

# 中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

## 高中-化學科

科 別：化 學 科

組 別：高 中 組

作品名稱：用空氣發電 - 鋅空氣電池性質探討

關 鍵 詞：

編 號：040208

---

**學校名稱：**

國立新莊高級中學

**作者姓名：**

陳昱如、黃莉娟、張建和、陳楷濬

**指導老師：**

陳偉民



# 用空氣發電

## ——鋅空氣電池性質探討

### 壹、摘要

以本校現有之器材與設備製成鋅空氣電池，並以實驗證明我們製成的電池確為鋅空氣電池。以自製之鋅空氣電池探討鋅陽極製作方式、鋅陽極面積、擴散層中 PTFE 含量、催化劑種類、「充電」方式、環境中二氧化碳等各項因素對鋅空氣電池性能之影響，並改變鋅陽極製法及擴散層中 PTFE 含量，有效改進電池性能。

### 貳、研究動機

在高一基礎化學「4-4 化學電池」一節中，老師要我們針對各種化學電池進行分組報告，我們在蒐集資料的過程中，發現有一類電池，稱為「金屬空氣電池」，竟然以空氣為氧化劑，使我們感到新奇，因此我們決定進一步研究這一類電池的性質。我們曾用鋁箔、碳粉、吸管等器材製成簡陋的鋁空氣電池，電壓雖大但電池壽命短。接下來，在本研究中，我們以本校現有之設備與材料，製成鋅空氣電池，並改變各種變因及製作方式，希望能探討影響鋅空氣電池性能及壽命之因素並與物質科學化學篇（下）「第六章 化學反應速率」及化學（上）「4-2 標準電位與電池的電動勢」之課程內容相印證。

### 參、研究目的

- 一、以自製鋅空氣電池探討鋅陽極製作方式、鋅陽極面積、擴散層中 PTFE 含量、催化劑種類、「充電方式」、環境中二氧化碳等各項因素對鋅空氣電池性能之影響。
- 二、觀察做為陽極之鋅片，在反應過程中，其表面發生何種變化。並與鋅片直接浸泡在鹼液中的情形做比較。

### 肆、研究設備及器材

- 一、藥品  
石墨、碳粉、酒精、氧化銅、碳酸鈣、二氧化錳、氫氧化鉀、聚四氟乙烯(PTFE, wt60%)、鋅片、鋅粉、氧氣鋼瓶、二氧化碳鋼瓶。
- 二、器材  
燒杯、量筒、玻璃棒、不鏽鋼網、壓克力外殼、橡皮管、玻璃鐘罩、抽氣機、筆記型電腦、DataStudio 軟體、電壓感測器 (Pasco CI-6503, 範圍+10~-10V,

靈敏度 0.005V)、電流感測器 (Pasco CI-6556, 範圍+1.5~-1.5A, 靈敏度 5mA)、氣體壓力感測器 (Pasco CI-6532A, 範圍 0~700kPa, 靈敏度 0.5kPa)、錐形瓶、玻璃管。

## 伍、研究過程及方法

### 一、鋅空氣電池製作方法

除特別註明外,本研究所使用之電池均用下列方法製成,此係依〈參考資料一〉之內容,遷就本校現有之器材,並依多次失敗經驗修改後之製程。

#### (一)、電極製作

1. 直接以長 7cm, 寬 2.17cm, 厚 0.04cm 之鋅片作為陽極。
2. 裁剪不銹鋼網(長 8cm, 寬 2cm), 塑膠布及濾紙(長 5cm, 寬 3cm)
3. 製作空氣極:

空氣極共分兩層,其中擴散層與空氣接觸,催化層在組裝後與電解液接觸。

擴散層:碳粉 1.2 克(60%)、PTFE 0.8 克(40%)。

催化層:石墨 0.6 克(30%)、碳粉 0.6 克(30%)、PTFE 0.2 克(10%)、MnO<sub>2</sub> 0.6 克(30%)。

將擴散層及催化層所需之藥品分別置入兩個小燒杯中,加入適量的酒精混合,並攪拌成團。接著,將其平舖於塑膠墊上並以玻璃棒桿成 0.04 公分之厚度,置入烘箱以 50°C 烘乾一天。取出割成長寬分別為 5 公分和 2 公分的矩形,並把擴散層及催化層分別壓在不鏽鋼網的正反兩面。

由於本校沒有熱壓機,我們將做好的空氣極置於電熱板上,並以重約一公斤的銅塊壓住,將功率調至最高,熱壓半小時,空氣極即製作完成。

圖 1 熱壓空氣極之情形



## (二)、電池組裝

### 1. 組裝前之電池零件：



圖 2 組裝前的電池零件

### 2. 組裝後之電池

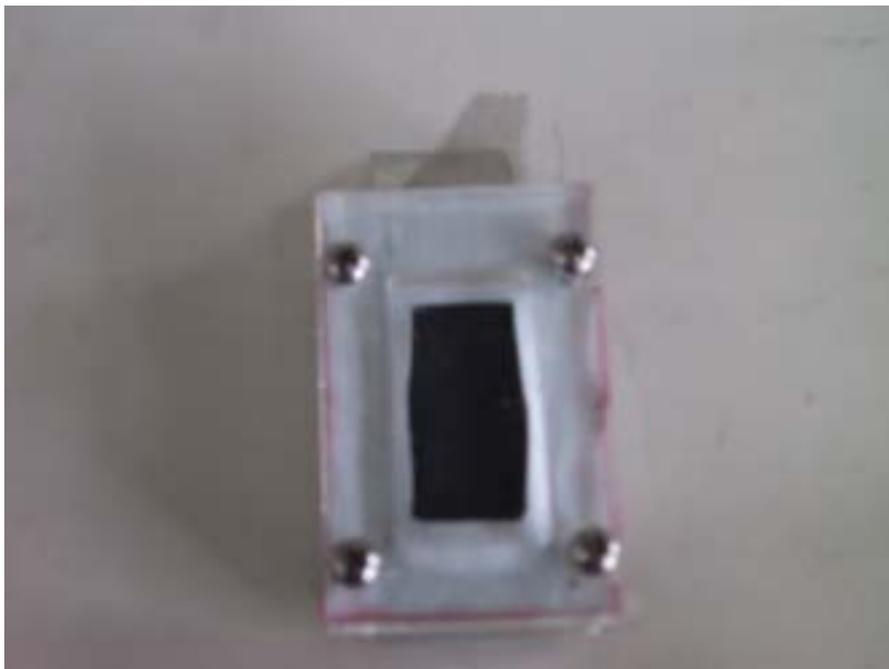


圖 3 組裝後的電池

3. 將電解液(8M KOH)倒入電池中，靜置半小時後，等電解液充分濕潤空氣極之催化層後，進行性能測試。

## 二、鋅空氣電池性能測試方法

因本校為自然科學教學數位化之重點發展學校，因而實驗室配有筆記型電腦及 DataStudio 軟體，我們充分利用此一設備，以解決本研究需長期測量記錄之困擾。我們每次改變實驗條件後，即先以電壓感測器測量開路電壓(OCP)。然後再串聯 1 歐姆電阻器作為負載，以電壓感測器及電流感測器同時測量其負載電壓及電流，持續測量至電流驟降至 0 安培左右，即為放電終點。自接通電路至放電終點所需時間即視為電池壽命。蒐集所測得資料，分析其最大電流、最大電壓、輸出總電量、輸出總能量、電池壽命等。

## 三、研究內容

### 【研究一】真的是空氣電池嗎？

將塑膠板挖小孔，用兩條電線穿過小孔與鋅空氣電池正負極相接，用玻璃鐘罩將鋅空氣電池罩住，以凡士林密封。以橡皮管連接玻璃鐘罩與抽氣馬達，將連接電池的兩條電線串聯 1 歐姆負載，接好電壓、電流及氣體壓力感測器，開始測量 30 秒鐘後，啟動抽氣馬達，記錄玻璃鐘罩內氣壓下降情形與電池電壓、電流之變化情形。

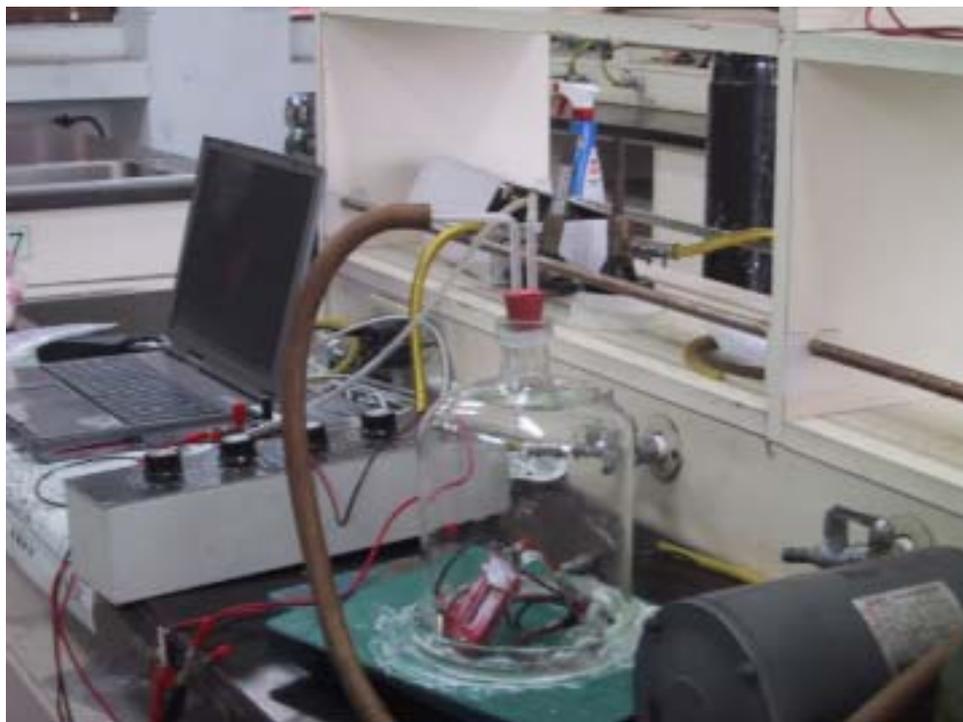


圖 4 抽氣裝置

## 【研究二】在純氧中，鋅空氣電池之性能如何？

將塑膠板挖小孔，用兩條電線穿過小孔與鋅空氣電池正負極相接，用玻璃鐘罩將鋅空氣電池罩住，以橡皮管連接玻璃鐘罩與氧氣鋼瓶，以另一段橡皮管與大氣連接，電池串聯 1 歐姆負載，接好電壓、電流及氣體壓力感測器，開始測量 3 分鐘後，打開氧氣鋼瓶，測量電池電壓、電流之變化情形。

## 【研究三】鋅極製作方式

實驗甲、以鋅片為陽極，測試電池性能。

實驗乙、以下列方法製作鋅粉陽極，測試電池性能。

**製作鋅粉陽極：**取 2g 鋅粉、及 PTFE 0.14g，加入酒精，攪拌成團，塗覆於不銹鋼網上。烘乾後用電熱板及銅塊熱壓。

## 【研究四】鋅極與電解液接觸面積的影響

變更鋅片浸入電解液中之深度，使鋅片與電解液之接觸面積（以單面計）分別為 4.93 平方公分、7.16 平方公分、9.44 平方公分，連接 1 歐姆負載，分別測試電池之電壓與電流。

## 【研究五】擴散層中 PTFE 含量之影響

將擴散層中 PTFE 之質量由 0.8 克分別改變為 1.0、1.2、1.4、1.6 克，測試電池性能。

## 【研究六】催化劑之影響

將催化劑種類由二氧化錳更換為碳酸鈣、氧化銅，對照組則不添加任何催化劑，分別測試電池性能。

## 【研究七】「充電」方式之比較

實驗甲、將已達放電終點之電池的鋅板抽出，更換新的鋅片，測試電池性能。

實驗乙、將已達放電終點之電池的電解液倒出，更換新配製的氫氧化鉀水溶液，測試電池性能。

## 【研究八】二氧化碳對電池壽命之影響

將二氧化碳通入氫氧化鉀水溶液 3 分鐘後，以此水溶液填入電池為電解液，測試

電池性質。

### 【研究九】 鋅表面物質觀察

觀察電池放電過程中鋅表面之變化情形。反應後，刮取鋅表面物質觀察，並滴加稀鹽酸觀察是否有反應發生。

另外取一鋅片置於 8M KOH 水溶液中，觀察兩天，並記錄觀察到的現象。

## 陸、研究結果

### 【研究一】 真的是空氣電池嗎？

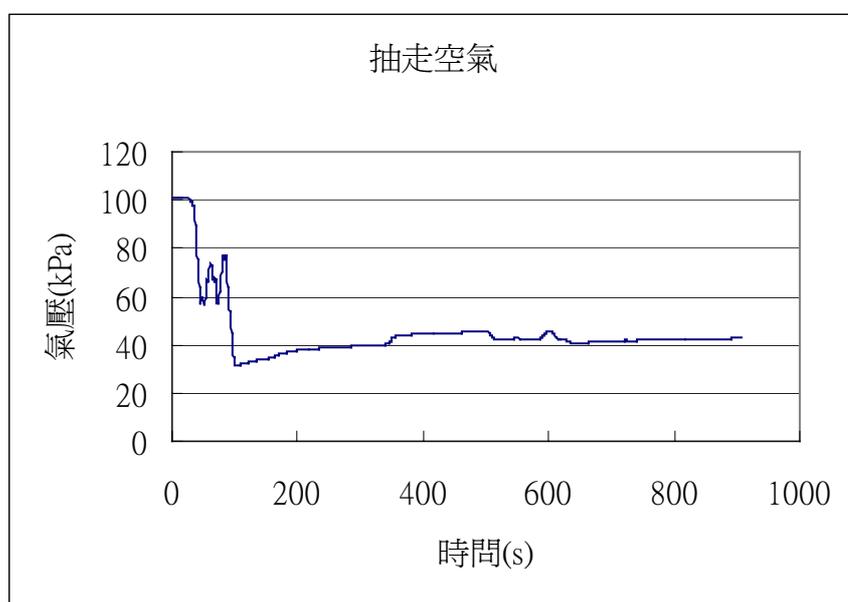


圖 5 抽氣過程中，玻璃鐘罩內氣壓變化情形

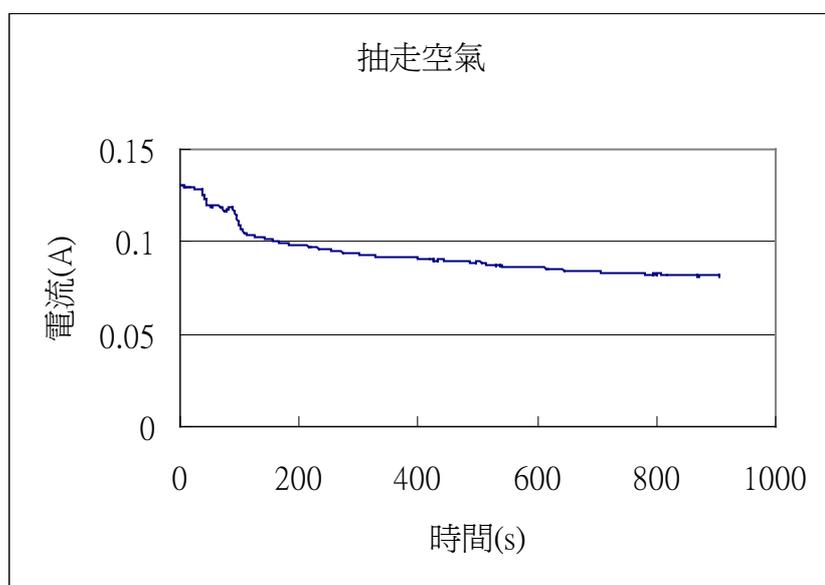


圖 6 抽氣過程中，電流變化情形

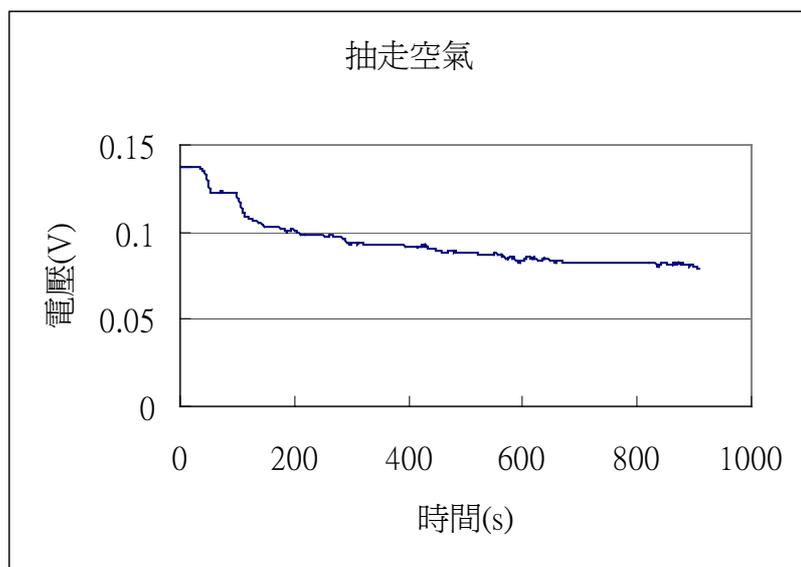


圖 7 抽氣過程中，電壓變化情形

【研究二】在純氧中，鋅空氣電池之性能如何？

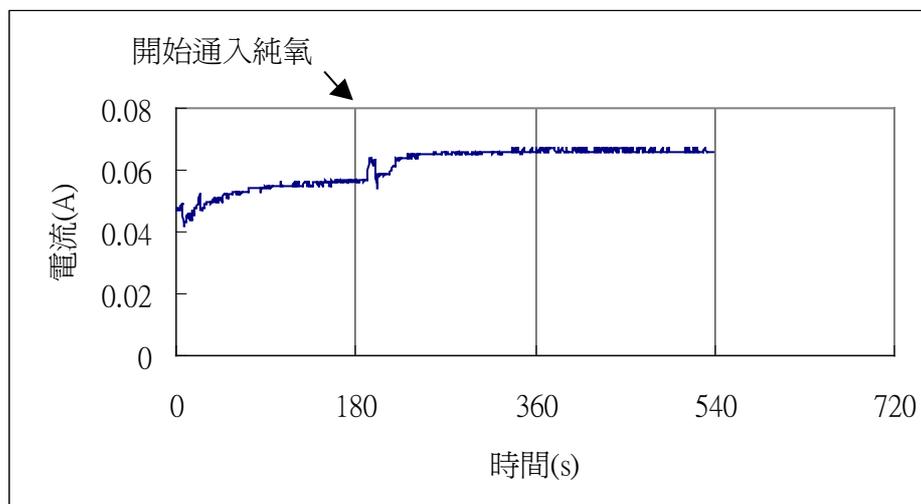


圖 8 灌入純氧過程中，電流變化情形

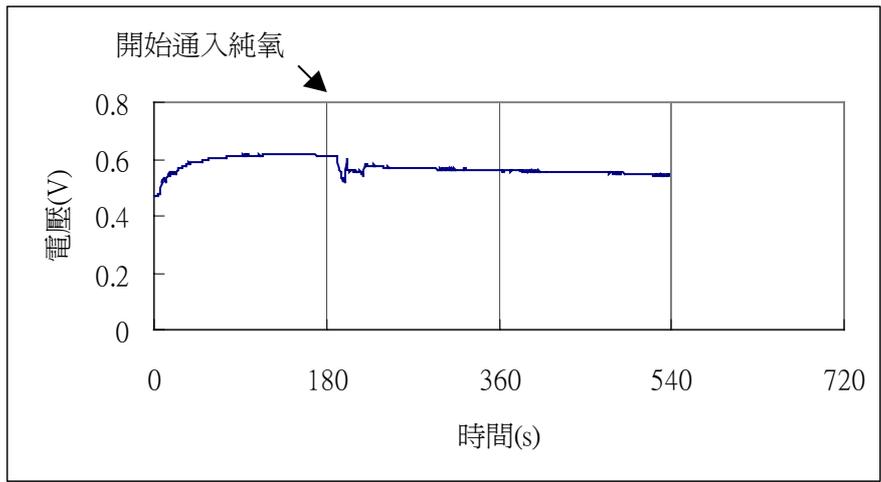


圖 9 灌入純氧過程中，電壓變化情形

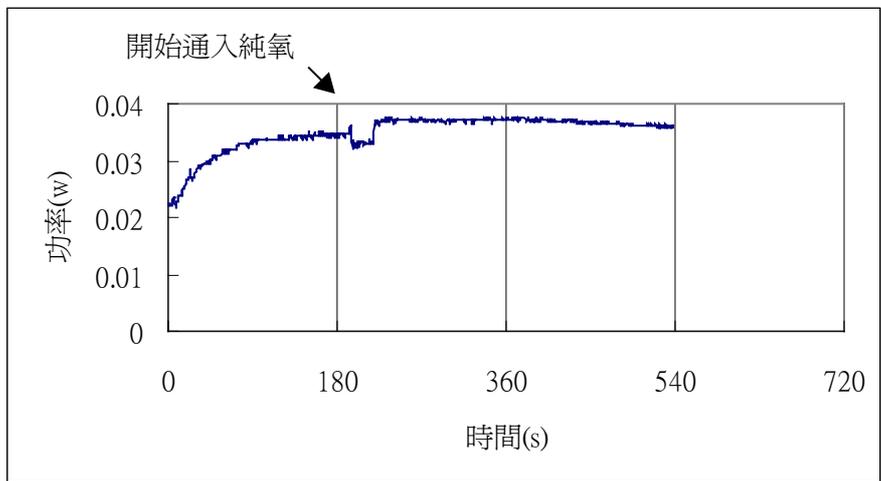


圖 10 灌入純氧過程中，電功率變化情形

### 【研究三】 鋅極製作方式

實驗甲：以鋅片為陽極

實驗乙：以鋅粉與 PTFE 製成爲陽極

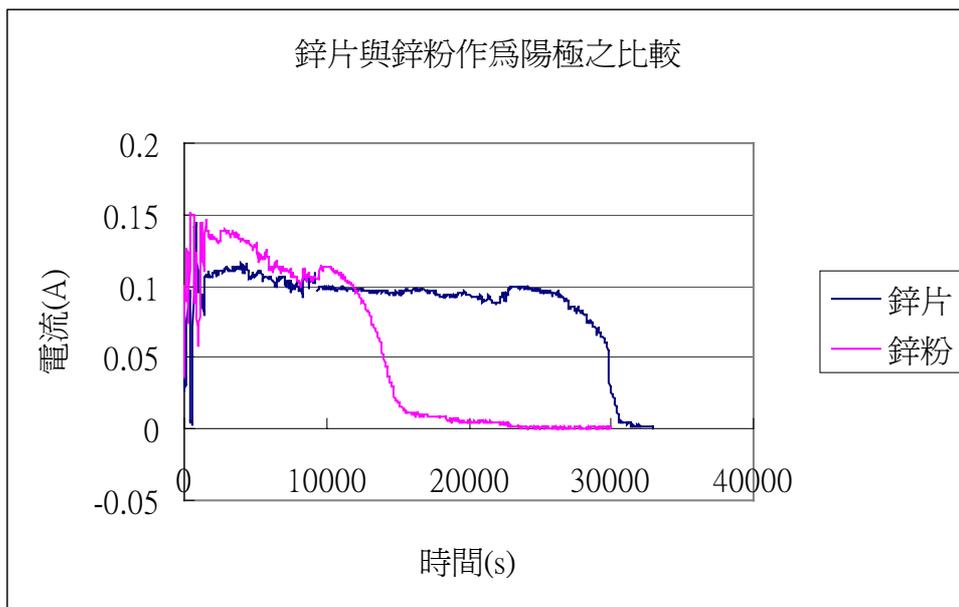


圖 11 比較以鋅片與鋅粉作為陽極，電流變化情形

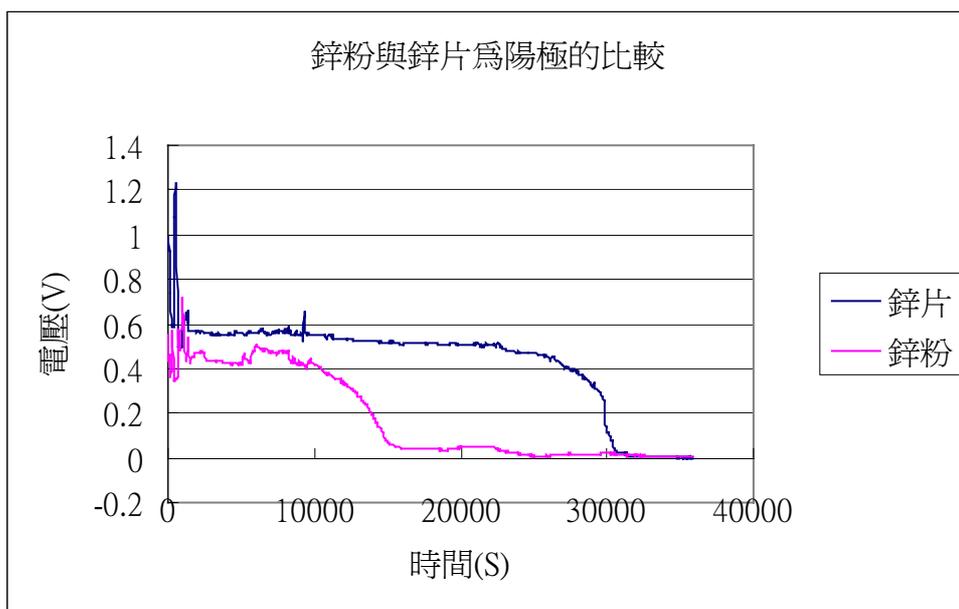


圖 12 比較以鋅片與鋅粉作為陽極，電壓變化情形

表 1 以鋅片與鋅粉作為陽極，電池性能之比較

|       | 最大電流<br>(A) | 最大電壓<br>(V) | 總輸出電量<br>(coul) | 總輸出能量<br>(j) | 電池壽命<br>(s) |
|-------|-------------|-------------|-----------------|--------------|-------------|
| 鋅片為陽極 | 0.144       | 1.226       | 2808            | 1472         | 33420       |
| 鋅粉為陽極 | 0.151       | 0.718       | 1631            | 671          | 23700       |

### 【研究四】 鋅極與電解液接觸面積的影響

表 2 鋅片與電解液接觸面積不同時，電池之電壓與電流(1 歐姆負載)

|                    |       |       |       |
|--------------------|-------|-------|-------|
| 鋅片與電解液之接觸面積 (平方公分) | 4.93  | 7.16  | 9.44  |
| 電流(A)              | 0.059 | 0.083 | 0.091 |
| 電壓(V)              | 0.649 | 0.625 | 0.713 |

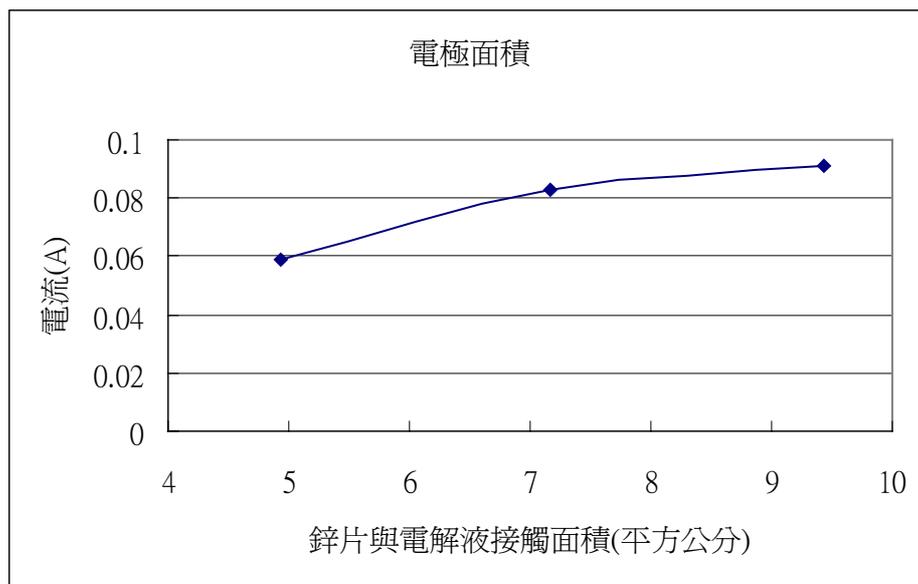


圖 13 鋅片與電解液接觸面積愈大，電流愈大

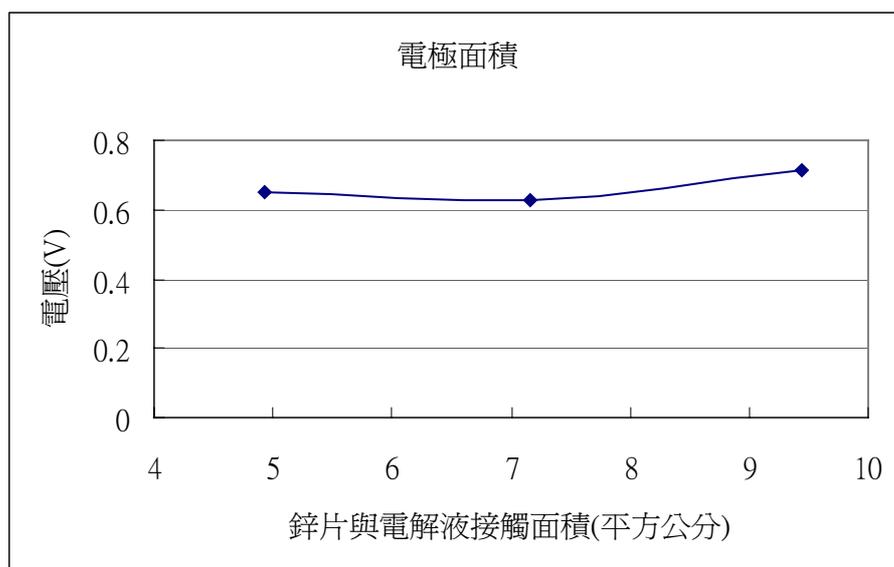


圖 14 鋅片與電解液接觸面積變大，電壓改變不大

### 【研究五】 擴散層中 PTFE 含量之影響

表 3 擴散層中 PTFE 含量不同時，電池之性能比較

| PTFE 之含量 (g) | 開路電壓 (V) | 最大電流 (A) | 最大電壓 (V) | 輸出總電量(coul) | 輸出總能量(J) | 電池壽命 (s) |
|--------------|----------|----------|----------|-------------|----------|----------|
| 0.8          | 1.357    | 0.144    | 1.226    | 2808        | 1472     | 33420    |
| 1.0          | 1.406    | 0.124    | 0.742    | 2573        | 1503     | 31980    |
| 1.2          | 1.406    | 0.123    | 0.815    | 3906        | 2495     | 39240    |
| 1.4          | 1.421    | 0.043    | 0.728    | 1370        | 674      | 38520    |
| 1.6          | 1.426    | 0.102    | 0.669    | 2840        | 1385     | 44460    |

### 【研究六】催化劑之影響

表 4 催化層中催化劑種類不同時，電池之性能比較。

| 催化劑種類 | 最大電流 (A) | 最大電壓 (V) | 輸出總電量 (coul) | 輸出總能量 (J) | 電池壽命 (s)    |
|-------|----------|----------|--------------|-----------|-------------|
| 二氧化錳  | 0.144    | 1.226    | 2808         | 1472      | 33420       |
| 碳酸鈣   | 0.094    | 0.669    | 2488         | 1435      | 37800       |
| 氧化銅   | 0.143    | 0.654    | 1348         | 809       | 13620       |
| 無     | 0.077    | 1.328    | 1005/1622    | 864/1304  | 14580/47970 |

註：無催化劑時電池出現一特殊情形，在測試至 14580 秒時，放電終止，過了 440 秒後，又開始放電，直至 47970 秒，所以我們將兩組數據並列。

### 【研究七】「充電」方式之比較

實驗甲、更換新的鋅片，測試電池性能。

實驗乙、更換新配製的氫氧化鉀水溶液，測試電池性能。

表 5 充電方式的比較

|       | 甲、換鋅片  |       | 乙、換電解液 |       |
|-------|--------|-------|--------|-------|
|       | 電流 (A) | 電壓(V) | 電流(A)  | 電壓(V) |
| 「充電」前 | 0      | 0     | 0      | 0     |
| 「充電」後 | 0.099  | 0.864 | 0.065  | 0.664 |

【研究八】 二氧化碳對電池壽命之影響

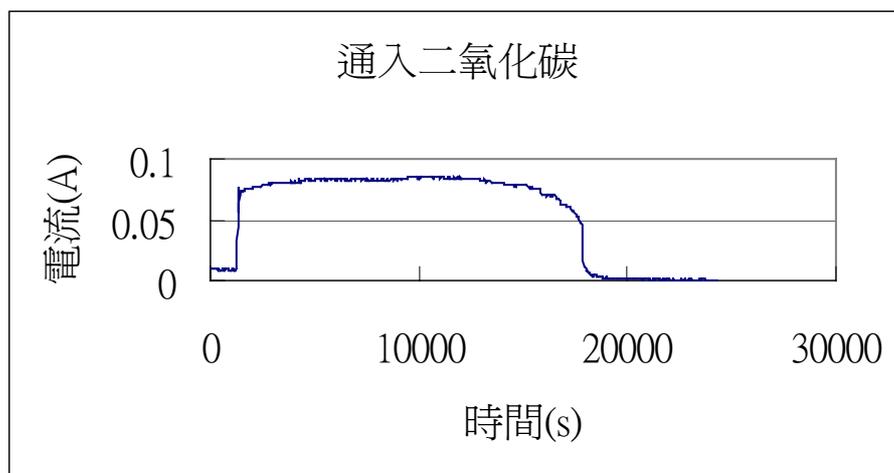


圖 15 電解液通入二氧化碳後，電流變化情形

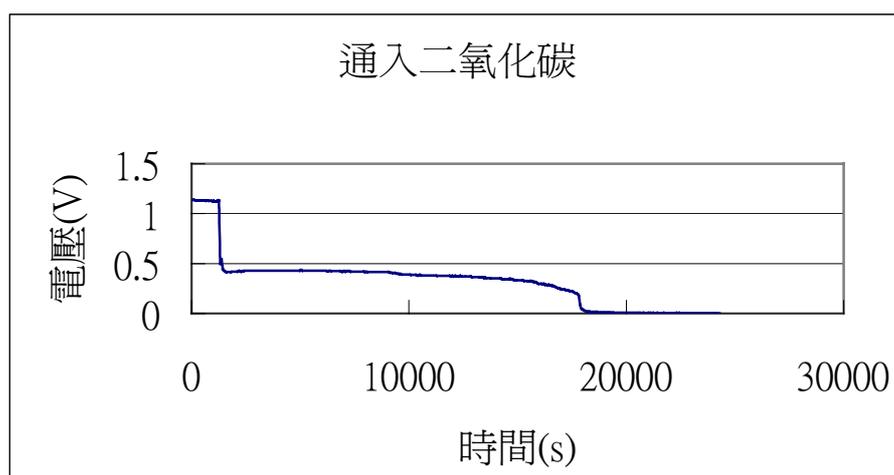


圖 16 電解液通入二氧化碳後，電壓變化情形

表 6 電解液通入二氧化碳後，電池性能比較

|                     | 最大電流<br>(A) | 最大電壓<br>(V) | 總輸出電量<br>(coul) | 總輸出能量<br>(J) | 電池壽命<br>(s) |
|---------------------|-------------|-------------|-----------------|--------------|-------------|
| 正常電池                | 0.144       | 1.226       | 2808            | 1472         | 33420       |
| 電解液事先<br>通入二氧化<br>碳 | 0.086       | 1.138       | 1333            | 519          | 20700       |

## 【研究九】鋅表面物質觀察

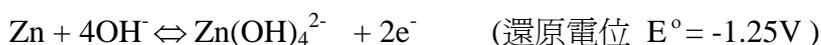
做為電池陽極之鋅片，在電解液上之部分會逐漸變黑；浸在電解液內之部分，先出現黑色物質，慢慢在黑色物質上出現白色物質，最後在白色物質上又出現黃色物質。電解液內也出現白色（幾近透明）沈澱。用刮勺將鋅片表面物質刮下時，黃色及白色物質可刮下，而黑色物質不易刮下。刮下之物質，以鹽酸檢驗，會出現氣泡。電池鋅陽極在反應後，有一有趣現象，即在鋅片上會出現平行的橫條紋，每次實驗後均如此，後來我們用尺量出橫紋位置，發現恰與壓克力板上之三個空格之橫紋完全相符。

直接浸泡在氫氧化鉀水溶液中之鋅片，在空氣與鹼液界面處呈現黑色，但浸在鹼液內之部分，非常乾淨光亮。燒杯加鹼液和鋅片之總質量在反應前，其總質量為 324.66 克，經浸泡一天後，其總質量變為 325.49 克，顯示其質量不減反增。若繼續浸泡至鋅片斷裂，則浸在鹼液內之鋅呈現黑色，而在液面交界處之鋅呈白色。

## 柒、討論

一、鋅空氣電池之反應方程式如下：

鋅極：



空氣極：



理論 OCP = 1.65V

實際 OCP = 1.3~1.5V

我們製作出來的電池之開路電壓（OCP），約在 1.3~1.5V 之間(表 3)，符合參考資料之預期。為什麼理論 OCP 與實際 OCP 會有差異呢？經我們討論的結果認為，有三個主要原因：

- (一) 反應條件非標準狀況。在化學（上）「4-2 標準電位與電池的電動勢」說， $E^\circ$  值之測定必須在特定條件下測定，例如溫度為 25°C，水溶液濃度為 1M，氣體壓力為 1atm。而實際上，鋅空氣電池使用時，溫度即當時室溫，氫氧化鉀濃度為 8M，而空氣中氧的分壓約為 0.2atm，均非標準狀況。
- (二) 鋅腐蝕反應及聚集在鋅片上之氫氣氣泡勢必影響電池性能。鋅是兩性元素，在氫氧化鉀中會腐蝕而產生氫氣，這種冒泡的現象在反應過程經由目視即可觀察到。

- (三) 二氧化碳的影響。氫氧化鉀會吸收二氧化碳，在水中形成碳酸根，並可能與鋅離子產生沈澱，在研究八中已證明二氧化碳會影響電池壽命，在研究九中證明鋅表面物質含碳酸鹽。
- 二、根據研究一的結果(圖 5 ~ 7)，當抽氣機開動(開始測量後 34 秒)，約過了 13 秒(開始測量後 47 秒)電流與電壓開始有明顯擾動。根據勒沙特列原理，當作爲反應物的氧濃度減少時，反應會有利於左方，因此電壓下降，在一定負載的情形下，電流隨之下降。由此一結果可以確知，**空氣參加了電池的反應**，也證明我們製成的電池確實是鋅空氣電池。
- 三、在研究二中(圖 8 ~ 10)，當我們在玻璃鐘罩內通入純氧，電流與電壓大約在 16 秒後開始發生明顯擾動，通氧後約 43 秒，擾動略爲平息，電流緩步上升，電壓卻緩步下降。我們將電流與電壓相乘求得電功率( $P=IV$ )，發現在通入氧之後，電功率確有增大，但變化也不大，**可見氧氣濃度增大可略微提高鋅空氣電池功率，但變化不大，試圖以提供氧的濃度來改良鋅空氣電池的構想不合實際。**
- 四、由研究一及研究二均發現，當氧的濃度發生變化時，大約延遲十幾秒後，電流及電壓才會出現擾動及變化，可見**氧經由擴散進入電池而發生反應，大約需十幾秒的時間。**
- 五、由研究三的結果(圖 11 ~ 12，表 1)，我們發現以**鋅粉製成陽極，電池之電流較大，這符合物質科學化學篇(下)「第六章 化學反應速率」所說，接觸面積大，反應速率快。但使用鋅粉極的電池，電壓小，電池壽命短，輸出總能量也小。因此，本研究中我們將參考資料一的鋅粉陽極，改良爲鋅片陽極。**
- 六、由研究四的結果(表 2，圖 13 ~ 14)，可以發現，**電池的電流隨著電極與電解液接觸面積之增大而增大，符合課本中所述接觸面積大，反應速率快的說法。電壓則與電極面積無明顯相關。**
- 七、擴散層之功能在於形成穩定的氣(氧)、液(電解液)、固(碳粉)三相界面系統，因此擴散層中之 PTFE 含量一定要高於催化層，使電極的一側爲氣體，另一側爲電解液，且電解液在電極上的毛細管形成彎月面。**我們在實驗過程中，發現擴散層會出汗(電解液會由擴散層慢慢滲出)，推測是因參考資料一之配方中，擴散層之 PTFE 含量過低。因此我們逐次增加擴散層中 PTFE 之含量，希望利用其疏水性，阻止電解液滲入擴散層。由研究五的結果(表 3)可知，擴散層中 PTFE 之含量增加爲 1.2 克時，表現最佳，其輸出總電量最大，輸出總能量亦最大，電池壽命也最長，實驗結果符合預期。但 PTFE 之量若超過 1.2 克，可能影響氧氣進入，同時增加電阻，造成電流降低，輸出總能量反而減少。**

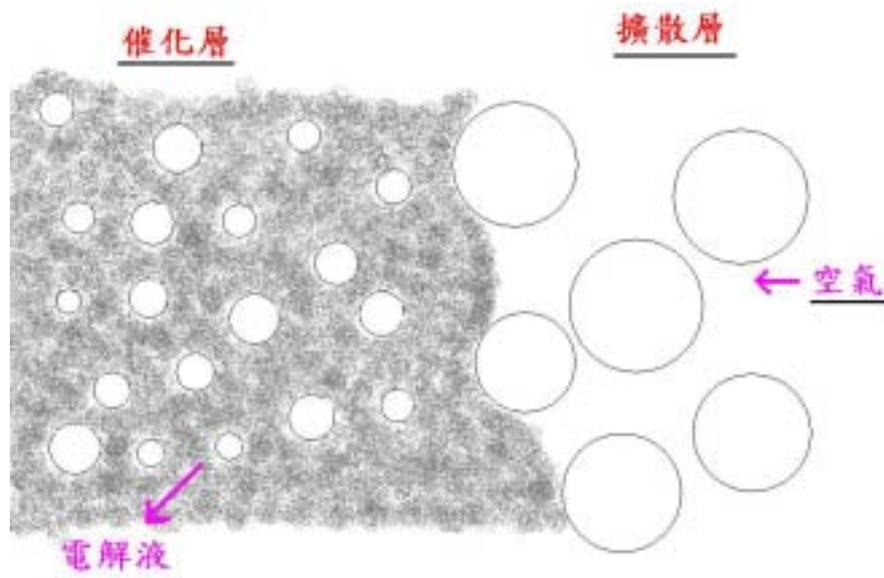


圖 17 利用擴散層中 PTFE 阻止電解液滲出，形成三相界面

- 八、在研究六中，我們嘗試找出其他可用的催化劑，經測試結果(表 4)，仍以二氧化錳為最佳催化劑，輸出總能量最多。碳酸鈣的效果與二氧化錳不相上下，不過在熱壓過程中，溫度不可過高，否則碳酸鈣會分解放出二氧化碳，導致催化層碎裂。氧化銅效果差，其輸出總能量甚至不如無催化劑，不宜作為本反應之催化劑。無催化劑時，電池在放電一段時間後，有暫停放電現象，數百秒後又自行恢復放電，可能是鋅片腐蝕造成氫氣附著在極片上的極化現象。
- 九、在參考資料三中，提出將已氧化的鋅極由電池中取出，採用機械方式回收、再製。這種機械式「充電」可節省許多充電時間，例如有一部使用鋅空氣電池的電動車駛進「充電站」，依目前手機充電動輒超過數小時的速率來看，恐怕沒有一個駕駛人能容忍這種時間上的浪費。採用機械式充電的話，只要迅速抽換鋅陽極，電池即可恢復功能豈不是十分有效率？因此我們動手做了研究七，結果發現(表 5)，無論是抽換鋅片(機械式「充電」)，或換新的電解液(化學式「充電」)都可讓已達放點終點的電池恢復功能，效果形同充電。
- 十、在研究八中(圖 15~16，表 6)，我們發現若事先在氫氧化鉀溶液中通入二氧化碳，電池在接通電路的最初 1260 秒，輸出電流很小(約 0.01A)，然後電流突然上升(約 0.08A)，但壽命很短，其總輸出能量大約只有正常電池的三分之一強而已，可見環境中的二氧化碳對電池效能是很大的傷害。除了擴散層必須接觸空氣外，建議將電池其餘部分密封可能有利於電池效能。
- 十一、雖然在反應方程式中僅出現 ZnO 一種固體產物，但我們在反應過程中，由鋅片上依次發現黑色、白色、黃色物質。我們查出了鋅的各種可能的化

合物，其顏色與形狀如下：

| 鋅的化合物               | 顏色及形狀  |
|---------------------|--------|
| ZnO                 | 白或灰色粉末 |
| Zn(OH) <sub>2</sub> | 無色晶體   |
| ZnCO <sub>3</sub>   | 白色晶狀粉末 |

黑色物質可能是 ZnO 剛生成時，顆粒小且排列零亂所造成。白色物質加鹽酸會冒泡，推斷其中可能含有 ZnCO<sub>3</sub>。至於黃色物質，則不知為什麼物質。電池鋅陽極在反應後出現平行的橫條紋，且恰與壓克力板上之三個空格之橫紋相符。可證實氧氣經擴散層，至催化層與水作用，形成氫氧離子後，穿過壓克力板上之方格，水平移動至鋅片，將鋅氧化，因此留下的痕跡恰與壓克力板的方格位置相符。

直接浸在氫氧化鉀溶液中的鋅片，在空氣與鹼液界面處呈現黑色，浸在鹼液內之部分，非常乾淨光亮。一直浸泡至鋅片斷裂後，液面下的鋅轉成黑色，在液面與空氣交界處之鋅則呈白色。可見白色物質是由鋅在鹼液與氧共同存在時產生的，鋅空氣電池因有氧參加反應，故會在液面下產生白色物質。

我們相信，了解氧化後鋅片上的黃色物質為何，將有助於全盤了解鋅空氣電池中更詳細的反應機構

## 捌、結論

- 一、我們製出的鋅空氣電池以輸出總能量而言，可高達 3906 庫侖(擴散層中 PTFE 質量 1.2 克時)，相當於 1085mAh，。以市售手機用鋰電池而言，容量標示為 850mAh，我們自製的鋅空氣電池，與之相較，在容量上毫不遜色。以開路電壓而言，約在 1.3~1.5V 之間，符合參考資料之敘述。
- 二、我們以自製鋅空氣電池，研究其性質，發現：
  1. 氧的分壓低會造成鋅空氣電池之電壓與電流明顯下降；通入純氧會造成電壓略降，電流略上升，但變化不大。
  2. 氧經空氣極擴散進入電池至發生反應，需延遲十幾秒。
  3. 以鋅片代替鋅粉製成的陽極，會提高總輸出能量，明顯改進電池性能。
  4. 鋅片與電解液接觸面積愈大，電流愈大，但電壓變化不大。
  5. 擴散層中的 PTFE 若改為 1.2 克，可獲得最大輸出能量，明顯改進電池性能。
  6. 在我們測試的三種催化劑中，以二氧化錳之效果最好，氧化銅效果最差。
  7. 僅僅更換鋅片或更換氫氧化鉀水溶液，就可達快速「充電」效果。
  8. 環境中的二氧化碳可能對電池壽命造成影響，應設法密封。

## 玖、參考資料

- 一、國立清華大學材料工程學系講義－【鋅空氣電池之研製】
- 二、薛立人，民 88，二次電池之回顧與展望，工業材料，146 期，頁 70-74
- 三、葉信宏等，民 88，電動車用鋅－空氣電池與鋅陽極回收技術介紹，工業材料，146 期，頁 80-88