

赣江尾间主支枢纽二期围堰预进占施工对通航水流条件的影响

邱 勇¹, 张涛涛², 刘子涵³, 肖 洋^{2,3,4,5}, 吴宇泽³, 吴承景³, 徐林万³

(1. 江西省赣抚尾间整治有限公司, 江西 南昌 330025; 2. 苏州科技大学环境科学与工程学院, 江苏 苏州 215009;
3. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098; 4. 河海大学长江保护与绿色发展研究院, 江苏 南京 210098;
5. 河海大学水灾害防御全国重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要:为保障赣江尾间主支枢纽二期围堰预进占施工期间的通航安全,采用二维水流数值模拟方法,对不同施工场景和工况下临时航道的水动力过程进行了模拟分析,提出了临界通航水流条件和改善措施。结果表明:保留一期上游围堰可以起到导流的作用,能够改善局部通航水流条件;预进占工程会改变河道局部水流流向,对局部航道横向流速有影响,但总体上对航道通航水流条件影响不大;保留一期下游围堰会增大左侧临时航道分流比,显著扩大临时航道纵向流速超过 2 m/s 的范围,对通航不利;在现状、现状围堰拆除和二期围堰预进占施工情况下,调整后的临时航道横向流速超过 0.5 m/s 的断面数量分别比调整前减少 66.7%、70%和 66.7%,通航条件得到明显改善。

关键词: 枢纽工程;通航水流条件;数值模拟;赣江

中图分类号: TV135.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7647(2025)06-0126-08

Impact of pre-advance construction for second-stage cofferdam of main branch project in lower reaches of the Ganjiang River on navigation flow conditions//QIU Yong¹, ZHANG Taotao², LIU Zihan³, XIAO Yang^{2,3,4,5}, WU Yuze³, WU Chengjing³, XU Linwan³ (1. Jiangxi Ganfu Weili Renovation Co., Ltd., Nanchang 330025, China; 2. School of Environmental Science and Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215009, China; 3. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 4. Yangtze Institute for Conservation and Development, Hohai University, Nanjing 210098, China; 5. State Key Laboratory of Water Disaster Prevention, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: To ensure navigation safety during the pre-advance construction period of the second-stage cofferdam at the main branch project in the lower reaches of the Ganjiang River, a two-dimensional hydrodynamic numerical simulation method was employed to model and analyze the hydrodynamic processes of the temporary navigation channel under various construction scenarios and working conditions. Threshold navigation flow conditions and corresponding improvement measures were proposed. The results demonstrate that retaining the upstream section of the first-stage cofferdam serves a flow-diversion function, thereby improving local navigation flow conditions. Although the pre-advance construction alters the local flow direction in the river channel and affects lateral flow velocities in certain sections of the temporary channel, its overall impact on navigation flow conditions remains limited. However, retaining the downstream cofferdam of the first stage increases the diversion ratio of the left temporary channel, significantly expanding the range where longitudinal flow velocities exceed 2 m/s, which adversely affects navigation. After implementing adjustments, the numbers of cross-sections in the temporary channel with lateral flow velocities exceeding 0.5 m/s under current conditions, after removal of the existing cofferdam, and during the pre-advance construction of the second-stage cofferdam decreased by 66.7%, 70%, and 66.7%, respectively, compared to pre-adjustment conditions, indicating a notable improvement in navigation conditions.

Key words: key project; navigation flow condition; numerical simulation; the Ganjiang River

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);水利部重大科技项目(SKS-2022124)

作者简介:邱勇(1988—),男,高级工程师,主要从事水利水电工程研究。E-mail:379321869@qq.com

通信作者:张涛涛(1992—),男,副教授,博士,主要从事水力学及河流动力学研究。E-mail:ztt714521@163.com

赣江位于长江中下游南岸,是江西省第一大江,也是江西省水运大动脉。赣江自南昌以下进入尾间地区,分东西两河,共四汉注入鄱阳湖,是鄱阳湖最大支流。近年来,在气候变化和人类活动影响下,赣江尾间水文情势发生重大变化^[1],面临枯水位下降、枯水期延长、通航保证率降低、水生态环境恶化、水景观变差等问题,严重制约当地经济发展,影响当地人民生活质量^[2-5]。为维护城市水生态空间格局、优化区域水资源配置,政府部门通过在赣江主支、北支、中支及南支河道中下游建闸抬水,科学调控枯水期赣江尾间河道水位,系统解决了赣江尾间水安全问题。拦河枢纽作为大型河段控制工程,在建设过程中施工会对河道水动力过程产生一定影响,进而影响航道通航水流条件。因此,需要开展工程施工的通航影响评价分析。

在工程施工对航道通航水流条件影响研究方面,常用的研究方法包括物理模型试验和数值模拟,其中,数值模拟凭借其经济、高效等优点被广泛用于各类研究中^[6]。例如:周迎等^[7]借助水动力数值模型对闸站水流运动进行模拟,分析了流量和闸门宽度改变对闸后水流流态的影响,为同类闸站合建枢纽工程的优化设计提供了依据;马超等^[8]采用平面二维水流数值模拟方法,通过改变引航道边墙堤头形式、延长引航道边墙并向左岸偏转、增设导流墩等措施提出3个通航水流条件优化方案。在赣江南支枢纽初步设计阶段,方锦涛等^[9]通过物理模型试验分析了运营期航道通航水流条件,对工程的枢纽布置进行了优化;在实际施工中,赣江南支枢纽工程布置方案有一定调整,裴子玥等^[10]采用数值模拟方法,进一步分析了工程调整后施工期和运营期河道水动力过程,为赣江南支枢纽通航安全和运行调度提供参考。赣江主支枢纽位于赣江主支南昌至湖口河段,目前航段全线已达Ⅱ级航道标准,是江西省内河航运最为发达地区。为保障施工期通航,结合工程分期施工方案提出一期工程施工由临时航道通航,二期工程施工由船闸通航。胡雨涵等^[11]通过二维水动力数学模型计算表明一期工程施工时段内临时航道的水深和流速均满足相关通航要求。实际施工过程中,为确保初期蓄水目标任务顺利完成,考虑二期围堰截流戗堤提前预进占施工,同时拆除一期围堰,施工过程中会对航道通航水流条件产生怎样的影响,成为亟须回答的问题。

本文通过构建赣江尾间二维水流数学模型,模拟主支枢纽二期围堰预进占期不同施工场景和工况下临时航道的水动力过程,对比分析一期围堰上下游和预进占施工方案对通航水流条件的影响,并提

出临界通航水流条件和改善措施,以期为保障主支枢纽二期围堰预进占施工期通航安全提供支撑。

1 工程概况

南昌水利枢纽工程主支枢纽位于赣江主支(西河)象山镇鸭洲村附近,闸址距离下游昌邑大桥约5.4 km。主支枢纽主体建筑物由泄水闸、船闸、鱼道和连接挡水建筑物组成,闸址轴线总长1346.7 m,从左至右依次布置了左岸连接段(包括鱼道,长124.6 m)、泄水闸段(长752.8 m)、中间连接段(长218.5 m)、船闸段(长142.8 m)、右岸连接段(长108 m)。泄水建筑物布置在原河槽内,共设17孔,由15孔净宽30 m的常规泄水闸和2孔净宽75 m的大孔闸组成,目前施工期已建成右侧的7孔净宽30 m的常规泄水闸。

根据原设计方案,一期围堰施工期间,通过一期导流临时航道进行通航;一期围堰内船闸建设完成并通过验收后拆除一期围堰,过往船舶全部通过河道右侧船闸通航,并开始二期围堰施工。由于试运行初期蓄水时间节点提前,在拆除一期围堰、二期围堰预进占施工期间,船闸还不具备通航条件,仍需通过一期临时航道进行通航。当前上游一期围堰和下游一期围堰保留,主支枢纽施工期平面布置见图1,二期围堰预进占纵断面见图2。主支枢纽二期围堰预进占期采用临时航道通航。我国目前尚无临时航道通航水流条件标准,参考GB 50139—2014《内河通航标准》,船闸引航道最大纵向流速限值为2.0 m/s,横向流速限值为0.3 m/s,回流流速限值为0.4 m/s。赣江属鄱阳湖水系,该流域通常采用“表

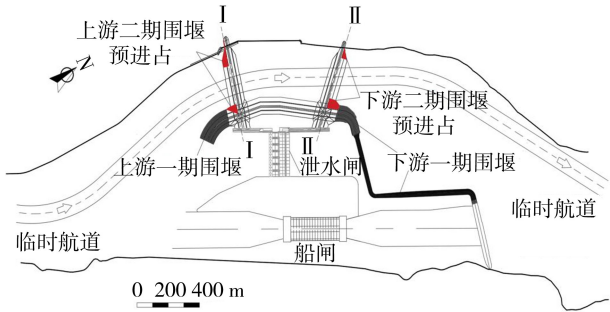


图1 主支枢纽施工期平面布置

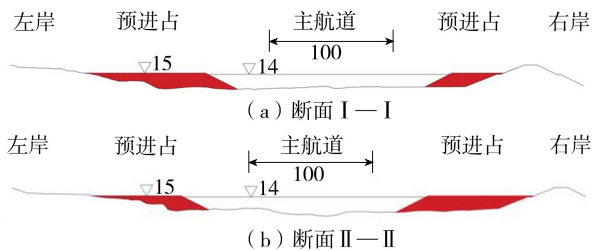


图2 二期围堰预进占纵断面(单位:m)

面流速不超过 2 m/s”作为控制指标,且本工程河段临时航道条件相对较好、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,将船舶安全航行水流条件确定为:纵向流速不超过 2 m/s,当横向流速达到或超过 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

在天然河道内的明渠流动中,由于水平尺度远大于垂向尺度,水流相关参数沿水平方向的变化幅度也比沿垂直方向的变化幅度要大得多。因此,本文忽略水流参数在垂直方向上的变化,假设动水压强沿水深方向的分布符合静水压强分布规律,得到非守恒形式的二维浅水方程:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial z}{\partial x} + F_x + \frac{1}{h} \text{div}(h\nu_e \cdot u) \tag{2}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial z}{\partial y} + F_y + \frac{1}{h} \text{div}(h\nu_e \cdot v) \tag{3}$$

式中: h 为水深; t 为时间; u 、 v 分别为 x 、 y 方向上的流速; g 为重力加速度; z 为自由表面高程; F_x 、 F_y 分别为 x 、 y 方向动力方程的源或汇; ν_e 为黏性系数。模型通过有限元法进行离散,结合隐式时间积分方法,计算每个节点上的水深和流速等,实现对二维浅水方程组的高效求解^[12]。

2.2 模型建立

本文建立了无枢纽模型、二期围堰预进占期模型两个二维水流数学模型,其中无枢纽模型用于模型率定和验证,二期围堰预进占期模型用于研究主支枢纽在二期围堰预进占期的航道通航水流条件。目前赣江尾间四支枢纽工程大部分已经建成,将对尾间水动力过程产生影响,模型范围需涵盖四支枢纽工程,故将上游边界设置在外洲站断面,四支下游边界均设置在对应枢纽工程下游断面。模型计算区域面积约 94 km²。模型采用三角形网格,最大网格尺寸为 30 m,枢纽构筑物局部网格尺寸为 1~5 m,共 442 325 个网格。模型上游给定外洲站流量过程,下游给定四支水位过程。二期围堰预进占期模型范围及主支枢纽网格划分如图 3 所示。

2.3 模型验证

在赣江主支布设 4 个测验断面(CS1、CS2、CS3、CS4),于 2019 年 7 月、2020 年 9 月、2020 年 10 月进行了现场水文测验,分别对应高、中、低 3 种流量工

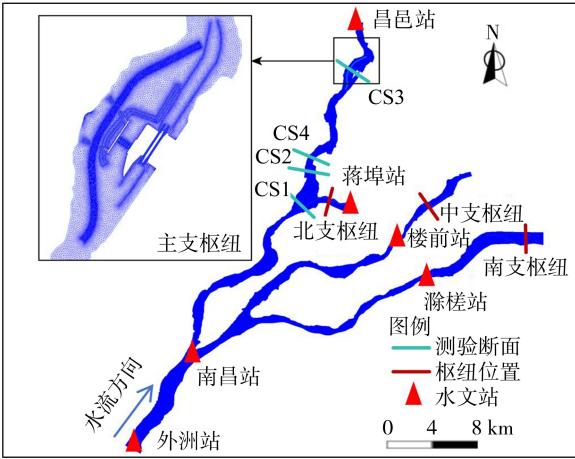


图 3 二期围堰预进占期模型范围及主支枢纽网格划分示意图

况(3 780、2 800、470 m³/s),测验断面分布见图 3。将 3 种工况对应的上下游边界条件输入模型,模型采用的曼宁系数为 0.024,涡黏系数为 0.5,计算水位与实测水位的对比结果如表 1 所示,实测和模型计算水位均为主槽中心处水位。可以看出,计算值与实测值较为接近,水位差最大不超过 0.02 m。选取 $Q=2\,800\text{ m}^3/\text{s}$ 工况下 CS1、CS2、CS3 断面的流速和流向进行验证,实测和模型计算流速均为垂向平均流速,结果如图 4、表 2 所示。图 4 为沿断面宽度方向的流速分布对比情况,可以看出,模拟的断面流速分布与原型基本一致,平均相对误差为 7.6%,个别测点的模拟值与实测值相差较大,可能是由于河道地形变化和水流非恒定导致。在相同的测点位置,模拟与实测流向的平均绝对误差为 9.6°(见表 2),与原型分布规律基本一致。验证结果符合 JTS/T 231—2021《水运工程模拟试验技术规范》要求。

表 1 各断面水位验证情况

工况	断面编号	实测水位/m	计算水位/m
$Q=470\text{ m}^3/\text{s}$	CS1	14.33	14.35
	CS2	14.21	14.27
	CS3	14.03	14.05
$Q=2\,800\text{ m}^3/\text{s}$	CS1	16.26	16.30
	CS2	16.12	16.15
	CS3	15.95	16.00
$Q=3\,780\text{ m}^3/\text{s}$	CS4	16.55	16.57

2.4 工况设置

赣江尾间在 21 世纪初河床下切严重,水位和分流比发生了较大变化,近年来河床演变趋于稳定,因此选择 2011—2022 年历史水文数据进行分析。鉴于工程施工影响周期为 6 月 15 日至 8 月 15 日,故分析该时段历史水文数据。基于“相同水位选取最大流量、相同流量选取最低水位”的原则,选取水位低于围堰和漫堰 6 个流量工况作为典型工况进行模拟分析,工况见表 3。根据同期各水文站数据,将南

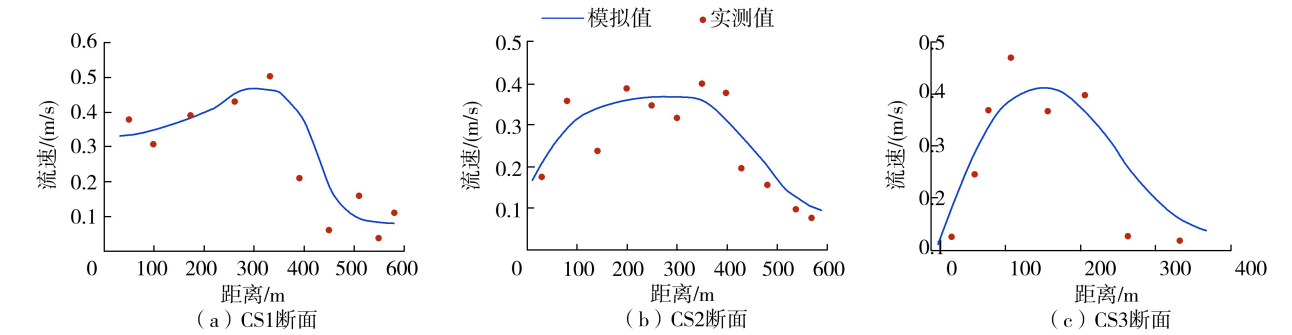


图 4 各断面流速验证情况 ($Q=2800\text{ m}^3/\text{s}$)

表 2 各断面流向验证情况 ($Q=2800\text{ m}^3/\text{s}$)

断面	类别	流向/(°)											
		测点 1	测点 2	测点 3	测点 4	测点 5	测点 6	测点 7	测点 8	测点 9	测点 10	测点 11	测点 12
CS1	实测	157.2	62.6	47.1	60.2	49.8	114.3	208.3	301.0	323.1	254.1		
	模拟	142.5	53.8	40.2	72.2	51.2	105.2	199.5	310.6	312.5	241.0		
CS2	实测	274.5	356.8	346.6	59.9	13.0	354.8	21.3	8.5	356.9	287.6	265.4	135.0
	模拟	265.2	344.4	350.2	43.5	25.3	340.2	31.5	15.5	342.8	280.5	251.2	140.2
CS3	实测	309.3	5.4	355.1	21.9	3.6	345.3	274.1	32.8				
	模拟	299.2	10.6	345.5	30.5	10.3	333.9	265.8	40.8				

表 3 典型计算工况

工况	外洲站流量/ (m^3/s)	水位/ m				
		南昌站	主支	北支	中支	南支
GK1	1320	12.84	12.26	12.54	12.63	12.69
GK2	3160	14.09	13.01	13.7	13.84	13.99
GK3	6450	15.58	14.25	14.89	14.88	15.33
GK4	11000	18.09	15.91	17.15	17.18	17.71
GK5	17800	20.29	17.94	19.23	19.25	19.48
GK6	19100	20.84	18.37	19.73	19.75	19.66

昌站与各支枢纽水位站水位外延,获得相应工况下四支下游边界水位条件。此外,为保证施工期通航安全,通过设置 7 个场景(表 4)进行对照,探究不同施工方案对临时航道通航水流条件的影响,从而提出临界通航水流条件和改善措施,施工方案考虑了二期围堰预进占施工、一期上游围堰拆除、一期下游围堰拆除(一期上下游围堰如图 1 中黑色部分所

示)。为分析不同工况下航道通航水流条件,在临时航道内选取了 28 个垂直航道轴向的监测断面(断面 1~28,见图 5),各断面等距布置 3 个监测点,监测点号从左岸至右岸依次排序,用于提取水流横向和纵向流速(纵向流速为正表示顺水流方向,为负表示逆水流方向;横向流速为正表示垂直水流向右岸方向,为负表示垂直水流向左岸方向)。

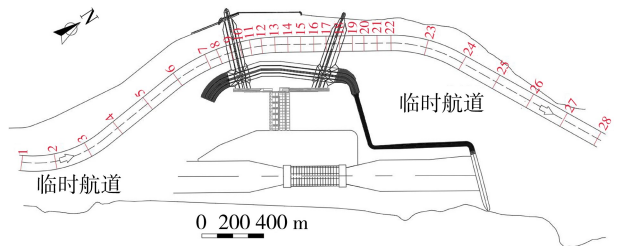


图 5 二期围堰预进占期临时航道内监测断面示意图

表 4 不同场景施工方案及其对应工况

场景	施工方案	对应工况
0	无预进占,保留一期上游围堰,一期下游围堰全部拆除,泄水闸全开	GK4、GK5、GK6
1	有预进占,保留一期上游围堰,一期下游围堰全部拆除,泄水闸全关(流量小、避免上游横向流速过大)	GK1、GK2、GK3
2	有预进占,保留一期上游围堰,一期下游围堰全部拆除,泄水闸全开	GK4、GK5、GK6
3	有预进占,一期上游围堰拆除,一期下游围堰全部拆除,泄水闸全关(流量小、避免上游横向流速过大)	GK1、GK2、GK3
4	有预进占,一期上游围堰拆除,一期下游围堰全部拆除,泄水闸全开	GK4、GK5、GK6
5	有预进占,保留一期上下游围堰,泄水闸全开	GK4、GK5、GK6
6	有预进占,一期上游围堰拆除,保留一期下游围堰,泄水闸全开	GK4、GK5、GK6

3 结果与分析

3.1 不同施工方案对通航的影响

对表 4 中各施工场景下的工况进行模拟计算,以各场景的最大流量工况为例(结果如图 6 和图 7 所示),使用控制变量法对结果进行对比分析。

3.1.1 一期上游围堰对水流条件的影响

对比场景 1 和场景 3、场景 2 和场景 4,可以分别分析小流量、大流量工况下一期上游围堰拆除对临时航道水流条件的影响。总的来说,上游来流量越大,航道纵向和横向流速越大。由图 7 可知,在小流量工况下(GK3),临时航道各断面纵向、横向流速总体满足通航要求,仅断面 12、18 和 19 流速略微超过限值。一期上游围堰拆除对航道纵向流速影响较

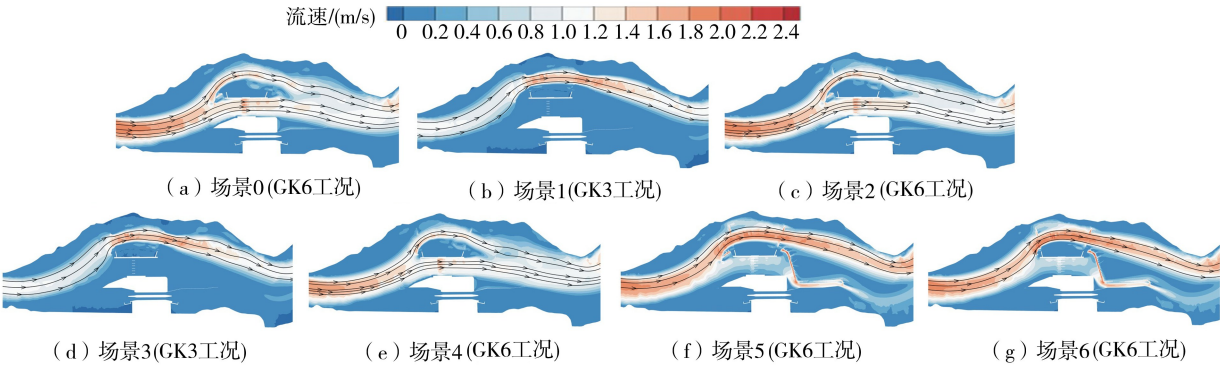


图6 不同场景下最大流量工况的流速云图

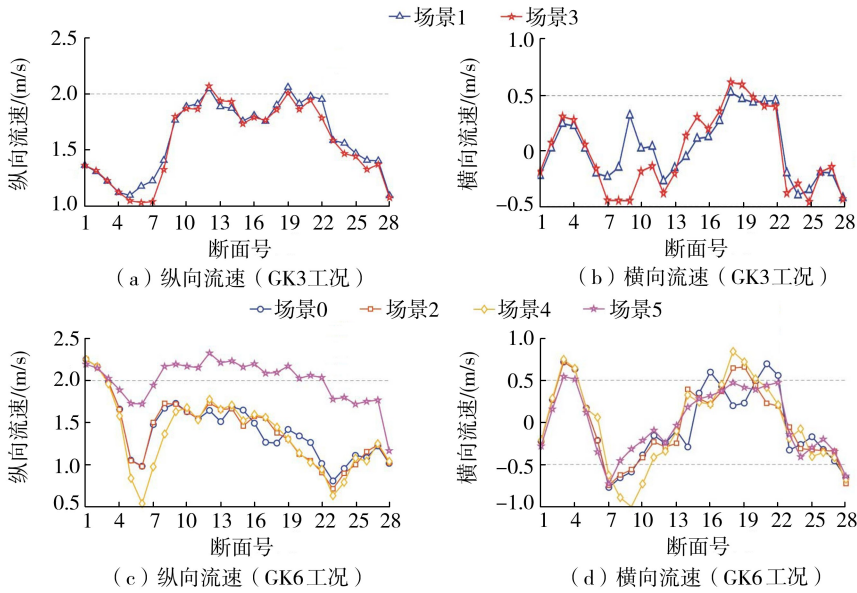


图7 不同工况下各场景纵向和横向流速对比

小,最多会降低上游预进占入口段(断面4~8)纵向流速0.19 m/s,对其他断面的纵向流速影响不大;一期上游围堰拆除会导致上游预进占断面附近(断面7~11)横向流速变化幅度较大,且断面9~11范围内的横向流速方向发生改变,横向流速大小会增加0.1~0.3 m/s,同时使得航道最大横向流速由0.53 m/s增加到0.62 m/s(断面18)。在大流量工况下(GK6),一期上游围堰拆除对纵向流速影响最大的断面为断面7,流速降低了0.52 m/s;对横向流速影响最大区域为断面8~10和断面18,最大横向流速由0.74 m/s增加到1.0 m/s。结合图6(b)(d)和图6(c)(e)的流场可知,靠近一期上游围堰的水流流态较为平顺,转角较小,说明保留上游围堰能够起到局部导流作用,降低航道横向流速。

3.1.2 预进占对水流条件的影响

在保留一期上游围堰、全部拆除一期下游围堰的基础上,通过对比有无预进占的场景(即场景2和场景0)可以分析预进占施工对通航水流条件的影响。在大流量工况下(GK6),场景2和场景0上游预进占附近的最大纵向和横向流速相差不大,主

要是由于保留一期上游围堰起到了一定的导流作用,使得进入预进占的水流较为平稳。对比图6(a)和图6(c)可知,下游预进占出口断面附近流速大小无明显变化,但由于预进占施工会改变河道局部水流流向,导致下游预进占出口处水流流向与航道轴线的夹角平均增大约25°,使得下游预进占附近(断面18和19)最大横向流速超过0.5 m/s,分别为0.64/0.65 m/s,同时降低了断面16、21和22的横向流速,但横向流速最大值和超过0.5 m/s的断面数差异不大。综上,二期围堰预进占施工对局部航道横向流速有影响,但总体上对航道通航水流条件影响不大。

3.1.3 一期下游围堰对水流条件的影响

通过对比有无一期下游围堰的场景(即场景5和场景2)可以分析一期下游围堰对通航水流条件的影响。由图7可知,在大流量工况下(GK6),保留一期下游围堰可以使得断面18和19的最大横向流速降低至0.5 m/s以下,但会导致断面8~22的纵向流速大于2 m/s。结合图6(c)(f)的流场和提取的数据(表5)可以发现,保留一期下游围堰虽然可以

一定程度改善航道断面横向流速,但会显著增加左侧临时航道分流比 0.29~0.39,使得纵向流速超过 2 m/s 的断面数量由 2 个增加至 18 个,同时最高抬高闸上水位 8 cm,对通航、泄流将产生不利影响。

表 5 场景 2 和场景 5 下的主支闸址水位和分流比

场景	工况	主支闸址水位/m	左侧临时航道分流比
2	GK4	16.51	0.44
	GK5	18.56	0.44
	GK6	19.01	0.44
5	GK4	16.59	0.83
	GK5	18.64	0.77
	GK6	19.00	0.73

3.2 临界通航流量条件

由上述分析可知,保留一期上游围堰、拆除一期下游围堰对通航和泄洪有利。为进一步分析不同施工方案下通航临界外洲站流量值,根据表 3 中典型工况边界条件,进一步细化上游外洲站来流量大小(间隔约 1000 m³/s),并模拟计算了不同来流情况下的水动力过程,不同场景下航道断面测点最大纵向流速和横向流速结果如图 8 所示。图 8 中现状场景是指预进占不施工,一期围堰保留上下游现状;现状围堰拆除场景是指预进占不施工,保留一期上游围堰、拆除一期下游围堰;二期预进占场景是指二期围堰预进占施工,保留一期上游围堰、拆除一期下游围堰。由图 8 可知,在不同施工方案下,航道各断面纵向、横向流速最大值均随上游来流量增加呈线性增加关系,外洲站流量每增大 1000 m³/s,纵向、横向流速最大值增幅分别约为 0.05、0.02 m/s。同流量情况下,不同施工方案下航道最大纵向流速差异不大,一期下游围堰拆除会增大航道最大横向流速,

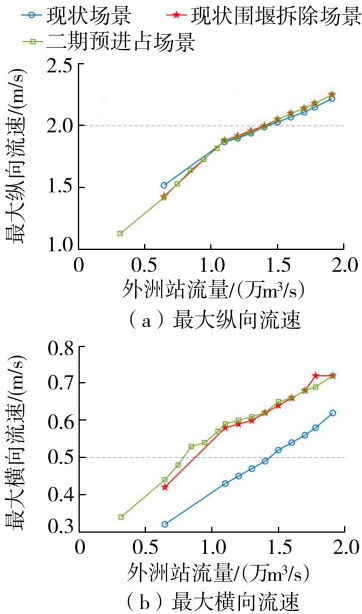


图 8 不同场景下航道最大纵向流速和最大横向流速

一期下游围堰拆除后预进占工程施工对航道最大横向流速无显著影响。分析可知,在现状、现状围堰拆除、二期预进占场景下,当外洲站流量等于 14 000 m³/s 时,临时航道内最大纵向流速达到 2 m/s,达到纵向流速通航临界条件。对于横向流速通航临界条件,现状、现状围堰拆除、二期预进占场景下出现航道横向流速超过 0.5 m/s 时对应外洲站流量分别为 14 000、8 450、7 450 m³/s,流量进一步增大,需采取通航保障措施。

图 9 为不同场景下航道内流速超过 2 m/s 区域的面积。可以看出,现状场景下由于一期围堰的阻碍作用,流速超过 2 m/s 区域的面积随上游流量增加呈指数型增长,一期围堰拆除后,流速超过 2 m/s 区域的面积随上游流量增加呈线性增大趋势,且面积明显小于现状场景。在流量为 19 100 m³/s 工况下,现状场景下航道内流速超过 2 m/s 区域的面积大约是围堰拆除场景下面积的 40 倍,表明下游围堰壅水对航道通航水流条件产生了极大不利影响。相对来说,预进占虽然会对航道产生不利影响,但影响程度仅为下游围堰的 0.56%。因此,在类似工程的建设过程中,应综合考虑施工区域与上下游现有条件对航道通航能力的影响,尤其需要关注下游的阻水型建筑物,其可能会对航道通航条件产生显著的不利影响。

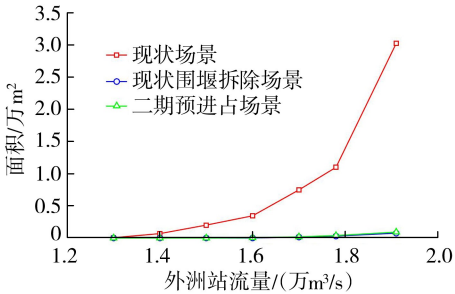


图 9 不同场景下航道内流速大于 2 m/s 区域的面积

3.3 航道优化调整

上述计算结果表明,大流量情况下,现状场景、现状围堰拆除场景和二期预进占场景下均存在横向流速超过 0.5 m/s 的断面,主要集中在泄水闸与左侧围堰分流处、下游河道弯道处、二期围堰预进占附近,主要原因是引航道轴线方向与流向交角过大(局部超过 20°,下游河道拐角处超过 30°)。因此,对临时航道轴线方向进行调整,以减小航道横向流速,调整后的临时航道布置如图 10 所示,调整前后各断面最大横向流速见图 11。

3.3.1 现状场景

现状场景下,航道调整前在 GK6 工况下最大纵向流速为 2.22 m/s,流速超过 2 m/s 的断面数为 6;

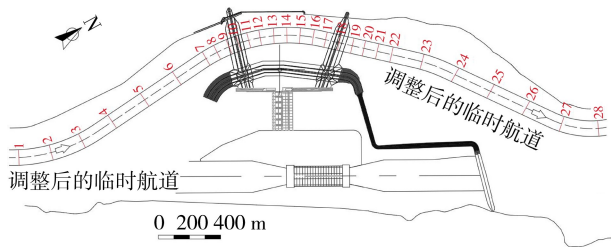


图 10 调整后的二期围堰预进占期临时航道内
监测断面示意图

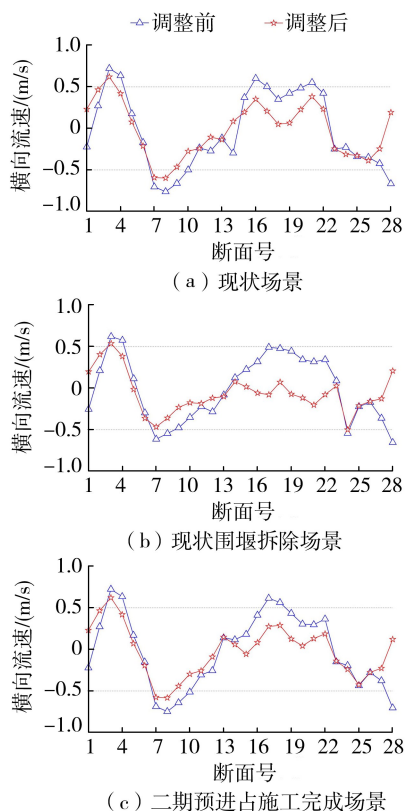


图 11 航道调整前后断面最大横向流速 (GK6 工况)

相同流量工况下调整后的航道最大纵向流速为 2.24 m/s,流速超过 2 m/s 的断面数为 8,变化不大。航道调整前横向流速超过 0.5 m/s 的断面数为 6,调整后超过 0.5 m/s 的断面数为 2,减少 66.7%,表明调整后的通航水流条件得到明显改善。

3.3.2 现状围堰拆除场景

现状围堰拆除场景下,航道调整前在 GK6 工况下最大纵向流速为 2.25 m/s,流速超过 2 m/s 的断面数为 6;相同流量工况下调整后的航道最大纵向流速为 2.27 m/s,流速超过 2 m/s 的断面数为 6,变化不大。航道调整前横向流速超过 0.5 m/s 的断面数为 10,调整后超过 0.5 m/s 的断面数为 3,减少 70%,表明调整后的通航水流条件得到明显改善。

3.3.3 二期预进占施工完成场景

二期预进占施工完成场景下,航道调整前在 GK6 工况下最大纵向流速为 2.25 m/s,流速超过

2 m/s 的断面数为 6;相同流量工况下调整后的航道最大纵向流速为 2.27 m/s,流速超过 2 m/s 的断面数为 6,变化不大。航道调整前横向流速超过 0.5 m/s 的断面数为 9,调整后超过 0.5 m/s 的断面数为 3,减少 66.7%,表明调整后的通航水流条件得到明显改善。

综上,在大流量工况下,调整后的航道在现状场景、现状围堰拆除场景和二期预进占施工完成场景下均能使通航水流条件得到明显改善。

4 结 论

a. 二期围堰预进占工程对闸址水位、左侧河道分流无显著影响;保留一期上游围堰,可调整临时航道水流流向,改善局部航段通航水流条件;保留一期下游围堰,会显著增加左侧临时航道分流比 0.29~0.39,同时最多抬高闸上水位 8 cm,不利于泄洪,并且会显著增加左侧临时航道纵向流速超过 2 m/s 的范围,对通航产生不利影响。

b. 现状场景、现状围堰拆除场景和预进占场景下,外洲站流量大于 14 000 m³/s 时,临时航道内会出现最大纵向流速大于 2 m/s 的断面。现状场景、现状围堰拆除场景和预进占场景下,外洲站流量分别大于 14 000、8 450、7 450 m³/s 时,临时航道内会出现最大横向流速大于 0.5 m/s 的断面,需要采取通航保障措施。

c. 在 19 100 m³/s 流量工况下调整后的临时航道在现状场景、围堰拆除场景和预进占场景的横向流速超过 0.5 m/s 的断面数量分别减少 66.7%、70%和 66.7%,表明调整后的航道能使通航水流条件得到明显改善。

d. 在类似工程的建设过程中,应综合考虑施工区域与上下游现有条件对航道通航能力的影响,尤其需要关注下游的阻水型建筑物,其可能会对航道通航条件产生显著的不利影响。

参考文献:

- [1] 张广明,胡雨涵,陈斌,等.赣江象山枢纽闸门调度模型试验研究[J].水利与建筑工程学报,2023,21(6):157-165. (ZHANG Guangming, HU Yuhuan, CHEN Bin, et al. Experimental study on the sluices operation model of Xiangshan hydro-junction of Ganjiang River[J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2023, 21(6):157-165. (in Chinese))
- [2] 张庆华,刘建虎.赣江下游尾间河道演变与生态治理方法研究[J].珠江水运,2024(18):131-133. (ZHANG Qinghua, LIU Jianhu. Study on the evolution and ecological management of the lower reaches of Ganjiang

River[J]. Pearl River Water Transport, 2024(18): 131-133. (in Chinese))

[3] 唐立模,叶志恒,杨家启,等. 赣江南昌河段水位降低现状 & 影响因素[J]. 水利水电科技进展, 2018, 38(6): 13-18. (TANG Limo, YE Zhiheng, YANG Jiaqi, et al. Status analysis and influence factors of water level dropping in Nanchang reach of Ganjiang River [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2018, 38(6): 13-18. (in Chinese))

[4] 胡苑成,陈龙,杨欢. 赣江尾闾防洪形势变化分析[J]. 长江科学院院报, 2024, 41(12): 202-208. (HU Yuancheng, CHEN Long, YANG Huan. Changes in flood control regime for the tail of Ganjiang River[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2024, 41(12): 202-208. (in Chinese))

[5] 戴中山,李海峰. 2011—2020 年赣江上游主要流水沙变化特征[J]. 水土保持研究, 2024, 31(1): 178-186. (DAI Zhongshan, LI Haifeng. Variation of runoff and sediment in the main tributaries of the upper Ganjiang River in the period from 2011 to 2020 [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(1): 178-186. (in Chinese))

[6] 陈龙,李友辉,李明辉,等. 二维非恒定流数学模型在赣江河流治导线研究中的应用[J]. 水利水电科技进展, 2013, 33(4): 18-21. (CHEN Long, LI Youhui, LI Minghui, et al. Application of a two-dimensional unsteady flow model in research of regulation line of Gan River[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2013, 33(4): 18-21. (in Chinese))

[7] 周迎,肖瑜,张书花. 闸站合建枢纽对渠道水流流态影响的数值模拟研究[J]. 陕西水利, 2022(1): 34-36. (ZHOU Ying, XIAO Yu, ZHANG Shuhua. Numerical simulation study on the influence of joint junction of gate station on channel flow pattern [J]. Shaanxi Water Resources, 2022(1): 34-36. (in Chinese))

[8] 马超,陈明,周绪生,等. 岷江张坎航电枢纽船闸引航道通航水流条件优化[J]. 水运工程, 2024(7): 124-130. (MA Chao, CHEN Ming, ZHOU Xusheng, et al. Optimization of navigable flow conditions for approach channel of Zhangkan navigation-power junction ship lock on Minjiang River [J]. Port & Waterway Engineering, 2024(7): 124-130. (in Chinese))

[9] 方锦涛,赵建钧,辜晋德,等. 赣江南支吉里枢纽通航水流条件试验研究及其优化措施[J]. 水运工程, 2022(6): 139-144. (FANG Jintao, ZHAO Jianjun, GU Jinde, et al. Experimental study on navigable flow conditions of Jili junction in southern branch of Ganjiang River and optimization measures[J]. Port & Waterway Engineering, 2022(6): 139-144. (in Chinese))

[10] 裴子玥,肖洋,张涛涛,等. 赣江尾闾南支枢纽通航水流条件数值模拟研究[J]. 水运工程, 2024(5): 143-150. (PEI Ziyue, XIAO Yang, ZHANG Taotao, et al. Numerical simulation of navigable water conditions at Nanzhi hydrojunction in Ganjiang River [J]. Port & Waterway Engineering, 2024(5): 143-150. (in Chinese))

[11] 胡雨涵,王志超,郝嘉凌,等. 赣江象山枢纽一期临时航道通航水流数值模拟应用研究[J]. 江西水利科技, 2022, 48(2): 87-92. (HU Yuhan, WANG Zhichao, HAO Jialing, et al. Application research on numerical simulation of navigable flow in the temporary channel of the first-stage Xiangshan junction of Ganjiang River[J]. Jiangxi Hydraulic Science & Technology, 2022, 48(2): 87-92. (in Chinese))

[12] 都利亚,王兆礼,祁旭阳,等. 基于 TELEMAC-2D 模型的城区水库溃坝洪水数值模拟: 以广州市龙洞水库为例[J]. 地球科学与环境学报, 2022, 44(5): 850-859. (DU Liya, WANG Zhaoli, QI Xuyang, et al. Numerical simulation of dam-break flood in urban area based on TELEMAC-2D model: a case study for Longdong Reservoir in Guangzhou, China [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2022, 44(5): 850-859. (in Chinese))

(收稿日期: 2024-11-29 编辑: 俞云利)

(上接第 106 页)

[30] 李星星,王思敬,肖锐铨,等. 硫酸钠溶液在降温结晶过程中的盐胀与冻胀[J]. 岩土工程学报, 2016, 38(11): 2069-2077. (LI Xingxing, WANG Sijing, XIAO Ruihua, et al. Saline expansion and frost heave of sodium sulfate solution during cooling crystallization process[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2016, 38(11): 2069-2077. (in Chinese))

[31] MOHAMMED B S, HARUNA S, WAHAB M M B A W. Optimization and characterization of cast in-situ alkali-activated pastes by response surface methodology [J]. Construction and Building Materials, 2019, 225: 776-787.

[32] 魏浩光,高璇,周仕明,等. 激发剂对碱矿渣水泥砂浆中碱-硅酸反应的影响[J]. 硅酸盐通报, 2021, 40(4): 1266-1272. (WEI Haoguang, GAO Xuan, ZHOU Shiming, et al. Effects of activators on alkali-silica reaction in alkali-activated slag cement mortars [J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2021, 40(4): 1266-1272. (in Chinese))

[33] LI Changming, FU Yubing, CHENG Haifeng, et al. Development of environment-friendly engineering composite materials utilizing PISHA sandstone and solid waste under different curing conditions [J]. Case Studies in Construction Materials, 2024, 20: e02925.

[34] 李长明,张婷婷,王立久. 砒砂岩火山灰活性及碱激发改性[J]. 硅酸盐学报, 2015, 43(8): 1090-1098. (LI Changming, ZHANG Tingting, WANG Lijiu. Pozzolanic activity of Pisha sandstone and mechanical properties of alkali-activated PISHA sandstone materials [J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 2015, 43(8): 1090-1098. (in Chinese))

(收稿日期: 2025-02-19 编辑: 熊水斌)