



沅水桃源枢纽二线船闸整体布置试验研究

周千凯¹, 李帆², 周林辉¹, 蒋孜伟³

(1. 湖南省水运建设投资集团有限公司, 湖南长沙 410011;

2. 湖南省交通规划勘察设计院有限公司, 湖南长沙 410008; 3. 重庆交通大学, 重庆 400074)

摘要: 针对沅水下游存在高等级航道瓶颈, 桃源枢纽一线船闸通过能力不足的问题, 拟在桃源枢纽扩建二线船闸。建立 1:100 整体定床物理模型, 对船闸左、右岸的设计方案进行比选和优化, 并对引航道及口门区的通航水流条件采取一系列改善措施。结果表明: 左岸新建船闸方案通航流量基本能达到 10 a 一遇洪水流量, 但需要拆除重建 3 孔泄洪闸, 对枢纽主体结构、左汊行洪能力、河床稳定影响大, 还需要拆除一线船闸左侧导航堤和导流堤, 导致大幅降低一线船闸通航保证率; 通过对右岸船闸方案采用减小上游开挖深度、在上游连接段布置潜坝、优化隔水墙长度、扩展航槽宽度的方案, 可大幅改善引航道及口门区的通航水流条件, 满足通航要求。

关键词: 引航道; 口门区; 模型试验; 二线船闸; 通航水流条件

中图分类号: U612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)01-0145-09

Test on overall layout of second ship lock at Taoyuan Hub in Yuan River

ZHOU Qiankai¹, LI Fan², ZHOU Linhui¹, JIANG Ziwei³

(1. Hunan Provincial Water Transportation Construction & Investment Group Co., Ltd., Changsha 410011, China;

2. Hunan Province Communications, Planning, Survey & Design Institute Co., Ltd., Changsha 410008, China;

3. Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: There is the bottleneck of the high-grade waterway downstream of the Yuan River, and the problem of insufficient capacity of the first ship lock at Taoyuan Hub. It is necessary to build the second ship lock at Taoyuan Hub. We compare and optimize the design schemes of the left and right banks of the ship lock by building a 1:100 integrated fixed bed physical model, and propose a series of improvement measures for navigation flow conditions of the approach channel and the entrance area. The results show that the navigation flow of the new ship lock scheme on the left bank can basically reach a flood flow rate of once every ten years, but it is necessary to rebuild three floodgates, which has a significant impact on the main structure of the hub, the flood discharge capacity of the left branch, and the stability of the riverbed. In addition, dismantling the navigation and diversion embankments on the left side of the first ship lock will lead to a significant reduction in the navigation guarantee rate of the first ship lock. The implementation of a plan to reduce the upstream excavation depth, arrange a submerged dam in the upstream connection section, optimize the length of the diaphragm wall, and expand the width of the navigation channel for the right bank ship lock can significantly improve the navigation flow conditions of the approach channel and entrance area, making it meet navigation requirements.

Keywords: approach channel; entrance area; model test; second ship lock; navigable flow condition

桃源枢纽是规划沅水国家高等级航道最下游一个梯级, 位于桃源县城区双洲分汉洲尾, 上距

凌津滩枢纽 38 km, 下距常德市 48 km, 已建 1 座 500 吨级船闸, 工程河段航道规划为 1 000 吨级。

收稿日期: 2024-04-08

作者简介: 周千凯 (1986—), 男, 硕士, 注册土木工程师(港口与航道工程), 高级工程师, 从事航电枢纽、船闸设计与研究。

随着沅水航道运量增加和船舶大型化导致现有船闸已成为制约沅水下游高等级航道发展的瓶颈,堵船现象严重^[1]。为解决当下桃源枢纽碍航、堵船等问题,消除安全隐患,又主动适应沅水水运大通道的发展要求,亟需新建桃源枢纽二线船闸。船闸改扩建工程易受地质条件、通航建筑物等多重因素制约,设计及建设难度均较一线船闸更大^[2-3]。

船闸引航道口门区通航水流条件的好坏直接影响过闸船舶的安全。因此,改善船闸引航道口门区及连接段的水流条件具有重要的现实意义^[4]。目前已有大量的关于引航道及连接段通航水流条件的研究成果,如吴雪茹^[5]通过分析下福水利枢纽运行期的闸门调度、机组组合运行和导航墙长度对口门区通航水流的影响,提出改善通航水流条件的枢纽运行方式;姜楚等^[6]采取调整导航墙及航线等措施,对青田水利枢纽原方案进行优化,最终提出航道及通航建筑物的推荐布置方案;刘中峰等^[7]针对孟洲坝枢纽二线船闸上引航道停泊段及口门区横向流速超标的问题,采用定床物理模型试验进行研究,提出采用加长隔流墙并设置透水段等措施进行治理;王云莉等^[8]利用整体定床物理模型,研究引航道导墙长度及布置形式对一、二线船闸口门区及引航道内水流条件的影响;李一兵等^[9]提出在合适的位置修筑隔流堤能有效

改善葛洲坝三江下引航道口门区通航水流条件;李明德等^[10]利用导流墩与导沙坎相结合,较好地解决了株洲枢纽船闸下引航道口门区及连接段通航、淤积等问题。

桃源枢纽二线船闸建设工程不仅大小船闸双线并存,而且涉河建筑物相关性较强,枢纽布置十分困难,加上上游建有沅江大桥、下游出口又为弯道,上下游航道的平顺连接性较差,通航环境十分复杂。因此,为了设计出更为科学合理的船闸布置方案,开展物理模型研究十分必要,相关研究方法和工程措施旨在为类似工程提供参考。

1 工程概况

电站枢纽工程布置横跨双洲岛,从左至右依次布置为:左岸土石副坝、左河槽14孔泄洪闸、双洲土石副坝1、现有船闸、双洲土石副坝2、电站厂房、右河槽11孔泄洪闸、右岸土石副坝等,见图1。坝顶轴长1 315 m,坝顶高程50.70 m(1985国家高程基准,下同),两岸建有防洪大堤。枢纽现有通航建筑物为Ⅳ级,单级船闸,布置在河道江心洲双洲的左侧,由上游引航道、上闸首、闸室、下闸首、下游引航道等组成。闸室有效尺寸120.0 m×18.0 m×3.5 m(长×宽×门槛水深),设计最大过坝船型为2×500 t顶推船队。



图1 桃源枢纽主要建筑物分布

Fig. 1 Main buildings distribution at Taoyuan Hub

根据航运、航道规划、水运量预测、船型等要求, 桃源枢纽航道等级为Ⅲ级, 二线船闸为 1 000 吨级船闸, 闸室有效尺度为: 280 m×34 m×4.0 m(有效长度×闸室宽度×门槛水深)。设计代表船型为 1 000 吨级货船, 尺寸为 85.0 m×10.8 m×2.0 m(长×宽×满载吃水)。枢纽上游最高通航水位 43.48 m、最低通航水位 38.37 m, 下游最高通航水位 43.36 m、最低通航水位 24.5 m, 通航保证率为 98%。JTJ 305—2001《船闸总体设计规范》^[11] 规定引航道及口门区纵向表面流速不超过 2.0 m/s, 横向表面流速不超过 0.3 m/s, 回流流速不超过 0.4 m/s。

本文采用 1:100 整体定床物理模型研究在不同试验流量工况、不同方案下的引航道及口门区

通航水流条件, 并提出相应的工程措施。

桃源枢纽左岸为桃源县主城区, 新建船闸可布置于左岸第 1~3 孔泄洪闸之间, 以避免城区征地拆迁; 右岸为农村区域, 新建船闸轴线可布置于泄洪孔与防洪大堤之间, 船闸主体工程建于下游河滩地, 船闸布置条件较好。

综合考虑各种影响因素, 设计提出左岸、右岸布置船闸的两类总体布置方案。左岸设计方案邻近左岸新建二线船闸, 为满足河道行洪能力要求, 需要拆除重建 3 孔泄洪闸, 拆除一线船闸下游左隔水墙, 并疏挖上下游部分河道, 总平面布置见图 2a); 右岸设计方案紧靠右岸新建二线船闸, 引航道布置受限按曲线布置, 总平面布置见图 2b)。

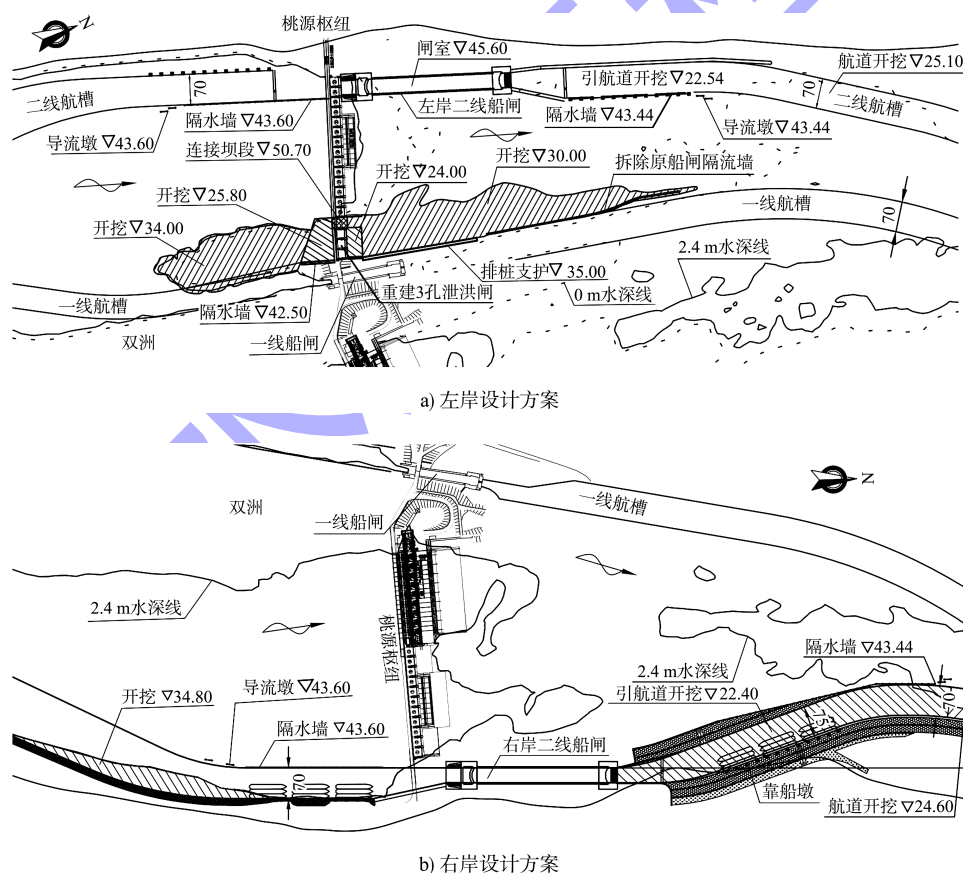


图 2 方案平面布置 (单位: m)

Fig. 2 Plan layout of schemes (unit: m)

2 模型设计与验证

模型进口位于桃源枢纽坝轴线上游约 4.7 km 的湿地公园, 出口位于坝轴线下游约 4.9 km 的龙头滩上口, 试验河段长约 9.6 km, 见图 3。工

程布置的主要范围距离坝轴线上下游各约 2 km(含沅水大桥及下游弯曲航道), 模型进出口调节段具有 27 m 的足够长度, 满足 JTS/T 231—2021《水运工程模拟试验技术规范》^[12] 相关要求。

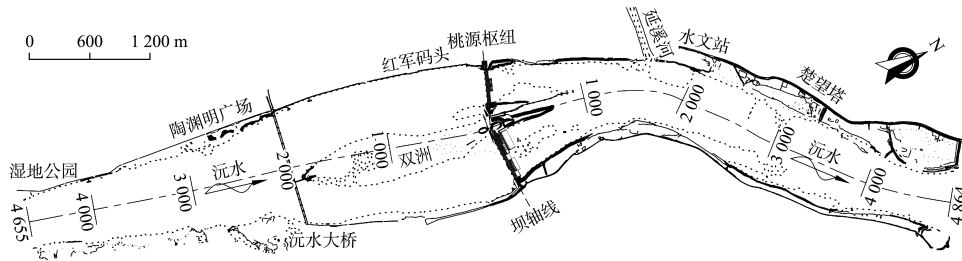


图3 桃源枢纽模型范围 (单位: m)

Fig. 3 Model range for Taoyuan hub (unit: m)

根据河工模型水流相似基本准则, 须满足几何、重力、阻力以及连续等相似条件, 由此可得如下相似比尺: 平面比尺 $\lambda_L = 100$, 垂直比尺 $\lambda_H = 100$, 流速比尺 $\lambda_v = \lambda_H^{1/2} = 10$, 水流时间比尺 $\lambda_t = \lambda_L / \lambda_v = 10$, 流量比尺 $\lambda_Q = \lambda_L \lambda_H \lambda_v = \lambda_L \lambda_H^{3/2} = 10$ 万, 糙率比尺 $\lambda_n = \lambda_H^{2/3} (\lambda_H / \lambda_L)^{1/2} \lambda_v^{-1} = \lambda_H^{2/3} / \lambda_L^{1/2} = 2.15$ (采用曼宁糙率公式)。

模型制作依据的主要地形资料是 2021 年 12 月施测的 1:2 000 河道地形图, 其中坝下局部未测和人为因素造成地形变化较大之处, 采用 2022 年 9 月局部补测地形进行替换。河道模型采用断面板法用水泥砂浆刮制而成。模型共布置了 168 个断面, 断面布置平均间距 570 mm。导线采用全站仪施放, 采用经纬仪和钢尺校核, 平面控制三角闭合差小于 $\pm 5''$ 。断面平面和高程绘制误差均小于 0.5 mm, 安装误差平面控制在 ± 10 mm 内, 高程误差控制在 ± 0.5 mm 内。研究河段具有泄水闸坝、挡水坝、电站、船闸、桥墩及拱圈、泵站等水工建筑物, 模型采用塑料板、有机玻璃板、水泥砂浆等制作, 平面上严格按照几何相似制作。

水位采用测针测量, 精度为 0.1 mm。流速测量采用表面粒子成像系统, 可快速、准确、全面测取表面流场。浮标流向采用连续录像, 然后组帧及图像识别技术测取。模型主要进行枯水和洪水水面线、大断面流速分布等内容的验证。对比实测资料, 原、模型水面线吻合较好, 水面比降一致性程度较高, 绝大多数测点在 ± 0.10 m 范围内。流速绝大多数测点偏差均不大于 $\pm 10\%$, 基本能达到相似要求。除少数流迹线变化较剧烈之外, 其余迹线与原型浮标的流向、流路、主流范围等吻合较好, 其位置、范围等与现场观察结果基本一致。

综上所述, 经过对模型水位、大断面流速以及浮标流向的验证试验, 其结果满足定床河工模型的相似性要求, 在此基础上可开展桃源枢纽工程方案的试验研究工作。

3 左岸新建船闸方案试验

3.1 试验流量

为了准确地获知各级流量的水流特性和通航水流条件, 拟定 8 级流量, 见表 1。

表 1 试验流量基础工况

Tab. 1 Basic operating conditions for test flow rate

总流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	泄洪流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	发电流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	坝上 水位/m	桃源站 水位/m	尾门 水位/m	工况
217	0	217	39.50	27.63	27.50	设计流量, 泄洪闸全闭
3 699	0	3 699	39.50	32.52	32.40	9 台机满发流量, 泄洪闸全闭
6 000	2 301	3 699	39.50	34.39	34.20	8 台机满发流量, 控泄
8 800	6 888	1 912	39.50	36.23	36.10	停机流量, 9 台机控发、控泄
13 000	13 000	0	39.50	38.67	38.46	常见洪水流量, 停机控泄
19 000	19 000	0	42.00	41.63	41.41	频率 $P=50\%$, 停机敞泄
20 600	20 600	0	42.56	42.31	42.04	$P=10\%$ (最高通航流量), 停机敞泄
28 100	28 100	0	45.30	45.06	44.79	$P=2\%$ (防洪标准流量), 停机敞泄

3.2 左岸原设计方案存在的问题及原因

首先对 50 a 一遇洪水流量 $Q=28\ 100\ \text{m}^3/\text{s}$ 进行水位、流速等测试, 发现原设计方案存在以下问题: 1) 左汊坝上、坝下壅水较明显, 对泄洪能力影响较大; 2) 重建的 3 孔泄洪闸泄流能力有所不及。

究其原因: 1) 新建船闸占据较大的过水面积, 对于左汊, 上游最大减小了 19.0%, 下游则达到了 21.3%, 如此大的面积减小率犹如形成一道卡口, 故而引起其上游较高的壅水; 2) 重建的

3 孔泄洪闸上游河床开挖高程为 34 m, 明显高于原河床(30~31 m), 影响了入流流态和有效水头; 3) 原闸孔与重建闸孔之间的连接坝段, 引起了明显的侧向收缩。

3.3 修改方案试验

3.3.1 修改方案工程布置

仅针对上游进行局部修改和优化: 1) 将上游开挖区高程降至 31 m; 2) 在连接坝段上游增建箭头形分水导流堤以导顺水流, 减小侧收缩。左岸新建船闸修改方案平面布置见图 4。

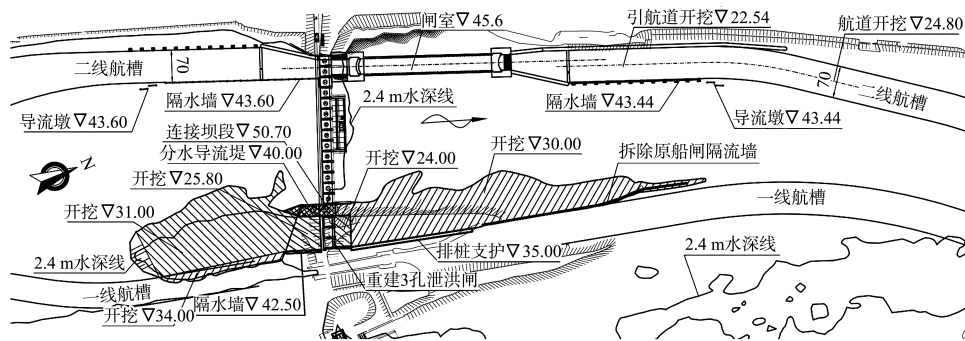


图 4 左岸新建船闸修改方案平面布置 (单位: m)

Fig. 4 Plan layout of modified scheme for new ship lock on left bank (unit: m)

3.3.2 修改方案的效果

1) 对坝上水位的影响。修改方案上游最大过水面积束窄率比原设计方案减小 4.2%, 最大减小 6.4%, 加之分水导流堤的作用, 上游水位有明显降落。方案修改后, $Q=28\ 100\ \text{m}^3/\text{s}$ 时, 坝上引航道内水位壅高降至 0.14 m, 减小 0.08 m, 其他水尺减小 0.02~0.05 m, 基本降至壅高 0.10 m 以下。

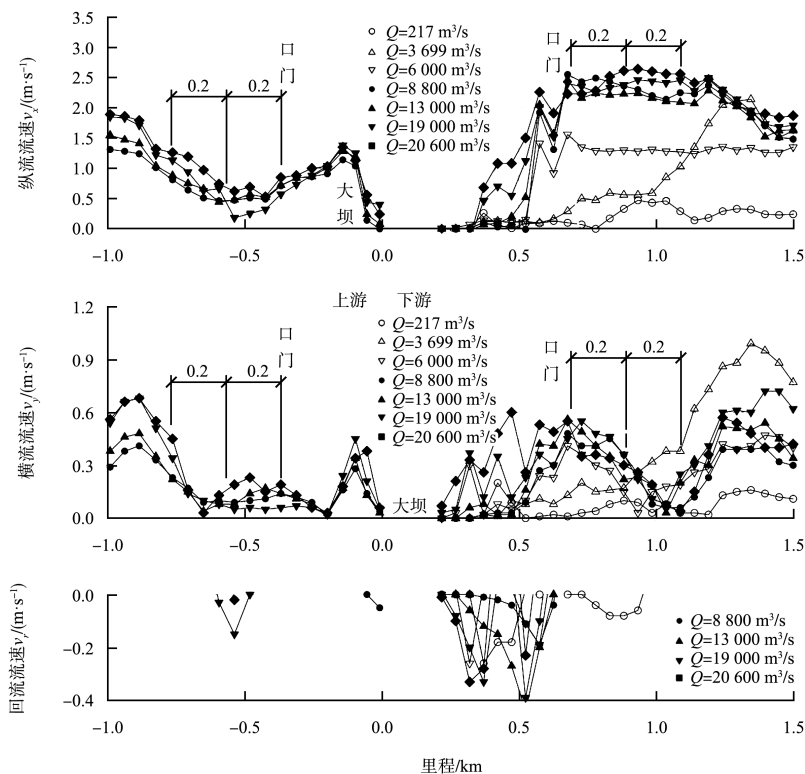
该方案还对其他 7 级流量进行全面的流速测试, 分析最大纵、横、回流的沿程分布情况。

2) 双线船闸通航水流条件见表 2。可以看出, 二线船闸总体上仅有零散测点流速超标, 各级流量基本满足通航和停泊要求。一线船闸当 $Q>3\ 600\ \text{m}^3/\text{s}$ 时, 通航和停泊均十分困难, $Q\leq 3\ 699\ \text{m}^3/\text{s}$ 时, 通航水流条件良好。双线船闸纵、横和回流流速的沿程变化见图 5。

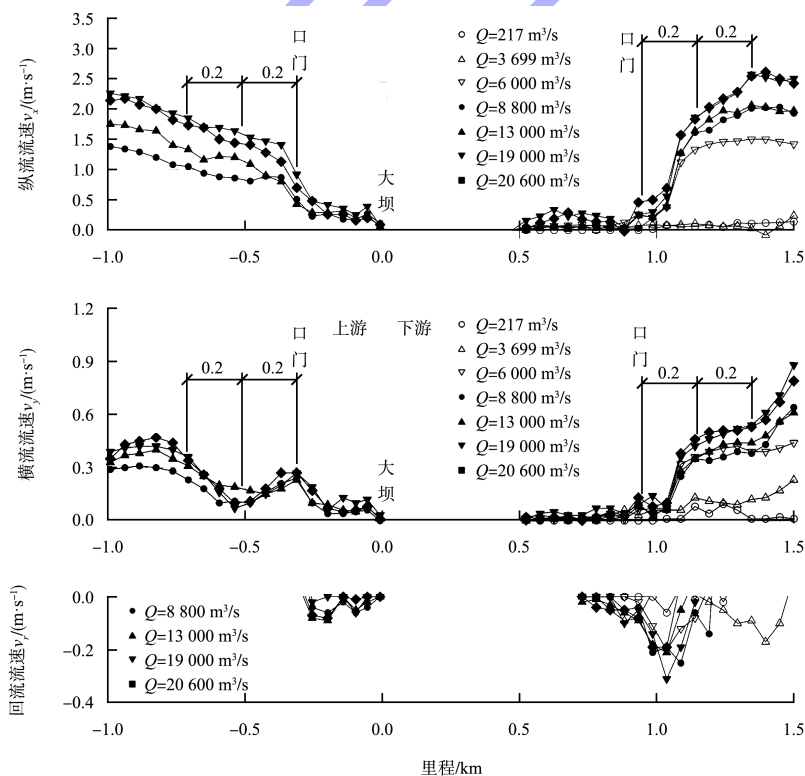
表 2 双线船闸通航水流条件

Tab. 2 Navigation water flow conditions of double ship locks

船闸	位置	流量/($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	最大流速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)		
			纵向	横向	回流
一线船闸	上游引航道	8 800~20 600	1.41	0.45	0.04
	上游口门区	8 800~20 600	0.69	0.23	0.15
	上游连接段	8 800~20 600	1.25	0.45	0.00
	下游引航道	6 000~20 600	2.26	0.60	0.40
		$\leq 3\ 699$	1.40	0.08	0.26
	下游口门区	8 800~20 600	2.60	0.60	0.07
二线船闸		$\leq 3\ 699$	0.59	0.17	0.10
	下游连接段	8 800~20 600	2.50	0.40	0.39
		$\leq 3\ 699$	1.03	0.38	0.08
	上游引航道	$\leq 3\ 000$	0.51	0.24	0.09
		19 000~20 600	0.92	0.27	0.08
	上游口门区	$\leq 20\ 600$	1.64	0.27	0.00
二线船闸	上游连接段	$\leq 20\ 600$	1.93	0.38	0.00
	下游引航道	$\leq 20\ 600$	0.46	0.13	0.10
	下游口门区	$\leq 20\ 600$	1.86	0.46	0.31
	下游连接段	$\leq 13\ 000$	2.06	0.44	0.14
	19 000~20 600	2.57	0.54	0.00	



a) 一线船闸



b) 二线船闸

图 5 左岸船闸修改方案最大纵、横、回流流速沿程变化

Fig. 5 Maximum longitudinal, transverse, and backflow velocities along distance for modified scheme of left bank ship lock

3) 一线船闸通航流量。综合以上分析, 左岸新建船闸方案后, 一线船闸通航流量约 $3\,700\text{ m}^3/\text{s}$, 即只要左汊泄流, 一线船闸基本不能通航。 $Q=3\,700\text{ m}^3/\text{s}$ 的保证率约 14.2%, 按航道河床高程 26.6 m 和设计水深 2.4 m 计算, 能通航的水位为 29.0 m, 相应流量为 $1\,100\text{ m}^3/\text{s}$, 对应保证率约 54.0%。所以, 按航道设计水深估算的通航流量为 $1\,100\sim 3\,700\text{ m}^3/\text{s}$, 通航期占比 39.8%, 比工程前减少 17.2%。

4 右岸新建船闸方案试验

4.1 右岸原设计方案存在的问题及原因

对 50 a 一遇洪水流量 $Q=28\,100\text{ m}^3/\text{s}$ 进行水位、流速等测试, 发现原设计方案对行洪能力影响明显, 主要体现在: 1) 下游河段流速分布出现大幅调整; 2) 坝上、坝下壅水明显, 最高接近 0.2 m。

与左岸新建船闸方案一样, 影响行洪能力的原因主要是隔水墙占据了较大的过水面积, 而且处于主流带和较窄断面。同时在惯性作用下, 水流过下游堤头后继续收缩, 堤头断面实际上阻挡

的过流量占比大于过水面积占比, 继而引起水位的明显壅高。

4.2 修改方案试验

从行洪能力的影响看, 原设计方案基本不可行, 所以未再进行其他流量工况的试验, 而直接进行方案优化试验。修改方案 4 提出前进行了 3 个方案的优化试验, 限于篇幅, 仅对工可阶段的推荐方案——修改方案 4 进行阐述。

经优化, 确定下游隔水墙缩短 270 m, 将航槽调整为与流向基本一致, 堤头段采用 1:10 的缓横坡开挖, 将航槽向右侧适当扩展, 并向下适当挖深, 除下游口门区左侧外, 其他航槽开挖边坡取 1:2。将上游隔水墙缩短 100 m, 适当减小占据的过水面积和上游壅水; 右侧航槽开挖区底部高程从 34.8 m 提高到 35.4 m, 保证航深 3.0 m; 上游连接段布置 2 道短潜坝, 顶部高程 35.4 m, 长度约 21 和 39 m, 右侧接开挖区左缘, 目的是减小进入引航道的流量, 继而减小回流和横流。右岸修改方案 4 平面布置见图 6。

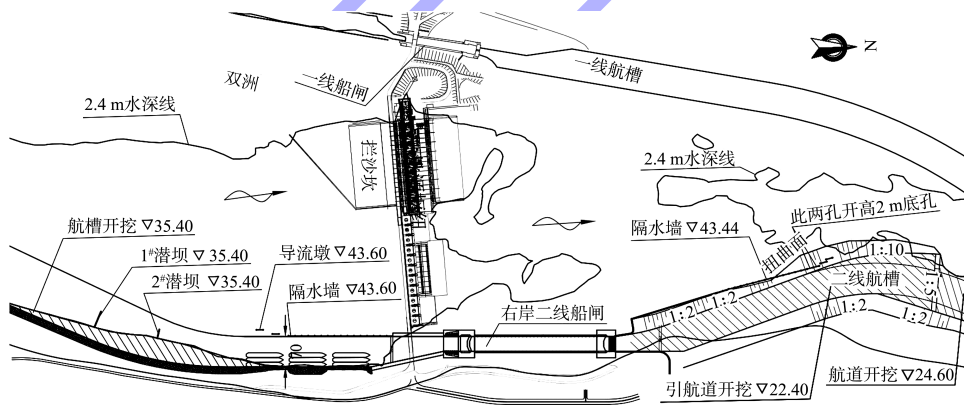


图 6 右岸修改方案 4 平面布置 (单位: m)

Fig. 6 Plan layout of modified scheme 4 for right bank (unit: m)

$Q=20\,600\text{ m}^3/\text{s}$ 时引航道内回流最强, 上游引航道、口门区的流速对比见图 7。可以看出, 修筑潜坝及提高开挖高程后, 引航道内回流有明显减小, 方案修改具有较明显的效果。

上游引航道、口门区的纵流、横流分布见图 8。可以看出, 引航道内最大回流流速降到了 0.11 m/s, 同时口门区、连接段水流条件未见明显恶化。另外, 满足停泊条件的长度超过了 280 m, 满足了停泊段长度的要求。由此可见, 减小航槽挖深, 增设航槽短潜坝, 能适当减小流向引航道的流量,

继而减弱引航道回流强度, 因此修改方案 4 达到了进一步改善停泊条件的作用。

修改方案 4 下游引航道及口门区最大纵、横、回流沿程变化见图 9。下游引航道最大纵、横、回流流速分别为 0.14、0.06、0.06 m/s, 口门区最大纵、横、回流流速分别为 1.61、0.23、0.27 m/s, 连接段最大纵、横、回流流速分别为 1.88、0.18、0.36 m/s。下游各区段纵、横、回流流速均不超标, 满足通航要求。因此, 二线船闸通航流量应能达到 10 a 一遇流量。

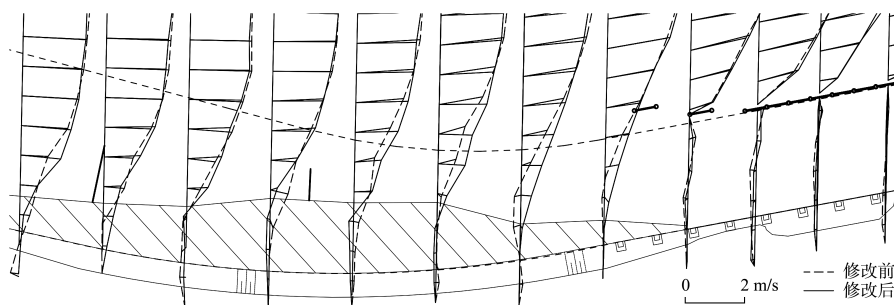


图 7 修改方案 4 在 $Q=20\ 600\ \text{m}^3/\text{s}$ 时二线船闸上游引航道和口门区流速分布对比

Fig. 7 Velocity distribution of modified scheme 4 in second ship lock's upstream approach channel and entrance area when Q is $20\ 600\ \text{m}^3/\text{s}$

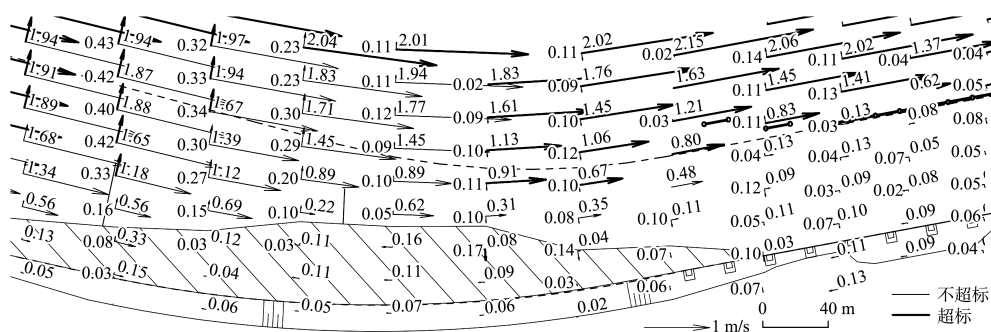


图 8 修改方案 4 在 $Q=20\ 600\ \text{m}^3/\text{s}$ 时二线船闸上游引航道和口门区纵、横流流速分布

Fig. 8 Longitudinal and transverse flow velocities of modified scheme 4 in second ship lock's upstream approach channel and entrance area when Q is $20\ 600\ \text{m}^3/\text{s}$

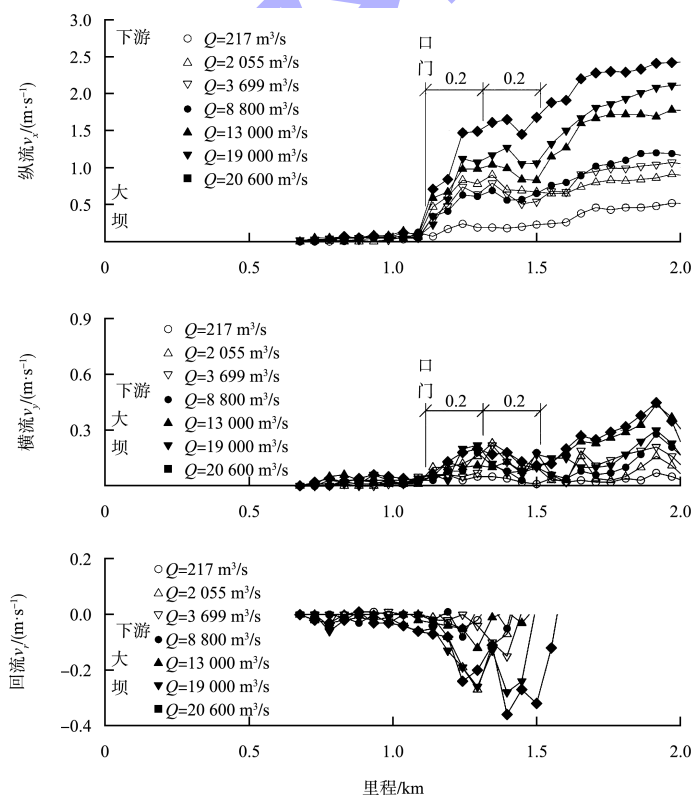


图 9 修改方案 4 二线船闸下游引航道和口门区纵、横、回流流速分布

Fig. 9 Longitudinal and transverse flow velocities of modified scheme 4 in second ship lock's downstream approach channel and entrance area

5 岸别比选

综合上述研究成果对新建船闸岸别进行比较分析, 见表 3。可以得出, 右岸修改方案 4 在对行洪、一线船闸通航水流条件、枢纽建筑物等影响方面具有明显优势, 在避免双线交叉干扰等方面也优于左

岸方案, 仅在工程征地、拆迁安置量方面稍劣于左岸方案, 同时左岸方案受诸多条件限制, 几乎没有优化的空间。因此, 综合比较认为右岸新建船闸方案具有优势, 可作为工可阶段推荐岸别, 右岸新建船闸修改方案 4 宜作为工可阶段的推荐方案。

表 3 新建船闸岸别比选

Tab. 3 Comparison and selection of shore types for newly built ship locks

岸别	新建二线船闸通航条件	对一线船闸通航条件的影响	对行洪的影响	对电站的影响	对枢纽建筑物的影响	工程征地、拆迁安置量
左岸新建船闸	大流量时下游连接段应谨慎驾驶, 上游双线共槽存在一定交叉和干扰, 通航流量基本可到 10 a 一遇	需拆除上游隔水岛和下游隔水墙, 最高通航流量大幅降低, 枯水门槛水深减小 0.21 m, 通航期减小 17.2%; 上游双线共槽存在一定交叉和干扰。总体影响较大	坝上、坝下 50 a 一遇洪水最大水位壅高 0.14、0.18 m, 壅高 0.05 m 的范围约 3 km, 洪水流量左汉分流比变化减小 0.3%~2.6%。总体影响较明显	右岸中、枯水位变化范围 ± 0.05 m 内, 总体影响甚微	拆除左岸 3 孔泄洪闸, 并重建 3 孔泄洪闸, 对枢纽主体结构影响较大	建设用地费约 1.93 亿元
右岸新建船闸	上下游口门区、连接段通航条件较好, 通航流量可到 10 a 一遇	工程布置无直接关联, 对最高通航流量无影响; 枯水门槛水深减小 0.22 m; 通航保证率减小 6%。总体影响较小	50 年一遇洪水坝上、坝下最大水位壅高 0.09、0.04 m, 壅高 0.05 m 的范围约 2.7 km, 洪水流量右汉分流比变化范围为 -1.1%~1.2%。总体影响较小	右岸中、枯水位变化范围 ± 0.05 m 内; 总体影响甚微	仅需局部拆除枢纽右岸土石副坝, 对枢纽主体结构影响较小	建设用地费约 2.30 亿元
对比结果	右岸较优	右岸优势显著	右岸优势明显	二者差异不大	右岸优势明显	左岸较优

6 结语

1) 左岸新建船闸方案通航流量基本能达到 10 a 一遇洪水流量, 但需要拆除一线船闸左侧导航堤和导流堤, 导致原船闸通航保证率降低至 40%; 同时, 须拆除左汉左岸第 1~3 孔泄洪闸, 在左汉右岸重建 3 孔泄洪闸, 对枢纽主体结构影响较大, 大坝安全评估审批难度大; 改变了分流比, 对左汉行洪能力、水流条件及河床稳定有一定影响, 防洪审批难度大。

2) 通过右岸新建船闸原设计方案以及 4 个修改方案的试验研究, 提出的修改方案 4 能满足设计要求, 二线船闸通航流量可到 10 a 一遇, 该方案仅需局部拆除枢纽右岸土石副坝, 不会影响其他枢纽现有建筑物, 施工期不会导致断航; 船闸布置条件较好, 对防洪影响小。综合考虑将右岸新建船闸修改方案 4 作为工可阶段的推荐方案。

3) 研究结果表明, 通过优化隔水墙、导流墩

的布置并辅以拓宽浚深的措施, 可有效改善引航道及口门区的通航水流条件。在枢纽上游连接段布置潜坝, 使引航道及口门区的回流明显减小, 此类布置方式可为优化引航道及口门区的水流条件提供参考和借鉴。

参考文献:

- [1] 重庆交通大学. 沅水桃源枢纽二线船闸建设工程船闸布置及通航条件物理模型试验研究报告[R]. 重庆: 重庆交通大学, 2024.
- [2] 刘达, 黄本胜, 邱静, 等. 飞来峡水利枢纽新建二、三线船闸通航水流条件的试验研究[J]. 水利水电技术, 2015, 46(12), 58-60.
- [3] 李艳, 张绪进, 刘洋, 等. 韩江南溪新建船闸通航水流条件试验研究[J]. 水道港口, 2020, 41(5): 585-589, 618.
- [4] 黄伦超, 陶桂兰. 渠化工程学[M]. 2 版. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2016.

(下转第 198 页)