

出國報告（出國類別：開會）

參加「國際大電力會議第 41 屆年會」
及
參訪「義大利電力綜合研究所」

服務機關：台灣電力公司

出國人員：

姓名	服務單位	職稱	電話	出國計畫
許萬寶	供電處	處長	23666560	95 年度出國計畫第 39 號
李清雲	系統規劃處	副處長	23666892	95 年度出國計畫第 177 號
劉運鴻	電力調度處	中央調度監	23666642	95 年度出國計畫第 169 號

派赴國家：法國、義大利

出國期間：95 年 8 月 25 日至 95 年 9 月 7 日

報告日期：95 年 月

出國報告審核表

出國報告名稱：參加「國際大電力會議第 41 屆年會」		
出國人姓名(2 人以上，以 1 人為代表)	職稱	服務單位
許萬寶	處長	台灣電力公司供電處
出國期間：95 年 8 月 25 日至 95 年 9 月 3 日		報告繳交日期：95 年 10 月 27 日
出國計畫主辦機關審核意見	<input checked="" type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 2.格式完整（本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」） <input checked="" type="checkbox"/> 3.內容充實完備。 <input checked="" type="checkbox"/> 4.建議具參考價值 <input checked="" type="checkbox"/> 5.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 6.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 7.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容以 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 8.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"/> 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"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 9.其他處理意見及方式：	
層轉機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1. 同意主辦機關審核意見 <input type="checkbox"/> 全部 <input type="checkbox"/> 部分 _____（填寫審核意見編號） <input type="checkbox"/> 2.退回補正，原因： _____ <input type="checkbox"/> 3.其他處理意見：	

說明：

- 一、出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。
- 二、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。
- 三、審核作業應於報告提出後二個月內完成。

	單位	主管處	總經理
報告人：	主管：	主管：	副總經理：

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加「國際大電力會議第 41 屆年會」及參訪「義大利電力綜合研究所」

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/23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

許萬寶	台灣電力公司	供電處	處長	23666560
李清雲	台灣電力公司	系統規劃處	副處長	23666892
劉運鴻	台灣電力公司	電力調度處	中央調度監	23666642

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他：開會

出國期間：95 年 8 月 25 至 9 月 7 日

出國地區：法國、義大利

報告日期：95 年 11 月

分類號/目

關鍵詞：國際大電力會議(CIGRE)、義大利電力綜合研究所(CESI)、非傳統儀器變壓器(NCIT)、靜態型同步無效電力補償器(STATCOM)、超高壓直流(HVDC)、電力電子(PE)、特殊保護系統(SPS)、大停電

內容摘要：(二百至三百字)

- 一、簡述世界各主要電力公司、製造廠商、電力研究機構於「第 41 屆國際大電力會議(CIGRE)」上報告近年來在電力系統規劃、工程設計、運轉調度及維修、資產評估與新設備應用等之作法與實際經驗，及 CIGRE 研究委員會之評論與解析，例如 1000kV 及 800kV HVDC 之規劃應用、架空線 RDB 設計方式、變電所與供電設備改建、更新或修護等選擇方式之資產評估及特殊保護系統之應用經驗等，以作為本公司未來系統規劃、輸變電設備設計施工，供電系統運轉、調度、維護之參考。
- 二、介紹法國輸電公司(RTE)在巴黎市區內 TERNES 地下變電所、靜態型同步無效電力補償器(STATCOM)之特性與應用、變電所設備維修技術、義大利電力綜合研究所(CESI)之三階電壓即時控制方式及設備實驗室、測試項目與確保設備安全之方法。

參加「國際大電力會議第 41 屆年會」及參訪「義大利電力綜合研究所」

目錄

壹、感想與建議	1
貳、出國緣由	5
參、出國行程	6
肆、參加 CIGRE 會議紀要	8
一、開幕式(OPENING CEREMONY)	9
二、開幕座談會(OPEN PANEL)	11
三、大系統干擾研討會(LARGE SYSTEM DISTURBANCE WORKSHOP).....	16
四、分組討論	18
A1：旋轉電機(Rotating Electrical Machines)	18
A2：變壓器(Transformers).....	21
B2：架空線(Overhead Line)	36
B3：變電所(Substations)	42
B4：高壓直流與電力電子(HVDC and Power Electronics).....	46
B5：保護系統與自動化(Protection and Automation).....	48
C1:系統發展與經濟原則(System Development and Economics)	53
C2：系統控制與操作(System Control and Operation)	54
C3：系統環境效能(System Environmental Performance).....	55

C4：系統技術效能(System Technical Performance)	56
C5：電力市場與管制系統(Electricity Markets and Regulations System)57	
C6：配電系統與分散型電源(Distribution System and Dispersed Generation)	57
D1：材料與特殊技術(Materials and Emerging Technologies)	58
D2：資訊系統與通信(Information System and Telecommunications)...	59
五、其他	60
(一)參訪法國電力 TERNES 變電所	60
(二)廠商展示概述	62
伍、變電所設備維修更新技術.....	65
一、前言	65
二、供電設備汰換需求	65
三、變電所設備狀況評估.....	67
四、可能方案.....	94
五、既設空氣絕緣變電所汰換時之最佳方法	97
陸、參訪 CSEI 紀要.....	100
一、義大利電力綜合研究院概述.....	100
二、討論電力系統三階電壓調整議題.....	101
三、參訪 CESI 實驗室	104

壹、感想與建議

- 一、由於電力系統設備如輸電線路長時間暴露於大氣中，受自然災害影響是不可避免的，尤其是颱風、颶風、廣地區的暴風雨或冰風暴等，嚴重地區甚至需費時數月修護始可恢復供電。因此，電力公司莫不設法降低自然災害造成電力系統的影響，減少停電範圍與停電用戶數，縮短復電時間。如瑞典的 E-ON 公司為了避免暴風雪區的影響，更不惜投下巨資將暴風雨嚴重地區之重要網路下地、加寬架空線路走廊、簡化電壓層級、強化電網結構、加強城市及特別地區風險之分析及緊急電源，另外根據以往颶風損壞的程度重新發展及設計架空電纜等措施因應。魁北克輸電系統自 1998 年冰暴風雪中嚴重損壞輸電線路造成大範圍停電後，也研究採用各種方法克服困難，如用熱除冰方法、加強輸電線路設計、提高供電可靠度、電網加強環路設計及強化供電設備等的措施，使最近一次的冰暴風雪 2005 年 4 月 24 日持續 1 星期，沒有停電紀錄。由國外的經驗看來，減少天然災害對電力系統的衝擊，應從系統規劃、設備設計、施工、運轉與維護及停電後的復電、設備損壞後的復原等各方面著手共同改進，以達天然災害影響電力系統停電範圍與戶數最少、復電最快及系統復原最迅速之目標。
- 二、正如世界能源會議(World Energy Council)主席 André Caillé 所說地球上蘊藏著豐富的能源足以滿足我們需求，但如何有效去發掘及應用，才是我們面臨的重要課題。目前能源的供應已逐漸出現瓶頸如煤的運輸、天然氣管的輸送及電網上電力的傳輸限制等，期待業界共同合作研究及提升輸電網路的效率解決。至於 CO₂ 減量問題，應該朝著人類行為的改變、研究使用更有效率的交通，及使用天然氣、核能、水力、風力發電與發展淨煤技術來達成。

- 三、架空線設計以往常用確定性設計(Deterministic Design)方式，無法達到節約建造成本充分發揮可靠度。近年來架空線設計結合 IEC60826 已朝「Reliability Based Design，簡稱為 RBD」方式進行。RBD 觀念推動的目的是在於投資效益，換言之在容許線路依據其需要的可靠度層級去設計，其設計基準必須考慮公共安全、各地區氣候條件，絕對要避免事故的不斷擴大及大停電因跟著持續擴展。RBD 之優點在於特定的可靠度需求下，可以得到最低的線路興建成本，或者是在相同的負載層級下，用 RBD 設計之線路會比傳統採用確定性設計方式更便宜。
- 四、電力系統使用特殊保護系統(SPS)以避免大停電發生，為世界各電力公司常用方式。但 SPS 應用得宜，始可有效避免大停電，否則像愛爾蘭由於 SPS 的誤動作反而造成意想不到的大停電。因此，SPS 之設計要簡單可靠，著重於系統維生的研究與分析，台電目前正在建置 SPS，值得本公司思考。
- 五、法國巴黎之 TERNES 變電所，為一 225kV/20kV 無人地下化變電所，位於巴黎凱旋門鬧區，緊臨住家。該變電所裝設有 70MVA 主變 2 台，在其防火、防暴、防噪音及低電磁場設計下，並無引起鄰近居民的強烈反對。該變電所之設計，完全融入社區，使變電所以和平、整合方式建築在巴黎鬧區的高樓大廈中，並未與住戶發生摩擦，該變電所的興建是建築與美學的結合，值得台電觀摩學習。
- 六、韓電電力綜合研究所在 CIGRE 開會期間，租用一展覽攤位向與會人員推銷其研發成果，表現出進入電力界國際舞臺的積極態度。韓電原本技術水準與台電相若，甚至不如台電，但近年來韓電在電力建設與技術頗有凌駕台電之上，其展現出來的企圖心與成就，值得本公司深思與學習。
- 七、靜態型同步無效電力補償器(STATCOM)同時具有併聯電容器與併聯電抗器之提供或吸收無效電力的能力，且其補償量不受系統電壓改變而影響，可自動調節、控制匯流排電壓，不像傳統電容或電抗器需時常切換

來達到控制目的；其功能除可改善電力品質外，在使用操作上亦有很大彈性。STATCOM 具有動態補償效果，為目前世界使用上最先進之無效電力補償設備，國外已有相當成熟的使用經驗，效果良好，值得引進台電系統使用，以改善台電系統如遇偶發事故，尖載時無效電力供應不足、電壓過低及輕載時無效電力過剩、電壓反而過高的問題。台電系統經檢討及評估工程可行性與佔地面積後，初步結果以龍潭(北)E/S 345kV 側裝置±150MVAR STATCOM 及 100MVAR 固定電容器，其次天輪 E/S 345kV 裝置±100MVAR STATCOM 及 50MVAR 固定電容器為最佳。目前正積極蒐集相關資料，並從此次參加會議帶回資料與製造廠商資料探討分析，以確認本公司採用之適宜性。

八、CIGRE 會議所討論及發表之文章主要以電力公司、廠家為主，與美國 IEEE 會議主要以學術單位為主，有顯著不同。其餘設備展覽、工作小組會議則大同小異。

九、CIGRE 開會的方式與 IEEE 或國內不同。CIGRE 內每一分組(PS)全部論文一起討論，除分組主席、秘書致開始辭外，幾乎全由一位稱為 Special Reporter 的人主持全場會議。Special Reporter 在會議前一個月至一周，即通知論文作者準備回答問題，因此開會時各論文作者即依照 Special Reporter 事先準備好的問題，逐一上臺回答問題。各作者只有回答問題，並沒有對自己的論文做個別的簡報。這點是和一般我們熟知 IEEE 或國內學術會議最大不同的地方。建議以後要參加 CIGRE 會議的同仁，及早報名準備，及早詳讀論文，以利參與討論學習別人優質經驗。

十、義大利電力公司發展電壓自動控制 SVR(Second Voltage Regulation)，係以發電機無效電力出力控制為主，著重電源端控制。美國則以負載端裝置 SVC(Static Var Compensator)為主，觀念及出發點不同。本公司曾委託義大利綜合研所評估台灣地區裝置 SVR 之可行性，

結果雖為技術上可行，但考慮預算規模甚大(約需 1 億歐元，折合新台幣約 42 億元)，施工範圍甚廣(遍及全省各發電廠 150 部機組、20 所以上超高壓變電所及各調度中心等)、工期長(3 年以上)、協調介面多及所需工程及維護人力來源等因素，建議有機會再派人專程赴義大利深入瞭解 SVR 實際運作情形，再決定是否實際規劃設計施工進行。

十一、由於義大利國情，8 月係一個月的長假期，一般上班族 8 月休假長達 1 個月，本次於參加 CIGRE 會議於 8 月底、9 月初會議結束後訪問義大利，由於 8 月間 CESI 無法與米蘭調度中心聯繫妥，致無法訪問米蘭調度中心，雖是一大遺憾，但也體恤及瞭解義國國情即為如此。建議前往義國電力公司或電力綜合研究所訪問應避開 8 月份。

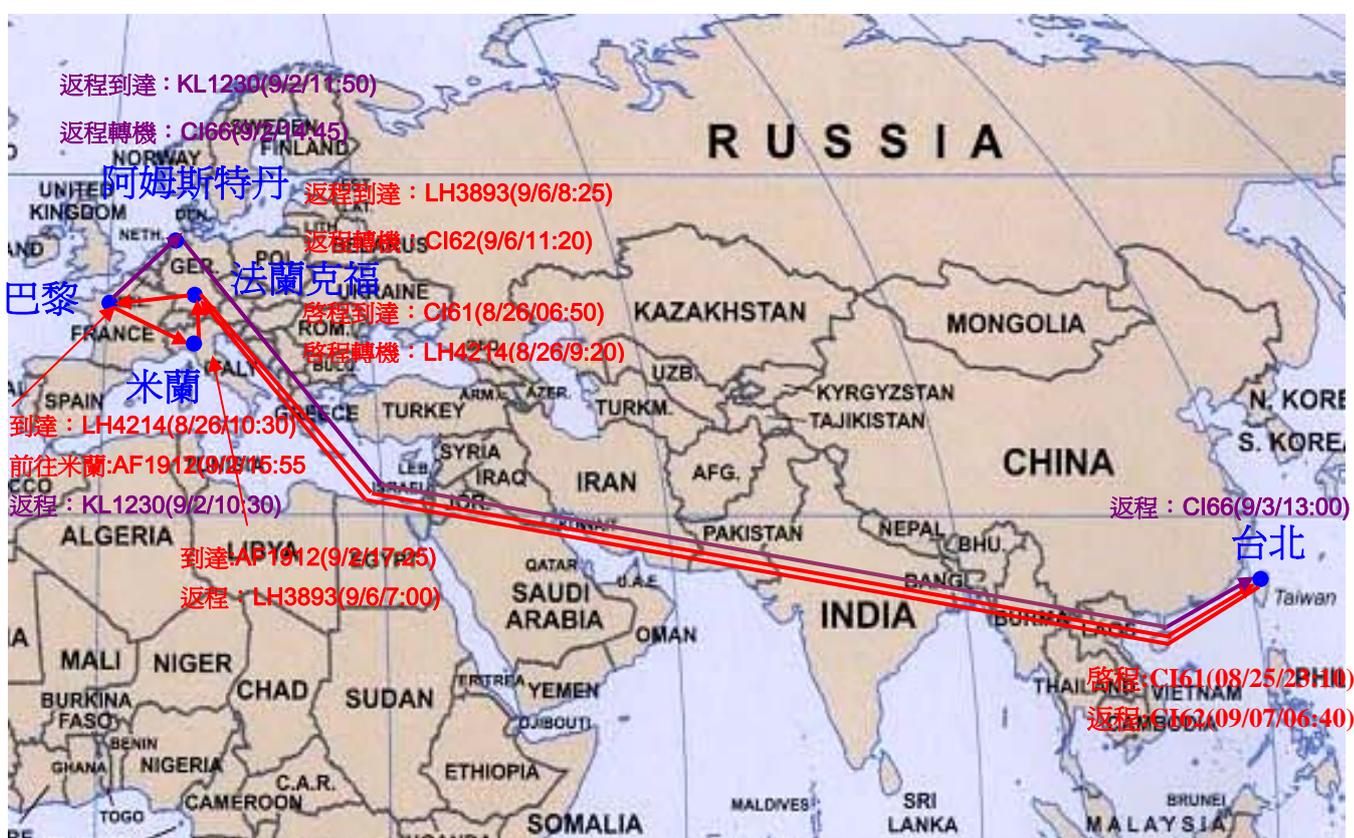
十二、CIGRE 會議類似電力聯合國會議，每兩年全世界各電業均會派人參與，人數達 2700 人以上，主要參加者著重於電力設備應用及工程技術者較多。亞太地區之日本派出 130 餘人、中國大陸約 60 餘人、韓電約 70 餘人，莫不積極參與各組討論。反觀，台灣地區參加人數僅僅 4 位(本公司 3 位，廠家 1 位)，甚至比越南、馬來西亞、泰國等還少。建議本公司應由輸供電系統副總經理擔任團長，由系統規劃處、輸工處、供電處、電力調度處、綜合研究所等單位組團參加，必要時結合電業主管機關能源局，國科會電力小組，大學院校，廠商等一起參加 CIGRE，在正式外交關係缺乏情況下，提高我國與世界各電力公司之交流。

貳、出國緣由

- 一、2006 年「國際大電力會議(CIGRE) 第 41 屆年會」於 8 月 27 日至 9 月 1 日共六天，在法國巴黎盛大舉行。國際大電力會議年會集結世界各國電力菁英專家於一堂，提出專業新知及運轉實務經驗相互學習觀摩，會中討論之議題均具前瞻性、技術性，為世界各地電力事業所面臨之課題。討論議題共分為 4 類 16 組，包含發電、輸電、變電、電纜、配電、電力系統等方面，亦有新設備之使用經驗發表，參加此次會議，可以吸收新知、學習別人優質經驗，以提升台電系統規劃、運轉能力。
- 二、義大利國家電力綜合研究院(CESI)為國際著名電力研究機構，著重在電力系統之規劃研究、運轉維護及高壓設備試驗等工作，在世界 35 個國家設有分支機構，尤其是電力系統特殊問題之研究與解決、電機設備之試驗及認證，藉此機會參訪該機構與相關人員討論電壓即時控制問題，並參觀其試驗設備，吸取維持供電電壓穩定與確保設備安全之先進技術，對台電系統之規劃運轉及提升供電穩定性將有助益。

參、出國行程

本出國計畫自 95 年 8 月 25 日至 95 年 9 月 1 日首先前往法國巴黎參加國際大電力 (CIGRE) 第 41 屆年會，結束後許處長公畢返國，9 月 3 日回到臺北，李副處長與劉中央調度監則轉往義大利米蘭參訪義大利國家電力綜合研究所(CESI)，至 9 月 7 日返國。許處長出國期間合計為 10 天，李副處長與劉中央調度監出國期間合計為 14 天，詳細行程如圖一，說明如表一。



圖一：參加 CIGRE 年會及參訪 CESI 行程與飛機航班時程示意圖

表一：參加 CIGRE 年會及參訪 CESI 行程表

日期	天數	起訖地點	活動內容
8月25日~8月26日	2	臺北~法蘭克福~巴黎	往程
8月27日~9月1日	6	巴黎	參加 CIGRE 會議
9月2日~9月3日	2	巴黎~阿姆斯特丹~臺北	返程(許處長)
	2	巴黎~米蘭	行程及假日(李副處長與劉中央調度監)
9月4日~9月5日	2	米蘭	參訪 CESI
9月6日~9月7日	2	米蘭~法蘭克福~臺北	返程

肆、參加 CIGRE 會議紀要

國際大電力會議(International Council on Large Electric Systems，簡稱 CIGRE)是一非政府、非營利的永久性國際組織，成立於 1921 年。其成立宗旨在促進高壓電力系統網路與發電技術知識之發展及國際間之經驗交流。CIGRE 組織成員遍佈全世界超過 80 個國家，為一規模龐大之國際性論壇。該組織結合主要的夥伴、研究團隊、學術機構、設備製造商、電力系統運轉、電力交易者及電力公司等單位，提供技術創新、設備需求及電力系統運轉的經驗，達到互相交流的目的。CIGRE 研究主題以電力方面為主，如電力公司的組織架構、電網發展與運用、電力設備之最佳化維護與延壽及環境衝擊之分析等。其技術研究為一持續性的活動，分為研究委員會(Study Committees，簡稱 SC)及工作小組(Working Groups)，目前共有 16 個研究委員會如表二及約有 200 個工作小組，2000 個研究人員不斷聚集在一起運作。50 多個國家分別組成 CIGRE 國家委員會，另有 4000~4700 個人會員(Individual Members)與團體會員(Collective Members)，團體會員分兩種：一為由各公私營電力公司或設備製造商、技術組織、科學研究部門等單位參加，另一種為學術機構如大學等單位參加。本公司為團體會員，本公司董事長為個人會員。

CIGRE 每逢西元偶數年在巴黎舉辦一次年會稱為 Plenary Session，討論研究委員會各組所轄領域的所有問題。投稿稿件需經由各國國家委員會審核後推薦，再藉由各研究委員會主席召集之工作小組討論後，提出問題請各投稿人在大會分組討論中提出答覆或說明，完成後各與會成員均可參與討論。

表二：CIGRE 研究委員會與其議題

研究委員會 (Study Committee)	議 題 名 稱
A1	旋轉電機(Rotating Electrical Machines)
A2	變壓器(Transformers)
A3	高壓設備(High Voltage Equipment)
B1	絕緣電纜(Insulated Cable)
B2	架空線(Overhead Line)
B3	變電所(Substations)
B4	超高壓直流與電力電子(HVDC and Power Electronics)
B5	保護系統與自動化(Protection and Automation)
C1	系統發展與經濟原則 (System Development and Economics)
C2	系統控制與操作(System Control and Operation)
C3	系統環境效能(System Environmental Performance)
C4	系統技術效能(System Technical Performance)
C5	電力市場與管制系統 (Electricity Markets and Regulations System)
C6	配電系統與分散型電源 (Distribution System and Dispersed Generation)
D1	材料與特殊技術 (Materials and Emerging Technologies)
D2	資訊系統與通信 (Information System and Telecommunications)

一、開幕式(Opening Ceremony)

8月27日星期日下午4時在巴黎會議中心(Palais des Congrès)舉行開幕式與開幕酒會，由大會主席加拿大籍的 Mr. Yves Filions 主持，除致歡迎詞及介紹 CIGRE 概況外，並邀請世界能源會議(World Energy Council)主席 Mr. André Caillé 作專題演講，說明「發展與維持電力系

統的穩定運轉，提供可靠電力供應是能源部門未來的主要任務」之課題。演講中提到全球能源需求與電力需求正不斷的成長，應該朝節能與提高能源效率著手，除從建築、交通及行為的改變等方面外，也可提高輸電系統效率來達到節能目的，已有多個提高 15%效率的成功案例。而製造商也應該發揮自己角色功能，研究更有效率的發電設備與輸變電設備。另外也提到有兩個基本問題值得深思，其一為地球上的能源是否可滿足需求，其二為能源方面未來應朝那一方面的投資。

第一個答案是肯定的。因油、天然氣、煤、核能、水力及風力發電等都是地球上的能源，地球能源 40%來自於油，投資更多的開採和新技术的研發，以避免油年代的結束；液化天然氣是燃料的最佳選項之一，因此輸送管的建設是必需的；發展煤為潔淨能源也是趨勢，淨煤技術的發展是無可或缺的；核能使用在未來能源的發展上是正面，「核能的新生」是必然的，況且鈾原料存量可讓我們持續使用一千年；大型水力機組的開發，正是許多國家目前正積極進行開發的發電工程；蘊藏比水力更豐富的風力發電，更是未來發展的主流。

雖然地球上的能源蘊藏量是可滿足我們需求，然而能源的供應仍會出現瓶頸如煤的運輸、天然氣管的輸送及電網上電力的傳輸限制等，期待業界共同合作研究解決。至於 CO₂ 減量問題，應該朝著人類行為的改變、研究使用更有效率的交通，及使用天然氣、核能、水力、風力發電與發展淨煤技術來達成。

總之未來的能源工業前途無量，挑戰更多，能源部門應更積極投資，從事於地區性整合，共同研究發展。技術性的研發要從現在開始，技術將領導我們前進，CIGRE 將扮演著重要的角色。

開幕式約下午 5 點結束，接著為開幕酒會，讓與會人員有認識機會，以利經驗交流。

二、開幕座談會(OPEN PANEL)

開幕座談會主題為「自然現象對電力系統設計與運轉之衝擊」，於 8 月 28 日上午 8:45~12:00 在會議中心 2 樓 BLEUE 室舉行，由美國電力研究院(EPRI)副總經理 Clark W. Gellings 擔任引言人，首先說明近年來自然環境對電力系統之衝擊與造成之損失。Clark W. Gellings 彙總全世界電力系統發生大停電與造成原因如圖二(包含 1999 年台電兩次大停電)，統計結果因大停電共造成 1 億美元(1990 年之幣值)以上損失，每年約有 1.1 次(大洪水約 1.2 次、地震約 0.2 次)，根據美國商業部統計每年遭受停電與電力品質干擾造成產業界產值損近千億美元。由於高科技產業的發展，他們更需要高可靠度與高品質電力供應，根據 EPRI 2000 年的研究，可靠度由 999 提升至 99999 以上，小型工商用戶之投資要多支出電費 50%以上，大型工商用戶則為 35%~42%之間，因此用戶是否有足夠意願投資提高可靠度是值得再探討的。最後，他提出在每一次事故發生後應檢討系統規劃、設計標準是否足夠？氣候條件的考慮是否恰當？事故前應準備些什麼？平時是否已有充份準備？事故發生時復電速度是否過快？電源是否足夠？作為座談會討論的架構綱要。接著進行一系列報告，依序由瑞典 E.ON 電力公司策略與分析部門主管 Mr. Curt Lindqvist 簡報「2005 年 1 月暴風雪/颶風對瑞典供電系統之損壞影響與因應對策」、加拿大魁北克輸電公司總經理 Mr. Yves Filion 簡報「準備、復電及系統加強之魁北克經驗」、法國電力公司(EDF)電網防衛研究部門主管 Mr. Michel Dalle 簡報「架空線設計與運轉之改變」、美國 Lindsey Manufacturing Co.總經理 Dr. Keith E. Lindsey 簡報「緊急復電規劃」、英國電力與瓦斯管制局技術主管 Mr. John Scott 報告「嚴重事故之復原能力-管制局的看法」。

2005 年 1 月的 Gudrun 颶風造成 E.ON 公司約 250,000 用戶停電，部分用戶甚至停電達 1 個月，財物損失高達 1 億 3 千萬歐元(補償用戶 3

千萬歐元、修復費用 1 億歐元)。為了強化系統，E.ON 未來 5 年將陸續投資 12,000 milj SEK，於暴風雪嚴重地區之重要網路下地或加寬線路走廊及重建 10~20kV 線路約 17,000 公里。另外簡化電壓層級、強化電網結構、城市及特別地區風險之分析、緊急電源之加強等都是必須採取的措施。從 Gudrun 颶風損壞的程度看來，架空線、架空電纜及絕緣體都遭受嚴重破壞，因此需重新發展及設計架空電纜、崎嶇不平地區電纜之挖掘及除雪機，用戶線需改採電纜，網路結構要簡單但強健，容易損壞之設備替換時應考慮改採不同廠商之設備，並使用歐盟標準材料等措施。

魁北克輸電系統 1998 年冰暴風雪中損壞了 31,00 座鐵塔，120 條輸電線路，約 1,400,000 用戶停電，冰暴風雪嚴重地區持續約 1 個月，從過去暴風雪損壞電力系統的研究分析，魁北克輸電公司採用下列方式因應：

(一) 研究用熱除冰方法

(二) 加強輸電線路設計

(三) 提高供電可靠度

(四) 電網加強環路設計，新設 Montérégie 地區 735kV 線路、Montréal 城市中心 315kV 線路、Québec~Mauricie~Montréal 315kV 線路及 Grand~Brûlé 315kV 線路，總共投資約為 8 億美元。

(五) 強化供電設備

改善完成後，最近一次的冰暴風雪 2005 年 4 月 24 日持續 1 星期，雖然仍有 3 條 735kV 線路受到影響，但沒有停電紀錄，足見新鐵塔設計已有更強的氣候因素的抵抗能力。雖然如此，該公司仍持續投資對抗冰暴風雪造成之損壞，目前規劃在主要系統投資 3 億 5 千萬美元進行 2 個

除冰計畫、2 個供電設備加強計畫，2006~2014 年投資 3 億 7 千 5 百萬美元進行地區系統的強化規劃包含 82 個設備強化計畫及快速復電計畫等。

法國 EDF 公司特別注重架空線設計應朝「Reliability Based Design，簡稱為 RBD」方式進行，亦即所謂「因地制宜」的觀念。RBD 觀念推動的目的是投資效益，換言之要節省投資；但也要符合兩個基本要求：其一為公共安全，另一為持續供電。RBD 的標準定義為在設定運轉條件下特定時間內可執行達成特定目標的或然率，而公共安全因素必需考慮在內。提出 RBD 方法的原因係因為傳統採用確定性設計(Deterministic Design)方式存在諸多缺點，例如線路各元件強度不協調、不能確定線路可靠度層級且難以調整、及新技術或材料更新或配合地區氣候因素與地理條件調整設計困難等。因此，採用 RBD 方法首先需容許線路依據其需要的可靠度層級去設計，線路設計時如同一個系統應避免確定性設計方式中線路各元件強度不一致現象，實際上 RBD 是基於採用比確定性設計方式更具相容性強度，及提供一些邏輯工具以提升線路可靠度。RBD 之優點在於特定的可靠度需求下，可以得到最低的線路興建成本，或是在相同的負載層級下，用 RBD 設計之線路會比傳統採用確定性設計方式更便宜。另外一方面為達到持續供電目的，應蒐集、考慮氣候因素，假若在嚴重和廣範圍的大暴風雨情況下造成停電，應考慮限制持續時間及影響最少用戶，及避免連串性(Cascades)或不能控制性鐵塔損壞及大停電持續擴大。因此，RBD 必須基於各地區氣候條件，考慮不同型態的冰暴風雪例如冰暴、狂風或是冰暴加狂風等因素，及造成電力系統損壞影響供電程度，絕對要避免事故的不斷擴大所導致大停電的持續擴展。總之改善架空線路的可靠度相當於線路升級，強化線路的強度及減少氣候因素衝擊線路而影響供電，蒐集及使用氣候資料也必需同時升級；改善系統可靠度的作法則在於興建更多的線路或架空線下地、多使

用地下電纜及重新檢討架空線的設計規則。

Dr. Keith E. Lindsey 則談到緊急復電規劃，首先提出兩個立場不同的問題：

(一) 資產擁有者常常會質疑：對於緊急復電我們是否有明確的策略？目前組織結構是否可有效率反應緊急情況？

(二) 資產管理者也經常質疑：為何麼我們需要準備這麼多的備料？

這種聲音聽起來似乎不同，其實共同反應出相同問題，即需要有緊急資源規劃準則。此準則幫助資產擁有者發展自己的緊急反應計畫，同時也隱含著讓資產管理者瞭解需要準備足夠的材料、設備和人力資源，使大家都有相同緊急應變立場，共同合作面對緊急情況。緊急應變規劃的第一要務是要先建立緊急應變組織，例如法國輸電公司(RTE)在 1999 年遭逢暴風雨重創法國電力系統後，隨即成立優先應變組織(PIG)，全法國共區分七個組織，以期在 5 天內分析、解決問題。緊急應變組織需由高階主管(如副總經理以上人員)擔任召集人，並結合專家組成決策規劃小組及復電運轉小組。決策規劃小組需配合公司政策、辨別風險、評估復電程式，擬定實際執行計畫。辨別風險時應考慮過去的事例、現在系統狀況、潛在的自然因素(如暴風雪、大洪水、土地滑動及火災)及人為的疏失等因素。擬定應變計畫時應要確定在特定時間內要準備材料種類與數量、交通工具與後勤支援、人力支援、設備與工具需求及通訊等項目；復電運轉小組要有系統運轉人員及有權責的工程師進行損壞評估、提供設計規範、核准現場作業修正、結構調查、修正設計準則、根據損壞評估建議復電優先順序、批准材料的汰換及提供建築草圖等；另外也必須負責合約之簽定，材料、安全、通訊、交通及財務等項目之協調工作。總之「Bad things can happen to Power Systems」，電力公司必須要經過詳細風險評估及周詳規劃的緊急應變執行計畫。

英國電網之特性與台電類似，屬於孤島系統，沒有其他系統互聯；與歐洲其他電力系統相較，缺乏水力機組和天然氣貯存，且自由化後缺乏集中規劃，系統發生事故之可能性極高，因此英國電網具有潛在危機。英國電網為孤島系統，故全停電後復電更具挑戰性，且系統經成長後變得更複雜。以英國 15 年電力自由化市場經驗，以管制機構的立場來看今日電力系統嚴重事故之復原能力有兩個挑戰，其一為新產業的結構，由於電力系統從集中規劃到自由市場，由原本單一責任分散到多重責任，及過於依賴第三服務者(如簽約者與供應者)，在事故發生後業界很少去瞭解第三服務者，常造成政府角色與管制機構的立場不同。另一挑戰為用戶期望的提高與威脅的改變，民眾或媒體對於避免停電的期望，氣候變化的影響尤其是極端惡劣氣候的威脅將影響機組的發電能力，恐怖組織揚言破壞電力設備之威脅等，都必須整合業界與政府策略，擬定計畫避免。故英國電網成立緊急規劃組織(GB Emergency Planning Structure)負責緊急應變事宜。緊急規劃組織由部長負責，下設能源緊急執行長領導由全英國各電力公司組成之能源緊急執行委員會，委員會下設四個任務執行小組(涵蓋天然氣、電力、通訊及全黑啟動等)。負責細節規劃、通訊安排及測試反應等。總之自由化後的電力市場，政府電力部門應承擔緊急應變之責任，以簡易、便利之規劃取代集中規劃，及時提供大眾資訊，協調業界間不同意見謀取共識，以提升緊急應變及大停電迅速復電的能力。

三、大系統干擾研討會(Large System Disturbance Workshop)

此次研討會主題為近年來電力系統發生人為因素或自然現象對電力系統的衝擊。根據 2006 年在美國波士頓舉行「電力系統災害預防與解決國際會議」上統計，人為因素或自然現象產生的電力系統大事故，自 1970 年到 2005 年已成長 5 倍，1970 年人為的大事故有 55 件、自然現象造成的事故有 30 件，到 2005 年增加為 250 件與 150 件。而為能儘速恢

復供電且維持基本供電，電力系統之作法應是大同小異，值得大家共同研討、經驗交流、尋求最佳方式。

本次研討會提出報告包含美國、瑞典、日本、德國、紐西蘭、法國、波蘭、南非、愛爾蘭及巴西等國家有關電力系統受到大干擾之損壞與因應對策。從美國、瑞典、日本、德國、紐西蘭的檢討報告中詳細說明天然災害如冰暴風雪、颶風等對電力系統之影響及其復電方式，隨著災害程度不同，用戶停電數量與時間及財產損失程度也不盡相同，從數小時到新紐澳良遭逢 Katrina 颶風數年後才完成恢復的情況都可能發生。日本 2006 年 8 月 14 日因拖吊船碰觸兩回 275kV 輸電線，造成東京地區大停電，約有 1,400,000 用戶停電約 1 小時。

法國、波蘭為了對抗夏季熱浪的侵襲，嘗試去維持系統電力供需平衡(不限電)，結果造成無效電力補償問題，尤其是波蘭 400kV 系統逐漸進入電壓崩潰，帶來電力系統運轉規劃者的夢魘。電力系統需要有足夠無效電力補償設備，以隨著系統運轉的條件適當調整，尤其在冬季的運轉模式和夏季的運轉模式是截然不同，無效電力的補償要有適度的修正與調整。

南非由於長期的夏季乾旱影響，曾於 2006 年 1 月與 2 月的分別發生輸電線閃絡，造成南非大停電。此現象為這些輸電線興建完成後首次發生，足見環境汙染已經影響到輸電系統的安全。愛爾蘭電力系統由於特殊保護系統(Special Protection Scheme,SPS)的誤動作造成北愛爾蘭與愛爾蘭共和國大範圍的停電。這些 SPS 之設計目的原本是為在極端運轉條件下提高運轉安全，但卻因誤動作造成系統的大停電。巴西早期也有一些嚴重的事故造成系統大停電，但巴西近年來致力於 SPS 研發與應用，卻「拯救」不少電力系統的偶發事故可能導致大停電事件。

自然災害影響電力系統的議題是電力經營者莫大的負擔，災害發生前幾

天是報章雜誌極想知道真相，若這災害發生大部分的股東或報章雜誌認為是可預防的，則反應會更激烈。因此災害發生後提供正確、合時的資訊給新聞界及股東，是很重要的事情。利用媒體將正確資訊傳送給公眾與主要股東，一般都會有正面的結果。然而，當災害發生之初，為因應緊急情況，無暇去顧及這些資訊，但應該儘可能利用自動化的方式擷取相關資訊是有其必要性。另外加強各電力公司間或電力界間的合作與相互協助，將有助於災害發生後復建及復電工作。

四、分組討論

8月28日至9月1日一連4天在巴黎會議中心2樓及3樓展開16組分組討論及研究委員會會議，各組討論時間及地點如表三。

各組討論結論摘述如下：

A1：旋轉電機(Rotating Electrical Machines)

本組共有25篇論文，分為電機機械設計之新發展、壽命與失敗風險之評估及管理工具、分散型與再生能源發電機等三個主題進行分組討論。

1、電機機械設計之新發展

本主題有8篇論文，區分為新發展(New Developments)、可靠度與特性之改善(Reliability and Characteristics Improvement)及非傳統機械(Non-conventional Machines)等三類進行討論，結論摘要如下：

表三：各組討論時間及地點

日期	時間	組別及議題	室別	樓層
29/08/06	8:45~18:00	A1：旋轉電機	BLEUE	2
		B5：保護系統與自動化	MAILLOT	2
		C1:系統發展與經濟原則	HAVENE	3
		B1：絕緣電纜	BORDEAUX	3
	8:45~13:00	C2 壁報展示座談	342A	3
14:30~18:00	電機電力工程教育座談	352AB	3	
30/08/06	8:45~18:00	B3：變電所	BLEUE	2
		D1：材料與特殊技術	MAILLOT	2
		C3：系統環境效能	HAVENE	3
		C2：系統控制與操作	BORDEAUX	3
	8:45~13:00	B4 壁報展示座談	342A	3
31/08/06	8:45~18:00	A3：高壓設備	BLEUE	2
		B4：高壓直流與電力電子	MAILLOT	2
		C4：系統技術狀況	HAVENE	3
		C6:配電系統與分散型電源	BORDEAUX	3
01/09/06	8:45~18:00	B2：架空線	BLEUE	2
		D2：資訊系統與遠距通信	MAILLOT	2
		C5：電力市場與管制系統	HAVENE	3
		A2：變壓器	BORDEAUX	3
		B2 和 D2 早上聯合會議	BLEUE	2

a.新發展(New Developments)

為減少製造及維修成本與簡化氣渦輪機驅動，最新設計顯示氣冷卻已足以取代 H₂ 冷卻，和水冷卻的靜子已被非直接 H₂ 的冷卻靜子取代。大、中型空氣冷卻發電機之特性已被改善與 H₂ 冷卻發電機特性相當。

b.可靠度與特性之改善(Reliability and Characteristics Improvement)

利用紫外線攝影機測試發電機靜子線圈(Stator Core)末端外部的電暈抑制器(Corona Suppressor)已被成功研發出來，以減少影響絕緣特性。利用部分放電測試監視發電機的情況是有用的方式，量測結果可以診斷發電機的狀況，但無法評估其壽命，未來仍需建立發電機壽命評估及機械失真因素技術。

c.非傳統機械 (Non-conventional Machines)

高溫超導體動態同步調相器(HTS DSC)的運轉經驗已被提出，超導體同步發電機之靜子與轉子之間有強磁場耦合的特性，所以在某些系統干擾下仍可穩定運轉，再配合高反應的激磁系統，將有很好的特性表現，尤其在無效電力的補償方面。HTS DSC 也可被應用於風力發電，因具有極佳的度過低電壓(Low Voltage Ride Through)能力。另外，因超導體磁場繞組可以運轉在幾乎不變的工作溫度，考慮長期的穩定效益，HTS DSC 仍然優於傳統電機，但壽命週期價值需參考 Cryo-Cooler 被允許連續運轉項目及正確的維護週期後詳細核對評估。

2、壽命與失敗風險之評估及管理工具

本主題部份論文描述利用部份放電(Partial Discharge)監測資料，以統計方式診斷發電機故障。最近發展為利用電容性耦合器作連續部份放電量測，將可適用更多的機組；從發電機監測系統之資料參數變化，可以使操作員利用簡單的統計方法評估儀器系統中正常及異常資訊；針對水力發電機操作監測發展之專家系統，可以預測趨勢與實際量測作確認。部份論文也探討發電機之更換、翻修或元件之更新決定方式與判別準則。

3、分散型與再生能源發電機

本主題有 4 篇論文討論不同型式風力發電機在干擾情況下互相影響的情形，結論是雙饋式發電機或是多極同步發電機有較佳的特性表現。

A2：變壓器(Transformers)

本分組討論約有 300 個代表參與討論，總共有 27 篇論文分為變壓器可靠度、技術性、經濟性與策略研究，移相變壓器及變壓器的暫態影響等 3 個主題進行討論。

1.變壓器可靠度、技術性、經濟性與策略研究，

本主題共有 14 篇論文，廣泛說明變壓器可靠度問題，依下列分類分別討論：

a.規範和製造

由各電力公司說明達到變壓器高可靠性的實用經驗及如何應付這些困難，供大家參考。印度提供其電力系統(變壓器容量約 57,000MVA) 變壓器損壞的重要數字，尤其在高壓直流系統的經驗；同時報告為減少停用時間，變壓器必須在現場維修及測量的經驗。大規模現場維修的程序，必需要有周詳的計畫和在

實際維修前的模擬。適當修護後乾燥、熱和絕緣證明試驗是十分重要，參照以前的經驗是有助於整個工作程序的進行。英國提供對 660MW 發電機單相升壓變壓器的 30 年經驗紀錄，目的是要獲得更高的可靠性和有效性，有令人難以相信低故障率，也證明英國在變壓器方面的正確選擇。澳洲報告提出 45 年期間排除 Bushings 和 Tap Changers 後 220kV 變壓器的故障率：單相變壓器是 1.6%、3 相變壓器是 0.18%，500kV 兩種變壓器類型的故障率相同而且很小。然而，除運輸考慮外，單相變壓器沒有足夠證據顯示比 3 相變壓器更可靠。

造成變壓器可靠性不佳的原因可能是價錢的問題，巴西提出了幾個因素，例如自由化後能源價錢減少，和製造商在競爭壓力下壓低價錢而犧牲可靠度等。為了改進這個情況，在製造方面必須有更好的規格、需要的技術合作、先進的檢查、安裝監控系統及額外測試，例如 ACSD 和 ACLD 以部份放電限制 200pC 之感應電壓試驗。鐵心之品質需被以額定頻率和 1.15 倍的額定電壓，連續 24 小時無載的損失試驗來驗證。總之在變壓器製造期間，增加和改進工廠的試驗、充份的全面性設計回饋及檢查是必要的。

b. 診斷、監控和評估的服務

捷克說明有關於纖維素絕緣體和其 FFA 價值聚合程度(DP)的相關問題，確認 FFA 應該和變壓器的型式有關，尤其是油保存系統。一個安全 DP 值應在 200~ 300 之間，DP 值在 150~200 表示變壓器即將壽終正寢，為一種不安全設備。建議運轉在 200~ 400kV 中之變壓器應具有 DP 值在 400 以上，以應付短路故障之衝擊。從加拿大、斯洛文尼亞、德國和澳洲等國報告，

變壓器中產生 2-FAL 的因素與影響變壓器油與紙之間 FFA 的部份已被列出。利用 FFA 值為診斷工具是沒爭議。但是，由於變壓器有更複雜的絕緣體系統和內部的環境，實際變壓器比在實驗室中更不容易決定變壓器老化因素。依據世界所有變壓器相關資料以修正是不實際的，應在自己公司內考慮變壓器類型和實際運轉情況等資料才是最有用。

法國說明診斷試驗以避免或減輕被迫停用的兩個成功案例。二者都在 EDF 核發電廠 400kV 550MVA 單相變壓器。這兩個情況中，以診斷監測'控制'緊急情況比唯一信任保護系統方面更成功且更有遠見。因此，這些裝置不提供所有的元件需要決定'必須做什麼'，而是熟練技術的支援和判斷來決定。

俄國提出從兩個短路損壞的自耦變壓器，短路後利用低電壓注入法(LVI)或使用掃描頻率回應分析(SFRA)試驗六個月之結果與經驗，其中一個使用 38 年變壓器被直接替換，另一個使用期間較短的變壓器成功修護和送回繼續使用。

日本提出充油變壓器診斷條件的新技術，使用氣體色層質量光譜和抽取在變壓器油中濃縮氣體及小量分解變壓器中的油，約有 130 種熱分解產品從絕緣材料熱分解中產生且被確認。這技術稱為 PTI - GCMS 分析，已應用於變壓器診斷約兩年，有明顯效果。

c. 套管(Bushings)和接點 Tap Changers) 之可靠性

討論利用極化/去極化電流(PDC)方法，測量 bushings 絕緣反應，以確認是否有缺點。加拿大提出 OLTC 設備採用的保養策略。德國提出洩漏電流和 PDC 進一步的分析經驗，另外也詳盡描述變壓器高壓套管接點使用電容性電壓探測器之線上量測監

控技術的電路和設備，此方式能夠探測變壓器套管之暫態過電壓問題；並詳細提供 275kV 185MVA 升壓變壓器套管的電壓測量、分析程序，也說明過電壓、電壓變動和不對稱的網路持續線上量測所發生情形。類似試驗電路使用在 420kV 變壓器套管之線上量測，變壓器僅使用 18 個月後就產生警報。離線檢查套管結果，製造商證實發現套管兩層之間存在部分閃絡現象，因而避免了一次潛在危機。

荷蘭總結至少 25 年槽內 OLTCs(in-tank tap Changers)使用經驗，宣稱 Y 連接之變壓器中性點末端使用銀金屬接觸子之 Tap Changers 每 5~6 年檢測， Δ 連接之高電壓三角形線圈每 3~4 年檢查後，已改善 Tap Changers 的故障率，由 1980 年的每年 9 次減少到 1985 年的 6 次，2005 年的 2 次。加拿大論文提到隨著 Tap Changers 老化，故障率將增加；使用 40 年和使用 20 年故障率約增加一倍，若要維持相同的故障率則維修周期必須縮短。

d. 修護和更新的選擇

本主題主要在制定工具、程式和專長，以決定現場維修之修理技術和經濟性，及完成修復之現場絕緣試驗認證等。德國提出可預選頻率在 40~200Hz 間 3 相靜態頻率轉換器之電壓 620V 容量 450kW 商用移動高壓測試儀器，能夠現場測試 200MVA 變壓器。未來將發展分離式移動電壓設備，可以執行 1600kV 的脈衝電壓試驗，並以電腦控制和配有暫態紀錄設備。

相同的主題法國提出連接法國和英國間之 HVDC 400kV 單相 206MVA 變壓器之現場修護和測試經驗。現場先確認問題是出自於鐵心故障，變壓器連續 80°C 加熱和不斷抽真空，當完成乾

燥處理後，閘線圈限制防止交流電的絕緣證明試驗由工廠試驗電壓水準 80%之 DC 電壓取代，使此變壓器在 2005 年 10 月成功修復繼續使用。

挪威說明現場維修完成再次建立變壓器絕緣體品質的實例。該階段的問題是缺少油/固體絕緣體平衡，需俟變壓器運轉幾個月後才能獲得完全地穩定平衡。從油樣品試驗決定的絕緣體品質被認為可疑時，將對被抽取的退化產品加以監控取代。線上的直接處理油比處理固體絕緣體更合適，因線上處理只能依賴冗長的稀釋過程改進固體絕緣體品質，離線處理過程可以用直接加熱和真空，像熱油稀釋或低的頻率加熱等比較好。

變壓器現場檢修決定因素是與合適工廠設備的相對距離有關。2005 年德國兩個裝設在國外高壓直流變壓器，需更換線圈和加上其它設備，這些新線圈在德國製造和測試後，運抵現場與其他的設備組合維修完成後，現場絕緣測試以原始試驗 100%交流電壓和至少 80%直流電壓進行試驗與認證後，已於 2005 年 6 月恢復運轉供電。

英國也有為 2000MVA 升壓變壓器現場維修的報告，維修完成後以加強試驗電壓層級來測試，雖然很成功不過他們強調利用過電壓要特別留意，以避免提高單相對地故障的機率。瑞士提出超過 15 年和大約 200 個變壓器的現場維修經驗，說明有些設備必需要有房子以利變壓器拆除到修理完成期間需要被保護，提供有效處理及修理後絕緣試驗的標準和水準的規定是必需的。

e. 可靠度性新威脅-腐蝕性的硫

自 1990 年以來變壓器中腐蝕性硫的問題已逐漸被重視。幾個因腐蝕性硫引起變壓器故障實例被提出來討論。部份論文提供目前

情況的全部估價和全世界大量實驗結果，建議修訂既存標準例如美國試驗材料學會(ASTM) D1275。

瑞典的報告確認修訂實驗室的試驗已立即被同意，不久將會公佈在 *Electra* 雜誌上，另外建議用戶如何決定最好的油，同時指出問題的原因、能夠避免的方法，並認為現在不必要改變一般變壓器工程設計和技術。然而，在供電中和處於危險狀態的變壓器建議與原始變壓器製造商和油的供給者商議後改用適當材料。

f. 新技術

討論變壓器和氣體絕緣變壓器增加監測器之優點。斯洛文尼亞強調資料轉移系統像 SCADA，已被利用在變壓器安裝和適合電驛類比與數位信號。韓國報告高壓與低壓氣體絕緣變壓器之製造和維修費用的比較，高壓的氣體絕緣變壓器需要忍受更高壓的槽(Tank)，因此製造費用較高；同時 OLTC 分流器合併真空開關必需裝置在分離的隔艙中，需要附加費用。高壓類型氣體絕緣變壓器也須要更高的保養費，而低壓力類型氣體絕緣變壓器僅一槽需要保護裝置，惟其洩漏電流之危險性更高於高壓類型氣體絕緣變壓器，非金錢所能評估。

g. 可靠性調查

可靠度調查提供用戶一些有趣及有價值的資訊。然而，確實資料需由用戶自己內部操作直接獲得，外部例子僅可供參考。

德國變壓器製造商認為對引起注意之"Failure"、"Defect"、"Force Outage"、"Failure Rate" 等可靠度，需要有不含糊和一般均可理解的定義。Failure Rate(FR)被定義為：

每年故障率 $FR = (\text{變壓器故障台數目} / \text{變壓器總台數}) \times 100\%$

故障率 $\leq 0.5\%$ 認為是極好的;0.5%~1%之間是好的;1%~1.5%之間是令人滿意;1.5%~2%是可接受的。超過2%是不可接受。根據統計連續6年(1991~1996年)和10年(1991~2000年)故障率變化分別為0.13%和0.21%，平均值是0.17%。

加拿大報告美國 EPRI 針對 KCP&L 的研究結果，比較非災難性的故障變壓器重建與更新價錢之差別約是 20%。許多考慮因素例如診斷設備、低壽命預期、額外監視和保養等被評估證明修護優於更新。通常使用 20 年的變壓器，更新設計是優於修護。

2、移相變壓器(Phase Shifter Transformer)

移相變壓器(PST)多年來已被使用在電力系統中控制電力潮流。由於移相變壓器增加了規格、設計和試驗的複雜性，各方面都面臨挑戰，故製造商與使用者間加強合作是必要。

a. 移相變壓器和自耦變壓器

從巴西、德國、加拿大、法國和日本報告中設備製造商和系統工程師之間取得共識是絕對必需，能夠儘早透過合作及設計，可達到需要的角度控制和電壓的控制。運輸和雜音也必需提升設計水準來抑制。雙鐵心和分離電壓調整的設計，應用上有更好的效果。

從日本的經驗報告也指出相同的方向，設備製造商和使用者間緊密合作，將對電力潮流調整步驟、控制角度、控制步驟和電壓的結合有更好的結果。

移相變壓器短路時的忍受能力在法國報告中也討論，並提出理論證明可行的方法，證實移相變壓器經常不需要有多餘的元件空間及和二個主動式元件分離組成，故建議發展一個標準的程

式去適當評估這些元件機械和熱的狀況。

b. 移相變壓器創新觀念與彈性交流系統之技術-經濟比較

瑞士報告中針對 FACTS 與移相變壓器成本作比較，前者比後者較便宜約 20%，其餘優點尚有抑制短路電流、減少重量等。德國、法國和加拿大報告中也提到個創新應用如結合故障電流抑制器或使用在不同電壓之 2 條輸電線上進行有效電力與無效電力調整等。不使用半導體設備之彈性潮流控制器與故障電流抑制器的優點也被討論。

另一個創新概念為變頻變壓器 (VFT)，利用轉子轉動補償兩個非同步網路之間的頻率差。連續 360° 範圍調節能力之移相變壓器也被提出，加拿大報告安裝 100MVA 設備最初幾年的使用經驗。

3、變壓器的暫態影響

a. 避免設備損壞而影響設備使用者與製造商間密切合作

巴西在設備設計與運轉期間與設備製造商成功的互動經驗，說明製造商如何進行暫態模擬與現場試驗。這個合作可確保設備的可靠運轉。法國報告變壓器在加壓時，如何考慮參數的修正、殘存磁力線與斷路器的正確認識和變壓器的無載加壓現象。

b. 快速波頭的暫態模擬

日本利用氣體絕緣匯流排將變壓器連接至 GIS 上，GIS 隔離開關的操作隨著提升時間能產生非常快速暫態過電壓現象。當時時間少於 0.1 μ s 不尋常高電壓時將發生在共振頻率上。分析後發現利用多導體的傳輸線模型可以改善。

c. Z_NO 可變電阻預期壽命

澳洲經驗表明 Z_NO 可變電阻可以減少 Tap Changers 線圈上的過電壓而延長壽命。日本報告也有類似經驗，自 1980 年以來，變壓器使用 Z_NO 可變電阻並無大問題，熱油下的加速老化試驗同時進行以期望延長壽命。

d. 遠端加壓的故障

日本將 500kV 變壓器事故歸因於遠端加壓，因線路上遠端連接變壓器之斷路器被關閉，一個步階波透過地下電纜傳輸到變壓器而損壞。法國報告討論在大停電後的復電期間過電壓的危險性，並提出一些解決方法。

e. 保護設備誤操作的緩和

委內瑞拉提出 13.2 / 400kV 升壓變壓器互相干擾的報告，它隱含特殊系統中湧入電流作用引起不同的操作，並已經成功採用緩和和方法。

f. IEC 60076 對快速波頭暫態的適宜性

墨西哥報告在高雷雨地區由於大氣層重覆放電陡峭波頭暫態，造成絕緣電壓集中在線圈，因此建議修改下一版本 IEC 標準，考慮實施陡峭波頭過電壓試驗，從這些過電壓紀錄擴展去決定變壓器設計和保護裝置需要特性。如同從法國的報告電容電壓分配器能夠被適當的運用在變壓器套管之電容分接頭以測量過電壓，這些測量能提供更佳的理解、模擬和改進設計。

A3：高壓設備(High Voltage Equipment)

400 名以上代表參加本組討論，總共有 25 篇論文分 3 個主題提出

討論。分述如下：

1、新型高壓設備和發展工具

a. 斷路器

隨著斷路器的發展，雙倍移動(Double Motion)與雙倍速度(Double Speed)的比較被提出討論。幾篇論文提出雙倍移動斷路器的優點係以非線性方法和最佳速度，以減少能量的需要，有人也提出雙倍速度斷路器一些具有前瞻性改進作法。兩個選擇之間的競賽看起來仍然存在，需要再仔細思考。這種情況，由計算和模擬的技術模型發展也可以得到證實。

針對斷路器清除單相故障電流之額定遮斷容量的評估，研究後認為在額定電壓 RRRV 的電壓影響不大，但主要影響為故障電流與 TRV 時間延遲等參數。故障電流在 0 以前，0、200、500ns 電弧導電率或電阻係數和忍受故障電流能力的電弧參數，已經被討論和針對單相故障電流的設計提出理論限制。然而，由於電弧的不穩定行為，試驗結果的總有分散現象發生。甚至結果對製造、組裝和試驗過程的微小差異都非常敏感，也增加試驗結果的分散。三篇文章提出利用計算和模擬工具有助於最佳設計和減少試驗的數量，不過其結果應該過度高估，應是在模擬和試驗之間的緊密相互回饋。非傳統儀器變壓器(NCIT)光電部分和聯繫的電子零件壽命評估，也提出經驗數據：光探測器壽命大約 40 年，電子零件壽命約 20 年，但電子零件很容易在現場更換。

有關 GIS 控制和監測功能之電子設備，必須要小心處理，以免防礙控制與保護的電路高可靠度的需求。將可參考 IEC 61850 進一步發展。

利用二極體壘積以代替消弧室之中壓斷路器的新設計觀念已被提出，為了預防二極體的過載，伺服馬達將使用控制開關。經過測試和使用在單組電容器和並聯電容器組的背對背操作上，有很好得效果和最小開關過電壓現象。技術可行性研究顯示可應用於 72kV 以下系統。

b. 礙子

兩個文章表示使用隔離開關斷路器(DCB)可以節省變電所約 40%~50%的面積，和對整體斷開功能而言，則有較少的保養之優點。有些問題像斷開功能中看不見縫隙的安全問題，在低壓或防污染消弧室會發生之現象也一一被提出討論，惟廠家宣稱設計和試驗階段也將這些因素考慮在內，且也有很好的使用效果。

DCB 新的透明合成礙子和分離的斷開接觸子也被討論，透明合成礙子的安排允許看到打開空隙，但是它還是存在許多質疑，CIGRE 還不確定推薦。

澳洲經過詳細調查自 1997 年安裝在高壓(超過 100kV 系統)之 3000 個合成礙子，結果僅 4 個故障報告。荷蘭電力公司在海邊附近重污染的地區使用合成礙子的經驗，也有不錯的效果。利用高電場梯度進行設備加速老化試驗也有良好結果；在鹽霧害試驗中比較陶瓷類型和合成類型礙子，結果合成礙子有較大優點。在實驗室中高壓斷路器合成礙子在特定的情況也有一個故障經驗報導中，但綜言之，合成礙子有較佳使用經驗。

c. 避雷器

巴西提出架空線使用避雷器對雷擊有很好的保護效果，日本提

出使用超過 83000 個外部縫隙的避雷器(Externally Gapped Arrester)的經驗，歐洲也提出線路突波避雷器與線路斷路器之控制開關結合經驗，都令人滿意。

2、高壓設備老化管理 (資產管理)

a. 監控和診斷的管理

澳洲和印度均採用大規模監控處理策略，講求資源管理的方法及效率而非技術。澳洲兩家主要電力公司採用監控策略：一家在所有新變電所安裝遙測設備和既有變電所的升級更新時才裝設；另一家在著重於重要變電所，兩家都在變電所二次側應用監控設備，但其中一家利用本利比的方法決定是否裝設。印度提出所謂「動態接觸阻力測量(DCRM)」，執行資產條件測試評估，藉由 DCRM 方法已經檢查 40 個斷路器而避免故障發生。

IR 熱顯影技術比期望的更複雜，供電中時使用要能夠保持簡單。此外其他方法可用來輔助如紫外線攝影機可以加強或改善 IR 熱顯影技術方法。

b. 現場校正

由於電力市場的自由化，整體校正是越來越需要。兩種技術(傳統電鍍 R -C 的分發器和光學電壓轉換器)可供選擇。兩種技術都具有不需停電、整個過程都可校對和廣域動態範圍的優點，光學電壓轉換器更有便於運輸、容易連接和沒有電容性電流吸收問題之特性。

c. 運轉經驗

挪威分級電容器(Grading Capacitor)於 2004 運轉情況不佳，目前已決定更換所有已正常運轉 20 / 25 年之分級電容器，並限制

維修時僅以目視檢查，另外並聯電抗器之斷路器使用控制開關。

CIGRE A3.18 工作小組已提出對分級電容器研究摘要，部份成果將會公佈包括故障率、故障原因及陶質的電容器。製造商提出 420kV 斷路器將空間加大一倍，則不需要使用分級電容器之良好經驗。

日本提供維修經驗、監控和老化過程的知識對於評估設備的剩餘壽命非常重要。故障和老化現象的調查，使用者、製造商甚至和 CIGRE 內部都要緊密合作，始可達到最佳可靠度、維修和產品壽命的目的。

3、極端壓力(Extreme Stresses)

a. 氣候壓力

針對電容器試驗中有關 SF₆ /CF₄ 混合氣體表現，已由實驗室實際測試結果和零電流的測量提供答案。雖然他們在 SF₆ /CF₄ 混合氣體找到一個非常大的電弧電流，但是也展示了極好絕緣和遮斷特性。加拿大的報告對斷路器在常溫下使用相當於最小功能壓力之混合氣體進行定型試驗，有非常好的評估效果。發電機斷路器縱向絕緣是最具關鍵性，如果橫過接觸子的電壓達兩倍，則相對地電壓可以持續相當長的時間。地下電纜和電容器組的開關，斷路器縱向絕緣也是非常重要。

b. 暫態壓力

IEC 62271-100 已經接受 2 個有關 TRV 需求的修正案，現在與 IEEE 一致。新需求將對 TRV 和負載電路試驗時經常使用分離建築物而產生高離散電容之大型實驗室造成一些困難。

高短路電流和 DC 成分已經提出討論，評估斷路器執行情況的

大拇指規則也被提出。巴西討論了該系統連接 IPP 機組後 X/R 比例高，產生 DC 成份過大的問題，為了避免更換斷路器使用故障電流限制器。

並聯電容器組鄰近斷路器的衝擊也被討論。法國介紹研究與運轉經驗；巴西以限制 TRV 避免放射狀系統相角不同相，使用特別保護電驛跳脫以因應停電發生。IEC 應付極端過電壓的策略是使用更高的額定電壓；但日本專家提出 550kV 的網路部份提昇至 600kV 的可行性。

C. 試驗

串聯補償電容器組利用火花縫隙(Spark Gap)保護之金屬氧化變阻器(Metal Oxide Varistor, MOV)保護。火花縫隙的保護係藉由電路旁通和電流限制器保護，在試驗實驗室中已經成功測試。一位專家提到省略火花縫隙是可行，但是另一位專家立即指出沒有火花縫隙缺點。

關於(MOV)壓力釋放試驗是需要，當電容器組必須建造時，這樣的試驗很昂貴。使用完全摺疊和加強的聚合物箱子封住可變電阻，測試結果有減少危險的性能。因此建議修訂標準 MOV 使用聚合物箱子以壓制壓力釋放試驗。發電機斷路器測試期望不久將接受 IEEE C37.013 的新版本。修正案包含發電機從 10 到 100MVA 的狀況。發電機斷路器非同步相試驗是基於 90 度角度差，一些專家提到對於低慣性小的發電機可以適用，但對於大的發電機可能需要 180 度才適合。

B1：絕緣電纜(Insulated Cable)

本議題有 26 篇論文，約 300 代表參加本組討論，分三主題提出討

論：

1、高壓交流、直流和海底電纜的新安裝與產品發展

第一篇論文說明不同階段電纜的壽命週期，研究委員會 B1 已將此納入並反映在目前進行的 B1 工作上。

根據最近安裝和發展情況看來，電纜系統技術是進步，技術執行、可靠性和投資的效率是主要的關鍵參數。三芯的海底電纜作得更大和更長，第一條 420kV XLPE 海底電纜已經安裝完成。材料與生產效益需要同時發展，在許多情況下預製的接合是最佳的選擇。一些國家為路徑和保養的目的喜愛管道安裝，而在其他國家認為直接埋設是一個更適當的方法。管道安裝，機械表現需要徹底地考慮，管道內蛇行安排需透過電腦模擬。安裝以後之試驗是必需，通常交流測試為較佳的方法。長距離交流電纜以較低的頻率試驗也是急切需要。海底電纜的發展已超過 10 年，衛星定位系統、遠端操作船對電纜安裝和保護是必要的。

超導體電纜發展狀況除了更長距離需要外，短距離超導體電纜在大範圍的可管理性之技術也面臨挑戰，最大的挑戰則是超導體電纜系統的成本。惟超導體電纜系統的經濟性是可被克服，尤其是當人口稠密可利用隧道而不能提供額外傳統地下電纜的地區。

為增加電纜的額定容量，應用外部冷卻為適當，水冷卻是非常普遍的趨勢，很少有其他類型冷卻媒介被發展。

2、高壓交流、直流和海底電纜系統的安裝與維護

許多不同維修實務和監控方法被討論。一篇論文提出為七個角落支柱維護綱要，說明維修策略。關於是否把光纖與電纜本身結合或接近電纜單獨放置，是非常生動的討論，建議應該與電纜整體

結合，但被多數用戶認為不切實際，尤其是維修和電纜的修護時。

熱監控已成功裝在既有的電纜系統。探測瓶頸的分離探測器或使用沿著電纜部分分佈的光纖已經被使用。假若沿著電纜路線實際熱條件都被詳細知道，電纜負載量可以用計算方法計算的。

至於評估殘餘壽命的方法，很明顯沒有直接和清楚的方法可用，找一個限定答案來代替決定是不可能；然而能使用分析電纜樣品、編輯和分析統計故障、執行診斷測量等方法去得到電纜的狀況資料或電纜應該規劃替換。

3、改變運轉環境中電纜系統

由於邊界條件的改變加強了新技術挑戰，這可能是物質的限制、電纜和既有架空線及新電纜與既有電纜的不協調(像隧道或橋梁)及環境和健康的考慮等。由於氣體絕緣輸電線(GIL)高容量和低的電磁場，在特殊情況下 GIL 是最佳選擇，如日內瓦裝設原因(2001年已開始運轉)。

電纜避免外部的損壞需要保護，也讓人認識到電纜保護的費用是投資的一個重要部分，尤其是海底電纜。海底電纜能夠利用新機器將電纜埋設在海底部。為避免錨或拖網漁船的損壞必需提供足夠保護平衡，爭辯者說提供足夠保護以避免大錨造成損壞實際上是不可能，不過這種類型的損壞很罕見。釣魚船經過的地區往下埋深 1 米深度已足夠，更深埋設電纜將減少電纜額定容量或者需要更大的導體。

B2：架空線(Overhead Line)

本組共有30篇論文，分3個主題討論如下：

1、地理資訊的新發展和架空線系統的資源管理

本主題係論地理資訊系統(GIS)在架空線規劃與營運之應用，有10篇論文被選在大會討論。

a. 植物管理(Vegetation Management)

架空線跳脫無法供電原因之一為缺少植物管理，讓樹木碰觸架空線引起停電，利用GIS可以減少線路跳脫停電機率。

b. 架空線的雷達紀錄

架空線使用雷達精確紀錄資料的成本利益與好處也被提出討論：第一個優點利用雷達精確紀錄資料能使運轉溫度隨著低風險而安全增加；第二個利益因為線下空間能被辨識和修正，可以改進系統的可靠性。雷達檢測的時間和費用已經與傳統檢測作比較：在160公里架空線利用雷達檢測最多費時40天費用\$150,000美元，利用傳統的檢測需要4個月和花費\$225,000美元。其他經驗則提到利用雷達每天可以檢查大約2-300公里，而雷達的費用與傳統方法相當，但是檢查的速度快很多且不需要被環境或土地所有者允許。由於地形學的高精確度，不久的將來現場檢查是必要，尤其選擇確定新建輸電線最佳路徑時。利用這個資訊來協助承包商量化計畫，能夠快速和精確做出更低和更有競爭的價格。這系統將進一步使用於系統辨識和植物的管理規劃。

c. 資訊系統的組織

日本利用這套系統及根據設備的實際情況去延長維修周期已經節省18億日幣，標準軟體的正常技術足夠允許工作人員使用此系統，使用此系統的阻力是由於剛開始時減少工作人員，惟最後被重新任命、新任命和透過良好通信克服。公司也回應工作

人員從他們的建議連續不斷改進系統。良好的領導展示在系統的執行期間是非常重要的，因而得到一個結論：大規模組織可以配合的一個系統的執行而改變。

d. 改進運轉和檢查的方法

傳統的雷達在雷射系統已有優良表現，沿著線路0.1m和0.2m之間以20-30節的速度檢查是相當的精確。未來探測器的研究計畫是正在進行，含探測器的重量、電力供應和太空價值等限制因素。雷射的升級已進行，更進一步的考驗是有待解決的。

利用遙控直升機兩年後此系統才可使用在室內，規劃裝設IR探測器在這飛行器上應考慮其載重限制，飛行器的氣候限制如風速10m / S、雨為5毫米 / H等。長距離資料的傳輸可利用電驛站克服。隨著這些電驛站的幫助，能在4 - 5公里的距離安全使用飛行器。

2、確定性和機率性的方法比較(Deterministic and Probabilistic Methods Comparison)

比較以確定性和機率性設計架空線的方法有下列主題被討論：

a. 架空線設計準則和在不同氣候之載重評估

巴西風的測量顯示亂流(Turbulence)(標準的偏差/平均風速度)的一個水準比IEC 60826類型B的標準更高；這個差別歸因於IEC類型B標準中地形的主觀分類。為了說明在風測量中顯示增加的亂流，巴西根據在他們國家特殊地區增加風速因素從1.06變化到1.16。CIGRE特別報告提出測量許多年來除高強度風(HIW)如龍捲風、颱風等情況外，風的記錄應該是穩定的。假如風測量的結果是非穩定的，他們建議計算風壓應採用非

Davenport的風模型。這也表明巴西和在許多其他國家中風記錄不能區別雷豪雨 (Downbursts 和龍捲風)和Synopptic的風。這些環境下間接使用Davenport 模型以計算雷豪雨載風重量是有問題，因此建議在高強度雷豪雨區增加鐵塔載重。另外研究評估傳輸線在HIW事件的反應，風速度的測量方面和他們的空間分佈，並且測量塔和導體拖拉係數與說明在IEC、CENELEC和ASCE間風設計實行之間的基本差別。關於風資料的統計評估，確認POT(Peak Over Threshold)統計分佈，允許使用每年資料中的限制數字產生可靠50年的風速度估計。證實用適當統計技術8年資料是足夠用於到達41M / S如同應用於20年資料的普遍化的極端值(Generalized Extreme Value, GEV)得到相同的設計風速度。捷克應用POT統計分佈進行Stunidce地區冰負載的測量。針對地形類型B，風的轉換因素的差別從2秒到10分鐘促進轉變因素1.41(IEC 60826) 和1.43(EN 50341)，當提出一個可變值和以大量觀察為基礎的經驗公式時，比較從測量得到的值是1.54，其歸因於在EN 50341 Peak Gust Factor的值被認為是不變。

基於前述的結果，計算風負載使用IEC 60826和EN 503412的標準，和與巴西提出的方法比較，後者找到的比IEC和EN更低10%，但就地形類型 B 或者I而言幾乎同等。法國基於這些結果在類型B地形中採納較保守觀點之EN 50341。在更粗糙的地形中 (EN類型III 和IV、IEC類型C和D)，這個研究提議採用更保守的方法。

b、架空線運轉狀況

風力作用於在格子(lattice)鐵塔使用風洞試驗(wind tunnel test)

是可調查的，結果證實IEC 60826方法在預料塔身和其擴展體上的風力時是足夠的。但在塔腳擴展情況下，若以論文中提出之新方法計算塔腳拖拉物係數時，應考慮其長度和體積的比例。此外，橫向風在三角類型鐵塔的橫擔和梁作用力需考慮風投射在鐵塔的橫向面積。因此提議CIGRE Brochure 109 能更詳細、更精確描述風投射在三角形鐵架構上橫擔-梁橫向面積之情形。

把兩條平行線被支索固定的V型塔倒塌歸因於雷豪雨的事件，但是倒塌附近的精確風速度不可知的。爭辯說原始倒塌可能是中間的兩座鐵塔，觸發引起鄰近2或4座鐵塔倒塌。它是可能，暴風雨剛開始前足以產生這樣倒塌。過去高支索固定的V塔約為更短的鐵塔倒塌的兩倍，因此認為高支索固定鐵塔的某種特別動態行為應與支索固定減緩有關。

墨西哥標準基於IEC 60826被使用來設計新線路包括橫過河流的鐵塔。以50年的風速度選擇作為設計鐵塔的標準，用200年重現期來設計橫過河之鐵塔。此外，為防止鐵塔連續倒塌每10 - 11個鐵塔的一個側面頂住砂輪以抵抗不平衡鐵塔的拉力。

最近可靠度基礎的設計(RBD)標準已經被IEC、CENELEC、ASCE說明，並顯示於導體和鐵塔之風負載在這些標準之差別。RBD 是完成特定可靠度最有經濟效益的方法。

c. 風力資料統計的蒐集與說明

巴西在一些海岸地區考慮實際風速，這種考慮當計算導體 Ampacities時比一般採取的更高，能使置於這樣的地區的輸電線允許增加電力傳輸約 20%。

當導體弛度使用機率性方法決定時，討論違反規定清除的可能性。其突顯任何危險在理論上不可能是0%或100%。這樣違反規定清除的危險向來不可能是零，在設計過程他們必須列入考慮。在澳洲有時考慮違反導體對地與障礙物規定清除的可接受性，有時候則沒有最小量清除的規定。第一個情況如果違反規定清除則是違法；第二個情況如沒有最小量清除的規定，澳洲提出一個吸引人的危險管理模型，這種個別閃絡的危險可相較於其他危險如被閃電打到或汽車發生意外事故。遲早在國際標準和實用上會定出可接受的危險概念，確定超出地面和障礙物之最小清除量。

精確地區天氣資料的獲得已被討論：如果在污染水準上的資料可以獲得，則允許增進既有架空線的礙子攀爬距離，以減少閃絡的機率。當礙子絕緣水準改變後，利用軟體計算閃絡發生率更能接近實際值，委內瑞拉有顯著的使用效果，這些資訊允許用軟體代替簡單圖表更能精確計算雷擊閃絡發生機率。

3、架空線新元件和新診斷工具及方法

本主題主要討論架空線新元件、材料和新架空線的效益評估、使用壽命預估、風險管理和保養策略等新診斷工具。

電力公司對架空線提升容量（尤其透過利用線導體的熱極限）很有興趣，導體溫度監控成了近年來熱門主題。巴西和瑞士提供新、舊技術及從正反領域比較兩方面的研究。

風產生振動現場監測器例如次橫越振盪和防止架空線空氣浮動振動的多目的設備的紀錄器已有新發展。新類型高溫導體的使用及設計經驗也引起與會者注意，不久將會公佈在 CIGRE 技術小冊子上，它將涵概著世界上使用高溫導體的經驗及相關硬體等事

宜。在導體和 OPGW 腐蝕方面，澳洲提供在不同污染環境下，各等級導體腐蝕比較，巴西也有 OPGW 的腐蝕問題，研究指出影響腐蝕過程和大氣條件的參數。

在極端條件下由於水氣引起閃絡的暫態損失等尚未有結論的答案。中國提出在許多污染狀況下，矽橡膠合成礙子在閃絡以後快速恢復的情形，10年來裝設差不多1百萬矽橡膠合成礙子，極少的閃絡和故障率(相較於陶瓷和玻璃的礙子)。

關於礙子的攀爬距離有二所學校針對合成的、非合成和其它類型以相同攀爬距離現場測試經驗，認為合成礙子具有成本優點，僅其它的75%。他們指出這將取決於專門應用和污染的環境。另一方面建議在138kV以上礙子建議使用壓力控制環(電暈環)。最後建議使用紫外線或紅外線的照相機測量在供電中探測合成礙子的內部故障是可行的。

B3：變電所(Substations)

近年來電力輸電系統和配電系統的變化是很大和仍然繼續，不但要面對技術和設備的改進也要增進效率和減少維持使用壽命費用等挑戰。所有這些迅速變化隨著元件的老化越來越重要，不久將來維修或更新間將作出決定。隨著電力需求快速成長，尋找變電所的新概念和適當設備，製造商和使用者間已有共同發展，以達到全部更新和發展的優勢，這必需從新設備設計、新單線圖概念和配有較佳的更新方法開始。本分組討論之主要目的在查明這些發展的結果。本分組討論總共21篇論文，分3個主題進行討論：

1、變電所壽命管理

近幾年電力工業結構的基本改變和新應用不僅在開關場

(switchgear)也同時存在於變電所新設備和新設計。因此，不論是否直接或遠端操作之變電所，如何去處理變電所的設備老化或需要更新如SF₆的洩漏等問題，都需要有更好的方法。甚至，變電所設備之更換、重建、翻新或延壽等條件都是大家想要知道的，很多的答案都從IEC 61850的應用與介紹經驗中得到。我們得知共有變電所會產生地區性的問題，但大多數都沒被認為是一個問題，所以清楚地定義所有的關係和責任是非常重要的。

SF₆安裝設備的滲漏是低的，但電力公司仍然盡力減少這個氣體排放量。通常解決辦法是根據CIGRE指南"Practical SF₆ Handling Instructions"方法，連續不斷監測SF₆的密度，假若發現洩漏立即確定洩漏量儘速檢修後恢復供電。停電被認為是非常昂貴的，因為將會限制設備的有效利用。因此發展不同的策略主要為較老舊的設備以用附加層或者被覆的方式解決洩漏的問題。另外洩漏原因可能是零件O型環性能問題，製造商應精心地考慮。

過去電力公司經常在設備使用一定期間後就更換零件，但現在零件使用期限更長，以壽命週期較佳的方法觀察，此似乎是要依個別零件決定例如斷路器將可使用高達 50年或更長。努力做好調查，不過最後仍然是經濟考慮。

故障率的統計是重要工具，然而作出正確的決定是非常困難的。有一家電力公司為了延長設備壽命決定由區域控制中心進行統計評估，但一個研究單位指出設備故障量是非常大，因此進行詳細的分析是不可能的如缺乏零件使用年份的故障率、甚至是檢修作用與換新技術的影響等。

B3研究委員會不接受任何設備壽命和維修建議，因為沒有人有充分足夠且不要進一步的說明資料可以確定延長設備的使用壽命。

B3認為設備的壽命將根據使用的經驗決定。

瑞典認為更新輸電系統中變電所比僅使部分設備更具智慧來得好。在其他國家也有升級變電所的額定，使設備有更長的供電時間。基於更多經驗，現代計算方法能幫助改進設備的使用。某電力公司認為用一般方法無法辨別變電所代替或更新那種較好。另一個電力公司認為有更革命的方法和相當經驗可以在變電所的更新中安裝新設計之設備(特別在拱位安排的新設計)。為了減少工程費用，配置的標準化能夠相互複製，設備安裝時間必需儘可能減少，其它時間留給土建工程。人的問題比技術更有關係，移走人的腦中障礙是一個重要和必要的任務。

蒐集IEC 61850 的經驗和執行情形也是B3主要工作之一。改革過程開始時都很慢速，在大停電後才會受到關心人士積極驅動；製造商期望採用IEC 61850更是為創新的方法。甚至IEC 61850的目標不是針對變電所的操作，而是為現代新電腦技術的需要。通常這些資訊將花費更多時間去適應這些基本的變化，讓人們學習和給用戶或者製造商適當援助，這是有前瞻性結果的學習過程。

世界能源供應在技術、經濟和環境的改變下，促使變電所設計改變。在變電所空氣絕緣開關場(AIS)和氣體絕緣開關場(GIS)之間，各種類型開關裝置的結合，說明了高度整合或混合型開關場將被彙總為混合技術開關裝置 (Mixed Technology Switchgear, MTS)，已經引進市場。

2、變電所技術發展和執行

成本減少、整合開關裝置、濃縮型、安全、測量改進、最後被整合至IEC 61850內等優點，驅使製造商發展非傳統儀器變壓器

(NCIT)。然而有一篇文章陳述NCIT迄今商業應用已至極限，兩個計畫則提供好結果，NCIT系統仍要對需要節省成本和空間用戶提供服務，研究委員會收到幾乎是正面肯定。有一篇報導指出NCIT必須配合線上保護系統使用，另一篇敘述的合理數目幾年前已經安裝在澳洲使用有好經驗。

全世界使用60%的屋外式GIS幾乎都在日本，已經有對抗雨、雪、冰或其他的環境影響的腐蝕和保護需要特別處理的因應對策。最近新觀念的GIS(或稱為 MTS)已被安裝在屋外變電所以取代老化AIS，AIS的使用經驗能夠幫助屋外GIS的應用。屋外GIS主要安裝污染嚴重的地區，一個電力公司指出為延長壽命建議使用被覆保護通風口和邊緣，雖然可能但不是唯一方法。

變電所重要元件的表現也被討論。過去的問題是：電力公司如何對變壓器故障作出反應及限制停電時間？用什麼條件監控以防止故障？一篇文彰提出一個正常條件監控方法，能夠提供實施變壓器適當保養，變壓器故障將可防止並減少故障率；一個自動復電系統如果安裝此系統停電機率將減少。這個系統已可適當地工作，並可確認了它有效性。

變電所內進一步的改進係調整設備的絕緣如間隔器，把典型礙子換成階段礙子例如反污染設計需要。隨著主要和橫向匯流排安排改變能解決許多問題。

資產評估和最佳化的準則是需要的，為獨立變電所選擇最佳解決方案之方法，除了評估經濟利益，環境的方面也必需考慮。自然災害發生設備的更新是經常發生，可藉此機會作系統的改進。若現在不做以後將花費更多，一般經驗，加強系統和使用適合系統與環境條件之設備是必要。

3、環境

本主題有兩篇論文：一為在極端海上污染情況下絕緣礙子性能狀況，說明避免風險需要透過先進技術的處理；另一為考慮ECO設計現代GIS系統替代變電所設備的情況，討論環境相容性。ECO為市場上設計新項目。第二篇論文陳述設計創新，考慮關於設計參數生態改進新辦法像使用的尺寸、材料和技術。甚至壽命週期評估價研究(LCA)被進行證實環境對開關裝置的全面衝擊。然而，無疑地解決辦法必須強調經濟與生態平衡。現在比較強調經濟性，中短期環境的重要性將逐漸被關注。

變壓器和開關裝置是由高級材料組成，當其壽命結束後材料是可再利用或再處理使用。依據設備種類不同，80~90%的材料都能夠回收再利用。

B4：高壓直流與電力電子(HVDC and Power Electronics)

約有150位代表出席本組討論，有27篇論文供討論。本分組討論反應大家對材料的技術廣泛的興趣，本分組任務是「增進高壓直流和電力電子資訊和知識的國際交流，利於提升工程的進步」，並結合「實用」與「藝術狀態」，提出新的建議。本分組在技術會議共分3個主題即高壓直流和電力電子新技術與計畫、高壓直流和電力電子工程計畫之相關問題、高壓直流和彈性交流輸電系統在電力系統的角色等。

1、高壓直流和電力電子新技術與計畫

本主題焦點在為會議帶來高壓直流和電力電子裝置革新應用的新思維。靜態無效電力補償器之應用如去冰器、三極高壓直流轉換器，將交流變換為直流等兩個創新思想被提出。兩個新發展透

過新技術突破舊技術的邊界。這些技術將電壓轉換器的輸電容量提升到1000MW和線上換相器運轉在直流電壓800kV。使用雙向閘以幫助三極直流運轉，串聯和並聯轉換器使用於800kV之UHVDC的架構也被討論。

提升超超高壓直流需解決直流轉換器變壓器故障的問題，B4應該準備好UHVDC應用計畫，高壓直流鋼纜的極性相反問題也是需要在既有標準內修改負載週期試驗。在考慮經濟性和環境可接受度的地區或當既有交流轉變為直流時，為提升架空線運用在架空線使用電壓源換相(VSC)傳輸是需要的。直流故障檢討能決定VSC轉換器之閘與大部份主要設備之問題，故詳細檢討線路故障情況，可以解決這些問題，尤其是為處理線輸電線切換和雙向閘等。

2、高壓直流和電力電子新工程計畫之相關問題

集中在轉換器變壓器故障和與交流變壓器故障率的統計比較，對轉換器變壓器運轉改進需要加強。Cu₂S是一個問題，但不是新的現象，也不是故障的唯一原因。轉換器變壓器故障率大於交流變壓器的原因，是因為交流系統設計時有N-1安全考慮。

環境監控/批准過程在任何高壓直流計畫中，已被認為是關鍵因素。一些公司花費更大心血在說明經營與股東關係上，已有正面的效果。由於商業原因在一些計畫中已經避開單極地面返回方式，以加速被批准過程。針對高壓直流計畫之環境規劃準則，B4和工作小組也初步提出並將作說明。與無線電干擾一致性或明確的標準相當缺乏，也被提出討論及要求高壓直流小組儘速發展明訂。

800kV之UHVDC傳輸中如被迫停電時，必需經精心設計閉鎖單

極3000MW或雙極 6000MW。為了減少停電之衝擊包括串聯/並聯轉換器架構和變壓器的報告被提出討論，換流器中一極故障後其他健全極過載的能力也必需有所選擇。環境考慮或傳輸線路權取得之困難，成為必需採用800kV UHVDC電纜線之決定因素。B4研究委員會結合變壓器委員會已初步擬定高壓直流轉換器變壓器準備適當試驗標準。解決此問題之迫切性和重要性為將來高壓直流應用的關鍵。

3、高壓直流和彈性交流輸電系統在電力系統的角色

避免HVDC連續性故障和幫助系統復電的問題被討論。例如大交流系統背對背HVDC能夠解聯交流系統和阻止連續性故障的發生，並利用VSC轉換器提供全黑啟動後開始復電的能力。

HVDC之特別保護系統(SPS)之規劃與應用已經使用許多年。最近塔斯馬尼亞島SPS之應用已經擴展提供頻率控制和減緩過載發生。快速改變電力潮流之衝擊也被廣泛討論，足見電業自由化後高壓直流系統的運轉廣受關心。在高壓直流轉換器或在其附近之靜態無效電力補償系統 (SVC)的運轉也被工作小組接受。

在同一鄰近地區多極高壓直流轉換器的運轉(高壓直流多端饋供)也被討論，從高壓直流多端饋供研究獲得之結論為適當的調整控制系統，高壓直流多端饋供已被高壓直流研究小組確認，B4-41工作小組將介紹多端饋供的相互作用因素，使人能夠進一步理解。

B5：保護系統與自動化(Protection and Automation)

本分組討論共有 28 篇論文，分 IEC 61850 對保護系統和自動化之

衝擊及保護系統和變電所自動化的主要干擾兩主題。

1、IEC 61850 對保護系統和自動化之衝擊

本主題主要討論 IEC 61850 的標準對於通信網路和系統變電所之保護與自動化之現在和未來的衝擊，有 12 篇論文提出，其焦點為外觀與架構、可靠度與測試、應用經驗與解決對策等。

a.外觀與架構

法國與加拿大專家提出利用 IEC 61850-8-1 研究阿爾及亞變電所 400kV GIS 之經驗，認為建構一個變電所至少整合 5 種不同設備如保護、控制、監測、互連控制(Interlocking)及遠端 IED 工程之乙太網路及 TCP/IP 插孔之多方通信協定等。德國專家討論變電所自動化包含控制中心之架構，根據 IEC 61850 變電所和 IEC 61968/61970 控制中心，必需要達到資料的一致性，能為雙方共同使用。IEC 61850 的規定變電所檔案必需說明變電所的需要性，因此建議變電所的規範檔案以改善變電所和控制中心資料一致性的問題。斯洛文尼亞討論根據 IEC 61850 的新架構允許資料的獲得與處理分開。當 I/O 單元保持接近處理器時，他們的通信連接是允許 CPU 放置在有 EM 保護的環境中，不同的 CPU 可以分開放置不一定要擺在終端設備拱位的起始點。瑞士提出在 IEC 61850 規定變電所之自動化系統互動分布功能和架構之需求，討論分布在變電所自動化設備相互調整及備用裕度等挑戰。針對 IEC 61850 無說明規範之細節提出建議。

b.可靠度與測試

韓國針對 IEC 61850 的特徵提出增加系統可靠度的新方法，

如改善網路基本資料的容量、改善工程上之變電所結構語言 (Substation Configuration Language, SCL) 和標準介面等。法國與加拿大專家提出利用 IEC 61850 樣本類比值討論分佈功能的測試，允許新的功能、通信服務和設備裝設在變電所的自動化系統中。

c. 應用經驗

德國和奧地利論文說明設備供應商的設備使用在 IEC 61850 之應用經驗，使用乙太網路不但可高速處理 IEC 61850 的資料也可以支援其他功能如工程、管理、信息及網路服務等。波蘭的論文說明波蘭輸電系統 INTEDRA 計畫包含著產品發展、系統發展和 IEC 61850 在變電所自動化的應用等，此計畫開始於 2005 年，將於 2007 年中期完成，預計副線保護系統在 400kV 和 60kV 拱位採用 4 種不同型態的保護方式，此新的保護方式將與既有系統並聯使用，以利比較和分析。西班牙論文說明 Iberdrola 電力公司在 Iuda University 大學城利用 IEC 61850 興建完成變電所的計畫、經驗和未來的期望等。瑞士也提出在歐州 380kV 系統利用 IEC 61850 重新改建瑞士境內變電所的經驗等。

d. 轉移對策

德國專家提出利用 Smart Gateway 有效地轉移到 IEC 61850 系統。Smart Gateway 的應用包含與傳統之協定、緩衝、資料監測、功能加強及針對 SCL 支援及彈性運用提出一解決方法。此篇論文提出利用 Gateway Type A 和 Gateway Type B 的兩個例子，提出觀念性架構、Gateway 模型、並說明工程概要等。美國論文討論系統廣域保護和控制替代程式的對

策，說明了整合所有電驛、控制、監測、自動化、使用乙太網路和 CIM 的企業功能、替代控制線路、簡化全系統和資料處理流程、保護系統使用最新電驛產品以改善獨立性與安全性等之投資與成本衝擊。其對策主要以最少投資成本為考量趨勢，意含著在利用率與可靠度之準則下保護系統、控制系統和變電所設備間多端備用連接是可忽略的。

2、保護系統和變電所自動化的主要干擾

本主題有 16 篇論文提出討論，其焦點為減少系統衝擊區域保護和控制的新趨勢和在大干擾期間維持系統整體性與安全的技術等。概述如下：

阿根廷的論文說明為了預防測距方向電驛與串聯補償電容器損壞而引起連續性跳脫線路，決定採用差流電驛代替測距電驛的過程，同時新採用設備均執行測試，以確保品質及確定保護與通信適用性。巴西第一篇論文述說明為減少連續跳脫的機率如何進行保護元件的系統分析，包含變電所排列之分析與修正、從系統安全觀點提出在大干擾期間有效避免大停電之方法及巴西輸電系統保護系統之邏輯觀念與需求等，結論為良好保護設計與觀念可以激勵調度員加強系統保護與增加輸線路的利用；第二篇論文為 Itaipu 電廠的特殊保護系統(SPS)，說明巴西與巴拉圭電力系統利用 SPS 後始能同時與 Itaipu 電廠並聯運轉並分析其設備配置的執行情況，結果是非常有效的避免兩系統大停電，該 SPS 設計理念為簡單、可選擇性、健全與低成本；第三篇敘述巴西電力系統的復電經驗，簡單說明復電的最佳程序與方法，特別是系統維生點與關鍵設備等。

美國、加拿大和英國的專家提出電力保護系統的失步檢測，結

合電力公司和設備製造廠家提出電力系統與發電廠兩種新奇的保護設備，以改善既有 SPS 和提供一種新保護方法，並說明兩新電驛之特性和執行狀況與電力公司的應用情形。美國、加拿大專家提出 Manitoba 水力發電廠整合 AC/DC 特殊保護系統之使用經驗。中國提出預防連續性大停電維持系統整體性的作法，說明自 80 年代起中國開始建立系統準則與應用，以成功預防暫態不穩定而造成大停電之事故，同時也可以維持系統的整體性，大部分的失步都能在短時間內恢復同步運轉。

義大利提供超高壓系統廣域電壓調整方法，說明電壓穩定度系統安全問題，有效協調二次、三次的電壓調整以維持系統電壓的穩定。日本說明 SPS 在日本的使用經驗，故障發生迅速隔離故障以維持系統穩定是必需的，但是在系統中由於失步、不正常頻率、電壓不穩定和過載引起連續性跳脫之問題相當複雜。在日本故障擴展保護系統(Fault Extension Protection System ,FEPS)已被研發來預防不正常的現象延伸至全系統，主要說明 FEPS(使用進步的數位技術)在日本之使用經驗與成功實例。墨西哥說明自 1996 年以來 Phasor Measurement Unit(PMU)在輸電系統之應用經驗，利用干擾與振盪討論模型的正確性及進行穩定度的研究等。

荷蘭說明為荷蘭電力公司聯合軟體、硬體供應商發展一套支援中壓電網運轉的新系統，這個系統能夠預測中壓引起的動態等化電流，並將引接不同變電所之饋線動態等化電流耦合在一起。這些動態等化電流是重要和對中性點開關操作者是非常危險的。預測動態等化電流可以提供操作人員是否耦合中壓饋線以確保安全。羅馬尼亞發展針對大干擾的電網防衛計畫，蘇俄提出線上動態安全評估 (Dynamic Security

Assessment, DSA) 和電網防衛系統的策略 (Strategic Power Infrastructure Defense, SPID)，已經有條件的使用在電力系統。西班牙評估西班牙電力系統發展保護協調新準則和臨界故障清除時間之計算方法，瑞士提供了廣域量測系統的運轉經驗等都值得學習。

C1: 系統發展與經濟原則 (System Development and Economics)

1、資本投資決策及電力系統設計

- 澳洲及紐西蘭自由化之資本投資及電力系統設計
- 風能對埃及電力系統之經濟衝擊評估
- 2004 年雅典奧運電氣裝設
- 印度北部輸電線路規劃- 以 Balia 及 Bhiwadi 案例研究
- 愛爾蘭開放市場環境下之輸電網路規劃
- 義大利電力系統有關輸配電資產成本估計的方法研究及結果
- 目標放於降低資本投資及維護成本之老舊電力系統資產重新設計之方法-日本
- 荷蘭海上電力基礎建設發展
- 北歐電力系統弱點的分析及建議改善
- 葡萄牙全國再生能源發電目標對輸電操作之組織與技術挑戰

2、不確定因素下之負載，發電，連接，交易及發展規劃

- 澳洲至 2030 年需求，資源，排放，成本觀點下之發電容量裕度
- 於定性法及機率法間建立一橋樑於輸電擴充計劃 - 巴西 Plantac 模式
- 朝向輸電規劃強化系統更佳願景: 複雜不確定因素下之需求預測
- 負載及發電不確定因素下之高壓網路規劃特殊考慮 - 德國

- 整合陸域及離岸風力電廠至德國超高壓網路
- 網路規劃方法及應用 – 西班牙
- 風力發電不確定下之電力系統規劃 – 工作小組(working group)之報告

3、資產更新/維護再使用及供應安全

- UCTE 1 及 UCTE 2 兩區並聯後之克羅埃西亞電力系統可靠度評
- 輸電網路機率安全分析方法 – 芬蘭
- 汰換更新或再維護使用之決策過程 – 法國輸電公司 RTE 經驗
- 系統可靠及安全程度之準則 – 以色列
- 老化電力系統及相關資產管理反應及挑戰 – 工作小組報告
- 資產管理能力持續改善 – 英國
- 電力系統廣域保護及控制更新計劃之最佳策略

C2：系統控制與操作(System Control and Operation)

1、對關鍵設備誤動作考量下之運轉安全標準之發展

- 巴西系統安全標準 –於足夠安全水準下如何最大化輸電系統極
- 最小化發電排程再調整之成本於考慮特殊保護情形下– 法國
- 新市場環境下之壅塞管理 – 義大利方法及經驗
- 為風力發電及直流連接之國際網路規則發展
- N-1 可靠度準則說明
- 南非電力系統規劃標準之發展
- 英國新電力市場之規劃及運轉安全準則

2、應用新技術以偵測及降低系統邊緣條件

- 藉特殊保護系統減少停電風險 – 偵測及降低系統邊緣條件-巴

西

- 中國國家電網線上安全評估及應用研究
- 捷克電力系統應用移相變壓器之可能性研究
- 丹麥東部電力系統相量量測單元
- 比利時線上電壓安全評估經驗

3、控制中心處理緊急情況之能力

- 訓練調度員以面對系統緊急狀況
- 交換及協調多層控制中心 – 發展及實際應用
- 在既有 SCADA 系統下強化可視能力 – 匈牙利
- 日本電力系統協會管理系統發展
- 實際淨傳輸能力之決定 - 羅馬尼亞

C3：系統環境效能(System Environmental Performance)

1、集中型及分散型電廠對區域及全球環境之衝擊

- Embedded 發電廠對法國電力系統之衝擊
- 集中型及分散型電廠對都會區能源系統的環境衝擊-義大利
- 電力生產中環境成本之內部化：二氧化碳容許及綠色保證-葡萄牙
- 電力保證做為多目標工具-瑞典

2、增高之環境限制對電力系統設計及運轉之經濟隱含

- 環境因素引起水力電廠計畫裝置容量減少之案例研究-巴西
- 巴西電力市場中水資源運用之環境及法規規定-巴西
- 環境需求對法國輸電網之開發及運轉之衝擊-法國
- 輸電網規劃時評估網路、環境及土地交互影響之方法-義大利
- 設計、興建及維護新輸電線對環境限制之經濟隱含-斯伐維尼亞

C4：系統技術效能(System Technical Performance)

1、電力系統對抗雷擊事故之效能

- 線路有無裝置避雷器之雷擊閃落計算方法-加拿大
- 以 DDG 方法提供伊朗污染圖
- 用 Pole-mounted 變壓器模型估計從配電線到用戶進口端之雷擊突波傳遞-日本
- 154kV 線路避雷器雷擊跳脫率計算-韓國
- 線路避雷器使用經驗-墨西哥
- 雷擊閃落特性長期研究-羅馬尼亞
- 雷擊參數知識對網路絕緣協調之衝擊-俄羅斯
- 中壓架空輸電線雷擊效能估計-泰國

2、監視及診斷對絕緣協調之衝擊

- 絕緣監視及診斷對服役壽命可靠度之衝擊-德國

3、電磁相容及電磁場量測及減輕相關問題

- 500kV 變電所暫態電磁環境-中國
- 因磁場及其他環境議題而使用高壓電纜以解決區域問題-義大利經驗
- 變電所高頻開關突波及其對運轉中數位電驛之影響-日本

4、在用戶及各種團體中有關電力品質程度之協調

- 應用 IEC/TR 61000-3-6 對諧波收集(Harmonic allocation)之應用經驗-澳洲
- 量測電壓波動、諧波及不平衡指數-巴西
- 改進輸電網技術效能經驗-埃及
- 應用神經網路之電壓波動量測-新的電壓閃爍儀器建議-波蘭
- 先進輸電網電力品質監視系統之價值評估-美國

C5：電力市場與管制效能(Electricity Markets and Regulations System)

1、市場環境之管制者與管制之角色

- 澳洲新電力市場投資程序介紹
- 巴西輸電收費之歷史分析
- 巴西電力市場處罰案例
- 泰國電力市場及管制
- 法國電力管制部門組織
- 電力系統可靠度及市場關係發展間之技術調和-俄羅斯
- 輸電效能指標-沙烏地阿拉伯

2、電力市場與市場設計

- 巴西初期與現在電力管制單位模式比較
- 埃及電力市場模式
- 解除管制後之電力市場是否已經成熟-法國及美國
- 輸電費率新方法：節點矩陣-印度
- 開發中國家之市場設計-印度
- 伊朗電力競爭市場分析
- 輔助服務中”無效電力”分析-義大利、秘魯、阿根廷
- 義大利電力市場容量電費付費方法
- 日本電力市場初階段評估設計及特色：滿足能源安全及全球環保
- 競爭市場下輸電損失管理-韓國
- 俄羅斯競爭市場行程之特色
- 系統調度者、市場調度者及其他市場參與者之介面-工作小組提出報告

C6：配電系統與分散型電源(Distribution System and Dispersed

Generation)

1、分散型能源之運轉系統

- 正常及異常情況下分散型能源與電力系統之互動-瑞典、拉脫維亞
- 巴西大型風電之整合及網路規則之修訂
- 風力發電對輔助服務之貢獻-法國
- 德國再生能源
- 風力預測工具經驗-德國
- 西班牙風力發電預測經驗
- 分散型發電對配電系統可靠度衝擊之分析方法-希臘
- 普通容量方法用於遠端型風能-氫能電力系統-挪威
- 風力發電最高容量對北歐電力網之影響-挪威

2、需量管理及需量反應

- 澳洲分散型能源管理及控制經驗
- 澳洲分散型能源之量管理及需量反應-機會及第一次經驗
- 需量管理經驗-義大利
- 需量管理經驗-瑞典

D1：材料與特殊技術(Materials and Emerging Technologies)

1、部分放電量測之非傳統系統

- 利用光纖感測器之部分放電聲音監視-澳洲
- 部分放電之非傳統量測感應器-德國
- 應用高壓接點之超音波工業測試-德國、比利時
- GIS，電纜接續夾及油紙絕緣變壓器之超高頻 UHF 部分放電診斷-德國、瑞士
- 應用超高頻 UHF 之部分放電診斷技術新發展-日本

- GIS 應用超高頻 UHF 方法之線上智慧型經驗部分放電監視-韓國

2、材料議題及技術

- 電力變壓器內部檢測及聲音排放測試結果-巴西
- 變壓器材料及可靠度-知識、特性及限制-德國
- 高壓變壓器絕緣之可靠度診斷-歐洲研究計劃-德國、波蘭、瑞典

3、嚴苛運轉條件下之高效能材料及新材料

- 以植物油當絕緣油之澳洲經驗
- 以高溫超導體為基礎之故障電流限流器原型設計製造測試-義大利
- 評估 Polymeric 材料之高壓直流電纜系統-荷蘭、英國、法國、義大利
- 各種 Polymer 奈米複合物介電特性-日本代表工作委員會提出
- 超導材料及絕緣技術發展與應用方向-日本、美國、德國、澳洲、丹麥等代表工作小組提出

D2：資訊系統與通信(Information System and Telecommunications)

1、地理資訊新發展及架空線路資產管理

- 可移動終端設備之經驗及發展-芬蘭
- 應用地理資訊新發展於輸電線下樹木管理-法國
- 地理資訊系統於架空現管理-希臘
- 無人直昇機用於輸電線路檢查之發展-日本
- 應用雷射掃描技術於高壓設備量測-葡萄牙
- 整合資訊、地理及資產管理系統之益處-斯洛伐尼亞

2、資訊及通訊系統用於電力市場

- 燃料電池供電予電力通信系統-加拿大
- 運用資訊技術防止通訊系統損壞-日本
- 預知緊急及緊急情況下維持資通系統可靠運轉-俄羅斯
- 系統控制通信迴路可靠度評估-西班牙

3、處理資訊技術用於電力市場之發展策略

- 電力公司資訊技術 IT 之管理-法國
- 變電所自動化之資通安全-設計及監視-法國
- IP 網路應用-日本
- 應用 PLC 技術於隧道設備之監視及控制經驗-韓國
- 控制中心之建築及整合-芬蘭、瑞典
- 資通安全評估-等級之重要性-瑞典
- 歐洲各電力公司資訊長最關心的十件資訊技術-瑞典
- 電力公司 IP/MPLS 網路之增強-泰國

五、其他

(一) 參訪法國電力 TERNES 變電所

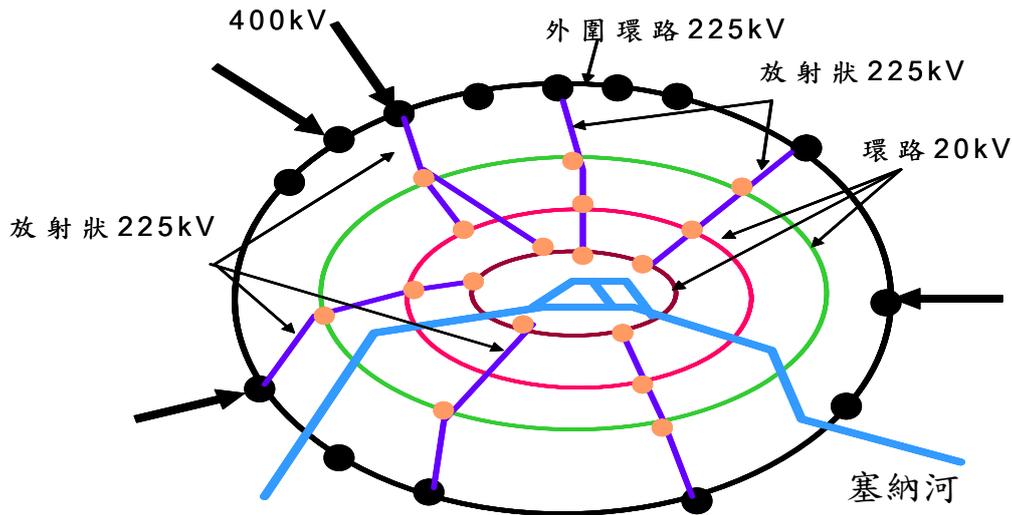
1. Ternes 變電所概述

巴黎地區的電力需求由巴黎周圍 14 所 RTE 的 400/225KV 變電所提供如圖三，再透過 225kV 架空線及地下電纜傳輸到 35 所 225/20kV 變電所如 Ternes 變電所，提供 20kV 電壓供消費者可以使用日常電器用品。巴黎供電系統主要由 400kV 輸電線引



圖三：巴黎外圍 14 所 400/225kV 變

供至外圍之 400kV/225kV 變電所，再藉由 225kV 輸電線引供至市區內 225kV/20kV 變電所，巴黎都會區郊區 225kV 大部份仍是架空線，市中心則為地下電纜。最外圍地區則是以環路 225kV 環路引接，內圍地區則是以放射狀 225kV 及環路 20kV 相互連接如圖四。



圖四：巴黎供電系統

Ternes 為一個 225/20kV 的變電所，構成 RTE 輸電線與 EDF、GEF 服務配置之間的聯接。Ternes 變電所改建後 2002 年開始運轉，提供巴黎西區的電力需求，建造於 Ternes 區的心臟地帶，佔地 880 平方公尺，非常接近第 17 區的 la place de l'Étoile(凱旋門)，此變電所提供巴黎第 17 區及第 16 區和第 8 區部分的用電需求。Ternes 變電所有 2 台 225/20kV 容量 70MVA 的變壓器，由 Levallois 的 Perret 變電所以 225kV 地下電纜引供，透過兩台變壓器再藉由 60 幾條 20kV 地下電纜，將電力傳輸到各區的配電變電所。

2.Ternes 變電所的運轉模式

Ternes 變電所變壓器將電壓由 225kV 降為 20kV，變壓器內有銅卷柱，銅卷柱被合金包住並注滿絕緣油，以確保變壓器的絕緣和降溫性，為了避免高溫所產生的耗電，絕緣油會由散熱器及風扇來進行散熱。這項技術提升電力的品質，也降低電路走火所引起火災的可能性。

Ternes 變電所是由金屬包護的變電所，亦即說變電所內所有設備都安置在箱子裡來確保絕緣性，這項技術不只可以縮短導體之間的距離也可以減少所佔空間，並確保無噪音、不會爆炸、不會發生火災及極低的電磁場。

3.重視環境

Ternes 變電所座落於巴黎鬧區凱旋門附近，其出入口為一不到 4 米寬的巷道，重器材進出有時必需切除兩旁住戶的牆壁，在變電所入口預留有一約 10M² 的小廣場，以作為維修中心。RTE 尋找最好的整合工作使產業和美學能在這個都市一致化，讓 Ternes 變電所完全融入社區中，讓鄰居沒有與變電所為鄰的感覺。Ternes 變電所為一地下七樓、地上四層建築，主要設備皆放在地下，RTE 使用最新技術使得它能在這環境中建立，與鄰近用戶緊密的結合。為尊重周邊住戶，RTE 安裝隔音牆及隔音設施，來達到隔音和防震動的效果。這樣不僅可以使變電所以和平的整合方式建築在大廈中，也可以減少與住戶的摩擦。

(二) 廠商展示概述

利用 CIGRE 開會期間在巴黎會議中心二樓超過 2000mm² 面積展覽會場，集合 101 家世界各國重要電力設備製造廠家、設計顧問公司及電力研究機構等單位，由第一個攤位之 Lindsney Manufacture Co. 到第 93 個攤位之 IEEE Power Engineering Society 展示其重要展

品或研究成果，其中不乏知名廠商與電力研究機構如 ABB、SIEMENS、AREVA T&D、CESI 等，亞洲之韓國電力研究所 (KEPRI-KEPCO) 也在第 12 個攤位中展示其研究成果，並推銷其研究成功之電力系統模擬程式。

此次展覽會上由於 AREVA 人員熱誠接待，特別邀請本公司至其貴賓招待室解說產品，因適逢本公司目前正進行 STATCOM 之應用檢討，特別請該公司介紹有關靜態同步無效電力補償器 STATCOM 高科技產品。STATCOM 已經發展為世界電力界廣泛使用之無效電力補償設備，提供可靠和有效的動態無效電力補償，即時穩定電壓，增強系統安全運轉、減少電壓崩潰危機，並可藉以減少損失及設備維修週期與成本。STATCOM 轉換器及其相關連接設備已發展相當成熟，可簡單連接於變電所中，使它成為目前最具有吸引力的無效電力補償設備。AREVA T&D STATCOM 換流器(Converter)使用一些鏈條電路(Chain-circuit)技術包含由數個個別的開關串聯連接、單相橋式整流等技術組成之環(Links)組合而成。每個環都由四個 GTOs 和直流電容器充當電壓源組成。透過複雜磁耦合變壓器直接接至變電所所需電壓之匯流排，以避免換流器需一步一步建立電壓造成的複雜性與損失。為達到可接受的輸出電壓每個 GTO 都需要能快速開、關，以減少損失。直流電容器允許單相電源操作，以使換流器能配合系統干擾期間的需要，適當提供系統需要之無效電力，以儘量保持三相平衡，減少負序電壓。STATCOM 為利用高科技的電力電子先進技術製造的無效電力補償設備，將會是電網應用技術上的新紀元。

英國北部因要增設氣渦輪發電機，增加英國國家電網由北送南的電力潮流，需要無效電力補償，基此英國國家電網在 East Claydon 變電所 400kV 匯流排裝設 AREVA T&D 之 STATCOM，該設備電容性

無效電力輸出容量為 0~225Mvar，使用固定電容器(濾波電容器)100Mvar 及 127Mvar 之閘控電容器(TSC)；動態調整範圍為 150Mvar(± 75 Mvar)。此計畫把 STATCOM 成功地推向電力界舞臺，是結合電力電子和控制系統的嶄新觀念。

STATCOM 有優越的動態快速反應、輸出容量不受電壓影響、低諧波失真率(Harmonic Distortion)、可單相操作等優點，將是本公司研究採用的最大動機。

伍、變電所設備維修更新技術

一、前言

世界上越來越多公用事業之變電所變成老舊變電所，但由於競爭限制，嚴苛環境規定和社區接受度很難建造完成新變電所，同時電力需求之穩定成長，短路電流由於機組增加而加大。公用事業有壓力拼命努力地有效利用既有設備來維持供電安全可靠，同時他們也有義務控制建設、運轉和維護成本。面對汰換既設老化變電所來確保營運安全可靠之任務，工業界正尋找準則作為評估既有設備之狀態、適合流程和尋找方法做為設備汰換活動之依據。

二、供電設備汰換需求

- 新規定—例如符合變電所新安全法規、環境規定。
- 顧客需求—例如新設用戶之引接點需求和不足容量擴增。
- 電力系統需求—例如符合較高短容量需求和運轉需求、系統控制之改變和改善可靠度。
- 運轉和維護需求—例如設備大修、設備狀況、運維成本、零件採購、技術可用性需要。

這些汰換需求可能是原因也是衝擊，有些電力公司可以控制，有些是外部資源來加以控制。

(一)新規定

過去輸電變電所均遠離負載中心，在初始時均很少受環境規定或安全法規之限制，然而隨著都市化發展，環境規定已經改變更嚴苛，公用事業需要面對並適當採取因應對策。配電變電所位置在都市化中心，常受到環境和安全法規之限制，越都市化發展，越需要精進對策加以採用。除了傳統環境和社區接受度外，例如美觀、噪音、

漏油和電磁場，溫室氣體與全球暖化上升等也被視為重要議題。面對新規定之對策範例：

- 更換設備和隱藏設備方法去改善既有變電所之美觀，得到社區之支援。
- 更換低噪音設備和組裝噪音低減器具去符合新噪音管制規定。
- 組裝防堵油外漏設備。
- 既設屋外變電所設備重新屋內或地下化符合美觀視覺規定和噪音管制規定。
- 依新更嚴苛防火預防法規，更換油入變壓器改為非可燃液體絕緣設備。

(二)顧客需求

由於 IPP 或風力新發電容量加入，產生短路電流大於原始設計，大部份情形需要更換既有設備、對應容量增加需要重置限制設備和重組系統佈置來控制容量增加。

(三)電力系統需求

電力系統容量增加，為因應新更高短路電流，切換設備配置方式、增添限制和補償設備。

- 分離電力系統方式，裝設開閉所和電流限抗器來限制故障電流。
- 重置設備和滙流排來滿足容量上升和提高運轉上限。
- 對重要設備和輸電線路之保護採用雙重保護方式。
- 裝設電容器或電抗器做為無效電力補償。

針對變電所因應之任務，可靠度是決定變電所設備提升或汰換之重要因素，下列變電所需特別考量：

- 變電所位置鄰近主要發電廠－變電所設備故障導致電廠停機。
- 變電所為接近負載中心變電所。

- 變電所為樞紐變電所。
- 變電所設備故障失效不能產生系統穩定度問題。

(四)運轉和維護需求

變電設備維護可靠是確保運轉安全任務之唯一支持，變電設備維護方法之合理化日漸進步，依據壽命週期成本概念評估和可靠度維護方式來選擇最佳維護方法，為達此目的，診斷技術就被發展並加以採用。適當有效維護可以確保設備可靠且減少維護成本，電力事業自由化後設備製造廠家和公用事業正朝向大量減少人力和合理採用設備以降低成本，20 多年前設計之設備備品之取得和技術人力之完成任務專業是維護策略決定之考量首要。決定維護策略方法之考慮因素：

- 大修之任務達成。
- 劣化之狀態偵測技術、評估技術。
- 維護成本評估。
- 備品採購。
- 技術人力之完成任務專業。

三、變電所設備狀況評估

(一)狀況評估

狀況評估是因應變電所設備元件之修理、重置或提升容量決策而產生需求。要發展有關變電設備維護最適當選擇方案，首先要做深入狀況評估。針對已不生產變電所元件之評估是浪費而沒有綜效。深入狀況評估之主要項目：

- 變電設備。
- 房屋和土木結構。
- 位址問題。
- 周遭居民埋怨。

- 火災問題和可能發生大事故。
- 負載問題和故障失效之歷史資料。

狀況評估應不僅限於元件劣化或磨耗之狀況，還應包括設計缺陷或過時問題。例如不足防火區隔（Inadequate fire segregation）或沒有雙重所內電源 DC 供給，換句話說，狀況評估是在壽命中的某時間階段，評估變電所達成功能目的之各方面深入訊息，也許資產狀態評估是較為貼切，它是提供汰換、大修選項方案決策之合理基礎。每一個變電所應準備深入狀況評估文件，把所有面向之議題都可以個別集合一起。決策聚焦是放在整個壽命成本，而不是短期很快解決而未來仍有後遺症存在之方案，這不是維護作業同時修理工作之排程，而是包括汰換時程之完整計劃。

有些社區內變電設備被設計為災難復原之基礎設施，例如醫院、抽水站、污水設備、公用通信設備在大災難後視為恢復城市機能之維生系統。如有供給重要設備之變電所應先被指定，在狀況評估時要特別關心，尤其是設計預防上要能有抗災難損壞特性。

變電所之運轉條件定義為設備在正常情況下及可靠狀態下執行其功能的能力程度，監視狀況是連續運轉和維護作業之重要前提，也是檢查、診斷、量測、功能測試、偵測結果、故障記錄等分析判斷之訊息來源。大部份監視訊息被運轉維護人員收集和運用做為確保系統能執行每日任務之依據。

狀態評估之基本目的是讓資訊之相關部份在決策過程可以取得和讀取，讓決策品質有效。狀態評估要採用 3 步驟：

步驟一、量化說明：採用合適尺規、格式化說明狀態訊息並有位置、設備、時間標示，如此形成簡單狀態報告。

步驟二、合理化：在狀態評估流程可耦合資產資料庫訊息、供應商技術訊息和標準、法規等內容，並依被選定狀態報告來執行。依據指定變電所選項內，可以產生是設備型式或考慮整體功能全部之狀態評估說明。

步驟三、分類 (Classification)：決策重點是針對變電設備狀態訊息為緊急程度和採取行動之顯示有關說明，採用評估結果之標準分類：

等級	分類	行動方案
1	100%可操作運轉(沒有性能劣化)	沒有行動
2	可操作運轉 (有少許性能劣化)	維護對策
3	需降低額度運轉 (性能劣化)	修理、汰換或重置
4	嚴重 (性能危險)	緊急之修理、汰換或重置

為協助變電設備可以進行狀態評估流程，下節將提供全世界專家之狀況評估經驗，這些內容將以元件細分 (Component) 為基礎，顯示狀態報告上應包括內容和重要的特質，值得注意的是技術習慣之做法在不同地區有其差異性，因此內容建議可能有少許變化不同，反映出不同地區電力系統發展之歷史路徑。不管如何，這文件試圖提供不同地區採用方法和共同標準之綜合觀察。

(二)變壓器

最近市場解制自由化所產生成本經濟話題，迫使公用事業要對已裝設備多盡點力量，電力變壓器也是沒有例外，變壓器在額定容量下有較高負載率運轉並超過 25 年壽命週期，有很多變壓器還到 40~50 歲年紀。為評估變壓器狀況，公用事業應翻閱每一設備之服役記錄，記錄應包括變壓器通過外部故障電流和正常維護紀錄，評估變壓器失效故障檢查記錄或其構造原理可導致一般性技術評論。影響變壓器狀

況之因素：

- 過載—可接受負載率例如 N-1 情形負載率小於 110%和固定負載對變壓器壽命是較好，過載嚴重可能產生不能接受之溫升和變壓器之加速劣化。
- 儲油系統—密封系統是比開放系統佳，可避免水份侵入導致絕緣油劣化。
- 油溫度—控制冷卻器運轉組數來維持固定油溫，對變壓器是有益處。

其他評估變壓器狀況之需要考慮方面（面向）：

- 包括濕氣、酸鹼度、添加物、糠醛、油垢（Sludge），耐壓等絕緣油狀況和變化趨勢歷史、考慮絕緣油種類型式和可能含有污染物例如 PCB、微粒。
- 絕緣紙狀況用糠醛、聚合度表示。
- 線圈狀況—例如變形、鬆脫。
- 負載率和溫度記錄、特別故障修繕歷史。
- 外部狀況、生鏽、漏油等。
- 電氣特性試驗結果—例如介質吸收因數（DDF），部份放電，電阻和阻抗之改變。
- 有載分接頭檢查和電氣特性試驗狀況。
- 油溫度—控制冷卻器運轉組數來維持固定油溫，對變壓器是有益處。
- 套管介質損失因數（DDF），部份放電及溶解氣體分析（DGA）狀況。
- 冷卻設備、油泵和風扇之狀況。
- 儲油系統密封或開放。
- 特定變壓器或同型變壓器之故障失敗或修繕記錄。
- 噪音議題。

1、變壓器診斷技術

診斷結果大約粗分二類，不正常和劣化二種：

診斷技術	說明	目的	
		不正常	劣化
可燃性氣體分析 (DGA)	由可燃性氣體量和種類，DGA 指示內部不正常和決定大修或內部檢查	×	
部份放電量測	高頻 CT 和超音波發射 (AE) 偵測器可偵出局部放電訊號，指出內部不正常和決定大修或內部檢查	×	
絕緣油電離帶電量測	變壓器內部靜電電離帶電指出有可能絕緣	×	
絕緣油特性	耐壓值，含水量		×
老化分析	溶解老化副產物 CO ₂ +CO 和糖醛表示絕緣紙強度劣化		×

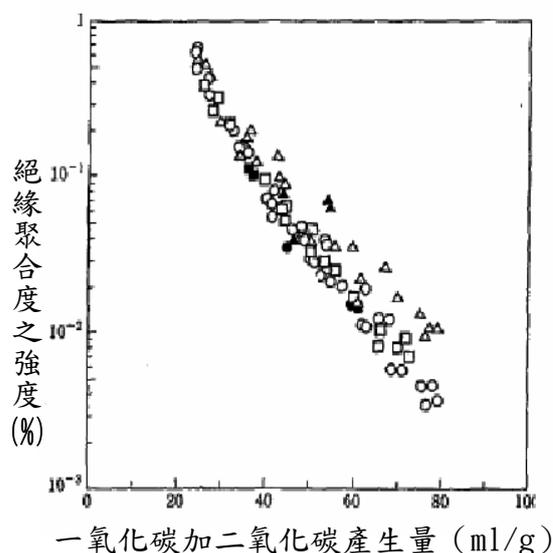
(a)DGA 表示局部過熱，部份放電不正常：

不正常種類	溶解氣體
絕緣油局部過熱	H ₂ CH ₄ C ₂ H ₂ C ₂ H ₄
絕緣材料局部過熱	H ₂ CH ₄ C ₂ H ₂ C ₂ H ₄ CO CO ₂
絕緣油局部放電	H ₂ CH ₄ C ₂ H ₂ C ₂ H ₄
絕緣材料局部放電	H ₂ CH ₄ C ₂ H ₂ C ₂ H ₄ CO CO ₂

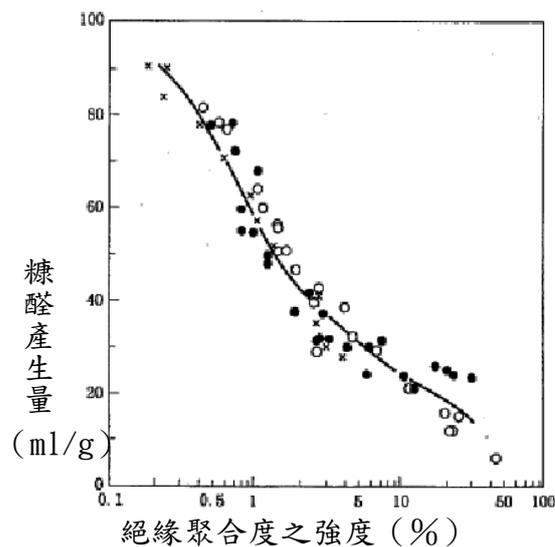
(b)DGA 判斷準則：

分類	判斷準則								
Level 1	至少一種氣體達到下列條件								
不正常	<table border="0"> <tr> <td>H₂ ≥ 400ppm</td> <td>C₂H₂ ≥ 0.5ppm</td> </tr> <tr> <td>CH₄ ≥ 100ppm</td> <td>CO ≤ 300ppm</td> </tr> <tr> <td>C₂H₆ ≥ 150ppm</td> <td>TCG ≥ 500ppm</td> </tr> <tr> <td>C₂H₄ ≥ 10ppm</td> <td></td> </tr> </table>	H ₂ ≥ 400ppm	C ₂ H ₂ ≥ 0.5ppm	CH ₄ ≥ 100ppm	CO ≤ 300ppm	C ₂ H ₆ ≥ 150ppm	TCG ≥ 500ppm	C ₂ H ₄ ≥ 10ppm	
H ₂ ≥ 400ppm	C ₂ H ₂ ≥ 0.5ppm								
CH ₄ ≥ 100ppm	CO ≤ 300ppm								
C ₂ H ₆ ≥ 150ppm	TCG ≥ 500ppm								
C ₂ H ₄ ≥ 10ppm									
Level 2	至少一種氣體達到下列條件								
缺陷	A. C ₂ H ₂ ≥ 0.5ppm B. C ₂ H ₄ ≥ 10ppm 和：TCG ≥ 500ppm								
Level 3	至少一種氣體達到下列條件								
事故	A. C ₂ H ₂ ≥ 5ppm B. C ₂ H ₄ ≥ 100ppm TCG ≥ 700ppm C. C ₂ H ₂ ≥ 100ppm TCG ≥ 70ppm/日								

變壓器壽命和絕緣材料劣化有關，雖然油劣化可以處理和換新，但是線圈絕緣紙劣化換新是不實際且費用昂貴。絕緣紙強度是由運轉時期累積熱效應而劣化，在變壓器通過外部短路故障電流或系統開關突波可能產生電應力或機械應力而擊穿。變壓器絕緣紙強度劣化，在運轉期間不可能直接量測絕緣紙之老化程度，但是溶解氣體分析之化合物成份量組合和絕緣紙劣化有關，因此可做為變壓器剩餘壽命估計之一種有效方法。目前溶解氣體分析之老化化合物“CO₂+CO”和糖醛可以做為絕緣紙強度之估計使用。



圖五：產生 CO₂+CO 量和絕緣剩餘聚合度關係



圖六：糖醛化合物和絕緣紙剩餘聚合度關係

2、有載分接頭切換裝置 (OLTC)

有載分接頭切換裝置之狀態評估是以 OLTC 年操作次數為基礎，因為 OLTC 是機械系元件構造來組成，OLTC 是變壓器唯一機械性動作機構。OLTC 活線濾油機可以延長 OLTC 維護週期和壽命。依據 IEC-2200-1995 裝有活線濾油機下，切換開關之動作部位是 20 萬次動作後要更換磨耗部位，整台 OLTC 是 80 萬次動作後更換，OLTC 開閉順序時間量測是一個評估接觸子不均勻磨耗之有

效方法。此外，OLTC 力矩量測和電流波型量測是判斷 OLTC 機械動作不正常之有效方法。變壓器裝有 OLTC 情形下，OLTC 油室容易遭受電流開關電弧污染，因此要定期維護，絕緣油處理是依據油 DGA 試驗或油耐壓試驗結果而定。

3、實務經驗

依據 IEEE C57-104-1991 和 IEC 60599 DGA 歷史值將顯示變壓器之健康情形，同時也決定內部檢查或送回工廠大修是否需要。不好之變壓器外部情況例如油槽生鏽或沒有補漆將可能導致水份浸入或漏油。OLTC 油室之漏油和止油封材料劣化將需要定期維護。變壓器線圈將因為油長期水份增加而導致絕緣劣化之負面效果，因此，變壓器油劣化時，油再處理可以過濾碳化物和其他污染物，並將水份除去，將增加變壓器壽命和健康。如果需要補充油位，依據既有油之種類型式和其健康情形，採用同性質新油補充。如果絕緣油被完全抽出作處理時，線圈鐵心和導線連接可以利用機會打開檢查手孔執行內部目視檢查，常常在發生重大故障前導致發生故障之症狀問題可以在內部檢查而加以發現，例如連接部位固緊有少許鬆動或鬆脫，鐵心支持物龜裂，鐵心接地帶損壞和可能絕緣之損傷。控制箱或 CT 組合裝箱之油封材料應定期更換以防止老化漏油。CT 絕緣電阻應定期量測，如果油封設備有更換時，CT 絕緣電阻亦應量測。變壓器狀況評估應包括減少變壓器後續進一步惡化發生和延長其有用壽命之方案，這些方案包括：

- 限制操作（例如 OLTC 動件限制，儘量不在高負載切換而在低負載下進行操作等）。
- 大修（分解鐵心和線圈，線圈檢查和再固緊處理，引線加強絕緣，更換油封材料，控制引線再重新佈線）。

- 減少通過外部故障電流。
- 針對雷擊和開關突波防護之方案，提供較佳保護措施。

(三)儀測變壓器 (CT、PT 和 MOF)

以上變壓器油紙絕緣設備之診斷工具和技術可用在 CT、PT 或合成儀用變壓器運用。

1、耦合電容比壓器 (CCVT'S)

CCVT 年齡是決定汰換或線上連續偵測之基礎。首先外觀情況是第一檢視法則，生鏽孔或載波短路把手蝕斷是修理或汰換之參考性指標，也是漏油之油封系統檢視指標，因為是曝露外界氣候污染所造成，該 CCVT 有電部位回路絕緣是密封系統 CCVT 包括電容分壓器並有分接頭電壓引接至降壓變壓器之一次側作為工作電源，電容分壓器是由串聯電容元件組成並連接構成線對地回路。電容器元件是裝設在瓷碍子內部油室空間收容，172KV 有一節，245KV 有二節，345-550KV 有 3 節，800KV 有 4 節瓷碍子，每節瓷碍子內部約有 100 只串聯連接電容器元件。

標準 CCVT 故障模式是開始階段有一只電容器元件故障，故障電容器元件短路，結果導致該節瓷碍子電容量增加。第二階段為鄰近初始故障元件之電容器元件亦故障，依次電容器元件亦故障，但突然全部電容器元件故障亦可能存在。如果每節電容器有故障元件發生，可以用電容和 DDF 量測來發現，依據製造廠家說明書來做量測技術判斷，如果電容變化有 $>5\%$ ，則應立即更換。在上節電容器有一只電容器元件故障，其比壓器(PT) 之輸出電壓有 1% 以下電壓值之增加，但如果參考節電容器 (即分接頭引接點下方位置) 有一只電容器元件故障，其比壓器(PT) 之輸出

電壓有 10% 以下電壓之降低。當後續電容器元件故障，其輸出電壓將上下連續變化，藉由線上偵測電壓和指定警報值可以減少全部電容器故障之或然率，每節電容測試可以發現任何節內部有電容元件被短路。

2、比壓器 (PT'S)

大部份情形下，油浸式 PT 是很可靠設備，不需要汰換，除非有外表損壞或腐蝕。如果有需要時可以採取油樣執行 DGA 分析判斷內部絕緣劣化，如果直流耐壓和 DGA 測試沒有劣化，則無需汰換。固體型 PT 有故障時則需立即更換，固體型 PT 維護需作外觀檢查，假如有絕緣龜裂發生時需立即更換。原則上需保持其絕緣體不可和固定座分離下，執行密閉檢查。如果和其固定座有分離後，應實施直流耐壓試驗，通過測試後採用 RTV 矽橡膠塗抹固定座接合部位再保持其密封作用，水份浸入是固體型 PT 故障之主要模式。

(四)斷路器 (CB)

大部份老式變電所是使用好幾代之屋外斷路器，有採用油、氣吹、真空式或 SF₆ 為滅弧媒介，因此斷路器汰換或大修作業是很複雜的，且很難去訂優先次序。首先必需考慮服役年數、性能和元件之取得，尤其是不再生產之老式斷路器型，根據這些因素決定大修/重造或汰換斷路器之決策，有些斷路器是因為提升容量需要而決定汰換。

斷路器之狀況評估是依據累積操作次數和每年操作次數作為評估依據，因為 CB 是機械系元件構造而組成。CB 狀況評估之診斷技術如下：

斷路器型式	狀況評估技術
一般（通用）	<ul style="list-style-type: none"> ● 操作次數 ● 累積啓斷電流 ● 開路/閉路特性測量 ● 最小開路/閉路電壓（壓力）測量 ● 主接觸子接觸電阻測量 ● 電流波型測量（馬達驅動操作）
GCB 斷路器(SF ₆)	<ul style="list-style-type: none"> ● 部分放電測量 ● SF₆ 氣體分析
OCB 斷路器(油)	<ul style="list-style-type: none"> ● 絕緣油測試
VCB 斷路器(真空式)	<ul style="list-style-type: none"> ● 真空閥耐壓試驗

老式變電所 ABB(氣吹)斷路器大多是已達到最大啓斷電流且服役年數長，未來之問題是氣封材料和漏氣可能強迫停電。30-40 年服役年數讓公用事業走上汰換決策。有相當多 OCB 斷路器仍在使用的，最長有 50 年服役年數，許多公用事業因為 OCB 和 ABB 已不再生產，採用 SF₆ 技術 GCB 斷路器作為汰換之選項。

GCB 斷路器由於好性能，可靠和成本優勢，是目前市場上主流產品，VCB 斷路器在中壓電壓等級因為具有成本優勢而被考慮採用，在高電壓等級領域，屋外式 VCB 斷路器比 GCB 斷路器不具競爭力。中壓 VCB 斷路器在 100 次額定短路電流次數和 1 萬次機械操作次數後需考慮汰換，操作次數到達後之汰舊換新決策尚需考量斷路器之責任周期和服役年數。屋外型斷路器重置或汰換之考慮事項：

- 無載、機械、短路、有載情況之操作次數
- 斷路器之責任周期—一般用途、電容、電抗器操作
- 斷路器服役年數
- 零件和維護資訊之可用性
- 消弧媒介型式—VCB、ABB、OCB、GCB

- 操作機構—彈簧式、壓氣式或油壓式
- 維護記錄
- 製造型式之可靠度經驗
- 絕緣情況、特別落地型套管
- 絕緣型式
- 機構型式和情況
- 接觸狀況之各接觸電阻，包括機械接觸移動時間之診斷結果，不僅消弧和插入式接觸子，尚包括主回路導體固緊和鎖緊之接觸表面。
- 火災—CB 斷路器有可燃材料，例如油、複合物、Expoxy、PVC、XLPE、紙、木頭絕緣。
- 補助接觸子和插入式接觸子之狀況
- CB 操作有無問題
- 在現行標準設計實物上，斷路器之閉鎖回路和操作特性上有協調配合問題
- 在現在位置運用有電壓、電流、消弧容量、承耐容量、責任周期適用問題，例如超過其額定電流

(五)其他空斷開關設備 (ABS)

空斷層開關設備之汰換或壽命延長決策是很複雜且很難訂優先次序。首先礙子是否更換為首先考量。下列為開關重置或汰換需考慮事項：

- 操作次數
- 加壓操作次數
- 任務—加壓操作、打開併聯回路、切斷負載
- 服役年數
- 備品取得
- 機械操作型式—鈎棒、推拉、推力、齒輪操作

- 外觀檢查
- 維護記錄
- 製造廠型式之可靠經驗

每位使用者評估上述項目因為喜好不同而造成維護或汰換之決策困難。重要評估因素為空斷開關設備容易操作和散熱部位之紅外線掃瞄結果，紅外線掃瞄結果超過周溫 15°C 需加以注意，由接觸情況決定維護或汰換。此外目視檢查有發現龜裂是重點，空斷開關設備常常發生部位為刀片固定，傳動機構肘軸和平衡彈簧部位，過熱和磨耗接觸子只要更換即可解決。重要操作機構疲乏劣化、軛軸縛蝕或故障則空斷開關設備需要汰換。負載啓斷開關之消弧閥至少 20 年要汰換以確保操作時不發生故障。

(六)礙子和套管

變電所柱型礙子汰換時考慮項目為年數和製造廠家型式。礙子和套管之絕緣材料是由磁礙子、玻璃和類似矽橡膠之聚合物材料組成。磁礙子和玻璃為非有機材料，因此不會有老化現象。聚合物材料為有機材料，本身具有劣化的特性，侵蝕痕跡和撥水性是評估聚合物材料狀況之有效方法。此外，有的套管含有絕緣油或 SF₆ 氣體，其絕緣性能往往取決於油中或 SF₆ 氣體中水份含量。水份沿著密封材料或水泥燒結龜裂部位侵入，測量油中和 SF₆ 氣體中水份含量是可以判斷其絕緣系統之密封狀況。現有礙子設計和試驗標準是可以防止易脆應力和長壽命問題。正常情況下，礙子和套管之標準壽命是 40 年，依據期望通過短路電流上限和大氣條件去正確選擇礙子和套管之懸桁應力對其壽命是很重要。礙子和套管之最大懸桁強度如果越近滙流排之機械應力負載，礙子和套管之壽命可能縮短。此外大自然風速應力負載亦擔任重要之供獻角色，當風速 > 13KM/H 時會減少礙子壽命。變電所之短路

電流增大，必需提高滙流排支持礙子之懸桁強度以為因應。相同製造廠礙子之老化劣化經驗和礙子、套管裝設位置之環境污染歷史資料應該建立長期文件紀錄，作為將來汰舊換新之參考依據。礙子和套管之裝設位置，其可能發生大地震大小規模及持續時間應加以考慮，尤其是套管上端之彎曲應力需要設計計算並留有安全裕度。礙子和套管之材料和製造型式是要有不同之設計考量，裝腳型礙子是較柱型礙子有較高故障率，理由裝腳礙子之礙子元件採用水泥黏結，長期使用後水泥會變脆弱和易產龜裂劣化，主動預為因應維護是要取樣礙子做耐壓和應力試驗。此外接近工業污染或自然界污染物之變電所或線路，有計劃性定期評估汰換或採取預防污染措施是成本上及有效用的決策選項，例如活掃、用矽油膏、更換半導體釉礙子或矽聚合礙子等增加可靠度和降低維護成本之作法。

(七)電抗器

空心乾式電抗器有長壽、不需要修理之特性。空心乾式電抗器之運轉環境和服役任務是對其壽命有衝擊，尤其是過長時間的過載。一個通過外部事故電流可能產生其外表面閃絡或異聲。定期維護方法採用阻抗核對來確認其線圈之完整性和直流高壓試驗來核對其絕緣能力。空心乾式電抗器如果採用併聯回路之線圈結構，阻抗核對無法保證其線圈之完整性，斷線或開路無法測出，併聯回路線圖是解決其載流容量問題，且其線圈直流電阻是很小值。在空氣絕緣變電所採用槽式和包覆式二種空心乾式電抗器，槽式發現有噪音聲音和震動時，表示其層間可能有故障，目視檢查發現有閃絡記號和過量電暈聲音時需要立即維護或汰換。包覆式電抗器之外表面保護纖維樹脂可防止紫外線照射，如纖維樹脂有損壞將導致其絕緣擊穿。包覆式電抗器如發現外部損傷需送回製造廠再處理。空心乾式電抗器之組裝硬體結構、張力式礙子和張力式彈簧需定期檢查，有任何外部損壞、龜裂則必須更換。

通常磁場將以垂直電抗器線圈面之方向和其通過電流產生電磁力量，在電抗器有負載電流時，其產生之電磁力將作用在引線和三角架上，其力量大小和電流平方成正比，即便高頻交流電流，其電磁力量將以2倍頻率之速率施加在線圈上面並產生電抗器之軸方向和徑方向大震動，線圈振動力量則進一步傳輸到線圈體機械固定連接之三角架、支持礙子，震動程度是依據電抗器額定容量而定，震動將產生電抗器螺絲和鄰近元件鬆脫和雜音。

(八)電容器

電容器組之壽命是由組運轉記錄決定。電容器組老化時，會發生單元油箱擊穿故障，其原因為油箱內部電容元件發生短路，內部容積油電弧氣化產生高壓氣體、油箱罐膨脹和漏油現象。如果只有單元油箱故障，採構數個單元電容器做為備用汰換，組裝修理後再恢復營運，如此運作方式可防止電容器油箱後續故障。改善電容器之可靠度維護是定期替換有問題之電容器或熔絲鏈。比較積極做法則是採用無熔絲鏈或內部附保護裝置之大容量油箱型電容器組來替換既設運轉中設備，此種設備維護預防概念之改變是由於外部附裝熔絲鏈電容器之安全爆炸考量而引起消除故障源作法。大容量油箱型電容器組之狀況評估可採用 DGA 和油溫量測方式進行，電容器絕緣紙由於老化、熱劣化逐漸產生內部油分解，在分解過程中產生 CO、CO₂、H₂ 和 C₂H₂ 並溶入絕緣油中，因此採用 DGA 偵測分解氣體成份。電容器組之介質損失由於老化而上升，增大之介質損失產生油過熱並導致擊穿事故，因此電容器油槽之溫度測量是一種核對狀況之有效方法。

(九)避雷器

在適當位置配置避雷器是可以增加既設變電所設備之壽命，因為開關切換、事故清除和打雷事件而產生突波可能損壞設備之絕緣，為防止

變電所絕緣事故或閃絡，變電所之重要設備應該裝設避雷器保護，尤其是電氣突波阻抗有發生改善之介面點。公用事業仍舊使用保護氣隙做為變壓器之過壓保護，但其過壓保護作用是有限。變壓器之負載增加和老化綜合作用將產生潛在性變壓器故障機會，比較主動做法則是採用氣化鋅避雷器來更換氣隙保護。傳統老式碳化矽避雷器是比較容易劣化，應採用氣化鋅避雷器來汰換以改善其可靠度和減少避雷器事故。此外，紅外線掃瞄避雷器表面溫度是可以發現定位避雷器在導通將況之溫度分佈異常，任何避雷器溫度大於週溫 10°K 時應考慮更換。

(十)電力電纜和接續匣、終端匣

狀況評估應包括電纜和涵洞及蒐集電纜和附屬設備之資料，例如型式、製造廠家、年數、負載和電力電纜系統之缺失發生過程等，且視檢查和資料分析是提供狀況評估之最佳資訊，目視檢查結果確認電纜和接續匣之狀況，目視檢查重點如下：

- 電纜和涵洞路徑之可通行狀況。
- 電力電纜之路徑分開，避免相互間之散熱問題產生(在另一路送電下容許開挖工作)。
- 電纜狀況—損壞、腐蝕、過熱、漏油。
- 涵洞狀況—下陷造成涵洞損壞、阻塞和影響。下陷處所將產生涵洞剪斷變形和其開口處之二邊方向涵洞有發生彎曲變形 (Offset)。
- 充油電纜—漏油。
- 涵洞材料含有石棉有害物。
- 電纜排置地層 PVC 管、電纜架或支持物。
- 電纜水平、垂直段有適當固定支持避免軸方向移動。固定設置為正確型式和固定電纜處所不發生剪力。
- 電纜護層接地
- 電纜終端匣狀況

- 電纜開口處所有防火抑制緩繞保護
- 涵洞入口點閉封保護
- 電纜路徑適當佈置排列和有位置竣工圖資，進入變電所入口點位置排列整齊不擁擠，不打結或施工不良。
- 在開關設備下方之連接電纜或其前方之連接電纜排列錯亂、擁擠將引發電纜工作之安全有關問題。

由於電力負載之自然增加，電力電纜之載流將保持接近於原始設計參數之額定電流下運轉，在此環境下電力電纜之偵測、定期檢查和分析是評估電纜狀況和其可用壽命之重要依據。大部份電力電纜故障或劣化原因是外部機械性之損害、過熱、濕氣侵入和附屬設備組裝工藝不良等，這些將造成電纜主絕緣之電氣故障。

電纜過熱將加速老化進行和導致電纜或蕊線之位移超過其系統設計參數，絕緣紙過熱老化，曝露在高溫度時將變成易脆。除外，機械性衝撞或瞬時移動將足以造成纖細之紙絕緣層龜裂而發生事故。XLPE電纜將因過熱產生聚合鏈（Polymer chains）擊穿事故，絕緣在劣化階段，任何電壓峯值、突波和過壓等額外應力將觸發絕緣層厚度之擊穿事故。主絕緣劣化是老化故障之最嚴重型式，但是最共通性老化故障發生位置是在電纜出口位置段，因為出口位置電力電纜和外部環境接觸有關。

聚合護層材料遭受紫外線照射（UV radiation）和空氣中有害氣體、水分化學反應之影響是很重要事情，因為金屬護層（Metallic layers）腐蝕和電解作用是很危險，電纜外被覆保護層如果發生擊穿破洞將可能導致主絕緣之後續損壞效果，而最終產生電纜故障。如果護層是黑色材料，將不易發生因為紫外線照射而產生劣化，除非其電纜佈設位置有直流回路作用之影響，否則金屬護層之腐蝕現象將不易產生。

XLPE 電纜絕緣如果出現局部放電量到達某一固定值，電纜將發生擊穿事故。狀況評估是依照電纜特性和電纜佈置方式而採用適當評估方法。

電纜特性

電纜型式	絕緣材料	特性
XLPE	XLPE	對環境衝擊影響很低、不需要另加裝二次設備、大電流傳輸容量、小介質損失、不易診斷
充油	絕緣紙和油	長期使用高可靠性、容易診斷、較大介質損失、需要維護、加裝飼油箱補油二次設備

電纜佈置方法比較表

佈置方法	特性
直埋	低投資成本、組裝期短、容易受損、組裝汰換另一回路困難、圖資蒐集準備困難
電纜溝	容易維護、容易組裝汰換另一回路、圖資蒐集準備容易、較高投資成本、跨矩長度限制
洞道	多回路佈置最好方案、最容易維護、容易控制電纜溫度、最大投資成本、長組裝期間

傳統充油式絕緣紙電纜之現場診斷測試，採用直流電壓是有效的辦法，對 XLPE 電纜而言直流電壓測試並不適當，因為電纜之在地（on-site）損傷、和接續匣或終端匣之缺失錯誤不易發現。除外，好的 XLPE 電纜附屬設備在測試時因為採用直流電壓容易發生擊穿事故，最後需重新更換電纜。XLPE 電力電纜改採用高頻交流耐壓試驗，高頻交流耐壓試驗較能準確地反映服役條件之電容電壓分佈和電壓大小，除外交流耐壓試驗之激磁電流可以作為執行局部放電診斷測試。交流耐壓試驗之缺點是需要有大容量移動變壓器，此為補償電纜產生

充電容電流，目前亦有使用低頻 VLF 交流耐壓試驗。

使用耐壓測試方法之準則彙整如下：

- 有能力偵出電纜在服役條件下之絕緣缺失而不因為測試產生二次缺失或產生老化。
- 測試方法的實用性和複雜性。
- 試驗設備成本和商業上可取得使用

1、溶解氣體分析 (DGA)

DGA 指出局部過熱、部份放電等內部異常。下表為日本 DGA 準則：

溶解氣體	準則	說明
H ₂ 氫氣	500ppm	H ₂ 電暈放電 C ₂ H ₂ 電弧 CO、CO ₂ 絕緣材料局部過熱 CH ₄ 、C ₂ H ₆ 、C ₃ H ₈ 油低溫分解 C ₂ H ₄ 、C ₃ H ₆ 油高溫分解
C ₂ H ₂ 乙炔	追蹤有發現	
CO 一氧化碳	100ppm	
CO ₂ 二氧化碳	1000ppm	
CH ₄ 甲烷	200ppm	
C ₂ H ₆ 乙烷	200ppm	
C ₂ H ₄ 甲烯	200ppm	
C ₃ H ₈ 乙炔	200ppm	
C ₃ H ₆ 丙烯	200ppm	
TCG	1500ppm	

2、絕緣油測試

在充電式電纜，絕緣油測試是主要評估方法：

測試項目	準則	說明
耐壓值 KV	-----	準測值是依系統電壓而不同，絕緣劣化和污染
容積電阻	> 10 ¹³ 歐姆公分	絕緣劣化和污染
介質損失功因	< 2%	絕緣劣化和污染
酸價	< 0.02KOHmg/g	化學劣化
水份含量	< 10ppm	密封性能和絕緣劣化

3、XLPE 電纜

XLPE 電纜已經有使用 40 年經驗，對環境影響有較低衝擊（無油）

和容易維護之優點。1970 年後，XLPE 電纜使用急速上升，日本和歐洲地區 XLPE 電纜在輸電配電電纜網路已經佔有 80%。XLPE 電纜狀況評估之診斷技術已經進行多年，但只有少數有效方法是應用在場測試：在中壓 MV 電壓電纜，使用直流洩漏電流量測和介質損失量測方法是可以偵測水樹劣化。在加壓試驗採用部分放電測試做為接受試驗項目，在運轉階段由於背影噪音存在，無法採用局部放電測試。最近現場診斷技術已經開發實用化技術為：

- 電纜附屬設備採用局部放電超音波偵測。
- 直接裝設電容式或電感式耦合器 (Sensor) 在電纜附屬設備上或接近位置量測接續匣和終端匣之放電。

矽膠流體注入 XLPE 電力電纜之絕緣層新技術是可延長 XLPE 電纜壽命，矽膠絕緣流體注入位在電纜終端匣點位置之電纜，稀釋進入絕緣層並迫使水份送出，而遲緩將來 XLPE 水樹之成長，如此可以延長壽命幾年和增加介質強度。其他技術包括直流重疊方法，交流重疊方法和殘餘電荷方法。

(十一)變電所內輔機用電(AC、DC)

變電所內輔機用電交流和直流電源之可靠，對變電所安全和可靠運轉是很重要。電力變壓器容量之可靠輸出和變電所保護方式之適當動作均靠所內輔機用電，變電所內輔機用電之重要元件為所內變壓器，自動和手動 AC、DC 切換開關，直流充電機，蓄電池和 AC/DC 分電箱。所內變壓器容量從 75KVA 至 1000KVA，是沒有強制通風設備和沒有有載分接頭切換器設計，目視檢查和定期取油樣測試是提供變壓器之狀況資訊來源。所內變壓器之供電是由裝設在所內變壓器一次側之保險絲來完成，其回路之目視檢查和紅外線掃描將提供高壓保險絲之狀況資訊。

低壓自動切換裝置包含 AC 開關和控制回路，當供給電源無電時，自動切換另一路供給電源。變電所配合自動化環境需求，電力變壓器之冷卻電源均有二路所內電源經由 ATS 自動切換裝置來受電。除外所內消防系統之全黑緊急發電機電源和所內變壓器電源亦經由消防 ATS 自動切換裝置來供給換氣、排風扇電源。經驗顯示自動切換開關需要定期檢查和維護以確保功能。即使有定期維護、自動切換功能可能因 AC 開關機械上問題而無法執行。當汰換老化自動切換開關時，必需評估臨時救急方案，例如緊急旁通備用電源或採用手動切換操作讓切換系統簡單可靠。

直流電池必需定期檢視並確保維持直流電源功能。當有需要時可以臨時提供直流動力源，例如長期所內 AC 電源全停電發生時。變電所之直流電池，大都採用濕式地板排列之鉛酸電池，其正常壽命為 10~15 年。濕式地板排列蓄電池之狀況，可由已建立試驗方法來加以評估。當蓄電池容量輸出小於原始容量 80% 以下，表示蓄電池接近壽命不足。如果試驗電池不能充電，表示電池汰換是必需。變電所直流系統之初始設計負載是足夠，由於增加斷路器、空斷開關、保護電驛和不斷電之變流器負載而增加直流負載，因此直流電池容量之評估和驗正是定期必需要做的事情。

(十二)保護和控制系統

保護系統包括電驛、比流器、比壓器、配線和電纜、蓄電池和直流供給回路、低壓 CB 和軟體。保護和控制系統之狀況評估是依據設備型式、設備年數和系統成長來加以進行。保護系統是電力系統的重要設備，其功能為系統安全、供電可靠、工作人員和公共安全、防止大事故損壞和控制對地電位上升。保護是屬於專業工程領域，其狀況評估應由這行有經驗且有資格人員來加以執行。

電磁型式保護和控制電驛使用在變電所保護和控制已經有多年歷史，這些電驛有其局限性功能和需要較大空間問題。公用事業採用變電所自動化和整合控制，電磁型式設備大都改採用多功能智慧型電子設備（IED'S）來取代。IED 設備提供有彈性電驛功能設定、故障訊息記錄容量、表計和警報。IED 採用之通訊協定是有能力和其他電驛通訊交換訊息和遠方存取控制。為改善變電所保護運轉和簡化保護、控制和表針方式，電磁型式設備應採用 IED 汰換更新。

老式電驛是較為不可靠且有較高維護成本和備品不易取得問題，汰換老化設備將可預防由於設備故障或跳脫延後所導致之發電和停電損失。系統成長需要變電所擴充或設備容量提升，新加入設備改變既設保護區間和需要額外保護電驛。新變電所增加時，採用雙重保護電驛來改善變電所可靠度，為符合系統成長的需要，保護和控制設備必須增加或汰換新型設備。

現代技術發展已生產數位保護電驛，然其壽命比從前電磁電驛短，最佳電流電驛其壽命週期有 15~25 年，然而其他型電驛卻較短，保護電驛支援用備品和軟體在其壽命周期內可能無法取得。數位電驛壽命只有大部份變電所其他設備壽命之一半或較短，因此在變電所壽命期內數位電驛至少需汰換一次。狀況估評時需要決定電驛之期望壽命和老式、新技術之剩餘壽命。

評估保護系統狀況時下列各點需注意：

- 變電所保護方式之概念設計滿意否？它符合政策需要？是否涵蓋所有故障？後衛保護正確提供否？
- 電驛和電驛盤裝設在安全位置上，不會受到電力系統故障之損壞？
- 每種電驛之狀況是什麼？

- 變電所內每種電驛之故障或缺陷歷史記錄是什麼？
- 電驛之功能測試和維護及全部系統都正確和準時執行否？
- 有提供適當測試連結？
- 端子和接線端子在良好狀況？
- 配線絕緣在滿意情況？老式絕緣型式例如棉花和硫化印度膠（VIR）一般都是觸壓不良情況？
- 有二次回路空間分開？
- 如果採用被覆二次電纜，被覆對地連接導體正確配置否？
- 電驛標置正確和變電所有需要標置之工程文件？使用 CT 和 VT 比值文件有記錄否？
- 軟體是一個大問題，每種電驛組裝軟體版本清楚記錄在文件上和備用拷背文件可以取得並適當標示和安全儲存否？

SCADA 控制系統和警報系統應由專業領域有經驗和有資格人員進行評估。近代數位系統將比保護電驛壽命短，SCADA 系統之主要需求是在錯誤或假的跳脫或閉路輸出時確保安全。軟體是大問題，正確文件和組裝軟體版本之備份及任何升級版都是重要事件。狀況評估應涵蓋這些問題。

(十三)接地網

變電所接地系統之功能是提供故障電流之安全和健全回路、系統故障時接地電位上升控制在接受值和提供雷擊保護，接地網是變電所所有絕緣保護之基本，限制中性點電壓位移和接地電位上升。低壓通訊、電子設備和電驛等擾人故障都和接地網故障有關，此外接地網完整對設備保護和人身保護之接觸和跨步電壓限制在安全值內是需要。這不僅限制在變電所內運轉人員且也關心對周界鄰居之威脅。變電所接地系統由於對健康和安安全法規有很強關係，國際上很

多標準在討論它。

評估變電所接地系統，下列各點需注意：

- 裝設符合圖說規定否？設計程序沒有更新異動前，變電所有無增設或改變？
- 故障電流值和設計基準有無改變？
- 保護清除時間有無改變？
- 圍牆或門的型式或佈置有否改變？
- 依原始設計之裝設管路和水管工作，有無任何改變？
- 變電所周圍有任何改變？例如接近變電所新大樓或結構物，尤其游泳池。
- 接地棒電極和導線連接物之狀況？有腐蝕問題？
- 在操作者位置裝之接地均壓板和接線適當，國家法規有無需求？
- 建築結構物連接到所接地網？
- 所有電纜護層連接到接地網？
- 所有設備正確連接到接地網？
- 有無適當文件圖說顯示特定變電所接地需求？

接地系統銅線被偷事件時而有聞，定期目視檢查接地系統銅線存在，如有遺失要進行汰換並採用注入電流測試結果來證明裝設如初始設計狀況。接地網之每一連接和導線應測試阻抗和高電流能力，如連接有斷線或增加電阻時，應和從前讀值比較並確認劣化處所。標準方法為從欲待測試連接點注入電流 200~300A 到某接地網已知位置並量測壓降。任何壓降讀值大於 1.5 伏特時，應判斷為不良，壓降大於 1 伏特但小於 1.5 伏特時，表示可疑。全部連接點測量後，大於 1.5 伏特讀值連接點需要接地網重置。

(十四)變電所圍牆

早期圍牆均採空心磚或紅磚砌成。最近屋內變電所，由於景觀協調需要均採用開放透空式圍牆，變電所圍牆之狀況應依據位置和目的來加以評估。很多圍牆採配合自然裝飾而需要注意維護。支持柱子必需保持垂直和有力量承受設計條件之圍牆負荷。

柱子腐蝕應加以修理且禁止更一步生鏽，圍牆應定期核對牆底和地面斜坡間有無過大間隙產生，如有過大間隙必需修理防止動物、未授權的人和小孩進入變電所。這些間隙應加以圍堵，有洞應加以修理，連接到接地網和連接導線應加以檢查，防止產生對公共接觸電壓危險。變電所圍牆接地網之完整性應定期檢視，如果發現小偷已經偷走全部圍牆接地線是不可思議，為緩和這種情況，銅導體更換為鋁或鋁包網線是一種選擇。

(十五)位址問題

變電所位址之狀況評估，應包含下列問題：

- 位址面積尺寸適合設置變電所否？
- 入口道路適合拖車、起重車、車輛和設備之進出否？
- 對周圍鄰居有困擾問題否？
- 地面穩定否？
- 有排水或下陷問題否？
- 位址乾淨、整齊和景觀美化割草否？
- 有來自鄰居之風險問題否？例如儲油站、加油站或樹？
- 位址在排洪區段有可能淹水、地面適當提高防水高度否？
- 位址是否有火災風險問題否？
- 有噪音問題否？
- 變電所周圍有退縮緩衝否？
- 電纜、洞道和架空線進出路徑滿意否？

- 位址之所有權和使用權滿意否？不動產過戶登記是最好使用權方法。沒有時間限制而可以永久使用之租賃和地役權是不滿意但可接受。例 99 年租期到期？
- 安全問題有適當考慮否？
- 影響變電所進出通道有任何改變否？

(十六).建築物

變電所建築物型態有都會地區全屋內式、全地下式，和附有控制大樓屋外式，屋外式變電所控制大樓內部空間裝設重要保護和控制設備。建築物之設計和狀況在變電所評估時是一個重要項目，但時常被高估。評估變電所建築物時，要注意下列各點：

- 何種型式建築物？鋼筋加強水泥、磚或空心磚造、鋼結構等。
- 建築物的設計壽命和現在使用年數。
- 裝設何種型式基礎和地面狀況是什麼？建在岩盤或堅硬地面？如果都不是，基礎可能位移、下陷、龜裂？
- 構造足夠承受應力否？例如地震、衝擊、電氣事故之壓力負荷？
- 在結構設計時條件即使建築物一部份故障也不會產生其他部位之連鎖故障。
- 結構狀況：有下陷、位移、龜裂、損壞否？
- 屋頂：變電所主要需求是屋頂不能有水份進入有電區域而造成設備故障。

(十七)防火保護系統

有關變電所之條件和設計，火災是一個重要問題。這是因為有大量絕緣油和其他易燃材料存在變電所內部。除非採取適當控制對策，變電所火災可能造成整個變電所損失、供電中斷、人員安全風險和火災蔓延到鄰近房屋等問題。變電所設計是容許任何一個

主要設備損失也不會產生供電中斷，對單一設備之火災圍堵預防控制是防止整個變電所進一步擴大損失。變電所火災評估時要特別注意變壓器區域和控制室，控制室火災可能產生整個變電所癱瘓，控制室有修改作業時要避免點火發火源和提供滅火裝置備用。

有關火災評估，下列重要問題要注意：

- 可能火源：特別是充油設備電氣故障/重負載載流之連接接觸發熱/電焊工作/鄰近房屋火災和叢林火災。
- 有什麼燃料和存放位置：變壓器油/開關設備油/現場油桶/滙流排、終端箱和 CT 室所用瀝青、絕緣膏/電容器油/PVC 和 XLPE/房屋結構材材/現場存放材料和廢棄物/樹木/屋頂排水溝樹葉/木材圍牆。
- 火災隔離：設備間有適當隔離防止設備火災蔓延到鄰近設備或建築物。輻射熱會損壞或點燃鄰近設備和建築物。變壓器間適當間隔或設有防火牆/開關設備室分隔成為火災隔離室/建築物間隔之開口有防火門/各樓層間電纜開口有防火抑燒/電纜垂直上升段需注意垂直火災蔓延率很快。每一樓層間隔要有火災抑燃或裝噴水設置/電纜塗防火燃燒漆/變壓器室沒有開口和窗戶/地下至有很多電力和控制電纜，無法分隔成個別空間，裝設噴水系統/變壓器周圍堵油設施防止燃燒油蔓延。
- 逃生和急救：變電所設有二路逃生路，假設一路堵住時另一路可發揮功能。逃生路和通道應清潔、箭頭標示逃生方向符號，逃生燈緊急照明和無障礙空間。
- 變電所或建築物密封防止蟲害、白蟻會吃食電纜絕緣，產生損害、事故和火災。
- 主動火災抑制系統包括水霧噴水：水霧稀釋系統和氣體系統。狀況評估應包括這些系統之檢查和測試及驗正維護和測試記錄。滅

火器有效期間確保正確。

- 火災偵測和警報系統—評估其狀況和適合性。這些是否工作中？

(十八)結構和基礎

變電所基礎和結構應定期評估其既設狀況、現在修理狀態和完整性。結構和基礎狀況評估後之分類如下：

- 良好狀態—無需要修理。元件不鬆動、結構良好可以執行原設計目的和沒有外表上缺點。
- 普通狀態—雖然結構良好可以執行原設計目的，但元件已顯示其磨耗、故障或劣化之初期症兆。例如：混凝土表面有崩碎現象或鋼結構有生鏽現象。
- 不好狀態—元件消失或有即將發生故障或擊穿癥兆，元件不能執行原設計目的。此時不好元件需要修理或更換。例如鋼結構不正常或過度變形、基礎崩裂到地面以下而發現鋼筋曝露且生鏽現象。
- 嚴重狀態—元件顯示有進步劣化，如二年內未矯正作業時，結果將會發生故障/元件顯示對使用者之安全 and 健康有威脅。例如由於排水不良或過大負荷產生基礎傾斜缺失。

(十九)文件圖說

文件圖說是評估工作的部分，變電所文件圖說必需存在之理由為維護/安全/增設改建/運轉中問題發現/修理等需要。然而文件圖說常被發現不好和不完全，因此需管理上注意改善，文件圖說包含內容為：

- 變電所設計和竣工圖說完整和正確/變電所運轉/所有設備運轉說明書/設備財產目錄/設備製造年月/設備希望服役壽命/設備維護需求和說明/保護和控制回路/電驛標置資料/設備和電纜額定容量/設備和電纜之負載率/故障電流設計值和現值/故障、缺失和問題

記錄/位址使用權和有關地役權/已知或可能影響變電所之基礎建設，例如高速公路、鐵路/測試記錄/維護記錄/檢查記錄。

四、可能方案

有很多不同方案可以選擇，不同考慮因素都有不同影響，下列因素是重要：

- 有限資源預算，預算是選擇方案之決定因素。
- 公司策略（電壓等級、最大容許風險）。
- 新技術之可用性。
- 設備狀況。
- 經驗傳承。

(一)設備發生事故，投資費用不高且後果嚴重性低時，依照矯正維護策略，執行修理。有成本節省壓力時，公司需設定優先等級，對最嚴重設備進行重置汰換。首先評估變電所狀況，然後決定如何做。維護費用投入很低時，相對地發生事故時其營運成本可能很高。

(二)既有設備執行計劃性維護

有不同方案之預防維護可以執行，預防維護之設計是源自下列因素：

- 預知元件故障之開始時間
- 預知影響設備功能之故障
- 設備發生故障前修理或汰換。

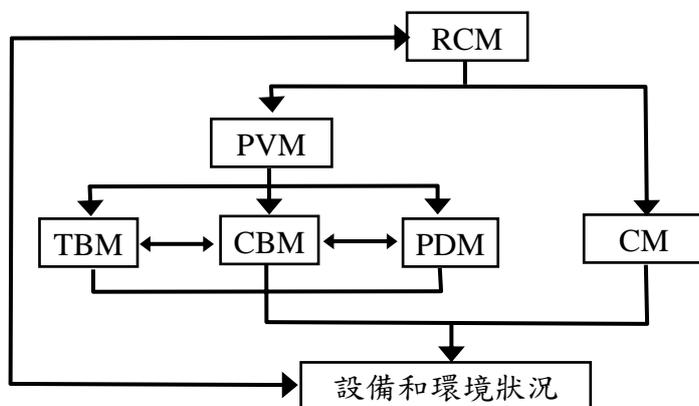
首先需考慮執行維護作業和作業頻度，預防維護作業之頻度常取決劣化和故障率、執行策略、維護成本和故障之損失。根據資產故障訊息而決定檢查、修理和汰換才是有效果。

公用事業多年採用定期維護有滿意結果：其特點是根據經驗傳承而在固定周期更換零件。此種方法不是最節省成本做法。近年來定期維護策略已經逐轉為狀況基準維護。狀況基準維護該費用聚焦在最嚴重設

備或需要立即修理或汰換元件。維護作業是在最需要時間去執行，減少不需要修理成本和停電。狀況基準維護是由設備之技術狀況來做驅動力，這個方法考慮多項重要參數來有準確決定設備狀況。經由診斷方法或偵測系統取得詳細資訊要事先準備取得，設備故障行為之分析是決定正確維護計劃之重要事項。狀況基準維護可依更重要參數而分類為二種型式。

- 以電網重要性和故障風險程度表示之設備狀況，其考慮參數為變電所不可用率，設備故障率、變電所配置、啓斷容量和顧客和會影響種類。
- 對客戶供電中斷發生，以其工作成本和財務衝擊表示之設備狀況。另一種維護方法是預知維護，它是依據狀況基準維護相同準則，偵測潛在維護問題和中斷、停止問題發生。

最後另一選項是為延壽，就是延緩設備更新之改善維護計劃。採用此方法理由為有其他相關設備都需要汰換，但是設備無法停電下來作業，為省錢和減少停電時間，採取某些延長策略，等待變電可以停電時局部或全部汰換，延壽方法是資本投資較少，但是維護支出增加。不管如何，每種維護方法都要訓練教育員工改善維護技術水準來降低成本。目前共通性問題是變電所維護預算減少和有經驗員工凋零減少。因此，需要專家協助評估設備狀況、訓練維護員工可擔任檢查工作和訓練使用檢查資料來做維護決策。



圖七：維護型態(風險基準管理 RBM)

RBM：風險基準管理 Risk Based Maintenance
RCM：可靠度主軸維護 Reliability Centered Maintenance
PVM：預防維護 Preventive Maintenance
CM：矯正維護 Corrective Maintenance
TBM：定期基準維護 T'ime Based Maintenance
CBM：狀況基準維護 Condition Based Maintenance
PDM：偵測維護 Predictive Maintenance

(三)針對單一設備問題之更換設備

- 當任何設備故障，為恢復供電需很快更換處理。此時成本不重要，最少停電時間和全停電是目標焦點。
- 更換全部世代有缺陷設備之汰換計劃。為減少相關營運費用，有計劃採購，組裝和加入營運，例如利用停電，同時做其他改善維護工作或依滙流型態減少停電時間。

此方案是假設其他設備仍是正常可用狀態，如果短期間其他設備也需要更換，則會增加支出預算。從運轉觀點則需另一次停電時間做組裝和加入營運。從工程觀點分次進行將產生多版本圖且工程組裝花費更多。

設備狀況之決定和設備對網路之重要性要事先整體性建立（例如設備故障對供電可靠之影響），並在維護工作或汰舊換新之最佳順序上表示且加以評估。

(四)變電所局部汰換

此方法適用於二次系統之汰換（主要一次設備之壽命約為其二次系統之2倍），例如數位控制系統和輔機系統之汰換。設備之採購、供料、組裝和加入營運需要和工地活動有整體性計畫，避免發生衝撞，工作可細分成容易管理工作分包裏，並利用停電維修作業一齊做完成可以

減少停電時間。

(五)變電所全部汰換

變電所汰換決策有二種基本戰略可以進行：拆除重建、穿衣服改衣服（例如一拱位或數拱位汰換同時保持其他拱位供電）。拆除重建是最容易省錢方案，沒有介面問題和一次組裝加入營運之程序即可搞定。

穿衣服改衣服是最常用和需要設定轉移戰略，並明訂不同階段所需達成目標。此方法之優點為採用分年預算、每一拱位可以快速組裝進行而其他拱位仍照常維持供電。缺點為組裝和加入營運需要多次停電時間。

五、既設空氣絕緣變電所汰換時之最佳方法

前面幾章節概略介紹變電所汰換需求，並提供變電所設備狀況之系統性評估資訊和可能採取對策。

輸電公司營運之主要循環為決定成本、評估狀況和供電品質，其他循環則為來自財務、社會或法律因素之影響。此外，不好的服務水準或供電品質常遭受批評，損壞公司形象和影響收益或容易陷入營運危機。輸電公司之最佳方案為考量所需努力有關成本和風險成本之綜合最少成本。在資產規劃時期評估資產相關成本是一種常態性工作，偶而依情況判斷或公司倫理標準亦考慮社會和法律因素成本。

(一)安全、環境、社區接受度、顧客滿意度、品牌和規範等之量化評估

在壽命週期內評估最佳方案時，應考慮經濟和非經濟因素，經濟因素容易套用數學模式，非經濟因素之特徵和詮釋較為困難轉換為經濟值。非經濟因素項目有安全、環境、社區接受度、公司品牌。這些因素評估是取決於公司之政治和社會環境之特殊喜好。

1、安全

變電所安全會影響周界居民和工作員工，因此是一項重要因素。方案安全性在工程階段和運轉階段均應加以評估。如果變電所汰換時，在找尋最佳解，要提出下列問題：

- 既設裝備符合最新安全法規（假如設備現狀是運轉安全，在延壽時間之持續維護時期將保持設備在安全運轉程度）。
- 如果不符合安全法規，應保持是在接受安全限制值內。
- 不安全時，施行矯正維護。

另外為方案容易加以比較，應考慮風險程度和公司之責任。

2、環境

既設變電所對環境是有潛在性影響，例如當地土地使用、老舊設備操作、環境法律和規程之改變及社區對變電所觀感之改變。環境評估和安全評估一樣重要，即使所有工作都在圍牆內進行施工，對社區接受度仍有很大衝擊。環境評估的每一項都可換成金錢。例如：

- 噪音低減需求—方案包含一台增加容量之新變壓器來加以替換既設變壓器。由於容量增加關係，新變壓器噪音更大，因此需有噪音低減對策，例如音箱、音減器和特殊土地造景。另一方面採購較低噪音變壓器，啓始投資成本可能增加。
- 美觀—為改變既設變電所刻板造型到某注意點方案，其額外美觀對策為較高圍牆視覺美化、假山樹木花景等都必須增設。
- 漏油—假設既設變電所並未裝設堵油設施，在汰換相同容量新變壓器時，由於環保法規之改變，必須裝設堵油設施。
- 污染物—由於環境之高污染存在，必需提供特別絕緣等級防護。例如多年前一家新工廠或一條高速公路建在變電所附近，

需考慮污染問題。

3、社區接受度

在評估既設氣中絕緣變電所換新方案之主要因素為社區接受度。任何時間都會發生既設變電所元件之改變，這些改變都會遭受社區接受之放大鏡檢視。滙流排和相關氣中絕緣變電所都曝露在外，直接眼睛可以看得到的改造工程是容易被發現。社區接受度之元素包括環境協調，另一最困難評估因素是電磁場。雖然變電所早在社區成立之前存在事實，社區總會抓住改造機會把電磁場議題浮上台面，一個方案儘管多美好，但可能因社區接受度而變成負面。因此建議在規劃階段就要接納社區參與度，如此方案才容易推動。電磁場因素在評估時期要多加考慮降低策略並善盡企業公民責任。

4、公司形象

公司形象是一個嚴肅話題，它是反映社會大眾對這家公司之經濟和社會績效看法。由於全公司員工努力，公司維持一個正績效之公司形象。對輸電公司，其重要目標群為大客戶、地區政治組織和代表、投資者和不可忘記之公司員工，輸電公司經營者經常努力地對外表現革新、可靠作風和不忘記對社會責任。尤其是需要地區特許經營權之定期換照，輸電公司經營者要視圖表現自己是地區獨一無二基礎建設和能源之默默無言貢獻者。供電品質有缺失也是形象有關的事件，如果有一特殊變電所或一群變電所即將有事情，此事將成為換新之支持力量。

陸、參訪 CSEI 紀要

一、義大利電力綜合研究院概述

義大利電力綜合研究院 (CESI, Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano) 原本為義大利國營電力公司 ENEL 之研發單位，其角色相當於台灣的台電綜合研究所、電力修護處及財團法人台灣大電力的結合。自 1998 年義大利開放電力市場後，ENEL 為義大利目前最主要之電力供應者，而 CESI 也從 ENEL 獨立出來，成為一獨立營業機構。累積四十餘年發電及輸配電之經驗，CESI 致力於電力系統之效能提昇與改善，以及再生能源之開發與利用，目前 CESI 已成為世界知名的能源及電力系統技術研究發展中心，並提供相關的諮詢及國際技術服務。

CESI 義大利電力綜合研究院的服務項目：

- 供電及輸電之效能提升：其對輸電供電之經濟效能提昇及降低投資成本的規劃；CESI 發展許多線上(on-line)監控及分析系統，針對各種設備品質提昇、降低運轉與維護成本、元件材料之老化評估及設備之延壽，均有相對的解決方案；亦針對顧客的需求提供合適的解決方案。
- 輸配電路之規劃、設計、改善、測試：CESI 提供輸配電網路如何規劃才能使效能提升、如何使供電品質穩定、新設備應用及電力系統設計、強化及供電最有效的調度，使輸電線路降低損失等相關服務。
- 針對輸電供電產品之規劃、設計、測試如高壓電纜、變壓器、GIS 等各項輸電器材之定型及現場施工品質試驗及驗證。

- CESI 測試之部門，主要針對各種電力系統設備進行定型試驗 (Type Test) 並提供認證。本機構亦為國際性的獨立公證單位 (Third Party)，可執行各項事故之現場調查、分析並出具報告及改善措施。
- 國家能源及環境法規制定：CESI 可提供各種環境影響評估；包括水污染、空氣污染、噪音污染、電磁干擾、土壤污染等試驗及分析，規劃並制定相關法規。
- 電力民營化之相關規劃：CESI 可提供規劃電業自由化後之市場機制等相關服務。
- 能源電力產品之認證、規劃、訓練：CESI 可提供相關教育訓練及系統模擬以幫助運轉人員熟悉發電供電廠運轉及設備操作；於機組安裝完成進行驗收階段，CESI 可做為一認證單位，幫助電廠或開關場人員了解各系統之性能是否有符合規格之要求,且在設計上不會有潛在問題。
- 發電效能提昇及 CO₂ 排放量降低之因應對策：配合 2005 年京都議定書 (Kyoto Protocol) 正式生效，CESI 可提供溫室氣體排放量控制之相關解決方案；並同時提升電廠發電效能。
- 再生能源之研究規劃：CESI 提供各種再生能源，如太陽能、風力、燃料電池等之系統規劃、規格訂定及性能驗收等相關服務。

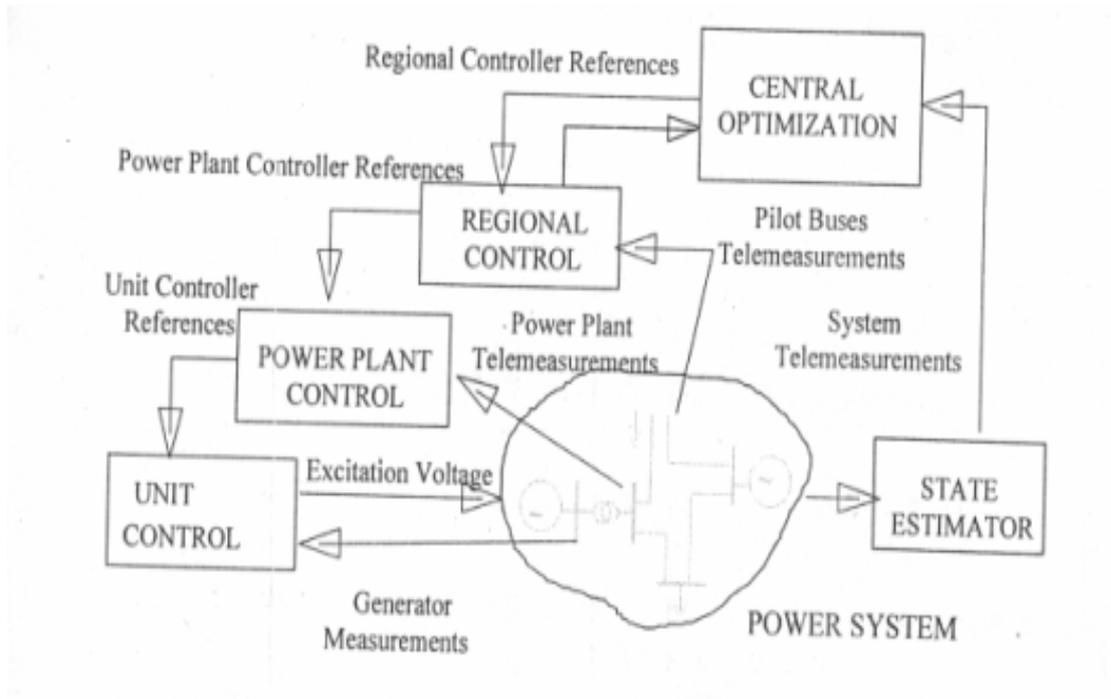
二、討論電力系統三階電壓調整議題

義大利 2005 年尖峰負載 55,015MW，約為台灣 1.7 倍。電力需求 3,294 億度，其中自產 85%，國外輸入 15%。電力工業已經自由化，原有電力公司 ENEL 分為發、輸、配等電力公司。調度中心稱為 Terna。本次參訪獨立之綜合研究所 CESI，洽談及了解電壓自動控制 SVR(Second Voltage Regulation) 相關事宜。

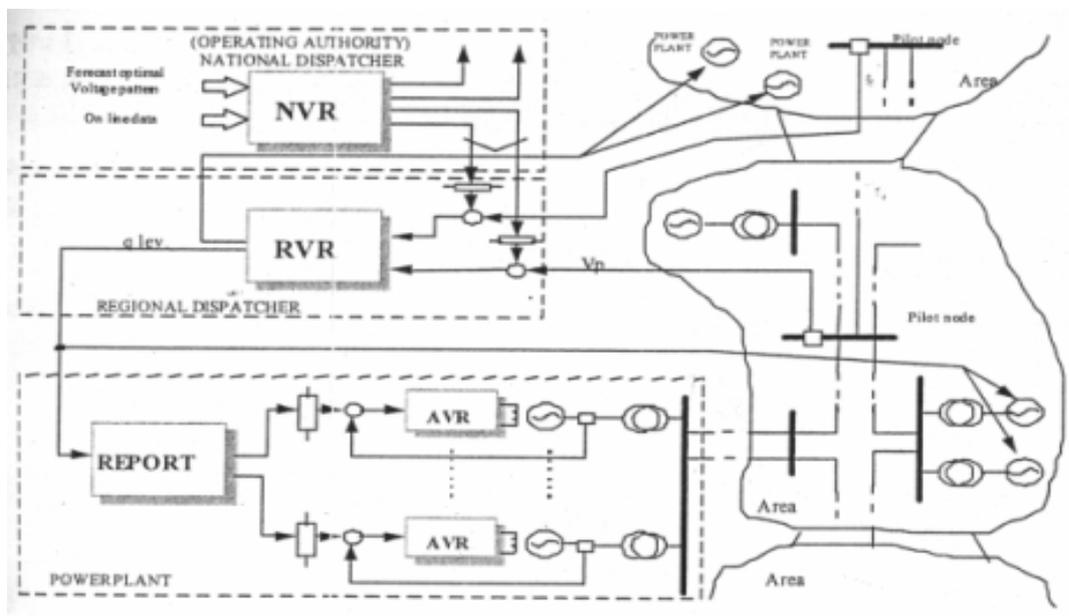
義大利發展 SVR 已有二十餘年之歷史，最早可溯自 1980 年代起，由 CESI 負責技術研發及規劃設計，再交由義電採購安裝維護。經過二十幾年的發展，目前由全國調度中心(在羅馬)及三個區域調度中心(在米蘭、威尼斯、拿波里)及全國 150 部發電機運轉使用中。據 CESI 人員告知，使用情況良好，且義國電力調度中心 ISO 規定各發電機必須安裝電壓調整設備，配合 SVR 做自動電壓控制。

SVR 之原理類似 AGC(Automatic Generation Control)做頻率控制。頻控係控制發電機有效電力，但 SVR 係控制無效電力。義大利輸電網 SVR 之控制架構如圖八及圖九所示，由中央(一個)、區域(三個)及各發電廠及超高壓變電所組成階層式的控制。所謂階層控制係指第一階(Primary Voltage Regulation, PVR)由發電機勵磁機所做之電壓控制，如目前本公司發電機 AVR 之做法。第二階(Secondary Voltage Regulation, SVR)則是選定一個超高壓變電所(稱為導引變電所 Pilot node)為控制標的，以這個標的為主，例如電壓維持 350kV 不變，鄰近個發電機無效電力、變壓器 Tap、電容器、電抗器等無效電力設備的調整，均使這個標的變電所的電壓維持固定不變(例如維持在 350kV 不變)。義大利選擇三個區域調度中心(米蘭、威尼斯、拿波里)來做各區域內的 SVR。至於第三階(Tertiary)的電壓控制(TVR, Tertiary Voltage Regulation 或 NVR, National Voltage Regulation)，則是由全國電力調度中心(羅馬)來控制指揮全區域的電壓控制。

本公司於 2005 年曾經請 CESI 協助相關 SVR 用於台灣之可行性研究。詳細的情形，請參考台電工程月刊(95 年 10 月份出版)：台電系統電壓自動調整控制之可行性研究。實際之進行，發電機激磁系統必須加裝控制器(稱為 REPORT)，調度中心增設電腦控制器，選定之超高壓變電所裝置信號接送器等，均需經費及人力負責規劃設計採購安裝及運轉維護等工作。



圖八 義大利輸電網三階層電壓控制架構



圖九 義大利輸電網電壓控制系統架構圖

三、參訪 CESI 實驗室

位於義大利米蘭之義大利電力綜合研究院(CESI)有關電力方面實驗室，計有高電力實驗室(Labs for High Power Tests)、高壓絕緣實驗室(Labs for High Voltage Dielectric Tests)、電力動態實驗室(Labs for Electrodynamic Tests)及其他如 EMI、環境、化學及消防等實驗室。高電力實驗室裝設有一組容量 2000MVA 發電機如圖十，以測試高壓設備頂住短路高電流的能力如斷路器在短路時頂住高電流之能力，以證實試驗設備忍受高電流及耐熱

的能力。發電機最大短路電力三相為 2000MVA、單相為 1200MVA、頻率為 16.7Hz、50Hz 及 60Hz。短路測試利用兩個不同電路(一個為較低功率)綜合而成，其優點為：可以提供較高功率短路電流、屬非破壞性測試不損及其他變電所設備、可以得到較正確暫態回復電壓(TRV)等。高



圖十：CESI 自備發電機

壓絕緣實驗室內測試設備安裝以接近實際運轉條件為模擬方式，甚至有更複雜的架構。包含有 EHV/UHV 試驗廳最大測試電壓為 1200kV、HVDC 試驗廳最大測試電壓為 800kV、100Kj 試驗廳最大測試電壓為 400kV 及設備老化試驗、汙染試驗(鹽霧害測試)及移動式實驗室等。

電力動態實驗室有相當大的空間可以讓試驗設備重新組合，分為四個不同空間分別為:HV 隔離器試驗區測試電流為 63kA 持續 3 秒及 85kA 持續 1 秒、礙子鏈測試區測試電流為 63kA 持續 3 秒、變壓器測試區最大電壓為 220kV 容量為 100MVA、中壓開關設備區最大測試電流為 50kA。

CESI 目前有關電力設備之測試的服務有：

(一)開關試驗

可分為斷路器試驗、接地開關試驗、快速開關試驗及隔離開關試驗等。斷路器分為開放式和 GIS 斷路器，額定電壓最高為 800kV，短路電流 $\leq 80\text{kA}$ ，頻率為 50Hz 或 60Hz。斷路器之定型試驗項目有全極或單元的開合與開斷試驗(含電流注入回路、電壓注入回路及對電路試驗)，絕緣試驗(額定電壓 $\leq 800\text{kV}$)、溫升試驗、動熱穩定試驗、內部消弧試驗、機械和高低溫試驗及二次系統的電磁兼容試驗。接地開關和隔離開關之定型試驗項目有：絕緣試驗(額定電壓 $\leq 800\text{kV}$)、溫升試驗、動熱穩定試驗、機械和高低溫試驗、短路聯合性能試驗、母線傳輸電流分合試驗、電感性電流分合試驗及母線充電電流試驗等。

(二)變壓器試驗

可分為電力電壓器、油浸式配電變壓器和乾式變壓器等。CESI 可進行特殊試驗、定型試驗、出廠試驗及其他如驗收等項目。特殊試驗可分為短路容忍試驗、噪音試驗、局部放電試驗、低溫試驗、熱衝擊試驗、凝露及溼度穿透試驗、防火性能試驗、雷擊試驗、三相變壓器零序阻抗測量及空載下諧波測量。定型試驗有溫升試驗(三相 $\leq 3,150\text{kVA}\&\leq 36\text{kV}$ ，單相 $\leq 1,250\text{kVA}\&\leq 36\text{kV}$)、雷擊試驗(4,800kV-240kJ)等。另外例行測試有繞組電阻測試、電壓比和相位測試、短路阻抗和負載損失測量、外加電壓容忍測試及感應耐壓試驗等。

(三)電纜試驗

電纜試驗有電力電纜試驗、中壓電纜試驗及低壓電纜試驗等。電

力電纜試驗分交流電力電纜和直流電力電纜。

交流電力電纜從電壓分為 170kV 及 170kV~550kV 利用 EHV/UHV 試驗及 HV 試驗廳試驗，直流電纜電壓最高為 800kV 利用 HVDC 試驗廳進行。其定型試驗之項目及最大試驗額定如下：

電力電纜定型試驗項目

定型測試項目	最大測試額定		
	~170kV	170kV~550kV	~800kV
部分放電試驗	ok	ok	-
電壓試驗	$I_{max}=2.5A$	$I_{max}=2.5A$ at 750kV	1500kV DC
Tan d	$I_{max}=2.5A$	$I_{max}=2.5A$	-
熱循環電壓試驗	$I_{max}=2.5A$ 熱電流=3000A	$I_{max}=2.5A$ 熱電流=3000A	-
脈衝電壓試驗	$I_{max}=2.5A$ 3450kV on 5nF 2000kV on 20nf	$I_{max}=2.5A$ 3450kV on 5nF 2000kV on 20nf	$I_{max}=2.5A$ 3450kV on 5nF 2000kV on 20nf
開關電壓試驗	2100kV on 20nf	2100kV on 20nf	2100kV on 20nf
預先品保試驗	-	至少 600 米	-
負載週期及極性 反轉試驗	-	-	1500kV DC (垂直環路)
外加脈衝試驗	-	-	1800kVcr at 500kVdc