

電力研究簡訊

Power Research Newsletter

93.01 No.51

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、核一廠#1機汽輪發電機轉子扭振頻率之量測及線上監測系統之建立

本公司核一廠曾進行低壓汽機的換新工程，更新後之汽輪發電機串列轉子，除了採用焊接式低壓汽機轉子之外，仍續用了前一製造廠家所留下來之高壓汽機、發電機及勵磁機等轉動件，造成整串組合轉子偏離前一製造廠家之設計甚多，故在當時本公司曾要求得標廠家須在換裝前進行新串列轉子扭轉振動自然頻率之計算預測及換裝後之實測驗證，以避免再度發生類似1985年核三廠汽輪發電機扭轉共振事故，得標廠家其後實施計算預測及實測驗證之結果均相當成功。核一廠為因應未來發電機轉子更換後之扭轉振動自然頻率測試工作，以便能持續監測汽輪發電機之扭轉振動行為，維護汽輪發電機之安全運轉，因此委請綜研所建立此一扭轉自然頻率量測及線上監測系統。本所基於上述需求乃規劃進行本研究計畫，以核一廠#1機更新後之汽輪發電機轉子為標的進行研究，分析與實測結果均分別與製造廠家之結果相比較。

在實測方面，扭振測試的目的是為了量測轉軸於正常運轉狀態下的扭振頻率，由於轉軸本身處於旋轉狀態，無法使用一般的信號線將信號傳出，無線發報量測系統即因應而生。其基本原理是使用高頻無線電波作為傳輸之媒介，將轉動軸內部所量測到的信號以載波調變的方式，經由空氣為傳導媒介將待測信號傳導至外部固定不動的接收器，接收器再依特定之解調方式來還原原始信號，儀器的架設如圖1所示。

本案在數值分析層面，為依據轉子動力學(Rotor-dynamics)原理，配合實際的核一廠

汽輪發電機轉子幾何尺寸來進行模擬分析，其目的在藉此建立可靠之電腦分析模型，以便充分瞭解轉子之各類設計參數(如幾何尺寸、材料性質、轉速、電力系統特性...等等)對該一串列轉子扭轉自然頻率與振動模態之影響，如此可作為運轉人員判斷如何避開扭轉共振之依據，必要時也可以作為更改設計以改善運轉中出現異常扭轉振動之用(如核一廠即曾因要避開57Hz扭轉共振而車修其勵磁機轉子之軸體，事前廠家即曾做過數值分析預測)，分析結果的轉子振型如圖2所示。

本計畫所量測、分析之結果與原汽機廠家一致，表示影響串列轉子扭轉振動自然頻率的諸因素如外形幾何、材料性質等未有顯著變化，即無軸體龜裂、軸材料彈性模數變化等；所有扭轉振動自然頻率維持不變，均在 60 ± 5 Hz及 120 ± 6 Hz等電力系統一、二倍頻之危險範圍之外，且均遠離30 Hz之旋轉頻率，故在正常運轉狀態應無發生扭轉共振之可能；未來須注意第五模態自然頻率為54.5Hz的發展，此為勵磁機端之共振模式，更換勵磁機與發電機轉子時應注意其幾何尺寸、負重分配、材質等變動都可能促使此一自然頻率進入 60 ± 5 Hz之危險範圍。建議本公司採購新設計之轉子或更新舊轉子時，應要求製造廠家提供扭轉振動自然頻率之模擬預測數據供本公司審查，並且一定要要求於現場做實測驗證。本計畫在扭轉振動的模擬分析及實測驗證兩方面之技術與經驗，可供參考，並願提供給各電廠協助。

(能源室：陳瑞麒)

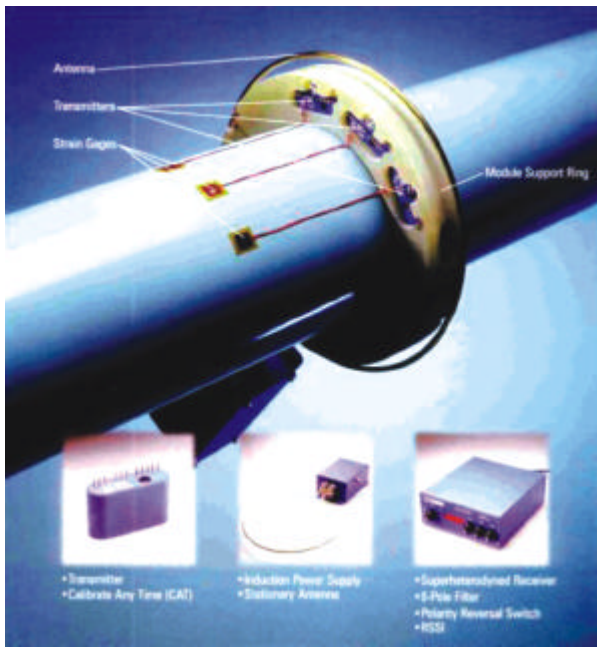


圖1 扭振訊號無線發報量測系統

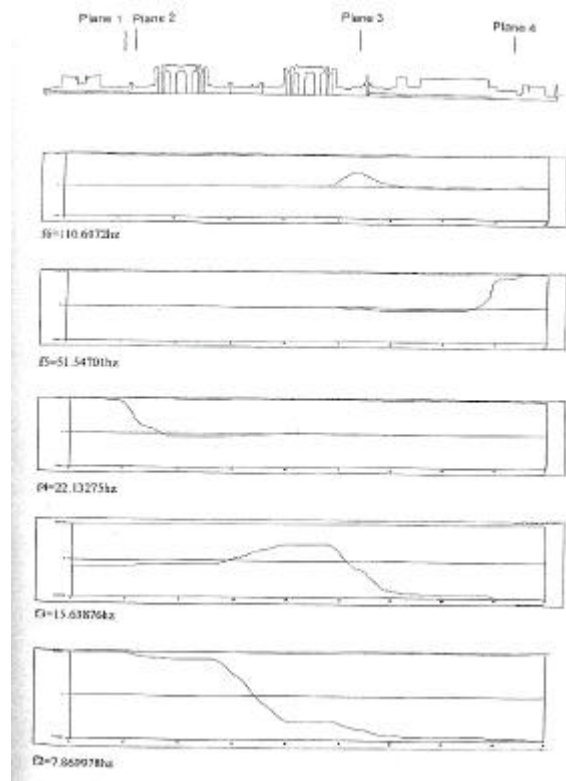


圖2 汽輪發電機轉子之自然頻率及模態振型

二、電廠鍋爐洩水處理回收試驗程序之探討

南部發電廠機組系統水中添加聯氨除氧、添加氨水提高系統水pH值，另外添加磷酸三鈉提高系統水pH值及形成保護膜，因此鍋爐及汽機洩水回收中尚含有殘餘之聯氨、氨水及磷酸鹽。原5先回收方式係將鍋爐洩水依序導入除礦水設備之陽、陰離子樹脂交換槽、除氯槽及混合離子樹脂交換槽進行處理，再造水後尚含有殘餘之磷酸鹽濃度約2 ppm，經回收處理之洩水先儲存於除礦水儲槽，於其中無法驗出磷酸鹽成分之存在。為簡化洩水回收程序，故擬進一步研究是否須增設獨立之處理回收設備，以促進水資源回收利用。本研究即針對南部電廠現行鍋爐洩水回收處理程序，經由現場回收處理程序試驗，提出鍋爐洩水最佳回收處理程序，提供電廠回收程序選用之參考。

近年來因薄膜水處理技術大幅進步，在市場上已經成為水處理的主流技術，對純水製造而言，又數RO(Reverse Osmosis, 逆滲透法)和CDI(Continuous Electrodeion-ization, 連續式電去離子法)較受注目。一般而言逆滲透法有處理設備構造簡單、操作維護容易、化學藥品添加量少及對有機、無機成份皆有良好去除效果等特點，且因大量應用，目前在市場的價格相當有競爭力。而目前CDI已開始應用於工業、食品、醫療及製藥用之純水、超純水製造，其應用上大致是用於取代

傳統混床式離子交換樹脂(Ion Exchange, IX)，和傳統混床式離子交換樹脂比較，其相對優勢含產水水質較為穩定、可連續操作且較簡單及不須再生化學藥劑等，目前RO加上CDI為純水製造相當典型的應用流程，一般RO膜約可移除水中97-99%的溶解性鹽類和大部分的有機酸，對於碳酸的效果則差一些，所以使用CDI的目的即希望可有效移除碳酸和矽土等解離性較低的不純物以提升純水水質。

據調查結果，南部電廠目前#1-3機鍋爐洩水排放量約2100噸月，將來#4機完成後，全廠鍋爐洩水排放量約2800噸月。研究過程在南部電廠設置鍋爐洩水回收試驗設備，設備流程如圖1所示，其中含原水儲槽、清洗劑儲槽、逆滲透膜組、RO水儲槽、樹脂處理槽、純水儲槽及相關管路。設計之回收水質導電度 $< 0.2 \mu S/cm$ ， $SiO_2 < 20ppb$ ，處理容量為24噸/天，RO回收率之設計值為85%。經過長期之性能測試和運轉經驗後，得知南部電廠鍋爐洩水之導電率約為 $15 \mu S/cm$ 左右，經過RO處理後，其矽土和磷酸鹽成分皆有明顯的移除效果，而導電度約可降到 $0.5 \mu S/cm$ 。再經過離子交換樹脂後，水質電阻率皆可達 $18M \Omega \cdot cm$ 左右，水質已明顯進一步的純化(如圖2所示)。在回收水質

確認後，全量回收設備亦已規劃完成，處理程序為前端使用逆滲透水處理設備，後續再使用連續式電去離子法水處理設備精製水質。系統進水量至少8噸/小時，逆滲透水處

理設備回收水量至少7噸/小時，連續式電去離子水處理設備回收水量至少6噸/小時，回收要求水質導電度 $< 0.2 \mu S/cm$ ， $SiO_2 < 20$ ppb。(化環室：曹志明)

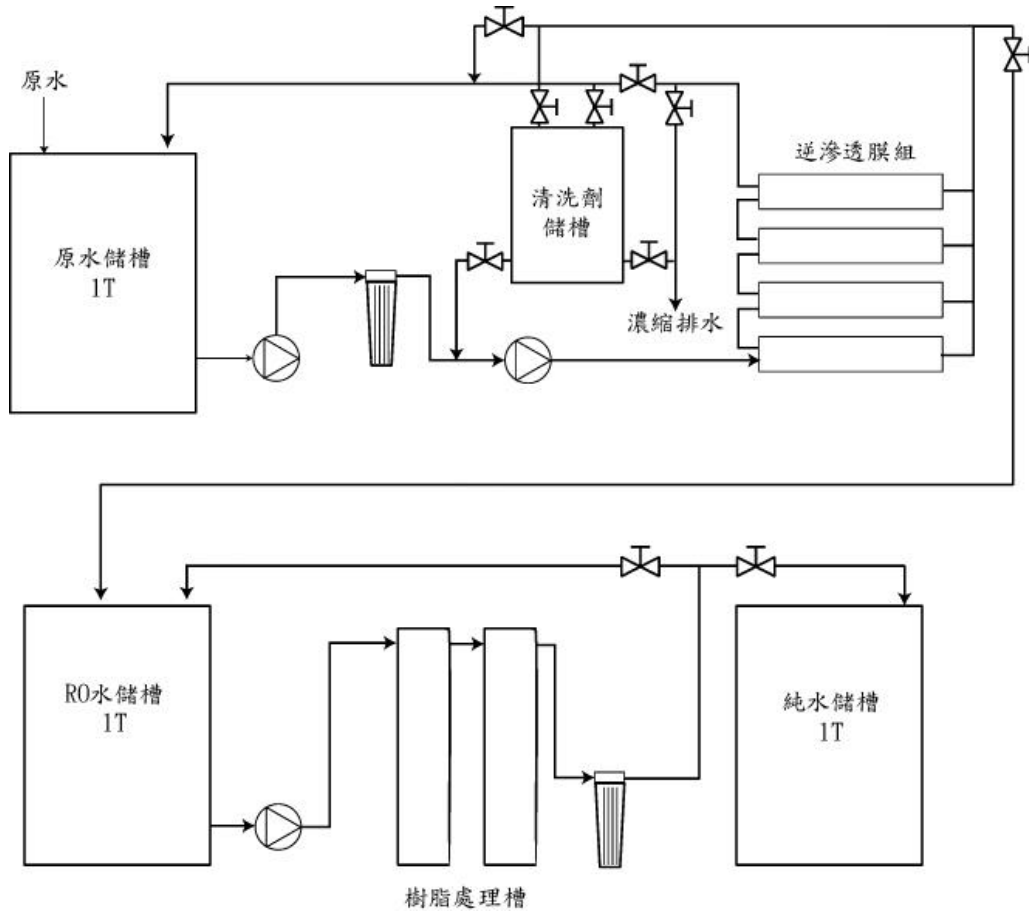


圖 1 回收試驗設備流程圖

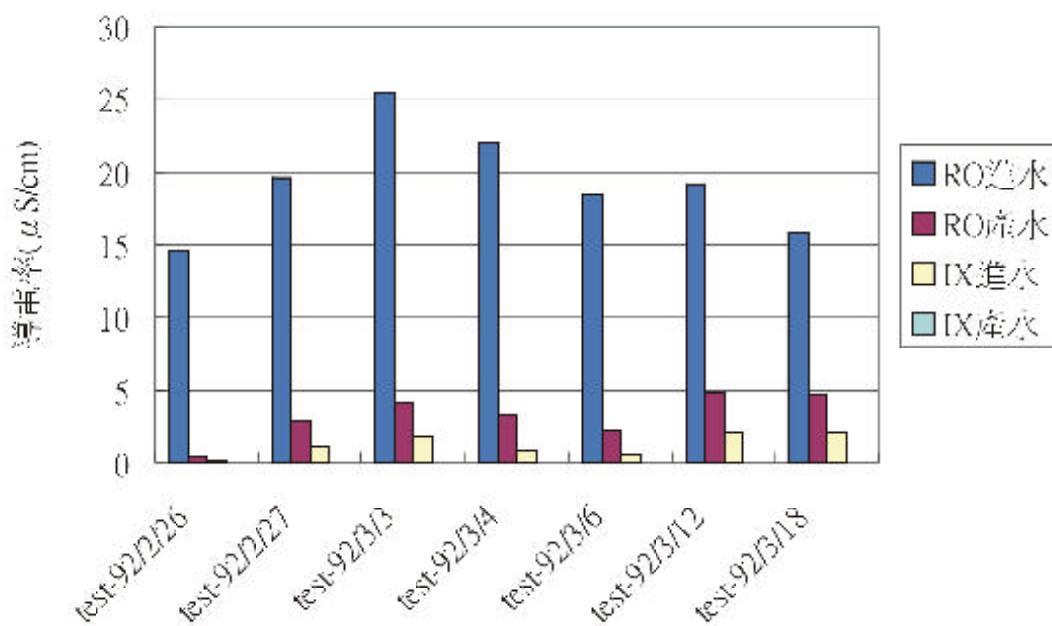


圖 2 洩水回收試驗長期運轉水質結果 ($\mu S/cm$)

三、配電計畫評估模式之研究

(一)前言

台電公司為配合台灣地區經濟發展與用電成長，因應每年用戶數和配電線路負載之成長，須即時擴充改善公司的配電系統、減少線路損失、提高供電品質及供電可靠度。為達成上述目的，台電公司自民國77年度開始，每四年向政府提出一項為期四年的配電投資計畫（或稱配電計畫），經政府核准後實施，目前台電公司正執行第五配電計畫。在台電公司提出各次配電計畫時，台電對於各項計畫的經濟、財務與技術之可行性均予估評估。然因配電計畫包含各項工程項目及件數種類繁多，實難比照其他個別特定之固定資產投資專案計畫，提出分項計畫之細部效益評估，僅能以增加電費收入（發電、輸電、變電及配電之綜合效益）、減少配電損失及提高配電線路可靠度等目標值，作為計畫效益之替代衡量標準，無法就經濟、財務等構面具體量化評估配電計畫之成本效益。

基於已往「配電計畫可行性研究報告」之限制，本研究就各項配電工程提出工程效益評估指標及效益計算方法。以增加供電能力、減少線路損失及提高供電可靠度等三項可幣值化之工程效益，作為評估配電工程之依據。並根據已實施的缺電成本調查或研究結果，推估實施配電工程可減少因配電事故或施工所造成的用戶停電效益。另就可行性研究計畫一般須具備之內容及項目（如投資內部報酬率、本益比、淨現值、回收年限及敏感度分析等），提供較為深入、專業、量化之經濟及財務分析，並根據上述研究成果，開發軟體提供業務處、區營業處人員使用。俾供未來研訂「配電計畫可行性研究報告」時重要之參考依據以及配電計畫之效益評估計算工具。

(二)國外配電計畫

日韓的配電計畫作業均有不同特色，韓國較類似我國，屬於系統擴充階段。在作業方法上，東京電力公司以小區域為規劃單元，預設管理指標值，以財務為評估重點，規劃具有彈性且具有高益本比的配電工程計畫。

比較我國與日韓配電系統之發展概況，可知：國外電力公司正大力推展電力系統全面自動化。台電公司雖然在配電線路地下化比率明顯超越日韓等國，但是我國配電系統自動化的比率卻是大幅落後，本研究認為這是提升我國配電系統可靠度最重要的一項關鍵因素。

由於配電自動化能有效監控電力系統運轉狀況，對於提高系統設備的使用率、故障偵測、負載轉供及運轉管理，均有良好的效益。因此，本研究建議我國應吸取國外經

驗，積極加速提升配電自動化投資金額與比重；再者，在配電架空線路的自動化控制方面，由於日本電力公司是採用光纖通訊線路掛於配電線下的共構作法，一方面可節省工程施工的成本與時間，另一方面也利用此一光纖通訊系統推展多角化經營，而逐步跨向多媒體與通訊的領域發展。這些作法對於即將民營化的台電公司而言，頗具有學習參考之處。

台電2002年的系統平均停電時間指數（SAIDI）為63.8分戶年，其中計劃停電時間達58.1分戶年，高於東京電力的計劃停電時間2分/戶/年及韓電的11分/戶/年。

(三)配電工程評估指標

本研究針對四類八項配電工程，分析歸納出工程必要性評估指標與工程效益性評估指標，亦提出工程效益幣值化之計算方式。區處人員可先由工程必要性評估指標來鑑別實施工程的必要性，再由工程效益性評估指標，即增加供電能力、減少線路損失及提高供電可靠度等三項工程效益幣值化的結果，來評估非必要性工程的效益。

對於配電工程的無形（或不易量化的）效益，引用缺電成本的概念加以量化，隱含表示若某配電工程不予實施，整個社會所可能承受的損失。而由考慮單位電價與考慮缺電成本的試算結果，可看出所預估效益的差異性。

配電自動化工程的效益評估是配電計畫中較難以量化的部份，本研究參考文獻記載及台電公司已實施配電自動化之台中、北南兩區處之經驗，並因應區處所能提供的資料型態，研擬不同方案。

(四)經濟與財務分析

在原評估試算時，因未考量到對系統容量之需求的因素，故對效益的評估可能有低估的情形。換言之，配電計畫在剛完工時，其產生的效益可能會因對系統容量之需求不高，而有偏低的情況，不過，其效益往後可能會逐年地隨容量使用的提高而增加，至飽和時則呈現出一個持平的水準。故單純地以計畫期間每年電費收入之成長率來預估往後的每年效益，將會因以低系統容量需求為基礎，而產生後來營運期間效益偏低的結果。

為改善前述情況，本研究探考量容量因素之方式，將所估出的效益值來進行試算。以91~100年長期負載預測（100年以後負載成長率暫假設為3%）所預估之每年負載成長所增加的用電量作為收入，在配電佔比仍維持14.3%，且其他條件不變的假設下，可推知每年的效益有大幅的提昇。

本研究以上述假設為基礎進行試算（訂為Case1），此外亦考量在僅以符合營運之需求時，所需投入之改善計畫，其可能產生的財務效益（訂為Case2）。在方法上，本研究是將架空線路改為地下配電之工程從大項配電工程項目中加以剔除。

由表1可知，經調整後所產生之效益有改善的情形，其原因在於每年產生之效益有考量到對系統容量需求的因素，而這也是較為貼近事實的狀況。因此，較為合理的效益應該是介於原評估值與Case1（或Case2）之間。

(五) 配電計畫評估軟體

本研究開發一套用於配電計畫評估之軟體，功能包含工程效益之幣值化及配電計畫之整體經濟與財務分析。效益計算按八項工程分類，除具有一般編輯功能及工程效益幣

值化功能外，尚可提供使用者調整參數（如缺電成本、主變利用率等），重新計算效益，進行個案研究（Case Study）。此外，亦可對同性質之工程項目，進行效益排序，找出效益相對較差之工程，深入追蹤考核。對於未來台電分析、評估配電計畫效益，以及編制配電計畫可行性研究報告，提供莫大助力。

(六) 未來研究方向

配電計畫擬定後，區處按配電計畫規劃、設計年度的配電工程，此時，相較於製作配電計畫時，已能取得更為詳細的工程資料。未來的研究方向，建議可朝年度配電工程的細部效益分析，工程應用軟體開發，及建立電腦評估流程等方向著手。

（電經室：洪紹平、黃義協、謝忠翰、洪育民）

表1 財務效益之各試算結果比較

項 目	原 評 估	Case1	Case2
內部報酬率 (IRR)	-6.72%	13.50%	16.50%
淨現值 (NPV)	-615億元	781億元	934億元
還本期間	營運評估期間內無法回收	營運第8年可以回收投入成本	營運第7年可以回收投入成本

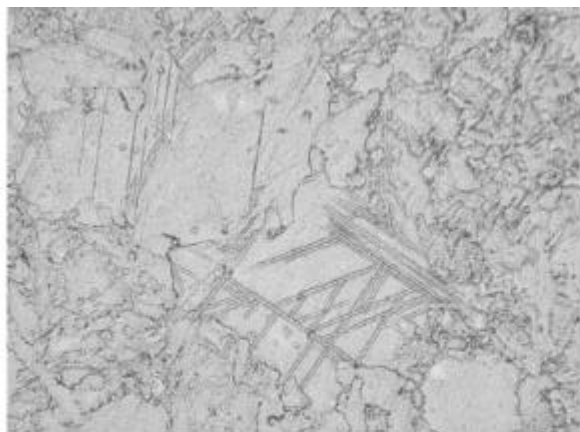
技術服務

一、通霄發電廠三號機鍋爐管材複製膜檢測評估

本所曾於民國89年12月間，配合通霄電廠大修，進行三號機複循環機組之鍋爐管材劣化評估研究計畫，經由複製膜及部份實體微樣等取樣，再經金相觀察及繁複的穿透式電子顯微鏡分析程序，依據冶金壽命評估系統(MLAS)法則評估後，獲致主要結論如下：其一為三部熱回收鍋爐內部之區段，無論過熱器集管箱或鰭管母材，具有強化效果之碳化物組織並無分散球化的現象，顯示此區段潛變劣化屬於輕微程度；其二為室外過熱蒸汽管路之區段，管材劣化程度約略有(臨近熱回收鍋爐) < (鍋爐外部中段) 臨近汽機房的順序；其三為汽機房內蒸汽管路之區段，呈現蒸汽集管箱前後輸送管路的劣化程度較本體嚴重趨勢，其中#3-2匯入蒸汽集管箱前、位於肘管上之直管，發現異常晶粒及雙晶等組織，而汽機斷閘前之T型匯流口也同樣發現機械雙晶，由於雙晶起因於瞬時應力，且多發生於管材軟化之際，並極可能因滑動系統之減少而造成脆斷，因此研究結論即建議必須持續追蹤檢查，鑑於上述，積

極任事之電廠同仁於排定92年度大修前即已行文申請再進行複檢，由於容許工作時程僅約兩星期，極為有限，因此潛變劣化屬於輕微程度之熱回收鍋爐內部過熱器管決定不檢，至於汽機房內之鍋爐管路區段為優先檢測對象，除全數複檢外，為慎重起見，另增加機組啟動時通往冷凝器之旁洩管路(#3-2)，此區段預計取樣41點，餘爐外管路區段雖複檢之急迫性不如前者，但也一致決議依輕重緩急順序儘可能勉力完成，此區段計取樣14點，總計取樣55點，由於不須再進行析出物之穿透式電子顯微鏡觀察，進行方式純為複製膜之取樣及金相分析，並輔以微硬度量測。分析結果顯示相隔約兩年三個月後，取樣之蒸汽管路材質並無明顯進一步劣化跡象，亦無發現任何實體裂縫，甚至原先於89年12月取樣有裂損疑慮之汽機斷閘前之T型匯流口，以及#3-2匯入蒸汽集管箱前、位於肘管上之直管等部位，其機械雙晶均無複雜化或形成微缺口(notch)趨勢，特別是後者之直管經重複證實其雙晶及異常粗晶乃表

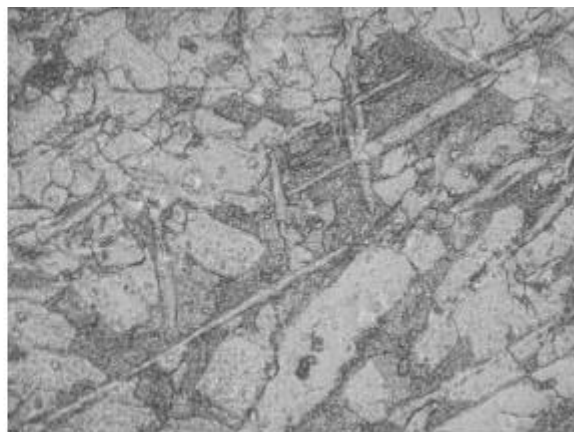
面脫碳所致，深度約500 μ m，不過此次複檢發現新取樣之#3-2通往冷凝器旁洩管路，分別於T型管、縮合管等焊接熱影響區等部位發現機械雙晶(編號ST-38, ST-40, ST-41)，以上異常之發生原因仍應與機組啟停間之水鎚現象有關，已建議若無法經由運轉程序充分改善前，應於停機空檔或大修時針對焊接部位，特別是肘管或T型管等蒸汽流向改變之處，預作全面性染色探傷或磁粉探傷檢測，再輔以複製膜金相分析為宜，至於#3-1匯入集管箱前關斷閥與肘管焊接處閥座側母材(編號ST-33)、#3-3關斷閥與集管箱焊接之閥



ST-38 (焊接熱影響區)

座側母材(編號ST-9、ST-11)、#3-3匯入集管箱前關斷閥與肘管焊接處閥座側母材(編號ST-37)等部位，此次複檢發現或多或少有交錯白色紋路，經攜回本所並與89年12月之取樣綜合比對分析，證實其為初析肥粒鐵，亦即上述取樣點之母材具有所謂魏德曼析出組織(Widmanstatten precipitation)，此種組織乃因鋼材沃斯田鐵化後自Fe-C平衡圖中A3曲線至A1線冷卻過程較爐冷迅速而生，就保養維護觀點，須注意管材表面是否殘留張應力或提防其後應力釋放造成龜裂等問題。

(能源室：陳燦堂、謝運華)



ST-33 (母材)

二、核三廠溫水養殖場監控系統之開發與建立

(一) 緣起

本所研究發展企劃室自87年8月起承辦「運用電廠溫排水養殖海產種苗示範計劃()、()、()」，並於核三廠實際建立溫排水養殖示範系統。該示範系統自91年6月本所嘗試自行規劃並以高密度方式養殖具高經濟價值的海產 - 如龍膽石斑、海驢及白蝦，初期成效顯示良好。本示範計劃之成功，意味著本公司三座核能發電廠及所有火力發電廠大量的溫排水皆具有可觀的潛在經濟價值，也引起台經院及台灣大學生機系與動物系濃厚興趣。

由於本公司過去並無水產養殖經驗，養殖示範系統之營運係委託漁業及海洋技術顧問社聘僱水產養殖專業人員負責執行。而且第三期(係以高密度方式養殖海產為主軸，所以對水溫、含養等水質要求，必須重視，以免因上述問題，如缺氧而使養殖物死亡，造成重大損失並且影響示範計劃之進行。因此為強化養殖環境條件控制管理及提高運轉安全，乃積極進行「核三廠溫排水養殖場監控系統之開發與建立」，期望能將監控資料與人為之養殖操作模式合併為可程式化之操作模式，以減少人為疏失。

(二) 執行方法及步驟

開發並建立溫排水養殖場監控系統，包含四個子系統。

1. 建立監控模擬盤子系統，提供現場運轉狀態與警報：

- (1) 高密度方式養殖主要仰賴源源不斷的氧氣供給。而氧氣之來源主要是水車、鼓風機及海水泵。因此，上述設備之運轉狀態以及運轉所需電源都必須納入監視，一有異常即發出警報。
- (2) 於八個養殖池裝設溶氧與溫度檢測器，即時顯示溶氧與水溫，並且當溶氧降低至設定之下限或溫度異常時發出警報。
- (3) 以上警報發生時，模擬盤上指示燈閃爍並觸發蜂鳴器，做為第一道保護。

2. 建立PLC(可程式控制器)監控子系統，提供遠方警報：

- (1) 水車、鼓風機、海水泵等設備之運轉狀態以及溶氧與溫度信號除了送至監控模擬盤外，同時送至PLC。
- (2) 異常超過二十分鐘仍未解除時，發出手機簡訊及e-mail通知核三廠受指定同仁，前往協助處理。此為第二道

保護。

3. 建立影像監視子系統，監視並記錄影像：

(1) 於示範系統架設4支攝影機，採用國產DVR(DigitalVideoRecorder)監視及記錄攝影機影像資料。

4. 建立WEBbased 監控子系統，提供網路線上監視與查詢服務：

(1) 採用安裝LINUX作業系統的PC做為監控伺服器，由同仁自行以JAVA語言撰寫Modbus/TCP通訊協定驅動程式，讀取PLC所測得運轉狀態。

(2) 運轉狀態利用JSP (Java Server Page)技術以動態網頁方式(每3秒自動更新一次呈現)。

(3) 溶氧量與溫度信號除了即時顯示外，並具有歷史資料查詢功能。

(4) 提供溶氧與溫度運轉記錄資料線上(經Intranet 或Internet)下載功能，經過授權的人員可藉由IE等瀏覽器取得記錄資料。

(5) 當運轉狀態異常超過三十分鐘仍未解除時，由監控伺服器發出e-

mail給核三廠與綜研所相關同仁進行追蹤。此為第三道保護。

(6) 整合影像監視子系統於監控網頁，經過授權的人員可藉由IE等瀏覽器線上監視，亦可在遠端進行影像監視記錄。現場運轉狀態與查詢運轉記錄，提升工作效率。

(三) 成果與效益

1. 本提案之實際執行，提供三道監視與警報措施，其中手機簡訊與e-mail為監控系統自動警報回報，示範計劃之運轉安全大幅提高。

2. 本示範計劃負責同仁，原本必須南下核三廠才得以了解運轉狀態，長途跋涉、耗費人力及車資。監控系統完成後，可隨時隨地上網了解現場運轉狀態與查詢運轉記錄，提升工作效率。

3. 善用網際網路無遠弗屆的特性，將示範計劃各項具參考價值而不影響公司權益的監測資料提供相關單位做為學術研究，有助於公司聲譽之提升。例如，台灣大學生技系只需向本公司提出申請取得授權，便可直接經Internet存取相關資料。



圖一 養殖區運轉狀態監視



圖二 養殖區影像監視

(四) 結論與建議

本監控系統之開發，係本所電力研究室監控自動化小組第一次實際應用JAVA / Linux技術於現場WEB based監控系統。由於監控系統由公司同仁自行整合開發，技術獨立自主，後續維護無須依賴特定廠商。此外，核心技术採用的REDHAT9.0Linux作業系統與JAVA及JSP等軟體均屬自由軟體，不但性能廣受好評，且全部無版權問題，可免費使用。

值得注意的是，在亞洲各國政府已積極發展Linux計畫，期以紓解微軟壟斷軟體市場的壓力之際，國內產官學界也在92年11月

初，以「阿里山日出」之名，擬定一個為期五年的Linux產業發展計畫。包括預計在2007年時完成十萬個以Linux為基礎的相關機關及企業的電子化；同時推出1000套Linux驗證中心所通過的軟、硬體產品，屆時，估計Linux產業整體總產值將可達到120億元。此外，政府單位以及企業用戶的網路伺服器端，使用自由軟體作業平台的比率達30%，而個人電腦使用自由軟體作業平台比率亦達5%。因此，本案之完成洽可提供公司其他單位參考。

(電力室：曹昭陽)

研發與試驗活動

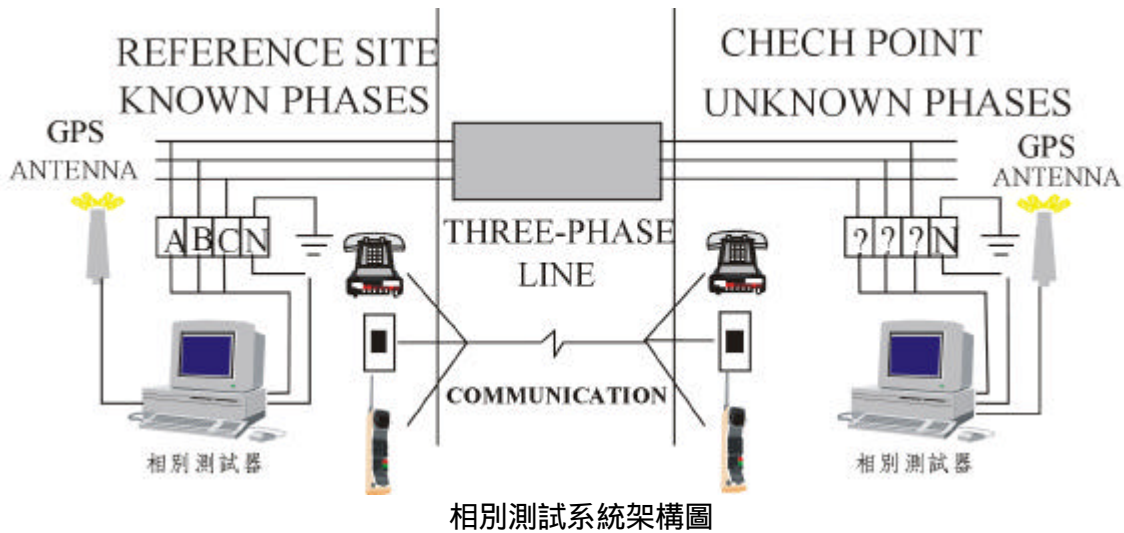
一、相別測試器訓練課程

本公司正積極進行配電饋線自動化工程，以提升用戶供電與服務品質，增進本公司之企業形象。然在配電饋線自動化工程施工中，如缺少正確有效的線路相位對相設備，將延緩自動化運作，進一步影響工程進度及供電品質。

本所以全球衛星定位系統(Global Position System)發展一套相別測試系統，用以解決現場配電饋線自動化工程施工時之對相問題。本相別測試系統可適用於配電線路之架空配置及地下布設兩種方式。在實施無

停電轉供時，測定相序為同相序時始可併聯操作，避免造成變電所CB動作饋線停電。

相別測試系統架構如下圖所示，以全球衛星定位系統(GPS)同步量測遠方兩地之相序，用全球衛星定位系統之時間信號做同步觸發，算出兩地電壓或電流相角，並以其中已知相位之一端做為參考相序，經由有線或無線通訊，檢知另一端未知相序之正確相別。該測試系統具活線作業之功能，準確度達百分之百，其體積小符合現場作業人員之需求。



相別測試器實體圖

本所有鑑於業務處饋線自動化工程之推展在即，協助擬定需求規範，並委製提供十二台相別偵測器及相關配件。計劃於九十二年十一月二十六日假綜研所樹林所區三樓會議室，針對十三個區處現場維護人員約40人，進行相別測試器設備使用說明及饋線線路對相工作教育訓練，以利本公司配電饋線自動化工程之推展。

(電力研究室：廖清榮)

二、明潭G/S解決SFC濾波電容器組溫度過高及改善諧波問題

1. 問題之緣起：

由於#1SFC濾波器電容器組部分電容器漏油十分嚴重，漏油處是由電容器套管帽蓋鉛封處滲漏出來(如圖1所示)，且鉛有輕微溶化現象，電容器腹部有些外脹，初步懷疑該批電容已運轉八年多，可能老化致使絕緣劣化或電容值偏移，然經由相關測試後確認絕緣良好(加壓10kV)，電容值也在合理範圍內。



圖1 #1SFC濾波器電容器佈置及絕緣油滲漏的情形。

為了有效解決電容器漏油問題，經與現場維護人員范文熾主辦的追蹤與討論後，決定再另擇時間測量當SFC及PC(Pumping Condenser)運轉時相關設備的溫度及諧波變化後，再進一步考慮如何改善此問題之措施。

2. 改善問題前相關測量數據分析：

(1) 紅外線測試：

在圖1中所有漏油電容器都發生在雙Y接線電容器組每一相中間的電容器，再加上利用紅外線拍攝(圖2所示)可清楚地觀察到：當在PC運轉模式下時，中間的電容器套管接頭處溫度較其它電容器同樣位置溫度高出甚多(點1 > 170.4、點2 = 144.6、點3 = 91.5、點4 = 137.1、點5 > 170.4、點6 > 114.3)，而電容器本體並未發熱，再仔細觀察中間電容器的接線方式(圖3所示)，因此可得到以下三點結論：

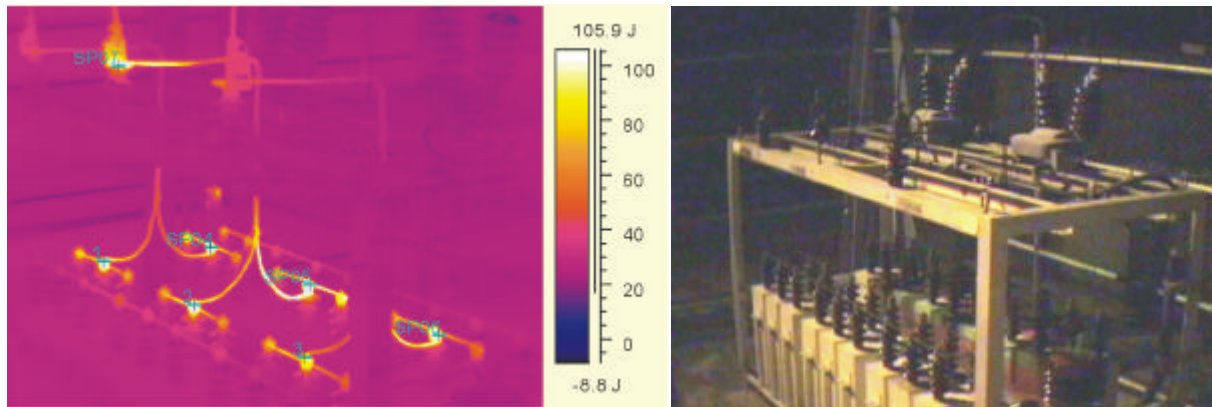


圖2 於PC運轉模式下利用紅外線及可見光拍攝 #1SFC濾波器電容器組的溫度狀況。

- ① 中間電容器發熱端點有條導線平行放置，上面再用一塊銅板壓鎖在電容器端點上，如此必造成壓力不平衡(一條較鬆，一條較緊)，致使較鬆的線有較高的接觸電阻。
- ② 由於電流是從中間電容器分別流向兩旁的電容器，故在中間電容器上有較大的電流，再加上套管接頭鎖螺絲處有較大的接觸電阻，所以溫度會較高是合理現象。
- ③ 電容器套管端點帽蓋鉛封處極高的溫度將鉛溶解後，同時高溫將沿套管至絕緣油使油溫升高，致使滾熱的油從該處流出。

解決方法：

經與現場維護人員討論後，一致決定：在電容器組上方設置三片匯流排，每一電容器從套管上接一電纜線至對應之匯流排上(如圖4所示)，如此不但每個電容器套管接點都可鎖得很緊，電流分布也可很平均。



圖3 中間電容器套管上的接線方式。

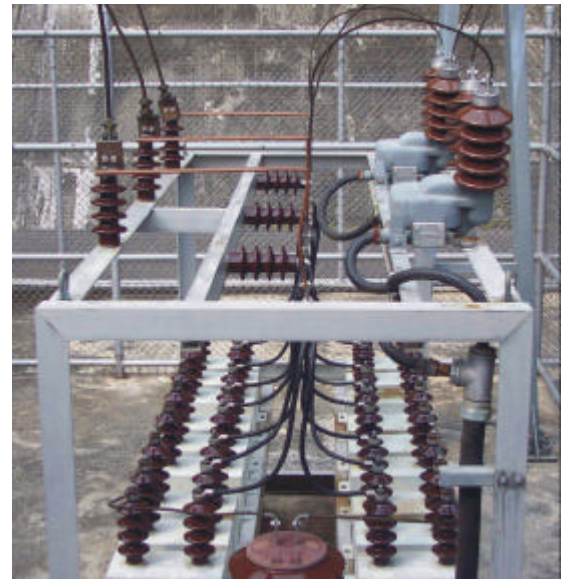


圖4 電容器組改善後的接線方式。

(2) 暫態記錄器測試：

本記錄器主要在測量電壓或電流受電力電子設備(SFC)干擾後的諧波失真情形，測試信號由明潭G/S開關場內SFC濾波設備外之信號小鐵箱及廠用電 #1母線PT裝甲開關箱內引接，共使用8個信號通道，各通道引接位置如圖5所示，其中：

- ch1 ch3：廠用電 #1母線PT裝甲開關箱內 Y / Y 接線之PT(電壓比= 100 : 1)，分別為 $ch1 = V_A$ (相電壓)、 $ch2 = V_B$ 、 $ch3 = V_C$ 。
- ch4 ch5：由信號小鐵箱內引接，分別為跨接在電容器組上之PT1及PT2(電壓比= 200 : 1)信號。
- Ch6 ch7：由信號小鐵箱內引接，分別表示SFC濾波器A相、C相輸入端之CT1及CT2(電流比=400 : 1)。
- ch8：由信號小鐵箱內引接，雙Y中性點間的CT3(電流比= 2 : 1)。

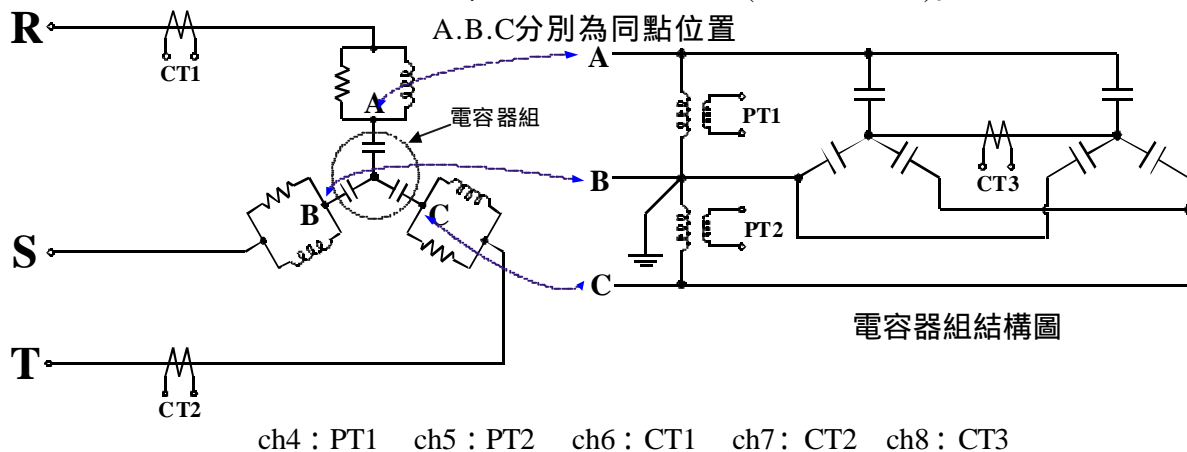


圖5 SFC濾波器構造及信號取樣位置示意圖

2. 經多日深夜測量及資料分析後，可知於SFC啟動初期，濾波器輸入諧波電流 $I_a > I_c$ ，且紅外線拍攝電阻箱外殼溫度：C相溫度 $> 170^\circ\text{C}$ ，而A相却是常溫(約 30°C)，而圖5中電阻箱之電阻R與電感L並聯($R \approx 81 \Omega$ ， $L \approx 9\text{mH}$)，由諧波分析圖可知流往濾波器的電流集中在基本波、5次與7次諧波， $X_{TL} = 23.75$ ，因此電流大多往L流，在電阻器上的電壓 V_R 及功率 P_R 為

$$V_R = L \frac{di_L}{dt} ; P_R = \frac{V_R^2}{R}$$

因此A相電阻箱的溫度應較C相高，此與紅外線所測得之結果不符，極不合理。

再由諧波測試13.8kV Bus在SFC啟動過程中，其每相電壓之綜合諧波失真率(THD)極不平衡(A相特別大)，因此經由公式推導後可知提高A相電感值應可降低THD值，經現場維護人員協助在調整電感之Tap時，赫然發現A相濾波器接線錯誤(如圖6所示)，經改接完成後，再測

Bus之諧波失真情形，結果改善得非常理想，A相最諧波失真率由17%降至7%，且三相間的THD也很平均，其改善前後之THD如圖7、8所示，圖中橫座標為SFC併入系統期間的時間百分比，THD值約每5秒計算一次。

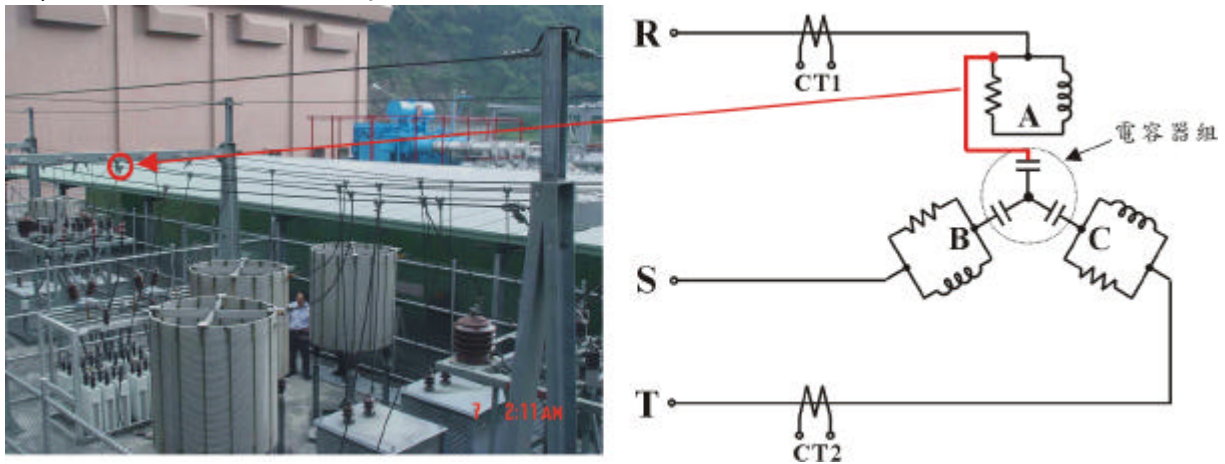


圖6 改善前濾波器接線圖紅線表示接線錯誤處)

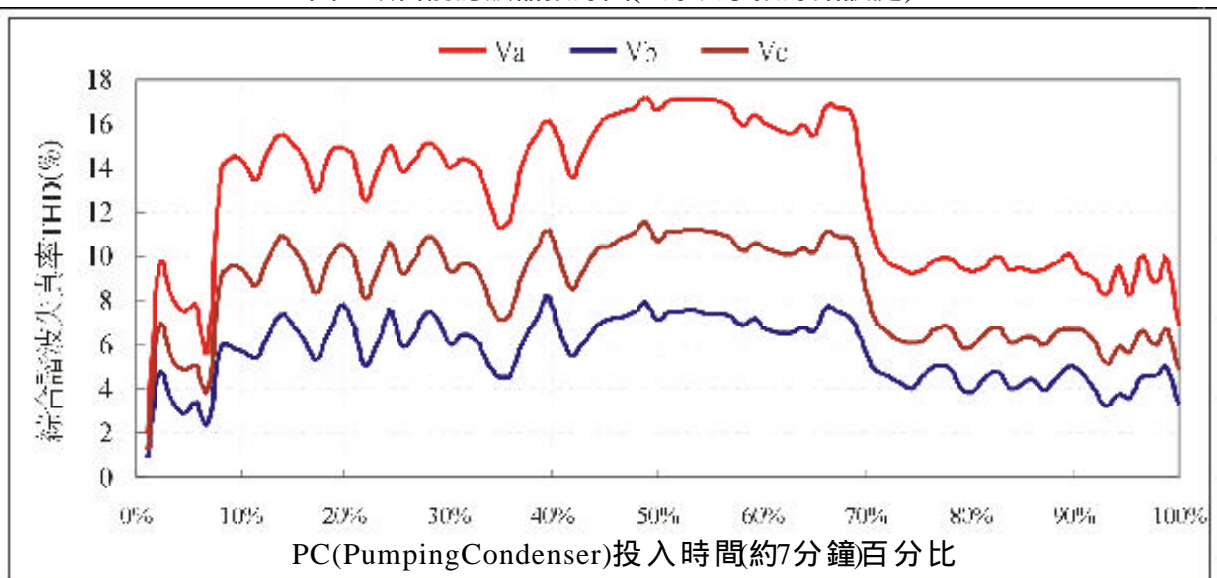


圖7 #1濾波器接線改善前在13.8kV#1Bus上之諧波變化情形(PC運轉模式)

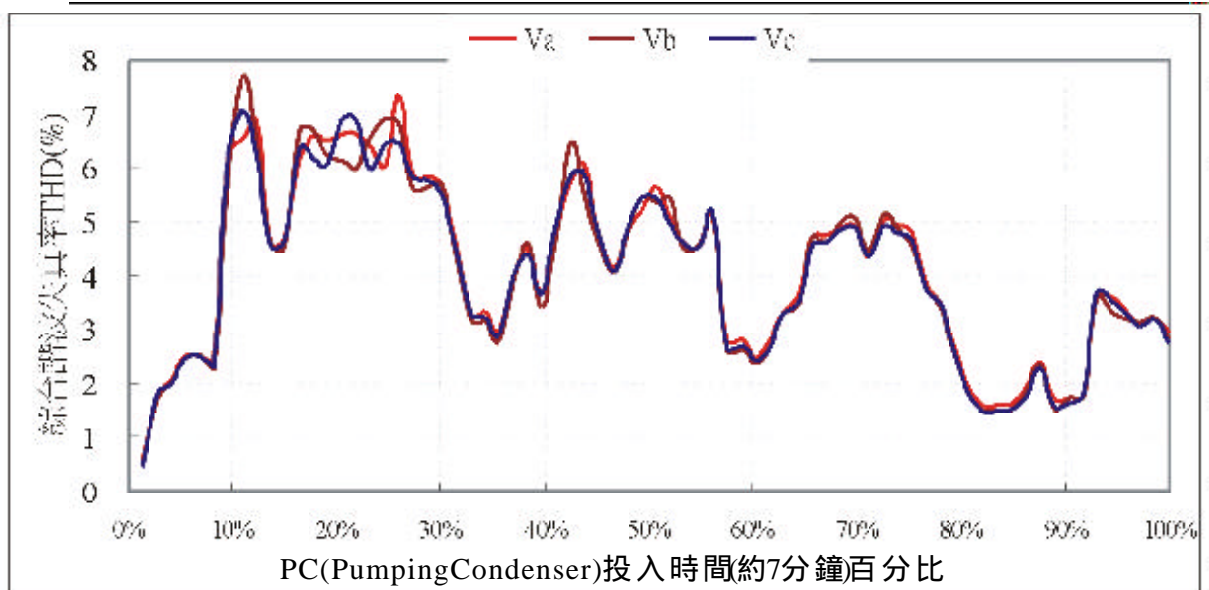


圖8 #1濾波器接線改善後在13.8kV#1Bus上之諧波變化情形(PC運轉模式)

		Va	Vb	Vc
#1SFC濾波器改善前 #1Bus電壓之平均THD(%) (0% 100%)		12.68	5.62	8.40
#1SFC濾波器改善前 #1Bus電壓之平均THD(%) (10% 65%)	15.106.639.99	15.10	6.63	9.99
#1SFC濾波器改善後 #1Bus電壓之平均THD(%) (0% 100%)	4.053.993.98	4.05	3.99	3.98
#1SFC濾波器改善後 #1Bus電壓之平均THD(%) (10% 75%)	4.934.884.86	4.93	4.88	4.86
#2SFC濾波器於 #2Bus電壓之平均THD(%) (0% 100%)	3.373.363.27	3.37	3.36	3.27
#2SFC濾波器於 #2Bus電壓之平均THD(%) (10% 75%)	3.803.803.74	3.80	3.80	3.74

3. 由諧波記錄報告中很明顯得知：本濾波電路主要在濾除5次諧波，次要在濾除7次諧波，經改善接線後濾波效果仍屬良好。
4. 論點簡單推導：

系統單相等效電路圖如圖9所示，圖中 X_s 為電源阻抗， X_L 為負載阻抗， R 、 X_F 、 X_C 則為濾波器元件，諧波源為SFC，忽略線路阻抗。由於本濾波器於八年前安裝至今，於Bus上所接之

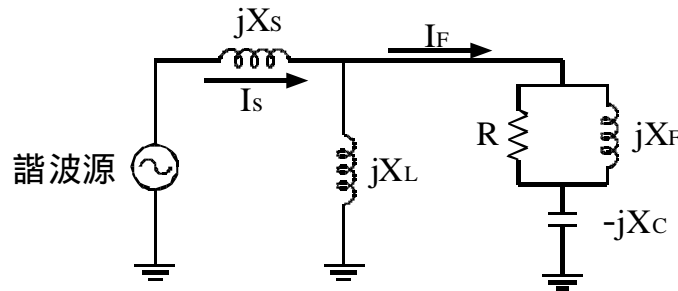


圖9 系統單相等效電路圖

負載必較原始設計值大，故 X_L 會稍低；其次考慮電容值，由於本次試驗電容 C 值略低於額定值。由圖9可知濾波器阻抗 Z_F 及流向濾波器電流 I_F 為

$$Z_F = (R/jX_L) \parallel jX_C = \frac{jR \times X_C}{R - jX_C} \quad jX_C = \frac{R \times X_F}{(R - X_F)^2} \parallel j \left(\frac{R^2 \times X_F}{(R + X_F)^2} \times X_C \right)$$

$$I_F = \frac{jX_C}{jX_C + (R/jX_L) - jX_C} \dots \dots \dots (1)$$

當發生諧振時 Z_F 之虛部=0，即

$$\frac{R^2 \times X_C}{(R + X_F)^2} - X_C \Rightarrow \frac{R^2 \times n \omega L}{(R + n \omega L)^2} - \frac{1}{n \omega L} \dots \dots \dots (2)$$

整理上式後可得到以下方程式：

$$(\omega^2 R^2 LC - \omega^2 L^2)n^2 - 2\omega RLn - R^2 = 0 \dots \dots \dots (3)$$

若將 $\omega = 377$ ， $R = 81$ ， $L = 9\text{mH}$ ， $C = 9\mu\text{F}$ 等數值代入上式中則可得到本濾波器主要濾除諧波次數，上式算出後 n 值約5點多，與測量結果符合。現在考慮系統參數變動時， L 值應如何調整？

- ① 考慮 X_L 降低：在(1)式中，濾波器電流 I_F 設計值目的在吸引諧波電流，當 X_L 降低時，則需增加 X_F 值(即 L 值)使分母最小 $\Rightarrow I_F$ 最大。
- ② 考慮 C 值降低：當 C 值降低時即 X_C 值增加，理由同上需增加 X_F 值(即 L 值)使分母最小 $\Rightarrow I_F$ 最大。

(電力課：吳明學)