

武大AiFlow视觉测流技术在跨境河流水文监测中的应用研究

——以平而水文站为例

滕济端¹, 郑晓燕², 项伍林², 王 诚², 罗立华¹, 覃江涛¹, 黄永良¹, 黄树锋¹

¹崇左水文中心, 广西 崇左

²武汉大水云科技有限公司, 湖北 武汉

收稿日期: 2025年11月26日; 录用日期: 2025年12月28日; 发布日期: 2026年2月26日

摘 要

针对跨境河流水文监测中存在的上游来水不透明、时效性低、人工作业风险较大等难题, 本文以武大AiFlow视觉测流技术在平而水文站的应用为例, 分析此测流技术精度和可行性。结果表明, 武大AiFlow视觉测流技术能够高频、连续、非接触地获取水文要素, 精确捕捉洪水过程, 提高测流效率。为跨境河流洪水预警、下游调度等方面提供了科学依据。基于本研究成果, 视觉测流技术在类似跨境河流的水文监测中具有广泛推广应用价值, 可作为实现全周期、全自动化、非接触式的连续水文监测的重要手段, 同时为边境贸易、生态环境保护及水电调度提供了技术支撑。

关键词

视觉测流, 跨境河流, 洪水监测, 水电调度, 水资源管理

Application Research of Wuhan University AiFlow Visual Flowmeter Technology in Hydrological Monitoring of Transboundary Rivers

—Taking Ping'er Hydrological Station as an Example

Jidian Teng¹, Xiaoyan Zheng², Wulin Xiang², Cheng Wang², Lihua Luo¹, Jiangtao Qin¹,
Yongliang Huang¹, Shufeng Huang¹

¹Chongzuo Hydrology Center, Chongzuo Guangxi

作者简介: 滕济端, 从事水文水资源专业管理工作, Email: 4490054@qq.com

文章引用: 滕济端, 郑晓燕, 项伍林, 王诚, 罗立华, 覃江涛, 黄永良, 黄树锋. 武大 AiFlow 视觉测流技术在跨境河流水文监测中的应用研究[J]. 水资源研究, 2026, 15(1): 68-74. DOI: 10.12677/jwrr.2026.151009

²Wuhan Dashuiyun Technology Co., Ltd., Wuhan Hubei

Received: November 26, 2025; accepted: December 28, 2025; published: February 26, 2026

Abstract

Hydrological monitoring in transboundary rivers currently faces significant challenges, including lack of upstream inflow data, untimely data acquisition, and high risks associated with manual measurement. This study examines the accuracy and feasibility of Wuhan University AiFlow Visual Flowmeter Technology through its application at the Ping'er Hydrological Station. The results indicate that AiFlow enables high-frequency, continuous, and non-contact acquisition of hydrological parameters, accurately capturing flood dynamics and significantly improving measurement efficiency. These findings provide a scientific basis for flood warning and downstream scheduling in transboundary river basins. Moreover, the study highlights the broad applicability of AiFlow Visual Flowmeter Technology in similar transboundary river environments. As a promising tool for full-cycle, fully automated, and non-contact hydrological monitoring, it also offers technical support for border trade, ecological and environmental protection, and hydro-power dispatching.

Keywords

Visual Flowmeter, Transboundary River, Flood Monitoring, Hydro-Power Dispatching, Water Resources Management

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. 引言

跨境河流在我国边境地区具有重要的生态与社会经济功能，其水量、水质及洪水过程的变化不仅影响沿岸地区防洪安全，还关系到河道生态保护、边境贸易以及沿线群众的日常生产生活质量[1]。随着气候变化和人类活动加剧，全球范围内跨境流域洪水和干旱等极端水安全事件频发[2]，跨境河流水情的突变性和不确定性进一步增强，对监测体系的响应速度和监测精度提出了更高要求。

当前，跨境河流水文监测面临的挑战主要体现在三个方面：第一，受河段地形复杂、交通条件受限以及边境管控等因素影响，我国部分跨境河段的水文监测站点仍然较为稀疏，同时，跨境河流来水受上游调度影响明显，但受各国利益博弈等外部因素影响，国与国之间的水文数据共享机制尚不完善，跨境水情信息往往滞后甚至缺失，使得跨境流域洪水演变机制难以实时掌握，从而制约了水资源灾害的联防联控能力与整体风险管理水平[2][3]。特别在汛期或突发强降雨条件下，河流水情变化迅速，如果缺乏高频次、全过程的实时数据支撑，将直接影响下游洪水预警、调度决策及应急管理的时效性和准确性。因此，跨境河流水文数据采集的及时、连续、可靠直接决定了跨境水资源管理的科学性、风险防控的有效性和下游水情调控的精准性。第二，传统监测手段如转子流速仪、ADCP(声学多普勒流速剖面仪)等受河段地形、流态及外部环境限制明显，存在流程繁琐、效率低、历时长、时效性差等问题[4]，难以满足快速、连续、高频观测的需求，无法适应汛期水情突变的观测要求，实时监测能力不足，导致水情信息的获取存在滞后性。第三，在汛期水流湍急、水位变化剧烈、观测环境恶劣的条件下，传统监测手段受水面影响大，在应急监测方面存在较大的人员安全隐患等问题[5]，从而导致水文要

素数据获取的准确性和连续性难以保证,进一步制约了跨境河流防洪调度的科学性和可靠性。

综上所述,探索高效、稳定且非接触式的水文监测新技术已成为跨境河流水文监测的迫切需求。

近年来,随着人工智能技术的迅猛发展,视觉测流法作为一种新兴的流量测验方法,正在被广泛应用于各种水流环境的流速与流量测量。此方法利用摄像机拍摄得到的实时水流视频,结合图像处理和人工智能技术,获取高时空分辨率水流表面流速矢量进而进行流量测验。其中,由武汉大学智慧水业研究所与武汉大云科技联合创新研发的 AiFlow 视觉测流(通常称“武大 AiFlow”)产品已广泛投入至全国各水文站使用[6]。

本文依托位于中越跨境河流平而河上的平而水文站,选取 2025 年 9 月至 10 月的一场典型洪水涨落过程,对武大 AiFlow 视觉测流的测流数据进行率定与检验,系统评估视觉测流设备在跨境河流水文监测场景下的测验精度与应用效果,为解决类似跨境河流水文监测难题提供技术支撑与实践范例。

2. 武大 AiFlow 视觉测流技术原理

武大 AiFlow 视觉测流产品采用多种视觉测流算法融合,以时空图像测速法为主,简称 STIV 法,利用时空图像中河流表面灰度的变化测量水体表面流速。

河流表面流动特征诸如涟漪、波纹随水流一起运动的,因此可以认为其运动速度近似等于河流表面流速,这些表面流动特征的运动又会导致河流表面灰度发生变化,河流表面灰度的变化大小可以反映河流表面流速的大小。为了能够直观且准确地反映河流表面亮度的变化,需要在所拍摄的河流流动视频中沿水流方向设置一系列平行且等长的测速线,并从视频中逐帧提取每条测速线的灰度信息以合成该条测速线的时空图像。由于灰度的变化,在每幅时空图像中河流表面亮度的变化将呈现为近似平行的带状纹理,带状纹理与竖直方向所夹角度(纹理角)即反映了河流表面流速的大小[7]。河流表面流速图像识别过程如图 1 所示。

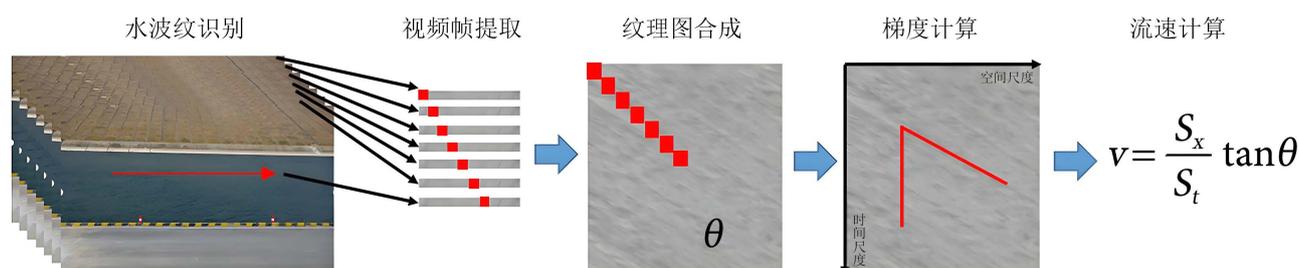


图 1. 河流表面流速图像识别过程

其中,表示纹理角大小,表示每个像素所代表的实际距离(单位为: m/像素),表示所拍摄的视频每帧持续时间(单位为: 帧/s)。

得到河流测速线表面流速后,采用表面流速 - 面积法进行断面虚流量计算,再通过虚流量与实测流量相关关系转化得到实际断面流量。

3. 视觉测流在平而站的应用案例

3.1. 平而水文站简介

平而水文站位于广西壮族自治区崇左市凭祥市西北部,测验断面上游 500 m 为中国、越南交界,是一个典型的跨国界河流站,属国家重要水文站,是珠江流域西江水系平而河的主要控制水文站。平而河属左江上游河段,源于越南北部山区。上游为越南奇穷河。平而河流经凭祥市境内约 19 km,集水面积为 6667 km²(其中 96% 在国外)。平而水文站测验断面河槽属 U 型槽。中高水时河流流态稳定,无回流及回水顶托影响;低水时,由于下游约 20 km 位置鸭水水电站尾水影响,测验断面位置会有壅水现象。当前,平而水文站的监测任务为水位、

流量, 现有人工观测水尺、浮子水位计、缆道式转子流速仪等设备。

平而站既承担本流域常规水文监测任务, 也承担跨境来水过程追踪及下游洪水预警等重要功能, 是连接境外来水与国内防洪决策的前置观测点。其监测资料的准确性与时效性对于把握跨境河流水文变化规律、提升边境地区水情预报能力、支撑边境贸易、生态保护和水电调度具有重要意义。

然而, 平而水文站作为平而河上的国内第一个流量监测站点, 其上游来水信息不明, 水情变化可预见性弱, 当前已有的流量监测手段不能适应新阶段水文监测自动化、信息化和智能化的发展要求。因此, 自 2025 年起引入先进的武大 AiFlow 视觉测流技术, 旨在解决现有测流站点所面临的问题。

3.2. 视觉测流率定及误差分析

平而水文站武大 AiFlow 视觉测流设备于 2025 年 9 月 18 日完成建站安装, 9 月 22 日正式运行。

平而水文站于 2025 年 9 月 5 日至 2025 年 10 月 24 日在不同水流条件下通过转子流速仪进行了流量数据采集。在此期间, 共测得 21 组转子流速仪测流数据, 期间水位变化范围为 128.88~141.22 m; 流量变化范围为 122~4190 m³/s。转子流速仪施测断面与视觉测流断面处于同一断面, 根据《图像识别法河流流量测验规范》(T/CHES 99-2023) [8]采用视觉测流虚流量与转子流速仪流量进行率定。

选取与转子流速仪测流同时段同水位的武大 AiFlow 视觉测流虚流量数据组成率定样本, 若无同水位数据时则尽可能选取临近时刻的临近水位对应数据。剔除视觉测流正式运行前的 3 组, 设备断电 1 组, 水位差异较大 4 组, 最终组成 13 组率定样本。

以视觉测流虚流量为 X 轴, 转子流速仪测验流量为 Y 轴, 建立视觉测流虚流量与转子流速仪测验流量之间的相关关系, 以得到两者之间的换算关系, 进而通过此换算关系, 将视觉测流虚流量换算为全断面流量。最终得到武大 AiFlow 视觉测流虚流量与转子流速仪测流流量的相关关系如图 2 所示。

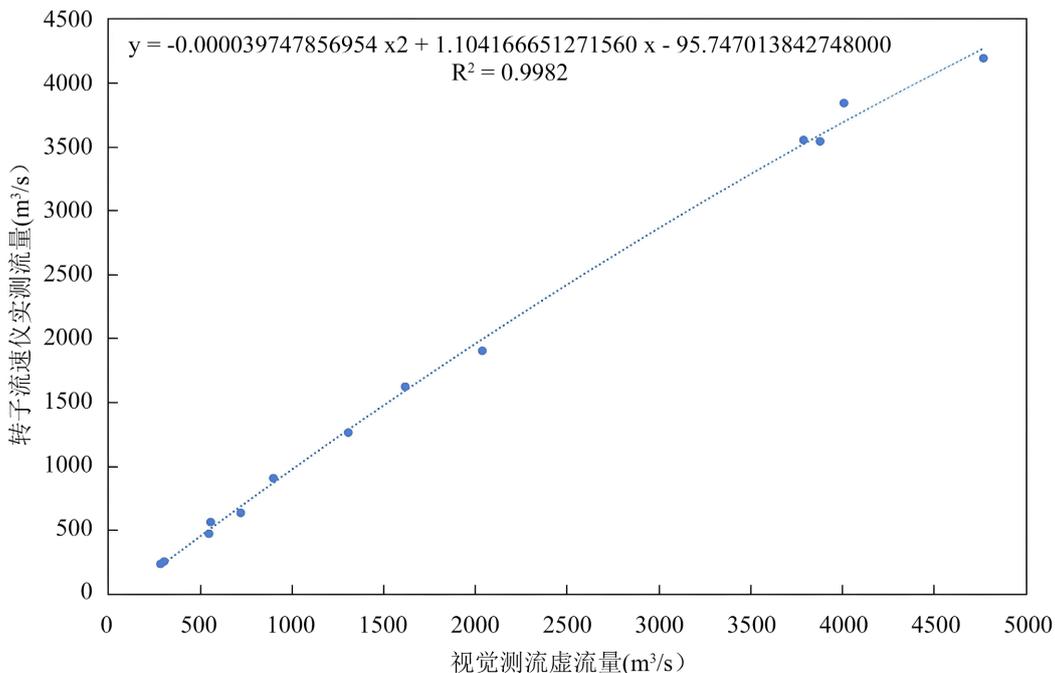


图 2. 视觉测流虚流量与转子流速仪测流流量相关关系图

从图中可见关系点据呈明显带状分布, 规律性好, 无异常突出点, 相关系数高于 0.99, 两者之间相关关系密切。故可得出武大 AiFlow 视觉测流虚流量 Q_f 与断面流量 Q 的换算公式如下:

$$Q = -0.000039747856954 * Q_f^2 + 1.104166651271560 * Q_f - 95.747013842748$$

根据上述计算结果,将视觉测流虚流量换算为断面流量,因样本数量只有 13 组,按《水文资料整编规范》(SL/T 247-2020) [9]规定,可不作精度检验及三项检验,故只进行误差分析,结果见表 1,所有测次相对误差均在±10%以内。

表 1. 误差分析表

施测号数	转子流速仪测流数据			武大 AiFlow 视觉测流数据			相对误差(%)
	测流平均时间	水位(m)	流量(m ³ /s)	测流时间	水位(m)	换算流量(m ³ /s)	
45	2025/9/25 15:15	129.39	232	2025/9/25 15:00	129.39	218	-6.03
64	2025/10/24 10:15	129.46	252	2025/10/24 10:00	129.45	239	-5.16
63	2025/10/14 14:38	130.70	560	2025/10/14 14:30	130.71	510	-8.93
52	2025/10/4 17:43	130.91	469	2025/10/4 17:30	130.91	501	6.82
53	2025/10/6 14:12	131.60	632	2025/10/6 14:00	131.59	683	8.07
51	2025/10/3 9:01	132.38	904	2025/10/3 9:00	132.38	868	-3.98
62	2025/10/9 17:18	133.84	1260	2025/10/9 17:30	133.82	1280	1.59
49	2025/10/2 8:25	135.14	1620	2025/10/2 8:30	135.11	1590	-1.85
54	2025/10/7 7:29	135.38	1900	2025/10/7 7:30	135.40	1990	4.74
58	2025/10/7 17:30	139.01	3550	2025/10/7 17:30	139.02	3520	-0.85
47	2025/10/1 8:01	139.32	3540	2025/10/1 8:00	139.33	3590	1.41
60	2025/10/8 17:53	140.08	3840	2025/10/8 18:00	140.05	3690	-3.91
59	2025/10/8 10:25	141.22	4190	2025/10/8 10:30	141.23	4270	1.91

3.3. 视觉测流洪水监测成果

2025 年 9 月 30 日至 10 月 10 日,受第 21 号台风“麦德姆”与第 20 号台风“博罗依”叠加带来的强降雨影响,崇左市辖区左江全线及其支流平而河等 14 条河流 18 个站出现超警 0.13~5.38 m 洪水。

平而站在此期间水位变幅 9.33 m,武大 AiFlow 视觉测流系统监测到了较为完整的洪水过程。剔除武大 AiFlow 视觉测流因环境干扰的测次,分析视觉测流断面流量与平而水文站水位-流量关系综合线中相关流量数据的相对误差,结果如下:78.35%的测流结果相对误差在±10%以内,51.50%的测流结果相对误差在±5%以内。中低水时相对误差稍大,可能的误差来源是大风或降雨对水面识别的影响、视频虚焦问题等。后续研究可在测验环境和样本数量等方面作进一步改善,从而减小误差。

点绘在此期间武大 AiFlow 视觉测流和转子流速仪在同时段内采集到的 15 组数据水位流量时间过程线,如图 3 所示。

从洪水时间过程曲线可以看出,武大 AiFlow 视觉测流与转子流速仪同时段的实测流量趋势基本一致。视觉测流系统具备实时在线、可视化自动监测的特点,进一步证明其在突发洪水和偏远边境条件下的可靠性。此外,视觉测流能够在无人值守的情况下第一时间捕捉水位与流量的快速涨落过程(测报频次可根据水位变幅自动调整至 15 min/次),详细完整记录洪峰的形成、发展与回落等细节变化,能够有效填补人工测流难以实时覆盖的关键时段,保障了洪水期间流量测验的人员安全,且在短时间内能测得更多流速与流量数据,实现全周期、全自动化、非接触式的连续监测,显著提升了洪水监测的即时性、完整性和安全性,为快速研判跨境来水、保障下游防洪调度决策提供了更高效、更连续、更安全的监测手段。

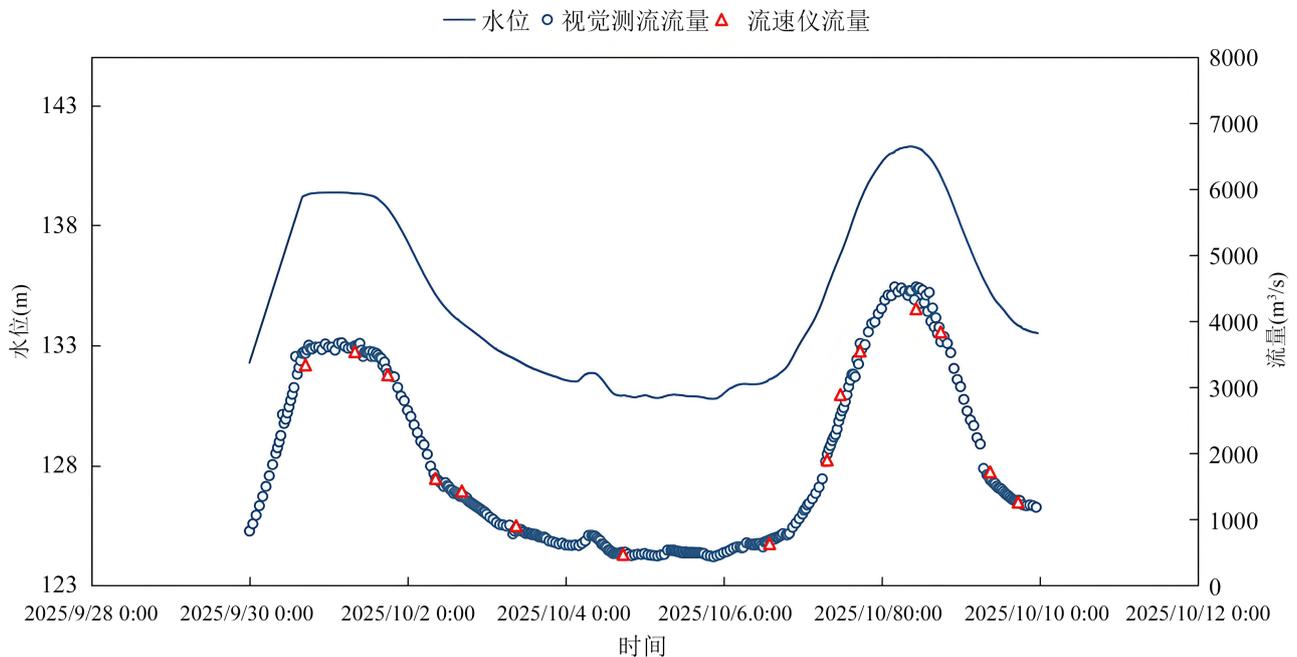


图 3. 2025 年 9 月 30 日至 10 月 10 日洪峰水位流量时间过程线

4. 结论与展望

4.1. 结论

本文通过将平而水文站安装的武大 AiFlow 视觉测流设备的测流结果与转子流速仪实测流量进行比较,其测算误差在允许范围内,能够满足水文测验要求,具有实时在线,高效安全,经济便捷、稳定普适、运维简单等特点[6],证明了视觉测流设备在跨境河流水文监测场景下的测验精度与应用可行性,为解决类似跨境河流水文监测难题提供了技术支撑与实践范例。

4.2. 应用展望

经过平而水文站的实践应用,验证了视觉测流技术不仅能满足精度要求,还可以进一步挖掘其在跨境河流水文监测中的综合应用潜力。视觉测流技术不仅能够提供水文要素数据,其非接触、可视化、可回溯等特性还使其在边境贸易、水生态保护、电站调度等水资源综合利用方面展现出广阔的应用前景[10]。

1) 平而河是中越两国界河,是凭祥市与越南唯一的水路通道,自古就有边境贸易来往,随着“一带一路”的建设发展,凭祥市收获了巨大的发展成果[11]。然而,平而河口岸的通航条件高度依赖于河道流速、流量及水位变化。视觉测流技术能够在不干扰河道运行的前提下实现高频、连续的流速观测,为研判航道过水能力、优化通航调度与提升边境贸易通行效率提供更加及时的数据支撑,从而提升边境贸易运输的安全性与效率。

2) 平而河作为凭祥市集中式饮用水水源地,2025 年第三季度平而河浦责断面水质达 II 类标准。崇左市计划实施平而河水生态环境高质量保护示范点建设,涉及水质水文数据监测、污染源调查等工程。在推进平而河水生态环境高质量保护示范点建设的过程中,视觉测流技术可为污染源调查、水质监测及水生态保护提供关键的水文要素支撑。通过持续获取流速与流量过程数据,视觉测流能够有效刻画污染物在河道中的输移与扩散特征,为建立污染源与水质响应关系提供必要的基础参数。

3) 对于位于平而河下游的鸭水水电站而言,精准捕捉上游流量演变特征及洪峰过程,是保障水电站安全运行与效益最优化的关键。视觉测流技术凭借其非接触、全天候的优点,克服了传统手段在极端条件下的失效风

险,能够稳定获取高频次的水文要素信息,为流域梯级水电站进行发电计划调整、机组负荷控制和防洪调度提供更加可靠的参考,进一步提高了流域水电站发电运行效益,优化水库调度[12]。

总体来看,视觉测流技术在跨境河流水文监测中的应用已不仅仅局限于传统测流任务,而是逐步成为服务边境贸易、水生态保护与水电调度等多领域的重要技术支撑手段。其高效、稳定、非接触式的特点,使其在复杂边境环境下具有显著优势,展现出良好的推广前景和实践价值。

参考文献

- [1] 李静,杨娜,陶璐. 跨境河流污染的“边界效应”与减排政策效果研究——基于重点断面水质监测周数据的检验[J]. 中国工业经济, 2015(3): 31-43.
- [2] 郭利丹,李琼芳,黄永春. 跨境流域水安全共同体内涵解析与实现机制[J]. 世界经济与政治, 2021(4): 61-81+157-158.
- [3] 吴凤平,王瑞方,季英雯. 中国跨境河流灾害预警应急协同管理机制构思[J]. 中国人口·资源与环境, 2023, 33(12): 208-217.
- [4] 吴志勇,徐梁,唐运忆,等. 水文站流量在线监测方法研究进展[J]. 水资源保护, 2020, 36(4): 1-7.
- [5] 罗杰阳. 基于时空图像测速的视频测流法在中小河流域的适用性分析[J]. 大众科技, 2024, 26(2): 65-70.
- [6] 余雷. 视频测流技术在汤溪水文站的应用研究[J]. 广东水利水电, 2024(11): 43-47.
- [7] 陈华,赵浩源,黄凯霖,等. 基于图像智能识别的河流流量计算方法[M]. 北京: 电子工业出版社, 2022.
- [8] 中国水利学会. T/CHES 99-2023. 图像识别法河流流量测验规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2024.
- [9] SL/T 247-2020. 水文资料整编规范[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2021.
- [10] 中共中央办公厅国务院办公厅关于全面推进江河保护治理的意见[N]. 人民日报, 2025-06-27(001).
- [11] 黄聪. 南疆国门勇闯“边贸扶贫”新路[J]. 当代广西, 2018(9): 38-39.
- [12] 陈兴发. 左江流域汛期洪水调度控制探究[C]//中国机械工业联合会, 中国机电装备维修与改造技术协会. 2024 中国工业设备智能运维技术大会论文集(下). 2024: 491-493.