

智慧水利系统在城市防洪减灾中的应用研究

李建忠

卓资县水资源保护中心, 中国·内蒙古 乌兰察布 012300

摘要: 城市防洪减灾核心在于构建全生命周期防控体系, 涵盖风险预判等四环节。智慧水利系统以“感知—传输—计算—应用”为架构, 具备全域感知等特征, 通过“数据赋能—决策优化—行动协同”机理赋能防洪减灾。当前该系统已规模化应用, 但存在技术瓶颈与管理协同短板, 需从感知体系、预测模型等多方面优化, 依托数字孪生等技术提升防洪减灾智能化与韧性水平。

关键词: 智慧水利; 城市防洪; 应用策略

Application Research of Smart Water System in Urban Flood Control and Disaster Reduction

Li Jianzhong

Zhuozhi County Water Resources Protection Center, China Inner Mongolia Ulanqab 012300

Abstract: The core of urban flood prevention and disaster mitigation lies in establishing a full life-cycle prevention and control system, encompassing four key phases including risk prediction. The smart water management system adopts a "perception-transmission-computation-application" architecture, featuring comprehensive domain-wide sensing capabilities. It empowers flood control and disaster mitigation through a mechanism of "data empowerment, decision optimization, and coordinated actions". Although this system has been widely implemented, technical bottlenecks and management coordination gaps persist. Optimization is required in multiple aspects such as perception systems and predictive models, while leveraging digital twin technologies to enhance the intelligence and resilience of flood prevention and disaster mitigation.

Keywords: Smart water conservancy; Urban flood control; Application strategy

0 引言

在全球气候变化的大背景之下, 极端水文事件频繁发生, 城市洪涝灾害的风险不断加剧, 这对基础设施的安全以及居民生活的保障构成了极为严重的威胁。传统的防洪模式难以适应复杂多变的灾害形势, 迫切需要技术革新来实现赋能升级, 智慧水利系统依靠新一代信息技术优势, 可以为城市防洪减灾提供全新的解决办法, 在这样的背景状况下, 对其应用相关问题与策略展开探究有关键的意义。

1 城市防洪减灾与智慧水利系统的理论基础

1.1 城市防洪减灾的核心内涵

城市防洪减灾的核心内涵在于依据城市的水文特征以及空间布局情况, 借助工程措施与非工程措施协同发挥作用, 构建起贯穿全生命周期的灾害防控体系, 以此实现对洪水灾害进行有效规避、加以控制以及削减损失的目的。其核心要义包含风险预判、灾害防御、应急处置以及灾后恢复这四个关键环节, 着重突出以流域为单元的系统性防控思维, 对城市防洪工程建设、水资源调度以及生态保护

之间的关系给予统筹协调^[1]。这一内涵一方面要求保障城市基础设施、居民生命财产以及公共安全; 另一方面注重提升城市应对极端水文事件的韧性, 借助科学规划以及精准管控, 平衡防洪安全与城市发展需求, 推动城市水安全保障体系实现可持续升级。

1.2 智慧水利系统的技术架构与核心特征

智慧水利系统依靠新一代信息技术作为支撑, 搭建起“感知—传输—计算—应用”的四层技术架构。在感知层, 借助物联网设备实现雨情、水情、工情等各类要素在全域范围的实时采集, 传输层凭借 5G、卫星通信等技术构建起高速且稳定的信息传输网络, 计算层利用云计算、大数据分析平台来完成海量数据的存储以及处理工作^[2]。应用层则专注于防洪减灾、水资源管理等场景提供精准的服务。它的核心特征呈现为全域感知具有全面性、数据驱动呈现精准性、协同联动拥有系统性及动态演化体现适应性, 借助多种技术相互融合打破信息壁垒, 实现水利数据的深度挖掘以及智能应用, 促使水利管理从经验驱动朝着科学驱动转变。

1.3 智慧水利系统赋能城市防洪减灾的作用机理

智慧水利系统凭借“数据赋能—决策优化—行动协同”的逻辑链路为城市防洪减灾赋予能量。在数据赋能方面，借助全域感知网络整合多源异构数据，打造出完整的洪水灾害数据链条，以此为风险研判给予数据支持。在决策优化层面，利用人工智能与数值模拟技术搭建洪水预测模型，实现灾害风险的精确预判以及防控方案的动态优化^[9]。在行动协同环节，依靠可视化平台破除跨部门信息壁垒，促使防洪工程调度、应急资源配置与人员转移安置实现高效协同。此一机理借助技术赋能对防洪减灾流程进行重构，将传统被动应对模式转化成主动预判、精准防控的主动治理模式，提升城市防洪减灾的整体效能。

2 城市防洪减灾中智慧水利系统的应用现状与现存问题

2.1 智慧水利系统在城市防洪减灾中的应用实践进展

当下智慧水利系统于国内诸多大中型城市的防洪减灾工作里展开了规模化运用，构建起了囊括感知、预测、调度以及应急等整个流程的应用模式。在感知方面，多数城市搭建起了含有雨量站、水位站、流速站等的全域监测网络，部分沿海城市还纳入了风暴潮监测设备，在预测预警范畴，AI 驱动的洪水预报模型得以广泛应用，预测时效和精度相比传统模型有了明显提高，在调度与应急层面，数字孪生平台成为关键支撑，实现了防洪工程调度的可视化与智能化。不同规模城市的应用重点有所不同，具体实践特征如表 1 所示：

表1 不同城市规模

城市规模	核心应用方向	技术应用程度
大型城市	全域数字孪生与多部门协同调度	深度应用
中型城市	精准预测预警与骨干工程调度	中度应用
小型城市	基础雨情水情监测与简易预警	初步应用

2.2 应用过程中存在的技术瓶颈

智慧水利系统用于城市防洪减灾时面临着多种技术难题，这些难题限制了该系统效能的全面发挥，多源数据融合以及质量控制技术存在欠缺，不同监测设备和不同部门所产生的数据格式并不一致，出现了数据冗余与缺失等状况，难以构建高质量的数据资源池来支持精准决策。极端水文事件预测能力较为薄弱，现有的模型大多依据历史数据进行训练，对于极端降雨、突发性洪水等非常规情景的适配性欠佳，预测精度以及时效性无法契合实战要求。系统兼容性和扩展性不足，早期建成的水利信息化系统与新一代智慧水利平台的技术标准不相容，数据互通以及功能

衔接存在险阻，并且多数系统缺少灵活的扩展架构，难以迅速适应城市防洪减灾的动态需要。此外，感知设备在复杂城市环境下的稳定性需要提高，高温、暴雨等恶劣天气容易导致设备出现故障，影响监测数据的连续性。

2.3 管理与协同层面的现存短板

管理以及协同方面存在的不足是限制智慧水利系统实现高效应用的关键，跨部门协同机制欠缺完善性，智慧水利系统的运用会涉及水利、应急、气象、住建等众多部门，然而各部门之间存在信息阻隔以及权责划分不够清晰的状态，数据共享不够及时，协同决策效率较为低下，很难形成防洪减灾的强大合力。管理制度与技术应用未能保持同步，现有的水利管理相关制度大多是依据传统管理模式来制定的，缺少针对智慧水利系统数据管理、平台运维、责任划分等专项制度，导致系统应用的规范化程度有所欠缺。专业人才培养较为滞后，智慧水利系统的运维与应用需要水利专业知识以及信息技术能力的复合型人才。但当前多数城市相关岗位人员的专业结构比较单一，难以契合系统深入应用的要求。资金保障机制不够完善，智慧水利系统的长期运维、设备更新以及技术升级需要持续的资金投入，但部分城市存在资金投入不稳定、重视建设而轻视运维的问题，对系统应用的持续性与稳定性产生了影响。

3 智慧水利系统在城市防洪减灾中的核心应用策略

3.1 基于物联网的雨情水情实时感知体系构建策略

构建基于物联网的雨情水情实时感知体系要遵循全域覆盖、精准高效、稳定可靠的核心原则，借助优化感知节点布局以及技术升级实现数据采集的全方位和高精度。在空间布局方面，依据城市地形地貌与水文特征，在流域上游、中心城区低洼地带、关键防洪工程周边等关键区域加密设置雨量传感器、水位传感器、流速传感器等设备，同时整合卫星遥感、无人机巡查等空天地一体化监测手段，弥补地面站点监测的盲区。在技术优化方面，运用低功耗广域网技术提高设备续航能力，借助边缘计算技术实现监测数据的本地预处理，减少传输延迟与冗余数据，建立感知设备全生命周期管理机制，定期开展设备校准与维护，保证极端天气下监测数据的连续性与准确性，依靠构建“全域感知—边缘处理—精准传输”的一体化体系，为城市防洪减灾提供实时、全面的基础数据支持，筑牢风险预判的第一道防线。

3.2 融合大数据与 AI 的洪水预测预警模型优化策略

融合大数据与人工智能的洪水预测预警模型进行优化

时,需要重点关注数据整合、模型构建以及动态迭代这三个关键环节,以此来提高预测的精度以及时效。在数据整合阶段,要建立多源数据标准化处理机制,将雨情、水情、工情、气象、地形地貌等多维度的数据整合起来,运用数据清洗、脱敏、融合等技术形成高质量的数据集,为模型训练提供充足的数据支持。在模型构建方面,采用深度学习算法构建多尺度预测模型,结合长短期记忆网络和图神经网络的优势,精确捕捉水文过程的时空关联性,实现从短期到中长期的多时效洪水预测,同时嵌入极端天气情景模拟模块,提高对突发性、极端性洪水事件的预测能力。在动态迭代方面,建立模型性能实时评估机制,结合实测数据持续优化模型参数,引入迁移学习技术实现模型在不同流域的快速适配。依靠构建“数据驱动—模型预测—动态优化”的闭环体系,准确生成洪水演进过程、淹没范围等预警信息,为防洪决策提供科学依据。

3.3 智慧化防洪调度与资源配置协同策略

智慧化防洪调度与资源配置协同策略应以流域统筹作为核心要点,借助技术赋能实现工程调度与资源调配的精准协同。在构建调度体系时,依据流域防洪工程布局情况,搭建覆盖水库、闸坝、泵站等核心工程的智慧调度平台,将工程运行数据和洪水预测信息进行整合,运用多目标优化算法来制定动态调度方案,实现防洪库容的最优分配以及工程群的协同联动,在保障防洪安全的基础上兼顾水资源利用效率。在资源配置领域,构建防洪应急资源智慧管理系统,整合防汛物资、抢险队伍、避难场所等资源信息,建立资源供需匹配模型,结合洪水预警等级和影响范围,实现资源的精准调配与动态补充。建立跨区域协同调度机制,破除行政壁垒,实现上下游、左右岸城市的防洪调度协同,凭借信息共享与联合决策提高流域整体防洪能力。同时引入弹性调度理念,提高调度方案对极端水文事件的适应性,保证调度策略有科学性可操作性。

3.4 全流程防洪减灾应急响应智慧管控策略

全流程防洪减灾应急响应智慧管控策略要覆盖应急准备、响应启动、应急处置以及灾后恢复的整个阶段。借助智慧化手段来提高应急响应的效率和精准度,在应急准备阶段,需要构建应急物资智慧储备体系,实现对物资库存、位置以及状态的实时监控,建立物资需求预测模型,提前做好重点区域物资的前置储备,搭建应急演练数字化平台,运用虚拟现实技术开展沉浸式演练,以此提升抢险队伍应急处置能力。在响应启动与处置阶段,依据洪水预警信息自动触发相应等级应急响应,依靠可视化平台实时呈现洪水演进态势与应急资源分布,运用智能调度算法实现抢险

队伍、物资的快速调配,借助无人机、无人船等智能装备开展险情巡查与应急处置,降低人员安全风险。在灾后恢复阶段,利用遥感技术和大数据分析快速评估灾害损失,构建灾后恢复重建智慧决策平台,结合受灾区域实际需求制定精准的恢复重建方案,统筹推进基础设施修复、民生保障以及生态修复工作,实现灾后快速恢复与韧性提升。

3.5 基于数字孪生的防洪减灾可视化监管策略

数字孪生的防洪减灾可视化监管策略要以数字孪生流域建设为基础,实现防洪减灾全要素及全流程的可视化管控和智能决策。在构建数字孪生模型时,需整合高精度地形数据、工程设计数据以及实时监测数据,构建覆盖流域、城市以及工程的多尺度数字孪生模型,精确映射真实防洪场景,实现洪水演进过程与工程运行状态的动态仿真。在可视化监管方面,要搭建三维可视化监管平台,运用分层渲染、多视角展示技术,直观呈现雨情水情、淹没范围、应急资源分布等关键信息,帮助管理人员全面掌控防洪态势,设置智能预警阈值,对异常情况自动触发告警并精准定位风险区域。在决策支撑上,基于数字孪生模型开展多情景模拟分析,对不同防洪调度方案、应急处置措施的效果进行预演评估,为决策人员提供最优方案建议。建立数字孪生模型与实体工程的实时联动机制,实现工程运行状态的远程监控与精准控制,借助“虚拟仿真—实景联动—智能决策”的模式,全面提升防洪减灾监管的智能化水平。

4 结语

智慧水利系统在城市防洪减灾转型进程中发挥着关键支撑作用,目前其应用已经取得了一定阶段的进展,但在技术以及管理层面存在的短板依旧有待突破,借助多维度应用策略的实际落地施行,可促使防洪减灾从以往的被动应对朝着主动防控方向转变。未来需要持续深入推进技术融合以及协同机制建设,全方位提升城市水安全保障能力,帮助城市实现可持续韧性发展。

参考文献:

- [1] 王汉岗,周姗,杨芳等.数字孪生城市防洪排涝“四预”平台建设与实践[J].水利信息化,2025,(05):1-6+14.
- [2] 周经纬.智慧水利与城市防洪综合管理技术.河南省,中远融通工程咨询有限公司,2024-07-01.
- [3] 唐潮,刘海洋,张宁.智慧水利在城市防洪工程上的应用[J].东北水利水电,2022,40(11):66-68.

作者简介:李建忠(1974.09-),男,本科,汉族,内蒙古党校函授学院,内蒙古自治区乌兰察布市卓资县人,高级技师,研究方向:主要从事水利工程方面研究。