

## 廢棄鋰離子二次電池有價金屬回收

方鴻源<sup>1</sup>、許愷中<sup>2</sup>、陳怡茜<sup>2</sup>、呂孟珊<sup>2</sup>

1.國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系教授

2.國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系專題生

**關鍵詞：**鋰離子二次電池、濕式冶煉法、電解回收

### 摘要

隨著鋰離子二次電池市場需求量的成長，使得其丟棄量隨之增加，其中所帶來的危害也相對增加。本研究主要是針對廢棄鋰離子二次電池之物理構造探討及對所含金屬物質，利用濕式冶煉法之技術，來進行有價金屬回收程序之開發，避免其污染環境且達到廢棄物質源再生利用之目的，作為環保主管機關及回收相關民營企業之參考依據。並比較不同廠牌之鋰離子二次電池回收之效率。

電池的基本組成百分比為集電柄約佔總重 1%、陽極佔 23%、陰極佔 34%、隔離膜佔 2%、電解液佔 11%、外殼（不銹鋼）佔 29%；另外陽極中鋁佔 14.2%、鈷佔 40.9%、鎳佔 5.4%、鋰佔 0.5%。陰極中銅佔 36.3%、鋰佔 0.2%，其餘則為碳材或其他金屬所構成。浸漬結果發現，陽極利用 4N 鹽酸，固液比為 3g/100ml，溫度 70°C 下浸出 2 小時；陰極利用 4N 硝酸，固液比為 3g/100ml，溫度 90°C 下浸出 2 小時，則可得各金屬最佳浸出效率。陽極浸出液再以 NaOH 調整 pH 值為 8 後過濾取出水相，加入飽和之碳酸鈉溶液以沉澱法回收水相中的鋰離子，可回收佔原正極鋰含量 91.7% 的碳酸鋰粉末；而經過濾出含鈷、鋁、鎳的沉澱膠凝物，在加入硫酸與氨水並調整 pH 值為 8 後，利用電解方式使鈷金屬沉積在陰極不鏽鋼片上，可得到佔原陽極鈷含量的 75.0%，純度為 94.0%；陰極方面，以 0.5A 的電流常溫下電解 8 小時後，即可得到佔原陰極銅含量的 73.2%，純度為 99.8%。另外在不同廠牌的廢棄鋰離子電池回收方面，不同的材料會影響其鈷的效率及純度，但相差不大。

### 一、前言

近幾年來隨著科技的蓬勃發展，電子資訊與無線通訊的技術不斷進步，使得 3 C（通訊、資訊、消費）產品的使用量也快速成長，如行動電話、筆記型電腦、PDA 及數位相機等，其中又因彩色行動電話市場的快速成長，使得其持有率成長最多（根據國際電信聯盟統計，2002 年台灣地區行動電話持有率世界第一，其普及率為 108%），而由於這類電子元件的組合現在極為強調「輕、薄、短、小」的概念，作為發展方向，故必須利用高性能小型二次電池作為其能量來源，現今在種類繁多的二次電源中，其又以具有重量輕、高電位、儲存壽命長，低自我放電及高能量密度等優點的鋰離子二次電池（Lithium-ion secondary battery）使用最為廣泛。估

計全球小型鋰二次電池需求量從 1998 年的 20.2 億顆急速成長至 2005 年的 61 億顆以上；同時我國在 2001 年對鋰離子二次電池的需求量更到達 1.95 億顆，已逐漸取代鎳鎘、鎳氫等電池，成為未來不可或缺的能量來源。

隨著鋰離子二次電池市場需求量的成長，使得廢棄鋰離子二次電池的丟棄量隨之增加，其中所帶來的危害也相對增加。由於這些廢棄鋰離子二次電池有可能在反覆充放電的過程中，因電沉積與電溶解造成鋰金屬的析出，刺穿隔離膜而造成短路，且一旦與水或空氣中的濕氣接觸時可能會引起火災，甚至產生爆炸之可能；另外鋰離子二次電池中含有各種金屬（鋰、鈷、鎳、銅、錳.....等），若隨意丟棄沒有妥善的處理，則會對環境造成嚴重的污染並

造成危害；且這些金屬亦為有價金屬，若無法被回收再利用，在資源永續發展的觀點下，對於有限的地球礦產資源亦屬可惜。

綜合上述，本研究將進行對廢棄鋰離子二次電池之資源再生技術之研究開發，並研擬一最佳之廢棄鋰離子二次電池有價金屬資源再生處理流程。

## 二、實驗方法

### 1. 樣品來源

由於各家廠商所生產之鋰離子二次電池，成分含量皆不盡相同，為了使樣品一致性及提高實驗準確率，故本實驗收集使用同一廠牌行號之廢棄鋰離子二次電池（長 3cm、寬 5cm、高 1cm），作為實驗之樣品。

### 2. 沉澱回收方法

以飽和碳酸鈉溶液當作陽極浸出液之沉澱劑，加入中和反應後之濾液，探討沉澱溫度及液液比對有價金屬回收率之影響。沉澱後之濾液經過過濾後，以原子吸收光譜儀分析碳酸鋰之鋰含量及其純度。

### 3. 置換回收方法

以鋁粉為置換劑，加入陽極浸出液探討在不同添加量及 pH 下，對電池中之有價金屬之置換效果。置換後之浸出液經過過濾後，以原子吸收光譜儀分析鈷之含量及純度。

### 4. 電解回收方法

以石墨片(40mm × 100mm × 2.0mm)為陽極，不銹鋼片(40mm × 100mm × 2.0mm)為陰極，控制電源供應器改變電流密度，探討不同電流及不同溫度對鈷、銅回收的最佳效率。當電流通入後，鈷、銅離子會吸附於陰極板上。並用原子吸收光譜儀分析電解前後電解液含鈷、銅量，探討電解回收與時間之關係。

## 三、研究方法

本研究先將廢棄鋰離子二次電池連接燈泡（1.6V 及 3.6V）及分別浸泡於不同濃度之氯化鎂（ $MgCl_2$ ）、氯化鈉（ $NaCl$ ）及氯化鉀（ $KCl$ ）溶液中來加以放電，以探討其對於放電效率之影響。再將電池以人工的方式切割，使陰、陽極與外封裝互相分離。接著採用濕式冶煉法中之浸出、置換、沉澱、電解等方法回收電池內目標有價金屬（鋰、

鈷、銅等）。其中在浸出使用硝酸、硫酸及鹽酸等溶劑，探討溶劑種類、溶劑濃度、浸出溫度、浸出時間等操作條件對鋰、鈷、銅等之浸出效果；在置換法方面，以鋁粉為置換劑，探討置換劑添加量及不同 pH 下對置換有價金屬之情形；而在沉澱法方面，加入飽和的碳酸鈉（ $Na_2CO_3$ ）溶液當作沉澱劑，來探討沉澱溫度、液液比等對沉澱有價金屬之影響；最後在電解方面，使用不銹鋼為陽極，石墨為陰極，探討利用不同電流及溫度對電解有價金屬效率之影響。最後再分別回收不同廠牌的廢棄鋰離子二次電池（Nokia、Motorola 及混合等三種），來比較其回收效率。

## 四、實驗結果與討論

### 1. 放電

#### (1). 濕式放電

不論電池置於何種濃度之氯化鎂（ $MgCl_2$ ）、氯化鈉（ $NaCl$ ）及氯化鉀（ $KCl$ ）溶液中，都會使電池表面產生變化，使得電池陰極端之導電柄受到腐蝕而分解消失，造成內部有價金屬的流失，影響後面實驗的準確性；更因為導電柄的消失，無法有效的利用三用電表來測其放電效率，故此種方法較不合適。

#### (2). 乾式放電

以 1.6V 的電池進行放電，在數分鐘過後發現燈泡因電池所提供的電壓過高，導致毀壞而無法繼續使用。以 3.6V 的燈泡進行放電實驗，經過約 12 小時，電池內部仍殘存有 1.35V 的電量，僅消耗掉 60.8% 的電量。

### 2. 物理組成

經放電後的電池，以人工的方式拆解。其中集電柄約佔總重 1%、陽極佔 23%、陰極佔 34%、隔離膜佔 2%、電解液佔 11%、外殼（不銹鋼）佔 29%。電解液為有機溶劑，在拆解的過程中會揮發到空氣中，且收集不易，故本實驗並沒有對此部分加以分析。將經拆解後的電池陰、陽極置於通風處加以乾燥，來去除表面所沾附之電解液，最後再將電極剪切使後續實驗樣品均一。

### 3. 全量分析

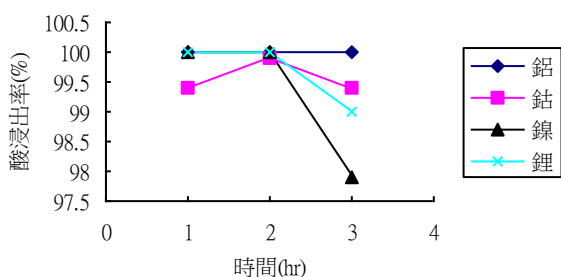
分別對陰、陽電極進行全量分析，結果 1g 陽極中鋁佔 14.2%、鈷佔 40.9%、鎳佔 5.4%、鋰佔

0.5%。1g 陰極中銅佔 36.3%、鋰佔 0.2%。其餘的物質判斷為附著在陰、陽極上的碳材。

#### 4. 陽極

##### (1). 酸浸出

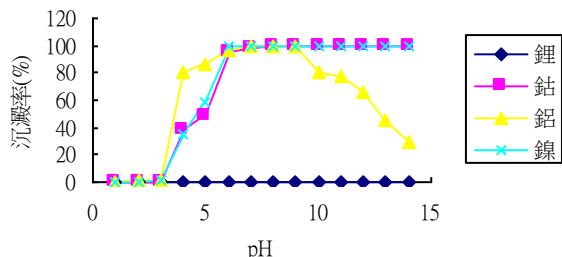
綜合不同實驗條件（溶劑種類、溶劑濃度、浸出溫度、浸出時間）之各項浸出結果，其陽極最佳浸出操作條件為 4.0N 鹽酸，固液比為 3g/100ml，溫度 70°C 下浸出 2 小時，則可得各金屬浸出效率鋁為 100.0%、鈷為 99.9%、鎳為 100.0%、鋰為 100.0%，而本實驗也將以此最佳浸出液作為後續純化回收之浸出液樣品。



圖一 陽極最佳浸出率

##### (2). 中和反應

當浸出液 pH 值  $\geq 4$  時，鋁、鈷及鎳都有明顯的沉澱，其原因為當 pH 值  $\geq 4$  時，溶液中鋁離子會和水中氫氧根離子形成氫氧化鋁膠凝物沉澱，且此氫氧化鋁膠凝物會產生共沉的現象，一起將鈷及鎳一起帶下沉澱，而此現象在 pH 值 8 及 9 時特別明顯；其效率在 pH 值  $\geq 8$  時鈷及鎳沉澱率皆為 100%，此時浸出液中僅剩下鋰離子存在於液中。

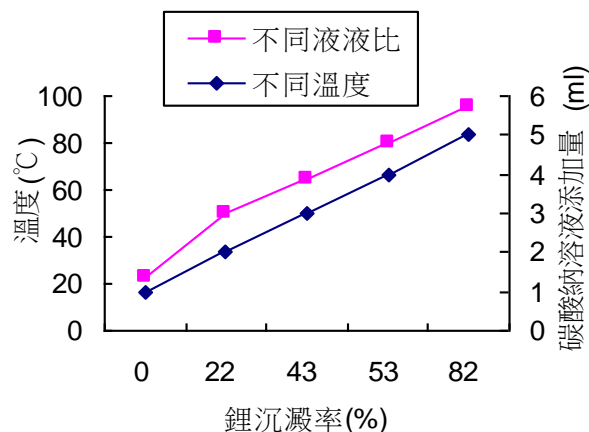


圖二 不同 pH 值各金屬離子沉澱率

##### (3). 鋰沉澱反應

分別以飽和碳酸鈉作為沉澱劑，在不同溫度、pH 值 8、液液比 1:1 時常溫下反應 1

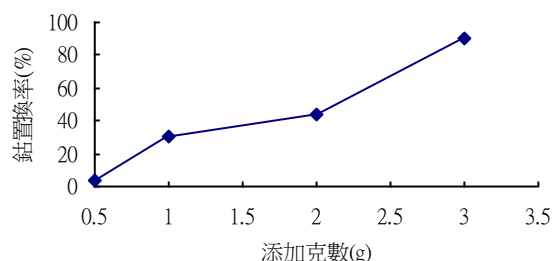
小時以及在不同液液比、pH 值 8、95°C、常溫下反應 1 小時後直接過濾（因溫度降低會有大量的物質析出，可能為氯化鈉，並非碳酸鋰），從結果中得知當溫度上升及添加量增加其沉澱率亦隨之上升。所得的碳酸鋰純度大約 10~14%，加上所需要的碳酸鈉量甚大，所以回收並不符合經濟效應。



圖三 碳酸鋰沉澱在不同溫度及不同液液比沉澱率

##### (4). 金屬置換

以鋁粉作為置換劑，添加不同克數陽極浸出液（原 pH）在常溫下反應 1 小時以及在不同 pH 值下添加 1g 的鋁粉於陽極浸出液常溫下反應 1 小時後過濾。在置換反應中，當時間固定時置換克數會影響置換率的成效；pH 會影響置換是否產生，從結果可知當液體 pH 值為 1、2、3 時，其沒有置換的效果。所得沉澱物鈷純度為 85.0%，但在反應時會有大量的熱產生，故置換並不適合。此時鎳也會發生沉澱，但由於含量較少，固沒有對鎳的沉澱率加以探討。



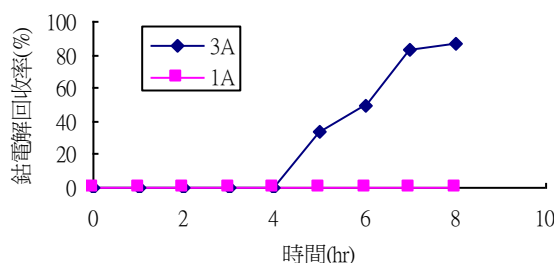
圖四 添加不同克數鋁粉置換率

##### (5). 電解反應

本實驗是針對經中和反應後之陽極浸出

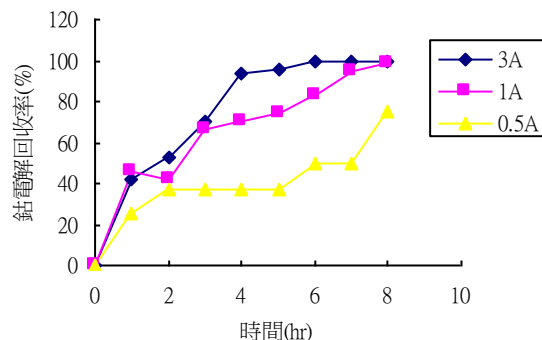
液離心所得之沉澱物，利用 4N 鹽酸或稀硫酸-氨水二種方法，在不同溫度及不同電流下探討鈷電解回收率的影響。

①. 在常溫下以 3A 電解經中和反應後之沉澱物再以 4N 鹽酸再溶解的正極浸出液 8 小時。結果中發現當電解至 5 小時時開始有反應，8 小時回收效率雖然可達 87.1%，但是附著在不銹鋼片上之物質呈膠狀物，判斷為氫氧化鋁，且有很多的金屬粉末槽底，故此方式並不適用。在常溫下以 1A 電解經中和反應後之沉澱物再以 4N 鹽酸再溶解的正極浸出液 8 小時。結果中發現當電解 8 小時後回收率依然是 0.0%，故此方式並不適用。



圖五 鹽酸、常溫不同電流之鈷電解回收率

②. 以稀硫酸溶解中和反應後的沉澱物，再以氨水調整 pH 到 8。由於在先前中和反應中可得知當鋁離子變成氫氧化鋁沉澱時，會有共沉的現象產生，所以利用硫酸及氨水產生硫氨錯離子，這樣可避免當氫氧化鋁沉澱時，產生共沉，離心後將上層液在 55°C 下以 3A 電解 8 小時。結果得知在電解 6 小時可得 100% 鈷回收率。所得之鈷金屬，大多以粉狀沉澱於杯底，且易氧化，其純度為 40.0%；以 1A 電解可得 98.3% 的鈷回收效率，鈷金屬排列並不緊密，但沒有粉末沉澱於槽底，是以片狀的方式附著於不銹鋼片上，所得鈷金屬純度為 81.3%；以 0.5A 電解 8 小時，可得 75.0% 的鈷回收效率，鈷金屬排列緊密，沒有粉末沉澱於槽底。所得金屬純度為 94.0% 另一方面在石墨片上會有氨鹽的產生，且有氨的味道產生。另一方面在石墨片上會有氨鹽的產生，且有氨的味道產生。



圖六 硫酸-氨水 55°C 不同電流鈷電解回收率

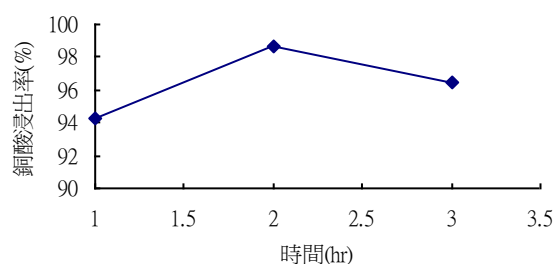
## 5. 陰極

### (1). 酸浸出

綜合不同實驗條件（溶劑種類、溶劑濃度、浸出溫度、浸出時間）之各項浸出結果，其陰極最佳浸出操作條件為 4.0N 硝酸，固液比為 3g/100ml，溫度 90°C 下浸出 2 小時，則可得銅浸出效率為 98.7%，而本實驗也將以此最佳浸出液作為後續純化回收之浸出液樣品。

### (2). 鍛燒

陰極在鍛燒 8 小時後，銅以鹽類（銅綠）的方式附著於坩鍋上；本實驗鍛燒是取 1g 陰極進行鍛燒，也研判是因為所取的克數太少，沒有辦法燒出較明顯的銅金屬。



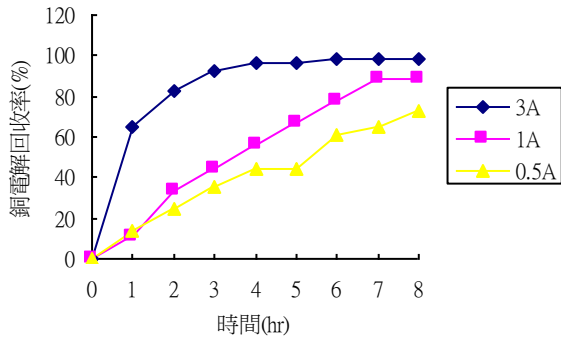
圖七 陰極最佳浸出率

### (3). 電解反應

本實驗針對陰極浸出液（pH 值 0）以不銹鋼為陰極，石墨為陽極，探討在常溫下不同電流對銅電解回收率的影響。

常溫下以 3A 電解，在電解 8 小時後，可得回收效率 98.5%，所得之銅金屬不易附著於不銹鋼上且呈粉狀沉澱於槽底，所得銅金屬易氧化呈氧化銅，純度為 70.7%；常溫下以 1A 電解，可得回收效率 88.9%，所得之銅金

屬較 3A 易附著於不銹鋼上淡亦有少量粉狀沉澱於槽底，所得銅金屬少量氧化呈氧化銅，純度為 95.5%；常溫下以 0.5A 電解，可得回收效率 73.2%，所得之銅金屬易附著於不銹鋼上且不會有粉狀沉澱於槽底，所得銅金屬不易氧化呈氧化銅，純度為 99.8%。



圖八 常溫下以不同電流之銅電解回收率

## 6. 不同品牌電池回收

本實驗是針對市面上的廢棄鋰離子二次電池利用上述的方法（物理組成，全量分析，電解回收）進行實驗，比較是否有差異性。

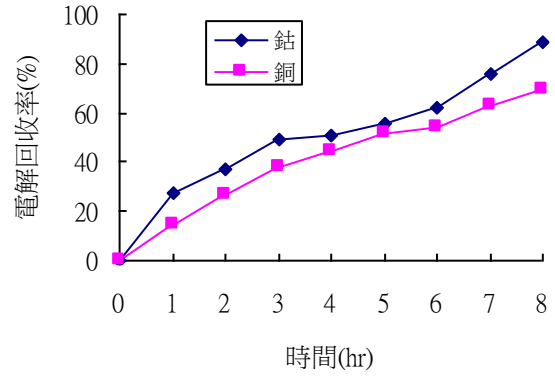
### (1). Motorola 型號 BLB-2

以人工的方式拆解。其基本組成結構之重量百分比如下表所示，其中集電柄約佔總重 8.8%、陽極佔 28.8%、陰極佔 24.8%、隔離膜佔 3.9%、電解液佔 7.2%、外殼（不銹鋼）佔 26.2%；陽極中鈷佔 51.3%、鋰佔 2.5%，陰極中銅佔 95.0%。

#### ①. 陰、陽極電解回收

鈷電解回收是先以稀硫酸溶解中和反應後的沉澱物，再以 28%的氨水調整 pH 到 8，離心後將上層液不銹鋼為陰極，石墨為陽極，在 55°C 下以 0.5A 電解 8 小時可得鈷電解回收率 88.9%。所得鈷金屬純度為 99.1%。

銅電解回收在常溫下以 0.5A 電解 8 小時後，可得回收效率 69.1%，所得之銅金屬易附著於不銹鋼上且不會有粉狀沉澱於槽底，所得銅金屬不易氧化呈氧化銅，純度為 99.6%。



圖九 Motorola 電池中鈷、銅電解回收率

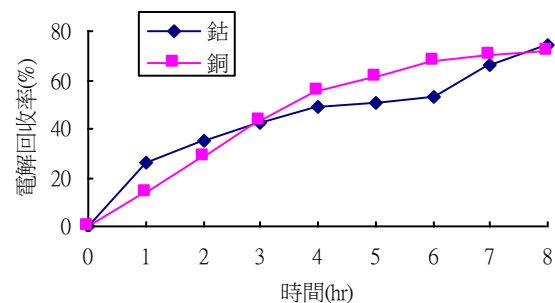
### (2). Nokia 型號 SNN5517A

以人工的方式拆解。其基本組成結構之重量百分比如下表所示，其中集電柄約佔總重 3.1%、陽極佔 31.7%、陰極佔 26.9%、隔離膜佔 4.3%、電解液佔 15.2%、外殼（不銹鋼）佔 18.9%；陽極中鈷佔 51.3%、鋰佔 2.5%，陰極中銅佔 67.5%。其結果如下表所示。

#### ①. 陰、陽極電解回收

鈷電解回收是先以稀硫酸溶解中和反應後的沉澱物，再以 28%的氨水調整 pH 到 8，離心後將上層液不銹鋼為陰極，石墨為陽極，在 55°C 下以 0.5A 電解 8 小時可得鈷電解回收率 74.1%。所得鈷金屬純度為 98.9%。

銅電解回收在常溫下以 0.5A 電解 8 小時後，可得回收效率 71.6%，所得之銅金屬易附著於不銹鋼上且不會有粉狀沉澱於槽底，所得銅金屬不易氧化呈氧化銅，純度為 99.1%。



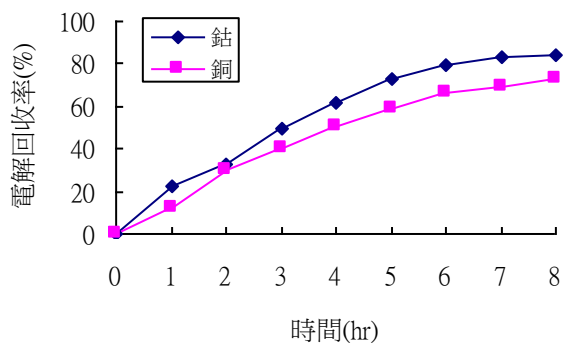
圖十 Nokia 電池中鈷、銅電解回收率

### (3). 混和電解 (Motorola + Nokia+本實驗電池)

將 Motorola、Nokia 及本實驗電池陽極均與混和後進行酸浸出、中和反應，再以稀硫酸溶解中和反應後的沉澱物，再以氨水調整 pH 到 8，離心後將上層液以不銹鋼為陰極，石墨為陽極，在 55°C 下以 0.5A 電解 8 小時可得鈷電解回收率 84.5%。所得鈷金屬純度為 95.2%。

陰極浸出液在常溫下以 0.5A 電解 8 小時後，可得回收效率 72.9%，所得之銅金屬易附著於不銹鋼上且不會有粉狀沉澱於槽底，所得銅金屬不易氧化呈氧化銅，純度為 99.6%。

本實驗所使用的鋰離子二次電池跟 Motorola、Nokia 的鋰離子二次電池在電解回收效率及純度上有明顯的差異，判斷是因為本實驗所使用的鋰離子二次電池陰、陽極材料中組成較複雜，故影響其效率及純度；另一方面，將三種電池混合，在電解回收率及純度都沒有明顯的差異，故此電解方式適合不同的電池。



圖十一 混合電池中鈷、銅電解回收率

### 五、結論

1. 放電之實驗結果顯示，將電池浸泡在氯化鎂 ( $MgCl_2$ )、氯化鈉 ( $NaCl$ ) 及氯化鉀 ( $KCl$ ) 各種溶液中，均會造成導電柄的消失，沒有辦法準確的測量其電壓，且會造成電池內容物（如電解液、有價金屬等）的流失，造成後續實驗的誤差；而連接燈泡放電雖然不會對整體的結構造成破壞，但卻有放電效率慢，且無法將電池內部殘存電量完全放盡的缺點。
2. 陽極之鹽酸浸出液當以氫氧化鈉 ( $NaOH$ ) 調整 pH 值至 8 時，可使浸出液中的鈷、鋁、鎳離子完全沉澱，而僅剩鋰離子存於陽極浸出液中，因當氫氧化鋁產生時，會有共沉的現象產生。

3. 本實驗沉澱之結果顯示，當出液 pH 為 8 且經過離心分離出含鈷、鋁、鎳之膠凝物的情況下，液液比為 1：5（浸出液：飽和碳酸鈉溶液），在 95°C 下緩慢攪拌 1 小時，可得最佳的碳酸鋰沉澱回收率 (91.75%)，但所得的碳酸鋰純度不佳，約 10~14%，且實驗需要大量的飽和碳酸鈉溶液，不符經濟效應，再者本實驗電池中鋰的含量極少，故沒有後續的研究。
4. 陽極之鹽酸浸出液，以鋁粉為置換劑，pH0 在固定時間下，當添加不同克數時，置換效率會隨著添加的量而上升；而在不同 pH 時，加入固定量的鋁粉反應 1 小時，除了原 pH (pH0) 有反應外，其餘 pH (1、2、3) 都沒有產生反應。置換出來的固體，鈷的純度為 85.0%。
5. 本實驗建議回收廢棄鋰離子二次電池中有價金屬之整體流程如下：先利用乾式放電的方式將電池加以放電，以機器切割後將電池分離，取出陰、陽極，分別在陽極以最佳浸出操作條件：利用 4N 的鹽酸，固液比為 3g/100ml，溫度 70°C 下浸出 2 小時，陰極最佳浸出操作條件：利用 4N 的硝酸固液比為 3g/100ml，溫度 90°C 下浸出 2 小時。接著陽極浸出液以  $NaOH$  調整 pH 至 8 後，離心取出固相，以稀硫酸與氨水調整 pH 為 8，離心分離後之液體以 0.5A 的電流 55°C 下電解 8 小時後，回收附著於不銹鋼片上之鈷金屬。另一方面，陰極直接在 0.5A 的電流常溫下電解 8 小時後，回收附著於不銹鋼片上之銅金屬。

### 六、參考文獻

1. 蕭聰明，1999.2，“鋰離子電池可能造成的污染公害及回收處理”，工業材料 146 期。
2. 吳齊昇，1999.6，“二次鋰離子電池正極材料介紹”，化學第五十七卷第二期。
3. 周子人，1999.10，“日本二次鋰電池的市場及技術現況”，工業材料 154 期。
4. 劉如喜，1999.6，“鋰離子二次電池材料簡介”，化學第五十七卷第二期。
5. 薛立人，1999.2，“二次電池之回顧與展望”，工業材料 146 期。
6. 洪傳獻，1999，“小型鋰二次電池技術發展與趨勢分析”，化學第五十七卷第二期。
7. 楊長榮，2000.1，“鈷鋁二次電池電化學特性研究”，工業材料 157 期。
8. 洪為民，1999.6，“二次鋰離子電池技術、發展趨勢與市場”，化學第五十七卷第二期。
9. 賴耿陽譯著，1990.2，“最新電池工學”，復漢出

- 版社。
10. 田中正三郎著，賴耿陽譯，1994.7，“應用電化學”，復漢出版社。
  11. 郝仁貽譯，1984.11，“實用理論電化學”，徐氏基金會，1984.11。
  12. 田福助，1991.5，“電化學理論與應用”，高力圖書有限公司。
  13. 化學大辭典編輯委員會編著，2000.10，“化學大辭典”，高立圖書公司。
  14. 李展平、翁瑞光等，1984.3，“簡明化學”，藝軒圖書出版社印行。
  15. 蘇英源、郭金國編著，2001.10，“冶金學”，全華科技圖書股份有限公司。
  16. 陳明傑，2002，“廢鋰電池資源再生之研究”，大葉大學環境工程所碩士論文。
  17. 湯麗雯，2001，“廢 IC 中貴金屬資源回收之研究”，大葉大學環境工程研究所碩士論文。
  18. 羅科顯，2004，“電解和離子交換法回收含銅廢液及污泥中的銅金屬”，元智大學化學工程所碩士論文。
  19. 楊淵洲，1980，“由廢料電解回收銅的研究”，國立成功大學礦冶及材料科學研究所碩士論文。
  20. 蔡梨暖，2002，“鈷銅合金電鍍之研究”，大葉大學機械工程研究所碩士論文。
  21. 高向前，2002.6，“高濃度酸性溶液中鈷與鎳之萃取分離”，元智大學化學工程所碩士論文。
  22. 李一凡編著，2003，“金榜化學”，精準出版社。
  23. 倫敦金屬交易中心。
  24. Kawakami Soichiro, 1999.3, "Method for recovering lithium cell materials".
  25. C.H.Cheng, C.Y.Yao, W.M.Hung, 1994, "Electrical Properties Study of Electrolyte in Lithium Rechargeable Battery", Chinese Journal of Materials Science, vol.26.NO.1.
  26. C.A.Nogueira, F.Delma, 1999, "New flowsheet for the recovery of cadmium, cobalt and nickel from spent Ni-Cd batteries by solvent
  27. extraction"Hydrometallurgy 52,267-287.
  28. F. A. Baczek, B. C. Wojcik, D. M. Lewis, R. C. Emmett, 1981, "The Electroslurry process for Copper Recovery from smelter and wastes", Process and Fundamental considerations of Selected Hydrometallurgical Systems, pp. 125-141.
  29. N. B. Devi, K. C. Nathsarma, V. Chakravorty, 1998, "Separation and recovery of cobalt(II) and nickel(II) from sulphate solutions using sodium salts of D2EHPA, PC-88A and Cyanex272", Hydrometallurgy 49 (1998) 47-61.
  30. Shun Myung Shin, Nak Hyoung Kim, Jeong Soo Sohn, Dong Hyo Yang, Young Han Kim, 2005.1, "Development of a metal recovery process from Li-ion battery wastes", Hydrometallurgy 79(2005)172-181.
  31. Pingwei Zhang, Toshiro Yokoyama, Osamu Itabashi, Toshishige M. Suzuki, Katsutoshi Inoue, 1997.3, "Hydrometallurgical process for recovery of metal values from spent lithium-ion secondary batteries", Hydrometallurgy 47(1998)259-271.
  32. [http://my3c.com/cgi/report.php?F=liion/liion\\_main.html](http://my3c.com/cgi/report.php?F=liion/liion_main.html)
  33. <http://www.shmet.com/xhjydt/xhjydt.htm>
  34. <http://www.nsc.gov.tw/dept/acro/version01/battery/database/types/liplus.htm>