

你不可不知的太陽能光電系統隱患 -- 用於火災和保全的光纖解決方案

太陽能光電系統的潛在安全隱患：火災、天災

太陽能發電是目前政府的綠能重點項目，各地的太陽能電板的建置也正如火如荼地展開，但太陽能電池板也存在許多風險，其中最嚴重的風險莫過於火災，伴隨著太陽能電場日益增加及裝設時間的推移，太陽能發電場所的安全隱患也隨之浮現，並日漸獲得重視。除了國外出現諸多的太陽能發電場所火災外，國內這幾年也傳出多起太陽能發電場所的火災事故，因此太陽能發電場所的潛在安全危害是每一個太陽能電場建置規畫前必須列入的重要考量之一。



2018年9月，受到日本當年第21號颱風的影響，大阪市住之江區的一處物流廠房屋頂6.5MW太陽光發電系統損壞，28,160片模組之中約一半的模組遭吹飛、毀損，模組玻璃表面破損後，內部的封裝材料因不明原因起火。



2019 年 9 月 9 日第 15 號颱風來襲，位於日本千葉山倉大壩、全日本最大的水上型太陽光電發電廠因為強風造成案場浮台斷錨引起了火災事故。



(圖片 : amazon)

美國零售巨擘沃爾瑪於 2019 提告太陽能光系統廠商，2012~2018 年至少發生了七起門市屋頂火災。另一個零售巨擘亞馬遜更於 2018、2020、2021 都發生了倉

庫屋頂太陽能光電系統的火災事故。



（彰化芳苑塑膠工廠火災）

2020 彰化芳苑塑膠工廠大面積的太陽能光電屋頂系統發生大火，一員工嗆昏不治。



（台南柳營區雞舍火災）

2021 年，台南柳營區裝設太陽能板的雞舍發生火災全燒毀、台南永康區服飾店太陽能光電設備火災、花蓮縣光復鄉民宅屋頂太陽能變電控制箱內電線故障短

路起火；



（台南太陽能電板除草作業引發火災）

2022 年，嘉義縣東石雞舍太陽能電板火災、彰化芳苑鄉豬舍屋頂太陽能光電板遭雷擊起火、新北市新店透天厝陽台太陽能光電板起火、台南新市區因廠商除草作業導致短路引發火災；2023 年彰化縣北斗鎮養雞場屋頂太陽能光電板起火，雞舍全部燒毀……

太陽光電系統存在外部因素，例如風、雨、空氣中微粒、強風、雷擊、飛沙走石、不明物體撞擊破壞、樹葉、鳥擊或鳥屎、老鼠咬等動物損害也都會造成太陽光線系統的潛在危害。內部因素則包含模組、材料、接點等，因此太陽能光電系統的維護作業工作對於危害預防及處置至關重要。根據勞動部勞動及職業安全衛生研究所的報告，安裝維護太陽能光電系統的危害種類包含墜落、物體飛落、被撞、切割、火災及感電等。其中國外針對太陽能光電發電場所的安全相關規範或手冊指出，太陽能光電系統發電場所的潛在危害為感電、燙傷、滑倒、跌倒、墜落、屋頂荷重、危害物質吸入、及電池製造物質火災引起之氣體危害（磷、鎘、碲、砷、鎘）等，國內為邁入減碳新能源時代，發展無污染替

代能源，政府近年鼓勵設置太陽光電發電系統，但也要注意太陽光電系統的潛在危害及預防。

其中尤以火災引起的危害最為嚴重，包含了電氣火災的人員感電潛在危害、發電場所及相連的房屋或工廠資產損失、火災引起的電池製造物質的危害物質氣體吸入、公司商譽及公共名聲損失、火災後的周邊民眾求償及不信任感帶來後續案場的建置困難等有形及無形資產的損害。

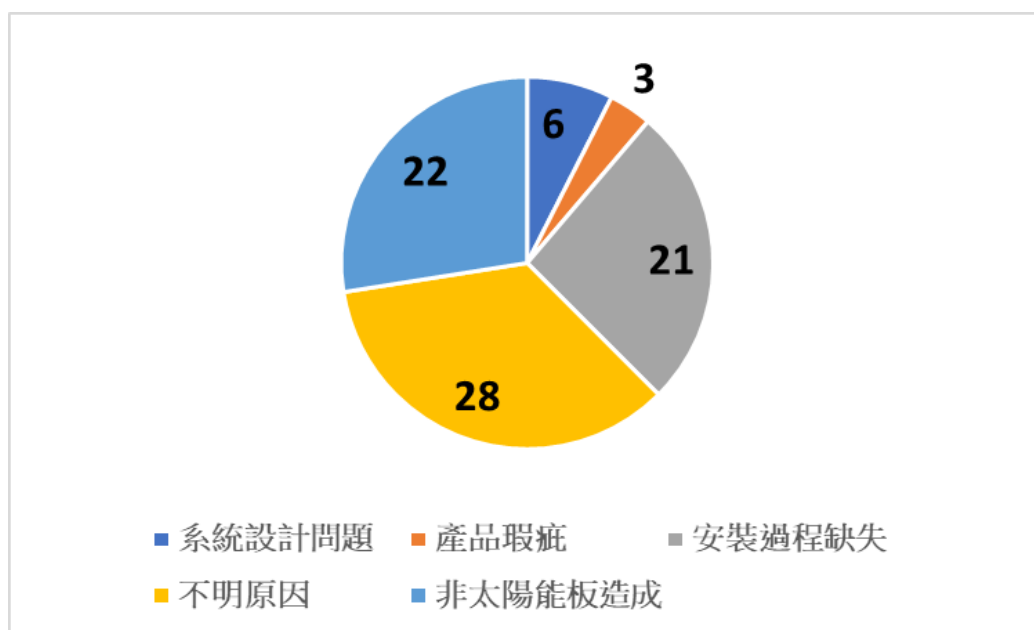
但除了火災以外，其他的天災損失也是歷歷在案的，從新聞報導中富邦產險公司提到，在 2015 年時即曾因遭蘇迪勒颱風與杜鵑颱風重創，富邦產險理賠件數逾百件，總賠款金額超過 1 億元，其中因為台灣的太陽能產業多分布在日曬充足的中南部，夏季易受颱風侵襲導致面板耗損，後續的案場對抗災害的能力顯著提升，2016 年莫蘭蒂颱風 17 級風力造成高雄碼頭重大損失，但太陽能案場損失大幅下降，富邦出險僅十件。但外部天災造成的案場破壞後，潛在感電危險、有毒氣體的吸入、光電板部件的碰撞掉落、內部封裝材料不明起火等對於人員及資產的可能危害，使得太陽能光電系統的電場保全的議題日漸引起重視。

日漸重視的太陽能光電系統維護管理

太陽能光電系統由於佔地面積大、分佈廣泛，隨著設置時間推移後，伴隨著日積月累的風吹日曬雨淋、塵土飛揚、不定期的老鼠、候鳥、天災或雷擊及其他不明損害等，容易出現電池組件「線路老化」和「熱斑現象」等故障。當案場的規模及設備數量越多，電氣部品、組件熱斑等故障也越多，當故障發生時，已經由正常光能轉電能的工作狀態，變為太陽能光電系統組件的負載消耗電能發熱，影響整個電池組件的轉化功率，此時需要更換溫度過高的太陽能板。這些不僅影響到發電效率，嚴重如火災將嚴重影響到案場的壽命和安全穩定運行。

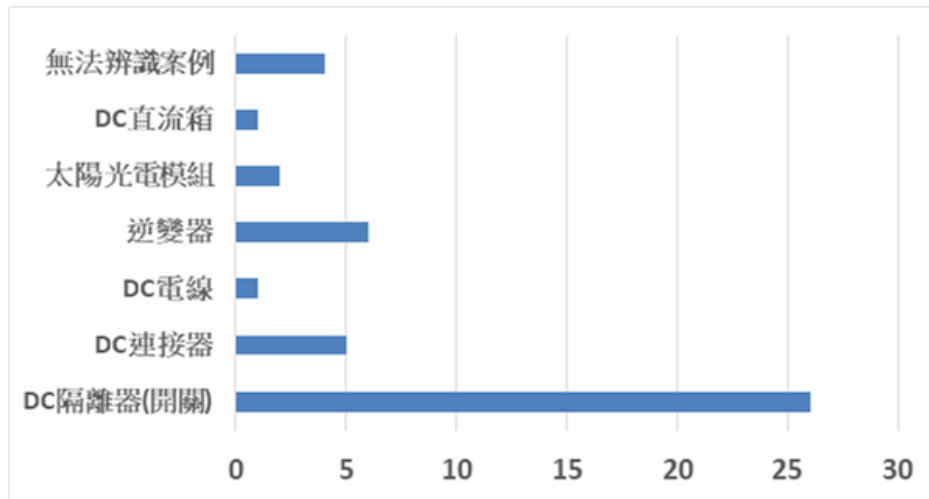
而完成建置開始發電的案場，由於風吹日曬雨淋，加上許多外在環境的因素，根據經濟部能源署的資料中，有提到英國商業、能源及產業策略部(BEIS)也針對太陽光電設施起火意外進行相關調查，並將調查結果收錄於「火災與太陽光電設施－調查與相關證據(Fire and Solar PV Systems – Investigations and Evidence)」報告中。太陽能光電系統發生火災的機率相當低，大多數為各種原因的故障或損壞，但一旦火災發生就會造成嚴重的資產損失或人員的傷亡、企業商譽損失、民眾不信任感等，因此對於太陽能光電系統的潛在安全危害仍須嚴加防範，此報告辨析發生在英國境內的 80 起太陽光電設施火災事故案例，將起火常見原因統計分類如下圖一：

圖一、英國 BEIS 報告分析太陽光電設施起火原因比例統計



由上圖可知，英國 BEIS 所調查 80 例太陽光電設施起火事故中，**不明原因(28%)及非太陽能板造成的外部因素(22%)**這一類的因素佔據最大的火災原因，其次則是**安裝過程的人為缺失**。而下圖二，則針對所調查案例中，可將火災肇因歸咎於太陽光電設施時，DC 電氣元件為英國調查案例中之最大宗來源。

圖二、英國 BEIS 報告分析太陽光電設施起火源之元件比例



另外還有許多如下的外部因素或不明原因造成的異常因素，而這些問題輕則造成發電量減少，重則還可能造成高溫燒穿太陽能面板甚至引起火災。

1. 模組損壞，可能由較大的飛石或者清洗面板時工人踩踏
2. 線材被老鼠咬壞或者斷裂，造成整塊區域沒有接上逆變器
3. 接線盒燒毀短路
4. 除草作業或人工清洗作業時不小心損壞電路電線
5. 天災，例如雷擊、颱風，或鳥類
6. 因疏於維護，鳥糞或樹葉、塵土、雜物等而造成

從國外及近期國內的案場例子來看，太陽能光電系統的生命周期規劃長達 20 年，當案場超過使用壽命後的太陽能電板處置及回收管理更是問題，模組只要有光就可以發電，太陽能板到逆變器的直流端仍會存在高壓電。因此太陽能光電場所的維護管理對於案場的發電效率及潛在的安全危害至關重要。

現行太陽能光電系統巡檢維護管理

在規劃太陽能光電系統時，隨著太陽能光電系統建置的普及，常會遇到下列問題：

1. 面板過高不易巡檢或人員攀爬風險過高
2. 案場規模大、案場分散

3. 太陽能板數量過多，無法一一檢測
4. 單一面板的主動即時性監控及早期預警不易造成維護困難，也沒有辦法第一時間知道故障面板的具體位置，只能透過被動巡檢後進行人工確認，過程耗時耗工

目前台灣大多數的太陽能光電系統在維護管理上仍是採取使用儀器進行現場巡檢的方式，但被動式的維護管理，並不能做到主動式安全的早期預警，有時間頻率的落差，巡檢也需要專業操作人員到現場操作相關的專業儀器，一般的警衛保全人員難以操作相關儀器。

使用熱像儀進行太陽能面板巡檢本身是目前許多的維運流程標準儀器配備，透過無人機搭載熱像儀雖然可減少人力巡檢的時間及風險，但所採集的資訊量也相對的龐大，同時定位上也是一大難處，發現異常的照片，無法在第一時間去判斷實際位置以及面板的位置，過程耗時耗工，此外環境條件也會影響熱像儀的感測，例如飛行速度過快(≥ 3 m/s)會有影像拖尾效應(smearing effects)、區域限制(禁航區不可使用)、時間限制(電池容量會對拍攝時間形成限制風速限制)、飛行風速限制(建議 $<$ 時速 36 公里)、導致過度照明圖像的太陽光線在模塊表面的反射等，而造成紅外線圖像的熱像儀檢測的資料擷取判讀失準。

太陽能光電系統主動式預防維護管理

模組只要有光就可以發電，太陽能板到逆變器的直流端仍會存在高壓電。因此根據台灣的消防機關搶救太陽能設備的火災指導原則，當太陽能電廠發生火災時，人員不可貿然進行射水灑粉或是入室搶救，以免有觸電風險，在此種情形下，只能等待太陽能模組燃燒完畢，以保護人員安全，但會錯失最佳滅火時機，也可能會波及工廠的物質財產，更嚴重者因火災蔓延或火災引起的有毒氣體吸入造成人員的傷亡，早期預警可連動快速關動，降低太陽能組串的觸電風險，以便安裝人

員、維修人員和消防員能在關斷後快速處理系統，因此主動式的早期預警要納入太陽能光電系統建置時的考量決策。

因此規劃時對於案場的即時監控及危害預防的相關設備建置非常重要，藉由新型的火災早期預警科技透過主動式維護管理可以降低太陽能光電場所的潛在安全危害，火災的早期預警至關重要，早期預警有助於快速斷電並發出警報連動引導人員進行特殊事件處理，對於太陽能光電系統資產的早期保全、個人或工廠緊鄰的重要資產、公司形象及商譽等起到重要的作用。

光纖感測技術：主動式預防維護的溫度異常管理及電子圍籬

根據工研院的報告中提到太陽能光電模組主要有三個安全風險：

1. 電擊危險：有人接觸暴露的高壓。
2. 機械安全：太陽光電模組或太陽光電模組的部件落在某人身上，或者冰或雪從太陽光電模組上掉落到某人身上。
3. 消防安全：太陽光電模組可以傳播從其他地方開始的火災或者自己起火。當然一開始會開始出現各種故障導致溫度異常的現象，進而引發後續的火災。

Bandweaver 的 FireLaser 分散式溫度感測（DTS）和基於光纖的電子圍籬

（PIDS）從溫度偵測和安全角度為太陽能發電場所提供全面保護。本文從溫度異常管理和電子圍籬解決方案的角度詳細介紹光纖系統的運用



前言

在過去十年中，使用太陽能電池板發電量每年超過 40% 的速度增長。太陽能是一種真正的可再生能源，用途廣泛，能夠小規模(住宅屋頂)或大規模(工業太陽能場) 建置。平白維護成本主要是保持面板清潔以維持發電效率。所以，維護成本相對較低。

但是，與任何系統一樣，運營商必須同時考慮防火和安全因素，而 Bandweaver 的光纖監控解決方案可以在這兩個領域提供有效的解決方案。光纖 LHD(線性熱檢測)系統，可以為太陽能電池板安裝提供非常有效的火災探測手段，因為它們具有幾個關鍵性優勢。

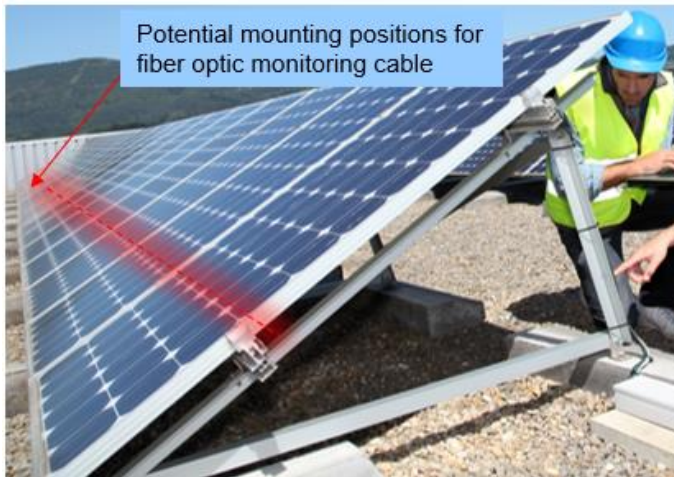
- 完全分散式覆蓋。沿電纜的整個長度每 1m 的測量點都可以通過光纖感電纜安全地監控裝置中的每個面板溫度。
- 高達 1000 個區域設置，可以有效為太陽能光電系統依據使用者需求進行太陽能板的不同區域設置，當溫度異常時，可以根據使用者定義的區域設置，在第一時間確認故障的面板位置。
- 早期預警的三種溫度設置模式：可依據使用者需求去進行絕對溫度、溫升率、平均溫度偏差等不同溫度條件的設定，以達到溫度異常的早期預警。
- 智能警報：借助先進的智能警報，在系統元件出現溫度異常的初期時，就可以依據使用者定義的溫度警報條件發現溫度異常，進行斷電或其他處置，而避免後續的溫度異常事件的惡化。該系統可以比傳統的銅線 LHD 系統更早地檢測到火災。
- 多組乾接點及工業通訊界面的輸出：可以由使用者自行設置當警報條件啟動時的輸出介面。
- 高效經濟的安裝。感測光纜和標準電信光纜無異，不需要特定的光纖。這使得它在系統設計和安裝方面極具成本效益。
- 不受電磁干擾。光纖不受電磁干擾的影響，因此不會受到發電引起的潛在高

電磁強度的影響。

- 高可靠性。光纖電纜是完全惰性的，不腐蝕，並且沒有移動部件或孔徑，在某些環境中可以使用 50 年以上。



通常，光纖感電纜安裝在面板的後部。

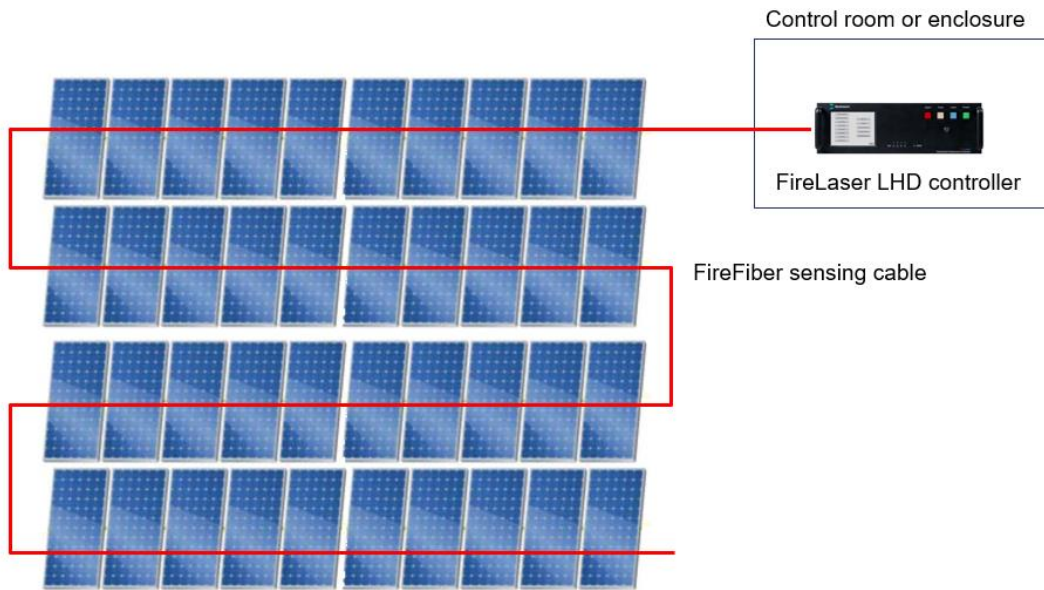


確切的位置取決於太陽能電池板的具體類型，並且通常固定在其中一個電池板安裝導軌上。這可能在面板的中心（如圖所示）或面板頂部。

電纜可以使用簡單的電纜夾或抗紫外線電纜扎帶固定。

安裝在太陽能電板上光纖電纜位置 示例圖。

每台 FireLaser LHD 控制主機可以連每芯光纖測量長達 10 公里，每 1 公尺測量一個溫度點。一台就可以覆蓋大型太陽能電池陣列。（如下所示）。

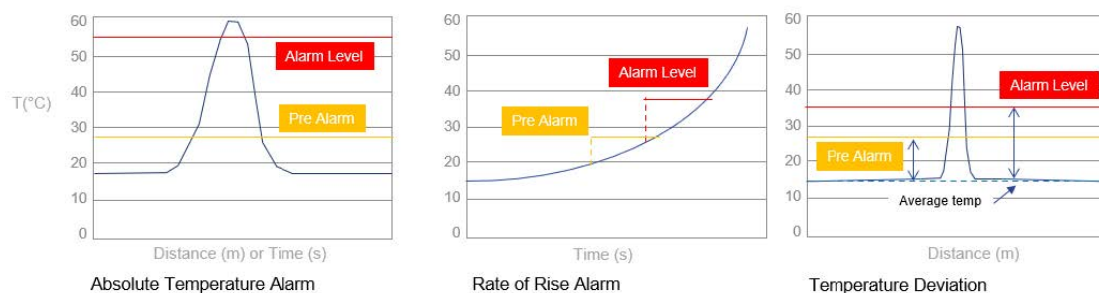


使用 LHD(線性熱檢測)系統，具備測量的分散式性質，系統提供沿著光纖路徑上完整的溫度值，沿光纖每米長度都有測點。在傳統的探測系統中，如果火災的位置沒有恰巧在點式火警感測器的正下方，則無法再快速準確地檢測到火災，這主要是由於火警探測器的佈點間距所造成。FireLaser LHD 探測系統沒有任何這樣的「間隙」，因為火災釋放的輻射熱量快速施加感測光纜上，並被相應地記錄和顯示溫度上升。

智慧報警和全面覆蓋

光纖線性熱檢測(LHD)系統的兩個主要優勢是: (1)智慧型報警功能和(2)測量的分散式特性。

使用基於 DTS 的光纖 LHD 系統，可配置三種不同類型的警報。



絕對溫升警報

溫升率警報

與背景偏差量警報

系統整合

FireLaser DTS 系統的火災探測系統可識別火災，並自動啟動相關的預設程式警報信號、通風控制、滅火等。火災報警系統需要提供有關火災確切位置的資訊和火災發展的關鍵數據，以便系統地採取必要的救援或滅火措施。Bandweaver FireLaser DTS 線性熱檢測系統具有位於中央的感測主機單元，能夠確定沿連接感測器光纜長度的任何位置的溫度。感測光纜穿過要保護的資產，其中可能包括天花板和地板空隙空間、開關室等。光纜通過軟體劃可劃分成多個火災探測區域 Zone，每個區域都可以分配有自己獨特的特徵報警閾值，因此系統在這方面非常靈活。

FireLaser控制主機位置通常靠近消防綜合警報盤。FireLaser LHD有自己的LCD螢幕，因此可以獨立顯示報警事件，也可以輸出到火災報警綜合警報盤。

資料參考來源：

1. <https://www.chinatimes.com/newspapers/20181227000320-260205?chdtv>
2. <https://news.tvbs.com.tw/local/1288417>
3. <https://www.ettoday.net/news/20220630/2283946.htm>
4. <https://www.cdns.com.tw/articles/463490>
5. <https://news.ltn.com.tw/news/society/breakingnews/4024184>
6. https://km.twenergy.org.tw/Data/db_more?id=3701
7. <https://pge.pthg.gov.tw/archives/2914>
8. <https://today.line.me/tw/v2/article/EgMeJR>
9. <https://www.bandweaver.com/>
10. 謝建俊，2018，太陽光電發電系統消防與安全，工研院。
11. 張承明、賈台寶，2019，太陽光電發電系統職場危害預防研究，勞動部勞動及職業安全衛生研究所

12. 李思賢，2019，太陽光電系統維運檢測技術，工研院。
13. 林育如，2020，日本太陽能發電系統火災案例評析，工研院。