

基于ADCP与遥感测高卫星数据的河段流量估算方法及实例

金 晶, 江海力, 周 恺

湖北一方科技发展有限公司, 湖北 武汉

收稿日期: 2025年4月28日; 录用日期: 2025年5月12日; 发布日期: 2025年6月27日

摘 要

本文利用码头镇实测水文测验数据与遥感测高技术, 对长江中游码头镇河段利用遥感测高数据的流量估算可行性进行了分析研究。通过现场实测数据和DAHITI遥感水位数据的结合, 对码头镇河段2020~2023年流量进行了估算, 并与长江中下游汉口站流量与九江站流量进行了对比。结果表明, ADCP测流与遥感数据在流量测算方面具有较高的精度与可靠性, 可为水资源管理和调度提供技术支撑。

关键词

水文测验, 遥感测高技术, 水文, 水文监测

Flow Estimation Methods of River Sections Based on ADCP and Remote Sensing Altimetry Satellite Data and Example

Jing Jin, Haili Jiang, Kai Zhou

Hubei East Frontal Technology Development Co., Ltd., Wuhan Hubei

Received: Apr. 28th, 2025; accepted: May 12th, 2025; published: Jun. 27th, 2025

Abstract

The feasibility of flow estimation in the Matou Town section of the middle reaches of the Yangtze River

作者简介: 金晶, 湖北武汉人, 出生于 1989 年 11 月, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 基于 ADCP 与遥感测高卫星数据的河段流量估算, Email: 1057481025@qq.com

文章引用: 金晶, 江海力, 周恺. 基于 ADCP 与遥感测高卫星数据的河段流量估算方法及实例[J]. 水资源研究, 2025, 14(3): 302-310. DOI: 10.12677/jwrr.2025.143032

using remote sensing altimetry data is analyzed and studied in this paper, utilizing measured hydrological data from Matou Town and remote sensing altimetry technology. The flow of the Matou Town section from 2020 to 2023 is estimated by combining field-measured data with DAHITI remote sensing water level data. This estimated flow is then compared with the flow data from Hankou and Jiujiang stations in the middle and lower reaches of the Yangtze River. The results indicate that the flow measurement using ADCP and remote sensing data is characterized by high accuracy and reliability, which can provide technical support for water resource management and scheduling.

Keywords

Hydrometry, Remote Sensing Altimetry Technology, Hydrology, Hydrological 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

随着我国社会经济的发展 and 城市化进程的加快, 水资源管理面临着日益严峻的挑战。长江流域作为我国重要的水资源区, 其水文状况直接影响沿江地区的水资源配置和防洪减灾, 因此河道流量的准确测量也变得愈发重要。河道流量的准确监测为水文循环过程演变、水旱灾害防治、水资源管理、生态保护以及水文模型的构建与验证提供了关键的数据支持[1]。

目前河道流量主要通过设置于各河流的水文站进行监测, 但是在全球绝大多数发展中国家中, 水文站流量观测会呈现间断或观测数据质量较差的情况, 且由于水文站设备仪器可能存在运行故障等风险, 会使得获取准确连续的流量数据难度加大。遥感技术的出现使得这一问题得到了解决。遥感卫星数据具有宏观、快速、实时与周期性观测的特点, 可以在较大空间范围内获取常规手段无法测量的水文变量、参数的长期动态变化, 是获取湖泊及河流水文水资源信息的重要手段[2]。这一特点使得河道流量的持续长时间监测准确监测提供可能, 且现已逐渐开始被用于湖泊水位与流量监测中[3]。然而, 遥感数据也具备缺点, 由于其监测空间尺度较大, 受限于卫星传感器自身的精度限制, 其数据精确度相比传统水文站设备监测结果要略差, 因此如能够结合水文站测流信息与遥感监测信息, 将能更好地利用遥感数据获得更准确的河道流量信息。本研究通过码头镇水文站现场测量数据(ADCP)和遥感测高技术, 分析长江中下游码头镇河段使用遥感数据进行流量估算的可行性, 为水资源管理制度提供技术支撑。

2. 研究区概况

码头镇河段位于长江中游干流段左岸的湖北省武穴市和黄梅县, 右岸为江西省瑞昌市。河段内有多个河心洲体(鸭儿洲、新洲江心洲等), 河道被分为主汊和支汊, 主汊为右汊, 水流较为集中。河段弯曲系数为 2.03, 属于鹅头型分汊河道。本河段左岸有黄广大堤、右岸有梁公堤、赤心堤。两岸堤防、低山和矶头组成的河床边界, 控制着河道的横向发展, 河道特有的地质地貌条件造就了河段沿程宽窄相间。该河段上游汇入了淦水、倒水、巴水等多条支流及梁子湖水系, 下游有鄱阳湖水系注入长江, 这些支流水系共同影响着河段的水文特征。

本次测验河段为一顺直河道, 上游 3 km 处河面较窄, 下游则逐渐开阔, 河段上游有淦、倒、举、巴、浠、蕲、富七水及梁子湖等支流入汇。下游 77 km 有鄱阳湖水系注入长江。测验断面附近无分流、串沟、回流、水生物, 测验断面位置如图 1 所示。



图 1. 测验河段断面位置图

3. 研究数据与方法

3.1. 水文测验数据

针对码头镇河段的水文特征及水资源管理的需求，进行水位、流速和流量等水文要素的监测。测验布置旨在通过精细化的测量安排，获取丰水期、平水期和枯水期的流量变化规律。

3.1.1. 测验任务与时间安排

根据长江流域的季节性水文特征和测验要求，2022 年全年共安排了 12 次流量测验，涵盖不同时期。具体的测验时间如下：

8 月：共进行 4 次流量测验，目的是捕捉洪水期间的涨落过程，获取最大流量和变化趋势。

11 月：安排 4 次测验，以反映秋季较为稳定的水文状况，为水量调度和防洪预警提供依据。

12 月：进行 4 次测验，以监测冬季低水位的流量特征，为水资源分配和生态流量保障提供参考。

在每次测验期间，均安排了水位、流速和流量的测量，以确保数据的完整性和时效性。具体测验任务安排见表 1。

表 1. 测验任务表

测验时间	水位(次)	流量(次)	流速(点)
8.10~12	16	4	200
11.14~16	16	4	192
12.28~30	16	4	160
合计	48	12	552

3.1.2. 测验仪器设备与技术标准

本次测验过程中所涉及的水准仪、GNSS、ADCP 等仪器均按照《水文测验设备设施检查规定》的要求进行了鉴定、比测、检查，且在有效期内，仪器满足使用要求。在测前对各仪器的主要工作部分及相关软件进行了检查，确保了仪器状态良好。测量期间也注意进行了有关的指标检查，结果均符合规范要求。测验主要仪器设备及技术参数见表 2。

测验遵循国家和行业相关技术标准，如《全球定位系统(GPS)测量规范》(GB/T18314-2009)和《河流流量测验规范》(GB50179-2015)等，以保证测量精度和数据质量。

表 2. 主要仪器设备及主要技术参数

序号	仪器设备	数量	型号	主要性能或技术指标
1	GNSS 罗经	1 台	SF2050G(5779)/Trimble SPS461	≤±1 m
2	瑞江 ADCP	1 台	600K	
4	水文绞关	1 台		
5	铅鱼	1 个		100 kg
6	测深系统	1 套	回深仪 SDH-13D、HY1600	
7	水位计	1 个	RBRsoloD 自记水位仪	

3.1.3. 观测方法

1) 水位观测

码头镇站基本水尺断面水位，该断面为直立式水尺，水尺零点高程采用水准仪校测。水位采用 YAC9900 水位自记计。断面测验期间，断面水位专人负责每天上、下午(08 时、14 时)两次同步观测水位。水尺零点高程在年初或使用前均采用水文四等水准测量对各水尺进行了校测。以后对使用过的水尺每 1~3 月校测一次，有变动时随时校测。水位采用冻结基面。基面的水位换算关系为冻结基面以上米数-1.814 m = 1985 国家高程基准以上米数，编制水位计算表。

2) ADCP 测流

采用走航式 ADCP 测流法进行测量，结合 DGPS 定位和外置 GPS 罗经进行航迹校正和船艏校正，以保证测量数据的准确性。测量前对各 ADCP 断面进行了试测验，查勘了断面的通航情况和最大水深，合理设定 ADCP 参数。

本次测流 ADCP 参数：测深单元深度：WS50 (600 kHz)脉冲间隔：TP000020；每组信号脉冲数：WP4；底部跟踪信号数：BP 4；ADCP 记录坐标、范围、流向、回声强度、方向、姿态、水温、好信号数百分比；测船航速 < 2.5 m/s；GPS 数据更新率 0.5 秒(与 ADCP 同步)。

ADCP 断面测流每次施测二个测回，任一半测回 BTM 或 GGA 模式下的测量值与平均值的相对误差不应大于 5%，否则补测同向的一个半测回流量。当第一测回任一次 BTM 或 GGA 模式下测量值与平均值的相对误差小于 2%时，可不施测第二个测回，流量取施测第一测回的平均值。断面航向：每次均从左(北)向右(南)航行，测船尽量匀速航行。

ADCP 数据采用随机携带软件“WinRiver”采集与自编的“ADCP 数据处理系统”进行垂线流速流向及断面流量处理，ADCP 垂向上的实测数据是按单元格分层，内业整理时按常规相对水深计算方法，概化垂线流速分布，按现行《河流流量测验规范》(GB50179-2015)规定，分别整理出相对水深为水面、0.2 H、0.4 H、0.6 H、0.8 H 和水底的流速、流向(水面、水底采用幂函数插补)。ADCP 岸边流量的估算通过对同步记录的导航数据的预处理，重新计算出准确的岸边距，并根据各断面情况选取合适的岸边流量估算系数，岸边系数主要根据规范及河段潮量平衡进行合理选取。本次岸边流量估算系数取值范围为 0.3~0.9 之间，岸坡较陡的则略大。

根据如下公式，通过收集的 ADCP 数据计算流量：

$$Q_{ADCP} = \iint_S u \cdot \xi dS$$
$$dS = |V_b| \cdot dz \cdot dt$$

式中： Q_{ADCP} ：流量； S ：河流某断面部分面积； u ：河流断面某点处流量矢量； ξ ：作业船航迹上的单位法线矢量； dS ：河流断面上微元面积； V_b ：作业船速度(沿航迹)； d ：垂向微元面积 z 度， z 自河底高程起算； dt ：时间微元。

将上式离散化，使沿测流船航迹断面分为 m 个微小断面，则测流公式可以被写为：

$$Q_{ADCP} = \int_0^T \left[\int_0^H u \cdot dz \right] \cdot \xi |V_b| \cdot dt = \int_0^T \left[\int_0^H (u \times V_b) \right] \cdot k \cdot dz dt = \sum_{i=1}^m [(V \times V_b) \cdot k]_i \cdot H_i \Delta t$$

式中： T ：跨断面航行时间； H_i ：微断面 i 处的水深； m ：断面内总的微小断面数目； Δt ：相应于测量微断面的测量时间平均步长； k ：垂向单位矢量； V ：相应于测量微小断面的垂线平均流速矢量。

3.2. 遥感水位数据

本文使用 DAHITI (Database for Hydrological Time Series of Inland Waters)作为遥感水位数据，与实测水位数据进行对比。DAHITI 数据集由德国理工大学开发，目前提供共 1721 个水位时间数据序列。采用 SGDR (Sensor Geophysical Data Records)数据提供的原始波形数据记录来提取水位，其采用的原始测高数据来源于 ENVISAT、Jason-2、Sentinel-2 等测高卫星的数据，通过“改进阈值追踪器”(Improved Threshold Retracker)与卡尔曼滤波对数据进行处理与融合，进而得到目标水体水位。本研究获取 DAHITI 数据集中码头镇河段 2022 年水位，结合本次水文测验的实测水位数据，对码头镇河段仪器测量精度进行评估。

3.3. 遥感流量数据

本文使用 RSEG 遥感流量数据集(Remote Sensing-Based Extension of GRDC River Discharge Time Series) [8]作为对比遥感流量数据集。该产品采用了随机非参数回归算法[7]，利用卫星图像和测高仪获得的河宽、水高观测数据，扩展了全球缺资料流域或已废弃站点的流量时间序列。该产品进行了严格的数据质量评估，最终得到全球超过 3377 个不同流域的遥感流量数据集，为全球各流域的水文学研究提供了宝贵资料。在对数据集进行预处理及数据质量检查后，本研究选取 RSEG 数据集中码头镇 2020 年流量数据，与本研究成果进行对比。

3.4. 码头镇河段历史实测数据

码头镇河段在历史上共开展过 8 次流量与水位测验，测验数据如下表 3 所示。

表 3. 码头镇断面历史实测数据

测次	施测时间	水位(m)	流量(m³/s)	过流面积(m²)
2015-0	05.14 10:40	12.64	23,800	19,200
2015-1	07.11 10:38	17.80	40,900	24,900
2015-2	09.10 15:35	13.21	25,300	19,800
2015-3	11.25 09:53	13.55	23,000	21,800
2016-0	01.21 09:48	10.41	15,400	18,300
2016-1	03.17 17:40	10.57	16,600	18,600
2016-2	05.16 16:34	16.98	34,600	26,200
2016-3	07.20 08:28	20.10	50,900	29,900
2016-4	09.27 17:34	9.76	14,400	16,500
2016-5	11.09 17:07	10.54	17,500	17,600

3.5. 分析方法

根据相关研究[3]-[6]，流量与断面水位数据在每个遥感图像像元上呈现幂指数函数关系：

$$d = cQ^f$$

式中： d 为水位(m)； Q 为断面实测流量(m^3/s)； c 、 f 为经验参数。

通过遥感测高卫星水位，根据上式反算对应水位下流量，并与汉口、九江两站同时刻流量进行比较，以说明成果合理性。

4. 结果与讨论

4.1. 测验结果

本次流量与水位成果表如表 4 所示。本次对码头镇河段断面进行了多次测量，水位变化范围在 6.65~11.18 m，流量变化范围在 8670~19,900 m^3/s ，其中 8 月份流量较大，11~12 月流量较小。同时，将测量所得流量与汉口、九江等地的实测流量进行了比较，显示出相对误差在-1.27%~-1.80%之间，误差 10%以内，说明本次测量成果可靠。

表 4. 水文测验成果表 高程系统：1985 国家高程基准

测次	施测时间	断面名称	水位(m)	流量(m^3/s)	面积(m^2)	汉口流(m^3/s)	九江流量(m^3/s)	相对误差(%)
2022-1	08.10 14:12	码头镇	11.18	19,900	19,700	19,900	19,400	-1.27
2022-2	08.11 08:54	码头镇	11.07	19,800	19,400	19,700	19,200	-1.80
2022-3	08.11 18:40	码头镇	11.01	19,600	19,300	19,600	19,100	-1.29
2022-4	08.12 08:36	码头镇	10.93	19,500	19,300	19,600	18,900	-1.30
2022-5	11.14 14:40	码头镇	6.60	8680	13,000	8570	8690	-0.58
2022-6	11.15 10:14	码头镇	6.58	8750	13,100	8640	8650	-1.21
2022-7	11.15 16:41	码头镇	6.57	8670	13,000	8640	8640	-0.35
2022-8	11.16 07:49	码头镇	6.55	8680	13,000	8670	8650	-0.23
2022-9	12.28 16:40	码头镇	6.76	9030	13,000	8890	9130	-0.22
2022-10	12.29 09:26	码头镇	6.77	9040	13,000	8870	9110	-0.56
2022-11	12.29 17:04	码头镇	6.78	9050	13,100	8860	9160	-0.44
2022-12	12.30 09:06	码头镇	6.78	8950	13,100	8870	9110	0.44

4.2. 流量估算结果

4.2.1. 经验关系适线结果

流量估算经验关系适线如图 2 所示。从图中可以看出，码头镇断面水位与流量之间关系拟合度较好，拟合关系式为 $h = 0.0185Q^{0.6491}$ ，决定系数 R^2 为 0.99。

4.2.2. 基于遥感水位数据的流量估算结果

根据 4.2.1 节中拟合关系式与 DAHITI 数据集中码头镇虚拟站遥感水位数据，可估算码头镇流量，依据 2020~2023 年遥感水位数据的流量计算结果见表 5。从表中可以看出，依靠遥感测高卫星水位估算的码头镇流量与九江站流量、汉口站流量较为接近，除去 2020 年 11 月 18 日、2021 年 9 月 21 日与 2023 年 3 月 29 日流量估

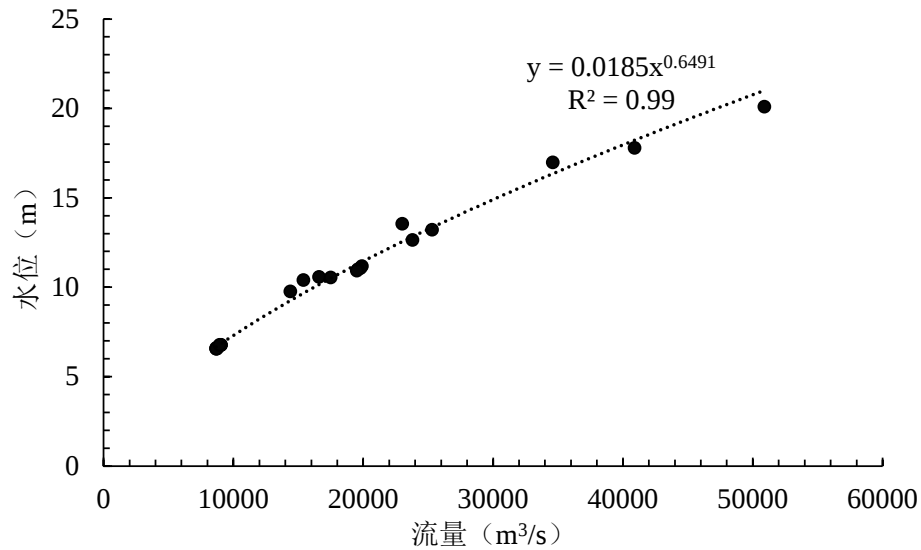


图 2. 估算关系适线图

算相对误差大于 10%，其余日期流量估算误差均在 10% 以内，相对误差范围在 -6.99%~9.88% 之间，相对误差平均值为 2.35%，因此判断依据遥感测高卫星水位估算断面流量具有可行性。

表 5. 流量估算成果表(流量: m³/s, 水位: m)

日期	时间	遥感水位(m)	码头镇流量	九江流量	汉口流量	相对误差(%)
2020/3/3	13:57:40	10.225	16,800	16,200	15,700	5.36
2020/3/30	13:57:41	12.182	22,000	20,100	20,200	9.18
2020/4/26	13:57:45	12.051	21,600	20,300	19,300	9.16
2020/5/23	13:57:47	11.444	20,000	18,200	18,400	9.29
2020/6/19	13:57:51	15.715	32,600	33,500	30,900	1.41
2020/7/16	13:57:52	21.343	52,200	59,000	53,500	-6.98
2020/8/12	13:57:52	19.584	45,700	50,600	47,400	-6.64
2020/9/8	13:57:51	18.07	40,400	44,200	42,700	-6.99
2020/10/5	13:57:47	17.172	37,300	40,900	39,100	-6.70
2020/11/1	13:57:52	14.821	29,700	28,500	27,000	7.11
2020/11/28	13:57:53	10.215	16,800	15,300	13,600	16.67
2020/12/25	13:57:52	9.216	14,300	13,600	12,600	9.32
2021/1/21	13:57:50	9.293	14,500	13,700	13,500	6.62
2021/2/17	13:57:50	8.524	12,700	12,500	11,700	5.07
2021/4/12	13:57:50	12.08	21,700	22,000	21,000	0.98
2021/5/9	13:57:53	13.607	26,100	25,900	26,100	0.39
2021/6/5	13:57:58	18.094	40,500	39,300	39,500	2.79
2021/7/29	13:58:02	16.581	35,400	38,100	37,600	-6.47
2021/8/25	13:58:03	16.375	34,700	37,000	36,900	-6.09

续表

2021/9/21	13:58:00	16.84	36,200	41,600	41,400	-12.77
2021/10/18	13:57:55	14.905	30,000	27,600	27,600	8.70
2021/11/14	13:57:59	11.363	19,800	19,300	16,900	9.88
2022/2/3	13:57:54	10.003	16,200	17,100	16,400	-3.24
2022/3/2	13:57:58	11.73	20,700	20,300	19,600	3.79
2022/3/29	13:57:57	12.315	22,400	21,000	18,600	13.55
2022/4/25	13:58:00	13.541	25,900	26,000	25,100	1.40
2022/6/18	13:58:09	17.567	38,700	37,800	39,400	0.30
2022/7/15	13:58:12	16.142	33,900	33,000	31,400	5.34
2022/8/11	13:58:11	11.173	19,200	19,400	18,700	0.82
2022/9/7	13:58:11	8.184	11,900	11,300	11,500	4.39
2023/6/4	13:58:16	11.479	20,100	19,600	17,900	7.42
2023/7/1	13:58:18	14.645	29,200	27,000	26,800	8.55
2023/8/24	13:58:20	12.268	22,200	22,700	22,800	-2.42
2023/10/17	13:58:21	11.812	21,000	22,000	20,800	-1.79
2023/11/13	13:58:22	10.637	17,800	17,000	16,800	5.33

4.2.3. 与现有遥感产品对比

将 RSEG 遥感流量数据集中码头镇虚拟站的流量与九江站流量、汉口站流量对比，进行误差校验，结果如表 6 所示。从表中可以看出，RSEG 数据集码头镇流量与九江站流量、汉口站流量的相对误差范围在-23.65%~80.31%之间，其中 2020 年 3 月 3 日流量相对误差绝对值最大，2020 年 11 月 1 日流量相对误差绝对值最小，对应河段内相对误差平均值为 19.1%。与本研究数据成果进行对比(表 5)，可以看出依靠遥感测高卫星水位估算的码头镇流量相比 RSEG 遥感流量数据集在码头镇站的流量估算误差相对更小：本研究流量成果与九江站流量、汉口站流量的相对误差范围在-6.99%~9.88%之间，而 RSEG 数据集相对误差在-23.65%~80.31%之间。可以看出，融合了站点实测信息后的本研究流量成果相比单纯依靠遥感卫星数据成果进行流量估算的 RSEG 数据集能够更好地监测河段流量，这主要是由于遥感卫星测量的河宽数据和水位数据的测量尺度较大，时空分辨率均相对于较小尺度的测量数据(实测站点数据)偏差，因此单纯依靠卫星数据进行河段流量估算会在估算过程中引入更多的误差。本研究流量成果结合了站点实测 ADCP 信息，得到了相对更为精确的码头镇河段流量。

表 6. 流量估算成果表

日期	码头镇流量(RSEG)	九江流量	汉口流量	相对误差(%)
2020/4/26	19,000	20,300	19,300	-4.19
2020/5/23	33,000	18,200	18,400	80.31
2020/6/19	39,800	33,500	30,900	23.87
2020/7/16	57,300	59,000	53,500	2.10
2020/8/12	55,400	50,600	47,400	13.13
2020/9/8	34,600	44,200	42,700	-20.27
2020/10/5	30,500	40,900	39,100	-23.65
2020/11/1	28,200	28,500	27,000	1.57

5. 结论

本文为解决遥感流量监测相比实测水文站流量监测精度欠缺的问题,利用遥感卫星测高数据以及水位站仪器实测水位以及流量,探求在水文站或水位站利用遥感数据估算流量的可行性。利用水位站实测水位与 ADCP 测流流量建立水位与流量的拟合关系,并通过遥感测高卫星数据测量的码头镇水位站的水位数据,反算码头镇流量,最终与上下游汉口站与九江站的流量进行比较以验证结果的合理性。结果表明,采用 ADCP 和遥感测高技术进行水文数据测验,可以在码头镇河段实现较高精度的流量估算。测量结果的相对误差普遍在可接受范围内(低于 10%),这验证了这种综合方法在实际应用中的有效性和可靠性。与此同时,将本研究成果与单纯利用测高卫星信息进行流量估算的遥感产品 RSEG 数据集进行对比,发现本研究融合 ADCP 测流信息与测高卫星数据的遥感产品相比 RSEG 数据集在码头镇河段的流量估算更为准确,说明融合 ADCP 测流信息对遥感卫星流量估算效果具有显著提升。然而本研究使用方法仍存在一定缺陷,由于本研究仅考虑了水位与遥感测流流量之间的关系,并未充分考虑河段内其他可能对推求流量准确性产生影响的水力学要素,因此在下一步研究中,会将河段内更多水力学因素纳入公式中,以更好地服务于遥感流量反演。

参考文献

- [1] CHAGAS, P. B. V., CHAFFE, B. L. P. and BLÖSCHL, G. Regional low flow hydrology: Model development and evaluation. *Water Resources Research*, 2024, 60(2): e2023WR035063. <https://doi.org/10.1029/2023wr035063>
- [2] 李靖, 李浩, 王树东, 等. 中亚五国主要湖泊水面变化特征及关键影响因素分析[J]. *遥感技术与应用*, 2019, 34(3): 639-646.
- [3] 陈探, 赵爽, 张大鹏. 1990-2021 年新疆典型湖泊水量变化遥感估算[J]. *应用生态学报*, 2024, 35(11): 3141-3148.
- [4] TARPANELLI, A., BARBETTA, S., BROCCA, L., et al. River discharge estimation by using altimetry data and simplified flood routing modeling. *Remote Sensing*, 2013, 5(9): 4145-4162. <https://doi.org/10.3390/rs5094145>
- [5] PAPA, F., BALA, S. K., PANDEY, R. K., et al. Ganga-Brahmaputra river discharge from Jason-2 radar altimetry: An update to the long-term satellite-derived estimates of continental freshwater forcing flux into the bay of Bengal. *Journal of Geophysical Research, C. Oceans*: JGR, 2012, 117(C11): C11021. <https://doi.org/10.1029/2012jc008158>
- [6] BIRKINSHAW, S. J., O'DONNELL, G. M., MOORE, P., et al. Using satellite altimetry data to augment flow estimation techniques on the Mekong River. *Hydrological Processes*, 2010, 24(26): 3811-3825. <https://doi.org/10.1002/hyp.7811>
- [7] OMID, E., ANDRÁS, B., et al. Spaceborne river discharge from a nonparametric stochastic quantile mapping function. *Water Resources Research*, 2021, 57(12): e2021WR030277. <https://doi.org/10.1029/2021wr030277>
- [8] ELMI, O., et al. Remote sensing-based extension of GRDC river discharge time series. Stuttgart: Universitätsbibliothek Stuttgart, 2023.