

信息自动化技术在水文测验中的应用与思考

胡安尼别克·杰恩斯汗

新疆维吾尔自治区水文局阿勒泰水文勘测中心

DOI:10.32629/hwr.v9i11.6645

[摘要] 随着信息技术的飞速发展,水文测验正经历着从传统人工模式向自动化、智能化模式的深刻变革。本文以阿勒泰地区这一具有独特水文特征的寒区流域为研究对象,系统阐述了信息自动化技术在水文信息采集、传输、处理与分析等核心环节的应用理论与实践。结合阿勒泰地区的实际,深入分析了当前技术应用面临的技术适应性、数据质量控制、人才队伍建设及系统运维保障等方面的挑战,并提出了针对性的发展思考。

[关键词] 水文自动化; 寒区水文; 冰雪融水; 遥感; 物联网; 水文大数据

中图分类号: TP7 文献标识码: A

Application and Reflection of Information Automation Technology in Hydrometric Survey

Huanibieke Jiensihan

Altay Hydrological Survey Center, Xinjiang Hydrology and Water Resources Bureau

[Abstract] With the rapid advancement of information technology, hydrometric surveys are undergoing a profound transformation from traditional manual methods to automated and intelligent approaches. This paper takes the Altay region of Xinjiang—a cold-region watershed with unique hydrological characteristics—as the study object. It systematically elaborates on the application theories and practices of information automation technology in core aspects such as hydrological data collection, transmission, processing, and analysis. Considering the actual conditions of the Altay region, the paper conducts an in-depth analysis of the challenges faced in current technological applications, including technical adaptability, data quality control, talent team development, and system operation and maintenance. Corresponding development reflections are also proposed.

[Key words] Hydrometric automation; Cold-region hydrology; Snow and ice meltwater; Remote sensing; Internet of Things (IoT); Hydrological Big Data

引言

水文测验是水文工作的基石,其数据的准确性、连续性与时效性直接关系到水资源评价、水利工程规划、防汛抗旱决策及生态环境保护的科学性与有效性。传统水文测验主要依赖人工现场操作,存在劳动强度大、安全风险高、监测频次有限、响应速度慢等固有局限,特别是在环境恶劣、站点分散的边远地区尤为突出。我国正大力推进“智慧水利”建设,其核心正是通过深度融合新一代信息技术与水利业务,重塑水文监测与管理模式。信息自动化技术,集成了传感技术、通信技术、计算机技术及空间信息技术,为实现水文测验的全天候、全要素、高精度和实时化提供了革命性的技术手段。

阿勒泰地区作为我国重要的寒区水源涵养功能区和额尔齐斯河、乌伦古河等国际河流的发源地,其水文过程深受高寒山区地理气候条件影响,水文情势独特且复杂。开展信息自动化技术在该地区的应用研究,不仅具有理论上的典型性,更对保障北疆

地区乃至中亚跨境河流的水资源安全具有紧迫的现实意义。

1 阿勒泰地区水文特征

1.1 冰川与积雪融水补给主导

阿勒泰山区是现代冰川和季节性积雪的广泛分布区,冰川融水对河流的补给作用显著。研究表明,额尔齐斯河上游流域(中国境内)的年径流组成中,冰川融水和季节性积雪融水占有相当大的比例,这使得河流径流与气温变化关系极为密切。水文过程表现为典型的“冰雪-降雨-混合”补给型特征,径流过程对气候变化的响应敏感。因此,构建自动化测验体系时,必须重点提高对冰川物质平衡、雪线高程、雪水当量等固态水文要素的监测能力,并将能量平衡模型作为径流模拟与预报的核心依据。

1.2 径流年内分配高度不均

受制于寒区水文循环规律,阿勒泰地区河流径流年内分配极不均匀。每年4-5月为春汛,主要由季节性积雪融化形成;6-8月为夏洪期,由高山冰川消融和山区降水共同作用,形成全年最

主要的径流集中期,其水量可占年径流量的60%以上;而冬季(11月至次年3月)则为漫长的枯水期,径流主要依靠地下水补给,流量小且稳定。这种强烈的峰谷差异对水文测验的测洪能力和枯水期监测精度提出了双重挑战:既需在夏汛期具备安全、可靠的超高洪测验能力,又需在枯水期保证极低流量下的测量精度。同时,在气候变化背景下,冰川退缩导致融水“拐点”提前出现的潜在风险,使得水文序列呈现出非平稳性特征,要求测验体系具备长期、一致的数据采集能力以支撑趋势分析。

1.3 水文情势空间分异明显

受地形、高程和气候垂直地带性影响,阿勒泰地区水文要素的空间分异规律显著。从高山冰川带至山前平原区,降水、蒸发、径流深等要素均呈现规律性变化。例如,山区是径流形成区,年降水量可达400-800毫米,而平原区年降水量仅100-200毫米,蒸发能力则远大于山区。这种空间分异格局,决定了水文站网须布设于山区出口、干支流交汇等关键节点,以有效控制“下山”径流。同时,它也要求自动化监测技术,特别是遥感技术,能够实现从高山冰川带至荒漠绿洲带完整水文垂直带谱的覆盖性监测。

1.4 冰情现象复杂

阿勒泰地区冬季严寒漫长,河流普遍存在稳定的封冻期,通常于11月下旬至12月上旬开始封冻,次年3月下旬至4月上旬解冻。冰情消冻过程(岸冰、封冻、冰盖增厚、解冻开河)不仅是重要的水文要素,更是潜在的致灾因子。在特定河道形态与水文条件下,冰塞、冰坝的形成可能导致水位急剧壅高,引发凌汛灾害,威胁沿岸安全。因此,冰情自动化监测是该地区水文测验体系中不可或缺且技术难度极高的组成部分,需实现对冰厚、冰盖范围、流冰密度等参数的连续、自动观测。

2 信息自动化技术在水文测验中的应用

2.1 水文信息自动化采集技术体系

水文信息自动化采集是技术体系的基础,旨在通过先进传感与探测技术,实现水文要素的实时、精准、立体化感知。

2.1.1 遥感技术

遥感技术凭借其宏观、快速和非接触的特点,在弥补阿勒泰地区站点稀疏、提升空间代表性方面具有不可替代的作用。(1) 冰雪资源动态监测。综合利用Landsat、Sentinel等多光谱与雷达卫星影像,可实现对大范围冰川边界、雪线高程、雪盖面积与雪深(通过被动微波遥感)的周期性监测。该技术为阿勒泰地区春季融雪径流的定量估算与夏季洪水规模的预测预警提供了关键的空间数据支撑,有效解决了传统站点监测在空间代表性上的局限。(2) 水体与水环境参数反演。基于遥感影像的水体指数(如NDWI),可动态追踪乌伦古湖等主要湖泊、水库的水面面积变化。高光谱遥感技术进一步拓展至水质参数(如悬浮泥沙、叶绿素a浓度)的反演能力,为区域水土流失评估与水环境富营养化监测提供数据依据。(3) 土壤水分与旱情评估。对土壤介电常数敏感的微波遥感(如SMAP、SMOS)可用于大范围地表土壤水分的反演。结合阿勒泰地区农牧业需水规律,该技术可为春季旱情监

测与预警提供空间连续的动态信息。

2.1.2 物联网传感技术

物联网技术通过密集布设智能传感器网络,构成了水文要素感知的“神经末梢”,实现了站点水文数据的自动化高频采集。(1) 水位与雨量自动监测。压力式、雷达式、超声波式水位计以及翻斗式雨量计已在阿勒泰地区国家基本水文站广泛应用,实现了分钟级甚至更高频次的数据自动采集,彻底取代了传统的人工观读模式。(2) 流量自动监测。针对阿勒泰地区河流的特性,非接触式流量监测技术展现出显著优势。雷达波表面流速仪通过测量水面流速,结合代表垂线法或水面流速系数法推求断面流量,尤其适用于高洪、流冰等无法使用传统转子式流速仪的危险工况。声学多普勒剖面流速仪(ADCP),无论是走航式用于巡测,还是固定式(H-ADCP)用于在线监测,均能精准捕捉因冰雪快速消融导致的河流流量急剧涨落过程。(3) 特殊水文要素自动监测。基于岸边摄像机组与图像识别算法,可实现流冰密度、封冻/开河情况等冰情的自动识别与记录。超声波测距技术可用于冰盖厚度的自动化测量。对于蒸发量,可通过在大型蒸发皿上配备自动水位测针与补水装置,实现连续、自动观测。

2.2 水文信息自动化传输与组网技术

针对阿勒泰地区地形复杂、部分站点地处偏远、公网通信信号覆盖不足的挑战,需构建稳定可靠的混合通信网络:(1) 公网无线通信。在城镇周边及公网信号覆盖良好的水文站,优先采用GPRS/4G/5G等通信方式,具有成本低、传输速率高的优势。(2) 卫星通信。对于分布在深山、无公网信号的无人值守站,北斗卫星通信系统,特别是其短报文功能,成为传输关键水文数据的“生命线”,确保了在极端天气事件及各类应急情况下数据的可靠回传。(3) 低功耗广域自组网技术。在特定的小流域内,可采用LoRa、ZigBee等低功耗广域网技术,将分散部署的传感器数据汇聚至具备公网接入能力的网关节点,再进行统一传输,有效降低整体通信成本与功耗。

2.3 水文数据自动化处理与智能分析技术

2.3.1 水文大数据管理与质量控制

自动化采集产生的海量数据对管理与质量提出了更高要求。基于云架构的水文数据管理平台能够实现数据的自动接收、解码、标准化入库。同时,必须集成自动化质量控制算法,执行包括合理性检查(如数据值是否在物理可能范围)、连续性检查(时序数据突变是否合理)、相关性检查(如水位-流量关系协调性)等,对异常数据实现自动标记、告警与初步插补,显著提升基础数据产品的质量与可靠性。

2.3.2 人工智能与水文模型耦合应用

该层面是信息自动化技术价值的深化,推动水文测验从数据采集向智能诊断与预测拓展:(1) 复杂关系下的流量实时推算。针对阿勒泰地区部分受回水顶托、变动河床影响严重的水文站,传统方法难以稳定确定水位-流量关系。机器学习算法(如神经网络、支持向量机)能够学习水位、流量、水位涨落率、比降等多要素间的复杂非线性映射,建立高精度的实时流量软测

量模型,实现流量的连续在线推算。(2)精细化短期水文预报。通过耦合数值天气预报产品与分布式水文模型(如SWAT、VIC)或融雪径流模型(如SRM),并同化自动气象站观测数据与遥感积雪数据,可动态校正模型状态与参数,构建适用于阿勒泰地区的融雪径流与洪水预报模型,从而实现对春汛和夏洪过程更精细、预见期更长的预报。(3)水文情势变化智能诊断。应用时间序列分析、突变点检测等算法,可自动识别径流序列中的趋势性、周期性 with 突变点特征,为定量评估气候变化与人类活动对阿勒泰水文循环的影响提供客观、量化的技术依据。

3 挑战与对策思考

尽管信息自动化技术在提升水文监测与管理效率方面展现出广阔前景,但在阿勒泰地区的具体实践中,受自然条件、技术适配性及人力资源等因素制约,仍面临一系列严峻挑战。为保障自动化系统的稳定运行与数据质量,亟需针对性地分析问题并提出系统性对策。

3.1 技术挑战

3.1.1 极端环境对设备耐受性的影响

阿勒泰地区冬季极端低温可达 -40°C 以下,常规传感器、蓄电池等设备在如此严酷条件下易出现性能下降、读数漂移甚至物理损坏,严重影响数据的连续性与准确性。为此,需选用工业级宽温型元器件,并在关键设备中集成加热与保温装置,以增强其在低温环境中的适应能力。同时,应全面提高设备的防护等级,确保其具备IP68及以上防护能力,以抵御积雪、冻雨等自然因素的侵蚀。

3.1.2 特殊水文条件下的监测精度问题

高含沙水流与冰期测验是当前自动化监测中的主要难点。雷达波测流在浑浊水体中信号衰减显著,而冰花、冰盖等现象则对超声波设备造成干扰,导致数据质量难以保障。针对上述问题,可构建“天地一体”化监测体系,通过遥感技术进行大范围水文过程反演与验证,结合ADCP等移动设备在关键时期开展巡测比对,最终建立多源数据融合的校正机制,以提高监测结果的代表性与可靠性。

3.1.3 能源供给的可持续性瓶颈

阿勒泰地区部分监测站点地处偏远,依赖太阳能供电。然而,冬季光照强度弱、日照时间短,加之积雪覆盖光伏板,极易造成供电中断。建议选用高转化效率的太阳能板,并搭配低温性能优异的大容量锂电池组,以提升系统在弱光条件下的储能能力。此外,应优化设备的功耗管理策略,在极端天气条件下启动“低功耗休眠-定时唤醒”机制,确保系统在能源紧缺时仍能维持基本运行。

3.2 管理与人才挑战

3.2.1 数据质量控制体系不健全

尽管自动化设备可实现数据的连续采集,但其并非完全“无人化”系统,后端仍需专业人员对数据进行校核、关系定线与系统维护。当前普遍存在“重建设、轻运维”以及“重数据采集、轻数据分析”的现象,影响了数据的最终应用价值。为此,应建立标准化的自动化数据后处理流程与质控规范,明确各环节的岗位职责,形成从采集到应用的闭环管理机制。

3.2.2 复合型技术人才短缺

自动化水文监测系统涉及水文、电子、通信、计算机与数据分析等多个专业领域,而阿勒泰地区掌握多学科知识的复合型人才严重不足。建议加强与高校及科研院所的合作,开展定向培养与在职培训项目,并设立专项技术岗位,以吸引并稳定高层次技术人才,为系统的长期运行提供智力支持。

3.2.3 运维保障体系薄弱

由于站点分布广泛、交通条件不便,设备故障的响应周期长、维护成本高,成为系统可持续运行的突出障碍。应配备专业的巡检车辆与工具,并储备关键备品备件。同时,积极引入远程诊断技术,实现对设备状态的实时监控与故障预警,从而提升运维效率,降低现场维护频率。

4 结束语

信息自动化技术正在深刻重塑水文测验的面貌。对于新疆阿勒泰这一具有独特寒区水文特征的区域,该技术的应用不仅是提升工作效率的工具革新,更是应对其水文过程时空变异性强、传统监测难度大的必然选择。然而,技术的落地生根必须与区域实际紧密结合。未来,阿勒泰地区水文自动化的发展应聚焦于:一是技术本地化,研发和选用更能适应高寒、高沙、冰期等恶劣条件的专用传感器和解决方案;二是系统智能化,深化AI在水文数据处理、模型同化和知识发现中的应用,从“数据服务”向“智能决策服务”升级;三是运维体系化,建立稳定、专业、高效的运行维护和人才保障机制,确保自动化系统长期、可靠、高效运行,最终为阿勒泰地区乃至整个新疆的水资源可持续利用与生态安全提供坚实的水文技术支撑。

[参考文献]

- [1]王光生,张建新.我国水文自动测报系统技术发展展望[J].水文,2019,39(1):1-6.
- [2]沈永平,王宁练,张廷军.新疆阿勒泰地区水资源及其对气候变化的响应[J].冰川冻土,2009,31(5):838-845.
- [3]蔡阳.加快构建智慧水利体系全面提升水安全保障能力[J].中国水利,2021(15):1-4.

作者简介:

胡安尼别克·杰恩斯汗(1994--),男,哈萨克族,新疆布尔津县人,大学本科,工程师,研究方向为水文勘测、水文分析、水文整编。