

# 電力研究簡訊

## Power Research Newsletter

103年第1季 (103.01 No.91)

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、配合減少用電優惠措施之效益研究.....1
  - 二、台電公司投入能源技術服務業執行計畫  
之可行性研究-訓練所示範案例規劃研究.... 2
  - 三、動態熱容量監測系統建置.....4
- #### 技術服務
- 電廠省煤器爐管破損肇因分析.....7

**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、配合減少用電優惠措施之效益研究

(電力經濟與社會研究室:黃義協、陳隆武、楊閔如)

#### (一) 前言：

隨著經濟的發展，生活品質提高，人民對於電力的需求日益漸增，進而使尖峰負載持續成長，而穩定的電力供應則是電業經營努力的目標。101年備用容量率為22.7%，而102年仍維持於標準值15%以上，但根據電源開發方案，至113年時備用容量率僅為8.4%，因新建電廠受到規劃、興建時間長、環保等等因素影響，而使開發新電源不易，電力不足則又恐發生停、限電之情形，對於產業及民生影響甚大。所以台電公司自民國68年開始陸續推行需量反應措施包括用戶實施時間電價、季節電價、配合減少用電優惠措施實施(原可停電電力電價)、儲冷式空調系統離峰用電優惠措施、空調週期性暫停用電措施等負載管理措施等。其中用戶配合減少用電優惠措施分為計劃性及臨時性兩大類，在尖峰時段或系統需要時，參與用戶需配合減少或暫停部份用電，台電公司則依抑低容量部份給予用戶電價優惠，提供誘因促使用戶轉移尖峰負載至離峰時段以降低對尖峰負載之需求，得以緩解電源開發困難造成之壓力及因尖峰時段電力不足而可能發生之限電情形。

#### (二) 研究內容

檢討抑低尖峰負載相關優惠措施，就系統備用容量率與電源燃料結構，分析時間電價各時段台電機組之發電燃料成本、IPP與汽電共生等購電成本，建立一套效益評估機制，其研究內容如下：

1. 蒐集參與用戶計劃性與臨時性減少用電措施用電資料。
2. 分析時間電價時段之系統整體發購電成本與台電機組邊際成本。
3. 抑低尖峰容量效益分析。
4. 評估不同抑低尖峰容量情境下流動電費改變之效益。
5. 建立系統尖峰時間用戶計劃性與臨時性減少用電措施效益評估模式。

#### (三) 預期成效

完成本計畫評估模式，除可檢討配合減少用電優惠措施效益評估外，所得分析結果，可作為每年調整抑低尖峰負載與需量反應相關優惠措施之依據，並可提供AMI建置完成後，精進需量反應措施制定之參考。

## 二、台電公司投入能源技術服務業執行計畫之可行性研究-訓練所示範案例規劃研究 (電力經濟與社會研究室：張哲瑋、陳鳳惠；綠基會：楊顯整)

### (一) 前言：

能源技術服務產業的發展已近半個世紀，而近年來隨著知識型經濟的興起以及財務工具的創新，其服務模式已由傳統的診斷、施工、技術諮詢轉型為「節能績效保證契約（簡稱 ESPC）」專案機制，而成爲能源服務產業之中重要的一環。根據國外推行 ESCO 產業的經驗，藉由發展能源技術服務業，結合能源、環保與產業政策，不僅可降低企業對於傳統化石燃料的依賴、節省能源、降低溫室氣體排放量，亦可促成知識型服務業的興起，提升服務業之附加價值，而實現提升能源效率與產業產值的目標。

我國政府爲協助國內能源技術服務產業發展，希望研擬規劃發展策略及推動措施，擴大 ESCO 產業市場規模，扶植協助國內 ESCO 產業蓬勃興起，並且繼而能促進我國 ESCO 產業，未來進軍邁向國際市場發展。台灣電力公司爲國內能源產業之翹楚之一，擁有高度的能源服務與節能技術能量，基於政府節能政策以及企業社會責任，除了進行企業本身的節能減碳工作之外，亦評估成立 ESCO 公司，藉由其電力事業的優勢與節能技術的能量，協助其他企業客戶進行節能減碳之服務。此外，藉由台電公司經營能源技術服務（ESCO）示範案例個案規劃研究以及實作，以瞭解未來台電公司發展能源技術服務業務時可能遭遇之困難與問題。

本項計畫將以節能保證模式的 ESCO 商業運作模式進行台電公司經營能源技術服務示範案例之個案研究，到現場進行節能診斷，並經實地量測各項用能設備（空調系統、照明系統、電力系統及熱能等設備）後，提出節能診斷報告，說明改善建議、效益及回收年限等診斷結果。然後協助研擬節能績效保證合約，撰寫節能績效保證專案計畫書作爲個案之規劃報告。從具有代表性的案例進行實作，包括基線的量測、改善工程、量測與驗證，最後撰寫實作報告書，完成整個能源技術服務個案研究，以提供台電公司投資經營能源技術服務參考範本。示範案例個案規劃研究之效益分析如下圖：



示範案例訓練所個案位於新北市烏來區，以辦理電業經營管理以及主管人員訓練爲主要業務，期成爲培養電業經營管理人才的搖籃；另爲提高教育訓練服務品質，於民國 1999 年 5 月通過 ISO-9002 認證，並將所訓「止於至善」訂爲品質政策。此外，爲因應台電公司多角化經營發展，充分運用訓練資源，訓練所除接受公司外機構委託代訓之外，並提供場地租借公司內外辦理會議、研討會及訓練研討活動，使年使用率可達 90%。訓練所之能源使用主要以電力爲主，主要耗能設備分別爲照明、空調及熱水等三大系統設備。

### (二) 研究架構：

本研究計畫主軸在於以 ESCO 模式運作一個具節約能源潛力的改善工程。依據訓練中心性質，規劃進行的節能診斷項目包括：空調系統、照明設備和宿舍衛浴盥洗設備等 3 大項，其工作項目說明如下：

1. 空調系統檢討及冰機效率檢測：
  - A. 空調冰機效率檢測及附屬設備效率檢測：現場檢測冰機效率、冰水泵、冷卻水泵及冷卻水塔效率。
  - B. 空調系統探討：探討冰機運轉模式，並針對冰水泵、冷卻水泵裝置合理化，以及冷卻水塔效率最佳化，提出改善建議。
2. 照明燈具照度檢測及採用高效能燈具探討：
  - A. 照度合理化探討：針對現場照度量測，檢討照明配置，提出改善建議。
  - B. 採用高效能燈具探討：針對採用高效能燈具，提出評估改善建議。
3. 宿舍衛浴盥洗設備：

針對宿舍衛浴盥洗設備熱水產生的製熱裝置，提出評估改善建議。

現場量測照片：



### (三) 研究內容：

依據本計畫團隊之節能診斷，針對訓練所本部各大樓的熱水系統及空調系統進行量測，初步分析各項耗能設備的使用現況，提出節能改善方向及評估節能效益。經統計各項節能改善項目效益及回收年限整理如下表：

改善項目	節能效益		投資費用 (萬元)	回收 年限	溫室氣體減量 (ton-CO <sub>2</sub> e/年)
	減少耗電 (kWh/年)	減少熱能 (KLOE/年)			
1 調降電熱水器溫度	56,040	-	21	0	29.8
2 增設熱泵加熱熱水系統	186,802	-	69.9	150	99.4
3 調整熱泵運轉模式	57,600	-	21.5	0	30.6
4 增設小型冰水主機	34,798	-	13	90	18.5
5 汰換低效率主機	86,202	-	32	100	45.9

依據現場節能減碳診斷服務，針對各能源使用設備和系統能源耗用情況，深入進行分析與探討後，本計畫團隊提出具體建議改善方案共 5 項及相關改善措施，其中改善項目 1 及項目 2 為相同設備改善，其差別在於既有設備調整或是新增節能設備，因此估計訓練所之節能減碳潛力為節省用電 322,683 kWh/年，相當減少溫室氣體排放 182 ton-CO<sub>2</sub>e/年；建議改善方案執行後，預期每年可節省能源費用約 119 萬元，但投資費用較高。若選擇投資費用較低者，估計可節省用電 191,921 kWh/年，相當減少溫室氣體排放 112 ton-CO<sub>2</sub>e/年，每年可節省能源費用約 70 萬元。

### (四) 研究成效：

本計畫之示範案例個案規劃研究工作具有兩個效益，分別是節能減碳的效益以及 ESCO 運作模式運用於台電公司的分析，茲分別說明如下：

#### 1. 節能減碳的效益：

透過本計畫的個案研究，對個案單位，找出一項具有節能潛力且適合於計畫期間運行 ESCO 的節能項目。

經本計畫團隊實地現場瞭解，訓練所非常致力於節能減碳。訓練所針對空調設備的操作與管理皆十分良好，針對一些小範圍的空間也加裝小型分離

式冷氣機單獨供冷，以達到節能之目的；在照明方面，已部分採用高效率照明設施，如 LED 燈、T5 等，並進行燈具減蓋措施，以提供適度的照明為目的；在熱水供應設施部分亦已開始購置一台熱泵設備。

為了尋找節能潛力，並運行 ESCO 模式之研究，本計畫藉由專業人員使用能源相關量測儀器，現場進行能源使用系統分析與耗能設備效能檢測，進一步找出一般操作與管理面向較難以發掘的節能潛力，藉由儀器分析的數據亦能更精準的估算各項改善方案的節能效益、投資經費以及回收年限。根據節能診斷報告的建議方案，個案研究對象可依照單位本身的現況考量、投資金額與回收年限等，考量節能方案的優先順序，可協助這原本就致力於節能減碳的單位，持續的進行節能減碳的工作。後續並協助規劃撰寫節能績效保證專案計畫書，提供以 ESCO 模式進行節能改善的一個管道。

#### 2. ESCO 運作模式運用於台電公司的分析：

繼找出個案的節能潛力之後，針對個案選擇 1 個具有代表性的節能項目，然後協助以台電公司的角度，探討其運行 ESCO 模式時，可能遭遇的困難與障礙，以作為後續台電投入 ESCO 事業相關分析之依據。

目前國際間，在傳統節能技術上，其 ESCO 產業主要的商業模式為節能效益分享型及節能績效保證型契約；而在分散型能源、汽電共生或再生能源的服務方面，部分合約是依照節能效益分享型及節能績效保證型契約，另有部分合約則是依照使用者委外模式(onsite 能源供應-ESP)。而國內 ESCO 商業模式則以節能績效保證型及節能效益分享型為主。節能績效保證型契約保證改善專案的節能量或者設備的能源效率，專案費用由客戶自行取得現金支付；節能效益分享型契約除了保證節能量或效率之外，專案費用則由 ESCO 業者先支付，客戶可藉由節省下來的能源成本分期攤還專案費用。由於節能績效保證的風險、攤還期間的利息與專案期間之設備維護成本，都會導致 ESCO 專案的成本明顯高於傳統節能的模式。

因此，雖然 ESCO 專案在節能績效保證及融資上具有優勢，而被認為適合發展中國家採用，但是實際結果顯示，如果缺乏配套機制(包括法令金融規定、ESCO 籌資或融資規定、不願或不能修改傳統風險評估方式等)亦將導致 ESCO 在短期或中期皆無法發揮效果。所以在推行計畫方案前，應在最大限度內評估或試驗何種運作模式最適合該市場特性，然後再將整個專案設計為最能支持或輔助該種運作模式之情境。

後續藉由個案對象的全力協助，得以應用不同 ESCO 模式進行規劃整個節能改善工程，在規劃與

討論的過程中，可以使台電公司瞭解 ESCO 的運行模式，並進一步發掘以台電公司的角色，在其內部與外部單位運行 ESCO 模式可能遭遇的困難，以及其解決方式，包括：工程取得方式、資金流、量測與驗證以及未達預估節能效益之因應方案等。後

續，透過其中一個案例進行實作，以實際方式運作 ESCO 模式的改善工程，能更進一步的瞭解台電公司運行 ESCO 模式可能遭遇的一些困難，並可依此尋求解決之道，而有助於未來台電公司投入 ESCO 事業。

### 三、動態熱容量監測系統建置

(電力研究室：楊騰歲、廖清榮、謝宗翰、蒲冠志)

#### (一) 緣起：

台灣近年來鐵塔用地取得困難，而負載容量逐年上升，新輸電線路因成本上升已不具投資效應，輸電線路使用之靜態熱容量為安全電流係於某些限定之條件下（週溫：夏天 30℃；風速 0.6 m/s；日照熱 1040 w/m<sup>2</sup>）所計算出，條件較為保守。而實際環境可允許操作在較高的載流量傳輸，本研究建立在不修改任何既有線路上偵測可提升之動態載流量，測試線路為龍崎~山上二迴線（靜態容量 896A）。

#### (二) 動態熱容量介紹：

慣用的熱容量公式為 IEEE-738 2006 與 CIGRE，上述兩公式皆以熱平衡方程式為出發，最大差異在於：

##### 1. 熱對流散熱

IEEE-738：直接算散熱能力

##### (1) 強風下：

$$q_{c1} = [1.01 + 0.0372 \left( \frac{Dp_f v_w}{u_f} \right)^{0.52}] k_f k_{angle} (T_c - T_a) \quad (1a)$$

##### (2) 弱風下：

$$q_{c2} = [1.0119 \left( \frac{Dp_f v_w}{u_f} \right)^{0.6} k_f k_{angle} (T_c - T_a)] \quad (1b)$$

##### (3) 無風下：

$$q_{cn} = 0.0205 p_f^{0.5} D^{0.75} (T_c - T_a)^{1.25} \quad (1c)$$

$q_{c1}$ 、 $q_{c2}$  對流熱損失(W/m)

$q_f$  空氣密度

$v_w$  風速

$k_f$  空氣熱傳導係數

$T_c$  導線溫度

$T_a$  環境溫度

$K_{angle}$  風向係數

$$= 1.194 - \cos \phi + 0.194 \cos 2 \phi + 0.368 \sin 2 \phi$$

(2)

CIGRE：先導入 Nusselt number

##### (1) 強風下：

$$Nu_{\delta} = B_1 (Re)^n [A_1 + B_2 (\sin \delta)^{m1}] \quad (3a)$$

##### (2) 弱風下：

$$Nu_{cor} = 0.55 B_1 (Re)^n \quad (3b)$$

##### (3) 無風下：

$$Nu = A_2 (Gr \cdot Pr)^{m1} \quad (3c)$$

得對流散熱公式如下

$$P_{cool} = \pi \lambda_f (T_c - T_a) Nu_x \quad (4)$$

$P_{cool}$  對流熱損失(W/m)

$A_1$ 、 $A_2$ 、 $B_1$ 、 $B_2$  常數項對應不同條件

$Gr$  Grashof number

$Pr$  Prandtl number

##### 2. 太陽日照吸熱

IEEE-738：使用數值模擬全球緯度每日之最大日照曲線，同一區域可細分為空曠區與工業密集區。

CIGRE：使用日照計即時進行量測。

#### (三) 資料庫設計：

使用商業化之 SQL server 作為本研究之資料庫，SQL server 易於操作並可撰寫觸發程序完成載流量公式自動化運算，圖 1 為本研究之資料庫圖表，正規化關聯式設計易於查詢，此資料庫設計可一次計算 IEEE 738 與 CIGRE 動態載流量資料。

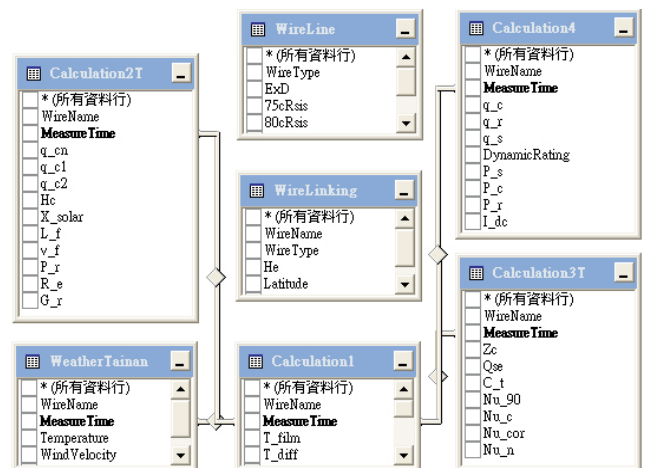


圖 1 關聯式資料庫設計

以下為其中一資料表的觸發程序：

```

-- 1. 首先建立觸發程序名稱
CREATE TRIGGER [dbo].[Weather_to_C1]
ON [dbo].[WeatherTainan]
-- 2. 觸發程序啟動於當資料表插入新資料行時
AFTER INSERT
AS
BEGIN
-- 3. 宣告變數
DECLARE @WireName
nvarchar(20),ÉÉÉÉÉ..

-- 4. 將數據由資料表取出(這一行最重要)
SELECT
@WireName = inserted.WireName,ÉÉÉ
FROM Inserted
INNER JOIN WireLinking L On
inserted.WireName =
L.WireNameÉÉÉÉÉÉÉ
-- 5. 加入判別式
IF (@WindDirect-@Z1) <= 90
SET @K_angle = 1.194ÉÉÉÉÉÉ
-- 6. 插入下一資料表進行儲存
INSERT INTO Calculation1
(WireName, ÉÉÉÉÉÉÉ..
END
    
```

(四) 動態網頁程式撰寫：

完成之資料庫以動態網頁呈現友善的介面，對調度人員平日繁雜的工作上減輕額外的負擔，且只要有網路的地方即可即時觀測線路之載流上限為本研究之重點。我們以 ASP.NET 為網頁程式開發工具，開發介面為四大單元，如圖 2，各為目前允許線路流量上限、輸出歷史資料、圖表分析、線路設定。

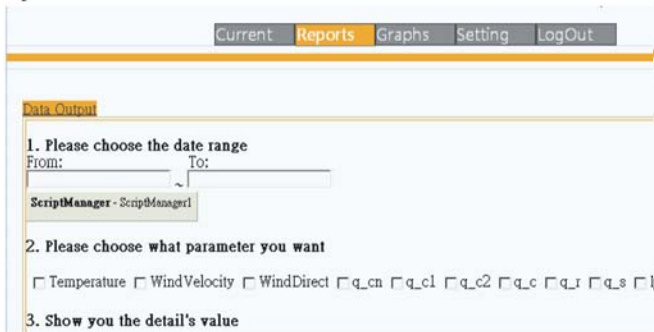


圖 2 動態網頁設計

(五) 數據結果比對：

以上的系統建置完成後，即可將不同數據來源進行比對，本研究以龍崎鐵塔上為基準，對比中央

氣象局台南區氣象資訊及我們實作一套小型氣象站於龍崎超高壓控制室屋頂，此三者之間的地理位置為控制室屋頂距離鐵塔約 4.6km，而台南區氣象偵測區離鐵塔約 18km。

1. 先比對氣象資訊

(1) 環境溫度曲線如圖 3，溫度曲線差值不大，但鐵塔上與控制室溫度較為相近。

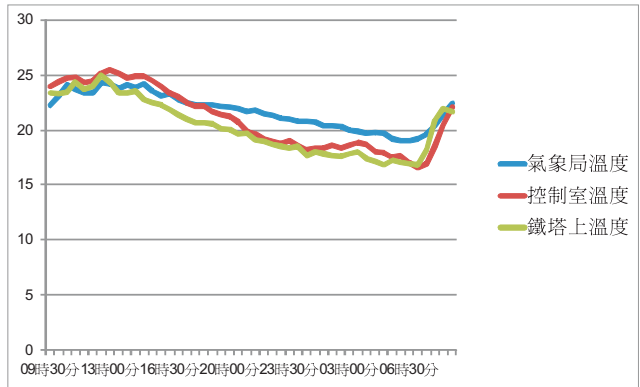


圖 3 環境溫度對比圖

(2) 環境風速曲線如圖 4，明顯比對出控制室樓頂之風速與鐵塔上較為趨近，而氣象局的風速平均皆較高。

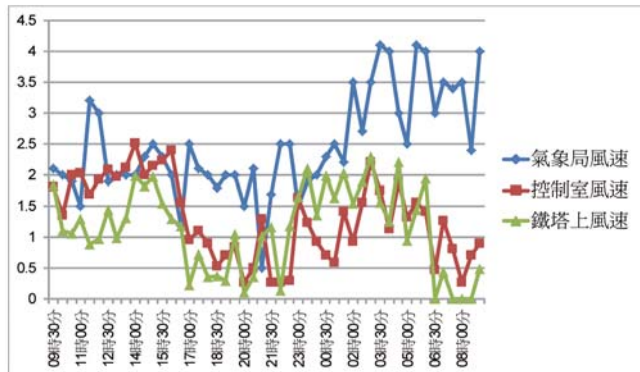


圖 4 風速對比圖

(3) 風向曲線如圖 5，三方無明顯相關性。

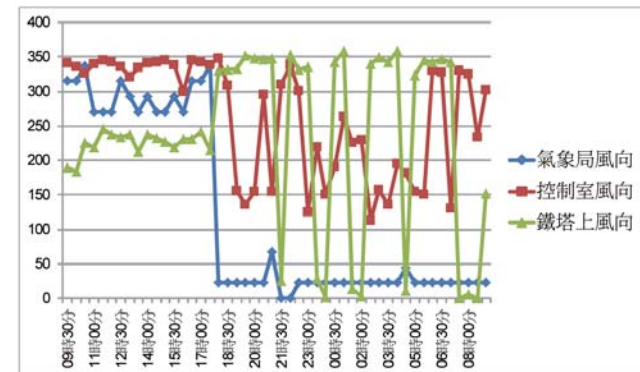


圖 5 風向對比圖

(4) 資料庫模擬日照曲線比對鐵塔上日照計  
如圖 6，模擬當日最大日照曲線狀況。

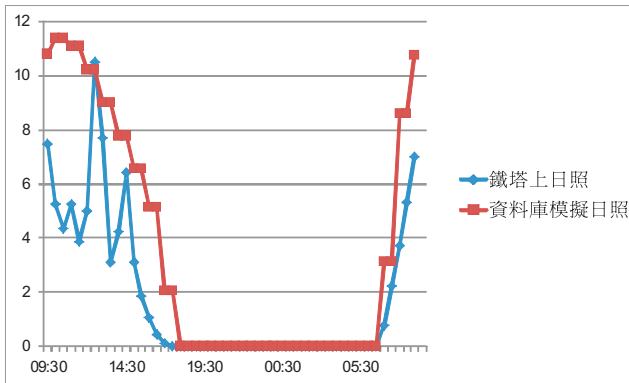


圖 6 日照對比圖

2. 綜合上述條件帶入自行設計之資料庫

(1) 換算動態載流量如圖 7，下表討論數值之差異。

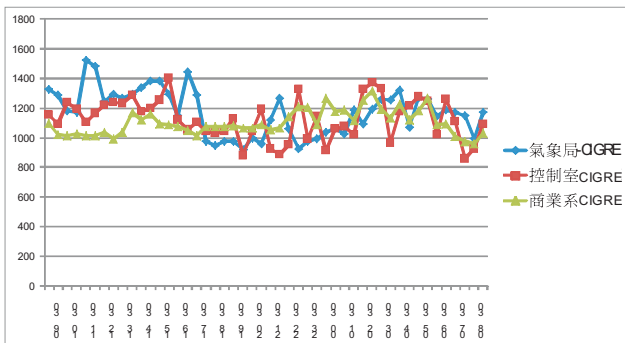


圖 7 動態載流對比圖

表 1 動態載流量誤差表

與商業系統之 差異	氣象局	氣象局	控制室	控制室
	+IEEE	+CIGRE	+IEEE	+CIGRE
平均誤差(A)	37	71	19	25
最大誤差(A)	435	510	299	317

由表 1 可知 CIGRE 較 IEEE 在估算載流量時較寬，以氣象局資訊和控制室之氣象資訊皆在風速參數上較鐵塔上之值高，當風速較高時動態載流量也相對提高，造成相對之誤差量提升，而控制室距離實際鐵塔位置較近，氣象資訊也相對誤差量較小；實際鐵塔上相對靜態載流量平均提升 23%。

(2) 同氣象條件（其中日照量共同使用 IEEE 模擬日照）下 IEEE 與 CIGRE 之間的差別如圖 8。可見此條件下 IEEE 與 CIGRE 並未有較大差異。

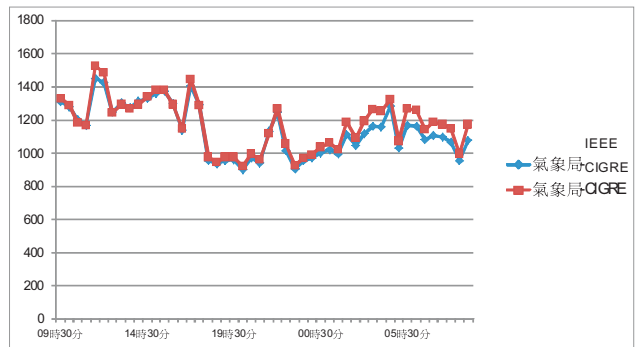


圖 8 不同公式對載流計算圖

(3) 為使此系統能較安全的操作，我們自行架設於控制室屋頂上的系統當載流量監測突然提升超過 200A 時，自動觸發取之前的值來計算平均，修正後的曲線如圖 9。

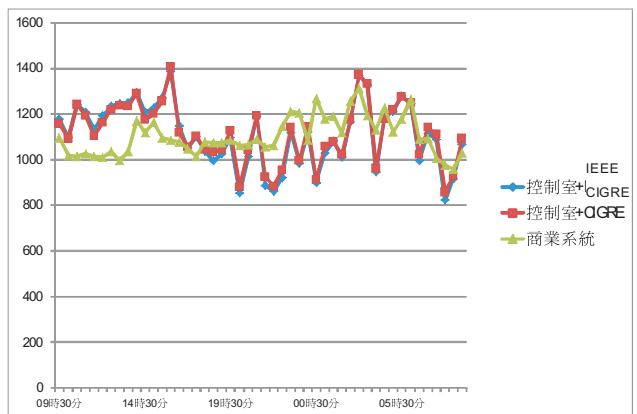


圖 9 修正後的動態載流曲線圖

由表 2 得降低突升的載流計算量可降低平均誤差量。

表 2 修正後的動態載流量誤差表

與商業系統之差異	控制室+IEEE	控制室+CIGRE
平均誤差	9	15
最大誤差	299	317

(六) 總結：

因鐵塔上之商業系統費用較高與使用 2G 無線通訊回傳氣象參數，且需太陽能板與電池模組供電，後續維護費用高更有通訊斷訊之問題。本研究提出一種降低成本的辦法，於變電所屋頂架設小型氣象站，用電取自市電，通訊使用 Ethernet 既有線路安全度也高，維護上也不需攀爬鐵塔，但氣象參數變動快與難與預測，故當偵測器距離越遠時，往往誤差量會快速上升。本研究結果平均較靜態輸容量仍可提升約 23%，近鐵塔上的控制室氣象參數較中央氣象局台南中心誤差量小，故換算之動態載流量也相對較為準確，我們提出當計算載流量突升 200A 時取前後平均以降低誤差，但仍存在誤差量，後續仍需繼續研究如何降低誤差量。

# 技術服務

## 電廠省煤器爐管破損肇因分析

(能源研究室：高全盛、謝運華、黃彥霖、吳政衛)

### (一) 前言：

電廠鍋爐於運轉發電時，值班人員察覺汽鼓水位驟降，造成機組跳脫，經研判為鍋爐省煤器爐管破管，現場外觀如圖 1。破損爐管材質為 ASME BPVC SA210C，尺寸為 2.5”(外徑)x0.243”(厚度)，省煤器出口集管運轉設計壓力與溫度為 20.2MPa/371°C，水質 PH 標準為 8.7~9.2，實際運轉為 PH9.01，呈現微鹼性。爐管經冷作折彎 90°作業，其最小彎曲半徑為 1.5D (外徑)。針對此次破損爐管、相鄰排折彎 90°彎管與新管進行金相、氧化物成分分析與硬度量測等分析項目，盼進一步瞭解爐管破損肇因。

### (二) 分析與討論

#### 1. 破管爐管金相分析

破損爐管破斷處 (圖 2) 恰為爐管彎曲變形處，破口為窗形外觀，破口處厚度無明顯減薄。取破口處與距離破口處 13cm 遠的直管段位置觀察金相，金相分析結果如圖 3，外壁有大量分佈細長狀裂紋，深度最長分別為 480μm，且內外壁腐蝕孔洞深度為 120μm，裂縫所延伸入金屬基材部分已形成氧化層，說明裂縫已存在一段時日，方能在裂縫內形成氧化層。距離破口處 13cm 遠的直管外壁亦散佈著細長狀裂紋，最深為 152μm，內外壁也存在腐蝕孔洞。

#### 2. 相鄰排折彎 90°彎管金相分析

相鄰排折彎 90°彎管金相分析結果，指出外壁出現深淺不一之微裂紋，觀察到最深裂紋為 167μm，內外壁腐蝕凹坑中充滿著氧化物。

#### 3. 新管金相分析

新管金相結果顯示外壁出現深淺不一之微裂

紋與凹坑 (微裂紋最深深度 148μm)，內壁則以凹坑為主，微裂紋與凹坑中無充滿著氧化物。破管、相鄰排彎管與新管外壁金相一致呈現大量微裂紋，說明此微裂紋是新管即存在之瑕疵。

#### 4. 爐管硬度分析

破口處之 HV 硬度為 HV232~303，相鄰排爐管彎頭段度為 HRB93.4~99.2，遠高於標準值 HV180 (HRB89)，說明因冷彎作業，造成爐管材料內之兩平行原子層產生相對滑動，造成晶格扭曲與破碎，導致材料變形，材料產生應變硬化 (Strain Hardening) 或加工硬化 (Work Hardening) 作用，導致材料有殘留應力，形成高硬度結果。

#### 5. 破管爐管內外壁氧化物成分分析

破口處外壁氧化層，檢測出 Ca、Zn、Al、Si、P、S、O 等元素，如圖 4，在爐管外壁微裂縫內氧化物主要來源為燃煤的成分，其中以 S 元素對爐管腐蝕性最強。在破口處之內壁氧化層 Cr、Cu、Si、P、S、Cl、O 等元素，如圖 5，在爐管內壁的不純物，主要來自管內流體，其中對省煤器管 SA210C 中碳鋼造成主要腐蝕原因的為 Cl 與 S。

### (三) 成果與結論

省煤器爐管為中碳鋼管，在爐管製造過程中已產生微裂紋，再經冷作折彎加工，造成彎頭段殘留應力過大，量測彎頭段硬度達 HRB93.4~99.2，超出 ASME BPVC 標準值 HRB89，加上省煤器爐管在 PH9.01 微鹼性水質與微量腐蝕 Cl 與 S 元素中運轉，構成應力腐蝕發生的三要件 (材料、環境與應力)，使原存之微裂紋在高殘留應力下，不斷成長延伸，而致使此省煤器管破損事故發生。

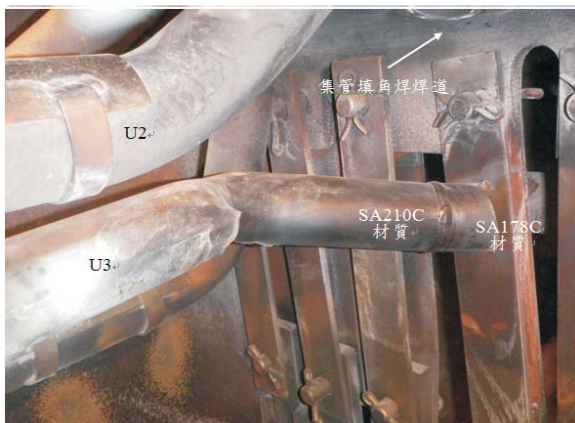
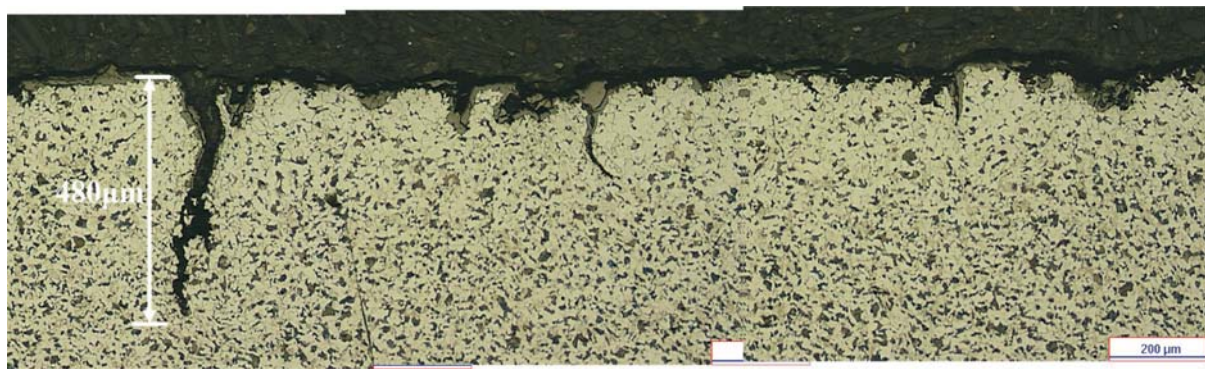


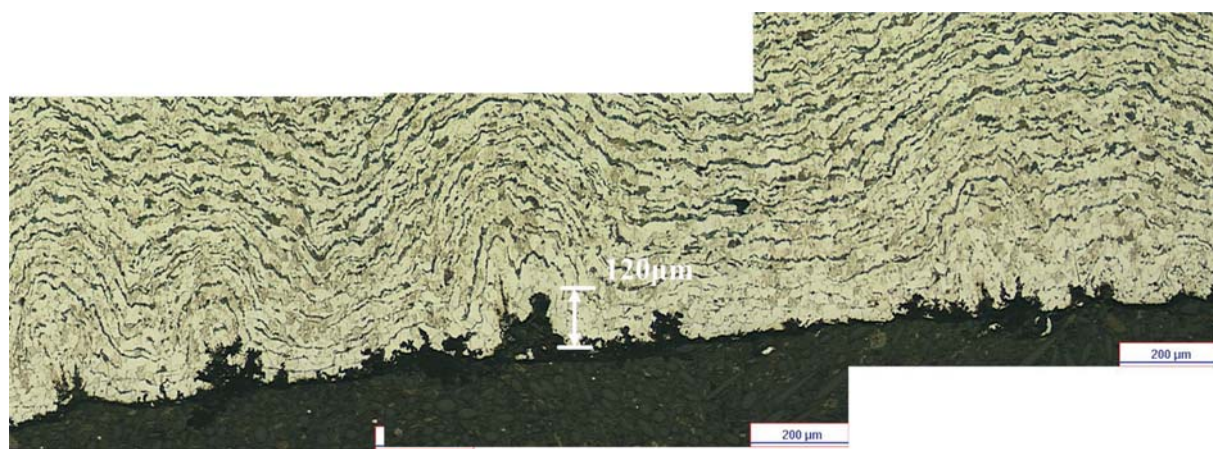
圖 1 破管現場外觀



圖 2 省煤器破管外觀



(a) 外壁金相



(b) 内壁金相

圖 3 破口位置金相

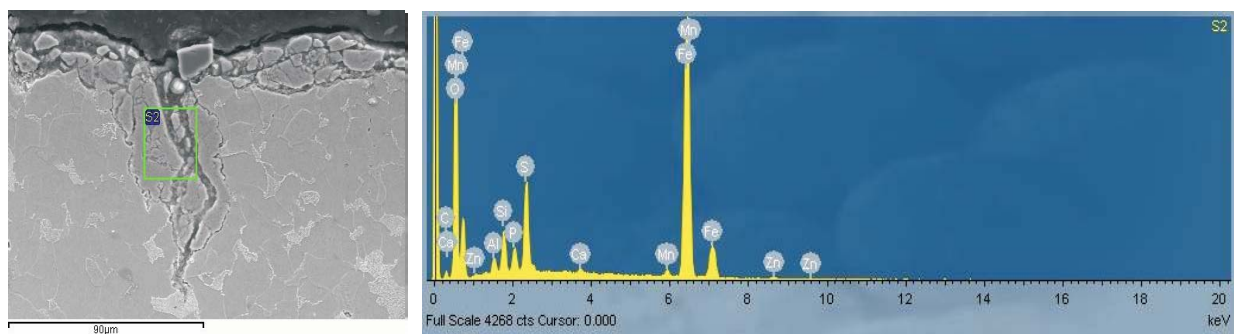


圖 4 破口處外壁氧化層腐蝕成分分析

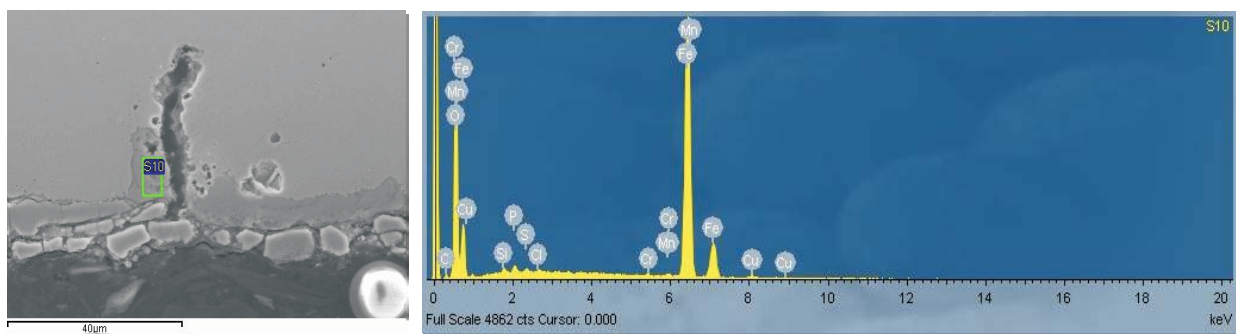


圖 5 破口處内壁氧化層腐蝕成分分析