



微山三线船闸输水系统布置及优化

赵 扩

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 微山三线船闸是京杭运河上平面尺度最大的船闸, 其有效尺度为 $280\text{ m} \times 34\text{ m} \times 5.5\text{ m}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 门槛水深), 设计最大水头为 4.0 m 。结合船闸总体布置, 按照规范要求, 确定船闸采用集中输水系统形式。以微山三线船闸工程为依托, 建立几何比尺为 1:30 的物理模型试验, 对输水系统的各项水力特性进行研究, 并针对原方案输水系统存在进水口局部形成串通漏斗漩涡、闸室流速分布不均匀、泄水廊道进水口可见的吸气型漩涡等不良水力现象, 提出进水口增设透空型消涡板、消能格栅布置优化、泄水廊道埋深调整等优化措施。结果表明, 优化输水系统布置后, 各项水力特性指标均满足规范要求。

关键词: 船闸; 输水系统; 优化; 消涡板

中图分类号: U641.3+2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)04-0120-07

Layout and optimization of filling and emptying system of Weishan three-line ship lock

ZHAO Kuo

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: Weishan three-line ship lock is the largest ship lock on the Beijing-Hangzhou Canal with an effective scale of $280\text{ m} \times 34\text{ m} \times 5.5\text{ m}$ (length $\times$ width $\times$ threshold depth) and a designed maximum water head of 4.0 m . It is determined that the ship lock is adopt the form of end filling and emptying system according to the general layout of the ship lock and requirements of the code. On the basis of Weishan three-line ship lock project, a physical model test with geometric scale of 1:30 is established to study the hydraulic characteristics of the filling and emptying system. There are some bad hydraulic phenomena in the original scheme, such as the local formation of the funnel vortex, the uneven distribution of the flow velocity in the sluice chamber and the visible suction vortex in the intake of the drainage gallery. Some optimization measures are proposed to solve above problems, such as adding a permeable vortex eliminator at the water inlet, optimizing the arrangement of energy dissipation grid and adjusting the buried depth of drainage gallery. The results show that after optimizing the layout of the filling and emptying system, all hydraulic characteristics meet requirements of the code.

Keywords: ship lock; filling and emptying system; optimization; vortex eliminator

船闸输水系统的布置决定结构主体形式和结构尺度, 集中输水系统以形式简单、造价较省的优点广泛应用于低水头的船闸。近年来, 七星墩、水牛韩、王道、沫水等船闸也采用短廊道集中输水系统^[1-4]。但该输水系统通常上下闸首进水口流量较集中、流速较大, 充、泄水时容易在进水口附近区域形成漩涡, 恶化水流条件; 充水过程中,

若上闸首消能不够充分, 闸室内流速不均匀, 水流比降大, 从而影响闸室内的停泊安全。

微山三线船闸是国内少有的大尺度低水头船闸工程, 为节省工程投资, 设计推荐采用短廊道集中输水系统。由于微山三线船闸规模、输水强度大, 与输水效率及水力指标要求高的矛盾突出, 可能存在输水系统进水口、消能室、泄水口

收稿日期: 2024-07-11

作者简介: 赵扩 (1993—), 男, 硕士, 工程师, 从事港口、航道及船闸工程设计。

等关键位置水流条件较差的问题，影响船舶泊稳条件及通过效率。因此，为论证微山三线船闸输水系统方案的合理性，并提出优化建议措施，进行船闸整体输水系统物理模型试验研究非常必要。

1 工程概况

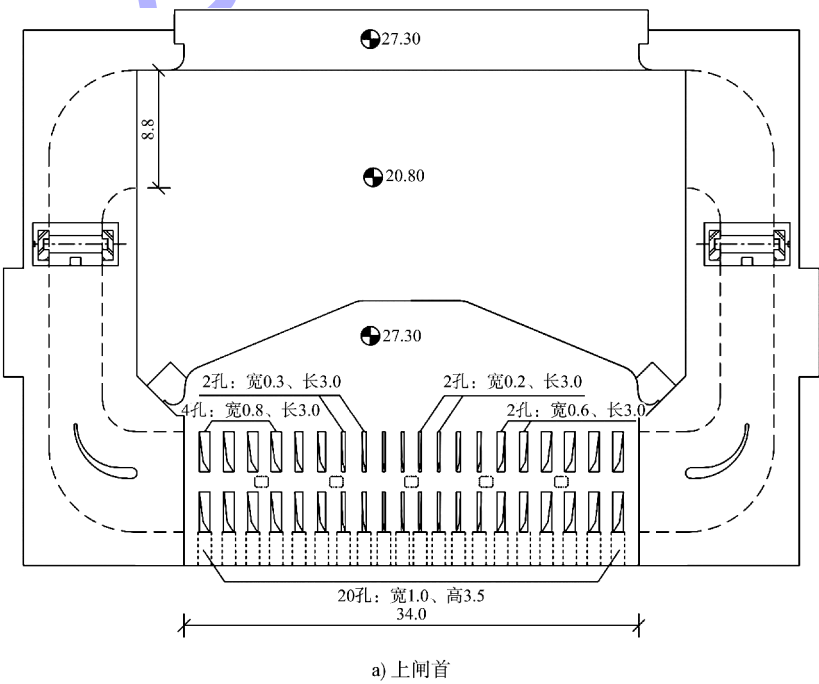
微山三线船闸位于山东省济宁市南四湖的二级坝水利航运枢纽 1[#]节制闸东侧，推荐闸址位于已建二级坝 1[#]节制闸、微山二线船闸与二级坝南水北调的调水泵站之间。船闸上游距济宁市 78 km、

下游距韩庄船闸 52 km，为沟通京杭运河济宁—徐州段的第 1 座通航建筑。微山三线船闸所在航道规划等级为Ⅱ级^[5]，最大设计船型为 1 顶+2×2 000 t 顶推船队，闸室有效尺度为 280 m×34 m×5.5 m(有效长度×有效宽度×门槛水深)^[6-7]，最大设计水头为 4.0 m，常遇水头 2.0 m。

2 输水系统形式及布置

根据相关计算并结合类似工程经验，微山三线船闸输水系统采用集中输水系统，其主要部位尺寸见表 1，布置见图 1。

表 1 微山三线船闸集中输水系统特征尺寸			
Tab. 1 Characteristic dimensions of end filling and emptying system of Weishan three-line ship lock			
部位	特征	面积/m ²	与阀门面积比
充水阀门段廊道	廊道顶高程 25.8 m、底高程 20.8 m，上游最低通航水位 32.8 m，最小淹没水深 7.0 m	40.0	1.00
充水廊道侧面进水口	进水口顶高程 25.8 m、底高程 20.8 m、宽 8.8 m	88.0	2.20
充水廊道进口转弯段	水平 90°转弯，转弯半径分别为 6.5、2.5 m	—	—
充水廊道出口转弯段	水平 90°转弯，转弯半径分别为 6.5、2.5 m，出口宽 7.5 m，高 5.0 m，中间设宽 0.8 m 隔墩	—	—
充水廊道顶面消能格栅	沿船闸中轴线对称布置，出水孔口尺寸分别为 16 组 0.8 m×3.0 m(宽×长)，8 组 0.6 m×3.0 m，8 组 0.3 m×3.0 m，8 组 0.2 m×3.0 m	64.8	1.62
充水廊道正面消能格栅	共 20 个出水孔，孔口尺寸均为 1.0 m×3.5 m(宽×高)	70.0	1.75
泄水阀门段廊道	廊道顶高程 29.5 m、底高程 24.5 m，下游最低通航水位 31.3 m，最小淹没水深 1.8 m	40.0	1.00
泄水廊道进口	进水口顶高程 29.5 m、底高程 24.5 m、宽 7.5 m	75.0	1.88
泄水廊道进口转弯段	水平 90°转弯，转弯半径分别为 7.0、1.6 m	—	—
泄水廊道出口转弯段	水平 90°转弯，转弯半径分别为 8.0、2.5 m，出口宽 8.7 m、高 5.0 m，中间设宽 1.0 m 隔墩	—	—
泄水口消能工	出口布置 2 道消力槛，消力槛宽 1.0 m、高 1.3 m、底高程 24.5 m、顶高程 25.8 m	—	—



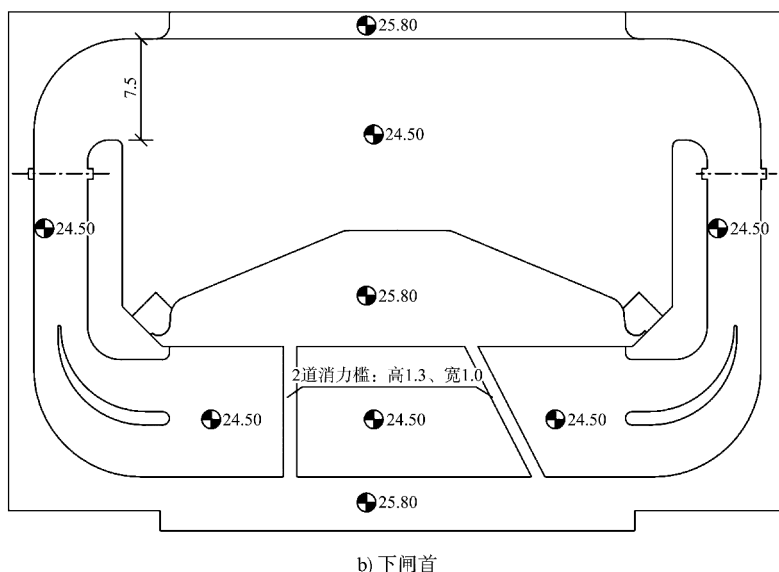


图 1 微山三线船闸输水系统布置 (单位: m)

Fig. 1 Layout of filling and emptying system of Weishan three-line ship lock (unit: m)

3 水力学模型试验

根据试验要求及实际试验场地规划,按重力相似准则,选择模型几何比尺 $\lambda_L = 30^{[8]}$ 。微山三线船闸模型布置见图2。模型模拟上下游引航道、闸室及输水廊道等输水系统主要结构,模拟上游约480 m、船闸主体段约350 m、下游约480 m,原型总长约1 110 m。为使模型糙率尽可能接近于原型,达到阻力相似,同时便于观察阀门廊道段流态,输水廊道主要采用有机玻璃和聚氯乙烯塑料板制作。针对最不利水位组合工况(上游水位35.3 m-下游水位31.3 m),通过研究船闸水力学特性、闸室停泊条件、廊道进出口水流条件等相关内容后,发现原方案存在进水口局部形成串通漏斗漩涡、闸室流速分布不均匀、泄水廊道进水口可见的吸气型漩涡等不良水力现象。



图 2 船闸物理模型局部布置

Fig. 2 Partial layout of ship lock physical model

3.1 上闸首进水口水流条件

在最不利水位组合工况下,阀门双边开启时间 $t_v = 5 \text{ min}$ 时,上游进水口附近表面流态见图3。试验观测结果表明,双边充水过程中,随开度的增大,在上游门库转角处逐渐形成表面漩涡,并逐步形成漏斗形漩涡,需要对上闸首进水口进一步优化。



图 3 充水阀门双边开启时进水口附近流态

Fig. 3 Flow pattern near inlet when water filling valve is opened on both sides

改善上闸首进水口条件的直接方向是增大进水口过流面积、降低局部流速,从而减弱漩涡强度,但增大过流面积会引起闸首尺寸增大,工程

投资相应增加。改善进水口条件的另一个方向是增加满布进水格栅，将侧面进水调整为正面进水，但增设格栅也会引起门龕段底板显著加厚，导致工程量大幅增加。为缩减工程投资，结合类似工

程经验^[9-10]，经反复试验验证，将进水格栅简化为透空型消涡板(图 4)后，贯穿性漩涡不再贯通(图 5)，强度也明显降低，满足 JTJ 306—2001《船闸输水系统设计规范》^[11]要求。

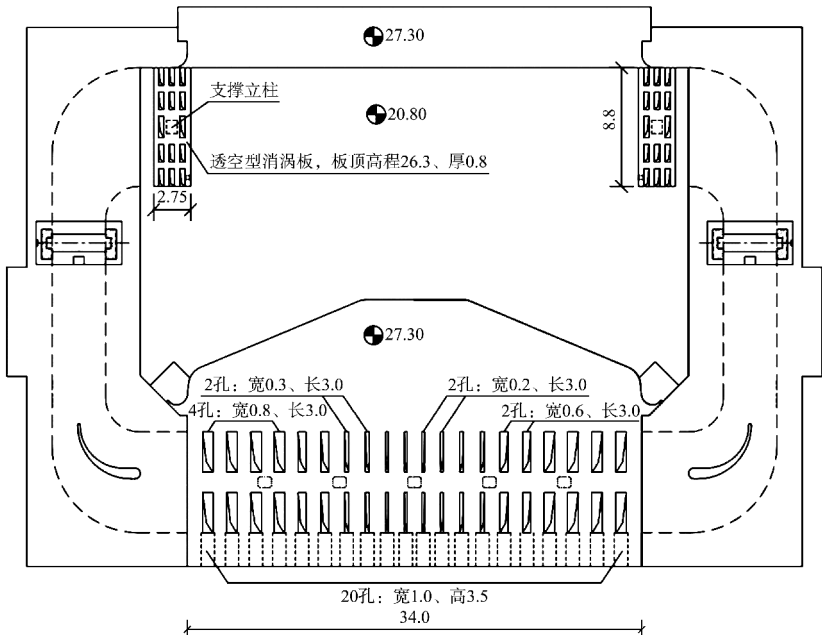


图 4 增设消涡板后上闸首输水系统布置 (单位: m)

Fig. 4 Layout of filling and emptying system at upper lock head after adding vortex eliminator (unit: m)



图 5 增设消涡板后后充水阀门双边开启时进水口附近流态
Fig. 5 Flow pattern near inlet when water filling valve is opened on both sides after adding vortex eliminator

3.2 下闸首水流条件

下闸首采用闸墙侧面泄水的形式，泄水廊道起始淹没水深 1.8 m，泄水口外侧布置 2 道非对称

的消力槛，高 1.3 m。闸室双侧泄水时，随阀门开度增大，泄水流量快速增加，在下闸首进水口两侧门库转角处的表面漩涡迅速发展为贯穿性漏斗漩涡，见图 6a)，漩涡范围有限，但强度较大。同时，由于消力槛高度有限，泄水廊道出流基本直接对冲，中部壅高明显，见图 6b)，对人字门形成明显的反向作用水头，对人字门结构受力特性不利。



a) 进水口



b) 泄水口

图 6 泄水阀门双边开启时下闸首进水口和泄水口附近流态
Fig. 6 Flow pattern near inlet and outlet of lower lock head when water emptying valve is opened on both sides

为减弱泄水廊道进口贯穿性吸气漩涡强度，增加出口消力槛消能效果，综合考虑廊道埋深的有益效果以及工程投资，将泄水廊道埋深增加 0.9 m，消力槛在廊道增加 0.9 m 埋深后可增高至 2.2 m，见图 7，此时已能对下泄水流进行较为充分的调控。

由泄水工况物理模型试验可以看出，泄水廊道埋深增加后，贯穿性吸气漩涡强度在降低，影响范围缩小，泄水廊道出口水流碰撞强度降低，泄水口中部的壅高现象得到了改善，见图 8。

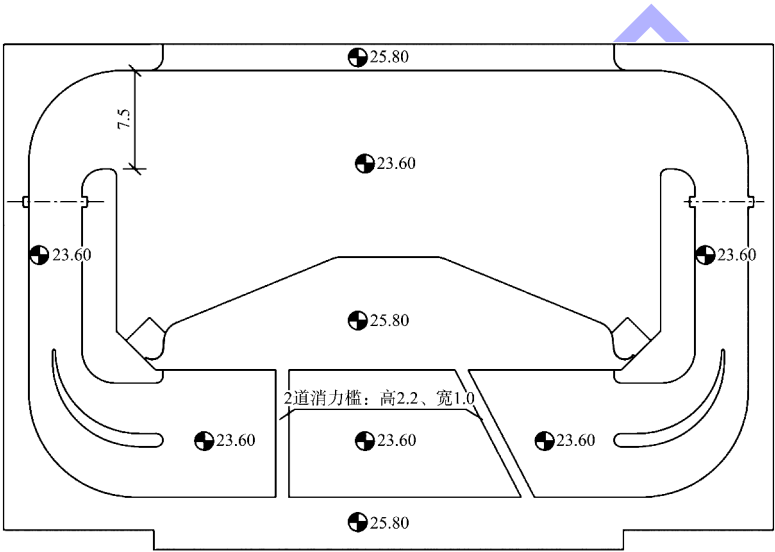


图 7 增加埋深后下闸首输水系统布置 (单位: m)

Fig. 7 Layout of filling and emptying system at lower lock head after increasing buried depth (unit: m)



图 8 增加埋深后泄水阀门双边开启时出水口附近流态
Fig. 8 Flow pattern near outlet when water emptying valve is opened on both sides after increasing buried depth

间 $t_v = 5 \text{ min}$ 时，原方案流量最大时刻的闸室内表面流场流速见图 9。在闸室靠近上闸首约 40 m 范围内，流速沿横向存在一定差异，具体表现为两侧流速较大、中部流速略小，说明消能格栅室顶部格栅分流比有进一步优化的空间，经过约 40 m 沿纵向的水流扩散后，闸室表面流速沿横向基本达到一致。

由于原方案充水廊道出水段消能顶部格栅的出流存在两侧流速大于中间流速的现象，因此优化的顶部格栅方案(图 10)适当缩减了两侧出水支孔面积，从而增大中部出流面积。

3.3 闸室水流条件

在最不利水位组合工况下，阀门双边开启时

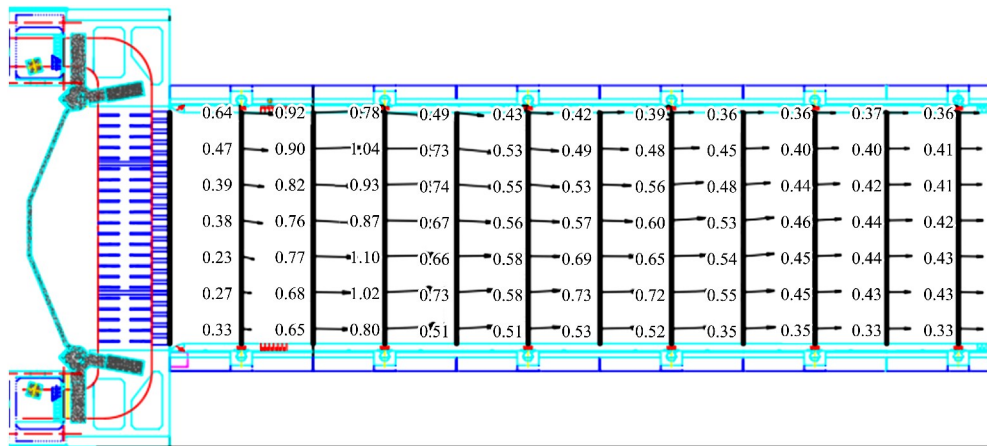


图 9 原方案流速分布 (单位: m/s)
Fig. 9 Velocity distribution of original scheme (unit: m/s)

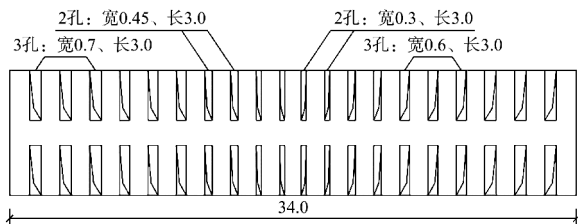


图 10 顶部消能格栅布置调整 (单位: m)
Fig. 10 Adjustment of top energy dissipation grille layout (unit: m)

通过物理输水模型实测调整后的闸室内表面流场流速, 见图 11。可以看出, 消能格栅室顶部格栅经调整优化后, 沿横向的表面流速分布更加均匀, 沿纵向所需的均匀扩散长度也有所减小, 局部流速最大值略有降低, 闸室表面流场均匀度更佳, 说明优化达到了较好的改善效果。

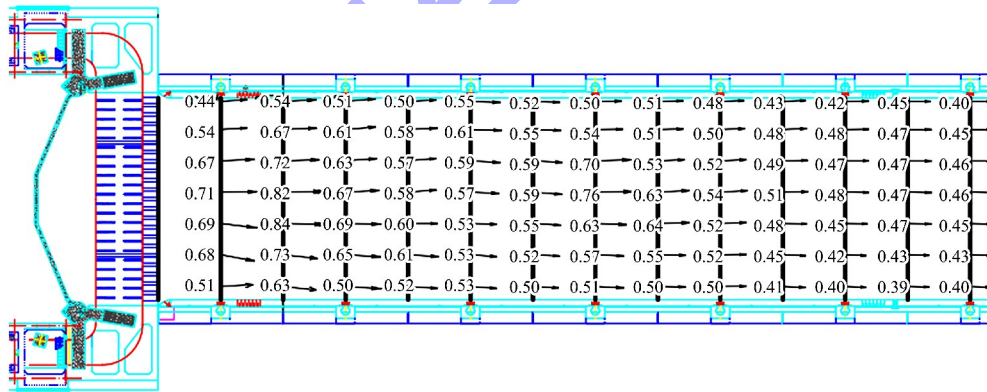


图 11 优化方案流速分布 (单位: m/s)
Fig. 11 Velocity distribution of optimized scheme (unit: m/s)

4 结语

- 1) 物理模型试验结果表明, 采用集中输水系统整体布置设计合理。
- 2) 微山三线船闸上闸首在进水口增设透空消涡板后, 充水过程中进水口水面较为稳定, 贯穿性漩涡不再贯通, 强度也明显降低, 满足规范要求。

- 3) 将下闸首泄水廊道埋深增加 0.9 m 后, 相应消力槛可增高至 2.2 m。泄水进水口和出水口经过优化后, 不良水力现象得到一定程度改善。
- 4) 优化方案调整消能格栅顶部出水孔布置, 有效地调整消能室出流分布, 在消能室及闸室内横向水流较原方案整体上更为均匀。

参考文献:

- [1] 杨嵌. 七星墩船闸输水系统布置及优化[J]. 水运工程, 2023(12): 145-150.
YANG Q. Layout and optimization of water conveyance system of Qixingdun ship lock [J]. Port & waterway engineering, 2023(12): 145-150.
- [2] 陈莹颖, 李中华, 许铎. 小清河水牛韩省水船闸输水系统布置及水力计算[J]. 水运工程, 2020(1): 63-69, 102.
CHEN Y Y, LI Z H, XU D. Layout and hydraulic calculation of filling and emptying system for Shuiniuhan water-saving ship lock of Xiaoqing River [J]. Port & waterway engineering, 2020(1): 63-69, 102.
- [3] 钱黎辉, 江涛. 小清河王道船闸省水工程措施[J]. 水运工程, 2022(S1): 149-154.
QIAN L H, JIANG T. Water saving engineering measures of Wangdao ship lock in the Xiaoqing River [J]. Port & waterway engineering, 2022(S1): 149-154.
- [4] 陈亮, 金莹, 孙倩, 等. 沭水船闸短廊道输水系统布置及试验研究[J]. 水运工程, 2020(1): 57-62.
CHEN L, JIN Y, SUN Q, et al. Arrangement and experimental study on loop culvert filling and emptying system of Moshui ship lock [J]. Port & waterway engineering, 2020(1): 57-62.
- [5] 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: JTS 305-2001 [S]. Beijing: China Communications Press, 2001.
- [6] 姜兴良, 宋振宁. 微山三线船闸工程闸室平面尺度分析[J]. 水运工程, 2024(6): 159-163, 228.
JIANG X L, SONG Z N. Plane scale analysis of lock chamber in Weishan third line ship lock project [J]. Port & waterway engineering, 2024(6): 159-163, 228.
- [7] 中交水运规划设计院有限公司. 京杭运河微山三线船闸工程初步设计[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2019.
CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd. Preliminary design of Weishan third line ship lock project on the Beijing-Hangzhou Canal [R]. Beijing: CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., 2019.
- [8] 重庆西科水运工程咨询有限公司. 微山三线船闸水力学模型试验[R]. 重庆: 重庆西科水运工程咨询有限公司, 2023.
Chongqing Xike Water Transport Engineering Consulting Co., Ltd. Hydraulic model test of Weishan third line ship lock [R]. Chongqing: Chongqing Xike Water Transport Engineering Consulting Co., Ltd., 2023.
- [9] 吴英卓, 江耀祖, 周赤, 等. 船闸短廊道输水系统进口漩涡成因及消除措施研究[J]. 长江科学院院报, 2011, 28(11): 52-56, 61.
WU Y Z, JIANG Y Z, ZHOU C, et al. Causes and eliminating measures of vortices at the intake of short culvert conveyance system of shiplock [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2011, 28(11): 52-56, 61.
- [10] 周华兴. 消除船闸输水廊道进口漩涡措施的研究[J]. 水运工程, 1993(4): 29-35.
ZHOU H X. Eliminating measures of vortices at the intake of conduit system of shiplock [J]. Port & waterway engineering, 1993(4): 29-35.
- [11] 船闸输水系统设计规范: JTJ 306—2001[S]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
Design code for filling and emptying system of shiplocks: JTJ 306-2001 [S]. Beijing: China Communications Press, 2001. (本文编辑 王璁)

(上接第 113 页)

- [9] 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: JTJ 305-2001 [S]. Beijing: China Communications Press, 2001.
- [10] 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.
- [11] 郑红杰. 上游引航道透空隔流堤布置与通航水流条件优化[J]. 水运工程, 2022(12): 146-151.
ZHENG H J. Layout of open-type separation levee and optimization of navigation flow conditions in upstream approach channel [J]. Port & waterway engineering, 2022(12): 146-151. (本文编辑 王传瑜)