

水库调度运行优化与安全管理策略

刘志立

乌鲁木齐市天山区建设局（交通局、水务局）

DOI:10.32629/hwr.v10i1.6787

[摘要] 极端水文事件频发与水资源供需矛盾加剧,对水库运行管理提出更高要求,调度优化与安全管理成为保障水库功能的核心命题。本文剖析调度运行核心内涵与安全管理的内在关联,重点探讨水资源高效利用、数字技术赋能、极端事件应对三类调度优化策略,以及工程管控、风险防控、制度人才保障等安全路径。为水库实现“高效运行—安全可控”目标提供系统方案,对提升水资源利用效率、保障流域防洪供水安全、推动水利工程高质量发展具有重要意义。

[关键词] 水库调度; 运行优化; 安全管理; 水资源利用; 风险防控

中图分类号: TU714 文献标识码: A

Optimization and Safety Management Strategy of Reservoir Dispatching Operation

Zhili Liu

Tianshan District Construction Bureau (Transportation Bureau, Water Bureau) of Urumqi City

[Abstract] The increasing frequency of extreme hydrological events and intensifying water supply-demand conflicts have raised operational requirements for reservoir management, making dispatch optimization and safety management critical to ensuring reservoir functionality. This paper analyzes the intrinsic connection between dispatch operations and safety management, focusing on three key strategies: efficient water resource utilization, digital technology empowerment, and extreme event response. It also explores safety pathways including engineering control, risk prevention, and institutional talent development. The study provides a systematic solution to achieve the goal of "efficient operation—safe and controllable" for reservoirs, which is crucial for improving water resource efficiency, ensuring flood control and water supply security in river basins, and promoting high-quality development of water conservancy projects.

[Key words] Reservoir operation; Operation optimization; safety management; Water resources utilization; Risk prevention and control

引言

水库作为水利工程体系的关键节点,承担着防洪减灾、水资源调配、生态保护等多重使命,其运行状态直接关系流域民生与经济发展。当前,气候变化引发的水文情势波动,叠加城镇化进程中的用水需求增长,使水库运行面临调度精度不足、安全隐患凸显等挑战。如何通过科学策略实现调度优化与安全管理的协同推进,成为水利领域亟待破解的现实问题。基于此,本文系统梳理相关策略,为水库管理升级提供理论与实践支撑。

1 水库调度运行的核心内涵

依托工程设施与水文数据,对水库水量进行科学调控与分配的动态管理过程,核心目标是实现水资源综合效益最大化。这一过程并非简单的水量存储与排放,而是涵盖多维度需求的系统工程,需统筹防洪、供水、灌溉、发电、生态保护等多重任务,平衡各方利益诉求。从内涵来看,调度运行以水文监测数据为基

础,通过分析流域降水、径流、水质等信息,结合气象预报成果,制定符合实际的调控方案。同时,它遵循系统性、适应性与可持续性原则,既要保障汛期防洪安全,避免洪水漫坝风险,又要在枯水期合理调配水量,满足生产生活与生态补水需求。随着技术发展,现代水库调度已突破传统经验模式,融入数字化手段,实现从被动应对到主动调控的转变^[1]。比如南方某流域水库,通过实时监测流域降雨情况与下游用水需求,动态调整出库流量,既保障了汛期防洪安全,又满足了沿岸农田灌溉与城市供水需求。通过实时监测与动态调整,调度的精准度与灵活性显著提升,确保水库在复杂工况下仍能稳定运行,充分发挥水利工程在保障民生、支撑经济、维护生态中的基础性作用,为流域高质量发展提供可靠水资源保障,推动水资源开发利用与生态保护协同发展。

2 调度优化与安全管理的内在关联

调度优化与安全管理是水库运行的两大核心支柱,二者相互依存、辩证统一,共同支撑水库功能的高效发挥。调度优化是安全管理的重要手段,科学的调度方案能从源头规避安全风险,通过合理调控水位,避免大坝长期处于高水位承压状态,减少工程结构损耗,同时在洪水来临前提前预泄腾库,为防洪预留足够库容,降低漫坝风险。中部某大型水库曾在汛期来临前,依据气象预报提前降低水位,成功承接上游洪峰,避免了险情发生。反之,安全管理是调度优化的前提与保障,只有确保工程结构安全、监测系统可靠,调度优化方案才能具备实施基础。若大坝存在结构隐患或监测数据失真,盲目追求效益的调度行为可能引发严重安全事故,如坝体渗漏、溃坝等。安全管理的完善程度,直接决定了调度优化的空间与成效,而调度的科学性又能反向减轻安全管理压力。此外,二者在目标上高度契合,均以实现水库可持续运行为导向,调度优化需以安全为边界,安全管理需为调度优化提供支撑。通过二者协同联动,既能避免因过度追求安全导致水资源浪费,又能防止片面优化效益忽视安全底线,形成安全护航优化、优化提升效益的良性循环,保障水库长期稳定运行^[2]。

3 水库调度运行优化的核心策略

3.1 基于水资源高效利用的调度模式优化

构建供需匹配、精准分配的调控体系,通过优化水量配置提升资源利用效率。首先以流域水资源普查为基础,结合实时水文监测数据,动态更新各区域用水需求,区分生活、生产、生态用水的优先级,建立精细化用水台账与动态调整机制,为水量分配提供科学依据。结合农作物生长周期与需水规律,推行定额灌溉加按需调度模式,通过墒情监测数据确定灌溉时段与水量,避免水资源浪费。北方某灌区水库引入土壤墒情监测系统,根据不同作物需水临界值精准供水,灌溉水利用系数提升近两成。节余水量可纳入区域水资源调配池,为跨区域调度提供补充。针对跨区域供水场景,构建协同调度机制,打破行政区域壁垒,建立水量置换与补偿机制,实现水资源在更大范围内的优化配置。同时,强化水质与水量协同管理,在调度过程中兼顾水质保护,避免因水体滞留导致水质恶化,通过生态流量下泄维持流域水生态平衡。建立调度效果评估反馈体系,定期分析用水数据与效益情况,持续优化调度方案^[3]。这种优化模式既保障了城乡居民生活等核心用水需求,又通过科学分配减少水资源损耗,实现经济效益与生态效益的统一,助力节水型社会建设,推动水资源可持续利用。

3.2 依托数字技术的智能调度体系建设

依托数字技术的智能调度体系建设,是推动水库调度从经验驱动向数据驱动转变的关键路径,核心是构建监测、分析、决策、执行的全流程数字化闭环。搭建全域水文水资源监测网络,在流域内布设雨量站、水位站、流量站等监测设备,结合卫星遥感与无人机巡查技术,实现降水、径流、坝体状态等数据的实时采集与传输,为调度提供全面且精准的数据支撑。构建大数据分析平台,整合历史水文数据、气象预报信息、用水需求数据等,

通过数据清洗与融合技术,挖掘水资源变化规律与用水趋势。东部某水库大数据平台整合了近三十年水文数据,能精准预测未来一周流域水量变化。平台同步嵌入数据加密与权限管控技术,保障调度信息安全。在此基础上,引入人工智能算法构建调度决策模型,通过模拟不同水文情景下的调度效果,自动生成最优调度方案,如在汛期自动计算预泄流量,在枯水期动态调整供水配额。同时,将决策模型与水库闸门控制系统联动,实现调度指令的自动执行与实时反馈,大幅提升调度响应速度与精准度。这种智能体系让水库运行更具预见性与可控性,有效提升了水资源利用效率与调度科学性。

3.3 应对极端水文事件的调度预案优化

构建提前预判、快速响应、灵活调控的应急调度体系,提升水库应对洪水、枯水等极端情景的能力。以错峰削峰、安全泄洪为目标,结合流域洪水演进规律,制定分级响应预案,根据洪水预警级别自动启动相应调控措施,如提前预泄腾库、分级抬高泄洪流量,避免洪水叠加导致水位骤升。南方某山区水库在遭遇台风暴雨时,依据分级预案提前四天预泄腾库,成功削减洪峰流量,保障了下游城镇安全。同时,加强与上游水库及下游防洪工程的协同,建立信息共享与联合调度机制,形成流域防洪合力。依托水文气象监测预警系统,精准捕捉枯水期干旱征兆,以保核心、控非核心为原则,提前储备应急水源,对用水需求进行分级管控,优先保障城乡居民生活用水,对农业、工业等非核心用水实施动态调控。此外,针对极端干旱情景,制定跨流域调水联动预案,通过与周边水利工程协同,补充水源缺口。预案还需定期结合水文新数据与工程新情况修订完善,并开展实战化演练,提升应急调度的实战能力。西部某干旱地区水库每年开展枯水期应急调度演练,有效提升了应对极端干旱的能力,保障极端条件下水库安全与供水稳定。

4 水库安全管理的保障体系与实施策略

4.1 工程结构安全的常态化管控

建立覆盖监测、排查、修复、加固等环节的全生命周期管理机制,并聚焦于大坝、溢洪道、输水洞等关键设施的安全状态。布设自动化监测设备,对大坝沉降、位移、渗压、渗漏量等核心指标进行全天候实时采集与分析,同时结合人工定期现场巡查,形成“自动化监测+人工巡检”的双重保障体系,确保结构隐患早发现、早预警。例如,中部某老旧水库通过布设光纤传感监测系统,成功识别出坝体初期微小裂缝,为后续主动处置争取了宝贵时间。遵循“横向到边、纵向到底”原则,对工程结构、设备运行及安全附属设施等进行系统排查,重点筛查老旧工程中出现的裂缝、渗漏、混凝土碳化与钢筋锈蚀等典型问题,并同步建立隐患台账,逐项明确整改时限、责任人员与验收标准,实现闭环管理^[4]。针对发现的病害或缺陷,及时运用先进工程技术进行修复加固,如对坝体裂缝实施精准灌浆,对老化闸门与启闭系统进行更新改造,有效提升工程整体承载能力和耐久性。严格执行定期维护计划,对金属结构、机电设备、监测仪器等开展预防性保养与周期校准,建立健全设备维护档案,详细记录每次维护的

内容、时间、人员及结果,实现设备状态可追溯、管理责任可落实。通过这些常态化管控措施,确保设施始终处于良好运行状态,为水库安全筑牢工程防线,有效延长工程使用寿命。

4.2 运行安全的风险防控机制

通过风险识别、评估、防控、应急的全流程闭环管理,系统性降低安全事故发生概率。结合水库实际工况,系统梳理工程结构、水文环境、操作管理等方面的潜在风险,如大坝失稳、水位失控、设备故障等,形成详细的风险清单,确保无死角、无遗漏。从风险发生概率、危害程度、影响范围等多维度对各类风险进行量化评估,精准确定风险等级,为后续资源投入和措施制定提供决策依据,明确防控的优先次序与重点。针对高等级风险,必须制定并落实专项防控措施。例如,对水位调控风险实施精细化阈值管控,设定多级警戒水位与极限水位,一旦超标自动触发预警并限制相关调度操作;对设备运行风险则着力于推行计划性定期检测与预防性维护策略,建立完整的设备健康档案,变被动维修为主动干预,有效减少故障发生率。某水库正是通过预防性维护及时发现了闸门启闭机的重大隐患,成功避免了调度中断事故。制定针对性强、可操作的专项应急预案,明确不同场景下的应急响应流程、现场指挥权责、部门协同分工与具体救援措施。配备充足、可靠的应急物资并建立动态更新机制,如储备沙袋、抽水设备、应急通讯器材等。通过常态化的跨部门联合应急演练,不断检验预案有效性,锻炼队伍的实战能力,从而全面提升风险处置的快速响应与协同作战水平,确保在突发情况下能迅速、有序、高效地启动应对,最大限度保障工程安全与减轻损失。

4.3 安全管理的制度与人才保障

安全管理的制度与人才保障是水库安全运行的软件支撑,通过完善制度体系与培育专业队伍,确保安全管理措施落地见效。构建全流程、全覆盖的制度体系,明确调度运行、设备维护、安全监测等各环节的操作规范与责任清单,推行一岗一责制度,将安全责任层层分解落实到具体岗位与个人。建立严格的考核与问责机制,将安全管理成效与绩效评价、评优评先直接挂钩,对违规操作、失职渎职等行为严肃追责,强化工作人员的安全意识与责任担当。某水库管理单位通过制度约束,有效减少了违规操作现象,提升了管理规范化水平。培育兼具专业素养与实践能

力的复合型队伍,通过定期开展技术培训、技能竞赛等活动,提升工作人员对水文监测、调度系统操作、应急处置等核心技能的掌握水平,夯实安全管理基础。同时,建立人才引进与激励机制,吸纳水利工程、信息技术、安全管理等领域的专业人才,优化队伍知识结构,给予优秀人才晋升与待遇倾斜,激发队伍活力^[5]。此外,搭建技术交流平台,组织与同行单位的经验分享与技术研讨,学习先进管理理念与技术方法,推动管理创新,提升队伍整体专业能力,为水库安全管理提供坚实的人才与制度保障,确保工程长效安全运行。

5 结语

水库调度运行优化与安全管理是相互支撑的系统工程,关乎水资源可持续利用与流域安全稳定。通过精准匹配用水需求、依托数字技术赋能、强化极端事件应对,可实现调度效能提升;而筑牢工程防线、完善风险防控、强化制度人才保障,是安全运行的根本支撑。进一步推动技术与管理融合,动态优化策略以适应水文情势变化。未来,持续深化相关研究与实践,将助力水库充分发挥综合效益,为水利现代化与流域高质量发展提供坚实保障。

【参考文献】

- [1]谢敏,程东,刘田玉,等.现代化水库运行管理矩阵防洪“四预”措施建设[J/OL].人民黄河,1-6[2025-11-14].
- [2]彭杨,崔永红,于显亮,等.考虑库容影响的水库发电优化调度研究[J].水力发电学报,2025,44(09):15-26.
- [3]刘六宴,张士辰.中国水库大坝运行管理实践成效与发展思考[J].中国水利,2025,(16):31-38.
- [4]郑鑫源,王逸辰,陈驰.永定河流域水库资源一体化保护与利用研究[J].水利发展研究,2023,23(05):57-61.
- [5]陈秀秀,叶盛,冉启华.黄河万家寨水库的多维协同水沙调控[J].泥沙研究,2023,48(02):44-50.

作者简介:

刘志立(1979--),男,汉族,山西洪洞人,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。