

含鋰廢不斷電電源供應器 (UPS) 組成分析之研究

黃于睿 李清華* 黃梓倫 林媚雯

大葉大學 環境工程學系

515006 彰化縣大村鄉學府路 168 號

*chl@mail.dyu.edu.tw

摘要

本研究針對廢棄含鋰不斷電電源供應器 (Uninterruptible Power Supply, UPS) 與其鋰鐵電池單體進行組成構造分析, 另亦針對鋰鐵電池單體中正負極混合物進行性質分析。根據本研究結果顯示, 含鋰廢 UPS 樣品主要由鐵金屬外殼、塑膠蓋板、螺絲、電線、電池連接片、電池組、電路板和電木等零件所組成, 其重量百分比分別依序為 11.66%、2.12%、0.60%、0.91%、1.51%、79.75%、3.20%、0.25%。另鋰鐵電池單體樣品主要由膠膜、鋁金屬外殼、正極材料、負極材料、隔離膜與電解液所組成, 平均重量百分比分別依序為 1.23%、12.88%、38.65%、35.21%、8.59%、3.44%。另正負極混合物樣品之三成分結果顯示, 其水分、灰分、可燃分分別依序為 0.16%、98.87%、0.97%, 而經焙燒研磨後之正負極混合物樣品金屬全含量分析結果顯示, 鋰、鋁、鐵與銅金屬全含量分別依序為 5.47%、2.13%、17.54%、16.16%, 其中以鐵金屬全含量最高, 其次為銅金屬全含量, 鋁金屬全含量則為最少。整體而言, 含鋰廢 UPS 經拆解後約 90% 以上之材質具有回收再利用之價值。

關鍵詞: 廢棄物, 不斷電系統, 鋰鐵電池, 正負極混合物

Compositional Analysis of Waste Lithium-Containing Uninterruptible Power Supply (UPS)

YU-RUI HUANG, CHING-HWA LEE*, TZ-LEUN HUANG and KIMBERLY HANNAH T. LIM

Department of Environmental Engineering, Da-Yeh University

No. 168, University Rd., Dacun, Changhua 515006, Taiwan, R.O.C.

*chl@mail.dyu.edu.tw

ABSTRACT

This study analyzed the composition and structure of a discarded lithium-containing uninterruptible power supply. The properties of the positive and negative electrode mixtures in the lithium ion battery cells were analyzed. The lithium-containing UPS was composed of an iron metal casing, a plastic cover, screws, wires, pole pieces, battery packs, circuit boards, bakelite, with corresponding weight percentages of 11.66%, 2.12%, 0.60%, 0.91%, 1.51%, 79.75%, 3.20%, and 0.25%, respectively. The lithium ion battery cell comprised plastic film, an aluminum metal casing, a positive electrode material, a negative electrode material, a separator, and an electrolyte, with

corresponding weight percentages of 1.23%, 12.88%, 38.65%, 35.21%, 8.59%, and 3.44%, respectively. The results for the positive and negative electrode mixture samples showed that the moisture, ash, and combustible content percentages were 0.16%, 98.87%, and 0.97%, respectively. Moreover, the metal content analysis results of the positive and negative electrode mixture samples after they had been roasted and ground indicated that the total content of lithium, aluminum, iron, and copper was 5.47%, 2.13%, 17.54%, and 16.16%, respectively. Overall, more than 90% of the materials used in lithium-containing uninterruptible power supplies can be recycled.

Key Words: waste, uninterruptible power supply system, lithium iron battery, positive and negative electrode mixture

一、前言

近年來，許多工作與資料儲存皆使用電腦或通訊設備於線上進行，對電子資通產品的依賴也逐年增加，因此電子設備與通訊設備穩定性開始受到重視，為確保電子通訊產品運轉時不受斷電之影響，因此市面上也推出許多不斷電電源供應器（Uninterruptible Power Supply, UPS），以避免停電或供電不穩時，可短時間內維持設備運作正常，免除設備因供電暫停問題而導致損壞。UPS 主要是由整流器、電池、逆變器、靜態開關及控制系統所組成 [2]，其設計原理主要分成三種，離線式（off-line）、在線式（on-line）與再線互動式（line-interactive），且因組成結構的不同，價格部份也有極大的差異 [3, 8]。另 UPS 也可依電容量進行區分，主要可分為微型（5 kVA 以下）、中型（6~50 kVA）及大型（50 kVA 以上），我國國內廠商主要以生產微型 UPS 為主 [9]。另 UPS 主要應用於資料中心及通訊基地台，且在工業自動化及雲端運算的發展下，也正在快速推動市場上對 UPS 的需求。根據市場調查報告書顯示，2022 年全球 UPS 市場價值將達到 61 億美元，預計至 2028 年將增加到 91 億美元，其市場價值呈現穩定成長趨勢，2023 年至 2028 年複合成長率約為 6.7% [1]。另未來以鋰鐵電池為儲放電單元之不斷電電源供應器將成為市場主流，因鋰鐵電池做為不斷電系統的電源供應來源具有更長壽命的循環、操作溫度範圍較廣、電流放電能力較好、重量與體積能量密度較高、安全性佳、原料來源穩定以及符合 RoHS 規定 [7]。

綜上所述，當不斷電電源供應器的銷量持續增長，未來在使用壽命到了之後，勢必會產生大量廢棄之含鋰廢 UPS，而這些廢 UPS 中含有各種有價物質（如塑膠、金屬外殼、電路板、電線、鋰、鐵、鋁、銅等），使得含鋰廢 UPS 具有回收效益。因此本研究將針對國內產生之含鋰廢 UPS 與其內部鋰鐵電池進行組成構造與性質分析，並作為後續含鋰廢

UPS 資源回收參考依據。

二、研究方法

本研究為進行含鋰廢 UPS 與其內部鋰鐵電池單體組成構造分析，以及鋰鐵電池單體中正負極混合物性質分析，本研究將收集含鋰廢 UPS 樣品，藉由人工拆解方式來分析含鋰廢 UPS 樣品之組成構造，另特別針對含鋰廢 UPS 樣品中鋰鐵電池單體之組成構造，與內部鋰鐵電池單體中正極材料、隔離膜與負極材料之混合物成分進行分析探討。

（一）含鋰廢 UPS 收集

本研究將透過國內含鋰廢 UPS 之回收廠家，收集國內產生之含鋰廢 UPS 樣品，本研究所收集之含鋰廢 UPS 樣品外觀如圖 1 所示，此樣品將做為後續組成構造分析使用。另此含鋰廢 UPS 已於回收廠家初步拆解，以將電路板分離出來另行回收處理，相關照片與重量數據，係由廠商提供相關資料。



圖 1. 含鋰廢 UPS 樣品外觀

(二) 含鋰廢 UPS 人工拆解組成構造分析

本研究將透過人工拆解方式，將收集之含鋰廢 UPS 樣品進行組成構造分析，並拍照、秤重紀錄拆解零件種類、重量與重量百分比，以了解含鋰廢 UPS 樣品組成構造與重量比例。另本研究將收集拆解後之電池組，以作為後續鋰鐵電池單體構造分析樣品。

(三) 鋰鐵電池單體組成構造分析

本研究將含鋰廢 UPS 拆解後之電池組進行分離，得到鋰鐵電池單體。再將鋰鐵電池單體進行多次放電檢查，確保完全放電。再將放電後之鋰鐵電池單體，進行人工拆解組成構造分析，並拍照、秤重紀錄鋰鐵電池單體內零件種類、重量與重量百分比，以了解鋰鐵電池單體樣品組成構造與重量比例。另本研究將鋰鐵電池單體樣品拆解後之正極材料、隔離膜負極混合物進行收集，以作為後續正負極混合物成分分析樣品。

(四) 正負極混合物成分分析

本研究將收集鋰鐵電池單體樣品拆解後之正極材料、隔離膜與負極材料，即為正負極混合物樣品，接著依序進行水分、灰分、可燃分之分析。另再將正極材料、隔離膜與負極材料予以烘乾與焙燒，目的是將電解液等有機物去除，再將其進行研磨至 100mesh 以下，即為經焙燒研磨之正負極混合物樣品。另藉由感應耦合電漿光譜分析儀 (Inductively Coupled Plasma, ICP) 對經焙燒研磨之正負極混合物樣品所含之鋰、鋁、鐵、銅等金屬進行金屬全含量分析，以了解其樣品中鋰、鋁、鐵、銅金屬之含量。各性質測定方式如下所示：

1. 水分、灰分與可燃分

本研究將收集之正負極混合物樣品，透過環檢所所訂定之事業廢棄物水分測定方法－間接測定法 (NIEA R203.02C)[5]來分析正負極混合物樣品之含水率。首先將正負極混合物樣品先秤重並平均擺放，以溫度 105°C 中進行烘乾 2 小時並拿出秤重，再經多次烘乾、秤重步驟後，直至其重量無明顯減少，並記錄烘乾後之樣品重量。水分計算如公式 (1)：

$$\text{水分(\%)} = (W_1 - W_2) / W_1 \times 100\% \quad (1)$$

W₁:烘乾前之正負極混合物樣品重量

W₂:經烘乾後之正負極混合物樣品重量

根據上式可計算出正負極混合物樣品之水分含量。

另本研究將收集之正負極混合物樣品，根據環境檢驗所公告之廢棄物中灰分、可燃分測定方法 (NIEA R205.01C) [6]進行正負極混合物樣品之灰分與可燃分分析。首先將正負極混合物樣品平均混合並秤重紀錄後，放入乾淨坩鍋中並置於高溫灰化爐，以溫度 800°C±5°C 的高溫並維持 3 小時。待爐溫降低後，並將樣品與坩鍋放到乾燥器冷卻至室溫，並樣品秤重紀錄後代入公式 (2) 及公式 (3)，可得到正負極混合物樣品之灰分與可燃分的百分比。

$$\text{灰份(\%)} = (W_2 / W_1) \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{可燃分(\%)} = 100\% - \text{灰分(\%)} - \text{水分(\%)} \quad (3)$$

W₁: 經高溫灰化爐前之正負極混合物樣品重量

W₂: 經高溫灰化爐後之正負極混合物樣品重量

根據上式可計算出正負極混合物樣品之灰分與可燃分含量。

2. 全含量分析

本研究將收集經 800°C 焙燒且研磨至-100mesh 之正負極混合物樣品，進行「鋰、鋁、鐵、銅」金屬全含量分析。本研究將根據環境檢驗所公告之檢測方法(土壤中重金屬檢測方法－王水消化法 (NIEA S321.63B)) [4] 將正負極混合物中「鋰、鋁、鐵、銅」金屬進行消化，並透過過濾將消化液中固體顆粒去除，最後再將透過 ICP 分析消化液中之金屬含量，並透過公式 (4) 來計算正負極混合物樣品中鋰、鋁、鐵、銅金屬之金屬含量。

$$\text{金屬全含量} = \frac{\text{消化液中之金屬重量}}{\text{原始樣品之總重量}} \times 100\% \quad (4)$$

三、結果與結論

本研究係針對含鋰廢 UPS 樣品與其內部之鋰鐵電池單體樣品進行組成構造分析，並將電池單體中之正負極混合物進行性質分析。上述各項組成構造與性質分析成果逐一介紹與討論如下：

(一) 含鋰廢 UPS 組成構造分析

本研究將含鋰廢 UPS 樣品透過人工方式拆解，並分析其組成構造，相關組成構造分析紀錄如表 1 所示，由表 1 得知，含鋰廢 UPS 樣品主要由外部金屬鐵殼、塑膠蓋板、螺絲、電線、電池連接片、電池組、電路板、電木所組成，其

中外部金屬殼材質為鐵金屬，其重量與重量百分比分別為 1.93kg 與 11.66%；蓋板材質為塑膠，其重量與重量百分比分別為 350g 與 2.12%；螺絲材質為鐵金屬，其重量與重量百分比分別為 99g 與 0.60%；電線材質鋁、銅、塑膠，其重量與重量百分比分別為 150g 與 0.91%；電池連接片材質為銅、鎳金屬，其重量與重量百分比分別為 250g 與 1.51%；電池組材質為鋰、鋁、鐵、銅，其重量與重量百分比分別為 13.2kg 與 79.75%。另含鋰廢 UPS 樣品中，其電路板與電木之重量係為回收廠家經拆解後所提供，電路板材質為玻璃纖維、銅箔、環氧樹脂，其重量與重量百分比分別為 530g 與 3.20%；電木材質為酚醛樹脂，其重量與重量百分比分別為

42g 與 0.25%。根據上述資料得知，含鋰廢 UPS 樣品總重量約為 16.55kg，其中電池組重量百分比最高，其次為外部金屬殼，螺絲重量百分比為最少。另電池組係由 8 個電池單體所構成，平均每個電池單體約重 165 公克。

由上可知，含鋰廢 UPS 樣品中含有多種有價材質，如含鐵之外部金屬殼、螺絲、含銅之電線、電池連接片、含鋰、鋁、鐵、銅之電池組，其重量百分比依序分別為 11.66%、0.60%、0.91%、1.51%、79.75%。若上述組成零件皆能全部回收，則約有 90%以上之零件具有回收再利用之價值。但因不同製造商所製造之不同電容量的 UPS，其具有回收價值之組成零件比例可能亦有所不同。

表 1. 含鋰廢 UPS 樣品組成零件、材質、外觀與重量及重量百分比

組成零件	材質	重量	重量百分比 (%)	圖片
外部金屬殼	鐵	1.93kg	11.66	
蓋板	塑膠	350g	2.12	
螺絲	鐵	99g	0.60	
電線	鋁、銅、塑膠	150g	0.91	
電池連接片	銅、鎳	250g	1.51	
電池組	鋰、鋁、鐵、銅	13.2kg	79.75	
電路板	玻璃纖維、銅箔、環氧樹脂	530g	3.20	
電木	酚醛樹脂	42g	0.25	
合計		16.55kg	100	

(二) 鋰鐵電池單體組成構造分析

本研究將含鋰廢 UPS 拆解後之電池組，進行拆解分離後得到 1 個內部電池單體（如圖 2 所示），再將其透過電阻進行放電。最後將放電後之鋰鐵電池單體進行人工拆解分離，並針對拆卸後鋰鐵電池單體樣品進行組成構造分析。

鋰鐵電池單體經人工拆解後組成構造相關分析紀錄如表 2 所示，由表 2 得知，鋰鐵電池單體樣品主要由膠膜、金屬外殼、正極材料、負極材料、隔離膜與電解液所組成，其中膠膜材質為塑膠，其重量與重量百分比分別為 20g 與 1.23%；金屬外殼材質為鋁金屬，其重量與重量百分比分別為 210g 與 12.88%；正極材料材質為鋰、鋁金屬，其重量與重量百分比分別為 630g 與 38.65%；負極材料材質為鐵、銅金屬與石墨，其重量與重量百分比分別為 574g 與 35.21%；隔離膜材質為塑膠，其重量與重量百分比分別為 140g 與 8.59%；電解液材質為鋰鹽與添加劑，其重量與重量百分比

分別為 56g 與 3.44%。根據上述結果得知，拆解總重量為 1630g，其中正極材料重量百分比 38.65%最高，其次是負極材料重量百分比 35.21%，膠膜重量百分比 1.23%為最少。



圖 2. 含鋰廢 UPS 樣品拆解後之鋰鐵電池單體外觀

表 2. 鋰鐵電池單體組成零件、材質、外觀、重量與重量百分比






組成零件	材質	重量	重量百分比 (%)	圖片
膠膜	塑膠	20g	1.23	
金屬外殼	鋁	210g	12.88	
正極	鋰、鋁	630g	38.65	
負極	鐵、銅、石墨	574g	35.21	
隔離膜	塑膠	140g	8.59	
電解液	鋰鹽、添加劑	56g	3.44	
合計		1630g	100	



圖 3. 正負極混合物樣品外觀

(三) 正負極混合物成分分析

本研究將正負極混合物樣品(外觀如圖 3 所示)分別進行水分分析、灰分分析、可燃份分析,並將經焙燒研磨之正負極混合物樣品藉由 ICP 進行鋰、鋁、鐵、銅金屬全含量分析,正負極混合物樣品各性質之分析結果如下所示:

1. 水分、灰分與可燃分分析結果

本研究將取出三份正負極混合物樣品(樣品 1、樣品 2、樣品 3)進行水分、灰分與可燃分分析,最後平均其實驗數據為分析結果。正負極混合物樣品之水分、灰分與可燃分分析結果如下,正負極混合物之樣品 1 之水分為 0.20%、灰分為 98.79%及可燃分為 1.01%;樣品 2 之水分為 0.15%、灰分為 98.97%及可燃分為 0.88%;樣品 3 之水分為 0.11%、灰分為 98.86%及可燃分為 1.03%。根據上述結果顯示,正負極混合物之水分平均值約為 0.16%最少,灰分平均值約為 98.87%最高,以及可燃分平均值約為 0.97%。

2. 全含量分析

本研究取出三份經 800°C 焙燒且研磨至-100mesh 之正負極混合物樣品(樣品 A、樣品 B、樣品 C),進行消化與 ICP 檢測,來分析鋰、鋁、鐵、銅金屬全含量,最後根據公式(4)計算,可得到正負極混合物中鋰、鋁、鐵、銅金屬全含量數據。正負極混合物樣品之全含量分析結果如表 3 所示,由表 3 得知,正負極混合物樣品 A 的鋰、鋁、鐵、銅金屬全含量分別依序為 5.66%、2.16%、17.43%、16.38%;樣品 B 的鋰、鋁、鐵、銅金屬全含量分別依序為 5.68%、2.15%、17.15%、16.37%;而樣品 C 的鋰、鋁、鐵、銅金屬全含量分別依序為 5.06%、2.08%、18.04%、15.72%。根據上述結果得知,經焙燒研磨之正負極混合物樣品中,其鋰、鋁、鐵、銅金屬平均全含量分別依序約為 5.47%、2.13%、17.54%、16.16%,其中焙燒研磨後之正負極混合物樣品中鐵金屬含量約最高,其次為銅金屬,鋁金屬含量為最少。

表 3. 經焙燒研磨正負極混合物樣品中之金屬全含量

金屬 樣品	鋰 (%)	鋁 (%)	鐵 (%)	銅 (%)
A	5.66	2.16	17.43	16.38
B	5.68	2.15	17.15	16.37
C	5.06	2.08	18.04	15.72
平均	5.47	2.13	17.54	16.16

四、結論與建議

本研究主要目的是針對含鋰不斷電電源供應器(UPS)與其內部鋰鐵電池單體,透過人工方式拆解進行組成構造分析,並特別針對內部鋰鐵電池中之正負極混合物(正極材料、隔離膜與負極材料),來進行水分、灰分與可燃分分析;另將經 800°C 焙燒且研磨至-100mesh 之正負極混合物樣品進行鋰、鋁、鐵、銅金屬全含量分析。本研究各項目結論如下:

- (一) 含鋰廢 UPS 樣品之結構主要由金屬外殼、蓋板、螺絲、電線、電池連接片、電池組、電路板和電木等零件所組成,其重量百分比依序為 11.66%、2.12%、0.60%、0.91%、1.51%、79.75%、3.20%、0.25%,其中電池組重量百分比為最高,其次為金屬外殼,電木重量百分比為最低。
- (二) 鐵電池單體樣品主要由膠膜、金屬外殼、正極材料、負極材料、隔離膜與電解液所組成,且重量百分比依序分別為 1.23%、12.88%、38.65%、35.21%、8.59%、3.44%,其中正極材料重量百分比為最高,其次為負極材料,膠膜重量百分比為最低。
- (三) 根據本研究水分、灰分與可燃分分析結果顯示,正負極混合物樣之平均水分、灰分、可燃分分別依序為 0.16%、98.87%、0.97%。
- (四) 根據本研究金屬全含量分析結果顯示,經焙燒研磨之正負極混合物樣品之平均鋰、鋁、鐵、銅金屬全含量,分別依序約為 5.47%、2.13%、17.54%、16.16%,其中以鐵金屬含量最高,其次為銅金屬,鋁金屬含量為最少。
- (五) 含鋰廢 UPS 樣品中含有多種有價材質,如含鐵之外部金屬殼、螺絲、含銅之電線、電池連接片、含鋰、鋁、鐵、銅之電池組,若上述組成零件皆能全部回收,則約有 90%以上之零件具有回收再利用之價值。

誌謝

本研究感謝國家科學及技術委員會計畫編號「MOST 111-2221-E212-004」提供經費，使此研究能夠順利執行與完成。

參考文獻

1. 日商環球訊息有限公司 (112 年 10 月 15 日)，資料中心 UPS 市場：2023-2028 年全球產業趨勢、佔有率、規模、成長、機會與預測，112 年 11 月 01 日，取自 <https://www.gii.tw/report/imarc1370551-data-center-ups-market-global-industry-trends.html>。
2. 每日頭條 (104 年 6 月 26 日)，UPS 不間斷電源原理-組成，112 年 11 月 01 日，取自 <https://kknews.cc/tech/aqyvox.html>。
3. 定錨產業筆記 (108 年 3 月 6 日)，資料中心需求推動 UPS 市場穩健成長，112 年 11 月 01 日，取自 <https://investanchors.com/home/articles/35>。
4. 國家環境研究院，土壤中重金屬檢測方法-王水消化法 (NIEA S321.65B)，112 年 11 月 01 日，取自 <https://www.moeenv.gov.tw/nera/D650FF755904A079/e4422625-6dcc-4b0c-b5e2-2ba0623acfad>。
5. 國家環境研究院，事業廢棄物水分測定方法—間接測定法 (NIEA R203.02C)，112 年 11 月 01 日，取自 <https://www.moeenv.gov.tw/nera/9DA55CE386B2F925/47cdc418-c283-4e18-b622-4d6874219de5>。
6. 國家環境研究院，廢棄物中灰分、可燃分測定方法 (NIEA R205.01C)，112 年 11 月 01 日，取自 <https://www.moeenv.gov.tw/nera/9DA55CE386B2F925/fb70c258-7fd3-4fff-9518-a4b2a6f7faa4>。
7. 蘭陽能源科技股份有限公司，磷酸鋰鐵不斷電系統，112 年 11 月 01 日，取自 <http://lynopower.com/tw/solutions/ups>。
8. iSite (107 年 2 月 4 日)，電腦達人養成計畫 6-2：深入剖析不斷電系統 (UPS)，112 年 11 月 01 日，取自 <https://isite.tw/2018/02/04/18911>。
9. MoneyDJ 理財網 (90 年 11 月 13 日)，不斷電系統(UPS) 產業與國內廠商概況，112 年 11 月 01 日，取自 <https://www.moneydj.com/kmdj/report/reportviewer.aspx?a=ab5571d0-5756-46f8-a06e-dcb50cc4138c>。

收件：112.11.30 修正：113.01.09 接受：113.02.19