

# 赣江石虎塘航运枢纽船闸输水系统水力学模型试验

李 君, 宣国祥, 黄 岳

(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, 江苏 南京 210029)

**摘要:** 根据《船闸输水系统设计规范》及大量资料的对比分析, 确定了赣江石虎塘船闸输水系统型式. 整体物理模型(模型比尺 1:30)试验结果表明, 石虎塘船闸所采用的具有局部分散输水系统特性的短廊道输水系统的整体布置是合理可行的, 有效减小了闸室内的初始波浪力及局部水流作用力, 针对不同的下游水位采用不同的阀门开启方式, 使输水时间、船舶停泊条件等各项水力指标均满足设计和规范要求.

**关 键 词:** 输水系统; 水力学; 模型试验; 船闸

**中图分类号:** U641.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-640X(2009)01-0017-05

赣江自南向北纵贯江西全省, 是江西的黄金水道, 也是全国水运主通道之一. 石虎塘航电枢纽为赣江赣州至湖口河段自上而下 6 个规划梯级中的第 3 个梯级, 是以航运为主, 兼顾发电、防洪等水资源综合利用的航电枢纽工程<sup>[1]</sup>. 船闸有效尺度为 180 m×23 m×3.5 m(长×宽×槛上水深), 设计最大船型为 2×1000 t 分节驳顶推船队<sup>[2]</sup>. 船闸上游最高通航水位 57.52 m, 最低通航水位 52.09 m, 正常水位 56.80 m; 下游最高通航水位 57.38 m, 最低通航水位 45.66 m. 常见的水位组合包括: ①上游正常水位 56.80 m+下游最低通航水位 45.66 m(清水下切 1.2 m), 对应远期最大水头 11.14 m; ②上游正常水位 56.80 m+下游水位 46.26 m(清水下切 0.6 m), 对应近期最大水头 10.54 m; ③上游水位 56.80 m+下游水位 47.03 m(90% 水位保证率), 对应常水头 9.77 m. 船闸设计输水时间 8~10 min.

## 1 输水系统型式选择及布置

根据《船闸输水系统设计规范》<sup>[3]</sup>中输水系统类型的选择公式:  $m = \frac{T}{H}$ , 其中:  $T$  为输水时间(min),  $H$  为水头(m), 可计算出石虎塘船闸的  $m = \frac{8 \sim 10}{\sqrt{11.14}} = 2.40 \sim 3.00$ . 可见, 其  $m$  位于 2.5~3.5 之间, 可采用集中输水系统, 也可采用第一类分散输水系统. 由于该船闸水头较高, 设计船队尺寸较大, 且要求的输水时间较短, 采用集中输水系统的难度较大. 但该船闸主要设计参数与文献[4]中的湖北龙洲垸船闸较为接近, 故可采用与其类似的新型短廊道输水系统, 该输水系统的设计要点是: 在闸室靠近上闸首的一定范围内, 按分散输水系统的设计原则布置出水口及相应的消能措施. 石虎塘船闸采用了闸室底部横支廊道侧向出水口、双明沟消能的布置, 出水段分布长度为 20 m(见图 1), 各部位特征尺寸见表 1. 由于该布置中的水流是在一定长度的范围内进入闸室, 因而具有分散输水系统可以降低初始波浪力系数的特点, 且进入闸室的水流采用了消能效率较高的分散输水系统闸底双明沟的消能布置, 因而又具有分散输水系统没有镇静段的优点<sup>[5-8]</sup>.

收稿日期: 2008-04-25

作者简介: 李 君(1982-), 男, 甘肃兰州人, 助理工程师, 硕士, 主要从事通航建筑物水力学研究. E-mail: lijun@nhri.cn

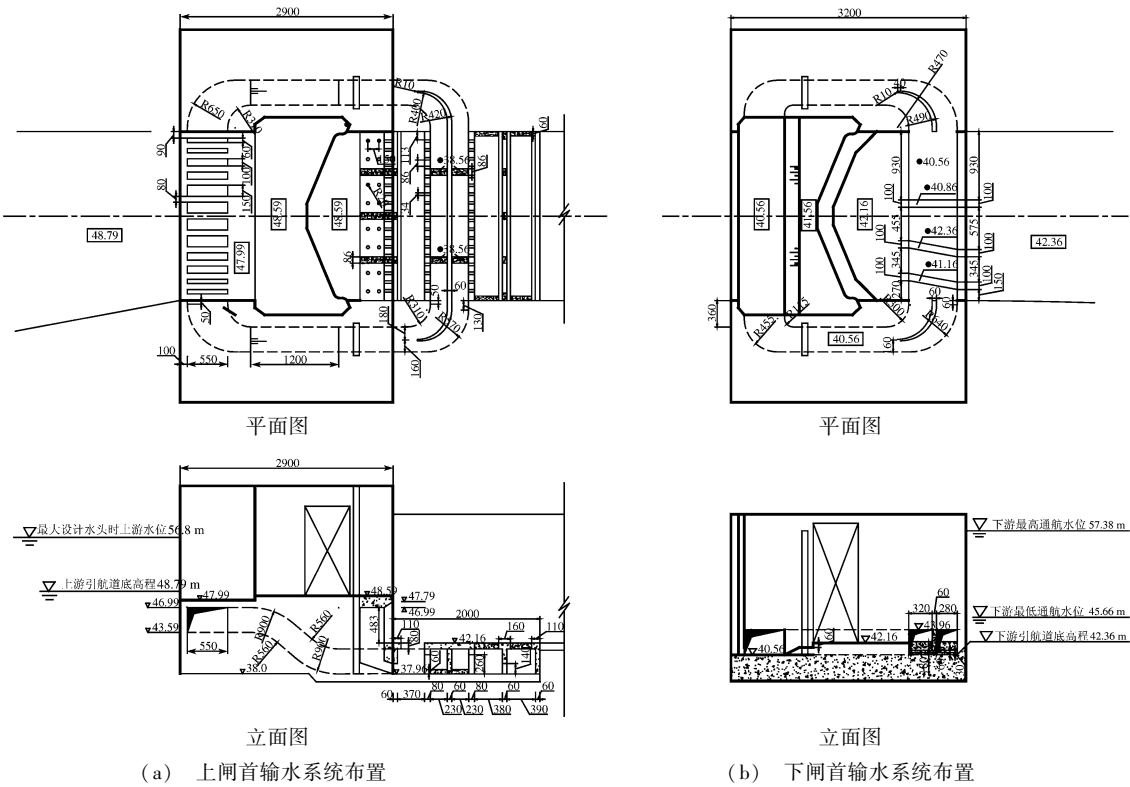


图 1 船闸输水系统布置(单位:长度 cm;高程 m)

Fig. 1 Layout of the filling and emptying system (unit: length in cm, elevation in m)

表 1 输水系统特征尺寸

Tab. 1 Characteristic dimensions of the filling and emptying system

| 部 位                 | 上 闸 首      |             |           |       | 下 闸 首 |             |            |
|---------------------|------------|-------------|-----------|-------|-------|-------------|------------|
|                     | 上闸首<br>进水口 | 充水阀门<br>段廊道 | 出水段<br>廊道 | 出水孔   | 进水口   | 泄水阀门<br>段廊道 | 下闸首<br>出水口 |
| 面积(m <sup>2</sup> ) | 68.20      | 23.12       | 31.28     | 31.82 | 37.40 | 23.12       | 40.80      |
| 与阀门面积比              | 2.95       | 1.00        | 1.35      | 1.38  | 1.62  | 1.00        | 1.76       |

2 试验结果与分析

根据重力相似准则,建立了石虎塘船闸 1 : 30 的整体物理模型,进行了相关的水力学试验并对试验成果进行了详细分析<sup>[9]</sup>.

2.1 输水系统阻力系数与流量系数

在恒定流条件下,通过测压管测定廊道压力及上、下游引航道水位和闸室水位,计算出输水廊道的总阻力系数和流量系数,结果见表 2. 可见,充、泄水总阻力系数分别为 1.913 和 1.494,对应的流量系数分别为 0.723 和 0.818.

表 2 输水系统阻力系数和流量系数

Tab. 2 Resistance and discharge coefficients of the filling and emptying system

| 部 位   | 参 数               | 阀门开度 $n$ |       |       |       |       |       |
|-------|-------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       |                   | 0.2      | 0.4   | 0.5   | 0.6   | 0.8   | 1.0   |
| 上闸首廊道 | 总阻力系数 $\Sigma\xi$ | 45.7     | 10.3  | 6.19  | 4.07  | 2.303 | 1.913 |
|       | 流量系数 $\mu$        | 0.148    | 0.311 | 0.402 | 0.496 | 0.659 | 0.723 |
| 下闸首廊道 | 总阻力系数 $\Sigma\xi$ | 45.3     | 9.87  | 5.77  | 3.65  | 1.844 | 1.494 |
|       | 流量系数 $\mu$        | 0.149    | 0.318 | 0.416 | 0.523 | 0.736 | 0.818 |

2.2 闸室内船舶(队)停泊条件

阀门开启方式关系到船舶系缆力及闸室输水时间,通常首先由船舶初始波浪力确定允许的阀门匀速开启的全开时间,然后再核算其输水时间能否满足要求,若输水时间过长则应采用先慢后快的变速开启方式,若输水时间过短则说明原设计的阀门段廊道面积太大应缩小<sup>[10]</sup>.

试验针对各种水位组合,并以 2×1000 t 双列船队为控制条件,确定了平均输水时间及船舶系缆力均满足设计及规范要求的阀门开启方式及船舶最大系缆力(见表 3).

表 3 阀门开启方式及船舶系缆力

Tab. 3 Valve operating mode and vessel mooring force

| 工 况 |                    | 阀门开启方式            | 输水时间<br>/ min | 最大纵向系缆力 <sup>2</sup><br>/ kN | 最大横向系缆力<br>/ kN |
|-----|--------------------|-------------------|---------------|------------------------------|-----------------|
| 充水  | 水位组合①, $H=11.14$ m | 变速开启 <sup>1</sup> | 11.18         | 30.8                         | 15.2            |
|     | 水位组合②, $H=10.54$ m | 10 min 匀速开启       | 10.76         | 31.4                         | 8.7             |
|     | 水位组合③, $H=9.77$ m  | 8 min 匀速开启        | 9.63          | 29.4                         | 9.4             |
| 泄水  | 水位组合①, $H=11.14$ m | 6 min 匀速开启        | 8.40          | 31.4                         | 5.6             |
|     | 水位组合②, $H=10.54$ m | 5 min 匀速开启        | 7.53          | 24.1                         | 3.8             |
|     | 水位组合③, $H=9.77$ m  | 4 min 匀速开启        | 6.72          | 23.5                         | 3.0             |

注: 1. 变速开启方式为以  $t_{v1}=14$  min 的速率开至 0.3 开度,再以  $t_{v2}=6$  min 的速率开至全开; 2. 1000 t 船舶纵向系缆力允许值为 32 kN, 横向系缆力允许值为 16 kN.

表中的最大纵向系缆力均发生在阀门开启初期,其性质为初始波浪力,由此可计算得出其波浪力系数(见表 4),表 4 中同时列出了集中输水系统相应的波浪力系数值.

表 4 波浪力系数

Tab. 4 Coefficients of wave force

| 输 水 系 统 | 水位组合①       | 水位组合②       | 水位组合③      |
|---------|-------------|-------------|------------|
|         | $H=11.14$ m | $H=10.54$ m | $H=9.77$ m |
| 本船闸输水系统 | 1.275       | 1.354       | 1.449      |
| 集中输水系统  | 1.582       | 1.518       | 1.450      |
| 比 值     | 0.80        | 0.89        | 1.00       |

由表 4 可见,由于本船闸输水系统具有局部分散输水系统的特性,各水位组合下的波浪力系数较集中输水系统均有所减小,闸室起始水深较小的水位组合①( $H=11.54$  m)减小的幅度最大,其值仅为集中输水系统的 80%,随闸室水深的增大,二者逐渐接近.虽然对其随初始水深变化原因尚有待研究,但由于闸室起始水深较小的水位组合①为设计控制条件,其波浪力系数的减小可以提高阀门开启速度,从而缩短输水时间,提高了船闸的航运效益.

此外,由表 3 可见,即使船闸不设镇静段,船舶直接停泊于出水段上方,其横向系缆力值除水位组合①( $H=11.54$  m)工况下,因水头较大且闸室起始水深较小,横向系缆力接近允许值外,其余均较小,说明由于

出水段采用了分散输水系统的消能布置原理,消能条件良好,船舶所受局部水流作用力较小。

### 2.3 闸室充、泄水水力特性

推荐的阀门开启方式下,闸室充、泄水水力特性试验结果见表 5。表 5 中,  $t_v$  为阀门开启时间,  $T$  为输水时间,  $Q_{\max}$  为最大流量,  $E_{\max}$  为最大能量,  $V_{\max}$  为闸室(下游引航道)平均最大断面流速,  $U_{\max}$  为闸室水面最大上升(下降)速度。

表 5 闸室充、泄水水力特征值

Tab. 5 Hydraulic characteristics of the filling and emptying system

| 工 况 |                    | $t_v$<br>/ min | $T$<br>/ min | $Q_{\max}$<br>/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) | $E_{\max}$<br>/ kW | $V_{\max}$<br>/ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | $U_{\max}$<br>/ ( $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ) |
|-----|--------------------|----------------|--------------|------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 充水  | 水位组合①, $H=11.14$ m | 变速             | 11.18        | 141.9                                                | 8 725              | 0.71                                               | 1.83                                                 |
|     | 水位组合②, $H=10.54$ m | 10             | 10.76        | 116.8                                                | 7 454              | 0.61                                               | 1.51                                                 |
|     | 水位组合③, $H=9.77$ m  | 8              | 9.63         | 122.1                                                | 7 191              | 0.60                                               | 1.58                                                 |
| 泄水  | 水位组合①, $H=11.14$ m | 6              | 8.40         | 171.4                                                | —                  | 1.02                                               | 2.21                                                 |
|     | 水位组合②, $H=10.54$ m | 5              | 7.53         | 176.2                                                | —                  | 0.90                                               | 2.28                                                 |
|     | 水位组合③, $H=9.77$ m  | 4              | 6.72         | 181.2                                                | —                  | 0.78                                               | 2.34                                                 |

由表 5 可见:

(1) 对于水位组合①, 充水阀门采用变速开启方式 ( $t_{v1}=14$  min,  $t_{v2}=6$  min,  $n_1=0.3$ )、泄水阀门采用 6 min 匀速开启方式, 充泄水时间分别为 11.1 和 8.40 min, 原型平均输水时间可小于 10 min;

(2) 对于水位组合②, 充、泄水阀门分别采用 10 和 5 min 匀速开启方式, 充、泄水时间分别为 10.76 和 7.53 min, 则原型输水时间可小于 9 min;

(3) 对于水位组合③, 充、泄水阀门分别采用 8 和 4 min 匀速开启方式, 充、泄水时间分别为 9.63 和 6.72 min, 则原型输水时间可小于 8 min;

(4) 各项水力指标均满足规范要求。

此外, 上述各工况下的惯性超高(降)值、上游进水口及下游引航道水流条件等均满足规范要求。

## 3 结 语

(1) 石虎塘船闸所采用的具有局部分散输水系统特性的短廊道输水系统的整体布置设计是合理可行的, 其波浪力系数可较集中输水系统大幅减小, 并且可以不设镇静段, 具有良好的水力特性, 达到了预期的设计目标;

(2) 针对不同的下游水位而采用不同的阀门开启方式是合适的。各推荐阀门开启方式下的船舶停泊条件及各项水力指标均满足规范要求, 且在设计的三种水位组合条件下的原型平均输水时间可分别控制在 10 min、9 min 及 8 min 之内, 满足设计要求;

(3) 石虎塘船闸采用的新型短廊道输水系统在进一步深入研究并总结原型运行经验后, 将具有良好的推广应用前景。

## 参 考 文 献:

- [1] 江西省赣江流域规划委员会. 江西省赣江流域规划报告[R]. 赣州: 江西省赣江流域规划委员会, 1986. (Jiangxi Ganjiang River Basin Planning Committee. Jiangxi Ganjiang River basin planning report[R]. Ganzhou: Jiangxi Ganjiang River Basin Planning Committee, 1986. (in Chinese))
- [2] 四川省交通勘察设计院, 江西省水利规划设计院, 江西省航务勘察设计院. 江西省赣江石虎塘航电枢纽工程可行性研究报告[R]. 成都: 四川省交通勘察设计院, 2006. (Sichuan Communication Surveying & Design Institute, Jiangxi

- Hydraulic Planning & Design Institute, Jiangxi Navigational Investion & Design Institute. Project feasibility research report of Shihutang navigation-power junction on Ganjiang River in Jiangxi Province[R]. Chengdu: Sichuan Communication Surveying & Design Institute, 2006. (in Chinese))
- [3] JTJ306-2001, 船闸输水系统设计规范[S]. (JTJ306-2001, Design Code for Filling and Emptying System of Shiplocks[S]. (in Chinese))
- [4] 南京水利科学研究院. 引江济汉通航工程进口龙洲垸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, 2006. (Nanjing Hydraulic Research Institute. Hydraulic model experiment study of the Longzhouyuan navigation locks' filling and emptying system on the water transfer project from Yangtze River to Hanjiang River[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2006. (in Chinese))
- [5] 宗慕伟, 刘本芹, 徐新敏. 局部分散输水系统的水力特性与应用[J]. 水利水运工程学报, 2005, (增刊): 64-69. (ZONG Mu-wei, LIU Ben-qin, XU Xin-min. Hydraulic characteristics and application of the partial dispersed filling and emptying system[J]. **Hydro-Science and Engineering**, 2005, (supplement): 64-69. (in Chinese))
- [6] 宗慕伟, 刘本芹, 徐新敏. 中低水头船闸局部分散输水系统研究报告[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2005. (ZONG Mu-wei, LIU Ben-qin, XU Xin-min. Hydraulic research report of the partial dispersed filling and emptying system for middle and low head navigation locks[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2005. (in Chinese))
- [7] 宣国祥, 刘本芹, 宗慕伟. 芜申运河下坝二线船闸输水系统水力计算分析[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2008. (XUAN Guo-xiang, LIU Ben-qin, ZONG Mu-wei. Hydraulic computational analysis of the Xiaba second line navigation lock's filling and emptying system on Wushen Canal[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2008. (in Chinese))
- [8] 宣国祥, 刘本芹, 宗慕伟. 芜申运河下坝二线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, 2008. (XUAN Guo-xiang, LIU Ben-qin, ZONG Mu-wei. Hydraulic model experiment study of the Xiaba second line navigation lock's filling and emptying system on Wushen Canal[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2008. (in Chinese))
- [9] 宣国祥, 黄 岳, 李 君, 等. 江西赣江石虎塘航运枢纽船闸输水系统布置、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, 2008. (XUAN Guo-xiang, HUANG Yue, LI Jun, *et al.* Layout, hydraulic characteristics analysis and hydraulic model experiment study of the navigation lock's filling and emptying system of Shihutang navigation-power junction on Ganjiang River in Jiangxi Province[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2008. (in Chinese))
- [10] 宗慕伟, 杨孟藩. 船闸输水系统设计[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 1989. (ZONG Mu-wei, YANG Meng-fan. Filling and emptying system design of navigation locks[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 1989. (in Chinese))

## Hydraulic model tests on filling and emptying system of the shiplock of Shihutang navigation project on Ganjiang River

LI Jun, XUAN Guo-xiang, HUANG Yue

(State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** According to the “Design Code for Filling and Emptying System of Shiplocks” and on the basis of analyzing a great number of references, the filling and emptying system of Shihutang shiplock is put forward. The results of the hydraulic model tests (scale 1 : 30) show that the layout of the short culvert filling and emptying system for Shihutang lock which owns the characteristics of the partially dispersed filling and emptying system is reasonable and doable; the initial wave force and local water force in the chamber are all effectively reduced; and the main hydraulic indexes such as filling(emptying) time and vessel's berthing conditions are all satisfying the requirements of the code and design.

**Key words:** filling and emptying system; hydraulics; model test; shiplock