

# 水文监测技术在流域管理中的应用研究

艾力夏提·阿地里

身份证号: 6521011993\*\*\*\*0414

**摘要:** 流域是自然水循环与经济社会活动交织的关键空间单元, 其水资源的安全、生态系统的健康以及防洪减灾的能力直接关系到区域可持续发展与社会稳定。随着全球气候变化加剧及人类活动强度的不断增加, 流域水循环过程呈现出极端化、复杂化和不确定性的新特征, 传统的水文监测手段已难以满足精细化、实时化和智能化的流域管理迫切需求。本文旨在系统综述现代水文监测技术在流域管理中的发展历程、应用现状及其关键作用。

**关键词:** 水文监测; 流域管理; 数字化; 遥感技术; 人工智能; 数字孪生; 水资源调度

## Research on the Application of Hydrological Monitoring Technology in Basin Management

Aili Xiati Adili

ID Card Number: 6521011993\*\*\*\*0414

**Abstract:** River basins are key spatial units where natural water cycles and socio-economic activities interweave. The security of water resources, the health of ecosystems, and the capacity for flood control and disaster reduction in river basins are directly related to regional sustainable development and social stability. With the intensification of global climate change and the increasing intensity of human activities, the water cycle process in river basins has shown new characteristics of extremization, complexity, and uncertainty. Traditional hydrological monitoring methods are no longer sufficient to meet the urgent needs of refined, real-time, and intelligent river basin management. This paper aims to systematically review the development history, application status, and key roles of modern hydrological monitoring technologies in river basin management.

**Keywords:** Hydrological monitoring; River basin management; Digitalization; Remote sensing technology; Artificial intelligence; Digital twin; Water resource scheduling

## 0 引言

水是生命之源、生产之要、生态之基。流域作为天然的水资源集合体, 承载着供水、发电、航运、灌溉、防洪及生态保护等多重功能, 是国家水网建设的核心节点。然而, 进入 21 世纪以来, 受全球气候变暖影响, 极端天气事件频发, 流域内降水时空分布不均, 旱涝灾害风险显著上升; 与此同时, 工业化、城镇化进程加快, 导致流域内用水需求激增, 水污染问题日益严峻, 水生态系统退化趋势明显。面对这些严峻挑战, 传统的流域管理模式往往依赖于滞后的统计数据或单一的人工观测点, 存在时空分辨率低、实时性差、覆盖面窄等先天不足, 难以支撑现代流域管理的科学决策需求。

水文监测作为流域管理的“眼睛”和“神经末梢”, 是获取水情信息的基础环节。其数据的准确性、时效性和完整性直接决定了水资源配置的效率、防洪调度的科学性以及水环境治理的针对性。近年来, 随着物联网、卫星遥感、大数据、云计算及人工智能等新一代信息技术的飞速发展, 水文监测技术正经历着前所未有的变革。从岸基自

动站到无人机巡查, 从地面雷达到星载遥感, 从单一要素监测到多要素耦合感知, 监测手段的革新为流域管理提供了全新的技术支撑。然而, 新技术的引入也带来了数据海量爆发、格式标准不一、系统集成困难等新问题。如何有效整合各类监测资源, 挖掘数据价值, 提升流域管理的智能化水平, 成为当前水文学界和工程界关注的焦点。本文拟对水文监测技术的发展历程、在流域管理各领域的具体应用、面临的瓶颈问题及未来优化路径进行系统梳理与综述, 以期为推动我国流域管理现代化提供理论参考与实践借鉴。

## 1 水文监测技术的演进历程与体系架构

水文监测技术的进步是推动流域管理现代化的核心动力。回顾过去半个多世纪的发展历程, 水文监测技术经历了从手工记录到自动传输, 再到智能化感知的三次重大跨越, 逐步构建起立体化、多维度的监测体系。

### 1.1 从人工观测到自动化遥测的转型

早期流域水文监测主要依赖人工巡测和目测记录, 由水文站在固定断面定时测量水位、流量、降雨量等要素。

这种方式不仅劳动强度大、效率低,且极易受人为主观因素影响,数据连续性和实时性较差。20世纪中叶,随着电子技术和通信技术的发展,自动水位计、雨量筒等传感器开始广泛应用,实现了数据的自动采集。随后,超短波、卫星通信等遥测技术的应用,使得水文数据能够实时传输至中心处理系统,形成了早期的水文遥测报汛系统。这一阶段的变革极大地提高了数据获取的效率和时效性,为防洪调度和水资源管理奠定了初步基础,但仍局限于单点、单要素的监测,缺乏空间连续性。

### 1.2 “空天地”一体化监测体系的构建

进入21世纪,特别是近十年来,遥感技术、地理信息系统(GIS)和全球定位系统(GPS)的深度融合,推动了水文监测向“空天地”一体化方向迈进。天基方面,高分辨率气象卫星和水文卫星实现了对大范围流域降水、土壤湿度、水体面积及水质的宏观监测;空基方面,无人机搭载激光雷达、高光谱相机等设备,能够对中小河流、水库及敏感水域进行灵活、高频的精细化巡查;地基方面,相控阵雷达、ADCP(声学多普勒流速剖面仪)、在线水质监测站等新型设备布设密度大幅增加,实现了对关键断面的高精度实时感知。这种立体化的监测网络打破了以往单一维度的局限,实现了从点到面、从地表到水下、从静态到动态的全方位覆盖,为流域管理提供了丰富的数据源。

### 1.3 智能化与感知网络的深度融合

当前的水文监测正加速向智能化演进。物联网技术使得各类传感器能够互联互通,形成庞大的感知网络;边缘计算技术的应用让部分数据处理在终端完成,降低了传输延迟;人工智能算法则被广泛应用于数据质量控制、异常检测及趋势预测。现代水文监测体系不再仅仅是数据的收集者,更逐渐演变为具备初步分析能力的智能节点。例如,智能浮标能够实时识别漂浮物并报警,智能视频分析系统可自动识别非法采砂或排污行为。这种深度融合使得监测体系具备了更强的自适应能力和环境感知能力,为构建智慧水利和数字孪生流域提供了坚实的数据底座。

## 2 水文监测技术在流域管理中的核心应用场景

先进的监测技术已深度融入流域管理的各个环节,在水资源配置、防灾减灾、水环境治理及生态修复等方面发挥了不可替代的作用,显著提升了流域治理的精细化水平。

### 2.1 水资源优化调度与供需平衡管理

在水资源管理方面,精准的监测数据是实现科学调度的前提。通过对流域内降雨、蒸发、径流、地下水埋深及用水量的实时监测,管理者可以准确把握水资源的时空分布特征和动态变化规律。基于这些数据,结合水文模型,

可以实现对水库群联合调度、跨流域调水工程的精准控制。例如,在枯水期,利用长期趋势监测数据预测来水量,提前制定应急供水方案;在丰水期,根据实时雨情水情,科学确定蓄泄时机,最大化利用水资源。此外,针对农业灌区,通过土壤墒情监测与作物需水模型耦合,可实现精准灌溉,大幅减少水资源浪费,提高用水效率。

### 2.2 洪水预警预报与防洪减灾决策

防洪减灾是流域管理的重中之重。现代水文监测技术极大地提升了洪水预警的预见期和准确率。利用分布式雨量监测网络和雷达测雨技术,可以实时捕捉暴雨中心的移动路径和强度变化;结合河道水位、流量及地形地貌数据,利用水力模型快速模拟洪水演进过程,生成淹没范围、水深及流速等关键信息。这不仅为防汛指挥部门提供了科学的决策依据,还能通过手机短信、广播、新媒体等渠道及时向下游群众发布预警信息,争取宝贵的转移时间。特别是在山洪灾害易发区,小流域的微型监测站网建设,有效解决了“最后一公里”的预警盲区问题,极大降低了人员伤亡和财产损失。

### 2.3 水环境污染溯源与水环境治理

水环境质量监测是流域水环境治理的关键。传统的水质监测往往点位少、频次低,难以发现突发污染事件。如今,在线水质监测站、走航式监测船及高光谱遥感技术构成了全方位的水质监控网。通过实时监测COD、氨氮、总磷、重金属等关键指标,可以快速锁定污染源,追踪污染羽流的扩散路径。例如,在跨界河流管理中,利用上下游同步监测数据,可以明确责任归属,解决跨界污染纠纷;在饮用水源地保护中,通过构建前置预警系统,一旦发现异常,立即启动应急预案,保障饮水安全。此外,结合大数据分析,还可以评估污染治理工程的实施效果,为制定长效治理策略提供数据支撑。

### 2.4 水生态修复与生态系统健康评价

健康的流域生态系统需要稳定的水文情势支撑。水文监测技术不仅关注水量水质,还开始关注生态需水。通过监测河流基流、水温、溶解氧及水生生物栖息地环境参数,可以评估河流的健康状况。例如,利用生态流量监测数据,指导水库下泄生态流量,维持河道基本生态功能;通过监测湿地水位变化,评估湿地生态效益。这些数据为制定生态补水方案、恢复河流连通性、重建水生生物多样性提供了科学依据,推动了流域管理从单纯的水利工程视角向人水和谐的自然生态系统视角转变。

## 3 当前面临的主要挑战与技术瓶颈

尽管水文监测技术取得了长足进步,但在实际应用中

仍面临诸多挑战,制约了其效能的充分发挥。

### 3.1 多源异构数据融合难与标准缺失

随着监测手段的多样化,数据来源呈现爆炸式增长,包括卫星遥感、雷达、地面站、无人机、社会感知等多种渠道。这些数据在格式、精度、时间分辨率、空间尺度上存在巨大差异,属于典型的多源异构数据。目前,缺乏统一的数据标准和接口规范,导致数据清洗、转换和融合难度大,形成了新的“数据孤岛”。不同部门、不同系统之间的数据壁垒尚未完全打破,难以实现跨部门、跨区域的数据共享与业务协同,严重影响了综合研判和决策效率。

### 3.2 监测模型耦合度低与极端事件响应滞后

现有的水文监测数据往往与水文水动力模型、水质模型等独立运行,耦合程度不高,难以真实反映复杂的物理过程。特别是在应对极端暴雨、特大洪水等罕见事件时,由于历史数据匮乏,模型的适用性和可靠性受到挑战,导致预报结果偏差较大。此外,部分偏远地区或复杂地形区域的监测站点布局不足,数据采集存在盲区,一旦遭遇极端天气,监测设备易受损或通信中断,导致关键信息缺失,严重影响应急响应速度。

### 3.3 运维成本高与智能化水平有待提升

大规模部署的自动化监测设备面临着高昂的运维成本,包括电力供应、网络通信、设备维护及人员巡检等。在野外恶劣环境下,设备故障率高,数据质量难以保证。同时,虽然引入了人工智能技术,但目前的智能应用多停留在简单的数据分类或趋势预测层面,缺乏深度的机理融合与自主决策能力。许多系统仍依赖人工经验进行数据分析,未能真正发挥大数据的挖掘潜力,离真正的“智慧水务”还有较大差距。

## 4 优化路径与未来发展趋势

面对上述挑战,必须采取系统性措施,推动水文监测技术的全面升级,以适应新时代流域管理的需求。

### 4.1 构建多源数据共享平台与统一标准体系

建议由国家层面牵头,制定统一的水文监测数据标准、交换协议和质量控制规范,打破部门壁垒。依托国家水网建设,构建国家级和区域级水文大数据中心,汇聚整合各类监测数据,实现“一数一源、全网共享”。利用区块链技术确保数据的不可篡改和可追溯,建立可信的数据共享机制。同时,开发通用的数据融合引擎,利用云原生架构处理海量异构数据,实现数据的实时清洗、标准化和可视化展示,为上层应用提供高质量的数据服务。

### 4.2 深化人工智能与机理模型融合创新

推动人工智能技术与传统水文学机理模型的深度融

合。利用深度学习、强化学习等算法,挖掘历史数据中的非线性关系,弥补机理模型在参数不确定性方面的不足,提高极端事件的模拟精度。发展“数据驱动+机理约束”的混合建模方法,既尊重物理规律,又充分利用数据优势。同时,研发具有自诊断、自修复功能的智能监测设备,利用边缘计算实现本地数据预处理和异常识别,降低对云端计算的依赖,提高系统在极端条件下的鲁棒性。

### 4.3 推进监测装备智能化与无人化升级

加大研发投入,推广使用低功耗、长寿命、高精度的新型传感器,如光纤传感、微纳卫星、软体机器人等。大力发展无人船、无人机、水下机器人等无人监测平台,实现对危险区域、复杂地形及水下环境的常态化巡查。构建“空天地”一体化的智能感知网络,实现监测任务的自动化规划和执行。同时,探索太阳能、风能等绿色能源供电模式,解决野外设备供电难题,降低运维成本,提升监测网络的覆盖率和稳定性。

### 4.4 完善全链条数据服务机制与人才培养

建立健全水文监测数据的全生命周期管理机制,从数据采集、传输、存储、处理到应用、反馈,形成闭环。加强数据产品的开发,面向政府决策、社会公众、科研单位等不同用户群体,提供定制化的数据服务和决策支持产品。同时,高度重视复合型人才的培养,加强水文学、计算机科学、生态学等多学科交叉融合,培育既懂水情又懂技术的专业队伍,为水文监测技术的持续创新提供智力支持。

## 5 结语

水文监测技术是流域管理的基石,其发展水平直接决定了流域治理的现代化程度。从传统的人工观测到如今的“空天地”一体化智能监测,技术的每一次飞跃都为流域管理注入了新的活力。在水资源短缺、水灾害频发、水生态环境脆弱的背景下,构建精准、实时、智能的现代化水文监测体系显得尤为紧迫。尽管当前仍面临数据融合难、模型耦合弱、运维成本高及极端事件响应滞后等挑战,但随着大数据、人工智能、物联网等前沿技术的不断突破与应用,这些问题必将得到逐步解决。

### 参考文献:

- [1] 孙兆兴,李婉瑜.融合AI智能体的数字孪生水文管理平台构建[J].信息与电脑,2026,38(07):165-167.
- [2] 施雯洋.智能水文监测系统在流域水资源管理中的应用[J].中国水运,2025(23):33-36.DOI:10.13646/j.cnki.42-1395/u.2025.23.012.
- [3] 王莉.多尺度水文水资源预报预测预警体系构建和应用分析[J].农业灾害研究,2024,14(07):302-304.