

扫描式视觉自动测流系统在宽河道中的应用研究

项伍林¹, 郑晓燕¹, 刘维高¹, 文宏展², 覃壮权², 高成阳¹, 汪金发¹, 刘炳义^{1,3}, 陈 华³

¹武汉大水云科技有限公司, 湖北 武汉

²广西壮族自治区水文中心, 广西 南宁

³武汉大学水资源工程与调度全国重点实验室, 湖北 武汉

收稿日期: 2025年4月8日; 录用日期: 2025年5月12日; 发布日期: 2025年6月27日

摘 要

针对宽河道流量自动化监测中存在的覆盖范围不足、信号衰减显著及安装维护复杂等问题, 尤其是常规固定式视觉测流系统仅适用于200 m以内水面宽河道的问题, 本文提出一种基于扫描式视觉自动测流技术的创新解决方案。该技术通过动态扫描机制与多画面融合, 结合计算机视觉算法, 实现宽河道全断面流速的非接触式自动测量。以洪水期水面宽约500 m的大藤峡水文站为应用案例, 利用扫描式视觉自动测流系统与走航式ADCP同步测验数据进行率定分析, 结果表明: 断面流量系统误差为0.23%, 随机不确定度6.38%, 关系曲线检验中的符号检验、适线检验、偏离数值检验均合格, 符合《水文资料整编规范》(SL/T 247-2020)的规定要求, 验证了扫描式视觉自动测流技术在200 m以上宽河道监测中的高精度与可靠性, 为水文现代化提供了新的技术路径。

关键词

宽河道, 流量测验, 扫描式视觉自动测流, 自动化监测

Research on the Application of Scanning Visual Automatic Flow Measurement System in Wide River Channels

Wulin Xiang¹, Xiaoyan Zheng¹, Weigao Liu¹, Hongzhan Wen², Zhuangquan Qin²,
Chengyang Gao¹, Jinfa Wang¹, Bingyi Liu^{1,3}, Hua Chen³

¹Wuhan Dashuiyun Technology Co., Ltd., Wuhan Hubei

²Guangxi Zhuang Autonomous Region Hydrological Center, Nanning Guangxi

³State Key Laboratory of Water Resources Engineering and Management, Wuhan University, Wuhan Hubei

Received: Apr. 8th, 2025; accepted: May 12th, 2025; published: Jun. 27th, 2025

作者简介: 项伍林(1990-), 男, 湖北咸宁人, 本科, 工程师, 主要从事水文水资源监测设备研发、应用与管理工作, Email: 512375616@qq.com

文章引用: 项伍林, 郑晓燕, 刘维高, 文宏展, 覃壮权, 高成阳, 汪金发, 刘炳义, 陈华. 扫描式视觉自动测流系统在宽河道中的应用研究[J]. 水资源研究, 2025, 14(3): 245-256. DOI: 10.12677/jwrr.2025.143026

Abstract

Aiming at the challenges of insufficient coverage, significant signal attenuation, and complex installation maintenance in automated flow monitoring for wide river channels, particularly the limitation of current fixed visual flow measurement systems to river channels with water surface widths under 200 meters, this paper proposes an innovative solution based on scanning visual automatic flow measurement system. By integrating a dynamic scanning mechanism, multi-frame fusion, and computer vision algorithms, this technology enables non-contact automatic measurement of full cross-sectional flow velocity in wide river channels. Taking the Datengxia Hydrological Station (with a flood-period river width of approximately 500 meters) as a case study, the system was calibrated using synchronous measurement data from a moving-vessel ADCP. Results indicate a systematic error of 0.23% in cross-sectional flow measurement, a random uncertainty of 6.38%, and compliance with the Hydrological Data Compilation Standard (SL/T 247-2020) requirements in sign test, goodness-of-fit test, and numerical deviation test for the rating curve. This validates the high accuracy and reliability of the scanning visual automatic flow measurement technology for river channels exceeding 200 meters in width, offering a novel technical pathway for the modernization of hydrological monitoring.

Keywords

Wide River Channels, Discharge Measurement, Scanning Visual Automatic Flow Measurement, Automated Monitoring

Copyright © 2025 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

河流流量监测作为水文数据采集的核心环节,直接影响着防洪调度、水资源管理和水生态保护等重大民生工程[1]。随着我国长江经济带、粤港澳大湾区等国家战略的推进,宽河道的精准测流需求日益凸显。对于大型河流而言,河宽 200 米以上的宽河道通常意味着其具有较大的流量、更强的行洪能力以及更复杂的水文和生态特征,准确掌握其流量数据对流域防洪调度至关重要,其大流量特性直接关系下游堤防安全,同时,该数据为跨区域水资源分配、航运安全提供科学依据,特别是在应对极端气候事件时,实时监测系统能提前发出预警,显著提升应急响应效能。

当前主流的流量自动监测技术主要基于雷达波、声学多普勒、视觉感知等原理。雷达波流速仪凭借非接触式测量的优势,在中小河流监测中取得显著成效[2]-[4];时差法超声波系统通过两岸基站协同,在规则断面河道中展现出较高精度[5]-[7];H-ADCP、V-ADCP 可实现特定水层横向或纵向流速剖面的连续监测,进而实现流量自动监测[8]-[11]。然而,当应用于宽河道时,这些技术面临显著局限:雷达波流速仪的探测距离通常有限,宽河道可能无法单点覆盖全部断面,需多点布设或移动测量,增加设备成本及操作复杂度[12];时差法在宽河道中需要跨越更长的距离传输,导致信号强度显著衰减,可能无法被接收器稳定捕获,且安装维护复杂、成本高[13];H-ADCP 在宽河道流量监测中受限于水平探测范围不足、远距离信号衰减显著,安装维护易受冲刷淤积干扰,高浑浊水体削弱声波穿透[14];V-ADCP 在宽河道中因单点垂直测量,导致横向覆盖不足,难以捕捉横向流速变化,且易受复杂水流、环境干扰及安装限制[15]。

针对上述技术瓶颈,近年来计算机技术、图像识别技术与智能传感技术的融合为流量监测提供了新的突破方向。固定式视觉测流系统通过图像识别技术解析水面流场,在自动化流量监测中展现出独特优势[16],但在宽河道(200 m 以上)中存在显著监测盲区。为解决这一问题,武大 AiFlow 扫描式视觉自动测流技术应运而生。该

技术通过动态扫描机制突破空间覆盖限制，利用高性能视觉传感器对宽河道进行扫描式监测，通过多个画面融合实现全断面监测，为宽河道流量自动化监测提供了创新解决方案。

本文旨在探讨武大 AiFlow 扫描式视觉自动测流技术在宽河道流量监测中的应用，分析其技术原理及在实际应用中的效果。通过深入研究，该技术拓展了视觉测流技术在 200 m 以上宽河道的应用，有望为宽河道的流量自动监测提供一种新的思路和方法，进一步提高我国水文现代化水平，为水资源的合理利用和防洪减灾工作提供更加坚实的技术支撑。

2. 扫描式视觉自动测流系统

2.1. 系统架构

武大 AiFlow 扫描式视觉自动测流系统是一种先进的智能水文监测体系，它融合了计算机视觉、图像识别算法和传感器网络等前沿技术。该系统通过分析河流表面的图像序列变化信息，实现了对河流流速的非接触式测量，具有高效、精准的特点。系统的核心架构由视觉采集终端、边缘计算终端、系统平台、供电模块和网络传输模块组成，见图 1。视觉采集终端负责采集待测河流断面的视频图像，边缘计算终端内置多种测流算法，对采集到的图像进行实时处理和计算，系统整体运行流程见图 2。计算结果通过网络传输模块上传至系统平台，以便进行进一步的展示和分析。该系统的设计充分考虑了宽河道流量监测的需求，通过创新的扫描式监测方式，突破了传统技术在空间覆盖上的限制，为宽河道流量监测提供了全新的解决方案。

2.2. 测流原理

常规固定式视觉测流系统采用单个相机进行固定区域的监测，使得河流水面在摄像机视野范围内，但该种模式往往受视场角、相机配置、安装高度等条件约束，在宽河道环境中，这种局限性导致系统无法全面覆盖整个河流断面，从而在监测区域之外形成了明显的盲区，影响了流量监测的完整性和准确性，见图 3。

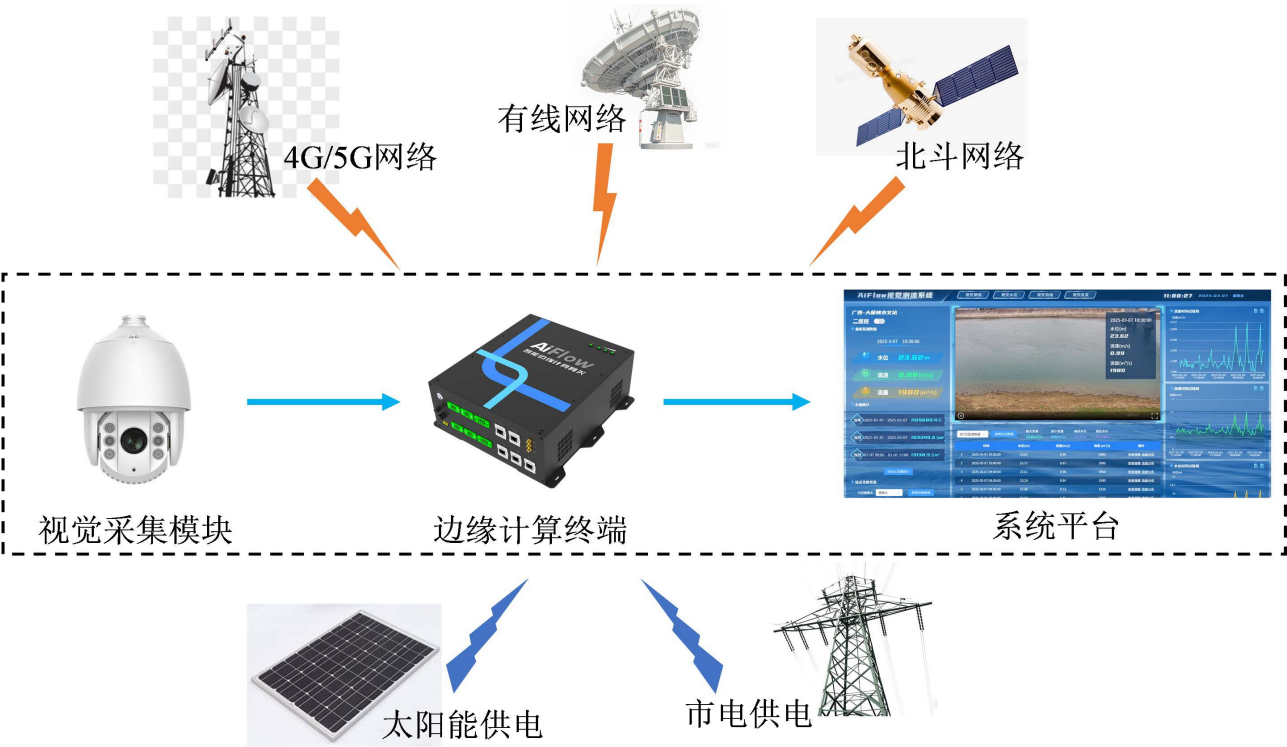


图 1. 武大 AiFlow 扫描式视觉自动测流系统架构示意图

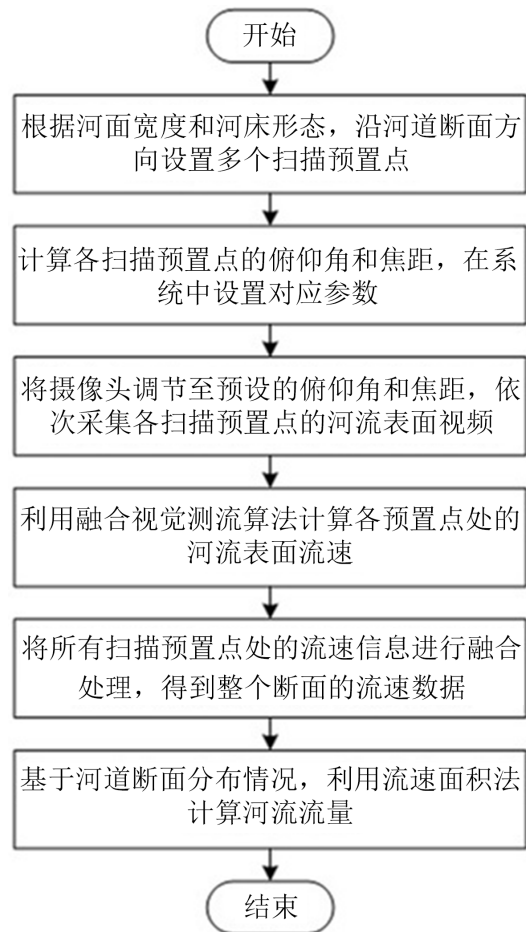


图 2. 武大 AiFlow 扫描式视觉自动测流系统流程图

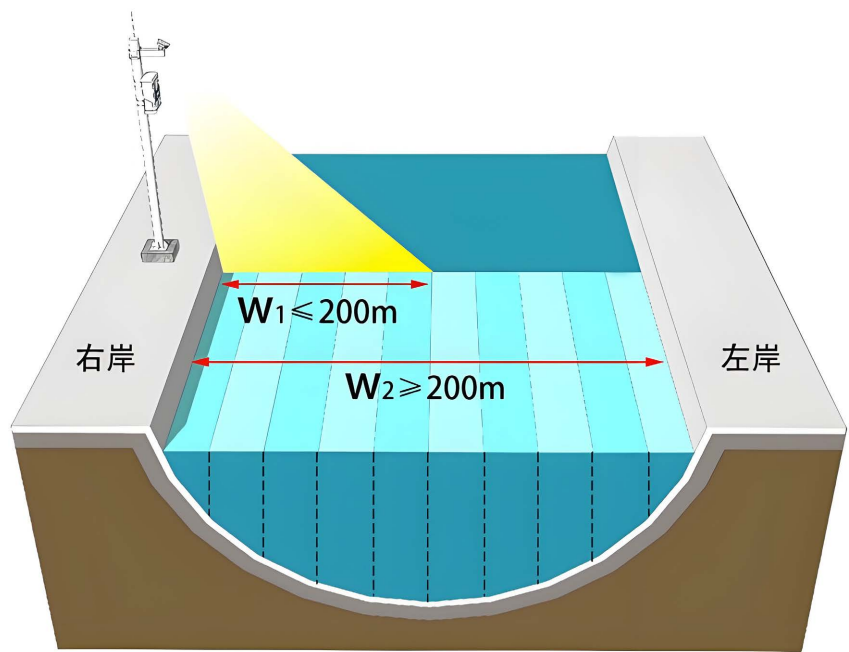


图 3. 固定式视觉测流系统画面采集示意图

武大 AiFlow 扫描式视觉自动测流系统创新性地突破了传统固定照射区域的局限, 根据河面宽度和河床形态, 沿河道断面方向灵活设置多个扫描预置点(见图 4), 通过精确计算每个扫描预置点处相机的俯仰角和焦距, 系统能够确保监测范围的全面覆盖。利用先进的图像识别技术, 系统对各扫描预置点采集到的视频进行表面流速计算, 将所有预置点流速信息进行融合处理计算全断面流速数据, 最后结合断面数据采用流速面积法计算河流流量[17]。

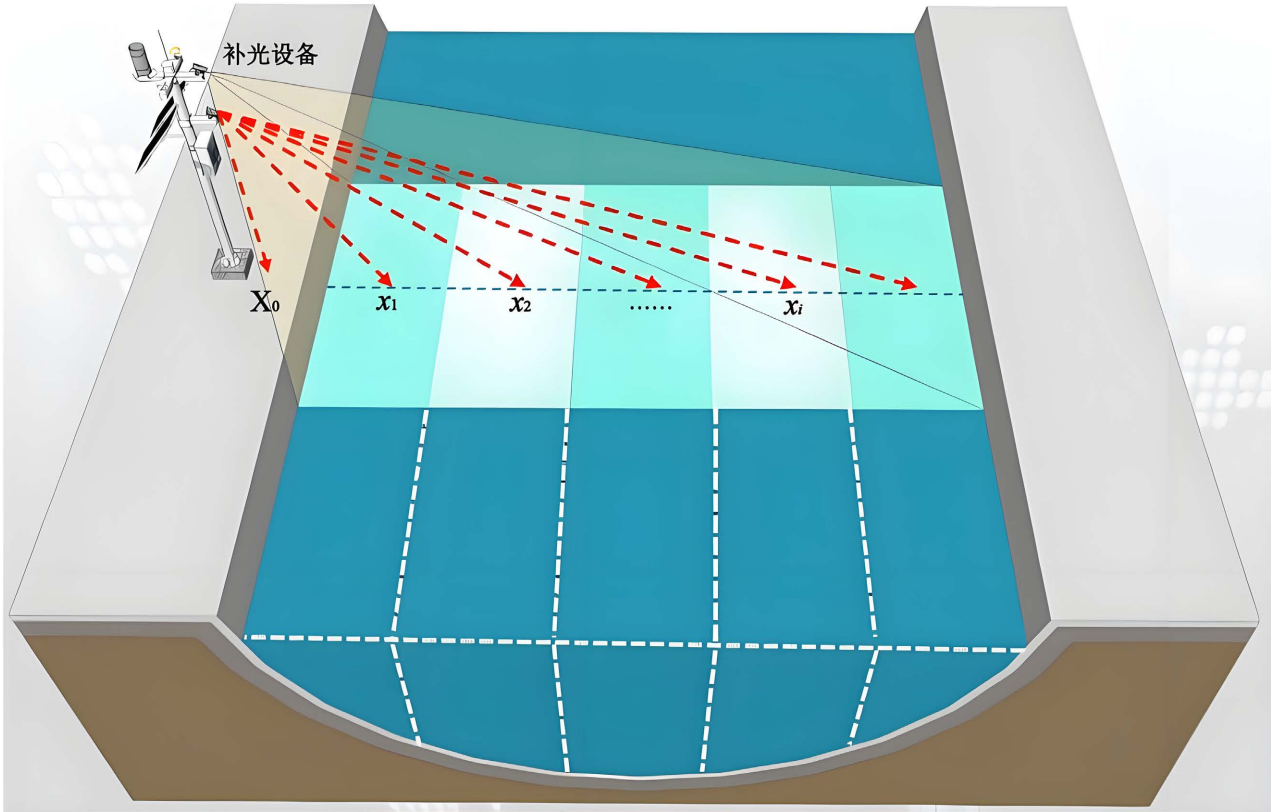


图 4. 扫描式视觉自动测流系统画面采集示意图

1) 扫描预置点俯仰角和焦距计算

获取相机的像元尺寸 p , 相机安装位置的起点距 X_0 和相机高程 L_0 , 基于 X_0 沿河道断面依次设置多个起点距, 假设 t 时刻的河流水位为 L_t , 则扫描预置点的相机俯仰角计算公式为:

$$\alpha = \arctan \frac{|x_i - X_0|}{|L_0 - L_t|} \quad (1)$$

式中, α 表示相机俯仰角, x_i 表示第 i 个扫描预置点的起点距。

根据相似三角形原理, 该扫描预置点处的相机焦距为:

$$f = \frac{|L_0 - L_t|}{k \cos \alpha} p \quad (2)$$

式中, k 表示水平方向像素尺度, 用于调整焦距和实际水位变化之间的比例关系。

当对第 i 个扫描预置点进行测流时, 应将相机的俯仰角调整为 α 、焦距调整为 f , 确保在不同水位下均能清晰地捕捉到河流表面的细节信息。

2) 流速计算

表面流速计算采用先进的图像识别和人工智能技术，融合视觉测流方法，检测随水流表面运动的波纹、气泡、漂浮物等水面物理特征，实现水面物理特征流速检测，进而实现水体表面流速的测量。

视觉测流方法以 STIV 法(时空图像测流法)为核心算法，融合 PTV 法(粒子跟踪测流法)、PIV 法(粒子图像测流法)、OP 法(光流法)、LSPIV (大尺度粒子图像测流法)、SIFT (动态特征匹配法)等多种视觉测流算法[18]，适用于各类应用场景，详见表 1。不同方法示意图见图 5。对每种算法计算得出的流速结果，根据其算法独有的特性，设置对应的过滤条件，对满足过滤条件的各算法输出流速，并评估其可靠程度，最终对选取的有效流速进行自适应加权平均融合得到最终的融合流速。

表 1. 视觉测流不同算法原理及适用性简介表

算法	原理	适用条件
STIV	先合成时空图像，再利用傅里叶变换检测时空图像的纹理主方向，该主方向对应原图像序列的一维时均流速矢量。	适用于流向顺直的天然河道，针对流速分布较均匀、表面纹理明显、光照较好的河流。
PTV	利用 Fast 算法检测水面目标特征点，采用 Lucas-Kanade 稀疏光流跟踪算法跟踪以上特征，再对跟踪轨迹进行流速计算。	适用于河流中有明显天然漂浮物条件下的流速监测。
PIV	通过图像处理互相关匹配算法分析相机所拍摄的粒子图片，将示踪粒子的位置信息和时间信息转换为流场流动的速度矢量信息。	适用于高空间分辨率及低流速的表面流场测量。
OP	取相邻的两帧图像，计算每点像素的亮度移动速度来得到河流表面每一点的速度。	适用于自然河流长河段表面流场的测量，尤其是流速动态范围大、流场结构不规则的河流。
LSPIV	在 PIV 的基础上，先对图像做透视变换，再使用互相关算法求解速度分量。	适用于大尺度的水面流场观测，特别是在存在天然漂浮物和涟漪的情况下。
SIFT	通过 SIFT 对前后两帧检测到的特征点进行匹配，再对特征点进行筛选并计算流速。	适用于复杂地形流域的流速测量，如有急弯或不规则河道的流域。



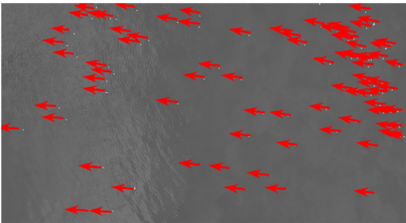
STIV(时空图像测流法)



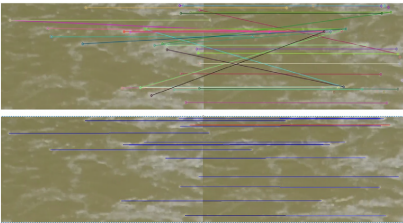
PTV(粒子跟踪测流法)



PIV(粒子图像测流法)



LSPIV(大尺度粒子图像测流法)



SIFT(动态特征匹配法)



OP(光流法)

图 5. 视觉测流不同算法示意图

3) 流量计算

将河流过水断面划分成 i 个单元，利用测速线水面流速分别计算各单元流量，对各单元流量进行积分及换算获取断面流量(见图 6)，公式如下：

$$Q = KQ_f = K \sum V_i A_i \quad (3)$$

式中:

Q 表示扫描式视觉自动测流系统所测的断面流量, 单位为立方米每秒(m^3/s);

K 表示扫描式视觉自动测流系统的断面综合流量系数(相关关系);

Q_f 表示扫描式视觉自动测流系统所测得的虚流量, 单位为立方米每秒(m^3/s);

V_i 表示扫描式视觉自动测流系统所测得的第 i 条测速线水面流速, 单位为米每秒(m/s);

A_i 表示第 i 个部分面积, 单位为平方米(m^2)。

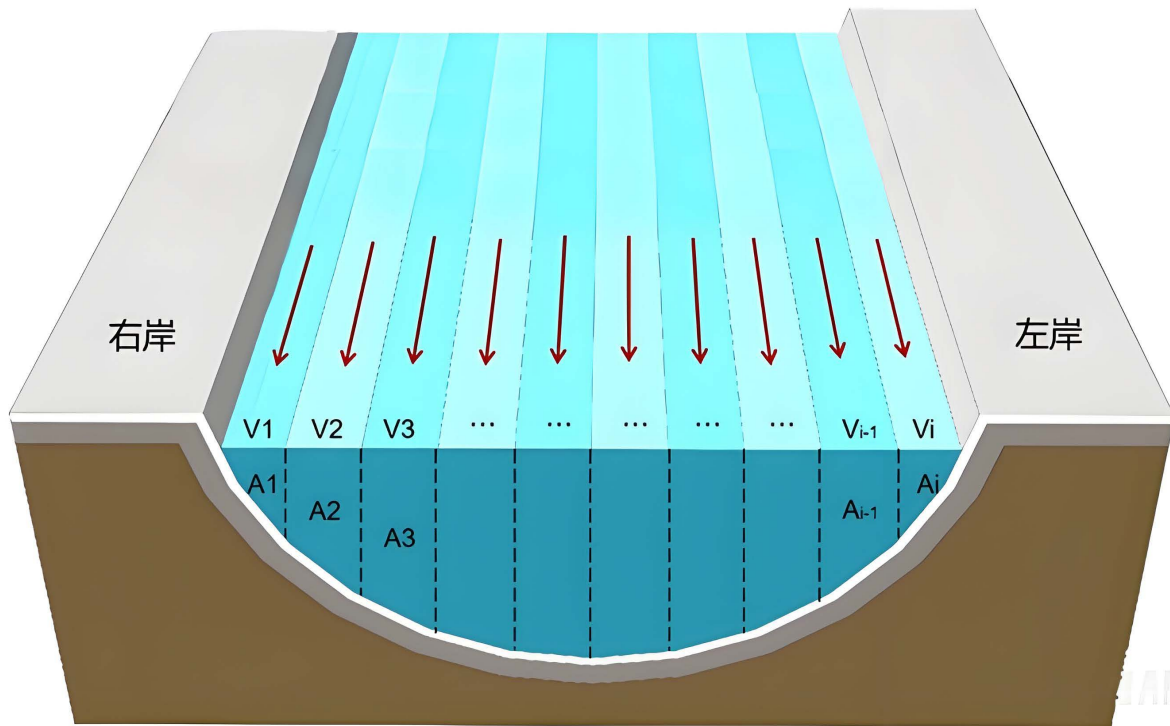


图 6. 视觉测流断面流量计算示意图

3. 大藤峡站扫描式视觉自动测流系统应用成果

3.1. 站点概况

大藤峡水文站设立于 1955 年 8 月, 位于广西桂平市南木镇弩村, 集水面积 $198,595 \text{ km}^2$, 是珠江流域西江水系黔江河段的控制站。受大藤峡水利枢纽淹没影响, 2020 年, 大藤峡水文站进行了重建, 其中大藤峡(坝上)站在原址进行了重建, 其观测项目为水位、雨量。因电站蓄水影响, 其水位明显抬高, 另在大藤峡坝下建立了大藤峡(坝下)水文站, 观测项目为水位、流量、雨量等, 于 2021 年 3 月建成正式投入使用。

基上 2000 m 为大藤峡水利枢纽交通桥, 基下 3000 m 为桂平水文站测验断面, 交通桥下游约 100 m 处, 为视觉测流测验断面(见图 7), 扫描式视觉自动测流系统根据河面宽度和河床形态, 沿河道断面方向共设置 15 个预置点, 并根据已设置预置点起点距信息计算各预置点对应相机俯仰角度和焦距, 其中某个预置点监测画面见图 8, 断面呈 U 形状, 水面宽在 300~500 m 之间(见图 9), 测验断面垂直水流方向。武大 AiFlow 视觉测流断面至桂平水文站测验断面之间存在一条船闸航道外, 无其他支流汇入, 船闸关闭时, 两断面流量基本一致。



图 7. 大藤峡站测验河段平面图

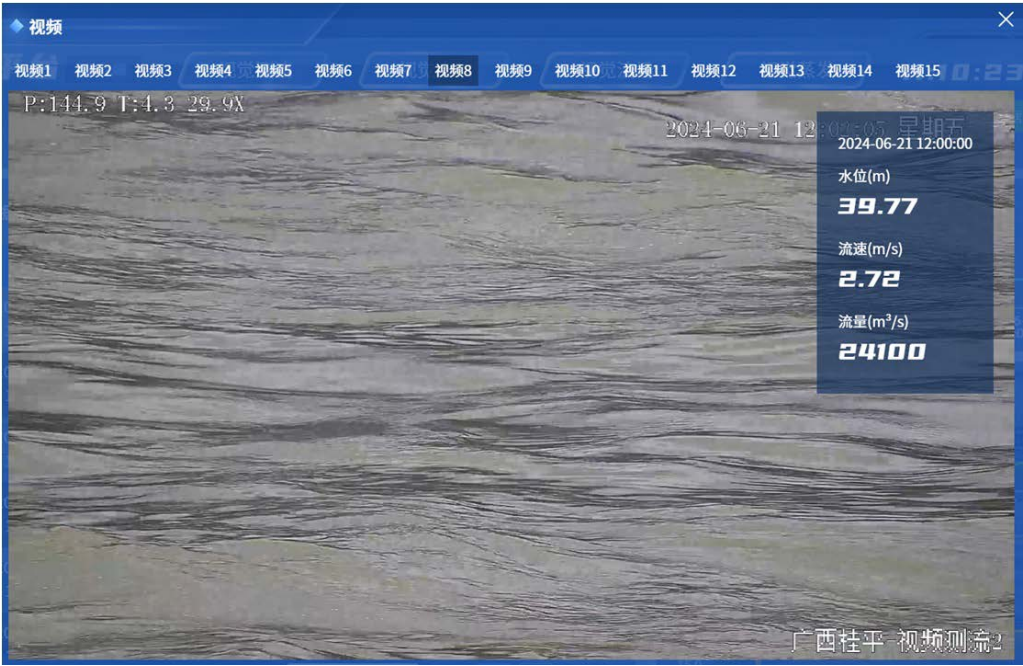


图 8. 大藤峡站扫描式视觉自动测流第 8 场景监测画面图

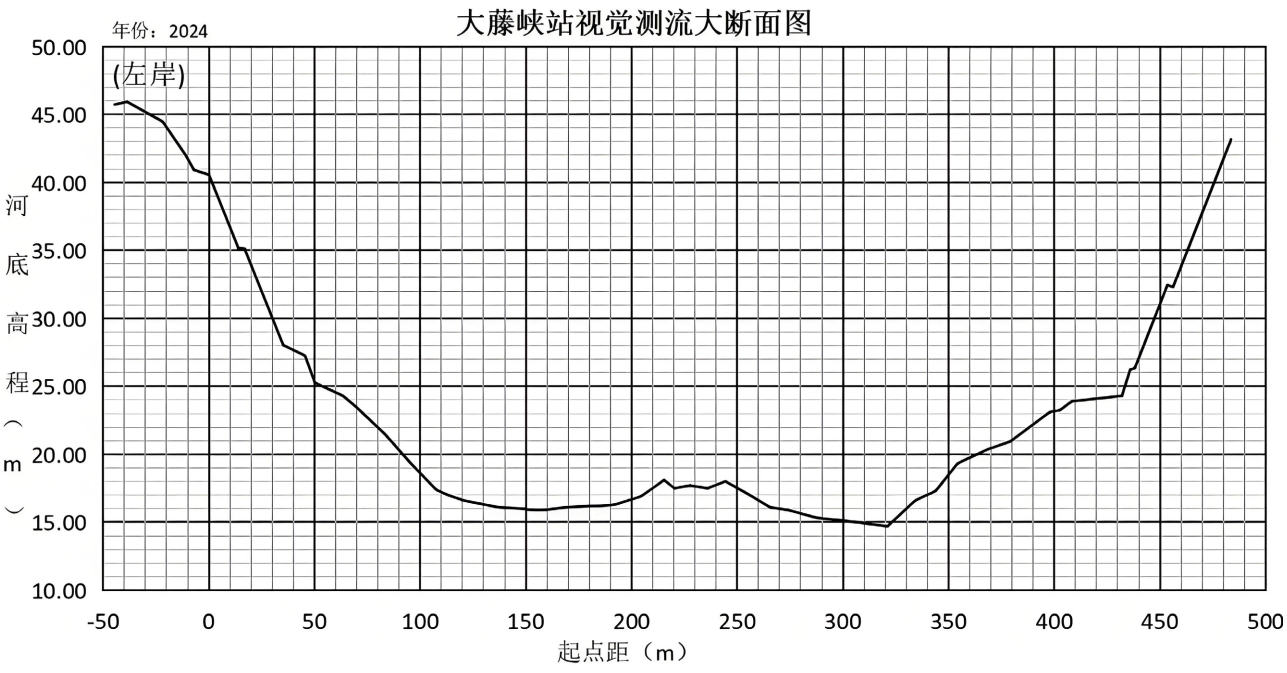


图 9. 大藤峡站视觉测流大断面图

3.2. 率定检验方法

利用武大 AiFlow 扫描式视觉自动测流仪测量水体表面流速, 然后计算出断面虚流量 Q_f ; 同步在桂平水文站测验断面采用走航式 ADCP 进行断面流量 Q_0 测量(桂平水文站测验断面距视觉测流测验断面约 5000 m, 之间存在一条航道外, 无其他支流汇入, 船闸关闭时, 两断面流量基本一致, 因无船闸开启状态, 本分析中不考虑航道流量), 经过多次同步测验后, 形成一系列相关关系点据, 从而确定视觉测流断面虚流量 Q_f 与断面流量 Q 的换

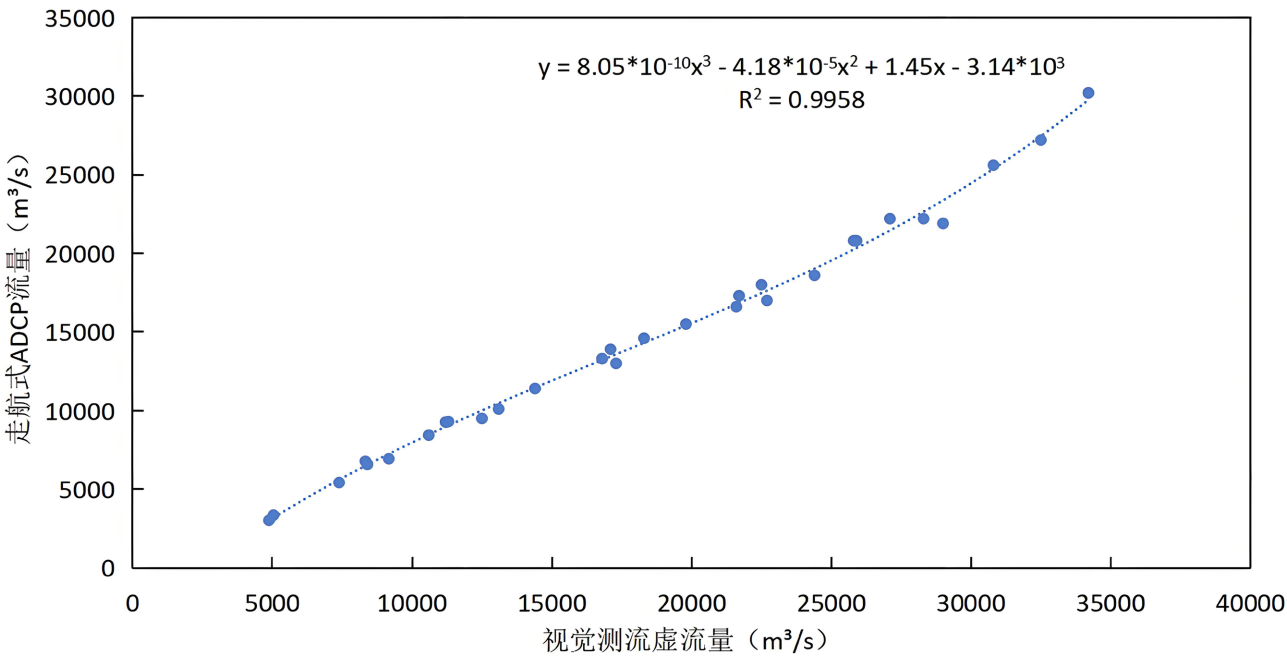


图 10. 大藤峡站 $Q_f \sim Q_0$ 相关关系图

算关系,并按《水文资料整编规范》(SL/T 247-2020)中一类精度站要求对其换算关系进行定线精度检验与三项检验。

3.3. 精度评定与误差分析

武大 AiFlow 扫描式视觉自动测流系统完成安装调试后,采集到同时期 ADCP 实测数据 30 组。利用率定样本数据,点绘扫描式视觉自动测流虚流量 Q_f ~走航式 ADCP 流量 Q_0 相关关系图(见图 10)。从图中可见关系点呈明显带状分布,相关关系稳定,无异常突出点,相关系数达到 0.9958,两者之间相关关系好。

对上述扫描式视觉自动测流系统率定的相关关系按照《水文资料整编规范》(SL/T 247-2020) [19] 进行定线精度检验与三项检验,计算结果见表 2,均符合规范要求。

表 2. 定线精度检验与三项检验表

检验项	规范要求	计算结果	检验结果
符号检验	<1.15 (显著性水平 $\alpha = 0.25$)	$u = 0.37$	合格
适线检验	<1.64 (显著性水平 $\alpha = 0.05$)	免检	合格
偏离数值检验	<1.65 (显著性水平 $\alpha = 0.10$)	$ t = 0.41$	合格
系统误差(%)	允许: $\pm 1\%$	0.23	合格
随机不确定度(%)	允许: 8%	6.38	合格

表 3. 大藤峡站 2024 年 6 月 18 日~6 月 30 日洪水过程水量对比表

序号	日期	日平均水位(m)	视觉测流逐日 平均流量(m ³ /s)	资料整编逐日 平均流量(m ³ /s)	误差(%)
1	2024/6/18	35.91	19,000	19,400	-2.06
2	2024/6/19	39.13	27,400	27,300	0.37
3	2024/6/20	40.58	30,000	29,500	1.69
4	2024/6/21	39.58	25,600	24,600	4.07
5	2024/6/22	36.19	16,800	17,100	-1.75
6	2024/6/23	33.36	13,400	13,100	2.29
7	2024/6/24	32.29	12,700	12,200	4.10
8	2024/6/25	32.32	13,000	12,800	1.56
9	2024/6/26	34.32	17,500	17,600	-0.57
10	2024/6/27	36.99	23,300	22,900	1.75
11	2024/6/28	37.90	23,300	22,700	2.64
12	2024/6/29	36.91	19,500	19,700	-1.02
13	2024/6/30	35.37	16,900	16,800	0.60
平均流量(m ³ /s)		/	19,900	19,700	1.02
洪水总量(10 ⁸ m ³)		/	223.3	220.9	1.09

3.4. 次洪总量分析

为分析大藤峡站扫描式视觉自动测流系统对单次洪水监测的精度控制,摘录桂平站 2024 年 6 月 18 日~6 月 30 日流量整编成果与大藤峡站扫描式视觉自动测流系统整编数据进行次洪比较分析。计算结果详见表 3、图 11。

经计算对比分析,本次洪水过程中,大藤峡站扫描式视觉自动测流系统率定成果与桂平站整编成果的逐日

平均流量偏差在-2.06%~4.1%，本次洪水总量偏差为 1.09%，在允许误差±3%范围内，符合规范要求。同时，本次洪水 6 月 20 日 10 时 06 分洪峰水位 40.68 m、水面宽 478 m，武大 AiFlow 扫描式视觉自动测流系统流量 29,900 m³/s，走航式 ADCP 实测流量 30,200 m³/s，相对偏差仅为-1.0%，说明武大 AiFlow 扫描式视觉自动测流系统在 500 m 宽河道的适用性。

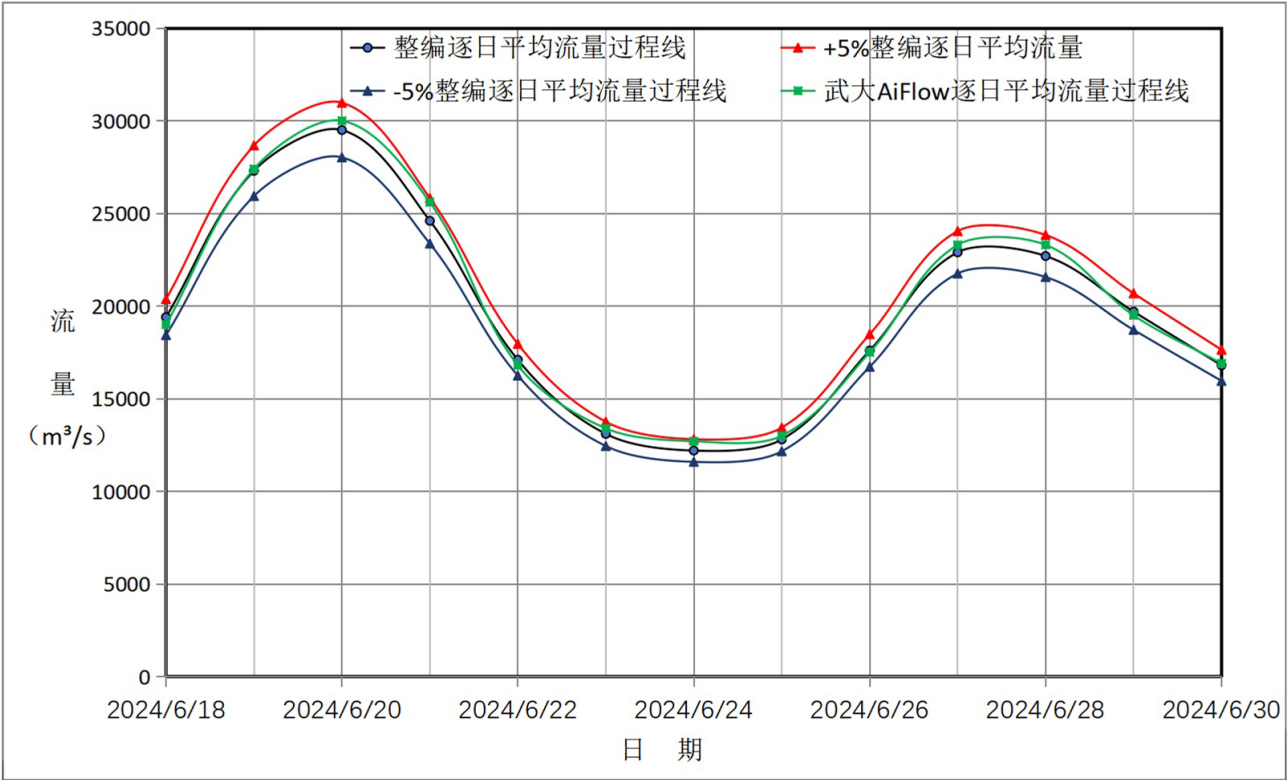


图 11. 大藤峡站 2024 年 6 月 18 日~6 月 30 日洪水逐日平均流量对照图

3.5. 总体评价

经比较分析，大藤峡站扫描式视觉自动测流系统实测最大河道水面宽度达 478 m，率定流量与实测流量相关系数达到 0.9958，系统误差为 0.23%，随机不确定度 6.38%，符号检验、适线检验和偏离数值检验合格，测验精度符合一类水文站整编精度要求。次洪水径流总量与资料整编成果相比，相对误差符合《水文资料整编规范》(SL/T 247-2020)规定的精度要求，说明武大 AiFlow 扫描式视觉自动测流系统在 200 m 以上宽河道应用可行、精度可靠。

4. 结论与展望

1) 本研究针对宽河道流量监测难题，特别是常规固定式视觉测流系统在 200 米以内河道的应用局限，创新性地应用扫描式视觉自动测流技术，构建了宽河道的全断面流量监测系统，实现了河宽在 200 米以上宽河道低成本、高精度的非接触式自动化流量监测，为防汛抗旱、水资源管理、航运保障、水利工程调度及农业灌溉等业务提供实时数据支撑，推动了宽河道流量监测技术的创新发展。

2) 武大 AiFlow 扫描式视觉自动测流系统在洪水期水面宽约 500 m 的大藤峡水文站成功应用，突破了视觉自动测流技术在 200 米以上宽河道的应用瓶颈，这一实践标志着扫描式视觉自动测流技术已成为宽河道流量自动化监测的有效手段，并为其他水文测站的升级改造提供了宝贵的经验和参考。

3) 武大 AiFlow 扫描式视觉自动测流系统监测时段为每日 8 时~18 时, 尚未实现全天候监测; 率定虚流量级别范围为 4880~34,200 m³/s, 枯水期较小流量需增加率定样本补充率定以扩大适用范围; 监测范围已覆盖 500 m 宽河道, 但未来计划将监测范围拓展到 1000 m 宽河道。未来, 我们将继续秉承治水新思路和创新驱动的发展理念, 深刻把握发展新质生产力对科技创新的内在要求, 汇聚智慧力量, 持续推进扫描式视觉自动测流系统全天候监测和拓展监测 1000 m 宽河道, 为水文行业的可持续发展提供坚实的技术支撑和引领。

基金项目

感谢广西壮族自治区水利厅水利科技推广及“工程带科研”项目 SK2021-3-15 对本研究的支持。

参考文献

- [1] 王玉美. 水利工程流量监测问题及对策分析[J]. 四川水利, 2025, 46(1): 142-143+173.
- [2] 孙培栋. 电波流速仪在七邻(二)水文站的应用分析[J]. 陕西水利, 2024(4): 41-43.
- [3] 段新光, 褚旭, 许立燕, 等. 移动雷达波测流系统在张家坟水文站中的应用[J]. 海河水利, 2023(10): 98-103.
- [4] 王飞, 董泽, 钱秉瑞, 等. RG-30 非接触雷达流量在线监测系统比测率定成果分析[J]. 内蒙古水利, 2023(10): 15-17.
- [5] 邓山, 赵昕, 张莉, 等. 南水北调工程陶岔站时差法流量计推流技术研究[J]. 人民长江, 2022, 53(4): 86-90.
- [6] 黄平鑫, 杨小娟. 超声波时差法在线测流系统的应用与分析[J]. 四川水利, 2024, 45(S2): 167-170.
- [7] 范晔. 超声波时差法在泗安水库测流中的应用[J]. 陕西水利, 2024(6): 8-10+14.
- [8] 胡鸿儒. H-ADCP 在线流量监测系统在广东仁化站的应用分析[J]. 中国防汛抗旱, 2024, 34(12): 85-89.
- [9] 李昂, 黄琨, 张晨旭, 等. 草堰水文站 H-ADCP 流量测验比测分析[J]. 陕西水利, 2024(4): 38-40.
- [10] 郑月光, 张丹凤, 吴云浩. 基于 H-ADCP 的天然河道流量测验分析[J]. 水利水电快报, 2022, 43(S2): 8-9+22.
- [11] 吴晓楷. V-ADCP 在线测流系统在穿卫枢纽水文站的推广应用[J]. 海河水利, 2020(S1): 64-67.
- [12] 黄炜, 王丽, 王聪聪. 非接触式河流流量监测技术研究[J]. 江苏水利, 2022(9): 19-22.
- [13] 晁智强, 盛锋, 韩寿松. 时差法超声波流量计误差分析与研究[J]. 液压与气动, 2009(6): 64-67.
- [14] 舒凯, 杨金标, 张后来. H-ADCP 回波强度分析算法研究与应用[J]. 水电能源科学, 2022, 40(2): 185-188+210.
- [15] 谢运山, 赵德友, 张泉荣, 等. 单波束声学多普勒流速仪垂向在线测流应用研究[J]. 水利信息化, 2018(6): 44-48.
- [16] 胡林涓, 晏志伟, 杨俊, 等. 视觉测流技术在中小流域的应用实践[J]. 水资源研究, 2024, 13(3): 256-264.
- [17] 刘炳义, 刘维高, 游锋生, 等. 基于视频扫描河流表面流量测量方法及测量装置[P]. 中国, CN202410425606.3. 2024-06-25.
- [18] 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.
- [19] 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.