

新型电力系统下电力现货市场的虚拟电厂售电机制研究

常值诚

中国华能集团有限公司河南分公司, 河南 郑州 450016

DOI:10.61369/EPTSM.2026010033

摘 要： 随着新型电力系统构建与可再生能源快速发展，虚拟电厂（VPP）作为一种高效的电力调度机制，成为电力市场核心组成部分，本文针对河南省电力现货市场虚拟电厂售电机制展开研究，剖析虚拟电厂在电力市场的运作模式及优化策略，搭建河南电力现货市场大模型，探究虚拟电厂和市场的互动关系，拿出提升虚拟电厂售电效率的办法，为河南电力市场的灵活性和稳定性提供理论支撑与实践指引。

关 键 词： 电力系统；虚拟电厂；售电机制；电力市场；市场优化

Research on the Electricity Sales Mechanism of Virtual Power Plants in the Electricity Spot Market under the New-type Power System

Chang Zhicheng

Henan Branch, China Huaneng Group Co., Ltd., Zhengzhou, Henan 450016

Abstract： With the construction of a new-type power system and the rapid development of renewable energy, virtual power plants (VPPs), as an efficient power dispatching mechanism, have become a core component of the electricity market. This paper focuses on the electricity sales mechanism of VPPs in the electricity spot market in Henan Province, analyzing the operational modes and optimization strategies of VPPs in the electricity market. It constructs a large-scale model of the Henan electricity spot market, explores the interactive relationship between VPPs and the market, proposes measures to enhance the electricity sales efficiency of VPPs, and provides theoretical support and practical guidance for improving the flexibility and stability of the Henan electricity market.

Keywords： power system; virtual power plant; electricity sales mechanism; electricity market; market optimization

引言

可再生能源迅猛扩张，电力市场运行模式正经历深刻变革，虚拟电厂（VPP）是新型电力系统的关键组成部分，归集分布式能源、储能系统及负荷管理等资源，灵活调度电力供给，在电力现货市场里作用越发关键，河南作为中国中部的能源大省，电力现货市场稳步开放与扩容，拓展了虚拟电厂售电机制的大量应用场景，怎样提升虚拟电厂的市场竞争力和售电效率，是河南电力市场亟待处理的问题，本文探究虚拟电厂在河南电力市场的作用，梳理优化对策，为增强市场灵活性、提高运行效率提供理论支撑。

一、新型电力系统背景下的河南电力市场现状

（一）河南电力市场的基本情况和发展历程

为应对不断攀升的电力需求并推动能源供给结构优化，自2000年初起，河南省稳步推进电力体制改革，2002年正式启动电力市场

化改革，中发9号文颁布实施后，逐步建立以中长期交易为主的市场交易体系。此后，在国家统一部署下，河南省持续开展电力现货市场相关制度设计与模拟试运行工作，并于2025年10月转入电力现货市场连续结算试运行，标志着河南电力市场化改革进入新的阶段，电力资源配置的市场化、灵活化水平进一步提升。如表1所示。

表1 河南省电力市场的装机容量及电力消费增长

年度	总装机容量（百万千瓦）	火电装机容量占比（%）	可再生能源装机容量（%）	全社会用电量（亿千瓦时）	电力消费增速（%）
2023	13293	约55.0	约45.0	约4090（2023年用电量约4090亿千瓦时）	4.3
2024	14831万千瓦	约50.1	约49.9	4319.9（同比+5.6%）	5.6
2025	16546，截至11月）	约45.5	约54.5	4152.7（截至11月累计；同比+5.4%）	5.4

（二）电力现货市场的建立与改革

河南省电力现货市场2020年启动规则编制，首次试运行2022年11月，现货市场关键特点是以价格信号实时呈现电力市场供需波动，电力现货市场的核心特征在于通过价格信号实时反映电力供需变化，尤其在用电高峰时段，市场价格能够有效引导发电侧提升出力或促进需求侧响应，从而实现系统负荷的动态平衡。河南电力现货市场交易机制以发电侧“保量报价”，用户侧“报量不报价”，以储能为代表的新型市场主体“报量不报价”为主要形式，市场主体依据实时供需状况提交量价信息，完成交易，增强了市场运行的灵活性和供需匹配效率。

受试运行阶段、参与主体范围及交易品种限制等因素影响，现货市场交易规模在初期占比相对有限，但呈现逐步扩大趋势。随着试运行次数增加和市场规则不断完善，河南省电力现货市场在提升电价市场化水平、强化市场竞争机制方面的作用开始显现^[1]。如表2所示。

表2 河南电力现货市场的交易量与占比			
年度	现货市场运行状态	电力现货交易量 (亿千瓦时)	占全省市场化交易 比例(%)
2022	试运行启动(11月)	20-30	3-5
2023	多轮试运行	80-120	8-12
2024	扩大试运行	150-200	15-20

（三）新型电力系统对电力市场的影响分析

新型电力系统的核心特征是大规模接入可再生能源，河南风电、光伏装机容量近年来快速增长，新能源装机规模已接近全省总装机容量的一半，成为电力供应体系中的重要组成部分。可再生资源大规模接入后，电力供应呈现出更强的分散性与波动性，对传统电力系统的安全稳定运行形成挑战，亟需通过更加灵活的市场机制应对供需不平衡问题。新型电力系统的发展同时促进了智能电网技术进步，河南省逐步引入虚拟电厂、需求响应及储能系统等灵活调节手段，强化电力市场的稳定性与灵活性，这类技术为市场主体快速响应电力供需变化提供支撑，有效提升了电力市场运行效率^[2]。

（四）河南省电力市场面临的挑战与机遇

河南电力市场提速发展阶段，需面对若干挑战，尤其可再生能源占比持续上升，电力市场波动频率加大，不可控因素增多，高峰时段极易出现供电吃紧，电价上下浮动空间大，为应对这些难题，河南省应引入更多智能化调度工具和预测技术，提速市场反应速度 强化灵活性。这些挑战也给河南省电力市场创造巨大机遇，新型电力系统能拿出更多灵活资源，诸如虚拟电厂和储能系统，这类资源可提升电力市场调节能力，升级智能电网基础设施，河南省能充分盘活这些新兴资源，推动电力市场向更高效、更可持续的方向迈进。

二、虚拟电厂的定义与作用

（一）虚拟电厂的概念及核心组成部分

虚拟电厂（VPP）借助信息化技术与通信技术整合多套分布式能源资源、储能系统及负荷管理设备，搭建统一调度平台，实

现电力供需平衡，优化资源配置，智能调度系统是虚拟电厂的核心，它动态管控这些资源，强化电力系统灵活性与效率，弱化对传统能源的依赖，核心组成包含分布式发电资源（如太阳能、风能等）、储能系统、需求响应系统和调度平台，依托这些资源，虚拟电厂能高效调节电力市场的供需匹配，保障电力供应可靠又经济。

虚拟电厂的组成部分借助智能调度系统实时协同，储能系统为电力需求高峰时段补供额外电力，电力需求低谷期储电，对接未来需求，需求响应系统参照电网负荷水平调节用户用电，协助电力系统调节负荷，杜绝电网过载与浪费，靠这种灵活调节的本事，虚拟电厂能在电力市场里高效调配资源，增强整套系统的稳定性和经济性。

（二）虚拟电厂在新型电力系统中的作用

搭建新型电力系统阶段，虚拟电厂属于灵活可调的资源，能实现电力供需平衡，可在可再生能源（如风能、太阳能）波动剧烈时发挥核心作用，虚拟电厂依托储能系统留存过剩电力，需求高峰时段投用储能电力，维持电力系统稳定运行，虚拟电厂会在风电或太阳能发电过剩时存储多余电力，需求高峰释放储能电力，优化电力供给^[3]。

虚拟电厂可借助需求响应调整用户电力需求，进一步平抑电网负荷，电力需求峰值阶段，虚拟电厂能按照实时电价调节用户用电负荷，避免电网过载，维持电力供应无缺口，靠这类手段，虚拟电厂可强化电力市场的运行效率，加大可再生能源的利用比例，增强电力供应的可靠性与稳定性。

（三）虚拟电厂在电力现货市场中的应用现状

随着电力市场化改革不断深化，虚拟电厂在电力现货市场中的应用逐步受到关注。以河南电力市场为例，虚拟电厂通过统筹分布式发电、储能系统与需求响应资源，在理论上可有效缓解电力供需错配引发的市场价格波动。然而，从实际进展看，河南省虚拟电厂尚未正式进入电力现货市场交易体系。截至目前，仅发布了两批共5家负荷聚合商名单，虚拟电厂仍处于市场准入和机制探索阶段，尚未参与现货交易。未来，虚拟电厂有望参与河南省电力直接交易，包括中长期交易与现货交易，并通过实时调度与灵活响应能力提升市场运行效率。当前其推广仍面临技术投入成本较高、现行市场规则适配性不足等问题，相关政策与机制的完善将是扩大虚拟电厂现货市场应用的关键。

三、河南省虚拟电厂建设的政策与实践

（一）河南电力现货市场的机制与规则分析

河南省电力现货市场是在电力市场化改革持续推进的背景下逐步构建的，其核心目标在于通过价格信号反映电力供需变化，提升电力资源配置效率。现货市场机制采用分时段运行结构，涵盖日前市场与实时市场，并与电力调度机制相衔接，以增强市场运行的连续性与供需匹配能力。

自2022年11月启动现货市场试运行以来，河南省电力现货交易规模总体处于逐步扩大阶段，但在全省电力市场交易中的占比

仍相对有限。受试运行范围、市场主体参与度及交易品种设置等因素影响，现货交易主要发挥价格发现与运行验证功能。现货市场价格形成以集中竞价和统一出清为基本方式，市场主体依据分时段供需状况提交报价，通过撮合机制形成市场价格，动态反映电力供需关系，为后续市场规则完善和价格机制成熟奠定基础。

（二）河南电力现货市场的运行机制

河南电力现货市场靠智能调度系统和实时电力价格反馈机制支撑，以15分钟为一个时间节点，全天96个点，形成电力及价格曲线；保障及时处置负荷波动和电力资源变化，调度系统凭借精准负荷预测实施电力供应调度，避免高负荷供电缺口或低负荷资源耗损^[4]，虚拟电厂、分布式发电和储能设备等灵活资源可参与调度，进一步增强市场适配能力和反应效率，河南电力市场可实时调整数据支撑，维持电力系统稳定运行。

（三）电力现货市场的定价机制与市场需求

河南电力现货市场采用边际成本定价法，单位电价由最后成交的单位电力价格敲定，实时反馈供需起伏，高峰时段电价波动明显，低负荷时数值偏低，2020年，夏季用电负荷高峰，电力需求较冬季低谷高约30%，市场定价机制调节供求，保障高需求时段供应激励落实，需求低谷阶段杜绝资源浪费，这套机制优化电力资源配置，弱化市场价格波动，增强市场稳定性。

（四）现货市场中的电力交易模式与虚拟电厂的参与方式

河南电力现货市场下设日前市场、实时市场两类电力交易模式，现阶段市场内，市场参与者按照预测负荷开展电力交易；实时市场依据实际需求和供给变化开展交易，虚拟电厂未来能够对分布式发电和储能系统进行整合，参与实时市场调度作业，优化资源调配，虚拟电厂按电力需求和价格调整供电或储能，调和供需配比，平抑价格波动，河南电力市场统计数据显示，多类主体参与虚拟电厂运作，能提升市场效率和稳定性。

（五）河南电力现货市场的调度与竞价规则

河南电力现货市场调度规则借助实时监测电力负荷和资源供应，保证电力调度精准性，调度系统按市场需求及时调整电力生产或消费量，最大程度缩减短缺或过剩，竞价规则采用竞价拍卖模式，参与主体提交竞价单，依托市场配对选定最优电力供应商，虚拟电厂不只参与电力供应，还能调控储能系统和负荷响应实施“反向”竞价，供给灵活化资源，助力市场发现合理价格、优化资源配置，河南电力市场统计数据显示，引入虚拟电厂可强化市场效率，促进电力市场发展和完善。

四、虚拟电厂的售电机制与优化策略

（一）虚拟电厂售电的基本模式与特点

虚拟电厂借助智能调度平台整合多个分布式能源资源，诸如太阳能、风能、储能系统和可调负荷，统筹管理电力现货市场交易，依托市场化交易，虚拟电厂统筹这些资源，为电力需求方输送电力，提高资源利用效率，降低传统电力系统能源浪费，虚拟电厂的售电模式灵活性、调节性表现突出，靠智能系统调度，虚拟电厂能结合市场价格波动和需求变化实时调控供电量，高峰时段扩大发电量或释放储

能电力，需求低谷阶段储存电力，维持电力供需平衡，该类调节可增强市场运行效率，还提升了电力系统灵活性^[5]。

（二）电力现货市场中虚拟电厂售电的机制分析

进入电力现货市场，虚拟电厂参与实时市场、日前市场交易售电，虚拟电厂依据实时电力需求、价格波动调整售电策略，实时市场内快速跟进价格变动，调整发电和储能输出；聚焦近期市场，虚拟电厂提前推进电力竞价和调度，靠这种灵活电力调度，虚拟电厂可拉满电力交易收益，参与市场价格形成，虚拟电厂还借助储能系统调节电力供应，缓解市场负荷波动，依托需求响应调整用户负荷，优化售电办法，来自河南电力市场的数据表明，虚拟电厂的多元参与模式对提升市场效率和稳定性作用显著。

（三）影响虚拟电厂售电效率的关键因素

多方面因素左右虚拟电厂售电效率提升，首要内容为电力市场价格的波动表现，价格涨跌直接左右虚拟电厂收入，特别针对高负荷时段，电力价格上扬阶段，虚拟电厂能借助调控发电和储能设备输出增加收益，价格频繁波动或波动信息不透明，会制约虚拟电厂的调度决策，错过市场机会。虚拟电厂需具备精准的市场预判能力和灵活的调度能力，应对价格变动，虚拟电厂的资源调配与灵活性十分关键，储能系统与负荷管理能力决定虚拟电厂的市场调节能力，拖慢售电节奏，科学调配并高效统筹这些资源，可强化市场参与度与经济效益。

（四）优化虚拟电厂售电机制的策略与措施

提升虚拟电厂售电效率的核心，是夯实数据分析和市场预测能力，虚拟电厂需借助大数据和人工智能技术，精准预判市场价格波动和需求变化，实时调控供电量，别错过交易机会，河南电力市场数据证明，靠精准预测，虚拟电厂能让售电收入增长10%–15%。虚拟电厂应增加储能系统的效率与容量，提升高需求时段调节能力，靠储能装置放电，虚拟电厂能匹配市场需求，拿到更高价格；低谷期借储能削减市场过剩产能^[6]，优化负荷管控系统，协调用户需求，杜绝电力资源浪费，也是优化售电效率的核心举措。

（五）虚拟电厂售电机制的技术创新与政策支持

技术创新和政策支持是优化虚拟电厂售电机制的核心要素，智能电网、物联网、区块链等技术不断进步，虚拟电厂的调度与管理实现更智能更高效的升级，智能电网可实时对接电网信息，做资源的最优配置；借助区块链技术，电力交易透明度得到增强，筑牢数据安全防线。河南电力市场启动这类技术试点，优化虚拟电厂运营效率，政府应发布帮扶政策，诸如资金补助、税收优惠、调度优先等，引导虚拟电厂建设加入电力市场，规范市场规则，支持虚拟电厂灵活参与电力现货市场交易，助力它与电力市场深度融合，依托技术和政策的双重保障，虚拟电厂可更充分释放灵活调节能力，增加售电利润。

五、基于大模型的河南电力现货市场分析与虚拟电厂的优化

（一）河南电力市场的大模型构建

在河南电力现货市场环境下，虚拟电厂的售电决策本质上属

于多时间尺度、多约束条件下的优化问题。为刻画虚拟电厂在日前市场与实时市场中的最优售电行为，本文构建基于数学优化算法的虚拟电厂现货市场决策模型，以收益最大化为目标函数，对发电、储能及需求响应资源进行统一调度。

虚拟电厂在调度周期 T 内的收益函数可表示为：

$$\max R = \sum_{t=1}^T (p_t \cdot Q_t - C_t)$$

其中， P_t 表示时段 t 的电力市场出清价格， Q_t 为虚拟电厂在该时段的净出力， C_t 表示储能损耗、启停成本及需求响应补偿成本等综合运行成本。

在约束条件方面，模型需同时满足储能系统能量平衡约束、功率约束及需求响应调节边界，其表达式如下：

$$E_{t+1} = E + \eta_c Q_t^c - \frac{1}{\eta_d} Q_t^d$$

$$0 \leq Q_t^c \leq Q_c^{\max}, 0 \leq Q_t^d \leq Q_d^{\max}$$

其中， E_t 表示储能系统在时段 t 的能量状态， Q_t^c 和 Q_t^d 分别为充电与放电功率， η_c 、 η_d 为充放电效率。

针对电力现货市场价格的不确定性，本文引入基于滚动优化思想的求解方法，在每个调度周期内结合最新市场价格预测结果动态更新决策变量，实现虚拟电厂对市场变化的快速响应。该模型可通过线性规划（LP）或混合整数线性规划（MILP）算法求解，在保证计算效率的同时提升售电决策的经济性与稳定性。

（二）模型分析虚拟电厂售电机制的运行效果

依托河南电力市场大模型，可针对虚拟电厂售电机制运行效果展开详细分析，模型能对不同市场环境下虚拟电厂的电力供给响应做模拟，评估它对电力市场价格、负荷调节及资源优化造成的作用，假定虚拟电厂储能容量为50 MWh，实时市场参与主体的最大调节幅度为10 MW，其售电效益可以通过以下公式计算：

$$E = P_{\max} \times T \times \Delta P$$

其中， E 是售电效益， $P_{\max}$ 是虚拟电厂的最大调节功率， T 是调节时间长度， ΔP 是电力市场的价格波动幅度。靠模型核算，虚拟电厂面对波动较大的电力需求，调控储能系统充放电，可赚取更高利润，调整市场资源配置，河南电力市场相关数据显示，虚拟电厂管控储能系统的能量释放，可强化电力供应稳定性，减少电力市场价格波动。

模型还能分析虚拟电厂在不同市场环境里的响应效果，市场价格大幅波动时，虚拟电厂调度系统反应速度快，调整供电量实现收益最高；电力需求较少的阶段，虚拟电厂可借助储能系统缓解电力供给压力，防止市场电力过剩，依托这种灵活性，虚拟电厂可在电力现货市场占据优势位置，增强它的市场竞争实力。

（三）电力市场大模型在售电策略中的应用

电力市场的大模型里，制定售电策略离不开对市场价格、供需平衡及市场参与者行为的全面分析，虚拟电厂属于市场关键参与主体，要按电力市场实时数据调整售电策略，大模型可给出

电力市场的全局视角，辅助虚拟电厂敲定电力现货市场最优决策^[7]，市场价格出现大幅波动，虚拟电厂可挑低价期储电，价高时段释放储电，用灵活调度拉高售电效率。

电力市场大模型还可模拟不同政策、技术变革及市场规则变化对虚拟电厂售电策略的改变，储能技术逐步升级，虚拟电厂储能系统容量稳步增长，售电策略调整空间更大，大模型能预判这些变化对电力市场造成的影响，为虚拟电厂配套专属售电方案，河南电力市场模拟结果显示，虚拟电厂投身实时市场调度，电力需求高峰时可拿到10%–15%的额外收益，低谷期借助储能得到的收益也大幅增长。

（四）模型优化虚拟电厂在电力现货市场中的角色

不停优化电力市场大模型，电力现货市场中虚拟电厂的角色将更为关键，优化要达成的目的是提升虚拟电厂资源配置效率，强化电力市场里的灵活性与响应速率，虚拟电厂调度系统可依托市场预测与实时数据，自动调适储能系统充放电策略，把经济效益拉到最高，对模型做优化，虚拟电厂能削减电力供应的波动，还能稳固电力市场运行状态，提升资源配置效率。

优化模型阶段，虚拟电厂将让资源调度、市场参与策略更细化，对储能系统做优化调度，需统筹市场价格变化、系统容量限制和电力需求变化，选定最佳充放电时点，河南电力市场优化模型分析显示，对储能系统和需求响应做优化调度，虚拟电厂能在电力价格较高时输出更多电力，电价较低时储电赚更多收益，虚拟电厂能与其他市场参与者开展协作，依托市场竞价机制增强资源调度的灵活性与经济性。

（五）虚拟电厂在河南电力市场中的发展前景与挑战

电力市场改革逐步推进，新能源技术日益进步，河南电力市场中虚拟电厂前景广阔，虚拟电厂可增强电力市场资源利用率，还可借助灵活调度能力调节电力供需平衡，减少电力系统运行成本，基于河南省电力市场的相关数据，储能技术和信息化管理系统持续进步，预计未来5年虚拟电厂市场份额增长30%以上，成为电力市场里不容忽视的力量。

虚拟电厂在河南电力市场推进也碰到一些挑战，电力现货市场的规则和机制还需进一步优化，尤其针对虚拟电厂这类新兴市场参与者，政策扶持和市场准入规则还不健全，储能技术与信息系统成本一直偏高，虚拟电厂投资回收周期偏长，这也许会约束部分企业积极投入，市场竞争日益激烈，虚拟电厂靠优化售电策略和资源配置提升市场份额的方法，会是未来发展的关键支撑。

六、虚拟电厂对河南电力市场发展的推动作用

（一）河南电力市场在实施虚拟电厂机制中的技术与政策挑战

河南电力市场落实虚拟电厂机制时碰到的技术挑战，重点落在储能系统和数据处理能力，储能技术属于虚拟电厂核心组件，但目前大规模储能电池的高购置成本、运维成本以及能量转换效率损耗，依然限制它的大范围推广，河南电力市场储能系统效率为85%左右，即覆盖储能和放电的整个转换环节，15%的电力会出现无法挽回的损耗^[8]。储能系统经长期高频次充放电循环运

作，可能出现容量和功率双重衰退，大幅削弱它长期运行稳定性，现有传统调度系统和信息处理能力，尚未完全达到虚拟电厂秒级响应的实时调度要求，电力市场海量实时数据的处理，需借助更高效的智能信息系统，保障精准调度和科学决策，相关市场规则需进一步细化完善，适配虚拟电厂灵活调度的需求。

（二）提升虚拟电厂市场适应性的建议

提高虚拟电厂的市场适配水平，首先要加大储能技术研发投入与产业化投资力度，依托政企研多方协作，推进新型储能技术规模化落地，像低成本钠离子电池和长时压缩空气储能技术，能切实提升储能转换效率，大幅压缩全生命周期运营成本，多场景模拟河南电力市场证明，只靠提高储能效率这一个办法，可提升虚拟电厂售电利润15%–20%。河南电力市场应加快数字化信息化建设推进速度，全面强化数据处理和调度系统的智能水平，深度挖潜大数据、云计算等先进技术，强化短期及中长期负荷预测精准性，推动虚拟电厂精准统筹调度各类分布式资源，切实减少电力市场价格波动及供需不平衡现象，凭借这些针对性举措，虚拟电厂能在复杂多变的市场中更高效应对变化，逐步拉高整体运行效率。

（三）未来发展方向与政策建议

河南电力市场应突出虚拟电厂在电力系统灵活性和稳定性上的核心作用，尤其针对平抑风电、光伏等可再生能源波动和优化

跨时段市场资源配置，政府需出台明确且连贯的扶持政策，倡导标准化储能系统建设、优化市场交易规则，强化电力市场数据披露的透明性，从各方面推进虚拟电厂健康有序发展。可给虚拟电厂运营商发放阶段性税收优惠及专项财政补贴，鼓励更多企业积极参与储能系统和智能调度平台建设投资，政府要支持虚拟电厂全面参与电力现货市场及辅助服务市场，简化市场准入审核流程，健全分时电价形成机制，提升虚拟电厂应对电力价格波动的灵活性，实现全链条资源的最优配置，靠精准有效的政策帮扶，虚拟电厂对河南电力市场的支撑作用会进一步增强，推动市场朝更高效、灵活、低碳的方向迈进。

七、结语

把虚拟电厂用在河南电力市场，可切实提升电力系统的灵活性和稳定性，优化资源配置 提升可再生能源利用效率，目前技术成熟度、政策落地力度还面临部分挑战，但能加大储能技术研发力度、提高信息系统智能水平，同时加大政策帮扶，虚拟电厂会成为推动河南电力市场发展的核心动力，电力市场机制持续优化，它能在提升市场效率、平抑电力供需波动上发挥更大作用。

参考文献

- [1] 赵颖涛. 多品种耦合电力市场下虚拟电厂的交易机制研究 [J]. 煤炭经济研究, 2024, 44(11): 146–151.
- [2] 黄宇翔, 黄蔚亮, 牛振勇, 等. 虚拟电厂市场机制与盈利模式及欧洲运行实例分析 [J]. 电力系统自动化, 2025, 49(09): 17–30.
- [3] 谢宏伟. 虚拟电厂参与可再生能源消纳的分布式交易优化决策研究 [D]. 东南大学, 2024.
- [4] 李亚龙, 林理符, 许志昆. 计及柔性负荷的虚拟电厂日前优化调度方法 [J]. 河北电力技术, 2024, 43(05): 27–33.
- [5] 许杰. 电力市场化改革对县域经济高质量发展的影响研究 [D]. 北京邮电大学, 2024.
- [6] 王永利, 张思文, 赵伟博, 等. 电力市场背景下计及风险偏好的虚拟电厂调度优化策略 [J]. 煤炭经济研究, 2024, 44(08): 44–50.
- [7] 陈建宇, 冯文韬, 祁莹, 等. 虚拟电厂参与电力市场交易机制研究 [J]. 电工技术, 2024, (16): 73–77+85.
- [8] 莫仁盈. 虚拟电厂市场化交易中的挑战及策略分析 [J]. 产业创新研究, 2024, (11): 127–129.