

超高壓電纜終端應力錐電場分析

Analysis of Electric Field on Stress Cone of EHV Cable Termination

¹ 王瑋民

Wang, Wei-Min

¹ 林子正

Lin, Yu-Zheng

² 鄭強

Jeng, Chiang

² 范振理

Fan, Jen-Li

² 陳柏江

Chen, Po-Chiang

³ 莊忠勇

Zhuang, Zhong-Yong

¹ 崑山科技大學電機系

台灣 台南縣

Department of Electrical Engineering

Kun Shan University of Technology

Tainan, Taiwan

² 台灣電力公司綜合研究所

台灣 台北市

Research Institute

Taiwan Power Company

Taipei, Taiwan

³ 台灣電力公司台北供電處

台灣 台北市

Department of Power Supply

Taiwan Power Company

Taipei, Taiwan

摘要

高壓電纜末端接續處理時，常採用應力錐來改善接續處之高電力線密度集中現象。本文以 345kV 電纜終端匣為研究對象，首先模擬因施工失誤，造成應力錐安裝未達定位時對電場強度之影響探討與正常施工下的差異；其次探討應力錐本體採用不同介電係數材料時，對電力線分佈改變之影響。

關鍵字：電纜終端匣，應力錐。

Abstract

Stress cone is widely used on high voltage power cable termination to mitigate the high electric flux density. This paper focuses on the 345kV system. Firstly, the field intensity resulted from the incorrect installation of stress cone are simulated. Then the influences on electric flux distribution of the stress cone with different dielectric constant materials are analyzed.

Keywords: Cable Termination, Stress Cone

I. 前言

一般電纜的壽命可約到 30 年的壽命，但如果在裝置施工的狀態下沒有完善，這將會無法維持穩定的供電與使用的時間，針對國內近幾年來較常發生的因電纜終端接續不良所造成事故，大部分原因發生在電纜內部絕緣劣化引起的局部放電而破壞電纜，這些劣化通常是內部電場過高絕緣無法承受的耐壓導致極穿的可能性，在電纜在接到設備或接續時需要做終端處理，時需剝除電纜被覆、遮蔽層、外半導，剝除後電場在終端分佈為最高，為了抑制這一高電場將用應力錐是用來削弱終端。即釋放電應力(Stress Relief)，使達到絕緣內部耐電壓值規範，在終端處理施工不良的情況中，最常發生的情況像是安裝未達定位、施工處理時殘留雜質如水氣或未達密合狀態等等...都會造成內部電場分佈不均勻，在相當應力發生游離而導電，當超過界限電壓時，絕緣體在殘留雜質中開始放電，因而破壞絕緣體的結構，或者是老化現象的發生，裝置能否完善將是供電品質的一大因素，而不同材料所設計的電纜，主要分別為材質上的參數經過系統模擬，計算出每一點對材質上的電場切線梯度表示，確保每一點應力允許在界限電壓中，電場在穿越不同介電常數時，因為不同介質所對應的角度有所改變，造成電場的折射。

本文模擬為兩個案例，第一案例是模擬電纜終端施工，在應力錐安裝位置誤差未達定位所留下的氣隙，而氣隙的範圍到預制終端應力錐 3mm，且模擬電場的分佈變化，結果在故障點(氣隙)裡電場過度集中在，這導致這附近局部放電的可

能，為了要改善這問題，在氣隙端裡添加了矽脂膏，保持內部避免有氣隙存在，也降低電場造成電力傳輸系統事故發生不良。

第二案例是應力錐本體採用不同介電係數材料，應用高介電係數 $\epsilon_r=30$ 材質，模擬結果顯示越高的介電常數材質，電纜電應力的分佈比矽橡膠材質的應力錐來的發散，這兩種材質的分佈出來的電場效果反應，主要為電場穿越兩個不同介電常數介面時，因不同角度迫使電力線折射產生另一個電場強度，所以在設計相對介電常數上為主要設計參數，在以最佳的條件下界面都保持在材質耐壓及數和交聯聚乙烯電纜絕緣，以有限元分析方法計算不同應力錐材料對電場電力線分佈的影響，以下是 345kV 電纜終端建立模型的預製架構。

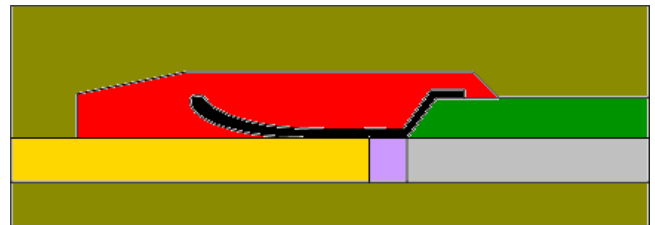


圖 1 高壓 345kV 電纜終端構造

II. 基本公式

預設計出 345kV 的電纜終端，該初步設計結構上的架構，加上設計時所考慮包含有(應力錐、XLPE、內外半導體、中性遮蔽層、的幾何寬度，介電係數，邊界參數...等等)用有限元素計算加以分析電場與電力線模擬，公式如下：

$$S = \frac{\ln(R/r)}{\epsilon} \quad (1)$$

$$E = \frac{V_S}{r_x \ln(R/r)} \quad (2)$$

$$V = \text{工作電壓 (V)} \quad (3)$$

$$S = \text{容納} \quad (4)$$

$$E = \text{電場 (V/m)} \quad (5)$$

$$R = \text{XLPE 電纜絕緣外徑 (m)} \quad (6)$$

$$r = \text{XLPE 電纜絕緣內徑 (m)} \quad (7)$$

$$r_x = \text{測該點之內徑 (m)} \quad (8)$$

$$\epsilon_r = \text{相對介電常數} \quad (9)$$

III. 計算與分析持分佈對 345kV 電電纜終端

在第一案例首先建立材料的屬性，在模擬的有限元方法，材料的屬性是材料的相對介電常數， ϵ_r 的材料的相對介電常數在本研究分別列於表 1。

表 1

材料	相對介電係數 (ϵ_r)
XLPE絕緣體	2.3
內外半導體	4
應力錐(矽橡膠)	4
應力錐(高介電常數)	30
半導體	4
空氣	1
矽脂膏	5

定義邊界電壓，在本文模擬中高壓345kV級電纜，工作電壓到地的電壓計算為：為單相電壓最大值在乘上1.1%的預設範圍如公式(3)：

$$345kV \times \sqrt{2} \times \frac{1}{\sqrt{3}} \times 1.1 \cong 300kV \quad (3)$$

該模擬的應力錐正常施工於圖2a，該圖為設計架構外半導所的定位點，圖2b為施工不當未安裝定位所留下的氣隙，間隔之間留下3mm×2m的隙縫，在這隙縫附近縫範圍電場集中在這氣隙裡開始放電，加壓時造成溫度上升，該附近的材質會有絕裂損壞的可能，如圖4中，氣隙裡形成一個落差的壓降。

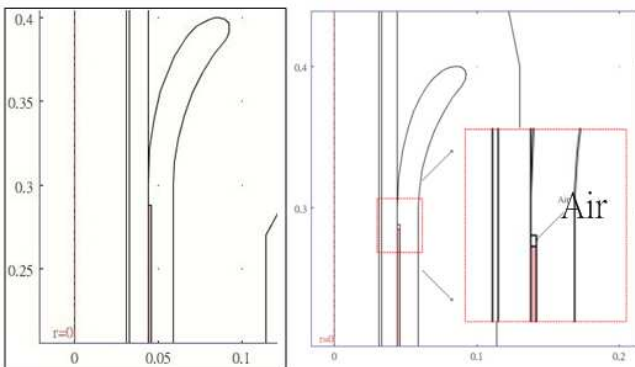


圖 2a 正常施工

圖 2b 安裝未達定位

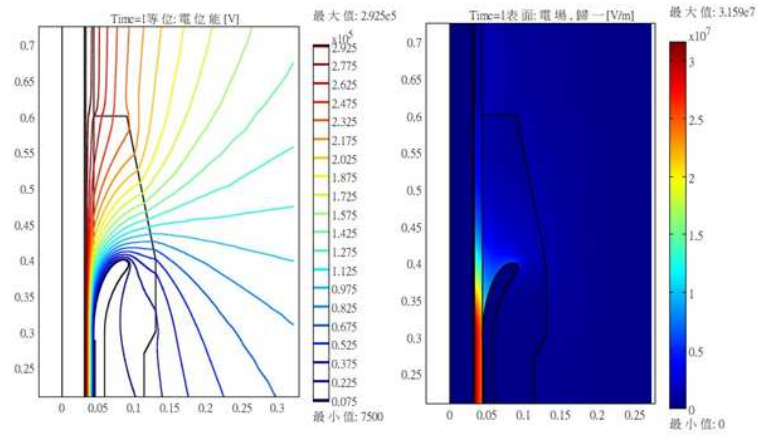


圖 3 正常施工等位線與電場分佈

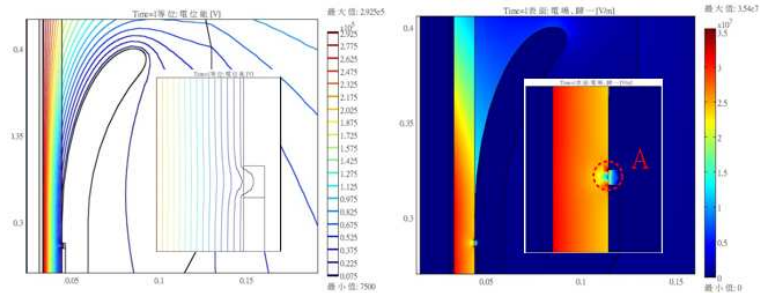


圖 4 施工不良等位線與電場分佈

比較模擬正常施工與施工不良電場(A處)端，在圖4中該隙縫範圍(A處)所得的電場強度28.5kV/mm，XLPE絕緣層耐壓範圍在30~50kV中，此得到電場強度低於絕緣耐壓標準範圍，而矽橡膠材質的應力錐耐壓範圍在16~39kV剛好在她範圍中，施工不良高於正常施工相差4.7kV/mm在圖5中表示，虛線為不當施工電場曲線，實線為正常施工下的電場曲線。

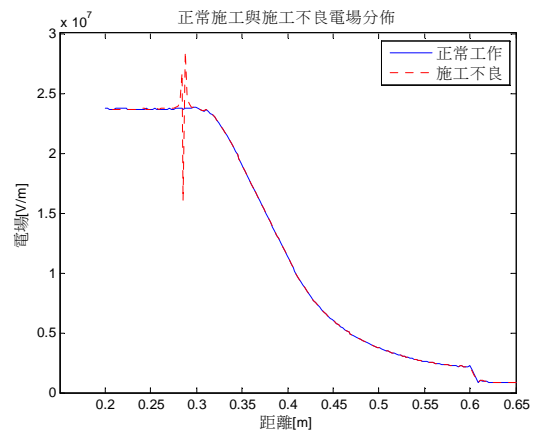


圖 5 正常施工與施工不良電場分佈

繼安裝未達定位所造成電場量的關係變化，我們假設在應力錐內填入矽脂膏作為削減電場隙縫(A處)當中，在圖6模擬結果顯示，被填入矽脂膏之氣隙，電場強度有稍微舒緩於在未加矽脂膏前的電場達到效果，加入矽脂膏也避免安裝時殘留在應力錐裡頭氣隙的意外。

在圖7為未添加與添加矽脂膏得電場曲線比較，添加矽脂膏於隙縫時最大電場值為25.67kV/mm與未添加有氣隙時最大電場值相差了2.83kV/mm。

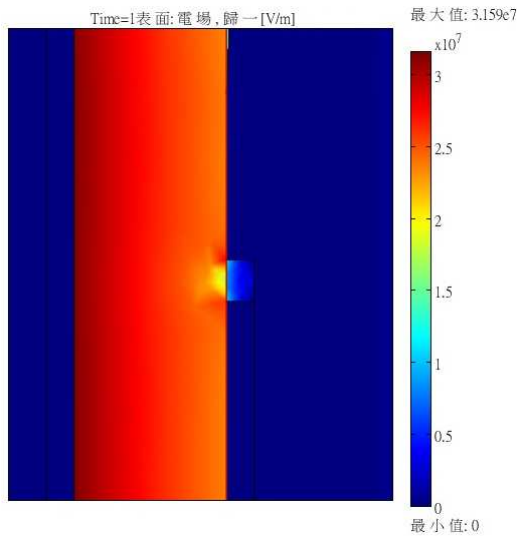


圖 6 對施工不良天加矽脂膏

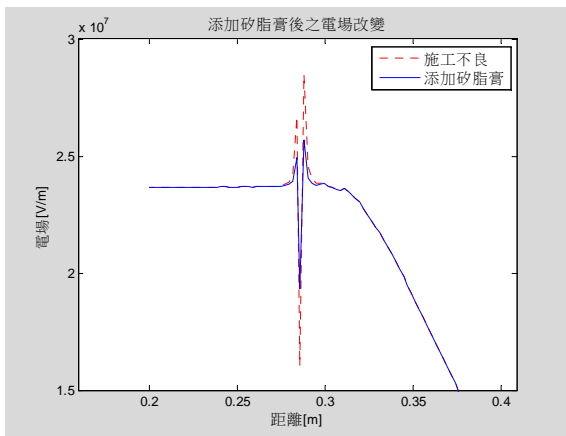


圖 7 施工不良與添加矽脂膏電場差異

第二案例是模擬模擬矽橡膠應力錐改變相對介電常數，是與矽橡膠材質的應力錐與高介電常數材質，當使用高相對介電常數用於 345kV 的電纜終端時，電場在應力錐分佈情形比矽橡膠應力錐的電場來的平坦些，受的電場也來的小，如圖 8 表示，我們在應力錐發現電場集中於 B 處，如圖 9。

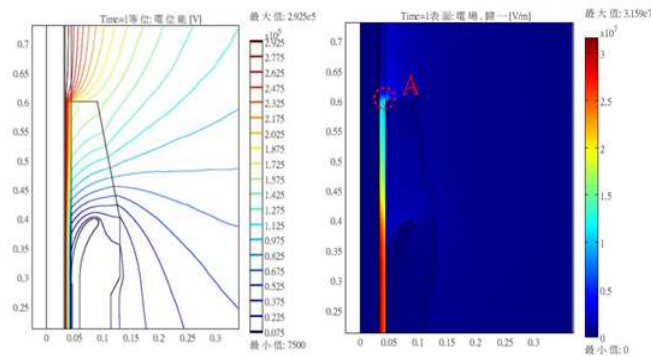


圖 8 高介電常數應力錐等電位線與電場分佈

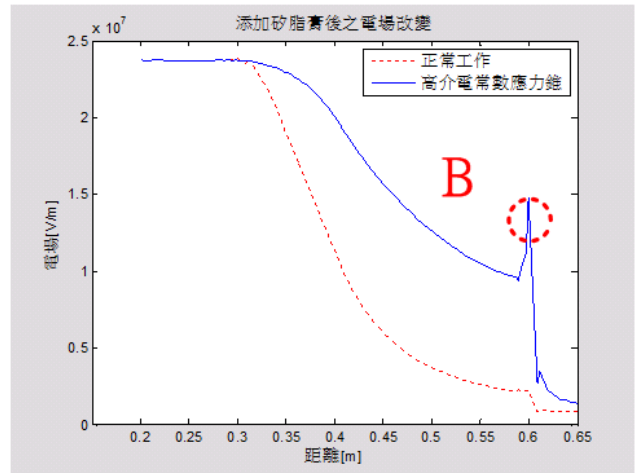


圖 9 高介電常數應力錐與矽橡膠應力錐電場分佈

此集中 B 處的電場量為 14.8kV/mm 但還是在絕緣層和應力錐的耐壓範圍當中，在本文在條件不變的應力錐結構，不同介電常數的影響對電場分佈的電纜終端的計算和分析。電場分佈時的電纜終端應力錐是由不同介電常數材料顯示可以看出，從圖 3 圖 9 隨著介電常數增加，等位線所穿過應力錐密度逐漸比較小表面也更均勻承受的電場比圖 3 來的比較小，電場分佈電纜終端是一個軸對稱場，由於集數效應高壓電場相對集中在界面之間的應力錐和交聯聚乙烯絕緣電纜，由於使用高想對介電常數應力錐得到比較平均的電場，剩下的電場都集中在 B 處端，處使 B 處有可能造成擊穿材料的應力錐有較大影響的電場分佈電纜終端。介電常數變化的應力錐材料從此可知相對介電係數與電場的關係，介電常數變化的應力錐材料可有效地控制電場分佈以及應力錐曲面。

IV. 結論

電纜終端應力錐必須正確安裝，電纜終端安裝不良造成的氣隙問題過多電場會集中在氣隙照成扭曲，在案例一模擬結果，安裝未達電場分佈高於正常安裝時之 19.7%，可能造成應力錐局絕緣破壞。

另模擬顯示，應力錐採不同的材料時，高相對介電常數的應力錐所受的電場分佈來的比較平均，而用矽橡膠的相對介電常數所受的電場量卻比高相對介電常數的還來的高。使用高相對介電常數的應力錐卻會造成過多的電場局部集中，可能發生電纜終端損毀。

參考文獻

- [1] 鄭富雄，25kV 高壓電纜接頭之施工與事故分析及防範對策，中原大學電機工程學系碩士學位技術報告，民國九十二年六月。
- [2] 許肇棠，電纜終端因施工不當造成之絕緣缺陷的改善方法，清華大學電機工程學系碩士學位論文報告，民國九十六年七月。
- [3] 林清山，電纜終端施工缺陷電場模擬探討，成功大學電機工程學系碩士學位論文報告，民國九十九年七月。