

參加「國際高壓大電力會議(CIGRE)第 45 屆年會」

出國報告

服務機關：台灣電力公司

出國人員

姓名	職稱	單位	姓名代號	出國計畫
謝鋒勳	處長	台北供電區 營運處	018945	103 年度 出國計畫第 096 號
顏德忠	處長	輸工處 中區施工處	740365	103 年度 出國計畫第 111 號
黃張鴻	主管規劃	系統規劃處	066098	103 年度 出國計畫第 111 號

出國地區：法國

出國期間：103 年 8 月 22 日至 103 年 8 月 31 日

報告日期：103 年 10 月 16 日

出國報告審核表

出國報告名稱：參加「國際高壓大電力會議第 45 屆年會(CIGRE)」出國報告		
出國人姓名 (2 人以上，以 1 人為代表)	職稱	服務單位
謝鋒勳	處長	台北供電區營運處
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 checked="" type="checkbox"/> 其他_國際會議_ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	
出國期間：103 年 8 月 22 日至 103 年 8 月 31 日		報告繳交日期：103 年 10 月 16 日
出國人員 自我審核	計畫主辦 機關審核	審核項目
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.依限繳交出國報告
<input checked="" 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3.無抄襲相關資料
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4.內容充實完備.
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5..建議具參考價值
<input checked="" 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"/>	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： _____ 李專總：
 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、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「公務出國報告資訊網」為原則。

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：「國際高壓大電力會議第 45 屆年會(CIGRE)」出國報告

頁數 81 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：

謝鋒勳	台電公司	台北供電區 營運處	處長	02-2367-5969
顏德忠	台電公司	輸工處 中區施工處	處長	04-2526-1191
黃張鴻	台電公司	系統規劃處	主管規劃	02-2366-6897

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：103 年 8 月 22 日至 103 年 8 月 31 日 出國地區：法國

報告日期：103 年 10 月 16 日

分類號／目

關鍵詞：架空輸電線路(Overhead Lines)、絕緣電纜(Insulated Cable)、變壓器
(Transformer)、高壓設備(High Voltage Equipment)、系統技術效能
(System Technical Performance)。

內容摘要：

第 45 屆國際大電力系統會議 (International Council on Large Electric Systems, CIGRE)，於 2014 年 8 月 24~29 日在法國巴黎舉辦。該會議每 2 年邀請全球各主要電力公司、電力設備製造商、電力管制機構及電力研究機構參加

年會，參與者眾。本公司為該組織註冊之團體會員，值此本公司電業管理革新之際，藉此瞭解目前各國電業現階段發展趨勢，俾對公司業務精進有所助益。

本報告主要以年會主要議題：21世紀電網、大規模擾動及電力系統轉型之挑戰及與各分組討論議題進行報告並提出建議，以作為公司未來電力系統規劃、設計施工、調度及運轉維護之參考。

【 目 錄 】

頁次

壹、出國緣由.....	1
貳、本次出國行程.....	1
參、參加國際高壓大電力會議(CIGRE)第 45 屆年會紀要.....	2
第 1 章 CIGRE 組織及議程.....	2
1.1 CIGRE 組織.....	2
1.2 CIGRE 目的.....	2
1.3 CIGRE 第 45 屆年會議程.....	3
1.4 CIGRE 輸變電設備展覽會.....	5
第 2 章 開幕演講：21 世紀電網-可靠、可控性及彈性.....	7
第 3 章 會議主題(OPENING PANEL)：電力系統在過渡期中的挑戰-區域觀點.....	9
第 4 章 專題研討會：大擾動-系統操作和市場效能觀點.....	11
第 5 章：參與 CIGRE 重要議題研討.....	14
5.1 21 世紀電網-可靠、可控性及彈性.....	14
5.2 電力系統在過渡期中的挑戰-美國電網之轉型.....	18
5.3 從突發事件和虛驚事故中學習之工作小組經驗報告.....	19
5.4 變電所部分放電監測系統.....	22
5.5 變電所之間 OLTC 電力變壓器自動電壓控制.....	37
5.6 高壓變電設備之壽命週期管理.....	39
5.7 智慧電網在中國大陸的發展及應用.....	43
5.8 都市超高壓地下電纜隧道-自然通風與強制通風之彈性運用.....	50
5.9 深入探討長距離海底電纜故障點偵測.....	53
5.10 綜合心得.....	56
第 6 章 結論與建議.....	60
附錄：分組討論主題與論文.....	62
A1 旋轉電機(ROTATING ELECTRICAL MACHINES).....	62
A2 變壓器(TRANSFORMERS).....	63
A3 高電壓設備(HIGH VOLTAGE EQUIPMENT).....	64
B1 絕緣電纜(INSULATED CABLES).....	65
B2 架空線(OVERHEAD LINES).....	67
B3 變電所(SUBSTATIONS).....	69
B4 HVDC 與電力電子(HVDC AND POWER ELECTRONICS).....	70
C1 系統發展與經濟(SYSTEM DEVELOPMENT AND ECONOMICS).....	72
C2 系統運轉與控制(SYSTEM OPERATION AND CONTROL).....	73

C3 系統環境性能(SYSTEM ENVIRONMENTAL PERFORMANCE)	75
C4 系統技術性能(SYSTEM TECHNICAL PERFORMANCE)	76
C5 電力市場與管制(ELECTRICITY MARKETS AND REGULATION)	77
C6 配電系統及分散式發電	78
D1 材料及新興技術	79
D2 資訊系統與通訊	80

【 圖表目錄 】

表 1 行程概要.....	1
表 2 議程.....	4
表 3 HFCT 和電容式偵測器(CK+ ZM)獲得的 PD 樣本	27
表 4 UHF 偵測器獲得的 PD 樣本.....	27
表 5 靈敏度測試結果.....	28
表 6 使用非侵入式 PD 感測裝置監測變壓器之 PD 信號結果.....	30
表 7 使用非侵入式 PD 感測裝置對於不同位置之靈敏度分析.....	31
表 8 PD 樣本	35
表 9 SUBMARINE CABLE FAULT DISTRIBUTION	54
表 10 FLOW CHART OF CABLE FAULT LOCATION FOR SUBMARINE CABLES [2].....	54
圖 1 CIGRE 年會法國巴黎國際會議廳	3
圖 2 CIGRE 分組討論會	5
圖 3 CIGRE 輸變電設備展覽會	6
圖 4 CIGRE 輸變電設備展覽會配置圖	6
圖 5 CIGRE 年會開幕演講	7
圖 6 CIGRE 會議主題研討	9
圖 7 歷年來電力事故 (資料來源: CIGRE 簡報資料)	11
圖 8 北美 PJM	14
圖 9 PJM 1 月份尖峰負載與平均負載差異	16
圖 10 PJM 不同燃料機組裝置容量之變化趨勢	16
圖 11 現在電網架構.....	18
圖 12 未來整合電網架構.....	18
圖 13 濾波-辨別雜訊與 PD 脈衝訊號.....	24
圖 14 安裝偵測器的測試配置圖.....	26
圖 15 使用非侵入式 PD 感測裝置監測變壓器.....	29
圖 16 使用非侵入式 PD 感測裝置對於變壓器及電纜的內部缺陷靈敏度分析.....	31
圖 17 使用連續性 PD 監測 220kV 級變電所之案例.....	32
圖 18 PD 監測 220kV 級變電所之示意圖	33

圖 19 B-C、C-D 及 C-E 位置之 PD 量測信號.....	33
圖 20 侵入式 UHF PD 感測器與 HFCT PD 感測器之 PD 樣本的比較圖.....	34
圖 21 GIS 電纜終端簡圖及故障點.....	34
圖 22 A)PD 感知器裝設於 220kV 套管 B) PD 感知器裝設於 132kV 套管.....	35
圖 23 計算(估計)故障頻率趨勢.....	41
圖 24 風險指數可視化範例.....	42
圖 25 智慧型輸電系統.....	47
圖 26 AIS 型的智慧型變電所.....	48
圖 27 送電容量為 2*457MVA 5 導體溫度與動到溫度之情形.....	51
圖 28 CONDUCTOR AND TUNNEL TEMPERATURE WITH FORCED VENTILATION AT 2*1500MVA.....	52
圖 29 765kV 標準鐵塔與緊密型鐵塔 (左圖) 絕緣橫擔構造外觀 (右圖)	57
圖 30 鐵塔形狀改變可改善視覺感受且由原 400kV1 回線改提升為 400kV2 回線..	57
圖 31 系統架構.....	59

壹、出國緣由

國際大電力系統會議（INTERNATIONAL COUNCIL ON LARGE ELECTRIC SYSTEMS；簡稱 CIGRE）每兩年邀集世界各主要電力公司、電力設備製造商、電力管制機構及電力研究機構，於年會上報告分享近年來電力系統規劃、工程設計、調度運轉及設備維修、資產管理與新技術應用等之趨勢作法與經驗，可作為公司輸供系統未來系統規劃、設計施工、調度及運維之參考。

第 45 屆國際大電力系統會議（International Council on Large Electric Systems, CIGRE），於 103 年 8 月 24~29 日在法國巴黎舉辦。本屆年會主要特色如下：21 世紀電網、大規模擾動及電力系統轉型之挑戰，另針對 16 組不同議題進行分組討論。

值此本公司電業管理革新之際，出席本屆年會，藉此瞭解目前各國電業現階段發展趨勢，俾對公司業務精進有所助益。

貳、本次出國行程

本出國計畫，自 103 年 8 月 22 日起，至 103 年 8 月 31 日止，合計 10 天，行程概要如表 1。

表 1 行程概要

日期	起訖地點	活動內容
103/8/22~103/8/23	台北—巴黎	往 程
103/8/24~103/8/29	巴黎	參加國際高壓大電力會議 (CIGRE)第 45 屆年會
103/8/30~103/8/31	巴黎—台北	返 程

參、參加國際高壓大電力會議(CIGRE)第 45 屆年會紀要

第 1 章 CIGRE 組織及議程

1.1 CIGRE 組織

CIGRE (International Council on Large Electric Systems) 設立於 1921 年，為一為促進與來自世界各地的專家合作國際性非營利的機構，透過分享知識和聯手合作以改善當前和未來的電力系統。

CIGRE 積極與來自各地的 2500 多專家合作，由 CIGRE 16 個研究委員會 (Study Committees) 協調工作計畫，由技術委員會 (Technical Committee) 負責監督。CIGRE 主要任務是設計和展開未來的電力系統，優化既有的設備和電力系統、尊重環境及方便獲取資訊。

1.2 CIGRE 目的

允許世界各地工程師和專家進行意見交換和提升其電力系統相關之知識，透過先進的全球實務結合的交流，使知識和資訊不斷增值，提供 CIGRE 工作成果給產業界的決策者（執行長、董事、管理人員和監管機構）。

國際高壓大電力會議(CIGRE)包括電力系統相關的規劃和運轉議題及設計、施工、維護和高壓設備的處置。另有關電力系統保護、遠端控制、通信設備和資訊系統的問題亦是 CIGRE 關注的部分。

CIGRE 會員來自近 90 個國家：1137 團體成員、6360 個人會員。上屆 2012 CIGRE 第 44 屆年會，約有來自全球於 97 國家 6942 名成員參與，其中 10% 來自法國、35% 來自歐盟(法國以外)、15% 來自非歐盟之歐洲地區、17% 來自亞洲、9% 來自北美、7% 來自南美、4% 來自中東、3% 來自非洲地區。

參與成員：20% 來自電力公用事業、14% 來自輸電系統運營機構、13% 來自輸配電顧問、5% 來自供應商、3% 配電系統運營機構、3% 來自電力業務服務、1% 來自監管機構、22% 來自製造商、10% 來自研究/實驗機構、6% 來自教育機構、3% 來自其他電力系統專家。

1.3 CIGRE 第 45 屆年會議程

國際大電力系統會議(CIGRE)年會每 2 年舉行一次，舉辦地點均於法國巴黎國際會議廳(如圖 1)。每屆年會均針對電力系統規劃和運轉有關的問題以及高壓設備和裝置的規劃設計，施工，運轉維修和處理等議題進行交流討論。



圖 1 CIGRE 年會法國巴黎國際會議廳

今年第 45 屆年會組別及議題為 A1：旋轉電機；A2：變壓器；A3：高壓設備；B1：絕緣電纜；B2：架空輸電線；B3：變電所；B4：HVDC 與電力電子；B5：保護與自動化；C1：系統發展與經濟；C2：系統運轉與控制；C3：系統環境的效能；C4：系統技術效能；C5：電力市場與管制；C6：配電系統及分散發電；D1：材料及新興的技術；D2：資訊系統與通訊等，其議程如表 2 所示：

表 2 議程

日期	時間	組別及議題	場地
103/08/24	16:00	開幕式(Opening Ceremony)	GRAND AMPHITHEATRE
	17:30 - 19:00	開幕酒會 (Welcome Drink)	
103/08/25	8:45 - 12:00	開幕座談會(Opening Panel)	GRAND AMPHITHEATRE
	13:15	CIGRE 會員集會	GRAND AMPHITHEATRE
	14:30 - 18:00	EPEE 小組"電力工程教育"	352AB
		大擾動研討會 (Joint Workshop)	GRAND AMPHITHEATRE
	14:30 - 18:00	B3：佈告欄專題	HALL PASSY
103/08/26	8:45 - 18:00	B2：架空輸電線	GRAND AMPHITHEATRE
		A1：旋轉電機	BLEUE
		C4：系統技術特性	HAVANE
		D2：電力市場與管制	BORDEAUX
9:00 - 12:30	A2、C6：佈告欄專題	HALL PASSY	
14:30 - 18:00	B4、C3：佈告欄專題	HALL PASSY	
103/08/27	8:45 - 18:00	B3：變電所	GRAND AMPHITHEATRE
		B1：絕緣電纜	BLEUE
		C1：系統發展與經濟	HAVANE
		C2：系統運轉與控制	BORDEAUX
9:00 - 12:30	A3、C5：佈告欄專題	HALL PASSY	
14:30 - 18:00	B5、D1：佈告欄專題	HALL PASSY	
103/08/28	8:45 - 18:00	C6：配電系統及分散發電	GRAND AMPHITHEATRE
		A2：變壓器	BLEUE
		C3：系統環境的效能	HAVANE
		B4：HVDC 與電力電子	BORDEAUX
9:00 - 12:30	A1、C1：佈告欄專題	HALL PASSY	
14:30 - 18:00	C4、D2、B2：佈告欄專題	HALL PASSY	
103/08/29	8:45 - 18:00	B5：保護與自動化	GRAND AMPHITHEATRE
		D1：材料及新興的技術	BLEUE
		C5：資訊系統與通訊	HAVANE
9:00 - 12:30	A3：高壓設備	BORDEAUX	
	B1、C2：佈告欄專題	HALL PASSY	

本屆年會發表論文，區分為 16 組進行討論(如圖 2)，論文主題除了旋轉電機、變壓器、電力電纜、架空輸電線、直流輸電系統(HVDC)及保護電驛和電力材料測試等設備新技術開發與運用實務探討外，同時有因應智慧型電網、直流輸電之新變電所設計技術、資訊與通訊 IEC61850 應用、電力系統可靠度提升、配電系統與分散電源規劃與運轉以及電力市場經營與挑戰等研究與實務經驗報告。



圖 2 CIGRE 分組討論會

1.4 CIGRE 輸變電設備展覽會

本屆年會計有約 200 多家設備製造廠家參展(如圖 3 及 4)，主要展出包括高電壓設備；監測、控制和保護設備；量測、試驗和診斷工具；電力公司和顧問公司的技術和專業知識；教育訓練之工具 and 技術等參展內容。透過廠家不吝熱心說明新的設備及技術與應用，藉以瞭解現階段電力設備發展趨勢。

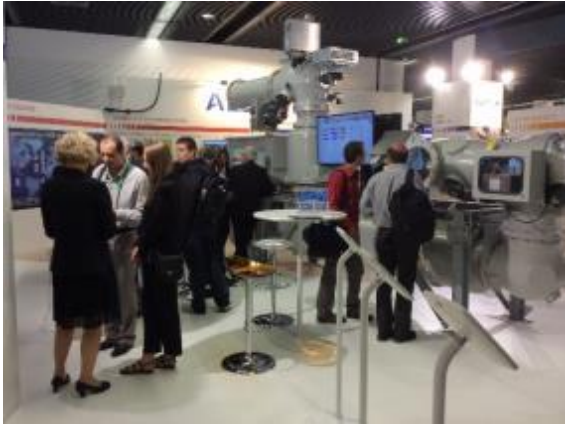


圖 3 CIGRE 輸變電設備展覽會



圖 4 CIGRE 輸變電設備展覽會配置圖

第 2 章 開幕演講：21 世紀電網-可靠、可控性及彈性

本屆年會開幕演講題目為 21 世紀電網:可靠、可控性及彈性:(21st Century Power Grids: Reliable, Controllable and Resilient)，由美國 PJM Interconnection 執行長 Terry Boston President & CEO 主講(圖 5)，內容包括：



圖 5 CIGRE 年會開幕演講

2.1 20 世紀最偉大的工程成就

20 世紀最偉大的工程成就如下(其中電網及電氣化排名第 1)：

1. 電網電氣化 The Grid/ Electrification
2. 汽車 Automobile
3. 飛機 Airplane
4. 水供應配送 Water Supply and Distribution
5. 電子 Electronics
6. 收音機及電視 Radio and Television
7. 農業機械化 Agricultural Mechanization
8. 計算機 Computers
9. 電話 Telephone
10. 空調/冰箱 Air Conditioning/Refrigeration。

2.2 PJM - 目前關注三件事情

- 可靠度 Reliability: • 電網營運 • 供應/需求平衡 • 輸電系統監控
- 市場營運 Market Operation: • 能源 • 容量 • 輔助服務
- 區域規劃 Regional Planning • 15 年展望

2.3 PJM 面臨的重大挑戰及 PJM 管理面臨之巨變

PJM 目前面臨的重大挑戰，如·電力需求·極端氣候·世界最大的燃料轉換--轉向低碳燃料來源·天然氣運營的協調 Natural gas operations coordination·間歇性與需求端資源的整合·21世紀電網的預期。

2.4 未來前景展望：

未來前景展望充滿不確定性，說明如下

- 由大機組集中式供電 Centralized Supply by Large Units ⇔ 由小機組分散式自行供電 Distributed Self-Supply by Smaller Units
- 集中式燃料組合 Concentrated Fuel Portfolio ⇔ 多樣化燃料組合 Highly Diverse Fuel Portfolio
- 中央電網控制 Central Grid Control ⇔ 自主微型電網控制 Autonomous Micro-grid Control
- 未來的高成長 High Future Growth ⇔ 未來的低成長 Low Future Growth

第 3 章 會議主題(Opening Panel)：電力系統在過渡期中的挑戰-區域觀點

第 45 屆年會主題為電力系統在過渡期中的挑戰：區域觀點(Challenge In The Transition In Power Systems: Regional Perspectives)，大會安排由技術委員會主席 Mark Waldron 主持，說明針對不同的歷史發展，地理環境和經濟地位的背景，達成實現低衝擊、高效能之電能，重點在於技術、經濟、環境和組織挑戰。並邀請相關專家報告以下議題並進行交流討論：(圖 6)。



圖 6 CIGRE 會議主題研討

3.1 大規模互連系統協助電力系統的快速成長(Large scale interconnection to assist with rapid power system growth)

由印度電網公司(Power Grid Corporation, India) R N Nayak 先生簡報，說明在既有系統中整合(技術、組織、政治)的優點與挑戰、技術解決方案、系統操作與監控、可靠性和可用性。

3.2 大量再生能源加入對電力系統的衝擊壓力(Power system stress due to massive renewable installation)

由德國 Amprion 公司 (Amprion GmbH, Germany) Klaus Kleinekorte 先生簡報，說明有關碳目標、政治力、監管方面和技術解決方案的影響及對系統調度員和更大跨區域電網整合的挑戰。

3.3 達成西非電網互聯之技術和組織的挑戰 (Technical & organizational challenges to achieve interconnection in West Africa)

由世界銀行非洲能源小組 (Africa Energy Group, World Bank) Franklin Koffi GBEDEY 先生簡報，說明在涵蓋許多個別經濟體的地理區域中，為達成經濟增長和取得電能之技術和組織方面的挑戰及如何有效利用自然資源、系統整合、系統同步和分散/孤立系統的角色。

3.4 亞太地區電力系統發展之經濟和環境層面 (Economic & environmental aspects of power system developments within Asia-Oceania Region)

由泰國電力局(EGAT, Thailand) Norkun Sitthiphong 先生簡報，說明在考慮可永續發展和環境管理區域基礎下管理不同的發展速度及區域間製造、連線和協同合作的角色及影響。

3.5 美國電網之轉型(Grid Transformation in the United States of America)

由美國 CIGRE 全國委員會(USNC of CIGRE) Michael Heyeck 主席簡報，說明迅速發展中技術的突破性潛力及頁岩氣、現有技術的轉移、電力系統規劃運轉改變及環境方面、公眾看法的衝擊影響。

第 4 章 專題研討會：大擾動-系統操作和市場效能觀點

本屆年會專題研討大擾動主題(Large Disturbances-System Operation and Market Performance Perspectives)，大會安排由 CIGRE 技術小組主席 Chair: Joachim Vanzetta (SC C2 Chairman) 及 Andy Ott (Incoming SC C5 Chairman) 主持，說明全球歷年來電力大擾動事故(如圖 7)，並邀請相關專家以系統操作與市場效能的觀點，報告下列議題並進行交流討論：討論中國、美國、西班牙/法國、土耳其、法國及巴西等電力系統之大停電擾動，最後報告 C2.21 技術工作小組在突發事件中學習之經驗教訓。

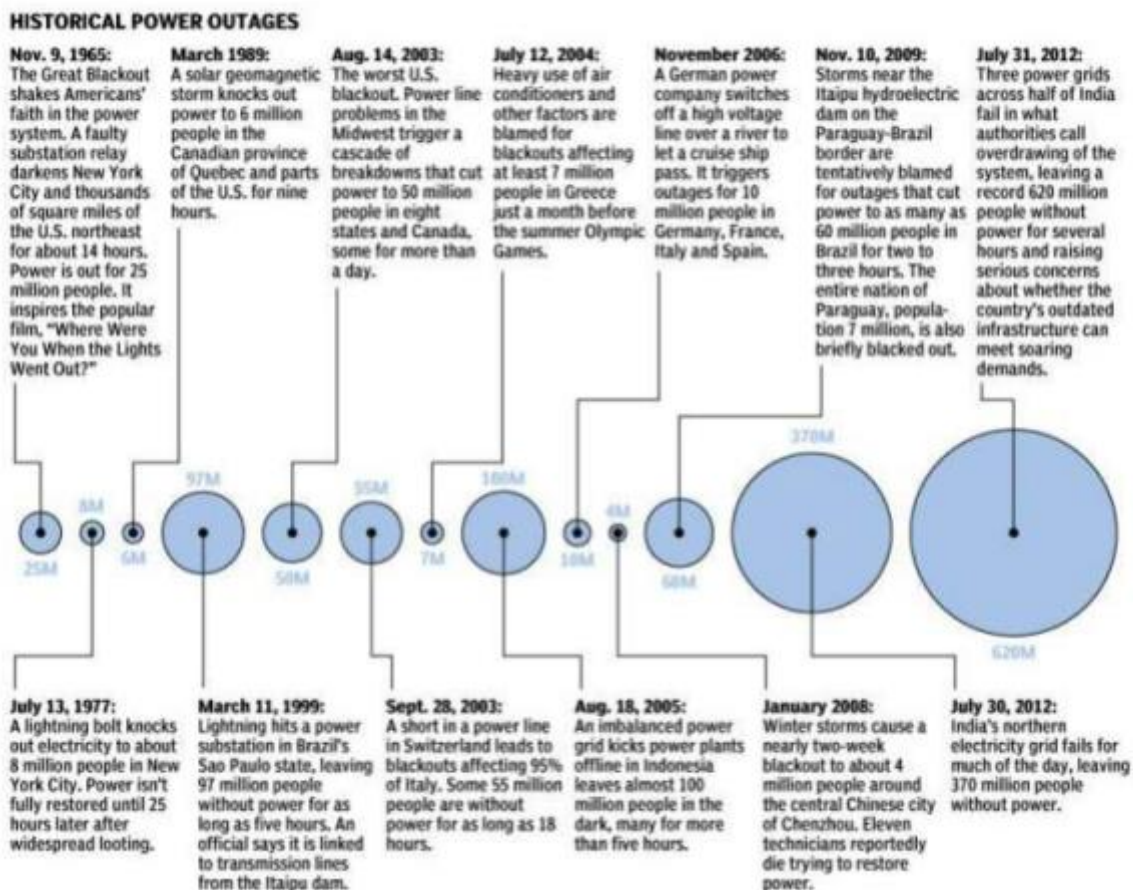


圖 7 歷年來電力事故 (資料來源: CIGRE 簡報資料)

4.1 中國華東電網系統，高壓直流系統 HVDC 同時發生換相失敗之大擾動事故 (Simultaneous commutation failures and forced blocking of multi-in-feed HVDC in East China Power Grid)

由中國電力科學研究院(China Electric Power Research) Xiaoxin Zhou 簡報，說明 2012 年 8 月 8 日在中國華東電網系統，高壓直流系統(HVDC)同時發生換相失敗之大擾動事故之案例。

4.2 2014 年冬季氣候條件及對 PJM 區域電力市場的衝擊影響(2014 Winter Conditions and Impacts on Electricity Markets in the PJM Region)

由(Adam Keech, PJM) 簡報，說明 2014 年 1 月極地渦旋氣候發生在 1 月份尖峰負載，造成非計畫性事故停機率 22%，遠大於平均冬季非計畫性事故停機率 7%，並提出主要因應項目如下：

- 天然氣和電力需要更好的協調- 聯邦能源監管委員會(FERC)已介入
- 調度員的保守排程將抑制價格- 市場出清價格需要考慮到這點
- 必須掌握好與鄰近區域交流- 限制破壞市場清算價格的能力
- 提升成本分攤正被討論

發電績效表現方面：

- 發電績效表現必須提高-正努力重新定義 PJM 需要多少容量。- 新的定義將需要額外的資源
- 績效表現獎勵/懲罰、運作之可用性靈活性、燃料安全

4.3 法國-西班牙互聯系統，作為有效率容量分攤方法之市場連結(Market coupling as efficient capacity allocation method on the France - Spain Interconnection)

由法國電網公司 Galileo Barbieri (Galileo Barbieri, RTE France) 簡報，說明西班牙和法國之間前一天的交換容量分配、互連能力使用效率低之背景及實施市場連結的成果、市場效率之改善。

4.4 歐洲大陸互聯系統擴至土耳其擴充計畫的事件和措施(Events and measures during the Project of the Extension of Continental European Interconnected System to Turkey)

由 Rudolf BAUMANN and Mehmet KARA 簡報，說明歐洲大陸互聯系統擴至土耳其擴充計畫的事件和措施。

4.5 在法國再生能源市場的參與及支援計劃的演變 (Market Participation of Renewable Production and Evolution of Support Schemes in France)

由法國電網公司 Christophe Dervieux, Rte France 簡報，說明再生能源 (RES) 發展、目前法國再生能源支援計劃之設計，並解釋為何目前再生能源支援計劃設計需演變及關於支持計劃的建議。

4.6 巴西案例: 電力供應、經濟信號和危機時政治干預之安全挑戰(The challenge of conciliating security of electricity supply, economic signals and political interference in crises: the Brazilian case)

由巴西 Luiz A. Barroso (PSR) 簡報，說明巴西電力系統及電力市場之背景及監管/市場架構的演變，並分析其觀察、經驗及機會。

4.7 從突發事件和虛驚事故中學習之工作小組經驗報告(WG C2.21 Report on Lessons learnt from emergencies and near misses)

由(Ben Li, Convener WG C2.21/C2.23) 簡報，報告 WG C2.21 工作小組於 2010 年 8 月成立，22 位工作小組會員來自 17 國家，目的為回顧最近的擾動和經驗教訓，找出主要的原因和趨勢，並探討如何檢測或防止發生，避免或減少此類事件的影響。

第 5 章：參與 CIGRE 重要議題研討

5.1 21 世紀電網-可靠、可控性及彈性- PJM

由美國 PJM Interconnection 執行長 Terry Boston President & CEO 主講。

PJM 為東部互聯網路之一部分 PJM as Part of the Eastern Interconnection

20 世紀最偉大的工程成就：21% of U.S. GDP produced in PJM

- 企業成員 900+
- 用戶 61 Millions
- 尖峰負載 165,492 MW
- 裝置容量 183,604 MWs
- 輸電線路 62,556 Miles
- 年發電 791,089 GWh (2013)
- 發電來源數 1,376
- 供電範圍 243,417 Square miles
- 供電州數 13 + DC



圖 8 北美 PJM

PJM - 目前關注三件事情 PJM - Focus on 3 Things

PJM - 目前關注三件事情，說明如下：

□ 可靠度 Reliability:

- 電網營運 Grid Operations
- 供應/需求平衡 Supply/Demand Balance
- 輸電系統監控 Transmission monitoring

□ 市場營運 Market Operation:

- 能源 Energy
- 容量 Capacity
- 輔助服務 Ancillary Services

□ 區域規劃 Regional Planning

- 15 年展望 15-Year Outlook

PJM 面臨的重大挑戰- Top Challenges Facing the Industry

PJM 目前面臨的重大挑戰，摘要說明如下:其中每一挑戰亦是機會。

- 電力需求 Electricity demand-- 美國電力使用以及經濟走勢 U.S. Electricity Use and Economic Trend
- 極端氣候 Extreme earth and space weather
- 世界最大的燃料轉換 World' s largest fuel switch--轉向低碳燃料來源 Reliably managing switching to low-carbon fuel sources
- 天然氣運營的協調 Natural gas operations coordination
- 間歇性與需求端資源的整合 Integration of intermittent and demand side resources
- 21 世紀電網的預期：21st century expectations for the grid: 需要更多高壓直流輸電系統(HVDC) Need more HVDC

插電式混合動力汽車需求成長 Demand Growth from PHEVs?

插電式混合動力車 plug-in hybrid electric vehicle (PHEV)需求成長，說明如下：

- 35.3%美國能源使用的油 (35.3 % of U.S. energy use is oil)
- 美國人 10 個人中有 8.8 人開車通勤(8.8 of 10 Americans commute using cars)
- 風能和頁岩氣可供應充電式混合動力車 Wind and shale gas can power PHEVs

PJM 尖峰負載與平均負載 PJM Peak Load vs. Typical Load (January 7)

PJM1 月份尖峰負載與平均負載如下：(如圖 9)

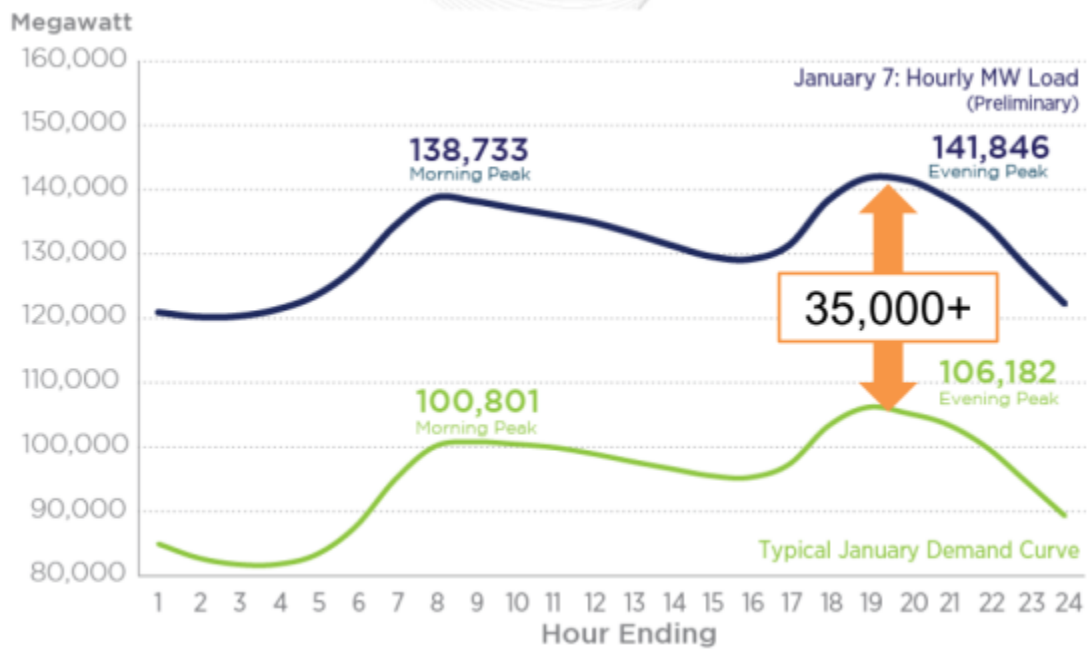


圖 9 PJM 1 月份尖峰負載與平均負載差異 (資料來源: PJM)

PJM 管理面臨之巨變 PJM Managing a Sea-Change

PJM 管理面臨之巨變: PJM 不同燃料機組裝置容量之變化趨勢(如圖 10)

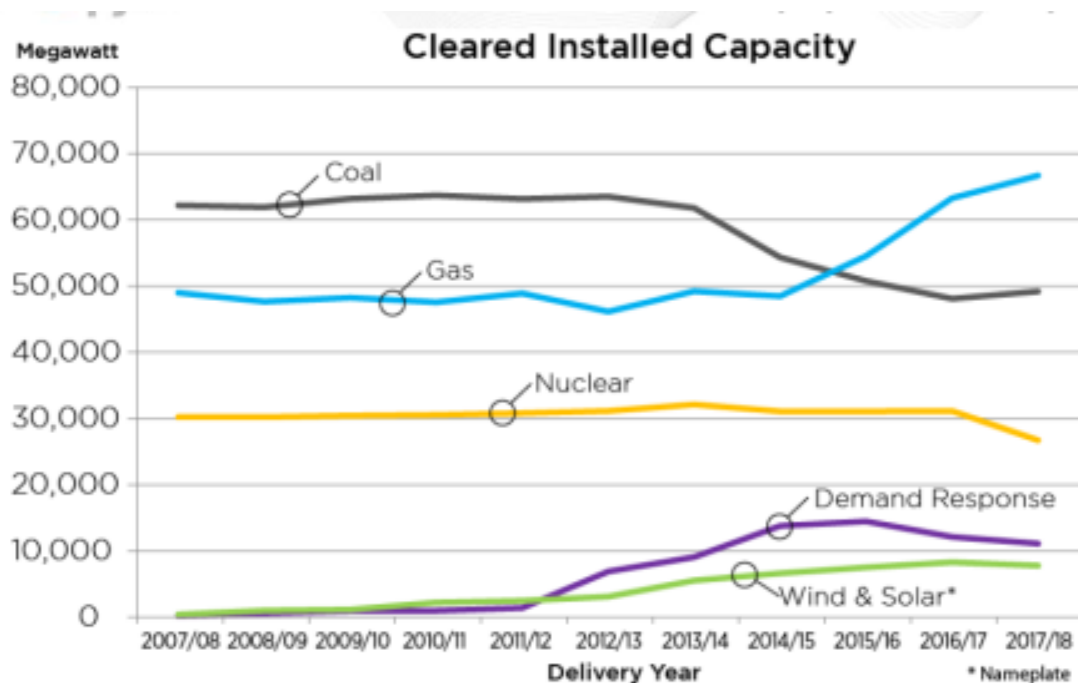


圖 10 PJM 不同燃料機組裝置容量之變化趨勢(資料來源: PJM)

PJM 在風力發電之操作及建議

建立電網規模儲能系統 - 32MW 的電池：

- 西維吉尼亞州風電場 98MW 的風場 Laurel Mountain, West Virginia Wind Farm 98 MW 61 turbines
- 電網規模儲能系統 Grid-Scale Energy Storage System - 32 MW Battery

電力電子技術的可控性 Power Electronics for Controllability

傳統發電機之互連網路需求：

- 自動電壓調節器 Automatic voltage regulators
- 自動頻率響應 Automatic frequency response
- 下垂控制功能 Droop control function

智慧型變流器可以達成此功能

- 21 世紀可控性-高壓直流轉換器
- 世界現在需要更多的高壓直流系統 HVDC
- 更多的高壓直流系統 HVDC 將有助美國電力

未來展望？不確定性：Uncertainty: What Lies Ahead?

未來前景展望充滿不確定性，說明如下：

- 由大機組集中式供電 Centralized Supply by Large Units ⇔ 由小機組分散式自行供電 Distributed Self-Supply by Smaller Units
- 集中式燃料組合 Concentrated Fuel Portfolio ⇔ 多樣化燃料組合 Highly Diverse Fuel Portfolio
- 中央電網控制 Central Grid Control ⇔ 自主微型電網控制 Autonomous Micro-grid Control
- 未來的高成長 High Future Growth ⇔ 未來的低成長 Low Future Growth

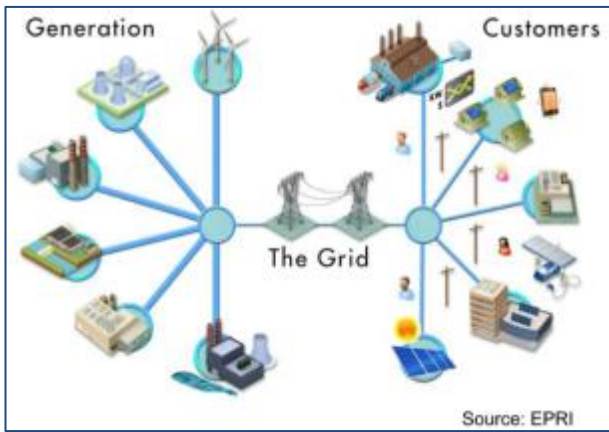


圖 11 現在電網架構(資料來源: PJM)

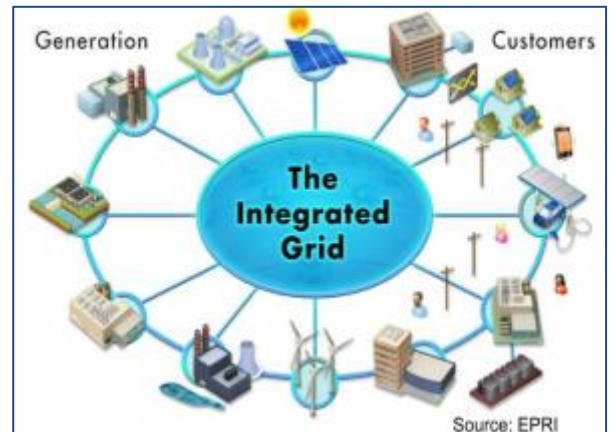


圖 12 未來整合電網架構(資料來源: PJM)

5.2 電力系統在過渡期中的挑戰-美國電網之轉型(Grid Transformation in the United States of America)

由美國 CIGRE 全國委員會(USNC of CIGRE) Michael Heyeck 主席簡報，說明迅速發展中技術的突破性潛力及頁岩氣、現有技術的轉移、電力系統規劃運轉改變及環境方面、公眾看法的衝擊影響。其重點如下：

美國發電方面 (US Electricity Generation)

- 轉型：2035 年燃氣發電將超出燃煤發電；超過 50GW 之燃煤機組將退休。
- 遊戲規則改變：頁岩氣供應成長；有潛力的液化天然氣出口國；美國接近能源獨立的目標。
- 天然氣與市場價格的下降：市場價格壓低煤炭和核能經濟，較低價格創造電網現代化之空間。
- 再生能源進展：非水力發電之再生能源每年成長 3.2%，太陽能每年成長 7.5%。

美國負載方面(US Electricity Demand)

- 負載停滯：2012 年至 2040 年典型的家庭負載下降 4%，其中照明負載下降 65%。

美國電網方面(US Grid)

- 過去電網 US Grid Yesterday: 供應用戶之發電每年停 100 分鐘亦 ok。
- 今日電網 US Grid Today: 要求更好的可靠性。

- 未來電網 US Grid Tomorrow: 為一個整合的電網; 無縫的宏觀與微觀協調; 21 世紀的可靠度; 機會; 分散式能源將有機會競爭或互補中央集中式的資源?。
- 微觀的電網挑戰: 分散式電源面對的挑戰為互連電網之標準; 隨時後援備用; 啟動的電力及電壓品質。
- 宏觀的電網挑戰: 輸電系統使得美國燃料轉型和電網整合; 新一代的 EMS 面臨數據和控制系統的挑戰。

美國電網轉型之基本要素

- 電網現代化 Grid Modernization
- 通信標準 Communications Standards
- 互連規則 Interconnection Rules
- 整合規劃和運轉 Integrated Planning and Operations
- 政策法規 Informed Policy and Regulations

電力系統在過渡期中的挑戰，總結如下：

- 清晰、連貫的能源政策- 成長、更新、連接、合作、市場、經濟
- 永續資源開發利用
- 工業化的角色/衝擊影響
- 量身定制的技術解決方案 - 互連及區域電網 - 傳統能源與再生能源
- 提供價廉、可靠、永續的電力

5.3 從突發事件和虛驚事故中學習之工作小組經驗報告

由(Ben Li, Convener WG C2.21/C2.23)簡報，報告 WG C2.21 工作小組於 2010 年 8 月成立，22 位工作小組會員來自 17 國家，目的為回顧最近的擾動和經驗教訓，找出主要的原因和趨勢，並探討如何檢測或防止發生，避免或減少此類事件的影響。

待分析的事故類型及準則：

- 大規模、大範圍輸電系統和負載之中斷
- 宣布進入緊急狀態或證實不安全狀態

- 輸電/發電設備連續跳脫
- 持續的低頻振盪或頻率偏移
- 非計劃性的系統分割或孤島

根本原因分類計有 10 種，說明如下：

1. 主要設備故障 Primary equipment failure
2. 設計和應用錯誤 Design and application errors
3. 二次設備故障 Secondary equipment failure
4. 通信/控制系統故障 Communication/control system failure
5. 自然現象(超出設計) Natural phenomena (beyond those designed for)
6. 調度員失誤 Operator errors
7. 維修失誤 Errors in maintenance
8. 安全 Security related
9. 投資不足和系統的複雜性(缺乏緩和抑制措施) Inadequate investment and complexity of systems (Lack of Mitigating Measures)
10. 過度的冒險及不適當的風險管理 Excessive risk taking and/or inappropriate risk management

事故發生主要前 5 個原因：

- 自然現象造成之事故 Natural phenomena
- 通信/控制系統故障造成之事故 Communication/control system failure, including lack of situation awareness
- 設計和應用錯誤造成之事故 Design and application errors
- 調度員錯誤造成之事故 Operator errors
- 主設備故障造成之事故 Primary equipment failure

可能的因應方式可分為兩方面：

- 降低發生可能性 Reduce likelihood of occurrence
- 減輕或降低大擾動的衝擊影響 Contain and minimize impact of disturbance

□自然現象造成之事故補救措施：Remedies for Events Caused by Natural Phenomena:

防止或降低發生可能性的措施	減輕或降低衝擊影響的措施
無具體措施	<ul style="list-style-type: none"> • 提高預測(需求、氣象、水文、林區大火、資源可用性等)能力，採先進模型 • 增加傳輸設備的復原能力 • 在更安全的模式操作電力系統 • 積極主動人員調度 • 更好的森林火災遏制方法

□通信/控制系統故障造成之事故補救措施：Remedies for Events Caused by Communication/Control System failure

防止或降低發生可能性的措施	減輕或降低衝擊影響的措施
<ul style="list-style-type: none"> • 提供 EMS、SCADA、語音通信系統等全面備份 • 提供全功能支援之控制中心 • 執行更嚴格 EMS 資料庫及能力的更新 • 藉與其他輸電系統調度機構(TSO)系統數據交換，提供調度員廣域觀點和分析能力 	<ul style="list-style-type: none"> • 資源部署以提高可觀測性和可控性，對關鍵重要變電站之人力動員/派遣 • 設置緊急控制中心及人力支援控制中心

□設計和應用錯誤造成之事故補救措施：Remedies for Events Caused by Design and Application Errors

防止或降低發生可能性的措施	減輕或降低衝擊影響的措施
<ul style="list-style-type: none"> • 對重要變電站，實施特別維護計劃 • 對主要的變電站和發電廠，每年進行控制器和保護系統調整修正 • 定期審查系統保護準則 	無具體措施

□ 調度員錯誤造成之事故補救措施: Remedies for Events Caused by Operator Errors

防止或降低發生可能性的措施	減輕或降低衝擊影響的措施
<ul style="list-style-type: none"> • 透過模擬器，提供足夠和經常性調度員操作培訓 • 提供先進的信息和控制系統設備- SCADA/EMS 及廣域量測系統/廣域控制系統 WAMS/WACS • 開發線上設備診斷系統和環境監測資訊系統 	<ul style="list-style-type: none"> • 有效利用系統資訊和控制系統 (SCADA/EMS) 和安全性分析，包括負載過載的緩和措施 • 有效利用線上設備診斷系統資料，環境監測資訊 (暴風雨、閃電、磁暴等) • 有效利用系統完整性和特殊保護系統 • 加強輸電系統調度機構(TSO)之間協調，以幫助減少調度員錯誤

□ 主設備故障造成之事故補救措施: Remedies for Events Caused by Primary Equipment Failure

防止或降低發生可能性的措施	減輕或降低衝擊影響的措施
<ul style="list-style-type: none"> • 新的投資 • 強化維修計劃 • 強化連線需求以滿足一定程度可靠的性能 	<ul style="list-style-type: none"> • 安裝特殊保護系統作為潛在連續事故的安全網 • 足夠的設備更換庫存，以減少停工期。

5.4 變電所部分放電監測系統(PD Monitoring System for HV Substations)

5.4.1. 論文內容摘要:

台灣屬地小人稠的國家，變電所由於設備絕緣劣化之不可預期的事故，可能引發重大損害，進而發生電力供應中斷甚至停電。不幸的是，這些事故包括火災和有毒氣體外洩。本篇論文特別針對變電所設置於住宅區、商業區和工業區內且共構建築的案例，提供預維護的監測方法，相較於前一篇論文，本篇論文是針對整個變電所的部分放電有較完整的監測模式，所以將以較多

篇幅作詳細說明。

為了確保供電不中斷，變電所需要做電氣設備絕緣診斷測試。不同類型的測量(部分放電、電容量測、電力絕緣介質量測及溫度量測)來確定設備整體或小部分的絕緣狀況。本文的重點是著重在線上 PD 量測，分別應用到變電所三大不同類型的變電設備：變壓器、GIS 和連接 GIS 及變壓器間的電力電纜。

本論文提出一套整合 PD 量測系統的解決方法，可全面性做變電所的 PD 監測。這個安裝在變電所的整合 PD 監測系統能夠自動消除背景噪聲、PD 來源定位、判定位於同一監測位置接收到不同 PD 來源，和同一 PD 來源到各不同監測位置的定位識別。PD 訊號在傳遞中的損失、PD 訊號來源在不同設備之特徵圖，和各種不同 PD 偵測器的靈敏度，在本論文中進行分析。使用特殊的演算法來研究不同 PD 來源的型態和位置；其他還包括西班牙 Unión Fenosa Distribución' s 公司使用線上新式 PD 的量測方法的經驗，量測對象包括 GIS 系統中的內部缺陷、電纜終端頭、變壓器的偵測以及分析和修復。

A. 分析工具

A.1. 噪音抑制

部分放電訊號裡，最大的挑戰是從有背景噪音中識別是否為 PD 信號。這是在監測過程中的第一步，也是最重要的。從偵測器傳來的信息應盡可能明確，以便在後面的步驟理分析處理的事件[5]的結果是準確可靠的。部分放電監測系統裡，利用小波分析應用為基礎的一個噪音抑制過濾器。該過濾器可以在有系統噪音裡區分出部分放電信號。透過無線電、電視台或手機產生的信號波，我們得知這些信號都是重複且有週期性的顯示，而像部分放電這種短暫的脈衝是不重複。然而電力系統中，正常送電情況下，電流也會產生類似暫態的脈衝訊號，這就是為什麼它們不能由小波分析過濾去除。實際上，許多信號一開始被隱藏在廣播電台或電視台的背景雜訊裡。設備內部產生的 PD 訊號，其震幅遠小於背景噪音信號，故可以利用改良過的小波濾波方式來分離（參見圖 13）。多重來源重疊在一起的雜訊號，可以透過改良的小波濾波工具，將背景訊號去除。

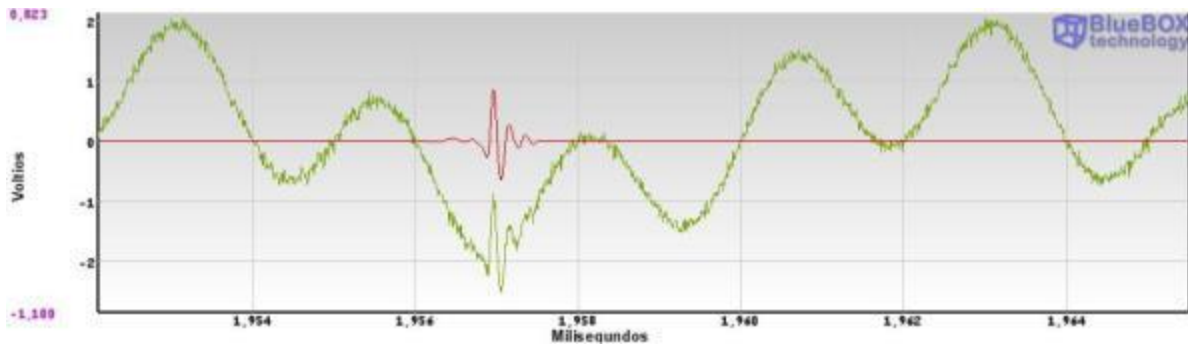


圖 13 濾波-辨別雜訊與 PD 脈衝訊號

A. 2. PD 定位方法

當設備出現 PD 時，兩個 PD 的監測器分別位於不同位置且偵測到同一 PD 來源。在一般情況下，每個 PD 脈衝訊號到達每個偵測器的時間是不同的。由於測量時每個偵測器時間基準是相同的，所以兩個偵測器偵測到 PD 訊號到達時間相減，就能計算出 PD 發生的位置。

以下為計算式：

$$x_i(\Delta t_i) = \frac{L}{2} \cdot \left[1 - \left(\frac{\Delta t_i}{t_c} \right) \right]$$

其中：

$X_i(\Delta t_i)$ ：測量單元 $N^{\circ}i$ 和 PD 來源之間的距離。

Δt_i ：PD 訊號到達兩偵測器的時間差， t_{i1} 和 t_{i2} 之差。

t_{i1} ：PD 訊號到達偵測器 1 的時間。

t_{i2} ：PD 訊號到達偵測器 2 的時間。

t_c ：Time Window 參考的基準時間。

這種新的測量方法與其他傳統的方法主要區別在於偵測到 PD 訊號的定義。新的量測法所記錄的是 PD 的起始訊號到達的時間來確定 PD 現象，而非如同傳統的量測方式偵測的是 PD 訊號的振幅最大值來確認 PD 現象。新一代的量測方式都有自己的運算方式，紀錄方式也是使用了每個 PD 訊號的起始時間。

如果在此系統中安裝使用多個測量系統(MS)和偵測器控制，來自同步偵

測器的信息會有幾種方式有關聯。目前已經有開發出整體訊息優化方式。不同偵測器偵測到的 PD 訊號會有相關聯。變電所裡同一個 PD 脈衝源可由兩個以上不同的 MS 所偵測紀錄。這就是為什麼 PD 的定位工具，必須考慮到所有 MS 提供的信息。我們所進行分析，包括尋找脈衝順序、相同的結論及 PD 源的位置。這種技術是透過 PD 源脈衝信號傳送到兩個測量點(MS)，所以 PD 源的位置，是藉由(Δt_i)的重複計算所有可用的脈衝。使用上述公式(1)多次重複計算相關資料，可獲取唯一的 PD 來源位置。相關性重複的計算是為了證明 PD 來源的精確度。

B. 靈敏度分析

B.1. 不同的 PD 測量系統偵測不同的 PD 來源之靈敏度分析

各種非傳統的 PD 量測程序，當初設計是為了檢測三種不同類型的故障：(a)空氣中的電暈。(b)XLPE 電纜中的氣隙。(c)GIS 內部故障。本次被測試的設備包含 3 公尺長的 SF6 氣體管道模型連接到 926 公尺的電纜系統(見圖 14)，測試時使用頻率為 50Hz。透過 9 個 PD 偵測器(2 個裝置於 GIS 內部的超高頻偵測器(UHF)，2 個裝置於 GIS 外部的超高頻偵測器，3 個 HFCT 偵測器和 2 個電容耦合偵測器附有測量阻抗)連接到兩組 PD 量測設備：傳統式規範根據 IEC60270 標準，非傳統式(100 MS/秒，14 位元的分辨率，頻寬為 200 kHz~20MHz 和抑制噪音的小波濾波器[6])。為方便每個偵測器使用相同的測量單位，每個超高頻偵測器的輸出信號轉換成 HF 信號的均方根值(S6 在圖 14)。電容式偵測器依據 IEC60270 標準規範。

對於每個儀器依據 IEC60270 標準規範，另外電容式也依據標準規範。所有儀器的校正參數都有依據且相同。然後每個偵測器的讀值以 mV 為單位，電容式偵測器依 S6 這個偵測器獲取百分比來記錄(見表 3)。UHF 偵測器依 S1 來得到讀數(見表 4)。

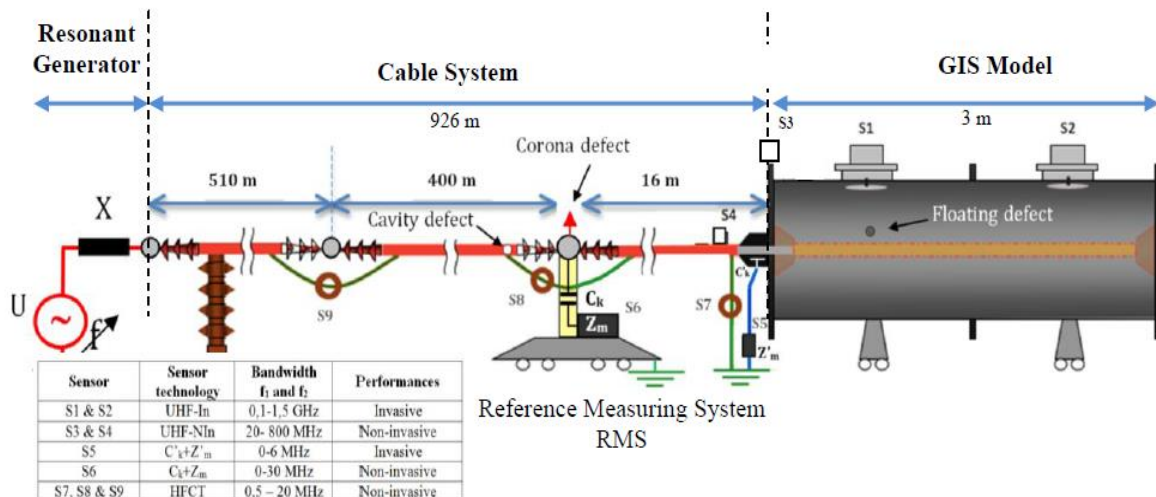


圖 14 安裝偵測器的測試配置圖

針對電纜內部氣隙及連接站上方的電暈現象，HFCT 和電容式偵測器(Ck+ZM)獲得結果示於表 3，超高頻偵測器獲得結果表示於表 4。這些測試中得到的結論：超高頻偵測器偵測不到電暈和氣隙的 PD 信號

- (a) 對於數公尺外的 PD 信號，超高頻偵測器(UHF)較不靈敏。
- (b) HFCT 比電容偵測器還不靈敏，但它還是可以偵測到 PD 訊號。
- (c) 由 3 公尺的 GIS 設備低電容效應與 910 米長的電纜系統進行比較情況下，距離電暈 16 公尺處的 GIS 偵測器靈敏度比距離電暈 400 公尺處的電纜偵測器小。
- (d) 對於雜訊的處理效果，傳統的 PD 量測儀器較非傳統的 PD 量測儀器差。
- (e) 設置於外部的 UHF 偵測器比設置於內部的 UHF 不敏感，但還是有一定上的效果。
- (f) HFCT 和電容式偵測器可以偵測到十公尺以外的 GIS 內部的故障。

表 3 HFCT 和電容式偵測器(CK+ ZM)獲得的 PD 樣本

CORONA IN AIR	S9 HFCT Defect distance =400 m	S6 $C_k + Z_m$ Defect distance =0 m	S8 HFCT Defect distance =0 m	S5 $C_k + Z_m$ Defect distance =16 m	S7 HFCT Defect distance =16 m
	Uncoupled PD Inst.	 Amplitude: 11% Base UnCn	 Amplitude: 100% Base UnCn	 Amplitude: 27% Base UnCn	 Amplitude: 4.8% Base UnCn
Coupled PD Inst.	 Amplitude: 20% Base Cn	 RMS Amplitude: 800 pC = 100% Base Cn	 Amplitude: 31% Base Cn	 Amplitude: 2.0 % Base Cn	 Amplitude: 2 % Base Cn
CAVITY IN XLPE	S9 HFCT Defect distance =400 m	S6 $C_k + Z_m$ Defect distance =0 m	S8 HFCT Defect distance =0 m	S5 $C_k + Z_m$ Defect distance =16 m	S7 HFCT Defect distance =16 m
	Uncoupled PD Inst.	 Amplitude: 18.3% Base UnCn	 Amplitude: 100% Base UnCn	 Amplitude: 65% Base UnCn	 Amplitude: 2.5% Base UnCn
Coupled PD Inst.	 Amplitude: 25% Base Cn	 RMS Amplitude: 400 pC 100% Base Cn	 Amplitude: 73% Base Cn	 No detection	 No detection
PD IN SF ₆	S9 (HFCT) Defect distance =416m	S6 ($C_k + Z_m$) Defect distance =16 m	S8 (HFCT) Defect distance =16 m	S5 ($C_k + Z_m$) Defect distance =0 m	S7 (HFCT) Defect distance =0 m
	Uncoupled PD Inst.	 Amplitude: 12% Base UnCn	 Amplitude: 100% Base UnCn	 Amplitude: 41% Base UnCn	 Amplitude: 22% Base UnCn
Coupled PD Inst.	 Amplitude: 25% Base Cn	 RMS Amplitude: 550 pC = 100% Base Cn	 Amplitude: 50% Base Cn	 Amplitude: 36% Base Cn	 Amplitude: 60% Base Cn

表 4 UHF 偵測器獲得的 PD 樣本

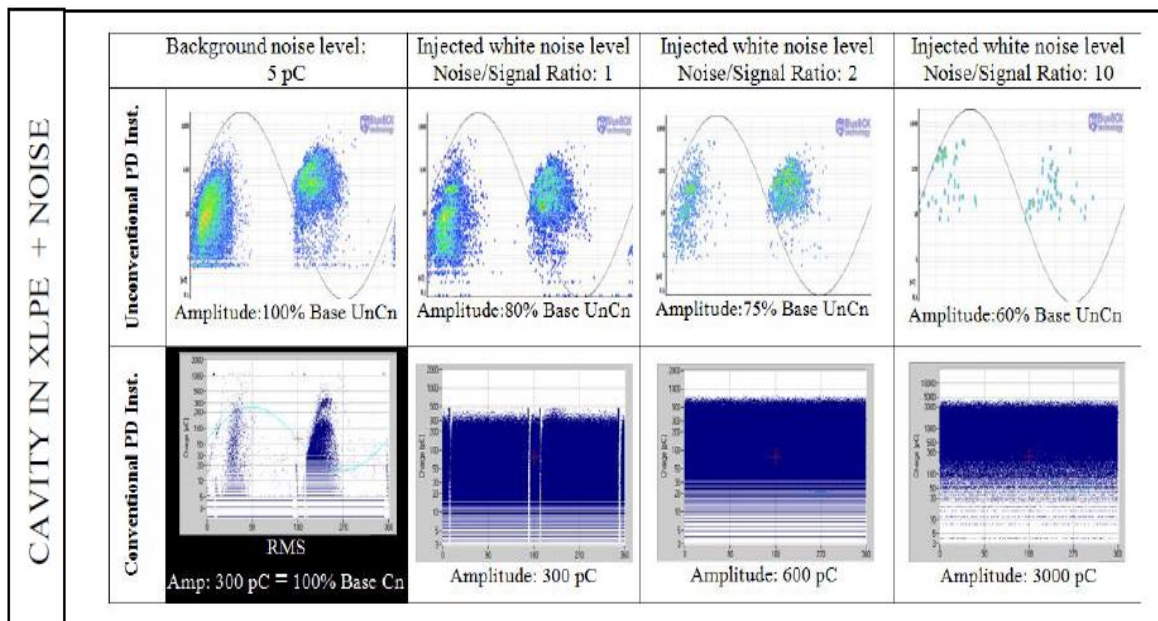
PD IN SF ₆	S4 (UHF-NIn on cable cover) Defect distance =0.5 m	S3 (UHF-NIn on GIS) Defect distance =0.5 m	S1 (UHF-In) Defect distance =0 m	S2 (UHF-In) Defect distance =2,5 m
	Uncoupled PD Inst.	 Amplitude: 26% Base UHF-UnCn	 Amplitude: 22% Base UHF-UnCn	 Amplitude: 100% Base UHF-UnCn
Coupled PD Inst.	 Amplitude: 20% Base UHF-Cn	 Amplitude: 15% Base UHF-Cn	 Amplitude: 100% Base UHF-Cn	 Amplitude: 89% Base UHF-Cn

B. 2. 靈敏度分析對於嚴重噪聲環境

兩個以上的雜聲信號疊在一起後來送入有氣隙的 XLPE 電纜內，對於在氣隙所產生的 PD 如上表所示。噪音振幅大小逐漸加大至臨界值，其中儀器無法從背景雜訊中分別出 PD 脈衝訊號。經由兩個 PD 偵測器(傳統和非傳統)，S6 的雜訊訊號的比例表示於表 5。

傳統的儀器(依據 IEC60270 規範)不能區分哪個是 PD 訊號或背景的訊號，而非傳統的儀器可區分出隱藏在背景噪音裡的 PD 脈衝訊號。此功能在上線中高壓設備 PD 測量特別有效。且使用非傳統測量儀器測量時，不是讀取 pC 值。此外，當雜訊抑制的功率比例逐漸降低時(例如抑制背景雜訊功能功率減少 40%時，且雜訊訊號比 PD 信號大 10 倍時，如表 5 所示)，實際上就較無法量測到 PD 值。

表 5 靈敏度測試結果



B. 3 使用裝設於設備外部偵測器來定位出變壓器內部的 PD 故障靈敏度分析

此分析的目的是透過使用裝設於設備外部的偵測器的靈敏度來評估檢測變壓器外部或是內部的絕緣故障。四個偵測器分別設置於：每相放置一個偵測器及變壓器的接地(參見圖 15)。變壓器三相連接至電纜，且 HFCT 掛接於電

纜的遮蔽層上，且三相的遮蔽層都接地。

兩種不同的測試型態來分析變壓器或是電纜中 PD 的來源及靈敏度。下圖表示此次測試的簡圖。第一種測試型態是依據 IEC60270 規範標準使用脈衝做測試，在變壓器內部或外部的多地方產生 PD 脈衝訊號。第二種測試型態則是一般正常加壓送電時在氣隙或是電暈處所獲得的 PD 訊號。

這兩個測試的目的是分析測量系統來定位和區分，其中部分放電脈衝源是：變壓器的兩個點或絕緣電力電纜的兩個點。且限制施加 PD 脈衝訊號在變壓器和電纜之間。

信號來源可分為是在電纜(如導體 T 和 GC 間)間或是在變壓器內(例如 T 相導體和 GT)，來做分析比較。也可以分析相間絕緣故障的 PD(如 S 和 T 間偵測到 PD 訊號)或是 PD 只發生在變壓器內單相。

此外，也研究當變壓器在正常加壓(高壓)時，空氣中電暈的 PD 訊號。評估靈敏度的兩個參考點：PD 信號和脈衝到達的延遲時間及相對振幅。這兩個參數可用四個偵測器分析確認。

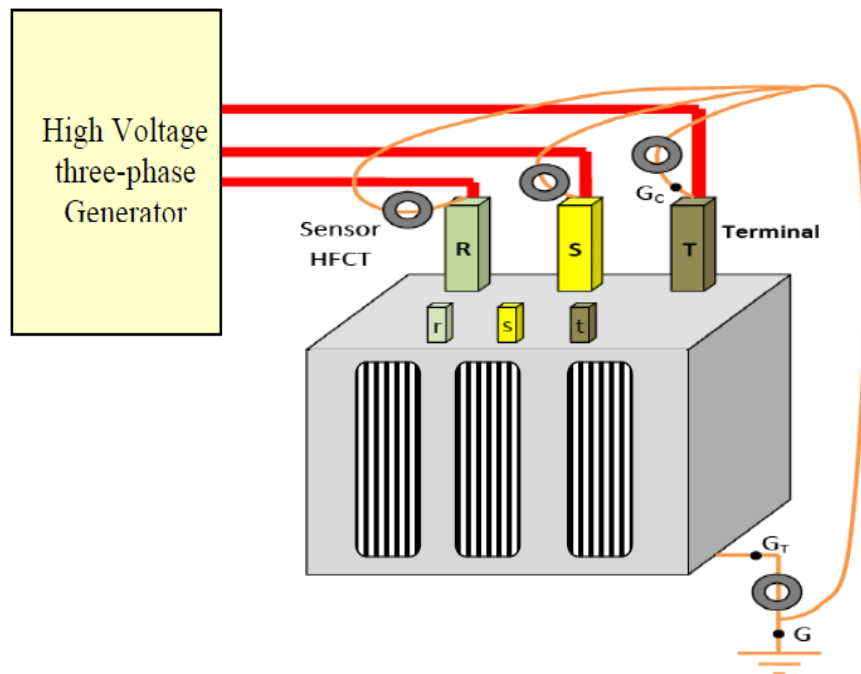


圖 15 使用非侵入式 PD 感測裝置監測變壓器

表 6 顯示在這兩個測試中得到的振幅結果：校正 PD 來源，並從故障位置施加高電壓(HV)時的部分放電信號。記錄通過各偵測器脈衝振幅的值，由四個偵測器記錄的最大振幅和極性為基準，其餘則為對應最大振幅的相對值。

因此能夠看出，在這兩個測試(從校準器和與 HV)，當 PD 出現在 T 和 GC 之間，最大振幅(設定為 100%)，在 HFCT 得到偵測器放置在相 T 和變壓器的接地 G 上，顯示出兩最高振幅具有相反的極性。當 PD 來源在變壓器 T 相和 GT 之間，G 偵測器記錄到最大振幅和 T 相偵測器記錄的最大振幅為相反極性。如果 T 相有電暈，只有 HV 偵測的到。當相間絕緣故障(S 和 T)，則 S 和 T 都偵測到大振幅，但是極性則是相反。

表 6 使用非侵入式 PD 感測裝置監測變壓器之 PD 信號結果

Type of defect	PD pulses		Test							
	+	-	PD from calibrator				PD with HV			
			HFCT R	HFCT S	HFCT T	HFCT G	HFCT R	HFCT S	HFCT T	HFCT G
Cable phase T	T	G _C	-15%	-19%	+100%	-81%	-5%	-8%	+100%	-13%
Transformer phase T	T	G _T	+9%	+7%	-37%	+100%	+6%	+6%	-52%	+100%
Corona in air phase T	T	-	-	-	-	-	-	-	+100%	-
Transformer phases S-T	S	T	-7%	+100%	-98%	+8%	+4%	-100%	+100%	-

表 7 為高壓試驗設備內記錄脈衝的時間(與延遲)結果。T0 為第一個接收到 PD 訊號的時間，而 T1 為其他偵測器接收到的時間。當 PD 來源在 T 和 Gc 間，T0 的參數是 T 相 HFCT 偵測器測得。當 PD 來源在變壓器 T 和 GT 之間，兩個偵測器 T 和 G 記錄的信號皆為 T0，且在同一時間測得。電暈若是在 T 相的情況下，只由偵 T 相偵測器偵測到訊號。當 S 和 T 相間的 PD 訊號，S 和 T 的偵測器均同時偵測到，且都是最優先偵測到(T0)。

使用非侵入式 PD 感測裝置對於變壓器及電纜的內部缺陷靈敏度分析，其結果詳如圖 16。

表 7 使用非侵入式 PD 感測裝置對於不同位置之靈敏度分析

PD test	PD pulses		PD with HV			
	+	-	HFCT R	HFCT S	HFCT T	HFCT G
At cable terminal (phase T)	T	G _C	t ₁	t ₁	t ₀	t ₁
At power transformer (phase T)	T	G _T	t ₁	t ₁	t ₀	t ₀
At connector of the transformer (phase T)	T	-	-	-	t ₀	-
Between phase S and T of the transformer	S	T	t ₁	t ₀	t ₀	-

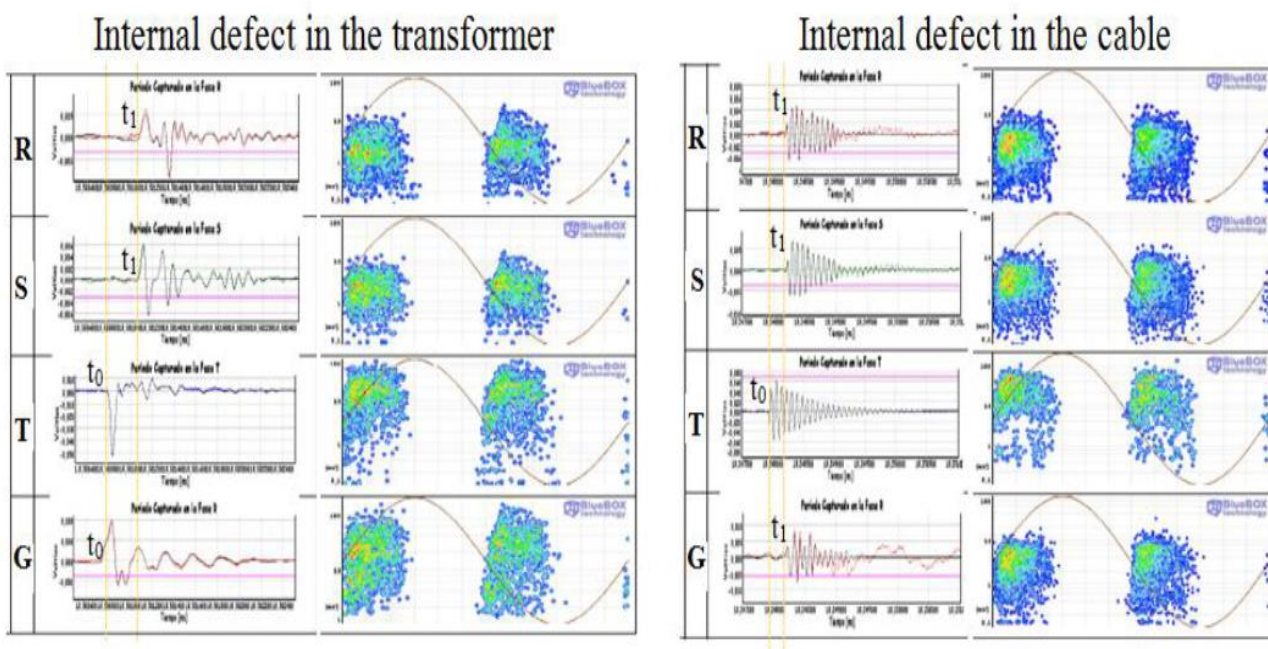


圖 16 使用非侵入式 PD 感測裝置對於變壓器及電纜的內部缺陷靈敏度分析

C. 變電所內裝設於設備外 PD 經驗

C.1 在 220kV 變電所的 PD 監測經驗

圖 17 顯示了一套 PD 監測系統，被監視設備包含一個 220kV 的 GIS 設備和幾具 220kV 變壓器且二次側分別有三個不同電壓等(MV1, MV2 和 MV3) 的五套 GIS(C1 至 C5)。

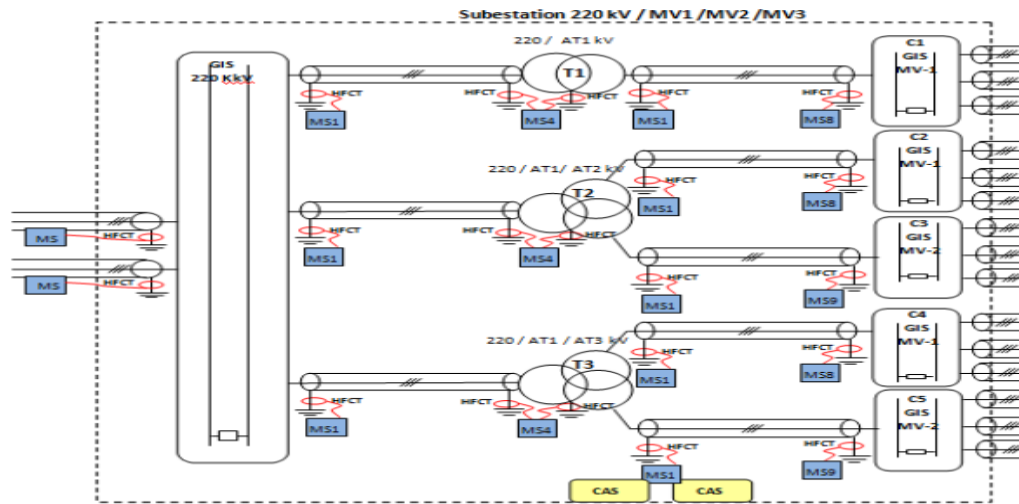


圖 17 使用連續性 PD 監測 220kV 級變電所之案例

PD 的監測的目的，是為了要變電所內的每一設備都不會有絕緣故障，就是說從 220kV GIS、連接 220kV GIS 與變壓器間的電纜、變壓器整體(高中低壓側)和連接變壓器與 MV1、MV2、MV3 間的電纜，都是用設備外部監測。透過使用 HFCT 偵測器或是連接到變壓器的容量測量其阻抗，自動同步記錄信號。透過超高頻偵測器和可攜式測量系統，能發現 PD 故障位置來源的準確度。GIS 系統的絕緣狀況，由 PD 監測 GIS 的系統，輸入電纜的終端，並呈現在 GIS 到變壓器間的電纜。因此在 GIS 線路側及變壓器測各需有三個(相)HFCT 偵測器。此外兩套的三個組量系統 (MS) 需要從每一組的三個偵測器記錄數據。從該組偵測器的數據的分析提供了合適的信息，以知道缺陷是否正在發生內部或 GIS 系統外。變壓器的絕緣狀態是由高壓側接地的三相 HFCT 偵測器及一組連接接地變壓器 G 的偵測器所量測。而中壓的偵測接線方法也是如此。一個四頻道的良測系統，負責擷取三個來自高壓側三相的 HFCT 信和接地線端的 HFCT 訊號。從高壓線路側和高壓及中壓電纜的監測系統一起量側並診斷出是否有絕緣故障。連接 GIS 系統(高壓及中壓)與變壓器 S 的電纜上的兩端 HFCT，可以分別分享給 GIS 系統或是變壓器來做數據判讀。另外電纜本身兩端偵測器的同步測量也可以找出絕緣故障是否生在電纜內部。從 MS 收集到所有的資料後，由控制分析系統 CAS 來管理和警示哪個部份有絕緣故障。

C.2 變電所 GIS PD 定位

220KV 變電所在 PD 監測系統安裝 5 個月（2011 年 5 月 2 日）後被檢測到 PD 內部絕緣故障。PD 的監測系統自動定位此 PD 訊號來源為 GIS 的電纜端（參見圖 18）。變電所內有九個不同的偵測點需要一起納入考量。由位於 B 和 C 之間（距離為 6 米）、C 和 D 之間（距離 12 米）和與 C 和 E 之間（距離 30 米）偵測器收集的數據來將 PD 的位置定位出來。由三組 PD 距離量測（圖 19），找出 PD 的來源位於 GIS C 點中 S 相終端。位於 GIS 的 C 點也同時偵測到 PD 訊號的最大值（振幅）。

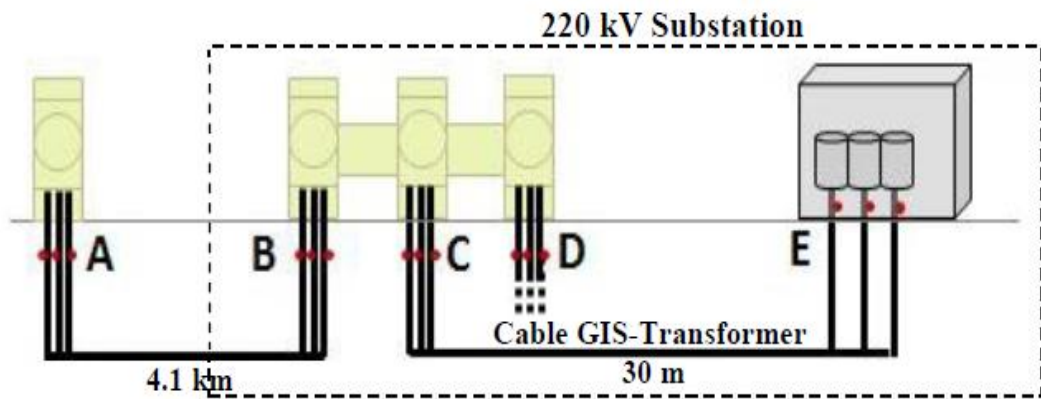


圖 18 PD 監測 220kV 級變電所之示意圖

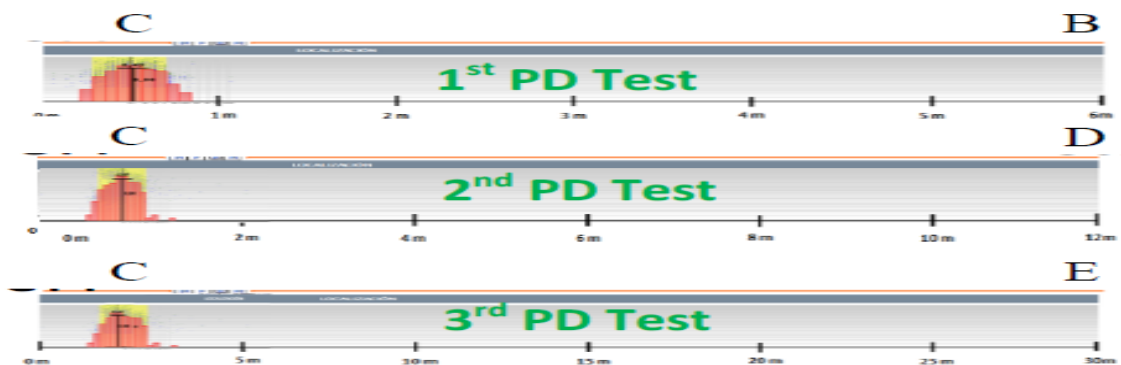


圖 19 B-C、C-D 及 C-E 位置之 PD 量測信號

故障點定位出來後，位於設備內部的超高頻偵測器也偵測到。利用安裝在大地與同相的電纜遮蔽相連的 HFCT 偵測器所獲得的測量結果與 UHF 偵測器所獲得的結果相比較。圖 20 顯示不同技術所量測出來的結果。

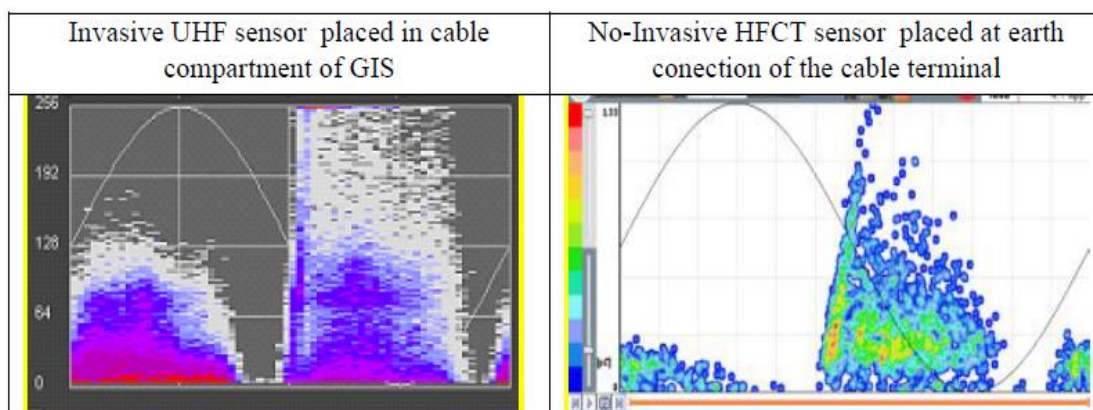


圖 20 侵入式 UHF PD 感測器與 HFCT PD 感測器之 PD 樣本的比較圖

圖 21 為 GIS 電纜終端簡圖和故障點的一些照片。在內部錐體上和電纜終端的 EPDM 絕緣表面發現部分放電的痕跡。油分析顯示出一些本來不應該存在油裡的金屬異物顆粒，再次證明 PD 檢測的結果。改良後新款式的線上 PD 測量系統重複量測，卻未檢測到 PD 訊號。



圖 21 GIS 電纜終端簡圖及故障點

C.3 位於室外變壓器－電容式分接頭的經驗

本次被測試的兩種變壓器套管(220kV 和 132kV)，均採用耦合阻抗，ZM 來獲得部分放電信號。這些阻抗，ZM，分別為每個電容總線連接，以便獲得適合於 PD 信號(圖 22-a、b)中的高通帶濾波器的發展。另外，通過 HFCT 偵測器連接到大地的接地線與箱體共接地(參見圖 22-c)進行測定。

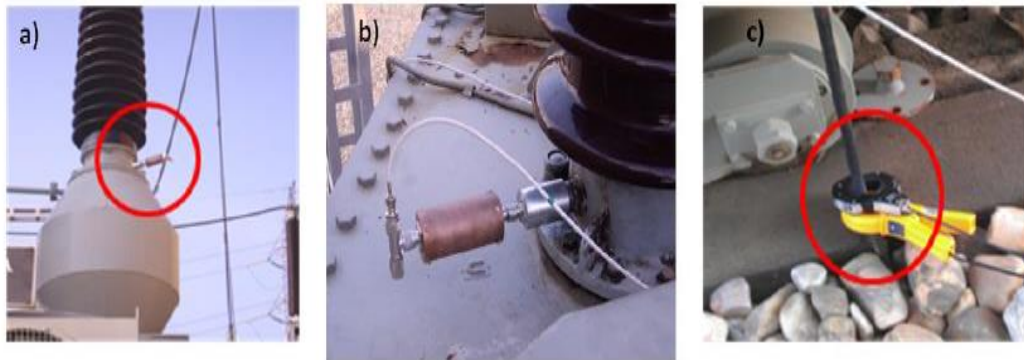
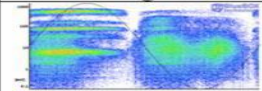
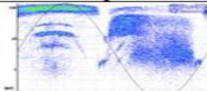
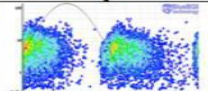


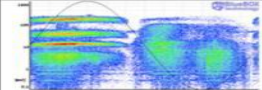
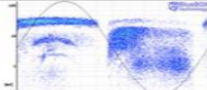
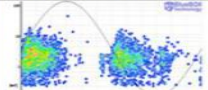
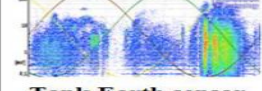
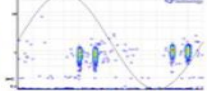
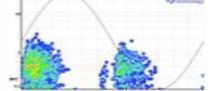


圖 22 a)PD 感知器裝設於 220kV 套管 b) PD 感知器裝設於 132kV 套管
c)HFCT 裝設於變壓器接地點

在表 8 的第一列中，從三個 PD 偵測分別裝置於：變壓器 220kV 終端接頭，變壓器接 132kV 的終端接頭和 HFCT 偵測器連接到變壓器的接地線上。表 8 利用連接至 220kV、132kV 套管及變壓器的接地線的 HFCT 感知器所獲得之

表 8 PD 樣本

Global PD pattern	Cluster -1	Cluster -2	Defects
 at 220 kV sensor	 Corona & Surface	 Internal defect	 
 at 132 kV sensor	 Corona & Surface	 Internal defect	
 Tank Earth sensor	 Power electronic	 Internal defect	

上表中三個 PD 顯示出三種不同典型的模式，訊號重疊使得難以正確的判斷絕緣狀況。測量系統使用三維聚類工具後，這些 PD 的每一個記錄被區分兩種不同的 PD 叢集：“叢集 1”（在上述表 8 的第二欄），顯示出一個非內部絕緣故障的 PD(如電暈 PD、表面 DP 信號和功率電子信號)和“叢集 2”（在上述表 8 的第三欄），所顯示的是內部 PD 模式，絕緣故障位於變壓器內。

三種 PD 偵測器檢測變壓器中相同的內部缺陷。最高靈敏度可用連接到電容分接頭的偵測器來實現。由表 8 的最後一欄可觀察到經過熱毀壞後的絕緣材質在變壓器啟斷後的內部缺陷。變壓器繞組的加熱產生的水分蒸發是從纖維素老化衍生的，使油中產生微小氣泡與部分放電信號均有相關聯。

D. 結論

連續的 PD 監測是目前最有效用於高電壓設備絕緣診斷的技術。變電所的 PD 監測系統使用最有效的工具來同步去除雜訊，找出 PD 來源的位置且區分不同的 PD 來源，並分析確認各 PD 源是何種類型故障。

對於現在使用設備外部 PD 診斷方式的趨勢大於安裝至內部的診斷方式。本文提出連續監測部分放電方法是使用 HFCT 方式。運用這一監測方法來找出故障問題點(GIS、變壓器、高壓或中壓電纜和中壓 cabins)已獲得了認可。而超高頻偵測器也需被認可當 PD 源被定位在一個確切位置。在 220 千伏變電站與部分放電測量一些經驗已批准，以檢測出早期缺陷來避免不受控制的衍生故障產生的災難性後果。這些經驗也提供了一些非常有用的資訊關於自動辨識 PD 模型的同類型的缺陷和可靠的技術來同步一些測量系同下進行的 PD 量測。

5.4.2. 心得及建議:

一般來說，PD 測量方式大致上分為擷取聲音、頻率、光線或電流，不同的放電方式和位置，會有不同的形式產生。本文所探討的為不同位置產生的不同方式放電，藉由不同的偵測獲取的各種不同資料，獲取各種不同的資料越多，可以更容易判斷放電來源位置及精確度。

本文裡也實際測量，同一個 PD 來源被不同的偵測器偵測到後，每個偵測器所擷取到的資料來判定 PD 的來源位置；也實際測量了不同 PD 來源被同一個偵測器測量後，由收集到的資料來分析出不同的 PD 源。

另外也探討了不同的量測儀器的功能，新一代的量測儀器有小波分析功能，將背景值去除，已達到真正收集到 PD 的訊號，但是文中也提到，背景值雜訊越大時，且分析的能力調降至 60%時，小波分析的功能也會隨著下降。

最後提到的是，在整套變電系統裡，不同的電壓，不同設備，裝設了數量很多的偵測儀器，藉由數量非常多的儀器來擷取資料，已達到迅速定位(獲得 PD 源)的功能。本文因為利用不同的量測儀器收集不同的 PD 源資訊，得出以下的結論：

1. 超高頻偵測器(UHF)偵測不到電暈和位於電纜間氣隙的 PD 信號。
2. 超高頻偵測器對於數公尺外的 PD 信號，比較無法偵測到。
3. HFCT 靈敏度比電容偵測器差，但還是可以偵測到 PD 訊號。
4. 3 公尺的 GIS 設備低電容效應與 910 公尺長的電纜系統進行比較情況下，距離電暈 16 公尺處的 GIS 偵測器靈敏度比距離電暈 400 公尺處的電纜偵測器小。
5. 對於雜訊的處理能力，傳統的 PD 量測儀器較非傳統的 PD 量測儀器差。
6. 設置設備外部 UHF 偵測器效果比設置於內部 UHF 差，但還是有一定上的功效。
7. HFCT 和電容式偵測器可以偵測到十公尺以外的 GIS 內部的故障。

5.5 變電所之間 OLTC 電力變壓器自動電壓控制(Automatic voltage control of OLTC power transformers between substations)

5.5.1. 論文內容摘要：

比較電力系統的擾動與在正常操作期間，電力變壓器 OLTC 電壓調節器操作的要求完全不同。在擾亂期間不正常運轉，會導致輸電系統電壓崩潰。事實證明由發電單元或傳輸線的鬆動，或是對無效功率需求日益增加所造成的干擾，使得電壓回復的時間拉長。最近幾十年來，世界各地皆已經發生過擾動，穩壓器不同工作模式的需求顯而易見。

此外，我們的目標是實現在異常操作過程中或擾動前間皆能有效之電壓調整器運作方式。本文討論於異常情況下常見的電壓調整器問題，並提出了一定的處理對策。處理對策是以 IEC 61850 之變電所間通訊演算法的形式，依此進行之描述和設計。電力變壓器的兩側電壓應同時測量。用於電力變壓

器自動電壓調整之變電所間的通訊方式，於該演算法中有詳盡的說明。此演算法不限制使用特定廠牌的設備。在此所提出的演算法，以容易使用之流程圖形式呈現，並且可在分散式或集中式之電力變壓器自動電壓控制系統中實現。此開發演算法基於在電力變壓器高壓側的預設壓降比例執行之修正措施。

本文最後列出一般的情況與由電腦模擬考慮在電力變壓器一次側電壓降不同參數來實現電力變壓器本文提出進階之電壓調節比較結果。相較於現有之一般電力變壓器 OLTC 電壓調整，此方式最大的進步在於採用 IEC 61850 之變電所間 GOOSE 的可靠且安全的傳訊作為通訊方式。本文的分析主要聚焦於電壓自動調整與其對電壓的影響、在特定期間分接頭位置與實／虛功率大小的關係。在此提出的對策像是改變電壓調整設定值以及完全固定值、擾亂電力網路條件下電力穩定保護之可用性與證明預期正面效益。

5.5.2. 心得與建議：

根據操作經驗與相關文獻的知識透露出輸電系統分散操作狀況下的一般電壓 OLTC 調整器操作與電壓控制方式的限制。因此證明了發展新的電壓調整演算法和電壓控制方式的需求是存在的。使用建議的演算法與電壓控制方式主要的優勢是在變電所中所有的變壓器匯流排電壓、實功與虛功潮流以及變電所間使用符合 IEC61850 標準的通訊。使用前述的通訊標準能讓不同變電所內的 IED 裝置執行協調式的電壓控制。

建議的協調式電壓控制邏輯演算法與步驟用 Matlab/Simulink 環境作模型及模擬。將模擬結果與一般的電壓控制方式做比較分析。觀察 OLTC 動作及電力潮流(實功、虛功)的變化。根據超高壓側的電壓壓降來測試每項建議的電壓調整方式。預設的電壓變動設定值與利用 IED 作的電壓調整措施可成功地減少不需要的 OLTC 動作次數並且當低壓側有負載需求變動時高壓側電壓能有快速及穩靠的恢復能力。同時電壓品質也獲得改善。在將來可以預期在模型化的環境下利用建議的調整措施可以改善電壓穩定度。

IEC 61850 通訊協定標準用於變電所內之 IED、電驛等等設備，台電僅於

試驗階段。本文章提到之主要內容，為採用 IEC 61850 90-1 與 90-2（變電所間與變電所對控制中心之通訊協定）之應用。本文章應用此通訊協定達成跨所控制多個 OLTC，以達電壓調整次數最低，而效果依然不變的電壓調整方式。

以目前台電的環境而言，現階段仍無法試行此類之應用，但可以持續關注 IEC 61850 相關新技術或新應用，待新一代調度系統建置完成，且改採網路方式連線，以及有更多變電所內之設備採用 IEC 61850 通訊協定，和此通訊協定有更多國家有實際的應用且穩定成熟時，就是台電進入 IEC 61850 通訊協定應用的階段。

5.6 高壓變電設備之壽命週期管理(Life-cycle Management of HV Substation Equipment)

5.6.1. 論文內容摘要：

本論文的目的是探討高壓變電所之有效壽命週期管理，有什麼條件需要被滿足的，本文分為三個部分。

在第一部分，描述了要滿足的一般條件，這些條件不僅涵蓋“服役-維護”階段，而且也包含先期和後續階段，即採購、製造、交貨和安裝，以及處置和取證分析的階段。未來服役和維護之成功（包括正確的執行、監控和診斷的解釋），已在這些先期和後續階段被發現。要使未來的診斷，監測和高壓設備壽命估計可行，下列要加以分析：

- 哪些資訊應該被包括在技術規範之詢問內容（訂約期間）
- 哪些參數應該包括在出廠試驗、工廠驗收和現場試驗內容
- 在設備故障後或設備將廢置時，要如何處置

在第二部分，針對變電所不同類型的高壓設備，提供一個診斷和監測方法的綜合性評估之概述，重點是在於綜合性，即診斷分析和不同的監測方法特性，特別注意的是從既有網路監控狀態數據，即從變電所控制系統、故障記錄示波器或電驛所取得的數據。

在第三部分，描述如何使用既有資訊來評估目前和將來高壓設備狀態的

維護計畫（減少或加強維護、整修、更換或新的投資），這個規劃是根據網路上各高壓設備的健康指數、臨界指數及風險指數之計算與具體化數據，以及產生活動結果的優先次序，本文描述的方法已實際應用於日常使用系統中，該系統被稱為 ACMart 使用在捷克共和國 ISO(CEPS)。

變電所資產評估，在本論文較有特色有以下幾點：

A.健康指數計算原則

在 CEPS ACMart 應用於計算健康指數在以下六個標準評估基礎上：

1. 設備年齡-相較於平均預期技術壽命時間。
2. 設備的累積負載-機械、電氣（過電流和過電壓）、大氣;動力和熱力;短、長時間。
3. 設備的實際情況-重或輕故障等待修理。
4. 設備的歷史-以往設備輕、重故障次數。
5. 技術類型的歷史-統計故障頻率和問題嚴重性。
6. 技術類型的可維護性和可修復。

相同的評估方案用於每個高壓設備種類（累積負載除外），在獲得了 6 個小組健康指數 SI_j 達到 1 到 4 之間的分數 4 具有以下含義：

1 分：優，2 分：好，3 分：有限制的，4 分：不良。必要時，健康指數也以標誌來標示設備的狀態（黃卡或紅卡）：黃卡：警告，使用時應特別注意；紅卡：設備不能使用，直到它被修復或更換。所得到的總規範健康指數根據以下公式計算

(1) 達到 25 到 100 之間的值：

$$IZ_{norm} = KIZ_{nenorm} = 100 \cdot \sum SI_j W_j / 4 \sum W_j$$

其中： SI_j 為 6 組內的健康指數

W_j 為團隊權重(由 16 位 CEPS 專家意見決定)

健康指數也可以用於將來故障頻率估計，如上式和圖 23 所示，其中：

$$\lambda_{EQ}(t) = \frac{H_{EQ}}{H_{Group}} (\lambda_{Group} + \alpha t^\beta), t \geq 0$$

其中： λ_{EQ} 為設備的預期故障頻率、 H_{EQ} 為設備的實際健康指數
 H_{Group} 為由同種設備和年齡（5 年跨度）組成 1 組的平均健康指數

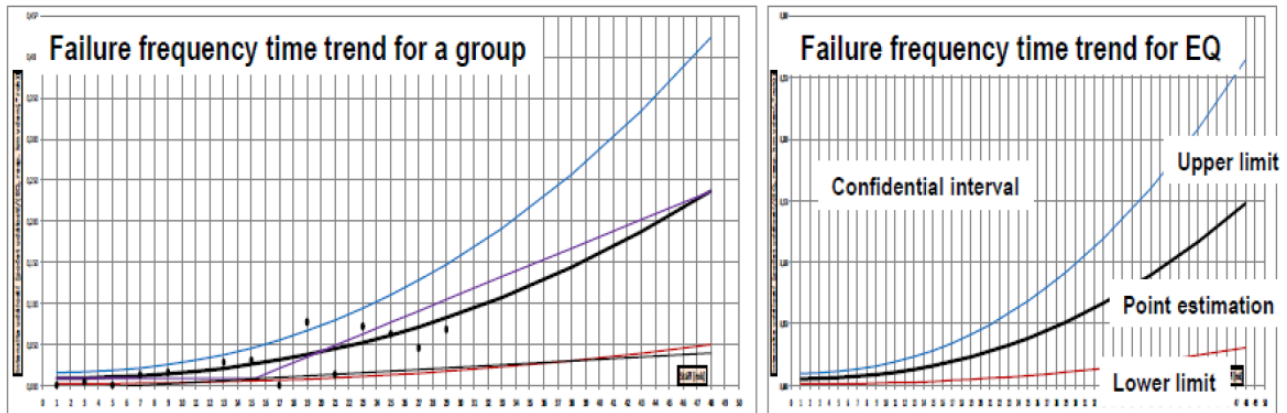


圖 23 計算(估計)故障頻率趨勢

B. 臨界指數計算原則

在 CEPS ACMart 應用計算臨界指數在所謂主要傳輸對象在網路和衍生對象計算的重要性的評估基礎上，如下所示：

- 主要對象(架空線和電力變壓器)臨界指數 $d = \sum(e+i)$ 為相關外部(16)和內部(8)故障標準權重的總和。
 - ϕ 外部標準範例 (e)：核電廠輸出中斷、國際連接損失、布拉格供應影響、在 400 至 110 千伏間的互連損失等等。
 - ϕ 內部標準範例 (i)：在 400 至 220 千伏間的互連損失，導致放射狀的连接、賠償損失等等。
 - ϕ 由 CEPS 21 位專家評估制定標準權重-導致權重是一個平均值，從反應（沒有最高和最低優先順序）除以標準數，所得到的權重是正規化介於 0 到 1 之間）。
- 衍生對象（變電所部分）臨界指數-計算從主要對象指數在符合因電驛而停電區域有兩組臨界指數：沒有及有平均時間來傳輸恢復（例如：40 小時用於架空線路故障修復，1 小時用於變電所故障重置，9 小時用於變壓器故障維修）。當對象安裝在內，每個設備得到了相同的臨界指數。

C. 風險指數可視化

風險指數被定義為健康指數乘以臨界指數，其可視化表示在二維分佈圖（健康指數在 y 軸與臨界指數在 x 軸），有“注意”、“非常注意和/或糾正活動需求”限制線（例如圖 24）。

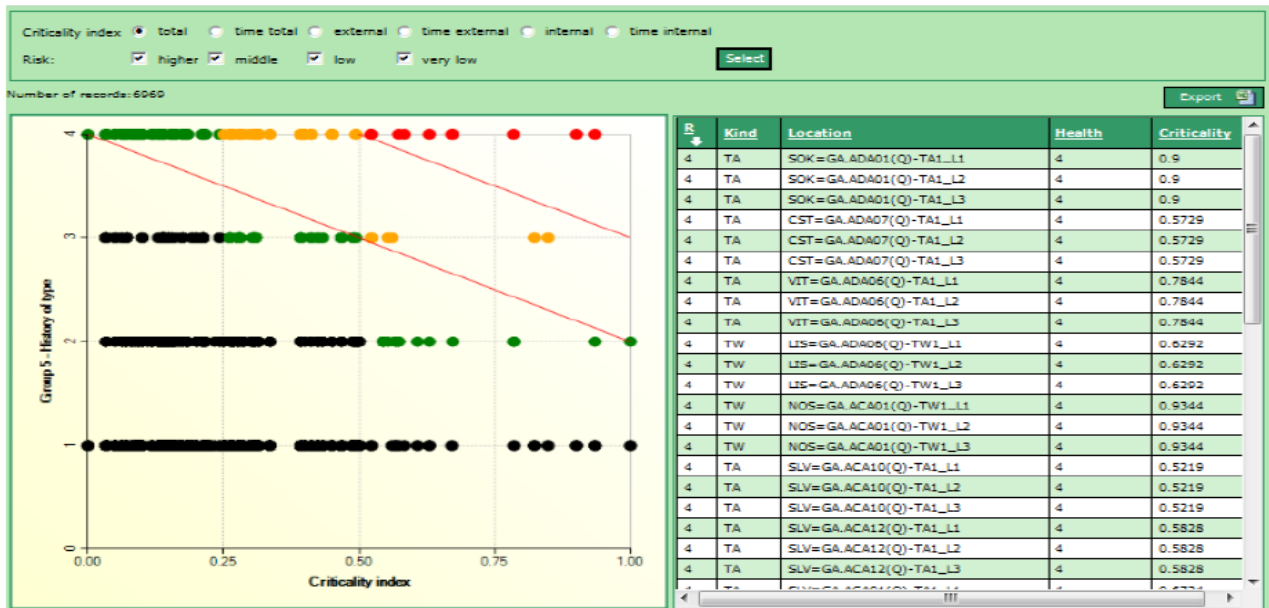


圖 24 風險指數可視化範例

設備結束的壽命評估

詢問特定設備的剩餘使用壽命是一個非常棘手的問題，技術人員是喜歡嚴謹，不喜歡這個問題除了明顯事件（例如無法挽回的錯誤），這個問題是關於對於新、舊設備可能發在明天或多年以後服役的統計問題，這個問題實際上是詢問公司願意通過操作設備運行的風險值和持續時間，這是一個管理的決定。然而，健康指數和風險指數計算可以對此決策提供非常寶貴的支持。

5.6.1.2. 心得及建議:

本文的目的是描述在高壓變電設備壽命時間期間內，儘可能各方面不會被遺忘，描述細節是不切實際的，如同每方面會要求個別、特定的論文。然而，主要資訊如下所示：

- 設備壽命週期管理包含數個過程（階段），服役壽命（在一般的操作和維護活動）只是週期中的一個階段，而不能被單獨看待的，其功效是受先前（採購、製造、安裝和測試）和後續幾個階段（處置，取證分析）所影響。
- 診斷測量和監測在避免故障/停電及引入狀態基準維護、風險基準維護策略上起到了關鍵作用。

本論文的目的是探討高壓變電所之有效壽命週期管理，主要是介紹高壓設備壽命時間管理的各個階段、高壓設備狀況診斷和監控、高壓設備服役狀況的評估及決策等注意事項及重點，並說明實際運用於捷克共和國之 ACMart 系統，目前本處對於高壓變電設備之維護管理，主要係以時間基準維護 (Time-based maintenance) 配合狀態基準維護 (Condition-based maintenance) 實施，而綜研所亦已開發變壓器資產管理系統用於變壓器狀態診斷分析，本論文將風險資產管理概念引入，ACMart 變電設備資產管理系統將各項設備(變壓器、開關、變比器等)狀態、診斷參數、維護成本、故障紀錄波形、設備維護歷史資料及 ERP、專家意見決定為權重等整合納入，本文可作為本公司未來開發變電設備資產管理系統之參考。

5.7 智慧電網在中國大陸的發展及應用 (Smart Grid in China: Development and Practice)

5.7.1. 論文內容摘要:

智慧電網又可稱為電力系統的網際網路，經由強壯的網路骨幹建構其高能效特性且運用現代電網技術、控制技術、資訊技術等進行大規模電力基礎設施、分散式電源及多樣性用戶整合。智慧電網如同一強大的電力轉換平台可提供高效率的能源配置及用戶交流服務，其所代表的重要意義為第三次工業革命。近年來，中國大陸正持續進行諸多智慧電網學理及技術上相關研究並規劃完整發展佈局且制定技術標準整合策略。諸多智慧電網相關構想已被建立並放入相關的新能源整合計畫中，如分散式電源、智慧輸電系統、智慧

變電所、智慧分散網路、智慧配電系統、電動車充電及電池交換、智慧電表、電力光纖傳輸以及智慧社區等。中國大陸透過相關努力已激發智慧電網創新發展及實際運用的顯著成就。

本文彙總中國大陸在智慧電網的研究及發展，可分為五大部分：

- 中國大陸對智慧電網態度及立場。堅持電網須具備強健及靈活特性並著重於電廠、輸電線、變電所及電力消費等五個電網組成要素之協調。中國大陸所建立的資訊技術傳輸基礎，係具備自動及交流功能的超高壓電網骨幹且具有不同電壓等級之電網發展協調功能。
- 中國大陸智慧電網發展佈局。須符合以下基本條件：強健及可靠、經濟及高效、乾淨且環保、開放及透明、便利及互動等。為達此目的，智慧電網計畫被切割為六個關鍵部分，其中包含，電廠、輸電、變壓器、配電、電力消費及調度等，且此六大部分亦被放置於電力傳輸及資訊平台上。
- 中國大陸智慧電網標準化。智慧電網規範協調須仰賴電網公司並透過設備製造廠及顧客需求共同制定。目前中國大陸已針對智慧電網及超高壓電力系統草擬 363 個企業標準、145 個工業標準、66 個國家標準以及 19 個國際標準。
- 智慧電網在中國大陸的運用。目前中國大陸已建構全球最大風力及太陽能儲能設備，智慧輸電示範計畫包含 100MW 風力、40MW 太陽能及 20MW 儲能設備；建構 1000kV 的超高壓交流傳輸計畫、兩個±800kV 的直流超高壓傳輸計畫；建造 656 個智慧變電所(電壓等級包括 110 (66) kV to 750kV)；發展並使用智慧電網調度技術支援系統，其包含國、省以及縣的調度層級，另運用監控系統監控重要電源、主要輸電線路以及關鍵設備，目前中國大陸已成為全世界最大的電力消費系統包含太陽光電儲能及電池交換網路、智慧電網消費平台、1.7 億顆智慧錶計以及 383 個太陽光電儲能及電池交換工作站；另有 1.7 萬個收費連接點提供電力光纖傳輸系統予 2.7 萬個家庭使用。

- 結論及觀點。說明智慧電網的前景及未來關鍵發展方向。

本文提供有價值的參考資料予讀者獲得中國智慧電網發展概況。本文作者希望能透過分享中國大陸經驗及智慧電網在中國大陸的最新成果，進一步推展智慧電網全球廣泛運用，期能藉此滿足全球能源需求日益增加壓力，且最終確保人類文明順遂發展。

A. 中國大陸智慧電網觀點

2012年中國大陸平均每人耗電量為3,618千瓦小時(占經濟合作發展組織平均值的39%)，顯示其能源需求成長的堅定趨勢，預估至2020年中國大陸平均每人耗電量將成長至5,700千瓦小時，中國總裝置容量將達2,000GW，其中煤燃料占1,180GW，水力發電占400GW，風力發電占200GW，太陽能發電占50GW，核能發電占68GW。中國東部及中部電力需求龐大但缺乏主要供應能源，反之中國西部及南部具備豐沛的風力及太陽能等再生能源但消費有限，對此中國大陸針對需求，採行再生能源發展及消費多樣性並對長距離傳輸系統配置最適當的大型儲能設備。中國大陸為了發展智慧電網著重於再生能源整合及大型能源配置與調節，包含電廠、輸電、配電及消費等。

1. 中國大陸智慧電網計畫

目前中國大陸電網仍是脆弱的，因此智慧型電網與電網建設需同步進行(比較：台灣電網已建設完整且強壯，智慧電網起步中)。電網計畫一貫性甚為重要，包含：電網建設及智能技術的應用須符合以下基本條件，強健及可靠、經濟及高效能、乾淨且環保、開放及透明、便利及互動，為達此目的智慧電網計畫被切割為六個關鍵部分包含，電廠、輸電、變壓器、配電、電力消費及調度等且將上述部分置於電力傳輸及資訊平台上。中國大陸是全世界第一個提出全區域智慧電網發展計畫國家，依據本計畫，中國大陸智慧電網發展可分為3個時程：第一時程(2009~2010)電網計畫階段、第二時程(2011~2015)電網成長階段、第三時程(2016~2020)完成及提升階段。目前中國大陸正進行第二階段。

2. 中國大陸智慧電網標準化

目前有諸多智慧電網研究學會及設備製造商正忙於發展各類技術及功能應用，如何定義資料輸入一致性及介面整合實為迫切，為解決此一問題，中國大陸建立智慧電網合作方法，其由電網公司、相關研究學會、設備製造商以及顧客共同主導，包括技術研究、設備發展及檢驗測試、工程應用及標準化等，內容如下：

- (1) 針對智慧電網技術(顧客電能、智慧電能傳輸及轉換、可變傳輸、微電網、智慧電能消費、儲能設備、電能效率評估以及資訊安全等)建立國家能源研究(測試)中心。
- (2) 針對太陽能及大規模風力整合，建立具備完整風力機組及太陽能站測試能力之國家能源研究發展設計(測試)中心。
- (3) 促進建立 3 個新 IEC 技術委員會, TC 115-100kV 以上的高壓直流傳輸，PC 118-智慧電網使用介面以及 SC 8A-大容量再生能源機組電網整合，隨著深入研究，系統性智慧電網技術標準已被使用並草擬 363 個企業標準、145 個工業標準、66 個國家標準以及 19 個國際標準。

B. 中國大陸智慧電網運用

自 2009 年開始，中國大陸成功整合再生能源、分散能源、智慧傳輸、智慧變電所、智慧分散網路、智慧調度、電動車充電及電池交換、智慧電錶、電力光纖傳輸及智慧建築等並進行許多智慧電網試驗及相關示範計畫。

B.1 電廠

新能源推展是促進智慧電網推動的重要關鍵，但重點仍擺在風力及太陽能間歇性及隨機性之調節及整合，電網公司目前正從事一系列的風能預測及運轉控制、大規模太陽能發電整合、傳統電廠電能整合、再生能源群組控制、水力、風力、太陽能之連結控制、分散式電源、微電網整合控制以及儲能設備應用研究，中國大陸在第一階段發展中，國家風力/太陽能/儲能以及智慧輸電連接驗證計畫已完成，包含 100MW 的風力發電、40MW 的太陽能發電以及 20MW 的儲能設備。目前中國大陸已進入第二階段的新能源建構中，預計完成後將可達 670MW，自 2013 年 9 月起中國大陸作業面積的風力機組容量已達 64

千兆瓦，位居世界第一。

B.2 輸電

智能電網建設的另一重點係著重於如何提高電網傳輸能力及安全。對中國大陸而言，發展核心方向在解決特高壓電網需建設大容量電力傳輸與維持高效率的長距離輸送問題，且能兼顧即時監測和現場維修能力之提升。相關研究包含特高壓交/直流轉換、高壓直流輸電、大面積導線、鐵塔、災害預警系統、線路狀態偵測系統、直升機/無人機智慧檢測及高空傳輸技術等。近來連結中國大陸中、西部以及北部的超高壓同步電網想法已被證實可行，且目前已完成 2 個 1000kV 交流計畫及 1 個±800kV 直流計畫；另外正建構 1 個交流及 2 個直流超高壓計畫。上述所列超高壓計畫總長度達 10,000km、變電\反向裝置總容量為 100GVA。(請參考圖 25)同時其它輸電技術亦正蓬勃發展中，例如：輸電線路環保工法、線上監測系統、直升機巡視、現場維修技術、防冰以及抗風技術等。(請參考圖 25)

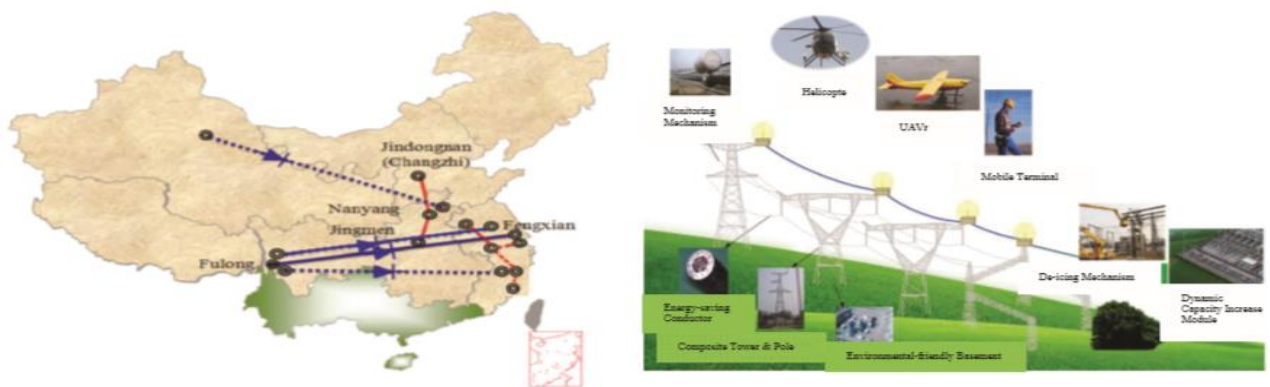


圖 25 智慧型輸電系統

B.3 變電

變電所是電力系統中的重點節點。智慧變電所扮演將整個電力系統智慧化的主要角色。故實現智能電網的當務之急須將變電所完全數位化。變電所完全數位化過程須將所有信號數位化以建立全面智慧控制與高效能管理。使用新材料及技術可強化設備並提高關鍵設備的設計規範，如變壓器和斷路器，透過整合相關感應器和智慧組件，可提升設備功能及可靠度。目前相關

研究結果已實體應用於智慧變電所數位化、控制設備與系統整合及設備故障監測與自我診斷系統中。截至 2013 年 11 月為止，中國大陸已有 656 所智慧變電所完工，其中含括 110 (66) 至 750kV 電壓等級。目前智慧變電所建置原則為低用地、低成本及高可靠度，例如一個 220kV 的 AIS 智慧變電所，其佔地較傳統變電所減少 40%，投資設備金額亦降低 20%，且故障率降低 32%。(請參考圖 26)

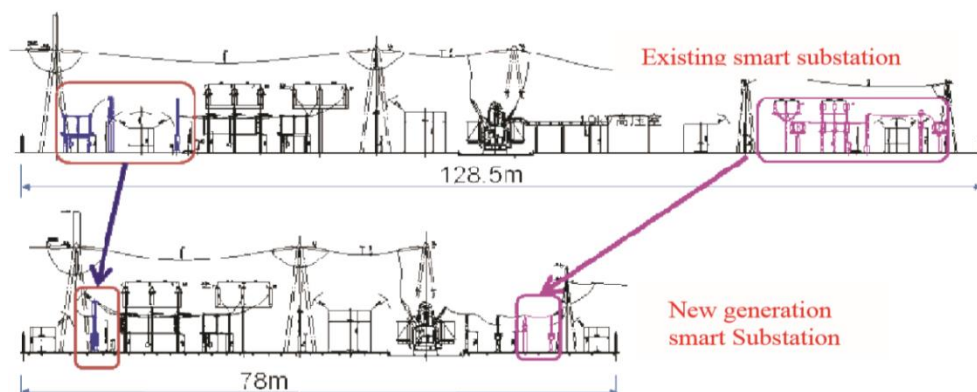


圖 26 AIS 型的智慧型變電所

B.4 配電

近年來，隨著分散式電源、微電網、太陽能以及電動車充/放電設施的普及化，配電網路架構及功能已產生巨大變化，例如現行供電方式已由雙向互動模式取代原來的單向供應輻射模式。預計中國大陸到 2020 年分散式電源將達 180GW，約佔總裝置容量的 11%。屆時全國電動汽車將達 500 萬輛。智慧配電系統可將分散式電源和微電網進行整合並提高配電網路融通性，其相關研究及實驗架構正在不斷擴充。目前相關研究及實驗架構著重於配電自動化、智能社區、市區儲能裝置、自我恢復控制系統以及維護管理等議題。與傳統配電系統相比較，智慧電網具有以下優勢：精準資訊監控、自動故障定位、迅速修復及電力恢復與綠色能源的適當協調。

B.5 消費

智慧電網消費型態的主要關鍵在於能滿足各類型客戶需求並提升對用戶的溝通能力，因此推出智慧電錶、電力消費資料收集系統、互動營銷服務、需求管理、使用側分散式電源、電動車充電及電池交換設備、電力雙向自動

計費系統、電力品質監測和 PFTTH 等。目前中國大陸已部署 1.7 億個智慧電錶，具體實現遠程自動抄表、自動儲值、智慧控制、及時消費監控、線損監測、用量排序管理且以分散式電源產出為稅率基礎進一步制定銷售價格。目前中國大陸已建置 383 個電動車充電站及電池交換站並配置了 1,7000 個充電點。另城市間的服務網也在長江三角洲及渤海灣周圍逐漸成型，其支援各類型充電及電池交換，惟運作模式仍在研擬中。電力光纜係結合光纖及電力電纜並已成熟佈建於 27,000 個家庭之中，其傳輸電力同時，可與網際網路相互連結並傳送電信訊號、無線電波及電視訊號、提供不同且多樣的額外服務、革新電網運轉模式並提供大眾更豐富、便利以及有效率的服務。

B.6 調度

調度是電網運行控制中心。現代化大型電網調度必須具備足夠的安全性、提升綠色電能使用效率及電力系統經濟調度等特性。近年來中國在國家統一調度的基礎上，已在國級、省級及縣級調度系統上，構建了新一代的智慧電網。藉由全面收集運轉訊息、網路傳輸數據、線上安全評估、精確調度決策、自動運行控制及最佳化電網設備協調等，使大型電網能夠保持其良好性能，同時實現可靠運轉、靈活協調、高效率、低成本與環保等條件。目前 SCADA / EMS 系統已被建立於省級調度系統上，包括 PMU（相量測量系統）、大部分的 500kV（含以上）發電廠，大規模風電功率預測系統、大部分的輸電線路異常氣候監測系統及大型電網模擬系統即時模擬能力等。上述系統能使調員者充分掌握電網運行狀態、運行時之周遭環境及系統成長趨勢，使管理者依據相關資訊做出正確決斷，且能在電網發生突發狀況時，即時採取適當處置措施。最後經由上述調度系統可連接不同類型電源如風能、太陽能、水力及火力等且可達成此類能源的有效運用。直到 2012 年為止，中國大陸乾淨能源的占比以為總複合能源的 29.2%。

5.7.2. 心得及建議：

中國大陸已獲得智慧電網規劃、標準化以及工程運用的關鍵進展。相關實行結果可證明智慧電網已對新能源整合、大區域電力配置、不同類型電力

消費模式、如何提升安全以及電力公司效率及乾淨能源發展等議題提供有效解決方法。

以網際網路及再生能源為特色的第三次工業革命正在全球各地發酵及萌芽。此次革命的機會及挑戰已落在中國大陸身上。對中國大陸而言，透過其智慧電網革新領導地位並加速其智慧電網建構等條件，可務實解決電網現存問題並引領第三次工業革命，智慧電網也可說是電力的網際網路。智慧電網骨幹建構於具備現代電網整合技術、控制技術、IT 技術以及大型能源基載、分散式能源與各類型用戶連結之強壯電網上。伴隨智慧電網的發展重點，中國大陸未來重心將集中於超高壓網路建構、 $\pm 1,100\text{kV}$ 超高壓直流輸電線、配合變頻站所設置新型態智慧變電所、分散式電源及微電網、負載需求管理、儲能技術、智慧城市以及智慧輸電線等。

中國大陸智慧電網發展重心在於如何將電源端到使用端的電力耗損有效減少，且強調區域電網連結及調度，並建構電源端與用戶端雙向溝通模式，力求將電力資訊透明化，此外經由資訊技術(IT)的不斷整合，可達成彼此交流的終極目標。對智慧電網而言，通訊平台的建構將是首要重點，下一步則為家庭網路與光纖佈建。台灣與大陸電網的差異在於大陸是從無到有，故可依照整體規劃進行智慧電網建設，相較台灣而言，如何在既有框架下運用先進電網技術提升電網運行可靠度，使最終達成智慧電網運行目標為當前需深入思考議題。

5.8 都市超高壓地下電纜洞道-自然通風與強制通風之彈性運用

(Flexibility of Natural/Forced Ventilated Tunnel for EHV cable Links Across Urban Environments)

本篇是說明杜拜水電局 (Dubai Electricity and Water authority) 於杜拜三處400KV變電所間建立兩條洞道，長度分別為4km及11.5km，此工程之挑戰為周圍溫度在夏季高達 50°C ，而用電尖載亦在夏季，本案通風設計系以大部分時間採自然通風，特殊情形如夏季尖載才採用強制通風，在規劃上須

受到通風井位置、大小，洞道段面積受限，景觀、噪音等限制，另較特殊者為洞道內最高溫為62°C，係以避免造成洞道內其他機電設施(如燈具、防火設備、PD測試設備等)之快速老化。

通風計算及電纜發熱量請參考該篇所述，其中電纜發熱量亦採用IEC20867因計算方式理論基礎相同，亦可採用其他公式計算自然通風時作者採用的計算參數如下；

- 外界溫度:50°C
- 土壤溫度:40°C
- 相對濕度:91% max and 18% min
- 導體最高溫:90°C
- 洞道內允許最高溫度:62°C
- 摩擦力:0.02

下圖是送電容量為2*457MVA 5 導體溫度與洞道溫度之情形

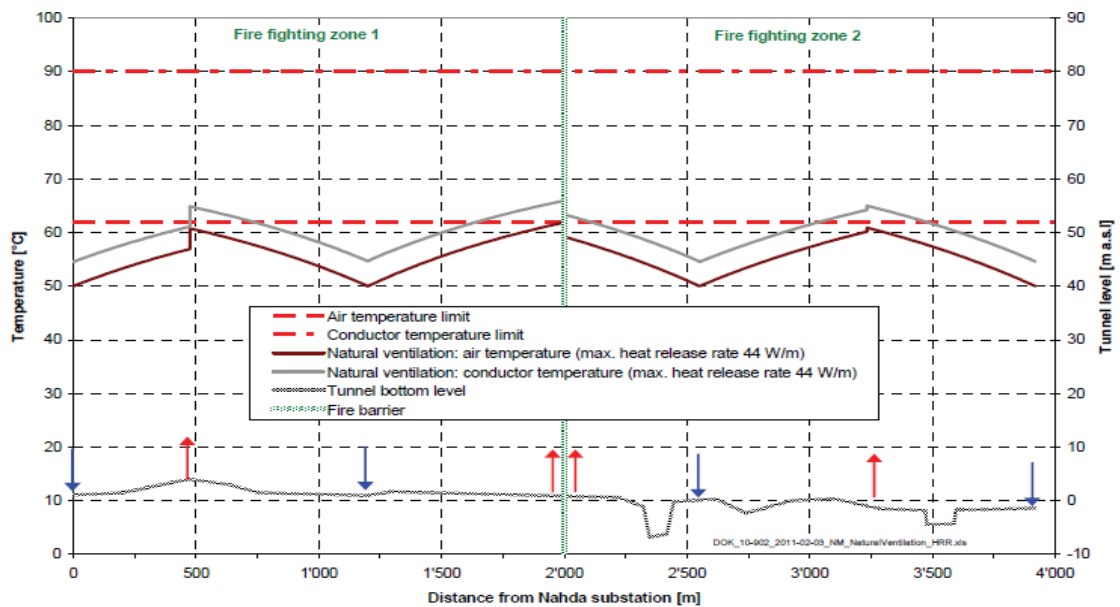


圖 27 送電容量為 2*457MVA 5 導體溫度與洞道溫度之情形

由上圖看出送電容量受限於洞道溫度62°C之規劃，如過要提高送電容量，外界周溫以50°C 計算結果如下：

- 最大送電容量：2 x 750 MVA.
- 洞道風速：0.4 m/s- 0.5 ms
- 最高洞道溫度：73°C (at exhaust shaft)
- 導體溫度：83°C

如果外界周溫降低，計算結果如下：

- 外界周溫：32°C
- 最大送電容量：2 x 750 MVA.
- 最高洞道溫度：62°C (at exhaust shaft)
- 導體溫度：71°C

經過上述試算可知，自然通風時送電容量主要不是受限於導體溫度90°C，而是限於洞道內最高溫62°C，超過62°C會造成設備如燈具、PD測試設備、防火設備損壞或快速老化造成故障，因此加裝必須加設溫度監視設施，除於洞到頂端裝設光纖外，每條電纜外被裝設偵溫光纖監控，或設備損壞。

強制通風系考慮最嚴苛情況，經過模擬計算，若外界溫度50°C，送電容量若需2 x 1500MVA，此時導體溫度為86.3°C，洞道內溫度為61.9°C，強制通風時風速將達12.6m/s，相對數據如下圖所示。

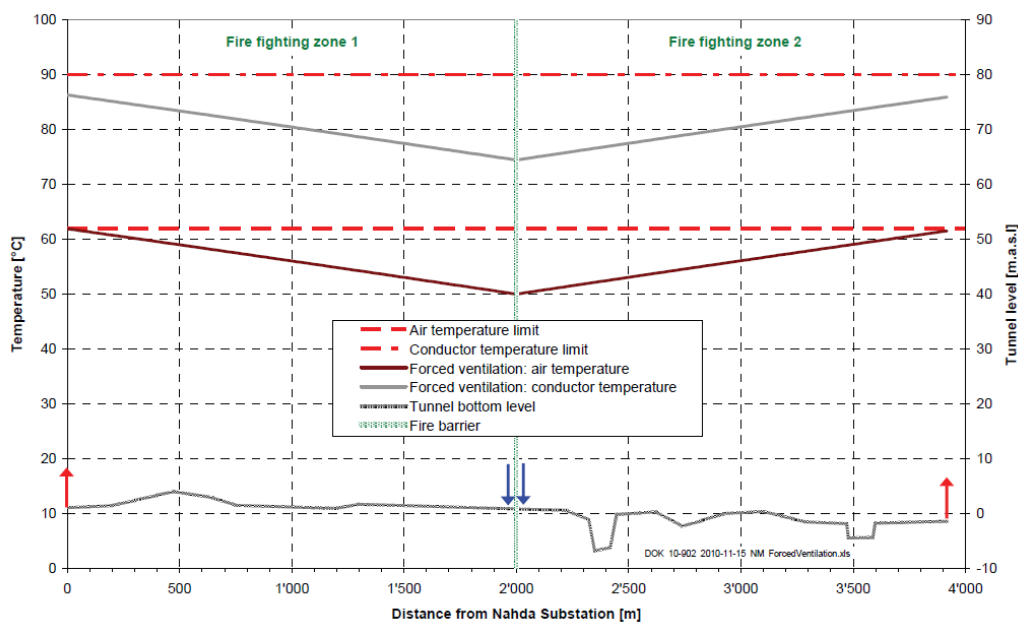


圖 28 Conductor and tunnel temperature with forced ventilation at 2*1500MVA

因強制通風只在夏季尖載情況才開動，且風速相當高，此時維護人員不能進入，即正常維護須排在冬季低載，並採自然通風情況進行。本篇可作為本公司類似通風設計工程參考事項如下：

規劃之送電容量須以實際負載計算，不宜以電纜最高容量計算，若系統已N-1規劃，並考慮正常情形時，兩回現僅各送最高容量之1/2，發熱量減半，所需冷卻設備成本可大幅降低。

通風計算需依各種環境因素，採最經濟方式規劃，目前輸工處以40°C為洞道溫度限制，可考慮提高，同時將風速上限提高，當尖載必須啟動風機時，人員不進入，可降低冷卻水冰水主機設置。

台電規劃係以不論何時均需讓維護人員進入，因而洞道溫度於38°C即啟動冷卻，造成冷卻系統投資相當大，但實際使用情形極少，為使送電容量達到預定規劃容量，可能會使洞道溫度接近容許值(杜拜水電公司為60°C，本公司為工作人員可容許溫度40°C)及強制通風風速過大造成工安虞慮等，可參考本篇建議，安排正常維護於冬季低載時執行，以降低建設成本。

若夏季發生故障必須進入搶修時，可考慮此時已停用一回，僅單一回電纜發熱量，洞道溫度會降低，則以控制洞道風速3m/s及洞道溫度40°C讓人員進入搶修。

5.9 深入探討長距離海底電纜故障點偵測

(A deeper insight in to Fault location on Long Submarine power cable)

海底電纜(以下簡稱海纜)因電力使用增加，各國為平衡電力供需及配合再生能源離岸風力發展，海纜建設數量逐年增加，加上各國間電力聯網(尤其地中海國家)使得近百公里的長距離海纜線路亦逐漸增加。長距離海纜可能佈放於深達500~1000公尺以上海床，因而發生故障後的故障點確認及修復將是一大挑戰。

據統計每條海纜平均在其生命週期至少發生一次故障，故障原因大部分

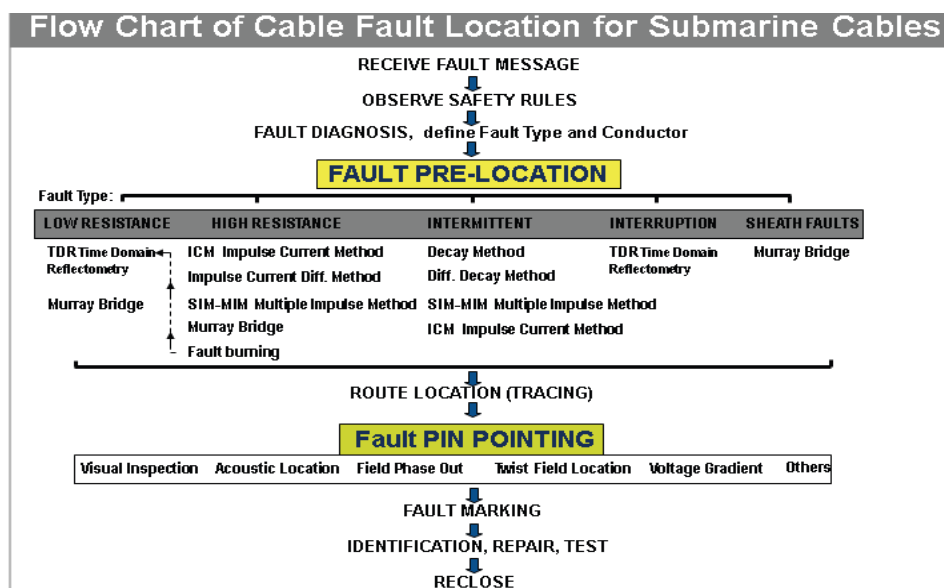
是人為造成，只有少數是自然界力量造成，(如附表9)，因為海纜修復需時很長，因而盡快找出故障點，動員船隻、技術團隊、取得許可，以減少停電造成之損失，是電力事業須預為準備工作

表 9 Submarine cable fault distribution

Cause	Pre 2007	2007 - 2008
Fishing	67%	33%
Anchors	8%	48%
Dredging	2%	0%
Other	23%	19%

本篇就各種不同故障情形列出故障發生時檢測流程，依故障情形分類採用不同檢測方法，來判定其故障點。

表 10 Flow chart of cable fault location for submarine cables [2]



上表相關測試方法另於本篇中參考資料詳述，故不於此贅述，其中low resistance type 系指海纜被船錨或拖網勾破保護層造成水滲入之外力破壞

情形，high resistance type 是絕緣層劣化的內部破壞情況，就比例而言相對少發生。

與陸地地下電纜相同，海纜各種檢測方法都用以算出故障點距離終端之長度，於陸地地下電纜有此數據後很容易確定其位置進行開挖修復，但海纜須於故障點與終端位置間長度確認後，仍無法精確地將故障點海纜直接撈至船上，必須將修復船開至故障點附近，將海纜撈至修復船上，再目視檢測確認故障點，才做修復工作

現代佈放海纜後，路徑均有精密紀錄，故障發生後修復船可根據紀錄沿海纜路徑偵測，若故障點位於淺海段，其程序是先將海纜拉至修復船上逐段以人工目視檢測確認故障點後，將船隻往回開切斷滲水不能使用之海纜，一端做接續匣(joint)與備用電纜連接，另端則做好防水後放回海床，接續匣處理好後船隻往前移動，至預訂做第2只接續匣位置將電纜撈起切斷與備用電纜接續後放回海床，通常至少需百公尺以上之備用海纜。

若故障點位於深海段，則是相當的挑戰，若未先行切斷即如淺害般將海纜撈至船上企圖檢視，必須考慮將電纜拉至修復船上張力過大，對海纜或修復船都可能產生風險，因此可用ROV於海床上將海纜切斷，以機械手臂封住海纜(若海纜為受外力破壞，業已進水，封住海纜只是避免損害況大)，再將海纜撈至修復船上檢視，因位於深海區，海纜撈至船上後，修復船需沿著海纜路徑移動船隻逐段檢視，確認故障點後，其作業與淺海段相同，但需準備之海纜數量將相對大，並須考慮放回海床之作業與原佈放方式相同，因而其需用時間人力成本等相當高。

長距離海纜故障造成之停電損失，將因低成本電力無法供應，必須改用高成本電力，對電力事業是一大負擔(類似台澎海纜情況，大部分海纜規劃設計理念均類似)，因此必須先行規畫準備修復計畫，萬一發生事故時，如何以最短期間檢測故障點、動員船隻，技術人員，準備必要之備品等，以降低損失。

本篇可供台電維護單位人員參考，了解故障點檢測程序及修復作業程序，

萬一發生事故，可與統包商共同討論檢測故障點，訂定搶修計畫，讓海纜盡快恢復運作。目前施工中台灣~澎湖間海底電纜，長度達58.8公里，深度最深約158公尺，但因海纜斷面積大，重量大，不論事故發生於淺海或深海，修復工作都相當不易，萬一事故發生於深海段，搶修更耗時，因此已於採購規範中要求統包商須做好保護措施，(如埋入海床2M、保護鑄鐵管)減少被人為破壞機率，另亦須制訂搶修計畫，備妥必要之備品，若於保固期間發生故障，統包商有義務進行修護，若事故發生在保固期後，亦可據以與修復廠商協商作業模式，盡速檢測出故障點，動員修復以降低損失。

5.10 綜合心得

5.10.1. 比利時TSO新建一條400kV架空線路之經驗

比利時TSO計畫於臨港地區新建一條400kV架空線路時，因該地區有為數極多的屬於 SEVESO classified 之石化工廠；除了對經過之重工業區環境做調查外，也對此一線路可能造成之諸多風險進行評估。例如：檢討萬一因過載失敗時，只容許鐵塔上部倒下且不得觸及地面，以確保不致影響到工廠運作。檢討萬一導線斷線時，避免造成安全距離不足與發生閃絡；因此，設計上除了採用安全係數3、雙串礙子連及增設間隔器(由一般每40m改為15m一只)。此一增設間隔器方式可作為本公司跨越高速公路、鐵路及高鐵等輸電線路，提高安全可靠考量時之設計參考。

同時提高線下高度防止導線受排氣燃燒塔(排溫達260°C、離地面30m高)之影響，另亦因為鄰近油氣管線與鐵路，有關感應電壓與電磁場均特予檢討規範。

5.10.2. 架空線路之路權及容量擴充經驗

架空線路之興建也面對相關路權(ROW; Right of Way)的取得、用地許可、法規及環境退縮等議題地挑戰，故當系統需要擴充供電容量時，如何讓效益最大，則以每公尺路權可轉換多少百萬瓦電力(MW transfer power / meter of ROW)所需成本作為最適宜之評估方式；具體作法有：在既有架空線結構

下或僅改造上部結構來提升電壓、改V吊礙子連、AC 改DC、更換特殊耐熱導體、以聚合礙子做為絕緣橫擔方式（圖29）或未來選用較佳視覺感受之聚合材質桿塔（圖30）等。本公司目前已有更換特殊耐熱導體之實際作法，至於以絕緣橫擔方式提升電壓擴充線路容量及減少桿塔用地與高度則有待進一步研究評估。

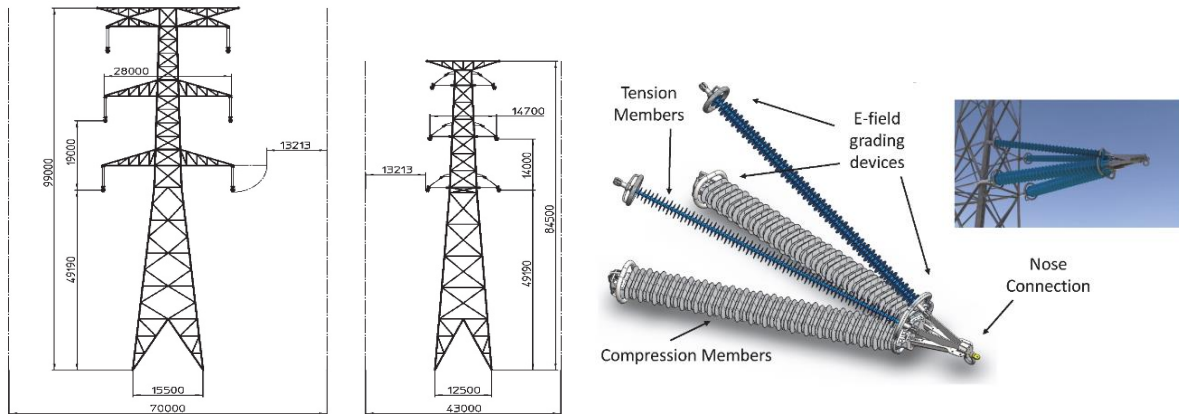


圖 29 765kV 標準鐵塔與緊密型鐵塔（左圖）絕緣橫擔構造外觀（右圖）



圖 30 鐵塔形狀改變可改善視覺感受且由原 400kV1 回線（左圖）改提升為 400kV2 回線（右圖）

5.10.3. 架空輸電線路架線弛度設計檢討及跨距計算

架空輸電線路架線弛度設計檢討：B2-202提出以懸垂鏈式、拋物線式及修正拋物線式，提供斜跨距任意點較精確之弛度值。經以本公司常用之檢討方式分析比較結果如下：

本論文提供3種斜跨距計算方法(1. 懸垂鏈式 、2. 修正拋物線式 、3. 拋

物線式)與本公司使用2種(4. TPC拋物線式、5. TPC懸垂鏈式)方法相互比較結果，可知第1種與第5種計算結果為趨近相同，所以本公司於斜跨距導線弛度計算所採取的計算方式與論文方式雷同，惟本公司所採用第4種拋物線與論文第2、3種比對後發現第4種計算式為簡易快速計算用，僅考慮拋物線方程式中之二次項而忽略一次項及常數量，造成第4種計算式結果比第3種計算結果還來得小，就其計算上快速方便性而言，其誤差仍可接受。

5.10.4. 電網遭大規模冰雪災害之預防與處理技術

電網遭大規模冰雪災害之預防與處理技術：B2-204論文提出自1998年以來相關結冰預測、結冰監測、礙子閃絡及直流融冰技術等研究報告。輸電線路冰雪害對本公司之危害，雖鮮少發生；惟全球暖化問題與天氣驟變情形屢生，因此有關電網遭大規模冰雪災害之預防與處理技術，似有必要儘早蒐集相關資訊並予以掌握。尤其是防結冰型聚合礙子（可減少90%礙子結冰閃絡率）與直流融冰技術（2008年以來執行526次成功率100%，即便數百公里長的線路亦可於90分鐘內完成）。

5.10.5. 光纖應於智慧型電網及提升電信業務競爭力

為整合再生能源電力併入電網與因應環境連續變化下之架空線路輸電容量，因此運用動態線路額定（Dynamic Line Rating）方法，適時掌控沿線導線溫度以有效提升輸電容量，近幾年來一直是重要之研究發展議題。在歐洲已有一條30km 兩回線之220kV架空線路，於最底下號線使用內建光纖導線 Optical Phase Conductor (OPPC) ，並搭配沿線分別於6座耐張塔上設置之測候站，用以隨時調校控制導線運轉容許溫度，並在保持線下高度安全範圍下適度提升輸電容量。此一作法可供本公司在檢討紓解瓶頸線路方案時之參考。其中，有關直線接續（需於跳線高處且施作較複雜）與終端元件之設計安裝、施工作業考慮等，均須事先詳予檢討規劃。

此外，另一案例為66kV線路因無法安裝架空光纖地線(OPGW)供通訊使用，現正在進行以OPPC換裝既設導線的計畫。本公司也有許多類似情形，宜檢討可行性評估，以有效解決保護與通訊通道問題；增加光纖網路建置除了可作

為智慧電網使用外，亦可提升未來電信業務之競爭力。

系統架構如下圖31。

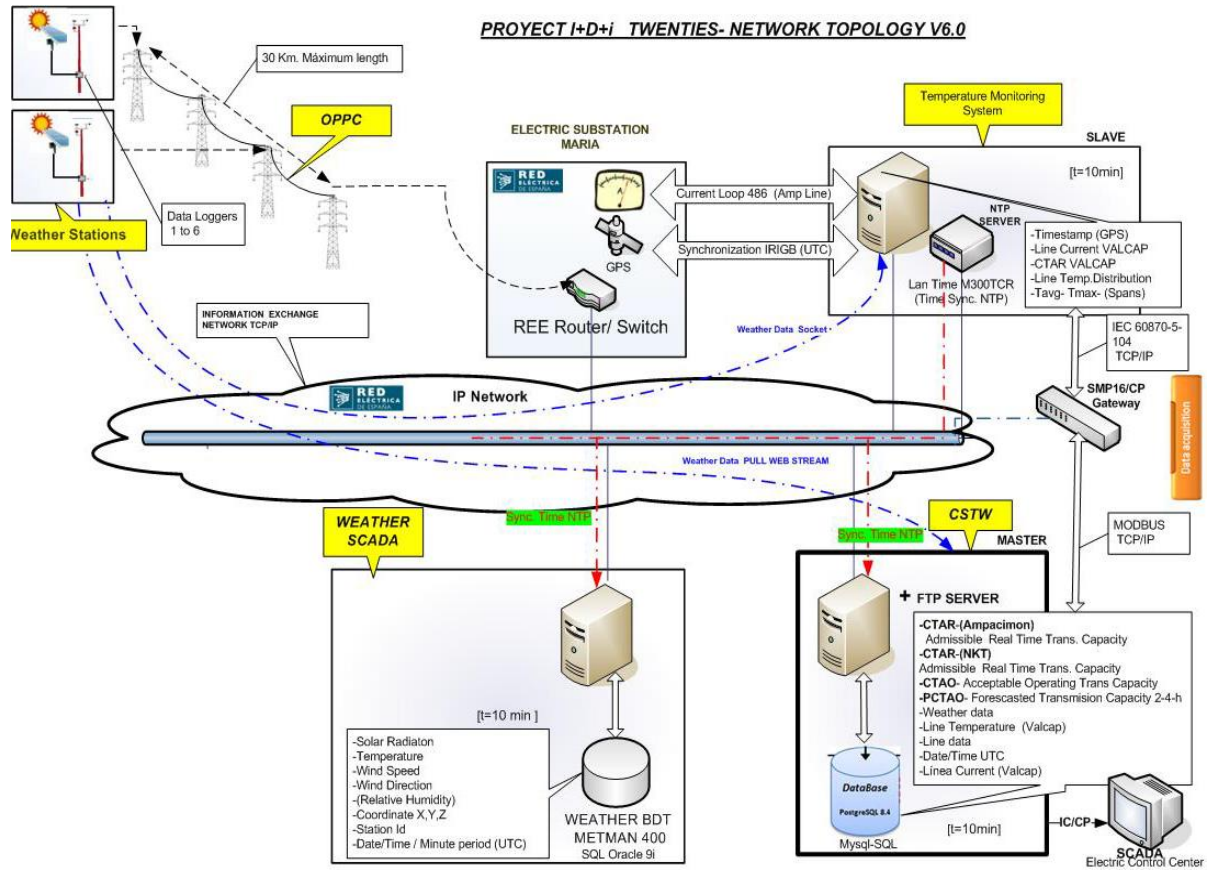


圖 31 系統架構

第 6 章 結論與建議

此次參加 CIGRE 年會，議程緊湊內容十分充實豐富。除出席開幕演說、主題論壇及大停電等共同議題之研討會外，也參加部分分組討論會，其中值得本公司相關單位參考之攜回研習成果，已依各分組分類方式整理於出國報告之中。另有關公司面臨相關議題之觀察結論與建議，摘要如下：

1. 由美國 PJM 對未來前景展望充滿不確定性，主要轉變為 1. 由大機組集中式供電轉為由小機組分散式自行供電 2. 集中式燃料組合轉為多樣化燃料組合 3. 中央電網控制轉為自主微型電網控制 4. 未來的高成長轉為未來的低成長，此未來不確定性值得本公司參考研究。
2. 透過本次會議專家報告全球歷年來電力大擾動事故及突發事件中學習之經驗教訓，了解近來極端氣候的影響各國輸配電網設備日益嚴重，未來發生大停電的風險仍大。近年來造成電力系統大停電事故的主要原因包括自然現象造成之事故、通信/控制系統故障、設計和應用錯誤造成之事故、調度員錯誤造成之事故及主設備故障造成之事故等，建議本公司建立『電力系統大擾動事故緊急應變機制』，就 1. 降低發生可能性減輕及 2. 降低大擾動的衝擊影響等兩方面，並事先做好因應方式之準備。
3. 近來輸電設備廠商利用新技術及新材料開發大容量低弛度導線。此輸電發展趨勢，不僅有助於輸電公司藉以利用原既有鐵塔抽換導線提升線路載容量，進而避免新線路之興建及線路路權交涉之困難困境。目前台電已漸漸引進超耐熱型導線提升既有 161kV 線容量，未來可應用此新技術及新材料，評估本公司原既有 345kV 超高壓南北幹線第一路鐵塔抽換合適之超耐熱導線提升線路載容量之可行性。
4. 變電所資產管理、維護、監控、可靠性與永續議題日益受到設備商及電力公司重視，其應用發展之變電所壽命週期管理系統，有助於未來變電所修護、重生、擴建、升級之掌握。目前本公司正進行評估變電所斷路器、開關設備及變電所等延壽計畫，上述變電所管理系統將可更了解現有設備狀態，並適

時進行變電所修護、重生、升級，不僅可降低主設備故障造成事故之機率且可減少新建變電所之固定資產投資。

5. 近年來我國電價一直無法合理反映成本，造成本公司財務虧損之情況，考慮本公司財務狀況，各單位應秉持公司「降低成本、創造價值」之指導原則，在確保供電安全之前題下，以利進行有效的精進作為。故建議本公司持續派員出席 CIGRE 年會參與分組討論與交流，除觀摩學習先進的電力系統新的觀念與技術、吸收全球電業趨勢外，亦可透過此交換平台分享本公司遭遇之問題及解決方案，進而提升公司的經營效率。

附錄：分組討論主題與論文

本屆年會發表論文，區分為16組進行分組討論，僅簡列各組討論主題與主要相關論文於下。

A1 旋轉電機(ROTATING ELECTRICAL MACHINES)

PS1. 旋轉電機的發展

1. 內容

- (1)在設計、製造、效率、操作、維護方面的改進及在絕緣、機器容量、冷卻的可靠性、軸承、材料的發展
- (2)機器的操作、設計和成本對客戶規範要求和電網調度員要求的影響
- (3)大型發電機擴大額定功率的新進展

2. 主要相關論文

- (1) A1-101：無載試驗下整修感應電動機的效率估計的新技術。
- (2) A1-102：有電力品質問題之高效率感應電動機的性能表現。
- (3) A1-105：取決於暫態電壓突波之同步發電機模型。
- (4) A1-110：大型火力發電機之靜態勵磁系統趨勢(用戶觀點來看)
- (5) A1-113：世界上最大的抽水蓄能水力發電廠使用之 475MVA/460MW 可調速發電機-馬達之設計和製造

PS2. 發電機設備資產壽命管理

1. 內容

- (1)整修、更換、容量增加、效率改善及對整修決策經濟評價和電網規範之影響
- (2)扭轉振盪對發電機的軸疲勞的影響
- (3)故障分析：確定根本原因和預防措施，包括機器人檢查

2. 主要相關論文

- (1)A1-202：水輪發電機預測方法的發展
- (2)A1-205：電氣設備之黑盒子

PS3. 分散式發電設備

1. 內容

- (1)設計、製造、開發、容量、發電成本及操作問題、效率、監測和診斷
- (2)故障和系統擾動對機器的設計和控制策略的影響
- (3)分散式發電機組之演變和趨勢

2. 主要相關論文

- (1)A1-301：在風能領域資產模型的挑戰

A2 變壓器 (TRANSFORMERS)

PS1. 資產管理的最佳方法

1. 內容

- (1)支援變壓器運作管理及變壓器(健康指數)的狀態評估演算之工具
- (2)電力變壓器設備的基本元件之線上監測(套管、有載分接開關)。

2. 主要相關論文

- (1)A2-101：使用健康指數和可靠性數據於變壓器狀態評估和排名
- (2)A2-102：變壓器絕緣紙事後分析及其在化學指標的關係
- (3)A2-104：電力變壓器管理 - 考慮絕緣紙壽命損失的投資規劃
- (4)A2-108：變壓器資產健康審查：它真的可用嗎？
- (5)A2-109：電力變壓器鑑識調查和故障分析的經驗
- (6)A2-111：由線上套管監測系統取得之數據解析
- (7)A2-112：東日本大地震之變壓器損壞和恢復經驗
- (8)A2-114：老化變壓器艦隊的管理。挪威的情況、研究和新措施
- (9)A2-116：變壓器的健康和風險指標，包括數據品質管理

PS2. 電力變壓器特殊應用

1. 內容

- (1)移相變壓器 (PST)
- (2)高壓直流輸電變壓器
- (3)並聯電抗器
- (4)測試/設計要求

2. 主要相關論文

- (1)A2-206：全新設計 500kV180MVA 可控並聯電抗器在 NELYM 變電站的現場經驗。
- (2)A2-207：義大利輸電網路中新的移相變壓器之設計、製造、測試和電磁暫態模型
- (3)A2-211：可變化的並聯電抗器：應用程序和系統觀點

PS3. 使用非傳統的材料和技術的現場經驗

1. 內容

- (1)新的絕緣液體和固體（維護、性能、診斷及生命週期成本）及改善繞組、鐵芯材料和技術的經驗
- (2)組件的新技術經驗：套管、分接開關和變壓器配件
- (3)高溫超導（HTS）變壓器的經驗和應用

2. 主要相關論文

- (1)A2-301：植物油變壓器監控之工廠和現場經驗
- (2)A2-302：在天然酯和礦物油中纖維素/油絕緣之老化現象
- (3)A2-304：乾式二次輸電系統變壓器：小巧、安全屋內變電站

A3 高電壓設備(HIGH VOLTAGE EQUIPMENT)

PS1. 滿足不斷變化的網絡條件的設備

1. 內容

- (1)滿足新的需求之交流和直流變電所設備
- (2)未來配電系統之設備
- (3)於設計、測試和設備模型的新要求。

2. 主要相關論文

- (1)A3-101：高壓乾式空芯電抗器
- (2) A3-105:城市 110 kV 二次輸電網路超導故障限流器優化配置和評估
- (3) A3-106:高壓直流輸電 HVDC 計量之新參考
- (4)A3-107:電容式電壓變壓器的服務診斷 - 決定 CVT 的準確性之新方法

(9)A3-109:提高安全性和可靠性要求：比流器的全新的設計和複合套管
壓力測試之經驗

(6)A3-115:特高壓和超高壓開關工作的模式及建議

PS2. 壽命管理及 T&D 設備老化

1. 內容

(1)維護、監測和設備診斷

(2)資產管理、運營責任和壓力對可靠性的影響。

2. 主要相關論文

(1)A3-202:最小油斷路器可靠性之機械操作影響

(2)A3-203:控制開關系統的長期可靠度：從二十年的發展和經驗的觀察

(3) A3-205:性能良好的氣流式高壓和中壓斷路器之延壽

(4) A3-206:羅馬尼亞與高壓設備壽命管理經驗

PS3. 極端運轉條件對 T&D 設備的影響

1. 內容

(1)環境壓力如溫度、濕度、地震、風、大雨、高度

(2)系統壓力，如短路電流、短暫過電壓、暫態恢復電壓、較高的工作電
壓

(3)操作體系

2. 主要相關論文

(1) A3-304: 基於東日本大地震之抗震設計和變電設備準則的研究

B1 絕緣電纜(INSULATED CABLES)

PS1. 新式安裝的地下電纜及海底電纜系統的技術挑戰

1. 內容

(1)設計、安裝技術、運轉

(2)環境因素

(3)計畫執行的經驗

2. 主要相關論文

- (1)B1-101:高壓地下電纜安裝 T 型接頭應用
- (2)B1-102: 330kV 交聯電纜的測試協定要求
- (3)B1-104:巴西新安裝的地下 AC 電纜系統
- (4)B1-105:德國北海整合風電的第 1 個高壓交流和高壓直流輸電(HVDC)
併聯計畫：經驗、挑戰和展望
- (5)B1-106:市區 220 kV 地下電纜輸電
- (6)B1-108: 對離岸風電電纜之電流容量最佳化
- (7)B1-111:高壓直流輸電 HVDC 電纜系統的雷電突波試驗
- (8)B1-113:丹麥和挪威間 500kV 高壓直流輸電 HVDC 之創新電纜安裝方法
- (9)B1-114: 對城市環境連結之超高壓電纜 自然/強制通風隧道的彈性

PS2. 既有 T&D 電纜系統最佳利用

1. 內容

- (1)電纜系統狀態評估及診斷試驗
- (2)電纜及其附屬設備監控趨勢
- (3)提高品質及其相關經驗
- (4)維護策略趨勢

2. 主要相關論文

- (1)B1-201:更深入了解長距離海底電力電纜的故障位置
- (2)B1-205:對電纜的符合 IEC 型式試驗局部放電和安裝測試
- (3)B1-207:在高壓地下電纜電流監控的基礎上預測性維修之 REE' s 經驗
- (4)B1-210:在地下輸電系統交互連結交流電纜之線上故障測距
- (5)B1-211:對地下電力電纜現場檢測之簡潔型線上 PD 系統的發展與應用

PS3. 絕緣電纜在未來電網展望

1. 內容

- (1) 高電壓等級電纜
- (2)電纜系統新功能展望
- (3)創新電纜形式

2. 主要相關論文

- (1)B1-301: 連接到輸電網絡之長距離交流電纜的創新加入
- (2)B1-302: 地中海互聯電網發展之特殊海底電纜挑戰
- (3)B1-305: 日本第 1 個在網內運作之 66 kV - 200 MVA 超導電纜系統
- (4)B1-308: 韓國直流交聯電纜 XLPE 發展現狀

B2 架空線(OVERHEAD LINES)

PS1. 減少新設架空線路之衝擊

1. 內容

- (1)設計、施工與運轉面(8 篇論文)
- (2)生態、竹木與野生動物管理(2 篇論文)
- (3)路徑選擇與視覺接受度(3 篇論文)
- (4)架空改地下化之設計與經驗(2 篇論文)

2. 主要相關論文

- (1)使用多回線共架降低土地使用衝擊、提高電壓等級 (UHVAC 765kV & HVDC 800kV)、使用耐高溫低弛度 (HTLS) 導線增加送電容量 (印度)
- (2)使用聚合礙子做為絕緣橫擔之設計, 發展出緊密型鐵塔可以有效減少 40% 用地、解決既設線路地上高問題及提高電壓等級 (瑞士、英國)
- (3)有效利用直升機組裝鐵塔及延線, 縮短施工時程、減少對環境地衝擊與成本(法國)
- (4)輸電線感應電壓對鄰近平行地面管線影響評估—現場計算方法與結果(埃及)
- (5)利用山脊優點保留景觀, 審慎選擇路徑保留植物與動物棲息地及以各種不同型式機具設備降低施工噪音(日本)
- (6)運用特殊的接地系統, 降低輸電鐵塔接地電阻有效防止逆閃絡發生; 另架空線路接地系統性能在轉接點處對地下電纜之衝擊 (澳洲、波士尼亞)

PS2. 可靠度與設計最佳化

1. 內容

- (1)線路最佳化 (3 篇論文)
- (2)動態額定 (2 篇論文)
- (3)礙子之維護 (2 篇論文)
- (4)災害之減緩(2 篇論文)
- (5)導線弛度之決定(1 篇論文)

2. 主要相關論文

- (1)有關兩回線 400kV 線路導線與鐵塔之最佳化選擇，該地區跨越之跨距在 1500m 到 2300m 之間，考慮鐵塔高度約 250m 及重量約 1300 公噸，致具有高比率鋼芯之高強度合金導體被作為跨越之用；而緊密型導體則因製造與尚無設計標準未被採納。
- (2)將既設導體更換為耐高溫、低弛度之導體(HTLS, High Temperature Low Sag Conductor)，大大的減少鐵塔高度(案例:跨越水庫跨距 2000m，使用 TACSR/ACS 導體，塔高由 154m 降低為 106m)，實際有效降低建設成本 15%~40%。
- (3)對經過重工業區環境之新建線路做調查與其附加價值之呈現，最後，也對此一在重工業區 (Sevesco classified)內重要線路，就足以造成對計畫財務衝擊與使其變得不切實際因素進行諸多之安全評估
- (4)利用架空導體內建光纖 (OPPC: optical phase conductor)與現場 6 座測候站，所量測到的溫度來決定線路之即時額定；以為因應在區域內之風力發電，此即時額定系統被安裝作為監控與讓電網的運轉最佳化。
- (5)以現場天氣情況之恆時等效風速轉換之導體溫度，利用作為動態線路額定系統；此整合式動態線路額定 (iDLR: integrated DLR)系統，不需運轉員干預且可自動地和即時額定執行電網分析。
- (6)使用活線或停電技術執行維護計畫，對玻璃礙子與聚合礙子所作之不同觀測與更換作業。

(7)減緩冰結災害技術與強化基礎以防制河水改道沖刷鐵塔之危害。

(8)架線弛度設計檢討：以拋物線式、雙曲線函數及修正拋物線式分析比較，提供斜跨距任意點較精確之弛度值。

PS3. 導線：安裝與長期的性能

1. 內容

(1)安裝、維護與汰換方法，包含活線作業技術、評估線路構件剩餘壽命的最新方法 (2 篇論文)

(2)新型導線之潛變與疲勞探討 (4 篇論文)

(3)新型束導體組態的機械特性(0 篇論文)

2. 主要相關論文

(1)使用錄影設備與軟體，有效檢測輸電線路架空地線發生之缺陷，如：弧點、斷股或扭曲處等。

(2)於現場一 220kV 線路上研究，不同之耐高溫低弛度導線 (HTLS)，受風速、氣溫與負載電流等之影響。

(3)耐高溫低弛度導線之潛變特性與預應力間之關係，永久性之變形與負載無相關聯，而是受導線初始永久性伸長率所致。

(4)新型束導體組態的機械特性，此次雖無論文提供，但在 CIGRE 有報導過許多論文；近期的國際性討論會上亦就一 8 束導體 UHV 線路相關電暈與 RIV 特性作研討。

B3 變電所(SUBSTATIONS)

PS1. 滿足未來需求之變電所發展

1. 內容

(1)輸電網自動化與配電變電所的整合新趨勢

(2)新電網發展對變電所設計的影響

(3)離岸變電所

(4)低費用及快速部署配電變電所

2. 主要相關論文

- (1)B3-102：基督城無效功率控制(澳大利亞，紐西蘭)
- (2)B3-104：高整合智慧型變電所新時代(中國)
- (3)B3-108：765kV 輸電系統之電網運轉經驗(印度)
- (4)B3-116：低花費及快速調度配電變電所(愛爾蘭)
- (5)B3-107：風場最佳化的關鍵參數：離岸變電站的影響
- (6)B3-110：俄羅斯使用 IEC61850 用於測量，保護和控制開關的第 1 個
110kV 數位化變電站
- (7)B3-112：現代氣體絕緣高壓開關設備設計的限制，趨勢和潛力
- (8)B3-116：低成本和快速部署的配電變電站

PS2. 變電所壽命週期管理

1. 內容

- (1)變電所修護、重生、擴建、升級
- (2)資產管理、維護、監控、可靠性與永續議題
- (3)變電所設計、安裝及運轉的風險管控

2. 主要相關論文

- (1) B3-203：設計及安裝變電所的風險管控
- (2) B3-205：確保安全維護與高系統可靠性之 AIS 變電所新知
- (3) B3-210：HV 變電所之 PD 監控系統
- (4) B3-214：HV 變電所設備壽命週期管理

B4 HVDC 與電力電子(HVDC AND POWER ELECTRONICS)

PS1. HVDC 系統與應用

1. 內容

- (1) HVDC 電網科技發展(5 篇論文)
- (2)再生資源併聯(2 篇論文)
- (3)專案計畫、環境與法規議題(4 篇論文)
- (4)專案執行與服務經驗

2. 主要相關論文

- (1)B4-101：哥倫比亞 - 巴拿馬聯絡道電子設計最佳化
- (2)B4-102：新西蘭 HVDC 極 3 專案-挑戰與新解決方案
- (3)B4-105：±1100kV UHVDC 科技研究工作
- (4)B4-102：離岸 HVDC 網路設計項目可靠度分析
- (5)B4-107：2011-2012 年在世界各地高壓直流輸電系統的可靠性調查

PS2. FACTS 設備與應用

1. 內容

- (1)再生資源整合
- (2)增加電網效能
- (3)專案計畫、環境與法規議題
- (4)專案執行與服務經驗

2. 主要相關論文

- (1) B4-202：智慧電力線路(SPL)實驗研究專案(加拿大)

PS3. 電力電子設備發展

1. 內容

- (1)再生能源發電與儲能的轉換器
- (2)直流斷路器、負載潮流控制器及事故電流限制裝置
- (3)新式半導體裝置及轉換器架構

2. 主要相關論文

- (1)B4-304：耦合 HVCD 斷路器-HVCD 系統未來解決方案
- (2)B4-305：濟州島電力系統 STATCOMs 的效果

B5 保護與自動化(PROTECTION AND AUTOMATION)

PS1. 增強通訊之新式保護及自動化方案

1. 內容

- (1)增強變電所間通訊之新方案
- (2)臨界時間應用運用同步相位數據
- (3)電力系統穩定性分析與行動計畫決策

(4)增強變電站內部通信新方案

(5)資產管理與維護

2. 主要相關論文

(1)B5-102：以電力振盪檢測為基礎增強測距電驛可靠度的一種新 PMU

(2)B5-104：變電所間 OLTC 變壓器之自動電壓控制

(3)B5-107：孤立系統偵測之改善電驛

(4)B5-114：大量再生能源 RES 之電網保護新方案

(5)B5-116：Dangjin 電廠為改善暫態穩定度之智慧型發電機特殊保護系統 (IG-SPS) 的發展

PS2. IEC61850 從利益相關者的期望

1. 內容

(1)使用者需求

(2)標準化及分析程序

(3)工程工具

(4)試驗與維護

2. 主要相關論文

(1)B5-201：IEC61850 系統技術規範之實用方案

(2)B5-204：巴西水力發電廠自動化系統之現代化

(3)B5-209：實行 IEC61850 對公營事業的遠景與挑戰

C1 系統發展與經濟(SYSTEM DEVELOPMENT AND ECONOMICS)

PS1. 透過增強資產管理方法應用，改善系統和資產的效能

1. 內容

(1)老化的基礎設施

(2)提供客戶價值

(3)高穿透率佔有率之再生能源

2. 主要相關論文

- (1) C1-101：對電力網路運作效率的全面綜合評價方法
- (2) C1-102:介紹 T&D 電力事業的資產管理效率的整合評價方法
- (3) C1-104:對配電網路資產置換和投資規劃的架構
- (4) C1-105:對老舊設施的長期替換計畫的優化資產管理方法
- (5)C1-107:在供電可靠度分析之輸電保護系統響應的考慮-案例研究
- (6) C1-109:架空線路的可靠度和壽命之預測模型

PS2. 新系統解決方案和規劃技術

1. 內容

- (1)促使再生能源高普及率的發電、負載和電網設施靈活性。
- (2)逐漸形成大電網 supergrids 或微電網 microgrid 之電力系統。
- (3)不斷變化的技術。

2. 主要相關論文

- (1)C C1-201：對再生能源 RES 供應德國到 2020 年之火力發電的靈活性
- (2)C1-203:在中國的智慧電網：發展與實行
- (3)C1-204：對 2050 年泛歐電力高速公路系統發展的方法
- (4)C1-205：大規模再生能源發電的電網整合- 在印度電力系統的初步行動
- (5) C1-206:在離岸網設計注意事項
- (6)C1-211 南非洲電力發展的策略網路架構
- (7)C1-213:未來泛歐體系統發展之創新電網影響技術的角色：GridTech 計畫

PS3. 確保在成長再生能源 RES 之輸電網路固定投資

1. 內容

- (1)對大規模再生能源 RES 發展的技術潛力
- (2)對成長再生能源 RES 更好電網整合的新規劃方法
- (3)對再生能源 RES 的發展之高壓直流輸電技術 HVDC 機會

2. 主要相關論文

- (1)C1-302:水力發電技術發展路線，到 2050 年全球水力發電加倍的途徑
- (2) C1-303:地中海電網發展的機會與解決方案
- (3)C1-304 在德國能源的轉型及投資成本的影響
- (4)C1-306 高壓直流輸電 HVDC 之經濟評估
- (5)C1-307 Crete 與大陸電網互聯的電力系統操作：穩定性研究
- (6)C1-309 整合再生能源 IPP 的策略投資空間框架
- (7)C1-310 智利電力市場之輸電投資評估

C2 系統運轉與控制(SYSTEM OPERATION AND CONTROL)

PS1. 在電力系統的運營規劃和即時運轉的管理新挑戰

1. 內容

- (1)穩定度分析、監測和控制（即電壓和頻率控制、相位角穩定性）
- (2)使用線路負載能力和動態評級
- (3)輔助服務，包括營運備用

2. 主要相關論文

- (1)C2-102 澳大利亞和新西蘭電力系統中在動態輸電線路評級的應用經驗
- (2)C2-103:增加可用網路傳輸能力之動態輸電線路評級預測解決方案的運作經驗
- (3)C2-105:法國 TSO 在波動的電力環境之工作電壓管理
- (4)C2-112:熱機械動態的 OHTL 的評級：義大利線路應用
- (5)C2-113:歐洲 TSOs 合作以增強系統安全性，再生能源和市場支持的整合
- (6)C2-116:模擬 21 世紀慧電網-消除保護和規劃之間的差距
- (7)C2-124 韓國電力系統 PMU 的應用：廣域監視和控制（WAMAC）系統

PS2. 輸電和配電相互作用之引起的運轉問題

1. 內容

- (1)輸電、配電和用戶界面

- (2)控制中心和市場操作員界面
- (3)操作人員教育和培訓
- (4)操作問題的明顯性和的認識
- (5)模型需求和數據交換
- (6)分散式發電的可控性
- (7)故障能力管理
- (8)需量反映

2. 主要相關論文

- (1)C2-202：需量反應機制和整合運作
- (2)C2-204：移相變壓器的設定協調以減少再調度發電成本
- (3)C2-210：電力系統健康指數模型概率和視覺化

C3 系統環境性能(SYSTEM ENVIRONMENTAL PERFORMANCE)

PS1. 儲能技術對環境可能影響

1. 內容

- (1)儲能技術對環境可能影響

2. 主要相關論文

- (1)C3-101：水力電廠的水庫 - 社會對巴西電力儲存的想法

PS2. 對 T&D 發展整合永續方法

1. 內容

- (1)著重在供應鏈中的一個部分
- (2)著重於整個供應鏈
- (3)描述系統的一部分，但不是部分本身而是獲得機會，允許更多的再生能源 RES 和分散式電源併入電網。

2. 主要相關論文

- (1)C3-205：RTE 可永續之變電站經驗
- (2)C3-209：支持電力系統和設備的環保意識設計之生命週期評估
- (3)在非洲一新架空線的野生動物管理

(4)在冰島的高壓輸電系統的生命週期評估

PS3. 市區附近高壓輸電資產的接受度

1. 內容

- (1)視覺衝擊
- (2)電磁場
- (3)補償或物業價值的可能損失。

2. 主要相關論文

- (1)C3-305:韓國第三條 765 kV 輸電線路建設計畫的議題
- (2)C3-306:景觀和變電站：變電站環境整合之方法指南

C4 系統技術性能(SYSTEM TECHNICAL PERFORMANCE)

PS1. 大量電力轉換器配置連接至發電技術出現後之電力系統技術性能

1. 內容

- (1)再生能源（風能和太陽光電）整合對電力品質的影響
- (2)由於風能和太陽光電大量變頻器的連接，對電力系統的穩定度和可靠度的影響
- (3)系統性能和 EMC 對高壓直流輸電 HVDC 連結及電網的影響

2. 主要相關論文

- (1) C4-101:連接到配電網之風場電壓閃爍評估和降低
- (2) C4-102:大型風電場電力品質的影響。阿根廷電力系統的經驗
- (3) C4-104:巴西電力系統新能源引起的新挑戰
- (4) C4-108:高度風力發電的條件下美國東部互聯網路的頻率響應

PS2. 雷擊性能和絕緣協調的評估之方法和技術

1. 內容

- (1)對超高壓和特高壓交流和直流線路之雷擊性能和模型評估
- (2)其他暴露結構的保護，如風力渦輪機
- (3)對超高壓和特高壓交流系統的絕緣協調，包括充足設備模型

2. 主要相關論文

- (1)C4-203: 500 kV 輸電線路用以改善可靠度和防止開關突波保護的高能量線路避雷器
- (2) C4-205: 連接 GIS 防雷擊過電壓之變壓器保護

PS3. 對電力系統技術性能分析之先進的方法、模型及工具

1. 內容

- (1)對電力系統 3 相和正序建模型、混合的 EMT 和時域有限差分法之混合工具的應用
- (2)地磁感應電流特性化及模型;
- (3)大量交流長電纜的系統性能分析，如諧波諧振可能性。

2. 主要相關論文

- (1)C4-303 : RTE 長距離 EHVAC 絕緣電纜系統的性能評估加入之經驗
- (2)C4-307: 使用 Eskom 輸電系統模型之地磁擾動的脆弱性評估應用

C5 電力市場與管制(ELECTRICITY MARKETS AND REGULATION)

PS1. 電力市場管理、市場模式和市場發展目標

1. 內容

- (1)電力市場管理、市場模式和市場發展目標

2. 主要相關論文

- (1)C5-102: 澳大利亞國家電力市場 (NEM) 的管理、政策發展和實施
- (2)C5-109: 日本跨區域經營的市場改革，完全零售自由化和輸配電部門解構

PS2. 在市場設計和操作上負載變化和能源使用之相互作用

1. 內容

- (1)在市場設計和操作上負載變化和能源使用面之相互作用

2. 主要相關論文

- (1)C5-201 : 需求下降-為澳大利亞國家電力市場的模式轉變
- (2)C5-203: 證券交易價格發展 -德國住宅用戶市場的創新定價之結果

- (3)C5-205: 在單一電力市場上促進需求面反應
- (4)C5-206: 泰國對定價結構的電價機制的效率
- (5)C5-207: 使用可用技術和 CBL 的改善在韓國電力市場需量反應資源的實現

PS3. 從電力市場的角度整合再生能源

1. 內容

- (1)電力系統對儲能的影響
- (2)電力系統對再生能源之衝擊影響
- (3)間歇式再生能源之市場設計

2. 主要相關論文

- (1)C5-302: 整合風力發電在巴西電力系統和電力市場的挑戰和措施
- (2)C5-306: 市場整合和儲能資源的最佳化，以降低從沒有程序化的再生能源 RES 的風險：義大利觀點
- (3)C5-308: 美國和歐洲對再生能源 RES 整合的市場發展演變
- (4)C5-309: 日本未來的電力市場上變動的再生能源整合到電力系統運作的影響

C6 配電系統及分散式發電

PS1. 高滲透率分散式能源資源(DER)及負載之配電網路設計

1. 內容

- (1)規劃
- (2)負載和發電機模型
- (3)配電系統運轉

2. 主要相關論文

- (1)C6-101: 魁北克電力公司配電測試線路之即時微電網控制驗證
- (2)C6-104: 具有分散式電源之配電系統性能分析
- (3)C6-105: 在配電網路規劃節點負載成長和微電網的影響

PS2. 配電網絡和分散式發電的控制和操作

1. 內容

- (1)配電網絡控制和操作的新方法
- (2)儲能和電動汽車
- (3)系統互連的需求和保護系統之無線電通信

2. 主要相關論文

- (1)C6-205：電動車整合到現有的虛擬電廠- 從燈塔計畫的經驗
- (2)C6-206: RiesLing (德國) 和 InovGrid (葡萄牙) 計畫 -為智慧電網
要求之創新硬體和軟體解決方案的試驗計畫
- (3)C6-208:主動配電系統管理
- (4)C6-211:靈活的即插即用低碳網路：為更快速更便宜的分佈式電源聯
網之開放可擴展主動網路的管理解決方案

PS3. 對輸電系統運轉之配電系統新角色和服務

1. 內容

- (1) 對輸電系統運轉之配電系統輔助服務 (論文 C6-301 和 C6-302)

2. 主要相關論文

- (1)C6-301: Nice 電網計畫：透過先進的網絡管理使用分佈式能源以減少
電力需求
- (2)C6-302: 配電系統運營之無效功率提供

D1 材料及新興技術

PS1. 直流電壓下的電氣絕緣系統

1 內容

- (1)材料特性。
- (2)空間和表面電荷與電位分佈。
- (3)長期性能。

2. 主要相關論文

- (1)D1-104：對下一代高壓直流輸電 HVDC 候選材料系統的特點

PS2. 新興測試技術和診斷工具

1. 內容

- (1) 充油設備的絕緣診斷
- (2) 電力電纜水樹現象退化的診斷
- (3) 特高壓變電設備之測試程序
- (4) 高壓脈衝波形評估
- (5) 對局部放電的診斷和資產管理的新層面
- (6) 大氣、高度改正及惡劣條件

2. 主要相關論文

- (1) D1-209：在高壓網路中使用無線局部放電儀之測試程序

PS3. 新材料的應用潛力及屬性

1. 內容

- (1) 現場分級的材料
- (2) 環保材料。
- (3) 超導材料。

2. 主要相關論文

- (1) D1-307：高壓 GIS 的環保型固體絕緣

D2 資訊系統與通訊

PS1. 分散式能源之信息和通信技術

1. 內容

- (1) 控制，監視和安全的設備。
- (2) 使用現有的標準，相互操作性和網路安全議題。
- (3) 操作條件，EMF，安裝和維護的議題。

2. 主要相關論文

- (1) D2-101：智慧電網網路安全狀態評估方法的實行與研究
- (2) D2-107：未來智能電錶和儀表數據管理
- (3) D2-108：歐洲能源市場對電力的電子數據交換網路服務運用

PS2. 在逐步發展的環境中維護運營 IT 的可靠度

1. 內容

- (1)應用於電力系統運作和災難恢復之虛擬化。
- (2)雲端服務的可用性和安全性。
- (3)在資訊科技 IT 管理，實施和經驗上作業系統的影響。

2. 主要相關論文

- (1) D2-201：日本電力公司的資訊科技 IT 平台

PS3. 在管理電業之通信網路發展趨勢.

1. 內容

- (1)智慧電網通信網路和服務管理。
- (2)營運支援系統的演進。
- (3)通訊和管理系統的安全性。

2. 主要相關論文

- (1)D2-307：透過整合 SCADA 系統的智慧電網網路
- (2)D2-308：對智慧電網配置之電信網路
- (3)D2-310：日本電力公司之通信網路趨勢