

水库群联合调度的最优运行策略研究

刘志立

乌鲁木齐市天山区建设局(交通局、水务局), 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 水资源供需矛盾与极端水文事件频发, 凸显水库群联合调度优化的紧迫性。本文立足水库群运行特性, 阐述系统性、公平高效等核心调度原则, 剖析水文工程特性、用水需求等关键影响因素, 构建多目标协同、智能赋能等核心策略, 提出技术、管理等实施保障体系。研究形成“原则—因素—策略—保障”的完整框架, 为破解单库调度局限、提升水资源利用效率与防洪安全提供支撑, 对流域水安全与可持续发展具有重要意义。

关键词: 水库群; 联合调度; 运行策略; 多目标优化; 保障体系

Research on the Optimal Operation Strategy of Reservoir Group Joint Scheduling

Liu Zhili

Construction Bureau (Transportation Bureau, Water Affairs Bureau), Tianshan District, Urumqi City, China Xinjiang Urumqi 830000

Abstract: The contradiction between water supply and demand and the frequent occurrence of extreme hydrological events highlight the urgency of optimizing the joint scheduling of reservoir groups. Based on the operational characteristics of reservoir groups, this paper expounds the core scheduling principles such as systematicness, fairness and efficiency, analyzes the key influencing factors such as hydrological and engineering characteristics and water demand, constructs core strategies such as multi-objective coordination and intelligent empowerment, and proposes an implementation guarantee system including technology and management. The research forms a complete framework of "principles - factors - strategies - guarantees", providing support for breaking the limitations of single-reservoir scheduling, improving water resource utilization efficiency and flood control safety, and is of great significance to the water security and sustainable development of the basin.

Keywords: Reservoir group; Joint scheduling; Operation strategy; Multi-objective optimization; Guarantee system

0 引言

水库群作为流域水资源调控的核心载体, 其运行效能直接关乎防洪减灾、供水保障与生态平衡。传统单库独立调度模式, 已难以适配跨区域用水需求与复杂水文情势, 常导致水资源浪费或供需失衡。如何通过科学调度实现水库群整体效益最大化, 成为水利管理领域的核心课题。基于此, 本文系统探究水库群联合调度的原则、影响因素与实施路径, 为调度优化提供理论与实践参考, 助力破解流域水资源管理难题。

1 水库群联合调度的核心原则

水库群联合调度的核心原则是支撑多目标协同实现、保障调度科学高效的根本遵循, 贯穿调度全流程。系统性原则首当其冲, 水库群作为有机整体, 各水库水文特征、功能定位相互关联, 需打破单库独立调度思维, 从流域全局统筹水量分配、洪水调控等工作, 通过上下游、干支流协同, 实现整体效益最大化。公平性与高效性兼顾原则是

调度的价值基石, 公平性体现为兼顾不同区域、不同用水主体的需求, 在跨区域供水调度中, 既要保障城市生活核心用水, 也要兼顾农业灌溉与生态补水权益; 高效性则强调以最少水资源消耗实现最大综合效益, 通过精准预测与动态调控提升水资源利用效率。生态优先原则是新时代调度的重要导向, 需预留生态流量, 避免因过度取水导致流域生态系统退化, 在枯水期优先保障河道基流, 维护水生态平衡。适应性原则适配复杂水文情势, 气候变化使极端水文事件频发, 调度原则需具备弹性, 能根据实时水文数据、气象预报及时调整策略, 确保在洪水、干旱等情景下仍能稳定发挥作用。这些原则相互衔接、互为支撑, 共同构建起科学调度的框架, 为水库群功能高效发挥提供保障。

2 影响联合调度的关键因素分析

2.1 水文与工程特性因素

水文与工程特性是决定联合调度模式与效果的基础性因素, 直接影响调度方案的可行性与科学性。流域降水时

空分布不均为核心变量,雨季集中降水易引发洪水,需依赖水库群协同实现错峰削峰;枯水期降水稀少则需统筹蓄水与补水策略,保障区域基本用水需求。径流的年际与年内变化规律、洪水演进速度及其传播路径等水文要素,均需纳入调度综合考量,例如上游水库的泄洪时机与下泄流量,将直接影响下游水库的防洪压力与调度响应。各水库的总库容、防洪库容与兴利库容等工程指标差异显著,决定了其在联合调度体系中的功能定位。以防洪为主的水库需在汛前预留充足调洪空间,而以供水为主的水库则需合理制定蓄水计划,优化水资源利用效率。此外,水库的地理分布、坝型结构、泄流能力及输水系统布局等工程特性,也直接制约调度指令的执行效果。例如,部分老旧水库泄洪能力有限,调度中需科学安排泄流过程,避免出现超标准运行情况,确保工程结构安全。水文条件与工程特性的复杂性和差异性,要求调度方案的制定必须因地制宜,充分结合流域具体特点,才能实现调度工作的系统性、适应性与安全性。

2.2 用水需求与利益协调因素

水库群联合调度的核心制约因素,直接关系调度策略的落地成效。用水需求呈现多主体、多元化特征,城乡居民生活用水需优先保障,具有刚性;农业灌溉用水受作物生长周期影响,呈现明显季节性波动;工业用水需稳定供给,关乎区域经济发展;生态基流则需满足流域生态系统健康的基本需求。这些不同需求在时空上常存在冲突,如枯水期农业灌溉与城市供水的矛盾尤为突出,需通过科学调度予以平衡。更复杂的是跨区域利益协调问题。水库群往往跨越不同行政区域,各区域在水资源分配、防洪责任承担等方面存在利益差异。上游水库为保障自身供水而蓄水,可能影响下游灌溉用水;下游水库泄洪调度又可能对上游造成压力。此外,水库管理单位、用水企业、公众等不同主体的利益诉求也各不相同:管理单位追求调度运行高效安全,企业关注供水保障与用水成本,公众则更重视用水安全与生态环境。若缺乏有效的利益协调机制,易出现“各自为战”的局面,严重制约联合调度整体效益的充分发挥,因此必须建立公平合理的利益分配与补偿机制。

3 水库群联合调度最优运行的核心策略构建

3.1 多目标协同调度策略

以平衡防洪、供水、生态等多重需求为核心,通过系统优化实现水库群综合效益最大化。采用“汛期错峰削峰、汛后蓄水兴利”模式,根据流域洪水预报,上游水库提前预泄腾库,下游水库合理调控泄洪时机,避免洪水叠加,同时在汛末抓住降雨时机足额蓄水,为枯水期兴利奠定基

础。针对生态与用水平衡,建立生态流量保障机制,结合流域生态需水规律,不仅在鱼类产卵期加大下泄流量,还会依据植被生长周期、水质净化需求动态调整,北方某流域水库群实施后,河道植被覆盖率提升,水体自净能力增强,鱼类种群数量明显增加。组织各区域开展用水权益协商,构建“总量控制、动态分配”体系,依据用水需求与水资源承载能力制定初始方案,结合实时水文数据灵活调整,通过水量置换、跨库输水实现优化配置。多目标优化模型需融合专家经验与数据规律确定权重,生成方案后经多轮模拟推演,确保在不同水文情景下均能稳定生效,真正实现防洪安全、供水稳定与生态健康的协同发展,避免单一目标导向导致的效益失衡。

3.2 智能技术赋能调度策略

通过整合现代信息技术,推动水库调度从传统经验驱动向智能数据驱动转变,有效提升调度的精准性与响应效率。构建覆盖全域的立体感知监测网络,在流域内加密布设雨量站、水位站、流量站等传感设备,并结合卫星遥感、无人机巡测等空天地一体化技术,实现降水、径流、工程运行状态等数据的实时采集与高效传输,为调度决策提供全面、及时的数据支撑。搭建集成化的大数据分析平台,汇聚历史水文资料、精细化气象预报、各部门用水需求等多源信息,通过数据清洗、融合与挖掘技术,深入分析水资源演变规律与用水趋势,实现对洪水和枯水过程的精准预测。进一步引入人工智能算法,构建智能调度决策模型,模拟不同来水与用水情景下的调度效果,自动生成兼顾安全与效益的优化调控方案。例如,在汛期快速计算水库群联合泄洪策略,实现错峰削峰;在枯水期动态调整区域供水配额,保障重点用水需求。数字孪生技术的应用则进一步推动调度过程可视化与模拟推演,通过构建与物理水库群高度一致的数字模型,在虚拟环境中预演调度方案的实施效果,识别潜在风险并优化操作路径,从而显著提升调度决策的科学性、可靠性与前瞻性。

3.3 极端情景应急联动策略

聚焦洪水、干旱等极端水文事件,着力构建“提前预判、快速响应、协同处置”的应急调度体系。洪水期重点实施梯级防洪联动,基于流域洪水演进规律,制定分级响应预案,根据洪水预警级别,科学安排上游水库优先泄洪腾库,中游水库精准承接调控,下游水库适时适量泄洪,形成梯级削减洪峰的协同合力。如南方某山区水库群,在台风暴雨来临时,通过梯级水库依次有序泄洪,成功将下游洪峰流量削减三成以上,有力保障了沿线城镇防洪安全。

枯水期则建立跨库应急补水机制,对水库群蓄水情况进行动态监测与评估,当某区域水库蓄水明显不足时,由蓄水相对充足的水库通过现有输水通道实施跨库补水,同时适度压缩非核心用水,优先保障城乡居民生活与基本生态用水需求。针对可能出现的极端干旱,提前制定跨流域调水联动预案,与周边流域水库群建立协同机制,通过既有的应急调水线路及时补充水源缺口。结合最新水文数据与工程运行情况及时修订完善预案,不断提升各参与方的协同处置能力与实战水平,确保在极端情景下调度指令能够高效执行,最大程度降低灾害损失风险。

4 水库群联合调度最优运行策略的实施保障

4.1 技术支撑保障

建设统一的流域数据共享平台,整合接入各水库、各地区的水文监测、气象预报、工程运行及用水需求等多源数据,实现关键信息的实时共享与同步更新。平台应嵌入数据加密传输、分级权限管控等安全技术,在促进数据融合的同时保障信息安全与规范使用。同时,需持续加强调度模型的动态校准与优化,结合流域下垫面变化、水文情势演变、工程设施改造等实际情况,定期率定和更新模型参数,并可引入机器学习等智能算法,使模型具备自学习、自适应能力,不断提升径流预测与调度方案生成的准确性。此外,应着力完善硬件设施保障,对水雨情监测站网、闸门自动控制系统等关键设施进行升级改造,确保调度指令能够精准、快速执行。针对自动化水平偏低的老旧水库,应实施针对性的技术改造,提升信息采集、传输和控制的智能化水平。还应建立专职的技术保障团队,负责系统维护、模型优化与故障排查,及时解决调度过程中出现的技术难题,为调度策略的顺利实施提供全天候、专业化技术支持,最终实现技术体系与调度实践需求的动态匹配和持续提升。

4.2 管理机制保障

建立高效的跨区域、跨部门协调机制,可考虑成立由流域内各地方政府、水利部门及水库管理单位共同参与的联合调度管理机构,定期召开协调会议,协商解决调度过程中出现的利益冲突与重大争议,明确各方职责与分工,从源头上避免推诿扯皮现象。同时,构建公平合理的利益分配与补偿机制至关重要,例如对因承担防洪任务而导致蓄水减少的水库,应由直接受益地区给予相应的经济补偿;对跨库调水所产生的额外成本,也需建立由受水区域按实际受益情况合理分摊的机制,以此调动各方参与联合调度的积极性。持续完善调度管理的制度规范,制定涵

盖联合调度操作规程、应急处置流程等在内的规范性文件,明确调度指令的规范下达、严格执行与信息反馈程序,确保各项工作有章可循、有据可依。此外,应建立严格的考核问责机制,将调度任务的完成质量、综合效益的发挥水平等纳入各参与方的年度绩效考核体系,对执行不力、违规操作甚至失职渎职的行为予以严肃追责,切实强化各方的主体责任与担当意识,保障联合调度体系有效、稳定运行。

4.3 监测评估与改进保障

构建科学的调度效能评估指标体系,涵盖防洪减灾效益、水资源利用效率、生态环境质量改善、供水保障率及工程运行安全等多重维度,通过多指标综合量化评估,避免片面依赖单一指标,全面反映调度策略的综合成效。建立常态化监测评估机制,实时监控调度方案执行情况,定期采集水文、工程、用水等各类数据,对照评估指标进行系统分析,精准识别调度过程中存在的薄弱环节,如水量分配不均、响应时效滞后、生态流量未达标等问题。建立策略动态迭代优化机制,及时调整调度参数、完善方案内容。例如,根据区域用水结构变化优化水量分配比例,结合水文情势演变规律细化应急调度触发条件与流程,提升调度的针对性与适应性。同时,重视经验总结与成果固化,将经过检验的有效做法和典型经验及时提炼为标准规范或技术指南,推广应用于同类水库或区域水库群联合调度实践中,实现“一点创新、多方共享”。通过构建“监测—评估—改进—推广”的闭环管理流程,形成调度策略持续完善、滚动优化的良性循环,不断提升水库调度管理的精细化水平和整体协同效能,为水安全、水资源与水生态的长期协调提供可靠支撑。

5 结语

水库群联合调度最优运行是兼顾效益与安全的系统工程,需以科学原则为引领,精准应对各类影响因素。本文提出的多目标协同、智能赋能等策略,与技术、管理等保障体系形成互补,为调度优化提供可行路径。未来,需进一步推动技术与管理深度融合,结合流域发展动态优化策略。持续深化研究与实践,将助力水库群充分发挥综合效能,为流域水资源安全、生态保护与经济发展提供坚实保障。

参考文献:

- [1] 李文武,周佳妮,裴本林等.梯级水库深度强化学习长期随机优化调度研究[J].水力发电学报,2023,42(11):21-32.

[2] 冯仲恺, 牛文静, 廖胜利等. 水电系统中长期发电调度多核并行逐步优化方法[J]. 电力自动化设备, 2016,36(11):75-81.

[3] 马黎, 冶运涛. 梯级水库群联合优化调度算法研究综述[J]. 人民黄河, 2015,37(09):126-132+139.

[4] 杨洪平. 水库群优化调度系统分析方法研究综述[J]. 吉林水利, 2009,(08):49-52.

[5] 代琼, 王吉伟, 杨广等. 群库优化调度研究综述[J]. 水科学与工程技术, 2008,(02):13-16.

作者简介: 刘志立(1979.10-), 男, 汉族, 山西洪洞, 本科, 水利高级工程师, 研究方向: 聚焦水库运行管理核心领域、技术深度及创新应用, 比如: 水库优化调度与风险防控、水库生态调度与水资源高效利用、水库工程安全监测与智慧运维等。