

颱風對國內安裝使用太陽能熱水系統之損害探討

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沛雨量外，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，並藉由政府之大力推動，國內太陽能熱水系統安裝面積迄今已突破 150 萬平方公尺，普及率日益提高。但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，也因此易因颱風侵襲而導致損壞。

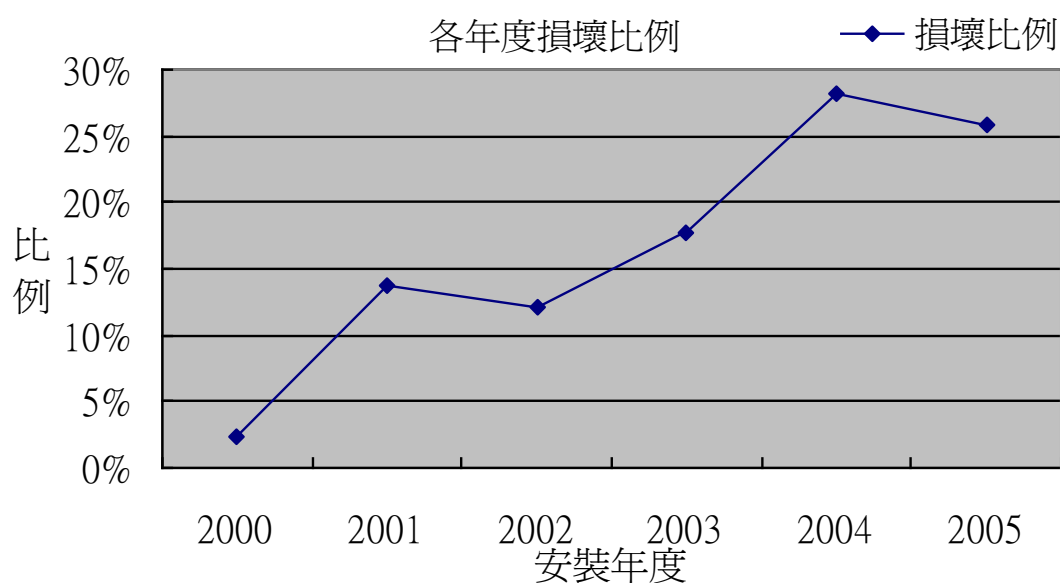
本文以我國自 2000 年以來之太陽熱水系統安裝資料，比對百年來侵台颱風之氣象檔案數據，佐以 2005 年間侵台的三個強烈颱風--海棠、泰利、龍王颱風所造成太陽能熱水系統損壞情形進行分析探討，分別由颱風風力、風向及侵台路徑等面向因素，剖析國內太陽能熱水系統受颱風侵襲之影響情形與受損程度。

前言

以目前科技之發展而言，國內對於太陽能源之利用主要分為光電與光熱兩大系統，其中太陽光電因技術成熟度與經濟性等考量，目前仍僅限於示範階段；而國內太陽能的熱利用產業垂直整合完備、產品自製率高、品質已達國際水準，加上近年來政府的大力推廣補助，全國安裝面積累計已達 150 萬平方公尺，居全球第十名，安裝密度則是全世界第三，為當前我國推展最具成效之再生能源。其依太陽能集熱設備型式差異又可區分為平板式與真空管式兩大類，前者因在國內發展較早，廠商經銷網絡與產品類別亦較為完善，故市場佔有率較高(佔 2006 年全國安裝率達 89.40%)。

影響太陽能熱水系統使用壽命之主要因素包括設備品質、使用水質及颱風等，但目前經濟部能源局對於合格產品之性能標準主要僅針對太陽能熱水系統集熱器集熱效率(主要為下列二者：1.集熱器由其表面所受照射之日射量中，可用能量之最大

比率 $F_R(\tau \alpha)$ 須不低於 0.75；以及 2. 特性效率 η ：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，須不低於 0.5) 來控管。有關太陽能熱水系統使用水質問題，目前成功大學能源中心已針對各地之太陽能熱水系統安裝用戶進行抽樣分析其使用水質之結垢與腐蝕傾向[1]。但對於太陽能熱水系統之抗風壓能力方面，由 2005 年間侵台之三個強烈颱風（海棠、泰利、龍王）對我國太陽能熱水系統造成之損壞案例依其安裝年度統計（如圖一），可以看出新安裝的太陽能熱水系統反而易受颱風損壞影響，雖其詳細原因仍須進一步分析探討，但由此可見一般太陽能熱水系統製造或安裝廠商長久以來並未正視此一問題，相較於前兩項使用壽命影響因素（產品品質及水質）更易為人們所忽略。



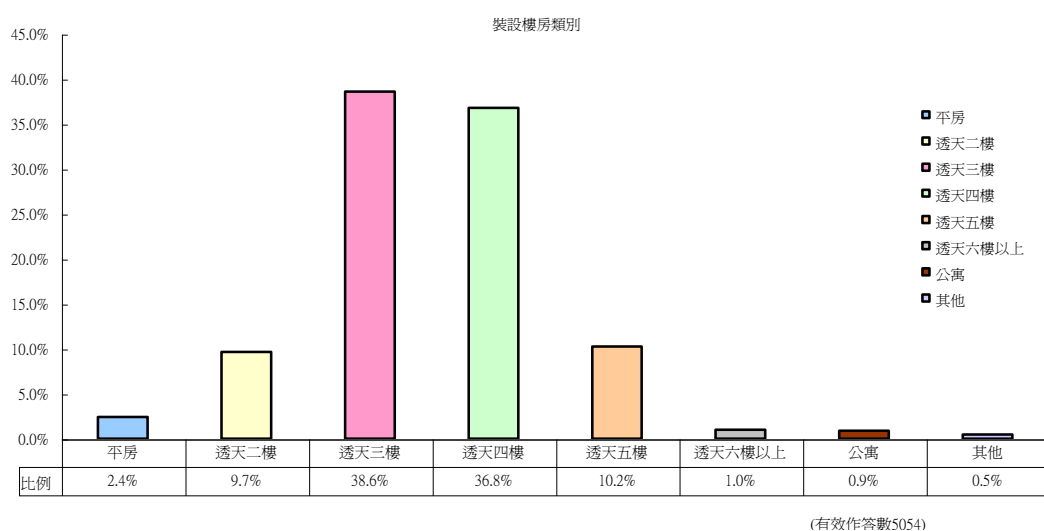
圖一： 2005 年三強颱風損壞太陽能熱水系統案例依安裝年度統計

國內太陽能熱水系統安裝使用現況

我國推動太陽能熱水系統之使用歷經政府於 1986 年至 1991 年、2000 年迄今兩階段的獎勵補助，2006 年年安裝量逾 2 萬 4 千件，相當於約 12 萬平方公尺集熱面積；全國迄今安裝集熱面積累計約有 150 萬平方公尺，其中絕大多數為一般家用熱水使用(佔 95.86%)，故現有已安裝之太陽能熱水系統集熱板面積大小多在 10 平方公尺以下(佔 98.40%)。而依成功大學能源中心針對 2000~2006 年全國申請安裝太陽能熱水系統補助款用戶之基本資料、問卷回覆內容以及派員到府使用情形調查等資料統計分

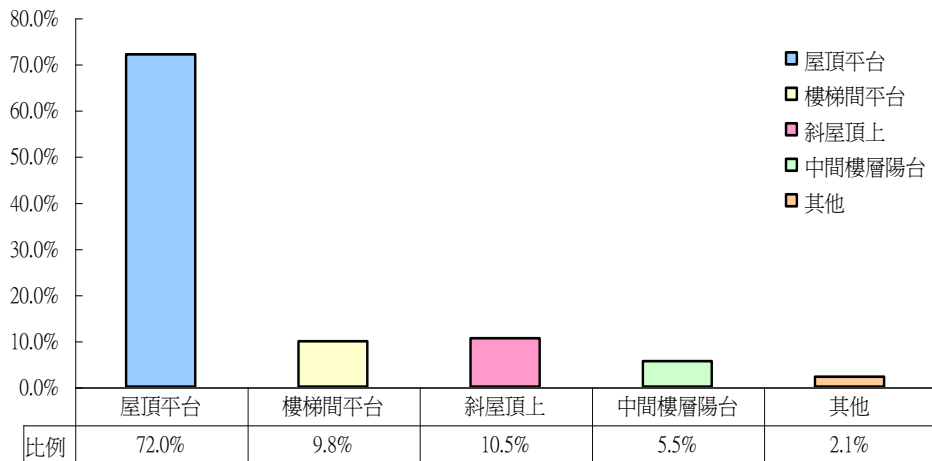
析顯示：

- 1.安裝之地理區域分布：台灣各地因受地理位置、地形環境、建築型態、人口戶數與氣候等因素影響，安裝數量多寡依次為南部(57.74%)、中部(30.63%)、北部(10.38%)、東部(0.98%)及離島(0.27%)地區。
- 2.裝設之位置：由於太陽能熱水系統安裝位置需能直接擷取太陽幅射能，故絕大多數安裝於透天厝(98.6%)之屋頂平台(72.0%)，說明情形請參考圖二、圖三。
- 3.安裝朝向分析：由於台灣位於北半球迴歸線附近，為求最佳之太陽能吸收率，太陽能熱水系統之朝向以向南且與地面傾角約 20~30 度間為最佳，但可能因為受限於安裝現地之地形地物條件，仍有約 7.8%其他朝向之安裝案例。



圖二 裝設太陽能熱水系統之樓房別

安裝位置統計圖



(有效作答數 5054)

圖三 集熱板安裝位置

侵台颱風記錄

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（詳參表一）[2]，其侵台之個別數量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，而強烈颱風比例則近二成。自 2000 年 8 月 22 日碧利斯颱風以來，近五年來皆無強颱侵台，2005 年連續 3 個強颱侵台，是 40 年來所罕見[3]。

依據中央氣象局公佈之資料顯示：海棠颱風於 2005 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陸，22 時左右於苗栗後龍附近脫離本島進入台灣海峽，19 日 18 時在馬祖附近進入大陸。泰利颱風於 8 月 27 日在關島西方生成後，向西北方向移動，28 日颱風轉向西北西方向朝台灣移動，9 月 1 日清晨到達花蓮近海，其低層環流中心呈現滯留打轉並減弱消失，且隨即由台中西方近海形成之副低壓中心取代，並持續向大陸福建移動。龍王颱風於 9 月 26 日在關島北方生成後，隨後以西北轉偏西方向朝台灣移動，10 月 2 日清晨 5 時 10 分於花蓮豐濱附近登陸，當日 10 時於濁水溪口附近進入台灣海峽，並於 3 日凌晨由金門附近進入福建（詳參圖四、表二）。

表一 颱風強度劃分表

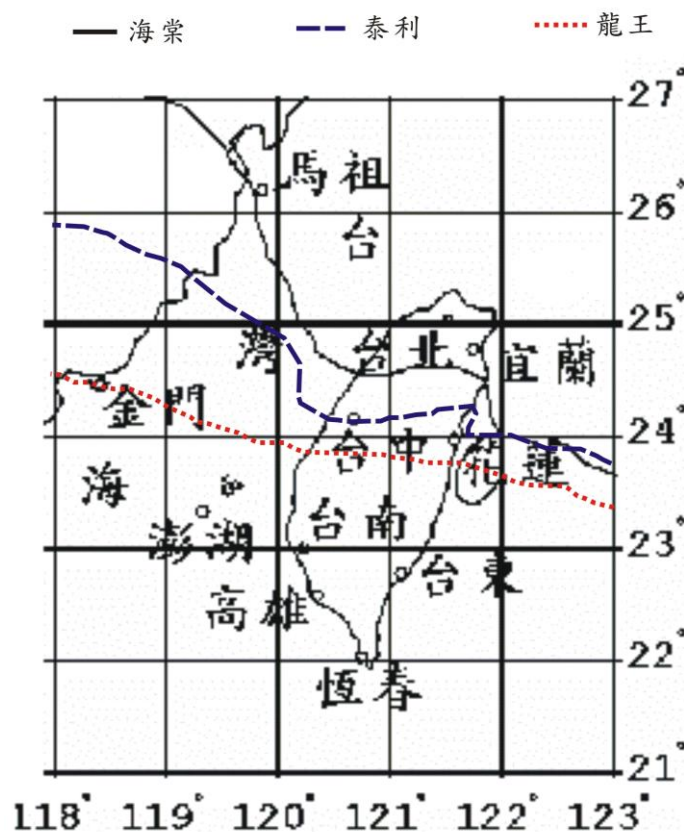
颱風強度	近中心最大風速				
	每時公里	每秒公尺	相當蒲福風級	風壓(公斤/平方公尺)	1897~2006 侵台颱風數量統計
輕度颱風	62~117	17.2 ~32.6	8~11	35~128	110(28.5%)
中度颱風	118~183	32.7 ~50.9	12~15	128~312	197(50.8%)
強烈颱風	184 以上	51.0 以上	16 以上	312 以上	79(19.7%)

資料來源：中央氣象局網站

表二：2005 年侵台強颱風基本資料

颱風名稱	登陸時間	登陸地點	出海時間	出海地點	近中心最大風速(m/s)	相當蒲福風級
海棠	07/18 14:50	宜蘭東澳	07/18 22:00	苗栗後龍	55.0	16
泰利	09/01 清晨	宜蘭花蓮間	09/01 16:00	台中	53.0	16
龍王	10/02 05:10	花蓮豐濱	10/02 10:00	濁水溪口	51.0	16

資料來源：中央氣象局網站



資料整理自中央氣象局網站

圖四：2005 年侵台強颱風路徑圖

颱風對太陽能熱水系統損壞之影響

颱風對於太陽能熱水系統之影響，若以太陽能熱水系統為分析主體則主要可區分為系統以外之外在因素：包括颱風風力、風向、路徑及有無遮蔽物（包括女兒牆、水塔、樓梯間牆壁及隔鄰牆壁）；以及系統本身之內在因素：包括太陽能集熱面板朝向、固定方式以及結構強度（如表三）。其中於海棠颱風對所安裝太陽能熱水系統之損壞統計數字[4]可以看出：在有無遮蔽物因素方面，有高達 77.27% 損壞案件為無遮蔽物案例。集熱面板朝向因素方面，因國內超過九成的太陽能熱水系統集熱面板朝向南方，故有 80.95% 損壞案例之集熱面板朝向南方。而在固定方式與結構強度等因素之探討，國內現有安裝固定方式區分為螺絲固定、鐵環焊接螺絲、角鐵上下扣夾及鐵勾扣住等四種(如表四)，其中以第一、二種固定方式較為堅固；但若風速過大時又可能因面板結構強度不足而造成損壞。表三中其他尚未探討之外在因素則為本文

主要之分析構面，分析如下：

(一)颱風風力對太陽能熱水系統損壞之影響

風力大小為颱風對太陽能熱水系統損壞最直接之影響因素，當颱風侵襲時各地出現的風力大小，除與颱風的強度有關外，與當地的地形地物、建物高度及颱風的行進方向亦有密切關係，一般而言，颱風在行進方向的右前方風力最強[5,6]；而風力越大對於集熱板所產生之風壓差或其截面升力越大，損壞便越嚴重。至於在相同風速下，同一面板平面中以上端接近儲水桶處及下端接近地面部分之壓差明顯較大[7]。但若要推估多大的風力會對太陽能熱水系統造成損壞，則須透過個別安裝固定方式及材質結構強度分析及實體風洞模擬等實驗方式方可瞭解。但以 2005 年 7 個侵台颱風而言(3 個強颱、2 個中颱及 2 個輕颱)，其中 3 個強颱造成絕大多數太陽能熱水系統損壞案例，故若以實際案例歸納判斷，風力之損壞門檻似乎在風速 51.0m/s(約風壓 312kg/m²)，其發生比例佔 1897~2006 年之一百年間侵台颱風總數之 19.7%。但若以這 3 個強颱所造成各縣市損壞案件分析(如表五)，略過 4 件以下之縣市不計，則海棠颱風在高雄市的 31.4m/s 及泰利颱風在台中市的 27.1m/s 皆造成十餘件的損壞案例，可見風力對太陽能熱水系統損壞間之關係無法單純由風速大小決定之，仍須考量其他現場因素。

(二)颱風風向對太陽能熱水系統損壞之影響

由上文之分析與統計資料可以知道：國內太陽能熱水系統為求最佳集熱效率，其與安裝樓板間皆有 20~30 度傾角，這使該熱水系統其正面與背面之受風壓影響明顯不同，而約有 92.2%的太陽能熱水系統皆是面南安裝，所以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。表六為 2005 年度三個侵台強颱極大風速發生時之風向資料，可以發現：三者中極大風速最大的龍王颱風卻非損壞件數最多的，亦不及同樣在花蓮測得極大風速的海棠颱風，主要原因可能為龍王颱風極大風速發生時之風向為東南東方(120°)，而海棠與泰利則皆為北北西方(340°、320°)，正好由大多數太陽能熱水系統集熱板背面吹入，故該兩個颱風分別在花蓮及台中地區造成嚴重的損害，且因台中地區(屬中部地區)其太陽能熱水系統安裝密度較花蓮地區(屬東部地區)之安裝密度為高，在台中地區所造成之損害又較花蓮地區高得多。由此可見因為太陽能熱水系統之安裝型態特性(座北朝南且有傾角)造成颱

風風向(主要為北方風系)對其影響程度遠大於其風力之大小。

(三)颱風路徑對太陽能熱水系統損壞之影響





中央氣象局將歷年侵台之颱風依其路徑不同區分為 10 類(如圖五,其中第 0 類為太平洋上之颱風並不列入本文探討之中),其中各大類中又細分副類:西行颱風 5 大類中,係以西行颱風路徑通過 122°E 經線為準,再以所經緯度不同為依據區分各副類(圖六)。北行颱風則以中央山脈為界分為 6、7 兩類,係以 22°N 為準。另外,第 8 類為來自太平洋的轉向颱風,以 121°E 為分類依據。第 9 類為來自南海颱風,以 120°E 為分類依據(圖七)。歷年侵台颱風中以第 5 類路徑的 20.1% 所佔比例最高,其次為第 4 類路徑的 14.8%,而 2005 年 3 個侵台強颱之路徑(圖四)屬第 3 或 2 類。根據上文所述台灣因受地理位置、地形環境、建築型態、人口戶數與氣候等因素影響,各地區安裝數量多寡不一,故不同的颱風路徑所造成的損害程度亦將有所差異。

為進一步探討不同颱風路徑可能之損害情形,本研究將以直接撲台的第 2、3、4、8、9 類路徑為主要分析對象,分別取其 21、31、41、81、93 副類為代表路徑;而各縣市之總安裝量則以 1986~2000 年工研院統計數據及 2001~2006 年成功大學能源中心統計數據為推估依據;損壞量預估方面:在登陸地點乃以海棠颱風時花蓮縣損壞率(4.30%)為預估損壞率,而出海地點則以泰利颱風在台中縣之損壞率(0.48%)為預估依據。則可發現西行的 2、3、4 類路徑,因為登陸地點都在台灣東半部,太陽能熱水系統安裝數量較少,相對損害程度亦較輕微,但若是屬北行偏東的第 8、9 類強烈颱風路徑,因其路徑將經過太陽能熱水系統安裝密度之南、中部地區,則分別可能會在台灣地區造成超過 1000 與 2000 件損害案例(受影響縣市數假設只計入登陸及出海地點之兩個縣市),其所可能造成之生命財產損失實不容小覷。

表三：颱風對太陽能熱水系統之影響因素分析

外在因素	風力
	風向
	颱風路徑
	有無遮蔽物
內在因素	集熱板朝向
	固定方式
	支架與集熱板之結構強度

表四：太陽能熱水系統集熱器固定方式

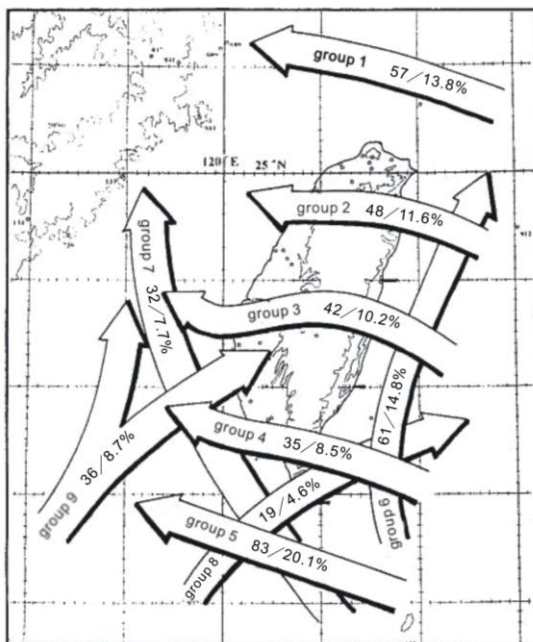
方法	安裝方式		方法	安裝方式	
	圖示	說明		圖示	說明
一：螺絲鎖定		該集熱板邊框預留固定螺絲孔，再以螺絲將其固定於基座角鐵之上。	三：角鐵上下扣夾		該集熱板以一等長角鐵配合原基座角鐵，上、下夾扣，再以螺絲鎖緊。
二：鐵環焊接螺絲		該集熱板藉鐵環焊接螺絲固定，其以鐵環套裝於出水管，再以螺絲將其固定於基座角鐵之上。	四：鐵勾扣住		該集熱板以鐵勾一端扣住出水管，另一端鎖在基座角鐵上。

表五：損壞案件縣市分布

縣市	89-94年 安裝件數	海棠颱風				泰利颱風				龍王颱風				合計		
		件數	比例	縣市損 壞比率	極大 風速	件數	比例	縣市損 壞比率	極大 風速	件數	比例	縣市損 壞比率	極大 風速	件數	比例	縣市損 壞比率
苗栗縣	546					1	1.33%	0.18%						1	0.66%	0.18%
台中縣	9667	5	9.09%	0.05%	41.9	46	61.33%	0.48%	48.6	4	18.18%	0.04%	42.4	55	36.18%	0.57%
台中市	3108					13	17.33%	0.42%	27.1					13	8.55%	0.42%
彰化縣	6433	7	12.73%	0.11%		13	17.33%	0.20%		3	13.64%	0.05%		23	15.13%	0.36%
雲林縣	2428	1	1.82%	0.04%										1	0.66%	0.04%
嘉義縣	2159	1	1.82%	0.05%	22.6									1	0.66%	0.05%
台南市	7792	2	3.64%	0.03%	34.0									2	1.32%	0.03%
台南縣	8219	1	1.82%	0.01%		1	1.33%	0.01%	33.0					2	1.32%	0.02%
高雄市	9914	14	25.45%	0.14%	31.4	1	1.33%	0.01%	29.7					15	9.87%	0.15%
高雄縣	12531	5	9.09%	0.04%										5	3.29%	0.04%
花蓮縣	442	19	34.55%	4.30%	58.5					14	63.64%	3.17%	64.9	33	21.71%	7.47%
台東縣	234									1	4.55%	0.43%	21.1	1	0.66%	0.43%
合計	62927	55	100.00%	0.09%		75	100.00%	0.12%		22	100.00%	0.03%		152	100.00%	0.24%

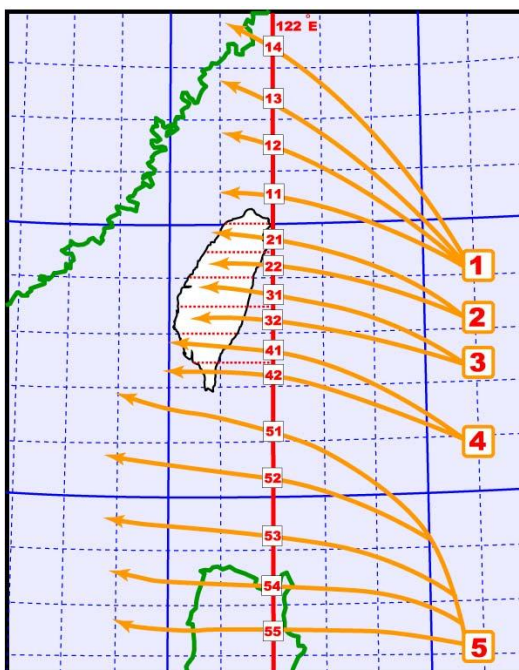
表六：極大風速資料

颱風名稱	極大風速		地點	風向	損壞件數
	公尺/秒	蒲福風級			
海棠	58.5	17	花蓮	340°	19
泰利	48.6	15	梧棲	320°	53
龍王	64.9	>17	花蓮	120°	14



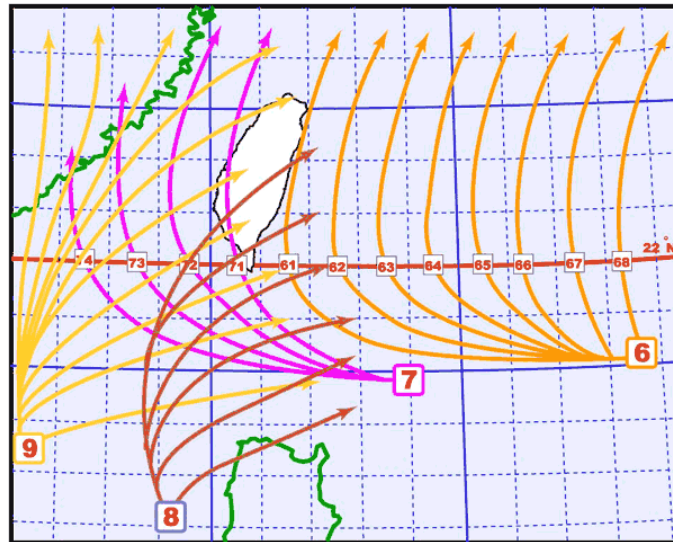
資料整理自中央氣象局網站

圖五：1897~2005 年間侵台颱風分類及發生次數統計



資料整理自中央氣象局網站

圖六：西行颱風副類



資料整理自中央氣象局網站

圖七：非西行颱風副類

結論

由於台灣地理位置的關係，颱風對於所安裝太陽能熱水系統之可能損壞有其不可避免性，除了集熱板朝向、固定方式及支架與集熱面板之結構強度等內在因素影響外，尤其在相當強度的風力、瞬間吹襲風向、侵台進行路徑等因素將對國內所安裝之太陽能熱水系統造成嚴重的損害。目前一般安裝、製造廠商針對颱風影響所作的防護措施主要有：降低太陽能集熱板傾角、於板面上再加上橫框條之補強固定方式、就近掩蔽物(將導致遮蔭後果)及加強面板結構強度等，但前三者皆會產生降低太陽能熱水系統使用效能之副作用，而後者則會增加系統製作成本，售價因而上升，進而影響民眾安裝意願。

太陽能熱水系統是當前我國推展最具成效之再生能源，且為因應京都議定書及其他國際環保條約之限制與規定，加上近年來國際能源價格高漲，故持續地推廣獎勵太陽能熱水系統安裝有其必要性[8]。但由本文的研究分析可以知道，颱風侵襲對於太陽能熱水系統之危害程度隨著推廣安裝量的增加而日益升高，尤其 2005 年受三個強烈颱風損壞資料之統計案例中絕大多數是全損案件，而依成大能源中心人員於海棠颱風受損案例之現勘經驗值，還有約 65% 半損案件未納入本次統計數據之中，故可能之影響情形更甚於本文之推論值。但或許是因為 2005 年一年內有三個強烈颱風侵台是四十年來首見，以致國內自 1986 年開始推廣太陽能熱水系統以來，較少因颱風受損案例可供詳細探討與統計分析。希望透過本文之發表，能達拋磚引玉之效，

以喚醒國內各界對提昇太陽能熱水系統抗風能力之重視。

參考文獻

1. 李清安、張克勤、李聰盛、鍾光民，「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，18-22 頁，民國 93 年。
2. 中央氣象局網站 (<http://www.cwb.gov.tw>)。
3. 中國時報，民國 94 年 10 月 1 日 A10 版。
4. 李清安、張克勤、李聰盛、鍾光民，「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，第 10 卷，第 2 期，2-5 頁，民國 94 年。
5. 蕭葆義，「風工程」，基隆：國立台灣海洋大學河海工程學系，民國 94 年。
6. 朱佳仁，「風工程概論」，台北：科技圖書，民國 95 年。
7. 劉怡眉、林怡君、張克勤、鍾光民，「降低太陽能熱水器風阻之探討及測試」，航空、太空及民航學刊，系列 B，第 38 卷，第 1 期，49-54 頁，民國 95 年。
8. 連雅鳳、張克勤、李聰盛、鍾光民，「國內太陽能熱水系統推廣及使用情形剖析」，太陽能及新能源學刊，第 11 卷，第 2 期，9-11 頁，民國 95 年。

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：96-D0134) 之經費支持，在此特於誌謝。

作者資料

姓名	李清安
服務單位	國立成功大學能源中心
職稱	研究助理
通訊地址	台南縣 711 歸仁鄉中正南路一段 2500 號
聯絡電話	06-3300691#110
傳真	06-3300694

姓名	張克勤
服務單位	國立成功大學航空太空工程系
職稱	教授
通訊地址	台南市 701 東區大學路 1 號成功大學航空太空工程系
聯絡電話	06-2757575#63679
傳真	06-2751164
姓名	李聰盛
服務單位	國立成功大學航太科技研究中心
職稱	研究員
通訊地址	台南縣 711 歸仁鄉中正南路一段 2500 號
聯絡電話	06-2392811#228
傳真	06-3391915
姓名	鍾光民
服務單位	國立成功大學航太科技研究中心
職稱	研究員
通訊地址	台南縣 711 歸仁鄉中正南路一段 2500 號
聯絡電話	06-2392811#210
傳真	06-3391915