

Innovation in Hydropower Technology Management to Support the Efficient Operation of Hydropower Stations in the New Power System

Jing Xu

Yunnan Branch of Guangdong Yue Hydropower Energy Investment Group Co., Ltd., Mengzi, Yunnan, 661100, China

Abstract

To meet the heightened demands for flexibility regulation in modern power system development, enhancing operational efficiency and management standards for hydropower stations has become imperative. This study focuses on technological and managerial innovations in hydropower management, conducting systematic analyses of current operations, key challenges, and integration pathways. By integrating automation control, intelligent operation and maintenance, and optimized management mechanisms, we propose a comprehensive solution to support efficient hydropower station operations. The research covers collaborative operation strategies between hydropower and wind, solar, and energy storage systems, along with practical case studies from typical river basins. Results demonstrate that a dual approach combining technological advancement and managerial optimization can significantly improve response speed, operational stability, and resource allocation efficiency in hydropower stations, playing a pivotal role in building a secure, efficient, and clean new power system. This study holds significant theoretical and practical implications for promoting the transformation and upgrading of hydropower stations, as well as enhancing the flexibility and safety of power systems.

Keywords

hydropower station; technical management; efficient operation; new power system; coordinated dispatching

水电技术管理创新支撑新型电力系统水电站高效运行研究

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

为适应新型电力系统构建对灵活性调节能力的更高要求, 亟需提升水电站运行效率与管理水平。本研究以水电技术管理创新为核心, 围绕运行现状、关键问题与融合路径展开系统分析, 结合自动化控制、智能运维、管理机制优化等手段, 构建支撑水电站高效运行的综合方案。研究内容涵盖水电与风电、光伏、储能的协同运行策略, 以及典型流域实践案例。研究结果表明, 技术与管理双轮驱动能够显著提升水电站响应速度、运行稳定性与资源配置效率, 在构建安全、高效、清洁的新型电力系统中发挥关键作用。研究对推动水电站转型升级、增强电力系统灵活性和安全性具有重要理论与实践意义。

关键词

水电站; 技术管理; 高效运行; 新型电力系统; 协同调度

1 引言

新型电力系统以新能源为主体, 对电力调节能力和系统稳定性提出更高要求, 水电作为重要可再生能源在系统中承担着调节和平衡的重要职责, 受极端气候频发、新能源大规模并网与电力负荷动态变化等因素影响, 水电站在支撑系统安全与运行灵活性方面面临更高挑战。现阶段水电站运行面临调峰负荷加重、设备老化、管理方式滞后等问题, 亟需通过技术手段和管理机制的双重创新提升其运行效率与适应能力。加强自动化控制、智能运维及精细化管理, 不仅有

助于提升水电站运行稳定性, 也能增强其与风光储等多元能源协同运行的能力。围绕水电站在新型电力系统中的角色定位, 研究技术管理创新路径对于推动水电行业高质量发展具有重要价值。

2 水电站运行现状

当前我国正加快构建以新能源为主体的新型电力系统, 水电作为可再生能源的重要组成部分, 其运行效率与调节能力在系统安全稳定中发挥着核心支撑作用, 随着新能源装机占比不断提高, 电力系统运行特性由传统源随荷变为荷源双变, 水电站的调节任务不断加重, 调峰、调频和备用等功能日益突出, 对运行灵活性和快速响应能力提出了更高要求。在实际运行中, 不少水电站存在设备运行效率下降、老旧机

【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。

组响应能力不足、自动化控制水平滞后等问题，加之流域来水不确定性增强，水库调度难度加大，电站负荷波动频繁，运行压力显著提升。部分电站受限于传统管理体系，缺乏对多源负荷波动快速响应的能力，调度方式仍以人工经验为主，信息获取不及时与决策过程不透明造成运行效率波动较大。随着用能结构调整及极端气候影响加剧，水电站还面临汛期与枯水期发电任务不均衡的矛盾，加剧了流域资源调度的复杂性。此外，在技术融合不足背景下，部分电站尚未建立完善的数字化管理平台，运行数据未能充分转化为决策依据，致使设备状态评估和故障预警能力较弱，运维方式偏重于事后处理，缺乏对潜在风险的前瞻控制能力。

3 技术管理创新

3.1 自动控制提升

新型电力系统对水电站的快速调节能力提出了更高标准，自动控制系统的性能直接关系到响应速度、运行稳定性与调度精度。在传统模式下，水电站自动化水平偏低，控制

逻辑较为固定，无法有效应对电力系统的频繁变化。为满足现代电力系统对水电调节灵活性的要求，亟需构建具备感知、分析、决策与执行一体化能力的自动控制体系。当前，采用基于大数据与人工智能的预测模型，可以实时分析系统负荷变化趋势与水资源分布动态，为水轮发电机组提供更为精准的负荷调节指令，提升系统协同运行水平。随着边缘计算与云平台技术的成熟，水电站可以实现设备层、控制层与调度层之间的高速数据互通，推动控制模式从集中式向分布式演进，在保证系统安全的前提下实现更加灵敏的运行控制。高性能传感器的应用使得水位、压力、水头变化等关键运行参数能够实时采集，并与控制系统深度耦合，实现运行参数的闭环调节。在控制算法层面，强化基于模糊控制、自适应控制与模型预测控制的集成应用，有助于增强系统对非线性特征与突发扰动的响应能力。通过构建具有动态调节与学习功能的智能控制系统，水电站可在复杂运行环境中保持稳定出力并提高运行效率。

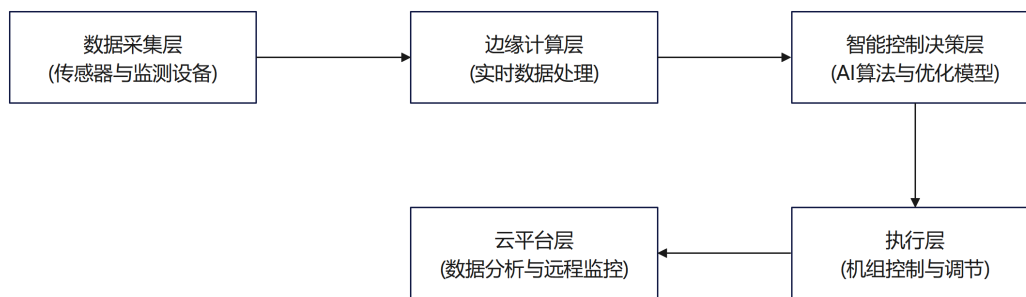


图1 水电站智能自动控制系统结构图

3.2 运维模式变革

水电站设备运行长期依赖定期检修与人工巡检模式，这类传统运维方式在应对设备老化、运行工况复杂化和风险因素多样化方面显得被动与滞后。在新型电力系统中，水电站运维面临运行周期不确定性提升、设备负荷波动频繁、结构复杂程度增加等挑战，传统经验驱动型运维难以适应灵活、高效、可持续的运行要求。构建智能化运维体系成为提升水电站可用率与延长设备寿命的关键路径。依托状态监测技术与智能诊断算法，可以实现设备状态的连续在线监控，通过采集温度、振动、电流、油压等多维运行参数，建立设备健康指数评价模型，及时识别潜在故障点，实现从“事后检修”向“状态驱动维护”转型。运维模式的转变还体现在运维资源的集约化配置和运维任务的流程再造上，采用集中监控平台与移动巡检终端相结合的方式，可打破传统人力依赖结构，提高故障处理效率。运维人员可借助可视化平台进行远程巡检、智能报警处理与运维策略优化，实现对电站全生命周期的精细化管理。在维修策略上，预测性维护技术的引入可基于历史数据与故障规律进行趋势分析，提前安排检修计划与备品备件储备，避免突发性停机带来的经济损失。在运维资源管理方面，引入运维资源共享机制与多站协同机

制，可以提升区域内水电站整体运维效能，降低维护成本并提升资源配置效率。

3.3 管理机制优化

随着水电站运行环境日趋复杂，单一依赖技术手段难以支撑运行效率与管理水平的同步提升，建立科学、高效、灵活的管理机制成为推动水电站转型升级的重要支撑。现有水电管理机制多以分层管理为主，职责界限明确但部门之间协同效率不足，难以快速应对系统性风险与运行突发事件。通过优化组织结构与提升管理体系韧性，有助于实现运行决策的扁平化与响应的敏捷化。构建以数据驱动为核心的管理决策平台，将生产调度、设备运维、水情预警、环境监控等模块统一集成到数字化平台之上，不仅能提高信息处理效率，还能增强管理透明度与应对突发事件的能力。在激励机制设计方面，需推动从结果导向转向过程质量控制，将运行绩效与设备状态、响应速度、经济性指标等多维因素相结合，推动管理人员在运行中注重精益化与全局性。针对电站运营中存在的管理碎片化问题，建议建立跨部门协同机制，打破技术与管理壁垒，推动调度、运维、技术与管理各单元之间的信息互通与目标对齐。借助先进的数据分析技术，可以实现运行数据的深度挖掘与预测分析，为策略制定提供科学依

据。在外部协同方面，应强化电网企业、水务部门与流域上下游单位之间的协同联动机制，提升流域综合管理能力，实现运行优化目标与生态保护目标的协同统一。

4 系统融合路径

4.1 多能协同运行

在新型电力系统中，新能源出力的不确定性显著增加，波动性和间歇性对系统调节能力提出极高要求。水电以其快速响应和灵活调节的优势，成为支撑风电、光伏等新能源稳定接入的关键调节资源。在构建多能协同运行机制过程中，应充分发挥水电的调节特性，构建风光水储互补运行体系。调度策略需考虑资源的时空分布特征、出力预测误差和负

荷需求变化规律，采用联合优化模型实现源荷协调。多能协同运行的实现依赖于实时监测、精准预测和柔性控制技术，构建统一的数据支撑平台可实现多能源出力状态、负荷需求水平和气象变化的多维信息融合，提升调度的前瞻性与科学性。在运行机制上，需建立跨区域协同调度机制，将流域水电站与区域内的风光电站进行统一协调，避免各自为政导致的出力波动叠加。在资源配置上，推进储能设施建设以平抑负荷波动，同时利用抽水蓄能电站调节系统余缺，提高新能源吸纳水平。在多能协同系统中，引入分布式优化算法和鲁棒调度模型，提升系统在复杂运行环境下的稳定性与运行效率，实现各类能源间的动态互补和效能提升。

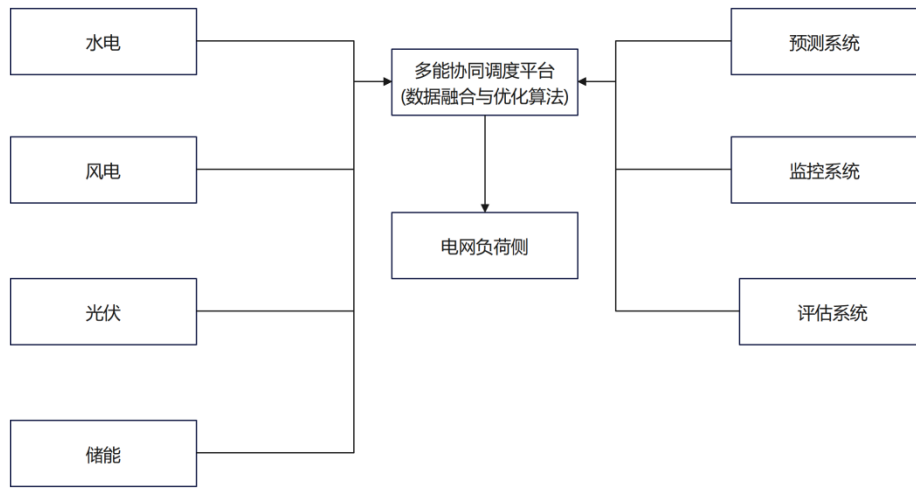


图2 多能协同调度系统运行架构

4.2 稳定支撑能力

随着风电与光伏等高比例接入，传统电力系统的惯性支撑能力逐步减弱，频率波动频发，系统稳定性受到严峻挑战。水电作为旋转惯量资源，其可控性和稳定性在系统扰动下具有天然优势，在维持电网电压、频率和潮流稳定中起到不可替代的支撑作用。在实际运行中，水电站可以在毫秒级时间内快速调整出力，应对新能源突然掉电或负荷突增情况，减少系统频率偏差的幅度和持续时间。为了提升水电支撑能力，需要在调度机制中引入灵活性资源分配模型，确保水电出力能覆盖系统关键时段的负荷波动。同步调相机与励磁控制技术的引入，进一步增强水电对电压稳定的控制能力。在极端运行场景下，通过调频辅助服务与惯量模拟响应技术，可以显著增强水电对系统扰动的抗干扰能力。在水电群集中调度的场景中，需建立“水火风光储”联动的多时间尺度控制模型，将一次调频、二次调频与AGC调节相结合，优化水电在不同时间尺度内的支撑角色分配。为提高频率稳定性，应加强水电参与电网二次与三级调频服务能力建设，提升水电在有功功率调节与频率调节中的综合效能，实现电力系统运行可靠性与灵活性的协同增强。

5 结论

本研究围绕水电技术管理创新在新型电力系统中的应用展开系统分析，从运行现状出发，提出自动控制、运维模式和管理机制的多维提升路径，构建多能协同与系统融合的运行策略。研究表明，水电在提升系统调节能力与运行效率方面具有显著优势，技术与管理的协同创新可有效增强系统稳定性。未来需继续推动水电与新能源的深度融合，提升智能化水平与系统适应能力。

参考文献

- [1] 陈云志. 水电站机组技术改造措施分析[J]. 电力设备管理, 2024, (23): 261-263.
- [2] 时志能, 余红, 万元, 等. 水电站机组增容增效提质技术改造分析与关键技术[J]. 水电站机电技术, 2024, 47(02): 22-24.
- [3] 马加顺, 周明露. 天生桥二级水电站400V厂用电接线优化研究[J]. 电气技术与经济, 2024, (01): 319-320+329.
- [4] 秦奎峰, 李秉哲. 水利工程技术创新及技术管理分析[C]// 河海大学, 山东省水利科学研究院, 山东水利学会. 2021(第九届)中国水利信息化技术论坛论文集. 济南黄河水务局供水局, 2021: 410-413.
- [5] 樊启祥, 陆佑楣, 张超然, 等. 金沙江溪洛渡水电站工程建设的技术和管理创新与实践[J]. 水力发电学报, 2020, 39(07): 21-33.