

知識物件上傳表

計畫名稱：112年度「淨零排放-液流電池儲能系統技術驗證計畫」(1/2)

上傳主題：液流電池系統模擬建立技術

提報機構：工業技術研究院綠能所

提報時間：112年 11月22日

與計畫相關	☒ 1.是 ☐ 2. 否
國別	☒ 1.國內 ☐ 2. 國外：美國
能源業務	☐ 1.能源政策(包含政策工具及碳交易、碳稅等) ☐ 2.石油及瓦斯 ☐ 3.電力及煤碳(包含電力供應、輸配、煤炭、核能等) ☒ 4.新及再生能源 ☐ 5.節約能源(包含工業、住商、運輸等部門) ☐ 6.其他
能源領域	☐ 1.能源總體政策與法規 ☐ 2.能源安全 ☐ 3.能源供需 ☐ 4.能源環境 ☐ 5.能源價格 ☐ 6.能源經濟 ☒ 7.能源科技 ☐ 8.能源產業 ☐ 9.能源措施 ☐ 10.能源推廣 ☐ 11.能源統計 ☐ 12.國際合作
決策知識類別	☐ 1.建言(策略、政策、措施、法規沒措) ☒ 2.評析(先進技術或方法、沒策略、政策、措施、法規) ☐ 3.標竿及統計數據：技術或方法、產業、市場等趨勢分析 ☐ 4.其他：
重點摘要	全鈦液流電池於微電網系統中作為儲能設備，具備穩定性高、循環壽命長、彈性設計及可瞬間充放電等特性，符合再生能源儲能系統之需求。本研究將利用軟體 Matlab 設計能源管理策略，並以 Matlab/Simulink 建立微電網系統模型進行模擬，透過儲能設備吸收再生能源不規則的發電功率，並於電網用電尖峰時刻釋放電能，平穩發電設備之功率輸出，達到功率曲線削峰填谷之目的，並透過功率調節系統整合不同的分散式電源，提供微電網系統最佳能源之調度。針對模擬結果佐證理論分析與設計方法之正確性，為微電網技術提供設計參考與應用價值。
詳細說明	一、微電網系統架構與模型 本研究系統模型分成微電網模型與全鈦液流電池模型(簡稱 VRB)兩個模塊，兩個模型會同時進行模擬，將電網模型得到的 output (VRB power demand) 視為 input (VRB power) 輸入進 VRB 模型，再將 VRB 模型得到的 output (SOC feedback) 視為 input (SOC feedback) 輸入進電網模型裡，形成一個迴圈(loop)，由於本研究的模型使用兩種不同的模擬型式，分別為 Microgrid(Phasor)與 VRB(Discrete)，如圖1所示。分散式能源及負載的液流電池模擬模型，經由微電網架構將全鈦液流電池模型、太陽能模型、負載模型與能源管理系統模型連接在三項交流的電網上，如圖2所示。

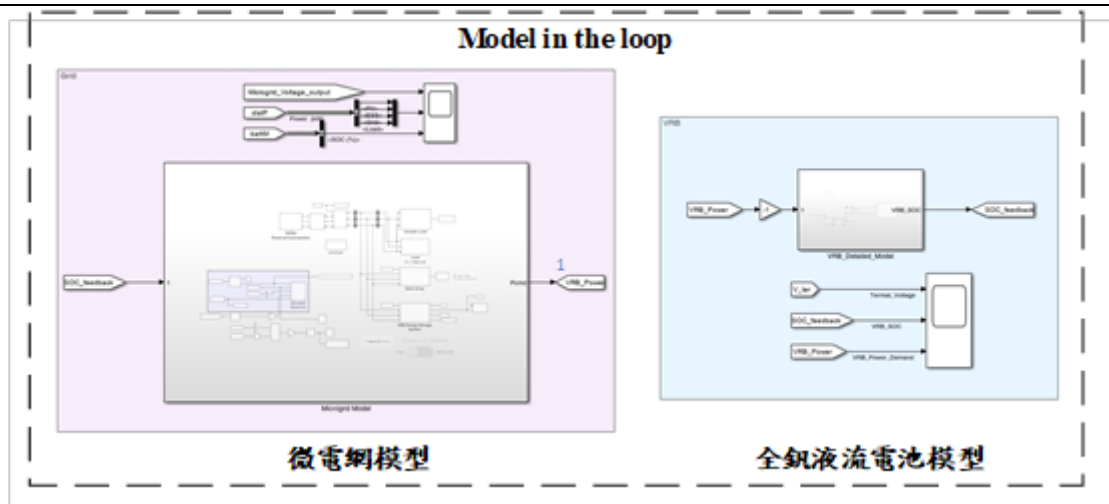


圖 1 系統架構圖

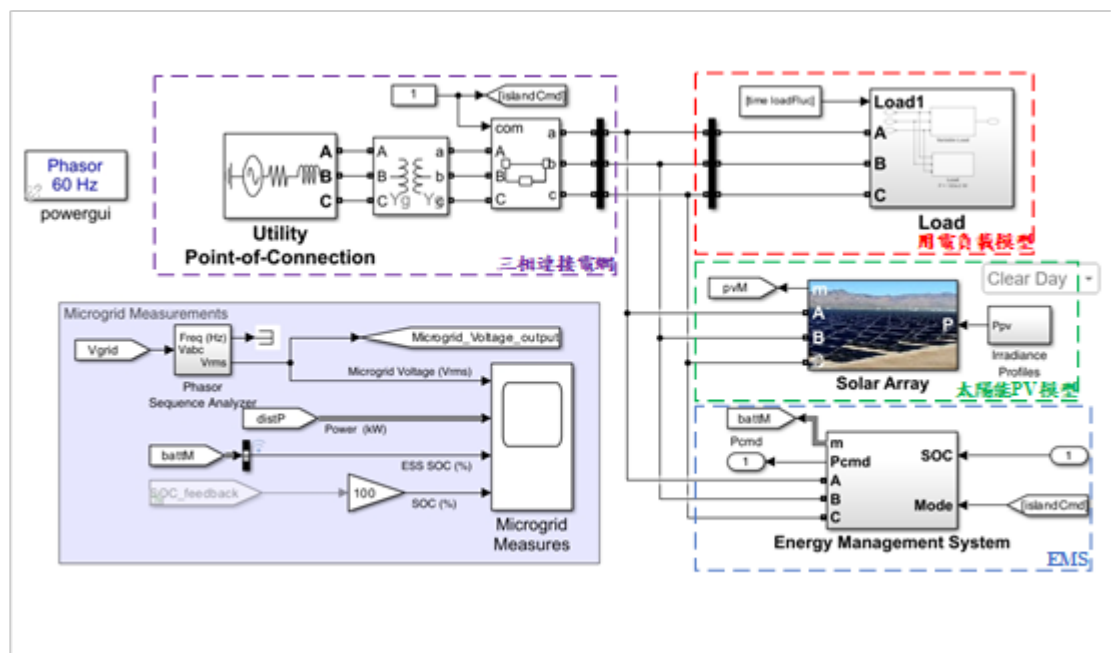


圖 2 微電網模型圖

二、全釩液流電池 VRB 模型建立

液流電池被認為是最適用於大型儲能系統設備的儲能元件之一，具備安全係數高、容量大、循環壽命長、可彈性設計電池組規模及瞬間充、放電耐受性高等特性，符合再生能源之儲能系統之需求，具備廣泛的市場潛力。

全釩液流電池主要由電堆、正負極電解液儲液罐、循環泵及流道管線組成，其中電堆為多個單電芯串連組成。單電芯由一正負極電極版與離子交換膜形成正負兩個反應區，反應時由循環泵加壓，使電解液透過管路輸送至正負極版，電解液中的活性物質在電極表面進行氧化還原反應，同時氫離子透過離子交換膜傳遞，與電子通過外電路的傳遞組成迴路，形成電流匯集至雙極版，如圖3所示。全釩液流電池的電解槽可根據應用規模彈性設計，亦可透過串並聯的方式調整，範圍可從數千瓦至數百萬瓦，分別為不同的使用環境提供新選擇。全釩液流電池反應方式透過金屬離子的價數變換釋放電子，反應過程不會消耗金屬元素，因此使用壽命長，維護成本低，且作為能量儲

存載具之電解液可重複使用，減少儲能設備運作產生的廢棄物。

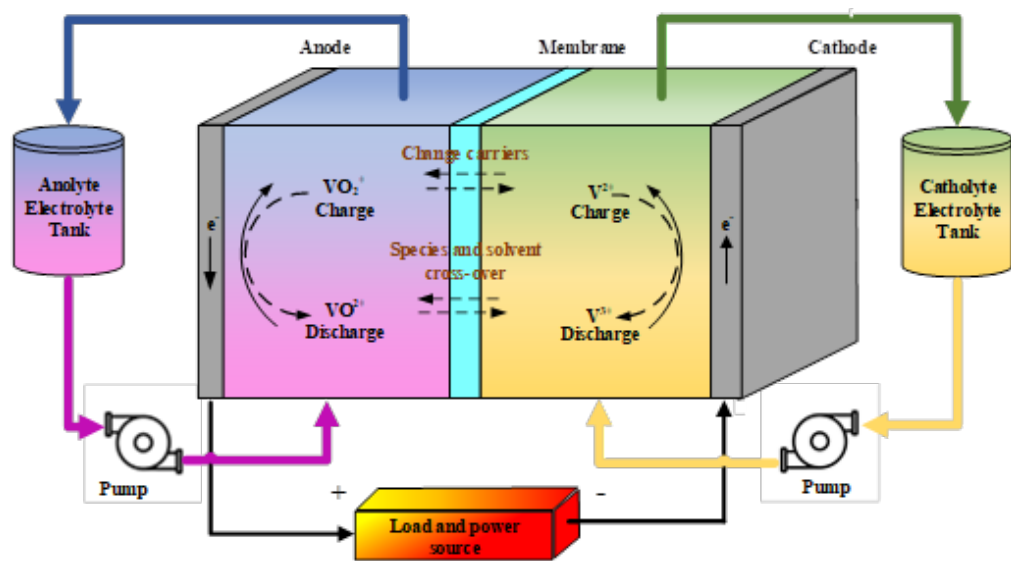
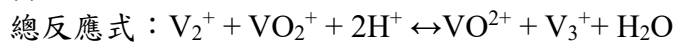
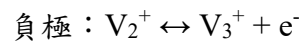
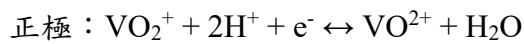


圖3 全鈦液流電池架構

全鈦液流電池的化學反應式分別為：



電池模型為電池動態特性與靜態特性的表徵，由於電池的充放電為複雜的化學反應，過程中存在濃差極化與電化學極化，此兩種極化反應導致電池充放電時電池參數的變動。本研究等效電路模型採用電阻、電容、電壓源及電流源等元件表徵電池的動態與靜態反應，如圖4所示。其中 U_d 為液流電池的端電壓； I_d 為液流電池的充放電電流， V_s 為液流電池的開路電壓，其電壓會受電池 SOC 影響，故採電壓源的方式呈現； I_p 為泵損，採恆流電流源表示； R_3 為循環泵的寄生損耗； R_1 , R_2 為液流電池反應時的所有電池內部等效阻抗，包含傳質阻抗、隔膜阻抗、電解液阻抗、電極阻抗和雙極板阻抗等， C_l 為電極電容，用來模擬電池的動態特性。

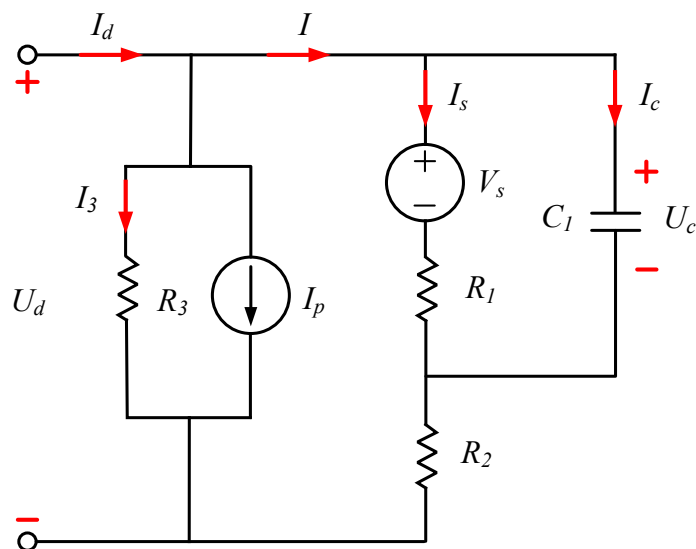


圖4 全鈦液流電池等效電路圖

本模擬建模將需求的1MW 電池系統拆成兩顆500kW VRB 電池模型串聯以達到系統需求功率1 MW 且容量達需求的2 MWh，並以輸入之電流控制，如圖5所示。

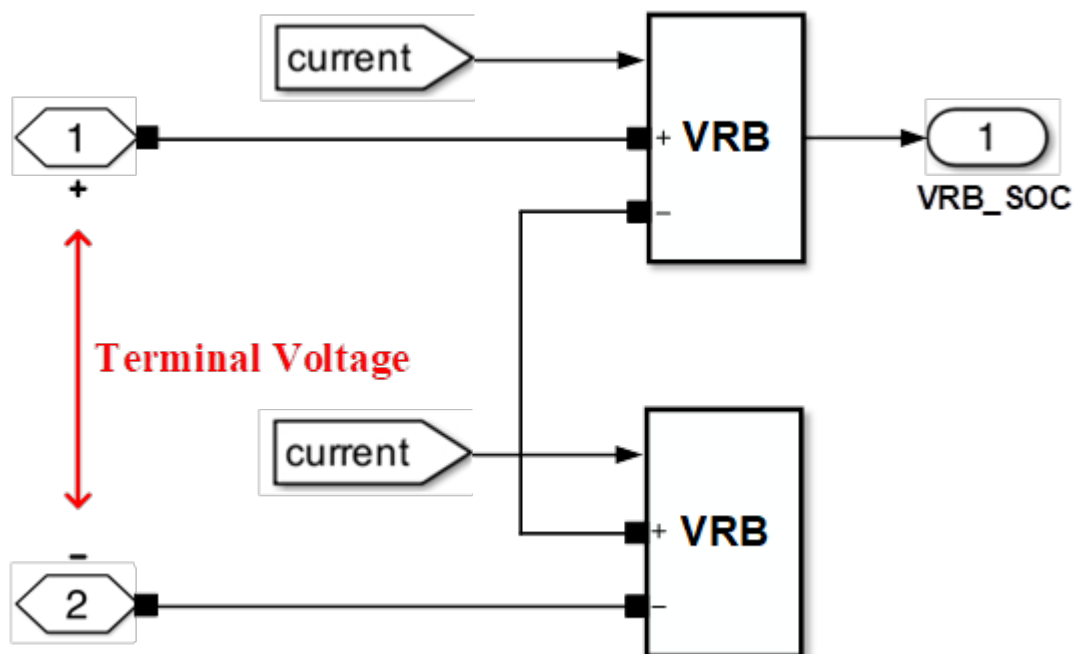


圖5 Matlab/Simulink 介面之液流電池模型架構圖

由於全釩液流電池的工作電流密度低，實際應用時其反應面積通常需達數千平方公分，提高電池吸收及釋放電流的耐受度，並透過串聯方式提升電池堆之電壓，使其符合再生能源電力系統之應用。本研究使用單電芯的充放電數據進行參數估算，此測試為定電流充放電，參數設定如表 1所示，其電壓及電流曲線如圖 6所示。

表1 全釩液流電池充放電條件

Test	OVP [V]	UVP [V]	Current [mA/cm ²]	Sample time [s]	Method
Charge/ Discharge	1.6	0.8	100	1	Constant Current

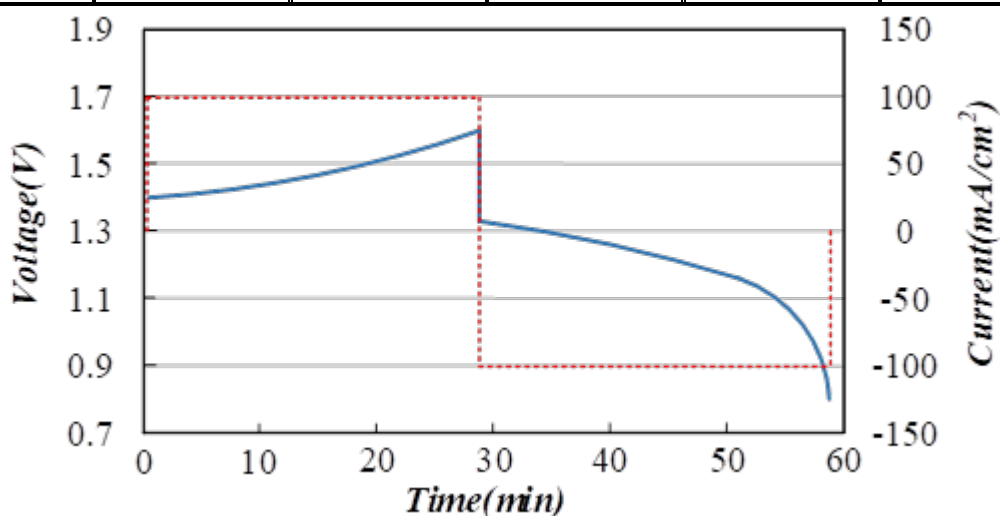


圖6 全釩液流電池充放電電壓/電流密度曲線

利用等效電路模型之 R_1, R_2, R_3 及 C_1 等參數如表2所示，可觀察得 R_1 及 R_2 於 SOC 較低時快速上升，此現象會導致 SOC 估測出現較大的誤差。 R_3 為循環泵的寄生電阻，由於充放電時循環泵以固定流量及壓力進行電解液的輸送，因此寄生電阻變化較低，不同 SOC 狀態的參數如圖7至圖9所示。

表 1 液流電池不同 SOC 下各項參數表

$SOC (\%)$	$V_s (V)$	$R_1 (m\Omega)$	$R_2 (m\Omega)$	$R_3 (\Omega)$	$C_1 (kF)$
99	1.504	2.968095	8.55381	3.428095	1.232013
90	1.395	3.844286	6.286667	3.428095	2.042048
80	1.355	4.194762	6.155238	3.428095	2.333844
70	1.330	4.402857	6.231905	3.428095	2.27236
60	1.304	4.567143	6.352381	3.428095	2.126933
50	1.286	4.764286	6.48381	3.428095	2.016706
40	1.266	5.01619	6.582381	3.428095	1.981383
30	1.243	5.29	6.680952	3.428095	1.967126
20	1.218	5.52	6.85619	3.428095	1.869292
10	1.185	6.341429	8.312857	3.428095	1.313611
1	1.104	19.90048	13.11	3.428095	0.352734

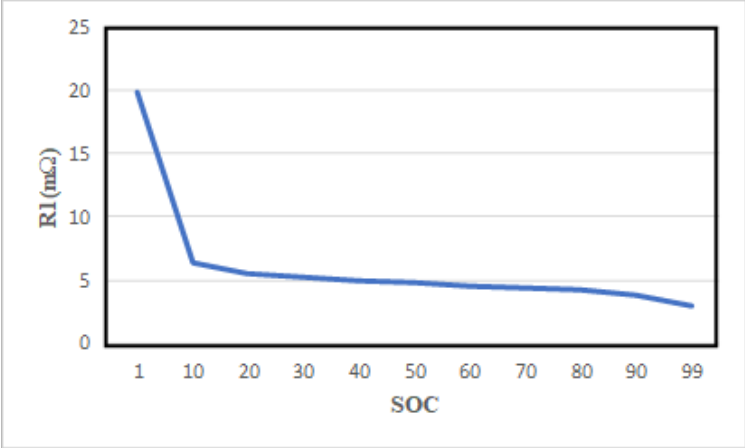


圖7 R_1 曲線

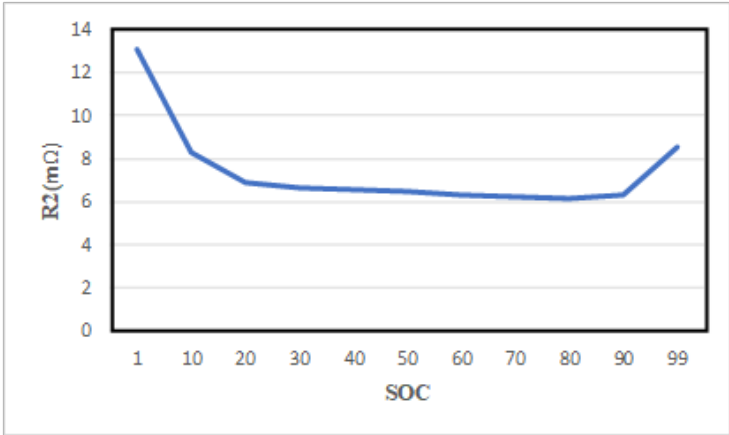


圖8 R_2 曲線

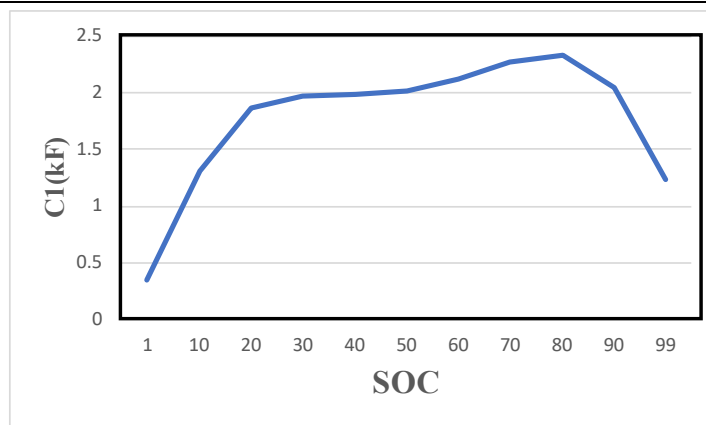


圖9 C₁曲線

三、參考文獻

- [1] 李鑫, 李建林, 邱亞, "全鈦液流電池儲能系統建模與控制技術".
- [2] J. Chahwan, C. Abbey and G. Joos, "VRB Modelling for the Study of Output Terminal Voltages, Internal Losses and Performance," 2007 IEEE Canada Electrical Power Conference, Montreal, QC, Canada, 2007, pp. 387-392.
- [3] Skyllas-Kazacos M, Kazacos M, Joy J, et al. State-of RedoxCell: Patent Appl. No PCT/AU89/00252[P]. June 1989.
- [4] Ao Tang, Jie Bao, Maria Skyllas-Kazacos, Studies on pressure losses and flow rate optimization in vanadium redox flow battery, Journal of Power Sources, Volume 248, 2014, Pages 154-162, ISSN 0378-7753.
- [5] C. Blanc and A. Rufer, "Multiphysics and Energetic Modeling of a Vanadium Redox Flow Battery", 2008 IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies, Singapore, 2008, pp. 696-701.
- [6] Xiaofei Sun, Shouguang Yao, Qian Zhao, Yunhui Zhao, Jie Cheng. "Simulation Modeling and Charge–Discharge Characteristics of a Zinc–Nickel Single-Flow Battery Stack ", Int. J. Electrochem. Sci., 15 (2020) 651 – 665.
- [7] Shouguang Yao, Peng Liao, Min Xiao, Jie Cheng, Ke He, "Equivalent circuit modeling and simulation of the zinc nickel single flow battery", AIP Advances 7, 055112 (2017).

資料提供者／機構：郭書瑋/工研院綠能與環境研究所

連絡電話：06-3636954

Email: S.W.Kuo@itri.org.tw

註：1.請計畫執行單位上傳提供較具策略性的知識物件，不限計畫執行有關內容。

2.請計畫執行單位每季更新與上傳一次，另有新增政策建議可隨時上傳。

3.文字精要具體，量化數據盡量輔以圖表說明。