



# 长洲三线船闸人字门原型调试研究

严秀俊, 胡亚安, 宣国祥, 徐进超, 郑飞东

(南京水利科学研究所, 通航建筑物建设技术交通行业重点实验室,  
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:** 为保证长洲三线船闸的正常安全运行, 同时更好地积累大型船闸人字门运行经验, 对长洲三线船闸人字门启闭特性进行原型观测与调试。结果表明: 平水调试阶段, 人字门系统运行平稳, 启门力远小于启闭机额定容量, 说明启闭设备设计合理; 运行调试初期, 闸室存在较严重的超灌(泄)现象, 人字门活塞杆受压较大, 可能超过启闭机的额定油压, 易使液压杆受损; 采用集控自动程序运行后, 超灌(泄)现象得到较大改善, 人字门活塞杆受力在正常允许范围内。证明原型观测与调试是保证实际工程安全运行的有效手段。

**关键词:** 人字门; 启闭机; 原型观测; 超灌(泄)

中图分类号: U 641; TV 135.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)08-0089-05

## Prototype observation for miter gate in the third-line ship lock of Changzhou hydro-junction

YAN Xiu-jun, HU Ya-an, XUAN Guo-xiang, XU Jin-chao, ZHENG Fei-dong

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

**Abstract:** To guarantee safety operation and accumulate experience of large ship lock, we carry out the prototype observation of the miter gates in the third-line ship lock of Changzhou hydro-junction. The results show that the hoisting device is reasonable during the commissioning stage when the water level is equal in and out of the lock, for the miter gate system runs steadily, and the gate closing and opening forces are much less than the rated capacity of the headstock gear. At the beginning of the operation commissioning stage, there exists a serious over filling(over emptying) phenomenon in the ship lock. The great force in piston rod of the miter gates easily exceeds the capacity value of headstock gear with the damaged hydraulic lever. After the centralized control automation is implemented, the over filling(over emptying) phenomenon is controlled to a great extent, and the force in piston rod of the miter gates is within the normal capacity. The prototype test is an effective approach to ensure the safe operation of the practical engineering.

**Keywords:** miter gate; headstock gear; prototype observation; over-filling (over-emptying)

船闸输水具有非常显著的非恒定流特征(船闸输水过程的流量由零至最大再减少至零), 原型与模型廊道水流由于雷诺数的不相似以及廊道边壁糙率的不相似导致船闸水力学领域原型与模型存在明显的缩尺效应<sup>[1]</sup>。由于船闸水力学特有的模型缩尺效应, 原型流量系数较模型大, 国内外船闸原型流量系数一般大于模型 10%~20%, 使得原

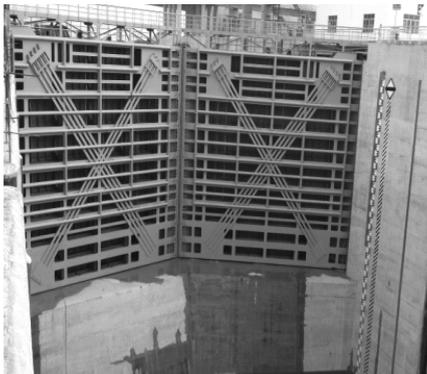
型的水力现象较模型更为强烈, 即原型流量系数增大, 输水时间缩短, 输水流量、水面紊动、输水末期的水面惯性超高(降)、阀门后负压、空化等均较模型增大或增强。虽然原型、模型之间的差别在模型试验中已根据经验及理论作了预测, 但预测的方法尚不完善, 因此通过原型调试掌握模型试验与实际情况的差别, 对船闸工程的安全

收稿日期: 2016-03-14

作者简介: 严秀俊(1971—), 男, 高级工程师, 从事船闸、升船机水动力学及水工水力学研究。

运行至关重要<sup>[2]</sup>。

长洲航运枢纽是西江航运干线上的重要节点，新建的三、四线船闸设计有效尺度均为 340 m×34 m×5.8 m(长×宽×门槛水深)，其规模巨大，对促进西江黄金水道建设至关重要。长洲三线、四线船闸主要技术指标较高，闸室及输水阀门尺度(宽、高分别为 4.6 和 6.0 m)均超过我国已建船闸水平。上、下闸首人字门尺度较大，上下闸首人字门尺寸分别为 20.2 m×18.6 m、20.2 m×31.6 m(宽×高)，均为露顶式主横梁人字钢闸门，门止水宽度 20.2 m，闸门最高挡水位为下游最高通航水位为 25.7 m，最低挡水位为下游最低通航水位为 3.32 m(图 1)。



a) 上闸首人字门



b) 下闸首人字门

图 1 船闸人字门布置

长洲三、四线船闸水力学问题非常复杂，且通航地位十分重要；输水阀门采用平板门，其工作水头较高，阀门尺寸大，阀门空化和振动问题较为突出，特别是已运行的长洲 1、2 号船闸在阀门启闭过程存在明显的振动问题<sup>[4]</sup>，上下闸首人字门尺度较大且惯性长度较大，惯性超灌(泄)

明显，因此，在船闸试通航前开展专项原型调试和水力学观测十分必要。通过原型调试和水力学观测，可以及时解决船闸存在的技术问题，调整和优化船闸运行方式，确定船闸正常运行参数，直接为制定该船闸的运行管理规程提供依据，从而保证该船闸的正常安全运行，充分发挥船闸的航运效益<sup>[3]</sup>。本文主要研究人字门启闭特性。

人字门启闭特性原型调试分为平水阶段和充泄水阶段两个部分。

### 1 观测方法

通过在人字门启闭机有杆腔、无杆腔安装高精度油压传感器，与动态应变放大滤波器及动态数据采集仪组成数据采集分析系统，监测分析船闸闸门启闭运行特性。根据现场控制柜显示的闸门启闭开度确定同一闸首左、右两侧闸门的启闭时刻和开度过程曲线，从而检验其同步性。人字闸门油压系统活塞杆的额定启闭力和油缸直径等见表 1，油压传感器的布置和采集系统见图 2。同时，为研究惯性水头对人字门启闭力的影响，在人字门前安装压力传感器，测量人字门启、闭前后闸室内外的水位。

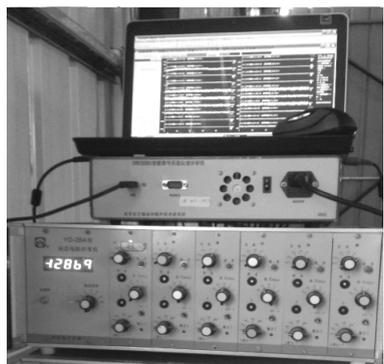
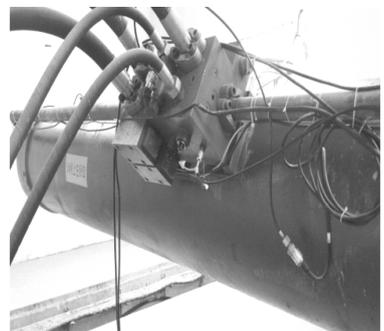


图 2 闸门油压传感器布置及采集系统

表 1 闸门油压系统参数

闸门位置	油缸直径/m		额定启闭压力/MPa		额定启闭压力/kN
	有杆腔	无杆腔	启门压力	闭门压力	
上闸首人字门	0.50	0.33	14.5	8.2	1 600
下闸首人字门	0.59	0.37	15.7	9.5	2 600

## 2 平水调试

实测的人字闸门平水启闭时间、闸室内外水位见表 2。由表 2 可知, 三线船闸人字闸门启门时间均在设计启门时间 210 s 内, 闭门时间均在 270 s 左右, 上、下闸首人字闸门在静水状态下的启闭时间均满足设计要求, 上、下闸首两侧人字门基本同步。

表 2 闸门平水调试启闭时间

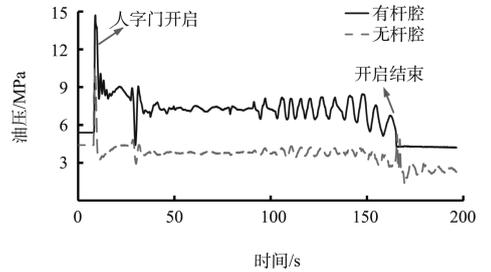
闸门位置	启门时间/s	闭门时间/s	闸室水位/m
上闸首左侧人字闸门	160	273	20.5
上闸首右侧人字闸门	157	271	
下闸首左侧人字闸门	200	264	5.04
下闸首右侧人字闸门	202	264	
设计启值	210	270	

平水启闭过程中, 启闭机杆腔压力、无杆腔压力以及闸门(以上闸首右闸门为例)的启闭力分别见表 3 及图 3、4。可知, 启闭机油压在启闭过程中基本平稳, 上闸首右侧人字门和下闸首右侧人字门启闭机油压受其运行方式的影响有一定波动。各扇闸门的启闭力特性基本相同, 启闭初期, 受启闭系统启动冲击脉冲及克服闸门由静而动影响, 活塞杆受力最大, 启闭过程中活塞杆受力则较平稳。平水状态下上闸首人字闸门的启闭力均小于额定启门力 1 600 kN, 下闸首人字闸门的启闭力均小于额定启门力 2 600 kN。

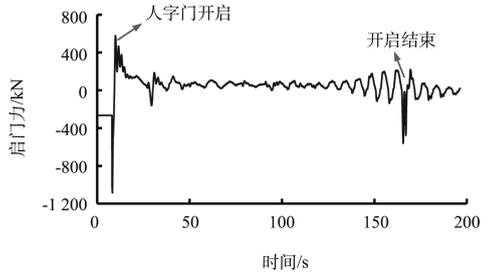
表 3 闸门平水调试启闭力 kN

闸门位置	启门力		闭门力	
	启门过程峰值	启门过程均值	闭门过程峰值	闭门过程均值
上闸首左侧闸门	487.8	83.3	-561.7	-334.2
上闸首右侧闸门	577.6	57.6	-80.4	-64.6
下闸首左侧闸门	434.7	59.9	-509.9	-377.1
下闸首右侧闸门	566.6	94.5	-151.3	-120.7

注: 启闭门力正值代表拉力(活塞杆受拉), 负值代表推力(活塞杆受压)。

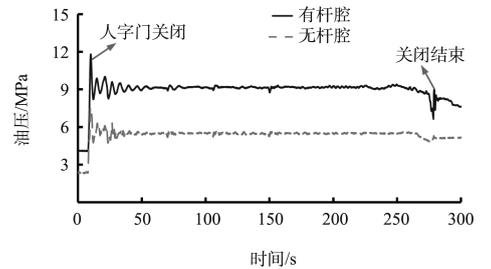


a) 油压与时间关系

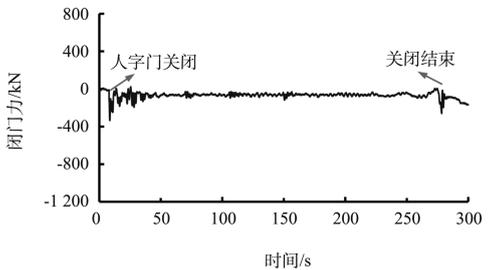


b) 启门力与时间关系

图 3 上闸首右人字门油压与启门力过程线



a) 油压与时间关系



b) 闭门力与时间关系

图 4 上闸首右人字门油压与闭门力过程线

## 3 充泄水调试

在灌、泄水运行调试初期, 因船闸运行所需的水位计等设备尚未安装到位, 船闸控制系统为手动程序运行。在手动程序运行过程中, 闸室内水位与引航道水位第一次齐平时, 人字门不能及时打开, 闸室存在较严重的超灌(泄)现象, 其中充水时最大超灌 0.50 m, 泄水最大超泄 0.42 m,

大于规范值(0.25 m)。设备安装到位后,采用集控自动程序(集控自动程序采纳调试组“平水立即打开人字门控制惯性超灌(泄)的建议)运行,超灌(泄)现象得到极大改善,超灌约为0.14 m,超泄为0.16 m,满足规范要求(表4)。

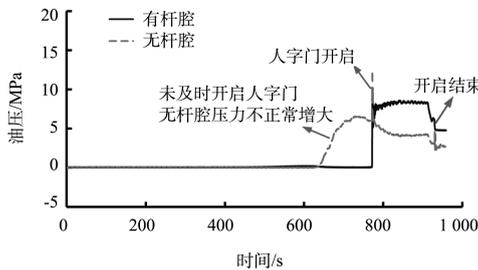
表4 灌泄水过程人字门调试工况

工况	闸室内初始水位/m	闸室外初始水位/m	超灌(泄)/m	备注
C-1	5.30	20.77	0.50	上闸首手动
C-2	5.15	20.86	0.14	上闸首自动
C-3	20.52	5.40	0.42	下闸首手动
C-4	20.75	5.60	0.16	下闸首自动

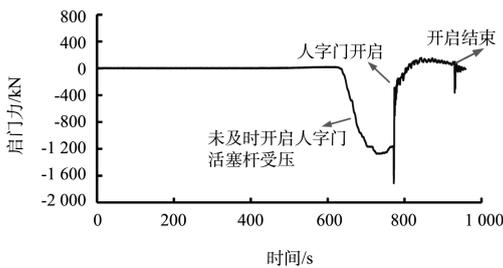
实测的人字闸门启门时间与平水调试阶段基本一致,两侧闸门启闭同步性也较好。人字门启闭力见表5和图5、6(以上闸首左闸门为例)。

表5 闸门有水运行阶段启闭力 kN

闸门位置		惯性水头反向启门力	启门瞬间峰值	启门过程均值
上闸首人字门	左侧 (手动/自动)	-1 274.1/ -419.3	-1 712.7/ -848.7	25/ 19.4
	右侧 (手动/自动)	-1 261.8/ -485.2	-632.0/ -470.1	
下闸首人字门	左侧 (手动/自动)	-1 324.6/ -723.0	685.87/ -736	127.8/ -11.0
	右侧 (手动/自动)	-1 361.2/ -699.8	715.1/ -791.7	-9.4/ -10.8

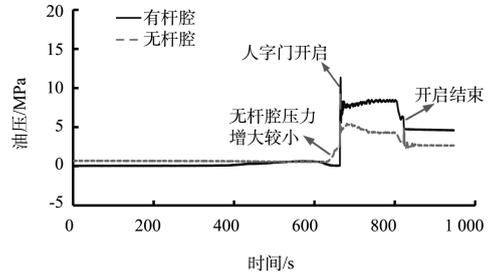


a) 油压与时间关系

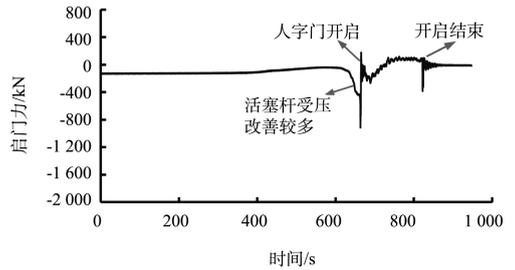


b) 启门力与时间关系

图5 上闸首左人字门手动程序开门运行特性



a) 油压与时间关系



b) 启门力与时间关系

图6 上闸首左人字门自动程序充水工况

分析表5及图5、6,可以得到以下结论:

1) 上、下闸首左侧人字门启闭机油压在闸门启闭过程中较为平稳,而上闸首右侧人字门启闭机有杆腔油压在闸门开启过程中存在波动现象,油压波动幅值在1.5 MPa左右,导致闸门启门力存在一定脉动,最大脉动幅值在200 kN左右,长时间运行可能对右侧闸门启闭系统造成一定影响,建议结合船闸检修对上闸首右侧闸门启闭系统进行整定优化。

2) 由于目前人字门是在输水末期存在一定反向水头的情况下开启运行的,因此开启初期人字门启闭机活塞杆受力表现为压力(即对门产生推力),以克服反向水头作用,此后则逐渐转变为拉力。当反向水头较大时,活塞杆受力在整个开门过程中则始终表现为受压。

3) 人字门关门过程启门力变化过程则表现为典型的“马鞍”形曲线,即关门之初和关门末了活塞杆所受压力较大,开门中间过程则平稳保持为一个较小值。

4) 在自动程序调试阶段的水位组合及人字门启闭方式下,各扇闸门的启闭力均小于其额定值。但以下现象须引起重视:

①充泄水末期,水位齐平时,如果没有及时开启人字门,反向水头推压人字门门体,门体推力将传递到活塞杆,为克服此推力,启闭机无杆腔压力非正常增大(在无杆腔压力超过一定值时,长洲三、四线船闸人字门启闭系统没有自动退让功能)、有杆腔压力减小,活塞杆受到的推力较大,此现象尤其是手动现地手动控制表现极为明显。加之启闭系统启动时,系统油压存在不可避免的脉冲,二者为随机叠加过程,如果此时启闭系统的叠加油压超过额定油压,则对启闭系统不利。应对措施为:将人字闸门的运行方式调整为闸室与引航道水位齐平时立即开启。

②由于人字门启闭力主要受其淹没水深影响,其值与淹没水深成正比,而现阶段水位组合条件下,上、下闸首人字门的淹没水深仅分别在7.7 m和9.9 m左右,分别为其最大淹没水深的59%和33%(按上游最高通航水位25.79 m,下游最高通航水位25.70 m计算)。因此,在人字闸门淹没水深达到最大值运行时,其启闭门力较本次调试成果将大大增加。因而,建议加强高淹没水深条件下人字闸门启闭特性的监测。

#### 4 结语

1) 在平水调试阶段,各扇人字门启闭机油压在闸门启闭过程中运行平稳,调试初期船闸上闸首右侧人字门启闭机油压受其运行方式的影响有一定的脉动。经过液压系统现场整改,后期趋于正常,各扇闸门的启门力均远小于启闭机的额定容量,工作闸门的启闭设备设计合理。

2) 在调试初期,因船闸运行所需的水位计等

设备尚未安装到位,船闸为手动程序运行,闸室内水位与引航道水位第一次齐平时,人字门不能及时打开,闸室存在较严重的超灌(泄)现象,其中充水时最大超灌0.5 m,泄水最大超泄0.42 m。采用集控自动程序运行后,超灌(泄)现象得到较大改善,超灌约为0.14 m,超泄为0.16 m,满足规范(0.25 m)的要求。

3) 目前,人字门是在输水末期存在一定反向水头情况下开启运行,因而其开启初期启闭机活塞杆受力表现为压力(即对门产生推力),以克服反向水头的作用,此后则逐渐转变为拉力。当反向水头较大时,活塞杆受力在整个开门过程中始终表现为压力。在正常运行时须严禁此类现象发生,以免出现活塞杆被顶弯或启闭系统损坏。

4) 通过原型观测调试,长洲三线船闸人字闸门的设备系统及运行流程在试通航前得以确定。通航一年多来,其社会及经济效益极为显著,充分说明原型观测调试的重要性与必要性。

#### 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.
- [2] 南京水利科学研究所,天津水运工程科学研究所, JTJ 306—2001 船闸输水系统设计规范[S].中华人民共和国交通部.北京:人民交通出版社,2001.
- [3] 中交水运规划设计院. JTJ 309—2005 船闸启闭机设计规范[S].中华人民共和国交通部.北京:人民交通出版社,2005.
- [4] 宣国祥,李君.长洲水利枢纽三线四线船闸工程初步设计阶段输水系统布置及水力分析[R].南京:南京水利科学研究所,2010.

(本文编辑 郭雪珍)

## · 消 息 ·

### 中交第四航务工程局有限公司中标广东联石湾船闸工程

7月27日,中交第四航务工程局有限公司中标广东联石湾船闸工程,合同额约2.85亿元。

项目位于广东中山市,为改扩建工程。建设内容主要包括拆除回填旧船闸、新建船闸及导助航工程以及业务用房等配套工程。项目建成后,将大幅提高珠三角地区水运通航效率。

[http://en.ccccltd.cn/pub/ccccltd/xwzx/zgsdt/201607/t20160729\\_49652.html](http://en.ccccltd.cn/pub/ccccltd/xwzx/zgsdt/201607/t20160729_49652.html) (2016-07-29)