電力研究簡訊
Power Research Newsletter

115 年第 4 季 (115.10 No.142)

台電綜合研究所 TPRI

地址：(100046) 台北市中正區羅斯福路 4 段 198 號　電話：(02)2360-1084 傳眞：(02)2364-9611

目　錄

研究計畫成果

一、興二機低壓汽機 LP2 轉子 L-1 級葉根槽裂紋成長評估 1

二、三相四線式 110/220V 低壓供電方式之效益及影響 3

三、OPGW 架空地線腐蝕劣化特性與覆鋁層厚度差異之研究 4

新技術新設備介紹

自動化高電阻校正系統之實作與應用 6

研發與試驗活動

新加坡能源集團 (SP Group) 來訪交流能源轉型、AI 應用與電網彈性發展 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：成爲卓越且值得信賴的世界級電力事業集團。

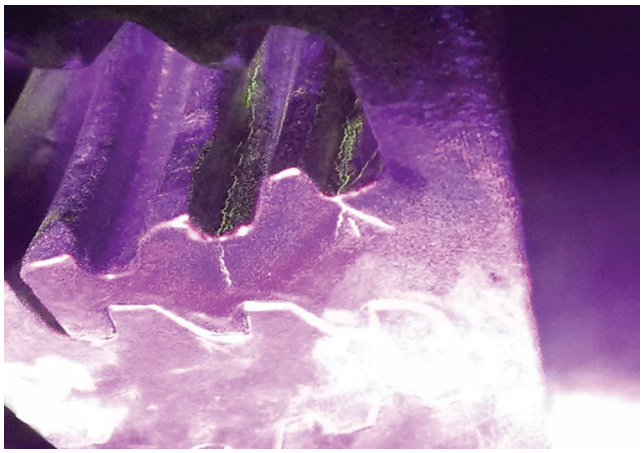
經營理念：誠信、關懷、服務、成長。

研究計畫成果

一、興二機低壓汽機 LP2 轉子 L-1 級葉根槽裂紋成長評估　(能源研究室：石振宇、陳瑞麒)

(一) 研究背景

興達發電廠一、二號機於民國 71~72 年間開始商轉，其 LP-2 低壓汽機倒數第二級(L-1)級動葉片轉子鳩尾槽於 102 年大修時發現多處發生應力腐蝕龜裂(Stress Corrosion Cracking, SCC)(圖 1)。SCC 是金屬材料在特定材料、環境與應力同時具備下發生的破壞現象。興二機雖已於 113 年 1 月轉爲緊急備用機組，但每半年仍需起停併聯運轉一次。爲維護設備與運轉安全，電廠委託進行破壞力學分析，以評估葉根槽裂紋之殘餘壽命與未來運轉次數限制。



資料來源：本研究

圖 1　興二機檢測到的裂紋

(二) 研究結果與分析

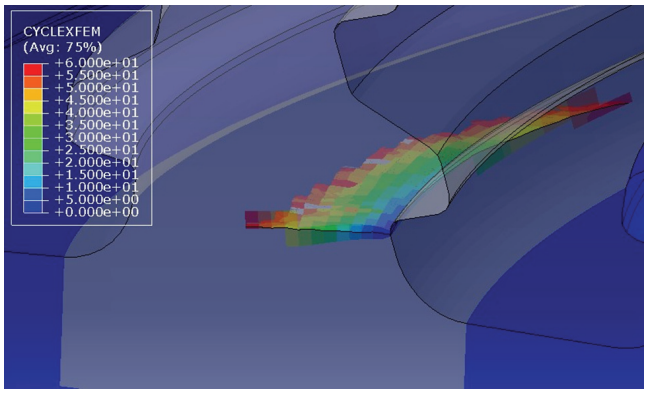
1. 原始不鏽鋼葉片之裂紋成長預測

從給予一單位元素的起始裂縫開始分析步，圖 2 模擬結果指出 60 次應力循環後的裂紋分布情形，表 1 則是端面裂紋與凹槽面裂紋的成長長度。

電廠文獻中最早發現的裂紋是於 102 年發現，其中最大的裂紋是端面 8*6mm 的裂紋，對照模擬的分析步約是 50 次循環，如果假設機組一年起停 10 次，約是五年的光景。102 年離啓用時間約 30 年，回推裂紋大約是使用 25 年附近出現。根據先前的研究以 FE-SAFE 軟體分析該機組因疲勞出現起始裂紋的時間，推估疲勞破壞約 211 個週期的應力作用後(約 21 年)出現，如此換算裂紋從細微裂紋起始到端面 8mm 長度約 8-9 年時間。本研究分析所需的週期時間是 50 個週期(約 5 年)，時程雖接近但仍有誤差，疲勞分析與裂紋成長分析十分依賴經驗公式，僅能分析概略，不能期待其預測能分秒不差，且機組運轉經過數十年尺度，很難完全準確紀錄其運轉及維護狀態，裂紋成長時程的估算乃是一過於簡化理想的推論模型。

若維持現有不鏽鋼葉片，經過 100 次起停循環後，端面裂紋將成長至 18 mm，而凹槽面內部裂紋更會長達 60.5 mm(圖 3)，模型至此開始出現收斂性的問題，實務上可能具有裂穿端面的危險，也就是

如果要抓安全運轉次數，必須控制在 111 年後(對照當時約是 60 cycles)只能再全速運轉起停 40 次。



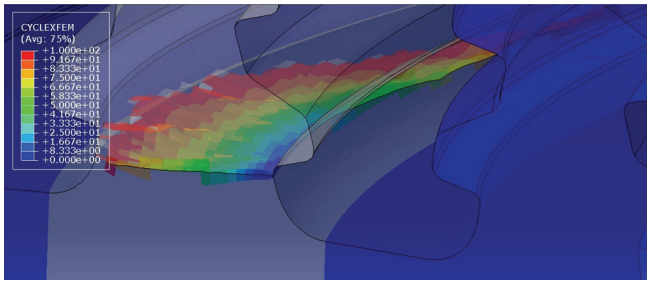
資料來源：本研究

圖 2　60 次應力循環後的裂紋分布情形

表 1　不鏽鋼葉片端面裂紋與凹槽裂紋成長長度

Cycle	端面(mm)	凹槽面(mm)
10	2.8	7.5
20	3.7	15.3
30	4.6	21.5
40	6.4	25
50	8.2	33.2
60	10	40
70	11.2	45.3
80	14.6	48.8
90	16.9	58.1
100	18	60.5

資料來源：本研究



資料來源：本研究

圖 3　100 次應力循環後的裂紋分布情形

2. 更換鈦合金葉片之延壽效益

綜合研究所曾對裂紋明確的葉根槽緊急更換鈦合金葉片，針對減緩裂紋成長，研究模擬了換裝鈦合金葉片的成效。因鈦合金重量僅約不鏽鋼葉片的 56%，可大幅降低葉根槽受到的離心力。表 2 是更換鈦合金葉片後的裂紋成長週期，分析一樣是由長度假設爲零的起始裂紋開始給予應力週期，可以看到裂紋成長十分緩慢，同樣在 100 次循環後，端面裂紋僅微幅成長 2.04 mm，裂紋幾乎呈成長停滯狀態。因此將受損嚴重的根槽上方葉片更換成鈦合金葉片，預期將可有效限制裂紋成長。

表 2　鈦合金葉片端面裂紋與凹槽裂紋成長長度

Cycle	端面(mm)	凹槽面(mm)
10	1.19	1.86
54	1.98	3.86
100	2.04	5.27

資料來源：本研究

3. 裂紋尖端 J 積分與彈塑性斷裂參數之探討

研究將針對觀測到最嚴重的裂紋進行分析，其爲 10*40mm 裂紋，其端面裂紋長度 10mm，葉根槽凹槽內裂紋長度 40mm。在進一步分析裂縫的應力強度發現，其最大應力強度因子(K_I)雖高達 1226 $MPa\sqrt{mm}$，然而鳩尾槽所屬鋼材之臨界應力強度因子(Critical Stress Intensity Factor)保守估計約爲 6300 $MPa\sqrt{mm}$，因此該鳩尾槽的裂紋還不至於急速裂穿造成系統崩潰。但因爲其值接近材料的環境輔助開裂門檻值(K_{ISCC})，在滿載的靜力下，裂紋仍可能因爲應力腐蝕而成長，這會加速裂紋擴展速度，增加預測的不確定性。

更換鈦合金葉片後裂縫尖端的 K_I 值下降至原本的六成(約 500~700 $MPa\sqrt{mm}$)，大幅度的降低了裂紋成長的速度與危險性。

(三) 結論與建議

透過 XFEM 預測，裂紋從萌生大致呈現線性成長。若維持現有不鏽鋼葉片，經過 100 次起停循環後，端面裂紋將實務上可能具有裂穿的危險，也就是如果要抓安全運轉次數，必須控制在 111 年大修後只能再全速運轉起停 40 次。

鈦合金葉片可以大幅降低葉根槽受到的離心力應力，裂縫尖端的應力可顯著下降至六成，進而減緩裂紋成長，與過去經驗吻合。建議可將整級的葉片換成鈦合金葉片，雖然鈦合金葉片成本較高，但更換後裂紋成長速度會非常慢，且最大的 K_I 未達環境輔助開裂門檻值(K_{ISCC})，較不易發生應力腐蝕裂紋成長的問題，如搭配縝密詳細的大修葉根槽裂紋檢查，針對重點裂紋進行相控陣超音波(PAUT)檢測，應是可行的延壽運轉方案。

雖然鈦合金葉片具備優異的延壽效益，但考量該機組已轉爲緊急備用，高昂的替換成本與交期不及切除葉片來得具備經濟與時效性，電廠最終採取切除降載方案。於 115 年 3 月大修時，直接切除整級 L-1 級葉片並加裝擋板。此舉雖導致機組需降載運轉並減少 75MW 發電量，但一勞永逸地排除了裂紋繼續成長裂穿的疑慮。

二、三相四線式 110/220V 低壓供電方式之效益及影響

(電力研究室：林士傑、簡振宇、柯喬元)

(一) 研究背景

爲創新電力價值提供民眾有感服務減少電力損耗，考量台電現行三相三線式 220V 供電方式，用户若需使用單相 110V 用電器具，均需另行加裝低壓自耦變壓器，對整體電力系統損失並不友善。

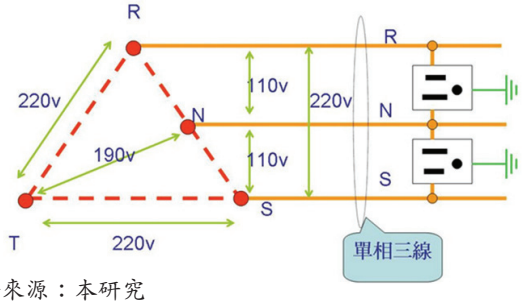
新增低壓三相四線式供電方式將帶來的多方面效益，不僅有助於提升電力服務品質，也彰顯企業善盡社會責任的積極作爲。首先，在節省費用方面，用户若能直接取得所需的 110V 低壓供電，將可免除自行加裝或更換低壓變壓設備的成本，降低整體用電轉換費用。其次，節能減碳效益亦不容忽視，當用户無需再添購或設置變壓器進行電壓轉換，即可有效減少設備耗能與碳排放，進一步促進能源使用效率。

(二)研究內容及成果

依據台電公司現行《營業規章》第 46 條，低壓供電範疇涵蓋單相二線式(110V、220V)、單相三線式(110/220V)、三相三線式(220V、380V)及三相四線式(220/380V)等模式。然而，於實務應用中，申請三相三線式 220V 供電之用户若具備 110V 用電設備需求，現行架構下必須自備變壓設備進行二次側轉換，不僅增加用户端之設置成本與維護負擔，亦降低供電之便利性。

此外，針對契約容量未滿 100kW 之用户，現行規範原則上限制每户僅能擇一供電方式。爲解決單一供電模式難以兼容多電壓等級設備之困境，本計畫擬探討新增「三相四線式 220/110V」供電架構之可行性。在維持單一方式供電之原則下，研議開放採用三相三線式 220V 供電之用户，得彈性增設單相三線式 110/220V 之輔助供電路徑，藉此優化電力分配效率並滿足多元負載需求。

在台電配電系統常見的三相四線式燈力併供變壓器接線系統中，如圖 1 所示，爲了同時供應三相動力(如馬達)與單相電燈負載，會將其中一組繞組的中心點(Center-tap)接地作爲中性線。這種配置會導致兩相導線對地電壓爲 110V，而第三相導線(指對地較高電壓者)對地電壓則會升至約190V(110x$\sqrt{3}$)，而這一相在工程實務中被稱爲高腳相(High-Leg)。



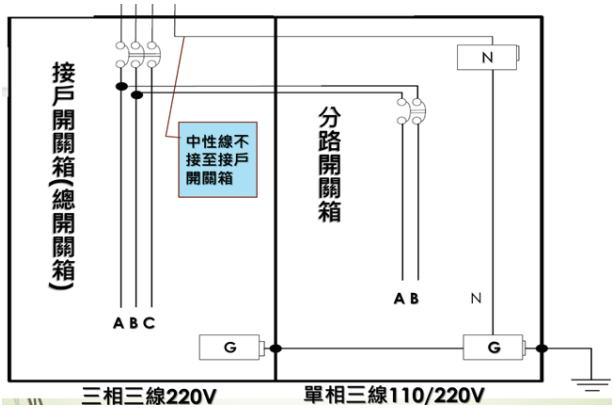
資料來源：本研究

圖 1　三相三線 220V 與單相三線 110/220V 配線

爲了確保維修巡檢人員能一眼辨認出這根特殊的導線，《用户用電設備裝置規則》第 33 條明確規定該相導線必須以不同顏色外皮識別。若現場導線外皮顏色不符，則必須在所有接頭、拉線盒及配電盤等可觸及之處，利用不同顏色膠帶、掛牌或其他永久性手段進行標註。這種視覺上的「色彩警示」是配電系統配電變壓器二次側配線中極爲關鍵的安全防線。

這項規範的核心目的在於防止誤接負載。若水電技術人員在安裝單相 110V 設備(如插座或照明)時，誤將線路連接至不同顏色的高腳相與中性線之間，設備將承受高達 190V 的過電壓，極可能導致電器瞬間燒損、絕緣失效甚至引發火災。因此，規範要求高腳相在配電盤內通常配置於中央位置，以便與一般的單相迴路區隔。透過嚴格執行不同顏色識別標誌與配電盤內的對稱配置，能有效提升維護效率並降低人爲操作失誤帶來的成本損耗，從而達成計畫所追求的提升供電彈性與服務品質之目標。

除強化用户端對 190V 線路的識別與預警機制，透過預先標示及危險識別標語進行提醒與宣導說明，同時也應規劃將用户三相開關箱及單相開關箱分設獨立配置，如圖 2 所示，區隔單相三線 110/220V 及三相三線 220V 兩種電源，但缺點爲用户除接户開關箱外須另設置分路開關箱，將增加用户箱體費用及配置空間。



資料來源：本研究

圖 2　新增低壓供電方式開關箱盤面配置

(三) 結論

新型三相四線式 220/110V 低壓供電模式雖可提升供電彈性，滿足用户同時使用三相 220V 動力設備與單相 110/220V 負載之需求，但仍須注意高腳相 190V 對地電壓所帶來之誤接風險。因此，未來推動此供電模式時，應強化不同顏色識別標示、危險警語與三相及單相開關箱分設等安全措施，以降低用户設備燒損、絕緣失效及火災風險。此外，因

既有用户若改採新型供電模式，可能需於接户管內增設中性線，受限於既有管徑與施工空間，容易增加施工困難與線路損壞風險，故建議此供電模式應以新設用户爲主要推動對象，並透過利害關係人會議加強宣導，以兼顧供電彈性、用户安全與施工可行性。

三、OPGW 架空地線腐蝕劣化特性與覆鋁層厚度差異之研究

(化學與環境研究室：李盈家、張書維、李睿綱)

(一) 研究緣由與目的

光纖複合架空地線(Optical Ground Wire, OPGW)兼具架空地線雷擊防護及光纖通訊功能，爲輸電系統重要設備之一。OPGW 長期架設於户外環境，其金屬絞線可能受到濕氣、鹽分及大氣污染物等環境因子影響而產生腐蝕，尤其於線夾及保護條包覆區域，水分或腐蝕性物質若不易排除，可能增加局部腐蝕發生的風險。

近年部分現場 OPGW 於服役期間發現鋁線腐蝕、斷股，甚至鋁包鋼素線鋼芯裸露等現象；另一方面，不同裝設年代之 OPGW 在相近環境下亦呈現不同程度的腐蝕狀況，顯示除服役環境外，材料本身特性亦可能影響其耐蝕表現。

爲瞭解既有 OPGW 腐蝕劣化情形，本研究蒐集不同服役年限之樣品，透過外觀腐蝕觀察、機械性能試驗及鋁包鋼素線截面分析，比較不同年代材料之腐蝕狀況及覆鋁層厚度差異，並探討其與 OPGW 劣化現象之可能關聯，作爲後續材料選用、設備維護及防蝕管理之參考。

(二) 研究方法與主要成果

本研究蒐集 8 組服役年限介於 6 至 25 年之 OPGW 樣品，依現場使用情形區分爲舊期與近期樣品，進行外觀腐蝕觀察、絞線與鋁包鋼素線拉力試驗及截面分析，並量測鋁包鋼素線之外層覆鋁層厚度，以比較不同時期 OPGW 於機械性能與腐蝕劣化特性上的差異。

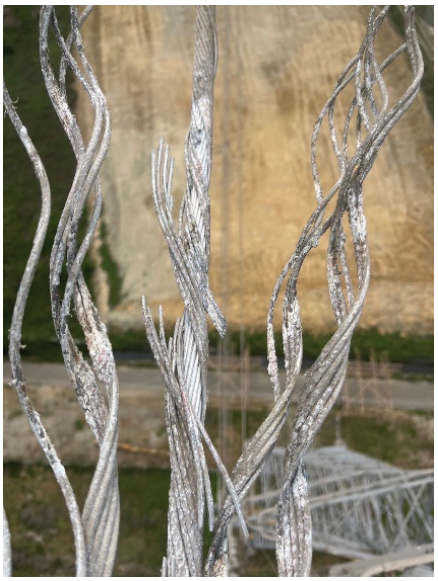
機械性能試驗結果顯示，多數樣品之整體絞線於取樣時仍具有一定承載能力，近期樣品之絞線與素線拉力表現亦未呈現明顯劣於舊期樣品之趨勢，顯示現場所觀察到之腐蝕與斷股現象(圖 1)，尚無法單純以整體機械強度不足加以解釋。然而，部分樣品之素線伸長率已有下降情形，且嚴重腐蝕區域可觀察到鋁層剝蝕及鋼芯裸露，顯示局部材料劣化仍可能影響 OPGW 長期服役性能。

進一步比較外觀及截面結果發現(圖 2)，部分近期樣品於約 12 年服役後已出現鋼芯裸露，而服役約 17 年之舊期樣品外觀仍相對完整。覆鋁層厚度量測結果亦呈現明顯差異，近期服役樣品之平均覆鋁層厚度約爲 285 μm，舊期樣品則約爲 763 μm(圖 3)；另針對全新 OPGW 樣品進行量測，其平均覆鋁層厚度約爲 265 μm(圖 4)，顯示近期樣品覆鋁層較薄之現象可能與材料設計或製造差異有關，而非僅爲服役後腐蝕消耗所造成。雖上述樣品之覆鋁層厚度仍符合相關規範要求，但覆鋁層主要作爲內部鋼芯與腐蝕環境間之保護層，當其厚度較薄時，可供長期腐蝕消耗之裕度相對較少，在相似腐蝕環境下可能使鋼芯較早暴露。

(三) 成果應用與後續展望

綜合試驗結果，OPGW 之長期腐蝕劣化除與服役環境相關外，材料配置、覆鋁層厚度及局部包覆結構亦可能影響其耐蝕表現。尤其近期鋁包鋼素線雖符合現行規範要求，但其覆鋁層厚度明顯低於舊期樣品，顯示在材料符合基本性能要求之外，覆鋁層可提供之腐蝕消耗裕度亦值得納入長期服役性能評估考量。相關結果可作爲未來 OPGW 材料選用、採購規格檢討及線路防蝕管理之技術參考。

後續可持續累積不同地區、服役年限及腐蝕程度之 OPGW 樣品，並比較覆鋁層耗損、鋼芯裸露與機械性能變化之關係，以逐步建立材料劣化與服役狀態之判讀依據。對於保護條、線夾等局部包覆區域，亦可作爲現場巡檢時之重點觀察位置之一，持續累積實際腐蝕案例與環境資料，作爲未來設備維護及防蝕策略精進之參考。



資料來源：本研究拍攝

圖 1　服役 6 年之 OPGW 線路腐蝕情形

早期樣品
(使用 17 年/無鋼芯裸露)



近期樣品
(使用 6 年/無鋼芯裸露)



(使用 25 年/鋼芯裸露)



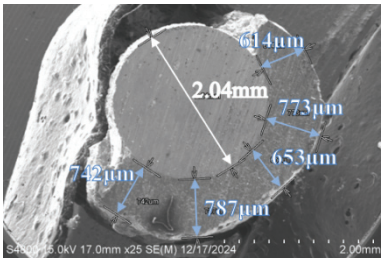
(使用 12 年/鋼芯裸露)

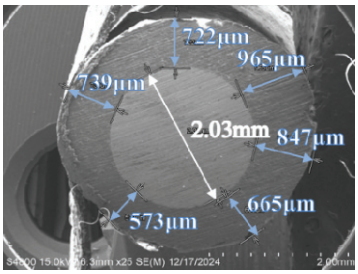


資料來源：本研究拍攝

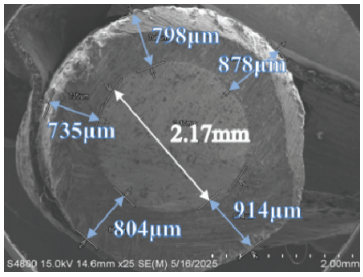
圖 2　不同服役時期 OPGW 樣品之外觀腐蝕劣化情形

早期樣品S1

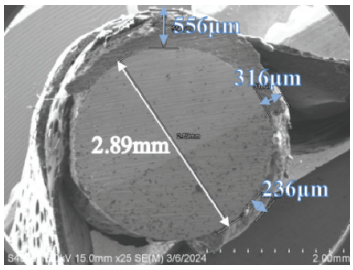




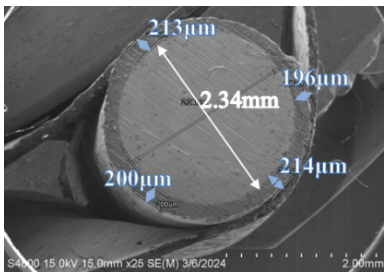
早期樣品S2



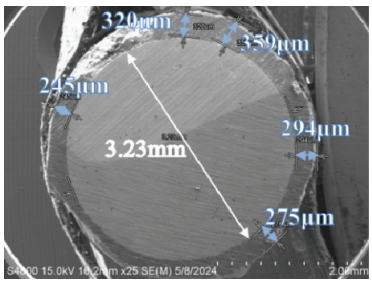
近期樣品S4



近期樣品S5



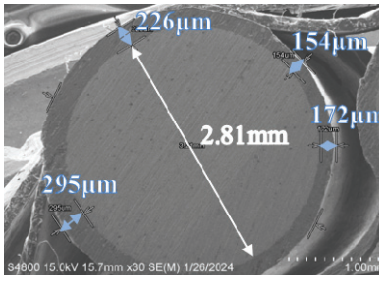
近期樣品S7



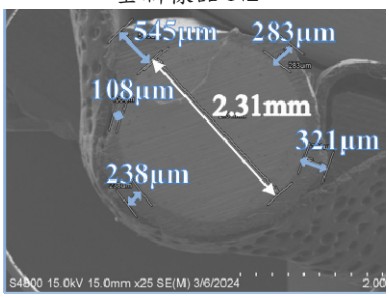
資料來源：本研究拍攝

圖 3　服役後 OPGW 樣品之鋁包鋼素線截面與覆鋁層厚度比較

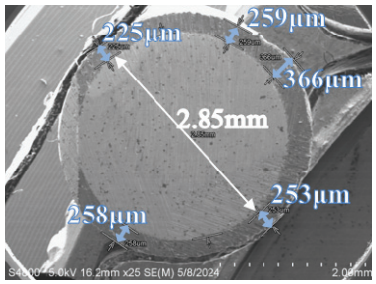
全新樣品 N1



全新樣品 N2



全新樣品 N3



資料來源：本研究拍攝

圖 4　全新 OPGW 樣品之鋁包鋼素線覆鋁層厚度

新技術新設備介紹

自動化高電阻校正系統之實作與應用

(儀器組：鄭東鎰、周一安、黃彥碩)

(一) 緣起

在電力系統之運轉維護與設備檢驗中，高絕緣電阻量測(如變壓器、電纜、開關設備之絕緣電阻測試)係評估設備絕緣劣化程度與確保運轉安全之核心指標。爲確保現場各類高阻計與絕緣測試儀(Megaohmmeter/Terohmmeter)之量測數據精確無誤，電力量測標準實驗室必須建立極高精確度且具追溯性之高電阻標準件與校正系統。

傳統高阻值(100kΩ 至 100TΩ)標準電阻器(測試電壓 1V 至 1000V)之校正作業，多依賴人工手動更換測試線路與逐一設定測試電壓，過程繁瑣且極易受人爲操作偏差、人體靜電干擾及環境溫濕度波動之影響。由於高阻量測之微小漏電流極其敏感(pA 至 fA 級別)，頻繁的手動接線不僅延長校正時間，更可能影響測試期間的穩定性。

爲提升高阻校正作業之自動化水準、測試效率與數據可靠度，本技術引進 Guildline 公司所研製之 6540 雙量測高阻橋路電阻測定器(Dual Measurement High Resistance Bridge)，搭配 6564 高阻多通道矩陣掃描器(High Resistance Scanner)，針對 6636 恆溫受控標準電阻器組(Temperature Stabilized Resistor Set)建置一套全自動化高阻校正系統。本系統實現了高電阻自動化程控量測、多通道掃描與數據處理，爲電力計量校正技術提供更爲高效精準之解決方案。

(二) 程控測試系統介紹

本自動化高阻校正系統主要由「高電阻計」、「高電阻掃描器」，搭配儀控電腦對「標準高電阻器組」等待校電阻器進行量測試驗，系統架構與各設備技術特點如下：



資料來源：自行拍攝

圖 1　自動化高阻校正系統

1. 核心設備功能與規格特色

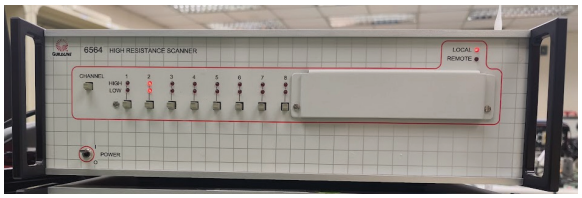
(1)Guildline 6540 高電阻計：作爲系統之量測與控制核心，6540 提供極寬之量測範圍(基本款 90 kΩ 至 200 TΩ，擴充版可至 20 PΩ)與極低之量測不確定度。該主機具備「直接量測(Direct Mode)」與「比率電橋量測(Bridge Mode)」雙模式，內建十組標準測試電壓(1V 至 1000V DC)及精密溫度控制，可確保內部積分器(Integrator)與基準電路之極高穩定性。此外，主機支援 IEEE-488(GPIB)與 RS-232C 通訊介面，能完整執行 SCPI 程控指令。



資料來源：自行拍攝

圖 2　Guildline 6540 高電阻計

(2)Guildline 6564 高電阻掃描器：作爲多通道切換之關鍵介面，6564 專爲高阻與微弱電流訊號設計，具備極高之通道間絕緣電阻(> 10^{15}Ω)與低漏電流特性。每組掃描模組支援多通道高壓與微電流切換，藉由低熱電勢高絕緣繼電器，能有效消除切換過程中所產生的干擾與寄生電容效應，實現多組待測電阻之自動順序掃描。



資料來源：自行拍攝

圖 3　Guildline 6564 高電阻掃描器

(3)Guildline 6636 標準高電阻器組：作爲高品質之校正標準件，6636 內部整合多組由 100 kΩ 至 100 TΩ 之高穩定性標準電阻器，並內建高精度電子恆溫控制腔體(維持於 30℃±0.01℃)，大幅消除環境溫度變化對高電阻值之影響，具備優異之長期穩定性與低電壓係數。



資料來源：自行拍攝

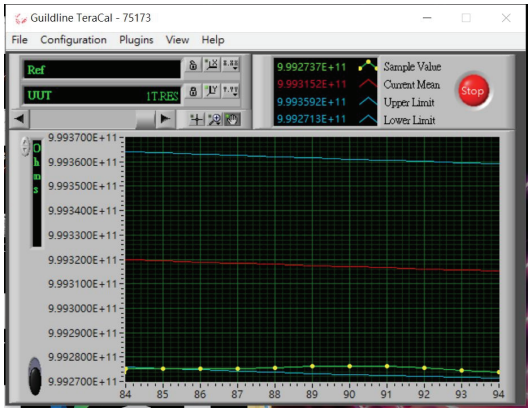
圖 4　Guildline 6636 標準高電阻器組

(4)新增導線規格：測試導線於線路 Input 端皆採用 Type N – triax 測試導線，使洩漏電流、靜電干擾減少，提升穩定性。

2. 程控自動化量測工作流程與技術細節

自動化數據統計與分析：系統自動連續採樣(本系統採測量 100 次後，取後 50 筆資料平均值)，計算平均值、標準差與 PPM 級不確定度(如於電阻器設定檔有輸入追溯件之校正報告資訊)。系統運作時，控制主機透過 IEEE-488 (GPIB) 介面發送 SCPI 指令至 6540 測定器與 6564 掃描器。典型量測流程如下：

- 通道切換與極性自動切換：6564 掃描器接收指令切換至指定之 6636 標準電阻通道。6540 主機自動執行正負雙極性測試電壓施加，消除熱電勢與漂移影響。



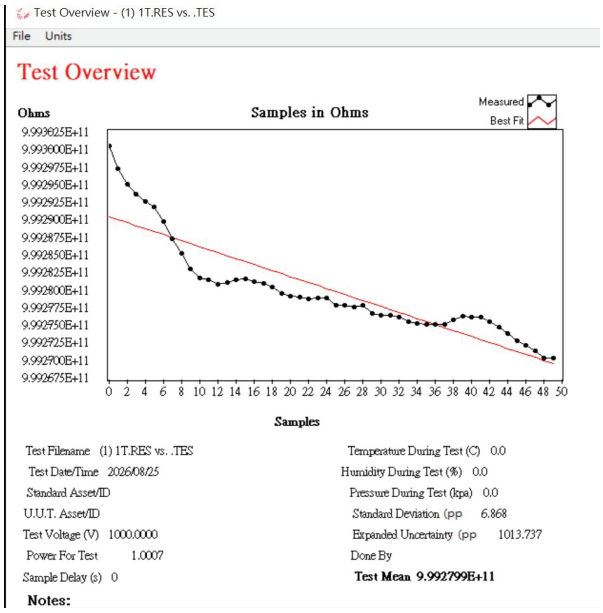
資料來源：系統畫面

圖 5　TeraCal 程式試驗進行畫面

- 充電與充飽穩定時間(Soak Time)：對於高阻值及高電容性待測物，系統自動設定適當之浸潤/浸泡時間(Soak Time)，確保高壓施加後充電電流衰減至可忽略水平。
- 積分時間與 R 值控制：6540 利用內建積分電路，透過已知測試電壓 V_{in}、積分電容 C(27pF, 270pF, 2700pF)及閾值電壓 $V_{threshold}$(0.1V, 1V, 10V)，精確量測電壓變換時間 Δt，計算公式如下：

$$R = (V_{in} \times \Delta t) / (C \times \Delta V_{out})$$

- 自動化數據統計與分析：系統自動連續採樣(如設定 100 次採樣並取最後 50 次平均)，計算平均值、標準差與 PPM 級不確定度，並產出量測之電阻值。



資料來源：系統畫面

圖 6　TeraCal 程式試驗結果畫面

(三) 結論

本系統成功整合 Guildline 6540 高電阻計、Guildline 6564 高電阻掃描器及 Guildline 6636 標準高電阻器組，建置全自動化高電阻器試驗系統。相較於傳統人工手動測試，本系統展現出以下卓著效益：

1. 大幅提升測試效率與無人化作業：透過多通道程控切換，多組標準電阻器之全自動化掃描測試僅需一鍵啓動，減少 80%以上之人力等待與接線時間。
2. 顯著降低人爲干擾與量測不確定度：自動化切換避免了人工插拔高電阻測試導線引進之靜電干擾與接觸電阻變化；搭配 6636 之精密恆溫控制，大幅提升重複性與再現性。
3. 數據管理標準化與校正追溯力強化：測試數據直接由 GPIB 介面傳送至電腦，自動生成趨勢圖表與統計分析，確保數據之完整性與不可竄改性，符合 ISO/IEC17025 規範要求。

綜上所述，利用建置本系統新設備及技術，不僅發揮了頂級高電阻儀器設備之效能，更爲電力計量校正與高絕緣檢測領域樹立了自動化校正之新典範。

研發與試驗活動

新加坡能源集團(SP Group)來訪交流—能源轉型、AI 應用與電網彈性發展

(研究發展企劃室：張翔琳)

新加坡能源集團(SP Group)旗下負責輸配電網營運的 SP PowerGrid 總經理 Kane Neo Tong Leong 於 115 年 8 月 13 日率團來訪本公司進行技術交流。上午由郭總經理天合主持高階主管交流會議，張專業總工程師涵曦，以及調度處、企劃處、業務處與綜合研究所等單位主管共同出席；下午則由劉副總經理建勳主持工作交流會議，並由 12 個相關單位共同參與。雙方分別就「能源轉型、電網發展與彈性

策略」、電網運轉安全、數位化推動、人工智慧於電力系統之應用，以及分散式能源資源發展等議題進行深入交流，分享兩國電網面對淨零轉型與新興負載成長挑戰之規劃方向與實務經驗。

SP Group 為新加坡主要輸配電網營運機構，服務用户約 170 萬户，系統尖峰負載約 7.4GW，輸電系統以 400/230/66kV 地下電纜網路為主，並持續配合新加坡 2050 淨零排放目標推動能源轉型。會中說明，新加坡未來將持續發展太陽光電、跨境低碳電力進口及氫能等能源選項，同時透過數位化技術及電網投資強化供電可靠度與系統韌性。

在大型負載成長議題方面，SP Group 表示，資料中心及半導體產業目前約占新加坡總用電需求 20%，但過去 5 年約占全系統需求成長量 90%。由於大型用户建廠時程通常短於輸變電設施建設期程，SP Group 採逐案審查方式辦理資料中心及大型用户併網申請，並將已核准或已簽約之大型負載納入滾動式 10 年電網發展計畫。若區域電網容量受限，則透過分期供電或提供替代設址建議等方式因應。雙方並就大型負載預測、供電規劃及跨單位資訊整合等議題進行交流。

針對電網建設與超前部署，SP Group 分享新建地上型變電站約需 8 年、地下型變電站約需 10 至 15 年，其中相當比例時間用於用地取得、主管機關核准及施工協調等工作。SP Group 並說明，新加坡政府正研議「提前布建(Build Ahead)」機制，希望在需求完全確定前先行建置部分關鍵電網容量，由政府承擔設備利用率不足之投資風險。台電則分享近年推動之「路網結合電網」作法，以及配合公共建設同步辦理電網工程之經驗。

在數位化與 AI 應用方面，SP Group 近年持續推動變電站感測器布建及數位孿生技術，目前已有 151 座變電站配置感測設備，並運用機器學習技術進行局部放電(PD)訊號分析，藉由將資深工程師判讀經驗轉化為模型，提升設備診斷效率。台電則分享地端生成式 AI 及檢索增強生成(RAG)技術於負載預測、圖面審查、試驗報告分析及事故分析等應用成果。雙方均表示，目前 AI 主要作為工程分析與決策輔助工具，尚未直接應用於電力系統保護控制功能。

設備維護與資產管理亦為本次交流重點之一。SP Group 定期統計電纜、變壓器及開關設備等事故資訊，並作為維護試驗、狀態監測及設備汰換依據。對於地下電纜防挖損管理，則透過施工前通報、圖資查詢、合格探測人員定位、人工試挖及現場監督等措施降低風險。台電則分享「一定位、一指令、一複誦、一操作、一回報」之「五個一」作業原則、自護、互護、監護等風險管控機制，雙方並就 QR Code 設備管理、穿戴式攝影機及擴增實境技術應用交換經驗。

在再生能源與分散式資源發展方面，SP Group 目前已建置第一階段 30MW 虛擬電廠(VPP)，整合儲能系統、太陽光電及電動車充電設備，提供頻率調節、電壓控制及動態負載管理等服務，未來亦規劃利用智慧電表 5 分鐘量測資料，提高低壓配電系統可視性。台電則分享電力交易平台推動成果，截至 2026 年 7 月底已有 108 家合格交易者參與、總容量約 3,058MW，並介紹需量反應、儲能及智慧變流器於系統運轉之應用經驗。

本次交流涵蓋大型負載管理、電網建設、資產管理、AI 應用及分散式資源等議題。雙方透過經驗分享與技術討論，交流各自在能源轉型與電網發展上的規劃方向及實務作法，作為未來持續推動電網韌性與數位轉型之參考。



圖 1　新加坡能源集團(SP Group)旗下 SP PowerGrid 總經理 Kane Neo Tong Leong(前排右 2)率團來訪本公司，上午由台電郭總經理天合(前排右 3)主持高階主管交流會議。



圖 2　下午工作交流會議由劉副總經理建勳主持，並由 12 個相關單位共同參與，雙方針對電網運轉安全、數位化與 AI 於電力系統之應用等議題與新加坡能源集團代表進行意見交流。