

磷酸鋰鐵電池的安全低碳環保回收技術

周韋伶 / 優勝奈米科技 研發工程師
 邱奕慶 / 優勝奈米科技 課長
 何享穎 / 優勝奈米科技 技術長
 許景翔 / 優勝奈米科技 董事長

一般常見的廢棄鋰電池處理方式大多為物理性程序，其中未經有效放電的鋰電池容易引起燃燒、爆炸等風險，導致操作人員身處在不安全環境；粗糙的處理方式會使有價金屬分離效果差，導致不具回收價值。為有效改善上述問題，本研究對廢棄磷酸鋰鐵電池分別以無鹵素放電藥劑及傳統濃鹽水高鹵素方式施行放電實驗，並將處理後物件妥善分類處理，進行各物件的重量占比與有價金屬分析。

一、前言

近年綠能發展、儲能設備持續地蓬勃發展，而大多數的不斷電系統 (UPS) 與儲能，皆以磷酸鋰鐵電池 (LFP) 為主，甚至電動車內所使用的車用鋰電池，也是供應電動機能量的來源。鋰電池為可充放電電池，主要是由鋰離子在正負極之間移動以儲存和釋放電能，正極材料

通常是一種含有鋰的金屬氧化物；負極材料通常是使用能嵌入及釋放鋰離子的碳材料。

鋰電池的循環壽命平均可高達 2,000 次以上；重量能量密度可達到 150-300 Wh/kg，常見的鉛酸電池僅達 50 Wh/kg，因此鋰電池的能量密度至少為鉛酸電池的 3 倍以上；鋰電池的體積容量密度通常為鉛酸電池的 1.5 倍以上^[1,2]，在同樣的容量下，可提供更多電力、更小、更輕與多次使用。在顯著的優點下，鋰電池可分為消費、車用及儲能三大市場應用。

以電動車市場為例，根據國際能源總署 (International Energy Agency; IEA) 發表的《2023 年全球電動車展望》^[3] 顯示，2023 年全球電動車銷量預計可達到 1,400 萬輛，占全年汽車總銷售量的 18%，2030 年則可突破 60%。目前全球電動車市場在中國、歐洲及美國相當熱門，全球電動車銷售量約有六

成以上是由中國貢獻，同時也提前達到官方發布的《新能源汽車產業發展規劃 (2021-2035 年)》^[4] 所提到，2025 年新能源汽車市場銷售總量達到新車銷售總量 20% 的目標。

過去在電動車的需求量增加下，車用電池的需求從 2021 年的 330 GWh，增加到 2022 年的 550 GWh，其中車用電池所使用的關鍵物料也隨之增加。關鍵物料是指鋰電池內常見的有價金屬，如 鋰 (Lithium)、鈷 (Cobalt)、鎳 (Nickel)、銅 (Copper)、鐵 (Iron) 及 鋁 (Aluminum) 等。

歐盟於 2023 年正式上路的新《電池法 (Batteries Regulation)》^[5]，要求電池產品揭露碳足跡，並加強回收電池和回收有價金屬等關鍵物料的目標。另規範 2027 年攜帶型電池 (Portable battery) 回收率需達到 63%，2030 年則要達到 73%；電動車等車用電池則要在 2028 年

達到 51%。該法規除明訂回收率，亦針對鋰電池的生命週期進行相關調整，如產品上市時要符合產品永續性及安全性，鋰電池所含的再生料添加比例提高，甚至每一顆鋰電池會使用「電池護照 (Battery Passport)」，提供成分、回收物含量等資訊。

在全球環保意識抬頭下，各國紛紛投入研發能置於綠色回收技術，經放大後亦能在處理廠內施行。以台灣為例，國內取得廢棄物清除及處理許可證之機構，均可申請補貼成為受補貼機構。根據 2021 年 7 月生效的《應回收廢乾電池回收清除處理補貼費率》，二次鋰電池之中的鋰三元電池每公斤可得 94.5 元；鋰鐵電池每公斤可得 114.5 元^[6,7]，而國內的受補貼電池回收廠大多皆送至國外處理，因此有價金屬不易留在國內。

就鋰電池回收技術而言，大多是經由物理性程序進行前處理，獲得電池黑粉 (Black Mass)，再進行後續的金屬回收程序。然而在進行

電池破碎時，往往會有些風險存在。根據 Kotak 等人^[8]整理，鋰電池引起的火災風險增加，原因是在保存電池時，若貯存環境的溫度高於內部溫度，亦或是遭受強烈撞擊，會使得電池內部短路，放熱反應嚴重時則會燃燒起火，甚至意外爆炸發生。

部分鋰電池回收廠商會以帶電破碎方式進行，該處理方式容易讓鋰電池短路起火，使得操作人員受傷風險增加。根據《廢二次鋰電池 (充電式鋰電池) 回收貯存注意事項 (修正)》^[9]，貯存前將鋰電池放電至少 7 天，瀝乾後可回收處理；另外根據中國某廠商提供資訊，傳統放電方式為使放電快速，會使用 15-30% 的鹽水等含高鹵素藥劑進行放電。

因此，如何將廢棄鋰電池以效率快速、安全性高、資源利用率高的方式進行處理，成為技術開發的首要目標，不但能減輕對環境的傷害，降低隱形成本，更能將這項回收技術形成一種循環經濟模式，以

成為國內廢棄鋰電池再利用的最佳解答。

綜合以上資訊，隨著廢鋰電池數量持續增長，而國內現有處理設備生產的黑粉雜質繁多，故如何妥善的處理廢棄鋰電池，其關鍵在於尋找一種安全、高回收率的處理方式，開發一套合適的鋰電池前處理技術，即為本研究探討的主題。

二、實驗方法

本研究選擇的鋰電池為磷酸鋰鐵電池，重量約 1 公斤，長度為 30 公分，寬度為 10 公分，厚度為 2 公分，外觀式樣請參考圖 1。

市面上數據公開的鋰電池回收技術，大多為實驗室可操作規模。本研究公開量產型的安全低碳環保回收技術，可參考圖 2 的實驗流程。流程主要包含「放電程序」、「粗破碎程序」、「細破碎程序」與「篩分程序」。

採取妥善處理磷酸鋰鐵電池的方式可分為四個程序，程序如下：



圖 1 磷酸鋰鐵電池外觀



圖 2 磷酸鋰鐵電池的前處理技術流程

(一) 放電程序

放電程序採用優勝奈米科技設計開發的無鹵素專利藥劑「UW- 鋰電池放電劑」，具放電快速、操作安全、金屬腐蝕性低、廢水處理簡單等特性。當欲處理的廢棄鋰電池數量繁多時，可參考圖 3，

自動化設備「放電一號 (Discharge One)」，該設備可搭配 UW- 鋰電池放電劑進行使用，以便進行放電處理。

本研究將 UW- 鋰電池放電劑與傳統高鹵素放電方式 (15% 濃鹽水) 進行放電實測，測試時間為 7

天，其中將放電效果明顯的鋰電池進行後續破碎程序。

(二) 粗破碎、細破碎與篩分程序

粗破碎程序可採用「雙軸破碎機」(圖 4 左)，破碎後鋰電池會藉由抽料管，從出料口被抽進「粉碎



圖 3 放電一號外觀

二號」(圖4中)進行細破碎,出口口則為欲篩分物料。

前一破碎程序所獲得的欲篩分物料,使用優勝奈米科技設計的篩選一號(圖4右)將隔離膜、金屬(含銅、鋁)及黑粉等進行分離,分離後物件如圖5。

三、結果與討論

(一) 放電程序結果

磷酸鋰鐵電池在歷經7天的放電程序後,根據圖6的放電實測曲線所示,使用UW-鋰電池放電劑的放電效率較傳統放電方式快速,

且電壓在放電第3天低於1.5伏特(V)。

而磷酸鋰鐵電池浸泡的液體在經過放電7天之後,取出電池放置約3小時進行沉澱,由圖7可發現使用傳統放電方式後的污泥較UW-鋰電池放電劑多,因傳統放電方式



圖4 破碎與篩分程序使用設備之外觀

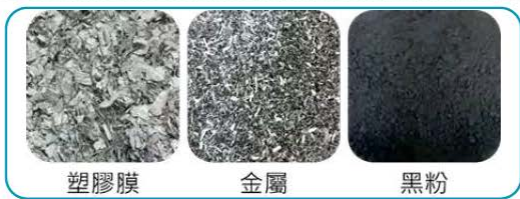


圖5 篩分程序獲得之物件外觀

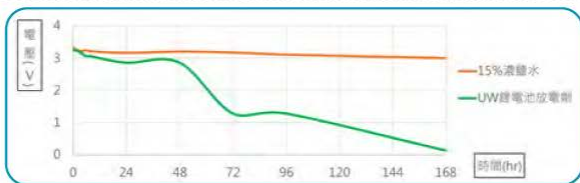


圖6 傳統及UW放電實測曲線

會使單邊極頭完整脫落，而電解質會從單邊極頭的接合處滲出，在液體中造成污泥的產生，且液體散發出刺鼻味道；使用 uw- 鋰電池放電劑則不會導致污泥產生過多，在後段廢水處理工序可簡單處理，相比傳統放電方式也減少約 20 倍的廢水排放次數。

表 1 為傳統及 uw 放電程序的比較彙整。經各項目比較顯示，使用 uw- 鋰電池放電劑的放電效率為快速，相較為破壞性的傳統放電方式，其對鋰電池的腐蝕性低。

(二) 粗破碎、細破碎與篩分程序結果

分選後重量分佈，可參考表 2 的內容。結果顯示黑粉所含的重量最高，占比為 69.1%；重量占比第二的為金屬，重量占比為 15%；重量占比第三的為隔離膜，重量占比為 6.2%；剩餘的程序損失為電解質揮發的重量，重量占比為 9.7%。

分選後各物件的鋰離子含量結果整理於表 2 中。隔離膜的占比最低，僅有 0.02 公克的鋰；而最高的項目為黑粉，鋰含量為 18 公克。

若是考慮單位重量的鋰含量，其中的物件鋰含量計算方式為：

依照計算結果顯示，以每公噸的磷酸鋰鐵電池，隔離膜的物件鋰含量為 18 公克；最多物件鋰含量的則是黑粉，能回收 17,998 公克。依照以上資訊，可得知磷酸鋰鐵電池中最具有鋰回收價值的物件為黑粉部份，若處理 1 公噸的磷酸鋰鐵電池，可回收約 18 公斤的物件鋰含量。

以優勝奈米科技提供的鋰電池前處理回收程序進行分離，富含價金屬的黑粉獲得率可達 69.1%，其中有價金屬鋰的回收率可達 95.9%。



圖 7 經放電 7 天後不同液體外觀

表 1 傳統及 UW 放電程序比較彙整

放電方式	傳統放電	UW-鋰電池放電劑
放電效率	慢	快
放電方式	破壞性	一般性
金屬腐蝕性	高	低
鹵素成分	高鹵素	無鹵素
污泥量	多	少許
廢水處理	複雜	簡單
操作安全性	危險	安全

表 2 破碎與篩分程序結果彙整

項目	隔離膜	金屬	黑粉	電解質*
重量(g)	62	150	691	97
重量占比(%)	6.2	15	69.1	9.7
鋰含量(g)	0.02	0.8	18	N/A
鋰含量占比(%)	0.1	4	95.9	N/A
物件鋰含量(g/ton)	18	751	17,998	N/A

*備註：破碎程序損失為電解質揮發之重量。

四、結論

本研究對鋰電池進行「放電程序」、「粗破碎程序」、「細破碎程序」與「篩分程序」，其中以 UW- 鋰電池放電劑作為放電方式尤佳，具有快速、低腐蝕、無鹵素、減少排放及安全操作等優點。將分類後的鋰電池物件分別進行重量占比與有價金屬的分析，磷酸鋰鐵電池重量以黑粉為大宗，占整體的 69.1%，且鋰含量占整體的 95.9%。

本研究結果顯示，鋰電池經由「放電程序」、「粗破碎程序」、「細破碎程序」與「篩分程序」整合成的鋰電池前處理技術，可有效對鋰電池施行安全放電程序，大幅提升製程的安全性，並將各物件進

行分離，且後續能使有價金屬做綠色環保回收。

五、參考文獻

- [1] 三元鋰離子電池與磷酸鐵鋰離子電池真實循環壽命比較，百盈能源科技，(2021)
- [2] 鋰電池介紹 | 3分鐘瞭解鋰電池是什麼？它怎麼改善生活？，CARSEAM 行車王，(2023)
- [3] Global EV Outlook 2023, International Energy Agency(IEA), (2023)
- [4] 新能源汽車產業發展規劃 (2021-2035 年)，中國大陸國務院，(2020)
- [5] Circular economy: New law on more sustainable, circular and safe batteries enters into force, European Commission, (2023)
- [6] 應回收廢乾電池回收清除處理補貼費率，行政院環境保護署公告 (現環境部)，(2021)
- [7] 受補貼機構申請方式及辦法，環境部資源循環署資源回收網，(2023)
- [8] Kotak, B.; Kotak, Y.; Brade, K.; Kubjatko, T.; Schweiger, H.-G.

Battery Crush Test Procedures in Standards and Regulation: Need for Augmentation and Harmonisation. Batteries 2021, 7, 63. <https://doi.org/10.3390/batteries7030063>

- [9] 廢二次鋰電池 (充電式鋰電池) 回收貯存注意事項 (修正)，行政院環境保護署 (現環境部)，(2023)