

電力研究簡訊

Power Research Newsletter

111 年第 3 季 (111.7 No.125)

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)2360-1081 傳真：(02)2364-9611

目錄

研究計畫成果

- 一、輸電塔基採用續接器及擴頭鋼筋之可行性研究 - 以簡支梁之實驗與分析為例1
- 二、利用煤灰合成吸附劑之效能評估3
- 三、IEC 61850 變電所三層兩網互操作性研析5
- 四、變比器維護檢測方法之研究6

技術服務

- 極低頻電纜試驗8

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、輸電塔基採用續接器及擴頭鋼筋之可行性研究-以簡支梁之實驗與分析為例

(高壓研究室：林彥廷；供電處：熊開平、吳依寰、簡士恩)

(一) 研究背景：

因輸電鐵塔多位於偏遠山區，依過往設計慣例，鐵塔基礎所使用之鋼筋長度多有長達10公尺以上，探究其原因係為符合鋼筋搭接長度需求所致，今為有效改善鋼筋搭接長度過長所帶來之運送不便性，遂探討於塔基工程中應用鋼筋續接工法取代傳統搭接工法之可行性；此外，針對鋼筋端部錨定方式，國內工程界多採用標準彎鉤來進行鋼筋端部錨定，以使鋼筋能發揮預期之錨定強度，但於實務執行上，其常衍生出鋼筋組立施工困難及造成混凝土澆置不易而形成蜂窩等等諸多問題，為能改善所遭遇之問題，鋼筋端部錨定新式之擴頭錨定工法亦逐漸發展成形。本研究將採用SD420W高強度鋼筋並結合續接器及擴頭鋼筋進行鐵塔基礎之縮尺實驗，以比較在不同剪力跨度下之結構行為。對照組為鋼筋採標準搭接及標準彎鉤組合、實驗組為鋼筋採用鋼筋續接器及擴頭鋼筋組合。根據不同之試驗條件，探討其試體破壞模式與力學行為，以提供鋼

筋續接器及擴頭鋼筋未來應用於塔基工程實務上之可行性及適用性。

(二) 研究成果：

圖1所示為本研究所採用之擴頭鋼筋。我國中國土木工程學會參照美國混凝土協會ACI 318-19之規範，綜整業界多年的施工經驗及各方專家學者的建議，制定出新版土木401-110規範。此規範已將擴頭鋼筋應用時之鋼筋間距及端板大小規定等正式納入。圖2所示為本研究所採用之兩件式及三件式鋼筋續接器。依據美國混凝土協會ACI 318-19，第一類續接(B級)接合強度至少須達到125%鋼筋標稱降伏強度(1.25fy)，而第二類續接(SA級)除了接合強度須達到1.25fy之外，還必須達到極限抗拉強度 f_u 規定值、限制續接器滑動量、伸長率、延展性等等；土木401-110規範則定義SA級亦須滿足單向拉伸及滑動試驗與高塑性反覆負載試驗相關規定。

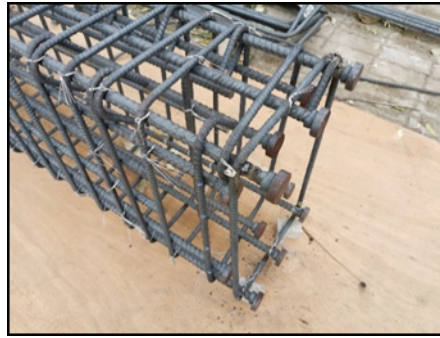


圖 1 本研究所用之擴頭鋼筋



(a) 兩件式



(b) 三件式

圖 2 本研究所用之鋼筋續接器

本研究根據前述規定並參考鐵塔基礎為四樁口字聯梁之實際案例(圖 3)，進行聯梁尺寸 1/3 縮尺規劃實驗用試體。圖 4 所示為試體之斷面配置，混凝土抗壓強度採用 21 MPa 之常重混凝土，試體主筋強度為 SD420W，於拉力側及壓力側均採用 6 支 D19 鋼筋並皆採雙層方式配置，其鋼筋比約為 0.7%；試體箍筋採用 SD280W 之 D13 鋼筋，並採間距每 10 公分配置一組。

試體編號按照其形式及內部配置，分別命名為 SS2-SH-LS、SS2-T-C60；SS4-SH-LS、SS4-T-C60、SS6-SH-LS；SS6-T-C60。如圖 5 所示，第一組參數

代表其梁形式為簡支梁(Simple Support Beam)，而數字代表其剪力跨度 a ；第二組參數代表其梁兩端鋼筋之彎鉤配置方式，傳統標準彎鉤(Standard Hook)以 SH 命名，擴頭鋼筋(T-headed Rebar)以 T 命名，淨承壓面積與厚度等均符合相關規範規定；最後一組參數代表其試體主筋接合之配置形式，採標準搭接(Lap Splicing)時以 LS 命名，其搭接長度為 120 公分，本研究採用之鋼筋續接器為 SA 級，原則上 SA 級續接器可於同一斷面進行鋼筋續接，然本研究考量實務施工性及避免續接位置在同一斷面上，故採用錯位續接 60 公分，故以 C60 命名。



圖 3 四樁口字聯梁基礎

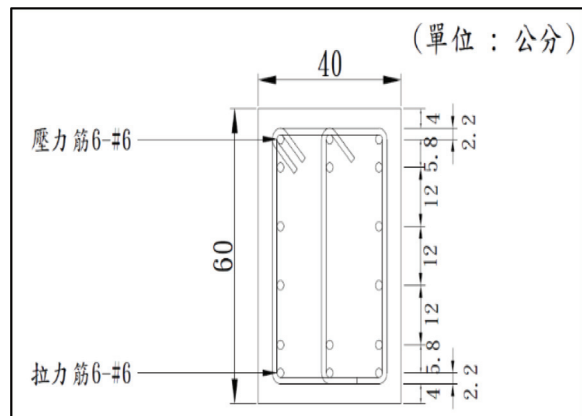


圖 4 試體斷面配置圖

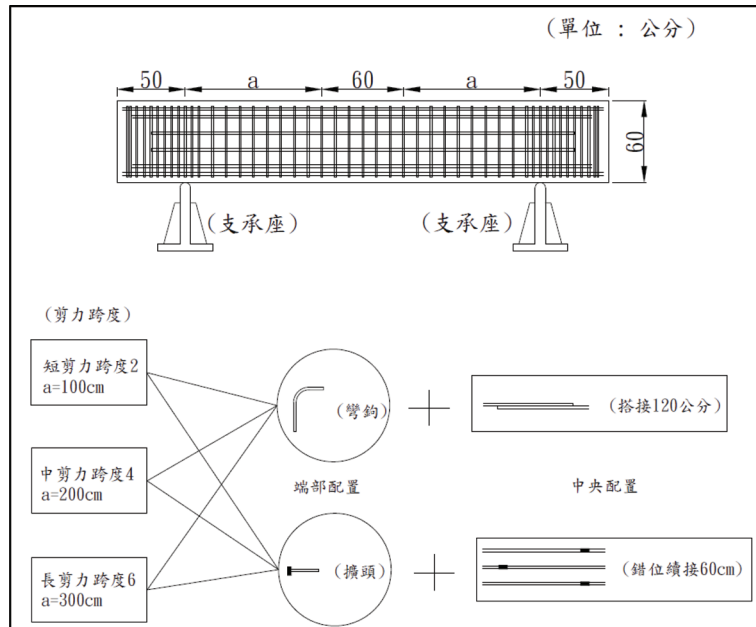


圖 5 簡支梁試體設計圖

本研究以實驗及分析方式，探討 SA 級摩擦銲接式鋼筋續接器及鋼鈹銲接式擴頭鋼筋，兩者在鐵塔基礎結構之適用性。實驗試體係參考四樁口字聯梁進行縮尺規劃，再根據最新 ACI 318-19 及土木 401-110 設計六座簡支梁試體，試體斷面為 40 cm×60 cm，並採剪力跨度分別為 2、4、6 以製作長度為 360 cm、560 cm 及 760 cm 之簡支梁試體。材料強度部分為混凝土標稱抗壓強度為 210 kgf/cm²，主筋及箍筋之標稱降伏強度分別為 4200kgf/cm²、2800 kgf/cm²。試驗變數包括：梁中央處之鋼筋採用搭接或錯位續接；梁起終點處之鋼筋為標準彎鉤或擴頭鋼筋。實驗配置為四點抗彎試驗，以單向加載方式觀察梁試體之破壞模式，並紀錄梁中央處之垂直力與垂直變位關係。

(三) 結論：

本研究共完成 6 組簡支梁實驗，證實在剪力跨度為 2、4、6 條件下，梁中央配置 SA 級摩擦銲接

式鋼筋續接器，及梁端配置鋼鈹銲接式擴頭鋼筋於鐵塔基礎之可行性。根據土木 401-110 規範，實驗組使用梁中錯位續接及梁端擴頭鋼筋之設計，並不會改變簡支梁之破壞模式隨剪力跨度增加而變化的基本力學行為，且實驗結果均可滿足設計要求，實測強度高於標稱強度 30% 以上，變形能力亦有所提升。對照組為梁中為傳統鋼筋搭接及梁端為標準彎鉤型式，由於搭接斷面之鋼筋量為設計鋼筋量 2 倍，因此彎矩強度增加幅度調大，在短跨時尤其明顯。無論實驗組或對照組，梁端均未發生明顯混凝土開裂現象。

整體而言，本研究完成大型簡支梁之實驗與分析驗證，針對 SA 級摩擦銲接式鋼筋續接器及鋼鈹銲接式擴頭鋼筋在鐵塔基礎結構之使用，提供更多元之選項。希冀在符合設計規範標準下，提昇現地施工性。

二、利用煤灰合成吸附劑之效能評估

(化學與環境研究室：楊明偉、莊宗諭、黃雅苓)

(一) 研究背景：

二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亞氮(N₂O)、臭氧(O₃)、水蒸氣(H₂O)等數種在自然界中存在的易吸收長波輻射氣體，此類氣體為溫室氣體，地表中原本就存在適量的溫室氣體，其所造成溫室效應可使地表維持於溫暖的環境，避免日夜溫差過大，使地球維持在適合生物生存的溫度中，並孕育出如此多樣的生態系。

但自從十九世紀工業革命以來，人類科技快速發展的途中，大量使用石化燃料、各式石化產品，不只造成大氣中 CH₄、CO₂ 等自然存在的溫室氣體濃度節節上升，同時也製造許多非自然形成的溫室氣體，如六氟化硫(SF₆)、氟氯碳化物(CFCs)、全氟

碳化物(PFCs)、氫氟碳化物(HFCs)等氣體，而近年來，全球平均溫度不斷上升，也產生了冰山溶解、海平面上升、居住地與耕作地減少、氣候異常、極端氣候頻率上升等問題，因此減緩全球暖化極為迫切且重大的議題，有學者主張此全球暖化的結果，是由於大氣中溫室氣體濃度增加使溫室效應影響加劇，而溫室氣體中的 CO₂ 是目前造成溫室效應比重最重之氣體，其濃度在近百年也不斷攀升，在以往大氣中 CO₂ 可藉由各式各樣植物之卡爾文循環被固定化再利用，但隨著人們為了開發新土地而濫伐森林的同時，地球固定 CO₂ 能力已被削弱了一層，而大量使用石化燃料也加速了大氣中 CO₂ 濃度累積，若不解決此一問題，在未來，大氣中過高濃度之 CO₂

絕對會造成不可逆後果，因此隨著環保意識的抬頭，各國也開始重視二氧化碳排放量，投入不少關於二氧化碳排放減量及回收封存或再利用之研究，試圖找尋有效 CO₂ 減量之方法。

隨著台灣經濟成長，民生工業用電需求增加，以及政府開放發電市場、台中電廠、大潭電廠等大型火力電廠陸續加入系統，火力機組發購電量占比逐年增加。台電系統目前已逐步增加各種的電源供給方式，如風力發電、太陽能發電等，惟火力發電仍是現階段電力來源最重要的發電方式。本公司煤灰一般均使用於公共事業如營建、土木、建材、農業。未來煤灰之利用必須朝高價化、功能性的材料開發，使未來能因推廣循環回收再利用而創造經濟、能源及環境效益。

(二) 研究成果：

本研究利用飛灰合成固態吸附劑，將樣品利用 X 射線螢光光譜儀、X 光繞射儀以及掃描式電子顯

微鏡，得到樣品元素組成、晶體結構以及其樣品影像。而煤灰是燃煤發電機組在煤碳燃燒後所產生的固態廢棄物，利用煤灰當作合成材料可降低成本並達到環保效益。

近年來台灣的燃煤電廠每年所產出的煤灰量均超過 200 萬公噸，為了彌補核能機組的退役所帶來的電力缺口，並因應未來能源轉型的策略，在轉型的過渡期中，政府計畫大量增建燃煤火力電廠，而在能源轉型完成後，未來仍有 30% 的電力供需規劃由燃煤電廠來負擔，因此可預期的煤灰的再利用，是不管過去、現在、或未來我們都需要去解決的難題。本公司煤灰一般均使用於公共事業如營建、土木、建材、農業。未來煤灰之利用必須朝高價化、功能性的材料開發，使未來能因推廣循環回收再利用而創造經濟、能源及環境效益。因此，利用煤灰合成二氧化碳之吸附劑，不但可以實現資源永續利用也可以達到減碳的目標。



圖 1 左：水熱釜系統；右：微波系統

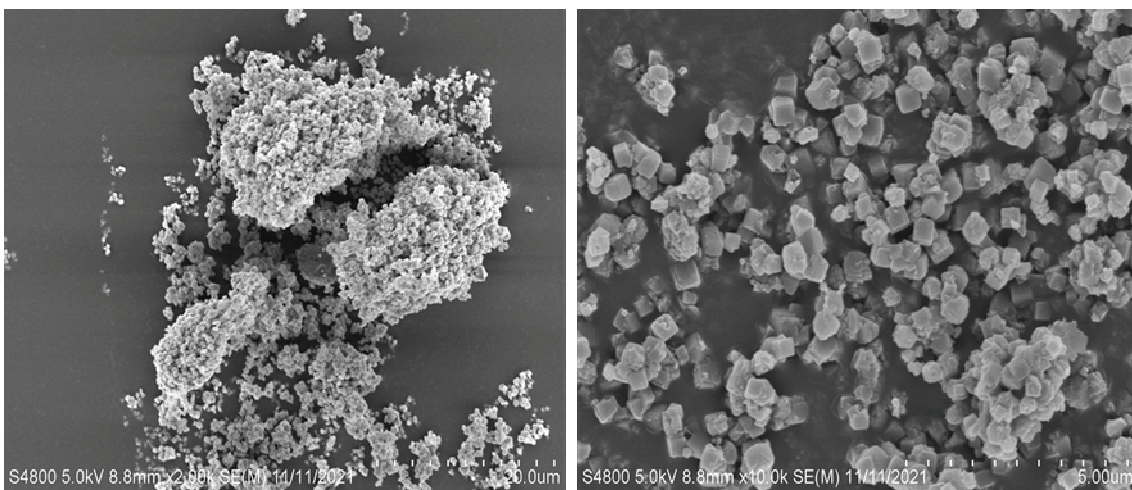


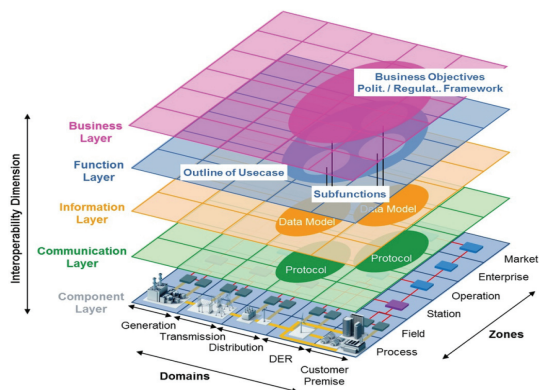
圖 2 微波合成產物 SEM 圖

三、IEC 61850 變電所三層兩網互操作性研析

(資訊與通信研究室：陳韋光、陳鳳惠)

(一) 研究緣由：

台電公司刻正推動 IEC 61850 國際標準，期藉由導入標準化的資料模型與通訊服務，配合智慧電網架構模型，串接發電、輸電、配電、分散式能源與用戶端之能源供應鏈，同時將 IT 段與 OT 段之能源階層控制順利介接，配合最新通訊技術，從組件層、通訊層以至商業層等互操作性階層進行整合。



參考資料：CEN-CENELEC-ETSI Smart Grid Co-Ordination Group Smart Grid Reference Architecture

圖 1 智慧電網架構模型

依據國際電工委員會 (International Electrotechnical Commission, IEC) 針對變電所提出之發展架構，在變電所通訊網路架構可分為以下三類：(一)變電所匯流排與程序匯流排分離。(二)藉由代理伺服器連接之變電所匯流排及程序匯流排。(三)變電所匯流排與程序匯流排互連。考量適合台灣變電所電壓等級以及設備數量，本研究主要採用變電所匯流排與程序匯流排分離之架構進行研究。

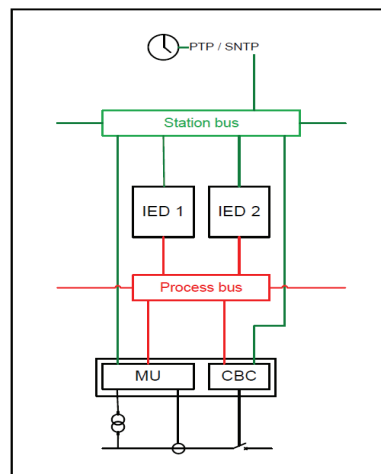
目前台電公司之變電所採用變電所層與檔位層 (兩層) 以及變電所匯流排 (一網) 的架構。而在 IEC 標準中，有關檔位層與程序層之間的通訊，除了透過實體銅線連接以傳輸來自於比壓器與比流器的資訊外，尚可透過於程序層配置合併單元並透過取樣值技術將電壓電流資料轉換為數位訊號，並透過多播的方式將資料同時發布給多台設備，藉此節省佈線成本與空間。

台電公司著眼 IEC 61850 後續應用具相當發展空間，需規劃詳細策略布局。爰此，本計畫針對未來變電所導入程序匯流排需注意之處提出建議。

(二) 研究成果：

本研究採用目前已取得 UCA 符合性測試認證的智慧電子裝置以及合併單元進行研究。利用 IED 規劃工具 (IED Configuration Tool, ICT) 對智慧電子裝置以及合併單元進行規劃，並透過系統規劃工具 (System Configuration Tool, SCT) 進行整合。與目前

台電公司變電所網路架構不同的是，在三層兩網架構中必須將程序匯流排獨立規劃，以確保變電所匯流排與程序匯流排網路交換機之中的頻寬各自獨立，以提高變電所整體資訊流的效率與可靠度。

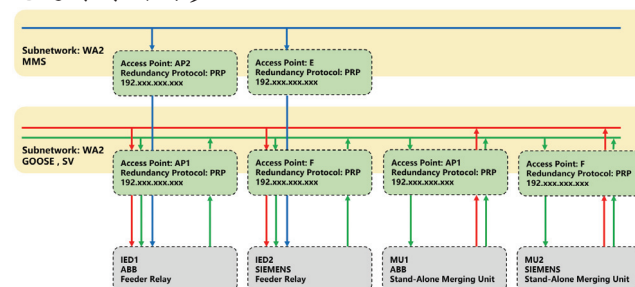


Architecture 1b (with PTP)

參考資料：IEC TR 61850-7-500 技術報告

圖 2 變電所匯流排與程序匯流排分離架構

本研究參考 IEC TR 61850-7-500 中對於變電所內的通訊架構以及時間同步進行研究，於變電所層與檔位層之間的通訊主要透過 MMS 協定進行傳輸，傳輸的資料大多為非時間關鍵之資料，因此時間同步方式採用 SNTP 協定，透過實驗室架設的 GPS 時間源，並利用平行備援技術將時間封包傳送至變電所匯流排網路交換機，供 SCADA 設備進行時間同步。而檔位層與程序層的通訊主要透過 GOOSE 和 Sampled Value 協定進行傳輸，傳輸的資料大多為時間關鍵之即時電壓電流等類比資料或是斷路器保護跳脫等控制指令，因此時間同步方式採用 PTP 的方式，同樣透過 GPS 時間源，並利用平行備援技術將時間封包傳送至程序匯流排網路交換機，供檔位層的智慧電子裝置以及程序層的合併單元進行時間同步。



參考資料：本研究

圖 3 本研究網路通訊規劃

在進行規劃時，需注意 GOOSE 與 Sampled Value 的設定，包含多播位址、App ID、Subnetwork、VLAN ID、VLAN Priority、Access Point 等參數需要設定，此外對於不同廠牌的設備亦需要參考其原廠設計進行了解。

表 1 GOOSE 與 Sampled Values 建議多播位址範圍

Service	Recommended address range assignments	
	Starting address (hexadecimal)	Ending address (hexadecimal)
GOOSE	01-0C-CD-01-00-00	01-0C-CD-01-01-FF
GSSE	01-0C-CD-02-00-00	01-0C-CD-02-01-FF
Multicast sampled values	01-0C-CD-04-00-00	01-0C-CD-04-01-FF

參考資料：IEC 61850-9-2 標準

四、變比器維護檢測方法之研究

(負載管理研究室：沈宜絹、張文奇、張文曜、蔡森洲、陳俊璋、王英欽、陳信廷)

(一) 緣起：

由於輸配電過程之電壓及電流值較大，不易直接量測相關數值或進行控制，故需將大電流經由比率轉換為儀表量測或電驛可感知之小電流，以達量測或控制目的，此時採行之設備即稱為比流器，如圖 1 所示。至於將高壓迴路之電壓值經由適當比例轉換為儀表或配電盤內設備所需電壓者，則稱為比壓器，如圖 2 所示。比壓器及比流器統稱為變比器，目前已成為輸配電系統之重要設備。

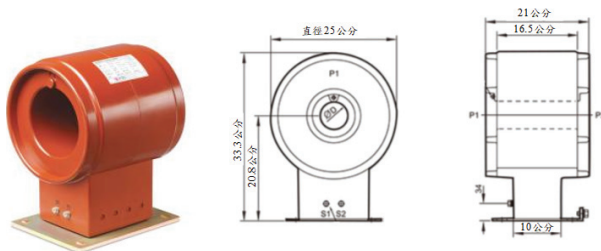


圖 1 貫穿式比流器產品外觀及端子圖

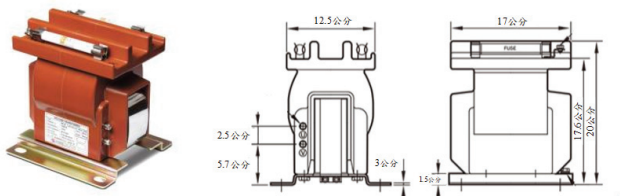


圖 2 計費用比壓器產品外觀及示意圖

而且由於絕緣材質之進步，使得變比器的絕緣強度增加且適用場合增廣，已有必要對於此設備之管理及維護進行研究。惟變比器數量龐大，廠牌型式種類眾多，且大多數變比器之使用時間長達數十年之久，囿於現有編制及維護作業下，常可能疏忽

本研究成果除成功整合兩家不同廠牌之智慧電子裝置以及合併單元外，同時研析不同廠牌之智慧電子裝置與合併單元於整合時資料物件與資料屬性標準化方式。考量本公司未來導入取樣值技術以及合併單元時將會需要整合多家廠牌設備，因此於採購前須進行互操作性測試以確保設備可用性，以上皆為後續規劃布建時需考量之議題。

設備之運轉情況或忽略日常檢查及維護，惟處於工商業快速發展之今日，計費準確性及供電可靠度日趨嚴謹，因此計費用變比器之試驗內容及其維護檢測方式確已成為值得深度探討之議題。

計費用變比器之運轉情況依環境、天候變化程度及絕緣材質之不同而有所變化，諸如沿海地區因承受海風鹽化情形可能加速變比器劣化；又若將變比器置於高相對溼度環境下，一旦發生溫度驟變，造成水珠凝結，則亦可能使得絕緣性質喪失；此外，若周遭環境帶有灰塵、煙霧或腐蝕氣體時，則不僅需將變比器之沿面距離適當加大，並應定期進行保養，以維護用電安全及有助於延長使用壽命。

目前台電公司採購之變比器並非立即使用，有可能放置一段時間後，此變比器於存放環境處產生劣化現象，為確保用電安全，故蒐集國外電業有關計費用變比器之檢查方式、維護規範、實施方式及實際情況，並加以探討比較，冀以保障用電穩定及行居安全。

(二) 研究內容：

變比器運轉過程中，有三大類原因可能造成損壞而需特別注意，分別為絕緣不良、本體破裂及保養方式不當。絕緣不良通常起因於沿面距離縮短、絕緣電阻過低、匝間或層間之絕緣物經長時間使用後劣化；本體破裂則常發生於變比器本體因裝設環境不適，導致外觀部分損壞或吸濕劣化；於保養維護時均需確認接線端子務須確實緊鎖，並仔細檢查外觀是否因刮傷產生毛邊。

為提高運轉安全及設備可靠度，變比器之維護工作可分為計畫性維護及經常性維護。經常性維護之工作項目，除日常巡視設備運轉、確認外觀無異狀、進行部分放電檢測等項目之外，每年至少需針對變比器設備進行 1 次外觀保養清潔，以避免周遭環境髒污可能導致部分放電加大甚至絕緣擊穿。計

畫性維護係依巡檢紀錄、事故發生情形、器材設備壽命及區域之重要性，予以重點維護。尤其需注意戶外式變比器之損害程度，如颱風過後、沿海環境對戶外型變比器造成之損壞，均可能造成變比器套管放電或是外殼鏽蝕。

可於成本考量及維持設備可靠度前提下，適當提高破壞性試驗採用之樣本數，以增加試驗可信度。

也可訂立定型試驗之標準作業流程，並提供試驗人員參考以提高定型試驗之可信程度，建議變比器之試驗順序依序為構造檢查、電力頻率耐電壓、誤差試驗、感應電壓(或開路)試驗、溫升試驗、衝擊電壓試驗、部分放電試驗、濕式耐電壓試驗、機械短路能力試驗、誤差(含極性)試驗，共十項試驗。其中低壓貫穿型比流器需進行開路試驗，而中壓比流器則進行感應電壓試驗。此外，為確保計費用變比器之準確度，誤差試驗會分別於電力頻率耐電壓試驗後及機械短路能力試驗後分別各進行一次，且誤差試驗進行的同時亦會進行變比器之極性試驗。

本研究亦蒐集各國定型試驗內容，並將其以表格型式加以臚列如表 1 及表 2 所示。

表 1 各國比壓器定型試驗差異分析比較表

國別 (規範標準)	比壓器定型試驗
台灣 (CNS 11437)	1. 構造檢查 2. 電力頻率耐電壓 3. 誤差試驗 4. 感應電壓試驗 5. 溫升試驗 6. 衝擊電壓試驗 7. 部分放電試驗 8. 濕式耐電壓試驗 9. 機械短路能力試驗 10. 誤差(含極性)試驗
日本 (JIS C1731-2)	1. 溫升試驗 2. 短路性能試驗 3. 雷電衝擊試驗 4. 開/關衝擊電壓試驗 5. 室外型注水耐電壓試驗 6. 誤差試驗
美國 (IEEE C57.13)	1. 部分放電試驗 2. 激磁電壓、電流量測 3. 電阻量測 4. 阻抗量測 5. 短時間熱額定 6. 溫升試驗 7. 衝擊電壓試驗 8. 濕式注水耐電壓試驗 9. 接地屏蔽檢查
瑞典 (SS-EN61869)	1. 溫升試驗 2. 準確度試驗 3. 短路承受能力試驗 4. 絕緣等級量測 5. 濕式注水耐電壓試驗 6. 一次側突波電壓試驗

表 2 各國比流器定型試驗差異分析比較表

國別 (規範標準)	比流器定型試驗
台灣 (CNS 11437)	1. 構造檢查 2. 電力頻率耐電壓 3. 誤差試驗 4. 感應電壓(或開路)試驗 5. 溫升試驗 6. 衝擊電壓試驗 7. 部分放電試驗 8. 濕式耐電壓試驗 9. 機械短路能力試驗 10. 誤差(含極性)試驗
日本 (JIS C1731-1)	1. 耐電流試驗 2. 溫升試驗 3. 雷電衝擊試驗 4. 開/關衝擊電壓試驗 5. 室外型注水耐電壓試驗 6. 誤差試驗
美國 (IEEE C57.13)	1. 部分放電試驗 2. 匝間過電壓 3. 阻抗量測 4. 短時間熱額定 5. 溫升試驗 6. 衝擊電壓試驗 7. 濕式注水耐電壓試驗 8. 接地屏蔽檢查
瑞典 (SS-EN61869)	1. 溫升試驗 2. 濕式注水耐電壓試驗 3. 一次側突波電壓試驗 4. 絕緣等級量測 5. 短時間電流特性試驗 6. 準確度試驗

短期之可行方案可分為兩大項，其一為台電公司目前使用之計費用模組化智慧型電子式電表，其製造商提供的保固年限為 10 年，建議於採購時，可要求製造商提高保固至 10 年以上，以符合計費用變比器與電表兩者一致之保固年限；其二為針對存放超過兩年之變比器建議於送電前再次進行試驗，以確保用電安全及提高產品妥善率。

中期之可行方案可分為兩大項，其一為對運行中的變比器制定妥善的維護計畫，並將維護方式分為不停電之日常檢點及停電之定期檢查兩方面進行，其檢驗週期分別以一年為基準，亦可依據用戶對用電可靠度需求訂定巡視及停機維護之週期；其二為變比器之汰換年限，可參考日本東光高岳及富士電業之建議手冊，當變比器使用達 15 年以上時，主動提高巡視檢驗及維護之頻率至每年至少一次，並委請機電顧問公司或派員針對變比器施行「介質吸收特性試驗」與「電力因數試驗」等電氣特性試驗，以判定變比器設備絕緣劣化程度，俾以掌握現行設備之老化程度。

長期之可行方案可分為兩大項，其一為可增加變比器選用材料之試驗規範，變比器廠商可檢附變比器採用漆包線圈之部分放電起始電壓試驗結果及絕緣樹脂之加速壽命試驗結果，並提供各項主要材料之進貨證明；其二為影響變比器設備老化或是絕緣劣化的因素除高電壓外，其使用之周遭環境均有

可能加速變比器老化，可於加速應力壽命試驗之基礎上，進行「環境因素對變比器設備老化程度影響之研究與蒐集」並深入比較變比器選用不同之絕緣紙、鐵心、線圈及樹脂於相異環境下影響變比器壽命之程度，俾以提高變比器之使用年限及妥善率。

技術服務

極低頻電纜試驗

(電力試驗組:林威廷)

當新品高壓設備併入傳輸線系統或配電網系統時，確保它的可靠性和電源供應表現是非常重要的。直流電和交流電測試(60Hz)，不論在實驗室還是在現場環境作業下，皆是非常可靠的絕緣試驗評估工具。

除了過去已發展的國際標準之外，較新的試驗方法及頻率也被加入了國際標準，像是 VLF 試驗。時至今日，對於中、低壓電纜評估老化、絕緣介質的損壞，是極度重要的。

隨著技術及準則不斷地發展，更多的研究被刊登在國際舞台上；以及在物理和化學研究程序上不

斷地改良，我們能將試驗分析至非常詳細。試驗分析技術已能瞭解及評估極低頻試驗下電纜的情況。

為了能模擬運轉中的絕緣情形，需對被試物升壓至運轉中相似的電壓等級，藉此以分析被試物的絕緣情況。對此有兩項要求：第一、不能破壞被試物絕緣(圖1)，第二、在此狀態下，必須要有足夠的認識(圖2)。直流電測試法則違反了上述兩項要求。既然直流電試驗對於此有一定程度的危險，極低頻試驗成了其中之一的替代選項；一、能將被事物升壓至運轉中相似的電壓等級且能持續一段時間，二、介質功率因素及部分放電試驗能被用來分析。

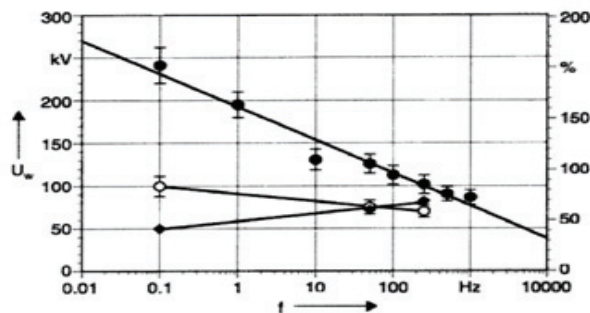


Figure 1 Withstand voltage as a function of the frequency

- Withstand voltage without mechanical damage,
- Withstand voltage with mechanical damage,
- ◆ Ratio between withstand voltage with and without mechanical damage [1]

圖 1

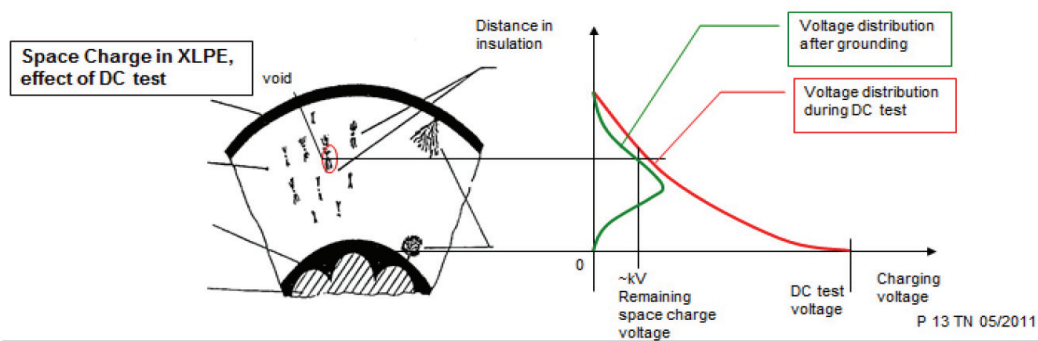


Figure 2 Space Charges in voids of XLPE during DC test [5]

圖 2

參考資料：HV Cable testing and diagnostic Handbook

原作者：Tobias Neier