



基于船舶操纵仿真试验的弯曲河段 复线船闸引航道方案论证和优化

刘江林, 冯伟, 钟华林, 胡伟

(中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 湖北武汉430071)

摘要: 临淮岗复线船闸上游折线形引航道设置警示分隔墩后, 下游引航道回流严重、横向流速局部超标。针对安全航行的问题, 开展船舶操纵仿真试验。结果表明: 上游引航道宽度、转弯半径可满足船舶安全进出闸的需要; 曲进直出的折线形引航道布置方案, 上行出闸船舶为航行安全的控制工况, 在停泊段双排停靠1000吨级船舶时, 安全富余较小; 两闸之间的警示分隔墩平面布置长度过长对出闸船舶的航行存在不利影响, 其纵向布置范围不应与停泊段重叠; 下游引航道不超标部分宽度可满足船舶安全航行需要。

关键词: 复线船闸; 引航道; 船舶操纵仿真试验; 警示分隔墩

中图法分类号: U641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)10-0084-06

Demonstration and optimization of approach channel scheme for double track ship locks in curved river sections based on ship maneuvering simulation tests

LIU Jianglin, FENG Wei, ZHONG Hualin, HU Wei

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

Abstract: After the installation of warning separation piers in the upstream zigzag approach channel of the Linhuaigang double track ship locks, there is the serious reflux and local exceeding of lateral flow velocity in the downstream approach channel. In response to the safety navigation issues, we conduct ship maneuvering simulation tests. The results show that the width and turning radius of the upstream approach channel can meet the needs of safe entry and exit of ships at the ship lock. The layout scheme of a curved and straight out zigzag approach channel is a control condition for navigation safety, and the safety margin is relatively small when two rows of 1000-ton ships are docked in the berthing section. The length of the warning separation pier between the two gates is too long, which has a negative impact on the navigation of ships exiting the gate. The longitudinal arrangement range should not overlap with the mooring section. The width of the downstream pilot channel that does not exceed the standard can meet the safety navigation needs of ships.

Keywords: double track ship locks; approach channel; ship maneuvering simulation test; warning partition pier

1 工程概况

临淮岗洪水控制工程是位于淮河干流中游的一等大(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、深孔闸、临淮岗(一线)船闸、城西湖船闸, 见图1。

临淮岗(一线)船闸为IV级(500吨级), 闸室

有效尺寸130 m×12 m×2.6 m(有效长度×有效宽度×门槛水深), 通过能力低, 为提高临淮岗枢纽货运通过能力、满足淮河货运量发展、适应船舶大型化发展的需要, 拟按II级船闸标准建设临淮岗复线船闸工程, 设计最大船舶吨级2000吨级, 有效尺寸为240 m×23 m×5.2 m。

收稿日期: 2023-12-22

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。



图 1 临淮岗水利枢纽现状

2 引航道布置方案及优化

2.1 闸址及闸轴线

结合枢纽现状的分析, 有以下 3 个闸址可供选 择: 深孔闸北、深孔闸南一线闸北、一线闸南。 3 个闸址方案见图 2, 闸址优缺点对比见表 1。

结合表 1 的优缺点分析, 复线船闸闸址定于一 线闸南侧, 闸间轴线间距由下闸首处开挖断面 分析后初步拟定为 95 m, 经桥梁专业纵坡及接线 要求进行复核后, 最小间距调整为 120 m^[2-4]。

表 1 不同闸址优缺点分析

闸址	优点	缺点
闸址 1: 深孔闸北	上下游航道水深条件优	不符合 JTS 182-1—2009《渠化工程枢纽总体设计规范》 ^[1] 中“船闸不可布置在泄水或过水建筑物之间”的相关规定; 上下游水流条件差、不利于复线船闸与一线船闸的联合调度运营; 施工对临淮岗景区影响较大
闸址 2: 深孔闸南一线闸北	不影响城西湖蓄洪堤和城西湖船闸	复线船闸的建设需要开挖现有隔流岛, 对水流条件变化影响大, 开挖工程量较大, 且该处地质条件差, 拟建船闸基坑底存在 1~4 m 厚细砂层; 由于靠近深孔闸, 桥梁需要采用一跨过淮河主槽, 接入点设置在临淮岗风景区, 对风景区有影响, 且桥梁造价较高; 受深孔闸影响, 复线船闸下游引航道水流条件差
闸址 3: 一线闸南	上、下游引航道水流不受深孔闸影响, 水流条件好; 对临淮岗洪水控制工程影响较小, 不会影响临淮岗景区; 便于跨闸桥布置	退建城西湖蓄洪堤, 拆除城西湖船闸



a) 闸址1



c) 闸址3



b) 闸址2

图 2 3 个闸址方案

2.2 引航道布置方案

2.2.1 上游引航道

物理模型试验^[5]结果显示: 上游引航道横流较大、下游引航道回流较严重。为改善上下游引航道水流条件^[6-7], 复线船闸引航道宽度由 50 m 加宽至 65 m, 且对一、二线引航道之间进行疏挖。

上游引航道长 585.5 m、宽 65 m、水深 4.8 m, 受地形条件及相邻建筑物的制约, 由 2 段折线组

成，折线1与船闸主体平行，布置有68 m长导航段、102 m长调顺段和停泊段1；折线2与折线1之间角度为139°，布置有停泊段2和连接段航道。

两闸间上游引航道水域设置19个警示分隔墩，在停泊段2上游设置11个警示分隔墩，警示分隔墩间距10 m。

上游引航道停泊段布置于右岸，布置有12个靠船墩，间距25 m。停泊段1可停靠2列4艘1 000吨级船舶或1列2艘2 000吨级船舶。停泊段2可停靠1列2艘1 000吨级船舶或1艘2 000吨级船舶，见图3。

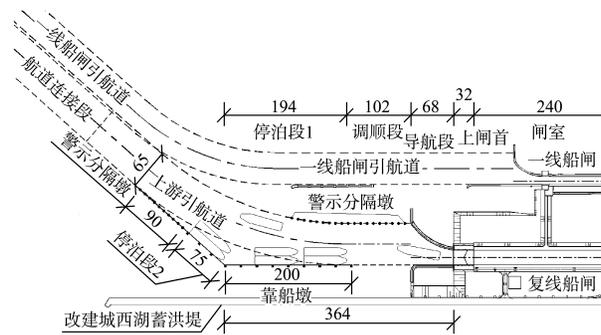


图3 上游引航道 (单位: m)

2.2.2 下游引航道

下游引航道长410 m、宽65 m、水深4.8 m，由长68 m导航段、102 m长调顺段和240 m长停泊段组成。下游主导航墙位于右岸，平行于引航道中心线布置，长度为68 m，通过半径为10 m的导航墙与现有地形相接。下游辅导航墙位于左岸，采用双排桩结构，结构沿船闸中心线方向投影长度为68 m，以半径98 m的弧线段过渡至现有地形。

下游引航道停泊段布置于右岸，布置有11个靠船墩，间距25 m。可停靠2列6艘1 000吨级船舶或1列3艘2 000吨级船舶，见图4。

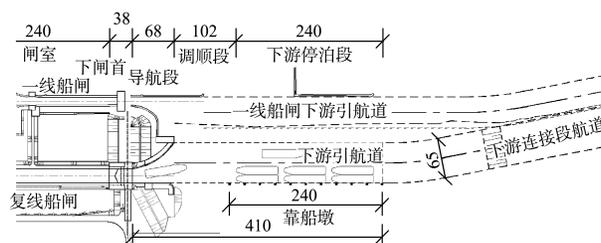


图4 下游引航道 (单位: m)

2.3 船舶操纵试验

2.3.1 试验目的

折线形停泊段引航道适用于弯曲河段或场地受限的工程，临淮岗复线船闸工程中，折线形引航道作为传统直线式布置的创新，在临淮岗复线船闸工程中减少了征地面积约22万m²、减少了土方开挖量约102万m³。

因上游引航道横流较大，模型试验建议将一、二线船闸间区域进行疏挖，一、二线船闸间区域在水位高于滩地高程时连成一片，可有效减小横流流速。但该区域位于水下时，存在船舶误驶入带来搁浅的风险，因此布设引导船舶的警示分隔墩^[8]。

为验证上游引航道布置方式引航道宽度是否满足要求、是否存在搁浅和撞击风险，保证进出闸船舶的安全性，须进行船舶操纵试验。

最高通航水位(上、下游水位为26.90、26.70 m，河道下泄流量5 000 m³/s)、河道滩槽泄水(上、下游水位为21.23、20.66 m，河道下泄流量1 090 m³/s)、河道平槽泄水(上、下游水位为21.23、20.66 m，河道下泄流量1 090 m³/s，城西湖退水闸下泄流量为300 m³/s)3种工况下，下游引航道局部横向水流略超过0.30 m/s，达0.35 m/s，超标范围约50 m×20 m(纵向×横向)，水流条件满足要求的航道宽度约45 m(即设计最宽船型宽度的3.2倍)。

为验证下游引航道在上述工况的水流条件下所需的航迹带宽度，为船舶调度管理提供建议，须进行船舶操纵试验。

2.3.2 试验方法

船舶仿真模拟试验采用NT-PRO5000仿真软件，对工程所在水域进行三维建模。试验流程见图5。首先确定研究水域范围内的地形、水文数据等研究参数，其次利用仿真软件建立地形和流场模型，以及船舶操纵时的不同场景模型，对代表船型在不同工况条件下的运动状态进行仿真研究^[9-10]。

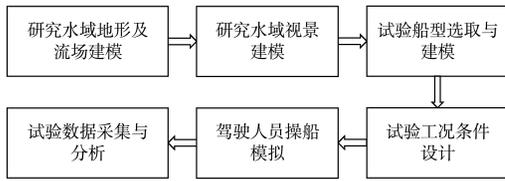


图 5 试验流程

2.3.3 工况设置

船舶操纵试验采用 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]计算

结果,仿真模拟试验按工程不同运行水位取值模拟流场;气象条件:水平能见度不小于 2 000 m,风向为 E,风速 3.1 m/s,波浪方向同风向一致,浪高 0.2~0.4 m。

船舶操纵试验选取 4 种水位组合,分别为:最高通航水位、河道滩槽泄水、河道平槽泄水和最低通航水位。其中河道平槽泄水和最低通航水位风浪流条件相同,设为同一种工况。进出闸试验方案的工况组合及模拟目的见表 2。

表 2 2 000 吨级散货船操纵试验工况

阶段	工况	水位/m	停泊段船舶	目的
出闸	1	上游 26.90、下游 26.70(最高通航水位)	单排 2 000 t 货船	上行船舶出闸,验证上游引航道方案
	2	上游 26.90、下游 26.70(最高通航水位)	双排 1 000 t 货船	上行船舶出闸,验证上游引航道方案
	3	上游 25.63、下游 25.51(河道滩槽泄水)	单排 2 000 t 货船	上行船舶出闸,验证上游引航道方案
	4	上游 25.63、下游 25.51(河道滩槽泄水)	双排 1 000 t 货船	上行船舶出闸,验证上游引航道方案
	5	上游 9.27、下游 17.14(最低通航水位)	单排 2 000 t 货船	上行船舶出闸,验证上游引航道方案
	6	上游 9.27、下游 17.14(最低通航水位)	双排 1 000 t 货船	上行船舶出闸,验证上游引航道方案
	7	上游 26.90、下游 26.70(最高通航水位)	双排 1 000 t 货船	下行船舶出闸,验证下游引航道方案
	8	上游 9.27、下游 17.14(最低通航水位)	双排 1 000 t 货船	下行船舶出闸验证下游引航道方案
进闸	9	上游 26.90、下游 26.70(最高通航水位)	单排 2 000 t 货船	下行船舶进闸,验证上游引航道方案
	10	上游 9.27、下游 17.14(最低通航水位)	单排 2 000 t 货船	下行船舶进闸,验证上游引航道方案
	11	上游 26.90、下游 26.70(最高通航水位)	单排 2 000 t 货船	上行船舶进闸,验证下游引航道方案
	12	上游 9.27、下游 17.14(最低通航水位)	单排 2 000 t 货船	上行船舶进闸,验证下游引航道方案

2.3.4 航行轨迹分析

出闸航行轨迹见图 6,其中工况 1~6 为上游引航道船舶出闸航行轨迹,工况 7、8 为下游引航道船舶出闸航行轨迹。可以看出,上游引航道在靠船墩双排停靠船舶时,出闸轨迹距警示分隔墩较近、安全富余较小,下游引航道出闸较为顺畅。

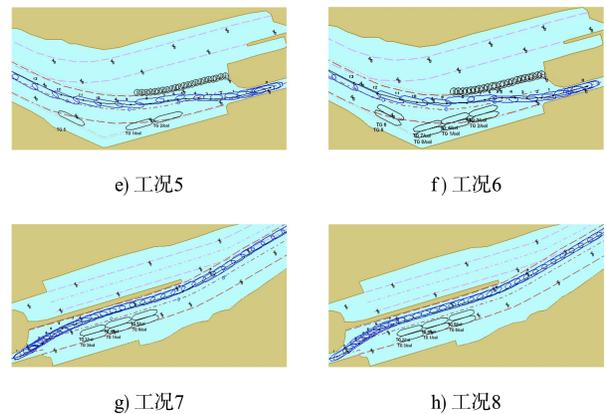
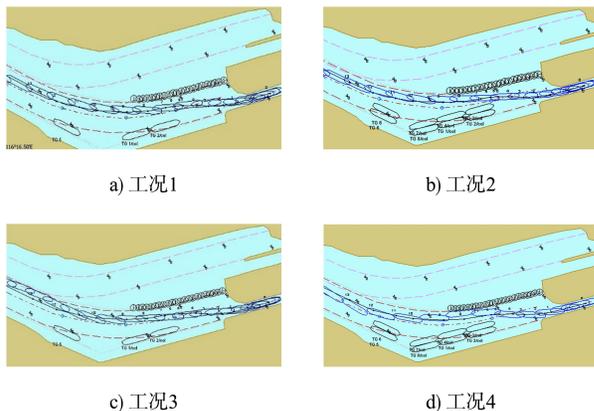


图 6 出闸航行轨迹



进闸航行轨迹见图 7。可以看出,进闸船舶均可直线驶入,较为顺畅;出闸船舶受停泊段船舶影响,为控制工况,因此对出闸工况做进一步分析。

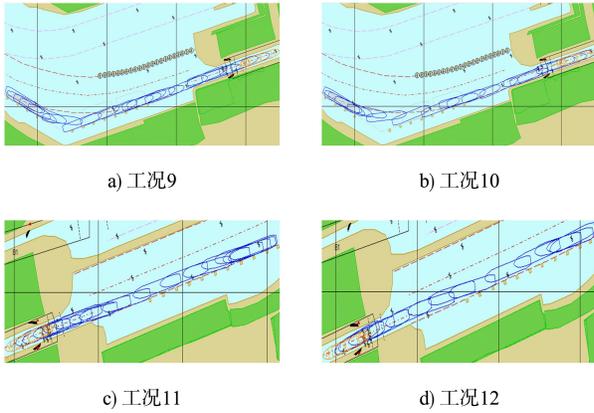


图7 进闸航行轨迹

2.3.5 航行参数分析

统计各工况出闸船舶的航迹带宽度、弯曲半径及富余距离(与停泊段船舶最小净距),结果见表3。

表3 出闸船舶航行参数

工况	航迹带宽/m	航道宽度/m	弯曲半径/m	富余距离/m
1	16	43.6	544	20
2	14	41.6	575	5
3	15	42.6	492	15
4	15	42.6	413	15
5	15	42.6	513	24
6	14	41.6	570	6
7	16	43.6	-	13
8	15	42.6	-	15

注:工况1~6为上行船舶出闸,工况7、8为下行船舶出闸。

根据统计结果分析可知:1) 2 000吨级船舶上、下行最大航迹带宽度为16 m,所需最大双向航道通航宽度为43.6 m,上游引航道宽度65 m满足要求,下游引航道宽度65 m、其中水流条件不超标区域宽度45 m,可满足要求;2) 2 000吨级散货船下行进闸折线段船舶转弯半径最大为570 m,上游引航道转弯半径满足要求;3) 上游引航道在双排停靠1 000吨级船舶时,设计最高通航水位、设计最低通航水位下,富余距离分别为5、6 m,存在一定的风险;4) 下游引航道富余距离较大,可满足安全通航要求。

2.3.6 引航道方案优化

原设计方案见图8,船舶在上行转弯航段为避让进闸停靠船舶^[12-13],并且由于受到风、浪、流的影响,低速条件下舵效降低,容易与左侧警示

分隔墩发生擦碰。因此要采取适当优化方案增加安全操作距离,如减少警示分隔墩数量。

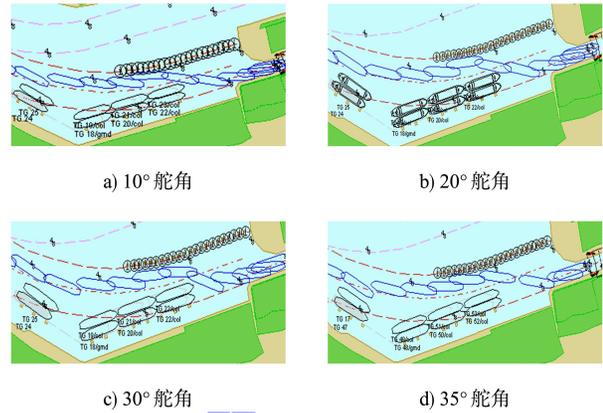


图8 原设计方案不同舵角出闸航行轨迹

原设计方案优化警示分隔墩布置后,2 000吨级船舶在不同舵角下出闸轨迹见图9。可以看出,左岸隔流墩数量减至13个,此时纵向布置范围与停泊段无重叠,船舶出闸后在避让右侧停泊段、左侧隔流墩的富余安全距离较大,有效提高了船舶出闸的安全性。

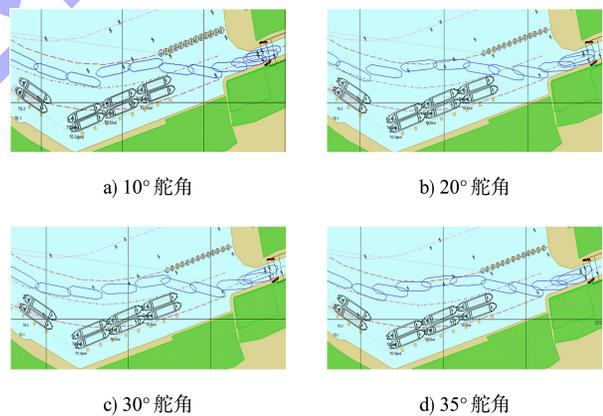


图9 优化后方案不同舵角出闸航行轨迹

3 结论

1) 船闸引航道宽度除应满足规范计算宽度外,还应保证水流条件满足安全通航的要求。弯曲河道、水流条件复杂工程,可由物理模型试验验证、优化引航道设计方案。

2) 曲进直出引航道布置方案,进闸船舶可直线驶入,出闸船舶航行受停泊段船舶影响,为不利工况。

3) 两闸之间的警示分隔墩平面布置长度过长

对出闸船舶的航行存在不利影响, 其纵向布置范围不应与停泊段重叠。

参考文献:

- [1] 中交水运规划设计院有限公司. 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 安徽省(水利部淮河水利委员会)水利科学研究院. 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[R]. 合肥: 安徽省(水利部淮河水利委员会)水利科学研究院, 2019.
- [6] 刘亚辉, 王云莉, 张绍培, 等. 窄深河道急弯下游枢纽上引航道布置及通航水流条件试验[J]. 水运工程, 2020(9): 118-125.
- [7] 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.
- [8] 孙爱萍, 余春辉, 颜志庆, 等. 山溪性弯道河段船闸通航水流条件试验研究[J]. 水运工程, 2023(1): 97-102, 142.
- [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] 张信伟, 刘哲, 张明, 等. 富池复线船闸与长江连接段通航条件试验研究[J]. 水运工程, 2022(11): 152-159.
- [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: 武汉理工大学, 2019.
- [12] 郝媛媛, 薛晶, 张明. 枢纽双线船闸船舶航行会遇方式研究[J]. 水道港口, 2013, 34(6): 513-517.
- [13] 蒋春钢, 颜志庆, 赵建钧, 等. 多线船闸下游极低通航水位通航水流条件试验研究[J]. 水运工程, 2021(11): 134-141.

(本文编辑 王璁)

(上接第 55 页)

2) 工程附近水域通航环境较为复杂, 船舶进出码头时, 对上、下游码头的船舶会产生一定影响。引桥处口门对船舶进出港影响较大, 运营后口门附近水域流速大于 0.75 m/s 时, 禁止船舶双线通航。经综合论证, 采取风险缓解措施后, 从通航安全角度认为方案可行。

3) 工程建成后, 附近水域的流速变化均较小, 维护性疏浚必不可少, 建议加强监测并及时疏浚、维护通航安全。从潮流泥沙角度认为方案可行。

4) 调整方案不新增长江沿江岸线长度, 优化岸线功能, 提升泊位等级, 与当前长江岸线利用“控总量、调存量、优增量、提效率”的要求一致, 可为其他存在能力缺口的码头提供参考。

参考文献:

- [1] 李欣, 王绿卿, 杨锦凌, 等. 内河挖入式港池水流特性及泥沙淤积研究进展[J]. 水道港口, 2022, 43(4): 437-443.
- [2] 王立铎, 谷文强. 突堤间港池或挖入式港池宽度设计方法研究[J]. 中国水运(下半月), 2017, 17(7): 200-203.
- [3] 曹宏生, 范平易. 镇江粮食出运码头改造工程技术方案[J]. 港工技术, 2022, 59(6): 1-4.
- [4] 柴国威, 詹坤豫. 西江中上游某港挖入式港池岸线规划设计研究[J]. 珠江水运, 2020(6): 77-79.
- [5] 王愈. 张家港港区支持系统挖入式港池水域方案研究[J]. 中国水运(下半月), 2016, 16(1): 264-265.
- [6] 刘云, 尤克诗, 王峰, 等. 河道平面形态对挖入式港池布置及进港通航水流条件影响研究[J]. 水道港口, 2022, 43(5): 624-632.
- [7] 崔志华. 长江挖入式港池通航安全风险评价研究[D]. 镇江: 江苏科技大学, 2019.
- [8] 谈宝林, 王俊虎. 二维潮流泥沙数学模型在挖入式港池中的应用研究[J]. 中国水运(上半月), 2021(12): 120-123.
- [9] 王伟, 程旸. 内河挖入式港池的应用及港池回淤问题研究[J]. 中国水运(下半月), 2016, 16(7): 253-254, 257.
- [10] 交通运输部规划研究院. 泰州港总体规划(批复稿)[R]. 北京: 交通运输部规划研究院, 2013.
- [11] 陈俊杰, 刘智峰. 上半年泰州港到港船舶装卸货量突破 2 亿吨[N]. 中国水运报, 2023-07-12(005).

(本文编辑 王传瑜)