

電力研究簡訊

Power Research Newsletter

92. 10 No.50

台電綜合研究所 **TPRI**

地址：(100)台北市羅斯福路四段198號 電話：(02)2360-1095 傳真：(02)2364-9611

研究計畫成果

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。

一、台中發電廠汽機控制閥閥座自製研究 (能源室：吳憲政 謝式儒 李桂賓)

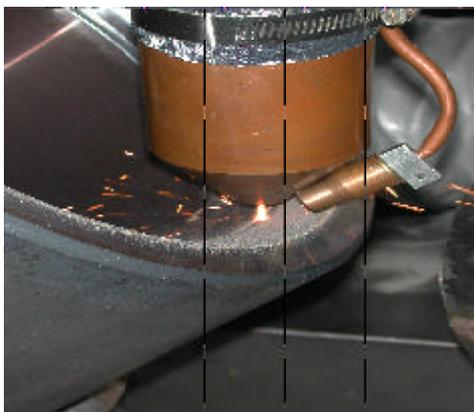
(一)研究背景、目的及方法：

台中發電廠八部汽輪機為GE設計機組共有控制閥閥座(GV control valve)32只，閥座採用可拆換設計便於更換維修。機組自試運轉至今已發現閥座密封面Stellite No.6合金龜裂20只，其中No.1號機CV-1密封面於換新後第二年大修又發現龜裂，中五機CV-2及CV-4於87年度大修更換。本研究針對易產生龜裂之控制閥座密封面進行表面包覆處理改善研究，研究內容由衝擊磨耗試驗及研磨磨耗試驗評估不同閥座密封面材料(包括Stellite No.6、Stellite No.21及Stellite No.306)經雷射表面處理及傳遞式電漿電弧覆鍍製程之覆鍍結果，並由評估結果選擇較佳製程進行實體件之試製及閥座密封面之標準表面處理製程建立。

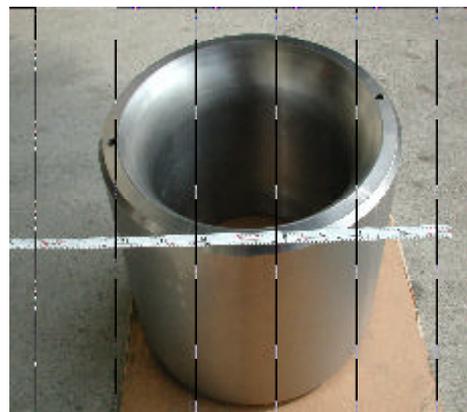
(二)成果及其應用：

經研磨磨耗試驗結果顯示PTA製程覆鍍處理之stellite No.6試片其抗研磨磨耗性較PTA與雷射包覆處理之Stellite No.21及stellite No.306試片為佳，但經抗衝擊磨耗評估結果證明雷射包覆處理之stellite No.6閥座試片優於PTA製程之閥座試片。考量不同包覆製程試片之高溫硬度及抗磨耗性，閥座汽封環製程以stellite No.6雷射包覆處理製程為最佳之選擇。經實體件測試結果完成兩只新閥座之雷射包覆處理試製，並建立閥座密封面雷射包覆處理標準製程，且完成品送電廠試用。

能源室：吳憲政 謝式儒 李桂賓
研究人員 台中電廠：陳寶權 張穎潮



圖一 閥座實體件以雷射共軸包覆噴嘴進行閥座密封面包覆情形外觀照片



圖二 閥座實體件經雷射包覆製程處理及加工完成後之外觀照片

二、產業結構變動對未來電力需求影響之研究 (電經室：洪紹平、黃義協、洪育民)

(一)前言

電力投入為經濟發展重要不可或缺之要素之一，台灣經濟快速發展之際，國民所得亦逐年大幅成長，電力需求逐漸成為生活不可缺少的必要條件。未來台灣經濟將面臨全球經貿網路的自由化、資訊化、兩岸經貿交流，以及肩負全球溫室氣體減量責任等挑戰，預期台灣產業結構將大幅地改變。

為瞭解國內外經貿環境改變對台灣經濟及產業結構之影響，本文擬將針對政府全球運籌中心計畫及知識經濟等政策加以深入探討，並考量加入WTO、兩岸經貿關係變動及氣候變化綱要公約等未來面臨之外在環境改變，分析探討台灣未來產業結構的變動，進而在可能的產業結構變動之下，檢視台灣產業別、區域別等之用電需求之變化。

本文有關經濟成長與產業結構之預測模式，以TAIGEM-D模型作為模擬產業結構變動之分析工具。至於電力需求預測方面，將以預測結果較令人滿意之Neural Network分析法為主。最後，將針對未來本公司面臨之內外在環境可能之變化，研擬相關因應措施，俾供擬定相關發展策略之參考。

(二)未來產業結構變化趨勢分析

為明瞭貿易自由化、提昇能源使用效率CO₂管制、知識經濟與兩岸三通開放等政策對我國產業結構變化之影響，擬運用TAIGEM-D模型進行產業結構變化之分析探討。預測結果如下：

1. 基線預測結果顯示：關於十五部門之產業附加價值佔總附加價值之份額推估方面，在各產業附加價值所佔份額中，以工商服務業與社會服務業與商業之附加價值所佔份額為前三高產業，其次依序為金融不動產保險業、運輸倉儲與通信業與其他服務等。因此，可預期未來製造業、傳統產業與基礎工業結構配比將下降，而服務業將持續增加。
2. 貿易自由化、提昇能源使用效率CO₂管制、知識經濟與兩岸三通開放等政策進行產業結構變化之模擬結果得知，附加價值成長變動率方面，營造業、資訊業、其他服務業、民生工業、社會服務業附加價值成長的變動率較為顯著，其次為金屬業與工商服務業，而附加價值成長的變動率衰退最嚴重的為農業部門與運輸通訊業。可見貿易自由化、提昇

能源使用效率CO₂管制、知識經濟與兩岸三通開放等政策實施對民生、化工、基本金屬業、營造業及其他服務業產生正面影響；反而對農業、礦業造成負面影響。至於對其他產業之影響並不大。

(三)長期電力需求預測

電力需求長期負載預測模型所考慮之因素，包含經濟成長率的變動、產業結構的調整、各行各業的發展指標、各種家用電器的普及情形，以及所得水準、氣溫與需求面管理策略等。總體經濟部分均依據行政院經濟建設委員會、主計處及國內各經濟研究機構對國內外經濟情勢之預測、分析，並配合相關市場調查資訊，重新加以檢討、評估，並作必要之修訂。有關電力需求預測方面，將運用NeuralNetwork分析工具進行分析探討。

1. 基本情境下各產業電力用電預測結果如下：資訊業為最大的電力用電需求業，到民國105年用電量達431.26億度，用電量最低的則為國際貿易業到民國105年僅需要4.29億度。以各產業用電需求成長率來看，農業的電力用電量成長變動在1%上下成長趨於緩慢，在製造業中，以資訊業、水電煤氣業及運輸通信業的需求電量變化最高維持在6%~7%間，另外服務業用電需求變化大致為4%~5%左右水準。
2. 貿易自由化、提昇能源使用效率CO₂管制、知識經濟與兩岸三通開放等政策進行電力需求預測結果得知，僅開放兩岸三通將增加電力用電，其他政策之影響效果有限。上述政策對服務業用電影響大；預期知識經濟政策將提升電燈用電量，其他政策之影響程度不明顯。此外，貿易自由化與知識經濟政策將降低尖峰負載；而提升能源效率CO₂減量及開放兩岸三通政策預測可增加尖峰負載。

(四)本公司因應策略

為做好本公司負載管理策略，除持續抑制尖峰負載成長，並努力推廣離峰時段用電外，未來應落實區域負載平衡及個別用戶需求，方能擴大負載管理策略之成效。因此，如何精確預測中長期電力需求量，便顯得格外重要。經本研究針對「產業結構變化」及

「電力需求預測」兩大層面，運用相當多的分析工具加以探討，最後獲得頗受認可的結果，實值得參酌運用。有關產業結構變化趨勢探討方面，本研究衡量貿易自由化、提升能源效率抑制CO₂排放、知識經濟及開放兩岸三通等內外環境變化下以TAIGEM-D模型進行產業結構之政策模擬分析，其預測結果頗為準確：至於電力需求預測方面，運用Neural Network分析結果，在尖峰預測、平均負載、電力用電、電燈用電及區域負載等預測能力強，與歷史模擬結果頗為接近。

未來本公司進行負載預測工作之際，建議多使用諸如 TAIGEM-D 與 Neural Network 等分析工具，規劃滿足用戶需求之負載預測，供未來電源開發及輸配電建設之參考，方能在電業自由化競爭市場中，爭取更多的電力用戶。

此外，電業法修正草案通過自由化與民營化後，本公司必須因應電業環境之變化，積極改變經營型態。目前「電業法修正草案」尚未通過，本公司推行需量交易制度可劃分二個階段來推動。在電業自由化前，國內所有用電用戶均需與本公司訂定購電合約，並依本公司公告之電價購電，用戶不得有轉供售電行為。用戶自備發電剩餘電力亦僅能售予本公司，由於用戶購售電合約僅能向本公司訂定，因之推動需量反應交易制度由本公司自行推動；電業自由化後，需量交易制度之推動方式大不相同，由於ISO成立及市場上有多家電力公司，因之配合政府新電業法之規定，並參考國外之作法可適切在電業自由化後之作法加以推動。另一方面，

本公司民營化後，為強化競爭力，建議在經營管理上採行下列措施：發電燃料採購策略、利用不同燃料進行套利、成立仲介平台、推動『能源服務績效合約(ESPC)』機制、成立能源服務公司、進行多角化經營，以及推展知識管理等策略，期能達成永續經營之終極目標。

(五)結語

多年來，本公司為做好長期負載預測及電源開發規劃工作，投入大量人力與物力從事相關研究事宜，包括蒐集行政院經濟建設委員會、主計處及國內各經濟研究機構對國內外經濟情勢之預測、分析，以及相關市場調查資訊等工作，所規劃的電力需求長期負載預測結果亦十分準確，頗獲各界好評。但令人擔憂的是，預測工具始終僅有一套，缺乏作為校準工具之分析模型；幸賴本研究提供TAIGEM-D與Neural Network等分析工具(模型預測能力令人滿意)，可作為每年進行負載預測之參考，從而規劃滿足用戶需求之負載預測，供未來電源開發及輸配電建設之參考，方能在電業自由化競爭市場中，爭取更多的電力用戶。

此外，有關本研究建置而成之產業結構與電力需求預測資料庫，建議結合既有之電力供給、電力需求、電業經營管理、發電燃料價格、電力負載預測等模組，建立適合之3E整合模型，期能提升本公司競爭力。

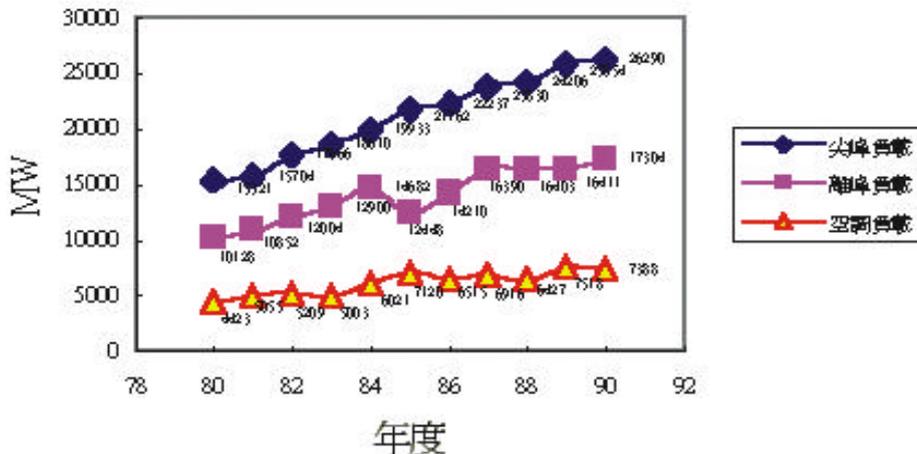
新技術介紹

改善空調主機效率之方法

(負載室：韓明紘)

近年來，台灣地區隨著工商業蓬勃發展，國民所得大幅提升，對能源的倚賴度持續增加，但因本身資源貧瘠，自產能源有限，大都仰賴進口，以民國70年為例，進口能源佔能源總供給之比重為85%，到了90年增加為97%。對電力的需求更是與日劇增，年年夏季尖峰用電迭創新高，自民國80年以來電力備載率均維持在13.2%以下，民國82年甚至只達4.2%，遠低於獨立系統應有之備載率(15-20%)，為了確保供電安全，於用電尖峰實施限電措施，對產業及人民生活影響甚鉅。在新電源開發困難，核一、二廠因環保意識抬頭即將面臨提前除役，民間電廠

興建又不如預期的情形下，「節約能源」成為當下最重要的課題。根據本公司統計資料，最近幾年電力系統尖峰負載持續攀升，由民國80年之15,321 MW至民國91年27,117 MW，十一年間增加11,796 MW，平均每年增加1,072MW(如附圖所示)；其中空調用電快速成長，由民國80年4,423MW增加為民國91年之7,259 MW，每年約增加258MW，約佔夏季尖峰用電的百分之三十，以民國90年為例，夏季用電尖峰負載26,290MW，其中約有7,388MW為空調用電，所以空調系統的節能是最直接也是最有效抑制電力尖峰負載的方法之一。



附圖 尖離峰及空調電力負載統計曲線圖

空調系統設備包括窗型冷氣、箱型冷氣、中央空調系統，而中央空調系統約佔50%，空調主機乃為中央空調系統中最重要設備，其耗電量約佔系統的60%以上，因此提高空調主機的能源效率，對減少空調耗電量及緩和夏季尖峰負載的成長有相當助益；提高空調主機的能源效率方法概述如下：

1. 提高冷卻水水質：一般冷卻水經常發生腐蝕、水垢、微生物三大問題，對空調設備的性能及人員的安全（如退伍軍人症）影響甚鉅，其中水垢問題更造成熱交換效能的降低，大量電能的浪費，一般冷卻水水質處理方法包括加藥、臭氧、磁能鈍水器、膜處理劑及離子化處理器等。
2. 冷凍油添加劑：機械式冷凍系統隨著使用時間的增加，冷凍油品質劣化使潤滑變差及雜質沈澱，導致熱傳效果降低，市面上推出的冷凍油添加劑即針對此缺點加以改善，提高主機效率。
3. 主機變頻：由於馬達的耗電量與轉速的三次方成正比，又空調系統係以最大尖峰負載作設計考量，冰水主機大都在部份負載下運轉，因此，若採用變頻技術控制冰水主機必可節省相當可觀的電力。
4. Decouple系統：此架構（俗稱一次／二次冰水系統）之一次泵浦提供蒸發器固

定流量，馬力數較小，二次泵浦提供負載端所需流量，若採用變頻控制，在負載變動的時候改變其馬達轉速，節省電力消耗。

5. 冰水水溫重置：若冰水主機之冰水出水溫度設高，主機電力減少但

二次泵浦電力增加，若設低則反之，因此冰水出水溫度隨外氣和負載的變動有一最佳點，使得整體電力消耗最少。

6. 冷卻水水溫重置：若冷卻水水溫設低，主機電力消耗會減少，但冷卻水塔耗電量會增加，若設高則反之，亦即冷卻水水溫隨外氣和負載的變動有一最佳點，使得整體電力消耗最少。
7. 冰水主機最佳化操作：傳統的空調設計方式，絕大部份根據最高外氣溫度及室內負荷來計算，並以此來決定冰水主機設備容量及數量，但依據統計顯示此最高要求標準在一年之中發生機率非常少，絕大部分冰水主機都在部分負載的狀態下運轉，不當的運轉策略，除可能降低其機器壽命外更會造成無謂的電力浪費。冰水主機最佳化操作係依據其COP特性曲線為一凹函數特性，利用最佳化理論，在滿足空調負載需求下將冰水主機作最佳運轉，達到節省能源的目標。

立法院經濟及能源委員會於90年2月23日決議『台電大樓、所屬區處及電廠，使用空調主機效率低落，造成百分之二十電力浪費，建議台電公司速依「能源管理法」及有關規定予以改善』，但經現場了解，本公司各單位長期致力於節約能源工作（如設備的汰舊換新等），使空調設備之效率大都維持良好狀態，惟可能仍有部份改善空間。

技術服務

一、輸電線路磁場計算應用軟體開發

（電力室：王金墩、王珠麗）

（一）緣起：

本公司輸工處為執行第六輸變電計畫工程，檢討訂定設計準則並為因應對民眾說明

之需求，極需可計算69kV、161kV及345kV之單迴線、雙迴線及不同電壓四迴線共架等情形，於不同電流及線路高度下，其周圍

磁場分佈評估計算軟體。而輸工處原有相關計算軟體，僅具有單一電壓單迴路或雙迴路之計算功能，且線路架構較為陳舊，特委託本所進行開發具有方便之人機介面，及可預先評估前述各種架構架空輸電線路其周圍磁場分佈之計算軟體。

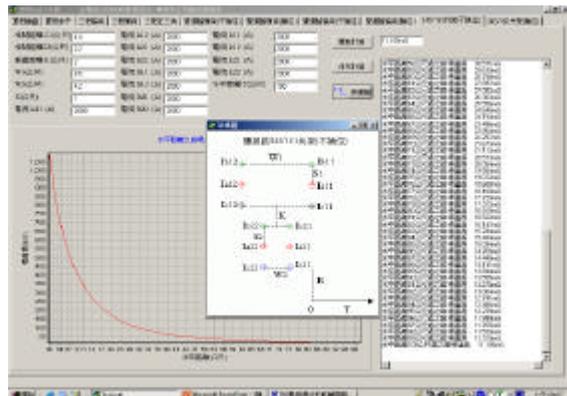
(二) 執行方法及步驟：

1. 本所先依據Maxwell's equation推導出各種不同輸電線架構下磁場分佈之公式，包括：
 - (1) 單相垂直排列
 - (2) 單相水平排列
 - (3) 三相縱向排列
 - (4) 三相橫向排列
 - (5) 三相正三角形排列
 - (6) 雙迴路橫向(不換位)
 - (7) 雙迴路橫向(換位)
 - (8) 雙迴路縱向(不換位)
 - (9) 雙迴路縱向(換位)
 - (10) 345/161kV共架(不換位)
 - (11) 345/161kV共架(換位)等。
2. 與輸工處人員協商計算及人機介面需求。
3. 利用Delphi 程式(核心語言為Object Pascal)開發具人機介面之視覺化視窗應用系統。
4. 使用者可透過滑鼠及鍵盤輸入或點選參數，輕易地得到想要分析之線路結構之磁場分佈圖及數據。
5. 選擇合適地點實際量測磁場分佈狀況並與計算值比較。

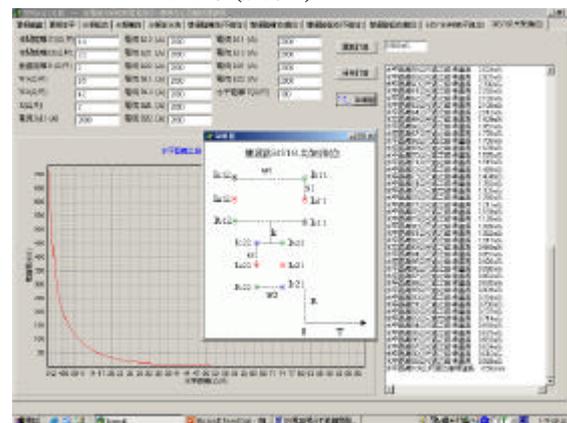
(三) 成果

1. 本所於七月底開發完成符合上諸要求之TPRIemf 1.0版應用軟體(TPRI為台電綜

345/161kV共架(不換位)



345/161kV共架(換位)



合研究所英文簡寫，emf 為電磁場英文簡寫，1.0為版本編號)。

2. 為保護著作權除設使用者密碼保護，並列著作權申明於操作使用首頁外，更於各畫面上方顯示「台電綜合研究所開發設計，專供本公司輸工處線計課使用」，以杜絕未經本所許可拷貝使用情況。
3. 使用人機介面及各選項畫面如附。
4. 6月19日上午於南港~松山雙迴線30號鐵塔附近，進行線下37米高度；具兩迴線下各不同距離之實測，並與程式計算結果比較，比較表如下。

與中心點距離(單位米)		9	9	30
測量時電流 (單位安培)	紅線	590	590	590
	白線	582	582	582
實測值(單位毫高斯)		2.5-0.3背景值=2.2	2.3-0.3背景值=2.0	1.2-0.3背景值=0.9
計算值(單位毫高斯)		2.186	1.907	0.996
誤差值(單位毫高斯)		0.014	0.093	0.006
誤差百分比(%)		0.64%	4.8%	0.6%

5. 本套軟體安裝容易，可在Windows 95 /98/ME, Windows NT/2000/XP等作業系

統上執行，現已安裝於本公司輸配電工程處線路設計課試用，獲得滿意答覆。

(四) 結論與建議：

1. 比較實測與計算值之誤差，應屬合理範圍，且可推斷計算公式應無錯誤或誤植情況。
2. 另以相同推導公式，使用MATLAB軟體開發雙迴路之計算程式，其實測與計算比較結果亦證實誤差均在合理範圍。
3. 探究此次量測誤差可能來源有：
 - (1) 瞬間電流值可能誤差。
 - (2) 距離與高度之測量可能誤差。
 - (3) 由於此次測量線下距離及距迴線下點距離均較大，測量點易受背景磁場及其他磁場源影響。
 - (4) 迴線間距可能誤差。
 - (5) 儀表可能誤差。
4. 本計畫依據輸工處需求設計開發，針對輸工處後續意見擬於下一版本中增修：
 - (1) 345/161共架(換位不換位)標題修正為四迴路共架(換位不換位)。
 - (2) 增加六迴線共架(
 - (3) 基準點改以鐵塔正中心點為0。
 - (4) 兩迴路間每相距離增加可調整功能。
5. 另外，由於軟體為自行開發，故保留許多更進階之功能，如與各種辦公室軟體(Excel, Word, RTF格式等)之輸出連結、資料庫、網路存取功能，可隨使用者之喜好自定人機介面、多國語言支援等，將來將陸續放在更新版本中。

二、林一機前爐爐鼻下彎管處水牆管爆破材質分析 (能源室：林春景、謝運華)

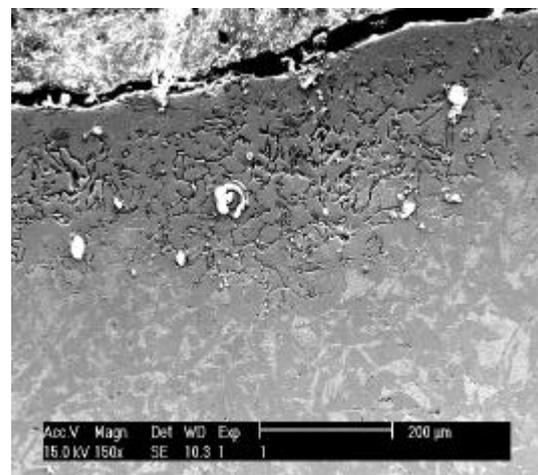
本案係針對林一機前爐爐鼻下彎管處水牆管之爆破事故，進行肇因分析，分析對象共計三支，包括從西算起第36、38及47支，其中第36支於91年3月10日爆破，第47支於91年4月25日爆破，編號36之爐管，早於90年9月3日，即有類似編號47爐管之縱向裂縫，第38支則為了比較起見，另行切取，送交本所進行研判，檢測分析項目，包括：管徑及管壁厚度之量測、拉伸及硬度等機械性質之試驗、母材化學成份分析、金相微結構組織光學顯微鏡檢視、材質劣化程度分析及爆破肇因之研判。

經檢測分析結果，三支爐管管壁並無嚴重受侵襲變薄現象，管徑亦無發現明顯擴大跡象，腐蝕凹陷最深，雖有3毫米(壁厚7.62公分)，但仍在可安全運轉範圍之內；編號

36爐管之降伏強度及抗拉強度，雖顯現劣化跡象，編號38及編號47爐管，顯示延展度亦有劣化現象，但仍不致於導致本案爐管之爆破；至於母材化學成分分析結果，亦顯示未有異常情形；爐管雖已使用長達34年，層狀之波來鐵組織結構，仍然清晰可見，顯示金相並無嚴重劣化現象；編號36與編號47爐管之爆破，乃水牆管內側腐蝕造成，因腐蝕產生之裂痕，進而往管壁外側方向成長，最終穿越壁肉，至於形成腐蝕之環境，係因管內側飽和水與汽流經爆破區域，因爐鼻傾斜而有流體滯留之現象，會產生局部過酸或過鹼區域，經本案之金相組織研判應為氫害造成。



圖一 爐管爆破破口 (電廠提供)



圖二 SEM金相組織顯微結構

協和發電廠 #1、2機已運轉27年，其冷凝器銅管破漏海水事故有逐漸增加的趨勢，其中 #2-1/ #2-2水箱銅管已於90年12月全數更新，然而在換管一年之內已有8支冷凝管發生破管事故。另協一機亦於92年2月更新 #1-4冷凝器銅管，對於冷凝管破管事件頻傳，除影響機組正常運轉外，亦造成保養維護工作額外負擔。有鑑於此，協和發電廠汽機課遂委託綜合研究所協助探究銅管破壞原因及其機構，尋求改善對策。本文即為從協和發電廠所提供之破管試樣所分析的結果說明。文中將從破管外觀及破孔微結構、管垢組成、冷凝器管材金相及腐蝕試驗逐項說明可能造成銅管破壞的原因。

1. 分析方法及步驟

- (1) 管材化學成份分析：取4cm²左右面積之管材壓平後，以Grit #600砂紙研磨表面氧化物至呈現光滑金屬色澤。以輝光放電分光儀（GDS）分析材料中的金屬元素。
- (2) 管材外觀及表面分析：觀察由電廠攜回之破管外觀，拍照及切割。先以光學顯微鏡觀察破孔附近表面狀況、色澤及破孔數量及位置，再以掃描式電子顯微鏡(SEM)觀察表面微結構及破斷面。
- (3) 管材金相分析：截取管材包含破孔之橫截面及內管表面各一試樣，以樹脂鑲埋，再經Grit #240、#600及#1200砂紙研磨後以1 μm氧化鋁粉拋光，再以20mlHNO₃與80mlH₂O的混合液做為侵蝕液，將試樣浸蝕 20

秒鐘後以光學顯微鏡觀察材料金相組織。

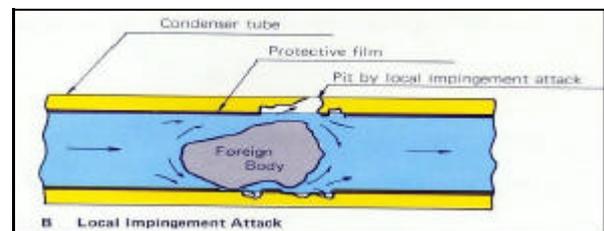
- (4) 管垢化學成份分析：以塑膠刮勺刮取沈積在管材表面的管垢，經壓錠後使表面平整做為試樣，以X光繞射分析儀分析管垢的化學成份。
- (5) 腐蝕試驗：取冷凝管試樣加工成2cm x2cm樣品，經Grit #240及#600砂紙研磨後以環氧樹脂密封使裸露1cm²的反應面積做為工作電極(working electrode)。分別取石墨電極及飽和甘汞電極作為輔助電極及參考電極，接上定電位/電流儀後於室溫海水環境中進行動態極化試驗，並計算腐蝕電流。

2. 結果討論

照片1是自協和電廠 #1機所取回的破孔冷凝管試樣，從破損外觀來看是一典型的沖蝕外觀(馬蹄型表面，有如奔馬於泥地奔馳所留下的足跡，且只有一與水流方向有關的固定範圍軌跡，對管內其他地方並不會造成影響)，且管材表面並無腐蝕產物附著，也就是說發生破管的原因與腐蝕性因子的介入或管材的抗蝕性能無關而與機械力的破壞較有關係。發生沖蝕的機構可以照片2來做說明：照片顯示當有硬物堵塞於管內時，因異物的存在會造成水流方向的急劇改變，直接對管壁沖蝕。若加上海水中含砂量過高或冷凝管是新換的管件其表面的抗蝕皮膜組織仍鬆散時將更為嚴重。配合現場的觀察，可以推斷協和 #1機冷凝管破管的原因應是海砂量過高及海生物數量太多所致。



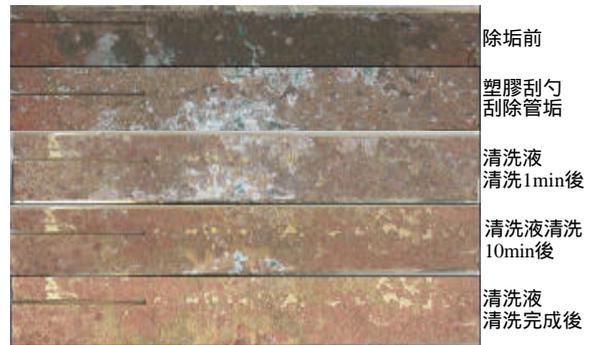
照片1 協和 #1機冷凝管破管表面清洗氧化皮膜前後比對



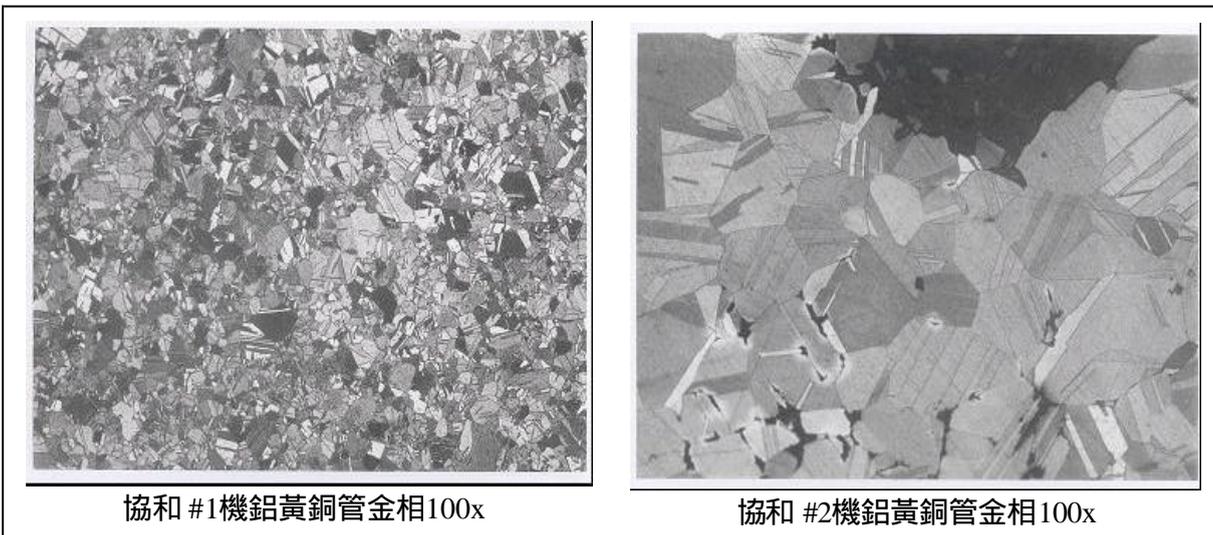
照片2 冷凝管內因硬物堵塞造成沖蝕的示意圖及實物照片

照片3是自協和發電廠 #2機所取回的破孔冷凝管試樣，經以除氧化物試劑清除表面氧化物時其外觀的變化情形，照片中顯示，冷凝管表面的氧化物可以用塑膠刮勺刮除而顯現出銅管上的蝕孔及蝕孔內的綠色腐蝕產物，浸泡清洗液約1分鐘後局部呈現出鋁黃銅的金黃色金屬色澤，這些地方應是未發生腐蝕的區域，不過大部份的區域均呈暗紅色澤，判斷是純銅。從破管附近表面的特徵來推斷其腐蝕行為應是該冷凝管在海水環境中的抗蝕性較差或者海水中含有過量腐蝕性因子所導致。所以當冷凝管局部發生破損或附著腐蝕性海生物及細菌時將增加物質沈積的機率，並使貧氧區域因溶氧濃度的差異而腐蝕，這時鋁黃銅組成中活性較高的鋅金屬元素會被優先溶出或者溶解出來的銅離子回鍍

到腐蝕表面而顯現出純銅的暗紅色澤，此為典型的脫鋅腐蝕(dezincification corrosion)現象。



照片3 協和 #2機冷凝管破孔附近清除氧化物情形



照片4 鋁黃銅管材的金相組織

照片4是分別從協 #1、2機及興達電廠所取回之鋁黃銅冷凝管材料的金相組織，由照片中可看出協和 #2機目前所使用的鋁黃銅管材的結晶顆粒明顯粗大，且腐蝕發生的位置即在晶界位置(右上照片箭頭標示位置)。可見協#2機新購的銅管雖然為鋁黃銅材質，但金相組織顯示晶粒比以往所使用的鋁黃銅管粗大許多。對材料的機械性質而言，細結晶材料會比粗結晶材料強且硬，所以粗結晶材料抗砂的沖蝕效果較差，至於是否抗腐蝕性也較差則尚無文獻資料可供佐證。

3. 結論與建議

- (1) 海砂量過高而造成冷凝管破管的案例，林口發電廠於81年時亦曾在更換新管時發生過，解決之道除了海砂應以抽砂方式處理，不可以使用

挖掘方式，以避免大量的海砂進到冷凝管並造成沖蝕外。在停機時冷凝管應加以通管避免異物堵塞在管內。

- (2) 海水電解的效率應確保，海水中有許多的海生物除了其消化的排洩物會造成冷凝管的腐蝕外，比較嚴重的是堅硬的外殼在高流速海水的攜帶下衝撞冷凝器管板破裂後對冷凝管的損傷，以及存在於冷凝管內造成水流的改變所導致沖蝕的加速。
- (3) 研究發現只要漂砂量低於10ppm 添加硫酸亞鐵可有效的防止漂砂的沖蝕，其有效的時間可達3個月，而對含砂量高的海水環境(高於100ppm) 則於通水初期即形成良好的皮膜會有較佳的防蝕效果。

- (4) 一般的冷凝管舊管有較堅硬的氧化物皮膜，抗漂砂的沖蝕會比新管來得優越，因此更換新管時特別需要做好氧化物皮膜的預成長，實施時應使用清淨的水源添加硫酸亞鐵後淨泡冷凝管一段時間，會有較佳的防蝕效果。
- (5) 從協和 #2機蝕孔附近的腐蝕表面來看，這類型的腐蝕是物質沈積所造成。其可能的來源是海水中的海生物或腐蝕性菌種，建議追蹤檢查海水電解的效能。
- (6) 協和 #2機鋁黃銅管材結晶異常粗大，是否為製造過程的異常應向供

應商求證。以腐蝕型態來看是屬晶界腐蝕，經以動態極化方法評估其腐蝕行為，認為其在海水中的腐蝕速率為 #1 機的 2 倍以上。

- (7) 冷凝管的破管原因可能是綜合性的因素，建議電廠方面先從漂砂的處理、海水電解設備維護及適量的添加硫酸銨鐵來保護冷凝管。至於新換的韓製冷凝管是否抗蝕性差或製程異常，單以實驗室的評估及單一的破管分析恐難以下定論，必要時應進一步安排長期的腐蝕試驗做為驗證。

四、變壓器絕緣量測技術

(電力課：吳明學)

(一) 停電時變壓器的絕緣測試方法：

1. 功率因數測試法：

變壓器各側繞組三相分別短路後，除測量側繞組外其餘繞組均接地，測量側線圈與外殼地及其它線圈間之絕緣在理想狀況下可視為一電容器 C_g ，但實際上絕緣材料之絕緣並非絕對完美，因而有少許洩漏電流流經 R_g ，由此可推導出變壓器幾何空間等效電路(圖1)，此測試法即利用外加電壓 V 與流經變壓器電流 I 間夾角的餘弦值來判定其絕緣狀況是否有劣化(理想狀況 R_g 為洩漏電流 = 0)，故夾角為 90° ， $\cos = 0$ 。另外有很多國家則採用消散因數 \tan (理想值夾角 = 0°)。

目前停電時電氣測試法中最仰賴的是這種試驗方法，然而實際在發電廠測量時，低壓側含 Power Cable 往往上百米未拆除，如此影響測量結果甚鉅(因 Cable 的對地電容 C_g 大於變壓器 C_g 數十倍)，在此極力建議：為了能有效追蹤變壓器的絕緣狀況，變壓器低壓側 Cable 在作絕緣測試時一定要拆除。

2. 恢復電壓法：

絕緣紙是由纖維素材構成，由有機元素碳、氫、氧所組成的聚合分子，每個分子相互鏈結。老化作用引起某些鏈斷裂，以致分子鏈長度減少了。因為纖維素分子間連接由 H 和 O 原子組成，分開形成 H_2O 分子 - 水。所以絕緣紙的品質與其纖維鏈的長度(分子聚合數目)有絕對關係，品質愈差則纖維鏈長度愈短。一具良好的變壓器其絕緣紙是相

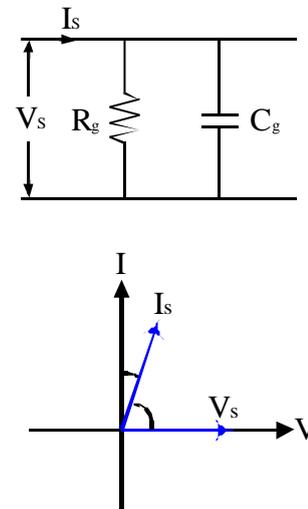


圖1 變壓器幾何空間等效電路圖及其向量

當乾的，其相對含濕量少於 5% (油則是少於幾個 ppm)。當絕緣紙逐漸發生老化，其主要產物——水將步進式地增加絕緣紙的含溼量，而紙浸於油中。自然紙與油會作溼氣交換，但油只能保有紙所能保有水份的一小部分，故油的含溼量比紙小很多。

恢復電壓法是將判斷絕緣紙優劣的重要指標 - 相對濕度，利用數次的充放電試驗，找出最大恢復電壓時的充電時間，即為支配時間常數，再由此常數與相對濕度的線性關係，求出絕緣紙的相對濕度值。使用恢復電壓方法可測量到紙的含溼量，在紙內的含溼量可作為絕緣老化到何種狀態的一種指標，圖2為在澳底 D/S #1 配電變壓器所做之恢復電壓試驗，圖中最大恢復電壓 $U_{max} = 249V$ ，支配時間常數 $t_c = 970.9$ 秒，對應至絕緣紙的相對溼度 = 1%。

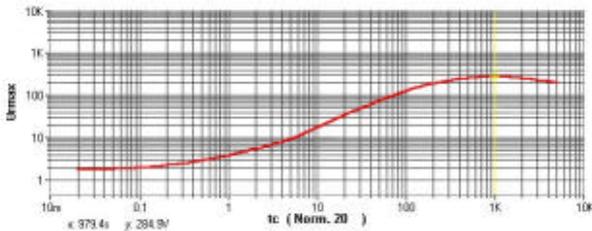


圖3 澳底D/S#1配電變壓器之充電時間 - 恢復電壓關係圖

3. 繞組變形測試法：

以往使用集中參數檢測法來測量繞組的漏電抗、阻抗等電氣參數的變化來判斷變壓器繞組的絕緣是否發生變化，但其檢測靈敏度相當低。近年來則利用網路分析技術，透過測量網路函數 $H(j)$ ，並對測量結果作同型式同容量之變壓器及以往紀錄作比對，可靈敏有效地診斷出繞組變形現象。

當變壓器內信號頻率超過1kHz，鐵心起不了作用，每個繞組可視為由電阻、電感、電容所組成的分佈參數的雙埠網路。設繞組單位長度的分佈電感、縱向電容及對地電容分別為 L 、 K 、 C ，忽略繞組電阻(因為在高頻狀況下變壓器之單位電阻值遠小於單位感抗值及容抗值)，則等效電路如圖3所示，當繞組發生縱向或橫向變形變化時，則網路的 L 、 K 、 C 值勢必會改變，其網路函數特性曲線之諧振點跟著偏移。

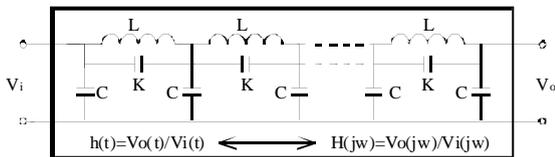


圖3 分佈參數模式下單相變壓器等效電路

利用網路函數 $H(j)$ 來診斷變壓器繞組變形的的方法，常見有低壓脈衝法(Low Voltage Impulse；簡稱LVI)和頻率響應分析法(Frequency Response Analysis；簡稱FRA)兩種，前者為早期所使用的時域分析技術，由於在現場使用時較易受到干擾，並且還有脈衝傳遞過程中的折射及反射、脈衝信號源不穩定性的問題，而後者則由於近年來電子技術的進步，且無上述問題，故已逐漸地被廣泛採用，至於網路函數 $H(j)$ 特性主要取決於內部分佈電容、電感參數，其特徵如下：

$f < 10$ kHz：頻率響應特性主要由變壓器線圈的分佈電感決定($X_L = L$ ； $X_C = \frac{1}{C}$)，諧振點較少，對分佈電容變化較不敏感。

$f > 1$ Mhz：繞組分佈電感被分佈電容所旁路，諧振點減少，對分佈電感變化較不敏感，隨著測試頻率的增加，雜散電容的影響也逐漸明顯。

10 kHz $< f < 1$ Mhz：繞組分佈電容及電感均發生作用，頻率響應也有較多的諧振點，能靈敏有效地反映出繞組分佈電感及電容的變化情形。

近年來由於六輸計劃而新建了許多變電所，高壓側含Power Cable接至GIS，長度約十餘米密封於油中無法拆除，因此測試點只能從GIS端點上取，而Cable對地電容效應在高頻時(>600 kHz)會影響繞組變形的測量結果，但在中頻(100 kHz \sim 600 kHz)及低頻(<100 kHz)時所受的影響就不會那麼大，圖4為大福S/S #1及#2主變高壓側H1H2與互相作比較測量結果，由於兩台變壓器為同型式同容量，故以同側線圈作比較，其中頻與低頻的相關係數均大於1，高頻受Cable影響，故相關係數為0；圖5則為#1主變的H1H2、H2H3互作比較，圖中高頻的相關係數受Cable影響則很高(因兩條Cable一起由同一台變壓器接至同一台GIS)，依經驗可得到以下會影響繞組變形的結論：

低頻($1 \sim 100$ kHz)：主要由變壓器繞組結構主導。

中頻($100 \sim 600$ kHz)：對位移、變形可適當地表現出來。

高頻($600 \sim 1000$ kHz)：易受接線方式不同所干擾。

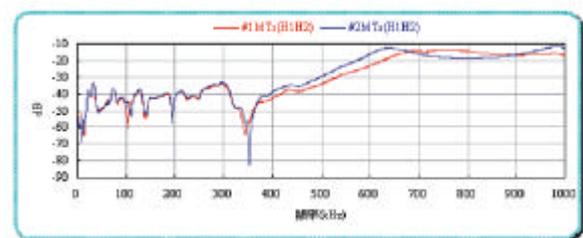


圖4 大福S/S#1、#2主變高壓側H1H2之頻率響應曲線

圖4之相關係數如下：

- 低頻($1 \sim 100$ kHz) $R_{12} = 1.61$
- 中頻($100 \sim 600$ kHz) $R_{12} = 1.31$
- 高頻($600 \sim 1000$ kHz) $R_{12} = 0.00$
- 全頻($1 \sim 1000$ kHz) $R_{12} = 1.50$

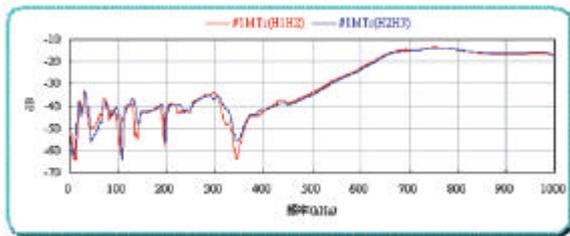


圖5 大福S/S#1主變高壓側H1H2與H2H3之頻率響應曲線

圖5之相關係數如下：

低頻 $R_{12} = 0.79$

中頻 $R_{12} = 1.09$

高頻 $R_{12} = 1.85$

全頻 $R_{12} = 1.71$

4. 油中氣體分析：

從絕緣油中取得的溶解氣體，一般是使用氣相色譜儀來進行各種氣體含量分析，分析的氣體對象為：

*氫(H_2)

*甲烷(CH_4)；乙烷(C_2H_6)；乙炔(C_2H_2)；乙炔(C_2H_2)

*一氧化碳(CO)；二氧化碳(CO_2)

*丙烷(C_3H_8)；丙烯(C_3H_6)；丙炔(C_3H_4) (以上三者統稱 C_3)，一般對 C_3 不要求作分析。

*氧(O_2)；氮(N_2)，這兩種氣體雖然不作判斷指標，但應儘可能分析。

一般常用來作為判斷標準是上述的前七種氣體，以下是產生各種氣體的狀況：

(1) 正常運轉的老化過程產生的氣體主要是 CO 、 CO_2 。

(2) 在油紙絕緣中存在部分放電時，油分解產生的氣體主要是 H_2 、 CH_4 。

(3) 故障溫度高於正常運轉溫度不多時，產生主要的氣體是 CH_4 ，隨著溫度升高， C_2H_6 、 C_2H_4 逐漸成為主要氣體。

(4) 溫度高於1000 時(如電弧作用)，油分解產生的氣體含有較多的 C_2H_2 。

(5) 若故障與固體絕緣材料有關時，會產生較多的 CO 、 CO_2 。

除了上述各種發生氣體的狀況外，尚有其它以這些氣體的比值排成權值編碼表(如三比值法、羅杰斯比值法則)來判斷變壓器故障情形，近年來很多研究將這些比值的方法結合類神經網路或其它的演算法即構成所謂的專家診斷系統，將氣相色譜儀所分析出來的氣體輸入經由經驗累積而成的專家系統後即可診斷出變壓器的故障情形。

(二) 運轉中變壓器的絕緣測試方法：

1. 部分放電：

就變壓器運轉經濟效益及測量效果的觀點來看是以線上(OnLine)測量較佳，而目前對於變壓器線上絕緣監測是以部分放電為主，超音波量測為輔，部分放電在所有絕緣測試方法中是最敏感、最有效，一旦發現變壓器放電量太大時，再利用超音波來定位放電點位置(因超音波對於部分放電信號不甚敏感，放電量需大於某一程度才會被偵測到)，在本節中將介紹部分放電的量測原理。變壓器內部所產生的部分放電量其大小一般可能在數十至數百個 pC ，而設備週圍環境雜訊(如無線電干擾信號、閘流體切換所產生的雜訊、其它用電設備干擾)可能遠高於此範圍，如何有效抑制這些雜訊而讓被試物的部分放電信號突顯出來是主要關鍵，在本節中將會介紹一般常用的方法必需符合IEC60270規定)。

(1) 部分放電信號：

從變壓器套管之Test tap引接至耦合信號裝置，其部分放電電流波形如圖6(a)所示，則部分放電量的計算方式如下：

當峰值偵測器量到波形的相對高點後，即取 $10 \mu s$ 區間作積分運算，即可得到在時間 t_i 的放電量 $q(t_i)$ 值，如下式所示：

$$q(t) = \int_{t_i}^{t_i + 10 \mu s} i(t) dt$$

之後再有相對高點發生可依此法求得 $q(t_2)$ 、 $q(t_3)$ ，最後可得到如圖6(b)之部分放電量分佈圖了。

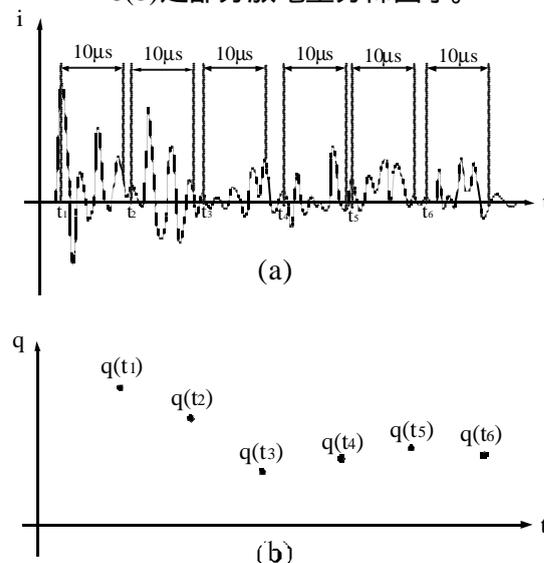


圖6 (a) 部分放電電流波形 (b) 部分放電量分佈圖

(2) 部分放電雜訊抑制方法：

由於油 - 紙絕緣部分放電信號傳遞至外界可由感應器測量到時，已經過不同程度的衰減，再加上測量現場存在電磁場干擾的影響，導致在測量判斷上造成很大的困擾，在現場量測變壓器部分放電最大的干擾源，是來自架空線路上的電量，因為這種干擾信號波形的頻譜分佈，與來自變壓器的部分放電信號一致，故無法用一般濾波器的方法來抑制雜訊，但可利用外界干擾信號與部分放電信號在測量端的脈衝電流方向不同，採用差動平衡法及脈衝極性鑑別法來達成抑制雜訊的目的。

上述這兩種抑制雜訊的方法，有些類似 IEC60270 平衡電橋電路，然而這些方法在抑制高壓電力系統及變壓器週圍環境的電量雜訊有良好的效果，對於若是來自無線電基地台、開流體切換脈波或其它電力電子所產生的高頻雜訊，則無法隔離，故另外還有濾波器、雜訊視窗與雜訊閘的處理技術，以達到最大抑制雜訊效果，並將部分放電信號清晰地呈現出來即提高信號雜訊比。

(3) 目前測量部分放電所遇到的困難：

- a. 因應六輸所新建的變電所以地下化為主，變壓器高壓側套管密封於油筒中(如圖7所示)，而部分放電信號是從套管的測試接頭(Test Tap)取得，因此完全無法做此項試驗，希望相關單位在採購變壓器時，能類似明潭G/S的做法，另外將測試接頭的信號引出(如圖8所示)，以利部分放電或其它測試。



高壓側套管位置

圖7 新建變電所主變壓器外觀

測試接頭信號引出處

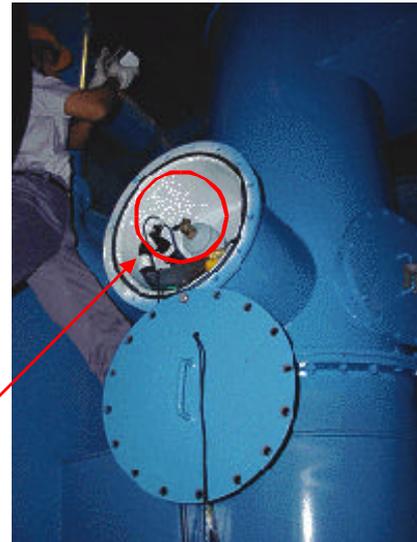


圖8 明潭G/S將主變測試接頭信號引出的情形

- b. 目前本公司所採購的套管以NGK及ABB兩者居多，其中ABB套管的形式種類很多，導致測試接頭的取得不易，若用其它克難式的接法將信號勉強引出，在該處極易因接觸不良而有放電現象(如圖9所示)。

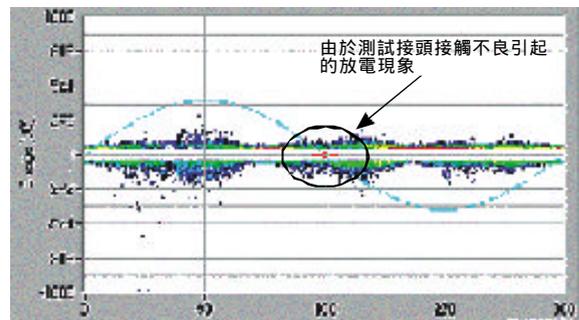


圖9 由於測試接頭信號引出端接觸不良，導致不當的放電而影響測試結果。

2. 超音波測量：

變壓器中若有部分放電發生將會以超音波、熱這些方式來釋放能量，熱會因油的循環而被分散掉，超音波則無此問題，且直接對部分放電所產生的位置測量，有較佳的量測效果，超音波定位即利用此原理讓部分放電量測結果更為準確，它是使用數個超音波感測器粘貼於變壓器外殼接收聲音的時間及相對時差，並使用一些方程式及演算法來確認產生部分放電的位置。然而此法對於部分放電量測的靈敏度較差，只對於超過某一程度的放電量才能被偵測到，因此超音波測量是用來輔助部分放電，用來定位放電位置。