

陽光普照創造台灣太陽能熱水系統發展契機

張克勤* 李聰盛** 鍾光民**

*國立成功大學航空太空工程系

**國立成功大學航空太空科技研究中心

一、太陽能熱水系統

太陽是由氣體物質所構成，以核融合反應產生能量，同時直接或間接的提供地球上絕大部份的能源。當太陽射線透過地球大氣層後，一部份以平行光的方式直接投射在地表上(直達日射量)，另一部份係經空氣中氣體分子與浮游灰塵反射向四方散射(漫射)，到達地表上之直達日射量與漫射之和即稱為地球接收自太陽的輻射能。雖然人類很早即知道利用太陽能，在經歷工業革命及能源危機後，由於其無污染及取之不盡的特性，更加速相關技術的發展。有關太陽輻射能的轉換及應用，依據太陽能量密度可分為太陽能熱水系統、太陽能暖房系統、太陽能冷房及冷凍系統、太陽能發電等[1]，在低溫應用方面($< 100^{\circ}\text{C}$)主要為熱水及取暖之用途；在中溫應用方面($100^{\circ}\text{C}\sim 300^{\circ}\text{C}$)則為工業用熱及空調；在高溫應用方面($> 300^{\circ}\text{C}$)則著重於太陽能發電、冶煉及毒物分解等用途[2]。

太陽能熱水系統是利用太陽能集熱器(如平板式或真空管式)，將太陽輻射能轉換成熱能把水加熱，早在 1891 年即有產品問世，在 2001 年全世界太陽能集熱器安裝面積已經超過七千萬平方公尺[3]。其中以色列安裝密度最高，總安裝面積則以中國大陸為世界第一(約四千萬平方公尺)，其他如日本、德國、希臘、西班牙、瑞士、丹麥、土耳其、塞浦路斯、美國、澳大利亞等國家近年來亦積極推動太陽熱能的應用。太陽能熱水系統主要之組件包括集熱器、儲水槽、輔助加熱器、管路及其他相關配備(如循環泵、溫差控制器及水垢防制裝置等)。對一平板式太陽能集熱器(如圖一所示)而言，係由金屬或非金屬材質製成，截取太陽的輻射能；真空管式太陽能集熱器(如圖二所示)採用高透光性、穩定熱性能之玻璃，配合真空濺渡製程之選擇性吸收膜，轉換太陽的輻射能為熱能。輔助加熱器則是日照量不足時啟動。另外以水的循環方式而言，目前較常使用之太陽能熱水系統可分為自然循環式及強制循環式二種。一般而言，自然循環式之儲水槽須位於集熱器上方，當水在集熱器接收熱能提高溫度後，由於儲水槽及集熱器水溫之差異引起浮力(熱虹吸現象)，產生循環動力，此種循環方式結構簡單及不需動力機械操作，但是其效率較不易控制。強制循環式則是利用循環泵使水在儲水槽及集熱器之間循環，此種太陽能熱水系統之流量可預先設定，因此在同樣設計條件下，可以獲得較高之水溫。依 Khalifa [4]的研究顯示，強制循環式太陽能熱水系統之效率比自然循環式高出百分之 35 到 80，但是在選購一太陽能熱水系統時，循環泵的額外成本、操作及維護(如漏水)等問題亦必須一併考量。相關太陽能熱水系統

詳盡之介紹參閱文獻[5]。



圖一、平板式太陽能集熱器



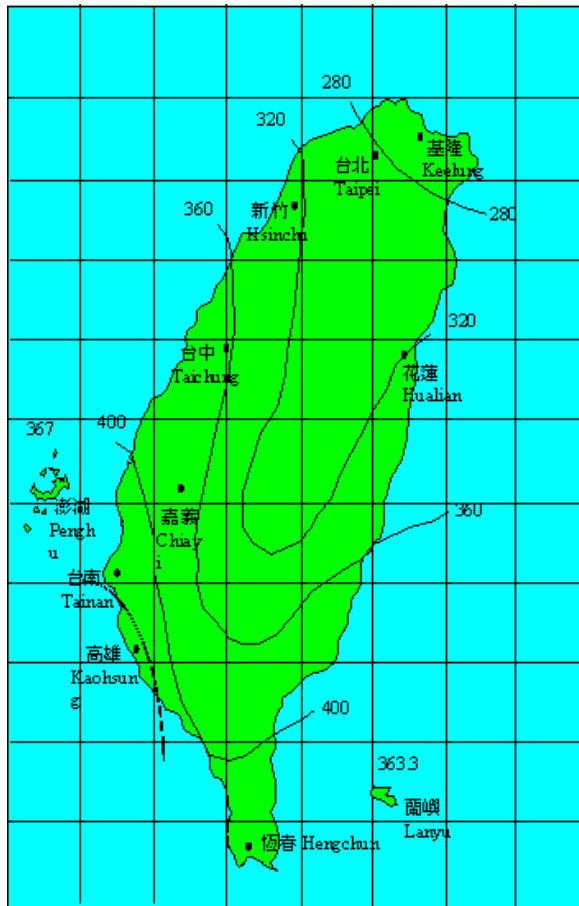
圖二、真空管式太陽能集熱器

太陽能熱水系統之集熱效率主要與日照率相關，所謂日照率係地面上單位水平面積在單位時間內實際接受之太陽輻射能，而影響太陽輻射能強度因素包括地理緯度、太陽高度角、大氣透明度、天空雲量及海拔高度等。以台灣地區位居亞熱帶而言(日照量分佈如圖三所示)，平均日照量(每日)為 326 小時，同時以台南及恆春之年日照時數最長，適合發展太陽熱能的各項應用。目前國內已有許多製造廠及代理商從事太陽能熱水系統製造與行銷。

二、推廣獎勵補助辦法

政府部門在推廣太陽能利用、增加能源供應及節約傳統能源消費的前提下，有計畫的輔導相關技術之研發及推廣安裝太陽能熱水系統。經濟部能源委員會於民國 75 年 1 月公佈實施第一期「太陽能熱水系統推廣獎勵辦法-民國 75 年至 80 年」[6]，明訂太陽能熱水系統產品及供應廠商申請要點，並依太陽能集熱器種類及有效集熱面積補助符合標準之太陽能熱水系統，其中太陽能熱水系統係指國內外產製以太陽能集熱器、蓄熱槽及其他可將太陽能應用於熱水、乾燥、冷暖房等之相關設備機器。在太陽能集熱器部份，補助的種類包括(1)金屬平板集熱器;(2)非金屬平板集熱器;(3)儲置式熱水器;(4)無面蓋式平板集熱器;(5)其他型式之集熱器。其次申請登記為太陽能熱水系統之合格產品，必須符合相關性能標準如表一所示，對於太陽能集熱器取得可用能量最大比例之性能， $F_R(\tau\alpha)$ ，採逐年提高之方式，同時亦要求減少表面散失熱量之速率， $F_R U_L$ ，以促進國內所銷售太陽能集熱器性能之提升。

自政府實施第一期太陽能熱水系統推廣獎勵措施後，國內太陽熱能產業持續成長一段時間，但是在民國 84 年以後，因國內建築業景氣下滑而隨之減緩。為因應「聯合國氣候變化綱要公約」之影響及促進我國經濟之持續成長，依據能源管理法及台灣地區能源政策，政府決定以補助獎勵措施推廣再生能源利用，並營造推廣應用環境，落實潔淨能源技術應用[7]。因此經濟部能源委員會於民國 89 年 3 月公佈實施第二期「太陽能熱水系統推廣獎勵辦法-民國 89 年至 93 年」，再次透過政府之獎勵補助，激勵國人購置太陽能熱水系統，以加速國內太陽能熱水系統的普及應用。在太陽能集熱器部份，此次補助的種類包括(1)面蓋式平板集熱器;(2)真空管式集熱器;(3)無面蓋式平板集熱器;(4)其他型式之集熱器等，性能方面($F_R(\tau\alpha)$ 及 $F_R U_L$)之最低標準則與民國 78-80 年相同。同時政府為推廣離島地區使用太陽能熱水系統產品，計算基準按其購置之太陽能集熱器種類及有效集熱面積，採取 2 到 2.5 倍的補助。此外完善之設計、高品質施工及有效率之售後服務為進一步推廣太陽能熱水系統的關鍵，因此經濟部能源委員會亦制定太陽能熱水系統技術人員、安裝銷售廠商及製造供應廠商等相關資格規定，予以登錄管理；並藉由安裝用戶之申訴制度確實要求廠商針對補助產品擔負相關售後維修責任，以期所安裝太陽能熱水系統能達到預計之使用效能，並完成推動國內再生能源利用階段性之目標。此外目前推動中之「再生能源發展條例」立法工作，擬將相關補助措施予以法制化，以落實太陽熱能應用之永續推動[8]。



單位: 小時/天

圖三、台灣地區全天日照量分佈圖
(經濟部能源委員會)

表一、集熱器性能標準(民國 75 年至 80 年)

| 項目 年 | 金屬平板集熱器 | | 非金屬平板集熱器 | | 儲置式熱水器 | | 無面蓋式平板集熱器 | |
|---------|-------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|
| | $F_R(\tau\alpha)$ 下限 | $F_R U_L$ 上限 | $F_R(\tau\alpha)$ 下限 | $F_R U_L$ 上限 | $F_R(\tau\alpha)$ 下限 | $F_R U_L$ 上限 | $F_R(\tau\alpha)$ 下限 | $F_R U_L$ 上限 |
| 75 | 0.65 | 12.0 | | | | | | |
| 76 | 0.68 | 10.0 | 0.50 | 10.0 | 0.65 | 10.0 | 0.75 | 25 |
| 77 | 0.72 | 8.0 | 0.60 | 8.0 | 0.70 | 9.0 | 0.80 | 22 |
| 78-80 | 0.75 | 7.0 | 0.65 | 7.5 | 0.75 | 8.0 | 0.85 | 20 |

三、國內太陽能熱水系統產業現況

我國對太陽能熱水系統的應用起步較晚，民國 62 年第一次能源危機後，雖有廠商引進國外產品銷售，但是由於在性能及價格上的考量，並未為一般民眾接

受。爾後相關各項技術逐漸成熟，到了民國 67 年開始有自製產品出售[9]。民國 75 年開始，經濟部能源委員會實施第一期「太陽能熱水系統推廣獎勵辦法」，太陽能熱水系統供應廠商開始遽增，從民國 75-78 年間維持在七十家的穩定數目，國產太陽能集熱器面積比例於民國 78 年超過百分之 90。在太陽能集熱器材質方面，亦由銅板銅管或不銹鋼材質取代早期之鋁板銅管，非金屬式太陽能集熱器則略有增加。當時之供應廠商即顯現出往中南部集中的趨勢。但是就各供應廠商銷售之太陽能熱水系統件數或安裝太陽能集熱器面積而言，民國 75-78 年間銷售件數多於 1,000 件之廠商僅有七家，安裝太陽能集熱器面積超過 5,000 平方公尺亦僅有八家，顯現出大多數之供應廠商非以銷售太陽能熱水系統為主要營業項目[10]。第二期「太陽能熱水系統推廣獎勵辦法」於民國 89 年 6 月開始實施，對於經營太陽能熱水系統之製造生產、輸入供應、經銷、安裝或委託製造者得申請為合格製造供應廠商或合格安裝銷售廠商[11]。在合格製造供應廠商方面，登錄之廠商超過二十家，且均座落在新竹以南，衍生之合格產品超過二百件[12]，主要使用金屬平板集熱器(不銹鋼、銅平板及銅鱗片，市場佔有率百分之 94 以上)，非金屬平板集熱器或真空管式集熱器僅為少數。在民國 89-92 年期間(89 年度受理補助期間為 6 至 12 月)，銷售之太陽能集熱器面積如表二所示，其中前 6 名合格製造供應廠商約佔整體太陽能集熱器銷售量百分之 75，另有一半以上合格製造供應廠商年銷售太陽能集熱器面積低於 1,000 平方公尺，顯示渠等之生產規模仍太小。

表二、合格製造供應廠商合格產品銷售面積

| 安裝面積(m ²) | 89 年(家) | 90 年(家) | 91 年(家) | 92 年(家) |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|
| 5000 以上 | 1 | 5 | 6 | 6 |
| 3000-5000 | 4 | 3 | 2 | 2 |
| 1000-3000 | 5 | 2 | 3 | 3 |
| 1000 以下 | 11 | 12 | 14 | 13 |

安裝銷售廠商亦為推廣太陽能熱水系統的重要關鍵者，在系統設計上必須符合消費者生活習慣，在施工上能達到預期之效能及高效率之售後服務。民國 89-92 年期間共登錄超過 170 家合格安裝銷售廠商，主要分佈在台中至屏東之間(超過 140 家)，在東部地區僅有花蓮縣三家、台東縣一家及宜蘭縣一家，在離島區域計有澎湖縣三家及金門縣一家。此外對於安裝銷售之太陽能集熱器面積而言，以民國 91-92 年期間之資料為例(如表三所示)，每年均有 39 家安裝銷售廠商年安裝太陽能集熱器面積超過 500 平方公尺，已具相當營業規模，但是同時亦有接近四分之一的合格安裝銷售廠商並無銷售業績。其次值得注意的是目前合格安裝銷售廠商集中在西部地區，因此對於東部及離島等陽光充裕地區，宜加強對水電及衛浴設備銷售廠商之宣導工作，輔導其申請為合格安裝銷售廠商，以強化此等地區之銷售管道。

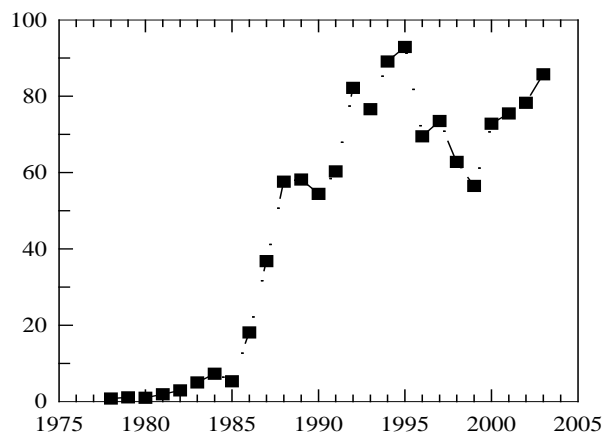
表三、合格銷售安裝廠商品安裝面積

| 安 裝 面 積 (m ²) | 91年(家) | 92年(家) |
|------------------------------|--------|--------|
| 2000 以上 | 6 | 7 |
| 1000-2000 | 14 | 7 |
| 500-1000 | 19 | 25 |
| 200-500 | 33 | 23 |
| 100-200 | 15 | 16 |
| 100 以下 | 47 | 46 |
| 0 | 38 | 51 |

依據工研院能資所對太陽能集熱器製造廠商調查資料[13]，歷年國內太陽能熱水器安裝面積如圖四所示，在民國 74 年(1985 年)以前年安裝太陽能集熱器面積均小於一萬平方公尺。經濟部能源委員會在民國 75-78 年(1986 年-1989 年)實施第一期「太陽能熱水系統推廣獎勵辦法」後，國內消費者安裝太陽能熱水系統遽增，累計安裝三萬二千套太陽能熱水系統，太陽能集熱器面積累計增加 17 萬平方公尺，至民國 78 年底(1989 年)，國內總裝置太陽能集熱器共約 19 萬 6 千平方公尺。經濟部能源委員會在民國 79-80 年(1990 年-1991 年)延長補助，雖然補助金額減半，但太陽能熱水系統之安裝量仍持續成長，也因此奠定了國內太陽熱能產業的基礎。但是在民國 84-88 年(1995 年-1999 年)期間，由於國內建築業景氣低迷，太陽能集熱器安裝面積亦隨之減少，由此亦可看出國內太陽能熱水系統之安裝是以新屋市場為主。經濟部能源委員會在民國 89-93 年(2000 年-2004 年)實施第二期「太陽能熱水系統推廣獎勵」措施，市場平均以每年百分之 5 以上之成長量，在民國 90 年(2001 年)，國內總累計安裝太陽能集熱器面積達到一百萬平方公尺，成為世界上第十大利用太陽熱能的國家[3]。此外依據第二期太陽能熱水系統推廣獎勵辦法承辦機構資料顯示[12]，在民國 90-92 年間，國內獎勵補助之年安裝太陽能集熱器面積分別為 61,410 平方公尺、71,087 平方公尺及 77,785 平方公尺，成長率分別為百分之 15.7(民國 90-91 年)及百分之 9.4(民國 91-92 年)。由申請獎勵補助之太陽能熱水系統安裝量與工研院能資所之資料比對，在第二期「太陽能熱水系統推廣獎勵」措施期間，超過百分之 97 新安裝之太陽能熱水系統皆申請政府之獎勵補助，此亦顯示現階段獎勵補助措施確實增加消費者購買太陽能熱水系統的意願，並提振國內太陽熱能產業發展，達到落實本次政府加速太陽能熱水系統普及利用之初衷。

其次由民國 90-92 年補助款申請案統計顯示(如表四所示)，安裝太陽能集熱器面積在 3 平方公尺以下者約佔總安裝量百分之 10，3-5 平方公尺者或 5-10 平方公尺者各佔總安裝量百分之 40 以上。依用水需求量、儲水槽與太陽能集熱器面積相互之關係[2]，可推估超過百分之 97 之申請獎勵補助安裝太陽能熱水系統者皆屬於家庭使用之小型系統。針對大型系統而言(如宿舍/旅館用途、溫水游泳池

或工業製程加熱)，目前國內安裝率仍偏低，仍有推廣的空間，因此政府若能進一步加強宣導(特別是觀光旅館、學生/員工宿舍等)，將有助於提升我國太陽熱能的使用率。



單位: 仟平方公尺

圖四、歷年太陽能集熱器年安裝面積

表四、已裝置太陽能集熱器面積之件數分析

| 集熱面積 (m ²) | 3 以下 | 3-5 | 5-10 | 10-20 | 20-50 | 50-100 | 100-500 | >500 | 合計 |
|------------------------|------|------|------|-------|-------|--------|---------|------|-------|
| 90 年(件) | 1188 | 5395 | 5780 | 227 | 65 | 26 | 8 | 0 | 12689 |
| 91 年(件) | 1970 | 6080 | 6260 | 267 | 94 | 16 | 6 | 0 | 14693 |
| 92 年(件) | 2056 | 7004 | 7027 | 330 | 100 | 27 | 3 | 1 | 16548 |

四、未來發展的契機

太陽能熱水系統使用潔淨、永續能源，是一套零污染之熱水設備，除了可減少進口能源及降低因使用傳統石化、核能能源所引發之外部環境成本之外，進而可提昇環境保護及家居安全，減少因使用瓦斯能源引致之火災及中毒事件。藉由推廣使用太陽能熱水系統，可落實綠色環保概念並將之植入民眾日常生活中，民眾之生活品質及國家形象也因此可提升。

其次太陽能熱水系統所產生之節能經濟效益與其裝設普及率息息相關，透過政府二階段的補助作業、深入宣導及相關技術的研發，裝設面積在近年內持續增加。且由於市場之擴張，致使廠商生產量增加，亦協助廠商之生產規模經濟化，降低生產成本。消費者購置太陽能熱水系統所需負擔之價格因此可望降低，期能進而誘導國人使用太陽能熱水系統，以落實政府降低進口能源及提升再生能源使用率之政策目標。

參考文獻:

- [1] 黃文良、黃昭睿，能源應用，東華書局，民國 91 年
- [2] 工研院能資所，太陽能熱水系統專業技術人員講習，民國 90 年.
- [3] 唐震宸、張文師、張梅英，「以色列太陽能法概要與省思，」太陽能及新能源學刊，第八卷，第二期，13-15 頁，民國 92 年.
- [4] Khalifa, A.N., "Forced versus Natural Circulation Solar Water Heaters: A Comparative Performance Study," Renewable Energy, Vol. 14, No. 1, pp. 77-82, 1998.
- [5] 呂錫民、江懷德、唐震宸，「太陽能熱水系統之應用，」中華工程師學會會刊，第六十七卷，第二期，81-90 頁，民國 92 年。
- [6] 經濟部能源委員會，太陽能熱水系統推廣獎勵辦法，民國 85 年.
- [7] 經濟部能源委員會，中華民國台灣地區能源簡介，民國 90 年
- [8] 工業技術研究院，「太陽能熱水系統推廣獎勵要點」是否延續實施評估，民國 92 年
- [9] 康國裕，「談太陽能熱水系統之推廣與獎勵，」能源季刊，第 16 卷，第 1 期，71-81 頁，民國 85 年.
- [10] 經濟部能源委員會，太陽能熱水系統推廣成果年報，民國 78 年
- [11] 經濟部能源委員會，太陽能熱水系統推廣獎勵辦法，民國 89 年
- [12] 張克勤、李聰盛、鍾光民，民國九十二年太陽能熱水系統推廣獎勵辦法補助作業期末報告，經濟部能源委員會，民國 92 年.
- [13] 唐震宸，太陽熱能推廣檢討會議簡報，工研院能資所，民國 92 年.