

数字化水文水资源监测模式探究

王伟健

黑龙江省水文水资源中心黑河分中心 黑龙江 黑河 164300

摘要: 为提升水文水资源管理智慧化、精细化水平,本文探究数字化水文水资源监测模式。首先阐述数字化监测的核心概念、支撑技术与整体架构,分析定点、遥感、空天地协同三类主流监测模式的应用现状。针对当前感知覆盖不足、数据共享不畅、技术落地薄弱、管理体系欠缺等问题,剖析深层成因,从架构优化、落地路径、多元保障等方面提出优化策略,为水资源管控与防灾减灾提供数字化支撑。

关键词: 数字化;水文水资源;监测模式

引言: 水资源是生态文明建设与经济社会发展的核心基础性资源,精准高效的水文监测是水资源科学管控、水旱灾害防控的关键前提。传统人工监测模式时效性、精准性不足,难以适配新时代水资源精细化管理需求。随着物联网、大数据、数字孪生等技术发展,数字化监测成为水文行业转型核心方向。本文立足行业发展现状,系统探究数字化监测模式的短板与优化路径,助力构建全域智能的水文监测体系。

1 数字化水文水资源监测核心理论与技术体系

1.1 数字化水文水资源监测核心概念

(1) 定义与内涵: 数字化监测综合运用现代信息技术、传感、通信与计算技术,对水位、流量、水质、降雨、蒸发等水文要素实现全流程自动化采集、实时传输、智能处理与可视化表达。其核心是推动水文数据从感知到应用服务的全链条数字化转型,驱动水资源管理由经验决策转向数据驱动决策。(2) 与传统监测的区别: 传统人工监测依赖驻站观测与人工记录,时效性差、覆盖有限、易受主观影响。数字化监测借助自动站点、遥感卫星与物联传感网络,实现全天候连续监测与实时在线传输,显著提升数据时效性与准确性,降低人力成本,并可获取偏远区域水文信息。(3) 核心特征: 智能化——自动异常识别、自适应校正及AI预测预警;实时化——秒级响应与动态更新;精准化——高精度传感器与多源数据融合确保量测可靠性;全域化——通过“空天地水”一体化感知网络实现流域全覆盖与多层次协同监测。

1.2 数字化监测核心支撑技术

(1) 感知采集技术: 涵盖物联网传感器(水位计、流量计、水质分析仪等)、遥感卫星(多光谱、合成孔径雷达)、地面雷达测雨系统及无人机巡检平台,构成多维度、立体化的数据采集体系,实现水文要素的精细

化捕捉。(2) 数据传输技术: 依托5G高速通信网络、北斗短报文通信及无线传感自组网,解决复杂地形条件下的数据实时回传问题,确保监测数据的低延迟、高可靠传输^[1]。(3) 数据处理技术: 运用大数据清洗与融合技术处理多源异构数据,结合云计算平台实现海量存储与弹性计算,支撑大规模水文数据分析与挖掘。(4) 智能应用技术: 构建数字孪生流域,实现物理水系与虚拟模型的同步映射;基于机器学习与深度学习算法开展洪水预报、水质趋势预测;借助三维可视化建模技术,为决策者提供直观、动态的监测成果展示。

1.3 数字化监测体系整体架构

(1) 前端感知层: 在河流、水库、城市内涝点等关键区域布设固定式与移动式监测终端,形成覆盖地表水、地下水、降水、水质等要素的立体感知网络,完成数据源头采集与初步边缘计算。(2) 网络传输层: 整合光纤专线、4G/5G、北斗卫星、LoRa等通信手段,建立主备冗余的数据传输链路,保障各类监测数据安全、稳定地汇聚至中心节点。(3) 平台处理层: 搭建水文大数据存储中心与分布式计算平台,集成数据治理、算法模型库与智能分析引擎,实现数据的标准化处理、深度挖掘与模型推演。(4) 应用服务层: 面向水资源动态调配、水旱灾害防御、水生态保护等业务场景,开发可视化决策支持系统,提供监测预警、趋势研判、方案推演等应用服务,切实提升水文水资源管理的数字化与智慧化水平。

2 现有数字化水文水资源监测模式现状与问题分析

2.1 现有主流数字化监测模式类型

(1) 定点自动化监测模式: 依托布设于河流断面、水库大坝、地下水监测井等固定站点的自动监测设备,实现水位、流量、降雨量等水文要素的连续自动采集与远程传输,是目前覆盖最广的基础性监测模式,具备数

据连续性强、时间序列长的优势。(2)遥感全域监测模式:基于光学卫星、雷达卫星(如Sentinel、MODIS等)影像数据,结合反演模型,实现大范围地表水体面积、土壤水分、蒸发量等要素的周期性监测,特别适用于资料匮乏区和跨境河流的宏观水资源评估。(3)空天地协同监测模式:整合低空无人机航拍巡查、卫星遥感宏观扫描与地面站点精确校核,形成立体化监测网络。无人机可快速响应突发水污染或洪涝事件,卫星提供宏观背景,地面站点提供定量校准,三者互补实现多尺度、高精度的协同观测。

2.2 数字化监测模式应用现状

(1)水文要素监测应用:水位和降雨量自动化监测已在全国主要河流基本实现,流量监测多采用雷达测流或声学多普勒剖面仪(ADCP)实现自动化;水质在线监测(pH、溶解氧、浊度、氨氮等)在重点水源地逐步推广;泥沙含量自动化监测尚处于试点阶段,精度和稳定性有待提升。(2)水资源管控应用:在水资源调度方面,数字化监测支撑了跨流域调水和水库群联合调度决策;在水环境治理中,实时水质监测为污染溯源和排污管控提供了数据基础;在洪水预警方面,基于实时水雨情数据的预报系统显著延长了预见期,有效支撑了防汛指挥决策^[2]。(3)区域应用差异:东部发达地区已基本建成较为完善的数字化监测站网,城市内涝监测预警系统较为成熟;中西部及偏远地区站点密度明显不足,部分中小河流仍以人工监测为主;城乡差异显著,农村地区数字化监测覆盖率远低于城市。

2.3 当前监测模式存在的核心问题

(1)感知层面:监测站点在中小河流、山洪沟、地下水超采区等区域布设不足,设备在极端天气下稳定性差,运维成本高,全域精细感知能力严重欠缺。(2)数据层面:多源数据呈现碎片化存储,水利、环保、气象等部门之间数据共享机制不畅,同一区域不同来源数据精度差异明显,数据融合利用水平低。(3)技术层面:数字孪生与AI预测等前沿技术仍以科研示范为主,与一线业务应用衔接不够紧密;多源数据协同反演模型适用性受限,智能分析深度不足以支撑精细化管理需求。(4)管理层面:基层运维体系不完善,专业技术人员短缺;监测设备选型、数据格式、传输协议等标准化体系尚未健全,制约了监测体系整体效能的发挥。

2.4 问题成因深度剖析

(1)硬件设施建设投入不均衡:长期以来监测站网建设资金向大江大河和发达地区倾斜,中小流域和欠发达地区资金保障不足,老旧设备更新换代滞后,直接导

致全域感知能力薄弱。(2)行业数据统筹管理机制不健全:水利、生态环境、自然资源、气象等部门分头建设监测系统,数据标准各异、接口不统一,缺乏权威的数据统筹协调机制,跨部门协同共享存在制度性障碍。

(3)技术迭代与实际应用衔接不畅:科研院所技术研发与实际业务需求之间存在信息不对称,先进成果多停留在论文与实验室阶段,中间转化环节薄弱,缺少将前沿技术快速转化为业务生产力的有效渠道。

3 优化型数字化水文水资源监测模式构建与实施策略

3.1 监测模式优化构建原则与目标

(1)构建原则:坚持科学性原则,确保监测体系设计符合水文规律与信息技术发展逻辑;坚持实用性原则,突出业务导向,避免过度建设;坚持全域性原则,统筹地表水、地下水、土壤水等全要素与全空间覆盖;坚持协同性原则,强化部门联动、数据互通与资源共享;坚持经济性原则,注重投入产出比,推行集约化建设与运维模式^[3]。(2)总体目标:建成覆盖全面、感知智能、传输可靠、处理高效、应用丰富的水文水资源数字化监测体系,实现监测全域覆盖、数据全链贯通、分析深度智能、应用精准高效,全面支撑水资源精细化管理与防灾减灾决策需求。(3)细分目标:优化感知网络方面,重点补齐中小河流、山洪易发区、地下水涵养区监测盲区,站点密度提升30%以上;完善数据体系方面,建成行业统一的数据汇聚与共享平台,数据在线率稳定达到95%以上;升级智能应用方面,核心业务场景实现AI辅助决策全覆盖;健全管理机制方面,形成标准化运维与考核体系,基层技术力量显著增强。

3.2 优化型数字化监测模式整体设计

(1)全域立体感知网络优化:系统整合地面自动监测站网、无人机机动巡查力量和卫星遥感资源,构建分层分级感知架构。地面层加密重点区域固定站点,空中层部署快速响应无人机编队,空间层接入多源卫星数据,通过站点互校与数据同化技术,有效消除监测盲区,形成点-线-面-体相结合的全域感知格局。(2)一体化数据平台构建:搭建涵盖数据汇聚、清洗、存储、计算、服务全链条的一体化大数据平台。统一多源数据格式与接口标准,建立数据分级分类管理体系,实现水利、气象、环保等部门数据互联互通,支撑跨业务、跨区域的数据融合应用与协同共享。(3)智能化监测应用模块设计:开发模块化、可配置的智能应用组件,包括水质异常自动识别与溯源预警模块、基于深度学习的河道流量实时预测模块、多目标水资源优化调度决策模块及洪水风险动态评估模块,各模块支持独立运行与协

同联动,满足多样化业务场景需求^[4]。(4)标准化运维管理体系搭建:制定覆盖设备选型、安装施工、日常巡检、故障维修、数据质控、服务评价等全环节的统一技术标准与操作规范,建立监测设备全生命周期电子档案,推行“省级监管-地市负责-县级执行”三级运维责任体系,实施定期考核与动态评估,确保监测系统始终处于良好运行状态。

3.3 优化模式落地实施路径

(1)硬件升级改造:制定分年度、分区域的老旧设备更新迭代计划,优先对超期服役、故障率高、通信落后的站点实施技术改造;依据水文地理特征、防汛重点及水资源管理需求,科学论证并新增监测点位,重点向中小流域、城乡接合部及生态脆弱区倾斜;同步完善供电保障、防雷接地、防护设施等配套工程,全面提升感知层硬件支撑能力。(2)数据体系完善:建立由水利部门牵头的跨行业数据共享协调机制,签署数据交换与保密协议,明确各方权责与共享清单;制定覆盖数据采集格式、传输协议、质量控制、安全加密等环节的统一技术规范,推行源头录入审核、过程自动校验、终端人工复核三级数据质量管控机制,保障数据的完整性、一致性与可追溯性。(3)技术融合创新:设立数字孪生与人工智能技术应用先行示范区,选择典型流域开展水文预报、水质预测、调度决策等场景的技术验证与模型迭代优化;建立产学研用协同创新联合体,畅通前沿技术从实验室到业务一线的转化通道,形成“技术研发-试点验证-标准制定-全面推广”的有序推进模式^[5]。

3.4 保障措施

(1)技术保障:构建涵盖基础研究、应用开发、测试验证、运行维护的全链条技术支撑体系,依托省级水文数据中心组建专业技术保障团队,建立系统升级迭代与安全漏洞修复常态化机制,定期开展技术适应性评估,保障技术架构持续先进与稳定可靠。(2)人才保障:联合高等院校开设“水利信息化”交叉学科方向与定向培养班,制定基层技术人员轮训计划与技能认证制

度,建立省级专家咨询库与远程运维技术支援平台,有效缓解基层复合型专业技术人才短缺的矛盾。(3)制度保障:出台数字化水文水资源监测行业管理规范与技术标准,将数据质量、系统在线率、运维响应时效等核心指标纳入各级绩效考核与年度考评体系;建立跨部门联席会议制度与联合督导机制,明确各方权责边界,形成统筹协调、高效联动的工作推进格局。(4)资金保障:将数字化监测基础设施建设与运行维护经费足额纳入各级财政水利专项预算,积极对接中央投资补助政策与专项资金渠道,探索政府与社会资本合作(PPP)、政府购买服务等多元化投融资模式;同步建立资金使用全过程绩效评价与审计监督制度,确保资金投入精准有效、使用效益最大化。

结束语

本文系统梳理了数字化水文水资源监测的技术体系与现有模式,明确了设施、数据、技术、管理层面的核心问题及成因,构建了兼顾科学性与实用性的优化监测模式及实施路径。通过完善硬件设施、打通数据壁垒、推动技术落地、健全保障机制,可有效补齐监测短板。未来需持续深化产学研融合,迭代优化智能监测技术,持续提升水文水资源数字化管控效能。

参考文献

- [1]刘家宏,蒋云钟,梅超,等.数字孪生流域技术体系与水文监测数字化转型研究[J].中国水利,2022,13(20):123-127.
- [2]王加虎,陈皓,李丽.新时代水文水资源数字化监测体系构建与应用[J].水文,2023,43(02):124-128.
- [3]杨海,周冬勇,张宇.基于物联网的水文水资源智能监测模式优化研究[J].人民黄河,2024,46(05):68-73.
- [4]王晓蕾,杨泽毅,何秀凤.多源传感融合的水文水资源数字化监测技术研究[J].武汉大学学报(信息科学版),2024,49(01):122-130.
- [5]李建明.数字化背景下水文水资源监测模式创新与实践[J].水电水利,2026,9(02):45-48.