

第五章 太陽、風與地熱能

5-1 太陽能

5-2 風能

5-3 地熱能

太陽能

優點：

1. 太陽可以作為永久性的能源。
2. 太陽能到處都有，不需要運輸，處於南北緯50~60度以內的地區，都有豐富的太陽能可以利用。
3. 太陽能使用時不會帶來污染，是一種清潔的能源。
4. 太陽能的利用不會增加地球的熱負荷。

缺點：

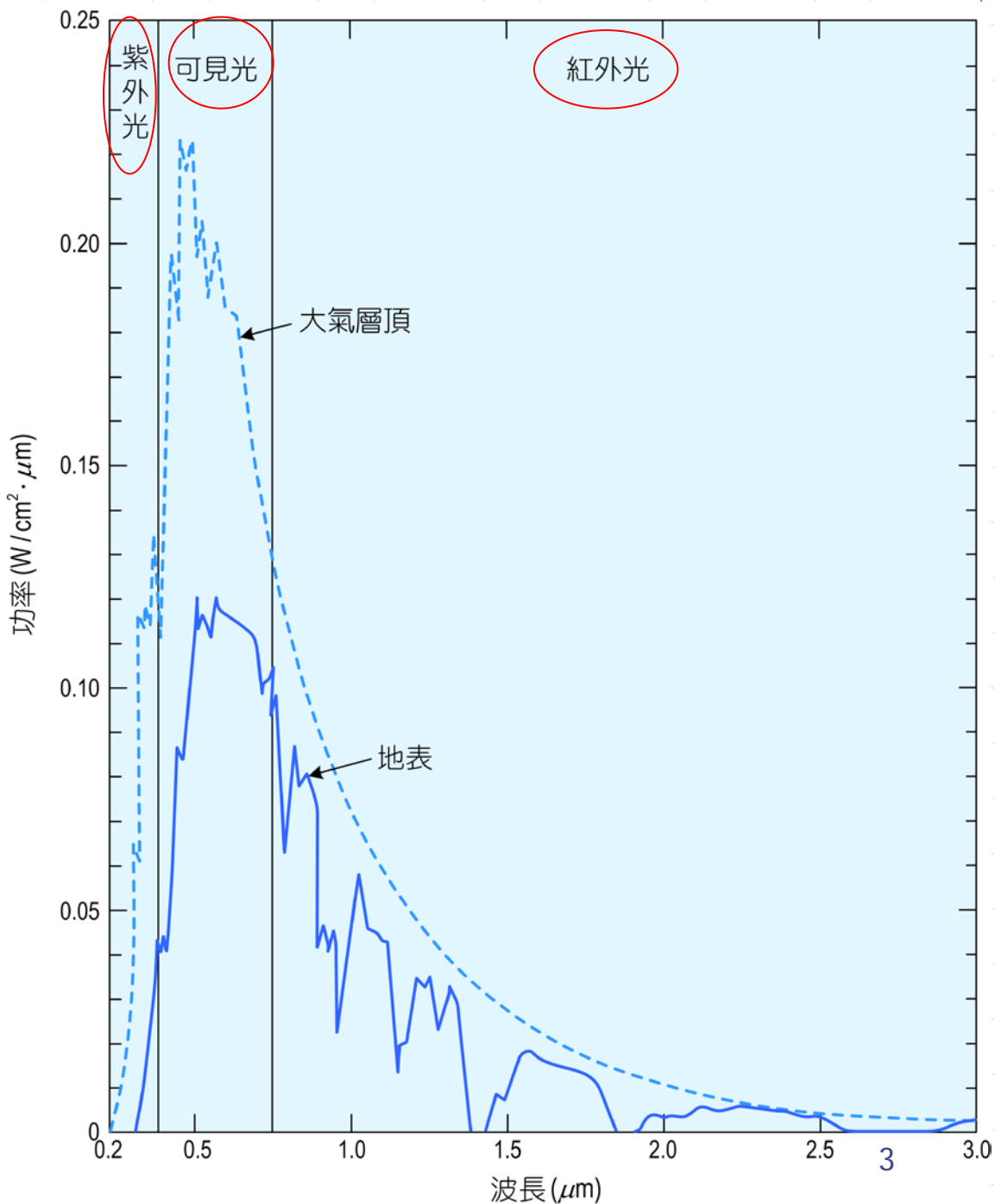
1. 能量密度低。
2. 太陽能是間歇性的能源。
3. 相較於化石燃料，現階段設置費用與成本仍較高。

太陽輻射

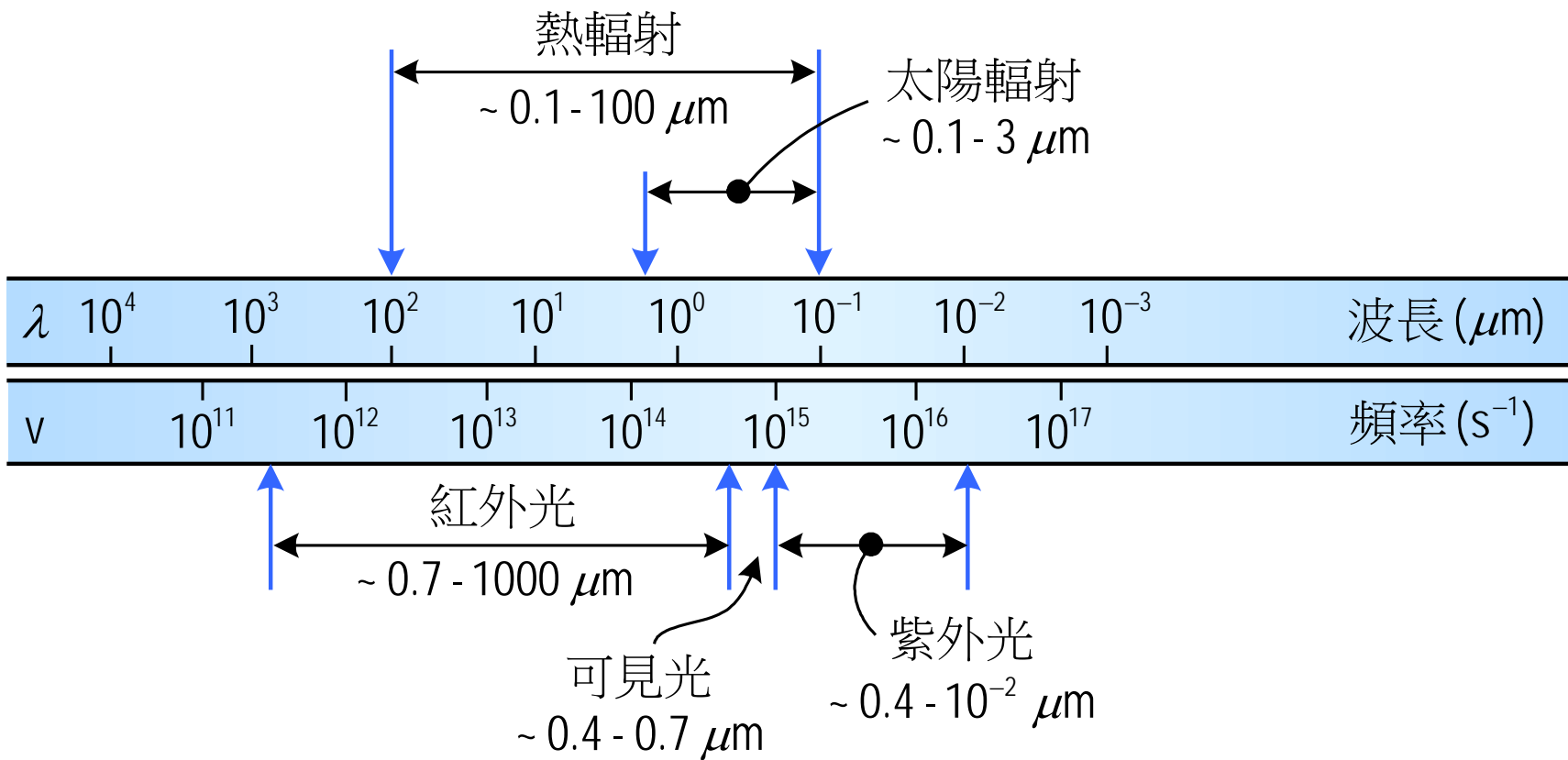
太陽光到達大氣層頂端的輻射強度，結果顯示當太陽光垂直照射所得的單位面積功率為：

$$G_s = 1353 \text{ W/m}^2$$

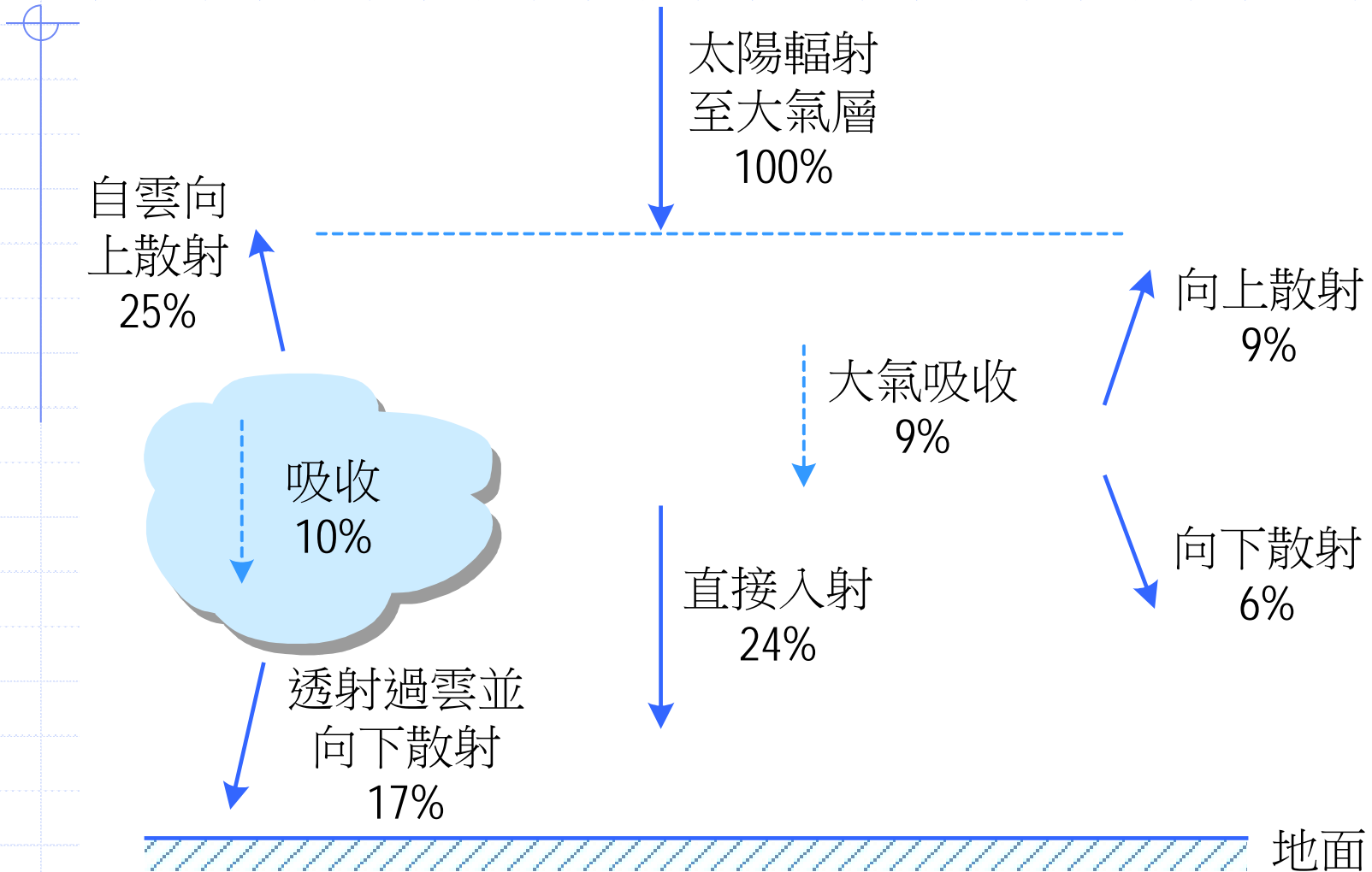
此數值即為「太陽常數」



太陽輻射



太陽輻射

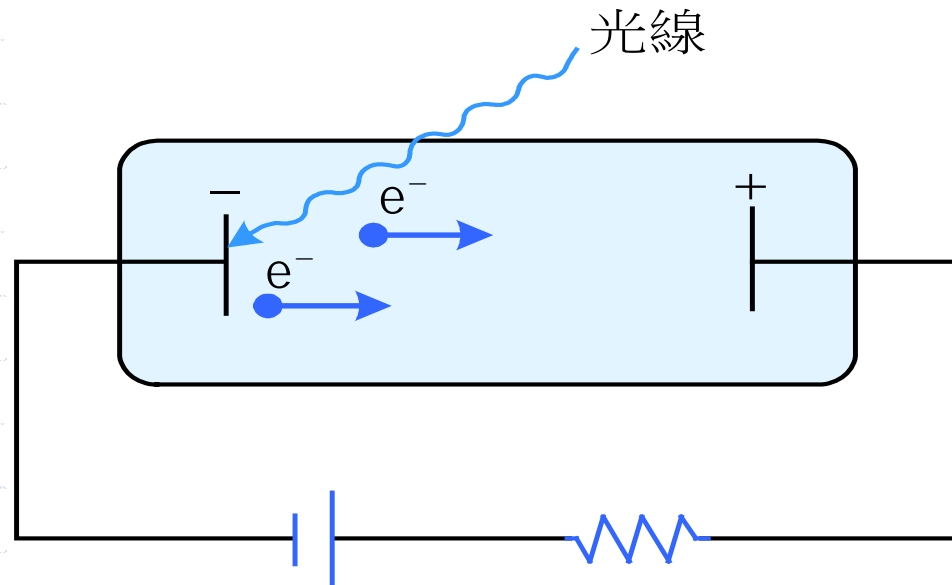


太陽能利用的潛力

以美國為例，太陽常數為 1353 W/m^2 ，若假設太陽輻射到達地面的平均能量為 600 W/m^2 ，其相當於 1520 Btu/ft^2 ，而美國總面積為 3.615×10^6 平方英哩，以日照8小時計，美國一年可得到太陽能總量為 $5.6 \times 10^{19} \text{ Btu}$ 。美國2009年的總能源消耗量為 $9.4578 \times 10^{16} \text{ Btu}$ ，該能量僅約為太陽能量的**六百分之一**而已！換言之，如果美國能自太陽能中取得0.17%的能量，已足夠全國能量所需。由於美國為能源消耗最大國，若以全球計，則太陽能所佔的能源比重將更高。

光電效應

當太陽光（其頻率需大於某一臨界值）照射某些金屬或負極板時，電子將會釋出並移向正極，電子所擁有的動能反比於光的波長，此即所謂的**光電效應** (photoelectric effect)，而太陽電池即以上述光電效應為基礎製造而成。

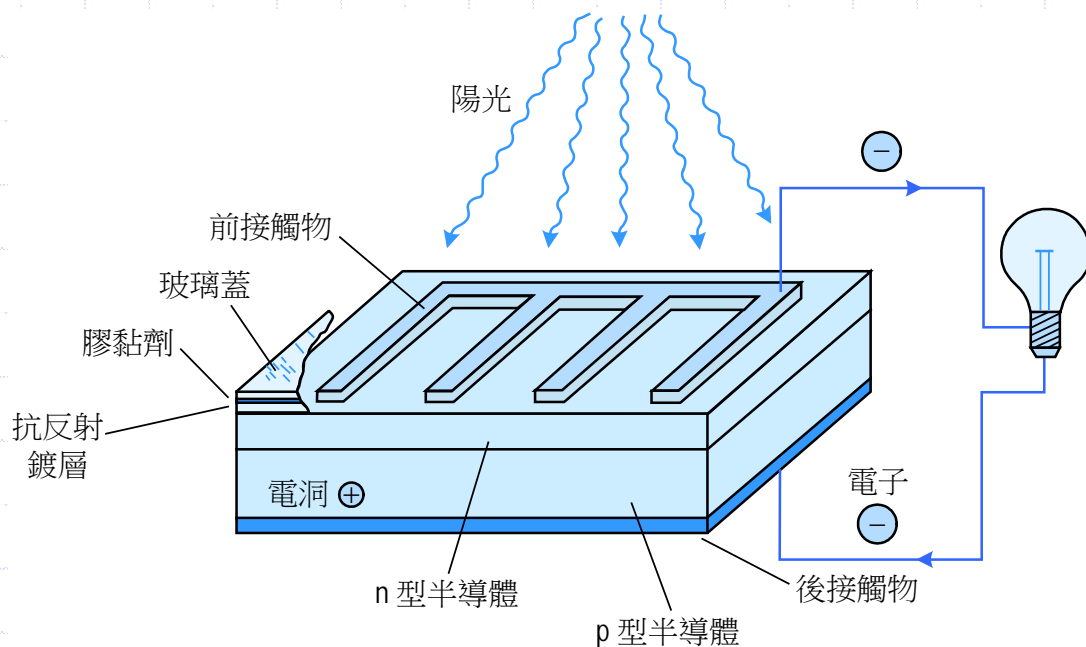


太陽電池

太陽電池與半導體同用**矽**為原料。在正常情況下，矽中並無自由電子，因此其為良好的絕緣體。但若將少量的**磷**加至矽中，則矽晶體中將出現額外的電子，其稱為n-型半導體 (n-type semiconductor)，取其“負” (negative) 電荷之意。反之，若矽晶體中滲入少量的**硼**，則矽晶體中將出現若干「**電洞 (hole)**」，該電洞猶如帶正電般，因而稱為p-型 (p-type) 半導體，取其“正” (positive) 電荷之意。當上述兩種半導體連接一起時，其形成**p-n連結 (p-n junction)**。當光線撞擊太陽電池時，光線效應將產生**電子和電洞現象**，進而於p-n連結處形成電位障礙。此時若於太陽電池的n-型及p-型端以電路連接，則電子將由前者流向後者而形成電子流（電流的方向則相反）

太陽電池

太陽電池又稱為**光伏電池**，其乃利用太陽光照射在半導體光電材料上，由太陽輻射提供的能量造成電子流動而直接轉化成電能。太陽電池將光能變換為電能之轉換率高低決定於太陽電池之性能，目前最高的轉換效率可達**30%**，但一般介於**10% 到15%**之間。



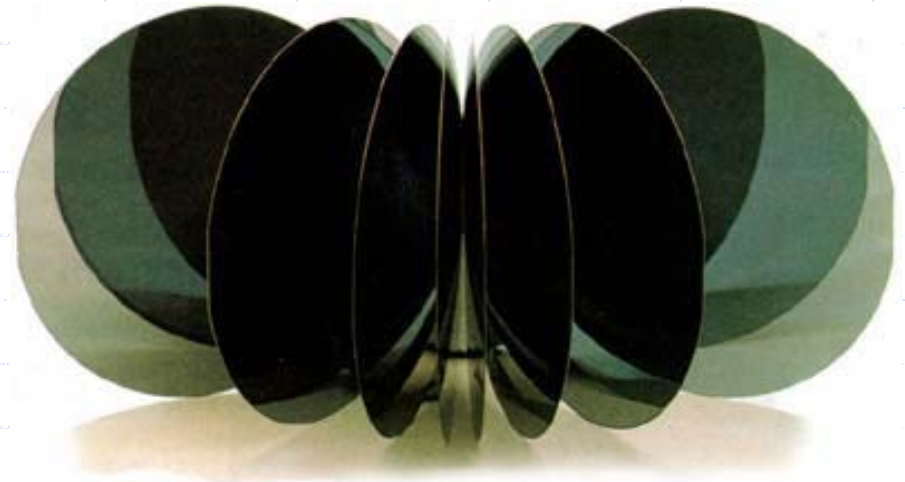
太陽電池材料種類

1. 單晶矽(Single-Crystal Silicon)
2. 多晶矽(Polycrystal Silicon)
3. 非晶矽 (Amorphous Silicon)
4. 薄膜 (Thin film)
5. 染料敏化太陽電池(dye-sensitized solar cells, DSSC)

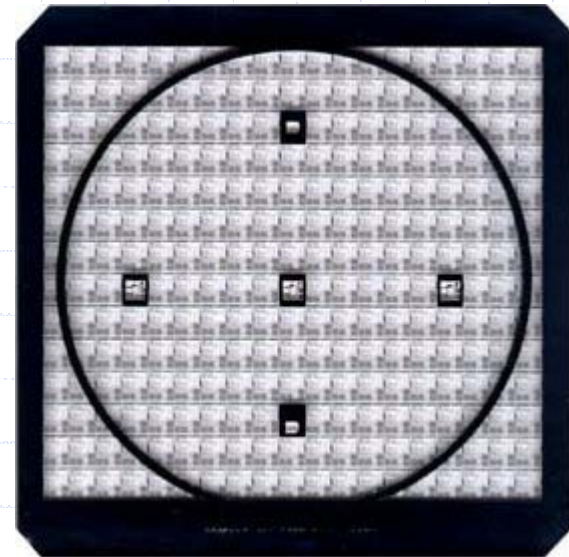
上述單晶系太陽電池為第一代太陽電池，多晶、非晶及薄膜等太陽電池屬於第二代太陽電池，至於DSSC則為第三代太陽電池。

一般就轉換效率而言，單晶矽往往大於多晶矽，而多晶矽又大於非晶矽，且隨面積愈大效率有愈低之傾向。

單晶矽



http://www.ami.ac.uk/courses/ami4202_mdesign/u02/index.asp



多晶矽



<http://store.altenergystore.com/?Flav6Z4J%3B%3B19>

太陽電池種類

太陽電池的製造方式另有**薄帶式** (ribbon and sheet) 及**集光式** (concentrator)。

薄帶式做法是從一純矽的融化池中緩慢的拉出一張細薄的矽紙或矽帶，在拉出成型當中控制緩慢的速度使矽剛好晶化。這樣的拉出成形做法可省去切鋸或鋸削（截口）的損失，而且可以直接作成方形或矩形電池而非圓形。薄帶式發電效率一般介於11% 到15% 之間。

集光式是利用透鏡或反射器將陽光集中在小的太陽電池上，目前最常用的材料是單晶矽。因為光學反射器必須以直射日照為光源，而無法聚集漫射的光線，所以它們的用途僅限於陽光充沛的氣候。

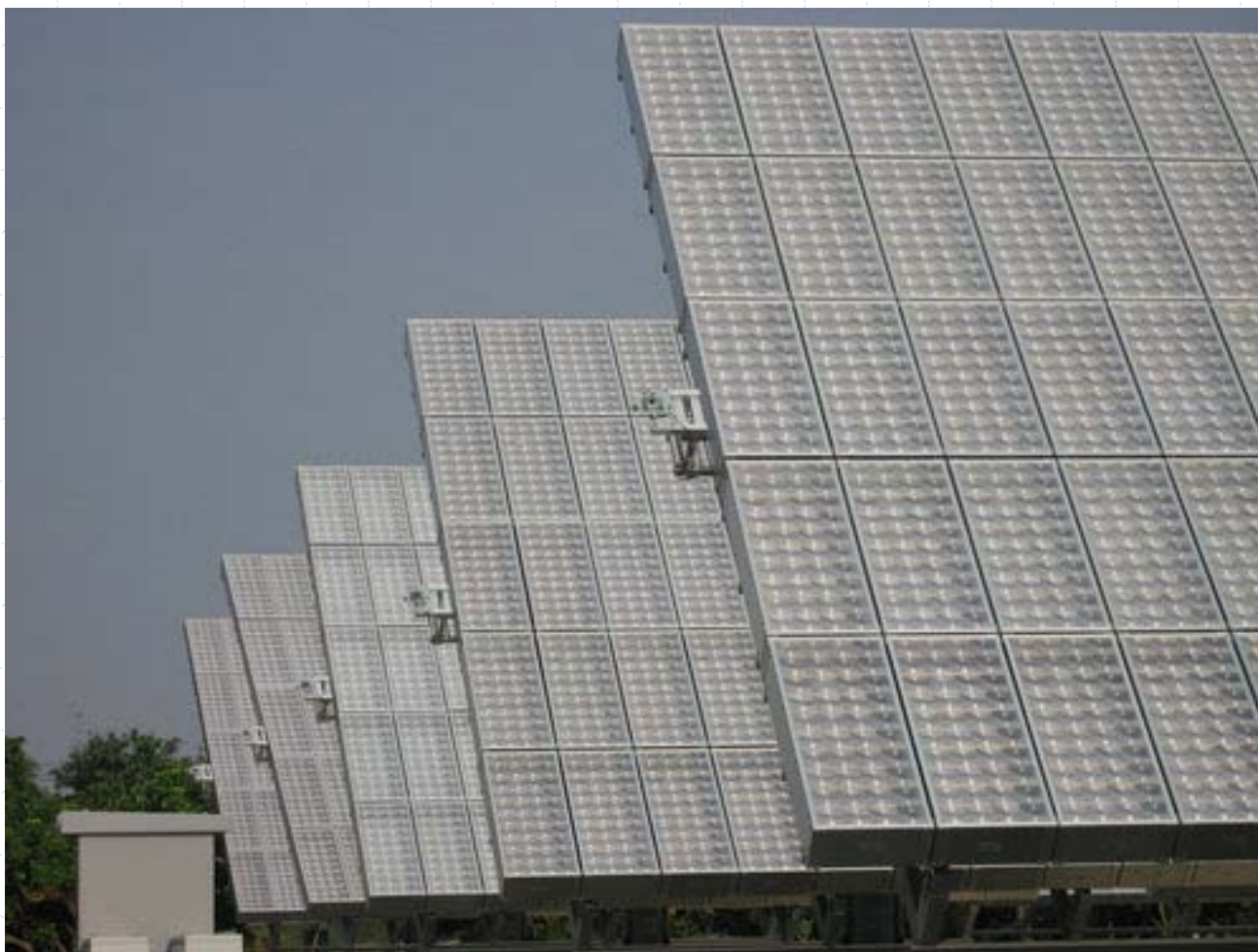
高聚光太陽能發電 (HCPV) 示範場

行政院原子能委員會核能研究所斥資二億，在高雄縣路竹鄉竹滬村設立「高聚光太陽能發電 (HCPV) 示範場」，2009年12月22日竣工啟用。這座規模亞洲最大、全球僅次於西班牙的高聚光太陽能發電示範場啟用，象徵我國太陽能產業邁向新局。

路竹示範場占地約二公頃，設置一四一座太陽能聚光板架，每一座均配置追日系統，可自動調整對準陽光的方向，在標準測試狀態下，總發電容量可達一百萬瓦。

太陽能發電量須視陽光強度而定，保守估計整座示範場每年可發電一一〇萬度，等於減少六六〇至七〇〇噸碳排放量。

高聚光太陽能發電 (HCPV) 示範場

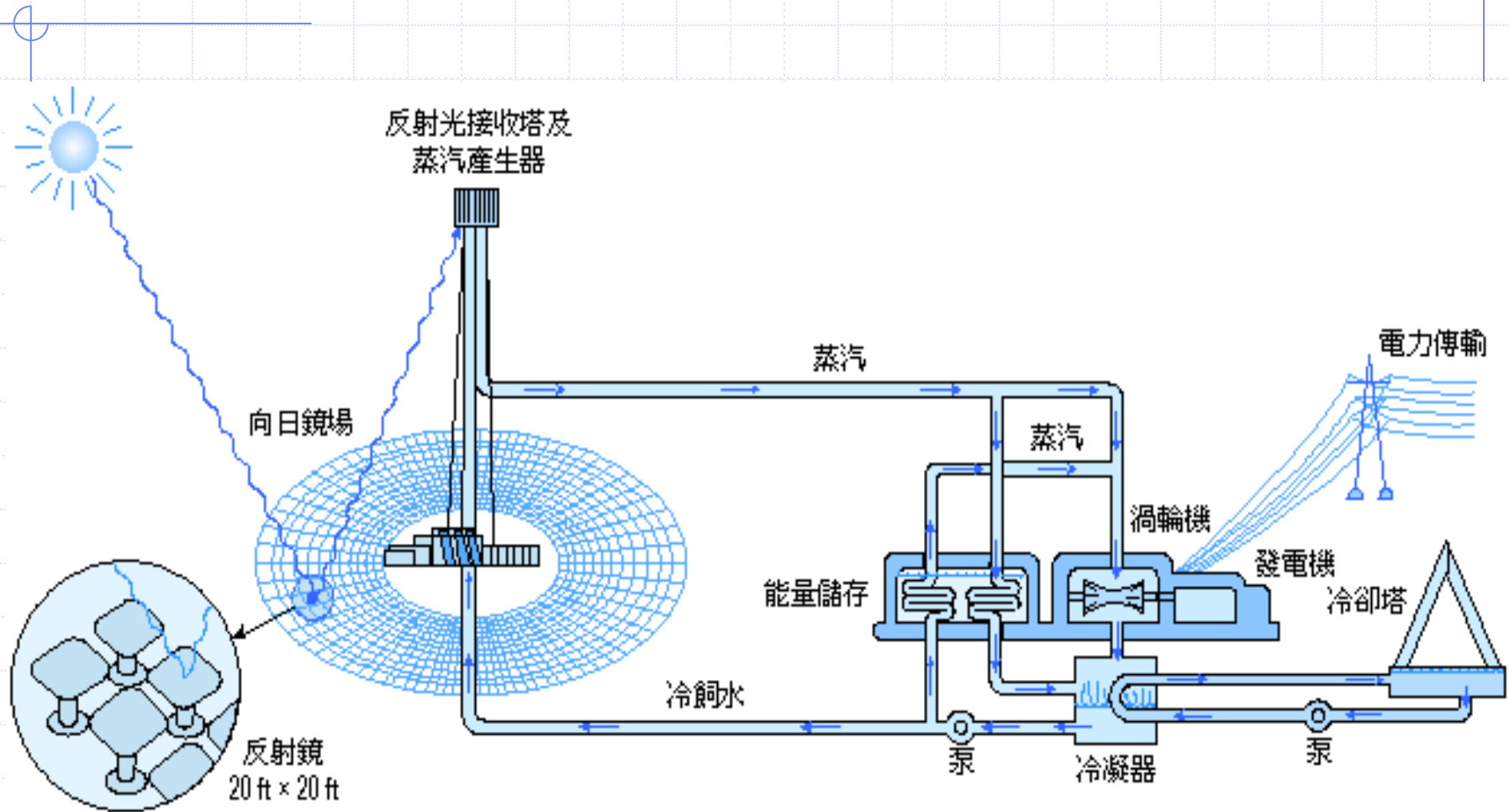


太陽能熱電廠

利用太陽能將水加熱變成蒸汽以推動發電機發電。一般而言，利用太陽能加熱有二種方法：
第一種乃運用**拋物面鏡**方式將太陽光集中以產生高溫；
第二種方式則是利用**透鏡**集中光線。

前者為將拋物面所收集的所有光線全部集中於單一點或接收器，例如動力塔，前述的拋物面通常由許多的反射鏡所組成，但每個反射鏡皆有其個別的接受器以收集光能。

電力塔(Power Tower)



電力塔 (Power Tower)



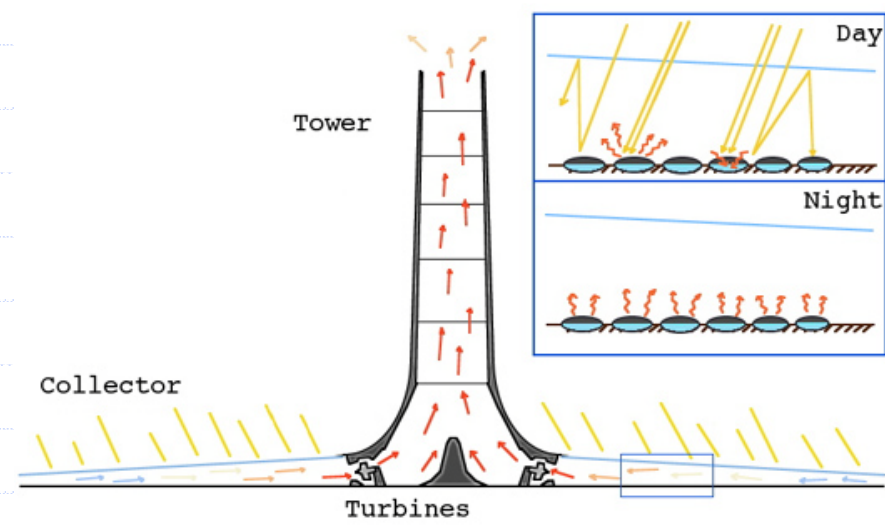
電力塔(Power Tower)



電力塔 (Power Tower)



電力塔 (Power Tower)







平板收集系統

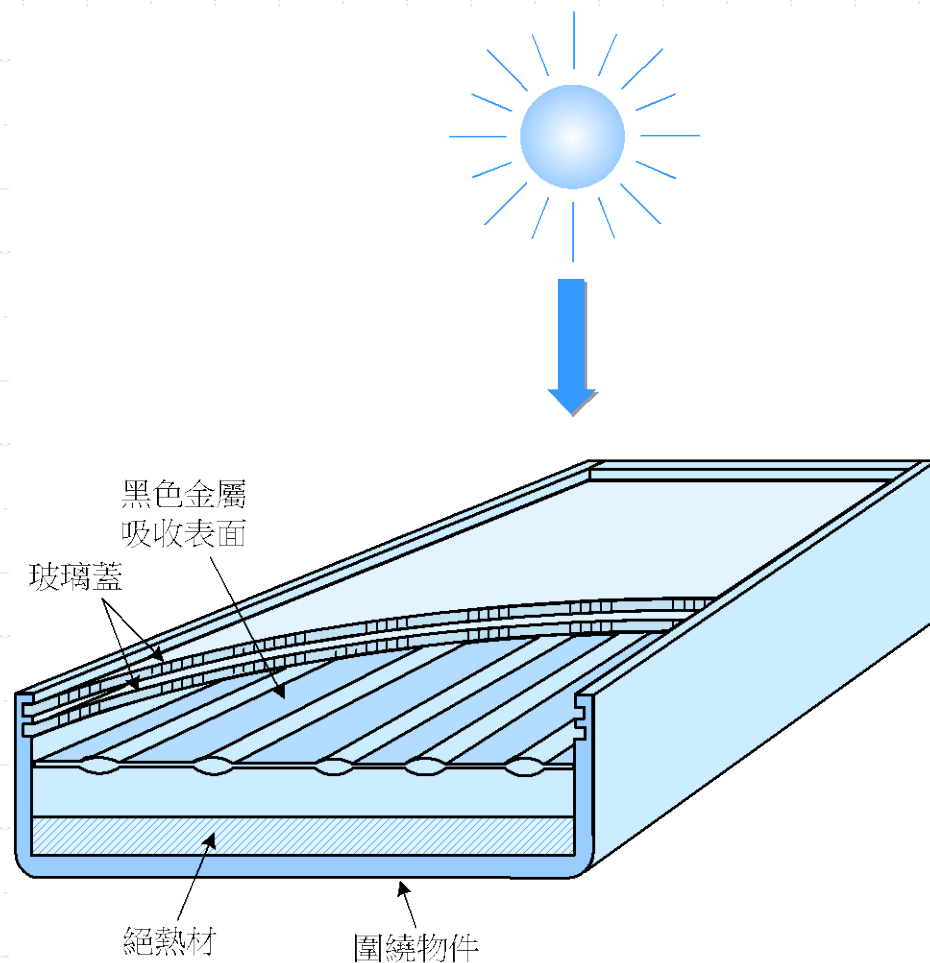
平板收集系統根據流體流動的動力來源，其可分成：

1. 主動式系統

主動式收集系統又稱為**強制循環式**，指流體流動的來源由泵運送。大型熱水系統。

2. 被動式系統

藉流體本身受熱而形成的**自然對流方式**而運送流體。家庭用或小型熱水系統。



平板與真空管收集系統

平板收集系統



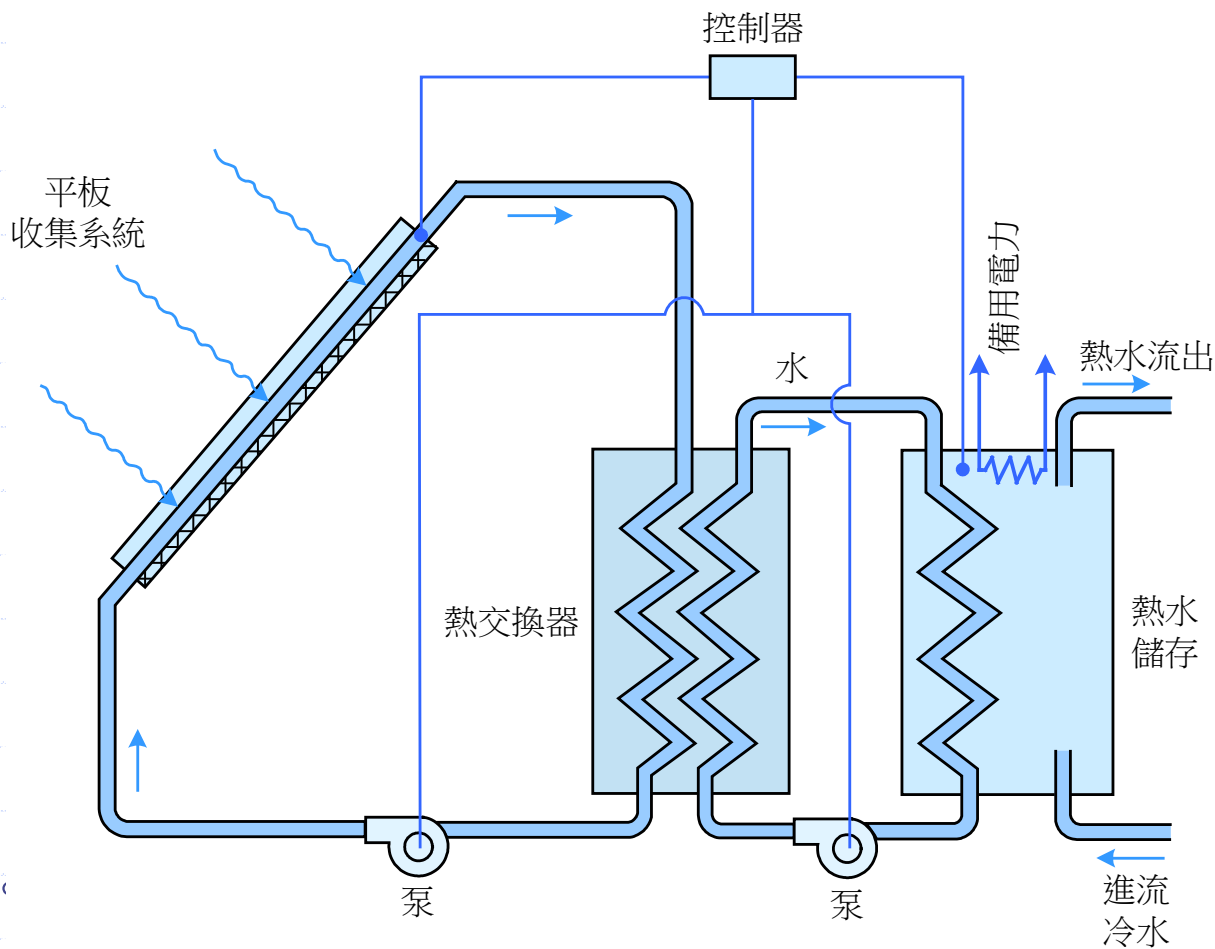
真空管收集系統



<http://www.tongyong.com/>

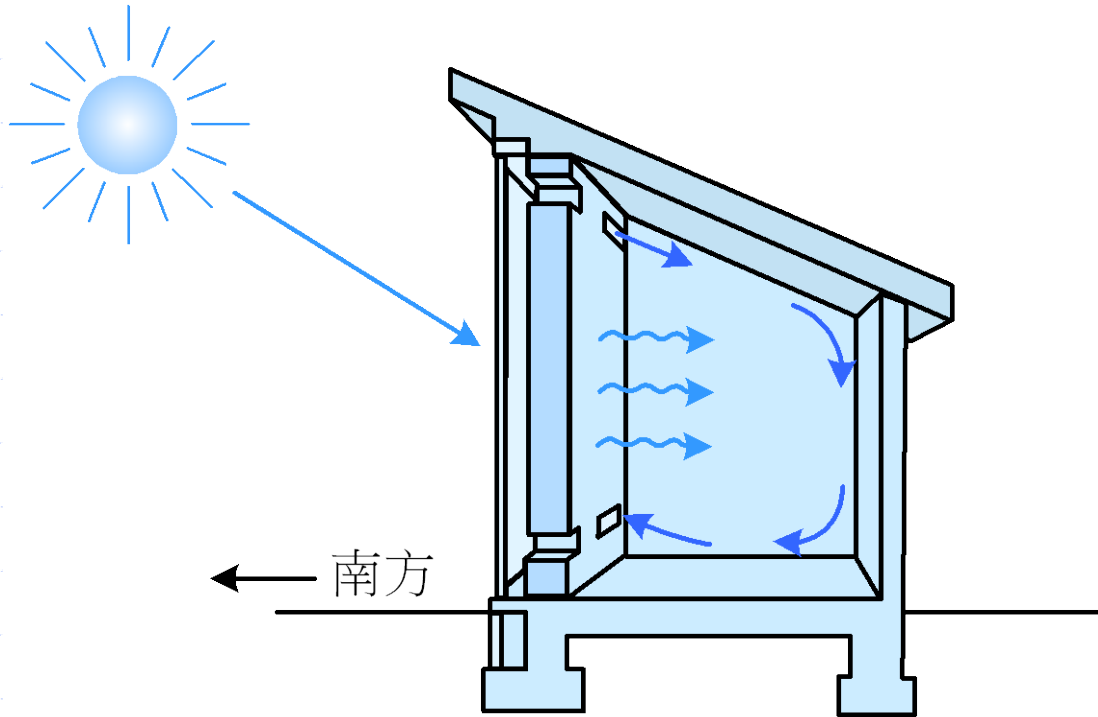
主動式收集系統

一般而言，主動式收集系統常用於大型之熱水系統和特殊面積地形，因為這些地方不適合於板子
上方架設一個儲熱筒，所以通常將儲熱筒設在室內或地面，用泵
強迫冷熱水循環。

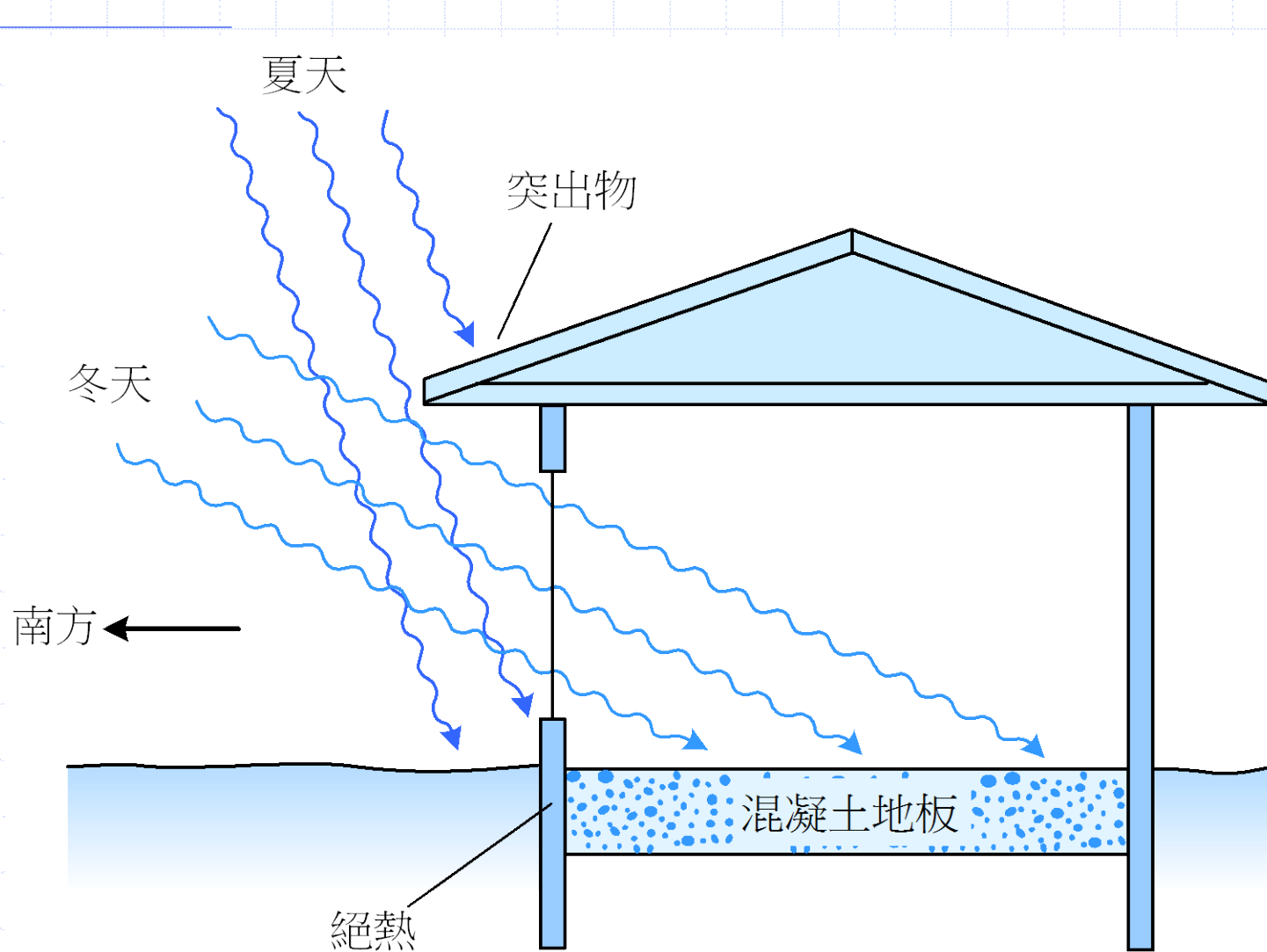


太陽屋

被動式太陽屋有三個基本組成：即絕熱、收集及儲存。面南的玻璃後加裝一塗黑的水泥牆，當白天太陽照射時，牆與窗戶間的空氣將受熱而較室內溫暖，進而形成自然對流以溫暖屋內。而當晚上時則可關閉牆上的通風口以避免逆流而降低室內溫度。



直接取得太陽能之屋子

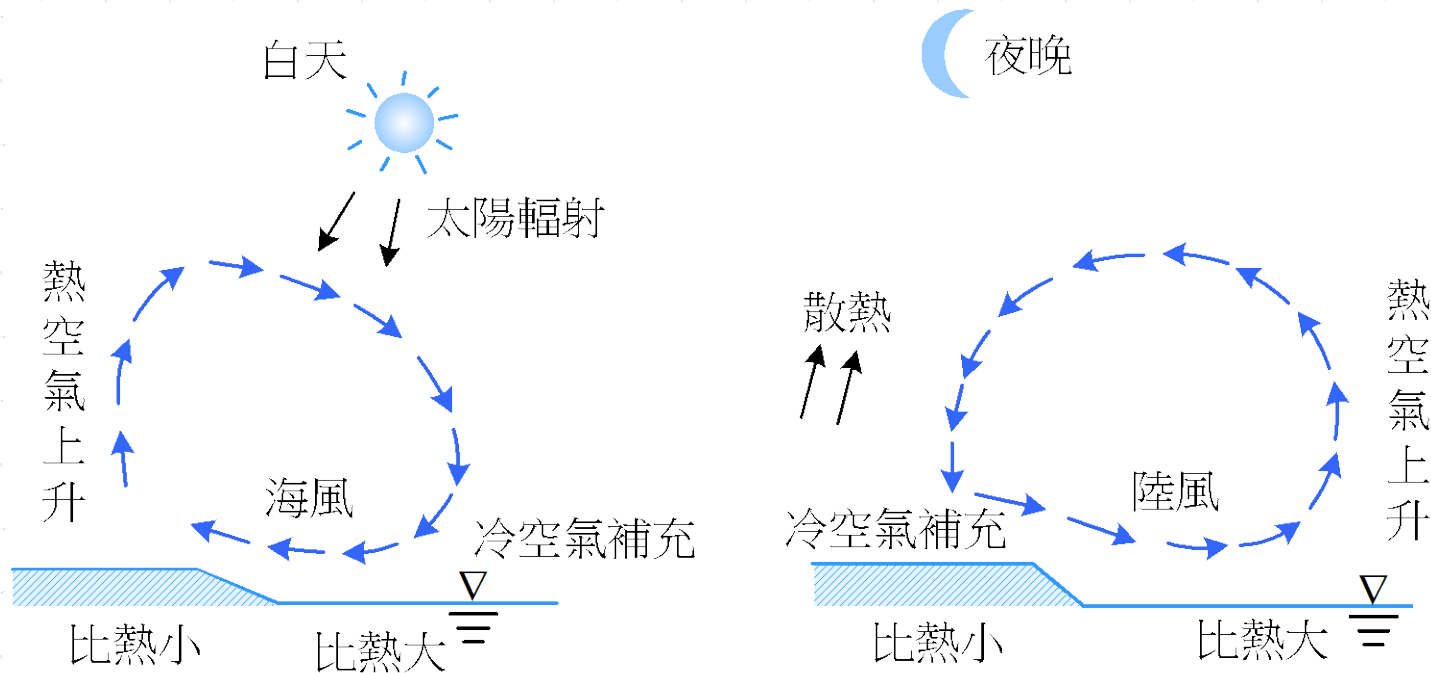


風 能

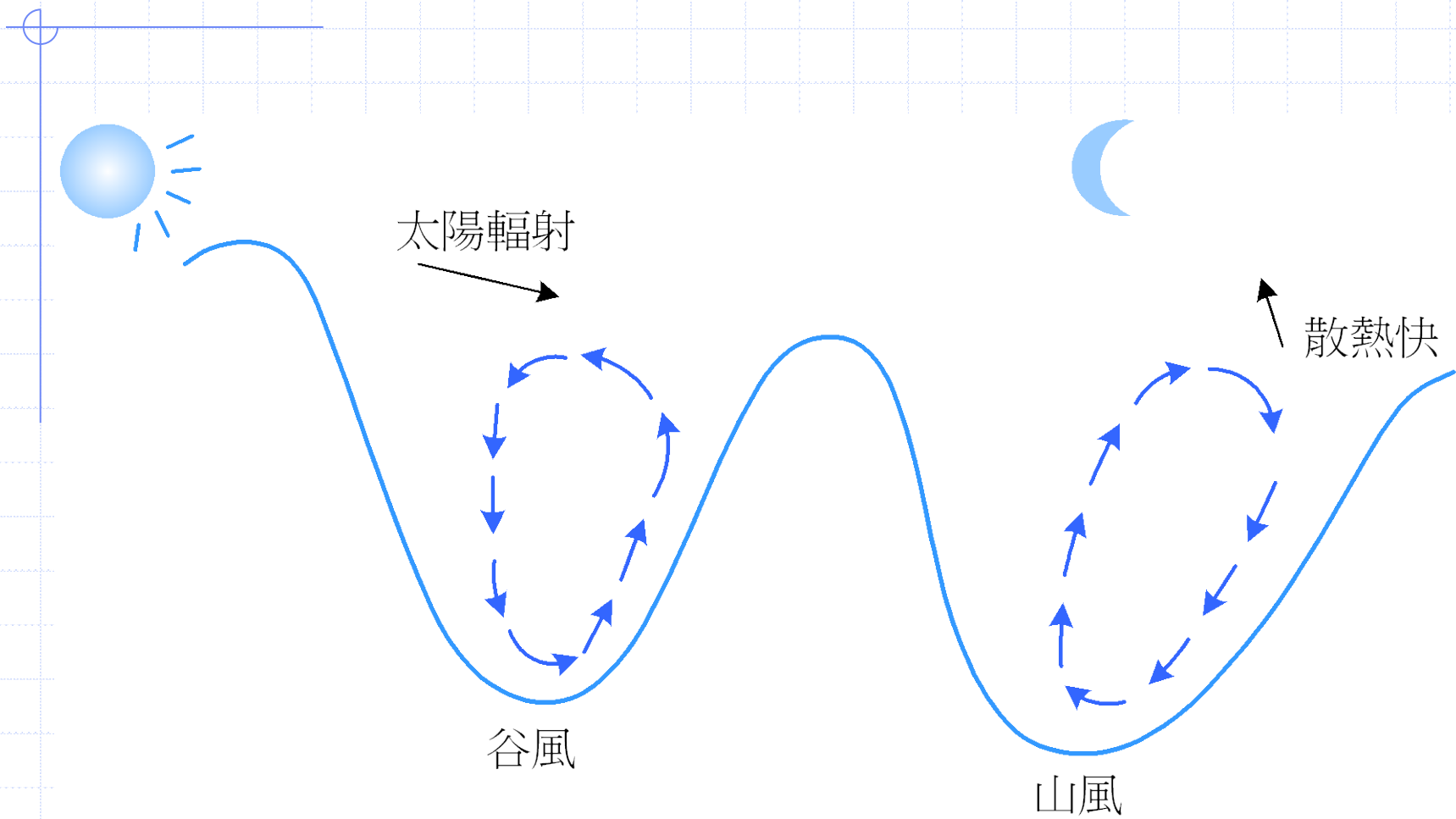
風力發電機在轉換風力過程中**不會排放二氧化碳**及任何污染物質，更沒有放射性物質的困擾，是非常乾淨的能源，因此廣受注重環境保護的歐美國家的歡迎，成為應用最多的再生能源技術之一。

風的循環

地球大氣層內風的形成乃直接起源於地球本身的自轉及太陽輻射，區域性空氣的循環流動小規模者如**海陸風** (sea-land breeze) 和**山谷風** (mountain-valley wind)，而大規模者則如東北季風或颱風。



山谷風



風 能

若與太陽能比較，風能的優點在於不論白天、晚上、晴天或陰天皆能運用，且在最冷及最暗的冬天（此時最需要能量）往往能得到最多的風能。而陰天及高海拔區域，太陽能無法有效取得時，風能將更為可靠。但和太陽能一樣，風能也是間歇性能量，並且需要儲存。

當太陽光照射到大氣頂層時，約2%的太陽能轉換成風的動能，而後消散以溫暖大氣。以美國為例，其太陽能轉換成風能的速率約為全美能源消耗的30倍。

風能正比於風速的三次方

$$P/A = 6.1 \times 10^{-4} v^3$$

式中 P= 功率，kW

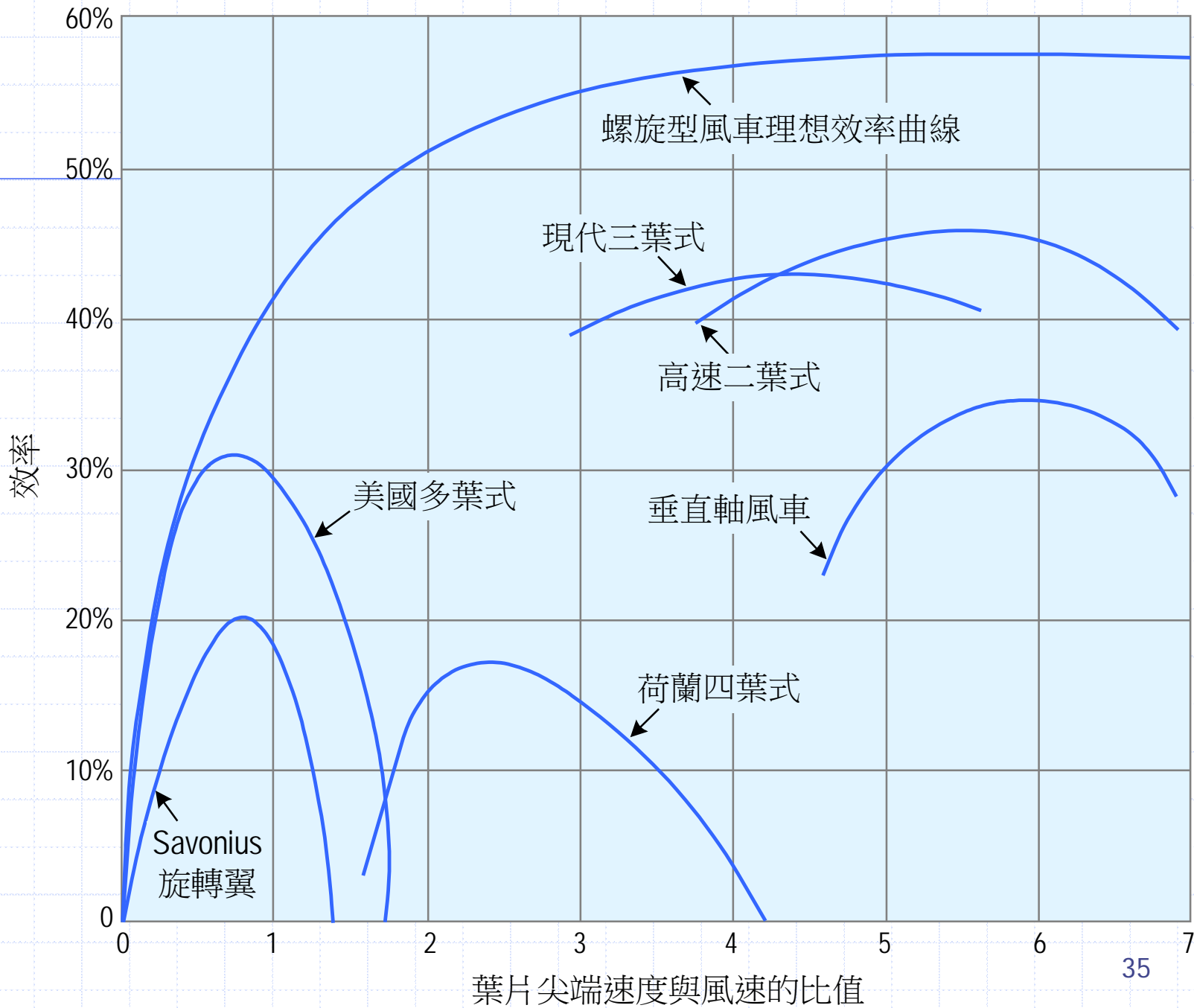
A= 垂直風向的截面積，m²

v= 風速，m/s

例如當風速為10 m/s，則風車每米平方面積的風能為
 $6.1 \times 10^{-4} \times 10^3 = 0.61 \text{ kW/m}^2$ 。

風力發電機並不能將所有流經的風力能源轉換成電力，其中風能轉換成電能的效率除決定於各式風扇的形狀外，另一重要的參數即為葉片尖端速度與風速的比值。

根據理論分析，風車自風能中取得能量而轉換成機械能的最大效率不超過59%，其稱為「**貝茲極限定律 (Betz' s limit law)**」，而現今風車的效率則約能從這59%的效率中取得約50~70%的能量。一典型風車由機械能轉換成電能的效率約為90%。根據以上數據，當風速10 m/s時，風車在最佳運轉條件下，其取得的電力約為 $0.61 \times 0.59 \times 0.7 \times 0.9 = 0.227 \text{ kW/m}^2$ 。



Savonius Wind Turbine



<http://www.reuk.co.uk/Savonius-Wind-Turbines.htm>

<http://www.thegreentechnologyblog.com/2009/technology-solutions-for-wind-power-generated-electricity/>

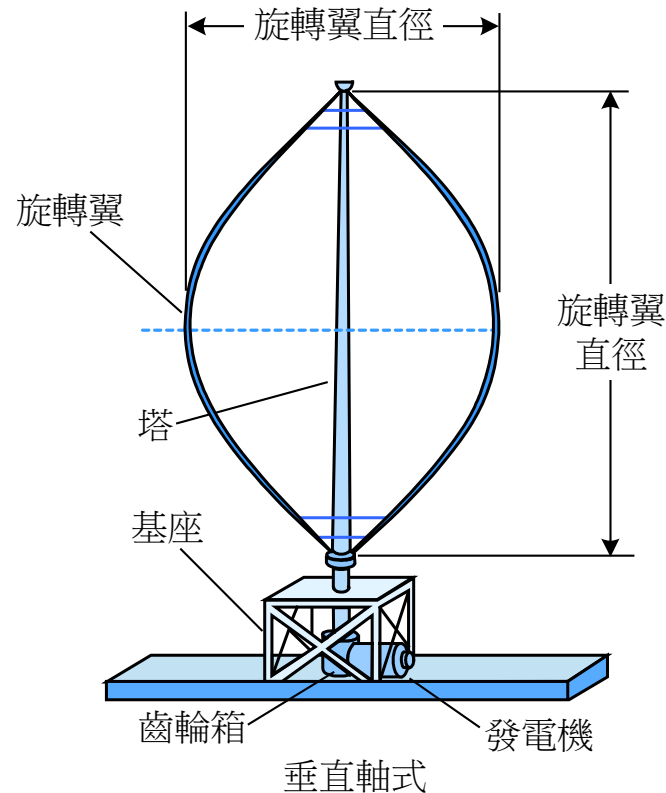
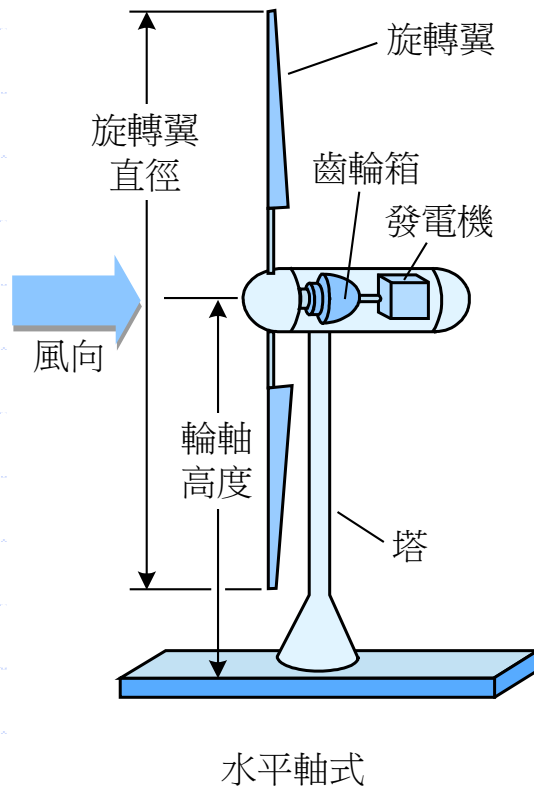
裝置容量

風力發電機的**裝置容量** (installed capacity) 是風力發電機的最大發電容量。由於風速隨時變化，時大時小，故風力發電機並不會一直處於裝置容量的狀況下發電。當風力發電機運轉一段時期後，實際的發電量與裝置容量的比值稱為**負載率** (load factor or capacity factor)，即

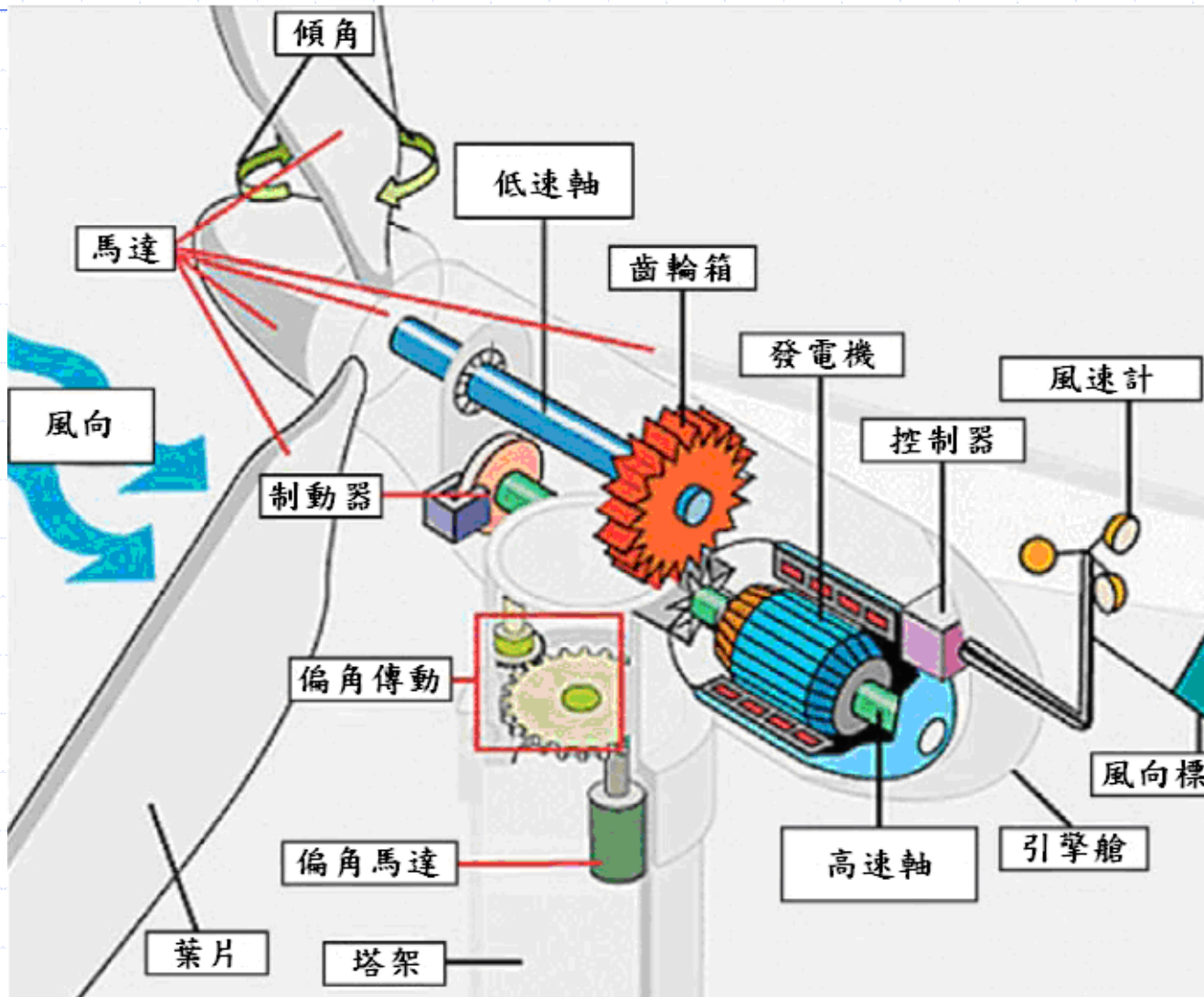
$$\text{負載率}(\%) = \frac{\text{實際發電量}}{\text{設計發電量}} \times 100 = \frac{\text{實際發電量}}{\text{裝置容量} \times \text{時間}} \times 100$$

風力發電機

一部典型的現代水平軸式風力發電機包含葉片、輪（與葉片合稱葉輪）、機艙罩、齒輪箱、發電機、塔架、底座、控制系統、電纜線等。



水平軸式風力發電機內部結構與組件



風力發電機之分類

1. 依照主軸與水平面的相對位置可分為**水平軸與垂直軸式**，換言之，若主軸呈水平狀態，即為水平軸式；反之，若主軸呈垂直狀態，即為垂直軸式。
2. 依照葉輪相對於風向的位置可分為**上風式(或迎風式)及下風式(或逆風式)**。
3. 依照葉片數量可分為**多葉片及少葉片式**。就雙葉片而言，由於葉片較少，故可節省葉片的成本，另外負荷較輕，所以可以較高的轉速運轉，但相對地**振動及噪音較大**。四葉片由於葉片數多，故葉片**成本較高**，並以較低轉速運轉，振動及噪音較小。至於三葉片式，綜合雙葉片及四葉片之優點，現在較普遍採用。

荷蘭式



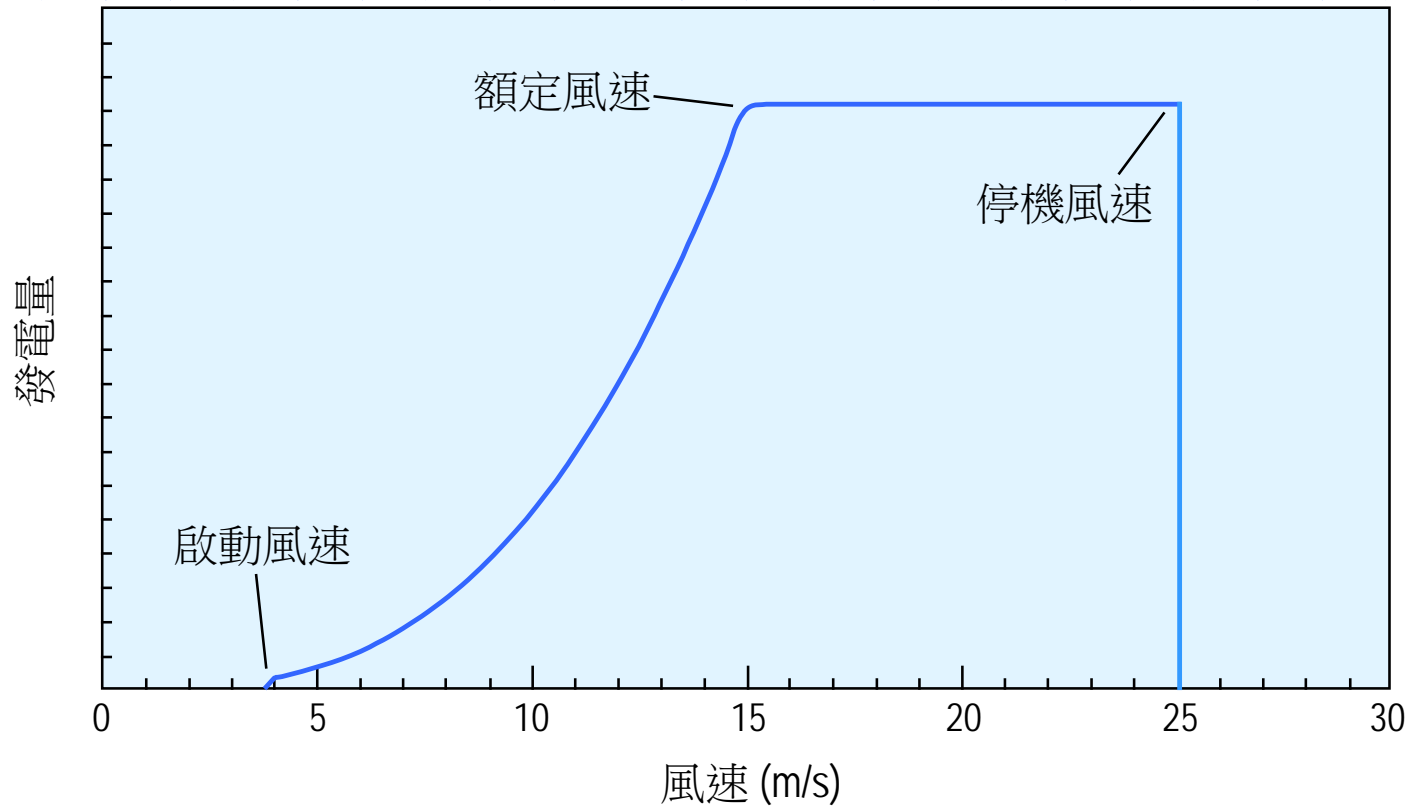
美國多葉式



三葉式風車

風力發電機之分類

4. 依照風力發電機組容量大小可分為**小型、中型及大型**。目前全球風機的單機容量有600kW、660kW、850kW、1350kW、1500kW、1750kW、1800kW、2000kW、2300kW、2500kW、2700kW、3000kW、3600kW、4500kW及5000kW等。
5. 依照葉片的工作原理可分為**升力型及阻力型**。升力型風車以所受的升力帶動葉片轉動，轉速較快，轉換效率亦較高，新型風力發電機多以升力型為主；反之，阻力型風車以所受的阻力帶動葉片轉動，扭矩較大，但轉速較慢，轉換效率較低，傳統風車多採用此種形式。



一般市場上風力發電機的**起動風速** (cut-in velocity) 約介於2.5~4 m/s，於**額定風速** (rated velocity，12~15 m/s) 時達到額定的輸出容量。為避免過高的風速損壞發電機，大多於風速達20~25 m/s範圍內停機，典型的**停止運轉風速** (cut-out velocity) 為25 m/s。

離岸式風力發電



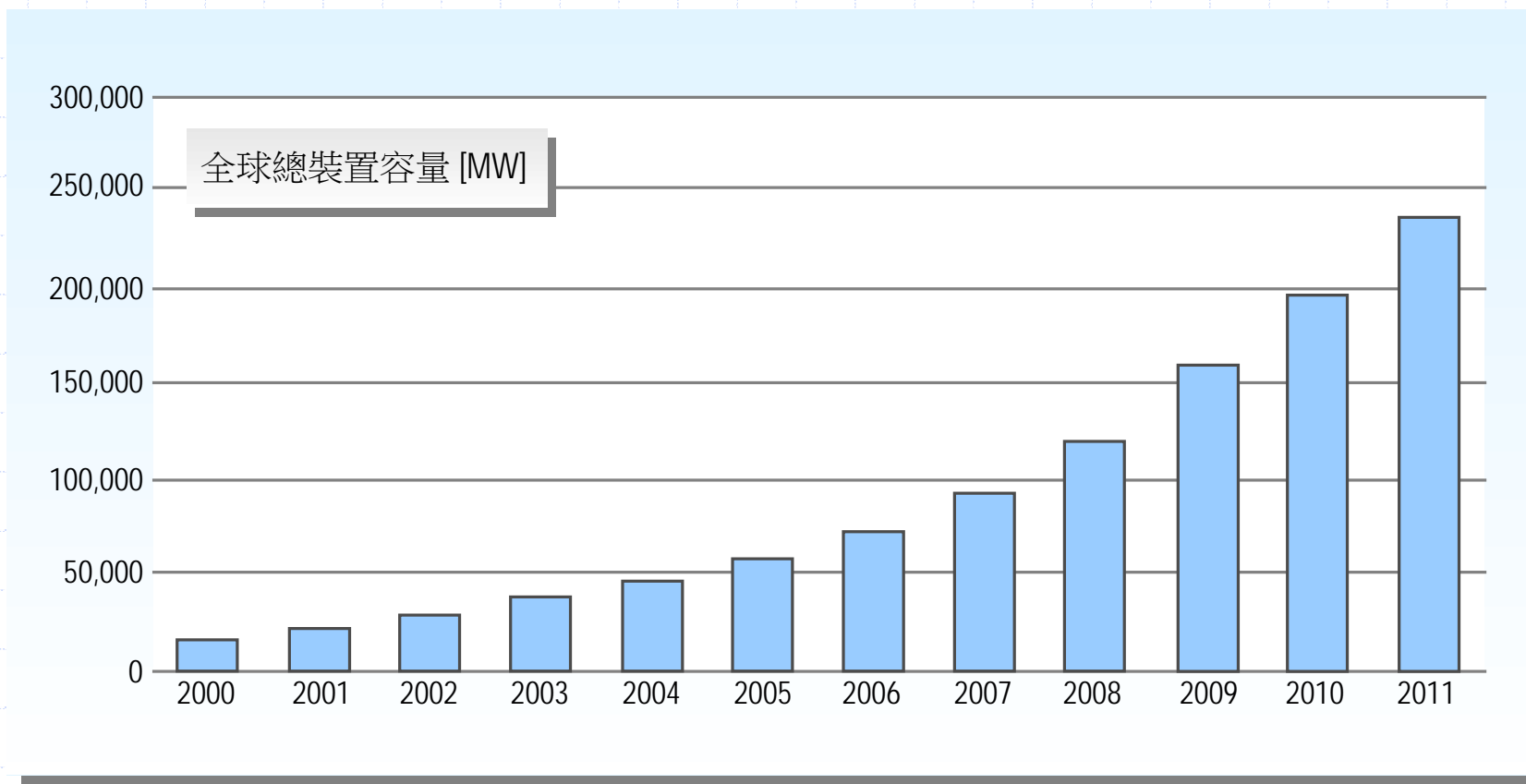
由於陸地上可用面積有限，加之海上風向較均勻且無障礙，風力資源優於陸地，可於海底深5~20m的淺海地區設置**離岸式風力發電廠**。

Roscoe Wind Farm, Texas



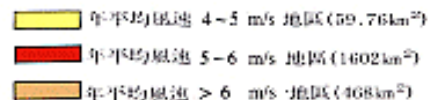
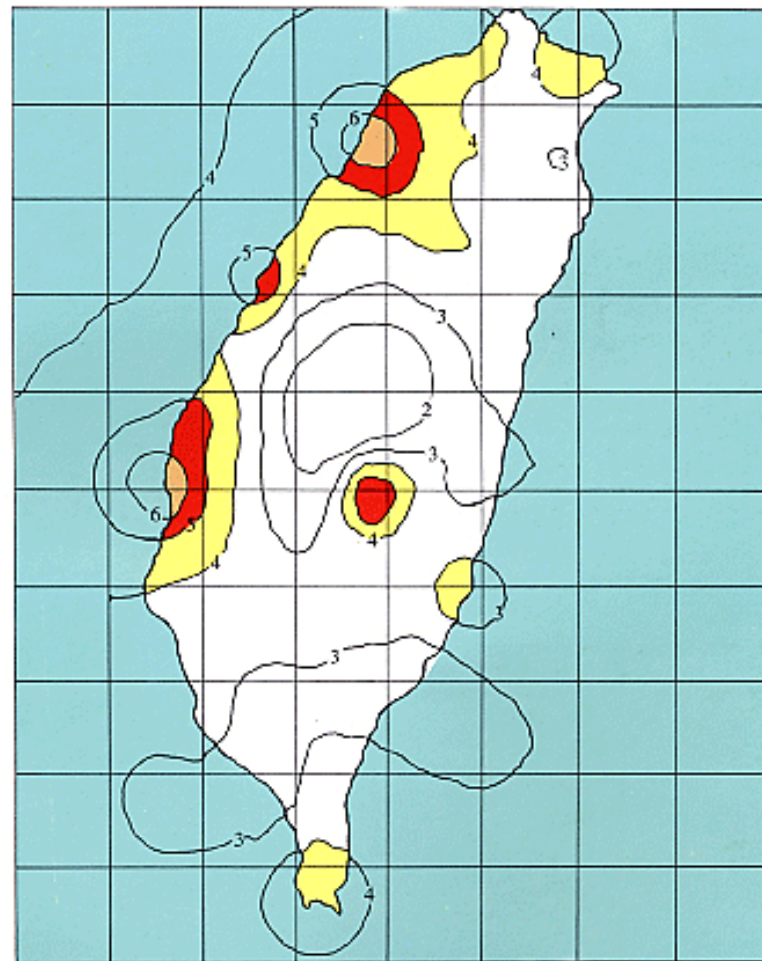
The Roscoe Wind Farm in Roscoe, Texas is the world's largest wind farm with **627 wind turbines** and a total installed capacity of **781.5 MW**, which surpasses the nearby 735.5 MW Horse Hollow Wind Energy Center. The project cost more than **\$1 billion** and provides enough to power more than **250,000 average Texan homes**.

全球風力發電機裝置容量分布圖



台灣風力資源分佈

依據本島風能評估結果顯示，西部沿海包括桃園、新竹、苗栗、台中、彰化等地以及外島地區的澎湖與蘭嶼離島等地區，年平均風速可達5~6 m/s以上，風能密度達 250 W/m^2 以上，深具開發風能的潛力，如能多加利用將可促進國內能源多元化與自主性。



風力發電機的優點

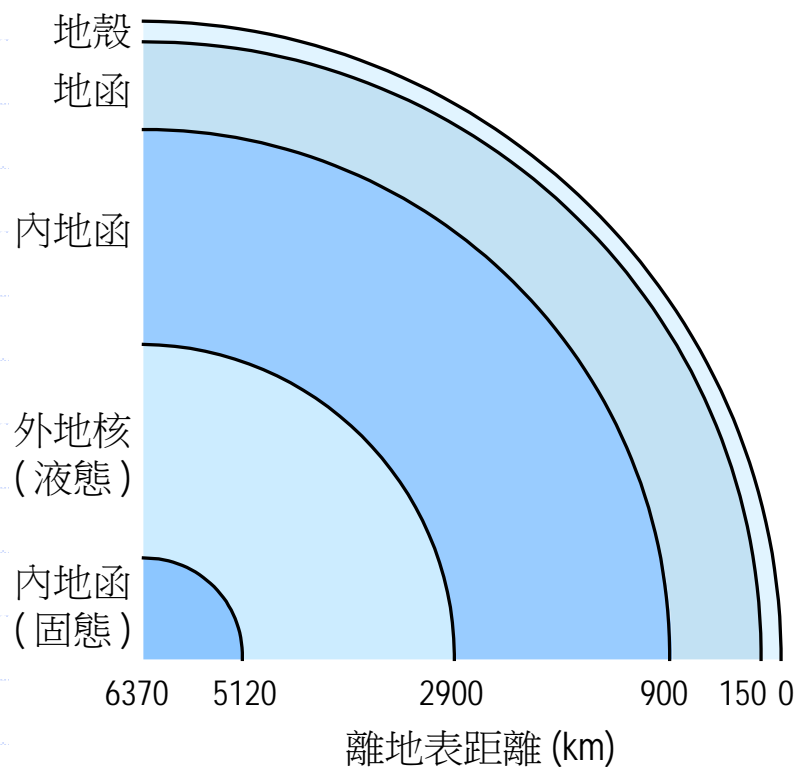
1. 風力能源永不耗竭
2. 風力發電無污染
3. 風力發電是自產能源
4. 增加就業機會並具觀光效益

設置風力發電機時，應考量因素有：

1. 風性與地理條件
2. 風力發電機性能與配置
3. 土地利用的規劃
4. 慎選周圍環境

地球結構

在溫度分佈方面，最接近地表的**地殼**，約介於30到90公里深，溫度變化為每增加1公里深度即**增加30°C**，該處熔岩溫度約介於650到1,200°C之間，也正由於此層中**岩漿** (magma) 在某些地區向地表滲透而造成了各種不同的熱特徵。當深度達到地殼的底部或地函的頂部，溫度隨地層深度的增加而緩慢升高。至於**地球核心**6,370公里深處的溫度，據推測約為4,000°C。



地熱活動

地熱活動常見的各種現象有火山爆發 (volcanic eruption)、間歇泉 (geyser)、噴氣孔 (fumarole) 及溫泉 (hot spring) 等。除了上述地熱活動外，由於地質板塊 (tectonic plate) 運動 (每年約數公分)，致使板塊連接處彼此間碰撞及摩擦而產生造山運動、火山活動及地震 (earthquake) 等。在這些板塊連接處常可見顯著的熱流現象。今日世界上大部份的地熱位置座落於太平洋板塊 (Pacific plate) 的邊緣，其稱為「火環 (ring of fire)」。

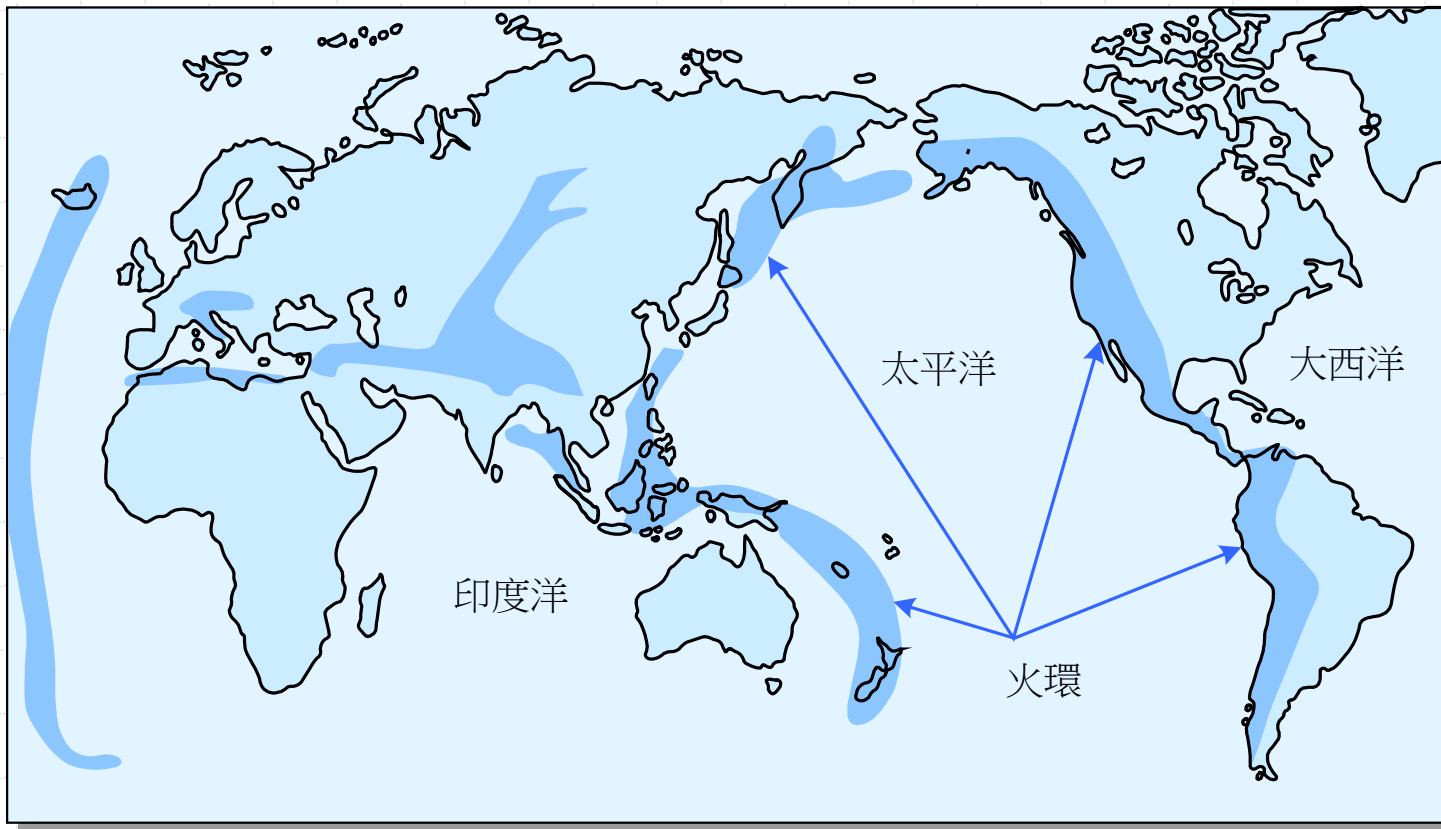
美國黃石公園內之老忠實間歇泉



日本大涌谷之噴氣口



火環

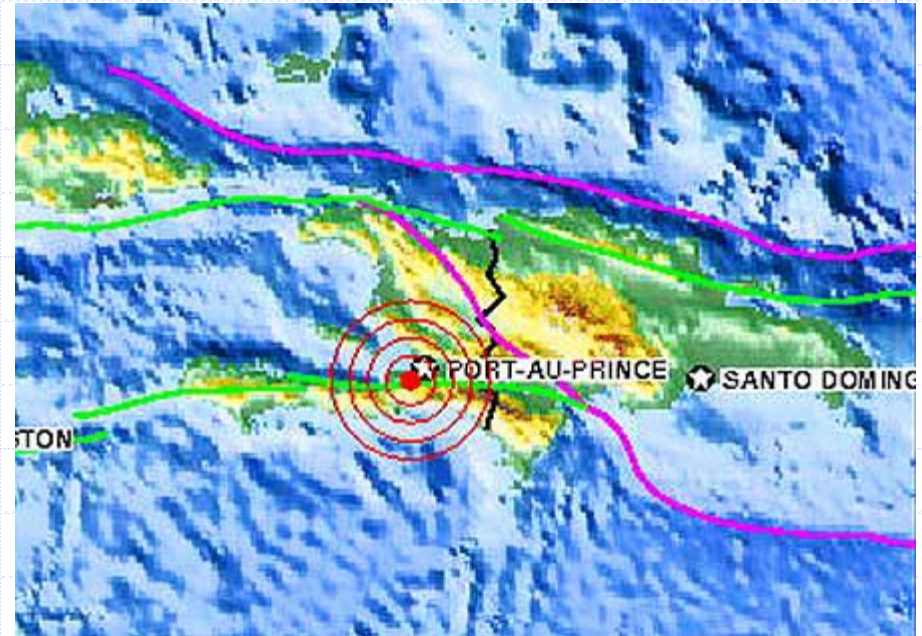


火環

Active Volcanoes, Plate Tectonics, and the "Ring of Fire"



Earthquake in Haiti and Chile



地熱資源

國 家	裝置容量 (MWe)
美國	2,200
菲律賓	1,931
墨西哥	753
義大利	790
印尼	807
日本	561
紐西蘭	421
冰島	200
薩爾瓦多	162
哥斯大黎加	161
乍得	107

美國勒蓋沙斯地熱電廠

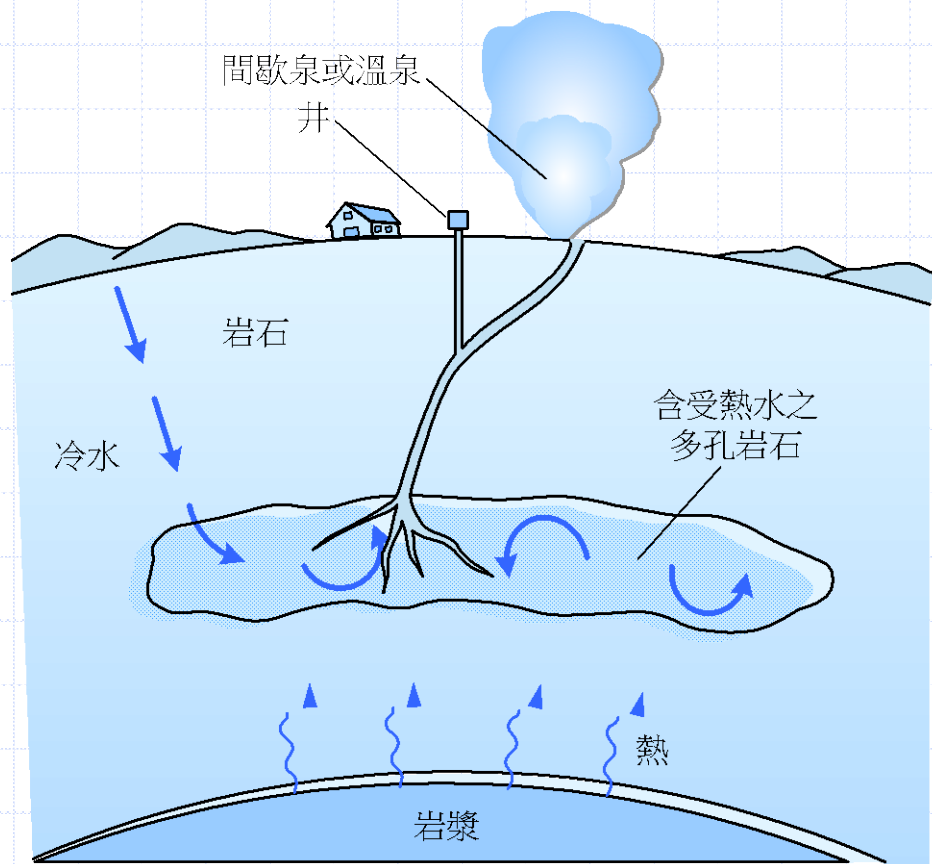


水熱系統

間歇泉、溫泉、火山爆發等熱點 (hot spot)，最常見的地熱利用形態稱為**水熱系統 (hydrothermal system)**，其中岩漿的熱能係儲存在岩石孔隙或裂縫裡的水中或蒸汽中。整體而言，水熱系統可分為成**濕汽**及**乾汽**兩大類，其中濕汽系統又稱為**熱水 (hot water) 系統**。雖然濕汽系統的資源遠較乾汽系統豐富，但由於乾汽系統的使用較方便，因而常用於發電，例如美國的勒蓋沙斯及義大利的拉岱洛發電皆屬於**乾汽系統**。

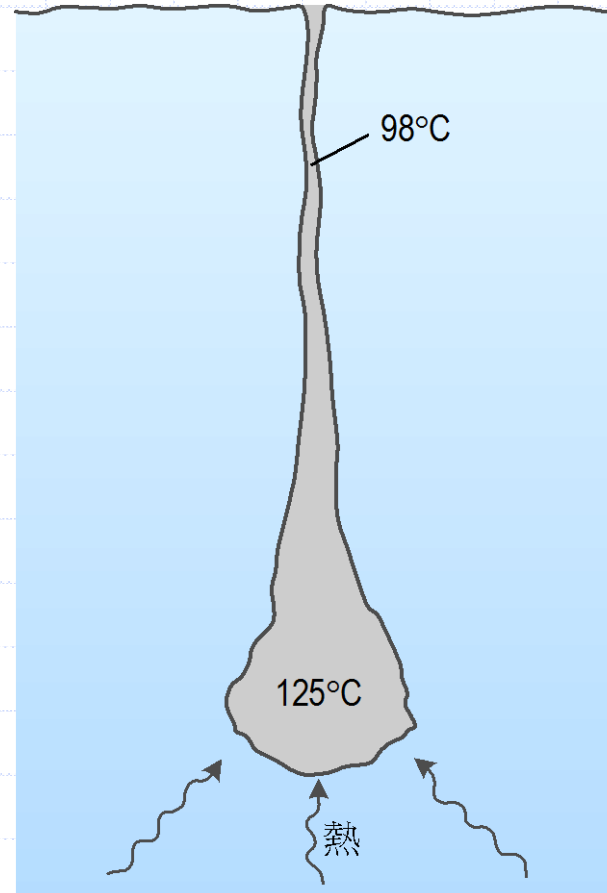
濕汽系統

當水儲存於地下儲庫並受到周遭岩石加熱後，由於高壓環境，水溫可達 370°C 且不會沸騰。當這些熱水被釋放到地球表面時，由於壓力的劇降，熱水將閃發而立刻轉變成蒸汽。當開鑿地熱井並使熱水流到井中時，其將變成約五分之一的蒸汽及五分之四的熱水。蒸汽分離後可直接用以推動渦輪機發電，而熱水則可用於加熱。



乾汽系統

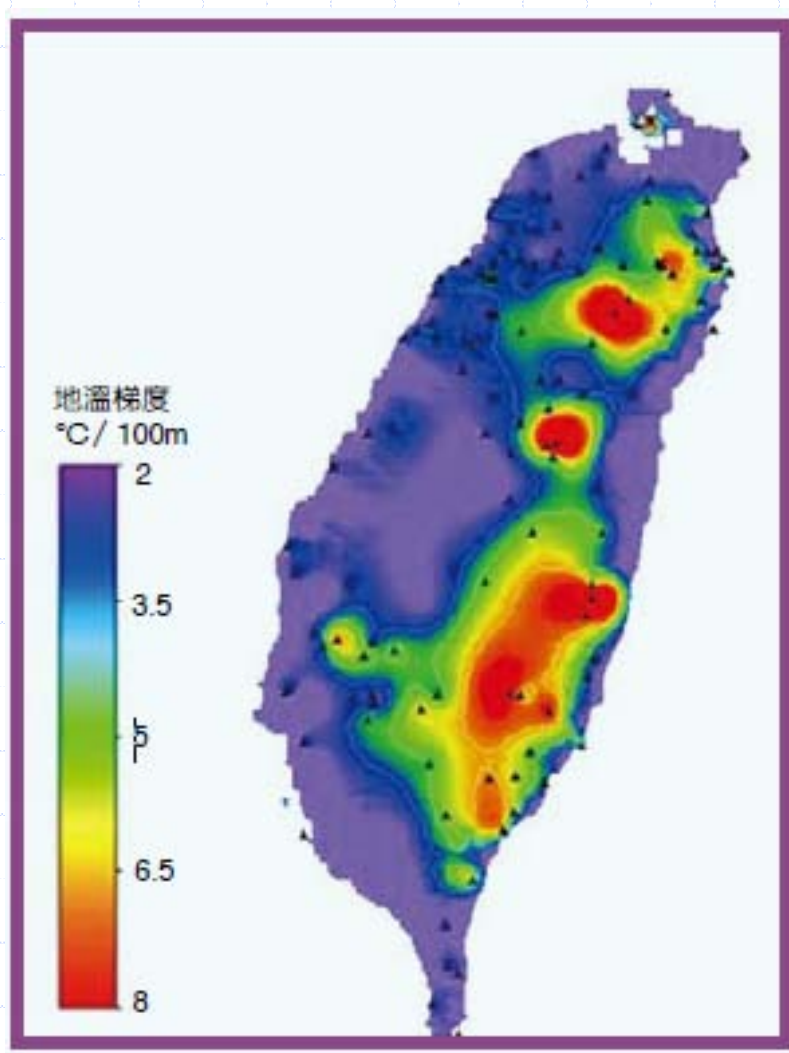
乾汽系統中，環境的壓力僅比大氣壓力大些，此時水受熱後，蒸汽的溫度可達 165°C ，而壓力則大約是100 psi。鑿井後所引出的蒸汽將可直接推動渦輪機發電。



開發地熱對環境影響

1. **硫化氫 (H₂S) 氣體**：開發地熱時可能排放出大量硫化氫氣體，將對環境造成某種程度的影響及危害。
2. **熱廢水**：可能影響河川中魚類與植物之生態，而熱水中的**硼素**對某些農作物有害。
3. **砂垢**：地熱水在地下深部，砂是飽和狀態，溫度下降便析出**無定形砂**，因此井壁、井口及地面管線等附著很多砂垢，將會影響蒸汽生產量。
4. **地盤下陷與沖蝕**：熱水型地熱田生產大量熱水，若地盤不堅固時便會慢慢下陷。
5. **自然景觀及生態環境的破壞**：包括地熱開發而伴隨之開闢道路，生產井井坪，發電廠場地等之樹林砍伐。
6. **地震**：因地熱田大部份集中在地震頻繁地區，而熱水之還原地下可能增加地震頻率。

台灣地區的地溫梯度分布圖



宜蘭清水地熱第19號井



土場地熱之多目標利用

多目標利用	內 容
溫室花卉栽培	<p>蝴蝶蘭適合生長溫度為15-20°C，而台灣山區冬季溫度常低於15°C，所以利用地熱資源做為室溫所須之熱源，對於溫室花卉栽培具有節約傳統能源的效益。</p>
地熱暖房	<p>地熱所產生的熱水利用熱交換器可以將熱量傳送到我們居住的空間做為暖房應用，這可配合觀光地區應用於旅館的空調以節約傳統能源的使用。</p>
溫泉沐浴	<p>中低溫的地熱水可直接作為溫泉利用，並可作為溫水游泳池的熱源。</p> <p>二氧化碳的生產：台灣中央山脈變質岩帶的地熱井，除生產高溫的熱水及蒸汽外，也伴生大量的二氧化碳氣體，若加以壓縮液化可以運銷市場，作為冷媒、飲料及焊接等工業原料。</p>