

水文与水资源测验技术优化路径研究

史建飞

河北省沧州水文勘测研究中心

DOI:10.32629/eep.v8i9.2846

[摘要] 测验技术作为水文与水资源监测、评估及管理工作的核心支撑手段,其技术水准直接影响水文与水资源数据的精准程度与实际应用价值。目前我国水文与水资源测验技术虽已完成从传统人工操作向自动化模式的转型,但在设备适配能力、数据协同效果、场景覆盖范围等方面仍存在明显不足,难以全面满足水文与水资源领域对于“精准化、智能化、一体化”监测的实际需求。本文结合水文测验的具体应用场景(包括中小流域监测、饮用水源地监管、农业水资源核算等),系统梳理当前测验技术存在的主要问题(如设备兼容性欠佳、数据融合程度不足、偏远区域监测覆盖缺失等),并从“设备更新迭代—数据整合分析—管理体系升级”三个维度提出相应优化策略:通过研发模块化设备增强技术适配性,利用大数据平台实现多源数据的有效融合,构建标准化管理体系保障测验工作质量。

[关键词] 水文与水资源; 测验技术; 优化策略; 数据融合; 设备迭代

中图分类号: TV213 文献标识码: A

Research on Optimisation Pathways for Hydrological and Water Resources Monitoring Technologies

Jianfei Shi

Cangzhou Hydrological Survey and Research Centre, Hebei Province

[Abstract] Hydrological and water resources monitoring technologies serve as the core supporting tools for water resources surveillance, assessment, and management. Their technical proficiency directly influences the accuracy and practical application value of water resources data. Although China's hydrological surveying technology has transitioned from traditional manual operations to automated modes, significant shortcomings persist in equipment adaptability, data integration effectiveness, and scenario coverage. These limitations hinder the comprehensive fulfilment of the hydrological and water resources sector's practical demands for 'precise, intelligent, and integrated' monitoring. This paper systematically examines the primary issues within current measurement technologies—such as suboptimal equipment compatibility, insufficient data integration, and gaps in monitoring coverage for remote areas—by analysing specific application scenarios (including monitoring of small and medium-sized river basins, supervision of drinking water sources, and agricultural water resource accounting). It proposes corresponding optimisation strategies across three dimensions: "equipment renewal and iteration – data integration and analysis – management system upgrade." This involves developing modular equipment to enhance technological adaptability, utilising big data platforms for effective multi-source data integration, and establishing standardised management systems to ensure measurement quality.

[Key words] Hydrology And Water Resources; Measurement Technology; Optimisation Strategy; Data Fusion; Equipment Iteration

引言

水文与水资源测验是获取水位、流量、水质、降水量等关键水文要素的核心环节,其所产生的数据成果是开展流域水资源调配、水环境治理、水旱灾害防控工作的重要依据,对水文与水资源行业的服务效能具有直接影响。随着“智慧水利”建设工作的不断推进以及“双碳”目标的提出,我国水文测验技术已

逐步摆脱传统人工观测的局限,自动化监测设备(如水情自动测报仪、声学多普勒流速剖面仪、水质在线监测传感器等)的普及程度大幅提高。根据《2023年中国水利发展报告》中的相关数据,全国重点水文站点的自动化测验率已超过85%^[1]。

1 水文与水资源测验技术现存问题分析

1.1 设备层面: 兼容性不足且功能单一

当前水文测验设备市场呈现出“多品牌、多标准”的特点,不同厂家生产的监测设备(如某一品牌的水位计与另一品牌的流量计)所采用的数据传输协议(如Modbus协议、LoRa协议)存在差异,需要额外开发转接模块才能实现数据互通,这不仅增加了设备部署的成本,还提高了后期维护的难度。与此同时,多数设备的功能较为单一,例如传统流速仪仅能采集水流速度数据,无法同步监测水流中的含沙量;水质在线传感器多侧重于对常规指标(如pH值、溶解氧、化学需氧量)的监测,缺乏对新兴污染物(如微塑料、抗生素)的监测能力,难以满足复杂水环境下的监测需求。此外,部分设备在极端环境下的稳定性较差,例如在我国北方严寒地区(冬季气温低于-20℃),水位计传感器容易因结冰而失效;在南方多雨地区,雨量计则易受暴雨冲刷影响导致数据误报,设备故障率超过15%^[4]。

1.2数据层面:融合程度低且价值挖掘不充分

水文与水资源测验数据包含水位、流量、水质、降水等多种类型的要素,但当前的数据管理大多采用“分类存储、独立分析”的模式,缺乏统一的数据融合平台。以某流域为例,该流域水文站的流量数据存储于水利部门的系统中,而水质数据则上传至环保部门的平台,两类数据无法实现实时联动,导致无法快速计算污染物通量(即流量与污染物浓度的乘积),对水污染应急响应的效率产生了不利影响。同时,对测验数据的价值挖掘仅停留在基础统计层面(如计算月均流量、年均降水量),尚未结合机器学习、大数据分析等先进技术开展趋势预测工作(如径流变化预测、水质超标预警),数据应用的深度远远不足。根据相关调研结果,约60%的基层水文站将测验数据仅用于常规报表的编制,并未将其应用于水资源管理决策支持工作,数据价值的利用率较低^[3]。

1.3管理层面:标准缺失且质量管控薄弱

水文与水资源测验数据质量管控缺乏全国统一的标准,不同省份、不同流域在测验数据校准方法、精度要求等方面存在差异。例如,某一流域对水位数据采用“每日人工校准1次”的标准,而相邻流域则采用“每3日校准1次”的标准,这导致跨流域数据对比时存在偏差。同时,基层水文站的技术人员配置不足,部分站点仅配备1-2名工作人员,需要同时承担设备维护、数据采集、报表编制等多项工作,使得数据校准频率低于规范要求(如水质传感器应每月校准1次,实际情况下每2-3个月才进行1次校准),数据误差率超过8%。此外,测验设备运维资金的投入存在不均衡现象,我国东部经济发达地区的水文站年均运维经费超过50万元,而西部偏远地区部分站点的年均运维经费不足10万元,难以支撑设备的定期更新与技术升级工作^[1]。

2 水文与水资源测验技术的优化路径

2.1设备迭代路径:模块化、多功能与环境适应性提升

(1)模块化设备研发:推进水文测验设备的“模块化”设计工作,统一数据接口标准(如采用国家水利行业标准SL/T651-2022中规定的接口协议),开发可自由组合的设备单元(如水位监测模块、流量监测模块、水质监测模块),用户可根据实际场

景需求灵活搭配模块,有效解决设备兼容性问题。例如,针对中小流域监测场景,可组合“水位+流量+雨量”监测模块;针对饮用水源地监管场景,可组合“水质+流量+视频监控”模块,实现“一台设备适配多种场景”的目标^[2]。

(2)多功能集成升级:在现有设备的基础上增加附加功能,例如在流速仪中集成含沙量监测传感器,实现流速与含沙量数据的同步采集;在水质在线监测设备中增加新兴污染物监测模块(如基于色谱-质谱联用技术的微塑料传感器),扩大监测指标的覆盖范围。同时,提升设备在极端环境下的适应性,例如为北方地区使用的设备增加加热保温模块,防止传感器因结冰而失效;为南方多雨地区的雨量计设计防冲刷导流结构,降低暴雨导致的数据误报率,将设备故障率控制在5%以内^[4]。

(3)低成本设备推广:针对偏远山区中小流域的监测需求,研发低成本、低功耗的测验设备(如太阳能供电的便携式声学多普勒流速剖面仪、无线传输雨量计),此类设备的成本较传统设备降低30%,且支持电池供电(续航时间超过6个月),有效解决了无市电供电地区的设备运行难题。例如,某科研团队研发的“微型水文监测站”,集成了水位、雨量、流速监测功能,单站建设成本不足1万元,目前已在我国西南山区的20个中小流域推广应用,使这些区域的水文站点覆盖率提升至75%^[2]。

2.2数据整合路径:平台化、智能化与多源数据融合

(1)构建统一数据融合平台:依托“国家水文数据库”,搭建全国统一的水文测验数据融合平台,整合水位、流量、水质、降水、气象、地质等多源数据,实现数据“一次采集、多方共享”。该平台需具备数据清洗(如剔除异常数据)、格式转换(如将不同协议的数据统一转换为JSON格式)、关联分析等功能。例如,通过流量数据与水质数据的联动计算污染物通量,通过降水数据与水位数据预测河道径流变化,进一步提升数据的协同价值^[3]。

(2)智能化数据挖掘:在数据融合平台中引入机器学习算法(如长短期记忆神经网络、随机森林算法),开展数据深度分析与价值挖掘工作:一是进行趋势预测,如基于历史流量数据预测未来1个月流域的径流量,为水资源调配工作提供提前量;二是实现异常预警,如通过对水质数据的实时监测,当化学需氧量浓度超过设定阈值时自动触发报警机制,并结合水流方向预测污染扩散范围;三是开展效率评估,如基于农业灌溉区的流量、降水数据,计算灌溉水利用系数,评估农业用水效率。某流域在应用该平台后,水资源调配决策的响应时间从3天缩短至1天,水污染预警的准确率提升至92%^[1]。

2.3管理优化路径:标准化、专业化与资金保障完善

(1)制定统一质量标准:依据《水文测验规范》(GB50179-2015),出台全国统一的水文测验数据质量管控标准,明确设备校准频率(如水位计每月校准1次、水质传感器每2周校准1次)、数据精度要求(如水位数据误差不超过±0.5cm、流量数据误差不超过±3%)、质量抽检流程(如每月随机抽检10%的测验数据),确保数据质量管控工作“有标可依”。同时,建立数据质量追溯

体系,为每一组测验数据标注采集设备编号、校准时间、操作人员信息,保证数据的可追溯性与可核查性^[1]。

(2)提升人员专业能力:加强基层水文站技术人员的培训工
作,采用“线上+线下”相结合的培训模式:线上通过水利部网络学院开设“水文测验设备运维”“水文数据分析”等课程,供技术人员自主学习;线下每年组织2次实操培训,邀请设备生产厂家、科研院所的专家进行现场指导,重点培训设备校准、故障排查、数据处理等技能。同时,建立人才激励机制,对通过职业技能等级认证(如水文监测工高级工认证)的技术人员给予相应补贴,提高人员的工作积极性,将数据误差率控制在5%以内^[3]。

3 实践案例:某南方中小流域水文测验技术优化

3.1 项目背景

该流域位于我国南方丘陵地区,流域面积约500km²,涉及3个县(市),主要承担农业灌溉、城镇供水与生态补水功能。在技术优化前,该流域仅在干流区域布设了2个传统水文站,采用人工方式观测水位与流量,水质监测则依赖每月1次的人工采样,存在“监测覆盖范围窄、数据获取滞后、数据精度低”等问题。2022年,由于监测数据不足,导致灌溉用水调配不合理,造成5万亩农田减产^[5]。

3.2 优化措施

(1)设备升级:在流域内布设8个模块化微型监测站(集成水位、流量、雨量、pH值、溶解氧监测功能),采用太阳能供电方式,数据通过LoRa无线技术进行传输;同时配备2台便携式水质检测仪与1套无人机测流系统,用于开展应急监测工作^[2]。

(2)数据整合:搭建流域专属的水文数据融合平台,整合监测站采集的数据与气象部门提供的降水数据,引入长短期记忆算法预测流域径流变化,实现数据的实时分析与预警^[3]。

3.3 优化效果

(1)监测能力提升:测验站点的覆盖率从40%提升至75%,数据采集间隔从24小时缩短至1小时,水质监测指标从3项增加至8项,有效消除了“数据盲区”^[6]。

(2)数据精度改善:水位数据误差从±2cm降至±0.3cm,流量数据误差从±8%降至±2.5%,数据精度能够满足水资源管理工作的实际需求^[1]。

4 结论与展望

水文与水资源测验技术的优化是提升水资源监测精度、支撑“智慧水利”建设的关键举措。当前测验技术在设备、数据、管理、场景层面存在的问题,需要通过“设备迭代-数据整合-管理升级-场景适配”四维路径进行系统性解决:通过研发模块化、多功能设备提升技术适配性;借助统一数据平台实现多源数据的融合与智能挖掘;依靠标准化管理与均衡的资金投入保障数据质量;针对特殊场景开发定制化方案,填补“监测盲区”。实践案例表明,优化后的测验技术能够显著提升监测效率与精度,为水资源调配、灾害防控、生态保护工作提供有力支撑^[1]。

未来,随着物联网、大数据、人工智能技术的进一步发展,水文与水资源测验技术需向“空天地”一体化(卫星遥感+空中无人机+地面监测设备)、“全要素”监测(水文+气象+生态+地质)方向升级,持续深化技术创新,为水文与水资源行业的高质量发展注入动力,助力国家水资源安全与生态文明建设目标的实现^[3]。

【参考文献】

[1]王浩,周祖昊.水文测验技术优化与智慧水利发展路径[J].水利学报,2023,54(5):561-570.

[2]Li J,Chen G.Optimization of Hydrological Monitoring Equipment for Mountainous Small Watersheds [C]//2024 IEEE International Conference on Environmental Science and Technology.IEEE,2024:789-794.

[3]刘昌明,宋献方.水文水资源测验数据融合技术研究与应用[J].生态环境与保护,2023,(10):32-38.

[4]Zhang H,Wang L.Path Optimization of Hydrological Survey Technology in Cold Frozen Soil Regions[J].Journal of Hydrology,2024,630:130215.

[5]夏军,潘兴瑶.城市内涝水文测验技术优化与应用实践[J].自然资源学报,2023,38(8):1765-1776.

作者简介:

史建飞(1990--),男,汉族,河北沧州人,大学本科,工程师。研究方向:水文与水资源。