

基于雷达波非接触式流量测验设备在西藏山区河流水文站的布设分析

渠国富

西藏自治区水文水资源勘测局山南水文水资源分局, 西藏 山南 856000

[摘要]西藏山区河流地形地貌复杂,水文环境多变,传统接触式流量监测手段受地形、气候条件以及工程施工难度的制约,在长期稳定监测方面存在诸多挑战,雷达波非接触式流量测验技术凭借其高精度、低维护成本以及远程实时监测等显著优势,为解决西藏山区河流水文监测难题提供了可靠方案,文中重点探讨该技术在西藏山区河流水文站的实际应用,深入剖析站点选址、设备安装、数据采集与传输等重要环节,提出切实可行的优化方案,旨在为提高西藏山区河流水文监测的智能化程度和精细化水平提供技术依据与实践指。

[关键词]雷达波测流;非接触式监测;西藏山区河流水文站;流量测验;系统布设

DOI: 10.33142/hst.v8i8.17363

中图分类号: TV2

文献标识码: A

Analysis on the Layout of Non-contact Flow Monitoring Equipment Based on Radar Wave in Xizang Mountainous Rivers

QU Guofu

Shannan Hydrology Branch of the Hydrology and Water Resources Survey Bureau of the Tibet Autonomous Region, Shannan, Xizang, 856000, China

Abstract: Rivers in mountainous areas of Xizang have complex terrain and landform, and the hydrological environment is changeable. The traditional contact flow monitoring method is restricted by terrain, climate conditions and engineering construction difficulties, and there are many challenges in long-term stable monitoring. The radar wave non-contact flow measurement technology, with its significant advantages of high accuracy, low maintenance cost, and remote real-time monitoring, provides a reliable solution to the problem of river hydrological monitoring in mountainous areas of Xizang. This paper focuses on the practical application of this technology in river hydrological stations in mountainous areas of Xizang, deeply analyzes the important links such as site selection, equipment installation, data collection and transmission, and puts forward a practical optimization scheme, aiming to provide technical basis and practical guidance for improving the intelligence and refinement level of river hydrological monitoring in mountainous areas of Xizang.

Keywords: radar wave current measurement; non contact monitoring; Xizang mountain river hydrological station; flow monitoring; system deployment

引言

西藏山区河流水文站在防洪预警、水资源合理调配以及生态环境保护等领域具有不可或缺的作用,然而,由于西藏山区河流地势险峻、气候条件复杂,加上交通条件有限,导致流量监测工作面临数据连续性差、测验准确性低等问题,传统接触式测验方法因后期维护难度大,已无法满足现代化水文监测的要求,雷达波非接触式流量测验技术以其高效便捷、安全可靠、环境适应性强等特点,成为改善西藏山区河流水文监测现状的重要技术手段,针对设备安装适配性、监测数据精准度以及数据传输稳定性等核心问题,开展应用研究并提出优化策略,有助于推动西藏山区河流水文监测体系向智能化方向迈进。

1 雷达波流量测验技术原理与设备结构

1.1 测验原理概述

雷达波流量测验技术的理论根基源于多普勒效应,其运行机制是向水面发射高频电磁波,并接收反射回波信号,

以此实现水面流速的精确测定,系统一般架设于河道上方,采用斜角发射模式精准捕捉水面流速数据,当获取水面流速后,结合预先测验的水深数据以及河道断面形状参数,构建起流速与流量的转换模型,从而完成整条河道瞬时流量的计算,相较于声学多普勒流速仪(ADCP)等同类非接触式测验手段,雷达波技术凭借其独特优势脱颖而出,该技术不受水体透明度变化、水中悬浮物及漂浮物干扰,具有极强的非侵入性,测验响应迅速,后期维护工作量小,在自然河道流量监测和无人值守水文站应用中展现出极高的适配性。

1.2 核心设备组成

一套完整的雷达波流量测验系统,主要由天线发射与接收装置、控制主机、供电系统以及数据采集与传输模块构成,其中,天线多采用宽频段微波发射器,安装于可调节角度的固定支架上,以契合不同水面形态特征。控制主机作为系统核心,集成了雷达波信号处理、数据存储和实时通信等多项功能,供电系统则配备电池组或太阳能板,

为设备持续稳定运行提供电力保障,考虑到野外恶劣的工作环境,支架与安装平台的设计充分结合当地地形,具备出色的抗风抗震性能和防腐蚀能力,此外,设备支持 4G、北斗、LoRa 等多种通信技术,能够与上位遥测系统实现数据的无缝交互,确保远程数据传输的及时性和稳定性。

1.3 技术优点与适用条件

雷达波测流系统的突出优势在于非接触式测验特性,无需与水体直接接触便能获取高精度的流速信息,既避免了设备因长期浸泡导致的磨损问题,又消除了人员涉水操作的安全隐患,尤其适用于洪水期及雨季等作业条件恶劣的区域,该设备对水体透明度、泥沙含量等因素不敏感,运行稳定性高,具备全天候不间断工作能力,可在高原、峡谷、山涧等气候复杂多变的环境下正常运转,在实际应用中,其灵活性体现在对不同河道断面形态、水流状态以及流速分布的良好适应性,无论是狭窄湍急的山溪,还是宽阔平缓的沟谷,只要科学合理地确定设备布设角度与高度,就能获取可靠的测验数据。

2 西藏山区河流水文站典型特征与布设难点

2.1 地理与水文特征分析

西藏山区河流地形地貌呈现显著的立体起伏特征,河道纵向坡降大,水位涨落幅度剧烈,造就复杂多变的水文环境,降水时空分布不均叠加地质构造活跃,致使河流水流状态具有显著的动态突变特性,激流涌动、回水现象与漫溢风险频发,极大增加流量监测的技术难度,河道断面形态受地形切割影响呈现非规则化特征,急弯河段、陡坡地形与多级跌水景观并存,河床冲淤演变频繁,难以构建标准化流量计算模型,此外,极端气候事件在西藏山区河流发生概率较高,夏季暴雨引发的山洪灾害、泥石流隐患,以及冬季低温导致的冰冻威胁,均对监测设备的环境适应性提出严苛要求,需在结构稳固性、防护性能与运行持续性等方面强化设计。

2.2 布设环境挑战

西藏山区河流水文监测站点的建设面临物理空间限制与基础设施薄弱的双重困境,地形崎岖、交通梗阻显著提升设备运输成本与现场施工难度,偏远区域通信信号覆盖不足,使得传统有线传输难以实施,无线通信亦受地形遮挡、信号衰弱等问题制约,供电系统构建同样面临挑战,市电接入困难促使系统依赖太阳能与备用电源,但日照条件的季节性波动严重影响电力供应稳定性,设备安装过程中,河岸植被遮挡、基岩地貌复杂及风雨侵蚀作用,限制雷达天线的最佳布设角度,削弱水面回波信号质量,同时,岩壁反射、桥梁结构与漂浮物体形成的多重干扰源,极易造成测验信号误判,亟需在设备选型与安装工艺上针对性优化。

2.3 传统方法的局限性剖析

以明渠水尺、浮标测速仪为代表的接触式流量监测设备,在西藏山区河流水文应用中暴露出明显技术短板,此类设备需直接接触水体或近水布设,易受洪水冲击、泥沙淤塞及生物附着侵蚀,导致测验精度下降与设备故障频发,

现场维护作业风险高、成本大,人工定期数据采集模式不仅耗费大量人力,更难以实时追踪流量动态变化,极端天气下的监测时效性严重不足,受制于西藏山区河流复杂地形与恶劣气候条件,测验人员难以保障设备日常巡检频率,传统监测手段已无法满足水文数据实时化、连续化的现代监测需求,客观上推动非接触式测验技术在西藏山区河流水文领域的创新应用。

3 雷达波测验系统布设策略研究

3.1 站点选择与安装位置优化

在西藏山区河流部署雷达波测验系统,选址工作至关重要,直接关系到后续数据质量与系统运行稳定性。理想站点应优先选择河道开阔、流态稳定、无遮挡物的区域,避免树木、建筑物等对雷达波信号的遮挡和反射干扰,确保信号收发畅通、波形清晰。同时,应充分利用既有桥梁、栈道、观测平台等人工设施作为设备安装载体,不仅可降低土建投入与施工难度,还能提升设备稳固性与后期维护的便利性。在无可利用人工设施的区域,应优先选择地质条件稳定、抗滑移能力强的岩体或岸坡作为设备基础,并采取加固、防护措施,防止泥石流、滑坡等地质灾害对设备造成破坏。

此外,选址过程中需避开河道急流、跌水区、回水区等复杂流态区域,这些区域水面扰动剧烈,易导致雷达波回波信号失真,影响测验数据的稳定性与准确性。

3.2 设备固定与角度调整方法

设备安装过程需综合兼顾结构稳固性与测验精度,优选高强度、防腐性能优良的材料(如不锈钢、镀锌钢)制作支架,匹配现场地形特点设计专用锚固结构,提升整体抗风、抗震性能,保障长期安全运行。考虑西藏山区河流地震、滑坡、冰冻等特殊地质风险,设备基础应增设减震底座、缓冲装置,有效吸收外部振动冲击,减少对测验信号的干扰,保持数据连续性和高精度。

在布设角度调整方面,应根据具体河道宽度、水面形态及雷达设备技术参数,精准设定设备入射角度和安装高度。一般建议将雷达波束与水面夹角控制在 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 区间,以优化回波信号反射路径,提升信号质量与测验稳定性。对于河道断面复杂、流态变化明显的区域,可采用多点位、多角度设备布设策略,通过数据融合算法进行多源数据整合,提升整体测验精度,同时有效避免单设备故障引发的监测盲区,增强系统鲁棒性与可靠性。

3.3 供电与通信方案设计

鉴于西藏山区河流市电供应匮乏的现状,雷达波测验系统需构建独立供能体系,太阳能电池板与大容量锂电池组合的混合供电模式备受青睐,通过智能切换机制保障设备持续运行,在光照不足或多雨地区,可增配备用电池容量或引入小型风力发电设备作为补充能源,通信方面,针对西藏山区河流移动通信信号薄弱问题,采用 4G 通信模块搭配北斗卫星或 LoRa 传输技术,实现数据稳定回传,引入边缘计算模块,在本地完成数据预处理与异常检测,

减轻数据传输压力,提升系统响应速度与故障诊断能力,整个供电与通信系统设计需充分考量当地环境条件。

4 实地布设案例与应用效果评估

4.1 典型西藏山区河流水文站布设实例

四川省阿坝州某高原小流域水文站具有典型西藏山区河流水文特征,该区域地势高耸,河道走势曲折,年降水量分布不均,河流水量变化显著,2023年7月,在当地水利部门协调推进下,于原有水文观测点引入雷达波非接触式流量监测设备,安装选址于一座跨河简易钢桥,该位置便于设备固定与后期运维巡查,设备支架稳固安装于桥体侧边,天线以45°俯角倾斜布设,有效规避两岸植被对雷达波信号的遮挡,设备启用后,与传统旋桨式流速仪开展同步监测,持续比对流速流量数据,监测结果显示,中低水位工况下,两种测验方式误差控制在±5%以内;进入洪水期,雷达波设备凭借非接触测验优势,实现数据快速采集与完整记录,解决了人工测验难以靠近水面的难题,显著提升水文监测效能与预警响应能力。

4.2 数据采集与流量计算结果

系统运行三个月期间,累计采集有效流量数据近9000组,经深度分析验证,面对持续降水、流量骤变等复杂水文环境,雷达波监测系统始终保持稳定运行,日均数据缺失率低于0.2%,在低流量($<5\text{m}^3/\text{s}$)与中等流量($5\sim 30\text{m}^3/\text{s}$)区间,测验误差控制在±4%以内;当流量超过 $30\text{m}^3/\text{s}$ 进入高水位阶段,受水面剧烈波动影响,测验误差有所增加,但仍维持在±7%范围内,满足中小河流量监测技术规范要求,系统具备快速响应能力,数据更新周期短于1min,可实现实时动态监测,某次突发性暴雨事件中,该设备及时捕捉到流量激增过程,较传统监测手段提前30min发出预警,为下游村落应急处置争取宝贵时间,展现出卓越的异常流量捕捉与快速响应性能。

4.3 运行维护与用户反馈

实际应用中,雷达波流量监测系统大幅降低运维工作量,相较传统设备每月需定期清理校验,该系统仅需按季节进行天线表面清洁,人力投入显著减少,用户使用反馈表明,配套可视化管理平台界面友好、操作便捷,可实时呈现流量变化曲线、降雨量数据及设备运行状态,异常报警通过短信与平台双渠道同步推送,有效提升水文管理效率,同时,用户也提出改进建议:极端天气下雷达信号易受干扰,期望优化算法提升高浪环境下数据识别稳定性;连续阴雨天气导致电池续航能力下降,建议集成风力发电装置完善能源供应体系,总体而言,该设备运行效能突出,达成西藏山区河流水文监测智能化升级目标,在同类区域具备较高推广应用价值。

5 未来发展趋势与系统优化建议

5.1 技术升级方向

伴随人工智能与物联网技术迭代,雷达波流量监测系统正加速智能化转型进程,未来可借助AI算法实现流速数据动态校准,通过智能识别波动异常与误差来源,强化算法在

复杂水面条件下的抗干扰能力与环境适配性,同时融合多通道雷达、视频监控及水位监测等多元数据,构建流量变化立体监测体系,提升趋势分析精准度与系统稳定性,开发具备自主学习、自适应与自校准功能的智能模块,确保设备脱离人工干预仍能长期稳定运行,是迈向“智慧水文”的关键路径。

5.2 系统集成与智能化演进

为推动西藏山区河流域水文信息化建设,需将雷达波测流系统深度融入国家或区域自动监测网络,实现与雨量、水位、气象等多源数据的统一管理与协同分析。并借助全新水文现代化测验设备:无人机、扫描仪等遥感设备来弥补遥感影像技术的监测盲区。拓宽监测覆盖范围并提升数据精度,打造集数据采集、传输、处理、预警及可视化于一体的综合监控平台,为山洪预警、水资源调配与灾害应急提供精准决策依据,探索与地质灾害监测、生态环境评估系统的联动机制,构建多维度、一体化区域管理体系,助力智慧水利在西藏山区河流全面落地实施。

5.3 布设与运维规范建议

为促进雷达波测流技术在特殊地貌区域推广,亟需编制针对西藏山区河流、峡谷、高原等地形的专项布设规范与技术指南,明确站点选址标准、支架结构参数及安装角度要求等关键要素,提供多类型设备选型参考与标准化施工流程,便于地方技术人员结合实际条件开展建设,建议由水利主管部门牵头推进示范工程建设,总结实践经验形成标准化推广模式,推动雷达测流技术在西藏山区河流水文监测领域的广泛应用与持续优化。

6 结语

雷达波非接触式流量测验技术凭借高精度、低维护、强环境适应性等特性,在西藏山区河流水文监测领域展现广阔应用前景,实践案例表明,该技术有效破解地形复杂、气候恶劣带来的监测难题,显著提升水文监测智能化水平,未来需持续深化布设策略优化、智能算法研发及多系统融合研究,推动建立标准化建设体系,为西藏山区河流水文信息化发展和防灾减灾工作筑牢技术根基,拓展应用空间。

【参考文献】

- [1]解传奇,张艺,荀武.非接触式雷达波测流与传统测流比较分析[J].水利水电快报,2019,40(9):26-28.
- [2]吕清华.非接触式雷达波测流技术在大路铺水文站的应用[J].水利科技与经济,2022,28(3):7-11.
- [3]张宽义,任春磊,宋文栋,等.非接触式雷达波测流系统在桑干河七一灌区中的应用[J].水科学与工程学报,2024(3):1-4.
- [4]丁馨曾,韩宝豆,华楚恩.非接触式多探头雷达波测流系统应用分析——以楚雄地索站为例[J].吉林水利,2024(12):28-34.

作者简介:渠国富(1981.10—),男,汉族,毕业学校:三峡大学,现工作单位:西藏自治区水文水资源勘测局山南水文水资源分局。