

Strategies and Operation Optimization of Hydropower Station Participating in Power Market in New Power System

Jing Xu

Yunnan Branch of Guangdong Yue Shui Neng Yuan Investment Group Co.,Ltd., Mengzi, Yunnan, 661100, China

Abstract

As China advances the development of its new-type power system, the integration of high-proportion renewable energy sources imposes higher demands on system flexibility and stability. Hydropower stations, with their rapid start-stop capability, load-following capacity, and superior energy storage characteristics, are playing an increasingly pivotal role in the electricity market. This paper explores the core challenges faced by hydropower stations in participating in the electricity market under the new-type power system framework. It systematically proposes combination trading strategies and internal operational optimization pathways for multi-level markets, aiming to provide theoretical references and practical guidance for enhancing the market competitiveness and comprehensive benefits of hydropower stations.

Keywords

new type of power; system; hydropower station; power market; operation

新型电力系统中水电站参与电力市场的策略与运营优化

徐静

广东粤水电能源投资集团有限公司云南分公司, 中国·云南蒙自 661100

摘要

随着中国新型电力系统建设的深入推进,高比例可再生能源的接入对系统灵活性与稳定性提出了更高要求。水电站凭借其快速启停、负荷跟踪及优良的储能特性,在电力市场中扮演着日益关键的角色。本文旨在探讨新型电力系统背景下,水电站参与电力市场所面临的核心挑战,系统性地提出其在多级市场中的组合交易策略与内部运营优化路径,以期提升水电站市场竞争力与综合效益提供理论参考与实践指引。

关键词

新型电力; 系统; 水电站; 电力市场; 运营

1 引言

构建以新能源为主体的新型电力系统是实现能源转型的战略核心,风电、光伏等间歇性电源的大规模并网,加剧了电力系统的波动性与不确定性。传统上承担基荷与调峰任务的水电站,其功能定位正经历深刻变革,从单一的能源供应者转向多重服务提供者。在电力市场化改革持续深化的背景下,如何精准参与电能量、辅助服务等多元化市场,优化自身运营模式,成为水电站生存与发展的紧迫课题^[1]。

2 新型电力系统下水电站的价值重塑与挑战

在构建以新能源为主体的新型电力系统进程中,水电站的角色正经历着深刻的价值重塑。过去,其核心价值主要聚焦于稳定的电能生产。然而,随着风电、光伏等波动性可

再生能源大规模接入电网,电力系统的运行特性发生了根本性变化。在此背景下,水电站的价值远远超越了单纯的电能输出,正日益凸显在卓越的灵活调节能力上。这种灵活性,是当前新型电力系统最为珍视的资源。水电站,特别是具备水库调节能力的电站,能够根据电网的实时需求,极其迅速地调整其出力水平。无论是向上增加出力(爬坡)还是向下减少出力(下坡),其响应速度远快于传统火电,甚至优于大部分储能技术,使得水电站成为平抑新能源出力剧烈波动的“稳定器”。当风光大发导致电网供过于求时,水电站可以快速减少出力,甚至停机蓄水;当风光骤减或负荷突增导致电力短缺时,水电站又能迅速增加出力,填补缺口。这种能力,正是提供调峰、调频(一次、二次)、旋转备用、黑启动等关键辅助服务的基础。可以说,水电站的灵活调节能力,是保障高比例新能源接入下电网安全、稳定、经济运行不可或缺的支柱^[2]。

然而,机遇总是与挑战并存,水电站要充分发挥其调节价值,面临着多重现实困境:

【作者简介】徐静(1984-),女,中国山东人,本科,工程师,从事电气工程及其自动化水电技术研究。

(1) 来水不确定性与电能产出风险：水电站的“燃料”——水资源，其丰枯受自然气候影响极大。对于季调节、年调节水库而言，来水预测的长期不确定性尤为突出。这种不确定性直接转化为电能产出的随机性。当水电站积极参与电力市场（尤其是现货市场）或提供辅助服务时，其承诺的调节能力或电量可能因实际来水偏离预期而无法完全兑现，这不仅影响电网调度，也给电站自身带来巨大的市场风险和经济损失。如何在不确定性中寻求最优的调度策略和市场参与方式，是电站运营者面临的首要难题。

(2) 市场机制不完善的制约：当前，中国电力市场，特别是辅助服务市场，仍处于发展完善阶段。市场品种设计是否全面覆盖了水电站所能提供的各类灵活调节服务，价格形成机制能否真实、充分地反映水电站调节能力的稀缺价值和机会成本，补偿标准足以激励电站主动、持续地提供高质量服务，这些关键问题尚未得到系统性的解决。市场规则的不完善，严重制约了水电站调节价值的经济兑现，影响了其参与市场并提供调节服务的积极性。

(3) 多目标协同的运营复杂性：水电站从来就不是一个单纯的发电单元，往往肩负着防洪、灌溉、城乡供水、生态流量保障、航运、甚至旅游等多重社会、经济和生态目标。这些目标之间常常存在矛盾（例如，汛期防洪要求降低库水位，而发电和供水则希望保持高水位）。

3 新型电力系统中水电站参与电力市场的策略与运营优化

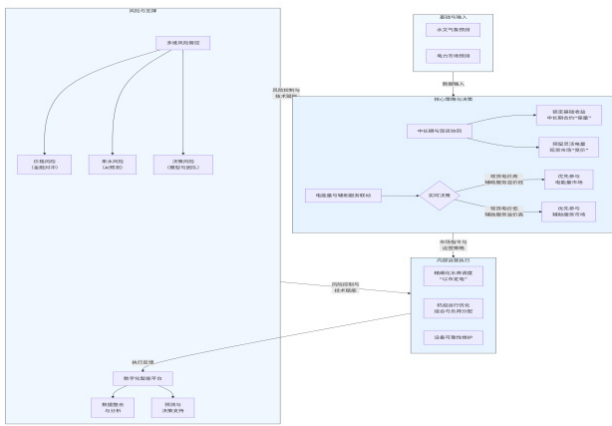


图1 新型电力系统中水电站参与电力市场的策略与运营优化逻辑关系图

3.1 中长期与现货市场的协同优化

在以中长期交易为主、现货交易为辅的现行市场框架下，水电站需巧妙平衡“保量”与“竞价”的双重目标，实现收益最大化与风险可控。基于对未来水文情势的精准预判与电力市场价格的科学预测，进行电量资源的战略性分配。具体而言，水电站可充分利用中长期合约市场相对稳定的价格特性，提前锁定一部分预期发电量的基础收益。这部分合

约电量如同“压舱石”，有效规避现货市场价格剧烈波动的风险，为电站提供了稳定的现金流保障。然而，将全部电量锁定于中长期市场并非最优选择。水电站应审慎预留一部分具有高度灵活性的电量资源，积极投身于电力现货市场。这源于水电特有的技术优势——其机组具备极快的爬坡速率和启停灵活性。当现货市场价格因负荷激增、新能源出力骤降等因素而飙升时，水电站可迅速响应，在价格高峰时段果断增发发电量，捕捉远超中长期合约价格的超额利润。例如，在夏季用电高峰的午后或冬季寒潮突袭的夜晚，现货价格可能数倍于平时，此时预留的灵活电量便成为盈利的关键。实现这种协同的关键在于对水文预报精度和市场价格预测能力的持续提升，以及对自身调节能力的精准评估，确保预留电量的规模既能满足现货套利需求，又不至于因过度冒险而影响基础收益的稳定性^[4]。

3.2 电能量与辅助服务市场的联动增值

水电站的价值远不止于提供基础电能，其快速、精准的功率调节能力，使其成为电力系统辅助服务市场的天然优质提供者，参与调频（AGC）、备用等辅助服务市场，已成为水电站提升综合收益的重要途径。相较于电能量市场，辅助服务市场往往愿意为这种快速响应能力支付更高的溢价。水电站运营主体因此面临着一个动态的优化决策问题：在每一时刻，有限的调节能力资源，是优先用于参与现货电能量市场的调峰（即在高峰时段发电获利），还是优先响应调频辅助服务的指令，这需要基于实时的市场出清价格信号进行精细化决策。当现货电能量市场的价格处于低位，而系统对调频等辅助服务的需求旺盛、出清价格高企时，将调节能力资源优先配置给辅助服务市场显然能获得更高的边际收益。反之，当现货电能量价格高涨时，将资源投入电能量市场则更为有利。

3.3 多维风险识别与综合管控

参与多层次的电力市场在为水电站带来机遇的同时，也引入了更为复杂的风险敞口，有效的风险管理是稳健运营的基石。首要风险源于现货市场价格的剧烈波动性，水电站现货售电的收益高度依赖实时价格，而价格受负荷变化、燃料成本、新能源出力、跨区输送能力等多重因素影响，预测难度大，波动幅度惊人。为对冲这部分价格风险，水电站可积极运用金融衍生品工具，如差价合约（CfD）。通过签订CfD，水电站可以约定一个未来的交割价格（或与现货价格的差价），无论实际现货价格如何波动，其都能获得相对稳定的现金流，有效熨平收益曲线。其次，来水的不确定性是水电特有的核心风险，丰枯水年的巨大差异直接影响可发电量，进而影响其在各市场的合约履约能力和现货参与空间，建立并持续完善科学的来水预测模型需融合气象预报、历史水文数据、流域下垫面变化等多源信息，运用人工智能算法提升预测精度和预见期。对中长期电价走势、现货价格波动规律、辅助服务需求变化的误判，可能导致交易策略的

重大失误，这要求构建专业的市场分析团队，开发基于大数据和机器学习的市场价格预测模型，为交易决策提供坚实支撑。一个完善的风险管控体系应涵盖风险识别、量化评估、工具应用（金融对冲、保险等）和动态监控调整等环节，形成闭环管理。

3.4 面向市场的内部运营优化

卓越的市场策略最终需要高效的内部运营作为支撑，水电站必须推动内部生产管理模式的深刻变革，实现从计划导向到市场导向的转型。精细化水库调度是优化运营的龙头，传统的“以水定电”调度模式需升级为“以市定电、水市结合”的新范式，意味着水库优化调度模型必须将市场信号作为核心输入。具体而言，需将预测的中长期电价曲线、现货价格分时走势、以及调频、备用等辅助服务的需求预测和价格信息，动态融入水库调度优化模型中。调度决策不再仅追求发电量最大或耗水率最低，而是追求全生命周期内水能资源价值（即发电收益+辅助服务收益）的最大化。例如，在预判未来几天将出现持续高价时段时，调度策略可能倾向于在前期适当蓄水，减少发电，以便在高价时段集中释放水量发电获利；或者在水库蓄水充足且辅助服务溢价高时，预留更多库容空间以增强调节能力，满足辅助服务需求。机组运行优化是保障调度指令高效执行的基础，包括优化机组组合（确定哪些机组运行）和负荷分配（确定每台运行机组的出力），目标是在满足电网调度要求和市场响应需求的前提下，确保机组尽可能运行在高效区，降低单位发电量的耗水率，提高水能转化效率。同时，设备的可靠性维护至关重要。必须确保机组及其控制系统（如 AGC）处于良好状态，具备快速、精准响应电网调度指令和市场信号的能力，这是参与高价值辅助服务市场的技术前提。数字化与智能化建设是实现上述优化的赋能平台。需部署覆盖全厂的先进监控系统（SCADA/监控系统）、高精度水文气象预测系统、以及强大的市场决策支持系统（DSS）。通过整合实时水文数据、精细化气象预报、机组运行状态、电网运行信息、多维度市

场数据（价格、需求、规则）等，构建统一的数据平台。运用大数据分析、机器学习、人工智能等技术，持续提升来水预测、市场出清价格预测的精度和时效性，为水库调度决策、机组运行安排、多市场交易策略制定提供实时、可靠的数据驱动支持，最终实现水电站运营效益的全局最优。

4 结语

在新型电力系统建设中，水电站正迎来价值重估的历史性机遇，面对复杂的市场环境，水电站运营者须转变观念，从被动执行发电计划转向主动参与市场竞争。通过制定科学的多市场组合交易策略，并深度融合市场信号进行内部运营的精细化与智能化优化，水电站不仅能够充分挖掘和兑现其灵活的调节价值，提升自身经济效益，更能在服务电网安全、促进新能源消纳、保障能源安全方面发挥不可或缺的支柱作用，为新型电力系统的稳定、高效与经济运行做出更大贡献。

参考文献

- [1] 李壮壮. 电力市场环境下梯级水电站多时间尺度优化调度方法[D]. 华南理工大学, 2023.
- [2] 杨康, 朱家波. 基于电力市场环境下乌江梯级优化调度应对策略[C]//中国水力发电工程学会梯级调度控制专业委员会. 中国水力发电工程学会梯级调度控制专业委员会2024年年会论文集. 贵州乌江水电开发有限责任公司水电站远程集控中心, 2024: 20-24.
- [3] 张世锴. 梯级水电站参与电力组合市场策略研究[D]. 西安理工大学, 2022.
- [4] 卢佳. 中长期市场下梯级水电运行风险分析方法研究[D]. 大连理工大学, 2021.
- [5] 余泽文, 赵贤文. 积石峡水电站经济运行策略与实践[C]//中国水力发电工程学会自动化专业委员会. 中国水力发电工程学会自动化专委会2025年年会暨水电厂数智化技术学术交流会议论文集. 青海黄河上游水电开发有限责任公司积石峡发电分公司, 2025: 31-34.