

應用於馬來西亞電子廢棄物之環保回收處理技術

Eco-friendly Recycling Technology Applied to Malaysia's Electronic Waste

祝芷欣¹，許景翔²

國立台灣科技大學材料科學與工程系¹，優勝奈米科技有限公司²

NTUST MSE¹, UWin Nanotech. Co., Ltd.²

本研究主要是探討馬來西亞的電子廢棄物的處理模式，以及如何運用 SnST-550A 環保剝錫劑及 UW-860 環保剝金劑，以綠色製程來回收電子廢棄物中的貴金屬。與傳統的處理方式相比，綠色製程不但能快速、安全且在不傷底材的條件下把電路板上的零件拆除，還可以將經處理後的貴金屬提純達到 99.99% 的金。而最主要的是，此方法相較於常用的王水和氰化物處理方式對環境、人類更安全，無汙染，徹底達到環保與循環經濟的目的。

This study provides a method that how to recycle the precious metal from electronic wastes by using eco-friendly SnST-550A Tin stripper and UW-860 Gold stripper in Malaysia. By comparing with traditional methods of precious metal's recovery, the green process is a fast and safe way to de-solder and take off the components from boards without damaged the substrate. After purification process, more than 99.99% pure gold can be collected. The most important is, this method provides a safer, no pollution way to recover gold than using aqua regia or cyanide. It achieves the goal of environment protection and circular economy.

關鍵字：馬來西亞、城市採礦、電子廢棄物、剝金、剝錫、循環經濟

Keywords: Malaysia, Urban mining, E-waste, Gold stripping, Tin stripping, Circular economy

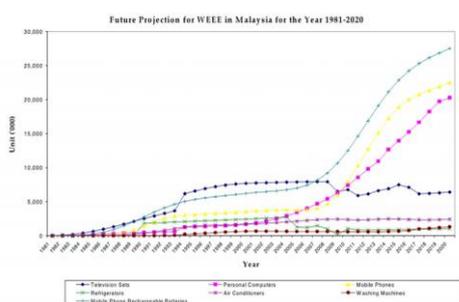
1. 前言

馬來西亞是一個位於東南亞的國家，其地理位置優越，除了鮮少有自然災害外，更處在東南亞的水路與空路的重要航線上。大馬是東協十國中，僅次於印尼及泰國的第 3 大經濟體，近 10 年經濟成長率皆高於全球水準^[1]。根據馬來西亞財政部《2017/2018 年經濟報告書》顯示，馬來西亞的製造業預估成長 5.3%，電子及電器、精煉石油和木材產品穩定的需求，將帶動以出口為導向的工業產量。而至 2017 年為止，馬來西亞的第一主要進口和出口的项目皆為電子與電器產品，由此可見其在馬來西亞的重要地位。隨著電子電器的普及性越來越高，馬來西亞電子垃圾的數量也以驚人的速度在成長。但遺憾的是，一般民眾對於電子廢棄物的處理並不了解，一般上認為只要電子垃圾沒有隨意丟棄，有交給回收廠商就算是盡了環保的一份力，但

是卻沒有追究這些廠商是否屬於有註冊及持有營運執照的——準確來說，是不知道此類回收廠商還有分為已註冊或未註冊，進而沒有意識到若是未註冊廠商使用非正規的處理方式回收這些電子廢棄物，其釋放的有害物質將會對環境還有人類的健康帶來很大的危害。因此，馬來西亞人民對於如何妥善處理電子廢棄物的議題應有更多的關注和了解。

根據馬來西亞統計局（Department of Statistics Malaysia, DOSM）的數據顯示，大馬於 2017 年的手機用戶達 97.7%，而電腦用戶則達 69.8%^[2]；而馬來西亞環境局（Department of Environment, DOE）的報告則顯示，馬來西亞的電子廢棄物在 2010-2020 年的發展，數量最多的廢棄物依序為手機電池、手機及筆記型電腦^[3]。且以使用率最高的智慧型手機來探討環保議題，近年來，智慧型手機的發展已趨近於成熟，其平均使用壽命也

約為兩年左右。大部分人選擇換手機主要原因是因為手機使用久了之後會出現當機及反應變慢的問題，也有部分使用者是為了追求更好的性能，如：拍照、遊戲流暢度、儲存容量等。從這個動作可以看出，經濟、性能、時代的潮流皆是大家選擇買或不買新手機的考量，尤其在這個智慧型手機層出不窮的時代，商家會以各種方式推銷自家手機的卓越功能，力求吸引更多消費者。在民眾普遍對電子垃圾的危害性意識不高的當下，顯然“環保”不會成為大家更換手機時的主要考量，因此電子垃圾與日俱增。



圖一：馬來西亞電子垃圾量預測圖表(1981-2020)，摘自 “The E-waste Inventory Project in Malaysia”

馬來西亞每年製造約一百萬噸的電子垃圾，而這些垃圾的處理方式為焚燒或掩埋^[4]。電子廢料排放出來的有毒化學物質和氣體是肉眼看不見的，若未經妥善處理，有毒物質將滲透到泥土及地下水等，導致嚴重的環境污染問題，而焚燒也會產生對人類神經系統有害的戴奧辛（dioxin，或稱二惡英）。

舉例來說，人們稱為「電子垃圾城鎮」的貴嶼鎮，自 80 年代起，幾乎每年都有上百萬噸廢棄電腦、電視及電子產品從世界各地走私進入，該鎮居民約 20 萬，其中一個距離當地垃圾焚燒廠臨近的華美村有高達 80% 的居民是因患癌病逝。有鑑於此，在馬來西亞的電子垃圾事態發展更為嚴重前，民眾對於處理廢棄的電器產品一事應有更慎重的考量，同時應將其交由正規的回收商家處置，而非隨意丟棄或轉賣給不符合規格的商家，未免健康受損時才發現為時已晚。

“城市採礦”（Urban Mining）指的是從電子垃圾中，以專業的技術來取出有用的金屬，除減少採礦活動之餘，還可推動國家的“循環經濟”（circular economy）。馬來西亞的通訊及多媒體委員會（MCMC）近年來也積極推動電子垃圾回收計劃，宣導“城市採礦”的理念，希望能以此推廣正確處理電子垃圾的概念^[5]。

根據報導，大馬在 2015 年就有約 1892 噸的報廢手機^[6]。依 1 噸手機至少可提煉出 400-700g 黃金的數據來看，1g 黃金價格約 159 令吉（約 1200 元台幣），所以大馬至少有 1.2 億令吉（約 9 億元台幣）的黃金是可以被回收的！而除了金之外，銀、銅、鈮、錫等都可以從回收中獲得^[7]。



圖二：廢棄手機中含有貴金屬可回收

馬來西亞的煉金方式不外乎就是使用王水與氟化物，實際上已經對環境造成了污染。使用正規、合法及完善的系統來處理電子垃圾的廠商極少，其原因是因為電子垃圾可回收的價值比不上處理系統要花費的成本，政府也沒為其進行相關補貼，因此這種無法獲取利潤的工作不會引起廠商的興趣。除此之外，約有 7 成的民眾在購買新手機後會選擇把舊手機當備用機，而不是選擇把手機拿去回收，這種做法相等於選擇性忽視電子垃圾的存在，可以被回收的資源也一直被擱置一旁。

話雖如此，馬來西亞仍然存在著努力解決電子垃圾問題的人士，但礙於大眾對電子垃圾的了解不深，造成他們心有餘而力不足。因此，政府除了可以從教育著手灌輸環保意識之外，參考先進

國家的環保政策及處理電子垃圾的方式也是有效改善目前困境的做法。

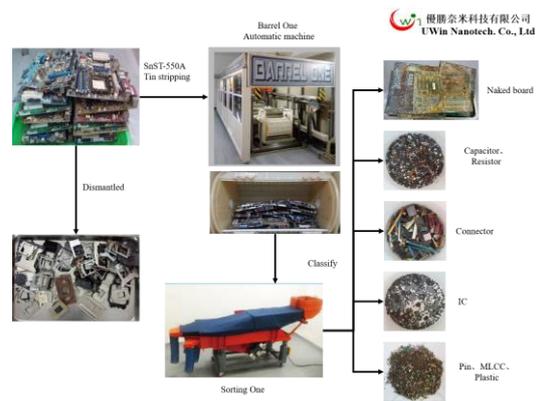
台灣是資源回收王國，與韓國、日本率先在東亞及東南亞地區建立電子垃圾收集及回收系統，往後更實施了電子垃圾專法，並嚴厲執行。台灣除了回收處理產業鏈相當完整外，環保署成立的基管會也會對環保回收方面進行相關的補貼（表一），全國上下也竭盡所能以更好的方式實踐環保，因此台灣環保署基金管理委員會的回收補貼政策也是值得馬來西亞政府與回收業者參考學習。

項目		補貼費率 (NTD)	回收價格 (NTD)
廢乾電池	一次鋰電池	139 元/公斤	18.75-25 元/公斤
	二次鋰電池	55 元/公斤	45-50 元/公斤
廢電子電器	廢電視機	284 元/台	30-80 元/台
	廢洗衣機	346.5 元/台	120-270 元/台
	廢電冰箱	635.5 元/台	240-460 元/台
	廢冷暖氣機	500 元/台	21 元/公斤
	廢電風扇	33 元/台	20 元/台
廢資訊物品	廢印表機	118 元/台	50 元/台
	廢鍵盤	14 元/台	2 元/公斤
	廢顯示器	207 元/台	黑白 60 元/台 彩色 100 元/台
	廢顯示器 (液晶部分)	199 元/台	80 元/台
	廢筆記型電腦	250 元/台	100 元/台
	廢平板電腦	146 元/台	30 元/台

表一：台灣回收清除處理補貼費率及收購價格，資料來源：台灣環保署基管會

本研究探討了如何在電子垃圾回收貴金屬的作業中，使用環保剝錫劑來進行電腦主機板元件解焊，進行篩選分類後收集含金的零件，然後再使用環保剝金劑來回收貴金屬。整個操作過程中並沒有產生有害的氣體或物質，且以量產的觀點來看，使用此剝錫劑及剝金劑除了節省了大量的時間外，更重要是它以簡單、安全的方式回收處理了電子垃圾的污染問題。

2. 實驗方法



圖三：電腦主機板處理流程

2-1: PCB 板的剝錫處理

本研究以廢棄的 PCB 板，使用優勝奈米科技有限公司提供的 SnST-550A 環保剝錫添加劑，配置比例如表二，將配置完成的溶液，用來溶解焊錫的部分。室溫下將 PCB 板浸泡於剝錫液裡約 50-60 分鐘，再取出，便可把上面的零件拆卸下來。把零件清洗乾淨，烘乾後再進行分類。

參數	操作範圍	建議參數
68%硝酸	200-300mL/L	250mL
SnST-550A	200-300m L/L	250mL
水	400-600mL/L	500mL
溫度	20-45°C	35°C

表二：剝錫液配置參數

2-2: 晶片的前處理 (磨碎與分離)

MLCC 及 IC 晶片破碎(grinding)後進行水旋風分離法來分離塑膠與金屬。

2-3: 酸洗與剝金

將處理後的 MLCC 及 IC 粉末經過以下的流程即可獲得含金液體：

1. 酸洗：配置 68%硝酸與水之比例為 3:7 的硝酸水溶液，酸洗溫度為 40-60°C，時間為 30-60 分鐘。酸洗後抽氣過濾收集粉末。
2. 剝金：調配適量的 UW-860 環保化學剝金劑，對粉末進行反應，時間約為 2-4 小時，便可獲得含金溶液。

2-4: 還原與純化

將含金溶液與還原劑進行反應，收集含金沉澱物並用稀硝酸浸泡，可再次去除金屬雜質。過濾後烘乾沉澱物，即可得到高純度的海綿金，將此海綿金放置在坩鍋以 1200 °C 的高溫爐燒結，即可獲得純金。



圖四：燒結後之純金與白銀

3. 結果與討論

SnST-550A 剝錫添加劑適用於純錫、錫銀銅、錫鉛等合金焊料與鍍層的剝除。剝錫過程可在常溫下進行。當錫剝除完畢後，元件可輕易地從主機板上取下，再用清水把元件沖洗乾淨即可。破碎後的 MLCC 及 IC 可由水旋風分離機把塑膠及金屬根據其重量進行分離，最後取得的是含有金屬成分的粉末，這過程可以直接篩選出不需要的材料，節省時間及藥水成本。酸洗的作用則是可以把粉末中多餘的金屬雜質(如:銀、銅、鎳等)去掉。整個回收金的實驗過程中並沒有產生任何的有害氣體或液體，除了酸要小心使用外，操作人員的安全是可以獲得保障的。

4. 結論

針對非法回收廠商以高溫來處理電子電路板，再使用王水和氰化物來提取有價值的貴金屬，這種做法會釋放有害物質並對環境構成威脅。在本研究中使用的環保剝金和剝錫添加劑，除了安全與操作便利外，也不傷害鍍錫鍍金的底材，避免了複雜的化學反應及後續處理，且其廢水處理簡單，能在完全環保的前提下大幅縮短貴金屬回收的時間。

馬來西亞垃圾參雜度高，電子垃圾被隨意丟棄在垃圾堆裡也不足為奇，因

此要做到完善的貴金屬回收處理，恐怕還是有難度。此後要先廣泛推動的，應是結合公民社會與教育團體，實施住家垃圾分類回收政策^[8]。電子垃圾的回收點也應更廣泛地設立，並且宣導正確丟棄電子垃圾的重要性，也可立法讓廠商承擔責任、由污染者付費，減少垃圾的產生且提高回收率，才能實現全民環保。馬來西亞在電子電器的市場上可說是相當重要的一個進出口國，其經濟發展也受世界各國的關注，若能妥善處理電子垃圾問題，不但可以提升國家形象，成為東南亞地區環保回收的佼佼者，還能實現經濟循環的理念，一舉多得。

5. 參考文獻

- [1] “我國產品在馬來西亞進口市場概況”，台灣經濟部統計處，2016
- [2] DATO' SRI DR. MOHD UZIR MAHIDIN, “ICT Use and Access By Individuals and Households Survey Report, Malaysia, 2017”, Department of Statistics Malaysia, 2018
- [3] “The E-waste Inventory Project In Malaysia”, Perunding Good Earth Sdn. Bhd, pp. 55-56, 2007
- [4] Steven Patrick, “What would you do with your old phone?”, The Star, Star Media Group Berhad, 2016
- [5] “多媒體委會：透過回收計劃，2 年回收 1.5 噸電子垃圾”，星洲日報，世華多媒體有限公司，2017
- [6] 鄒詩敏，“如何管理廢棄電子產品”，東方日報，2016
- [7] “實現循環經濟 優勝奈米有解”，理財周刊，No.914，pp.76-79, 2018
- [8] 李健聰，“都市固體廢物處理：借鑒臺灣經驗”，燧火評論，2014

聯絡人：祝芷欣 (Zoe)

馬來西亞霹靂怡保人

國立台灣科技大學材料科學與工程系

+886-909-075-640

zoexinchoke@gmail.com