

山洪灾害防治策略在水利水电工程规划中的应用

马梓臻

榆林市榆阳区水旱灾害防治中心

DOI:10.12238/hwr.v9i7.6488

[摘要] 山洪灾害作为西安市水利水电工程规划中的防灾控制因素,构建防治体系对于保障区域水的安全性具有重要意义。基于此,本文在系统梳理现有山洪防治工程现状的基础上,提出基于数字孪生技术的山洪灾害防控体系优化方案,结合“线上+线下”非工程措施建立长效运维机制。研究重点围绕预警信息精准发布、危险区动态管理、项目施工标准提升、加强基层应急响应能力等方面进行分析,形成一套适用于水利水电工程规划阶段的山洪防治策略,不仅增强了山洪风险识别与应对能力,也为水利工程提供科学支撑,推动山洪防控由被动抢险向主动防御方向发展,为同类地区水利设施规划提供正确的技术路径。

[关键词] 山洪灾害防治策略; 水利水电工程规划; 应用

中图分类号: TV5 **文献标识码:** A

Application of mountain flood disaster prevention strategy in water conservancy and hydropower engineering planning

Zizhen Ma

Yuyang District Water and Drought Disaster Prevention and Control Center

[Abstract] As a disaster prevention and control factor in the planning of water conservancy and hydropower projects in Xi'an, the construction of a prevention and control system is of great significance for ensuring the safety of regional water. Based on this, this article systematically reviews the current status of existing flash flood prevention and control projects, proposes an optimization plan for flash flood disaster prevention and control system based on digital twin technology, and establishes a long-term operation and maintenance mechanism by combining "online+offline" non engineering measures. The research focuses on analyzing the precise release of warning information, dynamic management of hazardous areas, improvement of project construction standards, and strengthening of grassroots emergency response capabilities, forming a set of mountain flood prevention and control strategies suitable for the planning stage of water conservancy and hydropower projects. This not only enhances the ability to identify and respond to mountain flood risks, but also provides scientific support for water conservancy projects, promoting the development of mountain flood prevention and control from passive rescue to active defense, and providing the correct technical path for water conservancy facility planning in similar areas.

[Key words] prevention and control strategies for mountain flood disasters; Water conservancy and hydropower engineering planning; application

引言

山洪灾害是受到山丘区短历时强降雨引发的突发性、高能量水流冲击影响,所产生的水文灾害,其主要表现为溪沟洪水快速汇集、冲刷力强、破坏性大,很容易造成人员伤亡、基础设施损毁、生态环境破坏等严重后果。并且,该类灾害具有发生突然、发展迅速、影响范围广、防控难度大等特点,成为制约区域可持续发展的关键因素之一。近年来,西安市多地频发山洪事件,对

于水利水电工程安全运行与规划布局构成严峻挑战。例如,西安市在2011—2016年期间共发生18次山洪灾害,累计致24人遇难,该案例反映出当前山洪防治体系仍然存在预警响应滞后、风险区管控不足、工程设防标准偏低等问题(黄金岳,高小平,杨晓辉,2023)。在此背景下,水利水电工程规划要充分考虑山洪灾害的动态演变特性,将防治策略纳入工程设计、运维管理全过程,从工程选址、排水系统优化、堤防建设、滞洪调控等多方面着

手,进一步加强山洪适应性设计,提高工程应急响应能力,通过完善监测预警机制、构建多层次防御体系、加强项目前期风险评估等措施,推动水利工程由被动救灾向主动防控方向进行发展,为保障水利工程运行安全提供坚实支撑。

1 西安市山洪灾害防治建设现状分析

西安市自2010年以来,持续推进山洪灾害防治体系建设,经过四个阶段的非工程措施与补充完善项目,逐步构建起覆盖全区的山洪灾害监测、预警、应急响应机制。在水利部统一部署下,已经成功建立23个山洪灾害防治县,并且配置2131个自动监测站点、23个卫星通信站,全天候采集降雨、水文、气象数据(黄金岳,高小平,杨晓辉,2023)。同时,依托省级、盟市、旗县三级监测预警平台,结合气象部门提供的72小时短临预报、面雨量分析、雷达云图信息,大幅度提高山洪预警的精准度。此外,广泛布设无线预警广播系统和简易监测站,让基层防汛责任人能够及时获取汛情动态,增强现场处置能力。

在水利水电工程规划中,山洪灾害防治策略已经逐步融入基础设施设计全过程,工作人员根据水利工程实际情况,建立“一张图”式的数据集成体系,将调查评价成果、风险普查数据、涉水工程分布等要素传输到统一信息平台,为山洪防控决策提供空间化支撑。目前已经完成2226个危险区动态管理清单编制,发布4107本各级山洪灾害防御预案,涵盖重点城镇、集镇、村落共计7142处。此外,针对14条重点山洪沟实施防洪治理工程,全面优化排洪通道、加固堤岸结构、增设滞洪设施,有效降低山洪冲击对于水利水电工程的影响,在提高山洪应对能力的基础上,为区域水资源调控提供了基础保障。当前,自治区水利部门已完成视频会议系统全覆盖,成功接入112个乡镇级单位,提高防汛指令传达效率,实现和应急响应进行协同联动(黄金岳,高小平,杨晓辉,2023)。

2 山洪灾害防治策略在水利水电工程规划中的应用

2.1 构建基于数字孪生的山洪灾害防治体系

2.1.1 感知体系建设

本研究集成不同时段气象短临预报,结合实测降雨数据,构建基于预报、实测的山洪灾害预警模型,积极引入卫星遥感技术,有效延长预警预见期,大幅度提高极端降雨事件的响应能力。在现有监测网络基础上,在城集镇、学校、涉水旅游景区、工业园区等高风险区域补充布设自动监测站,提高空间覆盖密度,消除监测盲区,保证降雨数据采集的时空分辨率满足防洪计算需求。

针对小流域流量监测,在单元出口及危险区上游布设标准化水文断面,配套应用AI视频测流、雷达水位计等非接触监测技术开展长期连续观测,采用“一站多发”架构将监测数据实时推送至自治区级数据中心,有效保障数据采集的真实性,不仅提升了山洪灾害识别精度,也为水利工程在山洪防控中的适应性设计提供了动态反馈机制,推动水利水电项目由被动应对向主动防御进行发展,有效增强工程运行的安全性,为构建智能型山洪防控体系奠定坚实基础。

2.1.2 三算体系建设

在山洪灾害防治策略的水利水电工程规划应用中,“三算”体系构建涵盖算力、算法与数据三大核心模块,其中算力层面依托现有水利云平台基础,通过升级存储可靠性、提升计算性能、优化网络传输效率,构建覆盖全域小流域治理单元的分钟级并行算力体系。同步贯通国家-自治区-盟市-旗县四级数据库链路,建立跨层级数据直通机制,实现多源异构信息的实时交互。同时,严格落实网络安全等级保护要求,推动安全可控的信息基础设施建设,大幅度提高系统抗风险能力。

在算法建设方面,重点构建专业化的水利模型体系,主要包括降雨融合分析、产汇流模拟、洪水演进预测、灾损评估等模块,结合雷达测雨、遥感反演、地面监测数据,大幅度加强区域降雨推演精度。基于分布式水文模型集群,建立5950个小流域单元出口断面的动态模拟机制,加强复杂地形下垫面响应过程的刻画能力。而可视化模型集成正射影像、数字高程、视频监控等数据,统一至三维地理信息框架,实现水利工程、水流场、气象因子、“四预”流程的全要素展示。算据建设则围绕L1至L3三级数据底板展开,L1级已经完成基础调查,L2级引入卫星遥感、无人机航测技术,全面收集高精度DEM、DOM数据,L3级推进危险区倾斜摄影,为数字孪生流域构建提供空间基准。

2.1.3 “四预”能力建设

山洪灾害防治在水利水电工程规划中的“四预”能力建设,是提升山洪防控数字化水平的主要环节。该体系将动态模拟和数据驱动作为基础,构建涵盖预报、预警、预演、预案的全过程管理机制。其中,预报能力利用气象卫星、测雨雷达、分布式水文模型,实现72小时内逐3小时短临降雨预测,结合小流域洪水演进模型,推演水库、淤地坝等节点的洪水情景,提高极端天气下的响应精度。在预警方面,通过电子围栏和风险等级划分,实施靶向发布机制,积极融合土壤含水率变化,动态修正监测指标,加强实时叫应反馈,全面提高信息传递闭环的可控性。预演能力基于数字孪生技术,仿真模拟典型暴雨事件全流程,洪水演进路径分析、危险区转移路线评估、桥涵壅水、沟道阻水等不利因素,全面提高防御策略的科学性。预案建设则由传统纸质文档升级为结构化、可更新的智能知识库,支持不同灾情下的预案比选与自动生成,有利于加强应急响应效率,提高决策精准度。

2.2 建立一体式山洪灾害非工程措施运行维护体系

2.2.1 现场标准化运维

根据水利部《关于加强山洪灾害防御工作的指导意见》,西安市稳步推进山洪灾害防治体系标准化运维机制建设,重点强化监测站点及预警平台的技术支持力度。自动监测站点通过盟市级统一采购服务模式,优先选择具备本地运维能力的专业团队,有效保障设备数据采集、传输与分析的连续性。全区范围内统一制定数据通信协议,雨量数据在降雨时段按5分钟间隔加密上传,无雨时段则执行每小时“平安报”流程,以此提升数据采集的标准化水平^[1]。

在自治区、盟市、旗县分别配备专业技术团队,建立数据共享机制,开展跨层级联动监管,有利于提高平台运行的稳定性。同

时,推动建立多级协同运维体系,将AI视频测流、水位雷达监测等智能感知设备纳入远程监控网络,提高异常工况下的快速修复能力。对于简易监测设备,则依托基层力量发动村民参与日常巡检,形成“专群结合”的运维模式,保障设备在关键时期的可用性^[2]。

2.2.2 远程监管

为了加强监测站点的自动化监管作用,西安市水利厅开发了集山洪运维App、微信小程序、后台管理系统为一体的山洪灾害运维管理平台,动态追踪监测设备全生命周期。该平台整合全区自动监测站点基础信息,建立包含设备型号、测量精度、安装位置、服役年限等参数的设备清单数据库,数据库具备数据异常识别、故障诊断功能,精准判断设备运行状态。同时,平台可以自动生成运维工单并派发至责任人员,运维端通过现场拍照、数据回传、问题反馈等流程完成任务闭环,同步将更新信息同步至中心数据库,形成“监测—识别—调度—处置—反馈”的智能运维机制^[3]。通过应用该机制,不仅提高了设备故障响应效率,也增强了水利部门对于山洪监测系统的可维护性,推动运维工作由人工巡检向远程监控、由被动维修向主动预防方向进行发展^[4]。

2.3 提升山洪灾害各项业务规范化管理水平

本研究提出构建递进式多阶段预警机制,集成气象风险预警、实时监测数据、洪水演进模拟成果,实现24小时气象风险预警、3小时临近预警、实时动态监测三级联动机制,并结合群众参与的简易监测设备,形成完整的“专群结合”的预警模式。由于预警信息需要具备较强的可操作性,该模式利用电子围栏技术,定向将预警信息推送至危险区责任人,采用智能语音呼叫、微信小程序、移动端App等多渠道发布方式,全面落实“叫应”机制,保证预警信息闭环反馈。同时,建立预警发布工作规程,明确各部门职责边界,推动预警从信息传递向行动落实转变,有利于加强山洪灾害防御决策的科学化水平^[5]。

为了进一步加强危险区管理效果,西安市水利厅组织编制了涵盖9,019个危险区的动态管理清单,内容涉及区域范围、居民分布、三类责任人配置、预警设施布设、安置点规划等要素。目前,该清单已经纳入自治区山洪灾害监测预警平台,实现统一入口管理、实时更新功能,在未来要将细化清单颗粒度,增加住户基本信息、联系方式、特殊人群统计等内容,优化危险区调整流程,确保每年汛前完成清单修订并同步至基层单位。此外,通

过将结构化数据管理和信息化手段融合,推动危险区管理由静态台账向动态监管升级,增强水利工程在极端降雨事件下调度的灵活性,进一步提高山洪灾害防控的精细化程度,为水利水电工程在高风险区域的安全布局提供了基础支撑,为构建韧性工程、提升抗灾能力奠定坚实基础^[6]。

3 结语

山洪灾害防治策略在水利水电工程规划中的系统应用,是提升工程运行可靠性的重要保障。本研究基于数字孪生技术构建监测预警体系,进一步加强感知、算力、算法、数据的协同融合,推动水利工程由被动应对向主动防控转型。通过优化感知网络布局、完善“三算”支撑体系、建设“四预”管理机制、推行标准化运维模式,有效增强了工程设施对于极端降雨事件的响应效率。实践表明,智能化防治体系不仅提升了山洪风险识别精度,也为工程选址、排洪设计、堤防加固等环节提供了科学依据。在未来研究中,应进一步深化数字化治理能力,拓展AI辅助决策和远程监管技术的应用边界,实现山洪灾害防控和水利水电工程规划的深度融合,为构建可持续的水安全保障体系提供坚实支撑。

[参考文献]

- [1]黄金岳,高小平,杨晓辉.彭阳县山洪灾害调查评价方法与山洪灾害防治[J].农业灾害研究,2023,13(8):323-325.
- [2]杨彬,包松林,潘劭博,等.基于数字孪生小流域的内蒙古自治区山洪灾害防治规范化管理研究[J].中国防汛抗旱,2025,35(2):102-108.
- [3]管磊,王帅,卢峰,等.基于区块链体系的内蒙古自治区山洪灾害防治技术研究与应用[J].内蒙古科技与经济,2024(21):131-133,142.
- [4]李萍,黄尔,杨涛.四川省山洪灾害防治项目实施方案设计探讨[J].中国防汛抗旱,2024,34(7):6-9,41.
- [5]朱国威.山洪灾害防治策略在水利水电工程规划中的应用[J].水利电力技术与应用,2025,7(4).
- [6]吴泽斌,徐萌萌,楚中柱.中国山洪灾害防治政策的演进、特征与展望[J].资源科学,2023,45(4):776-785.

作者简介:

马梓臻(1996--),女,汉族,陕西省榆林市榆阳区人,硕士,职称:助理工程师,从事的研究方向:水利工程。