

基于区块链的分布式电力交易对输配电网络影响的分析与模型构建

徐克勇

(国网四川省电力公司广元市朝天供电公司)

【摘要】针对基于区块链的分布式电力交易对输配电网络的影响进行深入分析,构建相应模型。研究表明,区块链技术促进分布式能源接入,优化电力资源配置,降低输配电损耗,提升网络运行效率。分布式电力交易模式增强市场动态响应能力,稳定电价波动,提高系统运行稳定性。案例分析验证了模型的实用性与有效性,为我国电力市场改革和分布式能源发展提供理论依据和实践指导。同时,探讨区块链技术在电力市场的应用前景,为电力行业可持续发展提供新思路。

【关键词】区块链;分布式电力交易;输配电网络;模型构建;能源优化配置

中图分类号:F426.61

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2025.S2.024

Analysis on the Impact of Blockchain-based Distributed Power Trading on Transmission and Distribution Networks and the Model Construction

XU Ke-yong

(State Grid Sichuan Electric Power Company Guangyuan Chaotian Power Supply Company)

【Abstract】In-depth analysis of the impact of blockchain-based distributed power trading on the transmission and distribution network is carried out, and the corresponding model is constructed. Research shows that blockchain technology promotes distributed energy access, optimizes the allocation of power resources, reduces transmission and distribution losses, and improves network operation efficiency. The distributed power trading model enhances the dynamic response capacity of the market, stabilizes electricity price fluctuations, and improves the operation stability of the system. The case analysis verifies the practicability and effectiveness of the model, and provides theoretical basis and practical guidance for China's power market reform and distributed energy development. At the same time, it discusses the application prospects of blockchain technology in the power market and provides new ideas for the sustainable development of the power industry.

【Keywords】blockchain; distributed power trading; transmission and distribution network; model construction; energy optimization configuration

1 引言

随着全球能源结构的转型和清洁能源的快速发展,分布式能源逐渐成为电力市场的重要组成部分。区块链技术以其去中心化、数据不可篡改和透明度高等特点,为电力市场改革提供了新的契机。

本文旨在探讨基于区块链的分布式电力交易对输配电网络的影响,并构建相应的分析模型,以期为我国电力市场改革和分布式能源的健康发展提供理论依据和实践指导。

2 基于区块链的分布式电力交易对输配电网络影响分析

2.1 影响概述

区块链驱动的分布式电力交易对输配电网络产

生了多重影响。该模式促使网络结构向更高灵活性和可扩展性转变,实现了拓扑的动态优化与智能化升级。同时,网络需增强负荷预测与响应能力,以管理由负荷波动引起的电压和频率问题。

区块链技术的应用提升了运行效率,通过实时资源优化提高了能源效率(见图1)。系统可靠性得到增强,智能合约等工具实现了分布式电源的自动管理,提升了自愈能力。去中心化的市场机制促进了公平竞争和合理电价,为小型能源参与者提供了市场入口。监管层面,区块链技术提供了精准数据,推动了监管创新,以应对分布式交易的新挑战,保障了市场的健康发展。此外,这种交易模式还促进了电力市场参与者之间的信息透明度,减少了信息不对称带来的交易风险^[1]。同时,区块链技术的不可篡改性为电力交易提供了安全保障,确保了交易记录

的真实性和可追溯性。



图1 区块链技术应用领域示意图(图片来源: <https://www.bianews.com/news/details?id=56624>)

2.2 影响分析

在分布式电力交易模式下,电力流分布的多元化转变对输配电网络的影响揭示了多个层面的技术挑战。电力流的局部循环和多点互动,提高了能源利用效率,但这种转变也带来了网络运行的新问题。网络结构的灵活性和响应速度成为关键,需要网络具备快速调整电力流的能力,以适应不断变化的供需关系。

在损耗方面,虽然分布式电源的接入有助于减少线路负载,但损耗计算模型需准确反映不同电压水平、相位角和电力流方向下的损耗情况(见图2)。分布式电源的波动性要求频率控制策略更加精细化,以维持系统的同步运行。局部电压的稳定性需要通过高级的智能调度系统来实现,这涉及到复杂的算法和实时数据分析。短路电流的变化,则对保护装置的设计和配置提出了新的要求,以确保系统在故障情况下的安全运行。

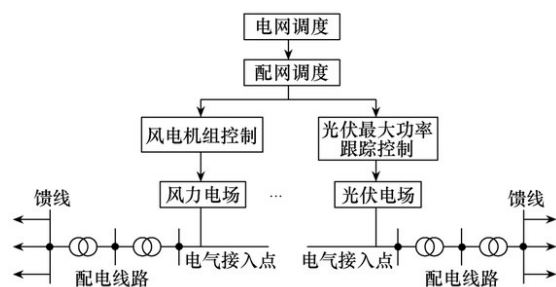


图2 分布式电源接入调度结构示意图(图片来源: <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1719943386680368968&wfr=spider&for=pc>)

3 模型构建

3.1 区块链技术在电力交易中的应用模型构建

3.1.1 分布式电源模型

在构建分布式电源模型的过程中,细致地考虑了电源的类型与特性、容量配置以及地理位置分布,旨在精确描绘其在电力系统中的行为和作用^[2]。光伏、风力、储能等不同类型的分布式电源,其输出功率的随机性和波动性各具特点。

3.1.2 输配电网络模型

在精细化输配电网络模型的过程中,引入了潮流分布的详细计算,以实现网络状态的高精度模拟^[3]。

3.1.3 电力交易模型

在电力交易模型中,交易价格的形成综合了市场供需关系、资源稀缺性、边际成本及政策因素^[4]。

3.1.4 区块链技术模型

区块链模型中,共识机制确保了网络节点对交易历史的共识。探讨了PoW、PoS和BFT机制,PoW依赖计算难题但存在安全与能耗问题,PoS依据代币持有量分配记账权,并提出了动态权益调整策略。BFT针对恶意节点,保障了系统一致性。采用ECC和SHA加密算法保护交易隐私和完整性。智能合约结构设计适用于电力交易,状态通道提升执行效率,同时分析了安全性威胁并加强合约防御。

3.2 模型求解

在模型求解过程中,需对于所有节点、节点功率遵循约束条件计算,确保结果的实用性与准确性^[5]。

4 案例分析

4.1 案例背景

为了验证所构建模型的实用性和有效性,本节选取某地区实际电力系统进行案例分析。选取的案例地区拥有丰富的分布式能源资源,包括光伏、风电和储能等。该地区已初步建立基于区块链的分布式电力交易平台,具备实施分布式电力交易的条件。

4.2 模型参数设置

在本次案例分析中,配置了模型参数,以贴近所

选地区的真实电力环境。具体来看,分布式电源模型包括了100MW的光伏发电、80MW的风力发电以及50MWh的储能系统,其地理位置分布则是依据实际坐标精心设定。输配电网络模型则由50个节点和100条支路构成,其中节点负荷、线路参数及变压器参数均依据实际数据进行精准配置。在电力交易模型方面,采用了边际成本定价原则来确定交易价格,同时充分考虑了市场供需关系、资源稀缺性以及政策因素的影响。至于区块链技术模型,选择了PoS共识机制,并合理设置了代币持有量,以公平分配记账权。

4.3 模拟结果分析

4.3.1 分布式电源接入前后对比

接入分布式电源之前,系统的负荷波动较大,而接入之后,这种波动得到了有效缓解,系统的整体运行更加平稳。同时,分布式电源的融入使得电力资源得到更优化的分配,进一步优化了电网的能源结构,减少了输配电过程中的能量损失,如图3所示。

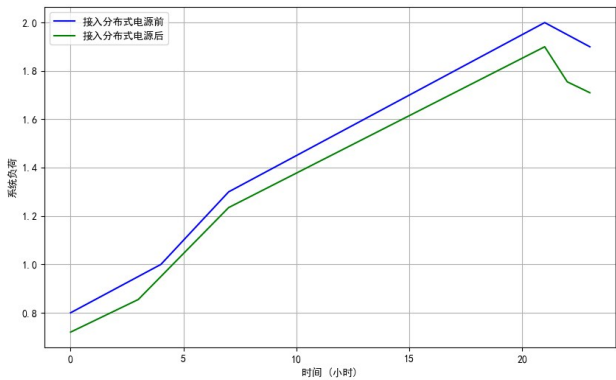


图3 分布式电源接入对系统负荷波动的影响分析

4.3.2 分布式电力交易模式下的市场动态与系统稳定性分析

在深入分析基于区块链的电力交易模式后,我们发现了一个显著的趋势:随着分布式电源的加入,市场电价波动得到了有效抑制,交易双方能够基于实时电价自主做出交易决策。与此同时,输配电网络的运行展现出更高的灵活性,能够更好地适应市场变化。更重要的是,系统的稳定性得到了保障,无论是在分布式电源的接入还是电力交易的过程中,系统频率和电压的波动都被控制在安全范围内(见表1)。

表1 分布式电力交易对系统稳定性影响的指标分析

稳定性指标	接入前	接入后	变化分析
系统频率波动/Hz	0.5	0.2	控制在更严格的范围内,提升系统稳定性
系统电压波动/%	5	2	波动减少,系统电压更加稳定
市场电价波动幅度/(元/MWh)	10	5	波动幅度显著降低,市场更加稳定
网络运行灵活性	低	高	网络运行更加适应市场变化,提高效率

5 结语

区块链技术在电力市场的应用,有效促进了分布式电源的接入与电力资源优化配置,降低了输配电损耗,提高了网络运行效率。同时,分布式电力交易模式增强了市场动态响应能力,稳定了电价波动,提升了系统运行的稳定性。

此外,模型的构建与案例分析表明,区块链技术在电力市场的推广具有显著的现实意义,为电力市场改革提供了新的方向和理论支持,有助于推动我国电力行业的可持续发展。此外,通过对电力交易数据的实时监控与分析,区块链技术为电网调度提供了更加精准的数据支持,促进了电力系统的精细化管理和智能化升级。

参考文献

[1] 杨帆.面向分布式电力交易的区块链关键技术应用研究[D].华北电力大学,华北电力大学(北京),2023.

[2] 郑琛.基于区块链技术的分布式电力交易研究[D].江西:华东交通大学,2023.

[3] 薛李俐.输配电网络中的智能运行与调度优化策略分析[J].电子技术,2024,53(9):262-263.

[4] 王雨藤.含分布式电源的配电网储能优化配置和共享策略研究[D].陕西:西安理工大学,2023.

[5] 张栋.输配电线路接地散流模型及其风险评估方法研究[D].四川:西南交通大学,2022.