

水利水电工程中的防洪减灾技术研究

郭 娜 娜

洛阳水利勘测设计有限责任公司 河南 洛阳 471000

摘要：本文聚焦水利水电工程防洪减灾技术研究，剖析洪水形成机制与特性，介绍洪水演进模拟及预测手段。阐述防洪体系构建，涵盖工程规划与非工程措施。深入探究堤防加固、水库调度、蓄滞洪区建设、城市防洪排涝等关键技术。探索新技术应用，强调跨学科融合与协同创新，从可持续发展视角分析防洪减灾，为水利水电工程防洪减灾实践提供有力支撑。

关键词：防洪减灾；洪水特性；水利工程；新技术应用；可持续发展

引言：洪水灾害严重威胁人类生命财产安全与社会稳定发展。水利水电工程作为防洪减灾的关键手段，其作用至关重要。深入探究洪水形成机制与特性，构建科学合理的防洪体系，研发先进有效的防洪减灾技术，是提升防洪能力的核心。本文围绕水利水电工程中的防洪减灾技术展开研究，分析现状、探索创新，为应对洪水挑战提供技术支持与理论依据。

1 洪水形成机制与特性分析

1.1 洪水成因及影响因素

自然因素中，气候异常是引发洪水的重要条件，持续强降水或短时间内的暴雨会使地表径流在短时间内急剧增加，超出河道的排泄能力^[1]。地形地貌对洪水形成有显著作用，山区地势陡峭水流汇集速度快，易形成暴涨暴落的洪水；平原地区地势平缓水流排泄缓慢，洪水持续时间较长。河流特性包括河道比降、断面形态、弯曲程度等，河道狭窄弯曲会阻碍洪水下泄，加剧洪水泛滥风险。人为因素中城市化进程改变了地表覆盖状况，不透水面积增加导致雨水下渗减少，地表径流系数增大，汇流速度加快，洪水峰值提高。土地利用变化如过度开垦、围湖造田等，破坏了自然调蓄能力，湖泊和湿地面积减少使得洪水调蓄容量下降。水利工程建设中的水库大坝虽能调控洪水，但不合理的调度或工程布局也可能影响洪水演进路径，改变下游洪水特性。

1.2 洪水特性与分类

按成因分类暴雨洪水由强降雨引发，具有发生频率高、影响范围广的特点，洪水过程与降雨过程密切相关。融雪洪水多发生在高纬度或高海拔地区，气温回升导致积雪快速融化形成洪水，洪水过程相对平缓持续时间较长。冰凌洪水是因河流结冰或融冰形成冰塞、冰坝堵塞河道，造成水位急剧上涨，多出现在冬季或初春的北方河流。按时空分布分类局地洪水局限于小流域或特

定区域，由局部短时强降雨引发，发生突然但影响范围较小。区域洪水涉及多个流域或较大地理范围，往往由大范围降雨或流域间洪水遭遇形成，影响面积广危害程度大。季节性洪水与季节气候变化相关，如夏季多雨季节的洪水频发，具有明显的时间规律性。洪水特性分析流量是衡量洪水大小的重要指标，最大流量反映洪水的峰值规模，流量过程线则体现洪水的涨落变化。水位高低直接关系到洪水淹没范围，最高水位是确定防洪工程建设标准的重要依据。历时指洪水从起涨至落平所经历的时间，不同类型洪水的历时差异较大。峰型包括单峰、双峰或多峰，峰型特征影响防洪调度的难度和洪水灾害的分布。

1.3 洪水演进模拟与预测

洪水演进模型介绍一维模型主要模拟河道内洪水的沿程变化，适用于研究河道洪水的传播速度和水位变化，计算简便但难以反映洪水漫溢后的平面分布。二维模型能够模拟洪水在平面上的扩散蔓延，适用于洪水淹没范围预测和滩区洪水演进分析，需较多的地形数据支持。三维模型可考虑水流的垂向运动和紊动特性，适用于复杂地形条件下的洪水精细模拟，但计算量大对软硬件要求较高。预测方法与技术数值模拟基于水动力学原理，通过建立方程组求解水流运动参数，能够较为准确地模拟洪水演进过程，预测未来一段时间内的水位和流量变化。机器学习通过训练大量历史洪水数据，挖掘洪水要素之间的非线性关系，构建预测模型，在短期洪水预测中具有较高的效率和精度。大数据分析整合气象、水文、地形等多源数据，通过数据挖掘和模式识别，识别洪水发生的前兆特征，为洪水预测提供更全面的信息支持，提升预测的可靠性和时效性。

2 水利水电工程防洪体系构建

2.1 防洪工程体系规划

防洪标准确定需综合流域洪水特性、保护区域的人口密度、经济发展水平及重要设施分布。保护对象为城市核心区或重要工业区时，标准应适当提高以应对极端洪水；农业产区可根据作物价值与受灾影响程度确定合理标准，平衡防护效果与建设成本^[2]。工程布局需统筹上下游关系，上游侧重拦蓄洪水削减洪峰，下游强化河道行洪能力与分洪设施建设。左右岸需协调防护措施，避免因单侧工程导致洪水向对岸偏移。干支流应形成联动体系，支流防洪工程需与干流标准衔接，防止支流洪水汇入干流后加剧防洪压力。工程措施与非工程措施需同步规划，工程措施构建物理屏障，非工程措施提升应对灵活性。关键工程设施中堤防需根据河道设计流量确定高度与强度，结合地形采用斜坡式或直立式结构，确保抗滑稳定与防渗性能。水库防洪功能需与兴利功能协调，预留足够防洪库容，闸门设计兼顾泄洪速度与调控精度。蓄滞洪区需划定合理范围与容量，配套建设进退洪设施，确保关键时刻能有序启用。分洪道需具备足够过流能力，线路规划避开人口密集区，减少分洪时的次生灾害。

2.2 非工程防洪措施

洪水预警系统建设中监测站点需覆盖流域内的降雨区、汇流区及河道关键节点，形成密度合理的监测网络。信息传输采用无线通信与卫星传输相结合的方式，确保数据在复杂地形条件下稳定传递。信息处理中心通过算法快速解析监测数据，生成洪水预报结果。预警发布需依托广播电视、手机短信、应急广播等多渠道，针对不同区域精准推送预警信息，明确避险提示与行动要求。应急管理与救援体系中应急预案需明确不同洪水等级对应的响应措施，划分各部门职责与协作流程。救援队伍需包含专业抢险人员与民间志愿力量，定期开展实战演练提升协同能力。物资储备需按灾害影响范围分级布局，在易受洪水威胁区域前置储备冲锋舟、救生衣、排水设备等，建立跨区域调配机制保障应急需求。公众教育与意识提升可通过社区宣传栏、学校课程、新媒体平台普及洪水成因、避险场所位置及转移路线。自救互救技能培训需结合实际场景开展实操演练，指导群众使用救生器材、包扎伤口及搭建临时避难设施。定期组织防洪演练让公众熟悉应急流程，增强面对洪水时的冷静应对能力，降低恐慌情绪导致的次生风险。

3 防洪减灾关键技术研究

3.1 堤防加固与防护技术

堤防病害诊断与评估通过外观检查识别裂缝分布密度与长度，采用探地雷达定位渗漏通道，监测堤体位移

判断滑坡风险。评价需结合病害类型与严重程度，确定对堤防安全的影响等级。加固材料与方法中土工合成材料增强堤体防渗与抗剪能力，土工膜接缝需严密，土工格栅通过与土体咬合提升强度。生物防护技术选用耐旱耐涝植被，利用根系固土防护堤坡。化学灌浆将水泥浆或化学浆液注入裂缝与孔隙，压力作用下浆液扩散凝固，封堵渗漏通道。堤防监测与维护依托自动化系统，传感器实时采集水位、位移、渗流量数据，管理平台实现异常报警。定期巡查关注堤顶、堤坡、堤脚变化，及时发现裂缝、冲刷等问题。维护制度明确日常保洁、植被修剪、设备检修的周期标准，保障堤防状态良好。

3.2 水库防洪调度技术

水库防洪库容确定需分析入库洪水数据，结合降雨预报预测洪水量级，参考下游防洪控制断面安全泄量，预留库容应对超标洪水。库容分配平衡防洪与兴利，汛期优先保障防洪，非汛期兼顾发电、灌溉。调度规则制定基于预报成果，预泄调度提前降低库水位增加调蓄空间，操作时需关注下游河道承泄能力；错峰调度调节泄流时间避开下游区间洪水峰值，需精准计算区间洪水到达时间；蓄洪调度在洪水超下游承受能力时拦蓄洪水控制下泄。规则保持灵活性，可依实时水情调整^[3]。风险分析与决策支持需考量降雨预报误差、入库洪水不确定性，评估调度方案风险损失。多目标优化模型综合防洪安全、兴利效益、生态保护，通过算法求解最优泄流过程，为决策提供依据。

3.3 蓄滞洪区建设与管理

蓄滞洪区选址与布局考察地形高程是否适宜蓄存洪水，确保容积足够容纳超额洪水。淹没范围避开重要城镇、工矿企业与大型基础设施，减少分洪损失。优先选择人口密度低、搬迁成本小的区域，布局与流域防洪体系协调，形成与堤防、水库联动的调控格局。分洪设施设计中进洪闸需快速开启，闸孔尺寸与数量依设计分洪流量确定，启闭设备保证可靠耐用，需定期进行启闭试验确保应急可用。退洪闸用于排出蓄滞洪水，与下游河道衔接顺畅，闸底高程需适应下游水位变化。地势低洼区域配套建设排水泵站，确保分洪后及时排涝恢复生产，泵站功率需满足最大退水流量要求。运用管理与补偿机制中分洪时机依预报与下游形势判断，洪水将超堤防标准时按程序启动分洪。人员转移需提前制定路线与安置方案，明确责任人与信号，确保分洪前全员撤离。损失评估核定农作物、房屋、基础设施受损情况，补偿机制按损失给予合理补偿，保障群众生活与生产恢复。

3.4 城市防洪排涝技术

城市排水系统规划中雨污水管网布置适应地形坡度与道路走向,管径依汇水面积与设计降雨量确定。泵站设在低洼、排水不畅区域,水泵满足流量与扬程要求,具备应急启动功能。调蓄池在降雨高峰期暂存雨水,选址利用绿地、广场地下空间。低影响开发技术中绿色屋顶种植植被吸收雨水,减少径流系数,做好防水与排水层设计。透水铺装采用多孔材料,促进雨水下渗补充地下水,减轻地表径流压力。雨水花园利用低洼地带种植乡土植物,通过土壤过滤、植物吸收净化雨水,兼具景观与调蓄功能。内涝防治与应急响应中易涝点整治分析积水成因,采取增设排水口、拓宽管道、抬高路面等措施消除隐患。排水能力提升可通过管网清淤、改造或新建干线增强效能。应急设备配置移动泵站、排水软管等,暴雨内涝时快速抽排积水,保障交通与出行安全。

4 防洪减灾技术创新与发展趋势

4.1 新技术应用探索

人工智能在洪水预测与调度中的应用通过深度学习模型处理海量水文气象数据,识别降雨与洪水的非线性关系,提升预测精度。强化学习算法可模拟不同调度策略的长期效果,自主优化水库泄流方案,在复杂水情下快速生成最优决策^[4]。物联网技术在防洪工程监测中的集成依托传感器网络实现全域感知,水位、雨量、堤体应力等数据实时采集,配合无线通信技术突破地理限制,形成覆盖流域的监测体系。数据传输采用低功耗广域网技术,延长设备续航时间,适应偏远地区部署需求。传感器节点具备自诊断功能,可自动识别故障并发送维修信号,减少人工巡检成本。遥感与GIS技术在洪水监测与评估中的融合利用高分辨率卫星影像捕捉洪水淹没动态,结合无人机航拍获取局部精细数据。GIS技术通过空间分析功能将淹没范围与人口、资产数据叠加,快速评估灾害损失,为救援资源配置提供空间参考。

4.2 跨学科融合与协同创新

水利工程与气象学交叉研究改进降雨预报模型,将大气环流特征与流域地形结合,提高短临预报的时效性。与地理学合作优化洪水风险区划,考虑地质地貌对洪水演进的影响,提升区划结果的实用性。与环境科学

协同探索防洪工程的生态效应,避免工程建设对河流生态系统造成破坏。政府搭建产学研合作平台,推动科研机构与企业技术对接,加速成果转化。企业参与技术研发提供市场需求导向,科研机构专注基础理论与核心技术突破,政府通过政策引导资源配置,形成创新合力。多方协作机制促进技术标准统一,避免重复研发与资源浪费。

4.3 可持续发展视角下的防洪减灾

生态友好型防洪工程建设优先采用自然材料与生态工法,堤防建设结合植被缓冲带,减少混凝土硬化面积。河道整治保留天然弯道与深潭浅滩,维持河流生态系统完整性。防洪工程布局兼顾生物迁徙通道,避免阻断水生生物洄游路径。气候变化适应性防洪策略需分析未来气温升高对降水模式的影响,预估极端洪水发生频率的变化趋势。防洪标准制定预留冗余度,应对可能出现的超历史洪水。工程设计考虑海平面上升因素,沿海地区防洪设施需提升防潮能力,适应气候变化引发的水文特征改变。建立长期监测网络,跟踪气候因子与洪水特性的关联变化,为策略动态调整提供数据支撑。

结束语

水利水电工程防洪减灾技术涉及多方面,从洪水特性分析到防洪体系构建,再到关键技术研究与创新发展,每个环节都紧密相连。新技术应用、跨学科融合为防洪减灾带来新机遇,可持续发展理念引导工程向生态友好型转变。未来,需持续深入研究,不断完善防洪减灾技术体系,以更好应对洪水挑战,保障社会经济的稳定发展。

参考文献

- [1]王思腾,徐安.基于一维数学模型的水电站水利工程防洪评价[J].水利科技与经济,2024,30(11):75-80,91.
- [2]朱俊海,张娜,郝永志.新疆山洪灾害防治水利专项现状评估[J].水利技术监督,2025(6):86-89.
- [3]刘家宏,周晋军,王浩.梯级水电枢纽群巨灾风险分析与防控研究综述[J].水利学报,2023,54(1):34-44.
- [4]唐邦俊,高飞.特大洪水下水利工程保险推广的探讨[J].黑龙江水利科技,2025,53(2):167-170.