

345kV 充油電纜及 XLPE 電纜部分放電 線上偵測研究

台灣電力股份有限公司

中華民國一〇六年七月

摘要

近年輸變電設備隨著國內經濟成長而逐步增加，基於安全與電力品質等因素考量，近年台電公司地下輸電系統的比率及負載日益升高，使得地下電纜之衍生事故逐漸成為影響電力品質及供電可靠度的一重要因素。台灣早期所建構之充油地下電纜系統已邁入「中年期」，維護管理已成為輸電工程的首要挑戰。

充油型電力設備，例如：變壓器、電抗器、套管、充油電纜等，一般藉由定期的油中氣體分析，診斷與監測充油設備之故障與狀態，無法預先得知故障狀況，本計畫目的在建置輸電級電纜線路之絕緣檢測診斷預警維護系統，同時配合推行智慧型電網之策略目標。依充油電纜之 IMB、GIS 介面、終端匣等組成結構，及電纜系統可能存在的絕緣缺陷類型，探討輸電級電纜系統之部分放電線上檢測方法及其關鍵性核心技術，解決部分放電線上檢測技術瓶頸。

計畫執行項目包括擬定電纜部分放電檢測系統可彈性擴充之架構，提出線路部分放電檢測系統之分析軟體及韌體裝置規格，作為日後擴展智慧型電網基礎建設之一。

關鍵字：變壓器、電抗器、套管、充油電纜、油中氣體分析、部分放電、遠端診斷系統、智慧型電網

Abstract

Considering the safety factor and power quality, the underground-type transmission system was widely adopted by TPC in recent years. Damages caused by underground cable outages affect the quality and reliability of the power supplied. Early constructed Oil-filled cable apparatuses have been into mid-life period by transmission and substation apparatuses increasing rapidly, maintenance management issue will be risen to the first challenge for transmission and substation engineering.

Oil-filled electrical equipment such as transformers, reactors, bushings, oil-filled cables etc., the regular dissolved gases analysis can serve to diagnose the fault and monitor the condition of oil-filled equipment, but it can't determine the fault condition immediately. According to strategies of smart power grids, an on-line remote monitoring and diagnosis system for transmission underground cables will be developed. The Oil-filled cable termination of IMB and GIS, cross bonding of cable sheaths and insulation defects of power cables, the detection methods and core technology of partial discharge for transmission under ground cables needs further researching to improve the detection performances.

By studying the flexible extension structures of remote PD detection system, the suggested specification of software and hardware of remote PD detection system will be proposed. The relative suggestions of remote PD detection system proposed will be as one of the basic elements for intelligent power grids.

Keyword: Transformers 、Reactors 、Bushings 、Oil-filled cable 、dissolved gases analysis 、Partial Discharge, Remote Diagnosis System 、intelligent power grids

目 錄

摘要.....	I
Abstract.....	II
目錄.....	III
表目錄.....	IX
圖目錄.....	XII
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 本研究團隊受委託之工作項目.....	1
1.3 研究方法.....	3
第二章 電力電纜及附屬配件介紹.....	11
2.1 充油電纜.....	11
2.2 充油電纜絕緣缺陷探討.....	16
2.3 交連聚乙烯(XLPE)電纜.....	16
2.4 充油電纜與 XLPE 電纜差異.....	18
2.5 附屬配件之性能與結構.....	20
2.6 屋外型終端匣故障、介質缺陷與部分放電衰減特徵.....	24
2.7 部分放電訊號分析.....	26
第三章 電纜部分放電檢測標準.....	29
3.1 IEC 國際電工委員會.....	29
3.2 IEEE 美國電機電子工程師協會.....	32
3.3 ICEA 絕緣電纜工程師協會.....	32
3.4 GIGRE 國際大電力委員會.....	33
3.5 NFPA 美國消防協會.....	33

3.6	大陸華北電網標準.....	33
3.7	大陸 GB754 部分放電量測.....	34
3.8	台電試驗標準.....	35
3.9	A046 「161kV XLPE 電纜器材規範」.....	35
3.10	98 年 5 月 14 日 「69/161/345 kV 電纜線路工程竣工耐壓試驗」之會議記錄.....	35
第四章 電力電纜及附屬配件異常探討.....		37
4.1	IEC 602720 規範之部分放電相關定義.....	37
4.2	電纜及附屬配件部分放電類型.....	39
4.3	電力電纜部分放電特性與原理.....	39
4.4	終端匣氣隙大小之影響.....	42
第五章 電纜部分放電檢測技術.....		47
5.1	部分放電脈衝訊號特性.....	47
5.2	國際間之檢測技術.....	48
5.2.1	超音波檢測法.....	49
5.2.2	超高頻電容耦合法.....	49
5.2.3	差分法.....	50
5.2.4	超高頻電感耦合法.....	50
5.2.5	REDI 部分放電量測法.....	51
5.2.6	方向耦合法.....	51
5.2.7	電磁耦合法.....	52
5.2.8	脈衝波檢測法.....	52
5.3	各類感測器比較.....	54
5.4	部分放電檢測準則.....	55
5.5	放電源判斷對策.....	60

5.6 訊號辨識法.....	62
5.6.1 小波轉換法.....	62
5.6.2 脈衝特徵法.....	63
5.6.3 3D 圖譜辨識法.....	64
5.6.4 混沌演算法.....	65
5.7 部分放電檢測資料判讀.....	65
5.8 統合電纜系統部分放電參數應用.....	68
5.9 部分放電檢測技術.....	69
5.10 部分放電資料之不確定性.....	69
第六章 油中氣體含量分析.....	72
6.1 充油電纜絕緣油主要成分和特性.....	72
6.2 絕緣油和固體絕緣材料產生之氣體分析.....	73
6.3 充油電纜絕緣油氣體含量及特性試驗.....	74
6.4 絕緣油各項試驗之意義.....	75
6.5 充油電纜油中氣體分析診斷基準.....	78
6.6 充油設備故障診斷方法.....	78
6.7 絕緣油採樣作業流程.....	81
6.8 絕緣油加壓系統.....	81
6.9 絕緣油加壓油中氣體分析.....	83
6.10 絕緣油加壓系統量測波形.....	85
6.11 綜合分析.....	92
第七章 電纜瑕疵之有限元素模擬.....	93
7.1 電力電纜與終端匣簡介.....	93
7.1.1 交連聚乙烯(XLPE)電纜.....	93

7.1.2	充油電纜(oil filled cable).....	95
7.1.3	電纜附屬配件之性能與結構.....	100
7.2	交連聚乙烯(XLPE)電纜模型.....	104
7.2.1	交連聚乙烯(XLPE)電纜正常狀態模擬.....	106
7.2.2	交連聚乙烯(XLPE)電纜氣隙瑕疵模擬.....	107
7.2.3	交連聚乙烯(XLPE)電纜 X 軸切割線瑕疵模擬.....	108
7.2.4	交連聚乙烯(XLPE)電纜 Y 軸切割線瑕疵模擬.....	110
7.3	充油電纜(oil filled cable)模型.....	112
7.3.1	充油電纜正常狀態模擬.....	114
7.3.2	充油電纜氣隙瑕疵模擬.....	115
7.3.3	充油電纜 X 軸切割線瑕疵模擬.....	116
7.3.4	充油電纜 Y 軸切割線瑕疵模擬.....	118
7.4	電纜終端匣模型.....	120
7.4.1	電纜終端匣正常狀態模擬.....	122
7.4.2	電纜終端匣氣隙瑕疵模擬.....	124
7.4.3	電纜終端匣 z 軸切割線瑕疵模擬.....	126
7.4.4	電纜終端匣 r 軸切割線瑕疵模擬.....	128
7.4.5	終端匣事故案例模擬.....	130
7.4.5.1	應力錐安裝位置誤差.....	130
7.4.5.2	南科 161kV 「新化—和順」線路終端匣電場模擬.....	132
7.4.5.3	345kV 終端匣應力錐電場強度模擬.....	135
第八章	系統短路故障模擬.....	139
8.1	主變壓器中性點非接地狀態.....	142
8.1.1	匯流排三相短路故障模擬.....	142

8.1.2	匯流排兩相短路故障模擬.....	144
8.1.3	匯流排單相短路故障模.....	146
8.2	主變壓器中性點接地狀態.....	148
8.2.1	匯流排三相短路故障模擬.....	148
8.2.2	匯流排兩相短路故障模擬.....	150
8.2.3	匯流排單相短路故障模擬.....	152
8.3	充油電纜被覆層感應電壓.....	154
8.4	減緩衝擊之改善對策.....	154
8.4.1	增加電纜之接地阻抗.....	154
8.4.2	增加限流電抗器.....	155
第九章	電纜部分放電監視診斷系統.....	156
9.1	系統演算架構.....	156
9.2	系統硬體架構.....	157
9.3	量測單元.....	158
9.3.1	感測器_高頻比流器 HFCT.....	158
9.3.2	類比放大電路.....	159
9.3.3	參考訊號控制電路.....	160
9.4	處理單元.....	161
9.4.1	ADC_FMC104.....	161
9.4.2	ZYNQ-7000ZC702.....	163
9.4.3	訊號輸出規格.....	164
9.5	系統硬體規格.....	164
9.6	傳輸與介面.....	165
9.6.1	通訊協定 TPC/IP 與 PDMS Protocol.....	165

9.6.2 光纖.....	166
9.6.3 光電轉換器.....	169
9.7 系統適用頻寬測試.....	169
9.8 人機介面/監控畫面.....	171
9.9 系統防護規格	174
9.9.1 環境防護等級(IP).....	174
9.9.2 系統抗環境電磁干擾防護.....	176
第十章 部分放電遠端診斷系統.....	177
10.1 檢測系統現場架設.....	177
10.2 檢測系統環境汙染防護.....	178
10.3 檢測系統之突波抑制器改良.....	180
10.4 系統量測比對.....	181
10.5 監測資料與狀態分析.....	186
第十一章南科變電所 PD 線上監測系統.....	188
11.1 系統簡介.....	188
11.2 狀態監視視窗.....	190
11.3 雲端監控操作介面.....	192
第十二章 結論.....	198
參考文獻.....	202
附件.....	207

表目錄

表 1.1	計畫甘梯圖.....	5
表 1.2	計畫工作項目與報告內容所在章節對照表.....	10
表 1.3	期末說明會討論/決議事項與處理情形.....	10
表 2.1	充油電纜規範(台中火力發電廠提供).....	11
表 2.2	鋼帶螺旋條之規格.....	13
表 2.3	導體之規格.....	13
表 2.4	導體之絕緣厚度規格.....	14
表 2.5	充油電纜老化原因與老化型態.....	16
表 2.6	地下輸電線用 345kV 交連 PE 電纜規格.....	17
表 2.7	電纜特性比較.....	20
表 2.8	屋外終端匣尺寸表.....	22
表 2.9	屋外終端匣放電間隙尺寸表.....	22
表 2.10	SF ₆ 終端匣尺寸表.....	22
表 3.1	IEC 於竣工耐壓試驗中之施加電壓規範.....	31
表 3.2	IEEE 於竣工試驗中之施加電壓規範.....	32
表 3.3	CIGRE 於竣工耐壓試驗中之施加電壓建議.....	33
表 3.4	大陸華北電網於竣工耐壓試驗中之施加電壓規範.....	34
表 3.5	大陸華北電網於預防性試驗中之施加電壓規範.....	34
表 3.6	A007、A046 69 kV/161 kV 竣工耐壓試驗之施加電壓規範.....	35
表 3.7	A007、A046 69/161 kV 竣工耐壓試驗之修訂規範.....	36
表 4.1	模擬結果比較表.....	46
表 5.1	感測器適用性及優缺點.....	55
表 6.1	O.F 電纜用絕緣油特性表.....	73

表 6.2	不同故障類型所產生的氣體組成成分.....	74
表 6.3	充油電纜絕緣油氣體含量及特性試驗.....	74
表 6.4	台電公司充油電纜油中氣體分析診斷基準.....	79
表 6.5	加壓試驗之氣體分析.....	85
表 7.1	345kV 鋁金屬被覆、防火 PVC 被覆交連 PE 電纜規格表.....	94
表 7.2	充油電纜規範.....	96
表 7.3	鋼帶螺旋條之規格.....	98
表 7.4	導體之規格.....	98
表 7.5	導體之絕緣厚度規格.....	99
表 7.6	屋外終端匣尺寸表.....	101
表 7.7	屋外終端匣放電間隙尺寸表.....	101
表 7.8	SF ₆ 終端匣尺寸表.....	102
表 7.9	XLPE 電纜模型參數.....	104
表 7.10	充油電纜模型參數.....	112
表 7.11	電纜終端模型參數.....	121
表 8.1	變數定義及計算.....	141
表 8.2	正常狀態模擬.....	154
表 8.3	三相短路故障模擬.....	154
表 8.4	兩相短路故障模擬.....	154
表 8.5	BUS#1BUS#2 故障模擬數據.....	155
表 8.6	BUS#3BUS#4 故障模擬數據.....	155
表 9.1	PD 訊號控制硬體電路放大衰減倍率控制對照表.....	160
表 9.2	參考訊號控制電路衰減表.....	161
表 9.3	訊號輸入規格表.....	162

表 9.4	系統硬體規格表.....	164
表 9.5	光纖規格表.....	168
表 9.6	光纖線材比較表.....	168
表 9.7	第一數字碼(0~6 or X).....	175
表 9.8	第二數字碼(0~8 or X).....	175
表 9.9	附加字母碼(字母 A~D).....	175
表 9.10	補充字母碼(字母 H,S,M,W).....	175
表 10.1	待測比流器規格表.....	181

圖目錄

圖1.1	研究流程圖.....	4
圖2.1	單芯充油電纜之構造圖一.....	12
圖2.2	單芯充油電纜之構造圖二.....	12
圖2.3	鋼管充油電纜基本構造圖.....	12
圖2.4	旋狀波形鋁被套.....	14
圖2.5	充油電纜架設方式.....	15
圖2.6	充油電纜內部剖面之一.....	15
圖2.7	充油電纜接地線位置.....	15
圖2.8	鋼管充油電纜絕緣擊穿故障.....	16
圖2.9	交連聚乙烯電纜構造圖.....	17
圖2.10	交連聚乙烯電纜外觀圖.....	17
圖2.11	充油電纜線路系統圖.....	19
圖2.12	XLPE電纜線路系統圖.....	20
圖2.13	終端匣結構圖一.....	23
圖2.14	終端匣結構圖二.....	23
圖2.15	XLPE電纜終端匣剝除外被覆、屏蔽導體、外半導體層施工圖.....	23
圖2.16	終端匣內部應力錐-鋁製套管-磁套管固定法蘭-屏蔽導體組裝示意圖.....	24
圖2.17	介質缺陷等效電路及電壓波形示意圖.....	25
圖2.18	部分放電脈衝訊號時域圖.....	26
圖3.1	部分放電起始電壓與熄滅電壓.....	30
圖4.1	部分放電起始電壓與熄滅電壓.....	38
圖4.2	不同瑕疵之放電特徵.....	38
圖4.3	電極可能放電之區域.....	40
圖4.4	試體材料內部空洞引起的放電.....	41

圖4.5	部分放電放電過程.....	41
圖4.6	z軸電纜長度方向切割線.....	42
圖4.7	z軸電纜半徑方向電場(氣隙長8mm)	43
圖4.8	r軸電纜半徑方向電場(氣隙長8mm)	43
圖4.9	r軸電纜半徑方向電場.....	44
圖4.10	z軸電纜半徑方向電場(氣隙長16mm)	44
圖4.11	r軸電纜半徑方向電場(氣隙長8mm)	45
圖4.12	z軸電纜半徑方向電場(氣隙長16mm)	45
圖4.13	r軸電纜半徑方向電場(氣隙長16mm)	46
圖5.1	國際間電力電纜檢測方式.....	48
圖5.2	超高頻電容耦合法之部份放電量測.....	50
圖5.3	方向耦合法的接線圖.....	52
圖5.4	交錯接地方式.....	53
圖5.5	XB型保護裝置.....	53
圖5.6	SB-1型保護裝置.....	53
圖5.7	SB-2型保護裝置.....	53
圖5.8	換相連結處之部份放電傳遞路徑示意與量測實體圖.....	53
圖5.9	220kV XLPE 電纜現場試驗之量測架構示意圖.....	54
圖5.10	電纜系統部分放電檢測示意圖.....	60
圖5.11	部分放電對於三相電纜的影響.....	61
圖5.12	三相振幅關係圖.....	61
圖5.13	小波轉換與逆轉換.....	63
圖5.14	理想部分放電脈衝特徵.....	64
圖5.15	$n-q-\phi$ 圖譜.....	67
圖5.16	$\phi/n-q$ 圖譜.....	67
圖5.17	電纜接續匣組合絕緣介面之氣隙缺陷；(a)氣隙缺陷，(b)缺陷部位之放電痕跡...68	

圖6.1加壓實驗架構圖.....	82
圖6.2加壓實驗現場.....	82
圖6.3加壓系統量測佈設.....	83
圖6.4加壓油杯外觀.....	83
圖6.5 載氣置換脫氣法(B法)設備外觀.....	84
圖6.6加壓試驗可燃性氣體(TCG)變化曲線.....	85
圖6.7加壓至9kV量測波形.....	86
圖6.8加壓至9kV電極崩潰瞬間.....	86
圖6.9 加壓8小時波形.....	87
圖6.10 加壓16小時波形.....	88
圖6.11 加壓24小時波形.....	89
圖6.12 加壓32小時波形.....	90
圖6.13 加壓40小時波形.....	91
圖6.14 電氣分析曲線圖.....	91
圖7.1 交連聚乙烯電纜構造圖.....	93
圖7.2 交連聚乙烯電纜外觀圖.....	93
圖7.3 單芯充油電纜之構造圖一.....	96
圖7.4 單芯充油電纜構造圖二.....	97
圖7.5 鋼管充油電纜基本構造圖.....	97
圖7.6 弦狀波形鋁被套.....	99
圖7.7 終端匣結構圖一.....	102
圖7.8 終端匣結構圖二.....	103
圖 7.9 XLPE 電纜終端匣剝除外被覆、屏蔽導體、外半導體層施工圖 (1~3 點沿面高阻抗).....	103
圖 7.10 終端匣內部應力錐-鋁製套管-磁套管固定法蘭-屏蔽導體組裝示意圖.....	103
圖7.11 XLPE電纜模型.....	104

圖7.12	XLPE電纜模型網格切割.....	105
圖7.13	XLPE電纜正常電場分佈.....	106
圖7.14	XLPE電纜正常電場分佈(放大).....	106
圖7.15	XLPE電纜瑕疵電場分佈.....	107
圖7.16	XLPE電纜瑕疵電場分佈(放大).....	107
圖7.17	XLPE電纜x軸方向切割線.....	108
圖7.18	XLPE電纜x軸方向電場.....	108
圖7.19	XLPE電纜x軸方向電場(放大).....	109
圖7.20	XLPE電纜y軸方向切割線.....	110
圖7.21	XLPE電纜y軸方向電場.....	110
圖7.22	XLPE電纜y軸方向電場(放大).....	111
圖7.23	充油電纜模型.....	112
圖7.24	充油電纜模型網格切割.....	113
圖7.25	充油電纜正常電場分佈.....	114
圖7.26	充油電纜正常電場分佈(放大).....	114
圖7.27	充油電纜瑕疵電場分佈.....	115
圖7.28	充油電纜瑕疵電場分佈(放大).....	115
圖7.29	充油電纜x軸方向切割線.....	116
圖7.30	充油電纜x軸方向電場.....	116
圖7.31	充油電纜x軸方向電場(放大).....	117
圖7.32	充油電纜x軸方向切割線.....	118
圖7.33	充油電纜y軸方向電場.....	118
圖7.34	充油電纜y軸方向電場(放大).....	119
圖7.35	應力錐本體剖面照片.....	120
圖7.36	電纜終端模型.....	121
圖7.37	電纜終端模型網格切割.....	122

圖7.38	電纜終端正常電場分佈.....	123
圖7.39	電纜終端正常電場分佈(放大).....	123
圖7.40	電纜終端氣隙瑕疵模型.....	124
圖7.41	電纜終端瑕疵電場分佈.....	125
圖7.42	電纜終端瑕疵電場分佈(放大).....	125
圖7.43	z軸電纜長度方向切割線.....	126
圖7.44	z軸電纜半徑方向電場.....	126
圖7.45	z軸電纜半徑方向電場(放大).....	127
圖7.46	z軸電纜半徑方向電場(放大).....	127
圖7.47	r軸電纜半徑方向切割線.....	128
圖7.48	r軸電纜半徑方向電場.....	128
圖7.49	r軸電纜半徑方向電場(放大).....	129
圖7.50	r軸電纜半徑方向電場(放大).....	129
圖7.51	應力錐裝設位置.....	130
圖7.52a	電纜半導電漆突出10mm之介面電場.....	131
圖7.52b	安裝位置正常時介面電場.....	131
圖7.53	電纜半導電漆突出長度之電場變化.....	132
圖7.54a	電樹痕跡及擊穿點.....	133
圖7.54b	應力錐相對位置.....	133
圖7.55	等電位線及電場模擬觀察位置(虛線標示).....	133
圖7.56	擊穿點位置附近電場強度(A位置).....	134
圖7.57a	B位置附近電場強度(有氣隙).....	134
圖7.57b	B位置附近電場強度(無氣隙).....	135
圖7.58	LS 電纜終端匣(a)應力錐裝設位置及(b)實物照片.....	136
圖7.59	應力錐尺寸.....	136
圖7.60a	模擬等電位線分佈.....	137

圖7.60b	電場分佈曲線.....	137
圖7.61a	模擬XLPE瑕疵位置.....	138
圖7.61b	模擬瑕疵處電場分佈.....	138
圖8.1	台中電廠345kV開關廠.....	139
圖8.2	台中電廠345kV開關廠模型.....	140
圖8.3	bus#1三相短路故障模擬結果.....	142
圖8.4	bus#2三相短路故障模擬結果.....	142
圖8.5	bus#3三相短路故障模擬結果.....	143
圖8.6	bus#4三相短路故障模擬結果.....	143
圖8.7	bus#1兩相短路故障模擬結果.....	144
圖8.8	bus#2兩相短路故障模擬結果.....	144
圖8.9	bus#3兩相短路故障模擬結果.....	145
圖8.10	bus#4兩相短路故障模擬結果.....	145
圖8.11	bus#1單相短路故障模擬結果.....	146
圖8.12	bus#2單相短路故障模擬結果.....	146
圖8.13	bus#3單相短路故障模擬結果.....	147
圖8.14	bus#4單相短路故障模擬結果.....	147
圖8.15	bus#1三相短路故障模擬結果.....	148
圖8.16	bus#2三相短路故障模擬結果.....	148
圖8.17	bus#3三相短路故障模擬結果.....	149
圖8.18	bus#4三相短路故障模擬結果.....	149
圖8.19	bus#1兩相短路故障模擬結果.....	150
圖8.20	bus#2兩相短路故障模擬結果.....	150
圖8.21	bus#3兩相短路故障模擬結果.....	151
圖8.22	bus#4兩相短路故障模擬結果.....	151
圖8.23	bus#1單相短路故障模擬結果.....	152

圖8.24	bus#2單相短路故障模擬結果.....	152
圖8.25	bus#3單相短路故障模擬結果.....	153
圖8.26	bus#4單相短路故障模擬結果.....	153
圖8.27	短路故障期間加入故障電流抑制器前後之線電流及匯流排電壓波形...155	
圖 9.1	系統演算架構.....	156
圖 9.2	系統演算架構流程圖.....	157
圖 9.3	系統硬體架構.....	158
圖 9.4	以 HFCT 量測電力電纜部分放電.....	158
圖 9.5	自製 HFCT 外觀與現場量測.....	159
圖 9.6	自製 HFCT 特性曲線圖.....	159
圖 9.7	類比放大電路外觀圖.....	159
圖 9.8	系統衰減電路特性 (Linear Scale)	160
圖 9.9	參考訊號控制電路外觀.....	161
圖 9.10	FMC104 外觀圖.....	162
圖 9.11	FMC104 架構圖.....	162
圖 9.12	FMC104 性能曲線.....	162
圖 9.13	ZC702 外觀圖.....	163
圖 9.14	OSI 參考模型.....	165
圖 9.15	OSI 與 TCP/IP 協定之相關性.....	166
圖 9.16	光纖構造圖.....	167
圖 9.17	SC 方形接頭外觀.....	168
圖 9.18	本計畫使用之光纖外觀.....	168
圖 9.19	LC 圓形接頭外觀.....	169
圖 9.20	光電轉換器外觀圖.....	169
圖 9.21	輸入端波形.....	170
圖 9.22	輸入 7.6MHz 與 3MHz 之輸出波形.....	170

圖 9.23	輸入 300kHz 波形.....	171
圖 9.24	輸入 300kHz 之輸出波形.....	171
圖 9.25	後端監測系統流程圖.....	171
圖 9.26	即時監測主畫面.....	172
圖 9.27	Gmail 通知範例.....	172
圖 9.28	二維相位分布圖譜顯示畫面.....	173
圖 9.29	波形顯示畫面.....	173
圖 9.30	趨勢圖顯示畫面.....	174
圖 9.31	IP 碼說明.....	174
圖9.32	箱體外殼接地.....	176
圖10.1	三相充油電纜Sensor架設位置.....	177
圖10.2	檢測系統現場擺放位置.....	178
圖10.3	控制室之監測系統.....	178
圖10.4	鏽蝕狀況.....	179
圖10.5	設備原暴露於外.....	179
圖10.6	使用防護不鏽鋼箱.....	179
圖 10.7	TNR15G180K 電路(舊型).....	180
圖 10.8	1N5817 電路(新型).....	180
圖 10.9	改良前實體電路.....	180
圖 10.10	改良後實體電路.....	180
圖 10.11	改良後新型電路測試波形.....	181
圖 10.12	待測比流器外觀及銘牌.....	182
圖 10.13	測試系統架構.....	182
圖10.14	加壓14kV圖譜	182
圖 10.15	加壓 11kV.....	182
圖 10.16	現場系統架設.....	183

圖 10.17 相位圖譜.....	183
圖 10.18 示波器確認訊號方向.....	184
圖 10.19 訊號方向確認.....	184
圖 10.20 即時波形.....	185
圖 10.21 澎科大檢測系統趨勢圖.....	185
圖 10.22 本計畫檢測系統趨勢圖.....	186
圖10.23 R/S/T三相趨勢圖.....	187
圖 11.1 感測器與 RG-58 線.....	188
圖11.2 檢測系統箱.....	189
圖11.3 監控系統.....	189
圖11.4 通訊架構示意圖.....	189
圖11.5 狀態監視及歷史趨勢.....	190
圖11.6 歷史趨勢設定頁面.....	191
圖11.7 在主視窗內檢視歷史趨勢.....	192
圖11.8 通道勾選框/名稱與圖說.....	192
圖11.9 顯示於主視窗上之游標與資料.....	193
圖11.10 登入畫面.....	194
圖11.11 操作介面.....	194
圖11.12 Menu選單.....	195
圖11.13 事件檢視列表.....	195
圖11.14 趨勢圖.....	195
圖11.15 相位圖譜.....	196
圖11.16 Slideshow.....	196
圖11.17 選定時間週期畫面.....	197
圖11.18調整周期畫面.....	197
圖11.19 資料匯出功能畫面.....	197

第一章 緒論

1.1 研究背景

早期國內外地下輸配電以充油電纜(Oil-Filled, OF)為主，隨著全世界之使用量慢慢減少，不少國外電纜廠家也慢慢停止相關設備之產製，取而代之的是交連聚乙烯電纜(Cross-Linked Polyethylene, XLPE)。然而目前在服役的充油地下電纜，其線路維護管理需儘早因應，並規劃相關維護工程，提高設備之妥善率，是現階段輸電維護工程的重要課題。

台中電廠一至四號汽力機組自 79 年 3 月投入系統、並聯運轉迄今已達 24 年，其主變壓器高壓側利用充油電纜連接至 345 kV 開關場，因其電纜沿線長度小於 1000 公尺，故被覆導體設計採 SB-1 單端接地之結構，電纜被覆導體於 GIS 終端匣直接接地，另於主變壓器側應用 IMB(intermediate bus)與主變壓器高壓側套管連接，而在主變壓器側之充油電纜被覆導體經被覆電壓限制器 (sheath voltage limiter) 接地。

該廠充油電纜及其終端匣附屬器材，長期運轉於額定電流 86% 之機組出力情況下，可能因鉛工硬焊補漏作業或雜質積層，而導致絕緣劣化並發展出部分放電現象，因此計畫發展部分放電檢測系統，監測並預防突發事故發生。

針對台中電廠 345 kV 充油電纜系統，本計畫將建構輸電級電纜線上檢測診斷預警系統，並研製適用於 345 kV 充油電纜系統之電纜系統部分放電線上檢測裝置，線上偵測運轉中充油電纜部分放電情形，研判電纜系統介質缺陷類型及絕緣劣化狀態與趨勢，以防止事故發生。

1.2 本研究團隊受委託之工作項目

受委託單位負責項目：

1. 第一年工作項目：

- (1) 蒐集超高壓輸電級充油電纜及附屬器材規格、油紙絕緣特性、絕緣老化、絕緣劣化、電纜系統線上部分放電檢測、現場檢測維護試驗等相關技術

標準與文獻資料。

- (2) 研討充油電纜之化學性部分放電檢測技術及其限制性。
- (3) 研討充油電纜電氣性部分放電檢測技術及其限制性。
- (4) 研提充油電纜絕緣油取樣作業流程及油中氣體分析指導綱要。
- (5) 研提充油電纜絕緣缺陷類型、部分放電脈衝訊號特徵值、雜訊型態及部分放電訊號辨識演算法。
- (6) 依據 5. 項次成果，研提充油電纜線上部分放電檢測器電量訊號擷取、放電脈衝與雜訊波形特徵值及其演算法、遠端監控光纖通訊界面、人機介面圖控、抗電磁干擾能力及保護規格等軟體、韌體及硬體組成架構之性能與規格。
- (7) 檢討三相充油電纜部分放電檢測器主機架構如：訊號擷取單元、部分放電特徵值演算法、雜訊辨識、趨勢分析等邏輯架構、處理模式、遠端監控光纖通訊界面、抗電磁干擾能力及保護規格。
- (8) 建構 345 kV 充油電纜線上部分放電檢測裝置，含軟韌體、圖控、趨勢分析資料庫等；並於計畫執行 6 個月內，充油電纜部分放電線上檢測儀器於運轉現場完成裝設。
- (9) 裝設於現場之充油電纜部分放電線上檢測儀器，依據充油電纜 IMB、GIS 介面、終端匣、電纜本體之部分放電電磁波傳播特徵值，檢討 UHF、HFCT、TEV 等部分放電訊號感測器檢測靈敏度、解析度規格、適當之安裝位置及可涵蓋之部分放電訊號檢測範圍。
- (10) 應用電纜絕緣油氣體分析結果，配合電氣參數調校並驗證充油電纜線上部分放電檢測器性能。

2. 第二年工作項目：

- (1) 依台中電廠充油電纜系統之環境溫度、三相排列方式、單相結構尺寸，研討油-紙絕緣特性，計算高壓導體、油-紙絕緣、鋁被覆、PVC 被覆等

R-L-C 阻抗參數。

- (2) 依主變壓器中性點接地與非接地運轉狀態，模擬分析系統單相短路接地故障、兩相短路及三相短路故障對電纜系統之衝擊，並研提減緩衝擊之改善對策。
- (3) 依據終端接續匣結構與組裝尺寸，整合電纜規格，現場施工缺陷類型，應用有限元素模擬軟體，建立電纜系統分析模型，分析比較電纜系統施工正常及異常之最大電應力可能的發生位置，依據電纜系統場強控制相關標準，研判其嚴重性與影響。
- (4) 依有限元素法電場應力分析結果，應用絕緣層、接地介面、油-SF6 介面等缺陷型態之部分放電圖譜，分析評估部分放電之起始電壓、熄滅電壓、相位角度、振盪頻率、衰減常數等參數
- (5) 依電纜沿線長度、特徵阻抗、部分放電訊號衰減常數、振盪頻率等參數，計算評估部分放電電訊號傳播及衰減特徵值及其演算公式。
- (6) 計算正常送電及系統故障情況下，被覆導體於之感應電壓，並依計算結果檢討被覆電壓限制器規格。

1.3 研究方法

本計畫依圖 1.1 之研究流程圖及表 1.1 之研究甘梯圖，蒐集超高壓輸電級電纜及附屬器材相關技術標準與文獻資料，討論其化學性(油中氣體分析)與電氣性部分放電技術與其限制性，依據部分放電訊號特徵與辨識演算法，配合檢測器規格與相關訊號檔案存取格式、資料庫架構與通訊協定，並根據檢測數據與訊號規格、封包、傳輸存取規則，擬定判讀部分放電之演算法，提出部分放電線上檢測系統之分析軟體及韌體裝置規格，並建置部分放電監視診斷試驗系統雛形，透過現場測試修正瑕疵使系統更趨完善。表 1.2 為本計畫工作項目對照報告內容所在章節。

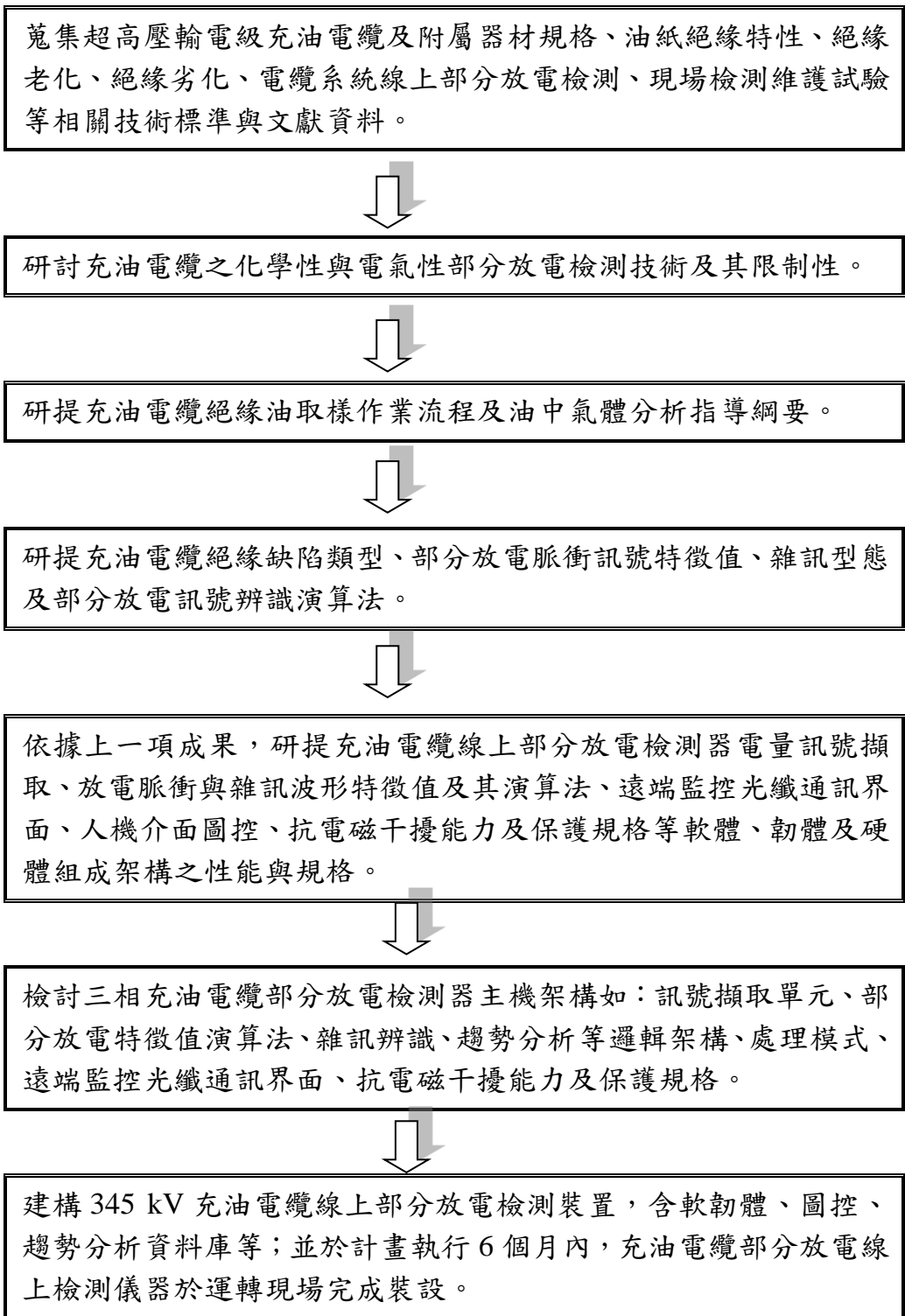


圖 1.1 研究流程圖

表 1.1 計畫甘梯圖

工 作 項 目		工 預定進度		104					105					查核點完成 事項說明			
		作 年	比 月	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5		6	7	
				重 %	月	月	月	月	月	月	月	月	月		月	月	月
蒐集超高壓輸電級充油電纜及附屬器材規格、油紙絕緣特性、絕緣老化、絕緣劣化、電纜系統線上部分放電檢測、現場檢測維護試驗等相關技術標準與文獻資料。		5	預定進度	20	20	20	20	20									已完成 詳見 105.3 期中報告
			累計進度	20	40	60	80	100									
研討充油電纜之化學性部分放電檢測技術及其限制性。		5	預定進度	20	20	20	20	20									已完成 詳見 105.3 期中報告
			累計進度	20	40	60	80	100									
研討充油電纜電氣性部分放電檢測技術及其限制性。		5	預定進度	20	20	20	20	20									已完成 詳見 105.3 期中報告
			累計進度	20	40	60	80	100									
研提充油電纜絕緣油取樣作業流程及油中氣體分析指導綱要。		5	預定進度	20	20	20	20	20									已完成 詳見 105.3 期中報告
			累計進度	20	40	60	80	100									
研提充油電纜絕緣缺陷類型、部分放電脈衝訊號特徵值、雜訊型態及部分放電訊號辨識演算法。		5	預定進度	50	50												已完成 詳見 105.3 期中報告
			累計進度	50	100												

(藍色標示為本次報告工作項目內容)

表 1.1 計畫甘梯圖(承上頁)

工 作 項 目		工 預定進度		104					105							查核點完成 事項說明
		作 年	比 月	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	
		重 度	%	月	月	月	月	月	月	月	月	月	月	月	月	
依據上一項成果，研提 充油電纜線上部分放電 檢測器電量訊號擷取、 放電脈衝與雜訊波形特 徵值及其演算法、遠端 監控光纖通訊界面、人 機介面圖控、抗電磁干 擾能力及保護規格等軟 體、韌體及硬體組成架 構之性能與規格。	5	預定進度		25	25	25	25									已完成 詳見 105.3 期中報告
		累計進度		25	50	75	100									
檢討三相充油電纜部分 放電檢測器主機架構 如：訊號擷取單元、部 分放電特徵值演算法、 雜訊辨識、趨勢分析等 邏輯架構、處理模式、 遠端監控光纖通訊界 面、抗電磁干擾能力及 保護規格。	5	預定進度			25	25	25	25								已完成 詳見 105.3 期中報告
		累計進度			25	50	75	100								
建構 345 kV 充油電纜 線上部分放電檢測裝置， 含軟韌體、圖控、趨勢 分析資料庫等；並於計 畫執行 6 個月內，充油 電纜部分放電線上檢測 儀器於運轉現場完成裝 設。	5	預定進度					50	50								已完成 詳見 105.3 期中報告
		累計進度					50	100								
第一次期中報告	5	預定進度						100								
		累計進度						100								
合 計	100	預定進度	6.5	7.75	6.5	6.5	9	8.75								
		累計進度	6.5	14.25	20.75	27.25	36.25	45								

(藍色標示為本次報告工作項目內容)

表 1.1 計畫甘梯圖(承上頁)

工 作 項 目		工 預 定 進 度 作 年 比 月 重 % %	105												106 1 月	查核點完成 事項說明	
			2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
裝設於現場之充油電纜部分放電線上檢測儀器，依據充油電纜 IMB、GIS 介面、終端匣、電纜本體之部分放電電磁波傳播特徵值，檢討 UHF、HFCT、TEV 等部分放電訊號感測器檢測靈敏度、解析度規格、適當之安裝位置及可涵蓋之部分放電訊號檢測範圍。	5	預定進度	16	16	16	16	18	18									已完成 詳見 105.7 期中報告
	累計進度	16	32	48	64	82	100										
應用電纜絕緣油氣體分析結果，配合電氣參數調校並驗證充油電纜線上部分放電檢測器性能。	5	預定進度		16	16	16	16	18	18								已完成 詳見 105.7 期中報告
	累計進度		16	32	48	64	82	100									
依台中電廠充油電纜系統之環境溫度、三相排列方式、單相結構尺寸，研討油-紙絕緣特性，計算高壓導體、油-紙絕緣、鋁被覆、PVC 被覆等 R-L-C 阻抗參數。	5	預定進度			16	16	16	16	18	18							已完成 詳見 105.7 期中報告
	累計進度			16	32	48	64	82	100								
第二次期中報告	5	預定進度							100								
	累計進度								100								

表 1.1 計畫甘梯圖(承上頁)

III(一)預定進度		(1)甘梯圖、工作項目欄請填寫重點工作細項，並設定查核點，且於查核點完成事項說明欄內詳列查核內容(例如應完成之文件、樣品或雛型等)，俾便評核。 (2)一年期以上之計畫，請按曆年制分年列表。 (3)各工作項目累計進度全程為 100%。														
工 作 項 目	工 作 年 月 比 重 % %	105												106	查核點完成 事項說明	
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1			
		月	月	月	月	月	月	月	月	月	月	月	月	月		
依主變壓器中性點接地與非接地運轉狀態，模擬分析系統單相短路接地故障、兩相短路及三相短路故障對電纜系統之衝擊，並研提減緩衝擊之改善對策。	5	預定進度								16	16	16	16	18	18	已完成 詳見 106.1 期中報告
		累計進度								16	32	48	64	82	100	
依據終端接續匣結構與組裝尺寸，整合電纜規格，現場施工缺陷類型，應用有限元素模擬軟體，建立電纜系統分析模型，分析比較電纜系統施工正常及異常之最大電應力可能的發生位置，依據電纜系統場強控制相關標準，研判其嚴重性與影響。	5	預定進度								16	16	16	16	18	18	已完成 詳見 106.1 期中報告
		累計進度								16	32	48	64	82	100	
依有限元素法電場應力分析結果，應用絕緣層、接地介面、油-SF6 介面等缺陷型態之部分放電圖譜，分析評估部分放電之起始電壓、熄滅電壓、相位角度、振盪頻率、衰減常數等參數。	5	預定進度								16	16	16	16	18	18	已完成 詳見 106.1 期中報告
		累計進度								16	32	48	64	82	100	
第三次期中報告	5	預定進度													100	
		累計進度													100	
合 計	100	預定進度	0.8	1.6	2.4	2.4	2.5	7.6	4.2	3.3	2.4	2.4	2.7	7.7		
		累計進度	45.8	47.4	49.8	52.2	54.7	62.3	66.5	69.8	72.2	74.6	77.3	85		

表 1.1 計畫甘梯圖(承上頁)

III(一)預定進度		(1)甘梯圖、工作項目欄請填寫重點工作細項，並設定查核點，且於查核點完成事項說明欄內詳列查核內容(例如應完成之文件、樣品或雛型等)，俾便評核。 (2)一年期以上之計畫，請按曆年制分年列表。 (3)各工作項目累計進度全程為 100%。												
工 作 項 目	工 預定進度 作 年 比 月 重 % %	106											查核點完成 事項說明	
		2	3	4	5	6	7							
		月	月	月	月	月	月							
依電纜沿線長度、特徵阻抗、部分放電訊號衰減常數、振盪頻率等參數，計算評估部分放電電訊號傳播及衰減特徵值及其演算公式。	5	預定進度	20	20	20	20	20							
		累計進度	20	40	60	80	100							
計算正常送電及系統故障情況下，被覆導體於之感應電壓，並依計算結果檢討被覆電壓限制器規格。	5	預定進度		20	20	20	20	20						
		累計進度		20	40	60	80	100						
提出完成報告	5	預定進度						100						
		累計進度						100						
合 計	100	預定進度	1	2	2	2	2	6						
		累計進度	86	88	90	92	94	100						

表 1.2 計畫工作項目與報告內容所在章節對照表

項次	工作項目	所在章節
1	依電纜沿線長度、特徵阻抗、部分放電訊號衰減常數、振盪頻率等參數，計算評估部分放電電訊號傳播及衰減特徵值及其演算公式。	第二章 2.7
2	計算正常送電及系統故障情況下，被覆導體於之感應電壓，並依計算結果檢討被覆電壓限制器規格。	第八章 8.3

表 1.3 期末說明會討論/決議事項與處理情形

項次	期末說明會討論與決議事項	處理情形
1	部分放電監測設備自動辨識圖譜會因量測的設備不同而異，需仰賴大量的放電圖譜資料。如對運轉中設備有疑慮，可與研究團隊聯繫，除協助診斷也可建立圖譜。	陳老師領導之研究團隊會持續在部分放電議題上精進，同時也希望綜研所能提供故障量測經驗，以增進團隊診斷判讀能力。
2	部分放電量測感測器分為內置及外掛式。內置式雖量測效果較好，但需於建置設備時埋入；目前係以外掛式非侵入式量測方式為主。	針對本計畫待測之充油電纜，是以非侵入式外掛 HFCT 於地線進行量測(詳 10.1 節)。
3	請補充研究計畫執行期間線上監測四號機充油電纜量測資料及狀態分析。	已補充，詳 10.5 節。
4	部分放電定位需使用多個感測器，利用波的傳遞特定計算部分放電起點；地下電纜因量測距離長，為避免訊號衰減過大，需於各接續匣接地線量測。	因應電纜 PD 量測衰減問題與定位需求，裝置於南科之線上監測系統亦比照此方式進行裝設(詳 11.1 節)。
5	研究計畫結束後，部分放電監測設備續裝事宜，將由綜研所擔任窗口，與台中電廠討論。	配合辦理。