

汛期水库防洪调度运行风险分析与管控措施

帅永奎

南水北调东线山东干线有限责任公司 山东 济南 250000

摘要: 汛期水库防洪调度是流域防洪减灾体系的核心环节,受水文、设备、人为决策等多重不确定因素影响,存在多类型叠加运行风险。本文系统界定水库汛期防洪调度风险的核心特征,划分水文预报、工程设备、调度操作、工程结构四大类风险,深入剖析各类风险的形成机理与诱发原因。从工程安全、调度效能、流域防护三个维度分析风险衍生的不良影响,针对性构建全方位风险管控体系,提出优化水文监测预报体系、落实设备全周期运维、规范调度运行管理等专项管控措施。研究旨在化解汛期调度各类安全隐患,提升水库洪水调蓄精准度与运行稳定性,为水库汛期安全调度及流域防洪减灾工作提供科学的技术与管理支撑。

关键词: 汛期;水库;防洪调度;运行风险;管控措施

引言: 水库作为流域水利防洪体系的关键枢纽,其汛期防洪调度工作直接关系水利工程安全、流域生态稳定及沿线区域防洪安全。汛期水情变化急促、工况条件复杂,防洪调度具备风险突发性强、多风险叠加、连锁影响显著的特征,极易引发各类运行隐患。当前水库防洪调度工作仍存在水文预报精度不足、工程设备高负荷故障频发、调度决策与现场操作不规范等突出问题,易造成调度失效、工程受损、流域洪涝等安全隐患。为有效防控汛期调度运行风险、筑牢流域防洪安全屏障,本文系统梳理水库汛期防洪调度核心风险类型,分析风险成因与不良影响,制定精细化、系统化的风险防控对策,助力提升水库汛期防洪调度的科学性与安全性。

1 汛期水库防洪调度运行风险总体概述

水库汛期防洪调度是根据实时水情、雨情、库水位及工程运行状态,通过闸门启闭、流量调控、库容调配等操作,实现拦蓄洪水、削峰错峰、保障工程安全的系统性工作。其运行风险主要指汛期复杂水文及工况条件下,因各类不确定因素导致调度决策偏差、设备运行异常、工程结构受损,进而影响防洪调度效果、威胁水库安全运行的各类隐患及突发问题。

相较于常规时段,汛期水库防洪调度风险具备突发性强、叠加性显著、影响范围广、处置难度大的特点。汛期水情瞬息万变,短时强降雨、突发洪水会打破水库常规运行平衡,单一风险极易快速衍生、叠加,形成复合型安全隐患。同时,防洪调度各环节关联性极强,水文预报、调度决策、设备执行、工程监测任一环节出现问题,都会直接影响整体防洪调度成效,引发连锁式运行风险。结合水库运行全流程,可将汛期防洪调度运行风险主要划分为水文预报风险、工程设备运行风险、调

度操作决策风险、工程结构运行风险四大核心类型,各类风险相互关联、相互影响,共同构成水库汛期调度运行安全隐患体系^[1]。

2 汛期水库防洪调度主要运行风险及成因分析

2.1 水文预报不确定性风险

水文预报是水库防洪调度决策的核心依据,预报结果的精准度直接决定调度方案的合理性,是汛期首要的运行风险来源。该风险核心体现为降雨量、入库流量、洪水过程线等水文要素预报偏差,导致调度方案与实际水情不匹配。从成因来看,(1)水文气象要素的自然不确定性,汛期局部强对流天气多发、局地暴雨随机性强,小尺度降雨分布难以精准预判,极易出现预报雨量小于实际降雨、预报洪水峰值滞后于实际洪水过程的情况。(2)水文监测体系存在局限性,部分水库监测站点布设密度不足,流域内偏远区域、支流区间水情数据采集不全面,监测数据存在滞后、缺失、误差等问题,无法完整反映流域实际水文工况。(3)洪水预报模型存在适配性局限,现有预报模型多基于常规水文工况构建,面对汛期极端、突发的非常规洪水,模型参数适配性下降,模拟计算精度降低,进一步加剧预报偏差,导致调度决策出现被动性风险^[2]。

2.2 工程设备运行故障风险

水库防洪调度依赖闸门、启闭设备、输水管道、监测仪器、供电系统等各类设备协同运行,汛期高负荷运行工况下,设备故障是引发调度失效的重要风险因素,直接影响水位调控、洪水下泄效率。(1)闸门及启闭设备故障为高发风险,汛期闸门频繁启闭、长时间高负荷运行,设备传动结构易出现磨损、卡顿、密封失效等问题,导致闸门启闭不到位、泄流控制精度不足,出现超

水位蓄水、泄洪不及时等隐患。同时,长期水汽侵蚀、潮湿环境会造成设备电气部件老化、短路,引发设备停机、操作失灵。各类监测设备故障风险同样突出,水位、雨量、渗压、位移等监测仪器长期处于户外潮湿环境,易出现传感器失灵、数据传输中断、监测精度偏移等问题,导致调度人员无法获取实时、精准的工程及水情数据,造成调度决策失误。(2)备用供电、应急通讯设备维护不到位,汛期突发断电、通讯中断时,无法保障调度工作连续开展,进一步放大运行风险。

2.3 调度决策与操作运行风险

调度决策与现场操作是防洪调度的核心执行环节,人为因素、流程管控缺陷引发的风险,是汛期水库调度运行的主要人为风险,具有可控性强、隐患隐蔽的特点。(1)调度决策层面,风险主要源于工况研判不全面、调度方案适配性不足。汛期水情、工情动态变化快,部分调度人员对突发洪水、叠加工况的研判经验不足,过度依赖历史调度经验和常规调度模型,未结合实时工况动态优化调度方案,易出现削峰、错峰调度时机把握不当,库容调配不合理等问题,导致水库水位调控失衡。同时,多工况叠加情况下,对工程承载极限、泄洪能力边界预判不足,易出现超标准运行调度隐患。

(2)现场操作层面,风险集中于操作规范性不足、应急处置能力薄弱。汛期调度任务繁重、工况紧张,操作人员易出现疲劳作业、注意力不集中等问题,引发闸门启闭幅度偏差、操作顺序失误、设备启停不当等违规操作问题。此外,面对突发异常工况,部分人员应急处置流程不熟练、协同配合不到位,无法快速响应、高效处置设备故障、水位突涨等突发问题,导致小隐患演变为重大运行风险。同时,调度操作流程管控不完善,交接班衔接不顺畅、操作复核机制落实不到位,也会进一步加剧操作风险。

3 汛期水库防洪调度运行风险影响分析

3.1 威胁水库主体工程安全

各类调度运行风险的直接影响是破坏水库主体工程稳定性,引发工程安全隐患。水文预报偏差、调度操作失误会导致水库水位长期偏高、超汛限水位运行,坝体承受的水压力、渗透压力大幅超出设计标准,极易引发坝体渗漏、坝坡滑移、沉降变形等工程病害。同时,突发洪水调度不及时,库水位快速暴涨暴跌,会造成坝体结构反复受力,加剧工程老化、裂缝扩展,严重时会出现坝体破损、溢洪道超负荷运行、输水设施冲刷损毁等问题,直接破坏水库工程完整性,缩短工程使用寿命,引发重大工程安全事故^[3]。

3.2 降低防洪调度整体效能

防洪调度的核心目标是通过科学调蓄洪水,实现削峰、错峰、减灾效果,各类运行风险会直接削弱调度工作的精准性和有效性。水文预报偏差会导致调度方案与实际洪水过程脱节,出现提前泄洪造成水资源浪费、或滞后泄洪导致洪水叠加的问题,无法精准把控最佳调度时机。设备故障会造成泄洪、输水设施无法正常运行,洪水调蓄能力受限,削峰错峰效果大幅下降。调度操作失误会导致库容调配失衡、泄流控制不当,无法有效消解洪水峰值,使得水库防洪调度失去针对性和有效性,难以发挥工程防洪减灾核心作用。

3.3 引发流域连锁安全隐患

水库作为流域防洪关键节点,其调度运行异常会产生连锁传导效应,影响上下游流域安全。若水库汛期调度失控、泄洪失控,会导致下游河道流量骤增、水位暴涨,超出河道行洪承载能力,引发河道漫溢、滩区淹没等问题。同时,水位调控不当引发的工程局部损毁,会造成水库突发性漏水、溃口等险情,进一步扩大影响范围,威胁上下游区域水系稳定、水利设施安全,引发流域性防洪隐患,造成大范围安全影响。

4 汛期水库防洪调度运行风险管控措施

4.1 优化水文监测预报体系,规避预判风险

针对汛期水文预报天然存在的不确定性风险,需从监测网络、预报模型、数据研判三个核心维度完成体系的优化升级,全面提升全流域水情预判的精准度。(1)完善流域全域水文监测网络,重点加密流域支流、山区地带、偏远区域的雨量、水位、流量监测站点布设,彻底补齐原有监测体系存在的盲区,实现全流域水雨情数据的实时、无死角全覆盖采集。同步建立监测设备定期校准、常态化维护机制,从硬件层面杜绝监测数据缺失、数值偏差、传输滞后等常见问题,保障所有采集到的监测数据真实可靠,满足调度分析要求。(2)针对性优化洪水预报模型,结合水库所属流域的地形特征、固有水文特性以及历年汛期洪水演化规律,动态调整模型核心参数,重点强化对短时强降雨、突发极端洪水的模拟预判能力,大幅提升非常规工况下的洪水预报精度。最后建立多源数据融合研判机制,整合实时现场监测数据、官方气象预警数据、全周期历史水文数据开展动态滚动预报,根据实时水情变化持续更新预报结果,为调度方案的动态优化提供精准的数据支撑,从源头层面规避预报偏差引发的调度决策风险。

4.2 强化设备运维管控,保障设备稳定运行

需构建覆盖非汛期筹备、汛期运行、应急处置全周

期的设备运维管理机制,全面消除各类工程设备的故障风险,保障所有防洪调度相关设备全程处于可靠运行状态。(1)聚焦汛期前的全覆盖设备专项检修,重点对泄洪闸门、动力启闭设备、动力传动系统、止水密封装置开展无死角排查,及时更换老化失效、磨损超限的零部件,逐台调试设备运行参数,确保闸门启闭动作灵活、泄流控制精度符合调度要求;同步对水位、渗压、结构位移等各类监测仪器完成校准调试,修复所有存在故障的设备,保障监测数据采集精准、传输链路通畅。汛期运行阶段落实常态化设备巡检机制,执行每日全域巡查、核心重点设备定时监测制度,实时掌握所有设备的运行工况,第一时间发现并处置设备的轻微异常故障,避免零散隐患持续扩大演变为系统性设备失效问题。

(2)完善应急设备全链条保障体系,定期对备用电源、应急通讯链路、应急启闭设备开展检修核验,确保突发断电、通讯中断等极端紧急情况下,备用设备可快速完成切换、正常投入启用。同步建立全生命周期设备故障台账,如实记录每一次故障的类型、处置流程、最终整改情况,形成运维全流程闭环管理,持续提升所有设备在汛期高负荷工况下的抗风险能力^[4]。

4.3 规范调度运行管理,提升精准管控能力

聚焦调度决策、现场操作、应急处置全流程,规范运行管理标准,降低人为操作与决策风险。(1)优化调度决策机制,摒弃单一经验调度模式,建立“实时水情+工情状态+模型测算”的综合决策模式,结合水库汛限水位、工程承载能力、泄洪能力边界,动态优化调度方案,针对突发洪水提前制定多套备选调度预案,提升决策科学性。(2)规范现场操作流程,细化汛期调度操作标准、交接班制度、操作复核制度,所有调度操作实行双人核对、全程记录,杜绝违规操作、疏漏操作问题。(3)强化人员专业能力建设,定期开展汛期调度实操培训、工况研判演练、应急处置演练,提升调度人

员对复杂水情、异常工况的研判能力和突发险情处置能力,熟练掌握设备操作、方案调整、应急调度的核心流程。同时,建立岗位责任管控体系,明确各岗位调度、运维、监测工作职责,压实管控责任,实现调度运行全流程可控、可查、可追溯,全面提升水库汛期防洪调度精准管控水平。

结束语

综上,汛期水库防洪调度风险具备复杂性、叠加性与连锁性特征,水文预报偏差、工程设备故障、调度决策与操作不规范是主要风险诱因,各类风险不仅会损害水库坝体、泄洪设施等主体工程结构,降低洪水削峰错峰调度效能,还会引发流域性连锁防洪隐患,威胁区域防洪安全。通过完善全域水文监测网络、优化洪水预报模型,构建设备全周期运维与应急保障机制,规范调度决策流程、强化人员实操与应急能力、压实岗位管控责任,可全方位、全流程防控调度运行风险。整套管控体系有效弥补传统调度管理短板,大幅提升水库汛期防洪调度的精准性与稳定性,对保障水库工程安全、提升流域防洪减灾能力具有重要实践意义。

参考文献

- [1]张松,何小聪,梁志明.三峡水库汛前水位集中消落调度方式优化研究[J].水利水电技术(中英文),2025,56(4):25-34.
- [2]刘永琦,侯贵兵,覃晖,黄锋,覃杰.面向洪水资源利用的水库多目标调控规则研究与应用[J].水电能源科学,2025,43(7):207-212.
- [3]曾雨柔,朱非林,卢庆文,樊宇堃,李敏,钟平安.基于汛期运行水位动态控制的水库群多目标防洪风险分析[J].水资源保护,2026,42(2):68-77.
- [4]朱芮贤,解普媛.汛期水库防洪调度风险管控与决策分析[J].工程与技术研究,2026,9(10):160-162.