

水富港靠泊安全及进出港航行条件实船试验

杨忠超, 陈明栋, 陈 明

(重庆交通大学 国家内河航道整治研究技术中心, 重庆 400074)

摘要:金沙江水富港是云南省北部沿长江的重要出口港和水上交通要道,该航段是典型的山区河流,航道狭窄、航槽弯曲,碍航的跨、临河工程众多,同时受上游2.9 km处的向家坝电站日调节或泄洪影响,水位和流速变化大,因此通航环境十分复杂.为确保港区河段船舶航行和码头作业安全,开展了满载和60%载量2种方案的出港、掉头下行、上行过桥进港的实船试验,试验结果表明,洪水期船舶航行的难点主要位于安边铁路桥、多用途码头、解缆出港及上行掉头.采用修正后的兹万科夫公式推算确定水富港河段的禁航流量为 $8\,000\text{ m}^3/\text{s}$.

关 键 词:山区河流;通航条件;实船试验;禁航流量

中图分类号: U661.78; TV143 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-640X(2012)04-0019-05

1 水富港区概况

金沙江水富河段航运资源丰富,是云南省北部沿长江的重要出口港和水上交通要道,也是连接长江和通江达海的水上交通主干线.随着国民经济的发展和西部大开发战略的实施,工农业生产总值不断增长,对交通运输的需求会大量增加.目前,水富至宜宾金沙江航道已列入交通部打造长江Ⅲ级航道规划,航道建设势在必行.

金沙江水富河段航道狭窄、航槽弯曲,并且从向家坝水电站坝址至横江口长约4 km河段中依次建有向家坝公路大桥、水富港大件码头、水富港多用途码头和内昆铁路安边大桥,受这些跨、临河工程的影响,通航环境十分复杂,通航安全问题极为突出^[1].一方面水富港河段航道狭窄,洪水期流速较大,原设计的掉头水域尺度不满足规范要求;另一方面水富港河段属于山区河流,枯水期河道狭窄,汛期洪水陡涨、陡落,流速比降大,流态紊乱,需研究确定安全的通航流量^[2].因此,为保证水富港的正常营运,研究船舶的靠泊安全与进出港航行条件十分必要.

考虑到水富河段航道条件的复杂性以及船舶驾驶人员操作水平的差异,为确保水富港作业及航行安全,参照国内大型水电项目研究方法,开展实船试验^[3-7],从船舶上行进港、靠泊以及出港掉头整个过程进行测试,以获取科学、可靠的技术参数,为水富港通航条件以及安全管理提供决策参考.

2 试验用船及试验装置

经过对水富港附近河段航行船舶的技术参数及性能等综合考虑,选择载量为1 400 t的生勋68号为实船试验用船.该船舶总吨位906 t,净吨位507 t;尺度为65.8 m×10.8 m×3.6 m(长×宽×型深);主机功率为440 kW(双机);齿轮箱减速比5.5:1;空载排水量347 t,满载排水量1 747 t;方形系数0.819;液压电舵,左右舵面积3.04 m²;启动车速740 r/min,最高1 800 r/min;螺旋桨型式为B型,双桨;满载时头部吃水3.2 m,

收稿日期: 2011-10-23

基金项目: 中国西部交通科技建设项目(200832881409)

作者简介: 杨忠超(1972-),男,四川眉山人,研究员,博士后,主要从事水力学及河流动力学、港口航道工程学研究.

E-mail: yangzc998@yahoo.com.cn

尾部 3.1 m.

船舶的用车、用舵、航速、漂角以及航迹线分布等是反映航行条件的关键因素. 船舶航行过程中用车和用舵的变化过程通过船上测量人员记录完成, 航速、漂角以及航迹线则是采用 GPS 全球定位系统进行测量. 在此次试验过程中, 分别在船头和船尾各安装一台 GPS.

3 试验方案、航段及试验流量

水富河段以前没有航行过 1 000 t 级的大船, 多数船长没有在该水域稳妥驾驶大船的经验, 因此为安全起见, 进行 2 种载量试验, 先进行 60% 载量试验, 然后根据试验情况进行满载试验.

试验方案为: ① 2 种装载方式出港方案: 水富港多用途码头→水富港重大件码头头部(掉头水域)→安边铁路桥→横江河口, 试验航程约 1 740 m; ② 试验船舶货物进港方案: 横江河口→安边铁路桥→水富港多用途码头, 试验航程约 990 m; ③ 试验船舶满载上行通过安边铁路桥方案: 横江河口→安边铁路桥下游→安边铁路桥上游, 试验航程约 900 m.

实船试验流量选择在金沙江流量为 $6\,000 \sim 8\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 时进行, 由于试验船舶选择以及压舱货源的准备较为困难, 而金沙江洪水流量变化很快, 实际试验流量约为 $7\,000 \text{ m}^3/\text{s}$.

4 实船试验结果分析

4.1 试验流量通航水流条件

从图 1 水富港区实测流速流向可见, 右岸重件码头以上至牛皮滩水域内流速相对较小, 最大不超过 2.25 m/s , 码头前沿流速未超过 2 m/s , 主流靠河心; 多用途码头前沿水域内, 流速稍大, 且有泡漩, 最大流速为 2.83 m/s , 前沿垂线流速最大为 3.17 m/s . 码头尾部至铁路桥范围内, 流速有所减缓; 铁路桥断面流速分布主流偏左墩, 流速较大, 最大为 3.26 m/s . 上行航线上流速为 $1.6 \sim 3.28 \text{ m/s}$, 比降为 $(0.15 \sim 1.10) \text{ ‰}$; 下行航线上流速约为 $1.7 \sim 3.33 \text{ m/s}$, 比降为 $(0.30 \sim 1.12) \text{ ‰}$; 较大流速区分布于铁路桥桥区, 其中上行航线上最大流速为 3.28 m/s , 相应比降为 0.51 ‰ .

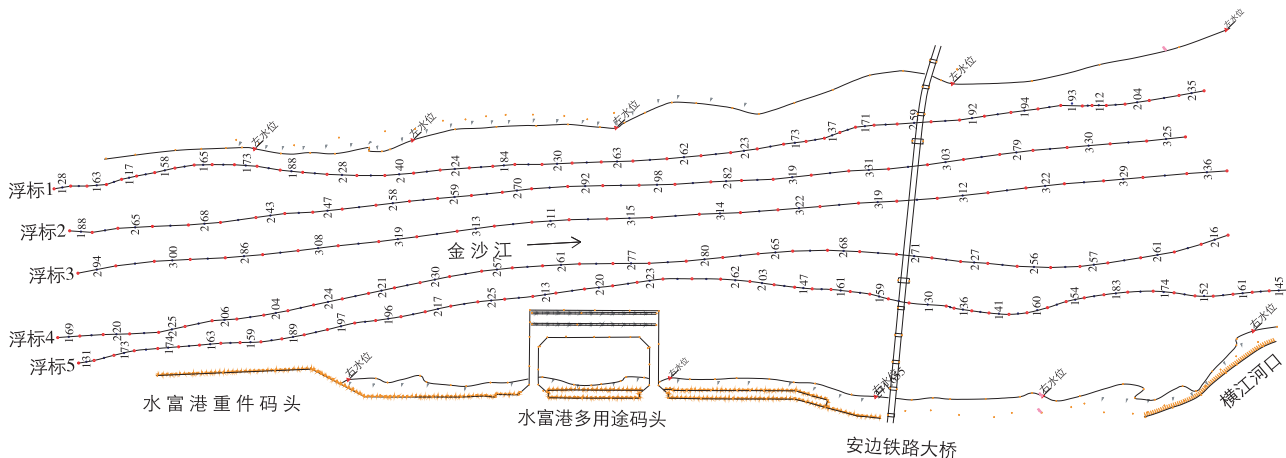


图 1 水富港区实测流速流向 ($Q=7\,000 \text{ m}^3/\text{s}$) (单位: m/s)

Fig. 1 The measured velocity in Shuifu wharf (unit: m/s)

4.2 实船试验成果分析

图 2 为 60% 载量和满载时试验船舶实测航迹线, 表 1 统计了 2 个船舶方案船舶航行参数, 从中可以得到以下结论.

4.2.1 船舶出港上行 对于 2 种载量, 船舶解缆驶出码头的过程基本正常, 上行过程中航线贴右岸, 沿重件码头前沿水域行驶. 船舶在刚刚解缆离港时, 需较大舵角, 满载和 60% 载量试验的舵角分别为 20° 和 36° , 同

时产生的漂角也较大,原因在于船舶解缆后需摆尾操较大左舵方可驶出码头前沿水域,随载量增加,惯性增大,舵角也增大.2 种载量试验船舶功率均有富裕,最高车速 1 484 r/min 小于最大转速.由于载量增加,阻力增大,满载平均航速小于 60% 载量,分别为 0.53 m/s 和 1.01 m/s,最大航速由 1.54 m/s 减小为 1.31 m/s.

表 1 实船试验结果

Tab. 1 Real ship test results														
装载	航向	最大舵角/(°)		最大漂角/(°)		左机车速/ (r·min ⁻¹)		右机车速/ (r·min ⁻¹)		航速/ (m·s ⁻¹)		航程/m	航行 时间/s	平均 航速/ (m·s ⁻¹)
		左	右	左	右	最大	最小	最大	最小	最大	最小			
装载 60% 货物	出港上行	17	20	75.89	19.62	1 347	705	1 361	752	1.54	0.39	373.7	370	1.01
	掉头下行	14	40	79.36	78.82	1 530	685	1 617	713	5.15	0.22	1 367.7	470	2.91
	上行进港	22	12	88.46	26.20	1 517	790	1 675	709	2.64	0.04	992.8	730	1.36
满载 货物	出港上行	26	36	88.88	47.48	1 484	695	1 437	704	1.31	0.01	397.5	750	0.53
	掉头下行	34	40	89.19	89.10	1 620	682	1 740	699	4.15	0.11	1 352.0	650	2.08
	上行过桥	8	12	19.74	24.87	1 649	761	1 721	731	2.38	0.14	909.7	565	1.61

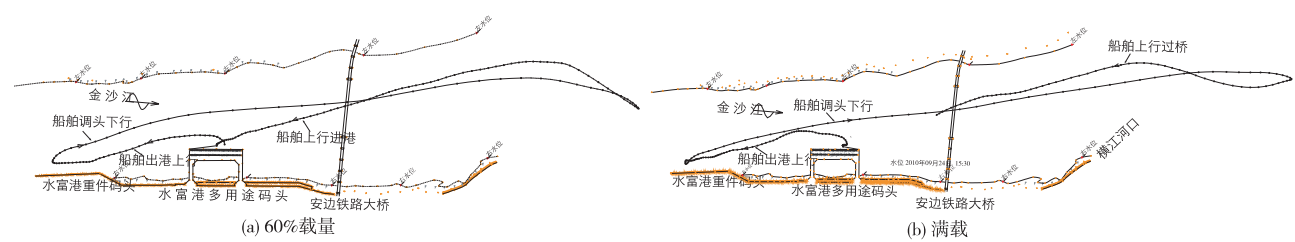


图 2 试验船舶 60% 载量和满载时实测航迹线

Fig. 2 The measured ship track line during 60% load and full load

4.2.2 船舶掉头下行 船舶行至重件码头头部前沿水域后,操纵船舶车速下降以减小惯性并准备掉头转向,船舶掉头过程中为了顺利调转船身,需要及时减速减小惯性影响,同时操右满舵 40°,使船头在主流作用下转向.受上行惯性和水流的影响,出现较大漂角且持续时间较长,原因是重大件码头头部水域较为狭窄,受河心流速影响,船舶掉头难度较大,需谨慎驾驶操纵才可安全掉头.由于积累了经验,几位船长认为满载试验掉头过程较第一次的 60% 载量试验效果好,分析其原因为 60% 载量试验掉头时由于车速较快,船体惯性较大,在同样的掉头区域内实现掉头,船舶操纵困难程度自然加大.掉头完毕下行过程中,航速明显增大,舵角、漂角明显减小,航行条件较好.当下行至铁路桥桥区时,由于满载船舶惯性较大,航速也相对较大,为保证航线平顺、产生较小漂角,需操较大舵角方可实现,最大舵角达 34°.掉头下行过程中,试验船舶左右机车速均未达到最大转速,属于正常运行状态,平均航速分别为 2.08 和 2.91 m/s,优于平均航速限值(1.00 m/s).

4.2.3 船舶上行过桥进港 船舶上行进港起点位于安边铁路桥下游约 490 m 的稍靠左岸水域,船舶上行进港由左岸过河驶向右岸途经安边铁路桥过程中,航线与水流成一定交角,需稳操较小左舵可基本保证航线较为平顺,漂角小、航速稳定.满载试验最大舵角为 12°,最大漂角为 27.87°,最大航速为 2.38 m/s,平均航速为 1.61 m/s,左、右机最高车速为 1 649 和 1 721 r/min,均未达到最大转速,说明即使在满载情况下,只要操纵得当,船舶可自航上行顺利通过安边铁路大桥.进港靠泊过程中出现较大舵角和漂角,原因是靠泊过程中需将船身调顺与码头前沿一致,故舵角稍有偏大,产生的漂角较大,但均在安全范围内.

实船试验表明,洪水期船舶航行的难点主要位于安边铁路桥、多用途码头、解缆出港及上行掉头.在金沙江 7 000 m³/s 流量时,船舶 60% 装载及满载情况下,船舶上行经过安边铁路桥、进入码头靠泊以及解缆出港作业均存在一定难度,但在经验丰富的船长的谨慎、正确操作下,船舶均安全完成了预定作业.试验最大难点表现在船舶上行掉头,这是因为目前选定的掉头水域水下有孤石及浅碛,水深不满足船舶吃水要求,船舶只能在重大件码头前沿掉头,但该水域狭窄,船舶满载掉头具有相当的难度,存在较大事故风险.现场专家认为,如果在牛

皮滩下掉头,风险会大大降低. 因此建议尽早进行掉头水域的清挖,以满足洪水期船舶安全出港的要求.

5 禁航流量推算

受金沙江洪水过程时限,只进行了流量为 $7\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 的实船试验. 从试验情况来看,试验船舶功率尚有较大富裕,于是采用修正后的兹万科夫公式^[8-10]对 $8\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 及以上流量进行船舶上滩能力推算.

表 2 所示 2 级流量组合上行规划航线上的船舶航行阻力计算结果表明:①随金沙江流量的增加,港区局部河段的流速、比降增加较大,船舶上滩航行阻力增大. ②当流量组合为 $Q_J=8\,000\text{ m}^3/\text{s}$, $Q_H=300\text{ m}^3/\text{s}$,规划航线上的航行阻力均小于额定功率下的有效推力,说明航行水域可满足船舶上滩要求,同时也可明显看出安边铁路桥桥区和水富港区水域内的航行阻力较大,最大上滩阻力为 49.91 kN ,已接近于额定功率下的有效推力 50.10 kN . 因此,该流量级应谨慎驾驶船舶方可上滩. ③流量组合为 $Q_J=9\,000\text{ m}^3/\text{s}$, $Q_H=300\text{ m}^3/\text{s}$,规划航线上的多个航行区域内航行阻力超过了船舶有效推力,尤其是多用途码头前沿及安边铁路桥桥区水域,说明船舶已不能自航上滩. 故推荐金沙江水富河段的禁航流量为 $Q_J=8\,000\text{ m}^3/\text{s}$.

表 2 水富港区规划上水航线上船舶上滩能力计算结果

Tab. 2 The calculated results of navigation resistance

流量		$Q_J=8\,000\text{ m}^3/\text{s}, Q_H=300\text{ m}^3/\text{s}$					$Q_J=9\,000\text{ m}^3/\text{s}, Q_H=300\text{ m}^3/\text{s}$				
测点 编号	流速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	比降/ ‰	流速阻力/ kN	坡降阻力/ kN	总阻力/ kN	流速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	比降/ ‰	流速阻力/ kN	坡降阻力/ kN	总阻力/ kN	
多 用 途 码 头	1	2.82	1.28	23.44	24.11	47.54	3.07	1.49	28.16	28.06	56.22
	2	2.88	1.07	24.51	20.15	44.66	3.10	1.19	28.77	22.41	51.18
	3	2.91	0.12	25.06	2.26	27.32	3.06	0.00	27.95	0	27.95
	4	3.07	0.63	28.16	11.86	40.02	3.16	0.51	30.03	9.60	39.64
	5	3.00	0.24	26.77	4.52	31.29	3.06	0.18	27.95	3.39	31.34
过 河 段	6	2.78	-0.48	22.75	-9.04	13.71	2.85	-0.48	23.97	-9.04	14.93
	7	2.82	-0.51	23.44	-9.60	13.83	2.90	-0.60	24.88	-11.30	13.58
	8	3.07	0.21	28.16	3.95	32.11	3.18	0.18	30.46	3.39	33.85
	9	3.10	0.15	28.77	2.82	31.60	3.23	0.03	31.56	0.56	32.12
	10	2.98	0.18	26.38	3.39	29.77	3.17	0.09	30.24	1.69	31.94
安 边 铁 路 河 段	11	2.73	0.12	21.90	2.26	24.16	3.04	0.24	27.55	4.52	32.07
	12	3.09	1.10	28.56	20.72	49.28	3.49	1.49	37.82	28.06	65.18
	13	2.96	1.27	26.00	26.37	49.91	3.32	1.55	33.62	29.19	62.81
	14	2.58	-0.90	19.51	-16.95	2.56	2.82	-1.07	23.44	-20.15	3.29
	15	2.82	0.21	23.44	3.95	27.39	3.05	0.24	27.75	4.52	32.27

6 结 语

为确保金沙江水富港区河段航行和码头作业安全,开展了满载和 60% 载量 2 种方案的出港、掉头下行、上行过桥进港的实船试验. 试验结果表明,洪水期船舶航行的难点主要位于安边铁路桥、多用途码头、解缆出港及上行掉头. 在金沙江 $7\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 流量时,船舶 60% 装载及满载情况下,船舶上行经过安边铁路桥、进入码头靠泊以及解缆出港作业均存在一定难度,但在经验丰富的船长的谨慎、正确操作下,船舶均安全完成了预定作业. 采用修正后的兹万科夫公式推算船舶上滩能力,推荐 $Q_J=8\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 为水富港河段的禁航流量.

参 考 文 献:

- [1] 重庆西南水运工程科学研究所. 金沙江牛皮滩-横江口滩航道整治模型试验研究报告[R]. 重庆: 重庆西南水运工程科学研究所, 2010. (Chongqing Southwest Port & Waterway Engineering Science Institute. Research report of waterway regulation model test from Niupi beach to Hengjiangkou beach in Jinshajiang river[R]. Chongqing: Chongqing Southwest Port & Waterway

- Engineering Science Institute, 2010. (in Chinese))
- [2] 唐存本, 贡炳生, 张贤明. 山区天然河流设计最高通航水位确定方法的探讨[J]. 水运工程, 2007(4): 66-69. (TANG Cun-ben, GONG Bing-sheng, ZHANG Xian-ming. On methods for determining the design highest navigable stage of natural rivers in mountain areas[J]. Waterway Engineering, 2007(4): 66-69. (in Chinese))
- [3] 严伟, 金峰, 韩继斌. 船模试验技术及应用[J]. 湖北水力发电, 2008(1): 10-12. (YAN Wei, JIN Feng, HAN Ji-bin. Ship model test technologies and application[J]. Hubei Water Power, 2008(1): 10-12. (in Chinese))
- [4] 徐言民, 刘明俊, 邹早建. 桥区船舶运动轨迹数值模拟与实船试验对比研究[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2008(3): 573-576. (XU Yan-min, LIU Ming-jun, ZOU Zao-jian. Comparative study of numerical simulation and full-scale experiment of ship trajectory in bridge area [J]. Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering), 2008(3): 573-576. (in English))
- [5] 严伟, 陈永奎, 杨文俊. 三峡工程明渠通航船模与实船试验[J]. 长江科学院院报, 2000(2): 1-5. (YAN Wei, CHEN Yong-kui, YANG Wen-jun. Model ship and real barges-tow tests for TGP'S diversion channel navigation[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2000(2): 1-5. (in Chinese))
- [6] 谢楠, 钱国梁, 郜焕秋, 等. 一种船模和实船试验的船舶运动测量系统[J]. 船舶力学, 2001(3): 26-32. (XIE Nan, QIAN Guo-liang, GAO Huan-qi, et al. A measurement system of ship motions during model tests and full-scale sea keeping trials[J]. Journal of Ship Mechanics, 2001(3): 26-32. (in English))
- [7] 杨树新. 长江口实时差分 GPS 的实船试验[J]. 上海海运学院学报, 1993(3): 37-44. (YANG Shu-xin. Real time differential GPS of the Yangtze River estuary tested on the ship[J]. Journal of Shanghai Maritime University, 1993(3): 37-44. (in Chinese))
- [8] 刘应中. 船舶在波浪上的运动理论[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1987. (LIU Ying-zhong. Ship movement theory over the wave[M]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University Press, 1987. (in Chinese))
- [9] 李云波. 船舶阻力[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2006. (LI Yun-bo. Ship resistance [M]. Harbin: Harbin Engineering University Press, 2006. (in Chinese))
- [10] 许光祥, 邓明文, 童思陈, 等. 急滩通航水力工程学[M]. 北京: 人民交通出版社, 2010. (XU Guang-xiang, DUN Ming-wen, TONG Si-chen, et al. Nasty beach navigation hydraulic engineering [M]. Beijing: People's Traffic Press, 2010. (in Chinese))

Vessel maneuvering test on safety mooring and inward/outward navigation condition in Shuifu wharf

YANG Zhong-chao, CHEN Ming-dong, CHEN Ming

(National Engineering Research Center of Inland Waterway Regulation, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: Located in the north of Yun'nan Province, Shuifu wharf on the Jinsha River is an important port and a key waterway along the Yangtze River. The navigation channel is in a typical mountainous river, with its water area narrow, its trough winding, and its surroundings complicated, and a variety of cross-river or on-river projects as obstructions. In addition, by the influence of Xiangjiaba hydropower station's daily regulation and discharge, water level and velocity change considerably, thus the navigation condition is complicated. To ensure the safety of navigation and port operation, two experiment schemes of full load and 60% load are used to research the navigation safety condition of the mooring system and the inward/outward port. The test results show that the special difficulties of navigation are the locations of Anbian railway bridge and the multipurpose wharf, and the time when the vessel casts off to leave the wharf, and when it is ready to turn around. Water flow for restricted navigation calculated by the modified Эиванков calculation method is $8,000 \text{ m}^3/\text{s}$.

Key words: mountainous river; navigable condition; vessel maneuvering test; water flow for restricted navigation