### 贵港航运枢纽二线船闸输水系统水力学试验

张绪进1, 吕伟东2, 刘平昌1, 彭永勤1

(1. 重庆交通大学 西南水运工程科学研究所, 重庆 400016; 2. 广西西江开发投资集团有限公司, 广西 南 宁 530022)

**摘要:**贵港航运枢纽位于贵港市上游6.5 km 处西江郁江河段,船闸设计有效尺度280 m×34 m×5.6 m(长×宽× 门槛水深),采用闸墙长廊道多支管分散输水系统形式,设计最大水头14.1 m. 通过对输水系统水力特性、廊道 压力、闸室和上下游进出口流态、船舶(队)系缆力的观测,提出了上闸首阀门后廊道高程、闸室三明沟消能等部 位的合理布置方案,杜绝了充水过程中的门后检修门井掺气,进一步均匀闸室内横向水流分配,使得设计船 (队)舶的泊稳条件更好地满足规范要求.研究表明采用闸墙长廊道多支管输水型式是可行的.

## 关 键 词:船闸;输水系统;试验研究 中图分类号:U641.3<sup>+</sup>2 文献标志码:A 文章编号:1009-640X(2012)04-0034-06

贵港航运枢纽位于贵港市上游 6.5 km 处西江郁江河段,是郁江综合利用规划 10 个梯级中的第 9 个梯级,是一座以航运为主、结合发电,兼顾其他效益的水资源综合利用工程.船闸设计有效尺度 280 m×34 m× 5.6 m(长×宽×门槛水深),输水系统采用闸墙长廊道多支管分散输水形式,上游最高通航水位 43.1 m,下游最低通航水位 29.0 m,设计最大水头 14.1 m.为了论证船闸输水系统及闸室内三明沟消能布置的合理性,进行了比尺为 1:30 的水力学模型试验.

1 输水系统水力特性

试验首先分别对船闸阀门双边同步均匀开启  $t_v$ =4,5,6,7 min 情况观测了闸室充、泄水时间、水流流态 及停于闸室船舶系缆力.结果表明,4 种阀门开启速度均满足设计要求的闸室充、泄水时间不超过10 min的 要求;而阀门双边同步均匀开启  $t_v$ =4,5 min 的闸室流态及停于闸室船舶系缆力均不满足规范要求.因此,试 验以阀门双边同步均匀开启  $t_v$ =7 min 进行重点研究.实测的阀门开启时间  $t_v$ =7 min 闸室充、泄水时间分别 为9.50 和 10.95 min;最大充、泄水流量分别为 420,390 和 375 m<sup>3</sup>/s;阀门双边充、泄水流量系数为 0.837 和 0.740;单边充、泄水时流量系数分别为 0.865 和 0.770.图 1 为闸室 7 min 充、泄水水力特征曲线,其中水位 组合为 43.1~29.0 m,h 为上阀门井水位;H 为闸室水位,Q 为流量.



图1 闸室充、泄水水力特征曲线

Fig. 1 Hydraulic characteristic curves during gate chamber filling and emptying

收稿日期:2012-02-20

作者简介:张绪进(1959-),男,四川蓬安人,研究员,硕士,主要从事航道整治、水力学、泥沙研究.

E-mail: cqxks@cta.cq.cn

#### 2 充、泄水廊道压力

为了保证输水廊道的结构安全,为设计提供主廊道上压力参数,分别在模型输水廊道上、下游阀门后廊 道顶、侧面、输水廊道转弯凸面处及廊道进、出口等位置布置了测压点.试验观测结果表明,在阀门正常双边 开启情况下,船闸充、泄水门槽后廊道侧面及内侧转弯段均未出现负压.廊道顶部的负压值小于 3.0 m,因 此,不会对廊道结构造成破坏.

在充、泄水过程中,阀门段输水廊道流态观测结果表明,上闸首工作阀门井、上检修阀门井及下闸首工作 阀门井、上、下检修阀门井水位均未出现低于廊道顶部而发生掺气的现象. 唯上闸首工作阀门后的下检修阀 门井处的廊道顶高程 27.0 m 布置较高,在阀门双边开启时间 t<sub>v</sub>=7 min 时,充水至 1.5 min(原体)时,阀门井 水位已降至廊道顶,且水面波动约有 3.3 m,处于发生掺气的临界状态;而 t<sub>v</sub>=7 min 单充至 1.0 min 时,阀门 井水位已低于廊道顶,并出现掺气现象. 由于原体船闸充水过程中不允许掺气,因此,必须降低上闸首下检修 门井段廊道顶高程.

经水力学计算分析,将该段廊道顶高程修改降低至 25.2 m. 试验观测结果表明,上闸首下检修门井廊道顶高程降低后,在非恒定流充水情况下,阀门双单边开启时间 t<sub>v</sub>=7 min 充水时,最低检修阀门井水位仍高于廊道顶 1.5 m 左右,上述两种工况均未出现掺气现象.实测的该部位 t<sub>v</sub>=7 min 充水(非恒定流,水位组合: 43.1~29.0 m)廊道压力满足规范要求(图 2).



Fig. 2 Gallery's pressure variation hydrograph

#### 3 闸室停泊条件

#### 3.1 原设计布置方案

为了解闸室内纵向水流的分配情况,除观测闸室内 流态外,还测定了各支管的流速(图3).资料表明,阀门 开度 n<0.2时,前面支管出流大于后面支管,n>0.3时, 后面支管出流逐渐增多,且流速值大于前面支管;应该 说,在出水段所有支管的流速分布是非均匀的,这与其 输水系统的特性、出水段布置长度密切相关.

从闸室水流横向分布看,当支管水流进入闸室第1 道明沟时,由于其前正对的第1道消力梁开有6.5 m× 0.8 m的孔,因此,大部分水流通过其孔进入第2道明沟



翻涌上来,第1和第3道明沟水流水泡不明显,因此,闸室横向水面尚不太均匀,实测停于闸室内的2×2000 t 船队、3 000 t 单船系缆力资料表明,虽然也满足规范要求,但其富裕量不大.

#### 3.2 修改布置方案

经试验反复观测,认为闸室3道消能明沟内横向水流尚不均匀的主要原因是支管正对的第1道消力梁 开孔偏大,大部分水流未经消力梁阻挡通过其孔直接进入第2道明沟翻涌上来,导致第1和第3道明沟水流 上涌不明显,船舶横向系缆力较大.针对这一情况,试验中采取在第1道消力梁开孔的中间位置堵1.5 m和 1.0 m 宽两种方案,以限制部分支管水流在闸室第1 道明沟内扩散,增大第1 道消力梁出口处的流速,以达 到水流在第2.第3道明沟内均匀扩散:结果表明.3道明沟的水流分配较原设计均匀很多.当支管水流进入

闸室第1道明沟时,该股水流被分成三部分,支管中心 流核由于消力梁开孔中间位置被堵挡而折回该明沟内, 两侧的水流通过该消力梁孔口进入第2,第3道明沟内 扩散消能.

试验中认真比较了在第1道消力梁开孔中间位置 堵 1.5 m 和 1.0 m 宽两种流态,前者由于消力梁开孔中 间位置堵挡较宽,在第1道明沟的水流略显多,且略有 不规则水流紊动出现;而后者3道明沟的水流多比较均 匀,无不良流态出现;通过对修改后的3道明沟的水流 流态分析认为,第1道消力梁开孔中间位置堵1.0 m 宽 的尺寸基本是合适的(图4). 实测闸室内船舶系缆力较 原方案大为减小(表1),修改方案后,阀门双边、间歇单 边充水(t<sub>x</sub>=7 min 时,阀门开启 82 s,停止 300 s,再开启 至全开)2×2 000 t 船队、3 000 t 单船停于闸室内系缆力 过程线见下图,其中图 5 为 2×2 000 t 船队停于闸室内 前端左岸方案修改前和修改后系缆力过程线图(t\_= 7 min,双充,水位组合:43.1~29.0 m).







| Tab. 1 Mooring force contrast before and after scheme modification kN |              |      |       |       |
|---|--------------|------|-------|-------|
| 船舶吨位停泊位置  |              | 系缆力  |       |       |
|   |              | 停泊方式 | 方案修改前 | 方案修改后 |
| 2×2 000 t<br>(双充)   | 闸室前端<br>左岸位置 | 前横   | 17.6  | 14.2  |
|   |              | 前纵   | 29.6  | 21.2  |
|   |              | 后横   | 17.8  | 14.9  |
| 2×2000t<br>(间歇单充)   | 闸室尾部<br>中间位置 | 前横   | 17.5  | 14.4  |
|   |              | 前纵   | 32. 5 | 12.4  |
|   |              | 后横   | 17.6  | 14.6  |
|   |              | 前纵   | 33. 2 | 13.4  |
|   |              | 后横   | 18.0  | 15.0  |
|   | 闸室中部<br>中间位置 | 前横   | 16. 8 | 10.8  |
| 3 000 t<br>(双充)   |              | 前纵   | 26. 2 | 21.0  |
|   |              | 后横   | 19.0  | 12.9  |
|   |              | 前纵   | 27.6  | 20.3  |
|   |              | 后横   | 18.8  | 14.2  |
| 3 000 t<br>(间歇单充)   | 闸室中部<br>中间位置 | 前横   | 12. 2 | 8.78  |
|   |              | 前纵   | 13.6  | 10.7  |
|   |              | 后横   | 19.0  | 14.2  |
|   |              | 前纵   | 18.0  | 16.1  |
|   |              | 后横   | 17.6  | 13.8  |

表1 方案修改前后系缆力对比 $(t_x = 7 \min \hat{\pi} x)$ Tab. 1 Mooring force contrast before and after scheme modification

注:间歇单充是指单边阀门开至 t<sub>v</sub>=82 s,停 300 s,再开启至全开.



图5 方案修改前后系缆力过程线

Fig. 5 Mooring force hydrograph before and after scheme modification

#### 4 结 语

(1) 在设计最高与最低通航水位 43.1~29.0 m 组合下,经对 4 种阀门开启时间(t<sub>v</sub>=4,5,6 和 7 min)的比较,考虑闸室内船舶停泊条件,试验推荐采用双边阀门连续开启 t<sub>v</sub>=7 min,相应的闸室充水时间为 9 min 27 s,泄水时间为 10 min 57 s,满足船闸设计通过能力的要求.

(2)在上、下闸首推荐的阀门双边开启时间 t<sub>v</sub>=7 min 工况下,闸室充、泄水最大流量分别为 410 和 365 m<sup>3</sup>/s,闸室水面上升速度分别为 2.7 和 2.5 m/min;双边充、泄水系统平均流量系数分别为 0.837 和 0.740; 单边充、泄水系统平均流量系数分别为 0.865 和 0.770.

(3) 在充水过程中,原方案上闸首下检修门井出现掺气现象,试验将下检修门井廊道顶由原设计高程 27.0 m降低至 25.2 m后,在推荐的阀门开启速率工况下,避免了下检修门井内的掺气现象;该段的廊道顶 部压力亦得到明显提高. 非恒定流充水情况下,阀门双边、单边间歇开启时间 t<sub>v</sub>=7 min 时,门后廊道顶的最 低压力由原方案-1.53 和-2.67 m分别提高至-0.66 和-1.02 m,更好地满足了规范的要求.

(4) 原设计闸室内第1根消力梁开孔尺寸太大,支孔出流未经碰撞消能. 冲至第2 道明沟内集中翻涌, 紊动稍大,闸室内横向的流量分配尚均匀;在推荐的阀门开启速率工况下,实测 2×2 000 t 设计船队、3 000 t 单船某些测次最大纵、横向系缆力已超出规范允许值;试验在第1根消力粱开孔 6.5 m 宽的中心堵 1.0 m, 经对闸室流态观察,三道明沟的水流分配较为均匀;阀门双、单边开启时间 t<sub>v</sub>=7 min 时,实测 2×2 000 t 船 队、3 000 t 单船停于闸室内的最大纵、横向平均系缆力均小于规范允许值.

(5)研究结果表明:对于平面尺度大、输水要求高、中水头的贵港二线船闸,通过上述各部位尺寸的调整、方案优化,选择合适的阀门开启速度和闸室内消能明沟型式,采用闸墙长廊道多支管输水型式是可行的.

#### 参考文献:

- [1] 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))
- [2] 刘平昌,王召兵.贵港二线船闸侧墙廊道输水系统布置计算分析论证报告[R].重庆:重庆西南水运工程科学研究所, 2010. (LIU Ping-chang, WANG Zhao-bin. Guigang second-line shiplock side wall corridor layout of water conveyance system calculation and analysis verification report [R]. Chongqing: Chongqing Southwest Water Transport Engineering Research Institute, 2010. (in Chinese))
- [3] 刘平昌,彭永勤. 贵港二线船闸侧墙廊道输水系统水力学试验阶段研究报告[R]. 重庆:重庆西南水运工程科学研究所,
  2010. (LIU Ping-chang, PENG Yong-qin. Guigang second-line shiplock side wall culvert system hydraulics experimental stage study[R]. Chongqing: Chongqing Southwest Water Transport Engineering Research Institute, 2010. (in Chinese))

- [4] 刘平昌,彭永勤. 贵港二线船闸侧墙廊道输水系统水力学试验研究报告[R]. 重庆:重庆西南水运工程科学研究所,
  2010. LIU Ping-chang, PENG Yong-qin. Guigang second-line shiplock side wall culvert system hydraulic test research report
  [R]. Chongqing: Chongqing Southwest Water Transport Engineering Research Institute, 2010. (in Chinese))
- [5] 宗慕伟, 徐新敏. 广西西江桂平船闸输水系统方案选择水工模型试验报告[R]. 南京:南京水利科学研究院, 1983. (ZONG Mu-wei, XU Xin-min. Guangxi Xijiang Guiping lock filling and emptying system scheme selection of hydraulic model test report [R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 1983. (in Chinese))
- [6] 乔文荃,刘平昌,赖志堂,等. 船闸侧墙廊道多短支管输水系统试验研究[R]. 重庆:重庆西南水运科学研究所,1984. (QIAO Wen-quan, LIU Ping-chang, LAI Zhi-tang, et al. Lock side wall corridor short pipe water conveyance system test research[R]. Chongqing: Chongqing Southwest Water Transport Engineering Research Institute, 1984. (in Chinese))
- [7] 王召兵,刘平昌. 嘉陵江红岩子船闸输水系统水力学模型试验研究报告[R]. 重庆:重庆西南水运工程科学研究所, 2002. (WANG Zhao-bing, LIU Ping-chang. Hydraulic model test research report of Hongyanzi lock filling and emptying system at Jialing River[R]. Chongqing: Chongqing Southwest Water Transport Engineering Research Institute, 2002. (in Chinese))
- [8] 刘平昌, 刘亚辉. 涪江明台船闸输水系统水力学模型试验研究报告[R]. 重庆: 重庆西南水运工程科学研究所,1995.
  (LIU Ping-chang, LIU Ya-hui. Hydraulic model test research report of Mingtai lock filling and emptying system at Fujiang River
  [R]. Chongqing: Chongqing Southwest Water Transport Engineering Research Institute, 1995. (in Chinese))
- [9] 刘平昌,韦代君. 涪江莲花寺船闸输水系统水力学模型试验研究报告[R]. 重庆:重庆西南水运工程科学研究所,1983.
  (LIU Ping-chang, WEI Dai-jun. Hydraulic model test research report of Lianhuasi lock filling and emptying system at Fujiang River[R]. Chongqing: Chongqing Southwest Water Transport Engineering Research Institute, 1983. (in Chinese))
- [10] 张文军. 三峡永久船闸对重庆航运的影响及对策[J]. 重庆交通学院学报,2006,25(2):142-145.(ZHANG Wen-jun.
  Three Gorges ship lock's influnces to Chongqing navigation and its solution[S]. Journal of Chongqing Jiaotong University[J].
  2006, 25(2):142-145.(in Chinese))
- [11] GLENN A, PICKERING P E. Filling and emptying system for high-lift navigation lock [R]. Vicksburg: USAE Waterways Experiment Station, 1986.

# Hydraulic experiment for the second-line ship-lock's filling-emptying system of Guigang navigation project

ZHANG Xu-jin<sup>1</sup>, LV Wei-dong<sup>2</sup>, LIU Ping-chang<sup>1</sup>, PENG Yong-qin<sup>1</sup>

- (1. Chongqing Southwest Water Transport Engineering Research Institute, Chongqing 400016, China;
- 2. Guangxi Xijiang Development and Investment Group Co., Ltd., Nanning 530022, China)

Abstract: Guigang navigation project is located in the Yujiang River reach of the Xijiang River, which is 6.5 km away upstream of Guigang city. The effective scale of ship lock design is 280 m×34 m×5.6m (length×width× doorsill water depth), and the filling-emptying system adopts the long gallery manifold dispersion form. The design water head is 14.1m. Through observation of the hydraulic characteristics of the filling-emptying system, gallery pressure, flow state at the exit and entrance of upstream and downstream, gate chamber, and ships' mooring force, we have proposed a reasonable arrangement scheme of upper lock head gallery elevation behind valve, and three open ditches energy dissipation in the gate chamber. And we put an end to the overhaul shaft aeration in the process of water filling, make the distribution of transverse water flow uniform further, and make the berth stability of the designed fleet satisfy the standards. The research results show that the lock's long gallery manifold dispersion filling-emptying form is feasible.

Key words: ship lock; filling-emptying system; experimental research