



涪溪枢纽二线船闸平面布置及试验研究

刘 领，罗广胜

(湖南省水运建设投资集团有限公司，湖南 长沙 410011)

摘要：针对涪溪枢纽二线船闸复杂约束条件下平面布置难度大的问题，总结船闸总体布置原则，充分考虑通航水流条件、地质条件、施工条件、结构稳定性、防洪影响、闸管区布置、一次过闸时间、征地拆迁、开挖工程量和工程投资等影响因素，采用定性和定量分析相结合的方法，通过综合分析比选合理选择平面布置方案。在该方案基础上，采用正态定床物理模型与船模试验，通过水面最大纵向和横向流速、最大舵角、最小航速等指标，研究二线船闸上游引航道通航水流条件及对船舶通航的影响，并通过试验分析，优化上游隔流墙布置及结构形式。结果表明，主体结构位于挡水线下游的平面布置方案更优，该方案在减小防洪压力的同时，工程施工便利，经济性更优，结构稳定性更好；上游隔流墙推荐采用联排桩 100 m(桩心距 1.5 m)+桩基插板 100 m 形式，可有效解决一线船闸通航状况下库区围堰难题，降低工程造价。提出的布置方案和研究思路可为周边环境受限、约束条件多的库区船闸总体布置提供参考借鉴。

关键词：二线船闸；平面布置；模型试验；通航水流条件；隔流墙

中图分类号：U641

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2025)12-0115-07

Plane layout and experimental study of Wuxi junction second-line ship lock

LIU Ling, LUO Guangsheng

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

Abstract: To address the significant challenges in plane layout under complex constraints for the Wuxi junction second-line ship lock, we summarize general layout principles of ship lock. Meanwhile, we fully consider influencing factors such as navigable flow conditions, geological compatibility, constructability, structural stability, flood control impacts, management area configuration, single-transit efficiency, land acquisition requirements, excavation volumes, and project costs. Adopting the method of combining quantitative and qualitative analysis, we select a reasonable general layout scheme through comprehensive comparative analysis. Based on this scheme, we conduct normal fixed-bed physical model tests and ship model tests to investigate the navigable flow conditions in the upstream approach channel of the second-line ship lock and their impacts on vessel navigation, using indicators such as maximum longitudinal/transverse flow velocities, maximum rudder angles, and minimum sailing speeds. We optimize the layout and structural type of the bulkhead through this experimental analysis. The results show that the scheme with the ship lock main structure located downstream of the anti-seepage cutoff wall is superior, as we find it reduces flood control pressures while ensuring construction convenience, better economic performance, and better structural stability. For the upstream bulkhead, we recommend the combination scheme of 100 m pile row (1.5 m center spacing) and 100 m pile inserted separation wall, which effectively addresses cofferdam challenges in the reservoir area during first-line ship lock navigation, and reduces project costs. The proposed layout scheme and methodology offer a valuable reference for the general arrangement of ship locks in similarly constrained reservoir areas, particularly those subject to multifaceted environmental and operational limitations.

Keywords: second-line ship lock; plane layout; model test; navigable flow conditions; bulkhead

收稿日期：2025-04-23 录用日期：2025-05-21

作者简介：刘领(1972—)，男，硕士，正高级工程师，从事水运工程建设管理与研究工作。

《湖南省“一江一湖四水”水运发展规划》将“建设湘江永州至衡阳 1 000 吨级航道工程”列为近期重大工程项目，浯溪枢纽二线船闸是该项目的重要控制性工程之一。工程实践中，在已建枢纽扩建二线船闸时，因受多方面因素制约，其闸位选择和平面布置难度较大^[1]。目前主要通过规范^[2-3]结合具体案例进行研究，如邹开明等^[4]采用定床水工模型试验的方法，对株洲航电枢纽二线船闸总平面布置问题进行探讨；周灿等^[5]分析大源渡二线船闸设计条件，并通过物模验证提出适合弯曲河段的船闸总体布置方案；王晨晨等^[6]通过对比分析清远枢纽三线船闸不同闸位及平面布置方案，并采用数值模拟计算确定了最优方案。这些成果为类似工程提供了理论支撑，但对周边环境复杂的库区船闸建设参考经验有限。

本文通过分析浯溪枢纽二线船闸扩建面临的复杂约束条件，通过多因素比选确定船闸平面布置，采用正态定床物理模型与船模试验优化上游隔流墙布置及结构形式，旨在为项目落地实施提供理论依据，同时为周边环境受限、约束条件多的库区枢纽扩建船闸工程建设提供参考借鉴。

1 工程概况

浯溪枢纽位于永州祁阳市境内，为低水头大流量河床式水电站，坝址控制流域面积 23 380 km²，总库容 2.78 亿 m³。枢纽建筑物布置从左至右依次为左岸土坝、发电主副厂房及安装场、开关站、泄水闸坝段、一线船闸、右岸土坝，见图 1。其中，一线船闸为 500 吨级单级船闸，闸室有效尺度为 100 m×12 m×2.5 m(长×宽×门槛水深)，年单向通过能力 120 万 t；拟建二线船闸采用单级船闸，闸室有效尺度为 200 m×23 m×5 m，考虑一闸次为 2 排 2 列 1 000 吨级货船同时过闸，远期兼顾 2 000 吨级船舶过闸，设计单向通过能力为 943.48 万 t。

项目位于城区，二线船闸扩建面临的约束条件有：1) 闸址上游 2.4 km 为马头岭急弯，轴线

位置场地狭窄，下游右岸浯溪碑林风景名胜区为全国重点文物保护单位，且上、下游引航道右侧房屋密集，船闸平面布置受周边条件限制明显；2) 船闸上游引航道口门区及连接段位于马头岭连续弯道下游凹岸侧，通航条件复杂^[7]；下游引航道连接段在湘江一桥河段河道相对狭窄，流速较急；3) 场地工程地质、水文地质条件复杂，闸址区岩节理裂隙及岩溶强烈发育，且存在断层局部挤压破碎区域，并岩溶多与湘江水连通性好，对开挖施工和边坡稳定不利；4) 施工期在上游深水库区填筑围堰，围堰按浯溪枢纽校核洪水标准(1 000 a 一遇)设计，对施工工艺、工期及成本控制要求严格。



图 1 已建浯溪枢纽卫星图

Fig. 1 Satellite imagery of the existing Wuxi junction

2 工程布置原则

二线船闸平面布置应满足通航要求，充分考虑地形地貌、工程地质、以及现有建筑物特点^[8]。结合本工程特点，归纳总结提出 8 条布置原则：1) 闸位选择必须贯彻水资源综合利用的原则；2) 闸位选择应考虑城镇规划和城镇建设的要求；3) 应妥善处理好与枢纽中既有水工建筑物的关系，妥善协调好过河建筑物、道路等构筑物的布置；4) 应确保进出船闸的船舶(队)在引航道中航行和停泊的安全；5) 闸位布置应考虑施工条件、施工场地及临时设施等因素的制约；6) 闸位应尽量选在地形、地质条件较好的地段，并尽量减少征地拆迁和土方工程量；7) 闸位选择应有利于船闸的管理和运营；8) 确保施工期间枢纽已有建(构)筑物的安全和正常运行。

3 船闸平面布置方案

3.1 布置思路及方案

洪溪枢纽左岸为城市用地, 建有高层住宅, 不具备布置二线船闸的条件, 因此二线船闸选址定于右岸。下游右岸受洪溪碑林的影响, 双线船闸采用常规的平面布置形式(如并列布置或错位布置)^[9], 引航道及连接段往岸上开挖将不可避免地侵占文物保护红线。优化思路是通过逆时针旋转船闸中心线或将船闸向上游移动以避开该限制, 基于此提出两个可行的平面布置方案。

方案 1(主体结构位于挡水线上游): 二线船闸与一线船闸轴线成 5° 夹角, 坎轴线处两线船闸轴线距离为 90 m。二线船闸主体结构位于挡水线上游, 下闸首下游面距坝轴线 108 m(船闸中心线投影长度)。上游引航道采用曲进直出布置, 主导航墙采用 1:4 的斜线, 端部接检修门库和 200 m 长停泊段, 停泊段再往上游为 150 m 长制段, 制

动段以上为口门区, 以半径 480 m 的曲线与上游航道连接; 辅导航墙为直线, 端部接隔流墙, 隔流墙兼作近期现有一线船闸及远期改扩建船闸的靠船墩。下游引航道采用曲进曲出布置, 主、辅导航墙均采用 1:8 的斜线; 下游引航道外侧(一线船闸导航墙末端)布置 3 个导流墩。方案 1 主要结构的平面尺寸见图 2。

方案 2(主体结构位于挡水线下游): 二线船闸与一线船闸轴线成 7° 夹角, 坎轴线处两线船闸轴线距离为 85 m。二线船闸主体结构位于挡水线下游, 下闸首下游面距坝轴线 137 m(船闸中心线投影长度)。上游引航道布置基本与方案 1 一致, 但口门区以半径 1 000 m 的曲线与上游航道连接。下游引航道采用直进直出布置, 主、辅导航墙均采用 1:6 的斜线; 由于下游布置空间有限, 上行船舶从下游锚地调度进闸, 无停泊段。方案 2 主要结构的平面尺寸见图 3。

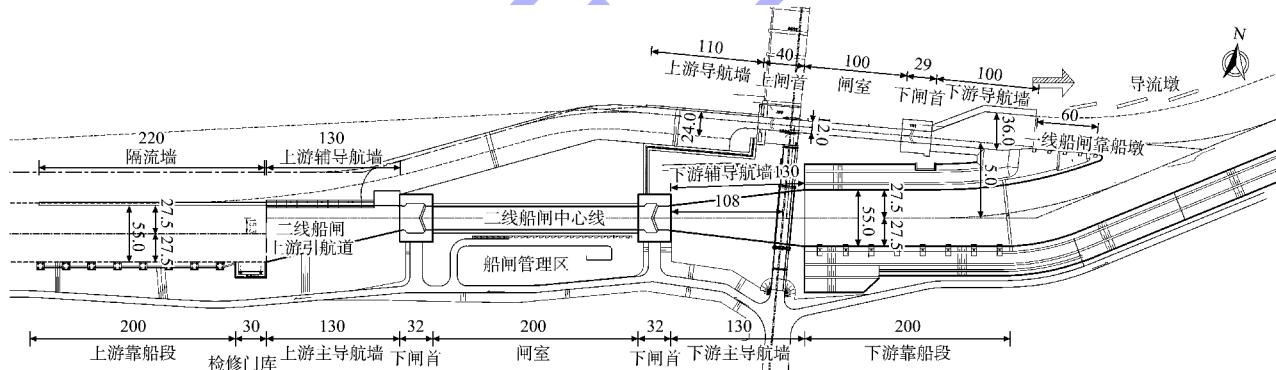


图 2 方案 1 布置 (单位: m)

Fig. 2 Layout of scheme 1 (unit: m)

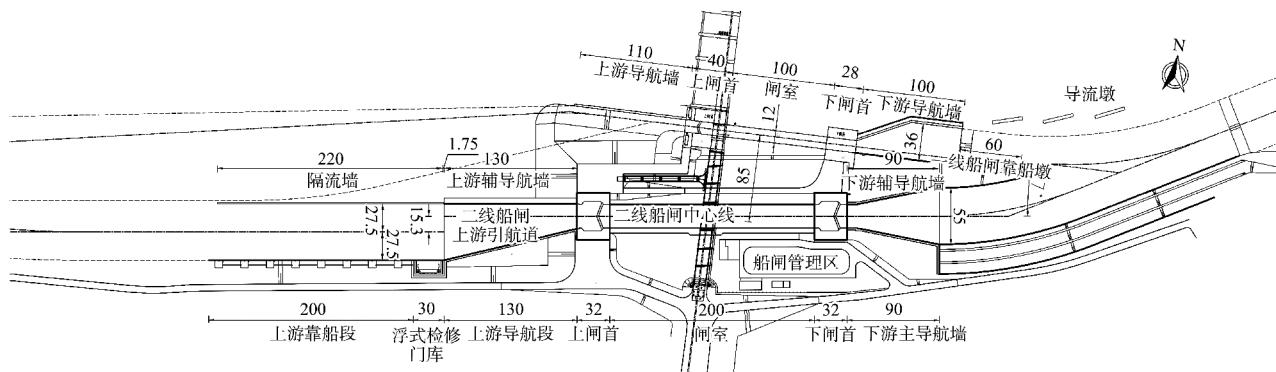


图 3 方案 2 布置 (单位: m)

Fig. 3 Layout of scheme 2 (unit: m)

3.2 方案比选

对方案 1、2 进行多因素比选, 见表 1。根据对比结果可知, 两个方案引航道通航水流条件基本一致, 船闸主体结构均受到岩溶地质影响, 但方案 2 在防洪布置、施工条件、结构稳定性、征地拆迁及工程投资等方面具有显著优势。其主体结

构位于挡洪线下游侧, 防洪压力较小; 围堰工程量减少约 40%, 施工工序简化, 工期可控; 工程总投资较方案 1 降低约 6 370 万元, 经济性更优; 通过信息化手段调度进闸解决了下游引航道空间受限问题, 虽一次过闸时间略长于方案 1, 但差异不大。因此, 推荐方案 2 作为二线船闸平面布置方案。

表 1 总平面布置方案对比
Tab. 1 Comparison of general layout alternatives

方案	通航水流条件	地质条件	施工条件	结构稳定性	防洪影响
1	上游布置长隔流墙, 下游引航道停泊段和制动段位于一线船闸掩护范围内, 水流条件满足安全通航要求	下闸首底板坐落在串珠状溶洞(最大洞高 15 m)内, 需进行地基处理	上游围堰长 650 m, 主体结构位于库区, 围堰工程量大, 需特别注意施工期防渗。围堰分 3 期, 施工工序复杂	左闸墙为两侧挡水结构, 水头差大, 倾覆力矩大, 结构稳定性差	一线船闸上闸首至二线船闸下闸首组成枢纽挡水线, 主体结构位于挡水线上游侧, 防洪压力相对较大
2	与方案 1 基本一致	闸室底板坐落在串珠状溶洞(最大洞高 15 m)内, 需进行地基处理	上游围堰长 390 m, 主体结构贴近一线船闸岸侧, 开挖受空间限制需局部采取支护措施。围堰作为施工期挡洪结构, 主体结构在一期基坑范围内, 施工较便利	左闸墙为一侧挡水一侧挡土结构, 水头差小, 倾覆力矩小, 结构稳定性好	一线船闸上闸首至二线船闸上闸首组成枢纽挡水线, 主体结构位于挡水线下游侧, 防洪压力相对较小
方案	闸管区布置	跨闸公路桥	一次过闸时间/min	征地拆迁	开挖工程量
1	布置在跨闸公路桥上游岸侧, 整体布置较紧凑	跨径 60 m, 按照下游设计最高通航水位控制桥梁净高, 桥梁接线较短、底高程较低	44.2	永久用地 227 亩, 水域 31.3 亩, 水域施工临时用地共 480 亩; 工程拆迁涉及 239 人, 拆迁房屋面积 27 640 m ²	上游库区原始地形低, 土石开挖量相对较小
2	布置在跨闸公路桥下游岸侧, 布局受限; 接线道路较长, 接线填土高, 道路布置困难, 影响闸区景观	跨径 30 m, 按照上游设计最高通航水位控制桥梁净高, 桥梁接线较长、底高程较高	49.85(上行船舶从下游 2.3 km 处锚地进闸)	永久用地 195.5 亩, 水域 8.7 亩, 水域施工临时用地共 512 亩; 工程拆迁涉及 230 人, 拆迁房屋面积 26940 m ²	原始地形较高, 土石方工程量相对较大

4 模型试验研究

为缩小上游深水库区围堰围护范围、有效降低工程造价, 同时避免压占一线船闸引航道影响通航, 需调整原设计形式。基于平面布置方案 2, 提出实体+透空形式、联排桩形式、联排桩+桩基插板形式共 3 种优化方案, 见图 4。其中: 透空隔

流墙采用浮箱阻挡表层水流; 联排桩隔流墙桩径 1.5 m, 桩心距不超过 5 m 以形成对引航道停泊段的掩护; 桩基插板高 3 m, 一部分淹没在水下阻挡面流。为论证方案可行性和合理性, 采用 1:100 的正态定床物理模型与船模试验, 研究二线船闸上游引航道通航水流条件及对船舶通航的影响。

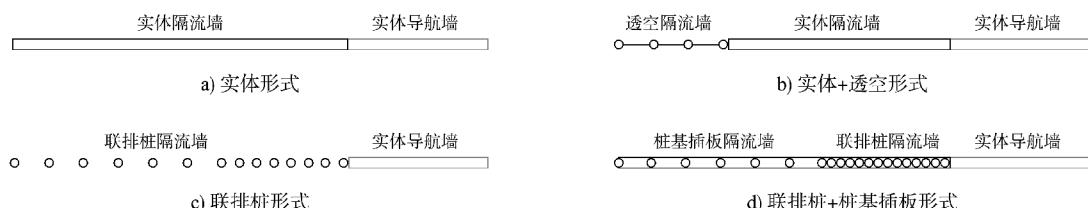


图 4 隔流墙平面布置方案
Fig. 4 Plane layout scheme for the bulkhead

4.1 物理模型试验

物理模型范围选取枢纽上下游约 5 km 河道, 见图 1。模型平面误差控制在 ± 1.0 cm、高程误差控制在 ± 1.0 mm 以内。经实测中水水文资料验证, 模型水面线和断面流速分布与原型相似。基于此, 选取上游来流 $7\ 550\ m^3/s$ 的最不利工况(对应坝前水位最低), 针对不同形式隔流墙共设计 16 种方案进行试验, 见表 2。由于最不利工况时上游引航道口门区水流流速和流态满足 1 000 吨级船舶通航要求, 因此对于通航水流条件的分析主要针对停泊(靠船)段流速进行。JTS 305—2001《船闸总体设计规范》中规定, 该区域水面最大流速限值为纵向流速 $\leq 0.5\ m/s$ 、横向流速 $\leq 0.15\ m/s$ 。

物理模型试验结果表明: 1) 实体+透空形式。

长度 80 m 时, 停泊段较大范围纵、横向流速超标, 各方案均不满足要求; 长度 120 m 时, 除 40 m 实体+80 m 透空方案外, 其他方案基本满足要求; 长度 160 m 时, 停泊段受到隔流墙的掩护范围较大, 各方案均基本满足要求。2) 联排桩形式。桩心距 2 m 以上时, 各方案均不满足要求; 桩心距 $\leq 2\ m$ 时, 两个方案均基本满足要求, 但 120 m (桩心距 1.5 m)+60 m (桩心距 2 m) 方案停泊段受到的掩护效果更好。3) 联排桩+桩基插板形式。联排桩 120 m (桩心距 1.5 m)+桩基插板 80 m 方案停泊段整体流速较小, 通航水流条件满足要求; 其他两个方案均基本满足要求, 联排桩 100 m (桩心距 1.5 m)+桩基插板 100 m 方案停泊段受到的掩护效果更好。

表 2 二线船闸上游引航道停泊段流速统计分析

Tab. 2 Statistical analysis of flow velocities in the berthing section of the upstream approach channel of the second-line ship lock

隔流墙布置方案		流速/(m·s ⁻¹)		超标区域		是否满足规范要求	备注
		纵向	横向	面积占比/%	分布范围		
实体+透空形式	80 m 实体	0~0.96	0~0.49	34	中上游河侧	不满足	-
	80 m 40 m 实体+40 m 透空	0~1.09	0~0.37	53	河侧	不满足	-
	80 m 透空	0~0.90	0~0.22	47	中上游河侧	不满足	-
	120 m 实体	0~0.91	0~0.16	15	上游河侧	基本满足	通航可能存在隐患
	120 m 80 m 实体+40 m 透空	0~0.82	0~0.17	23	上游河侧	基本满足	通航可能存在隐患
	40 m 实体+80 m 透空	0~0.85	0~0.32	32	中上游河侧	不满足	-
	160 m 实体	0~0.72	0~0.10	4	墙顶端附近	基本满足	-
联排桩形式	160 m 120 m 实体+40 m 透空	0~0.75	0~0.15	14	上游河侧	基本满足	通航可能存在隐患
	80 m 实体+80 m 透空	0~0.84	0~0.30	14	上游河侧	基本满足	通航可能存在隐患
	80 m(桩心距 2.5 m)+80 m(桩心距 5 m)	0.17~1.02	0~0.39	69	大部分区域	不满足	-
联排桩+桩基插板形式	160 m(桩心距 2.5 m)	0.01~0.93	0~0.63	69	大部分区域	不满足	-
	120 m(桩心距 1.5 m)+60 m(桩心距 2 m)	0~0.59	0~0.12	3	墙顶端附近	基本满足	-
	90 m(桩心距 1.5 m)+90 m(桩心距 2 m)	0~0.64	0~0.23	14	上游河侧	基本满足	通航可能存在隐患
联排桩+桩基插板形式	联排桩 120 m(桩心距 1.5 m)+桩基插板 80 m	0~0.41	0~0.14	0	-	满足	-
	联排桩 100 m(桩心距 1.5 m)+桩基插板 100 m	0~0.64	0~0.14	3	墙顶端附近	基本满足	-
	联排桩 80 m(桩心距 1.5 m)+桩基插板 120 m	0~0.73	0~0.25	11	上游河侧	基本满足	通航可能存在隐患

隔流墙采用实体+透空形式, 浮箱结构稳定性与耐久性较差, 维护成本高; 采用联排桩形式, 深水区域桩基施工难度较大, 且可能遭遇溶洞地质延误工期; 采用联排桩+桩基插板形式, 造价适中, 既综合了前两种形式的优势又克服了其缺点。

在联排桩+桩基插板形式方案中, 联排桩 120 m (桩心距 1.5 m)+桩基插板 80 m 方案通航水流条件最好, 但联排桩密布长度由 120 m 缩短至 100 m 可节省工程造价, 且停泊段仅有极小部分区域流速超标, 船舶通航及停泊仍然具有良好的水流条

件。因此,联排桩100 m(桩心距1.5 m)+桩基插板100 m方案作为隔流墙推荐布置形式。

4.2 船模试验

为进一步验证船舶航行安全性、操纵性能及对推荐布置形式隔流墙的适应性,选取二线船闸上游引航道口门区和停泊段(总长约500 m)为试验航段,选择最不利工况进行船舶试验。试验前对船模的吃水、直航、航速及操纵性等参数进行了率定,结果表明船模直线航行平稳,吃水与实船相符,航速与操纵性符合相关规范^[10]要求。参考国内研究三峡枢纽和许多内河航道通航条件时对船模航行过程中的舵角和航速值的限定标准^[11],即最大舵角≤25°,最小航速≥0.40 m/s,对船舶航行状态进行评估判断。根据多次船模试验成果统计上游引航道船舶上行、下行的航行参数,见表3,所有数据均已换算为原型。

表3 二线船闸上游引航道船舶通航试验结果
Tab. 3 Results of the ship navigation test in the upstream approach channel of the second-line ship lock

船型	航向	最大舵角/(°)		是否满足要求	备注
		左	右		
1 000 吨级	上行	11.84	13.55	1.41	满足
	下行	9.95	21.09	1.47	满足 各试验
2 000 吨级	上行	14.71	10.41	2.12	满足 5 次
	下行	0.18	22.18	2.29	满足

船模试验结果表明,1 000、2 000 吨级船舶在最不利工况条件下,上行和下行通过二线船闸上游引航道及口门区时舵角和航速均在安全限值内,说明船舶可安全通过该区域,隔流墙推荐布置形式是合理可行的。需要注意的是,引航道口门区航道较狭窄,且停泊段存在横流,上、下行船舶均需谨慎驾驶,避免擦碰隔流墙头造成事故。

5 结论

1) 本文结合浯溪枢纽二线船闸工程,充分分析船闸扩建面临的约束条件,通过多因素比选合理确定船闸平面布置,并采用定床物理模型与船模试验优化上游隔流墙布置及结构形式。

2) 在周边环境受限、约束条件多的库区枢纽旁扩建船闸时,新建船闸的闸位选择和平面布置应考虑文物保护、通航安全、防洪影响、地质条件、施工可行性、结构稳定性、征地拆迁、工程投资等因素,综合比选分析确定最优的方案。

3) 潞溪二线船闸布置于枢纽一线船闸右岸,平面布置推荐采用主体结构位于挡水线下游的方案,该方案在减小防洪压力的同时,减少占地,工程施工便利,经济性更优,结构稳定性更好。

4) 上游隔流墙推荐采用联排桩100 m(桩心距1.5 m)+桩基插板100 m形式,可有效解决一线船闸通航状况下库区围堰难题,降低造价。物理模型与船模试验表明,该型式可有效平衡水流掩护与透水需求,上游引航道和口门区通航水流条件均满足规范要求,技术可行性和适应性突出。

5) 建议二线船闸工程建设完工后,结合模型试验成果和实际通航情况,设置航标,制订安全的航行规则,确保过往船只航行的安全。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 邹开明,普晓刚.航电枢纽二线船闸扩建工程平面布置原则探讨[J].湖南交通科技,2015,41(3): 141-145.
ZOU K M, PU X G. Principles of the second-line ship lock expansion project in a navigation-power junction [J]. Hunan communication science and technology, 2015, 41(3): 141-145.

- [5] 周灿, 段元振, 彭哲, 等. 大源渡二线船闸总体布置方案[J]. 水运工程, 2019(3): 39-42.
ZHOU C, DUAN Y Z, PENG Z, et al. Overall layout plan of Dayandu second-line ship lock [J]. Port & waterway engineering, 2019(3): 39-42.
- [6] 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.
- [7] 邹开明, 乾东岳, 彭哲. 连续急弯航道滩险碍航特性分析及航线选择[J]. 水运工程, 2022(5): 134-138.
ZOU K M, QIAN D Y, PENG Z. Navigation-obstructing characteristics of shoals in continuous sharp bend channels and route selection [J]. Port & waterway engineering, 2022(5): 134-138.
- [8] 任启江, 刘仟, 叶雅思, 等. 剑潭枢纽船闸改扩建总体布置[J]. 水运工程, 2024(6): 170-176.
REN Q J, LIU Q, YE Y S, et al. General layout of Jiantan Junction ship lock reconstruction and expansion [J].
- [9] 陈恩旺, 吴立志, 李社平. 江阴新夏港船闸平面布置及结构优化[J]. 水运工程, 2018(8): 65-70, 75.
CHEN E W, WU L Z, LI S P. Plane layout and structure optimization of Xinxia Port ship lock in Jiangyin [J]. Port & waterway engineering, 2018(8): 65-70, 75.
- [10] 水运工程模拟试验技术规范: JT/T 231—2021[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2021.
Technical code of modelling test for port and waterway engineering: JT/T 231-2021 [S]. Beijing: China CommunicationsPress Co., Ltd., 2021.
- [11] 邱颂曦, 刘达, 刘中峰, 等. 剑潭水利枢纽船闸改扩建工程下引航道通航水流条件试验研究[J]. 广东水电, 2019(7): 11-16.
QIU S X, LIU D, LIU Z F, et al. Experimental research on navigable flow condition of the lower approach channel of the ship lock reconstruction and expansion project of the Jiantan hydro-junction [J]. Guangdong water resources and hydropower, 2019(7): 11-16.

(本文编辑 王传瑜)

(上接第 114 页)

- [9] 周华兴, 刘清江, 郑宝友, 等. 船闸引航道船舶系缆力计算公式应用条件的探讨[J]. 水道港口, 2006, 27(5): 311-316.
ZHOU H X, LIU Q J, ZHENG B Y, et al. Discussion on application condition of the formula of ship mooring force of lock approach [J]. Journal of waterway and harbor, 2006, 27(5): 311-316.
- [10] 于宝海, 曹玉芬. 船闸引航道水力与停泊条件的分析[J]. 中国港湾建设, 2007, 27(4): 5-7, 54.
YU B H, CAO Y F. Analysis of hydraulic and anchorage conditions of lock approach channel [J]. China harbour engineering, 2007, 27(4): 5-7, 54.
- [11] 内河通航标准: GB 50139—2014[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
Navigation standard of inland waterway: GB 50139-2014 [S]. Beijing: China Planning Press, 2014.
- [12] 船闸总体设计规范: JTJ 305—2001[S]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
Code for master design of shiplocks: JTJ305-2001 [S]. Beijing: China Communications Press, 2001.
- [13] 重庆交通大学, 交通运输部水运科学研究院, 中交水运规划设计院有限公司, 等. 中国内河通航建筑物[M]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2021.
Chongqing Jiaotong University, China Waterborne Transport Research Institute, CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., et al. Inland navigation structures of China [M]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2021.

(本文编辑 赵娟)