中華民國第54屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組　化學科

030201

當「尼可爾生」與「葛羅夫」相遇

學校名稱：基隆市立中正國民中學

作者：	指導老師：
國一 楊淳敏	王世宏
國一 鄭育澧	石長明
國一 鄭亘媮	

關鍵詞：電解水、氫氧燃料電池、電極

當「尼可爾生」與「葛羅夫」相遇

摘要

我們三個國一生從「氫能車」的報導，感到好奇！先 google 一下了解相關資訊，決定研究並製作「氫氧燃料電池」，經過資料統整後，發現為何電極都用碳棒、或自製活性碳電極，用金屬做電極可以嗎？什麼樣的電解液最好？它的濃度大小是多少？影響「氫氧燃料電池」充、放電的因素有哪些？希望製作一個超強電力的「氫燃料電池」跟同學分享，也希望多學習一些知識，就這樣進入了探索與學習之旅。

經過一系列的變因實驗一至三探討，加上我們討論出的實驗四「留氫包氧」試驗，本研究的自製氫氧燃料電池的最佳電極條件為：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碳 4 克』，反應器裝滿「2M 氫氧化鈉水溶液」，可讓馬達運轉 24 分鐘。

當「尼可爾生」與「葛羅夫」相遇

壹、 研究動機

我們三個國一學生，參加校內科展研習與進行實驗，在偶然機會下，看到電視報導「氫能車」，覺得蠻酷的！於是先 google 一下以了解相關資訊，我們初步想要研究並製作「氫氧燃料電池」，並去請教老師，老師說這類主題全國科展已經有人做過相關研究了，然而經過討論後，發現為何電極都是用碳棒、或什麼自製活性碳電極的，我們想用金屬做電極可以嗎？那影響「氫氧燃料電池」放電的因素有哪些？我們想搞不好可以製作一個超強電力的「氫燃料電池」跟同學分享，也希望多學習在國一課程還沒學到的知識，於是就這樣進入了探索與學習之旅。

貳、 研究目的

一、設計氫氧燃料電池的反應器。
二、探討在不同電極材料下，對氫氧燃料電池充電與放電的影響。
三、探討在不同種類的電解質溶液下，對氫氧燃料電池充電與放電的影響。
四、探討在不同濃度下，對氫氧燃料電池充電與放電的影響。
五、探討「留氫包氧」試驗中，找出我們自製氫氧燃料電池的最佳條件。

參、 實驗藥品與器材

一、實驗藥品：氫氧化鈉、氫氧化鉀、硝酸鉀、硫酸鉀、碳棒、不鏽鋼棒、銅棒、鋅棒（此四種電極均為直徑 8mm 長 5.5cm）、活性碳、回收濾心椰子殼活性碳。
二、實驗器材：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、電極座接頭、400 毫升附蓋塑膠罐、塑膠針筒、不織布、電鑽、簡易型噴燈。

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
1.我們透過 google 關鍵字搜尋，並了解一些初步的知識，1880 年英國科學家尼可爾生利用伏打發明的電池，將連接電池兩極的兩條金屬導線放入水中，使得水被電流分解為氫氣和氧氣，這是人類第一個電流化學效應的實驗。而 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。
2.我們從 youtube 中(http://www.youtube.com/watch?v=0mxzbRqkAiA)利用寶特瓶與兩根 2B 鉛筆筆芯來進行電解水(氫氧化鈉水溶液)，並隨後讓它放電使得鳥鳴器會發出聲響。對於國一學生的我們，在模擬實驗的過程中，覺得很有趣。
3.而從第 52 屆全國科展國中化學科第一名的作品中(「氧」「氫」蓄銳・死灰復

「燃」)，主要是探討自製的活性碳粉碳棒當電極，在各種條件下如何影響氫氧電池的充電和放電情形。我們從上述 2.的模擬實驗中，發現將兩根 2B 鉛筆筆芯換成實心的銅導線時，正負極產生氣體的速率會較快，於是心想氫氧燃料電池既然是利用電解水產生的氫氣和氧氣的逆反應放電，那若將電極改用導電性較佳的金屬電極，結果將會是如何呢？為了方便更換實驗的電極材料，於是我們所先設計與製作實驗所要的「氫氧燃料電池的反應器」。

(二)我們所設計的「氫氧燃料電池的反應器」，為了讓每個之後的研究實驗使用，我們設計符合本研究可替換電極材料的反應器。

1. 到十元商店買 400 毫升附蓋塑膠罐(真的 10 元)，在蓋子上中心點鑽一個洞，恰可放入塑膠針筒(做為溶液溢流時用)，在中心點兩旁 1.5 公分處各鑽直徑為 0.8 公分的兩洞，並在洞上黏接上學校實驗室的金屬電極座接頭，用 AB 膠和熱熔膠分別加強固定。
2. 在金屬電極座接頭上更換電極材料，即可進行本研究相關實驗。

(三)實驗前，將充、放電所需的電路接好，其示意圖如下所示：

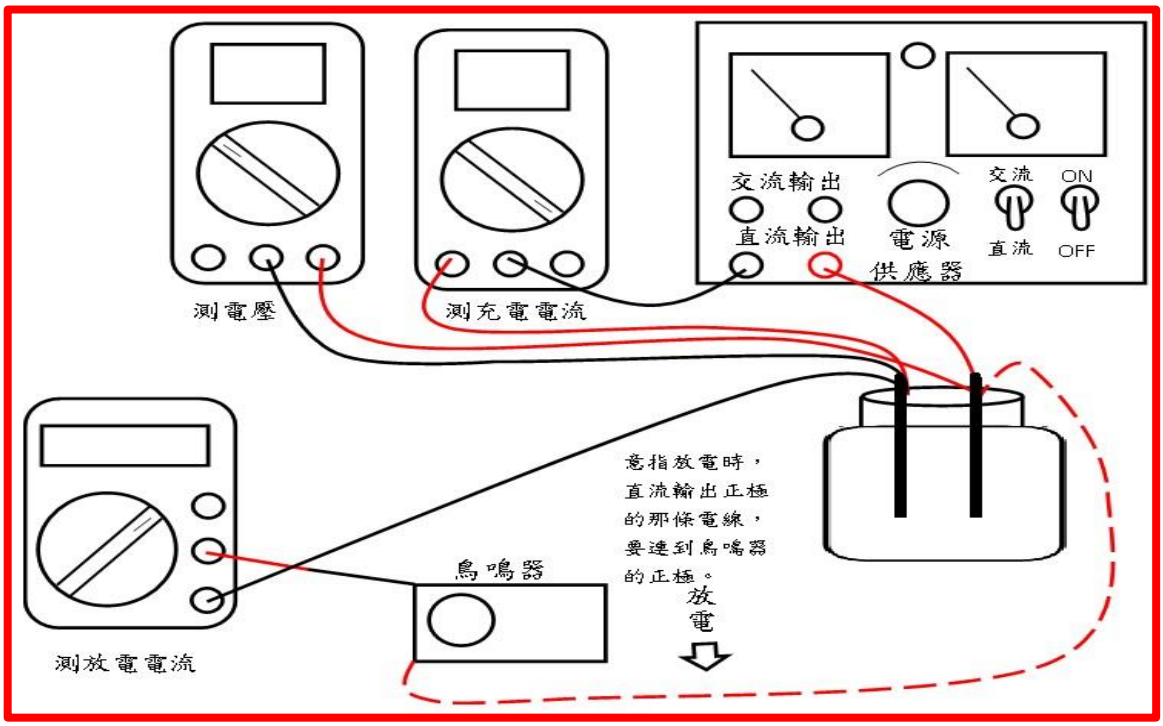
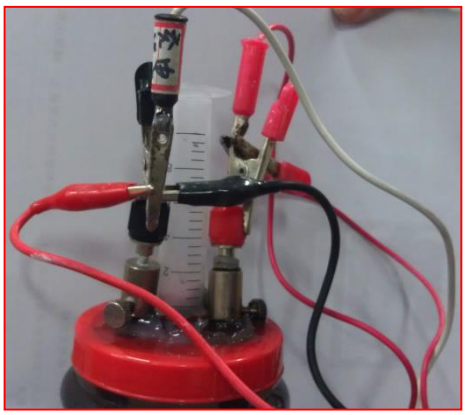
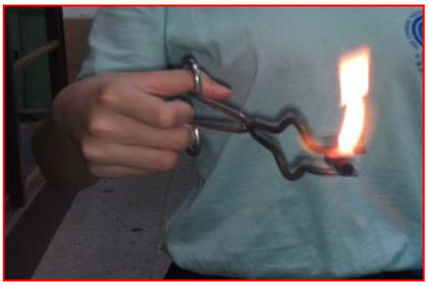


圖 1 【實驗一】至【實驗三】充、放電時線路示意圖

(鳥鳴器)


(四)本實驗所使用的「活化後碳棒」乃將碳棒用坩堝鉗夾住，用簡易型噴燈的外

焰去燒烤，至整根碳棒火紅時，再加熱 10 秒後放到裝滿水的 500 毫升燒杯中淬火，隨後再放至外焰去燒，每根碳棒重複這步驟三次，如下照片所示：



二、【實驗一】探討在不同電極材料下，對氫氧燃料電池充電與放電的影響：

1. 先配置好 2M 氫氧化鈉水溶液，裝滿在自製「氫氧燃料電池的反應器」中。
2. 將瓶蓋的正極(紅色接頭)與負極(黑色接頭)分別裝上已用蒸餾水清洗後的「未活化碳棒」，將瓶蓋裝回瓶身且鎖緊，並從漏流針筒處補充電解液至 0 刻度。
3. 使用電源供應器，以直流電充電，輸入電壓固定為 6V，電解 2 分鐘，並從連接的兩台數位式三用電表，每隔 30 秒紀錄充電時的電流值，與此時正負極的電壓值，直到電解 2 分鐘結束。
4. 電解完成後，立即將此「氫氧燃料電池」接上放電之負載電路～「鳥鳴器」，並從連接的兩台數位式三用電表，一開始就記錄負載放電時的電流值和電壓值，每 30 秒紀錄一次，測量到「鳥鳴器」變調止。
5. 重複上述步驟，並將其實驗結果取平均值，分別探討充電與放電時的電流與電壓關係。
6. 改變正負極的電極材料，分別依序為不鏽鋼棒、鋅棒、銅棒、「活化後碳棒」，並重複上述步驟１至５。
7. 分析不同電極材料下，充、放電「電流－時間」關係圖和「電壓－時間」關係圖。

三、【實驗二】探討在不同種類的電解質溶液下，對氫氧燃料電池充電與放電的影響：

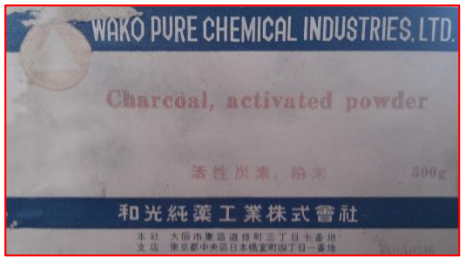
1. 本實驗電解質溶液的濃度均為 2M 的氫氧化鈉、氫氧化鉀、硝酸鉀、硫酸鉀四種。
2. 本實驗的正負極電極均為「活化後碳棒」。
3. 依照【實驗一】之步驟 2 至 5 進行並觀察紀錄。
4. 改變電解質溶液，分別依序為氫氧化鉀、硝酸鉀、硫酸鉀。實驗完成後，分析不同電解質溶液下，充電與放電之「電流－時間」關係圖和「電壓－時間」關係圖。

四、【實驗三】探討在不同濃度下，對氫氧燃料電池充電與放電的影響：

1. 本實驗的正負極電極均為「活化後碳棒」，且電解質溶液為氫氧化鈉水溶液。
2. 分別配置氫氧化鈉水溶液，濃度分別是 0.5M、1M、2M、3M、4M 備用。
3. 依照【實驗一】之步驟 2 至 5 進行並觀察紀錄。
4. 改變所裝填氫氧化鈉水溶液的濃度，分別依序為、1M、2M、3M、4M。實驗完成後，分析不同氫氧化鈉水溶液的濃度下，充、放電之「電流－時間」關係圖和「電壓－時間」關係圖。

五、【實驗四】探討「留氫包氧」的試驗中，找出我們自製氫氧燃料電池的最佳條件。

1. 從上面的實驗結果中，確認本研究最佳的電解液條件為 2M 氫氧化鈉水溶液。
2. 而從實驗的過程中，發現氫氣和氧氣留在溶液中的量多一點、時間長一點，那麼自製的氫氧燃料電池放電量就會大一些。因此，我們討論透過「留氫包氧」的試驗，改變不同的正負極材料或組合，來讓自製的氫氧燃料電池最佳化。
3. 用針線縫製長 6 公分、寬 5 公分的「不織布袋」備用。
4. 我們設定的探討條件是：(1)同樣充電的電壓設定為直流電 6V；(2)充電 2 分鐘；(3)放電的時間以負載「馬達」轉動時開始計時，當停止轉動時即停止計時。
5. 充電時，每隔 30 秒紀錄其電壓與電流值，計算當下的瞬間電功率。
6. 放電時，每隔 30 秒紀錄其電壓與電流值，直到負載「馬達」停止轉動為止，計算當下的瞬間電功率。
7. 將上述步驟 5.和 6.的結果作「電功率-時間」關係圖。
8. 本實驗所用的「活性碳」和「濾心內椰子殼活性碳」，照片如下所示：



9.我們討論出的試驗如下分類：

類別	項次	正極材料組合	負極材料組合
A. 不包組	A1	未活化碳棒 1 支	未活化碳棒 1 支
	A2	不鏽鋼棒 1 支	不鏽鋼棒 1 支
	A3	活化後碳棒 1 支	活化後碳棒 1 支
	A4	不鏽鋼棒 1 支	活化後碳棒 1 支
	A5	活化後碳棒 1 支	不鏽鋼棒 1 支
B. 包布組	B1	不鏽鋼棒 1 支套不織布袋	不鏽鋼棒 1 支套不織布袋
	B2	活化後碳棒 1 支套不織布袋	活化後碳棒 1 支套不織布袋
	B3	活化後碳棒 1 支套不織布袋	不鏽鋼棒 1 支套不織布袋
	B4	不鏽鋼棒 1 支套不織布袋	活化後碳棒 1 支套不織布袋
C. 多重電極組	C1	活化後碳棒 2 支用橡皮筋捆住	活化後碳棒 2 支用橡皮筋捆住
	C2	活化後碳棒 3 支用橡皮筋捆住	活化後碳棒 3 支用橡皮筋捆住
	C3	不鏽鋼棒 1 支(接電)+活化後碳棒 2 支用橡皮筋捆住	不鏽鋼棒 1 支(接電)+活化後碳棒 2 支用橡皮筋捆住
	C4	活化後碳棒 3 支用橡皮筋捆住	活化後碳棒 1 支
	C5	活化後碳棒 1 支	活化後碳棒 3 支用橡皮筋捆住
D. 多重電極包樂組	D1	活化後碳棒 3 支、套不織布袋、裝填活性碳 2 克	活化後碳棒 3 支、套不織布袋、裝填活性碳 2 克
	D2	活化後碳棒 3 支、套不織布袋、裝填活性碳 4 克	活化後碳棒 3 支、套不織布袋、裝填活性碳 4 克
	D3	活化後碳棒 3 支、套不織布袋、裝填濾心內椰子殼活性碳 2 克	活化後碳棒 3 支、套不織布袋、裝填濾心內椰子殼活性碳 2 克
	D4	活化後碳棒 3 支、套不織布袋、裝填濾心內椰子殼活性碳 4 克	活化後碳棒 3 支、套不織布袋、裝填濾心內椰子殼活性碳 4 克

伍、 實驗結果

一、設計氫氧燃料電池的反應器：

二、探討在不同電極材料下，對氫氧燃料電池充電與放電的影響

表 2-1 不同電極材料，在每 30 秒「充電」時兩電極的平均電壓值

電極材料	時間(秒)	0	30	60	90	120
未活化碳棒	平均電壓(V)	4.86	4.74	4.70	4.68	4.60
不鏽鋼	平均電壓(V)	4.33	4.04	4.26	3.93	3.90
鋅棒	平均電壓(V)	4.97	4.93	4.87	4.88	4.83
銅棒	平均電壓(V)	4.23	4.15	4.12	4.11	4.09
活化後碳棒	平均電壓(V)	4.79	4.77	4.73	4.75	4.71

表 2-2 不同電極材料，在每 30 秒「充電時流入」氫氧燃料電池的平均電流值

電極材料	時間(秒)	0	30	60	90	120
未活化碳棒	平均電流(mA)	3430	3400	3420	3410	3290
不鏽鋼	平均電流(mA)	3760	3750	3780	3740	3750
鋅棒	平均電流(mA)	3020	3000	3000	3070	3060
銅棒	平均電流(mA)	3560	3570	3550	3540	3550
活化後碳棒	平均電流(mA)	3880	3800	3850	3740	3720

表 2-3 不同電極材料，在每 30 秒「放電」時兩電極的平均電壓值

電極材料	時間(秒)	0	30	60	90	120
未活化碳棒	平均電壓(V)	1.57	1.35	1.25	1.20	1.14
不鏽鋼	平均電壓(V)	1.47	1.28	1.24	1.19	1.13
鋅棒	平均電壓(V)	1.29	0.97	0.93	0.90	無作用
銅棒	平均電壓(V)	1.34	1.10	1.02	0.98	0.96
活化後碳棒	平均電壓(V)	1.58	1.46	1.36	1.33	1.31

電極材料	時間(秒)	150	180	210	240	270
未活化碳棒	平均電壓(V)	1.08	1.06	1.02	1.00	0.97
不鏽鋼	平均電壓(V)	1.09	1.04	0.99	0.96	0.94
銅棒	平均電壓(V)	0.94	0.90	無作用		
活化後碳棒	平均電壓(V)	1.29	1.28	1.26	1.25	1.24
電極材料	時間(秒)	300	330	360	390	420
未活化碳棒	平均電壓(V)	0.95	0.95	0.94	0.92	0.92
不鏽鋼	平均電壓(V)	0.93	0.91	0.90	0.90	無作用
活化後碳棒	平均電壓(V)	1.22	1.21	1.20	1.18	1.17
電極材料	時間(秒)	450	480	510	540	570
未活化碳棒	平均電壓(V)	0.91	0.91	0.90	0.90	0.90
活化後碳棒	平均電壓(V)	1.15	1.13	1.11	1.10	1.08
電極材料	時間(秒)	600	630	660	690	720
未活化碳棒	平均電壓(V)	無作用				
活化後碳棒	平均電壓(V)	1.07	1.05	1.04	1.02	1.01
電極材料	時間(秒)	750	780	810	840	870
活化後碳棒	平均電壓(V)	0.99	0.98	0.97	0.95	0.94
電極材料	時間(秒)	900	930	960	990	
活化後碳棒	平均電壓(V)	0.92	0.91	0.90	無作用	

表 2-4 不同電極材料，在每 30 秒「放電時流出」氫氧燃料電池的平均電流值

電極材料	時間(秒)	0	30	60	90	120
未活化碳棒	平均電流(mA)	0.13	0.10	0.09	0.09	0.07
不鏽鋼	平均電流(mA)	0.10	0.07	0.05	0.06	0.06
鋅棒	平均電流(mA)	0.08	0.04	0.03	0.02	無作用
銅棒	平均電流(mA)	0.10	0.06	0.04	0.04	0.03
活化後碳棒	平均電流(mA)	0.14	0.12	0.10	0.11	0.09
電極材料	時間(秒)	150	180	210	240	270
未活化碳棒	平均電流(mA)	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05
不鏽鋼	平均電流(mA)	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03
銅棒	平均電流(mA)	0.03	0.02	無作用		
活化後碳棒	平均電流(mA)	0.09	0.08	0.08	0.08	0.07
電極材料	時間(秒)	300	330	360	390	420
未活化碳棒	平均電流(mA)	0.05	0.04	0.04	0.03	0.04
不鏽鋼	平均電流(mA)	0.02	0.02	0.02	0.02	無作用
電極材料	時間(秒)	450	480	510	540	570
未活化碳棒	平均電流(mA)	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
活化後碳棒	平均電流(mA)	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04

電極材料	時間(秒)	600	630	660	690	720
未活化碳棒	平均電流(mA)	無作用				
活化後碳棒	平均電流(mA)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04
電極材料	時間(秒)	750	780	810	840	870
活化後碳棒	平均電流(mA)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
電極材料	時間(秒)	900	930	960	990	
活化後碳棒	平均電流(mA)	0.03	0.02	0.02	無作用	

三、探討在不同種類的電解質溶液下，對氫氧燃料電池充電與放電的影響：

表 3-1 不同種類的電解質溶液，在每 30 秒「充電」時兩電極的平均電壓值

電解質種類	時間(秒)	0	30	60	90	120
氫氧化鈉	平均電壓(V)	4.83	4.77	4.73	4.75	4.71
氫氧化鉀	平均電壓(V)	4.81	4.75	4.68	4.61	4.73
硝酸鉀	平均電壓(V)	5.56	5.63	5.80	5.58	5.53
硫酸鉀	平均電壓(V)	5.34	5.27	5.30	5.39	5.21

表 3-2 不同種類的電解質溶液，在每 30 秒「充電時流入」氫氧燃料電池的平均電流值

電解質種類	時間(秒)	0	30	60	90	120
氫氧化鈉	平均電流(mA)	3810	3800	3850	3740	3720
氫氧化鉀	平均電流(mA)	3670	3665	3650	3620	3655
硝酸鉀	平均電流(mA)	2080	2060	2250	2150	2200
硫酸鉀	平均電流(mA)	1660	1650	1650	1660	1630

表 3-3 不同種類的電解質溶液，在每 30 秒「放電」時兩電極的平均電壓值

電解質種類	時間(秒)	0	30	60	90	120
氫氧化鈉	平均電壓(V)	1.58	1.46	1.36	1.33	1.31
氫氧化鉀	平均電壓(V)	1.55	1.38	1.32	1.28	1.24
硝酸鉀	平均電壓(V)	1.45	1.35	1.28	1.24	1.18
硫酸鉀	平均電壓(V)	1.47	1.34	1.25	1.20	1.15
電解質種類	時間(秒)	150	180	210	240	270
氫氧化鈉	平均電壓(V)	1.29	1.28	1.26	1.25	1.24
氫氧化鉀	平均電壓(V)	1.22	1.19	1.17	1.15	1.13
硝酸鉀	平均電壓(V)	1.15	1.16	1.15	1.11	1.08
硫酸鉀	平均電壓(V)	1.12	1.09	1.06	1.04	1.02
電解質種類	時間(秒)	300	330	360	390	420
氫氧化鈉	平均電壓(V)	1.22	1.21	1.20	1.18	1.17
氫氧化鉀	平均電壓(V)	1.11	1.10	1.07	1.06	1.05
硝酸鉀	平均電壓(V)	1.06	1.04	1.01	0.97	0.96
硫酸鉀	平均電壓(V)	1.00	0.98	0.97	0.96	0.95

電解質種類	時間(秒)	450	480	510	540	570
氫氧化鈉	平均電壓(V)	1.15	1.13	1.11	1.10	1.08
氫氧化鉀	平均電壓(V)	1.05	1.04	1.03	1.02	1.02
硝酸鉀	平均電壓(V)	0.94	0.92	0.91	0.90	無作用
硫酸鉀	平均電壓(V)	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91
電解質種類	時間(秒)	600	630	660	690	720
氫氧化鈉	平均電壓(V)	1.07	1.05	1.04	1.02	1.01
氫氧化鉀	平均電壓(V)	1.01	1.00	0.99	0.97	0.95
硫酸鉀	平均電壓(V)	0.90	無作用			
電解質種類	時間(秒)	750	780	810	840	870
氫氧化鈉	平均電壓(V)	0.99	0.98	0.97	0.95	0.94
氫氧化鉀	平均電壓(V)	0.93	0.92	0.90	0.90	無作用
電解質種類	時間(秒)	900	930	960	990	
氫氧化鈉	平均電壓(V)	0.92	0.91	0.90	無作用	

表 3-4 不同種類的電解質溶液，在每 30 秒「放電時流出」氫氧燃料電池的平均電流值

電解質種類	時間(秒)	0	30	60	90	120
氫氧化鈉	平均電流(mA)	0.14	0.12	0.1	0.11	0.09
氫氧化鉀	平均電流(mA)	0.12	0.10	0.10	0.09	0.08
硝酸鉀	平均電流(mA)	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07
硫酸鉀	平均電流(mA)	0.13	0.10	0.09	0.07	0.06
電解質種類	時間(秒)	150	180	210	240	270
氫氧化鈉	平均電流(mA)	0.09	0.08	0.08	0.08	0.07
氫氧化鉀	平均電流(mA)	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06
硝酸鉀	平均電流(mA)	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05
硫酸鉀	平均電流(mA)	0.07	0.06	0.06	0.03	0.04
電解質種類	時間(秒)	300	330	360	390	420
氫氧化鈉	平均電流(mA)	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05
氫氧化鉀	平均電流(mA)	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04
硝酸鉀	平均電流(mA)	0.05	0.04	0.03	0.04	0.03
硫酸鉀	平均電流(mA)	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
電解質種類	時間(秒)	450	480	510	540	570
氫氧化鈉	平均電流(mA)	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04
氫氧化鉀	平均電流(mA)	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03
硝酸鉀	平均電流(mA)	0.02	0.02	0.02	0.02	無作用
硫酸鉀	平均電流(mA)	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
電解質種類	時間(秒)	600	630	660	690	720
氫氧化鈉	平均電流(mA)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04
氫氧化鉀	平均電流(mA)	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03
硫酸鉀	平均電流(mA)	0.02	無作用			

電解質種類	時間(秒)	750	780	810	840	870
氫氧化鈉	平均電流(mA)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
氫氧化鉀	平均電流(mA)	0.03	0.02	0.02	0.02	無作用
電解質種類	**時間(秒)**	**900**	**930**	**960**	**990**	
氫氧化鈉	平均電流(mA)	0.03	0.02	0.02	無作用	

四、探討在不同濃度下，對氫氧燃料電池充電與放電的影響：

表 4-1 不同濃度的氫氧化鈉水溶液，在每 30 秒「充電」時兩電極的平均電壓值

濃度大小	時間(秒)	0	30	60	90	120
0.5M	平均電壓(V)	4.35	4.38	4.45	4.43	4.33
1M	平均電壓(V)	4.77	4.68	4.68	4.72	4.70
2M	平均電壓(V)	4.82	4.77	4.73	4.75	4.71
3M	平均電壓(V)	4.50	4.44	4.50	4.45	4.52
4M	平均電壓(V)	4.77	4.73	4.75	4.65	4.58

表 4-2 不同濃度的氫氧化鈉水溶液，在每 30 秒「充電時流入」氫氧燃料電池的平均電流值

濃度大小	時間(秒)	0	30	60	90	120
0.5M	平均電流(mA)	1190	1170	1210	1220	1190
1M	平均電流(mA)	2880	2900	2930	3000	3020
2M	平均電流(mA)	3830	3800	3850	3740	3720
3M	平均電流(mA)	3340	3330	3310	3310	3520
4M	平均電流(mA)	3030	3060	3080	3120	3120

表 4-3 不同濃度的氫氧化鈉水溶液，在每 30 秒「放電」時兩電極的平均電壓值

濃度大小	時間(秒)	0	30	60	90	120
0.5M	平均電壓(V)	1.48	1.24	1.12	1.05	1.01
1M	平均電壓(V)	1.54	1.41	1.34	1.28	1.23
2M	平均電壓(V)	1.58	1.46	1.36	1.33	1.31
3M	平均電壓(V)	1.53	1.31	1.21	1.15	1.10
4M	平均電壓(V)	1.56	1.28	1.03	0.98	0.93
濃度大小	**時間(秒)**	**150**	**180**	**210**	**240**	**270**
0.5M	平均電壓(V)	0.99	0.98	0.96	0.94	0.94
1M	平均電壓(V)	1.19	1.16	1.14	1.12	1.10
2M	平均電壓(V)	1.29	1.28	1.26	1.25	1.24
3M	平均電壓(V)	1.05	1.03	1.00	0.98	0.96
4M	平均電壓(V)	0.92	0.91	0.91	0.90	無作用
濃度大小	**時間(秒)**	**300**	**330**	**360**	**390**	**420**
0.5M	平均電壓(V)	0.93	0.93	0.92	0.91	0.91
1M	平均電壓(V)	1.09	1.07	1.05	1.04	1.03

2M	平均電壓(V)	1.22	1.21	1.20	1.18	1.17
3M	平均電壓(V)	0.94	0.93	0.92	0.92	0.91
濃度大小	**時間(秒)**	**450**	**480**	**510**	**540**	**570**
0.5M	平均電壓(V)	0.90	0.90	無作用		
1M	平均電壓(V)	1.02	1.01	0.99	0.98	0.97
2M	平均電壓(V)	1.15	1.13	1.11	1.10	1.08
3M	平均電壓(V)	0.90	無作用			
濃度大小	**時間(秒)**	**600**	**630**	**660**	**690**	**720**
1M	平均電壓(V)	0.96	0.96	0.95	0.94	0.94
2M	平均電壓(V)	1.07	1.05	1.04	1.02	1.01
濃度大小	**時間(秒)**	**750**	**780**	**810**	**840**	**870**
1M	平均電壓(V)	0.93	0.91	0.91	0.90	無作用
2M	平均電壓(V)	0.99	0.98	0.97	0.95	0.94
濃度大小	**時間(秒)**	**900**	**930**	**960**	**990**	
2M	平均電壓(V)	0.92	0.91	0.90	無作用	

表 4-4 不同濃度的氫氧化鈉水溶液，在每 30 秒「放電時流出」氫氧燃料電池的平均電流值

濃度大小	**時間(秒)**	**0**	**30**	**60**	**90**	**120**
0.5M	平均電流(mA)	0.10	0.08	0.07	0.05	0.04
1M	平均電流(mA)	0.11	0.10	0.10	0.11	0.08
2M	平均電流(mA)	0.14	0.12	0.10	0.11	0.09
3M	平均電流(mA)	0.12	0.08	0.07	0.06	0.06
4M	平均電流(mA)	0.11	0.07	0.05	0.03	0.03
濃度大小	**時間(秒)**	**150**	**180**	**210**	**240**	**270**
0.5M	平均電流(mA)	0.04	0.03	0.04	0.03	0.02
1M	平均電流(mA)	0.09	0.08	0.08	0.09	0.08
2M	平均電流(mA)	0.09	0.08	0.08	0.08	0.07
3M	平均電流(mA)	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04
4M	平均電流(mA)	0.03	0.02	0.03	0.02	無作用
濃度大小	**時間(秒)**	**300**	**330**	**360**	**390**	**420**
0.5M	平均電流(mA)	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02
1M	平均電流(mA)	0.07	0.08	0.08	0.09	0.08
2M	平均電流(mA)	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05
3M	平均電流(mA)	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02
濃度大小	**時間(秒)**	**450**	**480**	**510**	**540**	**570**
0.5M	平均電流(mA)	0.02	0.02	無作用		
1M	平均電流(mA)	0.06	0.05	0.06	0.06	0.06
2M	平均電流(mA)	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04
3M	平均電流(mA)	0.02	無作用			

濃度大小	時間(秒)	600	630	660	690	720
1M	平均電流(mA)	0.07	0.05	0.06	0.04	0.03
2M	平均電流(mA)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04
濃度大小	時間(秒)	750	780	810	840	870
1M	平均電流(mA)	0.04	0.04	0.03	0.02	無作用
2M	平均電流(mA)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
濃度大小	時間(秒)	900	930	960	990	
2M	平均電流(mA)	0.03	0.02	0.02	無作用	

五、探討「留氫包氧」的試驗中，找出我們自製氫氧燃料電池的最佳條件

表 5-1 不同正負極材料組合下，氫氧燃料電池在每 30 秒「充電」時的電功率

電極組合	時間(秒)	0	30	60	90	120
A1	電功率(W)	18.98	19.67	19.58	19.53	19.61
A2	電功率(W)	20.95	21.40	21.39	21.30	21.29
A3	電功率(W)	17.89	18.05	18.17	17.46	18.11
A4	電功率(W)	28.28	28.92	28.59	28.37	28.19
A5	電功率(W)	24.94	25.31	25.68	25.64	26.07
B1	電功率(W)	13.51	13.71	13.77	13.87	13.89
B2	電功率(W)	20.25	20.90	21.58	21.65	21.60
B3	電功率(W)	17.41	18.23	18.21	19.58	19.75
B4	電功率(W)	20.66	21.42	21.36	21.19	21.46
C1	電功率(W)	21.90	21.83	21.63	21.77	21.77
C2	電功率(W)	23.33	23.55	23.51	23.14	23.24
C3	電功率(W)	37.10	36.37	36.15	36.23	36.21
C4	電功率(W)	14.88	15.23	14.57	13.91	14.18
C5	電功率(W)	19.03	19.84	19.90	20.05	20.12
D1	電功率(W)	24.10	24.41	24.47	24.52	24.61
D2	電功率(W)	21.30	20.64	20.71	21.48	21.35
D3	電功率(W)	23.18	22.66	23.65	23.46	22.80
D4	電功率(W)	27.21	26.83	26.11	26.56	26.33

表 5-2 正負極材料「A 組合」下，氫氧燃料電池在每 30 秒「放電」時的的電功率

組合	時間(秒)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
A1	電功率(W)	0.14	0.00									
A2	電功率(W)	0.11										
A3	電功率(W)	0.10	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A4	電功率(W)	0.07										
A5	電功率(W)	0.09										

表 5-3 正負極材料「B 組合」下，氫氧燃料電池在每 30 秒「放電」時的的電功率

組合	時間(秒)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
B1	電功率(W)	0.10										
B2	電功率(W)	0.08	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
B3	電功率(W)	0.03										
B4	電功率(W)	0.01										
組合	時間(秒)	330	360	390	420	450	480	510				
B2	電功率(W)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				

表 5-4 正負極材料「C 組合」下，氫氧燃料電池在每 30 秒「放電」時的的電功率

組合	時間(秒)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
C1	電功率(W)	0.10	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
C2	電功率(W)	0.11	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
C3	電功率(W)	0.08	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
C4	電功率(W)	0.10	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
C5	電功率(W)	0.10	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
組合	時間(秒)	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600	630
C1	電功率(W)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
C2	電功率(W)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
C3	電功率(W)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
C4	電功率(W)	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
C5	電功率(W)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
組合	時間(秒)	660	690	720	750	780	810	840	870	900	930	960
C1	電功率(W)	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
C2	電功率(W)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
C3	電功率(W)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
組合	時間(秒)	990	1020	1050	1080	990						
C2	電功率(W)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00						

表 5-5 正負極材料「D 組合」下，氫氧燃料電池在每 30 秒「放電」時的的電功率

組合	時間(秒)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
D1	電功率(W)	0.09	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
D2	電功率(W)	0.09	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
D3	電功率(W)	0.09	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
D4	電功率(W)	0.11	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01

組合	時間(秒)	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600	630
D1	電功率(W)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
D2	電功率(W)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
D3	電功率(W)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
D4	電功率(W)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
組合	時間(秒)	660	690	720	750	780	810	840	870	900	930	960
D1	電功率(W)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
D2	電功率(W)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
D3	電功率(W)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
D4	電功率(W)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
組合	時間(秒)	990	1020	1050	1080	1110	1140	1170	1200	1230	1260	1290
D1	電功率(W)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
D2	電功率(W)	0.00	0.00	0.00	0.00							
D3	電功率(W)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
D4	電功率(W)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
組合	時間(秒)	1320	1350	1380	1410	1440	1470					
D3	電功率(W)	0.00	0.00									
D4	電功率(W)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					

表 5-6 不同正負極材料組合下，自製電池之放電時間

類別	項次	正極材料組合	負極材料組合	平均轉動時間(秒)
A.不包組	A1	未活化碳棒 1 支	未活化碳棒 1 支	34
	A2	不鏽鋼棒 1 支	不鏽鋼棒 1 支	7
	A3	活化後碳棒 1 支	活化後碳棒 1 支	295
	A4	不鏽鋼棒 1 支	活化後碳棒 1 支	11
	A5	活化後碳棒 1 支	不鏽鋼棒 1 支	18
B.包布組	B1	不鏽鋼棒 1 支 套不織布袋	不鏽鋼棒 1 支 套不織布袋	8
	B2	活化後碳棒 1 支 套不織布袋	活化後碳棒 1 支 套不織布袋	474
	B3	活化後碳棒 1 支 套不織布袋	不鏽鋼棒 1 支 套不織布袋	21
	B4	不鏽鋼棒 1 支 套不織布袋	活化後碳棒 1 支 套不織布袋	17
C.多重電極組	C1	活化後碳棒 2 支 【用橡皮筋捆住】	活化後碳棒 2 支 【用橡皮筋捆住】	866
	C2	活化後碳棒 3 支 【用橡皮筋捆住】	活化後碳棒 3 支 【用橡皮筋捆住】	1117
	C3	不鏽鋼棒 1 支(接電) +活化後碳棒 2 支 【用橡皮筋捆住】	不鏽鋼棒 1 支(接電)+ 活化後碳棒 2 支 【用橡皮筋捆住】	806
	C4	活化後碳棒 3 支 【用橡皮筋捆住】	活化後碳棒 1 支	472
	C5	活化後碳棒 1 支	活化後碳棒 3 支 【用橡皮筋捆住】	470
D.多重電極包樂組	D1	活化後碳棒 3 支、套不織布袋、裝填活性碳 2 克	活化後碳棒 3 支、套不織布袋、裝填活性碳 2 克	1296
	D2	活化後碳棒 3 支、套不織布袋、裝填活性碳 4 克	活化後碳棒 3 支、套不織布袋、裝填活性碳 4 克	1112
	D3	活化後碳棒 3 支、套不織布袋、裝填濾心內椰子殼活性碳 2 克	活化後碳棒 3 支、套不織布袋、裝填濾心內椰子殼活性碳 2 克	1357
	D4	活化後碳棒 3 支、套不織布袋、裝填濾心內椰子殼活性碳 4 克	活化後碳棒 3 支、套不織布袋、裝填濾心內椰子殼活性碳 4 克	1484

陸、　討論

一、設計氫氧燃料電池的反應器。

(一) 我們一開始設計的反應器，為了讓電極牢牢地固定在瓶蓋上，如照片所示，開始實驗，但實驗後發現金屬電極接頭的表面發生了變化，也讓我們看到了原來這接頭不是不銹鋼做的而是裡面是銅外面電鍍的。

(二) 最後進行改良，將整個接頭移到瓶蓋上，說的簡單，但做起來可不簡單，金屬接頭和塑膠瓶蓋是不同材質，不容易黏住，最後用 AB 膠黏住再用熱熔膠加強牢固。

(原先)

(後來)

二、探討在不同電極材料下，對氫氧燃料電池充電與放電的影響。

(一)　我們將表 2-1 至表 2-4 的實驗結果分別作其與時間的關係圖，如下圖 2-1 至 2-4 所示。

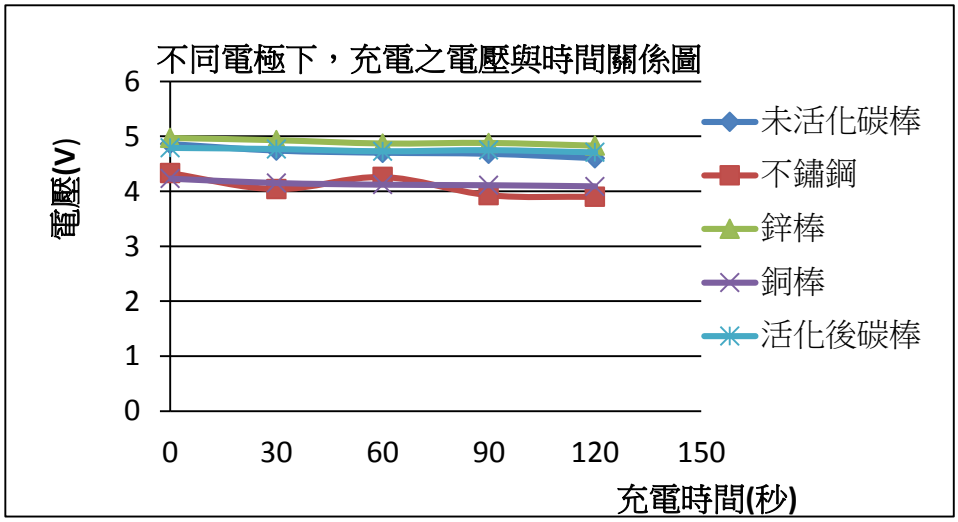


圖 2-1　不同電極下，充電電壓與時間關係圖

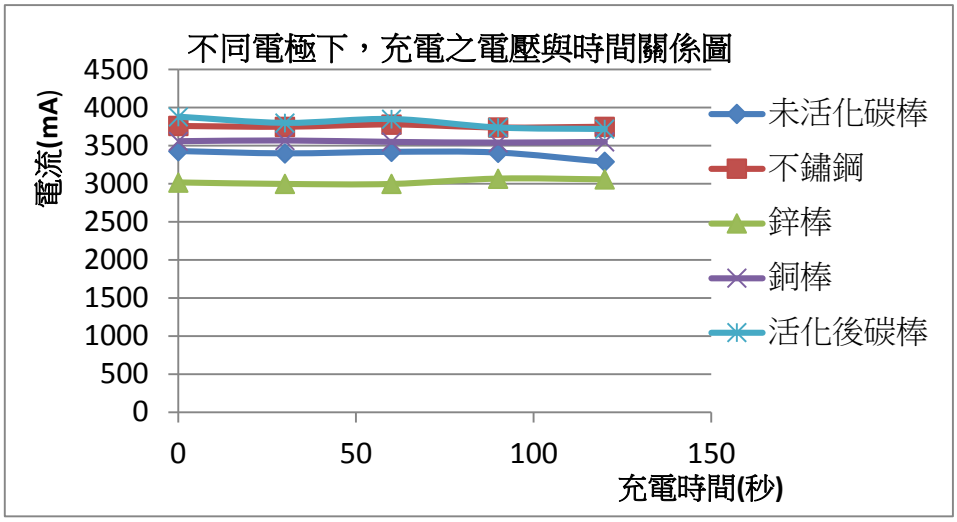


圖 2-2 不同電極下，充電電流與時間關係圖

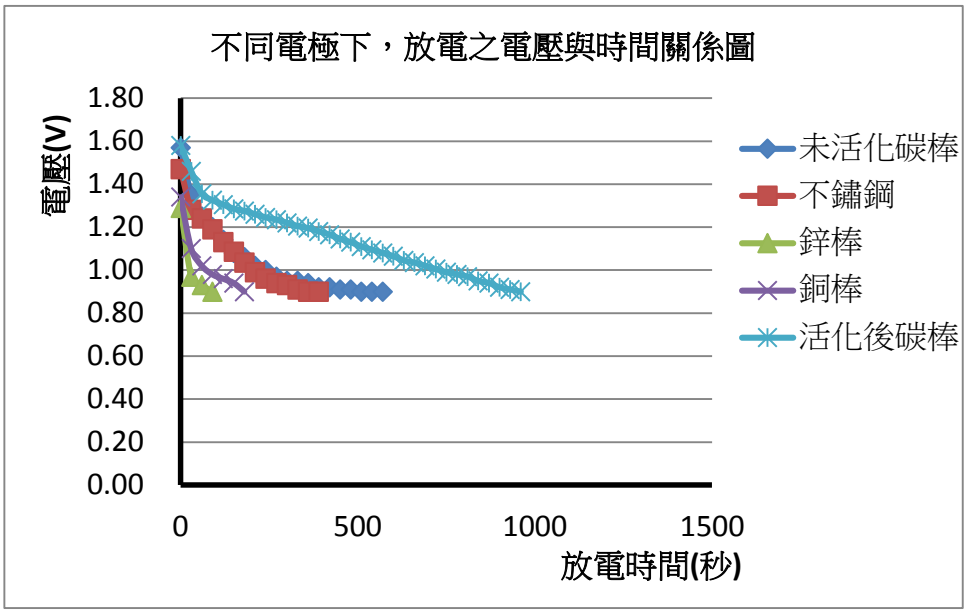


圖 2-3 不同電極下，放電時之電壓與時間關係圖

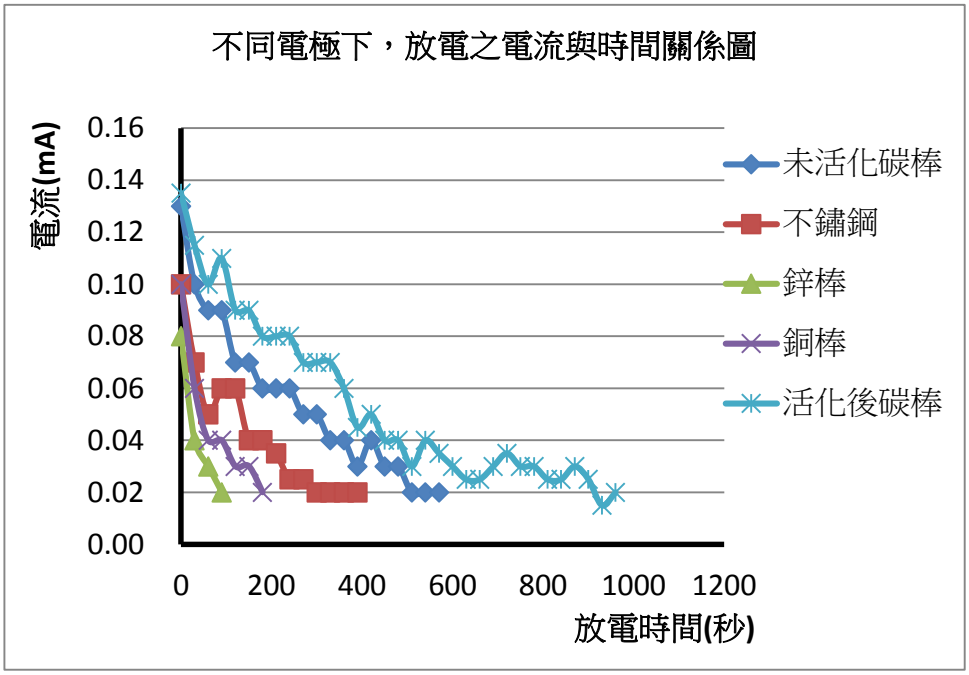


圖 2-4 不同電極下，放電時之電流與時間關係圖

(三)在對氫氧燃料電池「充電」的過程中，就是水的電解反應，用氫氧化鈉來幫助導電，通入直流電，正極會產生氧氣，負極產生氫氣。其反應式如下：

正極： $2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$

負極： $4H_2O + 4e^- \rightarrow 2H_2 + 4OH^-$

總反應： $2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$

在操縱變因為不同電極材料下，雖都固定以直流電源供應器調整充電電壓為 6 伏特，但我們以兩台數位式三用電表分別測量兩正負電極間的電壓與流入反應器的電流，結果發現：

1. 同樣在第 30 秒時，這五種電極材料的電壓均比輸入的 6 伏特變小，其中不鏽鋼棒降低最多，鋅棒最少；充電 2 分鐘後，這五種電極的所測得的電壓均較原先變小，但變小的幅度不大(見圖 2-1)。
2. 在測得輸入的電流大小比較：活化後碳棒＞不鏽鋼棒＞銅棒＞未活化碳棒＞鋅棒(見圖 2-2)。我們分別算出充電時平均電壓值與電流值，進而算出電阻值，發現這用這五種電極的反應器電阻大小為：鋅棒＞未活化碳棒＞活化後碳棒＞銅棒＞不鏽鋼棒。

(四)而氫氧燃料電池「放電」的過程中，就是利用充電時水電解產生氫氣和氧氣，再儲存起來，待放電時再以氫氣和氧氣反應產生水，並放出電能。其反應式如下：

正極： $2H_2O + O_2 + 4e^- \rightarrow 4OH^-$

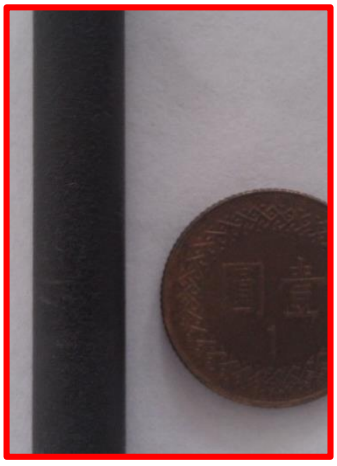
負極： $2H_2 + 4OH^- \rightarrow 4H_2O + 4e^-$

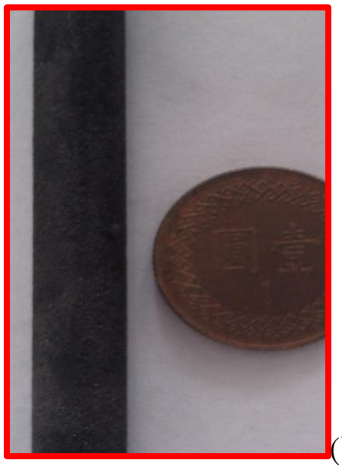
總反應： $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$

此氫氧燃料電池放電時理論值約為 1.23 伏特。而從我們的實驗結果發現：

1. 初始放電電壓均大於理論值，且其大小比較：活化後碳棒＞未活化碳棒＞不鏽鋼棒＞銅棒＞鋅棒(見表 2-3)。**電壓隨放電時間增加而愈來愈小，但活化後碳棒變化較平緩**，鋅棒最陡(見圖 2-3)。
2. 放電時初始電流大小比較：活化後碳棒＞未活化碳棒＞不鏽鋼棒＝銅棒＞鋅棒(見表 2-4)。**電流也隨放電時間增加而愈來愈小，同樣但活化後碳棒變化較平緩**，鋅棒最陡(見圖 2-4)。
3. 本氫氧燃料電池的負載放電電路為「鳥鳴器」，到變調即停止計時，此時的電壓為 0.90V、電流為 0.02A，其**放電時間大小比較：活化後碳棒＞未活化碳棒＞不鏽鋼棒＞銅棒＞鋅棒**。

(五)由本實驗結果中，碳棒活化後較未活化的放電時間較久，與前面實驗過程中提到第 52 屆全國科展的結果相互呼應，理由是活化後的碳棒表面結構會較鬆散形成較多的孔隙，可以讓電解時產生的氫氣和氧氣停留在表面更多一些，以致於放電更多，使用更久。其實從我們將未活化的碳棒，用簡易型噴燈淬火過程中，發現碳棒在外焰燒一下子會著火，且會有物質噴出到實驗桌面上，等這些物質冷卻後，發現類似蠟燭的蠟油一樣，我們請教指導老師，他也說第一次發現。而活化後的碳棒冷卻後，用手輕輕一抹，手指頭就變黑了，表示有碳粉脫落附著在手指上，因此我們大膽推測**淬火後的碳棒其整個結構變的更多孔洞**。


(未活化前)


(已淬火活化後)

(六)我們從實驗觀察中，發現在電解時負極產生氣泡比正極較快速且數量較多，且電極附近氣泡產生的速率大小比較：不鏽鋼棒＞銅棒＞鋅棒＞未活化碳棒＞活化後碳棒

。此外，我們也看到一些有趣的現象：

1. 用金屬電極電解時，約每隔 18 秒，電源供應器的電壓指針瞬間會變零，此時金屬電極的表面沒有看到氣泡，約過 2 秒指針又恢復到 6V 刻度，反覆進行，直到停止電解，而碳棒電極卻沒有這種現象。我們和老師討論後，認為金屬電極的導電性佳，產生的氣體的反應速率較快，以使得產生氣體附著在金屬電極表面阻礙溶液中離子的游動而瞬間斷路，便沒有氣體產生，如此阻礙排除又可形成通路繼續電解。
2. 我們便心想金屬電極既然如此斷斷續續，那就不需要電解 2 分鐘，我們嘗試電解 30 秒就放電、1 分鐘就放電，結果放電時間比電解 2 分鐘的短，顯示雖然有這現象，電解時間愈久，放電也愈久。
3. 用銅棒電解後，水溶液變成淡藍色，且正負銅電極的表面明顯有了變化，但鋅棒和不鏽鋼棒卻沒有發現。老師說：這藍色便是正極的銅棒有銅離子產生($Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$)。

4. 本實驗採用的不鏽鋼棒經詢問廠商為編號 304，上網查資料顯示其標準成分是 18%鉻加 8%鎳，抗蝕性佳。而鋅金屬可能會和氫氧化鈉溶液反應 ($Zn+2NaOH+2H_2O \rightarrow Na_2[Zn(OH)_4]+H_2$)，進而影響整個充電和放電效率。

(七)綜合實驗結果，本自製氫氧燃料電池的**電極材料以「活化後碳棒」最佳**，而金屬電極具有導電性佳的特性，在本實驗中以「不鏽鋼棒」放電時間最好，因此，我們突發奇想，嘗試在【實驗四】「留氫包氧」試驗中，將「不鏽鋼棒」和「活化後碳棒」組合，看對於本自製氫氧燃料電池的放電效率是否會提高。

三、探討在不同種類的電解質溶液下，對氫氧燃料電池充電與放電的影響。

(一)我們將表 3-1 至表 3-4 的實驗結果分別作其與時間的關係圖，如下圖 3-1 至 3-4 所示。

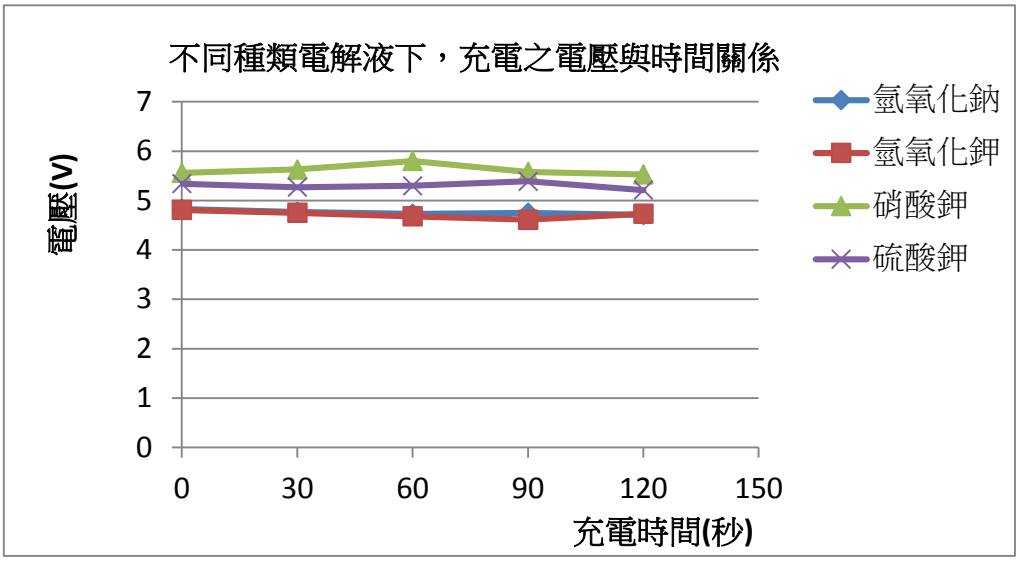


圖 3-1 在不同種類的電解質溶液下，充電時之電壓與時間關係圖

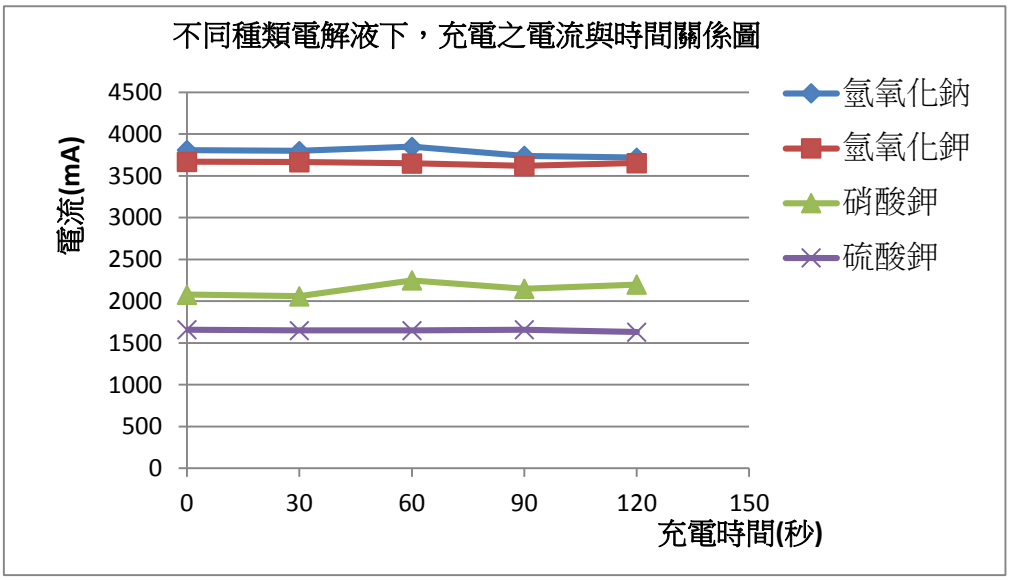


圖 3-2 在不同種類的電解質溶液下，充電時之電流與時間關係圖

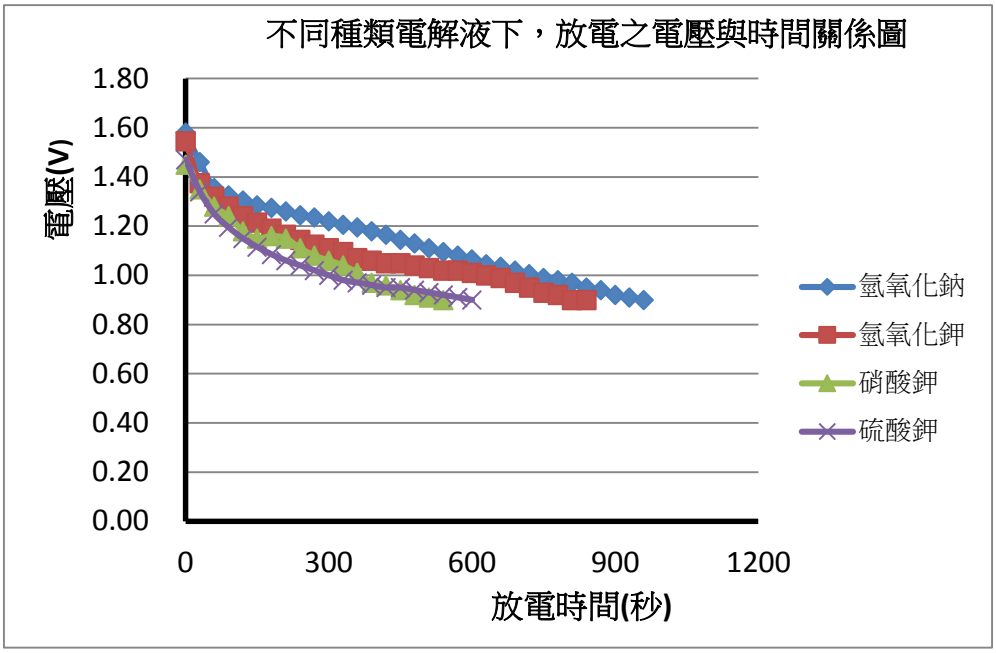


圖 3-3 在不同種類的電解質溶液下，放電時之電壓與時間關係圖

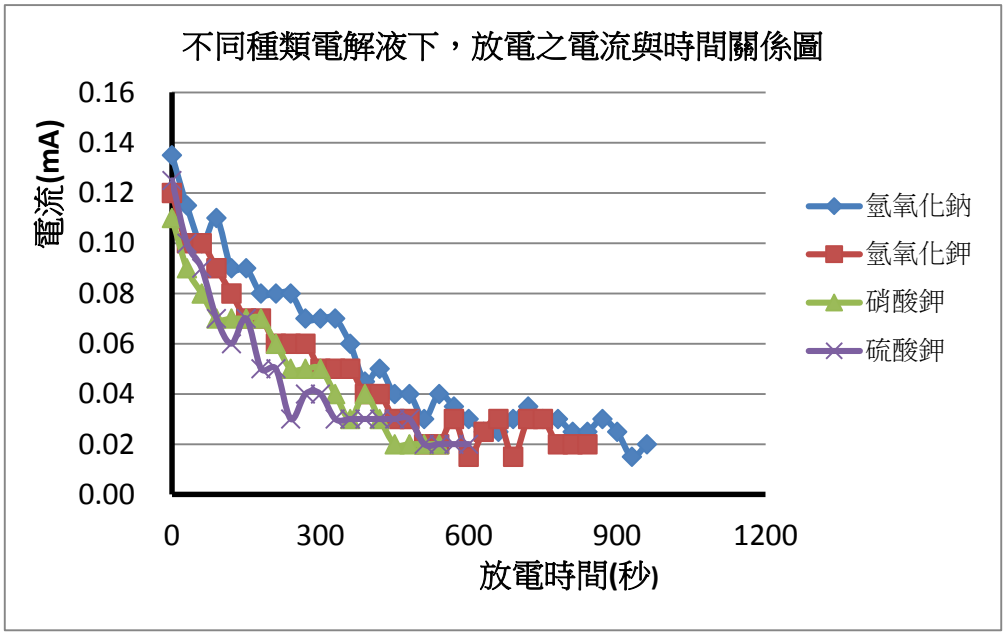


圖 3-4 在不同種類的電解質溶液下，放電時之電流與時間關係圖

(二)本【實驗二】採用的電極是【實驗一】結果最佳的「活化後碳棒」，而濃度均為 2M，充電電壓 6V，結果測得其不同種電解液下正負極電壓大小比較：硝酸鉀＞硫酸鉀＞氫氧化鈉＞氫氧化鉀，充電 2 分鐘後，這四種電解液所測得的電壓均較原先變小，但變小的幅度不大(見圖 3-1)。

(三)在測得輸入的電流大小比較：氫氧化鈉＞氫氧化鉀＞硝酸鉀＞硫酸鉀，而且明顯看得出兩群，氫氧化鈉和氫氧化鉀相近、硝酸鉀和硫酸鉀相近(見圖 3-2)。我們分別算出充電時平均電壓值與電流值，進而算出電阻值，發現用**這四種電解液的反應器電阻大小為：氫氧化鈉＞氫氧化鉀＞硝酸鉀＞硫酸鉀**。

(四)初始放電電壓也均大於理論值，且其大小比較：氫氧化鈉＞氫氧化鉀＞硫酸鉀＞硝酸鉀 (見表 3-3)。電壓隨放電時間增加而愈來愈小，但變化均為平緩，又以氫氧化鈉最平緩 (見圖 3-3)。

(五)放電時初始電流大小比較：氫氧化鈉＞硫酸鉀＞氫氧化鉀＞硝酸鉀(見表 3-4)。電流也隨放電時間增加而愈來愈小，同樣但氫氧化鈉和氫氧化鉀相近變化較平緩，硫酸鉀最陡(見圖 3-4)。

(六)**放電時間大小比較：氫氧化鈉＞氫氧化鉀＞硫酸鉀＞硝酸鉀。**

(七)實驗過程中，雖然均將濃度＝2M 列為控制便因，但我們配置硫酸鉀溶液時，稱取所需的量加入足夠的水時，均無法完全溶解，經上網查資料才知 20℃時硫酸鉀的溶解度為 11.1g／100ml，故應為飽和硫酸鉀溶液。

(八)綜合實驗結果，本自製氫氧燃料電池的電解質**採用氫氧化鈉水溶液**。

四、探討在不同濃度下，對氫氧燃料電池充電與放電的影響。

(一)我們將表 4-1 至表 4-4 的實驗結果分別作其與時間的關係圖，如下圖 4-1 至 4-4 所示。

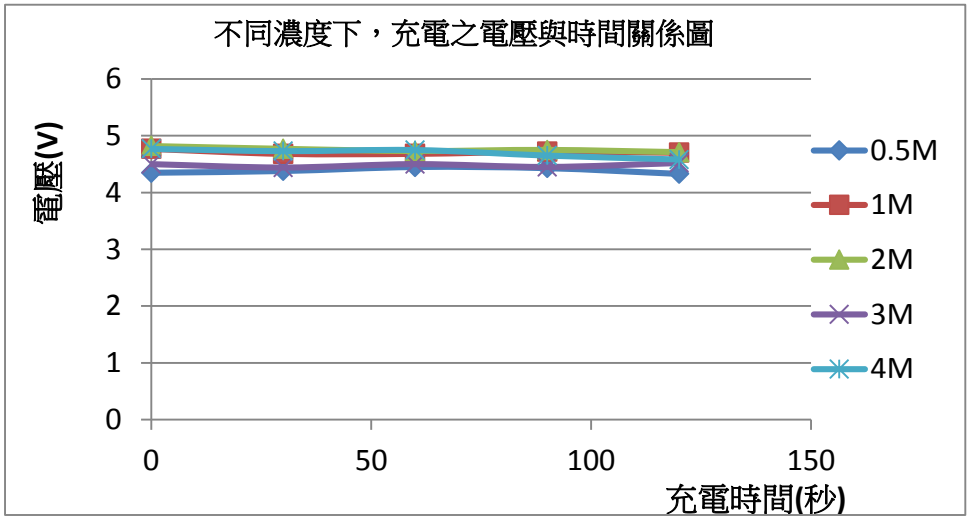


圖 4-1 在不同濃度的電解質溶液下，充電時之電壓與時間關係圖

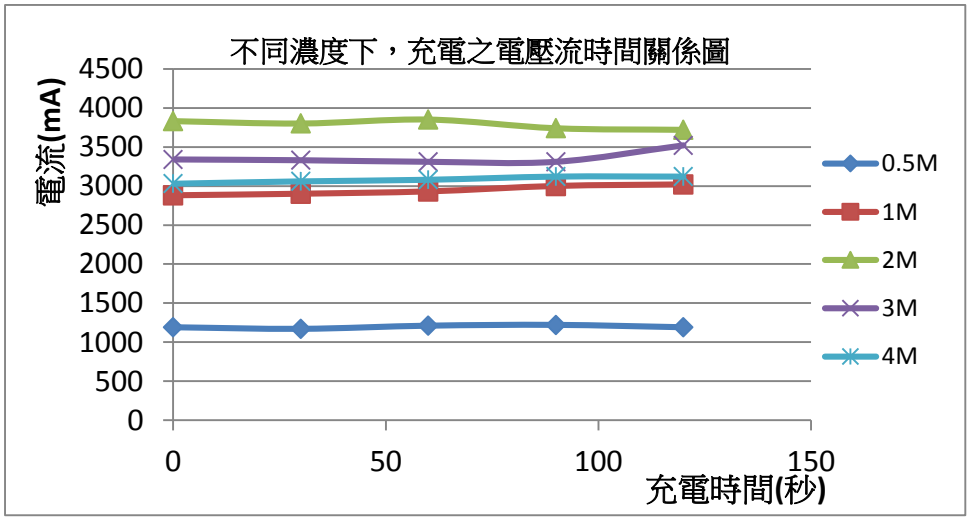


圖 4-1 在不同濃度的電解質溶液下，充電時之電流與時間關係圖

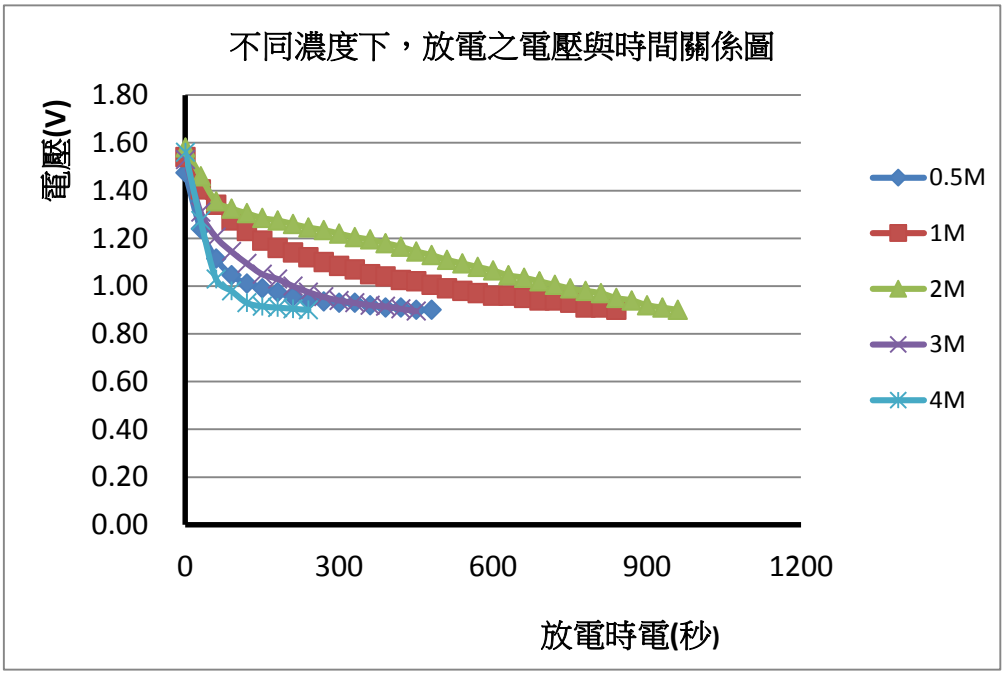


圖 4-3 在不同濃度的電解質溶液下，放電時之電壓與時間關係圖

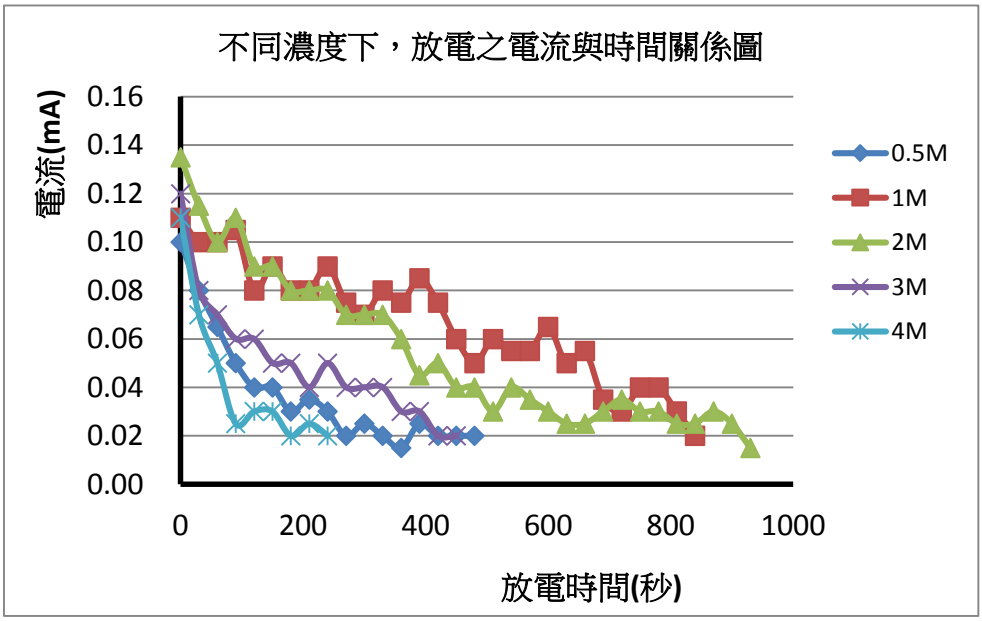


圖 4-4 在不同濃度的電解質溶液下，放電時之電壓與時間關係圖

(二)本【實驗三】採用的電極是【實驗一】結果最佳的「活化後碳棒」與【實驗二】結果最佳的氫氧化鈉溶液，充電電壓 6V，結果測得其不同濃度下正負極電壓其大小比較：2M＞4M＞1M＞3M＞0.5M，充電 2 分鐘後，這五種濃度氫氧化鈉水溶液所測得的電壓均較原先變小，但變小的幅度不大(見圖 4-1)。

(三)在測得輸入的電流大小比較：2M＞3M＞4M＞1M＞0.5M (見圖 4-2)。我們分別算出充電時平均電壓值與電流值，進而算出電阻值，發現用這五種濃度氫氧化鈉水溶液

的反應器電阻大小為：2M＞4M＞3M＞1M＞0.5M。

(四)初始放電電壓也均大於理論值，且其大小比較：2M＞4M＞1M＞3M＞0.5M (見表 4-3)。電壓隨放電時間增加而愈來愈小，但以 2M 最平緩，1M 次之，4M 最陡 (見圖 4-3)。

(五)放電時初始電流大小比較：2M＞3M＞4M＝1M＞0.5M (見表 4-4)。電流也隨放電時間增加而愈來愈小，2M 和 1M 趨勢相近，4M 最陡(見圖 3-4)。

(六)放電時間大小比較：2M＞1M＞0.5M＞3M＞4M。

(七)綜合實驗結果，本自製氫氧燃料電池的電解質採用 2M 氫氧化鈉水溶液。

五、探討「留氫包氧」試驗中，找出我們自製氫氧燃料電池的最佳條件。

(一) 將表 5-1 的實驗結果，作自製氫氧燃料電池之充電時「電功率與時間」圖。

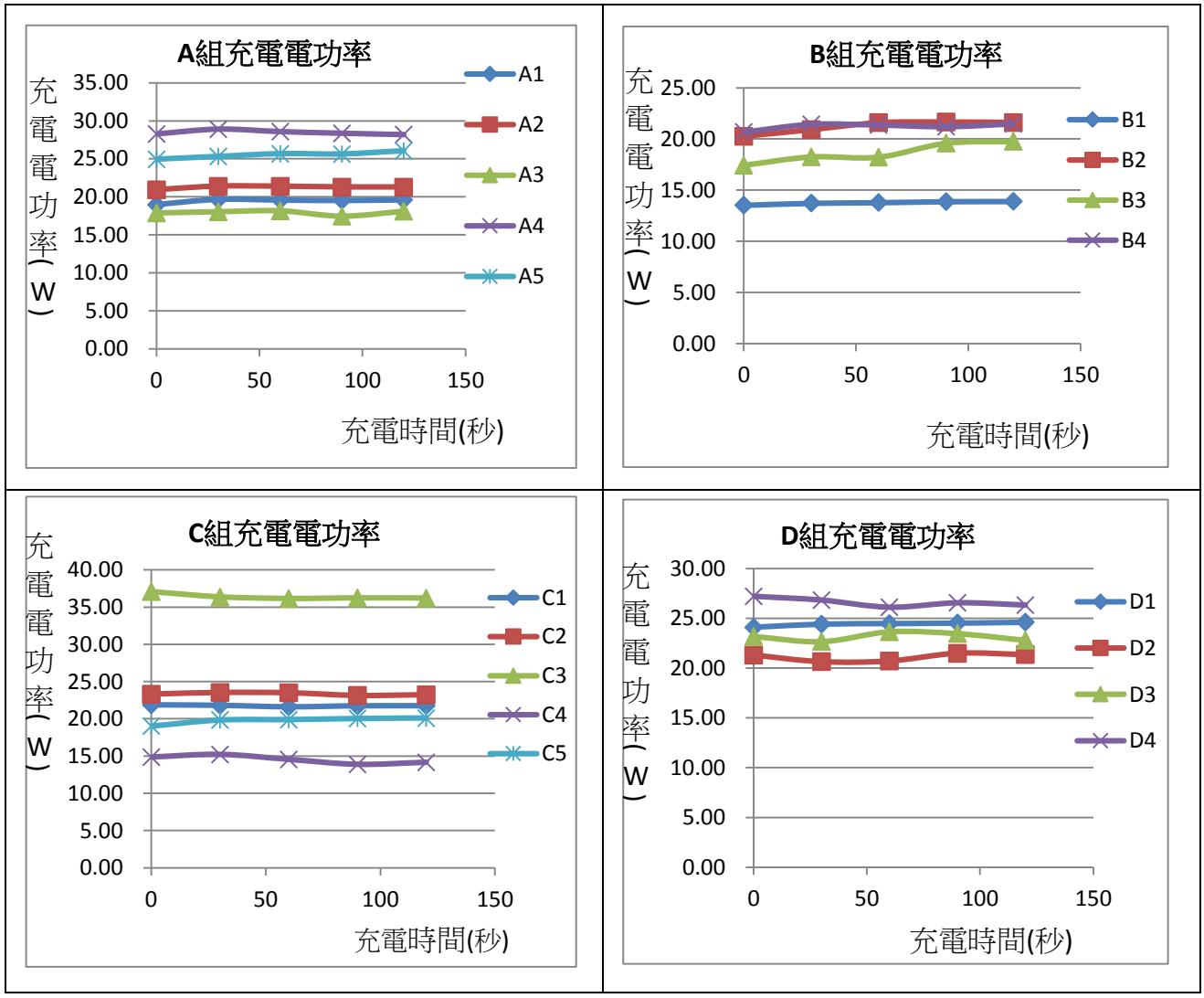


圖 5-1 「留氫包氧」各種電極組合下，自製氫氧燃料電池之充電時「電功率與時間」圖

(二) 將表 5-2 至表 5-5 的實驗結果，作自製氫氧燃料電池之放電時「電功率與時間」圖。

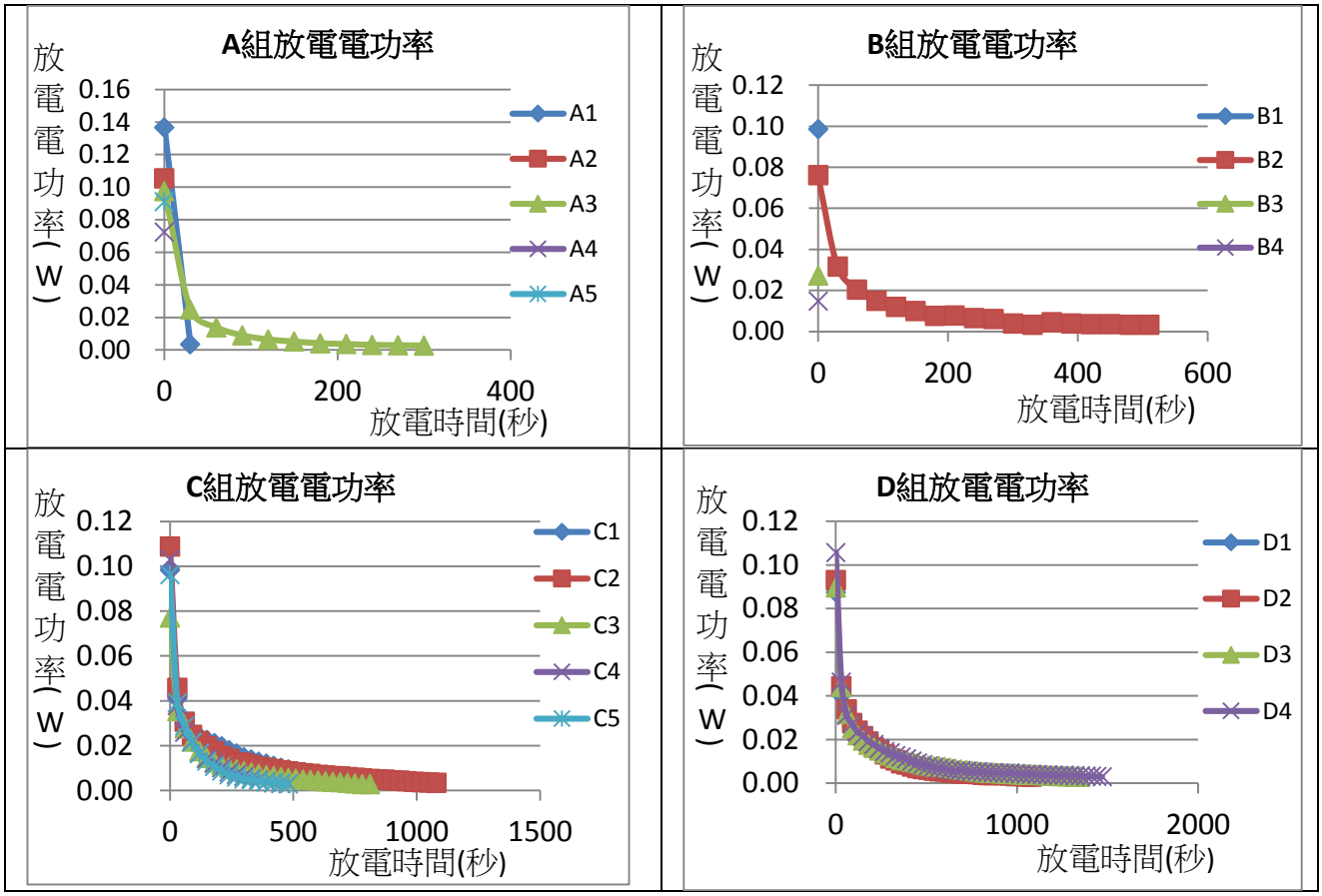
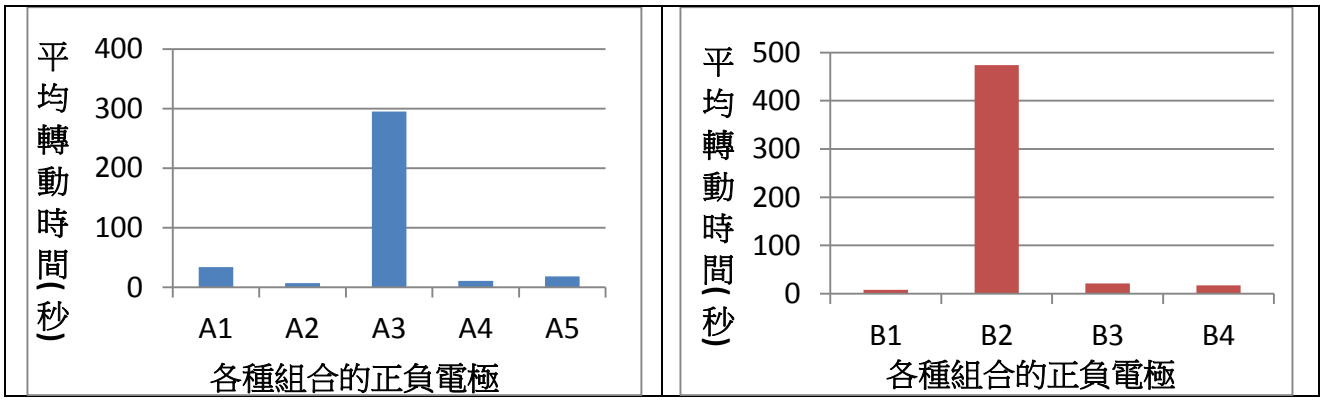


圖 5-2 「留氫包氧」各種電極組合下，自製氫氧燃料電池之放電時「電功率與時間」圖

(三) 表 5-6 的實驗結果做長條圖如下：



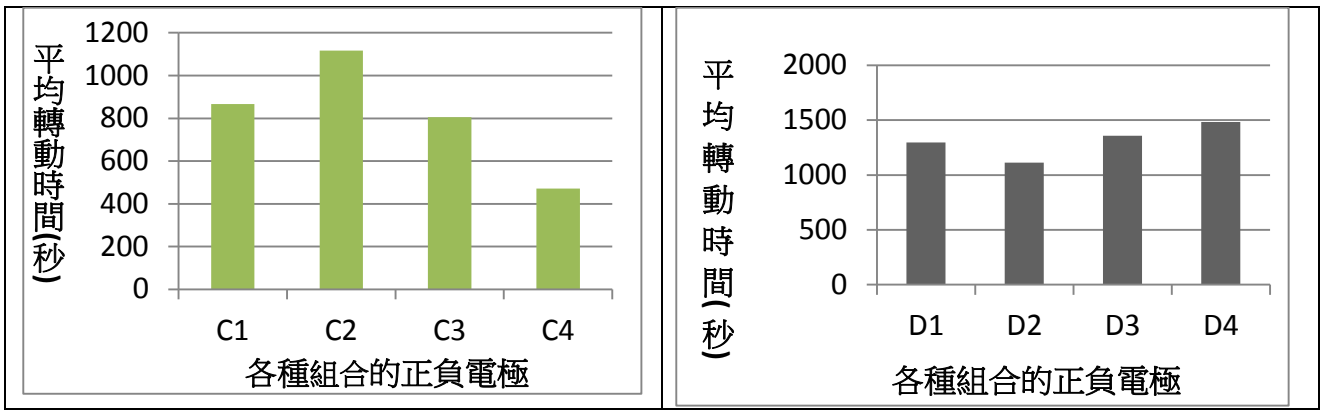


圖 5-3 在「留氫包氧」不同組合電極下放電時，馬達平均轉動時間長條圖

(四) 從圖 5-1 中，發現在不同正負電極組合下，充電時輸入的電功率都不相同。在 A.型組合中：A4＞A5＞A2＞A1＞A3；在 B.型組合中：B4＞B2＞B3＞B1；在 C.型組合中：C3＞C2＞C1＞C5＞C4；在 D.型組合中：D4＞D1＞D3＞D2。而這樣的實驗結果，我們進一步去分析，**發現與這些電極組合下「自製氫氧燃料電池」的「內電阻」大小有關，且此內電阻值愈小則我們算出它的輸入電功率愈大，即 D4 組合的內電阻相對較小；我們從實驗中也發現，充電時整個電池反應器溫度也會上升。**

(五) 從圖 5-2 中，發現不同正負電極組合下，在剛接上負載馬達放電時，**輸出的電功率大都相同約 0.1 瓦左右，但隨馬達運轉的耗能，「自製氫氧燃料電池」的放電電功率亦隨之遞減，但放電時間的長短，應和燃料電池反應器內的氫氣和氧氣量有關，我們發現 D4 可以放電較久，顯示這組合有利於「留氫包氧」。**

(六) 從 A.型組合正負單電極「不包組」中可知，使馬達運轉之平均時間長短比較：正負極均為活化後碳棒最佳，可達 295 秒，而正負極均為不鏽鋼棒最差，僅 8 秒(見圖 5-3)。而正負極各為活化後碳棒與不鏽鋼棒，在正負電極交換下，馬達放電時間並沒有很大的差別。

(七) 從 B.型組合正負單電極「包布組」中可知，使馬達運轉之平均時間長短比較：將正負極均為活化後碳棒套上不織布袋最佳，可達 474 秒，而正負極均為不鏽鋼棒套上不織布袋最差，僅 8 秒(見圖 5-3)。此結果與 A.型比較，發現活化後碳棒套上不織布後可讓同樣的馬達運轉時間提高為 1.6 倍，但相對的用在不鏽鋼棒上為 1.1 倍，但效果依舊不明顯。這個結果顯示**套上「不織布袋」，可在充電時（即電解水時）留住多一點的氫氣和氧氣在溶液中，而不會就跑出液面上。**

(八) 從 C.型組合「多重電極組」中可知，使馬達運轉之平均時間長短比較：正負極均為活化後碳棒 3 支用橡皮筋捆住最佳，可運轉 1117 秒；而正負極均為『不鏽鋼棒 1 支(接電)＋活化後碳棒 2 支用橡皮筋捆住』最差，僅運轉 806 秒，反而小於正負極均為活化後碳棒 2 支用橡皮筋捆住，可運轉 866 秒(見圖 5-3)，雖然 C3 組合較 C1 組合多一支接電的不鏽鋼棒，可讓產生的氣泡較快速，但充電時發現不鏽鋼棒的溫度會上升，表示此時燃料電池內的電阻變大所致。

(九) 我們將 A.型和 C.型組合的正負極均為活化後碳棒的數目與馬達運轉平均時間進一步作關係圖(見圖 5-4)，發現**正負極所裝上活化後的碳棒愈多，有助於本自製電池的放電效能，即讓馬達運轉較久，三根電極較單電極的馬達運轉時間提升 3.8 倍。**

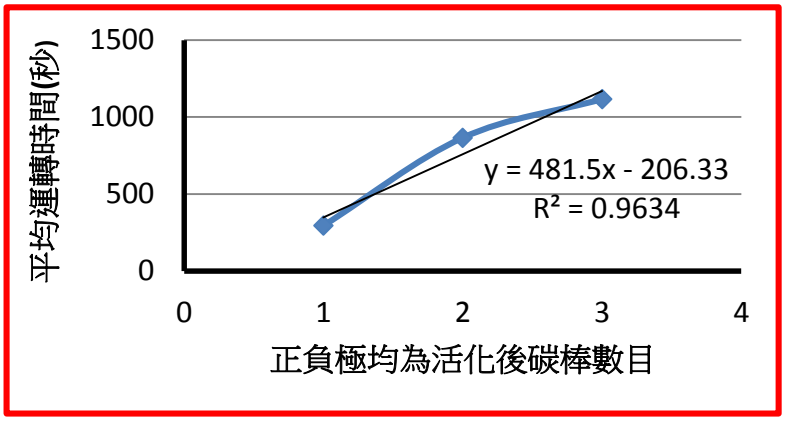


圖 5-4 正負極均為活化後碳棒的數目與馬達運轉平均時間作關係圖

(十) 從 D.型組合「多重電極包樂組」中可知，使馬達運轉之平均時間長短比較：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碳 4 克』最佳，可達 1484 秒即 24 分 44 秒之久(見圖 5-4)，此結果與正負極均為『活化後碳棒 3 支』(C2 組合)的 1117 秒，效能提升 1.3 倍(即增加 6 分鐘多)，顯示在**不織布袋內裝填活性碳有助於在充電時產生的氫氣和氧氣充份地留住在溶液中。**

(十一) 另外，在分析 D3 和 D4 組合中，裝填『濾心內椰子殼活性碳』的量愈多（2g 和 4g），有助於自製電池的放電效能，但 D1 和 D2 組合中，裝填「活性碳粉」的量愈多（2g 和 4g），反而使運轉時間變短，從我們實驗的觀察記錄中發現，在我們設計固定大小的「不織布袋」中，裝填活性碳粉愈多，充電過程中會有較多的活性碳粉，因其顆粒較細而被推擠到不織布袋外層，整杯溶液呈現黑黑濁濁的，而本實驗採用的『濾心內椰子殼活性碳』顆粒大很多，並無此現象發生，所以**我們推論裝填同質量的『濾心內椰子殼活性碳』比「活性碳粉」效果較好，從 D4 組合＞D2 組合及 D3 組合＞D1 組合(見圖 5-4)的結果可以說明。**

(十二) 綜合實驗結果，本自製氫氧燃料電池的**最佳電極條件為：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碳 4 克』。**

柒、 結論

一、我們從這次實驗中真正體會到「工欲善其事必先利其器」的道理，本反應器製作關係著實驗結果，一開始和老師討論材料和使用便利性，之後著手製作到完成，特別感謝本校總務處林主任的技術指導與協助，讓我們在嘗試中改良到所需的樣子。

二、從【實驗一】的結果發現：

1. 放電時，初始放電電壓均大於理論值：活化後碳棒＞未活化碳棒＞不鏽鋼棒＞銅棒＞鋅棒，隨放電時間愈來愈小，但「活化後碳棒」變化較平緩。而初始電流：活化後碳棒＞未活化碳棒＞不鏽鋼棒＝銅棒＞鋅棒，也隨放電時間愈來愈小，同樣「活化後碳棒」變化較平緩。
2. 本氫氧燃料電池的負載放電電路為「鳥鳴器」，到變調即停止計時，放電時間：活化後碳棒＞未活化碳棒＞不鏽鋼棒＞銅棒＞鋅棒。
3. 本實驗的電極材料以「活化後碳棒」最佳。

三、從【實驗二】的結果發現：

1. 放電時，初始放電電壓也均大於理論值：氫氧化鈉＞氫氧化鉀＞硫酸鉀＞硝酸鉀，隨放電時間愈來愈小，但變化均為平緩，又以氫氧化鈉最平緩。而初始電流：氫氧化鈉＞硫酸鉀＞氫氧化鉀＞硝酸鉀，也隨放電時間愈來愈小，而氫氧化鈉和氫氧化鉀相近變化較平緩。
2. 放電時間：氫氧化鈉＞氫氧化鉀＞硫酸鉀＞硝酸鉀。
3. 本實驗的電解質種類採用「氫氧化鈉水溶液」最佳。

四、從【實驗三】的結果發現：

1. 放電時，初始放電電壓也均大於理論值：2M＞4M＞1M＞3M＞0.5M，隨放電時間愈來愈小，以 2M 最平緩。而初始電流：2M＞3M＞4M＝1M＞0.5M，也隨放電時間愈來愈小，2M 和 1M 趨勢相近。
2. 放電時間：2M＞1M＞0.5M＞3M＞4M。
3. 本實驗的電解質濃度採用「2M」氫氧化鈉水溶液最佳。

五、從【實驗四】「留氫包氧」試驗的結果發現：

1. 不同正負電極組合下，充電時所輸入的電功率都不相同，這與不同電極組合下「自製氫氧燃料電池」的「內電阻」大小有關，且此內電阻值愈小則輸入電功率愈大，即 D4 組合的內電阻相對較小。而在剛接上負載馬達放電時，所輸出的電功率大都相同約 0.1 瓦左右，但隨馬達運轉的耗能，「自製氫氧燃料電池」的放電電功率亦隨之遞減，但放電時間的長短，和燃料電池反應器內的氫氣和氧氣量有關，我們發現 D4 可以放電較久，顯示這組合有利於「留氫包氧」。
2. 從 A.型和 B.型的結果分析得知套上「不織布袋」，可在充電時（即電解水時）留住多一點的氫氣和氧氣在溶液中，而不會就跑出液面上。
3. 從 C.型組合「多重電極組」中可知，正負極均為『活化後碳棒 3 支用橡皮筋捆住』最佳，可使馬達運轉 1117 秒。我們進一步將 A.型和 C.型的結果分析：發現正負極所裝上活化後的碳棒愈多，有助於本自製電池的放電效能，即讓馬達運轉較久，三根電極較單電極的馬達運轉時間提升 3.8 倍。

4. 從 D.型組合「多重電極包樂組」中可知，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碳 4 克』最佳，可達 24 分 44 秒之久，此結果與正負極均為『活化後碳棒 3 支』的 18 分 37 秒，效能可增加 6 分鐘多，顯示在不織布袋內裝填活性碳有助於在充電時產生的氫氣和氧氣充份地留住在溶液中。
5. 在分析 D3 和 D4 組合中，裝填『濾心內椰子殼活性碳』的量愈多，有助於自製電池的放電效能，但 D1 和 D2 組合中，裝填「活性碳粉」的量愈多，反而使運轉時間變短，此乃因充電過程中會有較多的活性碳粉，顆粒較細被推擠到不織布袋外層，而『濾心內椰子殼活性碳』顆粒大很多，並無此現象發生。且裝填同質量的『濾心內椰子殼活性碳』比「活性碳粉」效果較好。

六、本研究的自製氫氧燃料電池的最佳電極條件為：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碳 4 克』，在電池反應器裝滿「2M 的氫氧化鈉水溶液」，可讓本研究採用的馬達運轉 24 分鐘。

七、我們自「小四」同班到現在，以前沒做過科展，從校內到市賽竟然可以到全國比賽，很珍惜和重視這個學習的機會，經超過半年的實驗，失敗過很多也沮喪過，無厘頭亂試，卻也不得不告一段落，從實驗設計到印證自己的想法，發現做科展很有趣，「留氫包氧」只是其中的一個發現與創意，如何讓它更有效率，未來還須去努力的，其實，本來想進一步將自製燃料電池接上學校的太陽能電板，看看充、放電效果好不好，畢竟太陽公公是免費的喔！很感謝指導老師一路的相挺、爸媽的夜晚接送。

捌、 參考資料

一、康軒出版社自然與生活科技領域編輯群（民 101）。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、王蘊潔譯（2003）：66 個挑戰創意的科學實驗（瀧川洋二、山村紳一郎原著）（156-159）台北：世茂出版社。

四、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。

五、http://www.youtube.com/watch?v=0mxzbRqkAiA。

【評語】030201

本作品係自行設計「氫氧燃料電池的反應器」探討製作氫燃料電池的最佳電極條件，有一系列探討和結果。若能再加以比較椰子殼活性碳顆粒大小的影響將更好。