

滦县水文站漂浮式 ADCP 比测分析

刘鑫钰

河北省唐山水文勘测研究中心

DOI:10.32629/eep.v9i7.3262

[摘要] 水文监测数据的精准程度,是保障水资源管控决策科学落地、高效实施的重要前提。滦县水文站作为滦河流域核心监测站点,长期承担流域流量动态监测任务,其监测成果对区域水资源开发调配、汛期防洪调度、旱情应急处置等水利工作具备重要支撑价值。本文以滦县水文站为研究载体,围绕漂浮式 ADCP 设备的现场应用开展对比观测试验,通过科学设计比测方案、系统采集多场景水文数据、规范化完成数据筛选与核算,对比探究漂浮式 ADCP 与传统缆道测流技术的监测差异,总结该设备在本地河道工况下的运行优势与适配特性。本次研究成果不仅可为滦县水文站流量监测技术优化、作业模式升级提供数据支撑与实践依据,也能为同类中小流域水文站点推广漂浮式 ADCP 智能化测流技术提供可借鉴的实操经验。

[关键词] 滦县水文站; 漂浮式 ADCP; 比测研究; 流量监测; 数据精度分析

中图分类号: P332 **文献标识码:** A

Floating ADCP Comparison Analysis at Luanxian Hydrological Station

Xinyu Liu

Hebei Tangshan Hydrological Survey and Research Center

[Abstract] The precision of hydrological data is the core guarantee for the scientific formulation and efficient implementation of water resources management decisions. As a key monitoring station in the Luanhe River Basin, Luanxian Hydrological Station undertakes long-term dynamic flow monitoring tasks. Its monitoring results provide important support for water resources development and allocation, flood control dispatch and drought emergency disposal in the basin. Taking Luanxian Hydrological Station as the research object, this paper carries out comparative observation tests on the field application of floating ADCP. By scientifically designing the comparison scheme, systematically collecting multi-scenario hydrological data and standardizing data screening and calculation, it compares and explores the monitoring differences between floating ADCP and traditional cable flow measurement technology, and summarizes the operational advantages and adaptation characteristics of the equipment under local river conditions. The research results can not only provide data support and practical basis for the optimization of flow monitoring technology and operation mode upgrading at Luanxian Hydrological Station, but also offer referable practical experience for the popularization of intelligent floating ADCP flow measurement technology in similar small and medium-sized river basin hydrological stations.

[Key words] Luanxian Hydrological Station; Floating Adcp; Comparative Measurement Research; Flow Monitoring; Data Precision Analysis

引言

伴随流域水资源精细化管理与智慧水文建设的持续推进,传统缆道人工测流存在作业耗时长、低流速测量误差大、汛期涉水作业安全风险突出等短板。为提升滦河流域流量监测自动化水平,依托滦县水文站天然河道条件开展漂浮式 ADCP 现场比测,以此验证新型测流设备的数据可靠性,为站点监测工艺迭代

提供试验支撑。

1 比测方案设计

1.1 仪器设备

本次对比观测选用行业主流便携式漂浮式 ADCP 设备,设备整体运行稳定性良好、传感识别灵敏度高,适配天然河道复杂水流监测场景。设备核心技术指标如下:流速测量区间为 $\pm 5\text{m/s}$,

流速分辨率可达0.001m/s,能够精准捕捉水体细微流速波动;采用300kHz/1200kHz双频协同工作设计,频段适配不同水深工况,其中300kHz频段适用于1-30m中高水深河道监测,1200kHz频段针对性适配0.3-5m浅水域监测场景,可根据滦河不同水期水深变化灵活切换工作频段,有效提升数据采集的环境适配能力。同时,设备搭载北斗与GPS双模定位系统,定位精度达到厘米级,可精准记录设备漂流轨迹与测流垂线位置,从硬件层面保障断面测流点位的规范性与准确性。相较于传统固定式测流设备、转子式流速仪,该漂浮式ADCP具备机动灵活、作业效率高、无断面死角的突出优势,能够有效规避传统人工测流耗时久、点位稀疏、高水期作业风险高的短板。天然河道普遍存在流速分层、水流紊动、局部回流等复杂水动力现象,常规单点测速设备难以还原断面全域流速分布特征,而双频ADCP可实现断面水体三维流速的连续全覆盖采集,精准刻画河道流速垂向、横向分布规律。此外,设备具备优异的抗干扰与环境适配性能,可有效规避河道泥沙悬浮、水体浑浊、水面风浪扰动带来的数据偏差,在汛期高含沙水流、风浪扰动等恶劣工况下仍能保持传感信号稳定传输。同时设备轻量化、便携化的结构设计,适配河道岸边地形复杂、通行不便的野外作业场景,无需搭建固定测流设施,大幅降低野外水文监测的作业成本与施工难度,为滦河全域多工况水文数据的高效、精准采集提供可靠硬件保障。

1.2 比测条件

为全面验证漂浮式ADCP在差异化水文工况下的监测性能,本次比测时段选取2024年6-9月,完整覆盖滦河流域中低水稳定期与汛期洪水波动期,可充分反映不同流量等级下的设备监测效果。其中6月中旬至7月上旬为流域中低水期,整体降水偏少,河道径流平稳,流量稳定维持在150-300m³/s区间;7月下旬至9月上旬为主汛期,受季风降雨与台风天气叠加影响,流域先后发生3次典型洪水过程,实测最大洪峰流量达1250m³/s。多工况、大跨度的流量监测样本,为校验漂浮式ADCP在常规水文状态与极端洪水工况下的运行精度提供了充足的数据支撑。本次比测严格遵循水文监测规范,选取滦河干流典型控制断面作为试验区域,断面河道形态规整、水流顺畅,无明显弯道回流、局部壅水等干扰因素,能够真实反映流域天然径流变化规律,保障比测试验的科学性与代表性。监测周期完整覆盖平水、涨水、洪峰、退水全水文过程,不仅包含长期稳定的常规径流工况,也涵盖短时强降雨引发的暴涨暴跌洪水工况,流量变幅跨度极大,精准覆盖了滦河流域年度核心水文变化特征。同时,监测期间同步记录流域气温、降水、含沙量、水位变幅等配套水文参数,兼顾清水、浑水、风浪、短时强流等多种复杂野外工况,彻底规避了单一工况比测导致的试验局限性。通过多场景、全周期、大变幅的样本对照,可全面校验设备在稳定径流与突发洪水、浅水常态与高水急流等不同场景下的监测稳定性、数据精准度与环境适应性,有效保障本次设备性能对比试验结果的全面性、可靠性与工程适用性。

2 比测数据采集与处理

2.1 数据采集流程

本次数据采集严格遵循水文监测标准化作业流程,作业前期完成设备全方位校准调试,包含干校与湿校两项核心工序。干校环节依托设备配套校准软件,完成声学传感器、陀螺仪等核心传感部件的参数校验与偏差修正,保障设备基础运行精度,同时逐一检查设备供电、信号传输、数据存储模块,排查设备硬件故障与程序参数异常问题,从设备源头规避基础监测误差。湿校环节选取测流断面周边水流平稳的水域开展比对校验,将待测ADCP与精度±0.01m/s的标准流速仪同步布设,对比两组设备监测数据,逐步修正设备参数,直至整体测量误差控制在0.5%以内。此外,结合当日水温、水质、盐度实测数据,通过专业公式对声速参数进行动态修正,公式为:声速=1449.2+4.6×水温-0.055×水温²+0.00029×水温³+(1.34-0.01×水温)×(盐度-35),确保声速、水深等核心参数精准可控,为高质量数据采集奠定基础。同时,全程记录校准过程参数与环境工况,留存完整作业台账,保障采集流程可追溯、数据合规有效。

2.2 数据处理方法

监测数据的规范化筛选与精准核算,是保障比测结论科学可靠的关键环节。受设备轻微抖动、局部水流扰动、水面杂物干扰等现场因素影响,原始监测数据会存在少量异常值,需通过科学方法剔除干扰数据、保留有效样本。本次研究优先采用3σ准则开展异常值筛选,通过计算单组监测数据的平均值μ与标准差σ,界定[μ-3σ, μ+3σ]为有效数据区间,剔除区间外的异常监测数据。针对汛期水流波动剧烈、水文工况复杂的特殊场景,为避免单一准则误删有效实测数据,同步引入格拉布斯检验法开展辅助校验,设定显著性水平α=0.05,双重校验机制可最大限度保障筛选后的数据能够真实还原河道实际水流状态,提升比测结果的可信度。数据筛选完成后,进一步对有效数据进行平滑降噪、统一维度整理,剔除数据冗余项,修正细微系统偏差,规范数据格式,最终形成标准化、高精度的有效数据集,为后续水文分析、参数比对、成果推演提供严谨、完备的数据支撑。

3 比测结果分析

3.1 整体精度对比

多场次比测数据统计结果显示,漂浮式ADCP测流数据与传统缆道测流数据的相对误差区间为-3.8%~+4.2%,全域样本平均相对误差为1.7%,完全符合《水文巡测规范》(GB/T 50159-2015)中±5%的精度管控标准,证实该设备在滦县水文站河道工况下具备良好的整体监测精度。分水期对比分析可知,中低水稳定期设备监测精度更优,平均相对误差仅为1.2%;汛期受水流紊乱、漩涡多发、流态复杂等因素影响,监测误差小幅上升,平均相对误差为2.3%,但仍处于规范允许的合格区间内。分流量等级分析来看,当河道流量低于500m³/s时,设备相对误差集中分布在-2.5%~+2.8%,数据离散度低、稳定性强;当流量突破800m³/s进入大流量洪水工况时,误差区间小幅拓宽,但最大误差未超出规范限值,表明漂浮式ADCP在高低流量工况下均具备可靠的监测性能。

3.2典型场次分析

选取2024年8月20日汛期洪水过程作为典型高水工况分析样本,该场次监测对应台风“海葵”过境后的河道洪水波动过程,实测当日14:00水位为23.40m,传统缆道实测流量为980m³/s,漂浮式ADCP实测流量为1010m³/s,两组数据相对误差为3.1%。通过流速剖面分层比对可知,河道中泓6-8m水深主流区流态稳定,两种监测方式的流速监测结果高度契合,流速区间均为1.8-2.2m/s,区域相对误差低于2%,设备主流区监测精度表现优异。选取2024年8月10日中低水稳定场次作为对照,当日天气晴好、河道水流平稳,实测水位21.84m,缆道测流成果为277m³/s,漂浮式ADCP测流成果为272m³/s,相对误差为-1.8%。两组监测方式绘制的水位-流量关系曲线重合度达98%,其中ADCP曲线斜率为25.3(m³/s)/m,缆道测流曲线斜率为25.6(m³/s)/m,参数差异仅1.2%,充分验证了漂浮式ADCP在平稳水文工况下的高精度监测优势。

4 漂浮式ADCP的应用优化

结合两种测流技术的性能优势与适用场景,本文构建“ADCP常态化监测+缆道定期校准”的互补作业模式,实现监测效率与数据精度的双向提升。日常水文监测工作以漂浮式ADCP为核心设备,每日固定8:00、16:00开展2次常态化流量监测,单次作业时长约30min,相较于传统缆道测流单次2h的作业时长,监测效率大幅提升,可有效适配高频次水文监测需求。为保障长期监测数据的稳定性与准确性,每月选取径流平稳时段开展缆道比对校准,结合两组监测数据构建误差修正模型,本次拟合优化得出修正公式: $Q_{修正}=Q_{实测}+0.012\times Q_{实测}-2.5$,通过数据修正进一步弱化设备系统偏差。同时建立季度迭代优化机制,每季度复盘校准数据,若特定流速区间修正偏差超出±4%,及时优化模型斜率系数与常数项,动态适配河道断面水流特性的季节性变化,保

障监测数据持续精准可靠。

5 结论

滦县水文站多水期、多场次比测试验结果表明,漂浮式ADCP设备在河道中低水工况下,具备监测精度高、作业便捷、时效性强的突出优势,可完全替代传统缆道测流完成日常常态化流量监测工作。汛期复杂流态工况下,设备监测误差虽略有提升,但整体仍符合国家水文监测规范要求,适配滦河流域全水期流量监测作业。本文总结的标准化采样方法、数据处理规则与误差修正策略,可有效提升漂浮式ADCP在天然河道复杂水文环境中的适配性与精准度。本次研究成果可为中小河流域水文站点推广智能化ADCP测流技术提供实践参考,助力基层水文监测工作朝着自动化、高效化、精准化方向升级,进一步提升区域水资源调度、水旱灾害防控的科学化水平。

[参考文献]

- [1]李明,王静.水文站数据采集与处理技术应用研究[J].水文,2021,41(3):56-60.
- [2]张勇,刘杰.ADCP在中小河流流量监测中的应用——以滦县水文站为例[J].水利信息化,2023,(2):34-38.
- [3]赵伟,孙丽.水文泥沙数据处理方法与质量控制[J].泥沙研究,2023,48(1):67-71.
- [4]国家技术监督局.水文巡测规范(GB/T50159-2015)[S].北京:中国计划出版社,2015.
- [5]水利部水文局.ADCP测流技术规范(SL/T337-2011)[S].北京:中国水利水电出版社,2011.

作者简介:

刘鑫钰(1991--),女,汉族,河北唐山人,本科,职称:工程师,研究方向:水文、水资源。