

嘉義市第 37 屆中小學科學展覽會

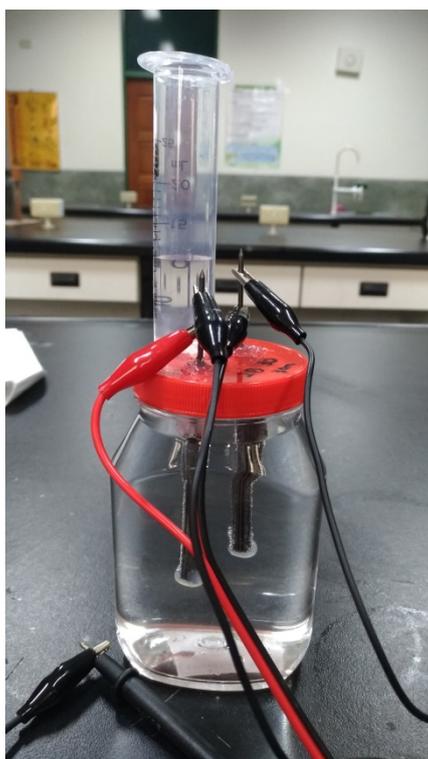
作品說明書

科 別：化學科

組 別：國中組

作品名稱：芯電感應-筆芯電極對氫氧燃料電池放電之影響

關 鍵 詞：電解水、氫氧燃料電池、筆芯電極



編 號：

摘要

偶然地機會下看到爸爸在更換家中電動機車的電池，引起我們對於有關電池探究的動機，我們找到了有關自製「氫氧燃料電池」的研究與方法，因此便著手設計我們的筆芯電極來進行實驗。經實驗後發現：(一)以不同電壓充電後，平均放電電壓：7.5 伏特 > 6.0 伏特 > 4.5 伏特 > 3.0 伏特，充電電壓越大放電效果越佳。(二)不同材質的筆芯，平均放電電壓：2B > B > HB > H，應是跟四種筆芯碳量的多寡有關，碳含量越高，電解水的效果較佳，而能有更好的放電效果。(三)不同筆芯枝數，平均放電電壓：40 枝 > 30 枝 > 20 枝 > 10 枝；枝數越多放電效果越佳。(四)有包覆化妝棉的平均放電電壓皆比無包覆時放電效果佳。

壹、研究動機

假日看到爸爸在更換電動機車的電池，拆下的電池與我們經常使用的電池構造並不相同，引起我們對於有關電池探究的動機，陸續開始蒐集各種電池的相關資訊後，我們找到了有關自製「氫氧燃料電池」的研究與方法，接著請教學校的老師後，發現文獻中的電極皆是使用石墨棒，我們突然想到鉛筆的筆芯就是石墨製成的，若拿筆芯當電極可以嗎？筆芯電極對於影響「氫氧燃料電池」放電的因素有哪些呢？因此我們便著手設計筆芯作為電極，能自造出裝筆芯電極的「燃料電池」，便開始了我們一連串的電池探索之旅。

貳、研究目的

- 一、設計筆芯電極的氫氧燃料電池反應器。
- 二、探討使用不同充電電壓，對於「筆芯-氫氧燃料電池」的放電影響。
- 三、探討使用不同種類的筆芯，對於「筆芯-氫氧燃料電池」的放電影響。
- 四、探討使用不同枝數的筆芯，對於「筆芯-氫氧燃料電池」的放電影響。
- 五、探討筆芯電極包覆不同數量的化妝棉，對於「筆芯-氫氧燃料電池」的放電影響。
- 六、「筆芯-氫氧燃料電池」是否能驅動馬達之探討。

參、實驗藥品與器材

氫氧化鈉、0.9mm 筆芯、2mm 筆芯、燒杯、量筒、量瓶、滴管、燒杯、玻璃棒、電子秤、數位式三用電表、直流電源供應器、碼錶、鱷魚夾、手套、附蓋塑膠罐、塑膠針筒、化妝棉、凡士林、剪刀、透明膠帶、熱熔槍

肆、實驗過程及方法

- 一、設計氫氧燃料電池的反應器：

(一)認識氫氧燃料電池：

我們上網蒐集文獻後，對於電池獲得一些初步的知識，燃料電池是一種將化學能直接轉變成電能的裝置，不需充電只要持續的補充燃料及氧化劑，即可連續運轉發電。於1893年首先由威廉·羅伯特·葛羅夫爵士（William Robert Grove）所發現，該實驗是使用稀釋的硫酸作為液態電解質，於化學反應過程中可獲得電能。

最常見的燃料電池是氫氧燃料電池，藉由氫氣與氧氣的化學反應，將化學能直接轉變為電能，也就是一種水電解過程的逆向化學反應。電池的基本構造為覆蓋白金或鎳的多孔性碳板，在陽極部分通入氫氣，陰極部分通入氧氣，並以高濃度的氫氧化鉀水溶液作為電解質，其化學反應式表示如下，作用示意圖(如圖1)：陽極： $\text{H}_{2(\text{g})} + 2\text{OH}^{-}(\text{aq}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^{-}$ 陰極： $\text{O}_{2(\text{g})} + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 4\text{e}^{-} \rightarrow 4\text{OH}^{-}(\text{aq})$ ；全反應式： $2\text{H}_{2(\text{g})} + \text{O}_{2(\text{g})} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 。

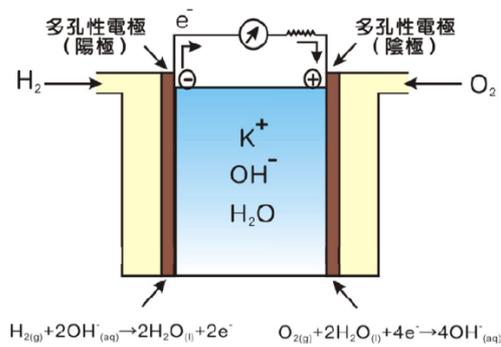


圖1 氫氧燃料電池作用示意圖

(二)設計筆芯-氫氧燃料電池反應器：

1. 第一代反應器：我們最先是選擇粗細為 0.5mm 的各式筆芯(如圖 2)，以方型的塑膠保鮮盒當電池外殼，先在蓋子上鑽洞裝上筆芯後通電測試，雖然可以順利電解水反應出氫氣與氧氣，但是缺點是 0.5mm 筆芯非常容易斷，經不起鱷魚夾一夾就斷裂，另外我們也無法解決筆芯之間產生的空隙，造成氣體經由筆芯間的空隙漏光，而使反應器無法進行後續的放電反應；第一代反應器構造(如圖 3)。
2. 第二代反應器：我們為了解決 0.5mm 筆芯容易被鱷魚夾夾斷的問題，我們改購買 10 元塑膠罐在瓶身兩側鑽洞接上導線，再將捆包好的筆芯置於導線上通電測試，但是我們發現電解的過程中，導線上的金屬不斷發生反應並退色，且塑膠瓶口太小難以橫放入筆芯；第二代反應器構造(如圖 4)。



圖 2 實驗用 0.5mm 的各式筆芯



圖 3 第一代反應器構造



圖 4 第二代反應器構造

3. 第三代反應器：我們最後改變了筆芯的種類(如圖 5)及筆芯電極的製作方式，改選擇以較粗的 2mm；2B 筆芯為中心，再將數好枝數的 0.9mm 筆芯包圍纏繞用熱融膠固定，作出不同的筆芯電極(如圖 6)。將塑膠罐的蓋子中心點鑽一個洞，放入塑膠針筒以熱融膠固定(以防止氫氧化鈉溶液溢流)，在蓋子中心點兩旁 1.5 公分處各鑽兩小洞，並在洞上黏接上自製的各種不同筆芯電極(如圖 7)，最後用熱融膠與保麗龍膠分別加強固定。接著製作出第三代反應器(如圖 8)。



圖 5 改用 0.9m 及 2mm 筆芯為電極材料



圖 6 改良後製作筆芯電極的方法



圖 7 將電極固定於蓋子



圖 8 第三代反應器構造

4. 實驗前先將每個反應器裝滿水後檢查是否有漏水或漏氣，再將用量瓶配製好的 1M 氫氧化鈉水溶液裝滿在「氫氧燃料電池的反應器」中，將瓶蓋裝回瓶身且鎖緊，並從防止漏流的針筒處補充氫氧化鈉溶液至刻度 10。將充、放電所需的電路接好(如圖 9)，即可進行本研究相關實驗；本實驗充放電電路圖(如圖 10)。

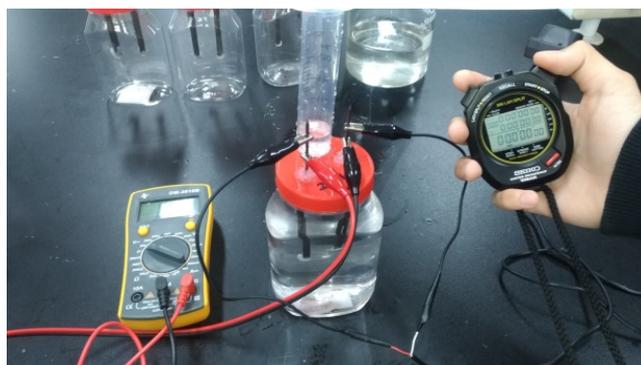


圖 9 測量充放電裝置圖

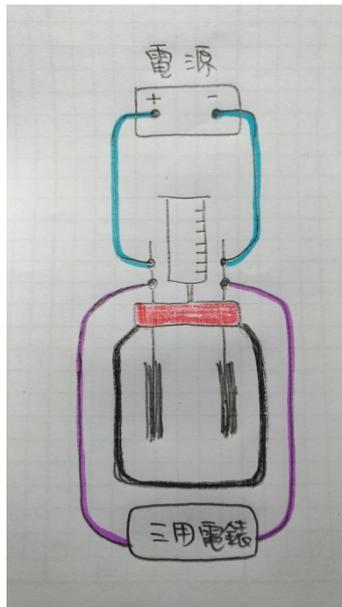


圖 10 充放電電路圖

二、【實驗一】探討使用不同充電電壓，對於筆芯-氫氧燃料電池的放電影響：

- (一)本實驗選擇筆芯種類為 9mm；2B(數量 30 枝)作為測量電極。
- (二)使用電源供應器以直流電充電，兩極接上 3.0V 電壓，電解 2 分鐘，並從連接的數位式三用電表，記錄充電時正負極的平均電壓值，直到電解 2 分鐘結束。
- (三)電解完成後，立即將此「氫氧燃料電池」接上數位式三用電表，開始就記錄放電 10 分鐘內的電壓值，每 30 秒紀錄一次。重複上述步驟，並將其實驗結果取平均值，記錄反應器放電的電壓變化情形。
- (四)分別改變充電電壓為 4.5V、6.0V、7.5V，重覆(一)至(三)步驟。

三、【實驗二】探討使用不同種類的筆芯，對於筆芯-氫氧燃料電池的放電影響：

- (一)選擇筆芯種類分別為 0.9mm；H、HB、B、2B(數量皆為 40 枝)作為測試電極(圖 11、12)。



圖 11 製作不同種類的筆芯電極

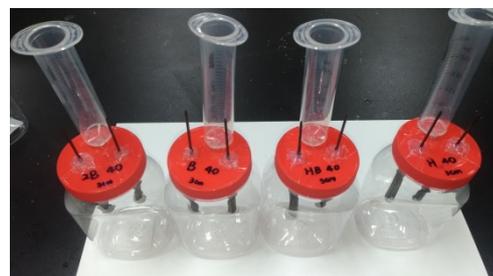


圖 12 不同種類筆芯電極的反應器

- (二)先以筆芯種類為 H 作為電極的反應器，使用電源供應器以直流電充電，兩極接上 4.5V 電壓，電解 2 分鐘，並從連接的數位式三用電表，記錄充電時正負極的電壓值，直到電解 2 分鐘結束。
- (三)電解完成後，立即將此「氫氧燃料電池」接上數位式三用電表，開始就記錄放電 10 分

鐘內的電壓值，每 30 秒紀錄一次。重複上述步驟，並將其實驗結果取平均值，記錄反應器放電的電壓變化情形。

(四)分別改變筆芯種類為 HB、B、2B(數量皆為 40 枝)作為電極的「氫氧燃料電池」，重覆(一)至(三)步驟。

四、【實驗三】探討使用不同枝數的筆芯，對於筆芯-氫氧燃料電池的放電影響：

(一)選擇筆芯種類為 0.9mm、2B，筆芯數量分別為 10、20、30、40 枝作為電極(圖 13、14)。



圖 13 製作不同種類的筆芯電極

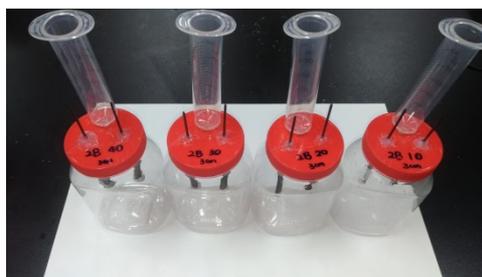


圖 14 不同種類筆芯電極的反應器

(二)先以筆芯數量為 10 枝作為電極的反應器，使用電源供應器以直流電充電，兩極接上 4.5V 電壓，電解 2 分鐘，並從連接的數位式三用電表，記錄充電時正負極的電壓值，直到電解 2 分鐘結束。

(三)電解完成後，立即將此「氫氧燃料電池」接上數位式三用電表，開始就記錄放電 10 分鐘內的電壓值，每 30 秒紀錄一次。重複上述步驟，並將其實驗結果取平均值，記錄反應器放電的電壓變化情形。

(四)改變以筆芯數量為 20、30、40 枝作為電極的反應器，重覆(一)至(三)步驟。

五、【實驗四】探討電極包覆不同數量的化妝棉，對於筆芯-氫氧燃料電池的放電影響：

(一)選擇筆芯種類為 9mm、2B(數量 40 枝)分別包覆不同張數的化妝棉(圖 15、16)。

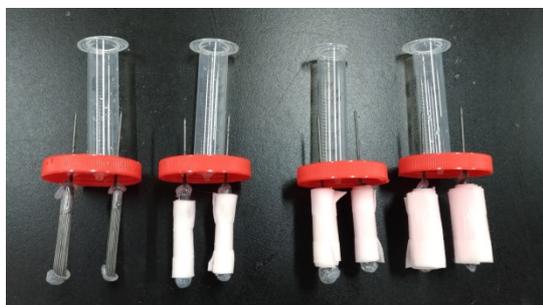


圖 15 將筆芯電極包覆不同張數化妝棉



圖 16 先測試化妝棉是否會被溶解

(二)先以將兩電極各包覆一張化妝棉，使用電源供應器以直流電充電，兩極接上 4.5V 電壓，電解 2 分鐘，並從連接的數位式三用電表，記錄充電時正負極的電壓值，直到電解 2 分鐘結束。

(三)電解完成後，立即將此「氫氧燃料電池」接上數位式三用電表，開始就記錄放電 10 分鐘內的電壓值，每 30 秒紀錄一次。重複上述步驟，並將其實驗結果取平均值，記錄反應器放電的電壓變化情形。

(四)改變以包覆 2 張、3 張作為電極的反應器，重覆(一)至(三)步驟。

六、【實驗五】筆芯-氫氧燃料電池是否能驅動馬達之探討：

(一)將一組筆芯 2B；40 枝以電壓 4.5 伏特充電 2 分鐘後，接上小馬達後，觀察馬達轉動情形(如圖 17)。

(二)試著增加充電時間為 5 分鐘，接上小馬達後，觀察馬達轉動情形。

(三)試著以串聯方式連接兩組筆芯-氫氧燃料電池，以電壓 4.5 伏特充電 2 分鐘後，接上小馬達後，觀察馬達轉動情形(如圖 18)。

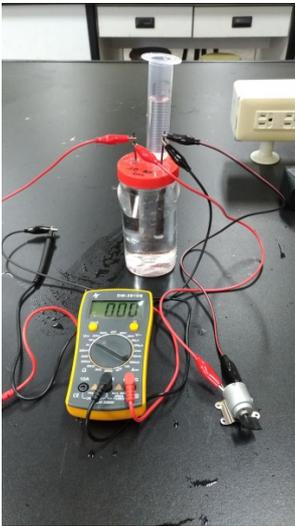


圖 17 測試是否能驅動馬達

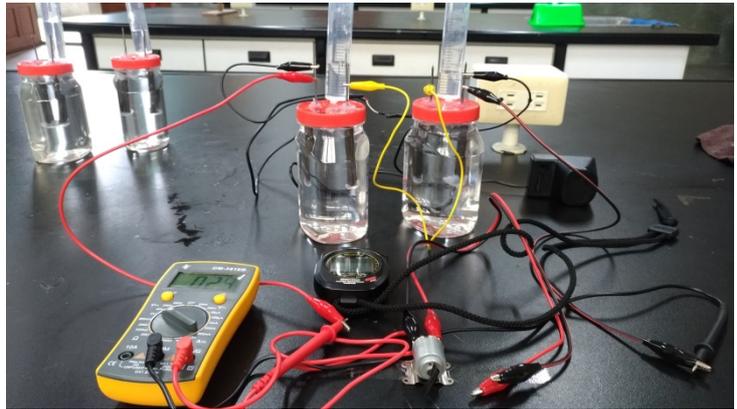


圖 18 串聯電池測試是否能驅動馬達

伍、研究結果

一、設計各種不同筆芯電極的氫氧燃料電池反應器，且每個反應器都需要測試是否漏液或漏氣，避免造成後續實驗誤差(如圖 19、20)。



圖 19 本研究自製各式電極的反應器

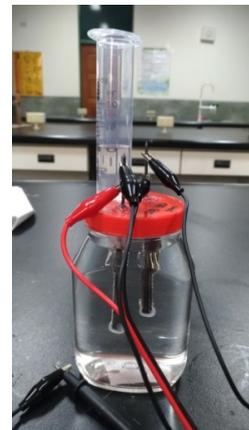


圖 20 實驗前通電測試是否會漏液或漏氣

二、探討使用不同充電電壓，對於筆芯-氫氧燃料電池的放電實驗數據如(表 1)。

表 1 不同充電電壓，在每 30 秒兩電極放電的平均電壓值

充電電壓	時間(S)	30	60	90	120	150
3.0 V	平均放電電壓(V)	0.802	0.602	0.510	0.430	0.320
4.5 V	平均放電電壓(V)	0.856	0.616	0.559	0.420	0.336
6.0 V	平均放電電壓(V)	1.333	1.024	0.874	0.826	0.792
7.5 V	平均放電電壓(V)	1.402	1.182	0.982	0.890	0.812

充電電壓	時間(S)	180	210	240	270	300
3.0 V	平均放電電壓(V)	0.275	0.212	0.180	0.160	0.143
4.5 V	平均放電電壓(V)	0.282	0.235	0.198	0.167	0.144
6.0 V	平均放電電壓(V)	0.764	0.703	0.677	0.650	0.622
7.5 V	平均放電電壓(V)	0.786	0.752	0.695	0.671	0.635

充電電壓	時間(S)	330	360	390	420	450
3.0 V	平均放電電壓(V)	0.123	0.110	0.091	0.081	0.080
4.5 V	平均放電電壓(V)	0.125	0.110	0.098	0.089	0.080
6.0 V	平均放電電壓(V)	0.596	0.572	0.551	0.533	0.515
7.5 V	平均放電電壓(V)	0.600	0.595	0.568	0.545	0.532

充電電壓	時間(S)	480	510	540	570	600
3.0 V	平均放電電壓(V)	0.070	0.062	0.059	0.05	0.025
4.5 V	平均放電電壓(V)	0.074	0.068	0.062	0.058	0.054
6.0 V	平均放電電壓(V)	0.495	0.476	0.458	0.440	0.423
7.5 V	平均放電電壓(V)	0.511	0.480	0.468	0.456	0.446

三、探討使用不同種類的筆芯，對於筆芯-氫氧燃料電池的放電數據如(表 2)。

表 2 不同種類的筆芯，在每 30 秒放電時兩電極的平均電壓值

筆芯種類	時間(S)	30	60	90	120	150
H	平均放電電壓(V)	0.952	0.611	0.517	0.446	0.386
HB	平均放電電壓(V)	0.918	0.778	0.703	0.569	0.517
B	平均放電電壓(V)	0.890	0.803	0.753	0.700	0.643
2B	平均放電電壓(V)	1.312	0.907	0.796	0.743	0.690

筆芯種類	時間(S)	180	210	240	270	300
H	平均放電電壓(V)	0.335	0.292	0.258	0.228	0.202
HB	平均放電電壓(V)	0.478	0.442	0.404	0.371	0.339
B	平均放電電壓(V)	0.592	0.544	0.502	0.469	0.438
2B	平均放電電壓(V)	0.643	0.598	0.552	0.526	0.496

筆芯種類	時間(S)	330	360	390	420	450
H	平均放電電壓(V)	0.181	0.163	0.147	0.135	0.123
HB	平均放電電壓(V)	0.309	0.281	0.258	0.237	0.218
B	平均放電電壓(V)	0.410	0.379	0.348	0.321	0.276
2B	平均放電電壓(V)	0.469	0.437	0.410	0.383	0.359

筆芯種類	時間(S)	480	510	540	570	600
H	平均放電電壓(V)	0.114	0.106	0.099	0.093	0.087
HB	平均放電電壓(V)	0.200	0.185	0.171	0.157	0.145
B	平均放電電壓(V)	0.275	0.256	0.239	0.223	0.207
2B	平均放電電壓(V)	0.335	0.314	0.295	0.279	0.263

四、探討使用不同枝數的筆芯，對於筆芯-氫氧燃料電池的放電實驗數據如(表 3)。

表 3 不同枝數的筆芯，在每 30 秒放電時兩電極的平均電壓值

筆芯枝數	時間(S)	30	60	90	120	150
10 枝	平均放電電壓(V)	0.711	0.540	0.440	0.350	0.270
20 枝	平均放電電壓(V)	0.723	0.570	0.480	0.399	0.322
30 枝	平均放電電壓(V)	0.856	0.616	0.559	0.420	0.336
40 枝	平均放電電壓(V)	1.312	0.907	0.796	0.743	0.69

筆芯枝數	時間(S)	180	210	240	270	300
10 枝	平均放電電壓(V)	0.210	0.160	0.130	0.100	0.090
20 枝	平均放電電壓(V)	0.260	0.211	0.177	0.152	0.132
30 枝	平均放電電壓(V)	0.282	0.235	0.198	0.167	0.144
40 枝	平均放電電壓(V)	0.643	0.598	0.552	0.526	0.496

筆芯枝數	時間(S)	330	360	390	420	450
10 枝	平均放電電壓(V)	0.070	0.060	0.050	0.050	0.040
20 枝	平均放電電壓(V)	0.115	0.104	0.094	0.086	0.078
30 枝	平均放電電壓(V)	0.125	0.11	0.098	0.089	0.080
40 枝	平均放電電壓(V)	0.469	0.437	0.410	0.383	0.359

筆芯枝數	時間(S)	480	510	540	570	600
10 枝	平均放電電壓(V)	0.040	0.030	0.030	0.030	0.020
20 枝	平均放電電壓(V)	0.072	0.067	0.062	0.058	0.054
30 枝	平均放電電壓(V)	0.074	0.068	0.062	0.058	0.054
40 枝	平均放電電壓(V)	0.335	0.314	0.295	0.279	0.263

五、探討電極包覆不同數量的化妝棉，對於筆芯-氫氧燃料電池的放電數據如(表 4)。

表 4 包覆不同數量的化妝棉，在每 30 秒放電時兩電極的平均電壓值

包覆張數	時間(S)	30	60	90	120	150
無包覆	平均放電電壓(V)	1.312	0.907	0.796	0.743	0.690
包 1 張	平均放電電壓(V)	1.392	1.029	0.873	0.834	0.808
包 2 張	平均放電電壓(V)	1.390	1.038	0.899	0.874	0.801
包 3 張	平均放電電壓(V)	1.395	1.033	0.902	0.883	0.820

包覆張數	時間(S)	180	210	240	270	300
無包覆	平均放電電壓(V)	0.643	0.598	0.552	0.526	0.496
包 1 張	平均放電電壓(V)	0.784	0.761	0.737	0.714	0.691
包 2 張	平均放電電壓(V)	0.786	0.777	0.750	0.731	0.695
包 3 張	平均放電電壓(V)	0.796	0.750	0.742	0.740	0.699

包覆張數	時間(S)	330	360	390	420	450
無包覆	平均放電電壓(V)	0.469	0.437	0.410	0.383	0.359
包 1 張	平均放電電壓(V)	0.668	0.646	0.623	0.600	0.577
包 2 張	平均放電電壓(V)	0.682	0.652	0.620	0.602	0.570
包 3 張	平均放電電壓(V)	0.680	0.642	0.621	0.612	0.581

包覆張數	時間(S)	480	510	540	570	600
無包覆	平均放電電壓(V)	0.335	0.314	0.295	0.279	0.263
包 1 張	平均放電電壓(V)	0.556	0.538	0.524	0.510	0.494
包 2 張	平均放電電壓(V)	0.558	0.548	0.530	0.515	0.499
包 3 張	平均放電電壓(V)	0.559	0.548	0.533	0.522	0.510

六、【實驗五】筆芯-氫氧燃料電池是否能驅動馬達之探討如(表 5)：

表 5 筆芯-氫氧燃料電池與馬達轉動情形

氫氧燃料電池數量	充電時間	馬達轉動情形
一個	2 分鐘	無法轉動
一個	5 分鐘	無法轉動
2 個串聯	2 分鐘	無法轉動
2 個串聯	5 分鐘	無法轉動

陸、研究結果討論

一、設計筆芯-氫氧燃料電池反應器：

(一)我們最初的發想是以筆芯為主要的研究材料，而逐步設計燃料電池反應器，但開始著手後，才發現筆芯材質非常容易斷裂，使得製作實驗用的筆芯電極非常耗時。且又必須將筆芯電極牢牢地固定在瓶蓋上，起初實在讓我們傷透腦筋。

(二)開始進行實驗測量時，才發現若沒有確實用熱熔膠封好筆芯電極與瓶蓋接合處，反應時氫氧化鈉溶液及氣體就會不斷從縫隙漏出，進而影響實驗結果，最後經過多次改良，我們總算製做出符合我們預期的「筆芯-氫氧燃料電池反應器」。

二、【實驗一】探討使用不同充電電壓，對於筆芯-氫氧燃料電池的放電影響：

(一)我們將表1的實驗結果作出其平均放電電壓與時間的關係圖，如下圖21所示。

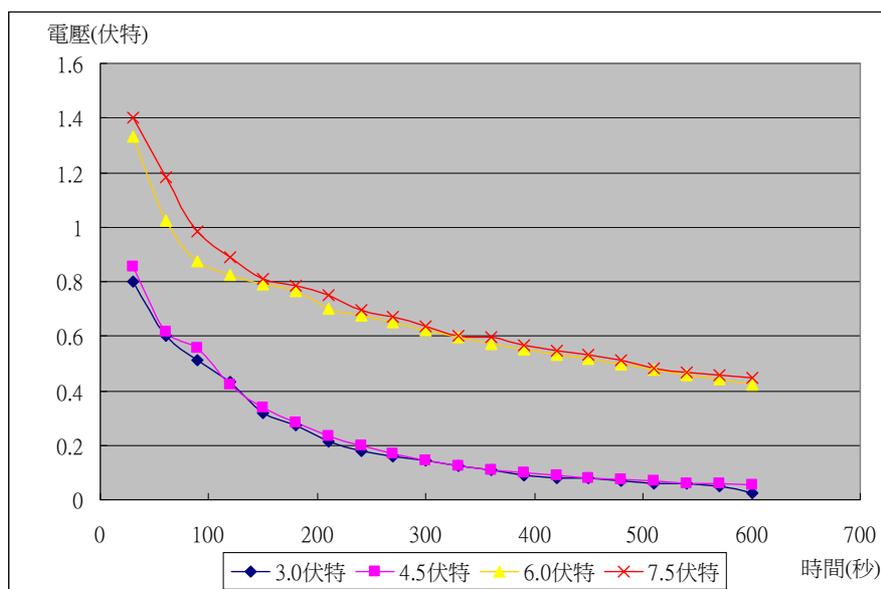


圖 21 [不同充電電壓] 平均放電電壓對時間的關係圖

(二)我們根據文獻所載氫氧燃料電池「放電」的原理，就是利用充電時水電解兩電極產生氫氣和氧氣，待放電時再由氫氣和氧氣反應產生水，並放出電能。氫氧燃料電池放電時

理論值約為 1.23 伏特。從我們的實驗結果發現：

1. 以 7.5 伏特及 6.0 伏特充電後，初始放電電壓均大於理論值，但電壓隨放電時間增加而每個反應器放電電壓越來越小，但是充電電壓越大繪出曲線最陡。其平均電壓大小比較：7.5 伏特 > 6.0 伏特 > 4.5 伏特 > 3.0 伏特。
2. 我們也發現，當充電電壓越大，兩電極產生氣體的速率越大，但是當以較高電壓充電時，有時氣體產生太多，部份氣體會從針筒直接衝出造成漏氣，而產生實驗誤差。另外我們也發現以電壓 7.5 伏特充電時，塑膠瓶底部會有黑色碳粒，可見若用較高電壓充電可產生較好的放電效果，但也會造成筆芯崩裂分解。因此後續實驗我們皆選擇充電電壓 4.5 伏特；充電時間 2 分鐘，避免有上述兩種情形發生。

三、【實驗二】探討使用不同種類的筆芯，對於筆芯-氫氧燃料電池的放電影響：

(一)我們將表2的實驗結果作出其平均放電電壓與時間的關係圖，如下圖22所示。

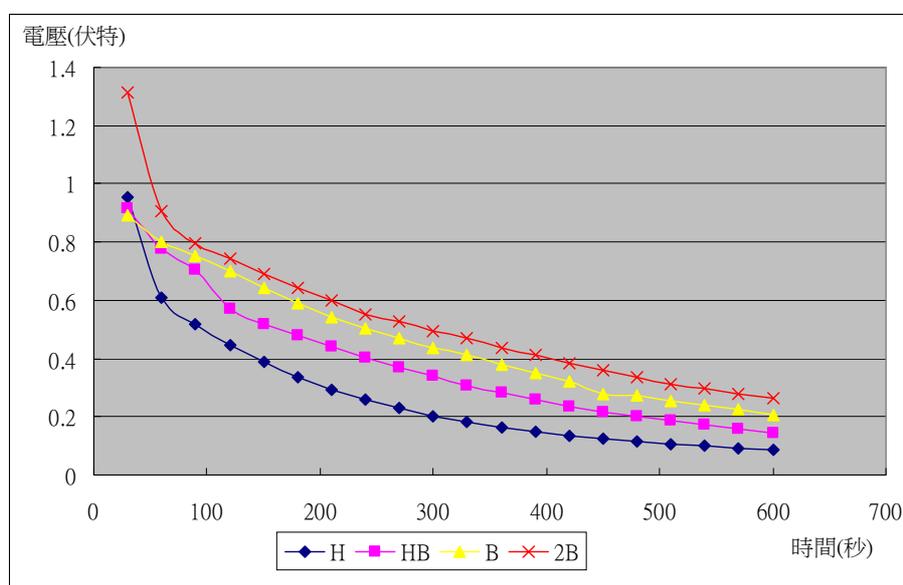


圖 22 [不同筆芯種類] 平均放電電壓對時間關係圖

(二)我們根據網路收集到筆心的介紹，我們知道自動鉛筆的筆芯上所標示的 B、H 就是指

「Black」和「Hard」—B 越大，含碳量越高；H 越大，越堅硬。我們所選擇的四種筆芯，碳量順序為 2B > B > HB > H，從圖 22 我們可以看出測量結果，平均電壓大小比較：2B > B > HB > H，以 2B 筆芯繪出放電曲線最陡。所以我們推測，針對四種含碳量不同的筆芯：H、HB、B、2B，當 B 的數字越大時，則碳含量越高，導電性越好，電阻越小，通過電流越大，因此使得電解水的效果較佳，溶液中就有更多的氫氣和氧氣反應而放出電能。

四、【實驗三】探討使用不同枝數的筆芯，對於筆芯-氫氧燃料電池的放電影響。

(一)我們將表3的實驗結果作出其平均放電電壓與時間的關係圖，如下圖23所示。

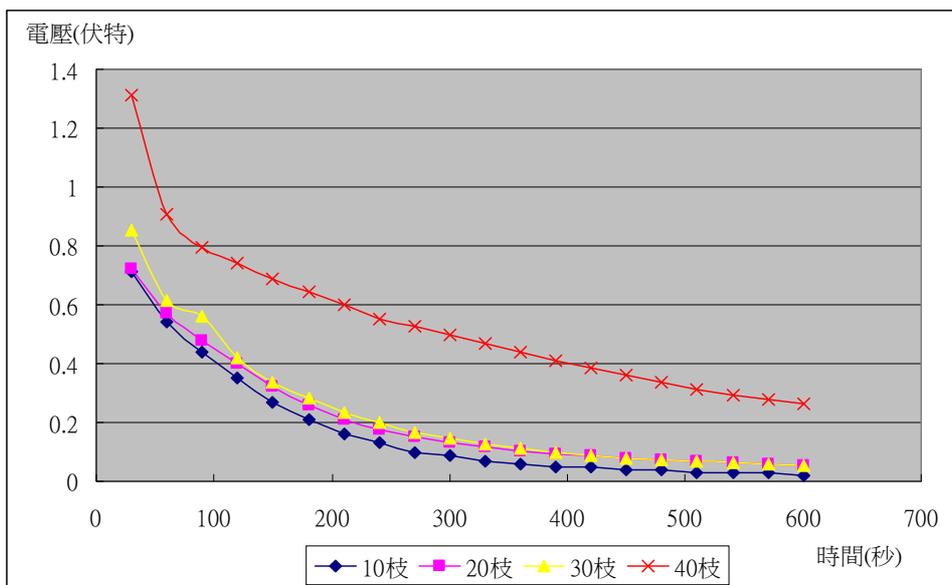


圖 23 [不同筆芯枝數] 平均放電電壓對時間關係圖

(二)我們以 2B 筆芯設計不同枝數的電極，當開始通電便可以發現枝數越多，兩極產生的氣體速率為 40 枝 > 30 枝 > 20 枝 > 10 枝，從圖 23 我們可以看出測量結果，平均電壓大小比較：40 枝 > 30 枝 > 20 枝 > 10 枝，以 40 枝筆芯繪出放電曲線最陡，所以我們推測枝數越多導電性越好，電解效果越佳，產生氣體的速率也越快。當開始進行放電的反應時，枝數越多的筆芯與氣體的接觸面積也越大，讓能量轉換的效果更好，因此能釋放更多電能。

五、【實驗四】探討電極包覆不同數量的化妝棉，對於筆芯-氫氧燃料電池的放電影響。

(一)我們將表4的實驗結果作出其平均放電電壓與時間的關係圖，如下圖24所示。

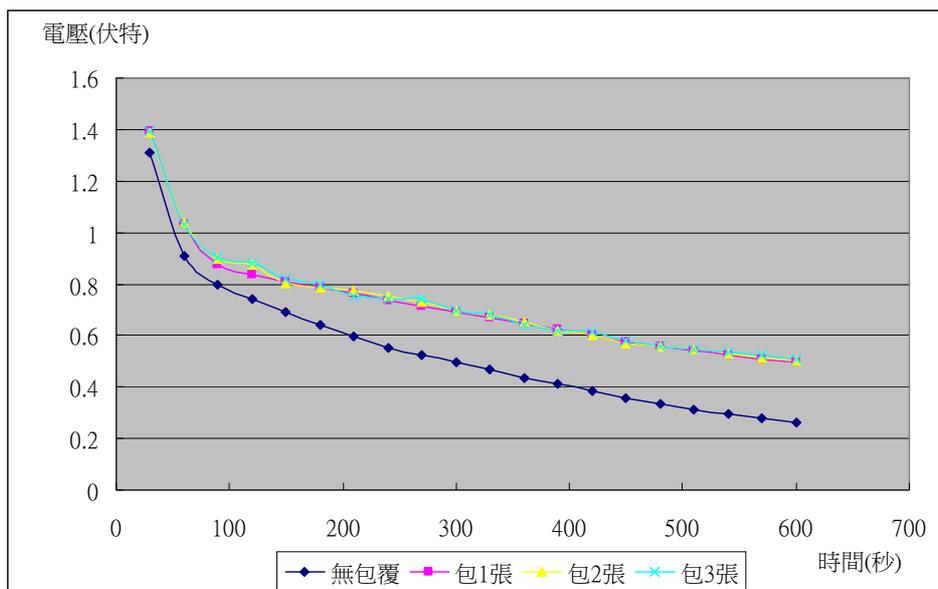


圖 24 [不同筆芯枝數] 平均放電電壓對時間關係圖

(二)我們從第54屆全國科展國中化學科「當尼可爾生與葛羅夫相遇」的作品中，其實驗四：

正負極均使用『活化後碳棒3支+套不織布袋+裝填濾心內椰子殼活性炭4克』，反應器裝滿「2M氫氧化鈉水溶液」，可讓馬達運轉24分鐘，我們試想若產生的氫氣與氧氣可以多停留在溶液內，應該增加放電效果。

(三)從圖24我們可以看出測量結果，有包覆化妝棉的反應器平均放電電壓皆比無包覆的反應器放電效果佳，但是包覆化妝棉的張數對於放電效果的比較，實驗後並無很明顯的差異性。因此我們推論根據氫氧燃料電池的原理，包覆化妝棉能將更多氫氣跟氧氣留在電極附近，使得進行放電反應的效果更佳。但是當產生過多氣體產生時，氣體還是會上浮至瓶蓋而脫離溶液，使得包覆不同張數的化妝棉對於放電的效果，就不那麼顯著。

六、【實驗五】筆芯-氫氧燃料電池是否能驅動馬達之探討：

(一)我們將筆芯燃料電池接上馬達後，卻無法使馬達轉動，我們推測雖然筆芯電池可靠內電阻放電，但平均放電電壓隨時間下降非常快，且1分鐘內電壓就下降至小於1伏特，且筆芯雖含有石墨可以導電，但因添加粘土後，使筆芯的電阻變大，因此在進行放電時，通過兩電極的電流應該很小。

(二)後來我們想到若是電壓不足的關係，那我們試著以串聯電池的方式，看是否可以提高電壓來驅動馬達轉動。實驗後發現串聯充電，兩個電池都可產生電解水的反應，但當充電結束後，我們測量放電電壓竟趨近於零，故我們推論，因為兩個電池放電電壓不穩，會造成兩個電池無法同時放電，造成兩個電池的電壓因此抵銷，無法形成有效的回路，進而無法達到串聯電池來電壓增加的效果。

柒、結論

一、經由這次研究，體會從天馬行空的討論，到選擇筆芯作電極，進而自己尋找塑膠容器並反覆測試，經過不斷失敗不斷改良，才完成實驗，真得非常不容易，因為沒有一個良好的反應器，後續的研究就無法進行。

二、從實驗一的結果發現：

(一)以筆芯種類為9mm、2B(數量30枝)作為測量電極，7.5伏特及6.0伏特充電後，初始放電電壓均大於理論值。平均放電電壓：7.5伏特>6.0伏特>4.5伏特>3.0伏特。且放電電壓隨著時間愈來愈小。

(二)當以較高電壓充電時，有時氣體產生太多，部份氣體會從針筒直接衝出造成漏氣，而產生實驗誤差。且太高的電壓會造成筆芯崩裂分解。

二、從實驗二的結果發現：以充電電壓4.5伏特，充電2分鐘後，平均放電電壓：2B>B>HB>H，應是跟四種筆芯碳量的多寡有關，碳含量越高，導電性越好，電阻越小，電流越大，因此在電解水的效果較佳，而溶液中就有更多的氫氣和氧氣反應而放出電能。

- 三、從實驗三的結果發現：以充電電壓 4.5 伏特，充電 2 分鐘後，平均放電電壓：40 枝 > 30 枝 > 20 枝 > 10 枝；枝數越多導電性越好，電解效果越佳，產生氣體的速率也越快。當開始進行放電反應時，枝數越多的筆芯與氣體的接觸面積也越大，如此讓放電反應的效果更好，因此能釋放更多電能。
- 四、從實驗四的結果發現：有包覆化妝棉的電極其平均放電電壓皆比無包覆的電極放電效果佳，但是包覆化妝棉張數之放電比較，實驗結果得知張數對於放電效果並無很明顯的差異性，應是當電極產生過多氣體時，氣體還是會上浮至瓶蓋而脫離溶液，使得包覆不同張數的化妝棉對於放電的效果，就不那麼顯著。
- 五、從實驗五的結果發現：我們自製的筆芯電池雖可放電，但卻無法驅動馬達旋轉，且串聯 2 個電池無法形成有效的回路，反而放電效果更差。
- 六、我們以較不同電壓充電後，經過電池反應獲得放電電壓均僅有 1 伏特左右，且隨著時間放電效能衰退地非常快速，我們設計的筆芯電池也無法驅動小馬達，可見能源轉換效果非常不佳。因此經過這次研究後，讓我們體會到平常生活中許多電器皆要靠用“電池”才能運轉，但看似簡單的電池，從設計到產出必定經過許多科學家的心血及研究，以後我們會更珍惜身邊的各種事物，因為「平凡事物的背後都藏有許多的學問」。

捌、參考資料

- 一、康軒出版社國中自然與生活科技第三至六冊。康軒出版社。新北市。
- 二、方金祥、游苑平(2004): 氫氧燃料電池之微型化設計及在電化學教學應用之研究。化學，62(4)，547-554。
- 三、蔡旻諺等(民101)。「氧」「氫」蓄銳·死灰復「燃」。中華民國第51屆中小學科學展覽作品。新北市。
- 四、楊淳敏等(民104)。當「尼可爾生」與「葛羅夫」相遇。中華民國第54屆中小學科學展覽作品。基隆市。