



急弯河段新建船闸上游引航道通航条件研究

张湛¹, 刘洋¹, 赵凯²

(1. 重庆交通大学, 西南水利水运工程科学研究院, 重庆 400016; 2. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 在急弯河段已建枢纽上新建船闸工程, 船闸布置受限因素众多, 通航条件复杂。为分析船闸引航道通航水流条件, 建立袁河石洲枢纽 1:80 正态物理模型, 开展急弯河段船闸上游引航道通航水流条件试验, 对比隔流堤不同长度口门区的流速分布, 同时结合自航船模试验分析船闸口门区通航条件。结果表明, 延长隔流堤对减小口门区横向流速峰值、改善流态作用明显; 隔流堤延长 250 m 时, 石洲船闸上游引航道最高通航流量可达到规范要求的 20 a 一遇洪水。

关键词: 急弯河段; 上游引航道; 口门区; 通航条件

中图分类号: U612.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)07-0104-07

Navigation conditions of approach channel upstream of newly built ship lock in sharp bend river section

ZHANG Zhan¹, LIU Yang¹, ZHAO Kai²

(1. Southwest Research Institute for Hydraulic and Water Transport Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400016, China; 2. CCCC Water Transport Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: The construction of a new ship lock project on the existing hub in the sharp bend river section has many restricted factors in the layout of the ship lock and complex navigation conditions. In order to analyze navigation flow conditions of the ship lock approach channel, we establish a 1:80 normal physical model of the Yuanhe Shizhou hub, and conduct tests on navigation flow conditions of the upstream approach channel of the ship lock. Then we compare the flow velocity distribution in the entrance area of different lengths of the separation dike, and analyze navigation conditions of the entrance area of the ship lock in combination with self-propelled ship model tests. The results indicate that extending the separation dike has a significant effect on reducing the peak lateral flow velocity in the entrance area and improving the flow pattern. When the separation dike is extended by 250 meters, the maximum navigable flow of the upstream approach channel of Shizhou ship lock can reach the standard requirement of a once-in-20-year flood.

Keywords: sharp bend river section; upstream approach channel; entrance area; navigation condition

船闸引航道是为了保障船舶航行安全而在船闸附近设立的航行通道, 是连接船闸与主航道的重要纽带。引航道通航水流条件决定了船舶能否顺利进出船闸安全航行, 是船闸通航的关键所在。对于新建枢纽船闸引航道通航水流条件, 许多学者进行了广泛研究^[1-8], 主要采用物理模型、数值模拟或者两者相结合的研究方法, 提出改善船闸引航道口门区通航水流条件的优化措施, 包括调整导航墙(隔流堤)长度或导航墙与水流方向夹

角, 设置导流墩、导航墙开孔、河床疏浚以及优化枢纽运行方式等。如李艳等^[9]建立整体定床物理模型, 研究枢纽船闸引航道及口门区通航水流条件, 对比延长导墙长度、增大河床开挖以及设置导流墩等工程措施对水流条件的影响, 提出引航道推荐布置方案; 郑星伟等^[10]建立二维水动力数值模拟模型, 优化导流堤布置形式、尺寸参数等, 提出枢纽下游引航道导流堤建议布置方案; 张羽等^[11]采用物理模型与数值模拟相结合的方法,

收稿日期: 2023-11-05

作者简介: 张湛(1980—)男, 硕士, 助理研究员, 从事水利、水运工程方面的研究。

分析闸门不同调度方式下,船闸上游引航道及口门区的水力特性。

船闸引航道首选布置在通航条件较好的顺直开阔河段,有利于船舶安全航行。相对而言,在急弯河段已有枢纽上增建(扩建)船闸工程,受河势条件和已有建筑物的限制,船闸布置选择余地十分有限,通航水流条件也更加复杂,引航道流速和流态往往难以满足通航要求,对于此类工程通航水流条件需要开展深入研究,提出适宜的改善措施,优化通航环境。本文以袁河石洲枢纽新建船闸工程为例,建立整体物理模型,开展通航水力学试验,分析不同隔流堤长度对船闸上游引航道口门区流速分布的影响,提出隔流堤的最佳尺寸。研究成果可供类似工程参考借鉴。

1 工程概况

袁河是“十四五”时期江西省航道建设发展重点建设通航河流,是江西省高等级航道网“两横一纵十支”中的重要一支。袁河航道提升工程自上而下布置石洲、笏洲、龙尾洲3个梯级,规划航道里程108 km,规划航道等级为Ⅲ级,2025年提升至Ⅱ级。

石洲枢纽为袁河航道提升工程3个枢纽的第1级。该枢纽为已建工程,主要建筑物总体布置沿轴线从左至右依次为:左岸土坝、连接坝段(鱼道段)、电站厂房、泄水闸、连接坝段、右岸土坝。新建船闸临右岸布置,通航建筑物为Ⅱ级船闸,船闸有效尺寸230 m×34 m×5.0 m(长×宽×门槛水深),船闸设计最高通航流量采用20 a一遇洪水(2 560 m³/s)。设计代表船型为2 000吨级货船,主尺寸为88 m×13.8 m×3.4 m(长×宽×吃水)。船闸上、下游引航道按不对称布置,均采用向右侧岸边扩展的方式布置。船舶采用“曲线进闸、直线出闸”方式过闸。

2 模型设计与验证

2.1 模型设计与制作

物理模型采用几何比尺1:80正态模型。模型范围包括坝轴线上游2.6 km—下游2.1 km共计长约4.7 km的原型河道,见图1。

模型制作以2021年7月实测1:2 000河道地形图为基础,平面位置采用三角网和主、副导线进行控制,高程由水准仪进行测定。表层采用水泥砂浆抹面进行硬化处理,泄洪闸、船闸等挡水建筑物采用聚氯乙烯塑料板制作,见图2。

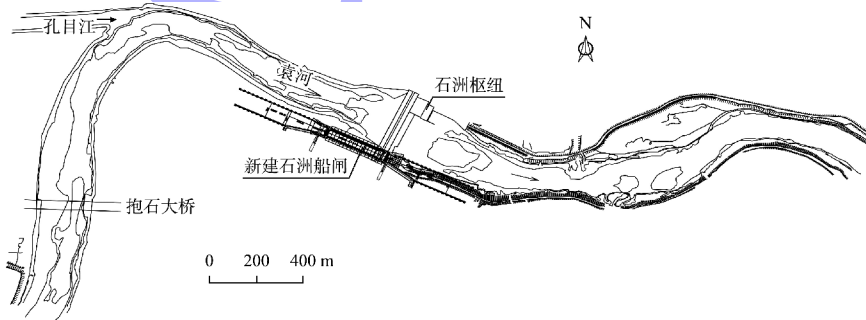


图1 模型布置



图2 袁河石洲枢纽模型

2.2 模型验证

根据2019-07-10流量2 570 m³/s、2022-06-06流量1 090 m³/s和2022-07-06流量274 m³/s实测水面线资料对模型进行验证,结果见图3。可以看出,通过调整模型糙率,模型水位与原型差值在0.10 m以内,满足河床阻力相似的要求。

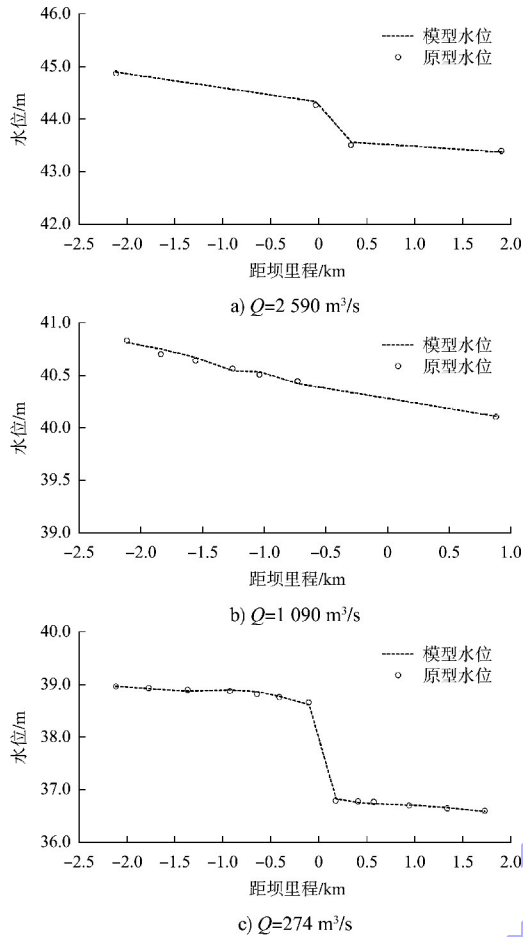


图3 模型沿程水面线验证

3 通航水流条件试验

3.1 通航水流条件评判标准

JTJ 305—2001《船闸总体设计规范》^[12](简称“规范”)要求: II级船闸口门区纵向流速不应大于2.0 m/s, 横向流速不应大于0.30 m/s, 回流流速不应大于0.40 m/s。船闸引航道导航和调顺段内宜为静水区, 制动段和停泊段的水面纵向流速不应大于0.50 m/s, 横向流速不应大于0.15 m/s。

3.2 设计方案试验

3.2.1 平面布置

石洲枢纽船闸上游引航道两侧布置为曲线导航墙, 沿船闸轴线方向投影长度141 m。导航墙采用重力式结构, 墙顶高程47.74 m, 停泊段长230 m, 靠船墩布置在岸侧, 设12个靠船墩, 间距20 m, 采用斜坡式护岸, 边坡1:3。上游引航道底宽70.0 m, 底高程36.50 m。船闸引航道与泄水闸之间采用墩板式隔流堤隔开, 长度约334.5 m, 堤顶高程46.74 m, 见图4。

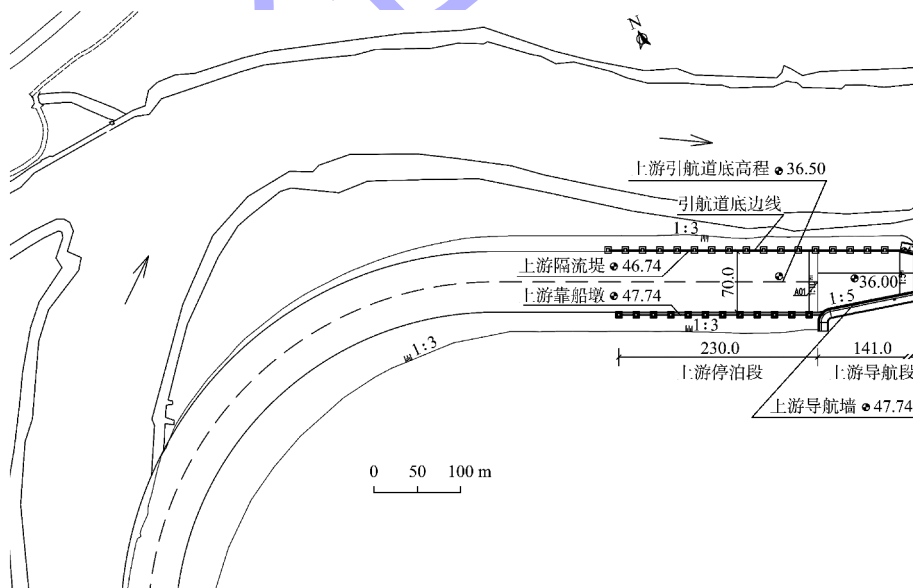


图4 设计方案船闸上游引航道平面布置(单位:m)

3.2.2 通航水流条件试验成果

石洲枢纽上游河段河势急弯, 设计方案船闸上游引航道布置于右岸滩地之上。受弯道水流影

响, 中枯水期, 水流扫弯, 主流带位于河道左侧深槽, 右岸滩地出露, 主流对上游引航道通航水流条件无影响。来流量在1 830 m³/s以下时, 船

闸上游引航道口门区基本为静水, 各项流速指标均满足规范要求, 水流平顺, 流态较好。洪水期, 水流漫滩, 主流取直, 船闸上游引航道口门区斜流显著, 流态较差。遇流量 $2\,200\text{ m}^3/\text{s}$ (10 a 一遇) 时, 水流开始淹没右岸滩地, 口门区最大纵向流速 0.47 m/s , 最大横向流速 0.42 m/s , 横向流速超过规范允许值, 流速超标范围 $44\text{ m}\times 10\text{ m}$ (长 \times

宽), 位于航道边缘区域附近。遇流量 $2\,560\text{ m}^3/\text{s}$ (20 a 一遇) 时, 口门区最大纵向流速 1.05 m/s , 最大横向流速 0.55 m/s , 流速超标范围 $200\text{ m}\times 30\text{ m}$ (长 \times 宽), 主要位于上游引航道堤头附近, 见图 5。试验同时观察到, 在上游航槽进口附近受斜流拖拽影响, 进出引航道的船舶难以调整航向、易发生失控横漂, 碰撞岸壁。

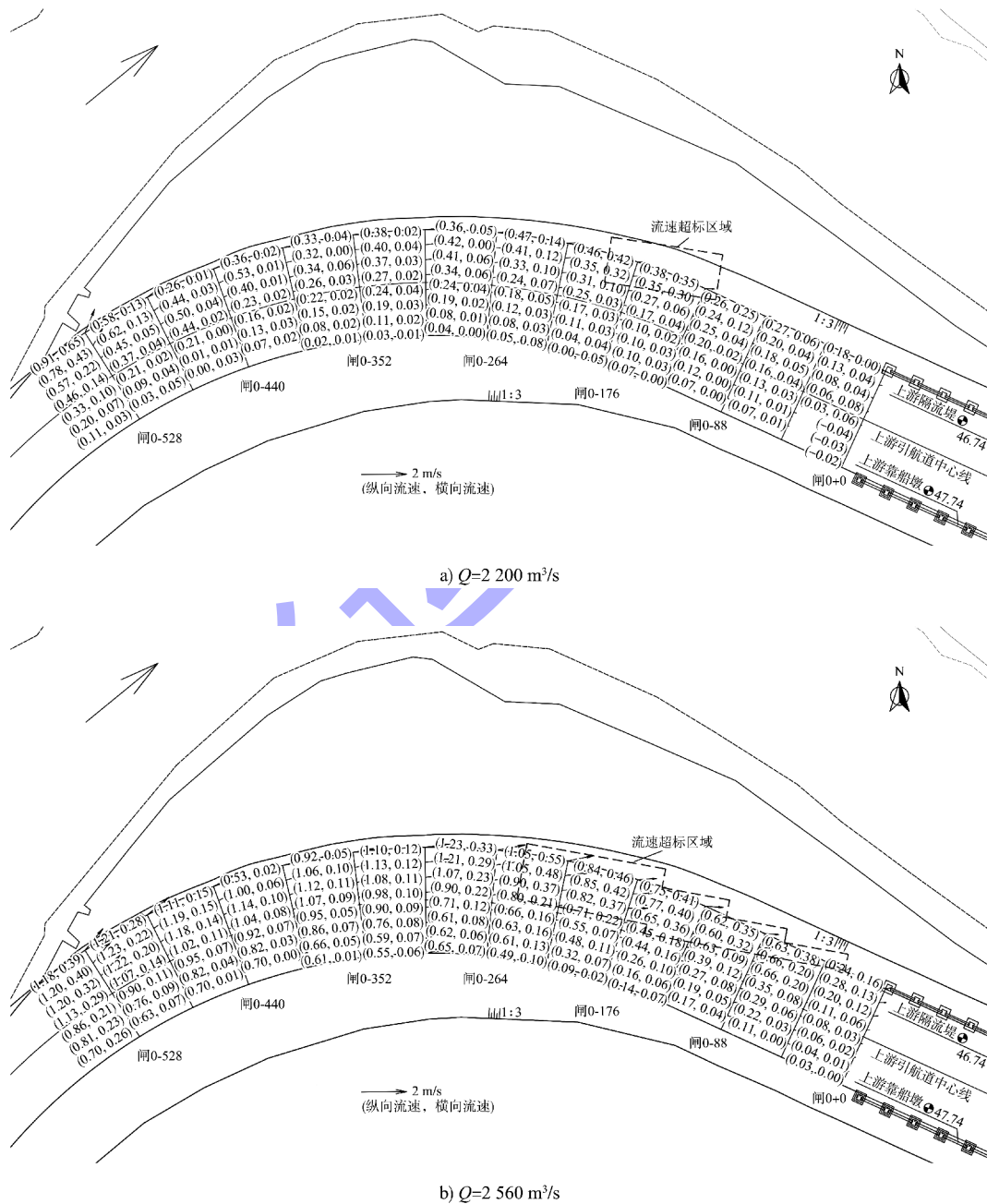


图 5 设计方案船闸上游引航道口门区流场分布 (流速: m/s)

3.3 修改方案试验

3.3.1 修改措施

石洲枢纽船闸上游航槽属下沉式布置，两岸河床均高于引航道底高程。试验验证表明，采用导航墙透空开孔，设置导流墩等措施并不能完全消除船闸口门区表面横流的现象，延长隔流堤将

船闸口门区与主河道有效隔离，对改善流态更为有效。基于石洲枢纽工程河段河势条件以及船闸布置特点，试验提出以下修改措施：1) 适当开挖右岸滩地，上游航槽进口宽度由70 m拓宽至110 m；2) 延长上游引航道隔流堤长度(150、200、250 m)。不同修改方案平面布置见图6。

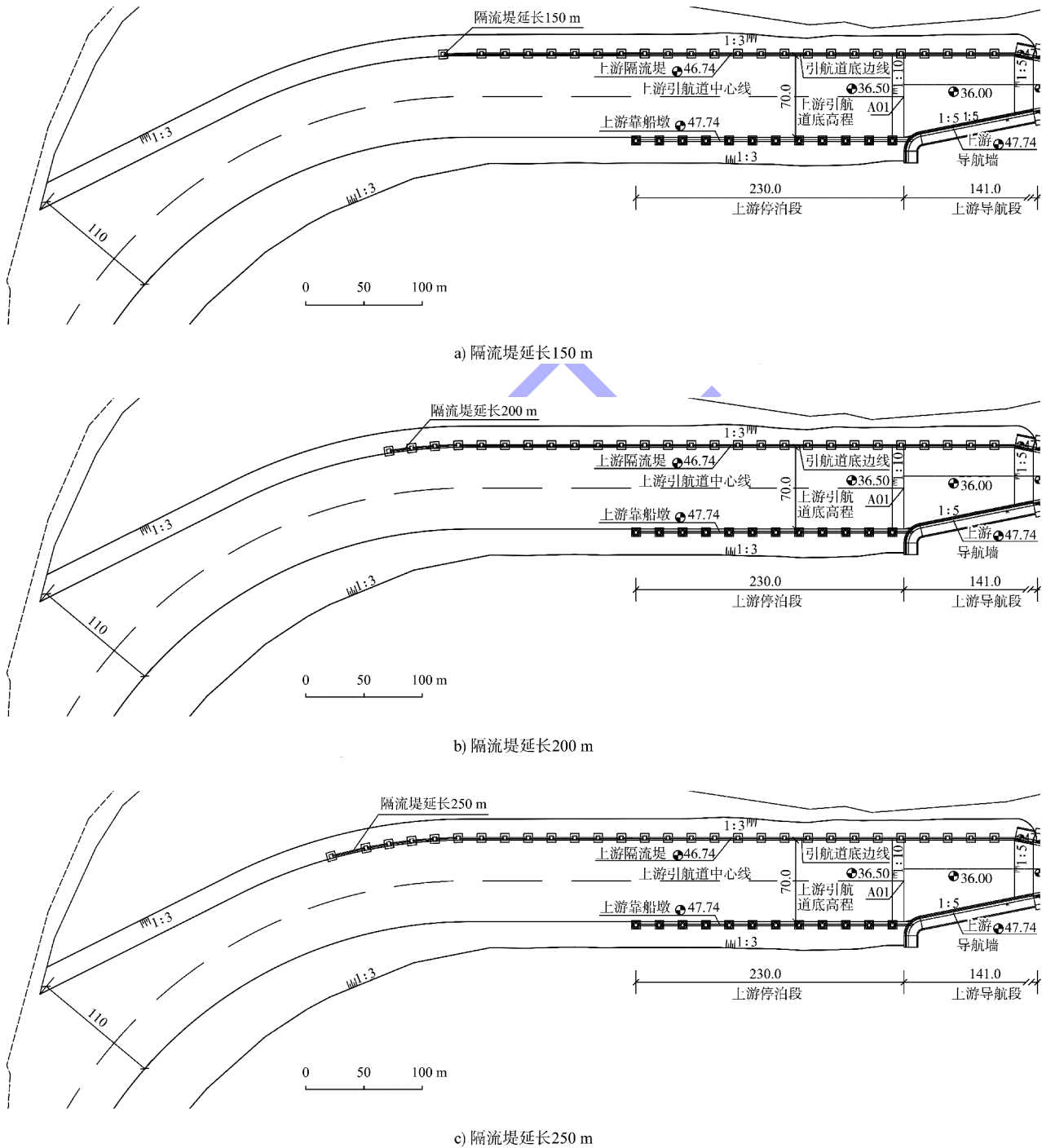
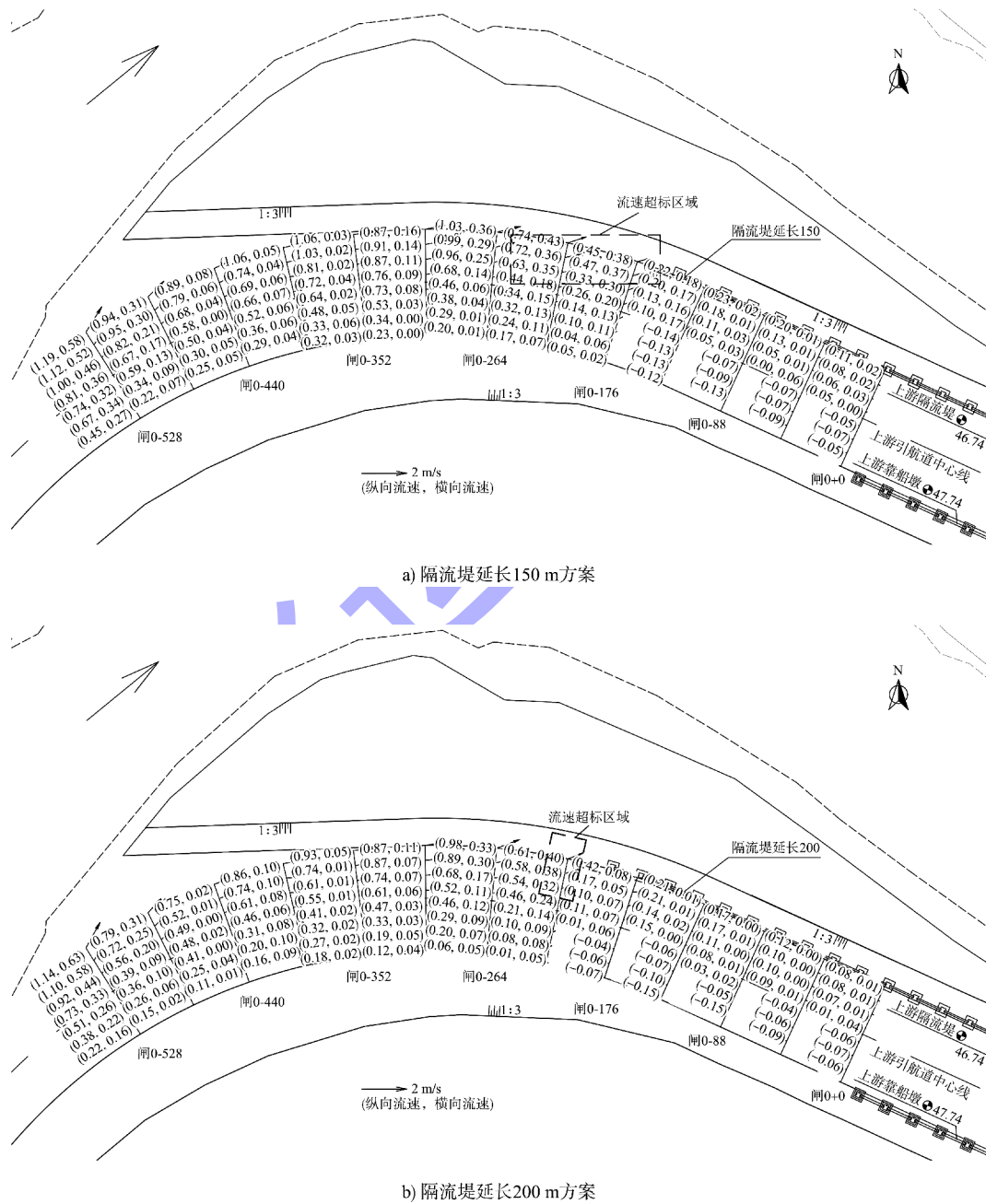


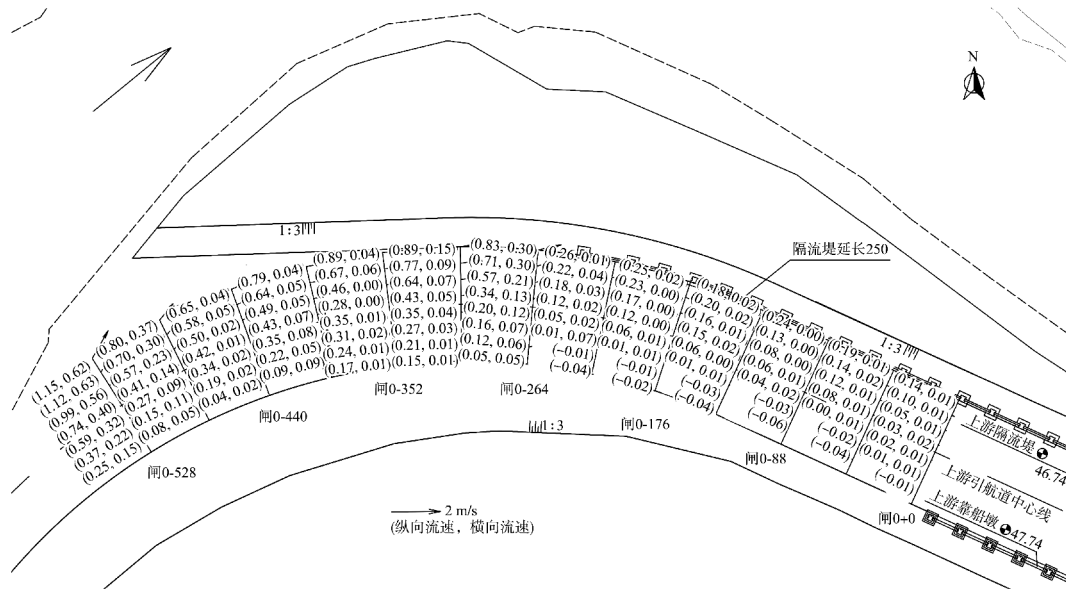
图6 修改方案船闸上游引航道平面布置 (单位: m)

3.3.2 通航水流条件试验结果

修改方案在最高通航流量 2 560 m³/s 时, 船闸上游引航道口门区流场分布见图 7。隔流堤延长 150 m 方案, 上游引航道口门区最大纵向流速 0.74 m/s, 最大横向流速 0.43 m/s, 分别减小 30% 和 22%, 流速超标范围缩窄至 44 m×20 m (长×宽), 超标区域位于引航道外侧区域。隔流堤延长

200 m 方案, 口门区流速峰值进一步减小, 最大纵向流速 0.61 m/s, 最大横向流速 0.40 m/s, 分别减小 42% 和 27%, 流速超标区域位于隔流堤头部, 呈线型分布, 宽约 20 m。隔流堤延长 250 m 方案, 口门区最大纵向流速 0.26 m/s, 最大横向流速 0.04 m/s, 分别减小 75% 和 93%, 此时口门区内各项流速指标已全面满足规范要求。





c) 隔流堤延长250 m方案

图 7 修改方案上游引航道口门区 $Q=2\ 560\ \text{m}^3/\text{s}$ 流场分布 (尺寸: m; 流速: m/s)

3.4 船模试验结果

针对隔流堤延长 250 m 方案, 开展自航船模航行试验, 船型采用 2 000 吨级机动货船。船模比尺采用 1:100(正态), 船模尺寸为 88 cm×13.8 cm×3.4 cm(长×宽×吃水深度)。试验范围: 船闸口门区至上游连接段, 长约 800 m。试验结果见表 1。

表 1 $2\ 560\ \text{m}^3/\text{s}$ 时上游引航道船模试验结果

航向	最大舵角/(°)		最大漂角/(°)		航速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	
	右	左	右	左	最大	最小
上行	19.63	22.00	14.25	26.89	2.88	1.89
下行	21.89	21.46	26.20	1.40	3.56	3.02

注: 所有数据均已换算为原型值。

在上游来流量 $2\ 560\ \text{m}^3/\text{s}$ 时, 2 000 吨级机动货船上、下行最大舵角为 22.00° , 最小航速为 $1.89\ \text{m/s}$, 均优于船模试验最大舵角和最低航速的安全限值 25° 和 $0.5\ \text{m/s}$, 只要操作得当, 2 000 吨级机动货船可以顺利上、下行通过船闸上游航道。

4 结语

1) 在急弯河段布置船闸, 受河势条件限制, 引航道口门区横流显著, 流速难以满足规范要求。采取拓宽航槽、延长隔流堤等措施可有效改善其

通航水流条件。

2) 经过多方案比较, 石洲枢纽船闸上游航槽进口宽度拓宽至 110 m、隔流堤延长 250 m 方案, 上游最高通航流量可达到规范要求的 20 a 一遇洪水。

3) 延长隔流堤在改善通航流态的同时也会相应增加工程投资, 其经济合理的长度宜通过模型试验确定。

参考文献:

[1] 韩康, 余凯文, 赵建钧, 等. 常山江闸底枢纽通航水流条件及方案优化试验研究[J]. 水运工程, 2021(8): 139-144.

[2] 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.

[3] 陈明, 李初民, 王多银, 等. 左江山秀船闸改扩建工程引航道通航水流条件[J]. 水运工程, 2021(11): 66-73.

[4] 赵家强, 于广年. 韩江东溪船闸通航水流条件优化试验研究[J]. 水运工程, 2019(10): 134-140.

[5] 叶玉康, 刘晓平, 张宇, 等. 弯曲河段船闸口门区通航水流条件探讨[J]. 长江科学院院报, 2017, 34(6): 72-75, 87.

(下转第 116 页)