

潔淨能源——太陽能

E=MC² 楊樹基／新竹女中

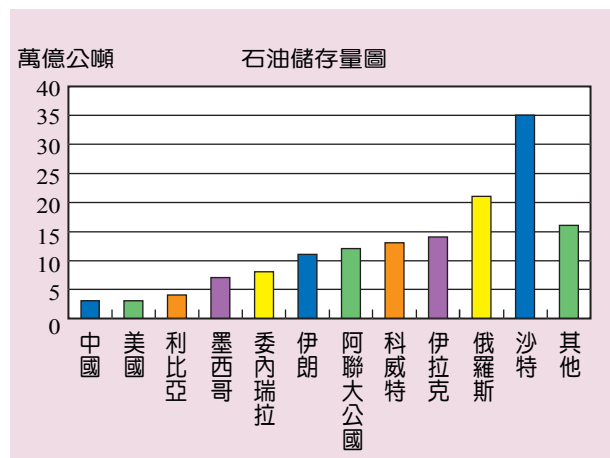
在 1970 年代接連發生兩次能源危機後，人們才首次領略到化石燃料存儲量的有限與分佈不均，自此世界各國便積極努力投注於新能源的開發。

能源的種類

我們生活所使用到的能源，可區分為非再生能源（non-renewable energy）與再生能源（renewable energy）兩類。

1. 非再生能源

非再生能源是指地球所儲存的化石燃料，如石油、煤與天然氣。化石燃料是由古代的動植物殘骸，經過地球內部的高溫與高壓作用數億年後所形成。由於這類能源形成的過程曠日費時，因此，當工商業、運輸與家庭生活對能源的使用量，隨著人口增加而大幅成長時，儲存量有限的化石燃料終有匱乏的一日。以石油



▲全球石油儲存量分布

為例，科學家估計以目前已知石油的儲存量與全球的需求量來看，在未來的半個世紀內，人們就要面臨無油可用的窘境。因此，化石燃料也稱為耗竭能源（depletable energy）。

2. 再生能源

再生能源是指能夠持續使用而不虞匱乏的能源，這類能源大都直接或間接來自太陽，如太陽能、風能、水力能、潮汐能等。由於來自太陽的光與熱，至少還可再持續數十億年，因此對人類而言，與太陽有關的能源的開發與利用，正是全球努力研究的重要目標之一。事實上，開發化石燃料替代方案的急迫性，不單是因為儲存量方面的問題而已，更重要的是燃燒化石燃料對環境生態所造成的重大負面影響。自工業革命以來，各類產業對能源的需求孔急，能源的消耗固然為人類帶來了較高的物質文明，但是燃料燃燒所造成的大氣污染、水污染等環境生態破壞問題，恐怕將造成無法收拾的後遺症，例如全球暖化（global warming），就是一項相當嚴重的問題。許多科學家認為，由於燃燒造成大氣中二氧化碳濃度的增加，溫室效應據估計會使地球的平均溫度在二十一世紀中上升 3~8°C。氣溫的升高，不但會造成南極冰雪融化，使全球水位攀升，淹沒了許多低窪地區。溫度的變化同時也改變全球的氣候模式，可能造成嚴重的暴風雨，並影響糧食的生產。雖然，沒有研究可以百分之百證明，化石燃料是造成全球暖化的唯一因素（有些科學家

認為太陽輻射能逐年增強，也可能是因素之一；更有海洋地質學家根據地質紀錄分析，認為氣溫變化由漫長的時間軸來看，只是屬於大自然溫度振盪的一環，未必與人為因素有關。但是大家都同意，減少燃燒化石燃料所造成的二氧化碳，應有助於減緩全球暖化的問題，因此太陽能的開發與利用就愈發顯出其重要性。

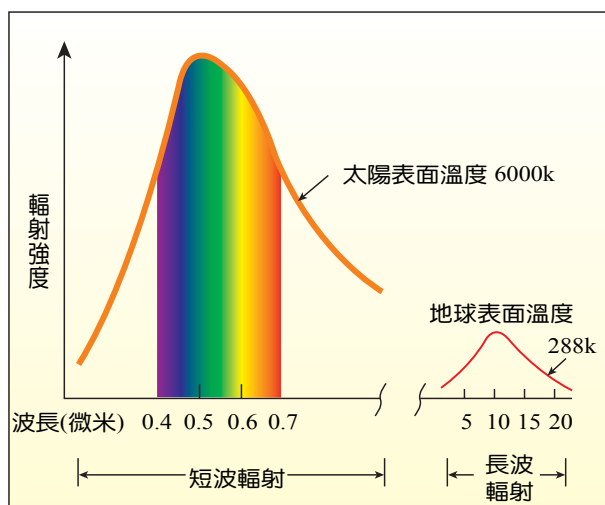
太陽能

1. 太陽能的來源

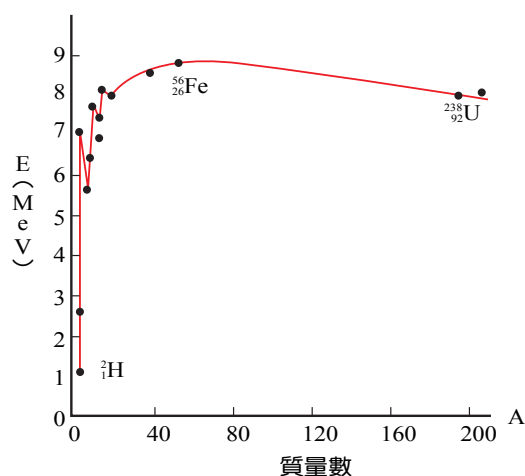
太陽是個高溫的熾熱火球，藉由光譜分析可推知太陽的主要成分是氫與氦（氫占 71%，氦占 27%）。太陽不是一個均勻的天體，由內到外的溫度與密度並不相同，愈靠近太陽的中心，其溫度愈高。由太陽光譜並根據維恩位移定律（Wien displacement law）

$$\lambda_{max}T = 2.90 \times 10^{-3}m \cdot K$$

可得出太陽表面的溫度約為 6000K。而要產生足以抵抗太陽本身重力的輻射壓力，其核心處的溫度更必須高達攝氏千萬度（ 1.5×10^7K ）以上。這個高溫的核心，便是照亮整個太陽系的能量泉源，也是創造出地球上所有生命的源頭。在太陽核心處的高溫、高壓環境下，促成氫核聚變（核融合）為氦核而放出巨大的能量。在這個核聚變的反應中，氫核如同燃料，而氦核就像是燃燒後的灰燼，在四個氫核（質量為 $4.0291u$ ）聚變為一個氦核（質量為 $4.0015u$ ）的過程中，根據愛因斯坦著名的質量—能量等效（the equivalence of mass and energy）公式： $E = mc^2$ ，可計算出對應聚變過程的質量虧損所釋放的能量為 25.71 百萬電子伏特。換言之，每有 1 公克的氫聚變成氦，所釋出的能量約為 1.5×10^{11} 卡。按照目前太陽輻射的功率來看，太陽在 100 億年中所燃燒掉的質量，僅僅占其總質量的 0.06% 而已，這也就



▲太陽與地表的輻射波譜



▲每個核子的平均束縛能與質量數的關係圖：由此圖可知，當氫核聚變成氦核時，其平均束縛能的增加量，明顯的比鈾核進行分裂時為多。

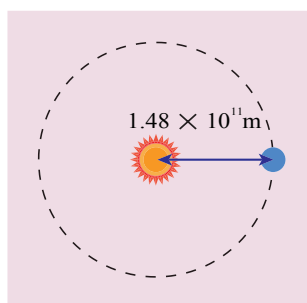
說明了為什麼太陽能是一種源源不絕的能源了！

2. 太陽常數

太陽所釋放的輻射能究竟有多少呢？根據史蒂芬—波茲曼定律（Stefan-Boltzmann's law）得知，熱體在單位時間中釋出的輻射能 P 與熱體的絕對溫度 T 、熱體的表面積 A 的關係為：

$$P = e (5.67 \times 10^{-8}AT^4) \text{ 瓦特}$$

上式中， e 稱為發射率（emissivity）。發射率與物質的表面性質有關，表面光滑、反光能力強時，其發射率較低；反之，表面粗糙、顏色暗淡時，其發射率較高。根據表面發射輻



射能力的高低，將發射率的數值定於 0 與 1 之間。假定太陽的發射率為 $e = 1$ ，已知太陽半徑為 6.95×10^8 公尺，表面溫度為 $6000K$ ，則每秒

鐘由太陽表面輻射出的能量 P_s 為：

$$P_s = (5.67 \times 10^{-8}) \times 4\pi (6.95 \times 10^8)^2 \times 6000^4 = 4 \times 10^{26} W$$

考慮以太陽為中心，以地球—太陽間的平均距離為半徑的球面時（地球就位於此球面上），則該球面上單位面積通過的輻射強度 I_s 為

$$I_s = \frac{P_s}{4\pi (1.49 \times 10^{11})^2} = 1.5 kW/m^2$$

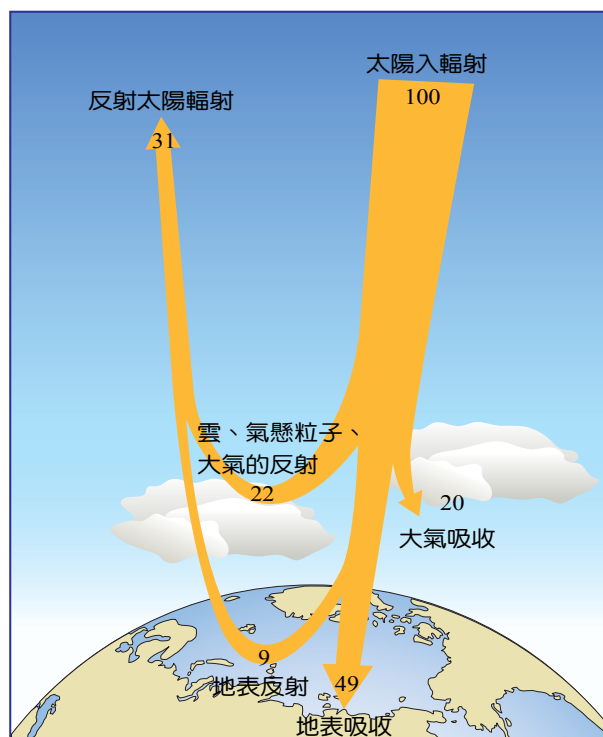
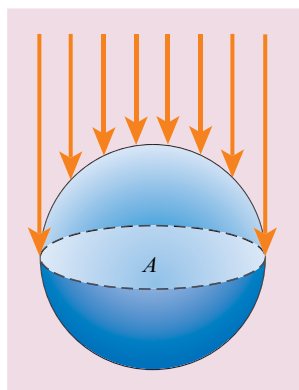
上面這個數值，就是到達地球的太陽能在單位面積上的輻射功率，這個常數也稱為太陽常數（solar constant）。

3. 地表接受的太陽能

地表上單位面積所接收到的太陽能輻射功率，由大氣層的作用，其值比太陽常數為小。當陽光進入地球的大氣層時，會被大氣中的雲、氣體與其他微粒吸收、反射或散射，因此到達地面的太陽能，約只有太陽常數的一半，意即垂直照射地表單位面積的輻射強度 I_E 約為：

$$I_E \approx \frac{1}{2} I_s = 0.75 kW/m^2$$

考慮同一時間內，只有半個地球受到陽光的照射，由於不同緯度處陽光照射的角度不同，因此不可能各處單位面積上的太陽能輻射功率都是相同的，但整個半球所接受的輻射功率 P_E ，可以取通



▲以進入大氣層的太陽能為 100 個單位時，則地表所吸收的太陽能為 49 個單位

過地心的大圓面積 A 來計算，其值為

$$P_E = AI_E = \pi \times (6.371 \times 10^6)^2 \times 0.75 = 9.6 \times 10^{13} kW$$

將太陽發出的輻射功率與地表接收的輻射功率比較：

$$\frac{P_E}{P_s} = \frac{9.6 \times 10^{13}}{4 \times 10^{26}} \approx 10^{-13}$$

雖然地表接收的太陽能，只有太陽發出總能量的九牛一毛，但這區區的能量，對全球而言已經綽綽有餘了。舉個例子來說，假定陽光垂直照地面，且照射地面的太陽能都是以輻射方式散失而達成熱平衡，令地面的平均絕對溫度 T 時，則由史蒂芬—波茲曼定律與能量守恆定律可知

$$e_E \times \frac{1}{2} \times 0.75 \times 10^3 = e_E \times (5.67 \times 10^{-8}) \times T^4$$

上式中 e_E 表地表的發射率，而式中左邊乘 $\frac{1}{2}$ 是因為一天當中只有半日受到陽光照射，則由該

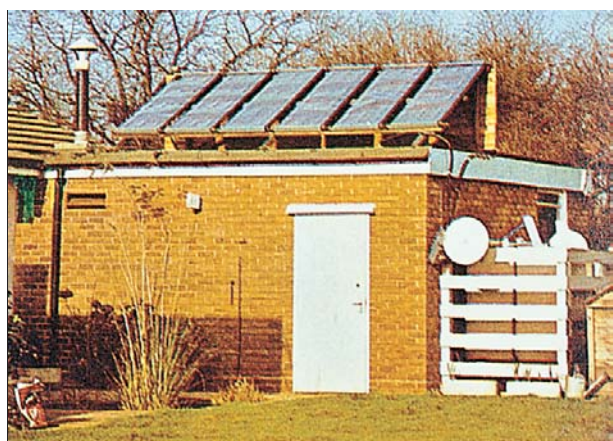
式可解得地表在一日中的平均溫度 $T = 285K$ 或 12°C 。

利用太陽能的方式

我們使用太陽能時，往往會先將其轉換為別種形式的能量，如熱能、電能、化學能等，再加以利用。下面將針對四種太陽能的主要轉換方式—熱轉換、光電轉換、化學轉換與生物轉換，做簡單扼要的說明。

1. 太陽能的熱轉換

陽光的熱力通常利用集熱器來收集，常見的平板式集熱器是一塊塗黑的平板，在平板中有許多管子，可讓水流通過，以吸收陽光的熱



▲位於屋頂上的集熱板，吸收太陽的熱力，以加熱管線中的水，在冬天除可提供熱水使用外，還能在室內散發熱氣抵禦寒冬。



◀▲太陽爐：高塔周圍的面鏡將陽光聚焦於高塔上，產生很高的溫度。

能。在平板上方加上透明玻璃板，利用溫室效應來增加聚熱效果，其工作溫度往往可高達 70°C 。如將太陽能集熱器與其他裝置組合，可形成多種不同的用途。例如太陽能熱水器，將集熱器與絕熱良好的儲水罐組合起來，可提供小家庭的熱水與暖氣；太陽能蒸餾器，可將鹽水淡化為飲用水，在晴天時，每平方公尺的太陽能蒸餾器可產生五公斤的水，因此在歐洲與拉丁美洲的許多國家，已經利用建立大型的太陽能蒸餾器，作為部份不易取得淡水地區的供水。太陽爐是另一種陽光熱能的利用方式，其集熱方式與平板式不同，它是利用精密的光學儀器與控制系統，以反射的方式，將陽光集中於很小的區域，以造成極高的溫度。利用這種方法造成的高溫，不但可用於科學的研究，也可以用於發電。

2. 太陽能的光電轉換

太陽電池 (photovoltaic cell) 是一種將太陽能直接轉換為電能的裝置，這種裝置最早是使用於軍事與人造衛星上，近來則廣泛的運在 日常生活中。太陽電池是由矽半導體製成，當入射光照射到太陽電池時，利用半導體中產生的電子—電洞，可產生電壓。由於現階段太陽電



▲太陽能發電系統，將多個太陽電池串聯在一起，可產生更大的電壓。

池的轉換效率還不是很高（約 7~14 %），且材料的價格仍屬昂貴，因此只用應在一些特殊場合，如人造衛星、太陽能車，或電力需求甚小的系統上，如小型計算器、電子錶等。

3. 太陽能的化學轉換

氫氣是一種優質的燃料，不論是液態氫或固態氫，與常用的汽油相比，其燃燒所得熱能約汽油約三倍。更重要的是，氫氣燃燒的產物是完全沒有污染性的水。過去傳統上取得氫的方法都與石化工業的副產品有關，因此無法用氫氣燃料來取代石化燃料。但目前已能夠利用太陽能產生的高溫使水遇觸媒反應而生氫，或是利用熱化學循環水分裂法，在甚高溫度下，以化學反應置換出水分子中的氫和氧。

4. 太陽光的生物轉換

利用植物的光合作用，可將太陽能轉變為化學能，儲存於植物體內，進而作為燃料使用。例如以甘蔗為原料生產的酒精與汽油混合後，也可作為汽車的燃料。又如若干有機廢物分解後的沼氣，也可用來發電。

太陽能應用的展望

雖然太陽能似乎取之不盡、用之不竭，且應用的領域與方式，也五花八門，不勝枚舉，但是至今仍無法成為能源的主流，細究其因，一來是因太陽能的利用，明顯受制於日夜變化、地理位置與氣象變化。二來則是太陽能的能量密度偏低，這使得要獲得足夠的能量，就必須有極大面積的集熱器，與能量轉換效率更高、更好的能量轉換裝置，但這就意味著需要更高的建設成本。儘管太陽能有上述的先天缺點，目前研究的突破仍然有限，但是就太陽能取得容易、分布廣泛、且無任何污染的特性來看，發展太陽能仍然是非常值得期待與努力

的。畢竟，留一片青山綠水的天地給後代子孫，應是我們這一代人應該肩負的責任與使命吧！

參考資料

1. Bruce Chalmers, 1963, ENERGY, Academic Press, p.125-136。
2. 浙江教育出版社翻譯（2002年），科學探索者—環境科學，p.164-178。
3. 陳明德，誰在操縱氣候變遷，科學人中文版 2003年11月號，p.44-45。
4. Sarah Simpson, 太陽把地球暖化了？，科學人中文版 2003年7月號，p.20。
5. 王執明主編（2002年），物質科學地球科學篇（下），龍騰文化出版公司，p.28-31。
6. 金祖孟（1992年），地球科學概論，五南圖書出版公司，p.54-56。
7. 褚德三主編（2002年），基礎物理（全），龍騰文化出版公司，p.188。
8. 國立編譯館主編（1999年），國民中學理化第四冊，p.96-97。
9. 中華民國太陽能及新能源學會，網址：<http://www.solar.org.tw>。
10. 世界太陽能車競賽，網址：<http://www.wsc.org.au/>
11. 太陽能應用，網址：<http://energyworld.ee.kuas.edu.tw/powerworld/main/chap04-topics/2-topics/88/CSL/chap2.htm>
12. 能源世界展望中心，網址：<http://www.tnssh.tn.edu.tw/TeachWeb/89hpcontest/c018/vision.htm>
13. 吳貽謙，科學月刊，網址：<http://library.kmsh.tnc.edu.tw/science/ontent/1975/00100070/0009.htm>