

# 廢車用鋰電池之回收處理

李清華 大葉大學環境工程學系 教授

胡竣瑋 大葉大學環境工程學系 學生

李連耀 大葉大學環境工程學系 學生

鍾鈺堂 大葉大學環境工程學系 學生

張郁奇 大葉大學環境工程學系 學生

## 摘要

推行電動車已成為世界各國解決空污與節能減碳之重要手段之一，然而隨著電動車快速普及，未來勢必會衍生大量的廢電動車電池，故電動車電池的回收處理必將成為全球須面對的一大課題。目前電動車所使用的電池中，主要是以鋰電池為主，主流商用汽車鋰電池根據正極材料的不同，可分為以磷酸鐵鋰為主的鋰鐵電池與以鎳鈷錳酸鋰為主的三元鋰電池兩大類。根據本研究之分析結果顯示，廢鋰鐵電池中正極材料之鋰、鋁、鐵金屬全含量分別為 22,175mg/kg、98,666mg/kg、191,000mg/kg，而負極材料之銅金屬全含量為 102,500mg/kg。另廢三元鋰電池中正極之鋰、鋁、鈷、鎳、錳金屬全含量分別為 42,333 mg/kg、107,166 mg/kg、203,691 mg/kg、250,025 mg/kg、134,216 mg/kg，而負極銅金屬全含量則為 264,666(mg/kg)，由上述分析結果可知，廢車用鋰鐵電池與廢三元鋰電池中確實含有大量之有價金屬，甚具回收價值。目前國外常見之廢車用鋰電池處理方法可分為濕法冶金與火法冶金兩大類，以經濟規模而言，濕法冶金技術可能較適合我國用來回收處理廢車用鋰電池。

## 一、前言

由於傳統車輛使用汽油為動力來源，除了消耗天然石油外，且排放空氣汙染物質，汙染空氣影響民眾健康，再加上近年來全球氣候變遷惡化及能資源短缺，因此各國紛紛針對電動車產業推出相關輔導政策，發展以電池為動力來源之純電力移動交通工具，以響應環保節能潮流，減少環境衝擊。2017 年全球電動車銷量超過 120 萬輛，較 2016 年大幅成長 58%[1]，另預估 2020 年全球電動車市占率為 5%，而 2023 年將成長至 8~9%[2]。另

世界各國為了降低使用汽油車之環境危害衝擊，紛紛規畫預計禁售汽油車，如法國、英國、台灣預計 2040 年禁售燃油汽車[3]，可見未來電動車的銷量會一路快速成長，而電動車在使用一段時間後，其電池的蓄電力將會下降，無法再為車輛提供足夠的能量，需進行汰換，隨著電動車快速普及，未來勢必會衍生大量的廢電動車電池，故電動車電池的回收與再利用必將成為全球須面對的一大課題。

目前電動車所使用的電池中，主要是以鋰電池為主，主流商用汽車鋰電池根據正極材料的不同，可分為鋰鐵電池與三元鋰電池兩大類，其中鋰鐵電池的正極材料為磷酸鐵鋰，而三元鋰電池的正極成分則為鎳鈷錳酸鋰[4]。鋰鐵電池原料價格低、工作電壓適中(3.2V)、具有可以和一般穩壓電源媲美的高平穩電壓、充放電平台特性好、理論電容量大(170mAh/g)、高放電功率、可快速充電、循環壽命長，高溫與高熱穩定性及安全性遠優於鎳鎘、鋰鈷、鋰錳、鋰鎳等種類電池，且鋰鐵電池同時擁有鋰鈷、鋰鎳、鋰錳電池的主要優點、但不含鈷等貴重元素，價格較低，而且儲能特性強，環境危害性低，這些特性使鋰鐵電池受到全球汽車和電動手工具大廠的重視，因此鋰鐵電池成為目前各式電動移動車輛主要電源供應來源之一[5]。另三元鋰電池由於具有電壓平台高、能量密度高、電化學穩定、循環性能好等特性，在提升新能源汽車的續航里程，減輕用戶續航里程憂慮方面具明顯優勢，同時還具有放電電壓高，輸出功率比較大，低溫性能好，可適應全天候氣溫等優點，因此亦為各式電動移動車輛主要電源供應來源之一[6]，根據文獻[7]之報導可知未來三元鋰電池之市佔比例會遠大於鋰鐵電池。

另鋰電池除了作為電動汽機車之電源供應主要元件外，鋰電池亦可取代傳統汽機車中所使用之鉛酸蓄電池，由於鋰電池在體積和重量、放電功率、能料效率、循環壽命、使用壽命及安全性等，皆優於鉛酸電池，因此預期未來當鋰電池隻售價大幅降低後，鋰電池將可全部或大幅取代傳統汽油車用鉛酸電池。

因電動車未來成長趨勢可觀，故亦會產生大量車用廢鋰電池，預估 2030 年將產生 1,100 萬噸車用廢棄鋰電池[8]。這些為數龐大之廢棄鋰電

池如未妥善處置，將會造成環境極大衝擊，另廢棄鋰電池中亦含有寶貴金屬資源，如鋰鐵電池中之正極材料含有鋰、鋁、鐵金屬資源，而負極材料含有銅金屬資源，另三元鋰電池中之正極材料含有鋰、鋁、鈷、鎳、錳金屬資源，而負極材料亦含有銅金屬資源，由上可知無論是廢棄鋰鐵電池或廢三元鋰電池皆甚具回收價值。

## 二、 廢車用鋰電池成分分析

本研究為瞭解廢車用鋰鐵電池與三元鋰電池中之外觀形式、正、負極金屬含量、三成分(水分、灰分、可燃分)，乃蒐集廢車用鋰鐵電池及三元鋰電池之正、負極材料，來進行相關組成分析。圖 1 為本研究拆解廢三元系鋰電池(18650)內部構造之情形、圖 2 與圖 3 分別為本研究先期拆解廢三元系鋰電池(18650)所得之正極與負極之外觀。

表 1 為本研究分析所蒐集廢鋰鐵電池中正、負極材料(國內廠家提供)之鋰、鋁、鐵、銅全含量分析結果，由表 1 可知正極材料之鋰、鋁、鐵金屬全含量分別為 22,175mg/kg、98,666mg/kg、191,000mg/kg，而負極材料之銅金屬全含量為 102,500mg/kg。另表 2 為本研究收集廢鋰鐵電池含正、負極內含物之三成份分析結果，由表 2 得知其水分、灰份、可燃份分別為 11.9%、64.68%、23.42%。另本研究拆解廢三元鋰電池(18650)之組成重量分析結果如表 3 所示，由表 3 得知，其金屬外殼、正極、負極、隔離膜之重量百分比分別為 11.5%、23.9%、18.2%、32.2%。另本研究也分析此廢三元鋰電池(18650) (國內廠家提供)中正、負極金屬之全含量(mg/kg)數據如表 4 所示，其正極之鋰、鋁、鈷、鎳、錳金屬全含量分別為 42,333 mg/kg、107,166 mg/kg、203,691 mg/kg、250,025 mg/kg、134,216 mg/kg，而負極銅金屬全含量則為 264,666(mg/kg)。由上述之實測結果可知，廢車用鋰鐵電池與廢三元鋰電池中確實含有大量之有價金屬，極具回收再利用價值。



圖 1.本研究拆解廢三元系鋰電池(18650)內部構造之情形



圖 2.本研究拆解廢三元鋰電池(18650)所得之正極外觀



圖 3.本研究拆解廢三元鋰電池(18650)所得之負極外觀

表 1.本研究收集之鋰鐵電池正、負極材料全含量分析結果

材料種類	金屬全含量			
	Li (mg/kg)	Al (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)
正極	22,175	98,666	191,000	-
負極	-	-	-	102,500

表 2.本研究收集鋰鐵電池含正、負極內含物之三成份分析結果

樣品種類	水分(%)	灰分(%)	可燃分(%)
廢鋰鐵電池內含物	11.90	64.68	23.42

表 3.本研究拆解廢三元鋰電池(18650)之組成重量分析結果

組成種類	重量(g)	重量百分比(%)
金屬外殼	4.712	11.5
正極	9.780	23.9
負極	7.445	18.2
隔離膜	13.172	32.2

表 4.本研究分析廢三元鋰電池(18650)中正、負極金屬之全含量(mg/kg)

材料種類	金屬全含量					
	Li (mg/kg)	Al (mg/kg)	Co (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
正極	42,333	107,166	203,691	250,025	134,216	-
負極	-	-	-	-	-	264,666

### 三、 國外常見之廢車用鋰電池處理方法

目前國外常見之車用廢鋰電池處理方法可分為濕法冶金與火法冶金 [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15] 兩大類，國外常見之車用廢鋰電池處理技術流程如圖 4 [13] 所示，其中濕法冶金係首先將廢鋰電池進行拆解與分離，以獲得電池外殼與隔離膜、陽極與陰極三大部份，所拆解陽極含有銅質薄膜與碳，電池外殼與隔離膜可再進行回收或其他適當的處理，而陰極則可經由鹼浸漬或超音波之預處理後，以獲得鋁質薄膜，而經預處理除鋁後之陰極殘留物，再經過浸漬溶蝕、離子交換、晶析或電解等回收純化步驟，以獲得 Li, Co, Ni, Mn, Fe 金屬之氧化物或氫氧化物產品。而火法冶煉則是將車用廢鋰電池送冶煉廠處理後，以獲得爐渣與含金屬之合金錠，經冶煉廠回收所獲得之合金錠，可送交濕法冶金廠，進行浸漬與分離回收純化，以獲得含 Li, Co, Ni, Mn, Fe 金屬之氧化物或氫氧化物產品 [13]。另美國 Toxco Inc 公司之廢鋰電池回收處理的流程如圖 5 [16] 所示，由圖 5 得知 Toxco Inc 公司之廢鋰電池處理方式如下：將回收的廢鋰電池集中保管於水泥製之地下儲藏室，對於大型、具高反應性的電池，需先去除其殘留的電量，必要時使用 Toxco 專利之極低溫程序，亦即將廢鋰電池冷凍於 -325°F (約 -198°C) 的極低溫，可以有效降低其活性。隨後進行切斷、破碎後，一面噴霧灑水、一面攪拌，可分離出塑膠與金屬混合物的外殼，與含銅、鈷、鋁等廢料，以及泥漿。其中含金屬的外殼與銅、鈷、鋁等廢料可轉賣予金屬回收冶煉廠。而泥漿則放入壓濾機中。泥漿經壓濾程序後，可獲得主成份為鈷與碳的濾餅，可轉售予金屬回收冶煉廠，另含鋰的濾液經碳酸化成為碳酸鋰再出售，而有

害電解液需經中和，將其轉化為穩定的化合物。最後塑膠類或其他材料，則進行適當的回收或廢棄[16]。

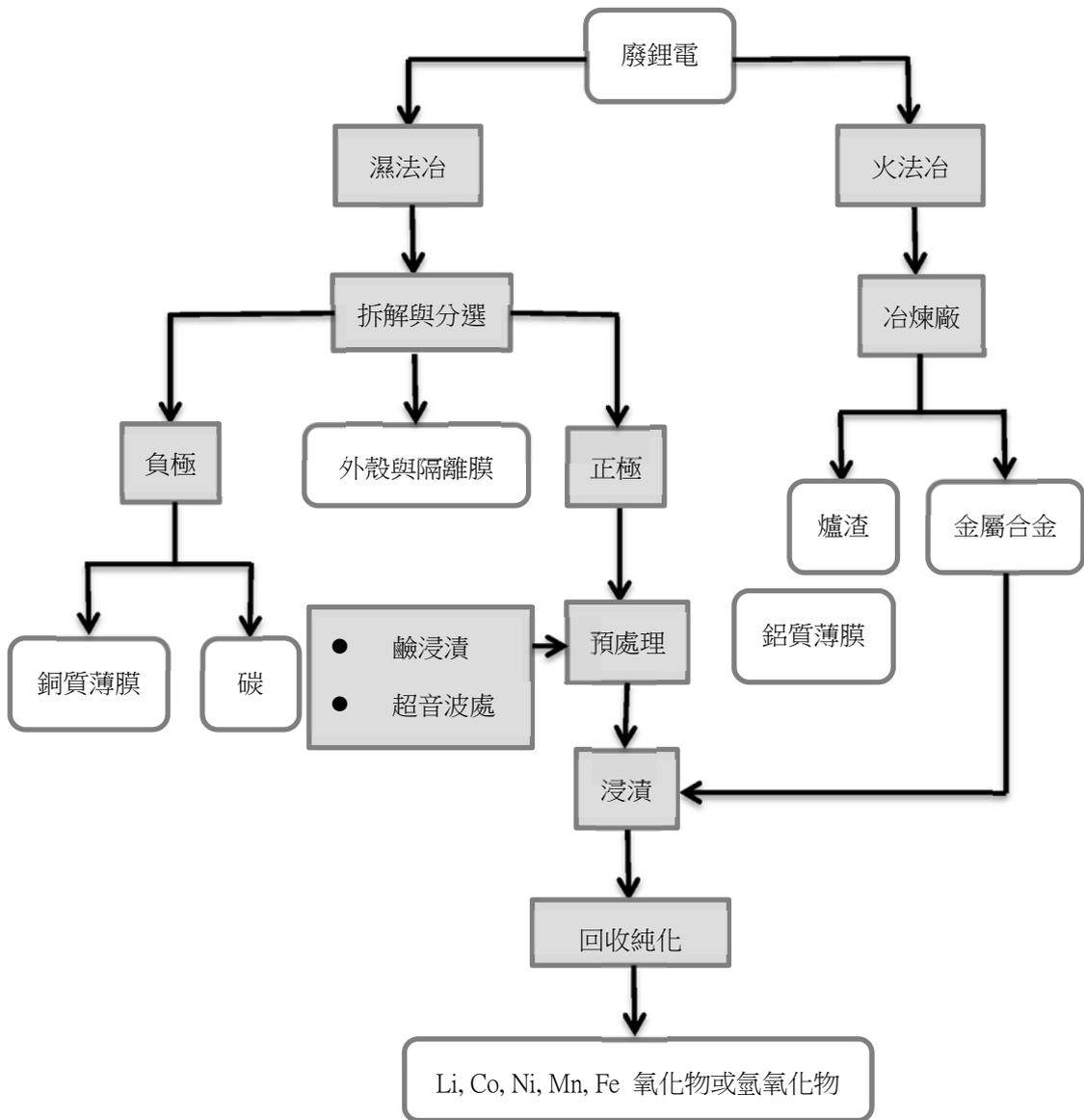


圖 4.國外常見之車用廢鋰電池處理方法[13]

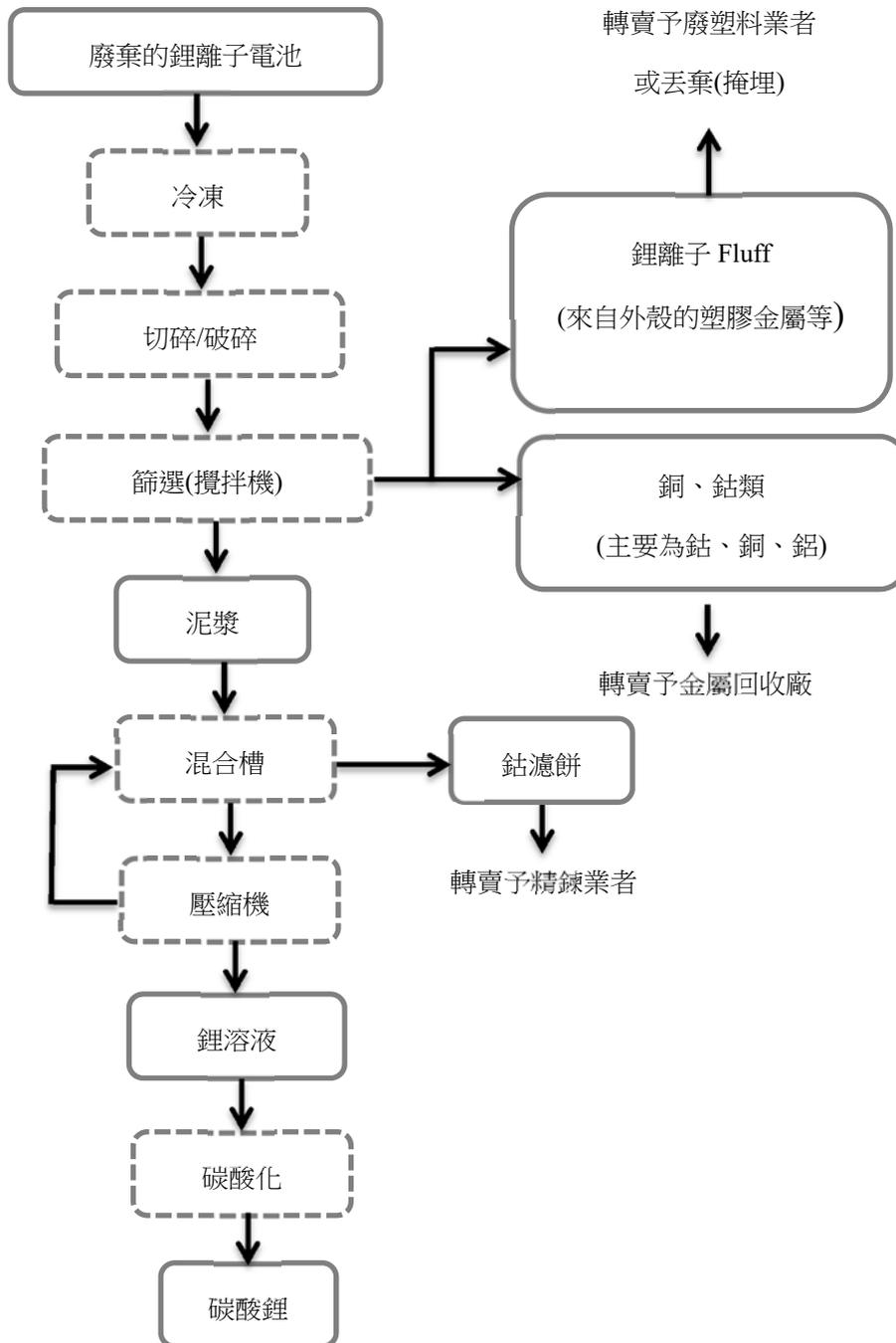


圖 5.美國 ToxcoInc 公司之廢鋰電池回收處理流程[16]

#### 四、 國內廢車用鋰電池處理現況

由於火法冶金技術，設置與操作成本高，通常需要較大之市場規模，而台灣廢棄車用鋰電池產生量較小，故以經濟規模而言，濕法冶金技術可能較適合我國用來回收處理廢車用鋰電池。目前國內有兩家專業之廢鋰電池回收處理廠，兩家車用廢鋰電池回收廠之處理方法大同小異，本研究綜合整理國內廢鋰電池回收處理流程如圖 6 所示，國內廠家首先將收集之車用廢鋰電池組進行拆解，以獲得廢鋰電池單體與金屬、塑料外殼和電路板，其中拆解所得之金屬、塑料外殼與電路板可售予他廠進行回收再利用。另拆解所獲得之廢鋰電池單體則浸泡於氯化鈉溶液中進行放電，待放電完畢後再進行乾燥與放電檢查，確保完全放電後，將進行破碎與篩分的步驟，經篩分所得之篩上物，主要為鐵、鋁質外殼，可售予其他金屬回收廠回收，而篩下物則為含有有價金屬之正負極混合材料，目前國內廠家可選擇將其送往國外回收處理、或送國內他廠回收處理、或者是自行研發廠內回收處理。

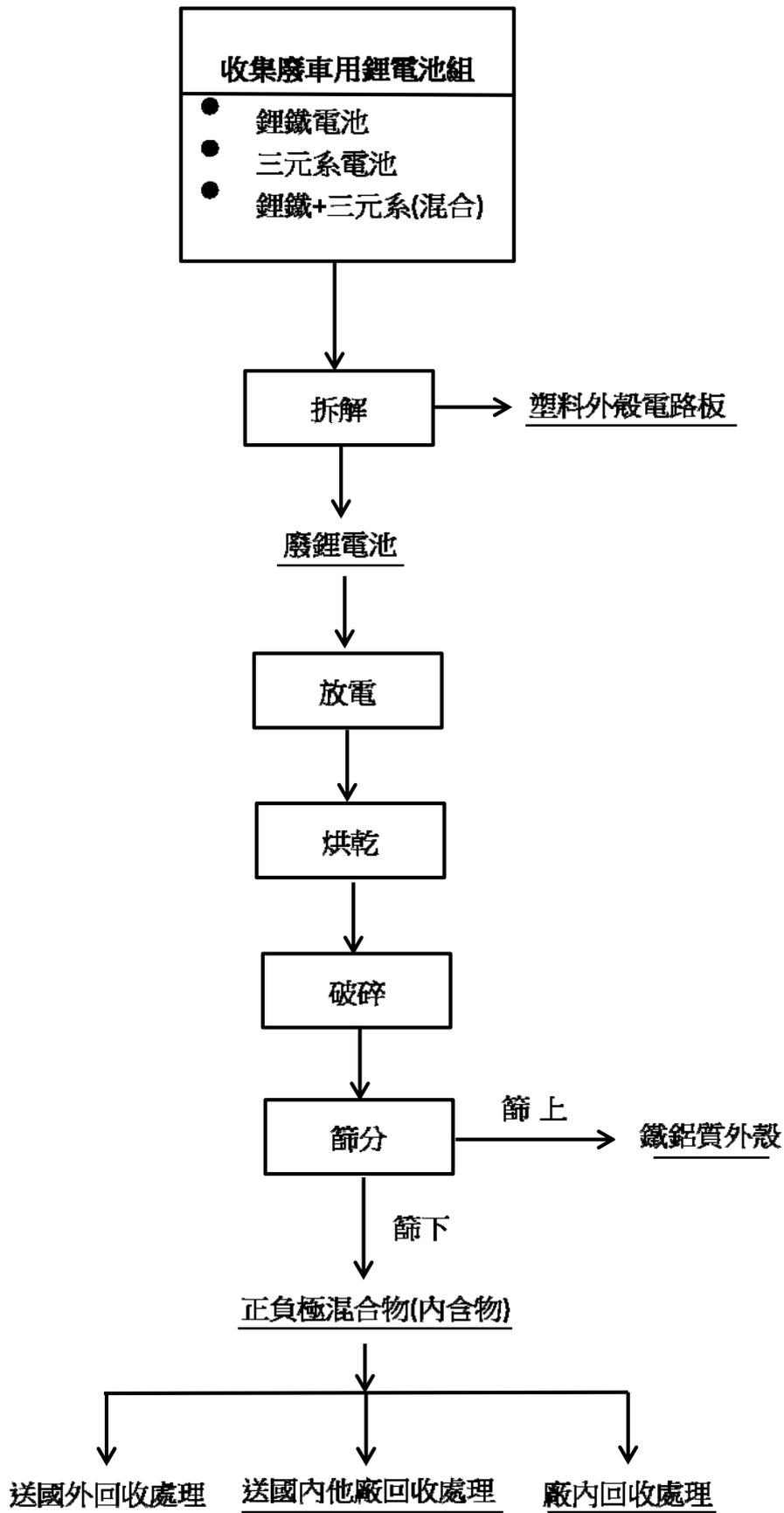


圖 6.目前國內之廢車用鋰電池處理流程

## 五、 結論

目前電動車使用之主流電池以鋰鐵電池與三元系鋰電池為主，根據本研究之成分分析結果顯示，廢鋰鐵電池正極材料中所含之鋰、鋁、鐵金屬全含量分別為 22,175mg/kg、98,666mg/kg、191,000mg/kg，而負極材料之銅金屬全含量為 102,500mg/kg，另廢三元鋰電池正極中所含之鋰、鋁、鈷、鎳、錳金屬全含量分別為 42,333 mg/kg、107,166 mg/kg、203,691 mg/kg、250,025 mg/kg、134,216 mg/kg，而負極所含銅金屬之全含量則為 264,666(mg/kg)，因此廢車用鋰鐵電池與廢三元鋰電池中確實含有大量之有價金屬，甚具回收價值。目前國外常見之車用廢鋰電池處理方法可分為濕法冶金與火法冶金兩大類，由於而台灣廢棄車用鋰電池產生量較小，故以經濟規模而言，濕法冶金技術可能較適合我國用來回收處理廢車用鋰電池。目前國內廢鋰電池回收處理廠，主要是利用拆解、放電、破碎、篩分等物理技術，來獲得金屬、塑料外殼、鐵鋁質外殼與電路板，以售予他廠進行回收再利用，而所獲得含有有價金屬之正負極混合材料，則可選擇將其送往國外回收處理、或送國內他廠回收處理、或者是自行研發廠內回收處理。

## 參考文獻:

1. 張凱喬，2017 年全球前五大電動車銷售市場解析，  
[http://www.teema.org.tw/download/doc/2017%E5%B9%B4%E5%85%A8%E7%90%83%E5%89%8D%E4%BA%94%E5%A4%A7%E9%9B%BB%E5%8B%95%E8%BB%8A%E9%8A%B7%E5%94%AE%E5%B8%82%E5%A0%B4%E8%A7%A3%E6%9E%90\[20180302\].pdf](http://www.teema.org.tw/download/doc/2017%E5%B9%B4%E5%85%A8%E7%90%83%E5%89%8D%E4%BA%94%E5%A4%A7%E9%9B%BB%E5%8B%95%E8%BB%8A%E9%8A%B7%E5%94%AE%E5%B8%82%E5%A0%B4%E8%A7%A3%E6%9E%90[20180302].pdf)，2018 年 9 月 8 日
2. Money DJ，科技新報，  
<https://technews.tw/2018/05/31/iea-electric-car-increase-2030/>，2018 年 9 月 8 日
3. Advanced Lithium-ion Battery Recycling，  
<https://www.li-cycle.com/blog>, The world of lithium-ion batteries and battery recycling，2018 年 9 月 6 日
4. 鋰系電池說明與應用，  
[https://www.web66.com.tw/\\_file/C3/32720/Dfile/1439950017659file.pdf?t=2018032509](https://www.web66.com.tw/_file/C3/32720/Dfile/1439950017659file.pdf?t=2018032509)，2018 年 9 月 8 日
5. 磷酸鐵鋰電池的七大優勢及五大缺點詳解，  
<https://read01.com/zh-tw/PMaMOQG.html#.W5M1vc4zbhc>，2018 年 9 月 6 日
6. 鄧道正，前四個月出貨 771.51Mwh，為什麼三元鋰電池正在成為主流？，<https://kknews.cc/zh-tw/finance/y6qonb.html>，2018 年 9 月 8 日
7. 動力鋰電池回收行業深度研究報告，  
<https://hk.saowen.com/a/0019626dc417edd7ea36947e5d5baf6fb1eea81fbfd5eebe62370aa412c5f659>，2018 年 9 月 8 日
8. EnergyTrend，科技新報，  
<https://technews.tw/2018/07/04/the-rise-of-electric-cars-could-leave-us-with-a-big-battery-waste-problem/>，2018 年 9 月 8 日

9. Yang, L., Xi, G., Xi, Y., 2015. Recovery of Co, Mn, Ni, and Li from spent lithium ion batteries for the preparation of  $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z\text{O}_2$  cathode materials. *Ceram. Int.* 41(9), 11498–11503.
10. Li, L., et al., 2017. Sustainable recovery of cathode materials from spent lithium-ion batteries using lactic acid leaching system. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 5 (6), 5224–5233.
11. Meshram, P., Pandey, B.D., Mankhand, T.R., 2015. Recovery of valuable metals from cathodic active material of spent lithium ion batteries: leaching and kinetic aspects. *Waste Manage.* 45, 306–313.
12. Xiao, J., Li, J., Xu, Z., 2017. Recycling metals from lithium ion battery by mechanical separation and vacuum metallurgy. *J. Hazard. Mater.* 338, 124–131.
13. Liu Yun, Duy Linh, Li Shui, Xiongbin Peng, Akhil Garg, My Loan Phung LE, Saeed Asghari, Jayne Sandoval, Metallurgical and mechanical methods for recycling of lithium-ion battery pack for electric vehicles, 136 (2018) 198–208
14. Rabeeh Golmohammadzadeh, Fariborz Faraji, Fereshteh Rashchi, Recovery of lithium and cobalt from spent lithium ion batteries (LIBs) using organic acids as leaching reagents: A review, 136 (2018) 418–435
15. Ghassan Zubi, Rodolfo Dufo-López, Monica Carvalho, Guzay Pasaoglu, The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives, 89 (2018) 292–308
16. 李守仁、白立文，車用鋰離子電池的回收技術(下)，材料世界網，  
<https://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=23863>，2018年9月8日