

電力研究簡訊

Power Research Newsletter

106年第4季 (106.10 No.106)

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、火力機組運轉性能監診與效能提升技術之應用.....1
- 二、海水降溫減少石灰石法FGD系統之生水用量.....3
- 三、配電變壓器維護管理之研究.....4
- 四、輸電線路受風害及震害(含坡地災害)之境況模擬與風險評估.....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、火力機組運轉性能監診與效能提升技術之應用

(能源研究室:李亦堅)

(一)技術發展說明：

本技術開發源自99年起進行氣渦輪機燃燒穩定性調校技術建立完成後，著眼於公司致力於提升發電機組效能與可用率政策下，除開發先進之機組性能監測、分析與診斷預警技術，並進階開發提升效能、可用率或降低氮氧化物排放量之燃燒調校技術，用以提升火力機組效能與可用率。這些年陸續開發完成氣渦輪機、鍋爐、柴油機組等即時運轉數據與性能監測系統，並已陸續於公司電廠部分機組建置完成與運作。105年底除已完成短期計畫目標之氣渦輪機燃燒穩定度調校技術應用外，對中長期任務‘如何提升機組效能’之開發，已開始研發設計『火力機組運轉性能分析與監診系統』。目前完成之『複循環機組運轉性能監診與效能改善技術』開發，為結合燃燒穩定度調校技術、即時監測分析系統及性能分析軟體...等歷年研究成果，藉由整合研發技術與效能計算分析工具，將可對複循環機組進行性能調校與提升、事故肇因分析與改善...等等實務性工作。

(二)技術架構與服務項目：

本技術之建置主要藉由發展火力發電機組運轉性能分析技術及研發輔助監測與分析軟體工具，達到以下之功能與目前可服務項目：

1. 機組運轉性能即時數據監測與分析
系統之建置依據不同機組類型開發建置不同功能軟體，目前建置已包含氣渦輪機(GT)、廢熱回收鍋爐(HRSG)、蒸氣渦輪機(ST)、鍋爐、柴油引擎等等之功能顯示。圖1為GT在不同類型下之重要運轉數據即時顯示畫面；圖2為位於南部電廠之即時性能監診系統顯示畫面，圖3為針對柴油發電機組最近開發之性能監測分析系統畫面。系統之開發將依機組特性、客戶端之需求等進行客制化製作，目前具備之功能顯示模組計有定負載性能分析、主設備(GT, HRSG, ST..等)即時性能分析與顯示。
2. 離線複循環機組運轉性能分析
僅依賴機組運轉數據或統計分析是無法完整反應出機組真實行為，必須再配合機組設計理論之整合型效能分析與計算，才有足夠資訊進行改善措施。複循環機組性能分析軟體開發為本項離線分析核心技術，軟體計算分析模組設計開發依循熱流燃燒理論，配合製造廠家設計規範完成，並利用運轉歷史數據之修正，得以近乎實際反應機組行為。目前開發之基本功能模

組包含GT與ST性能分析、GT燃燒穩定度分析、廢熱回收鍋爐熱交換分析..等等，圖4為南二機SIEMEMS機組性能分析結果。圖5為燃料耗損分析。

3. 氣渦輪機效能調校服務

整合上述之分析技術與輔助軟體工具，氣渦輪機調校已不再侷限於進行燃燒穩定性調整，而進階著重於氣渦輪機運轉性能提昇與氮氧化物(NO_x)濃度之調整。藉由調整機組控制系統參數或硬體結構、分析即時顯示運轉數據與配合軟體性能分析結果，將可達到客戶端需求之效能(負載/效率/排放)提昇、最佳運轉條件與模式。圖6為通霄GT53燃燒穩定度調校；針對氮氣濃度調校，如圖7所示為針對西門子(SIEMEMS)機組進行調校。

4. 機組運轉性能衰退預警服務

機組性能衰退預警功能之系統開發，為整合性能診斷技術與性能追蹤分析技術，提供機組運轉性能衰退前預先警示。圖8為104年開發建置之通霄電廠ALSTOM GT空氣壓縮機性能衰退即時預警系統。

5. 機組運轉長期性能監測分析與診斷工作

綜合前述四項短期工作之性能分析成果，並配合機組長期運轉模式，可進行機組運轉性能長

期追蹤與診斷，評估機組運轉狀況，如圖9所示為氣渦輪機維護周期間性能衰退分析結果。長期性能監診可提供客戶端之機組性能退化肇因與改善措施、定檢維修工作項目擬定、燃燒調校前機組狀態分析、事故肇因之分析...等技術服務與諮詢。

(三)結論：

火力機組運轉性能監診與效能提昇之技術開發與應用在電廠部份機組運行多年。機組運轉資料與分析模組精進開發為目前促進技術提昇與應用高價值化重要資源。目前核心技術則為研發人員與電廠運轉維護同仁所共構之應用技術，研發之目標作為提供火力發電機組運轉效能提昇。

截至2017年止，機組性能分析對象已由複循環機組擴展至火力燃燒鍋爐、柴油發電機組等應用，範圍由性能監測擴散到性能監診與改善。圖10為目前規劃發展中之火力機組運轉性能監診、預警功能架構示意圖。本技術之開發為本所研發規劃之短、中、長期研究發展核心計畫之一，目前技術、輔助分析工具與軟體已於公司部分電廠機組持續運作中，本項技術之成熟度與分析準確性，將隨建置之資料庫完整度與分析模組強化而提升。

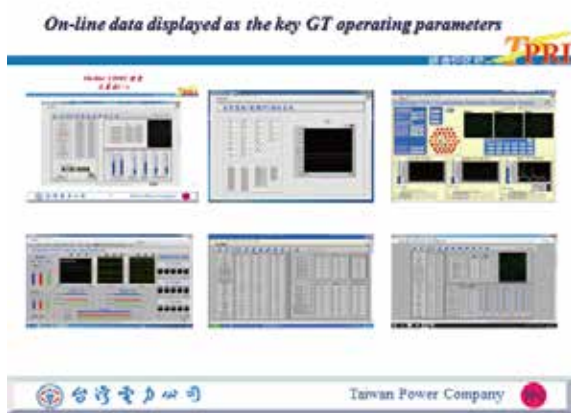


圖1 GT不同類型下之重要運轉數據即時顯示畫面

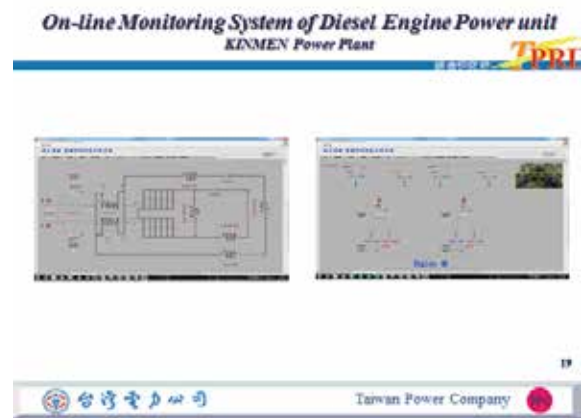


圖3 柴油發電機組性能監測分析系統畫面



圖2 南一機即時性能監診系統顯示畫面

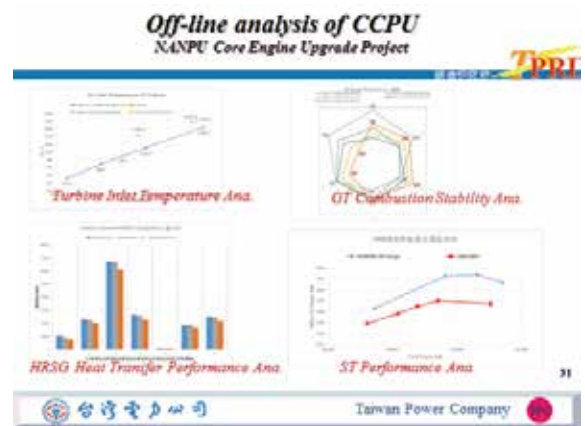


圖4 南二機SIEMEMS機組性能分析結果圖

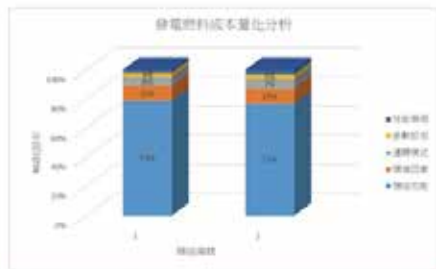


圖5 氣渦輪機燃料耗損分析圖



圖8 通霄電廠ALSTOM GT空氣壓縮機性能衰退即時預警系統顯示畫面



圖6 通霄GT53燃燒穩定度調校顯示畫面

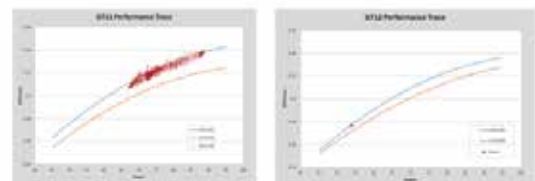


圖9 氣渦輪機維護週期間性能衰退分析圖

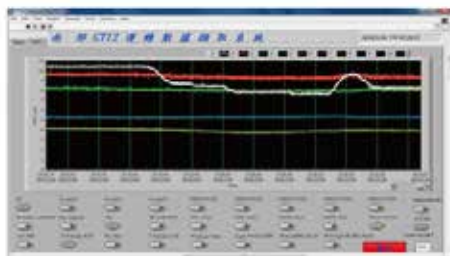


圖7 西門子GT燃燒穩定度調校顯示畫面



圖10 為規劃之火力機組運轉性能監診、預警功能架構示意圖

二、海水降溫減少石灰石法FGD系統之生水用量

(化學與環境研究室：曹志明、傅弼豐、吳俊賢、陳璽年；興達發電廠：黃書菲、陳申)

(一)研究背景、目的、方法：

本公司燃煤電廠目前所屬空氣污染防治設備之FGD所需用生水量約佔全廠用水量2/3以上，其中石灰石法FGD系統係在煙氣降溫時造成80%以上生水之蒸發損失。水資源日趨匱乏之趨勢下，如何有效運用有限的水資源是當前最重要的議題之一。各電廠除採行各種「節流」的用水措施外，亦須積極尋求有效的「開源」政策，以避免未來枯水期間，無水可用之情形發生。所以未來新

設機組需自籌水源，如何有效運用現有水資源是電廠與設計單位必須未雨綢繆的課題。有關本研究目標，即在於利用海水預先降溫，減少生水蒸發量，降低石灰石法FGD系統之生水使用量。

(二)成果及其應用：

本研究目的在於利用海水預先降溫，減少生水蒸發量，降低石灰石法FGD系統之生水使用量，研究結論如下各點所示：

- 1.應用ASPEN PLUS模擬液氣直接接觸的節水製程

結果顯示，脫硫效率會隨pH值及液氣比之增加而增加，當海水或廢水的入口溫度越高則會造成脫硫效率的下降。以節水量而言，洗滌塔的模擬結果優於噴淋塔；液氣間接接觸的節水製程結果顯示，所需的熱交換面積隨液氣比之增加而減少，相同的熱交換面積下煙氣出口溫度隨液氣比之增加而下降。若以節水量而言，管殼式熱交換器的模擬結果優於板式熱交換器，而直接式的模擬結果明顯優於間接式。

2.現場試驗的結果顯示，殼管式熱交換+石膏法

煙氣吸收試驗中，經過殼管式熱交換器可捕獲90%以上之煙氣夾帶水份，可做為FGD除霧層之定期清洗水或廠內其他用途。填充式煙氣吸收+石膏法煙氣吸收試驗中，填充式吸收塔可捕獲煙氣中之夾帶水份95%以上，也可做為FGD除霧層清洗水類似用途。脫硫海水曝氣試驗中，發現細氣泡之效果良好，水力停留時間可減少30~50%，吸收液pH值5.2以上可以曝氣法提升pH值至中性；吸收液pH值4.8以下則無法以曝氣法提升pH值至中性。



圖1 煙氣除硫程序水質處理試驗設備圖

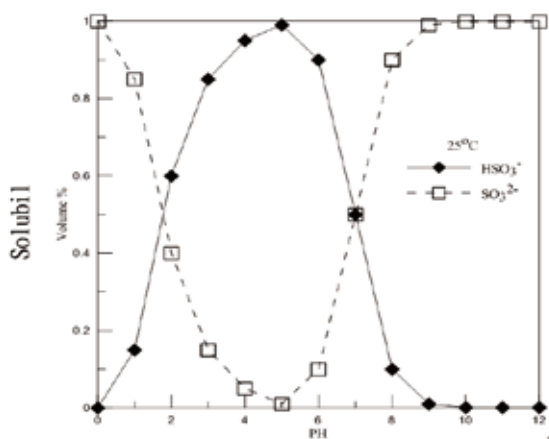


圖2 硫份與pH關係圖

設備組成包含脫硫海水曝氣單元1組，填充式煙氣吸收單元1組，殼管式熱交換單元1組，石膏法煙氣吸收單元1組，程序監控系統1組。

煙氣吸收塔內pH的影響，當吸收塔出口pH值過低，易導致曝氣失效，無法提升pH值，至少須保持出口pH值5.2以上。

三、配電變壓器維護管理之研究

(高壓研究室：林彥廷、黃明智、黃昭榕)

(一)緣起：

本研究首先完成國內配電變壓器資料彙整後，藉由分析所得資料，審慎選擇適當之配電變壓器管理方式，以更新國內配電變壓器管理辦法，適當調整配電變壓器維護週期及汰換年限，並仔細探討國內配電變壓器作業程序，以及依據實際維護經驗修訂維護及汰換流程，再參酌國外配電變壓器維護作法，搜尋近年新穎之配電變壓器維護方式及應用設備，評估納入配電變壓器維護流程中，俾供國內電業施行適當維護及管理配電變壓器之參考辦法。

(二)研究內容：

1.配電變壓器使用壽命及運轉占比分析

由於國內配電變壓器仍持續運轉數量遠大於已報廢變壓器數量，故若統計故障累積分佈時僅

取樣已報廢之配電變壓器資料，恐低估變壓器之實際使用時間，故本計畫將仍持續運轉之變壓器時間一同列入考慮，針對全台配電變壓器之狀態資料，進行運轉占比分析，普通型變壓器分析結果如圖1所示，平均運轉占比中位數為34.5年，代表全台普通型變壓器平均可運轉34.5年，該類型變壓器運轉占比之首次大幅衰退點為第19年，而亭置型變壓器運轉占比則如圖2所示，平均故障年齡為32.4年，首次大幅衰退點約為19年，由圖3可知改良型變壓器首次運轉占比之大幅衰退點為第21年，而密封型變壓器首次運轉占比之大幅衰退點為第17年，如圖4所示，另因改良型及密封型變壓器採購時間較晚，大部分變壓器仍持續運轉中，尚無法得知其平均故障年齡。

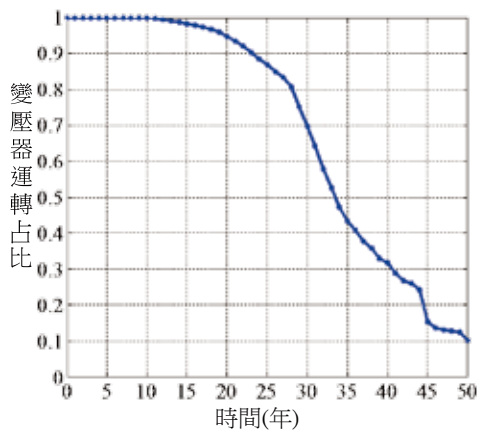


圖1 普通型變壓器運轉占比

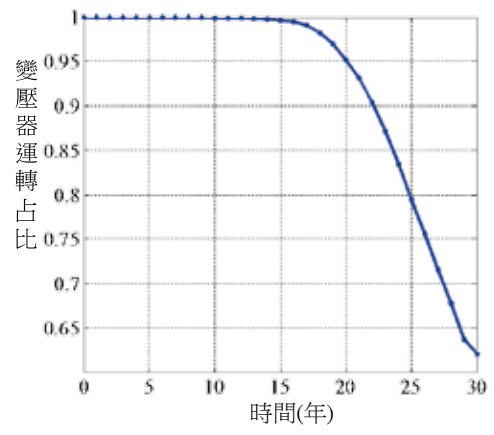


圖3 改良型變壓器運轉占比

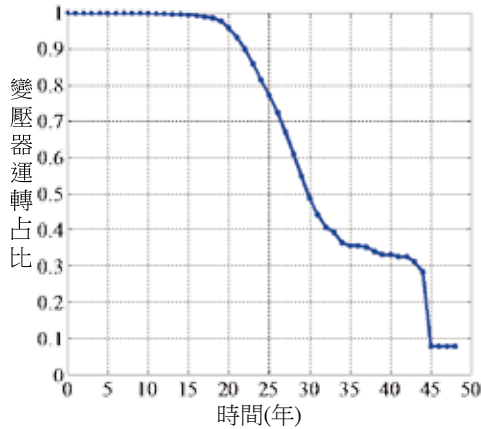


圖2 亭置型變壓器運轉占比

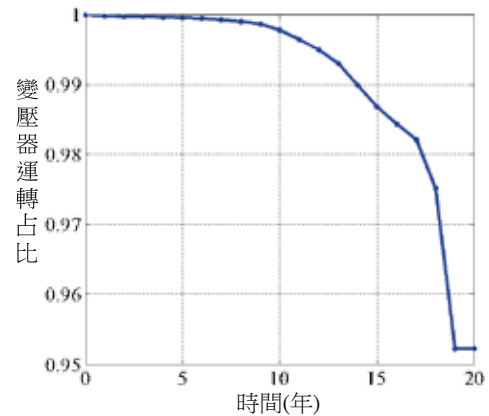


圖4 密封型變壓器運轉占比

2. 配電變壓器壽命影響因子分析

由於不同設置環境之變壓器將影響其故障弱點及使用壽命狀態，因此針對不同運轉環境，以鹽害程度及負載占比作為變壓器壽命影響因子，分別探討對於配電變壓器故障率之影響。

(1) 鹽害程度與變壓器故障率之關係

鹽害對於變壓器之影響主要為鏽蝕，其次為瓷套管的部分放電，當鹽離子附著於瓷套管時會使絕緣電阻降低造成表面放電，加速套管劣化

，當放電情形更嚴重時，產生之高溫可能使套管爆裂。由圖5~8可知，普通型變壓器及亭置型變壓器之鹽害程度對故障率影響較大，其中普通型變壓器運轉於輕鹽害地區與重鹽害地區相比，故障時間約差3年，而亭置型變壓器約差5年，另改良型變壓器及密封型變壓器鹽害程度對變壓器故障率影響較小，改良型約差2年，密封型約0.5年。

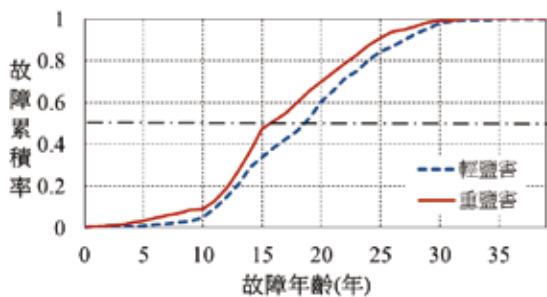


圖5 鹽害對普通型變壓器故障率之影響

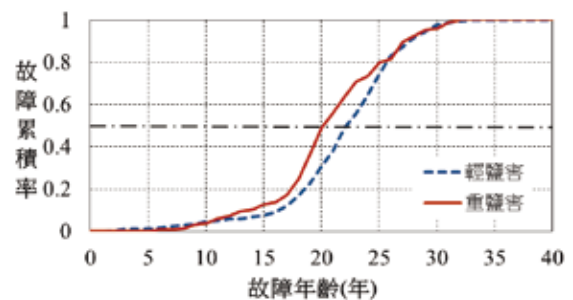


圖7 鹽害對改良型變壓器故障率之影響

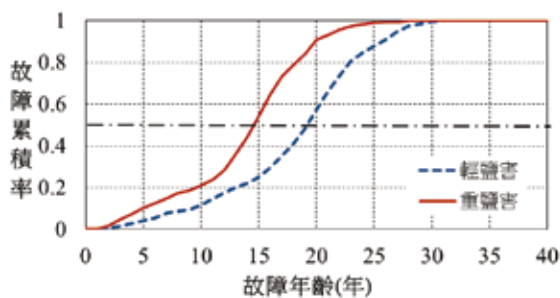


圖6 鹽害對亭置型變壓器故障率之影響

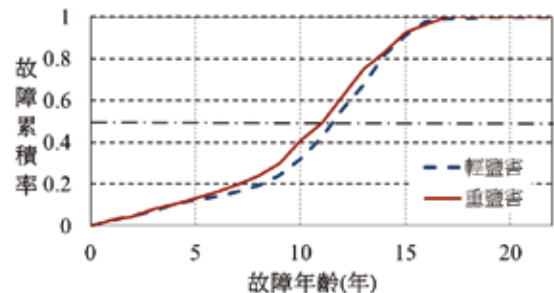


圖8 鹽害對密封型變壓器故障率之影響

(2) 負載占比與配電變壓器故障率之關係

考量變壓器負載量時，常將超載時間一併加入探討，但由現有資料僅可得知一個月之總用電度數，並無法掌握負載變動情形，故本分析係由變壓器一個月中最高用電度數推估每小時之仟瓦數，並假設有填寫契約容量之變壓器的負載率為0.9，對於無契約容量之變壓器，則假設負載率為0.3，據以推估其尖峰

仟瓦數，負載率定義如(1)式所示。另由於配電變壓器可供應之負載量與本身容量直接相關，故假設負載佔比為尖峰負載之仟瓦數除以變壓器容量，如(2)式所示，據以推估變壓器負載狀態。又為比較不同負載佔比對故障率之影響，本分析係比較負載佔比大於0.7及負載佔比小於0.3之對故障率之差異。

$$\text{負載率} = \frac{\text{平均負載 (kW)}}{\text{尖峰負載 (kW)}} \quad (1)$$

$$\text{變壓器負載佔比} = \frac{\text{尖峰負載 (kW)}}{\text{變壓器容量 (kVA)}} \quad (2)$$

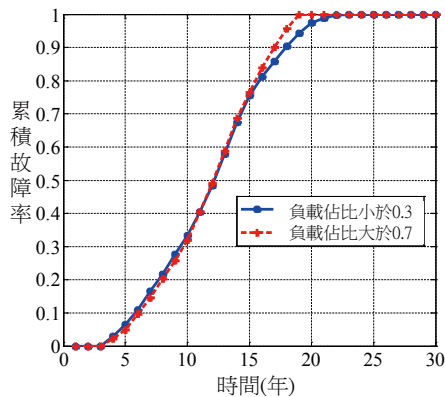


圖9 普通型變壓器負載佔比對故障率影響

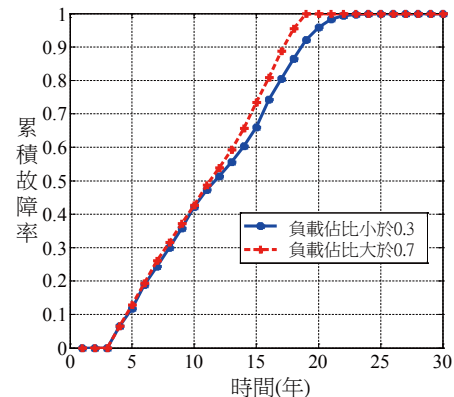


圖11 改良型變壓器負載佔比對故障率影響

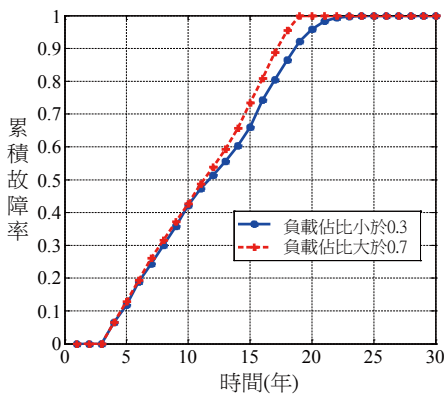


圖10 亭置型變壓器負載佔比對故障率影響

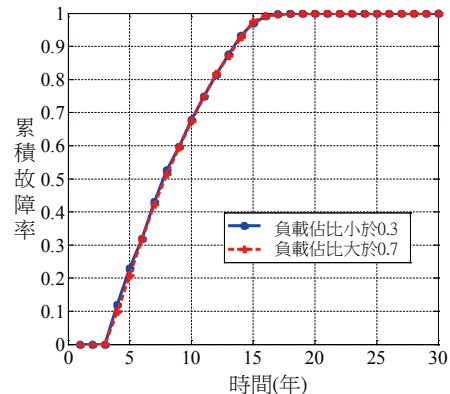


圖12 密封型變壓器負載佔比對故障率影響

由圖9至圖12可知，僅有亭置型變壓器與改良型之不同負載佔比對變壓器故障較有落差，而對於普通型變壓器及亭置型變壓器似無法比較其差異點，乃因負載資料為國內2個月平均值，故欲判斷變壓器老劣化程度不能僅以平均負載推斷，必須以一日超載時數及超載量為主要考量，而由於目前國內負載資料皆為2個月平均值，因此建議電力公司未來可配合智慧電表推行，同時可進行配電變壓器負載量的監測，以期達到最佳故障預防之效。

3. 精進現行維護作業方式

目前變壓器維護分為巡視、檢點及吊檢，其中巡視工作重點為確認配電線路是否有任何結構異常，工作內容相較於後兩者較為簡易且快速，故主要探討檢點及吊檢之可精進之處，並提出改善建議。

(1) 檢點工作可精進之處

檢點屬於狀態基礎維護方式，此種維護方式較時間狀態維護方式更有彈性，目前大部分國家的電力公司，如韓國、美國、加拿大及英國等皆屬此類。至於現行檢點流程及檢查內容與巡檢差異並不大，檢點工作僅較巡視工作增加紅外線檢測項目，但因桶溫受到環境影響，導致現場人員仍難依現行標準判定配電變壓器實際運作情形，但目前檢點工作內容則僅可檢查外觀結構上的缺陷，如鏽蝕漏油，因此對於檢點工作項目及內容，似有精進空間。

(2) 吊檢工作可精進之處

吊檢屬於時間基礎維護方式，此種維護方式可維持一定的設備可靠度，且可詳細檢查變壓器內部構造，檢點或巡視工作並無法達成此目的，因此吊檢工作為維持供電可靠度之重要手段

，惟現行吊檢週期對人力配置造成一大負擔，若可調整吊檢週期，似可在維持運轉可靠度的條件下增進維護效率。

(三)結論與建議：

本計畫分析各類型及各廠牌變壓器零組件模式及原因，並由配電變壓器運轉資料求得故障率、平均壽命及大幅衰退點等重要數據，最後整合各國配電變壓器維護策略及研究分析成果，提出適用於台灣之配電變壓器維護方式精進辦法，以供電力公司參考。

- 1.目前依現有蒐集資料分析，可知各類型變壓器已吊檢者之首次大幅衰退點分別為：普通型19年、亭置型19年、改良型21年及密封型17年。
- 2.鹽害程度對桿上型配電變壓器故障率影響有限，可能因實務上已針對鹽害較嚴重地區，妥以

選用適當變壓器及進行防範措施。

- 3.依照配電變壓器故障零組件故障模式分析結果顯示，各類型變壓器故障之繞組層間短路，其中繞組故障可能為超載造成，惟目前僅可使用紅外線量測及線電流值量測是否有超載情形，建議未來可進而配合智慧電表之推行，同時可掌握配電變壓器運轉情形。
- 4.由各區處統計資料顯示吊檢效率似乎有改善空間，而審視各國配電變壓器維護方式，大部分國家似無完整訂定吊檢週期，故建議可依據配電變壓器運轉占比分析所得之大幅衰退點年限，酌以調整吊檢週期及增進維護效率，另因配電變壓器運轉環境不一，建議可使用精進檢點流程所得之配電變壓器健康狀態，納入吊檢週期調整策略中。

四、輸電線路受風害及震害(含坡地災害)之境況模擬與風險評估

(綜合研究所電力研究室：沈政毅；中區施工處：李佳諭、吳世鴻；

國家地震工程研究中心：張國鎮、宋裕祺、陳清泉、林子剛、許丁友、陳俊仲)

(一)研究背景：

社會經濟脈動與各產業發展都須仰賴電力作為動力，因此電力系統可視為現代生活非常重要的基石，而輸電線路則為電力系統的動脈，由於地形地貌及都市區域發展的考量，台灣輸電線路絕大部份以架空形式建置，其中鐵塔為輸電線路中不可或缺之重要支持結構。當小區域的鐵塔受到災害損壞甚至倒塌時，極有可能引發大區域範圍斷電連鎖反應，因此，鐵塔結構安全為輸電線路供電系統維持正常服務性的主要關鍵。針對輸電線路鐵塔受風及震害或坡地災害之破壞模式實有必要進行長期且逐步深入的研究工作，以有效地評估風力及地震的作用時或可能之坡地災害發生時引致的損壞情形，以利研擬有效的因應策略及應變作為。

(二)研究內容：

本研究內容首先蒐集輸電線路鐵塔相關基本資料，進行瞭解並探討輸電線路受風力、地震及坡地等災害可能的破壞模式，並建置可詳實反映真實鐵塔結構行為的分析模型，透過對輸電鐵塔受地震、風力及坡體滑動等外力作用之分析輸出反應進行探討研究，藉由前述各種破壞模式之境況模擬，以掌握輸電線路鐵塔與所受災害之行為模式與評估可能的風險，進而提供線路設計單位之參考與運轉維護單位對送電中鐵塔提供安全健檢之參考。同時基於研擬之境況分析模擬技術，執行現地試驗量測回饋分析，驗證分析模擬之成果，進一步藉由現地試驗量測經驗，研擬適合輸電鐵塔現地之健康診斷及生命週期防災管理系統規劃。採用系統性逐步進行輸電線路鐵塔結構安全評估之研究工作，可供線路風險評估之依

據及事先研擬有效的因應對策與安全預警機制參考，有助電力系統生命週期成本分析等持續性之研究參考。

(三)輸電鐵塔受地震、風力及坡地災害境況模擬分析與健康監測與診斷技術：

為研提輸電鐵塔受地震、風力及坡地災害境況模擬分析與健康監測與診斷技術，研究參考擇定之輸電鐵塔類型相關圖說資訊，據以建置輸電鐵塔結構分析模型，包括鐵塔各部構件幾何配置、材料細部和接合與邊界條件等設定參數，均詳實考量或予以合理適當假設(圖1)。並於分析模型輸入地表地震歷時紀錄進行地震力作用下之動力分析(圖2)，另自行開發自動化風力分析載重計算和加載設定前處理程式，可大幅提昇鐵塔受風力作用分析工作程序效率(圖3與圖4)，圖5為考量坡地發生破壞時鐵塔分析模式，可用以評估於給定地況條件下對應之安全係數值建議，並且可進行地震動力歷時輸入分析。同時研究應用

HHT(Hilbert Huang Transform)訊號解析技巧，採用設定之輸入地震動歷時分析輸電鐵塔結構震動反應，以創新的資料分析技術，研擬輸電鐵塔結構健康診斷方法，預期未來可供管理單位應用之參考(圖6)。除了輸電鐵塔結構分析模擬技術探討，並於現地輸電鐵塔進行振動訊號量測及長期監測系統建置(圖7)，採用現場量測試驗及監測訊號紀錄，進一步回饋分析模擬研究工作，期研擬建議之鐵塔結構健康診斷流程(圖8)更可務實並具可行性。

(四)結論與建議：

確保輸電鐵塔結構安全是輸電線路供電系統維持正常服務性之關鍵工作，本研究針對輸電線

路結構分析模擬技術、結構健康診斷技術與結構安全監測技術等三大主要課題進行探討，研提適用輸電線路受風害及震害(含坡地災害)之境況模擬與風險評估方法建議，建置之鐵塔結構分析模型，可用於分析風力及地震力、坡地災害等作用

之結構反應，而建構的結構健康診斷分析流程，屬於分析模擬技術之階段性研究成果，建議須仰賴更多鐵塔結構相關試驗或檢測資料、長期監測紀錄或損害事件調查報告收集，進一步實際回饋及精進相關分析技術。

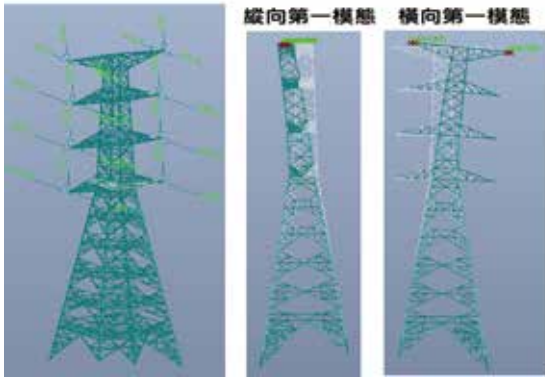


圖1 輸電鐵塔結構分析模型

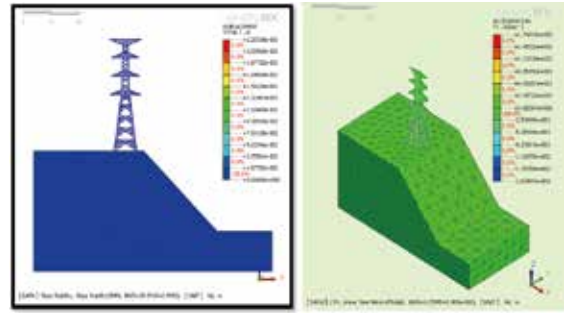


圖5 輸電鐵塔坡地滑移分析模式

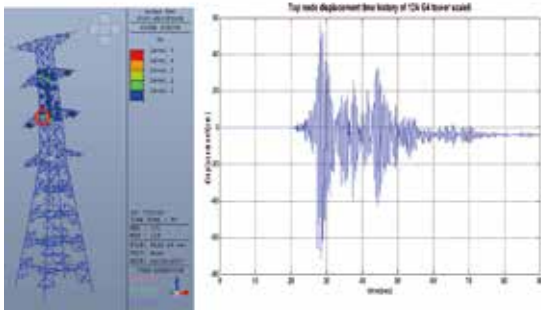


圖2 輸電鐵塔受震分析模式

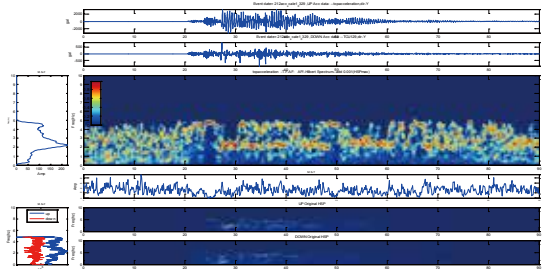


圖6 應用HHT進行訊號分析技術

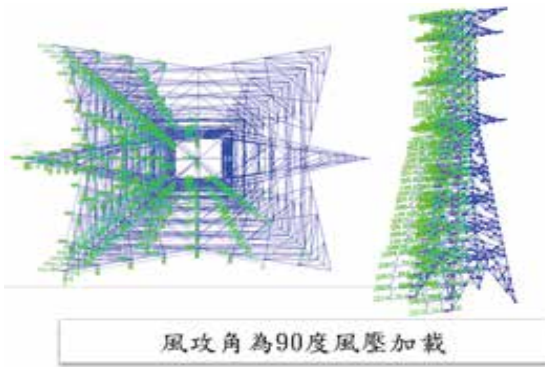


圖3 輸電鐵塔受風力分析模式

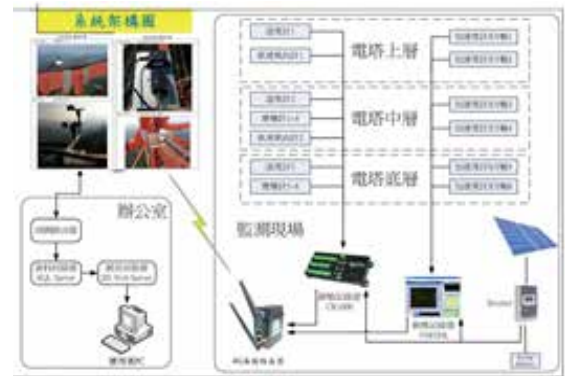


圖7 現地輸電鐵塔監測系統



圖4 自動化風力載重計算與加載程式

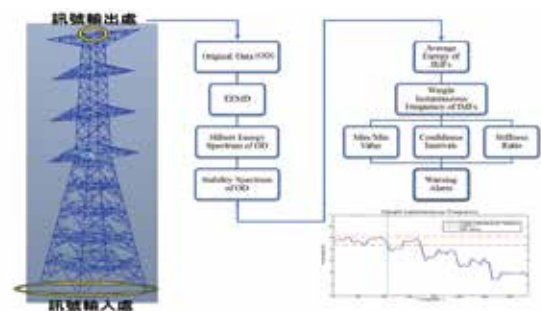


圖8 鐵塔結構健康診斷流程