

知識物件上傳表

計畫名稱：液流電池系統及儲能綠能應用研發計畫

上傳主題：儲能成本與效能指標

提報機構：行政院原子能委員會核能研究所

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	面對全球再生能源需求，儲能技術呈現多樣化的發展，為評估各種儲能裝置的效益，本次報告主要參照美國西北太平洋國家實驗室資料，對於各式儲能技術成本及效能指標進行概略性介紹，包含資金成本、電能轉換系統、電廠輔助設備、建置與營運、維護、效率、反應時間、壽命、成熟度等。
詳細說明	面對全球再生能源需求，儲能技術呈現多樣化的發展，為評估各種儲能裝置的效益，本次報告主要參照美國西北太平洋國家實驗室資料^[1]，對於各式儲能技術成本及效能指標進行概略性介紹。 1. 資金成本 因儲能技術類型不同，資本具有不同組成結構。以電池或電容為例，資本與直流能量儲存單位有關，其不包括電能轉換系統（PCS）、電廠輔助設備（BOP）或建置與調試等。電化學儲能成本通常以「\$/kWh」表示，而飛輪、抽蓄水力（PSH）、壓縮空氣儲能（CAES）等常表示為「\$/kW」，另外，超級電容雖為電化學儲能，其成本表示為「\$/kWh」或「\$/kW」

皆可。

對於電化學儲能而言，其成本包含電極、電解液、隔離膜等；抽蓄水力包含水路、水庫、幫浦、發電機等；壓縮空氣儲能包含洞穴、壓縮機、發電機等

2. 電能轉換系統（PCS）成本

電池儲能系統的成本包括逆變器、包裝及其容器與逆變器控制等，隨著系統電壓提升，在相同功率下可使用較小電流，故PCS的成本可以下降。以鋰電池系統為例，其電壓持續再提升，由750~1000 VDC升高至1000~1500 VDC，預期若碳化矽技術成熟，成本將能再進一步降低。表1為標準化電壓後比較在2018與2025年之PCS成本情形。

表1：各種電池儲能PCS成本（\$/kW）^[1]

Technology	Nominal DC Voltage	Normalized Voltage	(Normalized Voltage) ^{-0.4}	PCS Cost \$/kW (Year 2018)	PCS Cost \$/kW (Year 2025)
Li-ion	1221	1.63	0.82	288	211
Sodium metal halide	750	1	1	350	211
Sodium sulfur	750	1	1	350	211
Zinc-hybrid cathode	750	1	1	350	211
Lead acid	750	1	1	350	211

3. 電廠輔助設備（BOP）成本

儲能輔助設備通常包含現場配線、互連變壓器與其他輔助設備，以「\$/kW」為計算方式。BOP成本主要為電力配線與連結，故當在相同安培小時（Ah）容量下，單電池數量隨著電壓增加而下降，所需單電池間的連結也會減少。

4. 建置與調試成本

建置與調試的成本包含場地設計成本、設備的採購與運輸成本、安裝的人工與零件成本，其通常表示為「\$/kWh」。表2為各種儲能裝置單位體積下具備的能量，表3為建置與調試的成本預估數值。

表2：各種儲能單位體積儲存容量^[1]

Battery Chemistry	Wh/L	Reference	Notes
Redox flow battery	12.5	UET (2018)	
Li-ion BESS	80	Research Interfaces (2018)	
Li-ion BESS	90-130 ^(a)	Research Interfaces (2018)	
Na-S	40	Gotschall & Eguchi (2009)	
Sodium halide	65	LCE Energy (2011)	Large-scale system Wh/L assumed to be 60% of the 9.6 kWh module
Lead acid Chino system	16	Rodrigues (1990)	Large-scale system Wh/L assumed to be 60% of the 30-kWh module
Zinc-hybrid cathode	17	EoS (2018b)	

(a) Use 100 Wh/L for Li-ion BESS.

表3：各種儲能建置與調試成本^[1]

Chemistry	L/Wh Normalized	(L/Wh normalized) ^{0.33}	C&C Cost \$/kWh, Year 2018	C&C Cost \$/kWh, Year 2025
Li-ion	0.12	0.53	101	96
Sodium halide	0.19	0.61	115	110
Na-S	0.31	0.70	133	127
Lead acid	0.78	0.93	176	167
Zinc-hybrid cathode	0.73	0.91	173	164
Redox flow battery	1	1	190	180

5. 固定的運行及維護成本

其成本包括在整個運行期間所有保持儲能系統正常運作的費用，其經濟壽命不會因能量使用率而波動，該值對應於儲能系統的額定功率，表示為「\$/kW-year」。

6. 可變的運行及維護成本

其包括在儲能系統整個運行期間操作的所需費用，並根據其每年可放電的能量進行標準化，以「\$/kWh-year」表示，其成本考量在操作期間的系統磨損。

7. 循環效率（RTE）

循環效率為放電至電網的能量與充電至電池的能量比值，放電時不考量輔助設備的消耗，充電時則需增加輔助設備的消耗。電池儲能損失主要有幾個原因，第一種為安時容量的損失，雖然在整體電池壽命而言，電容量損失很高，不過每次循環週期的損失是可以忽略的；第二種為內阻相關的損失，其降低放電電壓及提高充電電壓；第三種為輔助設備的損失，如熱、通風設備、冷氣、電池管理系統、PCS、幫浦等。

8. 反應時間

升降載速率為輸出達到額定功率所需花費的時間，更快的升降載速率與更低的反應時間是具有價值的。反應時間主要取決於逆變器及整個系統設計，如果反應時間對於系統的運行很重要，可以選擇PCS或是直流電池堆設計以加快速度。

9. 循環壽命

對於傳統的電池而言，循環壽命為放電深度的函數，不過就氧化還原液流電池而言並非如此。在PSH與CAES中，衰退程度取決於模式改變的次數。就飛輪及超級電容而言，其循環壽命超過20000次，因其無化學降解。電池的循環壽命以80%的放電深度計算。

10. 使用壽命

使用壽命取決於操作運行的環境，例如電池與超級電容因操作於室溫，當其運轉溫度或室溫上升時，即會減少其壽命。使用壽命定義在不操作系統時的最大壽命，故當系統開始循環後，其使用或循環的衰退速度即決定了整體系統的壽命。

11. 製造成熟度（MRL）

製造成熟度是用於評估某技術產品製造的成熟程度指標，其範圍由1（表示確定基本製造問題）至10（表示有效的生產並實踐），這些值為非線性的序數表，如表4所示。

表4：製造成熟度指標^[1]

Manufacturing Readiness Level	Description
MRL 1	Basic manufacturing implications identified
MRL 2	Manufacturing concepts identified
MRL 3	Manufacturing proof of concept developed
MRL 4	Capability to produce the technology in a laboratory environment
MRL 5	Capability to produce prototype components in a production relevant environment
MRL 6	Capability to produce a prototype system or subsystem in a production relevant environment
MRL 7	Capability to produce systems, subsystems, or components in a production representative environment
MRL 8	Pilot line capability demonstrated; ready to begin low rate initial production
MRL 9	Low rate production demonstrated; capability in place to begin full rate production
MRL 10	Full rate production demonstrated and lean production practices in place

12. 技術成熟度（TRL）

技術成熟度是用來評估技術開發的階段，其範圍由1（觀察到的基本原理）至9（整體系統用於營運），指示是否該技術已經成熟，如表5所示。

表5：技術成熟度指標^[1]

Technology Readiness Level	Description
TRL 1	Basic principles observed and reported
TRL 2	Technology concept and/or application formulated
TRL 3	Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof of concept
TRL 4	Component and/or system validation in laboratory environment
TRL 5	Laboratory scale, similar system validation in relevant environment
TRL 6	Engineering/pilot scale; similar (prototypical) system validation in relevant environment
TRL 7	Full scale; similar (prototypical) system demonstrated in relevant environment
TRL 8	Actual system completed and qualified through test and demonstration.
TRL 9	Actual system operated over the full range of expected mission conditions.

參考資料：

[1] Energy Storage Technology and Cost Characterization Report, PNNL-28866, July 2019.

- 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。