第二十章

搶救太陽光電發電設備場所安全指導原則

指導原則預計達成目標

本指導原則內容屬消防人員教育訓練教材性質，目的在於提供各級消防機關指導消防人員注意救災安全之用。

本指導原則主要提供學習者瞭解太陽光電發電設備場所搶救基本概念，當面臨太陽光電設備場所事故救援時，在搶救初期應注意之安全事項，以避免消防人員傷亡。

所有搶救行動，應衡酌搶救目的與救災風險後，採取適當之搶救作為；如確認無人命需救援、疏散或受災民眾已無生還可能，得不執行危險性救災行動。

指導原則摘要

一、前言
二、災害特性
三、災害歷史案例
四、安全注意事項
五、結語
附錄　消防鞋絕緣及抗靜電標準

指導原則本文

一、前言

我國能源長期高度依賴進口，而隨著全球逐漸關注並推動溫室氣體減量趨勢，政府於98年陸續公告施行「再生能源發展條例」暨相關子法，以落實能源安全、綠色經濟及環境永續之願景，後於108年修正太陽光電長期設置目標、分別為109年達成6.5GW、114年達成20GW（屋頂型為3GW、地面型為17GW），足見太陽光電發電設備設置量、將如雨後春筍般蓬勃發酵，其電路系統高額電壓、燃燒產出之毒性氣體……等，將成為消防人員搶救作業中另一項全新挑戰。

本指導原則無法涵蓋之特殊情況（非正常環境）下，現場人員應發揮其專業判斷，綜整人、事、時、地、物之整體情況，作最適

時適切之處置。

二、災害特性

（一）太陽光電（Photovoltaic）特性：

1、電力輸出功率與日照強度成正比，與溫度成反比。

2、微弱光源下，太陽光電系統可能與市電解聯（解除併聯），但於直流側仍可能有微弱的直流電壓。

3、火焰或人工光源之照度可使太陽光電模組產出電力；月光之照度亦可能使太陽光電模組產出電力。

4、太陽光電模組組成：

（1）由太陽電池（Solar Cell）組成太陽光電模組（PV Module），若干太陽光電模組組成太陽光電陣列（PV Array），再由若干太陽光電陣列組成太陽光電系統（PV System）。

（2）單片（約1.7平方公尺）太陽電池開路電壓約40VDC。

（3）一般模組由60~72片太陽電池串並列交互組成，如一串列20片模組，則其開路電壓高達40V*20片=800VDC。

（二）系統架構型式：

太陽光電陣列（PV Array）產生之直流電（DC）由直流接線箱（Junction Box）匯集後，經變流器（Inverter）轉換為交流電（AC），再經交流箱配電箱（AC Box）、錶後開關（太陽光電與市電分界處）……等設備後，併聯至市電網路（Grid），架構可分為下列幾種：

1、獨立型：必須加裝蓄電池，多餘電力經充放電控制器儲存於蓄電池組，其蓄電池組容量約為10倍系統發電量，主要應用在高山、離島或未開發地區（如圖1）。

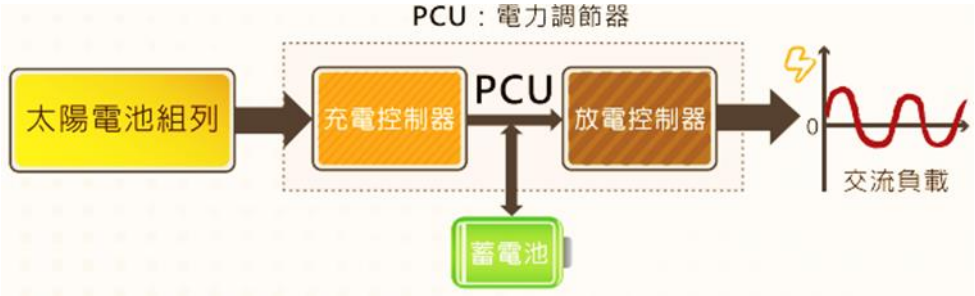


圖1

（引自 https：//www.re.org.tw/knowledge/more.aspx?cid=202&id=628）

2、市電併聯型：把電力公司的供電系統當成是一個無限大、壽命長的蓄電池，為當前的主流應用類型（如圖2）。

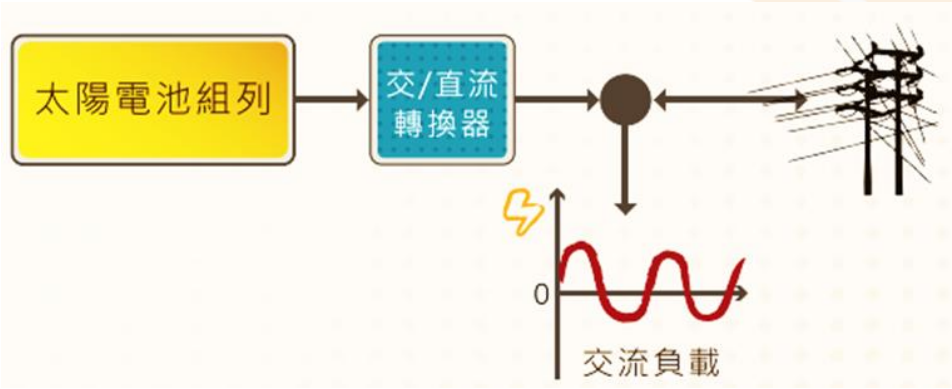


圖2

（引自 https：//www.re.org.tw/knowledge/more.aspx?cid=202&id=628）

3、混合型：把市電及蓄電池搭配使用，平時太陽光電系統併聯發電，同時供應負載及蓄電池充電，夜晚則由電力公司供電，主要應用在有防災、救難需求的公共設施（如圖3）。

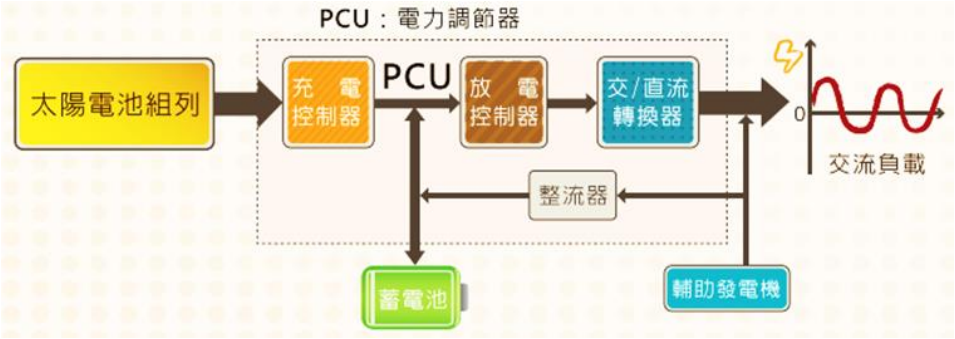


圖3

（引自 https：//www.re.org.tw/knowledge/more.aspx?cid=202&id=628）

（三）裝置型式：

1、地面型太陽光電系統

2、水面型太陽光電系統

3、建築物一體型太陽光電系統

4、屋頂型太陽光電系統

（1）平屋頂-踞置式、棚架式

（2）屋頂-架高式

（3）斜屋頂-平貼式

5、其他（停車棚、棚架……等）

（四）危害特性：

1、起火點以發生在直流側為最多（其中又以變流器17.68%最多、直流接線箱11.59%次之）。

2、直流側引起之火災多數為電弧故障（Arc-Fault）造成，直流電弧溫度可達攝氏4000~7000度。

3、燃燒過程產生可燃性、致癌性以及毒性氣體：

(1)無焰狀態下：氟化氫、四氟化矽、醋酸、不知鏈長的 n-烴及醛類、羰基化合物……等。

(2)有焰狀態下：不知鏈長的 n-烴及醛類、甲烷、乙炔、丙烯、丁二烯、丙醛、苯、甲苯、苯乙烯、碲化鎘、砷化鎵、磷（致死劑量為50mg）……等。

4、遇光持續發電之特性，致使市電斷電後部份線路（如太陽能板至變流器間）仍可能具有，AC220~600V 及 DC 最高至1,000V之感電風險。

5、由許多平滑的零組件組裝而成，這些組件於潮濕時是光滑的，特別在夜間或濃煙等視線不良情形下，將有滑（跌）倒的風險。

6、安（加）裝在建築物或其他結構體（如停車棚）之太陽光電系統、將增加屋頂（結構）之承重，進而增加其崩塌（形變）的風險。

7、系統（如獨立型、混和型）中用於儲能之鋰離子電池，發生火災時通常會產生大量可燃性、腐蝕性與毒性之危害氣體（如氟化氫 HF、氯化氫 HCL……等）；另鋰離子電池燃燒時內部極高的溫度，其特殊的熱失控（Thermal Runaway）現象極易再度復燃。

（五）、設計施工與管理潛在問題

1、缺乏硬體電路設計規範與管理查核機制：

(1)各廠電路設計不同—他案有斷電開關但本案不一定有。

(2)設計與實際的落差—圖面有（如斷電開關）但實際沒有。

(3)竣工後的改裝加裝—圖面沒有但實際有（如儲能電池）。

(4)民間玩家DIY加裝—系統未納管實際有（太陽光電裝置）。

2、缺乏重要元件標示規範與管理改善機制：

(1)災害應變無法快速判斷關鍵斷電點。

(2)DC箱裡裝的是AC斷電裝置。

三、災害歷史案例

（一）案例一

1、發生時間：105年7月27日13時54分。

2、發生地點：○○市○○區淨水場。

3、現場概況：

現場係自來水園區淨水池上方蓋板（○○自來水事業處公館淨水廠淨水設備）起火，燒損 FRP（玻璃纖維）蓋板、太陽能板。燃燒面積約700平方公尺、疏散200人。

4、人員傷亡情形：無人員傷亡。

5、案例檢討：

（1）平時整備業者聯絡窗口、建築物相關資訊（用途、構造、樓層數）、設備相關資訊（種類、面積、設置位置、供電總容量、數量、型式……等）、變流器與交（直）流配電箱位置圖，提供災時指揮系統調閱運用，並請維運廠商參與平時演練及災時應變（斷電作業）。

（2）針對裝設一定數量以上太陽能板之場所，優先評估列入搶救困難地區及製作搶救計畫並舉辦相關演練。

（3）辦理太陽光電發電系統相關教育訓練。

（二）案例二

1、發生時間：110年5月20日11時7分。

2、發生地點：○○縣○○鎮○○工業區海上太陽能板。

3、現場概況：

燃燒面積約5平方公尺，初期由廠方自衛編組人員先行斷電後，嘗試用滅火器滅火無果，消防人員抵達後著 SCBA 依標準作業程序，保持距離以水霧將火勢壓制降溫撲滅，並以熱顯像儀確認無異常溫度，後續交由廠方工程師處理。

4、人員傷亡情形：無人員傷亡。

5、案例檢討：

（1）強化業者（含太陽光電）橫向溝通聯繫，加強第一時間通報機制，請太陽光電業者至現場應變斷電，避免擴大燃燒。

（2）即時運用經濟部能源局「再生能源發電設備認定及查核管理系統」掌握太陽光電設置承裝業、聯絡電話、裝設面積

等基本資訊。

四、安全注意事項

（一）受理報案

1、受理報案後通知台電及太陽光電業者立即前往斷市（太陽光）電並參與應變。

2、查詢「再生能源發電設備認定及查核管理系統（https://yh.revo.org.tw)」，觀察相關設備（纜線）標示，或詢問現場關係人是否為太陽光電發電建築物，即時通報出勤人員知悉，攜帶適當高絕緣性手套或木製器具。

（「再生能源發電設備認定及查核管理系統」須向經濟部能源局申請帳號密碼並登錄 IP 方可使用）

3、提醒帶隊官及出勤人員注意感電威脅，並通報該建築物之太陽能板、變流器等位置，避免感電意外。

（二）到達現場

1、確認為太陽光電發電建築物、燃燒（或其他類型災害）的形式（建物火災、室內火災、光電設備火災，地震傾塌……等）、火勢（災害）大小及燃燒（受損）物質（設備或元件）。

2、疏散火場（災害現場）內住戶民眾。

3、向現場關係人員索取相關圖資，檢視火場（災害現場）建築物狀況及四周地形地物。

4、諮詢關係人（含台電及太陽光電發電業者等）確認光電發電相關設備、規模、位置等狀況。

5、確認光電設備受燒（損）狀況。

6、確認屋頂牢固情形。

7、擬訂行動計畫與現場決斷。

8、餘依「消防機關火場指揮及搶救作業要點」及各消防機關相關作業規範等規定辦理。

（三）確認太陽光電設備位置

1、確認建築物內（外）太陽能板、變流器、蓄電池及太陽光電發電系統輸電配線開關位相關位置，作為救災決策上依據。

2、無論斷電與否，於太陽光電模組、系統、電（纜）線路區域劃設5公尺以上警戒區（得視狀況加大）。

（四）由台電及太陽光電業者協同確認市（太陽光）電斷電

1、指揮官回報指揮中心目前火勢（災害）狀況，於台（太陽光）電應變人員未到場前，以防禦作戰方式避免延燒（災情擴大或二次災害）。

2、確認台電及太陽光電應變人員已完成市（太陽光）電設備關斷程序。

（1）日間火警（災害）：

甲、經台（太陽光）電人員斷市（太陽光）電後，仍應注意太陽能板至變流器間、蓄電池相關線路仍可能存有電力，指揮官應通知提醒火場（災害現場）內部仍有電力樓層之搶救作業人員注意避免感電。

乙、可利用遮蔽的方式，阻斷太陽光電設備發電。

（2）夜間火警（災害）：

甲、經台（太陽光）電人員斷市（太陽光）電後，仍應注意蓄電池等相關線路感電威脅，視現場情況防禦戰術可轉為攻擊戰術。

乙、滅火作業延長至日出時，需注意太陽光電設備與變流器間會有直流電力產生，應慎防感電或致生二次危害。

丙、可利用遮蔽的方式，阻斷太陽光電設備發電。

丁、防範火焰、人工光源、月光之照度使太陽光電模組產出電力之感電威脅。

（3）太陽光電斷電（關機）程序參考（優先由台電或光電業者執行）：

甲、台電人員斷（市）電。

乙、錶後開關（PVMP）箱開關 OFF。

丙、交流配電箱（AC Box）開關 OFF（將市電併網斷開切離交流側，變流器停止運轉）。

丁、變流器（Inverter）開關 OFF。

戊、直流接線箱（Junction Box）開關 OFF（具電弧威脅應由太陽光電應變人員處理）。

己、串列隔離斷開（串列保險絲）OFF（具電弧威脅應由太陽光電應變人員處理）。

（4）斷電後仍有電力位置（各案場可能不同）：

甲、太陽能模組、陣列及連接電（纜）線。

乙、直流接線箱輸入（Input）端。

丙、儲能（電池）設備與接鄰斷電點間之電（纜）線。

丁、不同於他案設計之相關元件及其電（纜）線。

（五）搶救作業

1、個人防護裝備確實著裝：

（1）著完整無破損且乾燥之消防衣、帽、鞋（如附錄）、手套、頭套，或耐高壓絕緣衣（褲、手套、鞋）等防護裝備以提供有限之感電保護（不等同具備電氣防護能力裝備）。

（2）背戴空氣呼吸器、救命器等裝備器材。

（3）其他個人防護或搶救所需設備。

2、消防人員應保持乾燥絕緣狀態。

3、落實安全管控機制，記錄人員入室時間與空氣量，適時換班保持人員體力。

4、確認太陽能板、變流器與蓄電池等設備及相關電（纜）線位置，防止感電意外。

5、迅速撤離火場（災害現場）受困災民。

6、注意事項：

（1）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等依舊有導電危險，勿以潮濕的手套碰觸金屬周邊設施。

（2）於建築物內部活動如需關閉電源開關時，依現場（電壓）狀況戴上適當之耐高壓絕緣手套。

（3）太陽能板之玻璃碎裂時會形成大小碎片，須注意避免在太陽光電模組下方活動、防範玻璃破裂掉落或滑倒。

（4）屋頂型 PV 系統於屋面上的明管多數為直流管線，其中少部份電纜未被管（槽）包覆，另許多案場未明確標示太陽光電管路、DC 管路、交流管路，因此搶救作業須特別注意屋面的管路。

（5）太陽光電設備或線路發生接地故障時，室內消防人員應與故障點保持超過4公尺距離；室外消防人員應與故障點保持超過8公尺距離；進入前開範圍必須穿絕緣鞋（耐壓等級10kV 以上），接觸設備外殼和構架時，應戴絕緣手套。

（可參閱第二十九章 觸（感）電救援安全指導原則）

（六）滅火作業

1、如確定建築物內無待救人員，即採防禦戰術。

2、勿以含鹽份的水，泡沫滅火劑或直線水柱直接朝相關設備或

電（纜）線射水，盡可能使用乾粉（如磷酸銨鹽乾粉滅火劑、磷酸銨鹽乾粉滅火劑）或絕緣氣體滅火，避免感電威脅。

3、使用化學乾粉滅火器滅火時，電壓為10kV及以下者機體、噴嘴及帶電體的最小距離不應小於0.4公尺，電壓為35kV 及以上者不應小於0.6公尺。

4、若需射水，保持至少6公尺以上、以10公尺為佳之距離，以張角角度30度之水霧射水，且瞄子出水壓力至少7kg/cm^2（100psi）。

5、太陽光電設備火災主要為太陽能板內部環氧樹酯及密封零件燃燒，滅火時因水會被表面的玻璃阻擋以致費時，可予警戒防止火勢延燒。

6、非建築物（如農田、空地）之太陽光電設備火災，可予警戒防止火勢延燒。

7、戶外之太陽光電設備無法抵抗強力消防水柱滲透，須注意設備外殼與地面積水之感電威脅。

（七）破壞排煙

1、入室後於火勢安全狀況下儘速打開門窗排煙，增加能見度俾利搜索。

2、評估或搶救太陽光電設備災況（害）時，勿碰觸、剪斷、破壞任何相關電器（氣）設備、電（纜）線以避免引發電弧、燃燒、感電等危險。

3、攀爬屋頂或窗戶時，注意避免感電或滑（摔）落意外。

4、注意崩塌、爆炸、電弧、感電等危險。

5、太陽光電設備可能阻礙垂直排煙，可依現場狀況評估並適當運用水平、正壓等方式進行排煙作業。

6、執行破壞時應使用護目鏡做臉部保護。

（八）殘火處理

1、確定已完整斷電後，始進行殘火處理。

2、即使太陽光電設備已遭受破壞，受到光源仍有發電可能，應提高警覺避免感電；另包括陣列組件（模塊框架，安裝支架，導管等）和建築構件（金屬屋頂，防水板和排水溝），均可能會有無法預知的導電路徑，應嚴防感電威脅。

3、攀爬屋頂時應落實確保（支撐）作業避免滑（摔）落。

4、火災產生的熱會破壞板面，切勿碰觸及破壞，避免被割傷或

感電。

五、結語

（一）平時得與太陽光電場所業者合作辦理演練，並通知太陽光電設備維運技師（廠商）參與演練，災時通知太陽光電設備維運技師（廠商）參與應變及負責斷電作業等事宜，藉由常態性之溝通協調、教育訓練與夥伴關係養成，增進彼此對於轄內太陽光電設備之熟悉度與應變默契，降低可能之感電威脅。

（二）面對太陽光電模組、系統、電（纜）線路，須當作都是有電狀態。

（三）穿戴完整乾燥的個人防護裝備或適當之乾燥絕緣防護衣、靴、手套等，避免救災時感電威脅、並注意太陽光電設備漏電可能，相關規範得參考附錄。

（四）避免接觸（近）、破壞太陽光電模組、系統、電（纜）線路以減低感電威脅。

（五）運用火災（害）戰略使用思維的優先順序，依 L（Life safety 人命安全）、I（Incident Stabilization 穩定現場）、P（Property Conservation 財產保存）進行應變，其中 L（Life safety 人命安全）部份亦包括消防人員，以「做的對比做得快重要」方式進行搶救作業，避免意外感電、確保同仁安全。

參考文獻

1. 消防法第20條之1。
2. 內政部消防署，危險性救災行動認定標準。
3. 經濟部能源局109年太陽光電6.5GW達標計畫。
4. 工業技術研究院綠能與環境研究所—太陽光電技術組謝建俊先生專案簡報（Ver.20210903）。
5. 內政部建築研究所協同研究報告103年度—建築外殼太陽光電模組系統之防火安全評估。
6. 內政部建築研究所協同研究報告104年度—建築防火安全工程創新科技及應用研發計畫協同研究計畫（一）第1案「綠能光電模組建築構造之防火性能精進研究」資料蒐集分析報告。
7. CESA — Solar Photovoltaic （PV） Fire Safety Training。

8. Underwriters Laboratories Inc — Firefighter Safety and Photovoltaic Systems Summary。
9. Underwriters Laboratories Inc — Firefighter Safety and Photovoltaic Installations Research Project
10. 消防月刊110年3月號 — 淺談鋰離子電池。
11. NFPA — Energy Storage Systems Safety Fact Sheet。
12. FSRI — Energy Storage System Installation Test Report。

附錄

消防鞋絕緣及抗靜電標準

項目	歐規消防鞋（皮製） EN15090：2012	歐規消防鞋（膠質） EN15090：2012	美規消防鞋
絕緣		6.6.2電絕緣鞋 測試方法： ●ENISO 20345：2004 ●測試方法EN50321，10kV電壓測試 標準要求： ●鞋子不可發生穿透現象 ●符合Class 0（適用於額定電壓達500V 交流電和750V 直流電）、或 Class00（適用於額定電壓達1000V 交流電和1500V 直流電）	測試方法：NFPA1971 ●8.31測試2 ASTM F 2412測試14kV 標準要求： 7.10.10漏電<3.0mA
抗靜電	6.6.3 抗靜電鞋 測試方法： EN ISO 20344：2011 標準要求： 大於100KΩ 且小於等於 1000MΩ		