

二· 項目簡介

(項目所屬科學技術領域、主要研究內容、發現點、科學價值、同行引用及評價等內容。)

我國承諾實現“2030年碳達峰，2060年碳中和”對推動我國經濟社會高質量發展和生態文明建設均具有重要戰略意義，也體現了我國在國際社會的責任擔當。城市能耗和碳排放占全國總量約80%，是實現“碳中和”的主戰場。城市達致“碳中和”的關鍵，是通過以新型電力系統為核心的綜合能源系統的運行優化，充分利用分佈式新能源、柔性負荷、電動車、多元儲能等的調控潛力，推動“電-氣-冷/熱-電氣化交通”等異質能源系統的互補互濟，實現能源系統高質量低碳甚至零碳運行。然而，上述目標面臨高比例新能源與新負荷帶來的高度不確定性、異質耦合能源網絡建模與優化的巨大複雜度、高密度非線性模塊帶來的供能質量治理等方面的科學難題。經典的、針對單一能源系統的相關理論面臨重大挑戰。本項目系統性地提出了一系列城市綜合能源系統運行優化與供能質量治理相關的理論與方法，主要發現點如下：

(1) 綜合能源系統動態時空不確定性分析及非參建模理論與方法

引入非平穩伊藤過程理論，提出了源荷隨機過程的同質化時域建模方法和連續隨機過程降維方法，解決了源荷非高斯、非平穩不確定性的分析建模難題，為含高比例新能源電力系統的安全穩定控制提供了重要支撐；提出基於多層感知機的廣義分段線性化非參建模方法，解決了“綜合能源系統含異質多能耦合網絡、運行約束複雜、參數可觀性差，難以實現高精度、低成本有參建模”的難題，並進一步提出非參模型的混合整數模型重構方法，實現了綜合能源系統非參模型在經典優化理論中的應用。

(2) 複雜多能源耦合網絡協同安全運行優化理論與方法

提出基於充電需求聚合模型及續航里程擴展圖模型的電動車運行優化方法、計及“電-氣-冷/熱”多能轉化的二維需求側響應及其運行優化方法，解決了考慮“電-氣-冷/熱-電氣化交通”等複雜耦合網絡約束的城市綜合能源系統協同運行優化難題；提出基於 Wasserstein 距離的快速分佈魯棒優化方法和混合安全強化學習模型，解決了非高斯不確定性場景下考慮安全風險的能源系統運行優化的難題，克服了非參模型與強化學習理論在能源系統運行優化中的“安全應用”難題。

(3) 混合型異構供能質量治理系統運行機理與降容增效控制方法

提出了包含感性、容性耦合的混合型變流器等價模型，揭示了混合型異構供能質量治理系統容量優化和損耗降低的運行機理；提出變流器可配置模擬數字混合控制架構及低損耗低失真控制方法，推導出容性變流器非線性失真的邊界頻率，解決其無法定頻控制的難題；提出了以電能質量標準為邊界條件的補償目標優化模型，並實現新能源並網裝置的有功、無功和諧波協同控制，解決了含高比例新能源、柔性負荷、電動車、多元儲能、多能耦合單元等非線性模塊的城市綜合能源系統供能質量治理難題。

項目發表 SCI 論文 32 篇，其中 JCR Q1 論文 24 篇，ESI 高被引論文 1 篇，國際高水平學術會議最佳或優秀論文 2 篇，獲得南方電網“電力調度 AI 應用大賽”一等獎和創新獎，第一完成人入選全球前 2% 高被引學者。相關成果被國內外 30 餘位院士、IEEE Fellow 和知名學者給予積極評價，包括“大大高出業界對間歇能源的預測準確率”、“提高了耦合網絡的綜合效益”、“實現考慮能源與交通耦合約束下的最優充電決策”、“實現了有功和無功的獨立調節”、“同時實現了無功補償和諧波抑制”等，並在澳門、珠海

等地獲得成功應用。

(字數不超過 1200 字)