

屋頂型太陽能建築火災搶救研究-以桃園市為例

劉家誠

健行科技大學土木工程系空間資訊與防災科技碩士班

黃名村

健行科技大學土木工程系助理教授

摘要

隨著全球氣候變遷，溫室氣體排放與再生能源使用成為重要議題。台灣屋頂型太陽能光電系統因地理優勢成為節能減碳首選，但隨著普及，民眾和消防人員對其消防安全認知未同步提升。儘管消防署發布《消防機關搶救太陽光電發電設備火災指導原則》，其是否適用於桃園市消防局的行動模式仍需檢討。本研究探討該原則的實際適用性，結果顯示其部分內容與現實情況不符，此外依建築物類型不同，搶救模式應有所調整，部分原則甚至可能增加消防人員危險。研究建議應加強法規，特別是限制直流接線箱及變流器等設備安裝位置，以減少火災風險和搶救困難。

一、前言

在綠能政策推動之下，不論是基於環保意識抑或省錢目的而設置太陽能光電系統，不可否認的，政府的法規及民眾的防災觀念卻未跟上時代腳步，對於太陽能光電系統的認知幾乎止步於其僅是作為環保節電的綠能設施，而忽略了其可能帶來的危害，尤其對於消防救災人員，知識往往侷限於內政部消防署公布的作業流程與可能風險。事實上，火場危害瞬息萬變，其流程是否足以因應桃園市消防局的出勤模組與制度，值得深入探討

二、文獻回顧

屋頂型太陽能光電系統建築物火災搶救可能潛在風險：

1. 燃燒可能生成的毒素險評估：

根據田村裕之等(2014)實驗結果，太陽能電池模組於燃燒時，依據有無火焰情況下生成不同的毒素，可能會對人體嚴重損害。

2. 建築物發生坍塌的可能性：

陳錦龍(2016)敘述，若為鋼骨鐵皮結構建築物，一旦火場溫度達600℃以上，即會破壞建築結構之鋼性，而一般火場溫度皆可高達1,000℃以上，鋼骨即容易受熱彎曲，整間鐵皮屋將因重心不穩，失去平衡而塌陷。

3. 太陽能光電系統造成感電的風險評估：

張敏德(2016)敘述，人體電阻與接觸的電壓有極大之關係，人體的電阻會隨著電壓的增高而降低。根據歐姆定律： $I=V/R$ ，當人體電阻下降時，通過人體的電流量就會增加，故太陽能光電系統產生的感電危害相較於一般電器火災嚴重。依照人體乾、濕情況，人體各部位的電阻值又有所不同。

Annett Sepanski et al.(2018)敘述電流對人體和牲畜的危害評估，將直流電25mA作為人體所能承受的最大電流強度。研究實驗中，以金屬電網模擬太陽能板連接1000V直流電壓，並以550Ω總電阻模擬穿著全身濕透防護服的成年人，無論使用水柱或水霧射水所測得的漏電流都小於25mA。此實驗也另外使用泡沫射水做實驗，結果顯示測得的電流較比使用水稍高，但也仍小於25mA。另外模擬1位75公斤人體穿著消防防護衣站在銅板上，依照不同參數狀況測量電流大小，可知只要穿著消防鞋，即便在潮濕狀態下也能大幅降低流經人體的電流大小。

4. 太陽能電池模組遭到破壞的風險評估

田村裕之等(2014)實驗中，單晶太陽能電池模組受到萬能斧敲擊破壞時，輸出電壓比會有下降的趨勢，最後不再有電壓產生，後續一但有灑水動作，被破壞的電器迴路有可能藉由水的附著而形成導通的電器迴路並產生輸出電壓。而薄膜太陽能電池模組只要被萬能斧敲擊破壞一次，則立即不再有電壓輸出。

5. 氣候對太陽能電池模組的影響

依據楊銘等(2022)實驗分析結果，全天空日射量越高，則太陽能光電系統每小時發電量越多，若降水量、總雲量、風速與相對溼度越高，則發電量越少。

6. 不同光照對太陽能電池模組的影響

Annett Sepanski et al. (2018)研究結果，現今改使用LED照明燈居多，考慮到光源與太陽能電池模組的距離，其造成的危險可以忽略不計。

7. 火焰燃燒對太陽能電池模組的影響

由田村裕之等(2014)實驗可知，即便在太陽能電池模組因火焰燃燒破壞，在「無火焰-有照明」的情形下仍會有電壓產生。

三、研究方法

本研究主要藉由文獻回顧，分析台灣太陽能光電系統的概況，依照桃園市消防局目前的出勤模式與制度，對照內政部消防署發布的《消防機關搶救太陽光電發電設備火災指導原則》流程說明中的困難點，最後討論出目前該改善的部分。

1. 從資料整備來看：

消防局與能源局橫向聯繫不足、設置場所對自身系統不了解。

2. 從受理報案來看：

受限消防署訂定出勤秒數壓力，無法有充足時間針對火災類型攜帶適合器材。

3. 從到達現場來看：

實地訪查結果，場所對於初期火災處理原則不甚清楚，可能造成救災人員額外任務。

4. 從確認太陽光電發電設備位置來看：

未限制變流器及配电箱設置位置，若起火造成救災動線不易規劃。

5. 從由台電或太陽光電發電業者協同確認台電及場所太陽光電發電設備斷電來看：

受限於輿論壓力，有人員受困的情形下，難以台電尚未斷電為由拒絕入室搜救。

6. 從入室搶救作業來看：

火場視線不佳，因射水難以保持裝備乾燥。高溫緣故也無法內部更換高壓電用手套。

7. 從滅火作業來看：

火場能見度較低的情況下難以因地制宜侷限射水型式。

8. 從破壞排煙作業來看：

火點尚未撲滅以前，隨意破壞門窗易造成火煙延開口流動，甚至助長火勢增加風險。

9. 從殘火處理來看：

由於建築物結構問題，有時必須被迫處於危險狀態進行殘火處理作業。

四、屋頂型太陽能建築火災事故防治策進作為

1. 資料整備改進

嚴格執行《提升太陽光電發電設備安全管理指導原則》，並建置於消防局搶救輔助資訊系統，同時整合於行動派遣APP，以供救災查詢，免去現行依賴消防人員實地查訪更新資訊的困擾。

2 風險認知改進

a. 太陽能板燃燒會產生影響人體的毒素，因此搶救時應確實待在上風處，若無法完全避免，應穿著防護裝備，配戴呼吸面罩。

b. 火場全面燃燒可高達600度以上高溫，加之太陽能光電模組重量問題，若為鋼骨鐵皮建築物，應盡可能避免入室搶救，即便尚未坍塌，殘火處理過程仍有坍塌可能。

c. 直線或水霧射水生成的電流均低於危急性命電流，故可放心因地制宜選擇戰術。

d. 尚未確實斷電的場所應盡可能保持裝備乾燥，若無法避免潮濕應至少穿著防護靴。

e. 對於有受困人員狀況，應避免輕易射水以致產生新迴路引發感電。無相關防護裝備的場外人員，應限制其活動範圍於冷區。

f. 若為太陽能電池模組起火，因其發電特性無法輕易斷電，若環境情況允許，可嘗試以萬能斧等破壞工具對表面進行破壞，以減少其漏電產生的風險。

g. 太陽能電池模組於日間無論氣候狀況均會生成電流。夜間使用照明設備時，因距離較遠及現行多為使用LED燈，故可忽略其風險。

h. 火焰產生的照明仍可令太陽能電池模組生成電流，然而測得電壓較低可忽略其風險。

3. 搶救策略改進

a. 相較太陽能光電火災，應以確認有無存放危害性爆炸物質為優先考量。

b. 由於各單位到達火災現場的時間不同，為不延誤救災時間，可訓練消防人員於第一時間進行太陽能光電系統的輸電開關關閉。

c. 考量建築物的材質特性，若鋼骨鐵皮建築物已達全面燃燒的狀況，即便內部有人員受困，考量坍塌風險應避免入室。

d. 若處於無法輕易進入屋頂的場所，可以雲梯車滅火搭配無人機為優先考量。

e. 入室後不應輕易破壞門窗，以免有加速外部空氣進入，擴大火勢的風險。

4. 法規層面改善

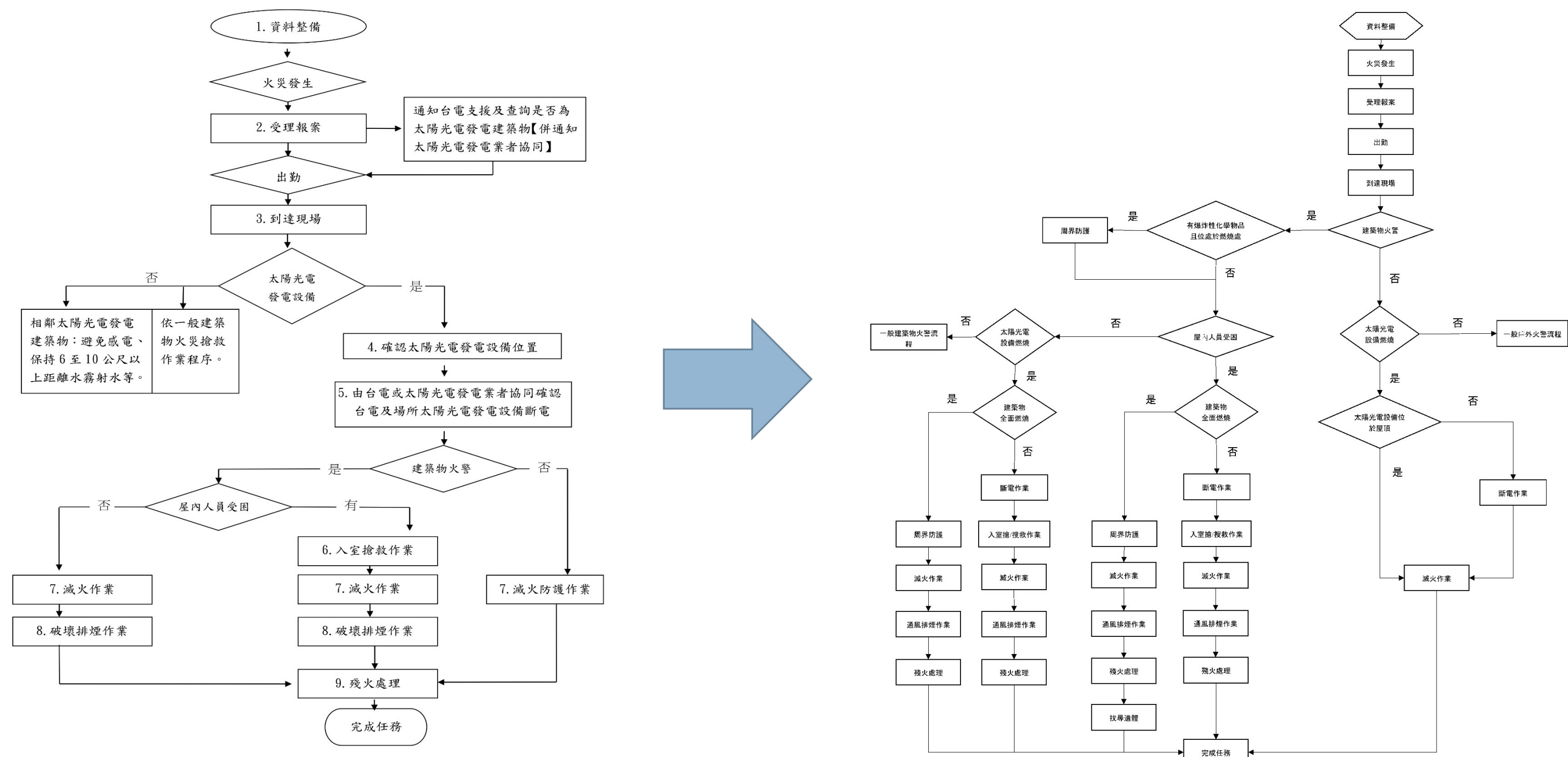
a. 恢復適用《提升太陽光電發電設備安全管理指導原則》。

b. 直流接線箱及變流器等設備不可安裝於屋頂及屋內。

c. 強制要求設置快速關斷裝置。

d. 太陽能光電系統設備納入消防法第21之1條(知情權)。

5. 流程圖改善



五、結論

對於消防人員來說儘管知道太陽能光電火災逐年上升，訓練與知識卻跟不上時代，處於明知有其風險卻無從下手的狀況，儘管內政部消防署有發布《消防機關搶救太陽光電發電設備火災指導原則》，但從文獻回顧、火災案例、實地訪查、實務經驗來看確實有需改善的部分。

1. 風險認知改善：

a. 太陽能板燃燒確實會生成影響人體的毒素，應站於上風處或配戴呼吸防護面罩。

b. 鋼骨鐵皮建築物全面燃燒下，太陽能電池模組重量易增加坍塌風險。

c. 水霧或直線射水不影響感電風險。

d. 應盡可能保持裝備乾燥，尤其需穿著防護鞋。

e. 太陽能電池模組遭到破壞僅降低其發電能力。

f. 太陽能板夜間不會發電，天氣不佳會降低其發電能力。

g. 火焰的光源及救災用照明燈對太陽能板發電量微乎其微。

2. 搶救策略改善

a. 以確認有無存放危害性物質為優先。

b. 訓練消防人員太陽能光電系統的輸電開關的關閉。

c. 鋼骨鐵皮建築物達全面燃燒，考量坍塌風險應避免入室。

d. 無法輕易進入屋頂的場所，可以雲梯車滅火搭配無人機為優先考量。

e. 入室後不應輕易破壞門窗。

3. 法規層面改善：

a. 恢復適用《提升太陽光電發電設備安全管理指導原則》。

b. 直流接線箱及變流器等設備不可安裝於屋頂及屋內。

c. 強制要求設置快速關斷裝置。

d. 太陽能光電系統設備納入消防法。

另外儘管訂立了搶救流程，僅是提供消防人員救災方面的方向及參考，火災現場瞬息萬變，依不同狀況改變不同戰術，才能確保消防人員的安全。



健行科技大學

Department of civil Engineering, Chien Hsin University of Science and Technology

2025

土木工程與防災研討會

