



艳洲枢纽船闸上游引航道布置方案及 水流条件分析*

周千凯, 周 丁, 周 钦, 陈明慧

(湖南省水运建设投资集团有限公司, 湖南 长沙 410011)

摘要: 针对艳洲枢纽船闸改扩建工程上游引航道因行洪、生态保护及河势制约无法布置直线和完全掩护的引航道问题, 采用物理模型试验研究上游折线形非掩护引航道通航水流条件。开展 1:100 比尺的物理模型, 分析引航道通航水流条件。结论表明: 1) 长导墙完全掩护方案虽满足通航水流条件, 但其 15 m 缺口处流速达 5.23 m/s, 局部冲刷严重; 2) 在不降低船舶进出闸通航标准条件下, 提出结合水文统计分析可按照中枯水期和洪水期分别设置停泊段, 中枯水期($Q \leq 2\,500\text{ m}^3/\text{s}$)时, 停泊段最大流速为 0.50 m/s 满足规范要求; 洪水期($Q > 2\,500\text{ m}^3/\text{s}$)时, 船闸进闸口门区最大横向流速 0.44 m/s, 最大纵向流速 1.23 m/s, 连接段最大横向流速 0.21 m/s, 最大纵向流速 1.79 m/s, 均满足规范要求, 采用上游锚地作为停船候闸区域, 综合考虑影响天数和信息化调度手段, 对船舶通航能力影响有限, 研究成果可为类似非掩护船闸引航道提供借鉴。

关键词: 艳洲枢纽; 船闸改扩建; 上游引航道; 折线形引航道; 非掩护引航道; 水文统计; 通航水流条件; 物理模型试验

中图分类号: U641.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2026)05-0110-08

Layout scheme and flow condition analysis for the upper approach channel of Yanzhou Junction Ship Lock

ZHOU Qiankai, ZHOU Ding, ZHOU Qin, CHEN Minghui

(Hunan Water Transport Construction Investment Group Co., Ltd., Changsha 410011, China)

Abstract: Aiming at the problem that the upstream approach channel of Yanzhou Hub Ship Lock renovation project cannot be arranged as a straight and fully sheltered approach channel due to flood discharge, ecological protection, and river regime constraints, physical model tests are used to study the navigable flow conditions of the upstream zigzag non-sheltered approach channel. A 1:100 scale physical model is developed to analyze the navigable flow conditions in the approach channel. The conclusions indicate that: 1) Although the fully sheltered long guide wall scheme meets the navigable flow condition requirements, the flow velocity at the 15 m gap reaches 5.23 m/s, causing serious local scouring. 2) Without lowering the navigation standards for ships entering and leaving the lock, a proposal combining hydrological statistical analysis suggests setting separate berthing sections for the medium-dry season and the flood season. During the medium-dry season ($Q \leq 2,500\text{ m}^3/\text{s}$), the maximum flow velocity in the berthing section is 0.50 m/s, which meets the code requirements. During the flood season ($Q > 2,500\text{ m}^3/\text{s}$), the maximum transverse velocity in the entrance area is 0.44 m/s, the maximum longitudinal velocity is 1.23 m/s, the maximum transverse velocity in the connecting section is 0.21 m/s, and the maximum longitudinal velocity is 1.79 m/s, all of which satisfy the code requirements. Furthermore, by the use of

收稿日期: 2025-08-17 录用日期: 2025-10-11

*基金项目: 湖南省交通运输厅科技进步与创新项目(202124)

作者简介: 周千凯(1986—), 男, 硕士, 正高级工程师, 从事航电枢纽、船闸及航道工程的设计、研究与项目管理
工作。

the upstream anchorage for vessel waiting area, and comprehensively considering the number of affected days and information-based scheduling methods, the impact on ship navigation capacity is limited. The research results can provide a reference for similar non-sheltered ship lock approach channels.

Keywords: Yanzhou Junction; ship lock renovation and expansion; upper approach channel; zigzag approach channel; non-sheltered approach channel; hydrological statistics; navigation flow conditions; physical model test

引航道作为船闸通航建筑物的重要组成部分,决定了船闸通航安全和通过效率。在复杂河势、生态保护与行洪约束等多重因素制约下^[1],传统直线型完全掩护引航道的布置常面临严峻挑战。尤其在既有枢纽改扩建项目中,受限于地形、环保要求及既有建筑物影响,引航道布置往往无法采用标准形式,其通航水流条件的保障成为工程设计的难点。近年来,国内外学者针对特殊河段船闸引航道布置开展了系列研究。李召辉等^[2]通过百龙滩船闸改扩建案例,论证了受限空间内船闸引航道布置的可行性;刘江林等^[3]针对弯曲河段复线船闸及风光枢纽改扩建工程,提出了引航道优化与平面布置方法;方洋等^[4](2022)则聚焦山区急弯段口门区导流墩布置技术,改善了水流流态。此外,JTS 305—2025《船闸总体设计规范》^[5]的修订,为折线形引航道设计提供了新的规范依据。然而,对于受一级水源保护区、河势条件制约且无法按照完全掩护布置引航道,其通航水流条件控制与运行调度策略仍缺乏系统研究,亟待结合工程实践探索创新解决方案。

艳洲枢纽船闸改扩建工程面临上游引航道需兼顾行洪需求、生态保护及河势制约,无法采用常规直线掩护方案。为此,本文提出折线形非掩护引航道新形式,通过物理模型试验系统分析其通航水流条件,并提出基于水文统计的分级调度策略,将停泊段按中枯水期与洪水期分离式设置,在保障船舶安全进出闸的前提下,最大限度减少对通航能力的影响。

1 工程概况

艳洲枢纽是一座以发电为主,兼顾航运、公路交通和灌溉的综合利用工程。原枢纽船闸布置于右汊临中洲,船闸等级为300吨级,船闸尺度

为130 m×12 m×2.5 m(有效长度×宽度×门槛水深)。该项目设计船型采用2 000吨级,设计通过能力为2 420万 t/a,船闸尺度为280 m×34 m×4.5 m。

1.1 原枢纽布置特点和制约条件

艳洲原枢纽坝线采用Z字形布置,原枢纽挡水建筑物从左至右分别为乔家河电站、20孔泄水闸、鱼咀连接坝段、滚水坝、300吨级船闸、艳洲电站。左岸为现有澧县县城,坝址上游320 m有澧县自来水厂取水口,右岸为城头山地质公园,原艳洲枢纽没有预留扩建船闸位置。坝址左汊河道和艳洲涉及一级水源保护区,左岸为澧县县城和防洪大堤,无通航建筑物布置空间,现有船闸空间有限也不具备原址改扩建条件,且不能影响大坝安全,建设条件复杂。

现有300吨级船闸下游口门区临近滚水坝,其泄流流量超过7 000 m³/s,严重影响下游口门区通航条件,坝下800 m又存在艳洲澧水大桥,主通航孔位于左岸,航道处于S形弯道,若在原有闸址改扩建船闸,将受到现有枢纽布置制约,口门区及桥区通航条件严重超标。枢纽改造前总体布置见图1。

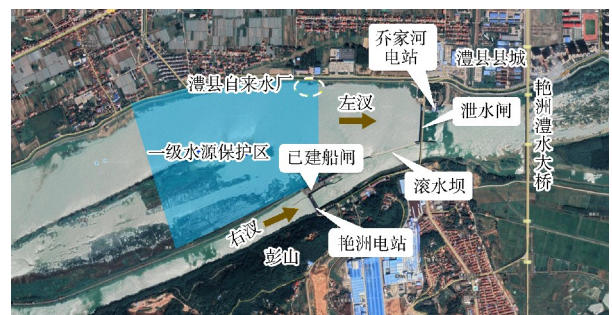


图1 原艳洲枢纽总体布置(改造前)

Fig.1 Original layout plan of Yanzhou Junction (pre-renovation)

1.2 枢纽改造后总体布置

为彻底规避口门区及桥区通航水流条件,将

原枢纽坝线由 Z 字型调整为一字型，即拆除原枢纽艳洲电站、300 吨级船闸、滚水坝，新建 2 000 吨级船闸、还建电站、5 孔泄水闸(替代原滚水坝)，

同时，将位于下游引航道艳洲澧水大桥引桥部分改造为主通航孔，以满足净空要求。枢纽改造后总体布置见图 2。

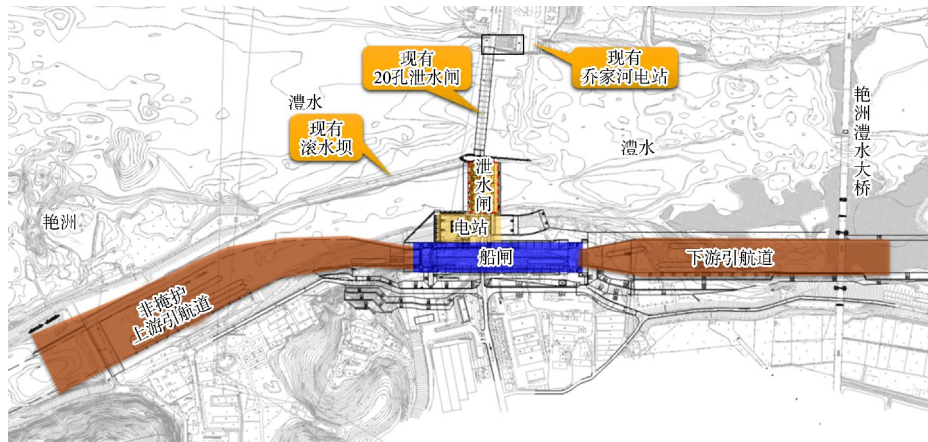


图 2 艳洲枢纽总体布置(改造后)

Fig. 2 Overall layout plan of Yanzhou Junction (post-renovation)

2 上游引航道布置方案

根据改造后枢纽总体布置，下游引航道若采用常规布置形式，上游引航道受一级水源保护区和河势的制约，引航道只能采用折线形布置，因右汉河道总长约 3.6 km，若采用常规布置将右汉全部拦断作为船闸上游引航道，存在长期均为死水状态，根据环评结论，若完全封闭右汉，则存在长期船舶油污污水影响临近水源保护区的问题，对县城取水存在较大影响，因此需开展非掩护引航道的布置方案比选。

上游引航道布置方案区别主要为上游导航墙口门处所采用的结构形式，整体折线形引航道布置基本类似，具体为：上游采用直进曲出，停泊段位于岸侧，上游辅导航墙布置在电站引水渠与引航道之间，兼有隔水墙作用，上游制动段与停泊段之间采用弯道衔接，引航道采用曲线布置形式，利用现有右汉河道，河道宽度约为 94~130 m，长度约 3.6 km，自上闸首以上分别为导航段，长度为 144 m，折线形调顺段 225 m，停泊段 280 m，制动段 225 m。上游引航道轴线与船闸轴线夹角为 28°。为开展方案比较，提出主要方案如下。
1)初步设计方案：采用保留滚水坝，上游辅导航墙为 115 m，口门宽度 55 m，见图 3；2)长导墙方案：拆除滚水坝，上游增设曲线形长导墙 420 m，方案见图 4。

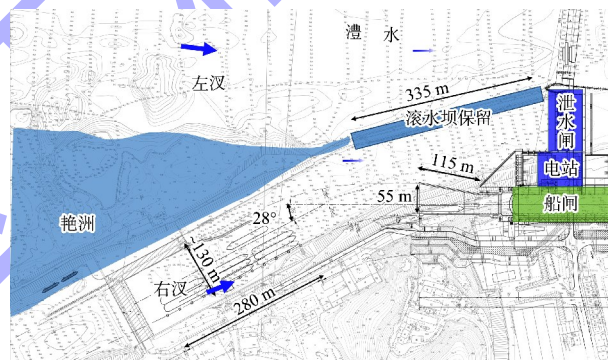


图 3 初步设计方案

Fig. 3 Preliminary design scheme

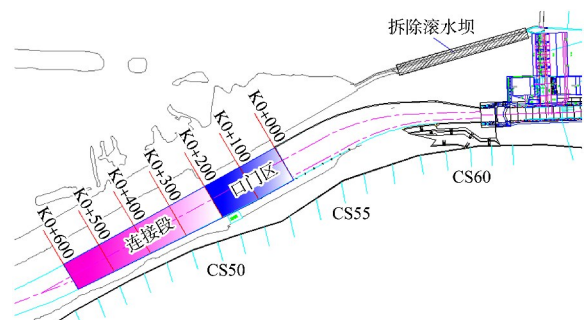


图 4 长导墙方案(420 m)

Fig. 4 Extended guide wall scheme (420 m)

3 水流条件实验结果分析

3.1 试验工况

结合枢纽不同调度方式，物理模型共开展最小通航流量 $Q=98 \text{ m}^3/\text{s}$ ，至最大通航流量 $Q=8\,910 \text{ m}^3/\text{s}$ 共 7 级^[6]，选取最不利工况进行分析，即最大通航流量 $Q=8\,910 \text{ m}^3/\text{s}$ (2 a 一遇)。物理模型试验工况见表 1。

表 1 物理模型试验工况
Tab. 1 Physical model test conditions

试验 工况	流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	枢纽调度方式	控制水位/m		备注
			坝上	尾门	
1	98	还建电站发电, 乔家河电站及泄水闸关闭	40.2	28.25	航运基流
2	541		40.2	29.50	还建电站满发流量
3	873	所有电站满发, 泄水闸关闭	40.2	30.51	电站满发流量
4	3 800		40.2	35.21	停机流量
5	5 060	电站停机, 泄水闸控泄	40.2	36.57	原 10 孔闸坝全开
6	7 750		40.2	39.54	原 20 孔闸坝全开
7	8 910	泄水闸敞泄	-	40.27	最大 2 a 一遇通航流量

3.2 通航水流条件分析

3.2.1 初步设计方案水流条件

在最大通航流量下, 泄水闸原 20 孔及新建 5 孔全部开启泄流。右汊主流斜穿引航道口门区, 从而导致口门区横向流速较大。口门区水流与航线夹角一般为 $13^\circ \sim 28^\circ$, 斜流强度呈左大右小的分布趋势, 航中线左侧最大横向流速 0.68 m/s,

最大纵向流速 1.76 m/s; 航中线右侧最大横向流速 0.50 m/s, 最大纵向流速 1.69 m/s。停泊段水流与航线夹角较小, 一般在 10° 以内, 航道右边线处个别测点最大横向流速 0.57 m/s, 最大纵向流速 2.19 m/s, 引航道流速分布见图 5。试验结果表明, 船闸上游引航道口门区斜流强度较大, 对船舶安全进出闸不利, 停泊段横向流速超标。

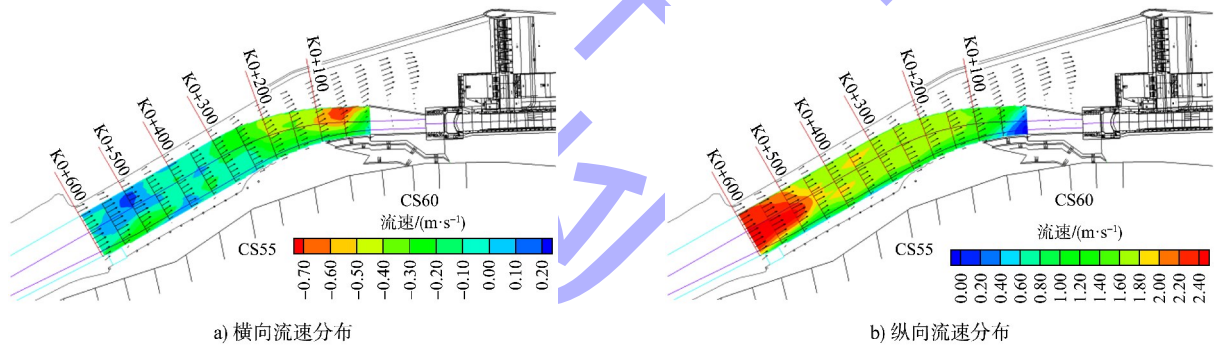


图 5 初步设计方案流速分布
Fig. 5 Flow velocity distribution of preliminary design scheme

3.2.2 长导墙方案

长导墙方案的思路主要是控制右汊分流比, 并对引航道进行完全掩护角度优化, 保证口门区和停泊段水流条件。根据试验结果, 口门区除导墙堤头附近个别测点最大横向流速 0.32 m/s 以

外, 其余区域横向流速不超过 0.30 m/s; 最大纵向流速 1.12 m/s, 连接段水流顺直, 横向流速一般在 0.20 m/s 以内, 最大纵向流速 1.18 m/s, 停泊段最大纵向流速约 0.35 m/s, 均在规范限值以内。引航道流速分布见图 6。

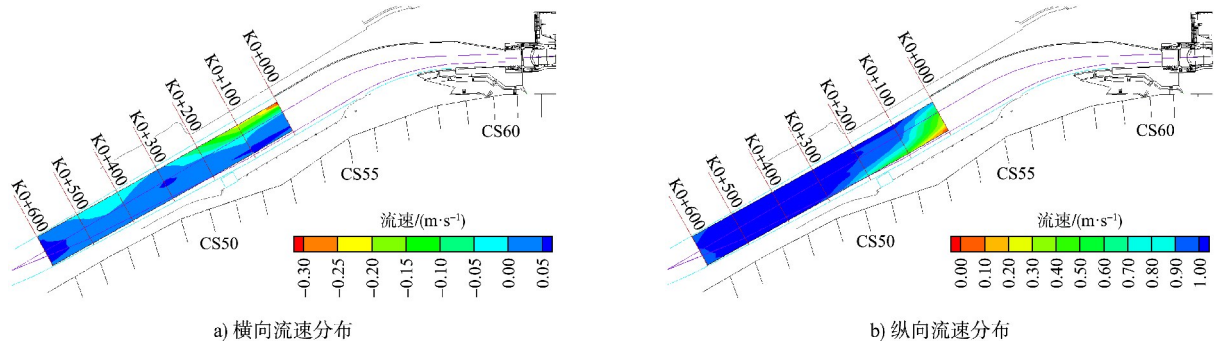


图 6 长导墙方案流速分布
Fig. 6 Flow velocity distribution of extended guide wall scheme

4 方案比选与解决措施探讨

4.1 方案比选

根据以上试验成果,单从通航水流条件角度分析,采用长导墙方案合适,但根据实际试验结果,最大通航流量下,长导墙左侧缺口仅 15 m,

局部水面跌落约 2 m,受束窄的缺口处最大流速达 5.23 m/s,瞬时流场见图 7,若在设计洪水工况时则流速更大,局部冲刷严重,对岸坡和堤头结构稳定存在安全隐患,因此需要进一步探讨非掩护引航道方案^[7]。

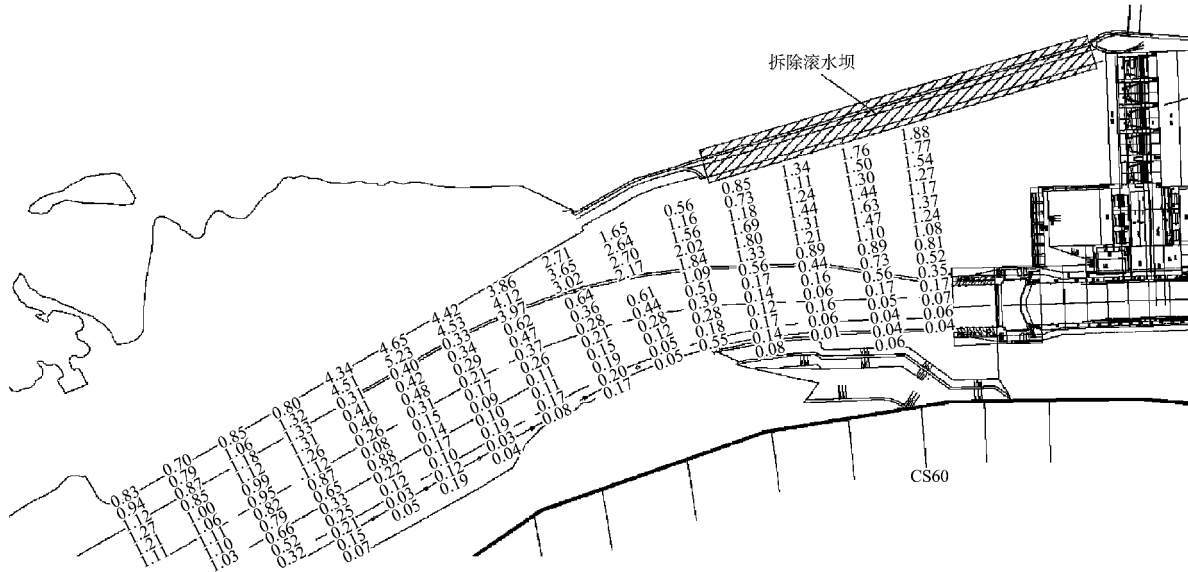


图 7 长导墙方案流场(单位:m/s)

Fig. 7 Flow field of extended guide wall scheme(unit :m/s)

为满足最大通航流量($Q=8\ 910\ m^3/s$)通航水流条件,方案优化难度较大,工程投资也较大。考虑到澧水洪水期具有暴涨暴落特性,2009—2019 年石门及津市站流量统计资料显示,11 年间流量超过 $2\ 000\ m^3/s$ 的天数共 67 d,年平均天数约 6 d;流量超过 $2\ 500\ m^3/s$ 的天数共 43 d,年平均天数约 4 d;流量超过 $3\ 000\ m^3/s$ 的天数共 31 d,年平均天数约 3 d。上述数据表明,中洪水流量实际出现的概率较小,本文提出依据上游来流量优化船闸运行调度的方式,即在中枯水流量时,船舶停靠引航道停泊段待闸;洪水流量时,船舶在艳洲上游远方锚地停泊待闸。石门、津市站流量统计见表 2。

况逐步延长船闸导墙,上延长度分别为 30、60、90 m,具体方案见图 8。

表 2 2009—2019 年间石门、津市站流量统计
Tab. 2 Flow statistics of Shimen and Jingshi Stations from 2009 to 2019

年份	$Q>2\ 000\ m^3/s$ 的天数/d	$Q>2\ 500\ m^3/s$ 的天数/d	$Q>3\ 000\ m^3/s$ 的天数/d
2009	3	2	2
2010	14	8	6
2011	5	3	1
2012	7	4	2
2013	5	3	2
2014	4	3	3
2015	4	4	3
2016	20	11	10
2017	1	1	0
2018	2	2	2
2019	2	2	0
合计	67	43	31
年平均	6	4	3

在初步设计方案基础上针对 $Q=2\ 000$ 、 $2\ 500$ 、 $3\ 000\ m^3/s$ 开展通航水流条件研究,考虑到停泊段对水流条件要求更高^[8],重点针对停泊段流速情

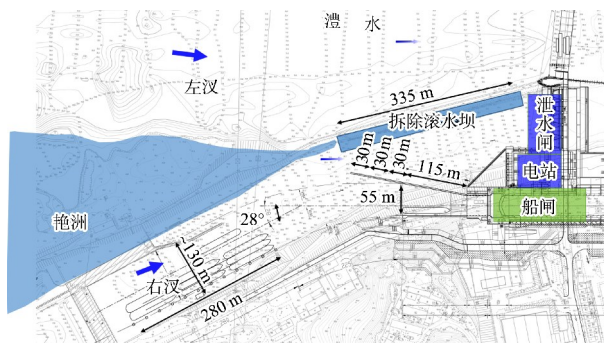


图 8 延长导墙方案(延长 30、60、90 m)

Fig. 8 Guide wall extension scheme (30, 60, 90 m extensions)

1) 引航道停泊段水流条件。试验结果表明: 随着导墙上延长度的增大, 停泊段流速逐渐减小。当 $Q=2\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 时, 初步设计方案即导航墙设计长度 115 m 时, 停泊段流速为 0.52 m/s; $Q=2\ 500\ \text{m}^3/\text{s}$

时, 导航墙需上延 60 m, 停泊段流速为 0.51 m/s, 缺口处宽度约为 50m, 最大流速约为 2.00 m/s; $Q=3\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 时, 导航墙需上延 90 m, 停泊段流速为 0.46 m/s, 缺口处宽度为 20 m, 参考长导堤方案, 局部流速超过 3.68 m/s, 存在堤头流速过大导致的岸坡稳定和局部冲刷问题。

2) 引航道口门区水流条件。试验验证导航墙上延方案的口门区通航水流条件, 延长 30 m 时流速变化不大, 在延长超过 60 m 方案后, 均满足规范要求^[9-11]。延长 60 m 导墙方案, 在最大通航流量($Q=8\ 910\ \text{m}^3/\text{s}$)下进出闸水流条件, 口门区最大横向流速 0.44 m/s, 最大纵向流速 1.23 m/s; 连接段最大横向流速 0.21 m/s, 最大纵向流速 1.79 m/s, 均满足规范要求, 流速分布见图 9。

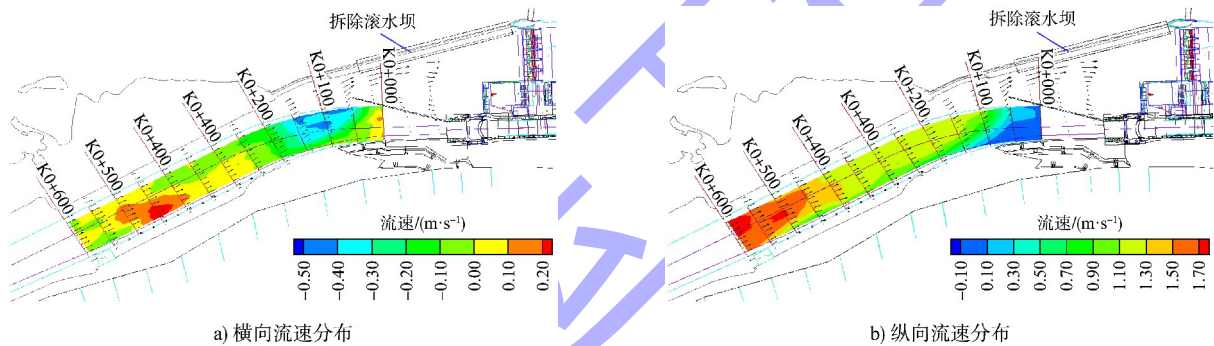


图 9 导航墙上延 60 m 方案流速分布

Fig. 9 Low velocity distribution for 60 m guide wall extension scheme

4.2 解决措施探讨

通过综合分析, 初设方案口门区最大可通航流量为 $7\ 750\ \text{m}^3/\text{s}$, 停泊段最大可通航流量仅为 $541\ \text{m}^3/\text{s}$, 严重影响通航效率; 长导墙方案虽满足规范要求, 口门区和停泊段最大通航流量设计要求均按 2 a 一遇标准, 但局部堤头流速过大存在冲刷问

题, 且工程量增加 3 110 万元; 延长导墙方案在延长 90 m 后可满足停泊段最大通航流量为 $3\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$, 但由于缺口处狭窄, 局部流速过大存在安全风险^[12-13], 综合考虑采用在初设方案基础上拆除滚水坝延长 60 m 方案作为推荐实施方案(方案 2), 方案比较见表 3。

表 3 方案对比

Tab. 3 Scheme comparison

方案	工程内容	口门区最大通航流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	停泊段最大通航流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	年均影响天数/d	工程费用差额/万元
初步设计方案	滚水坝保留辅导航墙长 115 m	7 750	541	80.0	0
长导墙方案	滚水坝拆除长导堤 542 m	8 910	8 910	0.1	3 110
延长导墙方案	方案 1 滚水坝拆除, 辅导航墙 115 m+延长 30 m	8 910	2 000	5.0	530
	方案 2 滚水坝拆除, 辅导航墙 115 m+延长 60 m	8 910	2 500	2.9	725
	方案 3 滚水坝拆除, 辅导航墙 115 m+延长 90 m	8 910	3 000	1.8	920

延长导墙 60 m 方案的最大通航流量仍为 2 a 一遇标准, 考虑到停泊段水流条件的特殊性, $Q \leq 2\,500 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 停泊段正常停船, 超过 $2\,500 \text{ m}^3/\text{s}$ 时后, 船舶仍可正常进出闸, 采用上游锚地作为停船候闸区域, 并通过信息化调度手段, 对船舶通航能力影响有限。上游锚地距艳洲船闸约 5.3 km, 回旋水域长为 225 m (2.5 倍设计船长), 宽为 135 m (1.5 倍设计船长), 河宽 410 m, 河床质为砂卵石, 均符合锚地布置要求。

5 结论

1) 针对船闸改造工程上游引航道受行洪、环保及河势制约无法布置直线形引航道问题, 可采用折线形引航道形式, JTS 305—2025《船闸总体设计规范》已有明确条款, 经试验验证, 最大通航流量工况下船舶可正常进出闸。

2) 若单独仅考虑通航水流条件, 则需采用长导墙完全掩护方案; 但针对某些工程的特殊情况, 如艳洲右汊河道长约 3.6 km, 完全掩护会造成生态或局部冲刷 (最大流速 5.23 m/s) 问题, 因此只能采用非掩护方案。

3) 针对非掩护引航道方案, 若按照现行规范要求, 需严格按照完全掩护水流条件执行, 因此提出结合所在河段水文特性角度, 在不降低最大通航流量 (2 a 一遇) 进出闸通航条件下, 将停泊段按照中枯水期和洪水期分别设置, 以满足船舶安全进出闸要求。本文提出中枯水期 ($Q \leq 2\,500 \text{ m}^3/\text{s}$), 停泊段正常停船; 洪水期 ($Q > 2\,500 \text{ m}^3/\text{s}$) 时, 船舶仍可正常进出闸, 采用上游锚地作为停船候闸区域, 并通过信息化调度手段, 对船舶通航能力影响有限。以上成果可为类似非掩护船闸引航道提供借鉴。

参考文献:

[1] 湖南省交通规划勘察设计院有限公司. 澧水石门至澧县航道建设工程初步设计文件[R]. 长沙: 湖南省交通

规划勘察设计院有限公司, 2020.

Hunan Provincial Communications Planning, Survey & Design Institute Co., Ltd. Preliminary design report for Lishui Shimen-Lixian waterway construction project [R]. Changsha: Hunan Provincial Communications Planning, Survey & Design Institute Co., Ltd., 2020.

[2] 李召辉, 原学明. 百龙滩船闸改扩建总体布置方案[J]. 水运工程, 2025(6): 136-143.

LI Z H, YUAN X M. General layout scheme of Bailongtan ship lock renovation and expansion[J]. Port & waterway engineering, 2025(6): 136-143.

[3] 刘江林, 王平. 弯曲河段复线船闸引航道方案优化设计[J]. 水运工程, 2025(1): 129-135.

LIU J L, WANG P. Optimization design of approach channel scheme for double track ship locks in curved river[J]. Port & waterway engineering, 2025(1): 129-135.

[4] 方洋, 尚倩倩, 许慧, 等. 山区急弯段船闸引航道口门区导流墩布置[J]. 水运工程, 2025(8): 118-126.

FANG Y, SHANG Q Q, XU H, et al. Layout of diversion piers at entrance area of ship lock approach channel in mountainous sharp bends[J]. Port & waterway engineering, 2025(8): 118-126.

[5] 船闸总体设计规范: JTS 305—2025 [S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2025.

Code for master design of shiplocks: JTS 305-2025 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2025.

[6] 交通运输部天津水运工程科学研究院. 澧水石门至澧县航道建设工程艳洲船闸改扩建工程整体水工模型试验研究报告[R]. 天津: 交通运输部天津水运工程科学研究院, 2021.

Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, MOT. Research report on comprehensive hydraulic model tests for Yanzhou Ship Lock reconstruction & expansion project of Lishui Shimen-Lixian waterway construction project [R]. Tianjin: Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, MOT, 2021.

[7] 周千凯, 乾东岳, 凌威. 非掩护引航道通航控制标准分析方法[J]. 水利水运工程学报, 2025(6): 37-45.

- ZHOU Q K, QIAN D Y, LING W. Analysis method for navigation control standards of non-sheltered approach channels[J]. Hydro-science and engineering, 2025 (6): 37-45.
- [8] 彭伟. 弯曲河段船闸引航道通航水流条件及改善措施研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2010.
- PENG W. Research on navigable flow conditions and improvement measures of ship lock approach channels in curved river sections[D]. Changsha: Changsha University of Science & Technology, 2010.
- [9] 刘江林, 王平, 郭春龙. 基于现状船闸利用方案的风光枢纽改扩建双线船闸总平面布置[J]. 水运工程, 2024(11): 128-133.
- LIU J L, WANG P, GUO C L. Overall layout of double-line ship locks for renovation and expansion of Fengguang Hub based on current utilization plan of ship lock [J]. Port & waterway engineering, 2024 (11): 128-133.
- [10] 王晨晨, 黄承兵. 清远枢纽三线船闸平面布置方案[J]. 水运工程, 2024(1): 173-177.
- WANG C C, HUANG C B. Layout plan of third-line ship lock of Qingyuan Hub [J]. Port & waterway engineering, 2024(1): 173-177.
- [11] 叶青, 姜兴良. 西津水利枢纽二线船闸总体布置方案[J]. 水运工程, 2024(12): 172-178.
- YE Q, JIANG X L. General layout scheme of second-line ship lock of Xijin hydro-junction project [J]. Port & waterway engineering, 2024(12): 172-178.
- [12] 李召辉, 原学明. 百龙滩船闸改扩建总体布置方案[J]. 水运工程, 2025(6): 136-143.
- LI Z H, YUAN X M. General layout scheme of Bailongtan ship lock renovation and expansion[J]. Port & waterway engineering, 2025(6): 136-143.
- [13] 吴志龙, 姜兴良. 株洲二线船闸引航道平面布置方案及水流条件分析[J]. 水运工程, 2019(3): 89-93.
- WU Z L, JIANG X L. Layout plan and flow condition of Zhuzhou second-lane lock's navigable channel [J]. Port & waterway engineering, 2019(3): 89-93.
- (本文编辑 赵娟)
-
- (上接第 98 页)
- [6] 张勇. 船闸输水阀门运行工艺现场测试优化[J]. 水运工程, 2023(9): 133-138.
- ZHANG Y. Optimization of operation process of filling and emptying valve of ship lock based on field test[J]. Port & waterway engineering, 2023(9): 133-138.
- [7] 江耀祖, 於三大, 吴英卓, 等. 三峡船闸四级运行方式优化研究[J]. 人民长江, 2007, 38(11): 34-37.
- JIANG Y Z, YU S D, WU Y Z, et al. Optimization for 4 lift operation mode of TGP shiplock[J]. Yangtze River, 2007, 38(11): 34-37.
- [8] 齐俊麟, 邓月, 高术, 等. 船闸应急操作的输水阀门液压系统及应急关阀操作方法: CN111473007A [P]. 2020-07-31.
- QI J L, DENG Y, GAO S, et al. Hydraulic system of water delivery valve for emergency operation of ship lock and emergency valve closing operation method: CN111473007A [P]. 2020-07-31.
- [9] 李兆锋, 陈江平, 陈敏, 等. 水利工程运行安全检测关键技术及其应用[J]. 水利水电快报, 2022, 43(6): 66-72.
- LI Z F, CHEN J P, CHEN M, et al. Advanced detecting technology and application for hydraulic engineering operation safety [J]. Express water resources & hydropower information, 2022, 43(6): 66-72.
- [10] 郑航, 陶然, 陈明华, 等. 大型船闸反弧门运行状态检测方案[J]. 水运工程, 2023(6): 149-153.
- ZHENG H, TAO R, CHEN M H, et al. Operation state detection scheme of reversed tainter valve for large ship lock [J]. Port & waterway engineering, 2023(6): 149-153.
- (本文编辑 王传瑜)