

渠江富流滩船闸输水系统水力学模型试验

陈作强¹, 宣国祥², 黄 岳², 李 君², 金 英²

(1. 四川省港航开发有限责任公司, 四川 成都 610041; 2. 南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 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: 富流滩船闸改扩建工程是渠江广安航运建设工程的重要组成部分, 对促进川东地区经济社会发展具有重要意义。由于新建船闸等级及综合水力指标较高, 因此, 需对其进行水力学模型试验以优化输水系统设计。根据初步设计的富流滩船闸输水系统, 通过 1:25 的整体物理模型试验对其输水水力特性进行详细研究。试验结果表明: 富流滩船闸采用闸底长廊道侧支孔明沟消能的输水系统布置是合理的, 推荐的阀门开启方式下各输水水力特征均满足设计和规范要求。

关 键 词: 富流滩船闸; 输水系统; 水力学; 模型试验

中图分类号: TV142.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2012)04-0082-05

渠江广安(四九滩至丹溪口)航运建设工程包括航道整治工程、渠化工程及港口工程三大部分。渠化工程主要为富流滩船闸的改扩建工程, 新建船闸 1 座, 有效尺度为 180.0 m×23.0 m×4.2 m, 通航标准为内河Ⅲ级, 代表船型为 2 排 1 列式一顶 2×1 000 t 级船队, 设计最大水头为 11.8 m。结合国内外类似工程经验^[1-10], 富流滩船闸确定采用第二类分散输水系统的闸底长廊道侧支孔输水系统; 各特征部位面积和与阀门面积比分别为上闸首进水口 78.4 m²(与阀门处廊道断面面积比为 3.73, 下同), 充水阀门段廊道 21.0 m²(1.00), 闸室出水段廊道 24.0 m²(1.14), 闸室出水支孔 28.8 m²(1.27), 泄水阀门段廊道 21.0 m²(1.00), 下闸首出水口 104.5 m²(4.98)。由于该船闸水力指标较高, 输水系统设计须通过模型试验优化。

1 物理模型设计和试验仪器设备

物理模型按照弗劳德数相似准则设计, 根据试验场地及供水能力选择模型比尺为 25, 模拟范围则包括船闸上游引航道、闸室、输水系统及下游引航道。输水系统及阀门段廊道分别采用聚乙烯塑料板和有机玻璃制作, 经率定的模型糙率系数约为 0.008 4, 换算至原型为 0.014, 而原型混凝土糙率系数一般为 0.013 ~ 0.014, 因此, 模型与原型输水系统糙率基本一致。

模型水位和输水阀门分别采用溢流式平水槽和无级调速步进电机控制。闸室水位变化过程和输水廊道非恒定流压力、输水廊道恒定流时均压力、输水流量、引航道水流流速以及船舶缆绳拉力分别用电阻式压力传感器测定、测压管、矩形量水堰、旋浆流速仪及全环电阻式测力仪测定。试验所量测的数据通过美国 Iotech 公司的 Wavebook 数据采集分析系统进行采集和处理。

2 船闸充、泄水水力特性试验及成果分析

2.1 输水水力特性及输水时间

在设计水头 11.8 m 情况下(水位组合: 213.80 ~ 202.00 m), 测定了输水阀门不同开启速度下的闸室水

收稿日期: 2012-02-20

作者简介: 陈作强(1973-), 男, 江苏睢宁人, 高级工程师, 硕士, 主要从事港口航道及航电枢纽设计、建设管理工作。

E-mail: 48506472@qq.com

位流量变化过程线及船闸充、泄水时间. 典型水力特性曲线见图 1, 各种运行方式下的输水水力特征值见表 1.

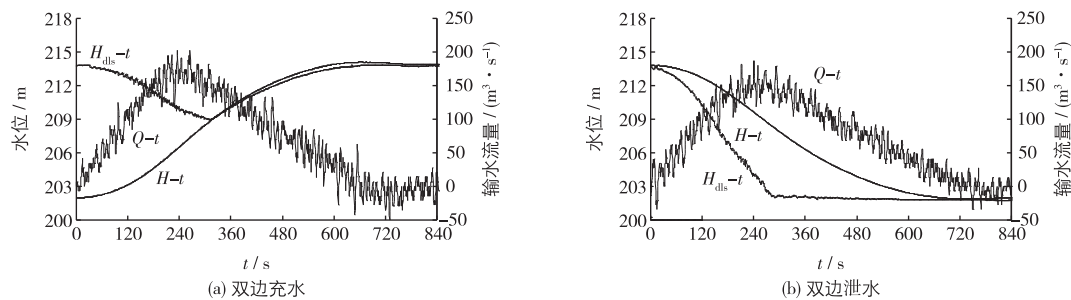


图1 船闸闸室双边充、泄水水力特性曲线(阀门双边开启 $t_v=5\text{ min}$)

Fig. 1 Filling and emptying hydraulic characteristic curves during opening of both valves ($t_v=5\text{ min}$)

表1 11.8 m 设计水头下闸室输水水力特征值

Tab. 1 Hydraulic characteristics under design water head of 11.8 m

输水方式	阀门开启时间/ min	输水时间/ min	最大输水流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	惯性超高(降)/ m	闸室水面最大 上升(下降)速度/ ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	闸室水面平均 上升(下降)速度/ ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	
充水	双边	4	9.56	184	+0.34	2.16	1.23
		5	9.99	175	+0.34	2.06	1.18
		6	10.47	166	+0.34	1.95	1.13
	单边	4	14.80	119	+0.28	1.40	0.80
		5	15.37	113	+0.28	1.33	0.77
		6	15.96	107	+0.28	1.26	0.74
泄水	双边	4	10.33	161	-0.26	1.89	1.14
		5	10.76	152	-0.26	1.79	1.10
		6	11.18	147	-0.26	1.73	1.06
	单边	4	15.60	117	-0.22	1.37	0.76
		5	16.13	110	-0.22	1.29	0.73
		6	16.38	103	-0.22	1.21	0.72

由图2和表1可见,当充水阀门双边开启时间为5 min时,闸室充水时间为9.99 min,闸室充水最大流量为175 m³/s,相应的闸底主廊道的最大流速为7.29 m/s,阀门段廊道最大流速为8.33 m/s,上游进水口断面最大平均流速为2.23 m/s,上述水力特征值均符合规范要求.当泄水阀门双边开启时间为5 min时,闸室泄水时间为10.76 min,此时闸室泄水最大流量为152 m³/s,输水主廊道的最大流速为6.33 m/s,阀门段廊道最大流速为7.24 m/s,上述水力特征值亦符合规范^[11]要求.

因此,富流滩船闸输水阀门开启时间只要不超过5 min,其闸室平均输水时间即可满足设计要求(10 min以内),说明输水系统设计较为合理.

双边充水时闸室的惯性超高为0.34 m,双边泄水时闸室的惯性超降为0.26 m左右,均超过规范允许的0.25 m,实际运行中宜采用提前关闭充、泄水阀门并在水位齐平时打开人字门的措施加以解决,此项工程措施已在多座船闸中成功应用,效果较好.

2.2 输水系统流量系数、阻力系数

通过恒定流试验,测定了输水廊道典型部位压力及上、下游引航道和闸室水位,从而计算出输水系统各典型区段的阻力系数、输水系统总阻力系数和流量系数,计算结果见表2.可见,富流滩船闸双边充、泄水流量系数分别为0.769和0.688;单边充、泄水的流量系数分别为0.945和0.885.

表 2 充泄水输水廊道阻力系数

Tab. 2 Resistance coefficients of filling and emptying culverts

充泄水过程	廊道部位	上闸首 进水口段	下闸首 出水口段	垂直转弯和 输水阀门段	水平 转弯段	出水 支孔段	总阻力 系数	流量 系数
充水	双边开启	0.084		0.374	0.227	1.006	1.691	0.769
	单边开启	0.095		0.342	0.485	0.197	1.119	0.945
泄水	双边开启		0.667	0.251	0.169	1.027	2.114	0.688
	单边开启		0.679	0.229	0.156	0.214	1.278	0.885

2.3 输水廊道压力特性

为分析输水廊道水力特性,在充泄水阀门后廊道顶部共设置 10 个压力传感器,以测定充、泄水阀门开启时阀门后廊道的非恒定流压力及其脉动值. 充、泄水阀门工作门井典型测点廊道压力过程曲线见图 2.

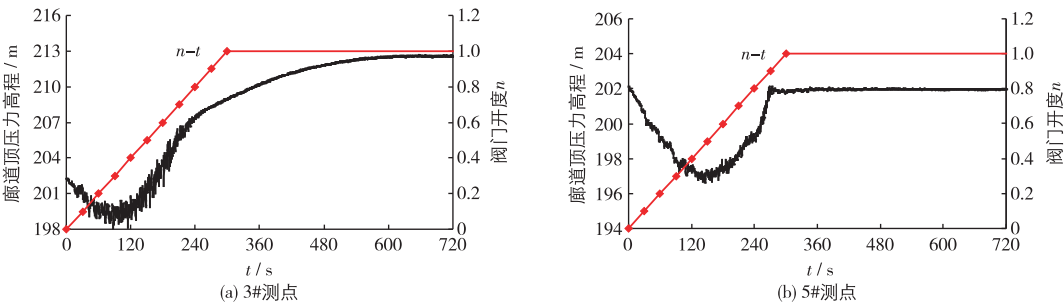


图 2 充、泄水阀门后廊道非恒定流压力过程线(阀门双边开启 $t_v=5\text{min}$)

Fig. 2 Unsteady flow pressure of the culvert behind valves (both valves opening, $t_v=5\text{min}$)

(1) 充水廊道. 充水阀门开启过程阀门后廊道顶部的非恒定流压力试验表明,最大设计水头下,双边开启 ($t_v=5\text{ min}$) 充水过程中以开度 $n=0.3$ 附近压力最低,测得最低平均和瞬时压力分别为 1.34 和 0.56 m 水柱.

(2) 泄水廊道. 泄水廊道阀门后非恒定流压力试验在检修门门井封闭情况下进行,试验表明最大设计水头下,双边开启 ($t_v=5\text{ min}$),最低压力出现在 $n=0.5$ 附近,最低平均和瞬时压力分别为 0.14 m 和 -0.20 m 水柱.

由此可知,其廊道压力满足不小于 -3.0 m 的要求,但考虑到船闸输水系统模型试验的缩尺效应,原型中阀门的工作条件将较模型更为严峻,为确保阀门的安全运行,建议在输水阀门后设置通气管,同时适当提高输水阀门段廊道的混凝土标号.

3 船舶(队)在闸室中的停泊条件

为使闸室纵向的流量分配均匀,输水系统布置时已考虑闸室纵向的流量分配,闸室内每侧支孔出口外侧设置了消能明沟,对水流进行消能及纵向二次调整,以改善船舶在闸室中的停泊条件;为使水流导向闸室中部,明沟上部按 1:1 坡度向闸室中心倾斜,并在消能明沟内设置了挡槛,使闸底侧支孔的出流均匀.

闸室内船舶系缆力试验主要针对最大设计水头,选择 1 000 t/100TEU 集散两用船和 2 000 t 液货船作为单船的代表船型,典型工况最大系缆力值见表 3. 试验结果表明:上述布置获得了预期的效果,闸室内无明显纵横向水流,水面非常平稳,横向水流分布亦较为均匀.

表3 闸室内船舶(队)最大系缆力

Tab.3 The maximum mooring forces of ship in lock chamber

船舶类型	开启方式	t_v/min	停泊位置	纵向力/ kN	前(后)横向 力/kN	船舶类型	开启方式	t_v/min	停泊位置	纵向力/ kN	前(后)横向 力/kN
2 000 t 单船	双边	4	闸室中段	36	22(8)	1 000 t 单船	双边	4	闸室中段	23	16(8)
			上半闸室	13	12(14)				上半闸室	13	6(14)
		5	闸室中段	26	15(7)			5	闸室中段	17	12(6)
			下半闸室	21	12(3)				下半闸室	14	9(3)
	单边	4	闸室中段	18	18(6)		单边	4	闸室中段	8	8(3)
		5	闸室中段	17	16(7)			5	闸室中段	8	6(3)

注:①1 000 t 船舶的纵向力允许值为 32 kN,横向力允许值为 16 kN;②2 000 t 船舶的纵向力允许值为 40 kN,横向力允许值为 20 kN.

由表可见,当充水阀门双边开启($t_v=5\text{ min}$)时,停泊在不同位置,设计 2 000 t 单船的最大纵向系缆力为 26 kN,最大横向力为 15 kN;设计 1 000 t 单船的最大纵向系缆力为 17 kN,最大横向力为 14 kN. 单边开启时设计 2 000 t 单船的最大纵向系缆力为 17 kN,最大横向力为 16 kN;设计 1 000 t 单船的最大纵向系缆力为 8 kN,最大横向力为 6 kN. 船舶(队)的系缆力均满足规范要求.

4 结 语

- (1)富流滩船闸采用闸底长廊道分散输水系统型式及侧向出水支孔与明沟消能的组合布置是合适的.
- (2)结合模型试验成果,最终确定富流滩船闸充、泄水阀门开启时间 t_v 均采用 5 min,相应的闸室充、泄水时间分别为 9.99 和 10.76 min,考虑缩尺效应,其原型平均输水时间将小于 10 min;此时闸室充、泄水最大流量分别为 175 和 152 m³/s.
- (3)闸底侧向出水支孔与消能明沟的布置满足了过闸船舶的停泊安全,设计 2 000 t 单船和 1 000 t 单船的最大纵向系缆力分别为 26 和 17 kN,最大横向力分别为 15 和 14 kN,最大横向力为 14 kN,均满足规范要求.
- (4)最大设计水头 11.8 m 下,泄水阀门后廊道顶压力较低,有一定的脉动值,在设计中应引起足够重视. 建议在输水阀门后设置通气管,并适当提高输水阀门段廊道的混凝土标号.
- (5)为了便于今后船闸运行时根据实际情况调整阀门开启速度以提高船闸通过能力或保证运行安全,建议阀门启闭机的速度应在 4~6 min 内可调.

参 考 文 献:

[1] EM 1110-2-1604,Hydraulic design of navigation locks[S].

[2] Hydraulic Laboratory, USAE Waterways Experiment Station. Filling and emptying system for high-lift navigation lock[R]. Mississippi: USAE Waterways Experiment Station, 1978.

[3] 连恒铎. 五强溪船闸输水系统水力学模型试验研究[R]. 南京:南京水利科学研究院,1993. (LIAN Heng-duo. Hydraulic model test study of the filling and emptying system of Wuqiangxi shiplock [R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 1993. (in Chinese))

[4] 董凤林,乔文荃. 广东北江飞来峡水利枢纽船闸水力学试验研究[R]. 南京:南京水利科学研究院,1994. (DONG Feng-lin, QIAO Wen-quan. Hydraulic model test of Feilaixia shiplock on Beijiang River in Guangdong Province[R]. Nanjing:Nanjing Hydraulic Research Institute, 1994. (in Chinese))

[5] 宣国祥,黄岳. 柳江红花船闸输水系统水力学模型试验研究[R]. 南京:南京水利科学研究院,2003. (XUAN Guo-xiang, HUANG Yue. Hydraulic model test study of the filling and emptying system of Honghua shiplock on Liujiang River[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2003. (in Chinese))

[6] 李中华,宣国祥,黄岳. 广西红水河桥巩船闸输水系统水力学试验研究[R]. 南京:南京水利科学研究院,2005. (LI

- Zhong-hua, XUAN Guo-xiang, HUANG Yue. Hydraulic model test of the filling and emptying system of Qiaogong shiplock on Hongshuihe River in Guangxi Zhuang Autonomous Region [R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2005. (in Chinese))
- [7] 宣国祥,黄岳,李君. 西江航运干线桂平航运枢纽二线船闸闸底长廊道输水系统方案布置、水力特性分析和水力学模型试验研究[R]. 南京:南京水利科学研究院,2007. (XUAN Guo-xiang, HUANG Yue, LI Jun. Hydraulic model test study of the bottom longitudinal culvert filling and emptying system of Guiping 2nd lane shiplock on Xijiang River [R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2007. (in Chinese))
- [8] 黄岳,李君,宣国祥. 江西省峡江水利枢纽船闸输水系统水力学研究[R]. 南京:南京水利科学研究院,2009. (HUANG Yue, LI Jun, XUAN Guo-xiang. Hydraulic model test study of the filling and emptying system of Xiajiang shiplock in Jiangxi Province [R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2009. (in Chinese))
- [9] 宣国祥,李君,黄岳. 长洲水利枢纽三线四线船闸工程初步设计阶段输水系统水力学模型试验研究[R]. 南京:南京水利科学研究院,2011. (XUAN Guo-xiang, LI Jun, HUANG Yue. Hydraulic model test study of the filling and emptying system of Changzhou 3rd and 4th lane shiplocks under preliminary design stage [R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2011. (in Chinese))
- [10] 宣国祥,李君,黄岳. 湄公河老挝萨拉康水电站船闸输水系统水力学模型试验研究[R]. 南京:南京水利科学研究院,2011. (XUAN Guo-xiang, LI Jun, HUANG Yue. Hydraulic model test study of the filling and emptying system of Sanakham shiplock on Mekong River in Laos [R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2011. (in Chinese))
- [11] JTJ 306-2001, 船闸输水系统设计规范[S]. (JTJ 306-2001, Design code for filling and emptying system of shiplocks [S]. (in Chinese))

Hydraulic model test for filling and emptying system of Fuliutan shiplock

CHEN Zuo-qiang¹, XUAN Guo-xiang², HUANG Yue², LI Jun², JIN Ying²

(1. *Sichuan Port and Channel Development Co., Ltd., Chengdu 610041, China*; 2. *State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Key Laboratory of Navigation Structures, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*)

Abstract: The reconstruction and extension project of Fuliutan shiplock is a main part of the navigation construction project of the Qujiang River in Guang'an City, which is quite significant to the economic and social development of the east Sichuan Province. Due to the high standards of the new lock, a model test should be carried out for the optimal design of the filling and emptying system. Based on the preliminary design of the filling and emptying system, a 1:25 physical model has been set up for studying its characteristics. The results indicate that the overall layout and the design of the bottom longitudinal culvert system with side ports and open ditches are reasonable, and the hydraulic characteristics under recommended valve opening mode have all satisfied the requirements of the design and related codes.

Key words: Fuliutan shiplock; filling and emptying system; hydraulic model; physical model test