

中壓電纜接續匣活線局部放電檢測案例探討

The Case Study of On-Line PD Measurement on MV Cable Joints

邱敏彥 李長興 黃智賢 楊智雄
 Min-Yen Chiu Chang-Hsing Lee Chih-Hsien Huang Chih-Hsiung Yang

震江機電技術顧問(股)公司
 台灣 新竹市
 Chan-Ching Electric Technique Consulting CO.,LTD
 javis@ms15.hinet.net

摘要

電力電纜的事故大多集中在電纜終端處理頭及接續匣上，而傳統的測試方法並無法有效的防止電纜的事故發生，但目前利用電磁場耦合的測試技術，應用在活電中進行電纜的局部放電檢測，已經有不錯的成效。

雖然局部放電檢測可以應用在各種高壓設備上，但本文只針對電纜接續匣的應用來進行探討，並介紹如何利用 UHF 活線局部放電檢測技術應用在電纜接續匣上，並依所檢測出有異常放電的電纜頭案例來探討一些常見的電纜接續匣施工上的瑕疵，以及其局部放電圖譜的辨識。

關鍵詞：局部放電、電纜接續匣。

Abstract

The majority of power cable system failures is resulted from defects in cable termination and cable joint. Conventional diagnostics can't effectively prevent these defects causing failures. The alternative diagnostics is on-line partial discharge measurement (PDM) by means of detecting transient electromagnetic field. On-line PDM can be applied on vary high voltage equipments, and this paper only addresses the application on cable joints. The application of on-line PDM by UHF sensor will be introduced in this paper. Some cable joints with abnormal partial discharge activities will be used to discuss the formation of defects, and to identify the types of defects by the recognition of phase-resolved pattern.

Keywords: Partial Discharge, Cable Joint.

I. 前言

電力電纜在輸配電上扮演著電力輸送的重要角色，因電纜長度限制的問題，所以在輸送較遠距離時，電纜與電纜之間則需利用接續匣來接續；目前電力電纜製造技術的提升，且在製造廠的品質控管下，所以一般電力電纜都不會有什麼問題出現，反而是電纜終端處理頭(Cable Termination)及接續匣(Cable Joint)因需於現場施作，在環境及施作人員的品質控管不易之下，所以造成電力電纜的事故大多集中在電纜終端處理頭及接續匣上，因此對於如何診斷電纜終端處理頭及接續匣的施工品質，成為相當重要的議題。

目前國內中壓電力電纜的試驗，無論是竣工或平時維護試驗都只仰賴直流耐壓試驗(DC High Potential Testing)為主，主要是直流加壓設備體積小，操作容易，

而且價格便宜，但是有許多的文獻及國際法規[1]都指出，直流耐壓試驗並無法檢測出 XLPE 電力電纜內的介質瑕疵缺陷，並有可能會破壞電纜本身的絕緣，因此直流耐壓測試多在用來作為電纜送電前的確認，並不適合應用於一般的維護試驗，尤其是老舊的 XLPE 電纜，因此 IEEE 400.1-2007[2]已經取消了 XLPE 電纜的直流耐壓測試，採用交流極低頻(VLF)來測試電力電纜[3]，並使用局部放電(Partial Discharge)及消散因數(Tan Delta)來診斷電力電纜。

局部放電測試近年來已經應用的相當廣泛，而且採用電磁場耦合的方法，可以不需要停電安裝耦合電容，直接使用系統的運轉電壓於活線(on-line)下測試局部放電，而且這種局部放電測試方法已經有相當不錯的成效[4]，當然電磁場耦合技術可應用在各種高壓設備上，但本文只針對電纜接續匣的應用來進行探討。

本文首先會探討活線局部放電測試原理及方法，然後於實驗室模擬電纜接續匣的瑕疵，最後再應用實際的現場測量，再以檢測到有異常放電的電纜接續匣，來探討一些常見因施工上所造成電纜接續匣的瑕疵缺陷，藉此來降低電纜接續匣事故的比例。

II. 測試原理

當電纜接續匣施工上因切痕過深或殘留空氣及導電雜質在電纜接續匣裡等瑕疵，或是外半導與應力錐處理不良，這些瑕疵都會造成電纜接續匣內部電力梯度的分佈不平均，並產生局部的過壓並發生局部放電，其放電所產生的暫態電流時間約在奈秒(nanosecond)的範圍以內，所產生的頻率從幾 MHz 到數百 MHz 以上不等，此暫態電流 $IE(t)$ 會以行進波的方式沿著接地線及遮蔽層前進，並在接地線及遮蔽層產生一個磁力線 $B(t)$ (圖 1)，因此可利用電感式感測器來感應此磁力線，這就是磁場耦合局部放電訊號的模式，通常使用電感式感測器如高頻比流器(HFCT)或羅式線圈(Rogowski Coil)等由接地線來測量局部放電的訊號。

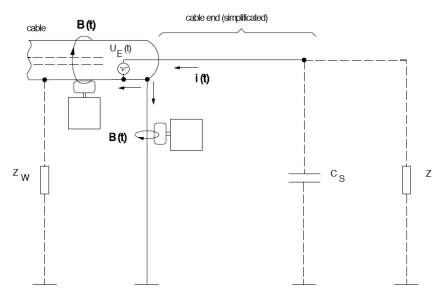


圖 1：電纜頭放電的等效電路

一般高頻比流器或羅式線圈的頻率響應大都在 20MHz 以下,但是電力系統所產生的雜訊也都在這個頻率範圍以下,圖 2 是由接地線利用電感式感測器測量的背景雜訊頻譜,大部分的雜訊也都在 20MHz 以下,因此在活電測試下若使用此頻帶所取得的訊號與雜訊比會非常的低,於某些範圍的部份放電訊號會因雜訊過大而無法偵測到,所以使用超高頻電感式感測器(UHF Sensor)來提高測量的頻率,進而改善訊號與雜訊比[5],UHF 感測器的工作原理跟磁場耦合相同(圖 3),都是測量脈衝電流的磁場變化。

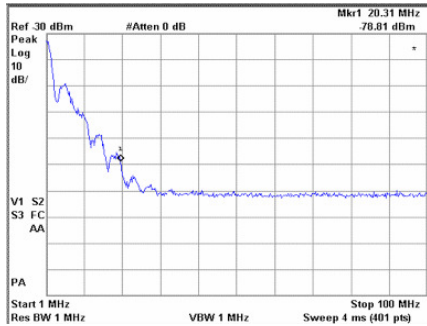


圖 2：由接地線利用電感式感測器測量的背景雜訊

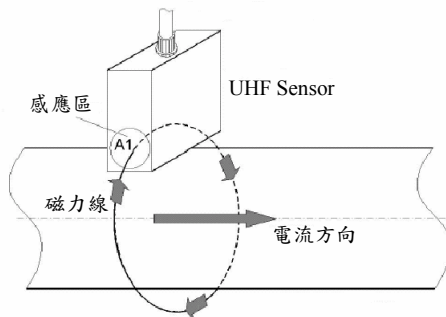


圖 3：UHF 感測器的工作原理

本文電纜接續匣局部放電測試用的 UHF 感測器的頻率響應在 70MHz~1.3GHz 之間,但本文所使用的局部放電測試儀器的頻寬只有 50MHz,所以感測器進來的訊號需經過降頻並轉換成 VHF 頻帶,然後再給測試儀器使用,現場用 UHF 感測器在電纜接續匣末端的接地線或遮蔽層來測量局部放電的訊號,以下的案例全是應用此方法所測量到的電纜接續匣異常放電。

III. 電纜接續匣放電特徵

電纜接續匣的作用與電纜末端處理頭是相同的,因此其故障及瑕疵的狀況是相同,只不過電纜接續匣並沒有電纜頭沿面放電的問題,也沒有安裝時安全間距的問題存在,而最多施工不良的情況是殘留空氣於電纜接續匣裡,不然就是施工人員清潔不當讓雜質留於電纜接續匣內,另外最常見的瑕疵是應力錐並未套至外半導處,造成應力錐失效的狀態,不然就是外半導切割不完整等等,不管是任何一種瑕疵都會造成電纜接續匣內部的介電常數不同,並形成內部電位分佈不均勻而造成內部的異常放電。

不同的瑕疵會有不同的放電特徵及形態,為了觀察電纜接續匣不同的放電形態特徵,所以利用如圖 4 a.所示來模擬外半導與應力錐的瑕疵,以及圖 4 b.所示的熱

縮不完整,這兩種都是電纜接續匣最常見的瑕疵。



a.外半導與應力錐的瑕疵 b.熱縮不完整

圖 4：模擬電纜接續匣常見的二種瑕疵

測試程序依 IEC60270 將待測電纜與耦合電容並聯,然後連接至局部放電測試儀器,經校正後加壓至電纜的額定電壓,並觀察其放電量與放電角度的關係,以及放電重複率等,其中整個測試過程在兩端的電纜頭都須加裝電暈環,來防止電纜頭的外部放電,以免影響測量結果的判斷。

圖 5 及圖 6 是兩條有瑕疵電纜接續匣的測試結果,放電訊號與放電角度的關係都類似,放電角度約在 20°~120° 及 200°~300° 之間,因為大部份的放電特徵都是在電壓上升時放電,也就是放電都發生在一、三象限,因此如果單純要依放電量與放電角度間的關係來辨識放電型態的話,可能就不太容易,但從其他的特徵值來觀察的話,則有點不太相同,從圖 5 外半導與應力錐瑕的放電圖譜看來,其正半週與負半週的放電量大致相同,而圖 6 熱縮不完整的放電圖譜,其正半週與負半週的放電量則不相同,負半週的放電量遠大於正半週的放電量,這是跟不同的放電型態有不同的物理特性有關,再經過多次的測試結果都相同,因此可以依正負半週的放電量大小來比對判斷是何種的放電型態。

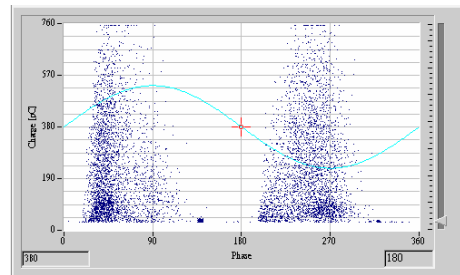


圖 5：外半導與應力錐瑕的放電圖譜

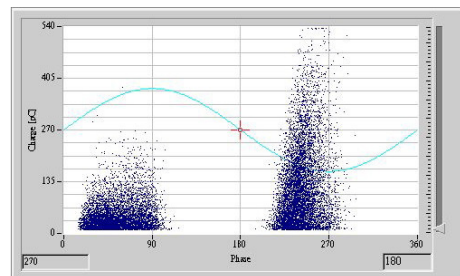


圖 6：熱縮不完整的放電圖譜

IV. 定位

實驗室測試跟現場測試相差很多,實驗室裡雜訊少,只有一組的放電訊號,因此容易區別放電或是雜訊,但於現場活線測試時可大不相同,第一個要克服的

就是雜訊，因為一條長電力電纜就等於一條長天線，各式各樣的訊號都會被接收，然後就在遮蔽層上跑，因此為了克服雜訊就必須提高測試頻率，但提高測試頻率，所能測試的距離就越短，也就是需在每一個電纜接續匣上測試，雖然會增加測試的困難度，但卻是一個克服雜訊不錯的辦法。

雜訊干擾不見的只有低頻雜訊，也有許多的高頻干擾雜訊，甚至可能是其他電纜接續匣放電的干擾訊號，因為現場測試可能重疊了許多組的放電訊號，因此除了提高測試頻率外，可能需要其他的方法來確認放電訊號。

有很多種方法都可以應用在電纜的放電位置定位，如時域反射法等，但本文採取的是較簡單的方法來確認放電位置，如圖7所示，安裝两只感測器於電纜接續匣的兩端，两只感測器的極性並不相同，如此當放電訊號來自電纜接續匣內不時，在兩端的感測器上就會觀察到相同方向放電的振盪波形，反之，如果是雜訊或其他組的放電訊號來自電纜接續匣外部，就會觀察到如圖8不同方向的振盪波形，如此就可以簡單的辨別及定位放電的電纜接續匣。

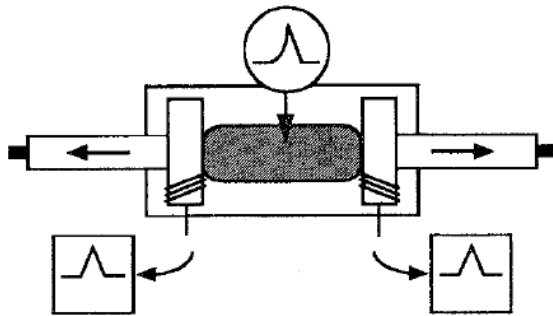


圖 7：電纜接續匣內部的放電訊號

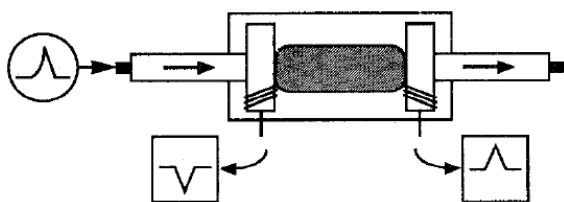


圖 8：電纜接續匣的外部雜訊

V. 現場測試案例探討

此次現場活線測試共測試了 222 只 33kV 電纜接續匣，總共有 40 只電纜接續匣有異常放電訊號，經重新定位追蹤後，已經確認了 4 只電纜接續匣異常，到目前為止也已經更換 3 只電纜接續匣，另外還有 2 只電纜接續匣的放電訊號過於微弱且不明顯無法定位外，其他的都是雜訊干擾或其他電纜接續匣放電的干擾訊號，只要有一組電纜接續匣放電，如果其放電量夠大，在鄰近的線路上都是這組電纜接續匣放電的訊號。

圖 9 是現場實際量測的結果，三組的放電角度都不相同，最主要是無法取的實際放電相位的參考電壓，只能從插座上去取參考電壓，所以才有不同的放電角度，其中 b 與 c 一個半週的放電量比另外一半週的放電量大，但是 a 卻只有一個半週的放電量，檢測不出另一半週的放電訊號，最主要是檢測的頻率較高，所以本來就

會犧牲一些放電訊號，再加上另一半週的放電量實在太小，所以才無法顯示在測試的結果裡，因此從放電圖譜特徵可以初步判斷為三組電纜接續匣都是熱縮不完整造成的放電。

從圖 9 的定位波形看來，從起始的幾個振盪波看來都是同一方向，雖然在後面的振盪波都不相同，但都可以明顯觀察到放電訊號都是來自電纜接續匣內部，非來自外部地干擾雜訊。

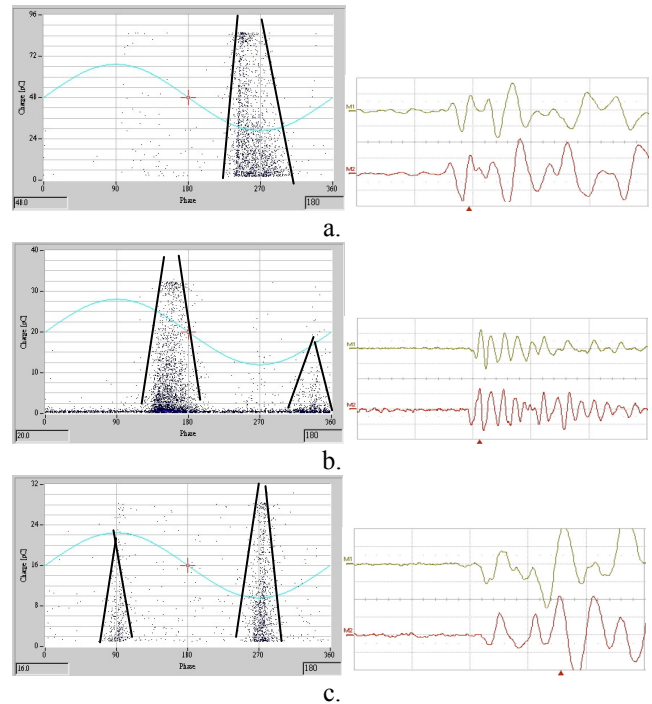
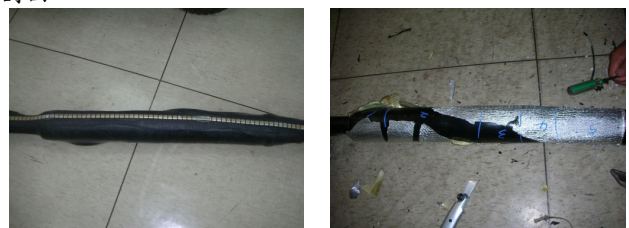


圖 9：現場實測的放電圖譜及放電波形

VI. 驗證

已經確認有異常放電的電纜接續匣後，過來就是更換及解剖接續匣來驗證是否如預期的熱縮不完整；熱縮式電纜接續匣不像預撐式及冷縮式的好解剖，一開始如圖 10 所示需將外蓋甲移除，然後作記號，再使用砂輪機將接續匣切成五等分，然後就可以觀察到每一段的橫剖面。



a. 接續匣外觀

b. 移除外蓋甲

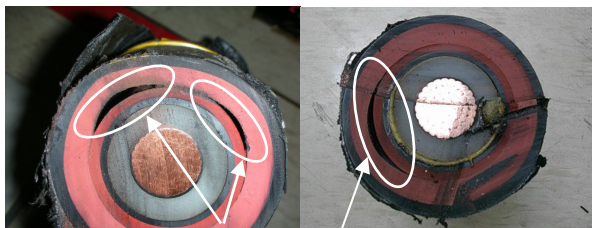


c. 切成五等分

圖 10：電纜接續匣解剖

從圖 11 檢視電纜接續匣的橫剖面，可以很明顯的

看到因熱縮不完整所產生的間隙，間隙內就殘留了許多的空氣在裡面，因空氣的介電常數小，所以就分到較大的電場強度，當間隙內空氣的跨壓達到其崩潰電壓時，就開始放電，在持續放電破壞下會導致絕緣劣化，最後崩潰並造成短路事故。



熱縮不完整的間隙

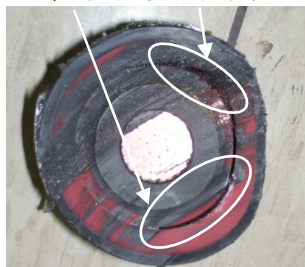


圖 11：電纜接續匣的橫剖面

圖 12 是剖開電纜接續匣外層檢視內部放電的狀態，可以明顯的看出在有間隙的部份，都有放電的痕跡，可以驗證解剖與檢測結果相同，另外因檢測結果顯示只有熱縮不完整的放電訊號，所以同樣檢視這三只電纜接續匣外半導與應力錐間的狀況，結果如圖 13 所示，外半導與應力錐間並無施工不良的異狀，顯示符合測量的結果。



圖 12：電纜接續匣內部放電狀態



圖 13：外半導與應力錐間無異狀

VI. 結論

從以上的案例看來，電纜的事故以人為的因素佔最大的比例，因此若要降低電纜的事故率的話，則必須先從施工人員的教育訓練做起，並提升施工人員的技術層面。

應用電磁場耦合局部放電檢測技術可以在不停電的情況下，快速的檢查電纜接續匣是否隱藏有危險的放電訊號，更可以在事故發生前找出有問題的電纜接續匣並提高供電可靠度，雖然 IEC62478 目前正在定義線上局部放電檢測標準，但最大的問題不是在於如何測量局部放電，而是要如何有效準確的分析放電訊號，以及診斷電纜接續匣的放電形態及危險性才是最重要的。

參考文獻

- [1] IEEE Std 400-2001 Guide for field testing and evaluation of the insulation of shielded power cable systems.
- [2] IEEE Std 400.1-2007 Guide for Field Testing of Laminated Dielectric, Shielded Power Cable Systems Rated 5 kV and Above with High Direct Current Voltage.
- [3] IEEE Std 400.2-2004 guide for field testing of shielded power cable systems using very low frequency (VLF).
- [4] Min-Yen Chiu, Chang-Hsing Lee, Chih-Hsien Huang, Shih-Shong Yen, "The Application of On-Line PDM on in-service MV Cable Terminations," 2008 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Beijing, China.
- [5] Bolarin Oyegoke, Petri Hyvonen, and Martti Aro, "Partial Discharge Measurement as Diagnostic Tool for Power Cable Systems"