



Brief Summary on Safety Standards for Repurposing Batteries

Hsien-Ching Chung *

Yaw-Chung Cheng **

R&D Dept., Masterhold International Co., Ltd., New Taipei City 23150, Taiwan

Abstract


As the increasing of electric vehicles, repurposing batteries begin to appear and will increase in quantity in the future. How to deal with the repurposing batteries become an important problem that must be solved. Part of these retired power batteries still possesses about 80% of their initial capacity that can be used again, e.g., energy storage system. However, repurposing batteries might cause safety problems. Underwriters Laboratories (UL) has published safety standard for batteries for use in stationary, vehicle auxiliary power and light electric rail applications (UL 1973). In order to promote the usage of repurposing batteries, the safety standard for evaluation for repurposing batteries (UL 1974) is published in 2018. In this paper, these standards (UL 1973 and UL 1974) are integrated and summarized for accelerating the advance of the battery energy storage system industry.


*R&D Manager. Corresponding Author E-mail: hsienching.chung@gmail.com

**Chief Technology Officer. Corresponding Author E-mail: johntaichung@gmail.com

Key Words: Li-ion Battery, Repurposing Battery, Second-life Battery, Battery Energy Storage System, Second Use, Safety Standard

汰役電池安全標準的內容與說明

鍾獻慶 *

鄭耀宗 **

研發部，非凡能源科技股份有限公司，新北市 23150，台灣

摘要

隨著電動車輛的推廣與增加，汰役電池開始出現，未來數量將會快速增長，因此成為一個必須要解決的問題。這些動力電池在淘汰時，部分仍然有大約 80% 的容量，顯然可以再次加以利用，例如做為儲能電池之使用。但由於是此類淘汰物品可能出現安全上的問題。Underwriters Laboratories (UL)公司原以電池儲能系統的安全標準 UL 1973 來因應此問題，但為面對汰役電池推廣之需求，於 2018 年再度出版 UL 1974 二次利用電池安全評估標準。本文係參考 UL 1973 與 UL 1974 兩個標準，就電池儲能系統的發展現況，將這些標準加以整理與說明，供使用者參考，期能加速儲能電池系統的產業發展。

*研發經理。通訊作者 E-mail: hsienching.chung@gmail.com

**技術長。通訊作者 E-mail: johntaichung@gmail.com

關鍵詞(Key Words)：鋰離子電池(Li-ion Battery)、汰役電池(Repurposing Battery)、二次電池(Second-life Battery)、電池儲能系統(Battery Energy Storage System)、二次利用(Second Use)、安全標準(Safety Standard)。

壹、前言

車輛市場的電氣化不僅增加車輛整體的燃油效率同時也減少碳排放^[1]。然而，最後車用電池將會到達其生命的終點，此終點通常指的是 80%的健康狀態(State of Health, SOH)。此時，電池已經不再適用運用於一般車輛，必須汰除退役。這看起來並不經濟，畢竟該汰役電池仍保有約 80~85%的電容量^[2, 3]。儘管不再適用於車輛應用，這些電池仍有其他方面的應用。9%的汰役電池可以回收再製為車用電池，70%可做為靜態或大容量儲能系統供電網或一般使用，而剩下的 20%左右則拆解成模組或電芯供小型應用，例如：腳踏車或補助機器人^[4]。近年來，由於電動車銷售的成長^[4]，汰役電池數量將會跟著快速增長。因此，汰役電池的處理與再利用成為一個必須要面對的問題並受到廣泛討論，諸如使用汰役電池來降低車用電池的整體成本^[5]、其對環境的影響^[6]、於儲能系統上的設計及分析^[7]、價格變化^[8]、及商業模型探討^[9-11]等。本文將針對 UL 1973^[12]與 UL 1974^[13]這兩個標準，就電池儲能系統的情況，將這些標準加以整理與說明，供讀者參考，期能加速電池儲能系統的產業發展。

UL 1974 安全標準的正式名稱為「二次利用電池評量標準(Evaluation for Repurposing Batteries)」，俗稱汰役電池的安全評估^[13]。這個標準正式出版的時間為 2018 年 10 月 25 日，同時也是美國與加拿大合作的國家標準。參與標準起草與修改作業小組主要為美國與加拿大的機構及廠商，但是也有日本與德國的廠商，並且有六個台灣與一個中國的機構與廠商。其中，台灣的成員包含逢甲大學(Feng Chia University)、台灣綠能學院(Academy of Green Energy)、承德科技(Chen Tech Electric. Mfg. Co., Ltd.)、能海電能(Energy Moana Technology Co., Ltd.)、睿能創意(Gogoro)、強德電能(Lifetech

Energy Inc.)，中國則為張家港清研檢測技術公司(Zhangjiagang Tsingyan Testing Technology Co., Ltd.)。

這個標準的範圍包括電芯(Cell)、模塊(Module)、電池組(Pack)，以及電化學式電容器(Electrochemical Capacitor)，在重新利用時的篩選與分級程序，此外，標準還包括電池組及系統在二次利用時的規格要求，以及組合二次利用的電芯與模塊的電池組及系統；但並未包含電池重新製作的程序。在使用的名詞中，重新製作的電池意指回收的電池經過維修或者更換零件者。健康狀態則是利用診斷式量測方法來獲得的電池定量狀態，包括再使用的性能預期、可用電能容量、預期循環壽命、能量衰退情況、內阻增加程度等。有關汰役電池篩選與二次組裝的流程，如圖 1。

貳、結構與材料

電池系統的零件如果超過原始生產廠商規定的使用期限就不能進行二次利用。因此二次利用廠商必須確認這些零件的使用期限，來進行篩選與分級。二次利用電池必須根據終端使用的分類，符合相關標準中的結構規定。例如，用於電動車輛要符合 UL 2580^[14]、儲能系統與娛樂車具要符合 UL1973^[12]。電池結構安全考慮包括外殼、電芯、電氣間距和絕緣、繼電器/保險絲、電池管理系統、接謝端子排和線纜、線路板等七大類。其有關二次利用電池的結構與材料規定整理如下：

- 一、外殼使用的高分子材料須符合 UL 746C^[15]表 4.1 的耐燃等級規定。同時必須通過撞擊、破裂、異常使用、嚴苛條件與模塑應力釋放變形等試驗，後者是在 70°C 條件經過 7 小時後沒有發生變形現象。
- 二、外殼與絕緣的高分子材料，須通過預定使用溫度的耐用試驗，但不能低於 80°C (UL 746B^[16])。若外殼材料應用於陽光曝曬的

- 情況下，則須通過紫外線的耐受試驗，及噴霧與浸泡實驗(UL 746C^[15])。
- 三、非金屬的墊片與密封材料，須按照曝露或其他情況的溫度進行安全試驗(UL 157^[17])。
 - 四、金屬外殼材料須通過耐蝕試驗(UL 50E^[18])，與接頭連接的導電性部分不能發生電化學性之腐蝕。
 - 五、外殼須強壯與堅固，開啟工具須足以打開外殼，開口應避免接觸到危險部分，並防止累積可燃氣體，以及應防止電池組遭受雨淋。
 - 六、電線須考慮溫度及電壓等使用情況進行絕緣保護，並防止在接頭處產生短路，以及電線與接頭的連接強度要能夠耐受 10 N 的拉力。
 - 七、電路的安排須避免產生短路的機會，電子元件間要保持足夠的距離，必要時要採用雙重絕緣或加強型絕緣。
 - 八、電路、電池與系統須接地，保護性接地系統的接頭須使用綠色與六角形狀，或者標示 G 或 GR。
 - 九、防止過熱的熱管理系統應避免失誤，液體管線應能防止洩漏與忍受化學性的性能衰退，風扇要符合 UL 507^[19]。使用電熱器要防止失誤，溫度感測器應放在適當的位置，例如：遠離通風口。
 - 十、電池管理系統(Battery Management System, BMS)與其他保護性控制，須按照二次利用之目的進行評估，以確認符合要求。
 - 十一、二次利用的電芯與電化學電容器必須符合相關的安全標準。例如：鋰離子電池必須符合 UL 1973^[12]。此外，二次利用的電池系統必須使用同一製造商且同一型號的電芯。
 - 十二、製造商必須提供有關各種潛在危險性的系統安全分析報告，可參考 IEC 60812^[20]、IEC 61025^[21]、IEC 61058^[22]等。

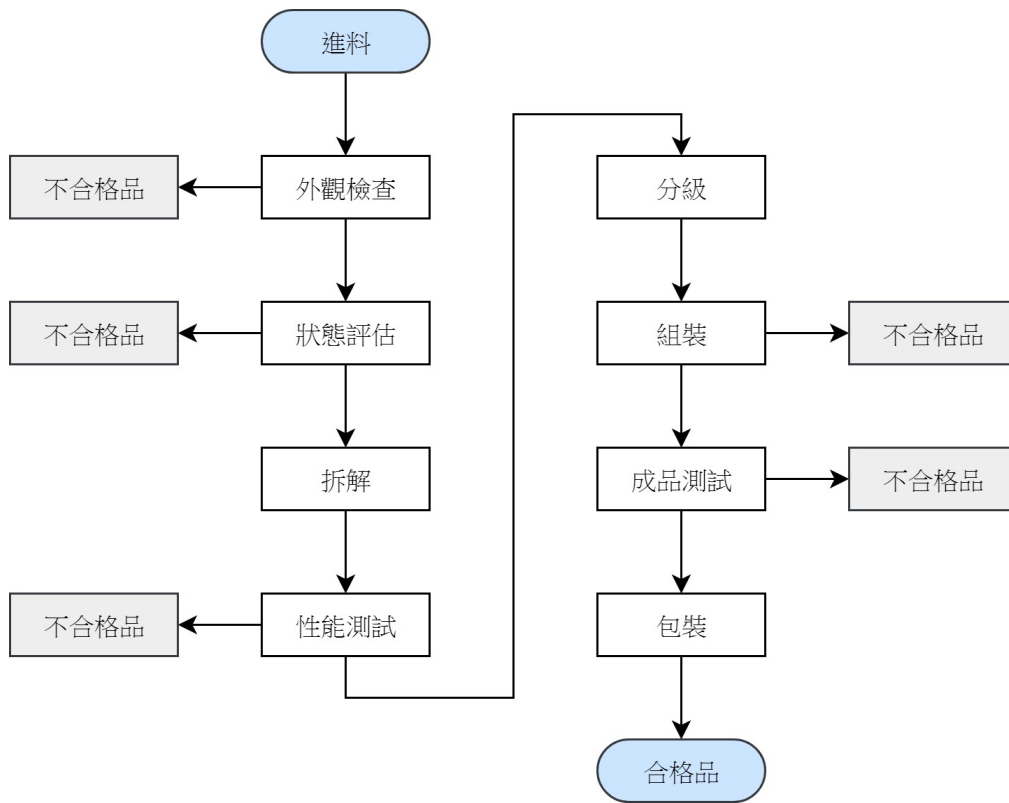


圖 1 汰役電池篩選與二次組裝流程

參、品質管制與設施安全

二次利用製造廠商必須具備足夠知識，能夠掌握電芯、模塊、電池組與 BMS (電池管理系統)的篩選與分級，並且可監控與紀錄在生產製程中影響安全的因素，以及掌握電池舊品的進料控制、二次利用過程的控制與數據的收集與分析、淘汰部品的控制。

鋰離子電池被視為危險物質，因此在處置與試驗時須謹慎。對於其處置、儲存、試驗、運送與棄置都要有標準作業程序，同時要符合當地的消防與建築法規，以確保安全。

肆、檢查與篩選程序

首先執行進料的外觀檢查與狀態評估，並且需要檢討該電池組先前的用途。在處置與儲存電池時，特別是大量電池時，須按照當地危險性物質儲存的消防與建築法規(例如: SAE J2950^[23])。有關電池與系統的標記、指引、先前使用紀錄、影響安全與性能的意外事件等文件與資料必須進行檢討，以協助建立電池的整體健康狀態。在篩選過程需要收集的數據，如表 1。

表 1 初始篩選過程須收集的數據

元件	必須收集的數據
電池組	製造商、生產日期、容量、生產日期、警告訊息、指引等標記；規格與使用手冊、結構與型態、冷卻系統與絕緣等元件的資訊、停用日期與儲存時間；失效、異常與維修紀錄等。(參照 UL 1974，章節 18.2.1)
模塊	製造商、生產日期、容量、元件編號等；規格、充放電參數與使用手冊等；結構與型態等。(參照 UL 1974，章節 18.2.2)
電芯	製造商、生產日期、重量與尺寸、元件編號與標記等；規格書、額定電壓與額定容量、充放電參數等；安全試驗數據、失效日期、內部結構(可參考 IEEE 1625 ^[24] 或 IEEE1725 ^[25])。(參照 UL 1974，章節 18.2.3)
BMS	製造商、生產日期、元件編號，有關電流、電壓與溫度保護等規格，傳輸協議、CAN bus 訊號架構、電路圖、元件配置與演算邏輯等。(參照 UL 1974，章節 18.2.4.1(a))
冷卻系統	製造商、生產日期、元件編號，有關溫度、控制與流量等規格，冷媒物質；安裝、操作、故障檢查與維修等資訊。(參照 UL 1974，章節 18.2.4.1(b))
其他系統	製造商、生產日期、元件編號，以及電力容量、外型尺寸與使用參數等規格資料；安裝、操作、故障檢查與維修等資訊。(參照 UL 1974，章節 18.2.4.1(c))

根據使用情況、安全相關的意外與維修等資訊決定是否能夠二次利用。例如，曾經暴露於嚴苛環境、發生影響電池安全的車禍、淹水與火災等情況。二次利用電池的製造廠商必須確定合格的標準作業流程，以便在初始階段與後續的篩選分級階段能夠剔除不合格品。在初始階段未被剔除的樣品必須編碼，以便進行後續的篩選分級程序。

在執行進料的外觀檢查時，必須觀察是否發生破裂、膨脹、可察覺的異味、褪色或燃燒痕跡等，並且加以記錄，以供決定是否剔除。至於要獲知電芯、模塊與電池組健康狀態的方式為讀取 BMS 儲存的數據，這些數據最少要包

括電壓、電流、溫度與殘電量的平均值與極端值，以及超出規格值的時間與次數；整個使用時期的充電與放電情形，以及超標的時間與次數；失誤次數與種類；接觸器運作次數等。如果沒有詳細的 BMS 數據可利用，則須進行一些試驗，以瞭解健康狀態。

外觀檢查為決定是否有可察覺的損壞證據，用於判定是否剔除。這些證據包括下列各種狀況：

- 一、電芯或模塊膨脹、電芯開口、電解液洩漏、套管與接頭彎曲或損壞、燃燒痕跡等。
- 二、接線磨損或損壞、絕緣褪色或損壞、高壓總線損壞、絕緣系統損壞、電路板故障等。

三、套管、外殼與支撐結構彎曲或損壞，連接與元件鬆脫。

四、熱管理系統損壞，例如：冷卻液洩漏、風扇堵塞，或者轉動元件發生過載情況。

在完成非破壞性的檢查，以及電池組與系統的試驗後，即可進行拆解工作。但須將電池組預先放電，以確保安全。電池在儲存期間，必須要有環境溫度與濕度的監控與紀錄，最少每天記錄一次。此外，配合儲存作業進行的充電與放電操作也必須記錄。至於篩選分級完成後加以儲存的電池，在儲存前後必須記錄開路電壓，如果發現自放電率過高時，須加以拋棄。

二次利用製造廠商應該擁有分級系統，以確保重新組合的產品能保持平衡狀態，以防止性能與安全的問題。拆解的電芯與模塊必須按照剩餘可用容量與健康狀態進行分級。二次利用製造廠商必須設定分級標準，建議利用開路電壓、容量、內阻、重量與尺寸等數據，並採用六標準差方法執行分級。

伍、性能試驗

一般性的檢查包括進料的開路電壓量測、高壓絕緣檢查、容量檢查、內阻檢查、BMS 控制與保護元件檢查、自放電檢查，以及充放電循環試驗，可參考表 2。在進行這些檢查時，必須監控與記錄電芯與模塊的電壓、電流與溫度，也需要參考原始製造廠商的數據。

送測的樣品必須是健康狀態最差的情況，或者是最高容量的情況。此外，二次利用製造廠商必須有一個針對電芯老化數據的長期收集計畫。如果只有使用模塊，則收集模塊老化的數據，做為往後製程改善的參考與依據。

組裝完成的產品必須符合 UL 1973 的規範^[12]，運送時也必須符合運輸法規。淘汰的電芯、模塊或元件必須按照既定的程序並依據當地的法規進行處理，也必須加以記錄，並防止被誤用。

表 2 性能試驗項目與說明

項目	實驗方法說明
進料開路電壓試驗	須測量電池組與系統、模塊與電芯的開路電壓。電芯測量值的合計要與模塊比較，同時模塊測量值的合計要與電池組比較，並進行記錄。當開路電壓低於二次利用製造廠商的標準時，就須剔除。(參照 UL 1974，章節 19.2)
進料高壓絕緣檢查	首先測量正極接頭與電池的不帶電金屬部件，接著測量負極接頭與電池的不帶電金屬部件。測量時使用 500 VDC 與最少 60 秒的條件。測量值至少為直流時 100Ω/V，交流時 500Ω/V，或者是 50,000Ω。所有測量值都必須記錄，當測量值低於二次利用製造廠商的標準時，就須剔除。(參照 UL 1974，章節 19.3)
容量檢查	二次利用製造廠商可指定標準程序進行檢查，或者按照下述方法：首先在室溫條件充飽電，接著靜置一到四小時，然後按照定電流或定功率放電到終點，並記錄放電容量。如果測量值低於二次利用製造廠商的標準時，就須剔除。(參照 UL 1974，章節 19.4)
內阻檢查	在容量檢查後進行此項檢查。二次利用製造廠商可指定標準程序進行檢查，或者按照下述方法：被測物品須在室溫條件完全充飽電，接著靜置三十分鐘至四小時，接著利用定電流 I_1 放電至容量的 80~90%，然後利用五倍電流 I_2 瞬間放電 1 到 10 秒，記錄這些過程的電壓與電流，最後利用 $R = (V_1 - V_2) / (I_2 - I_1)$ 計算。如果測量值高於二次利用製造廠商的標準時，就須剔除。(參照 UL 1974，章節 19.5)
BMS 控制與保護元件檢查	根據儲存數據進行功能性評估，內容詳見表 3。位於高壓電路時必須評估對絕緣損壞的可能性，可參考 UL1973 ^[12] 規定的耐壓試驗。若評估與試驗結果超標，則須剔除。(參照 UL 1974，章節 19.6)
充放電循環試驗	受測樣品必須在室溫條件進行最少一次的放電與充電操作。如果二次利用的可能溫度 $\leq 0^\circ\text{C}$ ，則環境溫度最小為 $\pm 2^\circ\text{C}$ 。電池在充放電過程中，要記錄電壓、電流與溫度。如果測量值超出二次利用製造廠商的標準時，就須剔除。(參照 UL 1974，章節 19.7)
自放電檢查	按照拆解成電芯、模塊或電池組的結果，分別測量相對的自放電率。試驗時，先將受測物品充飽電，接著在室溫條件靜置至少一天，並且測量五分鐘、一小時與 24 小時的開路電壓。如果測量值超出二次利用製造廠商的標準時，就須剔除。(參照 UL 1974，章節 19.8)

表 3 BMS 中可被讀取的有用數據(參照 UL 1974，附錄 A)

項目	數據說明
容量(Ah or Wh)	測量的容量、全程合計充電與放電的容量。
電流(A)	全程最大充電與放電電流、全程充電與放電電流分佈、最大個別電流超標值。
電壓 (VDC)	最大充電電壓、最小放電電壓、全程平均電壓、全程最大與最小電壓、全程全部與平均電壓分佈；全程模塊電壓分佈、最大放電電壓超標值、最小放電電壓超標值。
功率 (W)	全程最大充電與放電功率、全程平均充電與放電功率、全程充電與放電功率分佈。
殘電量 (SOC) (%)	全程最大與最小殘電量、全程關機與開機殘電量分佈。
溫度(°C)	全程最高與最低溫度、全程最高與最低溫度分佈、全程最高的電子元件溫度、全程最高的電子元件溫度分佈、最高與最低溫度的超標值。
時間(hr)	生產以來的全程時間、開機使用的總時間、關機的總時間、充電與放電總時間、平衡的總時間、過電壓與過低電壓的總時間、在充放電時溫度過高與過低的總時間、在充放電時過電流的總時間。
內阻(Ω)	測量值。
錯誤訊息	錯誤訊息的種類與次數。

陸、組裝成品的試驗

組裝完成的二次利用儲能產品的安全試驗必須參考 UL 1973^[12]，分為電力試驗、機械試驗與環境試驗三種，詳見圖 2、表 4、表 5 與表 6。

二次利用製造廠商的生產線必須執行 100% 產品的安全控制作業，必須包括組件與最終組裝成品的生產。如果電路的電壓超過 42.4 V 或 60 VDC，則必須執行 100% 產品的耐壓試驗。此外，接地系統的連續性試驗必須對 100% 產品嚴格執行。

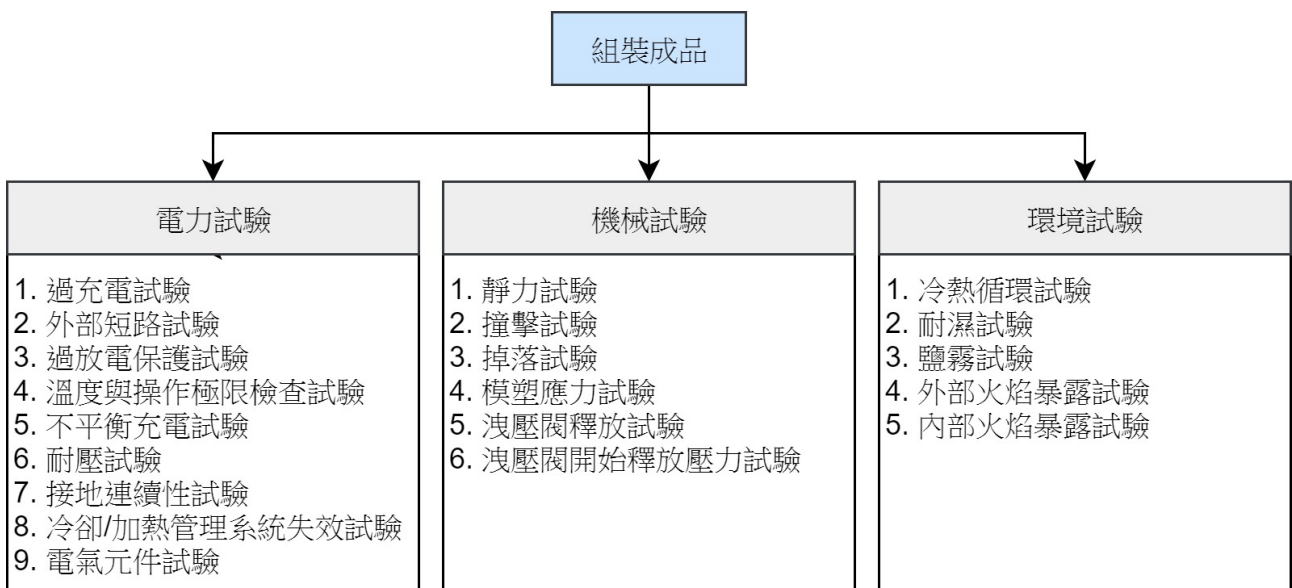


圖 2 組裝成品的性能測試

表 4 二次利用儲能產品的電力試驗

項目	試驗方法說明
過充電試驗	將受測樣品用最大充電速率，充電至最少為最大額定充電電壓的 110%，或者是因自身的保護電路而中止。完成後進行一次充放電循環，然後進行耐壓試驗。如果樣品發生爆炸、燃燒、釋放可燃氣體、釋放有毒氣體、電擊、洩漏、破裂、保護控制失效，則不合格。(參照 UL 1973，章節 13)
外部短路試驗	將受測樣品充飽電後，接著利用不大於 20 mΩ 的電阻連接正極與負極進行短路，然後利用負載放電產生保護器最大值 85~100%的電流放電，並且完全放電，直到中心溫度達到穩定且靜置 7hr。完成後進行耐壓試驗。如果樣品發生爆炸、燃燒、釋放可燃氣體、釋放有毒氣體、電擊、洩漏、破裂、保護控制失效，則不合格。(參照 UL 1973，章節 14)
過放電保護試驗	將受測樣品充飽電後，利用定電流放電，直至被動式保護裝置額定量的 95%，或者是電壓或溫度保護裝置啟動。完成後進行一次充放電循環，然後進行耐壓試驗。如果樣品發生爆炸、燃燒、釋放可燃氣體、釋放有毒氣體、電擊、洩漏、破裂、保護控制失效等現象，則不合格。(參照 UL 1973，章節 15)
溫度與操作極限檢查試驗	將受測樣品放完電後放置於試驗箱內，調整至最高充電極限溫度，然後利用最大充電速率充飽。接著調整至最高放電極限溫度，然後利用最大放電速率放光。上述充放電循環共進行五次，期間樣品的電壓、電流與溫度都不能超過製造廠商的操作極限，同時不能發生爆炸、燃燒、電擊、洩漏、破裂。(參照 UL 1973，章節 16)
不平衡充電試驗	將受測樣品充飽電，但是其中有一個電芯或模塊完全放電，接著將其餘電芯或模塊放電 50%，然後利用最大充電速率進行充電。完成後進行一次充放電循環，然後進行耐壓試驗。如果樣品發生爆炸、燃燒、釋放可燃氣體、釋放有毒氣體、電擊、洩漏、破裂、保護控制失效，則不合格。(參照 UL 1973，章節 17)
耐壓試驗	如果電路的電壓超過 42.4 V 或 60 VDC，必須按照 UL 60950-1 ^[26] 進行電力強度試驗。(參照 UL 1973，章節 18)
接地連續性試驗	在受測樣品施加過電流保護設備額定值 200%的電流時，量取保護性接地系統的壓降。合格標準為接地系統在任何兩個導電性部分之間的電阻都不能超過 0.1Ω。(參照 UL 1973，章節 19)
冷卻/加熱管理系統失效試驗	在試驗箱的受測樣品完全放電後，調整至最高操作溫度，靜置 7 小時，接著將冷卻/加熱管理系統失效，然後充飽電；接著取出放完電後，送回試驗箱，再將受測樣品充飽電後，調整至最高操作溫度，靜置 7 小時，接著將冷卻/加熱管理系統失效，然後完全放電。完成後進行一次充放電循環，然後進行耐壓試驗。如果樣品發生爆炸、燃燒、釋放可燃氣體、釋放有毒氣體、電擊、洩漏、破裂、保護控制失效，則不合格。(參照 UL 1973，章節 20)
電氣元件試驗	風扇堵塞：利用衛生紙纏住扇葉，將風扇連續運轉 7 hr 後，衛生紙無燃燒現象。 洩漏電流：分隔的控制器必須按照 UL 60950-1 ^[26] 進行接觸電流試驗。 應變釋放：利用 156 N 的拉力拉扯電線一分鐘，不能發生損壞，或者接頭移位現象，接頭變形不能超過 2 mm。(參照 UL 1973，章節 22)

表 5 二次利用儲能產品的機械試驗

項目	試驗方法說明
靜力試驗	受測樣品充飽電後，在頂部、底部與側邊各別使用 250 ± 10 N 的靜力連續施壓五秒。完成後進行一次充放電循環，然後進行耐壓試驗。如果樣品發生爆炸、燃燒、釋放可燃氣體、釋放有毒氣體、電擊、洩漏、破裂、保護控制失效，則不合格。(參照 UL 1973，章節 26)
撞擊試驗	受測樣品充飽電後，利用直徑 50.8 mm，重量 535 g 的鋼球，從 1.29 m 高度處以不同角度，總共至少撞擊三次。每次撞擊可使用不同的樣品。完成後進行一次充放電循環，然後進行耐壓試驗。如果樣品發生爆炸、燃燒、釋放可燃氣體、釋放有毒氣體、電擊、洩漏、破裂、保護控制失效，則不合格。(參照 UL 1973，章節 27)
掉落試驗	受測樣品充飽電後，直接掉落在水泥地面，樣品重量 ≤ 7 kg 時，掉落高度為 100 cm；重量大於 7 kg 時，則高度為 10 cm。如果只進行一次試驗，則不能使用平摔方式。完成後進行一次充放電循環，然後進行耐壓試驗。如果樣品發生爆炸、燃燒、釋放可燃氣體、釋放有毒氣體、電擊、洩漏、破裂、保護控制失效，則不合格。(參照 UL 1973，章節 28)
模塑應力試驗	受測樣品充飽電後，放置於試驗箱中，調整至高於最高操作溫度 10°C，但是不能低於 70°C。完成後進行耐壓試驗。如果樣品發生洩漏、破裂，則不合格。(參照 UL 1973，章節 30)
洩壓閥釋放試驗	將受測樣品浸泡在礦物油中，然後不斷增加電流進行充電，直到洩壓閥出現泡泡，顯示動作正常，同時沒有發現破裂或漏液，則判定合格。(參照 UL 1973，章節 31)
洩壓閥開	選取三個洩壓閥，利用空氣逐漸加壓方式分別決定開始釋放的壓力，然後取其平均值做為試

始釋放壓力試驗	驗結果。如果試驗結果為洩壓閥開始釋放壓力標稱值的 90~100%，則判定合格。(參照 UL 1973，章節 32)
---------	---

表 6 二次利用儲能產品的環境試驗

項目	試驗方法說明
冷熱循環試驗	受測樣品置於試驗箱中，設定 25±5°C，靜置 24 hr；利用 30 min 升溫至 75±2°C，靜置 6 hr；再利用 30 min 降溫至 20±2°C，靜置 2 hr；接著利用 30 min 降溫至 -40±2°C，靜置 6 hr；然後利用 30 min 升溫至 20±2°C，靜置 6 hr；總共 9 個循環。完成後進行耐壓試驗。如果樣品發生爆炸、燃燒、釋放可燃氣體、釋放有毒氣體、電擊、洩漏、破裂、保護控制失效，則不合格。(參照 UL 1973，章節 33)
耐濕試驗	按照 ANSI/IEC 60529 規定的 IP 等級試驗方法 ^[27] ，完成後進行耐壓試驗。如果樣品發生爆炸、燃燒、釋放可燃氣體、釋放有毒氣體、電擊、洩漏、破裂、保護控制失效，則不合格。(參照 UL 1973，章節 34)
鹽霧試驗	按照 IEC 60068-2-52 環境試驗標準方法 ^[28] ，完成後進行耐壓試驗。如果樣品發生爆炸、燃燒、釋放可燃氣體、釋放有毒氣體、電擊、洩漏、破裂、保護控制失效，則不合格。(參照 UL 1973，章節 35)
內部火焰暴露試驗	將樣品充飽電，選擇內部中央的一個電芯，然後利用加熱等方法使其熱失效，觀察失效是否可控制於內部，如果發生燃燒或爆炸現象，則判定為不合格。(參照 UL 1973，章節 36)
外部火焰暴露試驗	將受測樣品放置於燃料盤上側，距離燃料液面 61 cm，樣品安裝溫度計以便監控與紀錄，燃燒時間為 20 min。如果沒有發生爆炸，則判定為合格。(參照 UL 1973，章節 37)

柒、包裝、運送與標記

電芯、模塊、電池組與系統的運輸必須加以包裝，並且按照合適的運輸法規，並防止短路與損壞。

原始製造廠商的標記都必須完全移除，包括外部與內部的名牌、型號與商標等，並且更換成二次利用廠商的標記。當這些舊標記不容易移除時，可利用新標記予以遮蓋。如果是沒有拆解的部分，就必須保持原始製造廠商的標記；如果這些標記還是具有可用性，可不必移除。所有的標記必須具有永久性，並採用物品表面顏色的對比色以便分辨。

電芯、模塊與電池組都必須有名牌，記錄電壓、容量、化學組成、型號、廠商名稱、商標等資料。同時要有製造日期，可採用編碼方式，並且要註明「二次利用」的字樣。

根據終端使用的相關標準，二次利用製造廠商須提供有關儲存、安裝、操作、維修與棄置的指引文件，這些文件必須放置於包裝內。

捌、結語

產品的標準是商業生產的依據，也是製程品管的參考，尤其是安全標準，更是不可忽略的最高指導原則。鋰離子電池是一種相當優異的電能儲存裝置，在一般 3C、動力提供、與儲能方面都有很重要的應用，但是安全問題迄今尚無法完全解決，成為往後繼續推廣的隱憂。

鋰離子汰役電池是目前即將進行商業化推廣與應用的產品，安全問題更是不容忽視，因此製造廠商必須仔細研究相關安全標準，在設計、生產、儲存、運送、使用、監控與維修各方面，都必須符合安全的要求，才能讓一般消費者或終端使用者可以安心使用產品。

玖、誌謝

本文承經濟部能源局之能源科技專案計畫補助(契約編號: 107-D0720)，相關研究分析乃得以順利進行，特此誌謝。

拾、參考文獻

- [1] J. Catton, S. B. Walker, P. McInnis, M. Fowler, R. Fraser, S. B. Young, and B. Gaffney, “Comparative safety risk and the use of repurposed EV batteries for stationary energy storage,” *2017 IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE)*, pp. 200, 2017, [Online]. Available: <http://doi.org/10.1109/SEGE.2017.8052799>.
- [2] B. Sanghai, D. Sharma, K. Baidya, and M. Raja, “Refurbished and repower: Second life of batteries from electric vehicles for stationary application,” *SAE International Technical Paper 2019-26-0156*, 2019, [Online]. Available: <https://doi.org/10.4271/2019-26-0156>.
- [3] N. Omar, M. A. Monem, Y. Firouz, J. Salminen, J. Smekens, O. Hegazy, H. Gaulous, G. Mulder, P. Van den Bossche, T. Coosemans, and J. Van Mierlo, “Lithium iron phosphate based battery - Assessment of the aging parameters and development of cycle life model,” *Applied Energy*, vol. 113, pp. 1575-1585, 2014, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.09.003>.
- [4] L. C. Casals, B. A. Garcia, and L. V. Cremades, “Electric vehicle battery reuse: Preparing for a second life,” *Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 10, pp. 266-285, 2017, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.3926/jiem.2009>.
- [5] J. S. Neubauer, A. Pesaran, B. Williams, M. Ferry, and J. Eyer, “A techno-economic analysis of PEV battery second use: Repurposed-battery selling price and commercial and industrial end-user value,” *SAE International Technical Paper 2012-01-0349*, 2012, [Online]. Available: <https://doi.org/10.4271/2012-01-0349>.
- [6] L. C. Casals, B. A. García, F. Aguesse, and A. Iturrondobeitia, “Second life of electric vehicle batteries: relation between materials degradation and environmental impact,” *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 22, pp. 82-93, 2017, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0918-3>.
- [7] J. W. A. Catton, S. B. Walker, P. McInnis, M. Fowler, R. A. Fraser, S. B. Young, and B. Gaffney, “Design and analysis of the use of re-purposed electric vehicle batteries for stationary energy storage in Canada,” *Batteries*, vol. 5, pp. 14, 2019, [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/batteries5010014>.
- [8] S. I. Sun, A. J. Chipperfield, M. Kiaee, and R. G. A. Wills, “Effects of market dynamics on the time-evolving price of second-life electric vehicle batteries,” *Journal of Energy Storage*, vol. 19, pp. 41-51, 2018, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.est.2018.06.012>.
- [9] N. Jiao and S. Evans, “Business models for repurposing a second-life for retired electric vehicle batteries,” in: G. Pistoia, B. Liaw (Eds.) *Behaviour of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles - Battery Health, Performance, Safety, and Cost*: Springer, Cham, 2018, pp. 323, [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-3-319-69950-9_13.
- [10] N. Jiao and S. Evans, “Business models for sustainability: The case of second-life electric vehicle batteries,” *Procedia CIRP*, vol. 40, pp. 250-255, 2016, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.114>.
- [11] S. Bräuer, M. Monhof, B. Klör, F. Plenter, D. Beverungen, and C. Siemen, “Residential energy storage from repurposed electric vehicle batteries: Market overview and development of a service-centered business model,” *2016 IEEE 18th Conference on Business Informatics (CBI)*, vol. 1, 2016, 143-152, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/CBI.2016.24>.
- [12] UL 1973, “Standard for batteries for use in stationary, vehicle auxiliary power and light electric rail (LER) applications,” 2013, [Online]. Available: https://standardscatalog.ul.com/standards/en/standard_1973_2.
- [13] UL 1974, “Standard for evaluation for repurposing batteries,” 2018, [Online]. Available: https://standardscatalog.ul.com/standards/en/standard_1974.
- [14] UL 2580, “Batteries for use in electric vehicles,” 2013, [Online]. Available: https://standardscatalog.ul.com/standards/en/standard_2580.

- [dard_2580_2](https://standardscatalog.ul.com/standards/en/standard_2580_2).
- [15] UL 746C, “Standard for polymeric materials - use in electrical equipment evaluations,” 1995, [Online]. Available: https://standardscatalog.ul.com/standards/en/standard_746c_7.
- [16] UL 746B, “Standard for polymeric materials - long term property evaluations,” 2018, [Online]. Available: https://standardscatalog.ul.com/standards/en/standard_746b_5.
- [17] UL 157, “Standard for gaskets and seals,” 1996, [Online]. Available: https://standardscatalog.ul.com/standards/en/standard_157_2.
- [18] UL 50E, “Enclosures for electrical equipment, environmental considerations,” 2007, [Online]. Available: https://standardscatalog.ul.com/standards/en/standard_50e_1.
- [19] UL 507, “Standard for electric fans,” 2017, [Online]. Available: https://standardscatalog.ul.com/standards/en/standard_507_10.
- [20] IEC 60812, “Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA),” 2018, [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/26359>.
- [21] IEC 61025, “Fault tree analysis (FTA),” 2006, [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/4311>.
- [22] IEC 61058, “Switches for appliances,” 2016.
- [23] SAE J2950, “Recommended practices (RP) for shipping transport and handling of automotive-type battery system - lithium ion,” 2012, [Online]. Available: https://www.sae.org/standards/content/j2950_201202/.
- [24] IEEE 1625, “IEEE standard for rechargeable batteries for multi-cell mobile computing devices,” 2008, [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/standard/1625-2008.html>.
- [25] IEEE 1725, “IEEE standard for rechargeable batteries for cellular telephones,” 2011, [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/standard/1725-2011.html>.
- [26] UL 60950-1, “Information technology equipment - safety - part 1: general requirements,” 2014, [Online]. Available: https://standardscatalog.ul.com/standards/en/standard_60950-1_2.
- [27] IEC 60529, “Degrees of protection provided by enclosures (IP code),” 2017.
- [28] IEC 60068-2-52, “Environmental testing - Part 2-52: Tests - Test Kb: Salt mist, cyclic (sodium chloride solution),” 2017, [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/61926>.