

山区中小型水库洪水调节计算及汛期防洪调度运行模式研究

巴特尔朝格图

阿鲁科尔沁旗水库灌区管护中心 内蒙古 赤峰 025550

摘要: 本文聚焦山区中小型水库防洪核心需求, 结合其分布零散、调节能力有限及山区洪水陡涨陡落的特性, 系统研究洪水调节计算方法, 优化基础资料处理、设计洪水计算及调洪演算流程, 构建不同场景下适配的防洪调度运行模式, 通过实例验证模式可行性, 完善调度效果评价体系, 解决其泄洪能力不足、调度不科学等问题, 为提升山区中小型水库防洪安全性、实现防洪与兴利协同发展提供科学支撑。

关键词: 山区中小型水库; 洪水调节计算; 汛期防洪调度; 运行模式

引言: 山区中小型水库是山区水利防洪体系的重要组成部分, 承担着防洪、灌溉、供水等关键职能, 但其结构简单、监测不完善, 加之山区暴雨频发、洪水突发性强, 易引发漫坝、溃坝风险, 威胁下游群众生命财产安全。当前相关调度模式适配性不足, 洪水调节计算精度有待提升, 因此开展山区中小型水库洪水调节计算及汛期防洪调度运行模式研究, 对补齐山区防洪短板、保障水利工程安全运行具有重要现实意义。

1 山区中小型水库洪水特性及相关理论基础

1.1 山区中小型水库概况与特点

(1) 山区中小型水库分布与功能: 主要分布在山区河流支流及沟谷地带, 分布零散且数量众多, 核心功能是防洪、灌溉、供水, 部分兼顾发电, 是山区水利防洪体系的重要组成部分, 保障周边村镇、农田的防洪安全。(2) 山区中小型水库结构与运行特征: 结构相对简单, 多为土石坝, 库容较小、调节能力有限; 运行中受降水影响大, 调度灵活性不足, 多采用常规调度模式, 部分水库缺乏专业监测设备。(3) 山区中小型水库防洪存在的突出问题: 坝体老化、泄洪能力不足, 监测预警体系不完善, 调度人员专业水平参差不齐, 缺乏科学的调度方案, 应对突发洪水的能力较弱。

1.2 山区洪水形成机制与特性

(1) 山区洪水形成条件: 主要由短历时、高强度暴雨引发, 山区地形陡峭、植被覆盖不均, 汇流速度快, 加上沟谷狭窄, 极易形成洪水; 部分区域受融雪、山洪叠加影响, 洪水暴发更迅猛。(2) 山区洪水水文特性: 具有陡涨陡落的显著特点, 洪水上涨历时短、峰值高, 流量变化剧烈; 洪水历时较短, 一般为几小时至一两天, 含沙量较高, 对建筑物冲刷力强。(3) 山区洪水对水库的

影响: 短期内大量洪水入库, 易导致水库水位快速攀升, 超出防洪限制水位, 威胁坝体安全; 洪水携带的泥沙易淤积水库, 降低库容和调节能力, 加剧泄洪设施磨损^[1]。

1.3 洪水调节计算相关理论

(1) 洪水调节基本原理: 通过水库的蓄水和泄水, 调节洪水流量过程, 将入库洪水峰值削减至水库泄洪能力范围内, 避免洪水漫坝, 保障水库及下游安全。(2) 水库水量平衡方程: 核心是入库水量等于出库水量、水库蓄水量变化量与损失水量之和, 是洪水调节计算的基础, 用于计算不同时段水库蓄水量和出库流量。(3) 泄洪建筑物泄流计算理论: 根据泄洪建筑物类型(如溢洪道、泄洪洞), 结合流体力学原理, 计算不同水位下的泄流量, 为洪水调度提供数据支撑。

1.4 汛期防洪调度核心理论

(1) 防洪调度基本原则: 坚持“安全第一、预防为主”, 兼顾防洪与兴利, 优先保障坝体安全和下游防洪安全, 根据洪水量级灵活调整调度方案。(2) 防洪标准与特征水位确定理论: 结合水库规模、保护对象重要性, 确定合理防洪标准; 明确防洪限制水位、设计洪水位、校核洪水位等特征水位, 作为调度的核心依据。(3) 调度模型构建基础: 以水量平衡方程、泄流计算理论为核心, 结合历史洪水数据、水库运行参数, 构建防洪调度模型, 实现洪水过程的精准模拟和调度方案优化。

2 山区中小型水库洪水调节计算方法研究

2.1 洪水调节计算基础资料准备

(1) 基础资料收集: 核心收集三类资料, 水文资料包括流域内及周边雨量站、水文站的多年降水、径流、洪水数据, 重点收集短历时暴雨和历史洪水资料; 地形资料涵盖流域地形图、坝址断面图、库区地形地貌资料, 用

于确定汇流参数和水库容积；水库参数包括坝型、坝高、库容曲线、泄洪建筑物尺寸及布置、防洪限制水位等核心运行参数，为后续计算提供基础支撑。(2) 资料审核与预处理：可靠性审核重点排查资料缺失、异常数据，通过对比相邻站点数据、历史同期数据修正偏差；一致性分析消除人类活动（如水利工程修建、土地利用变化）对水文数据的影响，确保数据序列连续可比；代表性分析通过延长数据序列、频率分析，验证资料能否反映流域洪水整体特征，为设计洪水计算提供可靠数据基础^[2]。(3) 设计洪水标准确定：结合山区中小型水库规模、保护对象（村镇、农田、基础设施）的重要性，依据相关规范，确定合理的设计洪水标准，明确设计洪水频率（如10年一遇、20年一遇）和校核洪水频率（如50年一遇、100年一遇），同时结合流域洪水特性，兼顾安全性和经济性，避免标准过高增加建设成本、过低无法保障防洪安全。

2.2 设计洪水计算方法选择与应用

(1) 常用设计洪水计算方法对比：暴雨移置法适用于无实测洪水资料、但周边有暴雨资料的流域，通过移置相似流域暴雨数据，结合流域差异修正计算设计洪水，优点是适用性强，缺点是修正参数难度大；推理公式法适用于山区小流域，基于暴雨强度、汇流时间等参数推导洪水峰值，计算简便、所需资料少，贴合山区中小型水库流域特点；此外对比经验公式法、频率分析法，明确各方法的适用场景和优缺点，为方法选择提供依据^[3]。(2) 山区小流域设计洪水计算适配性分析：山区小流域具有汇流快、洪水陡涨陡落、实测资料短缺等特点，重点分析各类方法在山区的适配性，得出推理公式法、经验公式法更适配山区小流域的结论，因二者无需大量实测洪水资料，且能较好反映山区暴雨汇流特性；同时针对山区地形复杂、植被差异大的问题，优化方法中的汇流参数、暴雨衰减系数，提升计算准确性。(3) 设计洪水过程线推求：在确定设计洪水峰值和总量的基础上，结合山区洪水特性，采用概化三角形、五边形过程线法，或参照相似流域实测洪水过程线进行缩放，推求设计洪水过程线；重点控制洪水上涨段、峰值段、退水段的形态，确保过程线符合山区洪水陡涨陡落、历时短的特征，为后续调洪演算提供完整的洪水输入数据。

2.3 水库调洪演算方法研究与实现

(1) 调洪演算核心方法：试算法是山区中小型水库常用方法，通过假设出库流量，结合水量平衡方程试算水库水位变化，直至满足泄流规律，计算简便、易于操作，适合基层应用；图解法利用库容曲线、泄流曲线，通过图解方式求解水位、流量变化过程，直观易懂，但

精度较低；数值解法基于微分方程，通过编程迭代计算，精度高、效率高，适用于复杂泄洪场景，可结合实际需求选择适配方法。(2) 不同泄洪方式下调洪演算流程：针对山区中小型水库常用的自由泄洪、闸门控制泄洪两种方式，明确不同流程；自由泄洪时，根据溢洪道泄流规律，结合入库洪水过程，直接通过水量平衡方程计算出库流量和水位变化；闸门控制泄洪时，需结合防洪调度要求，设定闸门开启度和开启时机，分时段计算泄流量，确保水库水位不超过设计水位，同时兼顾下游防洪安全^[4]。(3) 调洪演算结果验证与误差分析：采用历史洪水资料进行验证，将演算结果与实测洪水过程对比，分析水位、流量峰值的误差；误差来源主要包括资料精度、参数选取、方法适配性等，针对误差较大的环节，优化参数设置、调整计算方法，如修正泄流系数、优化汇流时间计算，提升调洪演算结果的可靠性，为水库防洪调度提供科学依据。

3 山区中小型水库汛期防洪调度运行模式构建

3.1 汛期防洪调度影响因素分析

(1) 自然因素：山区暴雨具有短历时、高强度、空间分布不均的特点，是引发水库洪水的核心诱因，暴雨强度、历时直接决定入库洪水峰值和总量；山区洪水陡涨陡落、含沙量高的特性，增加了调度的突发性和难度，同时流域地形、植被覆盖情况影响汇流速度，进一步加剧洪水对水库的冲击，是调度模式构建需重点考虑的自然前提。(2) 工程因素：山区中小型水库库容小、调节能力有限，坝体结构（土石坝居多）和老化程度直接影响防洪安全；泄洪建筑物的类型、尺寸、完好度决定泄洪能力，部分水库泄洪设施不完善、泄流能力不足，易导致洪水漫坝风险；此外，水库监测、闸门控制等配套设施的完备性，也影响调度的及时性和精准度。(3) 社会经济因素：下游防护对象的重要性（如村镇、农田、交通干线、工矿企业）决定调度优先级，需优先保障人口密集区和重要基础设施安全；同时，山区水库兼顾灌溉、供水等兴利用途，汛期需平衡防洪与兴利需求，避免过度泄洪影响后续用水，兼顾社会效益和经济效益。

3.2 防洪调度目标与约束条件确定

(1) 核心调度目标：首要目标是保障大坝安全，防止坝体漫顶、溃坝等重大安全事故发生；其次是保护下游防护对象，将洪水灾害损失降至最低；同时兼顾兴利需求，在确保防洪安全的前提下，合理蓄水，满足汛期后灌溉、供水等需求，实现防洪与兴利协同发展。(2) 主要约束条件：水位约束是核心，需严格控制水库水位不超过校核洪水位、设计洪水位和防洪限制水位，避免坝体

承受过大压力；泄流约束包括泄洪建筑物的最大泄流能力、下游河道的安全泄量，防止泄洪过大导致下游次生洪水；此外，还需考虑闸门运行约束、监测数据精度约束等，确保调度方案可落地。(3) 目标权重分配与协调：结合水库实际情况，采用层次分析法等方法分配目标权重，其中大坝安全和下游防洪权重最高，兴利目标权重根据用水需求动态调整；当防洪与兴利目标冲突时，优先保障防洪安全，同时通过优化调度时序、合理预留库容，最大限度协调二者关系，避免顾此失彼^[5]。

3.3 不同场景下防洪调度运行模式构建

(1) 无闸门控制水库防洪调度模式：针对无闸门控制的小型水库，采用“被动泄洪+提前预泄”模式，汛期来临前根据气象预报，提前降低水库水位，预留防洪库容；洪水入库后，通过溢洪道自由泄洪，无需人工干预，重点做好水位监测和下游预警，适配小型、简易水库的运行特点。(2) 有闸门控制水库防洪调度模式：适用于具备闸门控制能力的中小型水库，采用“分级调度+动态调整”模式，根据入库洪水量级（一般洪水、较大洪水、特大洪水），分级设定闸门开启度和泄流量，结合实时水位、暴雨预报，动态调整调度方案，在保障安全的前提下，合理控制泄流节奏，减少下游损失。(3) 极端暴雨场景下应急调度模式：针对极端暴雨引发的特大洪水，构建“应急预泄+全力泄洪+联动预警”模式，接到极端暴雨预警后，立即开启全部泄洪设施进行应急预泄；洪水峰值来临时，全力泄洪，同时联动下游村镇、水利部门，及时发布预警信息，组织人员转移，最大限度降低灾害损失，重点突出应急响应的及时性和有效性。(4) 兴利与防洪结合调度模式：兼顾灌溉、供水需求，采用“汛期预留防洪库容+非汛期蓄水兴利”模式，汛期严格按照防洪限制水位运行，预留足够库容应对洪水；洪水过后，及时蓄水至正常蓄水位，根据下游用水需求，合理分配下泄水量，实现防洪与兴利双赢，适配山区水库多功能运行需求。

3.4 调度模式优化与可行性验证

(1) 调度模式优化方法：采用数值模拟、遗传算法

等优化方法，结合水库历史洪水数据、运行参数，对调度模式中的分级标准、闸门开启时序、泄流量分配等进行优化，减少调度误差；同时结合实际运行反馈，动态调整模式参数，提升调度模式的适配性和科学性。(2) 基于实例的调度模式可行性验证：选取典型山区中小型水库作为实例，收集该水库的水文、工程、社会经济资料，运用构建的调度模式进行模拟运算，对比模拟结果与历史调度数据、实际洪水应对效果，验证调度模式的合理性和可行性，针对存在的不足进行完善。(3) 调度效果评价指标体系构建与应用：构建涵盖安全、经济、社会三大类的评价指标体系，安全指标包括坝体水位控制达标率、下游洪水灾害损失率；经济指标包括兴利用水保障率、调度成本；社会指标包括群众满意度、预警响应及时性，通过指标量化分析，全面评价调度模式的运行效果，为模式优化提供依据。

结束语

本文完成了山区中小型水库洪水调节计算方法优化与防洪调度运行模式构建，明确了适配山区特点的计算路径，建立了分场景调度模式并验证其可行性。研究虽解决了当前核心痛点，但受山区流域差异影响，部分参数优化仍有提升空间。未来可结合实测数据进一步完善调度模型，强化极端暴雨场景应急适配能力，为山区中小型水库防洪调度提供更具针对性的技术参考，助力山区水利安全高质量发展。

参考文献

- [1]陈建国,杨文.洪水风险评估模型的应用与展望[J].土木工程,2021,39(4):45-53.
- [2]郭宏伟.洪水防治社区参与与教育策略[J].环境保护,2023,30(5):67-74.
- [3]胡瑞雪.水库调度技术在洪水防治中的应用分析[J].水资源保护,2022,28(2):34-40.
- [4]胡四一,高波.海河流域洪水资源安全利用:水库汛限水位的确定与运用[J].中国水利,2022,23(10):105-108.
- [5]闫宝伟.考虑洪水过程预报误差的水库防洪调度风险分析[J].水利学报,2024,43(7):803-807.