



弯曲河段复线船闸引航道方案优化设计*

刘江林, 王平

(中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430071)

摘要: 针对临淮岗复线船闸上游采用直线引航道布置方案征地面积大、开挖量大的问题, 提出分离式引航道布置方案和优化过闸效率后的折线形引航道方案。针对上下游引航道水流条件复杂的问题, 采用物理模型试验对引航道设计方案进行优化和验证, 试验表明: 原设计方案上、下游引航道横向水流速度超标, 下游引航道回流较为严重; 上、下游横向水流主要受引航道宽度控制, 加宽引航道宽度至 65 m 可有效改善横向水流条件。针对下游水流条件局部不满足要求的问题, 采用船模操纵仿真试验验证所需航行宽度, 经验证平槽泄水水位下城西湖退水闸流量小于 $300 \text{ m}^3/\text{s}$, 最低通航水位下城西湖退水闸流量小于 $100 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 满足规范水流条件的引航道宽度 45 m, 超过船舶安全通航所需通航宽度。

关键词: 临淮岗复线船闸; 引航道; 水流条件; 物理模型试验

中图分类号: U641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)01-0129-07

Optimization design of approach channel scheme for double track ship locks in curved river

LIU Jianglin, WANG Ping

(CCCC Second Harbor Consultants Co., Ltd., Wuhan 430071, china)

Abstract: To the problems of large land acquisition area and large excavation volume caused by the use of a straight approach channel layout scheme upstream of the Linhuaigang double track ship lock, a separated approach channel layout scheme and a broken line approach channel scheme optimized for lock efficiency are proposed. To the problem of complex water flow conditions in the upstream and downstream approach channels, physical model experiments are used to optimize and verify the design scheme of the approach channels. The experiments show that the lateral water flow velocity in the original design scheme exceeds the standard, and the downstream approach channels experience severe backflow. The lateral water flow in the upstream and downstream is mainly controlled by the width of the approach channel. Expanding the width of the approach channel to 65 m can effectively improve the lateral water flow conditions. To the problem of local non-compliance with downstream water flow conditions, a ship model operation simulation test is used to verify the required navigation width. After verification, the flow rate of the Chengxi Lake drainage gate is less than $300 \text{ m}^3/\text{s}$ under the flat channel discharge water level, and when the flow rate of the Chengxi Lake drainage gate is less than $100 \text{ m}^3/\text{s}$ under the lowest navigation water level, the approach channel width that meets the standard water flow conditions is 45 m, exceeding the required navigation width for safe navigation of ships.

Keywords: Linhuaigang double track ship lock; approach channel; water flow condition; physical model test

1 工程概况

临淮岗洪水控制工程是位于淮河干流中游,

为一等大(1)型工程, 主要建筑物由左岸至右岸

(由北至南)依次为姜唐湖进洪闸、浅孔闸、深孔

收稿日期: 2024-04-02

*基金项目: 中交第二航务工程勘察设计院科技研发项目(RP2022005653)

作者简介: 刘江林(1989—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事水运工程设计、咨询及研究工作。

闸、临淮岗船闸、城西湖船闸、城西湖退水闸(简称退水闸)^[1], 见图 1。



图 1 临淮岗水利枢纽现状

Fig. 1 Current situation of Linhuai River hydro-junction

为提高临淮岗枢纽货运通过能力, 拟于一线闸南侧、轴线距离 120 m 处建设临淮岗复线船闸工程^[2-4]。

2 基于码头规范的引航道方案优化

2.1 常规引航道方案

一线船闸轴线与淮河主河道之间夹角约 15°, 上游引航道与上游航道之间夹角约 140°, 引航道与航道由长约 238 m 的弧线段连接。航道右岸为滩地, 航道左岸为隔流岛。

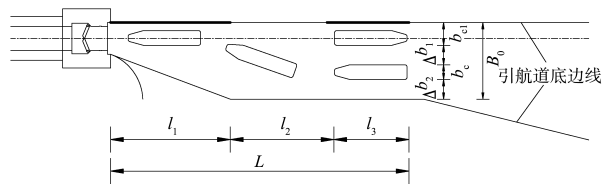
右岸滩地平均高程高于淮河水位, 现状为农田和池塘, 见图 2。



图 2 一线船闸上游航道现状

Fig. 2 Upstream channel of first-line ship lock

依据 JTJ 305—2001《船闸总体设计规范》^[5] 中 5.5.1 节, 引航道直线段的轴线应平行于船闸轴线, 直线段应由导航段、调顺段和停泊段组成, 如图 3 所示。



注: L 为直线段总长度; l_1 为导航段长度; l_2 为调顺段长度; l_3 为停泊段长度; B_0 为单线船闸引航道宽度; b_c 为设计最大船队、船舶宽度; b_{c1} 为一侧等候过闸船舶、船队的总宽度; Δb_1 为船队、船舶之间的富余宽度; Δb_2 为船队、船舶与岸之间的富余宽度。

图 3 单线船闸引航道平面

Fig. 3 Plan of single track ship lock approach channel

根据规范规定, 停泊段、调顺段、导航段和船闸主体应布置在总长 410 m 的直线上, 其中导航段长 68 m(1 倍船长), 调顺段长 102 m(1.5 倍船长), 停泊段 240 m(闸室长度)。引航道水深 4.8 m, 宽度 50 m, 布置方案见图 4。



图 4 常规复线船闸引航道布置

Fig. 4 Layout of approach channel for conventional double track ship locks

为保证平滩水位下复线船闸和一线船闸引航道水流平缓, 确保水位高于滩地高程时船舶航行安全, 拟疏挖一线船闸引航道与复线船闸航道之间区域(图 4 中连通水域), 开挖宽约 200 m、开挖量约 210 万 m^3 。

工程处于淮北平原, 大部分区域为基本农田、蓄洪区和滞洪区等, 弃土处理难度大、费用高。复线船闸航道和连通水域现状为农田和池塘, 征地面积大, 协调难度大、投资高。

2.2 分离式引航道方案

常规直线引航道方案的开挖和弃土量大、征地面积大、协调难度大。为减少开挖量和征地面积, 结合上游河道地形, 引航道顺着一线船闸引

航道紧邻布置, 停泊段与导航调顺段分别布置于两段直线上的“分离式引航道方案”, 见图 5。导航调顺段与闸室位于一条直线上, 其中导航段长 68 m、调顺段长 110 m; 上游引航道停泊段布置于另一直线上, 长 240 m; 导航调顺段与停泊段之间由转弯半径 480 m、长 347 m 弧线段连接^[6-7]。

与常规引航道布置相比, 分离式引航道布置方案中引航道第 1 段直线段短 232 m, 可减少征地面积 22.32 hm² (约 335 亩), 减少土方开挖量约 102 万 m³, 开挖和弃土量以及征地面积的减少, 可有效节省工程投资、降低实施难度。

分离式停泊段的引航道方案因停泊段与导航调顺段之间有长约 347 m 的弧线段, 进闸船舶航行时间增加约 5.8 min, 船舶过闸效率相对较低。

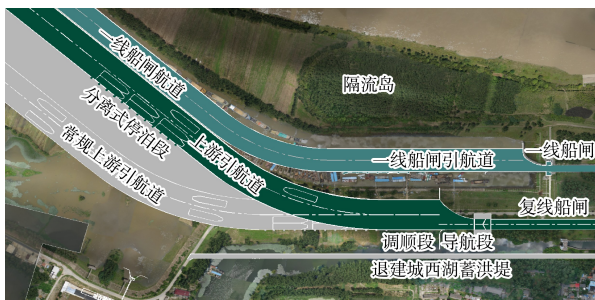


图 5 分离式引航道方案
Fig. 5 Separated approach channel scheme

2.3 折线形引航道方案

上游停泊段越靠近船闸过闸效率越高, 借鉴

内河码头工程平面布置经验, 拟疏挖圆弧转弯段为折线形, 折线夹角参照码头端部泊位水域底边线与码头前沿线夹角的规定, 取 139°。停泊段分 2 段, 布置于临近转角处, 形成折线形引航道方案, 见图 6。

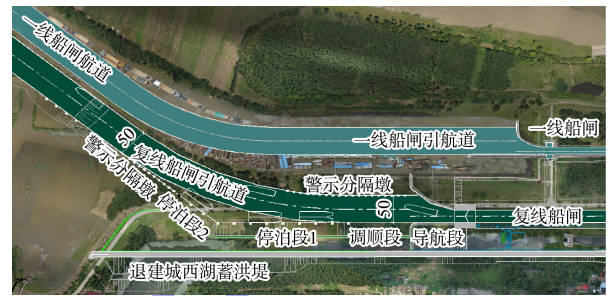


图 6 折线形停泊段引航道
Fig. 6 Approach channel of broken line berthing section

折线形引航道方案中停泊段总长 364 m。停泊段 1 长 194 m, 与导航段、调顺段和船闸主体布置在同一直线上, 可停靠 2 列 4 艘船舶; 停泊段 2 长 170 m, 与上游航道同一直线布置, 可停靠 1 列 2 艘船舶。

停泊段 1 距折线拐点富余 48 m 的直线段, 停泊段 2 距折线拐点富余 68 m 直线段, 作为船舶调整航向的操作空间。

2.4 上游引航道方案对比

根据上述分析, 对比不同引航道方案情况见表 1。

表 1 不同引航道方案对比
Tab. 1 Comparison of different approach channel schemes

方案	布置	工程量	投资额/万元
常规引航道方案	导航段(68 m)、调顺段(102 m)、停泊段(240 m)呈直线布置	征地 42.73 hm ² (640.89 亩), 开挖 210 万 m ³	8 315.4
分离式引航道方案	导航段(68 m)+调顺段(110 m)与闸首同一直线布置, 停泊段(240 m)分离布置, 两者由半径 480 m、长 347 m 弧线段连接	征地 20.41 hm ² (306.16 亩); 开挖 108 万 m ³	4 187.4
折线形引航道方案	停泊段 1 与导航段、调顺段与闸首同一直线布置, 停泊段 2 分离布置, 两者由 139°折线衔接	与分离式布置相当	与分离式布置相当

由表 1 可知, 与常规引航道方案相比, 分离式引航道方案节省征地 22.32 hm² (约 335 亩)、减少开挖量 102 万 m³, 节省投资 4 128.0 万元。折

线形引航道方案与分离式引航道方案投资相当, 过闸效率较分离式引航道方案高, 推荐采用折线形引航道布置方案。

3 基于物理模型试验的引航道方案优化

为验证和优化上述推荐方案的水流条件，开展整体物理模型试验^[8]，整体水工模型采用正态模型，几何比尺为 1:100，模拟范围上游为临淮岗主坝以上 4 500 m，下游为码头以下 500 m。垂直水流方向左边界至何家圩、姜唐湖南堤，右边界至城西湖大堤。模型包含深孔闸、浅孔闸、退水闸、临淮岗船闸、临淮岗复线船闸、工农兵泵站、下游码头等建筑物，见图 7。

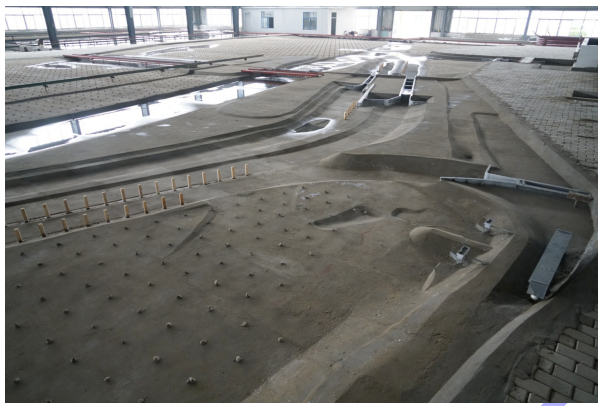


图 7 整体水工模型

Fig. 7 Overall hydraulic model

3.1 原方案水流条件

综合原临淮岗洪水控制工程模型试验结论、水文分析成果以及退水闸的运用方案，共拟定 5 种工况，工况组合及试验结果见表 2。

根据 JTJ 305—2001《船闸总体设计规范》，口门区最大流速限值为 $[v_y] \leq 2.0 \text{ m/s}$ 、 $[v_x] \leq 0.30 \text{ m/s}$ 、 $[v_{\max}] \leq 0.40 \text{ m/s}$ ，引航道(导航调顺段)宜为静水区，最大流速限值为 $[v_y] \leq 0.5 \text{ m/s}$ 、 $[v_x] \leq 0.15 \text{ m/s}$ 。规范未对连接段航道提出控制标准，由于上下游位于弯曲河段，因此连接段拟采用口门区同一控制标准。

对表 2 的水流条件分析可知：1) 横向流速超过限值的区域主要集中在上游连接段航道和上游口门区。2) 回流现象集中在下游口门区，退水闸无下泄流量时，回流流速较小、水流条件满足要求；退水闸下泄流量 $900 \text{ m}^3/\text{s}$ 时，回流流速超过限制。3) 上游最高通航水位(淮河下泄流量最大)时，水流条件最差；河道滩槽泄水(淮河下泄流量次之)，水流条件次之；河道平槽泄水(淮河下泄流量较小)，水流条件接近限值。4) 设计最低通航水位(淮河下泄流量最小)工况下，上游水流条件基本满足要求。

表 2 原方案整体水工模型试验结果

Tab. 2 Overall hydraulic model test results of original scheme

工况	水位/m	淮河、退水闸流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	上游连接段航道 流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	上游口门区 流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
1	最高通航水位 26.90、26.70	7 000、0	①复线船闸： $v_y = 0.70 \sim 1.00$ ； $v_x = 0.30 \sim 0.42$ ； 无回流 ②一线船闸： $v_{\max} < 0.30$ ；无回流	①复线船闸： $v_y = 0.19 \sim 0.96$ ； $v_x = 0.10 \sim 0.48$ ； 无回流 ②一线船闸： $v_{\max} < 0.30$ ；无回流
2	河道滩槽泄水水位 25.63、25.51	5 000、0	①复线船闸： $v_y = 0.62 \sim 0.80$ ； $v_x = 0.29 \sim 0.37$ ； 无回流 ②一线船闸： $v_{\max} < 0.30$ ；无回流	①复线船闸： $v_y = 0.23 \sim 0.68$ ； $v_x = 0.13 \sim 0.39$ ； 无回流 ②一线船闸： $v_{\max} < 0.30$ ；无回流
3	河道平槽泄水水位 21.23、20.66	1 090、0	①复线船闸： $v_y = 0.73 \sim 0.87$ ； $v_x = 0.34 \sim 0.41$ ； 无回流 ②一线船闸： $v_{\max} < 0.30$ ；无回流	①复线船闸： $v_y = 0.22 \sim 0.86$ ； $v_x = 0.08 \sim 0.31$ ； 无回流 ②一线船闸： $v_{\max} < 0.30$ ；无回流
4	河道平槽泄水水位 21.23、20.66	1 090、900	①复线船闸： $v_y = 0.73 \sim 0.87$ ； $v_x = 0.34 \sim 0.41$ ； 无回流 ②一线船闸： $v_{\max} < 0.30$ ；无回流	①复线船闸： $v_y = 0.22 \sim 0.86$ ； $v_x = 0.08 \sim 0.31$ ； 无回流 ②一线船闸： $v_{\max} < 0.30$ ；无回流
5	最低通航水位 19.27、17.14	200、0	-	$v_{\max} < 0.27 \text{ m/s}$

续表2

工况	上游引航道 流速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	下游引航道 流速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	下游口门区 流速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	下游连接段航道 流速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
1	①复线船闸: $v_{\max} < 0.15$ ②一线船闸: $v_{\max} < 0.53$	接近静水区域	① $v_{\max} = 0.26$ ②回流区 $280 \text{ m} \times 100 \text{ m}$, $v_{r,\max} = 0.29$	$v_y = 0.10 \sim 0.75$; $v_x = 0.04 \sim 0.35$; 无回流
2	接近静水区域	接近静水区域	① $v_{\max} = 0.18$ ②回流区 $250 \text{ m} \times 180 \text{ m}$, $v_{r,\max} = 0.32$	$v_y = 0.09 \sim 0.73$; $v_x = 0.04 \sim 0.34$; 无回流
3	接近静水区域	接近静水区域	① $v_{\max} = 0.12$ ②回流区 $250 \text{ m} \times 100 \text{ m}$, $v_{r,\max} = 0.34$	$v_y = 0.09 \sim 0.52$; $v_x = 0.04 \sim 0.24$; 无回流
4	接近静水区域	$v_x = 0.46 \sim 1.11$	① $v_{\max} = 1.38$, $v_x = 0.07 \sim 0.98$ ②回流区 $150 \text{ m} \times 200 \text{ m}$, $v_{r,\max} = 0.45$	$v_y = 0.55 \sim 1.32$; $v_x = 0.46 \sim 1.11$; 无回流
5	-	-	小范围回流, $v_{r,\max} < 0.15 \text{ m/s}$	-

注: 1. 下划线且黑体数字为不满足规范要求; 黑体数字为略超过规范限值。

2. v_y 为纵向流速; v_x 为横向流速; v_{\max} 为最大流速; $v_{r,\max}$ 为最大回流流速。

3.2 优化方案措施及水流条件

3.2.1 拓宽、加深上游引航道

上游引航道^[9]右侧底边线、底高程(14.47 m)不变, 宽度由 50 m 向一线船闸侧拓宽至 65 m, 左侧以 1:3 的坡与原地形顺接。

连接段航道底高程由 16.07 降至 15.67 m(挖深 0.4 m), 与引航道以 1:30 的坡相接。优化前后上游引航道布置方案见图 8。



a) 原方案



b) 优化方案

图 8 优化前后上游引航道 (单位: m)

Fig. 8 Upstream approach channel before and after optimization (unit: m)

3.2.2 拓宽、加深下游引航道

下游引航道右侧底边线、底高程(12.34 m)不变, 宽度由 50 m 向一线闸侧拓宽至 65 m。

连接段航道底高程由 13.46 降至 13.34 m(挖深 0.12 m), 与引航道以 1:30 的坡相接。优化前后下游引航道布置方案见图 9。



a) 优化前



b) 优化后

图 9 优化前后下游引航道 (单位: m)

Fig. 9 Downstream approach channel before and after optimization (unit: m)

3.2.3 优化后水流条件

在相同工况组合下开展优化后方案的整体物理模型试验，结果见表3。

由表2、3对比分析可知：1) 挖深、加宽后，在各工况组合下，上、下游横向及回流得到明显改善。2) 上游引航道、口门区、连接段航道的水流条件，在各工况下均满足规范要求。

3) 河道平槽泄水，退水闸下泄流量 $900 \text{ m}^3/\text{s}$ 工况，下游引航道、口门区、连接段航道水流条件不满足要求。

退水闸在超过 100 a 一遇的校核洪水工况时，下泄流量会达到设计值 $900 \text{ m}^3/\text{s}$ ，正常工况下退水闸退水流量约为 $30 \text{ m}^3/\text{s}$ 。因此有必要分析不同退水流量对下游引航道水流条件的影响。

表3 优化方案整体水工模型试验结果
Tab.3 Overall hydraulic model test results of optimized scheme

工况	水位/m	淮河、退水闸流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	上游连接段航道 流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	上游口门区 流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
1	最高通航水位 26.90、26.70	7 000、0	①复线船闸 $v_y = 0.30 \sim 0.93$; $v_x = 0.08 \sim 0.25$; 无回流 ②一线船闸 $v < 0.30$; 无回流	①复线船闸 $v_y = 0.24 \sim 0.80$; $v_x = 0.11 \sim 0.29$; 无回流 ②一线船闸: $v < 0.30 \text{ m/s}$; 无回流
2	河道滩槽泄水水位 25.63、25.51	5 000、0	①复线船闸 $v_y = 0.36 \sim 0.82$; $v_x = 0.06 \sim 0.16$; 无回流 ②一线船闸: $v_{\max} < 0.30$; 无回流	①复线船闸 $v_y = 0.14 \sim 0.80$; $v_x = 0.05 \sim 0.29$; 无回流 ②一线船闸: $v_{\max} < 0.30$; 无回流
3	河道平槽泄水水位 21.23、20.66	1 090、0	①复线船闸 $v_y = 0.72 \sim 0.98$; $v_x = 0.19 \sim 0.26$; 无回流 ②一线船闸 $v_{\max} < 0.30$; 无回流	①复线船闸 $v_y = 0.50 \sim 0.82$; $v_x = 0.18 \sim 0.29$; 无回流 ②一线船闸 $v_{\max} < 0.30$; 无回流
4	河道平槽泄水水位 21.23、20.66	1 090、900	同退水闸不运用工况	同退水闸不运用工况
5	最低通航水位 19.27、17.14	200、0	-	$v_{\max} < 0.21 \text{ m/s}$
工况	上游引航道 流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	下游引航道 流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	下游口门区 流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	下游连接段航道 流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
1	$v_{\max} < 0.15$	接近静水区域	① $v_{\max} = 0.26$ ②回流区 $200 \text{ m} \times 100 \text{ m}$, $v_{r,\max} = 0.37$	$v_y = 0.28 \sim 0.74$; $v_x = 0.08 \sim 0.30$; 无回流
2	接近静水区域	接近静水区域	① $v_{\max} = 0.18$ ②回流区 $200 \text{ m} \times 100 \text{ m}$, $v_{r,\max} = 0.37$	$v_y = 0.28 \sim 0.77$; $v_x = 0.08 \sim 0.30$; 无回流
3	接近静水区域	接近静水区域	① $v_{\max} = 0.12$ ②回流区 $250 \text{ m} \times 100 \text{ m}$, $v_{r,\max} = 0.37$	$v_y = 0.24 \sim 0.61$; $v_x = 0.11 \sim 0.28$
4	接近静水区域	$v_x = 0.43 \sim 1.02$	① $v_{\max} = 1.01$, $v_x = 0.18 \sim 0.71$; ②回流区 $150 \text{ m} \times 200 \text{ m}$, $v_{r,\max} = 0.45$	$v_y = 0.34 \sim 1.14$; $v_x = 0.34 \sim 1.14$
5	-	-	小范围回流, $v_{r,\max} < 0.15 \text{ m/s}$	-

3.3 退水闸影响

拟定“最低通航水位^[10] + 退水闸下泄流量 0、50、100、200 m^3/s ”的工况组合，“河道平槽泄水水位与退水闸下泄流量 0、300、900 m^3/s ”的工况组合，试验成果见表4。

根据表4分析可知：1) 其他条件相同情况

下，退水闸流量越大、下游引航道水流条件越差。

2) 河道平槽泄水下，退水闸下泄流量 $300 \text{ m}^3/\text{s}$ 时，水流条件满足要求的航道宽度约 45 m。3) 最低通航水位下，退水闸下泄流量为 $100 \text{ m}^3/\text{s}$ 工况，下游水流条件可满足要求；退水闸下泄流量为 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 工况，水流条件满足要求的航道宽度约 45 m。

表 4 退水闸对下游引航道水流的影响

Tab. 4 Influence of exit lock on flow of downstream approach channel

上、下游水位/m	淮河、退水闸流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	下游口门区流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	下游连接段航道流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
河道平槽泄水水位 21. 23、20. 30	1 090、900	$v_x = 0.18 \sim 0.71$	$v_x = 0.34 \sim 1.14$
	1 090、300	满足要求	$v_x = 0.57$ (超标宽度约 20 m, 满足要求宽度约 45 m)
	1 090、0	满足要求	$v_x = 0.11 \sim 0.28$
最低通航水位 19. 27、17. 14	200、200	$v_x = 0.57$	$v_x = 0.57$ (超标宽度约 20 m, 满足要求宽度约 45 m)
	200、100	满足要求	$v_x = 0.22$
	200、50	$v_{\max} < 0.20, v_x < 0.20$	满足要求
	200、0	满足要求	满足要求

3.4 安全通航验证

受防洪要求, 下游不可采用隔流墙等措施改善水流条件, 因此需进一步验证 45 m 宽度可否满足船舶的安全通航。

开展船舶操纵仿真试验, 船闸为 2 000 吨级散货船(设计最大船型), 水位及水流条件根据《淮河航道临淮岗复线船闸工程水工物理模型试验研究报告》^[11], 仿真模拟试验按工程不同运行水位取值模拟流场, 水平能见度不小于 2 000 m, 风向为 E 风, 风速 3.1 m/s, 波浪方向同风向一致, 浪高 0.2~0.4 m。

统计各工况下船舶航迹带宽度, 采用 GB 50139—2014《内河通航标准》^[12] 中公式计算所需航道宽度, 结果见表 5。

表 5 各工况下航道计算宽度

Tab. 5 Calculation width of channel under different conditions

水位/m	淮河、退水闸流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	航迹带宽度/m	所需航道宽度/m	水流条件符合要求宽度	是否满足
河道平槽泄水水位 21. 23、20. 30	1 090、900	18	45.6	-	-
	1 090、300	16	43.6	45	满足
	1 090、0	14	41.6	65	满足
最低通航水位 19. 27、17. 14	200、200	16	43.6	45	满足
	200、100	15	42.6	65	满足
	200、50	14	41.6	65	满足
	200、0	14	41.6	65	满足

根据表 5 分析可知: 1) 河道平槽泄水下, 退水闸下泄流量 $300 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 水流条件满足要求的航道宽度约 45 m, 大于所需航道宽度 43.6 m。2) 最低通航水位下, 退水闸下泄流量为 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 工况, 水流条件满足要求的航道宽度约 45 m, 大于所需航道宽度 43.6 m。

4 结语

1) 当引航道存在转弯段或受场地限制, 无法

将停泊段、导航调顺段、船闸主体布置于一条直线上时, 可采用或折线形引航道方案。

2) 在引航道水流条件受退水闸影响, 水流条件较差时, 应细化分析不同退水流量对水流条件的影响。

3) 受防洪要求不可采取隔流墙等工程措施, 满足规范水流条件的航道宽度较大时, 可采用船舶操纵仿真试验论证和验证设计方案的安全合理性。

参考文献:

- [1] 王九大, 虞邦义, 王久晟, 等. 淮河临淮岗洪水控制工程枢纽布置研究 [J]. 水利水电技术, 2008(9): 47-50.
- [2] 淮河航道临淮岗复线船闸工程初步设计报告 [R]. 武汉: 中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 2019.
- [3] 孙腾飞. 临淮岗复线船闸闸轴线位置分析 [J]. 中国水运, 2020(4): 112-115.
- [4] 李社平, 刘江林. 双线船闸常用的闸轴线确定方法分析 [J]. 港工技术, 2022, 59(3): 26-29.
- [5] 中交水运规划设计院. 船闸总体设计规范: JTJ 305—2001 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [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.
- [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.
- [8] 王书文, 张金峰, 杨桂根. 临淮岗复线船闸水工模型试验研究 [J]. 安徽建筑, 2020, 27(9): 210-211, 236.
- [9] 李社平, 邓伟. 临淮岗复线船闸上游引航道船舶过闸仿真模拟试验 [J]. 水运工程, 2022(7): 168-172.
- [10] 徐军辉, 王平, 刘长波. 临淮岗复线船闸设计最低通航水位分析 [J]. 水运工程, 2020(6): 137-141.
- [11] 武汉理工大学. 淮河航道临淮岗复线船闸工程船舶操纵模拟试验研究报告 [R]. 武汉理工大学, 2019.
- [12] 长江航道局. 内河通航标准: GB 50139—2014 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.

(本文编辑 赵娟)