

出國報告(出國類別：考察)

## 智慧電網與自動電壓控制技術

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：石連柱 主管特殊保護

派赴國家：大陸

出國期間：99年12月20日至25日

報告日期：100年1月10日

## 出國報告審核表

出國報告名稱：智慧電網與自動電壓控制技術		
出國人姓名(2人以上,以1人為代表)	職稱	服務單位
石連柱	主管特殊保護	電力調度處
出國類別	<input checked="" type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他_____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	
出國期間：99年12月20日至99年12月25日		報告繳交日期：100年1月10日
出國計畫主辦機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input type="checkbox"/> 2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」) <input type="checkbox"/> 3.無抄襲相關出國報告 <input type="checkbox"/> 4.內容充實完備. <input type="checkbox"/> 5.建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 6.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 7.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 8.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 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <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"/> 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"/> 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"/> 其他_____ <input type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式:	

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「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

報告人		審核人	單位 主管	主管處 主管	總經理 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：智慧電網與自動電壓控制技術

頁數 53 含附件  是  否

出國計畫主辦機關／聯絡人／電話：臺灣電力公司／陳德隆／02-23667685

出國人員姓名／服務機關／單位／職稱／電話：

石連柱	台灣電力公司	電力調度處	主管特殊保護	02-2366-8536
-----	--------	-------	--------	--------------

出國類別： 1.考察  2.進修  3.研究  4.實習  5.其他：

出國期間：99 年 12 月 20 日至 99 年 12 月 25 日 出國地區：大陸

報告日期：100 年 1 月 10 日

分類號／目

關鍵詞：智慧電網(Smart Grid)、自動電壓控制(AVC)、培訓仿真系統(DTS)、  
動穩安全預警系統、聯合反事故演習。

內容摘要：

自動電壓控制(AVC)為智慧電網中一項重要主題，目前已有義大利、法國及中國等國家發展出相關技術並應用於電網上，其中由北京清華大學電機系發展之自動電壓控技術除在中國大陸被廣為使用外，在與法國、義大利等國技術方案的競爭中勝出，被美國最大電網公司 PJM 選擇做為其電網自動電壓控制的應用技術，並自 2008 年 3 月起進行兩階段的合作計畫。本報告介紹大陸國家與華北電網自動電壓控制與電力調度的應用情形，以及北京清華大學自動電壓控制技術的發展情形，並介紹北京清大高科系統控制有限公司在自動電壓控制與調度員培訓仿真系統的發展現況，以為本公司日後發展智慧電網與設置自動電壓控制設備時之參考。

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

# 智慧電網與自動電壓控制技術

## 目 錄

	<u>頁次</u>
壹、出國目的 .....	1
貳、出國行程 .....	2
參、大陸國網智慧電網應用與相關電力調度現況介紹 .....	2
肆、大陸華北電網自動電壓控制應用與相關電力調度現況介紹 .....	6
伍、北京清華大學電機系自動電壓控制技術與應用介紹	11
陸、北京清大高科系統控制有限公司有關 AVC 與 DTS 發展介紹.	18
柒、心得與建議 .....	24

# 智慧電網與自動電壓控制技術

## 壹、出國目的

傳統上電壓係經由電廠或變電所以分散方式控制。地區性的電壓控制設備例如電廠的 AVR，缺乏廣域的協調與最佳化調整。近年，廣域的自動電壓控(AVC)已經在某些電力系統中開發與安裝使用。當電力系統遇到異常負載變動時，精密的自動電壓控(AVC)可以有效的將穩態電壓維持在預設範圍內，同時自動電壓控(AVC)系統亦具有降低輸電損失，提昇系統無效電力備用容量與改善事故前與事故後系統安全之可能性。

自動電壓控制(AVC)為智慧電網中一項重要主題，目前已有義大利、法國及中國等國家發展出相關技術並應用於電網上，其中由北京清華大學電機系發展之自動電壓控制技術除在中國大陸被廣為使用外，在與法國、義大利等國技術方案的競爭中勝出，被美國最大電網公司 PJM 選擇做為其電網自動電壓控制的應用技術，並自 2008 年 3 月起進行兩階段的合作計畫。

本公司發展中之智慧電網將自動電壓控制列為其中一項重要工作，故派員考察清華大學及大陸國家電網及華北電網電力調度中心有關智慧電網下自動電壓控制技術之發展與應用，以助本公司日後設置自動電壓控制設備時之參考與規劃。

## 貳、出國行程

本出國計畫，自 99 年 12 月 20 日起，至 99 年 12 月 25 日止，詳細行程如下表所示。

日期	起訖地點	工作紀要
99.12.20	台北－北京	往程

99.12.21	北京清華大學	交流本公司智慧電網之發展與考察電壓自動控制技術
99.12.22	1.華北電力調度通信中心 2.清大高科系統	1.考察電壓自動控制技術之應用現況 2. 考察電壓自動控制與調度員培訓仿真系統技術
99.12.23	大陸國家電力調度通信中心	考察電力調度與電壓自動控制技術之應用現況
99.12.24	北京清華大學	考察電壓自動控制技術
99.12.25	北京—台北	返程

### 叁、大陸國網智慧電網應用與相關電力調度現況介紹

2002年3月，大陸依據《電力體制改革方案》，將原國家電力公司管理的資產根據其屬性，將發電與電網業務分開(「廠網分離」)，並進行資產重組，成立了國家電網、南方電網兩個電網公司。南方電網負責廣東、海南、雲南、貴州、廣西區域的電網業務，國家電網則負責其他區域的電網業務。各發電廠被劃歸新成立的國電、中電投、華電、華能、大唐所有。並建立電力監管委員會作為監督單位。

大陸電網之電力調度區分為5級，分別是國家級、區域級、省級、市級及地區級。國家級有國家電網公司及南方電網公司兩家。國家電網下有五個區域級電網公司及26家省、直轄市自治區電力公司。區域級電網公司分別是華北電網公司、華中電網公司、華東電網公司、東北電網公司與西北電網公司，俗稱三華二北。電力調度方面，大陸電

網調度機構亦分爲五級，即國家電力調度通信中心（簡稱國調），東北、華北、西北、華東、華中電網和南方電網的電力調度通信中心（簡稱網調），各省級電力調度通信中心（簡稱省調），各省轄市或地區電力調度中心（簡稱地調），縣級電力調度中心（簡稱縣調）。在國家級電網部分，此次前往考察的是位於國家電網公司內的國家電力調度通信中心(簡稱國調或國調中心)，其相當於本公司電力調度處之組織。

本次考察係由清華大學電機系孫宏斌教授協調國調中心的余軍副主任後安排前往，國調中心安排了自動化處的陶副處長與調度運行處的張博士與我們進行交流。以下爲本次考察交流之議題與內容。

#### ◆ 國調中心組織架構：

國調中心下設主任與副主任，管轄 10 個處，各處職掌如下：

- 調度運行處：有關電網電度之值班工作。
- 調度計畫處：有關電力計畫與檢修之審查
- 系統運行處：日、月、年之電力調度規劃。
- 繼電保護處：有關電驛保護之專業工作與管理，及下級電驛保護之運行。
- 自動化處：調度系統，電能管理系統與調度模擬系統之規劃與運轉。
- 通信處：有關通信方面的專業工作。
- 燃料處：有關電力燃料管理與統計工作。
- 技術處：有關網路安全等工作。
- 綜合處：有關事務方面的工作
- 水電及新能源處：有關直接調度之水電廠與新設能源之規劃等工作。

#### ◆ 國調中心調度範圍：

國調中心負責各區域電網間的 500kV 與 1000kV 幹線調度，包括東北-華北聯網系統、華北-華中聯網系統、華中-華東直流聯網系統、華中-西北聯網系統、國

網-南方直流聯網系統，以及直接調度的重要電廠等。目前整個系統 200kV 以上約有 1 萬 4 千個匯流排(Bus)。

#### ◆ 智慧電網中有關 PMU 之應用：

國調中心管轄的區域電網中，500kV 以上的電廠及變電站大部分已裝設 PMU 設備。其中，華北與華中區域電網規定 500kV 以上的電廠及變電站均裝設 PMU 設備。其主要用途如下：

- 系統擾動(包含事故)時之監視與事後分析
- 即時系統阻尼之計算與顯示
- 發電機組參數之辨識
- 電力系統穩定器(PSS)之參數分析
- 提供預警功能

大陸電網因部分電力需經長距離由西部往東部輸送，因此存在有低頻震盪問題，故電廠普遍裝設有電力系統穩定器(PSS)，PMU 的裝設有助於監視系統組尼之變化與提供預警功能。

#### ◆ 智慧電網之基礎建設：

為使電網訊息與資料可以迅速的交換，大陸智慧電網的通信建構方面，100kV 以上系統與設備要求以光纖做為通信線，目前 500kV 以上設備均已完成光纖佈線工程。

#### ◆ 智慧電網中的電能管理系統(EMS)

早期大陸電力調度所使用的電能管理系統，供應商主要來自美國，例如西屋、ABB、Areva 與 SIEMENS 等公司發展的平台，1983 年後即著手自製，1997 年由電網自動化研究所開發的 CC-2000 EMS 系統先後在國家電力調度通信中心、南方電網、東北電網、華北電網、遼寧省、黑龍江省、甘肅省、貴州省、內蒙、天津、北京等 70 餘個電力調度中心投入使用。為使各電網間的圖資可以共享，1999 年後大陸更全面投入共同資訊模組(CIM, Common Interface Model)的發展，經多年的研發，目前大陸各電網的電能管



理系統平台均可以讀取其他電網的圖資，原因即是他們均使用 CIM 的圖資介面。目前國調中心正在進行一項圖資集中顯示的試驗，完成後，在國調中心的調度台，調度員可以調閱任何一個下級調度中心的圖資，將之顯示在眼前的螢幕上。平常，每半年各調度中心會進行圖資導出演練，測試各調度中心圖資能否為其他調度中心所使用。國調中心目前只有一個調度中心，無備援或另一個同步運轉中心。應用軟體部分大都使用大陸電科院等單位發展的軟體。

#### ◆ 調度值班編制與運行

國調中心的值班人員共有 5 班，每天 3 班輪值。為了讓後勤幕僚人員可以更貼近與了解現場作業，目前白天班安排有 8 人值班，晚上才減為 3 人。調度台可容納 15 人同時值班。職級方面，有正值、副值與三值之分。新進人員經 1 年培訓之後擔當三值之工作。調度中心每周進行一次事故演練，每月有期中安全培訓，每年與下級調度中心有 2~3 次的聯合反事故演習。訓練方面，各調度中心每年安排一人集中進行一個月的培訓。

#### ◆ SVC 與 STATCOM 的使用

目前國調下的電網在 500kV 部分安裝有 10 幾個 SVC，STATCOM 則是有數個使用在 110/220kV 系統。

#### ◆ 嶄新的調度室

整個國調中心在 2009 年進行一項改建工程，將原有的調度室進行擴建，調度員前面的螢幕全面使用更換為背投式的 VPS 顯示器，投射其管轄的 500kV 以上電網圖連線圖。左右兩邊，各有一個由 40 個大型 LED 顯示器所組成的顯示牆，用以顯示各項監控資訊，包括負載曲線圖、現場鐵塔與變壓器的監視畫面、電壓與頻率等指標等，因不允許拍攝，故無法附在本報告中。每個人的桌面上，共有 6 個顯示器分上下兩層擺設。

#### ◆ 輸電線路之復閉使用

目前國網管轄下的輸電線路裝設有復閉功能，但只有 1+3 之復閉，沒有使用多

相復閉，同時也僅允許單相復閉，不允許多相復閉。

#### ◆ 線路損失

大陸各級電網每年都訂有線路損失改善目標，但因為是由其他部門負責訂定，因此在此次考察中無法得知是如何訂定的。

## 肆、大陸華北電網自動電壓控制應用與相關電力調度現況介紹

華北電網公司是大陸國家電網公司下的一個區域電網公司，為一跨省（自治區、直轄市）之電網公司，由京津唐電網、河北省南部電網（簡稱河北南網）、山西省電網（簡稱山西電網）、山東省電網和內蒙古自治區西部電網（簡稱蒙西電網）組成。裝置容量約 200GW，夏季尖峰約 153GW。系統電廠以燃煤為主，無核能電廠。此次前往考察的是位於華北電網公司內的電力調度通信中心。當日華北電網的電力調度通信中心由系統處的許處長及其主辦賈小姐擔任主接待，並有調度運行處處長與自動化處及保護處各一位博士級專家參加討論與交流。華北電網是大陸電網中裝設有自動電壓控制設備的區域電網之一，本次考察交流內容以自動電壓控制與相關電力調度運轉內容為主，詳下：

#### ◆ 組織架構

華北電網的電力調度通信中心下設主任與副主任，管轄 10 個處，各處職掌如下：

- 調度運行處：有關電網電度之值班工作。
- 計畫處：有關發電與輸電檢修之審查
- 系統運行處：日、月、年之電力調度規劃。
- 繼電保護處：有關電驛與特殊保護之專業工作與管理。
- 自動化處：電能管理系統、資控與調度模擬系統之規劃與運轉。
- 技術處：有關行政與文書方面之工作。
- 綜合處：有關後勤事務方面的工作。

#### ◆ 自動電壓控制

目前 500kV 以上之電廠(10 所)與變電站(21 所)均裝有自動電壓控制設備，並可與 220kV 以下之省市級電網進行協調。華北電網的電源主要來自內蒙與山西，因此有西電東送之情況，2008 年底連接華北與華中的 1000kV 特高壓輸電線也納入自動電壓控制中。自動電壓控制設備由北京清大高科系統控制有限公司承辦。與會之許處長表示，自動電壓控制設備投入運行後的效益與優點如下：

- 現場值班人員之工作量負擔減輕許多
- 電壓品質提高
- 無效電力的分佈獲得優化
- 無效電力的保留裕度得以存在電廠中
- 有利暫態穩定度
- 電廠的進相運轉得以自動化控制
- 增加電壓控制之裕度

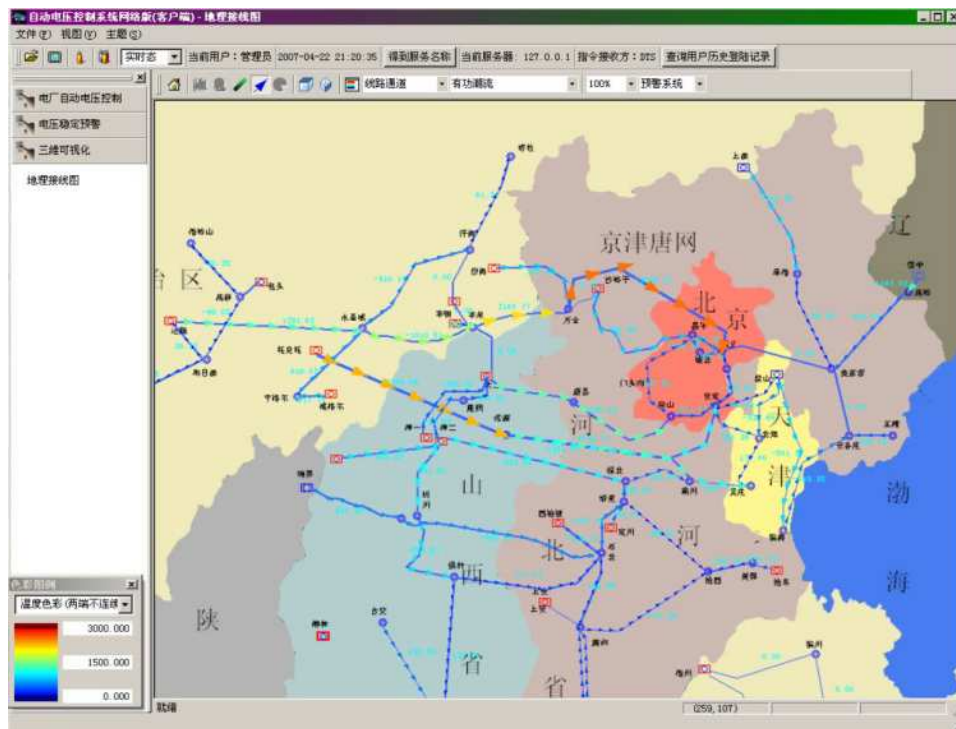


圖 1、華北電網自動電壓控制監控圖

#### ◆ 運轉規劃準則

大陸電網的安全穩定準則共分三級，詳下：

**第一級標準：**保持穩定運行和電網的正常供電；

**第二級標準：**保持穩定運行，但允許損失部分負荷；

**第三級標準：**當系統不能保持穩定運行時，必須防止系統崩潰並儘量減少負荷損失。

➤ **第一級安全穩定標準**

正常運行方式下的電力系統受到下述單一元件故障擾動後，保護、開關及復閉正確動作，不採取穩定控制措施，必須保持電力系統穩定運行和電網的正常供電，其它元件不超過規定的事故過負荷能力，不發生連鎖跳脫。

a.任何線路單相暫態接地故障復閉成功；

b.同級電壓的雙回或多回線和環網，任一回線單相永久故障復閉不成功及無故障三相斷開不復閉；

c.同級電壓的雙回或多回線和環網，任一回線三相故障斷開不復閉；

d.任一發電機跳閘或失磁；

e.受端系統任一變壓器故障退出運行；

f.任一大負荷突然變化；

g.任一交流聯絡線故障或無故障斷開不復閉；

h.直流輸電線路單極故障。

但對於發電廠的交流送出線路三相故障，發電廠的直流送出線路單極故障，兩級電壓的電磁環網中單回高一級電壓線路故障或無故障斷開，必要時可採用切機或快速降低發電機組出力的措施。

➤ **第二級安全穩定標準**

正常運行方式下的電力系統受到下述較嚴重的故障擾動後，保護、開關及復閉正確動作，應能保持穩定運行，必要時允許採取切機和切負荷等穩定控制措施。

a.單回線單相永久性故障復閉不成功及無故障三相斷開不復閉；

- b.任一段母線故障；
- c.同杆並架雙回線的異名兩相同時發生單相接地故障復閉不成功，雙回線三相同時跳開；
- d.直流輸電線路雙極故障。

➤ **第三級安全穩定標準**

電力系統因下列情況導致穩定破壞時，必須採取措施，防止系統崩潰，避免造成長時間大面積停電和對最重要用戶(包括廠用電)的災害性停電，使負荷損失盡可能減少到最小，電力系統應儘快恢復正常運行。

- a.故障時開關拒動；
- b.故障時繼電保護、自動裝置誤動或拒動；
- d.自動調節裝置失靈；
- e.多重故障；
- f.失去大容量發電廠；
- g.其他偶然因素。

在第二級時允許特殊保護動作。規劃檢討時做 N-2 分析，如有檢修停線，也做 N-2 之分析。

◆ **事故分析準則**

大陸電網之頻率為 50Hz，做安全分析時，500kV 以上線路，近端事故允許最長 0.09 秒(相當 50Hz 的 4.5 週波)清除故障，遠端事故允許最長 0.1 秒(相當 50Hz 的 5 週波)清除故障。200kV 線路，近端事故允許最長 0.12 秒清除故障，遠端事故允許最長 0.15 秒清除故障。

◆ **特殊保護設備**

華北電網目前約裝有 10 套特殊保護設備，其主站的動作時間為 0.25 秒，子站的動作時間為 0.3 秒。相關資訊未直接連到調度中心進行監視。硬體方面沒有多重模組的安全決策機制，也沒有防止誤動作的 fail-safe 機制。

◆ **調度值班編制**

華北電網之調度值班需取得證照，編制上共有 5 班，每班 3 人，每一值為 8 小時，調度人員值班 3 天後休息 2 天。但因為人員少，無法進行培訓工作。

#### ◆ PMU 之應用

華北電網目前大量裝設 PMU，500kV 以上電廠與變電站的 PMU 總量為 186 套。主要應用在計算系統阻尼，故事後分析與發電機組參數之線上驗證。調度員前方之大型監視螢幕上有一區塊特別做為 PMU 相關資訊之顯示。資料傳輸方面，每 10 毫秒傳回一次即時資料。主站部分由國資的四方公司負責承辦，電廠與變電站則由一般公司承辦。

#### ◆ 電能管理系統

華北電網所使用的電能管理系統是一套綜合系統，SCADA/EMS 部分採用大陸自製之 CC-2000 系統，市場競價制度及地理圖資部分使用美商 Areva 的 E-Terra 系統。電力潮流與穩定度分析使用美國 BPA 電力潮流的修改版。

#### ◆ 聯合反事故演習

聯合反事故演習是大陸電網一項例行且極為重要的事故演練，由各個電網聯合舉行。由於大陸電網使用統一的 SCADA/EMS 平台以及共通的圖資模型系統 (CIM)，並且使用一套 EMS/DTS 的調度仿真系統，因此各電網系統可以同時舉行反事故演習。通常每個月、重大節日級 7、8、9 月系統間尖峰前會舉行此類的聯合事故演習。演練內容，包括線路跳脫後之復電，及高低頻等電驛動作之模擬。

#### ◆ 線路與機組參數之測試

大陸電網的線路及機組參數的測試均由國家電力科學研究院下的一個子公司進行。發電機組廠家在交貨前只提供設計值，交貨後電科院由進行測試。由於大陸的發電廠均為大陸廠家製造，因此規範上較統一，同時可以提供一致的數學模型供電網分析之使用。

#### ◆ 風力發展的最大量

大陸目前正極力發展風力，以華北電網而言，預估最多可允許 40% 的佔比，否

則無法提供足夠的備源電力，同時以燃煤機組做為風力短缺時的主要備源。

## 伍、北京清華大學電機系自動電壓控制技術與應用介紹

北京清華大學有關智慧電網下電力系統調度自動化相關技術的發展主要由其『電機工程與電子技術系』下的『電力系統調度自動化』研究團隊主導，該團隊由 2 位教授，1 位副教授及 1 位助理教授帶領 25 位博碩士生所組成。

北京清華大學電機系的電力系統調度自動化研究團隊從 1986 年大陸四大電網引進電網調度自動化後，即開始就專注於電網調度自動化領域方面的技術研發，至今已有 20 多年歷史，其主要研究包括自動電壓控制技術與調度員培訓仿真系統(DTS)之開發，其中有關於自動電壓控制技術發表有數十篇具有代表性的論文。在原有調度自動化 EMS/DTS 基礎上，開發成功的電網電能管理和培訓模擬一體化系統（EMS/DTS）等應用技術。

### 自動電壓控制技術

傳統上電壓係由中央方式向下控制電廠或變電所的電壓，區域間缺乏無效電力的協調，導致無效電力的應用無法達到最佳的優化與預留，以因應突發事故，甚至有無效電力過多或短缺的問題，進而影響線路損失、經濟調度與傳輸能力。

清華大學電力系統調度自動化研究團隊所發展出來的自動電壓控制採用所謂的軟性可調區域方式(Adaptive Zone)對電壓進行控制，設備的應用上只需中央電壓控制中心，勿需再設二次電壓控制中心，可減少設備的投資。

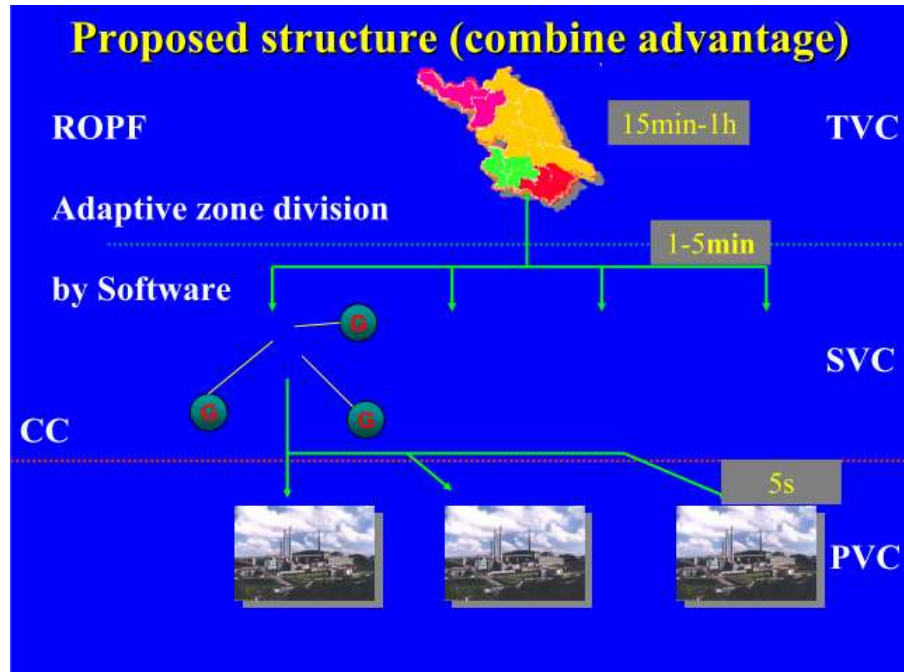


圖 2、自動電壓控制架構圖

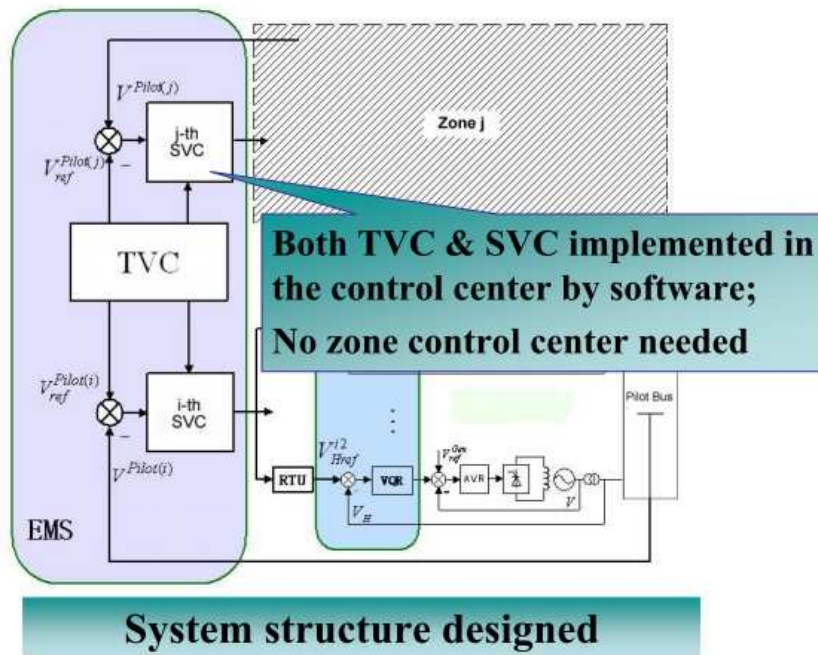
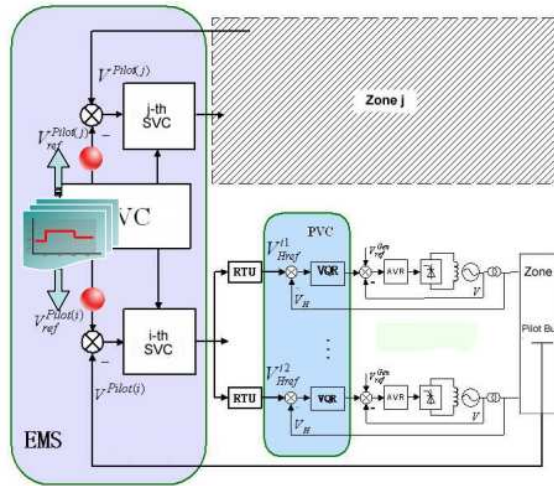


圖 3、自動電壓控制設計概念圖

此一自動電壓控制針對狀態估測(SE)後可能發生的不正確資料與最佳電力潮流(OPF)所可發生不收斂問題亦提出解決辦法。





**If OPF not work well, setpoint curves for pilot buses gained in previous similar days can be used as backup**

圖 4、最佳電力潮流(OPF)不收斂則採先前之資料做為控制

自動電壓控制的結果亦可與經濟、品質及安全取得協調，使電壓控制更符合調度原則與需求。

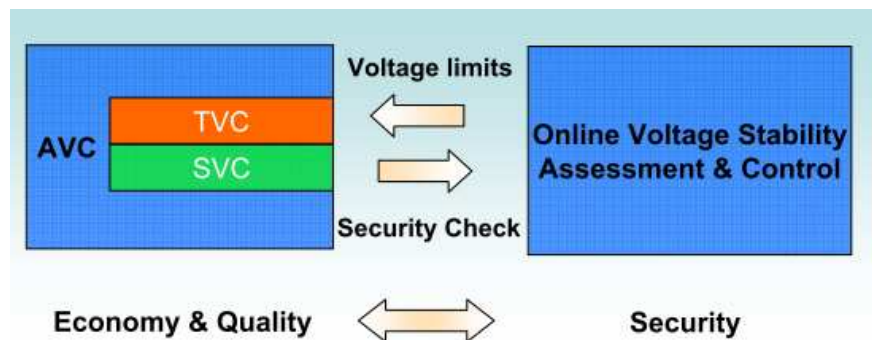


圖 5、自動電壓控制與經濟、品質及安全間取得協調

整個自動電壓控制亦提供線上電壓穩定度之評估功能，成為一多面向的線上應用軟體。

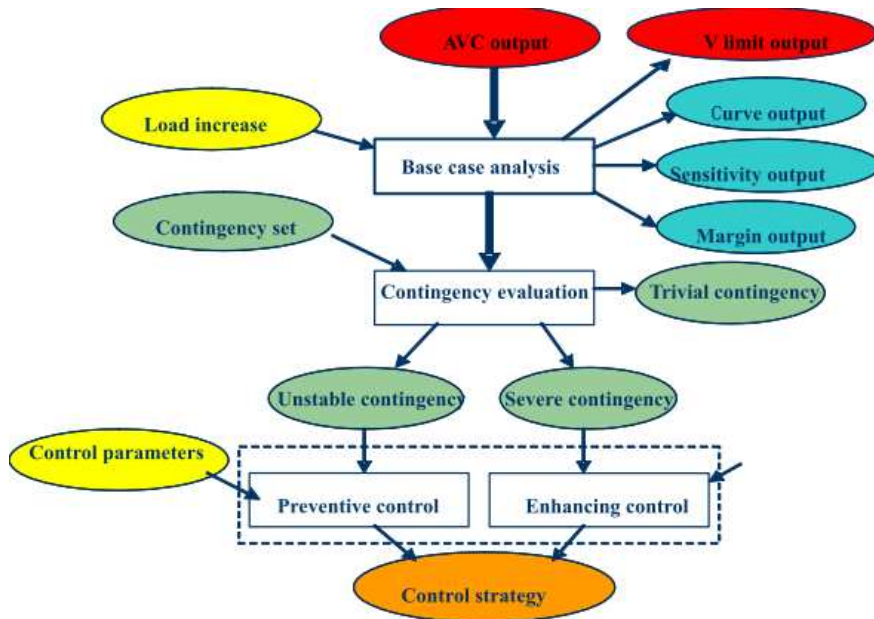


圖 6、線上電壓穩定度評估功能圖

在控制機制方面，亦提供電容/電抗步階式控制與電廠連續式控制間的協調，執行上以電容/電抗步階式控制為優先考量與粗調，最後再進行電廠連續式控制，此法讓電廠連續性的電壓調控可以做為事故與緊急時的快速調變，有效應用電廠的無效電力調控能力。

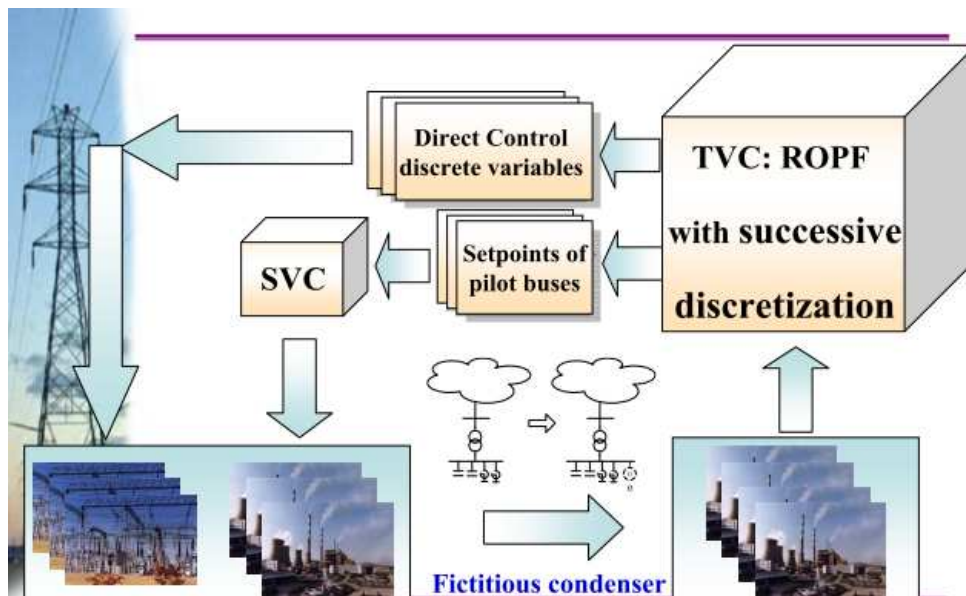


圖 7、步階式電壓控制設備與連續性電壓控制設備間的協調圖

有效降低線路損失爲此套自動電壓控制的主要效益之一。

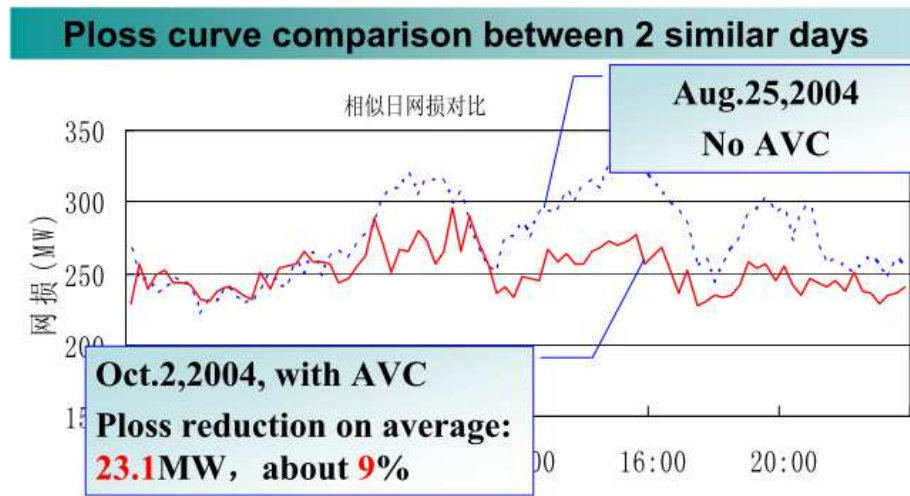


圖 8、投入自動電壓控制前後之線路損失比較

以美國 PJM 電網公司安裝此一系統進行線上評估統計的結果，平均線路損失下降約 1.0688%，25.1MW，年節約電力 2.2 億度，按照\$0.08/度估算，PJM 年節能效益約 1700 萬美元。無效電力裕度增加約 1%。

### 清華大學相關電力調度自動化之技術發展與應用里程碑

1989 年發展出電力系統狀態估計(State Estimation)技術，應用於東北電網。

1992 年發展出全圖型分散伺服器技術，應用於河南電網 EMS。

1993 年發展出全自制之電能管理系統(EMS)，並將傳統開發使用之 Fortune 語言轉爲 C 語言，並於 1993 年 12 月底將電網拓撲技術、故障潮流計算與靈敏度分析技術應用於電能管理系統(EMS)中，並使用 Sun 電腦工作站做爲計算主機。

1997 年發展出圖型模型與數據一體化技術，將線上(On-Line)圖型與數據資料庫成功的結合，並於 1998 年整合到天津電網。相關技術於 2001 年被電能管理系統供應商 ABB 公司應用於其 Spider 電能管理系統上。

開發出調度員培訓仿真系統(DTS)，並將模擬方式由靜態發展成動態模擬，其資料庫及模型與電能管理系統(EMS)同步。

1998 年發展出即時資料瞬間開拍(Snap Shot)技術

**1995-1997** 年發展出自動電壓控制之軟選擇技術(Adaptive)，以全系統之角度對無效電力進行最佳化之控制，並允許對電廠勵磁機，變壓器分接頭及電容器與電抗器進行自動控制。

**2001** 年大陸最大的省級電網，江蘇電網(當時之裝置容量約 30GW)進行自動電壓控制測試，2004 年完成驗收並開始線上運轉。

**2001** 年開發出的調度員培訓仿真系統(DTS)被運用於省與地區電網的反事故演習，讓不同地方的調度員可以透過連線一起進行事故演練。

**2003** 年開發出在線安全穩定預警系統。

**2003** 年發展出(空間，時間，目標)三維協調的電網電壓管理系統，達成網、省、地三級電網電壓的最佳化。網級部分做到對電廠電壓、變壓器分接頭與電容/電抗之控制。省級則為大電廠電壓之控制。地區級則為 110~220kV 的變壓器分接頭與電容/電抗之控制。

**2007** 年大陸第一個區域電網，華北區域電網完成自動電壓控制系統與靜態電壓穩定預警系統之裝置，並進行環路控制(Close Loop Control)。截至目前，華北電網自動電壓控制系統已經接入 500kV 電廠 10 個，共 35 台機組，容量為 16600MW，約占網調直調機組容量的 53.6%；接入 500kV 變電站 21 個，並達成了與河北、山西、內蒙省調自動電壓控制系統以及北京市調自動電壓控制系統的協調控制。

截至 2009 年 11 月，清華大學電力調度自動化研究團隊共承接了 2 個國家級電網(國調與南方電網)，5 個大區電網(華北電網、南方電網、華東電網、華中電網、西北電網)和 9 個省級電網的自動電壓控制實施專案。

以區域級電網之分佈情形而言，已裝設清華大學電研究團隊所發展之自動電壓控制技術的電網覆蓋區域如下：

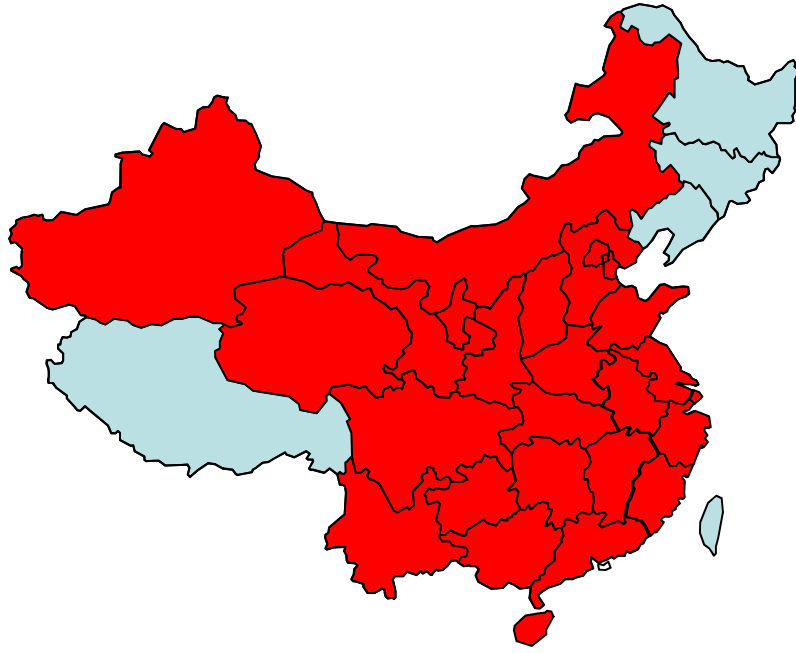


圖 9，大陸區域級自動電壓控制設備分佈圖

以省級電網層面而言，共有江蘇電網、河北電網、山西電網、內蒙古電網、江西電網、四川電網、湖北電網、北京電網、天津電網、重慶電網裝設了清華發展的自動電壓控制設備，分佈圖如下所示：

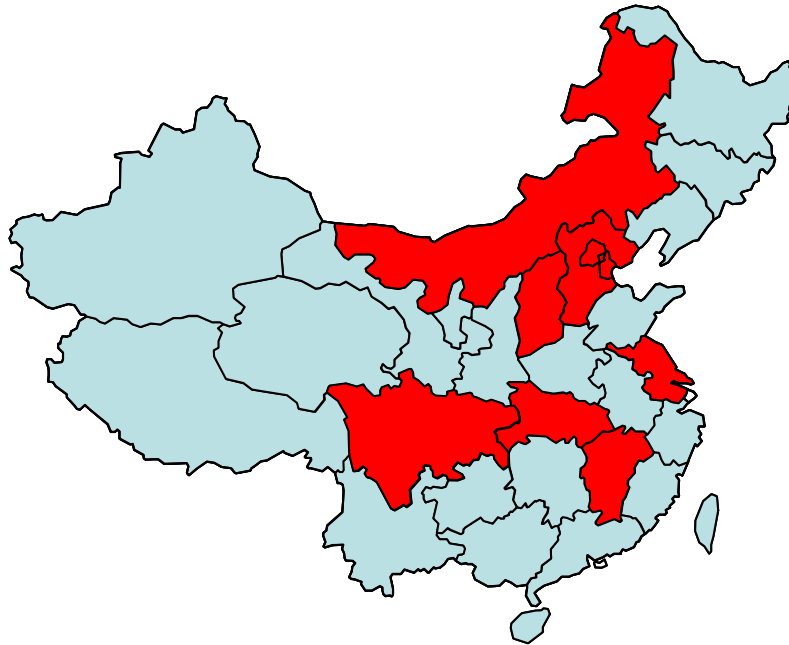


圖 10，大陸省域級自動電壓控制設備分佈圖

**2007** 年江西電網將在線安全穩定預警系統納入電能管理系統中。

**2007** 年開發出預防控制(Preventive Control)系統，提供調度員決策上之建議。

2008 年自動電壓控制技術在與法國、義大利等國技術方案的競爭中勝出，成功推廣到美國最大的電網公司 PJM，PJM 電網覆蓋美國首都和東部 13 州，占全美總用電 1/6，此為美國電網公司首次實施自動電壓控制技術。

美國加州電網公司 CAISO 亦與清華商談確立自動電壓控制合作意向。

2009 年全球最大的控制中心電能管理系統廠商 AREVA 與清華進行實質性接觸，就未來在其電能管理系統中嵌入清華發展的自動電壓控制軟體事宜進行討論，目前相關合作正在籌備中。

## 陸、北京清大高科系統控制有限公司有關 AVC 與 DTS 發展介紹

大陸在政策方面鼓勵學界與業界之結合，讓學界所發展的理論與技術可以應用在實際的生活上，因此有北京大學所屬的北大方正科技集團之類的公司。而北京清大高科系統控制有限公司則是依託在北京清華大學，由電機系電力系統調度自動化的教授合資於 2001 年註冊成立的高科技公司，目前員工約 60 人，平均年齡 30 歲，其中研究生學歷佔 40%，本科以上學歷佔 60%，主要發展智慧電網中有關電力系統調度自動化的系統與軟體，項目如下：

### ➤ SCADA/PAS(電力應用系統)

此一系統的特點之一是提供建立在線外網路等值的計算，供下一級電網即時模擬時使用。另外，亦提供許多功能完善的功能與應用分析，例如：狀態估測、網路拓撲、調度員電力潮流計算、最佳潮流計算、靜態安全分析、靈敏度分析、短路計算等。

### ➤ DTS(培訓仿真系統)

培訓仿真系統即一般我們所稱的調度源模擬訓練系統，清華高科所發展的系統最大的優點是可以與下級使用同一模擬系統的電網調度中心進行聯合演習，並且以分佈式的互聯將資料庫的建制分散到各個下級調度單位，減輕集中資料庫維護的量，唯一缺點是對機組模型的支持度不多，原因是大陸發電廠使用的發電機組多為國內廠商製造的，模型統一，在此習慣下，沒有隨國際的發展，更

新模型，也沒有使用者自定模型的功能。但如果是使用在靜態型的線路過載與電壓問題，因不需用到機組模型，則無上述問題。



圖 11，培訓仿真系統中有關電驛的模擬操作圖

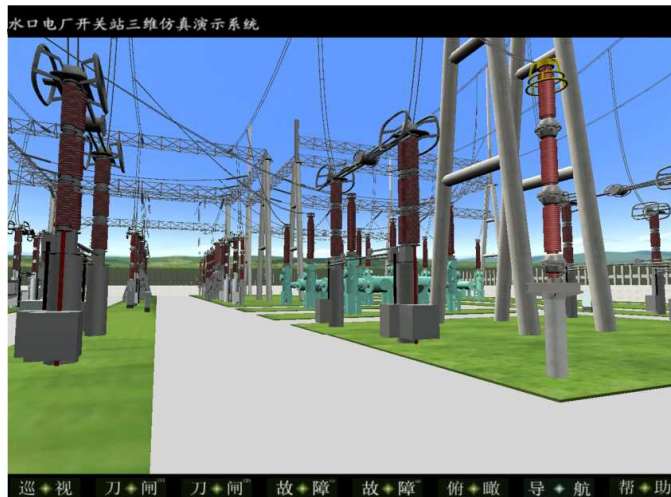


圖 12，培訓仿真系統中有關電廠開關廠的模擬操作圖



圖 13，培訓仿真系統中有關開關廠的模擬操作圖

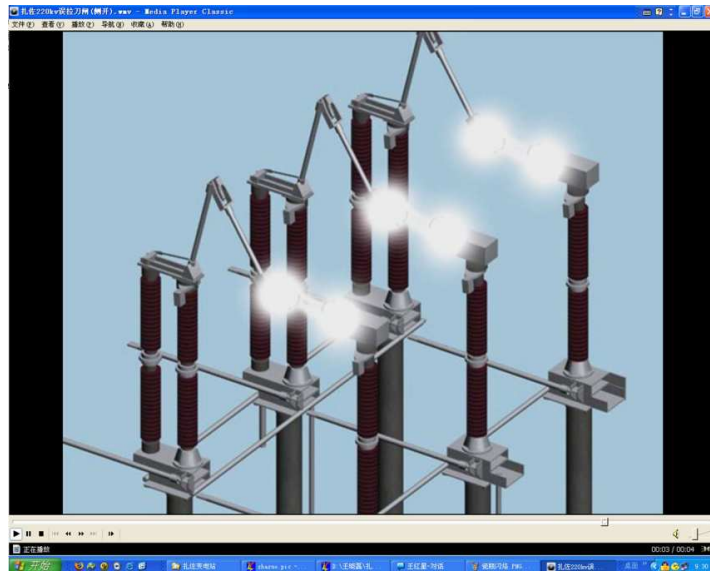


圖 14，培訓仿真系統中有關三相開關的模擬操作圖





圖 15，培訓仿真系統中有關變壓器的模擬操作圖

➤ 自動電壓控制系統(AVC)

本套系統為清華大學電機系研究團隊累積 10 餘年研究經驗的成果，同時成功達成大陸區域調度中心與省調度中心及地區調度中心的自動電壓控制與協調。



圖 16，自動電壓控制系統中之監視畫面

➤ 動態安全預警系統(EWSC)

本套系統提供綜合性的安全預警及決策建議功能，內容包括電網的靜態、動態、電壓、功角等安全和繼電保護協調等安全預警，在電網出現靜態與動態不安全時，自動提供預防控制與校正對策建議。並提供 3D 顯示功能，讓調度員不需看許多數據，直接從 3D 圖看出電網問題。

➤ 在線外網等值

此一應用可將電網做全統的等值，提供各調度中心間模型的互操作，亦可進行內外網路模型的拆分與合併，讓上下級電網間可以做有效的訊息交換。

➤ 3D 可視化系統

本套系統將調度員使用的許多電網資訊 3D 可視化，提供調度員直觀的視覺資訊，內容包括電廠電壓、無效電力裕度、線路損失、有效電力、線路負載等的 3D 資訊。

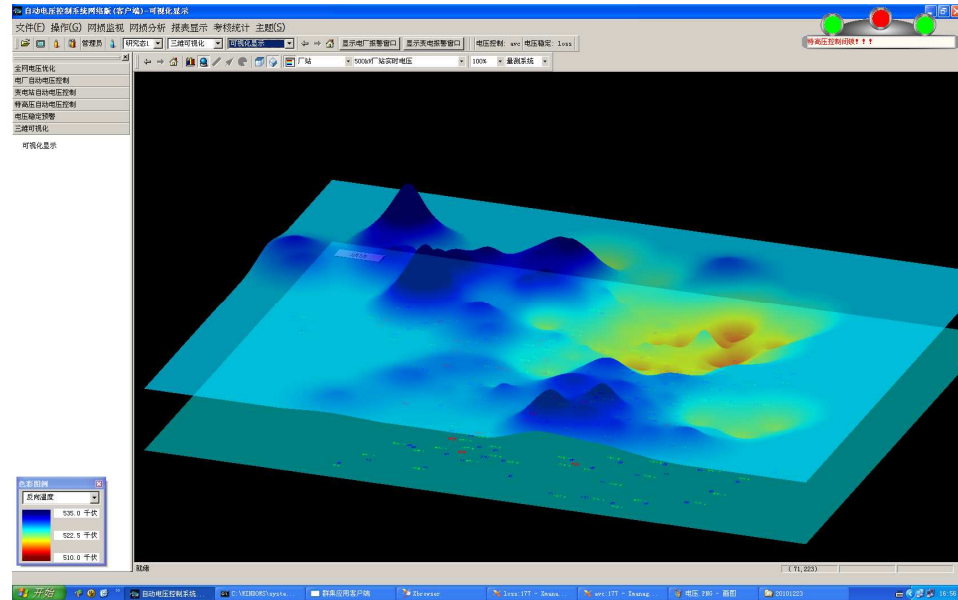


圖 17，電壓 3D 分佈圖

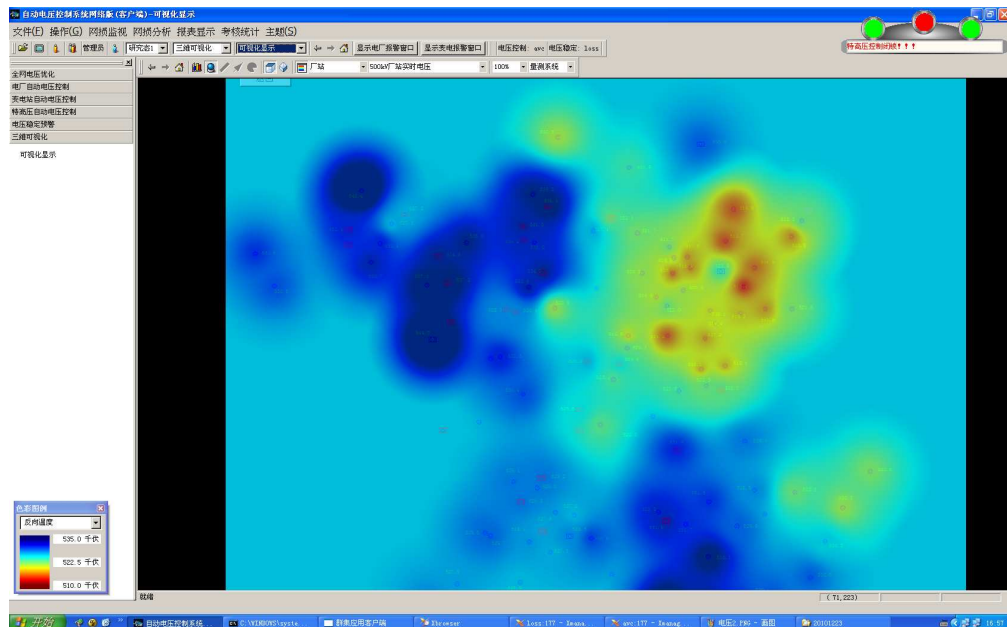


圖 18，電壓色彩化之分散式分佈圖

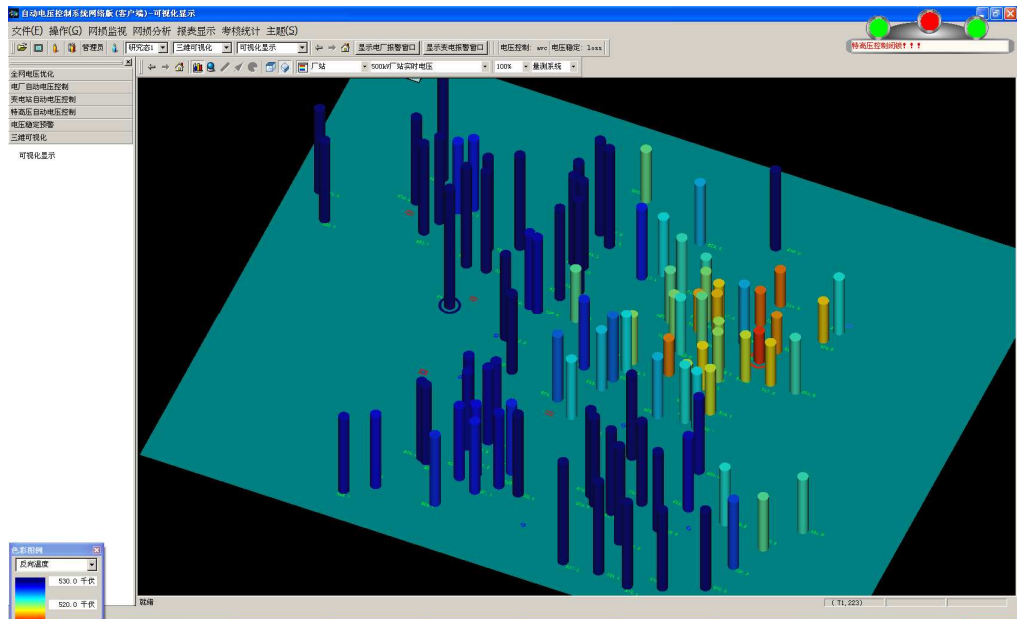


圖 19，電壓 3D 椎狀分佈圖

➤ 在線網損分析系統

本套系統提供即時電網的網損分析，內容包括不同運轉方式的線路損失比對、最佳潮流的線路損失分析與比對及降損決策，線路損失靈敏度分析，分區線路損失計算，跟蹤潮流的線路損失分析等。亦可提供 3D 的可視化結果。

北京清大高科的用戶有國家電網電力通信調度中心、南網總調、東北電網、華北電網、華中電網、10 多家省調度中心與 70 多家地區調度中心，是大陸主要的電力調度自動化設備與應用軟體供應商。



圖 20、清大高科產品在大陸電網的安裝分佈圖

## 柒、心得與建議

### 一、規劃不定期赴大陸考察，增加與相關電力業者之互動。

隨著經濟的高度發展與進步，大陸電力事業持續的蓬勃發展，由於市場大，相關事業產品均已自製化並達國際水準，經由利用這些設備，電網調度在質與量方面均有很大的躍進，本次前往考察時發現華北電網電力調度通信中心及國調中心無論是調度台的整體設計與設備的均相當出色與具特色，有些設備的應用更是本公司所不及，例如 PMU 的使用，建議日後不定期派員前往大陸電力公司進行交流，做為本公司在智慧電網的發展與規劃方面的參考。

### 二、評估強化電力調度資訊可視化之需求性。

隨著電腦科技的發展與應用，電力調度資訊從以往的表列顯示進步到 3D 的顯示，其優點是調度員可以更廣域與直覺的了解電網的問題，進而做相關的改善。本次考察清大高科所發展的 3D 資訊顯示功能及其在華北電網的應用印象深刻，建議可以透過研究計畫，評估此類應用目前的發展與是否適用本公司現有的應用，並對調度員進行問卷調

查，以了解對調度員是否具幫效益，最爲日後強化電力調度資訊可視系統的參考。

### **三、評估清華大學自動電壓控制技術應用於本公司之可行性。**

清華大學研究發展的自動電壓控制技術是全世界少數實際用運用於即時電網自動電壓控制的技術，除已實際運用於大陸電網，並且被美國 PJM 電網公司採用作爲線上自動電壓控制評估的一項技術，而本公司發展的智慧電網中自動電壓控制是其中一項重要內容，建議評估華大學研究團隊所發展的自動電壓控制技術是否可應用於本公司，做爲本公司自動電壓控制規劃時的參考。

### **四、引進聯合事故演習之技術與應用**

本次考察中另一個印象深刻的是大陸各級電網調度中心運用清華大學開發的 DTS(培訓仿真系統)進行聯合反事故演習，此類演習對於重大事故後之快速復電與應變有相當大的幫助。建議引進此類應用技術，並派員考察大陸演練情形，在相關單位可以配合之情況下，建置此一系統，以爲發生重大停電事故後之快速反應演練。

### **五、評估強化 PMU 之運用與裝設**

隨著 PMU 傳輸速度的提升、可讀取資料之增加與價格的降低，PMU 已廣爲世界各電力公司所使用，其運用層面亦越來越廣，尤其在事故後之分析與線上發電機組之參數辨識，PMU 能提供相當大之貢獻，本公司目前僅裝置 9 套 PMU，能提供之應用有限，建議評估強化本公司 PMU 之運用與裝設，以應用於事故後之分析、線上發電機組之參數辨識及安全預警。

### **六、加強雙方對組織架構之了解**

大陸電力公司之組織架構與本公司差異甚大，舉例而言，大陸電力公司總經理以下之單位爲部或中心，單位主管爲主任，下設處級部門，而本公司總經理以下爲處級單位，相對於大陸的組織，本公司處級單位容易被誤爲較下一級之組織，建議日後有相關交流前，應讓對方了解本公司之組織架構，避免被矮化。