

國立臺北大學通識教育中心

「能源概論」通識課程

(Week 8)

進度：風力發電、水力發電

李育明

國立臺北大學公共事務學院
自然資源與環境管理研究所 教授

April 10, 2009

授課大綱

□ 風力發電

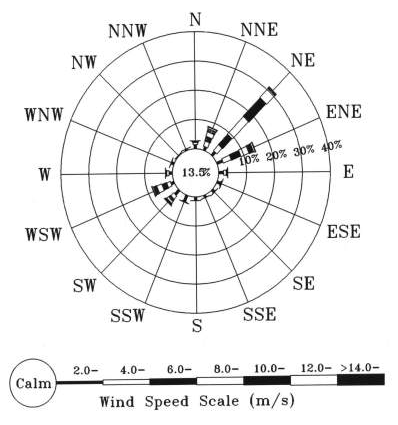
- 風與風力發電簡介
- 風力機發展概況
- 台灣風力發電計畫
- 風力發電相關問題
- 風力發電停看聽

□ 水力發電

- 水力發電技術簡介
- 台灣水力發電概況
- 水力開發與環境保育
- 水力發電停看聽

風的小常識

- 成因：地球自轉及太陽**熱輻射不均**，引起空氣的流動
- 風速：一般隨高度增加而變大，且深受地形地貌的影響
- 風向：**風花圖**顯示主要風向及風速的發生頻率
- 台灣西北部以**東北季風**為主風向，且風速遠大於**西南季風**
- 風力強弱：**蒲福風級表**



風花圖 (wind rose)

蒲福風級表

蒲福風級	風之稱謂	一般敘述	每秒公尺 m/s	每時哩 kts
0	無風 calm	煙直上	不足0.3	不足1
1	軟風 light air	僅煙能表示風向，但不能轉動風標。	0.3-1.5	1-3
2	輕風 slight breeze	人面感覺有風，樹葉搖動，普通之風標轉動。	1.6-3.3	4-7
3	微風 gentle breeze	樹葉及小枝搖動不息，旌旗飄展。	3.4-5.4	8-12
4	和風 moderate breeze	塵土及碎紙被風吹揚，樹之分枝搖動。	5.5-7.9	13-16
5	清風 fresh breeze	有葉之小樹開始搖擺。	8.0-10.7	17-21
6	強風 strong breeze	樹之木枝搖動，電線發出呼呼嘯聲，張傘困難。	10.8-13.8	22-27
7	疾風 near gale	全樹搖動，逆風行走感困難。	13.9-17.1	28-33
8	大風 gale	小樹枝被吹折，步行不能前進。	17.2-20.7	34-40
9	烈風 strong gale	建築物有損壞，煙囪被吹倒。	20.8-24.4	41-47
10	狂風 storm	樹被風拔起，建築物有相當破壞。	24.5-28.4	48-55
11	暴風 violent storm	極少見，如出現必有重大災害。	28.5-32.6	56-63
12	颶風 hurricane		32.7-36.9	64-71
17	颶風 hurricane		56.1-61.2	109-118

1公尺/秒=3.60公里/時=2.24哩/時=1.94浬/時

利用風力不是新鮮事



資料來源：「95年度大專院校能源教育通識課程推動計畫」結案報告

5

風力發電簡介

□ 基本原理：
風能擷取係利用風車葉片將風之**動能**轉變為傳動軸的**機械能**，傳動軸帶動發電機，機械能轉變為**電能**輸出。

□ 風能與風速三次方及葉輪面積成正比

$$P = 1/2 \rho v^3 \pi r^2$$

(P:風能 ρ :空氣密度 v :風速 r :葉輪半徑)

□ 發電效率：

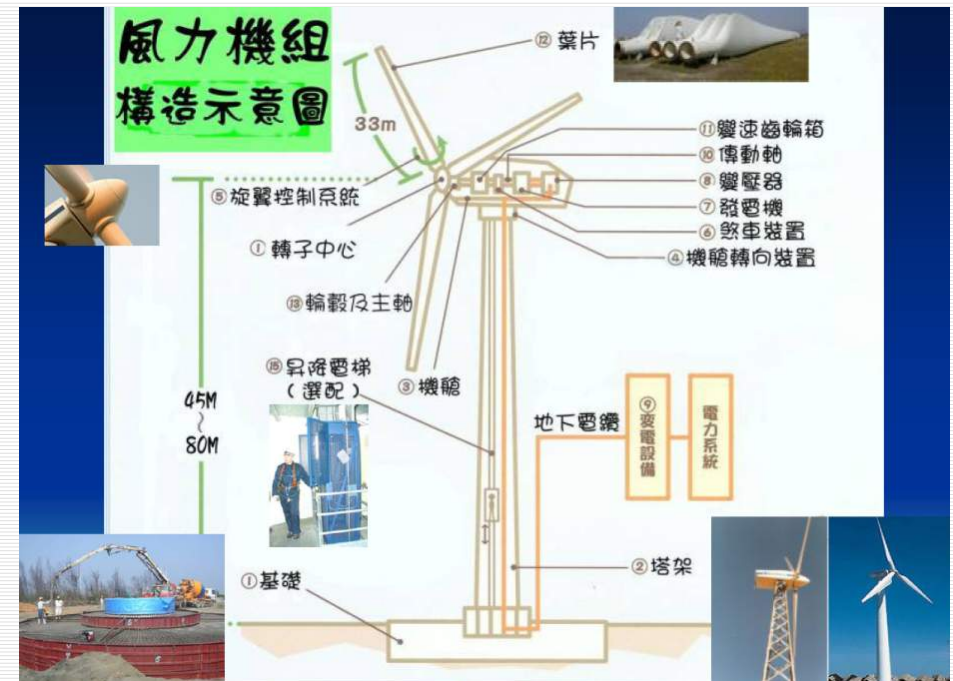
■ 理論上限**59.3%**，目前技術最高可達**50%**

6

風力發電系統組成

- 葉片：受氣動作用，將風能轉為機械能
- 發電機：將機械能轉為電能
- 增速器：利用增速齒輪提升轉速帶動發電機
- 機艙：包覆發電機及機電控制系統
- 塔架：支持風機之機艙及迴轉系統
- 煞車系統：以控制停機或減速
- 轉向系統：轉動機艙以調整至葉片垂直風向
- 控制系統：控制機組轉速、溫度、電流、電壓、發電量、警報及停機等，確保安全運轉

7



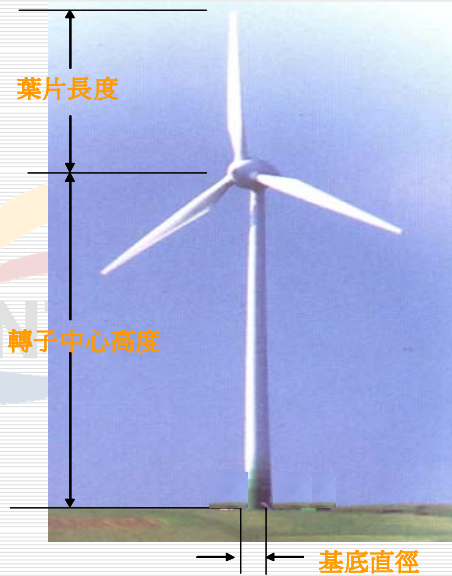
資料來源：「95年度大專院校能源教育通識課程推動計畫」結案報告

8

風力機示意圖

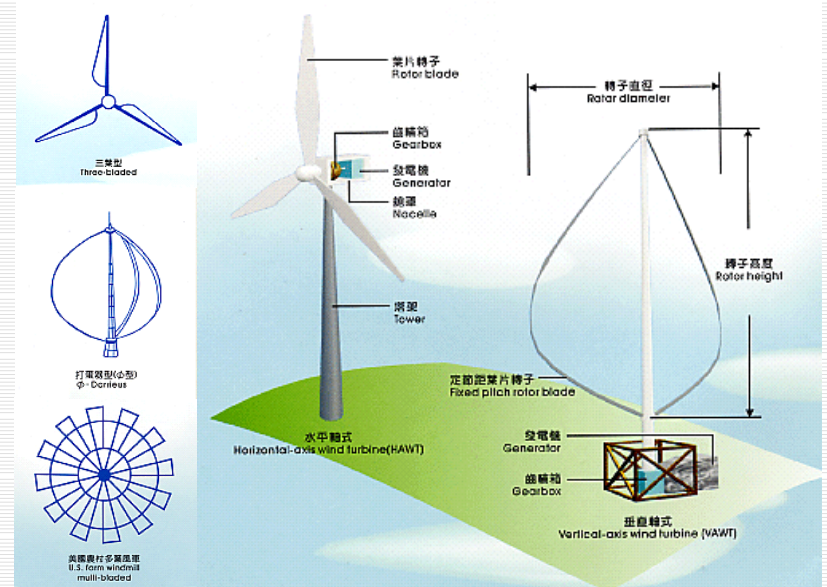
- 主流產品：
- 水平軸式
 - 上風型
 - 三葉片

風力機容量	葉片長度	轉子中心高度	基底直徑	基地面積
2000 kw	40 m	65 ~ 80 m	4 m	300m ²



資料來源：「95年度大專院校能源教育通識課程推動計畫」結案報告

風力機的結構與種類



<http://wind.erl.iti.gov.tw/knowledge/why-content.htm>

風力機的分類方式

劃分依據	風力機的種類
主軸與水平面的相對位置	水平軸式、垂直軸式
葉輪相對於風向的位置	上風式、下風式
葉片數量	多葉片室、少葉片式 (以二葉及三葉效率最高)
葉片工作原理	升力型、阻力型
風力機發電機組容量大小	小型、中型、大型機組

<http://wind.erl.iti.gov.tw/knowledge/why-content.htm>

風力機 (風車) 型態



圖2 各種水平軸風車

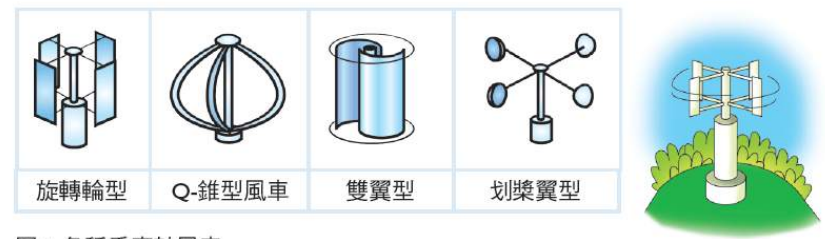
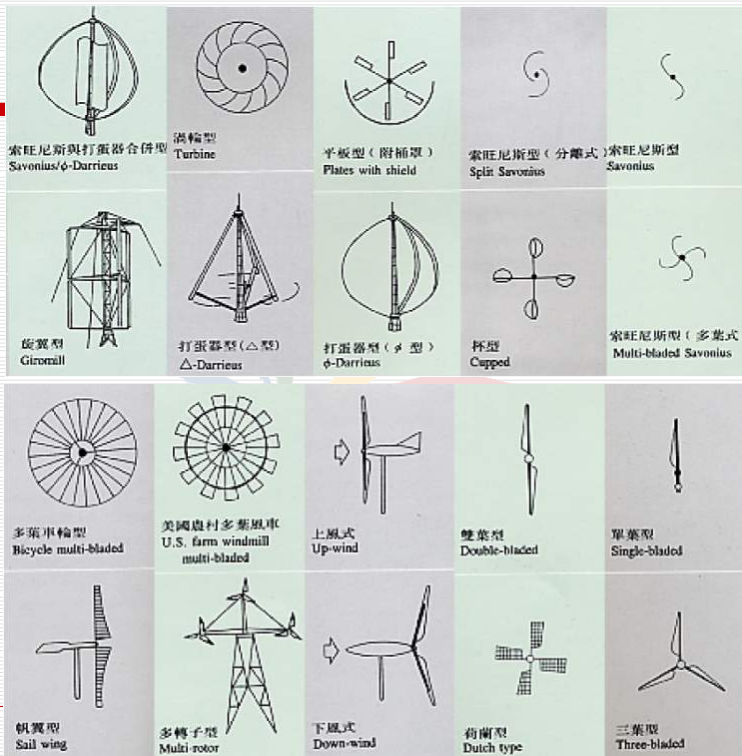


圖3 各種垂直軸風車

資料來源：《認識綠色新能源》



現代風機發展概況

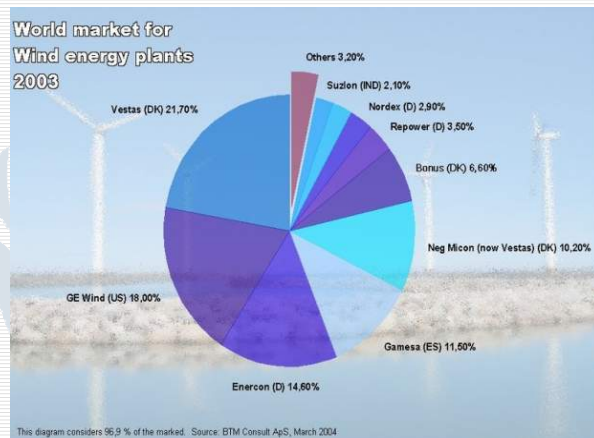
- 自20世紀70年代起，從丹麥與德國發展起來
- 全球風力發電裝置容量
 - 1997年全球裝置容量7.6GW
 - 2007年達**94.1GW**，**10年成長11倍**。
 - 2008年成長**29%**，達**120GW**
- 現代風機特徵：
 - 純發電
 - 風機大幅架高



資料來源：「95年度大專院校能源教育通識課程推動計畫」結案報告及網路更新資料

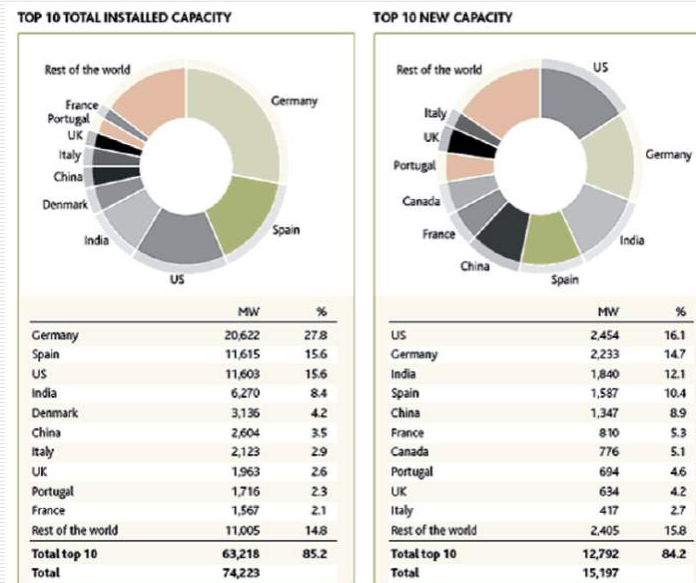
風力發電機製造商

- Bonus (丹麥)：2004年被西門子(Siemens)併購
- Enercon (德國)
- Enron (美國)
- Gamesa (西班牙)
- MADE (西班牙)
- Mitsubishi 三菱 (日本)
- Nordex (德國)
- NEG Micon (丹麥)：2003年被Vestas併購
- Siemens (德國)
- Suzlon (印度)
- 金風科技 (中國)
- 華銳風電 (中國)
- Vestas (丹麥)：在全球風力發電市場市佔率達三成以上，海上風力渦輪發電機市場更高達七成，為目前風力發電機市佔率最高的製造廠商。



資料來源：維基百科，<http://zh.wikipedia.org/wiki/風力發電廠>

世界十大風力發電國 (2006年)



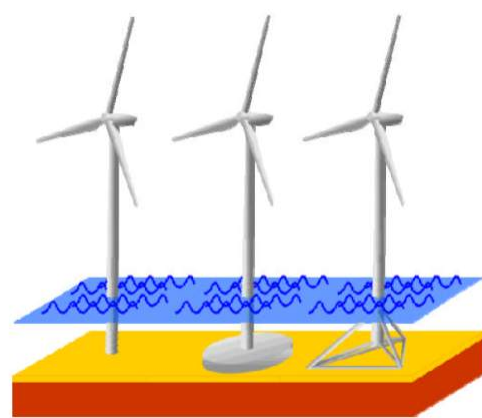
Stiebler, M. (2008). *Wind Energy Systems for Electric Power Generation*. Springer, Berlin.

離岸式風力發電 (offshore wind power)

- 1990年瑞典建立第一個離岸式風力發電機
- 離岸式風力發電機一般設在離海岸約2 km的海上，水深5~10 m處



丹麥Middelgrunden 離岸式風力發電場

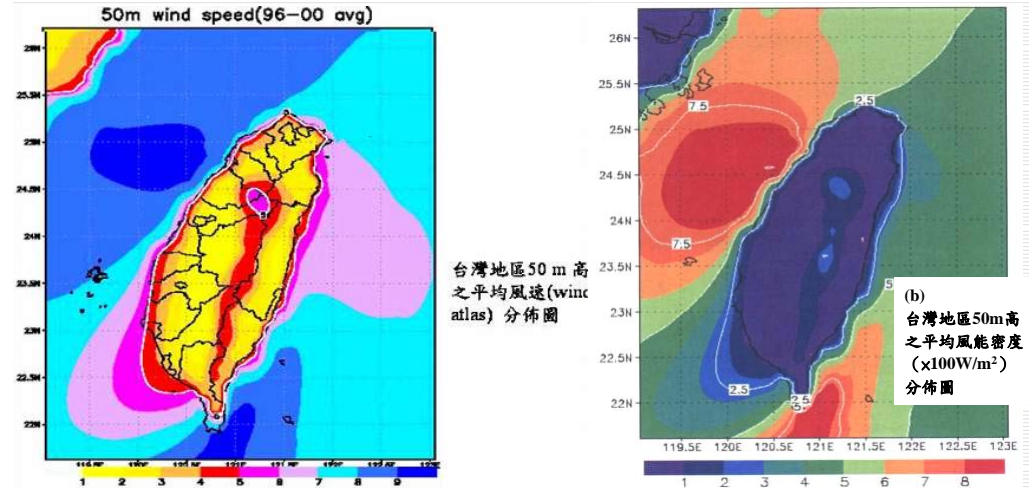


單樁式基礎 重力式 三腳式基礎

江懷德 呂威賢 羅聖宗 顏志偉, 「我國離岸式風力發電場發展之可行性評估」, 太陽能及新能源學刊, 第八卷、第二期, 民國92年12月。

17

台灣地區平均風速及風能密度



台灣地區50 m高之平均風速(wind atlas) 分佈圖

(b) 台灣地區50m高之平均風能密度(x100W/m²) 分佈圖

台灣的風力資源分佈以西部沿海及澎湖離島最為豐沛
風力發電潛能陸上約100萬瓩，海上約200萬瓩

資料來源：工研院能資所、中央大學大氣物理研究所合作研究計畫結果報告(2003)
<http://140.96.175.37/map/landmap/landmap.htm>

18

台灣風力發電簡史

- 1961年，台電在澎湖白沙首建一部50瓩風力機，進行發電試驗
- 1984~1990年間，工研院能資所自行開發4瓩、40瓩、150瓩三種風力機，並在湖口台地成功運轉
- 1991年，台電在澎湖七美鄉裝設兩部商業化的100瓩風力機
- 1996年，中央氣象局在彭佳嶼設置一部10瓩風力機與光電混合發電系統，提供氣象測站用電
- 2000年，台塑麥寮工業園區設置四部660瓩的風力機，是台灣第一處風力發電場
- 2001年，台電在澎湖本島中屯地區設置四部660瓩的風力機，並於2005再擴增4部
- 2002年，竹北正隆紙廠春風發電示範系統：二部1,750瓩機組
- 2004年，核能一廠的石門風力場完工運轉
- 2006年，苗栗竹南及後龍：25部風力機，總容量約5萬瓩
- 2007年，彰工風力發電站共設置23部風力機，每部裝置容量2,000瓩，總裝置容量46,000瓩
- 2008年，國內風力發電累計裝置容量為34.7萬瓩。

資料來源：《認識綠色新能源》及網路更新資料

19

台灣風力發電：白沙七美初試啼聲

- 民國54年在澎湖白沙首建一台50kW風機
- 民國79年在澎湖七美再建二台100kW風機
- 民國79年工研院在湖口設置風力機試驗場



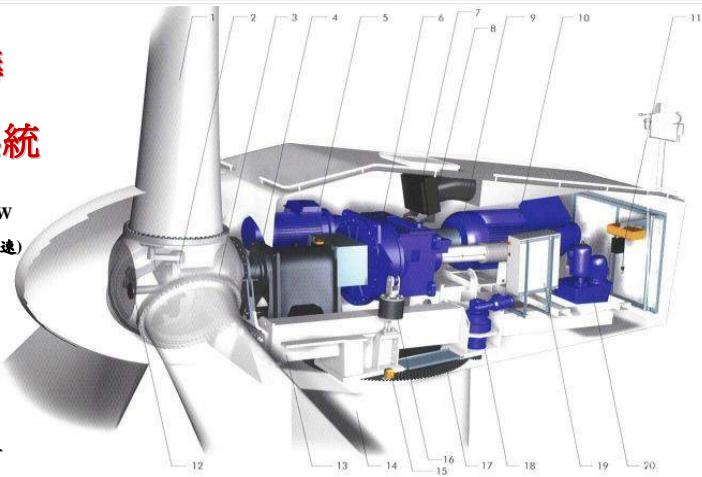
<http://wind.erl.itri.org.tw/wind.html>

20

Vestas V47-660 風力發電機結構

麥寮風力示範系統

總裝置容量：2,640 瓩
 機型：四部丹麥Vestas V47-660 kW
 輸出功率：660 瓩 (於15公尺/秒風速)
 啟動風速：4 公尺/秒
 關機風速：25 公尺/秒
 最大耐風速：70 公尺/秒
 葉輪直徑：47 公尺
 葉片材料：強化玻璃纖維
 轉速：28.5 轉/分 塔高：45 公尺

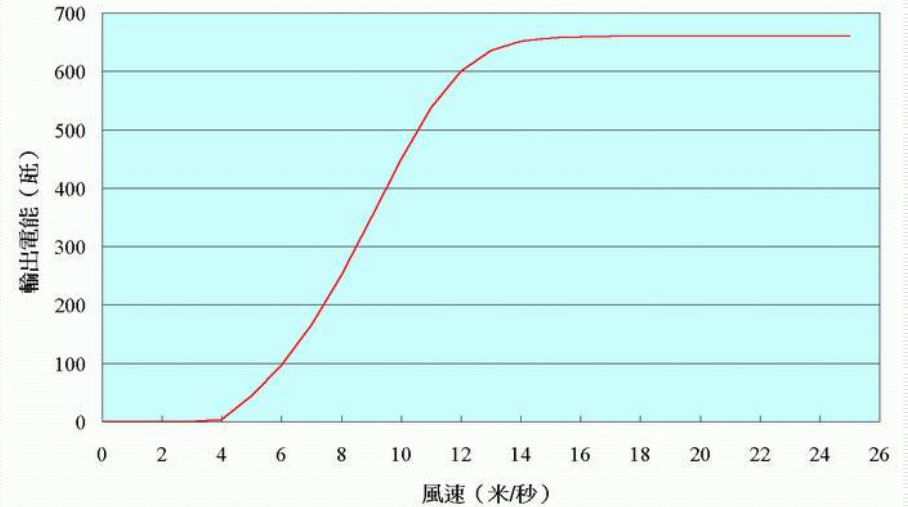


- | | | |
|------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| 1. Blade: 葉片 | 8. Oil cooler: 油溫冷卻器 | 15. Yaw control: 轉向控制 |
| 2. Blade hub: 葉輪軸殼 | 9. Cardan shaft: 萬向接軸 | 16. Gear tie rod: 齒輪箱支撐桿 |
| 3. Blade bearing: 葉片軸承 | 10. Primary generator: 主發電機 | 17. Yaw ring: 轉向齒輪盤 |
| 4. Main shaft: 主傳動軸 | 11. Service crane: 維修用小吊車 | 18. Yaw gears: 轉向齒輪 |
| 5. Secondary generator: 副發電機 | 12. Pitch cylinder: 旋角控制桿 | 19. VMP top control unit: 塔頂控制單元 |
| 6. Gearbox: 齒輪箱 | 13. Machine foundation: 機組座架 | 20. Hydraulic unit: 油壓控制單元 |
| 7. Disc brake: 碟式煞車 | 14. Tower: 塔架 | |

<http://wind.erl.itri.org.tw/demonstration/Specification.htm>

21

Vestas V47-660 風力發電機輸出曲線



<http://wind.erl.itri.org.tw/demonstration/Specification.htm>

22

台灣風力發電：中屯風力一舉成功

- 民國90年在澎湖白沙鄉中屯完成4台600kW風機
- 民國93年底增建4台同型風機 Enercon-600
- 竹北春風電廠丹麥Vestas V66 1.75 MW x2座
 - 塔高60公尺
 - 扇葉直徑66公尺



<http://wind.erl.itri.org.tw/wind.html>

23

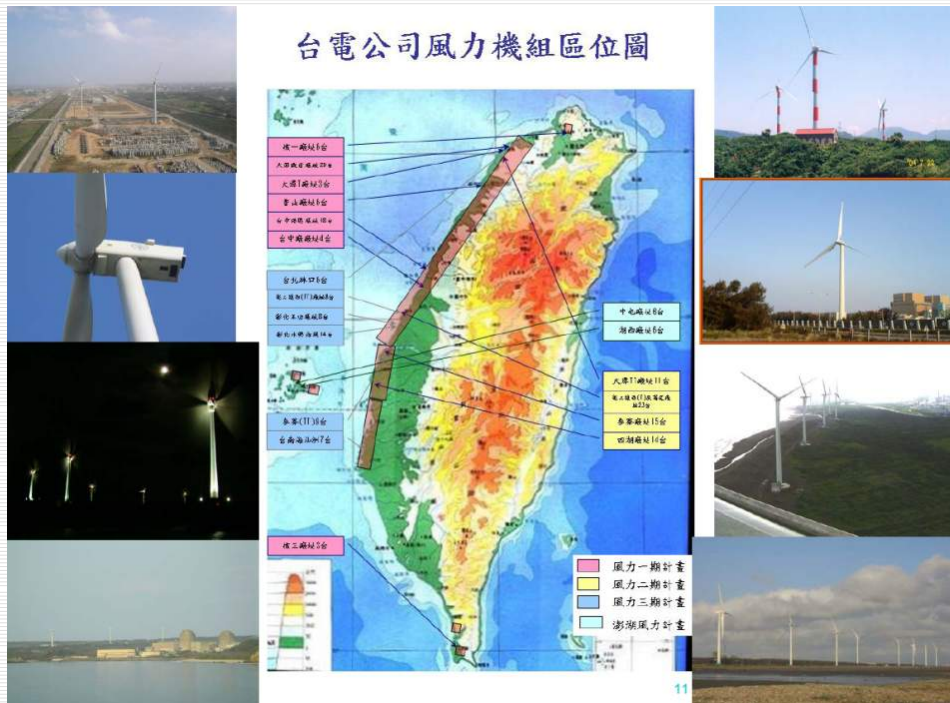
台電風力十年發展計畫

- 目標自民國91~100年完成風機146部或總裝置容量27.1萬瓩
- 風力發電第一期計畫：60部風力機組，總裝置容量約9.9萬瓩
 - 已完工商轉：石門風力 (6台x660瓩)、恒春風力 (3台x1500瓩) 大潭電廠 (3台x1500瓩)、桃園大園觀音 (20台x1500瓩) 台中電廠 (4台x2000瓩)、台中港區局部 (5台x2000瓩) 新竹香山 (6台x2000瓩)、台中港區 (13台x2000瓩)
 - 預估每年發電量2億7千萬度
- 風力發電第二期計畫：58部風機，總裝置容量為11.6萬瓩
 - 包括彰工風力、雲林麥寮、桃園大潭海堤區及雲林四湖等廠址
 - 預估每年發電量可達3億4千萬度，預計於99年底全部興建完成
 - 彰工風力 (23台x2000瓩)、麥寮風力 (15台x2,000瓩)：已完工
- 風力發電第三期計畫：28部風力機組，總裝置容量約5.6萬瓩
 - 彰濱工業區線西區、彰化王功、雲林麥寮、桃園大潭等廠址。
 - 離島風力：金門金沙風力2部，裝置容量約0.4萬瓩，預計於99年6月完工商轉；澎湖湖西風力6部風機，裝置容量約0.51萬瓩，預計於100年7月完工商轉。

http://www.taipower.com.tw/left_bar/power_life/power_development_plan/Telegraphic_Transmission.htm

24

台電公司風力機組區位圖



資料來源：「95年度大專院校能源教育通識課程推動計畫」結果報告

25

民間業者的風力機組



資料來源：「95年度大專院校能源教育通識課程推動計畫」結果報告

26

風力發電計畫之執行

- 規劃 → 施工 → 營運及維修 → 更新
- 規劃工作重點：廠址勘選、機組佈置、發電量估計、成本估計、經濟分析及環境影響評估等
- 廠址勘選準則：
 - 首先排除風能不佳的地點，如平均風速小於4 m/s區域
 - 排除法律禁止開發地區如軍事管制區、特定水保區等
 - 避免位於環境敏感區如自然保留區、野生動物保護區等
 - 應遠離城鎮聚落，與民宅保持300公尺距離
 - 應避免與當地其他開發計畫嚴重牴觸或衝突之區域
 - 現場開闢空曠，上風處無高大障礙物，最好能獲得地形上風加速作用

資料來源：「95年度大專院校能源教育通識課程推動計畫」結果報告

27

風力發電停看聽

- 風力，是淨潔的綠色能源，有助於二氧化碳排放減量 => 3.6 g/kWh (637 g/kWh)
- 台灣的風力資源豐沛，單位發電成本也低於燃油、燃氣、火力
- 風力機零組件產業：建立本土維修支援體系
- 風力和太陽能一樣，深受地理條件和氣候影響，因此會有風力來源不穩定、風力忽大忽小、風向時常改變，使得風力發電效果有限，宜興建之前多方評估適合的風力場所。
- 風力發電機的噪音問題和鳥擊事件，都應該設法研發改進並在事前審慎規劃，將環境影響程度降到最低。

資料來源：《認識綠色新能源》

28

風力發電對鳥類之影響

□ 轉速慢、葉片面積大

- 不會是「絞肉機」
- 美國加州小型風機

□ 影響鳥類遷徙、覓食路徑

- 間距大於 500 ~ 700 公尺

□ 防範措施：

- 廠址鳥類生態調查，避開野鳥保護區
- 風機佈置避免切割鳥類棲地與覓食地
- 風機安裝警示或驅鳥裝置

□ 噪音問題

- 影響水中生物？



29

特殊造型風力機

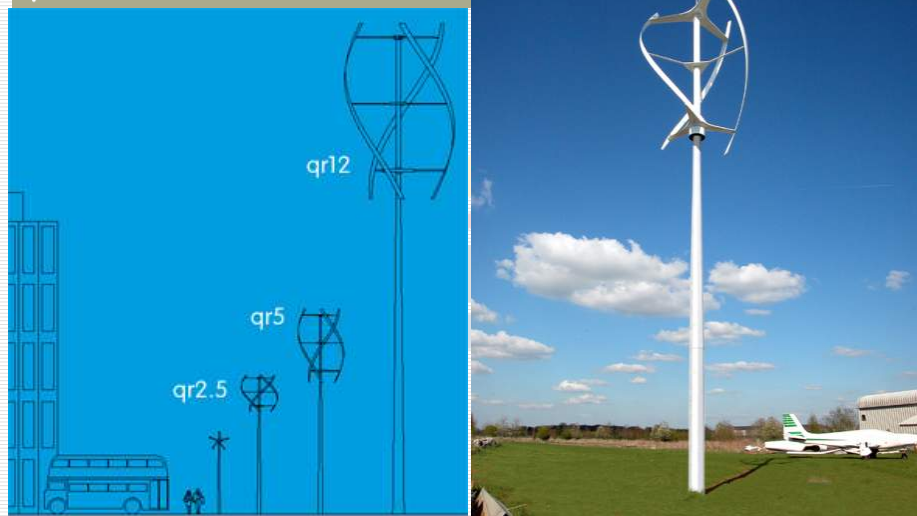


朱銘隆，「台灣風電產業的展望」，2006再生能源發展與評估模式研討會，國立臺北大學。

30

低噪音風力發電機組

quietrevolution



朱銘隆，「台灣風電產業的展望」，2006再生能源發展與評估模式研討會，國立臺北大學。

31

風力發電機組與景觀之結合



朱銘隆，「台灣風電產業的展望」，2006再生能源發展與評估模式研討會，國立臺北大學。

32

水力發電

NTPU

水力發電特色

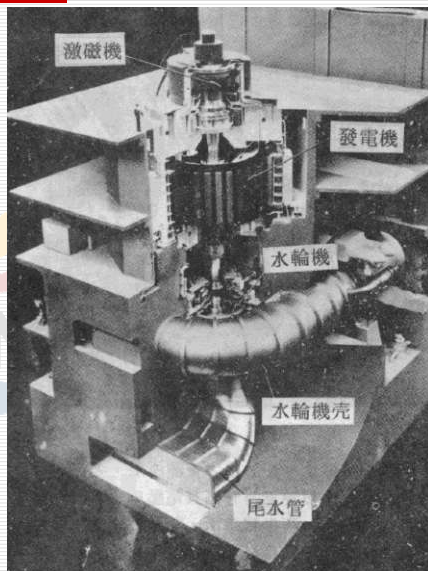
- 水力發電過程中不排放二氧化碳，可說是潔淨之綠色能源
 - 壩體建築與機組製造：排放少量的CO₂
- 水力發電是目前再生能源中應用最久且最為成熟之發電技術
 - 水力發電可在**短時間內迅速啟動**，有效因應**尖峰負載**時段之電力需求
 - 其它再生能源（太陽能、風力、生質能、地熱能及海洋能）則受天候地理條件限制，無法立即、瞬時提供電力
 - 可調度的電力
 - 調頻與「全黑啟動」

34

水力發電技術簡介

□ 水力發電原理

利用水自高處流向低處，由高位能降至低位能之位能差，在低處利用此**位能差**作功，推動水輪機軸心旋轉將位能差轉成**機械能**，再經由水輪機軸心旋轉帶動連接於水輪機上方之發電機軸心旋轉，藉由導線**切割磁力線**會在導線上產生電流原理（**法拉第定律**），再將機械能轉換為**電能**，發出之電利用輸電線送至用電地點，可提供各種不同用途，例如電氣化鐵路、捷運、工廠用電、照明及家用電器設備等。因此，**以水力推動機械，使其作功，並轉換成電能**此即為水力發電。



水力發電技術簡介

□ 理論水力

$$P = 9.8 \cdot Q \cdot H$$

其中，

P 為理論水力，單位為瓩 (kW)。

Q 為流量，單位為立方公尺/每秒 (cms)。

H 為高低差或落差，單位為公尺 (m)。

□ 理論水力指水流所作的功完全轉換成電能

■ 發電出力：

實際上，水輪機及發電機等機械設備，會因各種磨擦損失部份機械能，故**實際發電出力**為理論水力再乘上**水輪機效率**及**發電機效率**。

■ 發電量 = 發電出力 × 發電時間

水力發電技術簡介

□ 水力發電設施

- 一般水力發電廠包括**發電水路設施**、**電廠(發電機及控制室)**、**開關場及輸電線路**等。

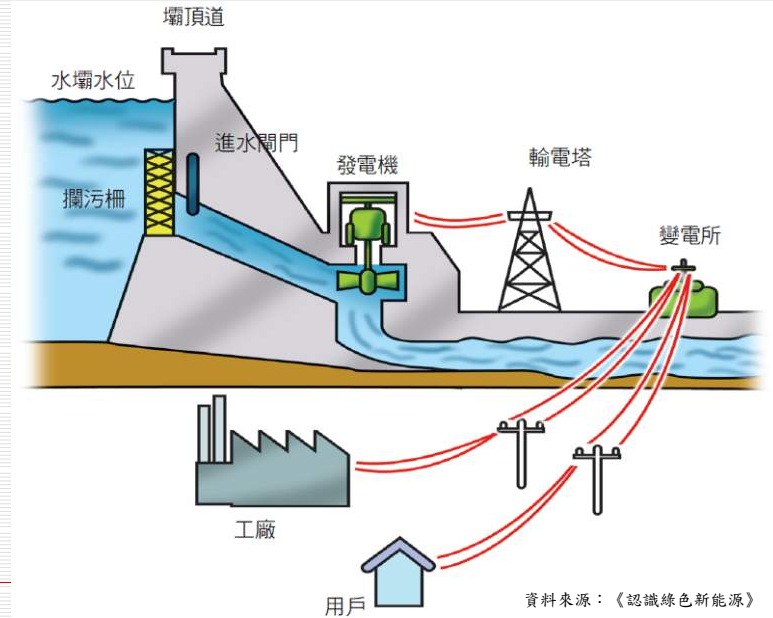


- 發電水路設施則包括上游溪流**攔水或儲水之上池**，**引水**之進水口結構、**頭水隧道(或引水渠道)**、**頭水平壓塔(或前池)**、**壓力鋼管**、**主閘**、**水輪機**、**吸出管**、**尾水隧道**及**尾水平壓塔(或尾水庭及重力式尾水路)**、**尾水出口結構**最後銜接下游溪流或下池(抽蓄電廠)等。

資料來源：「95年度大專院校能源教育通識課程推動計畫」結案報告

37

水力發電設施



資料來源：《認識綠色新能源》

38

水力發電技術簡介

□ 水路式發電

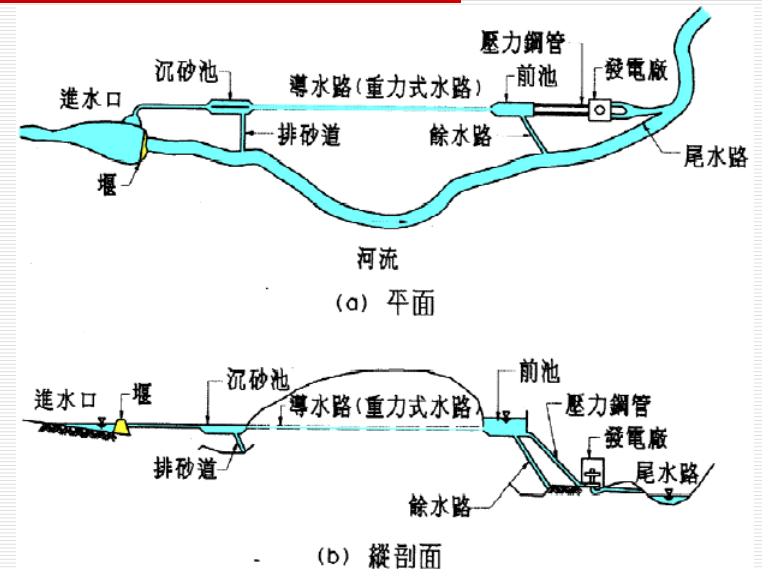
- 因地質因素不適合興建高壩之溪流，可興建較低之**攔水堰**以攔蓄溪流量，由取水口取水經**沉砂池**及**引水路**至**前池(平水池)**，再銜接**壓力鋼管**進入電廠**水輪機**，最後由**尾水路**排回溪流

□ 水庫式發電

- 若河川兩岸狹窄且地質許可興建高壩，於其上游形成可儲蓄水量之庫容，若庫容可**調節每日之流量**者稱之為**調整池**；**可調節四季之流量**者稱之為**水庫**。由壩上游設發電進水口引水經理設於壩身內之**壓力鋼管**至設於壩下游之(或直接設在壩體內)發電廠，發電後排回下游溪流

39

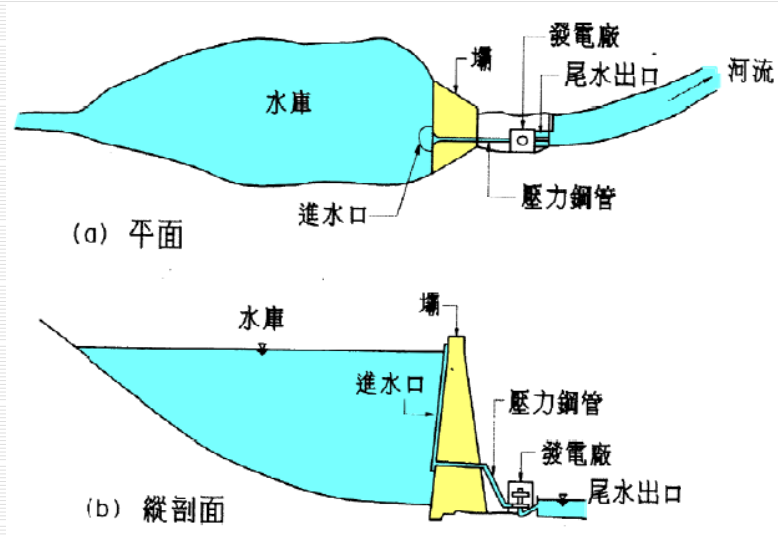
水路式發電



資料來源：「95年度大專院校能源教育通識課程推動計畫」結案報告

40

水庫式發電



資料來源：「95年度大專院校能源教育通識課程推動計畫」結案報告

台灣水力發電概況

□ 水力發電之分類

- 大水力、小水力：裝置容量小於2萬瓩稱小水力
- 慣常水力、抽蓄水力（非再生能源）

□ 台灣地區水力電廠合計42座，總裝置容量4,500.1千瓩，佔電力系統配比11.4%。

□ 慣常水力40座，裝置容量1,726千瓩，其中小水力電廠計23座，裝置容量129.28千瓩

□ 抽蓄水力2座，裝置容量2,774.1千瓩

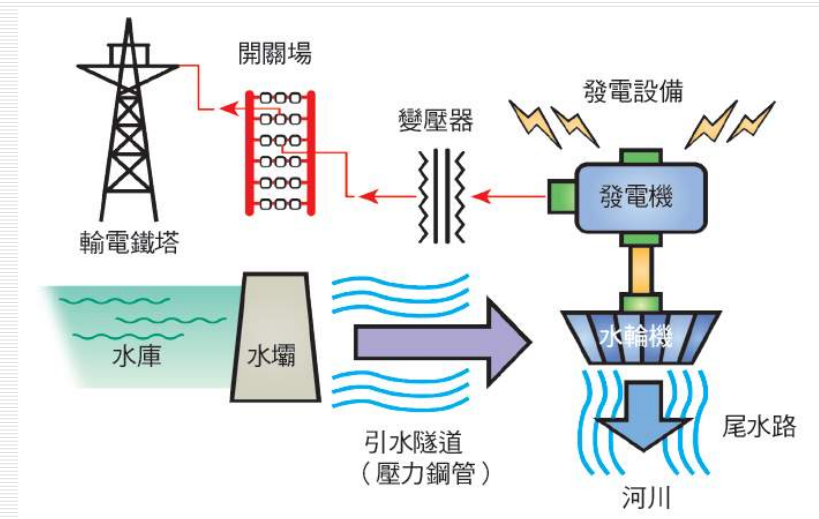
- 明潭
- 大觀二廠



大甲溪水力發電機組

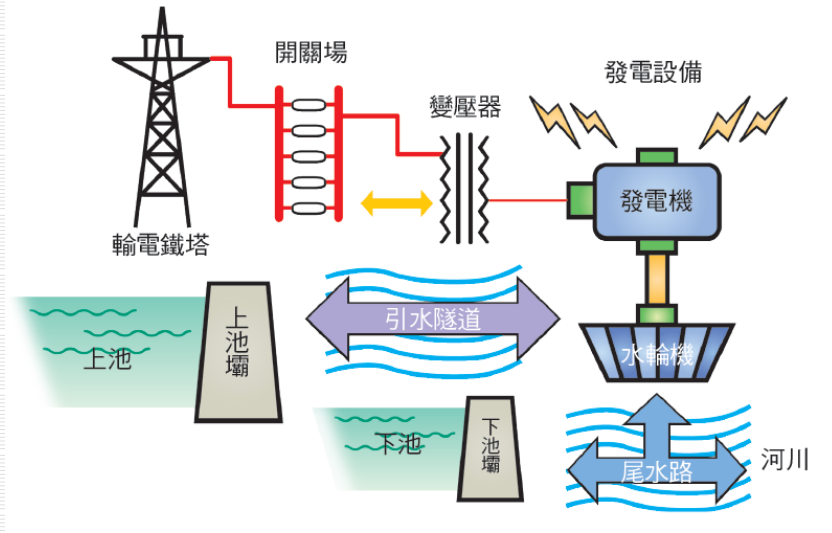
大甲溪發電廠 (1104.365MW) 4分廠3處機組 共21部機組  德基水庫	德基(分廠)	3x78=234
	青山(分廠)	4x90=360
	谷關(分廠)	4x45=180
	天輪(分廠)	4x22.5=90 1x105=105
	馬鞍(機組)	2x66.735=133.47
	后里(機組)	2x0.475=0.95
	社寮(機組)	1x0.945=0.945

慣常水力



資料來源：《認識綠色新能源》

抽蓄水力



資料來源：《認識綠色新能源》

45

水力開發與環境保育

□ 水力開發之環境保育作法

■ 環境影響：

- 蓄水庫淹沒區及河川自然生態及景觀之維護
- 引水隧道、尾水路開發之地質擾動
- 水輪機與發電機運轉之環境影響

■ 環境影響評估法

- 規劃階段：將環境影響減低措施納入開發規劃。
- 施工階段：施工機具與土方清運
- 運轉階段：持續的環境監測作業

■ 水力電廠除役？

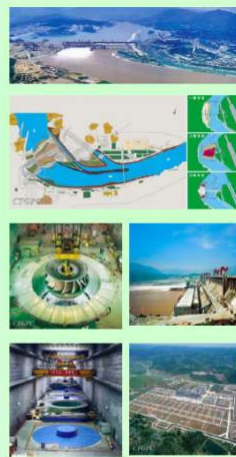
- 長江三峽水力計畫：水庫淹沒區造成的遷村、生態衝擊、古蹟破壞的影響，以後要緬懷長江三峽的人文史蹟，可能只能從古詩中去想像了

46

世界兩大水力發電計畫

附表 世界兩大水利工程主要設施對照表

主要設施項目	伊大壩 (ITAPU)	中國大陸長江三峽
水利工程之主要河川名稱	巴拉那河(Parana River)，水利資源為巴西、巴拉圭兩國所共有	長江(揚子江)為中國大陸第一內陸河川
工程耗用混凝土量	全部工程：1,280萬立方公尺 大壩部份：813萬立方公尺	全部工程：2,800萬立方公尺 大壩部份：1,486萬立方公尺
大壩與水壩	大壩：高196公尺 長7,760公尺 蓄水量290億立方公尺 溢洪(壩)壩在大壩左側； 電站廠房位於大壩中段	大壩：高185公尺 長2,309.47公尺 蓄水量393億立方公尺 溢洪壩在大壩中段，兩側為電站廠房和非溢流壩段
發電設備	裝置容量：1,260萬瓩(70萬瓩×18台、巴西9台、60Hz；巴拉圭9台、50Hz) 年發電量：750~770億度 輸電線路：交流750KV/3回 直流±500KV/2回 交流220KV/3回 總大部份電力(約)1,230萬瓩(輸往巴西、巴拉圭僅2~4%)	裝置容量：1,820萬瓩(70萬瓩×26台、50Hz，不含右岸地下輸電隧道中之6台) 年發電量：847億度 輸電線路：交流500KV/11回 直流±500KV/2回 供電範圍極廣，南至上海，西至廣州
工程現況與投資金額	已完工，全部工期16年 工程金額：200億美元	進行中，全部工期17年 工程金額：約250億美元



長江三峽電廠圖片轉載自
http://www.ctgpc.com/introduction_a.php



ITAPU電廠圖片轉載自
<http://www.solar.coppe.ufrj.br/itaipu.html>

本表摘錄自《台壹月刊》95年6月第522期，「也談三峽大壩工程」一文

水力發電停看聽

- 水力發電是很潔淨的再生能源，由於水力發電廠啟動迅速、運轉靈活、故障率少、可靠性大，能順應負載瞬時變化，又能調節系統的電壓與頻率，在電力系統中一直扮演著重要角色 => 全黑啟動機組
- 台灣水力發電已有百年歷史，目前發電量也是我國再生能源中占比最高，未來應該要改善與增進現有水力發電的能力，可有效增加水力發電的利用率
- 然而，台灣地區因受地形、地質及水文氣象等天然條件的限制下，優良的水力廠址不多，或許可以獎勵小規模的水力發電，讓涓滴珍貴的資源都能被充分利用，相信亦會達到可觀的成效。