

**行政院原子能委員會**  
**委託研究計畫研究報告**

**複合化框體製造開發技術**  
**Integrated composite frame**  
**manufacturing and development technology**

**計畫編號：111B004**

**受委託機關(構)：財團法人金屬工業研究發展中心**

**計畫主持人：王耀明**

**計畫執行人員：王耀明、莊上慶**

**聯絡電話：(07)351-7161 #6226**

**E-mail address：yawang@mail.mirdc.org.tw**

**研究期程：中華民國 111 年 4 月 28 日至 11 月 10 日**

**研究經費：新臺幣        85.5        萬元**

**核研所聯絡人員：古鴻賢**

**報告日期： 111 年 11 月 8 日**

## 目 錄

|                        |    |
|------------------------|----|
| 目 錄.....               | I  |
| 圖目錄.....               | II |
| 表目錄.....               | IV |
| 壹、 摘要 .....            | 1  |
| 一、 中文摘要.....           | 1  |
| 二、 英文摘要.....           | 2  |
| 貳、 前言 .....            | 3  |
| 一、 計畫背景、目的、重要性 .....   | 3  |
| 二、 國內外有關本計畫之執行情況 ..... | 5  |
| 三、 採用之方法與原因 .....      | 7  |
| 參、 研究方法 .....          | 11 |
| 肆、 主要發現與結果.....        | 16 |
| 一、 串聯單元之雷射接合技術 .....   | 16 |
| 二、 質膜蓋板之超音波接合技術 .....  | 22 |
| 三、 膠封黏合組裝技術 .....      | 25 |
| 四、 液流電池複合化框體洩漏測試 ..... | 29 |
| 五、 液流電池複合化框體電性測試 ..... | 31 |
| 伍、 結論 .....            | 37 |
| 陸、 查核點確認 .....         | 38 |
| 柒、 參考文獻 .....          | 42 |

## 圖目錄

|                                             |    |
|---------------------------------------------|----|
| 圖 1. 臺灣產業超前部署關聯圖 <sup>[1]</sup> .....       | 3  |
| 圖 2. 液流電池電堆結構示意圖.....                       | 6  |
| 圖 3. 包框射出成型於一體化框體之成型狀況 <sup>[5]</sup> ..... | 6  |
| 圖 4. 串聯單元之一體化框體開發示意圖.....                   | 8  |
| 圖 5. 塑膠-塑膠黏合之技術示意圖.....                     | 9  |
| 圖 6. 塑膠-石墨黏合之技術示意圖.....                     | 9  |
| 圖 7. 黏著界面間作用力的定義.....                       | 10 |
| 圖 8. 機械性交互鎖扣示意圖.....                        | 10 |
| 圖 9. 複合化框體製造開發流程示意圖.....                    | 12 |
| 圖 10. 傳統液流電池框板結構圖(電極反應面積 8X12 CM).....      | 13 |
| 圖 11. 本案設計液流電池框板結構圖(電極反應面積 8X12 CM)....     | 13 |
| 圖 12. 本案設計之串聯單元組裝方式及尺寸圖.....                | 14 |
| 圖 13. 本案設計之質膜蓋板組裝方式及尺寸圖.....                | 14 |
| 圖 14. 本案設計之複合化框體電堆組裝方式示意圖.....              | 15 |
| 圖 15. ABS-ABS 雷射黏合示意圖.....                  | 16 |
| 圖 16. ABS 板材於雷射接合成品圖.....                   | 16 |
| 圖 17. ABS-ABS 雷射接合之受力角度與焊道間距拉伸強度趨勢圖         | 17 |
| 圖 18. ABS-ABS 雷射接合之功率與走速拉伸強度趨勢圖.....        | 18 |
| 圖 19. 絕熱平台之設計概念圖.....                       | 20 |
| 圖 20. 絕熱塗層與吸熱塗層之應用概念圖.....                  | 20 |
| 圖 21. ABS 板材與石墨板於雷射接合成品圖.....               | 21 |
| 圖 22. 串聯框體材料成品圖.....                        | 22 |
| 圖 23. 串聯框體雷射接合成品圖.....                      | 22 |
| 圖 24. 超音波熔接之抗拉力與溢料率趨勢圖.....                 | 23 |
| 圖 25. 質膜蓋板超音波接合成品圖.....                     | 24 |
| 圖 26. 密封膠性質表.....                           | 25 |
| 圖 27. 密封膠體測試流程.....                         | 25 |

|                                       |             |
|---------------------------------------|-------------|
| 圖 28. 密封膠測試結果.....                    | 26          |
| 圖 29. 綁束帶性質表.....                     | 28          |
| 圖 30. 綁束帶測試結果.....                    | 28          |
| 圖 31. 串聯單元溢膠槽設置.....                  | 錯誤! 尚未定義書籤。 |
| 圖 32. 複合化框體膠封黏合組裝方式(圖示為兩串聯).....      | 錯誤! 尚未定義書籤。 |
| 圖 33. 電堆組件以及組裝順序示意圖.....              | 錯誤! 尚未定義書籤。 |
| 圖 34. 密封膠介面塗佈方式.....                  | 錯誤! 尚未定義書籤。 |
| 圖 35. 壓力驗證平台操作方式.....                 | 30          |
| 圖 36. 8*12CM 電池堆五串聯洩漏測試結果 .....       | 30          |
| 圖 37. 8*12CM 五串聯電池堆模組成品圖 .....        | 31          |
| 圖 38. 8*12CM 五串聯電池堆模組測試圖 .....        | 32          |
| 圖 39. 8*12CM 電池堆五串聯電性測試之充電起始電壓圖 ..... | 33          |
| 圖 40. 8*12CM 電池堆五串聯電性測試之放電起始電壓圖 ..... | 33          |
| 圖 41. 8*12CM 電池堆五串聯電性測試之伏特效率圖 .....   | 34          |
| 圖 42. 8*12CM 電池堆五串聯電性測試之庫倫效率圖 .....   | 34          |
| 圖 43. 8*12CM 電池堆五串聯電性測試之能量效率圖 .....   | 35          |

## 表目錄

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| 表 1. 塑膠與異材黏合之分類及處理方法 <sup>[6]</sup> ..... | 7  |
| 表 2. ABS-ABS 雷射接合之受力角度接合強度數據表.....        | 18 |
| 表 3. ABS-ABS 雷射接合之焊道間距接合強度數據表.....        | 18 |
| 表 4. ABS-ABS 雷射接合之功率與走速接合強度數據表.....       | 19 |
| 表 5. ABS-石墨板雷射接合之功率強度數據表.....             | 21 |
| 表 6. 超音波熔接之抗拉力數據表.....                    | 23 |
| 表 7. 超音波熔接之溢料率數據表.....                    | 23 |
| 表 8. 8*12CM 電池堆五串聯電性測試數據表 .....           | 36 |
| 表 9. 本計畫預期完成效益與主要績效指標.....                | 38 |
| 表 10. 本研究預定進度與查核點.....                    | 41 |

## 壹、 摘要

### 一、 中文摘要

全鈳液流電池具有使用壽命長、安全性高等優點，已成為再生能源的主要儲能技術之一，其以全鈳電解液流經電堆反應區域進行氧化還原反應來達到儲存能源之目的。傳統液流電池多以螺栓進行鎖固組裝，並透過大量密封件導入結構中來達成電池堆防漏之工程，而造成電池堆尺寸過於龐大，從而降低電池之體積功率密度；故本計畫欲將傳統液流電池結構中之螺栓、密封元件移除省去，通過密封元件移除得以降低電池堆之厚度、螺栓移除得以減少電池堆之面積，藉此降低整體電池堆之尺寸。本計畫將通過材料接合之技術導入電池框體製程中，透過雷射接合技術將雙極板與框板接合為一體製成複合化框體，使框板與雙極板之間透過加熱熔融達到接合之目的，以省去密封元件之使用；最後並通過膠封後綁束之手法對電池堆進行封裝，以此達複合化框體製造及電池堆之組裝目的。

**關鍵字：**儲能裝置、液流電池、電池框板、接合技術

## 二、 英文摘要

Due to the superior characteristics of long service life and safety, flow battery has become one of the potential energy storage technologies for renewable sources. The Electrolyte completes its Reduction-oxidation reaction by flow through stack reaction zone. The classical flow batteries are mostly locked and assembled with bolts. and a large number of seals are introduced into the structure to achieve the leak-proof project of the battery stack, which causes the size of the battery stack to be too large, thereby reducing the power volume density of the battery. This project intends to remove the bolts and sealing elements in the traditional flow battery structure. By removing the sealing elements, the thickness of the battery stack can be reduced, and the bolts can be removed to reduce the area of the battery stack, thereby reducing the volume of the battery stack. In this project, the technology of material bonding is introduced into the battery frame process, and the bipolar plate and the frame plate are joined into an integrated frame body through the laser bonding technology, so that the frame plate and the bipolar plate can be joined by heating and melting. The purpose is to save the use of sealing elements; Finally, the battery stack is encapsulated by the method of bundling after glue sealing, so as to achieve the purpose of manufacturing the composite frame and assembling the battery stack.

***Keyword: Energy storage device, Flow battery, Flow frame, Jointing***

## 貳、前言

### 一、計畫背景、目的、重要性

為因應美中貿易戰及武漢肺炎疫情下，所導致的全球經濟劇烈變動與供應鏈加速重組，蔡總統在 2020 年就職典禮上宣示，將在五+二產業創新的既有基礎上，打造「六大核心戰略產業」，並透過建立臺灣品牌、提供靈活多元的金融支援、打造安全的產業發展環境、匯聚及培養數位和雙語人才等，讓臺灣成為未來全球經濟的關鍵力量。我國政府產業發展超前部署與通盤規劃，調整金融、人才等相關措施，優化產業發展環境，並透過五+二產業創新，以及 AI、5G 等行動計畫，建構產業轉型升級基礎，再推動產業拔尖、強化科技創新，以及擴大國際合作等推動策略，促進臺灣產業再進化，打造「六大核心戰略產業」。如圖 1 所示為臺灣產業超前部署關聯圖[1]。

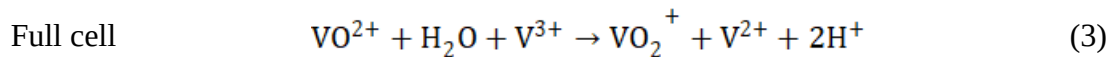
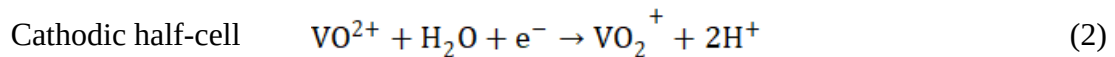


圖 1. 臺灣產業超前部署關聯圖<sup>[1]</sup>



其中六大核心戰略產業包含對資訊及數位相關、資安卓越、臺灣精準健康戰略、國防及戰略、綠電及再生能源、民生及戰備等六大核心戰略產業。其中綠電及再生能源產業部分，政府致力建構綠能產業聚落、發展多元綠能應用、引領綠能人才升級、健全參與綠電制度，及透過融資與保證等，協助國家隊進軍亞洲綠電市場，打造臺灣成為亞太綠能應用典範，以達成我國 2025 年能源轉型目標，並促使風電產業輸出國際。

由於能源趨勢逐漸轉向再生能源，例如太陽能或風能發電廠，對定置型儲能系統的需求增加，以補償再生能源的波動型功率輸出。故液流電池為公認最具開發潛力的大規模儲能設備，因其發電功率與儲能容量是分開且獨立設計，可依特定應用來定制其規格，且壽命長、高安全性、單位能量成本低並可深度充放電為其特色。目前廣泛應用於平衡負荷、電網調峰、光電轉換、備用負載及再生能源發電廠之蓄電設備。液流電池是以電解液通入電池堆中的電極，並透過質子交換膜來進行氧化還原反應的一種蓄電池，其發生於電池兩極之氧化還原反應如化學式(1)、(2)及全電池化學式(3)[2-3]。



## 二、國內外有關本計畫之執行情況

如前節中表示，液流電池是通過電解液進入電池堆中透過氧化還原反應來進行充、放電行為的一種蓄電池，而該電池中最重要的反應部件組成，如圖 2(A)所示，透過兩端雙極板做為一單電池外側的支撐結構及分隔相鄰兩電池之正、負極電解液，並以兩雙極板內部稱為「單電池」；而單電池中間則具有一質膜，透過該膜來分隔單電池的正、負兩極，而正、負兩極內會使用多孔性電極來做為電解液於正、負兩極進行氧化還原反應之場域所在。

為了穩定及支撐起液流電池內各個反應部件，在設計上會於電池外側使用兩框體來夾持雙極板，稱為「串聯框體」，透過兩串聯框體壓合一質膜，做成一有效反應之單電池結構，而為了避免電池中之電解液洩漏，設計上會使用密封件夾持質膜以達到密封條件，最後以螺栓等扣件進行鎖固，如圖 2 (B)所示。

而在串聯框體結構上，如圖 2(C)所示，使用兩框體對雙極板進行夾持時，為了避免電解液透過夾縫向外洩漏，於貼合面上會使用密封件來防止電解液滲漏，但此設計也導致電池框體厚度受限，因使用密封件須配合相對應之槽(槽深約 1.5 mm)的設計，而雙極板多使用脆性石墨板材(厚度約 3 mm)，使得框體厚度大多受限於厚度 5 mm(市售液流電池厚度)，導致電堆體積比功率受限(功率/體積；市售液流電池約  $5 \text{ kW}/0.165 \text{ m}^3=30 \text{ kW}/\text{m}^3$ )；而使用螺栓扣件進行鎖固，也會使各鎖固點的施力不均導致密封性不佳，若施力過大，因雙極板透過密封件與框體貼合使接觸面積縮小，易導致應力集中促使石墨板材脆裂，而損壞電堆內部。

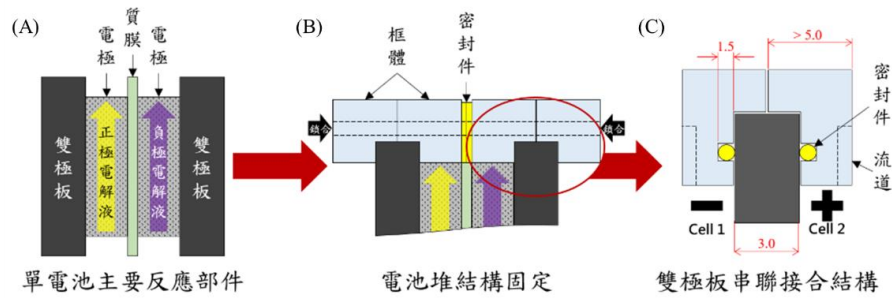


圖 2. 液流電池電堆結構示意圖

為了解決上述電池框體厚度受限及因電堆鎖合力所導致之結構破壞與洩漏之問題，而美國專利[4]以一種模具設計方式，利用包框件射出成型方式對石墨板材進行一體化框體製造；且 Chang 等也於文獻中所提出[5]，利用模流分析技術，針對射出成型之澆道位置、尺寸，對石墨板材進行包框射出成型，完成一體化電池框體之技術開發，但射出成型之板材厚度多為 2-3 mm，電池框體相對於技術尺寸較厚，成型冷卻時易導致塑膠收縮，於文獻成果中，於圓角處收縮率約為 0.4 mm。然而，上述之成型方式由圖 3 表示及說明，透過包框射出技術可完成框體與石墨板之一體化開發，達到預防電解液向外洩漏及使框體更加薄化，但由於成型時之殘留應力與收縮率之影響，會導致兩材間產生餘隙，使電池正、負極產生內部滲漏的情況。

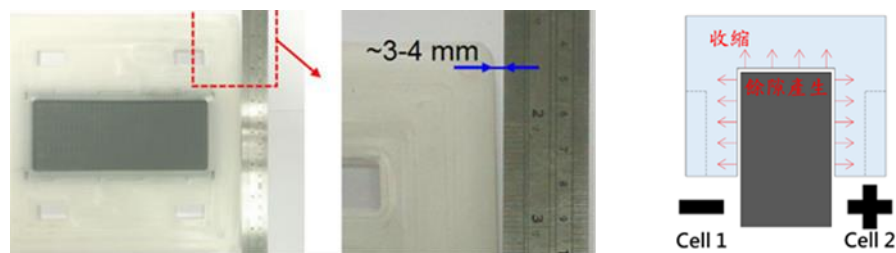


圖 3. 包框射出成型於一體化框體之成型狀況<sup>[5]</sup>

### 三、採用之方法與原因

液流電池之電堆開發之技術應朝向輕、薄、小為開發方向，因此本計畫複合化框體製造開發技術主要由兩部分所組成，先利用雷射黏合技術來開發出薄型一體化之框體架構，可有效降低電池厚度與漏液之風險；再利用組裝膠封技術，以機械性交互鎖扣的方式，改良傳統鎖固法帶來之尺寸、重量、鎖合力不均之影響，並透過錨固黏合技術來達到複合化框體開發技術。

為了改善傳統鎖固法導致電池厚度受限及電解液因鎖固力發生洩漏之問題，本計畫欲針對一體化框體進行技術開發，並改善製造、成型時所發生的框體結構收縮而內部滲漏的情形。由黑瀨等人於文獻中整理塑膠與異材黏合之結合方式[6]，主要分為三類如表 1 所示，一為透過表面塗層使塑膠與異材界面產生分子鍵來互相作用達到黏合之目的；二與三為透過物理及化學處理法，對異材進行表面處理來產生微結構，透過此微結構增加接觸面積與錨固力[7]，達到異材黏合之目標。

表 1. 塑膠與異材黏合之分類及處理方法<sup>[6]</sup>

|   | 分類                           | 表面處理方法               |
|---|------------------------------|----------------------|
| 1 | 異材和塑膠界面上的分子間相互作用<br>(共價鍵，氫鍵) | 表面塗層                 |
| 2 | 異材和塑膠界面的接觸面積<br>(表面微結構化)     | 噴砂處理<br>雷射處理         |
| 3 | 異材和塑膠界面的機械約束<br>(錨固效應)       | 滾花處理<br>表面蝕刻(納米、微米級) |

透過圖 2 中所示之串聯單元(框體-雙極板-框體)之一體化框體開發，該技術包含塑膠與塑膠之黏合及塑膠與石墨之黏合技術，如圖 4 所示。於塑膠與塑膠之黏合技術開發中，主要欲解決電堆

發生電解液外漏之現象，透過穿透雷射黏合的方式對塑膠框體進行一體化製造[8-9]，並透過功率、焦距、進給率、下壓力的控制與參數最佳化來完成兩塑膠框板之黏合技術開發，並可透過黏合接點與路徑之設計，如圖 5 所示，來提升黏合材料兩者的黏合面積與強度，以達到阻擋電池內部電解液外漏之目標；而塑膠與石墨之黏合技術則是針對電解液於電堆內部透過石墨與框體之接縫處發生內漏之情形之解決策略，分為物理鍵結及化學鍵結兩者，在物理鍵結中利用電暈、噴砂、雷射等方式對石墨進行表面處理，並對塑膠進行加熱熔融並於石墨板上加壓，使兩者介面產生機械性交互鎖扣之鍵結力，已達到防止電解液於電堆中發生內漏之現象，如圖 6(A)所示。而化學鍵結則透過共價鍵之鍵結力黏合兩者，因石墨之分子結構所示，其各碳分子皆與 6 個碳分子相互連接，而外側皆有一未鍵合之電子存在，再透過雷射黏合時之高能量使石墨之碳分子可與塑膠之氫或碳分子發生鍵結形成共價鍵如圖 6(B)[10]，來達到化學鍵結之目標，亦可使用介面插入件來提升兩材料間之鍵結力[11]。

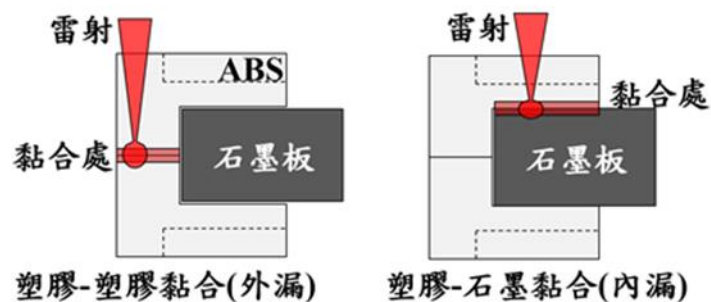


圖 4. 串聯單元之一體化框體開發示意圖

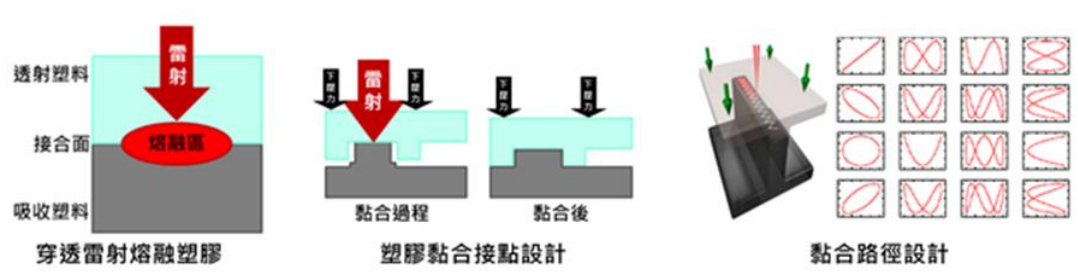


圖 5. 塑膠-塑膠黏合之技術示意圖

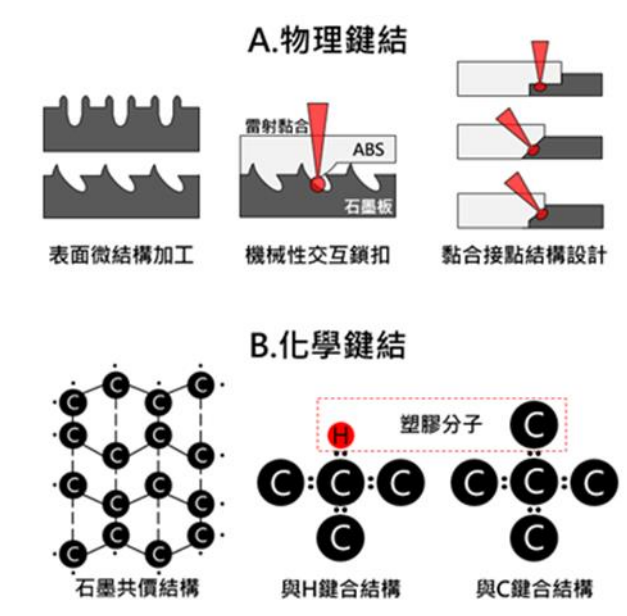


圖 6. 塑膠-石墨黏合之技術示意圖

透過上述之串聯單元一體化框體開發後，則需針對電堆組裝之技術進行發展，為解決傳統鎖固型電堆所造成體積、重量增加及鎖合力不均等影響，本研究針對膠封組裝治具設計進行技術開發，欲透過膠封組裝之設計、黏接面之表面處理等技術，對圖 2 中之單電池單元進行黏合組裝。透過黏著劑的使用如圖 7 所示，黏合時具有多種作用力，為使兩界面可有效黏合，其作用力關係式為「投錨力>凝集力>黏著力>初期黏著力」，透過框體表面施以電暈、化學侵蝕、砂紙等處理使其形成凹凸表面，讓黏著劑

流入框體的凹部，固化後具有彈性鎖扣之作用力，則可增加黏合之投錨力[12]，如圖 8 所示。

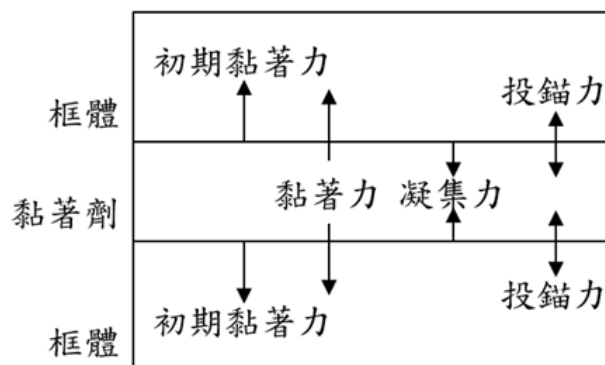


圖 7. 黏著界面間作用力的定義

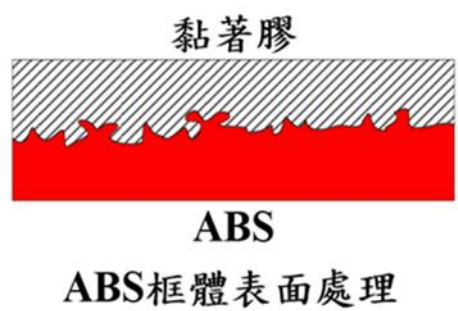


圖 8. 機械性交互鎖扣示意圖

### 參、 研究方法

前述之複合化框體製造開發原理說明後，歸納出本案之開發架構與流程，並於圖 9 表示。本計畫主要分為兩部分，一為一體化框體製作，其中包含串聯單元之設計與製作及質膜蓋板設計與製作；二為電堆膠封組裝與封裝之手法開發。

由一體化框體製作上，本計畫利用雷射接合之技術應用於串聯單元之製作，透過雷射接合的穿透性間接加熱兩框板之接合處及框板與石墨板之接合處，使塑膠框板得以熔融成一體並披覆於石墨板上，以得一體化串聯單元；而質膜蓋板因該板材厚度薄(0.5 mm)，且表面需平整並於中間夾持一質子交換膜，故選用超音波熔接之方式來執行，透過該法將塑膠板材與質子交換膜交界處熔融成一體後，以得一質膜蓋板。

而電堆膠封組裝與封裝之手法開發，旨在將前述所開發出的串聯單元與質膜蓋板進行膠黏封裝，該法透過不同的耐酸蝕密封膠進行膠封，而塑膠框板上因表面光滑平整，致使膠黏效果較差，因此本階段開發將透過不同表面處理之方式，改變塑膠框板間之表面粗糙度，從而提升耐酸蝕密封膠之投錨力，使其得以承受電池運作時內部所產生壓力，避免因過大壓力導致電解液洩漏等風險。最終透過綁束帶進行電堆封裝，使藉此提升電池堆膠封後之壽命並防止電池於搬動、移動時受外力造成電堆破壞。



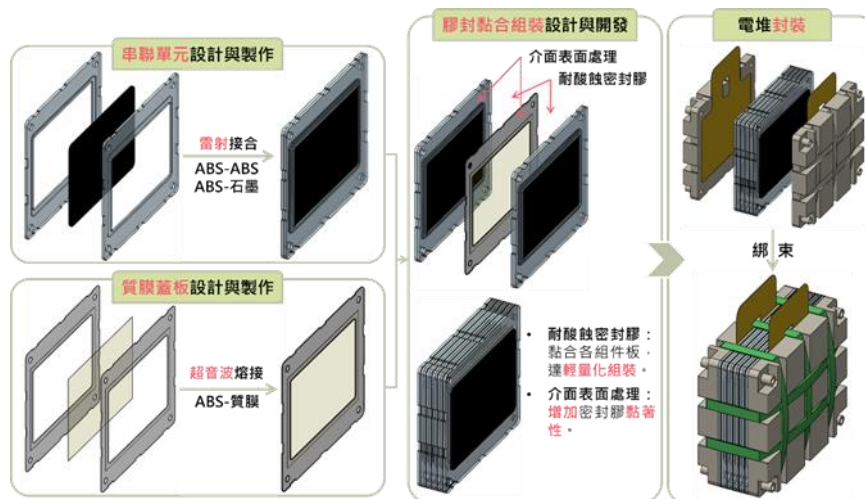


圖 9. 複合化框體製造開發流程示意圖

針對一體化薄型框板之結構設計與組裝結構進行說明。由圖 10 傳統液流電池之框板結構中可得知，舊有設計常使用螺栓做為整電堆組裝後的固定方式，並由圖中可見框板設計上需增加外圍一環的螺絲鎖固區域以及包含上下兩部位的流道設計，若以傳統電池反應區域  $96 \text{ cm}^2$  之設計中，框體總面積則達  $248.8 \text{ cm}^2$ ，也就是說需在有效反應面積額外增加約 2.6 倍之電池框體面積，因而造成不必要之空間使用；並於石墨板及歧管介面處都需使用密封件，則增加密封件溝槽之設計，因此單一框板厚度多為 5 mm，導致電堆整體厚度受限。

而本案所設計之電池框板結構如圖 11 所示，因排除外圍一環之螺絲鎖固區域，框板總面積降至  $195 \text{ cm}^2$ ，為有效反應面積額外增加約 2 倍之電池框體面積，相對於傳統設計之電堆之框板面積小，並於框板設計中增加束帶綁束區域，以供電池組裝後的固定所用；而在該設計中移除了密封件的使用，故介面處不需設計密封件溝槽，從而降低了框板厚度，相較於傳統 5 mm 之框板設計，

本案設計之框板僅需 2.5 mm，降低了 50%的厚度空間使用。

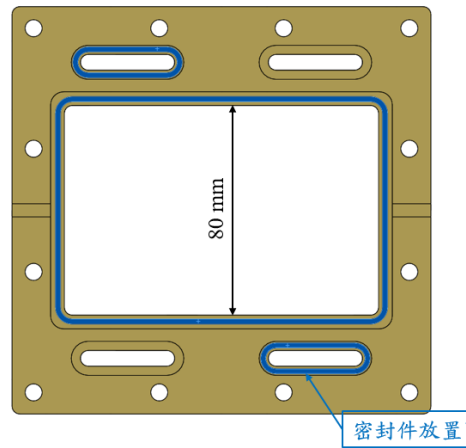


圖 10. 傳統液流電池框板結構圖(電極反應面積 8x12 cm)

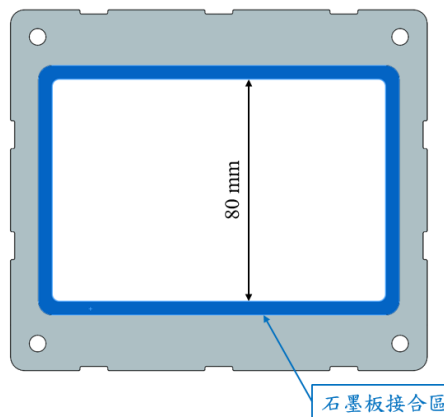


圖 11. 本案設計液流電池框板結構圖(電極反應面積 8x12 cm)

而本案之串聯單元與質膜蓋板之結構製作方式如圖 12 與圖 13 所示。在串聯單元上透過兩片框板中央夾持一片石墨板而製成，因使用接合技術則不需於三者介面處額外增加零件使用，因此串聯單元的厚度為 5 mm；而質膜蓋板則使用厚度 0.5 mm 之

ABS 板材進行組裝，作法為兩片蓋板中央夾持一片質子交換膜，而後針對蓋板及質子交換膜進行接合處理，使其形成一體。

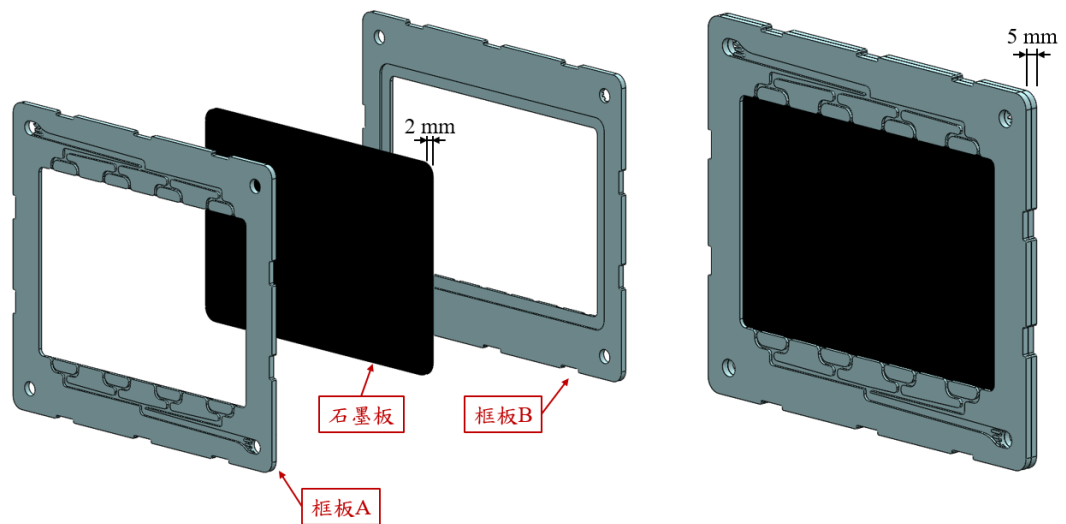


圖 12. 本案設計之串聯單元組裝方式及尺寸圖

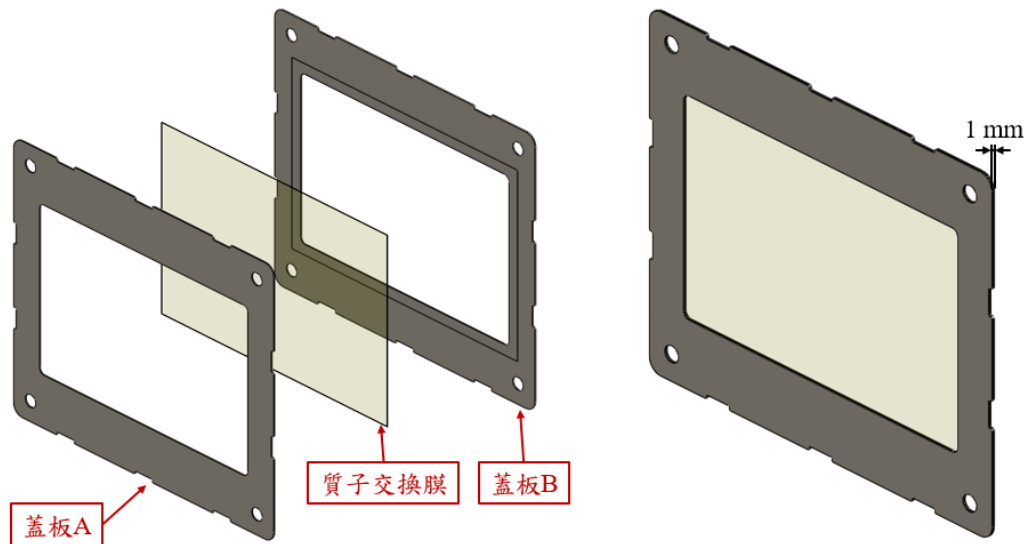


圖 13. 本案設計之質膜蓋板組裝方式及尺寸圖

藉由上述之框板結構設計與串聯單元、質膜蓋板之製作介紹後，本段針對整電堆之組裝方式進行說明，如圖 14 所示。該結構主要分為端板組、串聯單元、質膜蓋板及碳氈，而組裝方式為端板組先進行製作，透過端板上放置一集電板與一石墨板後，以框板壓合覆蓋後進行接合工程，使其形成端板組。透過端板組作為電堆組裝之外側固定板後，放置一碳氈於反應區域，而後放置一質膜蓋板，於另一側放置碳氈後連接串聯單元，透過反覆組裝質膜蓋板與串聯單元，並於兩者間放置一碳氈，來進行重複單元的組裝，於組裝工程末透過另一側的端板組覆蓋並固定，則完成複合化框體電堆之組裝方式。

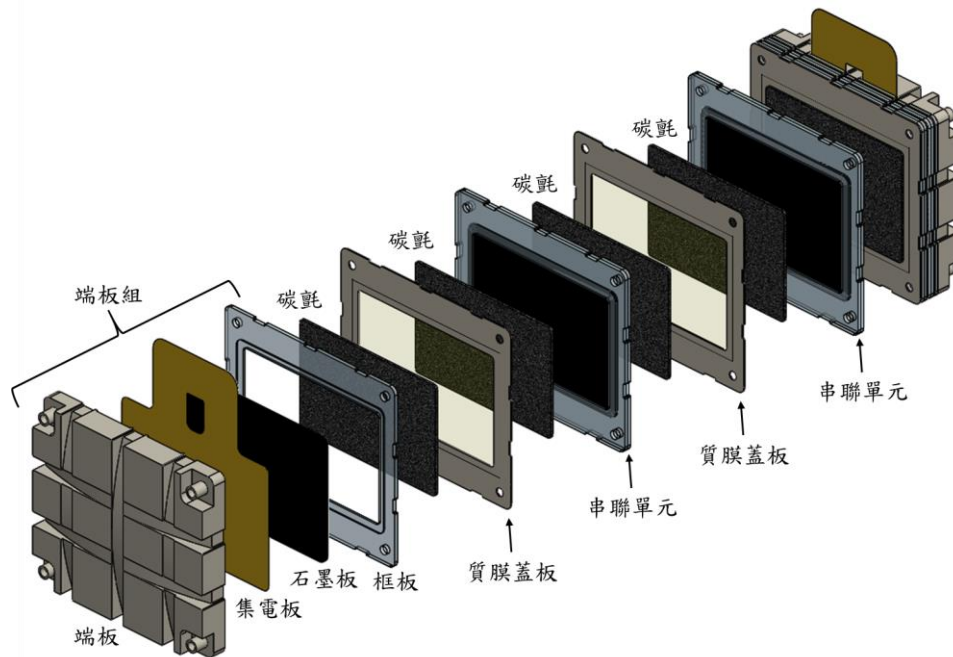


圖 14. 本案設計之複合化框體電堆組裝方式示意圖

#### 肆、 主要發現與結果

##### 一、 串聯單元之雷射接合技術

本計畫之串聯單元框體雷射接合技術，以測試用板材進行實驗，先進行兩 ABS 板材之接合實驗，因利用雷射束加熱來接合板材，選擇透明之 ABS 材料使雷射束可聚焦於兩板材之間，但透明之 ABS 板材因其物理特性無法吸收雷射束產生之能量，因此於兩板材之間塗佈一層吸熱塗層，使雷射束可熔融塑料，使其達接合之目標[13]，如圖 15 與圖 16 所示。

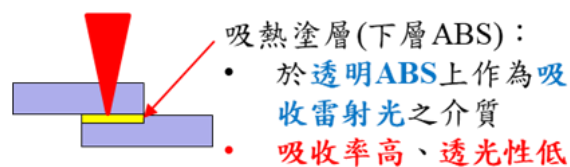


圖 15. ABS-ABS 雷射黏合示意圖



圖 16. ABS 板材於雷射接合成品圖

於 ABS-ABS 板材之雷射接合實驗中，修改焊道間距、受力角度、雷射功率及走速作為實驗參數[14-16]，並利用萬能試驗機對接合成品進行拉伸力(N)測試，以供計算接合強度(MPa)所使用，其計算式如式 1 並將接合後所得參數導入後得式 2，其測試樣品使

用使用 1mm 厚板材，而本實驗以兩 ABS 板進行接合測試於板材平面以雷射接合一 10x10mm 之接合範圍，並由兩板材施以向外之拉伸力，故接合截面積應為 10mm x 2mm。

$$\text{應力(MPa)} = \text{力(N)} / \text{受力面積(mm}^2\text{)} \quad (1)$$

$$\text{接合強度(MPa)} = \text{拉伸力(N)} / \text{接合截面積(mm}^2\text{)} \quad (2)$$

首先於受力角度之測試上，使用功率 0.5W、走速 150mm/s 並於結果可發現，角度對接合強度之影響無大變化，主要因雷射時塑膠皆呈現熔融狀態，故無方向性之影響，而焊道間距透過不同的間距尺寸 0.002-0.05 mm 下，可發現焊道間距越大，則黏合強度越低，主要因雷射束為點加熱，過大的間距會導致焊道間未熔融區域過多，使接合強度降低，其中以間距 0.01 mm 為最佳操作質，如圖 17 與表 2 與表 3 所示。

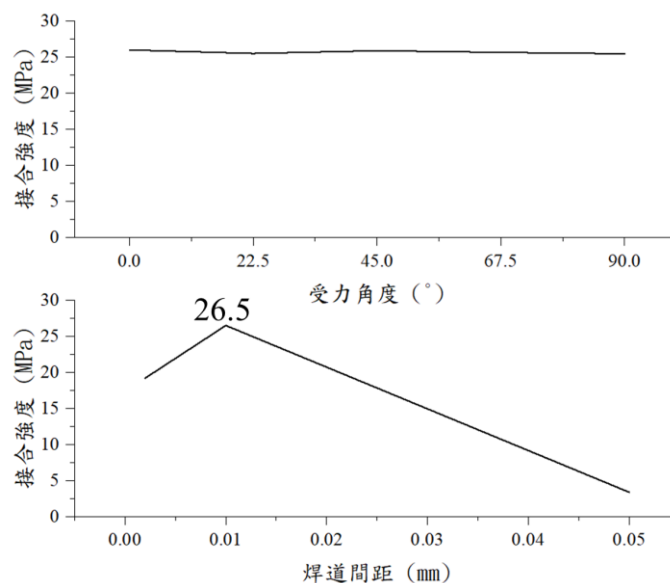


圖 17. ABS-ABS 雷射接合之受力角度與焊道間距拉伸強度趨勢圖

表 2. ABS-ABS 雷射接合之受力角度接合強度數據表

| 功率 0.5W<br>走速 150mm/s | 受力角度(°) |       |       |       |       |
|-----------------------|---------|-------|-------|-------|-------|
|                       | 0       | 22.5  | 45    | 68.5  | 90    |
| 拉伸力(N)                | 520.0   | 510.4 | 517.8 | 513.0 | 509.6 |
| 接合強度(MPa)             | 26.0    | 25.5  | 25.9  | 25.7  | 25.5  |

表 3. ABS-ABS 雷射接合之焊道間距接合強度數據表

| 功率 0.5W<br>走速 150mm/s | 焊道間距(mm) |       |      |
|-----------------------|----------|-------|------|
|                       | 0.002    | 0.01  | 0.05 |
| 拉伸力(N)                | 384.0    | 530.0 | 68.0 |
| 接合強度(MPa)             | 19.2     | 26.5  | 3.4  |

透過上述結果，故使用間距 0.01mm 執行後續參數測試，利用 0.5-2.5 W 之功率進行雷射，可確保板材表面無破孔及汽化產生，並透過快、慢走速之改變，最終得圖 18 趨勢圖與表 4 詳細測試結果。由趨勢圖中可知於雷射功率 1.0 W、走速 150 mm/s 可得最佳之雷射接合強度，其強度達 38.3 MPa。

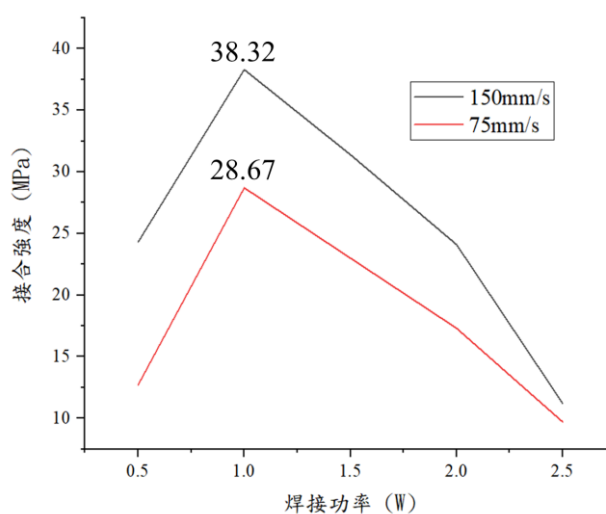


圖 18. ABS-ABS 雷射接合之功率與走速拉伸強度趨勢圖

表 4. ABS-ABS 雷射接合之功率與走速接合強度數據表

| 拉伸力(N)    |     | 功率(W)  |        |        |        |        |
|-----------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|
|           |     | 0.5    | 1      | 1.5    | 2      | 2.5    |
| 走速(mm/s)  | 75  | 253.26 | 573.44 | 205.80 | 346.28 | 194.44 |
|           | 150 | 486.83 | 766.50 | 629.51 | 482.72 | 224.01 |
| 接合強度(Mpa) |     | 功率(W)  |        |        |        |        |
|           |     | 0.5    | 1      | 1.5    | 2      | 2.5    |
| 走速(mm/s)  | 75  | 12.66  | 28.67  | 10.29  | 17.31  | 9.72   |
|           | 150 | 24.34  | 38.32  | 31.47  | 24.13  | 11.20  |

為了進一步使 ABS 板材與石墨板之雷射接合，利用前項實驗時所得知最佳熔融 ABS 板材之參數來進行實驗[14-16]。石墨板為高散熱性之材料，若直接對石墨板與塑膠之接觸面施以雷射束，則石墨板會將其熱源導離雷射位置，發生熱源不足之狀況，從而導致塑膠板材無法熔融接合；若加大雷射功率，雖可熔融接觸面之塑膠板材，但會使該板材表面因過大之雷射強度發生破孔或汽化，使表面品質較差。

為改善此一情況，本計畫實施兩項措施來克服石墨板之高散熱性所帶來之問題，其一解決方案欲利用絕熱平台之設計，進而防止熱源散失，將絕熱平台將石墨板放置於一雲母平台上後進行接合，避免與金屬治具接觸而導熱，如圖 19 所表示。



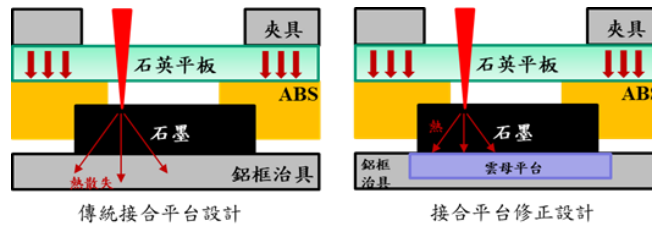


圖 19. 絕熱平台之設計概念圖

其二為絕熱塗層之應用，透過使用一絕熱塗料塗抹於石墨板接合處，並使用一不透明吸熱塗料塗抹於塑膠框板接合處，利用絕熱塗料之高折射率與低熱傳導率及吸熱塗料之高吸光性，使雷射束之熱源可保留於塑膠板材與石墨板之接觸面，進而熔融塑膠板材使其披覆於石墨板上，如圖 20 與圖 21 所示，最終達一體化之複合框板製作。以此法進行雷射接合之實驗後，可使 ABS 與石墨板完成接合，其抗拉強度可達 15.2 MPa。

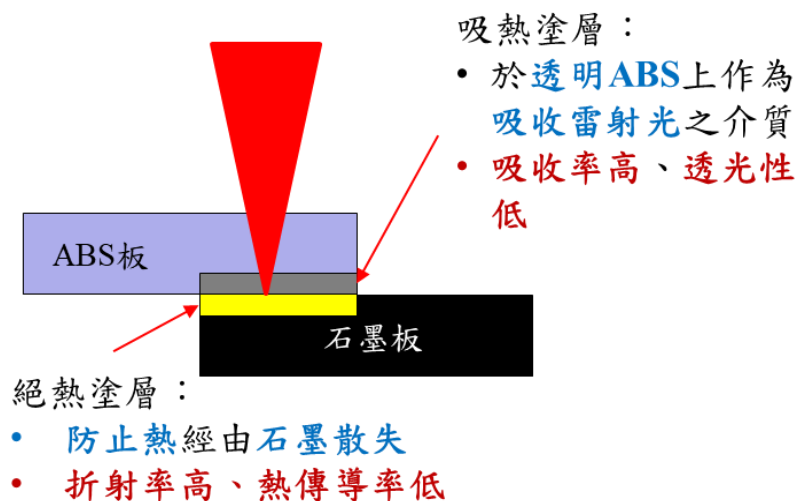


圖 20. 絕熱塗層與吸熱塗層之應用概念圖



圖 21. ABS 板材與石墨板於雷射接合成品圖

表 5. ABS-石墨板雷射接合之功率強度數據表

| 拉伸力(N)    |     | 功率(1.0W) |       |       |       |
|-----------|-----|----------|-------|-------|-------|
|           |     | 次數       |       |       | 平均值   |
|           |     | 1        | 2     | 3     |       |
| 走速(mm/s)  | 150 | 303.1    | 305.7 | 303.2 | 304.0 |
| 接合強度(Mpa) |     | 功率(1.0W) |       |       |       |
|           |     | 次數       |       |       | 平均值   |
|           |     | 1        | 2     | 3     |       |
| 走速(mm/s)  | 150 | 15.16    | 15.29 | 15.16 | 15.2  |

於串聯單元之雷射接合實驗中，最終以 8x12 cm 電極面積之電堆板材來進行接合，其材料與成品如圖 22 所示。於石墨板周邊塗佈絕熱塗料、ABS 框板接合面塗佈吸熱塗料，則可得一體化之雷射接合串聯框體。如圖 23 所示，為串聯框體成品圖，該框板尺寸為 150.15\*130.20\*5.17mm(寬\*高\*厚)。

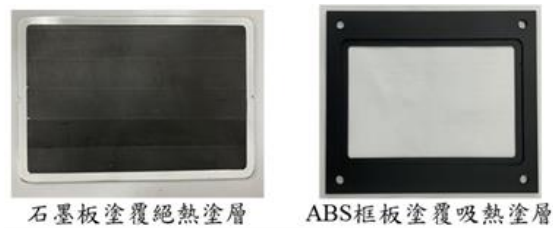


圖 22. 串聯框體材料成品圖



圖 23. 串聯框體雷射接合成品圖

## 二、質膜蓋板之超音波接合技術

為配合本計畫之複合框體電堆開發，而建立質膜框板之超音波接合技術，作為輔助技術。超音波接合時，主要探討壓力、接合時間等兩要素，因此本實驗將兩參數展開，將壓力分為 10-20 psi、熔接時間 0.5-2 秒做為實驗參數，並由實驗中得圖 24 與表 6、7 表示[17]。由抗拉力曲線中，可發現各參數於 400 N 之抗拉力後為平緩區且接近母材，因此將 400 N 做為基準值；而溢料率之算法如式 3，可發現 20 psi 之溢料率大於 10%，若以整體測試溢料率結果之中位數 4%做為基準值，則可符合以上兩者條件之參數值為壓力 10 psi、熔接時間 1.5 秒。

$$\text{溢料率}(\%) = \frac{(\text{原始板材總厚度} - \text{接合厚板材厚度})}{\text{原始板材總厚度}} \times 100\% \quad (3)$$

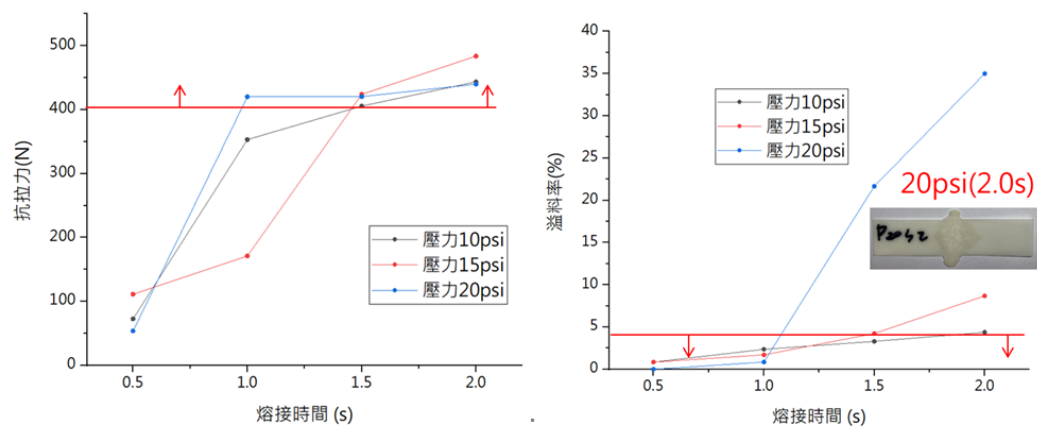


圖 24. 超音波熔接之抗拉力與溢料率趨勢圖

表 6. 超音波熔接之抗拉力數據表

| 抗拉力(N)                  |     | 壓力(psi) |       |       |
|-------------------------|-----|---------|-------|-------|
|                         |     | 10      | 15    | 20    |
| 熔<br>接<br>時<br>間<br>(s) | 0.5 | 72.5    | 111.2 | 53.7  |
|                         | 1.0 | 353.1   | 171.1 | 420.2 |
|                         | 1.5 | 405.6   | 424.0 | 420.3 |
|                         | 2.0 | 443.5   | 483.8 | 439.8 |

表 7. 超音波熔接之溢料率數據表

| 溢料率(%)                  |     | 壓力(psi) |      |       |
|-------------------------|-----|---------|------|-------|
|                         |     | 10      | 15   | 20    |
| 熔<br>接<br>時<br>間<br>(s) | 0.5 | 0.85    | 0.85 | 0.00  |
|                         | 1.0 | 2.36    | 1.71 | 0.85  |
|                         | 1.5 | 3.31    | 4.24 | 21.67 |
|                         | 2.0 | 4.39    | 8.70 | 35.00 |

而後將此參數應用於質膜蓋板之製造，並於兩蓋板間夾持一質子交換膜，如圖 25 所示，為質膜蓋板成品圖，該框板尺寸為 149.95\*129.88\*1.17mm(寬\*高\*厚)，其超音波熔接後之抗拉力仍可達 183.3 N，且表面平整光滑。



圖 25. 質膜蓋板超音波接合成品圖

### 三、 膠封黏合組裝技術

透過前述分別將串聯單元與質膜蓋板製作完成後，並如圖 14 中所示。使其反覆交疊後利用密封膠進行膠封黏合，並於電池完成後利用綁束帶固定電堆，防止受外力而破壞組裝結構，故本節將透過密封膠及綁束帶之測試，選擇最適合之材料進行測試。

密封膠體的測試中，本案選擇市面常見之耐酸密封膠，並於圖 26 所示；而其測試方式如圖 27 所示。透過於塑膠材料進行表面處理，將材料表面製作出 0.4~0.5(平面，無處理)、4~5、40~50 $\mu\text{m}$  之表面粗糙度後，並於材料表面塗抹這五種膠體後，進行拉伸測試來判斷膠體應用於液流電池之適用性，其測試結果如圖 28 所示。

|                |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                |  |  |  |  |  |
| 名稱             | WURTH RTV                                                                           | HARDEX                                                                              | ThreeBond                                                                           | LOCTITE                                                                              | Permatex                                                                              |
| 乾固時間           | 12~24小時                                                                             |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
| 耐溫性            | -62°C至315°C                                                                         | -62°C至329°C                                                                         | -73°C至343°C                                                                         | -54°C至260°C                                                                          | -65°C至260°C                                                                           |
| 耐程度酸<br>(pH)=1 | 100hr以上                                                                             | 100hr以上                                                                             | 100hr以上                                                                             | 100hr以上                                                                              | 100hr以上                                                                               |

圖 26. 密封膠性質表

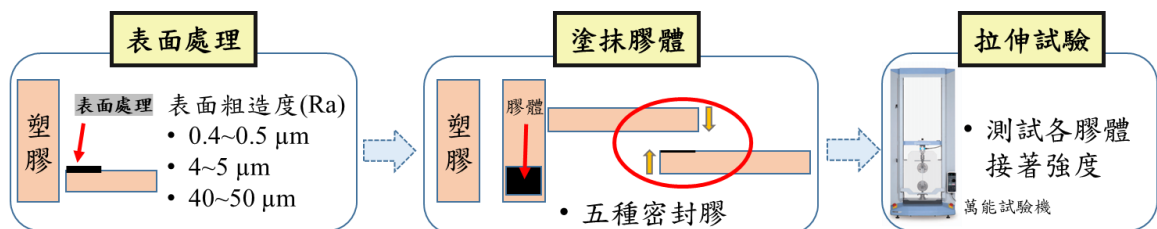


圖 27. 密封膠體測試流程

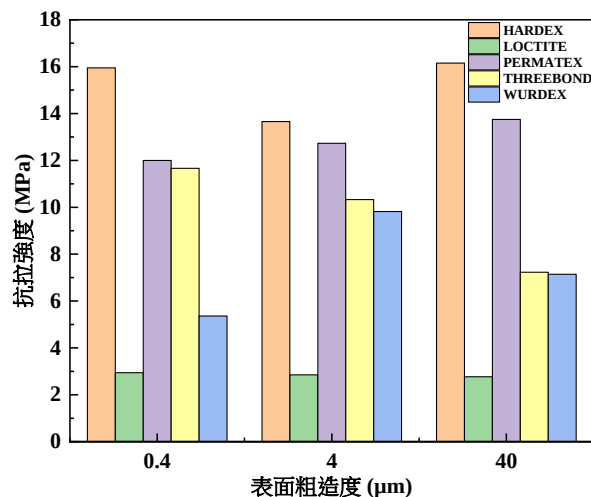


圖 28. 密封膠測試結果

於五種材料測試之結果可發現，LOCTITE 密封膠體於不同材料表面粗糙度下其抗拉強度皆為 3MPa，故針對材料進行表面處理之方式並不影響其黏合力；而 PERMATEX 隨粗糙度越大，抗拉強度逐漸變大，由 12MPa 提升到 14MPa，其主要因膠體黏性較低，隨表面處理後，膠體可滲入其微結構中，使抗拉強度提升；而 THREEBOND 密封膠則與 PERMATEX 相反隨粗糙度越大，抗拉強度由 12MPa 降至 8MPa，其主要因膠體黏性較高，無法完整滲入微結構，故使黏著力下降；WURDEX 膠體於平面狀態下抗拉強度僅有 5MPa，隨著較細緻的表面粗糙度，有效將抗拉強度提升至 10MPa，而較粗糙之表面粗糙度則降至 7MPa，其原因是細緻的表面粗糙度，有助於材料黏著時增加表面接觸面積，而過深的粗糙度則因流動性之問題，導致未黏著區域過多；HARDEX 之抗拉強度則皆為 14MPa 以上，符合液流電池之操作壓力，而該膠體流動性較差，若以低表面粗糙度之表面進行黏合，則會低於光滑平面之板材，若要增加其抗拉強度，則需使用較高之表面粗糙度來進行組裝操作。

而綁束帶之測試中，選用了市面上常見之五款綁束帶進行測試，其材料性質如圖 29 所示，其中兩項是透過超音波接合使其接合為一體之束帶，另外三項是透過機械結構來進行綁束之束帶，而測試方式將透過母材料之拉伸測試與接合後之接合部位之拉伸強度來進行測試，其結果如圖 30 所示。

透過圖 30 中所示之測試結果可以判斷，PET 塑鋼帶之原材料抗拉強度可達 300MPa 以上，但透過超音波接合後該接合部之抗拉強度降低至 150MPa 以下，其強度下降了 50%，雖該材料之平均抗拉強度較強，但接合部之低強度可能會造成材料之應力集中後發生斷裂，故該材料應用時須注意不可將接合部放置於轉角處，以防應力集中後斷裂；而 PP 打包帶之抗拉強度約為 60MPa，且其接合後與原材料之抗拉強度相當接近，雖其抗拉強度較低，但可應用於少串聯數之電池堆應用，亦可以免接合處發生應力集中之問題發生；而機械結構之接合方式之綁束帶中，PP 綁束帶與尼龍綁束帶兩者之抗拉強度皆低於 50MPa，故若使用於電池堆最後之固定方式中，容易受外力影響而發生斷裂；而不鏽鋼綁束帶之抗拉強度為機械結構接合中最高之材料，且其接合後之抗拉強度亦只有些微下降，為最適用之綁束材料，但材料成本也隨之大幅增加。透過上述結果，並參考市售輕量化電池堆所使用之綁束方式以 PET 做為綁束材料後，可歸類出幾種綁束帶之應用模式，若用於少串聯數及低強度之電池堆固定下，可使用 PP 綁束帶來進行加固；若用於大串聯數高強度之電池堆固定下，可使用 PET 塑鋼帶進行加固綁束，但須注意接合部應放置於平整處避免應力集中；若需進行高強度且須精密且穩固之電池堆組裝，則可使用不



鍍鋼綁束帶來進行實驗。

|                                                                                   | 名稱         | 材質          | 尺寸                     | 接合方式  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|------------------------|-------|
|  | 塑鋼帶        | PET         | 15.5mm<br>T=0.8mm      | 超音波接合 |
|  | 打包帶        | PP          | 14mm<br>T=1mm          | 超音波接合 |
|  | 尼龍<br>綁束帶  | Nylon<br>66 | 12mm*300mm<br>t=2mm    | 機械結構  |
|  | 耐腐蝕<br>綁束帶 | PP          | 7.6mm*200mm<br>t=1.6mm | 機械結構  |
|  | 不鏽鋼<br>綁束帶 | 不銹鋼         | 12mm*200mm<br>t=0.26mm | 機械結構  |

圖 29. 綁束帶性質表

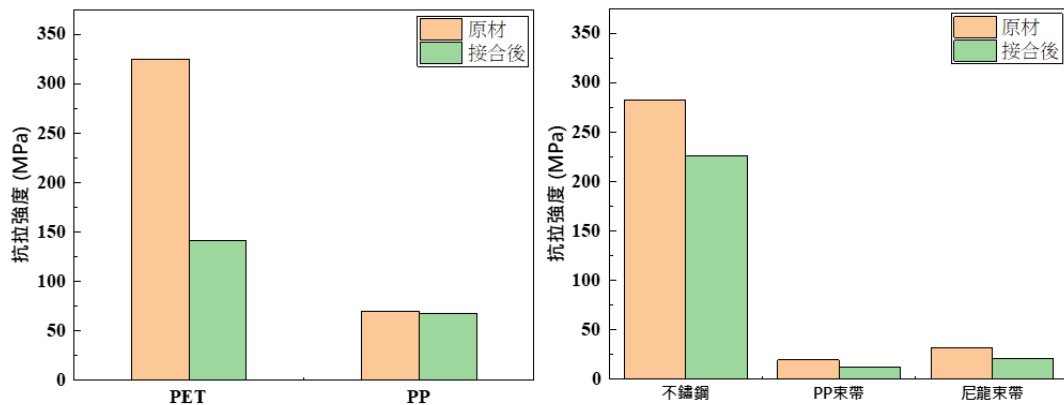


圖 30. 綁束帶測試結果

透過前述建立串聯單元與質膜蓋板及密封膠體測試後，為配合密封膠體之應用，故於串聯單元板上設置溢膠槽，並須將密封膠平整且均勻地塗抹在該區。

#### 四、液流電池複合化框體洩漏測試

透過上述測試與設計，本案中所開發之複合化框體液流電池則使用密封膠體 HARDEX 並於串聯單元與質膜蓋板表面製作出 40~50 $\mu$ m 之表面粗糙度，在進行電池堆的封裝，並將碳氈放置於其中形成一電池堆模組。先使用密封膠用於端板、雙極板、集電板以框板如圖 14 中端板組所示，當電池堆各組件接合完成後，將要把各組件依序進行組裝組裝順序為端板組、電極、質膜蓋板、電極、串聯單元、電極、質膜蓋板、電極、端板組，使用定位銷穿過邊緣四個出口以及入口孔洞進行定位，在各組件接合介面塗佈密封膠接合各組件，使用點膠機平均塗抹密封膠，塗佈區域為組件接觸介面的四周，確保各組件接觸面的密封性，等確定密封膠乾固後才可將定位銷拔除。

於本案例中開發製作出電極面積 8\*12cm 之電池框體，並將其組裝至 5 串聯，並利用 0.5bar 的內部壓力進行洩漏測試，而其洩漏測試之架構如圖 31 所示。透過空壓機給出壓縮空氣，再透過調壓閥設定所需之氣壓後，再透過管線進入電池堆。首先開啟空壓機，開關方式如圖左(開啟空壓機端之閥門)所示，使氣壓進入調壓閥供調整至測試所需之測試壓力(0.6bar)；接著使氣壓進入電池堆中，開關方式如圖中(雙邊閥門皆開啟)，初開閥門時壓力會驟降，待壓力回復至測試壓力 0.6bar；最後待壓力回復至 0.6bar 時，開關方式如圖右(關閉框壓機端之閥門)，使氣壓滯留於電池堆中，並觀察氣壓值之變化，若發生下降則有氣體洩漏狀況。



圖 31. 壓力驗證平台操作方式

而透過上述之壓力驗證平台之測試後，針對 8\*12cm 五串聯電池堆模組進行氣壓測試，利用 0.6bar 之壓力進行洩漏測試後發現，該組裝手法之電池堆可於至少 1 小時測試中，壓力值皆無變化，如圖 32 所示。

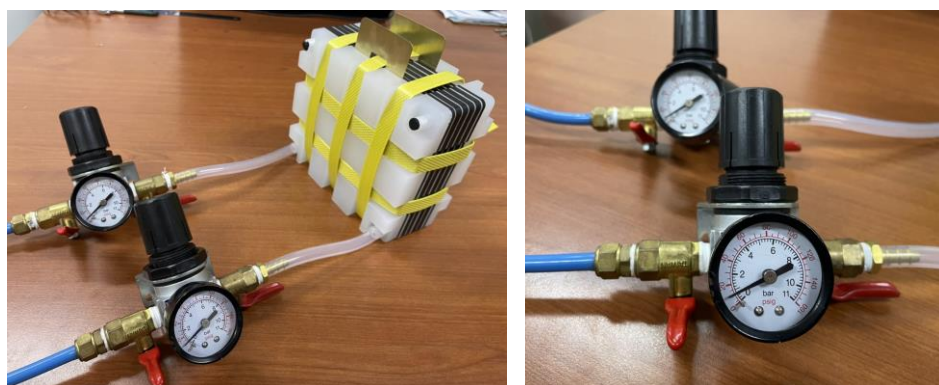


圖 32. 8\*12cm 電池堆五串聯洩漏測試結果

## 五、液流電池複合化框體電性測試

最終針對本案所開發出之 8\*12cm 五串聯電池堆模組，如圖 33 為該電池堆模組之尺寸結構，該電池尺寸為 150.90\*129.98\*1.17mm(寬\*高\*厚)，並對其進行電池性能測試，如圖 34 所示，其測試過程以電流密度 40-100mA/cm<sup>2</sup> 來進行充放電，而五串聯電堆之電壓範圍設定為 3.5-8.0V 來做為上下限值，並由各電流密度進行 5 次充放電過程並記錄；並使用蠕動泵浦進行電解液循環之用途，將電解液以 80mL/min 之流量驅動使其進入電池堆，作為該電池堆模組開發後之電池性能測試手法，其結果於圖 35-39 及表 8 中表示。。

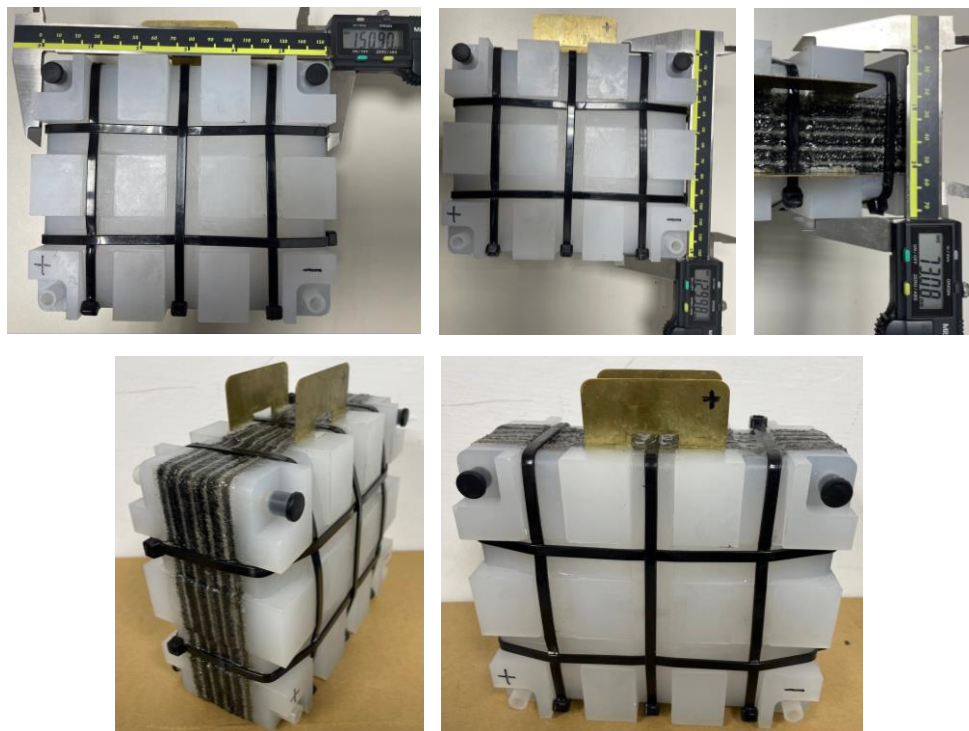


圖 33. 8\*12cm 五串聯電池堆模組成品圖

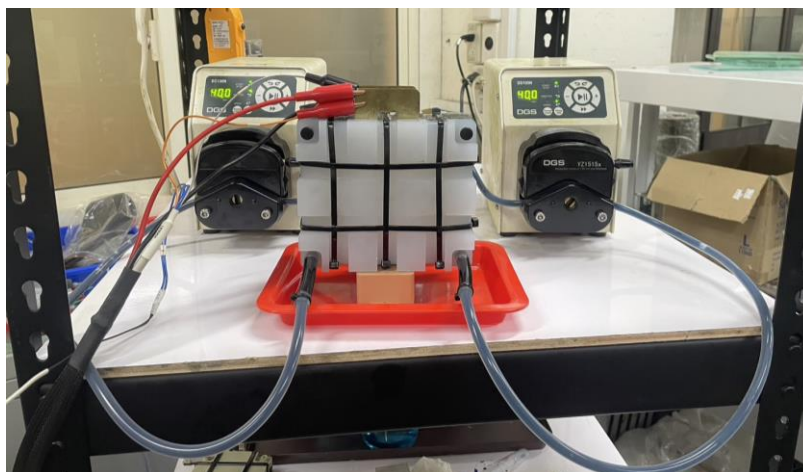


圖 34. 8\*12cm 五串聯電池堆模組測試圖

於測試結果圖 35、圖 36 所示，為電池充電與放電時之起始電壓，其中各電流密度下電壓值接近，充電時電壓隨電流密度上升而增加、放電時電壓隨電流密度上升而減少，但並未超出充電上限 8V 及放電下限 3.5V。於電流密度  $40\text{mA}/\text{cm}^2$  以  $20\text{mA}/\text{cm}^2$  做為提升電流密度之區間，每區間充電約提升 0.2V、放電約下降 0.2V，且  $100\text{mA}/\text{cm}^2$  時充電起始電壓為 7.3V、放電起始電壓為 6.2V，此為可持續提升電流密度進行電池性能測試之實驗數值。

於 8\*12cm 五串聯電池堆模組之測試結果中，見圖 37-39，伏特效率於  $40\text{mA}/\text{cm}^2$  時為 80% 並隨電流密度上升而下降至 72%；庫倫效率則於  $40\text{mA}/\text{cm}^2$  時為 80% 並隨電流密度上升而提升至 92%，從以上兩效率可得到電池之能量效率於  $40\text{mA}/\text{cm}^2$  時為 70% 並隨電流密度上升而下降至 66%，可能原因為在低電流密度下充、放電時間需較長才能達到截止電壓，但電解液正、負極釩離子於電場作用下加強了滲透作用通過質子交換膜，故電解液滲透量隨之上升，造成電解液效能下降。另電池進行充、放測試一併同時進行壓力測試，若內部有洩漏狀況則亦會改變電池性能，但

統整巨觀測試數據，於較高的電流密度下進行充、放電其效能穩定，與一般商用電池能量效率 70%相當。

由庫倫效率圖中，可發現該電池於 40 mA/cm<sup>2</sup> 下效率值較不穩定，而隨電流密度上升隨之更加相近，其顯示該電池更加適用於高電流密度下之充、放電行為，造成此現象之原因主要受電解液與質子交換膜間搭配性之問題，後續並可於電解液性能做相關之開發實驗。

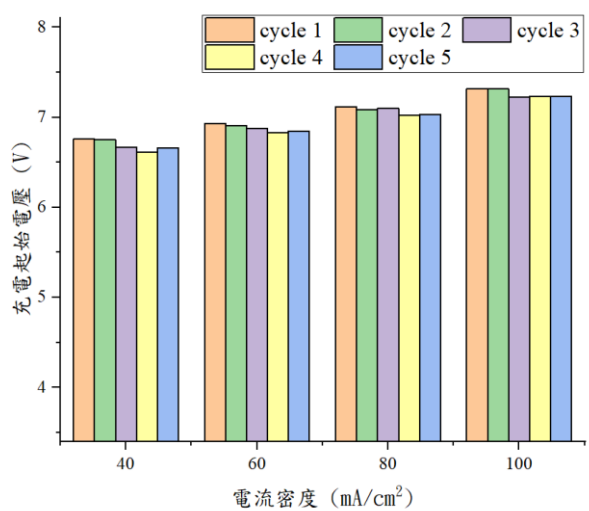


圖 35. 8\*12cm 電池堆五串聯電性測試之充電起始電壓圖

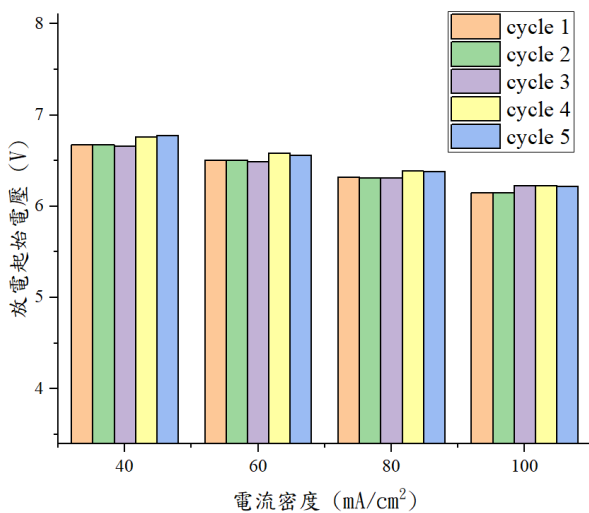


圖 36. 8\*12cm 電池堆五串聯電性測試之放電起始電壓圖



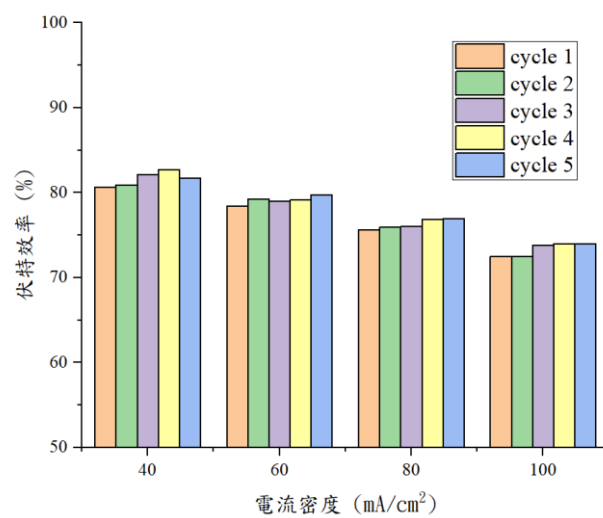


圖 37. 8\*12cm 電池堆五串聯電性測試之伏特效率圖

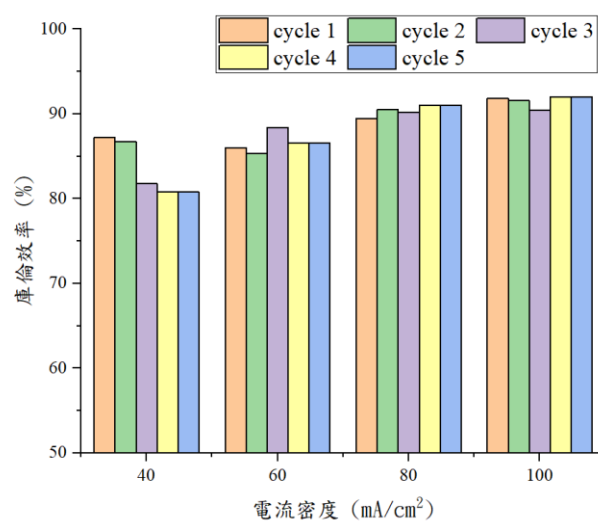


圖 38. 8\*12cm 電池堆五串聯電性測試之庫倫效率圖

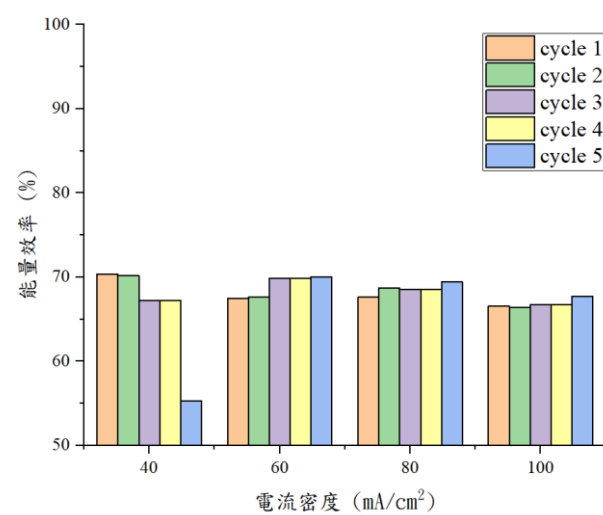


圖 39.8\*12cm 電池堆五串聯電性測試之能量效率圖



表 8. 8\*12cm 電池堆五串聯電性測試數據表

| 電流密度<br>(mA/cm <sup>2</sup> ) | Cycl | 起始電壓(V) |      | 電池效率(%) |      |      |
|-------------------------------|------|---------|------|---------|------|------|
|                               |      | 充電      | 放電   | VE      | CE   | EE   |
| 40                            | 1    | 6.76    | 6.67 | 80.7    | 87.2 | 70.4 |
|                               | 2    | 6.75    | 6.67 | 80.9    | 86.7 | 70.2 |
|                               | 3    | 6.67    | 6.66 | 82.2    | 81.8 | 67.2 |
|                               | 4    | 6.61    | 6.76 | 82.7    | 80.8 | 66.8 |
|                               | 5    | 6.66    | 6.78 | 81.7    | 67.7 | 55.3 |
| 60                            | 1    | 6.93    | 6.51 | 78.4    | 86.0 | 67.5 |
|                               | 2    | 6.91    | 6.51 | 79.2    | 85.3 | 67.6 |
|                               | 3    | 6.88    | 6.49 | 79.0    | 88.4 | 69.8 |
|                               | 4    | 6.83    | 6.58 | 79.1    | 86.6 | 68.5 |
|                               | 5    | 6.85    | 6.56 | 79.8    | 87.8 | 70.0 |
| 80                            | 1    | 7.12    | 6.32 | 75.6    | 89.4 | 67.6 |
|                               | 2    | 7.08    | 6.31 | 76.0    | 90.5 | 68.7 |
|                               | 3    | 7.10    | 6.31 | 76.0    | 90.2 | 68.6 |
|                               | 4    | 7.02    | 6.39 | 76.8    | 91.0 | 70.0 |
|                               | 5    | 7.03    | 6.38 | 76.9    | 90.2 | 69.4 |
| 100                           | 1    | 7.32    | 6.15 | 72.5    | 91.9 | 66.6 |
|                               | 2    | 7.32    | 6.15 | 72.5    | 91.6 | 66.4 |
|                               | 3    | 7.23    | 6.23 | 73.8    | 90.4 | 66.7 |
|                               | 4    | 7.23    | 6.22 | 74.0    | 92.0 | 68.1 |
|                               | 5    | 7.23    | 6.22 | 73.9    | 91.6 | 67.7 |

## 伍、 結論

透過本計畫之研究開發，本節將統整出以下之成果：

1. 本計畫透過液流電池結構設計，將傳統鎖固型之液流電池模組進行修正，移除舊有之密封件及鎖固件，大幅降低電池模組之結構尺寸，該模組面積下降約 22%，單片框板厚度下降 50%，電池組以五串聯模組總體積相對於傳統鎖固電池組為例，則減少約 40%，於相同功率比較下，體積功率密度提升約 1.6 倍，該電池於 9.6A 之充電電流下(電極面積  $96\text{cm}^2$ 、電流密度  $100\text{mA}/\text{cm}^2$ )，最大電壓可充電至 8.0V，故該電池模組之最大功率為 76.8W。
2. 本計畫製作一體化電池框板，分別針對 ABS 塑膠框板同質接合、ABS 塑膠框板與石墨板進行熔接實驗，於 ABS 塑膠框板同質接合之接合強度可達 38.3MPa、ABS 塑膠框板與石墨板之接合強度可達 15.2MPa。
3. 實驗並針對 5 種接合膠體及 5 種綁束型式進行測試，並分別對其提出可應用之電池模組狀態。
4. 本計畫所開發之液流電池模組經 0.6bar 之操作壓力下超過 1hr 無發生洩漏及壓力變化，並可進行多循環之電池性能測試，且無漏液狀況。
5. 本計畫所開發之電池模組經電性測試後，其電池效率皆為穩定且具重現性，其中於  $100\text{ mA}/\text{cm}^2$  下，仍可進行充放電操作，並可持續提升；於  $40\text{ mA}/\text{cm}^2$  下能量效率可達 70%，後續並可通過電解液之選用與改質使其效果提升。

陸、 查核點確認

表 9. 本計畫預期完成效益與主要績效指標

| 執行時間                | 項目                      | 量化指標內容                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 第 2 季<br>(4/7-6/10) | 開發一體化<br>薄型框板結<br>構模型設計 | <p>1. 計畫規劃報告 1 份。</p> <p>2. 完成開發液流電池一體化薄型串聯結構設計分析評估與製作。</p> <p>A. 電極反應面積 <math>\geq 90 \text{ cm}^2</math>。</p> <p>B. 框板厚度 <math>\leq 3 \text{ mm}</math>；</p> <p>串聯單元厚度 <math>\leq 6 \text{ mm}</math>；</p> <p>框板面積 <math>130 \times 150 \text{ mm} (\pm 5 \text{ mm})</math>。</p> <p>C. 石墨雙極板與塑膠框板接合驗證。</p> |

|                               |                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>第 3 季<br/>(6/10-8/19)</p>  | <p>框板與石墨<br/>板之雷射接<br/>合技術開發</p>                                                                      | <p>1. 液流電池一體化薄型框板製作，石墨與塑膠接合強度<math>\geq 15</math> MPa。</p> <p>A. 框板接合強度<math>\geq 35</math> MPa。</p> <p>B. 複合化框體黏合串聯數<math>\geq 5</math> 串聯，電池組總厚度<math>\leq 100</math> mm。</p> <p>2. 電池框板黏合技術開發，串聯數<math>\geq 5</math>、於 0.6 bar 操作壓力下 1hr 無洩漏。</p> |
| <p>第 4 季<br/>(8/19-11/10)</p> | <p>複合化框體<br/>電池電性測<br/>試與驗證</p>                                                                       | <p>1. 性能驗證(5 串聯，每串電壓 0.7~1.6 V，此為一圈參數設定)，重覆循環測試 5 圈。</p> <p>2. 完成國內外會議論文申請發表 1 篇</p> <p>3. 一體化薄型電池封裝板各 2 片(端板、框板)</p> <p>4. 一體化薄型串聯複合化框體電池一組(黏合串聯數<math>\geq 5</math> 串聯)</p>                                                                        |
| <p>備註</p>                     | <p>期初：1. 執行進度達 30%研究報告；2. 開發液流電池一體化薄型串聯結構設計，其電極反應面積為 96cm<sup>2</sup>、單一框板厚度 2.5 mm(串聯單元厚度 5 mm)、</p> |                                                                                                                                                                                                                                                      |

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>框板面積 130x150 mm；3. ABS 框板對接強度達 38.3 MPa、ABS 框板與石墨板接合強度達 15.2 MPa。</p> <p><b>期中：</b>1. 已投稿國內會議論文 1 篇，於台灣銲接協會一一一年度會員大會暨論文發表會投稿，論文題目：超音波接合應用於塑膠質膜壓板接合；2. 測試五種密封膠體，以 HARDEX 於框板表面製作 40~50<math>\mu</math>m 之表面粗糙度為最佳參數，抗拉強度達 16MPa；3. 製作電極反應面積 8*12cm 之 5 串聯複合化框體，電池堆總厚度 72mm；進行液壓洩漏測試，使用 0.6bar 壓力進行 1 小時未洩漏。</p> <p><b>期末：</b>1. 執行 5 串聯電池堆電性測試，並以電流密度 40~100 mA/cm<sup>2</sup> 進行區間 20 mA/cm<sup>2</sup> 之充放電測試並執行 5 循環，其電池效率於 40 mA/cm<sup>2</sup> 下，可達 EE 70%，於 100 mA/cm<sup>2</sup> 下能量效率仍高於 60%，故該電池具高電流密度下充、放電能力。</p> |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

表 10. 本研究預定進度與查核點

| <div>年月</div> <div>工作項目</div> | 1 | 2 | 3 | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11   | 12 | 備註 |
|-------------------------------|---|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|----|----|
| 1. 液流電池複合化框體結構設計              |   |   |   |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |
| 2. 複合化框體製程建立與製作               |   |   |   |     | ※   |     |     |     |     |     |      |    |    |
| 3. 複合化框體洩漏測試                  |   |   |   |     |     |     | ※   |     |     |     |      |    |    |
| 4. 完成研究報告一篇                   |   |   |   |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |
| 5. 共同投稿至少1篇國內外會議論文            |   |   |   |     |     |     |     |     |     | ※   |      |    |    |
|                               |   |   |   |     |     |     |     |     |     |     |      |    |    |
| 工作進度估計百分比<br>(累積數)            |   |   |   | 15% | 30% | 45% | 60% | 75% | 90% | 95% | 100% |    |    |

## 柒、 參考文獻

1. 國發會產業發展處(109 年度)，“推動六大核心戰略產業，獲取全球關鍵力量”，台灣經濟論衡，第 18 卷，第四期，第 4 頁-9 頁
2. Bo, X.U., Liang, Q.I., Kejian, Y., Xiaofeng, X. (2013) Investigation and simulation on electrolyte distribution for all-vanadium redox flow battery[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 32(02): 313-319.
3. Eifert, L., Jusys, Z., Behm, R. J., & Zeis, R. (2020). Side reactions and stability of pre-treated carbon felt electrodes for vanadium redox flow batteries: A DEMS study. Carbon, 158, 580-587.
4. George, D.G.(2003). Method of manufacture of graphite plate assembly. Patent No. US 6,596,428.
5. Chang, C.H., Chou, H.W., Hsu, N.Y., Chen, Y.S. (2016). Development of Integrally Molded Bipolar Plates for All-Vanadium Redox Flow Batteries. Energies, 9, 350.
6. 黒瀬 隆, 伊藤浩志(2018). 射出成形による樹脂/金属の接合技術とその接合メカニズム, 日本接着学会誌, 54, 5.
7. Katayama, S. (2013). Handbook of Laser Welding Technologies. Woodhead Publishing Limited.
8. Troughton, M.J. (2008). Handbook of Plastics Joining: A Practical Guide (Plastics Design Library). William Andrew.
9. Wissemborski, R., Klein, R. (2010). Welding and Marking of Plastics with Lasers. Laser Technik Journal, 5, 19-22.
10. Luo, X., Charles, R.J., Yu, Suyuan. (2004). Effect of temperature on graphite oxidation behavior. Nuclear Engineering and Design, 227, 273-280.
11. Makoto, H., Yutaka, M., Koji, M., Teruto, K. (2012). Laser Joining of Metal and Plastic Using Insert Materials. Materials Science Forum, 706-709, 2956-2961.
12. Lucas, F.M. (2011). Handbook of Adhesion Technology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1nd.

13. Montanini, R., Squadrito, G., Giacoppo, G. (2011). Measurement of the clamping pressure distribution in polymer electrolyte fuel cells using piezoresistive sensor arrays and digital image correlation techniques. *Journal of Power Sources*, 20, 8484-8493.
14. Bappa, A. (2020). Laser transmission welding of polymers – A review on process fundamentals, material attributes, weldability, and welding techniques. *Journal of Manufacturing Processes*, 60, 227-246.
15. Mirko, A., Viktor, M., Alexander, Olowinsky. (2015). Influence of carbon black and indium tin oxide absorber particles on laser transmission welding. *Optics & Laser Technology*, 69, 87-91.
16. Annalisa, Volpe., Francesca, D.N., Caterina, G., Andrea, D.R. (2015). Welding of PMMA by a femtosecond fiber laser. *Optics Express*, 23, 4114.
17. Yasuo, K., Kimitoshi, Satoh. (2010). A fiber laser welding of plastics assisted by transparent solid heat sink to prevent the surface thermal damages. *Physics Procedia*, 5, 173-181.