DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2017.06.002

徐进超, 宣国祥, 刘本芹, 等. 贵港二线船闸下引航道物理模型试验研究[J]. 水利水运工程学报, 2017(6): 9-13. (XU Jinchao, XUAN Guoxiang, LIU Benqin, et al. Model test study of low approach channel of Guigang second line shiplock[J]. Hydro-Science and Engineering, 2017(6): 9-13. (in Chinese))

# 贵港二线船闸下引航道物理模型试验研究

徐进超<sup>1,2</sup>, 宣国祥<sup>2</sup>, 刘本芹<sup>2</sup>, 黄岳<sup>2</sup>, 祝龙<sup>2</sup>

(1. 南京信息工程大学 水文气象学院, 江苏 南京 210044; 2. 南京水利科学研究院 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:**引航道及口门区通航水流条件一直是多线船闸并列布置中十分重视的问题,如布置和运行控制不当,容 易导致相关安全问题。建立了1:100的贵港枢纽下游及船闸引航道物理模型,研究贵港二线船闸的布置方案及 其对引航道和口门区水流条件的影响。结合贵港枢纽的特点,分析枢纽不同泄流条件下,二线船闸原布置方案 中引航道、一线船闸停泊段及口门区的流速大小,得到影响船闸引航道水流条件的控制工况;在此基础上,提出 了优化布置方案,对不同布置长度及透空方式下引航道的水流条件进行了对比分析。根据研究成果,推荐二线 船闸下引航道内采用隔流墙,布置长度为135 m,底部不透空或透空高度小于0.50 m 的方案。研究成果为贵港 二线船闸的优化设计提供了参考。

关键 词:贵港枢纽;引航道;口门区;物理模型试验;水流条件

中图分类号: U612.32 文献标志码: A 文章编号:1009-640X(2017)06-0009-05

贵港航运枢纽现有通航建筑物为一线船闸,布置于河道右岸的高漫滩上,船闸中心线与枢纽坝轴线法线 方向呈约 20°交角。一线船闸闸室有效尺度为 190 m×23 m×3.5 m(闸室有效长度×有效宽度×门槛水深,下 同);下游引航道长 560 m;设计过闸船队为 2 列 1 顶 2×1 000 t 船队,年通过能力为1 200万 t,于 1998 年 1 月 1 日开始通航。拟建贵港二线船闸建设规模为3 000 t级(I级船闸),船闸有效尺度为 280 m×34 m×5.8 m, 正常运行设计最大水头为 14.1 m(上游正常蓄水位 43.1 m,下游最低通航水位 29.0 m)。二线船闸推荐闸 位方案布置在一线船闸的右侧,上闸首与一线船闸上闸首上游端齐平,两者中心线在上闸首上游面相距为 125 m;上、下引航道采用不对称布置型式,向左侧拓宽;上游船舶进出闸方式为"曲线进闸、直线出闸",下游 船舶进出闸方式为"直线进闸、曲线出闸"。

引航道及口门区通航水流条件一直是多线船闸并列布置中十分重视的问题,如布置和运行控制不当,容易引发相关安全问题<sup>[1-3]</sup>。根据《船闸总体设计规范》<sup>[4]</sup>中的规定,船闸泄水时,下游引航道中最大纵向流速应不大于 1.0 m/s;船闸引航道口门区纵向流速不大于 2.0 m/s,横向流速不大于 0.3 m/s,回流流速不大于 0.4 m/s;引航道导航和调顺段内宜为静水区,制动段和停泊段的水面最大纵向流速不应大于 0.5 m/s,横向流速不应大于 0.15 m/s<sup>[4]</sup>。贵港二线船闸设计规模较大,运行时的相应输水流量较大,容易对一线船闸产 生影响;同时,枢纽发电、泄洪对一、二线船闸下游引航道口门区的水流条件也会产生一定的影响<sup>[5-6]</sup>。因此,采用物理模型试验对船闸引航道及口门区水流条件进行研究对保障贵港航运枢纽安全稳定运行有着重要意义。

收稿日期: 2017-03-31

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51409141);中国气象局气象软科学研究重点项目(2017[20]);淮河流域气象 开放研究基金资助项目(HRM201503)

**作者简介**: 徐进超(1983—), 男, 湖北天门人, 讲师, 博士, 主要从事水工水力学方面研究。 E-mail: xujinchao301@ foxmail.com 通信作者: 宣国祥(E-mail: xuan@ nhri.cn)

#### 物理模型 1

枢纽整体物理模型采用重力相似准则进行设 计,整体模型设计为正态模型,模型几何比尺为 1:100。制作地形时采用断面法,为了保证在模型上 能准确复现天然地形,确保模型制作精度,平面放样 采用三角网导线系统,三角形闭合误差不超过 ±1′<sup>[7-8]</sup>。模型高程用水准仪测定,并在制作过程中 校核,断面安装高程误差控制在±1 mm以内。对复 杂地形,为提高制作精度,加设了局部断面,单独制 作处理。枢纽建筑物采用塑料板制作,河道表面采 用水泥砂浆制作,并通过糙率校正达到糙率相似要 求。制作好的模型见图1。

模型上游采用标准量水堰测控流量;模型首尾及 中部采用测针量测河道水位,模型下游采用可调差动 式尾门进行控制模型水位。采用 ADV 三维流速测量 系统测量引航道口门区的流速分布,量程为0.1~ 400 cm/s。采用超声波流量计测量控制模型中模拟的 船闸泄水流量。

图 1 贵港枢纽二线船闸工程 1:100 模型 Fig. 1 Physical model of the Guigang navigation junction with scale 1:100

通常山区河道糙率为 0.030~0.035<sup>[9]</sup>,相应要求

模型糙率为 0.014~0.016、模型表面采用水泥砂浆抹面可基本满足糙率相似要求。为确保模型能准确复演 天然河道流态,采用广西贵港水文水资源分局提供的2010年4月份实测的枢纽工程河段流量为500m³/s时 的瞬时水面线资料,对模型进行了水面线率定。验证结果表明,下游河道物模试验结果与原型观测的水位差 值均在1 cm 以内,二者具有较好的一致性。

水流条件研究 2

#### 2.1 口门区水流条件

考虑到贵港船闸实际运行中,2年一遇洪水 (流量9000 m<sup>3</sup>/s)以下时,船舶能正常进、出下游 引航道,口门区通航水流条件基本满足通航要求, 故以此为参考标准,要求二线船闸建成后引航道及 口门区水流条件仍能够满足2年一遇洪水时的通 航要求。物理模型试验针对枢纽下泄流量1000~ 9000 m<sup>3</sup>/s 运行条件,测量分析一、二线船闸下游 引航道口门区水流条件,试验工况见表1。

试验结果表明原设计方案中,一线船闸下引航 道口门区的水流条件与二线船闸未建前基本保持

表1 下游引航道口门区水流条件试验工况

Test conditions for the entrance of downstream approach Tab. 1 channel

	channel		
工况	枢纽下泄流量/	下游	枢纽运行方式
	$(m^3 \cdot s^{-1})$	水位/m	
DK1	1 000	31.39	电站发电,泄洪闸 1#~18#全关
DK2	3 000	34.48	电站发电,泄洪闸 8#,10#,12#开启
DK3	5 000	37.53	电站发电,泄洪闸 7#~12#开启
DK4	7 000	40.36	电站停机,泄洪闸 1#~12#开启
DK5	9 000	42.76	电站停机,泄洪闸1#~18#全开

一致,口门区水流条件满足通航要求。一、二线船闸之间采用实体隔流墙,二线船闸下游引航道停泊段水流 条件较好,各级流量下均基本满足规范相关要求;但因口门区位于河道弯段,且弯段下游为已建码头,主河道 宽度缩窄,导致口门区弯段存在一定范围的回流区,回流流速最大达 0.64 m/s;同时弯段下游航道中心线左 侧的横向流速也较大,个别点最大达0.82 m/s,不满足通航要求。模型试验在原设计方案的基础上,进行了 优化研究。

模型中在二线船闸下游引航道口门区左侧设置底 部透空的隔流墙以调整水流分布,通过比较不同隔流墙 长度(110~160 m)、不同底部透空高度(2.0~6.0 m)以 及隔流墙不同布置位置,研究提出了5种隔流墙优化布 置方案(见图2)。分别为:①方案1,在二线船闸下游引 航道口门区左侧设置长度为160.0 m的隔流墙,其中隔 流墙下游端长度 110.0 m 的部分向一线侧倾斜 6°,底 部透空高度为2.0m,隔流墙下游末端距离二线船闸下 闸首辅导航墙末端为420.0 m。②方案 2,在方案 1 的 基础上,去掉长50.0 m的隔流墙直段,并将长110.0 m、 向一线侧倾斜 6°的隔流墙进一步往上游平移20.0 m, 底部透空高度仍为2.0 m,此时隔流墙下游末端距离二 线船闸下闸首辅导航墙末端为400.0 m。③方案3,在 方案2的基础上,将隔流墙底部透空高度增大为4.0 m。 ④方案 4,在方案 3 的基础上,将隔流墙底部透空高度 增大为 6.0 m。 ⑤ 方案 5, 在方案 4 的基础上, 将隔流墙 向下游平移 20.0 m,隔流墙下游末端至二线船闸下闸 首辅导航墙末端的距离保持 420.0 m。

对比上述 5 种方案下的口门区流态可知,隔流墙底 部透空高度在允许范围内,透空高度越大,口门区水流 条件越优,底部透空超过 6.0 m 后,易影响船舶吃水深 度范围内的水流条件。引航道隔流墙越接近下游,引航 道及口门区的水流条件越好,但隔流墙下延至方案 5 后,接近主河道的深槽,如再向下游延伸,有可能影响行 洪安全。综合考虑各方案下的通航水流条件,最终将方 案 5 作为推荐布置型式。方案 5 中二线船闸下游引航 道口门区仍存在回流区,但回流流速在 0.4 m/s 以内; 除靠近主河道侧局部测点横纵向流速标外,口门区大部





分测点纵向流速小于1 m/s,横向流速小于0.3 m/s,各级流量下的二线船闸下游口门区横向流速基本满足 要求,见图 3。



- 图 3 二线船闸下引航道推荐布置方案典型工况流态(Q=9000 m<sup>3</sup>/s,流速箭头矢量上方数字为该点纵向流速, 下方数字为该点横向流速)
- Fig. 3 Flow condition of downstream approach channel under recommended layout scheme ( $Q=9,000 \text{ m}^3/\text{s}$ , transverse velocity is marked at the top left of vector arrow, and the longitudinal velocity marked at the bottom left)

#### 2.2 引航道水流条件

在口门区研究方案的基础上,物理模型试验通过研 究二线船闸泄水对一线的影响,进一步探究了一、二线 隔流墙的优化布置方案。试验针对二线船闸最大水头 运行工况进行,采用恒定流模拟二线船闸泄水最大流量 (387 m<sup>3</sup>/s),下游引航道水位为最低通航水位 29.0 m, 电站 1 台机组发电保证航运基流时引航道内的流态。 对表 2 所示的 6 个隔流墙长度及透空方式进行对比 分析。

研究结果表明,二线船闸泄水出流均匀的条件下,一

表 2 一、二线隔流墙研究方案

Tab. 2 Research schemes of the partition wall between the first and second line shiplocks

		* *
审置方案	隔流墙长度/m	透空方式
CX-1	110	不透空
CX-2	110	底部透空高度 1.5 m
CX-3	135	不透空
CX-4	135	底部透空高度 1.5 m
CX-5	135	封堵第1孔,其余孔透空高度1.0 m
CX-6	135	封堵第1孔,其余孔透空高度0.5 m

其下游引航道流速基本满足要求,隔流墙底部透空1.5 m时,部分泄水水流经透空孔分流进入一线船闸下游 引航道,此时二线船闸引航道流速约减小10%左右。二线船闸泄水在一线船闸下游引航道口门区产生的横 向流速均小于0.3 m/s,满足要求;隔流墙底部透空后虽可分散一部分二线船闸下游引航道的水流,但透空 高度大于0.5 m时在一线系船墩附近产生的横向流速较大,不能满足规范规定的引航道停泊段水流条件要 求。考虑到贵港一、二线船闸下游引航道口门区较为开阔,只有其中一线船闸泄水时在另一线船闸下闸首产 生的反向水头不大,综合分析后建议隔流墙采用实体不透空布置,或底部透空高度不超过0.5 m,布置长度 为135 m,其流场见图4。



图 4 二线船闸最大泄水流量(387 m<sup>3</sup>/s)引航道流速分布

Fig. 4 Velocity distribution of approach channel under the maximum sluicing discharge  $(387 \text{ m}^3/\text{s})$  of the second line shiplock

## 3 结 语

西江航运干线贵港航运枢纽为已建工程,现有通航建筑物为一线船闸,布置于河道右岸的高漫滩上,拟 建二线船闸布置在一线船闸的右侧。受多种因素影响,船闸引航道及口门区水流条件复杂,通过1:100 枢纽 水工整体物理模型试验对船闸下游引航道及口门区水流条件进行了研究。对位于一、二线船闸下游引航道 之间起隔流作用的一线船闸引航道停泊段布置进行了研究,通过分析二线船闸引航道、一线船闸停泊段及口 门区的流速大小,对不同布置长度及透空方式进行了对比,推荐采用隔流墙布置长度为 135 m、底部不透空 或透空高度小于 0.50 m 的方案。

#### 参考文献:

- [1] 胡亚安, 宣国祥, 李中华, 等. 三峡升船机引航道布置及结构技术研究[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2011. (HU Ya'an, XUAN Guoxiang, LI Zhonghua, et al. Study on approach channel arrangement and structure technology of Three Gorges shiplift[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2011. (in Chinese))
- [2] 陈阳, 李炎, 孟祥玮. 船闸引航道内水面波动的二维数学模型研究[J]. 水道港口, 1998(3): 21-27. (CHEN Yang, LI

Yan, MENG Xiangwei. 2-D numerical model of wave motion in lock approach channel[J]. Journal of Waterway and Harbor, 1998 (3): 21-27. (in Chinese))

- [3] 周华兴. 双线船闸共用引航道的尺度分析[J]. 水道港口, 1992(4): 42-48. (ZHOU Huaxing. Scale analysis of approach channels in double line shiplocks[J]. Journal of Waterway and Harbor, 1992(4): 42-48. (in Chinese))
- [4] JTJ 305—2001 船闸总体设计规范[S]. (JTJ 305—2001 Code for master design of shiplocks[S]. (in Chinese))
- [5] 刘本芹. 西江航运干线贵港航运枢纽二线船闸工程下游引航道及口门区水流条件数值模拟研究[R]. 南京:南京水利科 学研究院, 2014. (LIU Benqin. Numerical simulation study on navigation condition of Guigang second ship lock[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2014. (in Chinese))
- [6] 刘本芹. 西江航运干线贵港航运枢纽二线船闸工程整体水工模型试验研究报告[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2014. (LIU Benqin. Model test study on navigation condition of Guigang second ship lock[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2014. (in Chinese))
- [7] SL 155—2012 水工(常规)模型试验规程[S]. (SL 155—2012 Specification for normal hydraulic model test[S]. (in Chinese))
- [8] 蔡守允, 刘兆衡, 张晓红, 等. 水利工程模型试验量测技术[M]. 北京: 海洋出版社, 2008. (CAI Shouyun, LIU Zhaoheng, ZHANG Xiaohong, et al. Measurement technology of hydraulic model test [M]. Beijing: China Ocean Press, 2008. (in Chinese))
- [9] 徐慧敏. 关于水利工程中河道糙率的研究[J]. 水利科技与经济, 2010, 16(11): 1253-1256. (XU Huimin. Study of the channel roughness in hydraulic project[J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2010, 16(11): 1253-1256. (in Chinese))

### Model test study of low approach channel of Guigang second line shiplock

XU Jinchao<sup>1,2</sup>, XUAN Guoxiang<sup>2</sup>, LIU Benqin<sup>2</sup>, HUANG Yue<sup>2</sup>, ZHU Long<sup>2</sup>

(1. College of Hydrometeorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2. Key Laboratory of Navigation Structure Construction Technology of Ministry of Transport, State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

**Abstract**: The flow condition of the approach channel and its entrance in ship locks which are arranged parallelly is a key problem to scholars. An unreasonable layout of locks may lead to safety problems during operation. A physical model test with the scale of 1:100 is carried out to study the flow conditions of different layouts of the second line ship lock at the Guigang navigation junction. Based on the characteristics of the Guigang junction, the flow conditions of the approach channel of the second line ship lock, and the mooring section and the entrance of the first line are analysed under different discharge conditions. Then the control working condition affecting the flow of the approach channel is obtained, based on which the optimized layout schemes are proposed. The flow conditions of the approach channel in different optimized layouts are compared. According to the results, the scheme with the length of guide wall being 135 m and the height of cross section at the bottom of guide wall being less than 0.5 m is recommended. This study can provide a reference for the optimal design of the Guigang second line shiplock.

Key words: Guigang navigation junction; approach channel; entrance; physical model test; flow condition