

尖峰用電新救星—— 太陽能空調技術的應用

呂錫民

每逢日照最高峰的時刻，也是冷氣空調負載最高的時候。目前最迫切的課題是如何選擇合適且有效率的技術，從太陽擷取最大的能量，滿足空調的能源需求。

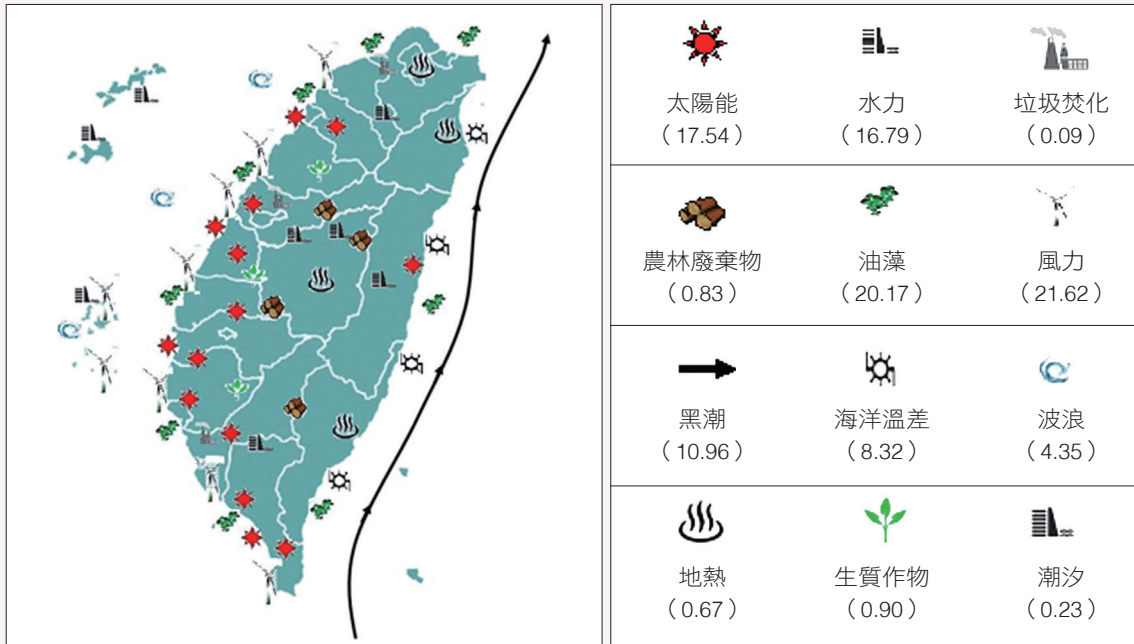
太陽能是一種潔淨能源，只要太陽照得到的地方就可獲取。科學家預估穿透大氣層到達地球表面的太陽能量是 $1.74 \times 10^{17} \text{W}$ ，而目前全世界的所有能源消耗是 $1.84 \times 10^{13} \text{W}$ ，約為太陽能照射量的萬分之一。因此，有人認為太陽能是具發展潛力的再生能源之一。

台灣再生能源蘊藏量豐富

台灣能源供應 97% 以上仰賴進口，能源安全一直是政府制訂能源政策的首要議題。發展再生能源不但有助於能源供應的獨立自主，更可達到經濟發展與環境保護的效益。筆者曾評估我國各項再生能源的可開發蘊藏量，包括太陽能、風能、生質能、波浪能、潮汐能、地熱、水力 7 項，這些都是具有可商業化成熟技術的項目。

依據估算，7 項再生能源中以風能最具潛力，蘊藏量高達 21.62 kWh / p-d （度 / 人日）；其次是太陽能 17.54 kWh / p-d 、水力 16.79 kWh / p-d 、海洋能 4.58 kWh / p-d 、生質能 4.55 kWh / p-d 、地熱 0.67 kWh / p-d 。若把生質能視為初級能源，並假設初級能源轉換成電力的平均效率是 40%，則這 7 項再生能源蘊藏電力合計約為 63.02 kWh / p-d ，大約是 2014 年全國總發電量的 2 倍。除了上述可商業化再生能源外，如果加上油藻、海洋溫差發電、黑潮等未來的再生能源，我國再生能源的蘊藏量更是驚人。

台灣本島西部與南部的再生能源蘊藏量雖然豐富，但是人口密度頗高，實際開發可能有困難。另一個再生能源蘊藏量大的地區是澎湖，不但地理位置獨立，人口不多，且蘊藏著多樣再生能源。澎湖地區地處離島，傳統能源缺乏，加上運輸不便，如果能夠詳細規劃與開發豐富的再生能源，不但能源供應可獨立自主，也可替我國豎立一個開發潔淨能源的典範特區。



我國各類再生能源蘊藏量分布圖（表格數字是各種再生能源的潛力，單位是 kWh / p-d）。

化石燃料的最佳替代方案

任何國家的科技和經濟成長與該國的可供能源息息相關，而可供能源的多寡往往反映在人民的生活品質上。在上兩個世紀，人們一直是使用化石燃料，並且把它當作主要的能源。然而，燃燒化石燃料所產生的負面環境衝擊，例如溫室效應、全球暖化甚至氣候變遷，讓人們對使用化石

能源的關切與日俱增，繼而轉向積極尋找及開發其他替代能源。到目前為止，再生能源是能夠減少化石燃料燃燒的最佳替代方案。

一般再生能源包括：生質能、地熱、水力、波浪能、太陽能、潮汐能。雖然目前不太可能以再生能源完全取代傳統能源，但是可期待滿足大部分能源需求，並有效地減少化石燃料的使用。再生能源中又以

我國各項可商業化再生能源蘊藏電力的統計（單位：kWh / p-d）

	太陽能	風能	生質能	海洋能	地熱	水力	合計
蘊藏量	17.54	21.62	1.82	4.58	0.67	16.79	63.02
占比	27.8%	34.3%	2.9%	7.3%	1.1%	26.6%	100%

註：生質能包括垃圾焚化、農林廢棄物和生質作物，海洋能則包括波浪能和潮汐能。

太陽能特別受到關注，因為它取之不盡、用之不竭、乾淨無污染且隨處可得。太陽能應用包括太陽光電能與太陽熱能兩種，後者廣泛地應用在吸收式冷凍和空調系統中。

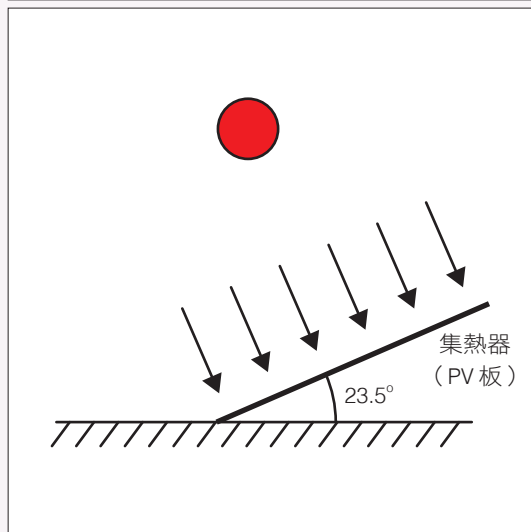
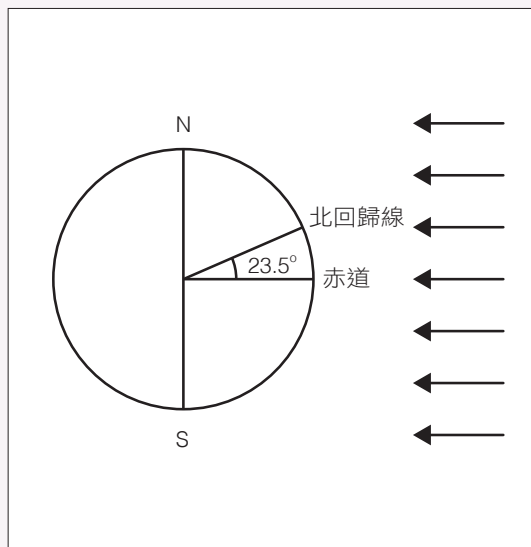
台灣太陽能蘊藏量驚人

台灣地處亞熱帶，日照時間長、日光偏斜角度小，非常適合發展太陽能。太陽能除可提高能源供應安全度外，更對紓解尖峰用電負荷有立即幫助，台灣夏季、中午需供應冷氣空調的大量電力，剛好可由炎夏太陽所產生的能量來供給。

依據內政部統計資料，2009年8月的台灣人口總數約為2,300萬，土地面積有3.6萬 km^2 ，人均土地面積是 $1,560\text{ m}^2/\text{p}$ ，人口密度僅次於孟加拉，高居全球第二。但全島 $2/3$ 土地屬高山地區，只有 $1/3$ 土地適合居住，且大都集中在西南部沿海，使得台灣可安裝太陽能設施的土地面積受到很大的限制。

台灣單位面積日照量均值是 $129\text{ W}/\text{m}^2$ 。該數值的計算是先把全國土地分成數百個區域，然後加總各區域的土地面積與日照量乘積值，再把這總量除以總土地面積所得到者，其中各縣市土地面積由內政部提供，而各地區年平均日照量則由中央氣象局提供。

根據文獻，台灣的太陽能（包括太陽熱能和太陽電能）每年可供給的能源潛能約 $17.54\text{ kWh}/\text{p-d}$ ，可說是相當豐沛。其中，太陽熱能的應用主要是用水的加熱，



設置太陽能設備的傾斜角與方位角考慮因素解說圖

安裝地點在建築物屋頂，不過太陽電能（PV）光電板可當作建材與建築結為一體，例如帷幕、窗戶等，因此就建築應用而言，太陽光電的安裝潛力遠大於太陽熱能。

**再生能源中以太陽能特別受到關注，
因為它取之不盡、用之不竭、乾淨無污染且隨處可得。**

台灣太陽能預估蘊藏量綜整一覽表（單位：kWh / p-d）

	建築物	大型獨立系統		合計
		公共用地（1%國土面積）	老舊工業區	
太陽熱能	1.19	-	-	1.19
太陽電能	7.74	4.84	3.77	16.35
總蘊藏量	8.93	4.84	3.77	17.54

在台灣裝設太陽能集熱器或光電板時，多與地面（或屋頂）成 23.5° 傾斜架設，因為台灣中部嘉義市剛好位於北回歸線（北緯 23.5°）上。但太陽仍然每天隨時間改變日照角度，理論上日照效率會隨時間變化而致總體發電量產生變化。

減低碳排放的綠色能源

一項能源技術對環境尤其是氣候所造成衝擊的大小，可由它的碳排放強度來加以衡量，也就是單位產生能源所排放的二氧化碳量或當量的大小來衡量。其中二氧化碳約當量（CO_{2eq}）通常包括非二氧化碳溫室氣體，尤其是甲烷和氧化亞氮等來自人類若干活動所產生的高效溫室氣體，例如化石燃料的開採、運輸及農業部門操作。而現有化石燃料使用技術是透過富碳燃料的燃燒機制，因此具有很高的碳排放強度。

相反地，再生能源技術例如太陽能雖然在設備製造時會排放溫室氣體，但在操作時幾乎不會有任何排放。因此，以太陽熱能或電能替代高排放強度能源，將有助

舒緩目前嚴重的碳排放，舒緩的程度則依據不同替代的傳統能源種類與數量而定。依據文獻，與傳統蒸氣壓縮式製冷系統比較，在每 kW 製冷效果下，太陽熱能製冷技術所減少的二氧化碳排放是 230 克。

太陽熱能也可在全球加熱能源需求上做出一番卓越的貢獻。全球對於熱能的需求，在經濟合作發展組織國家中占最終能源使用的 47%，遠高於電力的 17% 和運輸的 27%。因此，利用地球上充沛的日照，使用太陽熱能不但能達成緩和氣候變遷和能源安全這兩大能源政策目標，並且除了在夏季能夠利用太陽熱能技術滿足製冷需求外，在冬季也可滿足部分的供暖需求。

太陽能空調技術

在空調的能源需求上，太陽能正是所有再生能源中最適當的一種，因為每逢日照最高峰的時刻，也是冷氣空調負載最高的時候。目前最迫切的課題是如何選擇合適且有效率的技術，從太陽擷取最大的能量，滿足所要求的能源需求。太陽電力與

再生能源技術例如太陽能雖然在設備製造時會排放溫室氣體，但在操作時幾乎不會有任何排放。



普及率高達 6.63% 的我國太陽能熱水器（系統），在中南部民宅屋頂隨處可見。

熱能兩者都可用於空調系統的驅動，最先是應用太陽光電板產生電力來驅動傳統製冷系統，接著才是應用太陽熱能來驅動吸收式製冷系統的發生器。

學者曾就能源效率和經濟可行性比較這兩種太陽能驅動機制，結果使用太陽光電板的電力製冷系統的價格比使用太陽熱能的價格高。這是因為使用太陽光電板僅能把少量的入射日照轉換成電力，理論上它的最高效率是 35%，商業普通光電板效率則在 15% 左右。相反地，太陽熱能理論上能夠把 95% 的入射日照轉換成可用能量，連普通市售太陽能集熱板的能源效率都在 60% 以上。由於這些優缺點，使得最近的製冷技術研究都比較偏向太陽熱能應用。

與傳統蒸氣壓縮式冰水機或空調機比較，在相同製冷容量下，太陽熱能製冷系統能夠省下 80% 的電力消耗，特別是在辦公室建築空調上。基本上，太陽熱能製冷系統是辦公室建築一項十分犀利的節能工

具。在太陽熱能製冷系統中，太陽能集熱板的成本約占總成本的 50 ~ 80%，這數值大小與太陽熱能製冷冰水機的操作溫度高低有很大的關係。化石燃料價格逐步上漲，太陽能集熱板價格卻往下跌，而且技術與效率不斷改善，這因素對提升太陽熱能製冷系統安裝量越來越有利。

然而在目前商業應用市場上，太陽光電空調比太陽熱能空調普遍。太陽熱能空調技術主要瓶頸在於性能係數（COP）值過低（2.0 以下），相對於傳統電力驅動空調機（COP 約 3.0），在製冷效果與成本上相去甚遠。另外，太陽能集熱面積太大，系統過於複雜，一般太陽熱能系統也不適合在高樓大廈中安裝。相對地，使用太陽電能系統，光電板發電量與日照量成正比，剛好可減少夏季尖峰用電負荷，因而降低基載運轉容量，同時可減少溫室氣體排放，達成緩和全球氣候變遷衝擊的終極目標。

根據「國際能源總署」每年發表的《Solar Heat Worldwide》內容，由於太陽熱

能應用效率遠高於太陽光電，目前在全球陽光帶尤其是赤道地區／國家紛紛建立「聚焦型太陽熱能電廠」（concentrated solar power, CSP）。即使在全球第一石油生產國沙烏地阿拉伯，也宣示將在 2050 年實現完全使用 CSP 進行全國供電的願景。

另一項十分具有潛力的太陽熱能空調應用技術是太陽能通風系統。這系統利用熱管低溫沸騰特性，太陽能集熱板吸收太陽輻射熱，通過集熱板下多根熱管把輻射熱傳送至另一端散熱鰭片陣列，而處於散熱鰭片陣列間的空氣會被加熱，進行自然對流向上排放，引發空氣持續流動，達到通風效果。

太陽能通風系統的特點是當日照越強烈時，系統吸收更多太陽能輻射熱，讓通風效果越好。另外，它能完全利用太陽能輻射熱運作，不需額外電源或動力就可達到通風效果。同時，系統不需要機械活動件進行運作，安裝也對周邊環境沒有影響，可應用範圍相當廣泛，能解決偏遠缺乏電力供應地區對通風系統的需求。應用地點包括一般工廠、倉庫、學校、農場、家庭及無線基地台通風散熱，尚可與具溫制功能的進風系統整合發展為太陽能恆溫溫室。

台灣適合太陽能空調應用

以台灣為例，隨著經濟成長、基本家電種類隨之增多，年用電量也隨之大幅增加。在住宅部門當中，耗電量最大的項目為空調設備，約占 33%，亦即約 122.56 億度電／年。而在夏季，其占比更可達 40% 以上，空調用電是造成限電危機的主因。依據統計，南部平均每戶住宅的年用電量高於北部，除了導因於南部的獨立住宅比

率較高外，另一個原因就是南部住戶使用空調的時間比較長。

相較於住宅節能，商業耗能的情況較為複雜，因為各種行業的規模以及耗能結構都有相當大的差異。一般而言，空調用電占服務業總耗電量的 20～50%，其中，冰水主機的耗電又約占空調用電 50% 以上。

處於亞熱帶地區台灣，在炎炎夏日更無法不使用冷氣，據統計，台灣空調用電量約占尖峰用電量的 4 成。在用電量不斷增加的情況下，為了維持一定的備載容量率以穩定供電，避免因缺電而跳電，電力公司需要不斷建造電廠，所引發的重大社會與環保事件屢見不鮮，核四就是最佳寫照。而空調負荷與太陽日照大小成正相關，由此更顯現在台灣推廣太陽能製冷技術的重要性。

太陽能應用系統的使用能減少對傳統能源的倚賴，特別針對 97% 以上的能源需求要從國外進口的台灣，自產能源的開發與應用尤其重要。另外，台灣地處亞熱帶，日照充沛，具有足夠的潛力發展太陽能，而其中太陽能應用技術更是一項成熟的商品，長期使用可節省可觀的能源消耗。

我國推動太陽能應用技術多年，普及率已日漸提升，不過是以提供盥洗熱水用途居多。基於夏季熱水需求量不及冬季，且夏季的太陽輻射量大，因此太陽能熱水系統在夏季往往供應過多的熱水。若能開發太陽能製冷技術，設法把在夏季所吸收的多餘能量轉換成製冷所需的能量，以滿足夏季的製冷需求，將可進一步推廣太陽能的應用。

呂錫民
工研院能源與環境研究所