



新型电力系统多微网与储能配电网络的电碳耦合调度策略研究

乔国华, 胡文东, 郭 甜, 段慧学, 李耀华

(国网河北省电力有限公司邯郸供电分公司, 河北 邯郸 056002)

摘 要: 在“双碳”目标的驱动下, 新型电力系统中多微网与储能配电网络的协同运行成为低碳转型的关键, 但传统调度因忽视碳约束与多主体协调, 难以平衡经济性、低碳性与可靠性, 本工作关注电碳耦合调度的核心需求, 通过分析系统结构与调度时所遇到的挑战, 提出一套分层协同调度策略, 从碳信号引导、储能分层控制、多微网利益协调三方面构建策略框架, 为新型电力系统调度实践提供参考。

关键词: 新型电力系统; 多微网; 储能配电网络; 电碳耦合; 调度策略

doi: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2026.0859

中图分类号: TM 73

文献标志码: A

文章编号: 2095-4239 (2026) 10-4112-03

Study on the electrical-carbon coupled scheduling strategy for multi-microgrids and energy storage distribution networks in the new-type power system

QIAO Guohua, HU Wendong, GUO Tian, DUAN Huixue, LI Yaohua

(Handan Power Supply Branch of State Grid Hebei Electric Power Co., Ltd., Handan 056002, Hebei, China)

Abstract: Driven by the "dual carbon" goals, the coordinated operation of multi-microgrids and energy storage distribution networks in the new-type power system has become a key link in the low-carbon transition. However, traditional scheduling ignores carbon constraints and multi-agent coordination, making it difficult to balance economy, low-carbon performance, and reliability. Focusing on the core needs of electrical-carbon coupled scheduling, this paper proposes a hierarchical collaborative scheduling strategy by analyzing the system structure and challenges encountered during scheduling. The strategy framework is constructed from three aspects: carbon signal guidance, hierarchical control of energy storage, and interest coordination among multi-microgrids, providing a reference for the scheduling practice of the new-type power system.

Keywords: new-type power system; multi-microgrids; energy storage distribution networks; electrical-carbon coupling; scheduling strategy

2021 年 3 月召开的中央财经委员会第九次会议, 研究部署了“30·60”“双碳”目标的基本思路, 持续推进深化电力体制改革, 构建以新能源为

主体的新型电力系统。根据当前研究, 以综合能源为核心的多微网联盟可以通过能源之间的多能互补提高能源的利用效率, 减少温室气体的排放^[1], 而

收稿日期: 2026-10-08; 修改稿日期: 2026-10-15。

基金项目: 国网河北省电力有限公司科技项目——新型电力系统下高压用户分界开关电碳测控技术研究 (kj2024-071)。

第一作者及通信联系人: 乔国华 (1977—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电力计量, E-mail: Qiaoguohua_7766@163.com。

引用本文: 乔国华, 胡文东, 郭甜, 等. 新型电力系统多微网与储能配电网络的电碳耦合调度策略研究[J]. 储能科学与技术, 2026, 15(10): 4112-4114.

Citation: QIAO Guohua, HU Wendong, GUO Tian, et al. Study on the electrical-carbon coupled scheduling strategy for multi-microgrids and energy storage distribution networks in the new-type power system[J]. Energy Storage Science and Technology, 2026, 15(10): 4112-4114.

储能系统凭借其快速的响应优势在促进可再生能源消纳方面发挥了巨大作用^[2]，成为解决可再生能源出力随机性的关键支撑，两者之间协同调度成为了当下配电网优化的主流方向。然而，传统调度策略存在未将碳排放约束纳入决策、跨微网功率交互缺乏统一调度机制等局限，因此研究多微网与储能配电网络的电碳耦合新型调度策略具有重要意义。

1 多微网与储能配电网络系统结构及调度挑战

在进行电碳耦合调度策略框架搭建之前需先明确系统的核心结构与调度挑战，为后续策略设计优化奠定基础。

1.1 系统结构

本文研究的多微网与储能配电网络系统，是集“能源生产-存储-消费-碳管理”于一体的综合体系，核心构成包含多微网集群、储能配电网络与碳管理体系三部分：随着能源共享理念的不断普及深化，邻近的多个微网通过相互连接组成微网联盟^[3]，多微网集群中，每个微网整合分布式光伏、风电、配套碳捕集的微型燃气轮机等电源，及用户负荷与本地分布式储能，形成“源-储-荷”的自主单元，通过公共连接点灵活与配电网、其他微网交互功率；储能配电网络分两层，集中式储能部署于配电网关键节点以平抑区域风光波动、优化潮流，分布式储能聚焦本地供电与需求响应，二者协同互补；碳管理体系含碳交易与碳计量模块，前者提供碳价信号、明确配额，后者实时监测碳排放，共同构成电碳耦合调度核心约束。

1.2 调度挑战

碳与电的耦合协调难：碳排放与电力运行是深度绑定，比如增加化石能源发电虽能够提升供电时的可靠性，但也会相应的增加碳排放，所以过度依赖可再生能源虽能降低碳排放，却会因出力波动影响供电稳定，需在“电”的供需平衡与“碳”的排放控制间找到最佳平衡点。

多主体利益诉求冲突：多微网运行过程中也面临各类主体利益诉求差异、能源交互形式复杂多样的问题，如何建立合理的多微网运行模式及不同主体的利益分配机制就变得更加重要^[4]，微网运营商倾向于减少对碳捕集的投入，配电网公司关注系统整体稳定，用户们则希望能够降低用电成本，利益

冲突导致调度指令难以统一执行。

2 电碳耦合调度策略框架

虽然现有研究通过多种鲁棒方法和储能共享模式改善了多微网调度运行稳定性和经济性，但受限于严格的模型构建要求和不确定性场景约束，基于模型驱动的数学规划方法和启发式优化方法难以应对任意场景的调度需求，基于前文分析的系统结构与调度挑战，本节提出三层协同调度策略，通过明确各层级的核心规则与需求，构思出最佳调度方案^[5]。

2.1 碳信号引导层

将碳价信号作为调度决策的首要依据，划分不同碳价区间，制定相应的电源出力优先级，具体规则如下：

低碳价（ <50 元/吨）时，碳成本影响小，就要优先保障经济性与可靠性，电源优先级为：本地可再生能源 $>$ 分布式储能放电 $>$ 不启动碳捕集的微型燃气轮机 $>$ 配电网购电，可再生能源不足时优先用本地储能；中碳价（ $50\sim100$ 元/吨）时，需平衡经济与低碳，优先级调整为：本地可再生能源 $>$ 集中式与分布式储能协同放电 $>$ 捕集效率 80% 的微型燃气轮机 $>$ 优先购低碳电的配电网，且控制燃气轮机出力 $\leq$ 总负荷 30%；高碳价（ >100 元/吨）时，就要以低碳为核心，优先级为：全额消纳本地可再生能源 $>$ 储能最大化放电 $>$ 捕集效率 100% 的微型燃气轮机 $>$ 应急备用的配电网购电，可再生能源过剩则跨微网输送。

2.2 储能分层控制层

根据负荷需求、可再生能源出力与碳价区间，制定储能分层控制规则，实现平抑波动、优化碳排放的双重目标：

分布式储能控制（微网内）：遵循“本地消纳优先”原则：午间 11:00—14:00 光伏出力高峰时，若本地负荷无法完全消纳，启动分布式储能充电（荷电状态 SOC 从 30% 升至 85%），避免弃光；在晚间 18:00—22:00 负荷高峰时，分布式储能优先放电（SOC 降至 25%），用来补充本地供电，减少对化石能源与配电网的依赖。

集中式储能控制（配电网侧）：聚焦“区域协同优化”：当某一微网可再生能源出力骤降时，集中式储能实时放电补充功率缺口，避免负荷缺电；

当多微网整体可再生能源出力过剩时,集中式储能充电存储多余电量,待负荷高峰或出力低谷时再释放,平抑区域功率波动。两层储能协同机制:建立“微网-配电网”信息交互通道:微网实时向配电网传输本地可再生能源出力、负荷需求与储能状态数据;配电网根据区域整体情况,向集中式与分布式储能下达协同指令,比如在高碳价时段,优先调用分布式储能放电,集中式储能作为备用,从而减少间接性碳排放。

2.3 多微网利益协调层

针对多主体之间的利益冲突,设计多微网功率交互的利益分配机制,确保调度策略可实施:

成本共担机制:集中式储能运行成本(如充放电损耗、维护成本)按各微网的使用时长与功率比例分摊,比如微网A使用集中式储能放电10 MWh,占区域总使用量的20%,则承担20%的集中式储能运行成本,确保成本的分配公平。

收益共享机制:系统碳减排收益(如碳配额出售收益)按各微网的减排贡献度分配:通过计算各微网可再生能源消纳量、碳捕集量占比,确定收益分成比例,比如微网B的可再生能源消纳量占区域总量的30%,则获得30%的碳减排收益,激励各微网主动参与低碳调度。

3 电碳耦合调度策略预期效果评估

成本降低:在工业园区场景,通过优先消纳可再生能源与储能优化调度,预计系统总运行成本降低12%~15%,其中购电成本降低18%~22%,化石能源消耗成本降低25%~30%,在居民社区场景,用户用电成本可降低8%~10%,主要源于碳减排收益分成与储能充放电价差收益。

收益提升:偏远地区微网群通过向主网输送多余可再生能源,预计每年新增收益200~300万元,同时碳配额出售收益可覆盖15%~20%的储能运维成本,实现微网群可持续运行。

碳排放削减:工业园区场景下,碳捕集装置与可再生能源消纳提升共同作用,预计碳排放量降低

28%~32%,居民社区场景通过减少配电网火电购电量,间接碳排放降低25%~28%,偏远地区微网群因高比例可再生能源消纳,碳排放可降低35%~40%,接近零碳运行目标。

4 结 论

本工作提出的三层协同调度策略,通过明确碳价区间对应的电源优先级规则、集中式与分布式储能协同控制逻辑,以及“成本共担-收益共享”的多主体利益分配机制,有效解决了多微网与储能配电网电碳耦合调度中碳电协调难、多主体利益冲突等核心问题,为新型电力系统配电网的低碳高效运行提供了可落地的实践方案,后续研究可以引入物联网实时监测平台与数字化可视化工具,实现调度过程中的动态追踪与效果反馈。

参考文献

- [1] 王长刚,张向炜,曹宇,等.计及合作博弈的多微网与配电网电碳耦合双层低碳调度策略研究[J].太阳能学报,2025,46(6):32-48. DOI:10.19912/j.0254-0096.tynxb.2024-1606.
- [2] 李军徽,董福财,郭琦,等.考虑碳捕集设备和调峰主动性的含储能电力系统多目标低碳调度[J].电力自动化设备,2026,46(4):175-185. DOI:10.16081/j.epae.202508024.
- [3] 林顺富,董炯炯,周波,等.基于混合博弈的多微网日前-日内协同优化调度[J].电力自动化设备,2025,45(8):106-113. DOI:10.16081/j.epae.202505025.
- [4] 董雷,李扬,陈盛,等.考虑多重不确定性与电碳耦合交易的多微网合作博弈优化调度[J].电工技术学报,2024,39(9):2635-2651. DOI:10.19595/j.cnki.1000-6753.tces.232184. DONG L, LI Y, CHEN S, et al. Cooperative game optimal scheduling of multi-microgrids considering multiple uncertainties and electrical-carbon coupled transactions[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2024, 39(9): 2635-2651. DOI: 10.19595/j.cnki.1000-6753.tces.232184.
- [5] 胡水彬,李大华,孔祥玉,等.电碳市场下考虑共享储能的多主体综合能源系统主从博弈优化运行[J].太阳能学报,2025,46(11):481-491. DOI:10.19912/j.0254-0096.tynxb.2024-1185. HU S B, LI D H, KONG X Y, et al. Optimization of master-slave game operation of multi-agent integrated energy system considering shared energy storage under electric carbon market [J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2025, 46(11): 481-491. DOI: 10.19912/j.0254-0096.tynxb.2024-1185.