Journal of Water Resources Research 水资源研究, 2026, 15(4), 439-445
Published Online August 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/jwrr
https://doi.org/10.12677/jwrr.2026.154047

水环境监测设备在水文测验中的应用

张　华[1,2*]，时京林[2]，金细波[3]，张　云[2]，阿斯哈尔艾力·阿山别克[2]，克里奇别克·沙尔胡力[2]，阿曼别克·交代提[2]

[1]赣江下游水文水资源监测中心，江西　宜春
[2]新疆维吾尔自治区克孜勒苏水文勘测中心，新疆　克孜勒苏
[3]碧兴物联科技(深圳)股份有限公司，广东　深圳

收稿日期：2026年6月16日；录用日期：2026年7月7日；发布日期：2026年8月27日

摘　要

针对新疆地区水文监测自动化程度偏低、人工泥沙测验强度大、水温监测数据易缺测失真等行业痛点，为探索水环境自动监测设备赋能传统水文监测的可行性与应用边界，提升区域水文监测数据质量与智能化水平，本文以恰其嘎水文站上阿图什干渠监测断面为研究区域，依托布设的杆式五参数水环境自动监测设备，开展水温、浊度与常规水文监测指标的同步比测试验，采用数据统计分析、相关性建模、规范精度检验等方法，开展水温数据校核插补、浊度－含沙量转换模型研究。试验结果表明：水环境自动监测设备水温数据与常规气象六参数仪水温数据相关性极强，相关系数$R^2 = 0.9944$，可实现水温数据有效插补与校核；在含沙量 $< 3\ kg/m^3$情况下，浊度与单样含沙量拟合关系满足行业规范，建立的二次回归模型精度达标，可替代人工完成低含沙量时段泥沙自动监测。同时设备受量程限制，无法适配高含沙量极端情况，研究区域高含沙量时长占比不足全年10%，设备可有效辅助人工监测、优化测验时机。研究证实该型五参数监测设备可有效补充传统水文监测短板，减轻人工测验压力，可为新疆水文“量质同步监测”自动化升级提供技术参考。

关键词

水环境自动监测，水文监测，水温校核，浊度－含沙量模型，量质同步监测

Application of Water Environment Monitoring Equipment in Hydrometric Survey

Hua Zhang[1,2*], Jinglin Shi[2], Xibo Jin[3], Yun Zhang[2], Asihaeraili·Ashanbieke[2], Keliqibieke·Shaerhuli[2], Amanbieke·Jiaodaiti[2]

[1]Monitoring Center on Hydrology and Water Resources in the Lower Reaches of the Ganjiang River, Yichun Jiangxi
[2]Xinjiang Uygur Autonomous Region Kizilesu Hydrological Survey Center, Kizilesu Xinjiang
[3]Bixing Internet of Things Technology (Shenzhen) Co., Ltd., Shenzhen Guangdong

作者简介：张华，男，江西樟树人，工程硕士，主要从事水文监测、资料整编、水情水资源研究。
[*]通讯作者 Email: 303008003@qq.com

文章引用: 张华, 时京林, 金细波, 张云, 阿斯哈尔艾力·阿山别克, 克里奇别克·沙尔胡力, 阿曼别克·交代提. 水环境监测设备在水文测验中的应用[J]. 水资源研究, 2026, 15(4): 439-445. DOI: 10.12677/jwrr.2026.154047

Received: June 16, 2026; accepted: July 7, 2026; published: August 27, 2026

Abstract

Aiming at the industrial pain points in Xinjiang such as the low automation level of hydrological monitoring, high labor intensity of manual sediment measurement, and frequent missing and distorted water temperature monitoring data, this paper explores the feasibility and application boundary of applying automatic water environment monitoring equipment to empower traditional hydrological monitoring, so as to improve the quality and intelligent level of regional hydrological monitoring data. Taking the monitoring section of the Upper Artux Main Canal at the Qiaqiga Hydrological Station as the research area, synchronous comparison tests of water temperature, turbidity and conventional hydrological monitoring indicators were carried out based on the installed rod-type five-parameter automatic water environment monitoring equipment. Methods including data statistical analysis, correlation modeling and standard accuracy verification were adopted to conduct water temperature data calibration and interpolation, as well as research on the turbidity-sediment concentration conversion model. The test results show that the water temperature data of the automatic water environment monitoring equipment have an extremely strong correlation with that of the conventional six-parameter meteorological instruments, with a coefficient of determination (R^2 = 0.9944), which enables effective interpolation and calibration of water temperature data. Under the working condition where the sediment concentration is less than < 3 kg/m^3, the fitting relationship between turbidity and single-sample sediment concentration complies with industrial specifications, and the established quadratic regression model meets the accuracy requirements, which can replace manual work to realize automatic sediment monitoring in low sediment concentration periods. Meanwhile, restricted by its measuring range, the equipment cannot adapt to extreme working conditions with high sediment concentration. The duration of high sediment concentration in the study area accounts for less than 10% of the whole year, and the equipment can effectively assist manual monitoring and optimize the measurement timing. This study verifies that the five-parameter monitoring equipment can effectively compensate for the shortcomings of traditional hydrological monitoring, and reduce the workload of manual measurement, and provide technical reference for the automatic upgrading of synchronous quantity and quality monitoring of hydrology in Xinjiang.

Keywords

Automatic Water Environment Monitoring, Hydrological Monitoring, Water Temperature Calibration, Turbidity-Sediment Concentration Model, Synchronous Quantity and Quality Monitoring

Copyright © 2026 by author(s) and Wuhan University & Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 前言

当前全球环境面临巨大考验，水体污染、水生态系统退化成为全球水环境质量突出问题，环境破坏和由此导致的环境污染与全球变暖将可能使地球不再适合包括人类在内的生物居住[1]。特别是在新疆地区，现阶段，随着工业化进程和城市化进程的逐步推进，在提升社会生产力的同时，水环境污染问题日益突出[2]。近年来，伴随区域工业化、城市化快速推进，水资源开发强度持续提升，工业生活污水排放、农业面源污染、地下水超采等问题叠加，导致区域水环境质量波动、水资源生态功能退化，对水文监测的连续性、精准性、时效性提出了更高要求。2025 年，新疆维吾尔自治区水文局在“十五五”规划中明确提出加快推进水质站网建设，强化“量质同步”监测要求。为此，新疆维吾尔自治区克孜勒苏水文勘测中心与碧兴物联科技(深圳)股份有限公司合作，在恰其嘎水文站

上阿图什干渠监测断面兴建一座杆式五参数水环境自动监测站。该水环境自动监测设备具备全天候、连续、高频、无人值守监测的优势，可实时采集水温、浊度等多项水体指标，且部分监测指标与传统水文监测指标高度重合，具备与传统水文监测融合应用的基础。基于该监测站点，本文开展水环境自动监测数据与传统水文监测数据的对比试验研究，探究设备在水温数据校核、泥沙自动监测中的应用效果与适用范围，明确设备的应用优势与局限性，为区域同类地区水文监测智能化改造、优化水文测验模式、提升水文数据整编质量提供实践依据。

2. 项目概况

恰其嘎水文站始建于 1976 年 9 月，为国家基本水文站，恰克马克河干流控制站，主要监测项目有水位、流量、降水、蒸发、悬移质泥沙、气温、水温等。恰克马克河发源于中吉边境海拔 4758.8 米的图噜噶尔特山南麓，流入阿图什后分为南北两支，南支沿主河道流入喀什地区，北支转头向东流入阿图什市后，最终流入托卡衣水库[3]。2002 年 7 月，塔里木河流域喀什噶尔河管理中心在南北支流分叉处兴建恰克马克渠首和上阿图什干渠与阿扎克干渠。上阿图什干渠主要向克州阿图什市灌区和喀什疏附县拜什克然乡提供灌溉用水。

上阿图什干渠水文监测断面位于上阿图什干渠恰克马克渠首下游约 150 m。上阿图什干渠为梯形渠道，长 12.5 km，底宽分别为 2 m、7 m，高 1.5 m，设计最大过水能力约为 8.50 m^3/s。上阿图什干渠悬移质泥沙主要来源于上游降水和冰川融水流经上游山地、荒原时冲刷的砂砾石土壤。断面 2019 起开展悬移质断面输沙率测验，采用单断沙关系线推求断面平均含沙量和输沙量，2024 年起采用历年单断沙关系综合线推求，测算方法成熟、数据精度稳定，为浊度－含沙量比测试验提供了可靠的人工对照数据基础。

碧兴物联公司提供的杆式五参数水环境自动监测设备主要监测项目有水温、PH 值、溶解氧、电导率、浊度等，是一套集数据自动分析、自动控制、数据采集传输、远程监控于一体的模块化在线全自动智能环境监测设备。为避免设备入水部分对断面水位、流量监测产生影响并建立水质监测浊度与该断面单样含沙量关系，入水部分固定安装在基本水尺兼流速仪测流断面(测桥上游断面)下游(测桥下游断面) 1 m，起点距 4.5 m，距河底约 0.3 m 处。岸上部分安装于渠道左侧，入水部分与岸上部分由通讯线路套筒连接，安装工艺符合水文监测规范要求。

3. 研究方法

3.1. 监测指标关联性分析方法

水环境自动监测与传统水文监测存在指标互通、原理同源的技术基础，二者可实现数据互补、成果互校。水温为两类监测体系共有核心指标，均通过水体传感器实时捕捉温度变化，按固定频次通过物联网模块上传数据，监测原理一致、数据时序同步。

依据《水文基本术语和符号标准》(GB/T 50095-2014) [4]，浊度是反映水体透光性的光学无量纲指标，受悬浮颗粒物粒径、形态、折射率等特性影响；含沙量是单位体积水体干沙质量浓度，为量化悬浮物含量的质量指标。二者均可表征水体悬浮物丰度，浊度可作为含沙量监测的代理指标，通过构建拟合模型可实现泥沙指标自动化反演。

结合研究断面河床稳定、水位－流量呈单一线型、雷达水位计监测精度高的特点，重点开展两项核心研究：一是基于自动监测水温与常规气象六参数仪水温数据，构建水温插补校核模型；二是基于同步监测数据，建立浊度－单样含沙量相关关系，验证自动监测替代人工泥沙测验的适用性。

3.2. 数据采集与预处理方法

试验数据采集时段为 2025 年 8 月 13 日 00:00~26 日 23:00，采用整点瞬时监测数据开展分析。常规水温、气温数据由经人工比测校验的气象六参数仪监测，含沙量为人工监测，数据精度符合水文测验标准；水环境监测水温、浊度数据由杆式五参数自动监测设备同步采集。

数据预处理阶段，对少量缺测数据采用相邻时段瞬时值均值插补；依据《河流悬移质泥沙自动监测技术规

程》(T/CI 389-2024) [5]相关要求，甄别并剔除明确粗差数据，保留有效测点用于模型拟合与精度检验，保障试验数据严谨性。

3.3. 模型检验方法

严格参照行业规范，对拟合关系模型开展多重精度检验，包含符号检验、适线检验、偏离数值检验，同步计算模型标准差、不确定度与系统误差。严格执行规范阈值要求：关系模型相关系数不低于 0.9，有效定线测点数量不少于 20 个，所有检验指标达标即为模型有效、可用于实际水文监测应用。

4. 结果与讨论

4.1. 水温相关性分析结果

根据杆式五参数水环境自动监测站与气象六参数仪数据点绘水温、气温过程线图，部分缺测点由相邻时段瞬时值均值插补，得到下图 1：

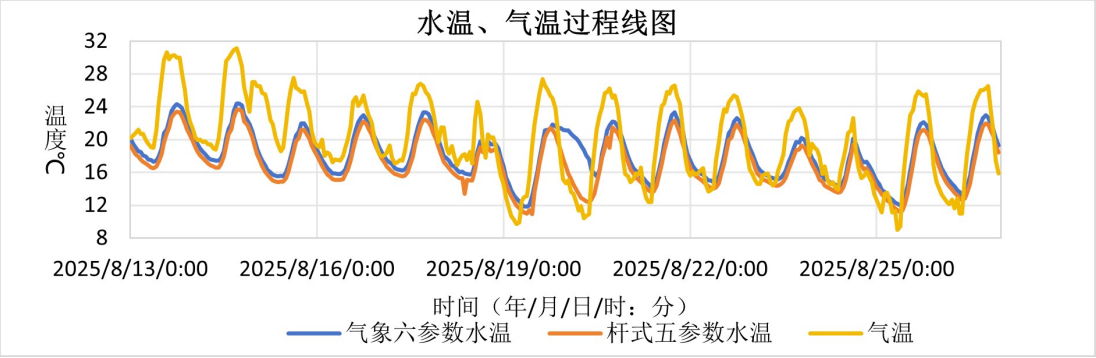


图 1. 恰其嘎水文站水温、气温过程线图

根据图 1，杆式五参数水环境自动监测站水温与阿扎克干渠水温变化基本一致。但在 8 月 19 日 20:00 至 20 日 12:00 两种设备所记录的数据有所背离，结合同期气温过程线对照验证，水环境自动监测设备水温变化与气温动态变化规律完全匹配，判定该时段气象六参数仪水温数据存在异常误差，剔除后不参与相关性建模，点绘两种设备水温相关关系图如下图 2。

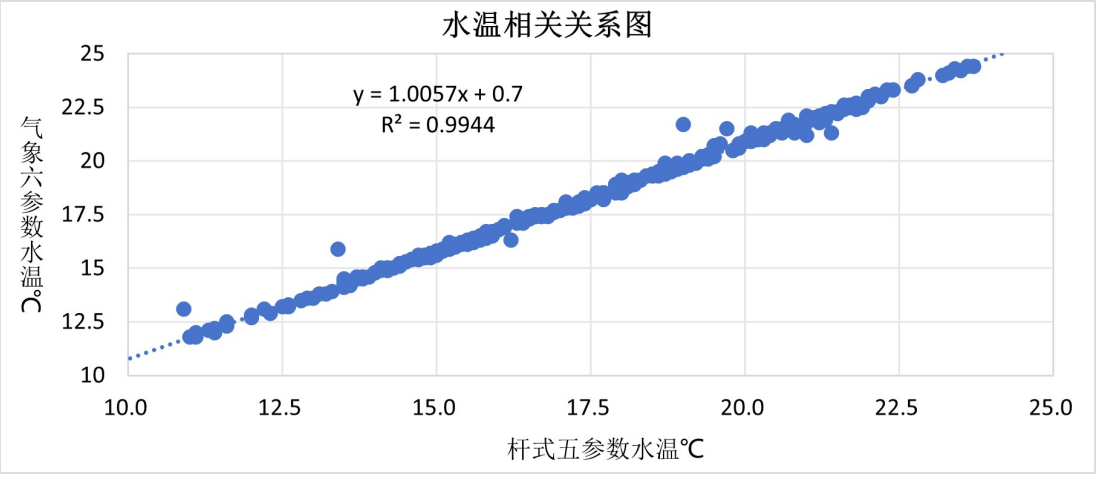


图 2. 水温相关关系图

根据图 2 可知，杆式五参数水环境自动监测站水温与气象六参数水温相关关系系数 R^2 为 0.9944，相关关系好，其相关关系公式为：$T_6 = 1.00057T_5 + 0.7$，式中 T_6 为气象六参数水温，℃；T_5 为杆式五参数水环境自动监测站水温，℃。该模型可精准实现常规水温数据的缺测插补与异常数据校核，有效解决传统人工水温监测数据断续、失真问题，全面提升恰其嘎水文站水温资料整编的完整性与准确性。

4.2. 浊度与含沙量相关性分析结果

试验采用的杆式五参数水环境自动监测仪监测浊度设计量程为 4000 NTU，理论采集含沙量值可达 25 kg/m^3。严格匹配人工采样时序，共获取 45 组同步数据，形成完整同步监测数据集，见表 1。

表 1. 含沙量浊度同步监测数据表

施测时间	含沙量 (kg/m^3)	浊度 NTU	施测时间	含沙量 (kg/m^3)	浊度 NTU	施测时间	含沙量 (kg/m^3)	浊度 NTU
81308:00	0.612	705.3	81620:00	0.948	987.9	81920:00	8.1	1711.1
81312:00	1.14	807	81708:00	0.656	600.2	82008:00	9.88	1634.7
81316:00	0.852	792.6	81712:00	0.854	771.5	82020:00	10.3	1712.7
81320:00	0.875	954.7	81716:00	0.392	500.4	82108:00	4.93	1646.2
81408:00	2.27	830.3	81720:00	0.779	663.9	82120:00	3.82	1714.3
81412:00	0.925	941.6	81808:00	68.2	1659.9	82208:00	4.11	1648.7
81416:00	0.876	882.5	81812:00	72	96.2	82220:00	3.51	1711.9
81420:00	0.947	895.7	81816:00	51	247	82308:00	3.45	1652
81508:00	0.725	619.5	81818:00	53.5	207.4	82320:00	4.9	1695.2
81512:00	0.821	712.5	81819:00	58	220.9	82408:00	9.65	1644.7
81516:00	0.839	661.1	81820:00	60.1	120.4	82420:00	59.6	55.1
81520:00	1.1	845	81908:00	18.7	1623	82508:00	3.08	1624.4
81608:00	0.079	45.3	81912:00	13	1644.3	82520:00	2.71	1708.2
81612:00	0.284	216.5	81916:00	13.2	1707.3	82608:00	2.34	1497.1
81616:00	1.79	1713.2	81919:10	8.05	1716.5	82620:00	2.44	1695.6

根据表 1 绘制含沙量与浊度相关关系如图 3。

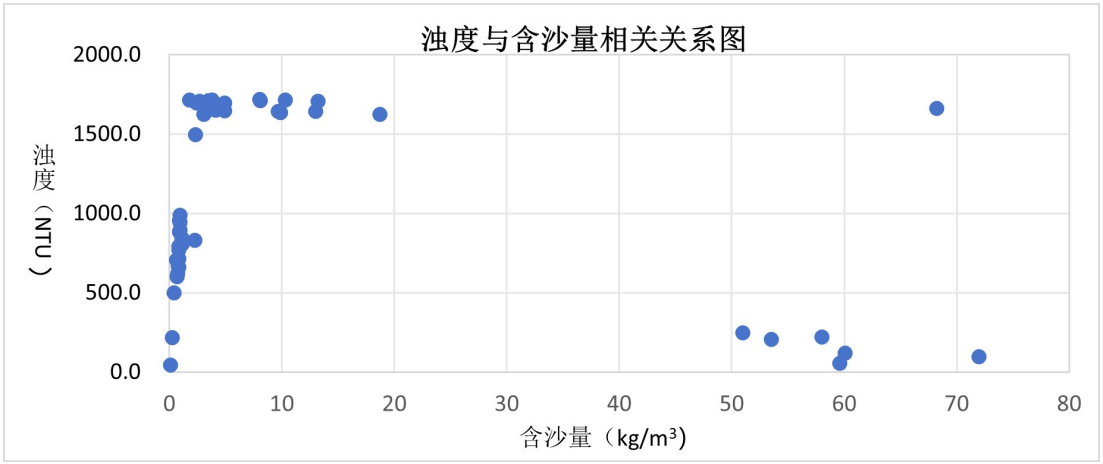


图 3. 含沙量与浊度相关图

图 3 试验数据显示浊度与含沙量相关关系曲线与土壤无限侧压缩试验曲线[6]类似，呈现明显分段特征：含沙量 < 3 kg/m³ 时，浊度随含沙量增大同步升高，线性响应规律稳定；含沙量 > 3 kg/m³ 时，设备接近监测量程上限，浊度数据在 1630~1730 NTU 区间震荡；含沙量持续大幅升高后，颗粒物浓度超出设备光学监测适配范围，浊度监测值随含沙量增大反向下降，高含沙量情况下二者无有效相关关系。依据行业规范要求，以浊度突变超 1 倍为粗差判定标准，剔除 8 月 14 日 08:00、8 月 16 日 16:00 两组粗差数据，针对含沙量 < 3 kg/m³ 的有效情况开展精准拟合，绘制标准化相关关系如图 4。

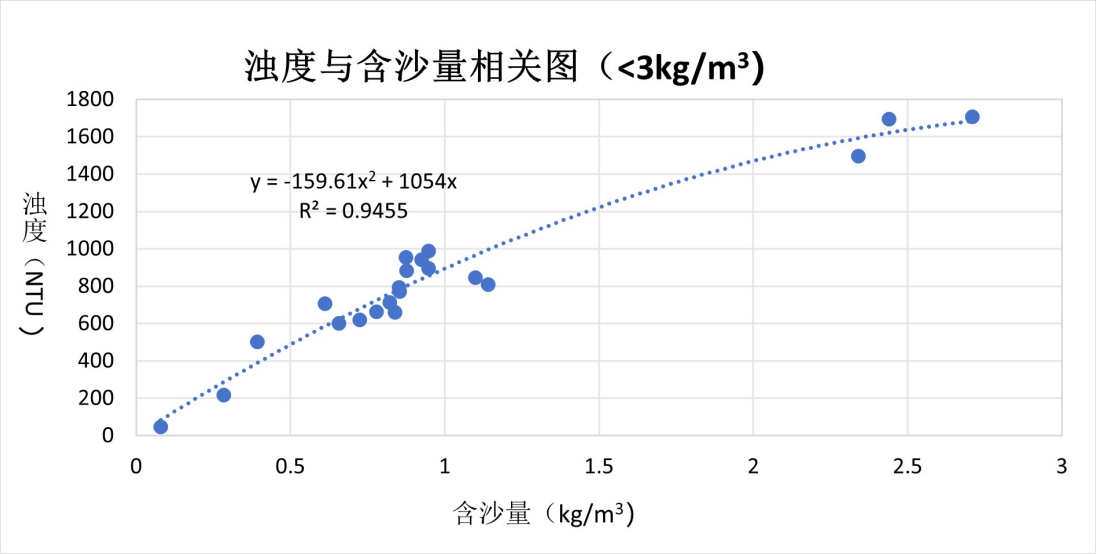


图 4. 含沙量与浊度相关图(<3 kg/m³)

有效定线测点共 21 个，满足规范不少于 20 个测点的要求，拟合相关系数 R^2 大于 0.9，符合行业标准。拟合得到浊度反演单样含沙量的核心二次回归公式，为断面泥沙自动监测的核心应用模型，具体如下：

$$C = 0.0000005N^2 + 0.0006N + 0.07$$

式中：C——单样含沙量，kg/m³；N——浊度，NTU。

对该关系曲线做关系曲线检验，成果如表 2。

表 2. 含沙量小于 3 kg/m³ 浊度含沙量关系曲线检验成果表

符号检验：	总点数：	21	k = 11	U = 0	允许值	1.15	是否合理： √
适线检验：	总点数：	21	k = 11	U = −0.67	允许值	1.28	是否合理： √
偏离数值检验：	总点数：	21		t = 0.40	允许值	1.33	是否合理： √
标准差(Se%)：	14.1	不确定度(Xe%)：		28.2	系统误差(%)：		1.4

检验结果显示：符号检验、适线检验、偏离数值检验均合格，模型标准差 14.1%，不确定度 28.2%，系统误差 1.4%。研究区域水文站为三类泥沙精度站，该模型精度完全满足《河流悬移质泥沙自动监测技术规程》规范要求，可用于 50~1500 NTU 浊度区间、含沙量 < 3 kg/m³ 工况下的自动泥沙监测与数据整编。

4.3. 设备应用局限性分析

结合试验数据与区域水文特性分析，该型设备存在明显应用边界。恰其嘎水文站汛期易出现高含沙量水流，

含沙量长期突破 3 kg/m^3，超出设备稳定监测区间，导致设备处于非标准工作状态，无法实现全量程泥沙监测。试验仅监测到两组连续沙峰过程，结合站点历年监测资料，该站含沙量超 3 kg/m^3 的持续时长不足一个水文年的10%，低含沙量为全年主导水文状态。因此，设备虽无法覆盖极端高含沙量，但可覆盖全年 90%以上的常规监测时段。同时，设备全天候连续监测的优势，可精准预判沙峰过程，辅助工作人员科学规划人工采样、输沙率测验时机，有效规避沙峰漏测问题，弥补传统人工监测的短板。五参数设备仅为水环境基础监测配置，监测因子少、量程有限，是其高含沙量适配性差的核心原因，设备硬件性能存在较大优化空间。

5. 结论

1) 布设的杆式五参数水环境自动监测设备安装位置科学、采样区域代表性强，监测数据稳定可靠。建立的水温校核模型 $T_6 = 1.00057T_5 + 0.7$ 相关性极强，可高效实现常规水温数据的缺测插补与异常校核，显著提升水温水文资料整编质量。

2) 在含沙量 < 3 kg/m^3、浊度 50~1500 NTU 的常规工况下，浊度与单样含沙量拟合模型精度达标，建立的二次回归模型 $C = 0.0000005\ N^2 + 0.0006\ N + 0.07$ 可替代人工完成泥沙自动监测，有效降低传统人工泥沙测验的工作强度，提升监测时效性。

3) 该型设备存在明确应用边界，无法适配研究区域极端高含沙量情况，不具备全量程泥沙监测能力。但区域高含沙量时长占比极低，设备可覆盖绝大部分常规监测时段，且能辅助预判沙峰过程、优化人工测验方案，保障极端水文过程监测完整性，综合应用价值显著。

4) 基础型五参数监测设备硬件配置有限、监测量程不足，是其应用受限的主要原因。后续可深化合作，优化设备硬件参数与监测算法，拓展水环境自动监测设备在水位、流量、全量程泥沙监测中的应用场景，推动水文监测行业智能化、自动化升级。

参考文献

[1] 倪盛俭. 全球环境污染和变暖背景下传统村落复兴的意义[J]. 生态经济评论, 2019(1): 262-273.

[2] 魏永文, 王绍俊. 水质自动监测技术在水环境保护中的应用分析[J]. 农业灾害研究, 2025, 15(3): 268-270.

[3] 敬正书, 顾浩, 郑连第. 中国河湖大典(西北诸河卷) [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014.

[4] 水利部水文局. GB/T 50095-2014, 水文基本术语和符号标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.

[5] 水利部信息中心. T/CI 389-2024, 河流悬移质泥沙自动监测技术规程[S]. 北京: 中国国际科技促进会, 2024.

[6] 李广信. 高等土力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.