



赣江裘家洲生态保护工程 对通航水流条件的影响*

徐林万¹, 张涛涛², 肖洋^{1,2}, 吴宇泽¹, 刘子涵³, 田帅⁴

(1. 河海大学水利水电学院, 江苏南京 210024; 2. 苏州科技大学环境科学与工程学院, 江苏苏州 215009;
3. 河海大学港口海岸与近海工程学院, 江苏南京 210024; 4. 扬州市勘测设计研究院有限公司, 江苏扬州 225007)

摘要: 为分析赣江裘家洲生态保护工程建设对航道通航水流条件的影响, 基于 TELEMAC 软件建立了赣江尾闾整体二维水动力数学模型, 通过实测水文数据验证率定后, 模拟了5种典型工况下工程实施前后的水动力过程, 分析了工程建设对裘家洲河段水动力和航道通航水流条件的影响。结果表明: 工程实施后河段整体流态稳定, 较工程前未发生明显变化, 未产生明显回流等不良流态, 最大流速由 2.1 m/s 降至 2.0 m/s, 降低约 4.67%; 流速变化呈现空间差异性, 其中老官洲邻近区域因疏浚导致漫滩水流工况下的流速增加, 最大增幅约 0.1 m/s, 增幅随流量增大而减弱; 工程前后, 航道最大纵向流速均低于 2.0 m/s, 在大流量工况下个别断面最大横向流速略高于 0.5 m/s, 工程实施对航道通航水流条件影响有限, 不会产生明显不利影响。研究可为赣江航道安全运维提供科学支撑。

关键词: 赣江; 通航水流条件; 数值模拟; 裘家洲生态保护工程

中图分类号: U61; TV135.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2026)03-0075-08

Impacts of ecological protection project of Qiujiashou on navigable flow conditions in the Ganjiang River

XU Linwan¹, ZHANG Taotao², XIAO Yang^{1,2}, WU Yuze¹, LIU Zihan³, TIAN Shuai⁴

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210024, China;
2. School of Environmental Science and Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215009, China;
3. College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210024, China;
4. Yangzhou Survey and Design Institute Co., Ltd., Yangzhou 225007, China)

Abstract: To analyse the impact of the ecological protection project construction of Qiujiashou on the channel navigable flow conditions in the Ganjiang River, this paper establishes a two-dimensional hydrodynamic mathematical model of the tail reaches of Ganjiang River based on TELEMAC software. The calibration is verified through measured hydrological data, and the hydrodynamic process before and after the implementation of the project is simulated under five typical working conditions. The influence of the project construction on the hydrodynamic and navigable flow conditions of the Qiujiashou section of the river is analyzed. The results show that after the implementation of the project, the overall flow pattern of the river section is stable, with no significant changes compared with before the project, and no adverse flow conditions such as obvious backflow occurred. The maximum flow velocity decreased from 2.1 m/s to 2.0 m/s, a decrease of about 4.67%. The variation

收稿日期: 2025-07-15 录用日期: 2025-07-31

*基金项目: 国家自然科学基金长江联合基金项目(U2240209); 国家自然科学基金项目(52309102, 52379075); 赣江下游尾闾综合整治工程科研课题研究项目(JXTC2023020257C1)

作者简介: 徐林万(1999—), 男, 硕士研究生, 从事水力学及河流动力学研究工作。

通信作者: 肖洋(1974—), 男, 教授, 从事水力学及河流动力学研究工作。E-mail: Sediment_lab@hhu.edu.cn

of flow velocity shows spatial differences, among which the flow velocity in the vicinity of Laoguanzhou increases due to dredging under the condition of floodplain water flow, with a maximum increase of about 0.1 m/s, and the increase weakens with the increase of flow rate. Before and after the project, the maximum longitudinal flow velocity of the channel is lower than 2.0 m/s, and the maximum transverse flow velocity of individual sections is slightly higher than 0.5 m/s under the high flow condition. The implementation of the project has a limited impact on the navigable flow conditions of the channel and will not have obvious adverse effects. The study can provide scientific support for the safe operation and maintenance of Ganjiang River waterway.

Keywords: Ganjiang River; navigable flow condition; numerical simulation; ecological protection project of Qiujiashou

赣江是鄱阳湖流域的第一大支流，也是国家四纵四横两网高等级航道的重要组成部分^[1-3]。裘家洲位于赣江南昌段干流分汊位置，是连接赣江东、西河与干流航道的关键节点。近年来，赣江裘家洲与老官洲洲滩裸露、植被退化、生态环境脆弱问题日益凸显，由此提出并实施裘家洲生态保护工程。工程中洲滩的填充和疏浚等会改变水动力过程，从而可能会影响通航水流条件。因此，亟需探究裘家洲生态保护工程对航道通航水流条件的影响，为保障通航安全提供支撑。

目前工程建设对通航水流条件的影响研究主要依托3种方法展开。1) 基于物理模型试验的研究。例如，Zhao等^[4]首次利用物理模型量化了洪水期大流量调峰对通航的临界影响；刘晶晶等^[5]利用水工模型试验探究了岩滩水电站口门区右岸河道疏浚对下游通航水流条件的影响。2) 采用数值模拟方法的研究。例如，陈婷婷等^[6]通过数值模拟分析了湿地公园侵占桥区航道导致的通航水流条件恶化问题，提出左岸大规模疏浚及拆除旧桥的优化方案；王多银等^[7]基于二维水动力学数值模型，研究了挖槽疏浚江心洲对通航水流条件的改善作用；He等^[8]通过二维水流数学模型，系统研究分析了桥墩结构形式对通航横向流速的影响机制。3) 结合物理模型试验与数值模拟的耦合研究^[9-10]。针对赣江下游尾闾河段，已有研究^[11-12]通过数值模拟方法，重点分析了赣江主支和南支枢纽工程建设对船闸引航道通航水流条件影响。然而，作为赣江尾闾综合整治工程重要组成部分的裘家洲生态保护工程，其对航道通航水流条件

的影响尚不明确。

本文通过建立赣江尾闾整体二维水动力数学模型，模拟典型工况下工程河段水动力过程，分析裘家洲生态保护工程对航道通航水流条件的影响。研究成果可为赣江裘家洲河段通航安全提供支撑。

1 工程概况

赣江自南昌以下进入尾闾地区，主流经过老官洲后，在裘家洲分为东西两河。老官洲位于赣江南昌大桥—八一大桥之间，裘家洲位于老官洲—扬子洲之间，北与扬子洲接壤，两者位置见图1。工程的主要内容是将老官洲修整至高程14.5 m，疏浚后对洲上进行生态修复，播撒草皮护面；同时对裘家洲崩岸段抛石固脚和生态护岸，填补原取水缺口，修复洲体，在裘家洲建设宽2 m、长7 km的环洲巡检通道，在裘家洲洲体根据不同层次分别种植芦苇、芒草、乔木及播撒草籽护面，绿化面积15.6 ha。



图1 裘家洲与老官洲位置

Fig. 1 Locations of Qiujiashou and Laoguanzhou

根据 GB 50139—2014《内河通航标准》^[13], 船闸引航道纵向流速 ≤ 2.0 m/s, 横向流速 ≤ 0.3 m/s, 回流流速 ≤ 0.4 m/s。赣江属鄱阳湖水系, 该流域通常采用“表面流速不超过 2.0 m/s”作为控制指标, 该工程河段航道条件相对较好、适航水域开阔, 结合临时航道实际情况及相关航道管理部门建议, 船舶安全航行水流条件确定为: 纵向流速 ≤ 2.0 m/s, 当横向流速 ≥ 0.5 m/s 时, 需采取安全保障措施, 大范围横向流速超过 0.5 m/s 时需禁止通航。

2 数学模型的建立与验证

2.1 控制方程

在天然河道明渠流动中, 鉴于其水平尺度显著大于垂向尺度, 水流运动参数沿水平方向的变化梯度通常远大于沿垂向的变化梯度。因此, 在建立数学模型时, 可忽略水流参数沿垂向的变化, 并假定动水压力沿水深方向遵循静水压力分布规律。基于上述简化, 可导出描述垂向平均水流运动的平面二维控制方程如下。

连续方程:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla (h) + h \operatorname{div}(\mathbf{u}) = S_h \quad (1)$$

x 方向动量方程:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla (u) = -g \frac{\partial Z}{\partial x} + S_x + \frac{1}{h} \operatorname{div}(h\nu_x \nabla u) \quad (2)$$

y 方向动量方程:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla (v) = -g \frac{\partial Z}{\partial y} + S_y + \frac{1}{h} \operatorname{div}(h\nu_y \nabla v) \quad (3)$$

式中: h 为水深; t 为时间; u 、 v 为 x 、 y 方向上的速度分量; g 为重力加速度; ν_x 为动量扩散系数; Z 为自由水面高程; S_h 表示流体的源或汇, S_x 、 S_y 为 x 、 y 方向上的分量; \mathbf{u} 为二维平面上的合速度矢量。

2.2 模型的建立

采用 TELEMAC 软件建立赣江尾间河道的无工程和有工程的二维水动力学模型, 其中无工程

模型用于模型验证和参数率定, 有工程模型用于通航水流条件的计算。模型将上游边界设置在外洲断面处, 下游边界设置在四支入湖口。对局部地形进行加密, 网格采用三角形网格, 尺寸为 3~30 m, 共计 461 731 个网格。模型上游给定外洲站流量边界条件, 下游给定推求的各支入湖口水位边界条件。模型范围及网格划分见图 2。



图 2 基于裘家洲工程的赣江尾间地区模型
Fig. 2 Model of tail reaches of Ganjiang River based on the Qiujiashou project

2.3 模型的验证

为验证模型精度, 在赣江干流(GJV1 断面)及其东河(GJV2 断面)、西河(GJV3 断面)干流上布设了 3 个水文测验断面, 用于同步监测水位与流速。模型采用 2019 和 2020 年实测地形数据, 并基于 2020 年 9 月(对应外洲水文站流量 2 800 m³/s)和 10 月(对应外洲水文站流量 470 m³/s)两次现场水文测验数据, 分别设定相应的上下游边界条件进行模拟计算。选取 $Q=2 800$ m³/s 的场景将模型计算结果与实测数据进行对比, 结果见表 1 和图 3。表 1 显示, 计算水位与实测值吻合良好, 最大误差不超过 0.09 m。图 3 表明, 3 个断面模拟的流速分布形态与原型观测结果基本一致, 个别测点存在较大偏差, 主要由于河道地形精度及水流非恒定特性所致, 平均相对误差为 8.9%, 但整体验证效果满足 JTS/T 231—2021《水运工程模拟试验技术规范》^[14]的要求。经参数率定, 模型最终采用的曼宁糙率系数为 0.024, 涡黏性系数为 0.5。

表 1 各断面水位测验拟合情况

Tab.1 Fitting of water level measurements at each cross-section

断面名称	Q=470 m ³ /s			Q=2 800 m ³ /s		
	实测水位/m	计算水位/m	水位差值/m	实测水位/m	计算水位/m	水位差值/m
GJV1	14.55	14.49	0.06	16.42	16.49	0.07
GJV2	14.55	14.47	0.08	16.46	16.47	0.01
GJV3	14.53	14.46	0.07	16.41	16.50	0.09

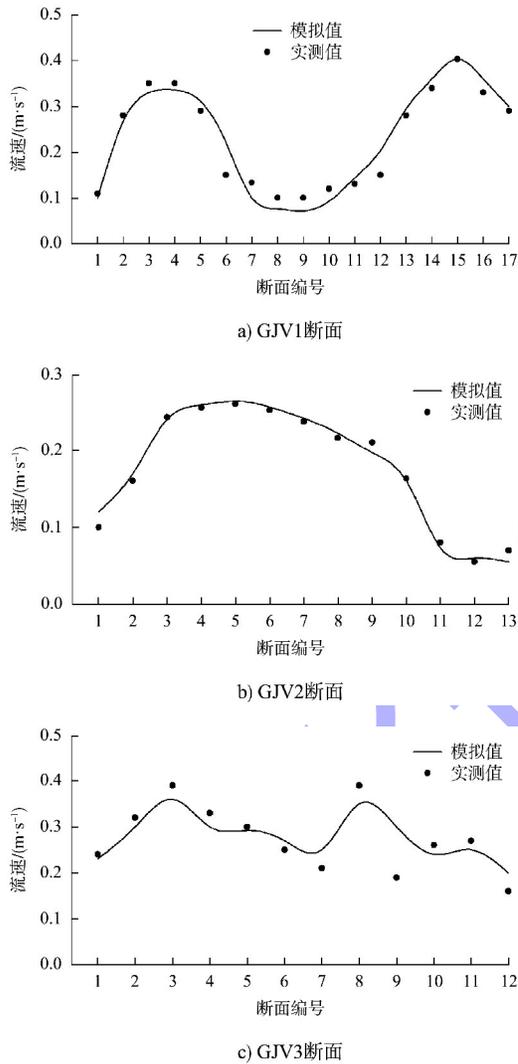


图 3 外洲流量为 2 800 m³/s 工况下各断面测点流速验证
Fig.3 Verification of flow velocity at each measurement point on cross-section under condition of an external flow rate of 2,800 m³/s

2.4 工况设置

该研究主要分析裘家洲生态保护工程对工程河段航道通航水流条件的影响,考虑到平滩水位、未来尾闸四支枢纽调控水位和设计最高、最低通航水位等方面,共选取 5 种计算工况,工况具体设计情况见表 2。每种工况均计算工程前(现状)和工程后(裘家洲生态保护工程实施后)两种情况下的裘家洲河段通航水流条件。

为了对计算结果进行分析,在裘家洲河段航道内选取 38 个监测断面,其中赣江干流 8 个监测断面(G-1~G-8),西河 16 个监测断面(X-1~X-16),东河 14 个断面(D-1~D-14),具体位置见图 4,每个断面上均匀布置 5 个监测点,监测点号由左岸至右岸依次排序。提取的流速数据中,纵向流速为正表示顺水流方向,为负则表示逆水流方向;横向流速为正表示垂直水流指向右岸,为负表示指向左岸。

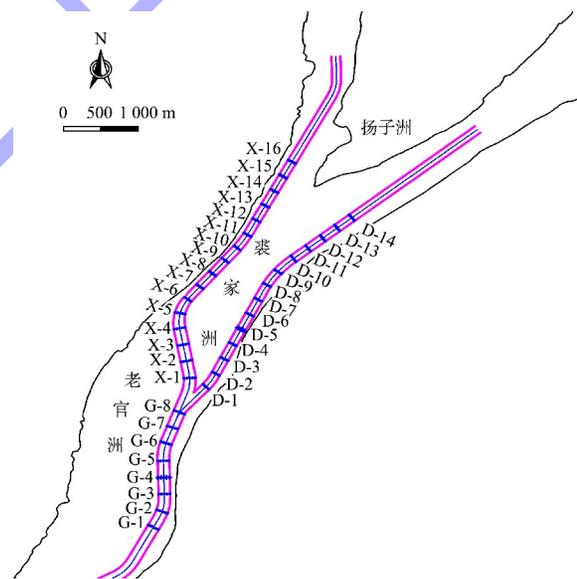


图 4 航道流速测量断面布置
Fig.4 Layout of flow velocity measurement cross-section in channel

表 2 模型计算工况(运营期通航水流条件)

Tab.2 Model calculation conditions(navigable flow conditions during operation period)

工况	外洲流量/(m ³ ·s ⁻¹)	外洲水位/m	南支/m	中支/m	北支沙汊河/m	北支官港河/m	主支/m	备注
GK1	20 700	21.77	20.99	19.88	20.65	20.63	20.46	20 a 一遇
GK2	15 000	20.20	19.60	18.55	19.31	19.28	18.96	5 a 一遇
GK3	9 000	18.13	17.42	16.83	17.25	17.20	16.74	平滩水位
GK4	4 440	15.50	15.00	14.75	14.85	14.80	14.10	调控水位
GK5	1 490	12.17	12.11	11.83	12.00	11.95	10.59	最低通航水位

注:采用黄海高程。

3 结果分析

3.1 工程前后流场变化情况

裘家洲生态保护工程实施前后裘家洲河段流场分布见图5。结果表明,工程实施后该河段的水流流态及流速分布整体保持稳定,与工程前相比未发生显著变化。在较大流量工况下,水流主要漫洲而过,流线整体平顺;在中小流量工况下,水流会绕过老官洲洲体,流线在洲体上游和下游均发生轻微偏转。在GK4工况条件下(外洲水位

15.5 m),老官洲洲体疏浚后使得水流可以淹没整个洲体,对局部流场产生了一定影响。工程后测得的河段最大流速约为2.0 m/s,相较工程前的2.1 m/s降低约4.76%。这主要归因于老官洲的洲体经工程修整后,其阻水效应减弱,使得水流流线更为顺畅,有效避免了回流等不良流态的产生。综合流态特征与流速变化分析,可以认为裘家洲生态保护工程对裘家洲河段的水动力条件影响有限。

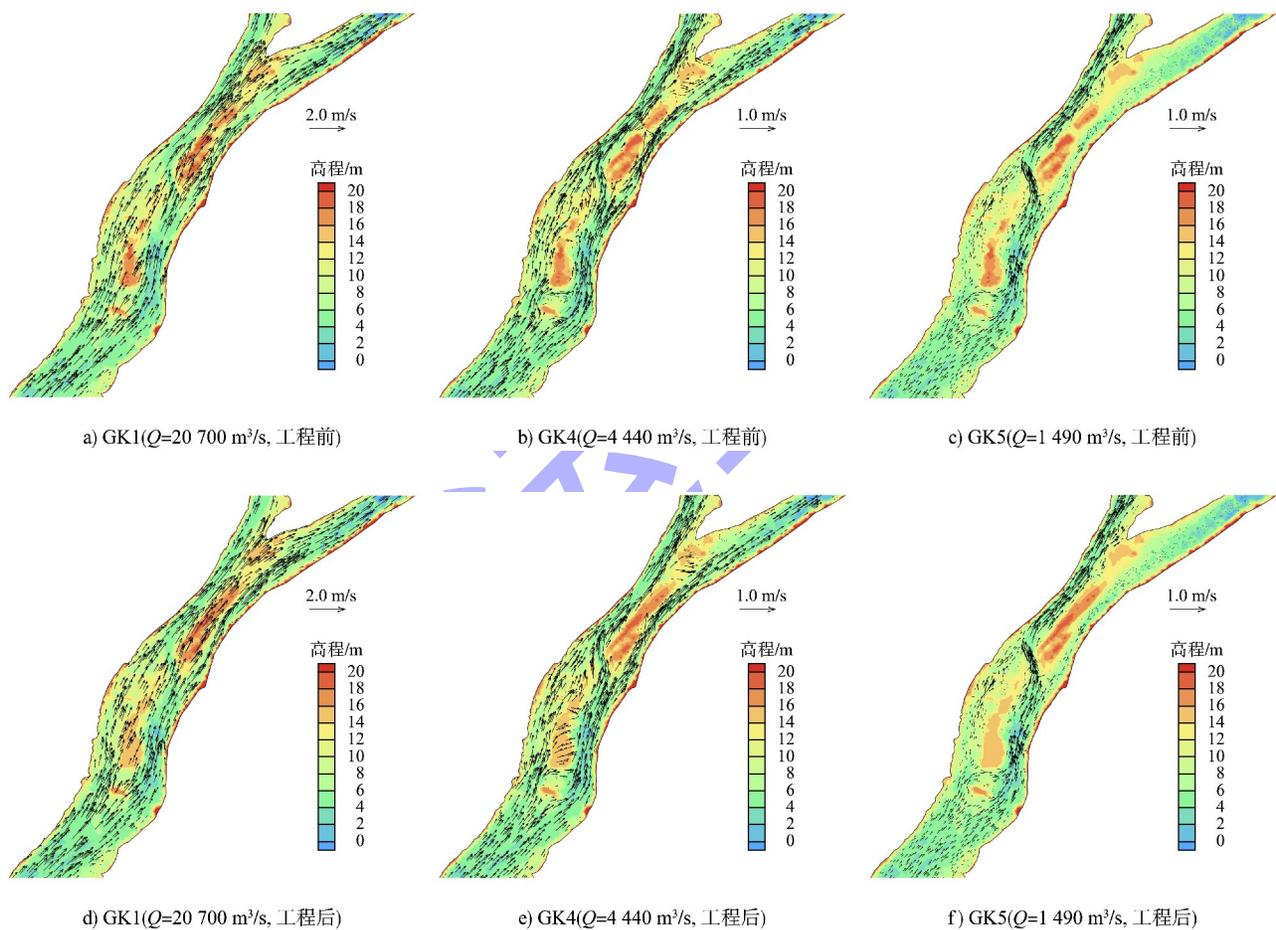


图5 裘家洲河段工程前后流场对比

Fig. 5 Comparison of flow field before and after the project in the Qiujiashou river section

3.2 工程前后流速变化情况

工程实施前后裘家洲河段流速差分布见图6。由图可知,工程后流速变化具有显著的空间差异性:在工程实施区域附近(即老官洲与裘家洲周边),流速变化相对较为明显,主要表现为流速增加;而河段内其他大部分区域的流速则基本保持不变。此空间分布特征表明,裘家洲生态保护工

程是导致局部流速变化的主要因素。具体而言,工程实施过程中的地形疏浚与优化降低了局部河床阻力,从而增大水流流速,致使工程附近区域流速整体呈上升趋势,流速增幅最大约0.1 m/s。

值得注意的是,流速增加区域的范围表现出随流量变化的特征:随着外洲流量增大和水位抬升,老官洲附近流速上升区域的范围呈逐渐缩小

的趋势。这是由于在较大流量和高水位条件下，水流动力增强，水深增大，使得河床地形对表层

水流的约束和影响相对减弱，其产生的局部加速效应不如低流量工况下显著。

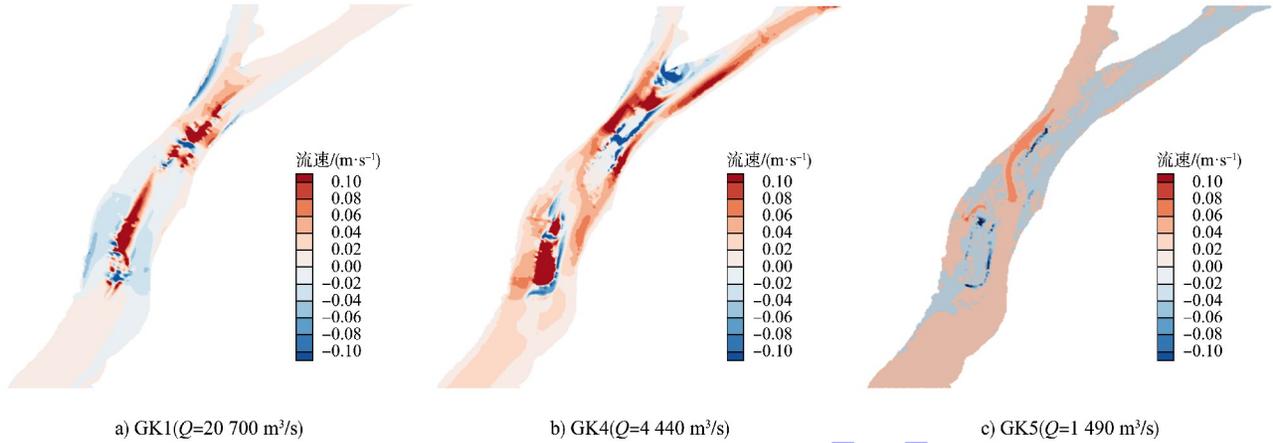


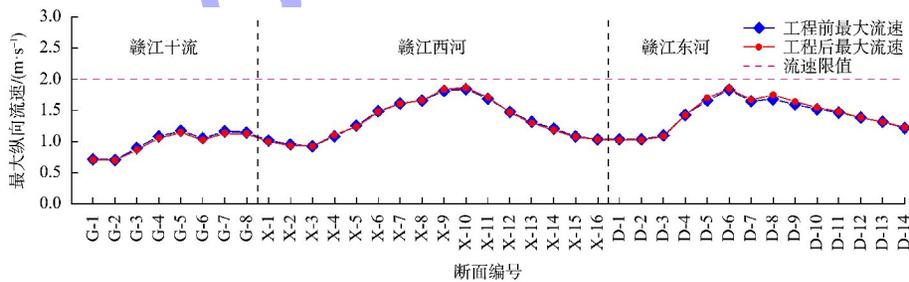
图 6 不同工况下裘家洲河段工程前后流速差云图

Fig. 6 Cloud chart of flow velocity difference before and after the Qiujiashou river section project under different working conditions

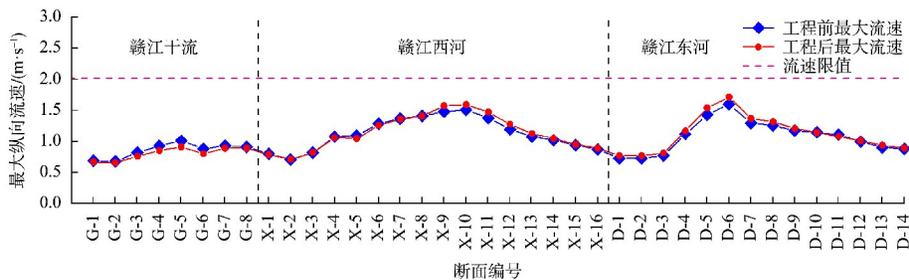
3.3 工程对裘家洲河段通航影响

工程前后不同工况下，裘家洲河段航道各断面的最大纵向流速分布见图 7。结果表明：大流量工况下，工程后大部分断面最大纵向流速呈降低趋势，降幅主要集中于 0.01~0.04 m/s；其中赣江干流及西河部分断面最大纵向流速降低显著，最大降幅达 0.10 m/s，而赣江东河断面最大纵向流速则有所增加，部分断面最大增幅为 0.12 m/s。中小流量工况下，工程后断面最大纵向流速整体

变化甚微；但在外洲流量为 9 000 m³/s (裘家洲处于淹没状态)时，赣江干流最大纵向流速出现相对较为明显的下降 (最大降幅 0.10 m/s)，而东河与西河流速则有所上升 (最大增幅 0.09 m/s)。纵向分布上，工程前后 3 条航道 (赣江干流、西河、东河) 的最大纵向流速随断面号增加均呈现先增后减的沿程变化规律，峰值分别位于 G-5、X-10 及 D-6 断面附近。随流量增大，各断面最大纵向流速值呈增加趋势，但其数值均未超过 2.0 m/s。



a) GK1(Q=20 700 m³/s)



b) GK3(Q=9 000 m³/s)

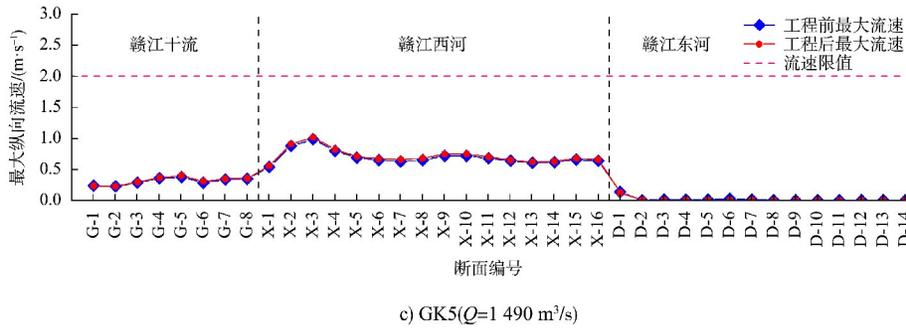


图 7 不同工况下工程前后断面最大纵向流速对比

Fig. 7 Comparison of maximum longitudinal flow velocity of cross-section before and after project under different working conditions

工程前后不同工况下, 各断面绝对值最大的横向流速的差异见图 8。结果显示: 与工程前相比, 工程后断面最大横向流速总体略有增大, 但增幅有限; 工程前后, 绝大多数工况及断面的横向最大流速绝对值均维持在 0.5 m/s 以下; 仅当外洲流量较大时, 存在个别断面(外洲流量为

20 700 m³/s 时的 X-1 和 X-4 断面、外洲流量为 15 000 和 9 000 m³/s 时的 X-4 断面)的横向流速最大绝对值超过 0.5 m/s, 最大约 0.68 m/s。鉴于横向流速超过 0.5 m/s 的范围较小, 可以认为其对航道通航不会产生较大不利影响。

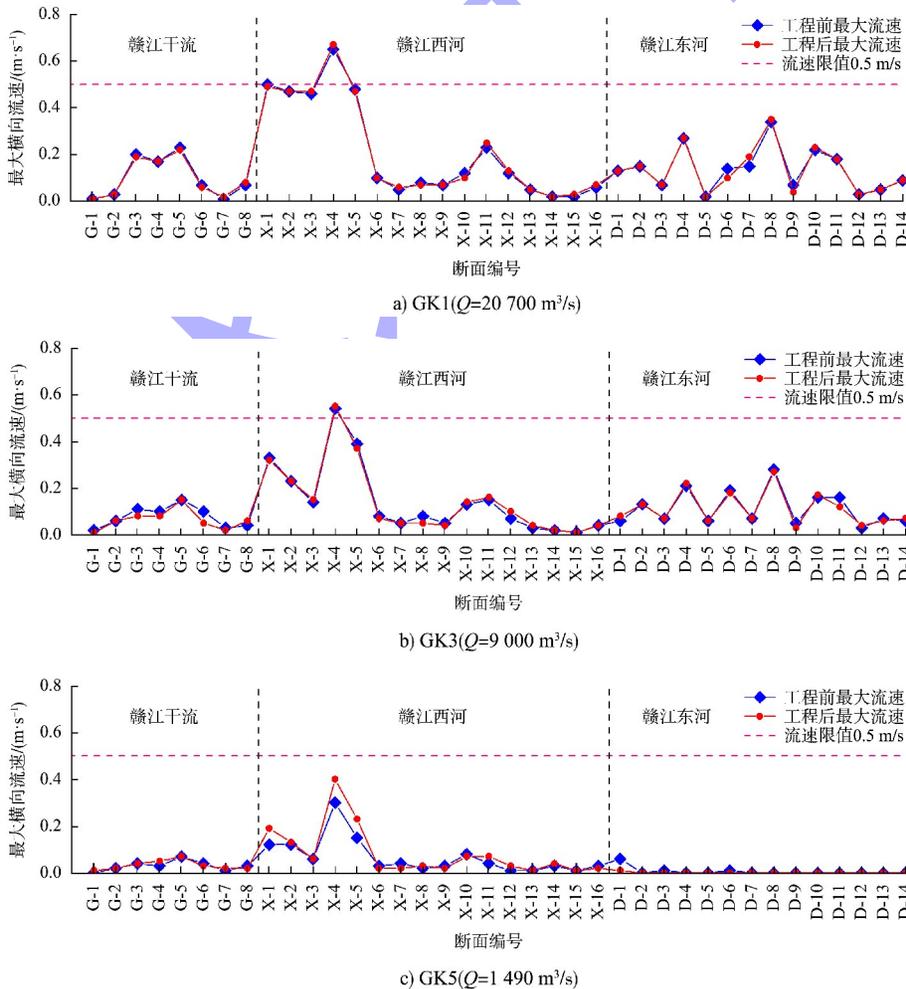


图 8 不同工况下工程前后断面最大横向流速绝对值对比

Fig. 8 Comparison of absolute values of maximum lateral flow velocity of cross-section before and after project under different working conditions

综上,工程后裘家洲航道的水流条件满足基本通航水流条件要求。各工况下航道最大流速始终低于 2.0 m/s,横向流速在绝大多数情况下不超过 0.5 m/s(仅大流量时个别断面轻微超限),研究范围内未形成明显回流或其他不良流态,流态流速未发生显著变化。因此,可以认为裘家洲生态保护工程的施工对工程河段的水流条件影响较小,不会产生明显不利影响。

4 结论

1) 裘家洲生态保护工程实施后,裘家洲河段水流流态与流速分布整体未发生显著改变。大流量工况下水流漫洲而过,中小流量工况下水流绕行老官洲洲体;工程后最大流速由 2.1 m/s 降至 2.0 m/s,且未形成明显回流或其他不良流态,表明工程对河段水动力影响有限。

2) 工程施工引起的河道流速变化主要集中于老官洲与裘家洲邻近区域,主要表现为因洲体疏浚导致的流速增加,最大增幅约 0.1 m/s。在大流量、高水位工况下,地形对水流的约束作用降低,流速增幅显著缩小。

3) 工程建设前后航道最大纵向流速均低于 2.0 m/s,横向流速在基本控制在 0.5 m/s 以内,仅较大流量工况下,个别断面横向流速略有超限,范围较小。可以认为工程对航道通航水流条件的综合影响甚微,未产生明显不利影响。

参考文献:

- [1] 杨程高歌,王海鹏,田鹏,等.赣江流域输沙时空变化特征及其影响因素分析[J].水土保持学报,2025,39(2):200-208,217.
YANG C G G, WANG H P, TIAN P, et al. Spatiotemporal variation characteristics and attribution analysis of sediment transport in the Ganjiang River Basin[J]. Journal of soil and water conservation, 2025, 39(2): 200-208, 217.
- [2] 吴涛,陈鋈,汪红洲.赣江流域防洪工程措施分析[J].水利技术监督,2024(7):125-128.
WU T, CHEN Y, WANG H Z. Analysis of flood control engineering measures in the Gan River Basin [J].

Technical supervision in water resources, 2024 (7): 125-128.

- [3] 余复明.赣江昌邑大桥桥区通航水流条件及可通航船舶尺度分析[J].中国水运,2024(24):11-13.
YU F M. Analysis of navigable flow conditions and navigable ship scales in the bridge area of Changyi Bridge in Ganjiang River [J]. China water transport, 2024(24): 11-13.
- [4] ZHAO J, ZHAO S Q, CHENG X Z. Impact upon navigation conditions of river reach between the two dams by peak shaving at Three Gorges hydropower station[J]. Procedia engineering, 2012, 28: 152-160.
- [5] 刘晶晶,杨红玉,唐晓斌.岩滩水电站升船机改造工程整体水工模型试验研究[J].中国水能及电气化,2025(2):1-9.
LIU J J, YANG H Y, TANG X B. Experimental study on the hydraulic model of the ship lift retrofit project at Yantan hydropower station [J]. China water power & electrification, 2025(2): 1-9.
- [6] 陈婷婷,胡阳,周玉洁,等.航道疏浚对复杂桥群河段通航水流条件影响的试验研究[J].水运工程,2022(9):99-105,111.
CHEN T T, HU Y, ZHOU Y J, et al. Research on influence of channel dredging on navigable flow conditions in complex bridge-group reach [J]. Port & waterway engineering, 2022(9): 99-105, 111.
- [7] 王多银,吴穗庆,段伦良,等.桃源枢纽河段通航水流条件数值模拟[J].水运工程,2025(1):136-144.
WANG D Y, WU S Q, DUAN L L, et al. Numerical simulation of navigation water flow conditions in Taoyuan Hub section [J]. Port & waterway engineering, 2025(1): 136-144.
- [8] HE C K. Study on the impact of different pier structures on navigable flow conditions [J]. IOP conference series: earth and environmental science, 2020, 560(1): 012061.
- [9] 张树青.山区狭窄河道改扩建船闸引航道通航水流条件研究[D].重庆:重庆交通大学,2020.
ZHANG S Q. Research on navigation flow conditions of the approach channel of expansion lock of narrow river in mountainous area [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2020.