

# 2000年臺灣推廣獎勵家用太陽能熱水器案例 普查分析

顏貝珊<sup>1</sup> 張克勤<sup>2\*</sup>

## 摘 要

本研究針對國內接受政府第二期太陽能熱水系統推廣獎勵工作中第一年(西元2000年)安裝之所有用戶，於2012年間進行使用現況普查工作，藉此瞭解這些已使用太陽能熱水器超過10年以上的用戶，對於所安裝太陽能熱水器的第一手使用經驗。由於用戶資料及所安裝使用之太陽能熱水器產品資料，皆已於申請補助作業中建檔管理，本次普查作業的成功受訪率高達52.3%，且可信度極高。本研究發現2000年安裝使用之家用太陽能熱水器的損壞率僅有3%，推算其使用壽命較一般市場經驗所言的15~20年更為樂觀。至於到2012年調查期間為止仍在2000年所購置太陽能熱水器的用戶，則約有半數的用戶曾經維修過系統，且以加熱器汰換、管路耗損的情況最為常見。在整體滿意度及未來續購意願的部分，分別有79.6%及82.0%的用戶表達正面回饋意見，顯示民眾對於太陽能熱水器具備高度的使用信心。這些數據除能作為台灣太陽能熱水器市場輪廓和使用狀況的描述之外，更可提供政府未來制訂太陽熱能政策，以及廠商經營策略之參考資訊。

**關鍵詞：**太陽能熱水器、用戶使用情況、系統損壞率、滿意度

## 1. 前 言

因應傳統能源日漸匱乏及全球氣候變遷等問題，世界各國皆以節能減碳為首要目標，為確保能使用的能源可永續發展，除提高傳統能源的利用效率，亦加速研發潔淨能源的應用技術，以減少溫室氣體的排放，太陽能為其中一個引人注目的選項。目前太陽能的應用可分為「太陽光電(Solar Photovoltaic)」與「太陽熱能(Solar Thermal)」兩大方向，其中太陽能熱水系統(Solar Water Heater)是最貼近一般消費者生活的家用產品，且技術程度相對簡單，因此成為太陽能領域中最早發展且運用成功的範例。太陽能熱水系統的作用原理，係根據太陽能集熱

器(一般而言，分為平板式、真空管式等形式，如圖1所示)將太陽輻射能轉換為熱能後，再將水加熱的產品。整套系統的設計，包括太陽能集熱器、儲熱水桶及控制箱等相關設備(張克勤等人，2010)。20世紀中期由於國際能源危機的爆發，各先進國家陸續在太陽能熱水系統與其他太陽熱能的相關應用，取得非常迅速的推展。

臺灣位於北半球，橫跨北迴歸線(北緯21度至25度之間)，就地理位置而言，位處亞熱帶地區，陽光充沛處。依據中央氣象局所屬測候站之統計數據可知，全國平均日射量約為11,746 KJ/m<sup>2</sup>的水準(歐文生等人，2008)，顯示台灣相當適合太陽能的發展應用。自1973年爆發第一

<sup>1</sup>成功大學能源研究中心 研究助理

<sup>2</sup>成功大學航空太空工程學系 教授

\*通訊作者, 電話: 06-2757575分機63679, E-mail: kcchang@mail.ncku.edu.tw

收到日期: 2014年02月20日

修正日期: 2014年05月22日

接受日期: 2014年05月29日

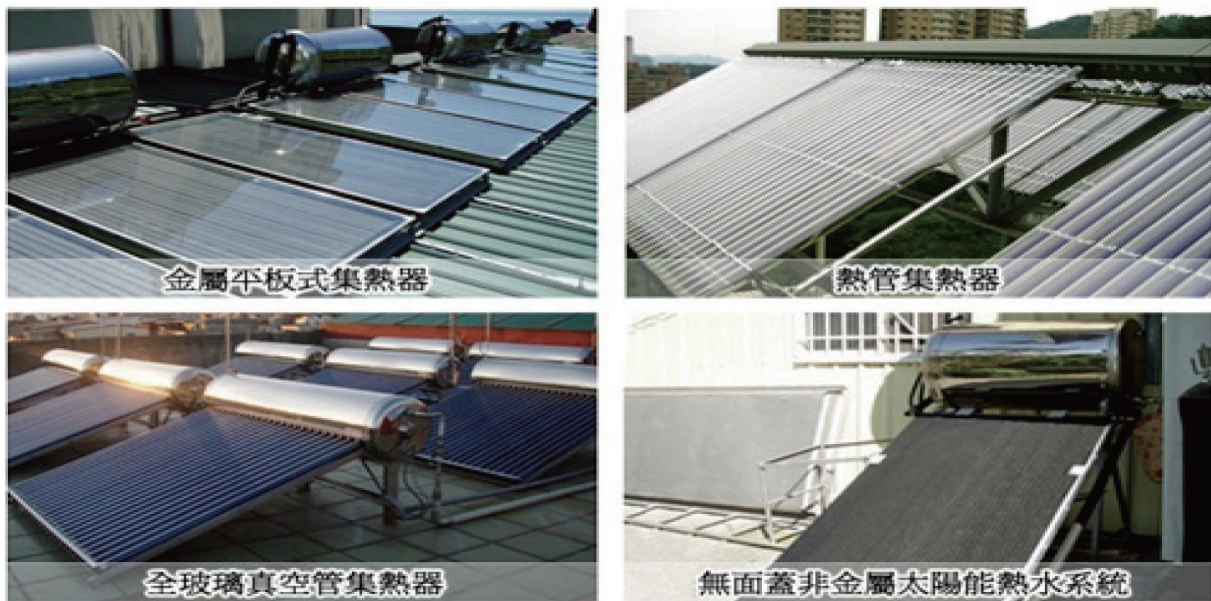


圖1 各型式的集熱器

資料來源：成大能源研究中心網站，<http://solar.rsh.ncku.edu.tw>

次石油危機發生後，國內開始有廠商從國外引進太陽能熱水系統的產品(陳明君，2008b)，在進入1980年代後，國內廠商開始擁有自製太陽能熱水器的能力，至今在製造技術及產品品質已具相當水準，近年來更有部分產品可出口至國外，顯見臺灣太陽能熱水器產業的實力不容小覷。

政府在推廣太陽熱能利用、增加能源供應及節約傳統能源的前提之下，由經濟部能源局有計畫地輔導太陽能熱水系統相關技術的研發，並實質鼓勵民眾安裝系統來使用。能源委員會(經濟部能源局前身)於1986年1月公佈實施第一期《太陽能熱水系統推廣獎勵辦法》，執行期間自1986年至1991年，辦法明訂太陽能熱水系統產品、製造供應商及安裝銷售商的合格認證，並依集熱器種類及有效集熱面積來訂定補助金額的範圍，另規定所有申請登記為太陽能熱水系統的合格產品，必須符合相關的性能標準。針對太陽能熱水系統實質的獎勵措施，透過補助金的發放來提升我國太陽能熱水系統的安裝量，此舉亦促進了國內太陽熱能的技術研發及相關產業的蓬勃發展。

自政府實施第一期《太陽能熱水系統推廣

獎勵辦法》後，太陽能熱水系統的安裝量仍能隨著國內建築業景氣維繫不墜一段時間，但在1995年以後，由於建築業景氣大幅下滑，一般民眾安裝的情形隨之減緩。政府為因應1997年12月國際間達成《聯合國氣候變化綱要公約》之協定，並兼顧我國經濟持續成長之能源需求，決定再次以獎勵補助措施推廣再生能源利用，同時帶動相關產業發展及技術應用。

政府在2000年3月公佈實施第二期《太陽能熱水系統推廣獎勵辦法》，除激勵國人購置太陽能熱水系統，更期待能夠加速國內太陽能熱水系統的普及化。期間該辦法經過歷數次修訂。最近一次的修訂則肇因於2009年立法通過之《再生能源發展條例》(經濟部能源局，2009)，經濟部據此於隔年訂定《再生能源熱利用獎助補助辦法》，並開始實施。第二期的太陽能熱水系統推廣獎勵措施，委由成大研究發展基金會(以下簡稱受託機構)作為太陽能熱水系統推廣獎勵作業的承辦單位。推估至2013年12月31日止，國內太陽能熱水器的有效運轉件數超過30萬件(其中2000~2013年安裝件數如圖2所示)，折合集熱面積約148萬平方公尺，這些安裝量每年度可為臺灣減少約28萬公噸的二

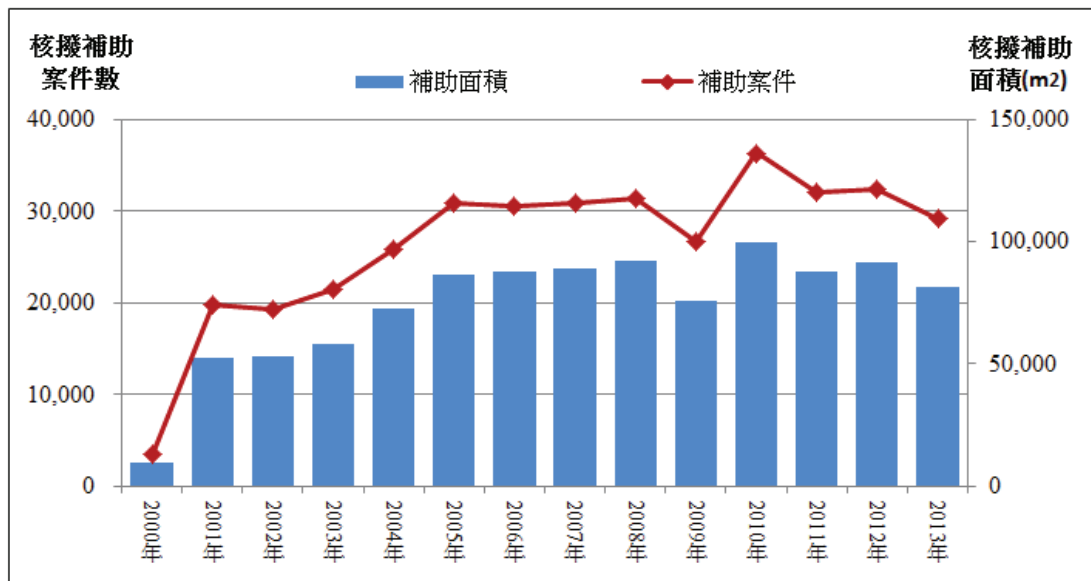


圖2 2000年~2013年經濟部能源局補助太陽熱水系統情況  
資料來源：成大研究發展基金會，太陽能熱水系統用戶資料管理系統

氧化碳排放量，並可節約逾10萬公秉油當量的能源(成大研究發展基金會，2014)。值得注意的是，臺灣太陽能熱水系統的裝置績效表現卓越，面積安裝密度排名全世界第5，僅次於巴貝多、以色列、馬爾他及塞普勒斯(IEA，2013)。

根據受託機構統計(成大研究發展基金會，2014)，國內目前安裝太陽能熱水系統的比例，以家用系統占最大宗，每年約可達到當年度補助案件的98.8% (此為2013年撥款案件占比)，一套家用系統的集熱面積主要介於4~6平方公尺(2013年案件占比為44.4%)，其中以面蓋式集熱器最為常見(2013年案件占比為87.2%)。至於非家用系統的應用，包括學校及員工宿舍、安養照護機構、溫水游泳池、觀光旅宿業及工業製程等各種可能用途，案件占比雖屬少數，但在2009年後已進入比較穩定的成長狀態。

受託機構利用大型資料庫Oracle系統，建置用戶資料管理系統，資料涵蓋用戶申辦補助時間、實際獲得撥款時間、系統完工時間、裝置地址、安裝用途、集熱器形式、購置系統總價、獲得補助費用、系統損壞登記、用戶申請補助調查表、新裝用戶現場抽查問卷、使用兩年以上之用戶調查等詳盡資料，近年來更積極

整合用戶資訊，透過數據整理與分析、實地與電話訪查等方式，提出多項研究與分析報告，其中包括各式大型系統之應用研究、偏鄉與離島地區安裝調查等，期能提供國內太陽能熱水系統與政策制定上的參考資訊。

若檢視國內外對於臺灣太陽能熱水器市場研究的相關論文，大多是集中在成本效益分析與回饋期的計算(余森年，2011；Pan *et al.*, 2012；Chang *et al.*, 2013)，以及各國太陽熱能政策的介紹(尤如瑾，2007；張梅英等人，2008；陳明君，2008a；顏貝珊和張克勤，2012)。另有部分文獻討論水質影響(李清安等人，2004；范愷軍和張克勤，2013)與颱風損壞(李清安等人，2007)、安裝技術與系統表現(Lin *et al.*, 2012；Liu *et al.*, 2012)、安裝市場潛力評估(Chang *et al.*, 2009)，以及臺灣補助政策的執行情況與未來展望(陳由聖等人，2003；Chang *et al.*, 2004；Chang *et al.*, 2008；Chang *et al.*, 2011；李清安和張克勤，2012)。這些年來，鮮少有文獻對於臺灣太陽能熱水器的使用情形與市場輪廓進行更深入的瞭解與探討，僅工研院能資所曾針對2002年申請補助款用戶進行抽樣調查(張梅英，2004)，以求瞭解國內市場的接



受度、需求性及滿意度，而成大建築系(黃重魁，2002)亦曾針對1986年至1999年的用戶進行小規模的問卷訪查，以瞭解太陽能熱水器的耗電情況、安裝現況與維護習慣。

再者，根據國內外的使用經驗，一套家用太陽能熱水系統的壽命大約為15至20年之間(Kalogirou *et al.*, 2004；Koroneos *et al.*, 2012；Veeraboina *et al.*, 2012)。目前為止，臺灣各界(包括政府公部門、研究機構、或是太陽能熱水器的廠商)皆未曾針對太陽能熱水器的使用壽命提出產品試驗或調查數據上的支持。有鑑於此，受託機構於2012年針對2000年(第二期推廣獎勵作業實施的第一個年度)向經濟部能源局申請太陽能熱水系統補助款的用戶進行全體普查，希冀掌握這些使用戶的熱水器使用情況，包括系統的使用壽命、損壞時間點及原因、仍使用系統的故障及維修情形、對系統的整體滿意度及未來續購意願等問項，這些數據除能作為當前市場輪廓的描述，更可提供政府制訂太陽熱能政策，以及廠商未來經營策略之重要參考資訊。

## 2. 調查方法

本次普查對象為2000年曾向經濟部能源局申請太陽能熱水系統補助且最終實際獲得撥款的6,484位用戶。調查方式為電話訪問，每一個

用戶至多聯繫到三次，若超過三次仍未能成功完成訪問者，則視為無法完成訪問案件。調查時間從2012年3月5日起至8月17日止，共計訪問67個工作天。

在進行訪問時，調查對象放寬至家庭成員可代表補助款用戶申請人回答。至於問卷回收與接觸情形，在全體6,484位用戶當中，共計回收3,384份問卷，其中家用系統用戶占3,367份，非家用系統用戶則占17份。本研究著重於家用系統用戶的分析，以下將呈現家用系統的調查數據，其成功訪問率高達52.3%，這在電話訪問調查當中算是相當好的表現，主因應為用戶在申請補助款即主動提供個人資訊及聯絡方式，並已建檔於受託機構之資料庫，再加上確有安裝的事實，因此用戶對調查機構的信心較高，不易被懷疑為詐騙電話而導致拒絕訪問率的提升(本調查中僅占2.2%)。

若進一步分析未能成功完成訪問的原因，主要以電話忙線(12.7%)、電話號碼錯誤(12.9%)，以及空號(12.3%)的比例較高，三者合計占比為37.9%。各地區的樣本回收情況，則如表1所示。由於各地完訪比例的輪廓，與調查母體比例極為相似，因此可推論本次普查的結果，可排除未回應用戶的影響，並能夠代表全體用戶的使用情況。

本調查使用SPSS 17.0<sup>4</sup>、R 2.15.3<sup>5</sup>、Microsoft Office Excel 2010<sup>6</sup>等統計分析軟體，進行頻次

表1 家用系統用戶之問卷回收情況

地區 <sup>3</sup>	調查母體	母體比例	完訪樣本	完訪比例	成功訪問率
北部	665	10.3%	352	10.5%	52.9%
中部	2,527	39.2%	1,360	40.4%	53.8%
南部	3,250	50.5%	1,655	49.2%	50.9%
整體	6,442	100.0%	3,367	100.0%	52.3%

<sup>3</sup>東部地區及離島地區(在2000年，各離島當中僅有澎湖縣居民曾申請過安裝太陽能熱水器的補助獎勵)的回收問卷僅有41份，為考量統計分析的代表性，本研究將宜蘭縣用戶(6份問卷)併入北部地區，花蓮縣用戶(19份問卷)併入中部，台東縣(12份問卷)及澎湖縣(4份問卷)用戶併入南部地區進行分析。

<sup>4</sup>本研究以SPSS為最主要的統計分析軟體，該軟體普遍使用於學術界、商業界、醫療產業等各行各業當中，此軟體可至<http://www-01.ibm.com/software/analytics/spss/>下載試用版。

<sup>5</sup>本研究使用R軟體來進行使用壽命分析與推估探討，該軟體為統計領域的專業繪圖及程式模擬軟體，此軟體可至<http://www.r-project.org/>下載免付費的正版軟體。

<sup>6</sup>本研究使用Microsoft Office Excel 2010軟體進行用戶資料的整理、回覆意見的輸入及答案邏輯判斷，此軟體可至<http://office.microsoft.com/zh-tw/>下載試用版。

分析、交叉分析、卡方檢定及迴歸分析等統計方法。由於用戶在當年申請補助款時，已提供安裝集熱器形式、產品製造商、安裝用途及安裝地址等背景資訊並登錄在案，因此本研究問卷僅針對使用情況作設計，於取得用戶回答後，再利用資料整併之方式，將用戶基本資料與訪問結果串聯，再行交叉分析與卡方檢定，以得出用戶資料與使用情況的關聯性。

### 3. 調查結果

#### 3.1 2000年所購置的家用系統，目前可使用及損壞的產品比例

接受本次訪問的3,367位家用系統受訪者，有95.3%的受訪者仍在用這套系統，僅剩不到五個百分比(4.7%)的受訪者表示目前已經沒有使用(或不清楚是否仍在用)這套系統，其中表示因房屋出租或因轉售而不清楚後續使用情況之比例為1.4%、系統損壞的比例則占3.3%。

若針對受訪者背景資料與使用狀況進行交叉分析，在施行卡方獨立性檢定(Test of Independence)<sup>7</sup>後(設定顯著水準為0.05)，可發

現集熱器形式與系統損壞率有顯著影響(P-Value為0.050)，且真空管集熱器(7.8%)的損壞率明顯高於面蓋式集熱器(3.2%)，損壞主因應為早期從中國大陸進口的真空管品質良莠不齊，以及玻璃材質易受碰撞導致受損、或因接縫處的墊片老化而易導致漏水所致。在各地區的系統損壞率則無達到明顯差異；然而在安裝面積的部分，雖未通過卡方獨立性檢定，但可由數據看出8.1平方公尺及以上的用戶，其系統損壞率較高一些(6.3%)，此應與廠商在早期的安裝技術成熟度不足有關。相關數據如表2所示。

#### 3.1.1 使用壽命的初步推估

從本次調查結果可知，臺灣早期(西元2000年左右)所製造的太陽能熱水器，大多可擁有至少12年的使用壽命。假設用戶調查結果服從常態分布(Normal distribution)及其平均壽命15年的假設(依國內使用經驗所做之假設)，則可推算出標準差約為2.9年。若以經驗法則(Empirical Rule)判斷，將有95%的89年安裝產品之壽命介於9.2年至20.8年，亦即至2015年再次進行調查時，估計會有50%的89年安裝產品存活在市場上；至2018年調查時，估計僅剩34%的89年安裝產品存活；至2020年調查時，估計僅剩5%的

表2 家用太陽能熱水系統自2000年使用至今情況

		個數	仍使用	房屋租售	已損壞
集熱器型式* (P = 0.050)	面蓋式	3,290	95.4%	1.4%	3.2%
	真空管	77	92.2%	0.0%	7.8%
安裝面積 (P = 0.329)	4平方公尺及以下	1,036	94.8%	1.8%	3.4%
	4.1~8平方公尺	2,267	95.6%	1.2%	3.2%
	8.1平方公尺及以上	64	93.8%	0.0%	6.3%
安裝地區 (P = 0.978)	北部地區	355	95.2%	1.4%	3.4%
	中部地區	1,360	95.4%	1.3%	3.2%
	南部地區	1,655	95.3%	1.5%	3.2%
總計		3,367	95.3%	1.4%	3.3%

註：\*代表P值小於0.05顯著水準，即該變項對使用狀況達顯著差異。

<sup>7</sup>卡方獨立性檢定為探討兩個分類變項是否獨立之判斷，例如研究性別不同與抽菸與否是否相關、年齡層與支持政黨種類的關係等。檢定方法及相關公式可見統計學入門書籍。在此使用Neil A. Weiss所著之Introductory Statistics，書籍ISBN碼9780321691224。

89年安裝產品存活。這些數據讓我們有足夠的信心，相信市場經驗所提出太陽能熱水器能夠擁有15年壽命的說法。

### 3.1.2 後續追蹤調查的設計<sup>8</sup>

若欲精確估算使用壽命，考量目前的調查結果，受託機構建議可在2015年以追蹤調查(Panel Survey)的概念，針對2012年表示仍在使用的2000年安裝用戶逐一進行訪問，以瞭解系統使用狀況並推估系統使用壽命。萬一受限於調查成本，而未能以普查執行時，則建議以抽樣調查的方式來進行訪問。

若以簡單隨機抽樣(Simple Random Sampling, SRS)的概念，在我們推估太陽能熱水系統壽命時(透過用戶表示仍使用的比例計算)，於調查初期可先施以試驗調查(Pilot Survey)，等到能夠掌握使用比例的大致狀況時，再視可接受的誤差界限與調查成本，決定所需的樣本數目。

若我們透過使用經驗，判斷調查時有80%的用戶仍在使用的，其餘20%的系統則已損壞(此與20%仍在使用的、80%已損壞，所需之樣本數相同)，在可接受誤差界限設定3%內(即認為仍使用比例介於77%至83%之間)，則至少需抽出582個樣本。在此將列出各種誤差界限與使用比例之可能情況，其所抽出的最少樣本數，如表3所示。值得注意的是，當我們無法得知使用比

例的相關資訊時，可將使用比例設定為50%，以獲得一組較為保守的樣本數。

受限於調查成本(包括時間、人力及經費)的限制，僅能選擇抽樣調查時，則必須考慮到各種可能影響到壽命的因素，像是產品品質、製造技術、安裝地區、使用水質等可能原因，並據此分開推估各影響因素底下的使用壽命。

為考慮到各種可能影響到壽命的因素，可利用分層隨機抽樣(Stratified Random Sampling)的方式進行訪問。由調查結果可知，集熱器形式、安裝地區與安裝縣市並不會影響到使用比例，因此不需特別針對這些變數進行分層，但是安裝用途、集熱面積、前10大產品製造商的表現則有一定的影響性，因此建議將這些因素納入未來抽樣的設計。

至於分層樣本的最佳配置機制，則受到層內元素總數、層內觀察值的變異程度與訪問成本等三個因素的影響。由於使用狀況調查並無訪問成本上的明顯差異，因此僅需要考量元素總數與變異程度，可採紐曼配置(Neyman allocation)或比例配置(proportional allocation)的概念進行樣本分配。以安裝面積來說，或可以集熱面積以6平方公尺為分組界線；在產品品質的部分，則可依據各製造商進行配置。在變異數的估計，則可由先前調查的分層樣本變異數作為估計值。

值得注意的是，當同時有兩個以上的變數會影響到太陽能熱水系統的壽命時，需依照影響性的大小決定分層的先後順序。在實務的操作上，我們會將影響最大的變數視為第一層分層的變數；在規劃各分層的樣本數之後，再於各分層之內，以影響第二大的變數再度進行樣本配置，並反覆操作此程序直至所有變數皆考量完畢為止。

表3 追蹤調查所需抽取最小樣本數<sup>9</sup>

使用比例(p)	誤差界限(B)				
	1%	2%	3%	4%	5%
50%	2,430	1,405	826	523	356
60%	2,405	1,373	801	506	343
70%	2,322	1,270	723	451	304
80%	2,138	1,068	582	356	237
90%	1,697	703	356	210	138

<sup>8</sup>本研究所提之簡單隨機抽樣理論及樣本數選取數量，以及後續所討論之分層隨機抽樣、樣本配置機制等理論，皆可參考抽樣方法的專業書籍。相關理論可參考Scheaffer M. III所著之Elementary Survey Sampling，書籍ISBN碼0840053614。

<sup>9</sup>關於表3的計算方式，如附錄二所示。



## 3.2 目前仍使用家用太陽能熱水系統之用戶行為分析

### 3.2.1 維修及故障比例

在目前仍使用家用系統之3,209位用戶當中，有超過半數(53.3%)的用戶表示系統曾經發生故障。若針對受訪者背景資料與系統故障狀況進行交叉分析，在施行卡方獨立性檢定後，可發現安裝面積超過8.1平方公尺(65.0%)的用戶，發生故障情形的比例較高(P-Value為0.016)。至於集熱器形式及安裝地區，則與故障比例無關。相關數據如表4所示。

### 3.2.2 維修及故障原因

若進一步分析故障原因，能清楚指出故障原因的1,361位用戶(約占整體故障用戶的79.5%)，其中有55.8%的用戶表示週邊器材的耗損(輔助加熱之電熱棒損壞占37.8%、定時器/控制面板/感溫器損壞則占15.7%，兩者為最主要需維修與汰換的設備)；另有28.1%的用戶則指出管路需維修或汰換(管路漏水占17.5%、結垢占7.1%)，6.2%的用戶則指出儲熱水桶需汰換(儲熱水桶因所用水質腐蝕導致漏水占2.5%、因進水端裝置加壓幫浦而儲熱水桶內接非承壓內膽導致之爆裂占1.8%)。相關數據如圖3所示。

太陽能熱水系統的故障原因可能受到水質、天災(颱風或地震)、產品製造品質、系統

設計與安裝技術、用戶使用習慣等多種原因影響。因此，受託機構針對故障原因對於集熱器形式、安裝面積及安裝地區進行交叉分比對後，由於此題為複選題，無法進行卡方獨立性檢定，在此分析幾個有明顯差異的故障原因，如表5所示：

1. 居住在北部(40.6%)及中部(41.5%)地區的用戶，日射量並不如南部豐沛，且遇到陰雨天及寒流等不穩定天氣較多一些，因此屬於耗材性質的電熱棒輔助加熱設備之汰換比例，明顯高於居住在南部的用戶(34.1%)。
2. 早期的加熱棒設計常連結在儲熱水桶的外側，用戶若感受到天氣冷時，則需要到頂樓去打開加熱設備。北部(5.8%)及中部(6.5%)用戶因天氣較不穩定，日射量也較低，因此容易養成到頂樓打開加熱棒的生活習慣。南部用戶(9.2%)平時並沒有打開加熱棒的習慣，或許這導致冬天及陰雨天時，抱怨熱水溫度不足的比例較高。
3. 真空管(17.1%)因墊片老化、玻璃碰撞，早期產品自大陸進口廉價產品等原因，較面蓋式系統(4.6%)容易損壞。另由於真空管的集熱效率較高，用戶需要用到定時器/溫控系統的比例較低，因此該設備的損壞比例也較低一些(真空管為8.6%，面蓋式為15.8%)；同樣的理由也可用來解釋輔助加熱電熱棒損壞調查中為何面蓋式(37.9%)較真空管(34.3%)為

表4 目前所使用家用太陽能熱水系統之故障比例

		個數	曾故障	未曾故障
集熱器型式 (P = 0.054)	面蓋式	3,138	53.1%	46.9%
	真空管	71	63.4%	36.6%
安裝面積* (P = 0.016)	4平方公尺及以下	982	56.0%	44.0%
	4.1~8平方公尺	2,167	51.8%	48.2%
	8.1平方公尺及以上	60	65.0%	35.0%
安裝地區 (P = 0.848)	北部地區	335	53.4%	46.6%
	中部地區	1,297	53.9%	46.1%
	南部地區	1,577	52.8%	47.2%
總計		3,209	53.3%	46.7%

註：\*代表P值小於0.05顯著水準，即該變項對故障比例達顯著差異。

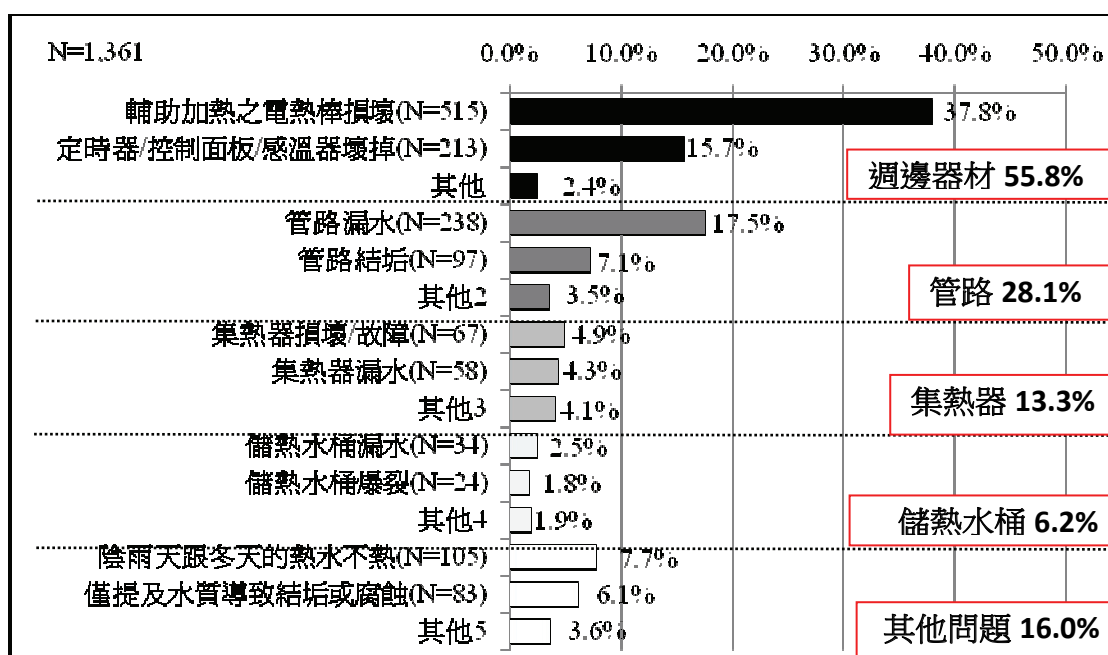


圖3 目前所使用家用太陽能熱水系統之故障原因

表5 目前所使用家用太陽能熱水系統之故障原因之交叉分析

	個數	總計	集熱器形式		安裝面積			安裝地區		
			面蓋式	真空管	4平方公尺及以下	4.1~8平方公尺	8.1平方公尺及以上	北部	中部	南部
輔助加熱之電熱棒損壞	515	37.8%	37.9%	34.3%	38.3%	37.7%	37.1%	40.6%	41.5%	34.1%
定時器/控制面板/感溫器壞掉	213	15.7%	15.8%	8.6%	18.8%	14.2%	11.4%	11.6%	13.0%	18.8%
管路漏水	238	17.5%	17.3%	25.7%	17.0%	17.6%	20.0%	16.1%	16.7%	18.5%
管路結垢	97	7.1%	7.0%	11.4%	5.8%	7.8%	5.7%	3.2%	5.4%	9.5%
集熱器損壞/故障	67	4.9%	4.6%	17.1%	5.4%	4.7%	5.7%	7.1%	6.2%	3.4%
集熱器漏水	58	4.3%	4.3%	2.9%	3.1%	4.6%	11.4%	15.5%	2.9%	2.8%
陰雨天跟冬天的熱水不熱	105	7.7%	7.8%	2.9%	8.7%	7.1%	11.4%	5.8%	6.5%	9.2%
僅提及水質導致結垢或腐蝕	83	6.1%	6.1%	5.7%	5.1%	6.6%	5.7%	4.5%	4.2%	8.1%

高的原因。至於用戶抱怨陰雨天及冬天不熱的比例，真空管用戶(2.9%)也較面蓋式用戶(7.8%)為低。然而，真空管管內的水溫較高(11.4%)，更較面蓋式系統(7.0%)容易造成管路結垢問題。

4. 居住在南部地區(8.1%)的用戶，因每日熱水用水量較少，導致剩餘熱水多殘留在儲熱水

桶中，而南部日射量高更易導致桶內水溫較北部(4.5%)及中部(4.2%)的用戶更高，因此南部用戶出現水質結垢或腐蝕情況的比例較高。至於管路結垢方面，也同樣得到了數據的支持，南部用戶的結垢比例為9.5%，北部用戶為3.2%，中部用戶為5.4%。

5. 安裝面積超過8公尺以上的家用系統，為滿足



用戶的用水需求，大多會裝設打水幫浦，並採取強制循環的設計。這種系統在長期的壓力作用之下，造成集熱器漏水的比例(11.4%)較高一些。

### 3.2.3 維修及故障後是否請廠商維修

曾發生系統故障的用戶，絕大多數(90.7%)會聯絡廠商維修系統，僅9.3%的用戶表示自行維修，或是認為系統仍堪用不需維修。若針對受訪者背景資料與是否請廠商維修行交叉分析，在施行卡方獨立性檢定後，可發現不論是集熱器形式、安裝面積與安裝地區，對於是否請廠商維修之比例，皆無顯著差異。

### 3.2.4 維修及故障後請廠商維修的叫修服務速度

用戶在叫修之後，有84.1%的廠商馬上就來維修系統，顯示國內太陽能熱水系統的售後服務仍維持一定的處理效率。若針對受訪者背景資料與請廠商維修之叫修服務速度進行交叉分析，在施行卡方獨立性檢定後，可發現安裝面積與叫修服務速度有顯著影響(P-Value為0.013)。面積在8.1平方公尺以上的用戶，叫修後廠商馬上來的比例(62.9%)，顯著低於面積在8平方公尺以下的用戶。這或許是在早期，大型系統的安裝並不普遍，能夠擁有安裝技術與維護能力的廠商也較少一些，由此導致叫修後的

服務速度也會較一般的家用系統稍慢一些。至於集熱器形式及安裝地區，則與叫修後的服務速度無關，相關數據如表6所示。

### 3.2.5 仍使用家用太陽能熱水系統系統之用戶滿意度

2000年購買系統且至今仍使用太陽能熱水系統的用戶，對於系統的整體滿意度高達79.6%，表示普通者為16.9%，表示不滿意者則為3.5%。若針對受訪者背景資料與滿意度進行交叉分析，在施行卡方獨立性檢定後，可發現集熱器形式、安裝面積與安裝地區，皆與系統滿意度無關。

若進一步探討其成用戶不滿意系統的原因，主要以陰雨天跟冬天的熱水溫度不夠(39.8%)、系統過於耗電(24.8%)、系統經常需要維修(15.0%)等原因，影響了其使用評價。相關數據可見圖4。

## 3.3 目前已無使用家用系統之用戶行為分析

目前無使用家用太陽能熱水系統的158位用戶(占全體家用系統受訪戶的4.8%)，其中有47位用戶(占目前無使用系統用戶的29.7%)因房屋已出租、出售、改建、目前沒有人居住等原因，而不清楚或無法交代後續的使用情況；有25位用戶(占15.8%)則表示已經不記得曾否使用

表6 目前所使用太陽能熱水系統之叫修服務速度

		個數	馬上來	超過3天	其他
集熱器型式 (P = 0.211)	面蓋式	1,512	84.4%	6.3%	9.3%
	真空管	40	75.0%	12.5%	12.5%
安裝面積* (P = 0.013)	4平方公尺及以下	502	84.3%	6.6%	9.2%
	4.1~8平方公尺	1,015	84.8%	6.1%	9.1%
	8.1平方公尺及以上	35	62.9%	17.1%	20.0%
安裝地區 (P = 0.950)	北部地區	159	84.9%	5.7%	9.4%
	中部地區	637	84.3%	6.1%	9.6%
	南部地區	1756	83.9%	7.0%	9.1%
總計		1,552	84.1%	6.5%	9.3%

註：\*代表P值小於0.05顯著水準，即該變項對滿意度達顯著差異。

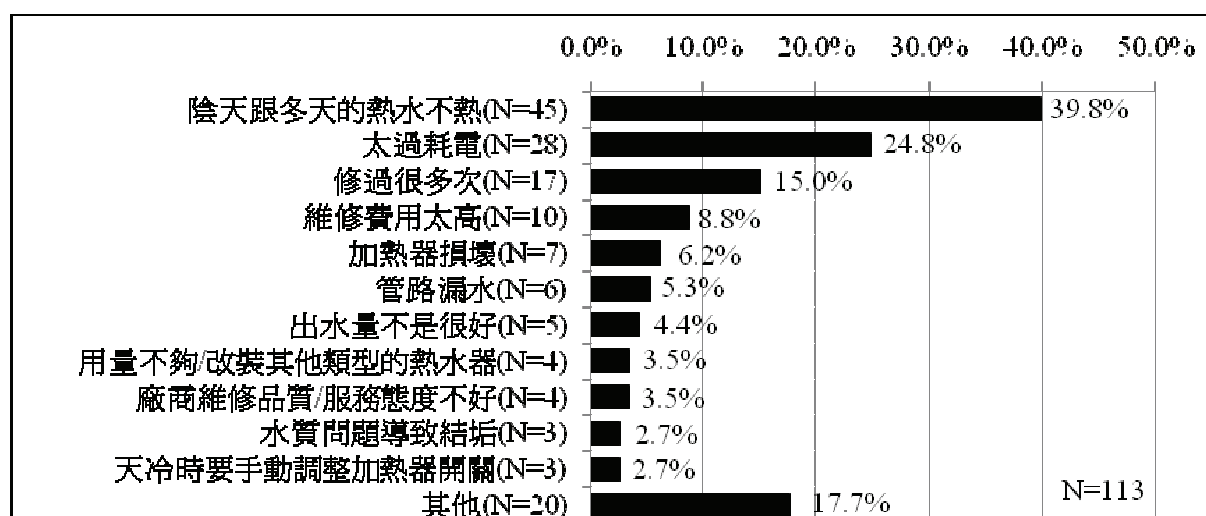


圖4 不滿意目前所使用家用太陽能熱水系統之原因

系統，或是詳細的損壞原因，其餘86位用戶(占54.4%)，則可清楚回答系統無繼續使用或損壞原因。

能夠清楚說明損壞原因的86位用戶，有29.5%的用戶表示無意願繼續使用系統原因為「陰雨天跟冬天的熱水不熱」，其他原因請詳見圖5。若進一步瞭解這些用戶目前的家中熱水來源，可發現其中仍有43.7%的用戶在系統

損壞或不堪使用後，繼續選用了太陽能熱水系統，其餘56.3%用戶則改用瓦斯熱水器、電熱水器或其他型式的熱水器。

### 3.4 整體家用系統用戶對未來續購太陽能熱水系統之意願

若詢問整體家用用戶對於未來繼續購買與使用太陽能熱水器的意願，有82.0%的用戶表

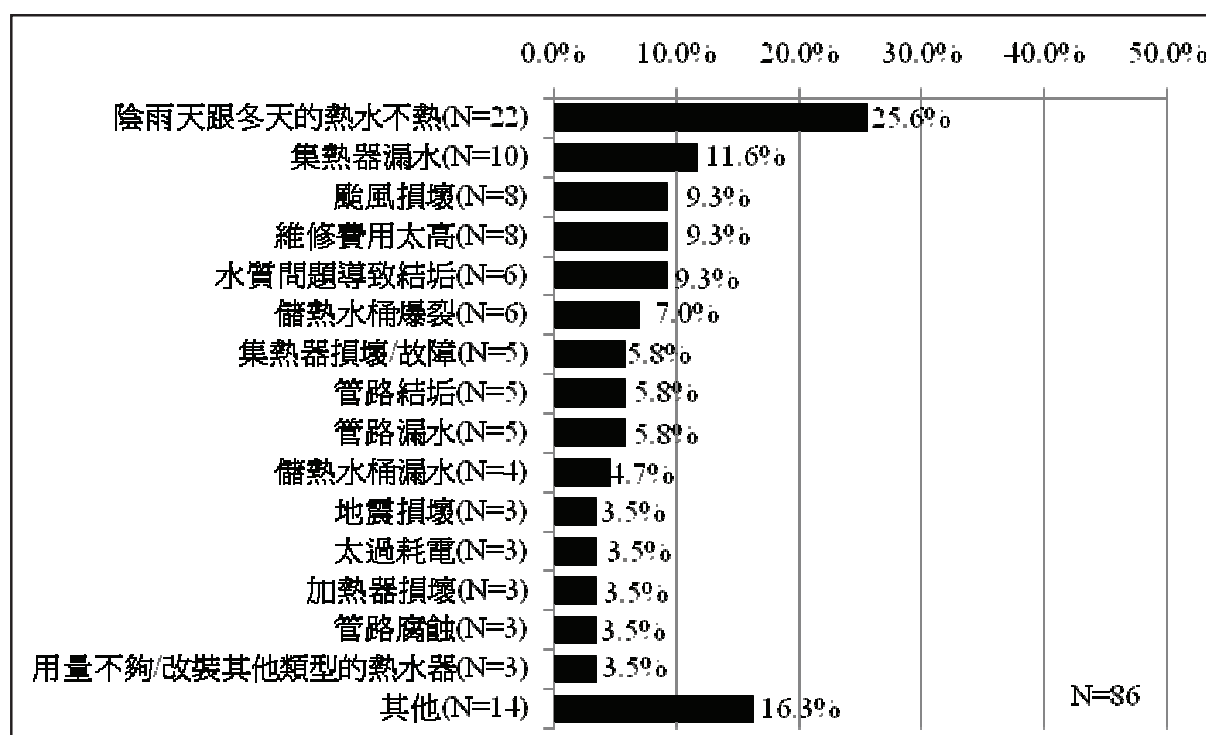


圖5 目前無使用家用太陽能熱水系統之原因

示未來願意繼續購買太陽能熱水系統，表示普通者則占15.1%，表示不願意者則有2.9%。相關數據如表7所示。

就目前仍有使用系統的用戶來說，續購比例高達83.3%；至於目前無使用系統的用戶，續購比例則僅有57.0%。在施行卡方獨立性檢定後，續購意願對於集熱器形式、安裝面積與安裝地區，皆無達到顯著差異。在表示未來不願意繼續購買系統的70位用戶當中，有48.6%的用戶認為太陽能熱水系統在「陰雨天及冬天的溫度不夠」而不願意繼續選購，另有37.1%的用戶認為「系統太過耗電」，有21.4%的用戶則是認為「先前的使用經驗不好」，11.4%的用戶認為「價格太貴」。

在目前已無使用系統的用戶，續購比例僅57.0%，表示普通者達25.3%，不願意者為17.7%。在施行卡方獨立性檢定後，續購意願對於集熱器形式、安裝面積與安裝地區，皆

無達到顯著差異。在表達不願續購太陽能熱水器的28位用戶當中，各有32.1%的比例，認為「先前使用系統的經驗不好」或「陰雨天及冬天的溫度不夠」；另有14.3%的用戶認為「系統容易故障」，10.7%的用戶認為「系統太過耗電」，而不願意繼續購買系統。

## 4. 結論與建議

受託機構於2012年針對2000年獲得經濟部能源局補助太陽能熱水系統的6,484位用戶進行電話普查，最終完成3,384位用戶的訪問，其中家用系統用戶占3,367份問卷，其成功訪問率達到52.3%。本研究僅針對家用系統用戶進行分析，從調查結果可知，有95.3%的用戶表示目前仍在2000年所購置的太陽能熱水系統，且系統損壞率僅有3.4%。由此顯示，台灣的太陽能熱水系統，大多可擁有至少12年的使用

表7 未來續購太陽能熱水系統之意願

			個數	願意	普通	不願意
仍使用系統用戶	集熱器型式 (P = 0.428)	面蓋式	3,138	83.4%	14.4%	2.2%
		真空管	71	78.9%	19.7%	1.4%
	安裝面積 (P = 0.887)	4平方公尺及以下	982	83.4%	14.8%	1.8%
		4.1~8平方公尺	2,167	83.2%	14.4%	2.3%
		8.1平方公尺及以上	60	81.7%	15.0%	3.3%
	安裝地區 (P = 0.815)	北部地區	335	81.8%	15.5%	2.7%
		中部地區	1,297	83.0%	15.0%	2.0%
		南部地區	1,577	83.8%	14.0%	2.2%
小計		3,209	83.3%	14.6%	2.2%	
已無使用系統用戶	集熱器型式 (P = 0.126)	面蓋式	152	58.6%	24.3%	17.1%
		真空管	6	16.7%	50.0%	33.3%
	安裝面積 (P = 0.736)	4平方公尺及以下	54	57.4%	20.4%	22.2%
		4.1~8平方公尺	100	57.0%	28.0%	15.0%
		8.1平方公尺及以上	4	50.0%	25.0%	25.0%
	安裝地區 (P = 0.905)	北部地區	17	52.9%	29.4%	17.6%
		中部地區	63	57.1%	22.2%	20.6%
		南部地區	78	57.7%	26.9%	15.4%
小計		158	57.0%	25.3%	17.7%	
總計		3,367	82.0%	15.1%	2.9%	

註：\*代表P值小於0.05顯著水準，即該變項對續購意願達顯著差異。



壽命。若假設用戶調查結果服從常態分布的假設(平均值為15年)，則可推算出標準差約為2.9年。這些數據讓我們有足夠的信心，樂觀看待市場經驗所提出系統擁有15年壽命的說法。

受限於調查結果的限制，未能以傳統存活模型估計太陽能熱水系統的使用壽命，建議最快至2015年，再以追蹤調查的概念進行訪問，在調查初期可先行試驗調查，在確立誤差界線與調查成本之後，再決定樣本數目、調查方式(普查或抽樣調查)，並決議是否要繼續進行調查。若決議進行抽樣調查，在樣本選取數目的部分，在進行試驗調查後可概估出系統的使用比例，若在2015年的系統使用比例降至50%，在誤差界線設定為2%之下，至少需抽取1,405個樣本數。

在執行抽樣調查，則需考慮各種可能影響到使用壽命的因素(產品品質、集熱面積等)，以分層隨機抽樣的概念進行後續調查數據的蒐集、論證與推估。若採比例配置樣本，在樣本數設定為1,405個之後，可依本次調查所得仍使用系統之比例來配置追蹤樣本：集熱面積在4平方公尺及以下的用戶，應訪問432個樣本；集熱面積介於4.1~8平方公尺者，則訪問946個樣本；至於集熱面積在8.1平方公尺以上的用戶，則訪問27個樣本。

在仍可正常使用太陽能熱水系統用戶，有超過半數表示系統曾經發生故障。故障主因為加熱器汰換、管路漏水及溫控系統損壞。南部地區的用戶，因為日射量較高，所以汰換加熱棒的比例也較低一些。而真空管系統則因墊片老化、玻璃碰撞，早期產品自大陸進口廉價產品等原因，較面蓋式系統容易損壞，此外，真空管的集熱效率較高，更易造成管內結垢的問題。

目前仍正常使用的用戶當中，對於系統擁有79.6%的滿意度。不滿意的主因以陰雨天跟冬天的熱水不熱、系統太過耗電、系統經常需要維修。若在安裝初期，若廠商能夠協助用戶學會操作系統，並能夠留下產品操作書面說

明；並定期以電話或面會追蹤用戶的使用狀況，包括記錄與檢視加熱棒及溫控系統的汰換期，及查訪管路漏水情況，應可提高用戶對於系統的使用信心，同時能夠延長系統的使用壽命。

若詢問整體用戶未來繼續購買與使用太陽能熱水系統的意願，則有高達82.0%的用戶表示願意繼續選用，顯示用戶對於太陽能熱水系統擁有極高的評價，由此亦可見政府執行補助作業十餘年的執行績效。若從續購意願及壽命假設15年來推算，約在2021年之後，家用太陽能熱水器的年度汰換市場預估可達9萬平方公尺，因此可維繫一定之國內太陽能熱水系統之市場安裝量。

本次針對2000年接受政府補助安裝之太陽能熱水系統用戶的普查經驗，包括在調查設計與後續研究建議、市場輪廓與使用經驗、使用壽命推估等數據呈現，皆有利於未來針對所有國內用戶進行調查工作，不論是以普查或是抽樣方式之規劃及執行。

## 致 謝

本文承蒙經濟部能源局委辦「太陽能熱利用推廣應用與獎勵補助作業計畫」(計畫編號102-D0303)之經費支持，在此特於誌謝。另相當感謝政治大學統計學系余清祥教授、鄭宇庭教授對於使用壽命推估、追蹤調查及抽樣設計的專業建議；以及成大能源中心張文曲副研究員、林志謙研究助理所提供的技術諮詢，與所給予本文論述統計數據之結果論證。

## 參考文獻

- 黃重魁，2002。家用太陽能熱水器用後評估之研究，*太陽能學刊*，第7卷，第2期，頁7-15。
- 陳由聖、張克勤、李聰盛、鍾光民，2003。國內太陽能熱水系統市場及銷售分析，*太陽*

- 能與新能源學刊，第8卷，第1期，頁24-29。
- 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*，第9卷，第1期，頁18-22。
- 張梅英，2004。國內太陽能熱水系統用戶滿意度調查分析，*太陽能與新能源學刊*，第9卷，第1期，頁23-36。
- 尤如瑾，2007。全球太陽能熱水器產業發展，*電子與電腦*，頁68-72。
- 李清安、張克勤、李聰盛、鍾光民，2007。颱風對國內安裝使用太陽能熱水系統之損壞探討，*中國工程師學會會刊*，第80卷，第4期，頁134-142。
- 張梅英、陳文杰、鄭宗奇，2008。我國與國際主要太陽熱能市場發展概況，*太陽能及新能源學刊*，第13卷，第1期，頁24-27。
- 陳明君，2008a。全球主要國家太陽能熱水器產業政策分析，*電力電子*，第6卷，第4期，頁88-95。
- 陳明君，2008b。我國太陽能熱水器產業廠商分析，*電力電子*，第6卷，第6期，頁81-85。
- 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*，第64期，頁103-118。
- 經濟部能源局，2009。再生能源發展條例，<http://web3.moeaboe.gov.tw/>。
- 張克勤、鍾光民、李清安，2010。成功的再生能源運用—太陽能熱水器，*科學發展*，第446期，頁44-51。
- 余森年，2011。二段式安裝太陽能熱水器於台南與台北地區之最佳效益研究，*電機月刊*，第21卷，第12期，頁142-150。
- 李清安、張克勤，我國太陽能熱水系統推廣現況，2012。*太陽能與新能源學刊*，第14卷，第2期，頁30-32。
- 顏貝珊、張克勤，2012。巴貝多太陽能熱水器發展概況，*能源報導*，6月號，頁23-27。
- 范愷軍、張克勤，2013年。離島地區太陽能熱水系統使用水質影響評估，*中國工程師學會會刊*，第86卷，第5期，頁66-77。
- 成大研究發展基金會，2014。太陽能熱水系統用戶資料管理系統。
- 成大能源研究中心，<http://solar.rsh.ncku.edu.tw>。
- Chang, K.C., Lee, T.S., Chung, K.M. and Lien, Y.F., 2004, "Current promotion and subsidy of solar water heating system in Taiwan," Solar 2004 National Solar Energy Conference, USA.
- Chang, K.C., Lee, T.S., Lin, W.M. and Chung, K.M., 2008, "Outlook for solar water heaters in Taiwan," *Energy Policy*, 36(1), 66-72.
- Chang, K.C., Lin, W.M., Lee, T.S. and Chung, K.M., 2009, "Local market of solar water heaters in Taiwan: Review and perspectives," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2605-2612.
- Chang, K.C., Lin, W.M., Lee, T.S. and Chung, K.M., 2011, "Subsidy programs on diffusion of solar water heaters: Taiwan's experience," *Energy Policy*, 39(2), 563-567.
- Chang, K.C., Lin, W.M. and Chung, K.M., 2013, "Solar thermal market in Taiwan," *Energy Policy*, 55, 477-482.
- IEA, Solar Heat Worldwide, <http://www.iea-shc.org/solar-heat-worldwide>.
- Kalogirou, S.A., 2004, "Solar thermal collectors and applications," *Progress in Energy and Combustion Science*, 30(3), 231-295.
- Koroneos, C.J. and Nanaki, E.A., 2012, "Life cycle environmental impact assessment of a solar water heater," *Journal of Cleaner Production*, 37, 154-161.
- Lin, W.M., Chang, K.C., Liu, Y.M. and Chung, K.M., 2012, "Field surveys of non-residential solar water heating systems in Taiwan," *Energies*, 5(2), 258-269.

- Liu, Y.M., Chung, K.M., Chang, K.C. and Lee T.S., 2012, "Performance of thermosyphon solar water heaters in series," *Energies*, 5(9), 3266-3278.
- Pan, T.C., Kao, J.J. and Wong, C.P., 2012, "Effective solar radiation based benefit and cost analyses for solar water heater development in Taiwan," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(4), 1874-1882.
- Scheaffer, R.L., Mendenhall, W.III and Lyman Ott, R., 2006, *Elementary survey sampling*, Thomson Brooks, Australia.
- Veeraboinaa, P. and Ratnamb, G.Y., 2012, "Analysis of the opportunities and challenges of solar water heating system (SWHS) in India: Estimates from the energy audit surveys & review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 668-676.
- Weiss, N.A., 2010, *Introductory Statistics*, Pearson, Boston.



## 附錄一

# 太陽能熱水系統推廣獎勵受託機構 太陽能熱水系統使用年限調查

問卷編號：                      錄音檔案：  
 訪問員：                      複查結果：

先生/女士 您好：

我們這邊是成功大學能源中心，接受經濟部能源局的委託，辦理太陽能熱水器的補助作業。您家中曾經在民國 89 年的時候，向政府申請過太陽能熱水器的補助，當時為您安裝熱水器的廠商是（請訪員念出廠商名稱）。我們很關心您家裡面目前使用熱水器的情況，能否耽誤您兩分鐘，訪問五個問題，謝謝！

申請書編號	申請人 填表人	調查日期：      年      月      日 訪問時間：      時      分
-------	------------	---

1. 請問，您家中在 89 年安裝的太陽能熱水器，目前還有沒有在使用呢？

☐ (1) 有

1.1.1 整體來說，您滿不滿意這套太陽能熱水器？

☐ (1) 非常滿意    ☐ (2) 滿意    ☐ (3) 普通    ☐ (4) 不滿意    ☐ (5) 非常不滿意

1.1.2 (不滿意/非常不滿意者) 為什麼不滿意？\_\_\_\_\_

1.1.3 這套太陽能熱水器，有沒有故障過？☐ (1) 有 ☐ (2) 沒有

1.1.4 (有故障者) 請問是哪裡出現問題呢？\_\_\_\_\_

1.1.5 (有故障者) 有聯絡廠商來修理嗎？☐ (1) 有 ☐ (2) 沒有

1.1.6 (有故障且聯絡廠商來維修者) 廠商有沒有馬上來修理？

☐ (1) 馬上修    ☐ (2) 等一段時間才來    ☐ (3) 廠商不回應，只有改找其他的廠商來維修

☐ (97) 其他\_\_\_\_\_

☐ (2) 沒有

1.2.1 為什麼沒有使用這套太陽能熱水器了呢？\_\_\_\_\_

1.2.2 大約是什麼時候就沒有用了？民國\_\_\_\_\_年／\_\_\_\_\_年前就無使用

1.2.3 目前您家中的熱水，是用瓦斯、電熱水器，還是太陽能呢？

☐ (1) 瓦斯／天然氣    ☐ (2) 電熱水器    ☐ (3) 太陽能    ☐ (4) 柴油    ☐ (97) 其他\_\_\_\_\_

1.2.4 (目前使用太陽能者) 您大概是在民國幾年，購買新的太陽能熱水器呢？民國\_\_\_\_\_年

2. 下次如果還要購買或是更換熱水器的話，您願不願意再一次選擇太陽能熱水器呢？

☐ (1) 非常願意    ☐ (2) 願意    ☐ (3) 普通    ☐ (4) 不願意    ☐ (5) 非常不願意

2.1 (不願意/非常不願意者) 為什麼不願意？\_\_\_\_\_

～訪問到此結束，謝謝您的回答，晚安！～

## 附錄二

樣本數的多寡關係著調查成本的花費，若樣本數太大，則將浪費調查時間、人力與費用；若樣本數太少，則無法提供適當的資訊。在此將以簡單隨機抽樣(Simple Random Sampling, SRS)的概念，當我們需要推估太陽能熱水系統壽命時(透過用戶表示仍使用的比例計算)，計算出調查時至少需要抽出的最少樣本數。以下將列出最少樣本數的計算公式。其中 $p$ 為目前仍使用系統的比例， $N$ 代表西元2012年訪問時表示仍在用系統者(在此視為進行追蹤調查時的母體數目3,209位用戶)， $n$ 為最少需抽出的樣本數。相關公式如下所示。

$$(1) \text{ 母體比例 } p \text{ 的估計式為 } \hat{p} = \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$(2) \hat{p} \text{ 的估計變異數為 } \hat{V}(\hat{p}) = \frac{\hat{p}\hat{q}}{n-1} \left( \frac{N-n}{N} \right), \text{ 其中 } \hat{q}=1-\hat{p}$$

$$(3) \text{ 估計值的誤差界限 } B = 2 \left[ \hat{V}(\hat{p}) \right]^{1/2} = 2 \left[ \frac{\hat{p}\hat{q}}{n-1} \left( \frac{N-n}{N} \right) \right]^{1/2}$$

$$(4) \text{ 最少需抽出的樣本數為 } n = \frac{Npq}{(N-1)D + pq}, \text{ 其中 } D = \frac{B^2}{4}$$

倘若可接受的誤差界線 $B$ 設定在2%的範圍之內，且根據使用經驗判斷在2015年進行追蹤調時，仍然有50% (使用比例 $p$ )的產品是可正常使用的。透過上述公式代入後，可得出最少需抽出的樣本數為1,405份。

# Survey and Analysis of Utilization Status of Solar Water Heaters in Taiwan Installed in 2000 through Subsidy Promotion

Pei-Shan Yen<sup>1</sup>   Keh-Chin Chang<sup>2\*</sup>

## ABSTRACT

A general survey on the utilization status of solar water heaters (SWHs) installed in the year of 2000, which was the first year of the second phase of SWH subsidy program launched by Taiwan government, was conducted in 2012. The purposes of this general survey are twofold. First is to understand the utilization status of these SWHs. Next is to collect the user experiences of these installed SWHs. The successful interview rate is as high as 52.3% since the complete user database has been established in the subsidy application process. Thus, the confidence level on this survey is quite high. It was found from the survey that only about 3% of the SWHs installed in 2000 were out of service, which is more optimistic as comparing to the 15-20 years of life cycle estimated by the domestic SWH industry. However, 53.3% of the in-service SWHs have ever experienced malfunctions. Among the malfunctions, damage to the electric auxiliary heating rod (37.8%), pipeline leakage (17.5%), and malfunction of timer/control panel/temperature sensor (15.7%) are the main causes. The satisfaction rate for the installed SWHs is 79.6%. As far as the consumer dissatisfaction is concerned, no hot water on rainy days or in winter (39.8%) and high electricity consumption (24.8%) are two main reasons. The willingness to renew a SWH in the future is as high as 82.0%. The survey results present the market status of the SWHs installed in 2000, and a valuable reference to both government and domestic SWH industry for setting up either the future promotion policy or marketing strategy.

**Keywords:** solar water heater, survey of user experiences, life cycle

---

<sup>1</sup> Research Assistant, Energy Research Center, National Cheng Kung University

<sup>1</sup> Professor, Department of Aeronautics and Astronautics, National Cheng Kung University

\* Corresponding Author, Phone: 886-2-2757575 ext. 63679,

E-mail: kcchang@mail.ncku.edu.tw

Received Date: Feb. 20, 2014

Revised Date: May 22, 2014

Accepted Date: May 29, 2014