機組提供各項輔助服務的權重分攤各項輔助服務成本，以及各機組的發電量權重計算各項輔助服務應支付的費用。如圖1所示。

另本研究亦從歷史運轉資料計算出各項輔助服務成本後，再以尖峰日占比反推法來估算未來各項輔助服務成本的預估值，並建立台電系統發電機組調度運轉成本分析平台，整合管理系統EMS、會計等資料，進行各機組的各項運轉成本分析。建置成果如圖2所示。



圖2 發電機組調度運轉成本分析測試平台

四、夏興電廠運轉資料庫建置

(電力研究室：李兆惠、周昱緯)

(一)研究背景：

夏興電廠自動化系統於民國102年完成建置，含程序控制、人機介面與資料庫。但資料庫使用人機介面附加版，此種版本僅有4GB容量，僅能儲存1個月歷史資料，1個月以前的資料會被匯出資料庫。此外，兩廠總共使用4台人機介面，各自儲存資料，使得歷史資料不一致，造成日後調用資料之困擾。本研究著眼改善上述現象，設計與建置1套運轉資料庫系統。

既有的夏興自動化系統，內含事故順序(SOE)記錄功能，但一廠與二廠稍有不同。二廠較早建立，從遠方網路介面單元(Network Interface Unit, NIU)的SOE記錄器，彙集資料到CPU時，當時建立的SOE彙集緩衝區容量太小，從而產生事故遺漏現象。後來一廠建置時，放大CPU SOE彙集緩衝區容量，較少產生事故遺漏現象。但無論如何，本研究重新檢討SOE記錄機制並改善。

既有的夏興自動化系統，有關引擎、增壓機轉速部分，二廠採用轉速表及轉速電驛偵測，一廠採用PLC高速計數器模組偵測。據現場反應，二廠轉速表為指針式，無法數位化，電腦

人機介面無法顯示轉速。一廠PLC高速計數器模組偵測不穩定，經常輸出錯誤轉速。本研究需求為改善一、二廠轉速偵測系統。依據引擎轉速及增壓機轉速原廠感測元件所輸出訊號，選用數位轉數表，除了現場引擎盤顯示數位轉數外，須提供轉數類比訊號給PLC AI模組，讓電腦人機介面取得轉數資料。此外，轉數表也須提供4段轉速狀態點輸出，取代目前使用中的舊轉數電驛：爆發、中速、滿速、超速電驛。

既有的夏興自動化系統屬於Local SCADA，僅能在現場監控及維護。若能擴充至遠端監控及維護，則運轉上可以多一層遠端支援，維護上可以先由遠端進行診斷，減少交通往返時間與金錢。本研究需求為在塔山電廠申設ADSL網路通訊，透過塔山~夏興光纖，連線到夏興自動化系統。此外，須完成夏興自動化系統內PLC、資料庫伺服器、人機介面伺服器的通訊設定，讓遠端維護電腦可以透過網際網路安全連線到系統內PLC及伺服器。

(二) 研究目標與內容：

研究目標有4：

1. 工業資料庫建置。
2. 事故順序功能更新。
3. 轉速偵測功能更新。
4. 遠端連線建置。

工作內容包括：

1. 資料量、資料運用範圍、與資料庫大小之調查與研究。
2. 資料庫設計與安裝。
3. 程序控制系統更新。
4. 人機介面系統更新。
5. 整體系統測試與改善。

(三) 研究成果：

完成改善舊系統歷史資料不一致之現象，降低後續資料調用之困擾，進而提高營運效率。改善舊系統歷史資料無法長期儲存之現象，滿足後續資料分析之需求，進而提高運轉監控品質。本研究成果：已更新夏興電廠自動化系統架構，更新後架構如圖1及圖2。

已重新檢討SOE記錄機制並改善。二廠SOE彙集緩衝區放大，與一廠一致，相關PLC程式修改部分，及人機介面修改部分，皆已配合更新，最後改善後的測試結果，已不再發生遺漏現象。

完成引擎轉速與增壓機轉速偵測更新。舊指針式引擎轉速表、爆發轉速開關、就緒轉速開關、超速轉速開關、指針式增壓機轉速表，變更為數位式轉速表。該轉數表也提供4段轉速狀態點輸出，取代目前使用中的舊轉數電驛：爆發、中速、滿速、超速電驛。相關PLC程式修改部分，及人機介面修改部分，皆已配合更新。

完成遠端連線建置，在塔山電廠申設ADSL網路通訊，透過塔山~夏興光纖，連線到夏興自動化系統。完成夏興自動化系統內PLC、資料庫伺服器、人機介面伺服器的通訊設定，讓遠端維護電腦可以透過網際網路安全連線到系統內PLC及伺服器。

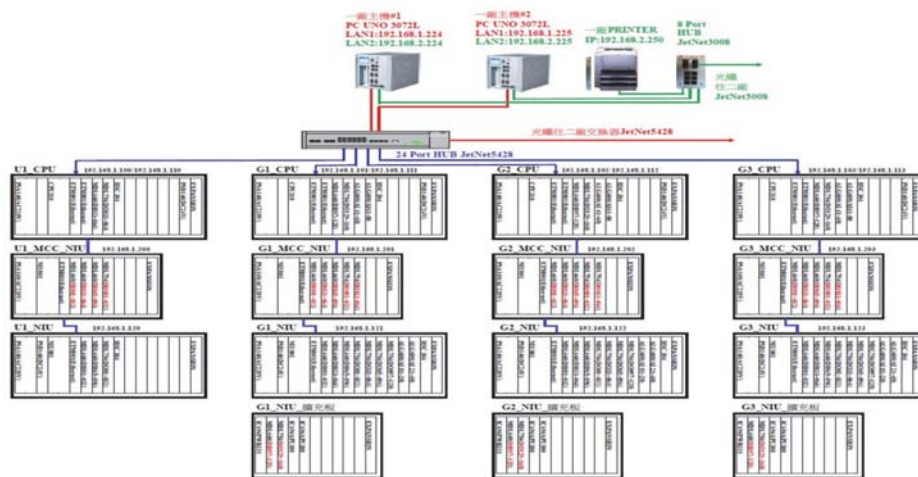


圖1 更新後一廠硬體架構

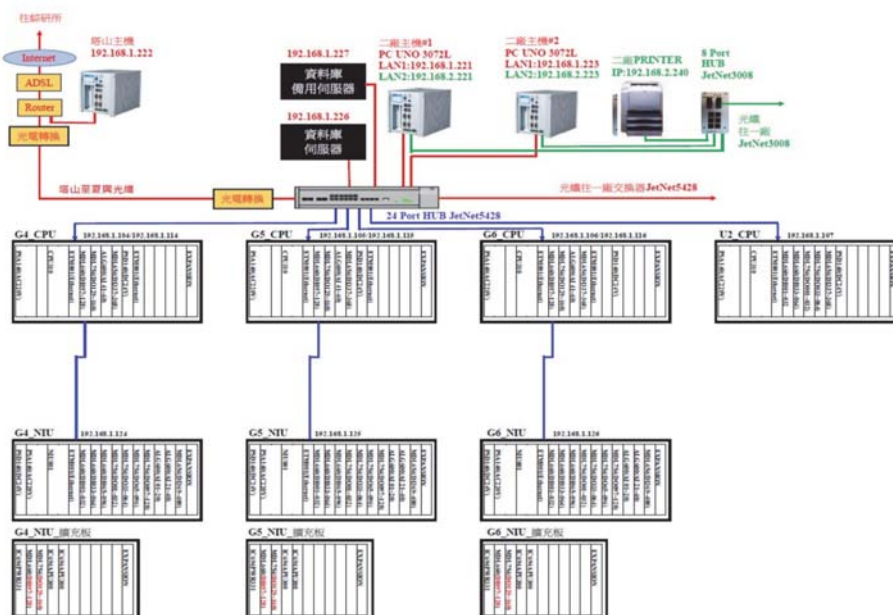


圖2 更新後二廠硬體架構

(一)研究目標：

台灣地處亞熱帶地區，夏季期間外氣溫度及濕度高導致空調裝置用電量高，依據相關研究顯示，空調用電量在夏季尖峰負載占比約30~40%。另外亦有研究指出夏季尖峰時段下午1至2時，溫度升高1°C時系統負載量將提高約600 MW，由以上可知，空調係造成系統夏季尖峰負載之主因。

為了解抑制空調用電量之效益，本計畫將以OpenADR國際標準規格為基礎建置一套空調自動需量反應系統，並實地建置於用戶端，藉由資通訊技術將需量反應控制自動化，並以空調冰水主機為需量抑低的標的進行降載測試。本計畫將實際量測冰水主機需量作為效能驗證的依據並加以統計分析。本研究之研究內容包含了系統的整合方法、建置成果、空調主機抑低控制方法及執行空調自動需量反應的抑低成效分析。

(二)研究內容：

本研究建置之空調自動需量反應系統主要包含1.符合OpenADR VTN規範之伺服器主機，2.符合OpenADR VEN規範的控制箱3.量測冰水主機用電量之數位電表。

伺服器主機透過網際網路通訊傳送需量反應相關訊息置用戶端控制箱，用戶端控制箱與現場的中控(或SACDA)或冰機控制盤透過四種不同的資通訊整合界面完成自動控制的整合，包括EICF(Energy Information Communication Framework 1.0)、Modbus-TCP、Modbus-RTU以及乾接點(Dry Contact)直接控制等，其系統架構示意圖如圖1所示。

參與本計畫之用戶場域共有25處，其中23處為高壓用戶，2處為低壓用戶。受控用戶涵蓋台北市、新北市、桃園市、新竹市、新竹縣及金門等區域。受控空調設備包含100冷凍噸以上冰水主機數量共72台，10冷凍噸以上分離式或箱型空調主機數量共15台，總裝置容量達31,613冷凍噸，需量約23,700kW。



圖1 空調自動需量反應系統架構示意圖

(三)研究結果：

由於用戶冰水主機廠牌型式與空調系統架構繁多，本研究對於空調主機需量抑低的操作方式則將其歸納至如以下4種：

- 1.限制冰水主機負載：利用冰水主機本身負載限制功能。例如：螺旋式冰水主機滑塊控制、空調主機變頻器降頻或是離心式主機的轉速設定。
- 2.關閉部分空調主機：有多台空調主機或壓縮機運轉，關閉部分空調主機(或壓縮機)或關閉大噸數主機開小噸數主機來實施負載抑低。
- 3.調整空調系統閾值：透過調高空調系統控制參數抑低需量。例如調高冰水溫度設定值來達到主機降低負載的效果。
- 4.利用儲冰轉移負載：在需量抑低時段關閉冰水主機，由融冰供冷。

經2016年5月至9月共發布20次空調自動需量抑低事件，經數位電表量測記錄並以需量競價之CBL(Customer Base Load)計算試行用電戶抑低量，經統計得以下結論。

- 1.在各種冰水主機需量抑低方式中以利用儲冰轉移負載的方式效果最為顯著。平均可達經常需量的48%。但具備儲冰的案場並不多，在本研究25個案場中僅有3處。其他3種冰水主機需量抑低方式的抑低比例則分別落在7%~9%之間。各種冰機抑低方法及其抑低比例示意如圖2所示。
- 2.以單次事件(同時發布23個用電戶)計，抑低量平均達860kW，抑低的比例(抑低量/經常需量)平均約11%。單次事件最高抑低量則可達1450kW。

(四)結論：

本研究已完成空調自動需量反應系統建置並探討各類型空調系統結合需量反應之控制方式，本研究亦完成用戶設備受控成效分析、溫溼度變化、空調自動需量反應方案草案等各項分析，其研究結果可作為台電公司推廣自動需量反應方案之參考。

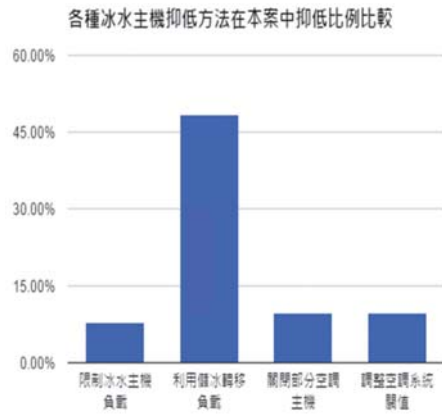


圖2 各種冰機抑低方法及其抑低比例示意圖

研發與試驗活動

即時數位模擬系統應用於發電機故障分析

(高壓研究室：吳立成、林閔洲、梁威志)

(一)前言：

發電機為電力系統中至關重要之電力設備，關係著電源能否穩定供應，每當電廠發生發電機組因故障而跳機事故時，不僅調度人員需要緊急調度備用電源加入以維持系統供需平衡、電廠人員更需要專注於事故肇因之調查與釐清，以降低未來故障再次發生機率，以及盡速恢復發電機組運轉加入系統，減少因故障跳機所產生的發電損失。

本文係使用即時數位模擬系統(Real Time Digital Simulator, RTDS)，其具有高效率、模型調整彈性、友善人機介面(HMI)、即時運算與快速…等優點。藉由建立發電機系統模型及模擬故障發生，可將電廠中暫態紀錄器與保護電驛實際紀錄之故障信號，與模擬結果相互比對驗證。最終，分析找出故障關鍵肇因(Root Cause)，協助本公司事故調查小組研擬改善策略。

本文係使用即時數位模擬系統(Real Time Digital Simulator, RTDS)，其具有高效率、模型調整彈性、友善人機介面(HMI)、即時運算與快速…等優點。藉由建立發電機系統模型及模擬故障發生，可將電廠中暫態紀錄器與保護電驛實際紀錄之故障信號，與模擬結果相互比對驗證。最終，分析找出故障關鍵肇因(Root Cause)，協助本公司事故調查小組研擬改善策略。

(二)發電機故障模型介紹：

事故故障機組為2號機，故障位置位於發電機出口至主變壓器之區間，圖1所示發電機及其電廠電力系統單線圖。圖2所示為依據發電機、輸電線、變壓器…等實際參數所建置之RTDS分析模型。

模型建置完成後，比對故障紀錄與模擬結果，發電機三相輸出電流比對結果如圖3所示，上圖為實際紀錄、下圖為模擬結果，結果顯示趨勢一致。圖4所示為345kV BUS三相電壓驟降情況，模擬結果與實際紀錄趨勢相同。圖5顯示出輸電線斷路器三相電流記錄到約3週波的故障電流，且為三相同時發生，與模擬結果相比對亦顯示趨勢皆為一致。

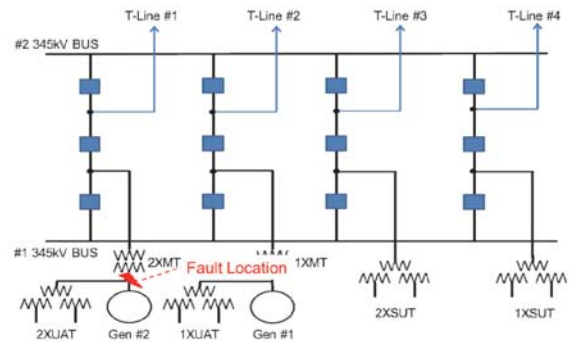


圖1 系統單線圖

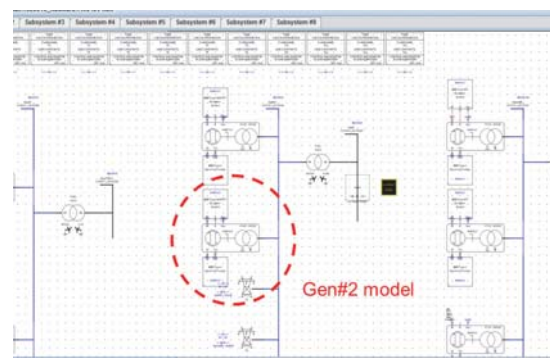


圖2 所建置RTDS模型

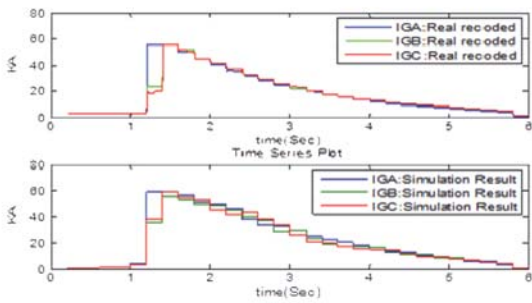


圖3 發電機電流故障紀錄與模擬結果比對

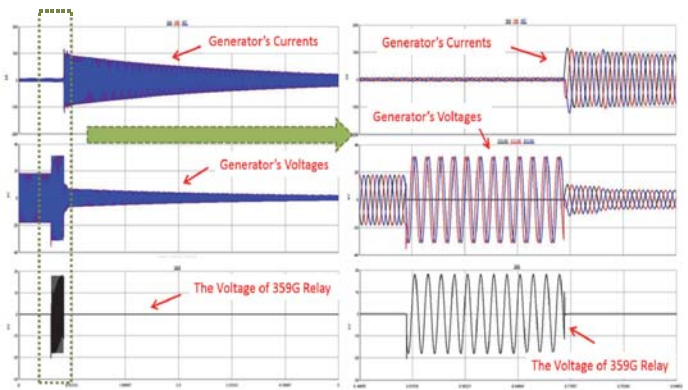


圖6 發電機電壓與電流模擬結果

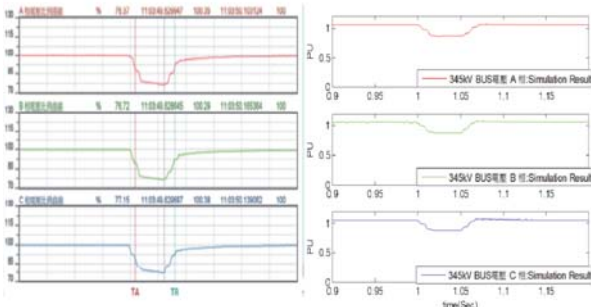


圖4 345kV BUS電壓故障紀錄與模擬結果比對

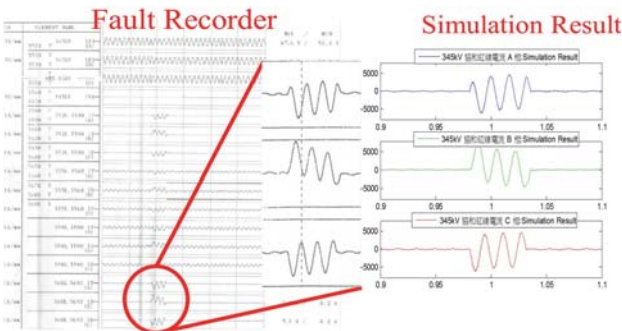


圖5 輸電線斷路器電流故障紀錄與模擬結果比對

(三) 實際記錄與模擬比對結果：

據電廠SOE(Sequence Of Events)，事故共計有2具保護電驛動作，依時間先後順序分別為發電機定子接地故障保護(359G)，及發電機差動保護(387)，藉此判斷故障情境為單相接地故障先發生，再藉由暫態記錄波形可知單相接地故障轉變為三相短路故障；然因發電機為高阻抗接地架構，單相接地故障發生時，發電機電流無明顯變化，故無法得知何相先接地，故藉由本模擬亦可分析接地故障初始相別為何。

模擬結果如圖6所示，左圖為宏觀圖，右圖為單相接地轉為三相短路時之放大圖，信號由上至下依序為發電機電流、發電機電壓，及359G電驛回授電壓(發電機中性點電壓)。由圖可見單相接地故障時，359G回授電壓突升，發電機電壓故障相驟降，其餘兩相電壓升高至1.73p.u.，而發電機電流因高阻抗接地故此時未有明顯變化。當轉變為三相短路故障時，359G回授電壓降低，發電機電流突升，發電機電壓因短路故障驟降。

藉由上述模擬結果可供還原當事故發生時，發電機電壓與電流信號變化過程。為了進一步判別初始故障相別為何，分別模擬由A、B，及C相先發生單相接地後，再轉為三相短路故障，發電機各相電流變化情形，模擬結果如圖7所示，結果顯示發電機各相電流之RMS值變化趨勢。

其中可見A相先發生單相接地再轉變為三相短路故障，電流RMS值最大為IA約60kA，IB與IC電流分別約為32kA及35kA，大小及趨勢與電廠紀錄器所記錄到波形趨勢相近。反之，若另外兩相先發生單相接地再轉變為三相短路故障，其電流RMS最大值分別約為80kA(B相先)及90kA(C相先)，明顯與實際紀錄不符。

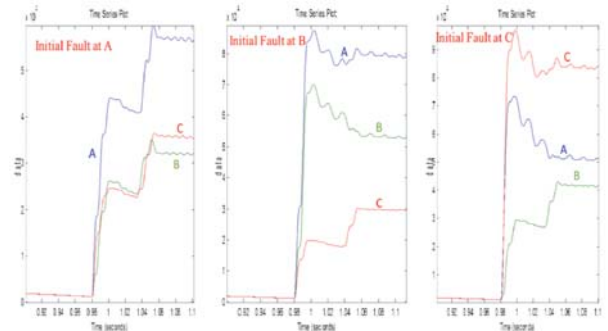


圖7 不同相接地故障模擬結果

(四) 結論：

以RTDS所建置模型進行即時模擬分析，模擬運算速度快於傳統非即時型模擬器，有助於分析更多故障情境，對故障判定提供更多有力之參考方向。藉由電廠SOE之電驛動作情形及模擬結果可知，事故應為先單相接地故障，之後轉變延伸為三相短路故障。更進一步模擬分析發現：初始發生單相接地故障時，故障相別為A相接地故障。

因事故過後現場發電機輔助電力設備如礙子、突波吸收器、避雷器…等皆已毀損或燒熔，無法由現場判斷事故肇因。利用電力觀點進行模擬之結果，不僅能夠重現事故當時發生情境，更提供事故調查小組主要調查方向，而後更能搭配損壞設備化學材料分析、變壓器及發電機繞組絕緣耐壓試驗…等多方合作下，最終能為此次事故釐清肇因，為將來維護工作訂定改善精進措施，提供寶貴經驗給予世界各地電廠做為參考，提升電廠運轉可靠度。