

信息化背景下水利防汛技术的发展研究

扎西平措, 丁文翔*

长江水利委员会水文局长江上游水文水资源勘测局, 重庆 400025

DOI:10.61369/WCEST.2025060014

摘 要 : 在信息化背景下, 水利防汛技术正经历从被动应对到智能防控的深刻变革。通过系统梳理当前关键技术进展, 认为信息化显著增强了防汛工作的感知、预测、调度和抢险能力, 但仍面临数据质量不足、模型适用性有限、系统协同不畅等挑战。为此, 需加强数据标准化建设、推动模型融合发展、破除信息壁垒, 最终构建起感知灵敏、预报精准、调度智能的现代智慧防汛体系, 为防洪安全提供坚实支撑。希望本次研究可以为未来的水利防汛技术发展提供思路指导。

关 键 词 : 信息化技术; 水利防汛技术; 勘测; 技术支持

Research on the Development of Water Conservancy Flood Control Technology under the Informationization Background

Zhaxi Pingcuo, Ding Wenxiang*

Hydrology Bureau of Yangtze River Water Resources Commission Hydrology Bureau of Upper Yangtze River Hydrology and Water Resources Survey, Chongqing 400025

Abstract : In the context of digital transformation, water conservancy flood control technology is undergoing a profound evolution from passive response to intelligent prevention and control. Through systematic analysis of current technological advancements, this study demonstrates that informatization has significantly enhanced the capabilities of flood control in perception, prediction, scheduling, and emergency response. However, challenges remain, including insufficient data quality, limited model applicability, and inadequate system coordination. To address these issues, it is imperative to strengthen data standardization, promote integrated model development, and break down information barriers. The ultimate goal is to establish a modern intelligent flood control system characterized by sensitive perception, precise forecasting, and smart scheduling, thereby providing robust support for flood safety. This research aims to offer strategic guidance for the future development of water conservancy flood control technologies.

Keywords : information technology; water conservancy and flood control technology; survey; technical support

一、现代水利防汛技术的分类

当前的水利防汛技术正经历着从被动抵御到主动防控、从经验判断到智能决策的深刻变革, 这场以科技创新为驱动的转型, 使我国防汛工作呈现出全域感知、精准预警、智能调度和科学抢险的新特征。在全球化气候变化导致极端天气事件频发的背景下, 传统依赖人工巡堤、沙袋堵漏的防汛模式已难以应对日益复杂的防汛形势, 而多种新技术的深度融合, 正重塑着防汛减灾的技术体系与实践路径^[1-4]。

(一) 一体化立体网络的发展

天空地一体化监测体系通过多源数据融合, 实现了对雨情、水情、工情的全天候、全方位监控。在高空, 卫星遥感技术特别是合成孔径雷达卫星, 能够穿透云层持续监测流域降水量、土壤湿度和地表水体变化, 甚至通过干涉测量技术捕捉堤坝工程的毫米级形变, 为洪涝风险评估提供宏观视野。在中低空, 无人机搭

载高清摄像、激光扫描等设备, 可快速巡查人员难以抵达的险工险段, 实时传回高精度影像数据, 为险情识别提供直观依据。在地面, 物联网传感器密布于河道、水库、闸坝等关键部位, 实时采集水位、流量、渗压、应力等数据, 并通过5G网络实现毫秒级传输, 形成防汛决策的“神经末梢”。在水下, 声呐探测器和无人潜航器能够探查坝基、护岸等水下工程的隐患, 弥补了传统巡查的视觉盲区。这种立体化监测网络如同为防汛工作装上了“千里眼”和“顺风耳”, 显著提升了风险早期识别能力^[5-8]。

(二) 数字孪生流域建设的发展

数字孪生流域的建设通过在数字虚拟空间中构建与物理世界一一对应的流域模型, 实现了防洪调度的前瞻性预演与科学决策。这一系统集成地理信息、水利工程、实时监测数据和预报模型, 形成可以模拟现实流域水循环全过程的“虚拟实验室”。当预报有强降雨过程时, 决策者可以在数字孪生平台上运行多种调度方案, 预演不同雨量情景下的洪水演进路径、淹没范围和工程

作者简介: 扎西平措 (1996.12—), 男, 藏族, 西藏波密人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 主要从事水文测报、水文分析工作。

通讯作者: 丁文翔。

响应效果，从而选择最优调度策略。例如，面对流域性洪水，系统能够模拟上游水库群如何联合调度以实现精准拦洪、削峰、错峰，中游蓄滞洪区何时启用最为合理，下游河道水位如何控制才能兼顾防洪与航运需求。这种“预报-预警-预演-预案”的四预机制，将防汛工作从被动应急转向主动风险管理，大幅提升了决策的科学性和前瞻性^[9-10]。

（三）水文水动力模型构建的发展

传统基于物理机制的水文模型在不断优化，能够更精确地模拟从降雨产流到洪水演进的全过程；而机器学习算法则能从海量历史数据中挖掘出复杂的非线性规律，弥补传统模型在某些环节的不足。例如，利用深度学习技术分析雷达回波序列，可以提升短临降雨预报的准确性；通过神经网络模型处理多源观测数据，能够实时校正洪水预报结果。这种机理模型与数据驱动模型的结合，使洪水预报的精准度和预见期均得到显著提升，为防汛决策赢得了宝贵时间。

（四）智能调度与应急抢险技术的革新

在现代通信技术的支撑下，水库、闸坝、蓄滞洪区等工程设施可实现远程自动控制与联动调度。当预警信息发出后，系统能够根据预设规则或实时研判结果，生成优化调度方案并快速执行，极大提高了工程体系的响应速度与协同效能。在应急抢险环节，一系列高科技装备正在改变传统人海战术的抢险模式。水下机器人可执行坝体排查和障碍物清除任务；无人测绘艇能快速获取溃口区域的水下地形；应急动力舟桥可在短时间内架设水上通道，保障救援力量及时投送；无人机不仅能巡堤查险，还可投送救生装备，为被困人员提供紧急援助。这些智能装备的应用，既提高了抢险效率，也降低了抢险人员的风险。

二、信息化背景对水利防汛技术发展的帮助

（一）信息化背景为水利防汛构建了全方位感知体系

在传统防汛模式下，信息获取主要依赖人工巡查和有限站点的水位尺、雨量筒，存在数据零散、时效滞后、盲区众多等局限。而现代信息技术则通过“空天地水工”一体化的监测网络，实现了对雨情、水情、工情、险情的全天候、全要素、全过程监控。在天空，遥感卫星特别是合成孔径雷达卫星，能够穿透云层，大范围、高频次地监测降雨云系移动、地表水体变化、土壤湿度饱和程度，甚至通过干涉测量技术捕捉堤坝边坡的毫米级形变，为洪涝风险早期识别提供了宏观视野。在空中，无人机搭载高清摄像、激光雷达与热成像仪，可灵活机动地巡查险工险段，快速生成高精度三维模型，精准识别管涌、裂缝、滑坡等隐患。在地面，基于物联网技术的各类传感器，密布于河道、水库、闸坝、蓄滞洪区，实时采集水位、流量、渗压、应力等数据，并通过5G等高速通信网络实现毫秒级传输，形成了防汛决策的“神经末梢”。在水下，无人潜航器与声呐探测系统则能探查水下地形地貌和工程基础状况，弥补了传统巡查的视觉盲区。这种立体感知网络使得整个流域的运行状态变得高度透明，为精准预报和科学决策奠定了坚实的数据基石。

（二）信息化背景提升了水利防汛的预测预报与模拟分析能力

面对多源、异构、海量的防汛大数据，传统的数据处理方法已难以胜任。大数据技术能够对历史水文资料、实时监测信息、气象预报产品、地理空间数据等进行高效的清洗、整合与挖掘，揭示出隐藏在海量数据背后的规律。人工智能技术，特别是机器学习和深度学习算法，则能够从这些数据中挖掘出复杂的非线性关系，有效弥补传统物理模型的不足。例如，利用深度学习模型分析雷达回波序列，可以提升短期临近降雨预报的精度；通过神经网络模型融合多源信息，能够对河道洪峰流量和到达时间进行更为精准的预测。而“数字孪生流域”的构建，则是信息化赋能防汛决策的集中体现。它是在数字虚拟空间中，创建一个与物理世界一一对应、虚实交互、动态演进的流域镜像。当接收到降雨预报后，系统可以在数字孪生平台上，驱动耦合了物理机制与数据驱动模型的水文水动力模型，对洪水演进的全过程进行高保真、可视化的“预演”。决策者能够在这个“数字沙盘”上，反复试验和比较不同的水库调度方案、蓄滞洪区启用时机、堤防防守重点等，直观地看到每一种决策可能引发的后果，从而筛选出最优的防洪调度方案。这种“预报-预警-预演-预案”的“四预”工作模式，将防汛决策从以往依赖个人经验和零散信息的“艺术”，转变为一门基于全息数据和模型模拟的“科学”，实现了从被动应对到主动调控的革命性转变。

（三）信息化背景改变了防汛的应急抢险模式

在传统的防汛会商中，各方信息汇集慢，指挥决策链条长，协同联动效率低。如今，基于云计算的智慧水利平台，集成了所有监测数据、预报成果、预演方案和资源信息，形成了“防汛作战一张图”。指挥人员可以通过可视化大屏，实时掌握全局态势，进行跨部门、跨区域的远程协同会商。调度指令可以直接下达到前端智能控制设备，实现水库闸门的远程自动启闭、泵站智能联调，反应速度从小时级缩短至分钟级，极大地提升了工程体系调度的精准性和时效性。在应急抢险环节，信息化技术同样带来了颠覆性改变。险情发生时，无人机可迅速飞抵现场，将高清视频实时回传指挥中心；基于北斗系统的应急通信装备，可在公网中断的情况下保障指令畅通；智能抢险设备，如无人挖掘机、水下机器人等，可在危险环境下替代人工作业，既提高了效率，也保障了人员安全。此外，预警信息的发布也因信息化而变得更加精准高效。基于精准的地理围栏技术，系统能够通过手机短信、APP、社交媒体、应急广播等全媒体渠道，将预警信息与具体的避险措施、转移路线，像“巡航导弹”一样靶向发送给风险区域内的每一个受影响人员，有效解决了信息传递“最后一公里”的难题，极大提升了社会公众的自主避险能力。

三、信息化背景下水利防汛技术存在的问题及对策

（一）采集数据的完整性、准确性和一致性仍面临挑战

在空间分布上，监测站点在东部经济发达地区与西部偏远山区之间存在显著差异，山区、无人区等关键区域的监测盲区依然

存在，导致对小流域突发性山洪的监测能力不足。在数据质量方面，传感器在极端恶劣天气下容易出现故障或数据失真，不同厂家设备之间的兼容性问题导致数据格式不一、标准各异，形成一个个“数据孤岛”。更为深层的是，海量数据并未完全转化为有效信息，数据挖掘与价值提炼能力不足。大量的视频监控、遥感影像数据仍依赖人工判读，智能化分析程度不高，难以为决策提供即时、精准的支撑。解决这些问题，需要构建统一标准的数据采集体系，制定水利传感器数据接口、通信协议的国家标准，推动设备制造的规范化。同时，应加强数据质量控制机制建设，建立数据清洗、校验、修复的全流程管理体系，利用人工智能算法对异常数据进行自动识别与修正。在数据应用层面，需要深化大数据分析技术，开发专门针对水利数据特性的智能分析模型，实现对多源异构数据的深度融合与价值挖掘，真正让海量数据“活起来”、“用起来”。

（二）模型预报的精确度与复杂现实情境之间存在不同

尽管水文模型、水动力模型不断优化，数字孪生流域概念火热，但在实际应用中，模型的可靠性仍受限于多种因素。一方面，我国幅员辽阔，不同流域的下垫面条件、产汇流特性千差万别，而现有模型多为基于特定流域开发，普适性不强，在移用于其他流域时常出现“水土不服”。另一方面，模型参数的率定往往依赖历史数据，在气候变化导致极端天气频发、下垫面因人类活动而剧烈变化的背景下，模型的外推预报能力面临严峻考验。特别是对中小河流、城市内涝等突发性强、预见期短的洪涝灾害，现有模型的预报精度和时效性仍难以满足精准防控的需求。解决这一难题，需要走机理模型与数据驱动模型融合发展的技术路线。一方面，继续深化对水循环物理机理的认识，发展更具普适性的分布式水文模型，加强参数自适应优化技术研究。另一方面，充分利用人工智能技术的优势，发展基于深度学习的预报校正模型，通过机器学习历史误差规律，实时修正机理模型的预报结果。特别重要的是，要建立“预报—预警—预演—预案”的闭环反馈机制，通过每一次实战检验模型的性能，不断迭代优化，

形成“实践—检验—改进—再实践”的良性循环，持续提升模型在复杂现实情境中的适用性与可靠性。

（三）技术应用的协同性与业务需求的深度融合存在不足

当前许多地方在推进智慧水利建设时，存在重硬件投入、轻软件配套，重系统建设、轻应用效果的现象。各部门、各层级之间的信息系统互不联通，形成大量“信息烟囱”和“数据壁垒”，导致防汛决策难以获得全方位的立体信息支撑。例如，气象部门的降雨预报、水利部门的水文监测、自然资源部门的地质灾害信息、应急部门的救援资源信息等，往往分散在不同系统中，缺乏有效的协同共享机制。在系统设计上，许多平台功能繁杂但用户体验不佳，操作流程复杂，与基层防汛人员的实际工作习惯脱节，导致“先进技术”与“传统业务”两张皮，难以在关键时刻发挥应有作用。解决这一问题，需要从体制机制层面打破壁垒，建立跨部门、跨层级的水利数据共享交换平台，制定统一的数据共享目录和交换标准，通过制度保障和技术手段双管齐下，推动数据的互联互通。在系统设计上，应坚持以用户为中心的理念，深入调研基层防汛工作的实际需求，简化操作流程，优化界面设计，开发移动端应用，让技术真正服务于业务，提升系统的实用性和易用性。

四、结论

综上所述，信息化为水利防汛技术发展带来了历史性机遇，但也伴随着诸多挑战。这些问题涉及技术、管理、人才、安全等多个维度，相互关联、相互影响，必须采取系统性的解决方案，真正发挥信息技术在防汛减灾中的赋能作用，构建起一个感知灵敏、预报精准、调度智能、应对高效的新一代智慧防汛体系，为保障人民群众生命财产安全和经济社会可持续发展提供更加坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 许继军, 陈桂亚, 袁喆. 智慧水利框架下的数字孪生流域构建关键技术探讨 [J]. 水利学报, 2022, 53(1): 1-10.
- [2] 李丹, 吕娟, 刘荣华. 天空地一体化水利监测体系构建与应用研究 [J]. 遥感技术与应用, 2021, 36(4): 889-898.
- [3] 刘志雨, 杨文发. 水文预报技术进展: 从物理模型到人工智能 [J]. 水科学进展, 2020, 31(5): 771-784.
- [4] 张建云, 雷晓辉, 王银堂. 智慧水利发展与展望 [J]. 水利水运工程学报, 2021, (1): 1-9.
- [5] 王光谦, 王国强, 钟德钰. 水利大数据研究与应用展望 [J]. 水力发电学报, 2019, 38(4): 1-11.
- [6] 王宗志, 程亮, 刘克琳. 智慧水利背景下水文监测技术发展展望 [J]. 水利水电科技进展, 2020, 40(3): 1-7.
- [7] 刘俊, 张行南, 陈晓. 基于物联网的防汛智能感知与预警系统研究 [J]. 水文, 2019, 39(2): 15-20.
- [8] 胡健, 吕振平, 王福. 数字孪生技术在流域防洪调度中的应用初探 [J]. 中国防汛抗旱, 2022, 32(4): 37-42.
- [9] 彭瑞, 王忠静, 李铁键. 人工智能在水文预报中的应用研究进展 [J]. 水科学进展, 2021, 32(1): 137-149.
- [10] 陈敏, 张永勇, 夏军. 智慧水利体系架构与关键技术探讨 [J]. 水利学报, 2020, 51(9): 1029-1038.