

小型水库汛期防洪调度探析

陈代理

文山州清水河水利枢纽工程管理局 云南 文山 663000

摘要：小型水库是基层流域防洪减灾与水资源调配的重要水利设施，但其工程标准偏低、流域水文条件复杂，汛期防洪调度难度较大，基层调度工作存在诸多现实短板。本文以小型水库汛期防洪调度为研究对象，系统分析了水库自身工程特性、汛期水文风险及基层调度管理存在的各类问题。结合现有防洪调度理论与水文预报、信息化智能技术，对比多种调度模型的适用条件，构建适配小型水库的多目标防洪优化调度模型，搭配智能算法完成模型求解与参数率定。研究旨在优化基层水库调度方式，提升汛期洪水处置的科学性与精准度，为中小型水库汛期安全运行与流域防洪保障提供实操参考。

关键词：小型水库；汛期；防洪调度；调度模型；多目标优化

引言：我国基层小型水库数量众多，广泛分布于山区、丘陵区域，承担着区域防洪、农业灌溉、生活供水等重要功能，是县域防汛体系的关键组成部分。此类水库集雨面积小、洪水响应快，汛期极易受局地暴雨影响引发突发洪灾。长期以来，多数小型水库存在工程老化、监测设施不完善、管理机制不健全、调度方式偏经验化等问题，汛期调度隐患突出，极易引发坝体安全隐患与下游洪涝风险。为有效解决基层水库调度难题，提升汛期防洪减灾能力，本文结合小型水库实际工况，系统开展防洪调度技术、模型构建与优化研究，为规范汛期调度工作、筑牢基层防汛安全防线提供技术支撑。

1 小型水库特性及防洪调度面临的挑战

1.1 小型水库工程特性剖析

相较于大中型水库，小型水库工程体量偏小，整体建设标准偏低，工程特性差异化特征十分明显。在库容规模上，这类水库蓄水容积有限，调洪库容占比小，对洪水的调蓄缓冲能力较弱，无法有效容纳短时集中来水，洪水容错率极低。坝体多为土石坝结构，建设时期多为早期民生工程，施工工艺、材料标准相对落后，坝体防渗、抗冲击性能较差，长期运行易出现渗漏、滑坡等隐患。小型水库泄洪设施配置简易，大多仅设置溢洪道、简易泄洪闸，缺乏多样化泄洪设备，泄洪流量调节区间小、精度低。多数水库未配套完善的防汛通道、监测设施，整体工程稳定性和调度灵活性不足，汛期应对突发洪水的硬件基础薄弱。

1.2 汛期水文气象条件复杂

小型水库多坐落于山区、丘陵区域，流域集雨面积小，汛期水文气象条件复杂多变，极大增加了调度难度。区域汛期降雨随机性极强，时空分布极度不均，短

时强降雨、局地暴雨频发，且降雨集中、强度大，短时间内即可形成大量径流。受地形影响，流域汇流速度快，洪水呈现陡涨陡落的特点，洪水过程持续时间短、峰值高，留给调度人员研判、处置的时间极短。山区小流域水文监测站点稀疏，气象预报精准度有限，难以精准捕捉局地突发暴雨，洪水预判存在较大偏差，给防洪调度决策带来极大不确定性。

1.3 调度面临的现实困境

当前小型水库防洪调度普遍存在管理、设施、技术多方面短板，现实调度困境突出。管理层面，多数水库归乡镇、村级管理，管理体系不健全，岗位职责划分模糊，日常巡查、汛期值守、调度报备等制度落实不到位。基础设施方面，老旧水库病害问题多发，配套设施老化破损，监测、预警设备缺失，难以实时掌握库区水位、坝体形变等关键数据。技术层面，基层调度人员多为兼职，专业防洪调度知识匮乏，缺乏系统应急处置培训，依旧依赖传统经验调度，智能化、信息化调度手段应用不足，难以满足精准化、科学化的汛期防洪调度需求^[1]。

2 小型水库防洪调度基础理论与技术支撑

2.1 防洪调度核心理论体系

小型水库防洪调度核心理论以工程安全为底线，结合水库库容、泄洪能力及流域水文特征，形成适配基层水库的实操性理论体系，区别于大中型水库系统化调度模型，更侧重简易化、精准化、安全性调度原则。首先为分级调洪理论，依据水库校核洪水位、设计洪水位、汛限水位（正常蓄水位）划分三级调度区间，严格按照水位阈值管控泄洪操作，汛限水位以下以蓄水保供为主，汛限水位至设计洪水位区间分级控泄，超设计洪水位启动全开泄洪模式。其次是错峰调度理论，针对流域

上下游水利工程布局,结合区间汇流规律,错开上下游泄洪时段,避免洪峰叠加引发河道漫溢、堤防出险。遵循因地制宜调度理论,结合中小型水库坝型、老旧病害、泄洪设施短板等实际工况,摒弃统一调度标准,动态调整调度方案。日常调度严格执行“预泄腾库、分级控泄、洪停蓄库”的实操准则,兼顾水库坝体安全与下游河道行洪安全,为现场调度作业提供核心理论依据。

2.2 水文预报关键技术应用

水文预报是小型水库汛期调度的核心技术支撑,现阶段基层水库以实操性强、适配小流域的预报技术为主,保障洪水预判精准有效。(1)降雨实测统计技术,依托库区及周边布设的自动雨量站、人工观测点位,实时采集汛期小时降雨量、日降雨量数据,通过数据汇总比对,判定降雨等级与汇流增量,为提前腾库提供数据支撑。(2)小流域汇流计算技术,采用适配丘陵山区的简易汇流公式,结合流域集雨面积、地形坡度、植被覆盖等参数,快速核算汇流速度、洪峰流量及洪水抵达时间,解决小流域洪水陡涨陡落、预判难度大的问题。

(3)洪水过程预判技术,依托历年汛期水文实测数据,建立本地化洪水样本模型,对比实时降雨数据,预判洪水涨落过程、峰值水位及持续时长。基层实操中,以短周期临近预报为主,摒弃复杂长效预报,侧重1-6小时短期洪水预判,适配小型水库快速调度的作业需求^[2]。

2.3 信息化与智能技术赋能

现阶段小型水库防洪调度逐步落地轻量化信息化、智能化技术,聚焦现场实操痛点,简化操作流程、提升调度精准度。在监测技术方面,全面普及自动化水位、雨量监测设备,配套坝体渗压、沉降位移监测装置,设备实时采集工程运行数据,替代传统人工定时观测模式,实现数据全天候不间断采集、上传。在预警技术方面,搭建基层水库防汛预警平台,录入汛限水位、警戒水位等阈值参数,数据超标后自动触发声光预警、短信推送预警,快速告知值守人员处置。在调度辅助方面,应用简易智能调度系统,结合实时水雨数据、水库泄洪能力,自动生成分级泄洪、预泄腾库等初步调度方案,供管理人员参考决策。同时,部分片区接入流域防汛大数据平台,实现上下游水情数据共享,解决小型水库信息闭塞、调度滞后的实操难题,全面提升汛期防洪调度的科学化、精细化作业水平。

3 小型水库汛期防洪调度方案制定原则与流程

小型水库汛期防洪调度方案的科学制定,是筑牢区域防洪安全屏障的核心环节,需紧扣安全底线与统筹逻辑,构建严谨规范的制定体系。核心原则锚定。方案制

定必须坚守安全优先原则,将保障水库大坝本体安全、下游防洪保护区安全作为首要前提,杜绝盲目调度引发溃坝、漫堤风险;坚持统筹兼顾原则,平衡防洪减灾与水资源合理利用需求,在削减洪峰的同时,为汛后供水、灌溉留存必要水量;秉持科学精准原则,依托实测水文数据与可靠预测成果,避免经验化决策,确保调度举措与汛情动态高度契合。(2)规范流程构建。先开展基础信息整合,全面梳理水库库容参数、坝体结构、流域水文特性及下游防洪标准等关键数据;再基于水文预报开展洪水特性分析,明确洪峰流量、洪水总量及演进规律;随后运用调度模型开展多方案模拟推演,结合安全、效益指标比选优化;最后经专家论证,建立动态调整机制,结合实时汛情实时修正方案,确保调度指令精准落地,实现防洪效益最大化^[3]。

4 小型水库防洪调度模型构建与优化

4.1 常用调度模型介绍与适用性分析

现阶段小型水库汛期防洪调度以常规调度模型和智能优化调度模型为核心应用类型,两类模型原理、运算逻辑存在明显差异,结合小型水库库容小、汇流快、设施简易、数据体量有限的工程特性,适用场景区分度较高,具体适配性如下。(1)常规调度模型。该模型以水库调度图为核心运算依据,依托历年实测水文数据,划定汛限水位、警戒水位、保证水位等关键阈值,按照固定规则完成泄洪、蓄水调度计算。模型运算逻辑简单、参数少、容错性高,无需复杂算力支撑,契合基层水库技术条件有限、操作人员专业水平参差不齐的现状。但模型存在明显短板,整体属于静态调度模式,仅依托既定水位阈值开展调度,无法适配汛期突发局地暴雨、洪水陡涨陡落的动态工况,对实时水情、雨情变化的响应能力较差,仅适用于水文规律稳定、洪水情势平缓的常规汛期调度场景。(2)优化调度模型。该模型以数学规划为核心基础,打破固定调度规则限制,可结合实时水情、工程工况动态调整调度方案。相较于常规模型,可同步考量多重限制条件,量化调度决策偏差,实现调度方案最优筛选。针对小型水库,传统线性优化、动态规划优化模型应用最为广泛,可适配小流域洪水变化特征。但该模型对水文数据完整性、精准度要求较高,老旧小型水库监测数据缺失、数据误差大时,模型运算结果会出现明显偏差,更适用于监测设施完善、水文资料连续完备的标准化小型水库。

4.2 多目标优化模型构建

结合小型水库防洪调度核心需求,摒弃单一防洪调度的片面模式,以大坝运行安全、下游防洪可控、汛期

水资源合理利用为核心目标,构建适配小型水库的多目标防洪优化调度模型,明确模型目标函数与约束条件,贴合现场实际调度工况。(1)目标函数设定。模型设定三项核心目标,兼顾安全与实用。第一,大坝安全目标,以水库汛期坝体承压最小、水位变幅平稳为核心,控制汛期最高库水位不超设计标准,规避骤涨骤落引发的坝体渗漏、边坡滑移问题。第二,下游防洪安全目标,以河道下泄流量平稳、不超下游堤防安全行洪流量为标准,削减洪峰、避免集中泄洪引发下游漫滩、险情。第三,兴利蓄水目标,在满足防洪安全前提下,强化雨洪利用,保障汛后农业灌溉、生活供水需求,平衡防洪弃水与水资源利用的矛盾。(2)约束条件设定。结合小型水库工程参数与调度规范,设定多项硬性约束。一是水位约束,汛期运行水位严格控制在汛限水位以下,非极端洪水工况不得突破警戒水位。二是泄洪流量约束,单时段下泄流量不得超过下游河道安全泄量,同时结合泄洪设施性能,限制最小、最大泄洪区间,避免设施超负荷运行。三是库容约束,实时库容不得超出水库正常库容、总库容设计参数。四是水量平衡约束,严格遵循流域水量平衡原理,保障入库水量、出库水量、库容变量核算精准,贴合小流域汇流实际^[4]。

4.3 模型求解算法与参数率定

多目标调度模型方程组复杂、约束条件多,常规求解方法运算效率低、精度差,结合小型水库调度实时性的要求,选用适配的智能算法完成模型求解,并通过参数率定、数据验证,保障模型落地实用性。(1)模型智能求解算法。主要采用遗传算法与粒子群算法两类主流智能算法。遗传算法依托选择、交叉、变异迭代运算,规避传统算法局部最优缺陷,可快速适配多目标约束条件,高效筛选最优调度方案,适配小型水库多维度调度需求,运算稳定性强。粒子群算法运算逻辑简洁、收敛速度快,迭代次数少,对设备算力要求低,契合基层水库轻量化运行需求,可快速应对突发洪水工况,完成动态调度方案更新,适合汛期紧急调度场景使用。两类算

法可结合使用,兼顾方案最优性与调度时效性。(2)模型参数率定。参数率定以水库历年实测水文数据、工程设计参数为基础,重点率定汇流系数、水位流量关系、泄洪系数等核心参数。筛选近10年典型汛期洪水过程数据,将实测入库流量、出库流量、水位数据代入模型,对比运算结果与实测数据的偏差,逐步修正参数数值,缩小计算误差。(3)模型验证。选取丰水年、平水年、枯水年三类典型汛期工况开展模拟验证,检验模型在不同水情下的调度适配性。若模拟水位、泄洪流量与实际工况偏差控制在工程允许范围内,判定模型参数合理、运算可靠,可用于日常汛期防洪调度模拟、方案预判,满足小型水库常态化、应急化调度的实操需求^[5]。

结束语:本文系统梳理了小型水库的工程特征与汛期调度难点,明确了适配基层水库的防洪调度理论与关键技术,对比各类调度模型的适配性,完成多目标优化调度模型的构建、求解与参数验证。研究有效解决了小型水库传统调度模式单一、精准度不足、适配性差等问题,兼顾了水库运行安全、下游防洪保障与水资源高效利用。通过优化调度模型与智能算法的结合,可显著提升汛期动态调度能力。

参考文献

- [1]张验科,张建新,卢焱键,于强.中小水电站水库汛期运行调度多目标风险分析[J].水电能源科学,2023,41(12):58-62.
- [2]朱欣彤.关于提高中小型水库运行管理水平的探讨[J].中国科技纵横,2026(5):152-154.
- [3]莫树禧.基于动态防洪限制水位的水库汛期多阶段调度优化研究[J].水利科学与寒区工程,2025,8(11):65-67.
- [4]王彪.水库防洪调度多目标之间运行方式研究——以小中甸水库为例[J].小水电,2025(3):9-10.
- [5]田福昌,张安邦,李孝彬,刘明辉,杨长青,马超.山区中小型水库洪水预报-调度-风险分析全过程耦合模型及应用[J].水力发电,2025,51(9):17-28+39.