

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

姓名職稱：邱國智 電機工程監

派赴國家：美國

出國期間：97.07.29~97.12.15

報告日期：98.2.6

## 出國報告審核表

出國報告名稱：赴美國參加美國奇異公司電力系統工程班		
出國人姓名 (2人以上,以1人為代表)	職稱	服務單位
邱國智	電機工程監	系統規劃處
出國期間：97年7月29日至97年12月15日		報告繳交日期：98年2月6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」、「心得及建議事項」) <input type="checkbox"/> 3. 內容充實完備。 <input type="checkbox"/> 4. 建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 5. 送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 6. 送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 7. 退回補正,原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 8. 本報告除上傳至出國報告資訊網外,將採行之公開發表： <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會(說明會),與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 其他_____	
層轉機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1. 同意主辦機關審核意見 <input type="checkbox"/> 全部 <input type="checkbox"/> 部分_____ (填寫審核意見編號) <input type="checkbox"/> 2. 退回補正,原因：_____ <input type="checkbox"/> 3. 其他處理意見：	

說明：

- 一、出國計畫主辦機關即層轉機關時,不需填寫「層轉機關審核意見」。
- 二、各機關可依需要自行增列審核項目內容,出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 三、審核作業應於報告提出後二個月內完成。

報告人       ：       單位       ：       主管處       ：       總經理       ：

                  ：       主管       ：       主     管       ：       副總經理     ：

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：赴美國參加美國奇異公司電力系統工程班

頁數 66 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

邱國智/台灣電力公司/系統規劃處/電機工程監/2366-6910

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：97年7月29日~97年12月15日 出國地區：美國

報告日期：98年2月6日

分類號/目

關鍵詞：電力系統工程班(PSEC)、彈性交流輸電系統(FACTS)、高壓直流輸電系統(HVDC)、賓紐馬跨州聯網(PJM)、卡諾循環(Carnot Cycle)、朗肯循環(Rankin cycle)、氣化複循環發電系統(IGCC)、京都議定書(Kyoto Protocol)、雙饋式感應發電機(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)課程內容涵蓋範圍甚廣，包括了電力系統基本原理分析、輸電線潮流與暫態穩定度分析、突波分析、無效電力與電壓控制、保護電驛原理、發電機原理與控制、電力系統動態分析、電力電子元

件應用、配電系統規劃流程、汽輪機與氣渦輪機、複循環機組、汽電共生、核能發電、風力發電等再生能源及新興發電技術之介紹乃至於系統運轉與機組排程進而擬定年度計劃及經濟投資領域概念、燃料市場機制介紹等。受訓分為四大部分：一、電力系統規劃與應用(I)；二、電力系統規劃與應用(II)；三、電力系統經濟與策略規劃；四、新興的技術及分析。

期間並配合實地參觀汽電共生電廠、紐約調度中心以及奇異公司電機設備製造廠與研究發展中心，以達成理論與實務相輔相成之目的。

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

一、出國緣由與目的.....	1
二、出返國行程.....	1
三、心得與建議.....	2
四、電力系統課程摘要.....	5
4-1 電力系統與元件特性.....	5
4-1-1 發電機容量曲線特性.....	6
4-1-2 輸電線路特性.....	7
4-1-3 負載特性.....	8
4-1-4 斷路器.....	9
4-2 電力電子元件於輸電系統之應用.....	10
4-2-1 彈性交流輸電系統.....	11
4-2-2 高壓直流輸電系統.....	17
4-3 電力市場自由化.....	21
4-3-1 簡介電力市場自由化.....	21
4-3-2 全球自由化電力市場.....	26
4-3-3 電力市場架構.....	32
4-4 熱力學應用.....	34
4-4-1 熱力學基本原理.....	34
4-4-2 汽輪機原理.....	35
4-4-3 氣輪機原理.....	37
4-4-4 複循環機組原理.....	38
4-4-5 氣化複循環發電系統.....	40
4-5 再生能源簡介.....	41
4-5-1 水力能HYDRO.....	41
4-5-2 太陽能SOLAR.....	42
4-5-3 生質能BIOMASS.....	44
4-5-4 地熱能GEOTHERMAL.....	44
4-5-5 海洋能OCEAN.....	45
4-5-6 風力能WIND.....	45
五、實習期間參訪活動.....	54
5-1 NYISO紐約獨立調度中心.....	54
5-2 SELKIRK COGEN汽電共生廠.....	56
5-3 其他參觀行程.....	57
六、參考文獻.....	58

## 圖 目 錄

圖 4.1.1 電力系統示意圖.....	5
圖 4.1.2 發電機容量曲線特性.....	7
圖 4.1.3 輸電線路電壓與SIL關係圖.....	8
圖 4.2.1 電力電子元件於電力事業之應用.....	10
圖 4.2.2 SVC電路圖.....	12
圖 4.2.3 STATCOM基本電路圖.....	14
圖 4.2.4 TCSC基本電路圖.....	14
圖 4.2.5 SSSC基本電路圖.....	16
圖 4.2.6 UPFC基本電路圖.....	16
圖 4.2.7 高壓直流輸電系統示意圖.....	18
圖 4.2.8 電廠相關元件組成示意圖.....	20
圖 4.3.1 自由化市場對不同開發程度國家的影響.....	21
圖 4.3.2 世界電力市場自由化程度.....	23
圖 4.3.3 美國電業發展簡史.....	25
圖 4.3.4 國家電力市場.....	27
圖 4.3.5 南韓電網圖.....	28
圖 4.3.6 南非電網.....	29
圖 4.3.7 愛爾蘭電網.....	30
圖 4.4.1 卡諾循環壓-容(P-V)圖和溫-熵(T-S)圖.....	35
圖 4.4.2 汽輪機之蒸汽和電力循環.....	36
圖 4.4.3 朗肯循環(RANKIN CYCLE).....	36
圖 4.4.4 氣渦輪機循環.....	38
圖 4.4.5 勃朗登循環(BRAYTON CYCLE).....	38
圖 4.4.6 複循環機組架構圖.....	39
圖 4.4.7 氣化複循環系統示意圖.....	40
圖 4.5.1 太陽能科技應用示意圖.....	43
圖 4.5.2 地熱能發電示意圖.....	44
圖 4.5.3 風機機艙示意圖.....	47
圖 4.5.4 風機基本功率及風速對應圖.....	47
圖 4.5.5 風場系統衝擊考量的演進狀況.....	50
圖 4.5.6 增設風力機組VS同步機組後阻尼比較.....	53

## 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遭遇極大之阻力，整體電網之規劃，往往因配合工程施作之可行性，不得不做修改，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，導致本公司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：

■ 97/7/28 台北 TAIPEI(18:50) → 紐華克 NEWARK(21:40)

■ 97/7/29 紐華克 NEWARK (11:30) → 奧爾巴尼

ALBANY(12:34) → 斯堪那特提 SCHENECTADY(GE 公司)

### (二) 受訓：

■ 97.7.31 ~ 97.12.12 美國奇異公司電力系統工程班

### (三) 返程：

■ 97.12.13 斯堪那特提 SCHENECTADY(GE 公司) → 奧爾巴尼

ALBANY(14:05) → 紐華克 NEWARK(15:37)

■ 97.12.13 紐華克 NEWARK(22:30) → 97.12.15 台北

TAIPEI(07:20)

### 三、心得與建議

- (一) 此次受訓共有 15 位學員參加全期 4.5 個月之課程(日本 9 位、韓國 4 位、台灣 2 位)，另有來自美國其他電力公司或奇異公司員工參加為期 1~2 星期之短期課程，參訓學員大多為具電機背景之各國電力公司員工，職務涵蓋規劃、運轉、發電、輸電及工程領域，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，以補專業領域之不足。
- (二) 本課程涵蓋範圍極廣，可增加規劃人員對運轉調度、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。
- (三) 本次受訓學員本公司共派二人，除課業學習上可相互討論與諮詢外，另於日常生活方面亦可相互幫忙，減低單獨一人在異鄉生活的壓力，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，每年最少派二人參加本課程之訓練。
- (四) 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，再生能源與替代能源的研究與應用，已是刻不容緩。目前台灣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，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。

(五) 由於上課地點地處偏遠且無公共交通工具可搭乘，故必須自行租車通勤。惟當冬天下大雪馬路結冰時，相關單位會將較危險路段封閉以避免發生因輪胎打滑導致車輛相撞等之交通意外，因此常造成交通大堵塞，加上附近其他小徑路段對外來人言並不熟習容易造成行車迷路，故建議行車時裝設 GPS 全球衛星導航系統裝置，可確保安全駛達目的地。

(六) 公司現行規定攜帶公務資料運費以十公斤為限。惟現今美國郵政已於 96 年 5 月中調整服務內容，取消海運服務並簡化空運服務項目；且目前各航空公司對搭機旅客所攜行李之重量

限制亦大幅縮減(一般經濟艙由原先的 32 公斤調降為 23 公斤)，故無法將公務資料全數隨身攜帶返國。建議公司允許可攜回之公務資料儘量以電子檔方式存放攜回，如此除可減輕出國人員攜帶行李的負擔，節省公司對公務資料運費之支出外，亦可減少公司存放大量紙本資料的空間，達到環保的效果。

## 四、電力系統課程摘要

### 4-1 電力系統與元件特性

電力系統由發電機產生電力後經昇壓變壓器將電壓提高，再由輸電線路將電力傳送至負載，如圖 4.1.1 所示。

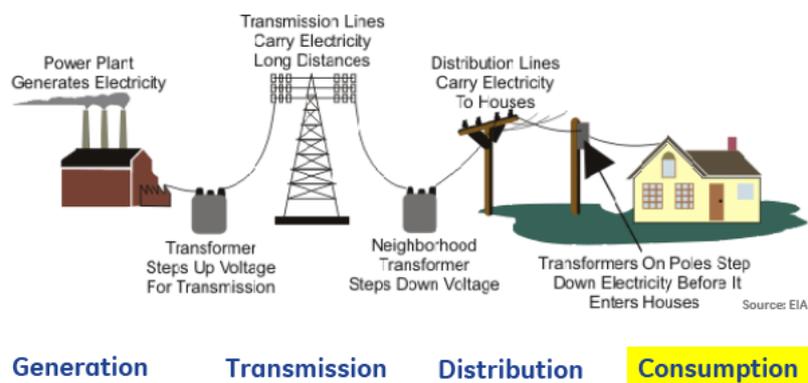


圖 4.1.1 電力系統示意圖

基本上，電力系統可概分為以下三大部份：

#### (一)發電系統：

發電廠的主要功能為將各式能源(核能、煤、油、天然氣、水力、風力等)轉換為電能。

#### (二)輸電系統：

輸電方式原則上可概分為交流系統及直流系統。而交流系統中以 3 相 60 赫茲最為普遍。基於經濟性考量，交流系統輸電電壓隨系統容量不同而各有選擇。

### (三)變電系統：

一般而言，電能經由輸電線送至用戶時，須利用較高輸送電壓傳輸以減少輸電損失，而一般用戶並不直接受電，須經由變電設備，取用適當的電壓，以資利用。

由於負載隨時在變動，為達電力系統中供給(發電)與需求(負載、損失)間的平衡，電力系統內須於適當地點設置控制設備，以求得系統之穩定運轉。傳統上，電力系統內的主要控制元件為發電機及其附屬設備(原動機、勵磁機等)、並聯式無效電力補償設備、附負載分接頭變壓器等。

#### 4-1-1 發電機容量曲線特性

於電壓穩定度和長時間(Long Term)穩定度研討中，同步機之無效功率限制極為重要。在特定電壓和功因(通常為 0.85 或 0.9)，同步機之額定輸出為在 MVA 極大值連續運轉而不致過熱。連續無效功率輸出能力如圖 4.1.2 所示受到下列三個因素限制：

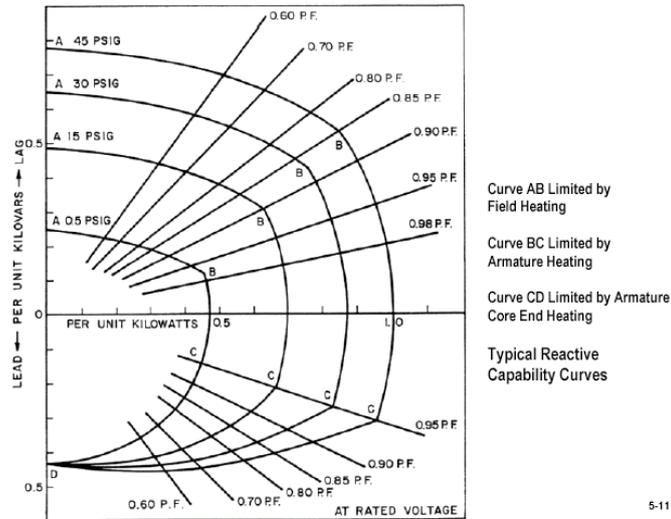


圖 4.1.2 發電機容量曲線特性

- 電樞電流限制：電樞電流之損失  $RI^2$  產生熱，將限制電樞電流之最大值，以避免電樞發生過熱，如圖之 BC 段曲線。
- 磁場電流限制：對一特定之場電流，有效和無效功率關係為一圓，其圓心為  $-Et^2/X_s$  及半徑徑為  $(X_{ad}/X_s)Et i_{fd}$ ，如圖之 AB 段曲線。
- 末端區域之熱限制：當同步機欠機運轉時，場電流甚小，造成電樞端漏磁通之增加，其所產生之熱將限制其出力。

#### 4-1-2 輸電線路特性

當輸電線路之充電電流產生之無效電力與負載電流消耗之線路損失相等時，表示此時可視為線路末端負載大小為輸電線路之特性阻抗  $Z_c = \sqrt{L/C}$  歐姆，輸電線路上潮流為一個  $SIL = V_0^2/Z_c$ ，即輸電線路不從系統吸收無效電力，亦不提供系統無效電力，全線上之電

壓和電流同相且維持定值，不同 SIL 值對應之電壓趨勢如圖 4.1.3。

輸電線路傳送電力之能力與線路長度與電壓等級有關，及受到下述三種因素影響：

- 線路熱容量極限：線路總長度 0~80km。
- 電壓降極限：線路總長度 80~320km。
- 小信號穩定度極限：線路總長度 320~960km。

當輸電線路長度超過 480km 時，其載流能力低於 SIL，藉由補償輸電線路，可增加輸電線路傳送電力之載流能力。

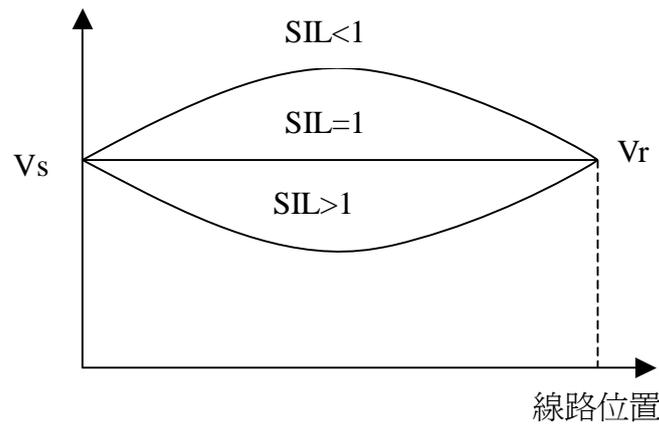


圖 4.1.3 輸電線路電壓與 SIL 關係圖

### 4-1-3 負載特性

電力系統中消耗電力的元件種類及數量繁多，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。

靜態模型或傳統式負載模型 ZIP，若負載僅考慮與電壓大小相

關時，其關係式如下：

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

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

$a_1$ 、 $a_4$ ：定電力負載比例

$a_2$ 、 $a_5$ ：定電流負載比例

$a_3$ 、 $a_6$ ：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：

$$P = P_0 (a_1 + a_2 V + a_3 V^2) (1+K_{pf} \Delta f)$$

$$Q = Q_0 (a_4 + a_5 V + a_6 V^2) (1+K_{qf} \Delta f)$$

一般而言，電動機消耗電力系統中全部電能之 60%~70%，所以系統動態特性主要受到電動機之動態特性所影響，故常將負載之動態模型以感應電動機模型來表示。

#### 4-1-4 斷路器

電力系統發生故障時，必需藉由斷路器打開以隔離故障，使系統受到最小衝擊，保護設備及人員安全，故斷路器遮斷容量之大小關係其啟斷故障之能力。

## 4-2 電力電子元件於輸電系統之應用

電力電子(power electronics)主要是研究改善電能使用效率的電子工程技術，藉由整合功率半導體元件、微電子、與自動控制等技術於電源轉換、電能儲存、與電力傳輸以符合各種不同形式電源需求的應用。

電力電子元件具有快速反應、輸出能隨時變動與輸出能很平滑的變動等特性。目前電力電子技術的應用，已從傳統的「用電」觀點，例如設計高功率密度的電源供應器，進一步朝向「發電」與「輸配電」的方向發展，其在電力系統方面的應用如圖 4.2.1 所示。

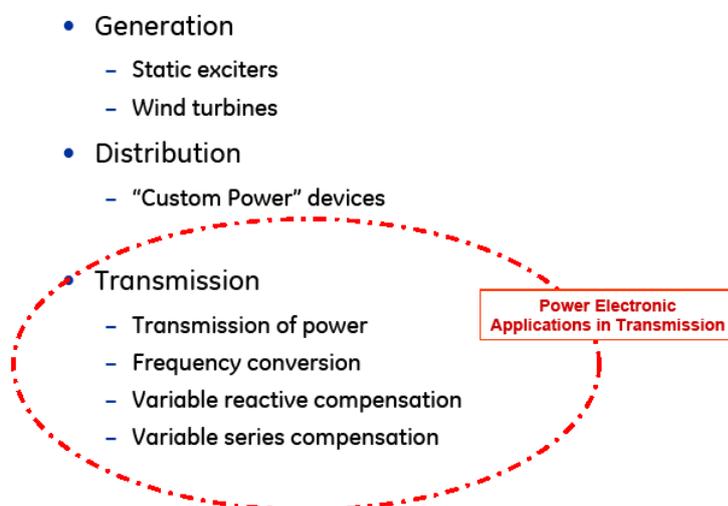


圖 4.2.1 電力電子元件於電力事業之應用

#### 4-2-1 彈性交流輸電系統

彈性交流輸電系統(Flexible AC Transmission System, FACTS)定義為“交流輸電系統中加入電力電子元件和控制器，以強化系統控制能力和增加輸電能力”。

經由輸電線傳送的交流電力是由輸電線阻抗及輸電線兩端的電壓及相角所決定。傳統的電網結構中，利用固定式或機械切換式串、併聯無效電力補償設備、電壓調整變壓器及相角移位變壓器等設備來達到輸電線阻抗最佳化，減少電壓變動及控制電力潮流。唯此類控制方式僅能控制穩態系統，動態控制只能由發電廠本身的控制系統來施行。上述設備除發電廠附屬設備具備即時及快速的反應特性外，其它設備大都為機械式元件，無法滿足系統瞬間需求。整個系統往往須預留相當的裕度，以應付突發的事故及系統不確定需求。

近年來，由於能源、環保、路權及成本等因素，導致許多發輸變電新興工程延宕，迫使電力業者須改變傳統運轉理念，而走向提昇既有設備利用率及加強控制電網能力的策略。由於高功率半導體、通訊系統及儲能設備的快速發展，電力業者已能利用上述先進的元件，而使電網控制更加靈活。

#### 4-2-1-1 靜態無效電力補償器

靜態無效電力補償器(Static Var Compensator, SVC)的基本元件為並聯電抗器與並聯電容器。電抗器的電感量可藉改變閘流體導電相位，控制通過電流決定。而電容器可採用固定式或由閘流體做開關控制。此補償器的主要特性為反應快速，可靠度高、低運轉成本和低靈敏度。

常見之靜態無效電力補償器種類如下：

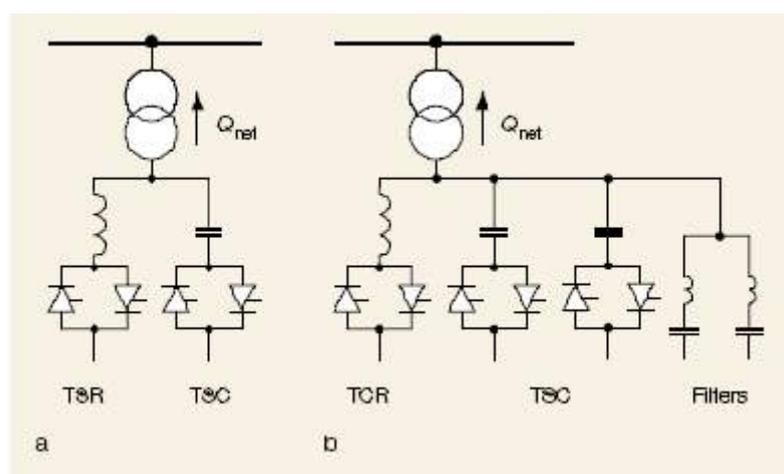


圖 4.2.2 SVC 電路圖

#### ■ 閘控電抗器(Thyristor-controlled reactor, TCR)

由雙向閘流體串聯一固定電抗器，藉由閘流體觸發角度改變相位以調整電抗器上電流大小及控制吸收系統之無效電力。

#### ■ 閘開關電容器(Thyristor-switched capacitor, TSC)

藉由閘流體切換控制電容器投入或切離，控制電容器的無效電力。

■ 閘開關電抗器(Thyristor-switched reactor, TSR)

是藉由閘流體切換控制電抗器投入或切離，以便控制電感器的無效電力供給，與 TCR 比較，無諧波電流產生。

#### 4-2-1-2 靜態型同步無效電力補償器

靜態型同步無效電力補償器 (Synchronous Static Compensator, STATCOM) 主要是以電力電子技術發展的閘開關電晶體 GTO 控制原理設計之靜態同步調相機，是屬於自激式無效電力補償裝置；不須以任何電容器或電感器產生或吸收無效電力，而是利用 GTO 控制換流器，將直流電壓轉換為交流成分，並利用系統電壓與轉換後之電壓比較，以達吸收或提供無效電力的補償效果。

STATCOM 有下列功能：

- 提高功率傳輸能力
- 提高系統暫態穩定度
- 增強系統組尼
- 改善電力品質

缺點：價格昂貴

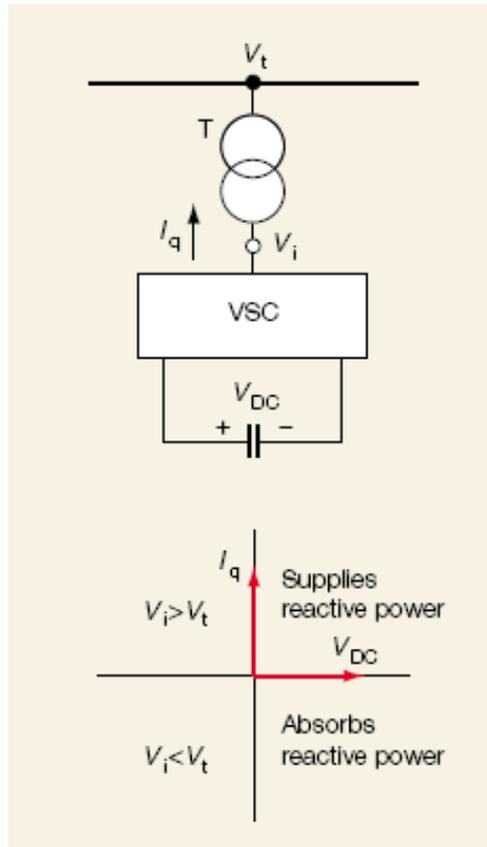


圖 4.2.3 STATCOM 基本電路圖

#### 4-2-1-3 閘控串聯電容器

閘控串聯電容器(Thyristor-Controlled Series Capacitor, TCSC) 是由串聯電容器和閘控電抗器 TCR 並聯而成，經由 TCR 控制以提供線路可變且平滑之電容性阻抗，來改變系統線路阻抗，達到無效電力補償之目的。

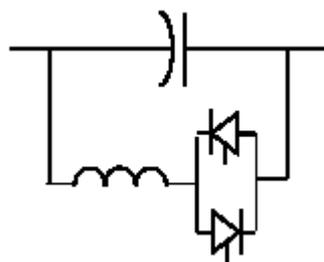


圖 4.2.4 TCSC 基本電路圖

TCSC 有三種工作模式：

■ 全通模式(Bypass mode)

控制閘流體觸發使 TCR 完全導通，此時 TCSC 成為電感性補償。

■ 全斷模式(Blocking mode)

當閘流體不觸發，TCR 不導通，此時 TCSC 成為電容性補償。

■ 連續控制模式(Capacitive boost mode)

藉控制閘流體觸發角度來改變線路阻抗，進而控制電力輸送。

#### 4-2-1-4 靜態同步串聯補償器

靜態同步串聯補償器 (Synchronous Static Series Compensator, SSSC) 是由串聯變壓器、電壓源變流器及儲存式直流電壓源組成，由於轉換器可調整其輸出電壓進而控制串聯變壓器一次輸出電壓領先或落後系統電流，SSSC 便成為一可變的串聯電容或電感，由於其操作與系統電流無關，故 SSSC 可以在輕載或重載下操作。

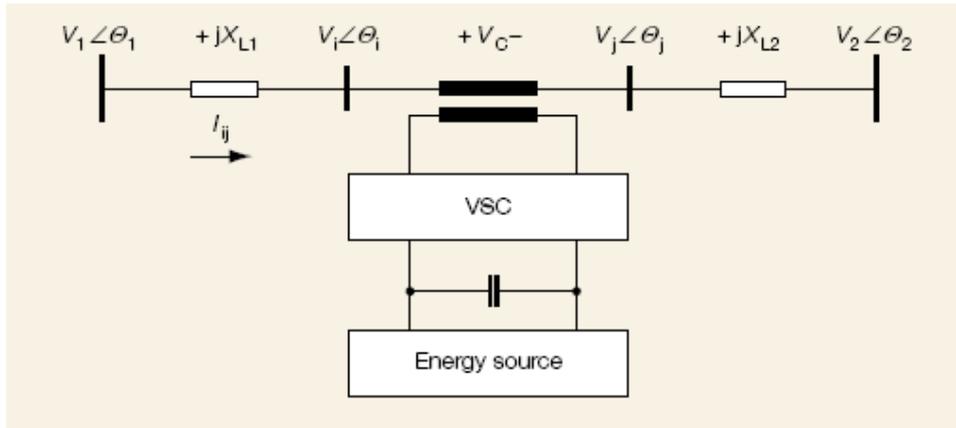


圖 4.2.5 SSSC 基本電路圖

#### 4-2-1-5 強化電力潮流控制器

強化電力潮流控制器(Universal Power Flow Controller, UPFC)是由兩組 VSC 裝置經一共用 DC Link 組合而成，具有無效電力併聯補償、串聯補償與相角調整或多重控制之功能。可控制線路之電壓、阻抗和相角，具有改善系統特性、控制潮流、穩定系統電壓、減少設備維護與便利調度之優點。

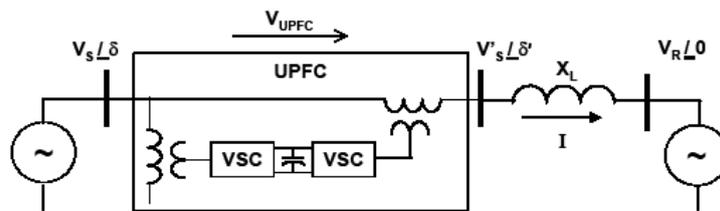


圖 4.2.6 UPFC 基本電路圖

應用 FACT 設備，能控制同一輸電路徑下某一並聯線路之輸送電力，且整個系統之阻尼及電壓穩定度仍可維持在可接受水準。由 FACTS 之功能觀點可獲知，由於高電壓高電流電力電子設備之可控性、通訊網路和計算機系統之發展，改善了傳統交流輸電系統機電

設備缺乏控制能力之運轉特性。因此，FACTS 所具有之特點包括取代傳統電路阻抗恒定使輸電網路阻抗和相角具有調節性、電力潮流為可控制狀態和快速控制功率流向和大小。

以系統整體而言，使用 FACTS 有以下優點：

- 電力潮流可彈性控制，提高系統穩定度。
- 送電能力可提升到接近線路熱容量極限。
- 依系統需要提供快速靈活補償，以改善供電品質。
- 前置工程作業時間短，可因應輸電線路工程之遲延。

#### **4-2-2 高壓直流輸電系統**

高壓直流輸電系統(High Voltage DC Transmission System)技術，可用於連接不同頻率或弱化地區之電力系統，或作為長距離輸電系統，並可改善電力系統特性。隨著電力電子元件技術之更新，高壓直流輸電設備已邁向高容量、易導通、操作簡單及控制精密之新里程碑。應用此改良技術，傳統交流輸電系統所具有故障電流過大或系統穩定度不佳問題將可有效改善。相關技術已廣泛應用於國外電力系統中。

#### 4-2-2-1 組成設備介紹

高壓直流輸電系統將交流系統或發電機端電源經(AC/DC)換流站整流為直流電力後，將此電力傳送至接收端之(DC/AC)換流站，換流站再將電力轉換為交流電力後供接收端系統使用，如圖 4.2.7 所示。

HVDC Simplified System Schematic

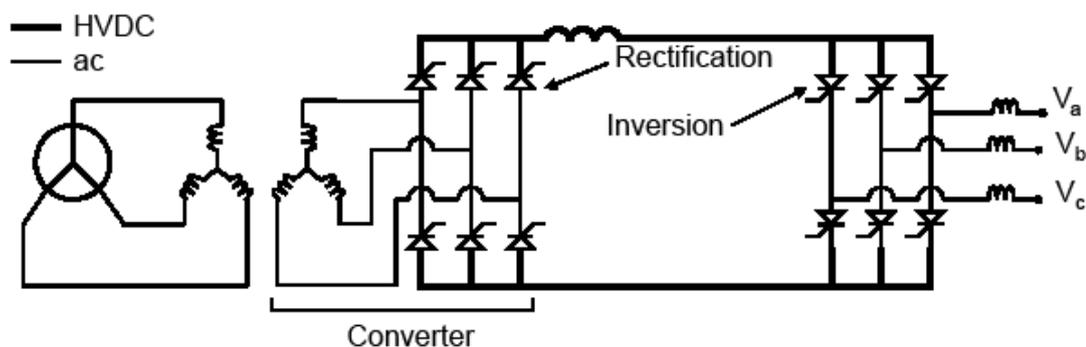


圖 4.2.7 高壓直流輸電系統示意圖

#### ■ 線路部份

由直流輸電線路及接地裝置所組成，輸電線路一般可分為架空、電纜或混合線路三種。

#### ■ 換流站部分

由換流變壓器、換流閥組(Converter Valve)、平滑電抗器、交直流濾波器、無效電力補償裝置、冷卻設備、開關設備、保護控制設備及避雷器等裝置所組成。

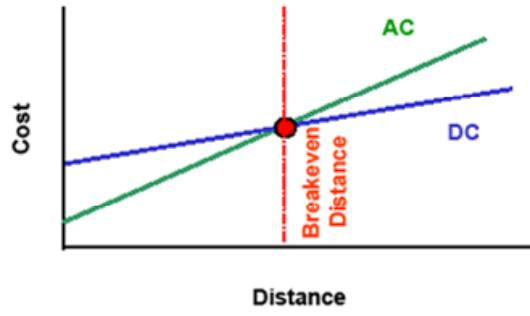
#### ■ 交流開關場之無效功率補償設備

傳統高壓直流輸電系統換流器運轉時需消耗無效功率，除交流濾波器可提供一部分外，其餘需裝設補償裝置提供所需無效電力。此裝置亦可供應部份交流系統，調節電壓提高系統電壓穩定所需之無效電力。一般常見無效電力補償設備有並聯電抗/電容器、Synchronous Condenser、SVC 及 STACON 等。

#### 4-2-2-2 高壓直流輸電系統與交流輸電系統比較

高壓直流輸電系統傳輸電力僅有歐姆損失，不似交流輸電系統須傳輸額外無效電力而產生有效及無效電力損失，相較下將更有效率。高壓直流輸電系統與交流輸電系統比較，有下列優點：

- 可實現不同頻率交流系統間之非同步連結，提高兩側交流系統互為備用及事故時緊急支援之能力，從而提升系統穩定性及供電效益。
- 適合高電壓、遠距離大容量輸電  
由於直流設備較為昂貴，一般而言當架空線路超過 500~900km 或電纜線路超過 40km 時之經濟規模時，採用 HVDC 輸電比採用交流輸電更經濟，如圖 4.2.8 所示。
- 線路功率損耗及對環境危害均較低
- 電力潮流調節快速且能雙向傳送，適合大區域電力系統間的互聯。



Breakeven distance  $\approx$  500-900 km(架空)

Breakeven distance  $\approx$  40 km (電纜)

圖 4.2.8 電廠相關元件組成示意圖

## 4-3 電力市場自由化

### 4-3-1 簡介電力市場自由化

定義所謂自由化市場，分為三要素，一為市場架構重組，分割不同事業體如發電公司、輸電公司及配電公司等。二為解除一些管制措施如只能向單一公司買電等。三為民營化，移轉所有權，擁有人代表不再是政府。

自由化市場將對所謂已開發國家影響是整體效率的提升，導致電價下降。而對開發中國家者是吸引國外大量投資者，可能導致電價合理上升，如圖 4.3.1 所示。

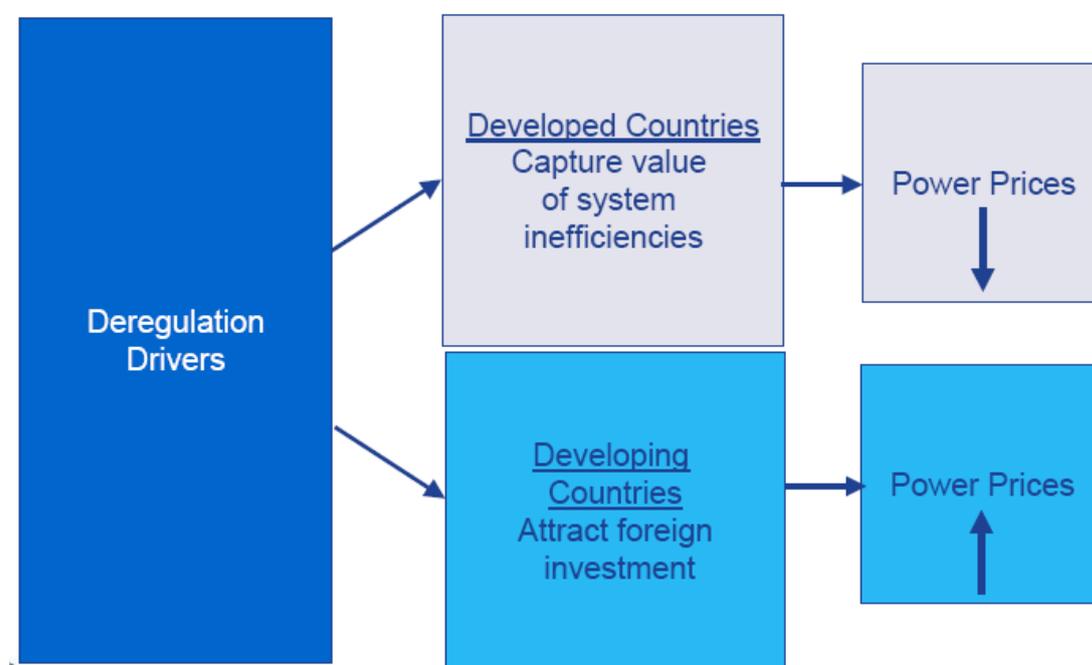


圖 4.3.1 自由化市場對不同開發程度國家的影響

對電力市場架構的衝擊，從單一垂直整合電力唯一的公司轉變為多個垂直整合電力寡占的不同公司，在轉變為發電部分單獨分離為單一公司，其餘部分仍是整合一起的電力寡占的不同公司。轉變此階段其優點為穩定，有較低風險的電力工業環境。有大量買方如多個垂直整合電力寡占的不同公司，可使每個公司其降低容量裕度。在此階段的改變是很緩慢，考慮可靠度仍是遠大於成本的節省。而從發電部分單獨分離為單一公司，其餘部分仍是整合一起的電力寡占的不同公司再轉變為批發市場的競爭如分為發電公司，輸電公司、配電公司等，不過零售市場仍未開放，一般民眾不能選擇電力供應者，直到最後階段全部市場皆自由化含零售市場，此時消費者可以選擇跟哪家電力公司買電。此階段特點為會特別注意運轉成本，效率提升，增加需求特別是彈性化與快速化，會使某些電力供應者自然淘汰，多樣化的發電機組搭配，商業交易變的相當鉅大而活躍。對於世界電力市場自由化程度如圖 4.3.2 所示。其數字越大表示其自由化程度越高。

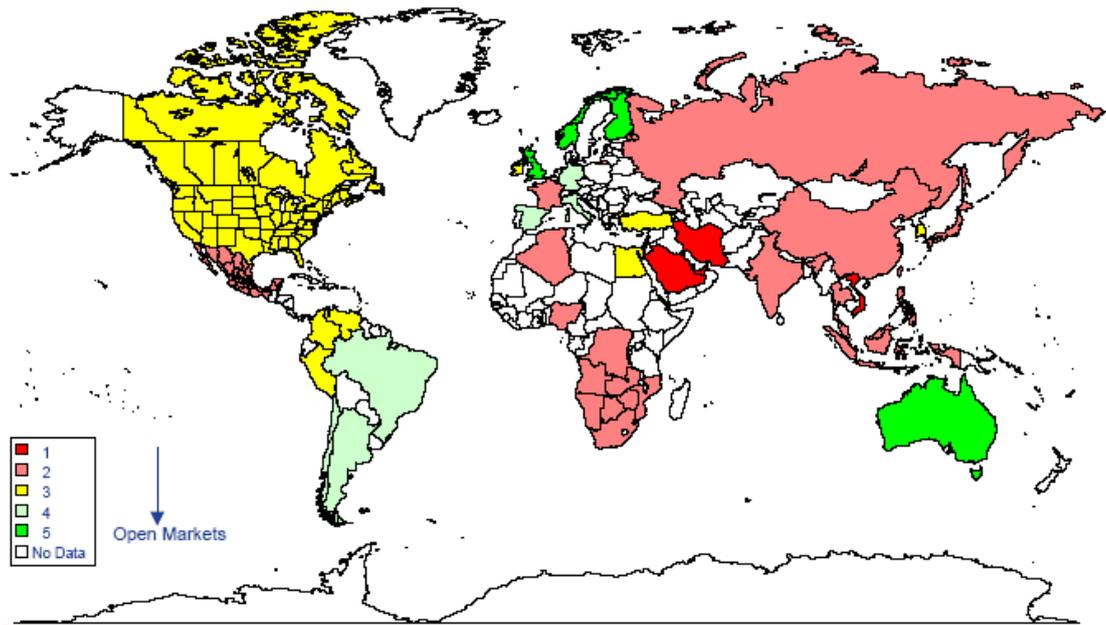


圖 4.3.2 世界電力市場自由化程度

就美國電業發展史為例，美國自 1935 年至 2007 年公布之重要法案如下：

- 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。
- 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。
- 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。

- 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。
- 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。
- 1999/2000 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。
- 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。
- 2003 年 FERC Order No. 2003：大型發電機互連協議和程序。
- 2005 年 FERC Order No. 2006：小型發電機互連協議和程序。
- 2005 年 FERC 預定標準市場設計(SMD)進入實際推動階段。
- 2007 年 FERC Order No. 890：避免不適當的不公平待遇和偏好的輸電線服務。

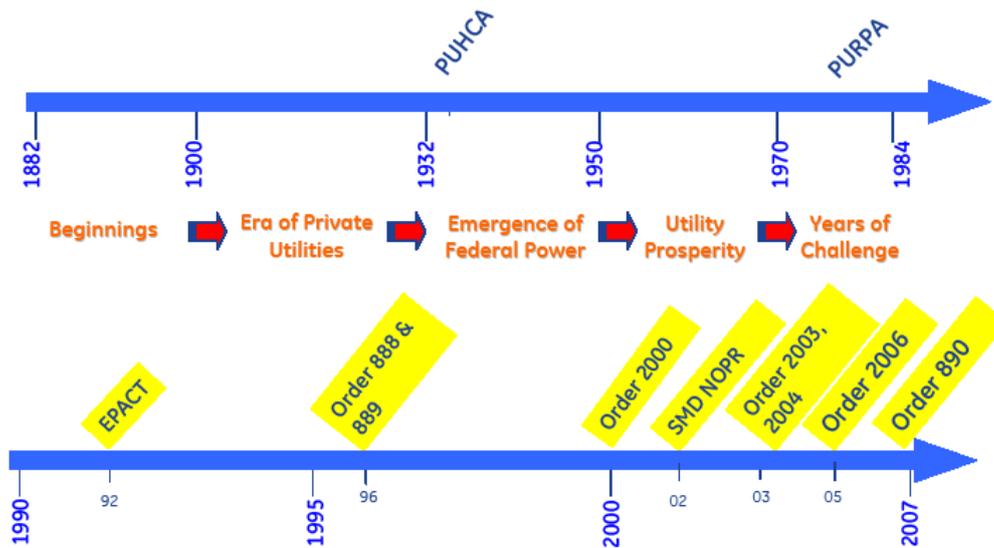


圖 4.3.3 美國電業發展簡史

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 (Independent Transmission System Operator, ITO)，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 ITO (約佔美國 1/3 發電量) 已經開始運作，略述如下：

- 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。

- 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。
- 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。
- 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。
- 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。

#### 4-4-2 全球自由化電力市場

澳洲電業，1998 年 3 月成立「國家電力市場 (National Electricity Market)」，主要是將澳洲東部與南部各州的輸電網路合而為一如圖 4.3.4 所示，成為一個跨州的輸電系統，參與的各州包括：維多利亞、新南威爾斯、南澳、昆士蘭與首都特區等。

國家電力市場管理公司(National Electricity Market Management Corporation, NEMMCO)開始營運，為財團法人，掌理

電力市場的交易、調度、輸電價格的管理、網路規劃原則的訂定等。

因此，NEMMCO 為稱「國家電力市場」的管理者 (Market Manager)。

其市場特點：

- 只有能量市場，並沒有容量市場。
- 發電拍賣經由總量管理來競標。
- 市場經由公正第三者清楚資源分配。
- 即時交易價格為每 MWH 為美金 10000 元。



圖 4.3.4 國家電力市場

南韓電業如圖 4.3.5 所示，韓國電力公司(KEPCO)的發電部門分割成為六家財務獨立的子公司之後，除「水力及核能發電公司」以外，其餘五家公司予以民營化。此六家發電公司 (GenCo' s) 的購售電競價必須經由韓國電力交易所 (KPX) 執行，而電業的發照、換

照、以及電業經營之監督則由韓國電力委員會執行。此委員會及電力交易中心分別於 2001 及 2002 年成立。其電業特點如下：

- 韓電電力交易所協調以電力潮流、未來規劃及運轉成本等來做核心點，取的平衡點。
- 有能量市場及容量市場。
- 有做為系統裕度來做備轉機組的透明的市場。
- 發電拍賣經由總量管理來競標。
- 市場經由公正第三者清楚資源分配。

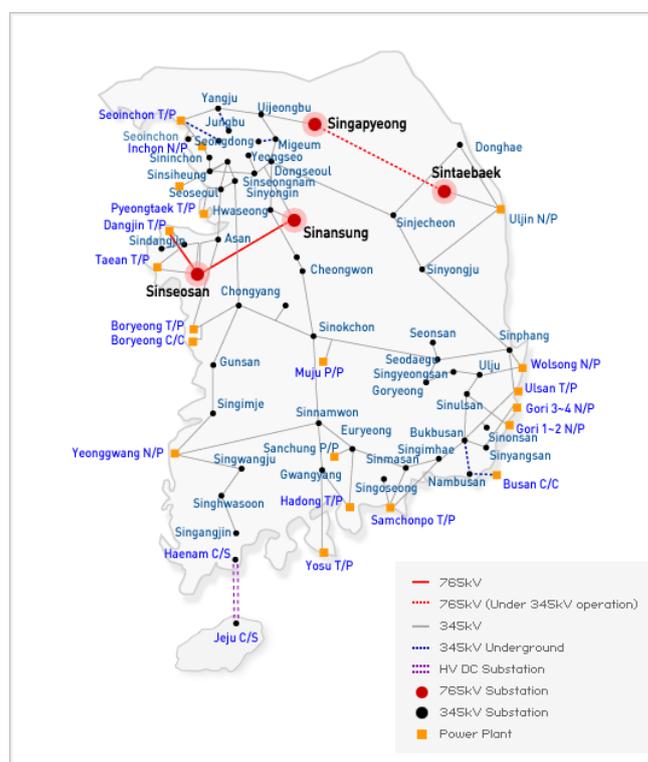


圖 4.3.5 南韓電網圖

南非電業法，1995 年由南非十二個國家組成共同組織一電力池，南非電網如圖 4.3.6 所示，其特點：

- 目的推展各國貿易，降低能源成本及提升自 1965 年開始實施。
- 大部分電力交易透過雙邊交易
- 短程交易市場於 2001 年成立，可以即時交易。
- 短程交易市場是相當現貨市場，與一般購售電合約不同。
- 一般小容量電廠都經過短程交易市場。



圖 4.3.6 南非電網



英國電業如圖 4.3.8 所示，1997 年開始進行電力市場的改革，擬定新的電力市場交易機制 NETA (New Electricity Trading Arrangements) 代替原來的電力池，擬使電力市場更具競爭力，並降低輔助服務電力之成本，NETA 業於 2001 年 3 月 27 日正式開始交易。其特點為：

- 即時平衡交易市場
- 只有能量市場，沒有容量市場。
- 所有發電端皆採總代理制投標，來競標價格，市場經由公正第三者清楚資源分配。

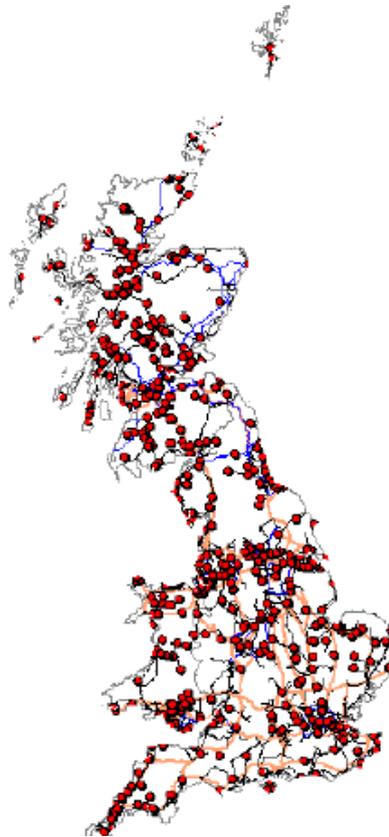
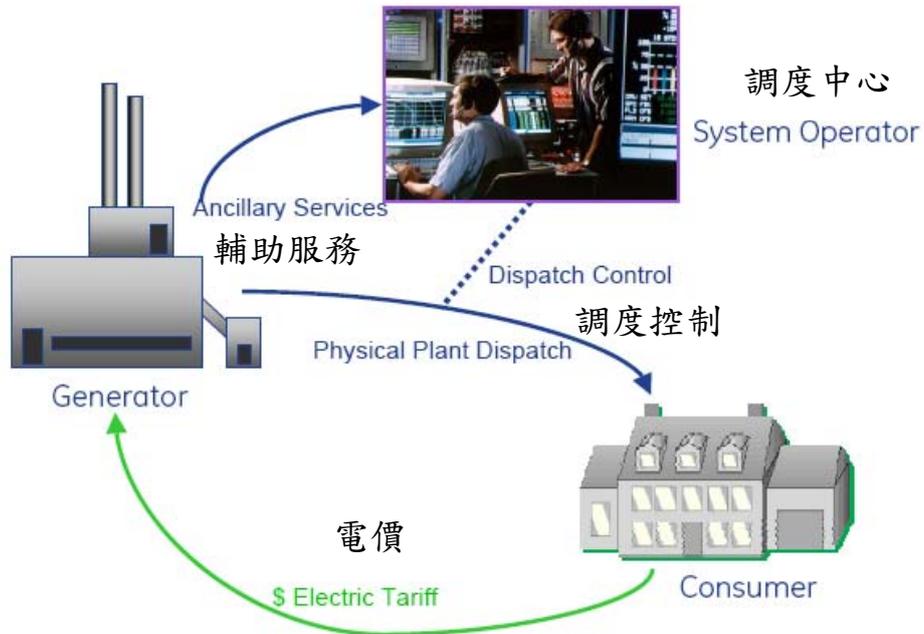


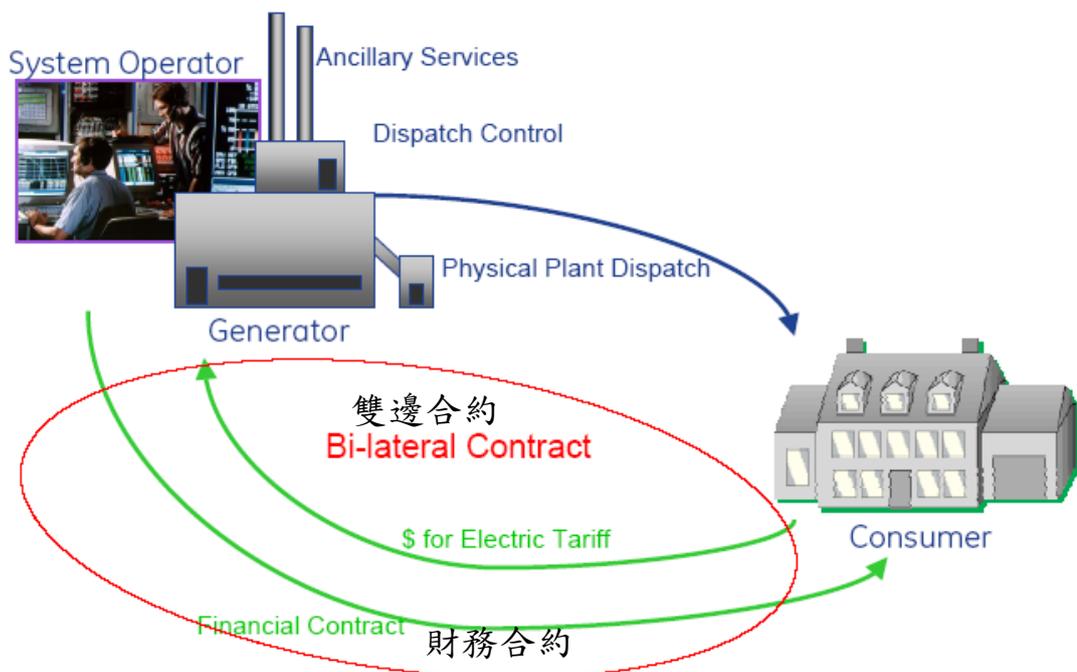
圖 4.3.8 英國電網

### 4-3-3 電力市場架構

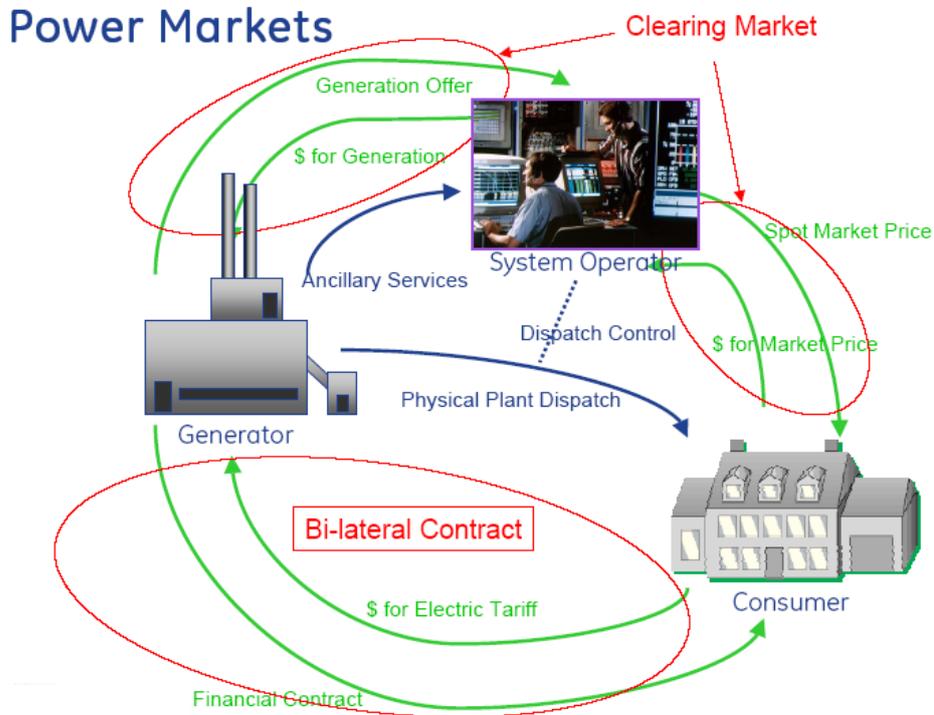
#### ■ 實體電力市場架構



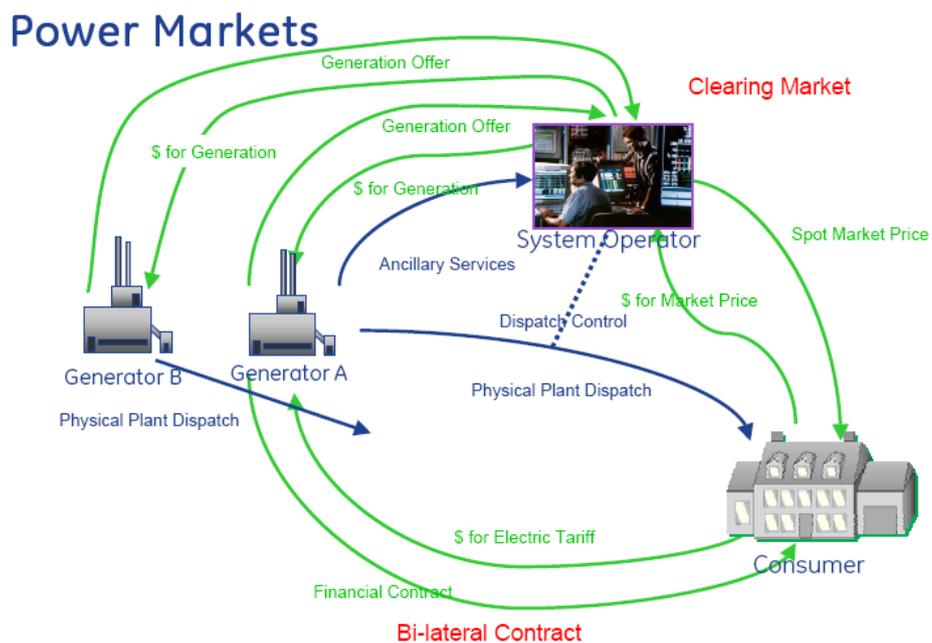
- 電力市場模式一，調度與電廠同一家電力公司，與消費者簽訂合約。



- 電力市場模式二，電廠直接與消費者有雙邊交易及電廠與調度中心即時現貨市場交易消費行為。



- 電力市場模式三，某些電廠無直接與消費者交易只與調度中心即時交易。



## 4-4 熱力學應用

火力機組係將石化燃料(煤、石油、天然氣)之化學能量經由燃燒藉由蒸氣或熱空氣流動而推動渦輪機帶動同軸之發電機，再將機械能經由發電機轉變成電能，利用輸配電線路送至用戶。

### 4-4-1 熱力學基本原理

熱力學原理，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。如圖 4.4.1 所示，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，工作介質在溫度  $T_1$  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，工作介質溫度自  $T_1$  降為  $T_2$ ；C-D(等溫壓縮)為可逆定溫放熱過程，工作介質在溫度  $T_2$  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，工作介質溫度自  $T_2$  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  $Q_2$  是工作介質從低溫熱源吸入的熱量(通稱製冷量)， $Q_1$  是工作介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。

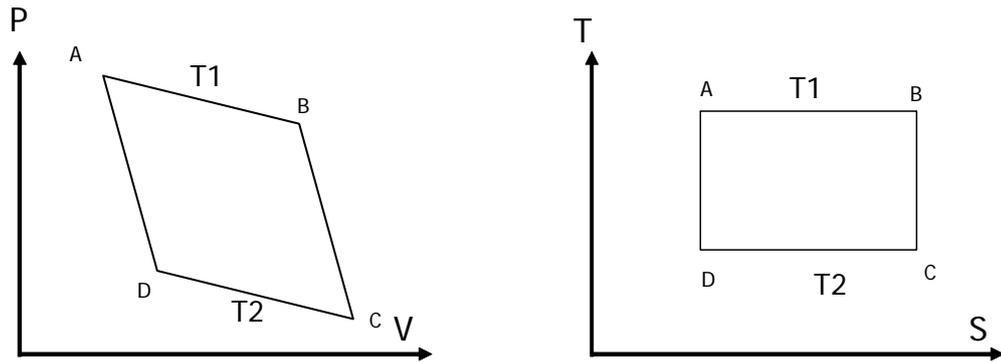


圖 4.4.1 卡諾循環壓-容(P-V)圖和溫-熵(T-S)圖

#### 4-4-2 汽輪機原理

汽輪機是以蒸汽為媒介，將水置在鍋爐內吸收燃燒熱能，成為高壓之飽和蒸汽後送至過熱器，再吸收燃燒熱能成為高壓高溫之過熱蒸汽，進入汽輪機，使熱能轉換成機械能後，變成低壓低溫之蒸汽，排至冷凝器，以冷卻水吸收其殘留熱能，使蒸汽凝結成水後經飼水幫浦送進鍋爐，繼續使用。

汽輪機之蒸汽和電力循環之四個基本部分如圖 4.4.2 所示，圖中狀態一為低壓之水經給水幫浦加壓至狀態二，功( $W_a$ )被加入循環，狀態二至狀態三中熱( $Q_a$ )被加至鍋爐以形成超熱蒸汽，狀態三至狀態四中蒸汽在汽輪機中膨脹，產生有用之功( $W_r$ )，狀態四至狀態一蒸汽在冷卻器中冷凝釋出熱( $Q_r$ )後送回給水幫浦。

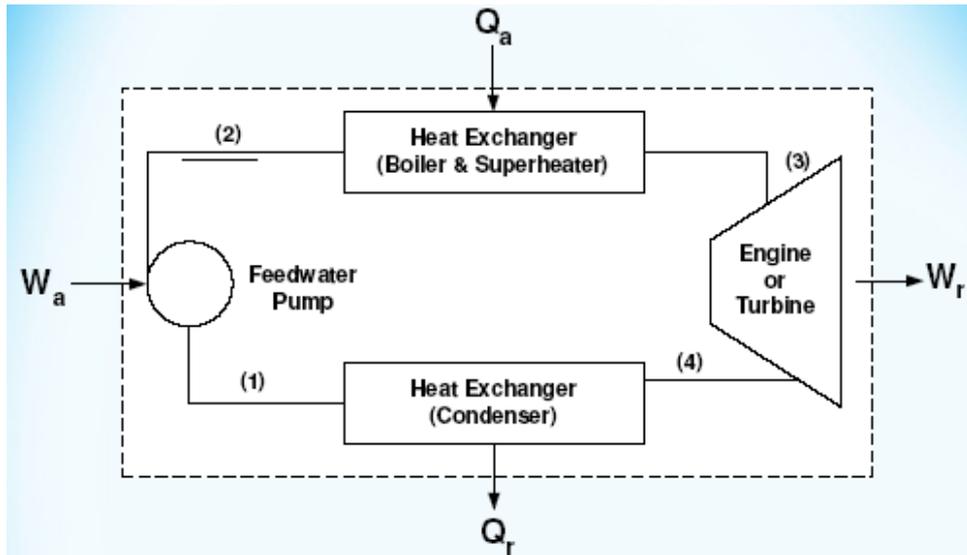


圖 4. 4. 2 汽輪機之蒸汽和電力循環

汽輪機之朗肯循環(Rankin cycle)如圖 4. 4. 3 所示，給水幫浦的絕熱壓縮過程 1-2，鍋爐中水的定壓加熱、汽化和蒸汽的過熱過程 2-3，汽輪機中的絕熱膨脹過程 3-4，以及冷卻器中的定壓凝結放熱過程 4-1 所組成的可逆循環。

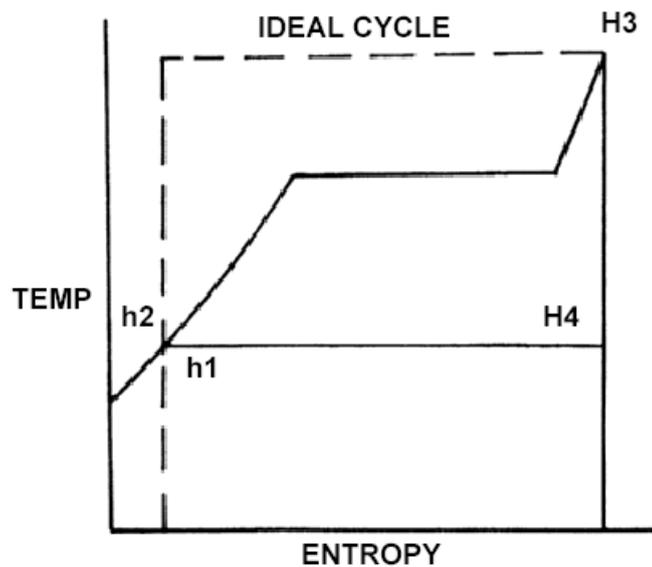


圖 4. 4. 3 朗肯循環(RANKIN CYCLE)

汽輪機被廣泛應用在世界各地，可使用各種燃料(固、液、氣)，其循環效率主要受到使用燃料及所選定蒸汽狀況，最佳蒸汽電廠(steam plant)可達到整體效率約為 35~40%。

汽輪機組發電優點如下：

- 單一機組容量最大，為現今之主要的發電方式。
- 可適用各種燃料。
- 運轉效率高，供電安全可靠。
- 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。

#### 4-4-3 氣輪機原理

氣渦輪機循環係自大氣吸入空氣，在壓縮機中壓縮，壓縮後的氣體進入燃燒室，在此加入燃料燃燒加熱，加熱後的高溫燃氣進入氣渦輪機膨脹作功，膨脹後的燃氣排向大氣，氣渦輪機排氣溫度還相當高(約 400~550°C)，而壓縮機吸入的空氣是大氣溫度，相當於在大氣中進行了冷卻，上述四個過程都是連續地進行的，氣渦輪機熱力循環如圖 4.4.4 所示。

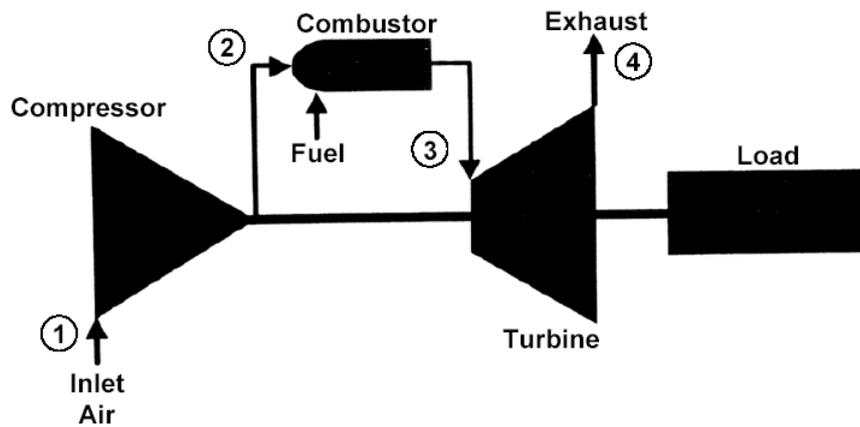


圖 4.4.4 氣渦輪機循環

氣渦輪機循環是由絕熱壓縮過程 1-2、定壓加熱過程 2-3、絕熱膨脹過程 3-4 和定壓放熱過程 4-1 所組成的可逆循環，其勃朗登循環(Brayton Cycle)在壓力-體積( $P-V$ )圖和溫度-熵( $T-S$ )圖表示如圖 4.4.5 所示。

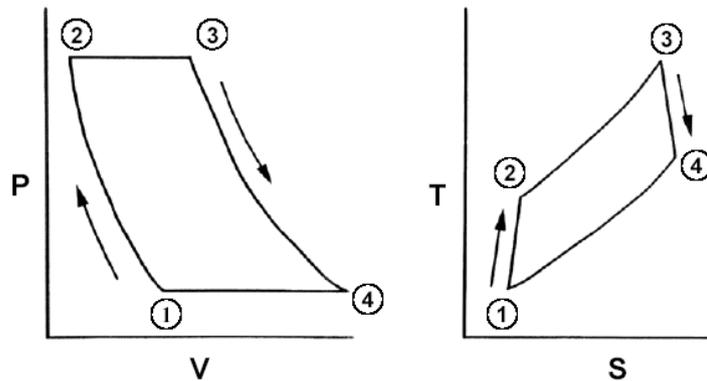


圖 4.4.5 勃朗登循環(BRAYTON CYCLE)

#### 4-4-4 複循環機組原理

複循環機組發電原理是將熱能分成兩階段轉換成電力的發電方式，第一階段是利用燃料燃燒產生的熱燃氣推動氣渦輪機發電；第

二階段則是將汽渦輪機發電後所排出的熱廢氣，經冷凝器冷卻為水後引入熱回收鍋爐，再加熱成高壓高溫的蒸氣來推動汽輪機，帶動發電機發電。此種氣渦輪機與汽輪機之組合發電方式，則稱為複循環發電，如圖 4.4.6 所示。

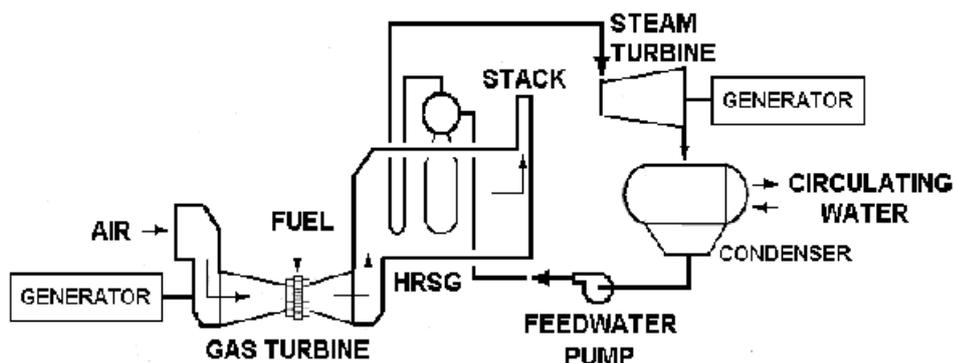


圖 4.4.6 複循環機組架構圖

典型複循環系統效率可提昇至 40%~50%，而複循環機組發電的優點如下：

- 建廠成本低
- 建廠時間短
- 可兩階段施工
- 熱效率高
- 快速起停及變化負載之性能
- 可靠性高
- 低污染性等

故複循環機組發電已成為世界各國發展之主流。

#### 4-4-5 氣化複循環發電系統

氣化複循環發電系統(Integrated Gasification Combined Cycle, 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。IGCC 並不是直接燃燒煤炭，而是將固態之燃煤在氣化爐中氣化成合成氣 (Syngas) 後再送入複循環系統發電而發展出之技術，可節省發展之經費並縮短發展期程，因此極具競爭優勢

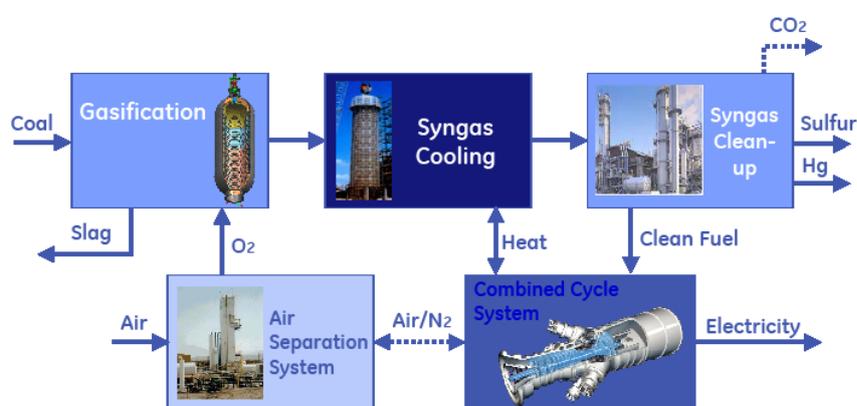


圖 4.4.7 氣化複循環系統示意圖

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。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。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。

目前運轉中的 IGCC 電廠淨熱效率已經達到 40%，隨著高效率氣渦輪機(效率>60%)之商業化運轉成功，預期將來效率可望提高到 50%以上。未來結合高溫燃料電池及 IGCC，將可使整廠效率提昇至 60%。

## 4-5 再生能源簡介

近年來由於開發中國家經濟發展突飛猛進，加速對石油、天然氣及煤炭等天然化石燃料的需求量日益增加，全球石油資源日漸枯竭的問題逐漸浮上檯面，使得價格嚴重波動；且經由燃燒石油、天然氣等燃料所產生之二氧化碳，造成空氣污染與溫室效應等環境破壞；而世界先進工業國家在 1997 年於日本簽定達成遏止全球氣候暖化的「京都議定書」（Kyoto Protocol）簽署後，達成溫室氣體排放減量的決議，使得世界各國開始重視替代能源（Alternative energy）或再生能源（Renewable energy）的推動。

再生能源指的是來源無所匱乏的能源，可永續利用之淨潔能源。根據聯合國環境規劃署（UNEP）的定義，「再生能源」係指理論上能取之不盡的天然資源，過程中不會產生污染物，例如太陽能、風能、地熱能、水力能、潮汐能、生質能等，都是轉化自然界的能量成為能源，並在短時間內（幾年之內，相對於億年以上才能形成的石化燃料）就可以再生之能源。

### 4-5-1 水力能HYDRO

水力能發電是利用水的流動推動連接發電機的水輪機，將機械能轉換為電能。水力能為最“傳統”的再生能源之一，水力發電技術也是再生能源中最成熟者。水力開發對環境之衝擊較小，除了提供

廉價電力外，且有管制洪水氾濫、提供灌溉用水、利於河流航運以及提供尖峰時段電力調度等優點。

水力發電常見之發電方式如下：

#### ■ 慣常水力發電

藉由水之流動而產生電能，無須任何燃料且不排放污染物，發電成本具競爭力；且因其應載迅速，為最佳之尖峰電源之一。

#### ■ 抽蓄水力發電

利用離峰時之多餘電力抽水而於尖峰時發電，為調節尖、離峰用電之最佳負載管理方式；惟其利用基載機組產出之電能抽水，需加計燃料成本，故其發電成本較慣常水力稍高。

### 4-5-2 太陽能SOLAR

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：

#### ■ 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。

## ■ 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。

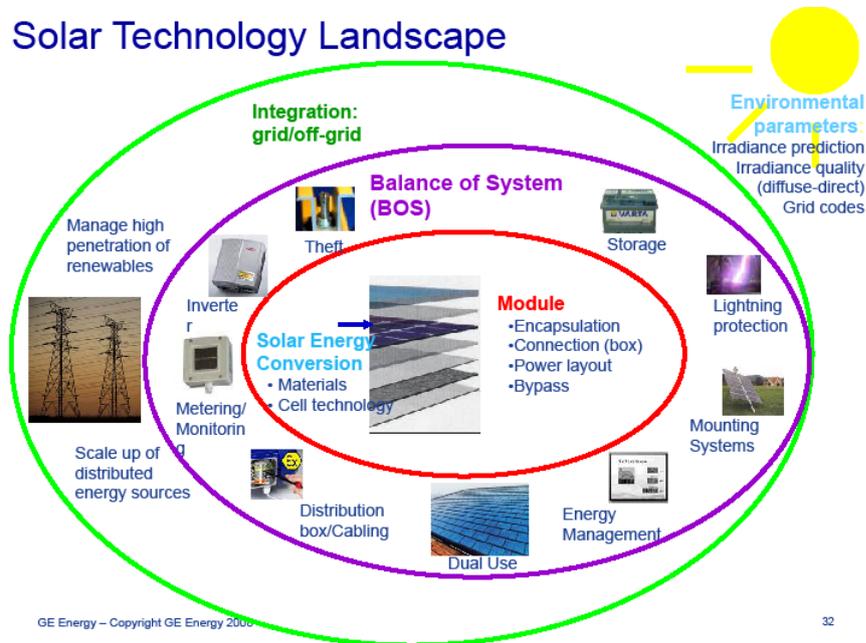


圖 4.5.1 太陽能科技應用示意圖

### 4-5-3 生質能BIOMASS

生質能泛指自然界可用作能源用途的各種植物、人畜排泄物以及有機廢物轉化成的能源，包括沼氣、稻殼等農業、工業、都市廢棄物以及其他野生植物等能源作物，經過焚化、氣化、裂解、發酵等技術轉換成燃油、燃氣與電力等可用能源。目前生質能為全球第四大能源，僅次於石油、煤及天然氣，由於兼具能源與環保雙重貢獻，是國際公認最廣泛使用的再生能源，約占世界所有再生能源應用的三分之二。

### 4-5-4 地熱能GEOTHERMAL

利用蘊藏在地表下的熱能發電或供給暖氣等。地熱資源不易受天候影響，輸出穩定，惟現階段地熱發電成本仍較傳統發電方式略高，故發電後的溫泉熱水多進行遊憩、溫室植栽、空調等多目標利用，以提高經濟效益。

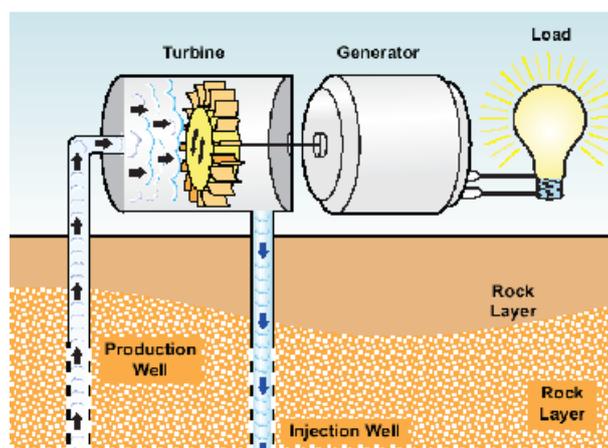


圖 4.5.2 地熱能發電示意圖

#### 4-5-5 海洋能OCEAN

海洋能是潮汐能、海流能、波浪能和溫差能的統稱，除具有能量巨大、可以再生、無環境污染等優點外，尚有不需陸地空間等優勢，是一種具潛力的再生能源

- 潮汐發電：利用漲潮退潮的位能差產生電力。
- 海流發電：利用海洋中的洋流推動水輪機發電。
- 波浪發電：利用波浪運動的位能差、往復力或浮力產生電力。
- 溫差發電：利用深層海水與表層海水之溫差汽化工作流體帶動渦輪機發電。

#### 4-5-6 風力能WIND

風力發電乃借自然風力帶動風機葉片，將風能轉換成機械能，再經發電機轉換為電能。其優點是能源乾淨，取之不絕，用之不盡；缺點是有噪音問題，且並非每個地區都適合安裝風力機組。

##### 4-5-6-1 風力機組結構

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。

風機概觀及機艙構成元件略述如圖 4.5.3 所示：

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

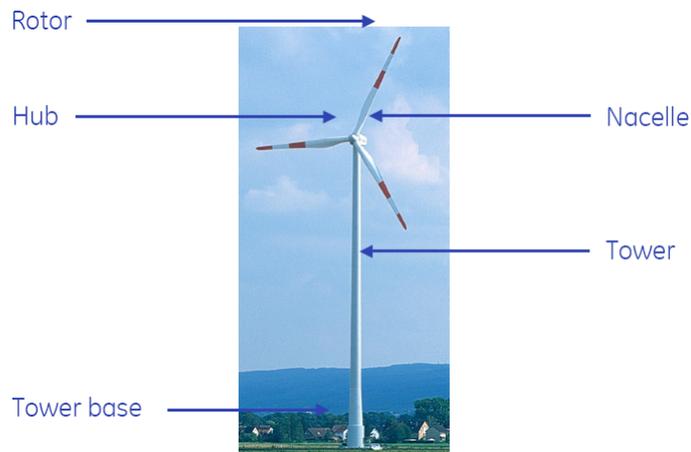
發電機 Generator：將機械能轉為動能

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



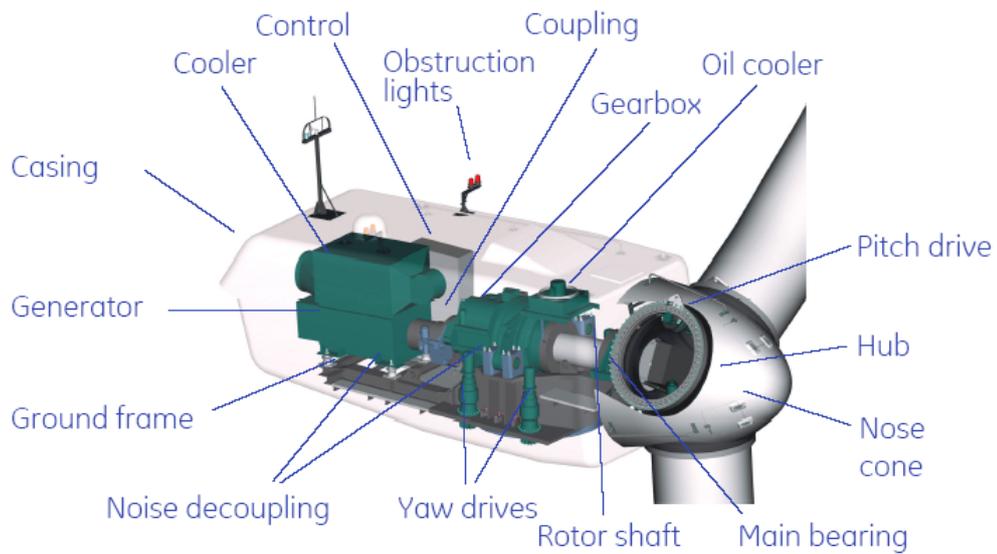


圖 4.5.3 風機機艙示意圖

基本風力功率圖形，如圖 4.5.4 所示。其中當達到切入風速時，風機開始輸出功率，達到額定風速時，風機開始輸出定值功率直到達到切離風速時，基於安全及設備考量，風機停止運轉。

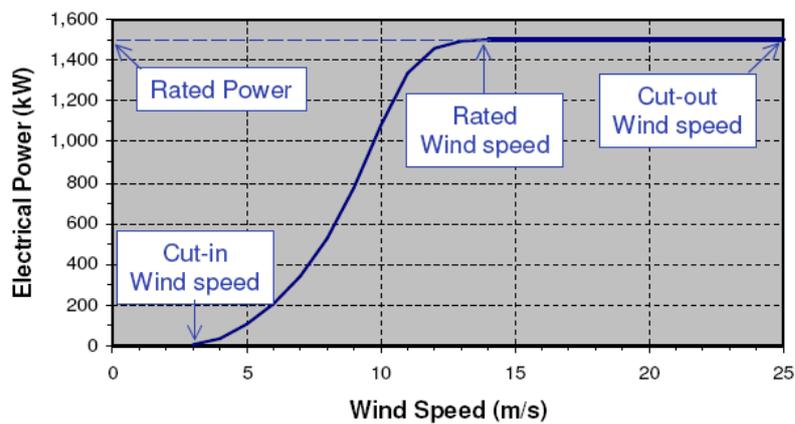


圖 4.5.4 風機基本功率及風速對應圖

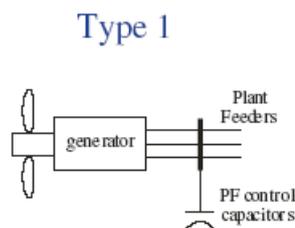
#### 4-5-6-2 風力發電機種類

目前常見風力發電機種類可分為四大類：

- Type1 鼠籠式感應發電機 (Squirrel-cage induction

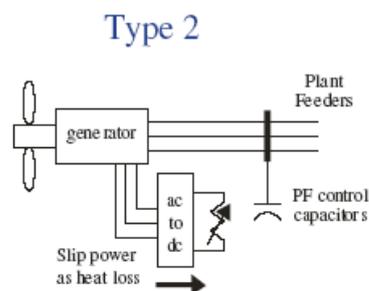
generator, SCIG)

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，如下圖所示。



- Type2 繞線式感應發電機 (Wound rotor induction generator, WRIG)

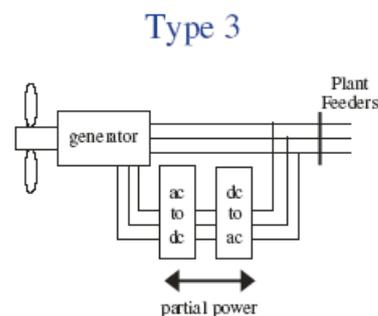
此類機型係由 Type1 演化，利用可調式轉子電阻控制調整轉速；如下圖所示。



- Type3 雙饋式感應發電機 (Doubly-fed induction

generator, 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。



- Type4 直接傳動可變速同步發電機 (Full-conversion interface)

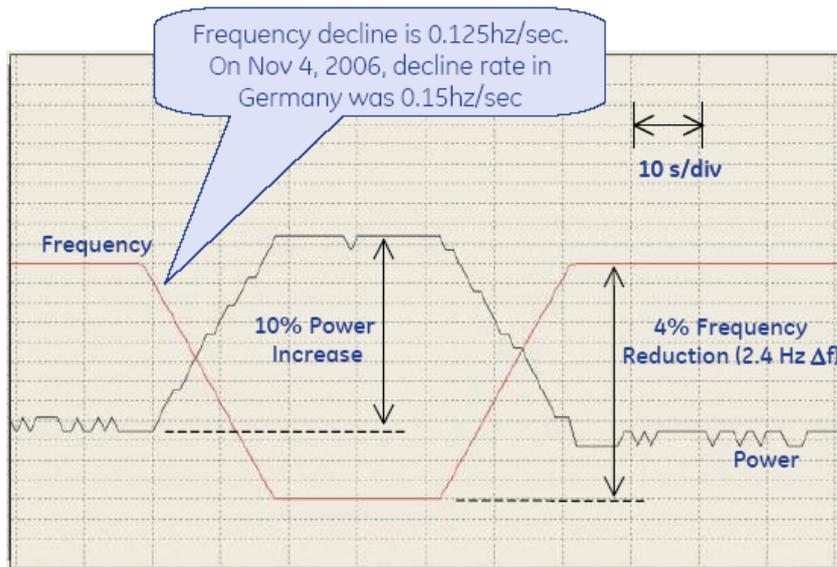
將發電機和併聯電網能完全的用電子轉換器耦合，也允許變速操作，因風機出力，基本上與系統已完全脫溝，可視為變形的 SVC-STATCOM，對於虛功及電壓控制範圍最大，然比起雙饋入可變速感應發電機來說發電機定子設計較複雜、電子轉換器較大、較重，故價格較高。



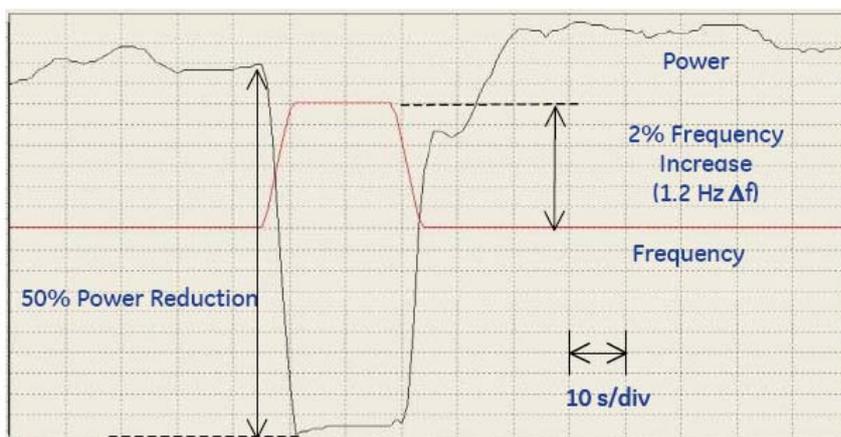
其中 LVRT(Low Voltage Ride-Through)，係指當系統發生擾動導致電壓下降時，風機本身有能力渡過時間，提供系統恢復穩定運轉之能力，部分風機則有零電壓過渡 ZVRT(Zero Voltage Ride-Through)之能力，就 GE 公司風機設計標準而言，其 ZVRT 需達 200ms，如下圖所示。



而 Active Power Control，則是指風機之預留一定的輸出能力，不以額定容量出力，藉以對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，如下圖所示。



而以降低 50% 出力作為因應頻率過高之方法，如下圖所示。



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。

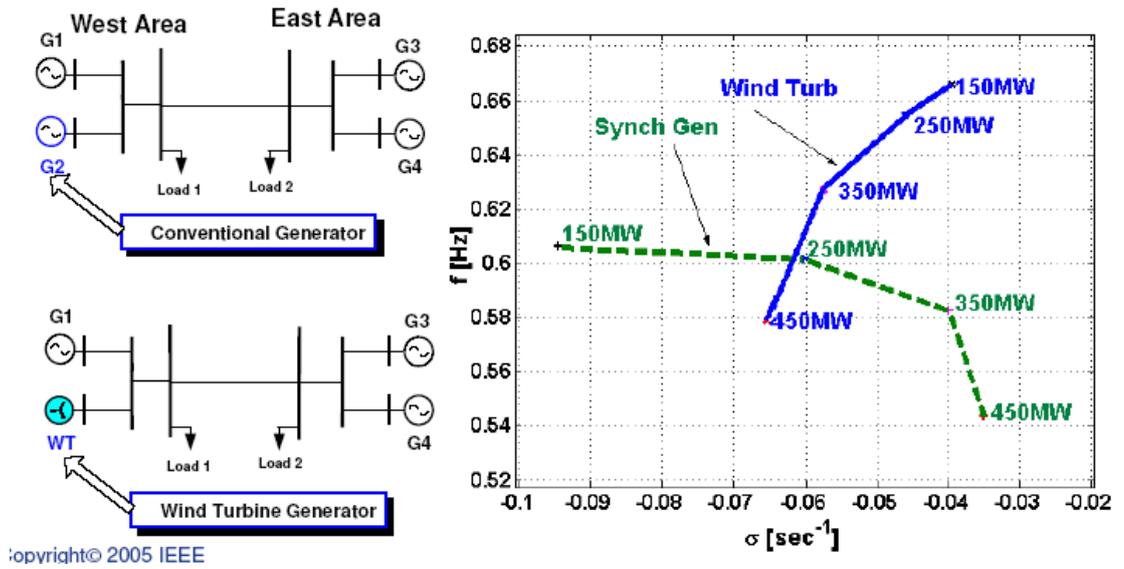


圖 4.5.6 增設風力機組 VS 同步機組後阻尼比較

二氧化碳造成的溫室效應造成全球暖化問題日益嚴重，環保議題之「京都議定書」發布後各國皆有落實的責任，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。

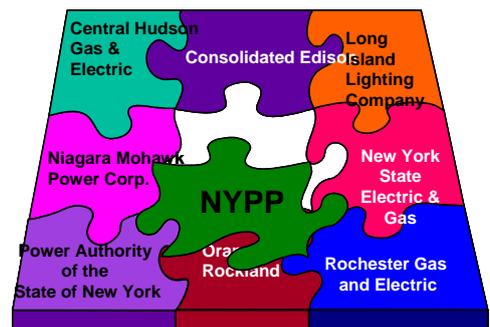
種種原因使得風力發電愈益受到重視，風力發電成本在近廿年之內已下降了 80%，自 1996 年起世界的風力發電量仍以每年大於 10% 的幅度呈穩定成長，全球風力發電先進國家經驗顯示，長期而穩定的能源政策訂定目標與方針，搭配合理的補助與獎勵措施以提供誘因，為風能推廣能否成功之最重要關鍵。

## 五、實習期間參訪活動

### 5-1 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



NYISO 組織架構如圖 5.1.1 所示，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。

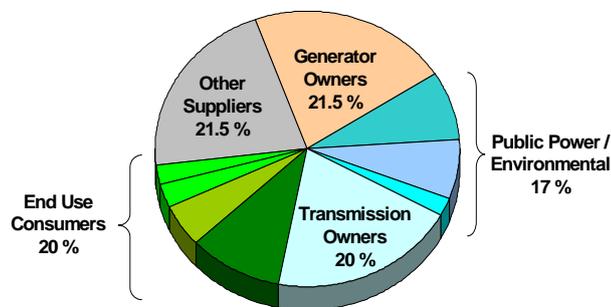
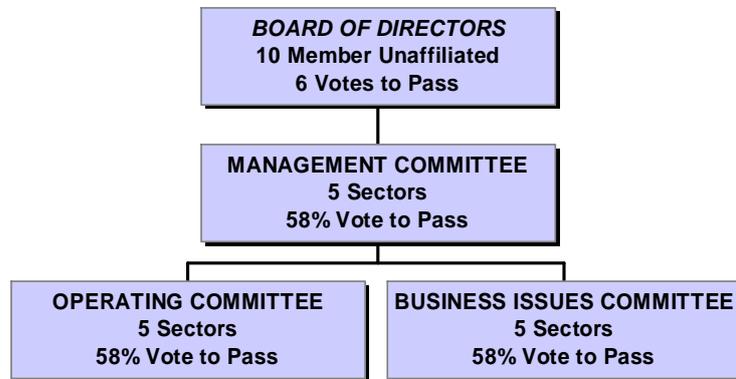


圖 5.1.1.1 NYISO 組織架構

NYISO 成立後主要任務為：

- 紐約州電力系統可靠運轉
- 有效管理紐約州競爭的躉售市場機制
- 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

## 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 9 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 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

- Hadi Saadat , “Power System Analysis”
- Steven A. Barnes, "Power Flow and Transient Stability Analysis"
- Ronald L. Hauth, "Transmission Analysis"
- Liz Pratico, "Surge Analysis & Equipment Application"
- John P. Skliutasr, “Reactive Power Compensation & Voltage Control”
- Mike Reichard, P.E. & Jason MacDowell, “Fundamentals of Power System Relaying”
- Dr. Sheppard Salon, “Synchronous Machine Fundamentals I & II”
- Juan J. Sánchez-Gasca, “Power System Dynamics”
- Sandy Murdoch & Steven A. Barnes, “Generation Control Fundamentals”
- Reigh Walling, “Power Electronics Applications in Transmission”
- Lavelle Freeman, “Distribution Systems Planning and Reliability”
- Devin Van Zandt, “Distribution Equipment and Application”
- John McDonald & Byron Flynn, “Modern Grid : Substation/Distribution Automation”
- Beth LaRose, “Global Power Markets”
- Sundar Venkataraman, “North American Energy Industry”
- Steven Oltmanns & Ravi Kanth Varanasi, “Utility Economics”

- Gary Jordan and Rit Sepanski, “Strategic Transmission & Generation Planning”
- Beth LaRose & Gene Hinkle, “Deregulated Power Markets”
- Sundar Venkataraman, “Power Plant Financial Modeling and Evaluation”
- Chris Stammen & Jack Weininger, “Competitive Power Generation”
- Terry Raddings & Chris Kelbert, “Integrated Gasification Power Fundamentals”
- Everett Whitaker & Andrew Poulos, “Nuclear Power Fundamentals”
- Russell Young & Chris Kelbert, “Fuel Flexibility and Alternative Energy Applications”
- Jack Weininger & Mike McMurray, “Industrial Energy Users”
- Nicholas W. Miller, “Wind Power Fundamentals”
- Mahmood Nahvi & Joseph Edminister, “Electric Circuits”
- Prabha Kundur, “Power System Stability and Control”
- Allan Greenwood, “Electrical Transients in Power Systems”
- J. Lewis Blackburn and Thomas J. Domin, “Protective Relaying Principles and Applications”
- John D. McDonald, “Electric Power Substations Engineering”
- Allen J. Wood and Bruce F. Wollenberg, “Power Generation Operation and Control”