

# 洞庭湖区澧县澧水沙罗航道建设工程 实船适航论证

何繁,肖宇

湖南省水运建设投资集团有限公司,湖南 长沙 410011

**摘要:**为验证洞庭湖区澧县澧水沙罗航道因提高航道等级而扩大疏浚航道施工后船舶适航的性能,对该航道进行实船适航试验,从船舶上行、下行、会船3种情况,对比船舶漂角、舵角、对岸航速、转速等参数的变化,评估该航道的适航性能。结果表明:船舶对岸航速正常,漂角、舵角和船舶主机转速等船舶操纵性能参数均在正常范围内,航道适航条件良好;洪水、枯水期均可在工程区域航道顺利会船;航道通航复核宽度小于航道设计宽度,本工程航道尺度设计合理。

**关键词:**洞庭湖区;澧水沙罗航道;航道施工;实船适航

**中图分类号:**U616

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-0032(2024)02-0131-08

**引用格式:**何繁,肖宇.洞庭湖区澧县澧水沙罗航道建设工程实船适航论证[J].山东交通学院学报,2024,32(2):131-138.

HE Fan, XIAO Yu. Vessel seaworthiness in Lishui Shaluo Waterway construction project in Lixian, Dongting Lake area[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2024, 32(2): 131-138.

## 0 引言

我国对水运事业发展的支持力度不断加大,水运基础设施建设越来越多,基础设施完成后需通过实地观测或实船适航试验验证所修船闸、航道、船舶是否符合设计要求,是否可在相关水域安全航行<sup>[1-2]</sup>,是否可安全通过通航建筑物或碍航建筑物,验证大桥等建筑物是否符合设计要求<sup>[3-4]</sup>。曾建峰等<sup>[5]</sup>研究位于舟山桃花岛以东海域的虾峙门口外30万t级人工航道试通航,观测内容与内河航道不同,对指导内河航道开展实船适航试验的意义相对较小;黄丽芬<sup>[6]</sup>对西江下游(肇庆至虎跳门)航道整治工程横坑弯段开展实船适航试验,验证航标设置的合理性,航段是否符合通航要求。胡琼等<sup>[7]</sup>基于实船测速试航数据,采用Iterative方法和Mean of means方法进行计算和比较,分析不同的流修正方法的实用性和差异性。黄珍平等<sup>[8]</sup>采用计算流体动力学获得风阻系数的适用性,对比单航次修正和往返评价修正数据,评估试航中风场变化,确认分析风速、风向过程中是否对往返航次的风修正矢量进行平均处理。关帅<sup>[9]</sup>探讨长江水上通航安全风险的成因和表现特征,结合该水域的风险特点构建长江水上通航安全风险评价指标体系,运用层次分析法分析确定长江水上通航安全风险的各风险因素的重要性和权重分布,以长江太仓段作为实证研究对象对各风险因素进行评分,根据风险原因提出风险防控对策。南海龙等<sup>[10]</sup>依托清水江白市至分水溪航道建设工程,采用二维水流数值模拟方法,确定设计最低通航水位,按通航保证率90%设计航道工程,取枯期和汛期2种最不利工况,沿程水位下包线作为设计最低通航水位。现有研究对验证航道,尤其是内河航道是否符合通航设计要求相对较少。

本文依托湖南洞庭湖区澧县澧水沙罗航道建设工程,在完成该航道疏浚工程后对其进行实船适航试

收稿日期:2023-06-30

第一作者简介:何繁(1977—),女,长沙人,工程师,主要研究方向为港口航道与水运工程管理、技术管理和造价管理,E-mail:2050041@qq.com。

验,比较试验船舶在不同流量下漂角、对岸航速、舵角、主机转速等参数的变化,验证疏浚工程是否符合通航设计要求。

## 1 航道工程简介

湖南洞庭湖区澧县澧水沙罗航道是津茅河段的重点碍航河段之一,西起沙河口、东至罗家湾,有沙河口滩、肖家台子滩、陈家咀滩3处滩险,全长19 km。该航道为人工开挖的泄洪道,河段较顺直,两岸均有河漫滩,高程为32.00~32.50 m,自然状态下、设计水位时沙河口至四分局段落差为2.27 m<sup>[11]</sup>。根据2011-04-13实测,沙河口至四分局段落差为0.47 m,水深超过2.00 m。原通航河槽大多难以满足千t级船舶航宽和吃水水深要求,需疏浚该航道,提高航道等级<sup>[12]</sup>。沙罗航道建设标准为III(3)级,设计水深为2.00 m,设计航道宽度为60.00 m<sup>[13]</sup>。设计挖槽断面为对称或不对称梯形,按河床质情况取槽边坡坡度为1:3。湖南洞庭湖区澧县澧水沙罗航道平面位置示意图如图1所示。

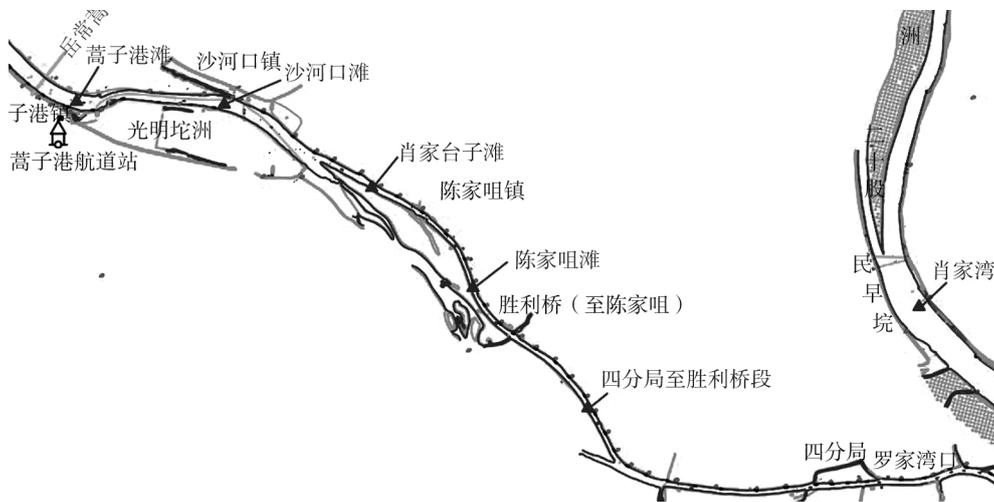


图1 湖南洞庭湖区澧县澧水沙罗航道平面位置示意图

在沙罗航道设计方案中,挖槽纵坡在沙河口滩、肖家台子滩、胜利桥的现状设计水位分别为26.61、26.52、26.15 m,预留水位分别下落0.46、15.00、0 m,设计底高程为24.15 m。沙罗航道疏浚典型断面示意图如图2所示。

工程沿用原有航槽,将航道进一步拓深,满足航道等级提升需求。依据河势,以左岸为主导河岸,挖槽布置成左凹右凸的微弯平面形态,挖槽宽60.00 m。按选择的施工机具确定挖槽的不平整超深和超宽,沙罗航道土质较硬,宜采用斗轮挖泥船施工,超深0.30 m,每边超宽3.00 m<sup>[14-17]</sup>。沙河口滩、肖家台子滩部分滩段可将疏浚土排于两侧芦苇洲,其余滩段可将疏浚土排至航道右侧支汊,加大支汊糙率,增大主汊流量。

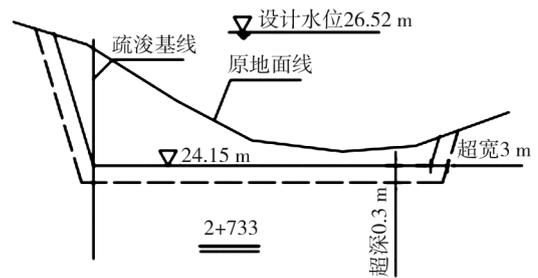


图2 沙罗航道疏浚典型断面示意图

## 2 试验方案

在澧水沙罗航道,2020-08-22为丰水期,流量为3 000 m<sup>3</sup>/s,2022-02-11为枯水期,流量为200 m<sup>3</sup>/s,分别进行水文观测和实船适航试验,观测断面流速、流量和水位比降。

根据设定的观测工况进行实际踏勘,沿澧水流向分别在沙河口滩、肖家台子滩、陈家咀滩、胜利桥、罗

家湾口设立1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>、4<sup>#</sup>、5<sup>#</sup>水尺进行水文观测。水尺位置与测流断面重合,其中1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>、4<sup>#</sup>水尺布设于右岸,3<sup>#</sup>、5<sup>#</sup>水尺布设于左岸。

根据观测工况确定实船适航试验的流量、船舶和工况,重船在流量分别为200、3 000 m<sup>3</sup>/s下进行2次上行、2次下行试验,空船在流量为200 m<sup>3</sup>/s下进行2次上行、2次下行试验,空船在流量为3 000 m<sup>3</sup>/s下进行3次上行、3次下行试验,观测船舶漂角、对岸航速、舵角等参数变化。

根据沙罗航道特点和整治情况观测断面流量、流向、沿程水面线、表面流场。在流量为3 000 m<sup>3</sup>/s下,沙罗航道主汊实测断面流量为1 166~1 436 m<sup>3</sup>/s,河面宽114.0~178.0 m,断面平均流速为1.0~1.2 m/s;沙罗航道比降为0.03‰~0.09‰,平均比降为0.06‰;船行波波高0.06~0.07 m,波周期为1.75~2.11 s,波长3.66~4.64 m。在流量为200 m<sup>3</sup>/s下,沙罗航道主汊实测断面流量为200 m<sup>3</sup>/s,河面宽95.0~178.0 m,断面平均流速为0.57~0.82 m/s;沙罗航道比降为0.23‰~0.78‰,平均比降为0.52‰;船行波波高0.07~0.09 m,波周期为1.70~2.06 s,波长3.66~4.64 m。

### 3 航道实船试验分析

#### 3.1 船舶上行

##### 3.1.1 漂角、对岸航速变化

根据试验流量和试验工况,统计沙罗航道空船、重船在不同流量下上行的漂角和对岸航速变化,结果如表1所示。

表1 沙罗航道船舶上行的漂角和对岸航速统计结果

试验船舶	流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	航向	漂角/(°)			对岸航速/(km·h <sup>-1</sup> )		
			极值(+)	极值(-)	平均	最小	最大	平均
空船	200	上行1	6.28	-4.67	1.13	6.99	10.86	10.15
		上行2	5.88	-7.27	1.60	9.92	13.99	12.14
	3 000	上行1	4.04	-6.35	1.46	6.30	10.90	8.70
		上行2	2.37	-6.65	1.98	8.80	12.70	10.90
		上行3	3.74	-6.49	0.85	9.40	13.10	10.80
	重船	200	上行1	5.02	-4.63	1.22	8.77	12.12
上行2			3.61	-7.37	1.45	6.52	11.49	9.74
3 000		上行1	2.09	-4.07	1.41	7.30	10.40	8.50
		上行2	3.44	-5.23	1.57	7.10	10.70	8.60

由表1可知:1)空船上行漂角变化范围为-7.27°~6.28°,流量为3 000 m<sup>3</sup>/s下,平均漂角变化范围为0.85°~1.98°,流量为200 m<sup>3</sup>/s下平均漂角变化范围为1.13°~1.60°。2)重船上行漂角变化范围为-7.37°~5.02°,平均漂角变化范围为1.22°~1.57°,流量为3 000 m<sup>3</sup>/s下,平均漂角变化范围为1.41°~1.57°;流量为200 m<sup>3</sup>/s下,平均漂角变化范围为1.22°~1.45°。本航道空船上行平均对岸航速不小于8.70 km/h,最小对岸航速为6.30 km/h,最大对岸航速为13.99 km/h;重船上行平均对岸航速变化范围为8.50~10.11 km/h,最小瞬时航速为6.52 km/h,最大对岸航速为12.12 km/h,船舶上行试验结果符合航道实船试验分析要求<sup>[18]</sup>。

##### 3.1.2 转速变化

统计分析不同试验流量 $Q$ 和试验工况下船舶上行过程中主机的转速变化,如果如图3所示。由图3可知:经过本航道时,试验船舶主机转速为940~1 050 r/min,小于试验船舶额定转速,主机运行指标参数在合理范围内<sup>[18]</sup>。

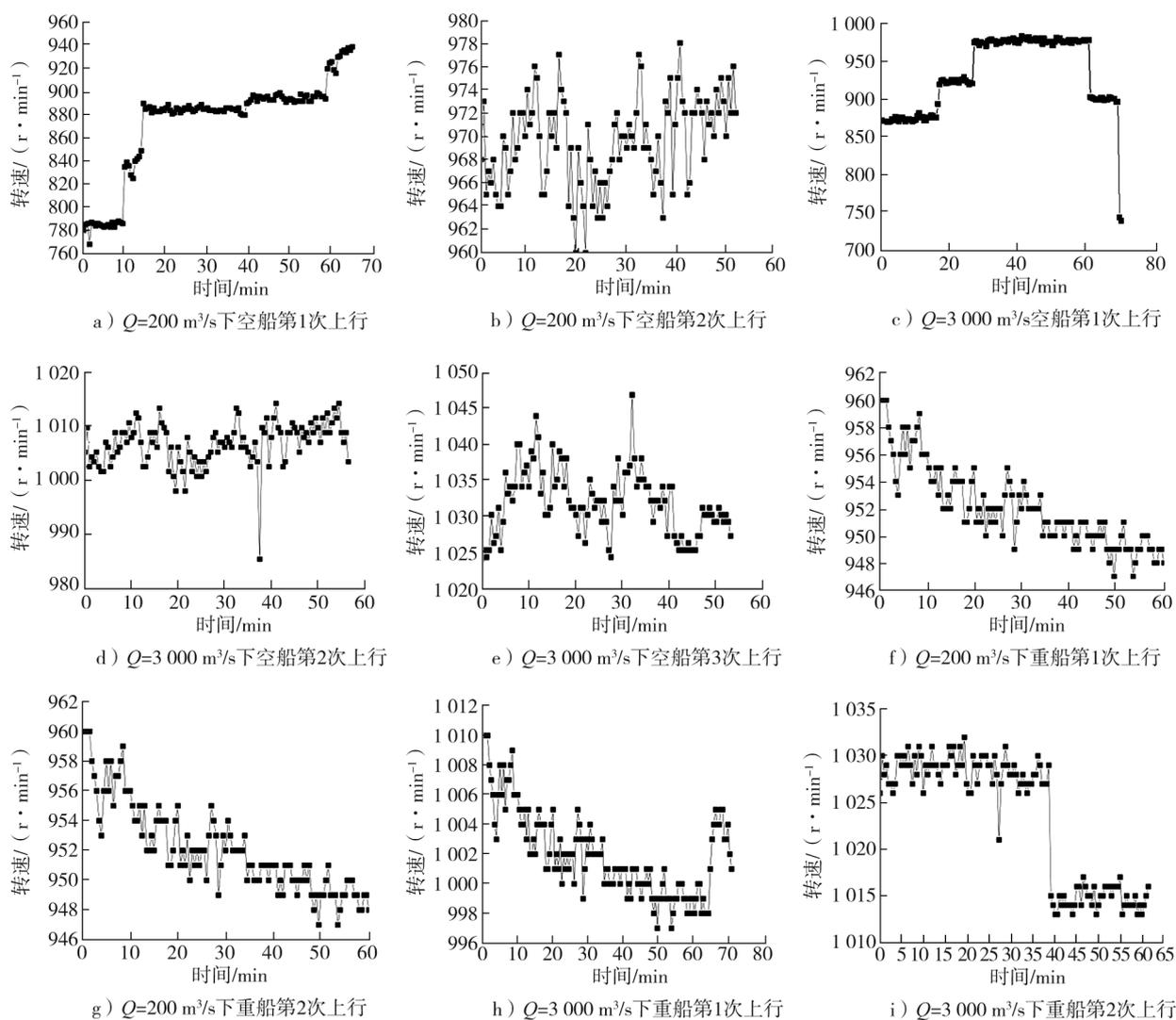


图3 2级流量、不同工况下船舶上行过程中主机转速的变化曲线

### 3.2 船舶下行

#### 3.2.1 漂角、对岸航速变化

根据试验流量和试验工况统计船舶下行的漂角和对岸航速变化,结果如表2所示。

表2 沙罗航道船舶下行漂角和对岸航速的统计结果

试验船舶	流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	航向	漂角/ $(^\circ)$			对岸航速/ $(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$		
			极值(+)	极值(-)	平均	最小	最大	平均
空船	200	下行1	6.05	-4.89	1.38	17.00	19.61	18.86
		下行2	7.19	-7.94	1.97	10.34	18.78	16.31
	3000	下行1	2.24	-3.07	0.91	16.40	22.60	20.70
		下行2	2.73	-9.68	1.95	12.00	20.70	18.10
重船	200	下行1	5.31	-8.12	1.49	6.13	16.65	14.21
		下行2	4.17	-10.04	2.29	11.59	17.67	15.90
	3000	下行1	3.29	-6.01	1.67	8.00	18.80	16.20
		下行2	5.65	-8.19	2.15	15.50	18.90	17.80

由表2可知:空船下行漂角的变化范围为 $-9.68^{\circ} \sim 7.19^{\circ}$ ,平均漂角的变化范围为 $0.91^{\circ} \sim 1.97^{\circ}$ ;重船下行漂角的变化范围为 $-10.04^{\circ} \sim 5.65^{\circ}$ ,平均漂角的变化范围为 $1.49^{\circ} \sim 2.29^{\circ}$ ;本航段空船下行的平均对岸航速大于 $16.31 \text{ km/h}$ ,最小瞬时航速为 $10.34 \text{ km/h}$ ,最大瞬时航速为 $22.60 \text{ km/h}$ ;重船下行的平均对岸航速为 $14.21 \text{ km/h}$ ,最小瞬时航速为 $6.13 \text{ km/h}$ ,最大瞬时航速为 $18.90 \text{ km/h}$ ,船舶下行试验结果符合航道实船试验分析要求<sup>[18]</sup>。

### 3.2.2 舵角变化

根据试验流量和试验工况统计分析船舶下行的舵角变化,2级流量下船舶下行过程中舵角变化曲线如图4所示。

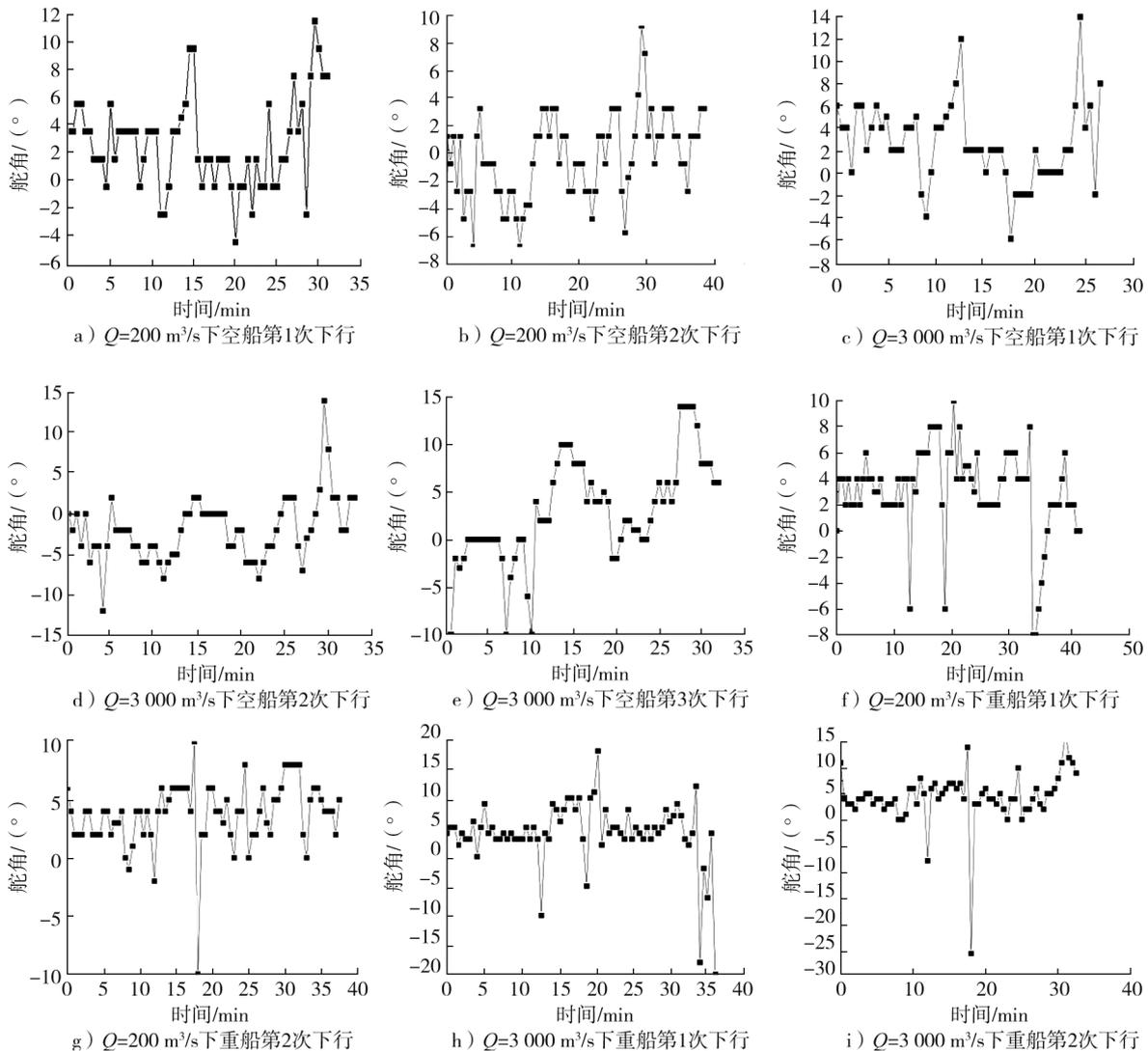


图4 2级流量、不同工况下船舶下行过程中舵角的变化曲线

由图4可知:2级流量下船舶下行过程中的舵角变化不大,变化范围为 $-15^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 。舵角在正常合理范围内,操控性能良好。

### 3.2.3 转速变化

根据试验流量和试验工况统计分析船舶下行的转速变化,2级流量下,船舶下行过程中转速的变化曲线如图5所示。

由图5可知:经过本航段时,试验船舶主机转速为 $700 \sim 1120 \text{ r/min}$ ,小于试验船舶额定转速,主机运行指标参数在合理范围内<sup>[18]</sup>。

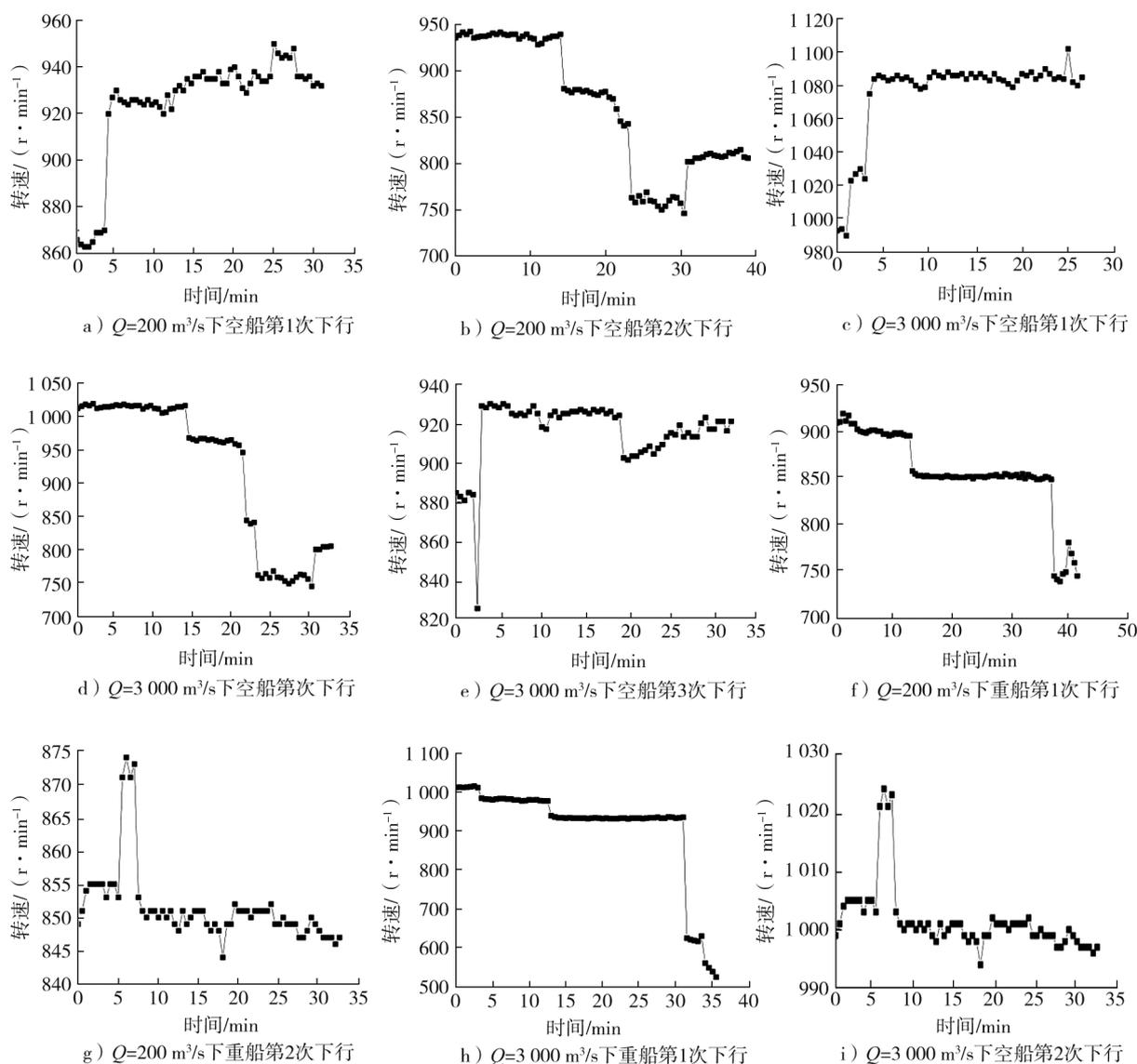


图5 2级流量、不同工况下船舶下行过程中主机转速的变化曲线

### 3.3 会船试验

#### 3.3.1 会船试验基本情况

为检验航道的适航条件,分析工程河段通航尺度的合理性,在肖家台子滩附近进行会船试验,航行参数如表3所示。由表3可知:会船试验中船舶上、下行均按正常航速行驶,船舶舵角均未超过 $15^\circ$ ,说明试验船舶在试验河段水域均能安全航行,2级流量下试验均安全顺利完成;在复杂航段航行中,船舶航行漂角较大;航道尺度与航行漂角和会船时两船间距等有关。

表3 会船试验船舶航行参数

流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	试验船舶	航向	对岸航速/ $(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	舵角/ $(^\circ)$	转速/ $(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$	漂角/ $(^\circ)$	会船两船间距/m
3 000	空船	下行	20.8	7	890	4.51	14.5
	重船	上行	8.7	8	985	3.85	
200	空船	下行	17.5	4	835	3.54	13.7
	重船	上行	12.2	5	864	2.24	

### 3.3.2 会船试验段航道宽度复核

双向通航宽度<sup>[19-20]</sup>

$$B_{bi} = B_d + B_n + d_1 + d_2 + C, \quad (1)$$

式中: $B_d$ 为下行船舶航迹带宽度, $B_d = B_{sd} + l_d \sin \beta$ ,其中 $B_{sd}$ 为下行船舶宽度, $l_d$ 为下行船舶长度, $\beta$ 为船舶航行漂角; $B_n$ 为上行船舶航迹带宽度, $B_n = B_{sn} + l_n \sin \beta$ ,其中 $B_{sn}$ 为上行船舶宽度, $l_n$ 为上行船舶长度; $d_1$ 、 $d_2$ 分别为下行、上行船舶外舷至航道边缘的安全距离,一般为0.5倍船宽; $C$ 为会船时2船的安全距离。

试验实船长85.00 m,宽10.80 m, $d_1$ 、 $d_2$ 均为5.4 m。会船试验航道宽度复核计算结果如表4所示。由表4可知:在流量为3 000 m<sup>3</sup>/s的会船情况下,航道宽度宜为59.29 m,在流量为200 m<sup>3</sup>/s的会船情况下,航道宽度宜为54.62 m,均小于设计航道宽度60.00 m<sup>[18]</sup>。

表4 会船试验航道宽度复核计算结果

流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	试验船舶	航向	漂角/(°)	航迹带宽度/m	船安全距离/m	航道宽度/m
3 000	空船	下行	4.51	17.48	14.5	59.29
	重船	上行	3.85	16.51		
200	空船	下行	3.54	16.05	13.7	54.62
	重船	上行	2.24	14.12		

### 3.4 航道适航性能分析

根据以上观测数据资料,分析沙罗航道船舶适航性能参数,根据适航试验所获得的漂角等数据,将沙罗航道实船适航试验结果代入式(1),对航道通航宽度进行复核计算,如表5所示。由表5可知:本航道船舶航行参数均在允许范围内<sup>[18]</sup>,适航性能良好;复核后的航道宽度均小于设计航道宽度60.00 m,航道尺度设计合理。观测成果资料表明,在不同流量、不同工况下,试验船舶均可顺利通过沙罗航道。

表5 沙罗航段适航性能参数及复核结果

流量/ (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	航向	适航性能参数				航道复核结果		
		漂角/(°)	对岸航速/(km·h <sup>-1</sup> )	舵角/(°)	转速/(r·min <sup>-1</sup> )	航迹带宽度/m	安全距离/m	航道宽度/m
3 000	上行	1.98	8.60	9	910	13.74	10.99	49.91
	下行	2.15	17.80	10	850	13.99	11.19	
200	上行	1.60	10.11	8	880	13.17	10.54	49.27
	下行	2.29	15.90	7	805	14.20	11.36	

## 4 结论

1) 通过沙罗航道水文原型观测和实船适航试验,分析湖南洞庭湖区澧县澧水沙罗航道工程河段水流条件和航行难点,通过测得的船舶漂角、舵角、对岸航速、转速等数据,可知试验船舶对岸航速正常,航行条件良好;漂角、舵角和船舶主机转速等船舶操纵性能参数均在正常范围内,沙罗航道适航条件良好。

2) 沙罗航道会船试验结果表明,不同流量下船舶均可在通航区域顺利会船。

3) 基于实船试验的航道通航宽度复核计算结果表明,不同流量下航道通航复核宽度约为50.00 m,小于航道设计宽度60.00 m,本工程航道设计合理。

### 参考文献:

[1] 温春鹏,庞启秀,张瑞波. 连云港主航道适航水深及现场观测研究[J]. 水道港口,2015,36(6):528-532.

- [2] 潘育明. 长江下游东流水道航道整治工程效果分析[J]. 中国水运, 2010(8):42-43.
- [3] 陈士清. 倒运海水道整治工程斗朗:川槎大桥段实船适航试验[J]. 水运工程, 2020(4):115-119.
- [4] 肖宝文. 浅析西江(界首至肇庆)航道扩能升级工程实船适航试验[J]. 珠江水运, 2021(3):89-90.
- [5] 曾建峰,徐元,姚金元. 虾峙门口外30万吨级人工航道试通航观测研究[J]. 水运工程, 2012,12(12):68-73.
- [6] 黄丽芬. 浅析西江下游(肇庆至虎跳门)航道整治工程横坑弯段实船适航试验[J]. 珠江水运, 2015(5):51-53.
- [7] 胡琼,陈天宇,徐杰,等. 实船试航中不同流修正方法的对比分析[J]. 中国造船, 2017,58(4):56-64.
- [8] 黄珍平,蔡文山,乔继潘. 实船试航风阻修正研究[J]. 上海船舶运输科学研究所学报, 2018,41(1):1-5.
- [9] 关帅. 长江太仓段通航安全风险评价与防控研究[J]. 上海:上海海洋大学, 2023.
- [10] 南海龙,乾东岳,李明. 清水江白市枢纽-托口枢纽的变动段航道设计最低通航水位研究[J]. 2023(6):154-159.
- [11] 周千凯,周丁. 大源渡二线船闸防渗体系施工质量控制[J]. 水运工程, 2019(3):136-140.
- [12] 何忠强,沈科. 我省航道建设工程环保措施浅析[J]. 湖南交通科技, 2020,46(2):122-123.
- [13] 中华人民共和国交通运输部,长江航道局. 内河通航标准:GB 50139—2022[S]. 北京:人民交通出版社, 2022.
- [14] 王佳国,刘娟. 基于BIM的航道建设工程质量信息化监管技术研究[J]. 交通世界, 2021(28):157-158.
- [15] 秦日松. 论闽江干流通航1000吨级船舶可行性[J]. 福建交通科技, 2019(3):128-131.
- [16] 中华人民共和国交通运输部. 水运工程测量规范:JTS 131—2012[S]. 北京:人民交通出版社, 2012.
- [17] 中华人民共和国交通运输部,长江航道规划设计研究院. 航道工程设计规范:JTS 181—2016[S]. 北京:人民交通出版社, 2016.
- [18] 中华人民共和国交通运输部,长江航道局. 内河航道维护技术规范:JTJ 287—2005[S]. 北京:人民交通出版社, 2005.
- [19] 费乐. 三峡库区主要支流航道定级研究[D]. 重庆:重庆交通大学, 2012.
- [20] 饶冠生,史德亮,杨伟. 内河航道通航水力学研究[M]. 武汉:长江出版社, 2009.

## Vessel seaworthiness in Lishui Shaluo Waterway construction project in Lixian, Dongting Lake area

HE Fan, XIAO Yu

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

**Abstract:** To verify the vessel seaworthiness after the expansion and dredging of the Lishui Shaluo Waterway in Lixian, Dongting Lake area, and to improve the navigational level of the waterway, the seaworthiness performance of the waterway is evaluated by comparing the drift angle, rudder angle, opposite shore speed, speed change, oil temperature change and other aspects of the three situations of the ship going up, going down and meeting. The results show that the cross-shore speed of the ship is normal, and parameters such as drift angle, rudder angle, and main engine speed are within the normal range, which indicates good navigational conditions in the channel. Ships can easily pass each other in the waterway during both flood and dry seasons. The navigational verification width of the waterway is smaller than its design width, which indicates that the scale design of the waterway in this project is reasonable.

**Keywords:** Dongting Lake District; Lishui Shaluo Waterway; waterway construction; vessel seaworthiness

(责任编辑:王惠)