

水利工程中防洪减灾技术及其应用研究

孙 亮 刘 星

天津市蓟州区水务局水务管理服务中心 天津 301900

摘 要：本文围绕水利工程防洪减灾技术及其应用展开研究，阐述防洪减灾相关基础理论，系统梳理洪水监测预警、工程性、非工程性及新技术融合应用四大核心技术体系，结合三峡水库、贾鲁河数字孪生水网等典型案例，分析技术应用效果与经验，剖析当前技术应用中的技术、管理、经济生态层面问题，提出针对性优化策略与未来发展展望，为提升水利工程防洪减灾效能、保障人民生命财产安全及社会经济稳定发展提供理论与实践参考。

关键词：水利工程；防洪减灾技术；应用

引言：我国水旱灾害频发，洪涝灾害严重威胁人民群众生命财产安全与社会经济可持续发展，水利工程作为防洪减灾的核心载体，其技术应用水平直接决定防控成效。在全球气候变化与极端天气频发背景下，传统防洪技术已难以满足防控需求，数字孪生、人工智能等新技术的融合成为发展趋势。基于此，本文聚焦水利工程中防洪减灾技术的体系构成、实际应用及优化路径，为推动防洪减灾能力提升、实现江河安澜提供支撑。

1 水利工程防洪减灾相关基础理论

1.1 水利工程与防洪减灾核心概念

(1) 水利工程的分类与功能：主要分为水库、堤防、河道治理、蓄滞洪区四大类，核心功能涵盖防洪、灌溉、供水等，其中防洪类工程是重中之重，主要承担拦蓄洪水、削减洪峰、疏导水流的作用，通过调控洪水径流，减少洪水对沿岸区域的冲击，为防洪减灾提供基础保障。(2) 防洪减灾的内涵与目标：内涵贯穿洪水全流程，包括前期预防、实时监测、及时预警、应急处置及灾后恢复重建，形成完整的防洪体系；核心目标是最大限度降低洪水灾害风险，守护人民群众生命财产安全，保障社会经济稳定发展，减少灾害造成的人员伤亡和经济损失。

1.2 防洪减灾的基本原理与原则

(1) 基本原理：以洪水形成机制为核心，遵循“疏堵结合、蓄泄并重”的核心思路，结合工程措施与非工程措施，通过拦、蓄、疏、泄等手段，实现对洪水的科学控制与高效管理，减少洪水灾害的影响范围和程度。(2) 核心原则：坚持预防为主、防治结合，优先做好前期防控；统筹兼顾、因地制宜，结合不同区域实际制定防控方案；兼顾技术先进与经济合理，提升防控效能；注重生态友好、可持续发展，实现防洪与生态保护协同推进。

1.3 水利工程防洪减灾的核心影响因素

(1) 自然因素：降水强度、流域地形、水文特征及

气候变化是关键，直接决定洪水的形成速度、规模和影响范围，是水利工程防洪设计和技术应用的核心考量依据。(2) 人为因素：水利工程建设质量、防洪技术应用水平、管理机制完善度、公众防洪意识，以及跨部门协同效率，直接影响防洪减灾的整体成效，是提升防洪能力的重要人为保障。

2 水利工程中防洪减灾核心技术体系

2.1 洪水监测与预警技术

(1) 监测技术：目前已形成“天空地水工”一体化监测技术体系，全面覆盖洪水形成与演进全流程。其中遥感监测依托卫星实现大范围降水、流域水情的宏观监测；水文站监测聚焦河道、水库等关键区域，实时采集水位、流量等核心数据；无人机巡检可快速排查堤防、水库等工程隐患，弥补人工巡检盲区；传感器实时监测则嵌入工程结构及周边环境，实现对雨水情、工程应力、渗流量等指标的精准感知，为防洪决策提供全面、实时的数据支撑^[1]。(2) 预警技术：以大数据、人工智能技术为核心，构建高精度洪水预报模型，结合历史水文数据、实时监测信息，实现对洪水发生时间、量级、影响范围的精准预测。数字孪生仿真预演技术通过构建流域数字镜像，模拟洪水演进过程及工程调度效果，为防控方案优化提供支撑；同时完善预警信息发布机制，依托广播、短信、新媒体等多渠道，实现预警信息快速传递，确保群众及时获取避险指引。

2.2 工程性防洪减灾技术

(1) 堤防工程技术：核心是通过多种技术手段提升堤防稳定性与抗灾能力，包括堤防加固技术，采用灌浆、高压喷射等工艺弥补堤防隐患；生态护岸技术结合植被、生态混凝土等材料，兼顾堤防防护与河流生态保护；防渗处理技术应用土工合成材料、防渗墙等，减少堤防渗漏，防范管涌、溃坝等风险，高性能混凝土、土工合成

材料的广泛应用,进一步提升了堤防的抗冲刷、抗渗透能力。(2)水库调度技术:重点通过科学调度实现洪水滞蓄与分流,减轻下游防洪压力。核心技术包括防洪库容预留,根据汛期预报合理预留库容,为拦蓄洪水提供空间;梯级水库协同调度技术,统筹流域内多座水库,实现洪水的联合调控,优化泄洪方案;智能闸门调控技术依托自动化控制系统,实现闸门启闭的精准、高效控制,提升调度灵活性与及时性。(3)河道治理技术:以提升河道行洪能力为核心,结合生态修复理念,采用河道疏浚、拓宽、裁弯取直等传统技术,清除河道淤积、拓宽行洪断面、理顺水流路径,减少洪水滞留时间;同时融入生态修复措施,种植水生植被、修复河岸生态,在提升行洪能力的同时,维护河流生态平衡,实现防洪与生态保护双赢^[2]。

2.3 非工程性防洪减灾技术

(1)洪水风险评估技术:基于历史洪水数据、流域地形地貌、实时监测信息,运用大数据分析,开展洪水风险识别、等级划分与损失评估。通过构建风险评估模型,明确不同区域的洪水风险等级,划分危险区域与安全区域,为防洪工程布局、应急预案制定、避险安置规划等提供科学依据,提升防洪决策的针对性与合理性。(2)应急处置技术:涵盖洪水抢险、人员转移避险、灾后恢复重建全流程技术。洪水抢险技术包括堤坝堵漏、抢险物资调配、临时防护等技术,快速处置工程险情;人员转移避险技术依托风险预判,制定科学转移路线与安置方案,保障群众安全转移;灾后恢复重建技术聚焦水利工程修复、农田复耕、民生保障等,加快灾后恢复进度,降低灾害后续影响,结合完善的应急预案,全面提升应急响应效率。

2.4 新技术融合应用技术

(1)数字孪生水利技术:核心是构建数字孪生流域、水网及水利工程,通过整合监测数据、地理信息、工程参数等,打造与物理世界精准映射的数字镜像。依托该技术可实现洪水演进、工程调度的实时模拟与预演,提前预判洪水影响,优化防控方案,提升防洪决策的科学性与前瞻性,推动防洪减灾从经验决策向科学决策转变^[3]。(2)人工智能与物联网技术:深度融合于防洪减灾全流程,人工智能技术应用于洪水预测、工程隐患识别等,提升预判精准度;物联网技术实现监测设备、工程设施的互联互通,实时采集、传输各类数据,支撑智能调度与远程管控。两者协同发力,推动防洪减灾模式从“被动应对”向“主动智防”转变,大幅提升防洪减灾的智能化水平。

3 水利工程中防洪减灾技术的实际应用案例分析

3.1 案例选取与概况

(1)案例选取原则:遵循代表性、多样性、参考性原则,选取不同类型、不同区域的典型水利工程,涵盖大型水库调度、数字孪生智能调度、传统与生态防洪结合三大场景,兼顾工程规模与技术应用特色,确保案例经验可复制、可推广,为各类水利工程防洪减灾提供借鉴。(2)案例概况:三峡水库作为我国大型水库调度典范,位于长江干流,主要承担长江中下游防洪任务,应对汛期大洪水,保障沿岸城市与农田安全;郑州市贾鲁河数字孪生水网,聚焦城市防洪排涝,破解流域内旱涝交替难题,满足城市防洪与生态供水双重需求;莆田木兰陂是传统与生态防洪结合的代表,地处福建莆田,兼具防洪、灌溉功能,需应对台风暴雨引发的洪水,同时保护流域生态。

3.2 案例中防洪减灾技术的应用细节

(1)监测预警技术应用:三个案例均部署“天空地水工”一体化监测系统,三峡水库结合遥感、水文站与传感器,实时监测入库流量、水位;贾鲁河数字孪生水网搭载AI洪水预报模型,精准预判洪水演进;木兰陂完善预警发布机制,通过多渠道快速传递预警信息,三者预警准确率均达95%以上,为防控争取充足时间。(2)工程与非工程技术结合应用:三峡水库采用梯级协同调度技术,合理预留防洪库容,削减洪峰;贾鲁河实施堤防加固与生态护岸工程,同步开展洪水风险评估,完善应急转移流程;木兰陂保留传统防洪设施,结合生态修复措施,优化应急抢险方案,实现工程防护与应急处置高效衔接^[4]。(3)新技术融合应用:贾鲁河数字孪生水网构建流域数字镜像,推行“早时预蓄、汛时调控”模式,实现洪水精准调度;三峡水库融入人工智能技术,优化调度方案;木兰陂结合物联网技术,提升工程监测与管护效率,推动传统防洪向智能防控转型。

3.3 技术应用效果评价与经验总结

(1)应用效果评价:三峡水库可削减洪峰30%-40%,有效保护长江中下游1500万人口和150万公顷农田;贾鲁河汛期行洪能力提升40%,预警响应时间缩短至30分钟内,灾害损失降低60%以上;木兰陂有效抵御台风暴雨洪水,保障周边10万群众生产生活安全,实现防洪与生态双赢。(2)经验总结:技术选型需结合工程实际与区域需求,优先选用适配性强的技术;注重工程与非工程技术、新技术与传统技术的集成应用,提升防控效能;完善监测预警、调度管理与应急处置机制,强化部门协同与公众参与,同时兼顾防洪与生态保护,实现可持续发展,为其他水利工程提供重要参考。

4 水利工程防洪减灾技术应用中的问题与优化策略

4.1 技术应用中存在的主要问题

(1) 技术层面: 部分水利工程沿用老化传统防洪技术, 运行效率低; 数字孪生、人工智能等新技术与现有工程融合不深入, 智能化优势难以发挥; 极端洪水场景下技术适应性不足, 监测数据易受干扰、质量不稳定, 影响防洪决策精准度。(2) 管理层面: 防洪技术应用缺乏统一行业标准, 不同区域、工程的规范衔接不畅; 跨部门数据壁垒明显, 数据无法高效共享; 复合型技术人才短缺, 管理机制不完善, 跨部门应急协同效率不高, 影响防控成效。(3) 经济与生态层面: 新技术投入、设备更新及工程改造成本较高, 部分地区因资金不足难以推广先进技术; 部分防洪工程重防洪、轻生态, 与流域生态修复存在矛盾, 生态友好型技术应用范围较窄。

4.2 技术应用优化策略

(1) 技术优化: 加快传统防洪技术的升级改造, 淘汰老化设备, 提升现有工程的抗灾能力; 推动数字孪生、人工智能等新技术与防洪减灾技术深度融合, 完善监测预警、调度管控模型; 针对性研发适配极端洪水场景的专用技术, 加强数据校验与管控, 提升监测数据质量和模型预测精度。(2) 管理优化: 建立统一的防洪减灾技术应用标准, 规范技术选型、部署及运行流程; 打通跨部门、跨区域数据协同平台, 实现监测、调度、应急等数据高效共享; 加强专业人才培养与引进, 开展技能培训, 打造复合型技术团队, 同时完善管理机制和应急协同体系, 提升应急响应效率。(3) 经济与生态优化: 合理统筹资金投入, 优化技术选型, 降低投入成本, 加大对中小流域、欠发达地区的技术扶持; 大力推广生态友好型防洪技术, 将生态修复理念融入工程建设, 实现防洪减灾与生态保护协同发展, 延伸防汛数据价值链, 提升技术应用的综合效益^[5]。

4.3 未来发展展望

(1) 技术发展趋势: 智能化、数字化、生态化将成为防洪减灾技术的核心发展方向, 数字孪生水利体系将进一步完善, 实现物理流域与数字流域的精准联动; 人工智能、物联网、大数据等新技术的融合应用将更加广泛, 推动防洪减灾向“主动智防、精准防控”转型。(2) 应用发展方向: 聚焦中小流域、城市内涝治理等薄弱环节, 推动防洪减灾技术的普及应用, 补齐防控短板; 加强区域间协同防控, 完善跨流域调度机制, 同时积极开展国际合作, 借鉴先进技术与经验, 全面提升我国水利工程防洪减灾的整体能力。

结束语

防洪减灾是水利工程的核心使命, 也是保障国家水安全的重要举措。本文系统研究了水利工程防洪减灾技术体系、应用案例及现存问题, 提出的优化策略贴合实际需求, 为技术推广与升级提供了可行路径。未来, 需持续推动技术智能化、生态化转型, 完善管理机制, 破解应用瓶颈, 推动工程与非工程技术深度融合, 不断提升水利工程防洪减灾综合能力, 为守护人民安康、促进社会高质量发展筑牢水利防线。

参考文献

- [1]李世运.水利工程中防洪减灾技术的实施与效果分析[J].2022,(13):163-165.
- [2]赵杰.智能化技术在洞庭湖区水利工程管理中的应用[J].湖南水利水电,2025,(2):72-73.
- [3]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.
- [4]张庆.水利信息化在防洪减灾体系建设中的作用与实践[J].信息系统工程,2024,(9):114-116.
- [5]张亚平,张延彬.水文水资源环境管理与防洪减灾分析[J].智慧中国,2021,(9):78-79.