

故障電弧對太陽能電池系統的安全威脅



故障電弧對太陽能電池系統的安全威脅

在綠能產業的快速發展下，成本不斷降低的太陽能光電產品益加廣泛地為家庭或公司行號所運用，而隨此趨勢，太陽光電產品可能帶來的火災意外即益發引起大眾的重視。尤其自 2006 年起，歐美陸續發生多起的太陽能電池模組或系統火災事件，造成程度不一的設備毀損，某國際知名大廠即為此展開全面性的產品召回與檢修，以維護商譽。



根據這類意外的事後調查，我們發現多數電氣火災的發生原因皆指向「故障電弧」。鑒於此，本期內容包括故障電弧的種類及其發生原因，業界相應推出的太陽能光電故障電弧斷路器 (PV AFCI)，2011 年美國電工法規®(NEC®) 針對 PV AFCI 產品的規範動向，以及 UL 為協助業者推出更安全的產品，正積極開發測試方法與機制等。

故障電弧的威脅

一般來說，電弧是一種氣體放電現象，指電流通過某些絕緣介質（例如空氣）所產生的瞬間火花，物理上可以依據「Paschen 定律」來估算。而「故障電弧」即是指這種放電現象發生在我們不希望發生的地方，同時其高熱造成未預期的火災事件。太陽能電池系統是一種直流電的發電裝置，其造成的故障電弧稱之為「直流故障電弧」，此與一般交流故障電弧最大不同處在於其沒有相位改變所造成的間歇性週

期現象。

換言之，一旦發生了直流故障電弧，高熱現象將會維持直至電源來源消失。由於故障電弧產生的高熱可達攝氏 1,000 度以上，因此不僅會造成週遭的絕緣物質分解或碳化而失去絕緣的功效，同時也容易導致鄰近的物質達到燃點而被點燃起火，甚至有時故障電弧會造成金屬導體熔化而噴發出高熱的金屬顆粒，而其一旦接觸到可燃物質，亦會造成嚴重的火災意外。

故障電弧的成因

針對太陽能電池系統發生的故障電弧，總體歸納來看，主要可以分為兩類：

1. 串聯故障電弧：當一條有負載的電流導線在未預期的情況下扯斷或斷裂，在其斷裂處即會產生所謂的串聯故障電弧。這種不佳的接觸點好發於太陽能晶片與晶片之間、晶片與導架之間、快速接頭之間、接線與接線盒之間，或是斷裂的連接線上。太陽能電池系統因為有成千上萬個接點，因此一般常見的起火源為串聯故障電弧。
2. 並聯故障電弧：當一個未預期的路徑剛好通過兩個極性相反的導體之間，則在此路徑所發生的意外即為並聯故障電弧。此類故障電弧的成因常是嚙齒動物咬破電線、電線的老化、外力造成電線破損等，而使得電線失去既有的絕緣功效，並讓正負兩極的金屬互相接觸產生了故障電弧狀況。

雖然並聯故障電弧的發生機率遠小於串聯故障電弧，但是帶來的危險性確是遠遠超過後者，因為當並聯故障電弧發生之際，太陽能電池系統的電壓與電流仍會持續保持供應與維持此故障現象所需的能量。另外，接地故障也是一種並聯故障電弧的典型型態。

故障電弧的防範

故障電弧斷路器 (AFCI) 是一種偵測與切斷故障電弧的電子裝置，其被視為近 20 年來最重要的電氣安全保護裝置。此產品是透過獨特的感測器偵測電路中的電壓或電流的訊號，比對是否與故障電弧的訊號相似，如果判定發生故障電弧現象，即會主動切斷電源以消除故障電弧的狀況。2002 年起，美國電工法規[®] 開始將故障電弧斷路器納入評估的範疇，並明文規定一般家庭皆要安裝此類裝置於配電箱中以保

護用電安全。相較於交流故障電弧斷路器的成熟發展，直流故障電弧斷路器現今雖仍處於萌芽階段，但卻因其具備的安全特質而為許多領域所運用。如過去瑞士航空 111 班機所發生的大型空難事件，讓航空業開始重視直流故障電弧對於航空器的危害；而後來汽車業亦陸續開展此設備的研發，並已經有一些產品原型對外公開。以此為鑑，可用於太陽能電池系統的 AFCI 之發展將格外受產業界關注。

針對故障電弧斷路器的提案

隨著太陽能光電產品的大量發展與運用，UL 十分關注故障電弧對太陽能電池系統造成的危害問題，因此已於 2009 年針對 NEC[®] 2011 第 690 章節提出新的提案，其內容如下所示：690.11 直流故障電弧電路保護器 (Arc-Fault Circuit Protection (DC))。採用直流電源及/或輸出電路在或貫穿建築物的太陽能光電系統，其運作電壓最大值為 80 伏特或更高時，應受通過列名的太陽光電用 (DC) 故障電弧斷路器保護，或其它能夠提供相等保護功能的通過列名之系統零組件。太陽光電用故障電弧斷路器應遵循以下要求：

- 當故障電弧成因是太陽光電產品的直流電源與輸出電路的導體、連接器、模組或其它系統持續失效時，該保護系統必須能夠偵測並切斷。
- 保護系統必須切斷或斷開以下其一：
 - a. 連接故障電路的變頻器或充電控制 (當偵測到故障時)。
 - b. 在電弧電路內的系統零組件。
- 系統要求被切斷或斷開的設備須由手動重新啟動。
- 系統須設置一個可被手動切斷的訊號警示裝置。

目前法規委員會已接受此一提案並列入 2011 年美國電工法規[®]，相關的測試方法與要求將會明文規定於 UL 標準 1699B 中。

PV AFCI 測試方法的發展

UL 研發部門 (Corporate Research Center) 現正積極著手研究 PV AFCI 的測試方法，基於 PV AFCI 必須要能夠在各種不同的情境下及時準確地偵測到故障電弧並切斷系統電源，研究的首要工作是設計可模擬各種真實故障電弧狀況的測試機具，包括接點鬆脫、接觸不良、接線斷裂、絕緣材碳化、電線受潮、絕緣材破裂...等；另研發的工作尚涵蓋模擬一些偽訊號，如系統啟動時的突波、直流開關切換、變頻器的相變化等，由於這類的訊號特徵十分接近故障電弧，而良好

的 PV AFCI 則必須能分辨出兩者的不同。除了上述的單一測試訊號模擬外，混合正常與故障訊號亦在工作之列，以測試 PV AFCI 在有掩蔽的情境下，是否仍能偵測出故障電弧。為讓太陽光電系統更加安全，UL 將透過訂定合適的測試方法與機制，使通過 UL 測試並認證的 PV AFCI 皆可發揮應有的功效。

本文作者為 UL 研發技術部 Jerry Yen