

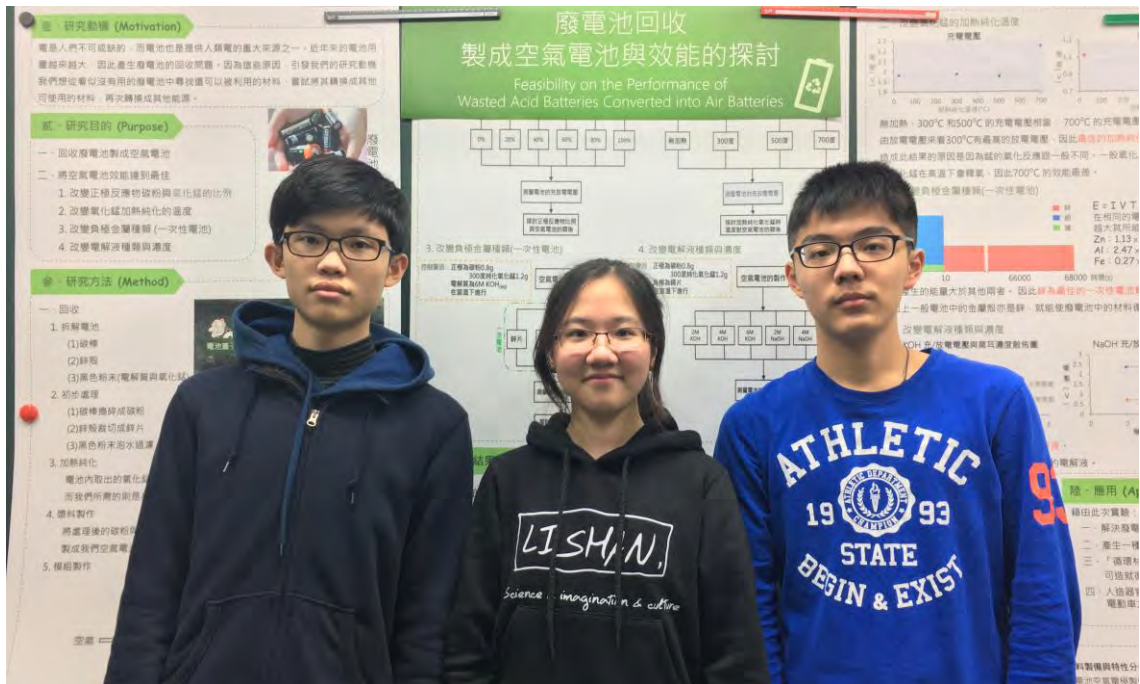
# 2018 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 200006  
參展科別 環境工程  
作品名稱 廢電池回收製成空氣電池與效能的探討  
得獎獎項 大會獎：三等獎

就讀學校 臺北市立麗山高級中學  
指導教師 郭俞麟、林銘棋  
作者姓名 呂可弘、孫宇彤、張恩齊

關鍵詞 廢電池回收、氧化錳、空氣電池

## 作者簡介



大家好，我們是呂可弘、孫宇彤和張恩齊，目前就讀麗山高中二年級。環境化學是我們的共同興趣，近年來的化學環境汙染的問題日益嚴重，能源也漸漸短缺，我們希望透過科學方法來解決環境問題，可能是透過一些簡單的方法便能夠將回收物重複再利用。也謝謝一直以來陪伴我們的老師、教授、學長們的指導，讓我們在研究過程中受益良多。

## 摘要

一般日常使用的電池雖是重要的供電來源，但在使用後也產生了許多的廢電池，造成環境汙染的問題。本實驗探討回收廢電池製成空氣電池的可行性，所謂的空气電池是以空氣發電的一種電池，其負極為金屬，正極則是直接使用空氣中的氧氣。我們知道廢電池中所包含鋅殼、碳棒以及黑色粉末，其中黑色粉末內含有氧化錳與電解質，而電解質可溶於水，於是我們將其泡水過濾分離出氧化錳，然後將碳棒搗碎與得到的氧化錳混和製成正極。而鋅殼可作為負極。運用以上處理方法，我們成功的處理掉廢電池中大部分的廢棄物。

效能的研究方面我們改變了 4 個變因：

1. 正極反應物之碳與氧化錳的比例
2. 加熱純化氧化錳的溫度
3. 以不同金屬製成一次性電池
4. 改變電解液種類與濃度

分別得到以下的結果：

1. 碳粉 0.8g 加氧化錳 1.2g 時的反應最佳
2. 以 300°C 加熱可產生最多的二氧化錳讓反應較佳
3. 鋅可放電最久，高達 19 小時
4. 6MKOH 中可產生最好的效能

此次實驗利用簡單的處理加工，將原本的廢棄物轉變成可以再次使用的能源，把這個技術做到最好，就是所謂的「循環材料高值化技術」。如果能夠擴大生產技術及回收流程成的速度，便可以發展成一個綠色能源。

## Abstract

People have produced many wasted batteries after using them and caused severe environmental pollution. In this project, we studied the feasibility of recycling the wasted battery and made it into the air battery, which was a usable battery generating electricity from air. The anode of an air battery was made of metal, and the cathode caught the oxygen in the air. It was well-known that the daily-used battery was a kind of common and important power sources. The wasted batteries were composed of zinc case, carbon rod and black powder, where there were some electrolyte and manganese oxide. We dissolved the electrolyte in water and separated manganese oxide. Next, we smashed the carbon rod and mixed with the manganese oxide, which was used as the positive electrode. Meanwhile, the zinc case could be used as the negative electrode. By using the approaches described above, most of the waste in a wasted battery could be successfully removed.

In terms of efficiency, we have chosen 4 experimental variables to test:

1. The proportion of carbon and manganese oxide used in positive-electrode reactant.
2. The temperature at which the manganese oxide was heated.
3. The kinds of metal to be made into disposable battery.
4. The kinds and concentration of electrolyte.

After experiments, we have got the following results:

1. The best percentage of manganese oxide is 60%,
2. The best heating temperature of the manganese oxide is 300°C,
3. The battery made of zinc could last a longer time (up to 19 hours) than the others.
4. The concentration of 6M KOH could be the best for the electrolyte used in the battery.

Finally, in terms of efficiency of the electricity, the air battery we made in this research still needed more improvement to be as good as the common battery in the market. However, as for recycling performance, it had a very good achievement. Furthermore, considering the production cost and the efficiency of environmental protection, it would be much better than most of the common battery. The results of this project have validated the value of "Critical Material Technologies Enabling Circular Economy".

# 壹、前言

## 一、研究動機

在日常生活中總會運用到電，而電池是提供人類電的重大來源之一。

近年來的電池用量越來越大，而產生了廢電池污染的問題，廢乾電池中含有鋅、錳等重金屬而重金屬污染可能引起植物病變、枯萎，人體也可能由空氣、水、土壤及食物的污染途徑面吸收，造成危害性神經破壞、誘發癌症等症狀，嚴重則有致死的可能性。這些重金屬若不妥善處理，將會持續殘留在人體中或是環境而影響生態與後世人類。因為這些廢棄電池污染對環境的危險性，引發我們的研究動機，想從看似沒有用的廢電池中尋找還可以被利用的材料，並且利用一些簡單的處理，將那些污染物像是錳、鋅等物質轉換、降低其毒性，最後利用在空氣電池的製作上，希望能將污染環境的廢電池處理防止其危害生態環境，並且轉換成空氣電池，提供可以使用的新能源。

## 二、研究目的

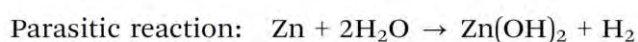
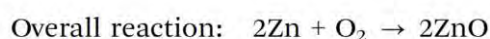
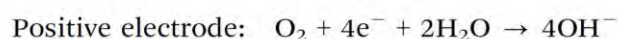
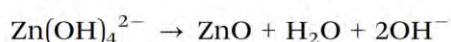
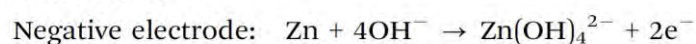
(一)回收廢電池製成空氣電池

(二)將空氣電池效能達到最佳

- 1.改變正極反應物碳粉與氧化錳
- 2.改變氧化錳加熱純化的溫度
- 3.改變負極金屬種類(一次性電池)
- 4.改變電解液種類與濃度

## 三、空氣電池反應化學式：

以鋅為例：



## 貳、研究方法或過程

### 一、研究設備及器材

#### (一)材料

- 1.金屬片：鋅片、鐵片、鋁片、錫片
- 2.電解質：氫氧化鈉、氫氧化鉀
- 3.正極反應物：碳紙、碳粉、氧化錳
- 4.黏著劑：聚偏二氟乙烯 (PVDF)、N-甲基吡咯烷酮 (NMP)
- 5.空氣電池模組：壓克力、矽膠墊片、不銹鋼網、碳紙、螺絲及螺帽

#### (二)器材

燒杯、玻棒、量筒、漏斗、抽濾瓶、抽濾漏斗、滴管、容量瓶

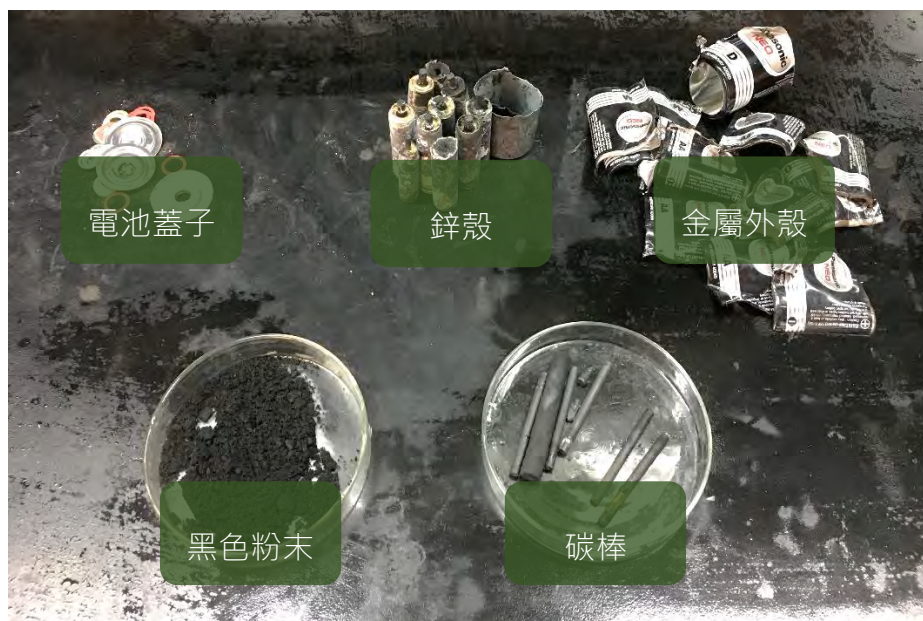
#### (三)設備與軟體

電子秤、加熱攪拌器、烘箱、恆電位儀(北極光科技股份有限公司)、EC-Lab

### 二、研究方法與步驟

#### (一)進行電池的拆解 (如圖一)

- 1.碳棒
- 2.鋅殼
- 3.黑色粉末(成分包含氧化錳和電解質)



圖一

(二)純化內容物 (如圖二)

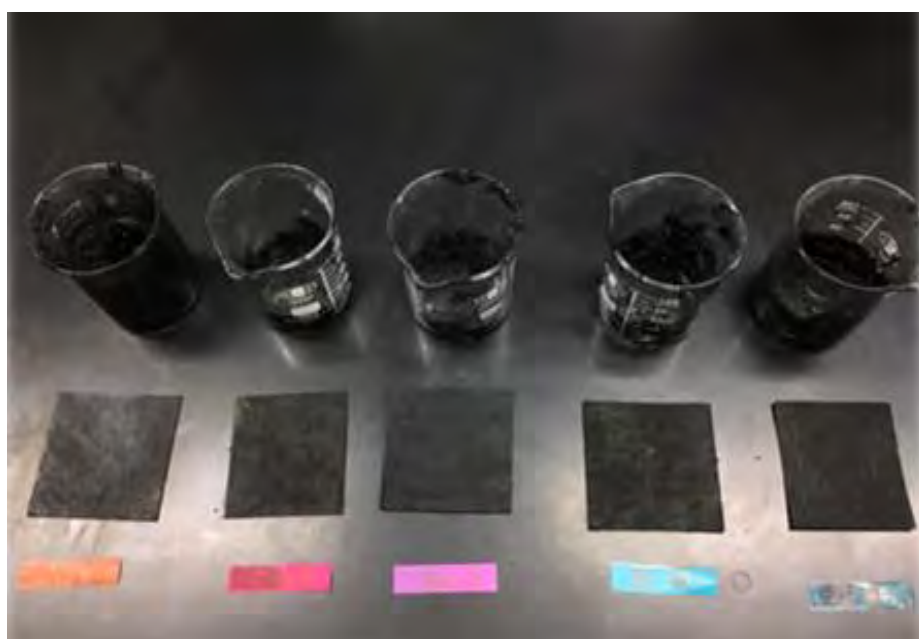
1. 泡水過濾，除去可溶於水的鋅的錯合物和氯化銨
2. 加熱純化氧化錳，分別使用 300 度、500 度、700 度加熱



圖二

(三)漿料製作並塗布 (如圖三)

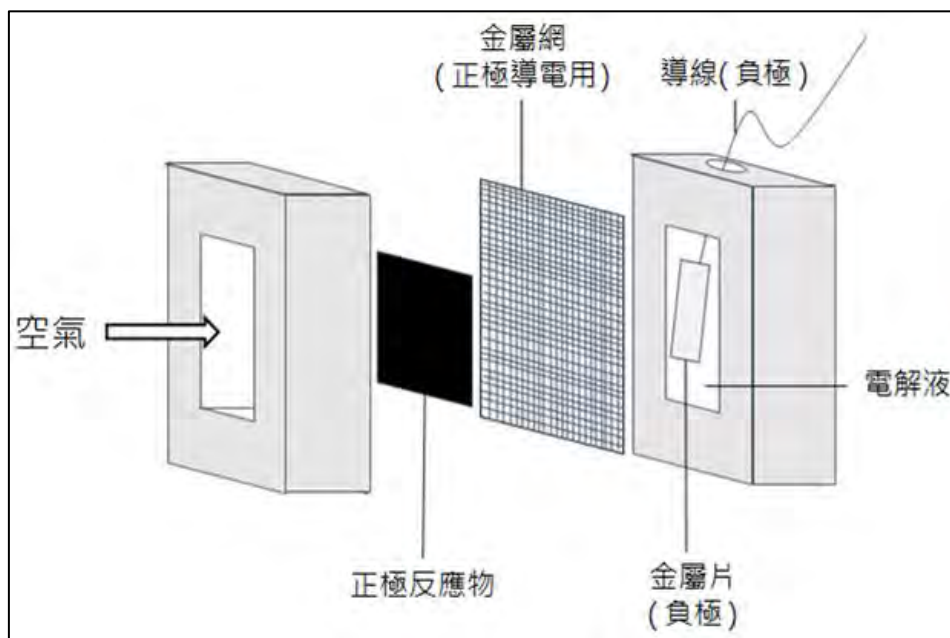
1. 加入氧化錳、碳粉、PVDF、NMP 四樣材料，並均勻混合，製作成漿料
2. 將漿料均勻塗抹在碳紙上，完成空氣電池正極反應物



圖三

(四)模組製作 (如圖四)

- 1.組裝空氣電池模組，放入正極反應物、負極金屬片
- 2.加入電解液



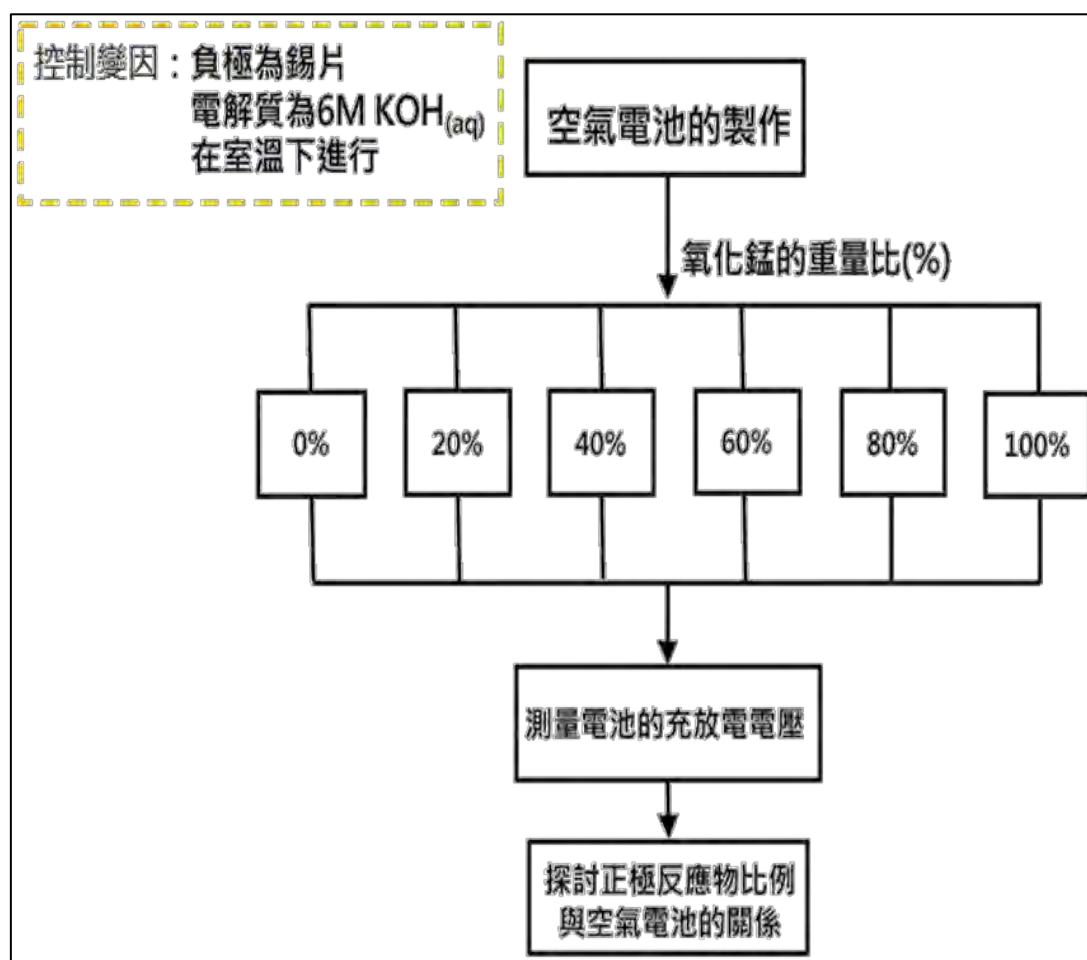
圖四

從負極的金屬片開始，藉由導線傳導電子到金屬網，金屬網接觸正極反應物，正極反應物上有許多細小的微孔，可吸附空氣中的氧氣，讓氧氣和金屬片進行反應。



## (五)改變變因

### 1.改變正極反應物碳粉與氧化錳比例 (如圖五)



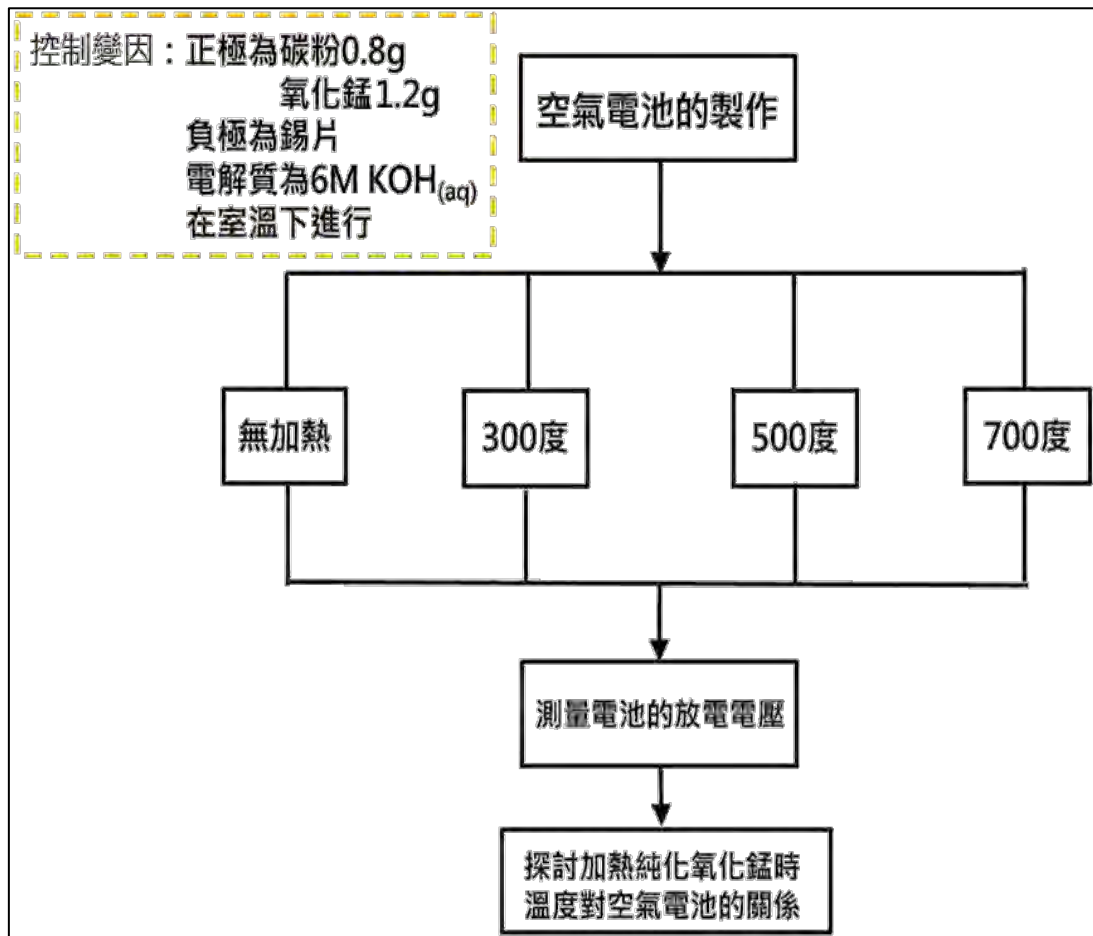
圖五

在空氣電池中氧化錳為催化劑，碳粉則是幫助導電。

我們在此實驗中，固定碳粉與氧化錳的總重量為2克。

這邊所使用的是我們從廢電池中經過處理後分離的氧化錳，包含高價的二氧化錳，以及低價的三氧化二錳和四氧化三錳。

2.改變氧化錳加熱純化時的溫度 (如圖六)



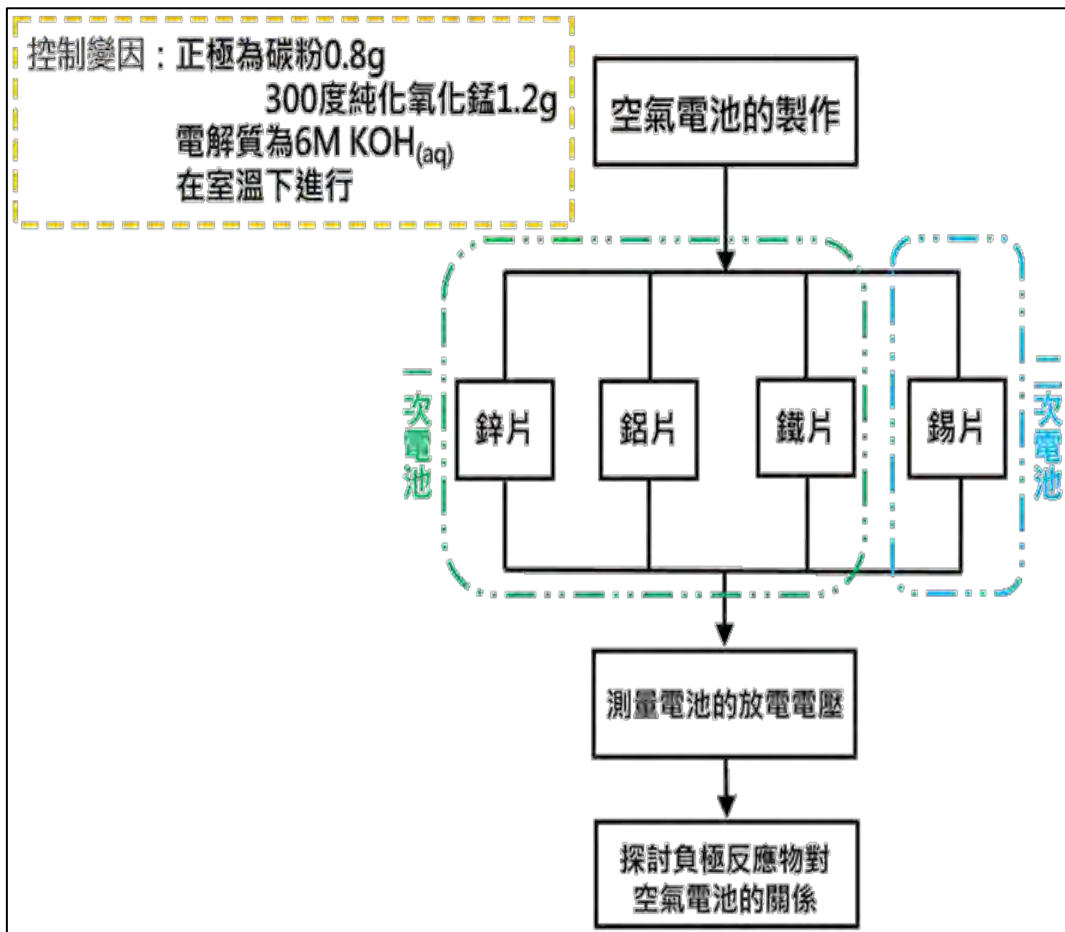
圖六

正極反應物氧化錳的重量百分比使用60%，也就是碳粉0.8克、氧化錳1.2克。

在此實驗中，我們實驗用不同的溫度加熱氧化錳，分別使用無加熱(室溫)、300度、500度、700度這四種溫度進行加熱純化。

因為從廢電池中取出的氧化錳含有低氧化態的氧化錳，像是三氧化二錳和四氧化三錳，而能夠幫助催化空氣電池反應的則是高價的二氧化錳，因此我們進行加熱純化的動作。

### 3.改變負極金屬 (如圖七)

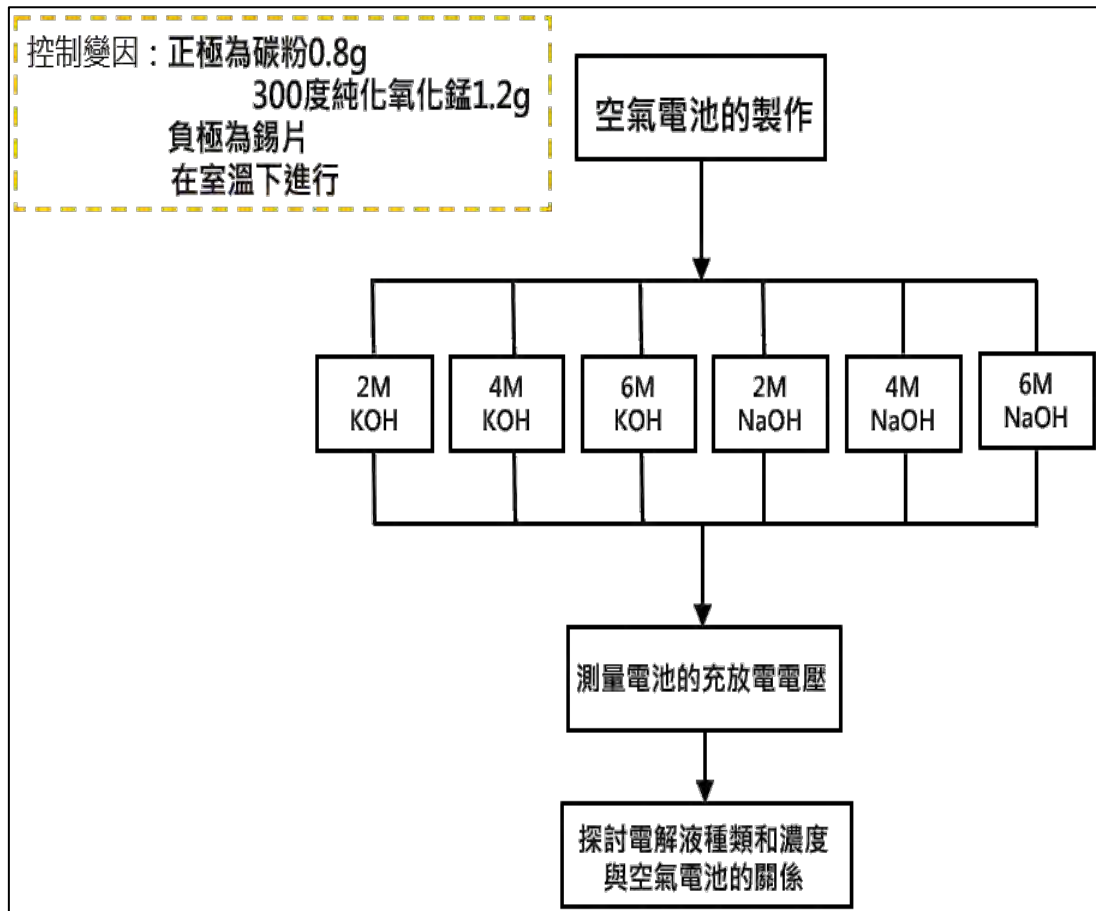


圖七

市面上的空氣電池大多是用鋅、鋁等等的一次性電池，除了以上的兩種金屬，我們也加入了常見、易取得的鐵金屬，測試不同金屬對於空氣電池效率的影響。而根據文獻，錫可以在空氣電池中氧化成氧化錫亦可還原回去，因此我們把負極金屬改成錫，讓此種空氣電池變成了可以充放電的二次電池；但其他的金屬像是鋅、鋁、鐵則只能氧化，不能還原，故只能當作一次性電池。

除了從二次電池的觀點來看也可以從一次電池的角度，觀察改變負極金屬對空氣電池的影響，我們此次實驗主要是探討一次性電池。

#### 4.改變電解液種類與濃度 (如圖八)



圖八

文獻中以 6M 氫氧化鉀作為空氣電池的電解液，這個實驗探討電解液的種類以及其濃度對於空氣電池的影響，我們分別設計以 2M、4M、6M 三種濃度，還有比較常見強鹼 NaOH、KOH 這兩種電解液，共有兩種變因、六種組合來探討在哪種電解液及濃度下，對於空氣電池會有最佳的效果。

#### (六)測量電壓

使用儀器恆電位儀以及軟體 EC-Lab，測量空氣電池充放電電壓。

## 參、研究結果與討論

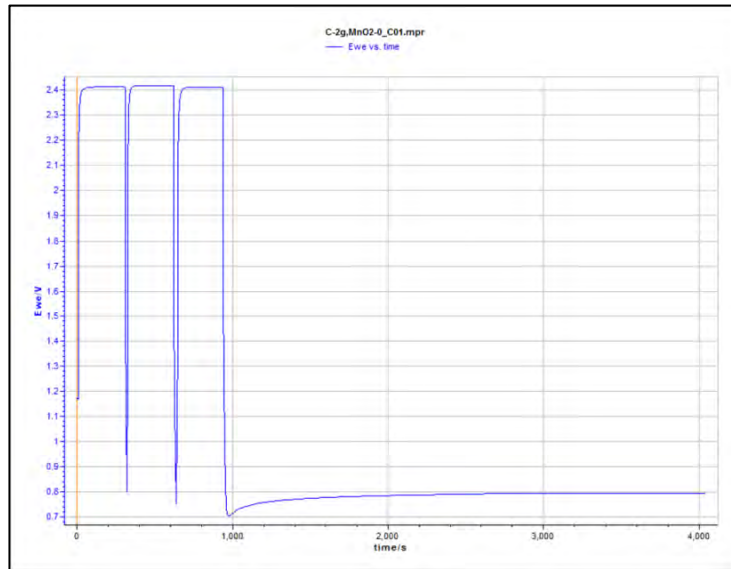
### 一、研究結果

#### (一)氧化錳的重量百分比

##### 1. 氧化錳 0% (如圖九)

充電：2.24V

放電：0.8V



圖九

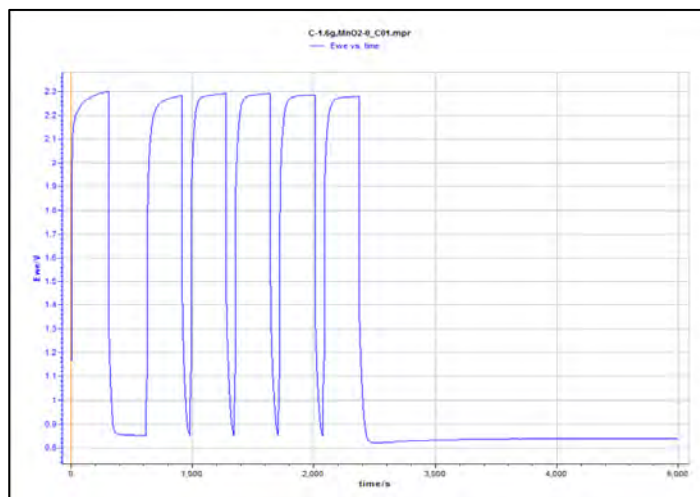
圖九討論：

此放電電壓為六個結果最低的，顯然正極反應物不能沒有氧化錳。

##### 2. 氧化錳 20% (如圖十)

充電：2.28V

放電：0.84V



圖十

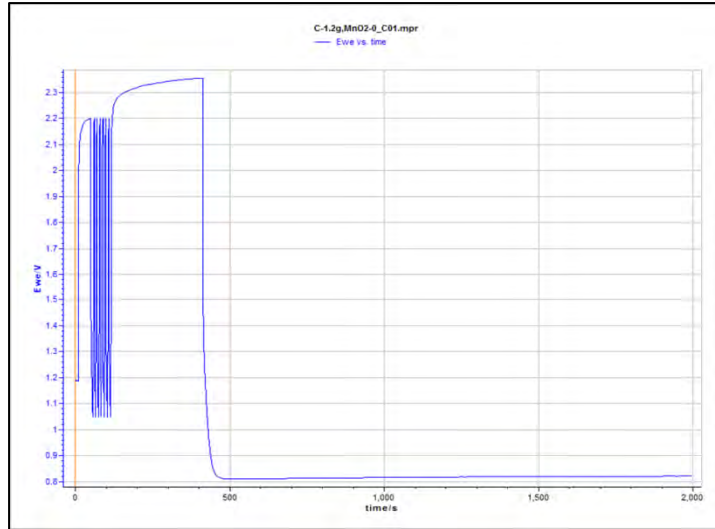
圖十討論：

剛開始不確定放電電壓時會產生只有充電平台沒有放電平台的圖，所以我們不斷調低截止電壓直到產生放電平台。

3. 氧化錳 40% (如圖十一)

充電：2.34V

放電：0.82V



圖十一

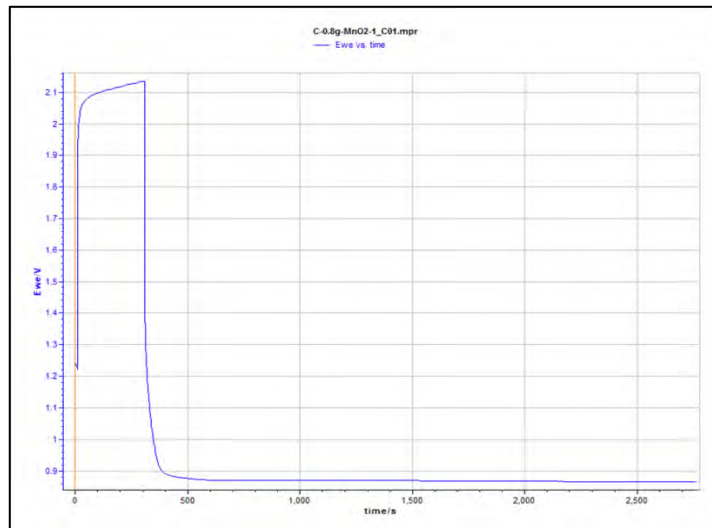
圖十一討論：

剛開始放電因為反應還沒穩定，所以導致沒有放電與充電平台，只有電流經過，過了一段時間就穩定了。

4. 氧化錳 60% (如圖十二)

充電：2.12V

放電：0.87V



圖十二

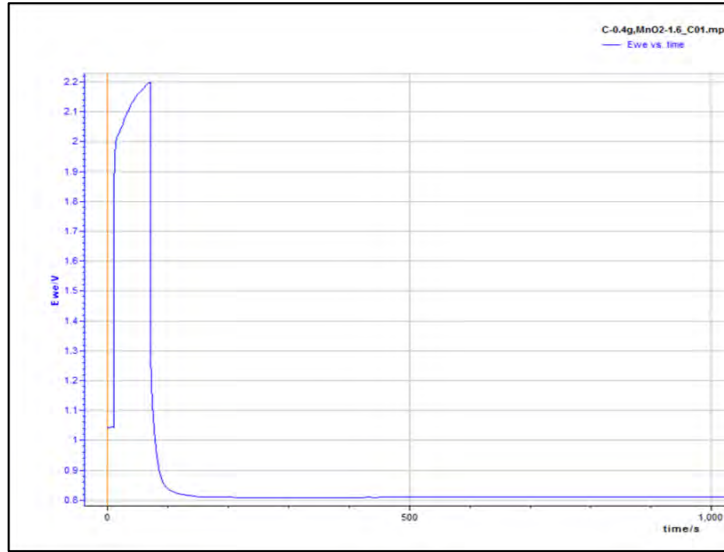
圖十二討論：

此結果的充電電壓相對低、放電電壓相對高，所以這比例是此變因最佳的結果。

5. 氧化錳 80% (如圖十三)

充電：2.1V

放電：0.81V



圖十三

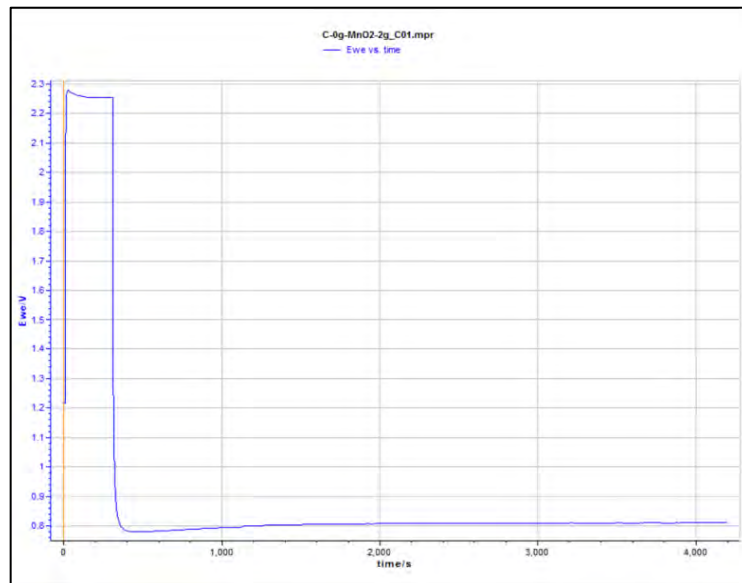
圖十三討論：

這結果的充電電壓不斷在升高，而放電電壓低，很顯然這不是個好的比例。

6. 氧化錳 100% (如圖十四)

充電：2.26V

放電：0.8V

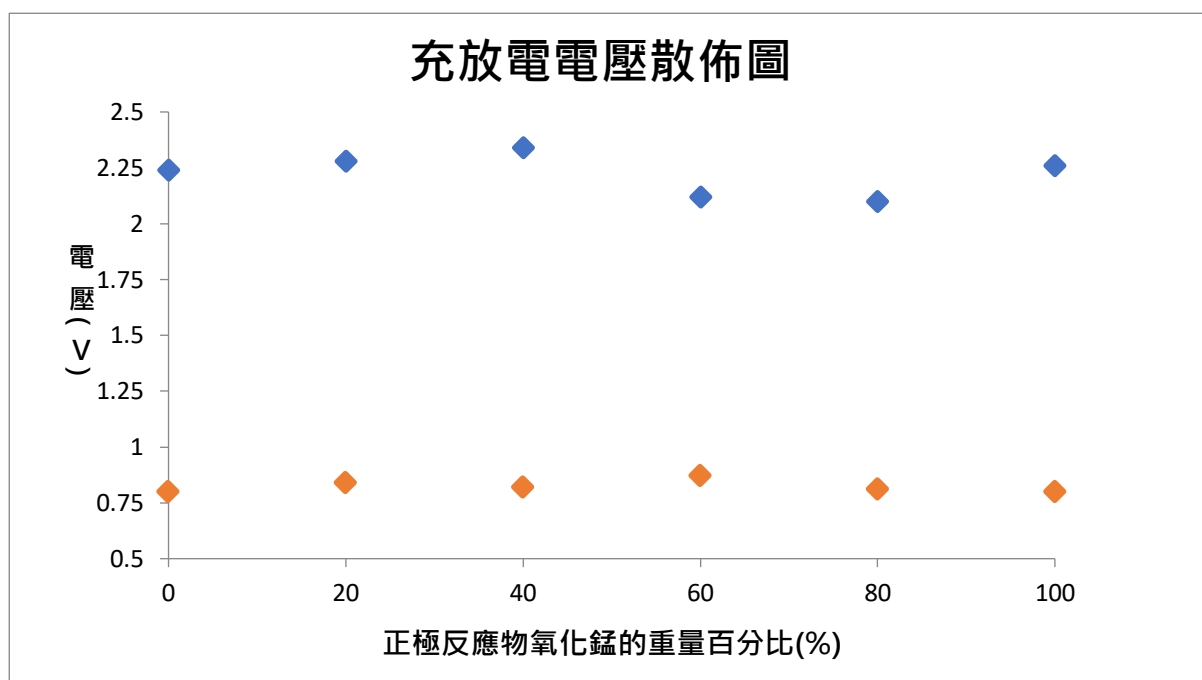


圖十四

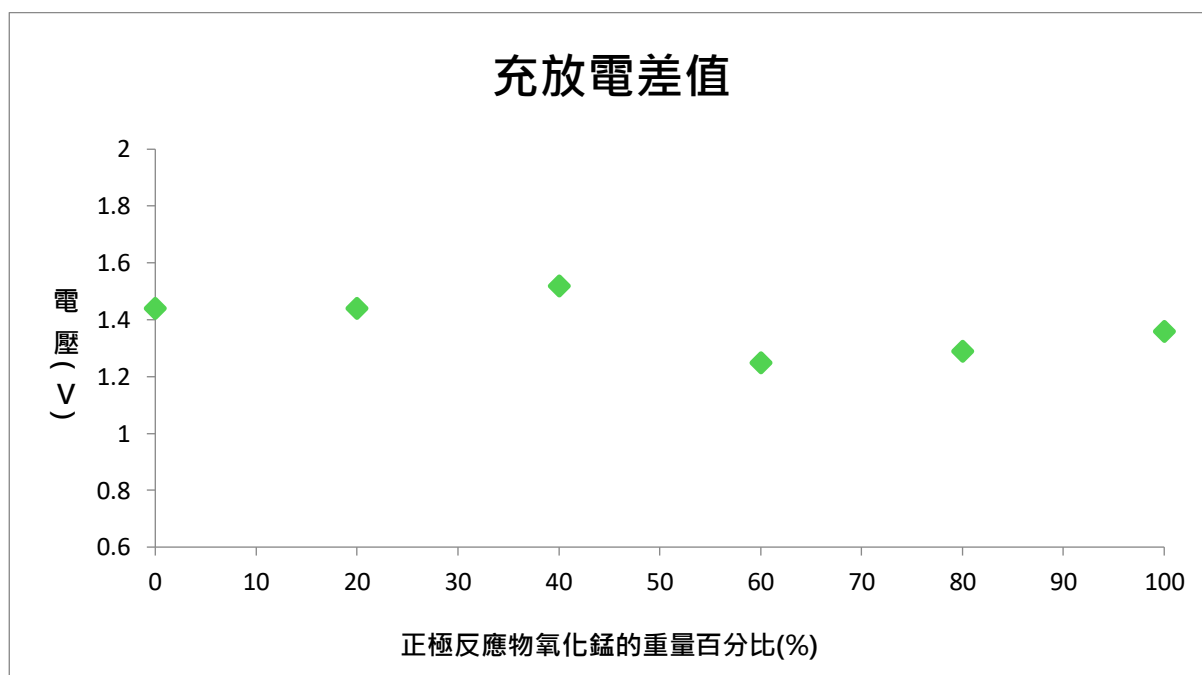
圖十四討論：

此放電電壓為六者最低，顯然正極反應物不能沒有碳粉。

比例結果統計：



表一



表二

以 60%為最佳氧化錳的重量百分比



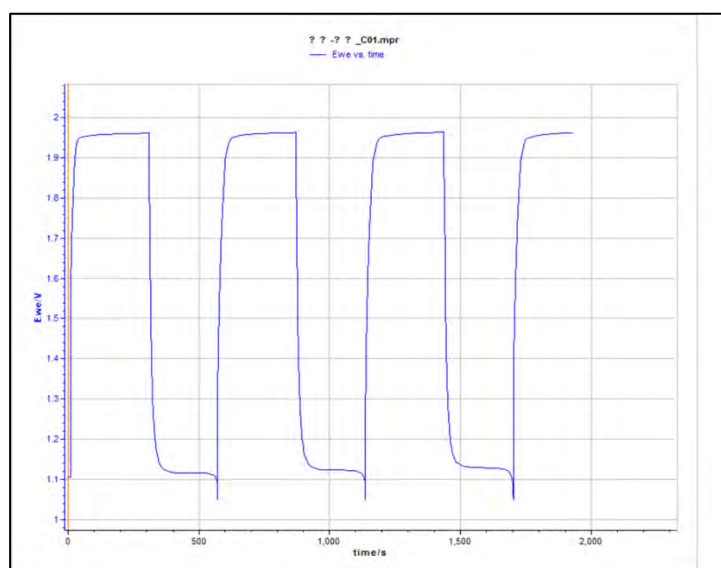
## (二)氧化錳加熱純化

使用 0.8 克碳粉，1.2 克氧化錳製成正極反應物(氧化錳重量百分比為 60%)

### 1.無加熱 (如圖十五)

充電：1.96V

放電：1.12V



圖十五

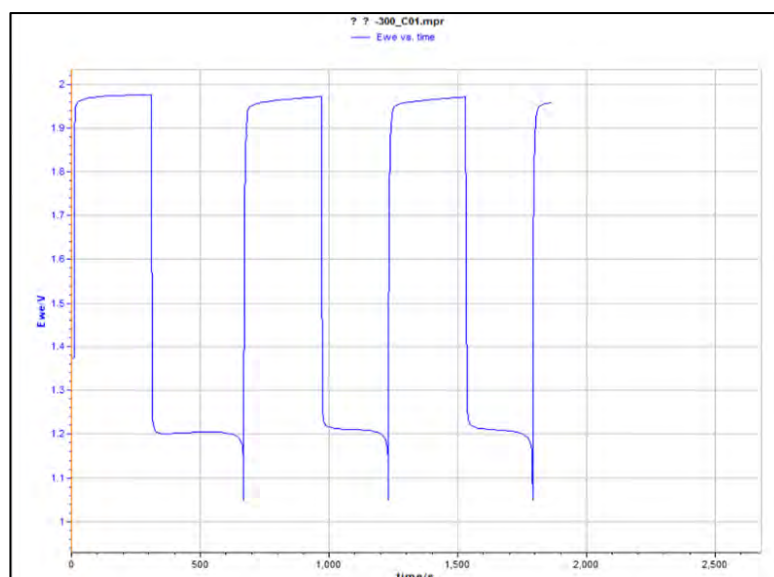
圖十五討論：

雖然這不是最好的結果，但卻是一開始所取得的。

### 2.加熱 300°C (如圖十六)

充電：1.97V

放電：1.2V



圖十六

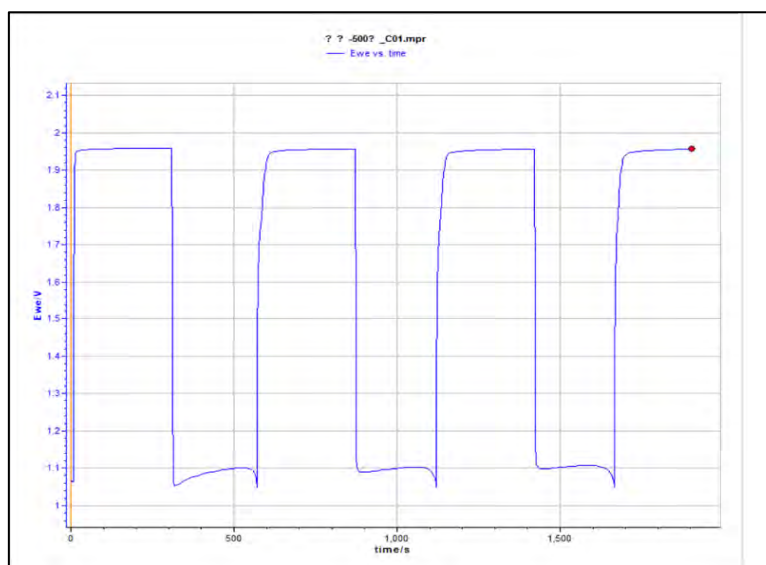
圖十六討論：

這結果的放電電壓是四者最高，因為從廢電池中取出的氧化錳為低價氧化錳，而我們需要的是有催化效果的高價(的)二氧化錳。經過適當的熱處理，便有了這組最佳的結果。

### 3.加熱 500°C (如圖十七)

充電：1.95V

放電：1.1V



圖十七

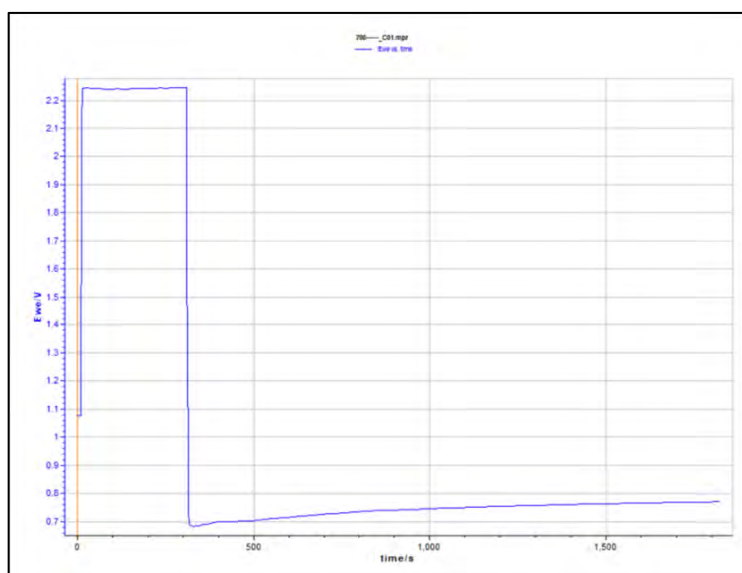
圖十七討論：

以傳統的氧化反應解釋，愈高溫氧化會愈好，但此結果的放電電壓降低了，也就代表二氧化錳的含量也降低。這是因為二氧化錳有一個特性，二氧化錳在高溫下會釋氧分解，開始緩慢分解的溫度為 445°C，以此特性就可解釋為何 300°C 的效果會高於 500°C。

### 4.加熱 700°C (如圖十八)

充電：2.24V

放電：0.75V

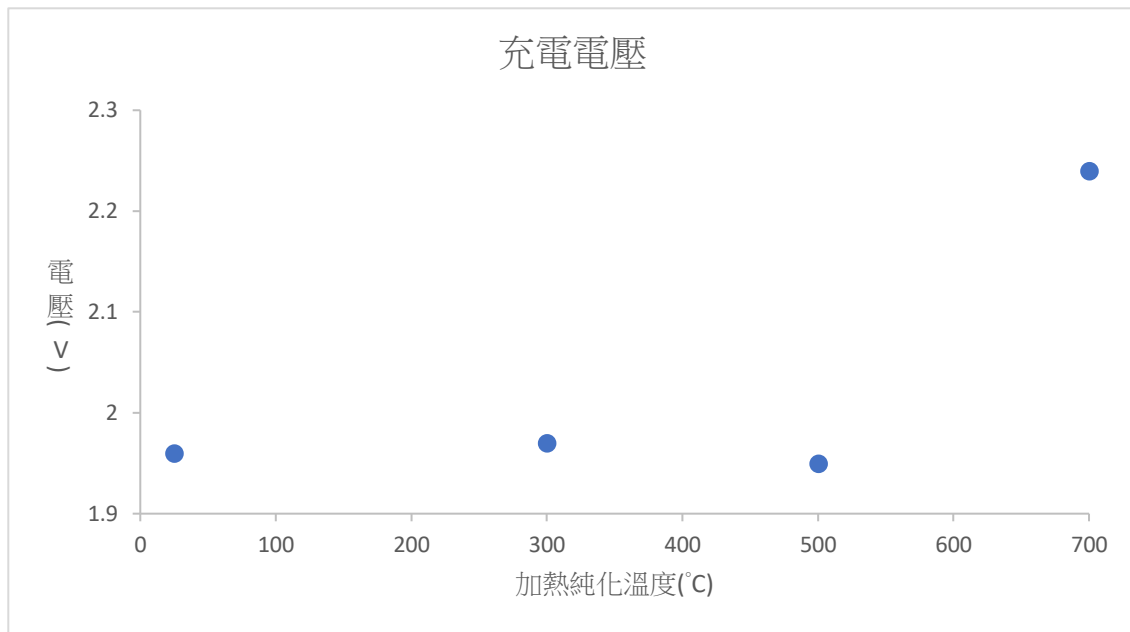


圖十八

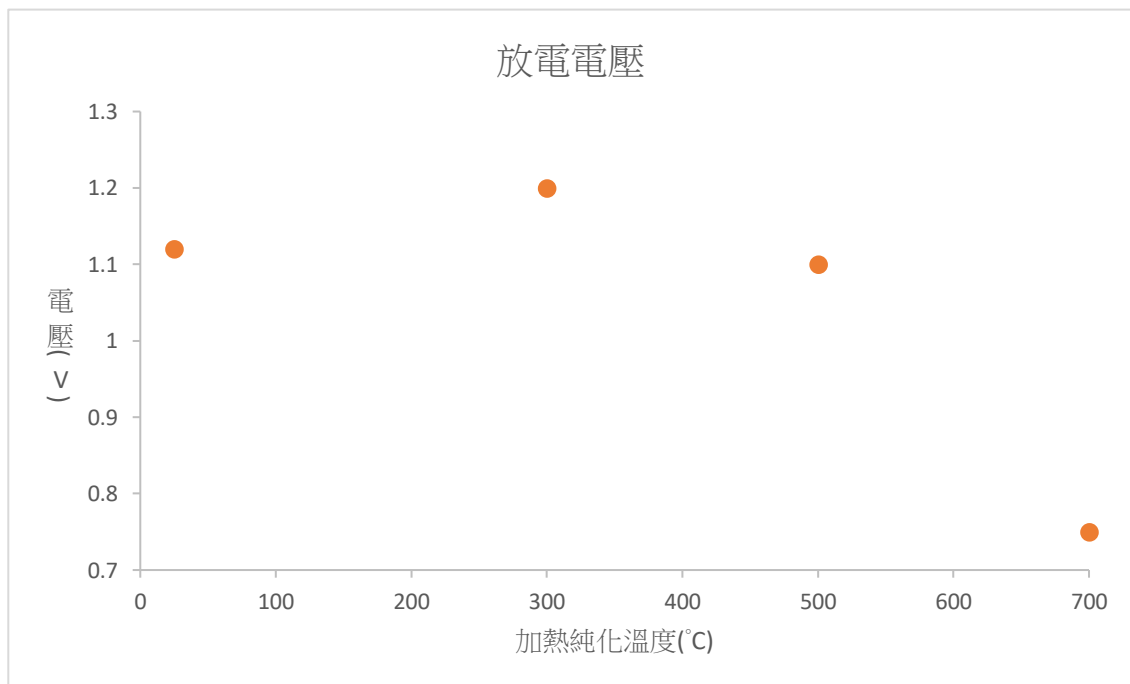
圖十八討論：

700°C 顯然大部分的二氧化錳都釋氧分解回低價的氧化錳，導致充電電壓高放電電壓低，而且加熱所消耗的能量又大，因此 700°C 是個非常不良的加熱純化溫度。

加熱純化溫度統計：



表三



表四

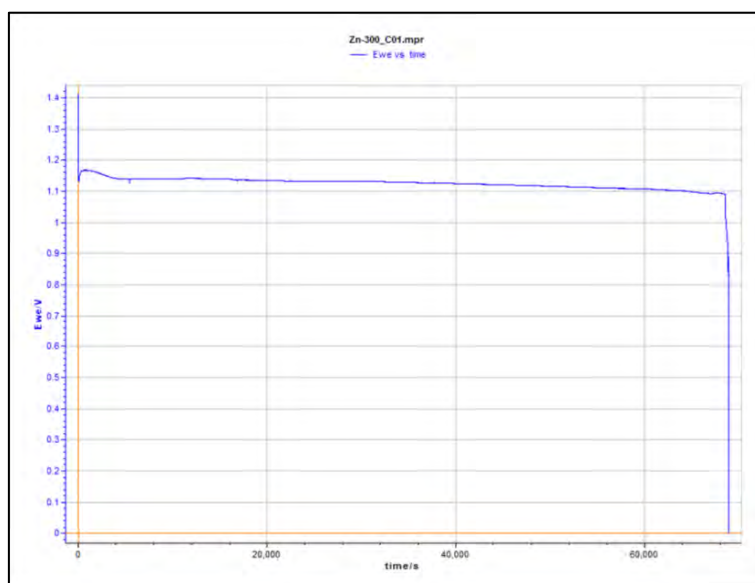
以 300°C 為最佳的純化溫度

### (三)空氣電池負極金屬 — 一次電池

#### 1. 鋅片 (如圖十九)

放電電壓：1.13V

放電時間：19 hr



圖十九

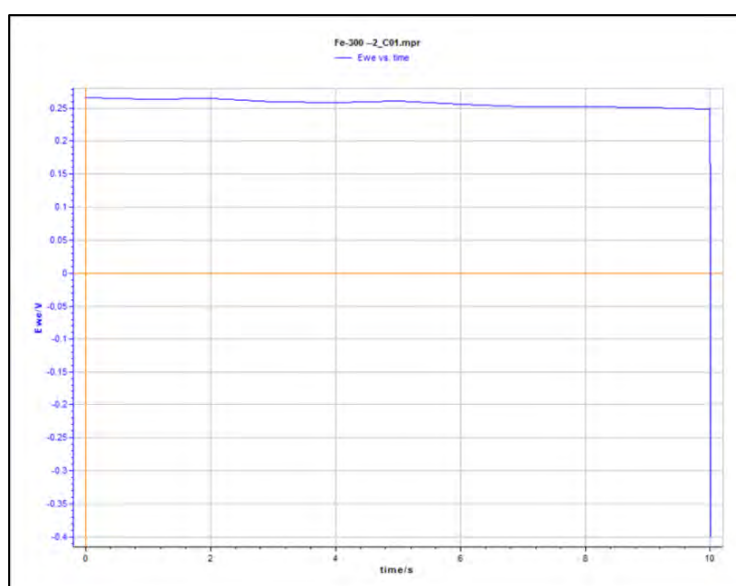
圖十九討論：

雖然放電電壓不是最高的，但放電時間卻高達 19 小時，相對起其他金屬能提供較持久的電力。再加上鋅又可以從廢電池中取得，不但可以再利用廢棄物，還可以減少空氣電池的原料需求，進而減少金屬開採、冶煉時的能源消耗與環境污染，因此鋅為最適合作為一次性空氣電池的負極金屬。

#### 2. 鐵片 (如圖二十)

放電電壓：0.27V

放電時間：10 s



圖二十

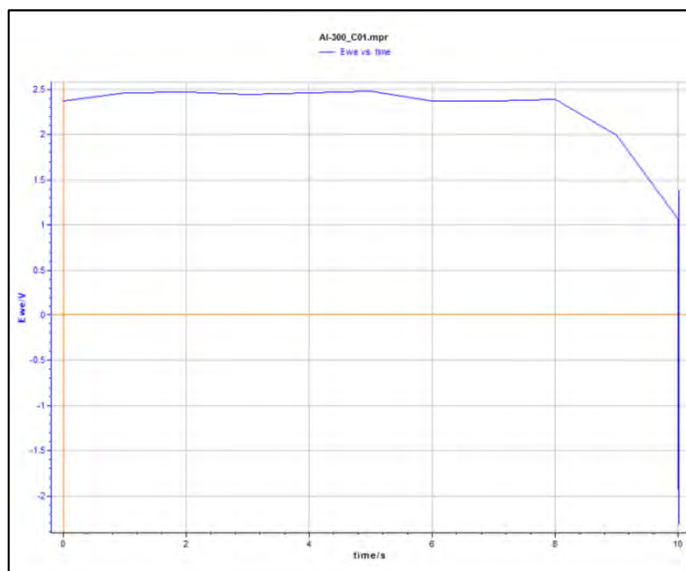
圖二十討論：

放電電壓和放電時間都不理想，不適合製作成空氣電池。

### 3.鋁片 (如圖二十一)

放電電壓：2.47V

放電時間：10 s

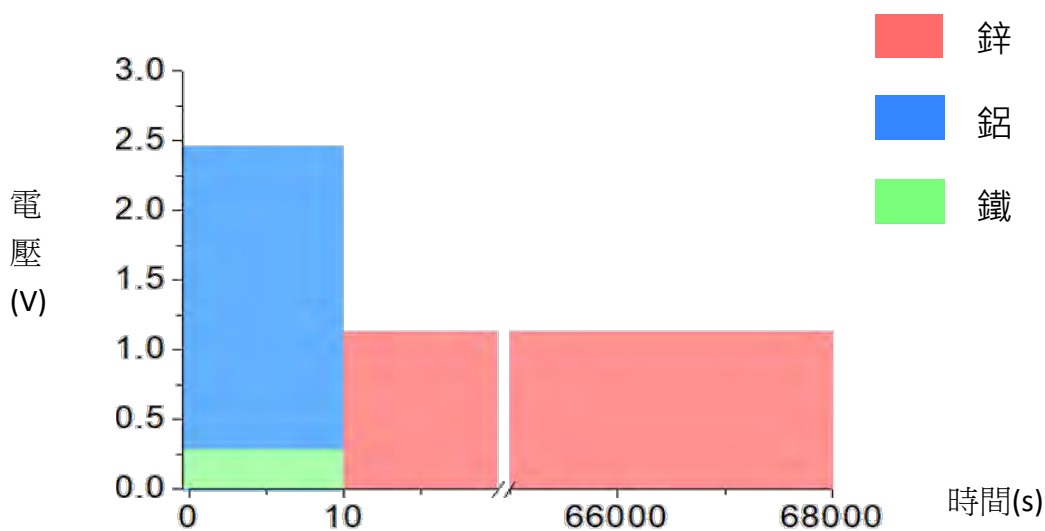


圖二十一

圖二十一討論：

鋁的放電電壓高於其他的一次性金屬，但它反應後會形成緻密的氧化鋁  $Al_2O_3$  使內部的鋁沒有辦法反應，因此鋁的放電時間只有短短的十秒。放電電壓雖然高，但放電平台的穩定度和時間皆不理想。

一次性電池金屬統計：



表五

此圖是以  $E=I V t$  所計算，電流固定為 1 安培，因此此圖表的面積也就是  $Vt$  乘積，面積愈大所產生的能量愈多，效能也就越好。

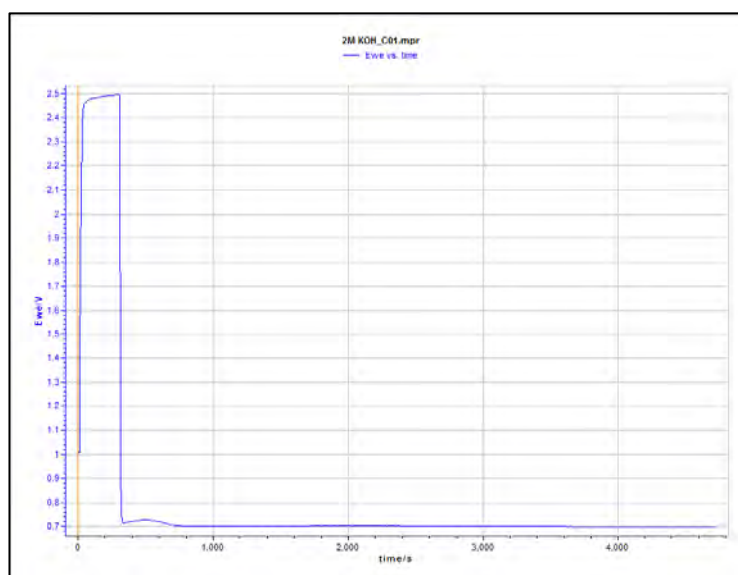
以鋅為最佳一次性空氣電池負極金屬

#### (四)電解液

##### 1. 2M KOH (如圖二十二)

充電電壓: 2.49V

放電電壓: 0.7V



圖二十二

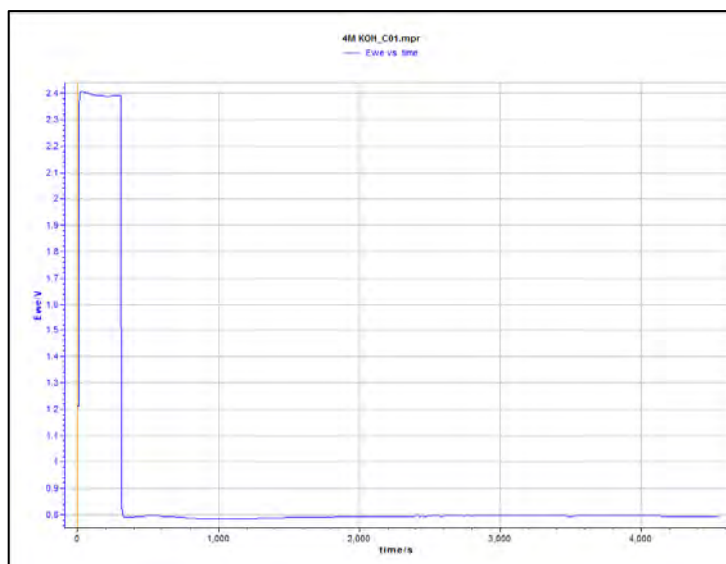
圖二十二討論：

顯然濃度會影響電壓，濃度低放電電壓就相對低 (只有 0.7 V)

##### 2. 4M KOH (如圖二十三)

充電電壓: 2.40V

放電電壓: 0.8V



圖二十三

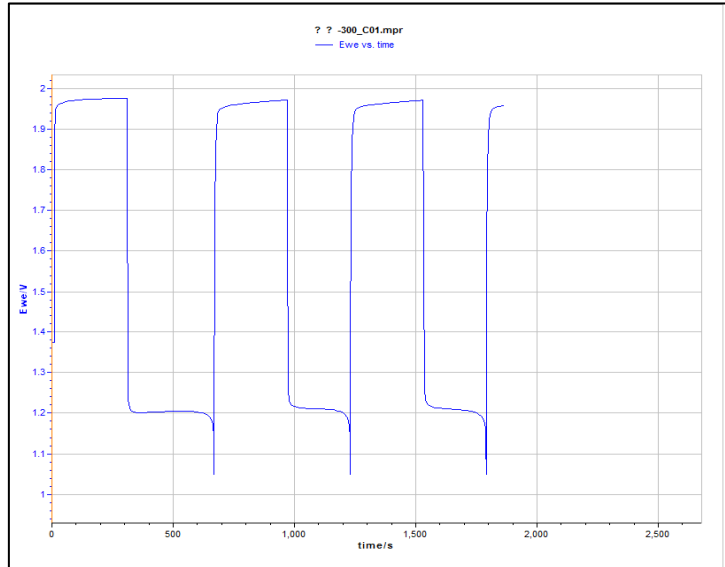
圖二十三討論：

濃度不夠，但效果比 2M KOH 還要好。

### 3. 6M KOH (如圖二十四)

充電電壓: 1.97V

放電電壓: 1.2V



圖二十四

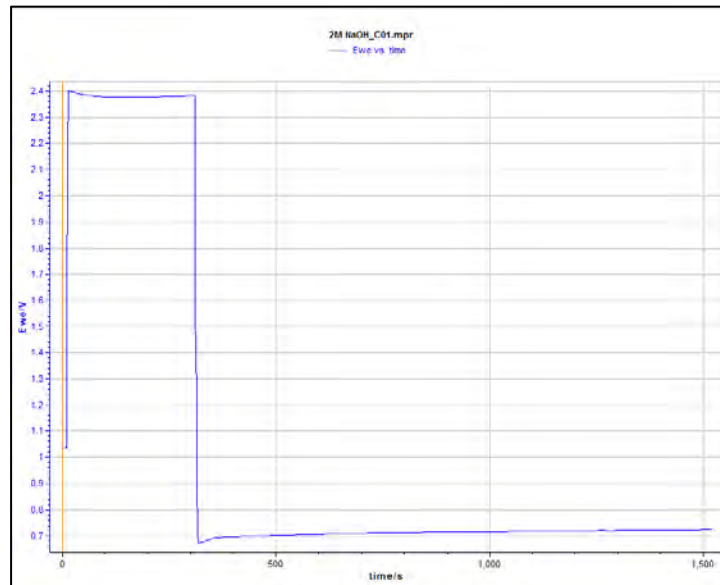
圖二十四討論：

6M 氫氧化鉀的效能非常好，也順利有了充放電的迴圈，充電低放電高，是好的實驗數據。

### 4. 2M NaOH (如圖二十五)

充電電壓: 2.37V

放電電壓: 0.72V



圖二十五

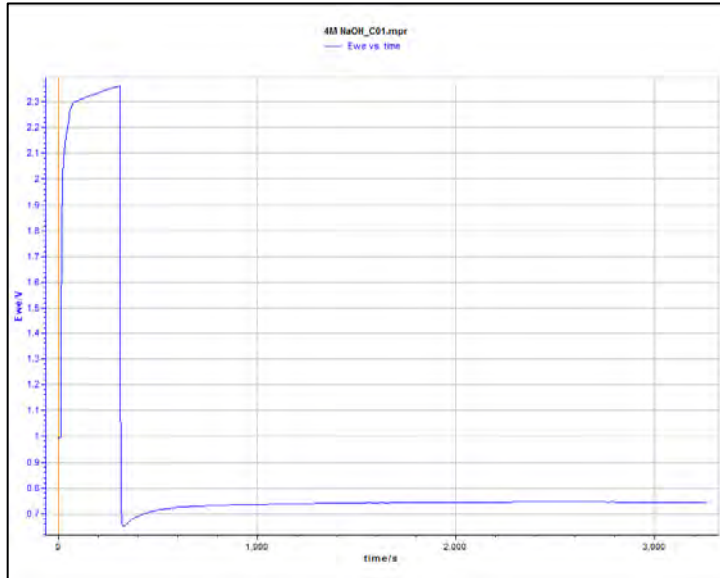
圖二十五討論：

2M 氫氧化鈉與 2M 氫氧化鉀的圖沒什麼差別，但放電電壓較低，效能不好

5. 4M NaOH(如圖二十六)

充電電壓: 2.34V

放電電壓: 0.75V



圖二十六

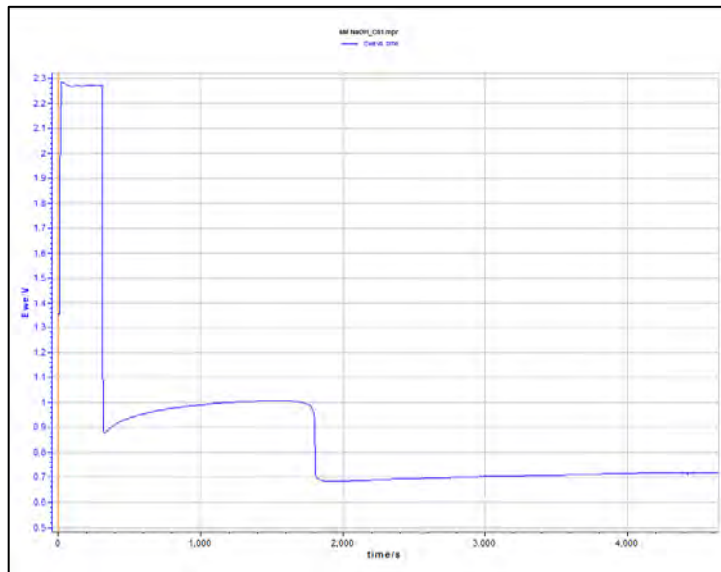
圖二十六討論：

相同濃度的氫氧化鉀與氫氧化鈉出現了些微的差距，但氫氧化鈉的放電電壓比較低。

6. 6M NaOH (如圖二十七)

充電電壓: 2.28V

放電電壓: 1.03V



圖二十七

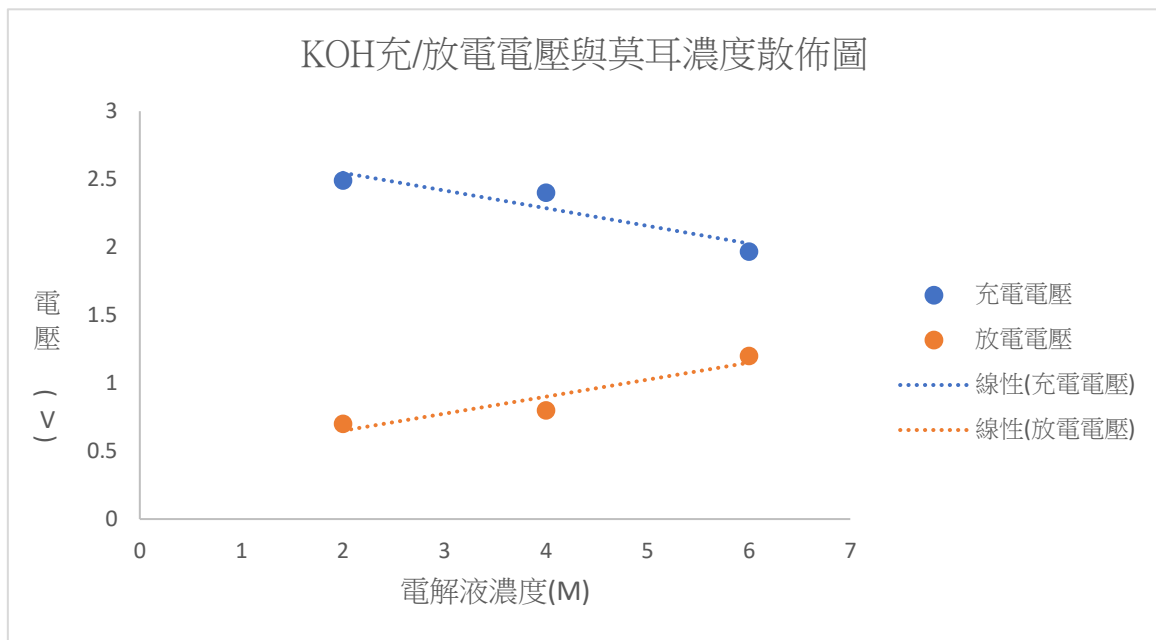
圖二十七討論：

第一次放電有 1V 左右，但是還沒回充又掉到 0.7V。

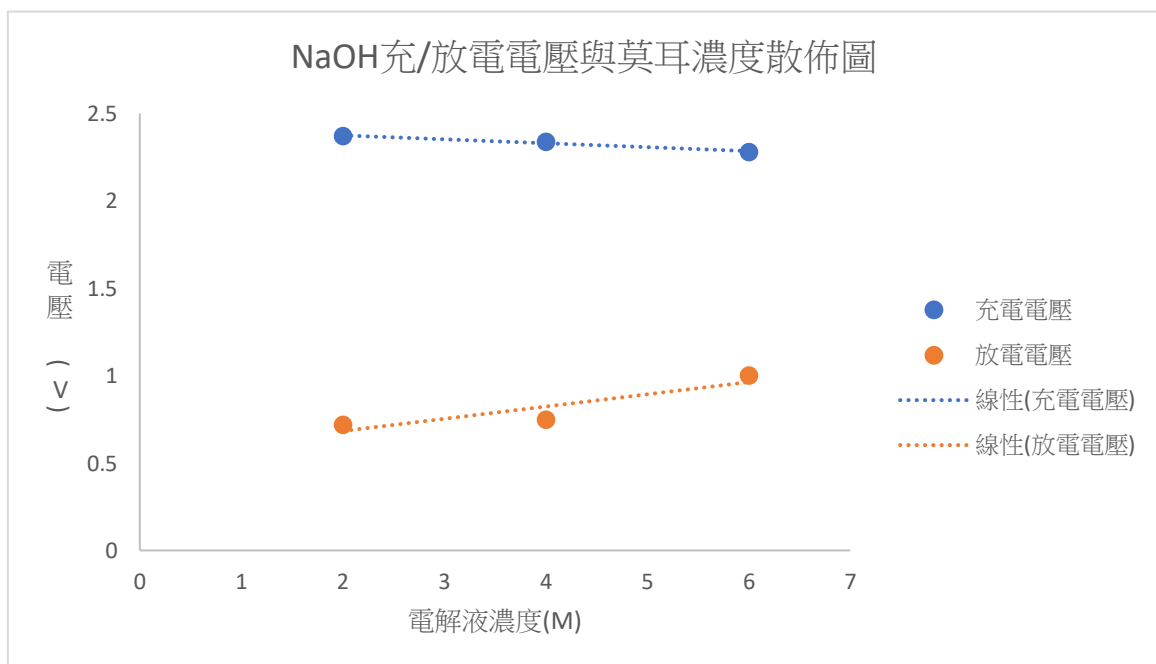
氫氧化鈉得效能不足，又不穩定，所以氫氧化鈉比較不適合製作空氣電池。



電解液種類與濃度統計：



表六



表七

### 6M 氫氧化鉀為最佳電解液

雖然使用 6M 氫氧化鉀的效能最好，但是與電解液 4M、2M 氫氧化鉀差異不大，所以在應用時，考慮成本、後續處理難易度，一次性電池以 2M 氫氧化鉀作為電解液較為適合，二次性電池再以 6M 氫氧化鉀作為電解液以降低充電電壓、提高放電電壓。

## 肆、結論與應用

### 一、研究結論

我們研究發現最佳的空氣電池的條件有以下四項：

- (一)正極反應物氧化錳重量百分比為 60%
- (二)純化溫度為 300 度
- (三)一次性電池金屬為鋅
- (四)電解液為 6M 氫氧化鉀

### 二、研究應用

人工器官需要用到電，常會使用空氣電池，因為空氣電池的反應所需的材料剛好是呼吸時所得到的氧氣，只要將其裝置身體內便能夠反應下去。還有電動車的電池，亦會接觸到空氣中的氧氣，進而進行發電。

已目前的能源的主要來源就是石油，但是石油的消耗隨著工業的發展和交通的便捷，都正在快速的消耗當中。但要是能夠將此實驗的步驟機械化，擴大它的生產線，便有了新的綠色能源，我們追求的是永續發展及能源循環的概念，以新的能源取代傳統的火力發電，以零污染性的能源取代會產生溫室氣體的燃料。

此實驗一來解決了廢電池回收的問題，二來還能夠有了新的綠色能源，這種將原本看似無用的東西，利用簡單的處理便能夠轉變成可用的材料，這種技術便是「循環材料高值化技術」，將產業轉型形成循環經濟，將廢棄資源與再生資源轉化成高值化材料形成一種新的替代能源。

## 伍、參考文獻

一、從科學中心的網頁獲得製作鋁空氣電池的方法

(<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=73901>)

二、蘇勝傑與吳乃立(2001 年)鋅-空氣電池陰極材料製備與特性分析 Preparation and

Characteristic Analysis of Cathode Materials for Zinc-air Battery。民國 90。國立臺灣大學化學工程學研究所

三、林維新與黃順義(2006 年 12 月)。鋅空氣燃料電池空氣電極製備與特性研究。民國九十五年十二月。國立虎尾科技大學機械與電腦輔助工程系

四、謝寧、林庭禹、孫德緯、張煒婷(1995 年)。廢電池大解析。中華民國第四十六屆中小學科學展覽會 作品說明書

五、氧化錳氧化溫度 (2017 年)。Manganese(III) oxide react with oxygen to produce manganese(IV) oxide(<http://chemiday.com/en/reaction/3-1-0-7476>)

六、J. Mater. Chem.(2014)。Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> hollow spheres for lithium-ion batteries with high rate and capacity。The Royal Society of Chemistry。

## 【評語】 200006

本作品以廢乾電池回收物質為原料，將二氧化錳與碳粉混合製成正極，負極則分別由鋅（電池回收外殼），鋁（廢鋁罐）及鐵（廢鐵片）三種不同金屬；電解液則分別用 NaOH 及 KOH，製成空氣電池，探討各種組合之充放電電壓與使用時間。本作品能將循環經濟的精神發揮，為一優秀作品。