

知識物件上傳表

計畫名稱：112年度「儲能技術應用與驗證計畫」(2/3)

上傳主題：液流電池國際標準盤點

提報機構：工業技術研究院綠能與環境研究所

提報時間：2023年6月5日

與計畫相關	☒ 1.是 ☐ 2. 否
國別	☐ 1.國內 ☒ 2. 國外
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) ☒ 2.評析(先進技術或方法、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：
重點摘述	本文係針對目前液流電池國際標準進行分析，分別是 UL 標準、IEC 系列標準及中國大陸標準。整體而言，液流電池的性能測試與一般二次電池系統類似，主要針對放電容量、充放電功率、高低溫性能和能源效率，不過針對液流電池的特性，可透過電壓來對應評估 SOC，因此中國大陸有針對 SOC 精度進行測試。而液流電池的安規測試部分，除了整體系統上有類似一般儲能電池基本測試，如短路、過充、過放、絕緣電阻和界電強度等，電堆部分則是與燃料電池的電堆測試類似，主要著重在衝擊、振動和洩漏試驗；也針對液流電池的特性，針對電解液儲槽和循環系統，有特別的測試項目，如：耐腐蝕、耐溫、液體壓力、洩漏、電解液堵塞、短路試驗中流速恆定、溫控系統失效等；也建議針對整體結構進行 FMEA（失效風險分析），但是相較於鋰電池的熱失控風險，液流電池的失效風險顯然比較可被控制，這將會是液流電池未來在推廣上的優勢。
詳細說明	一、前言 本文將針對目前液流電池的國際標準進行分析，分別是 UL 標準、IEC 系列標準以及中國大陸 GB 標準。 二、標準研析 1. UL 標準 液流電池儲能系統在 UL 儲能法規中，適用於 UL1973輕型電動軌道車輛儲能系統和固定式儲能系統應用之標準、UL9540儲能系統安全要求和 UL9540A 評估電池儲能系統中熱失控及火勢蔓延的測試方法，其中在 UL1973中，特別說明液流電池除了所有儲能系統基本的安全測試之外，另外還需符合 UL1973附錄 C 中所提到的測試，並且分成電解液儲槽、電堆、電解液循環系統等部分，進行不同

的測試，主要以安全測試為主，整理如下表 1。

表 1、UL1973 中液流電池測試項目

UL1973測試項目		測試內容
電解液儲槽	耐液體腐蝕	電解液儲槽材料、墊圈、密封件在浸入電解液後 7-70 天後取出，量測抗拉強度和體積變化。
	耐溫測試	電解液儲槽材料在 70°C (158°F) 的溫度下放置 45 天和 90 天。不能有可見裂紋，並量測抗拉強度。
電堆	振動試驗	電堆在測台上，在 10 Hz 和 55 Hz 的極限之間以 1 Hz / min 的三軸變頻振動測試持續 90 分鐘，不能有洩漏。
	電堆衝擊測試 (或落下試驗)	電堆在測台上以 125 至 175 g 的加速度進行三軸衝擊測試，不能有洩漏。
	電堆高溫試驗	電堆應在 10±2°C 加上電池堆的額定最高溫度或 70±2°C 的條件 (取較高者) 下放置 7 小時，冷卻至室溫，不能有洩漏。
	電堆短路試驗	充放電至預期循環壽命的 25% 或連續循環 90 天 (取較短者) 的電池組，應進行短路測試，總外部阻抗小於或等於 20mΩ，直到電堆完全放電或保護裝置啟動才截止。不得起火或爆炸。
電解液循環系統	液體壓力試驗	5 倍製造商規定的最大壓力或 1.5 倍洩壓裝置工作壓力，取較大者，持壓 1 分鐘。測試過程中，洩壓閥不能被啟動。
	洩漏試驗	以液體最大壓力的 1.5 倍，或氣體最大壓力 1.1 倍來進行測試，不得有爆炸、火、可燃氣體濃度、有毒蒸氣的釋放、電擊危險、洩漏、破裂、失去保護控制。
	電解液堵塞測試	模擬充放電期間泵故障/堵塞而導致過放電產生，需通過「過放電試驗」。
	短路試驗	系統進行短路測試時，應在測試過程中將電解液流速保持恆定，直到保護裝置起作用，系統放電完畢即結束試驗。
	分流電流確認	確認因電流分流造成的損耗應與製造商的規定相符合。
	冷卻/加熱系統失效測試	待測物應完全放電至製造商規定的放電條件終點，接著在最高操作溫度下靜置 7 小時或達熱平衡，在冷卻/加熱穩定系統失效時以製造商規定的充電倍率充/放電，直到完全充/放電或保護裝置啟動操作。再進行耐電壓試驗，不能有破裂或洩漏的痕跡。

2. IEC 系列標準

在 IEC 62933 電能儲存系統系列標準中，液流電池是在適用範圍內的儲能技術，另外有 IEC 62932 系列標準專門規範液流電池，相關的其中 IEC 62932-2-1 是液流電池性能測試，IEC 62932-2-2 是液流電池安全測試，還分成針對整個液流電池系統和電堆，分別對應不同的測試項目。整理如下表。

表 2、IEC62932 液流電池標準中的定義

縮寫	全名	中文	說明
BMS	battery management system	電池管理系統	與液流電池能源系統相關的電子系統，該系統監視和/或管理其狀態，計算輔助數據，回報該數據和/或控制其環境以影響液流電池能量系統的性能和/或使用壽命
BSS	battery support system	電池支援系統	BSS 由 BMS 控制，是系統中的輔助單元，如熱交換器，通風系統，安全系統和惰性氣體系統，但不是電堆和流體循環系統，電源轉換系統或電池管理系統的一部分。
EES	electrical energy storage	電能儲存	
FBES	flow battery energy system	液流電池能源系統	由 FBS 和電力轉換系統組成的用於存儲能量的系統 FBES=FBS+PCS
FBS	flow battery system	液流電池系統	兩個以上的單電池串連，包括用於電化學儲能系統（如電池管理系統，電池支持系統和流體循環系統）的所有組件
PCS	power conversion system	電力轉換系統	

表 3、IEC62932-2-1 液流電池性能測試項目

IEC62932-2-1 測試項目	測試內容
定功率下的放電容量	● 該測試用於通過測量 FBES 或 FBS 的總放電能量輸出以及輔助設備（例如 BMS，BSS 和泵）消耗的輔助能量來確定 FBES 或 FBS 在恆定功率模式下的放電能量。 ● 測試條件：環境溫度 $25^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ K}$。記錄電解液的濃度和溫度。 ● Step1: 測試單元應按照製造商聲明的方法充飽電。 ● Step2: 測試單元應以恆定功率($\pm 2\%$)放電，直到達到放電終止(規定的放電持續時間或截止電壓或 SOC)。

		● 同樣條件連續進行三次測試，平均值應等於或大於額定值。
	確定最大可輸出功率	● 進行充電，以額定放電功率放電到終止，記錄放電持續時間 t，與製造商應聲明使用的持續時間 t_d 進行比較，若 $t > t_d$，則調高放電功率重複進行（反之亦然），直到 $t \approx t_d$。可得最大可輸出功率值，同時記錄 t，充電狀態和環境溫度。 ● 為了驗證製造商聲明的最大輸出功率值，應選擇額定最大功率輸出，測得的放電持續時間不得少於製造商規定的時間。 ● 輸出功率受到 PCS 的最大功率限制。 ● 操作所需的最大放電輸出功率受放電時間、充電狀態、環境溫度和輔助功率的影響。
	確定最大可接收輸入功率	● 進行放電，以額定充電功率充電到終止，記錄充電持續時間 t，與製造商應聲明使用的持續時間 t_c 進行比較，若 $t > t_c$，則調高充電功率重複進行（反之亦然），直到 $t \approx t_c$。可得最大可輸出功率值，同時記錄 t，充電狀態和環境溫度。 ● 為了驗證製造商聲明的最大輸入功率值，應選擇額定最大功率輸入，測得的充電持續時間不得少於製造商規定的時間。 ● 輸出功率受到 PCS 的最大功率限制。 ● 操作所需的最大充電輸入功率受放電時間、充電狀態、環境溫度和輔助功率的影響。
	定功率下的能源效率	● 能量效率受功率水平和輔助能量消耗的影響。 ● 計算放電能量與充電能量的比值來計算能源效率。 ● 三個連續循環的實驗確定的平均能源效率應等於或大於額定值。

表 4、IEC62932-2-2 液流電池安規測試項目

IEC62932-2-2測試項目		測試內容
系統測試	與流體接觸的零件的介電強度	● 對於低壓 FBES，應根據 IEC 60364-6 進行絕緣電阻測試和耐壓測試。 ● 對於超過 1 kV AC 或 1.5 kV DC 的 FBES，應根據 IEC 61936-1 進行耐壓測試。
	操作程序	系統應在停機、充電、放電等操作模式之間安全地切換。同時斷路器、泵、閥門、指示燈和儀表等主要組件應根據系統供應商和用戶之間指定的設計正常運作。
	緊急停止程序	當系統正在充電或放電時，使用手動緊急停止，樣品系統應立即安全地停止運作。
	保護程序	● 當緊急停機程序由實際或模擬故障啟動時，FBS 應完全以安全模式停止。 ● 電網故障參數：電壓過高、電壓過低、頻率過高、頻率過低

		● 液流電池系統故障參數：電壓過高、電壓過低、過電流、溫度過高、溫度過低、接地故障、流體洩漏、控制電源關閉。
電堆測試	外部短路	用阻抗不超過20mΩ 的電阻連接電堆的正負極，直到電池完全放電或保護裝置啟動或電池結構失效，停止試驗。如果沒有火災，爆炸或電解液洩漏，則通過測試。
	熱衝擊	將電堆置於測試方法中規定的最高溫度，循環1小時後，再改變環境溫度為規定的最低溫，重複10次後，不得有可見的液體洩漏。
	洩漏	向電堆入口施加最大操作壓力的1.2倍的流體壓力，持壓至少1 h 或更長時間，以完成洩漏檢查，不得有可見的液體洩漏。

3. 中國大陸 GB 標準

中國大陸由於近年液流電池的裝置容量為全球第一，因此也頒佈了多項液流電池的標準，主要研擬標準的單位為：大連融科儲能技術公司、中國科學院大連化學物理研究所、機械供北京電工技術經濟研究所，其他參與的單位為：中國電力科學研究院、中國科學院金屬研究所、佛山瑞能達特種材料、清華大學、國網電力科學研究院、上海神力、北京金能燃料電池、安徽美能儲能、青海百能匯通新能源、中國電器工業協會等。

其中有5項為國家標準（GB），5項行業標準（NB），針對電池系統整體的測試和安全要求，屬於國家標準，而電堆、離子傳導膜、單電池、電極、雙極板等重要零組件的測試標準，則列在行業標準中。

表 5、中國大陸液流電池標準

序號	標準號	標準名稱	發佈日期	實施日期
1	GB/T 37204-2018	全釩液流電池用電解液	2018-12-28	2019-11-01
2	GB/T 34866-2017	全釩液流電池安全要求	2017-11-01	2018-05-01
3	GB/T 33339-2016	全釩液流電池系統測試方法	2016-12-13	2017-07-01
4	GB/T 32509-2016	全釩液流電池通用技術條件	2016-02-24	2016-09-01
5	GB/T 29840-2013	全釩液流電池術語	2013-11-12	2014-03-07
6	NB/T 42132-2017	全釩液流電池電堆測試方法	2017-11-15	2018-03-01
7	NB/T 42080-2016	全釩液流電池用離子傳	2016-08-16	2016-12-01

		導膜測試方法		
8	NB/T 42081-2016	全鈇液流電池單電池性能測試方法	2016-08-16	2016-12-01
9	NB/T 42082-2016	全鈇液流電池電極測試方法	2016-08-16	2016-12-01
10	NB/T 42007-2013	全鈇液流電池用雙極板測試方法	2013-06-08	2013-10-01

而在中國大陸國家標準中，以「GB/T 33339-2016全鈇液流電池系統測試方法」對於液流電池的測試規範最為明確，分成性能測試和安全測試，本研究整理如下表格。

表 6、GB/T 33339-2016 全鈇液流電池系統測試方法

性能測試項目	測試內容
電堆一致性試驗	● 能量效率一致性試驗 重複三次量測完全充電能量與完全放電能量的能量效率取平均值。 ● 電壓極差試驗 記錄電堆在充/放電過程中，同一個充電狀態下(State of charge, SOC)下量測到電壓的差異值。
額定功率試驗	定功率進行完全充放電三次，記錄過程中的最大連續功率，其數值需大於或等於廠商宣告之額定功率。
最大放電功率試驗	分別在90%、50%、10%SOC 狀態下，以最大放電功率放電至少10min。
最大充電功率試驗	分別在90%、50%、10%SOC 狀態下，以最大充電功率充電至少10min。
額定瓦時容量試驗	完全充電→額定功率完全放電→重複三次→記錄最後一次放電瓦時容量及輔助能耗，相減後得出額定放電瓦時容量
最大瓦時容量試驗	完全充電→30%額定功率完全放電→記錄放電瓦時容量及輔助能耗，相減後得出額定放電瓦時容量
電池系統額定能量效率試驗	完全充電→額定功率完全放電→重複三次→記錄最後一次充放電瓦時容量及輔助能耗，計算電池系統能量效率。
容量保持能力試驗	完全充電→額定功率完全放電→進行100次→記錄每個充放電循環放電瓦時→計算容量衰減率
低溫儲存性能試驗	完全充電→電池系統停機，將電解液降溫到5℃以下保持12小時→電解液無沈澱或結晶，恢復到室溫→重複三次→記錄最後一次放電瓦時容量，不能小於額定容量的95%
高溫儲存性能試驗	完全充電→電池系統停機，將電解液升溫到40℃以上保

驗	持12小時→電解液無沈澱或結晶，恢復到室溫→重複三次→記錄最後一次放電瓦時容量，不能小於額定容量的95%
過載能力試驗	● 充電過載能力試驗：完全放電→以大於或等於 1.1 倍額定功率充電，至少 10 分鐘→重複三次 ● 放電過載能力試驗：完全充電→以大於或等於 1.1 倍額定功率放電，至少 10 分鐘→重複三次
狀態參數精度試驗	在系統安裝外加的電壓計、電流計、溫度計，與系統內建量測設備蒐集的相關數據進行比較
SOC 精度試驗	● 放電過程 SOC 精度試驗：完全充電→以額定功率放電→記錄電池管理系統每 10%SOC 間隔下，實際可放出的瓦時容量→比較放電過程實際 SOC 值與電池管理系統顯示 SOC 值 ● 充電過程 SOC 精度試驗：完全放電→以額定功率充電→記錄電池管理系統每 10%SOC 間隔下，實際可充入的瓦時容量→比較充電過程實際 SOC 值與電池管理系統顯示 SOC 值
保護功能試驗	開機啟動→向電池系統輸入過充電、過放電、電壓過低、過電壓、電解液溫度過高或過低、電解液洩漏等故障模擬信號→監測電腦管理系統顯示的數據
安全測試項目	測試內容
過充電	電池系統以額定功率充電至充電截止條件後，繼續定功率充電，電池系統應該自動啟動過充電警告功能。
過放電	電池系統以額定功率放電至放電截止條件後，繼續定功率放電，電池系統應該自動啟動過放電警告功能。
阻燃性能試驗	按照 GB/T 2408-2008 塑料燃燒性能的測定水平法和垂直法，試驗電池系統的外殼、儲槽、管路及內部相關重要組件。需符合要求。
氫氣洩漏試驗	於儲槽外2/3高度、電池系統最高處及電池系統的狹小空間處安裝氫氣濃度測試儀，檢測週期30秒。將電池系統充電到100%SOC。
絕緣電阻試驗	用絕緣電阻測試儀測量電池系統正負極接口對地之間的絕緣電阻，應不小於1MΩ。

三、 結論

綜合以上液流電池國際標準，可以發現在安規部分，UL 特別針對電解液儲槽和循環系統，提出了8項測試，包括耐腐蝕、耐溫、液體壓力、洩漏、電解液堵塞、短路試驗中流速恆定、溫控系統失效等。IEC 則是在系統與電堆層面都有測試項目，分別是系統層面的：與流體接觸的零件的介電強度、操作程序、緊急停止程序和保護程序，電堆部分的測試：外部短路、熱衝擊和洩漏。中國大陸 GB 國家標準則是著重於系統面的操作安全，如過充電、過放電、阻燃性能、氫氣洩漏和絕緣電阻。

在液流電池的性能部分，UL1973未有明確規範，IEC 則是規範定功率下的放電容量、輸出功率、可接收輸入功和能源效率，共有4項。中國大陸 GB 國家標準

主要著重在放電能量、充放電功率、高低溫性能、SOC 精度等，規範的測試項目共有14項。

整體而言，液流電池的性能測試與一般二次電池系統類似，主要針對放電容量、充放電功率、高低溫性能和能源效率，不過針對液流電池的特性，可透過電壓來對應評估 SOC，因此中國大陸有針對 SOC 精度進行測試。而液流電池的安規測試部分，除了整體系統上有類似一般電池儲能基本測試，如短路、過充、過放、絕緣電阻和界電強度等，電堆部分則是與燃料電池的電堆測試類似，主要著重在衝擊、振動和洩漏試驗，也針對液流電池的特性，針對電解液儲槽和循環系統，有特別的測試項目，如：耐腐蝕、耐溫、液體壓力、洩漏、電解液堵塞、短路試驗中流速恆定、溫控系統失效等，也建議針對整體結構進行 FMEA（失效風險分析），但是相較於鋰電池的熱失控風險，顯然液流電池的失效風險比較可以被控制，這將會是液流電池未來在推廣上的優勢。

四、參考文獻

- [1]UL-1973:2018, Batteries for Use in Stationary, Vehicle Auxiliary Power and Light Electric Rail (LER) Applications, 2018-02-07。
- [2]GB/T 33339-2016，全鈦液流電池系統測試方法，2016-12-13。
- [3]IEC 62932-1, Flow battery energy systems for stationary applications –Part 1: Terminology and general aspects, 2020-02
- [4]IEC 62932-2-1, Flow battery energy systems for stationary applications –Part 2-1: Performance general requirements and test methods, 2020-02
- [5]IEC 62932-2-2, Flow battery energy systems for stationary applications –Part 2-2: Safety requirements, 2020-02

資料提供者／機構：黃建中/工業技術研究院綠能與環境研究所

連絡電話：06-3636950

Email: middle@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。