

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
誌謝	III
目錄	IV
圖目錄	VII
表目錄	XII
第一章 緒論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究流程與參閱之論文	2
1.3 具體貢獻	2
1.4 各章概述	3
第二章 電纜與電纜終端構造	5
2.1 電力電纜架構	5
2.2 交流電纜傳輸之特有現象	10
2.3 電纜的直線接頭與終端	12
2.3.1 電纜終端架構	12
2.3.2 電纜直線接頭架構	16
2.3.3 電纜終端施工流程	16
第三章 電纜劣化現象及有限元素分析法	20
3.1 電纜劣化現象	20
3.2 局部放電原理	22

3.2.1 氣體絕緣破壞與湯遜理論	23
3.2.2 巴森定律	24
3.2.3 局部放電類型	25
第四章 有限元素分析法	30
4.1 有限元素基本原理	30
4.2 馬克斯威爾方程式	31
4.3 有限元素邊界條件	33
4.4 靜電場支配方程式 (Governing Equations)	33
4.5 靜電場的有限元素方程式	35
4.6 COMSOL使用流程	36
第五章 電纜劣化模擬與實際案例模擬	38
5.1 電纜水樹模擬	39
5.2 電纜氣隙局部放電之模擬	43
5.3 因施工不當造成電場劣化之實例模擬	47
5.3.1 預鑄式電纜終端結構	48
5.3.2 預鑄式電纜施工缺陷評估	50
第六章 電纜終端絕緣內部最大電場抑低方法	58
6.1 冷縮式電纜終端結構	58
6.2 添加半導體層前後對電場分佈之改善	58
6.3 施工缺陷評估	64
6.3.1 未塗抹矽脂膏	64
6.3.2 未塗抹矽脂膏且未纏繞半導體膠帶	66
6.3.3 絕緣層未拭淨	68
6.3.4 應力錐定位不良	70

6.4 耐壓試驗評估.....	73
第七章 結論	77
7.1 結論	77
7.2 未來研究方向.....	78
參考文獻	79
附錄 A 電纜常見材料相關特性係數	82
附錄 B 69kV 交連 PE 電纜規格.....	84



圖目錄

圖 1.1-1 電纜常見之異常原因及劣化進展流程.....	1
圖 1.3-1 研究重點流程圖	3
圖 2.1-1 電纜剖片與側面之構造	5
圖2.1-2 若電纜未設中性遮蔽導線的電位線分佈不均狀況.....	8
圖2.2-1 交流電導體內的等電流密度線.....	11
圖2.2-2 交流電導體內電流密度與位置關係圖.....	12
圖2.3-1 未處理之電纜終端的電位分佈.....	13
圖2.3-2 添加冷縮式套管後電纜終端的電位分佈.....	13
圖2.3-3 預張式高壓電纜終端接頭示意圖.....	15
圖2.3-4 肘型端頭示意圖	15
圖2.3-5 電纜直線接頭示意圖	16
圖2.3-6 冷縮式電纜終端施工步驟（1）：逐層剝除外被.....	17
圖2.3-7 冷縮式電纜終端施工步驟（2）：纏繞#13膠帶.....	17
圖2.3-8 冷縮式電纜終端施工步驟（3）：接地編織銅網之處理.....	18
圖2.3-9 冷縮式電纜終端施工步驟（4）：塗抹矽脂膏.....	18
圖2.3-10 冷縮式電纜終端施工步驟（5）：底部之防水處理.....	18
圖2.3-11 冷縮式電纜終端施工步驟（6）：頭部之防水處理.....	19
圖3.1-1 電纜各類破壞示意圖	20
圖3.1-2 電樹.....	21
圖3.1-3 水樹.....	21
圖3.2-1 電場中電子與帶負電離子之平均自由路徑.....	23

圖3.2-2 巴森定理中各個空氣的pd乘積與放電電壓之間的關係	25
圖3.2-3 局部放電類型	26
圖3.2-4 絕緣物等效電路	28
圖3.2-5 局放發生時的電壓電流圖形	28
圖4.1-1 二次元場示意圖	30
圖4.1-2 軸對稱場示意圖	31
圖4.5-1 有限元素法的三角形元素	35
圖4.6-1 COMSOL模擬流程.....	36
圖5.1-1 69kV單芯交連PE電纜長10公分之模擬模型	38
圖5.1-2 絕緣層內的單一水樹	39
圖5.1-3 絕緣層內叢狀水樹	39
圖5.1-4 電纜水樹模型示意圖	39
圖5.1-5 預估水樹總長與平均相對係數的關係.....	40
圖5.1-6 不同長度之水樹介電係數與位置相對關係.....	41
圖5.1-7 不同長度之水樹電場狀況與位置之相對關係.....	42
圖5.1-8 水樹總長度與最大電場關係	43
圖5.1-9 水樹總長度與電場放大率關係.....	43
圖5.2-1 電纜局部放電模型示意圖	44
圖5.2-2 絕緣層凹陷處電場方向	44
圖5.2-3 三週期內的氣隙跨壓變化情況.....	46
圖5.2-4 局部放電相位與放電量大小	47
圖5.2-5 實際局部放電相位與放電量大小.....	47
圖5.3-1 面板廠使用之預鑄式電纜終端規格.....	48
圖5.3-2 面板廠事故電纜規格與各層切割長度.....	48

圖5.3-3 面板廠使用之預鑄式電纜終端實體.....	49
圖5.3-4 事故電纜S相及T相之解剖圖.....	49
圖5.3-5 預鑄式電纜終端正確施工之模型.....	50
圖5.3-6 正常施工之電纜終端的電場分佈.....	51
圖5.3-7 正常施工之電纜終端的電位線分佈.....	51
圖5.3-8 S相電纜與終端應力錐之相對位置	52
圖5.3-9 S相電纜解剖實體	52
圖5.3-10 應力錐最前端凹槽邊緣之縫隙.....	53
圖5.3-11 S相模型施工處之放大圖	53
圖5.3-12 S相施工處電場分佈.....	54
圖5.3-13 S相施工處電位分佈	54
圖5.3-14 T相電纜與終端應力錐之相對位置示意圖	55
圖5.3-15 T相電纜解剖實體圖	55
圖5.3-16 應力錐前端凹槽邊緣之縫隙	56
圖5.3-17 應力錐前端凹槽銀漆殘留狀況.....	56
圖5.3-18 T相模擬模型施工處放大圖	56
圖5.3-19 T相模擬模型施工電場.....	57
圖5.3-20 T相模擬模型施工電位	57
圖6.1-1 冷縮式電纜終端構造示意圖	58
圖6.2-1 半導體層過長時應力錐前端的氣隙電場與電位.....	60
圖6.2-2 添加半導體層後冷縮式結構	60
圖6.2-3 冷縮式套管模型	60
圖6.2-4 正常施工下絕緣應力錐電位分佈.....	61
圖6.2-5 正常施工情況下非絕緣應力錐電位能分佈情況.....	62

圖6.2-6 正常施工添加半導體層後應力錐電位分佈.....	62
圖6.2-7 三類狀況下絕緣層表面的電場.....	63
圖6.2-8 添加的半導體層前端電位線與電場狀況.....	64
圖6.3-1 未塗抹矽脂膏時施工處模型	64
圖6.3-2 未塗抹矽脂膏(A案)的電場電位	65
圖6.3-3 未塗抹矽脂膏但添加半導體層(B案)後的電場電位.....	65
圖6.3-4 未塗抹矽脂膏情況下兩案(A,B案)的絕緣層表面電場.....	65
圖6.3-5 未塗抹矽脂膏且未纏繞半導體膠帶時施工處模型	66
圖6.3-6 未塗抹矽脂膏且未纏繞半導體膠帶時的電場電位.....	66
圖6.3-7 未塗抹矽脂膏且未纏繞半導體膠帶時添加半導體層後的電場電位.....	67
圖6.3-8 未塗抹矽脂膏且未纏繞半導體膠帶時的絕緣層表面電場狀況	67
圖6.3-9 外半導體層最前端電位線曲折狀況.....	68
圖6.3-10 絕緣層未拭淨時施工處模型	69
圖6.3-11 絕緣層未拭淨時的電場、電位.....	69
圖6.3-12 絕緣層未拭淨時添加半導體層後的電場、電位.....	69
圖6.3-13 絕緣層未拭淨之兩情況下的絕緣層表面電場狀況.....	70
圖6.3-14 應力錐定位不良時施工處模型.....	71
圖6.3-15 應力錐定位不良時電場、電位圖.....	71
圖6.3-16 應力錐定位不良時添加半導體層後的電場、電位.....	71
圖6.3-17 應力錐定位不良造成之氣隙電位圖.....	72
圖6.3-18 應力錐定位不良且半導體層沒有延伸至末端的電場電位圖	72
圖6.3-19 絕緣層未拭淨時三類情況下的絕緣層表面電場狀況.....	72
圖6.4-1 交流耐壓試驗時施工處電場、電位.....	74
圖6.4-2 交流耐壓試驗時添加半導體層後電場、電位.....	74

圖6.4-3 直流耐壓試驗時施工處最終的電場、電位.....	74
圖6.4-4 直流耐壓試驗時電場最高處的電場與時間關係.....	75
圖6.4-5 直流耐壓試驗時添加半導層後最終的電場、電位.....	75
圖6.4-6 添加半導層後原電場最高處的電場與時間關係.....	75
圖6.4-7 添加半導層後半導層最前端電場與時間關係圖	76



表目錄

表2.1-1 常見的低電阻金屬於20° C時之電阻值.....	6
表2.1-2 導體遮蔽層厚度規範	7
表2.1-3 絕緣體厚度規範	7
表2.1-4 絕緣體遮蔽層厚度規範	7
表2.1-5 中性遮蔽導線構成規定	9
表2.1-6 25kV 單芯交連PE電纜構造尺寸表	9
表2.3-1 預張式高壓電纜終端接頭特性試驗額定值.....	15
表2.3-2 冷縮式電纜終端施工時各層切除標準.....	17
表4.6-1 COMSOL的不同求解模式與適用對象.....	37
表4.6-2 COMSOL線性系統求解器分類與適用對象.....	37
表5.1-1 截面積500mm ² 之69kV單芯交連PE電纜各層厚度與參數.....	38
表5.2-1 常見氣體之巴森相關常數	45
表5.3-1 預鑄式電纜終端模型參數	50
表6.2-1 500MCM之25kV單芯交連PE電纜與冷縮式套管之相關參數....	61