

強化太陽能系統安全性

宋郁德

一、前言

正確安裝及維護的狀況下，太陽能系統不會對民眾或資產造成危險。而提高太陽能系統安全性，是所有系統安裝商及業主關注的重點。而保護一般民眾及資產要預防太陽能系統起火，避免負面報導並提高產業聲譽，減輕系統安全危害，提高系統穩定性，增加系統運行時間及提高發電量並協助滿足保險要求。不能只重視太陽能帶來之利潤，更應優先落實安全衛生管理，即透過風險評估，將工程規劃設計、施工、維運階段全面納入管理，達到產業安全與職業安全之雙贏目標。以下關鍵因素，應特別注意。

二、直流高電壓

太陽能系統非常安全，但由於設計或安裝施工造成的失火意外還是可能發生，消防員通常要求當大樓失火時切斷電源作為安全預防措施。當屋頂安裝太陽能系統併聯電網，即使變流器關閉，陽光照射下模組則繼續產出直流電源，太陽能模組通常輸出電壓為 30-60V，當模組連接成串，組串電壓則高達 600-1500V，致太陽能安裝商、維運人員在執行維運作業以及緊急救難人員的潛在危險。關閉變流器或是切斷直流電纜會終止電流，但直流電壓上升，造成觸電風險。

三、電弧可能造成安全風險

電弧為持續性的高能放電，由電流通過不導電的介質而產生，例如空氣。當太陽能電纜或連接器未正確連接或損壞，電流會通過空氣傳導，產生電弧電弧會導致裝置通電，造成安裝系統帶電，造成觸電危險或潛在火災的風險主要原因：錯誤或不當連接的線纜或連接器、腐蝕、動物咬嚙電線、直流隔流器故障、太陽能系統元件過熱、連接器及線纜老化、太陽能系統失火，無效消防。

四、太陽能系統失火，無效消防

台電在系統失火時，僅斷交流端。傳統變流器的關斷功能僅中斷電流，電壓依然存在高壓風險。自動直流斷路器，安裝在變流器上但無法切斷模組的電壓，不但無法降低風險，更增加成本。

當模組覆蓋物時，噴射泡沫，泡沫會在達到滅火效果前蒸發或從模組上滑落，不透光物質覆蓋模組時，需要消防員冒著觸電的危險，帶著此覆蓋物攀爬至發生火災的屋頂滅火。

五、淹水

颱風、地層下陷、低氣壓造成的暴雨造成的淹水，造成高壓直流設備潛在危

險。水滲入變流器可能造成短路(無觸電風險)，同時間連接器滲水會造成觸電風險。

六、台灣消防署搶救太陽能發電設備指導原則

裝設太陽光電發電設備建築物及處所即使經台電斷電後，應注意太陽能板至變流器間配線仍有電力，從火災初期至殘火處理都必須注意，指揮官應通知提醒火場搶救人員仍有電力樓層作業時須避免感電。太陽光電發電系統未斷電線路，掉落碰觸到建築物的金屬樑柱時，依舊有導電危險，勿以沾濕的手套碰觸金屬周邊設施，並通知太陽光電發電業者（或台電協同）切勿貿然射水，使救災人員暴露在感電風險下，滅火行動盡可能使用乾粉或氣體藥劑。若需射水，建議在 6 至 10 公尺以上之距離處，以展開角度 30 度以上之水霧射水，且瞄子出水壓力至少 7kgf/cm² (100psi)。非必要時切勿碰觸、破壞太陽光電發電設備，以免觸電。即使太陽能板表面已遭受破壞，仍須注意觸電風險。

七、美國電弧檢測標準

UL1699B 直流電弧標準：太陽能系統運行在 80 VDC 或更高(在任何兩個導體之間) 應該安裝太陽能電弧故障斷路器或其他相同功能的設備進行保護。系統應能檢測及中斷由太陽能系統中 DC 電路中的導體，連接器，模組或其他系統元件中連續性的故障導致的電弧。NEC 2014/17 sec.690.11 & 690.12 要求能通過變流器關閉來終止電弧，系統必須保持關閉狀態，直到安裝人員完成檢查程序並更換元件，之後才能人員手動開啟。

八、快速關斷 NEC 2017/2020

快速關斷 Rapid Shutdown (RSD)為美國強制及廣泛使用以及的安全標準，了解更多要求屋頂型太陽能系統在緊急狀況之下能快速將高壓降至安全電壓。應用於太陽能串列內部配置及外部安裝。

九、安全與智慧兼顧

安裝較少太陽能元件及連接，限制了達到更高安全性的能力。智慧科技可能需使用額外元件，並透過下列方式大幅提高系統安全及投資報酬：

- (一)安全低電壓，系統關閉時自動將電壓降至安全等級。
- (二)電弧故障檢測及中斷。
- (三)熱偵測。
- (四)模組層級監控，提供精確的故障檢測。
- (五)自動關斷。

真正安全的太陽能系統應整合不同的安全功能，滿足安全規定，並具有長時間的現場驗證完整的太陽能解決方案，讓業主/EPC 廠商更安心。

十、安全安裝及維護

通過歐洲認證可作為直流隔離，符合 IEC/EN60947-1 及 IEC/EN 60947-3，以及安全標準 VDE AR 2100-712 及 OVE R-11-1。內建有專門設計的保護功能，可減輕電弧故障引發火災的風險，且符合 UL1699B 電弧檢測標準規範，符合(Type 1) NEC 2011-2017 690.11。在緊急、維護等情況下關斷變流器傳統系統關斷時只會中斷電流，DC 電壓甚至會增加。有太陽光時，太陽能模組及電纜仍保持通電，若有其他故障或短路，已關斷的變流器或集中式隔離開關將無法控制該情況。第三方隔離開關只會增加成本，而不會降低風險。系統關斷時，AC 關閉或偵測到串列故障，模組層級關斷功能會自動斷電至安全的程度，避免模組及串列間的電流可防止火災發生，並打造安全的工作條件，消除人員意外接觸高壓太陽能系統的威脅，可立即拆移太陽能模組，讓消防員經由屋頂輕鬆進入著火的建築內，無模組及串列間短路（如颱風損壞後）造成起火的風險。

十一、電弧故障及熱偵測

傳統變流器系統整體連接可能較少，但連接數越少，電弧或過熱保護功能不足，可採用第三方解決方案，但會提高安裝成本、衍生可靠性及相容性疑慮，且與太陽能系統的整合有限（如監控）。符合美國 UL1699B 標準，在釀成火災前，透過偵測所有連接處的電弧故障（如模組接頭）提供智慧的自動保護，解決方案已完整整合運轉系統中，無須額外成本，可精確標示溫度問題位置，節省維護人員在現場檢修的寶貴時間。

十二、預防產生電弧

預防產生電弧前，溫度先發生改變，系列功率優化器整合的技術在此溫度，變化演變成電弧之前進行偵測，系統立即關斷，以利延長設備壽命並保護人員及財產，變流器也配備類似機制，能感測 AC 和 DC 連接器上的溫度異常。現場除要求業者務必強化施工期間之安全設施外，亦要求施工團隊應將安全意識擴展到「規劃設計」及「維運」等階段，也呼籲投入太陽能產業之業者，不能只重視太陽能帶來之利潤，更應優先落實安全衛生管理，即透過風險評估，將工程規劃設計、施工、維運階段全面納入管理，達到產業安全與職業安全之雙贏目標。

按：宋郁德，中華民國仲裁人/消防師事務所。