气候变化背景下山区小型水利工程防洪抗旱韧性提升技术研究

李海强

重庆荣炜旭工程建设有限公司, 重庆 402160

摘要： 随着全球气候变化加剧，山区小型水利工程面临极端降水、干旱频发及地质灾害威胁，其防洪抗旱功能持续弱化。本文针对山区小型水利工程现状，首先分析了气候变化对山区小型水利工程的影响，其次分析了当前山区小型水利工程面临的主要困境，最后分析了气候变化背景下健全山区小型水利工程防洪抗旱韧性提升技术的路径，旨在为增强山区水利工程抵御气候变化风险能力、保障区域水资源安全与生态稳定提供理论与实践参考。

关键词： 气候；山区；小型水利工程；防洪抗旱韧性提升技术

Research on Enhancing the Flood Control and Drought Resistance Resilience of Small-Scale Water Conservancy Projects in Mountainous Areas under the Background of Climate Change

Li Haiqiang

Chongqing Rongweixu Engineering Construction Co., Ltd. Chongqing 402160

Abstract : With the intensification of global climate change, small-scale water conservancy projects in mountainous areas are facing extreme precipitation, frequent droughts, and geological hazards, and their flood control and drought resistance functions continue to weaken. This article focuses on the current situation of small-scale water conservancy projects in mountainous areas. Firstly, the impact of climate change on small-scale water conservancy projects in mountainous areas is analyzed. Secondly, the main challenges faced by small-scale water conservancy projects in mountainous areas are analyzed. Finally, the path to improve flood control and drought resistance resilience of small-scale water conservancy projects in mountainous areas under the background of climate change is analyzed. The aim is to provide theoretical and practical references for enhancing the ability of mountainous water conservancy projects to resist climate change risks, ensuring regional water resource security and ecological stability.

Keywords : climate; mountain area; small scale water conservancy projects; technologies for enhancing flood control, drought resistance and resilience

引言

近年来，全球气候变化已成为影响人类社会可持续发展的关键因素。山区作为生态环境脆弱区和水文响应敏感区，其小型水利工程在防洪抗旱、水资源调配等方面发挥着基础性作用，但在气候变化背景下，工程安全与功能实现面临严峻挑战。探索适应气候变化的山区小型水利工程防洪抗旱韧性提升技术，成为水利领域亟待解决的重要课题。

一、气候变化对山区小型水利工程的影响

(一) 气候变化的主要特征及趋势

近年来，全球气候变化呈现出显著特征。根据世界气象组织报告，过去三十年全球平均气温较工业化前上升了约1.1°C，极端

气候事件发生频率显著增加。在山区，气候变化表现为降水时空分布失衡、干旱周期延长、极端降水事件强度加剧等现象。我国山区降水分布不均的情况愈发突出，部分地区年降水量波动幅度达30%以上，且降水集中在短时间内，形成高强度暴雨。与此同时，干旱持续时间和影响范围不断扩大，部分山区连续干旱年份

增加,水资源供需矛盾日益尖锐。此外,气温升高导致冰川融化加速,引发山区河流水文情势改变,对小型水利工程运行带来新的挑战^[1]。

(二) 气候变化对山区小型水利工程产生的具体影响

1. 极端降水事件增加对防洪能力的冲击

极端降水事件频发对山区小型水利工程防洪能力形成严峻挑战。一方面,传统水利工程设计标准难以适应极端降水强度,导致水库、河道等防洪设施超设计标准运行风险增加。例如,某山区小型水库在遭遇百年一遇暴雨时,由于溢洪道泄洪能力不足,导致水库水位急剧上升,危及大坝安全。另一方面,高强度降雨引发山洪灾害,携带大量泥沙、石块等物质,对河道、堤防等水利设施造成严重破坏。据统计,我国山区每年因山洪灾害损毁的小型水利工程占总损毁量的40%以上,工程修复成本高昂,且严重影响防洪减灾效果。

2. 干旱周期变化对蓄水抗旱功能进行挑战

干旱周期的延长和强度增加削弱了山区小型水利工程的蓄水抗旱功能。随着干旱持续时间增加,水库、山塘等蓄水工程蓄水量大幅减少,部分工程甚至干涸见底。例如,某省山区小型水库在连续三年干旱期间,蓄水量下降超过60%,无法满足下游农田灌溉和生活用水需求。此外,干旱导致地下水位下降,河流断流现象频发,进一步加剧了水资源短缺问题。传统水利工程在应对长期干旱时,缺乏有效的蓄水调节和水资源调配能力,难以保障干旱期间的供水安全^[2]。

3. 气候变化引发的地质灾害对工程稳定产生威胁

气候变化加剧了山区地质灾害发生频率,对小型水利工程稳定性构成严重威胁。气温升高导致冻土融化、山体岩石风化,暴雨引发滑坡、泥石流等地质灾害。这些灾害直接破坏水利设施,如冲毁堤坝、堵塞河道、损坏输水管道等。据调查,我国山区每年因地质灾害损毁的小型水利工程占比达30%以上。此外,地质灾害还会改变流域地形地貌,影响河流水文特性,间接增加水利工程运行风险,威胁工程安全。

二、当前山区小型水利工程面临的主要困境

(一) 工程设计标准与气候变化适应性产生矛盾

现有山区小型水利工程设计标准多基于历史气候数据,难以适应气候变化带来的新挑战。传统设计规范对极端气候事件的考虑不足,导致工程防洪、抗旱能力存在先天缺陷。例如,部分水库设计防洪标准仅为50年一遇,在极端降水事件频发的背景下,难以保障工程安全运行。此外,设计规范更新滞后,未能及时纳入气候变化适应性技术和理念,使得新建工程在应对气候变化方面存在先天不足,增加了工程运行风险^[3]。

(二) 工程老化与维护不足导致功能衰减

山区小型水利工程大多建于20世纪六七十年代,经过多年运行,工程设施老化严重。混凝土结构风化、钢筋锈蚀、土石坝渗漏等问题普遍存在,导致工程防洪、蓄水功能大幅衰减。同时,由于工程维护资金短缺、专业技术人员不足,日常维修保养工作

难以有效开展。据统计,我国山区约60%的小型水利工程存在不同程度的老化损坏问题,部分工程带病运行,严重影响工程安全和效益发挥。

(三) 监测预警体系不完善与应急响应滞后

当前山区小型水利工程监测预警体系存在诸多短板。监测设备覆盖率低、技术手段落后,难以实现对工程运行状态和水文气象信息的实时动态监测。部分工程仅配备简单的水位观测设施,缺乏对工程结构安全、水质变化等关键指标的监测。此外,预警信息发布渠道不畅,应急响应机制不健全,导致灾害发生时无法及时采取有效应对措施。据调查,山区小型水利工程灾害预警信息平均传递时间超过2小时,严重影响应急处置效率^[4]。

(四) 管理机制与技术水平制约工程效益发挥

山区小型水利工程管理机制不完善,权责不清、多头管理现象普遍存在。工程运行管理缺乏统一规划和协调,导致水资源调配不合理、工程调度不科学。同时,管理人员专业素质参差不齐,缺乏先进的管理理念和技术手段,难以适应现代化水利工程管理要求。此外,工程运行管理信息化水平低,智能化调度、远程监控等先进技术应用不足,制约了工程效益的充分发挥。

三、气候变化背景下健全山区小型水利工程防洪抗旱韧性提升技术的路径

(一) 夯实工程优化改造技术

一方面,要采用防洪能力提升技术,具体包括如下方面:首先,水库大坝安全加固与溢洪道扩容技术。针对水库大坝老化、渗漏等问题,采用混凝土防渗墙、帷幕灌浆等技术进行加固处理,提高大坝抗渗能力和结构稳定性。同时,对溢洪道进行扩容改造,优化泄洪断面设计,提高水库泄洪能力,确保极端降水条件下工程安全。其次,河道整治与堤防加固技术。开展河道清淤疏浚,拓宽河道行洪断面,清除河道内障碍物,提高河道行洪能力。对堤防进行加固处理,采用生态护坡、混凝土护坡等技术,增强堤防抗冲刷能力,防止洪水漫溢和堤防溃决。第三,优化设计分洪蓄洪设施。合理规划分洪蓄洪区,优化分洪闸、蓄滞洪区等设施设计,提高洪水调蓄能力。在洪水来临前,科学调度分洪蓄洪设施,有效削减洪峰流量,减轻下游防洪压力^[5]。

另一方面,要采用抗旱能力提升技术。具体包括如下方面:首先,水源工程扩容与连通技术。对现有水库、山塘进行扩容改造,增加蓄水容积。同时,建设跨流域调水工程和水系连通工程,优化水资源配置,提高区域水资源调配能力。通过水系连通,实现水资源的联合调度和优化利用,保障干旱期间供水安全。其次,加强节水灌溉设施改造与智能化升级:推广喷灌、滴灌等节水灌溉技术,对传统灌溉设施进行智能化改造。安装土壤墒情监测设备和自动灌溉控制系统,根据作物需水规律实现精准灌溉,提高水资源利用效率。同时,发展旱作农业技术,推广耐旱作物品种,减少农业用水需求。第三,构建雨水收集与调蓄系统。在山区建设雨水收集池、蓄水池等设施,收集屋顶、路面等区域的雨水,用于农业灌溉和生活杂用。构建雨水调蓄系统,将

收集的雨水进行储存和调配,提高雨水资源利用效率,缓解干旱期间水资源短缺问题^[6]。

(二) 夯实监测预警与信息化技术

一方面,构建多源数据监测网络。要布设水文气象监测设备与采集数据,在山区流域内合理布设雨量站、水位站、气象站等监测设备,实现对降水、水位、气温、风速等水文气象要素的实时监测;采用物联网技术,将监测数据实时传输至数据中心,为防洪抗旱决策提供准确的数据支持。要应用工程结构安全监测传感器,在水库大坝、堤防等水利工程关键部位安装渗压计、位移计、应力计等传感器,实时监测工程结构安全状况,通过传感器采集的数据,及时发现工程结构隐患,为工程安全运行提供预警信息。

另一方面,构建智能预警与决策支持系统。建立基于大数据和人工智能的洪水与干旱灾害风险评估模型,结合历史灾害数据和实时监测信息,对灾害发生的可能性和影响范围进行预测评估,通过风险评估,为防洪抗旱决策提供科学依据,制定针对性的应对措施。利用大数据分析和人工智能算法,对监测数据进行深度挖掘和分析,实现灾害预警信息的自动识别和发布,通过短信、微信、广播等多种渠道,及时将预警信息传递给相关部门和公众,提高预警信息传递效率。建设水利工程应急调度决策支持平台,集成水文气象监测、工程运行管理、灾害预警等信息,实现对防洪抗旱资源的统一调度和管理,通过平台模拟不同调度方案的效果,为决策者提供科学的调度建议,提高应急处置效率^[7]。

(三) 夯实生态修复与适应性管理技术

一方面,要建立流域生态修复技术。在山区流域开展植被恢复工程,通过植树造林、退耕还林等措施,提高植被覆盖率,增强水土保持能力,同时建设梯田、鱼鳞坑等水土保持设施,减少水土流失,改善流域生态环境;保护与重建湿地生态系统,加强山区湿地保护,建立湿地自然保护区,禁止非法占用和破坏湿地资源,对退化湿地进行生态修复,通过补水、清淤、植被恢复等措施,重建湿地生态系统。

另一方面,要采取适应性管理策略。动态调整工程运行调度方案,根据气候变化和水文情势变化,建立工程运行调度动态调整机制;结合实时监测数据和天气预报信息,优化水库蓄水、泄洪调度方案,提高工程防洪抗旱效益;在干旱期间,合理安排水资源分配,优先保障生活用水和重点产业用水需求。优化气候变化情景下的工程规划,在水利工程规划设计中,充分考虑气候变化因素,采用气候模型预测未来降水、气温等变化趋势,制定适应气候变化的工程规划方案;对现有工程进行适应性改造,提高工程对气候变化的适应能力,确保工程长期安全运行^[8]。

(四) 夯实协同管理与智慧运维技术

一方面,建立健全跨部门协同管理机制。构建水利、气象、自然资源、应急管理等多部门联合的协同管理平台,建立数据共享与业务联动机制。通过定期召开联席会议、制定联合应急预案,打破部门间信息壁垒,实现灾害预警、工程调度、抢险救援等环节的无缝衔接。例如,在汛期由水利部门提供工程运行数据,气象部门提供降水预测,应急管理部门统筹抢险资源,形成“监测—预警—响应”一体化的协同管理体系。

另一方面,强化智慧运维与全生命周期管理。引入数字孪生、BIM(建筑信息模型)等技术,对水利工程进行全生命周期数字化管理。建立工程健康档案,实时追踪结构安全、设备运行状态及维护记录;利用无人机巡检、水下机器人探测等手段,实现工程设施的智能化巡检;通过AI算法分析设备故障规律,提前制定维护计划,降低突发事故风险,提升工程运维效率与安全性^[9]。

(五) 夯实公众参与与社会韧性提升技术

一方面,采取社区参与式灾害防治。推动“政府—社区—公众”三级联动机制,组织山区居民参与防洪抗旱知识培训、应急演练及工程巡查。设立社区水利协管员岗位,定期开展工程设施巡查与简易维护,确保水利工程切实发挥作用;开发公众参与平台,鼓励居民通过手机APP上报隐患信息、反馈用水需求,形成全民参与的灾害防治网络。

另一方面,进行社会韧性培育与风险共担。探索引入保险机制,针对山区小型水利工程建立洪水、干旱灾害保险体系,减轻工程损毁后的修复资金压力;开展防灾减灾科普宣传,通过短视频、动画等形式普及防洪抗旱知识,提升公众自救互救能力;鼓励社会组织、企业参与水利工程建设与运维,形成多元化的资金与技术支持模式,增强社会整体应对气候变化的韧性^[10]。

四、结语

本研究围绕气候变化背景下山区小型水利工程防洪抗旱韧性提升,系统剖析了工程面临的挑战与困境,提出了多维度的技术路径。研究表明,单一技术手段难以有效应对气候变化的复杂影响,需通过多技术集成、多部门协同、全社会参与的综合模式,全面提升工程系统韧性。未来研究需进一步深化气候变化情景下的工程适应性设计,加强新技术研发与推广应用,完善政策保障与长效管理机制,为山区小型水利工程可持续发展提供更有力的支撑,最终实现生态保护、民生保障与经济协同共赢。

参考文献

- [1]康健.水利工程运行管理强化提升问题研究及对策建议[J].水利水电技术(中英文),2024,55(S1):346-349.
- [2]苏惠云.基于灰色模糊理论的小型水利工程临时工程费测算[J].水利技术监督,2023(12):175-178.
- [3]刘玉奇.小型水利工程运行维护管理与优化策略探讨[J].农业开发与装备,2023(11):118-120.
- [4]詹志琴.基于蒙特卡洛法的小型水利工程不可预见费测算[J].水利技术监督,2024(02):79-81+93.
- [5]王继祥.小型水利工程中的砌石工程施工技术分析[J].中国科技投资,2021(05):124-125.
- [6]李发鹏,杨彦明,孙波扬.“两手发力”推进小型水利工程管护的分析与思考[J].人民长江,2023,54(S2):216-219.
- [7]赵学艳.小型工程建设质量存在的问题及对策[J].工程建设与设计,2024,(02):261-263.
- [8]王军.水利工程BIM标准编码及清单计价的应用研究[J].人民长江,2021,52(S2):157-160.
- [9]鲁学峰.小型水利工程施工技术中的问题及解决策略分析[J].四川建材,2023,49(07):120-122.
- [10]岳川.水利工程中的河道治理对策研究——以小型农田水利工程为例[J].中国农业文摘-农业工程,2024,36(03):28-31.