

水库汛期安全运行风险防控与优化调度技术研究

吴镛

吉林省四平市梨树县水利局

DOI:10.32629/hwr.v10i8.7089

[摘要] 水库作为流域防洪减灾、水资源调控的核心水利枢纽,汛期安全运行直接关系到流域人民生命财产安全、工农业生产稳定及生态环境安全。我国汛期暴雨集中、洪水突发性强、极端水文事件频发,加之部分水库工程老化、调度体系不完善、监测预警智能化程度不足,导致水库汛期运行风险隐患突出。为提升水库汛期安全管控能力。本文系统梳理水库汛期运行的主要风险类型与成因,从工程结构安全、水文调度、监测预警、运维管理四个维度剖析当前运行存在的突出问题,结合现代水利智能化技术,提出涵盖风险识别、动态调度、智能监测、应急处置的全链条安全运行管控体系,总结优化调度关键技术与实施路径,并对水库汛期智慧化安全运行发展趋势进行展望。研究成果可为中小型及大型水库汛期安全运维、防洪调度方案优化、风险防控体系建设提供理论参考与技术支持。

[关键词] 水库汛期安全; 优化调度; 监测预警

中图分类号: TV697.1+3 文献标识码: A

Research on Risk Prevention and Optimization Scheduling Technology for Safe Operation of Reservoirs during the Flood Season

Di Wu

Water Resources Bureau of Lishu County, Siping City, Jilin Province

[Abstract] As a core hydraulic hub for flood control, disaster mitigation, and water resource regulation in river basins, the safe operation of reservoirs during the flood season directly affects the safety of people's lives and property, stability of industrial and agricultural production, and ecological security. In China, heavy rainfall is concentrated during the flood season, floods occur suddenly, and extreme hydrological events are frequent. Coupled with aging infrastructure at some reservoirs, incomplete dispatching systems, and insufficient intelligent monitoring and early warning capabilities, these factors have led to prominent operational risks during the flood season. To enhance reservoir safety management during floods, this paper systematically identifies the main types and causes of operational risks, analyzes current challenges from four dimensions—structural safety, hydrological dispatching, monitoring and early warning, and operation and maintenance—and proposes an integrated safety management system covering risk identification, dynamic dispatching, intelligent monitoring, and emergency response, leveraging modern intelligent water management technologies. The study summarizes key optimization techniques and implementation pathways for dispatching, and outlines future trends toward intelligent, safe reservoir operations during the flood season. The research findings provide theoretical guidance and technical support for improving flood-season operation and maintenance of both small- and large-scale reservoirs, optimizing flood control dispatching plans, and building risk prevention and control systems.

[Key words] safety during the flood season of reservoir; optimized operation scheduling; monitoring and early warning

我国水系发达、水库数量众多,现有各类水库超9.8万座,是全球水库数量最多的国家,绝大多数水库承担着防洪、灌溉、供水、发电、生态补水等综合功能,其中防洪是水库汛期的核心首要功能。汛期是水库运行的高风险时段,短时强降雨、连续阴

雨、山洪暴发等极端水文气象现象,极易引发水库水位骤涨、坝体渗漏、溢洪道泄洪压力超限、库区边坡失稳等安全隐患,轻则造成水库调度紊乱、水资源浪费,重则引发坝体溃决、洪水漫溢等重大灾害,造成流域性洪涝损失^[1]。

近年来,全球气候变暖加剧,区域极端暴雨、超强洪水等非正规水文事件频发,流域洪水时空分布特征发生显著变化,传统固定汛限水位、经验化调度模式已难以适配复杂多变的汛期水文情势。同时,我国大量建成于20世纪的水库工程已进入老化服役阶段,坝体、溢洪道、输水建筑物等设施存在不同程度的破损、老化、渗漏问题,叠加部分地区运维管理体系不完善、监测设备老旧、预警响应滞后、梯级调度协同不足等问题,进一步加剧了水库汛期运行安全风险^[2]。

在此背景下,开展水库汛期安全运行风险防控与优化调度技术研究,精准识别汛期运行风险隐患,构建科学化、智能化、标准化的运行管控体系,优化水库防洪调度策略,对防范化解水库汛期运行风险、提升流域防洪减灾能力、保障水利工程安全稳定运行具有重要的现实意义与工程应用价值。

1 水库汛期运行核心风险类型及成因分析

水库汛期运行风险具有突发性、复合型、连锁性特征,风险诱因涵盖自然水文变化、工程结构缺陷、人为运维管理、调度技术短板等多个维度,结合水库运行实际工况,可将核心风险分为水文调度风险、工程结构风险、监测预警风险、管理应急风险四大类。

水文调度风险是水库汛期最主要的风险类型,源于汛期洪水的随机性、突发性与不确定性,多重隐患叠加极易引发调度失控险情。首先是极端洪水超标风险,极端暴雨引发的入库洪峰流量、洪水总量超出水库设计防洪标准,会直接导致水库调洪库容不足、泄洪设施超负荷运行,出现水位超警戒、超保证水位的高危险情。其次是汛限水位管控风险,传统固定汛限水位调度模式灵活性严重不足,汛期前期预留过多防洪库容会造成水资源大量浪费,而汛期后期突发强降雨时,剩余库容不足无法有效拦蓄洪水,同时部分水库存在违规抬升汛限水位、擅自蓄水的不规范操作,大幅放大防洪安全隐患。再者是梯级调度协同风险,多数流域梯级水库群缺乏统一联动调度机制,上下游、干支流水库调度节奏脱节,极易出现洪峰叠加、错峰调度失效的情况,持续加剧下游流域防洪压力。最后是洪水预报偏差风险,传统水文预报模型对短时暴雨、局地山洪的适配性较差,预报误差大、有效预见期较短,直接导致水库调度决策滞后、泄洪时机把控失误,引发系列安全问题。

工程结构稳定是水库汛期安全运行的核心基础,水库长期服役老化问题与汛期高水位、大流量的复杂工况相互叠加,极易诱发各类结构性病害,威胁工程整体安全。坝体作为核心挡水结构,在汛期高水位持续浸泡、上下游巨大水位差作用下,坝体内部渗透压力、底部扬压力极易超标,频繁引发坝体渗漏、管涌、流土等渗透破坏问题,老旧土石坝还普遍存在坝坡滑坡、坝体开裂等多发性病害。泄洪设施是汛期排洪避险的关键载体,溢洪道、泄洪洞长期闲置后集中高负荷启用,易出现闸门卡阻、衬砌破损、水流冲刷淘蚀等设备故障和结构损伤,同时库区漂浮杂物、泥沙淤积会堵塞泄洪通道,直接降低泄洪能力,引发洪水漫坝重大风险。输水涵管、启闭设备、安全监测等附属设施,受自

然老化、日常运维不足影响,汛期高负荷运行时易出现设备失灵、管道渗漏等问题,直接干扰水库正常调度流程。此外,汛期持续降雨会使库区两岸边坡土体饱和软化,稳定性大幅下降,频发滑坡、坍塌地质灾害,不仅会淤积压缩库区库容,还会堵塞泄洪通道,形成连锁安全隐患。

运维管理不规范、应急处置能力薄弱是水库汛期安全事故发生的重要人为诱因,贯穿水库汛期运行全流程。制度落实方面,部分水库汛期常态化巡检、设备养护、隐患排查等管理制度流于形式,对隐蔽性、潜在性风险排查不彻底,隐患整改无法形成闭环管理,小风险逐步演变为大隐患。人员能力方面,基层水库运维人员专业配置不足,普遍缺乏汛期调度操作、风险精准研判、突发险情处置的专业技能,面对极端工况和突发问题时,处置流程不规范、响应不及时,极易扩大险情影响。预案体系方面,多数水库应急预案通用性较强、针对性不足,未结合本流域洪水特征、水库工程结构特性细化分级处置流程,且常态化应急演练频次不足、实战性差,无法有效检验预案可行性和队伍实操能力。应急保障方面,基层防汛物资储备不足、抢险设备老化陈旧、专业抢险队伍力量薄弱,在遭遇重大突发险情时,无法快速开展高效抢险处置,大幅提升灾害损失风险。

2 水库汛期安全运行风险的防控与优化调度技术

针对当前水库汛期运行存在的风险隐患与突出问题,结合现代水利智能化、精细化发展趋势,本文从工程运维、调度优化、智能监测、管理应急四个核心维度,构建全流程、全链条的汛期安全运行管控体系,全面补齐水库防汛安全短板,提升流域防洪安全保障能力。

工程结构安全是汛期安全运行的根本保障,需建立“日常养护+汛期专项排查+隐患闭环整改”的常态化运维机制,全方位筑牢工程安全根基。每年汛期来临前,需对坝体、溢洪道、泄洪洞、输水设施、启闭设备、边坡防护等关键部位开展全方位、无死角隐患排查,重点核查坝体渗漏、沉降变形、结构破损、设备失灵等核心隐患,建立详细隐患台账,明确整改责任人和整改时限,确保所有隐患限期闭环整改。汛期降雨、高水位等高危工况下,进一步加密巡检频次,重点监测坝体渗压、渗漏量、坝坡稳定性、泄洪通道通畅性,及时清理库区漂浮杂物、疏通泄洪通道,杜绝堵塞险情。同时落实常态化设备养护工作,定期对闸门、启闭设备、监测仪器、电气设备进行检修保养,及时更换老化破损部件,针对性修复坝体裂缝、渗漏、边坡塌陷等工程病害。针对老旧病险水库,结合专业工程检测评估结果,系统性实施坝体加固、防渗处理、泄洪设施改造等除险加固工程,全面提升水库工程防洪承载能力。

为破解传统调度模式弊端,需突破固定汛限水位的局限,构建基于水文精准预报的动态调度、梯级联合调度体系,统筹兼顾防洪安全与水资源高效利用。在单一水库调度层面,推行汛限水位动态控制技术,结合流域气象预报、洪水预见期、水文情势演变规律,在严格保障防洪安全的前提下,建立动态调控模型,根据实时降雨、入库来水情况灵活调整运行水位,汛期枯水阶段适

度抬高水位蓄水、提升水资源利用率,暴雨洪水来临前提前预泄腾库、保障防洪安全。在流域调度层面,构建梯级水库联合优化调度模型,统筹上下游、干支流水库防洪任务,依托SA-POA混合优化算法、非支配排序遗传算法等智能算法,优化各水库调洪、错峰、蓄泄节奏,充分发挥水库群库容补偿、错峰削峰的协同作用,降低流域整体防洪风险。同时完善分级调度决策机制,针对常规洪水、超标洪水、极端洪水制定差异化调度流程,明确不同工况下的泄洪流量、水位管控阈值、调度权限,实现调度决策标准化、规范化。此外,融合气象卫星、雨量站、水文站多源监测数据,优化短期、临近洪水预报模型,有效延长洪水预见期、降低预报误差,为动态精准调度提供可靠数据支撑。

依托物联网、大数据、人工智能等现代信息技术,搭建全方位、立体化、智能化的水库汛期安全监测预警平台,实现风险早发现、早研判、早预警、早处置。首先补齐中小型水库监测短板,完善全域自动化监测网络,全面布设水位、雨量、坝体沉降、水平位移、渗压、渗漏量、库区边坡位移等监测设备,实现核心安全指标24小时不间断实时采集、传输、存储,彻底消除监测盲区。其次搭建多源数据融合共享平台,整合水文气象、工程结构、设备运行、视频监控等多维度数据,打破传统数据孤岛问题,实现数据统一汇聚、融合分析、可视化展示,精准呈现水库实时运行全貌。同时构建智能风险研判模型,基于机器学习、大数据分析技术,对水库运行风险进行分级研判,自动识别水位超标、渗漏异常、结构变形等隐患,精准量化风险等级,推动水库防汛从传统被动处置向主动预判转变。

最后优化四级预警机制,细化蓝、黄、橙、红预警阈值,针对不同等级风险制定差异化推送和响应处置方案,通过短信、平台弹窗、广播等多渠道快速推送预警信息,实现风险预警全覆盖、无遗漏。

针对当前水库汛期安全运行存在的风险隐患与突出问题,结合现代水利智能化、精细化发展趋势,从工程运维、调度优化、智能监测、管理应急四个维度,构建全流程、全链条的汛期安全运行管控体系,全面提升水库防洪安全保障能力。

3 水库汛期安全运行发展趋势展望

随着智慧水利建设持续推进,水库汛期安全运行将逐步向智能化、精细化、数字化、协同化方向发展。一是监测预警全域智能化,物联网、北斗卫星、无人机遥感等技术深度应用,将实现水库工程结构、水文情势、库区环境的全域立体监测,结合人工智能算法,实现风险智能研判、精准预警、自动溯源,全面

提升风险预判能力。二是调度决策智慧化升级,融合数字孪生流域、数字孪生水库技术,构建虚拟仿真调度场景,模拟不同洪水工况下的水库运行状态,实现调度方案仿真推演、优化比选,结合实时水情动态生成最优调度策略,彻底突破传统经验调度局限。三是流域调度一体化协同化,构建全域流域水库群联合调度数字化平台,实现上下游、干支流水库数据共享、调度协同、风险联控,最大化发挥水库群防洪减灾综合效益。四是运维管理标准化数字化,依托大数据平台实现隐患排查、设备养护、值班值守、应急处置的全流程数字化管控,建立水库运行安全动态评估体系,实现汛期安全运行的闭环化、精细化管理。

4 结语

水库汛期安全运行是流域防洪减灾体系的核心环节,事关区域安全稳定与水资源可持续利用。当前我国水库汛期运行仍面临水文调度不确定性强、工程结构老化隐患突出、智能监测体系滞后、运维应急能力不足等多重问题,各类风险相互交织、相互影响,给汛期安全管控带来极大挑战。本文通过系统梳理水库汛期运行四大核心风险类型及成因,剖析当前运行管理中的突出短板,从工程运维、动态调度、智能监测、应急管理四个维度构建了全方位的汛期安全运行管控体系,提出汛限水位动态调控、梯级联合优化调度、多源数据智能研判、常态化隐患闭环整改等关键技术与实施策略。

实践表明,通过优化动态防洪调度模式、完善智能监测预警体系、强化工程常态化运维、健全应急处置机制,可有效降低水库汛期运行风险,提升防洪调度精准度与水资源利用效率。未来,需持续推进数字孪生、人工智能等新技术与水库防汛运维的深度融合,完善流域一体化联合调度机制,推动水库汛期安全运行向智慧化、精细化、协同化转型升级,全面筑牢流域防洪安全屏障,为水利工程安全稳定运行、流域经济社会高质量发展提供坚实保障。

[参考文献]

- [1]苑立立.我省持续开展汛期水库隐患排查[N].河北日报, 2026-07-28(002).
- [2]朱喜,李诗琼,王正华,等.乌江中下游干流梯级水库汛期联合调度运行水位动态控制策略研究[J].中国农村水利水电, 2025,(1):111-116+123.

作者简介:

吴镛(1971—),男,汉族,吉林四平市人,专科,工程师,研究方向:水库汛期风险调控。