

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 化學科

第一名

最佳(鄉土)教材獎

030211

「氧」「氫」蓄銳·死灰復「燃」

學校名稱：新北市立中山國民中學

作者： 國一 蔡旻諺 國一 曾唯恩 國一 王濰翊	指導老師： 范瑛芬 曾祥佑
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：燃料電池、活性碳、水電解

得獎感言

經過一連串的比赛，從校內、新北市，然後到國展，經歷了多艱難，和許多強手一較高下，我們終於在眾多的隊伍中脫穎而出，得到了國中化學組的冠軍。透過這次科展的學習過程，讓我學到了國中理化的基本電學，包括電子、電量、電阻……，也使我们對水電解和其逆反應的實驗有了深入的了解。在我們實驗的過程中，我們互相鼓勵、彼此學習，也明白了團隊合作的重要性，因為在過程中，如果沒有隊友們的協助和合作，我們也不會有如此的佳績。

在本次的科展中，我們這一組要展示的是氫氧電池，要將氫氣與氧氣化學反應放出電能。過程中，我們遭遇許多的挫敗，但是，做科展一定要有努力不懈的精神，才能突破許許多多的問題和瓶頸，千萬不要半途而廢，也要常與師長討論意見，因為畢竟我們只是學生，對於許多原理不甚了解，一定要找尋可參考的途徑。另外，科學研究經常是要長時間的，並非一時三刻就能完成，也必須用多種實驗來驗證結果，對於一張又一張的數據，必須有效整理才不會造成混亂與麻煩！最後，在有空的時候，鼓勵大家多看些優良的科學書籍，不僅增加對於科學的認識和實驗方法，更能想到創意新奇的點子，找科展題目時也才不會想破頭啊！

這次參加國展令人難忘，尤其是布展當天，我們器材裝置完畢後進行測試，卻發現充到的電能無法有效的放出，我們就在現場一一摸索，心情緊張又焦慮，還好平時下足了功夫，在佈展時間內修復了所有問題，電池再度展現高度的效能，並且在第三天評審當日，電池也完美演出，足足讓馬達一直轉動了40分鐘，科學實驗常常充滿變數，唯有不斷的研究，累積豐富的經驗，才能成為一位優秀的科學家。

最後，要感謝許多在我們身邊幫助我們的人，指導老師范老師瑛芬、曾老師祥佑，他們盡心盡力的指導與鼓勵，也要感謝爸爸媽媽的支持，在許多的假日中陪伴我們實驗，提供支援，也感謝學校的協助，提供良好的實驗環境與資源，讓我們可以全力以赴，當頒獎的那天，唸新北市板橋區中山國中的時候，我們全部的人站起來大叫，共享一切的榮耀，為這次的國展畫下了一個完美的句點。



實驗時，一人紀錄、一個人計時、一個人報數據，大家分工合作。



會場內我們進行各項準備，而這種莫名的緊張感，令人永生難忘。



三位英雄向對手挑戰著，二人充滿著雄偉壯志，餘下那人自信滿滿。

「氫氣」蓄銳·死灰復「燃」

摘要

經過我們努力實驗後發現：碳棒淬火可活化碳棒，加以塗抹碳粉後，電能明顯增加許多，並隨充電時間而增加電能，證實活性碳粉增強氫氧電池的功用。使用較多碳粉增加氣體吸附量，但充電時間長或充電電流大，產生氣體太多無法完全吸附利用，會降低充放電能轉換率。使用起泡劑增加電池效能，但亦會增加電阻。加入起泡劑對於硫酸鉀效能較好，硝酸鉀次之，氫氧化鉀增加幅度較小，其中 10%胺基酸起泡劑 > 10%SLS 起泡劑 > 10%DBN 起泡劑。本實驗增加電池效能處理，包括淬火、電鍍和添加活性碳粉、包覆收集氣體、加入起泡劑氣泡法等方法，可利用國中實驗室電解水裝置轉變為氫氧燃料電池，電能轉換率由 0%提高至 3.55%，充電 5 伏特、6 分鐘後負載馬達使用 24 分鐘。

壹、研究動機

我們想參加學校的科展，找到在國中理化課程中有水電解的實驗，將水通電後會產生氫氣與氧氣，在找尋資料時發現有「氫氧燃料電池」。老師說氫氧燃料電池就是這個水電解反應的逆反應，但是，我們實際實驗時產生氫氣和氧氣後，再接上馬達後卻一動也不動，沒有電可以用，真是喪氣！老師說要使用氫氣和氧氣來產生電能需要很先進的技術才行，真的是這樣嗎？這個問題引起我們的興趣，製作出在國中實驗室可以驗證示範水分解成氫氧而儲存電能的簡易氫氧燃料電池。

因此廣尋多方資料，參考一些歷屆優良的作品後，找尋更好的材料加以改良，讓電池的電力能維持更持久，電力可以更強。而高溫精煉後的活性碳有不錯的導電性，再加上其有多孔及極大表面積的特質，可大面積的接觸與反應，正是改良燃料電池電極的好材料，因此它成為這次我們實驗的主角。

貳、研究目的

利用碳棒、活性碳粉、電解質溶液所組成的電池，進行控制變因實驗，探討氫氧電池的各項變因對充電與放電電壓和電流的影響，嘗試改善製作電池遭遇的問題，探討對氫氣和氧氣儲存能力、導電能力與儲存電能的差異。進一步探討電池放電與充電的反應，設計出可運用於國中實驗室演示的氫氧燃料電池。

- 一、探討自製的活性碳粉碳棒當電極，如何影響氫氧電池的充電和放電情形。
- 二、探討使用不同的外加充電時間，如何影響氫氧電池的充電和放電情形。
- 三、探討使用不同的外加充電電壓，如何影響氫氧電池的充電和放電情形。
- 四、探討使用不同濃度的電解質溶液，如何影響氫氧電池的充電和放電情形。
- 五、探討使用不同種類的電解質溶液，如何影響氫氧電池的充電和放電情形。
- 六、探討改變電池負極中的碳粉量，如何影響氫氧電池的充電和放電情形。
- 七、探討不同處理的活性碳粉碳棒電極，如何影響氫氧電池的充電和放電情形。
- 八、探討不同電解質溶液加入起泡劑後，如何影響氫氧電池的充電和放電情形。

- 九、探討在電解質溶液中加入不同濃度種類的起泡劑，如何影響氫氧電池的充電和放電情形。
- 十、綜合最佳化的氫氧燃料電池的充電和放電情形。

參、研究設備及器材

- 一、實驗藥品：硝酸鉀、硫酸鉀、氫氧化鉀、氫氧化鈉、碳棒、活性碳粉、陰離子凝集劑(聚丙烯酸鈉)、胺基酸起泡劑(月桂醯肌氨酸鈉)(Sodium Lauroyl Sarcosinate)、月桂硫酸鈉(SLS)(Sodium Lauryl Sulfate)、十二烷基苯磺酸鈉(DBN)(Sodium dodecyl benzene Sulfonate)、鎳電鍍液、鎳片、蒸餾水。
- 二、實驗器材：量筒、量瓶、錐形瓶、滴管、燒杯、手套、伏特計、毫安培計、直流電源供應器、三用電錶、電子秤、碼錶、玻璃棒、鱷魚夾。

			
馬錶	毫安培計	直流電源供應器	伏特計
			
氫氧電池	氣泡電池實驗	氫氧電池充電裝置圖	
			
自製各種成份碳粉碳棒		氫氧電池負載馬達放電裝置圖	



肆、研究過程或方法

一、探討自製的活性碳粉碳棒當電極，如何影響氫氧電池的充電和放電情形。

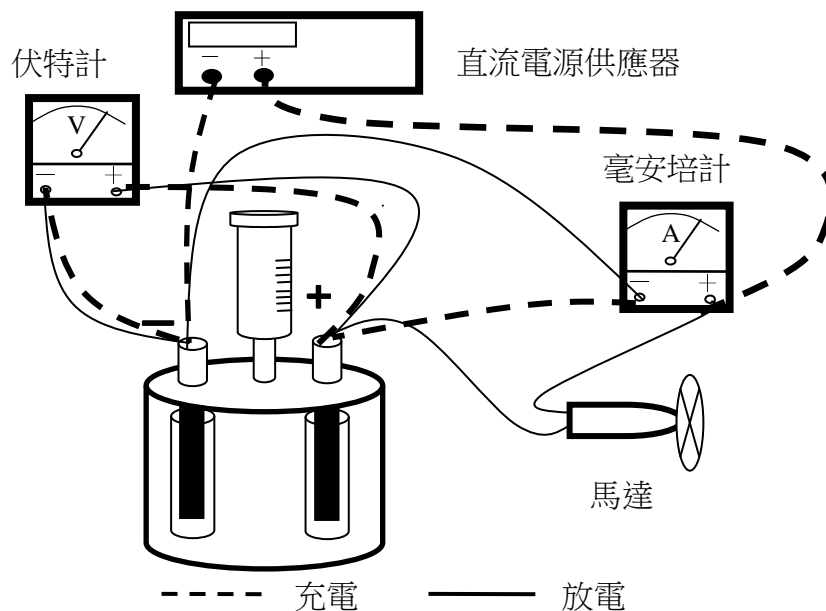
(一)參考文獻資料，了解氫氧電池的充電和放電原理與先前的研究內容。

(二)氫氧燃料電池的製作

- 1.取一個 600 ml 的梅子罐，在瓶蓋上鑿出 3 個孔洞，其中 2 個孔洞用 AB 膠和熱熔膠分別固定實驗收集氣體用的塑膠管與可以替換實驗用電極的接頭，另一個小洞則固定收集氣體後溶液溢流用的注射針筒。
- 2.另外，再鑿出 2 個小洞並連接塑膠短管，為利用排水集氣法來收集氫氣和氧氣的放氣與儲氣的操作裝置。
- 3.實驗時，先在電極接頭鎖上碳棒電極和倒入電解質溶液，鎖上外面的塑膠套管。
- 4.確認氣體收集裝置不漏氣並放出空氣後，再夾上長尾夾開始收集電解產生的氣體。
- 5.接上直流電源供應器後充電，再進行放電實驗。

(三)測試自製活性碳粉碳棒的放電能力

- 1.自製活性碳粉碳棒(正極和負極) 4 克活性碳粉、1M、10mlNaOH 和 0.5g 陰離子凝集劑以比例均勻混合後形成碳粉膠體，將此碳粉膠體包覆於碳棒外，並用玻璃紙將其滾成棒狀，作為電極。
- 2.取 600ml NaOH，倒進自製的燃料電池中，用鱷魚夾夾住電池的正負極碳棒與直流電源供應器連接，設定為 5V，充電 1 分鐘。
- 3.充電後，以鱷魚夾連接伏特計、毫安培計與馬達，開始放電。一開始先記錄剛連接的電流和電壓，每 30 秒紀錄一次，測量到馬達停止。
- 4.將電池中自製活性碳粉碳棒(正極和負極)，改變為未處理碳棒、淬火活化碳棒，重覆上述步驟，測量電壓與電流隨時間的變化和馬達轉動的時間。



氫氧電池充電與放電裝置圖

(四)改變充電時間為 2 分鐘、3 分鐘、4 分鐘、5 分鐘、6 分鐘，重覆實驗(三)1 至 3 步驟。

二、探討使用不同的外加充電時間，如何影響氫氧電池的充電和放電情形。

1. 固定正極碳棒的碳粉量為 4g，負極碳棒的碳粉量為 6g，使用 1M KOH 和 NaOH 當溶液。
2. 充電電壓 5V、時間 2 分鐘，直接以電池內電阻和負載馬達放電，測量電壓與電流的變化。
3. 再改變充電時間為 3 分鐘、4 分鐘、5 分鐘、10 分鐘、15 分鐘，重覆實驗步驟。

三、探討使用不同的外加充電電壓，如何影響氫氧電池的充電和放電情形。

改變充電電壓為 3V、6V、9V，進行充電與放電實驗。

四、探討使用不同濃度的電解質溶液，如何影響氫氧電池的充電和放電情形。

改變不同濃度為 0.5M、1M、4M，進行充電與放電實驗。

五、探討使用不同種類的電解質溶液，如何影響氫氧電池的充電和放電情形。

改變電解質為硝酸鉀、硫酸鉀、氫氧化鈉、氫氧化鉀水溶液，進行充電與放電實驗。

六、探討在電池電極碳棒中使用不同的碳粉量，如何影響氫氧電池的充電和放電情形。

固定正極碳棒碳粉量，改變負極碳棒碳粉量，使用 1M 氫氧化鉀、硝酸鉀、硫酸鉀、氫氧化鈉。充電電壓為 5V、時間 6 分鐘，負載馬達來放電。

七、探討不同處理的活性碳粉碳棒電極，如何影響氫氧電池的充電和放電情形。

1. 改變碳棒淬火次數，分別為未淬火、淬火 5 次、淬火 10 次和淬火 15 次，充電電壓 5V、時間 6 分鐘，負載馬達放電進行比較。
2. 改變碳棒電極的處理，以電鍍碳棒、電鍍碳棒(包覆玻璃紙)、電鍍活性碳粉碳棒(包覆沖茶袋)、電鍍活性碳粉碳棒(包覆不織布)、電鍍活性碳粉碳棒(包覆玻璃紙)，負載馬達放電進行比較。

八、探討不同電解質溶液加入起泡劑後，如何影響氫氧電池的充電和放電情形。

(一) 起泡型氫氧電池裝置

1. 取 2 支 60ml 注射針筒中間挖出一個洞，取一支原子筆管截出一短管，連接兩支注射針筒。
 2. 製作 2 支 6g 活性碳粉碳棒，其中一支碳棒在橡皮塞中挖出碳棒粗細大小的孔洞，將碳棒以熱熔膠固定住。
 3. 實驗時，將取 1.0M、200ml 硫酸鉀水溶液和各種起泡劑依不同比例倒入裝置中，再塞緊橡皮塞避免漏出產生的氫氣。
 4. 隨電解水時產生氫氣，另一管液面上升則用滴管吸取溶液。
 5. 充電電壓為 5V 和 10V、時間 6 分鐘，以電池的內電阻放電，測量電壓與電流的變化。
- (二) 取 1.0M、200ml 硫酸鉀水溶液(0%)當空白對照組、加入胺基酸起泡劑分別配製 10%、20%，進行起泡型氫氧電池裝置的實驗。
- (三) 再取硝酸鉀和氫氧化鉀水溶液，加入胺基酸起泡劑分別配製 0%、10%、20%，重覆實驗，比較使用不同電解質溶液的充放電差異。

九、探討電解質溶液中加入不同濃度與種類的起泡劑，如何影響氫氧電池的充電和放電情形。

1. 承實驗八，比較電解質溶液中加入不同濃度的起泡劑對於電池充放電的差異。
2. 取 1M、200ml KOH，將起泡劑換成月桂硫酸鈉(SLS)、十二烷基苯磺酸鈉(DBN 起泡劑)配製為 10% 的起泡 KOH 溶液，進行比較分析。

十、綜合最佳化的氫氧電池的充電和放電情形。

1. 綜合實驗結果，結合淬火、電鍍和活性碳粉和氣泡法來處理碳棒電極，以淬火碳棒、碳粉淬火碳棒、碳粉淬火電鍍碳棒和使用 1MKOH 與 10% 胺基酸起泡劑當電解質溶液。
2. 充電電壓為 5V、時間為 6 分鐘與 10 分鐘，負載馬達電池放電，測量電壓與電流的變化。

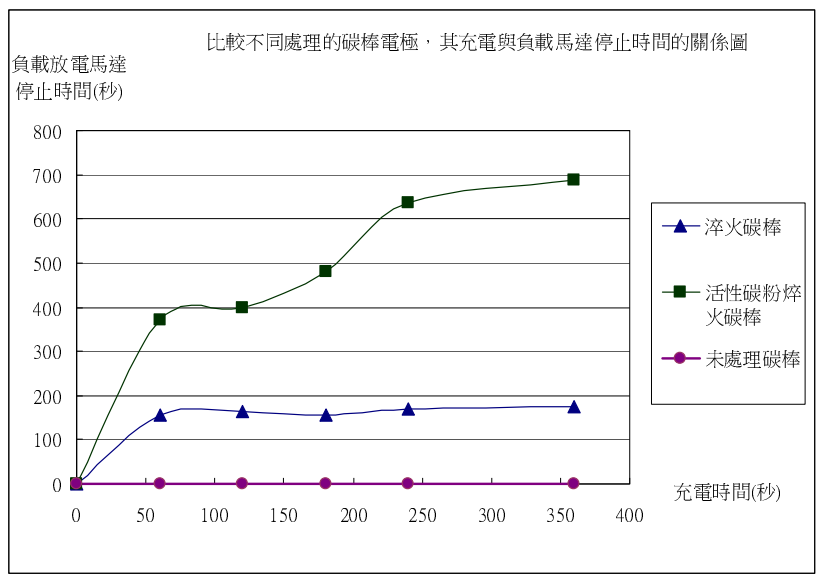
伍、研究結果

一、探討自製的活性碳粉碳棒當電極，如何影響氫氧電池的充電和放電情形。

(一) 初步比較碳棒、淬火碳棒和自製活性碳粉淬火碳棒充電和放電差異。

使用淬火碳棒電極充電後，負載馬達放電時間比較表(在 0.5M NaOH 中)

未處理碳棒		淬火碳棒		活性碳粉淬火碳棒	
充電時間(秒)	馬達停止時間(秒)	充電時間(秒)	馬達停止時間(秒)	時間(秒)	馬達停止時間(秒)
0	0	0	0	0	0
60	0	60	155	60	372
120	0	120	155	120	398
180	0	180	165	180	481
240	0	240	170	240	635
360	0	360	175	360	689



小結：1.未處理的碳棒無法充電，經燒烤淬火處理過的碳棒，充電讓馬達放電一段短時間，充電 2—6 分鐘無法有效增加放電時間。

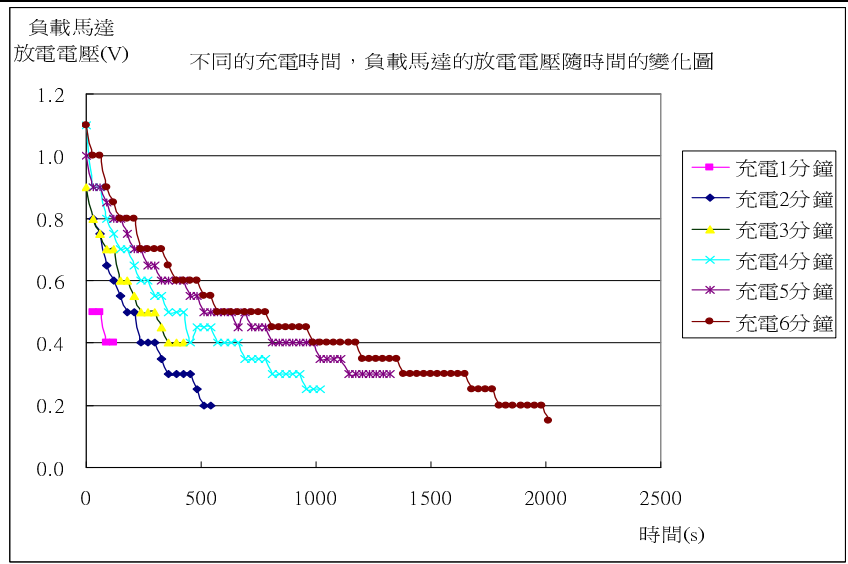
2.淬火碳棒塗抹活性碳粉後，大幅增加放電，增加充電時間，延長馬達放電時間。

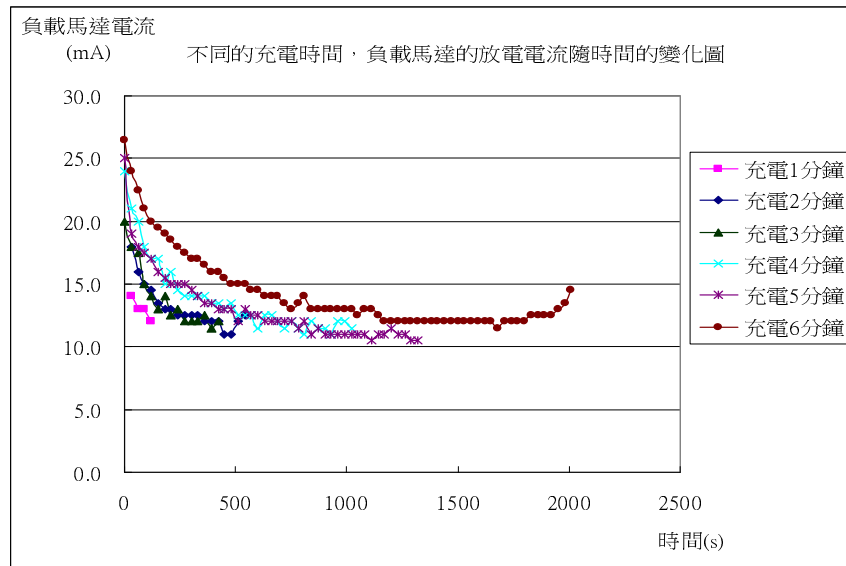
二、探討使用不同的外加充電時間，如何影響氫氧電池的充電和放電情形。

(一)使用 1M NaOH 當電解質溶液，負載馬達放電

不同充電時間，充電與負載馬達放電時間比較表

活性碳粉淬火碳棒；1.0M NaOH			
充電時間(秒)	充電電流(mA)	放電至 0.4V 的時間(秒)	馬達停止時間(秒)
0	0	0	0
60	1000	120	147
120	900	300	554
180	900	420	746
240	1000	660	1036
300	900	990	1050
360	1000	1170	1208

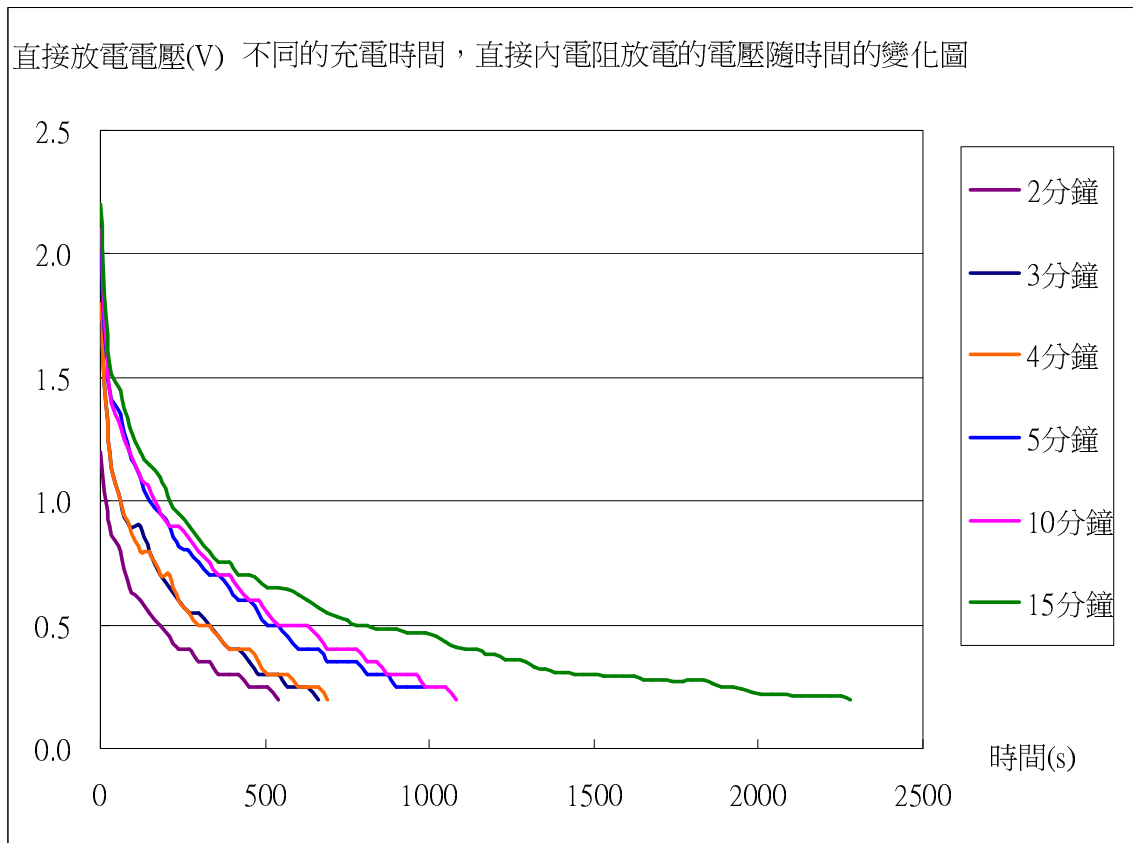




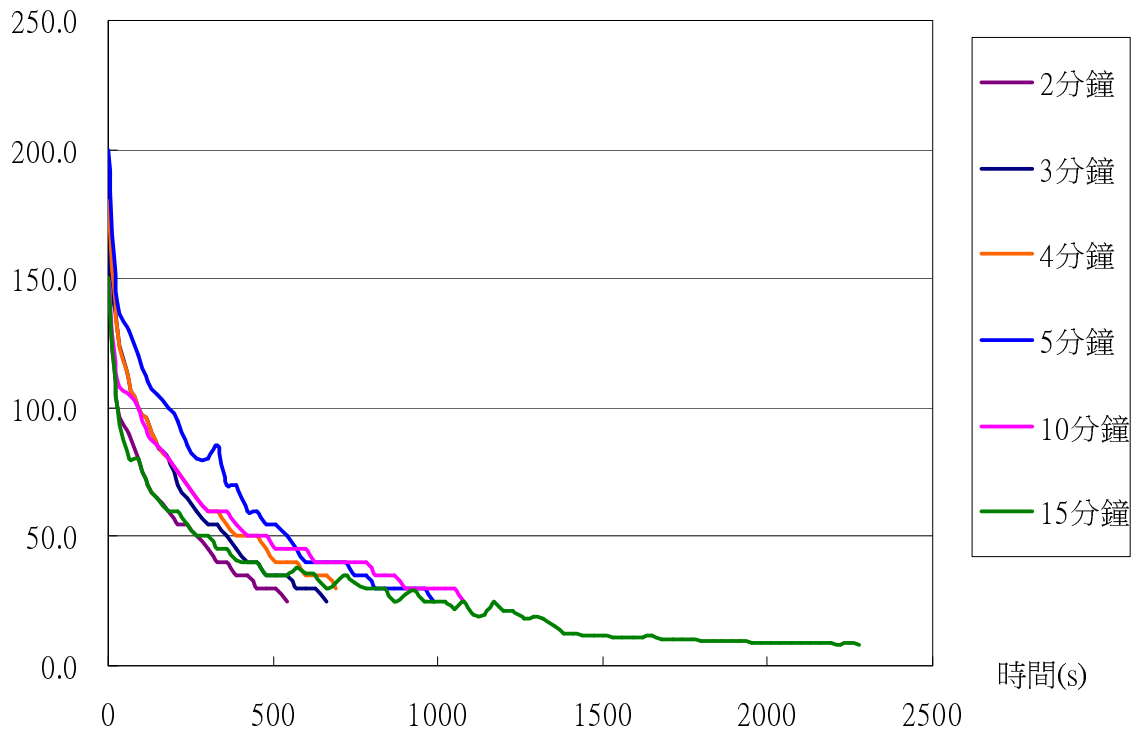
小結：

1. 負載馬達放電，馬達開始轉動電壓約 1.2V，電流約 26mA，並隨著放電變小，電壓和電流降至約 0.2V、12mA，馬達會停止，但有時降到 0.4V 就停止，進一步比較降至 0.4V 的時間。
2. 馬達轉動速度和電壓與電流變化關係，隨著電壓和電流越來越小，看見轉動越來越慢。

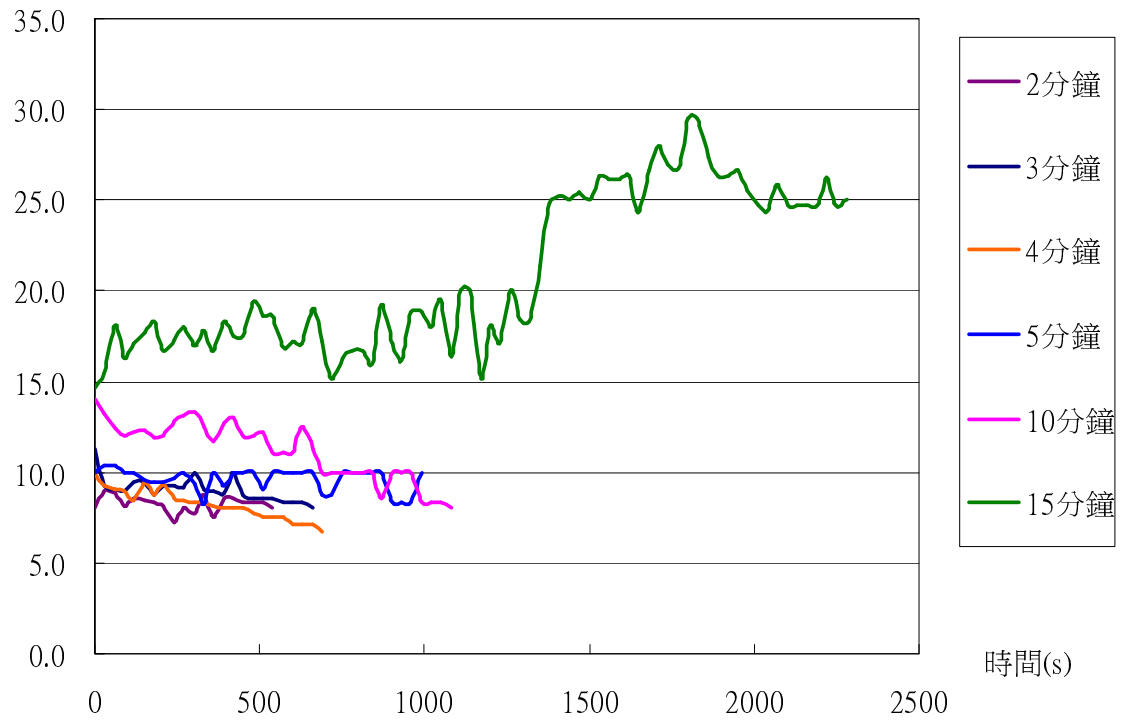
(二)使用 1M KOH 當電解質溶液，以內電阻直接放電

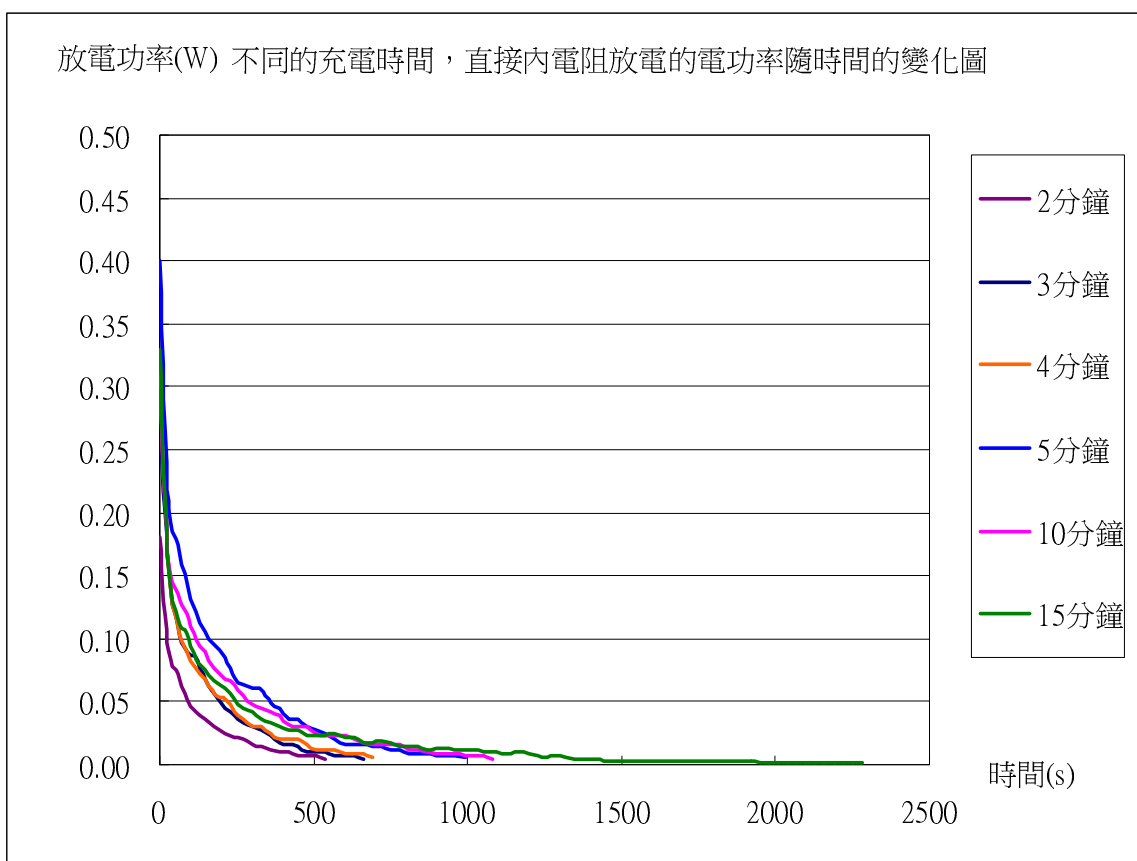


直接放電電流 (mA) 不同的充電時間，直接內電阻放電的電流隨時間的變化圖



直接放電電阻 (Ω) 不同的充電時間，直接內電阻放電的電阻隨時間的變化圖





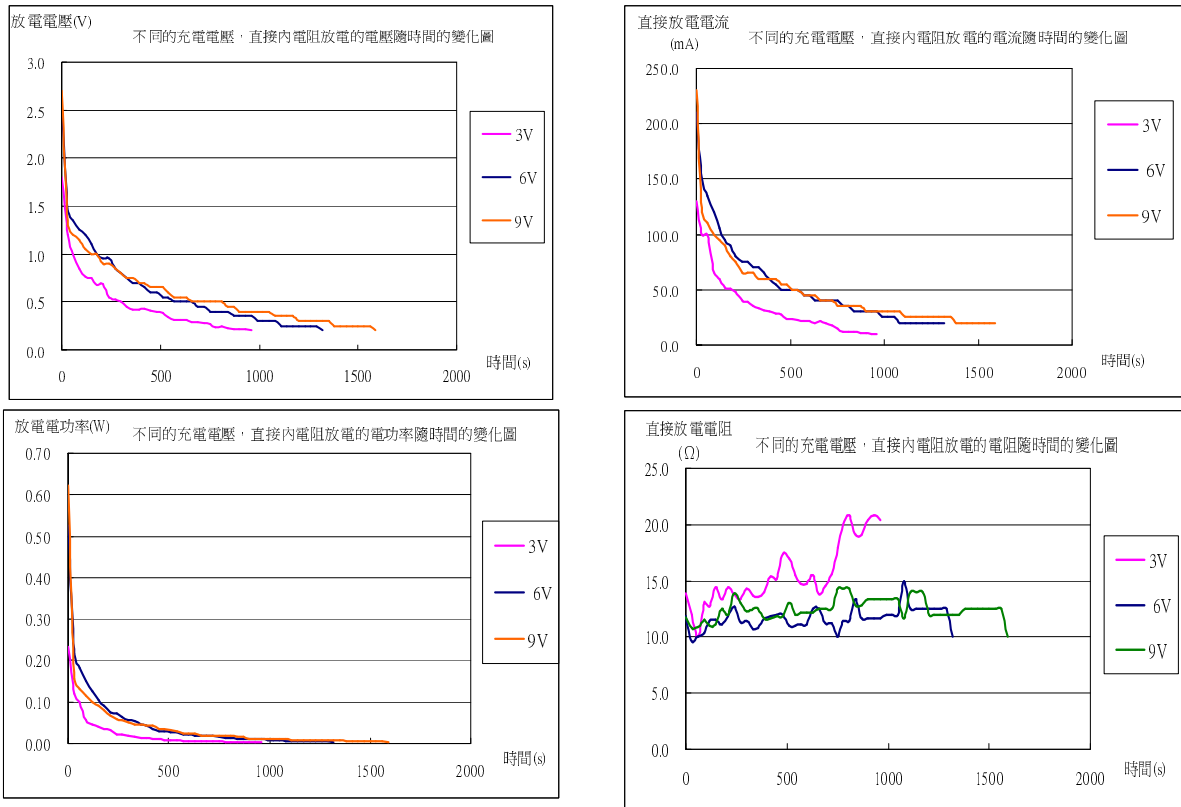
不同充電時間，充電與直接電池內電阻放電比較表

充電時間 (min)	充電電能(J)	放電電能(J)	充放電能 轉換率(%)	電池平均 內電阻(Ω)	放電至 0.2V時間(秒)
2	382.5	17.0	4.44%	8.3	540
3	528.8	30.4	5.74%	9.0	660
4	746.3	32.2	4.32%	8.2	690
5	819.0	54.1	6.61%	9.6	990
10	1774.5	47.1	2.66%	11.1	1080
15	1981.5	48.3	2.44%	24.8	2280

- 1.比較電池平均內電阻，充電 15 分鐘大於充電 2 至 5 分鐘。
- 2.充電 15 分鐘較 2 分鐘，放電電壓變化較緩慢，電流變化隨充電時間沒有明顯差異。
- 3.放電電能隨充電時間增加。但充電 2 至 5 分鐘的電能轉換率較高，充電 10 至 15 分鐘則較低。

三、探討使用不同的外加充電電壓，如何影響氫氧電池的充電和放電情形。

(一)使用 1M KOH 當電解質溶液，改變充電電壓 3V、6V 和 9V，以內電阻直接放電

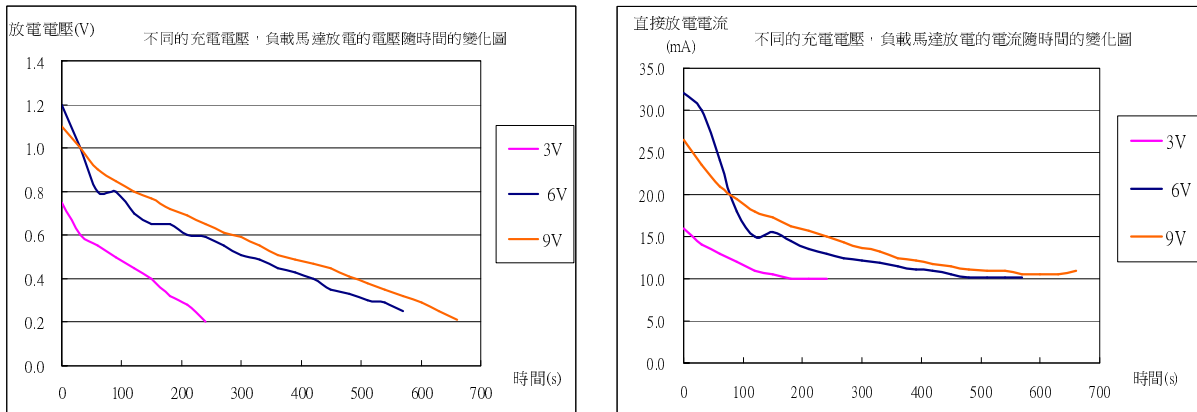


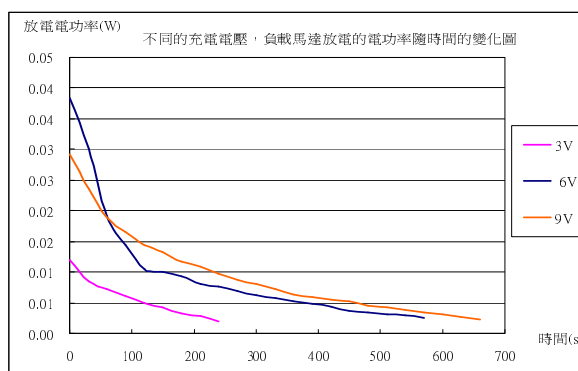
不同充電電壓，電池充電與直接以內電阻放電比較表

充電電壓(V)	充電電能(J)	放電電能(J)	充放電能轉換率(%)	電池平均內電阻(Ω)	放電至 0.2V 時間(秒)
3	155.0	22.5	14.51%	15.6	960
6	1137.6	59.3	5.21%	11.7	1320
9	3267.0	58.0	1.78%	12.5	1590

1. 充電電壓 3V，電能轉換率較高，電壓較高(9V)，會造成電能的浪費。
2. 充電電壓高，放電時間長，以內電阻放電，可能放電功率較小，因此必須同時考慮電壓和電流變化，不能單以放電時間長短來看。

(二)使用 1M KOH 當電解質溶液，改變充電電壓 3V、6V 和 9V，負載馬達放電





不同充電電壓，電池充電與以負載馬達放電比較表

充電電壓(V)	充電電能(J)	放電電能(J)	充放電能轉換率(%)	平均總電阻(Ω)	放電至 0.4V 時間(秒)	放電至停止時間(秒)
3	158.9	1.3	0.82%	37.0	150	244
6	1076.2	5.3	0.49%	38.1	420	595
9	3279.7	6.1	0.19%	39.7	510	673

小結：1.比較充電電能與馬達的放電電能，電能轉換率為 $3V > 6V > 9V$ 。

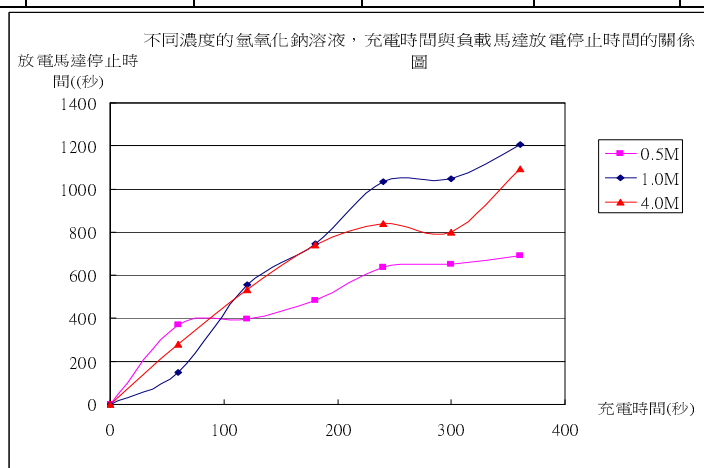
2.外加 6V 和 9V 電壓和電流變化相近，但 3V 電壓和電流明顯較小。

3.比較直接內電阻放電與負載馬達放電，電能轉換率大小關係一致。

四、探討使用不同濃度的電解質溶液，如何影響氫氧電池的充電和放電情形。

使用不同濃度 NaOH 當電解質溶液，負載馬達放電時間比較表

0.5M		1.0M		4.0M	
充電時間(秒)	負載馬達停止時間(秒)	充電時間(秒)	馬達停止放電時間(秒)	充電時間(秒)	馬達停止放電時間(秒)
0	0	0	0	0	0
60	372	60	147	60	280
120	398	120	554	120	532
180	481	180	746	180	739
240	635	240	1036	240	838
300	650	300	1050	300	799
360	689	360	1208	360	1095



1. 充電後放電的結果： $1M > 4M > 0.5M$ 。

2. 充電電流約為 1100mA，充電相同時間，但是放電時間卻相異。

五、探討使用不同種類的電解質溶液，如何影響氫氧電池的充電和放電情形。

(一) 比較硝酸鉀溶液和氫氧化鈉溶液充電和放電情形。

電極：淬火碳粉棒；溶液：1.0M NaOH			
充電時間(秒)	充電電流(mA)	放電至 0.4V 的時間(秒)	馬達停止時間(秒)
0	0	0	0
60	1000	120	147
120	900	300	554
180	900	420	746
240	1000	660	1036
300	900	990	1050
360	1000	1170	1208

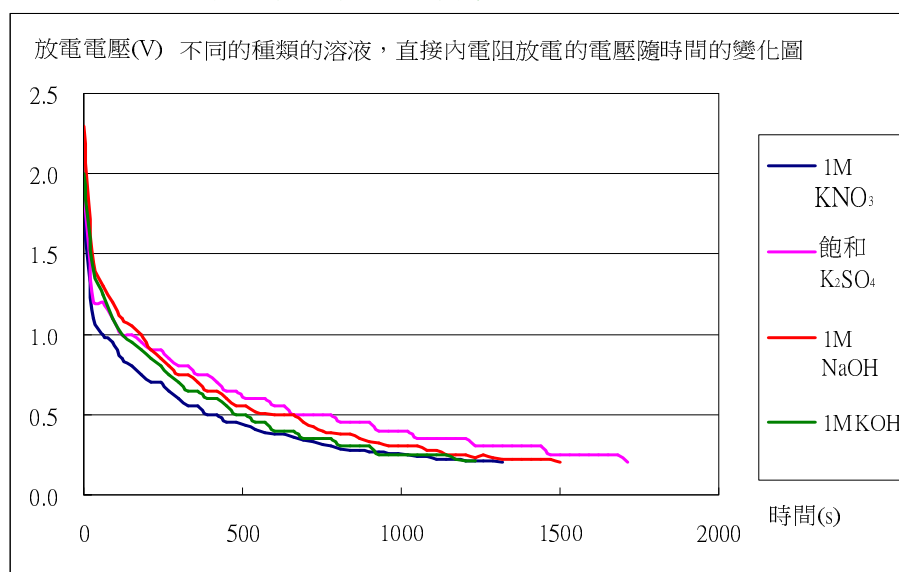
電極：淬火碳粉棒；溶液：1.0M KNO ₃		
充電時間(秒)	充電電流(mA)	放電電壓至 0.4V 的時間(秒)
0	0	0
120	350	170
240	350	365
360	350	485

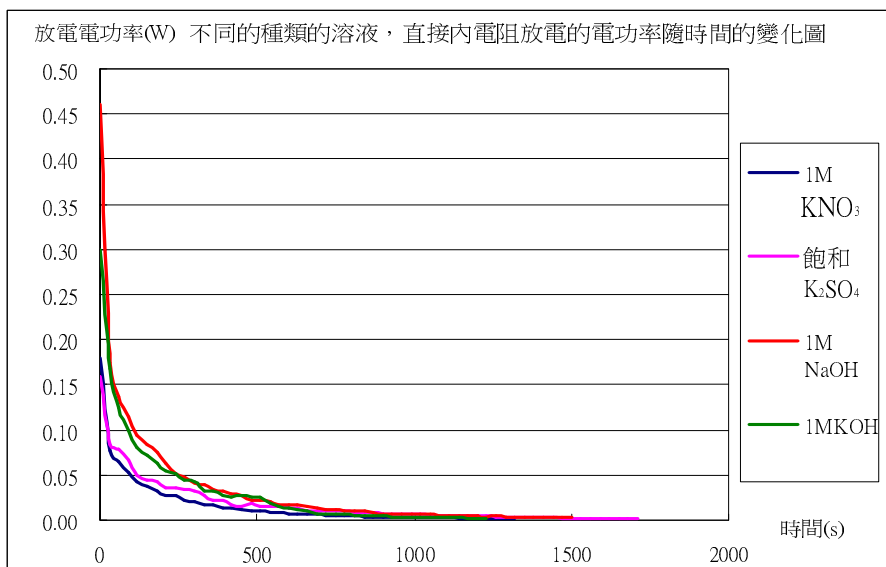
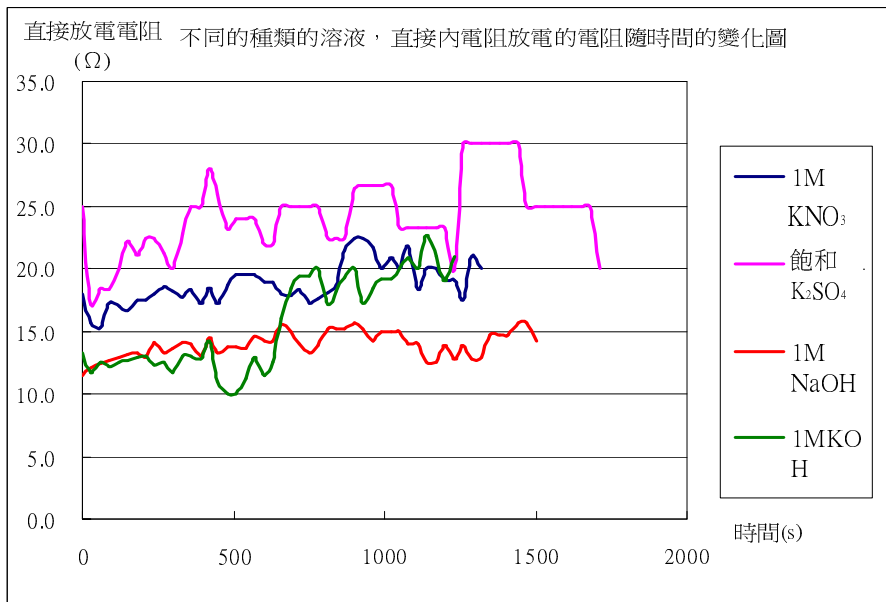
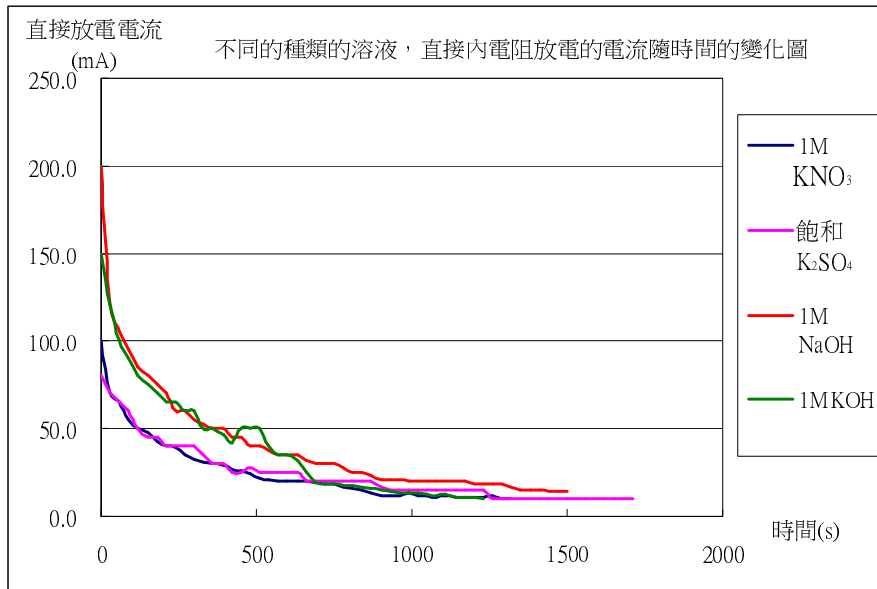
1. 充電電壓 5V，使用硝酸鉀和氫氧化鈉，電流分別為 350mA 和 1000mA。

2. 比較負載馬達降到 0.4V 時間，和馬達停止時間，充電時間越多，放電時間越長。

3. 相同充電時間，負載馬達停止時間氫氧化鈉長於硝酸鉀。

(二) 比較各種溶液充電和直接以內電阻放電情形





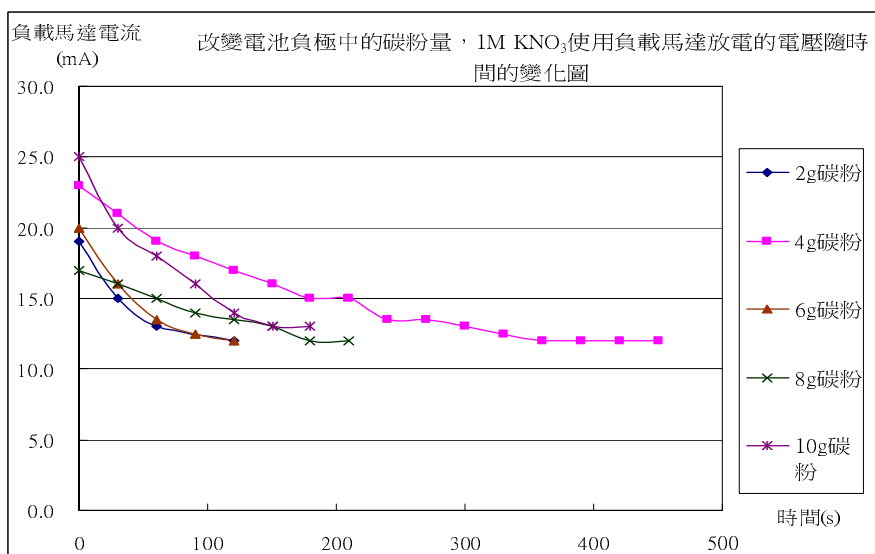
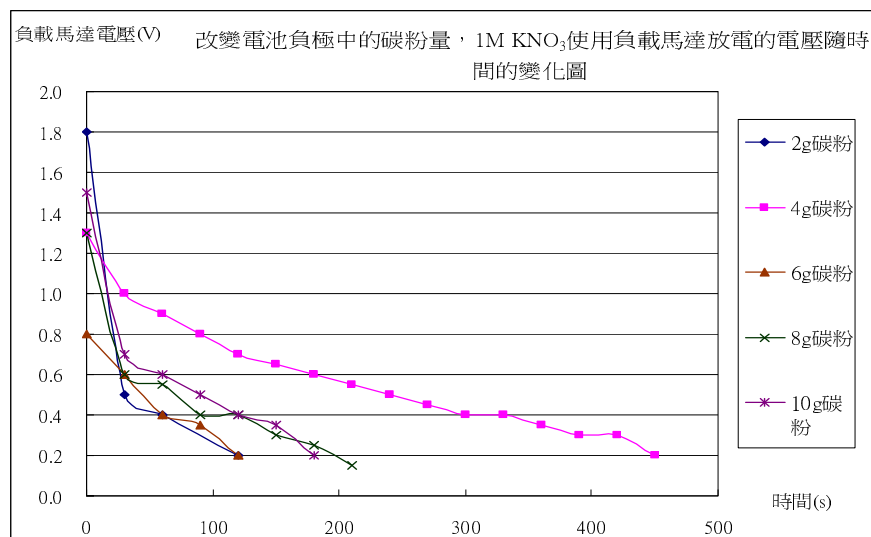
使用不同種類的電解質溶液，電池充電與直接以內電阻放電比較表

電解質種類	充電電能(J)	放電電能(J)	充放電能轉換率(%)	電池平均內電阻(Ω)	放電至 0.2V 時間(秒)
1M	528.0	21.1	3.96%	18.8	1320
飽和 K_2SO_4	395.3	29.0	7.35%	24.3	1710
1M NaOH	735.8	47.4	6.44%	14.1	1500
1M KOH	720.0	38.8	5.39%	15.6	1230

- 1.從電壓與電流變化圖，NaOH 和 KOH 的電壓和電流較大，飽和 K_2SO_4 和 KNO_3 較小。
- 2.由電阻變化圖，電阻大小依序為飽和 $K_2SO_4 > 1M KNO_3 > 1M KOH > 1M NaOH$ 。
- 3.由電功率變化圖，NaOH 和 KOH 相近較大，而飽和 K_2SO_4 和 KNO_3 相近較小，
- 4.外加充電電壓 5V、6min，充電電能：1M NaOH > 1M KOH > 1M $KNO_3 >$ 飽和 K_2SO_4 。
- 5.放電電能：1M NaOH > 1M KOH > 飽和 $K_2SO_4 > 1M KNO_3$ ，和圖表的變化相同。
- 6.整體充放電能轉換率大小依序為：飽和 $K_2SO_4 > 1M NaOH > 1M KOH > 1M KNO_3$ 。

六、探討改變電池負極中的碳粉量，如何影響氫氧電池的充電和放電情形。

(一)使用 1M KNO_3 當電解質溶液，負載馬達放電

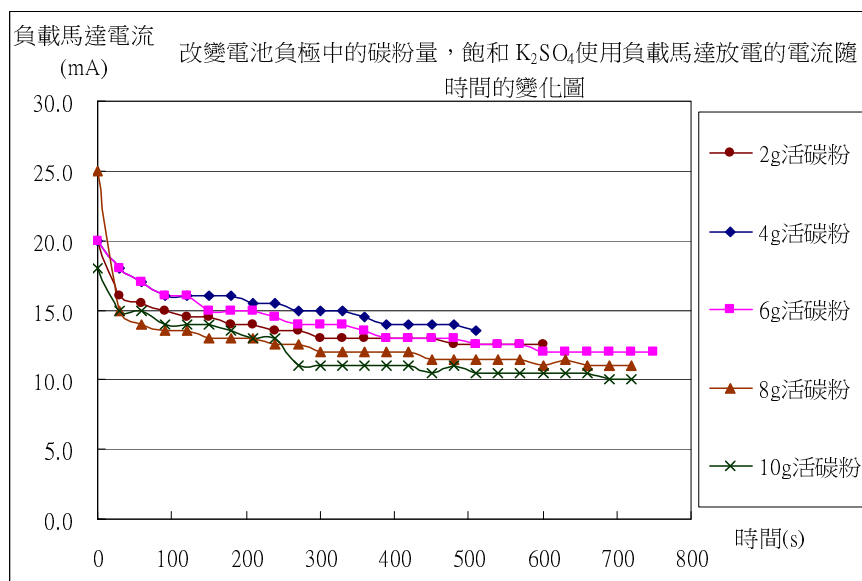
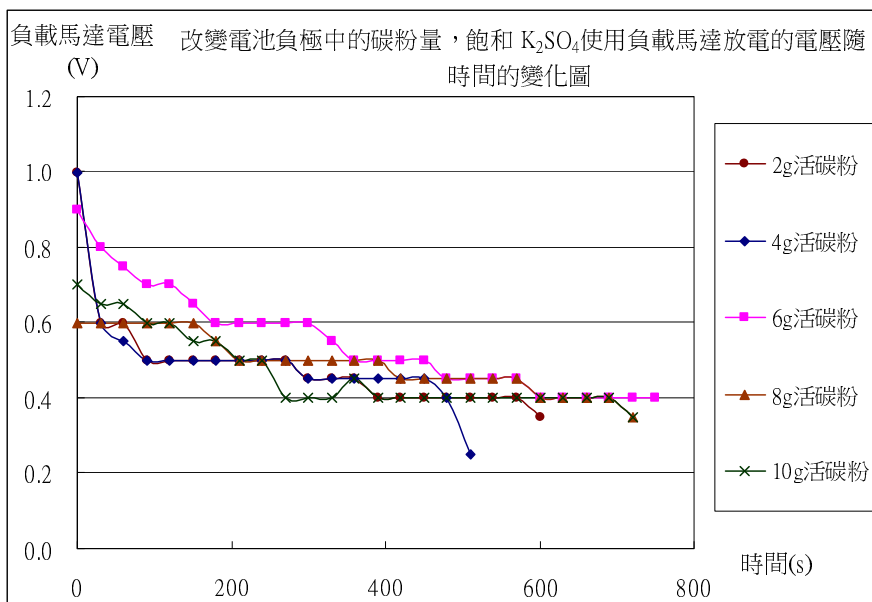


改變電池負極中的碳粉量，1M KNO₃ 充電與負載馬達放電比較表

負極碳粉量(g)	充電電能(J)	放電電能(J)	充放電能轉換率(%)	放電至 0.4V 時間(秒)
2	450.0	0.93	0.21%	120
4	534.0	4.28	0.80%	450
6	429.0	0.86	0.20%	120
8	505.5	1.43	0.28%	210
10	498.0	1.74	0.35%	180

- 1.放電電壓 4g 明顯較高，而放電電流 4g > 2g > 6g > 8g > 10g，碳粉多，電流較小。
- 2.由馬達負載放電時間和轉換率，正極碳粉 4g 與負極碳粉 4g 的活性碳粉棒最佳。
- 3.放電電能與電能轉換率：4g > 10g > 8g > 2g > 6g，使用較多碳粉 8g 和 10g 碳粉棒放電時間較長，轉換率不高。

(二)使用飽和 K₂SO₄ 當電解質溶液，負載馬達放電

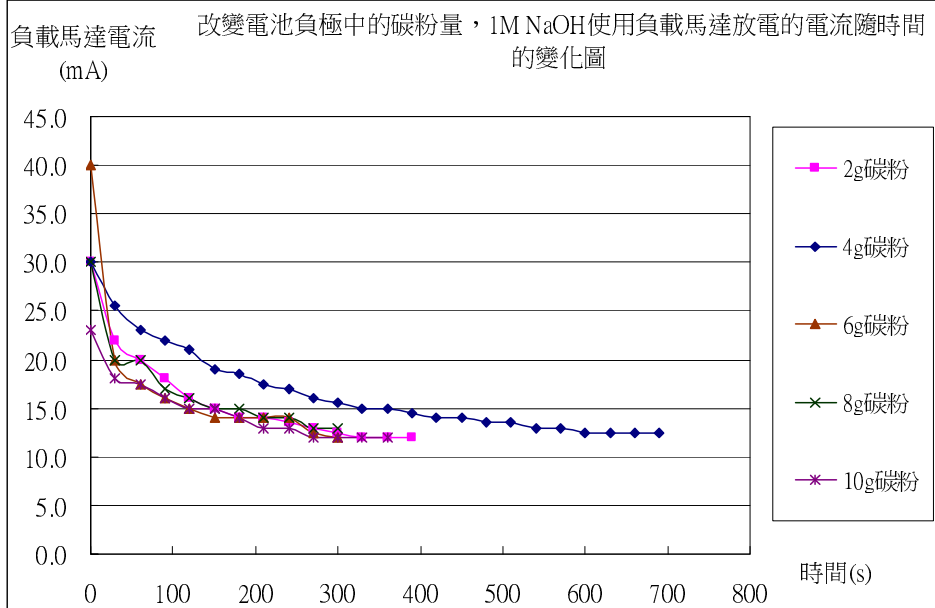
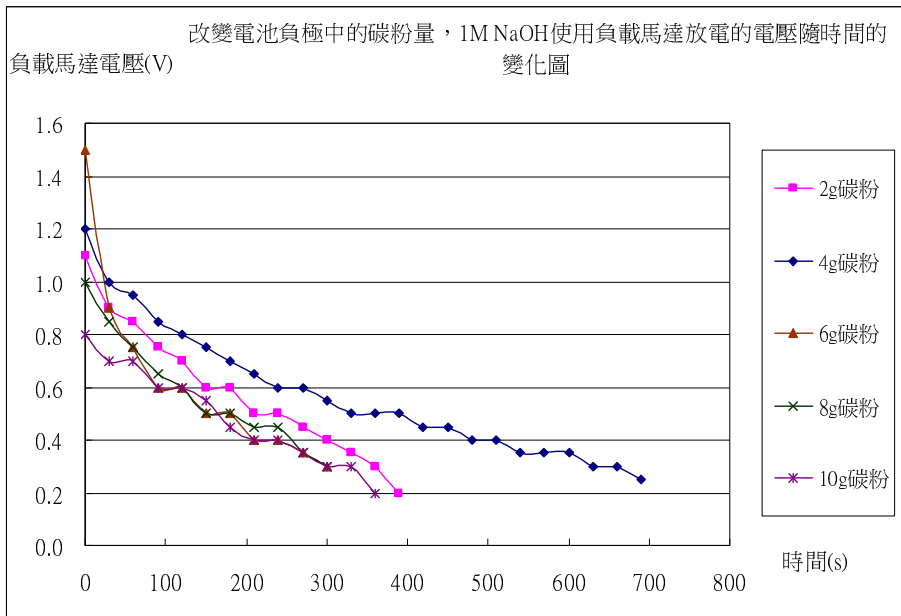


改變電池負極中的碳粉量，飽和 K₂SO₄ 充電與負載馬達放電比較表

負極碳粉量(g)	充電電能(J)	放電電能(J)	充放電能轉換率(%)	放電至 0.4V 時間(秒)
2	411.8	4.01	0.97%	600
4	418.5	3.94	0.94%	510
6	406.5	5.85	1.44%	750
8	449.3	4.50	1.00%	720
10	449.3	4.12	0.92%	720

- 1.放電電壓 6g 明顯較高，而放電電流 4g > 6g > 2g > 8g > 10g，碳粉多，電流較小。
- 2.無論馬達負載放電時間和轉換率，以正極碳粉 4g 與負極碳粉 6g 的活性碳粉棒為最佳。
- 3.飽和 K₂SO₄ 溶液，放電時間：6g > 8g = 10g > 2g > 4g。碳粉多，放電時間長。
- 4.由表中充電電能知，加入碳粉多，充電時電流略大，充電電能略大。

(三)使用 1M NaOH 當電解質溶液，負載馬達放電

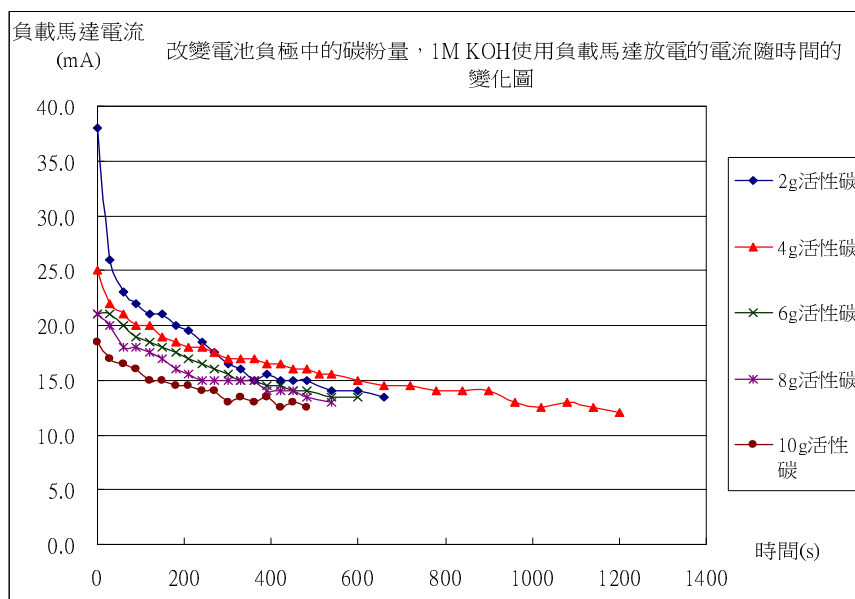
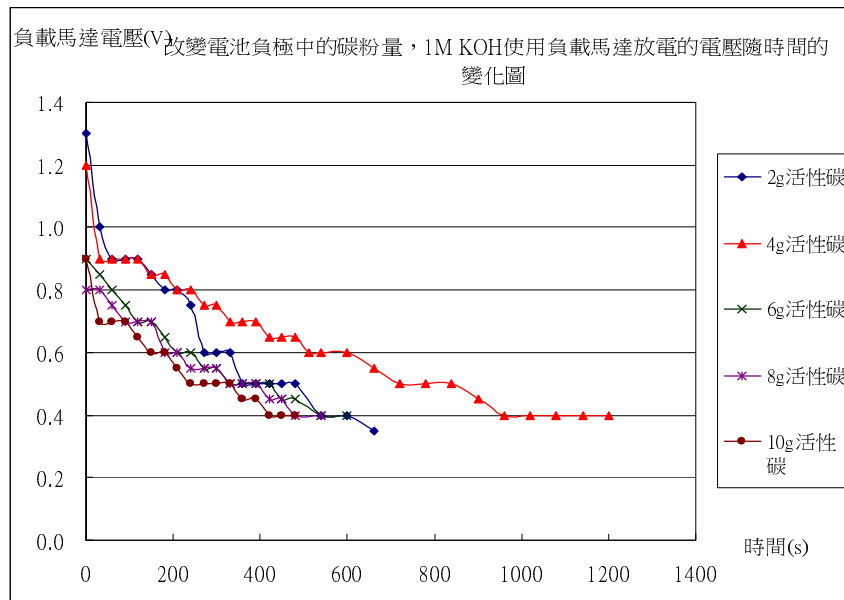


改變電池負極中的碳粉量，1M NaOH 充電與負載馬達放電比較表

負極碳粉量(g)	充電電能(J)	放電電能(J)	充放電能轉換率(%)	放電至 0.4V 時間(秒)
2	687.0	3.87	0.56%	390
4	792.8	7.08	0.89%	690
6	601.5	3.33	0.55%	300
8	879.0	3.05	0.35%	300
10	723.8	2.71	0.37%	360

- 1.放電電壓 4g 明顯較高， $4g > 2g > 6g \approx 8g \approx 10g$ ，放電電流 $4g > 2g \approx 6g \approx 8g \approx 10g$ ，碳粉多，電流略小。
- 2.負極使用碳粉 4g 活性碳粉棒電壓和電流皆較大，且放電時間最長，最佳組合。
- 3.放電轉換率 $4g > 2g > 6g > 10g > 8g$ ，使用 8g 和 10g 碳粉棒的轉換率不佳。

(四)使用 1M KOH 當電解質溶液，負載馬達放電



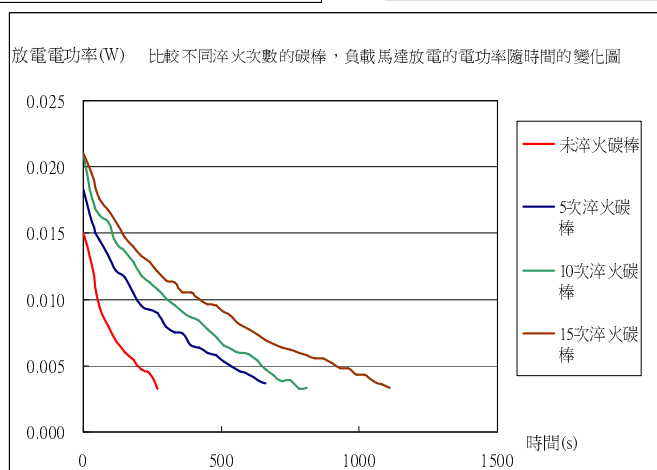
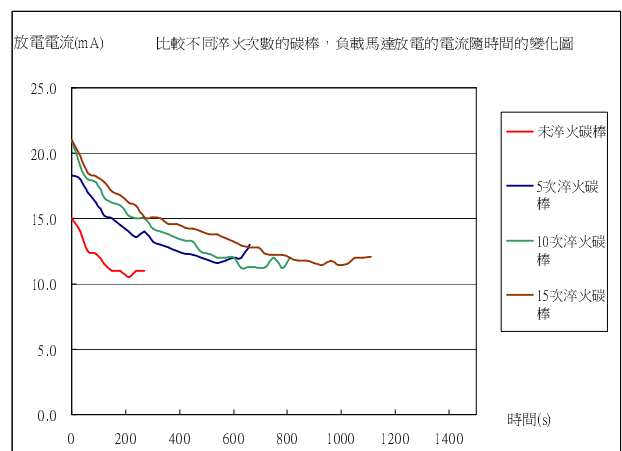
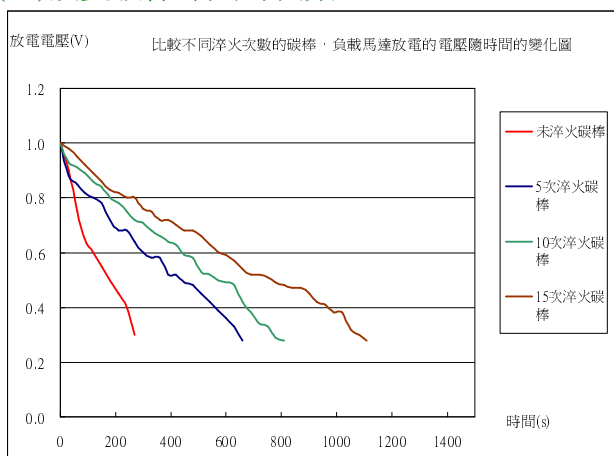
改變電池負極中的碳粉量，1M KOH 充電與負載馬達放電比較表

負極碳粉量(g)	充電電能(J)	放電電能(J)	充放電能轉換率(%)	放電至 0.4V 時間(秒)
2	943.5	7.64	0.81%	600
4	866.3	9.87	1.14%	1200
6	804.0	5.46	0.68%	600
8	768.8	4.83	0.63%	540
10	705.0	3.91	0.55%	480

- 1.放電電壓 $4g > 2g > 6g > 8g > 10g$ ，4g 明顯較高，放電電流 $2g > 4g > 6g > 8g > 10g$ ，碳粉越少，電流越大。
- 2.馬達負載放電時間和轉換率，正極碳粉 4g 與負極碳粉 4g 的活性碳粉棒為最佳組合。
- 3.使用較多碳粉 8g 和 10g 碳粉棒無論放電時間和轉換率都不佳。
- 4.由表中充電電能，加入碳粉多會使充電時的電流較小，充電電能較小。
- 5.除飽和 K_2SO_4 外，碳粉 4g 的電壓較大，而電流亦以 4g 最大，碳粉量有助於硝酸鉀和飽和 K_2SO_4 增加放電時間，但氫氧化鈉和氫氧化鉀則否。

七、探討不同處理的活性碳粉碳棒電極，如何影響氫氧電池的充電和放電情形。

(一)改變碳棒淬火的次數



改變碳棒淬火的次數，1M KOH 充電與負載馬達放電比較表

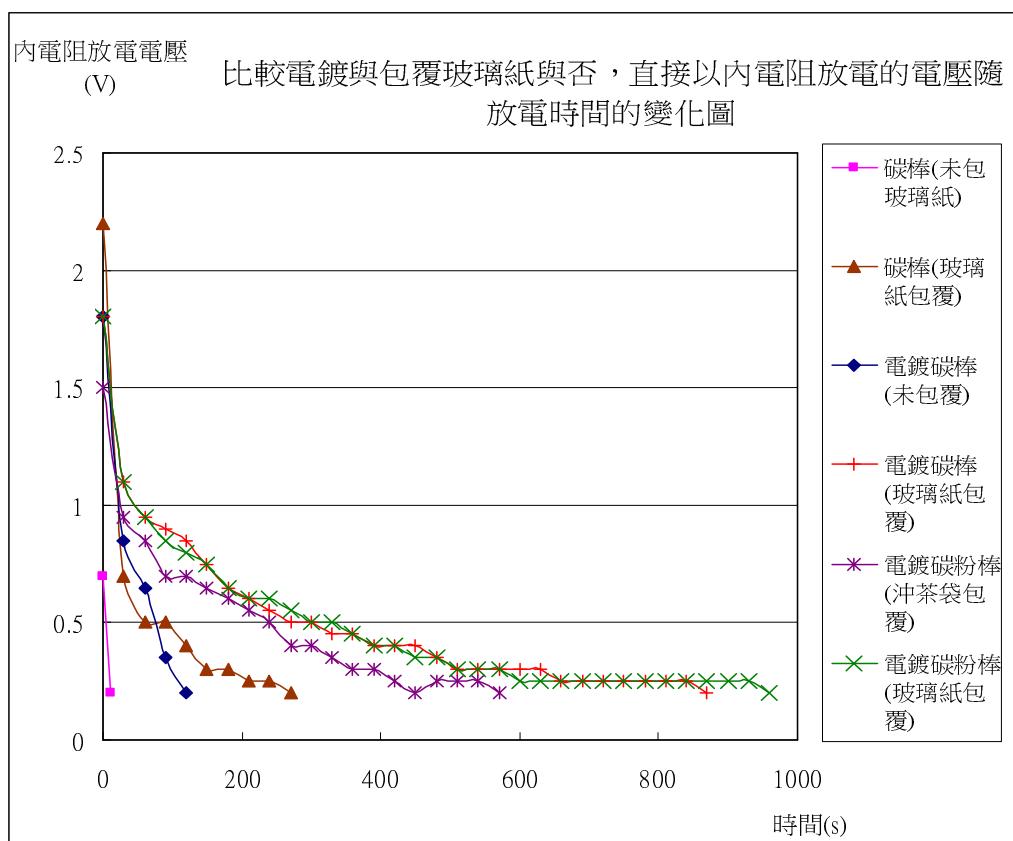
負極碳棒處理	充電電能(J)	放電電能(J)	充放電能轉換率(%)	放電至 0.4V 時間(秒)
未淬火碳棒	232.9	4.2	1.79%	240
5 次淬火碳棒	262.5	5.6	2.14%	570
10 次淬火碳棒	258.2	7.4	2.88%	690
15 次淬火碳棒	270.8	10.3	3.80%	990

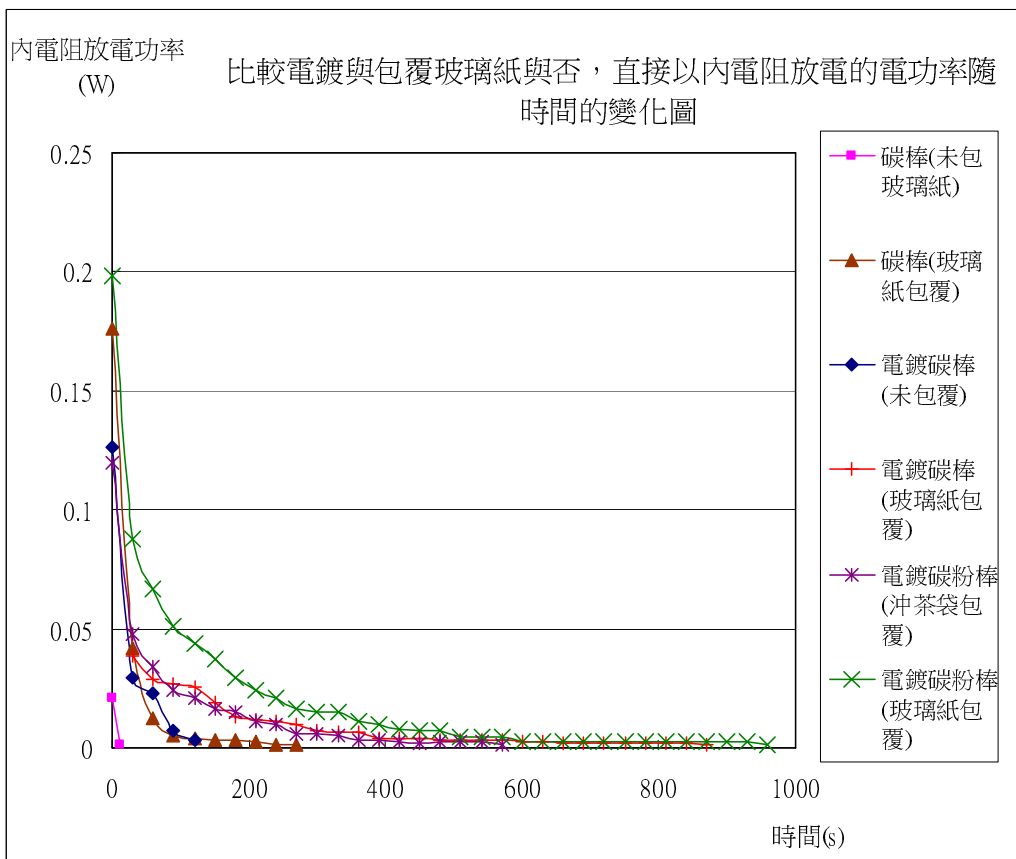
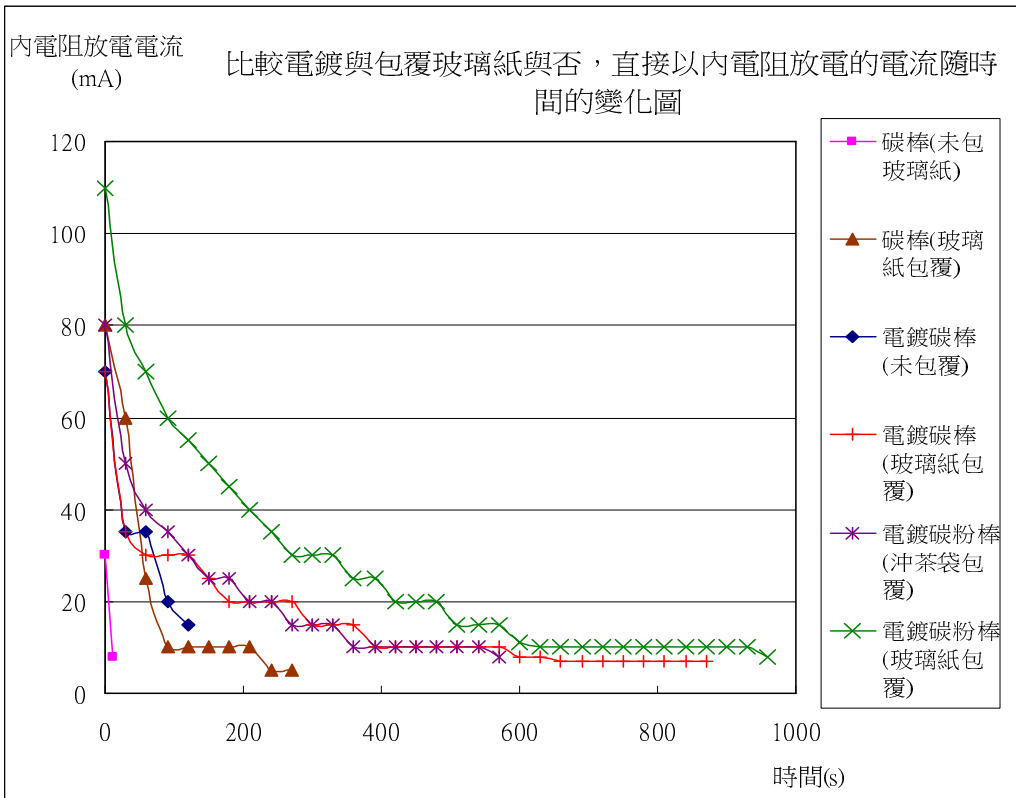
小結：碳棒淬火越多次，充放電能轉換率越高和放電至 0.4V 時間越長

(二)比較碳棒有無電鍍與包覆玻璃紙

比較碳棒有無電鍍與包覆玻璃紙，1M KOH 充電與內電阻放電比較表

碳棒處理	充電電能(J)	放電電能 (J)	充放電能轉換率 (%)	放電至 0.2V 時間(秒)
碳棒(未包覆)	1980.0	0.12	0.01%	11
碳棒(玻璃紙包覆)	490.5	4.85	0.99%	270
電鍍碳棒(未包覆)	1185.0	3.72	0.31%	120
電鍍碳棒(玻璃紙包覆)	705.0	9.32	1.32%	870
電鍍碳粉棒(沖茶袋包覆)	966.0	8.26	0.85%	570
電鍍碳粉棒(玻璃紙包覆)	765.0	17.64	2.31%	960

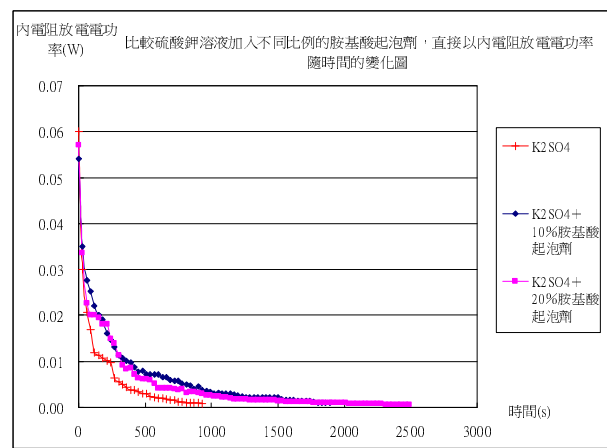
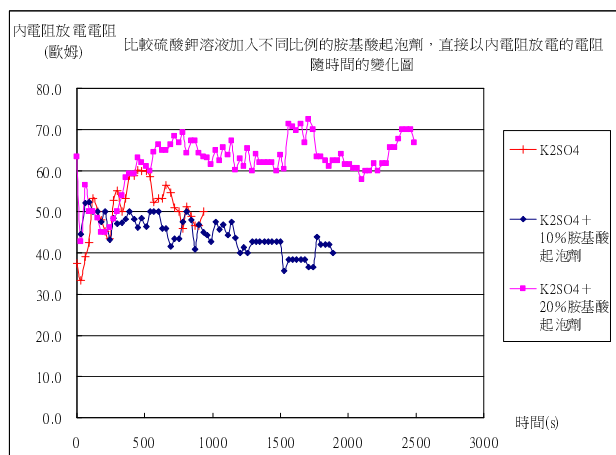
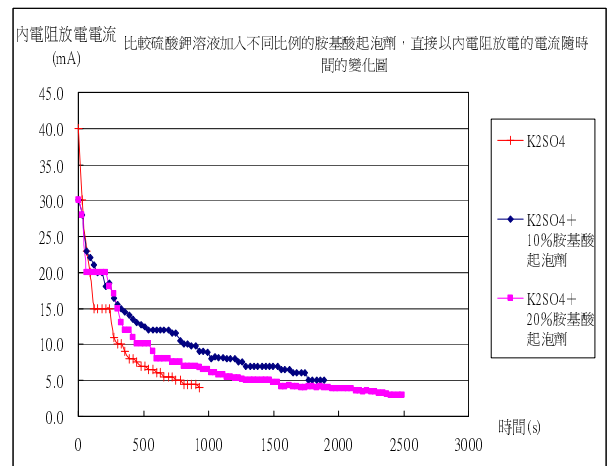
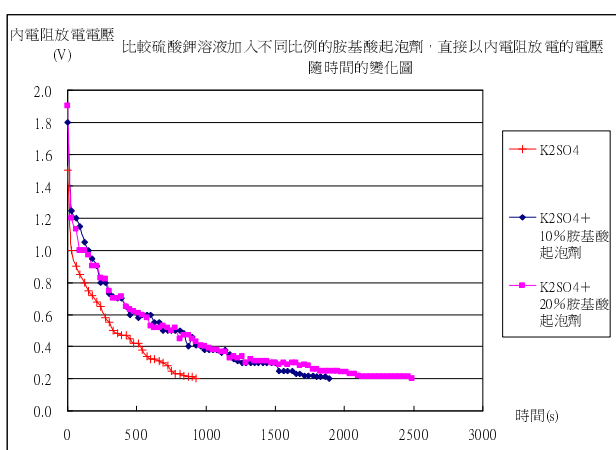




- 1.比較電壓變化圖：電鍍碳粉棒(玻璃紙包覆)和電鍍碳棒(玻璃紙包覆) > 電鍍碳粉棒(沖茶袋包覆) > 電鍍碳棒(未包覆)和碳棒(玻璃紙包覆) > 碳棒(未包覆)。
- 2.比較電流變化圖：電鍍碳粉棒(玻璃紙包覆) > 電鍍碳棒(玻璃紙包覆)和電鍍碳粉棒(沖茶袋包覆) > 電鍍碳棒(未包覆)和碳棒(玻璃紙包覆) > 碳棒(未包覆)。
- 3.比較電功率變化圖：電鍍碳粉棒(玻璃紙包覆) > 電鍍碳棒(玻璃紙包覆) > 電鍍碳粉棒(沖茶袋包覆) > 電鍍碳棒(未包覆)和碳棒(玻璃紙包覆) > 碳棒(未包覆)。
- 4.電能轉換率，電鍍碳粉棒(玻璃紙包覆) > 電鍍碳棒(玻璃紙包覆) > 碳棒(玻璃紙包覆) > 電鍍碳粉棒(沖茶袋包覆) > 電鍍碳棒(未包覆) > 碳棒(未包覆)。

八、探討不同電解質溶液加入起泡劑後，如何影響氫氧電池的充電和放電情形。

(一)比較硫酸鉀溶液加入不同比例的胺基酸起泡劑

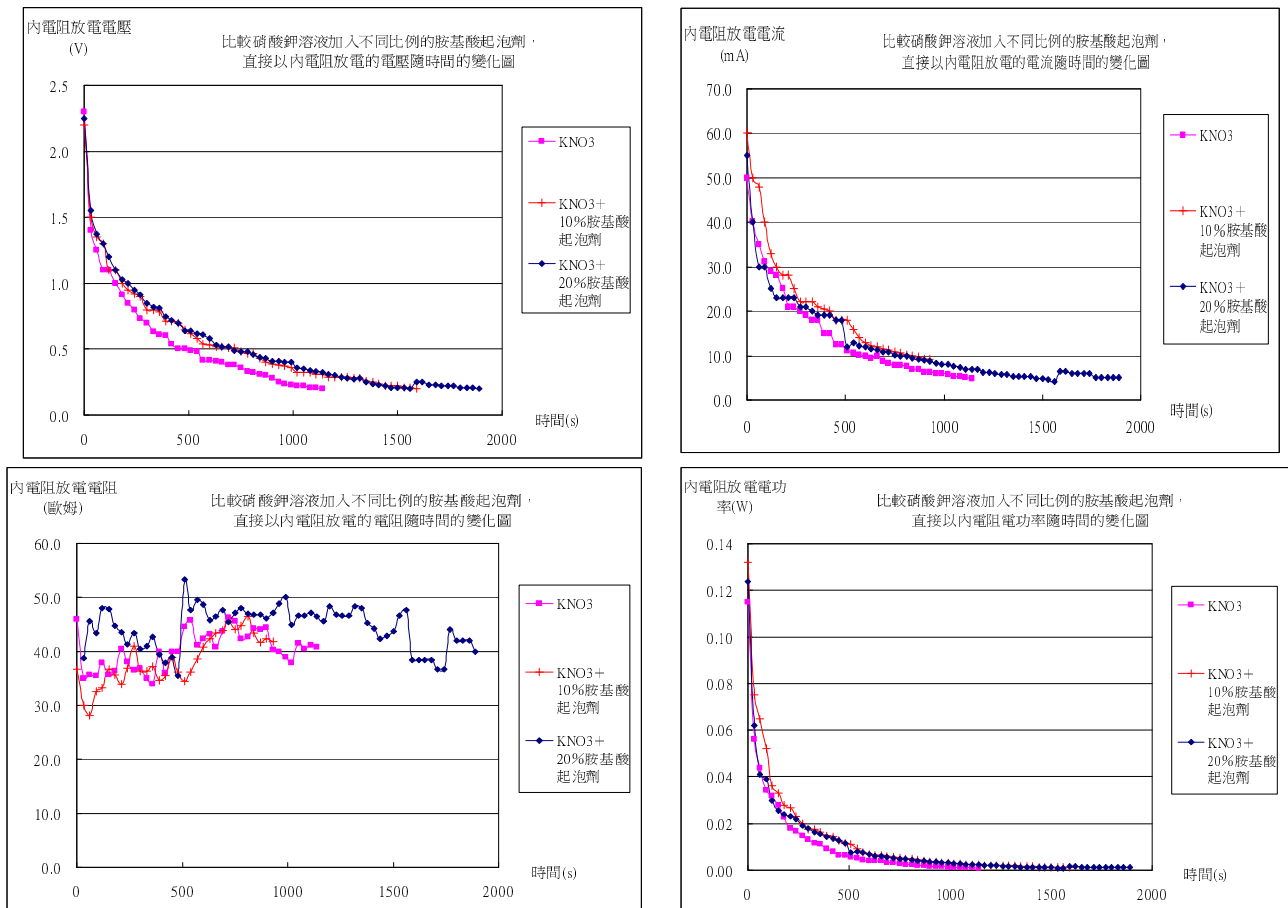


比較硫酸鉀溶液加入不同比例的胺基酸起泡劑，充電與內電阻放電比較表

溶液起泡劑成分	充電電能(J)	放電電能(J)	充放電能轉換率(%)	放電至 0.2V 時間(秒)
硫酸鉀水溶液	870.3	6.29	0.72%	450
硫酸鉀與 10%胺基酸起泡劑	804.9	13.17	1.64%	930
硫酸鉀與 20%胺基酸起泡劑	680.1	11.79	1.73%	1890

- 1.電壓變化圖：硫酸鉀與 10%胺基酸起泡劑 = 硫酸鉀與 20%胺基酸起泡劑 > 硫酸鉀。
- 2.電流變化圖：硫酸鉀與 10%胺基酸起泡劑 > 硫酸鉀與 20%胺基酸起泡劑 > 硫酸鉀。
- 3.電阻變化圖：硫酸鉀與 20%胺基酸起泡劑 > 硫酸鉀與 10%胺基酸起泡劑 = 硫酸鉀。
- 4.電功率變化圖：硫酸鉀與 10%胺基酸起泡劑 = 硫酸鉀與 20%胺基酸起泡劑 > 硫酸鉀。
- 5.電能轉換率：硫酸鉀與 20%胺基酸起泡劑 > 硫酸鉀與 10%胺基酸起泡劑 > 硫酸鉀。

(二)比較硝酸鉀溶液加入不同比例的胺基酸起泡劑

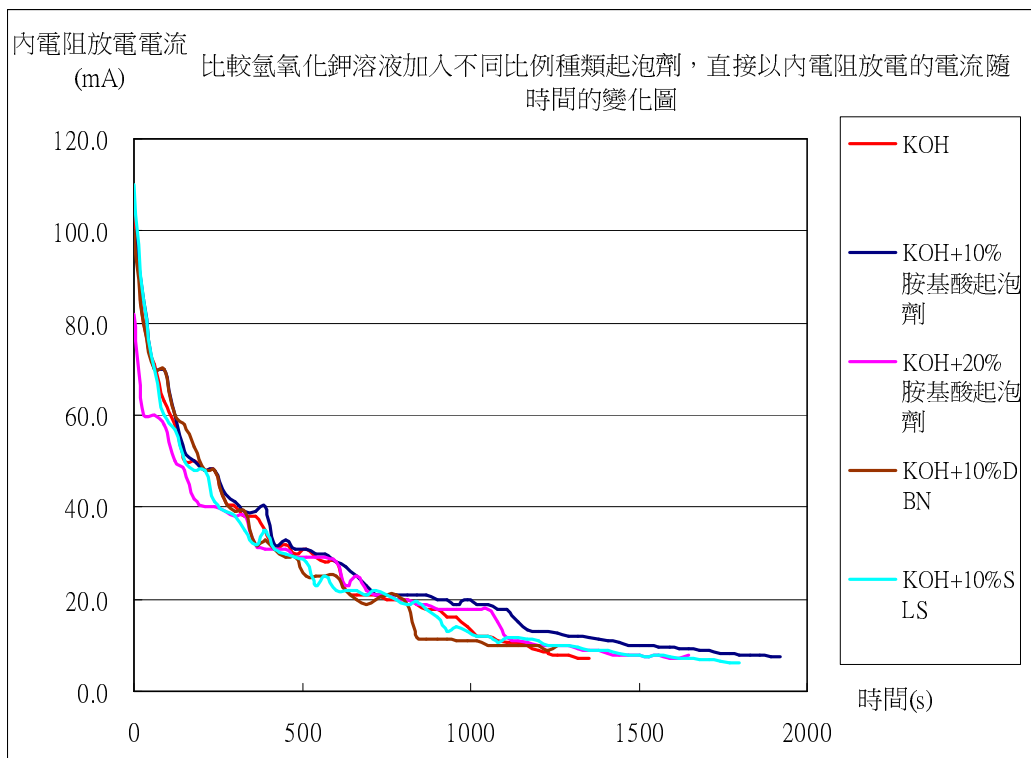
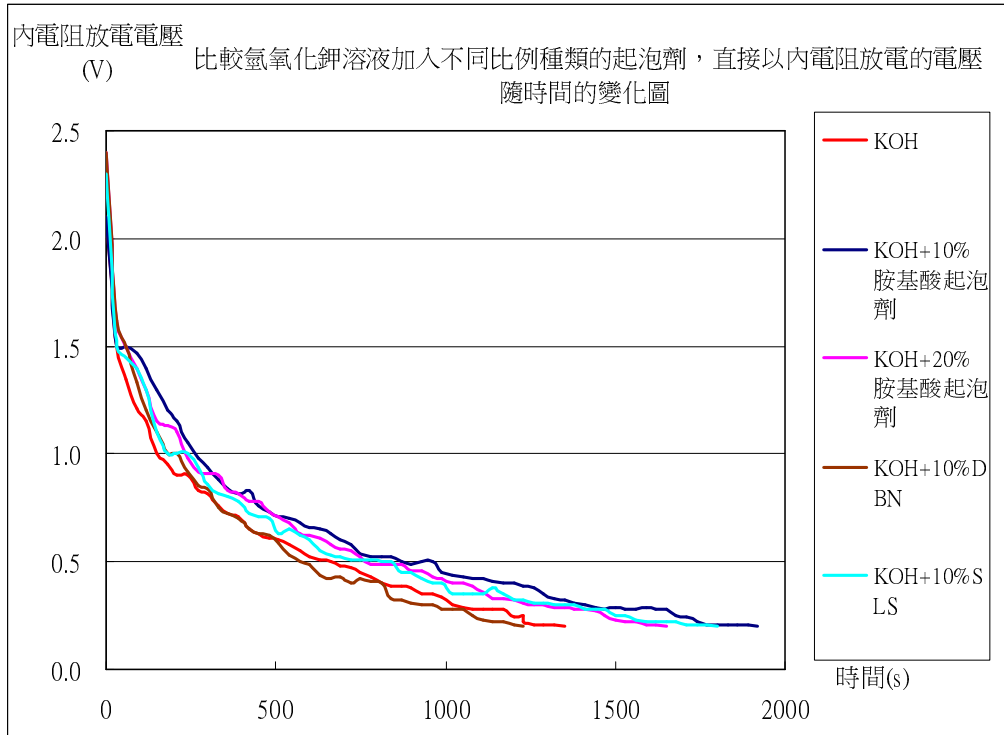


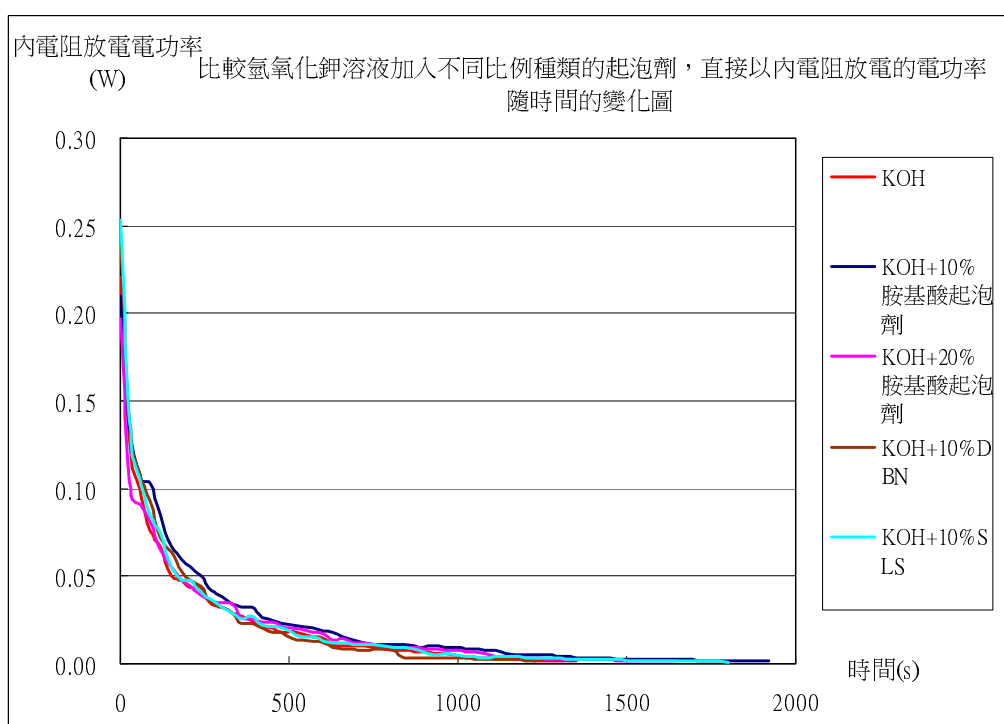
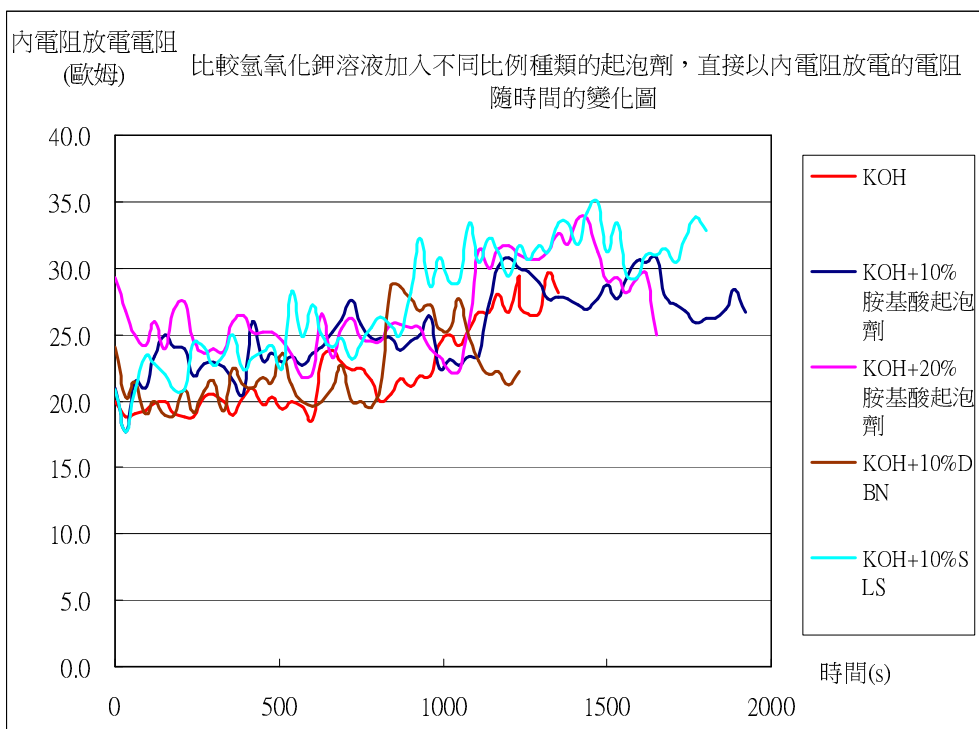
比較硫酸鉀溶液加入不同比例的胺基酸起泡劑，充電與內電阻放電比較表

溶液起泡劑成分	充電電能(J)	放電電能(J)	充放電能轉換率(%)	放電至 0.2V 時間(秒)
硝酸鉀水溶液	982.5	13.3	1.35%	1140
硝酸鉀與 10%胺基酸起泡劑	1000.8	19.8	1.98%	1590
硝酸鉀與 20%胺基酸起泡劑	889.8	17.5	1.97%	1890

- 1.電壓變化圖：10%胺基酸起泡劑 = 20%胺基酸起泡劑 > 硝酸鉀。
- 2.電流變化圖：10%胺基酸起泡劑 > 20%胺基酸起泡劑 > 硝酸鉀。
- 3.電阻變化圖：20%胺基酸起泡劑 > 10%胺基酸起泡劑 = 硝酸鉀。
- 4.電功率變化圖：10%胺基酸起泡劑 > 20%胺基酸起泡劑 > 硝酸鉀。
- 5.充放電能轉換率：10%胺基酸起泡劑 > 20%胺基酸起泡劑 > 硝酸鉀。

九、探討 KOH 溶液中加入不同濃度與種類起泡劑，如何影響氫氧電池充電和放電情形。



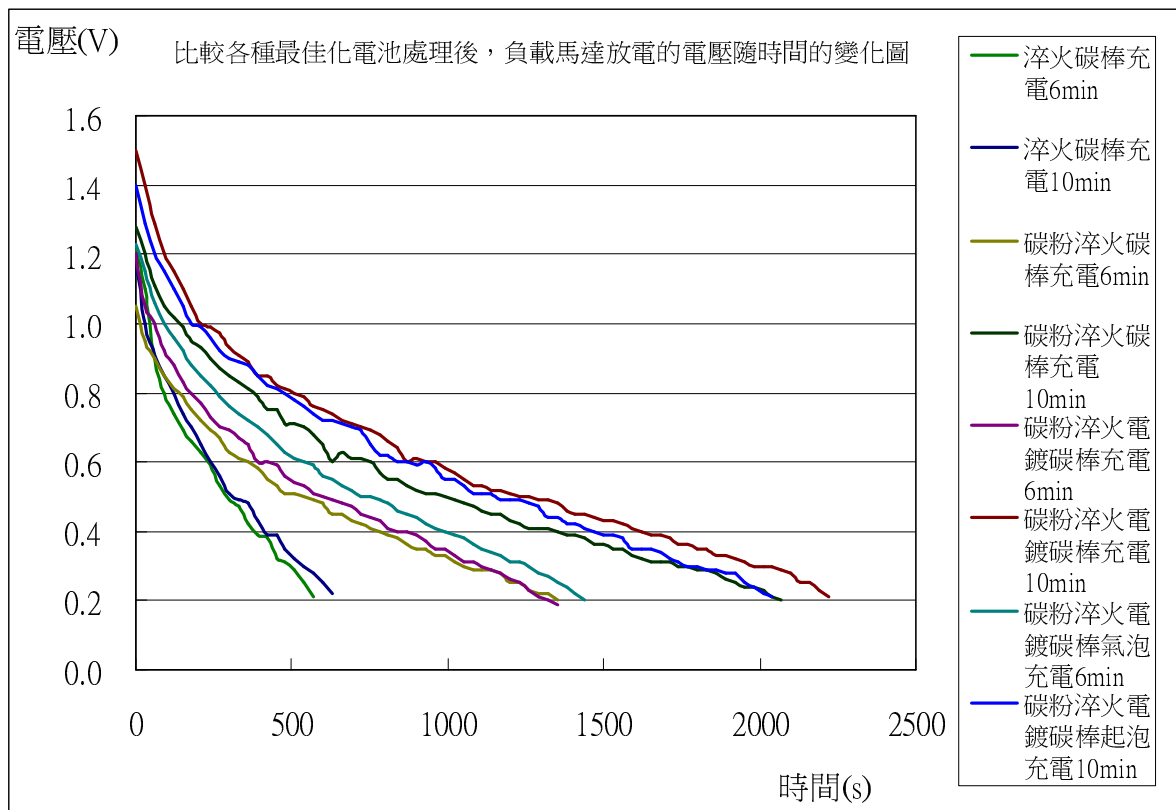


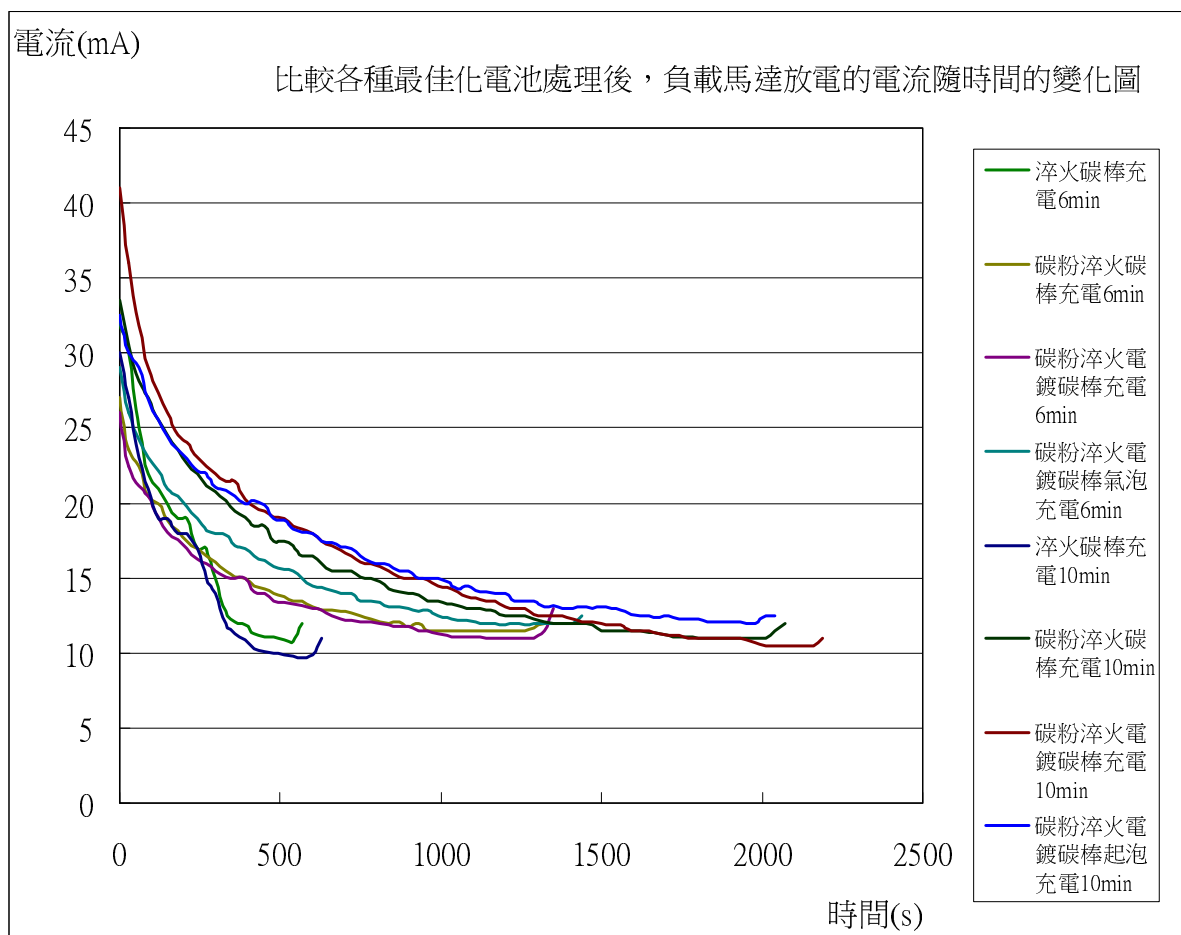
比較 KOH 溶液加入不同比例和種類的起泡劑，充電與內電阻放電比較表

溶液起泡劑成分	充電電能(J)	放電電能(J)	充放電能轉換率(%)	放電至 0.2V 時間(秒)
KOH 水溶液	1845.0	31.8	1.72%	1350
KOH 與 10%胺基酸起泡劑	1812.0	40.8	2.25%	1920
KOH 與 20%胺基酸起泡劑	1714.2	33.6	1.96%	1650
KOH 與 10%DBN 起泡劑	1887.0	32.4	1.72%	1260
KOH 與 10%SLS 起泡劑	1947.0	35.1	1.80%	1800

- 1.電壓變化圖：10%胺基酸起泡劑 \geq 20%胺基酸起泡劑 $>$ KOH 水溶液。
- 2.電流變化圖：10%胺基酸起泡劑 \geq KOH 水溶液 $>$ 20%胺基酸起泡劑。
電壓與電流大小依序為：10%胺基酸起泡劑 $>$ 10%SLS 起泡劑 $>$ 10%DBN 起泡劑。
- 3.電阻變化圖：10%SLS 起泡劑 $>$ 20%胺基酸起泡劑 $>$ 10%胺基酸起泡劑 $>$ 10%DBN 起泡劑 \approx KOH 水溶液。
- 4.電功率變化圖：10%胺基酸起泡劑 $>$ 20%胺基酸起泡劑 $>$ 10%SLS 起泡劑 $>$ 10%DBN 起泡劑 \geq KOH 水溶液。
- 5.充放電能轉換率：10%胺基酸起泡劑 $>$ 20%胺基酸起泡劑 $>$ 10%SLS 起泡劑 $>$ 10%DBN 起泡劑 $=$ KOH 水溶液。
- 6.電壓、電流和電阻的變化圖：胺基酸起泡劑濃度增加電阻，不利電池功率。
- 7.使用 10%SLS 起泡劑，電壓和電流同時增加，但是電阻亦變大，SLS 可提高電壓和電能，但是電阻太大而降低整體放電效能。
- 8.使用 10%DBN 起泡劑，則對於電壓和電流都最小，呈現出無助於整體放電效果。

十、綜合最佳化的氫氧燃料電池的充電與放電情形。





比較各種電池最佳化處理，充電與負載馬達放電比較表

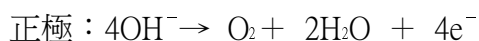
處理方式	充電時間 (min)	充電電能(J)	放電電能(J)	充放電能轉換率(%)	放電至 0.4V 時間(秒)	馬達停止的時間(秒)
淬火碳棒	6	475.5	6.2	1.30%	360	581
碳粉淬火碳棒	6	420.0	10.1	2.42%	780	1360
碳粉淬火電鍍碳棒	6	437.3	10.6	2.42%	870	1351
碳粉淬火電鍍碳棒氣泡	6	427.1	13.7	3.21%	990	1440
淬火碳棒	10	793.5	6.1	0.77%	420	630
碳粉淬火碳棒	10	748.9	19.7	2.63%	1350	2116
碳粉淬火電鍍碳棒	10	744.4	24.8	3.33%	1620	2252
碳粉淬火電鍍碳棒氣泡	10	636.2	22.6	3.55%	1470	2051

1. 電能轉換率：碳粉淬火電鍍碳棒氣泡 > 碳粉淬火電鍍碳棒 > 碳粉淬火碳棒 > 淬火碳棒。
2. 比較碳粉淬火碳棒和碳粉淬火電鍍碳棒，在高充電時間時電鍍可提高碳棒活化。
3. 碳粉淬火電鍍碳棒氣泡充電電能小，充電時間長時影響較大，會縮短馬達放電時間。
4. 碳粉淬火電鍍碳棒氣泡處理：電能轉換率 3.55%，充電 5V 時間 6min，放電 24min 達 4 倍。

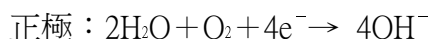
陸、討論

一、氫氧燃料電池的化學反應原理：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。理論值約產生 1.23 V 的電壓。

充電時：碳棒分別儲存氧和氫：



放電時：



二、實驗一，先嘗試未處理碳棒、淬火碳棒和淬火碳粉棒三種，可知未處理碳棒無法充電，而經燒烤淬火的方式處理過的碳棒，充電可以讓馬達轉動放電，充電 1—4 分鐘的放電時間增加幅度不大，最大約 155 秒—170 秒，經淬火處理並塗抹碳粉棒，可隨增長充電時間增加放電時間，可知碳棒經淬火確實可活化碳棒，但是電能不多且有上限，若加以塗抹碳粉後，電能容量明顯增加許多，並且隨充電時間而改變。初步證實我們所預設的活性碳粉增強燃料電池儲能的功用。

三、實驗二，負載馬達放電，電流和電壓會隨著放電變小，電壓降至約 0.2V 停止，但有時降到 0.4V 就停止，所以進一步探討降至電壓 0.4V 時的時間。馬達轉動速度和電壓與電流變化關係，隨著電壓和電流越小，轉動越來越慢。馬達停止時電流會稍微上升。比較充電 1 分鐘到 6 分鐘，使用降至 0.4V 的時間較馬達停止的時間有較佳的正相關。

四、實驗二，使用 1M KOH、內電阻直接放電，發現內電阻充電 15min 大於 2~5min。放電電能隨充電時間增加而增加，但進一步看充放電能轉換率可知充電 2~5min 較高，而充電 10~15min 增加充電時間電能轉換率卻反之下降。推測原因為充電時間長會因氣體產生多而無法完全吸附而利用，如何增加活性碳粉的吸附量是一個研究方向。接下來實驗改變充電電壓來進一步瞭解產生氣體電能的儲存差異

五、實驗三，使用 1M KOH、充電電壓 3V、6V 和 9V，以內電阻放電，充電電壓 3V，電能轉換率較高，電壓 3V 產生氫氣較慢吸附比率較高；電壓較高(9V)的氫氣吸附較差，造成電能的浪費。進一步觀察數據，充電電壓高，放電時間長，放電電能較少，因此要以內電阻放電了解電池效能必須同時觀察電壓和電流的變化。

以負載馬達放電來看，電能轉換率為 3V > 6V > 9V，外加 6V 和 9V 電壓和電流變化相近，但 3V 則電壓和電流明顯較小。比較內電阻與負載馬達放電，電能轉換率大小關係一致性。

六、實驗四，比較不同濃度 NaOH，隨充電時間增加，放電時間越長。充電後放電的效果：1M > 4M > 0.5M。充電時各種濃度的氫氧化鈉，充電電流約 1100mA，相同充電時間則電能

應相同，但是放電時間卻相異。本實驗多以使用 1.0M 來進行探討。

七、實驗五，探討不同種類電解質溶液，先初步比較硝酸鉀和氫氧化鈉，充電電壓 5V，充電電流分別為 350mA 和 1000mA，可知以 NaOH 當溶液電解水的反應和導電較佳。比較硝酸鉀和氫氧化鈉放電，相同充電時間，負載馬達到停止時間，氫氧化鈉略長於硝酸鉀。但是亦看出充電 6 分鐘時放電時間並無差異。推測充電時間短，充電電流大者，充電時間越長，儲存氫氣多，放電亦多，但時間較長，儲存氣體效果可能不佳，造成放電效能不佳值得進一步探討。

直接以內電阻放電，使用 NaOH 和 KOH 的電壓和電流較大、電阻較小，飽和 K_2SO_4 和 KNO_3 反之。電能放電變化，NaOH 和 KOH 相近較大，而飽和 K_2SO_4 和 KNO_3 相近較小。而電池充放電能轉換率依序：飽和 K_2SO_4 > 1M NaOH > 1M KOH > 1M KNO_3 。因此討論電池效能必須從電壓與電流變化，瞭解用於負載時的最佳效能，但考慮轉換率則必須考慮充電電能的多寡。

八、實驗六，改變負極碳棒的碳粉，比較放電電壓：4g 碳粉(KNO_3 、NaOH、KOH)較高，6g 碳粉(K_2SO_4)較高，而放電電流以 4g 碳粉最大，碳粉越少，電流越大。較多碳粉 8g 和 10g 碳粉棒無論放電時間和轉換率皆不佳。

九、比較放電時間，增加碳粉量有助於硝酸鉀和飽和 K_2SO_4 增加放電時間，但對於氫氧化鈉和氫氧化鉀則沒有。推測 K_2SO_4 與 KNO_3 電流小產生氣體慢，增加碳粉會增加吸附量，但是產生氣體快的(NaOH、KOH)，則無法被吸附，因此產生氣體的快慢可能會影響氣體的吸附能力。本實驗以正極碳粉 4g 與負極碳粉 4g 或 6g 的活性碳粉棒來探討。

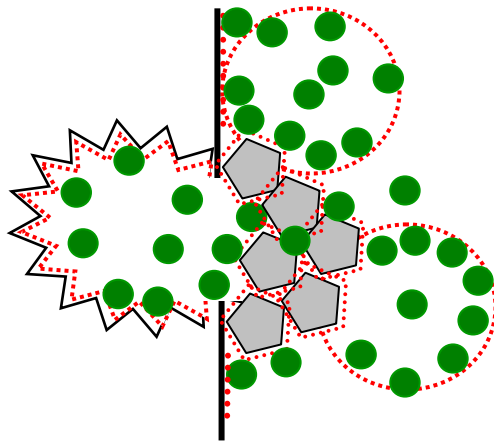
十、實驗七，比較碳粉和電鍍與包覆的影響，比較電壓變化：電鍍碳粉棒(玻璃紙包覆)和電鍍碳粉棒(玻璃紙包覆) > 電鍍碳粉棒(沖茶袋包覆) > 電鍍碳棒(未包覆)和碳棒(玻璃紙包覆) > 碳棒(未包覆)。比較電鍍碳粉棒(沖茶袋包覆) > 電鍍碳棒(未包覆)，沖茶袋無法收集氣體，而玻璃紙可以，可知碳粉增加氫氣吸附量。比較包覆與未包覆，充電後放電時間和充放電轉換率會大幅增加，可知收集氫氣有助於電能增加。進一步比較電鍍與否，電鍍亦會增加碳粉的氫氣吸附的活化能力，以增加電能轉換率。

十一、碳棒(玻璃紙包覆)充電電流小，充電電能最少，進一步觀察碳棒，是由於產生的氣體，將溶液與碳棒隔絕無法導電的緣故。推測碳粉對產生氫氣除有吸附作用外，另一個作用是氣體產生後單純包覆會造成絕緣，而碳粉會形成一個導電的通道。

十二、實驗八，同時觀察電壓和電流變化，以 10% 胺基酸起泡劑 > 20% 胺基酸起泡劑 > 純電解質水溶液。比較電壓、電流和電阻的變化圖，加入胺基酸起泡劑會增加電池效能，但是起泡劑濃度大亦會增加電池的電阻，所以充放電轉換率以 20% 胺基酸起泡劑較大。整體比較起來，加入胺基酸起泡劑硫酸鉀溶液整體表現效能較好，硝酸鉀溶液次之，對於氫氧化鉀溶液則增加的幅度較小。

十三、比較不同種類的起泡劑，電壓與電流大小依序為：10%胺基酸起泡劑 > 10%SLS 起泡劑 > 10%DBN 起泡劑。電阻變化：10%SLS 起泡劑 > 20%胺基酸起泡劑 > 10%胺基酸起泡劑 > 10%DBN 起泡劑 = KOH 水溶液。相對於胺基酸起泡劑，使用 10%SLS 起泡劑，電壓和電流同時增加，但是電阻亦大，可見 SLS 可提高氫氣的使用量而提高電壓和電能，但是電阻太大而降低電能整體放電結果。而使用 10%DBN 起泡劑，則對於電壓和電流都最小，無助於放電效果。結果效益：10%胺基酸起泡劑 > 10%SLS 起泡劑 > 10%DBN 起泡劑。

十四、本實驗增加電池效能的處理，可有效增加反應面積，如下圖。包括淬火、電鍍和添加活性碳粉、包覆收集氣體、加入起泡劑氫氣泡法等。比較碳粉淬火碳棒和碳粉淬火電鍍碳棒，充電 6min 和 10min，在高充電時間時電鍍更明顯表現提高碳棒活化。碳粉淬火電鍍碳棒氣泡充電電能小，充電時間長影響較大，會縮短馬達放電的時間。碳粉淬火電鍍碳棒氣泡處理：電能轉換率 3.55%，使用 5V，充電 6min 可放電 24min 達 4 倍使用時間。



柒、結論

- 一、碳棒經淬火確實可活化碳棒，若加以塗抹碳粉後，電容量明顯增加許多，並且隨充電時間而增加電能，證實活性碳粉增強燃料電池的功用。
- 二、電池充電時間長，會增加電池電能，負載馬達放電時間長，但是產生的氣體會造成內電阻增加，充放電能轉換率會降低。
- 三、充電時間長或充電電壓大，仍會因氣體產生多或快而無法完全吸附利用，充放電能轉換率會降低。如何增加活性碳粉的吸附量是一個研究方向。
- 四、比較不同濃度的 NaOH 溶液，充電後放電的效果：1M > 4M > 0.5M。並隨充電時間的增加，放電的時間越長。
- 五、比較不同種類電解質溶液，使用 NaOH 和 KOH 的電壓和電流較大、電阻較小，電解水反應和導電較佳；飽和 K_2SO_4 和 KNO_3 反之。放電效能仍以 NaOH 和 KOH 為佳，但轉換率則因充電電流小，以飽和 K_2SO_4 為大。
- 六、比較負極碳棒的碳粉，碳粉不多，電流較大，以 4g 碳粉為佳。使用太多碳粉放電效能不

佳。但是增加碳粉量，有助於硝酸鉀和飽和 K_2SO_4 增加放電時間，但對於氫氧化鈉和氫氧化鉀則不顯著。

七、比較包覆與未包覆收集氣體，可知收集氫氣有助於電能的增加。電鍍亦會增加碳粉氫氣吸附的活化能力，增加電能轉換率。

八、電解質溶液加入胺基酸起泡劑會增加電池效能，但是起泡劑會增加電池電阻。起泡劑對於硫酸鉀表現效能較好，硝酸鉀次之，對於氫氧化鉀則效能增加的幅度較小。

九、比較不同種類的起泡劑，結果效益：10%胺基酸起泡劑 > 10%SLS 起泡劑 > 10%DBN 起泡劑。使用 SLS 起泡劑提高氫氣的使用量，但是電阻太大而降低放電效能。而使用 10% DBN 起泡劑，無助於放電效果。

十、本實驗增加燃料電池效能的處理，包括淬火、電鍍和添加活性碳粉、包覆收集氣體、加入起泡劑氫氣泡法等可增加電池效能。

十一、未來方向

(一)本實驗製作出國中實驗中簡易的氫氧燃料電池，可進一步繼續探究實驗變因，如何提高充電的效率與放電時的電池效能，更做出國中學習教材的實驗電池。

(二)探討瞭解運用活性碳粉的高導電性和高孔隙的性質於可以充電儲存電能的電池中。

(三)嘗試使用其它電解質溶液與起泡劑，更進一步探討氫氣泡的作用，瞭解燃料電池氫氣和氧氣在溶液中固相、液相和氣相間運作的可行性。

捌、參考資料

康軒出版社自然與生活科技領域編輯群 (民 99)。國中自然與生活科技第一至四冊。康軒出版社。新北市。

方金祥、游苑平 (民 93)。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。

曾億信等 (民 96)。活躍太陽能的寶特瓶燃料電池。中華民國第 47 屆中小學科學展覽作品。臺北市。

夏有為等 (民 95)。綠色大地－寶特瓶簡易「燃料電池」。中華民國第 46 屆中小學科學展覽作品。雲林縣。

張維軒等 (民 97)。廢棄乾電池大變身－燃料電池。中華民國第 48 屆中小學科學展覽作品。南投縣。

葉鎮宇等 (民 100)。氫「氣泡」燃料電池。中華民國第 51 屆中小學科學展覽作品。屏東市。

【評語】 030211

該團隊利用碳棒淬火及塗抹碳粉增加電極活性，製作氫氧電池。並能推動使用馬達。同學們對其工作有充分理解，研究數據齊備，解析清楚俐落，氫氧電池為中學與大學電化學的基本教材，該團隊能利用低廉價格的碳棒，製作氫氧電池，電池結構簡潔，對示範教學應有極大貢獻。