

可應用於分散式發電系統之新興儲能技術：鋁電池

摘要

各國政府為維持自然環境永續發展，積極推動再生能源項目，為使再生能源裝置更有效被利用，利用儲能系統進行再生能源的整合，以穩定電網結構。再生能源導入儲能技術的應用，不僅可降低再生能源進入市場的障礙性，也可改善電網輸電與配電的安全性與效率，降低不平衡的電路迴路流動、電網壅塞、電壓與頻率的變動等問題。而儲能技術安全議題也備受注目，新興儲能電池-鋁電池，其電解液為離子液體，具備電化學穩定性佳、低熔點、高沸點和低蒸氣壓等特性，使得鋁電池具有優異的安全性。在電化學特性上，擁有可高效率快速充放電優勢，操作電壓可達 2V。近期已逐漸朝向 48V 電池模組系統開發，其透過電芯性能匹配，且在電流密度為 1,000 mA/g 的條件下，循環壽命高達 1,000 次，其容量衰退率 < 2%。鋁電池以其長壽命、低成本、高安全性、環境友善、可高效率快速充放電等特性，具備未來應用於儲能系統之關鍵電池技術。

前言

因應氣候變化以及天然石化燃料枯竭的挑戰，在未來的電力系統結構需兼顧能源安全、環境永續及綠色經濟等發展目標，而再生能源裝置的小型發電設備，例如風力設備，水力設備，太陽能設備將因應地區特性分散於各地區，支援未來分散式發電系統的基載電力，而分散式發電系統的概念是用多種小型，連接電網的設備發電和儲能的整合技術與系統。因分散式系統電力能量管理和微電網運行控制的應用中，儲能系統不僅參與電壓和頻率的調節，也可以做為緊急尖峰用電時備轉容量或作為反應用電之時間電力移轉的用途，還有助於系統穩定、供需平衡和協調優化，其潛在效益包括延緩大型發電廠與傳輸線路的建置，以及提高微型電網系統的電力品質與可靠性。

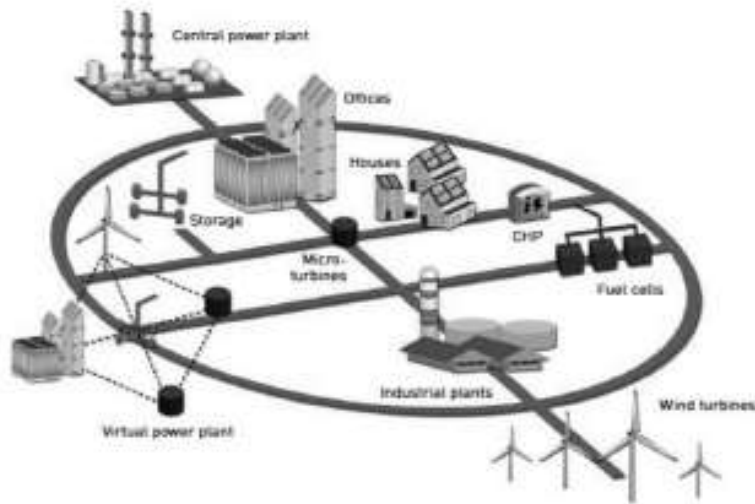


圖 1、各種不同儲能元件的放電功率與時間關係圖 (參考圖片：EPRI, Electric Power Research Institute)

➤ 各種儲能系統的技術

再生能源是否能大幅的推廣與應用與以下幾項技術息息相關，分別是預測技術、儲能技術、控制技術、發電技術、以及負載管理技術等。若能有效提升這些技術的能力，將可大量引進再生能源發電至電力系統之中。而合適的儲能系統將可大幅增加再生能源的發電比例、降低尖峰時的供電成本，進而降低電價，提供經濟效益、以及提供有效的備載容量及電力品質改善等。

一般儲能系統必須具備的基本重要特性包括具備較低的建置、操作以及維護成本，儲能以型式來區分，目前能源儲存的方式大約分成以下幾種類型：

- (1) 電能：超級電容器 (supercapacitor)
- (2) 電化學能：傳統鉛酸電池、液流電池、鋰電池、鈉硫電池等
- (3) 動能：飛輪 (flywheel)
- (4) 位能：空氣壓縮儲能系統(CAES)、抽蓄電廠(pumped hydro)
- (6) 化學能：氫儲能系統(Hydrogen-based)
- (7) 磁能：超導磁能儲存系統(SMES)
- (8) 熱能及熱化學能

➤ 鋰離子電池仍是儲能系統主流技術

鋰離子電池廣泛應用於電動工具、電動自行車、電動汽機車，目前也用於太陽光電和風力電場站等大型儲能系統，且鋰離子電池工業製程技術成熟，設備、製程工藝完善。目前商業化的鋰離子電池之能量密度高，其技術關鍵在於高容量之可逆電極材料，具有層狀或隧道結構等開放性結構材料性質，此類結構提供了鋰離子容易進出的管道與快速的遷移率，可增加電池的循環壽命。現今鋰離子電池仍須持續降低成本，並提高安全性，且鋰電池內的鈷、鋁跟銅等重金屬離子須仔細回收，以促進永續環境的經營。

➤ 大型儲能站頻傳意外，儲能安全議題受到關注

儲能電池未來是否能穩定發展，其安全性為重要關鍵。日前美國發生首起儲能廠爆炸意外，使得電池安全議題再度浮上檯面。電池使用的電解質易起火燃燒，即使電池出廠時已封裝完好，但部分陰極材料在高溫下會釋放氧氣，也容易因安裝過程出問題、操作不當或沒有定期檢查等，造成增加災害的風險，如圖 2。



圖 2、(a)、(b)為手機電池爆炸，(c)、(d)為電池儲能櫃爆炸燃燒的圖

➤ 安全的綠色儲能技術-鋁電池的誕生

未來的儲能技術標準將會越來越高，除了要滿足壽命、電池容量與成本，安全議題的考量也是被關注的重點之一。

鋁電池的負極材料為鋁(Aluminum)、正極材料為石墨(graphite)，圖 3 為鋁離子電池放電反應示意圖，工作原理是藉由電池內部四氯化鋁離子往返正極石墨材料之間的反應產生電能，電解液使用具不可燃性質的離子液體。放電電壓可達 2 V、能量密度 80 mAh/g、庫倫效率(Coulombic Efficiency, CE, 電池放電量與同循環過程中的充電量比)為 98%、在 48V 電池模組系統開發中，透過容量/內阻/電壓及特性匹配，在電流密度為 1,000 mA/g 的條件下，循環壽命高達 1,000 次，其容量衰退率<2%。鋁電池在充放電過程中，主要是以 AlCl_4^- (負離子)的移動來進行充放電。由於鋁電池的電池架構與傳統二次電池類似，皆包含四大關鍵組件：陰極(Cathode)、陽極(Anode)、隔離膜(Separator)與電解液(Electrolyte)。因此，在電池組裝及製程生產設備上具有高度的替代彈性，可使用現行鋰離子電池生產設備改裝即可導入。這對於未來鋁電池生產成本及商品化進程而言，具有相當大之助力。

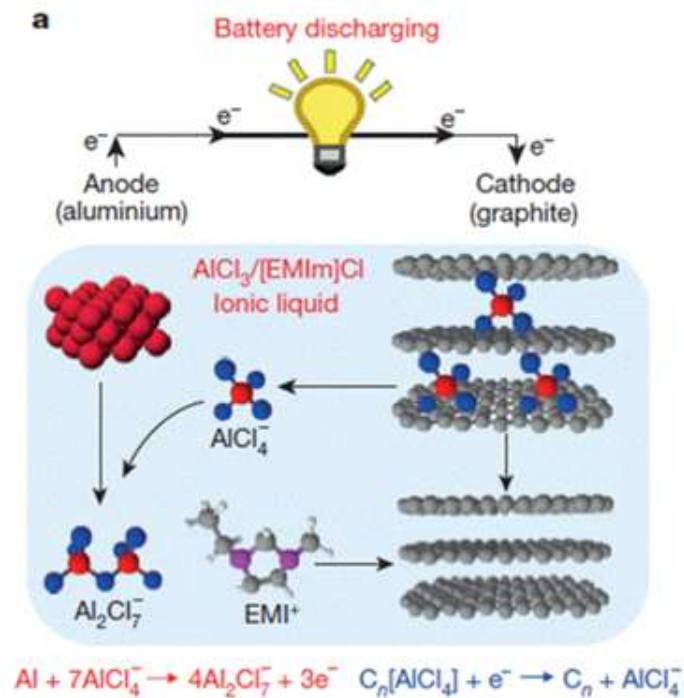


圖 3、鋁離子電池放電反應示意圖

鋁電池之所以能快速充電，是藉由石墨優良的導電性能和三維空間所具有的巨大表面積來達成，因此能夠極大的縮短電池之充電時間。使離子的擴散和插層能在充電的6分鐘內，以電流密度為1,000 mA/g的條件下，循環壽命高達1,000次，其容量衰退率<2%。同時它也具有五大優點包含長壽命、低成本、高安全性、環境友善、可高效率快速充放電等優勢。

鋁電池應用於儲能系統之優勢：

- (1) 高安全性，不易發生失火爆炸。
- (2) 高效率快速充放電，20 C-rate，可穩定短時間變動，滿足升降載率限制
- (3) 長壽命、低成本，可穩定一天之內的再生能源變動，每儲一度電僅需新臺幣0.27元。
- (4) 鋁電池使用蘊藏豐富、價格低廉的鋁金屬及石墨作為電池的主要材料，且關鍵材料可百分之百國產自製，可形成完整產業鏈結。
- (5) 不用有害重金屬或貴金屬，擴大使用無疑慮等優勢，對於電網儲能的應用具有很高的潛力。

參考文獻

1. S.K.Das, S.Mahapatra, and H. Lahan, Aluminium-ion batteries, developments and challenges. *Journal of Materials Chemistry A*, 5(14), 6347-6367 (2017)
2. E. Zhang, W. Cao, B. Wang, X. Yu, L. Wang, Z. Xu, B. Lu, A novel aluminum dual-ion battery. *Energy Storage Materials*, 11, 91-99(2018)
3. G. A. Elia, K. Marquardt, K. Hoepfner, S. Fantini, R. Lin, E. Knipping, W. Peters, J. F. Drillet, S. Passerini, R. Hahn, An overview and future perspectives of aluminum batteries. *Advanced Materials*, 28(35), 7564-7579(2016)
4. C. Zhang, Y.L. Wei, P.F. Cao, M.C. Lin, Energy storage system: Current studies on batteries and power condition system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 3091-3106(2018)
5. M.C. Lin, M. Gong, B. Lu, Y. Wu, D.Y. Wang, M. Guan, M. C. Lin, M. Angell, C. Chen, J. Yang, B. J. Hwang, H. Dai, An ultrafast rechargeable aluminium-ion battery. *Nature*, 520(7547), 324.