

地下電纜洞道巡查重點與維護管理

蕭勝任／台灣電力公司高屏供電區營運處處長

前言

目前台灣隨著經濟發展及大都會區建設的要求，即使能取得架空輸電線路地權，因受民眾抗爭及有礙觀瞻，亦很難興建架空輸電線路。取而代之之電力電纜具有本身安全、美觀的特點，已愈來愈多被採用，其數量也隨之大幅增加，電力電纜網的發展已成必然趨勢，因此，台電在都會區為解決電網建設問題及克服地下障礙物問題，對於電力網之建設已無法採一般管路方式佈設，需採涵洞或潛盾洞道佈設方式設計。同時，客戶對供電可靠性也有愈來愈高的要求。這就是需要建設成一個運轉可靠、維護即時、調度靈活的地下電力電網。而這樣的地下電網從規劃設計、基礎施工至運轉維護等各環節密不可分。然而，洞道電力電纜及附屬設備（諸如偵溫、照明、通風、冷卻等系統）是一個技術較高的專業，因此，必須針對以往洞道缺陷改善基礎建設至建立一套維護管理制度等兩方面，方可提高電纜的運轉維護管理。

在近幾年來各項先進技術不斷被引進，亦得到有效運用，因此，單一或分散的電纜運轉狀態監測手段是無法滿足實際管理的需要，必須建立多狀態監控系統，發展多狀態、多參數的電纜在線上監測，對電纜線路巡查及維護管理才有所助益，也為大都會區經濟建設提供可靠的電力網。

電力電纜之構造

目前台電所使用之電力電纜主要有充油電纜（以下亦稱 OF 電纜）及交連 PE 電纜（以下稱 XLPE 電纜）兩種⁽¹⁾，就其構造及優缺點之比較分述如下：

充油電纜構造及優劣簡述

充油電纜之構造如圖 1 所示⁽¹⁾，係利用電纜內環

形導體之中空部做為油的通路，其內注滿低粘度的絕緣油，然後，將油通路與設置在線路終端或其中點的油槽相互連通。當電纜通電溫度上昇時，油槽能承受絕緣油膨脹的擠壓，當溫度下降時，油收縮，油槽能供給電纜補油。如此，電纜的絕緣體經常受絕緣油的壓力，縱使導體溫度有任變化，絕緣體內部亦不產生氣泡（Void），故電纜劣化的現象可以防止，亦即電纜的使用壽命可以延長。電纜之容許溫度規定：(1) 常時間 85°C；(2) 短時間（緊急運轉）90°C；(3) 故障瞬時 150°C。

● 採用充油電纜之優缺點分析

A. 充油電纜之優點：(1) 設有油壓指示及警報系統，如線路有被挖掘傷及電纜漏油時，容易查覺，故維護容易，供電穩定可靠；(2) 絕緣體外側採波形鋁被套作為遮蔽，可承受系統之短路電流容量及具有機械強度之保護；(3) 導體中設有環形油通路，與油槽相互連接形成通路，並加絕緣油保持一定壓力，電纜絕緣體內無氣泡產生，則老化現象可以消除，故使用壽命長（至少 40 年）。

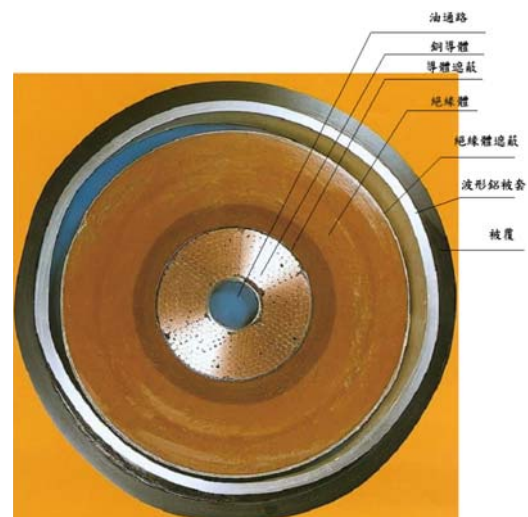


圖 1 充油電纜構造

B. 充油電纜之缺點：(1) 器材種類多，施工過程繁雜，工期長；(2) 線路縱斷圖須力求精確，以做為油壓計算及設定；(3) 線路兩端之高低差不能過大，否則補油設計有困難；(4) 線路需補油設備，其終端須設壓力調節槽 (Pressure Tank)，變電所須有足夠空間設置。如線路太長須於線路中間設置止油接續匣 (Stop Joint；S.J) 分段補油，但 S.J 處之道路其寬須有足夠空間施築油槽人孔；(5) 線路傾斜過大，電纜體心 (Cable Core) 有下滑現象，其裝設固定有困難；(6) 電纜廢油需予以回收，並須定期向環保單位繳交額外之環保處理費；(7) 導體容許最高溫度僅達 85°C，送電容量小於 XLPE (Cross-linked Polyethylene) 電纜；(8) 若兩端均為連接站，補油系統之警報器裝設困難，須利用管路敷設控制電纜連接至最近之變電所，再轉接至監控中心。

XLPE 電纜構造及優劣簡述

XLPE 電纜是交連聚乙烯，其絕緣材料是將熱可塑性的 PE 經高壓高溫下加硫反應使其分子鏈強化，而具有耐高溫且不變形之特性，到目前為止 XLPE 是所有材料中能耐溫度最高者，構造如圖 2 所示^[1]，其容許溫度如下：(1) 常時間 90°C；(2) 短時間 (緊急運轉) 130°C；(3) 故障瞬時 250°C。

● 採用交連 PE 電纜之優缺點分析

A. XLPE 電纜之優點：(1) 器材種類少，施工較易；(2) 不需補油計算，線路縱斷圖除有明顯斜坡須考

慮止滑設計外，可簡化；(3) 不需補油設施，降低變電所空間，也可避免民眾對油槽之疑慮；(4) 耗材污染度低；(5) 導體容許最高溫度可達 90°C 較充油電纜 (85°C) 高，故送電容量大；(6) 無充油電纜所列上述劣點；(7) 附屬器材種類簡單，不如充油電纜多；(8) 介電損失 (Dielectric Loss； ϵ 及 $\tan \delta$) 較充油電纜小，故電纜所產生之溫昇小於充油電纜，可減少線路損失。

B. XLPE 電纜之缺點：(1) 電纜被挖掘受傷無預警；(2) 電纜如有外傷其絕緣層易受水樹 (Water Tree) 之影響而劣化。如 161 kV 者需加止水層及遮水層二層保護絕緣層。

地下電纜的巡查重點管理

地下電纜線路至目前為止已有 345 kV 超高壓線路運轉實績，且在構成都市區之系統上佔有極重要的位置，並且肩負極大的輸電容量任務，針對電纜線路進行點檢、診斷等維護技術再精進是不可缺的，因此，實施例常的巡視和點檢早期發現異狀並安排停電作業予以改善，俾使設備維持一個正常的運作，防止重大事故發生，這是一個非常重要的作法。

XLPE 電纜和充油電纜相互比較，在維護管理上比較容易是其特徵，且年年有增加的趨勢。但是由於外傷或是施工不良等其他原因及電纜劣化等事故案例有之，而異常或以劣化診斷技術或將拆除品調查而去找造成經年劣化狀態變化原因是值得去重視的。

另一方面充油電纜自運轉至今歷經年久之高齡設備今後也會一直增加著，但是使用年久而產生自然經年劣化，以致於絕緣破壞事故案例並沒有，反而是因鉛工接續部不良漏油或施工不良、金屬被異常等成為造成事故的主因。以下是介紹一般地下電纜之巡視、點檢、異常及劣化診斷^[2]。

巡視、點檢技術

地下電纜之巡視、點檢主要是執行外觀點檢，在電纜部份彎曲狀態、彎曲半徑等，而在接續匣方面則為防蝕層、接續匣移動、接地以及交錯狀態之點檢，此外充油電纜鉛工部份有無漏油、給油槽之油量高低、油壓監視等等之點檢等。

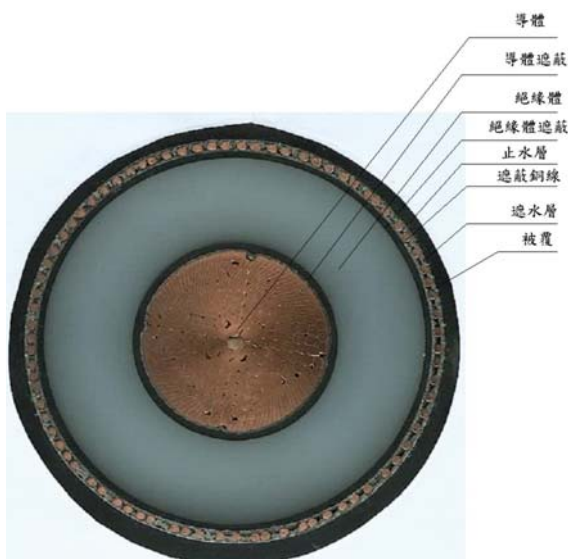


圖 2 XLPE 電纜構造

巡視分為一般巡視及豪雨、地震後巡視等二種，一般巡視項目如表 1 所示^[2]，其週期：(1) 電纜經過路徑每月最少巡視一次；(2) 電纜防蝕外覆之絕緣電阻測試每二年一次；(3) 電纜絕緣體之絕緣電阻測試每二年一次；(4) 金屬遮蔽層連續性、人孔與終端之接地電阻測試每二年一次；(5) 電纜終端、人孔裝置物及電纜接頭等附屬設備之點檢每半年一次；(6) 電纜絕緣電阻小於 1000 MΩ 時，須作直流高壓洩漏電流測試；(7) 單電源線路每四年須作直流高壓洩漏電流測試一次。如遇豪雨、地震後巡視如表 2 所示^[2]。

點檢項目主要分為初期檢點、定期點檢及臨時點檢三大部份分述如下：

(1) 初期檢點：一般新設備於初期發生異常之機率較

表 1 電纜洞道一般巡視項目

巡視項目	巡 視 內 容
電纜沿線 (地上部份)	道路下陷、開挖、釘樁等之地形變化及第三者之行為
人孔蓋 直井 涵洞	出入口金屬蓋等有無破損、磨損，路面之高低狀態。金屬蓋緣與基座有無蓋妥及鬆弛、龜裂，出入口上有無放置不當物品之狀況
道路上通風孔	關閉有無良好
電纜終端及附屬設備	終端匣、電纜終端匣油液面高度、回線牌、電纜膨脹、損傷等異常，設備固定架之生銹、螺栓之脫落及生銹、接地線之固定狀態等。
連接站	監視設備 CAM 及 DPS 設備無異狀、無銹蝕。避雷器之破損、龜裂、計數器狀況，電纜之滑動、滑落，電纜固定匣之狀況。導線有無斷股。鐵構台架之生銹、損傷，螺栓之脫落，標識牌之損傷、脫落、剝離等
通風冷卻系統	送風機之機殼、基礎等有無異狀。冷卻水塔皮帶、散水槽、散水箱、浮球開關、水盤等是否良好。冰水主機運轉、管路及控制台無異狀。空調箱之恆溫儀表有無正常。水泵外觀、運轉振動有無異常。冷卻水水質自動監視系統等。
其他	偵測系統、滅火器... 等其他設備之有無異常

表 2 豪雨、地震後巡視

巡視項目	巡 視 內 容
洞道內電纜及鐵器	電纜固定有無良好、有無破損，各項鐵器螺栓、螺帽有無生銹、脫落或鬆動
冰水管路	管路有無洩漏、鬆動
抽排水泵	排水功能正常、運轉有無異狀
冷風機	各裝置上螺栓有無鬆動、管路有無洩漏、濾網有無清潔
四用氣體測定器	指示功能有無正常
周圍牆壁	有無龜裂現象、嚴重滲水情形

多，必須對各相關設備詳細調查，以確認設備是否異常。初期點檢為輸電線新設竣工一年後；一年以內全部設備均為點檢對象。

(2) 定期點檢：輸電線路全區間做定期設備之全部調查，以確認是否異常。定期點檢之週期由初期點檢實施後起算。

(3) 臨時點檢：於初期點檢、定期點檢、事故等相同設備發現之異常，應假設其他處所亦有相同情況，而執行必要範圍相關異常項目之檢查，以資確認。臨時點檢時，電纜連接站支持物、礙子及導線等之點檢應同時實施之。

以下提出對於地下電纜線路點檢的項目、方法，對於實施之週期，建議依地區環境狀況斟酌調整，實施之週期分述如下：(1) 地下電纜管路人手孔、涵洞及橋梁等點檢實施週期為 1~3 年，實施外觀檢查；(2) 電纜終端匣及接續匣之點檢實施週期為 1~3 年，實施外觀檢查；(3) 給油裝置油槽、給油管、開閉閥、控制電纜、閘盤及警報器等之點檢實施週期為 1~3 年，實施外觀檢查；(4) 電纜連接站（鐵塔部分）避雷器、保護裝置點檢實施週期為 1~3 年實施外觀檢查。對於洞道點檢包涵土木結構物、機電及附屬設備等如表 3 至表 5 所示^[2]。

表 3 地下電纜洞道之點檢項目

點檢項目	點 檢 內 容
相位識別帶及線路名牌	有無脫落
電纜	電纜外表清潔有無受傷；固定座無鬆脫；OFFSET 彎曲半徑為 15D 以上
電纜接續匣	有無漏油或過熱（手觸與他處比較）
接地電纜	有無鬆脫、接地良好、感應電流無較高
附屬鐵配件、支架、支持礙子等	有無鏽蝕或鬆脫
電纜被覆保護裝置	鏽蝕、滲水或鬆脫
引出管路	防水圈位置正常、止水情形良好；管路有無滲水或滲油；管塞無遺失或脫落
洞道內	內壁有無滲水、有無積水
照明裝置、自動排水裝置	有無正常
冷風機	有無異狀
冷卻水管	有無異狀
感測器	溫度感測器有無異狀；四用氣體感測器有無異狀；其他感測器有無異狀
廣播系統	有無異狀
電纜沿線道路	有無下陷及開挖、釘樁等施工
人孔蓋（含內蓋）	有無破損、鬆動、銹蝕、凹凸及有無蓋妥影響交通四用氣體測定器
道路上通風孔（正常是關閉）	有無異狀

表 4 電纜線路終端及連接站點檢

點檢項目	點 檢 內 容
避雷器	外觀清潔有無裂痕或破損；噴氣孔有無噴氣現象；絕緣電阻測定及功率因素測定（初檢第一年及每十年一次。）
礙子及電纜終端匣	終端匣絕緣油面有無正常；礙子連外觀清潔有無破損；礙管清潔有無破損
電纜	引上電纜有無滑脫；電纜外被加墊廢電纜皮；電纜外被清潔、有無受傷或鼓脹；彎曲半徑為 15D 以上
接地電纜	有無鬆脫、接地良好、感應電流無較高
彈簧式固定座	有無良好
電纜支撐台架	有無鬆脫、銹蝕、標示牌有無異狀
附屬鐵配件及支架	有無鬆脫、銹蝕
引下線、接頭及端子板	有無鬆脫；引下線張力（避免太緊）；引線及支持物安全距離有無足夠；接續端子清潔及塗抹電氣接觸膏
電纜被覆保護裝置	有無鏽蝕、滲水或鬆脫
攝影機（CAM）	有無異狀
DTS 設備	有無異狀
控制電纜	有無正常

表 5 冷卻系統點檢

點檢項目	點 檢 內 容
冷卻水塔	管路有無漏水，螺絲是否鎖緊；散水（槽）箱有無異物阻塞，散熱片良好；皮帶有無磨損或太鬆，馬達運轉良好；水皿或出水網有無雜物；浮球開關水位正常；風車角度正常；順風板固定良好
空調箱	過濾網有無污垢；排水盤有無積垢；軸承上黃油或皮帶有無鬆動龜裂
送風機	螺絲有無鬆動，位置有無傾斜
冷風機	螺絲有無鬆動或管路接頭有無洩漏；濾網或盤管上有無灰塵（每年清洗過濾網一次，每二年清洗冷卻盤管一次）；凝結器有無污垢；運轉有無不尋常噪音；控制台警報有無異狀
冰水主機	管路有無漏水；運轉有無不尋常噪音；控制台警報有無異狀
冷媒值	高壓值 680 ~ 950 kpa；低壓值 193 ~ 414 kpa
冷凍油油壓值	966 ~ 1380 kpa
冷卻水溫度值	出水溫度值 29.5 ~ 37.0°C；進水溫度值 27.0 ~ 32.0°C
冰水溫度值	出水溫度值 6.8 ~ 8.5°C；進水溫度值 9.3 ~ 13.5°C
冷凍油油溫值	55.0 ~ 70.0°C
蒸發器溫度值	1.0 ~ 16.0°C
冷凝器溫度值	30.0 ~ 40.0°C
冷卻機房水泵	依規定維修保養（查保養卡）
壓縮機	有無漏油
加藥系統	控制台、液體位置有無異狀

電力電纜異狀管理

現場維護人員檢查與巡視電纜設備後，需填寫表 1 至表 5 相關引伸檢查紀錄、異狀紀錄和異狀報告單，並根據異狀之輕重緩急情況，分別交由管理或設計部門，以備安排計畫或配合停電處理。比較重大的電纜

設備異狀消除以後，應將發生異狀的時間地點、處理情形和施工負責人等紀錄登記在電纜保養卡內。如無需停電即可處理的電纜設備異狀，由檢查維護人員與管理或檢修部門等相關技術人員列出具體研究處理方案，以便隨時安排檢修處理。需要停電處理的電纜異狀應由管理或檢修部門統一計畫，申請臨時停電或配合檢修計畫處理。管理內容與控制要求如下^[2,3]：

- (1) 設備異狀係指運轉中設備發生異常情況，設備性能改變，不能滿足運轉標準產生不良後果者。
- (2) 緊急異狀：指嚴重程度已使設備不能繼續安全運轉，隨時可能導致事故的異狀。緊急異狀包括：電纜接續匣過熱，電纜線路發生短路或接地故障，試送不良，變電所內開關設備嚴重電弧現象等。
- (3) 重大異狀：指異狀比較嚴重，但設備仍可短期運轉。重大異狀包括：洞道通風機故障、電纜接續匣過熱，電纜終端匣電暈，電纜接續匣表面電弧，電纜引接線燒損、斷股嚴重，接地線過熱、燒損、斷裂，OF 電纜本體滲油，避雷器絕緣不良，避雷器上下接線燒損，電纜孔蓋破損等。
- (4) 一般異狀：對安全運轉影響不大者。一般異狀包括：OF 電纜接續匣鉛工滲油，電纜洞道滲水、積水，通風設備起動不良，鐵器銹蝕等。
- (5) 設備異狀規定解除時間：(a) 緊急異狀：必須儘快解除（一般不超過 24 小時）或採取必要的安全技術措施進行臨時處理。緊急異狀立即向權責部門主管報告確定處理情形；(b) 重大異狀：應在短期內（10 天）解除，解除前應加強監視。重大急異狀應與權責部門主管報告研究處理情形；(c) 一般異狀：應列入年、月工作計畫內解除、異狀處理工作由現場管理部門根據異狀內容，要求維護班安排在計畫檢修工作中或非計畫檢修時進行處理。在工作前一天應將異狀交付維護班，每年異狀解除率應不得低於 95%。

異常及劣化診斷技術

XLPE 電纜長期劣化，水樹是重要劣化原因，需掌握這些劣化狀態之各種診斷方法檢討，及實施電纜拆除調查殘餘性能之確認。不過近年來電纜皆已加裝防水層，在 XLPE 電纜接續匣有超過 30 年之設備，電纜預鑄型絕緣體的析出物及矽油漏出等，都為經年劣化的現象，需透過事故資料分析等，掌握下一步情況。

XLPE 劣化診斷技術 [1-3]

XLPE 電纜以非破壞方式檢出水樹劣化診斷之損失電流法、殘留電荷法等方法並介紹其測定之案例。

- (1) 損失電流法：將流在電纜絕緣體中之充電電流之損失電流第 3 次諧波成分作為劣化信號使用之診斷方法，依據第 3 次諧波成分之振幅和相位作劣化判定。
- (2) 殘留電荷法：加壓之直流電壓於接地放電之後再加交流電壓測定所放出之電荷加以評斷診斷劣化狀況手法，依照被檢出殘留電荷之交流帶電電壓，執行劣化程度的判斷。

另一方面，在 XLPE 電纜接續部診斷技術中，以非破壞診斷方法檢測之部份放電測定亦經常被應用。部份放電測定作線路檢出之例不勝枚舉，表 6 表示關於主要 XLPE 電纜的診斷方法。

表 6 XLPE 電纜之診斷方法

診斷方法	概要
損失電流法	應用充電電流中之損失電流第 3 高諧波成分，檢出水樹劣化狀態
殘留電荷法	依直流加壓被累積在水樹劣化部份之電荷依交流加壓放出檢出
耐電壓法	依 AC 耐壓電壓法加壓破壞性能已降低之弱點部份
部份放電測定	在固體絕緣物中空隙之內部放電、絕緣介面之介面空隙，檢知發生沿面放電等之部份放電

充油電纜的異常診斷技術 [1,2]

在充油電纜的異常現象方面常因振動，熱伸縮導體滑動及放電，並伴隨著氣體的發生。

- (1) 油中氣體分析：即使巡視並無法發現電纜內部的異常診斷方法，但從接續匣採取絕緣油加以分析是一種有效的方法。有異常徵兆時，該被判斷有問題之設備應繼續執行管控追蹤。
- (2) 導體移動測定：充油電纜之鋁被套其構造上與電纜導體之間有若干的安全絕緣間距，若佈設於傾斜地的情況，在兩者間將發生相對移動，接續匣內之止油部將會產生絕緣紙移動及損傷，伴隨著遮蔽層的凌亂及接地部份放電的發生，而引起絕緣破壞致導體移動現象。此對策係以 X 光線攝影接續匣內部情形判定導體移動量。但是因為在實施 X 線攝影時必須停電，比起活線採取絕緣油、採油、分析等，可作為其替代方式。
- (3) 油量、油壓之監視：由於充油電纜外傷及金屬疲勞

所引起之金屬遮蔽層微小龜裂，為了漏油異常的早期發現，對於給油槽之油量、油壓下降之監視是有效的。在最近以感知器作為信號傳輸，致使成本能夠降低，並構築一個監測系統，在給油槽設置了感知器，而將該信號資料傳輸送到維護單位，實務上有採用執行監視系統之案例，充油電纜之異常診斷技術方法如表 7。

表 7 充油電纜的診斷方法

診斷方法	概要
油中氣體分析	從接續匣所採取之絕緣油，其中溶解放電及熱分解等分解生成氣體（乙炔、可燃性氣體總量等）分析之
X 光線攝影	依 X 光射線對電纜及接續匣內部加以攝影，但不解剖，而調查導體移動等之內部狀況
部份放電測定	檢測出在電纜內部所發生之部份放電

地下電纜事故點測定技術 [1-3]

地下電纜幾乎都是埋在地底下，以目視點檢之範圍實在是非常的有限，因此一旦事故發生要發現事故點確實不容易，且為了表示各式各樣的地下輸電電纜的事故故障相別，有必要選擇其對應之測定方法，其流程圖如圖 3 所示。選定各式的測定方法，應考慮事故類別（接地、斷線）及接地之阻抗值，而採取最適當方法，以下逐一介紹測定方法。

- (1) 電橋法（10 MΩ 以下事故點抵抗適用）：其原理是利用惠斯登電橋的平衡，在遠端短路構成回路事故相和健全相並接續比例邊電阻，施加直流電壓，依調整比例邊電阻，再從所求取之電橋平衡條件至線路全長之導體電阻和至事故點導體電阻的比率而算出事故點位置，如圖 4 所示。地下電纜事故大部份是 1 相接地故障較多，本測定法是事故點測定方法中使用最多的一個，其誤差 10% 以下，故測定精確度高。
- (2) 脈衝波雷達法（斷線事故或高阻抗接地事故適用）：其原理是在事故相重覆施加電壓，使用示波器觀測故障點所反射回來之脈衝波，計算出從往回傳輸時至故障點之距離。本方法即使沒有健全相也是可以測定出事故點是其特徵，脈衝波的波形在傳輸中因有彎曲問題，需要熟練地往復來回時間的判讀，測定誤差在 1 ~ 4% 之間為此缺點，但電橋法對事故點為高阻抗並無法適用。

電力電纜隧道維護管理

台電公司在 1997 年建置第一條電纜專用隧道，目前已運轉中電纜隧道共有 40 公里，電纜隧道建造的方式有三種^[3-7]：潛盾、推管和明挖，由於市區內地下設施交錯複雜，隧道建設多採用三維定向推管或潛盾推進方式，可巧妙的穿越地鐵，避開建築物的基礎等。但對於早期建造的電纜隧道以及建設場地條件較好的隧道多採用明挖方式建造。電纜隧道根據其建造方式不同分為矩形隧道和圓形隧道兩種，推管和潛盾方式建造的隧道都為圓形，明挖方式建造的隧道都為矩形。隧道的內徑取決於電纜佈設的密度，目前運轉中的圓形電纜隧道常見規格內徑為 2.5φ 米和 3φ 米，如圖 5 所示；矩形的電纜隧道常見規格尺寸為 2.2 m × 2.4 m 和 2.7 m × 2.7 m，斷面圖如圖 6 所示。

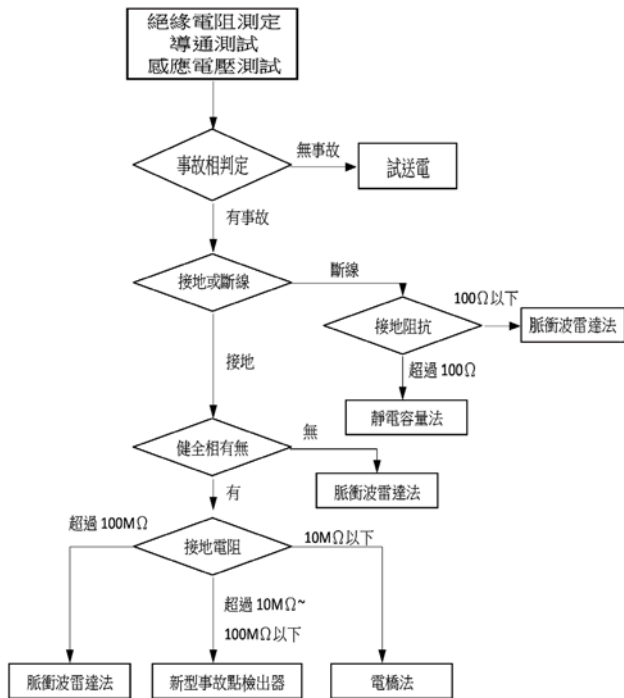


圖 3 事故點測定方法選定流程圖

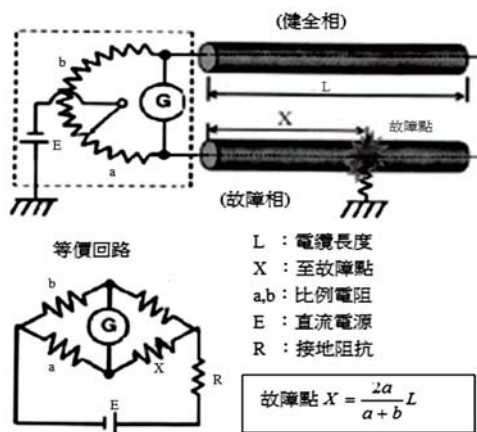


圖 4 電橋回路法測定原理

- (3) 新式事故點測定器：近年來隨著地下電纜範圍的擴大，在同一管路內設置了多回線且長距離化，又因為是並排左右施設常有互相感應電壓問題。在以往有充分實績測定事故點之電橋法，在互相感應電壓之測定下有 2 點是較不易解決：(a) 邊電阻燒損 (b) 電橋無法平衡。此對策是不使用邊電阻直接對事故相、健全相測定電壓，再從其比例算出故障點的距離，依此原理開發了新式事故點測定器，本測定器因有搭載了遮斷感應電壓之低域通過濾波器和測定電壓增幅回路，對於感應電壓在 300 伏特以下不受影響且能夠應用於事故點接地阻抗在 100 MΩ 以下之線路。



圖 5 電纜圓形隧道斷面圖



圖 6 電纜矩形隧道斷面圖

電纜隧道消防

台電公司電纜隧道消防理念是「預防為主、消防結合」，首先是杜絕火源，其次是掌握現場的溫度情況，及時消除隱憂，最後是採取隔離方法自熄。目前電纜隧道防火設施主要有幾類：目前 XLPE 電纜製造係根據 IEC60332 規定採用阻燃電纜防止電纜被覆層延燃，降低金屬遮蔽層溫升速率保護電纜主絕緣；在電纜表面或隧道安裝光纖感溫電纜，感溫電纜能實際檢測隧道溫度及電纜周為火災情形，並具備有警報功能。

電纜隧道的缺陷

電纜隧道的缺陷可分為附屬設備缺陷和土建設備缺陷兩類，其中附屬設備（如水泵、照明、控制電器等）缺陷佔大多數。根據缺陷原因分為設計、決策、施工、產品類形及品質原因等，其中又以設計和決策原因造成的缺陷修改較困難，且成本較高。以下列舉了幾項隧道典型缺陷。

- (1) 電纜隧道排水系統及通風孔高程缺陷：電纜隧道排水系統直接接入縣市政府排水溝內，如接入位置不理想會導致外面水倒灌，隧道積水。1989 年建造南部科學園區 345 kV 電纜隧道，其通風口設計未考慮曾文溪溪水暴漲問題，在一次颱風侵襲造成溪水暴漲，河水通過通風口倒灌進入電纜隧道，導致通風井和隧道被水淹沒，隧道附屬及電器設備損壞。
- (2) 施工原因隧道積水：電纜隧道內溫度和地面溫度存在溫差，在通風後地面暖濕氣流進入隧道後會凝結成水滴，大量的水滴滴落在地面會形成水流。如果通道地面沒有斜度或平路存在凹凸不平的情況就會形成大面積積水，如圖 7 所示，且排水工作也較困難，影響正常的巡視管理工作或造成隧道內鐵鋁配件銹蝕。
- (3) 電纜隧道牆體滲水：電纜隧道滲水幾乎是每條隧道的共通性問題，但是只要加強對關鍵滲水點（如人



圖 7 隧道積水

工井口、伸縮縫、過牆管、接縫處與通風口等）進行監控管理，還是會達到較好的效果。

牆體滲水會造成密封不良的信號；箱體進水將導致電器設備受潮短路；水滴滴落在光纖電纜會造成光纖傳輸衰減；牆體混凝土剝落造成結構體強度問題如圖 8、9 所示；固定電纜附屬鐵鋁配件銹蝕，如圖 10 所示；照明及有害氣體偵測系統損壞等，長時間會威脅電纜運轉之安全。

電纜隧道維護管理應注意的問題和解決辦法 [3-5]

- (1) 附屬設備選擇型號要合理化，型號要統一：電纜隧道採用的電器設備和附屬設備應盡量滿足型號統一為原則，有利於備品的統一。在選用的電器設備要滿足防水、防銹、長壽命的要求，選擇的附屬設備要滿足防銹、防霉、免維護的要求。



圖 8 伸縮縫漏水造成隧道積水



圖 9 隧道頂壁混凝土龜裂及鋼筋銹蝕



圖 10 鐵鋁配件銹蝕

- (2) 洞道施工要源頭管理：提前參與洞道地質調查、環境危害評估、設計、施工、監控等環節，及時消除洞道前期建設中暴露的問題。
- (3) 施工工期合理：洞道的基礎建設施工工期合理，避免為了趕工期而降低施工品質。避免洞道的基礎工程和電纜機電工程同時併行施工。
- (4) 採用防腐蝕之混凝土與鋼材：電纜洞道若位於臨海地區，洞道之滲水將深受海水成份影響，海水內所含之氯離子，進一步將引發洞道之混凝土龜裂、鋼筋鏽蝕等。其混凝土應採用第 II 型水泥（即抗硫水泥），另鋼筋宜依近海情形使用環氧樹脂鋼筋或鍍鋅鋼筋，防止鏽蝕。
- (5) 採用防腐蝕之塗料：電纜洞道避免污水或含有鹽份較重之水所侵蝕，其鐵鋁配件在安裝前應先行塗上船舶漆，如圖 11 所示。
- (6) 引進診斷技術：對於混凝土構造物的異常診斷，在診斷中可使用色素注入及超音波判斷龜裂深度測定，及依核心採取作壓縮強度測定、應用鋼筋腐蝕檢討作鹽分測定。
- (7) 建立分散式測溫系統：洞道監控系統；洞道消防系統的應用，總結出運轉管理經驗，使得更好的運轉服務，不斷提高洞道運轉管理效率^[7]。
- (8) 提升工作要管理效益：設備管理要從被動故障檢修轉為主動維護保養，加強運用維護管理工作，減少設備故障，延長使用壽命，降低管理成本。

建立電纜洞道巡查智慧化管理模式^[3-7]

- (1) 電纜洞道的建設應著重在：照明、機械通風、自動排水、通信、光纖測溫、通風或出入口集中監控、視頻監控等系統建置與互聯監控。
- (2) 改善電纜運轉維護管理模式應著重在：維護管理機制、方法、局部放電量測、紅外線熱像技術監測、電纜線路接地系統接地電流檢測、地理資訊系統的建立與應用、數據收集系統的建設與應用、洞道和電力電纜路徑的巡視與監測等機制之建立。

結論

以管理電力設備的標準來監控和管理電纜洞道，實現現有電纜洞道的智慧化，是保證電纜線路安全運轉的前提與基礎，洞道內設置光纖檢測溫度並設置溫度異常警報，實際監測環境溫度與洞道濕度是有其必



圖 11 鐵鋁配件塗船舶漆防銹蝕

要性。另外以科學的手段檢測電纜洞道的本體情況也是不可或缺的。

用狀態監測逐漸取代預防性試驗是未來發展趨勢，在線上量測可以及時瞭解電纜線路運轉狀態，以求維護管理的合理化，狀態監測技術的關鍵在於被測資訊的收集和抗干擾，量測裝置必須保證不影響電纜線路安全正常運轉，同時還要保證人身安全。

週期巡視、計畫檢修安全型和經濟技術角度來說有很大侷限性，無法保證電纜系統的安全運轉，更談不上及時發現問題預防事故。在靠大量增加運轉維護人員來應對已經不符現實要求的情況下，必須轉換電力電纜運轉管理模式，依靠電纜洞道的智慧化和對狀態監控系統，將運轉管理模式由原來的固定式的週期巡視、檢修模式逐步轉換到狀態監測和狀態檢修。單一或者分散的電力電纜運轉狀態監測已無法滿足實際運轉管理的需要，必需建立多狀態監控系統，發展多狀態、多參數的電纜在線上監測，對電纜線路本體外界環境實現集中管控，實現電力電纜網「可控、能控、在控」，達到預防事故、運轉安全可靠的目的。

參考資料

1. 台灣電力公司（1991），電纜維護手冊。
2. 台灣電力公司（2012），345 kV 電纜維護作業標準暨工作指導書。
3. 那瑩（2009），「沈陽供電公司電力電纜運行維護管理模式研究」，吉林大學管理學院碩士論文。
4. 李四川（2001），「共同管道及電力輸電線冷卻節能系統之研究」，國立臺北科技大學電機工程系碩士論文。
5. 竺文彥、李宗坤、鍾仁金、盧之偉（2005），「曲線推進工法規劃設計與施工」，地工技術雜誌，第 106 期，第 5-14 頁。
6. Duddeck, H. (1985), "Analysis of Linings for Shield Driven Tunnels", *Tunnelling in soft and water-bearing Grounds*, A. A. Balkema, pp. 235-241.
7. 蕭勝任、陳建富（2012），「345 kV 電力電纜表面溫度線上檢測技術之應用」，電機月刊第二十二卷第十二期，第 66-74 頁。