

水文水资源监测技术和方法的研究与应用

才旦贡布

西藏山南水文水资源分局, 西藏 山南 856000

[摘要]水文水资源监测是水資源科学管理、水旱灾害防御以及生态文明建设当中的一项基础性工作。文中较为系统地梳理了从传统的人工监测逐步发展至现代的自动化、智能化监测这一过程中的技术发展脉络,着重对自动化监测、遥感监测还有水文模型与数据分析等主要技术方法的最新进展及其实际应用效果展开分析。文章把当前数字孪生、人工智能等技术的融合实践结合起来,深入探讨监测技术在水资源质量评价、洪旱灾害预警、水生态保护以及水资源调度等核心管理环节所起到的支撑作用。针对当前技术体系所面临的各种挑战,展望了以多技术融合、网络优化、智能处理以及提升监测韧性作为代表的发展趋势,希望能够为我国水文水资源监测体系实现现代化转型以及能力提升给予一定的参考。

[关键词]水文监测; 水资源管理; 自动化; 人工智能

DOI: 10.33142/hst.v9i1.18981

中图分类号: P228

文献标识码: A

Research and Application of Hydrological and Water Resources Monitoring Technologies and Methods

CAIDAN Gongbu

Xizang Shannan Hydrology and Water Resources Branch, Shannan, Xizang, 856000, China

Abstract: Hydrological and water resources monitoring is a fundamental task in scientific management of water resources, prevention of water and drought disasters, and construction of ecological civilization. The article systematically outlines the technological development from traditional manual monitoring to modern automation and intelligent monitoring, with a focus on analyzing the latest progress and practical effects of major technical methods such as automated monitoring, remote sensing monitoring, hydrological modeling, and data analysis. The article combines the integration practice of current technologies such as digital twins and artificial intelligence, and deeply explores the supporting role of monitoring technology in core management processes such as water resource quality evaluation, flood and drought disaster warning, water ecological protection, and water resource scheduling. In response to the various challenges faced by the current technological system, this paper looks forward to the development trends represented by multi technology integration, network optimization, intelligent processing, and enhancing monitoring resilience, so as to provide some reference for the modernization transformation and capacity improvement of Chinese hydrological and water resources monitoring system.

Keywords: hydrological monitoring; water resource management; automation; artificial intelligence

水文水资源监测技术是确保水资源科学管理与可持续发展的基石,由于全球气候变化和人口增长使水资源压力不断增大,高效精准监测水资源就变得越发重要。因此,研究与应用其监测技术和方法意义非常重大。

1 水文水资源监测的技术体系

1.1 传统监测技术

在相当长的一段历史时期当中,传统监测技术一直充当着获取水文数据的主要途径。其主要是依靠去设立像固定的水文站、雨量站以及蒸发站这类地面站点,并且要由专业的人员来运用水尺、流速仪还有采样瓶等相关工具,

依照规定所明确的频次,针对水位、流量、降水量以及水质等诸多要素展开人工观测以及取样操作。这些相关的工作着实辛苦,在碰到洪水等这样恶劣的天气情况之时,监测人员的人身安全往往会面临着严峻的考验。虽说传统的方法已经积累起了颇为宝贵的长系列历史数据,为水文规律方面的研究打下了一定的基础,然而其本身所固有的局限性同样是非常显著的,具体表现为数据的时空分辨率比较低、实时性较差、人力成本耗费颇高,并且还很难去覆盖向西藏那些地形较为复杂且环境极其恶劣的偏远地区。

1.2 现代监测技术

传统技术存在一些不足之处,现代监测技术体系便顺势产生了。它的核心特点在于自动化、立体化以及智能化。该体系不再单纯依靠孤立设立的站点,而是去构建起一个“天空地水工”一体化的协同监测网络^[1]。具体来讲,“天”主要是指卫星遥感,其能够对地表水体变化、土壤墒情、洪涝淹没范围等方面展开大范围且具有周期性的监测;“空”则是指像无人机、测雨雷达这类空中平台,它们可以灵活且机动地开展高精度地形测绘、河道巡查以及降雨监测等工作;“地”指的是广泛布置的各种各样的自动化地面传感设备,比如遥测水位计、自动雨量站、视频监控球机等;“水”是指那些应用于水体内部的智能设备,像声学多普勒流速剖面仪(ADCP)、无人船、水质光谱仪等;“工”是指嵌入到水利工程内部的,用来监测坝体变形、渗流渗压等工情的安全监测传感器网络。

2 主要监测技术与应用

2.1 地面自动化监测技术

地面自动化监测属于现代水文监测网络的关键构成部分,其主要目的在于达成监测站点偏远且无人值守的状态,此项技术在实际应用当中切实有效地释放了大量人力。假如某水文站干流水文站全都配上了在线光电测沙仪,走航式ADCP已然成了干流站的标配,类似的智能化改造在全国诸多地方都在积极推进,依靠视频AI识别所开展的智能水位监测、借助通信铁塔资源搭建起的空中监控网等相关技术,正逐步把传统的依靠人工巡查的方式转变为更为高效的平台化监管模式。

为了让自动化设备所产出的海量数据能够真实且可靠,便建立起了较为严格的全流程质量控制体系。同时还对所有的样品进行加密编码以及留样保存的操作,以此来确保能够实现可追溯以及可倒查的状态。还实施了检测、校核以及审核这样的三级审核制度。如此这般对于数据质量“生命线”予以坚守的做法,无疑是自动化监测得以发挥出效能的最为根本的前提条件。

2.2 遥感监测技术

遥感技术有着宏观、快速以及不受地面条件限制等优势,已然成为水文监测当中极为关键且必不可少的“天眼”了。卫星遥感在流域尺度的水资源调查以及动态监测方面有着广泛地运用。从国家层面来讲,已经初步搭建起了一个包含有多颗遥感卫星的监测体系,并且正努力去突破国产卫星遥感在水利业务化应用方面的技术瓶颈。在防洪减灾的相关工作之中,遥感技术能够迅速地对洪涝淹没的范围加以评估,进而为救灾决策给予相应的依据。无人机遥

感属于卫星遥感的一种补充形式,在灵活性以及分辨率这两个方面都有着更为明显的优势。无人机以及地面监测相互之间的联动作用,使得监测效率得以提升,而且还能够在更早的时候对生态扰动风险做出预警提示。

2.3 水文模型与数据分析技术

感知网络所获取到的海量数据,得依靠水文模型以及先进的数据分析技术,才能够转变成有实际价值的决策信息。水文模型当前的发展趋势是朝着分布式这一方向去的,而且物理机制与数据驱动正在实现深度融合。就好比说,雅鲁藏布江流域有从上到下有着不同的流域特性和气候特性有极大的落差这对于雅鲁藏布江流域研究者们着手构建像SWAT、HEC-HMS这类分布式水文模型,有极高的水文模型价值同时借助实测水文资料来开展参数率定以及验证方面的工作,从而能够更为精准地对雅鲁藏布江流域的水文过程极强的典型模拟效果。

数据分析技术朝着智能化方向发展是当下的核心趋向。人工智能,其中机器学习技术尤其突出,正被广泛且深入地应用到水文业务的各个环节当中,在数字孪生系统里, AI算法堪称是核心驱动部分。把水动力学模型同AI算法加以融合,去构建起高精度的虚拟镜像,如此一来,既能实时对水情变化予以模拟,又能借助机器学习来挖掘数据所蕴含的规律。所有的这些模型还有算法是否有效,都很大程度上取决于输入数据的质量状况。

表1 现代水文监测技术应用中的数据质量控制关键环节

技术应用环节	典型质量控制措施
水生态环境监测	建立覆盖采样、运输、分析等9大环节的标准化体系;实施样品编码留样、三级审核制度。
区域用水统计调查	实行“基层初审+中心复核”双轨机制;建立“日监测、周通报、月复核”动态审核机制。
一体化智能监测	整合多源卫星历史数据校验;无人机巡查与地面实测数据相互验证标定。
水文模型构建	收集长时间序列的实测水文、气象数据;对模型参数进行率定与验证。

3 监测技术在水资源管理中的应用

3.1 水资源量质综合评价

对水资源数量以及质量做到精准的掌握,这是管理工作的基础所在。现代监测技术借助立体网络,达成了对水资源“家底”进行动态清查以及评价的目标。卫星还有无人机遥感,能够定期去监测湖泊、水库的水面面积所发生的各种变化情况,再结合地面水位监测的情况,以此来估算水体的储量。在地下水监测这块,自动化监测井网可实现地下水位的实时远程数据传输^[2]。而在水质以及水生态监测方面,所采用的技术就更为综合了。就好比在黄河调水调沙的这个期间,其监测范围已经从传统的水沙指标延伸拓展到了水生生

物的整个全链条，在干流以及支流都设置了多个水生生物调查断面，同步对含沙量以及溶氧量的变化情况进行监测，从而精准地去评估排沙给水生态环境所带来的影响。

3.2 洪旱灾害监测预警

提升针对洪旱灾害防御的“四预”能力，乃是现代水文监测技术最为关键的应用指向所在。天地空一体化监测体系达成了雨情、水情的实时同步状态。数字孪生系统把监测、模型以及决策予以深度融合处理。在遭遇洪水之际，该系统能够凭借实时数据于虚拟空间当中对不同调度方案下洪水的演进过程展开预演操作，以此来助力制定出最优方案。这种依靠高质量数据所开展的模拟预演活动，极大地提升了决策所具备的科学性水平。在 2025 年 8 月底雅鲁藏布江羊村水文站历史水文资料记载以来出现最高洪水，其原因主要是上游水利工程影响所致，缺少水文部门精心构建起“滚动预测—实时监测—动态评估”的全链条服务体系，使得该站上游来水没有更好地掌控。如果天地空一体化监测体系达成了雨情、水情的实时同步状态，提升数字孪生系统监测那每一次来水量水文工作者心中有数，每一次洪水都得心应手。

3.3 水生态与环境监测

监测技术同样属于守护水生态红线的关键工具范畴。卫星遥感能够对河口咸潮上溯、水体富营养化以及湿地植被变迁等诸多情况展开大面积的监测工作。在地面方面，视频监控和 AI 图像识别技术可有效对河道非法采砂、倾倒垃圾这类破坏水生态的行为予以监控。而更为细致深入地监测就涉及生态修复效果的评定事宜了。就好比在黄河三角洲湿地这个地方，通过设置多达 18 处用于监测水量及水质的断面，以此来实时察觉超过 1.5 亿 m^3 生态补水所产生的效果，并且将遥感监测评估融入其中，最终达成了从“有水补”向“补好水”这样一种质的转变。

3.4 水资源调度与配置支持

在水资源日益紧张背景下，监测技术是实现精打细

算、优化配置的“智慧大脑”。无论是跨流域调水工程，还是区域水网调度，都需要基于精准的监测数据来制定和优化方案。例如，在 2025 年黄河调水调沙中，监测数据清晰呈现了治理成效：三门峡水库累计出库水量 13.29 亿 m^3 ，输沙量 5365 万 t；小浪底水库累计出库水量 41.33 亿 m^3 、输沙量 1.603 亿 t（如图 1 所示）。这些精确的数据，是评估调度效果、调整后续策略的根本依据。而所有水资源调度决策的基础，都离不开扎实的数据工作，必须确保每一个取用水户的数据都“应统尽统、信息真实”。

4 监测技术的发展趋势与优化策略

4.1 多技术融合与协同监测

未来的监测网络并非将多种技术随意地堆砌到一起，相反，它要达成的是深度融合以及协同运作。未来的水文站会成为“空天遥感加上地面传感再加上水下探测”所构成的多维感知网络和数字孪生虚拟模型相互深度融合之后形成的实体存在^[3]。固定监测同机动巡测、接触式测量和非接触式感知、宏观遥感以及微观传感之间所产生的数据，得要实现能够无缝衔接起来并且彼此进行互补验证的状态。这样的一种协同作战方面的能力，对于提升整个监测体系的整体效能而言，无疑是极为关键的一个因素。

4.2 监测网络的优化与标准化

当下，我国已然构建起全球规模颇为庞大的水文监测站网，不过却存在着发展不够均衡以及标准并非统一的情况。其优化策略一方面是要补短板，持续朝着中小河流、偏远地区以及地下水等监测较为薄弱的环节去拓展延伸；特别是西藏高海拔气候恶劣的环境更加迫切需要在国家层面上推进监测设备接口、数据格式、传输协议以及质量控制等方面展开标准化建设工作。如此一来，能够有效地化解多源异构数据融合所面临的难题，同时也是打破数据孤岛、达成跨部门跨层级数据共享互用的根基所在，从而西藏偏远地区跟好的掌握水文特性。

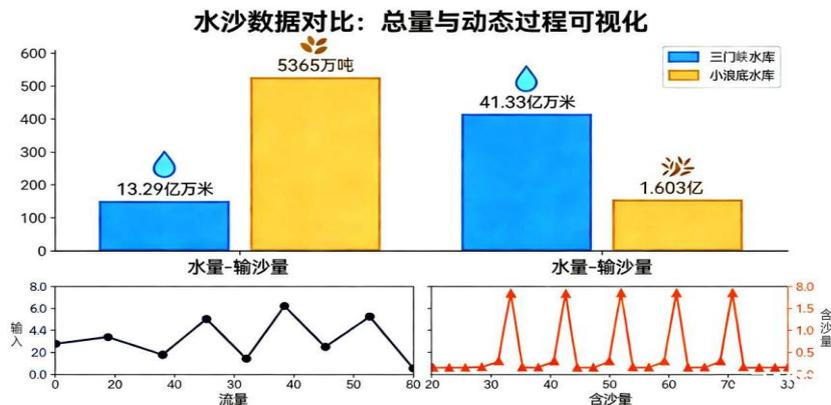


图 1 水沙数据对比图

4.3 数据智能处理与知识发现

数据呈现出海量增长的态势,然而与之相对应的知识发现能力却显得颇为不足,这种矛盾随着时间推移变得日益突出起来。由此便不难看出,要发展以人工智能作为核心的数据智能处理技术,已然成为了一种不可逆转的必然趋势。这里所说的不仅仅是指单纯地运用 AI 来开展预测相关工作,而且还涵盖了借助大语言模型去构建流域知识图谱这样一项内容,其目的是要把那些零散分布在历史文档以及专家经验当中的隐性知识转变成数字化且结构化的形态。这其中还涉及到要去研发那种具备自学习功能以及自校准能力的智能水文模型,并且也要借助 AI 来实现对数据质量的自动控制、针对异常情况展开检测以及对设备故障进行智能诊断等一系列操作。最终所期盼达成的目标,便是能够让监测系统从单纯的“感知描述”阶段逐步迈向更为高级的“认知决策”阶段。不过,要让这一切智能化的相关举措得以顺利实施,那么作为前提条件,就必须确保输入数据能够做到“真实、准确、完整”这些要求。

4.4 应对气候变化与极端事件的监测韧性

气候变化使得极端水文事件出现的不确定性有所增加,这对监测系统的可靠性以及坚韧性提出了更高的要求。这就需要从硬件方面以及软件方面去全面提升监测韧性,在硬件方面,要着力研发能够抵御超标准洪水、极高含沙量以及西藏极寒冰冻等极端条件的高适应性传感器与供电系统;在软件方面,要构建具有冗余备份以及弹性恢复能力的通信网络与数据系统。监测系统必须要具备在极限条件下仍可有效工作的“硬实力”,而这“硬实力”当中不可或缺的一个环节,就是在任何情况下都能够坚守数据

质量底线的软文化。

5 结束语

水文水资源监测技术遵循着一条特定的演进路径,那就是从依靠人力的状态逐步迈向自动化,从单一的监测点慢慢发展成网络化的监测体系,并且从单纯的感知阶段逐渐过渡到具备认知能力的阶段。现代“天空地水工”一体化监测体系和数字孪生、人工智能等先进技术相结合之后,已经对水资源管理的方式产生了极为深刻的影响,使得传统的管理方式发生了改变。不过,不管是雷达所发出的波束、无人船所留下的航迹,还是卫星所呈现的像素、算法所构建的模型,它们各自所具有的价值最终都要归结到一点,那就是其所承载的数据必须是真实的。从对黄河进行调水调沙时需要开展的精确计量工作,到用水统计调查过程中要实施的逐级审核环节,一直到生态监测环节所涉及的全流程质量控制事宜,行业在实际操作中的种种实践一再表明,只有那些真实、准确并且完整的数据,才能够成为支撑所有智慧水利应用的基础,进而保障水安全,推动高质量的发展,它是这一切得以实现的生命线所在。

[参考文献]

- [1]申永伟.GPS 技术在水文水资源监测方面的应用[J].中国科技信息,2025(22):52-54.
- [2]张鹏,崔智鑫.GPS 技术在水文水资源监测中的应用研究[J].水上安全,2025(20):58-60.
- [3]韩昭君.基于遥感技术的水文监测与水资源管理优化研究[J].水上安全,2025(18):52-54.

作者简介:才旦贡布(1979.11—),男,藏族,毕业院校:西藏大学农牧学院,现就职单位:西藏山南水文水资源分局。