

水文巡测工作中水文遥测水位系统的运用分析

李祎

新疆维吾尔自治区和田水文勘测中心

DOI:10.32629/hwr.v9i12.6711

[摘要] 和田地区作为冰川融雪型河流分布区,径流时空分布不均、洪水灾害与水资源短缺并存的特征,对传统水文巡测模式提出了严峻挑战。本文结合和田水文勘测中心近年来的实践经验,系统探讨水文遥测水位系统在该地区的技术适配、运用成效及优化路径。通过对比传统巡测与遥测系统的运行差异,重点分析遥测系统在防洪预警、水资源调度及生态保护中的实践价值。研究表明,经过区域适配性改造的遥测水位系统,有效解决了和田地区监测覆盖不足、数据滞后等核心问题,为干旱区水文巡测现代化提供了可借鉴的实践范例。

[关键词] 水文巡测; 遥测水位系统; 和田地区; 冰川融冰雪径流; 防洪调度

中图分类号: P334 文献标识码: A

Application Analysis of Hydrological Telemetric Water Level Systems in Hydrological Patrol Work

Yi Li

Hotan Hydrological Survey Center, Xinjiang Uygur Autonomous Region

[Abstract] As an extremely arid region with glacial meltwater rivers, Hotan is characterized by uneven spatiotemporal distribution of runoff, coexistence of flood disasters and water shortages, posing significant challenges to traditional hydrological patrol models. Drawing on recent practical experience from the Hotan Hydrological Survey Bureau, this paper systematically explores the technical adaptability, application effectiveness, and optimization pathways of hydrological telemetric water level systems in the region. By comparing the operational differences between traditional patrol methods and telemetric systems, the analysis focuses on the practical value of telemetric systems in flood warning, water resource regulation, and ecological protection. Research shows that regionally adapted telemetric water level systems effectively address core issues such as insufficient monitoring coverage and data delays in Hotan, providing a practical reference model for modernizing hydrological patrol work in arid regions.

[Key words] Hydrological patrol; Telemetric water level system; Hotan region; Glacier meltwater and snowmelt runoff; Flood regulation

引言

和田地区地处新疆南部塔克拉玛干沙漠南缘,地域辽阔且生态环境脆弱,绿洲面积仅占总面积的3.7%,属典型干旱荒漠气候,降水稀少而蒸发强烈。该区域河流均为内陆冰川融雪补给型,玉龙喀什河与喀拉喀什河作为主要水系,承担着全地区绝大部分的水资源供给任务,其径流呈现显著的“夏汛集中、春旱冬枯”特征,汛期来水量集中且短历时融冰雪洪水频发,非汛期则水资源极度匮乏。这种特殊的水文情势,使得水文监测数据的时效性、准确性对区域防洪安全与水资源可持续利用至关重要。新疆维吾尔自治区和田水文勘测中心自成立以来,长期依托人工值守站点开展水位观测工作,但受地理环境制约,传统模式逐渐暴

露出明显短板。偏远山区与无人区的监测盲区、汛期洪峰数据捕捉不及时、极端天气下人工巡测的安全风险等问题,严重影响了水文服务的保障能力。随着水利部“数字孪生水利”战略的推进,水文遥测水位系统作为现代化监测技术的核心,在和田地区乌鲁瓦提水利枢纽、同古孜洛克水文站等关键区域逐步推广运用,为破解传统巡测困境提供了技术支撑,推动区域水文监测向自动化、实时化转型。

1 和田地区水文特征与传统巡测困境

1.1 核心水文特征

和田地区的水文特征与区域地理环境及气候条件密切相关。该区域冰川资源丰富,冰川融水是地表径流的重要补给来源,

气温变化直接主导着径流的时空演变, 相关研究通过趋势检测已证实: 流域气温升高与径流波动增加的关联性显著。受冰川融冰雪和暴雨补给影响, 河流汛期集中在夏季, 短历时强融雪洪水成为主要灾害类型, 而春冬季节则普遍处于枯水状态, 水资源供需矛盾突出。同时, 和田地区63%的区域为沙漠戈壁, 水文站点多分布在出山后, 监测环境极为恶劣。高海拔区域冬季积雪深厚, 夏季山洪频发, 不仅给人工巡测带来极大不便, 也导致监测数据的连续性与时效性难以保障, 这些特征共同决定了区域水文巡测的特殊性与复杂性。

1.2 传统巡测的主要困境

鉴于新疆维吾尔自治区和田水文勘测中心水文站点众多、覆盖范围广的情况, 传统人工巡测模式已难以满足需求, 其局限性日益突出。从监测覆盖来看, 截至2019年, 和田地区人工水文站的监测密度远低于新疆平均水平, 大量偏远区域处于监测盲区, 无法全面反映流域水文情势。在数据时效性方面, 汛期人工观测间隔较长, 难以捕捉洪峰的动态变化过程, 容易造成关键数据缺失; 非汛期巡测周期进一步延长, 无法及时掌握枯水期径流的细微波动。更为突出的是安全与效率问题, 高海拔站点冬季积雪封堵交通, 夏季山洪阻断通行, 人工巡测不仅周期长、成本高, 还面临着极高的安全风险。这些困境直接影响了水文数据对防洪调度、水资源配置的支撑能力, 制约了区域水利事业的高质量发展。

2 水文遥测水位系统的技术架构及其运用的区域适配性改造

2.1 系统核心架构

针对和田地区极端干旱、地形复杂、通信条件有限的环境特征与监测需求, 遥测水位系统采用“感知层-传输层-应用层”三级架构构建, 形成“数据采集-传输-分析-应用”的完整闭环, 确保监测数据的精准、实时、可靠。

感知层作为数据采集终端, 是系统运行的基础, 根据和田地区的环境特点选用耐高低温、抗风沙、低功耗的监测设备。核心设备包括: 雷达水位计通过发射接收雷达波非接触测距, 具有耐候性强、精度高、安装简便的优点; 视频水位计则利用AI图像识别技术, 在监测水位的同时可实现可视化巡检, 但需注重夜间补光、镜头防尘及本地化算法优化; 翻斗式雨量计, 分辨率0.2 mm, 降雨强度测量范围0-4mm/min, 外壳采用不锈钢材质, 抗风沙侵蚀; GNSS变形监测终端, 定位精度±2mm, 采样间隔可灵活设置, 用于水库大坝、河道边坡的变形监测。在乌鲁瓦提水利枢纽等重点区域, 还增设了AI水位识别与热成像监控设备, 通过视频图像分析辅助水位监测, 有效避免单一传感器故障导致的数据中断, 303处视频监控点实现了重点断面的全时段可视化监控。

传输层负责数据的实时传输, 针对和田地区偏远站点通信盲区多的问题, 采用“北斗卫星+4G/5G+微波”的多链路冗余传输模式。对于有4G/5G信号覆盖的平原区站点, 优先采用无线蜂窝网络传输, 数据传输速率达1Mbps, 延迟≤10s; 对于山区、沙漠等无公网信号的偏远站点, 采用北斗卫星短报文通信, 单次传

输数据量可达1000字节, 满足水位、雨量等核心数据的实时传输需求; 同时系统具备链路自动切换功能, 当某一传输链路故障时, 自动切换至备用链路, 传输可靠性达99.8%以上。

应用层是系统的核心应用平台, 构建了和田地区水文数据共享平台。该平台基于B/S架构设计, 支持电脑端、移动端多终端访问。平台集成三大核心模块: 水位实时监控模块, 可显示所有遥测站点的实时水位、累计雨量、设备状态等信息, 支持水位过程线、历史数据查询、站点地图定位等功能; 洪水预报模块, 集成优化后的融雪洪水预报模型, 输入实时水位、气温、雨量数据, 可自动生成未来72小时洪水预报结果, 包括洪峰流量、出现时间、过程线等; 水资源调度模块, 结合灌区用水需求、水库蓄水情况, 提供水量调度方案建议, 支持调度效果模拟分析。平台与新疆维吾尔自治区水利厅数字孪生共享平台实现互联互通, 数据同步更新周期≤5分钟, 为上级部门决策提供实时支撑。

2.2 在和田地区运用的适配性改造

为确保遥测系统在和田地区极端环境下稳定运行, 针对区域气候、地理特点进行了针对性的适配性改造, 解决了传统遥测设备在干旱区运用的诸多痛点。

电源供应优化是适配改造的关键。和田地区年日照时数达2470-3000小时, 日照资源丰富, 针对偏远站点电网覆盖不足的问题, 采用“太阳能板+锂电池”的独立供电方案。每个站点配置120W单晶硅光伏组件, 光电转换效率≥23%, 搭配12V/100Ah胶体蓄电池, 具备过充、过放保护功能。结合和田地区冬季日照时间短、气温低的特点, 优化了充电控制策略, 采用低温充电保护技术, 确保蓄电池在-20℃环境下仍能正常充电, 系统可在无日照条件下连续稳定运行7天, 彻底解决了偏远站点的供电难题。

数据处理算法优化贴合区域径流特征。和田河径流受气温影响显著, 且存在6-9年的滞后响应周期, 传统洪水预报模型对融雪洪水的预报精度不足。为此, 基于和田河流域1957-2024年的径流、气温、降水数据, 对洪水预报模型进行优化, 融合经验性融雪径流模型与新安江水文模型的优势, 引入气温累积效应因子, 构建了适用于和田地区的融雪洪水混合预报模型。该模型通过实时监测气温变化, 预测冰川融雪量, 结合河道汇流计算, 有效延长了洪水预见期, 较传统模型预见期延长24-48小时, 预报精度提升15%-20%。

站点布局优化实现监测全覆盖。结合和田地区河流分布、灌区范围、水库位置等实际情况, 采用“干流控制、支流补充、重点加密”的原则, 科学增设遥测站点。在玉龙喀什河、喀拉喀什河干流布设12处核心控制站点, 间距控制在30-50公里; 在18条主要支流布设15处站点, 覆盖支流汇流关键断面; 在乌鲁瓦提、皮山等5座中型水库及12处大型灌区引水口布设站点, 形成“干流-支流-水库-灌区”四级监测网络。截至2024年底, 全地区遥测站点总数达83处, 监测密度提升至3.35个/万平方公里, 较2019年提升225%, 彻底改变了传统监测覆盖不足的局面。

此外, 针对和田地区风沙大、温差大的特点, 对设备安装进行了专项改造: 水位计安装采用防沙罩设计, 避免泥沙堵塞传感

器: 设备箱体采用保温隔热材料, 内部设置温控装置, 确保箱内温度维持在 $-10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$; 站点基础采用钢筋混凝土浇筑, 抗风等级达12级, 适应沙漠地区强风环境。

3 遥测系统在和田地区的运用实践与成效

3.1 防洪调度能力显著提升

在和田地区夏季融雪洪水防范工作中, 遥测水位系统发挥了核心支撑作用。通过实时捕捉水位变化动态, 系统能够提前识别洪水预警信号, 为防洪调度预留充足时间。典型案例中, 某次喀拉喀什河突发融雪洪水, 遥测系统成功提前捕捉到水位异常上涨趋势, 及时向水利管理部门推送预警信息, 为乌鲁瓦提水利枢纽的调度决策提供了精准数据支撑, 有效避免了下游乡镇的洪灾损失。从数据精度来看, 对比核心水文站的遥测数据与人工实测数据, 遥测系统的监测误差完全满足《水文监测规范》一级精度要求, 且数据连续性更强, 能够完整反映洪峰涨落过程, 解决了传统人工观测难以捕捉关键水文过程的问题。

3.2 水资源配置更加精准高效

和田地区农业灌溉与生态保护对水资源的依赖性极强, 遥测水位系统的运用为水资源优化配置提供了技术保障。在灌溉用水调度中, 系统实时监测主要河流水位变化, 结合灌区作物需水规律, 为乌鲁瓦提水利枢纽的下泄流量调节提供科学依据, 有效保障了灌溉高峰期的用水需求, 显著提升了灌溉保证率。作为塔里木河生态输水的重要补给源, 和田河的生态输水调度直接关系到下游胡杨林保护区的生态安全。遥测系统通过监测和田河汇合口水位动态, 为生态输水量的精准调控提供数据支撑, 确保了生态输水任务的顺利完成, 对塔里木河下游生态环境恢复起到了积极作用。

3.3 巡测效率与运维成本优化

遥测水位系统的推广运用, 彻底改变了和田地区传统水文巡测的工作模式。通过自动化监测与数据实时传输, 大幅减少了人工巡测的频次与范围, 不仅降低了巡测人员在极端环境下的作业安全风险, 还显著提升了巡测效率。数据处理环节实现了自动化生成报表与分析成果, 避免了传统人工数据处理的繁琐流程, 大幅缩短了成果产出时间。在成本控制方面, 遥测系统的长期稳定运行有效降低了人力、交通等运维成本, 使有限的水文监测资源能够更集中地投入到关键区域与核心任务中, 实现了水文巡测工作的提质增效。同时, 在极端天气条件下, 遥测系统展现出良好的稳定性, 故障率控制在设计阈值以内, 确保了监测数据的连续性与可靠性。

4 存在的问题与优化策略

4.1 当前面临的主要问题

尽管遥测水位系统在和田地区取得了显著运用成效, 但结合区域实际情况, 仍存在一些需要完善的问题。高海拔站点的运维保障是当前面临的突出难题, 冬季积雪封堵交通导致设备检

修周期延长, 可能影响监测数据的连续性。在预报模型方面, 和田河径流受气温、降水等多重因素影响, 且存在长周期变化特征, 现有模型对长周期径流趋势的预测精度有待提升。此外, 数据共享机制尚未完全健全, 遥测系统收集的水文数据与农业、生态环境等相关部门的信息互通不足, 存在“信息孤岛”现象, 制约了水文数据在跨部门决策中的综合运用价值。

4.2 针对性优化策略

针对高海拔站点运维难题, 需创新运维模式, 采用“无人机+地面巡检”相结合的方式, 利用无人机开展远程故障排查, 在站点周边合理设置应急物资储备点, 缩短检修响应时间, 确保设备及时维护。在模型优化方面, 可引入机器学习算法, 融合和田河流域长期水文监测数据与气候因子数据, 构建更贴合区域径流变化特征的预测模型, 提升长周期径流趋势的预测精度。为破解数据共享难题, 应推动建立和田地区水文数据共享联盟, 打通遥测平台与相关部门的数据接口, 构建统一的信息共享机制, 实现水位、流量、水质等多类型数据的实时互通, 充分发挥水文数据在跨部门联合决策中的支撑作用, 为区域水资源管理与生态保护提供更全面的技术服务。

5 结论

水文遥测水位系统通过针对性的区域适配性改造, 在和田地区水文巡测工作中发挥了不可替代的核心作用, 有效解决了传统巡测模式下监测覆盖不足、数据滞后、效率低下等突出问题。在防洪预警、水资源调度、生态保护等关键领域的实践运用表明, 遥测系统不仅显著提升了水文监测的精准性与时效性, 还实现了巡测工作的提质增效, 为和田地区水利事业高质量发展提供了坚实的技术支撑。面对高海拔站点运维、模型预测精度及数据共享等方面的问题, 未来需进一步优化运维模式、改进预测算法、健全共享机制。结合数字孪生技术的发展趋势, 构建和田河流域全要素水文监测体系, 实现“预报-预警-预演-预案”全流程智能化, 将为区域水资源可持续利用与生态安全保障提供更全面、更高效的技术服务, 也为同类干旱地区水文巡测现代化提供有价值的实践参考。

[参考文献]

[1]张磊,王强,李娟.和田河流域近60年降水、气温与径流演变特征研究[J].水文,2022,42(1):88-94.

[2]数字孪生乌鲁瓦提水利枢纽为新疆数字孪生水利工程建设蹚出路来[R].乌鲁木齐:新疆维吾尔自治区水利厅,2025.

[3]刘敏,陈亮.近60年和田河源流区径流特征及对气候变化的响应[J].中国水利水电科学研究院学报,2024,22(3):345-353.

作者简介:

李祎(1996—),男,汉族,甘肃天水人,本科,助理工程师,研究方向为水文。