

出國報告（出國類別：實習）

赴美國參加奇異公司電力 系統工程班

服務機關：台灣電力股份有限公司電力調度處

姓名職稱：蔡培德 一般工程監

派赴國家：美國

出國期間：98年7月29日至98年12月14日

報告日期：99年2月8日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：赴美國參加奇異公司電力系統工程班

頁數 42 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/2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

蔡培德/台灣電力公司/電力調度處/十一等一般工程監/2366-6607

出國類別：☐1 考察☐2 進修☐3 研究☒4 實習☐5 其他

出國期間：98 年 7 月 29 日至 98 年 12 月 14 日 出國地區：美國

報告日期：99 年 2 月 8 日

分類號/目

關鍵詞：電力系統工程班（PSEC）、穩定度（STABILITY）、氣化複循環發電系統（IGCC）

內容摘要：（二百至三百字）

美國奇異(GE)公司由愛迪生創立以來，已超過百年歷史，而歷經時代的變遷與企業轉型的考驗，憑其不斷創新與研發精神，發展成為當今世界上少數成功的跨國企業。而其所舉辦的電力系統工程研討班課程，自 1949 迄今已有六十餘年的歷史，主要目的在傳授電力系統相關的知識，以及培養世界各國電力產業經營的人才。課程內容包含了電力系統的分析、電力調度的運轉與安全、最新的電力技術與知識、及全球先進國家電業的現況等，課程中並安排參觀紐約州獨立調度中心、電容器與發電機製造工廠、及世界研究發展中心等，使學員建構更完善的電力系統理論及實務經驗。研習期間，隨時與國外各知名電力公司學員交流工作經驗，互相瞭解各電力公司系統架構、規模及發展方向，以強化既有規劃、運轉、調度能力及技術，並融入當地生活，體驗美國風俗民情，了解美國文化特色，擴增國際視野，對員工工作及人格的培養有很大的幫助。

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

報 告 內 容

第一章、緣由與目的.....	4
第二章、出返國行程.....	5
第三章、致謝.....	6
第四章、心得與建議.....	7
第五章、PSEC課程說明.....	12
5-1 前言.....	12
5-2 課程說明.....	12
5-3.參觀活動.....	19
第六章、電力系統結構.....	24
6-1 前言.....	24
6-2 發電設備.....	24
6-3 輸配電設備.....	30
6-4 統統負載.....	31
6-5 調度控制中心.....	32
6-6.本章結論.....	33
第七章、電力系統穩定度.....	35
7-1 前言.....	35
7-2 電力系統穩定度.....	35
7-3 暫態穩定度.....	37
7-4 小信號穩定度.....	39
第八章、參考文獻.....	42

第一章、緣由與目的

近年來，國內電力事業發展遭受空前未有的挑戰，新建發電廠、輸電線與變電所遭受嚴重抗爭、燃料價格高漲、溫室氣體排放限制、再生能源發電佔比增加等問題，影響本公司收入及造成電力調度運轉困難，面對電力產業環境不斷變遷及各類電力技術進步快速，本公司對於引進最新技術及培養優秀電力人才是刻不容緩的。

美國奇異公司是一家多元化公司，產品和服務範圍從飛機發動機引擎、電力系統設備、金融服務、水處理到醫療影像及媒體等。1950年代，奇異公司即與本公司合作，全力供應發電機組等電力設備，而其所開辦之電力系統工程研討班，自1949年迄今已有六十餘年的歷史，培養許多來自世界各國優秀的電力工程師。例如，日本每年皆派遣8~10名工程師、韓國也有2~4位工程師參加此課程。由於該課程內容包含電力系統經濟調度、電源開發規劃、輸變電網路技術、軟體應用等理論課程，並融合該公司多年來在電力產業界的經驗，及安排學員實地參觀紐約州獨立調度中心、電力設備製作工廠及全球研究發展中心等，使學員建構更完善之電力系統理論及實務經驗。訓練期間隨時與國外各知名電力公司派訓人員交流工作經驗，強化既有規劃、運轉、調度能力及技術，對於電力專業技能及知識有相當大的助益。

電力為永續發展的事業，也是國家建設發展與民生需求所寄。今日電力系統的複雜度已提高許多，必須作出更精確的系統模擬、分析與研究，除需仰賴功能強大的分析軟體外，更需要優秀電力背景的人才，本課程可說是傑出電力系統運轉與規劃人員的搖籃。

第二章、出返國行程

（一）去程：

98/7/29 桃園TAOYUAN(18:50) → 紐華克NEWARK(21:45)

98/7/30 紐華克NEWARK (11:40) → 奧爾巴尼ALBANY(12:40) →
斯堪那特提SCHENECTADY(16:00)

（二）受訓：

98/7/31 ~ 97/12/11 美國奇異公司電力系統工程班

（三）返程：

98/12/12 斯堪那特提SCHENECTADY → 奧爾巴尼ALBANY(17:20) →
紐華克NEWARK(18:30)

98/12/12 紐華克NEWARK(22:30) →

98/12/14 桃園TAOYUAN (07:05)

第三章、誌謝

本次出國計畫得以順利成行，特別感謝涂總經理正義、李副總經理肖宗、藍處長宏偉、吳副處長士襄、謝組長茂中、吳組長進忠及鄭組長壽福大力協助與支持，謹此致上最誠摯的謝意。

同時也感謝顏資深專業工程師世華、范小姐翠蘭及姚小姐彤娟等同仁，在出國期間代理職務，使業務能順利推展。

最後，感謝本處全體同仁有良好的表現，獲得長官讚賞，得以繼續支持本出國計畫。

第四章、心得與建議

(一)持續派員參與電力系統工程班：

1.理論與實務結合：

奇異公司開辦之電力系統工程班課程，涵蓋範圍極廣，可增加調度人員對運轉調度、供電維護、財務會計、能源市場發展乃至於電力自由競爭市場之觀念，奇異公司更聘請學經歷豐富之教師與學員交流，可激發學員學習意願，使參訓人員能將理論與實務相結合，對日後工作之助益甚大。

2.培養優秀電力人才：

本課程可說是本公司傑出電力系統運轉與規劃人員的搖籃，例如本公司前錢協理、倫副總經理、許總工程師、黃總工程師、系規處林處長、陳處長、供電處高處長、調度處張處長、鄭處長、及蔡調度監等都會參與本課程之訓練。由於人才為公司最寶貴的資源，從人力資源角度評估本訓練之投資效益，可說是效益顯著。

3.擴展國際視野：

參訓學員大多為具電機背景之各國電力公司員工，職務涵蓋調度、運轉、發電、輸電及規劃等領域，學習期間除互相瞭解各公司電力系統架構、調度及發展方向，亦藉由分組討論的機會，實際接觸到各項不同工作領域，對於問題的處理，有更多思考方向，以補專業領域的不足。參加本課程除可增加專業知識外，並與其它國家人員交流，及了解美國生活習慣、文化特色，擴增國際視野，對員工工作及人格的培養有很大的幫助，因此建議本公司評估多派員參加本班課程。

(二)改善不合理之差旅費制度：

1.補助費用與實際支出差異甚大，對有意願之優秀同仁造成困擾：

奇異公司鄰近於美東紐約州首府奧爾巴尼(ALBANY)，學員按奇異公司建議居住之社區公寓，每月房租（不含家具、電力、通訊等）約美金1000元，加上租車、家具、電力、通訊等日常必需品約美金2000元，每月支出費用合計3000元，公司僅補助月支生活費美金1000元，每月學員必須透支美金2000元，對有意願之同仁造成困擾。

2.補助租車費用：

本次受訓取消租車費之補助，對往後有意願參與本課程之優秀同仁影響極大。由於電力系統工程班上課地點偏僻，附近步行可及距離內無房屋出租，也無公車可到達，距奇異公司推薦給學員租用之社區公寓約10哩，開車25~30分鐘。基於北美天氣嚴冬厲雪之氣候型態，及上課地點之地理環境，汽車為上課最佳之交通工具。類似此長期在美受訓，又確時須以汽車為交通工具之特殊情況，而本公司相關法規一夕數變，自98年度起租車不補助之限制，給參訓人員生活上帶來極大的壓力。為維持國家尊嚴及讓參訓人員能安心受訓，建議公司再度考量此特殊情況之訓練，准予在美租車並補助租車費用。亦建議公司人事部門能於課程期間到受訓地考察，並與奇異公司課程規劃部門交流，了解當地之實際生活情形，研擬具彈性且合理之生活津貼及補助。

(三)加強本公司訓練課程教具之製作：

本電力系統工程班（PSEC）有多門課程係教授利用自編的教具教學，課程生動活潑，深入淺出。首先，老師將全班分成3~5個團隊(term)，再分配教具，由各團隊自取隊名，並自行分工，藉由學員腦力激盪、互助合作、

產生榮譽感、及發揮團隊精神以爭取最後的勝利，由於學員必須親自動手操作與思考，在寓教於樂，從遊戲中學習之情形下，效果顯著，學員反應不錯。教具之製作雖然費時，但對學員學習的意願大大提升，且親自動手，印象深刻。由於本公司員工平均年齡偏高，要提升教學成效，利用教具教學是不錯的方式。

(四)強化風機、太陽光電運轉穩定度：

由於台灣自產能源不及3%，大多仰賴國外進口，近年來，隨者能源與環保日趨重要，為配合國家能源政策，開發自產能源，降低對進口能源之依賴，並減少溫室氣體排放量，再生能源與替代能源的研究與應用，在歐美日等先進國家推動下，蓬勃發展。目前台灣正積極於國內風能及太陽能資源豐富地區，規劃興建風力發電廠及太陽光電系統，由於風力與太陽能發電仍屬一種不穩定或昂貴之電源，其電氣特性與傳統水、火力發電不同，且風力發電機無論從單機容量或風場規模已朝向大容量化發展，如何進行大容量風場系統衝擊分析，從設備保護、電壓控制、無效電力的控制、有效電力的控制、調頻、備轉容量、風機特性之模型參數取得、暫態穩定度及系統阻尼之分析等，都為重大之挑戰；而國內現階段太陽光電系統的主要相關產品仍以進口為主，導致成本相當的高，如何降低成本，亦是重要的課題。

(五)持續員工輪調機制：

此次受訓與日、韓公司學員交換工作經驗，深深體會公司最珍貴之資產是員工，員工需藉助不斷訓練和工作實務經驗累積方可提昇自我，要達到此目的，員工之輪調是最有效的方法。輪調工作不僅是自己單位各課間輪調，更要跨處間輪調，使員工接觸相關工作性質或甚至完全不同領域工

作，將不致產生職業倦怠感，如規劃人員若能具備調度運轉或供電維護工作經驗，或財務會計觀念，將更能激發員工終生學習之意願，提昇公司整體營運績效，特別是當有特殊緊急突發事故發生，員工間工作替代性較高，不致仰賴少數專業性較高員工，如SARS風暴之隔離措施，將不致造成人員調度發生困難，可增加公司之應變能力。

(六)適度調整出返國行程：

1. 7月30日下午抵達美國紐約州居住處，在時差尚未調整及食衣住行等一切尚未就緒完畢，第二天（7月31日）即要到奇異公司報到；12月11日下午4時全部課程結束後，第二天（12月12日）就要搭機返國。因此，到達美國後第一週及返國前一週，學員爲了打點各項日常所需或整理行李等，實無心上課。公司出返國行程僵硬，應有所調整，否則良法美意，將大打折扣。
2. 日本全期受訓學員在PSEC課程結束後，均尚有1~3個月不等之參訪美、加電力公司行程。而訓練費用與公務所需之生活支出，則在總旅費額度下，可實報實銷。其公司旨在訓練員工獨立安排訪問行程及與同業交流之能力，日本公司培訓員工的用心及其信賴員工的作法，值得參考。

(七)OPEN HOUSE的理念：

1. 美國GE公司每年均定期舉行數次開放員眷參訪辦公場所、工廠及訓練中心等活動（OPEN HOUSE），甚至連受訓學員（非GE員工）及眷屬均可參加，活動內容包括導引眷屬參觀員工上班的環境、影片介紹公司營運情形、免費拍照留念及提供餐點等，整個活動雖然僅有兩個小時，成效卻非常良好，頗受好評。
2. 很多同仁在台電公司辛勤工作了數十寒暑甚至退休了，眷屬卻未曾踏進其辦公場所一步，也不知道家人在台電做什麼？更不知道公司爲社會大眾做

了些什麼？如果你最親近的人(父母配偶子女)對你的公司不認同，那麼社會大眾對你的公司會認同嗎？若你無法說服你的親人，台電公司憑甚麼說服社會大眾？

3. 讓眷屬了解你在台電公司做什麼，台電公司在為社會大眾做什麼，讓台電觸角更深入社會各階層，除可增加公司競爭力，亦可提升員眷親屬間的情感，增進同仁間的情誼，增加工作效率及提升公司社會形象。

第五章、PSEC課程說明

5-1 前言

2009年奇異公司之PSEC課程共有16位學員，分別來自日本（9位）、韓國（2位）、卡達（1位）、阿根廷（1位）、印尼（1位）、及台灣（2位）等國家，全部上課時程約4.5個月，每週上課5天，從8:00~16:00，中間包含上、下午各休息20分鐘及1小時午餐時間。PSEC課程內容包含電源經濟調度、開發規劃流程、輸電網路分析、應用等理論課程，並融合該公司多年應用於電力業界的實際經驗技術，為一理論與實務兼顧的學程，對於系統分析人員專業技能知識有相當大的助益。

5-2 課程說明

PSEC課程分為四大部份：

第一部份(1st Quarter)-電力系統規劃與應用 I (Power System Planning and Application I)：

(一)電力系統基本原理 (Power System Fundamentals) -由Hamid Elah講授，本課程使學員重新複習電路學各種基本原理，作為未來各種學科的分析基礎。

(二)電力系統分析與同步元件(Power System Analysis & Symmetrical Component) - 由R. C. Degeneff講授，內容包含：

- 1.電力系統之發電機、變壓器、輸電線路等各項基本元件參數及模型建立介紹。
- 2.電力潮流分析演算及平衡、不平衡故障分析之講解。

(三)輸電系統規劃與分析(Transmission Planning and Analysis)-由Steve Barnes講授，內容包含：

- 1・電力潮流與穩定度分析之觀念講解。
- 2・GE公司電力系統分析軟體PSLF程式之功能介紹與操作說明講解。
 - (1)檔案存取、匯流排、輸電線路、變壓器及發電機資料之建立。
 - (2)電力潮流分析(Power Flow Analysis)。
 - (3)事故分析(Contingency Analysis)、穩定度分析 (Stability Analysis)。
- (四) 突波分析與設備應用(Surge Analysis & Equipment Application) - 由Liz Pratico講授，內容包含：
 - 1・各種突波現象(Switching、Overvoltage、Lightning etc..)之原理、電路、波形與數學式介紹。
 - 2・突波避雷器(Surge Arrester)設備之基本原理與應用介紹。
- (五) 無效功率補償與電壓控制(Reactive Power Compensation & Voltage Control) - John P. Skliutas講授，內容包含：
 - 1・無效電力補償與電壓控制對電力系統之影響講解。
 - 2・各種無效電力補償方式介紹
 - (1)負載補償(Load Compensation)
 - (2)並聯與串聯補償(Shunt and Series Compensation)
 - (3)Synchronous Condenser etc..
 - 3・電壓穩定度(Voltage Stability)介紹。
- (六) 保護電驛基本原理(Protective Relaying Fundamentals) - 由Jason MacDowell & Mark McDonald講授，內容包含：
 - 1・保護電驛之基本概念與原理介紹。
 - 2・各種電驛保護方式介紹與基本動作原理講解。

- (1)變壓器保護(Transformer Protection)
- (2)匯流排保護(Bus Protection)
- (3)線路保護(Line Protection)
- (4)馬達保護(Motor Protection)
- (5)測距電驛(Distance Relay)
- (6)發電機保護(Generation Protection)等

3・使用Aspen軟體來執行電驛分析設計。

第二部份(2nd Quarter)- 電力系統規劃與應用II (Power System Planning and Application II)：

(一) 同步機基本原理(Synchronous Machine Fundamentals) - 由Dr.

Sheppard Salon講授，內容包含：

1・數學模型(Mathematical Model)

(1)同步機觀念(Synchronous Machine Concepts)

(2)三相同步機電流方程式(Circuit Equations for Three-Phase Synchronous Machine)

(3)Park' s 方程式(Park' s Equation in Per Unit)

(4)等效電路(Equivalent Circuits)

2・效能分析(Performance Analysis)

(1)穩態運轉(Steady-State Operation)

(2)同步機設計與結構(Design and Construction of Synchronous Machines)

(3)三相短路電流(Three-Phase Short Circuit)

(二) 電力系統動態研究(Power System Dynamics) - 由 Juan J. Sá

nchez-Gasca講授，內容包含：

- 1・電力系統穩定度的基本觀念與分類說明。
- 2・電力系統穩定度分析探討。
 - (1)同步發電機模型(Synchronous Generator Model)
 - (2)勵磁系統(Excitation System)
- 3・使用MATLAB及PSLF電力系統軟體進行暫態模擬操作練習。

(三) 發電控制與勵磁機(Power Generation Control and Excitation) -

由Dr. Alexander Murdoch & Steven A. Barnes講授，內容包含：

- 1・勵磁系統(Excitation System)。
- 2・電力系統頻率、電壓之控制。
- 3・慣性、負載與調速機控制(Inertia、Load and Speed Control Governing Characteristics)。

(四)電力電子應用(Power Electronic Applications in Transmission) -

Reigh Walling講授，內容包含：

- 1・電力電子元件簡介。
- 2・HVDC系統應用介紹。
- 3・彈性交流系統(FACTS)系統應用介紹。
 - (1)並聯FACTS控制(Shunt FACTS Controllers)
 - (2)串聯FACTS控制(Series FACTS Controllers)
 - (3)串並聯FACTS(Combination FACTS)
- 4・變頻變壓器(Variable Frequency Transformer)簡介。

(五) 配電系統規劃與工程(Distribution Systems Planning and

Engineering) - 由Lavelle Freeman講授，內容包含：

- 1・配電系統介紹。
- 2・配電系統規劃簡介。
- 3・配電設備工程介紹。
- 4・配電設備應用介紹。
- 5・配電系統可靠度(Reliability)。

(六) 現代網路:配電系統自動化(Modern Grid: Substation/Distribution Automation) – 由John D. McDonald & Byron Flynn講授，內容包含：

- 1・智慧型電網(Smart Grid)概念簡介。
- 2・變電所之功能介紹。
- 3・變電所自動化觀念介紹。
- 4・智慧型電網之安全簡介。

第三部份(3rd Quarter)-能源經濟、電力市場及策略規劃(Energy Economics, Power Markets and Strategic Planning)：

(一) 全球電力市場(Global Power Markets) - Beth LaRose等講授，內容包含：

- 1・全球能源需求與電力市場結構介紹。
- 2・全球環境市場簡介。
- 3・全球再生能源市場簡介(Renewable Markets)。
- 4・全球燃料市場簡介(Fuel Markets)。

(二) 美國電力工業(U.S. Electric Power Industry) - Sundar Venkataraman講授，內容包含：

- 1・北美電力市場結構介紹。
- 2・北美電力市場發展歷史介紹。

3・北美電力市場發展至今所面臨的問題。

(三) 電力經濟市場與電力系統經濟調度(Utility Economics and Power Systems Operation) - Steven Oltmanns & Mark S. Schroder講授，內容包含：

- 1・電力經濟市場概念簡介。
- 2・電力經濟市場分析簡介。
- 3・電力系統經濟調度之競比與分析。

(四) 發電機與輸電線之規劃(Strategic Transmission and Generation Planning) - Shakeer Meeran & Bob Woodfield講授，內容包含：

- 1・發電機可靠度介紹(Generation Reliability)。
- 2・發電機與輸電線之規劃介紹。
- 3・負載預測觀念簡介。
- 4・分組模擬發電機與輸電線之規劃競賽。

(五) 電力市場(Deregulated Power Markets) - Beth LaRose & Gene Hinkle講授，內容包含：

- 1・世界電力市場自由化情形簡介。
- 2・美國電力市場結構介紹。
- 3・分組模擬電力市場機組發電day-ahead競標競賽。

(六) 電廠財務分析(Power Plant Financial Modeling and Evaluation) - Sundar Venkataraman講授，內容包含：

- 1・電廠經濟評估之數學模型介紹。
- 2・電廠財務分析方法介紹。
- 3・財務報表簡介。

第四部份(4th Quarter)-發電技術與分析(Emerging Generation

Technologies and Analysis)：

(一) 發電機組(Competitive Power Generation) – Chris Stammen & Jack

Weininger講授，內容包含：

- 1．熱力學簡介。
- 2．氣渦輪機簡介。
- 3．汽輪機簡介。
- 4．複循環機組簡介。
- 5．汽電共生簡介。
- 6．分組模擬建廠競賽。

(二) 工業用戶(Industrial Energy Users) – 由Leon Diehl & Mike McMurray

講授，內容包含：

- 1．造紙工業簡介。
- 2．煉鋼工業簡介。
- 3．水泥製造業及化學工業簡介等。
- 4．分組模擬競賽。

(三) 汽化發電原理(Integrated Gasification Power Fundamentals) –

由Fred Post & Chris Kelbert講授，內容包含：

- 1．IGCC (Integrated Gasification Combine Cycle) 簡介。
- 2．IGCC技術之應用與經濟性介紹。
- 3．分組模擬競賽。

(四) 燃料與替代能源應用(Fuel Flexibility and Alternative Energy

Applications) – 由Russell Young & Gerard Loiselle & Ev

Whitaker講授，內容包含：

- 1．全球燃料市場簡介。
- 2．各種燃料發電應用介紹。
- 3．核能發電簡介。

(六) 太陽能發電(Solar Power Fundamentals) - 由Russell Young & John

Renahan & Andrew Xi講授，內容包含：

- 1．全球太陽能發電情形簡介。
- 2．太陽能發電原理介紹。
- 3．全球太陽能發電市場簡介。

(七) 風力發電(Wind Power Fundamentals) - 由Nicholas W. Miller & Reigh

A. Walling & Michael L. Reichard & Richard J. Piwko講授，內容包含：

- 1．全球風力能發電情形簡介。
- 2．風力發電原理介紹。
- 3．風力機組模型簡介。
- 4．風力機組保護簡介等。

5-3 參訪活動

(一) 奇異與台灣建設：

美國奇異公司是一家多元化公司，產品和服務範圍從飛機發動機引擎、發電系統、金融服務、水處理到醫療影像及媒體等。2007年收入約美金218億元，遍及全世界100多個國家。1940年代，美國奇異開始提供我國空軍飛機引擎及相關服務；1950年代，與台電公司合作，全

力供應發電機組;1960年代，參與台灣十大建設，包括中山高速公路、大煉鋼廠、鐵路電氣化，以及核能發電廠;1970年代，在台設立分公司，由世界各地派遣專業人員來台，提供各行業專業的商品與服務；1980及1990年代，GE與台灣產業攜手進行產業技術合作升級，並擴大提供民生相關產品服務。

（二）GE汽輪機與發電機製造工廠

GE汽輪機與發電機製造工廠位於SCHENECTADY 廠區BLDG.273 內，佔地25 英畝，相當40 個足球場大，廠區內有72架高空起重機，因應龐大發電機組施工之需，以三班制輪值趕建機組，為世界最大且最先進汽輪機與發電機工廠製造工廠。整個廠區分成七個部份，分別為Machine Repair、Clean Room、Bucket Assembly Bearings、Generator Wind、GeneratorArmature Bars Coil Wind 、Large Machinery 與RotorTurbine& Generator。參訪過程中，奇異公司派專人解說廠區內作業流程，由線圈繞製、絕緣、轉子電樞製作、定子矽鋼片安裝排列、安裝線圈於轉子、定子、最後完成測試工作，各項步驟皆詳細說明，讓學員瞭解製作過程的精密及其專業性。該廠已製造出8000部以上的發電機，最大容量達1359MW，裝機容量超過400GW 且遍及90國家，其所需之創新技術係由GE全球研發中心所提供。

（三）GE全球研發中心(Global Research Center Headquarters)

GE公司是一個結合科技與製造並多元性發展的世界級企業集團，長久以來在各個領域有相當令人印象深刻的成就，該公司自1878 年由愛迪生(Thomas A. Edison)創立以來，已超過百年歷史，而歷經時代的變遷與企業轉型的雙重考驗，GE 憑俟其不斷創新研發精神，發展成為當今世界上

少數成功的跨國企業，全球一百多個國家設有分公司，更是1896年在美國道瓊(Dow Jones)掛牌上市的所有公司中，迄今唯一 碩果僅存的一個，可知求新求變是一個公司永續經營的原動力，足堪效法學習。

(四) 紐約獨立調度中心 (NYISO)

1990 年代中期，FERC 與紐約州立公共服務委員會引進新的政策，重新定義新的規則，電力可被產生、調度、傳送、購買及銷售。1993 年紐約電力池的八個會員系統，依照紐約電力事業已發生主要的改變，開始計劃改進原有電力池的經濟調度方式。1997 年 NYPP 向 FERC 提出申請，成立紐約獨立調度中心(New York Independent System Operator, NYISO)，以取代原有之電力池結構。在此期間，紐約州內許多民間擁有的公用事業開始出售其發電設備資產，於是乎紐約州內為數可觀的發電設備便不再屬於輸電網路業者。NYISO 是由十位不同專業背景人士組成之董事會管理，董事會成員與紐約州電力市場之交易業者完全不相關。董事會底下有數個控制管理委員會，由包括在躉售及零售市場買方與賣方同一位階的 NYISO stockholders，以及市場上並未擁有 commercial stake 的代表所組成。這些委員會包括管理委員會、營運委員會及企業事務委員會 (Business Issues Committee) 等。而在紐約州的 Guilderland (靠近首府 Albany) 有一群專業的分析師與工程師幕僚們，利用最新式的電腦系統，負責電力市場的運作，即時監督與調度電力市場，並對 NYISO 的用戶們提供支援與服務。為表示調度中心的獨立性，NYISO 所有工作人員皆和參與紐約電力市場的交易商無財務關係。

電力一經產生，就必須傳送出去，最後分配到用戶所在。在電力送達配電網路前，NYISO 負責協調發電與輸電。2008 年，紐約裝置容量在 54,445

MW，每小時尖峰最高用電量為 32,432 MW，平均負載為 18,854MW，總供電量達 331,225GWH。NYISO 每日運轉 24 小時，一年運轉 365 天，透過公平、競爭的電能市場，確保紐約超過一千八百萬住戶接受到最可靠的電力。

紐約州的電力躉售市場的設計乃朝向在售電方面加強競爭，同時對買方提供選擇。對於以競標為基礎，許多市場內的產品與服務，NYISO 扮演類似票據交換所的角色，並負責維持電力系統安全與可靠地運轉。藉由促進每日市場交易，NYISO 保證電業自由化在紐約州是行得通的。紐約的電力市場可提供各式各樣的交易，電能與容量買方與賣方的私人契約可經由 NYISO 在電力系統的撮合交易而完成。買方與賣方亦可向 NYISO 的協調市場內競標電能與某種輔助服務（ancillary services）。更像扮演商品期貨交易所（commodity exchange），NYISO 撮合市場交易與決定買賣價錢。這些競標為基礎的市場共分兩時期開放，允與顧客以已知價格確保隔日所需電能，或是到每日現貨市場逐一小時以清算價格購買。

原有的紐約電力池既已被 NYISO 取代，於是 NYISO 成為一個非營利的紐約股份有限公司。NYISO 為美國東北部三大 ISO 之一，其他二個為 ISO-New England、PJM Interconnection。廣義的東北部 ISO 尚且包括加拿大的安大略省的 IMO 以及魁北克省的 Hydro Quebec，這些 ISO 的用戶負載總和相當於整個西部地區的聯合，是世界政治、金融及文化的中心。NYISO 正好位於這些 ISO 的交叉路上，其主要任務如下：

1. 確保紐約州電力系統可靠運轉。
2. 負責紐約州的輸電線路系統與電力躉售市場的運轉，建立公開、公平及有效的競爭市場。
3. 改善區域間運轉與規劃的合作。

4.符合或超越所有地區顧客的期望。

第六章、電力系統結構

6-1 前言

電力無法大量儲存，電力公司必須隨時備足電源，以滿足用戶用電之需求，亦即爲了供應隨時變化之負載，系統之發電機組必須亦步亦趨的跟隨著負載變化，才能維持發電與負載時時刻刻平衡的狀態。由於各類發電機組（核能、水力、火力、風力、太陽能等）特性迥異，系統爲單機、多機、小區域、及大區域之互連供電組成，輸電電壓包括低壓、高壓、超高壓等，而負載隨景氣、季節、溫度變化，形成龐大且錯綜複雜的電力系統。爲了達成系統安全與經濟之需求，電力調度應運而生，電力系統必須具有類似人體中樞神經大腦之組織，以指揮協調運轉，有效運用現有發輸變電設備，發揮系統整體運轉功能，達成供電安全可靠、電力品質優良、環境保護、農工用水協調、及供電成本低廉等目標。

6-2 發電設備

發電設備或發電機組，一般可依其原動機所使用的能源類別不同而分爲水力、火力、核能及風力發電等。其中水力發電，又可分爲慣常(Conventional)及抽蓄(Pumped storage)水力發電兩大類，而火力發電亦可按燃料別而分爲燃油、燃煤、及燃氣等。

1. 水力發電：水力發電的優點爲無燃料費用、無污染物排放、故障率較低、起停迅速、及壽命較長等。惟水力廠址受地質、河川流量、及落差等條件限制，並非任何河川地段均可設立水力發電廠。水力發電是利用水流自高處流向低處(落差)，由其位能(Potential energy)轉換爲動能(Kinetic energy)，再由動能轉動水輪機帶動發電機而發電。各類型的水力發電略述如下：

(1) 川流式發電(Run-of-river power)

在河川上游，建造攔河壩，攔住水流，將河川流水由水道導入廠房，轉動水輪機帶動發電機發電。在水流中途既不儲存，亦不調整流量。

(2) 調整池式發電(Pondage power)

在河川中建造攔河壩，攔住水流形成一小型儲水池或稱調整池，池內於深夜或離峰期間儲水，系統尖峰時間使用，以增加發電量。主要為調整河川水流發電，以應付一日間的尖峰負載變動。

(3) 水庫式發電(Reservoir power)

選擇天然適當地點築壩儲水，利用截豐濟枯，使河川流水儲積成水庫或湖。容量較調整池大很多。其機組容量大小視水庫容量、水源狀況及系統需要等因素而定。

(4) 抽蓄式發電(Pumped storage power)

係利用豐水期或深夜系統負載較輕時段的價廉電力，將低處(下池)的水，抽取存於高處(上池)。而於尖峰負載時段用來發電。抽蓄水力發電之概念：

A.所謂抽蓄發電，即備有上、下兩貯水池，發電後之水貯放在下池，深夜用電量少時，利用火力及核能電廠廉價電力，將下池之水抽送至上池貯存，白天用電量多時，再利用上池之水來發電的方式。

B.抽蓄發電可提高大容量火力及核能電廠之效率與經濟性，並可供給尖峰電力。

2.火力發電：利用化石燃料，將熱能轉換為機械能，以轉動發電機而發電的方式，概稱為火力發電。火力發電可依其動作原理分為汽力發電，柴油機發電，氣渦輪機發電，複循環機組發電及汽電共生(Co-generation)等類

別。若按燃料類別，則可分為燃煤、重油、輕油及天然氣等。

(1) 汽力發電 (Steam turbine)

由鍋爐所產生的高溫、高壓蒸汽，經蒸汽管路引入蒸汽輪機，以驅動其連接的發電機組發電。大型蒸汽輪機由高壓、中壓與低壓汽輪機等三部分所組成。所利用之化石燃料為煤、燃料油及天然氣等，該等發電設備多供應電力系統的基載與中載，為目前主要的發電方式。

(2) 柴油機發電 (Diesel)

以柴油機帶動發電機發電之方式，主要燃料為柴油。其優點為施工期短、熱效率高、起停迅速、對負載的因應能力較佳等。因係往復式動作，機器振動大而易磨損；又容量小，燃料費用高昂，故一般多用於系統緊急電源、離島供電、或自備電源等。

(3) 氣渦輪機發電 (Gas turbine)

其優點為構造簡單、投資較低、施工期短、起動迅速、負載因應能力佳，適於尖峰或緊急電源。惟燃料費用高昂，不宜作長時間運轉。

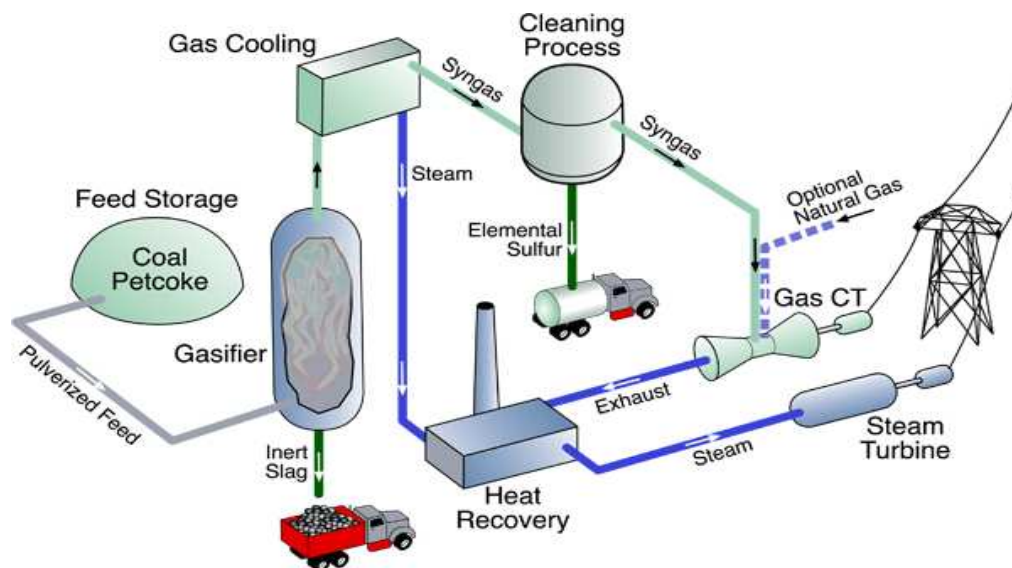
(4) 複循環機組發電 (Combined cycle)

由二或三部氣渦輪機與一部汽輪發電機組合而成，適於供應系統尖載與中載。效率高，起停迅速，可輪流維修。

(5) 氣化複循環發電系統 (Integrated Gasification Combined Cycle, IGCC)

由於溫室氣體排放限制議題，以致於本技術成為燃煤發電技術之新興潮流。IGCC為結合燃煤氣化系統與複循環發電系統之先進整合型發電技術。傳統燃煤超臨界發電系統之效率約為40%，而複循環發電系統效率為60%。複循環發電系統為目前效率最高的發電技術，惟只適用於液態及氣態燃料，但是石油與天然氣供應日益短缺且價格昂貴，因此如何將

燃煤應用於複循環系統以達到高效率低污染且利於二氧化碳捕捉之目標，成為燃煤發電技術最重要的發展方向。 燃煤氣化為歐洲已發展近百年的商業化煤化工技術，不需由基礎開始研究，而複循環系統亦為發電工業中極為成熟之技術，因此結合兩者將固態之燃煤氣化成合成氣送入複循環系統發電而發展出IGCC技術，可節省發展之經費並縮短發展期程，因此極具競爭優勢。IGCC包含二氧化碳捕捉之系統流程為：燃煤經前處理後進入氣化系統，與空氣分離器產生之氧氣作用生成合成氣，經冷卻後進行水化學反應，將一氧化碳轉化為二氧化碳，再將硫與二氧化碳分離出去，所產生的氫氣可送入複循環系統發電或做其他用途，如化工原料等。分離出去的硫可回收，捕捉之二氧化碳可再利用或封存於地下鹽水層而達到減量之目的。IGCC具有燃料與產品多元化，高效率低污染及利於二氧化碳捕捉等優點，目前尚屬商業示範階段，其建廠與發電成本高於傳統超臨界燃煤發電技術20%，而運轉率約為80%，低於傳統超臨界燃煤發電技術（>90%），尚待積極發展。



圖IGCC發電廠示意圖

IGCC使用燃料極有彈性，包括燃煤、石油焦、廢棄物及生質燃料等均可。前述燃料中，燃煤價格相對低廉穩定且開採年限最長；石油焦為煉油工業副產品可再次利用並節省燃料；廢棄物可同時解決能源與環保問題；生質燃料除具上述優點外，更可有效降低二氧化碳排放量。多元的進料大幅降低對石油與天然氣以及單一能源之依賴性，有效提升能源安全度，因此採用IGCC技術發電做為國內主要基載電力之一，為值得考量之能源政策。

目前IGCC發電效率約為43%，並具有燃煤發電系統中最高效率之潛力（>55%），若與燃料電池結合則可超過60%，其中SO_x、塵粒與NO_x排放遠低於其他燃煤發電系統，NO_x排放甚至與天然氣發電相當。由於在燃燒前之高壓條件下捕捉二氧化碳，因此其捕捉成本遠低於其他燃煤發電系統及天然氣發電系統。捕捉二氧化碳後必須封存方能達到減量效果，若又排放於大氣中則捕捉毫無意義。目前二氧化碳封存仍有諸多障礙，因此IGCC利於二氧化碳捕捉之優勢尚未能發揮，甚至遭質疑捕捉後之二氧化碳何去何從。IGCC目前之二氧化碳減量功能在於高效率與利用生質能。提升5%的效率相當於二氧化碳減量約10%，荷蘭Nuon IGCC電廠採用30%的生質能相當於二氧化碳減量約30%。IGCC僅憑多元化、高效率及低污染等優點便值得發展，未來二氧化碳封存若實際執行則IGCC將更具優勢。

（6）汽電共生發電(Co-Generation)

汽電共生系統係指利用燃料或處理廢棄物同時產生有效熱能與電能之系統。利用此系統可大幅節省能源，提高熱能、電能生產總熱效率，以促進能源有效利用。

3.核能發電：

利用原子核分裂時產生的能量，把反應器中的水加熱，以產生蒸汽，然後藉蒸汽推動汽輪機，再轉動發電機，而產生電。因為是利用核分裂的能量，不必燃燒化石燃料，故不會產生二氧化碳和其他化合物，對生態環境的保持，有極大的貢獻。核能發電之單位建造成本高，但容量大，通常均作基載運轉。因發電時間長，容量因數高，故平均發電成本較低。

4.新能源及其發電方式：

台灣地區自產能源非常有限，僅有少許的煤炭及水力可供經濟開發，為滿足國內經濟發展及提高生活水準等需要，進口能源供給量由民國50年之27%逐年增加，97年達到98%，其中電力所需能源約占48%。世界能源危機以來，政府即重視新型能源之研究開發，目前技術比較成熟且適合台灣環境條件者計有風力發電、焚化垃圾發電及太陽光電能發電等。

(1) 風力發電 (Wind power)

風力發電是將風的動能經由風力機轉換成機械能，再由機械能驅動發電機轉變為電能。但由於天然風力有間歇性，並不穩定。在設計上，風力發電機只能在某一種風速範圍內方能運轉。且須選在空曠、長時間都有足夠風力的地方才具備經濟效益。另風力發電必須與其他電力系統併聯才能獲得穩定可靠的電力。台灣為一海島，每年約有半年以上的東北季風期，風力資源豐富。

(2) 焚化垃圾發電

將垃圾焚化所產生的熱能回收，轉換成電能的一種發電方式。此種發電方式既可解決垃圾處理問題，又可增加經濟效益，一舉兩得。

(3) 太陽能發電

將太陽光照射在太陽電池上，使太陽電池吸收太陽光能透過半導體使其產生電子(負極)及電洞(正極)，同時分離電子與電洞而形成電壓降，再經由導線傳輸至負載。太陽能是利用太陽光來發電或產生熱能。惟屬「間歇性」能源，無法連續不斷地供應，故須將太陽能加以儲存，以供夜晚或多雲日子使用，故有時需要他種輔助之能源設備配合使用，需廣闊面積才能收集到足夠使用的能量且成本昂貴。目前常見之太陽能應用有二：

1. 太陽能熱水系統

利用太陽能集熱器，收集太陽輻射能把水加熱的一種裝置，是目前太陽熱能應用發展中最具經濟價值、技術最成熟且已商業化的一項應用產品，其應用範圍廣泛，包括：家庭、宿舍、旅館、醫院、餐廳、游泳池等的熱水使用

2. 太陽能光電系統

利用太陽電池將太陽能轉換成電能。但由於太陽電池產生的電是直流電，因此若需提供電力給家電用品或各式電器則需加裝直交流轉換器，將直流電轉換成交流電，才能供電至家庭用電或工業用電。

6-3 輸配電設備

各發電設施所產生的電力，經由電廠升壓變壓器提升電壓後，再藉輸變電系統，輸送至各負載或用電中心，即人口集中之大小城鎮使用。輸變電系統包括各電壓等級的輸電線與變電所，其功能分別為：輸電線將電力(能)自電廠輸送到遠端的各級變電所；變電所則以其降壓變壓器，降低電壓至各類用戶可接受的程度而供電。通常，一般用戶的電器用具或設備，多不能直接使用高壓電力，故必須在用電中心附近興建變電所，以利供電。

輸電系統可分為：超高壓輸電系統、一次輸電系統、二次輸電系統。而變電所亦配合不同電壓等級分為：超高壓變電所、一次變電所、二次變電所、及配電變電所等。超高壓變電所係連接超高壓與一次輸電線路，將超高壓輸電系統的電力，降壓轉換為一次輸電系統，其電壓比為345/161 KV。一次變電所係連接一次與二次輸電線路，將一次系統的電力降壓轉換為二次輸電系統，電壓比為161/69 KV。二次變電所係連接二次輸電與配電線路，將二次輸電系統的電力降壓轉換為配電系統，電壓比為69/11 KV。而配電變電所，則是直接將一次系統的電力，降壓轉換為配電系統，電壓比為161/22 - 11 KV。

配電系統，主要包括配電變電所與二次變電所的出口線路，即高壓配電線(11/22 KV)、配電變壓器和接戶線(220/110V)等。

6-4 系統負載

- 1.系統負載受經濟景氣、季節及氣溫之影響頗大，致每年負載成長不同，每月、日負載亦有很大差異。任一變電所的負載可依其使用電能的目的區分為最基本的三種負載類型，亦即住宅類、商業類及工業類。在不同的負載類型中所使用的負載元件，例如電視機、日光燈、電動機等亦產生了不同得負載特性。
- 2.電力系統中消耗電力的元件種類及數量繁多，故將其簡化為等效負載，其負載模型及特性對穩定度之模擬影響甚大，通常分成兩大類，即靜態模型及動態模型。若負載僅考慮與電壓大小相關時，其關係式如下：

$$P = P_0 (a_1 + a_2 V + a_3 V^2)$$

$$Q = Q_0 (a_4 + a_5 V + a_6 V^2)$$

a_1 、 a_4 ：定功率負載比例

a2、a5 ：定電流負載比例

a3、a6 ：定阻抗負載比例

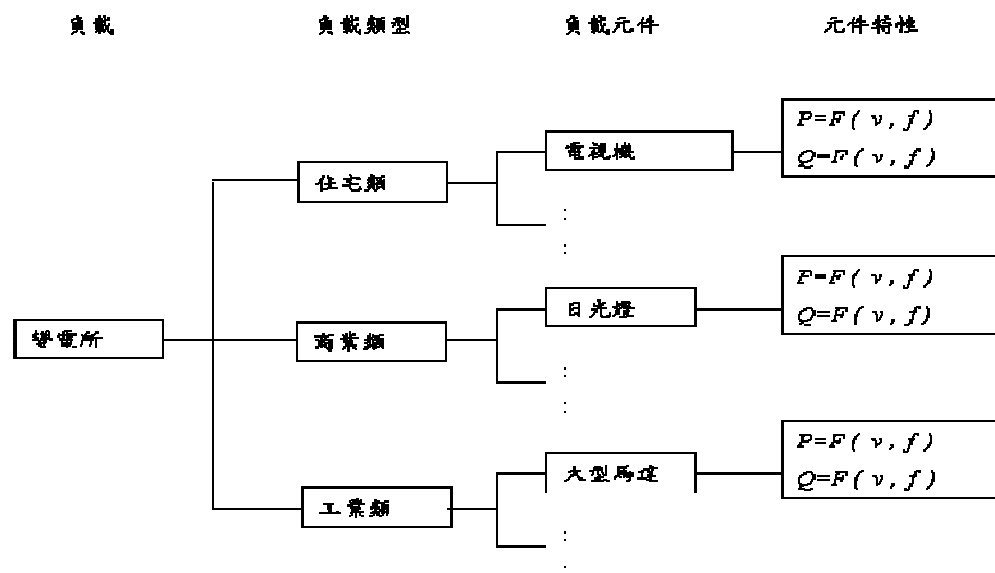
若考慮為頻率相關性之負載特性，將上述指數模型或多項式模型乘上一個因數($1+K_f \Delta f$)，其關係式改寫如下：

$$P = P_0 (a_1 + a_2 V + a_3 V^2) (1 + K_f \Delta f)$$

$$Q = Q_0 (a_4 + a_5 V + a_6 V^2) (1 + K_q \Delta f)$$

一般而言，電力系統中全部電能之60%~70%為電動機所消耗，所以系統動態特性受負載特性之影響部份主要為電動機之動態特性，常將負載之動態模型以感應電動機模型來表示。

3. 由於電力系統受到擾動後將引起電壓與頻率的變化，負載特性隨之產生變化，對供電端與受電端均有不同程度的影響，因此，不適當的負載模型有時會導致系統解聯或崩潰的危機。就複雜的現代化大型電力系統而言，建立正確的負載模型與發電機模型、傳輸線路模型同等重要。



6-5 調度控制中心

為了供應隨時變化之負載，發電機必須亦步亦趨隨時跟者負載變化，才

能維持發電與負載時時刻刻平衡的狀態，這種一分一秒皆須維持平衡，不可須臾偏離的特定任務，即是電力供應所具有的特性，這個特定任務是由中央調度控制中心來負責完成。中央調度控制中心分設中央調度室及電腦室，中央調度室是調度人員用來執行每日調度工作的地方；電腦室則設有兩套調度控制用計算機，內有先進的電能管理系統，用以協助電力調度工作。電力調度室工作人員全日24時值班，隨時監視電力系統運轉狀況，以便做適當處理，尤其在系統緊急(如電源不足、機組跳機、設備故障、惡劣天候、及颱風侵襲等)狀況下，工作更加繁重。在電源調度方面，包括預測負載、調度控制各類發電滿足用電需求、調整維持系統頻率、維持發電備轉容量、控制水庫放水、執行合約事宜；在電網調度方面，例如網路操作(包括工作或事故停電、復電、加入系統)、電壓調整(無效電力運用、變壓器分接頭調整等)、系統安全監視控制(設備超載、電力潮流調整等)等。

為供應足夠的電力，需要根據過去的系統負載實績與氣象預報資料等，預測未來系統用電需求量，包括預測一日與未來一周或一個月的系統負載。根據預測的系統負載，按照其起伏變化，從現有可用的發電機組中，依水力、火力、核能等各種機組之特性，協調灌溉及公共給水，來排定機組最佳最經濟的運轉方式，並準備有關發電工作，以期提供經濟而質優的電力。最重要的，在這種發電安排下，必須檢討是否會引起輸配電設備超載、故障電流過大、或電力系統不穩定等問題，以提高供電的可靠性。

6-6 本章結論

電力為工業之母，國家經濟發展的原動力，亦為人類文明的表徵。通常用電狀況可視為國家開發重要的指標之一。電力也是潔淨而方便的能源，是

我們現代生活中不可或缺的必須品。近數十年來，工商業快速發展，帶動國際貿易與商業興盛，造成經濟奇蹟，其中電力的持續發展與配合，提供充裕能源，貢獻良多。

電力公司為滿足負載成長之需求，持續進行發輸配電設備之興建，電力系統的規模與結構日趨龐大而複雜，電力調度工作量與日俱增，電力調度人員肩負者電力的供需平衡，在瞬息間調度著影響經濟命脈的電能。

第七章、電力系統穩定度

7-1 前言

電力系統遭受到干擾(Disturbance)後，仍能維持其同步運轉，則稱此系統是穩定的(Stable)。探討電力系統穩定度之目的係為提高系統可靠度，作為系統運轉、規劃、控制設計之依據，可藉由事故分析或設備加入系統之系統衝擊檢討，而掌握系統特性，進一步強化系統，作為調度運轉之依參。

7-2 電力系統穩定度

電力系統穩定度(Stability)係指電力系統遭受到各種大大小小的擾動時，保持或重返可接受之穩定平衡狀態的能力(Stable ability)。電力系統穩定度包括電壓穩定度(Voltage stability)、頻率穩定度(Frequency stability)及角度穩定度(Angle stability)。電壓穩定度是指系統各電壓階層保持在額定電壓範圍內的能力，與系統無效功率有關；頻率穩定度指系統頻率維持在額定頻率的能力，與系統有效功率有關；角度穩定度是指系統發電機組維持同步運轉的能力，與系統阻尼有關。而通常所說的電力系統穩定度係指角度穩定度而言。

正常運轉中的電力系統即不時地受到各式各樣的小擾動，例如傳輸線路的操作、負載的變動、變壓器、電抗器及電容器的切換等。偶爾也會遭遇到大的擾動，例如超高壓幹線跳脫、大型發電機組跳機、以及設備嚴重的短路故障等。當電力系統遭受到大大小小的擾動時，併聯於電網上同步運轉的發電機組，因本身機械設備及所屬的電氣控制元件特性的不同，造成轉速和角度各依旋轉物體之運動定律變動，產生不同頻率及幅度的振盪，再透過網路的聯接而互相牽動，導致電力品質受到影響。為確保電力系統運轉時不因大

小擾動導致系統嚴重事故，其關鍵在於各發電機組受到擾動後，是否仍能繼續維持同步運轉的能力，即所謂角度穩定度的問題。

依系統遭受擾動的大小及其反應時間變動的情形，角度的穩定度又可分為暫態(Transient)、動態(Dynamic)和小信號(Small-signal)穩定度，如圖所示。暫態穩定度指系統遭受到大擾動後，發電機組轉子角度歷經第一個擺動週期後，仍能維持同步運轉的能力，其穩定的條件為系統是否有足夠的同步轉矩；而動態穩定度指系統遭受到大的擾動，發電機組轉子角度在隨後擺動週期中，其擺幅可持續減小的能力，其穩定的條件為系統是否有足夠的阻尼轉矩；小信號穩定度指系統在正常狀況下受到微小的擾動，發電機組轉子角度之擺幅可持續減小的能力，其穩定的條件為是否有足夠的阻尼轉矩，與動態穩定度相同。

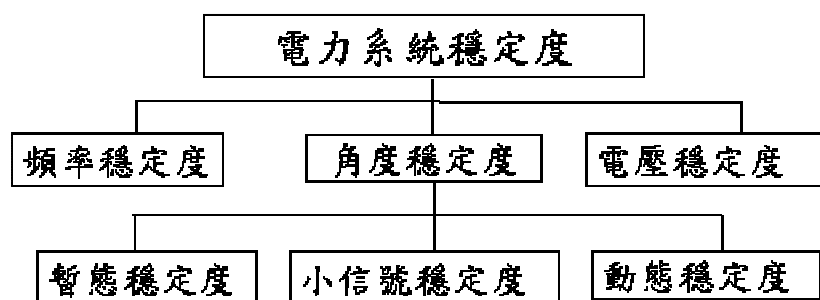


圖3.1 電力系統穩定度分類

電力系統受到擾動後，同步發電機轉子將依照運動定律改變速度，系統會有短暫振盪現象發生，在振盪的同時發電機組間同時依相角差作發電及負載移轉以降低角度及轉速的偏差量，而振盪現象是否能夠穩定端視角度及轉速偏差量能否產生足夠穩定的轉矩。系統受到擾動後，會在角度及轉速方向

發展出抑制振盪具有煞車作用的電機轉矩，擾動時的電機轉矩產生與角度偏差量同相的分量稱為同步轉矩，擾動時的電機轉矩產生與速度偏差量同相的分量稱為阻尼轉矩。暫態不穩定本質係由於缺乏足夠的同步轉矩；動態或小信號穩定度的本質則是缺乏阻尼轉矩。

在複雜控制系統中，具有可調整且能直接影響電力系統阻尼特性者首推勵磁系統，勵磁系統提供發電機所需的能量，透過發電機磁場控制可改變系統的同步轉矩及阻尼轉矩，亦即變更勵磁系統控制參數可改善系統暫態、動態及小信號穩定度。

7-3 暫態穩定度

(一) 暫態穩定度(Transient Stability)主要在探討發生嚴重干擾後，電力系統之動態表現，所謂嚴重干擾如系統發生三相故障、發電機組跳脫或負載跳脫，造成系統重大衝擊。

暫態穩定度是在時域內利用數值法分析描述電力系統之非線性微分及代數方程式，已包括一些非線性如限制器、比率限制器、飽和等，其檢討可分成下述步驟：

1. 定義檢討目的：如求得發生線路故障或負載跳脫後之系統穩定度及暫態電壓。
2. 發展系統模型：如每一發電機是否採用快速激磁系統及裝設電力系統穩定器，負載模型採用定阻抗、定電流、定功率之組成，及採用同步機模型、激磁系統模型、電力系統穩定器模型，以及輸電線路及變壓器阻抗模型。
3. 定義運轉情況：發電機出力分配、負載大小、電力融通。

4. 定義事故：事故發生後，電驛動作跳脫線路清除故障之時間。
 5. 執行模擬：先對特定系統運轉情況下求解電力潮流，並執行暫態穩定度模擬。
 6. 分析模擬結果：系統是否穩定或不穩定，評估選定變數之表現，確認穩定度準則如暫態電壓降之大小和期間，最小暫態頻率。
- 穩態下由原動機產生之機械轉矩 T_m 與由發電機產生之電功率 T_e ，大小相等 $T_m = T_e$ 方向相反，此時發電機轉子以同步速旋轉及加速度為零，可由搖擺方程式(Swing Equation) $J(d\omega/dt) = T_a = T_m - T_e$ 描述，或以不同單位改寫成 $d\omega/dt = T_a = (T_m - T_e) / 2H$ ，其中 $H = J(\omega_{om})^2 / 2V_{Abase} = \text{儲存於轉子之動能} / V_{Abase}$ ， H 值範圍約為2sec~10sec，如下表所示：

機組類型	H [sec]
火力機組2極,3600rpm	2.5 ~6.0
火力機組4極,1800rpm	4.0 ~ 10.0
水力機組	2.0 ~ 4.0

利用 $d^2\delta/dt^2 = \omega_o d\omega/dt$ ，將 $d\omega/dt$ 替換為 $(T_m - T_e) / 2H$ ，得到 $d^2\delta/dt^2 = \omega_o(T_m - T_e) / 2H$ ，考慮阻尼轉矩(Damping Torque)效應 $D\Delta\omega$ ，則描述轉子震盪之搖擺方程式為

$$d^2\delta/dt^2 = \omega_o(T_m - T_e - D\Delta\omega) / 2H$$

其狀態空間形式(State Space Form)為

$$d\delta/dt = \omega_o\Delta\omega$$

$$d\Delta\omega/dt = (T_m - T_e - D\Delta\omega) / 2H$$

由於搖擺方程式是非線性方程式，無法直接求得確切解析解，在實際

電力系統中此類型方程式使用數值積分方法求解。然而如果一個系統僅由一台發電機連接至無限匯流排(Infinite Bus)所組成，且僅考慮發生故障後緊接之時間，如此傳統發電機模型為正確，則等面積準則EAC(Equal Area Criterion)方法能被使用於研討系統暫態穩定度。

(二) 暫態穩定度之改善方法，係朝著儘量縮短故障時間和嚴重程度而達到降低故障對系統衝擊程度，增加回復同步運轉之力量，藉由控制原動機之機械功率或利用人工負載以減少加速轉矩，可分成下述方法：

1. 高速故障清除(High-Speed Fault Clearing)。
2. 降低輸電系統阻抗。
3. 調整並聯補償(Regulated Shunt Compensation)。
4. 動態制動電阻(Dynamic Breaking Resistor)
5. 電抗器切換。
6. 斷路器之獨立極操作。
7. 單極切換。
8. 汽輪機快速閥門。
9. 發電機跳脫。
10. 系統分離及卸載。
11. 高速激磁系統。
12. 非連續激磁系統。

7-4 小信號穩定度

(一) 小信號穩定度(Small-signal Stability)係電力系統於無事故正常運

轉下遭到小擾動後，仍能繼續維持同步運轉之能力，即小擾動所引起的系統低頻振盪(Low Frequency Oscillation)響應特性，主要視系統是否有足夠的阻尼能力，以使小擾動所引發之振盪現象呈現衰減趨勢，藉此研判系統是否趨於穩定。其系統低頻振盪現象可分類如下：

1. 局部振盪模式(Local Mode)：振盪現象發生在同一電廠之發電機組者。
2. 區域間振盪模式(Inter-area Mode)：振盪現象發生在不同區域間之發電機群組者。
3. 全區振盪模式(Global Mode)：振盪現象發生在全系統發電機組者。

電力系統小信號穩定度之分析方法，一般可分成時域模擬(Time Domain Simulation)與頻域分析(Frequency Domain Analysis)兩種：

- (1) 時域模擬法：於系統中加入一小擾動信號，求解狀態方程式，觀察系統振盪現象，以判斷系統是否穩定，為最直接、最易瞭解及方便實施的方法。採用此法須進行多項測試，以確定各種不同擾動下所產生之響應是否都趨於穩定。因為所求得系統響應常為多種振盪模式之總和響應，不易判定出個別單獨振盪模式之阻尼情形。目前用於時域模擬之商用軟體程式已相當成熟，如PSS/E。
- (2) 頻域分析法：於系統運轉工作點上，將非線性之系統狀態方程式加以線性化而求得系統線性模型，再求解各個振盪模式之特徵值(Eigenvalue)、頻率及阻尼，藉此能很清楚描述各個振盪模式為其優點，故又稱為特徵分析法。目前應用於電力系統特徵值計算之軟體程式較不普遍，由EPRI開發之SSSP較受歡迎。若一振盪模

式之特徵值為 $\lambda_1, \lambda_2 = \sigma \pm j\omega$ ，其中虛部 ω 為該振盪模式之頻率(rad/sec)，而實部 σ 則可用於判斷該振盪模式是否穩定。

對該模式阻尼的相對大小程度加以分析，則定義「阻尼比」 ζ (Damping Ratio)或稱阻尼係數如下：

$$\zeta = -\sigma / \sqrt{\sigma^2 + \omega^2}$$

若 $\zeta > 0$ 表示該振盪模式為穩定模式，若 $\zeta < 0$ 表示該振盪模式為不穩定模式。當 $0 < \zeta < 1$ 時，稱為欠阻尼(Under-damped)，當 $\zeta = 1$ 時，稱為臨界阻尼(Critically-damped)，當 $\zeta > 1$ 時，稱為過阻尼(Over-damped)。

(二) 小信號穩定度不佳原因是由於系統阻尼太差，故欲改善穩定度，一般可從減少負阻尼及增加正阻尼兩方面進行；對系統有負阻尼效果者有：

1. 負載特性不佳。
2. 負載潮流狀況不佳。
3. 輸電線傳輸容量過大。
4. 調速機使用。

對系統有正阻尼效果者有：

1. 電力系統穩定器(PSS)。
2. 靜態乏功率補償器(SVC)。
3. 串聯電容器補償。
4. 高壓直流輸電線(HVDC)。
5. 同步電容器。
6. 發電機阻尼繞阻。
7. 發電機激磁繞阻。

第八章、參考文獻

- (一) NEW YORK ISO POWER TRENDS 2009
- (二) Ronald L. Hauth, Transmission Analysis
- (三) Steven A. Barnes, Power Flow and Transient Stability Analysis
- (四) Hadi Saadat ,Power System Analysis
- (五) Liz Pratico, Surge Analysis & Equipment Application
- (六) John P. Skliutasr,Reactive Power Compensation & Voltage Control
- (七) Mike Reichard,P.E. & Jason MacDowell, Fundamentals of Power System Relaying
- (八) Dr. Sheppard Salon, Synchronous Machine Fundamentals I & II
- (九) Juan J. Sánchez-Gasca, Power System Dynamics
- (十) Sandy Murdoch & Steven A. Barnes, Generation Control Fundamentals
- (十一) Reigh Walling, Power Electronics Applications in Transmission
- (十二) Lavelle Freeman, Distribution Systems Planning and Reliability
- (十三) Devin Van Zandt, Distribution Equipment and Application
- (十四) John McDonald & Byron Flynn, Modern Grid : Substation/Distribution Automation
- (十五) Sundar Venkataraman, North American Energy Industry
- (十六) Steven Oltmanns & Ravi Kanth Varanasi, Utility Economics
- (十七) Beth LaRose, Global Power Markets