

儲能系統危害概要及 應變建議事項探討

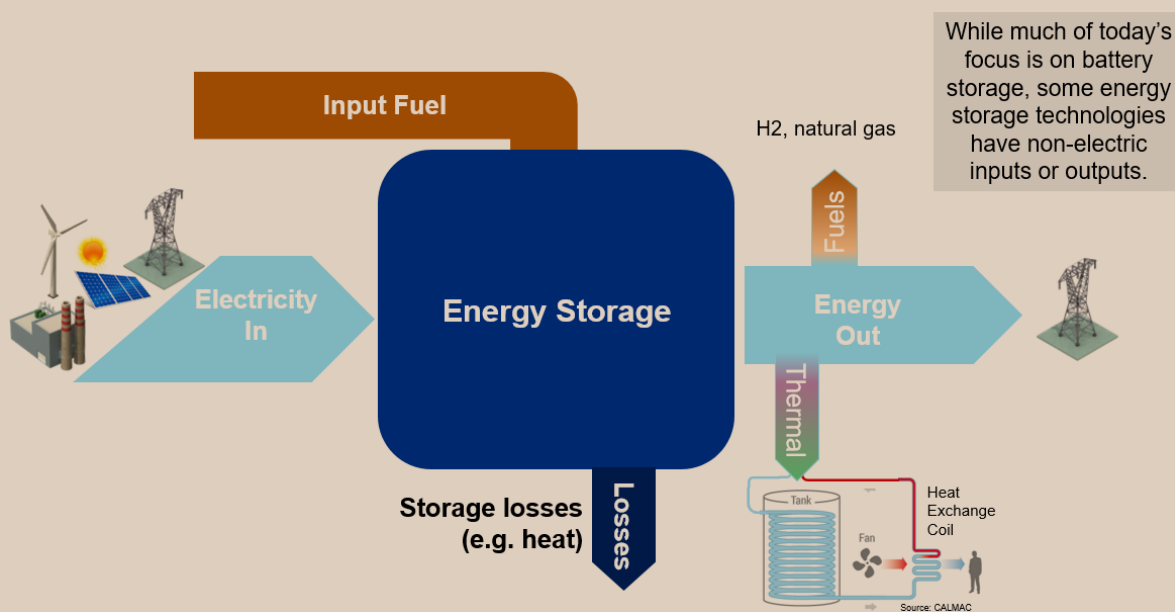
Overview of Energy Storage System Hazards and Discussion on Recommendations for Response

圖・文：內政部消防署 廖書鋒 消防月刊編輯室

前言

儲能系統是一種設置在電網上的儲存能量系統，可以調節能量供需達到削峰填谷的作用。然而，儲能系統的特性除了內含電能外，尚與其運用技術有關；發生災害時產生的危害與一般火災相比，有相當的差異性。本文旨在就儲能系統的特性及危害概要簡單說明，並參考相關文件資料提出應變建議事項以供消防人員參考。

Energy storage systems are systems installed on a power grid to distribute energy supply and demand to achieve peak cuts. However, besides storing power, energy storage systems also exhibit certain features as a result of the technology used to deploy them. When a disaster event happens, the danger they pose would be characteristically different from general fires. This article aims to provide a brief overview of the features and hazards of energy storage systems, as well as offer recommendations for disaster response based on relevant materials, for the reference of firefighters.



1、儲能概念圖。能量的來源亦可能源自補充能源（如燃料或熱量的導入）。能量輸出的型態並不限定為電能，有時可能以燃料型式或是熱能型式輸出。（圖片來源：EPRI）



圖 2、光電儲能合一案場，左側為太陽能發電設備，右側為儲能設備（圖片來源：臺南市政府新聞稿）

■ 儲能系統簡介

所謂儲能系統（ESS，Energy Storage System），以白話來說，是一種以多個裝置組合在一起，設置在電網上的儲存能量系統。當電網上有過剩的能量的時候可以儲存在儲能系統中；而在能量不足時能自儲能系統將儲蓄的能量供應至電網提供使用（即所謂削峰填谷）（概念圖如圖 1）。儲能系統的技術除了我們常見的電化學系統外，還有多種系統，如：熱能系統、機械能系統、化學能系統等。像明潭水力發電廠，係以抽水蓄能的方式，在用電需求較低的時候將水抽至高處，在用電需求較高的時候將水放出推動發電機發電，即是機械能系統的範疇；或是燃料電池，透過氧化還原反應，將燃料中的化學能轉換成電能；或是熱能系統，如太陽能熱水器將太陽的輻射熱能儲存於水中。

目前我們常見的儲能系統技術，即是以電化學（electrochemical）系統為主的儲能系統，其主要原理係利用氧化還原反應，將化學能轉變成電能；在負極發生氧化反應放出電子，在正極發生還原反應接受電子。而電化學電池的種類五

花八門，常見的有鉛酸電池、鎳鎘電池、液流電池、鈉硫電池、鋰（離子）電池……等，目前市面上商用的儲能系統大多是以電化學系統，並且以鋰電池為主要儲能方案（案場範例如圖 2）。

■ 美國消防協會 NFPA 855 規定概要

美國消防協會（NFPA）基於儲能系統之安全考量，於 2019 年發布 NFPA 855「定置型儲能系統安裝標準」。前述安裝標準的訂定目的係在提供定置型（stationary）的儲能系統安裝標準，以減少儲能系統的災害。前述安裝標準，美國消防協會提出的內容函括室內、室外等不同安裝地點，及應用不同儲能技術，相關項目概要如下：

一、共通部分：單機櫃能量限制及與鄰櫃、牆壁間之間距、最大儲存能量限制、煙霧及火災偵測、消防設備、水源供給、特定儲能技術（電化學、電容器、燃料電池）之防護規定。（在實務設計上，如果單機櫃能量需超過 50kWh，總系統能量需超過 600kWh【以鋰電池技術為例】，機櫃與機櫃 / 牆壁間距

無法維持 0.9 公尺【3 英呎】，消防安全設備非設置自動撒水設備設置或撒水設備撒水密度不足 0.3gpm/ft² 等情形時，得透過大型燃燒試驗，驗證其設計在機櫃級別或安裝級別【消防設備部分】達到性能的要求，可放寬其設計。）

二、室外部分：最大尺寸限制、與鄰近場所（exposure）距離、與避難路徑（means of egress）距離、步入（walk-in）式設備規範、周圍植被管控、外殼規範。

三、室內部分：防火區劃規定、安裝樓層限制。

然而需要我們消防人員到達現場進行搶救的災害案件，可能會遭遇到所有的主、被動防護設計失敗，而儲能設備就好比是大型的不斷電系統或是行動電源，如果在沒有了解儲能系統的危害而貿然進入步入式單元（walk-in unit）（範例如圖 3）時，可能對消防人員的人身安全產生顯著的危害。所以，身為第一線的應變人員應該對儲能系統的危害有初步的了解。目前，在第 6 版內政部「消防人員救災安全手冊」中，已經將搶救儲能系統安全指導原則納入，以利消防人員了解其特性及搶救應注意事項及戰術規劃。而在 NFPA 855 的附錄中，也將儲能系統在正常運作及異常情形下的危害進行說明，以利了解。

儲能系統危害概要

儲能系統的潛在危害，依據 NFPA 855 的

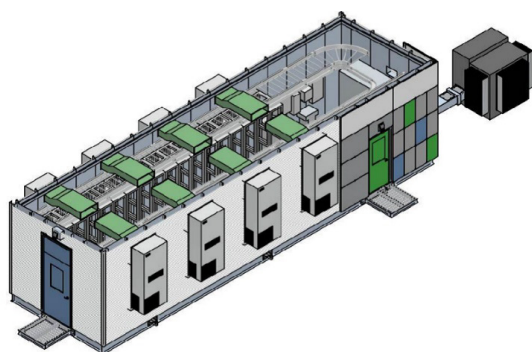


圖 3、一般步入式單元儲能系統範例（圖片來源：APS）

附錄 B，整理概要如下：

一、火災及爆炸危害：

一般情形：可能由熱源（如帶電部件）在維修或保養過程中與可燃物質接觸；或是在正常運作下由熱源引燃達可燃濃度之物質或可燃液（固）體，如電解質自電芯排放氣體（如氫氣等），進而發生危害。

異常情形：幾乎所有的電芯在過熱時均有緩解內部壓力的機制以防止電芯在壓力過大時爆炸。由於在引火源附近的電芯過熱，其緩解內部壓力機制啟動並排放易燃氣體（如氫氣）；易燃氣體濃度達到燃燒下限而遇到前述引火源時，即有引起火災或爆炸的危害。除此之外，電氣零件的過熱亦會引起火災，如短路等異常狀況（火災情形如圖 4）。

二、化學危害：

一般情形：可能在維護、維修、更換零件時，接觸危險物品發生危害。如液體危害（腐蝕性電解液、有毒液體等）、氧化劑、氣體（有毒氣體）、固體（禁水性物質、有毒物質）。

異常情形：上述之危害情形在異常時可能有下列狀況發生：

（一）液體危害：如某些系統內含有的腐蝕性液體可能溢出或噴濺，或是在火災、溢



圖 4、臺中市龍井區工研院綠能所示範案場儲能系統火災（圖片來源：經濟日報）

出或噴濺發生時使應變人員暴露在有毒液體的蒸氣中。

- (二) 氧化劑危害：某些系統內存在的氧化劑會增加其他物質的燃燒強度。
- (三) 固體危害：某些系統的電池技術使用與水反應的物質。當接觸水氣或是空氣中的濕氣時會劇烈的反應。
- (四) 氣體（有毒氣體）：類似有毒液體散發出的蒸氣危害。

三、電氣危害：

一般情形：如感電（電壓在 50V 以上時即可能對操作、維護時接觸到帶電部件之受過訓練的工作人員造成危害）、電弧（電焊作業產生的高溫與強光即為電弧，可造成人員的灼傷。當電弧能量大於 $5\text{J}/\text{cm}^2$ 時應計算電弧風險邊界，並採取適當的程序和設備以防止在操作和維修過程中遭受危害）、殘存能量危害（stranded/stored energy，其定義為累積並保留為未來使用的能量。如工作人員暴露在未充分放電 / 損壞的儲能系統亦存在電擊和電弧的危害）等。

異常情形：上述之危害情形在異常時可能有下列狀況發生：

（一）感電：因為電路的電壓在 50V 以上時，即有電擊危險；而第一線的應變人員，通常不具備經過訓練工作人員之訓練及保護裝備。因此，應提供維護人員及應變人員如何面對電氣危害的指南。另外，應變人員有可能暴露在帶電部件接觸導電流體（如水）的情況下，故製造商 / 安裝商應提供應變人員有關隔離帶電部件的距離及射水的方式及角度等資訊。

（二）電弧 / 電弧爆炸：第一線應變人員一般並沒有接受訓練及具備適當的防護設

備（如電弧等級的防護衣、手套等）以預防電弧 / 電弧爆炸；而在緊急應變時，當遭遇現場有充足的能量時，即有可能發生危害。製造商應提供應急應變時減少發生電弧 / 電弧爆炸的指引。

（三）殘存能量危害：受損的儲能系統可能會造成潛在的電擊、電弧、電弧爆炸、復燃等危害。案場應能聯繫經訓練之值班人員，協助應變人員隔離潛在的危險能量，或是消耗能量以防止某些系統的復燃。

另依據 UL 對太陽光電發電設備火災中，消防人員在射水時遭遇潛在感電問題的研究指出其係與電壓、水的導電率、距離、射水方式均有相關，例如：

（一）以水柱射水調整成水霧射水（展開角度 10 度）時，電流可下降至感覺程度以下。

（二）帶電的設備不應應用鹽水搶救。

（三）距離 20 英尺（6.1 公尺）時，已經確認可將 1000V 直流電電源之潛在電擊危險等級降低至視為安全的 2mA 以下。

（備註：依據消防人員救災安全手冊搶救太陽光電發電設備場所安全指導原則資料，建議射水時保持至少 6 公尺以上、以 10 公尺為佳之距離，以展開角度 30 度之水霧射水，且瞄子出水壓力至少 $7\text{kg}/\text{cm}^2$ 【100psi】。）

四、物理危害：

一般情形：燙傷（維護時接觸到高溫表面）、零件內含液（氣）壓流體之傷害、動能傷害（未妥善防護可動部件之危害）等。

異常情形：由於過熱使得未具洩壓裝置的

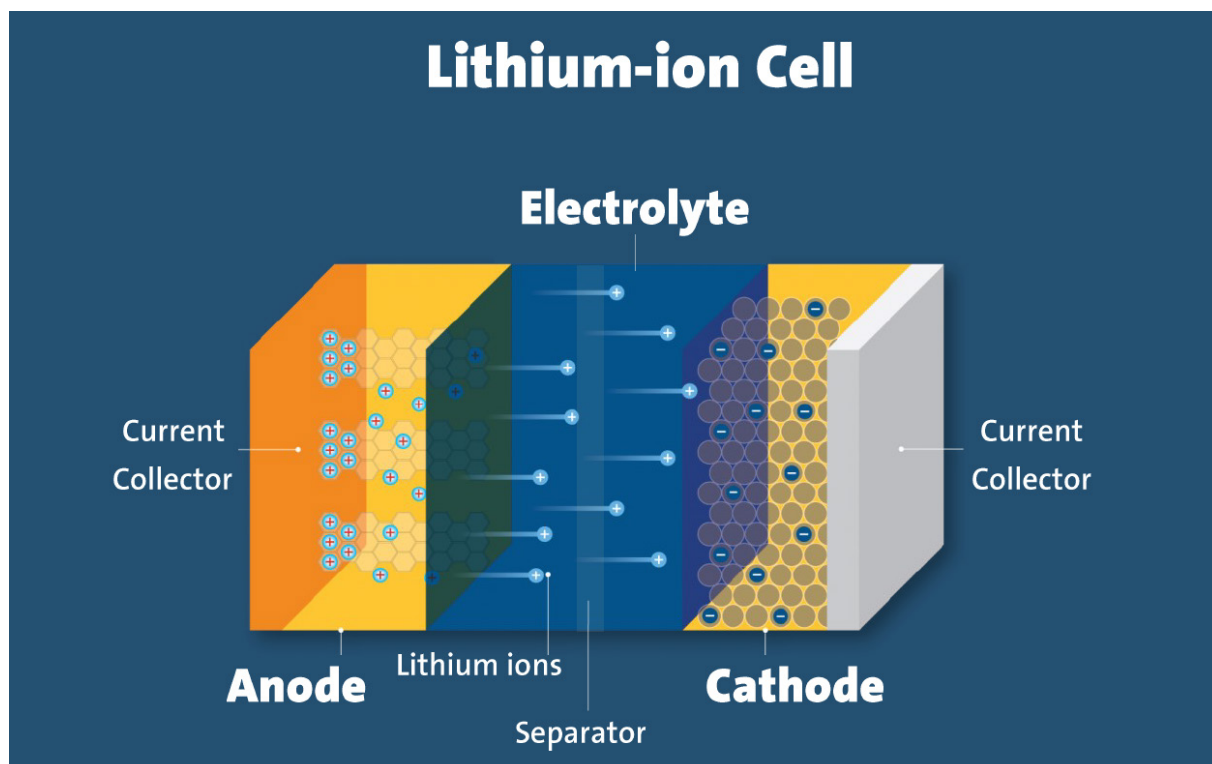


圖 5、鋰（離子）電池工作示意圖。Anode 為負極，Cathode 為正極，Electrolyte 為電解質。當放電時，負極釋放鋰離子經由內部通過隔離膜至正極，並產生電子流自電池外部驅動相關設備。（圖片來源：UL Research Institutes）

設備引起的危險壓力傷害；或含有潛在熱的零件；或裸露零件因足夠的動能，造成接觸人員的傷害。

■ 鋰電系統 / 鈉硫系統特性及特殊危害概要

目前國內建置的儲能系統以電化學系統的鋰電池技術的系統為主，另在金門縣有試辦鈉硫電池技術的儲能系統。以下依據上列 2 種儲能系統特性，簡要說明其特性及特殊危害概要。

一、鋰電池技術：

目前所稱之鋰電池，其實多為「鋰離子電池」，主要係以鋰化合物作為電極材料，使鋰離子自正極移動至負極（鋰【離子】電池工作示意圖如圖 5）。電池中的正極，主流產品有三元鋰（鎳鈷錳酸鋰）及磷酸鐵鋰等；前者其能量密度較高，後者安全性及穩定性較高，負極均多以石墨構成。

電解質部分，係均以有機溶劑溶解鋰鹽，使離子於其中進行交換。

因電池的電解質部分多為易燃液體，確實有造成火災的風險。而且當電池受損或是發生短路時，亦有機會發生火災或是爆炸等現象。另外，特有的熱失控現象會使得電池組可能由一個電芯過熱發生火災傳播至其他電芯，進而使整個模組 / 機櫃發生災害。

依據 Golubkov 等人的研究實驗，鋰三元電池、鈷酸鋰電池及磷酸鐵鋰電池等，其受熱排放氣體、熱失控開始及最高溫等相關發生溫度如表 1：

排放的氣體經實驗中觀察主要為大量的氫氣及碳氫化合物。這些氣體極為易燃，故應變人員在搶救時應特別注意。另外，鈷酸鋰 / 鋰三元以及鋰三元電池，尚會產生大量的一氧化碳（亦為可燃），亦應注意。

	鋰三元	鈷酸鋰 / 鋰三元	磷酸鐵鋰
開始排放氣體溫度	168±1℃	149±2℃	195±8℃
熱失控發生溫度	223±3℃	208±2℃	發生溫度不明顯
實驗測得最高溫度	678±13℃	853±24℃	404±23℃

■ 表 1、各式鋰離子電池受熱關鍵溫度表能

對於上開鋰電池技術的特性其特殊危害概要如下：

（一）火災危害：

一般情形：電池內部存在缺陷或防止熱失控裝置存在設計問題時，可能產生危害。

異常情形：電池在異常工作參數下可能發生熱失控，另有可能因短路發生火災。

（二）化學危害：

一般情形：無適用事項。

異常情形：根據電池大小及異常程度，可能排出有害氣體。

（三）電氣危害：

一般情形：系統在危險電壓及能量的情形下，日常維護可能存在危害。

異常情形：系統異常時達到危險電壓及能量的情形下，存在危害。

（四）殘存能量危害：

一般情形：維護或更換設備時如果無法隔離電池，可能存在危險。

異常情形：電池在異常情形時可能存在危害。另外，受損的電池也可能殘留能量，如果處置不當時亦可能存在危害。

（五）物理危害：

一般情形：無適用事項。

異常情形：系統設計上如果可能觸及過熱零件或裸露存在動能的零件，可能會有危害。

二、鈉硫電池技術：

由熔融的鈉及硫組成的熔鹽電池，操作溫度一般在 300℃至 350℃。具有壽命較長、低自放電、較高充放電效率、量產較為便宜等特色。負極為熔融鈉，硫於正極與鈉離子進行反應，形成硫化鈉（鈉硫電池儲能系統範例如圖六）。然而，鈉為禁水性物質，發生火災時無法使用水進行滅火，需使用乾燥砂進行應變，故緊急應變時較為困難。

參考日本「ナトリウム 硫 電池を設置する一般取扱所の火災 策について」，發生火災時，單一個鈉硫電池芯反應時間從 3 分鐘至 20 分鐘，最高溫可達 2,000 度，當單一個電芯的破裂聲音停止後經過 10 分鐘以上且火勢未自電池模組繼續噴出，始可考慮認為反應結束。

對於上開鈉硫電池技術的特性，鈉硫電池系統特殊危害概要如下：



■ 圖 6、金門夏興電廠鈉硫電池儲能系統。（圖片來源：公益國際）

（一）火災危害：

一般情形：電池內部存在缺陷或防止熱失控裝置存在設計問題時，可能會有危害。

異常情形：電池在異常工作參數下可能發生熱失控，大型系統有可能因短路發生火災。

（二）化學危害：

一般情形：無適用事項。（雖然電池包含禁水性物質鈉，但是系統係以氣密密封，一般情形下並無危害。）

異常情形：氣密密封被破壞，使得鈉暴露於大氣時，該禁水性物質可能暴露而有危害。

（三）電氣危害：

一般情形：系統在危險電壓及能量的情形下，日常維護可能存在危險。

異常情形：系統異常時達到危險電壓及能量的情形下，存在危險。

（四）殘存能量危害：

一般情形：維護時如果無法隔離電池，可能存在危害。

異常情形：電池在異常情形時，可能有殘存能量存在危害。

（五）物理危害：

一般情形：如果系統絕緣設計得當，避免熱的表面直接暴露時（因鈉硫電池正常需在高溫下運行），一般情形下應無危害。

異常情形：異常狀況下可能觸及過熱零件時，可能會有危害。

■ 應變建議事項

前面提到 NFPA855 目的係在提供定置性的儲能系統安裝標準，以減少儲能系統的災害，並不包含提供應變人員參考的資訊。為了使應

變人員能夠有效應變能系統的事故，另於附錄 C 提供應變人員參考資訊，並註記非 NFPA 855 的必要項目。下列項目係節錄附錄 C 中，建議應變人員的參考資訊：

一、事前應變計畫（emergency responder pre-incident planning）：應包含下列事項：

（一）了解設施緊急應變計劃的程序。

（二）辨別儲能系統類型、潛在危害及應變方法。

（三）確認建築物內斷電的位置。

（四）了解儲存在儲能系統中的電能無法完全被去除或隔離。

（五）了解關閉、斷電或隔離設備的程序以減少火災、電擊和人身傷害。

（六）了解火災事故中損壞的儲能系統處理程序，包括：著火後損壞的蓄電池和其他儲能設備中殘存的能量在初期滅火後很長一段時間有重新引燃的潛勢；聯繫能安全移除損壞的儲能系統的合格技術人員（聯繫資訊應包含在緊急應變計劃中）。

二、一般事項：

目前大部分設計及安裝的儲能系統係以電化學系統為主，而當儲能系統安裝在居室內（備註：目前國內未開放），操作的安全將更為重要。消防機關對於居室內的安裝主要的考量事項可能包含經由內部或外部熱源引起的過熱、熱失控、區劃內可能產生的爆燃等事項，以及火災偵測、滅火設備、排煙設備的有效性。另外亦會考量應變人員在應變電化學系統的儲能設備可能遭遇到的問題。

針對可能受損的儲能系統應針對應變人員制定移交程序（handover），以確保後續合格的技術人員能及時處理安全問題。這些程序

應涵蓋移除或回收損壞設備。另應使應變人員了解損壞的儲能系統設備可能內含大量殘存能量（系統關閉後保留在電池中的能量），而且目前沒有安全消除的方法。

三、滅火系統（suppression system）：

一些儲能系統之設計，其確證（validation）包括預設計（pre-engineered）惰性或潔淨氣體滅火設備，而這些消防設備通常未經過大型燃燒試驗的確認。儲能系統消防設備的設置必需有實證之資料，以確保消防設備係依據儲能系統涉及之材料（material）及物理設計進行設置。按 NFPA 的研究單位及第三方工程小組等單位早期研究表示，鋰電池必須以冷卻終止熱失控過程，而水是冷卻介質之首選；但是儲能系統機櫃的設計可能對水的使用構成重大阻礙，同時造成火和易燃氣體可自由傳播。

四、對儲能系統事故的緊急應變：

儲能系統事故的緊急應變，應考慮 NFPA 855 附錄 B 所提及的各種電池科技的特性及危害注意事項。緊急應變時應包括一般性應變作業事項，如區域隔離、確認警報的位置及類型、氣體監測、執行通風 / 排氣及抑制火勢等。

儲能系統最具挑戰性的事件是不會有明顯可見的（電芯）過熱跡象，以及未必可透過儲能系統的整合資訊系統獲得可用資訊。前述情形，使得應變人員在僅有少數的資訊下，難以確定現場的安全與否。儲能系統的電池管理系統（BMS，Battery Management System），其目的在監視和管理電池的關鍵安全參數，如電池溫度、電壓和可用電流；此類資訊可能對應變人員了解電池目前的狀態具有相當價值，但業界並無標準使用者介面以進入系統了解上述參數，或連接端子至建築內警報系統。應變人員在關閉系統之前，除非有明顯立即的危險跡象，應儘可能收集所有可見資訊。另外，如果系統損壞，應有合格且受過訓練之

儲能系統人員在場應變。

（一）電池過熱：電芯在充 / 放電時，會有熱量耗散的情形。故最佳的整體系統設計應含括硬體與軟體防護的層級連接，包含電池、模組及機櫃等級（系統架構範例如圖七）。如果發生故障且電池持續過熱時，可能造成損壞進而導致電芯膨脹、排氣、著火或爆炸。對電池過熱的正確應變，應包括下列步驟：

- 隔離非必要人員
- 查看建築物和儲能系統的可用數據
- 查看消防設備啟動情形
- 連通處所的氣體監測
- 確認過熱電池之位置
- 根據損壞程度，如有提供斷路開關，則打開斷路開關隔離受影響的電池、模組或系統
- 聯繫負責儲能系統維護之人員或公司
- 持續溫度監控確保過熱情形減緩

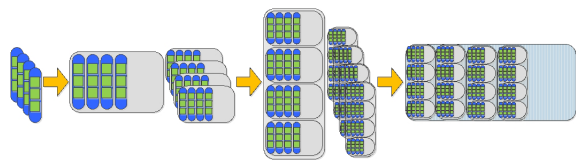


圖 7、一般系統架構範例。多個電芯（Cells）組成單一模組（Module），多個模組組成單一機櫃（Rack），多個機櫃組成單一系統（System）

（二）火災：

電化學系統的儲能系統火災通常是熱失控（thermal runaway）造成的結果。熱失控可以簡單定義為電池產生熱量但無法散發，從而導致動態溫度升高的過程。熱失控的最初跡象可能包括電芯級別的壓力升高、溫度上升、排放氣體等。隨著過程持續，其他可能跡象包括排放氣體著火、電芯爆炸及熱 / 火焰的傳播。

隨著故障層級升高，應變人員應該為有毒氣體和潛在爆炸性氣體之釋放做好準備。雖然

大型燃燒試驗時，有實驗電池燃燒時生成之有毒氣體種類及數量但並非完整，故應變人員應將前述氣體視為高度危險，並在應變時使用全套個人防護裝備和空氣呼吸器。

正確的電化學系統的儲能系統火災應變，應包括下列步驟：

- ・ 系統隔離與關機
- ・ 危害侷限和暴露防護
- ・ 滅火
- ・ 通風

五、滅火藥劑選擇考量：

對於電池故障及滅火藥劑特性的選用在應變策略十分重要。有證據顯示，許多滅火藥劑可以抑制電池燃燒，但是表現不一。電池的化學物質對於滅火藥劑的選擇十分重要，有些滅火藥劑在單一化學物質環境下表現良好，有些是在多種化學物質環境下表現良好。此外，某些滅火藥劑可能不適用某些電池化學物質，如誤用時可能產生更危險的情況。

當選擇滅火藥劑系統時，應考慮下列因素：

- ・ 冷卻效果
- ・ 有效性
- ・ 便攜性
- ・ 導電率
- ・ 有效的測試數據
- ・ 層級連接保護

■ 鋰電系統 / 鈉硫系統滅火藥劑選擇建議

就上述滅火藥劑的選擇考量，以目前常見的鋰電池系統及鈉硫電池系統為例，NFPA 855 附錄 C 建議下列事項：

一、鋰電池：

水被認為是抑制鋰電池火災的首選滅火藥劑。水具有優越的冷卻能力，在許多地方容易取得並且容易於運至現場。但模組 / 機櫃的配置可能使得水難以滲透進行冷卻，但仍對侷限火勢十分有效。（細）水霧系統被認為可以安全使用於高（電）壓系統。依據 NFPA FPRF（Fire Protection Research Foundation）研究，在車輛火災訓練臺上安裝鋰電池進行火災試驗（如圖 8），消防人員於實驗中同時使用水柱及水霧模式進行滅火，在瞄子上並未量測到明顯的電流或電壓。消防泡沫因為其缺少冷卻能力且會導電被認為是無效的；另外有證據顯示，泡沫可能因為隔絕燃燒物質使得溫度上升加劇，而促進熱失控的發生。



■ 圖 8、車輛火災訓練臺（VFT，Vehicle Fire Trainer）上安裝鋰電池進行火災試驗設定，鋰電池安裝於車輛後部（圖片來源：NFPA FPRF）

使用乾粉滅火藥劑可以消除可見的火焰，但缺少冷卻燃燒電池組件的能力；即使可撲滅火勢，電池內部的熱失控仍會繼續，最終將導致重新著火。二氧化碳及惰性氣體亦可消除火勢，但是可能無法提供足夠的冷卻能力以中斷熱失控過程。安裝了潔淨氣體滅火系統的儲能系統應具備與警報系統及控制盤連動的通風系統，以確保潔淨氣體滅火系統啟動時，空調系統及閘門關閉，使得滅火藥劑在適當的濃度下能維持足夠時間以有效抑制火勢；部分潔淨氣體滅火系統放射時，空調系統不會關閉而會持



■ 圖 9、車故現場空照圖（圖片來源：3TV/CBS 5）

續循環散佈滅火藥劑。應變人員如需進入配置此種滅火系統之電池室 / 貨櫃前，應確認滅火藥劑在內部已經維持足夠的時間。滅火系統製造商必需提供明確維持時間的資訊，而這些滅火藥劑也可能藉由抑制氧氣濃度降低可燃性；但是有資料顯示，因為持續的加熱易燃氣體將持續產生，最終在氧氣重新進入系統時造成閃燃或復燃。

二、鈉硫（NaS）電池：

鈉硫電池在一般運作狀態下工作溫度甚高。隨著科技進步其有越來越安全的趨勢，但仍有火災案例發生。鈉硫電池的能量密度甚高，而失火時製造商建議不能以水撲滅因為可能使得火勢惡化。鈉硫電池火災中會生成二氧化硫（SO₂），硫化氫（H₂S）和其他硫化物的有毒氣體，並可能損害人體的呼吸系統，故在災時和災後應使用適當的儀器設備監測氣體，確保人身安全。

而當鈉硫電池系統完成配置正式運作後，建議消防機關與所有人 / 營運商或系統所有者合作，制定適當的鈉硫電池緊急應變標準作業程序。

另日本因曾發生鈉硫電池火災事故，考慮鈉硫電池的特性，日本總務省消防廳建議搶救

時應確實應用氣體探測器、穿著個人防護裝備及空氣呼吸器等。於儲能系統附近設置 40 公斤（400 公升）能隨時運用滅火的膨脹蛭石；另災害擴大時應能在 3 小時內能備妥 40 公噸的乾燥砂直送現場，以進行後續滅火作業。膨脹蛭石滅火時因會蓄積系統反應的熱量，應注意可能會有助長延燒的情形。而火勢控制後現場溫度下降，二氧化硫不再發生時，始能被認為火勢完全撲滅。

■ 其他儲能系統應變建議事項

NFPA 針對電池儲能系統緊急事件，於快速參考指南（Quick Reference Guide）中針對初期現場評估提出 3 大重點：

- 一、辨別：儲能系統的位置及系統類型。
- 二、關斷：如有需要關閉系統。
- 三、注意：注意高壓電及其他災害。

如果是牽涉到電池損壞的儲能系統或火災事件時，則應注意下列事項：

- 一、永遠假設電池及相關元件存有能量且完全充電。
- 二、對於電化學系統的儲能系統，安全資料表（SDS）可提供重要資訊。
- 三、暴露的電子元件、電線以及電池都有潛在的電擊風險。

- 四、在電池儲能系統的事件中，應變人員應遵循辨別、關斷、注意之 3 大重點。
- 五、當有需要進行斷開作業時，應由專業人員實施，並穿著電弧防護衣、面罩等，以避免電弧及其閃光傷害。
- 六、聯繫系統負責人員或緊急聯絡電話。
- 七、為避免有毒濃煙或可燃性氣體的傳播，做好對於空調系統控制的準備。

在 2019 年，美國亞利桑那州發生 4 名消防人員搶救鋰電池儲能系統受傷的案例（如圖 9 及 10），本案係現場觀察氣體 / 濃煙混合物停止自儲能系統貨櫃竄出後，指揮官經由專家及現場資訊判斷（包含儲能系統營運商代表），決定搶救人員最後一次進入熱區。當搶救人員打開儲能櫃後 3 分鐘，熱區外的人員發現現場發生爆燃（deflagration），現場人員受到傷害後即快速的轉送臨近醫院。本案的儲能系統是在 NFPA 855 規定頒布前即設置完成並且運行。

事件經過 UL FSRI（Firefighter Safety Research Institute）進行檢視（reviews），提出數點建議，以提升消防及維修人員在鋰電池儲能系統的作業安全，其中節錄與消防搶救相關建議如下：

- 一、各級消防人員及化災訓練應強化有關儲能系統的了解，注意鋰電池熱失控時其排放氣體、形成的霧氣（vapor cloud）有潛在爆炸的性質以及其爆燃與爆炸波傳遞的動力學。
- 二、在由全尺寸實驗確立之戰術與指引建立前，建議消防人員界定保守的潛在爆炸半徑，並且在救災時保持在前述半徑外；當處理鋰電池儲能系統時應當成在區劃內的混合氣體濃度在爆炸下限以上，除非能被其他方法確定混合氣體濃度不在爆炸範圍內。
- 三、儲能系統的所有者及營運商應聯合當地消防人員及相關主管單位制定緊急應變計畫，並且對鋰電池技術的相關災害應有完整的了解。



■ 圖 10、事故儲能系統圖（圖片來源：APS）

■ 結論

配合國家再生能源政策的發展，各地方設置儲能設備的情形將越加普遍。然而，儲能設備的特性與一般場所大異其趣，特別是其具備電能與化學的特點，故消防人員在參與災害應變上，不得不慎。

本文主要係依據 NFPA 855 之附錄 B 及 C 撰寫，另依據 NFPA、日本總務省消防廳、UL FSRI 等單位建議，提供災害應變人員對於搶救儲能設備災害時，建議事先應整備事項以及搶救上應注意之事項，以確保相關作業人員的人身安全。

依據前述事項，各級消防機關及其所屬，如轄內已有設置儲能設備建議應與所有人或營運單位進行接洽，了解現場配置情形係屬何種

技術的儲能設備。相關化學物質安全資料表、消防安全設備之設置情形（有無進行驗證）、火災緊急應變安全防護設施之設置狀況、緊急應變計畫之內容及專業人員之聯繫方式等，並於平時合作辦理演練，增加對儲能設備之熟悉度與應變默契，以降低人員協助應變時風險。

而目前儲能系統技術主流為鋰電池技術，其過熱時會排放易燃氣體，在燃燒要素完備的狀況下有發生爆燃的風險，並且有熱失控的特性；且電池故障時其內部如有殘留能量，亦會對應變人員造成感電風險。故消防人員在搶救時應確實著完整 PPE，進行溫度及氣體監控，並以想定產生氣體在爆炸範圍內，及儲能系統內仍有能量的前提下，保持一定距離進行災害侷限避免擴大，並且切勿貿然進入，確保同仁安全。

參考資料

- 1.NFPA (2020)，NFPA 855 “standard for the installation of stationary energy storage systems”
2. 內政部建築研究所（2020），建築儲能系統（ESS, Energy Storage System）防火安全要求初探
- 3.EPRI (2020)，Energy Storage Technologies。Retrieved from https://storagewiki.epri.com/index.php/Energy_Storage_101/Technologies#Defining_Energy_Storage
- 4.Wikipedia (2023)，Lithium-ion battery。Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery
- 5.UL Research Institutes (2023)，What are lithium-ion batteries。Retrieved from <https://ul.org/research/electrochemical-safety/getting-started-electrochemical-safety/what-are-lithium-ion>
- 6.Andrey W. Golubkov, David Fuchs, Julian Wagner, Helmar Wiltsche, Christoph Stangl, Gisela Fauler, Gernot Voitic, Alexander Thaler and Viktor Hacker (2013)，Thermal-runaway experiments on consumer Li-ion batteries with metal-oxide and olivin-type cathodes. RSC Advance.
- 7.Wikipedia (2023)，Sodium-sulfur battery. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Sodium-sulfur_battery
8. 總務省消防庁（2014），ナトリウム・硫黄電池を設置する一般取扱所の火災対策について（平成24年6月7日消防危第154号）
- 9.NGK Insulator (2023)，About NAS batteries. Retrieved from <https://www.ngk-insulators.com/en/product/nas-about.html>
- 10.NFPA FPRF(2014)，Best Practices for Emergency Response to Incidents Involving Electric Vehicles Battery Hazards: A Report on Full-Scale Testing Results
- 11.NFPA (2016)，Battery Energy Storage Systems (BESS) Emergencies Quick Reference Guide
- 12.UL FSRI (2019)，Four Firefighters Injured In Lithium-Ion Battery Energy Storage System Explosion - Arizona