

磷酸鐵鋰電池環保回收精煉 再生電子級碳酸鋰

林佳彥 / 優勝新能源再生科技研發工程師

胡家豪 / 優勝新能源再生科技技術長

許景翔 / 優勝新能源再生科技董事長

歐盟電池指令嚴格規範電池正極材料需添加一定比例之再生料，以達到循環經濟及 SDGs 中的第 12 項永續消費及生產。本研究主要是以專利藥劑 UW-530 鋰鈣剝除添加劑，取代傳統火法高碳排製程，將磷酸鐵鋰黑粉中鋰金屬溶解，並透過沉降、還原、純化等製程，最終獲得高純度再生料電子級碳酸鋰。

將由上述製程產出之電子級碳酸鋰再生料合成為 5V 正極材料，並封裝成鋰電池，再進行高達 200 次以上長期循環電性測試。實驗結果顯示，優勝新能源電子級再生料碳酸鋰平均電容量經測試高於日本市售之電池級碳酸鋰新料，更適合應用於鋰電池正極材料使用。

一、前言

為應對全球氣候變遷及確保新式電池的永續並促進綠色轉型，歐盟委員會全面聚焦於電池產業，並於 2023 年 8 月公布歐盟電池法，

全面升級歐盟現行電池指令。《歐盟電池指令》其要求範圍涵蓋電池整個生命週期的各階段，從原材料的生產加工，電池使用的完整過程，再到退役及廢鋰電池的回收利用。針對新法規的要求，歐盟市場上各種電池的製造商、生產商、進口商及銷售商須在原材料採購及產品開發等各面向採取行動，以評估社會和環境風險，並制定短、中、長期的應對目標及方案。

《歐盟電池指令》的核心內容為強化電池回收管理，新電池法也制定不同類型的廢鋰電池的回收標準，並提及 2031 年工業電池及電動汽車電池再生料的比例必須達到鋰：6%；鈷 16%；鎳 6%。到 2036 年再生料的比例更進一步的提高至鋰：12%；鈷 26%；鎳 16%。

除上述再生料比例添加的規範外，也針對電池須額外建立電池護照制度，對於電池產品的原材料、產地、生產廠商、容量、用途、可回收內容等資訊，都須詳細記錄於電池護照中。歐盟規定 2026 年起，

任何動力電池都必須持有電池護照，才有資格銷售至歐盟。

另外，從 2024 年起，出口至歐洲的動力電池皆須提供碳足跡聲明及標籤。電池出口商須揭露從上游材料來源、電池生產及回收再利用各環節的碳排數據，並要求所有電池在 2027 年達到相關碳足跡的限值要求。優勝新能源已針對製程各工站的碳排放量、碳足跡等，皆有完善的能源管理系統。

根據美國 CBC News 報導，加州的內陸鹽水湖索爾頓湖 (Salton Sea) 蘊含大量鋰礦，美國礦業公司已計畫在索爾頓湖開採鋰礦，且提取 1 公噸的鋰將消耗 5 萬加侖 (約 18.9 萬公升) 的水量，對水資源保護無疑是另一大傷害，一旦索爾頓湖採鋰作業進行開採，數百萬候鳥在該地區的重要棲息地恐遭摧毀，濕地生態系統也將瀕臨崩潰。而鋰礦開採所應用到的有毒化學品也極有可能洩漏到供水系統。

由上述內容可知，鋰礦開採需要投入大量的人力和成本，對環境

造成更嚴重的汙染，隨著磷酸鐵鋰電池正極材料需求的不斷攀升，不斷的開採礦產對環境的迫害反之增加，因此應將重點擺放在資源回收再利用，以維護生態的多樣性。

二、回收技術比較

現階段磷酸鐵鋰電池回收相當不容易。電池結構可分為正級材料、負極材料、電解液及隔離膜，無法使用單一製程達到各別分離回收的目的。目前全球針對電池回收的預處理 (Pretreatment)，以物理回收方式 (放電、破碎、粉碎、篩分) 後得到黑色粉末，後續提煉製程主要可分為兩大類，即火法冶金 (Pyrometallurgy) 及濕法冶金 (Hydrometallurgy)，主要對正極材料中鋰、鈷、鎳等金屬元素的萃取提煉，而非以金屬氧化物回收再利用為考量。下列針對現行火法冶

金、濕法冶金及優勝開發低碳技術進行介紹。

(一) 傳統火法冶金技術產生高碳排且具高環境衝擊

火法冶金又稱為燃燒法，通過高能量及高溫焚燒去除電池中的有機物質，同時使其中的金屬發生氧化還原反應，透過沸點及熔點的差異回收金屬及其化合物。由於其製程反應溫度須高於 1,200°C，才能有效回收金屬，且高溫處理對其設備的要求也較高，此外，燃燒會產生高碳排，並對環境有很大的衝擊，與 2050 年淨零碳排的目標背道而馳。

(二) 傳統濕法製程濃硫酸 - 雙氧水系統對環境具危害性

濕法冶金主要是以無機酸做為浸漬液，將有價金屬提取至液相

中，在以沉澱法、電解法、溶媒萃取法等化學方式進行金屬分離。最常見濕法技術之系統為濃硫酸 - 雙氧水，但此系統並不適合用於鋰電池黑粉。主要原因為硫酸 - 雙氧水系統反應時間須至少 8 小時以上、藥水飽和度低，且硫酸 - 雙氧水易腐蝕塑料，產生有毒氣體硫化氫，造成刺鼻惡臭，上述多種因素導致後端廢水、廢氣、固體廢棄物等三廢項目難以處理。

(三) 優勝新能源成功開發安全低碳環保之濕法專利技術

由上述兩點可得知，傳統的冶金方式不管是火法或濕法製程，皆對環境造成危害。優勝新能源以綠色化學的角度出發，以創新思維開發出低碳濕法技術，強調高效率、低成本、安全低碳製程與有價金屬資源回收，並秉持「安全」、「低

製程比較	高溫熱製程(火法熔煉)	濕製程(濃硫酸+雙氧水)	濕製程(UW-530+硝酸)
投資成本	極高	高	低
作業方式	大型熔煉爐	大型反應槽	自動化機台
處理方式	燒結成合金磚再酸溶	化學剝除	選擇性化學剝除
藥水飽和	低	20~50 g/L	>80 g/L
處理時間	>12小時	>8小時	2~3小時
剝除效率	>85%	>85%	>99%
環境影響	粉塵、碳排、高溫	刺鼻惡臭、高COD	減少廢水、廢氣、碳排
去除狀況			

圖 1 綠色製程與現行技術比較

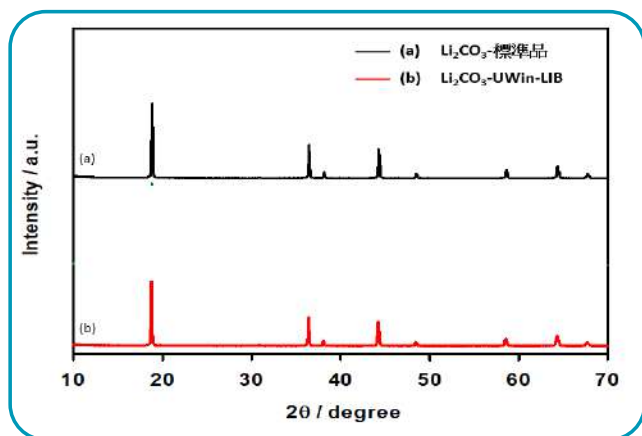


圖 2 電子級碳酸鋰 XRD 分析

(一) 電子級碳酸鋰純度分析及 XRD 分析

經由第三方檢測單位認證，優勝新能源再生料電子級碳酸鋰經檢測純度大於 99.9%。此外，也將優勝新能源再生料電子級碳酸鋰進行 XRD 定性分析，結果顯示，所有特徵峰皆吻合碳酸鋰特徵峰，且無其他元素之特徵峰值，如圖 2 所示。

(二) 電子級碳酸鋰合成正級材料外觀分析

添加碳酸鋰及前驅物，經由燒結、攪漿、塗佈、煅燒等步驟合成 5V 正極材料，並以 SEM 分析其合成結構。在高電流的速率下，相較於其他正極材料有良好的表現，由圖 3 可得知為穩定尖晶石結構。

(三) 粒徑分析

針對尖晶石結構之 5V 正極材料進行粒徑分析，測試結果如表 1 及圖 4，優勝新能源再生料電子級碳酸鋰有最小的顆粒尺寸， d_{50} 尺寸為 7.347 微米，優於日本市售碳酸鋰。

碳」及「環保」三大精神，研發出環保專利藥劑 UW-530，此藥劑對於鋰電池內的鋰、鈷、鎳等金屬回收，擁有快速、安全、回收率高等特點；後端純化製程則利用 Electrodeionization (EDI) 設備，以確保純化製程不受外來雜質元素干擾，以穩定生產純度高於 99.9% 以上的再生料電子級碳酸鋰，而有別於電池級碳酸鋰的 99.5%。

(四) 磷酸鐵鋰電池處理技術綜合比較

優勝新能源開發之創新低碳環保濕法製程，相較於傳統火法製程，反應時間由 12 小時縮短至 2~3 小時；對比硫酸-雙氧水系統，則具更高藥水飽和度、金屬剝除率大於 99%。相較於傳統製程，此綠色製程擁有更完善的污染防治系統，廢液經由減壓蒸餾技術後，使硝酸可循環使用；反應後的殘渣則可提供給水泥廠作為低強度混凝土添加量，符合廢棄物資源再生及永續循環之精神。

三、再生料電子級碳酸鋰應用於電池製造

優勝新能源成功由廢磷酸鐵鋰黑粉中提煉並還原出純度大於 99.9% 的高純度電子級碳酸鋰，經由綠色能源電池研究中心測試，以相同條件下，進行三組實驗對照，分別為：100% w/w 日本市售碳酸鋰新料 (99.7%)；100% w/w 優勝新能源再生料電子級碳酸鋰 (99.9%)；歐盟規定 6% w/w 優勝新能源再生料 (99.9%)，加入 94% w/w 日本市售碳酸鋰 (99.7%)。

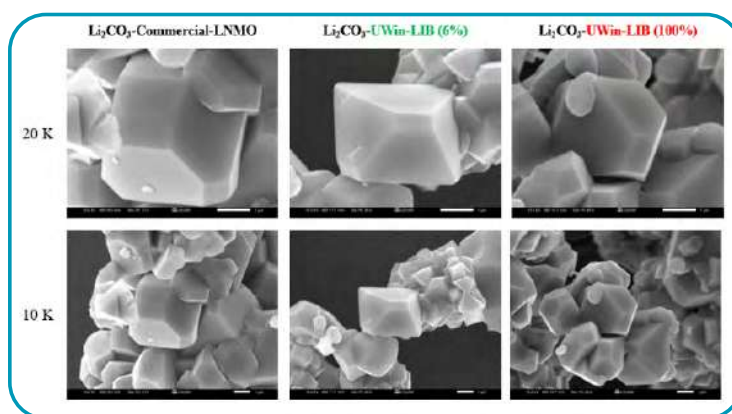


圖 3 電子級碳酸鋰合成正級材料 SEM 分析

表 1 5V 高電壓正極材料粒徑分析

Sample	Data	d ₁₀ /um	d ₅₀ /um	d ₉₀ /um	d _{mean} /um
Li ₂ CO ₃ -Commercial-LNMO		6.326	13.22	16.67	12.66
Li ₂ CO ₃ -UWin-LIB (6%)-LNMO		5.984	12.81	16.22	11.62
Li ₂ CO ₃ -UWin-LIB (100%)-LNMO		5.224	7.347	13.98	8.507

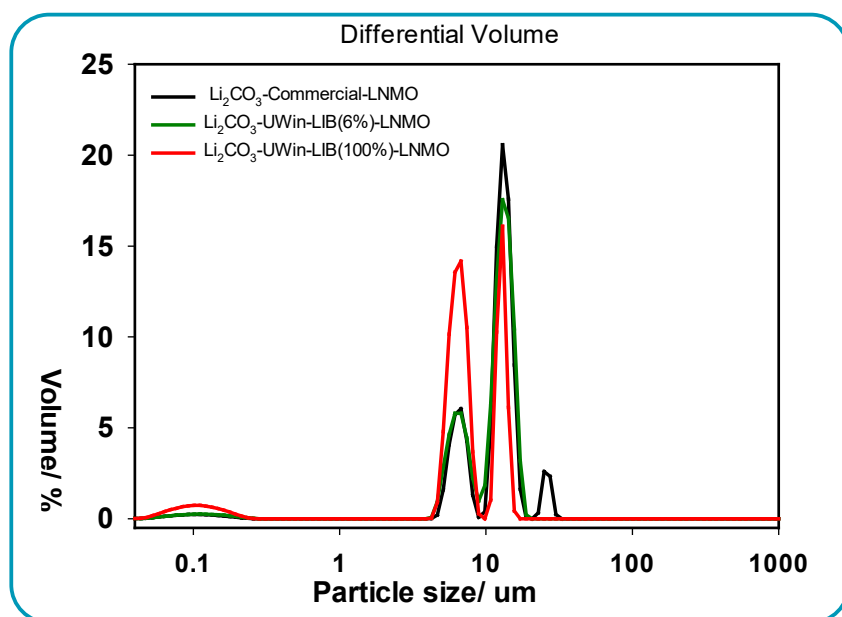


圖 4 5V 正極材料粒徑分布

以上的充放電循環實驗結果顯示，100% w/w 優勝新能再生料電子級碳酸鋰平均電容量 (AVG. Capacity) 為 111.11 mAh g⁻¹，庫倫效率 (AVG. CE) 為 99.13%；100% w/w 日本市售電池級碳酸鋰之平均電容量為 106.88 mAh g⁻¹，庫倫效率為 95.2%；6% w/w 優勝新能源再生料加 94% w/w 日本市售電池級碳酸鋰，平均電容量為 108.51 mAh g⁻¹，庫倫效率為 97.4%。

由以上實驗結果顯示，優勝新能源再生料電子級碳酸鋰相較日本市售電池級碳酸鋰，有更佳的電池循環次數及使用壽命。

電池級碳酸鋰新料，其在 d₅₀ 之尺寸為 13.22 微米。根據文獻指出，正極材料顆粒尺寸越小，在高速率電性測試下，有更好的電性表現。

(四) 鋰電池長期循環電性比較表

以相同條件下，將 5V 正極材料合成之鋰電池進行電池封裝，進行長期循環電性測試，經由 200 次

表 2 平均庫倫效率

	100%日本市售電池級碳酸鋰	6%UWin-LIB電子級碳酸鋰	100%UWin-LIB電子級碳酸鋰
AVG.CE / %	95.2%	97.4%	99.13%

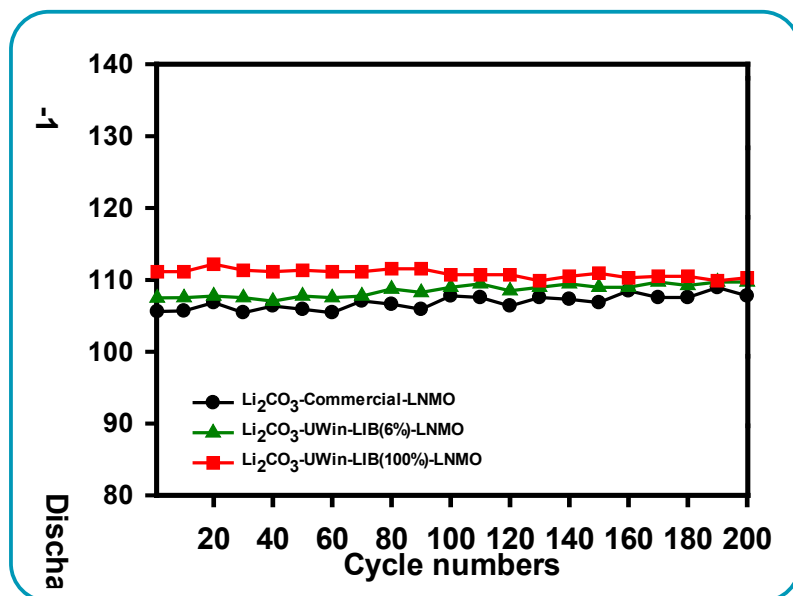


圖 5 長期循環電性比較

四、結論

優勝新能源以綠色環保濕法製程取代傳統高碳排的火法製程，進行鋰電池成分回收，以獨創的專利技術成功還原報廢磷酸鐵鋰電池中的鋰金屬，並透過成熟的純化製程，將碳酸鋰進一步精煉成再生料電子級碳酸鋰。其後，將再生料電子級碳酸鋰提供給由綠色能源電池研究中心製作鋰電池，此款添加優勝新能源碳酸鋰再生料的鋰電池經多次實驗後，相較添加日本市售電池級碳酸鋰之鋰電池具更高電容量及更長使用壽命，顯見優勝新能源電子級碳酸鋰再生料已優於傳統國際大廠製造的電池級碳酸鋰，更適合應用於鋰電池正極材料使用，符合聯合國永續發展目標 SDGs 中的第 12 項永續消費及生產，成為鋰電池金屬再生料的合格供應商。

五、參考文獻

- [1] Wang, L.-P.; Lin, J.-Y.; Chen, Y.-J.; Tseng, B.-C.; Hsu, C.-H.; Kou, M.; Zhou, H.; Sreearunothai, P. Separation and Recovery of Copper and Nickel in the Leachate of a Waste IC Lead Frame through Synergistic Solvent Extraction Using a Binary Extractant Containing LIX984N and Cyanex302 Followed by Selective Stripping. Sustainability 2024, 16, 77.
- [2] <https://www.trendforce.com.tw/presscenter/news/20220419-11200.html>
- [3] CBS · 'Lithium Valley' may provide California with its next gold rush, 2023 (CBS News)
- [4] EU Battery Regulation, 2022
- [5] Flickr/Leandro Neumann Ciuffo CC BY 2.0
- [6] Regulation (EU) 2023/1542 「電池與廢電池的法規」
- [7] Global EV Outlook 2023 Technology report, International Energy Agency, 2023.
- [8] REGULATION (EU) 2023/1542 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 12 July 2023
- [9] MINING.COM · Site visit: Unearthing the lithium 'gold rush' in Nevada, 2023