



储能参与下水库自动化调度系统运行控制方法

夏建华¹, 李黎明¹, 李 辉¹, 王 军¹, 侯小虎¹, 李 菁²

(¹中国长江电力股份有限公司溪洛渡水力发电厂, 云南 昭通 657300; ²三峡大学, 湖北 宜昌 443002)

摘 要: 传统水库自动化调度仅依托水力资源调节能力完成负荷适配、防洪供水调度, 其响应速度慢、调节精度有限, 难以适配新能源电力的随机波动特性。储能系统具备快速充放电、双向功率调节、工况切换灵活的技术优势, 可与水库水力调度形成互补, 弥补传统水电调度的动态调节短板。基于此, 本文剖析了储能参与下的水库自动化调度系统的协同运行机理, 构建了分层调度与数据感知通信一体化架构, 并对稳态、动态扰动场景下的运行控制策略展开分析, 旨在为水光储联合调度的理论研究与工程应用提供参考。

关键词: 储能系统; 水库调度; 自动化调度; 运行控制

doi: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2026.0860

中图分类号: TM 73

文献标识码: A

文章编号: 2095-4239 (2026) 10-4105-03

Operation control method for automatic reservoir dispatching system with energy-storage participation

XIA Jianhua¹, LI Liming¹, LI Hui¹, WANG Jun¹, HOU Xiaohu¹, LI Jing²

(¹Xiluodu Hydropower Plant, China Yangtze Power Co., Ltd., Zhaotong 657300, Yunnan, China; ²China Three Gorges University, Yichang 443002, Hubei, China)

Abstract: Traditional automated reservoir dispatching relies solely on the regulatory capacity of hydropower resources to realize load adaptation, flood control and water-supply scheduling. Suffering from slow response speed and limited regulation accuracy, it can hardly accommodate the stochastic fluctuation characteristics of new-energy power. Energy storage systems feature technical merits including rapid charge-discharge capability, bidirectional power regulation and flexible operating-condition switching. They can complement reservoir hydropower dispatching and remedy the dynamic regulation deficiencies of conventional hydropower scheduling. On this basis, this paper analyzes the synergistic operation mechanism of automated reservoir dispatching systems with energy-storage participation, establishes an integrated architecture of hierarchical dispatching and data perception-communication, and investigates operation control strategies under steady-state and dynamic-disturbance scenarios. It aims to provide references for theoretical research and engineering applications of joint hydro-photovoltaic-energy-storage dispatching.

Keywords: energy storage system; reservoir dispatching; automatic dispatching; operation control

收稿日期: 2026-10-08。

基金项目: 三峡金沙江川云水电开发有限公司永善溪洛渡电厂科研项目资助 (Z412321026)。

第一作者及通信联系人: 夏建华 (1977—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为自动化, E-mail: xiajianhua0928@163.com。

引用本文: 夏建华, 李黎明, 李辉, 等. 储能参与下水库自动化调度系统运行控制方法[J]. 储能科学与技术, 2026, 15(10): 4105-4107.

Citation: XIA Jianhua, LI Liming, LI Hui, et al. Operation control method for automatic reservoir dispatching system with energy-storage participation[J]. Energy Storage Science and Technology, 2026, 15(10): 4105-4107.

水电作为当前技术最成熟、经济性最优的灵活调节电源,在电网削峰填谷、频率支撑中发挥着关键作用。近年来,我国在已有常规水电的基础上,规划和建设了大量抽水蓄能电站,用以保障和提升新型电力系统的供电可靠性^[1]。然而传统水库调度长期以水量平衡为核心,受限于水轮机组启停耗时、爬坡速率约束以及上下游水位耦合关系,其动态响应速度与短时功率调节精度难以完全匹配新能源出力的分钟级甚至秒级波动。储能技术的快速发展为破解这一矛盾提供了新的技术路径,将储能系统纳入水库自动化调度体系,构建储能-水电联合调度运行模式,能够在保留水电长周期调节优势的同时,补足系统短时功率波动的响应能力,提升新能源消纳水平与电网运行稳定性。

1 储能参与水库自动化调度系统运行机理

传统的水库调度方式由于受到人力、物力和时间的限制,往往难以实时反映突发水情,水资源的利用效率不高^[2],调节过程存在显著滞后性。水电机组从接收指令到完成出力调整需要经历导叶调节、水流响应、机组稳流等过程,响应时间通常在秒级甚至分钟级,难以响应电网毫秒级的短时功率波动。储能系统的接入彻底弥补了传统水库调度的动态短板,储能系统无机械惯性与水文约束,可实现快速充放电切换,在电网功率盈余时吸收多余电能,在功率缺额时快速补能,平抑新能源短时波动与电网频率扰动。水库系统则依托水资源优势,承担基础负荷调节、日内大调峰、跨时段水资源优化调度任务,保障系统长期运行的经济性与合规性。二者协同运行时,储能优先承担高频、小幅、快速的功率调节任务,水库机组承担低频、大幅、持续的负荷调节任务,有效规避水电机组频繁启停、小幅调节带来的设备损耗与效率降低问题。

2 储能参与水库自动化调度系统架构设计

2.1 分层自动化调度架构设计

分层分级的智能化调度架构依托数字化、信息化技术实现多维度数据融合与精准管控,可为工业生产负荷稳定、高效节能运行提供有力支撑,在我

国各类工业智能化调度场景中的应用已较为广泛^[3],结合储能与水库联合调度的运行特性,本文将自动化调度系统分为调度决策层、协同控制层、现场执行层三个层级^[4],调度决策层为系统顶层核心,主要对接上级电网调度指令、水文预报数据以及新能源出力预测数据,以系统运行经济性、稳定性、水资源利用率最优为目标,完成日前调度计划、日内滚动调度方案的制定。协同控制层为系统中间衔接核心,该层级实时接收决策层基础调度方案与电网实时功率、频率波动信号,动态分配水库机组与储能系统的调节任务,区分大幅慢调节与小幅快调节场景,规避二者调节动作冲突。现场执行层包含水库水电机组、闸门控制系统、储能变流器、状态监测终端等现场设备,严格执行协同控制层下发的各类调节指令,完成机组出力调整、闸门开度调节、储能充放电切换等操作,并实时回传设备运行参数与工况状态。

2.2 数据感知与通信传输模块设计

本文设计全域数据感知体系,整合水文、电力、储能三类数据采集终端,实现多源数据的同步采集、统一接入^[5]。水文数据采集终端实时监测入库流量、出库流量、坝前水位等水文参数,采样周期设置为5分钟,保障水文调度数据的连续性。电力数据终端采集电网负荷、并网功率、电压频率、机组出力等电力参数,采样周期缩短至1秒,适配电力系统实时调节需求。储能数据终端重点采集储能SOC、充放电功率、设备温度、故障告警信号等参数,实现储能工况的全维度监测,采样周期为1秒,满足快速功率调节的数据支撑需求。通信传输模块采用光纤专网+无线冗余的双链路传输模式,主链路依托电力专用光纤网络传输核心调度指令与运行数据,保障传输低延迟、高可靠;备用链路采用5G无线通信,应对光纤故障、线路检修等异常场景,避免数据中断导致调度失效。同时系统嵌入远程在线巡检与状态告警联动功能,依托现场各类监测终端采集设备运行数据,实现对水电机组、闸门执行机构、储能变流器、通信链路的常态化在线巡检,及时识别设备老化、参数漂移、通信链路劣化等潜在隐患;针对巡检发现的异常指标,可向调度运维端推送预警信息,必要时联动现场执行层限制设备调节动作,将设备故障风险前置处置,减少因设备故障引发调度控制失效问题的发生。

3 储能参与水库自动化调度系统运行控制策略

3.1 稳态优化调度控制策略

稳态工况下, 电网负荷波动平缓、新能源出力稳定、水文条件无剧烈变化, 系统核心控制目标为优化水资源利用率、提升发电经济效益、降低设备运行损耗。稳态控制过程中, 调度系统首先根据当日水文预报、负荷预测数据, 确定水库机组最优基础出力曲线, 结合库容约束、下泄流量约束完成日内基础负荷分配, 保障水库长期运行合规性与经济性。在此基础上, 利用储能系统平抑日内小幅负荷波动, 将电网功率偏差控制在允许阈值内。负荷小幅上升时, 储能适度放电补充出力, 避免水库机组频繁增出力调节; 当电网负荷小幅下降、新能源出力盈余时, 储能吸收多余电能, 减少水库弃电量。稳态调度摒弃传统的固定时序调度模式, 采用滚动优化修正机制, 按照设定时间周期滚动更新, 结合实时水文、电力数据微调机组与储能出力, 在不改变整体调度计划的前提下, 提升稳态运行的精准度与经济性, 实现水资源与储能容量的最优配置。

3.2 动态扰动协同控制策略

新能源出力突变、电网负荷大幅波动、入库流量骤变等场景会引发系统动态扰动, 此时稳态调度策略难以适配工况变化, 需启动动态扰动协同控制策略, 当系统出现正向功率扰动 (新能源出力暴增、电网负荷骤降) 时, 储能系统立即启动充电工况, 快速吸收电网盈余功率, 抑制电网频率抬升、电压越限; 同时协同控制层根据扰动持续时间与幅值, 判断是否需要调整水库机组出力, 若扰动为短时瞬时波动, 仅依靠储能完成调节, 不改动水库运行状态; 若扰动持续时间较长、幅值较大, 储能调节容量耗尽, 系统逐步下调水库机组出力, 同步控制储能退出充电工况, 避免储能过充, 实现扰动平稳消纳。当系统出现负向功率扰动 (新能源出力骤降、电网负荷激增) 时, 储能瞬时放电补能, 快速弥补电网功率缺口, 抑制频率跌落; 短时扰动仅通过储能完成调节, 长期持续性扰动则逐步提升水库机组出力, 承接储能调节任务, 储能逐步退出放电工况, 恢复备用调节状态。该策略可有效规避水电

机组频繁大幅启停、工况切换引发的设备损耗, 同时解决传统水库调度响应滞后导致的电网波动问题, 有效提升系统动态抗扰能力。

4 结 论

本文梳理了储能-水库联合调度的内在机理, 介绍了三层调度架构以及数据感知通信实现方式, 并对稳态优化、动态扰动两类典型工况的控制逻辑进行了分析。现阶段, 两类系统时间尺度不一致、多源数据协同、工况平滑切换等问题仍制约联合调度的实际落地。现有控制策略大多侧重理想工况下的功率协调, 对复杂水文条件、设备异常等实际场景考虑仍有待完善。后续还需结合工程实际, 进一步完善多约束下的协同调度逻辑, 推动储能-水库联合调度方案走向实用化, 为高比例新能源消纳提供技术支撑。

参 考 文 献

- [1] 张帅, 汪子涵, 张蜀程, 等. 基于数据驱动分布鲁棒优化的梯级水光蓄联合优化调度[J]. 工程科学与技术, 2023, 55(2): 128-140. DOI: 10.15961/j.jsuese.202200921.
ZHANG S, WANG Z H, ZHANG S C, et al. Data-driven distributionally robust optimization based coordinated dispatching for cascaded hydro-PV-PSH combined system[J]. Advanced Engineering Sciences, 2023, 55(2): 128-140. DOI: 10.15961/j.jsuese.202200921.
- [2] 杨国昌. 信息技术驱动下的水利自动化调度系统研究[J]. 电子元件与信息技术, 2025, 9(6): 165-168.
YANG G C. Research on water conservancy automatic dispatching system driven by information technology[J]. Electronic Components and Information Technology, 2025, 9(6): 165-168.
- [3] 李政昌, 史超. 数字化转型对饲料企业生产效率的影响机制[J]. 饲料工业, 2026, 47(3): 167-171.
- [4] 单鹏珠, 阎应飞, 王雁, 等. 梯级水光蓄协调优化控制技术研究[J]. 西华大学学报(自然科学版), 2021, 40(1): 63-68.
SHAN P Z, YAN Y F, WANG Y, et al. Research on cascade hydro-PV-pump storage system coordinated optimization control technology[J]. Journal of Xihua University (Natural Science Edition), 2021, 40(1): 63-68.
- [5] 金维佳. 电网调度自动化中的监控智能化技术应用[J]. 集成电路应用, 2023, 40(9): 114-115.
JIN W J. Application of monitoring intelligence technology in power grid dispatching automation[J]. Application of IC, 2023, 40(9): 114-115.