

DOI: 10.16198/j.cnki.1009-640X.2015.02.008

黄岳, 宣国祥, 徐进超, 等. 船舶进出闸室对系缆力的影响[J]. 水利水运工程学报, 2015(2): 50-54. (HUANG Yue, XUAN Guo-xiang, XU Jin-chao, et al. Analysis of mooring force influence given by larger ships passing through a shiplock[J]. Hydro-Science and Engineering, 2015(2): 50-54.)

船舶进出闸室对系缆力的影响

黄岳, 宣国祥, 徐进超, 张陆陈, 金英

(南京水利科学研究院 通航建筑物建设技术交通行业重点实验室, 江苏 南京 210029)

摘要: 船舶进、出闸室时, 船行波在闸室内引起较大水面波动, 造成闸室内系缆船舶的系缆力增大, 影响闸室内的船舶停泊安全; 大型船舶进、出闸室时, 产生的船形波作用更强, 对系缆船舶的系缆力影响更大。通过1:36.3三峡船闸的物理模型和相同比尺5 000 t级典型大型船舶模型, 采用系列物理模型试验, 对船舶进出船闸时闸室内系缆船舶的系缆力进行了研究。研究表明, 闸室内有系缆船舶时, 船舶进、出闸的航行速度对系缆船舶的系缆力影响很大, 进、出闸速度越快, 其系缆力也越大。三峡船闸中, 当水深5.5 m, 闸室内有系缆船舶, 大型船舶偏航进、出闸室时, 为保证船舶停泊安全, 航行船舶的进、出闸速度宜小于0.5 m/s。

关键词: 船闸; 大型船舶; 船行波; 系缆力; 模型试验

中图分类号: TV135.4

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2015)02-0050-05

船舶在闸室停靠时, 因船闸灌泄水、船行波等非恒定流的影响, 会造成船舶系缆力增大, 影响船舶在闸室内的停泊安全^[1-10]。以往研究表明, 船行波会造成水面波动, 特别是大型船舶, 其断面系数小, 船行波造成的水面波动较大, 造成闸室内系缆船舶的系缆力增大, 影响船舶在闸室内的停泊安全^[11]; 大型船舶进出闸室时, 产生的船形波作用更强, 对系缆船舶的系缆力影响更大。目前, 我国现行的《船闸输水系统设计规范 JTJ 306-2001》仅针对3 000 t级以下的船舶系缆力有限定值。随着经济的快速发展、内河通航运输量的不断增加、船舶标准化、大型化、专业化趋势日益加快, 排水量超过3 000 t的船舶越来越多, 因而, 现阶段迫切需要针对大吨位船舶在闸室内的停泊系缆力进行研究。

1 模型试验

建立1:36.3三峡船闸的物理模型和相同比尺5 000 t级左右(民联906)典型船舶的船模。试验按重力相似准则进行设计, 保证模型试验满足几何相似、水流运动相似和动力相似。水工模型为正态模型, 模型模拟范围包括: 三峡船闸第5闸室、第6闸首和部分下游引航道。模型制作保证断面和平面布置几何边界严格相似, 模型布置见图1。

系缆船舶和航行船舶均采用5 000 t级排水量的民联906船。民联906为散货船, 型长、型宽和型深为: 99.60 m×16.24 m×5.20 m, 满载吃水4.40 m, 最大载货量5 206 t, 空载排水量705 t。船模主要按重力相似准则设计, 几何比尺与水工物理模型一致, 船舶模型见图1。船模除满足与实船的尺度、线型几何相似外, 还应使船模与实船的航速、排水量相似。除满足上述要求外, 尚需遵循常规船模航行阻力试验的相似原理、换算方法和基本要求。试验中在船艏处安装1根直径为1.7 mm的激流丝来消除船模层流边界层的影响。

选取航速在0.2, 0.3, 0.5, 0.8和1.0 m/s等5个速度下的系缆力进行测量, 船舶由静止状态达到稳定

收稿日期: 2014-06-10

基金项目: 西部交通建设科技项目(2010 328 521 010); 江苏省“333”工程科研项目(BRA2010165)

作者简介: 黄岳(1957-), 男, 江苏南京人, 高级工程师, 主要从事通航建筑物水力学研究。E-mail: yhuang@nhri.cn

速度及由稳定速度停止时的加速度均为 0.03 m/s^2 。水流对系缆船舶的作用力以指向闸室内部为正, 横向作用力以指向系缆船舶侧为正, 其受力位置及方向如图 2 所示。因水流对系缆船舶的作用力均传递到系缆上, 故船舶所受纵向力在数值上即可认为等于其纵向系缆力, 船舶所受横向力即等于其横向系缆力。

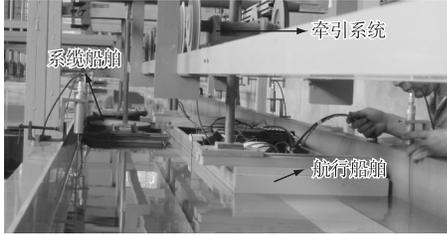


图 1 模型试验布置
Fig. 1 Layout of model tests

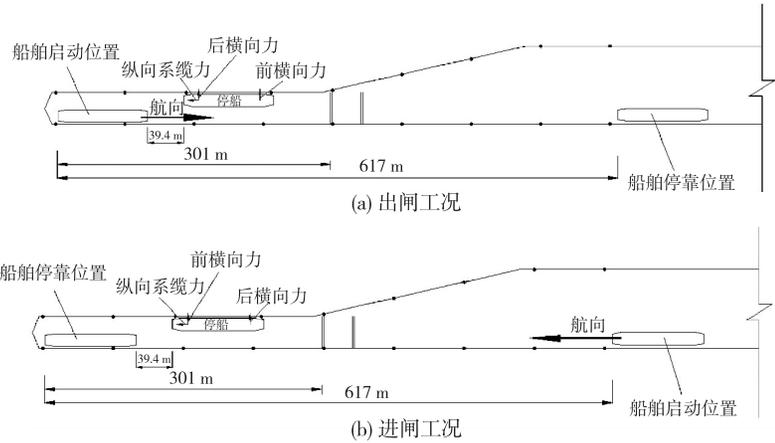


图 2 船舶偏航进、出闸室时船舶启动和停靠位置
Fig. 2 Layout of ship entering or exiting from a shiplock with different lanes

2 出闸工况船舶系缆力分析

由模型试验可知, 船舶以 $0.2 \sim 1.0 \text{ m/s}$ 的速度出闸时, 船舶将水流推出闸室, 当航行船舶将要达到系缆船舶处时, 其纵向作用力在水流作用下会出现一个负向峰值。当船舶从系缆船舶处经过时, 由于两船之间的间隙较小, 船舶后方的水域无法得到及时补充, 只能由系缆船舶的底部和侧面的狭小间隙向闸室补充水体, 故系缆船舶的纵向系缆力开始转为正, 且转向后其绝对值逐渐达到最大值, 随着船舶远离系缆船舶, 所受的作用力逐渐减小, 其作用力随着水面的波动小幅振荡。图 3(a) 为船舶在水深 5.5 m , 以 0.5 m/s 的航速出闸室时船舶的纵向力随时间变化曲线, 当船舶经过系缆船舶时, 系缆船舶上受到最大纵向力 51.88 kN 。

比较水深 5.5 m 时不同速度下船舶所受的纵向力 (见表 1) 可知, 随着航速的增大, 纵向力迅速增大, 当速度超过 0.5 m/s 时, 其最大纵向力超过 3000 t 船舶的规范允许纵向系缆力 46 kN 。

表 1 水深 5.5 m 典型船舶出闸时系缆船舶上的最大作用力

Tab.1 Maximum mooring force of typical ship exiting from a shiplock with water depth of 5.5 m

航速/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	最大纵向力/ kN		前最大横向力/ kN		后最大横向力/ kN	
0.2	20.25	-18.38	9.54	-10.53	6.99	-7.95
0.3	24.16	-20.04	5.09	-9.60	4.73	-4.66
0.5	51.88	-31.33	7.38	-15.44	10.51	-5.20
0.8	92.54	-68.69	13.57	-26.47	19.39	-8.38
1.0	143.77	-60.22	19.48	-40.13	26.43	-15.44

船舶在偏航出闸时, 其推开的水体主要位于闸室某一侧, 因而除造成闸室内水体较大的纵向波动外, 还会造成一定的横向波动, 对系缆船舶产生一定的横向作用力。图 3(b) 和 (c) 为典型大型船舶在水深 5.5 m , 以 0.5 m/s 速度出闸时, 系缆船舶前、后横向力变化曲线。由 3(b) 和 (c) 可知, 船舶航行到达系缆船舶处附近时, 船舶推出的水体从侧面挤压系缆船舶, 系缆船舶的前、后横向力均会变大, 方向为正; 当船舶航行经过系缆船舶时, 因其与系缆船舶之间的间隙较小, 水体主要通过二者之间狭小空隙以及系缆船舶底部流至船舶后方的封闭水域, 导致船舶的横向力转向, 且后横向力达到最大值 -15.44 kN 。

水深 5.5 m 时,比较不同出闸速度下的系缆船舶横向力可知,随着航速的增大,船舶受到的横向力逐渐增大,速度在 0.2, 0.3, 0.5, 0.8 和 1.0 m/s 时,系缆船舶的最大横向力分别为 10.53, 9.60, 15.44, 26.47 和 40.13 kN,当速度超过 0.5 m/s 时,其最大横向力同样超过 3 000 t 船舶的规范允许横向系缆力 23 kN,如表 1 及图 3(水深 5.5 m,吃水 4.4 m,出闸速度 $V_c=0.5$ m/s)所示。

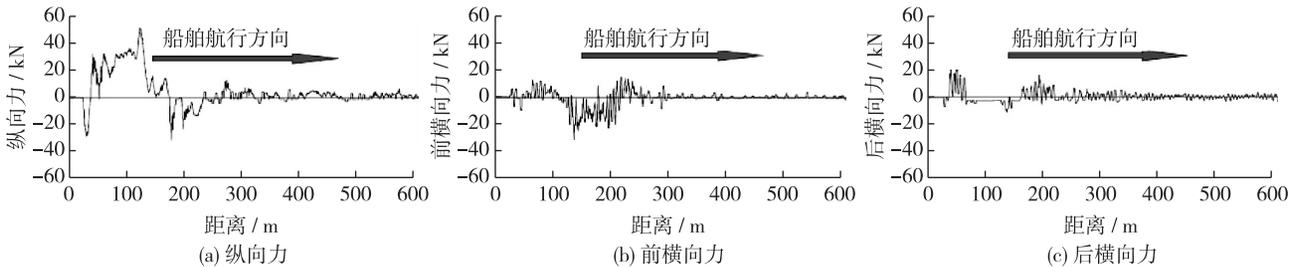


图 3 5 000 t 典型船舶出闸时系缆船舶所受最大作用力

Fig. 3 Mooring force of berthed ships when 5 000 t class ship exits from a shiplock

模型试验还研究了水深减小至 5.0 m 时,5 000 t 级船舶出闸时的横、纵向力。结果表明,在同一速度下,水深为 5.0 m 时的系缆船舶系缆力均大于其在水深为 5.5 m 时的系缆力。当水深为 5.0 m,船舶出闸速度在 0.5~1.0 m/s 时,系缆船舶的最大纵向力均大于 3 000 t 级典型船舶的纵向许用系缆力 46 kN,最大横向力均大于 3 000 t 级典型船舶的横向许用系缆力 23 kN。

3 进闸工况船舶系缆力分析

典型大型船舶以 0.2~1.0 m/s 的速度进闸时,系缆船舶上也受到不同程度的作用力。图 4(a)所示为典型船舶在水深 5.5 m,吃水 4.4 m,以 0.5 m/s 的速度进闸室时,系缆船舶的纵向力和前、后横向力随时间变化曲线。由图 4(a)可知,船舶进闸时,产生的水面波动传至系缆船舶后,其纵向力出现一定的变化,在其后的航行过程中,纵向力的变化幅度较小;当船舶航行至系缆船舶处附近时,系缆船舶的纵向力开始增大,并达到最大值 -40.90 kN,航行船舶经过系缆船舶后,其纵向力开始逐渐变小。

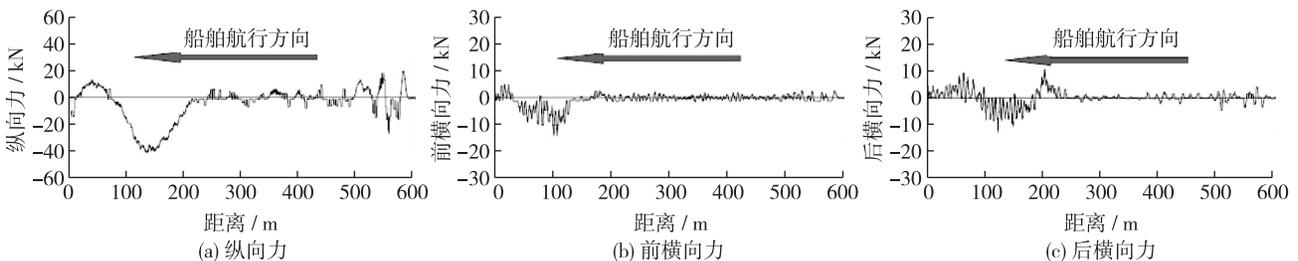


图 4 5 000 t 典型船舶进闸时系缆船舶所受作用力

Fig. 4 Mooring force of berthed ship when 5 000 t class ship enters a shiplock

水深 5.5 m 时进闸工况下,比较船舶不同进闸速度下系缆船舶上的最大作用力(见表 2)可知,随着航速增大,其纵向力也迅速增大,当速度超过或等于 0.8 m/s 时,其最大纵向力大于 3 000 t 船舶的规范允许系缆力。最大纵向力方向与出闸工况时的相反,但二者绝对值较接近,如图 5(a)所示。

由图 4(b)和(c)可知,船舶前、后横向力在航行过程中变化很小。当船舶航行至系缆船舶处时,系缆船舶的横向力开始变大,航速为 0.5 m/s 时,系缆船舶所受的最大横向力为 -14.04 kN(表 2)。

进闸工况下,随着航速增大,船舶的最大横向力也逐渐增大。当水深 5.5 m,速度超过或等于 0.8 m/s 时,其最大横向力大于 3 000 t 船舶的规范允许系缆力 23 kN。进闸工况下的最大横向力主要出现在船艏,在

数值上与出闸工况时的最大横向力接近,如图 5(b)所示。

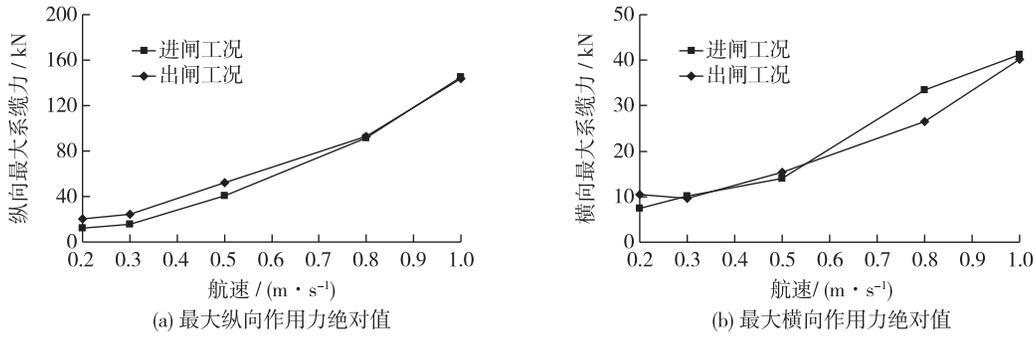


图 5 5 000 t 典型船舶在进、出闸时系缆船舶所受的最大作用力

Fig. 5 Mooring force of berthed ship when 5 000 t class ship enters or exits from a shiplock

表 2 水深 5.5 m 典型船舶进闸时系缆船舶上的最大作用力

Tab.2 Maximum mooring force of typical ship entering a shiplock in depth 5.5 m

航速/(m · s ⁻¹)	最大纵向力/kN		前最大横向力/kN		后最大横向力/kN	
0.2	9.87	-12.33	7.48	-7.03	4.48	-6.80
0.3	5.77	-15.57	9.24	-10.11	4.31	-5.99
0.5	19.93	-40.90	10.99	-12.81	2.68	-14.04
0.8	34.47	-91.67	17.41	-20.94	9.88	-33.41
1.0	100.17	-145.20	28.54	-25.98	18.59	-41.29

综合船舶进、出闸时对系缆船舶作用力可知,典型大型船舶进出闸时,航速对系缆船舶的系缆力影响很大,航速越大,系缆船舶所受作用力越大;水深越小,系缆船舶系缆力也越大。水深 5 m,典型船舶以大于或等于 0.5 m/s 以上的速度出闸时,系缆船舶纵向力、横向力均大于 3 000 t 级船舶的允许系缆力;水深 5.5 m,典型船舶进、出闸室航速小于或等于 0.5 m/s 时,系缆船舶系缆力满足规范允许系缆力。故当水深 5.5 m,闸室内有系缆船舶,船舶偏航进出闸室时,为保证船舶停泊安全,航行船舶的航速宜小于 0.5 m/s。

4 结 语

通过 1:36.3 三峡船闸的物理模型和相同比尺 5 000 t 级左右典型大型船舶的船模,采用系列物模试验,对航行波造成的船舶系缆力进行了研究。结果表明,闸室内有系缆船舶时,典型船舶进、出闸速度对系缆船舶的系缆力影响很大。当水深 5.5 m,船舶进、出闸室速度超过 0.5 m/s 时,系缆船舶的系缆力将超过规范允许系缆力,影响闸室中船舶的停泊安全。故水深 5.5 m,闸室内有系缆船舶,船舶偏航进出闸室时,为保证船舶的停泊安全,航行船舶的航速宜小于 0.5 m/s。

参 考 文 献:

[1] 王作高. 船闸设计[M]. 北京:中国水利水电出版社, 1992. (WANG Zuo-gao. Shiplock design [M]. Beijing: China WaterPower Press, 1992. (in Chinese))
 [2] 郑宝友, 谷汉斌, 周华兴. 天津港复线船闸船舶在闸室的停泊条件分析[J]. 水运工程, 2006(5): 55-58. (ZHENG Bao-you, GU Han-bin, ZHOU Hua-xing. Berthing conditions in chamber of the second ship lock of Tianjin port [J]. Port & Waterway Engineering, 2006(5): 55-58. (in Chinese))
 [3] 周华兴, 刘清江, 郑宝友, 等. 船闸引航道船舶系缆力计算公式应用条件的探讨[J]. 水道港口, 2006, 27(5): 311-316.

- (ZHOU Hua-xing, LIU Qing-jiang, ZHENG Bao-you, et al. Discussion on application condition of the formula of ship mooring force of lock approach[J]. *Journal of Waterway and Harbour*, 2006, 27(5): 311-316. (in Chinese))
- [4] 顾正华, 唐洪武, 李云, 等. 升船机厢内船舶最大纵向系缆力的计算模型[J]. *水运工程*, 2002(11): 10-13. (GU Zheng-hua, TANG Hong-wu, LI Yun, et al. Computing models of maximum longitudinal hawser force of ship in ship lift chamber [J]. *Port & Waterway Engineering*, 2002(11): 10-13. (in Chinese))
- [5] 房丹, 刘亚辉. 电站日调节非恒定流对系缆力的影响研究[J]. *船舶工程*, 2008, 30(3): 68-72. (FANG Dan, LIU Ya-hui. A study of the influences of daily regulation unsteady flow in hydroelectric project on mooring force[J]. *Ship Engineering*, 2008, 30(3): 68-72. (in Chinese))
- [6] PIANC. Approach channels, a guide for design[M]. Brussels: IMPA, 1995.
- [7] DE MULDER T. Mooring forces and ship behavior in navigation locks [C] // PIANC International Workshop-Innovations in Navigation Lock Design, 2009: 1-3.
- [8] WANG Hong-zhi, ZOU Zao-jian. Numerical prediction of the hydrodynamic forces on a post-Panamax vessel in the third set of Panama Locks [J]. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 2014(5): 1-13.
- [9] WANG Hong-zhi, ZOU Zao-jian. Behaviours of a ship passing through a lock under the influence of a berthed ship [C] // International Workshop on Next Generation Nautical Traffic Models, Delft, 2013: 62-70.
- [10] 长江三峡通航管理局, 南京水利科学研究院, 中交水运规划设计院有限公司. 三峡船闸过闸船舶吃水控制标准关键技术研究[R]. 宜昌: 长江三峡通航管理局, 2011. (Three Gorges Navigation Authority, Nanjing Hydraulic Research Institute, CCCC Water Transportation Consultants Co. The key techniques of ship draft control standards in the Three Gorges ship lock [R]. Yichang: Three Gorges Navigation Authority, 2011. (in Chinese))
- [11] JTJ 306-2001, 船闸输水系统设计规范[S]. (JTJ 306-2001, Code for design of filling and emptying system[S]. (in Chinese))

Analysis of mooring force influence given by larger ships passing through a shiplock

HUANG Yue, XUAN Guo-xiang, XU Jin-chao, ZHANG Lu-chen, JIN Ying

(Key Laboratory of Navigation Structures Construction Technology of Ministry of Transport, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: The ship wave caused by ships exiting from or entering the shiplock would enlarge the mooring force of berthed ships in the shiplock and be harmful for the mooring safety. Large-size ships entering or exiting from the shiplock may cause greater ship-induced waves and give remarkable influences upon the berthed ships. So to study the mooring force of the berthed ships caused by moving ships is necessary and important. The mooring force of the large-size ships in the Three Gorges shiplock is studied by conducting a physical model test of the shiplock, of which the scale is 1:36.3. A 5 000 t class ship model is used for the tests. The analysis results show that the ship speed gives a great influence on the mooring force. And if the water depth in the shiplock is 5.5 m, the slip speed exceeds 0.5 m/s, and the mooring force on typical berthed ship may exceed the standard value specified by the codes. When the water depth in the Three Gorges shiplock is 5.5 m, and the ship is berthed in the shiplock, the speed of other ships entering or exiting from the shiplock should be lower than 0.5 m/s for the safety.

Key words: shiplock; large vessels; ship-induced wave; mooring force; model test