

淨零轉型下之職災風險與安全衛生挑戰與因應

徐一量 / 中臺科技大學環境與安全衛生工程系 副教授



壹、前言

2050 淨零排放為我國因應氣候變遷的政策長期目標，但在推動再生能源、節能減碳、電動化、碳捕捉、氫能等新技術的同時，也衍生出新的職業安全衛生風險。因此，國際勞工組織（ILO）、國際標準化組織（ISO）、歐盟職業安全衛生局（EU-OSHA）等皆強調，淨零轉型必須是「公正轉型（Just Transition）」，兼顧勞工安全與健康。

我國新修《職業安全衛生法》已於115年7月1日正式施行，其核心精神聚焦於強化源頭防災及落實承攬管理等，與

淨零轉型下之防災趨勢具一致性，推動新能源發展時，必須結合職業安全衛生相關法令規定，應從了解產品、新技術和工作的整個生命週期中的職業安全與衛生風險，改善工作場所的預防能力和安全等級，採取適當的措施，減輕對勞工健康和安全的不良影響。

貳、淨零轉型下的主要安全衛生挑戰

我國國家發展委員會公布2050 淨零路徑：台灣總體減碳行動計畫十二項關鍵

戰略[1]，其中淨零轉型的主要焦點為新能源相關系統與設備的能源轉型，利用不同的能源使用方式，降低二氧化碳的產生。目前我國常見的新型態能源有太陽光電、鋰電池（儲能）、風力發電、氫能等，危害類型各有不同，也各有不同的危害特性，初步整理如表1。這些新能源技術，危害類型雖不脫傳統危害類型，但有其特殊性，應針對新興能源之特性擬定預防之道，本文就設置量較大的太陽光電及鋰電池危害進行說明。

參、太陽光電危害與安全衛生因應策略

太陽光電是我國再生能源的主要設置型態，系統類型一般可分為屋頂型、地面型、水域型（含漁電共生）及建築整合型等四種類型，各有不同的危害型態。

- 一、屋頂型太陽光電：設置在建築屋頂，維護與施工時常伴隨高風險作業。
- 二、地面型太陽光電：設置在地面或開放場址，作業危害常見墜落、感電、物體飛落、高溫、滑倒與人因問題。
- 三、水域型（含漁電共生）：除了電氣危害外，還會疊加潮濕、通道受限、保養與救災困難等風險。
- 四、建築整合型：使用太陽光電板取代傳統建築材料的一種應用方式，以建築設計手法，將太陽光電板系統導入建築物外殼構造，由於，此類型需與建築做較緊密的設計結合，困難度較高，設置量較少。

一、典型災害事故1：水面型太陽光電作業感電事故

2023年7月18日，從事水面型太陽光電作業，負極導線端落入海水，正極導

表1 新興能源類型與危害分析表

新興能源種類	可能危害類型	新型態危害特性說明	主要控制措施
鋰電池 (電芯生產儲存、儲能)	熱失控 (Thermal Runaway)、可燃性氣體爆炸、毒性氣體暴露、感電	鋰電池於製造、儲存及儲能系統運轉過程中，可能因熱失控引發火災或爆炸。其燃燒持續時間較長，傳統滅火方式不易有效控制，並可能釋放大量可燃性及有毒氣體，增加消防搶救與人員暴露風險。	BMS監控、早期偵測、消防系統、防火區劃、緊急應變
太陽光電	墜落、感電、物體飛落、撞擊、切割傷害、火災	太陽光電系統於日照下即使切斷外部電源仍可能持續發電，增加消防救災及維修作業之感電風險。此外，系統長期暴露於戶外環境，易受強風、颱風及極端氣候影響，造成設備損壞、結構失效及維運安全風險。	DC隔離、墜落防護、LOTO、結構強化
風力發電	高空作業、密閉空間作業、墜落、雷擊、大型吊裝、高溫、人因危害、海上作業	風力發電設備多設置於高塔或離岸環境，作業涉及高空、密閉空間、大型吊裝及海上施工等高風險工作。其作業環境嚴苛、救援不易，且長時間作業容易增加疲勞及人因失誤風險。	防墜系統、吊裝管理、人因管理、緊急救援
氫能	極低點火能量、快速擴散、火焰不易辨識、爆炸範圍廣	氫氣具有極低點火能量及極快擴散速度，且燃燒火焰透明，不易以肉眼辨識。一旦洩漏，容易形成大範圍爆炸性混合氣體，因此須強化洩漏監測、防爆設計、通風措施及緊急應變能力，以降低事故發生風險。	洩漏偵測、強制通風、防爆設備、本質安全設計

資料來源：作者整理。

線端在水面載浮載沉產生正極導線短路火花，罹災者側伏在太陽能電池準備重新對導線端包覆絕緣膠帶，左手持老虎鉗剪下正極導線時發生感電（正極與負極之間電壓約1,211 伏特），災害發生後送醫急救，仍因傷重不治死亡[2]。

二、典型災害事故 2：屋頂型太陽光電墜落事故

2024 年 12 月 28 日，從事太陽能板鎖固作業，罹災者收工時於途中墜落撞擊南棟與中間棟間的採光罩及中間棟的冷氣室外機後墜落至一樓地面，躺於中間棟及南棟間之走道，身上無安全帶，一旁亦無安全帽，經送醫搶救不治[3]。

三、典型災害事故 3：屋頂型太陽光電感電事故

今（2026）年 7 月 4 日，罹災者爬上自家屋頂測試太陽能板功能時，疑似不慎觸電，被發現趴倒在鐵皮屋頂上，警消獲

報到場時，罹災者已無生命跡象，經送醫搶救不治[4]。

四、太陽光電危害預防

我國推行太陽光電已多年，相關安全衛生議題漸趨完善，我國勞動部透過勞動及職業安全衛生研究所歷年已進行安全衛生研究並提供相關安全衛生指引（如表 2），足供各界參考遵循，各類型太陽能光電以墜落、感電為主要危害類型。

歷經多年針對太陽光電安全衛生議題之研究，太陽光電安全衛生防護機制漸趨完善，為有效督促事業單位落實預防及管控常見風險危害，重點法規綜整如下：

一、工程設計及規劃階段之安全分析：職業安全衛生法第 5 條規定，強調工程設計及規劃階段即應納入風險評估，從源頭直接消除或降低作業危害，例如預留防墜護欄、設置永久性安全通道或設計安全上下設備，又同法第 15

表 2 勞動及職業安全衛生研究所歷年太陽光電研究及成果

研究主題	研究內容
太陽光電發電系統之作業安全研究 (IOSH101-S303)	針對屋頂型太陽光電彙整施工程序、施工危害預防措施及作業之安全對策等，編製「太陽光電發電系統之作業安全技術指引」，以提供相關事業單位或檢查機構參採，減低太陽光電發電系統相關作業之工安事故。
太陽光電發電系統職場危害預防研究 (ILOSH106-S316)	編撰屋頂型太陽光電發電系統作業安全指引，內容包括太陽光電維護作業危害評估、屋頂安全設備與作業安全管理等，提供事業單位依各場所設備特性參考應用。建議業者從「源頭管理」的觀點做好防災措施，在設計階段即納入安全措施，並落實各承攬工作人員之承攬安全管理、教育訓練與作業前、中、後階段的安全查核，以保障太陽光電維護作業的工作人員、廠區人員及鄰近人員的安全。
太陽能光電設施拆除作業之危害分析與預防 (ILOSH111-S314)	針對屋頂型（含建築整合型）、地面型及水域型太陽光電設施撰寫三份作業安全指引，每份指引包含設計、建置、維運（清洗）及拆除各階段之作業安全。配合作業安全指引，亦分別針對屋頂型（含建築整合型）、地面型及水域型太陽光電設施作業流程中建置/拆除及維運/清洗階段設計六份查核表，建議太陽光電設施業者可參考本計畫所編撰太陽光電設施作業的安全指引及查核表，根據不同類型及生命週期各階段進行職業安全防護及作業查核。

資料來源：作者整理。



條之 1 規定，未來達一定規模以上者，於交付規劃、設計時，即應依工程特性分析潛在危害，編制安全衛生圖說與規範、量化編列安全衛生費用、製作工程規劃設計安全分析報告等，並要求施工者依分析報告評估施工風險及採取預防設施，納入施工計畫書據以執行。

二、工程交付承攬或場域出租建置之風險評估：依職業安全衛生法第 26 條規定，關於太陽光電進行各式工程施作時，原事業單位於交付承攬時，應於事前進行風險評估，並告知該承攬人有關工作環境、危害因素、安全衛生規定應採取之措施，另針對國內常見太陽光電業者承租廠房屋頂設置發電設備，該廠房所有權人於出租前，亦應告知承租人有關其場所、設備危害因素及安全衛生相關注意事項。

三、工程施工期間之安全衛生統合管理與共同作業安全管理：太陽光電設置及

維護時，往往會有不同施工廠商在同一區域同時或交叉施工，對於原事業單位交付承攬，且與各承攬人之工作者有共同作業時，職業安全衛生法第 27 條已定明原事業單位應採取之管理措施，且各承攬人均應配合辦理，另對於事業單位如有交付二個以上之施工者施工，事業單位亦應依同法第 27 條之 1 規定，指定其中之一之施工者執行整體工程安全衛生統合管理事項。

四、防墜設施納入建築物太陽光電系統設計及施工要項：內政部建築物設置太陽光電發電設備標準第 6 條規定，依該標準設置之太陽光電發電設備與其線路設計及施工，對於太陽光電發電設備所在場所，應依職業安全衛生設施規則第 29 條、第 37 條及第 227 條之 1 規定，設置維護所需之樓梯、通道及欄杆等永久性安全設施。

五、屋頂太陽光電發電設備維護作業安全：屋頂建置太陽光電發電設備經使用後，仍需定期清潔及維護太陽光電板，職業安全衛生設施規則第 21 條之 3 規定，對於屋頂作業如符合該條規定對象，應於作業前實施風險評估及採取預防措施，並通報勞動檢查機構掌握及實施監督檢查。

肆、鋰電池系統危害與安全衛生因應策略

鋰電池具有高能量密度、良好的充放電性能及長循環壽命等優點，因此已廣泛應用於消費性電子產品、電動運具及能源儲存等領域。隨著市場需求持續成長，鋰電池相關的生產、製造、組裝、儲存及回收等產業亦快速發展，逐漸形成完整的產業鏈，然相關產業安全衛生危害亦伴隨而生（如表 3）。

一、典型災害事故 1：鋰電池製造及組裝

2025 年 7 月 14 日，高雄市小港區的鋰電池廠，清晨約 5 點突然爆炸起火，現

場火勢猛烈，高聳濃煙直竄天際，數公里外可見，導致 12 名員工及 3 名消防人員受傷送醫 [6]。

二、典型災害事故 2：鋰電池使用、倉儲及運輸

2023 年 7 月 9 日，桃園市龜山區光安街一處電池儲存倉庫突然發生火警，6 噸鋰電池付之一炬。所幸無人員傷亡 [7]。

三、典型災害事故 3：電池儲能系統

2025 年 1 月 8 日，一輛載運 3,200 顆鋰電池的「太陽能儲能櫃」貨櫃車，中午翻覆在國 1 虎尾交流道出口附近，警戒 16 小時後突然自燃，前後燒了 10 小時才熄滅 [8]。

四、典型災害事故 4：電池儲能系統

2023 年 7 月 4 日，台中市龍井區工業路戶外貨櫃儲能站火警，由於貨櫃內儲放磷酸鋰鐵電池，灌救過程恐觸電、貿然打開貨櫃門恐瞬間反燃或爆燃，相當棘手，消防局不敢大意，經通知廠商斷電，灑水降溫後，再由消防員全副武裝打開櫃門，

表 3 鋰電池新興產業及衍生安全衛生危害表

類別	主要作業/用途	職業安全衛生危害
鋰電池製造、儲存	電極製備、塗布、烘乾、注液、組裝、化成、分容、測試與包裝、儲存	化學品暴露、粉塵/溶劑火災與爆炸、機械夾捲、電氣危害、熱危害、密閉或通風不良環境暴露、搬運與堆高作業風險
併網儲能	與電網連接，執行削峰填谷、調頻、備援與再生能源整合	感電、電弧灼傷、火災、爆炸、熱失控、有毒氣體暴露、設備維修高處作業、吊掛與搬運危害
表後儲能	設置在用戶端或負載側，供自發自用、備援供電、需量管理與離網/微電網應用	感電、火災、電弧灼傷、熱失控、化學品暴露、建築內火災延燒化學品、建築內通風不足造成吸入暴露、維修作業與搬運危害

資料來源：作者整理。



對貨櫃內以泡沫滅火搶救後，並持續對電池灑水降溫，火勢延燒約 1 小時燒毀整櫃磷酸鋰鐵電池 [9]。

五、鋰電池熱失控特性

「熱」為啟動鋰電池反應機制之鑰匙，以三元鋰電池而言，當溫度上升到 120°C 至 150°C ，隔離膜熔融使正負極接觸而引發內短路 [10-11]，因而導致溫度上升速率增加 [12]，當溫度達到一定程度時，材料會分解出大量的氧氣導致結構崩解 [13]。因此，鋰電池之放熱反應由一個起始的溫度開始，進入熱裂解 → 放熱 → 溫昇 → 加速熱裂解反應之過程稱為鋰電池的失控反應 [10]。

鋰電池熱失控後內容物劇烈反應，可觀察到產生大量氣體，有可燃氣體（ H_2 、 CH_4 、 C_2H_2 、 C_2H_4 、 C_2H_6 和 CO 等）及毒性氣體（ HF 、 HCl 、 HBr 、 HCN 、 SO_2 等），依鋰電池種類不同，產生之氣體亦大不相同，研究顯示可燃性氣體占比超過 50%，當可燃性氣體與大氣中的氧氣混合，可能會引發爆炸。

六、鋰電池危害特性

鋰電池熱失控為主要的鋰電池危害產生的源頭，也導致鋰電池特殊的危害特性，可說明如下：

- （一）燃燒時間長、易延燒、難滅火：鋰電池的不安定性主要來自於對溫度的敏感與熱失控，而鋰電池設備為能提供大量電力，不可避免的利用大量電芯進行串接，並以密封封裝保護電芯，反使得熱量容易在電池模組蓄積，一旦模組中有電芯熱失控，熱量蓄積並於模組內傳遞，造成鋰電池設備容易延燒、長時間燃燒、難滅火的特性，目前鋰電池火災無有效的滅火藥劑，建議以大量的水進行冷卻降溫延緩熱失控速度。

(二) 爆炸：如文獻所述，鋰電池熱失控產生大量的可燃性氣體，若熱失控發生於密閉空間，爆炸發生的風險不可忽視。

(三) 復燃：由於鋰電池設備以密閉封裝的模組進行設置，熱蓄積難以移除，故鋰電池火災極易復燃，在應變處理上，應特別注意，當火勢暫緩，不建議立即移動，應監視其溫度是否下降，若溫度未下降，復燃的風險高。

(四) 毒性氣體：如文獻所述，鋰電池熱失控產生大量的毒性氣體，對人員有相當的危害性，在處理鋰電池火災時，救災人員應著呼吸防護具。

七、儲能系統介紹

儲能是利用不同的介質 [14]，將多餘的電力透過物理性或化學性的方式儲存於介質中，需要電力時可即時將電能釋出。

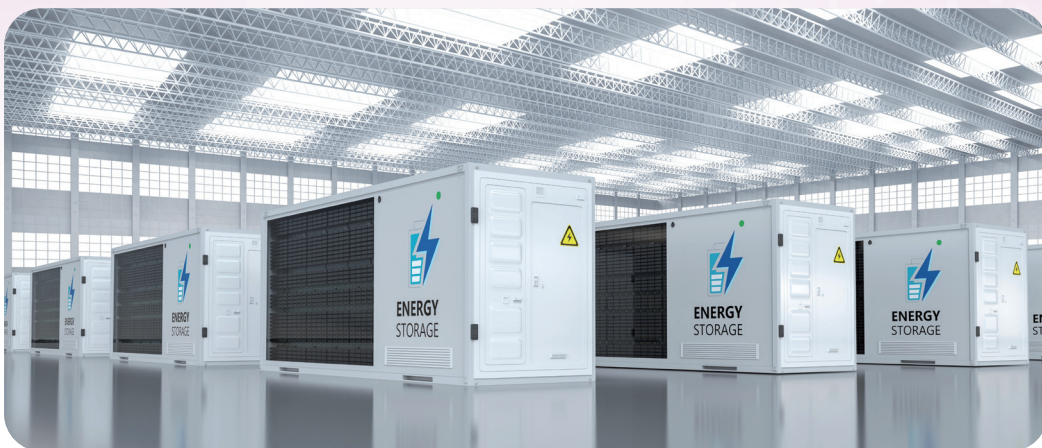
由於鋰電池在能量密度與功率密度上遠優於其它類型的電池，在微型電網以及再生能源儲電應用已有相當多的實例。

儲能櫃內部組件分別由電池芯組成電池組，數個電池組排列成電池機架，再由數個電池機架配置成儲能櫃。儲能櫃內還配置了專用的消防及空調系統以保證系統的安全，其中消防系統通過煙霧偵測器、溫度偵測器、濕度偵測器等安全設備感知火警，大都配有自動滅火設備。

八、表後儲能危害預防

儲能系統依其用途可分為併網型儲能及表後儲能，併網型儲能為獨立案場，主要目的為穩定電網；表後儲能是將儲能裝置安裝在用戶電表之後，由用戶自行設置及管理，結合智慧控制系統，可與太陽光電共同設置，成為光儲系統；或在離峰時儲電，在需求高峰期，儲能設施可以迅速放電，減少用戶對外部電網的需求及尖峰時段的電力負荷，也能幫助用戶降低電費。





表後儲能以自用為主設置於工業用電戶、商業建築，並擴展至住宅領域，造成表後儲能形式多樣，每案均可能有不同的設置環境與危害（人員、化學品、可燃物），導致在設計上比戶外併網型考量點多且複雜，很難有統一的防護設計，且表後儲能的設置容量從數千瓦時到百萬瓦時，變化相當大，容易輕忽小容量的危害。表 4 為表後儲能與併網儲能的比較表，二

者有相當的不同，表後儲能對人員及廠房的危害風險較高，應特別注意。

針對上述風險，表後儲能系統之防火安全設計應採多層次策略，包括設計、預防、偵測及應變三個面向。

（一）在設計方面：最重要的部分，但也被忽略，良好的設計應考量儲能失效後可能造成的危害，就主、被

表 4 表後儲能與併網儲能比較表

比較項目	表後儲能	併網儲能
設置位置	用電端（建築物內或用戶側）	電網端（戶外、變電站、發電端）
典型設置場域	工廠、商辦、住宅、醫院、校園	電廠、變電站、再生能源場（太陽能/風電）
使用者	用電戶（企業/個人）	電力公司、能源業者
建置位置特性	多為室內或建築附屬空間	多為戶外、獨立場站
安全風險類型	人員密集、室內火災 煙氣累積、爆炸風險高	大規模火災 延燒範圍大但人員較少
火災影響範圍	局部但對人員影響大	廣域但人員影響較小
熱失控風險	高（空間密閉、散熱差）	中（通風佳但規模大）
防火設計重點	早期偵測（氣體/溫度）、排煙/洩爆設計、 建築防火區劃	模組隔離、防延燒設計、安全距離配置
消防策略	室內滅火困難 要有人員避難設計	以隔離與控制為主 大型水源或自動滅火
維運難度	分散管理、依用戶差異大	集中管理、專業化高

資料來源：作者整理。

動防火進行規劃，應依消防署之儲能指引進行檢討，並進行完整的風險評估報告。

- (二) 在預防方面：應透過電池管理系統（BMS）控制充放電條件，避免過充及過熱情形，並選用符合安全認證之設備。此外，儲能系統宜設置於獨立空間，並採用適當之防火區劃，以降低火災擴散風險。
- (三) 在偵測方面：除傳統煙霧偵測外，建議導入氣體偵測（如氫氣及一氧化碳）及溫度監測系統，也建議裝設視覺監視，以提升早期預警能力，於熱失控初期即能啟動應變措施。
- (四) 在應變方面：應配置自動滅火設備，如撒水或水霧系統，以抑制火勢發展，如果安裝上有困難，應有消防水帶可施行射水的替代方案，同時，應設置緊急斷電機制。

- (五) 通風設計：對於室內儲能系統，通風設計尤為關鍵，其性能應能有效稀釋釋放氣體，並避免危險濃度累積，以降低可燃氣體濃度及可燃氣體爆炸風險。

伍、結論

2050 淨零排放為我國能源發展的重要目標，太陽光電、風力發電、鋰電池儲能及氫能等新能源技術亦快速發展。然而，新能源產業雖有助於降低溫室氣體排放，卻同時衍生出熱失控、高空作業、感電、火災爆炸、毒性氣體暴露、密閉空間及大型吊裝等新興職業安全衛生風險，其危害型態與傳統產業已有明顯差異，對現行安全管理制度及災害預防策略帶來新的挑戰。

本文彙整近年新能源產業之事故案例、危害特性及安全管理措施，分析太陽



光電及鋰電池儲能系統於設計、施工、運轉維護及拆除等生命週期可能面臨之職業安全衛生風險，並提出相對應之預防策略，安全管理應由傳統事故後處理，轉向生命週期風險管理及源頭預防，將職業安全衛生納入新能源設施設計、審查、施工、維護及除役各階段，以降低事故發生機率。

此外，政府推動淨零政策時，除重視能源轉型及產業發展外，亦應持續完善之職業安全衛生管理制度，包括建立新能源作業安全技術指引、強化設計審查及風險評估機制、完善教育訓練與專業資格制度、推動標準化施工及維運程序，以及建立事故資訊蒐集與經驗回饋機制，使安全管理制度能隨新能源技術持續精進。

參考文獻

1. 國家發展委員會，2050 淨零路徑：台灣總體減碳行動計畫十二項關鍵戰略，https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=6BA5CC3D71A1BF6F，2026.7。
2. 勞動部職業安全衛生署，水面型太陽能電池活線作業發生感電致死職業災害，核備文號：1121708184。
3. 勞動部職業安全衛生署，從事太陽能板鎖固作業時發生墜落致死職業災害，113/5/8。
4. 三立新聞網，快訊／太陽能板電死人！彰化男爬屋頂測試功能…不慎觸電慘死，2026/7/4。
5. 勞動部透過勞動及職業安全衛生研究所，太陽光電發電系統之作業安全研究，2023。
6. 今周刊，https://www.recessary.com/zh-tw/news/15-injured-in-molie-quantum-energy-lithium-cell-plant-fire?utm_source=chatgpt.com，2025/7/15。
7. 公視新聞網，https://news.pts.org.tw/article/645385?utm_source=chatgpt.com，2023/7/9。
8. 中時新聞網，<https://tw.news.yahoo.com/首例光電儲能櫃起火燒10小時>，2025/1/8。
9. 中華新聞雲，<https://www.cdns.com.tw/articles/830798>，2023/7/5。
10. 張金泉，2009，模擬在鋰離子電池熱失控機制的應用，工業材料雜誌，275 期。
11. 黃可龍、王兆翔、劉素琴，2010，鋰電池原理與技術，五南圖書出版股份有限公司，初版，台北市。
12. 林振華，林振富編譯，2001，充電式鋰離子電池材料與應用。
13. 郭政肇、楊模華，2006，鋰電池安全性與電極材料熱分析介紹，工業材料雜誌，236 期。
14. 財團法人中技社儲能產業在能源轉型趨勢下的機會與挑戰，專題報告 2019-10，2019 年 12 月。