

經濟部幕僚單位及行政機關人員從事兩岸交流活動報告書

地下輸電纜線設置光纖技術與運用於智慧電網 運行模式研習

研提人單位：台灣電力公司

職稱：電機工程師

姓名：尤子瑋

參訪期間：102年11月14日至11月20日

報告日期：102年12月16日

(本報告請檢送1式4份)

出國報告審核表

出國報告名稱：地下輸電纜線設置光纖技術與運用於智慧電網運行模式研習		
出國人姓名	職稱	服務單位
尤子瑋	電機工程師	台灣電力公司
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他（例如國際會議、國際比賽、業務接洽）	
出國期間：102年11月14日至102年11月20日		報告繳交日期：102年12月16日
出國人員自我審核	計畫主辦機關審核	審核項目
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1. 依限繳交出國報告
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2. 格式完整（本文必須具備「目地」、「過程」、「心得及建議事項」）
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3. 無抄襲相關資料
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4. 內容充實完備。
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5. 建議具參考價值
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6. 送本機關參考或研辦
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7. 送上級機關參考
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8. 退回補正，原因：
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	（1）不符原核定出國計畫
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	（2）以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	（3）內容空洞簡略或未涵蓋規定要項
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	（4）抄襲相關資料之全部或部分內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	（5）引用相關資料未註明資料來源
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	（6）電子檔案未依格式辦理
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	（7）未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9. 本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表：
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	（1）辦理本機關出國報告座談會（說明會），與同仁進行知識分享。
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	（2）於本機關業務會報提出報告
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	（3）其他
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10. 其他處理意見及方式：

報告人： _____ 單位： _____ 主管處： _____ 總經理： _____
 主管： _____ 主管： _____ 副總經理： _____

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應於報告提出後二個月內完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「公務報告資訊網為原則」。

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：地下輸電纜線設置光纖技術與運用於智慧電網運行模式研習

頁數___含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司/陳德隆/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

尤子瑋/台灣電力公司/高屏供電區營運處/電機工程師/(07)321-4110

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：102年11月14日至102年11月20日

出國地區：中國大陸

報告日期：102年12月16日

分類號/目：

關鍵詞：輸電系統、智慧電網、局部放電、分佈測溫光纖、電纜河道附屬機電

內容摘要：(二百至三百字)

有鑑於大用戶對於電力品質的要求逐年提高及智慧電網之建置需求，如何有效地管理地下電纜輸電線路使其電力穩定傳輸之首要目的可以如期達成，並將其維護績效具體展現，擬參考中國大陸的具體做法，藉由剖析其輸電系統之維護管理方式，以達改善之成效而進行資料蒐集與了解。

此外，在本次出國實習中也特別收集拉曼效應、OFDR、OTDR、RTTR，PD 等最新技術資料取得。本次實習目的可再約略整理如下：

- 中國電力事業現況資料彙整。
- 地下電纜光纖技術應用技術研討。
- 偵測電纜溫度、放電現象之措施及成效研討。
- 了解中國大陸輸電系統光纖運用之運行現況。
- 分佈溫度感應系統運用於輸電電纜之量測技術。
- 光纖運用於溫度、磁場等變化量之原理及實務分析。
- 最新輸電線路光纖設備應用資訊。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

政府機關（構）人員從事兩岸交流活動（參加會議）報告

壹、交流活動基本資料

- 一、活動名稱：地下輸電纜線設置光纖技術與運用於智慧電網運行模式研習
- 二、活動日期：102年11月14日至102年11月20日
- 三、主辦（或接待）單位：台灣電力公司
- 四、報告撰寫人服務單位：台灣電力公司 高屏供電區營運處

貳、活動（會議）重點

- 一、活動性質：實習
- 二、活動內容：智慧電網、光纖運用等技術研討
- 三、遭遇之問題：無
- 四、我方因應方法及效果：無
- 五、心得及建議：詳兩岸交流活動報告書

參、謹檢附參加本次活動（會議）之相關資料如附件，報請備查。

職

年 月 日

目 錄

壹、出國緣由.....	1
一、 實習任務.....	1
二、 緣由與目的.....	1
三、 行程規劃.....	3
貳、研習內容與心得.....	4
一、 中國電業制度概述：.....	4
二、 中國輸電電網組織概述：.....	6
三、 中國輸電系統介紹.....	11
四、 智慧電網運行模式介紹.....	12
五、 分佈式光纖測溫技術.....	19
六、 地下電纜局部放電檢測技術與光纖運用.....	38
參、感想與建議.....	55
肆、參考文獻.....	69
伍、誌謝.....	71

圖表目錄

圖 1-1 中國國家電力公司廠網分離方式	7
圖 1-2 中國電網資產分離方式	8
圖 2-1 向家壩至上海 800KV 直流輸電線路	10
圖 3-1 中國 1000KV 交流輸電線路	11
圖 5-1 測溫光纜	20
圖 5-2 光纖電纜的主要類型 (REF. LIOS TECH).....	20
圖 5-3 光的入射與反射 (REF. WIKIPEDIA)	21
圖 5-4 光的折射與反射	23
圖 5-5 全反射	24
圖 5-6 光散射之波長與強度示意圖	25
圖 5-7 晶格振動與散射的關連性 (REF. LIOS TECH.).....	28
圖 5-8 OFDR 技術原理 (REF. LIOS TECH).....	28
圖 5-9 導體與電纜外層溫度變化 (REF. LIOS TECH).....	31
圖 5-10 導體與電纜外層溫度變化.....	32
圖 5-11 線路查修過程之溫度變化.....	33
圖 5-12 220KV XLPE 電纜測溫光纖佈設狀況	34
圖 5-13 220KV XLPE 電纜測溫光纖佈設狀況	35
圖 5-14 溫度曲線.....	36
圖 6-1 高壓電纜內部缺陷與等效電路	40
圖 6-2 局部放電過程示意圖	41
圖 6-3 電樹與水樹形成位置	42

表 6-1 非傳統檢測法頻率主要範圍與靈敏度	46
圖 6-4 局部放電對於三相電纜的影響	47
表 6-2S 相之油體分析結果檢測單位：PPM.....	50
圖 6-5 磁光效應	54
圖參-1 92~102 電纜事故次數統計.....	58
圖參-2 事故要因分析	59
圖參-3 92~102 電纜事故次數統計.....	60
圖參-4 洞道下陷與震動感測裝置	61
圖參-5 遙控啟閉人孔	62
圖參-6 人孔內蓋警報裝置	62
圖參-7 配合 GOOGLE EARTH 之三維透視化地理圖資	63
表參-1 主流檢測方式之比較表	65

壹、出國緣由

一、實習任務

地下輸電纜線設置光纖技術與運用於智慧電網運行模式研習。

二、緣由與目的

(一)電力電纜是構成電力系統的重要組成部分之一，且其規模範圍日益複雜。但是，目前本公司電力電纜的維護管理仍須仰賴基層維護人員的經驗知識和對電纜網絡的熟悉程度，人員本身專業素質的高低將直接影響到電力電纜的運轉維護品質，甚至影響到供電系統的安全與穩定。

(二)現階段電腦及相關技術在電纜資訊管理中的應用，僅只於做為電力公司資訊管理系統的一個模組，提供對電纜相關班組每日進行之例行性維護檔案加以記錄及管理規劃，尚無法達到高效率電力公司所要求的資訊流通功能與本公司揭櫫之智慧電網目標。且對於電力電纜自身之特殊性維護管理也缺乏考慮。因此，如何利用現代化的技術對電力電纜資訊進行有效的管理，以保障電力電纜的正常且可靠運轉，已成為輸電線路維護工作之一個重要的課題。

(三)智慧電網利用光纖的建置整合結果將可針對電力電纜運轉、維護及管理的現狀和特點，結合新技術與現場實測經驗之累積，提出符合智慧型電網之電纜運行模式或維護流程整體開發與應用方案。實現對電纜運轉、維護、檢修以及潛在弱點管理、事故預防管理及維護經驗傳承等全方位的解決系統，為電力電纜的綜合維護管理提供了一種更好的思維方向，俾使能夠有效提高電力電纜的運轉管理水平與電力系統的穩定供應。本出國研習期間所見之電纜監控技術整體開發與應用方案，可有效掌握輸電電纜設備之潛在弱點並節省偶發事故後之電力中斷損失及後續修復所需付出之高額成本。

(四)有鑑於大用戶對於電力品質的要求逐年提高，如何有效地管理地下電纜輸電線路使其電力穩定傳輸之首要目的可以如期達成，並將其維護績效具體展現，擬參考中國大陸的具體做法，藉由剖析其輸電系統之維護管理方式，以達自我改善之成效而進行資料蒐集與了解。

(五)此外，在本次出國實習中也特別收集與了解拉曼效應、OFDR、OTDR、RTTR，PD 等最新技術資料取得。

(六)本次實習目的可再約略整理如下：

- 中國電力事業現況資料彙整。
- 地下電纜光纖技術應用技術研討。
- 偵測電纜溫度、放電現象之措施及成效研討。
- 了解中國大陸輸電系統光纖運用之運行現況。
- 分佈溫度感應系統運用於輸電電纜之量測技術。
- 光纖運用於溫度、磁場等變化量之原理及實務分析。
- 最新輸電線路光纖設備應用資訊。

三、行程規劃

(一)研習日期：102 年 11 月 14 日至 102 年 11 月 20 日，共計 7 日。

(二)出國行程行程：

日期	前往機構	工作內容
102.11.14	台北至上海	往 程
102.11.15 102.11.16	德國 LIOS 上海分公司 德國商業工會	1. 光纖技術與拉曼效應研討 2. OFDR 與 OTTR 技術研討 3. DTS、RTTR 技術交流 4. 中國大陸光纖局部放電檢測技術發展現況研討 5. 中國大陸智慧電網發展現況研討
102.11.17	上海至瀋陽	行 程
102.11.18	遼寧省電力有限公司 瀋陽達能電氣技術公司	1. 66kV 變電站與電纜洞道參訪 2. 電纜光纖測溫設備現場參訪 3. 電纜局部放電檢測技術研討
102.11.19	國家電網公司	1. 空港 220kV 變電站之電纜洞道參訪 2. 局部放電與電纜溫度變化之關聯性研討 3. 國家電網公司拜訪
102.11.20	瀋陽至台北	返 程

貳、研習內容與心得

本篇實習報告內容規劃部份，大致可分為三大區塊。包括其中國電業、電網及輸電系統之概況；其次針對此次實習期間所彙整之相關資料內容經過整理後，將有關光纖運用部份及智慧電網部分予以連結與介紹；最後再將有關地下電纜光纖之溫度監測與局部放電檢測進行相關比較及兩岸技術現況了解及剖析，使輸電線路工作相關人員均能從本篇實習報告內容中，不僅得以知道公司目前作法更能比較中國目前執行情況以為將來改進之參考。

本次實習之感想與建議，將於報告中提出分享給所有針對本次實習主題有興趣者一些建議與個人的感想，更希望藉由回國後與出國實習期間所結識的同業持續學習與交流，讓本公司相關從業人員對於輸電線路之有效運行模式提供最佳的改進方向，並針對光纖運用於電纜維護上或智慧型電網研究上所因具備的基礎知識與相關技術資料，能夠藉由本報告有所掌握與了解。

一、中國電業制度概述：

在中國改革開放前，電業制度皆由政府嚴格管制，所有的執行方向與計畫由政府來決定，實體上是一個政府嚴格執行政策的架構，也就是政策方針是以國家公共利益為考量而非電力消費者為考量。而在中國改革開放之後，電業制度轉型成一種混合式的特殊型態，中國政府雖仍保留著整體經濟計畫的大方向控制，但相對來說比改革開放前來的寬鬆許多，並且成立了許多電業制定機構與行政管理機構。

現行中國大陸的電業制度有下述幾點特色，在本報告特別加以研究彙整，在與台灣的電業制度相比較，職認為有些值得我們思考的地方。

在 1998 年中國政府為了實施電業改革，因此撤銷了電力工業部，改成立了國家經

貿委電力司，其最主要的目的就是實現政府行政職權與電力企業體系的分離，可算是中國電業制度史上一個很重要的分水嶺。

依據目前歐美國家電業制定的大方向，以及為了讓電業改革達到自由化或部分自由化的目標，且仍須保留以公共利益為目的，依據相關文獻的參考以及借鏡歐美國家電業制度的方式，必須有三個相互獨立的電業主體，在各國家名稱可能有所不同，但主體分別為：電業立法機構、行政執行與管理機構以及受上述法規限制的電力企業體。

在中國大陸有關電業相關的機構不少，但若要具體實現上述的三個獨立個體仍有許多進步的空間，並且在多個平行機構無整合的特性之下，容易造成制定機構與管理機構仍在同一個體系之內，這對電業改革勢必有所阻力與影響。

從上述觀點來說，因為中國大陸國家體制的特性，我們又可進一步來探討，在不同體制下其電業制定上所帶來的不同的特性。以目前中國電業體制來說，行政管理體系與電力事業體系尚未完全分割情況下，就如同上述所提之特性，在為了國家公共整體利益考量，容易犧牲了個體消費者的基本權利，也就是一般的用電機構與民眾。

以國家整體利益來說的確是可獲得了有效率與具體的執行結果，但這絕對不是電業改革或自由化所樂見。若以上述議題之基礎來比較，台灣目前的電業體制改革進步過程中，所產生的結果與大陸相比可說是大相逕庭，在體制開放的社會氛圍，個體消費者的基本權利在台灣來說相當重要，雖然與中國大陸相比，三位一體的體制較為完善，但因顧及社會一般個體利益以及民主社會的特性下，造成電力企業背負著許多不同的政策包袱，因此容易犧牲了電力事業的整體利益。

因此我們可以了解，無論是台灣或是中國大陸，徹底完成電業自由化或電業改革的過程中，都有各自的特性與待改革的方向，但以目前全世界先進國家借鏡，電業改

革對於中國大陸與台灣來說，都是無法逃避且極為重要的課題。

二、中國輸電電網組織概述：

中國電力產業近 30 年來進步迅速，至 1987 年發電容量突破 1 億 kW 門檻以來，配合整體經濟發展，裝機容量仍持續增加當中，其整體裝置容量居屬世界前幾大的國家。而隨著電業的發展，電網技術也隨之提升。在 500kV 交流輸電線路總長度上已經超過 8000km，並考量長距離輸電業務與系統穩定性，於 1990 年更投入了直流輸電系統，其電業發展之速度極為驚人。其近年來主要的發展特點如下述幾點：

(1) 電網建設工程的經驗累積：

在交流 500kV 系統正式商轉至今，有關輸電系統規畫設計之穩定分析、系統潮流及電力工程規劃、設計與運轉上累積豐富的經驗。

(2) 廠網分離制度(發電)：

因應廠網分離，各發電廠被劃分新成立的國電、中電投、華電、華能、大唐所有。新成立了中國電力工程顧問集團公司、中國水電工程顧問集團公司、中國水利水電建設集團公司和中國葛洲壩集團公司 4 家集團公司。並建立了國家電力監管委員會作為監督單位，其組織架構如圖 1-1 說明。

(3) 廠網分離制度(電網)：

因中國大陸電力業務範圍極廣，故提高穩定供電勢必相對重要，因此也更進一步將原國家電力公司之電網資產進行分離，在電網部分成立了國家電網、南方電網兩個公司。南方電網負責廣東、海南、雲南、貴州、廣西區域的電網業務，國家電網則負責其他區域的電網業務，且依據區域特性又細分成五大區塊。其組織架構如圖 1-2 說明。

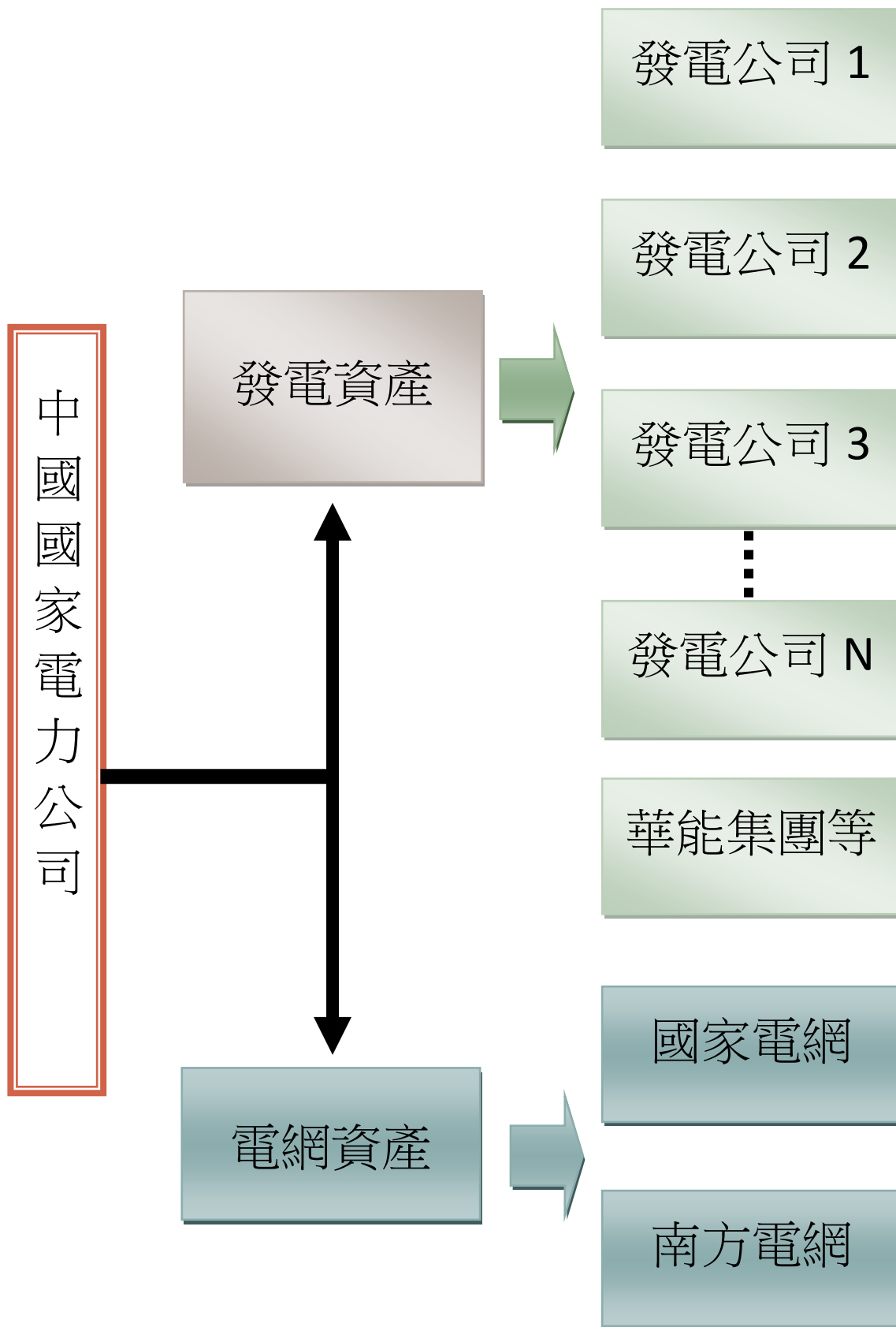


圖 1-1 中國國家電力公司廠網分離方式

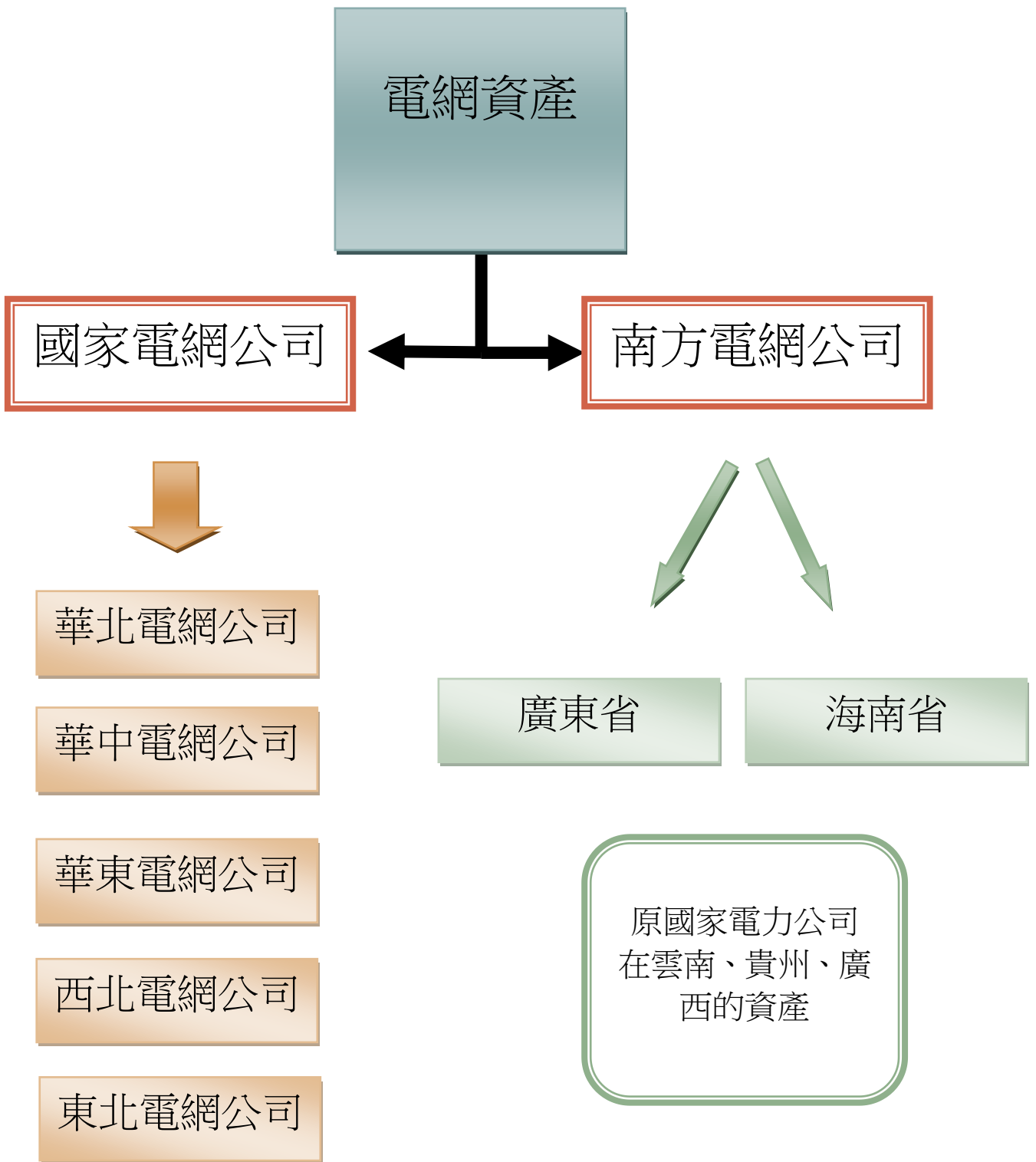


圖 1-2 中國電網資產分離方式

國家電網公司成立於 2002 年，是經中國國務院同意進行國家授權投資的機構和國家控股公司。公司以投資建設運營電網為核心業務。今年國家電網公司年度售電量約 32539 億 kW，線損率 6.73%，輸電線路長度 71.3 萬 km，變電設備容量 28.1 億千伏安。其組織架構圖如下：

- 國家電網公司華北分部—華北電網有限公司：

北京市電力公司、天津市電力公司、河北省電力公司、山西省電力公司、山東電力集團公司和冀北電力有限公司。

- 國家電網公司華中分部—華中電網有限公司：

湖北省電力公司、湖南省電力公司、江西省電力公司、河南省電力公司、四川省電力公司和重慶市電力公司。

- 國家電網公司華東分部—華東電網有限公司：

上海市電力公司、江蘇省電力公司、浙江省電力公司、安徽省電力公司和福建省電力有限公司。

- 國家電網公司西北分部—西北電網有限公司：

陝西省電力公司、甘肅省電力公司、寧夏電力公司、青海省電力公司、新疆電力公司和西藏電力有限公司。

- 國家電網公司東北分部—東北電網有限公司：

遼寧省電力有限公司、吉林省電力有限公司、黑龍江省電力有限公司和內蒙古東部電力有限公司。

而中國南方電網公司於 2002 年正式成立。公司經營範圍為廣東、廣西、雲南、貴州和海南，負責投資、建設和經營管理南方區域電網，經營相關的輸配電業務，參與投資、建設和經營相關的跨區域輸變電、聯網工程以及對外工程承包和對外勞務合作等業務。

公司總部設有 21 個部門，以及南方電網電力調度控制中心，下設超高壓輸電公司、調峰調頻發電公司、教育培訓評價中心、廣東、廣西、雲南、貴州、海南電網公司、廣州供電局有限公司、深圳供電局有限公司和南網國際公司，以及南網科研院、南網綜合能源公司。

(4) 直流輸電工程：

在中國供電範圍廣泛的特性之下，單純以優點來說，直流供電相較於交流輸電系統有較穩定及控制靈活等優勢，故中國在政策的推動下，於 1970 年開始投入直流輸電系統的可行性研究，並在後期藉由國外技術的引進，正式於 1980 年投入了 500kV 直流輸電系統之輸電諧波補償、穩定性、電壓控制等相關研究，並最終於 1990 年完成系統並正式商轉。

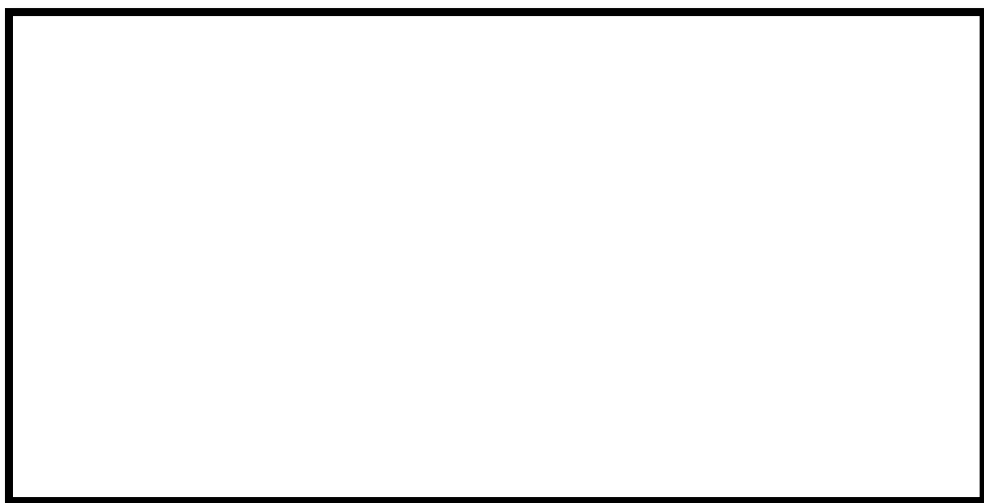


圖 2-1 向家壩至上海 800KV 直流輸電線路

三、中國輸電系統介紹

中國輸電系統的電壓等級一般分為高壓、超高壓和特高壓，國際上慣例定義：35～220kV 的輸電電壓等級稱為高壓（HV），把 330～750（765）kV 的輸電電壓等級稱為超高壓（EHV），而把 1000kV 及以上的輸電電壓等級通稱為特高壓（UHV）。另外，一般把 500kV 電壓等級的直流輸電系統稱為高壓直流輸電系統（HVDC）。

對中國目前絕大多數交流電網來說，高壓電網指的是 110kV 和 220kV 電壓等級的電網，超高壓電網指的是 330、500kV 和 750kV 電壓等級的電網，特高壓電網指的是 1000kV 交流電壓等級和±800kV 直流電壓等級的輸電系統，如圖 3-1 所示為 1000kV 的交流輸電線路，其特色為每相由 6 個導體所組成。

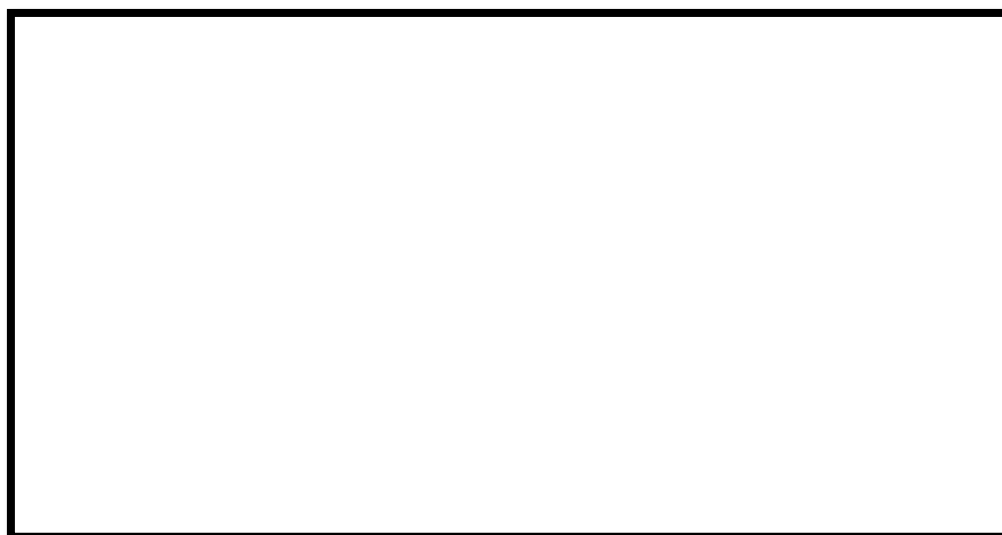


圖 3-1 中國 1000KV 交流輸電線路

在同一個電網中採用了不同的電壓等級，這些電壓等級組成該電網的電壓序列。目前中國大部分電網的電壓序列 500/220/110/35/10/0.38kV，西北電網的電壓序列比較特別，分別為 750/330/110/35/10/0.38kV 和 220/110/35/10/0.38kV。

高序列電壓經過地區變電所降壓到 10kV，然後再由 10kV 配電線路輸送到配電變壓器，最後經過配電變壓器將電壓變成 0.38kV 供電力用戶使用。對於單相用戶，其相電壓就是一般用電交流 220V。

中國輸電系統之所以要採用這麼多的電壓等級，其原因主要有以下幾點：

(1) 在 1949 年之前，中國電力工業發展較為緩慢，輸電線路建設同樣遲緩，所建設的輸電線路電壓等級決定於當時工程的現況而無具體規劃，造成中國當時的電壓等級繁多，直到 1949 年以後，才開始按電網發展規劃統一電壓等級，之後逐漸形成了上述的電壓等級序列。

(2) 因此，整體來說中國 1981 年以前，主要以 220kV 電壓等級的電網為主要架構。

1981 年以後，隨著第一條 500kV 交流輸電系統的竣工並商業運轉，已經形成了以 500kV 電壓等級為主要架構的超高壓電網系統。

四、智慧電網運行模式介紹

維持健全之電力系統及穩定可靠之供電品質是公司之首要任務，考量系統發生偶發事故後，除可能危及錯綜複雜而且龐大之供電系統狀態外，對於電力中斷及後續修復所需付出之高額成本，對於公司之營運狀況更會帶來不利之影響。有鑑於此，如何整合及利用光纖發展成熟維護技術，開發符合智慧電網之電纜維護流程與應用方案，將可有效發現許多潛在之線路弱點，減少因偶發事故所招致之成本損失，並彌補維護經驗不足所可能衍生之維護漏洞。

在日本福島事件發生後，可明顯感受到全球對於能源議題的高度重視，同時提高了再生能源(太陽能、風能等)等議題的討論。但是再生能源以現階段的時空背景下，著實無法作為電力來源的主力，因為相較於火力與核能，其穩定性尚未達成熟階段。而傳統的電力網路依現階段來說也無法符合上述再生能源發展的需求。因此，各國先進國家紛紛針對目前現行的電力網路進行升級計畫，提高了智慧型電網議題的重視度。

推動節能減碳是我國重要發展政策項目之一，並也將智慧電網列入[國家節能減碳總計畫]標竿計畫之一，在行政院核定之[智慧型電表基礎建設推動方案]進行智慧電表的測試與示範計畫，成了台灣推動智慧電網之開端。

智慧型電網之整體方向乃結合了發電、輸電、配電及用戶的電網系統。此系統最終目標需達到自動化與即時資訊透明化之優勢。系統運作上需提高本身自我檢查、診斷並提前修復之功能，以達到具備高效率與高穩定度之電力系統。讓電力消費者可有高品質且高潔淨度之電力，因此整合後之智慧型電網方能滿足世界各國能源政策發展方向與因應社會對供電可靠度與供電品質日漸提高的要求。

在傳統電力網路進行智慧電網升級的同時，可導入再生能源併網發電等相關議題、減少二氧化碳排放、抑制尖峰負載及節約能源。

我國智慧電網之發展方向定三個階段，依據 101 年 8 月核定之智慧電網總體規劃方案資料：可分為「前期布建(5 年：2011-2015 年)」、「推廣擴散(5 年：2016-2020 年)」、「廣泛應用(10 年：2021-2030 年)」3 個階段。將整體發展依據電網特性分為調度、輸電、配電、用戶 4 種類型之供需關係，配合產業推動及環境建構，形成 6 個構面具體推動，分別為「智慧發電與調度」、「智慧輸電」、「智慧配電」、

「智慧用戶」、「智慧電網產業發展」、「智慧電網環境建構」。整體智慧型電網其關鍵技術應包括：

- (1) 跨網路的整合通訊技術
- (2) 先進的控制方式
- (3) 感測、讀錶及量測
- (4) 先進的電力設備及電網元件
- (5) 決策支援及人機介面

而在本報告的主題將是在第(3)、(4)點，目的在達成雙向數位科技建立的輸電網路，用來傳送電力，以利偵測電力供應者的電力供應狀況，增強電網可靠性的目的。在亞洲地區國家目前著重於上述，而歐美國家則較注重其他幾點的開發。如在去年 CEPSI2012 亞太電協會議當中許多知名企業也紛紛投入了此議題的整合開發計畫，且不只單純針對電力網路，同時針對配電系統後端的整合技術也有許多研究成果值得借鏡。

根據本實習計畫，將針對光纖地下輸電纜線設置光纖技術與運用於智慧電網運行模式進行研討。探討光纖在智慧電網運行模式中，利用其防干擾及高穩定性之特性，配合輸電地下電纜相關附屬設備，在運轉上扮演著通訊、傳感與即時資訊傳達之功能。也是經濟部能源局智慧輸電之規劃方案第(十七)點之具體落實。

依目前各國之發展進度，本報告將深入探討光纖在溫度監測與局部放電檢測利用光纖防止感擾這兩個區塊及兩者技術程面細節進行深入探討，相關內容將於報告後續章節說明。

另外，全球主要國家推行智慧電網發展有其共通性，但因明情與國情架構不同而發展重點有所差異，故為利了解目前各國在智慧電網之發展上之重點，特將各國

之發展方向整理如下述說明，而針對本次出國計畫更進一步針對中國大陸智慧電網之發展現況，藉由出國實習期間之資料進行彙整做詳細的說明：

➤ **歐盟發展重點：**

歐盟為眾多成員國所組成，故在歐洲地區智慧電網發展上，具有領導此項議題的地位，在歐盟成立了智慧電網歐洲技術論壇後，於 2006 年開始陸續發表了許多智慧電網策略計畫，而歐盟成員國也陸續針對個別議題制定了該國應變計畫。其主要的特色有下述幾點：

- (1) 為了滿足歐陸地區用電之特性，其一發展主軸為：完成各國電力系統之有效率且靈活之電力網路，能夠針對未來整體歐陸經濟發展與用電需要，而靈活協調。
- (2) 針對再生能源開發過渡期與天然災害之不確定性，建立可靠的供電體系保障歐陸整體供電之安全性。
- (3) 建立能源管理方案，取得有效益且平衡競爭之電業管理機制。
- (4) 積極投入再生能源其可靠度提升之研究，積極開發再生能源有效併入系統計畫。

➤ **美國發展重點：**

美國在 2000 年初期，已藉由許多電網相關研究及會議，先行提出許多前瞻性的電網系統改進方案，也因此墊定了全世界研討智慧電網之重要基礎，近十年來其發展的重點有下述幾點：

- (1) 透過電網與再生能源的應用，持續發展多元發電方式，強化穩定性與兼容性。
- (2) 提升美國屬地之供電效率，發展智能串連系統，強化各區電業資產彼此調配機制與運轉效率。
- (3) 持續投入電業研究相關開發計畫，開發前瞻性產品以及創新的電業服務。
- (4) 具體透過配電系統之有效優化，保障用戶用電品質與可靠度，持續落實依據送電品質而有差別電價之趨勢。
- (5) 開發穩定有效的監測系統，在發電與輸電網路上，透過設備的有效監控，確保系統因應不同狀況提前應變之機制。
- (6) 垂直整合發電系統、輸電網路及配電網路之智能通訊，強化通訊安全與資訊及時化與透明化。

➤ **日本發展重點：**

日本先階段智慧電網發展重點著重於再生能源的開發與併入系統研究，並且針對特定城市辦理減碳管理與智能城市開發計畫，主要的發展重點如下述說明：

- (1) 結合日本當地企業由特定縣市政府主導，試辦智慧城市及減碳計畫。
- (2) 透過智慧電網通訊之有效運用，開發城市電動汽車快速充電裝置，並有效運用間歇性發電之再生能源。

(3) 以區域為單位，深植再生能源於一般用戶或城市當中，並透過電腦有效管理，強化再生能源使用之效率，彌補再生能源現階段系統運用上的缺陷。

➤ **韓國發展重點：**

韓國與亞洲其他國家相比，較為重視智慧電網相關設備的技術開發與研究，例如內含多運用功能光纖之輸電電纜製造與試運轉，以及超導體之研究開發等應用。從近幾年來的相關文獻資料及海底電纜的發展成果上，我們可得知韓國在屬於智慧電網相關設備技術開發上，的確有顯著的進展。

藉由韓國智慧電網協會之定義，該國智慧電網發展擬分為三個階段，如下述說明：

- (1) 企業與政府合作持續開發超導體等相關研究，檢討利用超導體打造國家電網之可行性。
- (2) 第一階段(2009-2012)：完成電力轉換、配電技術及輸電系統監控技術之開發。
- (3) 第二階段(2012-2020)：依據前階段之經驗，整合各監控點，達到輸電線路全面監控之目的。並發展智能綠色城市之初期建設。
- (4) 第三階段(2021-2030)：完成全國智慧電網建設，實現整個電力網路的智能化。

➤ 中國發展重點：

中國在執行改革開放以來，近幾年來皆處於高度之經濟成長，在以省為單位，都市化與工業化之具體落實下，電力需求與成長速度驚人。就如職這次前往的瀋陽市，在往返工作地點與飯店的路上，到處皆可看到新建中之高樓大廈與工業廠房及可略知一二。

因此為了應因大量的電力內需與穩健的經濟發展，勢必投入大量預算與人力，擬定並實現全面智慧電網的建置。並且中國大陸政府，因電網為整個國家經濟永續發展之堅強後盾，特將智慧電網計畫中，鮮明的以[堅強智能電網]作為其整體計畫的統稱。

中國在智慧電網的開發上，以南方電網公司與國家電網公司為主體，並且在兩個主體當中，各有許多不同的試點計畫，於 2009 年開始規劃試點區域並逐步實現，如職這次前往的瀋陽電力公司電纜隧道工程就屬於其中之一。

中國大陸在智慧電網的發展上，皆在政府作為主導之下運作，並透過立法持續發布許多攸關智慧電網在發電與輸電領域上的執行政策，近幾年來的重點，著重於都市或工業區輸電線路相關技術整合，並且強調輸配同體，在智能輸電領域上致力於垂直整合的有效監控。

依職觀察，在世界主要開發國家中陸續針對智慧電網建立了專門機構，且各自制訂了許多攸關智慧電網建設之標準。依據中國大陸之體制特性，勢必也將積極投入此領域的規範建立，讓在全球第四大電力體系中的中國，能有全球指標性的作用。

依據職所獲得之參考文獻及閱讀相關中國大陸在智慧型電網的開發與研究上的論文，整理主要的發展重點如下述說明：

- (1) 以國家為公共利益為前提，建置再生能源於各點有效利用之執行計畫。強化垂直整合技術，開發輸配同體的智慧電網運行模式。
- (2) 擬定智慧電網建設之相關標準，在國際上持續發表自行研究與建設能力。
- (3) 強調調度與輸配之整合技術，落實電網經營、調度一體之組織架構。
- (4) 全國各試點計畫落實，並參考試點結果持续提升相關領域之智能技術，並將整體智慧電網發展規劃分為三個階段，於 2010 年完成規劃試點區域後，預定於 2015 年完成智慧電網運行控制及互動服務體系。
- (5) 建立關鍵技術並以予廣泛運用，預定於 2020 年完成全國一體之堅強智能電網。

五、分佈式光纖測溫技術

(1) 光纖應用介紹

自 1970 年美國開發出第一條光纖以來，以光作為訊號的傳送、傳感技術，在國防軍事、生物醫學、製造生產、自動控制及狀態監測等領域中，受到大量的應用，且經過多年來的改良與技術延伸，光纖傳感技術已普遍應用於日常生活當中。而隨著智慧電網的推動，將光纖技術應用於地下電纜洞道相關訊號的連繫與辨析，為目前地下電纜洞道符合智慧電網運行模式之測溫與放電訊號傳送研究上主要課題，如圖 5-1 為測溫光纜於電纜溫度變化上的應用。

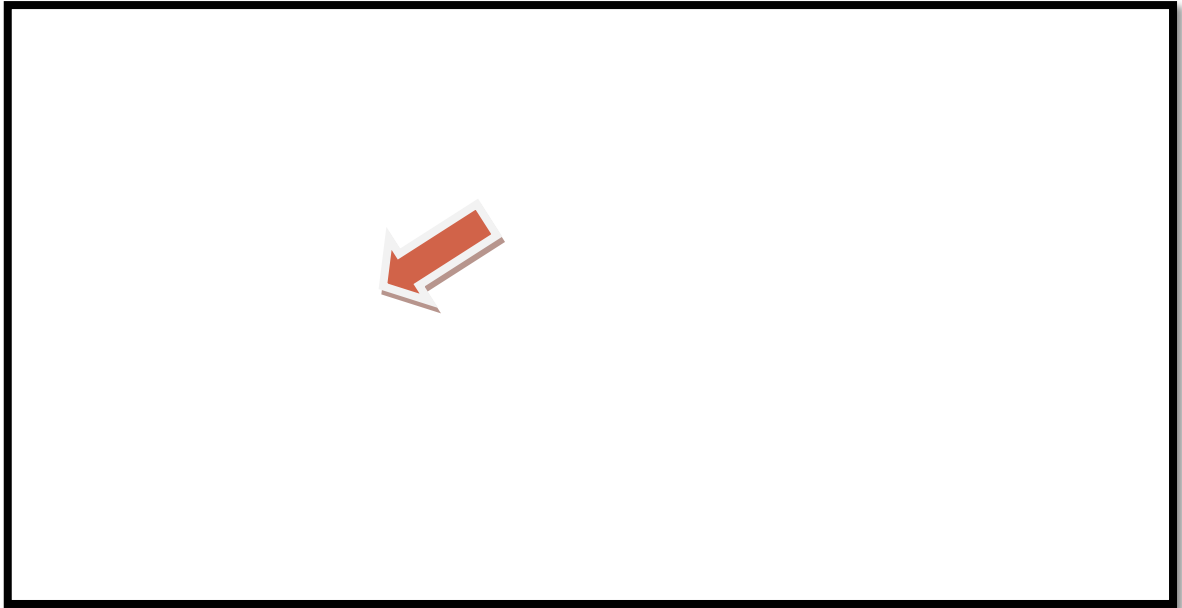


圖 5-1 測溫光纜

光纖傳感技術乃以光纖作為介質，且以光作為載體，傳達相關控制與監測訊號的傳感技術。而在光波不易受電磁干擾，且方便與感測元件連接與進行光電、電光轉換，因此迅速的在許多系統及電子裝置當中受到利用。並且在光纖工作頻帶寬度大的情況下，光纖也是一種有效的低損耗傳送介質。

圖 5-2 光纖電纜的主要類型 (REF. LIOS TECH)

再言之，光纖本身不帶電、容易彎曲、質量輕、高抗輻射與電磁干擾等特性，特別適用於惡劣環境當中使用。因此，光纖傳感技術受到重視與應用以來，迅速的應用在工業領域當中，並隨著不同的測量原理的開發，更進一步提高了光纖作為傳感原件的靈敏度。

光纖在傳感領域的運用上主要分為傳光型與傳感型兩種。傳光型光纖主要藉由控制電路、光檢測器、光電轉換器及光纖迴路構成。而光纖在上述系統當中，其實只扮演著傳送訊號的功能，但藉由光纖的高穩定與高抗雜訊特性，以及光纖低損耗的特性可利用於長距離的傳送，因此傳光光纖技術的應用，仍比傳統控制迴路來的穩定與可靠，此系統也被稱作非功能型光纖傳感系統。



圖 5-3 光的入射與反射 (REF. WIKIPEDIA)

在目前市場上無論是離線式或在線式局部放電檢測技術，近幾年趨勢也多利用光纖的傳光性來降低環境干擾，並透過其遠程傳送低損失的有效率因素建構局部放電檢測系統，其相關細節於本報告後續章節說明。

而以傳感型光纖論之，則是利用光纖所放置的地點與環境特性，使得光波的強度、相位、強度、頻率等特性發生變化，推得其環境變化趨勢及有效資訊量。

例如，當光纖受到環境溫度變化影響，光波訊號的強度與相位受到改變，因此我們進一步分析其光波訊號其相位等資訊的變化量，即可推算得到環境溫度等物理量訊息。而在這方面的檢測技術上又可以分為：單點式光纖測溫與分佈式光纖測溫，後者較適於大區域及長距離區域進行監測，因此較為適用於輸電地下電纜洞道的測溫。

(2) 光纖的傳輸原理

光在不同的介質當中其速度並不相同，而光在不同介質所展現的速度與真空狀態下所展現的速度之比值，即為我們熟知的折射率(n)。因此，我們可以假設光在某個介質當中的速度為 v 而光在真空的情況下速度為 c ，以水的折射率(1.33)來舉例，由公式之定義可得知，光在真空的速度是在水中速度的 1.33 倍，也就是因為這個特性，當我們用肉眼觀看透明的玻璃杯內的吸管，水面上下所呈現的會有所差異。

折射率的測量乃根據光從某一個介質穿過另一個介質時，光所變化的角度的彎曲程度定義之。假設我們在兩介質之間畫一條垂直線(法線)，上半部為原介質($n1$)，下半部為穿越的介質($n2$)，而光在原介質之入射線(a)與垂直線之夾角即為入射角($\theta1$)，而當光線到達兩介質之介面時，產生了折射光(c)與反射光(b)。而反射線與垂直線之夾角即為反射角($\theta3$)，折射線與垂直線之夾角則為折射角($\theta2$)。上述如圖 5-4 所示，並根據司乃耳折射定律其關係式為 $n1 \sin\theta1 = n2 \sin\theta2$ 且 $\theta1 = \theta2$ 。

圖 5-4 光的折射與反射

我們觀察圖 5-3 與圖 5-4，其圖 5-3 的雷射光就是一個入射與反射的表現，因為雷射在壓克力管內與空氣就好比兩個介質，因此入射光打在兩介質的界線形成一個反射，形同鋸齒狀網光纖縱軸前進。

而目前於地下電纜洞道所使用的光纖測溫電纜也是利用這個原理。光纖內部的纖芯與光纖包層為不同介質，當光波載運於纖蕊內，在兩介質形成一個光邊界，故產生了入射與反射。

當光波從折射率大的介質進入折射率小的介質，從司乃耳折射定律可得知，如果入射角持續增大至等於臨界入射角(θ_{1C})，此時折射角等於 90 度，也就是完全垂直於法線。如果我們持加大入射角大於臨界入射角，此時就沒有折射得到了一個全反射，如圖 5-5 藍色線所示。

折射

全反射

入射

入射

反射

圖 5-5 全反射

因此，我們可以利用這樣的原理，當我們調整入射角達到全反射的目的，則就不會有折射所產生的損失，使得光線可以傳到很遠的地方，也就是我們之前提到的光纖低損耗的由來。

但是，實際上光纖仍會有些許的損耗來源，我們試想，前面所講的全反射是建構在一條水平全直線的光纖上，但是實際上光纖電纜運作於電纜河道內是有可能有彎曲的機會，也就是隨著輸電電纜前進方向，造成轉彎或上升與下降的可能性存在。假設目前入射角已設定大於臨界角，當光波通過彎曲的區段時，如果彎曲度夠大則會讓入射角縮小，若入射角降回小於臨界角就會產生折射，造成光纖輸出功率小於輸入功率的現象。

另外，屬於光纖本體內部的缺陷，諸如包層與纖蕊之介面不平整，纖蕊材質製程的不完成所造成的缺陷，也會使得光纖在傳輸上造成損失。

(3) 基於 OTDR、OFDR 之分佈式光纖感測技術

為利了解 OTDR 與 OFDR 與光纖測溫之關係，我們必須先了解散射現象這種普遍的自然現象。散射主要分為三種：瑞利散射(Rayleigh scattering)、拉曼散射(Raman scattering)及布里元散射(Brillouin scattering)，其關聯性如圖 5-6 顯示。舉例而言，當我們肉眼觀看天空在白天、黃昏及清晨所展現的顏色都不一樣，就是光波與大氣層作用下所產生的拉曼散射，而又好比月球，因為沒有大氣層，不管白天或晚上天空都將是黑色的。

圖 5-6 光散射之波長與強度示意圖

一般來說瑞利散射其能量最大，而拉曼散射及布里元散射乃入射光在介質內發生彈性碰撞所引發的，且三者之中拉曼散射其能量最小。纖蕊內的石英玻璃是一種無定形固體結構二氧化矽(SiO₂)化合物。熱量引發固體結構內的晶格振動，鐳射振動間的相互作用導致散射光的光譜中多了兩條額外的線。這兩條被稱為斯托克斯

線和反斯托克斯線，其變化量與晶格振動的強度直接相關，借此可以推出該區域的溫度，而目前分佈式測溫技術領域上，上述技術在分佈測溫上其空間分辨率較高。

因此，我們從圖 5-7 可得知，從光纖散射回來的光包含三種不同的光譜：第一，波長等同於原激光源的瑞利散射，具有較高波長的斯托克斯線，光子在其中生成。以及具有比瑞利散射更低波長的反斯托克斯線，光子在其中被摧毀或變化。

所謂反斯托克斯線的強度是隨溫度變化的，而斯托克斯線的強度則與溫度無關。光纖的局部溫度可由斯托克斯線與反斯托克斯線的強度比推測與傅立葉轉換得出，如圖 5-8 所演示。

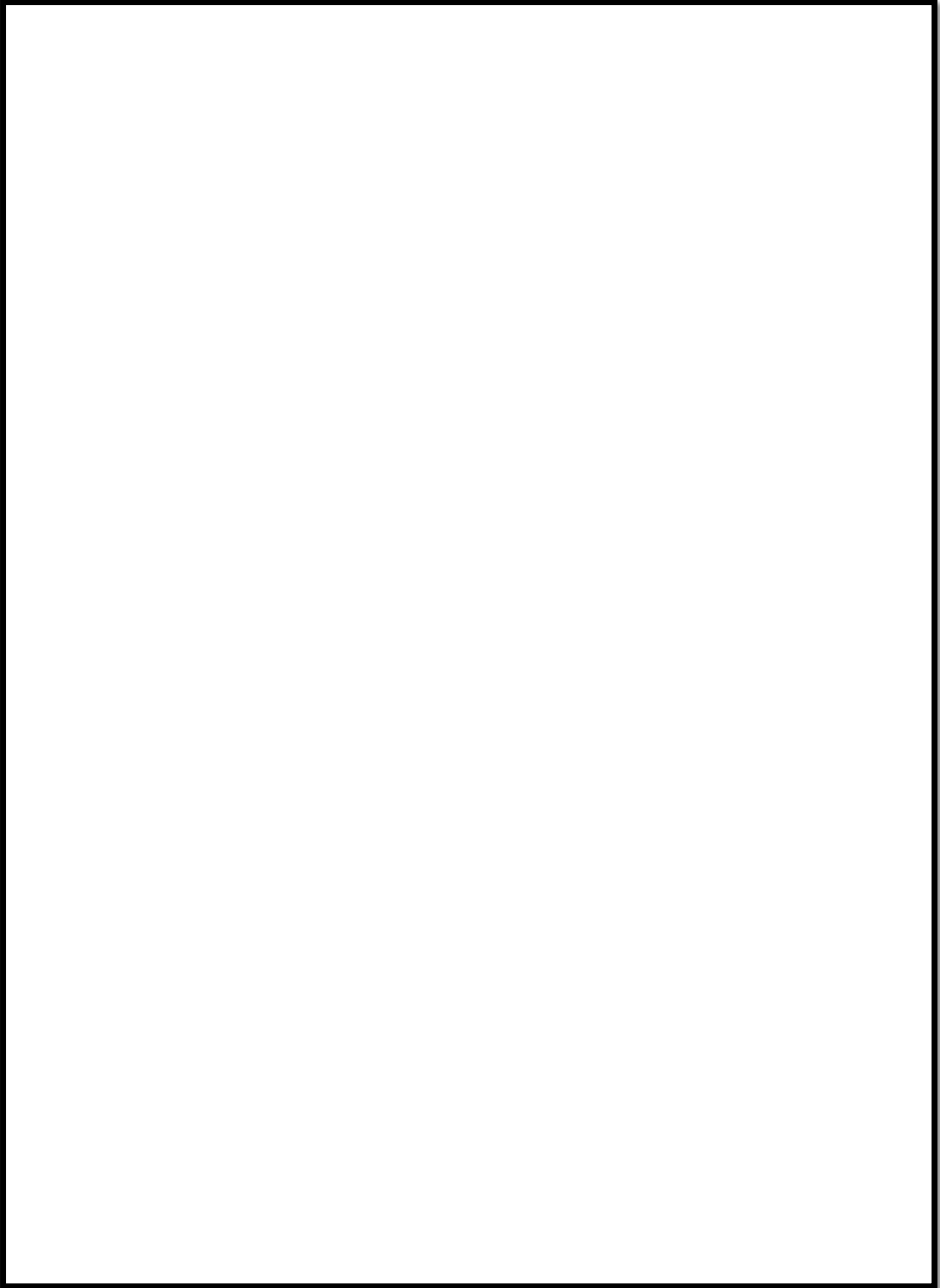


圖 5-7 晶格振動與散射的關連性 (REF. LIOS TECH.)



圖 5-8 OFDR 技術原理 (REF. LIOS TECH.)

光頻率反射技術(OFDR, Optical Frequency Domain reflectometry)與光時域反射技術(OTDR, Optical Time Domain Reflectometry)相比之下有較高空間分辨率，在相同的條件下，所需要的光源光功率要小的多，避免了拉曼散射及布里元散射所產生的非線性散射，因此對於電纜設置分佈測溫系統領域上有廣泛的遠景。

國外目前針對 OFDR 電纜分佈式測溫系統已經相當的成熟，且已實際運用於設備生產且運用於電纜洞道當中。

當光源被轉換成不同頻率，增幅與相位的訊號從光纖被傳送回來並量測後，再利用傅立葉運算增幅與相位訊號，提供訊號的空間分佈圖，這是取得良好光源訊號的最佳辦法，這 10 年來一些國外設備企業，運用 OFDR 的基礎原理建構設備，乃半導體雷射溫度感應不可或缺的策略，減少快速檢測配備的需求和改良連續準確光源與相位的訊號與雜訊品質。比較之下，OFDR 長距離量測並不會受到脈衝擴散影響，並精準的顯現 0.5 至 1 米範圍的溫度特徵圖。

因此我們可以藉由上述的解釋稍作整理得知：OFDR 在檢測原理是架構在一個連續可調頻光波信號，而 OTDR 則是一個固定且重複的光波訊號，兩這之間 OTDR 較為消耗功率。OFDR 藉由斯托克斯線與反斯托克斯線的換算，與 OTDR 相比，有不受散射干擾的優點。

另外，OTDR 是透過雷射光不停的一開一關，並接收與計算光在來回過程中的延遲時間去計算溫度的變化，也因為如此容易受到散射與光纖彎曲的干擾，且也因為上述原因，其消耗的功率比 OFDR 來的大，也較容易加快設備的磨損。但整個分佈式光纖測溫技術是始於 OTDR，OFDR 則是近幾年開始被廣泛的運用，係為 OTDR 衍生改良的新型態測量技術。

另外，在輸電電纜分佈式光纖測溫技術上另一個重要課題及為導體溫度的預估與監測。在前述檢測討論上，乃將測溫光纜佈放於電纜之三相表面，亦或是節省成本等因素，直接將測溫光纜放置於品字型佈設電纜中央，達到測溫的功能。

但是，以這樣的檢測技術而言，因輸電電纜其結構特性，倘導體本身受到送電容量等因素而攀升，測溫光纜實際測得電纜最外層之溫度變化勢必有所延遲。因此，分佈式光纖測溫系統透過設備等能力去得知導體本身溫度的變化，係也是相當重要的一環。導體本身的溫度取決於送電容量，但是其他因素如：土壤、管線路熱源、佈設方式等與其它環境周圍熱源都會影響其導體本身溫度。對地下管線溫度即時監控(RTTR)與分佈式測溫系統結合，也是現階段針對地下輸電電纜分佈式測溫系統架構上，非常值得進一步探討的課題。

即時載流量分析能降低分佈式溫度監測系統的不確定性，在特殊與緊急情況發生時，將可扮演很重要的角色，如圖 5-9 所示，當輸電電纜內部溫度，因為送電容量的增加或其他原因造成電纜導體溫度上升，我們從圖可了解，電纜外層的測溫光纖所得之溫度與電纜導體所得知溫度，其斜率以及出現變化的時間並不一定呈線性變化，甚至可以發現導體溫度已經上升，但電纜外層溫度一開始還處於下降的趨勢。

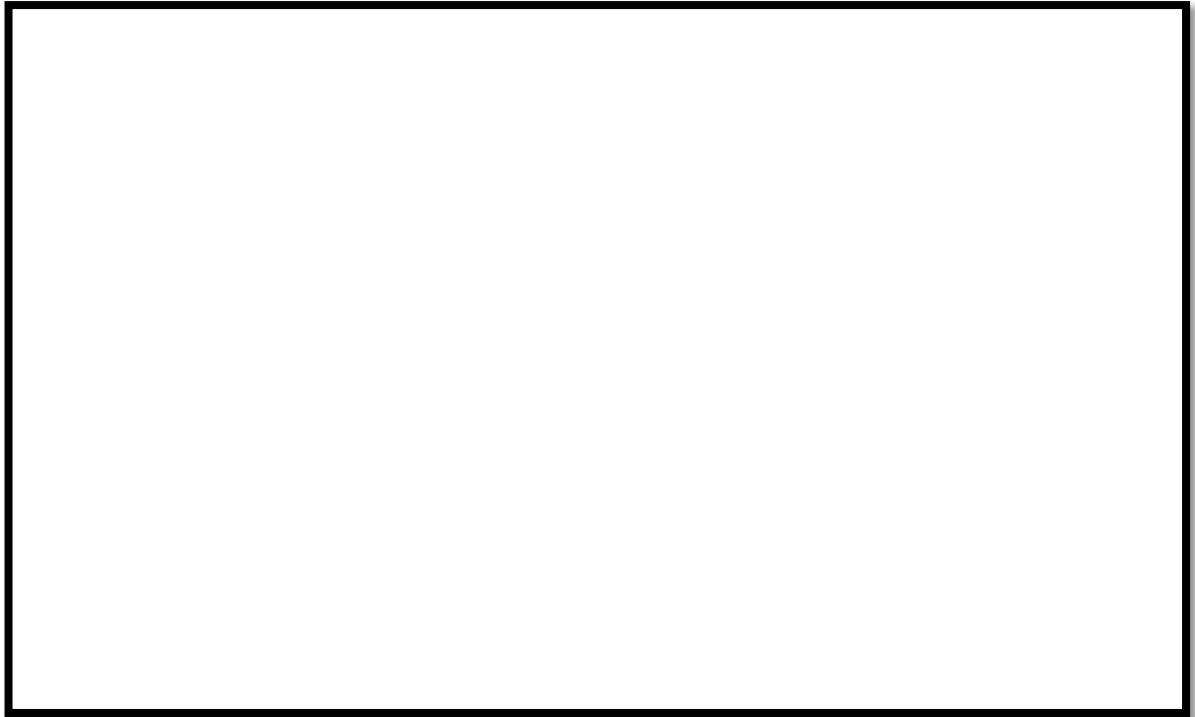


圖 5-9 導體與電纜外層溫度變化 (REF. LIOS TECH)

(4) 中國分佈式光纖技術與建設現況

中國大陸有許多研究機構投入分佈式光纖測溫的研究，從早期的空間分辨率只能達到數公尺以上且長度也只能在 1km 以下，之後隨著激光二極體的蓬勃發展以及隨著基於瑞利散射、布里元散射、拉曼散射之研究，進步至將空間分辨率降至 1 公尺以內且長度達 5km 以上。

我們可從一個實際案例來探討，嘗試了解目前中國大陸有關光纖測溫運行上有哪一些實際的案例，可作為我們維護或建構智慧型電網運行模式之借鏡。

這個案例發生在中國的廈門，線路為 220kV 的 XLPE 電纜，線路長度 2500 公尺，全線佈設測溫光纜作為運行狀態監控。案例經過為某日電纜維護人員發現編號 A(30 號井)之工作井，電纜的表面溫度有緩慢上升的趨勢，並隨著數日的觀察發現電纜表面溫度有加快之趨勢，如圖 5-10 所示。

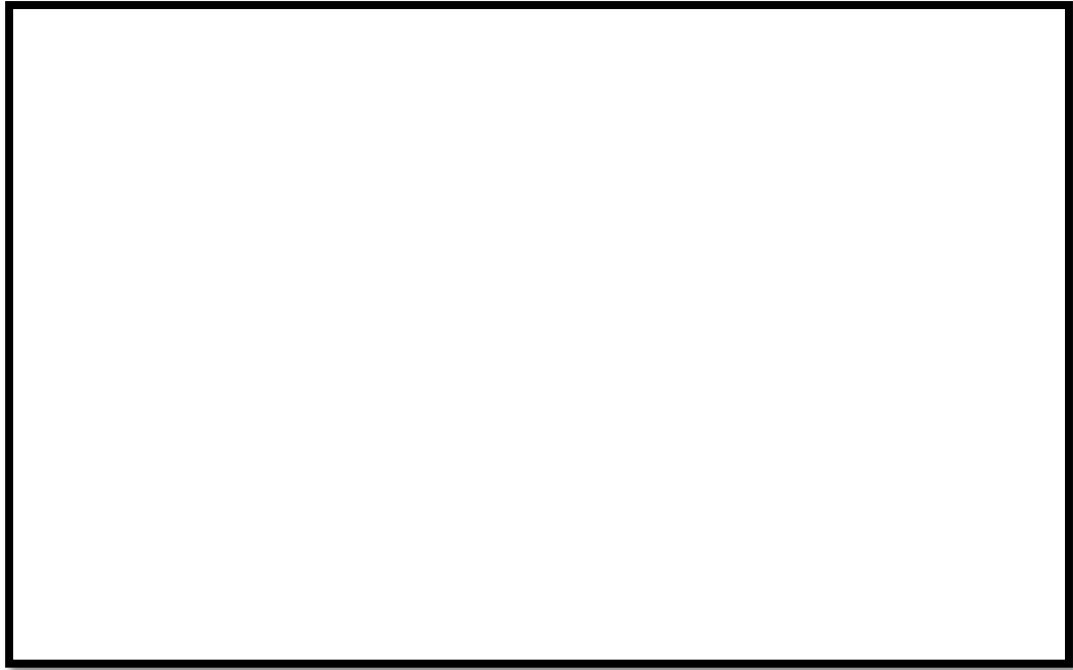


圖 5-10 導體與電纜外層溫度變化
(Ref. 中國高電壓技術月刊, Dec. 2008, Vol.34)

為利了解實際狀況，維護人員赴異常地點進行開蓋檢查，發現該處工作井內積水嚴重，並且試探水溫明顯有異常高溫的現象。因此，著手將該工作井進行抽水作業，以利下孔進一步檢視。

當抽水作業過程進行當中，發現藉由測溫光纜所回報的異常區域溫度已經上升到達警報溫度之攝氏 58 度，且靠近異常工作井附近之表面水溫已達攝氏 84。因此，在洞道水抽淨之後，發現 CCPU 保護裝置有近水的狀況，可推判此異常乃 CCPU 保護裝置浸水造成循環電流異常而由電纜對環境加溫所致，且實際開箱檢查獲得證實。

由於異常的 CCPU 保護裝置於洞道的上方位置，從環境測溫光纜與下層的電纜表面之測溫光纜數據可知，上方光纖溫度較電纜表層溫度高，此系統紀錄也證實了實際查修的結果。針對上述結果，我們從圖 5-11 針對此異常作進一步分析：

在曲線起點為初次發現異常溫度上升日期，隨著抽水檢查後，洞道環境溫度隨即下降。並且於抽淨之後溫度又小幅度波動，因此針對此回路進行洞道強制送風加速散熱，隨即發現系統溫度曲線大幅度下降，且因為此時系統強制送風關係，溫度約在攝氏 30 度左右波動。接下來，事故處理當日晚上送風作業停止，可以發現溫度又再上升，因此系統又自動開啟風機進行降溫動作。而隨著查檢於最終系統回復到正常溫度值約攝氏 29 度左右。

在本報告重點將不放在事故原因分析，但職只希望藉由這個案例讓各位報告讀者得知，佈放環境測溫光纖以及電纜表面的分佈式測溫光纖，的確可提供一個有效且立即的維護警訊讓維護人員理解，並做進一步處置。



圖 5-11 線路查修過程之溫度變化
(Ref. 中國高電壓技術月刊, Dec. 2008, Vol.34)

我們從上個案例了解，若在重要線路加裝測溫光纖的確可以提供維護人員一個有效的維護參考依據，但除了上述優點以外，對於電纜運轉現況的載流量也可提供

一個有效的參考依據，當多個重要線路運轉中或特殊情況(例如重大活動之主幹線路)，也可提供一個有效資訊供調度人員作立即的應變，我們將由下一個案例進一步探討。

接下來我們要討論的案例為中國大陸在舉辦 2008 年北京奧運前，為利此大型奧林匹克活動的順利進行，在 2006-2008 年間重新審視及建構完整可靠的供網系統。其中在 220kV 的系統當中有一重要回線建構了分佈測溫光纖電纜系統。

上述線路全長 7km 為 1000mm² XLPE 電纜，並使用目前市場上最先進的 OFDR 分佈式測溫技術，除了系統有極高靈敏度 1.5m 空間分辨率(Spatial Resolution)之外，所使用的光源為連續調頻雷射光，與傳統の間斷性雷射光源有要較低的輸出功率及靈敏度。系統建構於既有的電纜涵洞之中如圖 5-12 所示，相關線路資訊如表 5-1 所示。



圖 5-12 220KV XLPE 電纜 測溫光纖佈設狀況
(Ref. LIOS Tech.)

表 5-1220kV 電纜線路與測溫系統資訊

線路長度	
絕緣材質	
截面積	
接續數	
空間分辨率	
溫度分辨率	
測溫週期	
測溫原理	
光源	
光纖通道數	

本案例其分佈式測溫光纖鋪設在每一相導體上，隨著電纜佈設方向前進。每一相電纜其測溫系統可分為 12 個區段，其中的 11 個區段觀察線路共 11 處的接續匣，另一組則觀察單相電纜全線的狀態，如圖 5-13 所示。



圖 5-13220KV XLPE 電纜 測溫光纖佈設狀況
(Ref. LIOS Tech.)

接下來我們取其中一相電纜其光纖測溫狀況來進行分析。圖 5-14 為某一相電纜在全長 7km 線路的溫度分佈狀況，我們可以將其分類成四種不同的溫度分佈狀況，首先我們發現溫度最低出現在 3.5km 處，其主要的原因是在這個區段電纜涵洞剛好通過鐵路，因此涵洞深度必須建設在更深的區域以避開鐵路等相關建設。

另外，編號 1 至 2 可發現電纜溫度下降幅度頗大，其主要的原由乃電纜剛好從管路離開進入涵洞，因電纜在封閉的管路中其受空間限制造成電纜熱源散熱不易溫度上升，且在電纜離開管路進入涵洞時，可觀察到明顯的溫度下降情況。上述溫升與溫降的狀況也同樣發生在編號 4 的位置。

在這個溫度曲線當中我們可以發現四個主要高點(編號 3)，其主要的溫度上升原因乃在這些區段此線路剛好與其他中、高壓線路交錯及電纜佈設方式更正成品字形佈設所造成。



圖 5-14 溫度曲線
(Ref. LIOS Tech.)

(5) 拉曼散射原理與 OFDR、OTDR 比較

在本章節最後，特別針對拉曼散射作一說明，其主要的原因是在於分佈式光纖測溫現階段的發展重點，其理論基礎皆著重於此一理論之上，OFDR 與 OTDR 皆是。

為利本出國報告讀者更深入了解其原理，特別解釋了此散射現象。上述兩者主要關連性在於研究的演進，OTDR 是透過分析反射回來的脈衝光源進行測量，其空間分辨率的提高需要縮短光源脈衝寬度，而這導致了光源信號功率的減小和干擾的增加，因此 OTDR 的空間分辨率和信號雜訊比、動態範圍之間存在著矛盾，為解決此問題，在此領域的後續研究提出了光頻率反射分佈式光纖測溫技術。

1921 年，印度物理學家拉曼，在他搭船返國的旅程中，思考著為什麼天空會隨著時間變藍，黃昏與清晨時刻又有不同的變化，而為什麼海洋又會是藍色的奇妙現象，在這樣的好奇心與機緣之下，拉曼開始了這方面的研究，並最終於 1928 年研究出此一散射效應，對於後續全世界物理和化學領域皆有很重要的影響，而拉曼也於 1930 年獲得諾貝爾獎殊榮，故將此一自然的光學散射，稱為拉曼散射。

當光線從一個原子散射出來時，絕大多數的光子都是彈性散射的，這稱為瑞利散射。上述散射現象其能量、頻率與波長與入射光是相同的。但除了瑞利散射之外，有一小部份散射的光子，散射後的頻率會產生變化，原因是入射光和通過的介質發生能量交換。一般把瑞利散射和拉曼散射合起來所形成的光譜稱為拉曼光譜。由於拉曼散射非常弱，所以直到 1928 年才被印度物理學家拉曼發現。

再論之，以分佈式測溫光纖為例，其光通道是石英玻璃所構成，也就是一種無定形固體結構二氧化矽化合物。當環境溫度變化導致上述結構內的晶格振動，因此散射光的光譜中多了兩條額外的線，在前章節有提到，這兩條被稱為斯托克斯線和

反斯托克斯線和晶格振動的強度有直接相關，而又反斯托克斯線與溫度有關，故可推算出其溫度的變化。

六、地下電纜局部放電檢測技術與光纖運用

在目前市場上無論是離線式或在線式局部放電檢測技術，普遍使用光纖的傳光性來降低環境干擾，並透過其遠程傳送低損失的有效因素，建構局部放電檢測系統。另外，輸電電纜之局部放電檢測其技術核心在於如何分辨環境訊號與局部放電訊號，故降低感測器環境之干擾乃局部放電檢測技術之重要課題。

光纖本身其抗電磁干擾且適用於長距離多點式之監控，因在近幾年來配合光纖所建構之局部放電檢測系統，業已成為符合智慧型電網之運行模式之重要課題。

局部放電研究在變壓器、比壓器、比流器以及斷路開關等絕緣狀況評估上，在國內外皆有許多研究文獻。並且針對維護立場在事故前防範於未然，皆有許多成果。有關電纜絕緣狀態評估，在 69 kV 以下之配電線路也有與局部放電相關的研究成果，驗證局部放電檢測對於送電中的線路，可擬出有效的檢測方法藉以瞭解線路的絕緣狀況。但是，在輸電電纜之構造複雜特性與佈設長度限制下，國內有關輸電電纜的局部放電研究仍然有許多的研究空間。

目前屬於離線式的輸電電纜局部放電檢測，主要針對製造完成後電纜進行成品試驗，有關送電前的狀態評估皆將重點放在耐壓試驗與突入電流等絕緣評估。上述的相關試驗主要的重點仍放在電纜狀況是否適合加入系統進行供電。但是，電纜送電前的相關試驗通過後，並不代表電纜內部日後不會產生絕緣劣化，因為絕緣缺陷所產生的放電就類似癌細胞一樣，需要時間慢慢形成。並且除了電纜的製造品質，有關電纜接

續時膠帶所留下的痕跡或者微小物質與任何施工上不慎，都有可能造成往後的絕緣劣化，並且無法於送電前的試驗中發現異常。

為了因應輸電電纜上述的種種特性，近年來針對輸電電纜的研究文獻，提出許多有效的檢測方法提供參考。並且針對電纜事故後續探討上，局部放電檢測也扮演重要的角色。但是，依目前研究狀況瞭解，多數是在已知異常狀況下的評估結果，例如異常聲響、油體洩漏或者為實驗室模擬放電所評估的診斷對策。

局部放電檢測最大的價值是在平時維護程序中能夠發現異常狀況提前處置，才可藉此降低營運損失與提高供電品質。因此，基於上述論點，本報告將配合在中國大陸實習期間所彙整之資料，將局部放電檢測這一領域作詳細的介紹與說明。

➤ 基礎知識與原理

輸電電纜線路，包含了 GIS 電纜終端、屋外型電纜終端以及電纜連接站等，倘藉由局部放電檢測的主要觀察技巧，分析訊號圖譜以及利用流程圖擬出輸電電纜局部放電檢測的處理程序，將對於地下輸電電纜的維護與供電品質有很大的助益。目前中國大陸與本公司使用的檢測設備主要以高頻訊號、超高頻訊號作為檢測範圍，並且為了在干擾訊號中有效釐清電纜內部產生的局部放電訊號，必須利用光纖連接等相關判讀技巧來降低判讀上的應力。

開放環境中的電纜，電纜本體如同天線一般接收不同頻率的雜訊，因此利用電纜接地線截取訊號，環境訊號勢必增加檢測上的困難度，故在部分的中國超高壓線路選用了超高頻的檢測技術串接作為常時監測，而一般維護上，則使用高頻法代替之較多數。

電力設備在安裝過程中可能因組立的瑕疵，造成絕緣體內部產生空洞或雜質，上述的缺陷受電場影響加速游離，因此產生局部放電現象。絕緣體內部缺陷位置的介電常數比鄰近的絕緣材質來的低，當送電電壓達到一定等級，超過缺陷的擊穿電壓即開始引起局部放電。隨著局部放電能量的釋放，對於周遭的絕緣介質產生樹枝狀的破壞，情況持續惡化造成破壞範圍增大，就會造成電力設備的絕緣崩潰。

圖 6-1 假設一空洞存在於電纜絕緣體內部，藉此瞭解缺陷在電纜絕緣體內部放電的原理。當導體通過送電電壓 V_a ，藉由 C_d 與 C_f 的分壓，缺陷點感應了相較於送電電壓一微小電壓值 V_q ，隨著外加電壓 V_a 的上升到達了空洞兩端放電的臨界電壓 V_1 即開始放電，此時空洞兩端電壓隨即降至 V_2 ，上述的過程非常短暫，相較於 60 Hz 之正弦波圖形呈現直線狀，為一脈衝訊號。當空洞兩端電壓持續受到外加電壓影響，再次上升至 V_1 因此又出現放電現象，這樣的狀況在外加電壓正半週會出現數次的放電，並於絕緣材料兩端產生電流脈衝，如圖 6-2 所示。

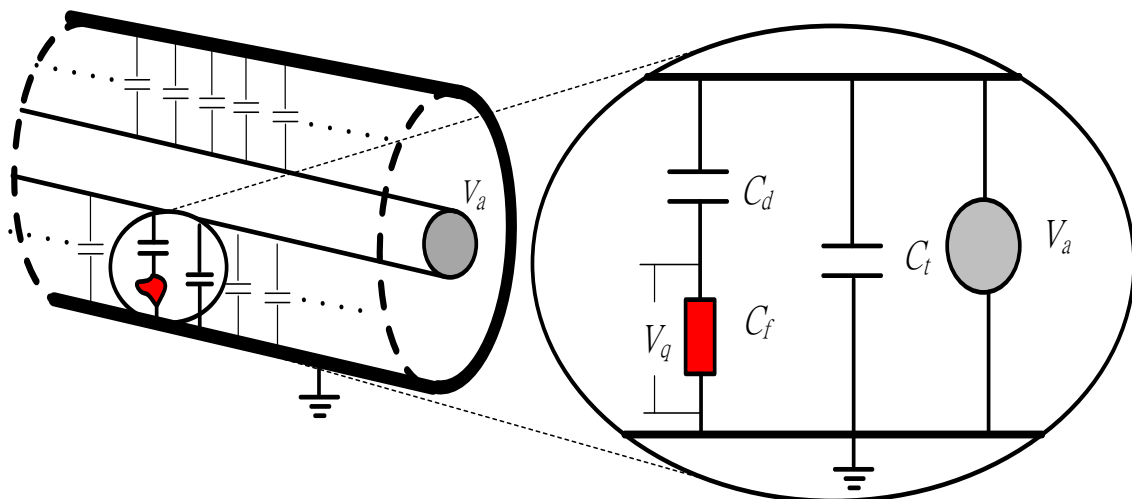


圖 6-1 高壓電纜內部缺陷與等效電路

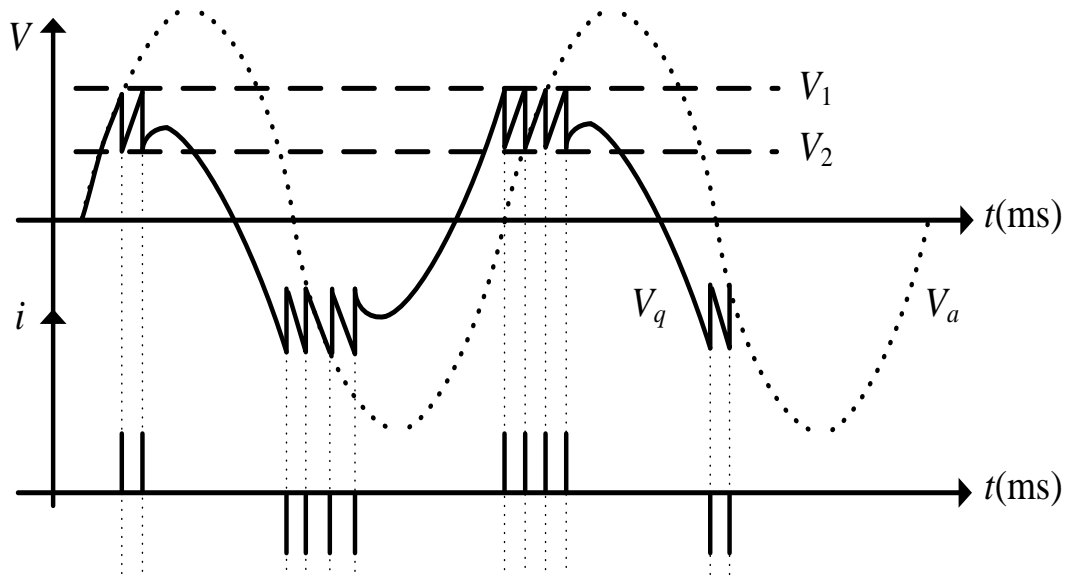


圖 6-2 局部放電過程示意圖

輸電電纜於製造過程中，材料乾燥度不夠或加硫過程中溫度不完全，容易導致水份滲入產生空洞或雜質。缺陷與鄰近絕緣材質有著較低的絕緣破壞強度，因此久而形成樹枝狀分歧，有關上述的絕緣破壞現象稱之為水樹(Water Tree)破壞。至於在電纜接續或終端安裝過程中，因為施工者的不慎，造成絕緣材質受損，或因為導體接續上的瑕疵引發電場集中所產生的絕緣破壞現象，則稱之為電樹(Electrical Tree)破壞。

水樹劣化樹狀空間的產生速度極為緩慢，並且不會有明顯的放電現象。近 20 年來國內電纜製造品質日趨穩定，在製造過程中的中間檢查，從銅導體伸線檢查開始至電纜全數檢驗程序，品質控管嚴格。因此由於水樹所導致的絕緣破壞現象已鮮少發生。相較於施工不慎所造成的絕緣破壞，雖然初期仍然很難檢測出放電現象，但是，一旦電樹生成則極有可能於短時間內產生放電現象並且進一步造成絕緣崩潰。針對水樹與電樹形成位置如圖 6-3 所示。

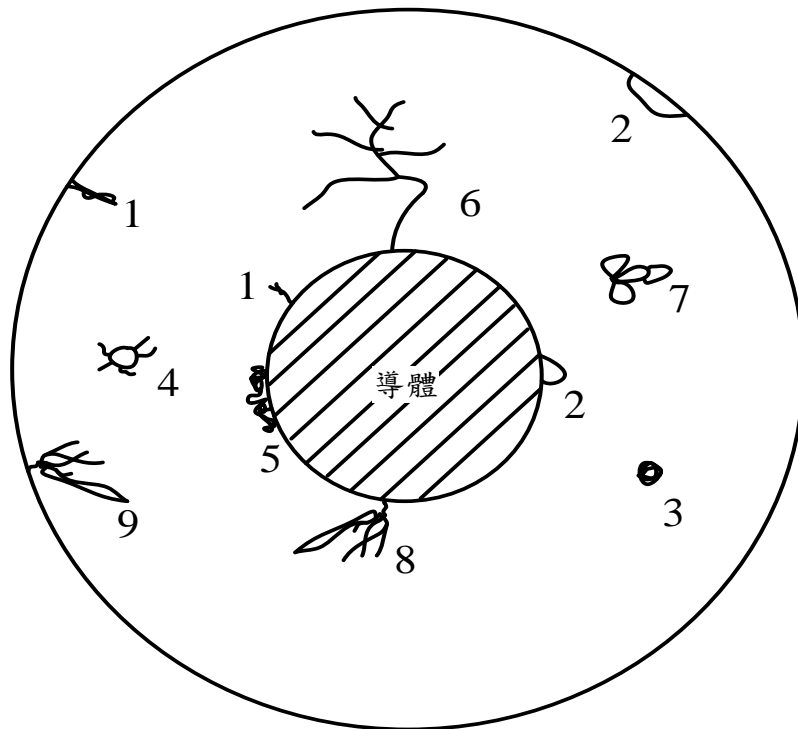


圖 6-3 電樹與水樹形成位置

以下進一步說明各編號位置之形成原因與狀況延伸：

- (1) 因施工不慎，絕緣層受損而引起之電樹。
- (2) 內外半導電層與絕緣層介面有空洞存在。
- (3) 絕緣層內含有空洞，尚未形成樹枝狀破壞現象。
- (4) 絕緣層內含有水份引起樹枝狀破壞現象，為(3)延伸狀況。
- (5) 製造過程三層壓出過程中內含有不純物。
- (6) 電樹，可能為施工不慎所造成，為(1)延伸狀況。
- (7) 水樹，又稱為蝴蝶結樹，為(3)延伸狀況。
- (8) 水樹，導體遮蔽層或內半導電層生長之空洞樹，為(2)延伸狀況。
- (9) 水樹，外半導電層生長之空洞樹，為(2)延伸狀況。

電纜檢測環境中常伴隨著另一種無關電纜絕緣破壞的放電現象，常在變電所開關設備或電纜終端導體引出棒的位置發生。由於戶外型變電所常有架空線路引接與通過，因此電纜線路容易靠近絕緣礙子設備，絕緣礙子串因鹽霧害等其他因素，於表面絕緣材質的腐蝕或雜質的依附，同樣也產生了放電訊號，上述的這類型訊號稱之為電暈放電。當空氣的絕緣強度小於帶電體表面電壓梯度，由於訊號的游離造成氣體電場不均勻，因此引起電暈放電。電纜線路所處環境中的電暈放電不會對於電纜線路造成損害，但是，諸如高壓電力設備或絕緣設備因為維護等因素產生的電暈放電，卻嚴重影響了局部放電檢測的準確度以及增加檢測者判讀上的應力。

➤ 局部放電檢測技術概念

(1)非電氣特性檢測

非電氣特性檢測法，主要利用局部放電訊號所產生的聲波、光和熱等化學變化，經由數學運算比對，進一步取得訊號的來源點。包含有超聲波量測法與紅外線量測法等。此類型檢測法適合區域型的檢測目標，如GIS或變壓器等高壓設備。依據現行常應用的診斷技術，茲將各檢測法說明如下：

● 超音波檢測法

超音波訊號為一高頻短波訊號，頻率範圍在 20 kHz 以上不被人耳所聽見。聲波訊號進入空氣之後衰減快速，檢測距離為訊號收集最大的影響因素。感測器頻帶為 20 kHz 至 100 kHz，對於 GIS 或變壓器等高壓設備可以利用多組集音器達到定位功能。

音波檢測法利用局部放電產生的聲波或振動波去檢測訊號，在不同介質傳遞會

有反射和透過的現象，介質的種類和形狀將決定所接收訊號的大小。音波檢測法可分為非接觸型與接觸型兩種，非接觸型音波檢測法用於量測藉由空氣傳播之放電訊號。接觸型音波檢測法則藉由液體、絕緣材質或金屬傳播局部放電所產生的振動波來診斷。超音波在檢測特性上具有方向性，針對部分的局部放電訊號較為敏感，無法定量的量測，但是相較於其他設備容易做到定點功能。

- **音射檢測**

音射檢測頻率約在 20 至 100 kHz，為一種自然發生的物理現象，藉由一些外部的刺激所形成的彈性波，於物質內一迅速釋放的能量所產生的訊號。當局部放電發生時，藉由電纜各層材質將訊號傳出讓感測器接收。由於高壓電力電纜構造複雜與音射訊號先天傳播速度較慢並且訊號傳遞衰減量大，靈敏度僅限於約一公尺內的範圍。針對輸電電纜而言，接續範圍約在三公尺左右距離，利用此方法不容易找到有效之測量點。並且輸電電纜終端除了引接 GIS 以外，皆屬於開放性設備，在送電狀況下將感測器靠近電源低於二公尺內距離，有恐造成感電意外。因此應用於電纜局部放電檢測上，須配合其他檢測方式來作交叉比對。利用聲波訊號作為檢測對象所使用的感測器有加速規、電容式麥克風、壓電材料以及光聲感測器等。目前聲波的局部放電檢測多利用於故障點定位，當感測器接收不同傳播時間的訊號，判斷變化的幅度與相對應的變化量，瞭解是否為局部放電訊號。實際測量上，在被測物體的不同方位放置數個感測器，同時接收多組感測器所收集的訊號，來判斷局部放電發生的位置。

- **六氟化硫氣體分析法**

屋內室變電所內電纜終端引接絕大數為使用 GIS，並且使用六氟化硫(SF₆)作

氣體絕緣。SF6 氣體溫度低於 150 °C 時呈化學惰性，對高壓設備構體金屬不發生化學作用。但是，在大功率電弧、火花放電以及電暈放電等作用下，SF6 氣體則分解並游離出二氧化硫(SO₂)。因此利用此原理定時取少量 SF6 氣體置入氣體分析儀，檢測 SF6 是否有高溫作用後之化學生成物，判定 GIS 內是否曾經有發生局部放電現象。GIS 內局部放電訊號，主要分為六種類別：

- (1) SF6 氣體中存在可移動之金屬微粒。
- (2) 導體引出點有因為施工不慎存在不平滑、內陷和突起構造。
- (3) 引入 GIS 之電纜終端內部發生局部放電。
- (4) 存在浮動電極(Floating Electrodes)。
- (5) 絕緣支持物附著金屬微粒。
- (6) 絕緣支持物有損傷或有空洞存在。

● 油中氣體分析法

輸電線路中使用充油電纜的數量雖日趨減少，但是對於輸電系統而言仍佔有非常重要的角色。供電中之充油電纜隨負載變化產生之溫度升降與不可預期之局部放電訊號，分別引起熱效應劣化以及電氣劣化。目前有效方法為抽出少量絕緣油，進行油中氣體分析試驗。為了能夠準確採集樣品不受到汙染，採油過程相當重要。實務上採油地點多在人孔內，電纜因為經常處於高溫及潮濕之惡劣環境，因此進行採油取樣時，盡量避免所採取之油與空氣接觸。此外也要注意油與金屬物料之接觸，並隔離氧氣與水份以外之異物混入油中，防範採集之油品受到汙染。

- 檢測頻率彙整

非傳統局部放電檢測法提高了檢測的靈敏度與濾除雜訊的能力。但本報告介紹的各種方法目前並沒有公認的指導方針與規定，來說明何種高壓電氣設備適用哪一種檢測法。慣例的經驗法則與檢測技巧，只有在實際的檢測者提出的研究文獻中瞭解。國際標準 IEC 62478 雖已彙整目前市面上主要的非傳統檢測法的相關說明，但是實際使用上只能仰賴後端的測量者所累積的經驗，才能在各檢測目標內，擬出有效的檢測方式並進一步提高精準度。

表 6-1 彙整各檢測法主要數據。使用非傳統檢測，除了瞭解與傳統檢測法關聯性以及檢測設備規範，對於系統靈敏度與設備性能，則必須藉由實際操作才能降低使用上的錯誤與誤判。從表中可以瞭解，除了化學特性檢測，其餘檢測方式靈敏度皆可達到 10 微微庫倫(pC)左右，對於可能危害電纜的局部放電訊號理論上可輕易的檢測出訊號。但是，局部放電檢測困難度並不是在設備的靈敏度。主要關鍵在於局部放電訊號並不容易發生，且環境訊號排除不易。

表 6-1 非傳統檢測法頻率主要範圍與靈敏度

檢測方式	檢測頻率	感測器頻率	靈敏度	定位
聲學	10-300 kHz	30-120 kHz	<10 pC	Yes
化學 (充油電纜)	-	-	-	No
高頻/特高頻	1 MHz-300 MHz	0.5 MHz-80 MHz	10 pC	No
超高頻	0.3 GHz-3 GHz	0.5 GHz-1.5 GHz	<10 pC	Yes

(2) 電氣特性檢測法介紹

輸電電纜局部放電檢測，辨析局部放電訊號的常見方式多為利用濾波器或閘道控制。針對本文檢測目標，為了同時檢測三相電纜訊號，利用多通道的局部放電檢測可提供更多可靠的測量結果，並且結合有效的雜訊抑制功能藉以提升檢測效率。因此針對上述，觀察電纜三相訊號關係，區分不同放電訊號來源為一個有效的檢測方法。

當局部放電訊號出現在電纜其中一相當中，藉由設備安裝於三相的感測器，皆可量測一個高頻電壓訊號並且三相訊號會呈現一定的振幅關係。圖 6-4 說明當一個 R 相電纜內部產生的放電訊號，在時間領域內電壓的變化對於其他兩相電纜所產生的影響。假設檢測者以單相檢測的方式檢測，除了不易瞭解訊號的主要來源之外，大幅提高檢測者所必須花費的時間。並且由於負相序系統的變化，無法進一步分辨訊號是否為外部電暈訊號或者內部產生的局部放電訊號。

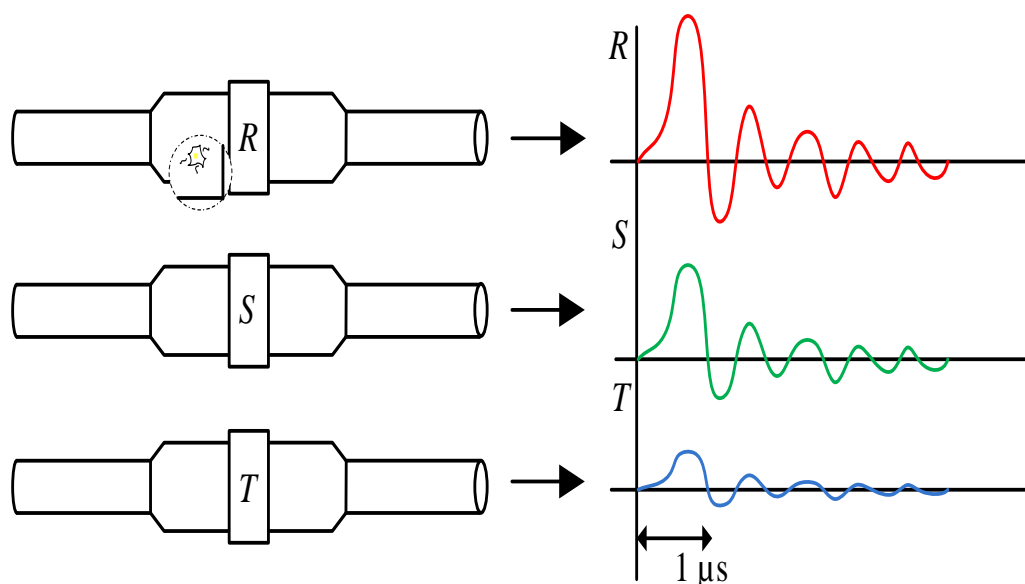


圖 6-4 局部放電對於三相電纜的影響

為瞭解決上述檢測上的困擾，目前國外有使用一利用三相振幅關係圖比對三相訊號的變化，可較易瞭解訊號的來源為何相，並且進一步擷取主要訊號源分辨是否為內部產生的局部放電訊號。三相振幅關係的比對方式，利用設備訊號處理能力，將三相電纜感測器同個時間點皆有存在的電壓訊號量，擷取至同一個振幅關係圖中，主要訊號來源位置將靠近訊號最強的相位。

無論選擇何種形式的局部放電檢測設備，都必須瞭解檢測的理論基礎。倘若在收集檢測目標之訊號後，無法進一步分類，在實際的高干擾的檢測環境中，所收集到的訊號將是雜亂的圖形無法進一步做判讀。針對高頻局部放電檢測設備，在開始測量前必須注意以下幾點以確保檢測資料的正確性：

- (1) 瞭解參考電壓是否穩定，避免接收的訊號隨著參考電壓浮動。
- (2) 各相的中心頻率與頻帶寬度必須一致，避免各相觀察之頻率不一致，所收到的訊號將無關聯性。
- (3) 檢查校正值的倍數，在開始測量前先行確認各相模組的分頻器因子是否穩定，倘若數值異常，表示訊號的來源不穩定，必須先排除異常原因再行檢測。

(3)電纜局部放電檢測在不同介質下的特性

局部放電檢測技術應用在輸電電纜的絕緣評估上，進步的速度可謂是相當緩慢，而要針對特定線路或回線興建整體式檢測儀器其實不困難，但目前此方面的設備建置成本頗高，甚至有局放檢測設備與所監控的電纜建置成本，費用有旗鼓相當的狀況，相當然爾對於後續的維護與保養勢必造成不少的負擔。

除了上述所提之建置成本問題，局部放電運用於輸電電纜另一嚴重問題乃判讀

上的難度，我們從前章節描述，我們可以了解，電纜的放電訊號因其形成的原理特性，訊號強度會時有時無，判度之依據無法從一次的檢測結果進行定論，且隨著不同的絕緣材質，其判讀的技巧與方法也必須隨著現況修正，因此大幅提高檢測難度。

在本次出國實習期間，所接觸的電纜屬充油電纜為多數，而藉由與當地技術人員討論，以及在去年參加 CEPSI2012 其間所得之資料，重新修正對於判讀上的一些方式與技巧並進行整理作以下的說明：

我們以一個實際的充油電纜檢測案例來討論，此線路檢測時所選用的測試頻率中心為 5 MHz，並且選擇 1 MHz 頻寬進行檢測。在初步的檢測評圖譜上，因為檢測標的物是在變電所開放空間，因此背景訊號非常混亂，因此我們試著將檢測頻率提高至 8MHz，但其結果還是無法做詳細的判讀。

為了釐清雜訊覆蓋嚴重區域內之訊號分佈，利用相角、電荷量以及每秒脈衝數之三維關係進行觀察進而在 S 相觀察到一組 180° 相位差關係的訊號，並且在不同測量時間點仍有上述的訊號存在。為了瞭解目前的檢測結果是否為內部產生的局部放電訊號，必須另外安排時間將油體送檢，並且使用其他的檢測設備再次進行評估。

電力設備內部故障之早期，通常先有絕緣油或固體絕緣物之局部加熱，使有機物熱分解因此出現障氣。障氣為可燃性氣體成份之總稱，一般有氫氣、甲烷以及乙炔等氣體。可燃性氣體的總量與各成份氣體含量以及增加傾向的研判，可作為判讀是否有電弧放電或局部放電的參考依據。

表 6-2 為本線路之 S 相歷次的油體分析資料，針對充油電纜主要的關切目標為乙炔與氫氣的含量，當乙炔或氫氣含量增加則有可能內部有電弧放電或者局部放電的現象，並且必須配合其他數據之量值，判斷該次檢測是否有取油瑕疵導致資料異

常。在第 1 次之例行檢測資料中發現 S 相油中並沒有乙炔含量的問題。但是，藉由局部放電檢測發現異常訊號後的油體分析資料，發現乙炔含量有上升的狀況並且氫氣含量也有過高的情形。

雖然在第 4 次的油體分析結果乙炔含量下降，但是，觀察第 4 次的檢測結果中的氧氣含量明顯有偏高的情形，極有可能為取油過程不慎造成油體混雜環境氣體成份，並且上述的瑕疵也可能造成氫氣含量明顯下降的主要原因。

因此第 4 次的檢測資料並沒有太多的參考價值，必須再藉由其他時間點進行採樣分析。從第 2、3 次的油體分析之乙炔與氫氣之異常變化，這樣的分析結果與前次的局部放電檢測所疑似異常的訊號來源為同一相，為了評估目前檢測結果的正確性，必須再次使用第二組電氣特性的局部放電檢測設備進行評估。

表 6-2S 相之油體分析結果檢測單位：PPM

採樣時間順序	4	3	2	1
氧氣	23696	5384	1912	4100
氫氣	79583	23515	8547	18884
二氧化碳	162	74	69	76
一氧化碳	21	21	20	26
氫氣	49	147	147	30
甲烷	34	28	22	37
乙烷	10.5	12	13	13
乙烯	107	93	83	143
乙炔	27.8	59.5	54.9	-
可燃性氣體總量	249	361	340	520

依目前本案利所使用的電氣特性局部放電檢測法，皆將測試頻率停留在 1 MHz 至 10 MHz 之間，試著在眾多環境訊號中釐清放電訊號。在國外局部放電研究文獻

中，有提出利用局部放電零點交越的原理比對相位關係，作為區分外部干擾與內部局部放電訊號之依據。但是，於實驗室內利用針狀電極在開路的情況下逐步加壓，瞭解檢測設備收集之訊號所呈現的相位與振幅關係，針對輸電電纜檢測上，實際驗證資料仍略嫌不足。

因此利用相位關係直接定義訊號的類別，在本案例目前檢測進度仍無法找到既有局部放電現象電纜情況下，並不妥當利用上述的方法直接判斷訊號的類別。因此有關相位分辨技巧仍需仰賴更多的實際案例，才可評估上述方法利用於輸電電纜檢測上實際的佐證價值。

除了利用相位判斷訊號的類別，另一個有效方式為將檢測頻率範圍提高至超高頻範圍進行檢測，藉以避開大部份的干擾訊號。並且將感測器與設備之通訊線換成光纖以予代之，以利獲得更乾淨的訊號與訊號圖譜。在一般的電器環境中(變電所等)其主要的訊號都落在 30 MHz 以下，因此在利用 VHF 設備進行檢測時，外部訊號干擾嚴重並且容易擷取到類似內部放電的外部干擾訊號。

有鑑於上述背景訊號在各頻率範圍內特性，利用一組全頻式的感測器，訊號接收範圍為 0.5 MHz 至 1.5 GHz 之間，將感測器架設在電纜終端下方之接地線引出點位置進行訊號的收集，而因感測器信號線以利用光纖代之，也大幅降低了環境的干擾。

利用感測器接收 1.5 GHz 以下訊號，並且利用濾波器選擇適當的檢測頻率範圍進行檢測。主要的診斷對策為以 50 MHz 為單位逐步增加濾除之範圍，並且觀察訊號整體活動量，選擇易於觀察且整體訊號不完全被濾除的情況下進行判讀。

將檢測頻率提高避開雜訊，觀察放電訊號在更高頻率範圍內是否仍然存在，為

目前市場上被廣為討論的檢測技巧。但是，隨著檢測頻率提升造成感測器靈敏度衰減，並且檢測設備所收集的訊號範圍距離也隨之下降。依實際的檢測經驗，觀察頻率範圍至 300 MHz 之上，此區域內訊號衰降量大並且感測器所能評估的訊號範圍衰退嚴重，整體訊號圖譜活動量極低。在 161 kV 以上之電纜終端長度約在三公尺以上，恐無法得到客觀的檢測圖譜。有鑑於此，依目前的超高頻電氣特性檢測經驗，觀察 150 MHz 以下訊號為較客觀且普遍的作法。

藉由第二組電氣特性之檢測設備，此案例之檢測結果，在各相間並沒有發現第一組電氣特性檢測設備上所觀察到的疑似放電訊號。藉由本次的實習過程與相關人員討論，上訴此等矛盾的檢測結果，其實普遍出現在充油電纜的絕緣評估上。其兩組設備判讀結果相異有以下兩點主要原因。

第一個可能原因為，在 VHF 所觀察到的疑似放電訊號，屬於長時間存在於線路環境當中的背景訊號，隨著觀察頻率的提升，離開了背景訊號存在的頻率範圍，因此無法在 150 MHz 以上頻率被檢測。局部放電訊號所存在的頻率範圍極為廣泛，理當在上述頻率範圍內仍然可以被感測器接收，因此疑似的放電訊並不屬於電纜內部產生的局部放電訊號，對於輸電電纜並無立即的危害。

第二個可能原因為，先前所觀察到的訊號極有可能為充油電纜內部絕緣油在過往的維護程序或取油過程不慎，導致空氣混入油體內所形成之空洞的放電現象，並且放電現象所形成之障氣，存在於絕緣油體中造成油中氣體分析出現異常。在充油電纜之構造特性，隨著溫度變化電纜內部油體因此擠壓流動，上述的缺陷充油電纜有能力自行修復，並不會危害到整體的供電穩定性。

因此我們從上述案例可以了解，局部放電檢測目前判讀上依目前本文的研究進度，只能靠日後定期的維護再次評估電纜的絕緣狀況，無法再進一步深入瞭解。但

是，整體的檢測資料對於日後的局部放電檢測仍有很大的參考價值。

➤ 光纖傳感性運用於局部放電檢測：

在本章節目前所述，皆是利用光纖的傳光性與高抗干擾能力，協助局部放電檢測其訊號干擾嚴重的問題。除了利用光的傳光性之外，在局部放電檢測上也可利用光的傳感性的理論，進行排除干擾訊號的問題。

以目前主流作法無論是高頻法、超高頻法、非電氣特性檢測法皆是使用一般的感測元件扣在電纜接地線上或將傳感器接觸電纜設備。而本小節要提出的檢測法是：直接使用光纖作為傳感器觀察局部放電電流，而這樣的作法有以下幾點優點：

- ◆ 光纖不像傳統感測元件，無鐵芯存在故不存在磁飽和、諧振等問題。
- ◆ 不受環境訊號影響，可完全排除環境訊號干擾。
- ◆ 光纖成本低廉，且重量輕體積小，不像傳統感測器之電磁線圈笨重且受地理環境限制。
- ◆ 響應速度高，利用多股光纖可同時達到傳光與傳感之功能。

上述所述之檢測技術建構在法拉地定律及安培定律之下。我們先從導體電流進行探討：當電流射入一平面時，在自訂的封閉曲線會有有磁場產生，以大拇指指向電流方向，四指環繞方向及為磁場方向。也就是說當電流射入紙張平面，磁場方向為順時針，因此若我們目前在電纜線路旁邊，電從甲變電所送往乙變電所，而當我們面向乙變電所時，電纜線路無論佈設方式為何，所看到的磁場皆為順時針旋轉，。

另外，法拉第定律使我們了解，此種磁光效應，係指光在一個介質當中傳送時，

光與磁場的一種交互作用，假設目前我們透過偏光器將光纖內的光束轉變成線偏振光，偏振光通過路徑若與磁場交互作用，會造成偏振光旋轉的現象，且旋轉的角度與磁場大小、導體電流大小成正比。而偏振光可進一步分解為順時針與逆時針轉向之偏振光，透過測量兩者之相位差，可推算出受測物(電纜)之磁場強度。

圖 6-5 磁光效應
(Ref. Wikipedia)

當電纜導體通過電流且透過上述設備檢測，即可在我們的檢測元件上因磁場強度的變化獲得一常時的參考訊號量，假設目前電纜內部產生局部放電訊號，改變了目前的參考訊號量，在透過上述技術排除了外部干擾的影響，所獲得之資訊皆來自於電纜本身，故可判斷是否有放電訊號來自電纜內部，與傳統設備比較，省去了排除干擾訊號造成誤判等情況。另外，此類檢測技巧必須克服兩個問題：第一：在同一個人孔中其他導線所產生的磁場對於目前檢測目標的影響。第二：光纖因彎曲所造成的損失。

依目前研究階段，上述兩種問題並非無法解決，倘透過進一步的研究與開發，未來實際運用於輸電電纜絕緣狀態的評估上，將可有效的解決環境干擾問題，獲得有效的局部放電訊息，提供維護人員一個有效的評估依據。

參、感想與建議

記得去年參加 CEPSI2012 亞太電協會議時，在 Smart Grid 的 Keynote Speech 會議當中，主講人談及智慧電網時的一句話讓職印象非常深刻，他說：有關輸電線路之智慧電網發展與維護之關連性，其實不需要刻意去分類與探求，因為兩者本來就是一體。

沒有錯，智慧電網的發展橫跨發電、輸電、配電等設備的開發及運行模式的探討，但單以輸電電網的開發論之，的確與維護息息相關。因此我們必須透過檢討現有的維護方式，在新式監控設備的投入或現有維護管理模式的精進，以提升電網供電品質及降低維護成本，乃智慧電網開發之真諦。

我們可從另一角度探討，為何電纜維護與智慧型電網開發密不可分。在國際大型電力系統理事會(International Council on Large Electric Systems, CIGRE)之 B1，此部門為專門針對高壓電纜維護工作研究而成立，其研究近幾年之主要方向即可窺知為何電纜維護與智慧電網有密不可分之關係：

- (1) 電纜故障分析與統計
- (2) 在線檢測技術於維護程面之有效應用
- (3) 運行中電纜之絕緣評估

我們從上述 B1 研究小組目前主要的研究方向可知，無論是在故障分析、在線檢測或絕緣狀態評估，皆為未來電纜維護工作上極為重要之課題，並藉由前章節貳、四介紹可了解，上述項目也是目前世界主要國家之智慧電網開發重點。

此次參訪時間雖然只有短短七天，但職希望在感想與建議這個區塊，以目前

收集到的資料與實習期間所聞所見，彙整中國大陸之試點計畫有關電纜維護方面進行心得討論，希望藉由此區塊的感想，期藉己微薄之力，得以對公司在地下電纜之智慧電網開發與研究中有所助益，才不致枉費本次出國實習之目的。

本次實習期間很榮幸可參訪到國家電網公司在智慧電網開發中的試點計畫，從實習期間所見之新式維護管理的改變速度，可明顯感受到中國大陸試圖領導亞太地區之智慧電網開發之領導地位，並且預定於 2020 年藉由全國各地的試點計畫，垂直整合新式維護方式，完成 [堅強智慧電網]之開發計畫。

在此議題上若以整體開發經費論之，中國大陸的確佔有較高的優勢與運作空間，但從現有技術層面考量，仍有許多我們值得探討的地方：

(1) 維護資料的管理與透明化

依試點計畫所聞，未來中國大陸之維護報表將全面電腦化，大部分的常態維護資訊將透過程式，將各區資料透過網路進行整合，除了省去大量的紙本作業之外，可透過完成的軟體，隨時查詢各所屬維護部門之維護現況並由維護管理部門提供建議或擬定維護計畫，以補強系統可能潛在之弱點。

例如，紅外線測溫在電纜維護這個區塊乃普遍的維護技巧，針對線路的特性與地區性，維護週期將有所不同。但倘透過已建構完成之維護資訊平台，隨時可了解目前線路維護現況，並了解尚未完成之維護作業或即將來臨的維護期限，而主管機關若須了解此方面之維護訊息，也可透過平台立即取得。

職在這個區塊感受頗深，因目前服務於屏東線務段，可了解查詢維護資料或線路訊息時，若無有效的電腦化管理，將是一件惱人且費時的工作，且容易因人員疏忽，忽略了重要的維護資訊。故在今年的 4 月藉由部門同事的協助，

共同建立了有效的電腦化報表作業，可藉由軟體之篩選功能，查找到想要的維護訊息，除了平時在總處來文彙整資料之速度提升之外，對於本部門的線路維護週期，提供了有效且明確的建議。

因此，職相信維護資訊的電腦網路化與資訊透明化，對一個維護團隊或主管機關來說，都是一個可行的精進方向。以目前中國大陸試點計畫內容中，維護資料的電腦化管理已是既定的趨勢，因此職認為以本公司供電體系來說，若能逐步朝此方向修正，無論是對於總處在維護資料的取得上或維護人員維護作業上，都有很大的助益。

(2) 防範地下電纜事故之作為與電纜附屬設備探討

無論本公司或中國大陸，對於電纜維護上都有一個擾人的問題，及平時電纜洞道或人孔為關閉狀態，但該怎麼維護而又該如何有效的獲得電纜目前運行上的相關訊息，的確是我們電纜相關從業人員一直在思考的課題。

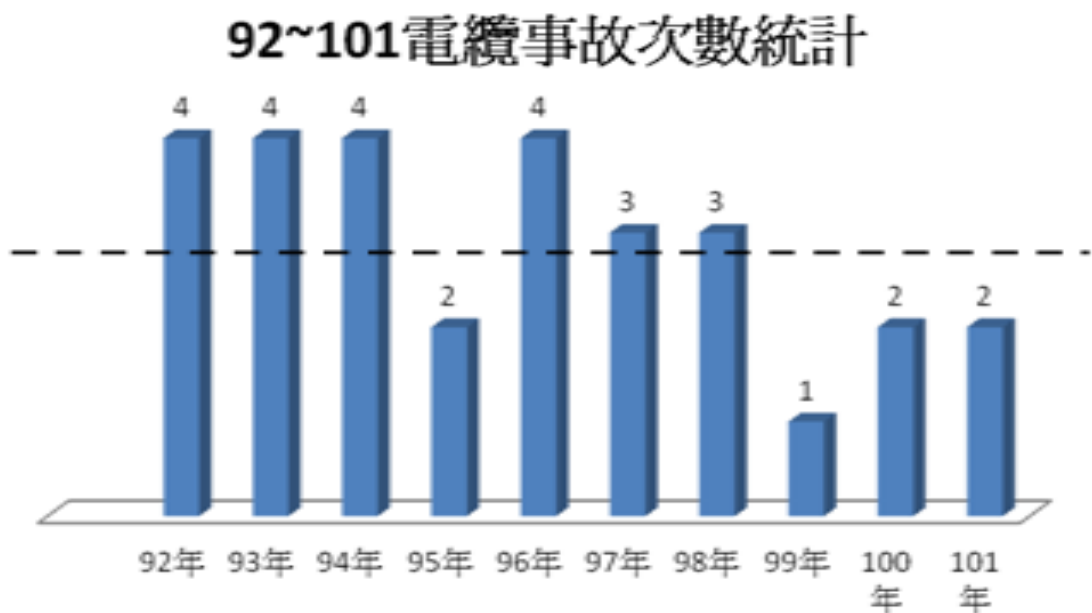
在台灣地理條件與地狹人稠之特性，及電業開發的過程演進之下，我們主要的電纜設備都隨著公路系統建置，也就是絕大部分的電纜設備都建置在一般用路之下層 1.2 公尺左右區域。而相關的管線單位，例如水公司、石化業者、電信公司、天然氣等企業，也都將其管線建置在馬路之下。

中國大陸因土地取得相對容易，並非所有的電纜設備都建置在公路地層，因此在防範地下電纜遭挖損上，我們的確投入更多的人力與精神在此區塊的維護，諸如防範地下電纜遭挖損等具體作為或定期召開防挖會議等，皆是為了防範此不確定之因素，力求降低無預警的的供電中斷及提高供電品質。

有鑑於各項統計數據分析均顯示，造成地下電纜事故之主要原因仍以民眾

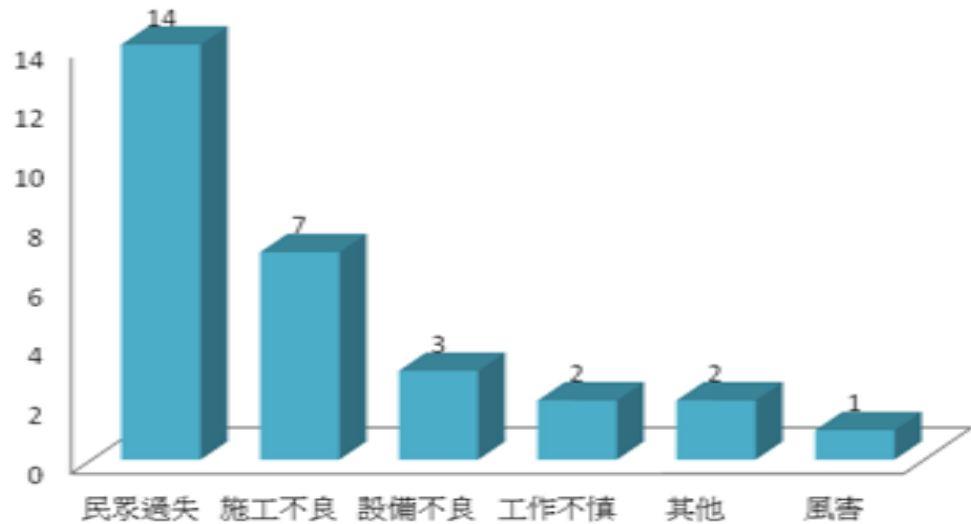
過失(或稱管線旁工程施工挖損)為首位，故本公司須針對此要因訂定防範對策。為避免電纜遭其他管線單位挖損造成事故，最有效方式為派員加強機動巡視，並於管線單位開挖前，應先辦理管線套繪、會勘、試挖，以杜絕事故再發生。另利用『輸配電管線申挖施工管理系統』，查看各管轄區內，是否有管線單位施工及建立民眾通報系統機制，掌握資訊，係為防範地下電纜事故再發生之有效措施。

本公司除依照規定分層負責追蹤管控外，亦由各區線務段依據作業程序書表格規定要求建立管線上(旁)施工管控表，由各管轄電纜分隊確實掌握施工情形。經統計本處 92~101 年間 69kV 級以上輸電線路事故次數總計 29 次，其中以民眾過失事故居首 14 次(佔 48%)、施工不良 7 次(佔 24%)、設備不良 3 次(佔 10%)、工作不慎 2 次(佔 6%)、其他 2 次(佔 6%)、風害 1 次(佔 3%)；相關數據資料如圖參-1、參-3 說明，另也針對事故要因進行魚骨圖分析，如圖參-2。



圖參-1 92~102 電纜事故次數統計

圖參-2 事故要因分析



圖參-3 92~102 電纜事故次數統計

依據目前本公司在預防挖損管控措施上主要的具體作為有：

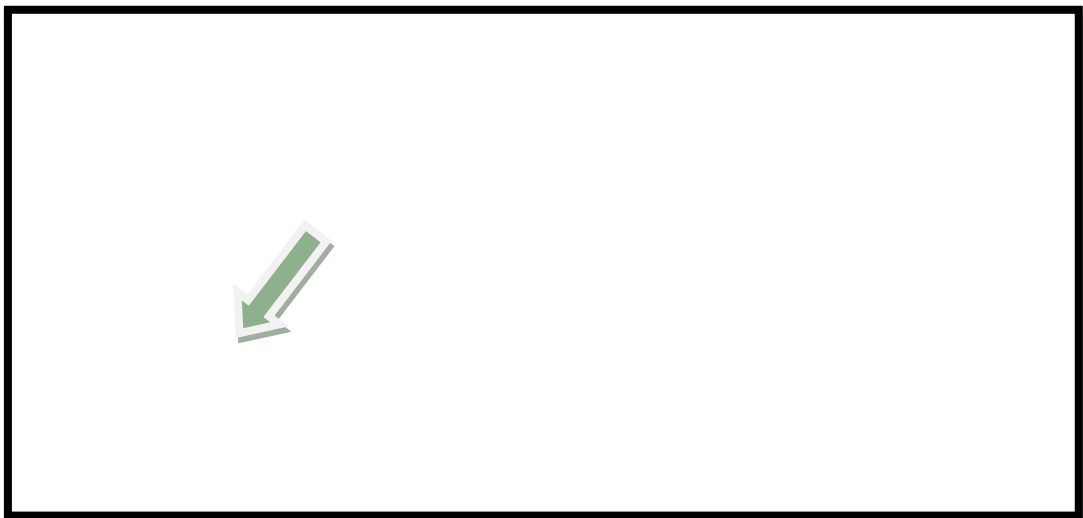
1. 每日由領班上網查閱各縣市政府道路申挖資訊，並由總領班負責監督審查，瞭解申挖狀況應變處理，不定時拜訪相關管線單位並建立民眾通報機制，協助提報異狀。
2. 參加管線協調會議時，主動要求於會議中宣導本公司特高壓地下電纜輸電線路於電力網絡之重要性，請向本單位申請套繪、會勘、試挖。
3. 主動函文、拜訪轄區內各管線主管機關及單位、工業區服務中心與各營業區處，宣導地下電纜防挖措施及互相通報與橫向連繫機制。
4. 對於長期施工之工地或工程設置本公司地下電纜告示牌或警語。
5. 相關重要線路或長期施工中線路，由轄區負責人與領班縮短巡視週期加強巡視宣導與管控追蹤。
6. 於施工前先使用電纜路徑探測器確認管路實際位置及埋深，若道路狀況許可，將管路位置標示於路面，於開挖期間派員全程監視，以防範管路被挖損。

7. 對於較重要線路委託外界使用慣性定位儀量測，建立管路詳細資料庫。
8. 建立『管線單位會勘追蹤管控表』明細資料庫，利用紅、黃、綠燈方式警示方式，供各班及主管簡單明瞭施工情形，亦方便做管控。

除了上述幾點管控措施之外，在大陸實習期間，職針對幾個電纜洞道的監控設備進一步比較說明，職並不認為所有的措施適用於台灣，但藉由觀察中國大陸之洞道附屬設備建設與本公司現況作一比較，對於電纜維護層面上，仍有許多值得我們參考與思考之處：

➤ 洞道下陷與震動感測裝置

如圖參-4 電腦模擬畫面所示，為一洞道下陷與震動感測裝置，此裝置將沿著電纜洞道在一定距離內裝設一組。當洞道因遭受外力或無法預知之原因，造成洞道下陷或震動，立即發出警報並通知相關人員立即派員前往處理。當電纜洞道周圍若有潛鑽施工或推管施工，也可提供現場監視之維護人員一個有效的監控機制，而當感測器啟動後，相關訊息也會立即回傳至控制中心。



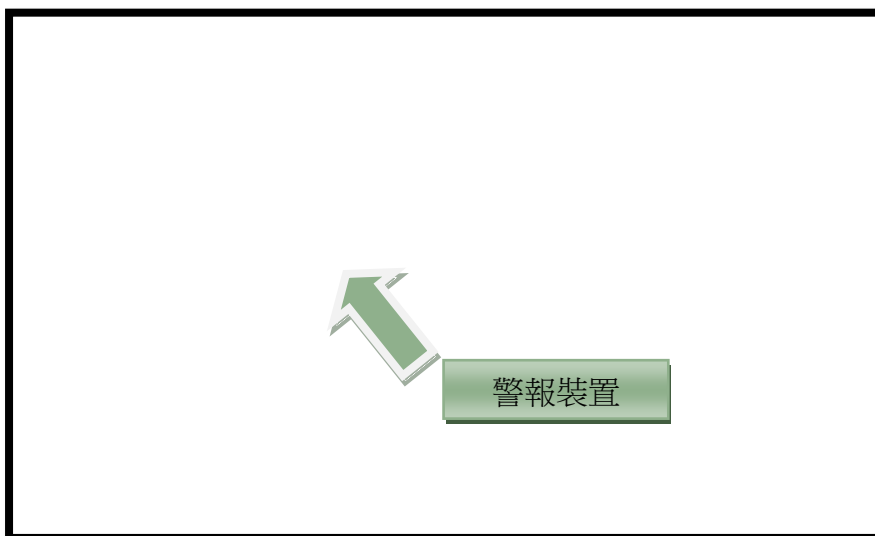
圖參-4 洞道下陷與震動感測裝置
(Ref. 瀋陽達能電氣技術公司)

➤ 人孔型式與警報裝置

中國大陸在馬路區域之電纜人孔也區分內外兩層，且主要分為遙控啟閉與人工開啟兩種型式，如圖參-5 所示為遙控啟閉人孔，此自動升降人孔多存在於涵洞出入口或人行道上之人孔蓋。另外郊區的電纜線路人孔蓋，另會設置警報系統，如圖參-6 所示為警報裝置，當人孔遭受破壞時會發出警報，通知相關人員前往處理。



圖參-5 遙控啟閉人孔



圖參-6 人孔內蓋警報裝置
(Ref. 瀋陽達能電氣技術公司)

➤ 自動升降預警設備

另外，有關馬路上之人孔蓋，職認為一個不錯的人孔設施值得一提：當人孔蓋倘因電纜事故造成脫離(氣炸)或其他因素造成人孔蓋遺失或損壞脫落，此時馬路上無掩體人孔，對於用路人將造成極大的危險。

當上述現象發生時，人孔頸部會自動彈起警示牌並回傳警報。倘此時有汽車通過，警示牌傾倒方向也與行車方向一置，並於車輛通過後再次升起，以避免警示牌損壞失去功能。另如前述所提，自動升起之警示牌同時也會回傳訊號至控制中心，因此當電纜事故發生須立即修復時，也可提供一有效訊息供搶修人員參考，縮短尋找事故人孔的時間。

➤ 三維監測管理系統

電纜附屬機電系統都將由一套程式建構成電腦操作平台，但除了對於電纜與附屬設備監控之外，也可同時將維護觀念導入成一多功系統，如圖參-7，透過三維透明及 Google Earth 功能，可清楚了解電纜線路與市區地緣關係，對於平時的管線單位圖資套繪或查找線路協助上，皆可提供一個有用的資訊。

圖參-7 配合 GOOGLE EARTH 之三維透視化地理圖資

➤ 局部放電檢測裝置

在實習期間，職針對此議題與當地電纜從業人員及設備技術人員，有許多深入的探討，也針對局部放電檢測技術，裝設於電纜涵洞之效益評估作許多的討論。在此領域的研究文獻相當多，但實際運用於輸電電纜之實測分析報告卻相當少，而身為此領域的從業人員，卻相當渴求能有此方面的研究報告。

在目前主流的兩種作法，藉由實習期間與此領域先進討論結果與自己這幾年來的檢測心得，除了全線式檢測系統建置成本相當龐大之外，在其他細節之處，職認為有必要在此作一說明：

全線式的檢測系統，的確可藉由光纖設備進行串連，藉由電腦作一統合性的監控，但是，我們不可忽略一個嚴重的問題，涵洞或人孔的環境因地理條件或天候因素容易積水，因此洞道內的設備或傳感器其抗污防水的能力勢必要做到周全，但是無論如何其損耗的速度與汰換的速度勢必比攜帶式檢測設備來的高。

我們從另一角度論之，為了建構全線式檢測系統，涵洞或人孔勢必利用光纖將所有感測器與設備連接，而為了降低環境干擾使用光纖，故感測器與光纖之間勢必要有光電轉換器進行連接，也就是說洞道內的所有局部放電檢測設備存在許多連接用的接頭，無論防水能力做到多好，其長期浸泡汗水當中或存在於先天環境較不好的洞道之中，其日後的維護成本勢必是一個不小的壓力。

再言之，攜帶式局部放電檢測設備，雖然無上述的缺點，但職這幾年有實際參與過這項維護工作，並且參考各國主要作法擬定一個檢測流程。實際評估之下，這樣的作法的確需耗費較多的時間，但是，倘能針對主要設備建立完整

的檢測維護資料，我們仍可利用其相關訊息的變化，輕易發現檢測設備之絕緣劣化狀況，而無須太深入的理論基礎即可找出缺陷，消弭系統潛在的弱點。

針對上述，職針對目前此檢測技術之主流作法，作一表格分析，方便讀者能了解其優劣之處，彙整此領域檢測上之心得：

表參-1 主流檢測方式之比較表

	全線式局部放電檢測系統	攜帶式局部放電檢測設備
建置成本	極高	低
感測器損壞率	高	低
人力需求	低	高
檢測效率	高	中
判讀困難度	中	高
設備維護費用	高	低
檢測距離	全線檢測	依使用頻率而定 但無法作到全回線檢測
委外檢測費用	極高	低
適用區域	涵洞	無限制
檢測流程	自動化	較複雜
全區域建置	費用過高 不可行	攜帶式設備 依維護需要至定點使用

有關實際應用於輸電電纜線路之絕緣狀態評估，以電氣特性檢測法為基礎並且配合非電氣檢測法進行分析是目前的主流趨勢。在職參與電纜業務這幾年中，實際瞭解到局部放電檢測應用於輸電電纜之困難性與判讀之不確定性。在無已知絕緣劣化電纜可利於評估及無過往檢測資料佐證情況下，整體的檢測過程不僅程序繁瑣並且必須耗費相當大的人力成本與檢測時間。但是，倘若藉由歷次檢測資料的分析，仍可建立起完整之資料庫，藉此提供輸電電纜從業人員一個有效的絕緣狀態評估參考。茲將有關此技術的檢測流程之心得總結歸納如下：

1. 高頻特性檢測法之三相振幅關係比對，實際檢測結果可有效釐清整體訊號之主要活動區域，並且配合電荷量與相位圖譜，可協助分辨疑似訊號是否存在 180° 之相位差關係。
2. 電氣特性檢測之兩種主要的檢測方式，操作頻率各自有檢測特點與缺點。在高干擾的檢測環境中，必須互相比對分析，無法利用單一特性檢測結果判斷絕緣等級。
3. 非電氣檢測法實際利用於輸電等級電纜，並不容易有效評估內部訊號並進行判讀。但是針對電纜環境周圍電力設備訊號，如絕緣礙子或GIS等電氣設備，較為容易檢測出放電訊號並進一步處置。在利用非電氣檢測法排除非電纜本身之外部干擾後，可利於輸電電纜局部放電檢測的進行。
4. 油中氣體分析於檢測上容易在同一組線路之各取樣點同時發現障氣含量，並且在充油電纜油體擠壓特性下，分析檢測報告之放電位置常有移動且同時存在之情形。因此油中氣體分析屬於比對電氣特性檢測結果的參考項目，並沒

有辦法如變壓器等其他含絕緣油體之電力設備，可直接作為絕緣狀態的判斷依據。

➤ 此領域未來執行重點：

1. 倘若在實際檢測資料的累積下配合外部訊號之相位特性進行分類，可利於排除屬於外部干擾的放電類型，縮減檢測流程以提升檢測效率。
2. 電氣特性檢測屬於針對電纜局部放電分析的主要檢測方式，前幾章節所提的兩種電氣特性檢測，倘若能夠將兩者設備進行系統整合並且提供全頻式感測器，在配合適當的外部訊號濾除技術下，可大幅提升檢測之精準度。
3. 局部放電檢測設備為技術密集之檢測產品，依目前公司各區輸電電纜數量規劃下，以營利公司之立場並沒有辦法應付完全委外檢測所帶來的龐大維護成本，因此掌握局放檢測設備之關鍵技術可大幅提升推廣局放檢測的實際效益，此點也是中國大陸積極投入之方向之一。
4. XLPE 電纜之絕緣材質並無油體可供檢測參考，如何利用既有的檢測技術，分析線路的歷年檢測資料，研擬有效之維護參考等級，可消弭 XLPE 電纜先天無法進行油體分析之弱點。

(3) 中國大陸電纜維護方式之省思

最後，職希望藉由這個章節，將本報告作一總結：本次實習題目雖以光纖使用於智慧電網之運行模式探討，但讓職感受最深的不是中國大陸在電業建設上的速度或進步程度，而是中國大陸建構智慧電網的路途上，對於維護方式的修正與改變，以及他們所下的功夫。

的確!電纜維護與智慧電網發展密不可分,修正目前的維護方式力求精進,在智慧電網建立的過程中,乃必須經歷且具有的基本功夫。以未來中國大陸智慧電網之架構,在電纜維護這個區塊,維護人力勢必銳減,因為透過建構好的系統,絕大部分之電纜運行監控皆已交由設備控管,而所謂的電纜維護人員之本職學能,將改變為著墨在維護附屬機電設備之上以及有效的維護計畫與管理模式。

職認為上述這段話非常重要,雖然公司各供電區營運處也有許多電纜洞道附屬機電系統,但是,此方面維護人才培養,仍有很大的進步空間,若未來智慧電網的發展必須如此,附屬機電設備維護工作,是我們無法逃避且必須面對的嚴肅課題。

職在實習期間,看到維護人員可利用手機或平板電腦等設備,在配合洞道內的洩波電纜與監控系統連接,提供洞道內維護作業人員一個即時與回傳維護資訊的機制,上述系統除了監控有害氣體立即告知維護人員之外,也可立即將維護資訊回傳控制中心,並拍攝照片確認維護人員已確實完成任務並上傳維護資料給控制室人員確認,上述之新型態維護管理方式同時顧及了:圖資管理、台帳管理、檢修計畫、巡檢管理等多工管理維護平台,職認為這的確是一個有效的維護管理方式,值得公司予以借鏡與參考。

其實逐步做到上述並不難,而職認為並非所有的電纜線路皆需裝設到這麼繁雜的附屬設備。但是,無論中國大陸如何發展,以職淺見,尋求在有限的資源之下,以他國之有效管理模式作為智慧電網參考藍圖,積極發展整合式維護資訊平台並立即培養監管附屬機電系統之維護人才,是在有限資源下邁向智慧電網之成功的一大步。

肆、參考文獻

- [1] 瀋陽電力公司洞道維護整合系統演示文檔資料。
- [2] Tian Y, Lewin P L. Partial discharge on-line monitoring for HV cable systems using electro optic modulators [J] . IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2004, 11 (5) : 861 -869
- [3] 儀測科技國際股份有限公司網路技術資料。
- [4] 德國 LIOS 上海分公司技術簡報。
- [5] L. Hao, P. L. Lewin, and S. J. Dodd, “Partial Discharge Source Characterization within an HV Cable Joint,” in Proc. ICSD. Conf., 2007, pp. 577-580.
- [6] 周孝信，我国电网技术的现状与未来，电力部电力科学研究院。(中國大陸論文)
- [7] P. Wagenaars, P. A. A. F. Wouters, P. C. J. M. van der Wielen, and E. F. Steennis, “Comparison of Arrival Time Estimation Methods for Partial Discharge Pulses in Power Cables,” in Proc. CMD. Conf., Apr. 2008, pp. 1162-1165.
- [8] 瀋陽達能電氣技術有限公司技術資料。
- [9] J. C. Hernández-Mejía, R. Harley, N. Hampton, and R. Hartlein, “Characterization of Ageing for MV Power Cables Using Low Frequency Tan δ Diagnostic Measurements,” IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol. 16, pp. 862-870, Jun. 2009.
- [10] 經濟部能源局，「智慧電網總體規劃方案」，2012 年 10 月。
- [11] J. C. Hernández-Mejía, J. Perkel, and R. Harley, “Correlation between Tan δ Diagnostic Measurements and Breakdown Performance at VLF for MV XLPE Cables,” IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol. 16, pp. 162-170, Feb. 2009.
- [12] A. Ponniran and M. S. Kamarudin, “Study on the Performance of Underground XLPE Cables in Service Based on Tan Delta and Capacitance Measurements,” in Proc. PECon. Conf., Dec. 2008, pp. 39-43.
- [13] 向进，基于光纤技术的隧道分布式测温系统应用研究，湖南大学，2011 年 5 月。

- [14] S. M. Tetrault, G. C. Stone, and H. G. Sedding, "Monitoring Partial Discharges on 4-kV Motor Windings," IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 35, pp. 682-688, May 1999.
- [15] J. S. Lee, J. Y. Koo, Y. S. Lim, J. T. Kim, and S. K. Lee, "An Analysis of the Partial Discharge Pattern Related to the Artificial Defects Introduced at the Interface in XLPE Cable Joint Using Laboratory Model," in Proc. CEIDP. Conf., Oct. 2002, pp. 482-485.
- [16] Y. Tian, P. L. Lewin, J. S. Willcinson, S. J. Sutton, and S. G. Swingler, "Continuous On-Line Monitoring of Partial Discharges in High Voltage Cables," in Proc. ELINSL. Conf., Sept. 2004, pp. 454-457.
- [17] H. Zhang, T. R. Blackburn, B. T. Phung, and Z. Liu, "Application of Signal Processing Techniques to On-Line Partial Discharge Detection in Cables," in Proc. PST. Conf., Vol. 2, 2004, pp. 1780-1785.
- [18] C. Mazzetti, F. M. FrattaleMascioli, F. Baldini, M. Panella, R. Risica, and R. Bartnikas, "Partial Discharge Pattern Recognition by Neuro-Fuzzy Networks in Heat-Shrinkable Joints and Terminations of XLPE Insulated Distribution Cables," IEEE Trans. Power Del., Vol. 21, pp. 1035-1044, Jul. 2006.
- [19] Consideration of Ageing Factors in Extruded Insulation Cables and Accessories[R]. CIGRE WG 21-09 , 1992.
- [20] Diagnostic Methods for HV Paper Cables and Accessories[R]. CIGRE WG 21-05 , 1998.
- [21] Partial Discharge Detection in Installed Extruded Cable Systems[R]. CIGRE WG 21-16 , 2001.

伍、誌謝

「讀萬卷書不如行萬里路」，的確！無論此次赴中國大陸實習或去年赴 Bali 參加 CEPSI2012 研討會，職能夠代表公司出國，親眼目睹與思考未來的方向，對職來說，確實是一種全然不同的體驗，也是職場生涯中莫大的榮耀與深刻的回憶。

首先在此要感謝李專業總工程師群、供電處李處長河樟、江副處長武照、梁組長明福、林主管淵源與主管處的各位長官，給予個人這個機會出國實習，更要感謝長期以來不吝給晚輩鼓勵與提攜的高屏供電區營運處大家長郭處長麟瑛，以及劉副處長國才、呂副處長世彬、王副處長春木、廖督導吉義、鄭課長凱中針對出國報告提供了許多寶貴的意見和指正，另外特別感謝子瑋的部門主管陳經理武昌、宋課長長仕、線路組許經理文對於職出國任務的全力支持與各方面的協助，以及黃總領班隆全、顏主辦明益、黃主辦俊文、賴主辦明傳、廖悅如小姐在出國期間對於職自身業務運作上的情義相挺、以及電纜組王經理榮吉、高雄段陸經理國鐘等高屏多位長官、同仁出國期間給予職的協助與鼓勵，因為有你們的幫忙得以讓此次任務圓滿達成，在此致上個人最誠摯的謝意。

此外，本次行程得以順利成行及圓滿達成實習目的，除了感謝受參訪單位在期間對於所有技術資料與公務行程的協助外，還要感謝德國 LIOS 公司 Mr. Yuxing Jiang 在光纖技術上的諸多指導及國內儀測科技公司潘志龍先生這段時間來的協助與引薦。

個人深覺可以出國實習是職場生涯中莫大的榮耀及全新的里程碑，也期望本報告的內容可以為將來的輸電電纜系統及智慧電網發展上提供更好的規劃方向，在此衷心感謝各位長官、好同事與朋友的挺力協助，謝謝！