

# 中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

高級中等學校組 工程學(二)科

團隊合作獎

052409

不同「釩」響之新空氣液流電池

學校名稱：雲林縣私立揚子高級中學

作者：  高二 廖于葆  高二 林華晉  高二 陳奕丞	指導老師：  楊志堅  陳尚民
---	-----------------------------

關鍵詞：全釩液流電池、釩空氣電池、質子交換膜

## 摘要

本研究可分為兩大主題，其一為提升全鈳液流電池之反應時間，二為製作鈳空氣電池。為節省實驗成本，皆購入較為便宜之  $V_2O_5$  自行電解為所需之  $V^{4+}$  及  $V^{3+}$ ，並運用自行製作之全鈳液流電池，探討其何種內部迴路構造與複合膜可使電池反應時間與理論值最相近，亦自行嘗試製作鈳空氣電池，將其沉澱物  $V_2O_5$  拿來重複電解。實驗結果顯示，Type-2 反應時間最接近理論值，本團隊之複合膜為 PVA、LiCl、與杜邦公司之 Nafion 溶液聚合而成，與市售之 Nafion-117 比較結果，本研究之複合膜電壓效率、能量效率及庫倫效率仍不及 Nafion-117，但在較高電流 80mA 下差距接近，且反應時間較快。本研究亦發現碳氈經高溫加熱後，再浸泡於強氧化性酸中會有效提升電池系統效能。

## 壹、研究動機

記得有一次乘坐父親的車子去上學，發現車子發不動，請修配廠人員檢查才確認，車子的電瓶已耗損到電壓無法啟動引擎，看著被換下來的電瓶為標示 12.5V 的鉛蓄電池，離上次更換時間約 3 年，且已經不能再使用，那天本人上學遲到，錯過重要的考試，心情有些低落，試想若有效率更佳，壽命更長且環保的電瓶就不會發生這次悲劇，於是開始上網查閱資料，找到了其中一種鮮為人知的儲電電池—全鈳氧化液流電池(VRB)，不但效率比鉛蓄高，而且更持久與環保，唯獨其體積不小。本人發現 VRB 的研究資料甚少，於是找了兩位好友與學校有興趣之老師，一起攜手展開這段科展研究之旅。

## 貳、研究目的

本實驗之研究目的可分為下列幾點：

- 一、自行電解  $V_2O_5$  獲取所需  $V^{4+}$  與  $V^{3+}$
- 二、設計並製作全鈳液流電池
- 三、電池內部迴路流槽構造開發與製作
- 四、改良全鈳液流電池內部碳氈
- 五、自製適用於全鈳液流電池之質子交換膜
- 六、開發並製作鈳空氣電池，並探討與全鈳液流電池結合構成循環充放電可能性。

## 參、研究設備與器材

表 1、儀器以及記錄設備

編號	物品	數量	用途
(一)	筆記本、筆	數本	實驗日記與研究記錄
(二)	手機	一台	拍攝實驗過程
(三)	電子秤	一台	量取實驗藥品
(四)	筆記型電腦	一台	撰寫 Word 檔案
(五)	恆定電流電位儀	一台	提供穩定電壓電流
(六)	Soildworks 軟體	一套	電池內部流場繪製、設計
(七)	小型可控式 pump	兩台	使鈇液流動
(八)	高溫熱壓機	一台	製作石墨電極
(九)	壓克力裁切器	一把	裁切壓克力
(十)	標準型觸控式蠕動 pump	一台	操作全鈇液流電池
(十一)	充放電測試儀	一台	操作全鈇液流電池
(十二)	電解槽	一台	電解鈇

表 2、實驗所需之材料

編號	物品	數量	用途
(一)	內徑約 0.5cm 之塑膠管	若干	裝置製作用
(二)	壓克力板	若干	裝置製作用
(三)	石墨	若干	裝置製作用
(四)	10x10x0.1 鍍金銅板	若干	裝置製作用
(五)	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	若干	裝置製作用
(六)	質子交換膜 Nafion117	若干	裝置製作用
(七)	5%Nafion <sup>®</sup> 水溶液	若干	裝置製作用
(八)	甲基吡咯烷酮	若干	裝置製作用
(九)	碳布	若干	裝置製作用
(十)	10*6*4cm 壓克力盒	一盒	裝置製作用
(十一)	氫氧化鈉	若干	裝置製作用
(十二)	固態金屬鈇	若干	裝置製作用
(十三)	聚二氟乙烯 PVDF	若干	裝置製作用
(十四)	戊二醛	若干	裝置製作用
(十五)	丙酮	若干	裝置製作用
(十六)	醋酸	若干	裝置製作用
(十七)	活性碳粉	若干	裝置製作用
(十八)	發泡鎳	若干	裝置製作用
(十九)	金屬集電網	若干	裝置製作用



圖 1-1、石墨塊



圖 1-2、催化劑塗覆設備



圖 1-3、催化劑塗覆針



圖 1-4、CNC 切割機



圖 1-5、高溫熱壓機

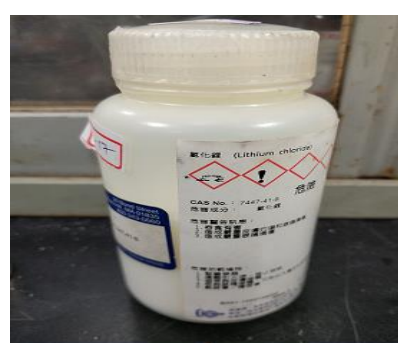


圖 1-6、氯化鋰



圖 1-7、超音波震盪機



圖 1-8、五氧化二釩



圖 1-9、發泡鎳



圖 1-10、標準型觸控式  
PUMP



圖 1-11、充放電測試儀



圖 1-12、烘箱

圖 1、實驗設備與材料

# 肆、研究過程與方法

## 一、研究流程

本研究流程，大致包含全鈳液流電池改良設計，鈳空氣電池設計等，詳細流程如下圖所示：

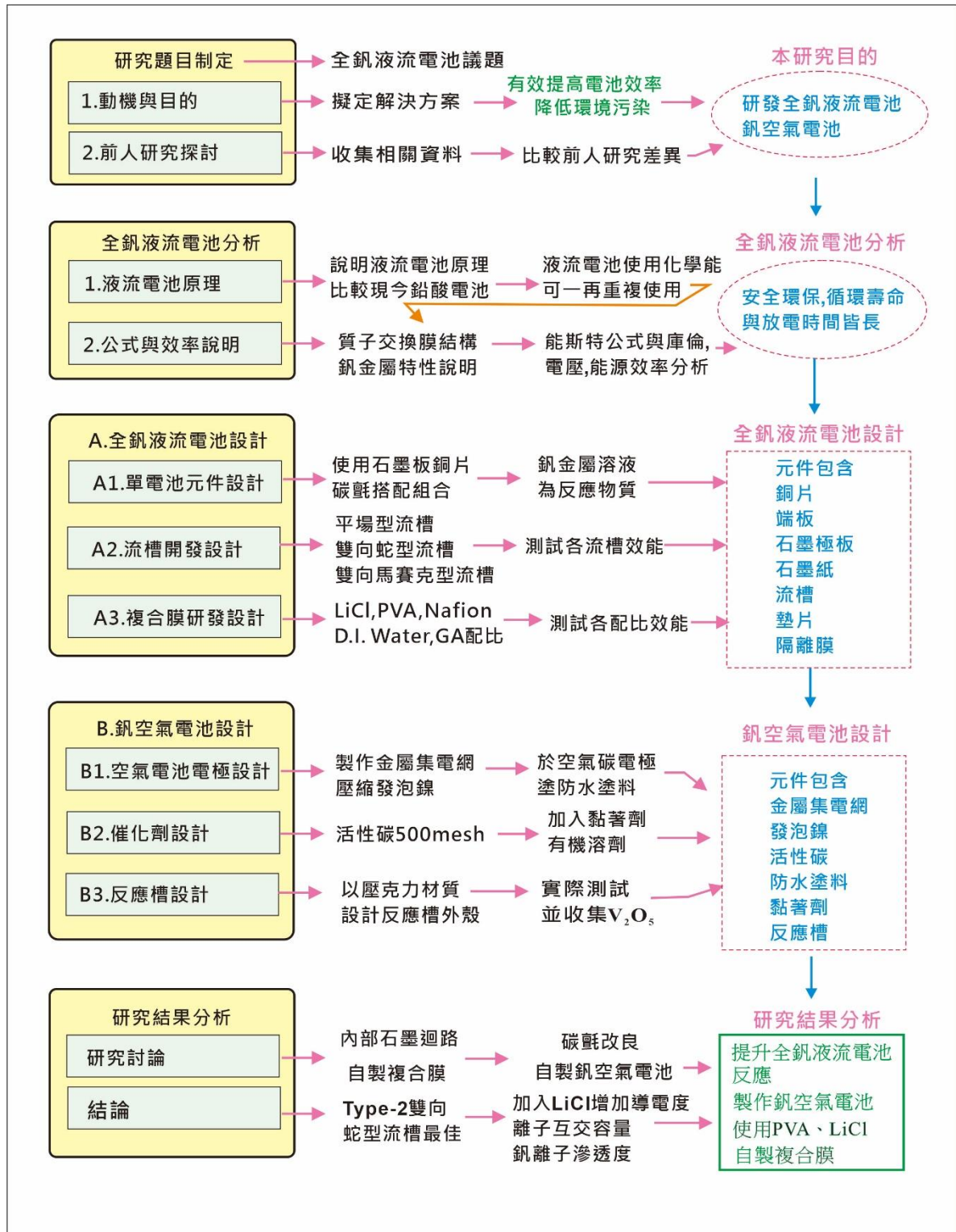


圖 2、研究流程圖

## 二、文獻蒐集

在大規模的儲能設備中，以化學能的方式儲存能量的液流電池(Flow battery)，作為新型的蓄電儲能裝置，不僅可以作為太陽能 and 風力發電系統等綠色發電的配套儲能設備，還可以作為電網的調峰裝置，提高輸電性能保障電網安全。利用化學能進行蓄電儲能，可以不受地理條件限制，選址自由度大。相較於其他儲能裝置，液流電池的規模設計靈活、裝置構造安全、維修費用低、反應迅速、循環壽命長和放電時間長等優點逐漸成為研究重點，在日本、中國、澳大利亞、加拿大、美國和西歐等國家已開始取代電容量小、壽命短、汙染較大的鉛酸電池。

全鈦液流電池的電解液係由不同價態的鈦離子硫酸溶液組成，分別儲存於兩個儲液槽中，並且通過外接泵浦的作用使電解液在兩個半電池間流動，兩個半電池由隔離膜也就是質子交換膜隔開，正極半電池是  $V^{4+}/V^{5+}$  溶液，負極半電池是  $V^{3+}/V^{2+}$  溶液，充電時正極的  $V^{4+}$  氧化為  $V^{5+}$ ，負極的  $V^{3+}$  還原為  $V^{2+}$ ，完成電能與化學能之間的轉換，放電過程鈦離子價數則反向進行。

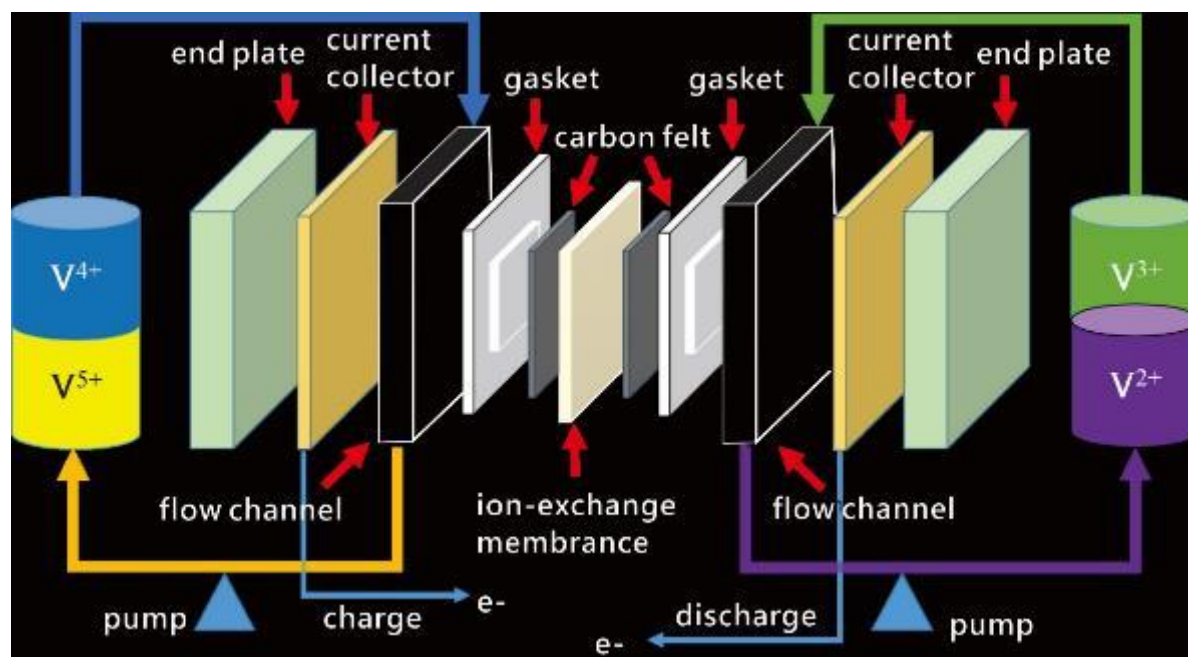
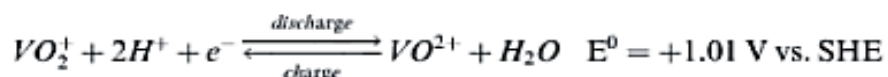


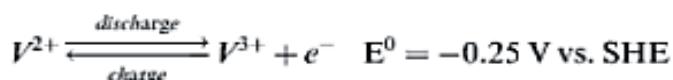
圖 3、全鈦氧化還原液流電池的示意圖（本研究繪製）

(一) 運作原理：

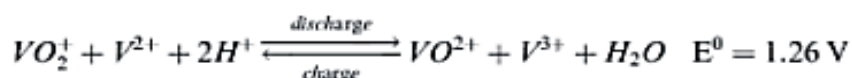
Positive electrode :



Negative electrode :



Overall :



(二) 質子交換膜 (翁柏璋、蔡汶均 2012) :

質子交換膜燃料電池，又稱固體高分子電解質燃料電池，是一種以含氫燃料與空氣作用產生電力與熱力的燃料電池，運作溫度在 50°C 至 100°C，無需加壓或減壓，以高分子質子交換膜為傳導媒介，沒有任何化學液體，發電後產生純水和熱。

質子交換膜是一種具有一定厚度固態的高分子聚合物，決定全釩液流電池性能和壽命的關鍵材料之一，不同於其他電池的隔離膜，全釩液流電池中的質子交換膜一方面阻絕正負極電解液，防止電解液交叉汙染和短路；另一方面能使質子通過。良好的質子交換膜應具備以下性質：

1. 良好的阻釩和防水遷移性能，防止正負極電解液交叉汙染，平衡兩側電解液濃度，降低電容量損失
2. 良好的離子傳導性，形成有效傳導迴路，提高電池效率
3. 機械强度高穩定性佳，能夠承受強酸腐蝕的特性
4. 具易濕潤性，使得正負極之間的離子移動阻力降低，以利降低電池內阻。

全氟磺酸離子交換膜是目前全釩液流電池廣泛使用的質子交換膜，其中最具有代表性的是杜邦公司(DuPont, USA)生產的 Nafion® 系列複合膜、陶氏化學公司(Dow, USA)的 Dow 膜，和 Asahi Chemical 公司(Japan)的 Aciplex 膜。由於 DuPont 的 Nafion® 膜擁有較高的質子導電率且能在強酸強氧化的釩電解液中穩定存在，而成為全釩液流電池領域的首選隔膜。

全氟磺酸膜的化學結構式如下圖：

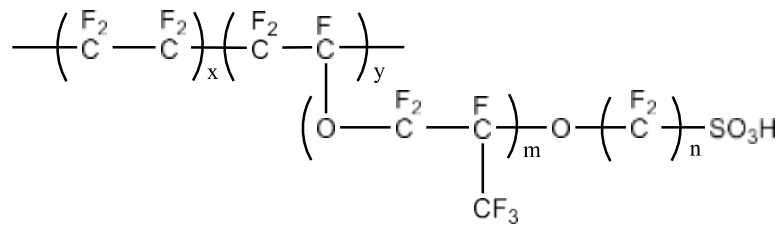


圖 4、全氟磺酸膜的化學結構式（杜邦公司）

全氟磺酸離子交換膜主要由兩個部份構成：為疏水的基團的聚四氟乙烯(PTFE)有機鏈是構成膜的基本骨架，以及末端帶有磺酸基(-SO<sub>3</sub>H)的全氟乙基醚。鏈端為親水的磺酸基團結構，可以傳導質子(H<sup>+</sup>)，在整個 Nafion 結構中，因氟原子有極高的電負度，吸引電子的能力相當強。一方面由於 C-F 的鍵能較高，氟原子可極化度小，通過分子的自由旋轉分布，形成一個被氟原子包圍而表面能很低的結構，這種結構具有優良的機械性能和電化學穩定性。另一方面也由於氟原子吸引電子能力很強，磺酸基在水中較能完全解離，酸度才可以與硫酸相當，增加離子導電膜的導電性。

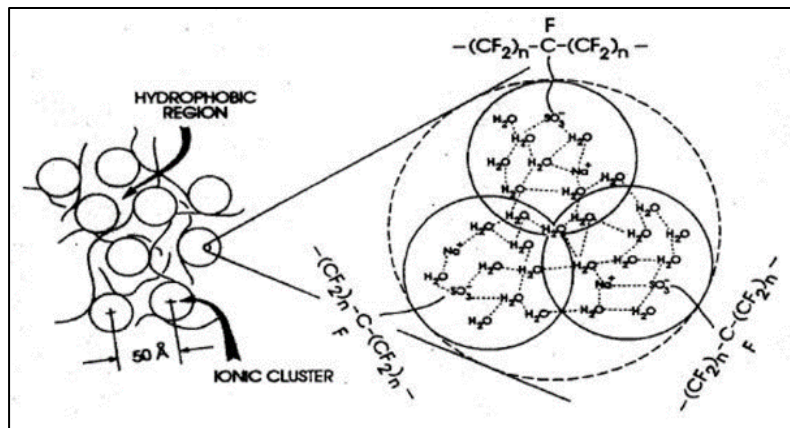


圖 5、Nafion 薄膜物理微結構（參考 Kordesch,1986）

(三) 鈳（資料來源:整理至維基百科）：

在氧化物中鈳一般顯+5 價，但也有+2、+3 和+4 價的氧化物存在，不過它們比較容易過渡為+5 價的氧化物。2 價和 3 價的鈳氧化物是鹼性的，4 價的氧化物是兩性的，5 價的氧化物是酸性的。

鈳顏色與價數變化：無色"VO<sub>3</sub><sup>-</sup>" → 黃色"VO<sub>2</sub><sup>+</sup>" → 藍色"VO<sup>2+</sup>" → 綠色"V<sup>3+</sup>" → 紫色"V<sup>2+</sup>"。





圖 6、V<sup>2+</sup>、V<sup>3+</sup>、V<sup>4+</sup>、V<sup>5+</sup>反映顏色變化（維基百科）

(四) 能斯特方程式

在全鈦液流電池當中，通常使用化簡後之能斯特方程式：  
作為計算理論反應時間之公式。

$$\frac{I \times t}{96500} = n \times M \times V$$

I=電流、t=時間、n=改變的價數、  
M=配置鈦濃度、V=體積

(五) 庫倫效率（Coulombic efficiency）：

另稱放電效率，是指電池放電容量與同循環過程中充電容量之比，即放電容量與  
充電容量之百分比。

$$CE(\%) = \frac{\int_0^t I_d \cdot dt}{\int_0^t I_c \cdot dt} \times 100\%$$

(六) 電壓效率（Voltage efficiency）：

電解時理論所需最小外加電壓(理論分解電壓)與實際外加電壓(槽電壓)之比

$$VE(\%) = \frac{EE}{CE} \times 100\%$$

### (七) 能量效率 (Energy efficiency)

能量轉換效率是指一個能量轉換設備所輸出可利用的能量相對其輸入能量的比值。輸出的可利用能量可能是電能、機械功或是熱量。能量轉換效率沒有一致的定義，主要和輸出能量可利用的程度有關。

$$EE(\%) = \frac{\int_0^t V dI dt}{V_c I_c dt} \times 100\%$$

## 三、實驗設計

(一) 本研究全鈦液流電池設計如下：

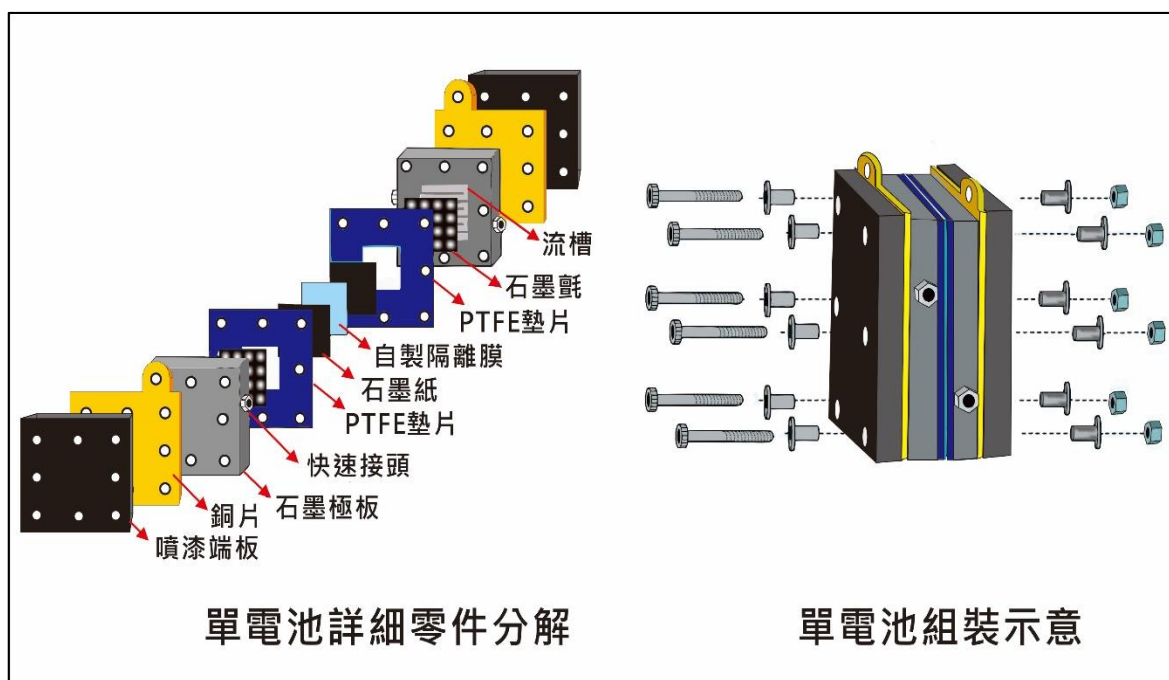


圖 7、本研究全鈦單電池設計圖(本研究設計)

(二) 設計理念與依據：

#### 1. 元件設計靈活：

全鈦液流電池的功率與電容量是彼此獨立的，功率的大小取決於電池(堆)；電容量的大小取決於電解液的多寡，藉由任意增加電解液的體積，可任意增加電池電量，或是提高電解液的濃度，即可成倍增加全鈦液流電池的電池電量。

2. 效率高：

全釩液流電池的正、負極的化學反應物質在電池無工作時，分別儲存在正、負極電解液儲槽中密閉存放，如此設計可以避免正、負兩極的反應物質產生自放電消耗及電解液變質的問題。

3. 壽命長：

全釩液流電池在工作使用時，電解液才會循環流動，而電池尚無工作時，電解液分別儲存在密閉的儲液罐，充放電過程無其他電池常有的物相變化，可以深度放電不損傷電池，而影響電池壽命。根據 VRB Power System 商業上的示範，運行時間最長的全釩液流電池模組的充放電循環壽命超過 18,000 次，實際驗證全釩液流電池系統的穩定性及技術成熟度，遠遠高於固定型的鉛酸電池系統 1,000 次的循環壽命次數。

4. 成本低：

全釩液流電池之電池堆結構簡單，除了隔離膜外，電池的內部元件多為價格低廉的碳材料、工程塑膠，材料來源豐富取得容易，也方便回收，不需要稀有金屬做為電極催化劑，更換和維修費用低。

5. 安全性高：

全釩液流電池無潛在的爆炸或著火相關危險，即便將正、負極電解液混合也不會有危險的反應產生，只有電解液的溫度會約略升高，因此在安全性上相當可靠。

6. 可瞬間充電：

全釩液流電池可利用直接更換電解液的方式，瞬間將電池充電，使用起來相當便利。

#### 四、實驗步驟

步驟一：將  $V^{+5}$  電解為  $V^{+4}$  及  $V^{+3}$  供後續實驗使用

1. 將五氧化二釩溶於稀硫酸中得到  $V^{+5}$  溶液
2. 將  $V^{+5}$  通入電解槽
3. 循環電解 4 小時得到  $V^{+4}$  並收集之
4. 取步驟 2 得到之部分  $V^{+4}$  通入電解槽
5. 循環電解 4 小時得到  $V^{+3}$  並收集之
6. 獲得  $V^{+4}$  及  $V^{+3}$

步驟二：製作釩液流電池

1. 將碳氈浸泡於稀硫酸中兩小時
2. 裁切 10 \* 10 \* 1 (cm) 之鋁合金兩塊
3. 高溫熱壓 10 \* 10 \* 2 (cm) 石墨塊兩塊
4. 於石墨塊內部刻畫硫酸釩液流經之迴路
5. 加工 10 \* 10 \* 0.1 (cm) 之鍍金銅片兩片
6. 於材質塊、石墨片及金屬導片上預定區域打洞
7. 將質子交換膜置於兩石墨片中間並貼上耐酸蝕橡膠片固定  
(註：質子交換膜使用 nafion-117)
8. 放入浸潤過之碳氈
9. 將鋁合金、鍍金銅片、石墨片組合並以螺絲固定
10. 連接各線路即完成

### 步驟三：調配硫酸鈳溶液

1. 調配 100ml 鈳溶液  
(註：鈳溶液莫耳濃度選用 0.5M)
2. 調配 100ml 硫酸溶液  
(註：硫酸溶液莫耳濃度選用 2M)
3. 將鈳溶液及硫酸溶液混和製成硫酸鈳

### 步驟四：實際運作並測試鈳液流電池系統

1. 將步驟三調配之硫酸鈳溶液分別導入電池陰陽極
2. 以可控式 pump 調節鈳液循環
3. 啟動鈳液流電池系統並測試其運作

### 步驟五：探討電池內部欲流經硫酸鈳之迴路構造對於效能之影響

1. 繪製不同之內部迴路  
(註：以 Solidworks 軟體設計迴路構造草稿)
2. 以 0.5M 鈳與 2.0M 硫酸之硫酸鈳作循環實驗
3. 調配 100ml 鈳溶液  
(註：鈳溶液莫耳濃度選用 0.5M)
4. 調配 100ml 硫酸溶液  
(註：硫酸溶液莫耳濃度選用 2M)
5. 將鈳溶液及硫酸溶液混和製成硫酸鈳
6. 控制系統溫度  
(註：溫度選用 25°C)
7. 將硫酸鈳導入全鈳液流電池並記錄電池數據
8. 將數據套入 Nernst Equation 計算其理論值

9. 使用定電流通電並記錄顏色變化時間與電壓

(註：電流使用 80mA)

10. 將數據與理論值作比較計算偏差值

11. 重複 1~10

#### 步驟六：改良內部碳氈

1. 設定高溫加熱機至 2200°C、2 小時

2. 將碳氈置於其中加熱

3. 取出後待其冷卻加入硫酸中浸泡 3 天

4. 再次取出後即完成

5. 將碳布與步驟五所測得之最佳流場做效能測量

#### 步驟七：自製鈇液流電池內膜

1. 秤取 10 克 10wt.%PVA 水溶液、5wt.%Nafion 溶液及去離子水，加入 50ml 燒杯攪拌均勻

2. 加入氯化鋰水溶液

(註：氯化鋰水溶液選用 25ml，0.5M、1M)

3. 摻入 0.1 克的 2.5%交連溶液戊二醛丙酮溶液再次攪拌均

(註：交聯溶液的配製方法：秤取 89 克丙酮，加入 10 克的戊二醛 (簡稱 GA，2.5wt%)，最後加進 1 克醋酸做為觸媒引發反應)

4. 倒入直徑 15 公分的塑膠培養皿中，高度約 0.2cm，於室溫下乾燥成

5. 取出乾燥後的複合膜，浸入 2.5%戊二醛丙酮溶液 10 分鐘，以去離子水沖洗乾淨再擦乾表面水珠

6. 放入 50°C烘箱 30 分鐘，即完成複合膜製備

#### 步驟八：複合膜材的單電池性能測試

1. 調配 100ml 釩溶液  
(註：釩溶液莫耳濃度選用 0.5M)
2. 調配 100ml 硫酸溶液  
(註：硫酸溶液莫耳濃度選用 2M)
3. 將釩溶液及硫酸溶液混和製成硫酸釩
4. 使用步驟五所得到之最佳迴路
5. 將電池膜替換  
(註：使用 Nafion-117、自製 Nafion/PVA/LiCl-1 及 Nafion/PVA/LiCl-2)
6. 控制系統溫度  
(註：溫度選用 25°C)
7. 將硫酸釩導入全釩液流電池
8. 使用充放電測試儀連接至電腦並繪製不同電流之循環電量電壓圖  
(註：在電壓範圍為 0.75V ~ 1.75V 下，以 20mA、40mA、60mA 及 80mA 各個電流密度下再循環一百次的充放電循環測試)
9. 重複 1~7

#### 步驟九：製作釩空氣電池

1. 裁切壓克力板
2. 黏合各壓克力板成為釩空氣電池外殼 (10\*6\*4cm)
3. 將活性碳溶解於有機溶劑 (甲基吡咯烷酮) 中
4. 在活性碳的有機溶液中加入聚合物 (聚二氟乙烯 PVDF) 賦予黏著效果
5. 將上述產物塗附於碳電極上
6. 待其自然風乾即完成陰極端的催化層
7. 結合催化層、導電集流體、防水透氣層成為複合式陰極

8. 調配氫氧化鈉溶液做電解質
9. 於陽極端置入鈮金屬
10. 組裝、連接各線路
11. 完成鈮空氣電池

步驟十：循環發電

1. 收集鈮空氣電池沉澱物—五氧化二鈮
2. 將五氧化二鈮溶於稀硫酸中電解（同步驟一）
3. 配置成硫酸鈮溶液（同步驟三）
4. 將硫酸鈮溶液供予鈮液流電池使用，達成產物二次利用

四、實驗過程




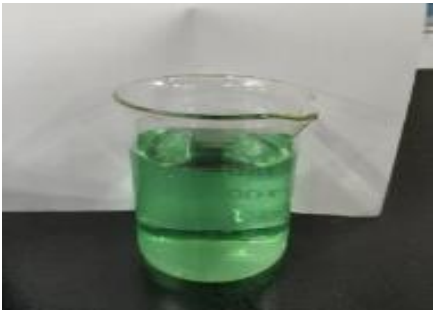
	
<p>圖 8-1、<math>V_2O_5</math> 溶於稀硫酸</p>	<p>圖 8-2、將硫酸鈮通入電解槽</p>
	
<p>圖 8-3、電解後取出 <math>V^{4+}</math></p>	<p>圖 8-3、再次電解取出 <math>V^{3+}</math></p>

圖 8、電解  $V_2O_5$




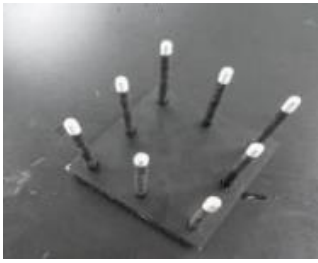
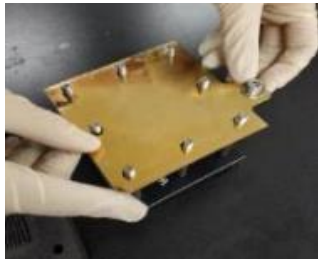
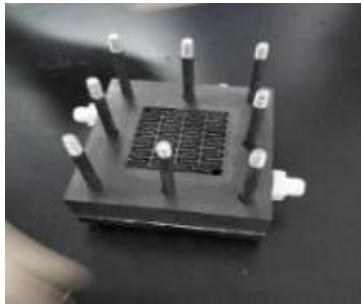

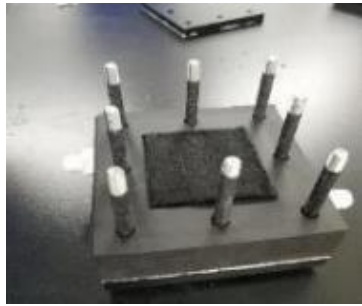
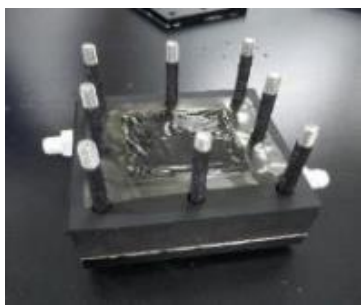
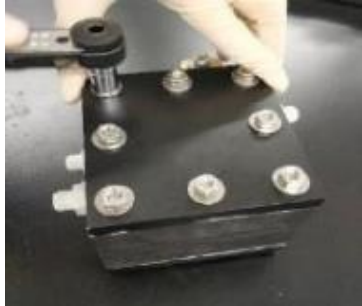
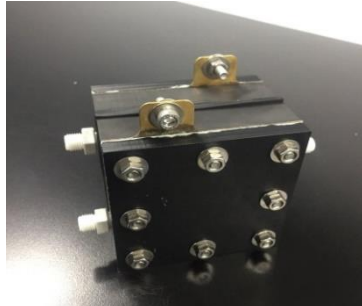
		
圖 9-1、將碳氈浸泡稀硫酸中	圖 9-2、將外殼套上螺絲	圖 9-3、將鍍金銅片套上螺絲
		
圖 9-4、將迴路碳版套上螺絲	圖 9-5、將塑膠墊片套上螺絲	圖 9-6、將碳氈及電池組合
		
圖 9-7、質子交換膜套上螺絲	圖 9-8、在另一側重複動作	圖 9-9、完成全鈦液流電池

圖 9、組裝全鈦液流電池

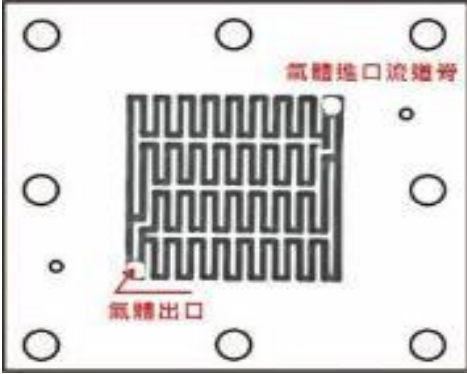
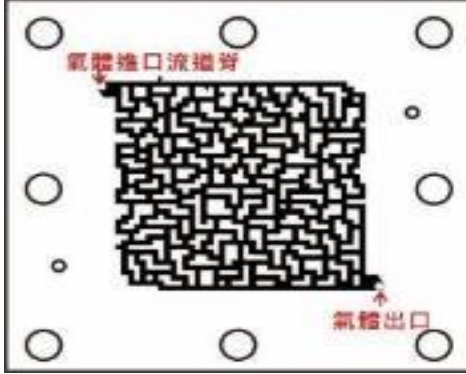
	
圖 10-1 雙向蛇型流槽	圖 10-2 雙向馬賽克型流槽

圖 10、本研究設計之流場


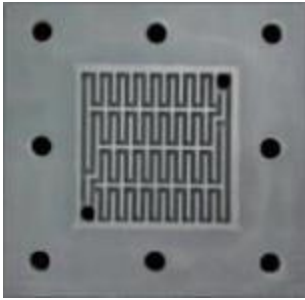
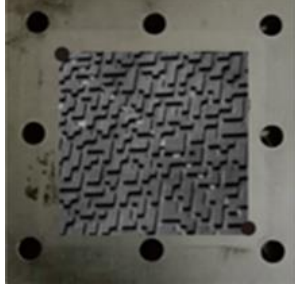
		
<p>圖11-1、Type-1 平場型流槽</p>	<p>圖11-2、Type-2 雙向蛇型流槽</p>	<p>圖11-3、Type-3 雙向馬賽克型流槽</p>

圖11、所採用之內部流場


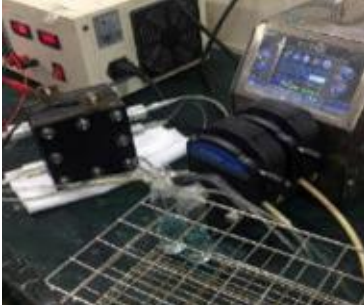
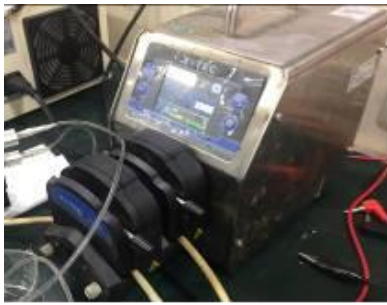



		
<p>圖 12-1、調配硫酸釩溶液</p>	<p>圖 12-2、將硫酸釩架置</p>	<p>圖 12-3、設定標準型觸控式 蠕動 pump</p>
		
<p>圖 12-4、設定恆定電流</p>	<p>圖 12-5、記錄其變色時間</p>	<p>圖 12-6、記錄其電壓變化</p>

圖 12、測試自製全釩液流電池





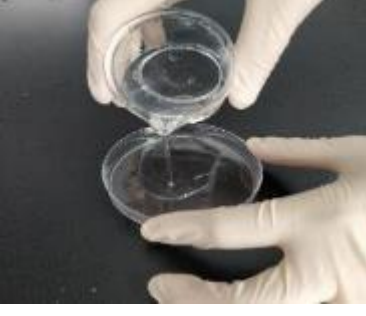
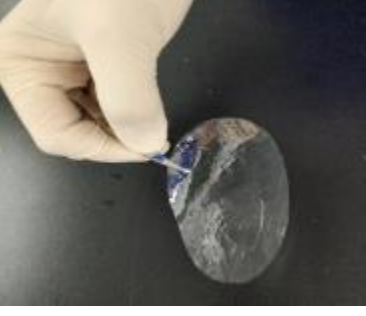



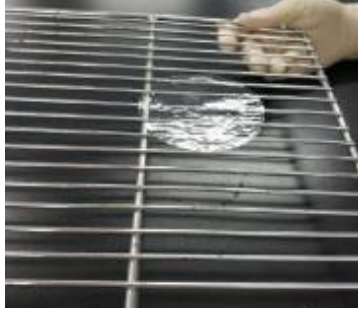
		
<p>圖 13-1、秤取所需藥品</p>	<p>圖 13-2、配置所需溶液</p>	<p>圖 13-3、加入 nafion 溶液</p>
		
<p>圖 13-4、加入氯化鋰</p>	<p>圖 13-5、調配交聯溶液</p>	<p>圖 13-6、將交聯溶液與膜溶液混合</p>
		
<p>圖 13-7、將複合膜液倒入培養皿</p>	<p>圖 13-8、取出複合膜</p>	<p>圖 13-9、將複合膜泡入交聯溶液</p>
		
<p>圖 13-10、將複合膜用純水洗淨</p>	<p>圖 13-11、將複合膜置入烘箱</p>	<p>圖 13-12、複合膜製成</p>

圖 13、複合膜製作過程

表4、複合膜成分

成份名稱	LiCl(g)	10%PVA(g)	5%Nafion® (g)	D.I. Water(g)	2.5%GA(g)
Nafion/PVA/LiCl- 1	0.53	10	8.6	10	0.1
Nafion/PVA/LiCl- 2	1.06	10	8.6	10	0.1



圖 14-1、架設鈦電池

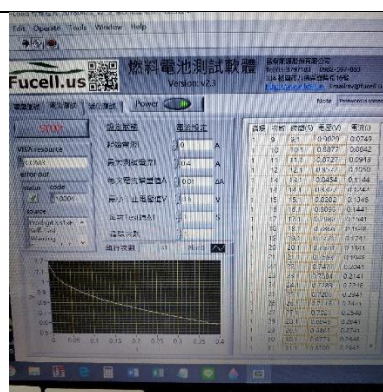


圖 14-2、設定充放電測試儀

圖 14、效能測量

鈦空氣電池半反應式及全反應式

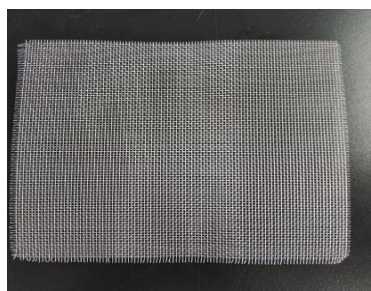
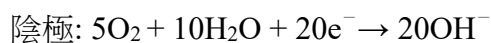
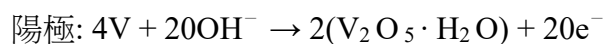


圖 15-1、裁切金屬集電網



圖 15-2、壓縮發泡鎳(空氣  
碳電極)



圖 15-3、於空氣碳電極背面  
塗覆防水塗料

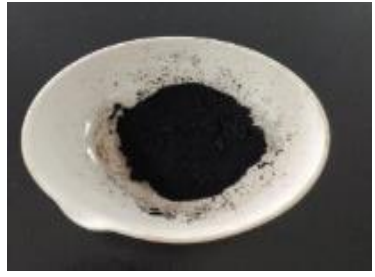
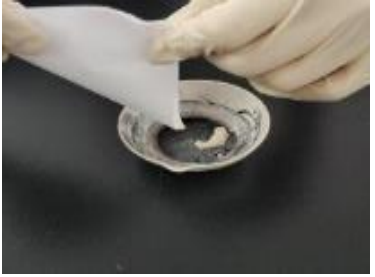

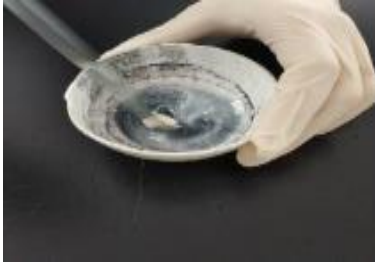

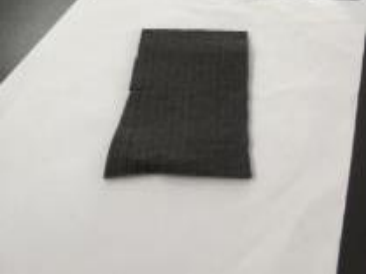
		
圖 15-4、盛裝活性碳(催化劑)	圖 15-5、加入黏著劑	圖 15-6、加入有機溶劑
		
圖 15-7、將混合物攪拌均勻	圖 15-8、將催化劑塗覆在空氣碳電極上	圖 15-9、自然風乾

圖 15、製作鈳空氣電極之陰極

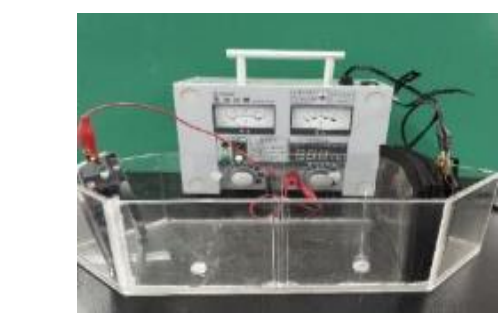



	
圖 16-1、鈳空氣電池全形	圖 16-2、鈳空氣電池實際運作
	
圖 16-3、 $V_2O_5$ 沉澱	圖 16-4 蒐集 $V_2O_5$

圖 16、鈳空氣電池運作與蒐集  $V_2O_5$

## 伍、研究結果

以下為本研究不同膜對能量效率 (EE)、庫倫效率 (CE)、電壓效率 (VE) 與同種膜對不同電流之充放比較之結果：

### 一、內膜對效率之影響結果

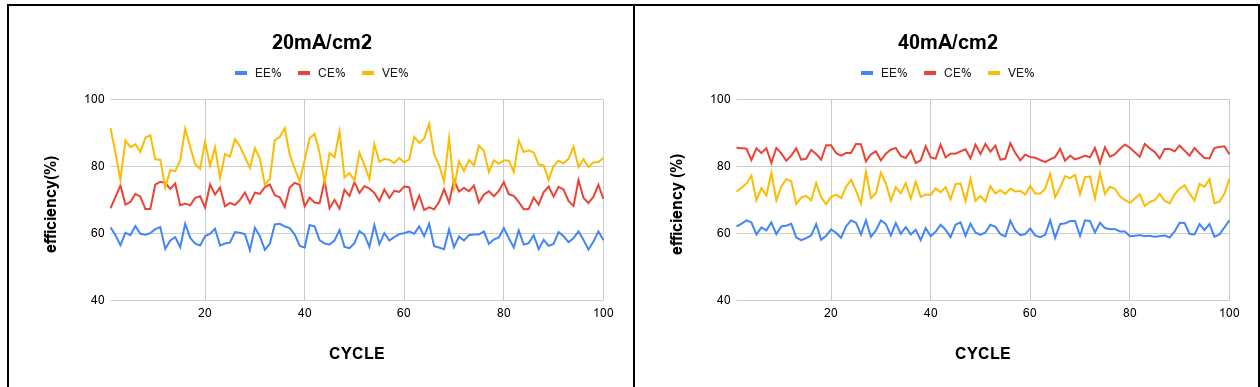


圖 17-1、Nafion/PVA/LiCl-1 在 20mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE

圖 17-2、Nafion/PVA/LiCl-1 在 40mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE

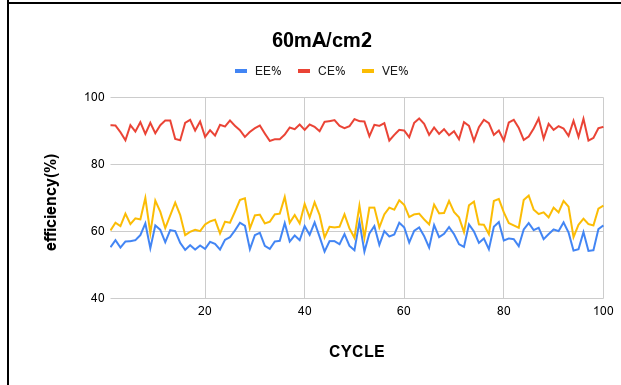


圖 17-3、Nafion/PVA/LiCl-1 在 60mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

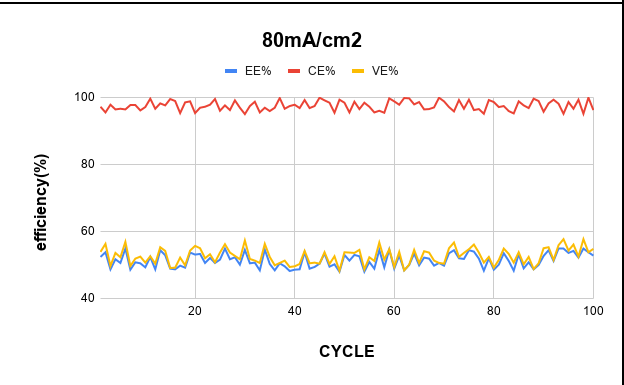


圖 17-4、Nafion/PVA/LiCl-1 在 80mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

圖 17、Nafion/PVA/LiCl-1 在 20、40、60、80mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE

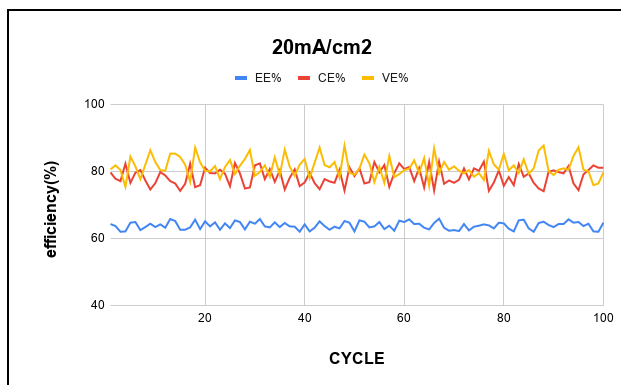


圖 18-1、Nafion/PVA/LiCl-2 在 20mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

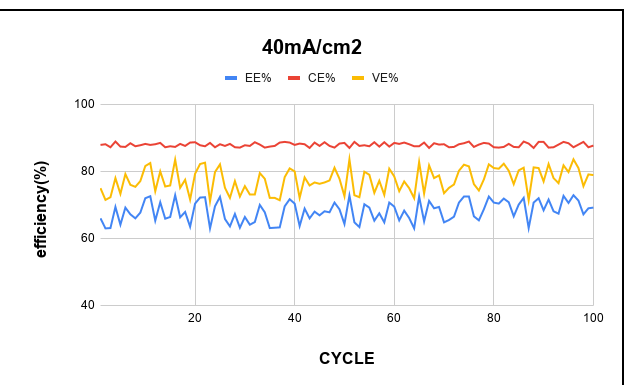


圖 18-2、Nafion/PVA/LiCl-2 在 40mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

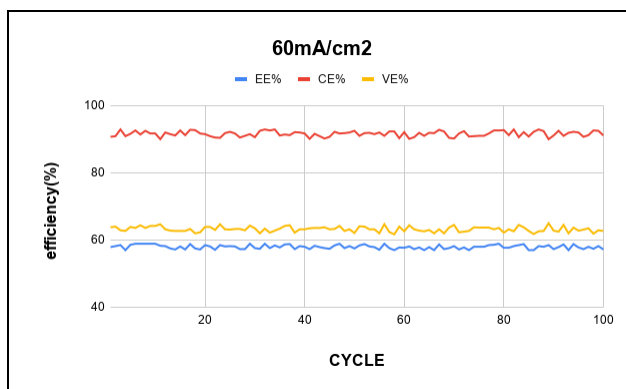


圖 18-3、Nafion/PVA/LiCl-2 在 60mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

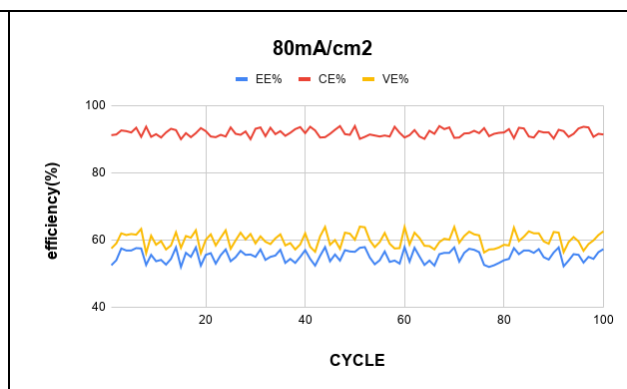


圖 18-4、Nafion/PVA/LiCl-2 在 80mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

圖 18、Nafion/PVA/LiCl-2 在 20、40、60、80mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE

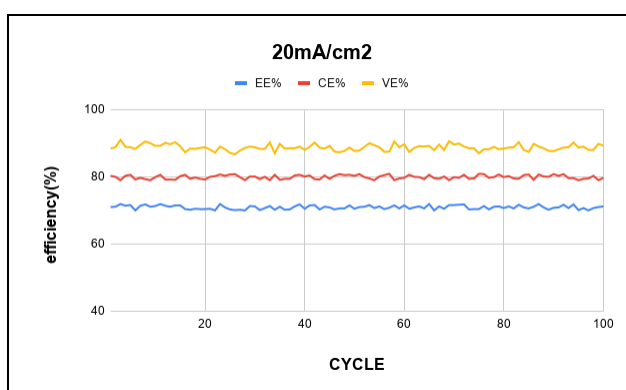


圖 19-1、Nafion117 在 20mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

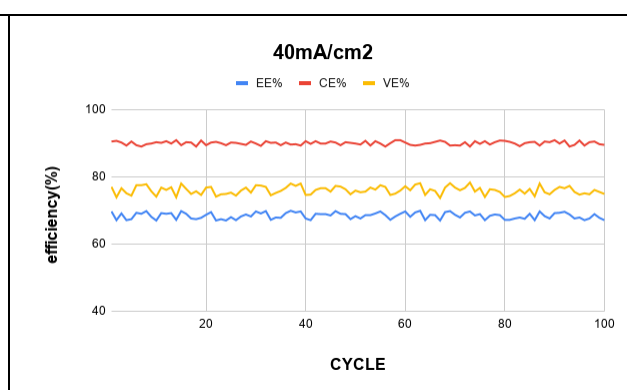


圖 19-2、Nafion117 在 40mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

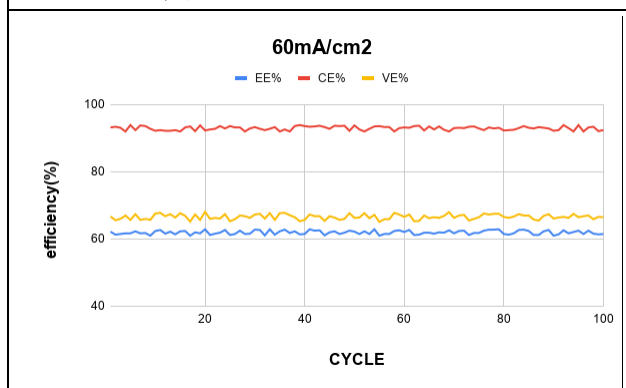


圖 19-3、Nafion117 在 60mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

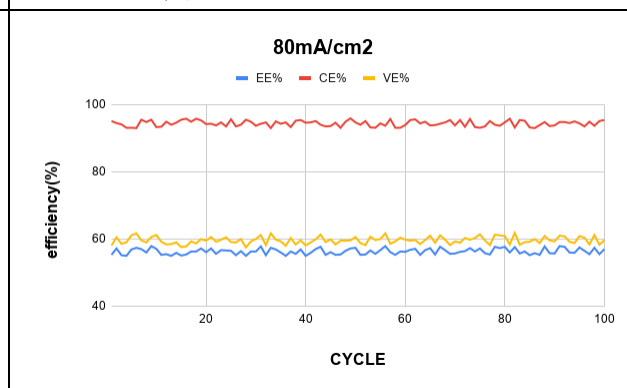


圖 19-4、Nafion117 在 80mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

圖 19、Nafion117 在 20、40、60、80mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE

表 5、碳氈與反應時間

顏色變化時間	理論時間 (s)	實際時間 (s)
碳氈		
未經過處理之碳氈	60312	63510

高溫加熱處理之碳氈	60312	63010
浸泡強氧化性酸之碳氈	60312	62880
高溫加熱及浸泡強氧化性酸之碳氈	60312	61980

表 6、內部迴路與反應時間

內部迴路 \ 時間	理論時間 (s)	實際時間 (s)
Type-1	60312	64560
Type -2	60312	63510
Type -3	60312	82330

## 二、碳氈對效率影響結果

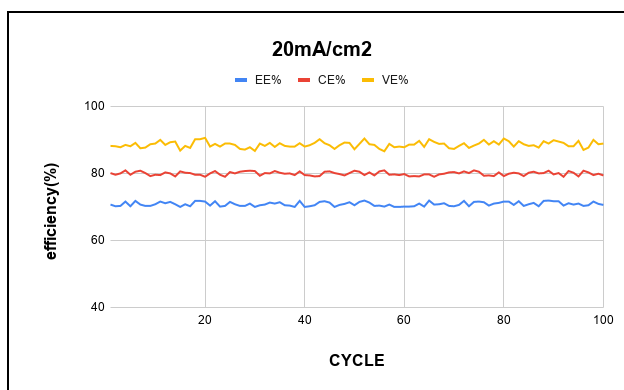


圖 20-1、未改良之碳氈於鈦電池系統在 20mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

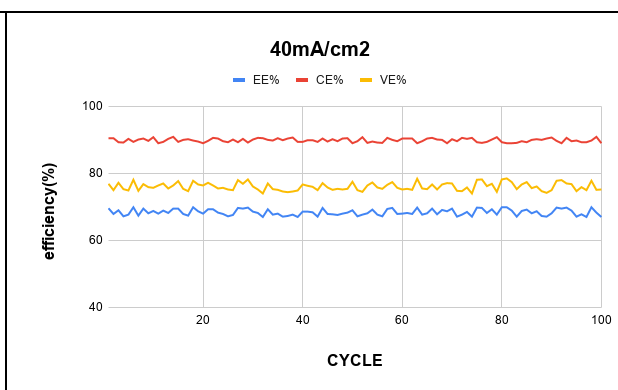


圖 20-2、未改良之碳氈於鈦電池系統在 40mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

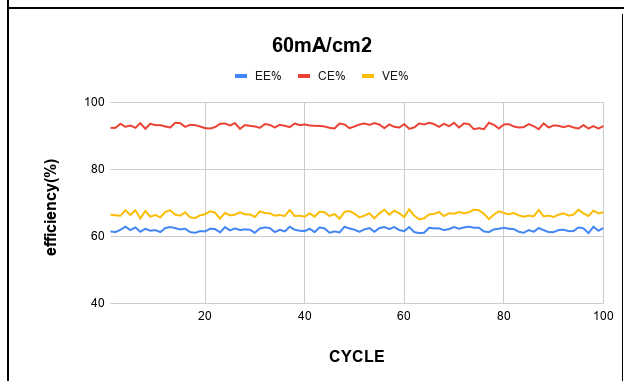


圖 20-3、未改良之碳氈於鈦電池系統在 60mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

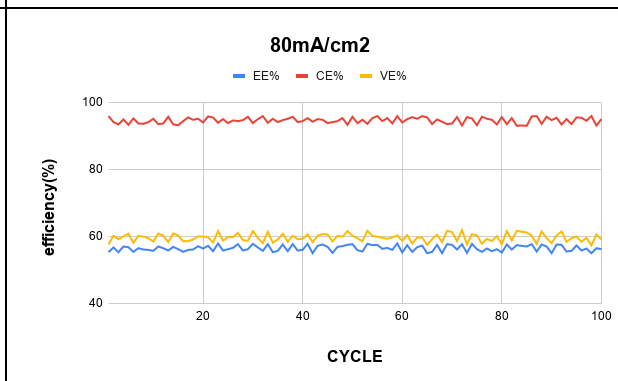


圖 20-4、未改良之碳氈於鈦電池系統在 80mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

圖 20、未改良之碳氈於鈦電池系統在 20/40/60/80mA/cm2 下的 100 次充放電性能



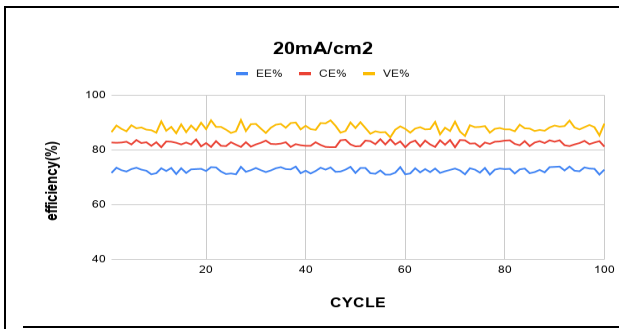


圖 21-1、浸泡強氧化性酸之碳氈於鈦電池系統在 20mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

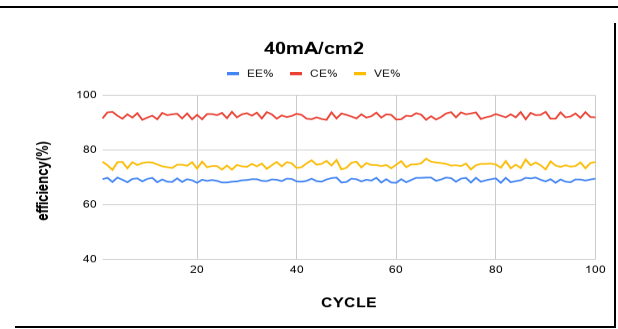


圖 21-2、浸泡強氧化性酸之碳氈於鈦電池系統在 40mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

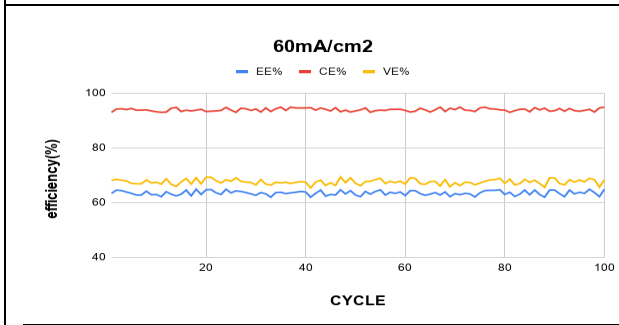


圖 21-3、浸泡強氧化性酸之碳氈於鈦電池系統在 60mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

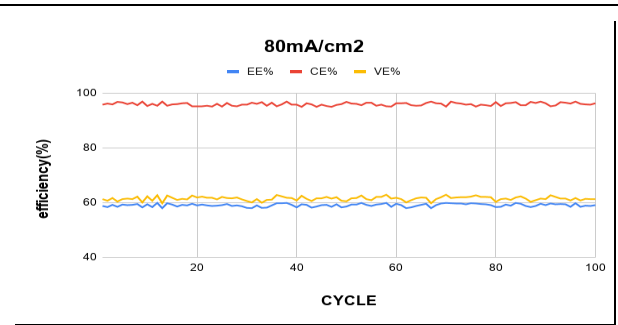


圖 21-4、浸泡強氧化性酸之碳氈於鈦電池系統在 80mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

圖 21、浸泡強氧化性酸之碳氈於鈦電池系統在 20/40/60/80mA/cm2 下 100 次充放電性能

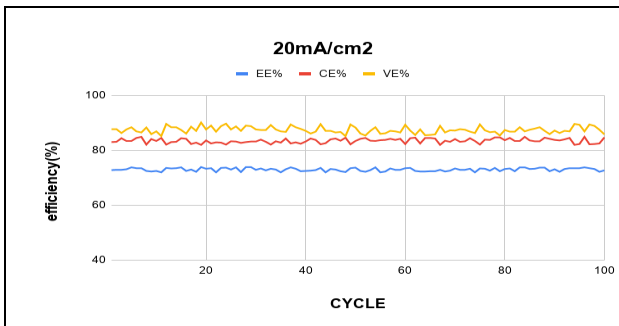


圖 22-1、高溫加熱處理之碳氈於鈦電池系統在 20mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

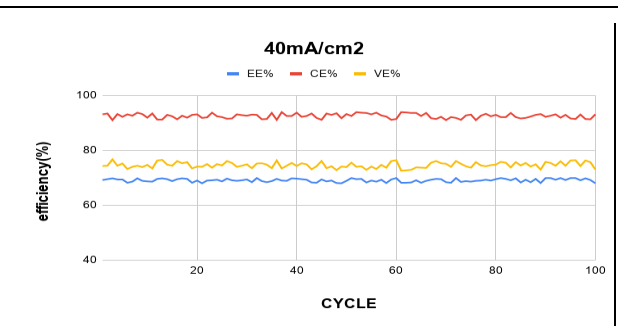


圖 22-2、高溫加熱處理之碳氈於鈦電池系統在 40mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

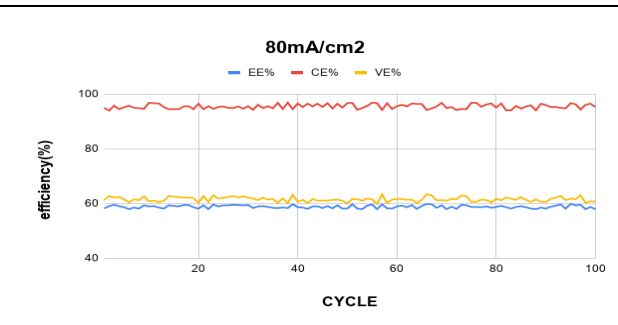
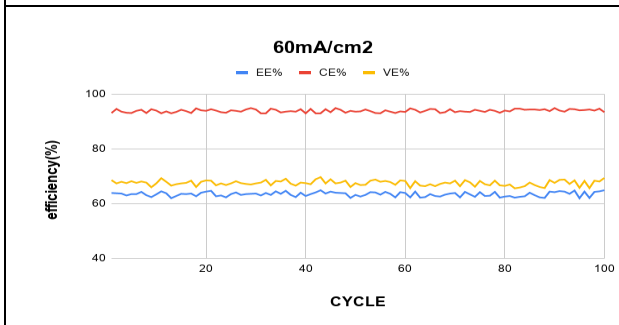


圖 22-3、高溫加熱處理之碳氈於鈦電池系統在 60mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

圖 22-4、高溫加熱處理之碳氈於鈦電池系統在 80mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

圖 22、高溫加熱處理之碳氈於鈦電池系統在 20/40/60/80mA/cm<sup>2</sup> 下的 100 次充放電性能

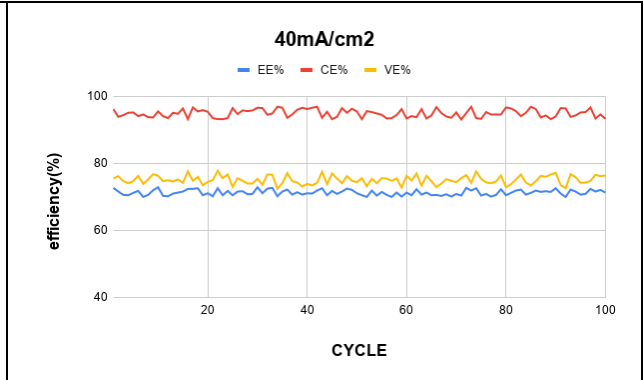
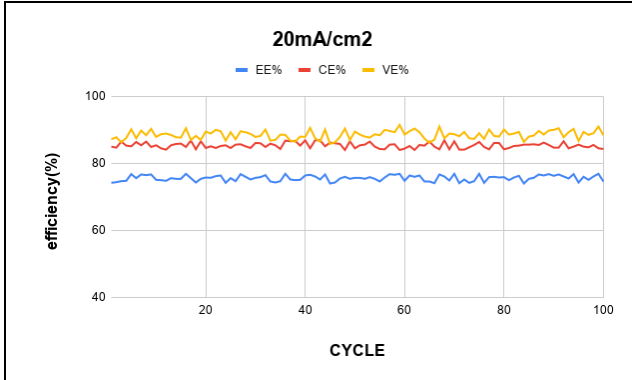


圖 23-1、高溫加熱及浸泡強氧化性酸之碳氈於鈦電池系統在 20mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

圖 23-2、高溫加熱及浸泡強氧化性酸之碳氈於鈦電池系統在 40mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

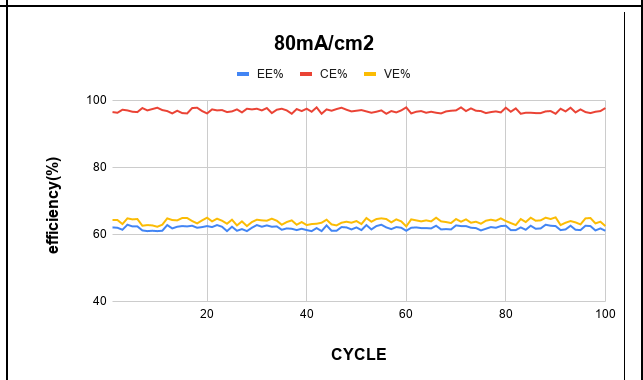
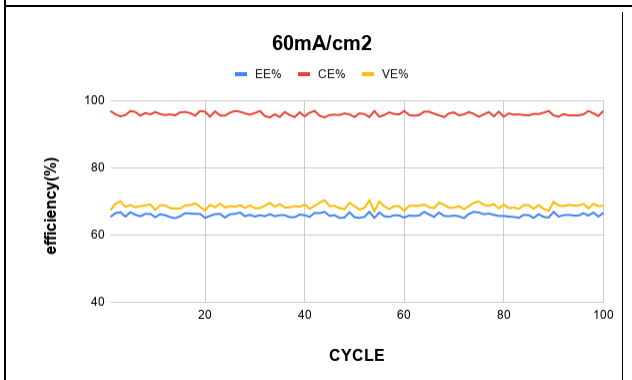


圖 23-3、高溫加熱及浸泡強氧化性酸之碳氈於鈦電池系統在 60mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

圖 23-4、高溫加熱及浸泡強氧化性酸之碳氈於鈦電池系統在 80mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

圖 23、高溫加熱及浸泡強氧化性酸之碳氈於鈦電池系統在 20/40/60/80mA/cm<sup>2</sup> 下的 100 次充放電性能

### 三、 內部流場對效率影響結果

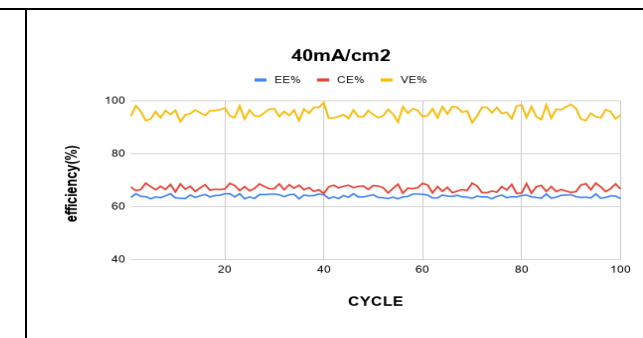
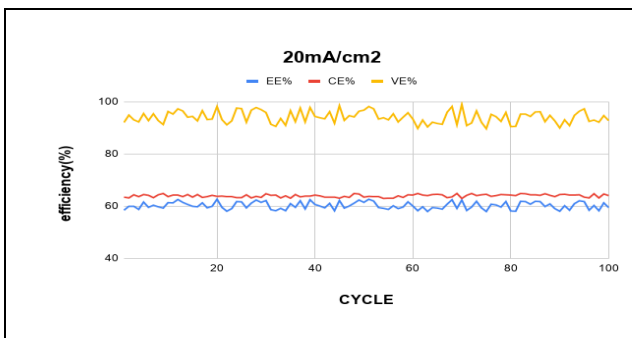


圖 24-1、Type-1 流場之用於鈦電池系統在 20mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

圖 24-2、Type-1 流場之用於鈦電池系統在 40mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

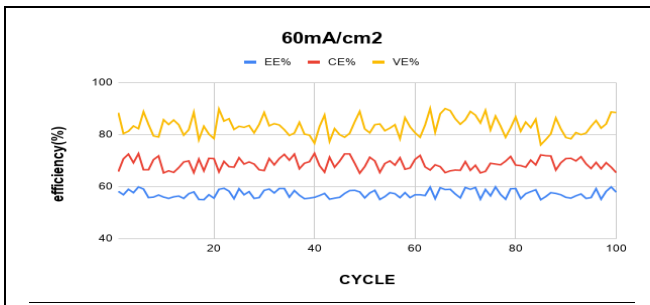


圖 24-3、Type-1 流場之用於鈦電池系統在 60mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

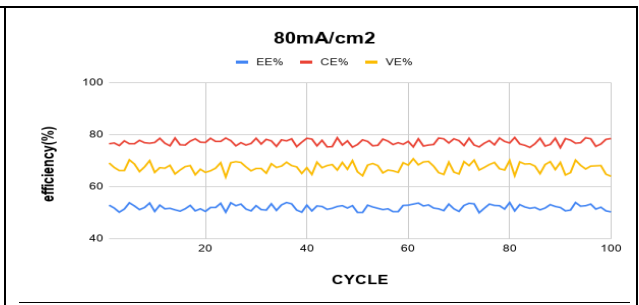


圖 24-4、Type-1 流場之用於鈦電池系統在 80mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

圖 24、Type-1 流場之用於鈦電池系統在 20/40/60/80mA/cm2 下的 100 次充放電性能

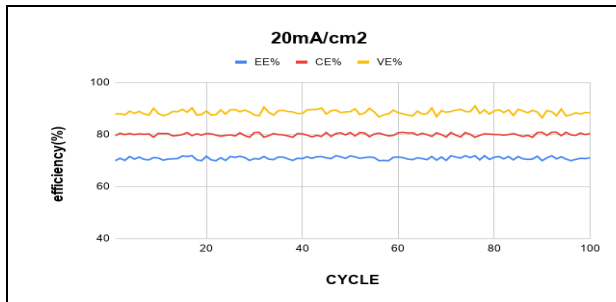


圖 25-1、Type-2 流場之用於鈦電池系統在 20mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

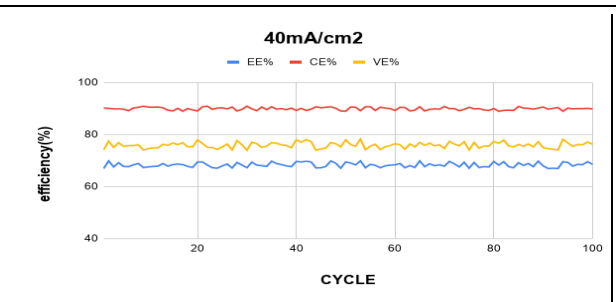


圖 25-2、Type-2 流場之用於鈦電池系統在 40mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

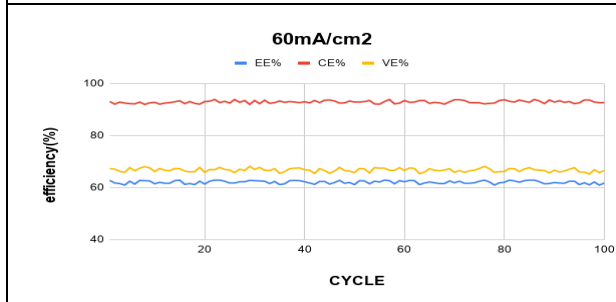


圖 25-3、Type-2 流場之用於鈦電池系統在 60mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

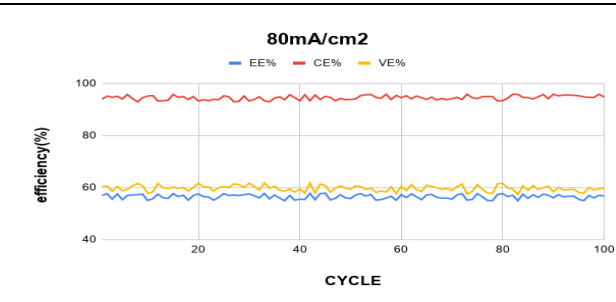


圖 25-4、Type-2 流場之用於鈦電池系統在 80mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

圖 25、Type-2 流場之用於鈦電池系統在 20/40/60/80mA/cm2 下的 100 次充放電性能

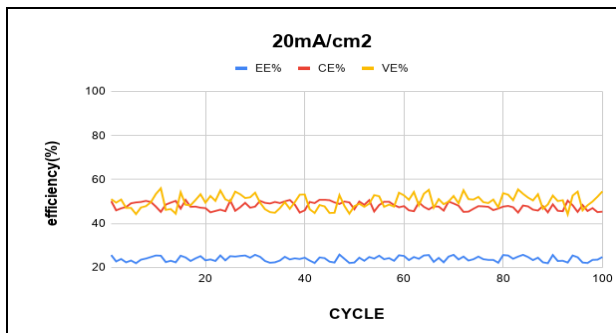


圖 26-1、Type-3 流場之用於鈦電池系統在 20mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

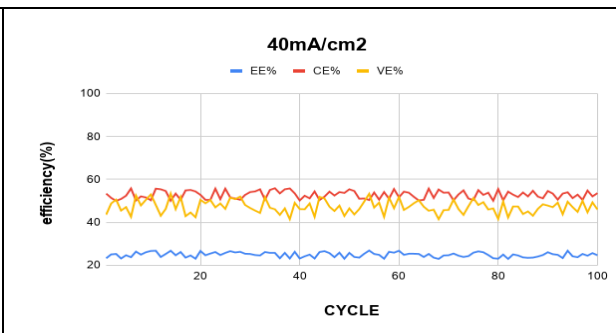


圖 26-2、Type-3 流場之用於鈦電池系統在 40mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

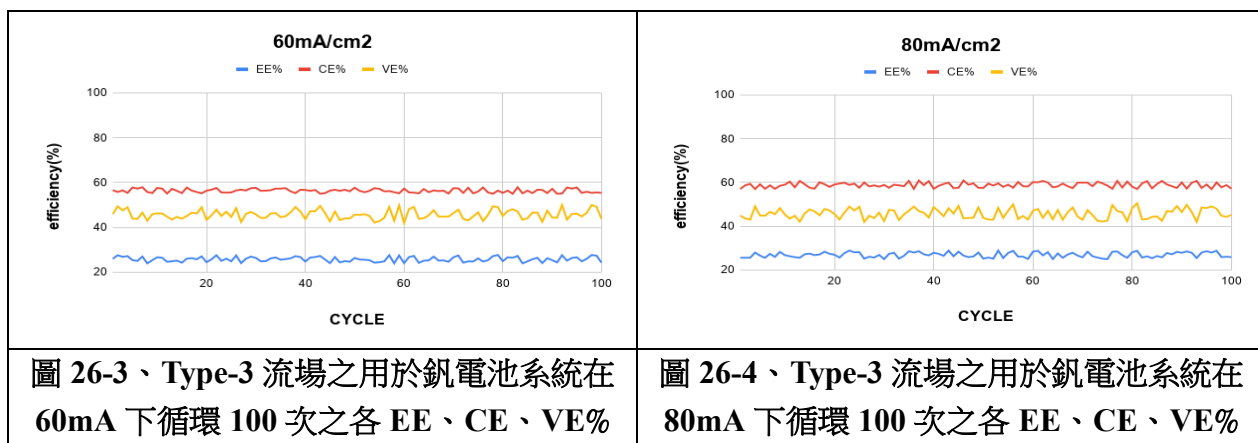


圖 26-3、Type-3 流場之用於鈳電池系統在 60mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

圖 26-4、Type-3 流場之用於鈳電池系統在 80mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

圖 26、Type-3 流場之用於鈳電池系統在 20/40/60/80mA/cm<sup>2</sup> 下的 100 次充放電性能

表 7、鈳空氣電池之電壓電流數據

	鈳空氣電池
電壓	0.9V
電壓標準差	0.2
電流	0.5A
電流標準差	0.1

## 陸、討論

討論一：內部石墨迴路與反應時間之關係

- (一) 電壓效率、庫倫效率及能量效率皆會受電極材料、電流密度、電解液組成、電解槽結構，而本團隊主要針對電解槽結構，也就是內部迴路進行探討，主要可分為三種迴路，液流電池單電池上的各種導流系統亦會產生程度不依的滯留體積，而電解液流通性不良的區域容易發生濃度極化現象降低電池效率。
- (二) Type-3 為馬賽克型流槽，起初認為其雙向交指型流場中的電流密度分佈，會比 Type-2 蛇行流場更加均勻，且排水能力更加優越，但其實驗數據卻為極端值，預估為流場距離太長，會使系統發生濃度極化現象。Type-2 在三者中表現最優越，推測其已達均勻度與排水能力之最佳。Type-1 為平場式流場在實驗數據下顯示較小，其流場並無特殊迴路，僅單純使流體平流因此滯留體積極小導致各項數據略小。
- (三) Type-1 流場的 EE% 在 20mA 和 40mA 的電流下並沒有明顯變化，但當 60mA 和 80mA 的電流流通時會明顯下降，而 CE% 在 20mA 和 40mA 時也無明顯變化，在 60mA 時有明顯的起伏而 80mA 時則整體上升，VE% 在 20mA 和 40mA 時因 CE% 和 EE% 無明顯變動而保持平穩，在 60mA 時因 CE 起伏較大而隨著起伏變大，80mA 時則是因

為 CE% 升高 EE% 降低而降低；Type -2 流場的 EE% 隨著電流升高而降低，CE% 則隨著電流升高而升高，VE% 則因 EE% 降低、CE% 升高而降低；Type -3 的 EE% 在實驗時就已經非常的低，所以電流升高沒有什麼影響，CE% 則隨著電流升高而升高，VE% 在這個條件下也變得很低。

#### 討論二：自製複合膜所對全鈦液流電池影響

- (一) 本實驗共製作 Nafion/PVA/LiCl-1 及 Nafion/PVA/LiCl-2 兩種膜，其最大差異在於複合膜中 LiCl 含量，其中的 Li 離子可有效提高其導電度，皆採用凝膠法製作，在圖、可得知其能量效率、庫倫效率、電壓效率仍與市售之 Nafion117 有差距，其原因推測本研究所使用之設備儀器並不及杜邦公司，導致在製作過程中仍有些微瑕疵，但在 80mA 下差距已顯略小，相信在高電流充電下足已追趕上 Nafion117。
- (二) 在複合膜與反應時間的實驗中，先用能斯特方程式算出理論反應時間，再做 Nafion117 與自製複合膜實際實驗比較。在 Nafion/PVA/LiCl-2 實驗中，反應時間已勝過市售之 Nafion117，所以可得知其離子交互容量、鈦離子滲透率已勝過 Nafion117，這可為本實驗一大突破。
- (三) Nafion/PVA/LiCl-1 的 EE% 隨著電流升高而降低，不過在 Nafion/PVA/LiCl-1 的充放電的實驗中起伏較大，CE% 則隨著電流增加而上升，VE% 則因 CE% 升高 EE% 下降而變低；Nafion/PVA/LiCl-2 在 20mA 電流時，CE% 非常不穩而在 40mA 時 EE% 非常不穩，在 60mA 時 CE% 和 EE% 則趨於穩定但 80mA 時 EE% 略顯不穩；Nafion117 的實驗數據比前兩個都來的平穩，EE% 隨著電流升高而降低，CE% 則隨著電流增加而上升，VE% 則因 CE% 升高 EE% 下降而變低。

#### 討論三：碳氈改良對於全鈦液流電池之影響

- (一) 本實驗採取高溫加熱、浸泡強氧化性酸、及高溫加熱後再浸泡強氧化性酸三種加工處理於碳氈上。高溫加熱法係指在絕氧環境下以攝氏 2000 以上進行加熱，此舉可讓碳氈孔徑變大，連帶的電阻也隨之下降，故實驗數據表現較未經加工處理的碳氈更佳。但高溫加熱處理需要精細的溫度控制，否則可能發生碳氈表面碳化，毀損碳氈。
- (二) 浸泡強氧化性酸是利用氧化反應在碳氈表面製造酸蝕刻，可提升其離子捕捉效率、增加反應速率，故實驗數據表現也較未加工碳氈佳。酸蝕刻本質上是在表面形成細微的侵蝕刻痕，在加快反應的同時，會伴隨著使用壽命的略微下降。

- (三) 而高溫加熱後再浸泡強氧化性酸雖然程序較複雜且同時承擔了兩者的副作用風險，但仍可結合兩者優點，降低電阻並提升離子捕抓效率，是實驗數據表現最佳者。
- (四) 未改良之碳氈於鈳電池的實驗中，各項數據並未特別出色，而高溫加熱之碳氈和浸泡強氧化性酸之碳氈的整體平均效率皆稍微提升，高溫加熱及浸泡強氧化性酸之碳氈則在各項效率上有幅度更大的提升，估計其改良碳氈有不錯的成效。

#### 討論四：鈳空氣電池

- (一) 本研究參考金屬空氣電池原理及製法，完成了初步的鈳空氣電池，其電壓目前可達 0.9V、電流達 0.5A，由於材料的選用較為粗略故現有裝置的發電表現並不是特別突出。但鈳金屬與氧氣進行氧化還原後的產物  $V_2O_5$  沉澱，可收集出並重新製成硫酸鈳溶液供鈳液流電池使用形成循環。
- (二) 本研究目前對鈳空電池產出的  $V_2O_5$  沉澱，應用於全鈳液流電池循環充放電尚未克服，但已可分段將鈳空電池產生的  $V_2O_5$  電解成  $V^{4+}$  及  $V^{3+}$ ，提供全鈳液流電池使用。

## 柒、結論

- 一、相較 Type-1 平場型流槽、Type-2 雙向蛇型流槽 與 Type-3 雙向馬賽克型流槽，鈳液流電池內部迴路選用 Type-2 雙向蛇型流槽最佳。
- 二、質子交換膜加入 LiCl 應用於鈳液流電池可增加導電度、離子互交容量及。
- 三、碳氈經過高溫加熱及強氧化性酸的浸泡後可降低電阻、增加離子捕捉率，應用於鈳液流電池可提昇整體效率。
- 四、鈳空氣電池電壓、電流目前可達 0.9V、0.5A 5 鈳空氣電池之產物  $V_2O_5$  可做為鈳液流電池原料再利用。

## 捌、參考資料及其他

### 一、未來展望

全鈳液流電池具有輸出和儲存分開的特性，這使得電池在裝備上有非常大的靈活性，這特性讓它使用於 UPS(不斷電系統)上變得非常方便，可依空間大小調整電池大小，而且全鈳液流電池的壽命長、能量密度高且可深度放電而不傷及電池本身，這使得電池

有相當高的能量使用率，這項特性可以使用在未來的環保交通工具上。全鈳液流電池的自放電低、溶液安全低汙染，其他電池要是隔離不完全而導致陰、陽極混和可能會導致自放電而高熱引起火災的危害，但全鈳液流電池的陰、陽極溶液為同一種，僅價數不同而已，所以當陰、陽極溶液混和時也只是價數有所變化而不會自放電產生高熱，這讓它使用在使用上有相當大的安全性，就算漏液了也不致於引起大危害。全鈳液流電池和鈳空電池勢必是未來的綠能儲電的重要研究方向，這兩項電池的再利用性極高，未來我們打算將兩項電池和在一起做為可循環性裝置，進一步減少殘留的反應物並提高使用率，讓能源效率更為提升，未來我們打算先進行鈳空電池的改善，讓它的能量密度提高而縮小其體積以達到方便使用之目的。

## 二、實驗檢討

- (一) 起初製作鈳液流電池在栓螺絲環節是順或逆時鐘栓，容易導致漏液問題，應以對角線的相對位置兩兩一組栓上螺絲才能確保各部位鎖緊又受力平均。
- (二) 第一次使用鈳液流電池時應先用稀硫酸浸潤碳氈，否則反應時間會過長且產生氣泡。
- (三) 製作活性碳塗料時黏著劑之佔比需要拿捏，否則容易成為反應進行之阻礙。
- (四) 全鈳液流單電池組實驗過後應用純水清洗乾淨，否則會有鍍金銅片腐蝕現象。
- (五) 實驗全鈳液流單電池前應先試循環硫酸，測試是否有漏液。

## 三、參考文獻：

- (一) 洪瑞和(2017)。 *高中基礎化學(二)*·第四章：化學與化工(136-146 頁)·泰宇出版。
- (二) 陳竹亭(2008)。 *選修化學(下)*·第 26 頁，泰宇出版社。
- (三) 蔡家欣、高行玲(2018)。 *環保塑膠袋-聚乙醇的應用*·台北市立中山女高小論文。
- (四) 廖祥羽、陳柏熏(2018)。 *有膜有漆-幾丁聚醣&聚乙醇薄膜探討*·花蓮高中小論文。
- (五) 鍾岳霖(2014)。 *全鈳液流電池儲電系統模擬計算與電池充放電用 LabView 介面控制設計*·國立聯合大學化學工程學系碩士論文。
- (六) 房家弘(2016)。 *全鈳液流電池石墨氈改質之研究*·國立雲林科技大學材料科技研究所碩士論文。
- (七) 翁柏瑋、蔡汶均(2012)。 *以SiO<sub>2</sub>-SO<sub>3</sub>H改質Nafion®N-117 隔離膜對全鈳液流儲能電池之研究*·國立聯合大學·能源工程學系碩士論文。
- (八) 高振裕(2009)。 *鋅空氣電池系統之陽極與電解液基本性質研究*·國立清華大學·化學工程學系。
- (九) 林維新、黃順義(2006)。 *鋅空氣燃料電池空氣電極製備與特性研究*·國立虎尾科技大學 學報，第二十五卷第四期。
- (十) 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*·第 42 屆全國科展高中化學科作品。臺北市。

## 【評語】 052409

本作品可分為兩大主題，其一為提升全鈎液流電池之反應時間，二為製作鈎空氣電池。整體而言，全鈎液流電池具有輸出和儲存分開的特性，這使得電池在裝備上有非常大的靈活性。全鈎液流電池的陰、陽極為同一種，僅價數不同而已，所以當陰陽極溶液混合時也只是價數有所變化而不會自放電產生高熱，這讓它們在使用上有相當大的安全性，就算漏液了也不至於引起大危害。全鈎液流電池和鈎空氣電池勢必是未來的綠能儲電的重要研究方向，這兩項電池的再利用性極高，因此本研究方向具有應用價值。鈎液流電池已有商品，在自製鈎液流電池方面，作者著重於設計不同流道結構、修飾隔離複合膜及改良碳氈，期能提升電池效能。本作品創意稍弱，建議多蒐集相關文獻，進行比較。改良碳氈後宜進行物化特性分析，以進行學術探討。作者對於電池運作原理尚稱清楚，實驗規劃與元件充放電分析亦相當完整，然而對於電極材料的探就較為缺乏。各項實驗宜驗證再現性，實驗數據整理的呈現宜參考正式之學術論文或報告之格式。然而作者努力合作無間，值得鼓勵。

## 作品海報



# 摘要

# 二、文獻蒐集

本研究可分為兩大主題，其一為提升全鈳液流電池之反應時間，二為製作鈳空氣電池。為節省實驗成本，皆購入較為便宜之 $V_2O_5$ 自行電解為所需之 $V^{4+}$ 及 $V^{3+}$ ，並運用自行製作之全鈳液流電池，探討其何種內部迴路構造與複合膜可使電池反應時間與理論值最相近，亦自行嘗試製作鈳空氣電池，將其沉澱物V205拿來重複電解。實驗結果顯示，Type-2反應時間最接近理論值，本團隊之複合膜為PVA、LiCl、與杜邦公司之Nafion溶液聚合而成，與市售之Nafion-117比較結果，本研究之複合膜電壓效率、能量效率及庫倫效率仍不及Nafion-117，但在較高電流80mA下差距接近，且反應時間較快。本研究亦發現磁懸經高溫加熱後，再浸泡於強氧化性酸中會有效提升電池系統效能。

全鈳液流電池的電解液係由不同價態的鈳離子硫酸溶液組成，分別儲存於兩個儲液槽中，並且通過外接泵浦的作用使電解液在兩個半電池間流動，兩個半電池由隔離膜也就是質子交換膜隔開，正極半電池是 $V^{4+}/V^{5+}$ 溶液，負極半電池是 $V^{3+}/V^{2+}$ 溶液，充電時正極的 $V^{4+}$ 氧化為 $V^{5+}$ ，負極的 $V^{3+}$ 還原為 $V^{2+}$ ，完成電能與化學能之間的轉換，放電過程鈳離子價數則反向進行。

## 壹、研究動機

記得有一次乘坐父親的車子去上學，發現車子發不動，請修配廠人員檢查才確認，車子的電瓶已經耗損到電壓無法啟動引擎，看著被換下來的電瓶為標示12.5V的鉛蓄電池，離上次更換時間約3年，且已經不能再使用，那天本人上學遲到，錯過重要的考試，心情有些低落，試想若有效率更佳，壽命更長且環保的電瓶就不會發生這次悲劇，於是開始上網查閱資料，找到了其中一種鮮為人知的儲電電池—全鈳氧化液流電池(VRB)，不但效率比鉛蓄高，而且更持久與環保，唯獨其體積不小。本人發現VRB的研究資料甚少，於是找了兩位好友與學校有興趣之老師，一起攜手展開這段科展研究之旅。

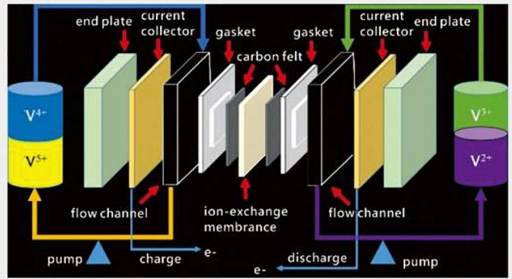


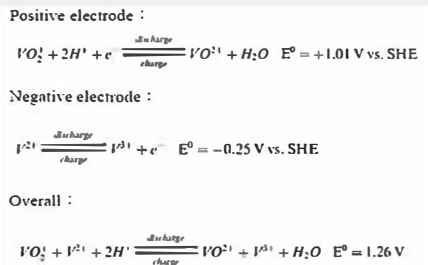
圖3、全鈳氧化還原液流電池的示意圖 (本研究繪製)

## 貳、研究目的

本實驗之研究目的可分為下列幾點：

- 一、自行電解 $V_2O_5$ 獲取所需 $V^{4+}$ 與 $V^{3+}$
- 二、設計並製作全鈳液流電池
- 三、電池內部迴路流槽構造開發與製作
- 四、改良全鈳液流電池內部磁懸
- 五、自製適用於全鈳液流電池之質子交換膜
- 六、開發並製作鈳空氣電池，並探討與全鈳液流電池結合構成循環充放電可能性

(一) 運作原理：



(二) 質子交換膜 (翁柏璋、蔡汶均2012)：

質子交換膜燃料電池，又稱固體高分子電解質燃料電池，是一種以含氫燃料與空氣作用產生電力與熱力的燃料電池，運作溫度在 $50^\circ\text{C}$ 至 $100^\circ\text{C}$ ，無需加壓或減壓，以高分子質子交換膜為傳導媒介，沒有任何化學液體，發電後產生純水和熱。

## 參、研究設備及器材

本研究所需器材詳情，請參照作品說明書

## 肆、研究過程與方法

一、本研究過程方法的流程圖如下所示：



(三) 能斯特方程式

在全鈳液流電池當中，通常使用化簡後之能斯特方程式作為計算理論反應時間之公式。

$$\frac{I \times t}{96500} = n \times M \times V \quad I = \text{電流}, t = \text{時間}, n = \text{改變的價數}, M = \text{配製鈳濃度}, V = \text{體積}$$

(四) 庫倫效率 (Coulombic efficiency)：

另稱放電效率，是指電池放電容量與同循環過程中充電容量之比，即放電容量與充電容量之百分比。

$$CE(\%) = \frac{\int_0^t I_d dt}{\int_0^k I_c dt} \times 100\%$$

(五) 電壓效率 (Voltage efficiency)：

電解時理論所需最小外加電壓(理論分解電壓)與實際外加電壓(槽電壓)之比

$$VE(\%) = \frac{E_c}{E_e} \times 100\%$$

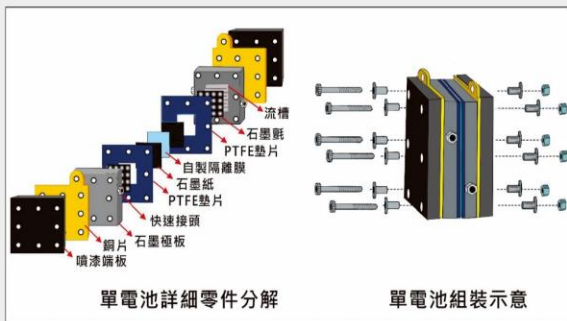
(六) 能量效率 (Energy efficiency)

能量轉換效率是指一個能量轉換設備所輸出可利用的能量相對其輸入能量的比值。輸出的可利用能量可能是電能、機械功或是熱量。

$$EE(\%) = \frac{\int_0^t V_d I_d dt}{V_c I_c dt} \times 100\%$$

### 三、實驗設計

(一) 本研究全鈦液流電池設計如下：



單電池詳細零件分解

單電池組裝示意

圖7、本研究全鈦單電池設計圖(本研究設計)

### 四、實驗過程

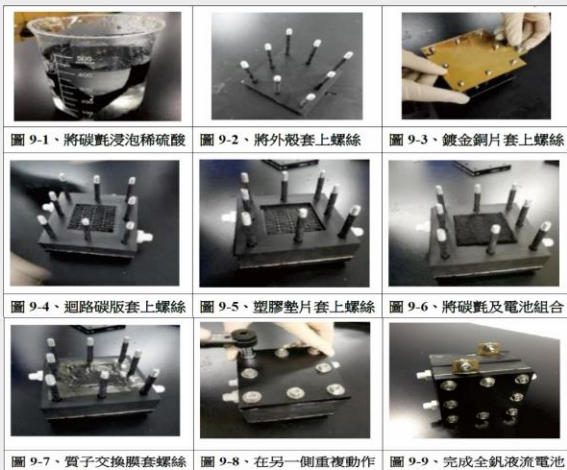


圖9、組裝全鈦液流電池



圖11、本研究設計之流場

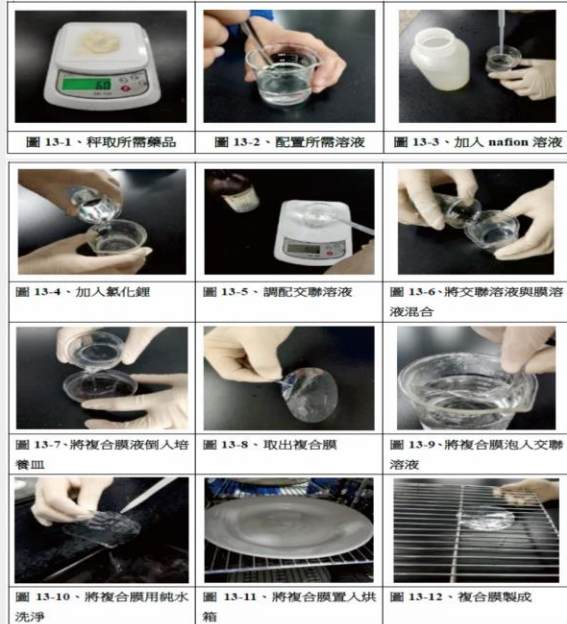


圖13、複合膜製作過程

表4、複合膜成分

成份名稱	LiCl(g)	10%PVA(g)	5%Nafion® (g)	D.I. Water(g)	2.5%GA(g)
Nafion/PVA/LiCl-1	0.53	10	8.6	10	0.1
Nafion/PVA/LiCl-2	1.06	10	8.6	10	0.1



圖 14-1、架設鈦電池



圖 14-2、設定充放電測試儀

圖14、效能測量

鈦空氣電池半反應式及全反應式

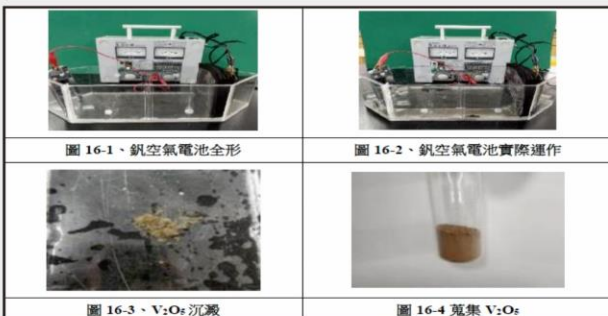
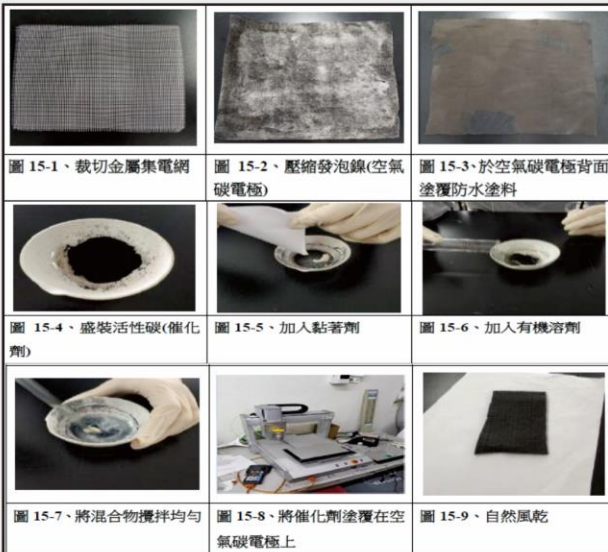
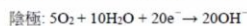
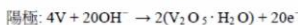


圖 16-3、V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 沉澱

圖 16-4 蒐集 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

### 伍、研究結果

以下為本研究不同膜對能量效率 (EE)、庫倫效率 (CE)、電壓效率 (VE) 與同種膜對不同電流之充放比較之結果：

一、內膜對效率之影響結果

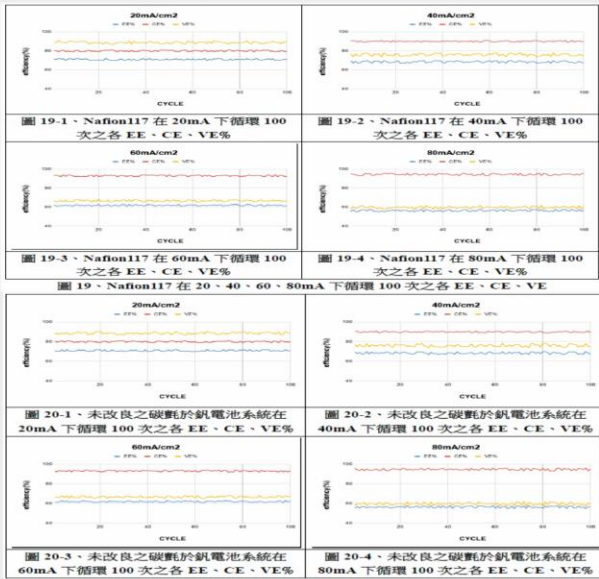


圖 20、未改良之碳對於鈦電池系統在 20/40/60/80mA/cm<sup>2</sup> 下的 100 次充放電性能

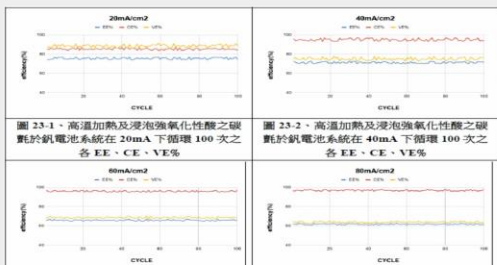


圖 23-1、高溫加熱及浸泡強氧化性酸之碳氈於鈳電池系統在 20mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

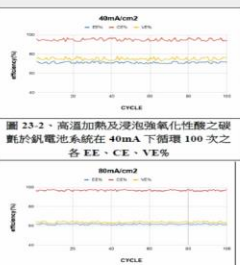


圖 23-2、高溫加熱及浸泡強氧化性酸之碳氈於鈳電池系統在 40mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

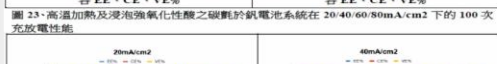


圖 23-3、高溫加熱及浸泡強氧化性酸之碳氈於鈳電池系統在 60mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%



圖 23-4、高溫加熱及浸泡強氧化性酸之碳氈於鈳電池系統在 80mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

圖 23、高溫加熱及浸泡強氧化性酸之碳氈於鈳電池系統在 20、40、60、80mA/cm² 下的 100 次充放電性能



圖 24-1、Type-1 流場之用於鈳電池系統在 20mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

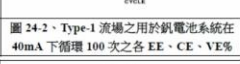


圖 24-2、Type-1 流場之用於鈳電池系統在 40mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

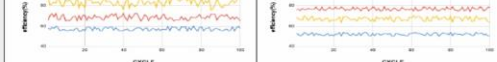


圖 24-3、Type-1 流場之用於鈳電池系統在 60mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

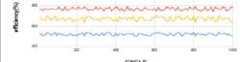


圖 24-4、Type-1 流場之用於鈳電池系統在 80mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

圖 24、Type-1 流場之用於鈳電池系統在 20、40、60、80mA/cm² 下的 100 次充放電性能

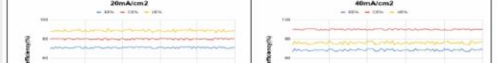


圖 25-1、Type-2 流場之用於鈳電池系統在 20mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%



圖 25-2、Type-2 流場之用於鈳電池系統在 40mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%



圖 25-3、Type-2 流場之用於鈳電池系統在 60mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%



圖 25-4、Type-2 流場之用於鈳電池系統在 80mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

圖 25、Type-2 流場之用於鈳電池系統在 20、40、60、80mA/cm² 下的 100 次充放電性能



圖 26-1、Type-3 流場之用於鈳電池系統在 20mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

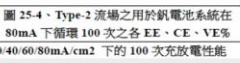


圖 26-2、Type-3 流場之用於鈳電池系統在 40mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%



圖 26-3、Type-3 流場之用於鈳電池系統在 60mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%



圖 26-4、Type-3 流場之用於鈳電池系統在 80mA 下循環 100 次之各 EE、CE、VE%

圖 26、Type-3 流場之用於鈳電池系統在 20、40、60、80mA/cm² 下的 100 次充放電性能

## 陸、討論

### 討論一：內部石墨迴路與反應時間之關係

(一) 而本團隊主要針對電解槽結構，也就是內部迴路進行探討，主要可分為三種迴路，液流電池單電池上的各種導流系統亦會產生程度不依的滯留體積，而電解液流通性不良的區域容易發生濃度極化現象降低電池效率。

(二) Type -3 為馬賽克型流槽，起初認為其雙向交指型流場中的電流密度分佈，會比 Type -2 蛇行流場更加均勻，且排水能力更加優越，但其實驗數據卻為極端值，預估為流場距離太長，會使系統發生濃度極化現象。

(三) Type-1 流場的 EE% 在 20mA 和 40mA 的電流下並沒有明顯變化，但當 60mA 和 80mA 的電流通時會明顯下降；Type -2 流場的 EE% 隨著電流升高而降低，CE% 則隨著電流升高而升高，VE% 則因 EE% 降低、CE% 升高而降低；Type -3 的 EE% 在實驗時就已經非常的低，所以電流升高沒有什麼影響，CE% 則隨著電流升高而升高，VE% 在這個條件下也變得很低。

### 討論二：自製複合膜所對全鈳液流電池影響

- (一) 本實驗共製作 Nafion/PVA/LiCl-1 及 Nafion/PVA/LiCl-2 兩種膜，其最大差異在於複合膜中 LiCl 含量，其中的 Li 離子可有效提高其導電度，皆採用凝膠法製作。
- (二) 在複合膜與反應時間的實驗中，先用能斯特方程式算出理論反應時間，再做 Nafion117 與自製複合膜實際實驗比較。
- (三) Nafion/PVA/LiCl-1 的 EE% 隨著電流升高而降低，不過在 Nafion/PVA/LiCl-1 的充放電的實驗中起伏較大，CE% 則隨著電流增加而上升，VE% 則因 CE% 升高 EE% 下降而變低。

### 討論三：碳氈改良對於全鈳液流電池之影響

- (一) 本實驗採取高溫加熱、浸泡強氧化性酸、及高溫加熱後再浸泡強氧化性酸三種加工處理於碳氈上。高溫加熱法係指在絕氧環境下以攝氏 2000 以上進行加熱，此舉可讓碳氈孔徑變大，連帶的電阻也隨之下降，故實驗數據表現較未經加工處理的碳氈更佳。
- (二) 浸泡強氧化性酸是利用氧化反應在碳氈表面製造酸蝕刻，可提升其離子捕捉效率、增加反應速率，故實驗數據表現也較未加工碳氈佳。
- (三) 而高溫加熱後再浸泡強氧化性酸雖然程序較複雜且同時承擔了兩者的副作用風險，但仍可結合兩者優點，降低電阻並提升離子捕捉效率，是實驗數據表現最佳者。
- (四) 未改良之碳氈於鈳電池的實驗中，各項數據並未特別出色，高溫加熱及浸泡強氧化性酸之碳氈則在各項效率上有幅度更大的提升，估計其改良碳氈有不錯的成效。

### 討論四：鈳空氣電池

- (一) 本研究參考金屬空氣電池原理及製法，完成了初步的鈳空氣電池，其電壓目前可達 0.9V、電流達 0.5A，由於材料的選用較為粗略故現有裝置的發電表現並不是特別突出。

## 柒、結論

- 一、相較 Type-1 平場型流槽、Type-2 雙向蛇型流槽與 Type-3 雙向馬賽克型流槽，鈳液流電池內部迴路選用 Type-2 雙向蛇型流槽最佳。
- 二、質子交換膜加入 LiCl 應用於鈳液流電池可增加導電度、離子互容量及。
- 三、碳氈經過高溫加熱及強氧化性酸的浸泡後可降低電阻、增加離子捕捉率，應用於鈳液流電池可提昇整體效率。
- 四、鈳空氣電池電壓、電流目前可達 0.9V、0.5A 電池之產物  $V_2O_5$  可做為鈳液流電池原料再利用。

## 捌、參考資料

- (一) 洪瑞和(2017)。高中基礎化學(二)·第四章：化學與化工(136-146頁)·泰宇出版。
- (二) 陳竹亭(2008)。選修化學(下)·第 26 頁·泰宇出版社。
- (三) 蔡家欣、(2018)。環保塑膠袋-聚乙烯醇的應用·台北市立中山女高小論文。
- (四) 廖祥羽、陳柏熾(2018)。有膜有漆-幾丁聚醃 & 聚乙烯醇薄膜探討。花蓮中小論文。
- (五) 鍾岳霖(2014)。全鈳液流電池儲電系統模擬計算與電池充放電用 LabView 介面控制設計。國立聯合大學化學工程學系碩士論文。
- (六) 房家弘(2016)。全鈳液流電池石墨氈改質之研究。國立雲林科技大學材料科技研究所論文。