

第一章

太陽能發電概述

- 1.1 太陽能電池和太陽能發電
- 1.2 太陽能發電發展史
- 1.3 太陽光發電和環保的關係
- 1.4 太陽能發電的過去、現在和未來
- 1.5 太陽能發電的現狀與趨勢

1.1

太陽能電池和太陽能發電

1.1.1 太陽能

太陽能的熱能利用和光能利用是其兩個最重要的應用領域，之所以特別引人注目，是由太陽能的特殊性所決定的。太陽能具有如下優點：

- ① 儲量巨大；
- ② 不會枯竭；
- ③ 清潔能源；
- ④ 不受地域限制。

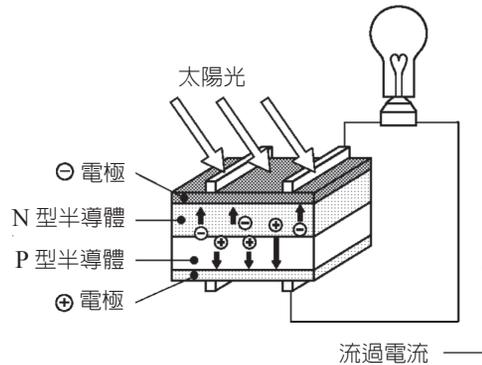
到達地球的太陽能，在大氣圈外的太陽光強度為 1.38 kW/m^2 ，其中有 30% 向宇宙反射，殘餘的 70% 可到達地球。太陽的壽命據推算達幾十億年，所以太陽能可稱為無窮大能源。由於太陽距地球約 $1.5 \times 10^8 \text{ km}$ ，故有害的放射能不會對地球產生影響。此外，太陽能不會產生 CO_2 等有害物質，不會引起地球暖化，是一種清潔能源。

火力發電或原子能發電所需的燃料常受到地域限制，而太陽能沒有地域性的差別，是一種無所不在的能源。在這方面它和電腦的互聯網有些相似。

太陽能的缺點是能量密度低、容易受氣候條件的影響，不具備蓄電功能等。因此，對於大容量的太陽能發電裝置，需要附加儲能設備，例如蓄電池組，或把太陽能發電系統和交流電網聯網進行能量互補。此外，太陽能發電本身雖然沒有對環境造成污染，但太陽能電池、電力電子變換裝置的製造過程仍會產生環境污染，這在綜合發電效益時也應加以考慮。

1.1.2 太陽能變為電能

太陽能電池主要由半導體矽製成。半導體的導電性能介於導體和絕緣體之



☀ 圖 1-1 光生電原理

間。在半導體上照射光後，由於其吸收光能會激發出電子和電洞（正電荷），導致半導體中有電流流過，這可稱為「光發電效應」或簡稱「光電效應」。

下面就矽晶體做成的半導體加以說明。眾所皆知，摻有磷雜質的矽含有多餘電子，稱為 **N 型半導體**；摻有硼雜質的矽含有多餘正電荷，稱為 **P 型半導體**。若將兩者結合，稱為 **PN 接面**，這就是半導體器件的最基本結構。太陽能電池同樣是利用了 **PN 接面** 的光電效應。

在 **PN 接面** 中，**P 型半導體** 的電子受到拉力，**N 型半導體** 的正電荷受到拉力，在接面處形成正負抵銷的區域，形成阻擋層。此時，若有光照射，則激發電子自由運動流向 **N 型半導體**；正電荷則集結於 **P 型半導體**，進而產生了電位勢。如果外接燈泡（負荷），就有電流流動。光生電的工作原理如圖 1-1 所示。

1.1.3 利用太陽能進行分散型發電和供電

- ① 對難於供電的無電地區，如上所述，由於太陽能具有不受地域限制、無處不在的特點，可將太陽能發電用於遠離大陸的海島燈塔、距離城市遠的山區小屋、山頂的無線電轉播臺等最能發揮太陽能發電優勢的地區。
- ② 能減少輸電損耗。由於太陽能發電是分散型發電，一般只需滿足本區域用電，無需遠距離送電，故減少了輸電損耗。

- ③ 對城市供電高峰時的平峰貢獻。發電設備建設週期很長，運作以後無法在短時間內增加尖峰負荷所需電力。而且城市供電的負荷十分不均衡，例如，白天比夜晚的用電量大，一般中午 13 ~ 15 時為峰值；夏季由於空調用電量要比冬季用電量增大很多。其應對的方法，如核電就用抽水蓄能電站來平峰，黑夜負荷低時，就利用多餘的電力抽水蓄能；白天負荷高時，用蓄能水力發電以削平電力峰值。太陽能發電就可以在城市電力高峰時，與交流電網並網，以補足峰值負荷的不足，產生「平峰」作用。而且太陽能發電的電力負荷曲線剛好與城市電力的需求相吻合。例如，太陽能發電輸出最大功率剛好是中午 12 ~ 15 時，太陽能發電也是夏季比冬季高。目前，國外「太陽能空調器」產品已實用化，太陽能發電提供的容量約等於空調器功率的 50%，主要產生「平峰」作用（詳見後章）。
- ④ 電源多樣化，可以安全可靠地供電。一般能源有火力、水力、核電等；新能源則有風力、太陽能等。多種能源發、供電，對一個國家的安全、可靠供電有利，將不會依賴特定的燃料供給。特別是發生自然災害之際，學校、醫院、公園都需事先設置緊急的太陽能發電備用電源。

1.1.4 小結

太陽光發電系統有如下優點：

- ① 直接利用太陽能；
- ② 光電直接變換；
- ③ 分散型發電系統。

現具體將其特點匯總於表 1-1。

表 1-1 太陽光發電系統特點

直接利用太陽能	<ul style="list-style-type: none"> · 儲量大、清潔能源 · 無所不在 · 能量密度低、受氣候影響、無蓄電功能
光電直接變換	<ul style="list-style-type: none"> · 陰雨天也可發電（發電量降低） · 構造簡單、無運動零件、使用方便、可無人化管理 · 以模組為單位選擇容量 · 可作為建材，代替屋頂和窗 · 製造所需能耗低，只要 2 ~ 3 年即可收回投資
分散型發電系統	<ul style="list-style-type: none"> · 無需供電、輸電設備 · 聯網以後對城市用電有平峰作用 · 作為新能源之一，對供電可靠性做出貢獻

1.2

太陽能發電發展史

1.2.1 太陽能電池開發史

太陽能發電發展史如表 1-2 所示。太陽光發電的歷史可以追溯到 1800 年，伯克萊氏發現對某種半導體材料照射光後，會引起其電流—電壓曲線改變。最終，發現了光電效應，並以此半導體製成太陽能電池。其後，對硒、氧化銅等半導體材料研究，同樣發現此種光電效應，也製成類似的太陽能電池。

1954 年，美國貝爾實驗室的 D. M. Chapin、G. L. Pearson、C. S. Fuller 等三名科學家利用矽晶體材料開發出性能良好的太陽能電池，其變換效率達 6%，經過不斷改良後成為現在矽太陽能電池的原型。

表 1-2 太陽能發電發展史

年 代	成 就
1800	發現光電效應
1876	硒的光電效應研究
1904	Cu、Cu ₂ O 對光的敏感性研究
1940	PN 接面理論的研究
1954	單晶矽太陽能電池發明（美國貝爾實驗室）
1955	CdS 太陽能電池發明
1956	GaAs 太陽能電池發明
1958	在先驅者 1 號通信衛星上應用太陽能電池
1972	美國制定新能源開發計劃
1974	日本制定太陽能發電發展的「陽光計劃」
1976	非晶矽太陽能電池的發明
1984	美國 7 MW 太陽能發電站建成
1985	日本 1 MW 太陽能發電站建成
1991	制定再生新能源發電與公共電力網並網法規（德國）
1992	制定逆潮流供電與公共網並網法規（日本）
1994	住宅用太陽光發電系統技術規程（日本）
2003	RPS 法（新能源法案）（日本）

在應用方面，矽太陽能電池最早用於人造衛星（美國先驅者 1 號）的電源，接著用於孤島的燈塔、遠離城市的山頂無線電中繼站等特殊場合。

1976 年，美國 CA 公司的卡爾松發明了非晶矽太陽能電池。該電池的變換效率雖低於單晶矽，但製造時可以任意選配電壓電流比，故大量用於計算機、手錶和各種家用電子產品作為電源。

下面簡述各國「新能源政策」對太陽能發電的促進作用。由於太陽能電池較其他能源價格高，目前，它在與一般能源（火力、水力發電）的競爭中尚處於劣勢地位，需要政府在政策與法律方面給予資助才能促進其發展與普及。例如，德國在 1991 年發佈了鼓勵「再生能源發展法」，從法律上規定，電力公司有義務以一定合理價格，收購太陽能發電的多餘電力。日本從 1992 年開始

規定電力公司收購太陽光發電和水力發電等分散型電源的多餘電力的具體辦法（例如，安裝逆潮流電度錶及如何計價）。2003 年，日本又頒佈 RPS 法（新能源利用的特別措施），其內容包含設立清潔能源電力發展基金和市民安裝小型太陽能發電裝置的資金補助（一般補助金額可達全部設備購置費的 50%）。以上政策措施均對太陽能發電等新能源的發展產生了促進作用。

日本從 1994 年開始制定住宅用太陽光發電系統的規劃，預計到 2010 年實施的總發電量目標為 $5 \times 10^9 \text{ W}$ 。

1.2.2 產量和價格的變化

由於各國對新能源開發的重視，太陽能電池產量逐年增加；由於研發經費的大量投入，也使太陽能電池的價格逐年下降。從圖 1-2 可以看出，全世界太

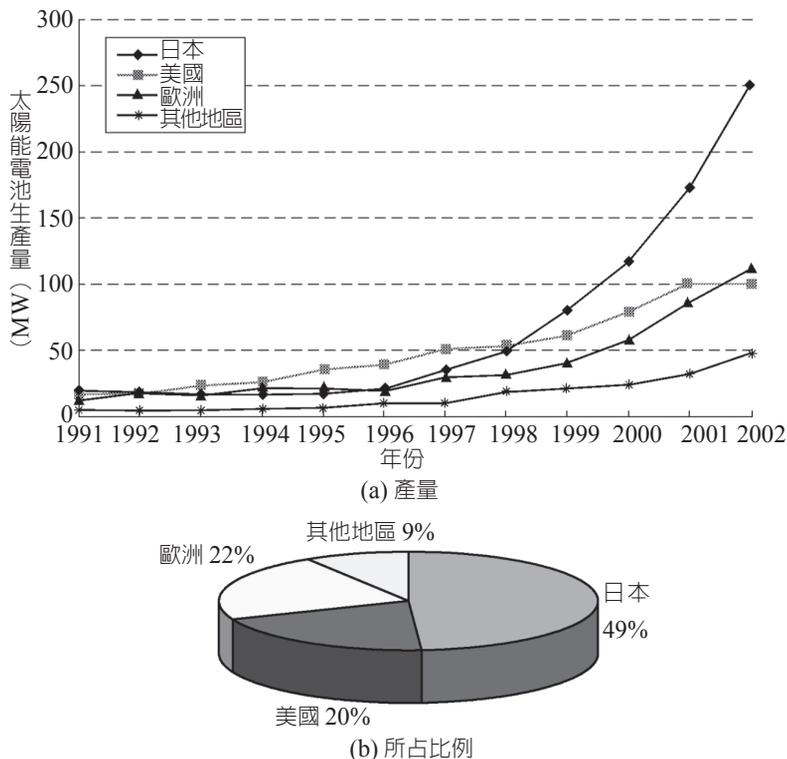


圖 1-2 全世界太陽能電池產量分布

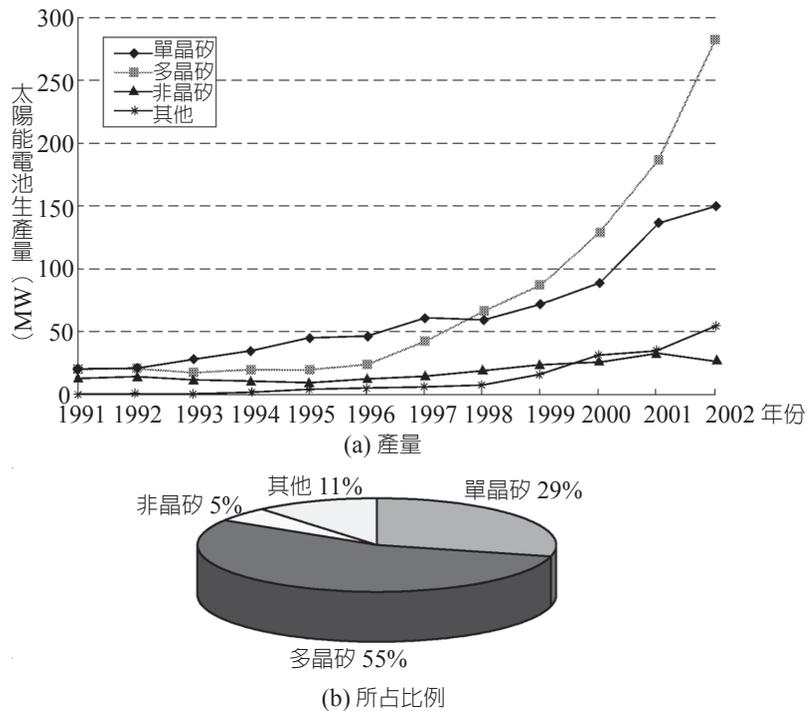


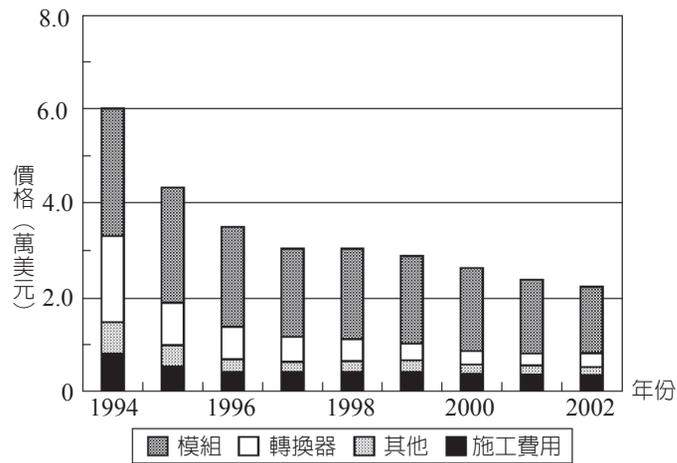
圖 1-3 已生產的太陽能電池中不同材料的分布

太陽能電池產量有逐年增加的趨勢。圖 1-3 則表示太陽能電池的幾大類別在總產量中所占的比例。其中，單晶矽和多晶矽太陽能電池占總量的 84%。

1.2.3 太陽能發電系統和太陽能電池的價格

太陽能發電系統的廣泛開發與普及，關鍵問題在於太陽能電池價格的降低。一般單個住宅所需的電力容量約為 3 kW。現以此來計算其平均價格，圖 1-4 表示 1994 ~ 2002 年 3 kW 級太陽能發電系統價格下降的情況。

由圖可知，總費用在 8 年間大概降低了 2/3，但以 2000 年為例，模組價格占總費用的 68%，轉換器占 11%，其他占 8%，施工費用占 13%，其中模組費用所占比例較大；到 2002 年，即使總費用降低約 2/3，但模組的價格變化不大。因此，努力降低太陽能電池的成本，依然是全世界新能源界奮鬥的目標。



☀ 圖 1-4 3 kW 級太陽能發電系統價格的變化

1.3

太陽光發電和環保的關係

1.3.1 3E 的概念

經濟、資源、環保是困擾現代社會發展的三大問題，簡稱為 3E (Economy Environment Energy)。要發展經濟首先要有資源，約 50 萬年前人類發現了「火」，直至今日仍大量消費石化燃料。隨著工業化的推進和人口的增長，資源的消耗量日增，進而可預見若干年後會出現資源危機。圖 1-5 所示為世界能源的可採年數。

除資源枯竭問題外，在石化燃料的使用過程中，環境保護也是不容忽視的問題。環保問題以地球暖化和酸性雨為代表，地球暖化是由於二氧化碳、臭氧層等的作用，使地球吸收到的太陽熱能很難釋放到大氣層外，導致地球的溫度每隔 100 年上升約 1°C。此外，石化燃料燃燒過程中產生的二氧化碳、氧化硫等又製造了酸性雨。因此，1997 年第三屆控制排放物的京都國際環保會議 (COP3) 成員 (不含中國大陸) 研究 2002 ~ 2012 年 10 年間排放量需逐年減

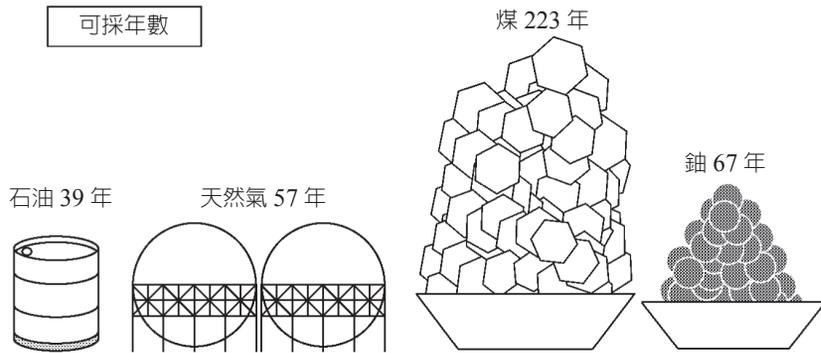


圖 1-5 世界各種資源的可採年數（據 2001 年「世界能源會議」資料）

少 6%（與 1990 年比）。要想做到這一點，除改善現有一般發電設備的排放條件外，重要的是開發新能源，其中首選的是太陽能發電和風力發電。

1.3.2 各種發電設備價格、性能的比較

這裡所述的價格包含 kW 投資額（回收年數）和發電價格（元 / kWh）；而性能除技術上含義外，重點是分析環保及社會效益。

1. 電價

現羅列全部發電設備的類別。其中，一般能源四種：火力（煤、石油），火力（LNG 天然氣），水力，核電；新能源兩種：太陽能和風力。其電價（元 / kWh）的比較見圖 1-6。

由圖 1-6 可知，若以火力發電（煤、石油）的電價為 100%，則太陽能發電的電價為 300%。若要提高太陽能發電的競爭力，應致力使電價降低一半。

電價的確定，主要依據設備初投資和回收年限，以及設備使用壽命這幾個因素。現將太陽能發電和核電投資作比較。如果僅從初投資一項看，設太陽光強度為 1 kW/m^2 ，1 天用 4 小時，設備利用率為 $4/24 \approx 17\%$ ，變換效率 0.8，以此和核電比較，每千瓦的投資只有核電的 1/5。當然，比較不僅是初投資一項，還要考慮壽命和回收年限。