

水库运行管理与调度存在的问题及优化策略

马 蕾

华电四川发电有限公司瓦屋山分公司 四川 成都 610041

摘 要：水库作为水资源调控、防洪减灾的核心基础设施，其运行管理与调度水平直接关系到水资源高效利用和流域安全稳定。本文通过调研典型水库调度运行模式，分析当前水库运行管理中存在的主要问题。在此基础上，构建多目标优化调度模型，优化动态汛限水位及生态调度融合方法，并从工程数字协同、预报调度耦合、数智系统升级、管理体制完善等方面提出集成优化策略。研究可为提升水库综合调度效能、实现水资源优化配置、保障防洪安全提供理论支撑和实践参考。

关键词：水库运行管理；水库调度；水资源优化配置；防洪安全

引言：随着气候变化加剧和社会经济快速发展，流域水资源供需矛盾日益突出，防洪安全、生态保护等多重需求对水库运行管理与调度提出了更高要求。水库作为水资源调配的关键枢纽，承担着防洪、供水、发电、生态保护等多重职能，其调度合理性直接影响流域水资源利用效率和生态环境质量。因此，系统调研水库调度运行现状，剖析存在的核心问题，探索科学可行的优化策略，对推动水库管理高质量发展、保障水资源安全具有重要的现实意义。

1 水库运行管理与调度的现状及主要问题

1.1 典型水库调度运行模式调研

当前我国水库调度运行紧跟数字孪生水利建设与现代化水库管理矩阵试点推进节奏，已逐步形成传统常规调度、多目标综合协同调度、数字孪生智能应急调度三类并行发展格局，依据流域水文禀赋、水库规模等级及数字化改造进度呈现差异化落地特征。常规调度模式仍是中小型水库主流选择，依托历史长系列水文整编数据编制固定调度方案，操作流程简易、管理门槛低，但未衔接当下水利大模型预报成果与实时数字化监测数据，动态适配性严重不足。综合调度模式主要应用于大型骨干水库及流域水库群，聚焦多效益协同均衡统筹水资源分配，契合水利高质量发展需求，但对数字底座完善度、专业技术运维能力要求较高，基层落地覆盖有限。数字孪生智能应急调度为近年行业主推新型模式，依托“天空地水工”一体化感知网络与四预体系开展洪水、干旱突发场景精准调度，但目前仅在重点流域试点水库常态化应用，偏远地区小型水库仍以传统人工经验调度为主，新旧模式迭代衔接缓慢，整体调度现代化推进不均衡^[1]。调研显示，多数水库尚未完成传统经验调度向数智化精准调度的有效转型，新设备、新模型、新技术应

用浮于表面，现代化调度体系效能未充分释放。

1.2 存在的主要问题

1.2.1 调度规则迭代滞后，未适配数智调度新场景

现阶段多数水库现行调度规则多年未动态修订更新，编制依据仍沿用历史水文序列数据与传统工程运维标准，未结合近年气候异变特征、下垫面条件改变、数字孪生调度新场景迭代优化，调度固化僵化问题突出。现有调度阈值、泄洪管控流程、供水分配优先级均为固定化经验设定，未衔接水利大模型滚动预报、实时工情监测等数智化新成果，面对极端强降雨、持续高温干旱等非常规水文事件，无法快速响应调整调度策略。部分试点水库虽已完成数字孪生平台搭建，但调度规则与数字化平台运行逻辑不匹配，模型模拟调度结果无法直接落地实操，存在“有数字平台、无新型规则”的脱节现象。同时水利、应急、环保等部门调度权责衔接未适配现代化矩阵管理新要求，数据协同调度机制缺失，进一步加剧调度规则与实际运维场景脱节，制约数智化调度综合效能发挥。

1.2.2 多目标量化耦合不足，生态与效益调度冲突加剧

新时期水库调度已纳入生态流量管控、绿色低碳发电、流域水生态复苏等新增刚性目标，防洪、供水、发电、生态多目标叠加耦合关系复杂，现阶段缺乏适配水利新发展格局的量化协同调度机制，多目标博弈冲突愈发凸显。防洪安全要求汛期提前腾库迎洪、预留充足防洪库容，供水发电效益提升需维持水库高水位蓄水保供，而生态调度需持续稳定下泄生态基流，三类核心目标汛期与枯水期矛盾尤为突出。以往调度仅侧重防洪与供水发电二维平衡，未将生态复苏、水环境保护等新管控要求纳入量化调度体系，权重分配不合理、协同约束

不清晰。加之现代化水库管理涉及多部门多主体协同管控,各方调度诉求差异较大,未建立统一的多目标协同量化研判机制,人工经验协调主观性强、科学性弱,难以实现安全、效益、生态多维目标共赢,不符合新阶段水利高质量发展调度要求。

1.2.3 汛限水位静态管控,脱离动态预报调度新机制

目前国内多数水库仍沿用传统静态汛限水位管控模式,未落实水利部动态汛限水位滚动调整最新工作要求,未对接水文精准预报与数字孪生模拟预演新机制,管控模式滞后行业发展新趋势。固定汛限水位全年汛期恒定不变,未结合实时气象预报、短期来水预判、土壤墒情变化动态优化调整,水资源利用与防洪安全难以双向兼顾。汛期前期降水偏少、来水偏枯时段,固定汛限水位造成预留库容长期闲置,无法依托预报信息科学拦蓄雨洪资源,水资源浪费问题突出;汛期后期强降雨集中时段,无法根据洪水预报提前下调水位预留库容,防洪调度被动应对风险攀升。该静态管控模式未适配极端水文事件多发新形势,也未衔接数字孪生调度预演、四预体系建设新要求,调度科学性、灵活性与现代化管控标准差距较大。

1.2.4 感知监测体系薄弱,水利大模型预报应用滞后

近年水利部大力推进“天空地水工”一体化智能监测与水利大模型预报体系建设,但大量中小型水库监测感知设施老旧、智能设备覆盖不足,数智化监测预报短板明显。监测层面,北斗遥感、无人机巡检、水下机器人探测等新型感知设备普及率低,雨量、水位、大坝形变等核心监测点位布设不全,老旧设备运维管护不到位,数据采集频次低、传输延迟高、缺失异常频发,无法支撑数字孪生平台实时仿真模拟。预报层面,多数水库仍沿用传统经验水文预报模型,水利大模型、产汇流自适应算法等新型预报技术落地不足,极端天气预报精度偏低,中长期来水预判可靠性不足。同时跨部门数据共享归集机制不完善,监测、预报、调度数据未接入省级数字孪生统一平台,数据孤岛未破除,预报与调度耦合联动不足,数智化调度决策缺乏精准数据与模型支撑。

2 水库优化调度模型构建与动态汛限水位优化

2.1 多目标优化调度模型(适配数字孪生底座)

针对现阶段水库多目标耦合冲突、数智调度适配性差等新问题,依托数字孪生水利工程底座,构建机理与数据双驱动多目标优化调度模型,实现防洪、供水、发电、生态多维目标协同平衡。模型紧扣现代化水库管理矩阵建设要求,以水库综合效益最大化、生态流量达标率、防洪安全保障率为核心多元目标,结合工程安全

红线、生态基流约束、水资源配额管控设定刚性约束条件。模型融合遗传算法智能优化计算与水利大模型预报数据,整合历史水文序列、实时天空地水工监测数据、年度用水配额数据开展动态模拟演算,精准输出不同水文年景下水库最优水位过程、泄水调度方案、供水分配计划^[2]。模型具备动态迭代更新功能,可同步衔接数字孪生平台预演复盘成果,根据气候异变、用水需求调整参数权重,兼顾传统调度实操性与新型数智调度精准性,破解多目标调度量化难、协同弱的核心难题。

2.2 基于水利大模型预报的动态汛限水位优化

紧扣水利部动态汛限水位管控改革新要求,摒弃传统静态管控模式,构建基于水利大模型洪水预报与数字孪生预演的动态汛限水位优化体系。依托测雨雷达、卫星遥感、地面监测多源数据融合成果,优化短期滚动洪水预报与中长期来水预判模型,精准研判汛期来水量级、洪峰时段与径流过程,为水位动态调整提供数据支撑。结合水库工程安全等级、下游防洪防护标准、数字孪生仿真模拟结果,划定汛限水位上下浮动调整安全区间,严控水位调整安全红线。实行汛期分阶段滚动调控,枯水预判时段适度抬升汛限水位增蓄水资源,洪水预警时段提前下调水位预留防洪库容,同步依托数字孪生平台开展调度预演复盘,量化水位调整风险,实现防洪安全与资源利用双向统筹,适配新时代水库精细化调度管控要求。

2.3 生态调度与多目标调度深度融合新方法

立足流域生态复苏水利工作新部署,将生态流量管控、水生栖息地保护、河道水质改善等生态新目标全面纳入水库优化调度核心体系,构建生态与效益协同融合调度方法。精准核定不同河段、不同季节生态基流管控指标,将生态下泄水量作为调度模型刚性约束,杜绝生态流量挤占问题^[3]。采用动态权重分配机制,汛期优先保障防洪与生态安全,枯水期统筹供水、发电与生态均衡,避免单一效益目标过度倾斜。依托数字孪生水生态模拟模块,实时模拟调度方案对下游河道生态环境影响,建立生态调度效果动态评估反馈机制,根据水生态监测数据持续优化调度参数,迭代完善生态与生产用水协同调度模式,实现水库经济效益、社会效益与生态效益同步提升。

3 水库运行管理与调度的优化策略集成

3.1 工程提质与数字孪生非工程措施协同发力

紧扣现代化水库运行管理矩阵建设试点要求,构建工程提质改造与数字孪生非工程管控协同联动优化体系。工程措施方面,实施水库大坝、泄洪闸站、输水设

施标准化提质升级, 补强工程安全运行短板, 配套完善智能监测站点、自动化泄洪控制设备, 提升工程自动化管控硬件基础。推进流域水库群联合调度工程配套建设, 统筹全域水资源统筹调配。非工程措施方面, 加快水库数字孪生站点提档升级, 完善天空地水工一体化智能感知网络, 健全调度管理制度与极端工况应急预案。建立水利、气象、环保、应急跨部门协同联动机制, 打通数据共享归集通道, 同步推进基层管理人员数智化运维培训, 夯实数字调度实操能力, 以工程硬设施与数字软管控双向协同, 筑牢水库安全高效运行根基。

3.2 水利大模型预报与智能调度深度耦合策略

建立水利大模型水文预报与水库智能调度一体化耦合机制, 破解传统预报调度脱节、调度决策滞后等行业共性新难题。整合卫星遥感、无人机巡检、地面测报多源监测数据, 接入省级数字孪生水利数据底座, 实现监测数据实时汇聚、动态更新。优化水利大模型产汇流算法与参数自适应率定技术, 提升极端降雨、干旱过程模拟精准度, 强化短期滚动预报与中长期趋势预判能力。搭建预报—调度一体化耦合模型, 将实时预报成果直接接入多目标调度模型, 实现调度方案自动生成、滚动优化、实时调整。建立预报误差动态修正校准机制, 量化预报偏差阈值, 及时校正调度参数, 彻底改变以往先预报、后调度的脱节模式, 以预报调度深度耦合提升调度决策科学性与时效性。

3.3 水库智能化数智调度决策支持系统升级构建

依托大数据、人工智能、物联网及数字孪生新技术, 升级构建现代化水库智能化调度决策支持系统, 契合水利新质生产力发展要求。系统整合工情监测、水文预报、用水需求、生态管控、工程参数全量数据, 搭建统一数字化数据中台, 实现数据实时采集、智能分析、动态归集。搭载多目标调度计算、洪水预演模拟、调度方案比选、风险智能预警核心功能模块, 自动生成差异化调度方案并开展综合效益评估, 为管理决策提供精准数智支撑。增设大坝安全、水位超限、设备故障智能预警推送功能, 实现风险隐患早发现、早处置。配套可视化远程运维管控界面, 实现水库运行状态全景可视、调

度操作远程可控, 全面提升水库调度管理智能化、精细化水平。

3.4 现代化管理体制与长效考核制度优化完善

适配新阶段水库数智化管理新要求, 优化升级现代化水库管理体制与长效考核制度, 保障各项优化调度举措落地见效。厘清水利主管部门、水库管理单位、运维服务机构及相关协同部门权责边界, 建立权责清晰、协同高效的矩阵式管理体系, 杜绝多头管理、权责交叉问题。深化水库“建管养营”链式改革, 鼓励专业技术团队参与数智化运维管理, 破解基层人才技术薄弱短板^[4]。完善适配数字孪生调度的新型管理制度, 修订调度运行、安全管护、生态保护专项管理细则, 实现数智调度工作有章可循。建立多维调度绩效考核机制, 将防洪安全保障、水资源利用效率、生态流量达标、数智系统应用成效纳入核心考核指标, 强化奖惩激励与常态化监督检查, 压实管理责任, 推动水库运行管理规范化、数智化、长效化高质量发展。

结束语

水库运行管理与调度优化是数字孪生水利建设及水安全保障的核心环节, 也是水利新质生产力发展的关键。本文结合近年数智化调度新进展, 梳理了调度规则滞后、多目标冲突、静态水位管控、数智监测薄弱等突出问题, 构建了数字孪生适配的多目标调度模型与动态汛限水位优化方法, 集成工程与数字协同、预报调度耦合、数智系统升级、管理体制完善等策略。未来需持续迭代数字孪生调度技术, 加快传统经验调度向数智化精准调度转型, 充分释放水库综合效益。

参考文献

- [1] 翟文博. 水库运行管理与调度存在的问题及优化策略[J]. 农业灾害研究, 2025, 15(5): 221-223.
- [2] 刘广亚. 水库运行管理与调度存在的问题及优化策略[J]. 消费导刊, 2025(46): 103-105.
- [3] 徐磊, 张正全. 谈水库运行管理及调度常见问题及对策[J]. 城镇建设, 2025(12): 208-210.
- [4] 方燕. 水库运行管理与调度的挑战及实践探索[J]. 百科论坛电子杂志, 2025(11): 157-159.