

# 颱風對太陽能熱水系統裝置損壞調查剖析： 海棠颱風案例

李清安 張克勤\* 李聰盛 鍾光民\*\*

國立成功大學能源中心

\*國立成功大學航空太空工程系

\*\*國立成功大學航太科技研究中心

## 摘要

台灣屬海島地形且位於環太平洋亞熱帶區域，每年夏季由赤道附近太平洋區域形成之颱風成了主要的天然災害，而颱風對於台灣所造成的威脅除了其所夾帶之豐富雨量外，主要是其強大的風勢直接造成民眾生命財產的損失。而近年來隨著國際能源價格高漲、民眾環保意識抬頭，一般民眾對於再生能源之使用意願提高，並藉由政府及有關單位之大力推動，國內太陽能熱水系統安裝面積迄今已突破一百三十萬平方公尺，普及率日益提高；但因其為達到最高能源吸收效率，往往會將太陽能熱水系統安裝在建築物的高處，也因如此而常常成為颱風侵襲時之主要損壞目標。

本文藉由民國九十四年七月十八日侵台的強烈颱風--海棠颱風之現場情形與申請補助裝設當時之文件資料分析，由地區分佈、安裝時間、固定方式、周遭環境與集熱板朝向，瞭解與剖析國內太陽能熱水系統受颱風損壞情形，以提醒國內產、官、學、研各界對提昇太陽能熱水系統抗風能力之重視，並希望能對國內日後之獎勵補助、技術推廣與製造安裝等各方面有所助益。

## 前言

因政府的大力推動與民眾能源環保意識的普遍提高，近年來國內太陽能熱水系統的安裝量有明顯的增加，但隨之而來的其他衍生問題，如使用效率、水質、與抗風壓等問題亦一一浮現。目前經濟部能源局對於合格產品之性能標準主要是針對太陽能熱水系統集熱器集熱效率( $FR(\tau \alpha) \geq 0.75$ ;  $\eta \geq 0.5$ )。有關使用水質問題，目前太陽能熱水系統推廣獎勵作業承辦機構已針對各地之太陽能熱水系統安裝用戶抽樣進行水質採樣工作，並進而分析其使用水質之結垢與腐蝕傾向。但對於太陽能熱水系統之抗風壓能力則因實際發生案例有限之情況下，相較於前兩項則易為人所忽略。

台灣地處亞熱帶環太平洋地區，每年五至十一月是颱風季節，但強烈颱風侵台之案例仍屬少見，故往年對於太陽能熱水系統受颱風損壞之案例亦較少被報導。94

年 7 月 18 日強烈颱風海棠侵襲台灣，使得台灣地區（主要集中在花蓮縣）安裝之太陽能熱水系統多達 39 件以上因該強颱而受損，實為近年來少見之案例，故太陽能熱水系統推廣獎勵承辦機構（以下簡稱承辦機構）即著手進行因該颱風受損之個案實際狀況與背景資料分析。

## 颱風簡介

颱風是在熱帶海洋上發生的劇烈的熱帶氣旋（低氣壓），其強度是以近中心附近最大平均風速為準，劃分為 3 種強度（詳參表 1），其侵台之個別數量則由中央氣象局百年颱風統計分析資料可以看出，中度颱風佔大多數，而強烈颱風則僅佔 20%，且自 89 年 8 月 22 日碧利斯颱風以來，近五年來皆無強颱侵台，今(94)年 7 月 18 日登陸台灣的海棠颱風則為近五年來首見侵台之強烈颱風。

表 1 颱風強度劃分表

颱風強度	近中心最大風速			
	每時公里	每秒公尺	相當蒲福風級	1897~2004 侵台颱風數量統計
輕度颱風	62~117	17.2 ~32.6	8~11	108(28.4%)
中度颱風	118~183	32.7 ~50.9	12~15	196(51.6%)
強烈颱風	184 以上	51.0 以上	16 以上	76(20.0%)

資料來源：中央氣象局網站

依據中央氣象局公佈之資料顯示：海棠颱風於民國 94 年 7 月 12 日在關島北北西方生成後，快速向西南西轉西北方向移動。7 月 18 日清晨接近台灣時，在花蓮外海逆時鐘方向打轉一圈後，於當日 14 時 50 分左右於宜蘭東澳附近登陸，近中心最大風速 55.0m/s，按表 1 之分類標準，屬強烈颱風；22 時左右於苗栗後龍附近進入台灣海峽，繼續向西北移動。19 日 18 時在馬祖附近進入大陸，隨後於 20 日 20 時減弱為熱帶性低氣壓。

## 損壞案件基本資料分析

## 一、區域分析

由於颱風侵台之路線不同，造成其損壞區域亦有所差異，海棠颱風因為其在登陸前曾先在花蓮外海逆時鐘方向打轉一圈，故其損壞地區主要集中在花蓮縣（多達 17 件，佔 43.59%，更佔 89 年 6 月至 94 年 7 月間花蓮縣總安裝量的 4.45%，詳參表 2），其對當地太陽能熱水系統之損壞情況可謂空前。此外颱風登陸後路徑經過的宜蘭縣與苗栗縣因安裝量少，加上颱風本身受地形影響而致風力減弱，故並未有太陽能熱水系統損壞紀錄。由上述討論及表 2 數據顯示：強烈颱風直撲台灣本島，對於各地太陽能熱水系統之損壞程度，端視其移動路徑與風力大小而異，但若於安裝量較密集之地區，將會造成大數量之損壞情形。

表 2：各縣市損壞情形

縣市	件數(1)	(1)/(2)	89 年至颱風發生前 之總安裝量*(3)	(1)/(3)
台中縣	3	7.69%	8806	0.03%
彰化縣	5	12.82%	5888	0.08%
嘉義縣	1	2.56%	1974	0.05%
台南市	2	5.13%	6930	0.03%
高雄市	9	23.08%	8877	0.10%
高雄縣	2	5.13%	11106	0.02%
花蓮縣	17	43.59%	382	4.45%
合計(2)	39	100.00%		
備註： *總安裝統計期間為 89 年 6 月至 94 年 7 月 17 日。				

## 二、品牌分析

此次因海棠颱風受損太陽能熱水系統產品所屬的廠商共 7 家（詳參表 3），涵蓋了國內目前市面上的主要品牌，其損壞比例佔各廠商在表 2 所列縣市的總安裝量之 0.01%~0.24%。其次在 39 件損壞案例中，以 H 廠商的 14 件最多（佔 35.9%），主要因為該廠商在花蓮縣安裝量有 77 件佔花蓮縣總安裝量 382 件之 20.16%（為該地區第二大安裝品牌），而 77 件中便有 11 件（佔 14.29%）受海棠颱風損壞。但因為不同的製造廠商除了集熱板之材質與厚薄不同外，其安裝固定方式及安裝地點周遭建築型態亦各有差異，這些都可能成為該品牌太陽能熱水系統抗風壓能力之主要決定因素，故非單一品牌因素直接影響其損壞程度。

表 3：損壞品牌統計

製造廠商	損壞件數(1)	(1)/(2)	該廠商在表 2 所列 縣市中總安裝量*(3)	(1)/(3)
A	1	2.56%	10372	0.01%
B	7	17.95%	2768	0.25%
C	6	15.38%	3229	0.19%
D	2	5.13%	820	0.24%
E	6	15.38%	4709	0.13%
F	2	5.13%	2926	0.07%
G	1	2.56%	3255	0.03%
H	14	35.90%	6542	0.21%
合計(2)	39			
備註： *統計期間為 89 年 6 月至 94 年 7 月 17 日。				

### 三、安裝時間分析

由表 4 可以看出海棠颱風受損壞案件之安裝年份主要為近三年內，屬新安裝用戶，這可能與此次海棠颱風損壞案件中，受損產品最嚴重的 H 廠商近年來採用之安裝固定方式不同所造成之差異。另外近幾年各家廠商為求提高集熱板之吸熱效率，紛紛將集熱板使用之玻璃面罩厚度由 5mm 改為 3mm，是否造成近三年集熱板整體抗風壓強度降低有關，則仍待進一步的探究。

表 4：安裝時間統計

安裝年份	件數(1)	(1)/(2)	總安裝量(3)	(1)/(3)
89	1	2.56%	5012	0.020%
90	3	7.69%	13156	0.023%
91	2	5.13%	13906	0.014%
92	10	25.64%	15197	0.066%
93	13	33.33%	19434	0.067%
~94.7.17	10	25.64%	12946	0.077%
合計(2)	39	100.00%	79651	0.049%

## 安裝情境分析

### 一、有無屏障分析

在因海棠颱風受損而向承辦機構回報的 39 件個案裏，就承辦單位已派員至現場

勘驗的 22 件中，太陽能熱水系統裝置周圍有屏障者（包括女兒牆、樓梯間、緊鄰建物等）僅 5 件，佔總數 22 件之 22.73%（詳參表 5），無任何屏障者則高達 17 件（佔 77.27%）。所以若能善加利用頂樓周遭可供屏障之建物，應可有效降低颱風損害，但以目前台灣地小人稠、寸土寸金的情況，為求屋頂樓層空間的最有效利用及其他功能性（如隔熱、防漏等），常會於頂樓加蓋鐵皮屋，再將太陽能熱水系統裝於鐵皮屋的斜屋頂或加裝之支撐平台上，因此缺乏女兒牆等其他建物提供有效屏障，而讓太陽能熱水系統直接曝露在颱風來臨時的強風吹襲中，易增加其受損的機會。

表 5：有無屏障物分析

項目	件數	(%)
有屏障建物	5	22.73%
無屏障建物	17	77.27%
合計	22	100.00%

## 二、集熱板朝向分析









由於台灣位於北半球，故為求能吸收較高之日射能量，國內大多數的太陽能熱水系統安裝時主要朝南面，所以受颱風摧毀的案件中絕大多數的面板皆朝南及西南（如下表所示）；同理若該侵台颱風風向由北邊吹入的話，將會由集熱板背面吹入而造成較高的損壞比例，而此次海棠颱風在台灣本島所測到最大極大風速為 7 月 18 日在花蓮測得的 58.5m/s（相當於 Beaufort scale 17 級風）風向為北北西(340°)，故在花蓮地區造成重大的風災損壞。

表 6：集熱板朝向統計

集熱板朝向	件數	比例
E	1	4.76%
N	1	4.76%
NE	1	4.76%
NW	1	4.76%
S	10	47.62%
SW	7	33.33%
合計	21	100.00%

## 三、固定方式

除了外在環境屏障與否、風向與風力大小會影響太陽能熱水系統之受颱風損壞程度外，其安裝固定方式亦為關鍵因素之一，故將此次遭受颱風侵襲損壞之太陽能熱水系統安裝固定方式區分為以下四種：

方法	安裝方式		損壞方式	
	圖示	說明	圖示	說明
一： 螺絲鎖定		該集熱板邊框預留固定螺絲孔，再以螺絲將其固定於基座角鐵之上。		該固定方式之集熱板受強風吹襲後，易從集熱板中間鼓起，致使面板玻璃破碎、板內管路弓起毀壞。
二： 鐵環焊接螺絲		該集熱板藉鐵環焊接螺絲固定，其以鐵環套裝於出水管，再以螺絲將其固定於基座角鐵之上。		該固定方式之集熱板受強風吹襲後，易從集熱板中間鼓起，致使面板玻璃破碎、板內管路弓起毀壞。
三： 角鐵上下扣夾		該集熱板以一等長角鐵配合原基座角鐵，上、下夾扣，再以螺絲鎖緊。		該固定方式於安裝時若固定螺絲鎖太緊恐造成面板玻璃破碎，故該集熱板於颱風時，易造成固定螺絲鬆動，使上、下角鐵間夾縫變大，致使集熱板飛出毀壞。
四： 鐵勾扣住		該集熱板以鐵勾一端扣住出水管，另一端鎖在基座角鐵上。		該固定方式之集熱板受強風吹襲時，易造成固定鐵勾變直，致使集熱板脫落毀壞。

## 結論與建議

### 一、損壞原因

#### @ 風速過大

風力是造成此次太陽能熱水系統損壞的直接原因，但因氣流對建築物作用，其所形成之建築物環境風場將受到許多因素交互影響，且形成的風場係一複雜氣流運動。影響該等氣流變化之因素包括有：風速、風向攻角、建築物幾何外型、鄰近之建築物等（蕭，2005）。故自中央氣象局之各地區極大風速資料並無法判斷出目前市面上販售之太陽能熱水系統之耐風壓強度，惟有經風洞模擬測試方可得知。

#### @ 周遭無屏障物

由本研究之數據可以得知，高達 77.27% 的颱風損害案件之太陽能熱水系統安裝位置周遭並無任何屏障建物，故造成強大的颱風風力直接向集熱板吹襲，則集熱板所需承受之風壓（Beaufort scale 17 級風相當於  $377\sim 449\text{kg/m}^2$  的風壓）常常會超過集熱板本身結構強度或其安裝固定設施之強度範圍，而造成整個系統摧毀。

#### @ 面板強度不足

由上文固定方式中之方法一（螺絲鎖定）及方法二（鐵環焊接螺絲），發現該固定方式堪稱穩固，但在長時間強風吹襲下，集熱板本身結構強度仍不足以抵擋該強大風壓，而造成整個集熱板弓起、面板玻璃破碎、集熱管路折斷突出。

#### @ 固定方式欠佳

而上文固定方式中之方法三（角鐵上下扣夾）及方法四（鐵勾扣住）皆是因為其固定設施鬆脫或損毀，而造成整個集熱板脫落毀壞，其中方法三乃因為其固定方式會間接加壓在集熱板上，為避免壓毀面板玻璃而無法鎖緊固定螺絲，致使固定螺絲易因強風持續吹襲而鬆脫；方法四則僅靠鐵勾來拉住固定集熱板，而無法抵擋太大的風力。

### 二、目前廠商因應之道

現有安裝銷售廠商對於風災受損用戶太陽能熱水系統之修復或重新安裝者，已針對上述安裝固定之問題做了某些改善方式，經調查整理如下：

#### @ 固定機構補強（圖 1、圖 2）

部分安裝廠商為防止集熱板飛落，直接在集熱板中段加裝一組橫桿，並固定

於地上，多一組腳架之拉力與固定作用，使集熱板不易因強風而脫落（如圖 1 所示）。此一補強方式因將外物直接放置於面板之上，故隨著加裝之角鐵寬度大小，多少會影響系統之集熱效率。



圖 1：加橫桿補強示意圖

另有以上述固定方法三（角鐵上下扣夾）施作之太陽能熱水系統安裝銷售業者，則在上、下角鐵間，繞過進水管，加纏數圈不銹鋼絲（如圖 2 所示），以防止角鐵間空隙因強風作用而加大，致使面板脫落而毀損。雖然該方法最不影響原熱水系統之集熱效益，但其受耐風壓能力則未經測試，且系統之外觀整體性不足，嚴重影響使用者之整體觀感。



圖 2：綁上鋼絲示意圖

#### @降低傾角（圖 3）

由於台灣地處北迴歸線（北緯  $23.5^\circ$ ）附近，故最佳的太陽能集熱效率會是面南，且水平夾角約  $20^\circ\sim 25^\circ$  間，效果最佳；且若是自然循環式太陽能熱水系統，則適當的面板傾角對於系統的加熱作用是必要的。但因面板夾角與受風面分力成正



比（即垂直站立之受風力最大，而平貼地面則最小），故有部分安裝廠商在安裝斜屋頂用戶之太陽能熱水系統時，將其面板斜度降低，使面板之水平夾角降至約 10 度左右，而此法對於系統之集熱效率當然會有所影響。

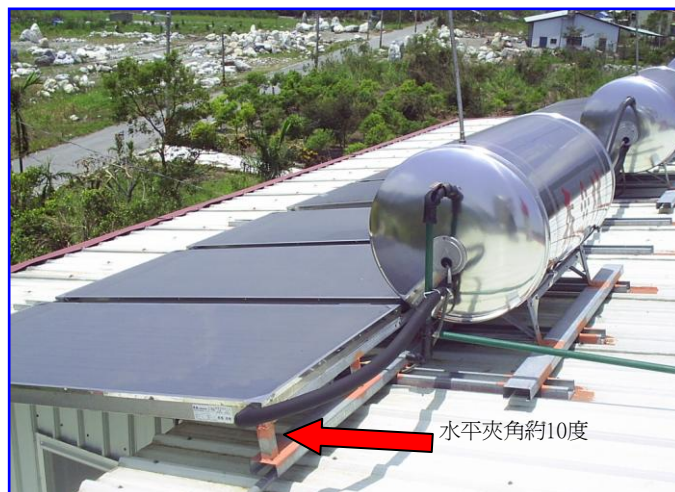


圖 3：降低水平夾角示意圖

#### @利用地形掩蔽（圖 4）

由於高達 77.27% 的颱風損害案件之太陽能熱水系統安裝位置周遭並無任何屏障建物，故發現有些風災用戶將太陽能熱水系統由原安裝無任何屏障之屋頂搬至有女兒牆之陽台（如圖 4 所示），或轉向與斜屋頂浪板同向。但此種改善方法對於整體系統集熱效率影響最鉅，尤其新搬遷安裝位置雖四周皆有建物阻擋強風，但卻亦有嚴重遮陰的現象發生；或是整個集熱器由原本面南轉向面西，都會大大減低系統之集熱效果，但當調查人員以該可能之效果影響問題問及用戶時，用戶的回答頗為無奈：「我們也知道集熱效率會打折，但畢竟安全重於一切，萬一集熱板自屋頂飛落砸傷人，那就不是省多少電費或金錢所能衡量的了。」這段回答值得有關當局深思。



圖 4：利用地形掩蔽示意圖

### 三、建議

本文對於太陽能熱水系統受颱風損壞之剖析，主要由實際之現場調查訪問與用戶安裝時之基本資料分析，輔以中央氣象局之當時氣候數據進行剖析與探討，欠缺理論鋪陳，或實驗數據佐證，故僅可達到適時反應災情、拋磚引玉之效果。至於進一步之理論建構與實驗設計，例如：風洞實驗及結構強度分析等，則須有賴產、官、學、研各界先進更深入之研究探討。

正因為目前國內對於太陽能熱水系統之推廣獎勵補助作業程序中，對於合格集熱板之規定，僅要求其集熱效率，至於固定方式與集熱板本身結構強度，目前仍無適當之施工規範與產品結構強度要求，致使長時間以來，大多數製造廠商僅將研發資源投入於更高集熱效率之產品開發。五年來首次登陸台灣的強烈颱風海棠，提醒了各家廠商應更投入心力於固定技術與結構強度。

### 參考文獻

中央氣象局網站 (<http://www.cwb.gov.tw>)。

蕭葆義(2005)·風工程·基隆：國立台灣海洋大學河海工程學系。

### 誌謝

本文承蒙經濟部能源局委辦「太陽能熱水系統推廣獎勵補助作業計畫」(計畫編號：94-D0134)之經費支持，在此特於誌謝。