

太陽光電系統安全與模組快速關斷標準現況

游佩珊 / 工研院 電光所 自動化設計與測試技術組, 工程師

我國 2000 年即開始推動太陽光電產業，積極推動能源轉型，並以帶動綠能產業發展為目標。太陽光電是非常重要的供電方式之一，預計於 2025 年非核家園目標中達成 20 GW 累積安裝量，確保國內穩定的內需市場。但隨著模組建置與場域的增加，發生火災的案例及影響也明顯增加，太陽光電系統持續發電時會因灑水救火而造成感電危害，進而影響救災進度。國際太陽光電系統安全規範更提出快速關斷的概念，希望透過模組級關斷將太陽光電系統電壓降低，以提升消防人員對太陽光電系統進行消防救火時的安全性，避免因殘留於光電模組中的直流高壓而造成感電危險。本文將介紹快速關斷概念之由來及國際標準之現況。

一、前言

全球太陽光電產業發展已趨成熟，太陽光電模組日漸普及[1]。太陽光電模組建置完成後，若未定期系統性的營運管理，追蹤發電及結構狀況，以致常見後期因模組受損造成影響或災害，引發的危害案例(如圖 1~3)逐漸被重視。臺灣地處亞熱帶，屬於海島型氣候，常受到水災或風災的影響。適當的太陽光電板架設方式，例如建築物屋頂及架高支架等，可以避免水災影響；常見抵擋颱風的侵襲方法則是加強支架及扣件的固定、改善結構以提高抗風強度等方式做為預防。然而火災影響則較少被提及，這更是屋頂型太陽光電系統設計、運維、事故緊急處置時必須特別關注的議題。

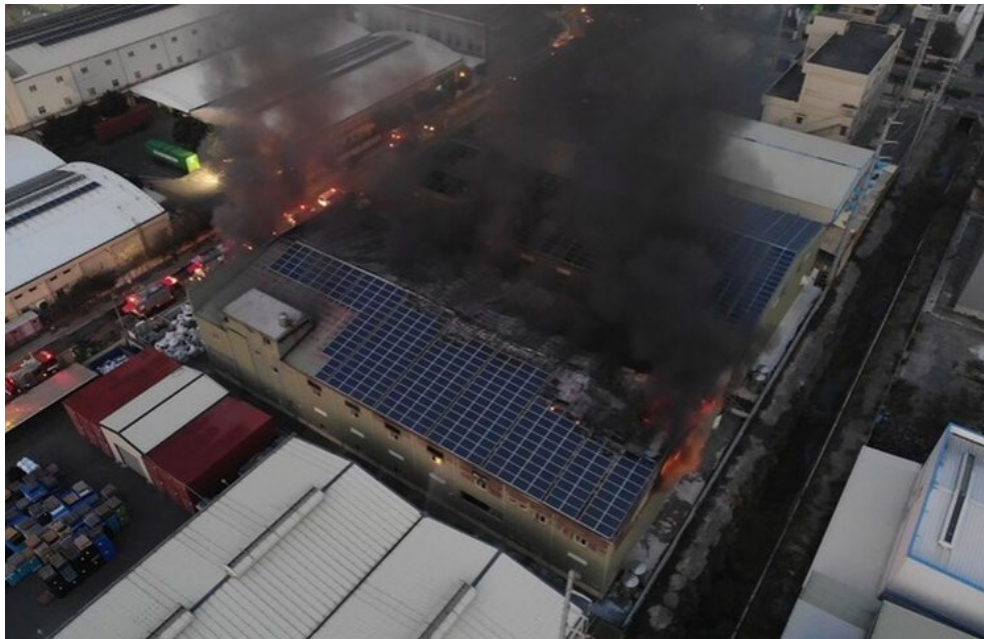


圖 1、彰化塑膠工廠大火裝設太陽光電系統於 2020/03/07 發生火災[2]



圖 2、彰濱線材廠太陽能設施於 2021/09/15 起火燃燒[3]



圖 3、台南柳營雞舍裝設太陽光電系統於 2021/09/28 發生火災[4]

對於太陽光電系統的運維及事故緊急處置來說，分別存在著「直流高壓危害」及「救災風險」兩大安全隱憂。太陽光電系統的陣列一般採用模組串聯來配合逆變器可操作電壓範圍使用，因此串聯電壓一般高達 600 V 以上。當火災發生時，絕緣披覆可能受損，若直接進行灑水就會產生如圖 4 所示的電弧效應，讓救災人員處於觸電的高風險情境。在此種情形下，只能被動地等待太陽光電模組燃燒完畢。美國為較早開始推廣太陽光電產業的國家，加上對人命的重視，為了降低火災時滅火作業因高壓太陽光電陣列帶來的危害，因此制訂了快速關斷(Rapid Shutdown)的安全規範。

藉由將太陽光電陣列及系統的電壓降低至一定的安全範圍，達成降低對緊急救援者的電擊危害，避免災害的擴大與救援的危險性。



圖 4、高壓電遇水的電弧效應[5]

二、快速關斷標準

臺灣針對太陽光電模組的相關標準分為著重產品性能驗證的 CNS 15114、CNS 15115、CNS 15534 或 IEC 61215 : 2005、IEC 61646 : 2008、IEC 62108 : 2007 以及著重產品安全驗證的 CNS 15118-2 或 IEC 61730-2 : 2004[6]。屋內線路裝置規則中有針對太陽光電系統相關規範[7]，而針對太陽光電系統運維及搶救過程中的安全問題，臺灣消防機關也有相關的搶救太陽光電設備的火災指導原則[8]。國際上相關標準則可參考美國國家電工法規(National Electrical Code, NEC)[9]，NEC 690 規範為太陽光電系統安全規範，其下條文 NEC 690.12 則是建築物上太陽光電系統快速關斷的安全規範，為目前該規範的世界領導者。

NEC 是美國國家防火協會(National Fire Protection Association, NFPA)所制定，為美國電線與電器產品設計、安裝的標準。內容包含一系列的防火標準以及人身/財產安全相關規定，隨著技術發展適時修正內容使標準更符合現況使用，約每三年會進行改版發布。2014 年 NEC 690.12 規範中就針對設置於建築物太陽光電模組及系統的快速關斷作出了明確要求，所有建築物上的太陽光電系統都要安裝快速關斷開關，緊急狀況時系統電壓需要在 10 秒鐘內降到 30 V 以下。但此時標準的快速關斷方案並沒有實現模組等級的關斷，屋頂上的太陽光電陣列內仍舊存在直流高壓。

2017 年更大範圍增加法規內容，定義快速關斷需要太陽光電陣列邊界外的導體電壓在執行快速關斷後 30 秒內須降至 30 V，此外陣列邊界內的導體電壓在啟動快速關斷後 30 秒內須降至 80 V。同時定義了太陽光電模組及陣列的限制、不能有裸露接線、任兩導線及導線與接地的電壓量測需求，並提到以電路元件的方法，設計快速關斷功能以降低電擊之危害。圖 5 為 2020 年版本的 NEC 690.12 規範相關章節增修內容，增加條文強調受控導體的定義，並提出了太陽光電危害控制系統(Photovoltaic hazard control system)之用詞，以一或多個設備

組成危害控制系統以符合標準之安全要求，並需經過 UL 3741 之認證[9]。截至 2022/03/01，如圖 6 所示，目前美國 50 州中已經有 41 州接受 NEC 規範，要求須建置具有快速關斷功能的太陽光電系統，以確保救災安全及降低財損。

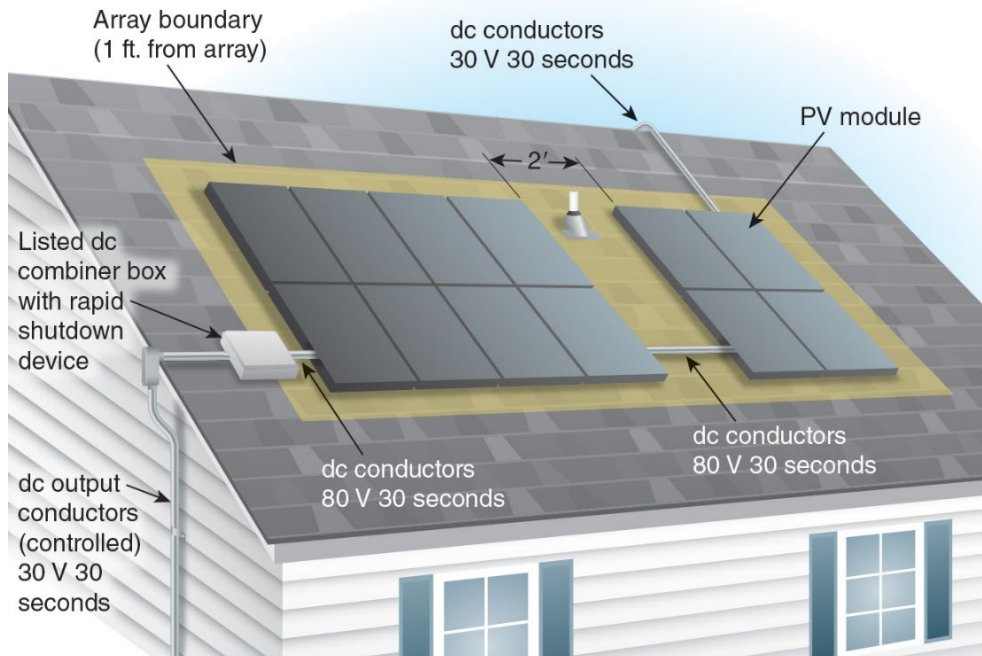


圖 5、NEC 690.12 在 2020 年版章節增修內容[9]

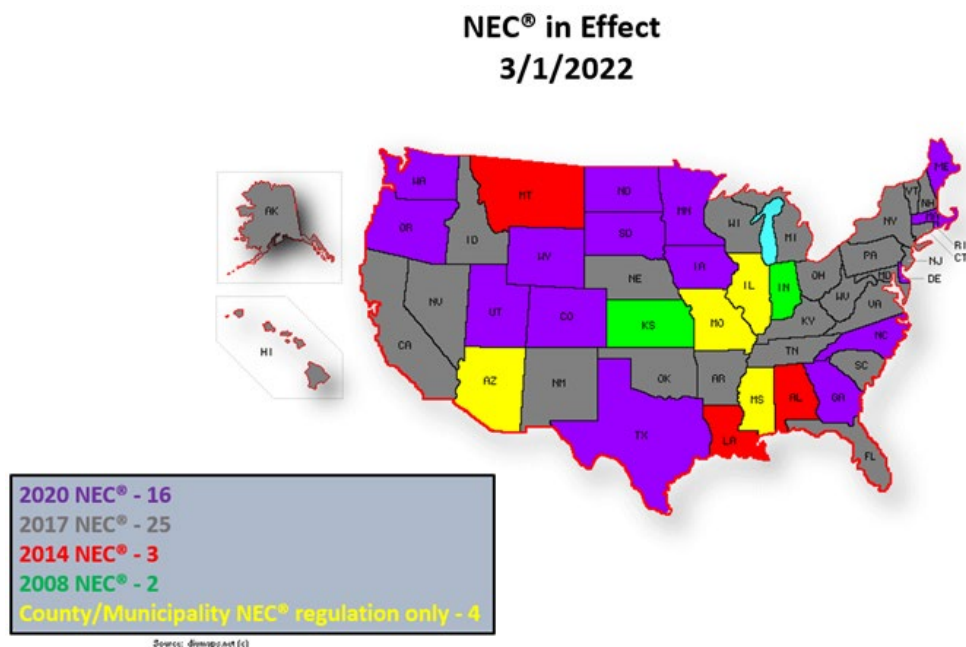


圖 6、美國各州須符合 NEC 版本標準的現況[10]

三、快速關斷之因應

傳統的因應對策是設置手動控制器或以變流器系統關斷太陽光電模組的電流路徑，前者從發現火災異狀到人工啟動關閉控制並等待電壓降至允許範圍，往往會耗費許多時間。而後者變流器是連接整體的串接太陽光電模組，並無法確認每個模組之間的連接均斷開，因而難以確保太陽光電模組內的殘餘電壓已降低至允許範圍。

為了實現模組級快速關斷的目的，可觀察許多推出的太陽光電模組與監測系統。隨著安全標準的制定，這幾年來 Tigo 及 SolarEdge(如圖 7)等國際大廠推出優化器，搭配使用特定的逆變器，達到電弧保護機制與電壓自動關斷功能。國內外也已有許多廠商(如圖 8 之 Fonrich New Energy Technology)推出相關的快速關斷系統，可透過有線或無線進行傳輸控制。有線控制技術有 Power Line Communication (PLC)、RS-232/RS-485 等連線架構與通訊協定，無線控制則有 Low Power Wide Area Network (LPWAN)、Zigbee 等傳輸技術，搭配模組等級的關斷電路設計，達到國際標準要求的 30 秒降至 80 V 的需求。



圖 7、SolarEdge 快速關斷系統[11]

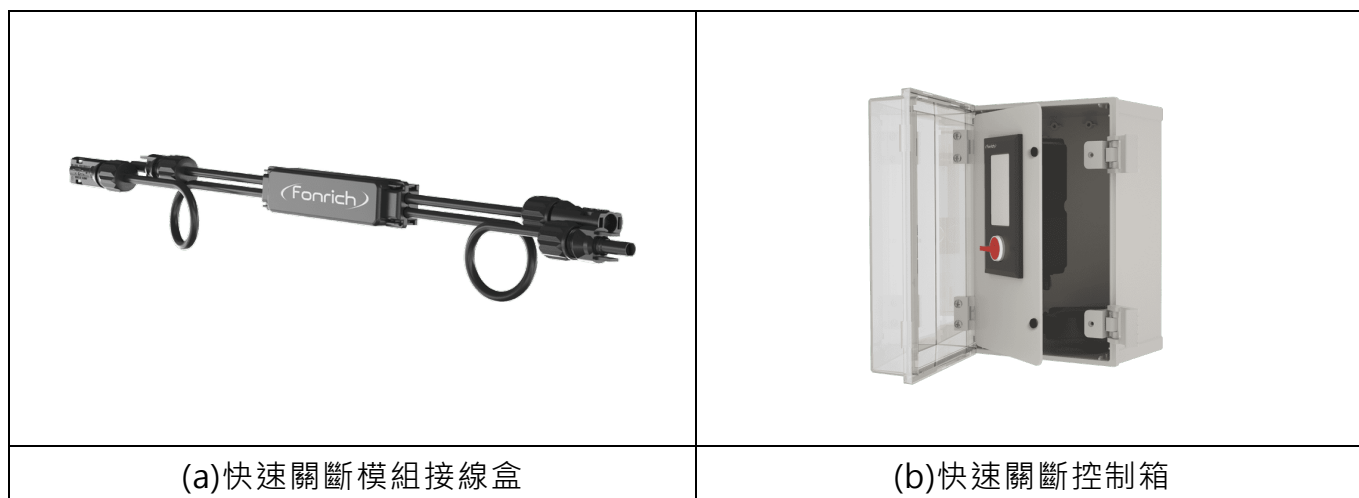


圖 8、Fonrich 快速關斷系統[12]



四、結論

除了應用的環境差異與電壓等規格不同，2020 年版 NEC 690.12 的章節編排較複雜，有許多描述例外情形的條文，而且在標準中使用較少見的術語。因此即使條文只有簡易的文字描述，但往往導致不易理解，需輔以其他相關協會的規範條文資料補充才能理解。

NEC 690.12 標準目前尚未被臺灣標準參考使用，然而了解先進國家標準的最新動態有助於國內的產業發展，並得以順應國際潮流並與國際規範相接軌，太陽光電系統之快速關斷裝置規範可做為未來國內安全相關標準修訂參考內容之一。除了公用事業的技術進步以外，還需要跟供應商加強合作關係。當相關企業都依標準規範投入研發或是共同尋求能符合世界認可標準的配套措施時，共同努力才能使此產業快速且穩健的發展。

五、參考資料

- [1] 太陽能產業產業鏈簡介，產業價值鏈資訊平台，2022/05/25 檢索，取自 <https://ic.tpex.org.tw/introduce.php?ic=A100>。
- [2] 彰化塑膠工廠大火 屋頂太陽能板燒熔！，2020/03/07，蘋果新聞網，2022/05/28 檢索，取自 <https://tw.appledaily.com/local/20200307/QVDJ2XIR3UZKRJA74INL3V5NVA/>
- [3] 彰濱線材廠太陽能設施起火，2021/09/15，聯合新聞網，2022/05/28 檢索，取自 <https://udn.com/news/story/7320/5747378>
- [4] 養雞舍傳火警 屋頂裝太陽能光電板灌救添阻礙，2021/09/28，聯合新聞網，2022/05/28 檢索，取自 <https://udn.com/news/story/7320/5778499>
- [5] 高壓電遇水實驗，2022/05/28 檢索，取自 <https://3g.163.com/v/video/VTDUT25JL.html>
- [6] 蔡閔安，「太陽光電模組產品登錄網站與登錄制度介紹」，工研院量測中心，2019/09。
- [7] 研一所，「屋內屋外供電線路裝置規則」新章節架構及主要內容」，台灣綜合研究院，2016。
- [8] 太陽能火災防護必知重點「快速關斷」迅速降壓重要性不可言喻，2020/11/22，TechNews，2022/05/28 檢索，取自 <https://technews.tw/2020/11/12/solar-edge-safe-dc/>。
- [9] National Electrical Code, 2020, National Fire Protection Association, United States. Pp.690.12(A)~(D)
- [10] NEC enforcement, National Fire Protection Association, Retrieved 2022/5/28, from <https://www.nfpa.org/NEC/NEC-adoption-and-use/NEC-adoption-maps>
- [11] "SolarEdge HD-Wave Review: Pros & Cons, Pricing, Specs (2021 Edition)" , 2021/01/04, unboundsolar, Retrieved 2022/5/29, from <https://unboundsolar.com/blog/solaredge-hd-wave-review>
- [12] Fonrich PV Rapid Shutdown with Monitoring Introduction, 2021/04/19, Fonrich, Retrieved 2022/5/29, from <https://www.fonrich.com/en/posts/2021-04-19-PV-Rapid-Shutdown-with-Monitoring-Released/>