



西江桂平二线船闸水力特性 原型观测与实船试验*

陈勇¹, 李君², 宣国祥²

(1. 广西西江开发投资集团有限公司, 广西 南宁 530022; 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, 水利部水科学与水工程重点实验室, 江苏 南京 210029)

摘要: 由于船闸存在原模缩尺效应, 且桂平二线船闸规模巨大并采用了新型消能措施, 为了解其输水特性, 保障船闸高效安全运行, 通过现场观测与实船试验等手段, 对桂平二线船闸输水水力特性、船舶停泊条件及桂平双线船闸间相互影响等进行了详细的观测与分析。结果表明: 现有运行方式和推荐运行方式下, 二线船闸各项水力指标均能基本满足规范和设计要求, 但二线船闸泄水对一线船闸闸门有一定影响, 并须重视超灌泄对闸室船舶停泊安全的影响。

关键词: 桂平船闸; 水力特性; 原型观测; 实船试验

中图分类号: U 641.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)09-0109-06

Prototype observation on hydraulic characteristics and full-scale ship test for Guiping second lane lock on Xijiang river

CHEN Yong¹, LI Jun², XUAN Guo-xiang²

(1. Guangxi Xijiang Development & Investment Group Co., Ltd., Nanning 530022, China; 2. Nanjing Hydraulic Research Institute, State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Key Laboratory of Water Science and Engineering, Ministry of Water Resources, Key Laboratory of Navigation Structures Construction Technology, Ministry of Transport, Nanjing 210029, China)

Abstract: Due to the scale effect between the model and prototype of ship lock, the huge dimension and the new type energy dissipation measures of the Guiping second lane lock, for knowing the actual hydraulic characteristics and guaranteeing the safety and efficiency of the lock, by prototype observation and full scale ship test, we observe and analyze the hydraulic characteristics, ship berthing conditions and also the interaction effect between the first and second lane lock. The results indicate that: under the current operation mode, each hydraulic characteristics of the second lane lock can basically satisfy the demands of the standards and design, but there will be some influences on the gate of the first lane lock when the second lane lock is emptying. More concerns shall be given to the influence of the overshooting on the ship's berthing safety.

Keywords: Guiping lock; hydraulic characteristics; prototype observation; full-scale ship test

桂平航运枢纽工程位于广西西江流域桂平市郁江河段, 是一个集航运、发电、灌溉、交通于一体的综合利用性航运枢纽工程。其地理位置十分重要, 它上通贵港、南宁、百色等都市重镇,

北贯柳州、云南、贵州, 下达梧州、广州、香港和澳门, 是资源丰富的大西南与经济发展较快的华南沿海地区的联结纽带和便捷出海通道上的战略隘口。

收稿日期: 2014-02-07

*基金项目: 交通运输部科技项目 (20113287461680)

作者简介: 陈勇 (1963—), 男, 高级工程师, 主要从事港口航道科研与管理工作。

随着西部大开发战略的实施和国际国内物流的快速增长,桂平航运枢纽过闸货运量也保持快速增长,预测2020年、2030年货运量将相应达到4 513万t和6 435万t,现有一线船闸已不能满足货运量发展的要求,迫切建设二线船闸。桂平二线船闸布置在一线船闸的右侧,年单向设计通过能力为3 100万t。闸室有效尺度为280 m×34 m×5.6 m(长×宽×槛上水深),上、下游引航道直线段长度分别为777 m和643 m。船闸设计最大水头10.5 m,设计输水时间为8~10 min。船闸中远期过闸设计代表船型(队)为3 000吨级货船、一顶2×2 000吨级顶推驳船队和2 000吨级港澳航线集装箱船。

桂平二线船闸工程建设前曾进行了深入的物理模型试验研究^[1-2],但由于船闸水力学研究存在较为显著的原模差异^[3],其输水系统在国内外船闸工程中还具有许多独特之处^[4]。因此,为同时详细了解桂平二线船闸原型的水动力特性,2011年9月对该船闸进行了水力特性原型观测与实船试验。观测的内容包括船闸输水系统水动力特性,闸室及上、下游引航道水流流态,船舶停泊条件等。

1 观测手段

在不影响二线船闸正常运行的前提下,分别在双边阀门连续开启充水、双边阀门连续开启泄水、单边阀门连续开启充水及单边阀门连续开启泄水等工况下,进行了多组闸室输水水力学观测,观测的最大水头为10.40 m,基本达到设计水头10.50 m。此外,还进行了实船试验,跟踪观测了船舶进出闸情况及其在引航道和闸室内的停泊条件。共进行了15组输水水力特性观测和4组实船试验。

原型观测的主要参数主要包括水位、时间、流速、系缆力、流态等。为此,分别在闸室、阀门井、一、二线船闸上闸首人字门前、一、二线船闸下闸首人字门后布置了8个水位传感器,以观测闸室、阀门井、二线船闸人字门前后的水位变化过程,以及二线船闸充泄水所引起的一线船

闸人字门前后的水位变化过程;利用秒表和摄像机记录闸、阀门的启闭时间和运行过程;实船试验时,利用过闸船舶,在船首和船尾分别布置缆绳拉力测试设备以及三维多普勒流速测试系统(图1),并在上下游引航道靠船墩上设置水位传感器以测定闸室充泄水时引航道的水位波动情况。船闸充泄水时的进水口、闸室及出水口的流态则用数码摄像机和照相机进行记录。



a) 缆绳拉力测试设备



b) 三维多普勒流速测量系统

图1 实船试验测试设备

2 闸室输水水力特性

2.1 充泄水阀门运行方式

经模型试验确定的充、泄阀门开启时间分别为4 min和3 min,实际运行中由于桂平航运枢纽货运量水平还未达到设计值,为确保引航道停泊船舶的安全,船闸管理部门对二线船闸阀门运行方式进行了调整,适当放慢了充泄水阀门的开启速度,实测的双边阀门运行工况充水阀门开启时间大约在7.5 min左右,泄水阀门则在5.5 min左右,两侧阀门的运行同步性较好,无明显不同步现象。

2.2 闸室充泄水水力特性

典型试验工况下输水特征值见表1。

表 1 典型工况船闸充泄水水力特征

试验工况	上游 水位/m	闸室 水位/m	下游 水位/m	水位差/m	开闸 时间/s	输水 时间/s	最大流量/ ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	惯性 超高降/m	水位齐平至 人字门开时间/s
双边充水	30.77	21.45		9.32	445	669	245	+0.15	36
双边充水	30.84	21.25		9.59	473	690	231	+0.18	45
双边充水	30.94	21.20		9.74	450	693	240	+0.27	61
双边充水	30.95	21.15		9.80	460	681	243	+0.11	32
双边充水	30.18	20.66		9.52	458	689	238	+0.05	28
双边泄水		30.95	20.55	10.40	337	610	285	-0.14	47
双边泄水		30.72	20.78	9.94	326	631	291	-0.09	18
双边泄水		30.88	20.84	10.04	329	615	283	-0.14	24
双边泄水		30.86	20.86	10.00	328	611	278	-0.16	28
双边泄水		30.77	20.83	9.94	333	624	284	-0.08	19
上右单边充水	30.57	20.98		9.59	350	876	210	+0.22	65
下左单边泄水		30.60	20.99	9.61	360	947	189	-0.07	50

综合分析观测成果，得出以下结论：

1) 双边阀门连续开启充水工况，由于采用了慢速开启方式（约 7.5 min），因此在接近设计水头下，充水时间较设计输水时间（10 min）有所增加，约 11.3 min。充水过程最大流量在 $240\text{ m}^3/\text{s}$ 左右，充水阀门井最大水位跌落为 2.9 m，闸室水面最大上升速度在 1.38 m/min 左右，输水廊道内流速均不超过 6 m/s（规范要求不超过 15 m/s，下同）^[5]，上游进水口流速不超过 1.5 m/s（规范要求不超过 2.5 m/s）^[5]，各项水力指标均满足要求。

2) 双边阀门连续开启泄水工况，由于采用了慢速开启方式（约 5.5 min），因此在接近设计水头下，泄水时间较设计输水时间亦有所增加，约 10.3 min。泄水过程最大流量则在 $285\text{ m}^3/\text{s}$ 左右，闸室水面最大下降速度在 1.64 m/min 左右，输水廊道内流速均不超过 7 m/s，各项水力指标均满足要求。

3) 在各种工况下，由于人字闸门都未在水位齐平时刻及时打开，因此充、泄水末期均存在一定的惯性超高降，实测的最大超高值为 0.27 m，略超过规范要求的 0.25 m ^[5]，最大超降值为 0.16 m，满足规范要求。此外，人字闸门的延迟开启也导致了船闸输水时间的延长（0.3~1 min）。

4) 根据实测水位流量过程，计算所得的充水工况下输水系统的平均阻力系数和平均流量系

数分别为 2.274 和 0.655，泄水工况下输水系统的平均阻力系数和平均流量系数分别为 2.620 和 0.650。

由于初期运行阶段桂平二线船闸采用了更为安全的慢速开启方式，为分析推荐阀门开启方式下的船闸输水水力特性，以供今后运行参考，根据实测的输水系统流量系数，对设计水头、输水阀门采用推荐的开启方式下的船闸双边充、泄水过程输水系统水力特性进行计算分析，计算结果见表 2。

表 2 最大设计水头（水位组合：30.50~20.00 m）
闸室输水水力特征值

输水方式	阀门开启 时间/min	水头/ m	输水 时间/s	最大流量/ ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	惯性 超高降/m
双边充水	4	10.50	523	329	+0.42
	5	10.50	549	309	+0.42
	6	10.50	576	291	+0.42
双边泄水	3	10.50	532	329	-0.34
	4	10.50	557	311	-0.34
	5	10.50	582	293	-0.34

由计算结果可知，在推荐的阀门开启方式和设计水头下，闸室充泄水时间及各项水力指标均能满足规范和设计要求，且有一定富余。因此，今后实际运行时还可适当放慢阀门开启速度以进一步改善输水水流条件，确保过闸船舶的安全。为此，又计算了 5 min、6 min 双边阀门充水和

4 min、5 min 双边阀门泄水的相关水力特性，以供运行管理部门参考。具体计算成果仍见表 2。对于计算所得惯性超高降超过规范允许值的问题，原型中可采用在水位齐平时及时开启人字闸门的方式予以解决。

3 两线船闸充泄水相互影响研究

由于桂平一线和二线船闸采用了并列布置的方案，并且共用部分上下游引航道，因此当一线船闸充、泄水时势必对另一线船闸的引航道水流条件产生影响。为此，在现场试验中进行了二线船闸充、泄水对一线船闸尤其是人字门处的水位波动进行了观测。

实测的二线船闸双边阀门充、泄水时一线船闸上、下游人字闸门处的水位波动过程分别见图 2。由图可知，二线船闸充、泄水时，一线船闸人字门处的最大水位下降值和升高值分别为 0.24 m 和 0.32 m。

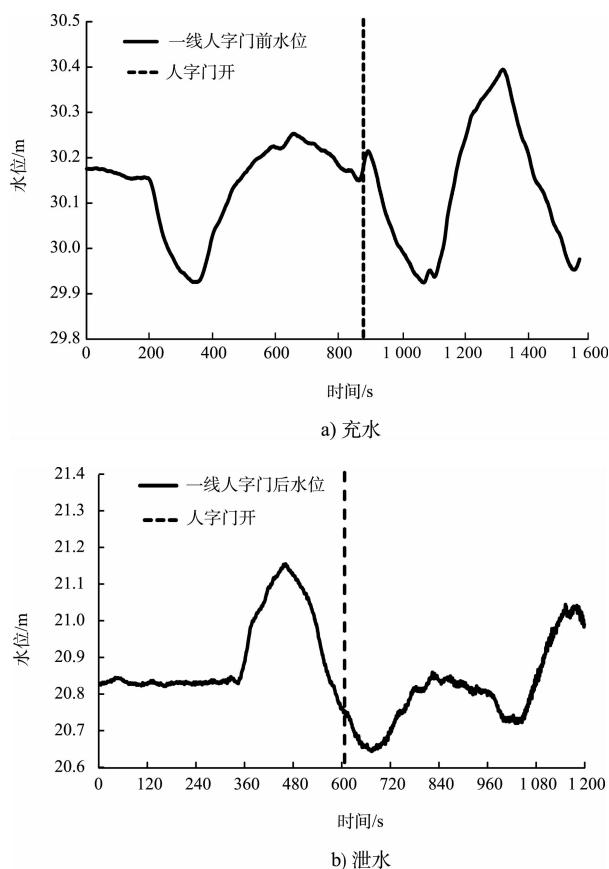


图 2 二线船闸充泄水时一线船闸人字门前后水位变化过程

由于有水调试时一线船闸处于检修状态而未投入运行，为进一步了解一线船闸输水对二线船闸的影响，以及二线船闸推荐阀门开启方式下输水对一线船闸的影响，利用已有桂平船闸下游引航道地形资料，建立了其二维平面水流条件的数学模型并对上述工况分别进行了计算分析。计算结果见表 3。

表 3 两线船闸输水相互影响计算成果

工况	下游引航道 水位/m	水位波动/m	
		一线下闸首处	二线下闸首处
1(一线单独泄水)	20.55	0.47(-0.58)	0.22(-0.31)
2(二线单独泄水 $t_v=3\text{ min}$)	20.00	0.47(-0.48)	0.59(-0.58)
3(二线单独泄水 $t_v=5\text{ min}$)	20.00	0.34(-0.37)	0.45(-0.50)

注：水位波动正值代表水位上升，负值代表水位下降。

由计算成果可知，一线船闸根据 12 m 水头下泄流量计算所得的二线船闸下闸首人字门处的最大反向水头为 0.22 m，如果按照现有的 10.5 m 水头计算，则此反向水头将进一步减小，因此，一线船闸泄水对二线船闸的影响较小；而充水过程由于上游引航道水深较深，因而一线船闸充水对二线船闸的影响则更小。与此相反，由于二线船闸规模巨大，其输水流量较一线船闸有显著增加，因此其充、泄水对一线船闸的影响较大。在推荐的 3 min 双边阀门泄水工况下，一线船闸下闸首人字门处的反向水头将达到 0.47 m，这将对一线船闸的运行及其闸门安全造成一定不利影响，一是将增大人字闸门启闭机推拉杆件受力，另一方面将会增大开启闸门时船舶的系缆力。若将泄水阀门开启时间延长至 5 min，则上述反向水头值可降低至 0.34 m，此时二线船闸输水时间仍能满足设计要求，因而可根据货运量的实际增长情况，将泄水阀门开启时间逐渐调整至 5 min。同时建议对一线船闸人字闸门液压设备进行技术改造，增加过载保护装置，从而在人字闸门承受反向水头作用时自动打开，以避免闸门推拉杆强行顶推而造成杆件损坏，从而保证闸门尤其是其推拉杆件的安全。

4 进、出水口及闸室水流流态

4.1 上游进水口水流流态

由于进水口采用了导墙垂直多支孔形式, 多支孔的喉口宽度又采用了顺水流方向依次缩小的布置, 从而保证了各支孔进流量的均匀, 且支孔总面积较大, 因此进水口最大断面平均流速相对较小, 而此时进水口淹没水深也在 6 m 左右, 这些都使得在闸室充水过程, 船闸进水口区域的水面十分平稳, 仅在最大流量时刻在右侧进水口上方有极短时间的小漩涡产生, 对船闸充水无任何不利影响。

4.2 闸室内水流流态

由于在输水系统设计时充分考虑了闸室内的纵向和横向水流分配, 分别采用了自上游到下游分组布置的侧支孔以及双明沟消能的措施, 使得实际运行过程中无论闸室充泄水, 闸室内水流均较为平稳, 未见明显的纵、横向水流以及漩涡、泡漩等不良水力现象。典型工况闸室内水流流态见图 3。

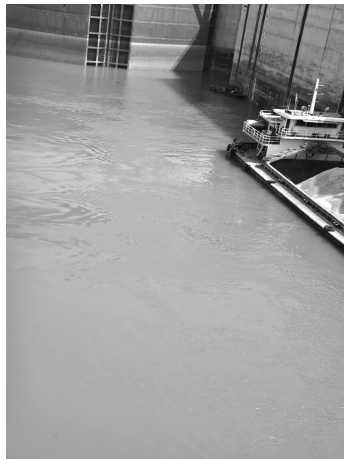


图 3 充水时闸室内水流流态

4.3 下游出水口水流流态

出水口采用了顶部 + 正面出水的消能室布置, 消能室外还设置了消力池, 其消能效果较为显著, 实际闸室泄水过程, 船闸出水口区域的水流流态较为平稳, 水面壅高幅度不大, 出流亦较为均匀。由于闸室泄水全部进入下游引航道, 因此闸室泄水时会在下游引航道产生一定的非恒定波动水流,

经观察下游引航道的波动水流对下闸首人字门的运行和引航道内船舶的航行及停泊不致产生有害影响。

5 实船试验

实船试验共进行了 4 组, 各组试验利用的船舶和观测的内容见表 4, 相关试验结果如表 5 所示。

表 4 实船试验船舶形式和观测内容

工况	船舶尺度(长×宽×吃水)/(m×m×m)	观测内容	船舶停靠位置
1	桂平货 2009 号、50×10.8×3.1	下游引航道	1 [#] 和 3 [#] 靠船墩
2	桂平货 2009 号、50×10.8×3.1	闸室(上行)	上闸首 1 [#] 和 3 [#] 浮式系船柱
3	四官 968 号、50×11.1×2.8	上游引航道	2 [#] 和 3 [#] 靠船墩
4	四官 968 号、50×11.1×2.8	闸室(上行)	下闸首 1 [#] 和 3 [#] 浮式系船柱

表 5 实船试验成果

工况	船舶实载/t	船闸水头/m	开闸时间/s	流速/(m·s ⁻¹)	前缆力/kN	后缆力/kN
1	1 200	9.86	305	0.54	9.8	3.2
2	1 200	9.86	472		3.2	2.4
3	900	9.99	444		4.4	5.6
4	900	9.78	306	0.75	13.7	20.4

可知, 桂平二线船闸充、泄水时上、下游引航道水流条件相对较好, 水位波动及水流流速均不大, 船舶系缆力也相对较小, 能够满足规范要求。而对于船舶在闸室内的船舶停泊条件, 其控制条件在于人字门开启时由于闸室超灌泄引起的纵向水流所引起的缆绳受力, 这尤其在第 4 组试验中得以体现, 在整个输水过程中船舶最大系缆力仅为 4.1 kN, 而当人字门开启后, 由于闸室超泄而导致的引航道水流倒灌入闸室所造成的系缆力则达到 20.4 kN, 为输水过程中的 5 倍。因此, 改善闸室内船舶停泊条件的有效手段就是控制闸室的超灌泄问题, 如能在闸室与外部水位齐平时能够及时打开人字门(这一措施已经广泛应用于三峡、葛洲坝等大型船闸之中, 效果十分显著)^[6-10], 不但可以缓解船舶缆绳受力, 还可节省 1 min 左右

的输水时间,也可降低闸门的启门力,从而确保船舶安全,并可提高二线船闸的通过能力。

6 结语

桂平航运工程是我国西江航运干线上的核心枢纽,其最大设计水头为 10.5 m,为确保船闸运行安全高效,开展相关水力学原型观测是十分必要的。本文通过对桂平二线船闸输水水力特性、两线船闸间相互影响以及船舶停泊条件的观测数据进行详细分析,得到如下主要结论:

1) 船闸充、泄水各项水力指标均能满足规范要求,船闸运行方式安全可靠。

2) 一线船闸充泄水对二线船闸运行基本无影响;二线船闸充泄水在一线船闸人字门处产生的反向水头则会对一线船闸的运行造成一定影响。

3) 实船试验表明,在现运行方式下,船舶在上、下游引航道及闸室内的停泊条件均较好,船舶系缆力及引航道水流条件均满足规范要求。

4) 对于船闸输水过程末期人字门开启时由于超灌泄引起的船舶系缆力大幅增加而带来的安全问题需予以足够重视,建议通过采用提前关闭输水阀门或水位齐平时及时开启人字门的方式控制超灌泄。

参考文献:

- [1] 宣国祥,黄岳,李君.桂平二线船闸闸底长廊道输水系统布置研究[J].水运工程,2009(3):109-115.
- [2] 宣国祥,黄岳,李君.西江航运干线桂平二线船闸闸底长廊道输水系统水力学模型实验研究[J].水运工程,2009(5):98-102.
- [3] 须清华,张瑞凯.通航建筑物应用基础研究[M].北京:中国水利水电出版社,1999.
- [4] PIANC. Innovations in lock design[R]. PIANC REPORT N°106, 2009.
- [5] JTJ 306—2001 船闸输水系统设计规范[S].
- [6] 张瑞凯,李云,胡亚安.三峡永久船闸原型调试北线船闸水动力学关键技术研究[R].南京:南京水利科学研究院,2005.
- [7] 胡亚安,李君,李中华.红水河乐滩船闸原型调试研究[R].南京:南京水利科学研究院,2006.
- [8] 胡亚安,李君,宗慕伟.红水河大化船闸水力学原型调试研究[R].南京:南京水利科学研究院,2006.
- [9] 胡亚安,宗慕伟,刘猛.广西红水河百龙滩船闸水力学原型调试研究[R].南京:南京水利科学研究院,2008.
- [10] 胡亚安,严秀俊,全强.红水河桥巩水电站船闸水力学原型调试研究[R].南京:南京水利科学研究院,2010.

(本文编辑 郭雪珍)

· 消 息 ·

上航局中标浙江台州东部新区涂面整理工程

9月3日,上航局中标浙江台州东部新区涂面整理工程设计施工总承包项目,合同额11.48亿元,总工期30个月。

该项目位于浙江台州东部新区东侧,地处台州湾循环经济产业集聚区核心区块,总面积13.2 km²。上航局承建工程包括涂面整理、隔堤工程、软基处理、河道维护和浅沟开挖等,累计吹填土7400万 m³,开挖与维护河道33 km,软基处理80万 m²。

该项目的实施,有利于台州湾发展生态渔业经济,推动浙江综合渔业区建设。

(摘编自《中国交通建设网》)