

Paper 268

壓縮空氣儲能系統熱管理過程建模與效率提升方法

壓縮空氣儲能系統（Compressed Air Energy Storage, CAES）作為一種大規模儲能技術，因其高功率調節能力和長期儲能潛力而在可再生能源集成及電網調節中受到廣泛關注。然而，CAES 系統的能效受到空氣壓縮與膨脹過程中的熱損失影響顯著。在傳統等溫或絕熱運行模式下，空氣溫度劇烈變化會導致儲能過程中能量損失增加，降低整體系統效率，並限制其在電力調峰和可再生能源消納中的應用價值。

熱管理是提升 CAES 系統運行效率的關鍵環節。通過有效的熱能回收與溫度調控，可以降低壓縮膨脹過程中的不可逆損失，提高儲能迴圈效率。具體方法包括壓縮機出口和儲氣罐的熱能回收、膨脹機入口預熱以及集成儲熱介質的優化設計。同時，環境溫度變化及運行負荷波動會進一步影響熱管理系統的性能，因此在系統設計階段進行精確的熱動力學建模顯得尤為重要。

本研究旨在建立 CAES 系統熱管理過程的工程建模方法，系統考慮壓縮、儲存及膨脹過程中空氣狀態參數、熱能交換及控制策略對效率的影響。通過建立包含壓縮機、儲氣罐及膨脹機的熱動力學模型，可以類比不同運行工況下的溫度變化、能量損失及熱回收效果。此外，結合優化演算法對熱管理策略進行調整，以實現壓縮空氣儲能系統的效率提升。研究結果有助於為大規模儲能系統的設計與運行提供技術支援，推動 CAES 在可再生能源電網調節和能量優化中的工程應用。