

## 電纜終端之局部放電圖譜辨識 Recognition of partial discharge Patterns in cable terminations

黃智賢  
Chih-Hsien Huang

邱敏彥  
Min-Yen Chiu  
震江機電技術顧問股份有限公司 服務部  
台灣 新竹市  
Service Department  
Chan-ching Electric Technique Consulting. Co.,LTD  
Hsinchu, TAIWAN.  
Chan.ching@msa.hinet.net

李長興  
Chang-Hsing Lee

### 摘要

依據文獻的研究，大多數電纜終端故障的途徑主要是由空洞、髒污與突出異物造成局部放電所致。因此局部放電量測是能夠有效的檢出此類的瑕疵。然而卻沒有研究能指出局部放電量與電纜終端殘餘壽命的關聯性，所以當執行局部放電量測時是很困難的去判定是要立即或之後更換線上有異常的電纜頭。

根據筆者的經驗不同的瑕疵會有不同直至崩潰的老化速度。因此瑕疵辨識是一種非傳統的方式去評估危害的程度。此篇執行了幾種測試，根據不同的瑕疵去找出發生局部放電的屬性，包含了應力錐未定位、殘留氣泡、殘留外半導、及大頭針侵入。測試結果指出不同的瑕疵有不同的屬性，且這個特性就可以運用到電纜終端的瑕疵辨識。

關鍵詞：局部放電、辨識、電纜絕緣。

### Abstract

As reported in very researches, the majority failure mechanism in cable terminations is predominantly involving partial discharge deterioration caused by voids, contaminants and protrusion. The partial discharge measurement is an effective way to detect such defects. However, no research shows the relation between the magnitude of partial discharge and remaining life of cable termination. Hence, it is hard to make decision to replace the unqualified cable termination immediately or lately for an in-service cable termination, while the partial discharge activities are measured.

Based on authors' experiences, different defects have different ageing speed to breakdown. Therefore, recognition of defects is an alternative way to assess the degree of risks. This paper sets up a series test to figure out the properties of partial discharge activities caused by different defects, including wrong position of stress cone, void left, tape left, and needle pricked. Test results show the different properties of different defects, and these characteristics can be used to recognize defects inside cable termination.

Keywords: partial discharge, recognition, cable insulation.

### I. 前言

國內外經驗顯示，電纜系統中，電纜終端以及電纜接續間的事故率遠較電纜本身來得高。然而，電纜

及電纜相關附件的出廠測試皆十分嚴格，並未有如此之差異。事故調查的結論多歸因於施工法錯誤、或施工瑕疵所導致。

電纜終端因為末端之電場變化，其承受之電應力亦較電纜內部來得高。為了避免該劇烈變化之電場加速電纜末端之劣化，故設置電纜終端，將電場之變化控制在可忍受的範圍內。此外，電纜終端之組裝多在現場施作，因其涵蓋較多元件，故其施工法及過程皆需多加注意。基此，在施作人員多未通過認證、或足夠之教育訓練時，電纜終端最容易出現瑕疵。

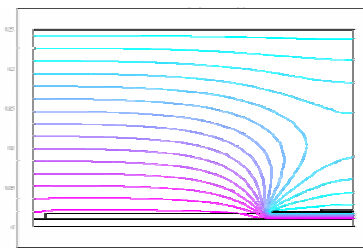


圖 1：未施作電纜終端之電場變化

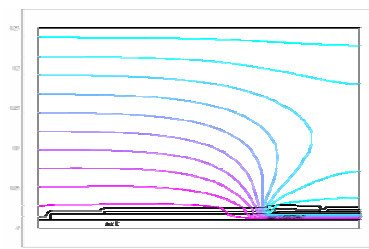
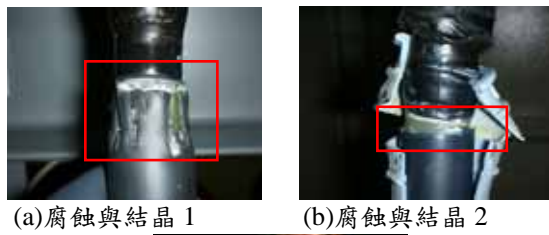


圖 2：已施作電纜終端之電場變化

根據筆者經驗，人為之電纜終端製作瑕疵可略分為應力錐未定位、施工切痕太深、異物侵入等。經驗顯示，不同程度之電纜終端瑕疵，除了嚴重瑕疵外，並不一定會有立即性之危險，亦即不一定會在竣工測試時被觀察到，其需要一定時間劣化後，方能被檢測到。根據經驗，不同類別之瑕疵的劣化速度不同，應力錐未定位所導致之劣化崩潰時間往往最長，而切痕太深及異物侵入之劣化崩潰時間最短。圖所示為應力錐未定位所造成之局部放電劣化過程，可比照參考文獻之劣化階段。



(a)腐蝕與結晶 1 (b)腐蝕與結晶 2



(c)剝除(b)電纜終端後

圖 3：應力錐與外半導間隙放電圖



(A)瑕疵置入線上電纜終端



(B)一年後絕緣層變化 (C)二年後絕緣層變化

圖 4：應力錐未套到外半導的老化發展

截止目前為止，並無任何文獻資料顯示出局部放電量與殘餘壽命之關係，故要以局部放電量來評估電纜系統的剩餘壽命尚有難題需要克服。然而，經驗顯示不同的瑕疵造成之劣化速度不一，故若能對瑕疵種類做出一定程度之判別，則可以有效評估瑕疵對電纜頭造成之危險程度。

基此，本文的目的在於對電纜終端之局部放電訊號做出辨識，並在後續研究中，對不同瑕疵之劣化速度做觀察，以期能及早發現高風險之瑕疵。本文先製作含有不同瑕疵之電纜終端，並量測其局部放電訊號。經由這些局部放電訊號作出分類，期能藉由這些特徵找出瑕疵與局部放電訊號之關連性，以達成本文目的。

## II. 試驗架構

### II-1. 局部放電量測

本文的目的就是以不同的瑕疵來量測局部放電的結果，然後區分測量的結果來判斷是何種形式的瑕疵。因此筆者依據 IEC 60270[1]去執行局部放電的量測，並測量其放電頻帶，其測試架構如圖 5 所示。

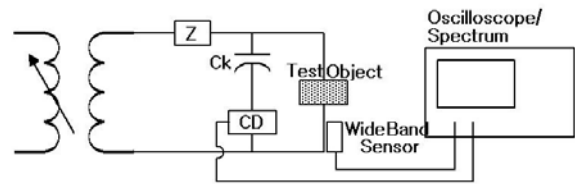
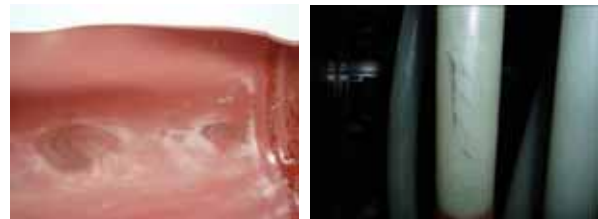


圖 5：測試架構

根據筆者的經驗，電纜頭之瑕疵多為施工不當所導致，本文模擬常見之瑕疵：殘留氣泡、殘留外半導、應力錐未定位、以及大頭針侵入。詳細說明如下列所示：

- 殘留氣泡：未塗矽膠，使應力錐前方留有氣隙。
- 殘留外半導：在製作電纜頭時，額外留下一條外半導帶在絕緣材料上。
- 應力錐未定位：在製作電纜頭時，故意將應力錐不與外半導或遮蔽層相連。
- 大頭針侵入：於組裝好之電纜頭，額外插入大頭針。



(a) 殘留氣泡 (b) 殘留外半導



(c) 應力錐未定位

圖 6：一般常見施作錯誤之瑕疵



(a) 應力錐未定位

(b) 殘留氣泡



(c) 殘留外半導



(d) 大頭針侵入

圖 7：人為之瑕疵

## III. 測試結果

圖8至圖10的象限圖譜是於實驗室內執行局部放電量測所產生之結果。所有的測量結果都有著相似對稱的放電相位區域： $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 與 $180^{\circ}\sim 270^{\circ}$ ，相似的頻帶範圍：直到800MHz的寬頻範圍。

所有的放電圖譜中只有殘留氣泡的圖譜具有不對稱的特性，且其圖譜中最大放電量的位置是出現在靠近參考電壓的峰值處。殘留外半導的放電圖譜為相似電暈放電的圖譜。應力錐未定位與大頭針入侵的放電圖譜則相當對稱。表1為以上瑕疵的放電特性總表。

表1：各類瑕疵放電特性總表

	放電相位	對稱性	最大量位置	放電形式
應力錐未定位	$0\sim 90, 180\sim 270$	對稱	象限中間	特殊放電
殘留氣泡	$0\sim 90, 180\sim 270$	不對稱	參考電壓峰值	外部放電
殘留外半導	$0\sim 90, 180\sim 270$	對稱	象限中間/參考電壓峰值	電暈放電
大頭針入侵	$0\sim 90, 180\sim 270$	對稱	象限中間	特殊放電

### III-1. 應力錐未定位

圖8為電纜頭應力錐未定位之放電圖譜。其放電位置的分佈是位於 $0^{\circ}$ 到 $90^{\circ}$ 與 $180^{\circ}$ 到 $270^{\circ}$ 二個象限，且二相位中所累積出來的放電圖譜形狀是非常相似的。最大放電量的位置都接近第一與第三象限的中間。

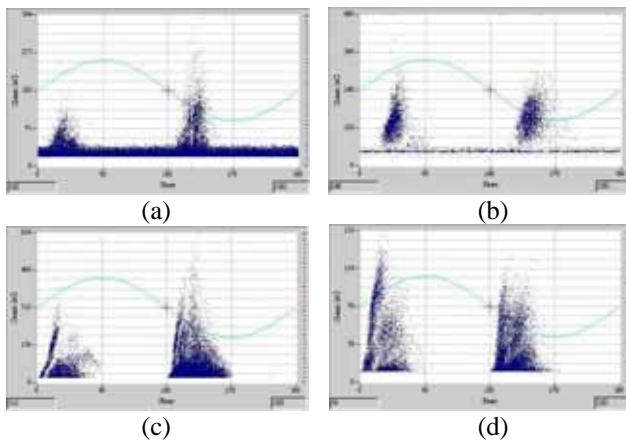


圖8：放電圖譜

### III-3. 殘留氣泡

圖9為電纜頭殘留氣泡之放電圖譜。其放電位置的分佈是位於 $0^{\circ}$ 到 $90^{\circ}$ 與 $180^{\circ}$ 到 $270^{\circ}$ 二個象限，且在負半週所產生的放電量會遠大於正半週所產生的放電量。因為圖譜中最大放電量值會較靠近所施加電壓的峰值，所以這樣的放電特性會相似外部放電的特性。

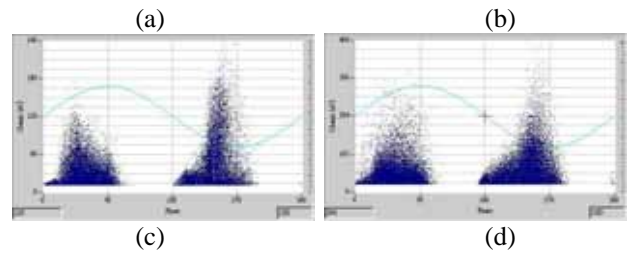
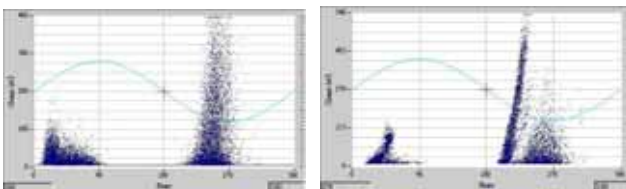


圖9：放電圖譜

### III-2. 殘留外半導

圖10為電纜頭殘留外半導於絕緣層上之放電圖譜。其放電位置的分佈是位於 $0^{\circ}$ 到 $90^{\circ}$ 與 $180^{\circ}$ 到 $270^{\circ}$ 二個象限。二個象限內放電的量值都是極為相似的，且其中一個放電位置會位於象限的中間另一個則會位於所施加參考電壓的峰值處。此放電圖譜的特性是相似於電暈放電的特性。

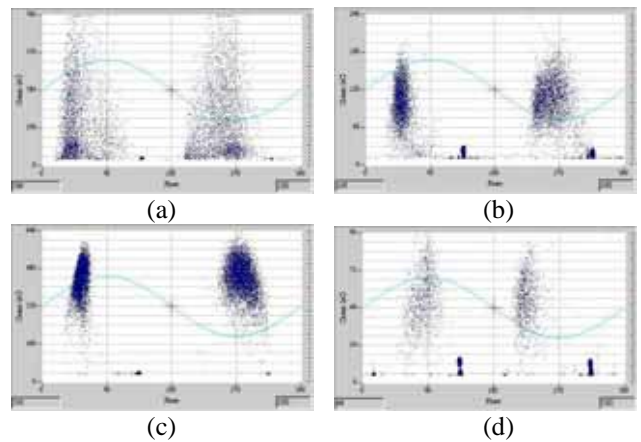


圖10：放電圖譜

### III-4. 大頭針入侵

圖11為電纜頭插入大頭針於絕緣層上之放電圖譜。其放電位置的分佈是位於 $0^{\circ}$ 到 $90^{\circ}$ 與 $180^{\circ}$ 到 $270^{\circ}$ 二個象限。二相位中所累積出來的放電圖譜形狀是非常相似的。

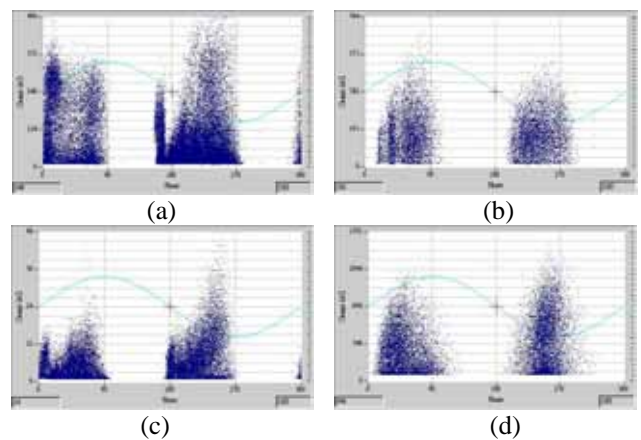


圖11：放電圖譜

### III. 結論

經驗指出電纜終端故障的機率遠比電纜本身來的高，而這類的原因通常是施工不良所造成，且這樣微小

的瑕疵是不容易被以往傳統的檢測所發覺。直至現今仍無法建立電纜頭瑕疵所產生放電量與電纜頭殘餘壽命間的關聯性。因此執行線上電纜頭局部放電檢測時也很難去決定更換電纜頭的最佳時機。

依據筆者的經驗不同的瑕疵類型會有不同的殘餘壽命。因此瑕疵的辨識就能有助於去判斷瑕疵可能造成的危險性。

經由本實驗研究的結果就能清楚的辨別出各類施工上的瑕疵所產的不同的放電現象，如表 1 及圖 8 至圖 11。

未來會依據此編再繼續探討不同瑕疵對電纜頭造成的老化速度。

#### 參考文獻

- [1] Katsumi Uchida, Hideo Tanaka, and Ken'ichi Hirotsu, "Study on detection for the defects of XLPE cable lines", IEEE Trans. On Power Delivery, Vol. 1, No. 2, April 1996, pp663-pp669..
- [2] Min-Yen Chiu, Chang-Hsing Lee, Chih-Hsien Huang, and Shih-Song Yen, "The case study of on-line PD measurement on in-service MV cable terminations", Annual conference 2007 on IEIEJ, sep. 6-7, 2007, pp511-pp516.
- [3] Peter H. F. Morshuis, " Degradation of solid dielectrics due to internal partial discharge: some thoughts on progress made and where to go now", IEEE trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 12, No. 5, Oct. 2005, pp905-pp913.