



龙头山二线船闸平面布置及通航水流条件优化

王志鹏¹, 邓伟²

(1. 江西省港航建设投资集团有限公司, 江西 南昌 330008;
2. 中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430071)

摘要: 龙头山枢纽二线船闸所处河段处于微弯河段, 下游受龙头山矶头影响, 整体水流条件较复杂。通过对比靠近一线船闸布置和靠近赣东大堤布置的优缺点确定船闸的闸位, 采用下闸首断面分析确定二线船闸与一线船闸轴线间距, 通过物理模型试验提出相应的优化措施。结果表明, 闸位靠近一线船闸布置, 二线船闸和一线船闸轴线间距为 100 m; 改建、扩建上下游隔流墙和疏挖下游右岸滩地等措施可改善一线船闸通航条件和优化二线船闸的平面布置。

关键词: 二线船闸; 平面布置; 通航水流条件

中图分类号: U641.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)06-0144-09

Planar layout of Longtoushan second-line ship lock and optimization of navigation flow conditions

WANG Zhipeng¹, DENG Wei²

(1. Jiangxi Provincial Port & Waterway Construction Investment Group Co., Ltd., Nanchang 330008, China;
2. CCCC Second Harbor Consultants Co., Ltd., Wuhan 430071, China)

Abstract: The second-line ship lock of Longtoushan hub is located in a slightly curved river section, and the downstream is affected by Longtoushan rock head, resulting in complex overall water flow conditions. The position of the ship lock is determined to be arranged by comparing advantages and disadvantages of the layout near the first-line ship lock and the layout near Gandong levee. The distance between the axis of the second-line ship lock and the axis of the first-line ship lock is determined by analyzing the cross-section of the lower ship lock head. Corresponding optimization measures are proposed by the physical model test. The results show that the position of the second-line ship lock is arranged near the first-line ship lock, and the distance between the axis of the second-line ship lock and the axis of the first-line ship lock is 100 m. Measures of the reconstruction and expansion of upstream and downstream baffle walls, as well as the dredging of the right bank beach downstream, can improve navigable conditions of the first-line ship lock and optimize the planar layout of the second-line ship lock.

Keywords: second-line ship lock; planar layout; navigable flow condition

水运发展与经济的多方面存在密切联系, 它提高了人民生活质量, 拉动内需, 推动江西省外向型经济发展, 吸引人才聚集, 优化产业结构等^[1]。赣江作为江西省南北向水运大通道, 是江西省综合

运输体系的重要组成部分, 但由于赣江航道等级偏低, 水资源综合利用与航运效益未得到充分发挥^[2]。根据《江西省内河航道与港口布局规划(2021—2050年)》^[3], 规划“两横一纵十支”及绿

收稿日期: 2024-08-07

作者简介: 王志鹏(1993—), 男, 工程师, 从事水运工程项目建设管理。

水高等级航道网,“两横”为长江干线江西段及信江与浙赣运河组成的浙赣通道,“一纵”为赣江与赣粤运河组成的赣粤通道,“十支”为袁河、昌江、修河、乐安河、赣江东河、信江西大河、贡江、抚河、博阳河、锦河和淦水高等级航道。到2035年,规划赣州水尺—龙头山枢纽395 km为Ⅱ级航道,规划龙头山枢纽—湖口211 km为4.5 m深水航道,其中龙头山二线船闸作为赣江航道关键节点枢纽。

江西龙头山水电站枢纽工程位于丰城市,水库正常蓄水位24.2 m,相应库容2.44亿 m^3 。枢纽主要建筑物从左至右依次为鱼道、电站厂房、24孔泄水闸、1 000吨级船闸和右岸土坝。电站厂房布置于左岸,装8台共240 MW的贯流式水轮发电机组;24孔泄水闸布置于中部,堰顶高程13.2 m,孔口净宽17 m;1 000吨级船闸布置在右岸^[4]。

拟建龙头山二线船闸等级为Ⅱ级,闸室有效尺度为300 m×34 m×5.6 m(长×宽×门槛水深),设计年单向通过能力为3 753万t,设计代表船型为2 000吨级机动船,尺度为85 m×13.8 m×(2.6~3.5)m(长×宽×满载吃水)。最高通航水位,上游为25.75 m、下游为25.50 m;最低通航水位,上游为22.30 m、下游为11.94 m(考虑下游象山建成运行,河床下切1.5 m,98%通航保证率)。

1 平面布置原则

1) 尽量减少本工程对区域内已有水利、交通

等公共设施的影响,妥善处理与枢纽溢流坝、一线船闸、赣东大堤等之间的关系。

2) 船闸、引航道布置应具有良好的通航条件,确保船舶过闸安全高效。

3) 布局紧凑合理,尽量减少征地拆迁和土方工程量,降低工程造价。

4) 确保施工期一线船闸安全正常运行,并便于施工。

5) 建成后便于船闸的运行、管理和维护。

2 平面布置方案

2.1 闸位选择

鉴于枢纽左岸布置有鱼道和电站,紧邻电站布置的船闸通航水流条件难以保障。另外,船闸紧邻鱼道布置对鱼道的使用效果影响较大。同时,若闸址选择在左岸,则船闸轴线直接对着龙头山矶头布置,不利于下游引航道与主航道衔接。

根据JTS 182-1—2009《渠化工程枢纽总体设计规范》^[5]规定,通航建筑物与水电站宜异岸布置。因此,龙头山二线船闸的闸位选址仅有右岸可以布置。考虑到一线船闸左侧紧邻布置的24孔泄水闸、右侧为右岸土坝,一线船闸与赣东大堤的堤脚之间有141 m距离,存在布置二线船闸的空间。因此,二线船闸的闸位选址在一线船闸与赣东大堤之间,见图1。由此,考虑了2种闸位布置方案,即靠近赣东大堤布置和靠近一线船闸布置。2种方案的优缺点对比见表1。

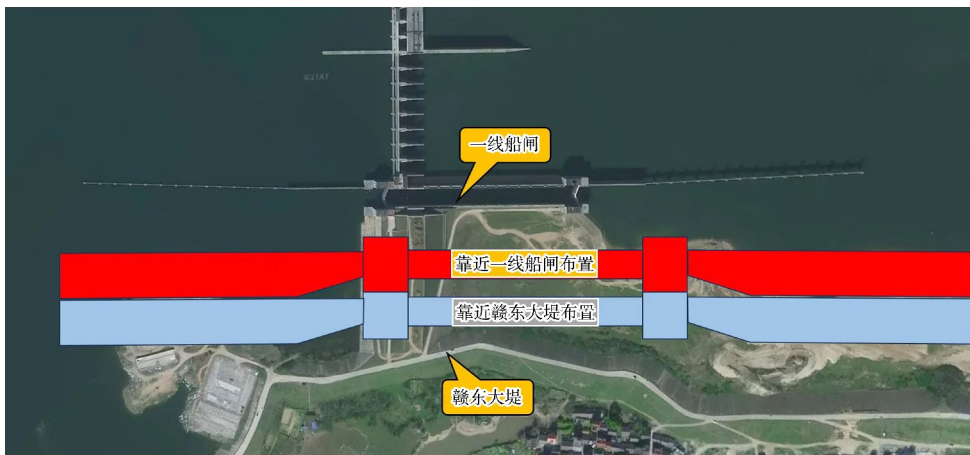


图1 龙头山二线船闸的闸位

Fig. 1 Ship lock position of Longtoushan second-line ship lock

Tab. 1 Comparison of lock position schemes

闸位方案		优点	缺点
靠近一线船闸布置	二线船闸靠一线船闸布置, 闸管区面积较大; 闸位靠近江侧, 土方开挖工程量较小; 闸位距赣东大堤较远, 基坑维护工程量较少	上、下游全年围堰需要筑岛施工	
靠近赣东大堤布置	上、下游全年围堰可陆上施工	二线船闸距离赣东大堤较近, 闸管区面积较小; 基坑靠近赣东大堤, 支护工程量大; 靠近岸侧布置, 导致土方开挖工程量较大	

由表 1 可知, 拟建二线船闸紧邻一线船闸布置可以减少土石方开挖量和征拆工作量, 闸管区面积相对较大, 对赣东大堤影响较小, 基坑维护工程量小, 是较好的选择。

2.2 闸室轴线间距

改扩建船闸工程具有边界条件复杂、场地受限等特点,船闸轴线的位置选取是平面布置方案的重难点之一,王炜正等^[6]在船闸两闸轴线距离的计算分析中提出确定两闸轴线距离的分析流程和相应的计算公式;邓伟等^[7]在简析复线船闸轴线间距的确定方法中提出复线船闸与一线船闸轴线间距的确定与已建水利设施、跨闸桥布置、复线船闸施工工艺等有关,同时还需要为今后一线船闸升级改造预留空间;李华勇等^[8-9]在万安枢纽二线船闸平面布置方案和万安枢纽二线船闸上游通航水流条件优化试验研究中综合考虑了邻近建筑物结构安全稳定、通航水流条件、施工条件、征拆及土石方开挖

等因素并结合模型试验研究确定平面布置方案;刘志敏等^[10]在湘祁二线船闸平面布置方案及设计优化创新中从地形、施工、通航、征拆、投资等制约因素重点论述二线船闸设计原则、选址及平面布置思路及方法。

结合本工程闸位和现场情况,两闸中心线间距控制断面为上闸首、下闸首。为保证一线船闸稳定和不破坏右侧赣东大堤,上闸首两侧均需要进行桩基支护,对确定两闸轴线间距影响较小。下闸首临近一线船闸下游引航道右岸边线,由于下游引航道高程较低,需要先进行格宾石笼挡墙施工,形成作业面,然后再采取排桩围堰,确保二线船闸下闸首能顺利施工,根据结构整体稳定及构件受力要求,格宾石笼挡墙宽 5 m,排桩围堰宽 15 m,二线船闸下闸首宽 64 m,其左半幅宽度为 32 m,根据一线船闸施工图可知下游引航道右边线距离一线船闸中心线 47.5 m。因此两闸轴线距离为 100 m,见图 2。

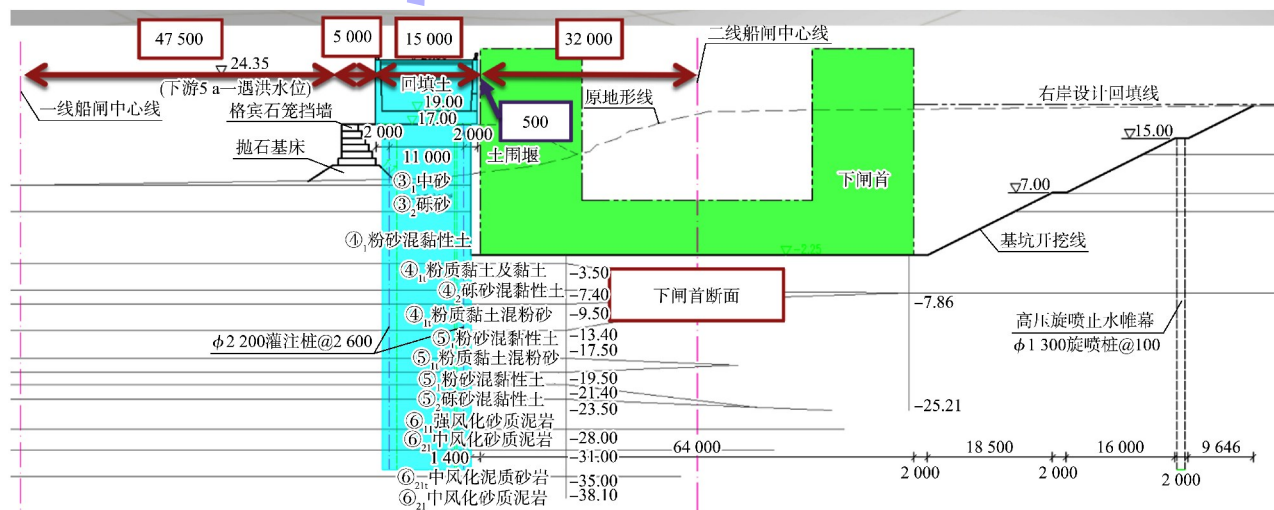


图 2 闸室中心线断面 (尺寸: mm; 高程: m)

Fig. 2 Cross-section of ship lock chamber center line (dimension: mm; elevation: m)

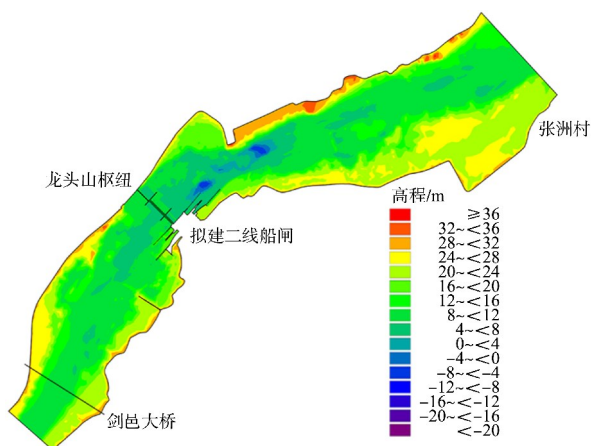


图4 工程所处河段河势

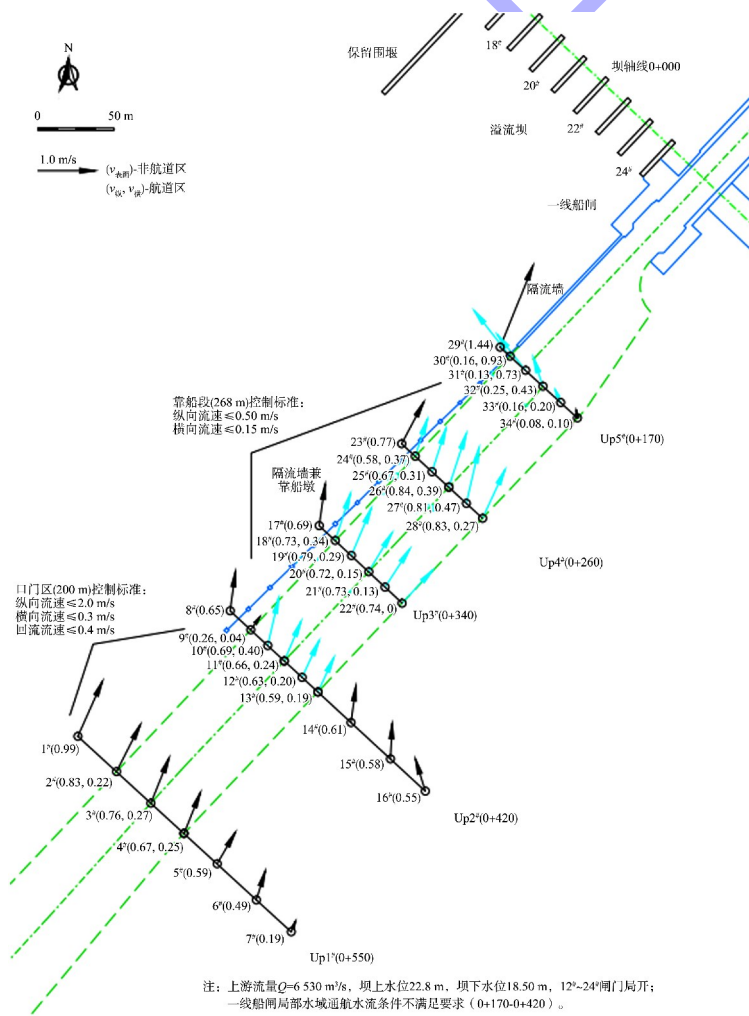
Fig. 4 River regime of river section of project located

3.3 一线船闸通航水流条件问题

已建一线船闸现状存在桩基插板隔流墙透空率太高、隔流墙长度较短、下游引航道口门区和连接段航道回流较大等问题。

现状条件下,上游实体导航墙(隔水墙)长 100 m,导航墩结构长 266.9 m,导航墩间在高水位设置 2 块隔水板,透空率约为 30%;下游实体导航墙(隔水墙)长 75.2 m,导航墩结构长 284.9 m,导航墩间在高水位设置 3 块隔水板,透空率约为 20%,同时导航墩兼作靠船结构。

当来流量为 $5\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,现状一线船闸上游引航道靠泊段已出现局部水域横向流速大于 JTJ 305—2001《船闸总体设计规范》^[13] 中口门区横向流速 0.3 m/s 的要求。当来流量达到停机流量 $6\,530\text{ m}^3/\text{s}$ 时,现状一线船闸上游引航道大部分水域的纵、横向表面流速较大,严重不满足 JTJ 305—2001《船闸总体设计规范》中纵向流速小于 2 m/s 和横向流速小于 0.3 m/s 的要求;下游引航道口门区和连接段部分水域纵、横向表面流速超标严重,最大横向流速达 0.87 m/s ,最大纵向流速达 2.39 m/s ,通航水流条件比较恶劣,见图 5。



a) 上游通航水域

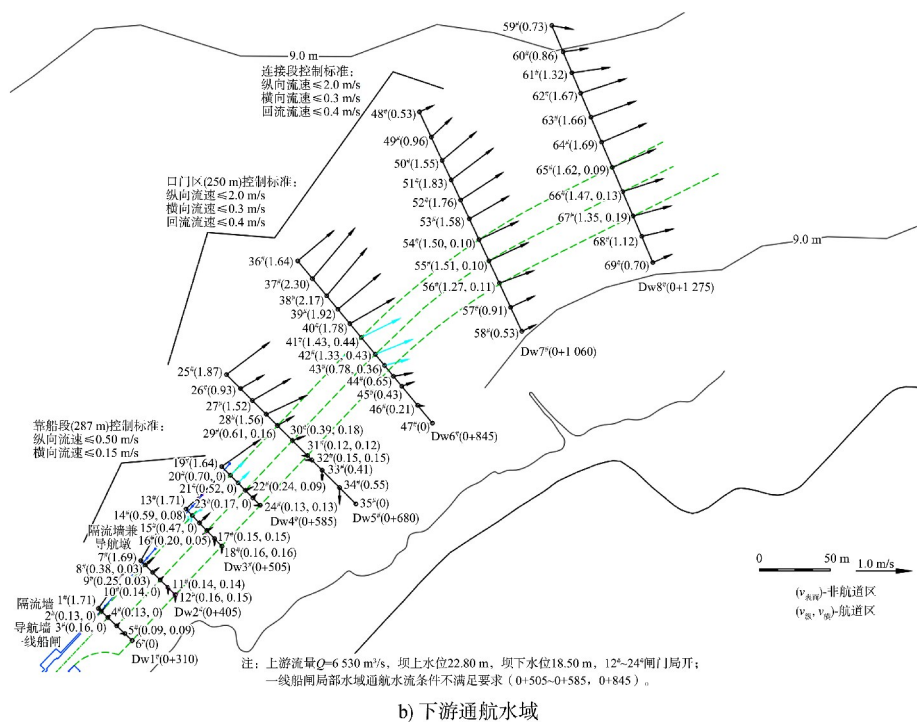


图5 上游和下游通航水域流速和流向分布

Fig. 5 Distribution of velocity and direction in upstream and downstream navigable waters

3.4 优化措施

鉴于一线船闸隔流墙存在的问题, 并考虑到
一线和二线船闸集中布置, 共用引航道。故将一

线、二线船闸水流条件合并处理, 采取措施一起
改善其水流条件, 经过反复试验后确定的方案见
图6。

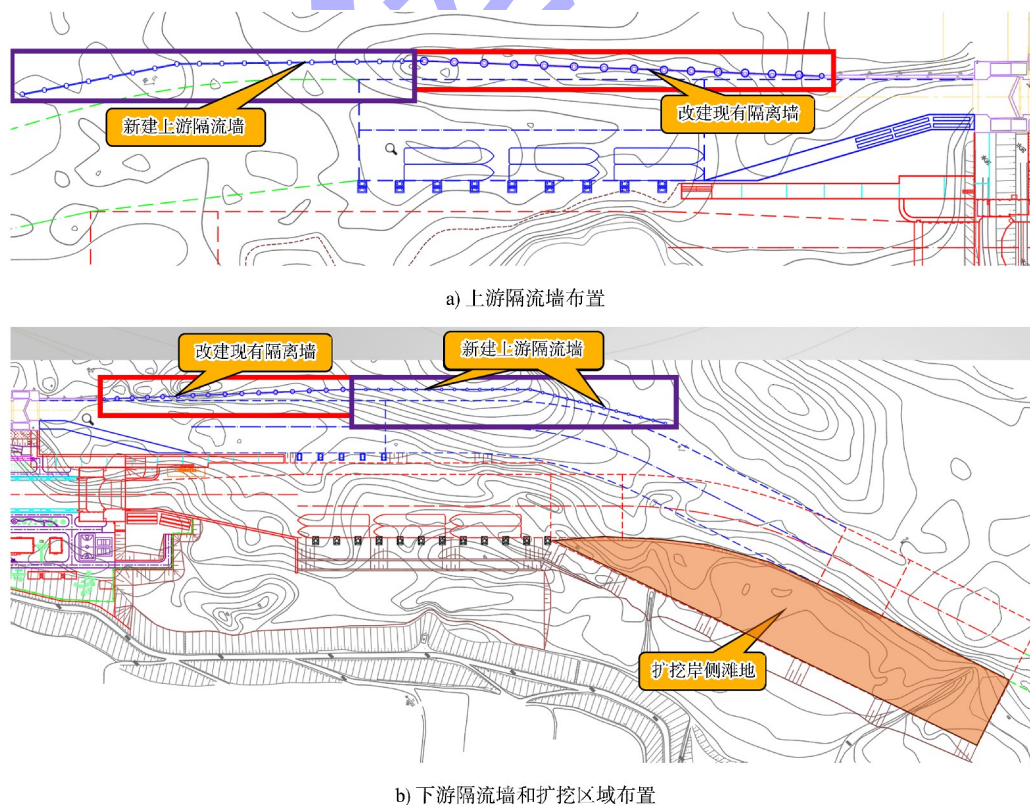


图6 上游和下游优化措施

Fig. 6 Optimization and measures for upstream and downstream

针对一线船闸已有桩基插板隔流墙透空率太大的情况,采用改建现有隔流墙降低透空率的措施,以掩护一、二线船闸的导航调顺段。改建一线船闸上游隔流墙位于现有上游隔流墙位置,总长 266.7 m,采用桩基+隔流板结构,桩基顶高程 26.8 m,隔流板顶高程 26.0 m,透空率小于 20%。改建一线船闸下游隔流墙位于现有下游隔流墙位置,总长 284.7 m,采用桩基+隔流板结构,桩基顶高程 26.4 m,隔流板顶高程 25.5 m,透空率小于 20%。

针对一线船闸隔流墙长度较短的情况,须新建上、下游隔离墙,延长上、下游隔离墙的长度,以便掩护停泊段。新建上游隔流墙长 270 m,由 2 段组成:第 1 段平行船闸轴线布置,长 165 m;第 2 段与第 1 段呈约 170°向岸侧偏转,长 105 m。隔流墙采用桩基+隔流板结构。桩基直径 3.2 m,顶高程 26.8 m。隔流板顶高程 26.0 m,透空率小于 20%。新建下游隔离墙长 387 m,由 2 段组成:

第 1 段平行船闸轴线布置,长 222 m;第 2 段与第 1 段呈约 166°向岸侧偏转,长 165 m。隔流墙采用桩基+隔流板结构。桩基直径 3.2 m,顶高程 26.4 m。隔流板顶高程 25.5 m,透空率小于 20%。针对下游引航道口门区和连接段航道的回流较大情况,采用扩挖下游连接段航道岸侧滩地区域,开挖面积约为 4.1 万 m²,疏浚底高程 6.55 m,以便减少回流。

3.5 优化效果

3.5.1 一线船闸上、下游引航道条件

改建一线船闸现有上、下游隔流墙和加长隔离墙长度后,隔流墙分水导流及掩护和隔流效果比现有隔流墙明显要好,一线船闸上、下游引航道和连接段航道内流态也得到一定改善,优化后一线船闸上游和下游引航道流速流态见表 3。可以看出,在各流量条件下,引航道及连接段全部水域纵、横向流速均满足规范的要求。

表 3 优化后一线船闸上游和下游引航道流速流态
Tab.3 Velocity and flow pattern in upstream and downstream approach channel of first-line ship lock after optimization

流量/(m ³ ·s ⁻¹)	位置	纵向流速/(m·s ⁻¹)	横向流速/(m·s ⁻¹)	回流流速/(m·s ⁻¹)
1 890 (多年平均)	上游引航道调顺段	0	0	—
	上游停泊区及制动段	0	0	—
	上游连接段	0~0.13	0~0.09	—
	下游引航道调顺段	0	0	0~0.03
	下游停泊区及制动段	0~0.23	0~0.15	0.02~0.15
	下游连接段	0~0.25	0~0.22	0.30
3 640 (满发)	上游引航道调顺段	0~0.02	0	—
	上游停泊区及制动段	0~0.03	0~0.01	—
	上游连接段	0.03~0.41	0~0.14	—
	下游引航道调顺段	0~0.03	0~0.02	0~0.03
	下游停泊区及制动段	0.05~0.30	0.05~0.11	0.31
	下游连接段	0.10~0.27	0.05~0.20	0~0.28
5 000 (坝厂联合)	上游引航道调顺段	0~0.03	0.01	—
	上游停泊区及制动段	0~0.17	0~0.05	—
	上游连接段	0.10~0.38	0~0.09	—
	下游引航道调顺段	0~0.03	0.01	0.02
	下游停泊区及制动段	0.03~0.24	0~0.09	0.05
	下游连接段	0.20~0.74	0~0.14	0.06

续表3

流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	位置	纵向流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	横向流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	回流流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
6 530 (停机)	上游引航道调顺段	0~0.05	0.01	—
	上游停泊区及制动段	0~0.33	0~0.13	—
	上游连接段	0.2~0.64	0~0.12	—
	下游引航道调顺段	0~0.03	0.02	0.02
	下游停泊区及制动段	0~0.49	0~0.07	0
	下游连接段	0.38~0.53	0~0.07	0
15 100 (5 a一遇)	上游引航道调顺段	0~0.07	0~0.01	—
	上游停泊区及制动段	0.1~0.50	0~0.13	—
	上游连接段	0.15~1.40	0.05~0.27	—
	下游引航道调顺段	0~0.05	0~0.02	0.03
	下游停泊区及制动段	0.10~0.50	0~0.08	0
	下游连接段	0.61~1.66	0.01~0.15	0

3.5.2 二线船闸上、下游引航道条件

通过改建现有隔流墙和新建隔流墙后,隔流墙分水导流及掩护和隔流效果比现有一线船闸隔流墙明显更好,同时开挖下游连接段航道岸侧滩

地,二线船闸上、下游引航道内流态也得到一定改善,优化后二线船闸上游和下游引航道流速流态见表4。可以看出,在各流量条件下,引航道及连接段全部水域纵、横向流速均满足规范要求。

表 4 优化后二线船闸上游和下游引航道流速流态
Tab. 4 Velocity and flow pattern in upstream and downstream approach channel of second-line ship lock after optimization

流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	位置	纵向流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	横向流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	回流流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
1 890 (多年平均)	上游引航道调顺段	0	0	—
	上游停泊区及制动段	0~0.01	0	—
	上游连接段	0~0.19	0~0.07	—
	下游引航道调顺段	0	0	0~0.03
	下游停泊区及制动段	0~0.20	0~0.11	0.02~0.15
	下游连接段	0~0.25	0~0.20	0.27
3 640 (满发)	上游引航道调顺段	0	0	—
	上游停泊区及制动段	0~0.09	0~0.03	—
	上游连接段	0.02~0.41	0~0.14	—
	下游引航道调顺段	0~0.01	0	0
	下游停泊区及制动段	0~0.36	0~0.15	0.35
	下游连接段	0.08~0.26	0.02~0.20	0.27
5 000 (厂坝联合)	上游引航道调顺段	0	0	—
	上游停泊区及制动段	0~0.09	0~0.04	—
	上游连接段	0.02~0.38	0~0.13	—
	下游引航道调顺段	0~0.01	0.01	0
	下游停泊区及制动段	0.03~0.25	0~0.12	0
	下游连接段	0.20~0.74	0~0.14	0
6 530 (停机)	上游引航道调顺段	0~0.01	0	—
	上游停泊区及制动段	0~0.24	0~0.09	—
	上游连接段	0.10~0.64	0~0.12	—
	下游引航道调顺段	0~0.02	0.01	0.01
	下游停泊区及制动段	0~0.49	0~0.15	0
	下游连接段	0.38~0.50	0~0.15	0

续表4

流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	位置	纵向流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	横向流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	回流流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
15 100 (5 a 一遇)	上游引航道调顺段	0~0.03	0~0.02	—
	上游停泊区及制动段	0.10~0.36	0.03~0.15	—
	上游连接段	0.18~1.31	0.10~0.18	—
	下游引航道调顺段	0~0.03	0~0.01	0.02
	下游停泊区及制动段	0.03~0.45	0.03~0.15	0
	下游连接段	0.20~1.66	0~0.20	0

4 结 论

1) 龙头山二线船闸平面布置综合考虑了赣东大堤安全稳定、上下游引航道通航水流条件、施工方案、一线船闸施工期通航等影响因素。

2) 通过模型试验得出,现有一线船闸上、下游引航道在下泄流量超过 $5\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,纵向和横向流速超标,无法满足通航,需要对一线船闸隔流墙进行改建,降低透空率,以改善引航道水流条件。

3) 采用延长现有隔离墙长度,扩挖下游连接段航道岸侧滩地等措施后,可改善一线船闸和二线船闸的引航道水流条件,以满足船舶通航需求。

参考文献:

[1] 刘婷. 基于灰色关联法的江西省水运发展与经济关联研究[J]. 现代营销(下旬刊), 2020(8): 84-85.
LIU T. Study on the relationship between water transport development and economy in Jiangxi Province based on grey correlation method [J]. Marketing management review, 2020(8): 84-85.

[2] 姚育胜. 湘鄂赣三省长江干支航运发展现状解析[J]. 武汉交通职业学院学报, 2015, 17(1): 7-12, 34.
YAO Y S. Analysis on development status of Yangtze River trunk and branch shipping in Hunan Province, Hubei Province, and Jiangxi Province [J]. Journal of Wuhan Technical College of Communications, 2015, 17(1): 7-12, 34.

[3] 江西省交通运输厅. 江西省内河航道与港口布局规划(2021—2050年)[A]. 南昌: 江西省交通运输厅, 2022.
Jiangxi Provincial Department of Transportation. Layout plan of inland waterways and ports in Jiangxi Province (2021-2050) [A]. Nanchang: Jiangxi Provincial Department of Transportation, 2022.

[4] 胡锦. 江西龙头山水电站枢纽工程施工导流方案选择与探讨[J]. 湖南水利水电, 2015(4): 5-7.
HU J. Selection and discussion on construction diversion scheme of Longtoushan hydropower station in Jiangxi Province[J]. Hunan hydro & power, 2015(4): 5-7.

[5] 渠化工程枢纽总体设计规范: JTS 182-1—2009[S]. 北京: 人民交通出版社, 2009.
Design code for hydrojunction general layout of canalization works: JTS 182-1—2009[S]. Beijing: China Communications Press, 2009.

[6] 王炜正, 刘江林. 船闸两闸轴线距离的计算分析[J]. 水运工程, 2023(2): 103-108.
WANG W Z, LIU J L. Calculation and analysis of axial distance between two ship locks [J]. Port & waterway engineering, 2023(2): 103-108.

[7] 邓伟, 阮健. 简析复线船闸轴线间距的确定方法[J]. 港工技术, 2021, 58(3): 11-14.
DENG W, RUAN J. Analysis of method for determining axial distance between double-line ship lock and one-line ship lock [J]. Port engineering technology, 2021, 58(3): 11-14.

[8] 李华勇, 杜军, 王志鹏. 万安枢纽二线船闸平面布置方案[J]. 水运工程, 2021(11): 159-164.
LI H Y, DU J, WANG Z P. Layout plan of the second-line ship lock of Wan'an Junction [J]. Port & waterway engineering, 2021(11): 159-164.

[9] 李华勇, 严秀俊, 徐进超, 等. 万安枢纽二线船闸上游通航水流条件优化试验研究[J]. 水运工程, 2023(6): 120-124, 130.
LI H Y, YAN X J, XU J C, et al. Optimization test on navigable flow conditions of upstream at Wan'an second-line ship lock [J]. Port & waterway engineering, 2023(6): 120-124, 130.

(下转第 166 页)