



# 临淮岗复线船闸上游引航道 船舶过闸仿真模拟试验

李社平, 邓伟

(中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430071)

**摘要:** 针对折线型引航道的新型布置方式可能存在船舶进出闸受限的问题, 进行了上游引航道船舶过闸操纵仿真模拟试验。采用全任务大型船舶操纵模拟器, 构建 ECDIS 及视景系统、建立船舶运动数学模型、模拟通航环境、建立拟建工程仿真试验模型、分析船舶操纵理论并计算。分析仿真模拟试验数据, 从而验证过闸船舶的安全性和操作便利性, 并对运营期船舶适航条件提出建议。试验结果表明: 1) 临淮岗复线船闸上游折线型引航道布置是合理的。2) 将左侧警示分隔墩分布长度适当调整后可满足 2 000 吨级船舶过闸通航要求。3) 运营期应关注气象条件, 确保船舶安全通过。

**关键词:** 上游引航道; 折线型停泊段; 仿真模拟试验

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)07-0168-05

## Simulation experiment of ship passing through upstream approach channel of Linhuaigang double-line ship lock

LI She-ping, DENG Wei

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

**Abstract:** Given that the new broken-line layout of the approach channel is likely to restrict ships' passing through the lock, this study conducts a simulation test on the maneuvering of ships' passing through the upstream approach channel. It utilizes a full-mission large ship maneuvering simulator to build an electronic chart display and information system (ECDIS) and a visual system, develop a mathematical ship motion model, simulate the navigation environment, create a simulation test model of a proposed project, analyze the ship maneuvering theory, and perform calculations. Then, it analyzes the simulation test data to verify the safety and maneuvering convenience of the ships passing through the lock and provide suggestions on the seaworthy conditions for ships during the operation period. The following observations can be made from the test results: 1) The layout of the broken-line upstream approach channel of the Linhuaigang double-line ship lock is reasonable. 2) The distribution length of the left warning partition piers can meet the passing-through requirement of 2 000-ton ships after appropriate adjustment. 3) The personnel concerned should pay attention to the meteorological conditions during the operation period to ensure the safe passing-through of ships.

**Keywords:** upstream approach channel; broken-line mooring section; simulation test

### 1 工程概况

临淮岗洪水控制工程为一等大(1)型工程, 主体工程由拦河坝、进泄水闸、船闸等组成。主坝

轴线上的建筑物由北至南依次为姜唐湖进洪闸、浅孔闸、深孔闸、临淮岗船闸、城西湖船闸<sup>[1]</sup>, 见图 1。



图1 临淮岗水利枢纽现状

随着社会经济的发展,淮河水系船舶大型化趋势明显,临淮岗一线船闸通过能力已经饱和,不能满足航道未来货运量增长需求、不适应船舶大型化发展的需求,须修建临淮岗复线船闸<sup>[2]</sup>。临淮岗复线船闸为II级船闸,布置在一线船闸右侧,两闸轴线间距120 m<sup>[3]</sup>。设计最大船舶吨级为2 000吨级(船长×船宽×吃水为68 m×13.8 m×3.2 m)。结合货运量预测和通过能力计算,临淮岗复线船闸闸室有效尺度采用240 m×23 m×5.2 m(有效长度×有效宽度×门槛水深)。

## 2 折线型上游引航道布置

### 2.1 折线型上游停泊段引航道布置

根据船舶过闸流程,进闸船舶需待出闸船舶驶离停泊段后才能启动进闸。常规引航道停泊段紧邻调顺段布置,对于弯曲型河流,引航道直线段不足时也可将停泊段与导航、调顺段分开布置。这种分离式停泊段布置(图2)由于停泊段与调顺段、导航段间存在长约347 m的弧线段航道,由此造成进闸船舶进闸航行时间比常规引航道布置多5.8 min,影响过闸效率。

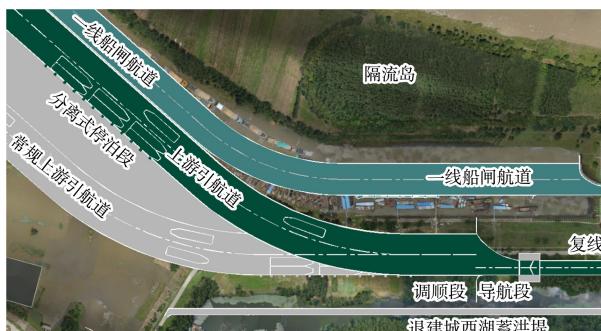


图2 分离式停泊段引航道布置

为了提高过闸效率,本工程优化了上游引航道布置,采用折线型停泊段的布置方案。折线型停泊段在分离式停泊段布置基础上,将弧线段引航道上游侧的右岸边线向下游顺延、下游侧的右岸边线向上游顺延,两者相交形成折线型航道边线,在此边线上布置停泊段。

折线型停泊段总长364 m,分为停泊段1和停泊段2。停泊段1与调顺段、导航段和船闸主体在一条直线上,长194 m,可停泊1排2列共2艘过闸船舶,过闸船舶紧邻上游调顺段布置,保证了过闸效率,停泊段1后方预留了48 m的距离,方便了停泊段2过闸船舶调整航向进闸。停泊段2与停泊段1的夹角参照码头端部泊位水域底边线与码头前沿线的夹角规定,取139°。停泊段2长度为170 m,可停泊1排1列共1艘过闸船舶。同时折线型停泊段两侧预留的48 m和68 m距离符合两码头前沿线成折线相交时富余长度的要求。引航道左侧布置有与辅导航墙相接的22个警示分隔墩,分布长度210 m,具体平面布置方案见图3。

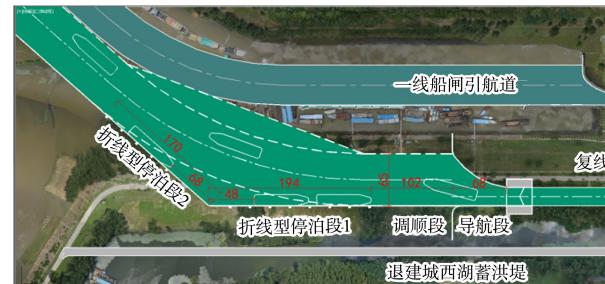


图3 折线型停泊段引航道布置

折线型停泊段的引航道布置符合规范要求,导航段、调顺段和停泊段紧邻布置在同一直线上,同时为了满足一个闸次的过闸船舶停靠要求,在折线外设置了停泊段2。折线段的挖入式区域保证了停泊段2船舶启动进闸所需调顺航向的空间。因此折线型停泊段引航道布置与常规引航道布置方案过闸效率基本一致,减少侵占上游滩地约22.3万m<sup>2</sup>、减少土方开挖量约102万m<sup>3</sup>,节省工程投资的同时减少征地赔偿工作,有利于工程的后期实施。

## 2.2 引航道布置存在的问题及解决方法

折线型停泊段引航道是在分离式停泊段布置的基础上演化而来，与传统直线式布置有较大差别，可能会存在船舶进出闸不顺畅、出闸船舶与停泊段船舶互相干扰等问题，应进行必要的验证，为营运期船舶调度提供技术支撑。

船舶操纵仿真模拟试验是解决类似问题有效和常用的方法，其特点如下：

1) 模拟试验的环境和实际水域环境接近，可实现边界条件下的通航环境模拟，确定设计船型的通航可行性。

2) 模型船舶的操纵特性数据与原型的操纵特性具有相似性，较实船试验而言，模拟试验可增强船舶通航安全性、能够较为准确地预估航行风险。

3) 对所进行的模拟试验可随时回放，及时发现问题，修正实施方案，优化船闸平面布置。

4) 所进行试验的模拟结果可以记录、打印，以供进一步分析研究，对于方案存在的不合理之处可及时修改。

## 3 船舶过闸操纵仿真模拟试验

船舶操纵仿真模拟研究借助船舶操纵模拟器，根据不同类型的船舶操纵特征，考虑各类船舶实际航行、作业习惯，在港航工程水域对船舶航行、作业操作过程进行计算机仿真模拟，获取模拟环境下船舶航行及靠、离泊作业等的运动特征、轨迹及相关技术参数，通过统计、分析和研究试验数据和结果，检验港航工程设计方案的合理性，为有关管理部门立项审批或批复港航工程建设提供决策依据。

为了验证临淮岗上游折线型引航道布置条件下过闸船舶操纵的便利性和安全性，开展了临淮岗复线船闸船舶过闸操纵仿真模拟试验。

### 3.1 仿真模拟试验方法

试验采用全任务大型船舶操纵模拟器，通过构建 ECDIS 及视景系统、建立船舶运动数学模型、

模拟通航环境、建立拟建工程仿真试验模型、分析船舶操纵理论和计算，采用 TRANSAS 公司新一代仿真软件(NT-PRO5000 型)进行仿真模拟试验数据分析，从而确定过闸船舶的安全性和操作便利性。模拟试验的方法流程见图 4。



图 4 试验方法流程

### 3.2 试验船型

采用设计代表船型 2 000 吨级标准化船舶，总长为 63~90 m、型宽为 13.8~16.2 m，设计吃水为 2.6~3.5 m，见图 5。本次试验模拟船型尺寸为长 68 m、宽 13.8 m、满载吃水 3.2 m。



图 5 2 000 吨级船舶 6 自由度船舶数学模型三维视景

### 3.3 模拟试验工况

结合临淮岗复线船闸工程水域通航特点，充分考虑有关安全通航和作业限制条件，确定模拟试验工况设计方案：1) 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》成果<sup>[4]</sup>，仿真模拟试验按工程不同运行水位取值模拟流场。2) 气象条件。水平能见度不小于 2 000 m；风向为 E 向，风速为 3.1 m/s；波浪方向同风向一致，浪高 0.2~0.4 m。见表 1。

表 1 2 000 吨级船舶出闸试验方案设计

分类	水位/m	风速/(m·s <sup>-1</sup> )	风向	上/下行	船型组合
最高通航水位	上游 26.90 下游 26.70	3.1	E	上行	单排停靠 2 000 t 船舶 双排停靠 1 000 t 船舶
河道滩槽泄水	上游 25.63 下游 25.51	3.1	E	上行	单排停靠 2 000 t 船舶 双排停靠 1 000 t 船舶
最低通航水位	上游 19.27 下游 17.14	3.1	E	上行	单排停靠 2 000 t 船舶 双排停靠 1 000 t 船舶

### 3.4 仿真模拟试验结果

需航道宽度见表 2。

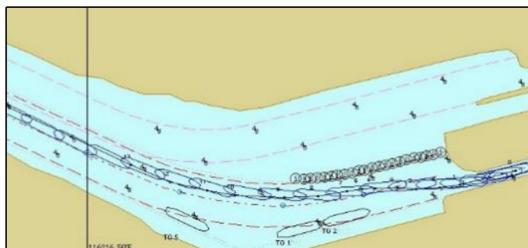
数值分析显示试验船型出闸航迹带宽度和所

表 2 2 000 吨级船舶出闸航道通航宽度

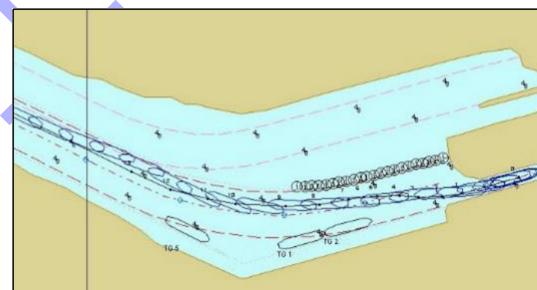
分类	水位/m	上/下行	进闸船型组合	航迹带宽度/m	所需航道宽度/m
最高通航水位	上游 26.90 下游 26.70	上行	单排停靠 2 000 t 货船 双排停靠 1 000 t 货船	16 14	43.6 41.6
河道滩槽泄水	上游 25.63 下游 25.51	上行	单排停靠 2 000 t 货船 双排停靠 1 000 t 货船	15 15	42.6 42.6
最低通航水位	上游 19.27 下游 17.14	上行	单排停靠 2 000 t 货船 双排停靠 1 000 t 货船	15 14	42.6 41.6

以上数据表明, 2 000 t 散货船出闸航行航迹带宽度最大为 16 m, 所需双向航道宽度为 43.6 m, 配套航道宽度 65 m, 满足船舶双向航行对航道宽度的要求。

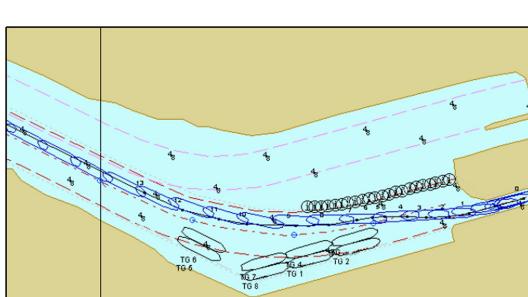
物理模型试验显示, 最高通航水位下引航道通航水流条件最差, 滩槽泄水工况出现频次最多, 最低通航水位时水面宽度最小。图 6 分别为各种工况下船舶出闸航迹图。



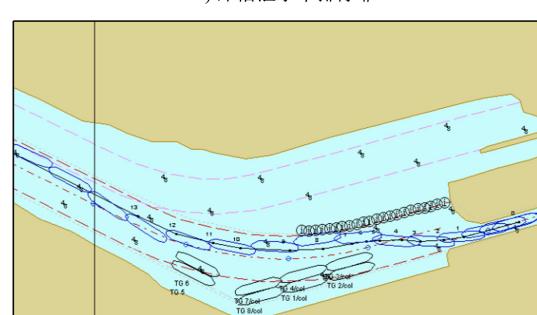
a) 最高通航水位单排停靠



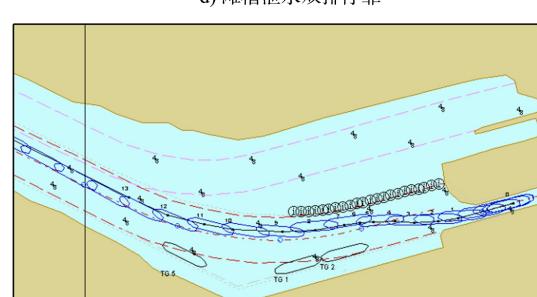
c) 滩槽泄水单排停靠



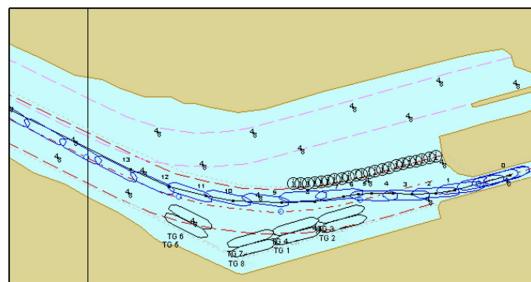
b) 最高通航水位双排停靠



d) 滩槽泄水双排停靠



e) 最低通航水位单排停靠



f) 最低通航水位双排停靠  
图 6 上行出闸航迹

### 3.5 研究结论

试验选取 2 000 吨级散货船模型，在最高通航水位、河道滩槽泄水、最低通航水位时所对应的流场及 3.1 m/s 常风工况条件下，根据工程航道特点确定了通航模拟试验方案。在试验取得的相关数据的基础上形成结论：

1) 代表船型上行最大航迹带宽度为 16 m，下行最大航迹带宽度为 16 m，最大双向航道通航宽度为 43.6 m。设计上游引航道总长 517.5 m，其中导航段长度为 68 m、调顺段长 102 m，水深 4.8 m，宽度 65 m。能够满足 2 000 吨级散货船在试验工况组合条件下航行要求。

2) 2 000 吨级散货船上行出闸模拟试验表明，左侧警示分隔墩数量为 22 个时，为避让进闸停靠船舶，并且由于受到风、浪、流的影响，船舶在上行转弯航段低速条件下舵效降低，容易与左侧警示分隔墩擦碰。左侧警示分隔墩减至 13 个时，船舶出闸后能在留出富余安全距离的情况下同时避让右侧等待进闸船舶和左侧警示分隔墩，大大提高了船舶上行出闸的安全性。

3) 船舶通航限制条件为：①能见度良好，视距不小于 2 000 m；②除应急操作外，代表船型作

业条件，限制作业风力不大于蒲氏风力 4 级 ( $\leq 6.7 \text{ m/s}$ )；③船舶全程安全富余水深应不小于船舶最大吃水的 10%。

仿真模拟试验有效地支撑了临淮岗船闸上游引航道布置的合理性。试验结果表明：临淮岗复线船闸上游折线型引航道布置是合理的，将左侧警示分隔墩由 22 个减少至 13 个(长度 130 m)后可满足 2 000 吨级船舶过闸通航要求。

### 4 结语

1) 临淮岗复线船闸上游引航道布置创新地采用了折线型布置，仿真模拟试验有效验证了这种布置的可靠性。

2) 临淮岗船闸在河道条件或用地受限制情况下的引航道采用折线型布置可以节省占地、减少征地拆迁等社会风险、降低对过闸时间的影响。

3) 通过船舶试验验证优化，折线型引航道停泊段不作为引航道直线段的必要组成部分是可行的。

4) 停泊段至闸首之间的引航道水流条件、气象条件对引航道尺度有一定影响，可通过船舶过闸仿真模拟试验进行优化。

### 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] 程军. 临淮岗船闸通航缓慢原因及对策[J]. 江淮水利科技, 2019(3): 14-15.
  - [3] 孙腾飞. 临淮岗复线船闸轴线位置分析[J]. 中国水运, 2020(4): 112-115.
  - [4] 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.
- (本文编辑 武亚庆)
- （上接第 167 页）
- [2] 姚仕明, 张超, 王龙, 等. 分汊河道水流运动特性研究[J]. 水力发电学报, 2006, 25(3): 49-52, 57.
  - [3] 顾莉, 华祖林, 褚克坚, 等. 顺直微弯型分汊河道水流的紊动特性试验研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2011, 39(5): 475-481.
  - [4] 胡鹏, 裴金林, 陆建萍, 等. 分汊河道通航条件及航路布置方案[J]. 水运工程, 2014(12): 92-95.
  - [5] 何保, 燕亚东, 余苇, 等. 河流交汇口河床地貌演变研究进展[J]. 水资源保护, 2018, 34(6): 17-23.
  - [6] 胡旭跃, 许晓琳, 沈小雄, 等. 江心洲型船闸通航安全问题及改善措施研究[J]. 安全与环境学报, 2015, 15(1): 94-97.
  - [7] 罗海超. 长江中下游分汊河道的演变特点及稳定性[J]. 水力学报, 1989(6): 10-19.
  - [8] 刘鹏飞. 水利枢纽下游分汊河段河床演变规律及试验研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2011. (本文编辑 王传瑜)