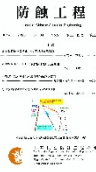




防蝕工程學會

防蝕工程

期刊網址：<http://www.anticorr.org.tw>



10.6376/JCCE.202006\_34(2).0004

## 鎂金屬燃料電池對非水基電解液之電性研析 Performance Study on the Metallic Magnesium Fuel Cell Containing Non-aqueous Electrolyte

劉桂萍<sup>1</sup>、李弘彬<sup>\*2</sup>

Liu Keui-Ping<sup>1</sup>, Lee Hung-Bin<sup>\*2</sup>

### 中文摘要

本研究主要是為了取代市售的碳鋅電池，研製出輕巧、無污染、低成本的非水基金屬燃料電池，加入不同克數的聚丙烯酸鈉 (PAAS) 分散於電解液中形成可流動的固液混合物，陽極金屬採用鎂合金 (AZ31)，鎂合金化學性質極為活潑，所以再添加過氧化氫 ( $H_2O_2$ ) 和過氧碳酸鈉 ( $Na_2CO_4$ ) 進行含氧量放電測試與腐蝕效能的比較，檢測不同含氧量對電池的電性表現，結果顯示過氧化氫 ( $H_2O_2$ ) 大於 1.0wt% 時電性較差，但小於 0.5wt% 時電性較佳；過氧碳酸鈉 ( $Na_2CO_4$ ) 小於 0.5wt% 時電性較差，但大於 1.0wt% 時電性較佳，兩者電性測試比較，發現過氧碳酸鈉 ( $Na_2CO_4$ ) 有較優的電性，添加以不同克數的聚丙烯酸鈉 (PAAS) 作為可流動的固液混和物，發現在 3 克中有較好的固態電解液與電性。

**關鍵詞：**鎂合金、過氧碳酸鈉、過氧化氫。

### Abstract

The purpose of this study is to develop a compact, green and low cost metallic fuel cell battery containing non-aqueous electrolyte to substitute the widely used carbon-zinc battery. Different concentrations of sodium polyacrylate (PAAS) were dispersed in the electrolyte to form a gel-like mixture. Magnesium alloy (AZ31) was employed as the anode. Because of its active nature in chemical property, Mg anode was tested in the prepared electrolyte with the addition of hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ) and sodium percarbonate ( $Na_2CO_4$ ) to study the discharge and corrosion performance. The content of oxygen in the electrolyte influenced the performance of the

收到日期：108 年 10 月 21 日

修訂日期：108 年 12 月 15 日

接受日期：109 年 01 月 10 日

<sup>1</sup> 大葉大學醫療器材設計與材料碩士學位學程

<sup>1</sup> Bachelor Program for Design and Materials for Medical Equipment and Devices, Da-Yeh University

<sup>2</sup> 國立臺灣海洋大學光電與材料科技學系

<sup>2</sup> Department of Optoelectronics and Materials Technology, National Taiwan Ocean University

\*聯絡作者：[lhb6018@mail.ntou.edu.tw](mailto:lhb6018@mail.ntou.edu.tw)

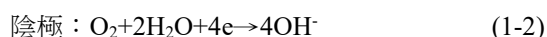
battery. The result showed a better performance when the  $H_2O_2$  content was less than 0.5 wt% or the  $Na_2CO_4$  content was greater than 1.0 wt%. Comparing the performance from these two oxygen providers,  $Na_2CO_4$  had better discharge performance than its  $H_2O_2$  counterpart. Furthermore, it was found that the gel-like electrolyte containing PAAS demonstrated better gel property and discharge performance at a concentration of 3g/l.

**Keywords:** Magnesium alloy; sodium percarbonate; hydrogen peroxide.

## 1. 前言

現今的金屬空氣燃料電池都是使用液態的電解液，再攜帶與使用上較為不方便，若一個不小心將會漏水，尋找更為完善的方法來解決這個問題。金屬燃料電池一般都是液態電解質，對使用 3C 電子產品、醫療電子等小型都比較不方便。若使用半固態金屬燃料電池可以解決電子產品怕水的問題，並能穩定輸出電性，重複使用也不會將環境造成過多的汙染<sup>[1-2]</sup>。

金屬空氣電池歸屬於一次電池，儘管與其相關的電池被定義為二次電池(可充電)。該電池系統的主要劣勢是電池的自放電，實際上就是金屬陽極與水和氧氣的反應。另一個劣勢是空氣擴散電極以及電池工作的環境(如潮濕的環境、溫度)制約著電池的輸出功率。金屬空氣電池的反應方程式如式(1-1)、(1-2)和(1-3)所示：



電池總反應式：



金屬的自腐蝕現象的發生，會使電池的電壓降低，電池效率下降。金屬空氣電池使用的水溶液電解質一般為鹼性溶液，尤其是 NaCl 溶液得到廣泛的應用，主要是由於其高的離子導電性，空氣電極在 NaCl 溶液中有很好的性能並且金屬電極在該體系下穩定<sup>[3-6]</sup>。

碳鋅電池乃一種極普遍的乾電池，早在 1900 年以前，已經商品化。碳鋅電池的大小、形狀和

使用壽命有好幾種。如果不計較其功能的強弱，則碳鋅電池是一種安全又經濟的電池。碳鋅電池使用電流較大及使用時間較長，則電池因化學反應放出電能所產生的氫氣會積在碳棒，阻礙其傳導電子的能力，因而降低電池的效率。做為去極劑的陰極混合物，乃防止氫氣存在碳棒的作用劑；因此沒有去極劑的話，電池的工作效率會受到影響。即使有去極劑碳鋅電池在大電流的使用狀況下亦無法使用太久<sup>[7-8]</sup>。

聚丙烯酸鈉在電池領域內發展的歷史沿革，在於受商業秘密和國防保密的限制，公開發表與電池性能掛鉤並闡述機理的研究論文；僅僅只有一些國際知名電池公司，出於搶佔智慧財產權制高點的需要，以輔料配方形式在專利中公開一些涉及配方的用料資訊。代表性事件有：

2000 年前，美國永備電池公司和日本富士等公司，在本國及中國等專利局搶佔聚丙烯酸鈉在一次電池陽極區內的智慧財產權<sup>[9-10]</sup>，其動機是：當時鋅/MnO<sub>2</sub> 一次電池，正面如何迅速向無汞化轉型。

同期，國內電池企業，搶佔聚丙烯酸鈉在鎳氫二次電池隔膜上應用<sup>[11-12]</sup>。其主要動機源於：電池外殼體破裂而不漏液體的鎳氫二次固態電池，在軍用電池上有需求，同時，解決民用鎳氫電池電解液乾涸問題上也有需求。

2000 年至今，聚丙烯酸鈉在鹼性電池發展動態可概括的歸述為：

- (1) 搶佔超級電容領域內的聚丙烯酸鈉智慧財產權以“電池和電容的雜交或雜化”設計為理念、以增碳為手段，淺充淺放的迴圈壽命可達萬次

以上鉛酸為基體的酸性超級電容，受到電池領域內關注。同樣，鹼性電池與聚合物電容的雜交或雜化設計超電池，同樣也有電池同行關注。而其遇到首要問題是：在聚合物電容中的常用料：聚吡咯、聚噻吩和聚苯胺等體系的聚合物在強鹼中穩定性不能達到萬次迴圈壽命要求，唯有聚丙烯酸鈉能夠達到萬次迴圈壽命要求，從此不難窺見文獻<sup>[13]</sup>敘述：迴圈一萬五千次以上的鹼性超級電容搶佔聚丙烯酸鈉知識產權的主要動機。

(2) 搶佔鎳鋅二次電池或  $\text{MnO}_2$  鋅一次電池及鋅空二次電池領域內的聚丙烯酸鈉智慧財產權。全球市場鎳價格和稀土價格陡升，負極消耗大量鎳的鎳氫二次電池再次市場受挫。鎳鎘二次電池環境壓力下，各國望而生畏。

在此市場背景下，正極僅僅需要一點“球鎳”的鎳鋅二次電池、鎳鐵二次電池、以及正極一點“球鎳”都不需要的  $\text{MnO}_2$  鋅一次電池以成本和綠色的兩大優勢受到市場的推崇，並有替代鎳鋅和鎳鐵電池之趨勢。這種替代趨勢導致：2000 年至今，搶佔鎳鋅電池中聚丙烯酸鈉應用的智慧財產權制高點為主的特點。諸如鎳鋅電池中的凝膠電解質，鎳空等電池中的凝膠電解質，鎳鋅二次或一次電池中負極等<sup>[14-17]</sup>。

聚丙烯酸鈉在電池中構築了“離子遷移的高速公路”與不加入聚丙烯酸鈉的電池相比，鎳鋅電池中的鋅離子或鎳氫電池中的氫離子可以在高分子鏈上的羧基上以很低能量跳躍式的遷移。該高分子鏈成為離子遷移的“高速公路”，由此提升倍率放電性能(動力學解釋方面)。

## 2. 實驗方法

實驗整體流程，選用鎂合金板(AZ31)為陽極電極，陰極電極催化層選用過錳酸鉀透過水熱合成法之迴流法技術製備  $\text{MnO}_2$ 。首先取 30g/L 碳球

(XC-72)裝入平底燒瓶中，做為催化劑的基材秤取過錳酸鉀粉末裝入平底燒瓶中，並用去離子水溶解，配製成 2M 含有碳球的過錳酸鉀水溶液平底燒瓶，瓶口裝上冷凝管，並加入一個磁石，以隔水加熱的方式進行攪拌，於  $100^\circ\text{C}$  下迴流 3 小時，攪拌速度 300rpm，攪拌時間 3 小時。反應完畢後，將所得的混合溶液裝入離心管中，置入超音波震盪機進行震盪，震盪時間 10 分鐘，然後再將離心管置入離心機高速離心收集產物，條件如下：轉速:5500rpm、時間：70 分鐘。將離心完的產物，去除液體，只保留固體的部分，然後放置於烘烤箱乾燥，溫度設定  $80^\circ\text{C}$ ，加熱 30 分鐘取出，隨後做法與擴散層一致。再進行輾壓製成的方法製作催化層並以同樣的方法製作擴散層，擴散層使用奈米碳球、石墨、PTFE，將不鏽鋼網裁切成適當的大小，把做好的催化層和擴散層置於不鏽鋼網兩面，進行熱壓處理即可獲得空氣陰極集電網，將製備完成的空氣陰極進行微結構分析，如圖 1，組裝完成鎂合金金屬燃料電池。隨後，配製不同顆數可流動的固液混合物電解液及分別加入 0.5wt%、1.0wt%的過氧化氫( $\text{H}_2\text{O}_2$ )和 0.5wt%、1.0wt%過氧碳酸鈉( $\text{Na}_2\text{CO}_4$ )分別進行含氧量放電測試與腐蝕效能的比較，進行極化曲線掃描測試及全放電測試探討。

### 2.1 極化曲線掃描測試

極化掃描是利用三電極系統(白金電極為相對電極，甘汞電極為參考電極，空氣陰極為工作電極)，各別配置成 0.5wt%、1.0wt%過氧化氫和過氧碳酸鈉添加於室溫電解液 3.5wt% NaCl 電解液中進行試片的含氧量測試，掃描電位範圍：0.2~0.3V，掃描速率：1mV/s，掃描面積：1cm<sup>2</sup>。

### 2.2 鎂空氣燃料電池電性測試

將所製成的空氣陰極與陽極 AZ31 鎂合金進行

組裝為全電池，在定電流密度 10、20 mA/cm<sup>2</sup> 下進行全電池放電測試。定電流密度下放電測試之參數設定如下：陰極：空氣電極，陽極：鎂合金 (AZ31)，電解液：3.5wt% NaCl 添加不同的含氧量，掃描面積：1 cm<sup>2</sup>，掃描時間是 10 分鐘。

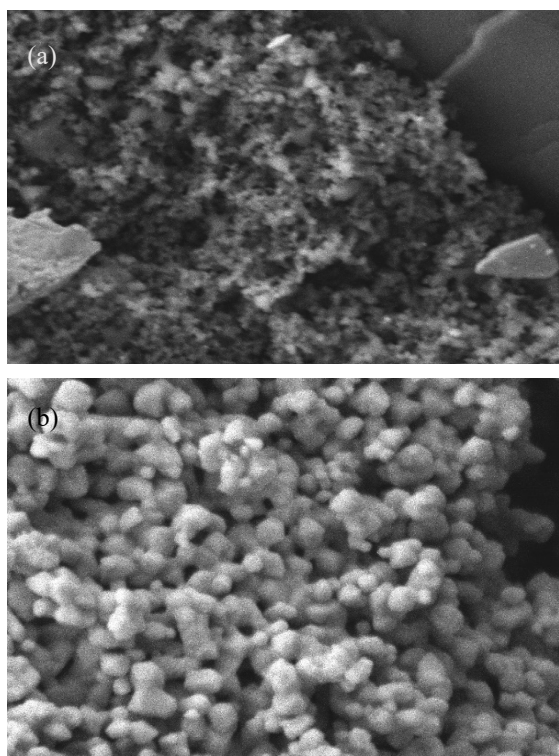


圖 1 催化層表面形貌(a)低倍率催化層表面形貌 (b)高倍率催化層表面形貌。  
Figure 1 Surface morphology of the catalyst layer: (a) low magnification, (b) high magnification.

### 3. 實驗結果

#### 3.1 不同顆數的聚丙烯酸鈉對含氧量之腐蝕極化掃描

以 1、2、3 克的聚丙烯酸鈉對 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 和 Na<sub>2</sub>CO<sub>4</sub> 不同濃度(0.5wt%、1.0wt%)，進行腐蝕極化曲線量測，並觀察其變化。在 1 克時，其腐蝕電位分別為-0.114V、-0.112V；-0.137V、-0.140V，腐蝕電流分別為 1.897×10<sup>-3</sup>A/cm<sup>2</sup>、1.741×10<sup>-3</sup>A/cm<sup>2</sup>；1.622×10<sup>-3</sup>A/cm<sup>2</sup>與 4.221×10<sup>-3</sup>A/cm<sup>2</sup>；在 2 克時，其腐蝕電位分別為-0.109V、-0.103V；-0.110V、-0.114V，腐蝕電流分別為 3.269×10<sup>-3</sup>A/cm<sup>2</sup>、

3.451×10<sup>-3</sup>A/cm<sup>2</sup>；3.326×10<sup>-3</sup>A/cm<sup>2</sup>與 3.823×10<sup>-3</sup>A/cm<sup>2</sup>；在 3 克時，其腐蝕電位分別為 -0.117V、-0.109V；-0.117V、-0.132V，腐蝕電流分別為 1.953×10<sup>-3</sup>A/cm<sup>2</sup>、1.972×10<sup>-3</sup>A/cm<sup>2</sup>；1.953×10<sup>-3</sup>A/cm<sup>2</sup>與 1.865×10<sup>-3</sup>A/cm<sup>2</sup>。經由這些結果顯示，0.5wt%H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>、1wt%Na<sub>2</sub>CO<sub>4</sub> 腐蝕電位較高與較低的腐蝕電流，顯示有較優良的耐腐蝕能力，圖 2 與表 1 所示。

表 1 不同克數的 PAAS 電位與腐蝕電流密度 (1)NaCl (2)H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (3)Na<sub>2</sub>CO<sub>4</sub>。

Table 1 The corrosion potential and current density of the electrolyte containing different amounts of PAAS and (1)NaCl (2)H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (3)Na<sub>2</sub>CO<sub>4</sub>

(1)

NaCl			
濃度	3.5wt%		
PAAS 克數	1g	2g	3g
E <sub>corr</sub> (V)	-0.098	-0.087	-0.065
I <sub>corr</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )	1.108×10 <sup>-3</sup>	3.214×10 <sup>-3</sup>	0.928×10 <sup>-3</sup>

(2)

H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>						
濃度	0.5wt%			1.0wt%		
PAAS 克數	1g	2g	3g	1g	2g	3g
E <sub>corr</sub> (V)	-0.114	-0.109	-0.117	-0.112	-0.003	-0.109
I <sub>corr</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )	1.897	3.269	1.953	1.741	3.451	1.972
	×10 <sup>-3</sup>	×10 <sup>-3</sup>	×10 <sup>-3</sup>	×10 <sup>-3</sup>	×10 <sup>-3</sup>	×10 <sup>-3</sup>

(3)

Na <sub>2</sub> CO <sub>4</sub>						
濃度	0.5wt%			1.0wt%		
PAAS 克數	1g	2g	3g	1g	2g	3g
E <sub>corr</sub> (V)	-0.137	-0.110	-0.117	-0.140	-0.114	-0.132
I <sub>corr</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )	1.622	3.326	1.953	4.221	3.823	1.865
	×10 <sup>-3</sup>	×10 <sup>-3</sup>	×10 <sup>-3</sup>	×10 <sup>-3</sup>	×10 <sup>-3</sup>	×10 <sup>-3</sup>

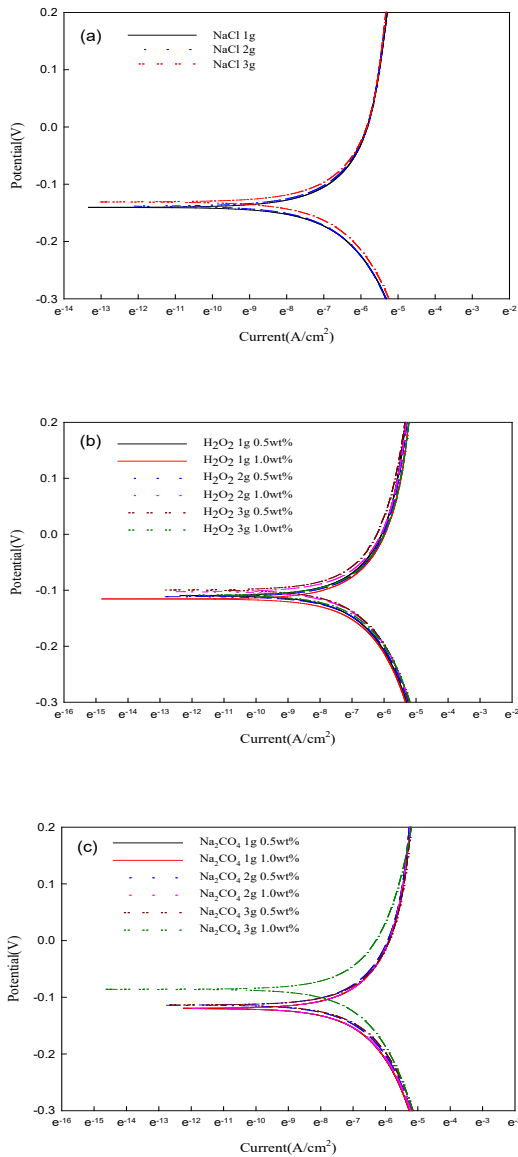


圖 2 不同克數的 PAAS 在含氧量之腐蝕性能 (a)NaCl (b)H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (c)Na<sub>2</sub>CO<sub>4</sub>。

Figure 2 The polarization curves of the electrolyte containing different amounts of PAAS and oxygen providers: (a)NaCl (b)H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (c)Na<sub>2</sub>CO<sub>4</sub>

### 3.2 鎂空氣燃料電池放電測試

以 1、2、3 克的聚丙烯酸鈉(PAAS)，分別添加 0.5wt%、1.0wt%的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 和 Na<sub>2</sub>CO<sub>4</sub> 由 10、20mA/cm<sup>2</sup> 下進行全放電測試，當 1 克 PAAS 在 3.5wt% NaCl 定電流的 10、20 mA/cm<sup>2</sup> 下進行全放電測試，電壓分別 1.48V、1.09V；添加 0.5wt%

Na<sub>2</sub>CO<sub>4</sub> 在 10、20 mA/cm<sup>2</sup> 下電壓為 1.67V、1.26V，增加到 1wt%時，電壓 1.74V、1.60V 可以發現到當濃度為 1wt%時，可以增加含氧量使有較高的電壓效果，但添加 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 時 0.5wt%的電壓卻是 1.48V、1.09V，當濃度增加於 1.0wt%時電壓為 1.41V、1.06V，而目前由定電流可以得知在 1 克的 PAAS 時，1.0wt% Na<sub>2</sub>CO<sub>4</sub> 和 0.5wt% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 時有較高的含氧量；因此本實驗希望製作出可流動的固液混合物，所以使用 1、2、3 克的 PAAS 分別添加 Na<sub>2</sub>CO<sub>4</sub> 和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 進行定電流測試，發現在 3 克的 PAAS 呈現膏狀，也由表 2 和圖 2 可以看到 1 克的 PAAS 電性都維持在 1.06V 以上，原因可能為 PAAS 添加的量較少，水溶液較多所以電壓較高；2 克聚丙烯酸鈉電性較 3 克 PAAS 的電性較差，原因可能為在 PAAS 飽和的情形下可以有助於增加電性能，如表 2、圖 3 及圖 4 所示。

表 2 不同克數的 PAAS 之電性值(1)NaCl (2)H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (3)Na<sub>2</sub>CO<sub>4</sub>。

Table2 The discharging potential of the electrolyte containing different amounts of PAAS and (1)NaCl (2)H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (3)Na<sub>2</sub>CO<sub>4</sub>

(1)

NaCl			
濃度	3.5wt%		
PAAS	1g	2g	3g
10mA	1.48	1.27	1.03
20mA	1.09	0.85	0.63

(2)

H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>						
濃度	0.5 wt%			1.0wt%		
PAAS	1g	2g	3g	1g	2g	3g
10mA	1.47	1.48	1.51	1.41	1.43	1.46
20mA	1.09	0.94	1.09	1.06	0.90	0.93

(3)

Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>						
濃度	0.5 wt%			1.0wt%		
PAAS	1g	2g	3g	1g	2g	3g
10mA	1.67	1.58	1.61	1.74	1.64	1.68
20mA	1.32	0.97	1.21	1.60	1.00	1.26

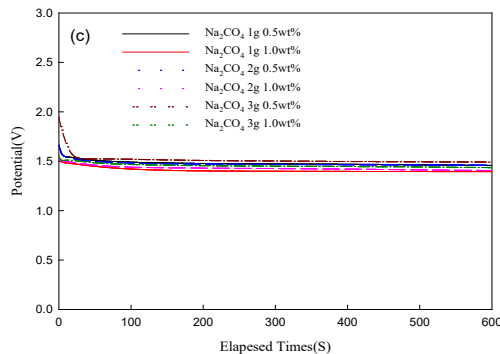
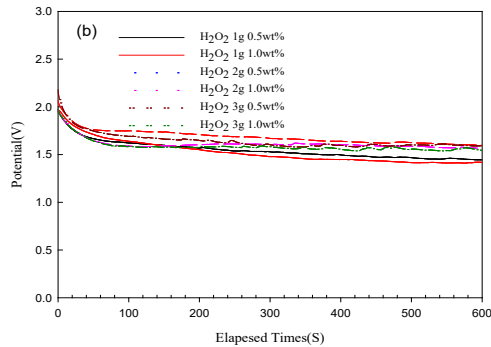
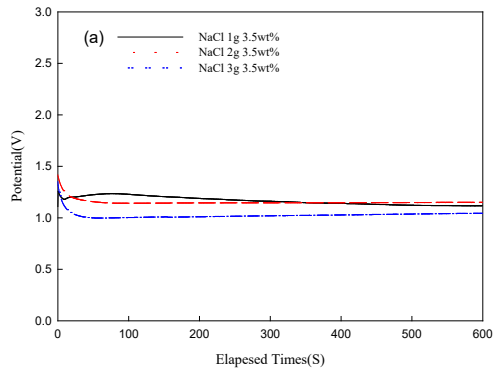


圖 3 不同克數的 PAAS 在含氧量定電流 10mA (a)NaCl (b)H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (c)Na<sub>2</sub>CO<sub>4</sub>。

Figure 3 The potentials of the electrolyte containing different amounts of PAAS and oxygen providers discharged at 10 mA: (a)NaCl (b)H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (c)Na<sub>2</sub>CO<sub>4</sub>.

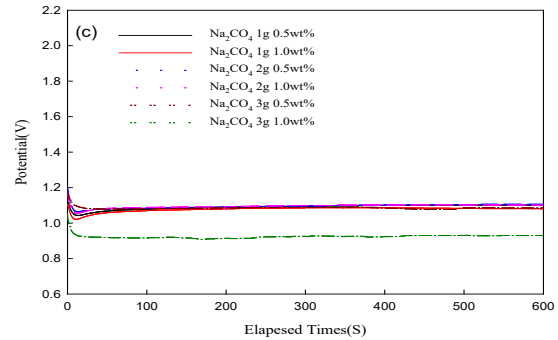
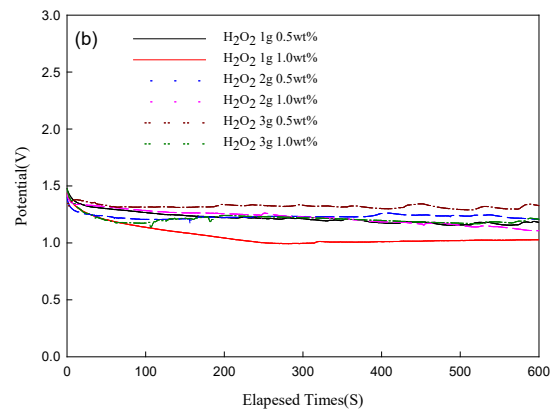
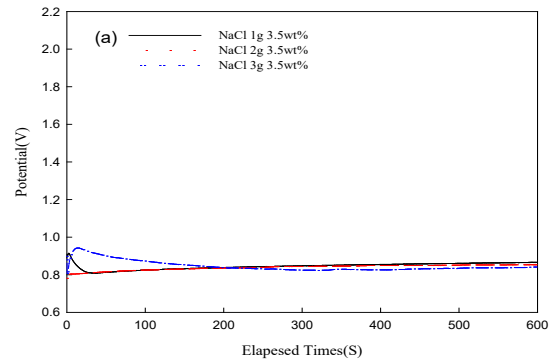


圖 4 不同克數的 PAAS 在含氧量定電流 20mA (a)NaCl (b)H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (c)Na<sub>2</sub>CO<sub>4</sub>。

Figure 4 The potentials of the electrolyte containing different amounts of PAAS and oxygen providers discharged at 20 mA: (a)NaCl (b)H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (c)Na<sub>2</sub>CO<sub>4</sub>.

#### 4. 討論

(1) 本研究製作出可流動的固液混合物和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>、Na<sub>2</sub>CO<sub>4</sub> 進行比較。首先使用 1、2、3 克的 PAAS，以 3.5wt% NaCl 比較有無添加 PAAS 在定電流 10 mA/cm<sup>2</sup> 之比較，發現有添加 PAAS



可以有較高的電壓，如表 3、圖 5。

- (2) 添加 PAAS 可以形成可流動的固液混合物，發現 1 克的 PAAS 呈現液態狀，2 克時有凝固但還是有液態狀，3 克時呈現膏狀；在 3 克時呈現不會讓水流出來，符合最佳參數，圖 6。
- (3) 將 PAAS(1、2、3 克)隨後添加 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (0.5wt%、1.0wt%)，Na<sub>2</sub>CO<sub>4</sub> (0.5wt%、1.0wt%)分別配置進行定電流分析，發現在 3 克 PAAS、0.5wt% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 和 1.0wt% Na<sub>2</sub>CO<sub>4</sub> 有較佳的電壓。

表 3 以 3.5wt% NaCl 添加 PAAS 之電性比較。  
Table3 The discharging potential of the electrolyte containing different amounts of PAAS and 3.5 wt% of NaCl.

NaCl				
濃度	3.5wt%			
PAAS 克數	無	1g	2g	3g
10mA	0.81	1.48	1.27	1.03

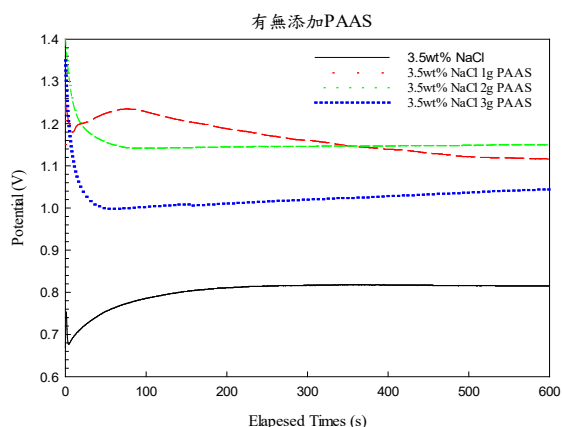


圖 5 在添加或不添加 PAAS 的情況下，以 3.5wt% NaCl 進行定電流 10 mA 之電位。  
Figure 5 The potential of the electrolyte discharged in 3.5 wt% NaCl at 10 mA with/without the addition of PAAS.

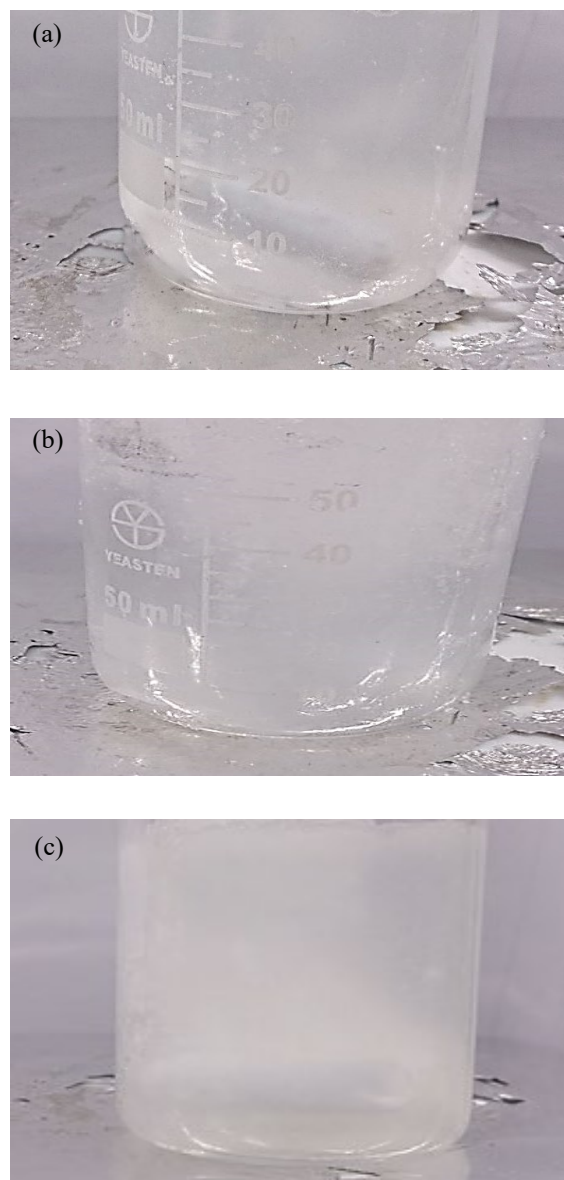


圖 6 含有不同量 PAAS 之狀態(a)1 克(b)2 克 (c)3 克。  
Figure 6 Photographs of the electrolytes containing different amount of PAAS: (a) 1g, (b) 2g, (c) 3g.

## 5. 結論

本實驗探討兩個部分，首先探討 AZ31 鎂陽極和空氣陰極以及電解液選用聚丙烯酸鈉當固態高分子使用 3.5wt% NaCl 當液態電解液，在 1 克 PAAS 呈現液態狀，2 克時還要無法完全呈現固態狀，3 克完全呈現固態狀，由表 3 和圖 5 電性測試發現有提高電壓，可知添加一定量的聚丙烯酸鈉

呈現固態外，還可以增加導電性；當添加  $\text{H}_2\text{O}_2$  和  $\text{Na}_2\text{CO}_4$  的部分可以得知在 0.5wt%  $\text{H}_2\text{O}_2$  和 1wt%  $\text{Na}_2\text{CO}_4$  電性測試中都有較高的電壓，但兩者進行比較時 1wt%  $\text{Na}_2\text{CO}_4$  有較高的電壓；因此 3 克的 PAAS 為最佳的固液合物，並添加 1.0wt%  $\text{Na}_2\text{CO}_4$  有較佳的電性。

## 參考文獻

- [1] "電化學制氧及其氧氣純度影響因素的研究", 鄧曉科、梁廣川、歐秀芹、劉曙光、韓斌, 電化學, 第13卷第2期、2007, 第151~155頁。
- [2] "隔膜對電化學制氧氧氣純度的影響", 鄧曉科、梁廣川、歐秀芹、韓斌, 河北工業大學學報, 第36卷第1期, 2007, 第72~75頁。
- [3]"金屬燃料電池", 唐有根、黃伯雲、盧凌彬, 物理學與新能源材料專題, 第33卷第2期, 2004, 第85~89頁。
- [4] 曹殿學、王貴領、呂豔卓 in: "燃料電池系統[M]", 北京航太航空大學出版社(中國, 北京, 2009), 第274-304頁。
- [5] Linden, D., and Th B. Reddy.in: Handbook of batteries 3rd edition. (TRD: McGraw-Hill ,USA, 2002).
- [6] 陳軍, 陶占良, 苟興龍 in: "化學電源", 化學工業出版社(中國, 北京, 2006), p.247~285。
- [7] "電池技術的研發近況", 萬其超, 國科會, 科學發展月刊, 第26卷第12期, 1998, 第1491~1497頁。
- [8] 陳鐘誠, 電池的歷史與原理, 取自 <https://pansci.asia/archives/49399>。
- [9] 簡井清英、都築秀典、西田國良等, "鹼性電池", 中國發明專利95119125. X, 2001-12-26。
- [10] 蔡志江、龔志新、耿鳴明, "一種新型凝膠改性隔膜在MH-Ni蓄電池中的應用", 電源技術, 第29卷第3期, 2005, 第42-145頁。
- [11] 劉朋軍, "一種鹼性電池隔膜的製造方法", 中國發明專利ZL02147638, 2005-08-31。
- [12] 大谷和也、山口武亮, "鹼性電池用凝膠化劑及鹼性電池", 中國發明專利ZL200580022998. 4, 2009-06-17。
- [13] 岩倉千秋、古川直治、暖水慶孝, "鹼性蓄電池及其製造方法", 中國發明專利200510051969. 2, 2008-12-24。
- [14] 住谷隆、小池正美、錢谷幸雄, "鹼性電池用凝膠化劑及鹼性電池", 中國發明專利ZL00803901. 1, 2005-05-18。
- [15] 楊漢西、曹余良、朱曉明, "膠態聚合物電解質及其製備方法", 中國發明專利ZL200410060700. 6, 2007-01-24。
- [16] 李永創、李中東、趙林治, "一種降低動力型圓柱密封鋅鎳鹼性蓄電池內壓的方法", 中國發明專利ZL200510051247. 7, 2008-01-16。
- [17] 住山真一, "鹼性電池用凝膠狀負極及鹼性電池", 中國發明專利CN200910126950. 8, 2009-09-16。