

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 化學科

第三名

080212

揭開自製鋁空氣電池讓風扇連續轉動十個小時
的秘密--電池效能提升之研究

學校名稱：臺中市西屯區永安國民小學

作者： 小六 周欣誼 小六 周佳誼 小六 張千晴 小六 吳睿謙 小四 吳昀臻	指導老師： 邱麗綺 吳建毅
---	-----------------------------

關鍵詞：電池效能、鋁空氣電池、氧氣

摘要

鋁空氣電池是過去科展研究過的題目，但利用備長炭製作的電池是否能重複使用，能讓風扇馬達運轉時間可以多久，以及如何增加鋁空氣電池的放電效能等問題，在過去的報告中並未深入研究，故引發我們研究的動機。在一系列的實驗下，我們歸納出五點發現：一、導電性好的備長炭，所製作的鋁空氣電池效能會較好。二、備長炭製作的鋁空氣電池，備長炭可以重複使用。三、備長炭濕度稍高，鋁空氣電池讓風扇馬達運轉的時間較長。四、鋁空氣電池的運轉需要氧氣，增加氧氣濃度可以提高電池效能。五、透過補充食鹽水改良的設計，會提高影響鋁空氣電池的效能讓馬達風散連續運轉超過十小時，電量相當於兩顆三號碳鋅電池，此結果希望對發展環保電池有貢獻。

壹、研究動機

偶然間在 youtube 上看到利用備長炭、鋁箔和食鹽水製作鋁空氣電池(圖一)，引起我們的興趣，我們上網搜尋過去相關鋁空氣電池的相關科展研究，發現有報告指出鋁空氣電池無法長時間使用(文獻 1)，或是僅針對鋁空氣電池放電進行短時間研究 60 秒(文獻 2)、90 秒(文獻 3)或 100 秒(文獻 4)的電壓電流變化進行測量。我們很好奇這樣的電池到底可以讓影片的风扇運轉多久，由於我們找不到相關數據，所以我們決定親自來試看看，到底風扇可以轉多久。於是我們拿了百貨公司贈送的備長炭做實驗，發現無法讓風扇順利轉動，上網收集相關資料發現需要使用品質良好的備長炭，既然備長炭的品質會左右能否成功製作出鋁空氣電池，於是我們的研究重點將放在如何提升鋁空氣電池的效能，嘗試讓風扇能長時間運轉。



圖一 Youtube 影片-鋁空氣電池的實驗

貳、研究問題

- 一、備長炭的品質如何影響鋁空氣電池的效能？
- 二、備長炭所含水分是否會影響鋁空氣電池的效能？
- 三、氧氣與二氧化碳所佔空氣的比例高低，是否會影響鋁空氣電池的效能？
- 四、如何提升鋁空氣電池的效能，讓馬達能長時間連續轉動？

參、研究設備與器材

一、實驗設備與器材

備長炭(兩個不同來源)	數位式溼度計	酒精	棉線
PASCO 無線溫度計 PS-3201(圖二)	玻璃攪拌棒	小風扇	鐵夾子
PASCO 二氧化碳無線偵測器 PS-3208(圖三)	ASUS Zenfone 手機	電子磅秤	氧氣瓶
PASCO 電壓無線偵測器 PS-3211(圖四)	廚房紙巾	醋	魔術黏土
PASCO 電流無線偵測器 PS-3212(圖五)	鱈魚夾	小蘇打粉	鋁箔紙
PASCO 氧氣偵測器 PS-2126A	手機顯微鏡(×60)	小燈泡	台鹽食鹽
PASCO SPARKlink 主機 Air PS-201(圖六)	1.5V 電池	紗布巾	燒杯
連接 PASCO 設備用的 SPARKvue APP 軟體	透明塑膠盒	濕紙巾	滴管



圖二 PASCO 無線溫度計 PS-3201



圖三 PASCO 二氧化碳無線偵測器 PS-3208



圖四 PASCO 電壓無線偵測器 PS-3212






圖五 PASCO 電流無線偵測器 PS-3211



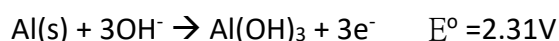
圖六 PASCO 氧氣偵測器 PS-2126A、PASCO SPARKlink 主機 Air PS-201

二、鋁空氣電池

我們參考網路上鋁空氣電池的製作，製作流程如下：

鋁空氣電池的製作步驟	
	
步驟一：在廚房紙巾上滴 4C.C. 食鹽水	步驟二：將廚房紙巾包在備長炭上，廚房紙巾必須小於備長炭長度
	
步驟三：最外層再包上鋁箔紙，鋁箔紙必須小於廚房紙巾寬度，鋁空氣電池便完成	步驟四：將鱷魚夾一端夾住鋁箔紙，一端夾住備長炭，能夠成功啟動風扇馬達

我們由參考資料找到鋁空氣電池的化學反應式如下：



鋁空氣電池理論上的最大電壓是 2.71V，但由於會有電池會有內電阻，或是無法完美製作，所以實際電壓會比理論值來的小。

肆、研究過程與方法

一、備長炭的品質是否會影響鋁空氣電池的效能？

我們在 youtube 上看到利用備長炭、鋁箔和食鹽水製作鋁空氣電池，能夠讓風扇馬達運轉，於是我們拿了百貨公司贈送的備長炭 B 做實驗，發現無法讓風扇順利轉動，上網收集相關資料發現需要使用品質良好的備長炭，於是我們找到專門製作備長炭的廠商購買品質較

佳的備長炭 A 作實驗。

我們將兩個不同來源的備長炭做下列的比較：

(一) 兩個來源備長炭的基本資料

表一 兩個不同來源備長炭外觀說明

	直徑(公分)	長度(公分)	重量(公克)
備長炭 A(自購)	約 2.6	約 19	83
備長炭 B(贈品)	約 2.1	約 17.3	64

(二) 兩個來源備長炭的品質比較

我們使用兩個 1.5 伏特乾電池串聯當作電源，將備長炭當作一段導線連接燈泡，測試備長炭是否可以導電讓燈泡發亮(圖七)。將要做測試的備長炭連接燈泡組，備長炭上兩測量點固定相距 10 公分，並測燈泡組通過不同品質備長炭後的電壓與電流，實驗結果如下表 2。



圖七-1 備長炭 A：燈泡會亮、電阻小、導電性佳



圖七-2 備長炭 B：燈泡不亮、電阻大、導電性不佳

圖七 兩個來源備長炭的品質比較

備長炭 A 當導線時燈泡會亮，表示此備長炭能導電；備長炭 B 當導線時則燈泡不會亮，表示此備長炭無法導電。備長炭導電性較好，應該製作的電池品質也較佳。我們接下來將測試我們推測是否正確。

表 2 備長炭本身的導電性測試

	備長炭當作導線連接電池與燈泡	結果顯示備長炭
備長炭 A	燈泡發光	能導電，電阻較小
備長炭 B	燈泡不發光	不能導電，電阻較大

(三) 兩個不同來源備長炭製作成鋁空氣電池之比較

我們將兩個不同來源的備長炭，仿照網路上的方法製作成鋁空氣電池：

- 1、我們配製 1M 的食鹽水、整個實驗的鋁箔紙都使用固定的規格(寬度 13 公分、長度 30.5 公分)、廚房紙巾(寬度 15 公分、長度 21 公分)。

- 2、在廚房紙巾上滴 4c.c.食鹽水，先將廚房紙巾捲在備長炭上，外面在捲上鋁箔紙(統一霧面朝內)，依此程序製成鋁空氣電池。
- 3、兩個不同來源的備長炭製成鋁空氣電池後，沒有接上外部馬達，使用伏特計觀察 30 分鐘的電壓 (圖八)，紀錄如下表 3。

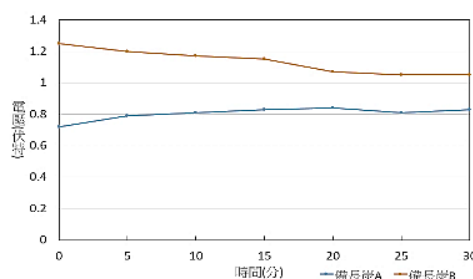
表 3 兩個不同來源的備長炭製成鋁空氣電池後電壓與時間的關係

		一開始	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘
備長炭 A	電壓	0.72	0.79	0.81	0.83	0.84	0.81	0.83
備長炭 B	電壓	1.25	1.20	1.17	1.15	1.07	1.05	1.05

我們發現一開始製作成的電池電壓，備長炭 A 製成的電池之電壓略低於備長炭 B，隨放置時間增加，備長炭 A 電池的電壓逐漸上升，備長炭 B 電池的電壓逐漸下降。



圖八-1 製成的鋁空氣電池利用 PASCO 電壓偵測器測電壓



圖八-2 兩個不同來源的備長炭製成鋁空氣電池後電壓與時間的變化圖

- 4、我們將兩個不同來源的鋁空氣電池接上風扇馬達，備長炭 A 製成的鋁空氣電池能夠讓風扇馬達運轉起來(圖九)，備長炭 B 製成的鋁空氣電池無法讓風扇馬達運轉起來(圖十)。可見備長炭的品質會影響鋁空氣電池能否成功被製作。



圖九 備長炭 A 製成的鋁空氣電池能夠讓風扇馬達運轉起來



圖十 備長炭 B 製成的鋁空氣電池無法讓風扇馬達運轉起來

從上面的實驗中，我們發現備長炭 A 的品質較佳，可以成功的製作出鋁空氣電池，因此接下來的實驗，我們將由同批採購的備長炭中取三根大小粗細相似的備長炭做實驗，並將備長炭以 A-1、A-2、A-3 作編號。

二、備長炭是否能重複使用製作成鋁空氣電池?

由查詢資料，沒有資料明確提到備長炭是否可以重覆使用，因此我們想進行實驗來證明。由於電池放電是化學反應，我們預測備長炭本身應該也參與化學反應的進行，應該不能夠重複使用。我們拿備長炭 A-1(長 12 公分，直徑約 2.5 公分)進行鋁空氣電池製作並使用風扇馬達連接放電到馬達停止，每次製作完後，備長炭會泡進逆滲透水中兩小時，中間並換水一次，表面會用牙刷輕微刷洗，並取出用廚房紙巾擦乾並放置於室內乾燥約 12 小時。我們總共進行三次測試(表 4)，發現風扇馬達可運轉時間並沒有明顯縮短。

表 4 備長炭 A-1 重複製成鋁空氣電池連接風扇馬達運轉的時間

	第一次	第二次	第三次
風扇馬達運轉時間	40 分 54 秒	26 分 3 秒	37 分 14 秒

這個結果推翻了我們預期，**備長炭是可以重複利用的**。這樣的話，**鋁空氣電池只需要更換鋁鉑與濕紙巾，備長炭就可以重複利用具有價值**，這個結果讓我們有繼續研究的動力。

三、實驗前的備長炭是否需乾燥處理?

由查詢資料得知，由備長炭製作的鋁空氣電池所消耗的空間是存在備長炭空隙中的空氣(圖十一-1)，而不是外層包覆鋁所接觸的空氣，因此**我們預測備長炭若是越乾燥，空隙中的空氣越多，電池的效能應該可以提升一些**。

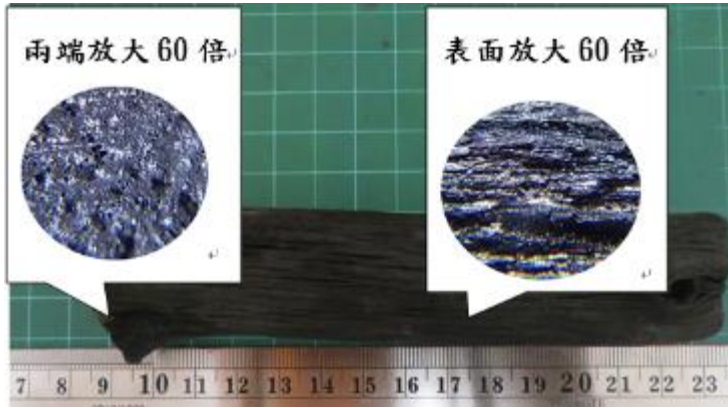
在做實驗的過程中，我們拿備長炭 A-1 做實驗，想試試看製成的鋁空氣電池能讓風扇馬達轉動多久？針對這個問題，我們做了以下的實驗設計(圖十一-2)：

- 1、挑選一個品質好的備長炭 A-1 (長約 12 公分，直徑約 2.5 公分)作實驗用，製成鋁空氣電池後，再接上風扇馬達，讓風扇馬達運轉並計時風扇運轉時間。
- 2、為了瞭解濕度對鋁空氣電池效能的影響，在控制濕度上，我們將備長炭放在防潮箱中設定濕度 40%，12 小時後再拿來做實驗。
- 3、另一個實驗處理是將備長炭洗乾淨後，在室內風乾約 12 小時，再拿來做實驗(室內溼度約 70%)。
- 4、這個實驗設計使用的都是同一根備長炭，我們依據步驟 1，在控制不同濕度備長炭重複做兩次實驗，為了減少空氣中的溼度對實驗結果的影響，將製成的空氣電池放在有蓋的

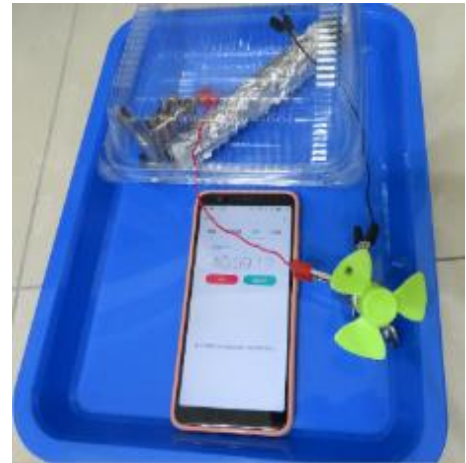
盒子裡做實驗，實驗數據如下表 5。

表 5 備長炭濕度對電池時間

	第一次製成鋁空氣電池	第二次製成鋁空氣電池
備長炭濕度約 40%	風扇運轉 26 分鐘 3 秒	風扇運轉 37 分鐘 14 秒
備長炭濕度約 70%	風扇運轉 64 分鐘 8 秒	風扇運轉 56 分鐘 5 秒



圖十一-1 備長炭 60 倍放大圖，備長炭內部空隙明顯



圖十一-2 實驗裝置設計圖片

由實驗結果推翻我們的預測，**備長炭中有適當的水分應該可以增加風扇運轉的時間。**

因為備長炭太乾燥，含食鹽水紙巾包覆時，紙巾上的水分會很快被備長炭所吸收，所以紙巾會較為乾燥，導致鋁和備長炭之間不能導電。根據中央氣象局資料顯示台灣氣候平均濕度約 70%-80%，由上面的實驗設計可以發現，**實驗前的備長炭不須經過特別的乾燥處理，放在室溫下晾乾就能發揮其效能。**

四、二氧化碳對鋁空氣電池的影響

鋁空氣電池真的是空氣電池嗎？放電過程有消耗空氣中的氧氣嗎？空氣是否真的參與鋁空氣電池的運作呢？為了證明這一點，我們由用同一批備長炭 A 中取兩根 A-2(長約 18.5 公分，直徑約 2.2 公分)、A-3(長約 17.5 公分，直徑約 3 公分)，設計下面兩組實驗。

(一)實驗一：備長炭 A-2 置於密閉盒中實驗

- 1、備長炭 A-2 洗淨風乾，製成鋁空氣電池後，測得電壓 1.289V，電流 1.033A。
- 2、將鋁空氣電池放在盒子裡，再接上風扇馬達，觀察電壓及電流的變化(圖十二、圖十三)，實驗紀錄如下表 6。

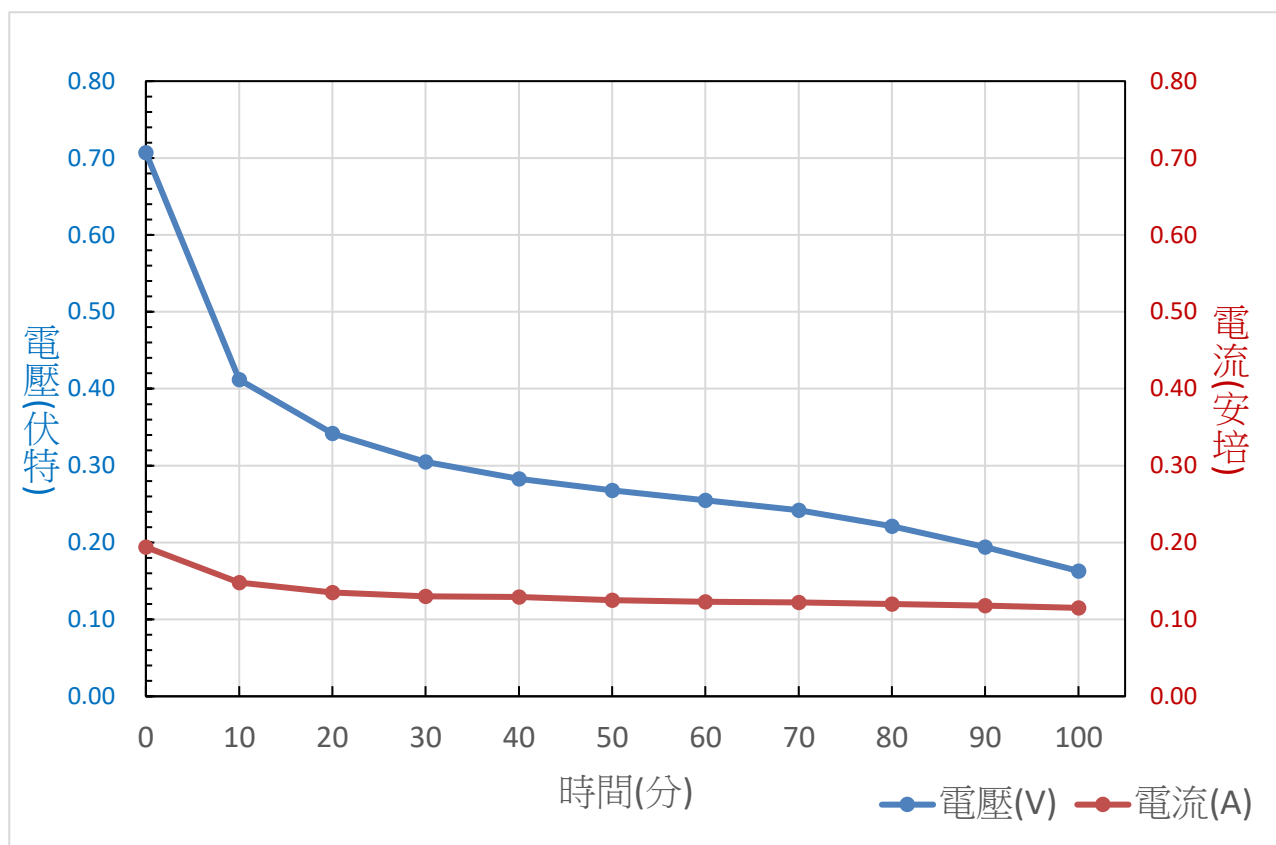
表 6 鋁空氣電池連結馬達運轉後隨時間的電壓與電流變化情形

	一開始	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘	50 分鐘
電壓(V)	0.707	0.412	0.342	0.305	0.283	0.268
電流(A)	0.194	0.148	0.135	0.130	0.129	0.125

續表 6 鋁空氣電池連結馬達運轉後隨時間的電壓與電流變化情形

	60 分鐘	70 分鐘	80 分鐘	90 分鐘	100 分鐘	103 分 55 秒
電壓	0.255	0.242	0.221	0.194	0.163	停止運轉
電流	0.123	0.122	0.120	0.118	0.115	

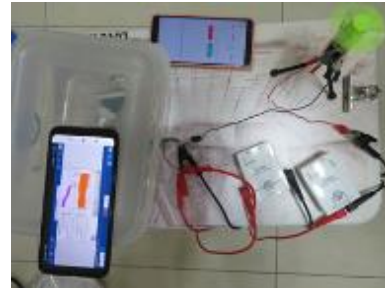
風扇馬達在 103 分 55 秒停止運轉，實驗前我們用氧氣偵測器測得盒內氧氣濃度 20.9%，實驗後盒中氧氣濃度 20.1%。實驗前用二氧化碳偵測器測得盒內二氧化碳濃度 1596 ppm，實驗後盒中二氧化碳濃度 1581 ppm，二氧化碳兩者在誤差值範圍內，可見**鋁空氣電池在運轉的過程中的確會耗氧，且沒有產生二氧化碳**(表 7)。



圖十二 備長炭 A-2 置於密閉盒中實驗之電壓與電流隨時間變化圖

表 7 A-2 電池放電前後盒中氧氣與二氧化碳濃度的變化

	實驗前	實驗後
盒中氧氣濃度	20.9%	20.1%
盒中的二氧化碳濃度	1596ppm	1581ppm



圖十三 備長炭 A-2 置於盒中實驗

(二)實驗二：備長炭 A-2 浸泡二氧化碳氣體中的實驗

- 1、在燒杯中利用小蘇打加醋製造二氧化碳，將備長炭 A-2 在二氧化碳氣體中放置一小時 (圖十三)。浸泡二氧化碳過程中測得教室內二氧化碳濃度 840ppm，瓶子內二氧化碳濃度超過 60000ppm(超出儀器的極限)。
- 2、將浸泡二氧化碳的備長炭 A-2 製成鋁空氣電池，測得電壓 0.944V，電流 0.830A。
- 3、將鋁空氣電池接上風扇馬達並在盒中利用醋加小蘇打粉製造二氧化碳(圖十四)，實驗數據如下表 8：

表 8 鋁空氣電池放置在充滿二氧化碳的氣體中

	一開始	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘
電壓	0.620	0.432	0.363	0.305	0.250	0.204
電流	0.170	0.138	0.125	0.115	0.119	0.116

風扇馬達在 28 分 7 秒停止運轉，證明鋁空氣電池放在充滿二氧化碳的盒子中，無法持續供電給風扇運轉。鋁空氣電池一開始能提供電量是因為備長炭中的空隙所吸附的氧氣，但盒子裡面佈滿二氧化碳氣體，此時鋁空氣電池放電過程會需要逐漸消耗氧氣，但盒中充滿二氧化碳則無法補充氧氣，導致空氣電池沒有氧氣就無法持續放電了。



圖十四-1 備長炭 A-2 浸泡二氧化碳氣體



圖十四-2 備長炭 A-2 浸泡二氧化碳氣體實驗

由上述兩個實驗比較，我們發現備長炭 A-2 在一般空氣下的備長炭電池，風扇馬達運轉了 103 分鐘。另一個充滿二氧化碳的鋁空氣電池接上風扇馬達後，電壓與電流很快的下降，一開始的電池放電作用應該是來自原來備長炭內部空隙所吸附的氧氣，但在充滿二氧化碳的盒中，鋁空氣電池無法補充氧氣，很快的在 28 分鐘後就不會運作了，由此可證明**鋁空氣電池在充滿二氧化碳氣體的盒中無法有效的供電，鋁空氣電池的確需要空氣的氧氣來補充備長炭中的氧氣。**

五、氧氣對鋁空氣電池效能的影響

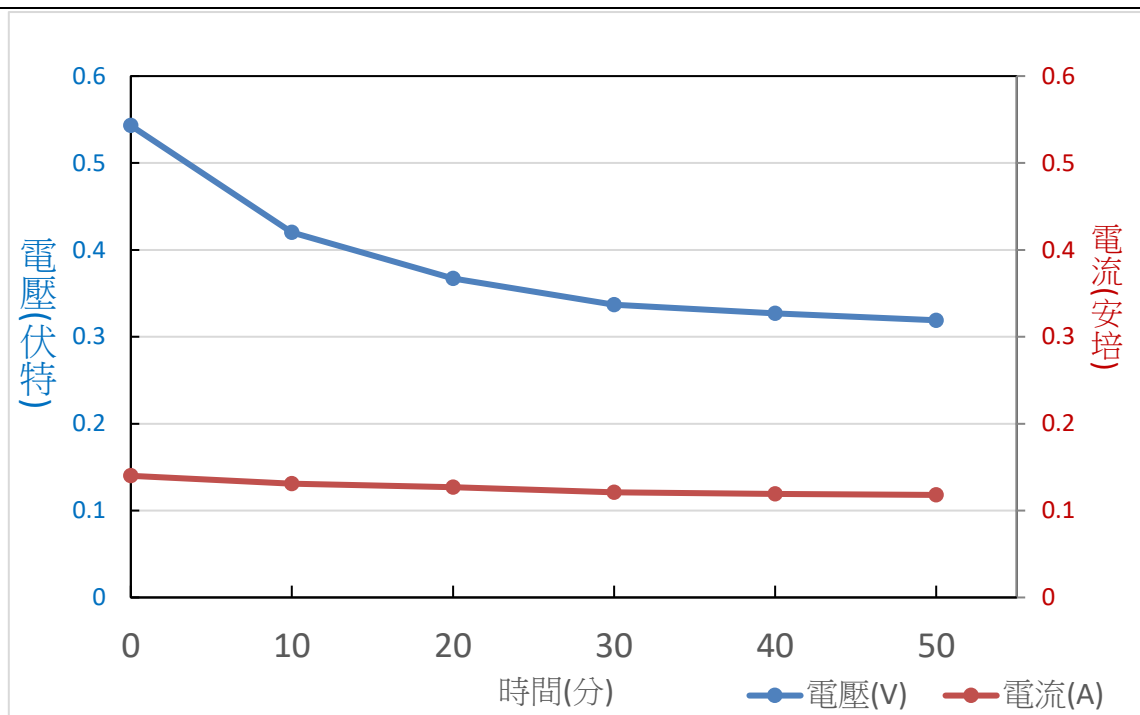
在上一個實驗發現鋁空氣電池的運作需要空氣中的氧氣，為了證明氧氣在鋁空氣電池運作中扮演重要的因素，我們用備長炭 A-3(長約 17.5 公分，直徑約 3 公分)，設計兩組實驗。

(一)實驗一：備長炭 A-3 置於盒中實驗

備長炭 A-3 洗淨風乾，製成鋁空氣電池。將鋁空氣電池放在盒子裡，再接上風扇馬達，觀察電壓及電流的變化，實驗紀錄如下表 9 及圖十五。

表 9 鋁空氣電池放在封閉的盒子中

	一開始	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘	50 分鐘
電壓	0.336	0.241	0.227	0.209	0.180	0.145
電流	0.126	0.120	0.117	0.115	0.115	0.113



圖十五 備長炭 A-3 置於密閉盒中實驗之電壓與電流隨時間變化

風扇馬達在 51 分 56 秒停止運轉，當時測得的電壓是 0.117V、電流是 0.115A。用二氧化碳偵測器測得環境中二氧化碳濃度是 1084ppm，盒子裡二氧化碳濃度是 1084ppm，跟前面的實驗比較，鋁空氣電池在運轉的過程中會耗氧但不會產生二氧化碳。

(二)實驗二：備長炭 A-3 浸泡氧氣實驗

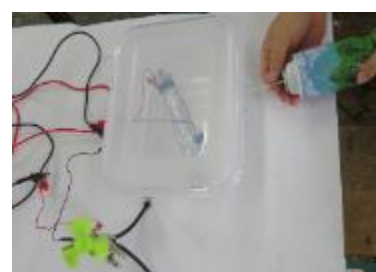
- 1、將備長炭 A-3 在氧氣中浸泡一小時(圖十六)，使用的氧氣來源是醫療用罐裝氧氣瓶。
- 2、將浸泡氧氣的備長炭 A-3 照實驗一步驟製成鋁空氣電池，測得電壓 1.057V，電流 1.033A。



圖十六 袋密封袋注入氧氣，讓備長炭浸泡在氧氣中一小時



圖十七 將浸泡氧氣的鋁空氣電池放在盒中做實驗觀察



圖十八 每隔 50 分鐘注入一次氧氣

- 3、將鋁空氣電池接上風扇馬達並在盒中(圖十七)，在盒中注入氧氣，實驗過程中每隔 50 分鐘注入氧氣一次(圖十八)，實驗數據如下表 10 及圖十九：

表 10 鋁空氣電池放在充滿氧氣的盒子中

	一開始	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘	50 分鐘	第二次 注入氧 氣	60 分鐘	70 分鐘
電壓	0.423	0.423	0.424	0.40	0.40	0.40		0.417	0.416
電流	0.150	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140		0.145	0.140

續表 10-1 鋁空氣電池放在充滿氧氣的盒子中

	80 分鐘	90 分鐘	100 分鐘	第三次 注入氧 氣	110 分鐘	120 分鐘	130 分鐘	140 分鐘	150 分鐘
電壓	0.412	0.403	0.39		0.394	0.385	0.371	0.358	0.345
電流	0.140	0.140	0.140		0.143	0.138	0.138	0.139	0.136

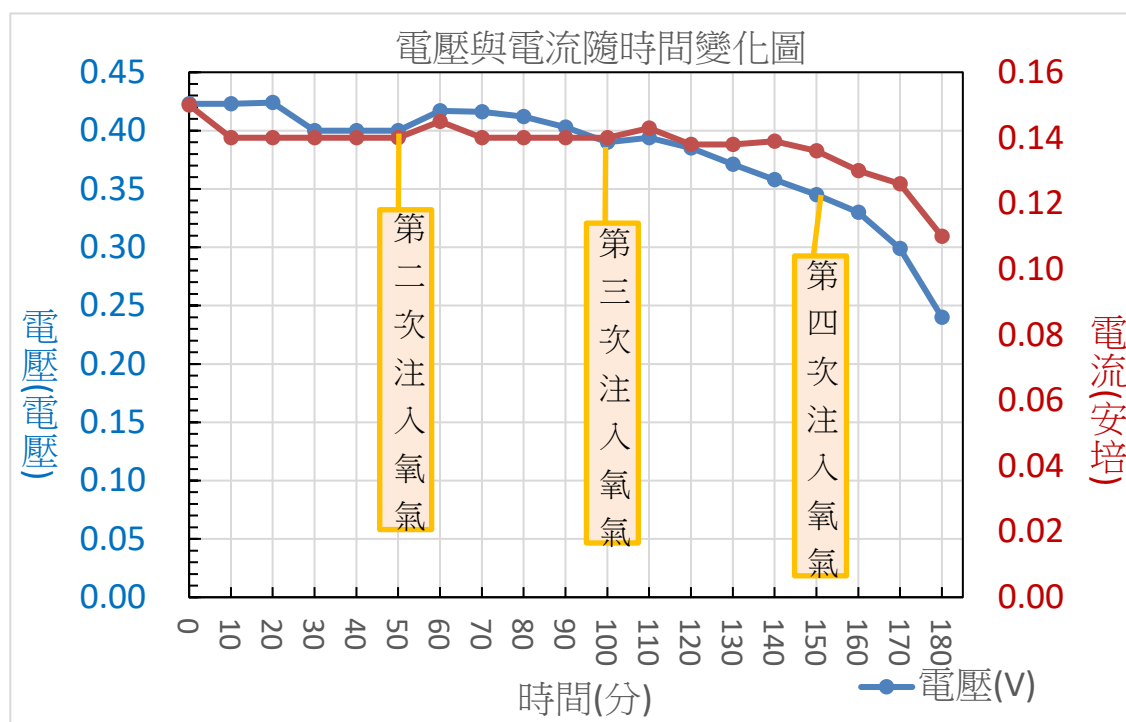
續表 10-2 鋁空氣電池放在充滿氧氣的盒子中

	第四次 注入氧 氣	160 分鐘	170 分鐘	180 分鐘	風扇運轉第 185 分鐘 54 秒停止
電壓		0.330	0.299	0.24	
電流		0.130	0.126	0.110	

由此實驗我們可以發現，當灌入氧氣後，馬達運轉時間可以延長 180 分鐘，比沒有灌氧氣馬達運轉 50 分鐘，增加了將近 3 倍的時間，我們可以確認備長炭所做的電池放電的確需要氧氣。

實驗意外的發現

當風扇馬達在第 185 分鐘停止運轉後，我們觀察到鋁空氣電池所外露的廚房紙巾已乾燥，讓我們感到好奇「此時，如果我們在紙巾上再滴食鹽水，會發生什麼事呢？」，於是我們沿著兩側外露的廚房紙巾滴 1c.c.食鹽水，竟然讓原本停止的風扇再度運轉！



圖十九 備長炭 A-3 浸泡氧氣實驗之電壓與電流隨時間變化圖

續表 10-3 鋁空氣電池放在充滿氧氣的盒子中，停止運轉後再添加食鹽水

滴食鹽水 1c.c.	190 分鐘	200 分鐘	風扇運轉第 202 分 24 秒停止	滴食鹽水 1c.c.	210 分鐘	風扇運轉第 218 分 23 秒停止
電壓	0.282	0.254	再滴 1c.c.食鹽水	0.280	0.194	再滴 1c.c.食鹽水
電流	0.126	0.23	風扇再度運轉	0.125	0.117	

我們試了兩次在風扇馬達停止運轉後再滴食鹽水，都能成功讓風扇馬達繼續運轉，但是都多轉十多分鐘而已，依據水往下流的概念，我們試著將原本水平放置的備長炭改成直立擺放，同樣滴入食鹽水讓風扇馬達繼續運轉，實驗數據如下表。

續表 10-4 鋁空氣電池放在充滿氧氣的盒子中，停止運轉後再添加食鹽水

滴食鹽水 1c.c.	220 分鐘	230 分鐘	240 分鐘	250 分鐘	260 分鐘	風扇運轉第 262 分 30 秒停止 再滴 1c.c.食鹽水	
電壓	0.133	0.276	0.265	0.247	0.222	0.175	備長炭直立
電流	0.129	0.125	0.117	0.117	0.117	0.117	風扇再度運轉

續表 10-5 鋁空氣電池放在充滿氧氣的盒子中，停止運轉後再添加食鹽水

滴食鹽水 1c.c.	270 分鐘	280 分鐘	290 分鐘	300 分鐘	310 分鐘	風扇運轉第 310 分鐘 39 秒停止
電壓	0.377	0.289	0.262	0.245	0.225	0.116
電流	0.125	0.123	0.123	0.115	0.115	0.111

在備長炭 A-3 浸泡氧氣的實驗我們有以下幾點發現：

- 除了實驗一開始在盒子裡注入氧氣外，每隔 50 分鐘注入一次氧氣，我們發現**注入氧氣後，電壓和電流會上升**，可見氧氣能增加電壓電流。在風扇運轉的過程中，於風扇馬達運轉 2 小時 47 分時，測盒內氧氣濃度為 34.4%，在 3 小時 5 分時，測盒內氧氣濃度為 31.4%，盒內的氧氣濃度下降，表示**鋁空氣電池在運轉的過程中會耗氧**。
- 雖然注入氧氣能增加電壓和電流，但是在風扇馬達運轉 150 分鐘後，我們注入第四次氧氣，電壓和電流沒有明顯提升，並且風扇馬達在運轉 185 分鐘後停止，此時我們發現外漏的廚房紙巾乾燥，於是我們沿著廚房紙巾再滴入 1c.c.的鹽水，竟然讓風扇馬達再度轉動起來，可見**鋁空氣電池在運轉的過程中，除了氧氣，水分也扮演著重要因素**。
- 既然水分在鋁空氣電池中扮演重要因素，我們嘗試當風扇馬達停止運轉時，滴入食鹽水就能讓風扇馬達繼續運轉將近 20 分鐘，為了讓食鹽水能順利進入備長炭內部的廚房紙巾，我們改將備長炭直立擺放(圖二十)，沿著上方滴入食鹽水，兩次實驗發現可以讓風扇馬達運轉重新再運轉且超過 40 分鐘。

表 11 不同鋁空氣電池連接的馬達停止後再滴食鹽水延長運轉的時間

編號	滴加食鹽水	備長炭放置方式	馬達停止後滴食鹽水再延長運轉的時間
1	滴 1c.c.食鹽水	備長炭 水平放置	原本停止的風扇馬達繼續運轉約 17 分鐘
2	滴 1c.c.食鹽水	備長炭 水平放置	原本停止的風扇馬達繼續運轉約 16 分鐘
3	滴 1c.c.食鹽水	備長炭 直立放置	原本停止的風扇馬達繼續運轉約 44 分鐘
4	滴 1c.c.食鹽水	備長炭 直立放置	原本停止的風扇馬達繼續運轉約 48 分鐘

- 我們做了不同的嘗試讓風扇馬達運轉超過 5 小時(表 11)。放電 5 小時後的電池，備長炭外包覆的鋁箔佈滿著被侵蝕的孔洞(圖二十一)，內層的廚房紙巾偏乾燥(圖二十二)，這個

發現讓我們想到**如果設計持續補水的裝置，應該可以增加鋁空氣電池的持久性。**



圖二十 備長炭直立有利於食鹽水進入內部的廚房紙巾



圖二十一 鋁箔上佈滿侵蝕的孔洞



圖二十二 內部的廚房紙巾明顯看得出乾燥

六、鋁空氣電池提升效能之研究

在前一組實驗設計中，**我們發現影響鋁空氣電池運作的重要因素除了氧氣還有水分，於是我們設計了持續補水的實驗來驗證我們的假設。**在之前的實驗，做完實驗後的鋁箔與廚房紙巾已脆弱而無法完整取下來觀察，我們嘗試將廚房紙巾改成紗布巾，實驗設計如下：

(一)實驗一：備長炭 A-2 持續補水實驗—**備長炭直立、紗布巾纏繞不織布繩補**

充食鹽水

- 1、備長炭 A-2 洗淨風乾，在紗布巾上滴 4c.c.食鹽水，先將紗布巾捲在備長炭上，再將一條寬約 0.5 公分的不織布繩捲在備長炭上(圖二十四)，外面再捲上鋁箔紙，依此程序製成鋁空氣電池後，測得電壓 1.196V，電流 0.935A。
- 2、將鋁空氣電池直立，上端外露的不織布放在食鹽水中透過毛細現象為鋁空氣電池補水，接上風扇馬達(圖二十五)，觀察電壓及電流的變化，實驗紀錄如下表 12 及圖二十三。

表 12 鋁空氣電池採不織布毛細現象補水方式的運轉時間紀錄

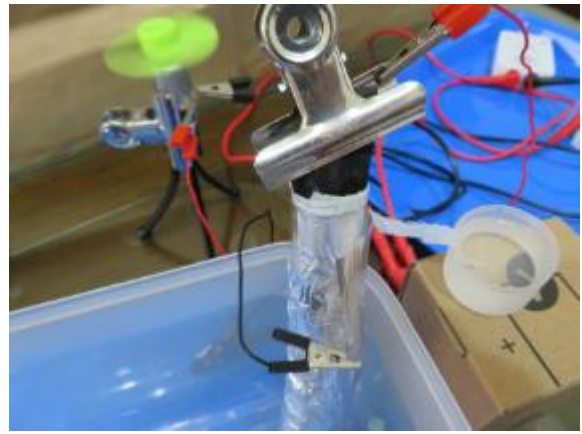
	一開始	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘	50 分鐘	60 分鐘	70 分鐘	80 分鐘
電壓	0.640	0.387	0.331	0.305	0.288	0.274	0.263	0.278	0.272
電流	0.160	0.144	0.134	0.128	0.126	0.125	0.123	0.124	0.123

續表 12 鋁空氣電池採不織布毛細現象捕水方式的運轉時間紀錄

	90 分鐘	100 分鐘	110 分鐘	120 分鐘	130 分鐘	140 分鐘	150 分鐘	風扇運轉第直 156 分鐘 28 秒停止
電壓	0.260	0.252	0.240	0.226	0.211	0.191	0.170	
電流	0.122	0.120	0.119	0.117	0.116	0.115	0.115	



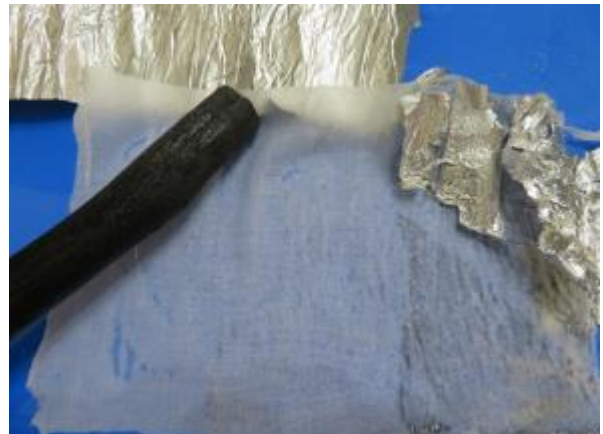
圖二十四 備長炭上捲一條不織布作為補水用



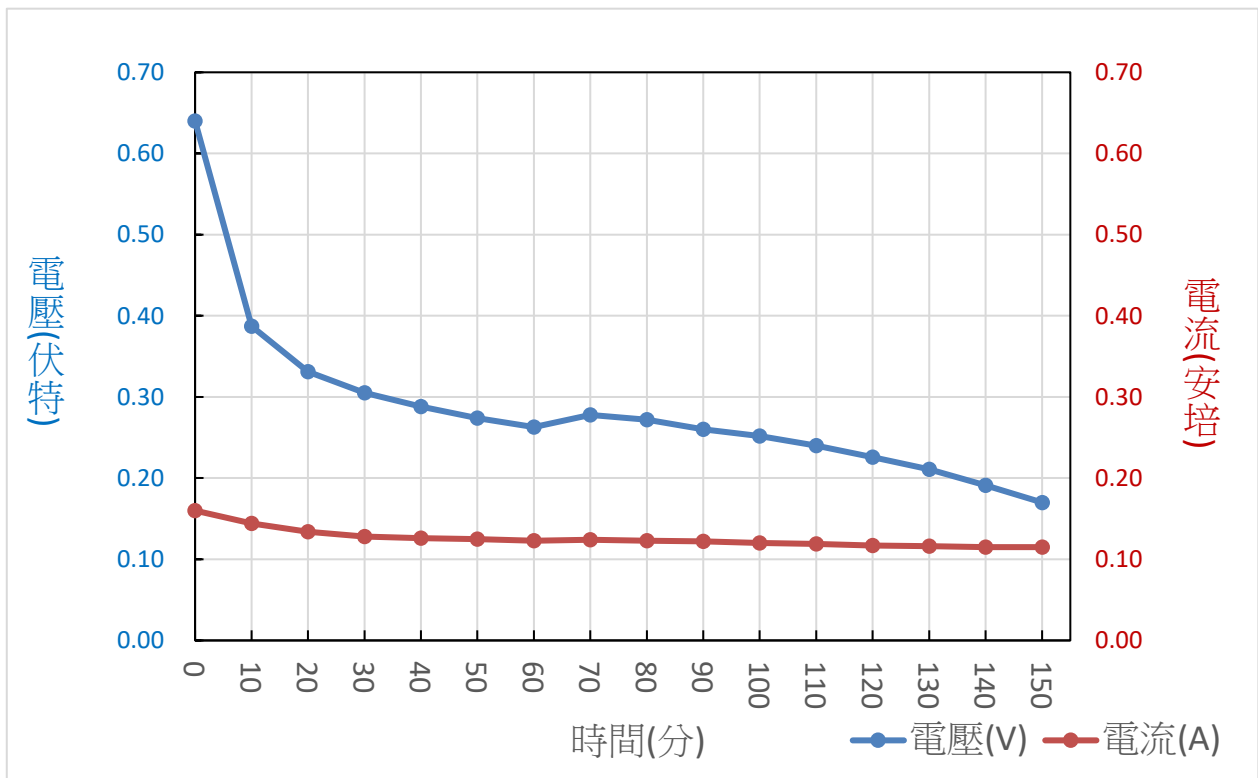
圖二十五 鋁空氣電池直立擺放，上端不織布接著鹽水



圖二十六 運轉 150 分鐘後的鋁箔上布滿被侵蝕的孔洞



圖二十七 運轉 150 分鐘後，備長及紗布巾明顯濕潤



圖二十三 備長炭 A-2 持續補水實驗的電壓及電流隨時間變化圖

風扇馬達在 2 小時 36 分 28 秒停止運轉，測得電壓 0.149V，電流 0.117A，將鋁箔及紗布取下，鋁箔上布滿被侵蝕的孔洞(圖二十六)，紗布濕潤，備長炭也是表面明顯看出濕潤(圖二十七)，所以**利用不織布補水，水分過多，會導致空氣難以進入備長炭中。**

這個實驗我們發現，使用補水設計，與備長炭 A-2 置於盒中實驗比較，多運轉了 50 分鐘，驗證了我們的假設，**設計持續補水的裝置，可以增加鋁空氣電池的效能。**但是不織布吸水力較強，水分過多亦會影響鋁空氣電池的效能，為了改善這個狀況，我們下一個設計修正兩個問題，一個是將備長炭平放，另一個是將不織布繩改成棉繩。

(二) 實驗二：備長炭 A-2 持續補水改良實驗—**備長炭平放，紗布巾纏繞棉線補**

充食鹽水

前面的實驗證明了持續補水能夠增加鋁空氣電池的效能，但是為了修正補水過多的問題，我們同樣拿備長炭 A-2 實驗，這次的補水設計做了修正，將備長炭平放且改採棉線吸附食鹽水。

- 1、備長炭 A 洗淨風乾，準備 1 莫耳的食鹽水、鋁箔紙、紗布巾。在紗布巾上滴 4c.c.食鹽水，先將棉線捲在備長炭上，再將紗布巾捲在備長炭上(圖二十九)，外面再捲上鋁箔紙，依此程序製成鋁空氣電池後，測得電壓 1.125V，電流 0.952A。
- 2、將鋁空氣電池平放，一端外露的棉線放在食鹽水中，透過毛細現象為鋁空氣電池補水(圖三十)，再接上風扇馬達，觀察電壓及電流的變化(圖三十一)，實驗紀錄如下表 13 及圖二十八。

表 13 A-2 鋁空氣電池採棉線毛細現象補水方式的運轉時間紀錄

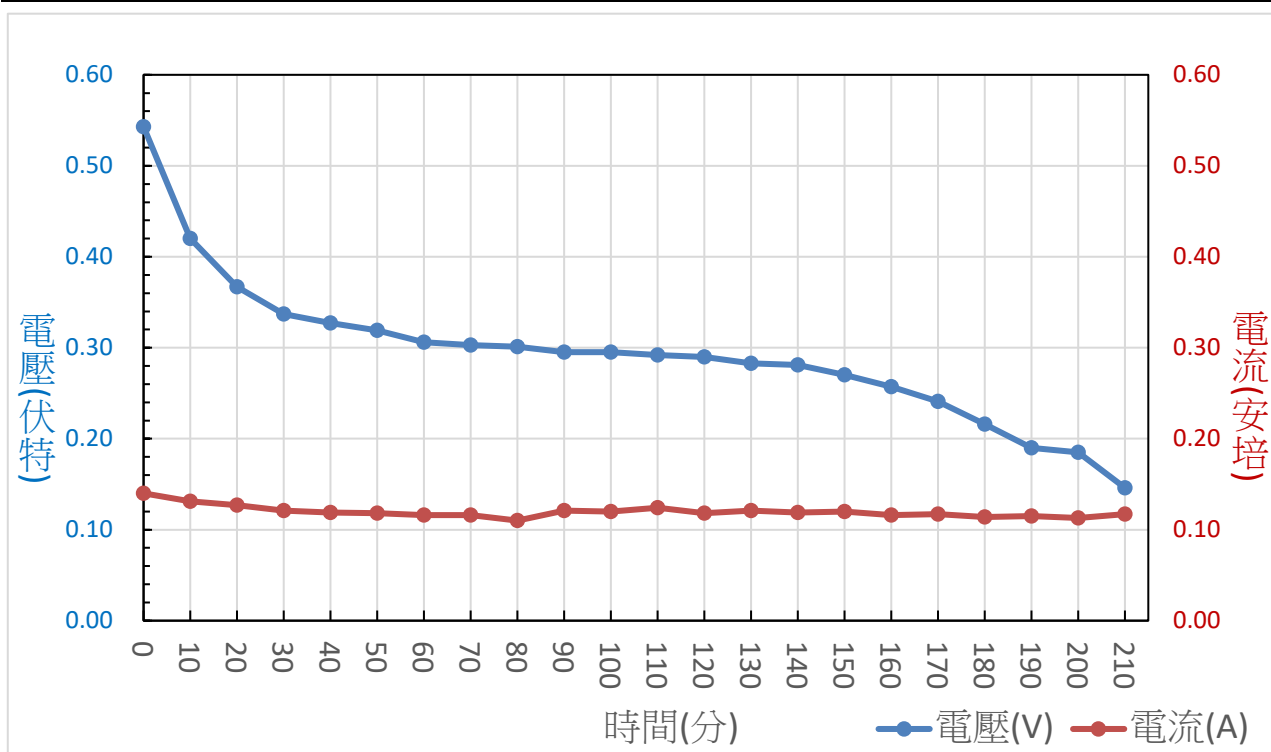
	一開始	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘	50 分鐘	60 分鐘	70 分鐘	80 分鐘
電壓	0.543	0.420	0.367	0.337	0.327	0.319	0.306	0.303	0.301
電流	0.140	0.131	0.127	0.121	0.119	0.118	0.116	0.116	0.110

續表 13-1 A-2 鋁空氣電池採棉線毛細現象補水方式的運轉時間紀錄

	90 分鐘	100 分鐘	110 分鐘	120 分鐘	130 分鐘	140 分鐘	150 分鐘	160 分鐘	170 分鐘
電壓	0.295	0.295	0.292	0.290	0.283	0.281	0.270	0.257	0.241
電流	0.121	0.120	0.124	0.118	0.121	0.119	0.120	0.116	0.117

續表 13-2 A-2 鋁空氣電池採棉線毛細現象補水方式的運轉時間紀錄

	180 分鐘	190 分鐘	200 分鐘	210 分鐘	風扇運轉第 211 分 7 秒停止運轉
電壓	0.216	0.190	0.185	0.146	
電流	0.114	0.115	0.113	0.117	



圖二十八 備長炭 A-2 持續補水改良實驗的電壓及電流的變化

風扇馬達在 3 小時 31 分 7 秒停止運轉，測得電壓 0.126V，電流 0.124A。當風扇停止運轉時，我們滴鹽水到紗布上，原本停止的風扇又繼續轉動，可見補水速度會影響風扇運轉的時間。此時，鋁箔上布滿被侵蝕的孔洞(圖三十二)。



圖二十九 備長炭上捲一條棉線作為補水用



圖三十 鋁空氣電池平放，一端棉線接著鹽水



圖三十一 鋁空氣電池持續補水改良實驗設計



圖三十二 運轉 210 分鐘後的鋁箔上布滿被侵蝕的孔洞

(三) 實驗三：備長炭 A-3 再測試持續補水改良實驗

我們使用棉線做持續補水實驗，實驗證明能夠增加鋁空氣電池的效能，為了證明這個方式能有效提升鋁空氣電池的效能，我們用同樣的方式拿備長炭 A-3 做實驗。

- 1、備長炭 A-3 洗淨風乾，準備 1 莫耳的食鹽水、鋁箔紙、紗布巾。在紗布巾上滴 4c.c.食鹽水，先將棉線捲在備長炭上，再將紗布巾捲在備長炭上，外面再捲上鋁箔紙，依此程序製成鋁空氣電池後，測得電壓 1.220V，電流 0.800A。
- 2、將鋁空氣電池平放，一端外露的棉線放在食鹽水中，透過毛細現象為鋁空氣電池補水，再接上風扇馬達，觀察電壓及電流的變化(圖三十四)，實驗紀錄如下表 14 及圖三十三。

表 14 A-3 鋁空氣電池採棉線毛細現象補水方式的運轉時間紀錄

	一開始	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘	50 分鐘	60 分鐘	70 分鐘	80 分鐘
電壓	0.583	0.365	0.337	0.326	0.315	0.311	0.306	0.305	0.288
電流	0.152	0.130	0.127	0.126	0.126	0.125	0.126	0.126	0.126

續表 14-1 A-3 鋁空氣電池採棉線毛細現象補水方式的運轉時間紀錄

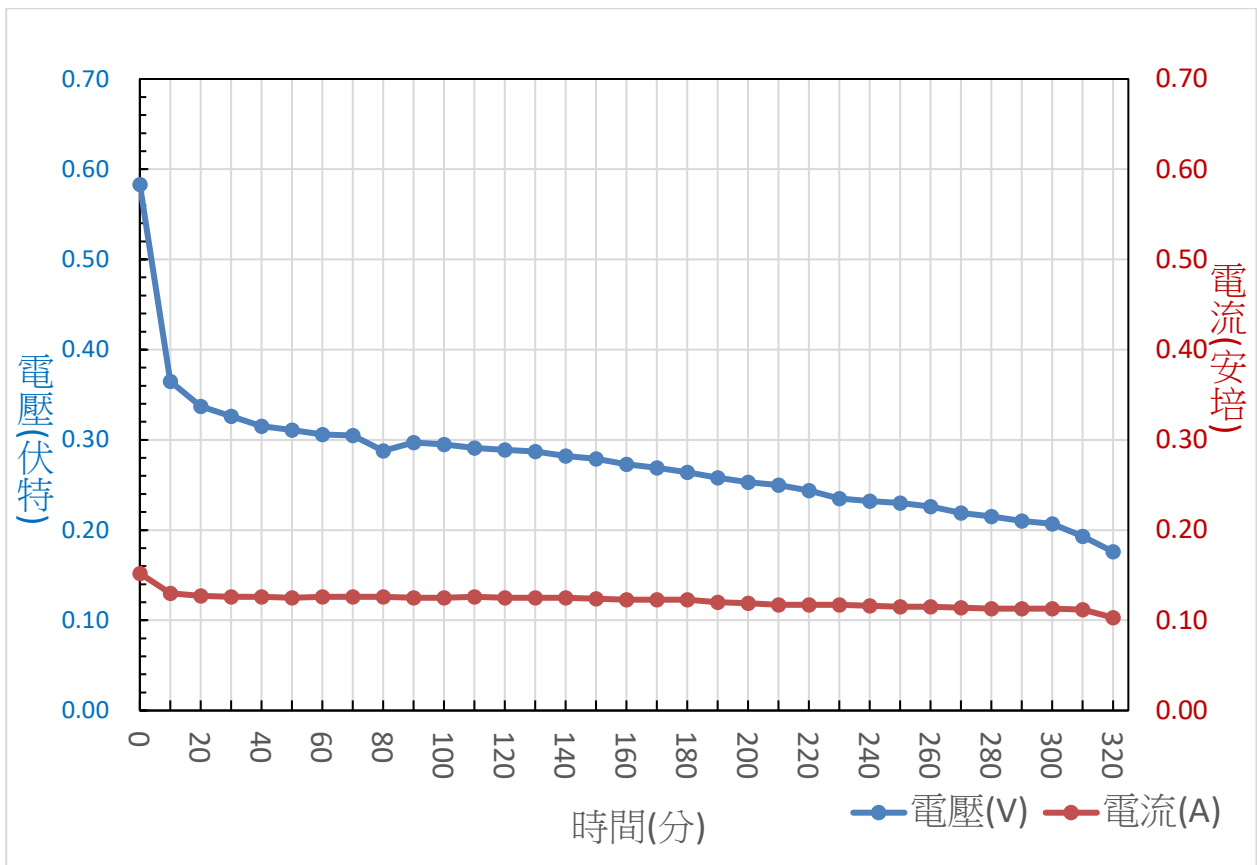
	90 分鐘	100 分鐘	110 分鐘	120 分鐘	130 分鐘	140 分鐘	150 分鐘	160 分鐘	170 分鐘
電壓	0.297	0.295	0.291	0.289	0.287	0.282	0.279	0.273	0.269
電流	0.125	0.125	0.126	0.125	0.125	0.125	0.124	0.123	0.123

續表 14-2 A-3 鋁空氣電池採棉線毛細現象補水方式的運轉時間紀錄

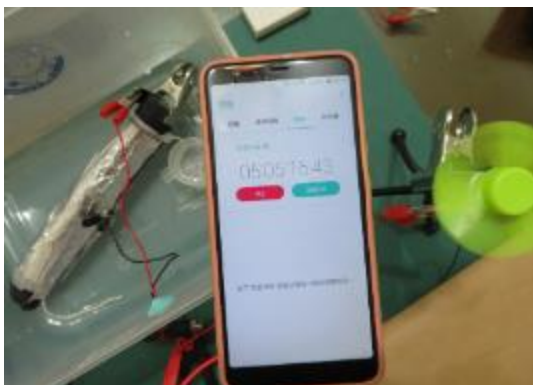
	180 分鐘	190 分鐘	200 分鐘	210 分鐘	220 分鐘	230 分鐘	240 分鐘	250 分鐘	260 分鐘
電壓	0.264	0.258	0.253	0.250	0.244	0.235	0.232	0.230	0.226
電流	0.123	0.120	0.119	0.117	0.117	0.117	0.116	0.115	0.115

續表 14-3 A-3 鋁空氣電池採棉線毛細現象補水方式的運轉時間紀錄

	270 分鐘	280 分鐘	290 分鐘	300 分鐘	310 分鐘	320 分鐘	320 分
電壓	0.219	0.215	0.210	0.207	0.193	0.176	30 秒停
電流	0.114	0.113	0.113	0.113	0.112	0.103	止運轉



圖三十三 備長炭 A-3 再測試持續補水改良實驗的電壓及電流隨時間變化圖



圖三十四 鋁空氣電池持續補水改良實驗設計



圖三十五 鋁箔上布滿被侵蝕的孔洞



圖三十六 包裹在紗布巾上的鋁箔被侵蝕的孔洞和紗布巾的紋路一樣



圖三十七 運轉 320 分鐘後的鋁箔侵蝕狀況嚴重

風扇馬達在 5 小時 20 分 30 秒停止運轉，測得電壓 0.176V，電流 0.103A。備長炭 A-3 在浸泡氧氣的實驗中，透過分次注入氧氣以及後半部分次滴入鹽水的嘗試，讓風扇馬達運轉約 310 分鐘，而我們設計的持續補水設計，成功讓風扇馬達不間斷地運轉約 320 鐘。過程中觀察到，鋁空氣電池的運作越久，包裹在備長炭上的鋁箔可以明顯看出被侵蝕的孔洞，時間越久越明顯(圖三十五、三十六、三十七)，此時的紗布仍有水份。

一根備長炭、一片鋁箔、持續補充鹽水的設計，我們成功讓風扇馬達不間斷地運轉超過五個小時，再次印證了我們的推測，持續補水是能增加鋁空氣電池效能的有效方法。

七、檢測備長炭的品質是否一致

在地方科展比賽中，評審委員提到其中一個問題是「能否確認備長炭的品質一致？」

我們重新詢問備長炭經銷商，老闆表示他們販售的備長炭是由烏桐櫟的樹種所燒製(圖三十八)，生長的季節或樹木部位不同，以及在燒製的過程中受溫不同，都會影響備長炭的品質，因此每根備長炭的品質不會一模一樣。在老闆的協助下，我們重新購置一批粗細差不多並且裁成統一長度的備長炭進行下列實驗處理。



圖三十八 本次實驗使用的備長炭由烏桐櫟燒製而成，橫切面紋路呈放射狀

(一) 備長炭基本資料

備長炭編號	長度(公分)	直徑(公分)	兩端周長(公分)	電阻
A-4	20	2.5	9.5 ; 9.6	1.7
A-5	20	2.4	8.7 ; 9.3	2.7
A-6	20	2.5	9.3 ; 9.5	2.25
A-7	20	3	9.7 ; 10	3.58
A-8	20	2.6	9.9 ; 10.0	3.7
A-9	20	2.5	9.0 ; 9.2	4.1
A-10	20	2.6	8.9 ; 10.2	6.2
A-11	20	3	10 ; 10.1	6.5

(二) 使用純水取代鹽水所製作成的鋁空氣電池是否能让風扇馬達運轉?

前面的實驗設計裡，已經確認食鹽水能讓風扇馬達運轉。食鹽是電解質，這類的電池都需要電解質溶液來導電，但我們還是要再次確認，如果使用純水是否能讓馬達運轉？我們依同樣程序製成鋁空氣電池，但是用 4C.C.純水取代 4C.C.食鹽水，取三根備長炭做測試，測試結果如下表 15。

表 15 測試純水取代鹽水是否能讓風扇馬達運轉

	製成鋁空氣電池 電壓 (V)	接風扇馬達 是否運轉	接風扇馬達後的 電壓 (V)	接風扇馬達後的 電流 (A)
A-2	0.815	× 無法轉動	0.143	0.068
A-3	0.724	× 無法轉動	0.074	0.038
A-7	0.587	× 無法轉動	0.064	0.059

實驗證明，4C.C.純水無法取代 4C.C.食鹽水。

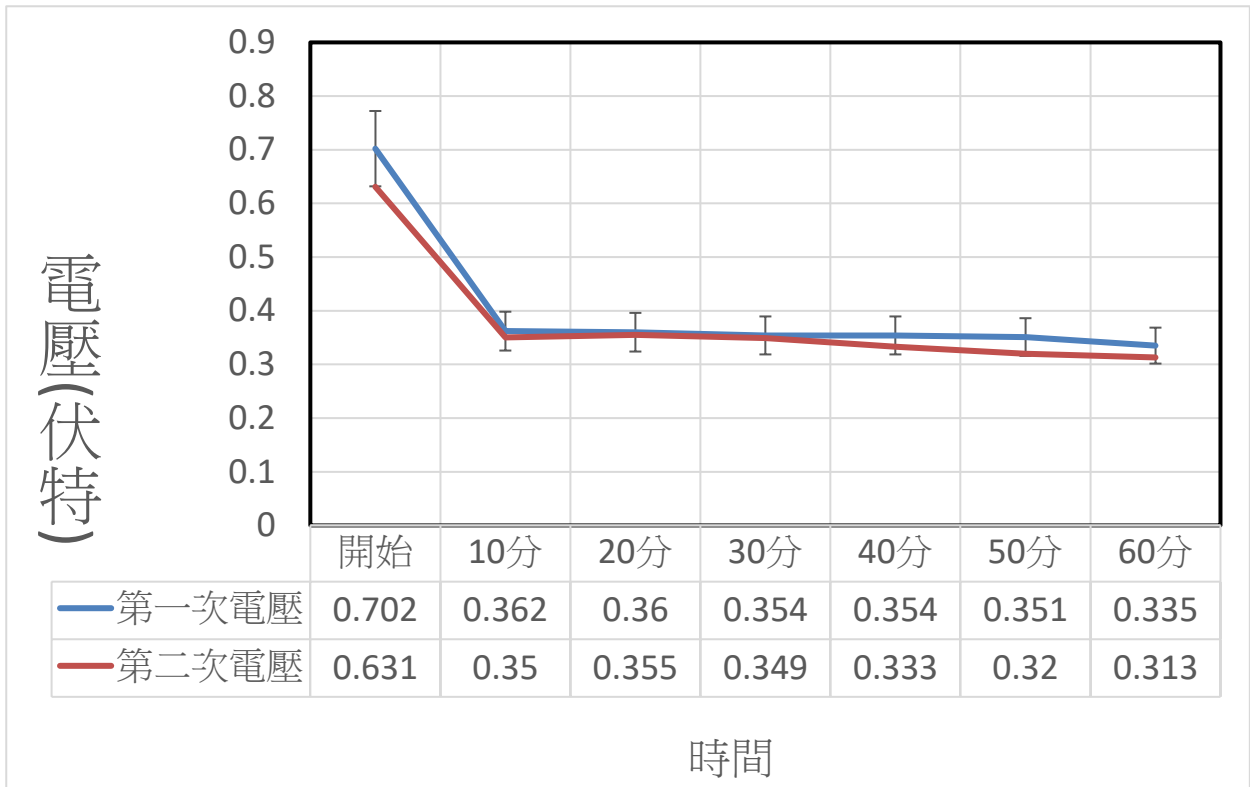
(三) 同一根備長炭所重複製成的鋁空氣電池放電是否穩定?

為了確認備長炭重複使用是否會影響其效能，我們取一根備長炭 A-8 製成鋁空氣電池，觀察 60 分鐘的電壓電流變化，依同樣程序重複兩次，其數據如下表 16。

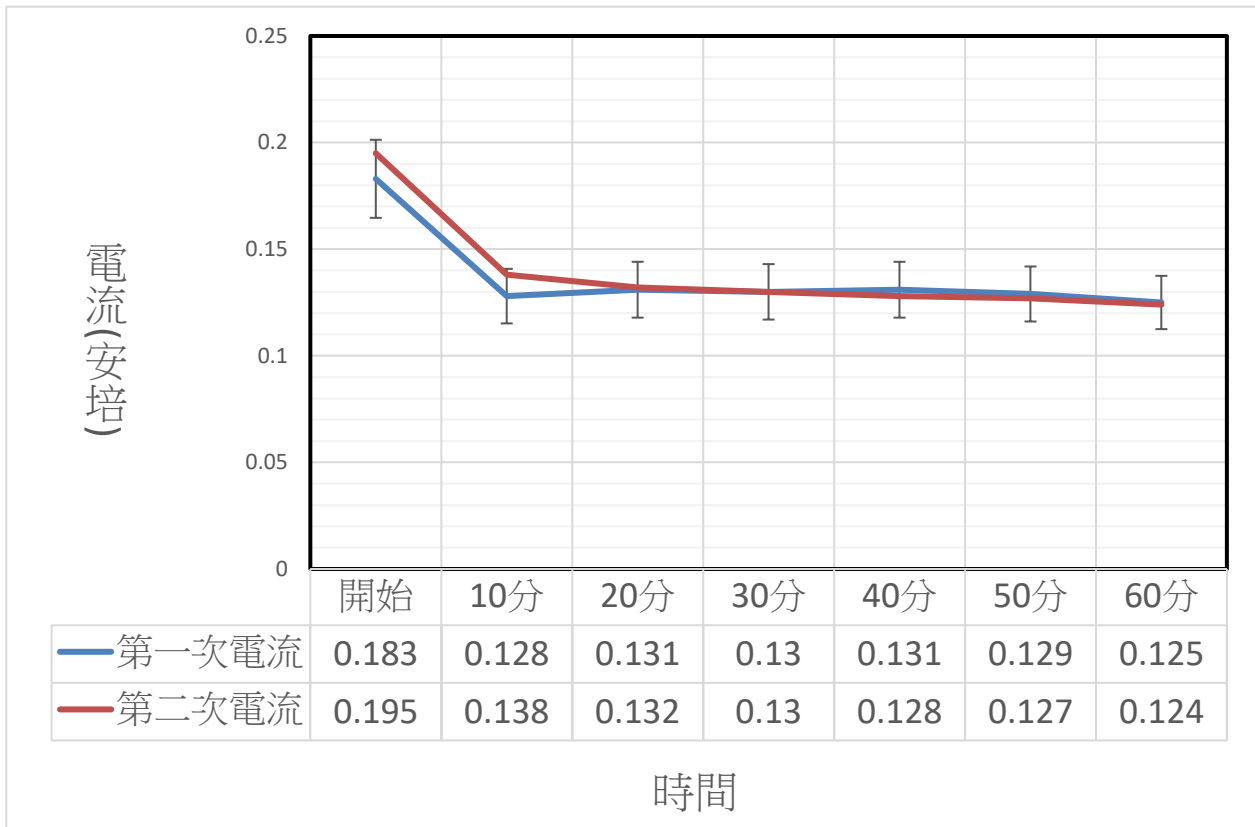
表 16 測量備長炭 A-8 重複製成鋁空氣電池的兩次放電情形

	一開始	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘	50 分鐘	60 分鐘	
第一次	電壓	0.702	0.362	0.360	0.354	0.354	0.351	0.335
	電流	0.195	0.138	0.132	0.130	0.128	0.127	0.124
第二次	電壓	0.631	0.350	0.355	0.349	0.333	0.320	0.313
	電流	0.183	0.128	0.131	0.130	0.131	0.129	0.125

從圖三十九可以看出，**以第一次數據為基準標出 10%的誤差範圍，第二次的測量數據都落在 10%的誤差範圍內。可見備長炭洗淨晾乾後能重複使用。**



圖三十九-1 A8 重複兩次測量前 60 分鐘電壓之誤差



圖三十九-2 A8 重複兩次測量前 60 分鐘電流之誤差

八、挑戰鋁空氣電池讓風扇馬達連續運轉十小時的任務

在地方科展比賽中，評審委員給了一個任務「挑戰讓風扇馬達轉動超過十小時」。我們在第一階段實驗中，成功讓風扇馬達轉動超過五小時，但要超過十小時對我們來說是一個很大的挑戰。我們作了以下的實驗設計：

(一) 雙倍紙巾與雙倍鹽水實驗設計

根據反應式 $4Al + 3O_2 + 6H_2O \rightarrow 4Al(OH)_3$ 可以看出水在鋁空氣電池中扮演著重要的角色，在補水的實驗設計中，成功延長風扇馬達運轉的時間，此時我們思考另一個問題，若是不補水，利用雙倍紙巾加上雙倍的食鹽水是否能增加風扇馬達運轉的時間呢？我們拿 A-3 纏上雙倍廚房紙巾以並滴 8 C.C. 雙倍的鹽水，實驗發現，讓風扇馬達運轉 278 分鐘 23 秒，時間比單層紙巾與 4 C.C. 的鹽水(運轉 51 分 56 秒)高出很多。

(二) 雙倍紙巾與雙倍鹽水加補水實驗設計

雙倍紙巾加上雙倍鹽水確實能增加風扇馬達運轉的時間，此時我們結合兩個實驗設計，利用雙倍紙巾與雙倍鹽水加上補水實驗設計，成功讓風扇馬達運轉 350 分鐘 12 秒。

表 17 A-3 五組實驗設計讓風扇馬達運轉的時間

1.置於盒中實驗	2.浸泡氧氣實驗	3. 單層紙巾加棉線補水	4.雙倍紙巾加倍鹽水	5.雙倍紙巾加棉線補水
51 分 56 秒	202 分鐘 24 秒	320 分 30 秒	278 分鐘 23 秒	350 分鐘 12 秒

從上表 17 可以發現，以 A-3 的幾組實驗設計來看，雙倍紙巾加補水設計，確實可以增加鋁空氣電池的效能。

(三) 雙倍紙巾與雙倍鹽水加補水實驗設計是否能複製在其他備長炭上

為了證明雙倍紙巾與雙倍鹽水加補水實驗設計是否能複製在其他備長炭上，我們從第二批採購的備長炭中，拿 A-11 複製上面兩組實驗設計，實驗結果如下：

1、實驗一：雙倍紙巾及加倍鹽水實驗設計

(1) 備長炭 A-11 洗淨風乾，準備 1M 的食鹽水、鋁箔紙(寬度 13 公分、長度 30.5 公分)、

廚房紙巾兩張(寬度 15 公分、長度 21 公分)。在廚房紙巾上滴 8c.c. 食鹽水，先將廚房紙

巾捲在備長炭上，外面再捲上鋁箔紙，依此程序製成鋁空氣電池。

(2) 將鋁空氣電池接上風扇馬達，觀察電壓及電流的變化(表 18、圖四十)，實驗實驗發現，雙倍紙巾及加倍的鹽水讓風扇馬達運轉了 213 分 19 秒。

表 18 A-11 雙倍紙巾與雙倍鹽水實驗設計

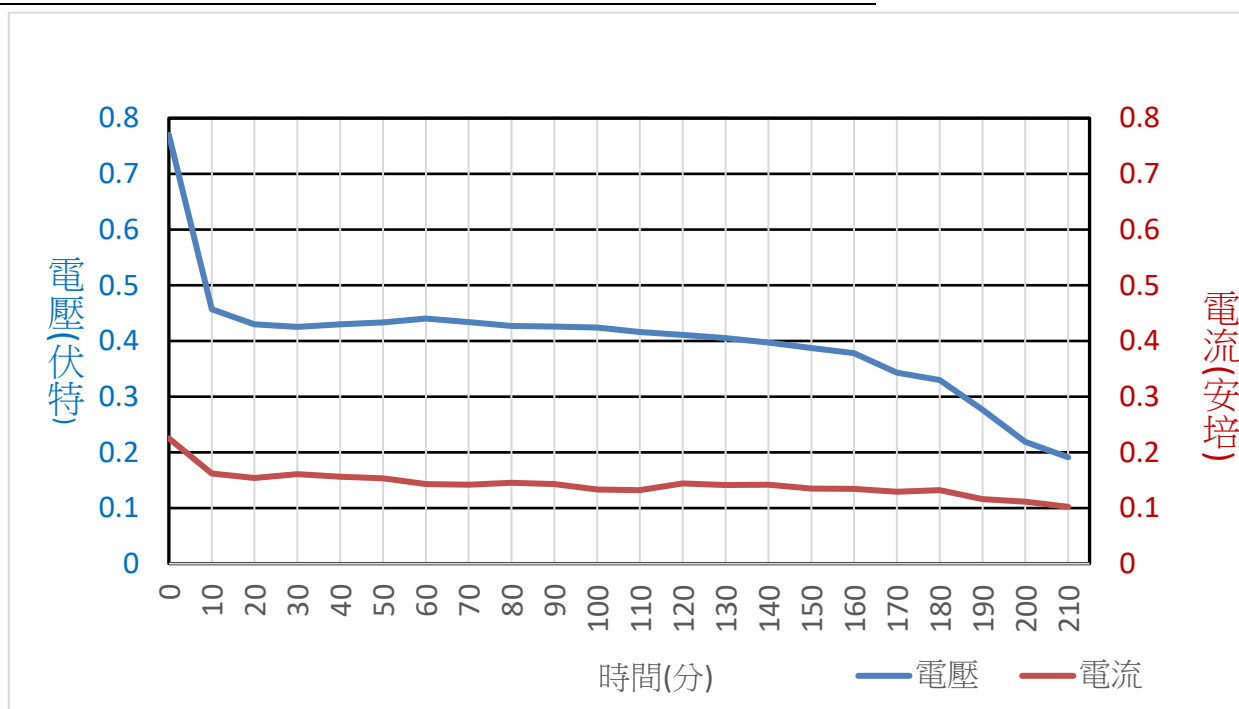
	一開始	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘	50 分鐘	60 分鐘	70 分鐘	80 分鐘
電壓	0.770	0.457	0.430	0.425	0.430	0.433	0.440	0.434	0.427
電流	0.225	0.162	0.154	0.161	0.156	0.153	0.143	0.142	0.145

續表 18-1 A-11 雙倍紙巾與雙倍鹽水實驗設計

	90 分鐘	100 分鐘	110 分鐘	120 分鐘	130 分鐘	140 分鐘	150 分鐘	160 分鐘	170 分鐘
電壓	0.426	0.424	0.416	0.411	0.405	0.397	0.387	0.378	0.343
電流	0.143	0.133	0.132	0.144	0.141	0.142	0.135	0.134	0.129

續表 18-2 A-11 雙倍紙巾與雙倍鹽水實驗設計

	180 分鐘	190 分鐘	200 分鐘	210 分鐘	213 分 19 秒停止運轉
電壓	0.330	0.276	0.219	0.191	轉
電流	0.132	0.116	0.111	0.102	紙巾乾燥



圖四十 備長炭 A-11 雙倍紙巾與雙倍鹽水實驗設計的電壓及電流隨時間變化圖

2、實驗二：雙倍紙巾與雙倍鹽水並且補水的實驗設計

- (1) 備長炭 A-11 洗淨風乾，準備 1M 的食鹽水、鋁箔紙(寬度 13 公分、長度 30.5 公分)、廚房紙巾兩張(寬度 15 公分、長度 21 公分)。在廚房紙巾上滴 8c.c.食鹽水，先將廚房紙巾捲在備長炭上，再纏上棉線做補水用，外面再捲上鋁箔紙，依此程序製成鋁空氣電池(圖四十二)。
- (2) 將鋁空氣電池接上風扇馬達，觀察電壓及電流的變化(表 19、圖四十一)，實驗實驗發現，**雙倍紙巾加補水設計讓風扇馬達運轉了 10 小時 16 分 38 秒**(圖四十三)。
- (3) 風扇馬達停止後，我們使用吸水紙檢測備長炭兩端的紙巾發現是濕潤的(圖四十四)，表示棉線補水順利進入備長炭中。鋁箔也看出明顯被侵蝕的孔洞(圖四十五)。

表 19 A-11 雙倍紙巾與雙倍鹽水加補水實驗設計

	一開始	10 分鐘	20 分鐘	30 分鐘	40 分鐘	50 分鐘	60 分鐘	70 分鐘	80 分鐘
電壓	0.685	0.445	0.417	0.414	0.419	0.425	0.422	0.422	0.424
電流	0.210	0.163	0.152	0.151	0.151	0.148	0.148	0.148	0.149

續表 19-1 A-11 雙倍紙巾與雙倍鹽水加補水實驗設計

	90 分鐘	100 分鐘	110 分鐘	120 分鐘	130 分鐘	140 分鐘	150 分鐘	160 分鐘	170 分鐘
電壓	0.422	0.420	0.419	0.416	0.416	0.417	0.416	0.413	0.404
電流	0.146	0.146	0.151	0.151	0.153	0.142	0.146	0.145	0.153

續表 19-2 A-11 雙倍紙巾與雙倍鹽水加補水實驗設計

	180 分鐘	190 分鐘	200 分鐘	210 分鐘	220 分鐘	230 分鐘	240 分鐘	250 分鐘	260 分鐘
電壓	0.403	0.403	0.405	0.405	0.407	0.409	0.403	0.402	0.407
電流	0.150	0.151	0.147	0.146	0.143	0.137	0.136	0.135	0.124

續表 19-3 A-11 雙倍紙巾與雙倍鹽水加補水實驗設計

	270 分鐘	280 分鐘	290 分鐘	300 分鐘	310 分鐘	320 分鐘	330 分鐘	340 分鐘	350 分鐘
電壓	0.405	0.416	0.411	0.402	0.394	0.388	0.380	0.378	0.367
電流	0.132	0.136	0.134	0.140	0.129	0.137	0.133	0.131	0.122

續表 19-4 A-11 雙倍紙巾與雙倍鹽水加補水實驗設計

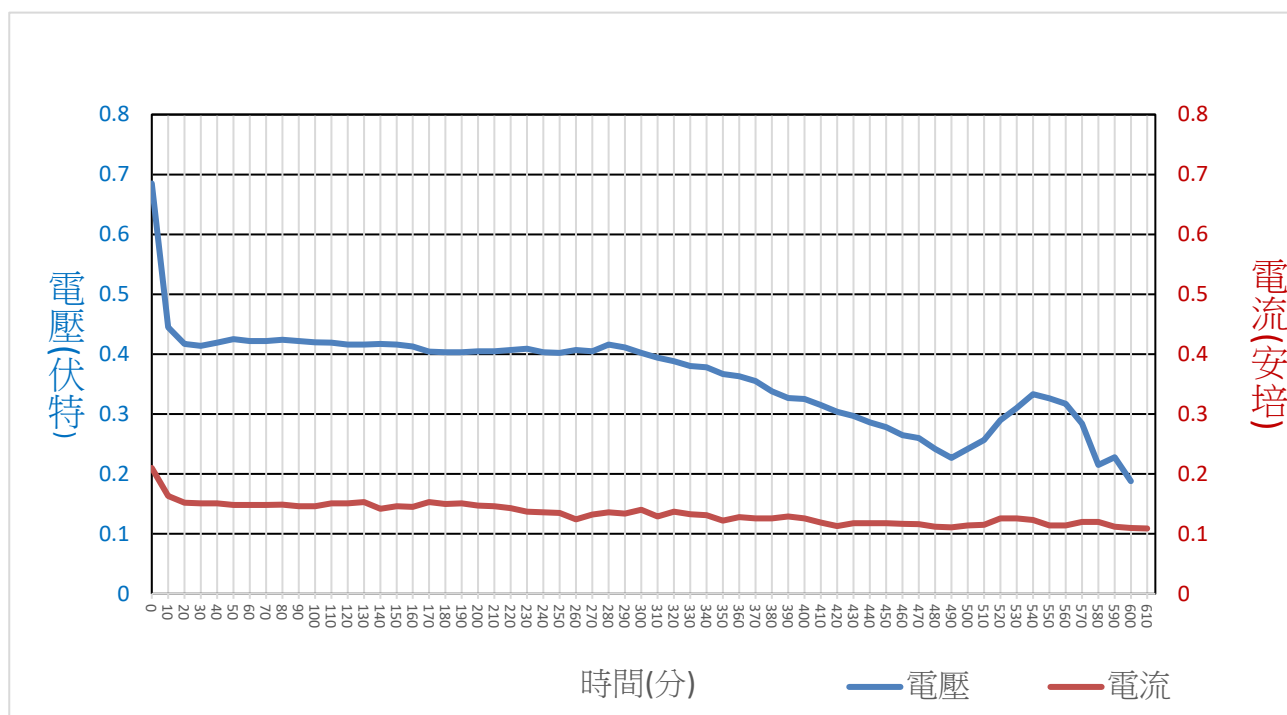
	360 分鐘	370 分鐘	380 分鐘	390 分鐘	400 分鐘	410 分鐘	420 分鐘	430 分鐘	440 分鐘
電壓	0.363	0.355	0.338	0.327	0.325	0.315	0.304	0.297	0.286
電流	0.128	0.126	0.126	0.129	0.126	0.119	0.113	0.118	0.118

續表 19-5 A-11 雙倍紙巾與雙倍鹽水加補水實驗設計

	450 分鐘	460 分鐘	470 分鐘	480 分鐘	490 分鐘	500 分鐘	510 分鐘	520 分鐘	530 分鐘
電壓	0.278	0.265	0.260	0.242	0.227	0.242	0.257	0.290	0.310
電流	0.118	0.117	0.116	0.112	0.111	0.114	0.115	0.126	0.126

續表 19-6 A-11 雙層紙巾與雙倍鹽水加補水實驗設計

	540 分鐘	550 分鐘	560 分鐘	570 分鐘	580 分鐘	590 分鐘	600 分鐘	610 分鐘	616 分鐘
電壓	0.333	0.326	0.317	0.284	0.215	0.228	0.188	0.153	0.120
電流	0.123	0.114	0.114	0.120	0.120	0.112	0.110	0.109	0.113



圖四十一 備長炭 A-11 雙倍紙巾與雙倍鹽水加補水實驗設計的電壓及電流隨時間變化圖



圖四十二 A-11 雙倍紙巾加補水設計



圖四十三 A-11 讓風扇馬達轉動超過 10 小時



圖四十四 兩端紙巾明顯濕潤



圖四十五 運轉 10 小時後的備長炭 A-11

表 20 A-3、A-11 不同實驗設計讓風扇馬達運轉的時間比較

	雙倍紙巾加倍鹽水 (8C.C.)	雙倍紙巾加補水	時間增加率
A-3	278 分鐘 23 秒	350 分鐘 12 秒	25%
A-11	213 分鐘 19 秒	616 分 38 秒	189%

實驗發現 (表 20)，補水的實驗設計確實能提升鋁空氣電池的效能，但是不同根的備長炭提升比例不一，推測和備長炭被燒製出來的特性有關，但是整體的時間增加趨勢是一致的。

(四) 比較鋁空氣電池的電量

以 A-11 為例，讓風扇馬達運轉的時間裡，消耗了電池多少電量呢？為了瞭解這個問題，我們實際拿兩個市售常見牌子的三號電池分別接上風扇馬達運轉，連續每秒測量電流值，監測從風扇馬達開始運轉到停止，將電流與時間相乘得到電量，其結果如下 (表 21)：

表 21 電池的電量統計表

讓風扇馬達開始運轉到停止	電量 (庫倫)
A-11 單層紙巾實驗設計 (運轉 28 分 58 秒)	218.1
A-11 雙倍紙巾加雙倍鹽水實驗設計 (運轉 213 分 19 秒)	1785.8
A-11 雙倍紙巾與雙倍鹽水加補水設計 (運轉 616 分 38 秒)	4903.4
A 牌三號電池 (運轉 98 分 14 秒)	2285.2
B 牌三號電池 (運轉 154 分 26 秒)	2461.1

我們發現當鋁空氣電池效能提升時，所產生的電量也會增加，**A-11 雙倍紙巾與雙倍鹽水加補水設計中，風扇馬達運轉了 10 小時又 16 分，所產生的電量相當於 2 顆三號電池。**

鋁空氣電池的鋁箔是生活中易取得的材料，高品質的備長炭經實驗證明也是可以重複使用的。文獻中指出鋁是可以產生高能量密度的材料，但是一般的學校簡易電池實驗中不易輕易實際觀察到這個現象，因為鋁片當作電池電極，鋁表面氧化會產生緻密氧化鋁導致內部不再被氧化。但是透過本實驗所改良的鋁空氣電池，可以大大的提高電池的效能，可以讓同學們親眼看到令人驚訝的鋁空氣電池效能，而且製作簡單，可以作為在國小電池的相關單元進行延伸實驗，讓大家可以動手來自製電池，而且這樣的電池也算環保，實驗過程也沒有產生有毒廢棄物。

這個研究中，備長炭的品質我們只測量了電阻大小，我們詢問專家後，知道還有一些複雜的方法可以檢測備長炭孔徑大小，還有備長炭的化學結構等，但是這些檢測需要的儀器設備我們不易取得，所以我們沒有辦法進一步深入討論。但我們在這個實驗過程中是充滿覺得化學反應是很有趣的，透過基本的設備還是可以發現一些過去的人沒有觀察到的現象，我們以後在繼續求學的過程中，若有機會接觸到這些設備，我們希望這個主題還可以繼續研究下去。

伍、結論

我們在蒐尋相關資料時，在其他人的科展報告中沒有提到備長炭是否可以重複使用，或是重複使用電池的效果是否會降低的問題，還有鋁空氣電池可以讓風扇馬達運轉的時間可以多久，以及如何增加鋁空氣電池的放電效能等問題。在一系列的實驗設計及驗證下，我們歸納出以下幾點發現：

- 一、**導電性好的備長炭，所製作的鋁空氣電池效能也會比較好**，備長炭的品質會影響導電性。
- 二、**備長炭製作的鋁空氣電池，備長炭可以重複使用**。我們的研究是發現組合成鋁空氣電池使用過的備長炭浸泡逆滲透水，洗淨、晾乾再次拿來做實驗，發現鋁空氣電池可以讓風扇馬達運轉的時間都差不多，可見備長炭是可以重複使用的。我們也發現，**同一根備長炭所重複製成的鋁空氣電池放電，兩次電壓與電流誤差在 10% 以內**。
- 三、**放置在充滿二氧化碳的盒子中，鋁空氣電池效能不佳**。二氧化碳會讓風扇馬達運轉時間遠低於鋁空氣電池放置在空氣中的情況。鋁空氣電池運轉需要氧氣。實驗過程中，我們測量裝有鋁空氣電池的封閉盒子裡的二氧化碳濃度，發現二氧化碳濃度沒有明顯增加，可見空氣電池在運轉的過程中不會產生二氧化碳，同時也發現盒中的氧氣濃度降低。
- 四、**放置在充滿氧氣的盒子中，鋁空氣電池效能提升**。將備長炭浸泡在氧氣中製成鋁空氣電池發現，氧氣在鋁空氣電池運轉的過程中能提高電壓和電流，增加鋁空氣電池的效能。
- 五、**透過補充食鹽水改良的設計，發現調整合適的補水速度會提高影響鋁空氣電池的效能**，補水過慢，內部乾燥，補水過多太過濕潤，會影響空氣中的氧氣進入備長炭中。從下表的實驗紀錄可以發現，持續補水設計確實可以增加鋁空氣電池的效能，我們最佳紀錄可以讓風扇馬達運轉連續長達 10 個小時 16 分鐘，而且備長炭可以重複使用，這顯示鋁空氣電池是可以透過設計來提高效率（表 22）。
- 六、**當鋁空氣電池效能提升時，所產生的電量也會增加**，A-11 雙倍紙巾與雙倍鹽水加補水設計中，風扇馬達運轉了 10 小時又 16 分，所產生的電量相當於 2 顆三號電池。

表 22 各種實驗設計重要結果比較彙整表

	備長炭 A-2	備長炭 A-3	備長炭 A-11
實驗設計	馬達風扇運轉時間	馬達風扇運轉時間	馬達風扇運轉時間
置於盒中實驗	103 分 55 秒	51 分 56 秒	
浸泡二氧化碳實驗	28 分 7 秒	—	
浸泡氧氣實驗	—	注入氧氣四次 202 分鐘 24 秒 滴鹽水 4 次 延長到 310 分 39 秒	
持續補水設計 (不織布)	156 分 28 秒		
持續補水設計 (棉線)	211 分 7 秒	320 分 30 秒	
雙倍紙巾加倍鹽水		278 分鐘 23 秒	213 分鐘 19 秒
雙倍紙巾加棉線補水		350 分鐘 12 秒	616 分 38 秒

參考資料

1. 陳昱如、黃莉娟、張建和、陳楷濬(2002)。用空氣發電－鋅空氣電池性質探討。中華民國第 42 屆中小學科學展覽會作品說明書書(高中組化學科佳作)。
2. 蕭瑋漢、黃家芯、溫心好、林庭安、倪芷榆。(2015)。鋅鋁奇緣 Let it go。中華民國第 55 屆中小學科學展覽會作品說明書。(國小組化學科)
3. 謝政達、謝獻爵、張鈞翔(2011)『未來電池之星』：鋁－空氣電池。中華民國第 51 屆中小學科學展覽會作品說明書。(國中組生活與應用科學科)。
4. 賴柏儒、趙栢証、陳彥勳(2012)。自製高功率的廢鋁燃料電池。中華民國第 52 屆中小學科學展覽會作品說明書。(國中化學科)。
5. 謝寧、林庭禹、孫德緯、張煒婷(2006)。廢電池大解析。中華民國第 46 屆中小學科學展覽會作品說明書。(國中組理化科)。
6. 鋁空氣電池影片 <https://www.youtube.com/watch?v=BPbbbYEToGI>

【評語】 080212

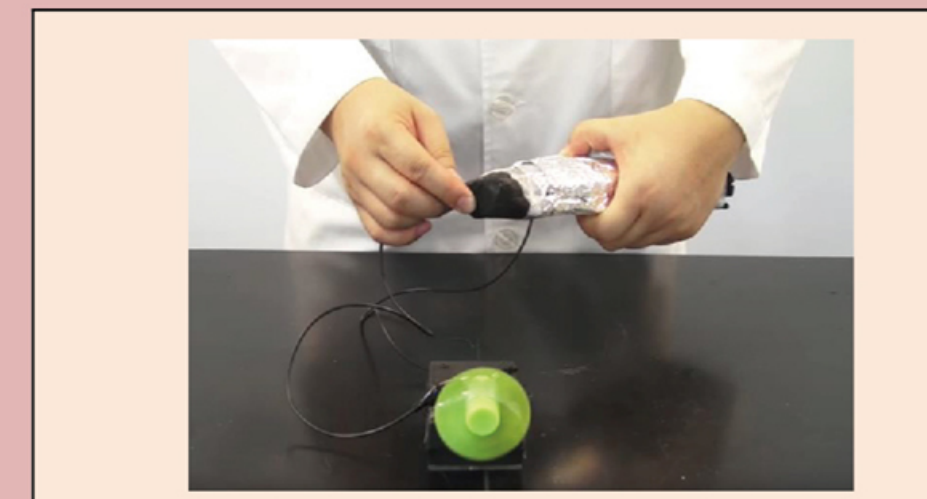
本研究是探討利用備長炭製作鋁空氣電池，實驗設計具系統化，主題有關能源，值得鼓勵。本研究發現製作鋁空氣電池的備長炭可以重複使用，考慮的項目有較特別的二氧化碳與氧氣氣氛下的放電情況比較，為研究亮點。惟提升其電池效能的探討稍嫌不足，建議可以深入探討備長炭對於電池表現的影響。文獻探討除過去科展的作品外，其他文獻也要檢視，並列出本作品與以往作品的差異會更好。

摘要

鋁空氣電池是過去科展研究過的題目，但是備長炭是否能重複使用，或重複是否影響效能是否會降低，能讓風扇馬達運轉的時間可以多久，以及如何增加鋁空氣電池的放電效能等問題，在過去的報告中沒有被清楚說明，故引發我們再研究的動機。在一系列的實驗下，我們歸納出以下幾點發現：一、導電性好的備長炭，所製作的鋁空氣電池效能會較好。二、備長炭製作的鋁空氣電池，備長炭可以重複使用。三、備長炭濕度稍高，鋁空氣電池讓風扇馬達運轉的時間較長。四、鋁空氣電池的運轉需要氧氣，增加氧氣濃度可以提高電池效能。五、透過補充食鹽水改良的設計，會提高影響鋁空氣電池的效能讓馬達風散連續運轉超過十小時，電量相當於兩顆三號碳鋅電池，此結果希望對發展環保電池有貢獻。

壹、研究動機

偶然間在youtube上看到利用備長炭、鋁箔和食鹽水製作鋁空氣電池(圖一)，引起我們的興趣，我們上網搜尋過去相關鋁空氣電池的相關科展研究，發現有報告指出鋁空氣電池無法長時間使用(文獻1)，或是科展報告僅針對鋁空氣電池放電進行短時間研究60秒、90秒或100秒的電壓電流變化進行測量。我們很好奇這樣的電池到底可以讓影片的風扇運轉多久，由於我們找不到相關數據，所以我們決定親自來試看看，到底風扇可以轉多久。於是我們拿了百貨公司贈送的備長炭做實驗，發現無法讓風扇順利轉動，上網收集相關資料發現需要使用品質良好的備長炭，既然備長炭的品質會左右能否成功製作出鋁空氣電池，於是我們的研究重點將放在如何提升鋁空氣電池的效能，嘗試讓風扇能長時間運轉。



圖一 Youtube影片-鋁空氣電池的實驗

貳、研究問題

- 一、備長炭的品質如何影響鋁空氣電池的效能？
- 二、備長炭所含水分是否會影響鋁空氣電池的效能？
- 三、氧氣與二氧化碳所佔空氣的比例高低，是否會影響鋁空氣電池的效能？
- 四、如何提升鋁空氣電池的效能，讓馬達能長時間連續轉動？

參、研究設備與器材

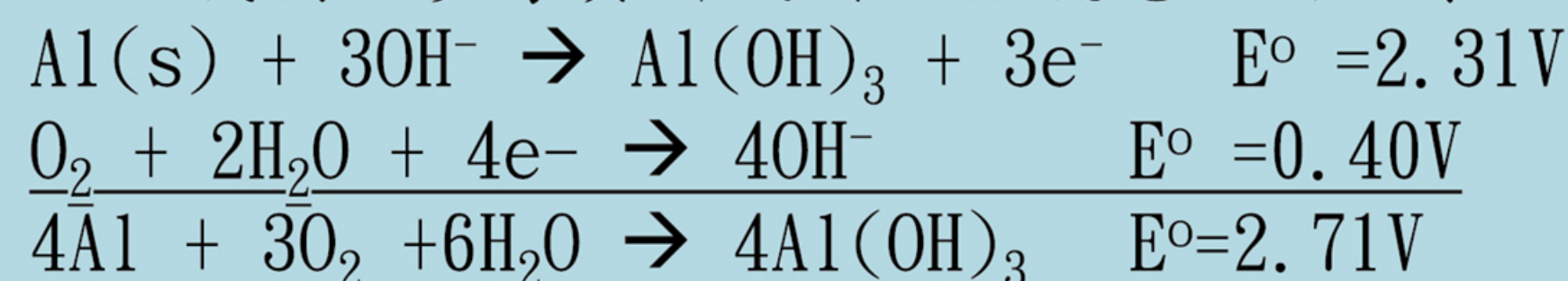
一、實驗設備與器材

備長炭(兩個不同來源)、燒杯、玻璃攪拌棒、滴管、廚房紙巾、鱈魚夾、小燈泡、1.5V電池、小風扇、台鹽食鹽、醋、手機顯微鏡(×60)、電子磅秤、小蘇打粉、透明塑膠盒、紗布巾、濕紙巾、棉線、鐵夾子、氧氣瓶、魔術黏土、鋁箔紙、PASCO無線溫度計PS-3201、PASCO二氧化碳無線偵測器PS-3208、PASCO電壓無線偵測器PS-3211、PASCO電流無線偵測器PS-3212、PASCO氧氣偵測器PS-2126A、PASCO SPARKlink主機Air PS-201、ASUS Zenfone手機、連接PASCO設備用的SPARKvue APP軟體




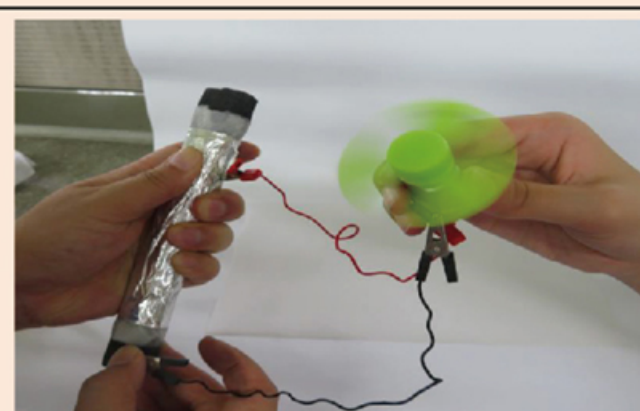
二、鋁空氣電池

我們參考網路上鋁空氣電池的製作，製作流程如右：

我們由參考資料找到鋁空氣電池的化學反應式如下：



鋁空氣電池理論上的最大電壓是2.71V，但由於會有電池會有內電阻，或是無法完美製作，所以實際電壓會比理論值來的小。

	
一：在廚房紙巾上滴食鹽水	二：將廚房紙巾包在備長炭上，廚房紙巾必須小於備長炭長度
	
三：最外層包上鋁箔紙，鋁箔紙須小於廚房紙巾寬度，鋁空氣電池便完成	四：將鱈魚夾一端夾住鋁箔紙，一端夾住備長炭，成功啟動風扇馬達

肆、研究過程與方法

一、備長炭的品質是否會影響鋁空氣電池的效能？

我們將兩個不同來源的備長炭做比較，發現：

- (一) 品質較好的備長炭可以導電讓燈泡發亮，品質較不好的備長炭無法讓燈泡發亮。
- (二) 將兩個來源的備長炭製成鋁空氣電池，品質好的備長炭電壓與電流會穩定上升。
- (三) 將備長炭製成鋁空氣電池，品質好的能夠讓風扇馬達運轉起來，品質不好的無法讓風扇馬達運轉起來。

二、備長炭是否能重複使用於製作鋁空氣電池？

拿備長炭製成鋁空氣電池製作並使用風扇馬達連接放電到馬達停止，每次製作完後，都會浸泡並風乾12小時，總共進行三次，發現風扇馬達可運轉時間並沒有明顯縮短，表示備長炭是可以重複利用的。這樣的話，鋁空氣電池只需要更換鋁箔與紙巾，備長炭就可以重複利用具有價值。

	第一次製成鋁空氣電池	第二次製成鋁空氣電池
備長炭濕度約40%	風扇運轉26分鐘3秒	風扇運轉37分鐘14秒
備長炭濕度約70%	風扇運轉64分鐘8秒	風扇運轉56分鐘5秒

三、實驗前的備長炭是否需乾燥處理？

由查詢資料得知，由備長炭製作的鋁空氣電池所消耗的空間是存在備長炭空隙中的空氣，因此我們預測備長炭若是越乾燥，空隙中的空氣越多，電池的效能應該可以提升一些。為了瞭解濕度對鋁空氣電池效能的影響，我們將備長炭放在防潮箱中設定濕度40%，12小時後再拿來做實驗。另一種則是洗乾淨後，在室內風乾約12小時，再拿來做實驗(室內溼度約70%)。

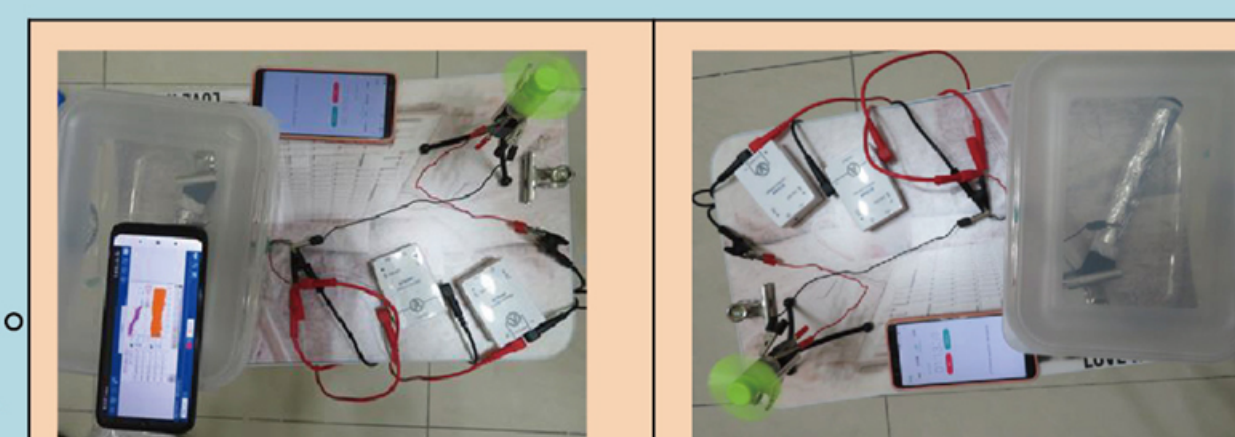
實驗發現，備長炭中有適當的水分可以增加風扇運轉的時間。根據中央氣象局資料顯示台灣氣候平均濕度約70%-80%，由這個實驗設計可以發現，實驗前的備長炭不須經過特別的乾燥處理，放在室溫下晾乾就能發揮其效能。

四、二氧化碳對鋁空氣電池的影響

鋁空氣電池真的是空氣電池嗎？放電過程有消耗空氣中的氧氣嗎？空氣是否真的參與鋁空氣電池的運作呢？為了證明這一點，我們由用同一批備長炭A中取兩根A-2、A-3，設計下面兩組實驗。

(一)實驗一：備長炭A-2置於密閉盒中實驗

- 1、備長炭A-2製成鋁空氣電池後，測得電壓1.289V，電流1.033A。
- 2、將鋁空氣電池放在盒子裡，再接上風扇馬達，觀察並記錄電壓及電流的變化(圖十三)。
風扇馬達在103分55秒停止運轉，實驗前盒內氧氣濃度20.9%，實驗後盒中氧氣濃度20.1%。
實驗前得盒內二氧化碳濃度1596 ppm，實驗後盒中二氧化碳濃度1581 ppm，可見**鋁空氣電池在運轉的過程中的確會耗氧，且沒有產生二氧化碳。**

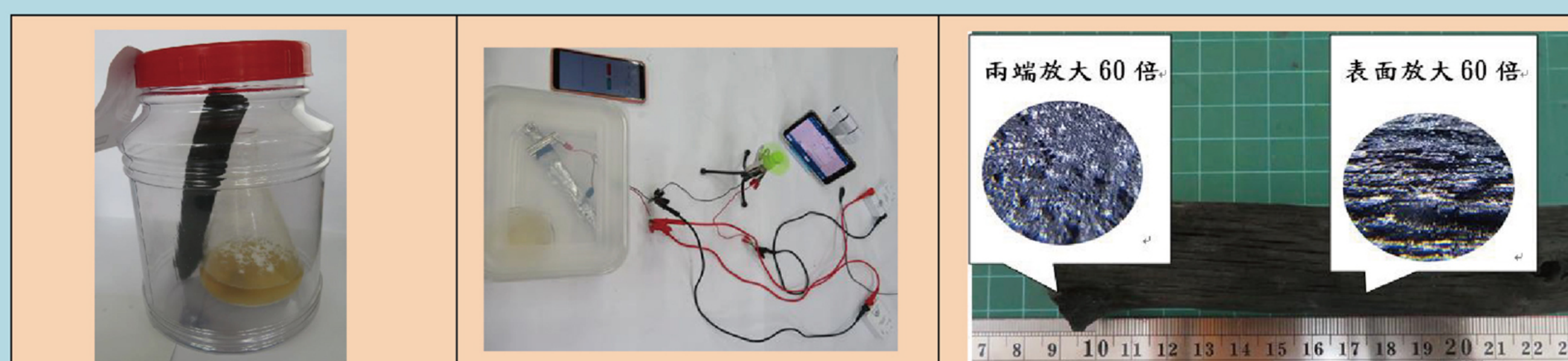


圖十三 備長炭A-2置於盒中實驗

(二)實驗二：備長炭A-2浸泡二氧化碳氣體中的實驗

- 1、在燒杯中利用小蘇打加醋製造二氧化碳，將備長炭A-2在二氧化碳氣體中放置一小時(圖十四-1)。浸泡二氧化碳過程中測得教室內二氧化碳濃度840ppm，瓶子內二氧化碳濃度超過60000ppm(超出儀器的極限)。
- 2、將浸泡二氧化碳的備長炭A-2照實驗一步驟製成鋁空氣電池，測得電壓0.944V，電流0.830A。
- 3、將鋁空氣電池接上風扇馬達並在盒中利用醋加小蘇打粉製造二氧化碳(圖十四-2)，觀察並記錄電壓及電流的變化。

風扇馬達在28分7秒停止運轉，證明鋁空氣電池放在充滿二氧化碳的盒子中，無法持續供電給風扇運轉。鋁空氣電池一開始能提供電量是因為備長炭中的空隙所吸附的氧氣，但盒子裡面佈滿二氧化碳氣體，此時鋁空氣電池放電過程會需要逐漸消耗氧氣，但盒中充滿二氧化碳則無法補充氧氣，導致空氣電池沒有氧氣就無法持續放電了。



圖十四-1 備長炭A-2浸泡二氧化碳氣體

圖十四-2 備長炭A-2浸泡二氧化碳氣體實驗

圖十一-1 備長炭60倍放大圖，備長炭內部空隙明顯

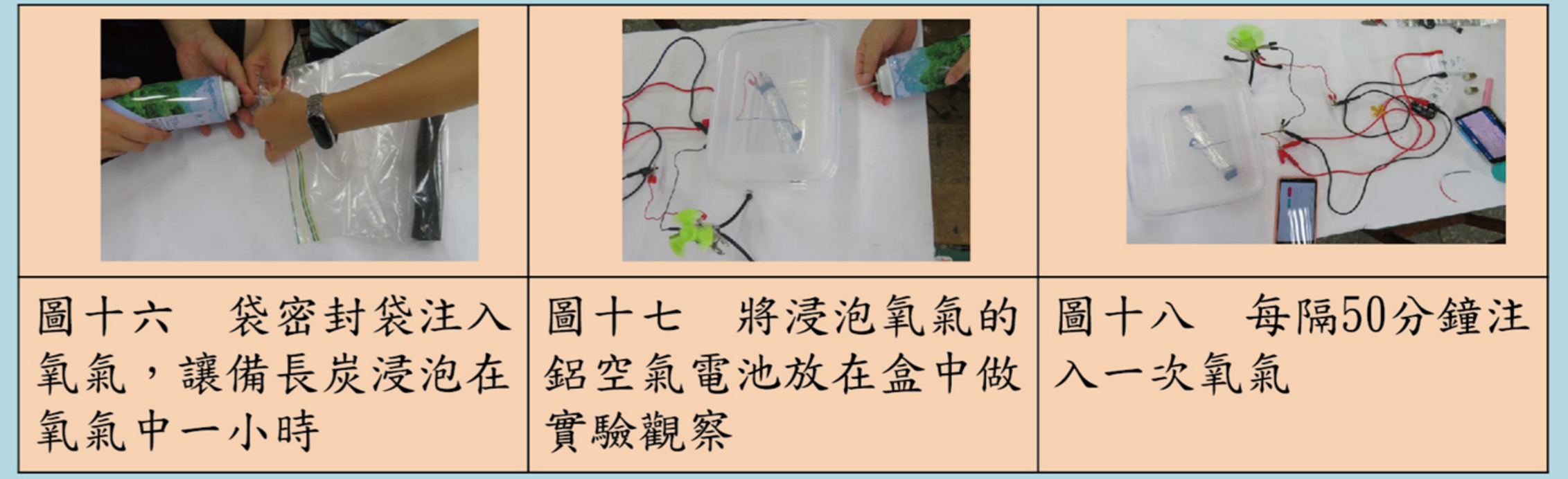
由上述兩個實驗比較，我們發現備長炭A-2在一般空氣下的備長炭電池，風扇馬達運轉了103分鐘。另一個充滿二氧化碳的鋁空氣電池接上風扇馬達後，電壓與電流很快的下降，一開始的電池放電作用應該是來自原來備長炭內部空隙(圖十一-1)所吸附的氧氣，但在充滿二氧化碳的盒中，鋁空氣電池無法補充氧氣，很快的在28分鐘後就不會運作了，由此可證明**鋁空氣電池在充滿二氧化碳氣體的盒中無法有效的供電，鋁空氣電池的確需要空氣的氧氣來補充備長炭中的氧氣。**

五、氧氣對鋁空氣電池的影響

在浸泡二氧化碳的實驗發現鋁空氣電池的運作需要空氣中的氧氣，為了證明氧氣扮演重要的因素，我們用備長炭A-3設計下面兩組實驗。

(一)實驗一：備長炭A-3置於盒中實驗

備長炭A-3製成鋁空氣電池。將鋁空氣電池放在盒子裡，接上風扇馬達，觀察並記錄電壓及電流的變化。風扇馬達在51分56秒停止運轉，當時測得的電壓是0.117V、電流是0.115A。用二氧化碳偵測器測得環境中二氧化碳濃度是1084ppm，盒子裡二氧化碳濃度是1084ppm，跟前面的實驗比較，**鋁空氣電池在運轉的過程中會耗氧但不会产生二氧化碳。**



圖十六 袋密封袋注入氧氣，讓備長炭浸泡在氧氣中一小時

圖十七 將浸泡氧氣的鋁空氣電池放在盒中做實驗觀察

圖十八 每隔50分鐘注入一次氧氣

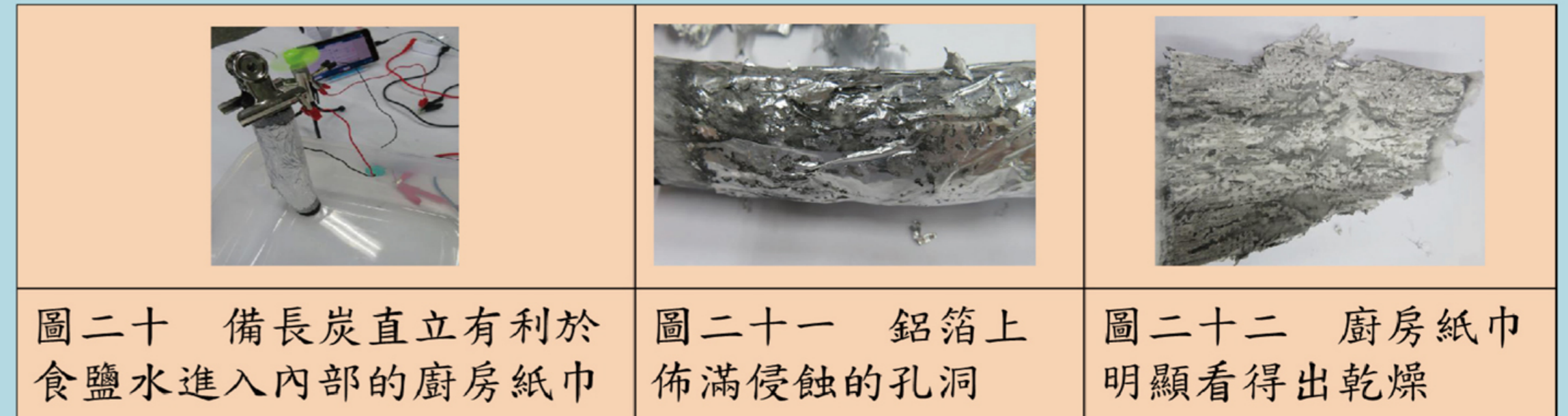
(二)實驗二：備長炭A-3浸泡氧氣實驗

- 1、將備長炭A-3在氧氣中浸泡一小時(圖十六)。
- 2、將浸泡氧氣的備長炭A-3照實驗一步驟製成鋁空氣電池，測得電壓1.057V，電流1.033A。
- 3、將鋁空氣電池接上風扇馬達並在盒中注入氧氣(圖十七)，實驗過程中每隔50分鐘注入氧氣一次(圖十八)，觀察並記錄電壓及電流的變化。由此實驗我們可以發現，當灌入氧氣後，馬達運轉185分鐘，比沒有灌氧氣馬達運轉50分鐘，增加了將近3倍的時間，**我們可以確認備長炭所做的電池放電的確需要氧氣。**

實驗意外的發現—當風扇馬達在第185分鐘停止運轉後，我們觀察到鋁空氣電池所外露的廚房紙巾已乾燥，讓我們感到好奇「此時，如果我們在濕紙巾上再滴食鹽水，會發生什麼事呢？」，於是我們**沿著兩側外露的廚房紙巾滴1c.c.食鹽水，竟然讓原本停止的風扇再度運轉！**我們試了四次在風扇馬達停止運轉後再滴食鹽水，都能成功讓風扇馬達繼續運轉。

在備長炭A-3浸泡氧氣的實驗我們有以下幾點發現：

- 1.除了實驗一開始在盒子裡注入氧氣外，每隔50分鐘注入一次氧氣，我們發現注入氧氣後，電壓和電流會上升，可見氧氣能增加電壓電流。在風扇運轉的過程中，於風扇馬達運轉2小時47分時，測盒內氧氣濃度為34.4%，在3小時5分時，測盒內氧氣濃度為31.4%，盒內的氧氣濃度下降，表示**鋁空氣電池在運轉的過程中會耗氧。**
- 2.雖然注入氧氣能增加電壓和電流，但是在風扇馬達運轉150分鐘後，我們注入第四次氧氣，電壓和電流沒有明顯提升，並且風扇馬達在運轉185分鐘後停止，此時我們發現外露的廚房紙巾乾燥，於是我們沿著廚房紙巾再滴入1c.c.的鹽水，竟然讓風扇馬達再度轉動起來，可見**鋁空氣電池在運轉的過程中，除了氧氣，水分也扮演著重要因素。**
- 3.既然水分扮演重要因素，我們嘗試當風扇馬達停止運轉時，滴入食鹽水就能讓風扇馬達繼續運轉將近20分鐘，為了讓食鹽水能順利進入備長炭內部的廚房紙巾，我們改將備長炭直立擺放，沿著上方滴入食鹽水，兩次實驗發現可以讓風扇馬達重新再運轉且超過40分鐘。
- 4.«備長炭A-3浸泡氧氣實驗»中，我們做了不同的嘗試讓風扇馬達運轉超過5小時。放電5小時後的電池，我們觀察到備長炭外所包覆的鋁箔佈滿著被侵蝕的孔洞(圖二十一)，打開內層的廚房紙巾，發現廚房紙巾偏乾燥(圖二十二)，這個發現讓我們想到**如果設計持續補水的裝置，應該可以增加鋁空氣電池的持久性。**



圖二十 備長炭直立有利於食鹽水進入內部的廚房紙巾

圖二十一 鋁箔上佈滿侵蝕的孔洞

圖二十二 廚房紙巾明顯看得出乾燥

六、鋁空氣電池提升效能之研究

在前一組實驗設計中，**我們發現影響鋁空氣電池運作的重要因素除了氧氣還有水分，於是我們設計了持續補水的實驗來驗證我們的假設。**在之前的實驗，做完實驗後的鋁箔與廚房紙巾以脆弱而比較無法完整取下來觀察，我們嘗試將廚房紙巾改成紗布巾，實驗設計如下：

(一)實驗一：備長炭A-2持續補水實驗—備長炭直立、紗布巾纏繞不織布繩補充食鹽水

- 1、備長炭A-2先將紗布巾捲在備長炭上，再將一條寬約0.5公分的不織布繩捲在備長炭上，外面再捲上鋁箔紙，依此程序製成鋁空氣電池後，測得電壓1.196V，電流0.935A。
- 2、將鋁空氣電池直立，上端外露的不織布放在食鹽水中，透過毛細現象為鋁空氣電池補水，再接上風扇馬達，觀察電壓及電流的變化，實驗紀錄圖二十三。風扇馬達在2小時36分28秒停止運轉，將鋁箔及紗布取下，鋁箔上佈滿被侵蝕的孔洞，紗布濕潤，備長炭也是表面明顯看出濕潤，所以利用不織布補水，水分過多，會導致空氣難以進入備長炭中。這個實驗我們發現，與備長炭A-2置於盒中實驗比較，多運轉了50分鐘，驗證了我們的假設，**設計持續補水的裝置，可以增加鋁空氣電池的效能。**

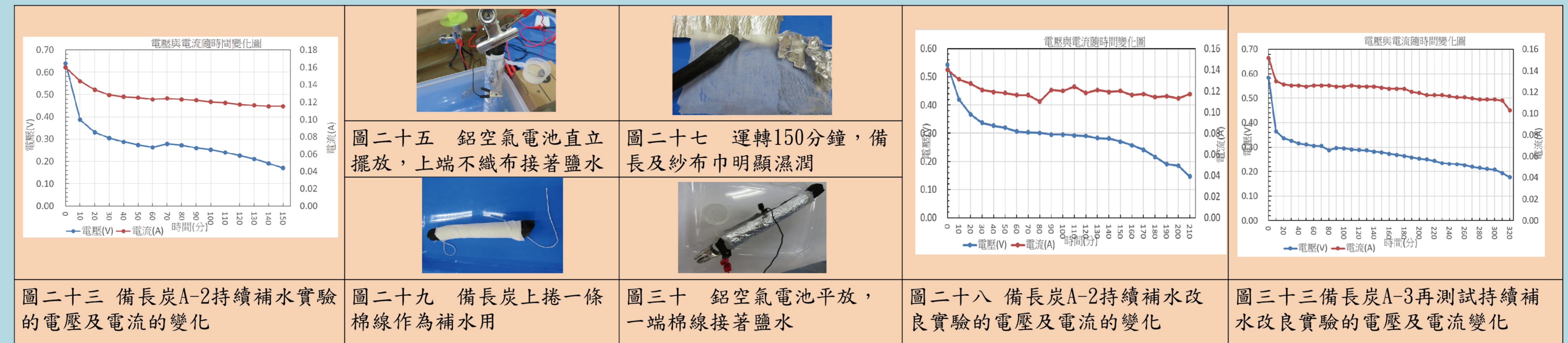
(二)實驗二：備長炭A-2持續補水改良實驗—備長炭平放，紗布巾纏繞棉線補充食鹽水

- 前面的實驗證明持續補水能夠增加鋁空氣電池的效能，為了修正補水過多的問題，我們同樣拿備長炭A-2實驗，這次的補水設計做了兩個修正，一個是將備長炭平放且改採棉線吸附食鹽水(圖二十九)。
- 1、備長炭A製成鋁空氣電池後，測得電壓1.125V，電流0.952A。
 - 2、將鋁空氣電池平放，一端外露的棉線放在食鹽水中，透過毛細現象為鋁空氣電池補水(圖三十)，再接上風扇馬達，觀察電壓及電流的變化，實驗紀錄圖二十八。**風扇馬達在3小時31分7秒停止運轉。**當風扇停止運轉時，我們滴鹽水到紗布上，停止的風扇又繼續轉動，可見**補水速度會影響風扇運轉的時間。**此時，鋁箔上佈滿被侵蝕的孔洞。

(三)實驗三：備長炭A-3再測試持續補水改良實驗

- 使用棉線做持續補水實驗，實驗證明能夠增加鋁空氣電池的效能，為了證明這個方式能有效提升鋁空氣電池的效能，我們用同樣的方式拿備長炭A-3做實驗。
- 1、備長炭A-3製成鋁空氣電池後，測得電壓1.220V，電流0.800A。
 - 2、鋁空氣電池平放，一端外露的棉線放在食鹽水中，透過毛細現象補水，再接上風扇馬達，觀察電壓及電流的變化，實驗紀錄如圖三十三。

風扇馬達在5小時20分30秒停止運轉。先前備長炭A-3在浸泡氧氣的實驗中，透過分次注入氧氣以及後半部分次滴入鹽水的嘗試，讓風扇馬達運轉約310分鐘，而此處我們設計的持續補水設計，不用補氧氣能成功讓風扇馬達不間斷地運轉約320鐘。過程中觀察到，鋁空氣電池的運作越久，包裹在備長炭上的鋁箔可以明顯看出被侵蝕的孔洞，時間越久越明顯，此時的綿紗布仍有水份。**一根備長炭、一片鋁箔、持續補充鹽水的設計，我們成功讓風扇馬達不間斷地運轉超過五個小時，再次印證了我們的推測，持續補水是增加鋁空氣電池效能的有效方法。**



七、檢測備長炭的品質是否一致

在地方科展比賽中，評審委員提到其中一個問題是「能否確認備長炭的品質一致？」詢問經銷商，老闆表示他們販售的備長炭是由烏桕櫟的樹種所燒製，生長的季節或樹木部位不同，以及燒製的過程中受溫不同，都會影響備長炭品質，每根備長炭的品質不會一模一樣。在老闆的協助下，我們重新購置一批粗細差不多並且裁成統一長度的備長炭。

(一)備長炭基本資料

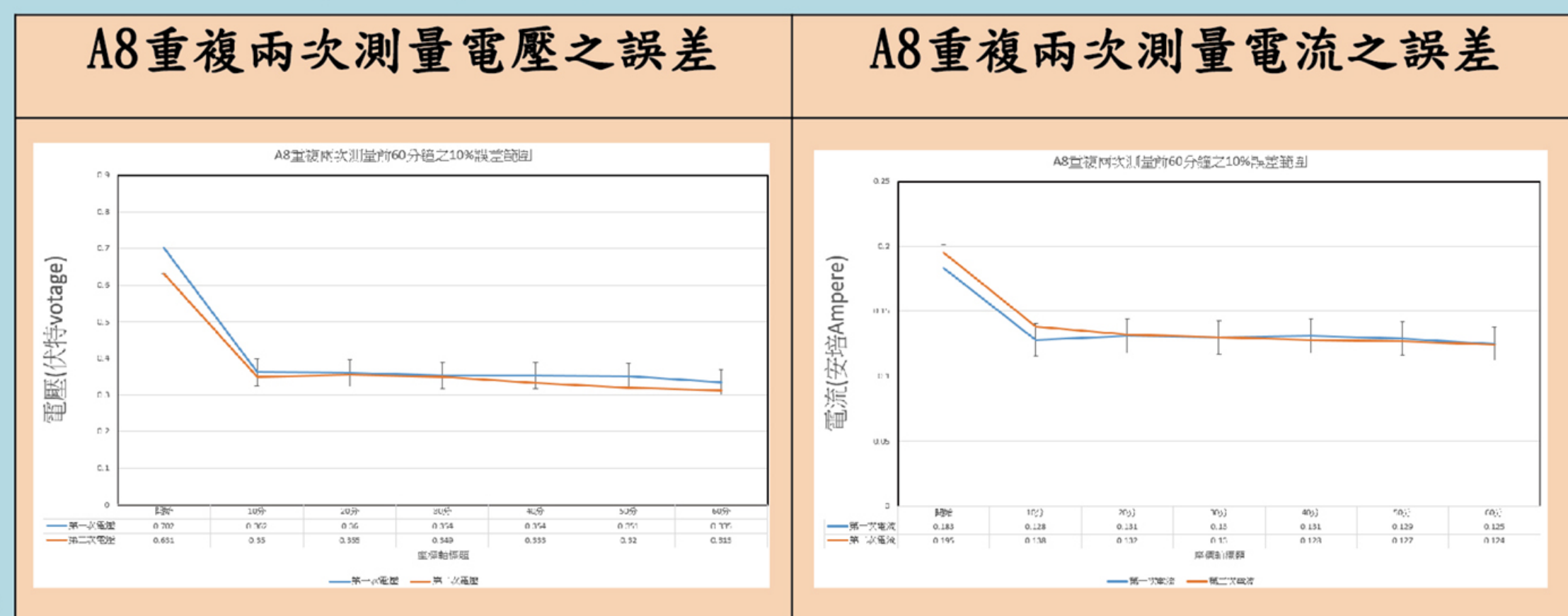
我們購入八根長度都是20公分，每根直徑粗細大約是2.4-3公分，電阻約1.7-6.5歐姆，並將八根備長炭進行編號，分別為A4-A11。

(二) 使用純水取代鹽水所製作成的鋁空氣電池是否能讓風扇馬達運轉？

食鹽是電解質，這類的電池都需要電解質溶液來導電，如果使用純水是否能讓馬達運轉？我們依同樣程序製成鋁空氣電池，但是用4C.C. 純水取代4C.C. 食鹽水，取三根備長炭做測試，測試發現，**純水無法讓風扇馬達。**

(三) 同一根備長炭所重複製成的鋁空氣電池放電是否穩定？

為了確認備長炭重複使用是否會影響其效能，我們取一根備長炭A-8製成鋁空氣電池，觀察60分鐘的電壓電流變化，依同樣程序重複兩次，其數據如右表。從圖可以看出，**以第一次數據為基準標出10%的誤差範圍，第二次的測量數據都落在10%的誤差範圍內。可見備長炭洗淨晾乾後能重複使用。**



八、挑戰鋁空氣電池讓風扇馬達連續運轉十小時的任務

我們在第一階段實驗中，成功讓風扇馬達轉動超過五小時，但要超過十小時，對我們來說是一個很大的挑戰。我們做了以下的實驗設計：

(一) 雙倍紙巾與雙倍鹽水實驗設計

根據反應式 $4Al + 3O_2 + 6H_2O \rightarrow 4Al(OH)_3$ 可以看出水在鋁空氣電池中扮演著重要的角色，在補水的實驗設計中，成功延長風扇馬達運轉的時間，此時我們思考另一個問題，若是不補水，利用雙倍紙巾加上雙倍的食鹽水是否能增加風扇馬達運轉的時間呢？**我們拿A-3纏上雙倍廚房紙巾以並滴8 C.C. 雙倍的鹽水，實驗發現，讓風扇馬達運轉278分鐘23秒，時間比單層紙巾與4 C.C. 的鹽水(運轉51分56秒)高出很多。**

(二) 雙倍紙巾與雙倍鹽水加補水實驗設計

雙倍紙巾加上雙倍鹽水確實能增加風扇馬達運轉的時間，此時我們結合兩個實驗設計，利用雙倍紙巾與雙倍鹽水加上補水實驗設計，成功讓**風扇馬達運轉350分鐘12秒，雙倍紙巾加補水設計，確實可以增加鋁空氣電池的效能。**

(三) 雙倍紙巾與雙倍鹽水加補水實驗設計是否能複製在其他備長炭上

為了證明雙倍紙巾與雙倍鹽水加補水實驗設計是否能複製在其他備長炭上，我們從第二批採購的備長炭中，拿A-11複製上面兩組實驗設計，實驗結果如下：

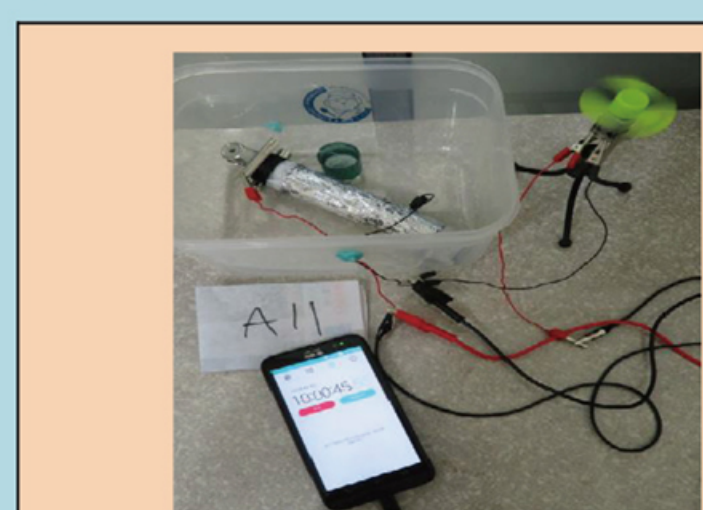
1、實驗一：雙層紙巾及加倍鹽水實驗設計

- (1) 備長炭A-11洗淨風乾，在兩張廚房紙巾上滴8c.c. 食鹽水，製成鋁空氣電池。
- (2) 將鋁空氣電池接上風扇馬達，觀察電壓及電流的變。雙層紙巾及加倍的鹽水讓風扇馬達運轉了213分19秒。

2、實驗二：雙層紙巾與雙倍鹽水並且補水的實驗設計

- (1) 備長炭A-11洗淨風乾，在兩張廚房紙巾上滴8c.c. 食鹽水並纏上棉線做補水用，製成鋁空氣電池。
- (2) 將鋁空氣電池接上風扇馬達，觀察電壓及電流的變化(圖四十一)，實驗實驗發現，**雙倍紙巾加補水設計讓風扇馬達運轉了10小時16分38秒。**
- (3) 風扇馬達停止後，我們使用吸水紙檢測備長炭兩端的紙巾發現是濕潤的(圖四十四)，表示棉線補水順利進入備長炭中。運轉十小時後的鋁箔也看出明顯被侵蝕的孔洞。

實驗發現(表20)，**補水的實驗設計確實能提升鋁空氣電池的效能，但是不同根的備長炭提升比例不一，推測和備長炭被燒製出來的特性有關，但是整體的時間增加趨勢是一致的。**

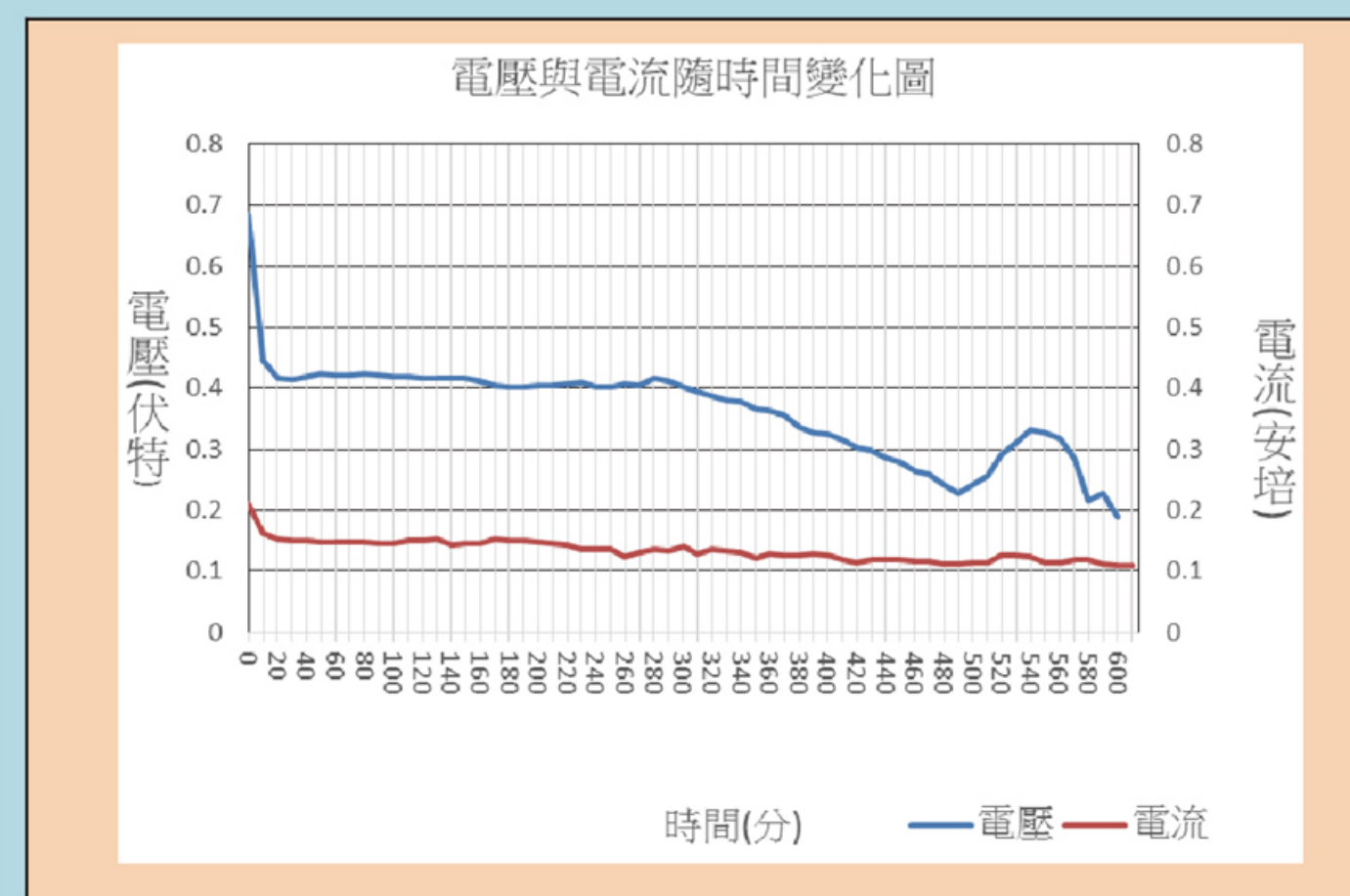


	雙倍紙巾加倍鹽水(8C.C.)	雙倍紙巾加補水	時間增加率
A-3	278 分鐘 23 秒	350 分鐘 12 秒	25%
A-11	213 分鐘 19 秒	616 分 38 秒	189%

圖四十三 A-11讓風扇馬達轉動超過10小時

圖四十四 兩端紙巾明顯濕潤

表20 A-3、A-11不同實驗設計讓風扇馬達運轉的時間比較



圖四十一 備長炭A-11雙倍紙巾與雙倍鹽水加補水實驗設計的電壓及電流變化

(四) 比較鋁空氣電池的電量

以A-11為例，讓風扇馬達運轉的時間裡，消耗了電池多少電量呢？為了瞭解這個問題，我們實際拿兩個市售常見牌子的三號電池分別接上風扇馬達運轉，連續每秒測量電流值，監測從風扇馬達開始運轉到停止，將**電流與時間相乘得到電量**，其結果如表21。

我們發現當鋁空氣電池效能提升時，所產生的電量也會增加，**A-11雙倍紙巾與雙倍鹽水加補水設計中，風扇馬達運轉了10小時又16分，所產生的電量相當於2顆三號電池。**

讓風扇馬達開始運轉到停止	電量(庫倫)
A-11單層紙巾實驗設計(運轉28分58秒)	218.1
A-11雙倍紙巾加雙倍鹽水實驗設計(運轉213分19秒)	1785.8
A-11雙倍紙巾與雙倍鹽水加補水設計(運轉616分38秒)	4903.4
A牌三號電池(運轉98分14秒)	2285.2
B牌三號電池(運轉154分26秒)	2461.1

鋁空氣電池的鋁箔是生活中易取得的材料，高品質的備長炭經實驗證明也是可以重複使用的。文獻中指出鋁是可以產生高能量密度的材料，但是一般的學校簡易電池實驗中不易輕易實際觀察到這個現象，因為鋁片當作電池電極，鋁表面氧化會產生緻密氧化鋁導致內部不再被氧化。但是透過本實驗所改良的鋁空氣電池，可以大大的提高電池的效能，可以讓同學們親眼看到令人驚訝的鋁空氣電池效能，而且製作簡單，可以作為在國小電池的相關單元延伸實驗，讓大家可以動手來自製電池，而且這樣的電池也算環保，實驗過程也沒有產生有毒廢棄物。

這個研究中，備長炭的品質我們只測量了電阻大小，我們詢問專家後，知道還有一些複雜的方法可以檢測備長炭孔徑大小，還有備長炭的化學結構等，但是這些檢測需要的儀器設備我們不易取得，所以我們沒有辦法進一步深入討論。但我們對這樣的實驗結果覺得很有趣，透過基本的設備還是可以發現一些過去的人沒有觀察到的現象，我們以後在繼續求學的過程中，若有機會接觸到這些設備，我們希望這個主題還可以繼續研究下去。

伍、結論

一、**導電性好的備長炭，所製作的鋁空氣電池效能也會比較好**，備長炭的品質會影響導電性。

二、**備長炭製作的鋁空氣電池，備長炭可以重複使用**。我們的研究是發現組合成鋁空氣電池使用過的備長炭浸泡逆滲透水，洗淨、晾乾再次拿來做實驗，發現鋁空氣電池可以讓風扇馬達運轉的時間都差不多，可見備長炭是可以重複使用的。我們也發現，**同一根備長炭所重複製成的鋁空氣電池放電，兩次電壓與電流誤差在10%以內。**

三、**放置在充滿二氧化碳的盒子中，鋁空氣電池效能不佳**。二氧化碳會讓風扇馬達運轉時間遠低於鋁空氣電池放置在空氣中的情況。鋁空氣電池運轉需要氧氣。實驗過程中，我們測量裝有鋁空氣電池的封閉盒子裡的二氧化碳濃度，發現二氧化碳濃度沒有明顯增加，可見空氣電池在運轉的過程中不會產生二氧化碳，同時也發現盒中的氧氣濃度降低。

四、**放置在充滿氧氣的盒子中，鋁空氣電池效能提升**。將備長炭浸泡在氧氣中製成鋁空氣電池發現，氧氣在鋁空氣電池運轉的過程中能提高電壓和電流，增加鋁空氣電池的效能。

五、**透過補充食鹽水改良的設計，發現調整合適的補水速度會提高影響鋁空氣電池的效能**，補水過慢，內部乾燥，補水過多太過濕潤，會影響空氣中的氧氣進入備長炭中。從下表的實驗紀錄可以發現，持續補水設計確實可以增加鋁空氣電池的效能，我們最佳紀錄可以讓風扇馬達運轉連續長達10個小時16分鐘，而且備長炭可以重複使用，這顯示鋁空氣電池是可以透過設計來提高效能。

六、**當鋁空氣電池效能提升時，所產生的電量也會增加**，A-11雙倍紙巾與雙倍鹽水加補水設計中，風扇馬達運轉了10小時又16分，所產生的電量相當於2顆三號電池。