



儲能系統鋰電池延燒試驗與解決對策

Discussion on Propagation Test and Solutions of Lithium Battery for Energy Storage System

吳育欣 Y. H. Wu¹、葉勝發 S. F. Yeh²、劉峻佑 J. Y. Liou²、
孫秀慧 S. H. Suen³

工研院材化所(MCL/ITRI) ¹工程師、²研究員、³管理師

國際標準IEC 62619已規範儲能系統鋰電池的基本安全要求與試驗方法。本文介紹如何藉由材料與結構技術設計來達到IEC 62619延燒試驗的安全要求。

The international standard IEC 62619 specifies the basic safety requirements and test methods for lithium battery energy storage system. This article will focus on how to achieve the safety requirements for the propagation test of IEC 62619 by material and mechanical structure design.

關鍵詞/Key Words

儲能系統(EES System)、鋰電池(Lithium Battery)、延燒試驗(Propagation Test)

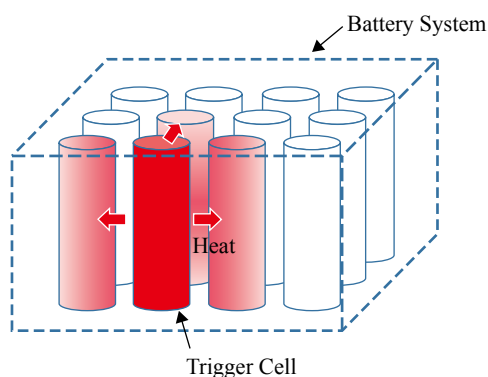
前言

鋰電池(Lithium Battery)因具輕、薄、能量密度高的優勢，已普遍應用於消費性3C產品、電動車與儲能系統(EES System)。近年來儲能系統市場需求快速成長，鋰電池應用在儲能系統已由kW級，大幅躍升至MW級，甚至GW級的應用規模。然而隨著近兩年南韓發生多起儲能系統火燒事故，證實即使在電池管理系統(Battery Management System; BMS)及機械結構等多重防護下，鋰電池仍存有發熱自燃的潛在風險，不僅傷害業者形象，也影響業者投資意願及市場布局，更嚴重衝擊鋰電池產業的發展。針對鋰電池內部短路火燒問題，國際電工委員會(IEC)陸續制訂電芯內部短

路及電池系統延燒試驗方法；日本電池大廠也要求客戶的電池組必須通過類燒測試才願供貨；今(2019)年大陸電池中國網也報導，動力電池標準將新增「熱擴散」項目；南韓政府亦決定加快腳步強化EES System安全標準。由此可見，國際間已紛紛關注鋰電池熱失控火燒的議題，電池防延燒技術也在產業界受到高度重視。

鋰電池熱失控與延燒試驗

熱失控(Thermal Runaway)，IEC 62619將其定義為電芯內部放熱反應導致溫度失控的急遽上升現象。由於鋰電池能量密度高且內含可燃性成分，可能因高溫、過充、撞擊、電子控制系統錯誤或製程瑕疵等因素，使得隔離膜熱熔融或受內部應力



▲圖一 延燒試驗熱擴散示意圖

而破孔，造成極板接觸形成短路，而發生高熱化學反應。鋰電池熱失控產生的高溫往往可達600~1,000°C，當這些熱量向四周擴散時，相鄰電芯也同步被加溫，一旦超過容許溫度（約150°C），相鄰電芯也將自放熱而造成電池系統全面延燒的熱失控連鎖反應。因此，有別於電芯內部埋放L形鎳絲的內部短路試驗，延燒試驗係藉由加熱、針刺、過充電或前述方式合併使用等外力輔助，模擬電池系統內部出現電芯熱失控現象，以驗證電池系統對於熱失控擴散的抵抗能力，如圖一。

延燒試驗(Propagation Test)出自國際電工委員會(IEC)於2017年公布的工業用二次鋰電池安全測試標準IEC 62619，屬於內部短路設計評估項目(Considerations for internal short-circuit-design evaluation)之電池系統(Battery System)等級試驗。試驗前依照電芯之種類、材料特性、電池系統的結構設計等要件，找出適當的熱失控方法，以及挑選可供引發熱失控的觸發電池(Trigger Cell)。選用的失效方法不得影響觸發電池以外的電池，並將失效方法詳細說明在測試報告中，如加熱方式、型式、尺寸、最

高溫度、升溫斜率、貼附位置、電池表面溫度及充電狀態等。觸發電池確定失效後持續觀察24小時，最終電池系統不得出現明火或外殼有破裂情況，方能符合規範要求。與IEC 62619延燒試驗相似的鋰電池試驗項目尚有UL 1973的Single Cell Failure Design Tolerance，皆是模擬電池系統內部電芯熱失控的試驗方法。

電池延燒的防範措施

鋰電池熱失控後通常難以利用外部滅火的方式控制火勢，原因在於內部正極材料發生化學反應時，會持續釋放氧氣及大量的可燃性氣體煙霧，直至可燃材料耗盡為止。而這種氣體煙霧具有閃燃特性，一旦閃燃發生，壓力釋放的過程將使得電池系統內部所有空隙瞬間充斥火焰或高溫而造成危害。因此，電池系統的設計必須能夠有效阻絕或抑制熱失控產生的連鎖反應，除了結構熱傳的導熱外，閃燃火焰的抑制也是電池防延燒的一項重要課題。

電池延燒防範重點在於熱失控臨界溫度前的溫升抑制，進而避免熱失控後熱傳至相鄰電芯。常見的實施措施有：①犧牲電容量，降低充電電壓，抑制電池活性；②犧牲空間，加大電芯間隙，但無法抑止高熱產生的火燒；③採用主動式水冷或液冷的降溫方式，但結構複雜且耗能，較不適用於中小型電池系統；④採用具阻燃、降溫、滅火以及隔氧等功能材料，抑制熱失控時的熱能擴散。本文介紹的新防範機制乃是採用熱指向性散熱材料，使熱能傳遞至電池系統外而不影響相鄰電芯。此防範機制可以達到電芯均溫運作、阻隔熱失控、成本低、占用空間極小的四層效果。



▼表一 現行產品材質與工研院材化所防延燒護材(ABRC)的規格比較

Properties		PC	PC/ABS	Al Alloy	ABRC	
					BMC成型	FRP成型
產品應用領域		電動自行車、 電動機車	電動自行車、 電動機車	電動汽車	電動自行車、電動機車 與電動汽車	
材料應用範疇		模組蓋板、 側板	模組Holder、側板、 蓋板與盒體	模組蓋板、 盒體	電池模組零件、盒體	
一般性質	比重	1.19	1.27	2.7	1.8	1.8
	吸水率(%)	<0.5	<0.5	—	<0.5	<0.8
機械性質	Flexural Modulus (GPa)	2.2	4.48	68.9*	2.3*	8.7
	Flexural Strength (MPa)	93	124	240*	341*	232
熱性質	T _g (°C)	132	<130	—	>140	>135
	防火等級	HB@1.5 mm	V0@1.5 mm	—	V0	V0***
耐撞性		×	×	○	◎	◎
導熱性(W/m·K)		0.21	0.19	152	>1.1	>0.7
表面電阻(MΩ)		>10 ⁹	>10 ⁹	—**	>10 ⁷	>10 ⁶
尺寸安定性, CTE (ppm/°C)		66~70	>70	23	<55	<55
防延燒特性		×	×	×	◎	◎

* Tensile Strength and Modulus; ** Depending on Coating Materials; *** Those Materials has been Passed EN45545-2

◎優 ○良 △略差 ×差

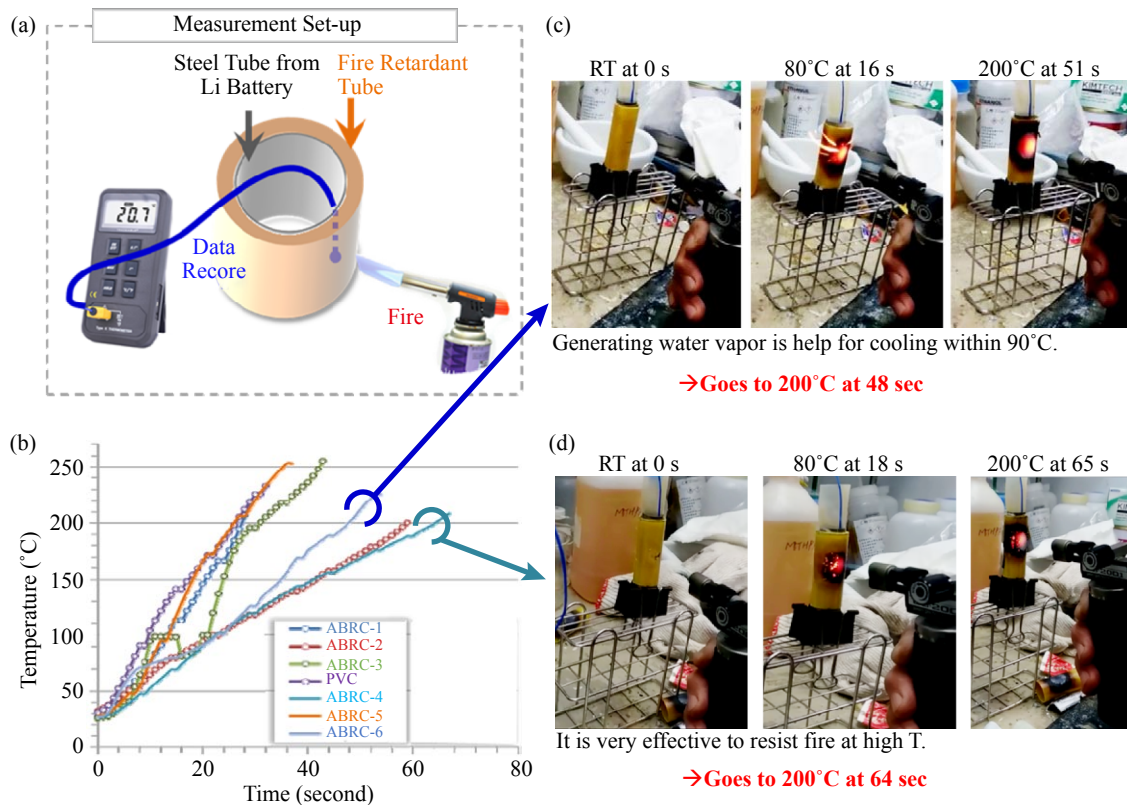
防延燒材料技術

市面上常見的電池模組材料有PC、PC/ABS、鋁板等，具有易加工與低成本的優勢，唯高溫阻絕效果有限，成為電池熱失控延燒隱憂。工研院材化所開發的防延燒護材(Anti-burning Runaway Composite; ABRC)，除了質輕、剛強與防撞的複材特性之外，相較於工程塑膠，ABRC材料導熱特性佳、尺寸安定、兼具絕緣特性，不僅符合UL94 V0等級，也通過軌道車輛的防燃規範，具備優異的火源屏蔽效果，材料差異如表一所示。

使用最高溫達1,100°C的瓦斯噴槍進行模擬實驗，比較各種ABRC材料是否有阻斷鋰電池熱失控產生的高溫及火焰傳遞效果，同時記錄內部的溫度變化(圖二(a))。

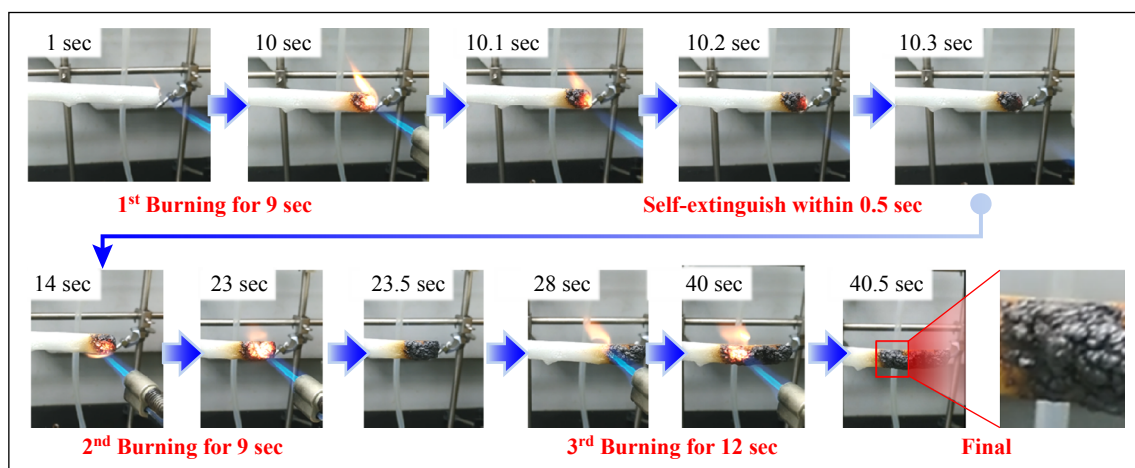
以鋰電池熱失控時，高溫反應的時間約持續在10~15秒估計，意味著這段時間的內部溫度必須低於130~150°C的熱失控臨界溫度，方能有效阻止下一顆電池發生連鎖反應。從圖二(b)的曲線來看，ABRC-2、ABRC-4與ABRC-6材料具有最佳的阻斷效果。另外在圖二(c)及(d)中，可發現灼燒過程不易生成可燃性的黑煙，並且在其表面產生阻燃層，有效抑制高溫蔓延情況。

此類碳渣(Char)遮蔽層因高溫作用而產生些許膨脹，近而增加內部氣室來提高熱阻效果，即使同一區域重覆灼燒，ABRC材料仍能發揮自熄特性。利用丁烷瓦斯噴槍於試片末端進行灼燒實驗(如圖三)，燃燒9~12秒後移除火源，過程中以錄影方式觀察餘火熄滅情況，結果顯示，ABRC材料可在0.5~2秒內達成自熄效果。此外，添加色膏並製

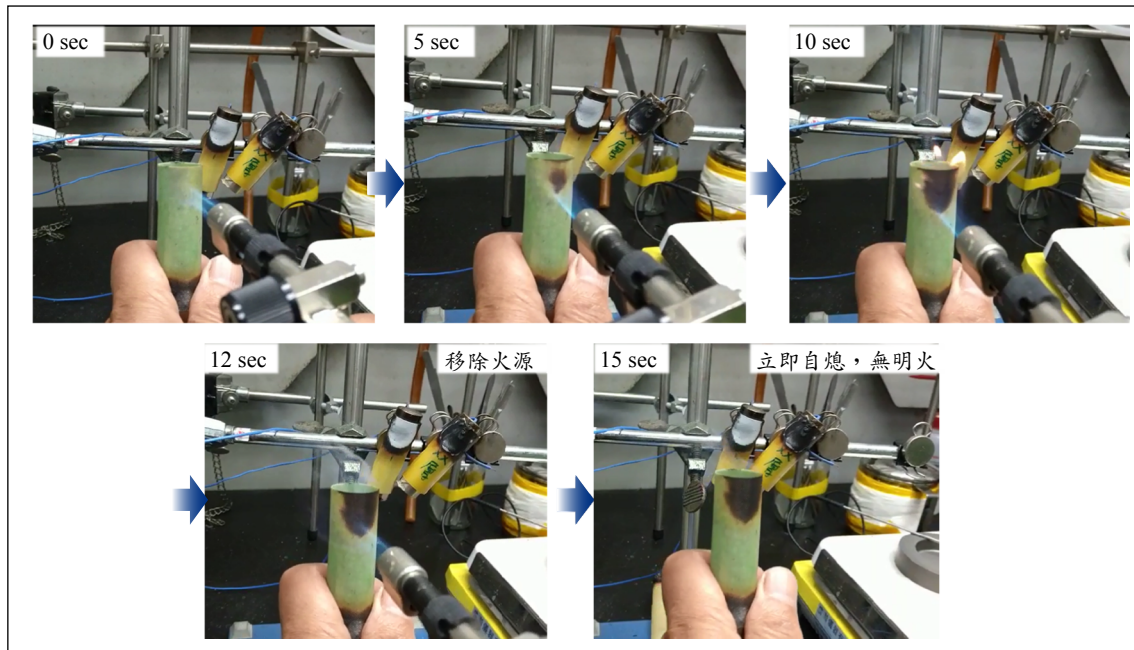


註：ABRC材料的表面有染色處理

▲圖二 (a)試驗示意圖；(b)各材料的熱傳情況；(c) ABRC-6材料與(d) ABRC-4材料的燃燒情況（彩圖請見材料世界網<https://www.materialsnet.com>）



▲圖三 ABRC材料的灼燒試驗



▲圖四 製備成薄型管件的燃燒情況

作成薄型管件（壁厚 $<1\text{ mm}$ ），經燃燒試驗後的結果依舊能發揮阻燃特性（如圖四）。

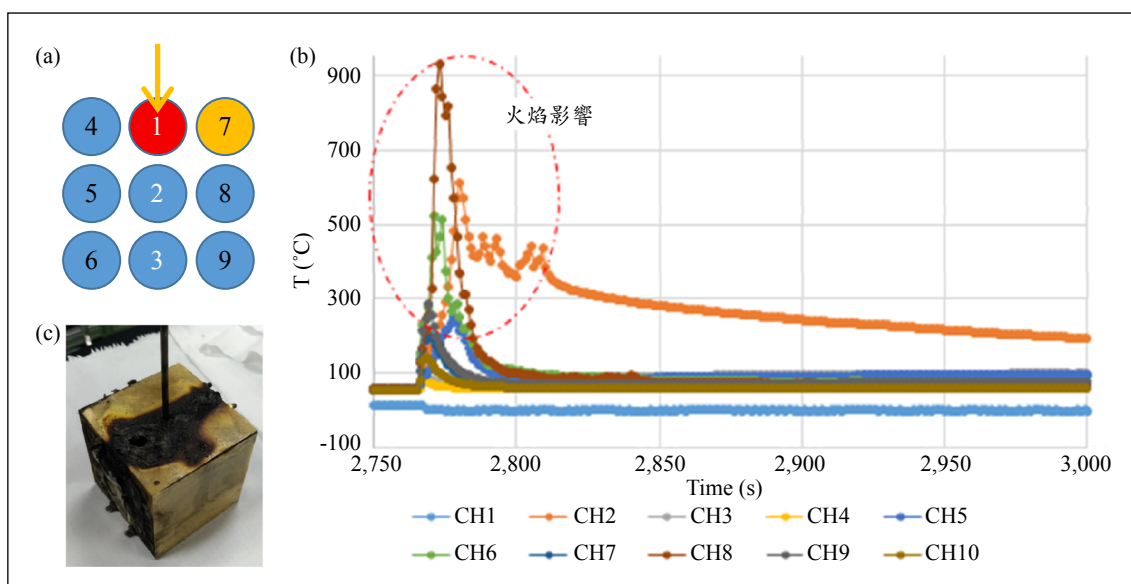
因此，當電池系統內局部的電芯發生熱失控時，ABRC材料可發揮阻絕熱源擴散的特性，侷限失效電池的影響範圍來達到防延燒的效果。而且ABRC材料可採用不同製程，如Bulk Molding Compression (BMC)、Prepreg Compression Molding (PCM)等複材製作工藝，有利於降低生產成本。

防延燒電池結構技術

工研院材化所具有20年鋰電池研發與安全機制研究經驗，不僅熟知影響電芯發熱相關的材料物性、塗佈配方、極板與電芯構造等要素，更建立可精確模擬鋰電池熱失控的機制與熱發展模型。再搭配前述兼具隔熱與熱傳特性的ABRC熱指向性複合材料，

開發出具有防延燒功能的新一代電池結構技術。該技術具有以下優勢：①均溫效果：正常使用時，有助電池系統內部電芯溫衡，降低最大溫升，延長使用壽命；②熱阻隔效果：確保電芯熱失控後不至全面延燒，提高電池系統安全性；③成本低廉：成本僅新增約原成本之3~5%；④占用空間小：幾乎不影響原有電池系統的結構設計。

以18650電芯3S3P電池模組，於 55°C 環境溫度下，使用針刺觸發方式實測如圖五。測試結果，1號觸發電芯熱失控的最高溫度超過 900°C ，而受到熱傳影響，鄰近如2號電芯表面最高也量測到 600°C 的高溫。然而在材料運用與特殊結構設計下，電池模組並未出現熱失控連鎖反應的延燒現象。測試後拆解檢查並量測各電芯電壓結果（如表二），除1號觸發電芯因熱失控燒毀



▲圖五 (a)針刺觸發位置示意；(b)測試溫度變化趨勢；(c)試驗後3S3P電池模組（彩圖請見材料世界網 <https://www.materialsnet.com>）

▼表二 延燒試驗後9顆電芯電壓量測結果

Cell	Voltage (V)	Cell	Voltage (V)
1	X	6	4.16
2	4.15	7	1.26
3	4.13	8	4.11
4	4.16	9	4.10
5	4.16		

外，其餘8顆電芯仍保有電壓，並未受高溫影響而出現熱失控現象。

結語

IEC 62619的延燒試驗不僅適用於定型儲能電池安全測試，電動車電芯安全標準IEC 62660-3的內部短路試驗(Internal Short Circuit Test)，亦將其列為模組、電池系統等電芯等級以上的替代方法，而電動車電池系統安全標準ISO 12405-3也將延燒試驗列

入修訂考量。從上述標準演進趨勢可知，延燒試驗未來勢必成為電池製造商必須面臨的重要課題。工研院材化所長期投入鋰電池相關材料與技術開發，擁有豐厚的研發能量與成果，電池驗證方面也建立鋰電池安全測試平台，成為十多年來國內鋰電池電動機車產業發展的重要後盾。近年來在經濟部能源局計畫支持下，亦陸續擴充包括延燒試驗在內的儲能電池測試能量，期盼藉由鋰電池研發與驗證技術的結合，為儲能產業發展貢獻一己之力。🔋

鋰電池安全測試實驗室

工研院材化所 電池產業推動及安全認證室
吳育欣
Tel: (03)5918273
E-mail: yuhsinwu@itri.org.tw