

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實 習)

赴美國參加美國奇異公司  
電力系統工程班

服務機關：台電系統規劃處

出國人職 稱：電機工程監

姓 名：周 浩 龍

出國地區：美國

出國期間：95.9.5~96.4.2

報告日期：96.5.28

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：赴美國參加美國奇異公司電力系統工程班

頁數 75 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：

周浩龍/台灣電力公司/系統規劃處/電機工程監/2366-7743

出國類別：1.考察 2.進修 3.研究 4.實習 5.其他

出國期間：95年9月5日~96年4月2日 出國地區：美國

報告日期：96年5月28日

分類號/目

關鍵詞：電力系統工程班(PSEC)、國際電工協會(IEC)、卡諾循環(Carnot Cycle)、區域控制誤差(ACE)、失載率(L.O.L.P)、雙饋可變速感應發電機(DFIG)、低電壓過渡(LVRT)、紐約獨立調度中心(NYISO)

內容摘要：(二百至三百字)

美國奇異公司電力系統工程班(PSEC)課程內容涵蓋範圍極為廣泛，由微而廣可由電路學基本原理、突波分析、電力電子元件、小信號分析、暫態穩定度分析、電力系統特性分析、同步電機控制模型乃至於系統運轉與機組排程、保護協調、進而擬定年度計劃及經濟投資領域和導入 ISO 概念、燃料市場機制介紹。受訓分為四大主題(輸電分析和規劃、進階電力系統、規劃和運轉策略、工業和配電系統應用)，期間並配合實地參觀風力電廠、汽電共生電廠、紐約調度中心、電機設備製造廠及研究發展中心，達成理論與實務相輔相成之目的。

另面對嚴峻的能源及環境污染問題，風能的發展已形成一股全球趨勢，奇異公司順勢於課程中加入風力發電技術發展簡介及各型風力發電機組特性對有效電力與無效電力控制、暫態穩定度、阻尼模擬特性之基本介紹，未來課程將對此部分更加著墨及深入，對於整體系統衝擊分析提供更多概念。

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



# 報告內容

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 一、出國緣由與目的 .....                    | 1  |
| 二、出返國行程 .....                      | 2  |
| 三、心得與建議 .....                      | 3  |
| 四、電力系統課程摘要 .....                   | 7  |
| 4-1 突波分析 .....                     | 7  |
| 4-2 暫態穩定度及小信號穩定度分析 .....           | 12 |
| 4-3 熱力學原理與火力發電 .....               | 20 |
| 4-4 規劃實務與工程經濟 .....                | 32 |
| 4-5 系統運轉調度及保護協調 .....              | 42 |
| 4-6 風力發電概要 .....                   | 52 |
| 五、實習期間參訪活動 .....                   | 63 |
| 5.1 Fenner Windpower Project ..... | 63 |
| 5.2 Selkirk Cogen 汽電共生廠 .....      | 64 |
| 5.3 NYISO 紐約獨立調度中心 .....           | 65 |
| 5.4 其他參觀行程 .....                   | 67 |
| 六、參考文獻(攜回資料) .....                 | 68 |

## 圖目錄

|  |    |
|--|----|
| 圖 4.1.1 突波波形定義 .....                   | 8  |
| 圖 4.1.2 波形合成示意圖 .....                  | 9  |
| 圖 4.1.2 Lattice Diagrams .....         | 10 |
| 圖 4.1.3 絕緣協調曲線及設備保護安全餘裕 .....          | 11 |
| 圖 4.2.1 系統分析採用模型 .....                 | 12 |
| 圖 4.2.2 暫態穩定度及小信號穩定度區別 .....           | 13 |
| 圖 4.2.3 能量等面積法則EAC示意圖 .....            | 15 |
| 圖 4.3.1 卡諾循環壓-容(P-V )圖和溫-熵(T-S)圖 ..... | 21 |
| 圖 4.3.2 藍欽循環系統圖 .....                  | 24 |
| 圖 4.3.3 藍欽循環P-V線圖及S-T線圖 .....          | 24 |
| 圖 4.3.4 再生循環系統圖 .....                  | 25 |
| 圖 4.3.5 再生循環及卡諾循環S-T線圖 .....           | 25 |
| 圖 4.3.6 一段再熱循環系統圖 .....                | 25 |
| 圖 4.3.7 一段再熱循環S-T線圖 .....              | 26 |
| 圖 4.3.8 再生再熱循環S-T線圖 .....              | 27 |
| 圖 4.3.9 複循環發電系統圖 .....                 | 28 |
| 圖 4.3.10 GTPRO套裝軟體圖形介面 .....           | 31 |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 圖 4.4.1 各類可靠度指標彙整表 .....        | 38 |
| 圖 4.5.1 電力系統控制概要圖 .....         | 42 |
| 圖 4.5.2 經濟調度機組求解模式示意圖 .....     | 45 |
| 圖 4.5.3 電力系統控制圖解 .....          | 46 |
| 圖 4.6.1 日夜風向示意圖 .....           | 52 |
| 圖 4.6.2 風機容量與塔高發展歷程 .....       | 54 |
| 圖 4.6.3 風機機艙示意圖 .....           | 55 |
| 圖 4.6.4 四種基本型式之風力發電機 .....      | 57 |
| 圖 4.6.5 風場系統衝擊考量的演進狀況 .....     | 59 |
| 圖 4.6.6 GE公司風機LVRT、ZVRT設計 ..... | 60 |
| 圖 4.6.7 增設風力機組vs同步機組後阻尼比較 ..... | 61 |
| 圖 5.1 參訪Fenner風場 .....          | 63 |
| 圖 5.2 NYISO組織架構 .....           | 66 |

## 一、出國緣由與目的

由於臺灣地理環境特性，可供電源開發之廠址有限，且環保議題及電磁波爭議，使得電源線及輸電線路之興建造成極大之阻力，整體電網之規劃，往往因配合工程施作之可行性，不得不配合修改，造成電力開發與系統負載無法達成區域平衡之規劃，據此形成部分輸電網路之瓶頸，且系統故障電流日趨擴大，導致輸電系統規劃工作難度更高、更複雜。然配合長期負載成長需求，多項大型發電及既有電廠機組更新之電源開發計畫仍須及早規劃，以滿足供電能力，同時亦須配合辦理各電廠開發計畫案電源線引接系衝檢討及長期輸電系統之規劃工作。

此訓練課程除可提供派訓人員建構更完善之電力系統理論及實務經驗外，訓練期間亦可與國外各知名電力公司派訓人員交流規劃理念，俾強化既有規劃能力及技術，吸取國外之經驗及技術，乃是此次出國目的。

## 二、出返國行程

### (一) 去程：

- 95.9.5 台北 Taipei(23:55) → 95.9.5 洛杉磯 Los angles(21:00)
- 95.9.5 洛杉磯 Los angles(23:50) → 95.9.6 芝加哥 Chicago(05:50) → 奧爾巴尼 Albany(11:30) → 斯堪那特提 SCHENECTADY(GE 公司)

### (二) 受訓：

- 95.9.7 ~ 96.3.30 美國奇異公司電力系統工程班

### (三) 返程：

- 96.3.31 斯堪那特提 Schenectady(GE 公司) → 奧爾巴尼 Albany(17:15) → 紐華克 Newark (18:20)
- 96.4.01 紐華克 Newark (00:15) → 96.4.02 台北 Taipei(07:50)

### 三、心得與建議

- (一) 此次受訓共有 16 位學員參加全期七個月之課程（日本 6 人、韓國 5 人、印尼 1 人、卡達 1 人、阿曼 1 人、台灣 2 人），另有約 10 人參加 1~2 星期之短期課程，除少數學員係財務背景，其餘大多為具電機背景之各國電力公司員工，職務則涵蓋規劃、運轉、發電、輸電、配電及工程領域，學習期間除互相瞭解各公司電力系統架構、規模及發展方向，亦藉由分組作業的競合，瞭解各公司間作業流程及作業準則，實際接觸各項不同領域工作，對於縱向及橫向溝通及整合有初步之概念，面對問題的處理，有更多的面向思考，補強專業領域之不足。
- (二) 適時出國受訓，吸收新知並調適生活習慣，將減少職業倦怠感，並激發員工學習意願，本課程涵蓋範圍極廣，可補強規劃人員對運轉調度、供電維護、財務會計乃至於市場經濟之不足觀念，提昇作業品質及績效，特別是針對略有實際工作經驗之年輕同仁，若可至 GE 公司接受 PSEC 訓練，將可貫通理論及實際範疇，對日後工作之助益，不可小覷。
- (三) 本次受訓學員本公司共派遣二人，除課業學習可互相討論

及切磋諮詢，互補專業領域之重點，對於課程學習效果加倍，另於日常生活起居亦可相互幫忙和諮商，減低單獨一人在異鄉生活之壓力，無形中達到更佳的學習效果，建議預算及人力許可的情況下，每年可編列二~三人參加本課程訓練之機會。

(四) 以台灣電力系統未來將朝向市場自由化的趨勢，必須及早因應新電業法下系統之運作模式，提升投資經濟效益又需兼顧電力供應的可靠性，將成為極具挑戰的課題，依目前台電系統尖峰負載高達 3206 萬瓩，若採用備用容量 16% 之現行準則規劃電源方案，將造成極大的投資成本，而如何發展基載、中載、尖載電廠比例，並安排機組年度維修最適排程，加強運轉保養，乃至於強化負載移撥管理，將備用容量率下修至合理比例且維持適度之「備轉容量」，方可形成供給面(電源開發成本)與需求面(負載成長需求)兩造皆可接受的結論。

(五) 依目前台電系統特性，尖峰時段電壓偏低，需投入與設置大量電容設備提升電壓，然離峰時段又因地下電纜大量施設，導致電壓偏高，反需投入新設大量電抗設備以抑制電壓，造成雙重的無效電力設施投資，倘能以彈性交流系統，

選擇系統瓶頸地點，設置現行無效電力補償器中最常採行之設備靜態同步補償器 STATCOM，將量測到的電壓變動量(增或減)轉換為無效電力的變動量，將可改善電壓變動和提供三相不平衡良好的抑制效果，另倘能利用發電機功因進相運轉能力(一般約為 0.95)將可提供最快速、低成本之調節無效電力功能，故加強發電機進相運轉操作經驗，並維護機組進相運轉能力，可大幅降低公司於無效電力設備之投資成本。

- (六) 對於全世界風力發電現況，目前全球裝置容量已超過 46GW(台灣傳統電力約 35GW)約佔全球電力供應 0.5%，預計 2013 年風力發電將達到 2%全球電力需求(總裝置量約為 194GW)，由於台灣能源 95%以上仰賴國外進口，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，刻正積極於國內風能資源豐富地區，規劃興建風力發電廠，由於風力發電仍屬一種不穩定電源，其電氣特性與傳統水、火力發電不同，而其匯入電網之電力品質亦與傳統水、火力機組之要求殊異，且風力發電機無論從單機容量或風場規模已有朝量大容量化發展之趨勢，如何進行大容量風場系統衝擊分析，從簡單的設

備保護及電壓、無效電力的控制，到有效電力的控制（調頻、備轉容量…等），乃至利用軟體模擬風機特性之模型參數，進行暫態穩定度、系統阻尼之分析，已成為一項重大之挑戰，值得更深入研討。

- (七) 歐美對於恐怖攻擊的因應方式，係採用更嚴密的安檢措施，除行李檢查，又增加指紋掃瞄及臉部攝影，本次入境美國即因安檢手續繁複及巧遇系統當機，導致延誤無法依原預定班機轉機，滯留機場身心俱疲，建議若目的地係入境後美國需再轉機飛往其他城市者，必須選擇安排充裕的轉機時間，以免造成困擾及不便。

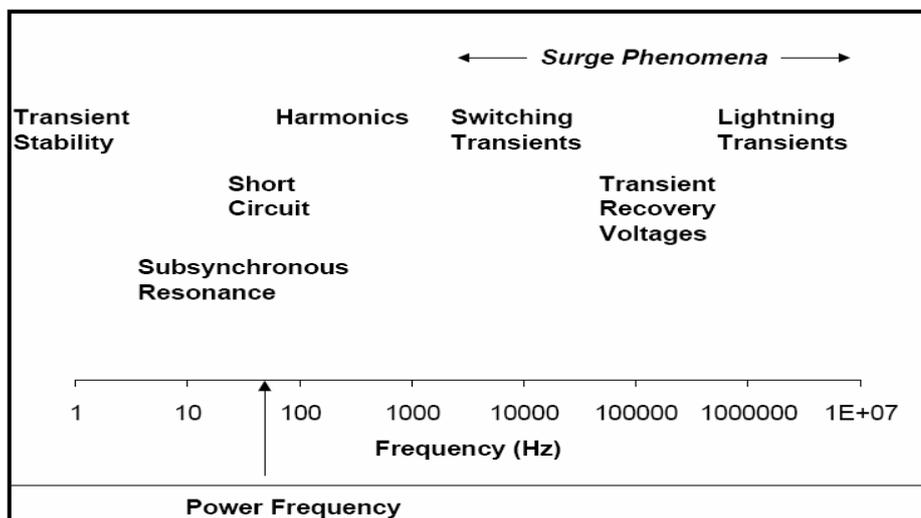
## 四、電力系統課程摘要

電力系統由電源、電網和負載三部份組成，電廠所產生的電力經由錯綜複雜的電力傳輸系統連接各級變電所和各型態用戶，最終提供用戶所需電力。系統電壓之標準由國際電工協會(International Electrotechnical Commission 簡稱 IEC)統一制訂，220kV 以上者稱為超高壓(Extra High Voltage)，因電力傳輸正比於電壓平方，且傳輸損失較低，目前各國皆有提升電壓等級之趨勢，但仍取決於運轉方針、電源與負載之分佈而決定電壓等級。

其間電力系統分析時由微至廣主題略述如下：

### 4-1 突波分析

過電壓可分短時過電壓(Temporary Overvoltage)、開關突波過電壓(Switching Overvoltage)、雷擊突波過電壓(Lightning Overvoltage)、快速暫態過電壓(Very Fast Transient Overvoltage)，各類暫態過電壓頻率範圍則如下圖，其分析範圍約  $10^{-6} \sim 10^{-1}$ sec 之間：



而突波波形則以  $T_1 \times T_2$  或  $T_1/T_2$  方式定義，其中  $T_1$  為波頭長， $T_2$  為波幅最高點降至半波高點  $Q_2$  之時間， $CF/T_1$  為波頭上升之峻度。

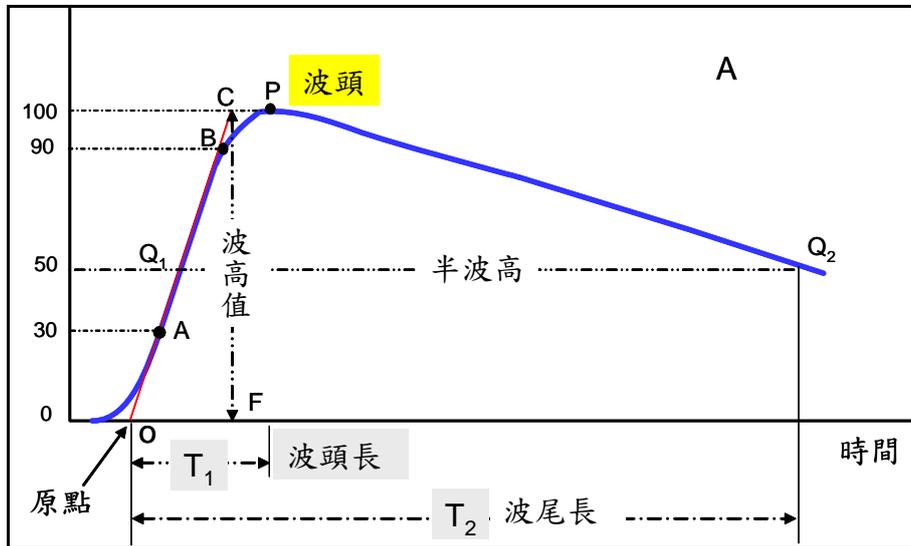
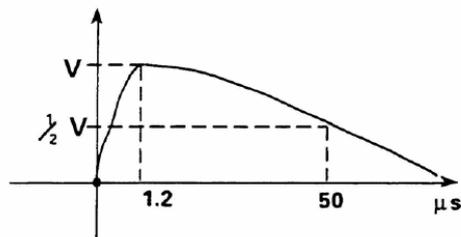


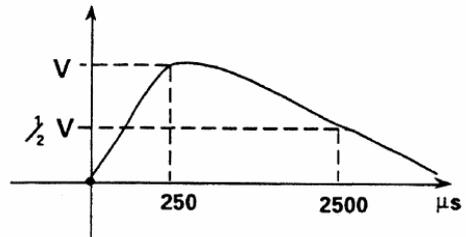
圖 4.1.1 突波波形定義

一般而言，標準的雷擊突波及開關突波其  $T_1.T_2$  之比例及時間可如下圖所示：

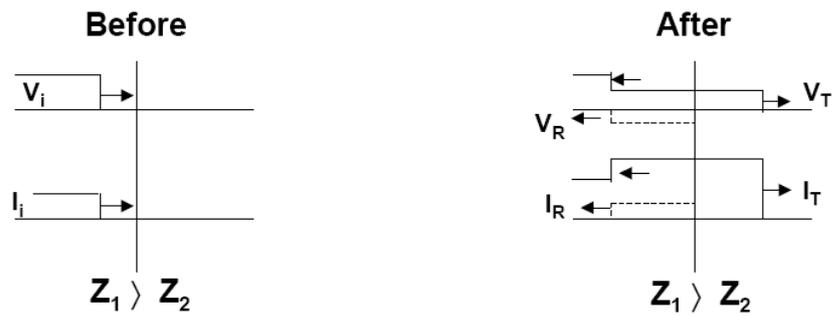
Standard Lightning Impulse



Standard Switching Impulse



各類突波進入不同介面之後，其入射、折射、反射波之大小及合成則視兩者組抗大小成固定比例，



其中反射係數(reflection coefficient)  $\Gamma = (Z_2 - Z_1) / (Z_2 + Z_1)$ ，折射係數(refraction coefficient)  $= 1 + \Gamma = 2Z_2 / (Z_2 + Z_1)$ ，可知當  $Z_1 < Z_2$ ， $\Gamma$  為正值，反之則為負值，就短路系統而言  $\Gamma = -1$ ，開路系統而言  $\Gamma = +1$ ，若為突波阻抗  $Z_0$  則  $\Gamma = 0$ 。

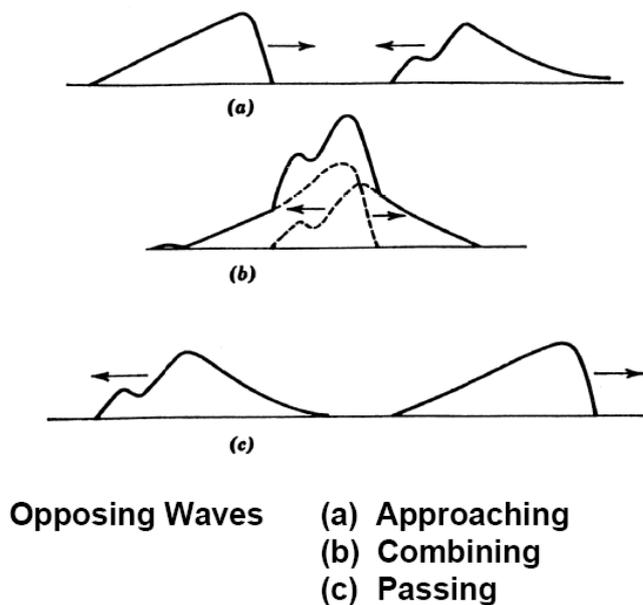


圖 4.1.2 波形合成示意圖

暫態分析基本考量，即以其合成波形峰值(傳統上可由如下圖之 Lattice Diagrams 方式簡單求得)，分析過電壓大小、設備絕緣(耐壓)強度、過電壓抑制進而採行絕緣協調設計，其中，短時過電壓(TOV)

需考量接地故障、負載突變、費蘭蒂效應、共振、鐵磁共振、啟開導線等狀況，而開關突波過電壓則考量線路加壓、復閉、故障發生及清除、電容電感性元件開閉等分析；後透過避雷器、斷路器預插電阻、並聯電抗器、變壓器設計、電驛設計進行過電壓抑制。

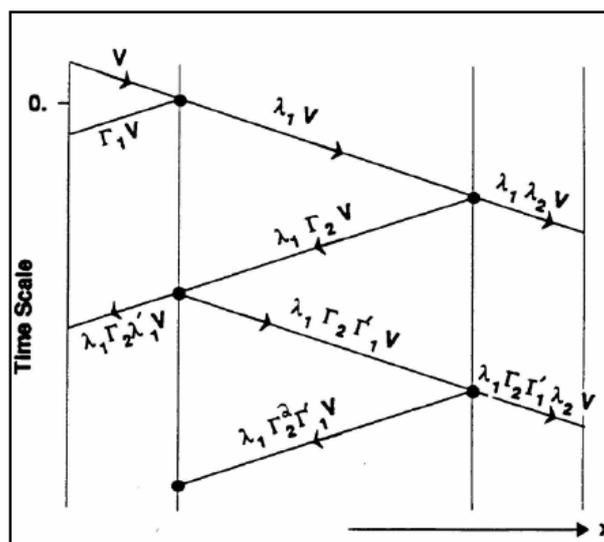


圖 4.1.2 Lattice Diagrams

一般絕緣設計必須考慮電力系統運轉電壓、可能發生的過電壓、合理的設備絕緣強度，輔以各種保護裝置的特性為基礎，從技術上、經濟上、以及電力系統運用上，將各項運轉設備的絕緣程度作合理的協調，一般耐壓設計安全裕度係採用：

|                                  |        |
|----------------------------------|--------|
| Switching Surge Withstand        | ≥ 1.15 |
| Switching Surge Protective Level |        |
| Full Wave Withstand (BIL)        | ≥ 1.20 |
| Impulse Protective Level         |        |
| Chopped Wave Withstand           | ≥ 1.20 |
| Front-of-Wave Protective Level   |        |

而絕緣協調曲線及設備保護安全餘裕則如下圖所示：

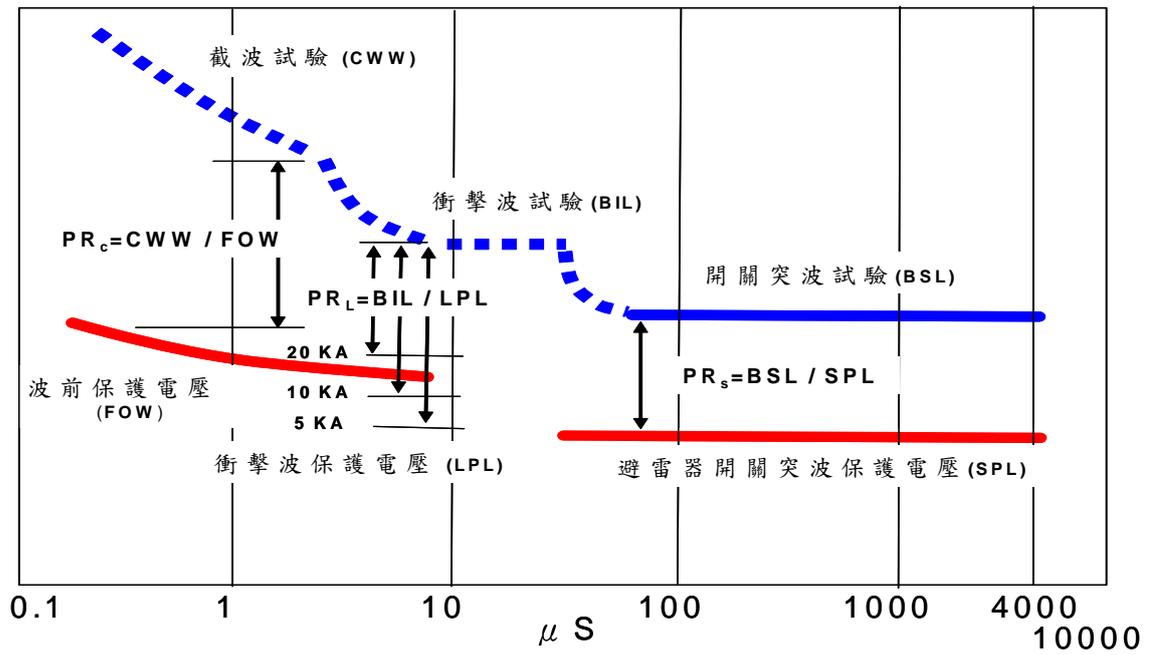


圖 4.1.3 絕緣協調曲線及設備保護安全餘裕

## 4-2 暫態穩定度及小信號穩定度分析

穩定度分析所探討時間範圍約介於 1 msec 至 10 sec 之間，穩定度係分析電力系統遭受到事故干擾後，是否維持穩定的同步運轉，影響電力系統穩定度因素可分為：1.運轉情況(融通電力、機組調度、區域負載、電驛設定)2.電力系統特性(激磁系統、負載模型、遠端發電量、電力融通限制、抽蓄/水力)3.控制系統(激磁系統、電力系統穩定器、調速機、SVC 阻尼控制、HVDC 控制系統、FACTS 控制器)4.事故發生地點、持續時間及狀態。

一般分析採用之模型，於發電部分係採用動態模型，即  $dx/dt=f(x,v)$ ，於輸電部分係採用穩態模型，即  $0=g(x,v)$ ，於負載部分則依特性不同選用 ZIP (定功率、定電流、定阻抗) 模型來分析。

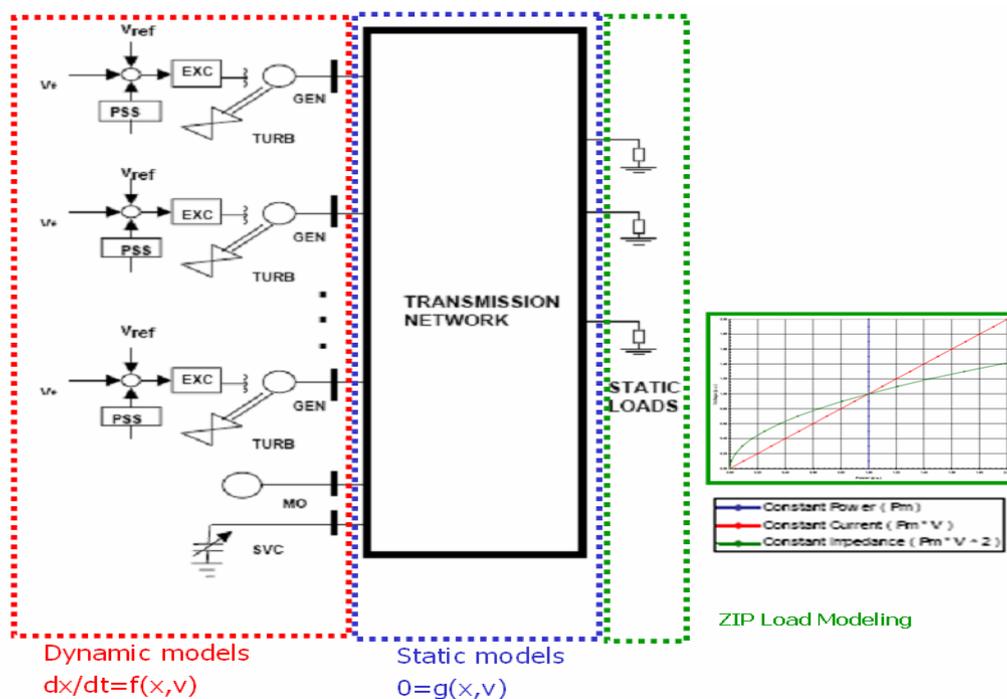


圖 4.2.1 系統分析採用模型

而針對不同的擾動，又可分為暫態穩定度(Transient Stability)及小信號穩定度(Small-signal Stability)分析，由下圖可略述兩者探討方向之差異，暫態穩定度係檢討系統是否達到新平衡點，而小信號穩定度係檢討系統是否回歸原平衡點，簡單而言，暫態穩定度主要在探討發生嚴重干擾(如三相故障、線路機組跳脫、匯流排接地故障或負載遽變)後，電力系統之動態表現，通常以第一個擺動特性為觀察指標，若一個擺動後仍可維持同步運轉即稱為穩定。小信號穩定度則探討電力系統於正常運轉下遭到小擾動(小量負載變化、變壓器分接頭切換、電容器開關操作...)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，判斷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，並趨於穩定。

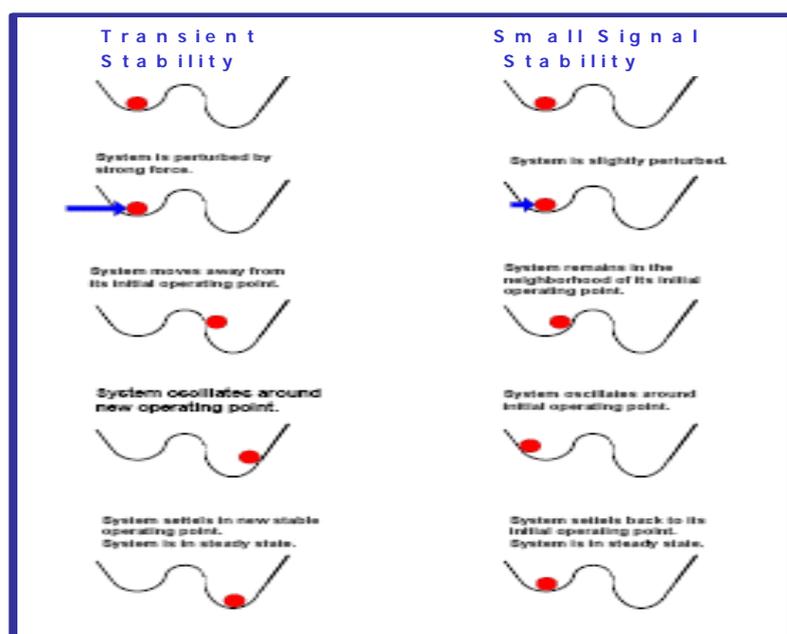
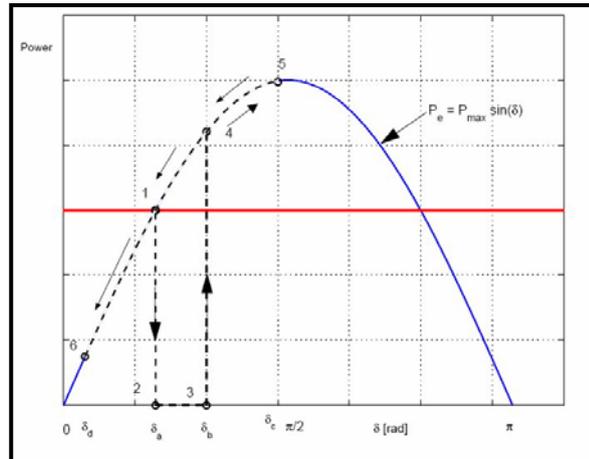


圖 4.2.2 暫態穩定度及小信號穩定度區別

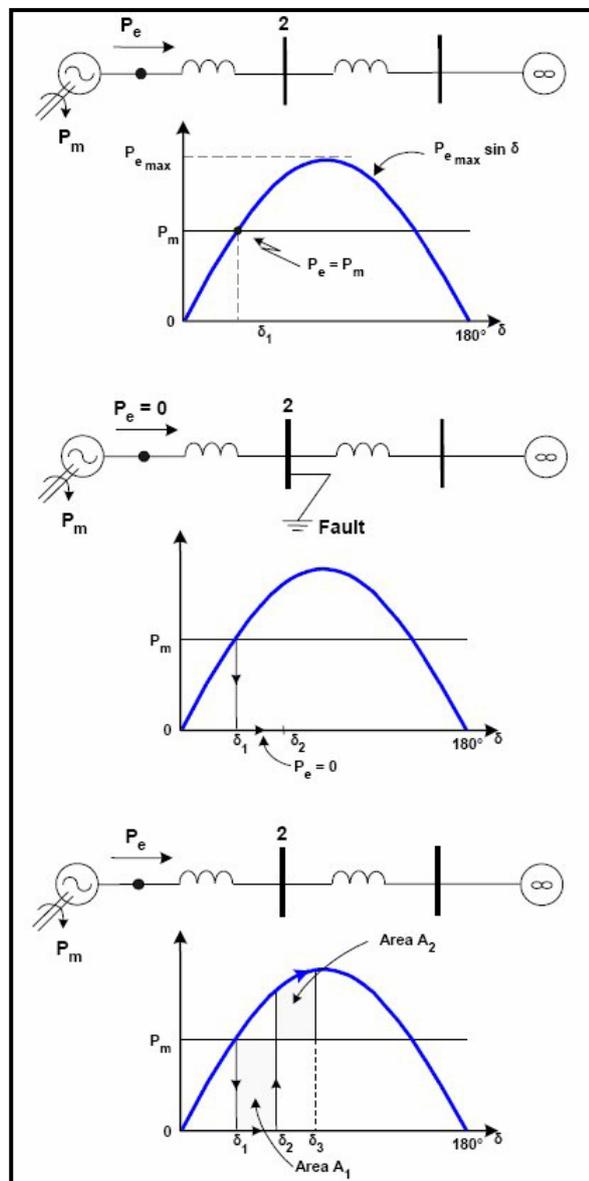
執行穩定度分析時，其起始條件，系統需運行在固定頻率且潮流平衡的狀態下，此時，穩態下原動機械轉矩 $T_m =$ 發電機電功率 $T_e$ ，但方向相



反，加速度為零，發電機轉子以同步速旋轉，若系統產生擾動，透過非線性之轉子震盪搖擺方程式

$$d^2 \delta / dt^2 = \omega_0 (T_m - T_e - D \Delta \omega) / 2H$$
，以數值積分方法求解，可得知機組間轉子角度響應。

以右圖系統為例，故障發生後(狀態 1-2)， $P_e$  瞬降為 0，然原動機機械功率  $P_m$  維持不變，產生轉子加速現象(狀態 2-3)，當故障清除後(狀態 3-4)，因慣量原因，轉角仍會超前(狀



態 4-5)，而後因  $P_e > P_m$ ，產生減速作用， $\delta$  因而來回震盪，依能量等面積法則 EAC(Equal Area Criterion)，若加速面積  $A_1 < 減速面積 A_2$  則系統可趨於穩定，反之，則造成失速不穩定之現象，故可求得  $A_1 = A_2$  之臨界清除時間 CCT，其中：

$$\cos \delta_{cr} = \frac{P_m}{P_{max}} (\delta_{max} - \delta_o) + \cos \delta_{max}$$

$$t_{cr} = \sqrt{\frac{4H(\delta_{cr} - \delta_o)}{\omega_o P_m}}$$

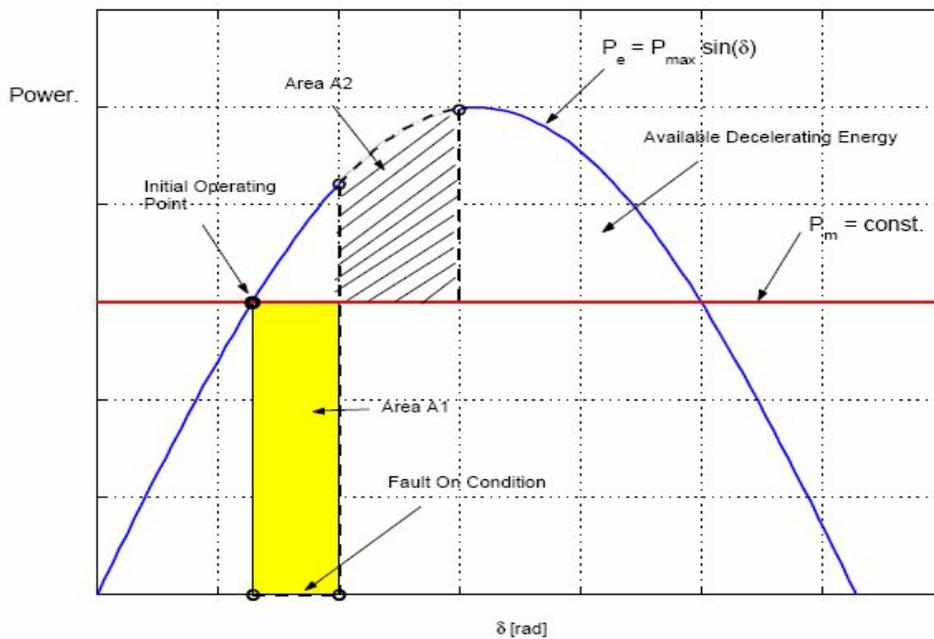
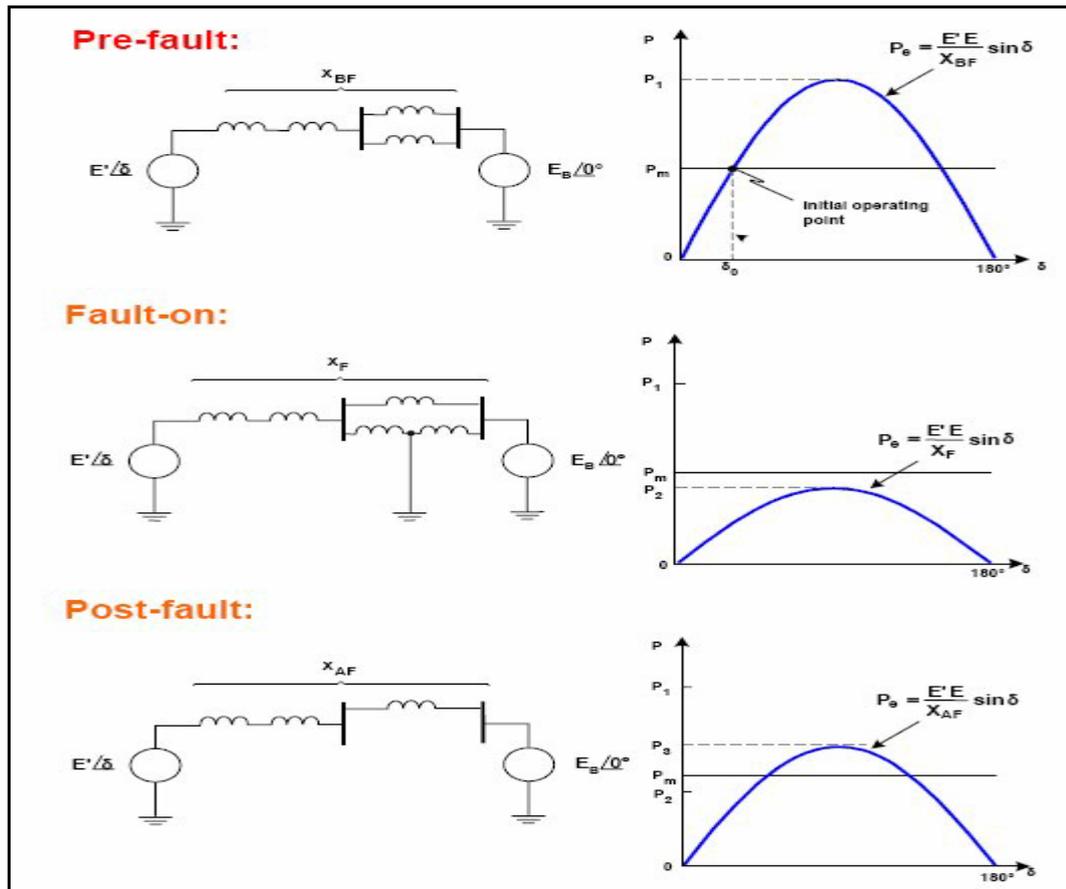
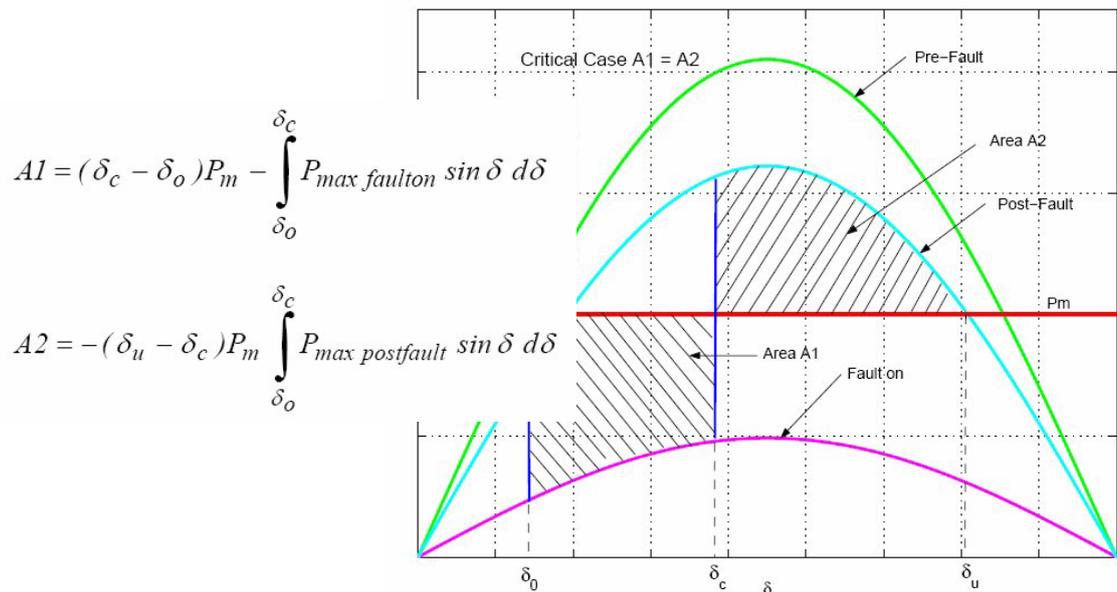


圖 4.2.3 能量等面積法則 EAC 示意圖

若故障清除前後系統狀態不同，如下圖所示：



則依等面積法則可求得臨界清除時間 CCT：



$$\cos \delta_c = \frac{P_{max\ postfault} \cos \delta_u - P_{max\ faulton} \cos \delta_o + P_m(\delta_u - \delta_o)}{P_{max\ postfault} - P_{max\ faulton}}$$

故機械能與電能平衡即為影響電力系統暫態穩定度之要素，

影響發電機電力輸出  $P_e$  主要因素可分為：

- 1.系統結構—等效系統阻抗、升壓變壓器阻抗
- 2.發電機一次暫態阻抗、慣性常數
- 3.勵磁機—初始反應值、最高電壓極限、反應比

影響發電機機械功率輸入  $P_m$  主要因素分為：

- 1.原動機(氣渦輪機、汽輪機、水輪機等)
- 2.調速機

暫態穩定度之改善，係採縮短故障時間以降低故障對系統衝擊，增強回復同步運轉能量，並控制原動機之機械功率或利用人工負載以減少加速轉矩，可分成如下方法：

- 1.高速故障清除
- 2.降低輸電系統阻抗
- 3.調整並聯補償
- 4.動態制動電阻
- 5.電抗器切換
- 6.斷路器之獨立極操作
- 7.單極切換
- 8.汽輪機快速閘門
- 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。

小信號穩定度，其系統低頻振盪現象可分類為：1.發生在同一電廠之局部振盪模式(Local Mode) 2.振盪現象發生在不同區域發電機群組間之區域間振盪模式(Inter-area Mode) 3.發生在全系統發電機組之全區振盪模式(Global Mode)，其分析方法，則區分為時域與頻域分析模擬，時域模擬係輸入一小擾動信

號，求解狀態方程式，觀察系統振盪現象，以判斷是否穩定，然因其響應乃多種振盪模式之總和，不易判別單獨振盪模式之阻尼；而頻域分析法則將系統狀態方程式線性化而求解各個振盪模式之特徵值(Eigenvalue)、頻率及阻尼，又稱為特徵分析法。

特徵值  $\lambda_{1,2} = \sigma \pm j\omega$ ，其中虛部  $\omega$  為該振盪模式之頻率，而實部  $\sigma$  則可用於判斷該振盪模式是否穩定，則定義阻尼比 (Damping Ratio)  $\zeta = -\sigma / \sqrt{(\sigma^2 + \omega^2)}$

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。

機組受擾動後，正阻尼轉矩促使轉速的變動幅度，隨著時間持續減小而趨於零，亦即維持同步運轉的狀態，系統阻尼不足(或為負)，意謂機組受擾動後阻尼轉矩不足(或為負)，系統極易產生發生事故後和自發性的振盪現象，導致嚴重的不穩定狀況。

系統阻尼不足的原因，主要是機組配置特性和電網結構強度之間未達良好的配合程度，如：輸電幹線潮流過重或送電能力不足、區域供需不平衡、機組集中於長距電網末端及部分機組為增強暫態穩定度採用採用快速反應激磁機所導致。

對於系統阻尼不足的改善對策可採用以下作法改善：

- 1.分散新電廠配置避免區域過度集中和供需不平衡。
- 2.增建輸電線路提高電網送電能力。
- 3.運轉時調整發電機出力控制輸電幹線的潮流傳輸量。
- 4.充分的無效電力補償、提高系統運轉電壓、以及降低發電機負載等方法，亦可壓低振盪的幅度並減少持續擺動的時間。
- 5.裝設電力系統穩定器(Power System Stabilizer, PSS)，PSS 可增加機組和系統的阻尼，強化動態和小信號穩定度，已被視為改善阻尼最經濟有效之設備。
- 6.建構特殊保護系統(Special Protection System, SPS)

### 4-3 熱力學原理與火力發電

火力發電流程係將燃料如煤、燃油、天然氣...於鍋爐中燃燒將鍋爐爐管中水加熱(化學能變成熱能)，產生蒸汽以推動汽輪機(熱能轉換成動能)，汽輪機再帶動連軸發電機，透過發電機轉子與靜子之相對運動切割磁場以產生電力，輸出供應負載(機械能變成電能)：整體過程以鍋爐、汽輪機、發電機三種為主要設備。

火力發電的方式依熱能轉換為機械能之原動機或熱源可分為：柴油機組發電、地熱機組發電、氣渦輪機組發電、複循環機組發電、汽輪機組發電，

而熱力學原理，可由卡諾循環(Carnot Cycle)為發展基礎，所謂卡諾循環係由兩個定溫過程和兩個絕熱過程所組成的可逆的熱力循環。分正、逆兩種。在壓-容(P-V)圖和溫-熵(T-S)圖中，A-B-C-D-A 為正卡諾循環，A-B(等溫膨脹)為可逆定溫吸熱過程，工質在溫度  $T_1$  下從相同溫度的高溫熱源吸入熱量  $Q_1$ ；B-C(絕熱膨脹)為可逆絕熱過程，工質溫度自  $T_1$  降為  $T_2$ ；C-D(等溫壓縮)為可逆定溫放熱過程，工質在溫度  $T_2$  下向相同溫度的低溫熱源排放熱量  $Q_2$ ；D-A(絕熱壓縮)為可逆絕熱過程，工質溫度自  $T_2$  升高到  $T_1$ ，完成一個可逆循環，對外作出

淨功  $W$ 。逆卡諾循環與上述正向循環反向，沿 A-D-C-B-A 方向，因而  $Q_2$  是工質從低溫熱源吸入的熱量(通稱製冷量)， $Q_1$  是工質排放給高溫熱源的熱量， $W$  是完成逆向循環所需的外界輸入的淨功。

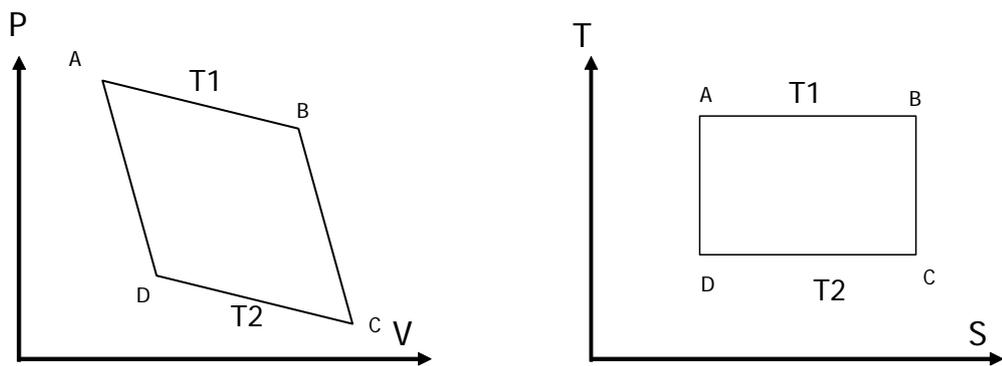


圖 4.3.1 卡諾循環壓-容(P-V)圖和溫-熵(T-S)圖

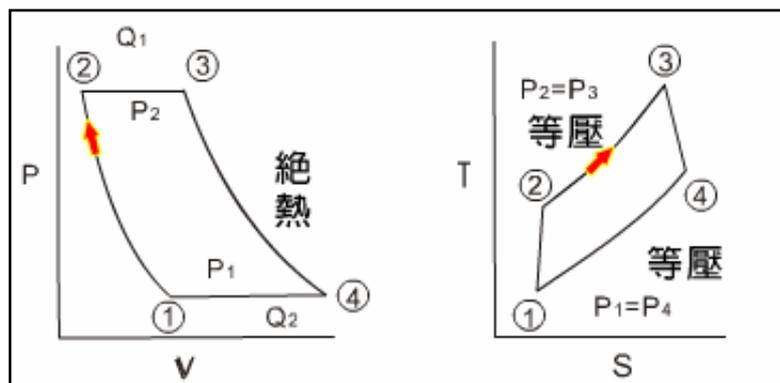
在此循環過程中，卡諾熱機所作的功為  $W = Q_1 - Q_2$ ，循環的效率  $\eta = W/Q_1 = 1 - Q_2/Q_1$ ，而理想氣體卡諾循環的效率則為  $1 - T_2/T_1$  僅與兩熱源的溫度有關，而卡諾進一步提出：①在相同的高溫熱源和相同的低溫熱源之間工作的一切可逆熱機，其效率都是  $1 - T_2/T_1$ ，與工作物質無關。②在同高溫熱源和同低溫熱源之間工作的一切不可逆熱機，其效率都不可能大於可逆熱機的效率。以上兩條統稱為卡諾定理，卡諾循環與定理，對熱力學第二定律的建立起了重要作用。

熱力學第二定律係探討熵 (Entropy) 的問題，熵本是一個

統計的結果，最具體的物理意義為亂度，亦即系統內分子所占不同的能量狀態的集合，在熱力學中通常以  $S$  符號來表示熵值，當系統的狀態變化時，即表現出熵值的變化  $\Delta S$ 。

熱力學第二定律，主要是討論熱力反應進行的方向趨向熵值的增加，即  $\Delta S \geq 0$ 。若熱力反應可自然發生 (Spontaneous Reaction)， $\Delta S > 0$ 。在一般的可逆循環中， $\Delta S = 0$ ，絕對無  $\Delta S < 0$  的反應可發生，運用到熱機的功率中，可得到一個非常實用的結果，即功率  $\eta$ ，定義為： $\eta = W/Q$ ， $\eta$  必小於 1。即任何

熱機無法把從外界吸取的熱量  $Q$ ，完全轉換為熱機引擎的作功。



氣渦輪機發電的方式係由氣渦輪機帶動發電機來發電，其發電原理與布來登循環(Brayton Cycle)相同，工作流程解說如下：

空氣壓力  $P_1$  經壓縮機加壓至  $P_2$  導入燃燒室(圖 1→2)，於等壓加熱下以燃料 (有輕柴油、重油、天然氣) 噴入燃燒筒與壓縮空氣燃燒後，產生之熱量  $Q_1$  傳於空氣使產生高溫高壓之燃

氣（圖 2→3）引入氣渦輪機膨脹作功(圖 3→4)，以推動氣渦輪機帶動發電機運轉發電。經氣渦輪機膨脹作完功之燃氣以初壓  $P_1$  及熱量  $Q_2$  排出大氣中(圖 4→1)。

氣渦輪機優點：

1. 製造成本較低，安裝迅速。
2. 起停快速，操作與運轉較具彈性。

缺點：

1. 低效率，不適合做基載運轉。
2. 不適合使用固體燃料。

汽輪機組發電的原理：蒸汽循環是將熱能經由工作媒體，也就是水和蒸汽轉變為動能之一種循環。常用的蒸氣循環有藍欽循環、再生循環、再熱循環以及再生再熱循環，茲分述如後。

#### A. 藍欽循環

藍欽循環(Rankine cycle)是火力電廠最常使用的方式，為蒸汽循環之理想循環，其循環系統圖及 P-V-S-T 線圖如下，汽輪機乃使用蒸汽做為工作介質 (Working medium)，即在鍋爐內，水吸收燃燒熱能，成為高壓之飽和蒸汽 (Saturated Steam) → 再經過熱器(Superheater)吸收燃燒熱能，成為高壓、高溫之過熱蒸(Superheated Steam) → 進入汽輪機，使動能轉換為機械能後

→ 變成低壓低溫之蒸汽排入冷凝器 (Condenser)，將其殘留熱能由冷卻水吸收 → 蒸汽凝結成水後 → 再送進鍋爐。

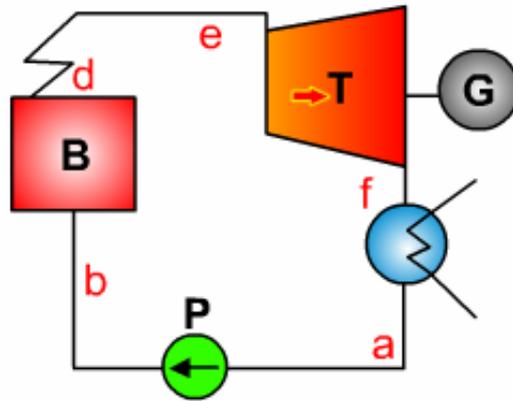


圖 4.3.2 藍欽循環系統圖

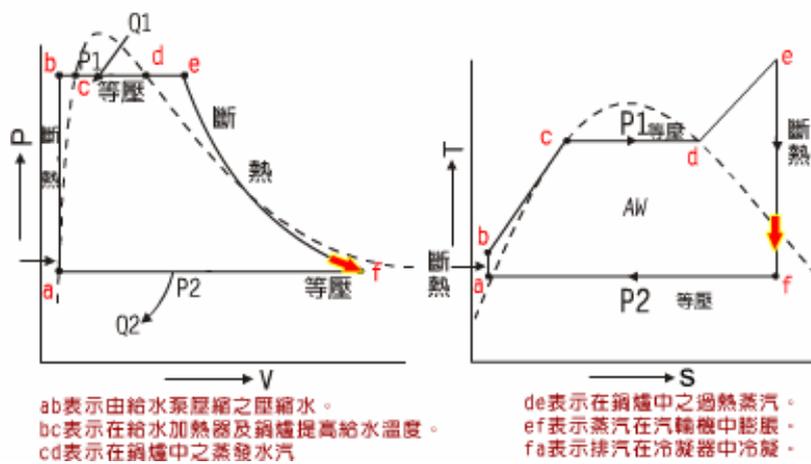


圖 4.3.3 藍欽循環 P-V 線圖及 S-T 線圖

## B. 再生循環

汽輪機內之蒸汽在膨脹中，抽出部分蒸汽加熱給水，以減少冷凝器內之損失，這種循環叫再生循環，如果再生循環中之過熱器，僅將蒸汽加熱到變成乾飽和蒸汽，且加熱器多到無限多時，此種循環就趨近於所謂的卡諾循環。

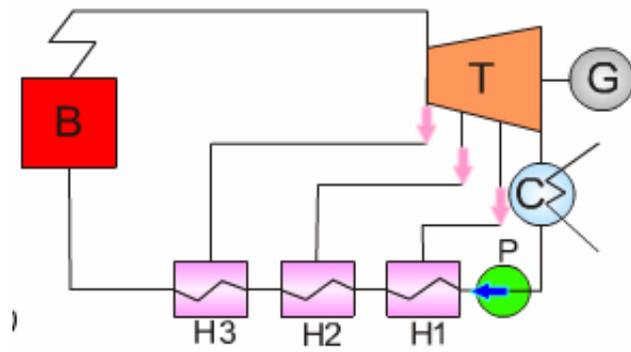


圖 4.3.4 再生循環系統圖

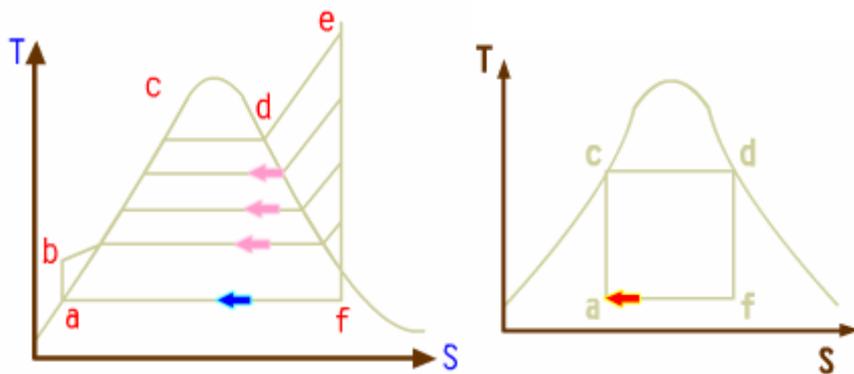


圖 4.3.5 再生循環及卡諾循環 S-T 線圖

### C. 再熱循環

在汽輪機中途把全部蒸汽再送入鍋爐加熱，提高溫度後再送入汽輪機做功，即可增加蒸汽在鍋爐之吸熱量以提高效率，此種循環稱之為再熱循環。

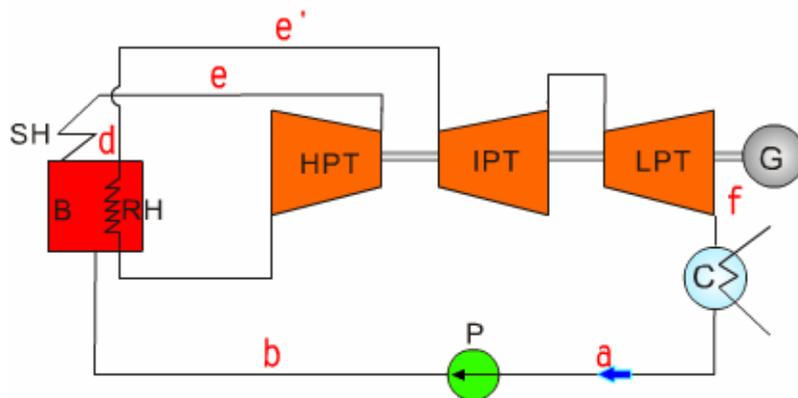


圖 4.3.6 一段再熱循環系統圖

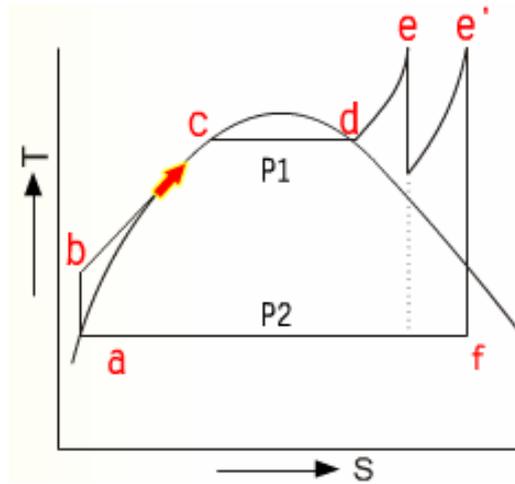


圖 4.3.7 一段再熱循環 S-T 線圖

#### D. 再生再熱循環

因再生循環及再熱循環均可改善循環效率，故實用上大多使用兩者之混合循環，也是目前各火力電廠機組所用之循環方式。

在此循環中，汽機高壓段之出口蒸汽大部份送至鍋爐之再熱器，少部份抽出做為高壓飼水加熱器之用。

中壓段前半部之抽汽亦供高壓飼水加熱器用，後半部之抽汽供除氧器(Deaerator)之用，低壓段之中途抽汽則用於加熱低壓飼水加熱器。

目前高壓、高溫、大容量之最新型汽輪機發電機組即多為再生再熱循環，此外在點火系統中，亦均需設計輕柴油系統，做為煤或重油點燃之用。

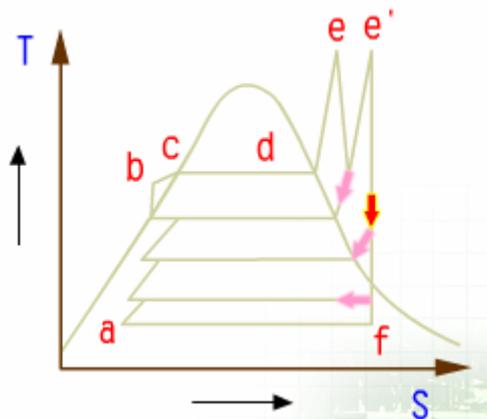


圖 4.3.8 再生再熱循環 S-T 線圖

汽輪機組發電優缺點如下：

優點：

1. 單一機組容量最大，為現今之主要的發電方式。
2. 可適用各種燃料。
3. 運轉效率高，供電安全可靠。
4. 發電成本低，適宜基載運轉。

缺點：機組設備複雜，投資費用高，維護困難。

而改善汽輪機效率可藉由：1. 增加噴嘴壓力或噴嘴蒸汽溫度 2. 降低排氣壓力 3. 使用再加熱(Reheat)系統 4. 結合給水迴熱循環(循環熱耗率可降低 10~18%)，目前最佳狀況可達到整體效率約為 35~40%。

複循環機組發電的原理：複循環機組發電是運用布來登循

環與籃欽循環(Rankine Cycle)，將氣渦輪機(Gas Turbine)之排氣(點 4)經過風門排入熱回收鍋爐→產生高壓及低壓蒸汽(6→7)→再推動高壓及低壓之汽輪機(Steam Turbine)膨脹作工(7→8)，以帶動發電機之發電方式，汽機作功後→其蒸汽經過冷凝器 (Condenser) 冷卻 (8→5) →成為冷凝水飼水 (Feedwater) 系統→經過除氧器後再回到熱回收鍋爐加熱成為蒸汽，此種氣渦輪機組與汽輪機組之組合方式，稱為複循環發電。

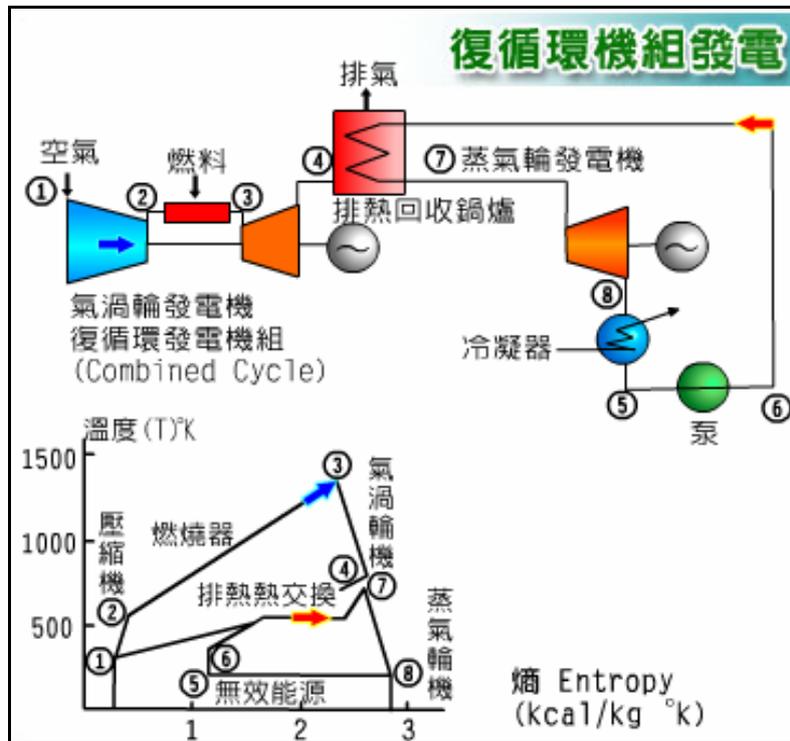
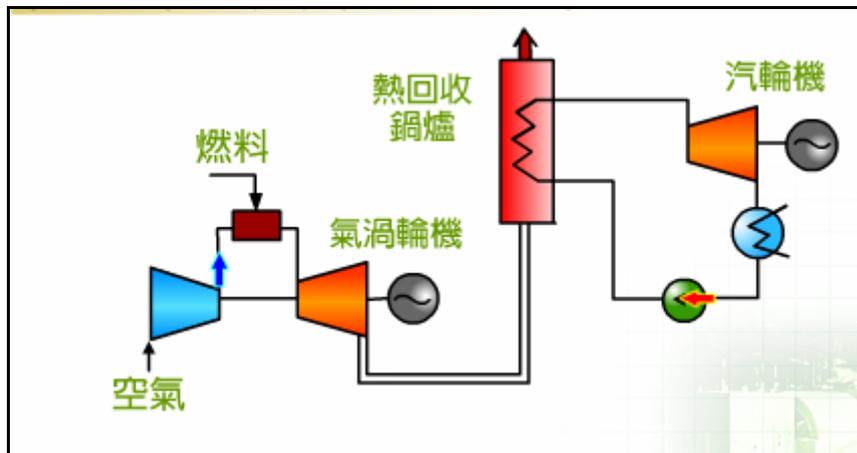


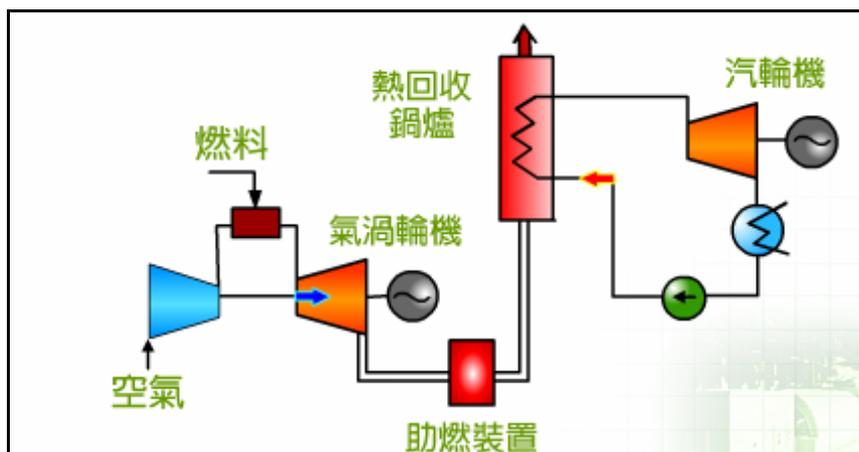
圖 4.3.9 複循環發電系統圖

複循環發電之組合方式有許多種，分別圖說如下：

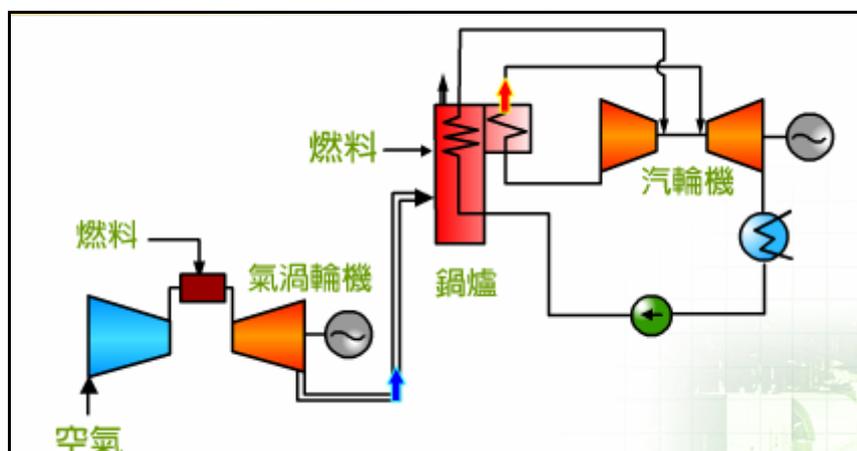
### 1. 氣輪機連結無燃燒設備回收鍋爐



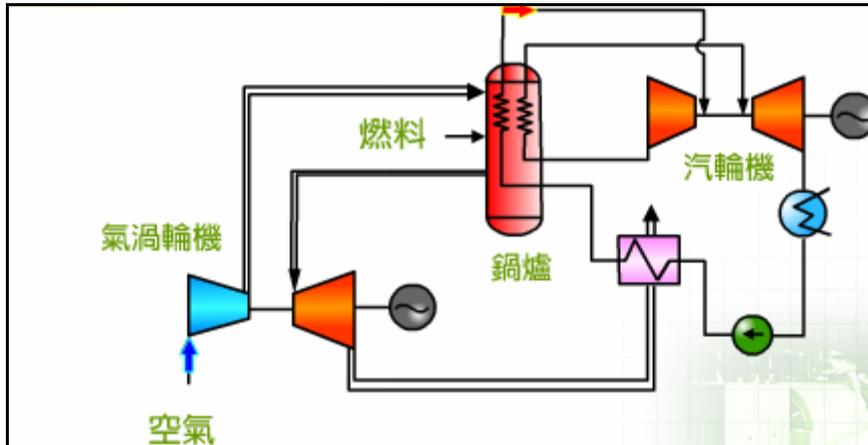
### 2. 氣輪機連結輔助燃燒設備



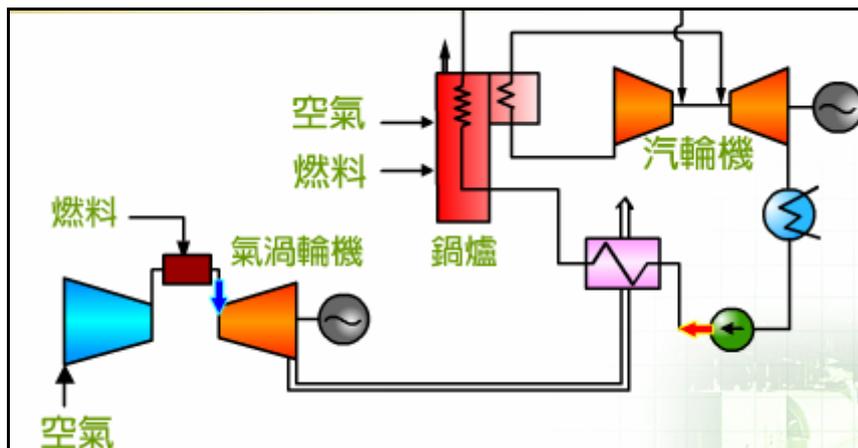
### 3. 氣輪機連結燃燒設備熱回收鍋爐



#### 4. 增壓式鍋爐連結氣渦輪機



#### 5. 氣渦輪機排氣作飼水加熱型



複循環機組發電的優點有：1.建廠成本低 2.建廠時間短 3.可兩階段施工 4.熱效率高 5.快速起停及變化負載之性能 6.可靠性高 7.低污染性...，故複循環機組發電已成為世界各國發展之主流。

對於原動機(氣渦輪、複循環機、汽輪機組)之設計，可使用奇異公司發展之 GTPRO 套裝軟體程式如下圖加以模擬，本期

採用為 12.0 版，透過圖形介面，對各類機型之蒸汽壓力、溫度、迴授等參數設定，即可求得機組出力、熱效率、設備燃料費用、運轉成本及配置面積 Layout 等，為汽電廠設計之實用工具。

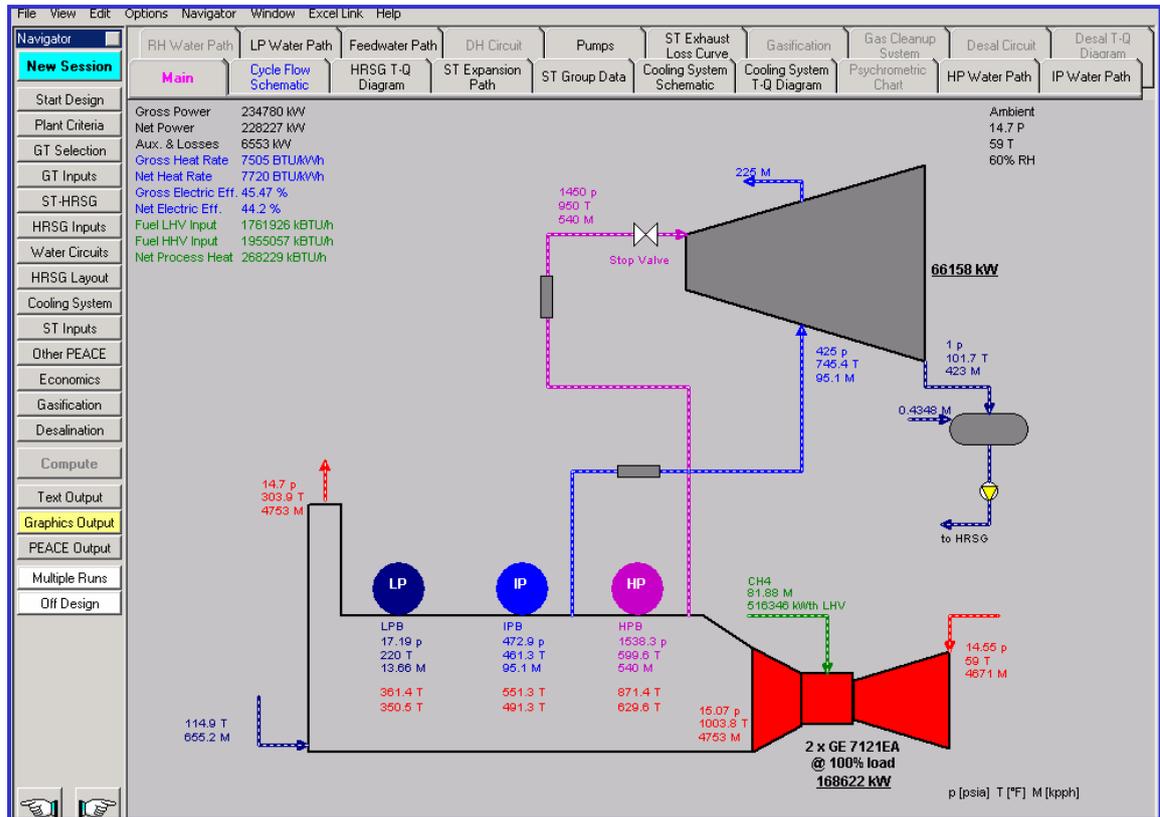


圖 4.3.10 GTPRO 套裝軟體圖形介面

#### 4-4 規劃實務與工程經濟

所謂策略性規劃與運轉係指規劃過程考量系統安全與資金投資、財務計劃兩者間的關係並將限制因素與目標做一合理規劃，其考量時域已達數載或數十載之中、長期目標。其分析面向可分為：

1.電力系統運轉與控制→以經濟因素為前提，考量互連系統於頻率控制、有效功率及能量交易中，維持系統成本在合理的目標，且符合系統的備轉容量需求以因應負載變化的需求。

2.公共事業經濟學 (Utility Economics) →對於公共事業資金投資計畫，需由基本的盈利率、歲入多寡及潛在的投資償付能力，以瞭解各種分析財務的方法，以各類分析工具，將這些方法應用於開發方案選擇決策過程，輔助於公司營運績效。

3.策略性的輸電與發電規劃 (Strategic Transmission and Generation Planning) →利用備轉容量、失載機率及網路最佳化規劃的方法作為系統可靠度的分析指標。並擬定符合規劃準則之長期電源開發及輸電網路計畫。

就計算投資成本、報酬率、回收期長短、股益...等指標，可利用現金流量法(Cash Flow Approach)來分析，比較替代方案收支情形，依據公司發展經營目標考量情況不同，選用回收期

法(Payback Period Method)、現值法(Present Worth Method)、年  
 值法(Annual Worth Method)、未來值法(Future Worth Method)、  
 投資報酬率法(Rate-of-Return Method)、利潤成本比率法  
 (Benefit/Cost Ratio) ...等經濟準則，擇一或多項訂定決策，而經  
 濟分析方式則可採用 A.推論分析法(Inferred Analysis-設定報酬  
 率並計算收益需求)或 B. 真實分析法(Actual Analysis 預估收益  
 並計算報酬率)，一般而言公用事業較喜歡採用推論分析法，而  
 無管制工業較喜歡採用真實分析法，上述兩種方法均可被簡化  
 成採用收益方程式( $R = O\&M + D + TP + Ti + I + E$ )來分析，其  
 中 R 表示收益，O&M 表示維修費用，D 表示賬面折舊，TP 表  
 示資產稅，Ti 表示收入稅，I 表示借貸利率，E 表示運作收入。

典型之資產負載表如下表：

| Assets                        | Liabilities                 |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Plant at original cost        | <b>Equity</b>               |
| Less depreciation reserve     | - Common stock              |
| Net plant                     | - Paid in capital           |
| Construction work in progress | - Retained earnings         |
| Total plant                   | Total common equity         |
| Current assets                | - Preferred stock           |
| - Cash                        | Total equity                |
| - Accounts receivable         | <b>Long term debt</b>       |
| - Materials & supplies        | <b>Total capitalization</b> |
| - Other investments           | <b>Current liabilities</b>  |
| Deferred debits               | - Short term debt           |
| Total assets                  | - Accounts payable          |
|                               | - Customer deposits         |
|                               | <b>Deferred credits</b>     |
|                               | <b>Total liabilities</b>    |

另利率  $i$  之相關計息方式如下：

1. 複利(Compound)：

年利率為  $i$  時，現值  $P$  元等值於未來第  $n$  年金額

$$F = P(1+i)^n = P(F/P, i, n)。$$

2. 折現(Discount)：

年利率為  $i$  時，未來第  $n$  年金額  $F$  元等值於現值

$$P = F/(1+i)^n = F(P/F, i, n)。$$

3. 複利年金(Compounding an Annuity)：

等間內之期末均有相等付款  $A$  元，則未來第  $n$  年總金

$$額  $F = A[(1+i)^n - 1]/i = A(F/A, i, n)。$$$

4. 年金複利(Annuity to be Compounded)：

未來第  $n$  年總金額  $F$ ，等值前  $n$  年每年之付款年金

$$A = F i / [(1+i)^n - 1] = F (A / F, i, n)。$$

5. 年金之現值(Present worth of Annuity)：

每年之付款年金  $A$  (共  $n$  年)，等值於目前之現值

$$P = A[(1+i)^n - 1]/i(1+i)^n = A (P/A, i, n)。$$

6. 現值等效年金(Annuity Equivalent to Present Value)：

現值等效於未來年金

$$A = P i (1+i)^n / [(1+i)^n - 1] = P (A / P, i, n)。$$

7. 均勻變化量(Uniform Gradient)：

n期對一已知固定資金A之每年增加或減少G，其等效現值 $P'' = [1/(1+i)^n][G/i] \{[(1+i)^n - 1]/i\}$ 。

8. 幾何數列(Geometric Series) $A_k = A_{k-1}(1+j)$ ，其中 $A_1$ 表第一年資金流動之大小，其後續每年增加 $(1+j)$ 倍，則其現值 $P = A_1 \{1 - [(1+j)/(1+i)]^n\} / (i-j)$ ，其n年後資金 $F = P(1+i)^n$ ，亦可求等效未來年金A。

而可透過折舊(Depreciation)以保留投資者資金之價值的方法，另資本回收(Capital Recovery)則表示於設備壽命年限內支付使用資本費用加上原投資回收之折舊，其回收因數(Capital Recovery Factor) $= (A/P, i, n) = i + (A/F, i, n)$ ，相關採行方式可分為：

1. 帳面折舊(Book Depreciation)－每年折舊相等金額，淨設備價值逐年遞減至零，提列折舊保留金逐年遞增至原投資金額。
2. 再投資帳面折舊(Book Depreciation with Reinvestment)－每年將折舊保留金再投資，使淨設備價值每年均維持與原投資金額相等。當該設備退休時，將分別從原成本帳目及折舊保留金中移除該設備項目，當該設備已完全被折舊但尚未退休，保留其在帳面上價格，但不再提列折舊保留金。
3. 帳面折舊含殘值(Book Depreciation With Salvage)：殘值為

剩餘價值扣減移除設備成本，有可能產生負值。

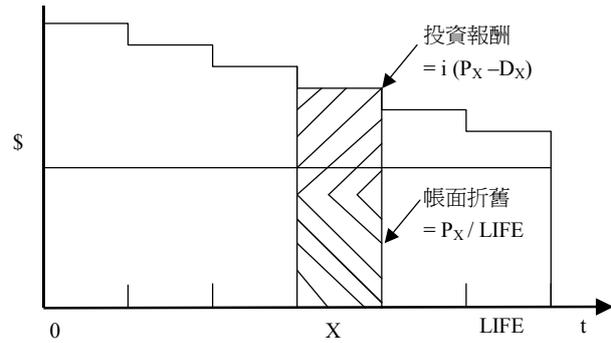
#### 4. 會計觀點之資本回收之現值(X型)

$$P.W. = \sum_{ALL X} [i(P_X - D_X) + (P_X / LIFE)] (P/F i, X)$$

其中 X = 典型期間

$P_X$  = 期間X內之殘值

$D_X$  = 折舊保留金(期間 X 之開始)

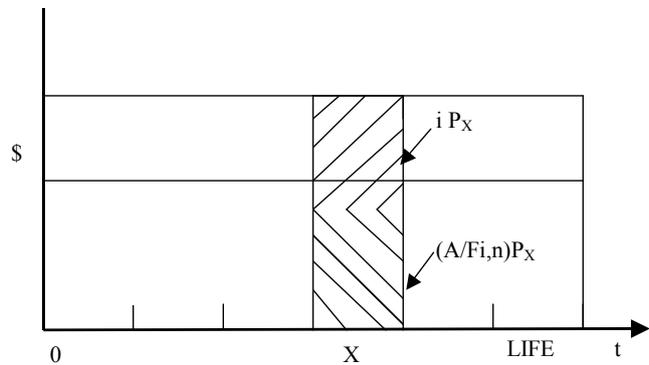


#### 5. 工程經濟觀點資本回收之現值(Y型)

$$P.W. = \sum_{ALL X} [i + (A/F i, n)] P_X (P/F i, X)$$

其中 X = 典型期間

$P_X$  = 期間X內之殘值



而就規劃實務而言，所謂電源可靠度，一般常利用備轉容量率((系統淨尖峰能力-尖峰負載)/尖峰負載\*100%)來評估系統可靠度，此計算方式雖容易、快速，然未考量機組潛在的故障問題，因此為了兼顧機組可能發生故障之情況，進而衍生出失載率 L.O.L.P.(Loss of Load Probability)演算法以強化評估系統

可靠度。

計算失載機率方法係由選擇方案中不同的備轉容量與失載機率，求取適當之備轉餘裕及可降低限電機率，一般而言系統負載逐年遞增導致備用容量逐年減少，故 LOLP 亦逐年增加，若超過規劃準則數據，規劃單位即需採行電源開發及網路規劃。常用步驟如下：

- (1)利用負載管理方式，降低用電需求，以節省資金支出。
- (2)擴建或增加輸電線路，增加輸電容量，以強化系統運轉安全。
- (3)增建發電機組，考量施工時程及尖中輕負載比例，決定機組形式(燃煤或燃氣之複循環機組及氣渦輪機組)。

於規劃系統的過程中可瞭解備用容量、設備餘裕較多，有利於系統運轉之安全可靠，但挹注較多的資金投資不利於公司營運；反之，可能面對較大的運轉風險，在此發電業趨向自由競爭環境下需利用完備的工具以輔助計劃人員，並培養規劃技術與財務分析兼具之人才，以迎接未來民營化或自由化的挑戰。

目前各類可靠度指標可彙整如下表所示：

| 名稱   | 系統平均<br>停電次數指數                              | 系統平均<br>停電時間指數                                      | 用戶平均<br>停電次數指數                                | 用戶平均<br>停電時間指數   | 平均供電<br>正常性指數   | 平均負載<br>停供次數指數                            | 平均負載<br>停供時間指數                                      |
|------|---|---|---|--|---|---|---|
| 英文簡稱 | SAIFI                                       | SAIDI   | CAIFI   | CAIDI  | ASAI  | ALIFI                                     | ALIDI   |
| 說明   | 一年中一個用戶的平均停電次數                              | 每一個用戶在一年中平均的停電時間                                    | 全年中每一停電用戶的平均停電次數                              | 全年中每一停電用戶的平均停電時間   | 全年可供電用戶時間總數與全年用戶總常用時間的比值  | 供接負載每年每kVA之停供負載數平均kVA                     | 供接負載每年每kVA之平均停供時間                                   |
| 定義   | $\frac{\text{總停電次(戶)數}}{\text{總供電戶數}}$      | $\frac{\text{總用戶停電時間}}{\text{總供電戶數}}$               | $\frac{\text{總停電次(戶)數}}{\text{受影響總戶數}}$       | $\frac{\text{總用戶停電時間}}{\text{總供電戶數}}$                              | $\frac{\text{可供電用戶時間}}{\text{用戶常用時間}}$                            | $\frac{\text{總停供負載數}}{\text{總接供負載數}}$     | $\frac{\text{總停供負載時間}}{\text{總接供負載數}}$              |
| 公式   | $\frac{\sum_{i=1}^m C_i}{C}$                | $\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} T_{ij}}{C}$ | $\frac{\sum_{i=1}^m C_i}{C_r}$                | $\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} T_{ij}}{\sum_{i=1}^m C_i}$ | $\frac{8760 C - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} T_{ij}}{8760 C}$ | $\frac{\sum_{i=1}^n L_i}{L}$              | $\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} T_{ij}}{L}$ |
| 英文全名 | System Average Interruption Frequency Index | System Average Interruption Duration Index          | Customer Average Interruption Frequency Index | Customer Average Interruption Duration Index                       | Average Service Availability Index                                | Average Load Interruption Frequency Index | Average Load Interruption Duration Index            |

圖 4.4.1 各類可靠度指標可彙整表

依目前台電公司，為公營且負有絕對供電義務之事業體，常因法律規章之無彈性及民眾對電力設施排斥，無法以最適經費建構符合規劃需求之電力系統，亦無法真實反映電價成本，造成整體經營績效之低落，而電力事業目前最有挑戰的課題之一就是電業自由化，將一切回歸市場經濟機制，供電風險或高電價機率由全民承擔，或許可改變民眾、政府正視電力建設重要，為上述困境提供解決之道，各國自由化之程度因國情不同程度有其差異，惟可借鏡各國在電業自由化歷程中發電、輸電、配電、售電乃至於資訊管理等電業技術與經驗，汲取成功參考案例，面對即將來臨之二十一世紀，除了研發新的設備外，公用事業電力公司勢必須多方面發展轉型，以迎接未來的挑戰。

就美國電業發展史為例，美國自 1935 年至 2005 年公布之

重要法案如下：

- (1)1935 年公用事業控股公司法案：設立國家管制系統，對垂直整合自然壟斷的事業(電力事業)界定服務市場，其營業區內必須服務所有既有及未來的用戶，部分商業運作(費率)需受到管制。
- (2)1978 年公用事業管制政策法：強制要求每一民間投資公用事業以預先決定的成本向合格電業買電，取得其營業區域新發電業者資格。
- (3)1992 年能源政策法：授予非公用發電業者在批發市場賣電的權利。
- (4)1996 年 FERC (美國聯邦能源管制委員會/Federal Energy Regulatory Commission)Order No. 888：強制性要求輸電網路公平開放給批發電力的所有買賣雙方。建立獨立系統運轉機構準則。
- (5)1996 FERC Order No. 889：強制性要求使用網際網路佈告欄，開放進出即時資訊系統，聯繫買賣雙方的可供傳輸容量分析供需是否足夠。
- (6)1999 年 FERC Order No. 2000：建立區域輸電組織為較佳的網路運轉機構，其組織可為非營利性質之獨立系統運轉機

構、營利性質之輸電公司，或者為以上之組合體。

(7)2002 年 FERC 對標準市場(SMD)設計公布提議規則，公開徵詢各界意見。

(8)2005 年 FERC 預定標準市場設計(SMD)進入實際推動階段。

目前美國大約有 16 個區域已經建立或正在發展某種形成的獨立輸電系統運轉機構(ITSO, Independent Transmission System Operator)，它包括非營利性質之獨立系統運轉機構(ISOs, Independent System Operators)、營利性質之輸電公司(Transco, Transmission Company)，及其它相關的模型，目前已有 5 個 ITSO(約佔美國 1/3 發電量)已經開始運作，略述如下：

(1)加州獨立系統運轉機構(CALISO, California ISO)：開放非歧視性的輸電進出，管理區域輸電費率法規，運轉輔助服務市場，並管理交易費用，回收輸電擁有者的輸電營收額。另加州電力交易所(CalPX, California Power Exchange)為分開但相關之組織，其運轉為一電能市場。

(2)德州電力可靠度協會 ISO(ERCOT-ISO)：負責維護德州 10 個分開的控制地區之電力系統的安全，運作輸電市場，電能排程，協調輸電規劃。

(3)新英格蘭 ISO(ISO New England, ISO-NE)：控制新英格蘭電

力聯網(New England Power Pool, NEPOOL)，管理輸電系統，法規費率，及電力交易所。

(4) 紐約 ISO(New York ISO, NYISO): NYISO 在 1999 年 11 月運轉，供應紐約州網路及點對點的輸電服務。

(5) 賓紐馬跨州聯網(PJM Interconnection, LLC (PJM)): 在賓州、紐澤西州、馬里蘭州運轉，PJM 可視為北美最大的集中調度電力系統，提供非歧視的進出，管理一個區域的輸電費率及壅塞管理，並運作電力交易所。

反觀台灣，電業法自 1965 年開始實施後，經濟部於 1991 年即著手規劃「電業自由化政策」，十餘年來，雖多次提出「電業法修正草案」，然而通過電業法修正之條文，卻僅止於非自由化之部分，自由化之腳步停滯不前，然自由化乃是將市場競爭機制導入電力市場中，以期電力市場運作更有效率，如何發展套適合台灣運作模式的電力自由化市場，實為一重要且急迫之課題。

#### 4-5 系統運轉調度及保護協調

電力系統運轉調度需兼顧電力品質(額定電壓 $\pm 5\%$ 和同步頻率 $\pm 0.05\%$ )、系統安全餘裕與機組經濟排程(降低生產成本)，就電力品質而言，系統頻率與有效功率、系統電壓與無效功率之控制息息相關。

正常運轉下，有效功率之控制，係透過調速機(Speed Governor)、自動發電控制(AGC: Automatic Generation Control)、經濟調度控制(EDC; Economic Dispatch Control)，無效功率則透過控制變壓器接點調整，發電機匯流排電壓(激磁系統)，靜動態並聯補償(電容、電感、靜態虛功率補償器、同步調相機)來達成。

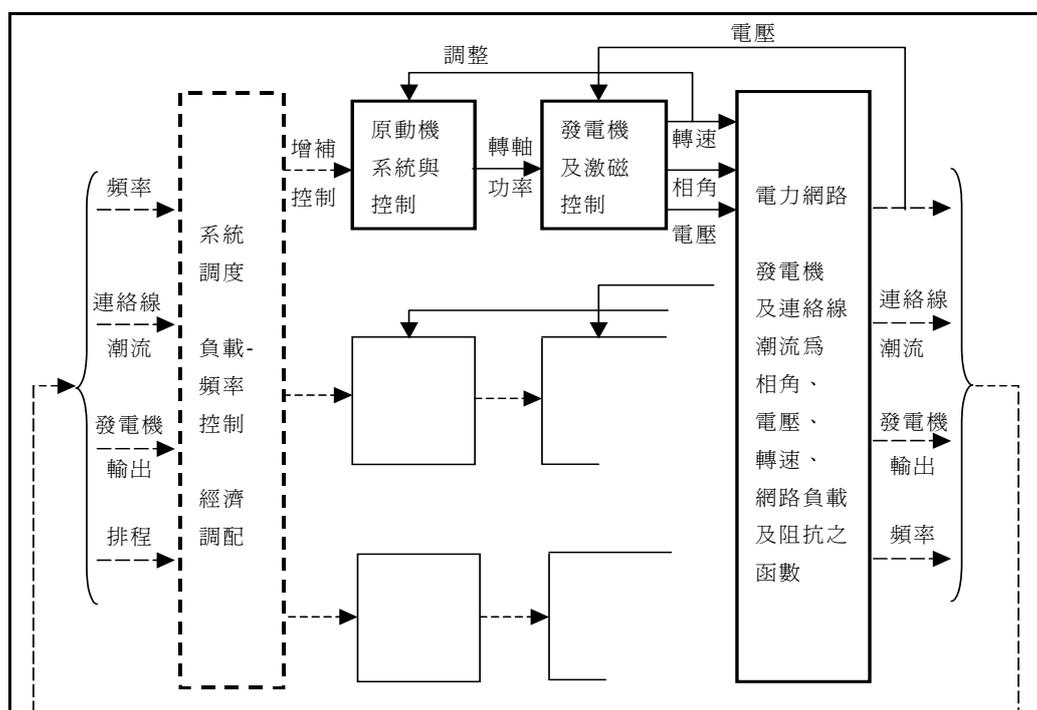


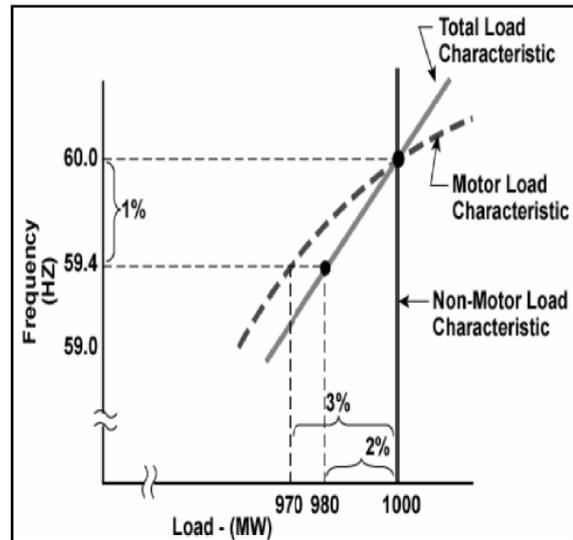
圖 4.5.1 電力系統控制概要圖

而異常或緊急運轉下有效功率之控制，係透過卸載(Load Shedding)，發電機解聯(Generation tripping)運作，無效功率則藉由卸

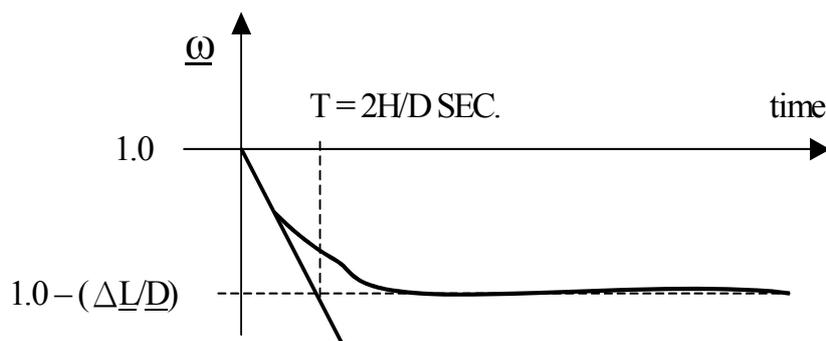
負載(Load Shedding)、增減發電量或降低系統電壓及動態並聯補償(Dynamic Shunt Compensation)來達成。

當系統中負載突變時，發電機及渦輪機之慣量效應，限制系統頻率變化率 $= -(\Delta L/2H)$ ，當系統頻率降低時，負載阻尼效應( $D = \Delta$

$P_L/\Delta f = (k/fo) L$ )，減少消耗有效功率 $P_L(f) = L(f/fo)^K$ 之負載量( $K =$ 為電阻性負載，對馬達負載則 $1.0 \leq K \leq 3.0$ )，慣量和負載合成阻尼效應，其轉速為 $\omega(t) = 1.0 + (\Delta L/D) [\exp(-Dt/2H) - 1]$ ，如下圖，



而調速機效應則增加發電機有效功率 $P$ 之輸出。



調速機有兩種類型即恒速調速機(Isochronous Governor)及常態調速機(Normal Governor)或下垂式調速機(Droop Governor)。

獨立系統中，由單台恒速調速機(渦輪機)來調整其系統頻

率將十分理想，然該機吸收全系統負載變化，將限制其他渦輪機分擔負載變化之頻率調整。若採行常態調速機(Normal Governor)或下垂式調速機(Droop Governor)，則調整參數(Regulation Parameter)  $R = \Delta f / \Delta P$ ，若電力系統有 N 部發電機裝置調速機，則：

- 系統合成調速率為  $= 1/R_{\text{sys}} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_N$
- 系統頻率調整特性  $\beta = (1/R_{\text{sys}}) + D$
- 全系統之負載變化響應為  $\Delta f = -\Delta L / \beta$

而自動發電控制 AGC 主要目的係維持系統頻率接近額定值，並控制區域融通電力，且維持各機組發電量於經濟運轉；一般而言，保持額定系統頻率，可藉由自然系統調整之主迴路控制(即調速機和負載調整效應)，動作所需時間約 8~10 秒，繼之以及次迴路輔助控制(AGC)，其控制動作所需時間約 1~2 分鐘，接著再執行系統「經濟調度」，分配各發電機組之出力，使其均在相等增量成本  $\lambda$  (Incremental Cost)下運轉。

經濟調度針對某時段總負載+線路損失量，將線上或 committed 的火力機組，使其 production cost 最小(不考量機組的 start-up、shut down 成本，及 spinning reserve)，其演算法則即為最小化發電機組之燃料成本函數  $F_t(P_{g1}, P_{g2}, \dots, P_{gm})$ ，而運轉條

件為  $\varphi (P_{g1}, P_{g2}, \dots, P_{gm}, P_d, P_L) = 0$ ，運用拉格朗日函數

(Lagrange function)加入Lagrange multipliers  $\lambda$ ，定義：

$$L (P_{g1}, P_{g2}, \dots, P_{gm}, P_d, P_L, \lambda) =$$

$$Ft(P_{g1}, P_{g2}, \dots, P_{gm}) - \lambda \varphi (P_{g1}, P_{g2}, \dots, P_{gm}, P_d, P_L)$$

透過 $\partial L / \partial \lambda = 0$  及 $\partial L / \partial P_{gk} = 0$ ，得到典型的

$$\text{Coordination Equations : } \frac{dF_k}{dP_{gk}} + \lambda \frac{\partial P_L}{\partial P_{gk}} = \lambda ,$$

定義第k部機組之罰懲因素(Penalty factor)

$$PF_k = \frac{1.0}{1.0 - \partial P_L / \partial P_{gk}} ,$$

則原Coordination Equations可改寫為  $\frac{dF_k}{dP_{gk}} PF_k = \lambda$  。

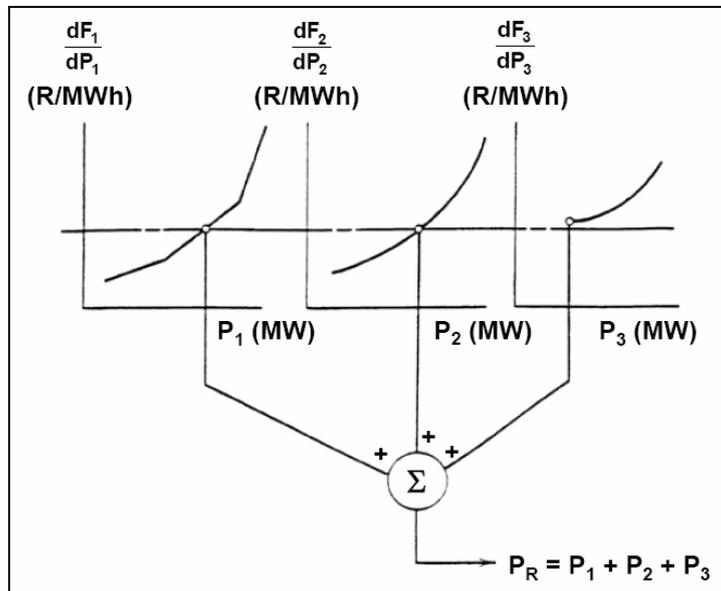


圖 4.5.2 經濟調度機組求解模式示意圖

其意義為若每部機組之遞增成本乘上其罰懲因素 (penalty factor) 相等時，整個燃料成本可達到最佳化(最小值)。

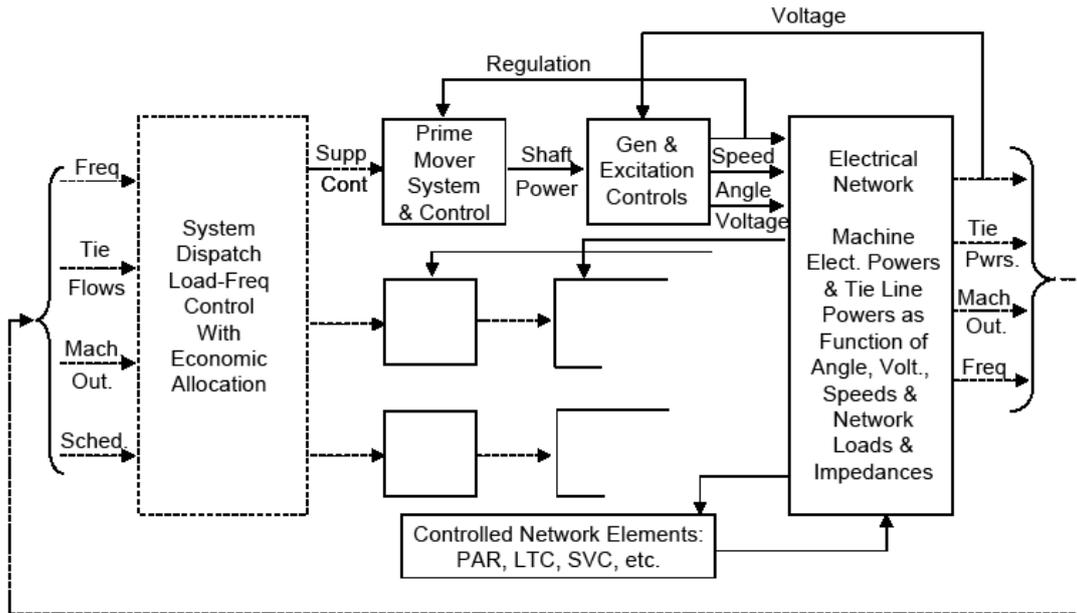


圖 4.5.3 電力系統控制圖解

區域控制誤差 ACE(Area Control Error)用以量度區域需求 AR(Area Requirement)之指標，一般而言(1).當  $ACE > 0$  表是發電量過多， $AR < 0$ ，區域需降低發電量，(2). $ACE < 0$  表是發電量不足  $AR > 0$ ，區域需增加發電量，(3). $ACE = 0$  表是發電量符合負載，隱含系統頻率等於排定系統頻率，實際連絡線淨交換電力等於排定淨交換電力。

而 ACE 之定義如下：

$$ACE = \Delta T + \beta \Delta f = \Delta G - \Delta L + \beta \Delta f$$

其中：

$$\Delta T = T - T_0 \text{(實際連絡線淨交換電力-排定連絡線淨交換電力)}$$

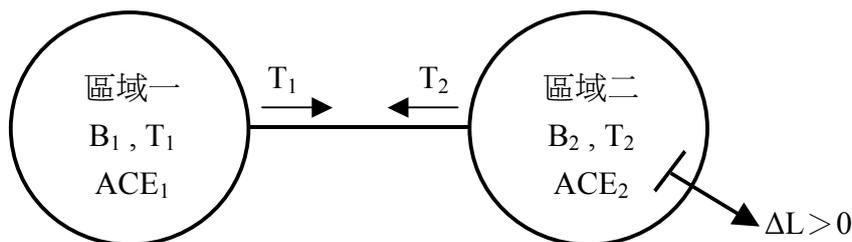
$$\Delta f = f - f_0 \text{(實際系統頻率-排定系統頻率)}$$

$\beta$  = 控制區域之自然調整特性，然而實際上並不知道區域自然調

整特性值  $\beta_{sys}$ ，故常採用估測參數  $B$ ，稱為頻率偏差係數 (Frequency Bias Coefficient)。

$$B = B_{sys} \doteq \beta_{sys} = (1/R_{sys}) + D$$

$$\text{因此 } ACE = \Delta T + B\Delta f \quad (\text{MW})$$



若兩互聯控制區域連絡線上電力潮流為  $T_1$ 、 $T_2$ ，其區域控制誤差各為：

$$ACE_1 = \Delta T_1 + B_1 \Delta f \quad (\text{MW})$$

$$ACE_2 = \Delta T_2 + B_2 \Delta f \quad (\text{MW})$$

而連絡線之淨交換為  $T_1 + T_2 = 0$  即  $\Delta T_1 + \Delta T_2 = 0$ ，當區域二之負載增加  $\Delta L$  (發電量跳脫) 時，此時系統運轉可分為以下階段：

階段一：系統調速動作，但於 AGC 動作前

$$\Delta f = -\Delta L / (\beta_1 + \beta_2)$$

$$\Delta P_{G1} = -(1/R_1)\Delta f \quad , \quad \Delta P_{G2} = -(1/R_2)\Delta f$$

$$\Delta P_{L1} = D_1 \Delta f \quad , \quad \Delta P_{L2} = D_2 \Delta f$$

$$\Delta T_1 = \Delta P_{G1} - \Delta P_{L1} = -\beta_1 \Delta f$$

$$\Delta T_2 = \Delta P_{G2} - \Delta L - \Delta P_{L2} = -\beta_2 \Delta f - \Delta L$$

$$\Delta T_1 = -\Delta T_2$$

階段二： AGC 矯正動作發生後：

(1)若區域二中有足夠備轉容量供應其負載增加時：

$$ACE_1 = 0, \quad ACE_2 = 0$$

$$\Delta P_{G1} = 0, \quad \Delta P_{G2} = \Delta L$$

$$\Delta T_1 = \Delta T_2 = 0$$

$$f = f_0$$

(2)若區域二中無足夠備轉容量供應其負載增加時：

$$ACE_1 = 0$$

$ACE_2 \neq 0$ (發電量將增至最大值，但 $ACE_2$ 將無法回到零)

系統頻率將下降，由於負載阻尼效應 $D$ 造成 $P_{L1}$ 、 $P_{L2}$ 減少同時增加 $P_{G1}$ 以使 $ACE_1 = 0$ 。

穩態狀態可由下兩式決定，

$$ACE_1 = \Delta T_1 + B_1 \Delta f = 0 \dots\dots\dots(1)$$

$$\Delta L - \Delta P_{G2} = \Delta T_1 - D_2 \Delta f \dots\dots\dots(2)$$

求解上兩式得到：

$$\Delta f = -(\Delta L - \Delta P_{G2}) / (B_1 + D_2)$$

$$\Delta T_1 = -B_1 \Delta f$$

故：

$$\text{系統頻率 } f = f_0 + \Delta f$$

$$\text{連絡線潮流 } T_1 = T_{10} + \Delta T_1$$

$$\text{區域二負載量 } P_{L2} = P_{L20} + D_2 \Delta f \quad (P_{L20} = L_0 + \Delta L)$$

$$\text{區域一負載量 } P_{L1} = P_{L10} + D_1 \Delta f$$

$$\text{區域一發電量 } P_{G1} = P_{L1} + T_1$$

故增加區域一頻率偏差係數  $B$ ，即可增加(控制)由區域一流向區域二(負載增加  $\Delta L$ )之連絡線潮流。

電源調度需考量以下因素：

### 1. 機組特性與運轉限制 —

- A. 額定容量/最高出力/最低出力
- B. 升/降載速率
- C. 機組屬性(基載、中載、尖載)
- D. 各機組之大修或檢修計劃
- E. 相關輔機啟停時間(起停、預先補水)
- F. AGC 能力(反應能力、上下限)
- G. 燃料成本排序

### 2. 水力電廠之發電規劃與運用 —

- A. 裝置容量較小川流式電廠,無法依系統需求調整出力
- B. 中型裝置之調整池電廠,可依預定需求調整出力
- C. 大型裝置之水庫式電廠,可依系統需求隨時調整出力
- D. 裝置容量最大抽蓄電廠,發電運轉時可依系統需求隨時

調整出力.抽水運轉時則無法調整入力

3.燃料限制—

4.傳輸容量限制—

5.電廠發電量限制—

6.氣候資訊的掌握—

7.地區線路潮流及主變壓器負載限制—

8.頻率品質—

以台電為例，正常頻率範圍指  $60\pm 0.1\text{Hz}$ ，若系統發生事故則頻率範圍  $60\pm 0.2\text{Hz}$ ，且 5 分鐘應恢復至正常頻率範圍，若系統供電能力不足：得視情況採降電壓、降頻率運轉，發生最大機組 N-1 跳機事故不能導致低頻卸載（即頻率不得低於  $59.50\text{Hz}$  連續超過 50 秒）。

9. IPP 合約執行—

A.保證時段(夏月與非夏月)及起迄時間

B.LNG 機組之發電排程及滿載運轉時數

C.IPP 機組之容量費率及能量費率

10.備轉容量規劃運用原則—

A.發生最大機組 N-1 跳機事故不能導致低頻卸載，即頻率不得低於  $59.50\text{Hz}$  連續超過 50 秒。

B.最大發電機組故障跳機後系統一分鐘恢復頻率必須大於、等於系統安全運轉之最低頻率，即  $f_{rec} \geq f_{min}$ 。

一般而言，互聯系統及未電業自由化的系統頻率運轉規範較獨立系統及電業自由化系統之頻率運轉規範嚴格。

■就保護協調而言，目前較常採用過電流電驛、測距電驛、差電流電驛、及數位電驛作組合作各保護區間設計，電驛動作依據下述基本原則規劃設定：

a.可靠性(reliability)：若故障發生在保護區間內，必須正確且快速動作，反之保護區間外，則絕不可動作。

b.選擇性(selectivity)：當故障發生時，將保護電驛動作隔離停電影響範圍縮小，使最少設備跳脫。

c.快速性(speed)：為維護系統及設備安全，應在最短時間內將故障清除。

d.簡單性(simplicity)：保護應以精簡而滿足需求為原則，過度複雜電驛設計將反造成維護困難、投資高且易誤動作。

#### 4-6 風力發電概要

太陽照射到地球表面時，因各處受熱不同產生溫差，從而引起大氣的對流形成風，據估計太陽能抵達地球的部份約 2% 轉化為風能，全球的風能約達  $2.74 \times 10^9 \text{MW}$ ，其中可利用的部份為  $2 \times 10^7 \text{MW}$

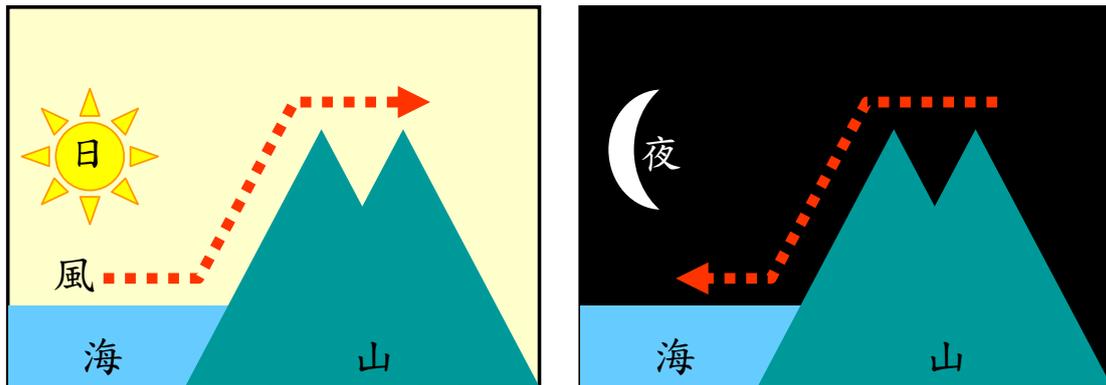
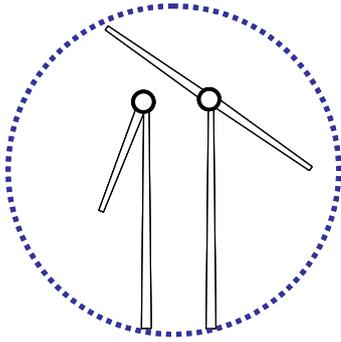


圖 4.6.1 日夜風向示意圖

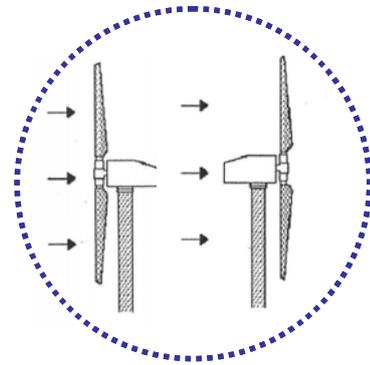
依目前的技術，約莫 3m/sec 的風速(約可搖動樹葉)，便可帶動風車扇葉，再透過齒輪模組將轉速度提高的增速機，結合轉動軸上的線圈切割磁場，使風機感應發電。以下有幾項風機之基本介紹：

1. 就風機扇葉考量，除講求輕巧堅固，若設置於海岸地區，尚須考量到鹽分鏽蝕問題，往昔的風機本體支架和扇葉常以鋁鈦合金製造，近幾年來由於材料科技的進步，扇葉部已改用玻璃纖維以取代，近年更嘗試引入碳纖維材料。
2. 依空氣動力學之理論，旋轉物的葉片宜隨其轉速之提高而減少，多翼形風車，係轉速低、高扭力用途。故慢速轉動的磨坊



風車其葉片大都是四片，而發電風機轉速較快因而採三片扇葉設計，至於為何不採用兩片或單片葉片，則係考量視覺平衡及轉動平衡，使感官、環境衝擊降至最低。

3. 再就風車的轉動方向(順時針或逆時針)皆與發電出力無關，為考量迎風面可能造成葉片扭曲，一般迎風面設計於風機塔基之後，以保護風機，現今商業化主流風力機為水平軸、三葉式翼型風力發電機。



4. 風機出力能力約與葉片大小成正比

(目前 ERpower 的風機型號是最大的，其 4.5MW，風輪直徑達 112m，5MW 風機風輪直徑達 125m)，目前以 3.0MW 機組為主流，已經有 3 種超過 3MW 的風機投入商業化，因為風場決定後，龐大體積之風機由製造廠至設置地點經過之道路、橋樑等運送過程係一大考驗，其改善措施費用恐遠高於設備成本，故目前風機容量大小暫無法大幅提昇，惟離案風力部分，因限制較少，且由於海上的風力通常大於陸地，近年，風機製造廠開始研發離岸風機，迄今 GE Wind 已開發出 3.6MW 海上專用風電機組，更大的 5-10MW 葉片則研發中，然而，離岸機組的探索也遇到了很多

挫折，由於離岸風場的水深常達幾十米，吊裝相當困難，且風機大型化相對零件要求更高，虧損使得市場開始對發展離岸項目持更謹慎的態度。

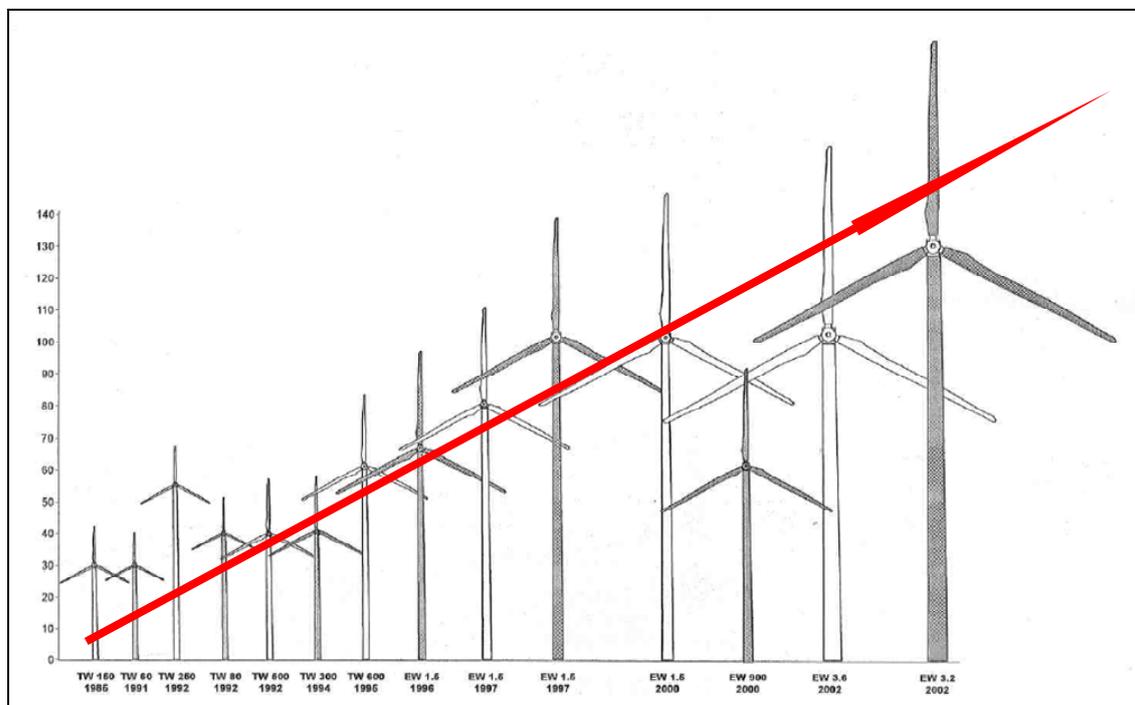


圖 4.6.2 風機容量與塔高發展歷程

#### 5. 風機機艙構成元件略述如下：

機艙 Nacelle：保護包覆發電機及機電控制系統

葉片 Blade：受氣動作用，將風能轉為機械能

葉輪輪轂 Hub：連接及固定葉片之裝置

主軸 Main Shaft：連接輪轂及齒輪箱，主要將葉片的轉矩傳遞

至傳動機構及發電機

齒輪箱 Gearbox：利用加速齒輪提升轉速帶動發電機

發電機 Generator：將機械能轉為動能

塔架 Tower：支持風機之機艙及迴轉系統

旋角 Pitching：調整葉片迎風角度以調整氣動力輸出

轉向系統 Yawing：轉動機艙以調整至垂直風向發電

煞車系統 Brake：以控制停機或減速。

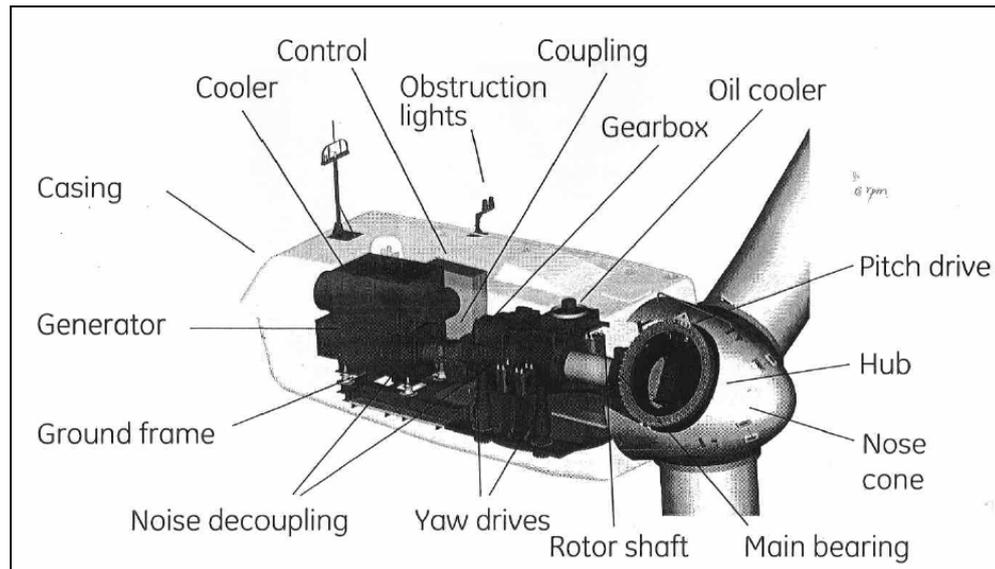


圖 4.6.3 風機機艙示意圖

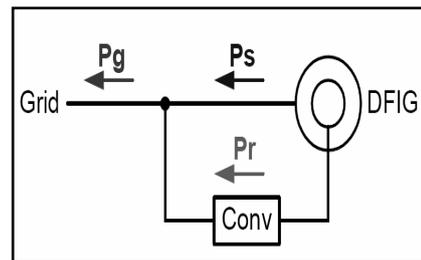
#### 5. 風力發電機種類約可分為四大類：

Type 1 定轉子電阻式感應式發電機：此類機型由一轉子和一鼠籠式感應發電機，連接到一個齒輪箱，發電機定子線圈則連接到電網，構造極為簡單，相對的價格較低廉，然因為轉子速度不能改變，風速的變動直接轉換為驅動轉子之扭矩起伏變化，造成電壓不穩及有閃爍的問題，使得電的品質受到影響，且由併聯電網吸收無效電流，需配合設置補償虛功率的電容器因應。

Type 2 可變轉子電阻式感應式發電機：此類機型係由 Type 1 演化，利用可調式轉子電阻控制調整轉速。

Type 3. 雙饋可變速感應發電機 doubly-fed induction generators (DFIG)：轉換器接到轉子線圈而定子線圈直接連接到電網，透過電力電子設備，將系統電壓頻率狀態迴授，藉由電壓改變控制無效電力，頻率改變控制有效電力，電

轉子頻率可以用轉換器來改變



並，因此，機械和電頻率耦合使變速操作成為可能，並可達高速反應控制，不需額外設備即可提供或吸收虛功，該型機組採標準化且體積較小設計，且 AC-DC-AC 轉換器半導體零件價格降幅極大，故已成為主流型式。

Type 4. 直接傳動可變速同步發電機 (Full-conversion)：將發電機和併聯電網能完全的用電子轉換器耦合，也允許變速操作，因風機出力，基本上與系統已完全脫溝，可視為變形的 STATCOM 元件，對於虛功及電壓控制範圍最大，然比起雙饋入可變速感應發電機來說發電機定子設計較複雜、電子轉換器較大、較重，故價格較高。

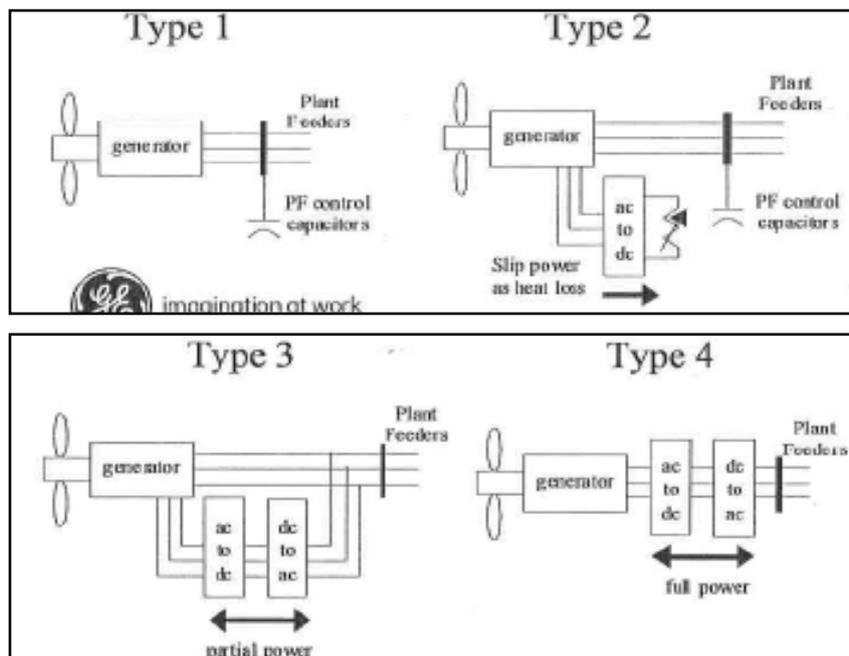
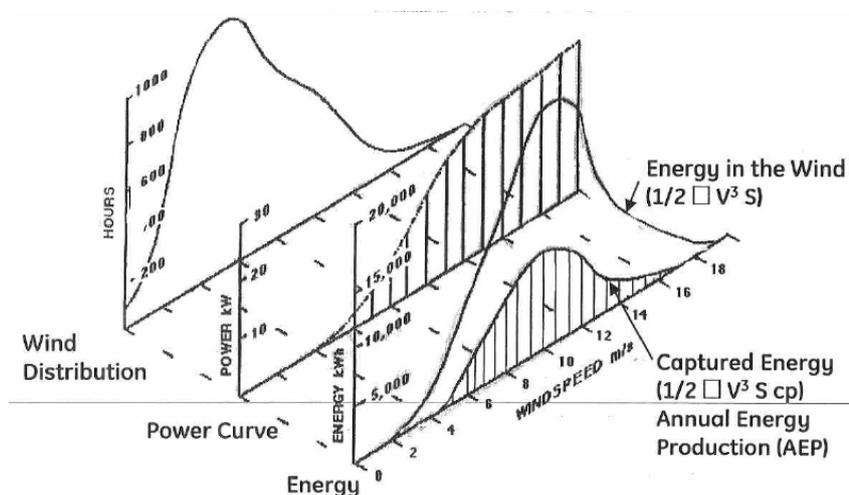


圖 4.6.4 四種基本型式之風力發電機

有關風能的評估，可由下圖略述，由風場產生風力分佈，轉換為功率及能量曲線曲線，而風能大小係與風速的三次方成比例，藉由空氣的氣動力作用(包括升力及阻力)轉動葉片以擷取風的動能，進而轉換成電能，風力機無法轉換全部風能，一般而言，輸出效率約 20~40%。

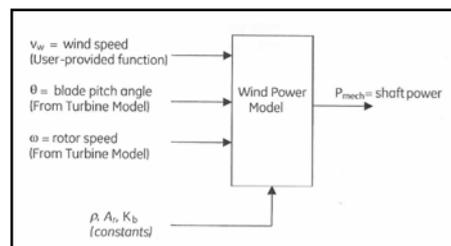


因風能之不穩定性，風機採用之輸出控制方式為：失速節制

(Stall regulation) 及旋角節制

(Pitch control) — 以吸收風能，獲較

佳之輸出曲線降低啟動風速及避免過



高的輸出，變速控制，則有較佳電力品質及較低之傳動鏈負荷，

而影響風機功率P因素有風

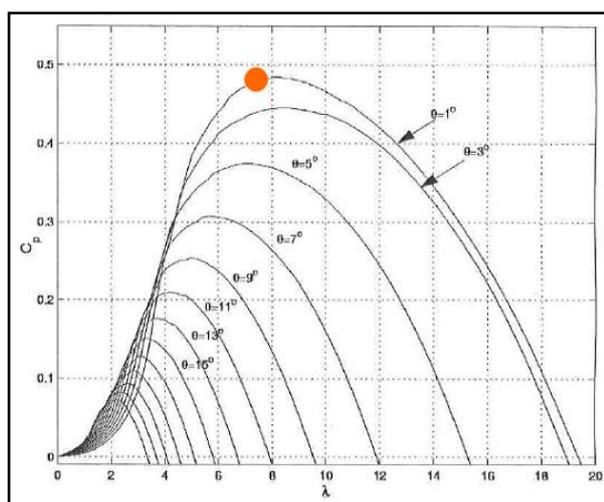
速、 $V_w$  葉片、角度  $\theta$  及轉子

速度  $\omega$ 。

其公式為：

$$P = \frac{\rho}{2} A_r V_w^3 C_p(\lambda, \theta)$$

而風機  $C_p$  曲線如右圖所示，



其Tip speed ratio  $\lambda = k_b(\omega/V_w)$ ，

$A_r$  為葉片面積，理想的  $C_p$  值為 0.593，就三葉片的風機而言，最大

$C_p$  值為 0.47，發生於  $\lambda = 7$  時。

風力機組加入後，對系統之影響分析，可就保護系統(小型風

場)、電壓控制、低電壓過渡(Ride-Thru)能力(中型風場)及主動

式電力控制(大型風場)逐級增加比重，一般：

1. 大型風場開發規模
2. 系統較脆弱者

### 3. 風力發電佔總發電量比重越高者

對系統衝擊所需考量的層面就越廣。下表則是風場系統衝擊考量的演進狀況，橫軸表示風場規模，縱軸為歷史演化，可知整個系衝除傳統過電壓、過電流、故障電流等潮流分析及穩定度、電力品質、閃爍等檢討，更需對電壓過渡、頻率特性甚至提供備轉能力多所著墨。

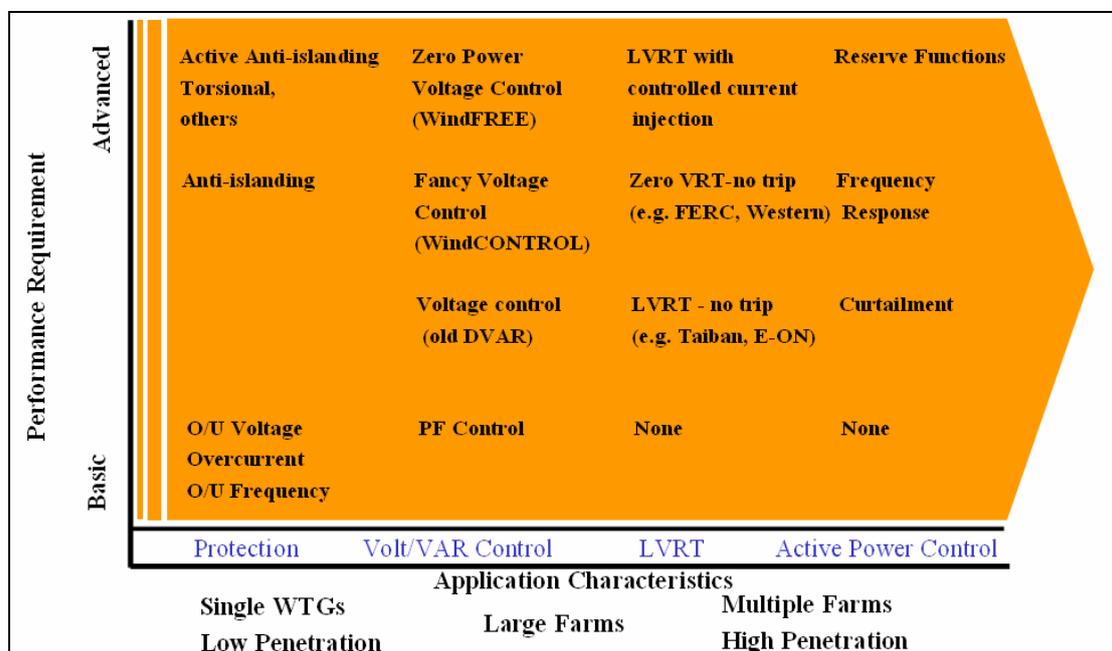


圖 4.6.5 風場系統衝擊考量的演進狀況

其中 LVRT(Low Voltage Ride-Thru)，係指當系統發生擾動導致電壓下降時，風機本身有能力度過時間，提供系統恢復穩定運轉之能力，甚而要求有零電壓過渡 ZVRT(Zero Voltage Ride-Thru) 之能力，就 GE 公司風機設計標準而言，其 ZVRT 需達 200ms。

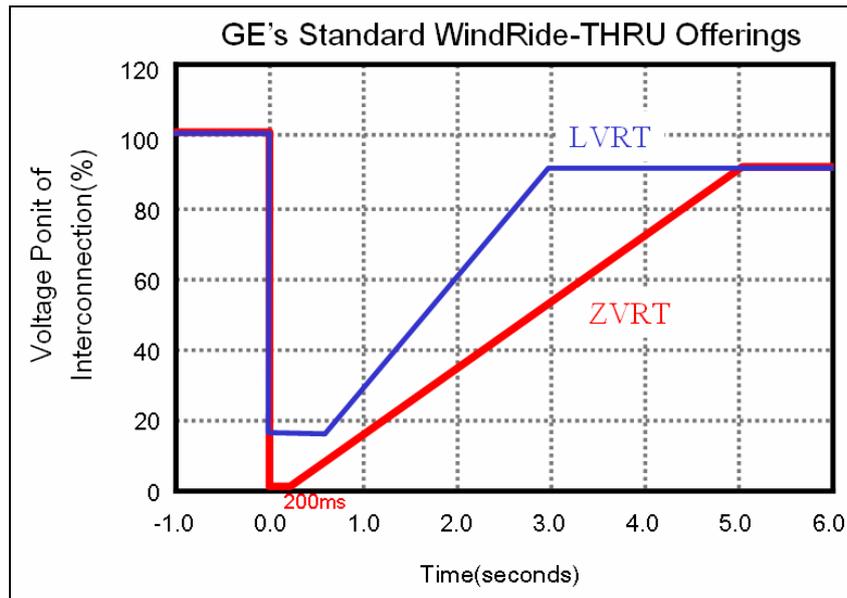
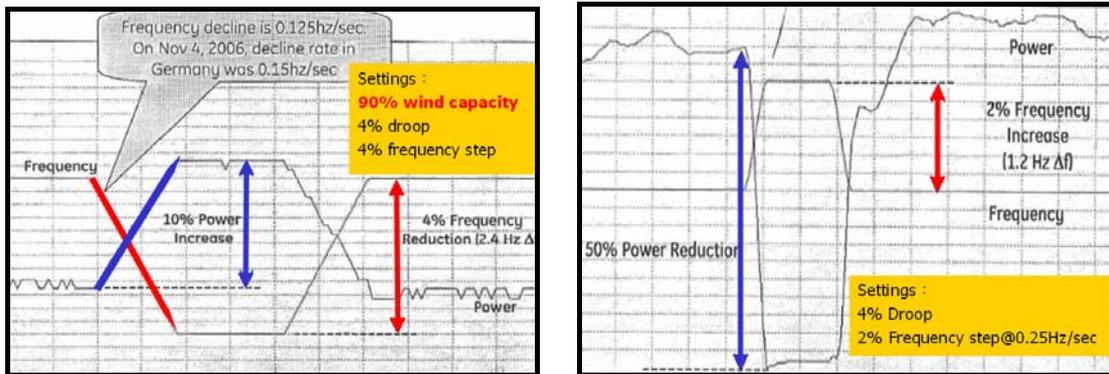


圖 4.6.6 GE 公司風機 LVRT、ZVRT 設計

而所謂 Active Power Control，係指風機之保留一定的輸出能力，不以額定容量出力，藉以因應系統頻率下降或驟升時快速增加或減少出力，使得系統回歸正常頻率，一般而言預留 10% 出力供提升頻率，而以降低 50% 出力作為因應頻率過高之方法。



就目前主力雙饋式風機機組而言，因採用電力電子元件，控制電壓及頻率，其反應極快，故對於系統穩定度而言，較傳統的同步電機穩定許多，且就阻尼影響而言，模擬結果顯示，於相同

條件系統下，擴充系統機組，若採增設風力機組方式並不會惡化系統阻尼，反而因為相對於增設同步機組時系統其他同步機組發電量減少而出現改善阻尼的現象。

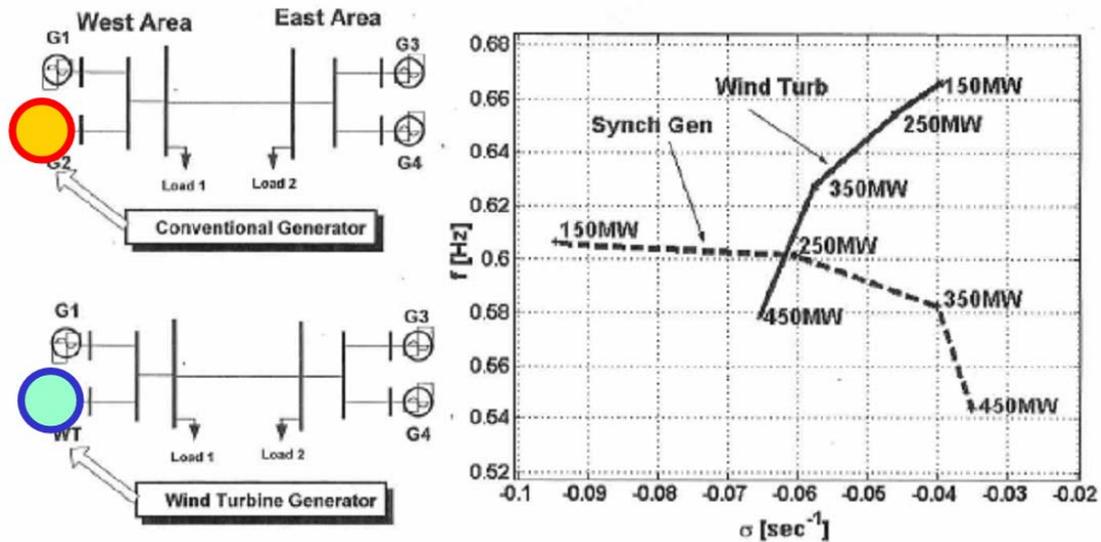


圖 4.6.7 增設風力機組 vs 同步機組後阻尼比較

自九 0 年代起，排放二氧化碳造成的溫室效應日益嚴重，加以反核聲浪及能源短絀的問題日趨浮現，環保議題之「京都議定書」發布後各國皆有服膺並落實的責任，限制傳統能源使用，避免溫室效應的惡化已是世界各國必須正視的重點。

種種原因使得風力發電愈益受到重視，而石化資源並不充沛、卻擁有綿長海岸線且科技發達的國家，如中、北歐的丹麥、瑞典和德國…等，在風力發電領域已有豐碩的成果，且隨著新技術和新產品的使用，風力發電成本在近廿年之內已下降了 80%，自 1996 年起上述諸國的風力發電量仍以每年逾 10% 的幅度呈穩定

成長，全球風力發電先進國家之推廣經驗顯示，長期而穩定的能源政策訂定目標與方針，搭配合理的補助與獎勵措施以提供誘因，為風能推廣能否成功之最重要關鍵。

除實體技術的引入，而如何開發風能，建立風能資料庫，並修訂再生能源的相關法規(稅賦、電價等)，乃至於訂定風力發電於系統之比重(美國以 20%為目標)研究，亦成為一大挑戰，以台灣能源短缺且電源開發困難的現況下，師法國外經驗，實刻不容緩。

## 五、實習期間參訪活動

### 5.1 Fenner Windpower Project

該風場位於紐約州 Madison County，佔地面積約 2,000 英畝，係由 20 台單機容量為 1.5 mw(GE Wind Energy 1.5 series)風機所構成，各機組透過 24.9 kV 地下電纜約 6.6 mile 互相連結，而後匯入變電站後，經過主變升壓至 115 kV 後引入系統，其引接點為 T 接 Niagara~Mohawk 115 kV 傳輸線。



圖 5.1 參訪 Fenner 風場

該風場風機相關資料概略如下表：

**Technical Details:**

- Height of towers: approximately 213 feet.
- Diameter of tower: 13.5 feet at base; 8.5 feet at top.
- Rotor assembly diameter (sweep of blades): 231 feet.
- Total height (tower and blades): **328 feet.**
- Length of each blade: **113 feet.**
- Weight of Nacelle (houses the generator):  
112,400 lbs (56) tons.
- Weight of rotor assembly:  
72,900 lbs (36.5) tons.
  
- Weight of entire turbine (including tower):  
380,000 lbs (190) tons.
  
- Concrete foundation for each tower weighs more than 610,000 pounds.

## 5.2 Selkirk Cogen 汽電共生廠

該汽電共生廠位於紐約州 Selkirk，為奇異公司投資生產塑膠工廠之汽電公司，該廠採用額定容量 345MW 天然氣複循環發電機組，其生產電力最高提供 80 MW 至鄰近 Niagara Mohawk Power Corporation 另提供 265 MW 電力至 Consolidated Edison Company of New York；該廠產生蒸汽量每小時可達 400,000 磅，提供毗鄰塑膠產品工廠製程所需蒸汽，而生產電力約可餽供 345,000 戶家庭用電所需。

Selkirk 汽電廠係 1992 年運轉，第一期設置 80MW 設備(由單一氣渦輪機連結輔助燃燒設備組成)，至第二期則擴建為二台氣渦輪機+二台廢水回收鍋爐及一台汽輪機，一、二期間汽管可互通，整體容量提升至 345MW，其商轉時間為 1994 年九月。

GE 塑膠廠由於增設汽電設備後，使得該廠產值提升一倍以上，亦能平衡其能源支出，提升該廠營收；自 1994 年起，該廠經營管理由其投資伙伴 National Energy Gas & Transmission 公司負責，而運轉維護則由 GE Plastics 依契約執行服務。

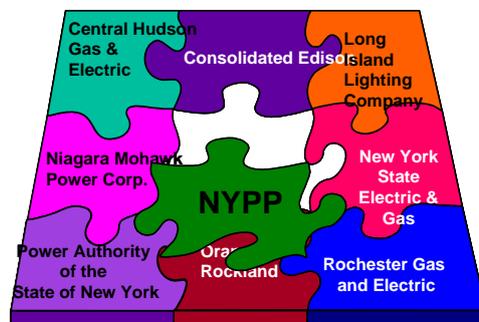


### 5.3 NYISO 紐約獨立調度中心

紐約獨立調度中心 NYISO (New York Independent System

Operator) 成立演進過程如下：

- 1965 年紐約大停電→
- 1966 年紐約電力池 NYPP(New York Power Pool)成立→
- 1970 年 NYPP 控制中心開始運轉→
- 1993 年 NYPP 因應 FERC 的 888 & 889 命令，研議改進原有電力池的調度規則→
- 1997 年 NYPP 向 FERC 提出申請成立紐約獨立調度中心→
- 1999 年 NYISO 開始運作→2007 年預計市場達 497 億美元。



NYISO 組織架構如下圖，是由十位不同專業背景人士(與電力市場交易業者無關)組成之董事會管理，並轄數個控制管理委員會(Governance committees)，由包括在躉售及零售市場買方與賣方同一位階的 NYISO stockholders，以及在市場上並未擁有 commercial stake 的代表所組成。這些委員會包括管理委員會(Management Committee)、營運委員會(Operating Committee)及企業事務委員會(Business Issues Committee)等，相關規則修改，均需獲得 58% 成員贊成方可通過。

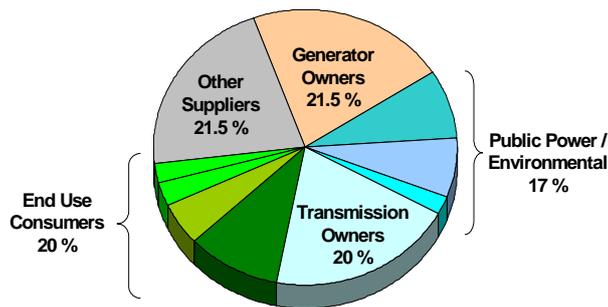
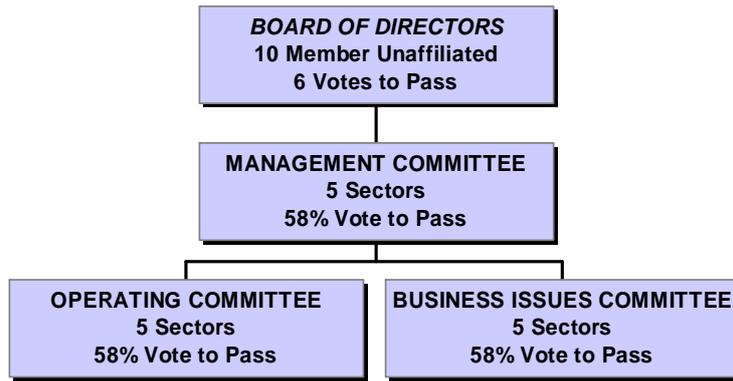


圖 5.2 NYISO 組織架構

NYISO 成立後主要任務為：

1. 紐約州電力系統可靠運轉。

2006 年紐約州尖峰負載約 32,295MW，採 18% 備用容量，約需 39,288MW 電源；而就運轉考量需有 1.5 倍系統最大單一事故量=1800MW(1.5\*1200/停線容量)，其中 1200MW 於 10 分鐘內可用，600MW 於 30 分鐘內可用。

2. 有效管理紐約州競爭的躉售市場機制。

目前紐約州電力市場結構 51% 為一日前市場(Day-Ahead Market)、45% 為雙邊合約(Bilateral (forward) Contracts)、4% 為即時市場(Real Time)。

3. 改善區域間運轉與規劃並滿足顧客的期望與需求。

台灣未來的電力發展將不可避免自由化的趨勢，多方參考觀摩各國電力市場結構、運轉機制，將有助於發展因應自身未來自由化發展的走向，感謝奇異公司安排一系列的參訪及 NYISO 解說，也期待有機會瞭解其他獨立調度中心。

#### 5.4 其他參觀行程

1. GE 汽輪機與發電機製造工廠：Schenectady , New York

2. GE 大電力電容器與電力品質產品工廠：

Fort Edward , New York

3. GE 全球研發中心(Global Research Center Headquarters)：

Niskayuna, New York

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與成就，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，超過三十萬名員工)，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。

## 六、參考文獻(攜回資料)

1. Hadi Saadat ,“Power System Analysis” –McGraw-Hill
2. Allen J.Wood & Bruce F. Wollenberg ,“Power Generation Operation And Control” –Wiley interscience
3. Harry Hesse, ” Principles of Electric Power Engineering Analysis”
4. Steven A. Barnes, "PSLF (Positive-Sequence Load Flow) Seminar"
5. Ronald L. Hauth, "Transmission Analysis & Pricing"
6. Liz Pratico & John P. Skliutas, "Surge Phenomena"
7. Dr. Sheppard Salon & Dr Sheppard Salon, “Synchronous Machines”
8. Ronald L. Hauth, “Voltage Compensation & FACTS”
9. Juan J. Sánchez-Gasca, “Introduction to Power System Small-Signal Stability Analysis”
10. Juan J. Sanchez-Gasca, “Introduction to Power System Transient Stability Analysis”
11. John Kovacik, “Utility Economics”
12. William W. Price, “System Operation: Control”
13. Kim A. Wirgau, “System Operation: Economics”

14. Gary Jordan and Rit Szczepanski, "Strategic Transmission & Generation Planning"
15. John Kovacik and Bill Palmer, "Competitive Power Generation Workshop"
16. Mike Reichard, P.E., "Fundamentals of Power System Relaying"
17. Dr. Sheppard Salon, "Rotating Machines"
18. Carl Wegner, "Power Electronics"
19. Power Systems Engineering Course, "Deregulated Power Markets"
20. Reigh A. Walling, "HVDC Transmission"
21. Lavelle Freeman, "Distribution System Planning and Reliability"
22. Devin Van Zandt, "Distribution Equipment and Application"