

我國太陽能熱水系統發展使用情形剖析

李清安

財團法人成大研究發展基金會

張克勤

國立成功大學航空太空學系

摘要

化石能源日益枯竭，開發新能源已是刻不容緩的議題，再加上全球氣候極端，環保與經濟發展並重已成普世價值，故再生能源之推廣與使用便成了最徹底的「節約能源」。而現有政府所推動之再生能源中，則以太陽能熱水系統之推廣與應用最為成功，本文以台灣之地理、天候環境，配合政府之獎勵措施，分析現階段國內太陽能熱水系統產業情況，以及民眾安裝情形，並推估其經政府近十年之獎勵補助，已累計逾百萬平方公尺安裝面積，普及率達5%，每年可節省11萬公秉油當量及減少30萬公噸二氧化碳排放，更顯其成效之卓著。

壹、前言

台灣四面環海、地小人稠，天然資源遠不敷二千三萬人口之消費使用，致使絕大多數的能源須仰賴進口，故長久以來「節約能源」即為耳熟能詳之口號與各機關團體之施政配合方向。但化石能源日益枯竭，加上使用化石能源所帶來的環境浩劫，造成全球氣候異常等議題，迫使人們開始思考：單純地「節約能源」已不足對應人類的能源使用速率與其對環境破壞速度，尤其在二十世紀末，各項再生能源技術之發展日新月異，再生能源之推廣與使用便成了最徹底的「節約能源」，而現有政府所推動之再生能源中，則以太陽能熱水系統之推廣與應用最為成功。

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。當太陽輻射出來的電磁波透過地球大氣層後，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部份氣體分子如二氧化碳、水氣等吸收後再放射，與浮游灰塵之反射向四方散射(漫射量)，到達地表上之直達日射量與漫射量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，但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，更加速相關應用技術的發展。

目前使用太陽能為再生能源的用途主要分為光電(photovoltaic)與光熱(solar thermal)兩大部分，而其中的太陽能熱水器則是目前太陽熱能運用的最成功範例。太陽能熱水系統是利用集熱器(如平板式或真空管式)，將太陽輻射能轉換成熱能再把水加熱，早在19世紀末即有產品問世，其產品則在20世紀中始漸成熟並迅速於先進國家中發展。在全世界太陽能集熱器安裝面積中以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，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。

台灣地區(含澎湖、金門、馬祖)位北半球，橫跨北迴歸線(北緯21至25度間)，就地理位置而言，位居陽光充沛處。但依據中央氣象局1993至2002年分佈於全國測候站所測得日射量之分析研究結果^[1]，全國的平均日射量約為11,746 kJ/m²day，顯示台灣因屬海島型區域，四面環海，溼度高，加上工業發達，空氣污染嚴重，故其平均日射量較同緯度之大陸型國家來得低。台灣本島在海拔500公尺以下區域的日射量，大致上呈現從東北往西南遞增趨勢，故太陽能之安裝量亦隨日射量之變化，呈現南北失衡發展。國內太陽能熱水系統之發展，始自民國62年第一次能源危機發生後，才開始有廠商引進國外產品在台銷售，再由當地廠商自行開發或與國外廠商技術合作，推出更適合台灣環境、建物型態之太陽能熱水系統產品。

貳、政府對太陽能熱水系統之獎勵作業

我國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。經濟部能源局之前身：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」，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，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(民國75~80年)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。但是為因應「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，民國88年依據能源管理法，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。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」，再次透過政府之獎勵補助，激勵國人購置太陽能熱水系統(其對可補助之產品性能要求如表一)，以加速國內太陽能熱水系統的普及應用，其旨在藉由獎勵措施激勵國人普遍裝置太陽能熱水系統，期能於2020年時再生能源占我國總能源需求比例至3%。但因該辦法不符行政程序法第150條及第174條之1規定，爰依中央法規標準法第21條第2款規定，經濟部能源局另民國92年2月6日廢止「太陽能熱水系統推廣獎勵辦法及相關作業要點」，並同時頒訂「太陽能熱水系統推廣獎勵要點及相關作業須知」替代施行。經濟部於97年12月16日經能字第09703833900號令，公告修正「太陽

能熱水系統推廣獎勵要點」，自98年1月1日起增加補助款50%(詳參表二)。經過多年研議之「再生能源發展條例」亦於98年6月12日在立法院三讀通過，同年7月8日總統公告實施，承辦機構即配合能源局及相關修法單位，進行「再生能源熱利用獎勵補助辦法」之制訂。依經濟部於99年4月12日經能字第09904601210號令，「再生能源熱利用獎勵補助辦法」於99年4月12日實施，其主要補助基準與產品性能要求皆比照前要點規定。另各地方政府針對轄境內安裝太陽能熱水系統之用戶施予補助作業者有：金門縣政府於97年3月12日、高雄市政府於97年9月1日、高雄縣政府於99年5月1日及雲林縣政府於100年1月1日起宣布加碼補助。

表一 合格產品性能規定

太陽能集熱器性能標準					
金屬平板或真空管集熱器		非金屬平板集熱器		無面蓋集熱器	
$F_R(\tau\alpha)$	F_{RU_L}	$F_R(\tau\alpha)$	F_{RU_L}	$F_R(\tau\alpha)$	F_{RU_L}
≥ 0.75	≤ 7.0	≥ 0.65	≤ 7.5	≥ 0.85	≤ 20.0
太陽能熱水器性能標準					
集熱器種類 特性效率	有面蓋 熱水器	儲置式 熱水器	無面蓋 熱水器	真空管 熱水器	
η	≥ 0.5	≥ 0.5	≥ 0.5	≥ 0.5	

備註：

$F_R(\tau\alpha)$ ：集熱器由表面受照射之日射量中獲得可用能量之最大比率。

F_{RU_L} ：集熱器表面在與大氣溫度的溫差條件下，集熱器表面散失熱量的速率。

單位：瓦/平方公尺·°C (W/M²·°C)。

註1：金屬、非金屬平板及無面蓋集熱器之性能曲線全部高於表列性能曲線為合格；無面蓋集熱器之性能曲線於 $T_i - T_a / I$ 小於0.02時，高於表列性能曲線為合格。

T_i ：集熱器入口溫度(°C)。

T_a ：大氣溫度(°C)。

I ：日射量(瓦/平方公尺)。

註2：特性效率 η 為熱水器在全天測試中儲熱桶累積收集之能量淨值佔全天照射在集熱器表面之累積日照總量的最大比值。

表二 補助金額明細表

地區	型式	原每平方公尺補助金額(元)	98年1月1日起每平方公尺補助金額(元)
本島	面蓋式	1500	2250
	真空管式	1500	2250
	無面蓋式	1000	1500
	其他型式	由經濟部核定之	
離島	面蓋式	3000	4500
	真空管式	3000	4500
	無面蓋式	2500	3750
	其他型式	由經濟部核定之	

參、產業發展情形

一、製造供應廠商：

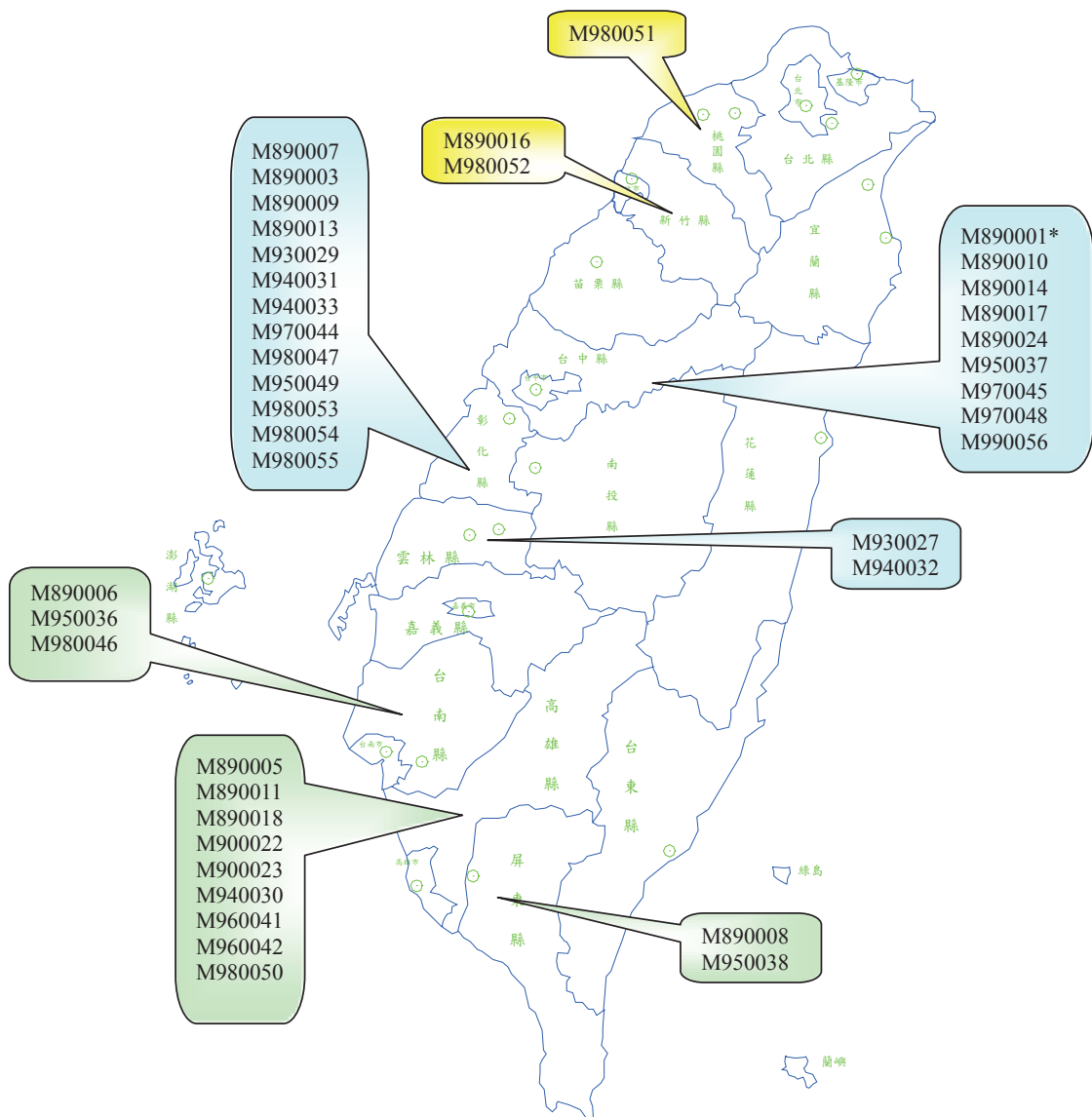
截至99年底，我國依據「再生能源熱利用獎勵補助辦法」向中央主管機關申請且完成簽訂契約之太陽能熱水系統製造供應廠商共有41家，因考量就近市場與運輸成本以及周圍相關零組件之產業聚落效應，故41家製造供應廠商全數分佈在台灣西半部地區，尤其集中在台中、彰化及高雄三個地區(如圖一所示)，其規模約在數百萬至數千萬元登記資本額之間，目前國內最大的製造廠商登記資本額為16800萬元，故大多屬中、小企業。而其市場佔有率亦呈不均勻方式，以99年度為例，前五大廠商之安裝量共佔全國總安裝面積之67.64%。

二、安裝銷售廠商：

我國至99年底依據「再生能源熱利用獎勵補助辦法」向中央主管機關申請且完成簽訂契約之安裝銷售廠商有373家，主要分佈在台中以南至屏東之中南部地區(如圖二所示)。全國各縣市中除連江縣之外，皆已登記有合格安裝銷售廠商，其中以台中縣市72家最多，而金門縣達15家，是離島地區廠商數量最多的地方。

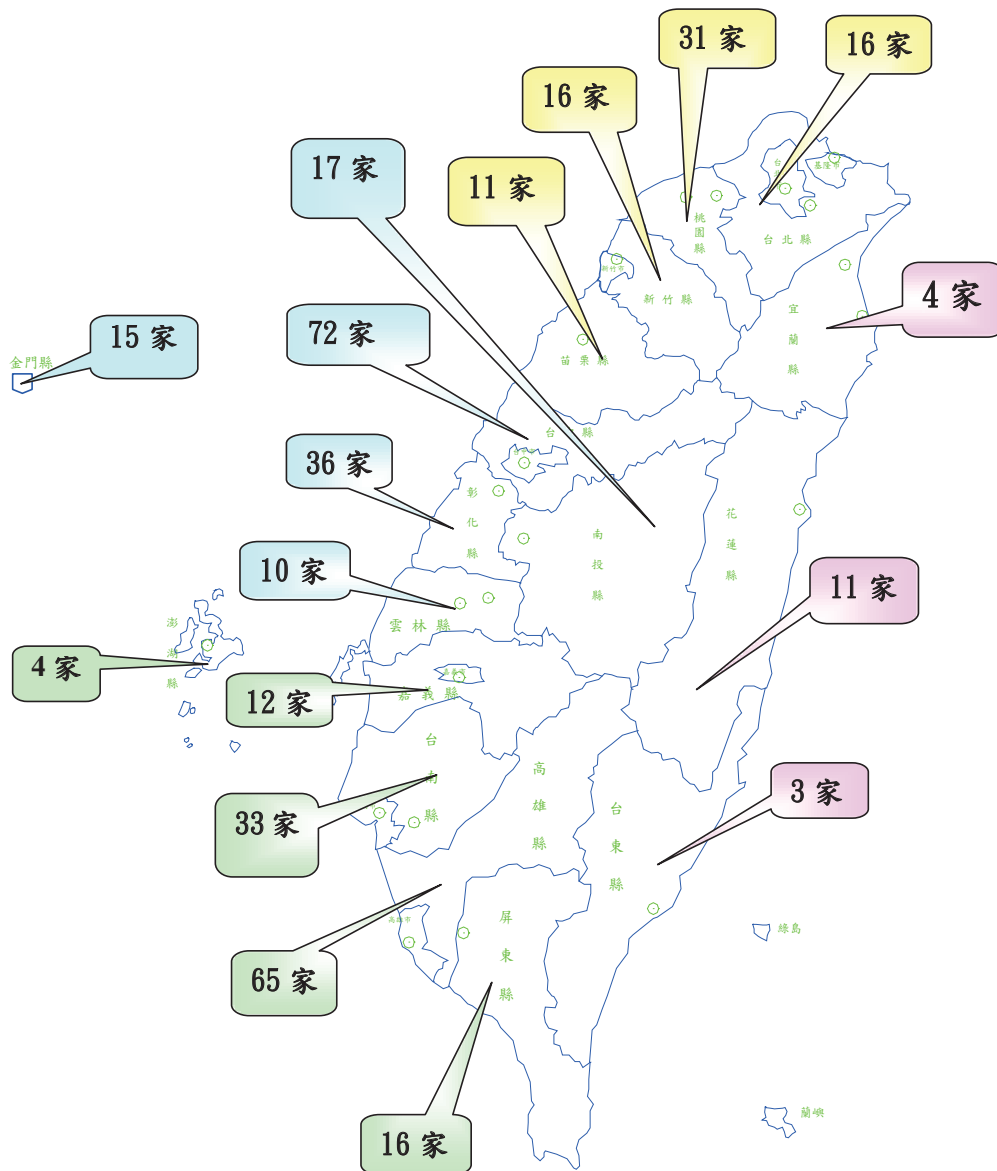
三、太陽能熱水系統產品

自89年第二階段補助作業起，國內廠商對於太陽能熱水系統產品之開發與引進，每年皆能保持約20~50件的新產品加入市場(詳參圖三)，可見國內廠商之研發與創新能力，正因其技術之純熟、產品之精湛，故方能將產品外銷，近來甚至整廠輸出。至99年底依據「再生能源熱利用獎勵補助辦法」向中央主管機關申請且完成認證之產品有178件，其中依集熱器分類主要為金屬平板式(107件)，其次為真空管式(58件)。而以民眾向能源局申請安裝補助時所申報之發票金額看出，其單價於94~97年因反應近年來金屬物料價格逐漸上漲、真空管型集熱器比例增加(有效面集熱面積較平板型集熱器小)之故，其集熱器有效集熱面積每平方公尺申報總價有上升之趨勢(統計資料參見圖四)。

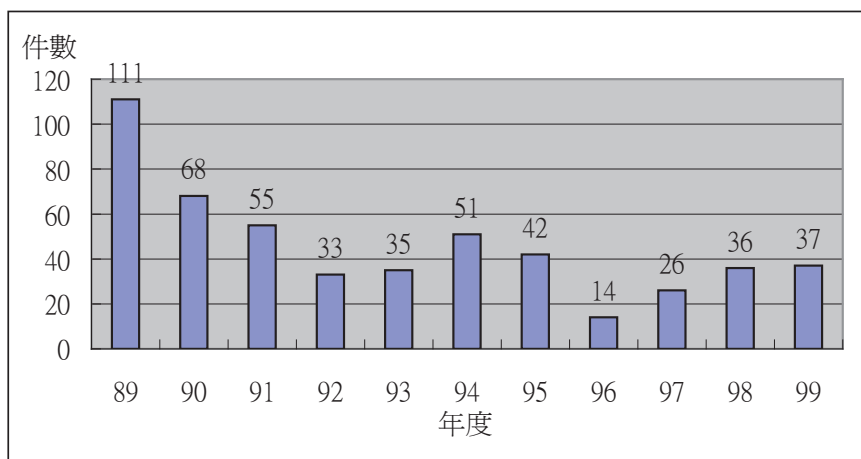


圖一 簽約製造供應廠商分佈圖

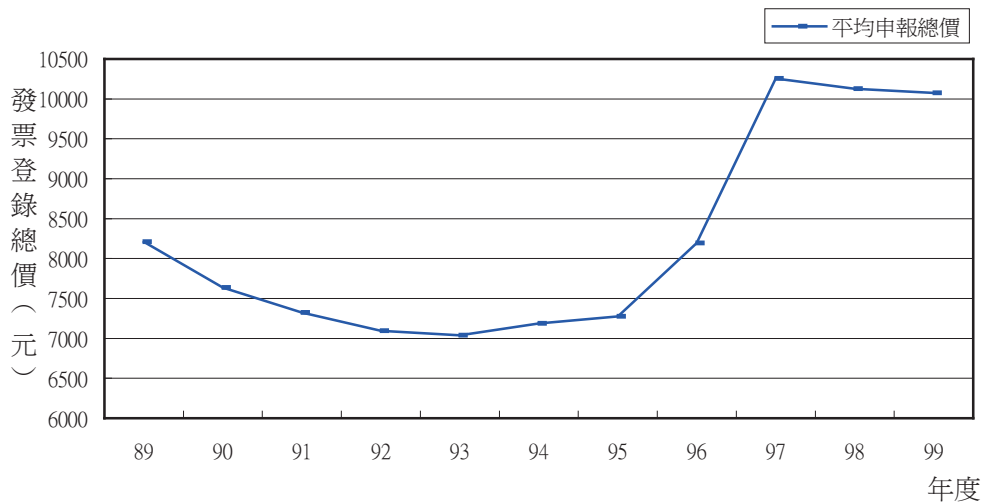
*能源局製造供應商之簽約編號，可於太陽能熱水系統補助作業受託機構網站(http://solar.rsh.ncku.edu.tw/t03_mlist5.php)查詢該廠商之詳細資訊。



圖二 簽約安裝銷售廠商分佈圖



圖三 各年度新產品數量



圖四 歷年有效集熱面積每平方公尺平均申報總價統計

肆、太陽能熱水系統安裝情形

一、安裝地區分佈：

我國太陽能熱水系統安裝案件大部份集中在中部及南部，但北部桃園縣亦表現良好。以99年度的安裝情形為例：以高雄市的4,241件最多，其次為高雄縣申請件數3,946件、台中縣2,398件、桃園縣2,109件，而離島部分有959件，其中以金門縣的904件佔絕大多數(詳參圖五)；高雄縣、市與金門縣在近幾年安裝量急遽增加，應是因地方政府有辦理加碼相對補助有關[2]，故安裝案件數較其他縣市或其他離島地區增加許多(詳參圖六、七)。

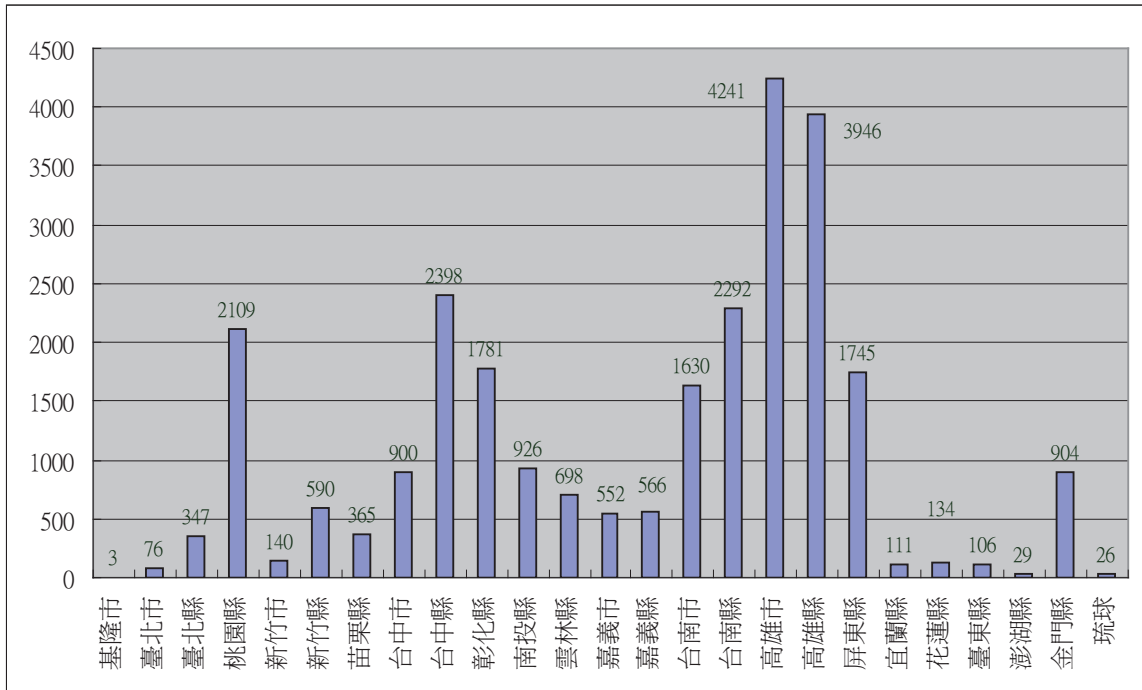
二、太陽能熱水系統種類及用途：

國內一般民眾普遍對於面蓋式平板式太陽能熱水器接受度較高，此類型太陽能熱水器在市場佔有率約90%(依件數計)；國內真空管式太陽能熱水器製造供應廠商相對較少，其有效集熱面積較金屬平板式太陽能熱水器為小(政府補助款係依集熱板面積計算)，但其安裝率近來卻有逐年增加之趨勢(詳參圖八)。

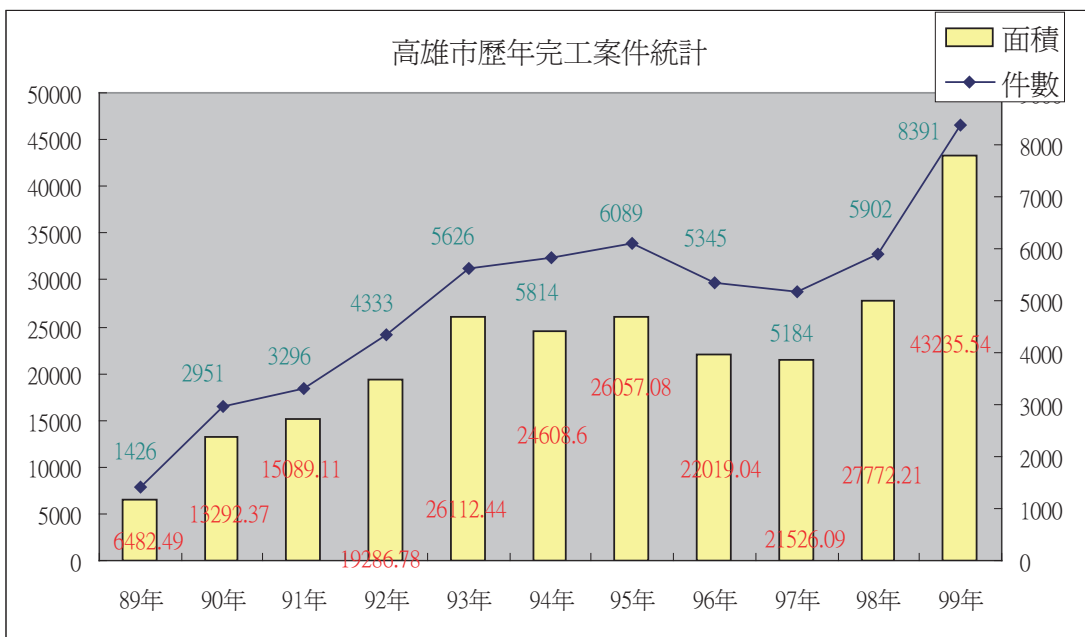
以99年度安裝量來看，目前國內太陽能熱水器大部份都以家庭使用為主，佔整個市場之98.96% (此為依件數計，因家庭使用型大多屬小型案件，故若以集熱面積計算則為94.58%，詳參表三)，近年宿舍及工商業用途之大型案安裝件數雖已較往年增加許多，但比例仍少，若能加強推廣於工廠之製程預熱或其它觀光地區旅館之使用，必有利於國內太陽能之使用。

三、安裝之系統大小統計

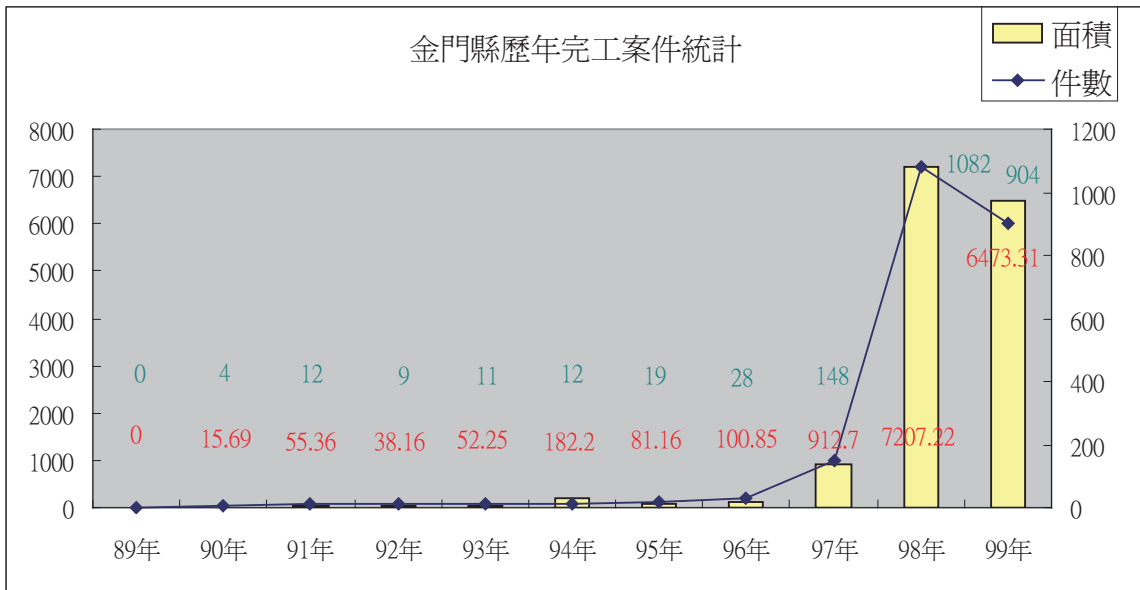
承上節論述結果，我國太陽能熱水系統主要之用途為一般家用熱水供應，故絕大多數的安裝系統大小集中在10平方公尺以下的小型家用系統，以99年度之安裝量為例，約佔總安裝量的98%(詳參表四)。



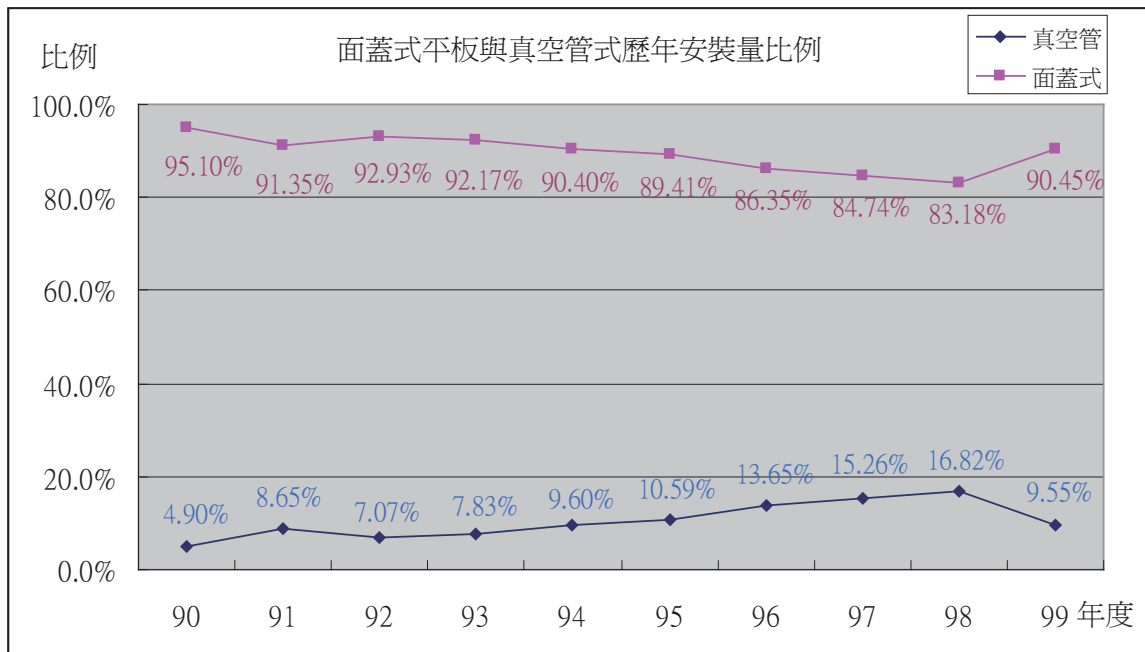
圖五 99年度各縣市安裝件數統計



圖六 大高雄市歷年安裝量



圖七 金門縣歷年安裝量



圖八 平板/真空管安裝比例

表三 裝置太陽能熱水系統之用途統計

集熱器 種類	工業製程		家用熱水		宿舍及商業用		溫水游泳池		其他		合計	
	件數	面積 (m ²)	件數	面積 (m ²)	件數	面積 (m ²)	件數	面積 (m ²)	件數	面積 (m ²)	件數	面積 (m ²)
數量	7	245.93	24,463	119101.1	211	6215.16	10	1934.58	10	244.96	24,701	127741.69
比例	0.03%	0.19%	99.04%	93.24%	0.85%	4.87%	0.04%	1.51%	0.04%	0.19%	100.00%	100.00%

表四 系統有效集熱面積大小統計

有效集熱 面積(m ²)	3 以下	3~5	5~10	10~20	20~50	50~100	100~500	>500	合計
件數	3176	10403	10591	329	115	39	20	2	24675
99 年比例	12.87%	42.16%	42.92%	1.33%	0.47%	0.16%	0.08%	0.01%	100.00%
98 年比例	15.46%	42.34%	39.81%	1.64%	0.48%	0.17%	0.10%	0.00%	100.00%
97 年比例	15.93%	46.80%	35.25%	1.43%	0.43%	0.10%	0.07%	0.00%	100.00%

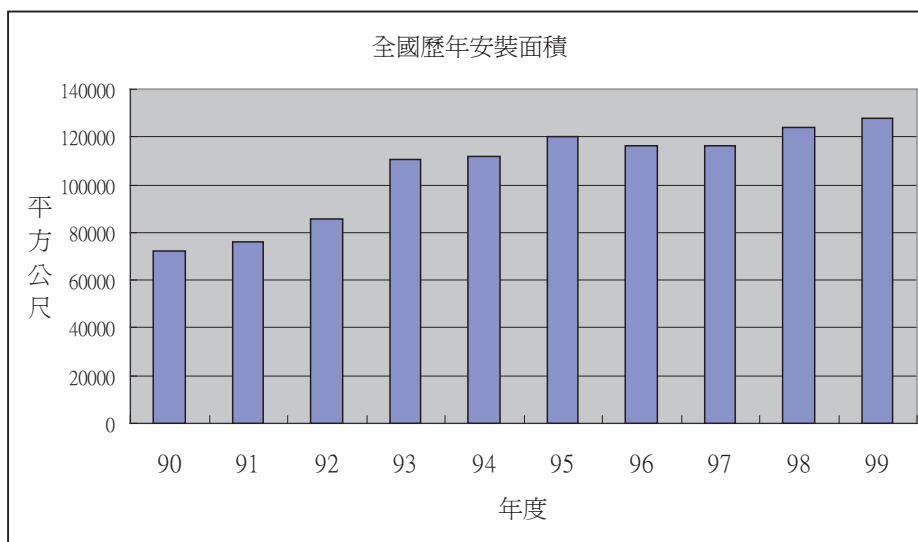
伍、節能減碳效益分析

依據國際能源總署IEA發佈的2008年世界太陽熱能市場分析報告^[3]：在2008年度，全球持續運轉中的太陽能集熱器總計生產了109,713GWh（394,968 TJ）的能量，等效於1.24千萬噸的石油所能產生的能量，也等同於減少了3.94千萬噸的二氧化碳排放量。根據其使用的CO₂排放量估算因子：每公升的石油約會產生2.79kg的CO₂。而從單位面積抑制CO₂排放量的數據190kg/m²，可推算出單位面積之太陽能集熱器所能節省之石油量約為68L/m²。

而其所產生之節能、減碳、經濟及社會效益與其裝設普及率息息相關，透過政府補助作業及深入宣導，裝設面積從89年以來持續且穩定的增加(詳參圖九)。且由於這些年來隨著市場之擴張，致使廠商生產量增加，亦可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器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器，以落實政府降低進口能源之既定政策。

太陽能熱水系統使用潔淨能源，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，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。

太陽能熱水系統是國內目前比較具有市場競爭力的再生能源，截至99年底全國有效集熱面積約有160萬平方公尺，累計有效安裝率^{<註1>}約5%，依據IEA統計以裝置面積相對國土面積比：台灣為世界第5名；每千人擁有之裝置面積與裝置容量：台灣為世界第14名。這160萬平方公尺的集熱器在全國家戶的屋頂上，每年約可節省11萬公秉油當量及減少30萬公噸二氧化碳排放，並創造出約208億元之產值及相關產業之就業機會。



圖九 全國歷年安裝面積

陸、結論與建議

太陽能熱水系統是我國近年來發展最成功的綠能產業，其中在產業方面：太陽能熱水系統是自製率最高的再生能源設備，國內之廠商不論是製作或安裝技術，皆已達先進國家之水準，故近年不僅可以外銷還可以整廠輸出。而在推廣安裝方面：太陽能熱水系統亦為現行政府所推廣之再生能源中最親民，且最利民者，其安裝成本低，回收年限短，再加上其產品品質優、使用壽命長(正常使用約15年)，讓安裝用戶每年可以省下不少的燃料費用。在節能減碳方面：太陽熱能的能源轉換效率高，故其節能減碳成效宏大，以全台平均日射量推估，則每平方公尺集熱面積一年即可節省68公升之油當量及減少190公斤之二氧化碳，而如果是中、南部地區則效益會更佳。在其他社會效益方面：每年冬天因瓦斯熱水器瓦斯外洩意外致死事件層出不窮，其所直接造成與間接導致之社會成本與家庭問題將是無以彌補，而太陽能熱水系統則是其最佳的解決方式。

目前我國太陽能熱水系統之有效安裝率約為5%，相較於扣除都會區、空屋、單人戶後，全台可安裝太陽能熱水系統之屋數約佔全數成屋的48%仍有一大段路要走，而在國內安裝量增減之諸多原因中，以新成屋量為最直接且主要之因素，若以91~98年之統計數據推估，國內每年新建之可安裝太陽能熱水系統之成屋中，僅約1/4會選擇安裝太陽能熱水系統。探究其不安裝之原因，則主要因新成屋頂樓之安裝環境對太陽能熱水系統不友善、線路無預留、破壞建物整體美感、需另升水塔或加裝小水塔等額外工程等等營建結構既成因素。故未來國內推動太陽能熱水系統之主要方向應以營造一友善之安裝環境：如整合建物女兒牆或雨遮等必要結構物以及屋頂預留安裝空間、熱水及電源線路等建築設計與結構之配合，以提高新成屋之安裝率，並提升太陽熱能吸收率與作業溫度，搭配其他太陽熱能之應用如製冷、通風、暖氣及發電等，使其使用效能再精進，節能減碳效益再提升。

但太陽能熱水系統之安裝時，仍有數點須加以注意，如水質問題，因熱水系統，顧名思義，該系統一定會接觸到水，而且是熱水，故所使用之水源與水質，便需要特別注意，尤其是使用地下水、簡易自來水、離島地區或濱海水源，應注意其水質之pH值、LSI值^{<註2>[4]}及氯離子溶度^[5]。另外，因台灣地處環太平洋亞熱帶地區，春夏兩季多颱風，太陽能熱水系統絕大多數都裝設在屋頂上方，受風最嚴重，故裝置時應加強系統本身之結構強度與外在設施固定^[6]。

柒、註解

<註1>有效安裝率：將國內歷年太陽能熱水系統安裝件數，扣除以平均使用壽命15年推估，自第11年起每年損壞之10%後，佔全國總戶口數之比率。

<註2>Langeliar於1936年發表之飽和指數法(Langelier Saturation Index Method, 簡稱LSI Method)，用以判斷水質是否有易於形成水垢(Scaling)的傾向，傾向說明如下：若LSI < 0 則不易形成水垢，但管路易有腐蝕現象(Corrosion)；若LSI = 0 則無結垢傾向；若LSI > 0 則易形成水垢(Scaling)。

捌、誌謝

本文承蒙經濟部能源局委辦「太陽能熱水系統補助作業與成效調查研究計畫」（計畫編號：100-D0134）之經費支持，在此特於誌謝。

玖、參考文獻

- 1.歐文生、何明錦、陳瑞鈴、陳建富、羅時麒(2008)·台灣太陽能設計用標準日射量之研究·建築學報，64期，頁103-118。
- 2.張克勤、李聰盛、鍾光民(2010)·Subsidy Programs on Diffusion of Solar Water Heaters in Taiwan·Renewable Energy 2010國際會議發表論文。
- 3.Werner Weiss & Franz Mauthner(2010). Solar Heat Worldwide, Markets and Contributions to the Energy Supply 2008. Retrieved from International Energy Agency website: http://www.iea-shc.org/publications/statistics/IEA-SHC_Solar_Heat_Worldwide-2010.pdf
- 4.Langeliar, W.F. (1936). The Analytical Control of Anti-Corrosion Water Treatment. Journal American Water Works Association, 29(10), pp.1500.
- 5.李清安、張克勤、李聰盛、鍾光民(2004)·國內太陽能熱水系統使用水質分析·太陽能及新能源學刊，9(1)，頁18-22。
- 6.李清安、張克勤、李聰盛、鍾光民(2005)·颱風對太陽能熱水系統裝置損壞調查剖析：海棠颱風案例·太陽能及新能源學刊，10(2)，頁2-5。