

鋰電池回收製程之 氮氧化物去除與碳捕捉研究

古潑瑜 / 優勝碳捕捉科技技術長
許景翔 / 優勝碳捕捉科技董事長

本研究在鋰電池黑粉濕法提取製程之空氣污染防治過程中達成「安全」、「低碳」及「環保」的三大關鍵課題，並以對環境友善的方式減少對空氣的污染，大幅減少二氧化碳排放以減緩氣候變遷，以達成 SDGs 第 13 項目標氣候行動。本研究應用 Air-Win 設備與 UW-120 碳捕捉藥劑，針對在鋰電池回收過程中所產生的氮氧化物氣體與二氧化碳進行去除，實測顯示氮氧化物去除可降至 200 ppm 以下，達到環境部規定氮氧化物在非燃燒方式中排放標準 500 ppm 以下；且在二氧化碳捕捉效果達 97%~99%。

一、前言

隨著全球溫室氣體排放量的增加，氣候變遷超乎預期，導致氣候災難頻傳。現階段最重要的任務為遏止全球暖化，國際能源署 (International Energy Agency; IEA) 在 2021 年發表《2050 淨零：全球能

源部門路徑圖》報告^[1]，提出未來 30 年關鍵行動之一為大規模部署再生能源、提高能源效率；而極端天氣導致愈來愈多的氣候災難在全球各地持續發生，驗證氣候危機已是「現在進行式」。

聯合國政府間氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) 於 2021 年發布的第六次評估報告 (Assessment Report 6; AR6)^[2] 明確指出，隨著全球暖化加劇，極端天氣事件的頻率與強度都證實極端氣候將成為新常態；而全球共同對於搶救地球、減緩暖化作出相對應的呼應。根據 2023 年 Net Zero Tracker 統計資料^[3]，至目前全球有 151 個國家宣布要達成「淨零排放」行動。

因應全球淨零趨勢，我國在 2021 年世界地球日宣示：2050 淨零轉型是全世界的目標，也是台灣的目標；並於 2022 年正式發表的《台灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明》報告^[4]，2050 淨零排放

路徑將會以「能源轉型」、「產業轉型」、「生活轉型」、「社會轉型」等四大轉型；2023 年第 28 屆聯合國氣候變遷大會 (COP 28)^[5] 期望全球能正視相關問題，提出全球除了應積極減排，提升應對氣候危機的韌性外，更提出全球能源系統低碳轉型刻不容緩。

隨著全球提倡「能源轉型」行動，儲能系統與電動車扮演重要的角色，根據彭博能源財經 (BNEF) 最新預測，到 2030 年底，全球儲能裝置預計將達到 358 GW/1,028 GWh，是 2020 年底的 17 GW/34 GWh 的 20 倍以上；而歐洲聯盟 (EU) 正全面推廣使用電動車，計劃 2035 年後禁止販售燃油車，於 2023 年 4 月 26 日發表最新《2023 年全球電動車展望》^[6] 指出，全球電動車占汽車銷售的比重，在 2023 年上看 18%，2030 年則將突破 60%。

為因應全球能源轉型趨勢，鋰電池市場因此蓬勃發展需求量大

增，而鋰電池內又含鋰、鎳、鈷、錳等有價金屬資源，隨著鋰電池發展原材料需求量大增外，人類不計後果的發展「綠色」能源，可能帶來的破壞性影響，並加劇 150 多年來化石燃料鑽探和開採礦所造成的生態破壞，導致約 2,000 萬人正暴露在金屬採礦產生的有毒汙水徑流中；而鋰電池使用壽命約 10 年，隨著大量生產衍生未來的鋰電池廢

棄問題，若處理過程不當時，即會造成重金屬污染造成環境的污染和對人體的毒性。以上情況在在顯示鋰電池二次回收與管理就非常重要，歐盟於 2023 年提出新版電池法^[7]，新增再生料規範如表 1 所示。在鋰電池回收過程當中，會產生空氣污染源氮氧化物，其中以二氧化氮對環境影響最大，俗稱黃煙，過量的氮氧化物明顯對呼吸道

產生刺激與造成心血管的疾病。另一面，再製成鋰電子再生料之碳酸鋰過程中，需加入二氧化碳輔助。目前常見去除氮氧化物的技術，如表 2 所示。其中包含選擇性觸媒還原法 (SCR) 與濕式洗滌法，而上述二種技術當中洗滌塔可兼具二氧化碳捕捉功能，但其去除效率約為 40%^[8]；SCR 則無法進行碳捕捉之功能。

本研究為降低鋰電池回收與再製過程中所產生之氮氧化物與二氧化碳，應用 Air-Win 高質傳反應器與 UW-120 碳捕捉劑，實現氣體與液體的高質傳化學反應效率，使本公司之鋰電池回收製程在氣體防治過程中，能使氮氧化物達到排放標準，二氧化碳去除率亦達到 99 % 的水準。

表 1 歐盟新電池法再生料添加比例

再生料比例 年	鋰	鈷	鎳
2031	6 %	16 %	6 %
2036	12 %	26 %	15 %

表 2 空污處理設備評比

空污處理設備評比			
項目	選擇性觸媒還原反應器 (SCR)	濕式洗滌塔 (Wet Scrubber)	Air-Win
操作溫度	高	常溫	常溫
用地需求	小	大	小
建置成本	高	中	中
運營成本	高	低	低
CO ₂ 去除效率	X	X	97%

二、實驗方法

本實驗目的在於去除鋰電池回收製程中所產生的氮氧化物與二氧化碳，如下各項目。

(一) 鋰電池回收製程

廢鋰電子回收後由電池回收廠進行放電、破碎、篩選與粉碎過程後，成為常見的電池黑粉，而電池黑粉中富含鋰、鈷、鎳等有價金屬，針對電池黑粉中有價金屬開發環保回收技術，貴金屬回收過程需經過環保濕製程、減壓蒸餾、分離

純化技術，最終對於有價金屬鋰、鈷、鎳回收，再製成碳酸鋰、硫酸鈷與硫酸鎳等電子級再生材料，提供電池製作之原料，成為一個電池再生循環鏈。鋰電池回收製程如圖 1 所示。

本研究內容主要針對鋰電池回收精煉流程中之空污處理及碳捕捉技術進行探討，由於廢鋰電池黑粉經過濕法回收製程中會產生氮氧化物，為有害氣體並會造成雨水酸化，為環境部空污列管的氣體，違反空污法最高可罰新台幣 2,000 萬元，故本研究主要應用 Air-Win 高質傳反應器與 UW-120 碳捕捉劑，針對濕製程中產生的氮氧化物與二氧化碳進行去除研究。

(二) Air-Win 高質傳反應器

Air-Win 高質傳反應器應用多種技術串聯而成的設備，除使用高質傳旋轉填充床 (rotating packed bed)，並加入 King Air 技術，以應用混合流體動力學原理，具高除水、除塵與除油率。Air-Win 設備機型氣體處理量使用建議，請參閱表 3，Air-Win III 實廠設備則如圖 2 所示。

三、結果與討論

(一) 氮氧化物去除效率

本研究探討當鋰電池黑粉添加 UW-530 鋰鈷剝除劑與稀硝酸進行化學反應時，氮氧化物生成濃度趨勢，以即加入空污防治設備 Air-Win 處理下氮氧化物去除變化，

其氮氧化物生成平均濃度為 1,800 ppm。另以未添加 UW-530 鋰鈷剝除劑作為浸漬劑實驗，其產生氮氧化物濃度達 20,000 ppm 以上；相較有無添加 UW-530 鋰鈷剝除劑作為廢鋰電池浸漬劑的情況，其氮氧化物生成平均濃度相差至少高出 1.4 倍以上。

本製程中所產生之氮氧化物再經 Air-Win 處理下，平均尾氣濃度可降至 200 ppm 以下，氮氧化物去除率為 87%，氮氧化物原始產生濃度與 Air-Win 去除後之氮氧化物濃度變化如圖 3 所示。

(二) 二氧化碳捕捉效率

目前二氧化碳排放大户以化石燃料業為大宗，然而二氧化碳的生成通常為經燃燒後所排放，氣體濃

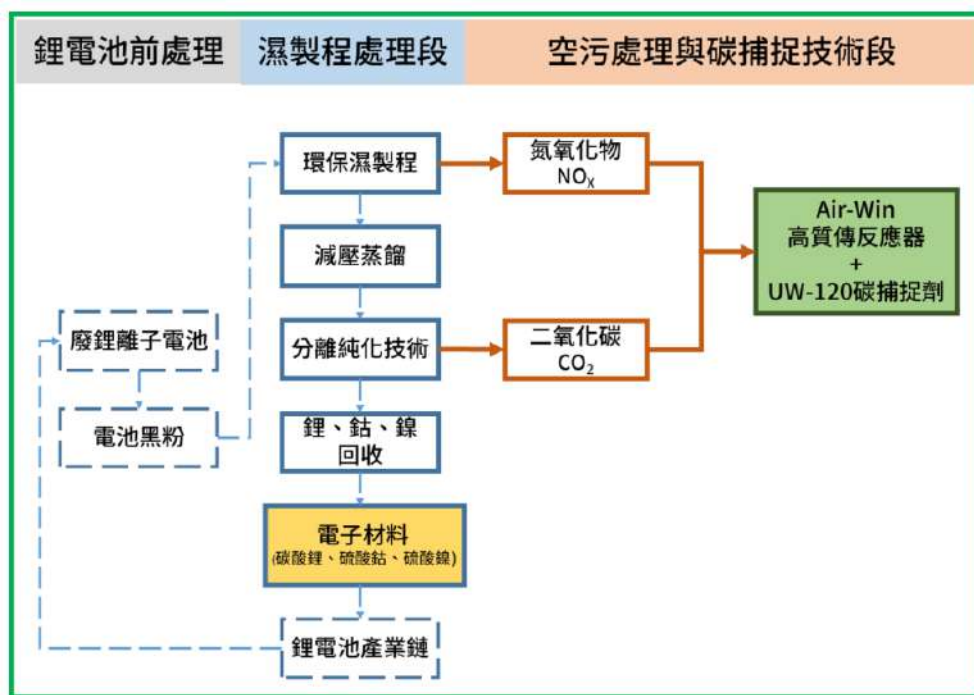


圖 1 鋰電池回收流程

度約介於為 3%~18%，故以此數據做為本研究參考標準。因此，本研究採用 10%、15%、30% 之二氧化碳濃度，以 Air-Win 與 UW-120 碳捕捉劑測試二氧化碳去除實驗，經實測在 10% 二氧化碳濃度經本設備處理後，尾氣平均濃度為 0.066%，捕捉率達 99.3%；15% 二氧化碳經

處理後，尾氣平均濃度為 0.194%，捕捉率達 98.7%；30% 二氧化碳經處理後，尾氣平均濃度為 0.819%，捕捉率達 97.3%。

整體而言，在二氧化碳濃度 10%~30% 情況下，經 Air-Win 進行處理後整體捕捉率達 97%~99% 以上，詳細碳捕捉效率請參閱表 4 所

示；Air-Win 在不同二氧化碳濃度情境下皆在 1 分鐘內即可有效去除，Air-Win 二氧化碳捕捉氣體濃度變化如圖 4 所示。

四、結論

鋰電池回收精煉過程中所產生的空污氣體氮氧化物與二氧化碳進行去除，結果顯示 Air-Win 在氮氧化物去除率達 87%，且平均濃度可降至 200 ppm 以下，達到環境部氮氧化物在非燃燒方式中排放標準之 500 ppm 以下；且在二氧化碳捕捉測試效果中在 10%~30% 二氧化碳濃度捕捉率分別為 97%~99%，符合綠色製程之「安全」、「低碳」、「環保」三大關鍵。

表 3 Air-Win 設備機型

處理量 設備機型	風量 (CMH)	備註
Air-Win I	1.8	實驗機
Air-Win II	300	
Air-Win III	500	



圖 2 Air-Win III 實廠應用照

五、參考資料

- [1] Net Zero by 2050, International Energy Agency, 2021.
- [2] Assessment Report 6, IPCC, 2021.
- [3] Net Zero Stocktake, Net Zero Tracker, 2023
- [4] 台灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明·國家發展委員會·2022.
- [5] 聯合國氣候變化綱要公約第 28 次締約方會議 (COP28), 2023
- [6] World Energy Outlooks, International Energy Agency, 2023.
- [7] EU Battery Regulation, 2023
- [8] 陳重修·2000·二氧化碳與二氧化硫整合性控制技術之研究

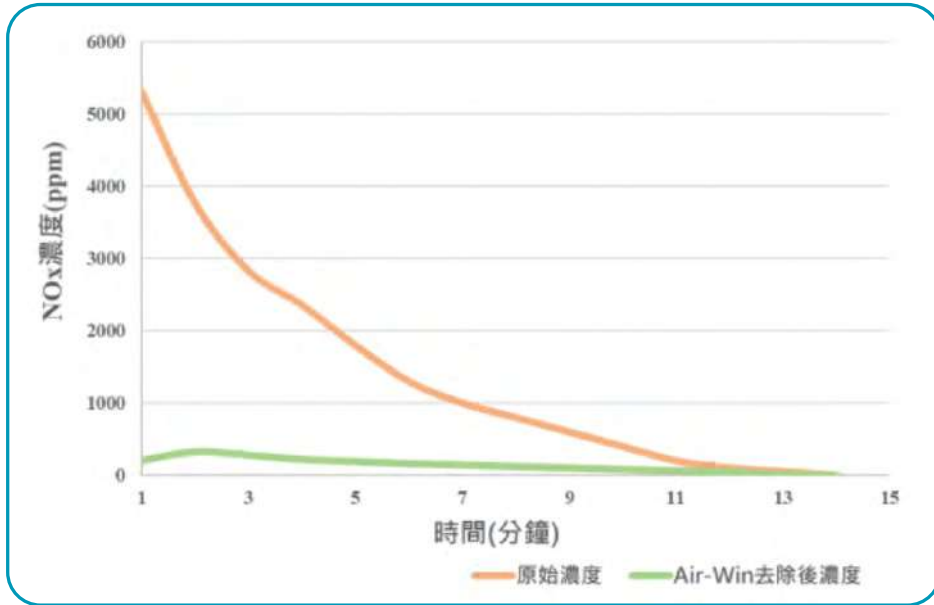


圖 3 氮氧化物濃度變化

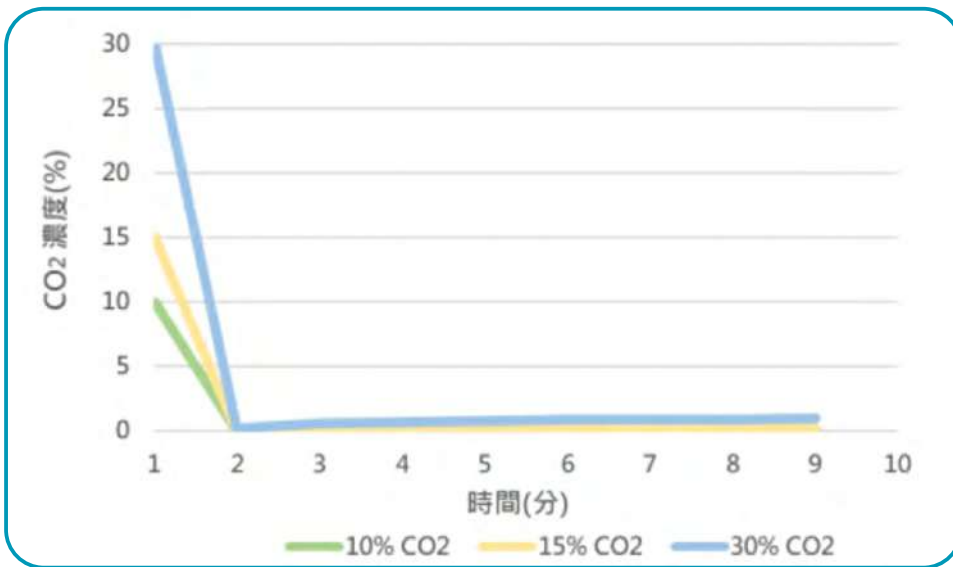


圖 4 Air-Win 去除二氧化碳結果

表 4 Air-Win 二氧化碳去除效率

二氧化碳濃度 (%)	去除效率 (%)
10	99.3
15	98.7
30	97.3