



万安枢纽二线船闸上游通航水流条件 优化试验研究*

李华勇¹, 严秀俊², 徐进超³, 伍贤熙⁴, 陈林²

(1. 江西省港口集团有限公司, 江西 南昌 330000; 2. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029;
3. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044; 4. 江西省港航建设投资集团有限公司, 江西 南昌 330000)

摘要: 在原有船闸基础上扩建多线船闸时, 须考虑新建船闸对已有船闸引航道及口门区通航水流条件的影响, 如布置和运行控制不当, 极易导致相关安全问题。建立 1:100 的万安枢纽及船闸引航道物理模型进行试验, 研究万安二线船闸修建前、后上游口门区及停泊段通航水流条件, 并结合试验结果及地形条件, 提出引航道口门区优化布置方案。结果表明, 原设计方案中, 二线船闸建成后, 其上引航道口门区及靠船墩在部分工况下水流条件不满足通航要求, 且一线船闸上引航道口门区及靠船墩处的水流条件相对于二线船闸未建前变差; 优化布置方案中, 二线船闸上引航道口门区水流条件在各工况下均满足通航要求, 一线船闸上引航道口门区及靠船墩处水流条件优于二线船闸未建前情形。

关键词: 万安水利枢纽; 二线船闸; 通航水流条件; 物理模型

中图分类号: U 641.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)06-0120-05

Optimization test on navigable flow conditions of upstream at Wan'an second ship lock

LI Huayong¹, YAN Xiujun², XU Jinchao³, WU Xianxi⁴, CHEN Lin²

(1. Jiangxi Port Group Co., Ltd., Nanchang 330000, China; 2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China;
3. Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;
4. Jiangxi Provincial Port & Waterway Construction Investment Group Co., Ltd., Nanchang 330000, China)

Abstract: It is important to consider the effect of the navigable flow condition when a newly ship lock is built beside the existing ship lock. An unreasonable layout of ship locks may lead to safety problems during operation. We carry out a physical model test with the scale of 1:100 to study the navigable flow conditions of the upstream entrance area and berthing section before and after the construction of Wan'an second ship lock, and propose the optimized layout scheme of the entrance area of the approach channel based on the test results and terrain conditions. The results show that the flow conditions of the second ship lock near the entrance and piers in original design scheme exceed the standard, and the flow conditions of the first ship lock are worse than the situation before the second ship lock is built. The flow conditions of upstream at second ship lock in all conditions of optimized scheme meet the requirements, and the flow conditions of the first ship lock are better than that before the second ship lock is built.

Keywords: Wan'an Junction; second ship lock; navigable flow conditions; physical model test

1 工程概况

万安枢纽所在航段目前等级为Ⅳ级, 通航 500 吨级船舶, 考虑到远期发展及赣江船舶大型化的趋

势, 拟在万安枢纽建设二线船闸, 以实现赣江全线Ⅲ级航道通航的目标。

新建二线船闸为Ⅲ级船闸, 船闸主尺度为

收稿日期: 2022-09-01

*基金项目: 江苏省建设系统科技项目 (2021JH02003); 江苏省重点研发计划项目 (BE2020633)

作者简介: 李华勇 (1970—), 男, 高级工程师, 从事水运工程建设管理。

180 m×23 m×4.5 m(有效长度×有效宽度×门槛水深),设计水平年(2050年)年单向通过能力为988万t。船闸上游引航道呈折线形布置,引航道中心线与船闸中心线夹角为20°。辅导航墙为直线,沿船闸中心线方向的斜率为1:5,呈对称式布置,停泊段向引航道外侧偏转,与主导航墙夹角为8.69°。引航道设计底宽为55 m,在转弯处加宽,以满足引航道内船舶停泊、进出闸的宽度要求,最大加宽处为66.2 m。通过转弯半径为300 m的圆弧与库区主航道衔接。由于新建二线船闸上游引航道占用了一线船闸上游靠船墩,因此,在一线船闸上游引航道趸船末端增建240 m长引航道,其中200 m用于停泊段,见图1。

由JTJ 305—2001《船闸总体设计规范》^[1]的规定可知,各工况下,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。万安二线船闸位于一线船闸右侧,其设计运行时的枢纽泄流量较大,容易对一线船闸产生影响;同时,枢纽发电、泄洪对一、二线船闸上、下游引航道口门区的水流条件也会产生一定的影响^[2-4]。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,对保障万安航运枢纽安全稳定运行具有重要意义。

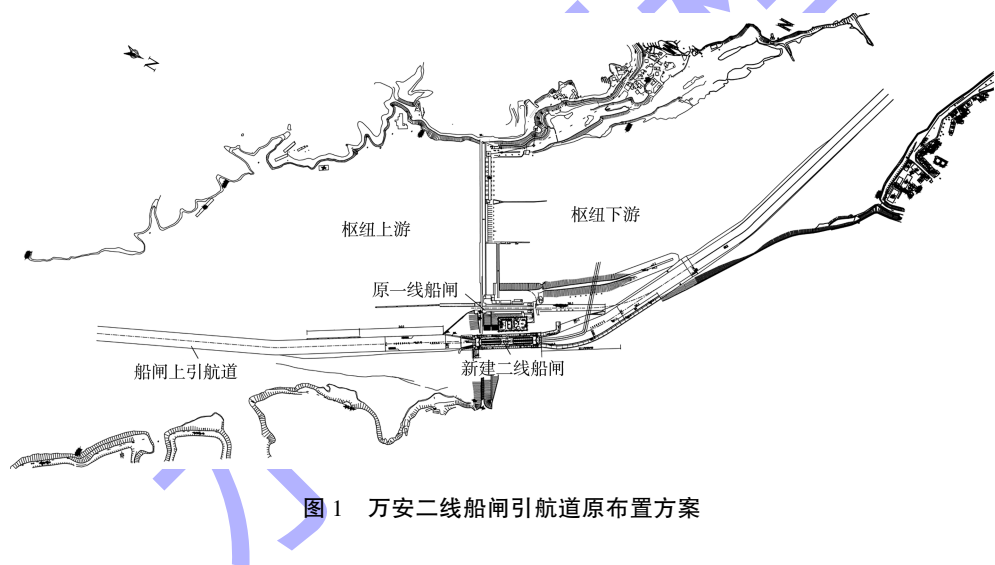


图1 万安二线船闸引航道原布置方案

2 物理模型

2.1 物理模型制作

枢纽整体物理模型主要采用弗劳德数 Fr 相似准则进行设计^[5],模型设计为正态模型,模型几何比尺为1:100,相应各物理量比尺为:水平比尺 $\lambda_l=100$,垂直比尺 $\lambda_h=100$,流速比尺 $\lambda_v=10$,糙率比尺 $\lambda_n=2.154$,水流时间比尺 $\lambda_t=10$,流量比尺 $\lambda_Q=10$ 万,力比尺 $\lambda_f=100$ 万。物理模型模拟的上、下游长度能够保证所有水工建筑物范围以及引航道口门区相应位置河床下游流态的相似性。船闸模拟闸室外形尺度、闸首及引航道导航墙、系船墩等。

结合基本地形资料及试验场地,确定模型范围为枢纽坝轴线上游1.6 km、下游2.3 km,共3.9 km的河段。整体模型以实测枢纽坝址地形图进行模型地形制作。在制作地形时,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 $\pm 1'$ 。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的要求。

2.2 量测仪器及控制设备

采用电磁流量计测控模型流量；使用测针筒量测河道水位，利用可调差动式尾门进行控制模型水位。引航道口门区的流速分布采用 ADV 三维流速测量系统测量，其量程为 0.1~400 cm/s。采用高清数码摄像机观测记录局部水流流态。

2.3 研究工况

物理模型试验包括了最大通航流量至最低通航流量范围内的 6 个工况。各工况中枢纽下泄流量变化范围为 4 500~16 200 m³/s。各流量对应的上、下游水位及枢纽运行方式见表 1。

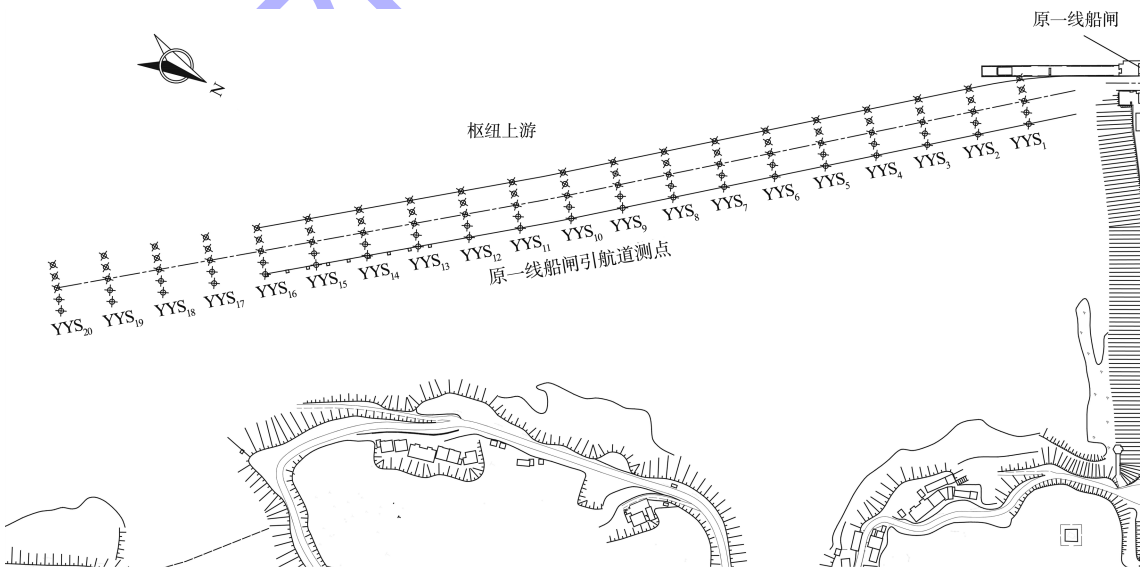
表 1 口门区通航水流条件物理试验及数值仿真模型研究工况

频率/%	工况	库水位/m	总泄量/(m ³ ·s ⁻¹)	机组发电流量/(m ³ ·s ⁻¹)	底孔流量/(m ³ ·s ⁻¹)	表孔流量/(m ³ ·s ⁻¹)	坝下水位/m
5	C-1	91.4	16 200	2 803	8 592	4 805	79.1
10	C-2	89.0	14 700	2 803	9 327	2 570	78.4
20	C-3	86.8	12 300	2 803	8 467	1 030	77.3
-	C-4	85.0	7 700	2 803	4 897	0	74.3
-	C-5	85.0	2 803	2 803	0	0	70.9
-	C-6	85.0	1 500	1 500	0	0	69.0

2.4 监测点

为研究二线船闸的修建对一线船闸引航道水流条件的影响，对二线船闸修建前、后的两个地形下的水流条件分别开展模型试验。二线船闸未建的原单线船闸地形下，一线船闸上游引航道内设置了 20 个监测断面，编号为 YYS₁~YYS₂₀。其中，第 1 个监测断面 YYS₁ 离船闸上闸首约 120 m，相邻断面之间间距为 50 m，各断面均等间距设置 5 个监测点，相邻监测点之间距离为 11.25 m，如图 2a) 所示。二线船闸修建后的新地形中，在上游一线船闸口

门区引航道中心线上设置 14 个监测点，编号为 YS₁~YS₁₄，各测点间距均为 50 m，其中第 1 个测点 YS₁ 距离上闸首 29 m，第 14 个测点 YS₁₄ 距离上闸首 689 m。二线船闸上引航道及口门区内布置了 13 个监测断面，编号为 ES₁~ES₁₃，各监测断面均垂直于航道中心线，且各断面间距均为 50 m。其中第 1 个断面 ES₁ 与上闸首距离为 153 m。各监测断面上由靠岸侧向河道方向均匀布置 5 个监测点，监测点间距为 10 m，第 3 个监测点位于引航道中心线上，见图 2b)。



a) 现状条件下

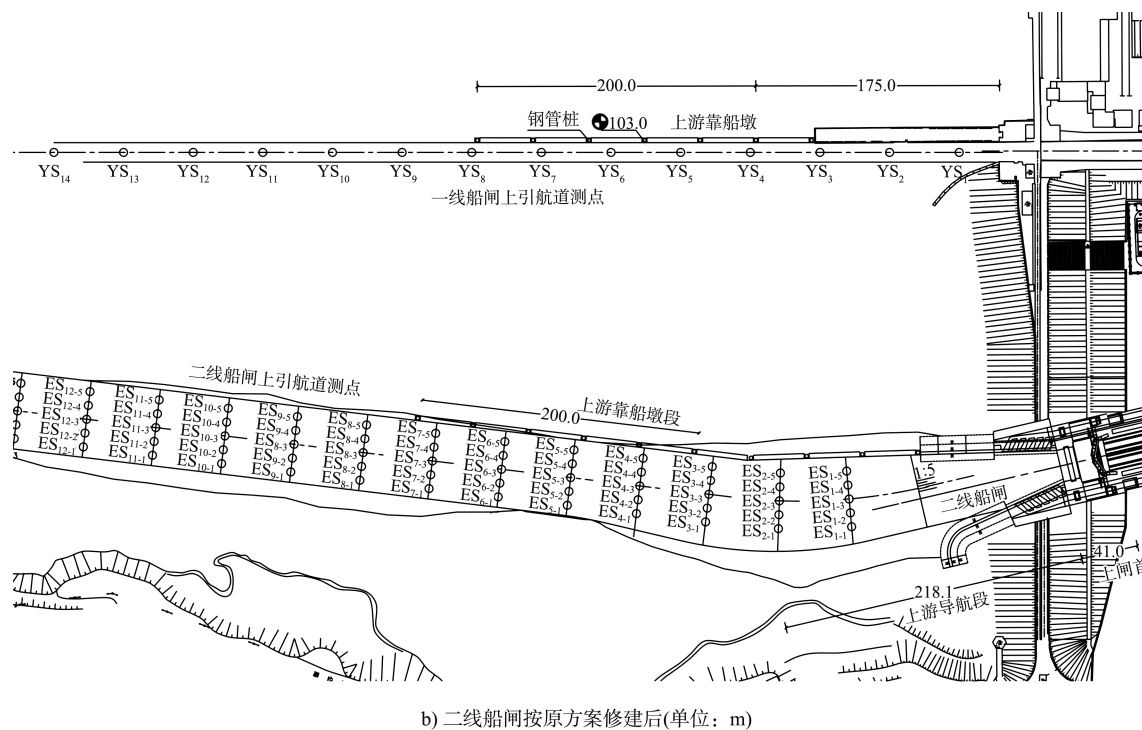


图2 万安枢纽物理模型上游引航道口门区监测点

3 结果分析

3.1 现方案通航水流条件

由物理模型试验结果可知,二线船闸未建前,枢纽下泄流量在 $12\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 及以上时,一线船闸停泊段及其上游的制动段附近有较多测点横向流速大于 0.15 m/s ,纵向流速大于 0.5 m/s ,不利于船舶停靠。枢纽泄流量在 $7\,700\text{ m}^3/\text{s}$ 时,靠船墩附近除局部区域流速超标外(横向流速 -0.26 m/s 、纵向流速 0.56 m/s),其他测点水流条件均满足要求。制动段内,各测点横、纵向流速满足通航要求。其典型工况下流场见图3a)。二线船闸在原设计方案下,在枢纽泄流 $7\,700\text{ m}^3/\text{s}$ 及以上时,一线船闸停泊段大部分区域存在横向流速大于 0.15 m/s ,纵向流速大于 0.5 m/s 的超标现象,不利于船舶停靠,见图3b)的圈内区域。二线船闸口门区有约 187.7 m 的制动段纵向流速在 2 m/s 、横向流速在 0.3 m/s 范围内。但在停泊段内,有局部点横向流速大于 0.15 m/s 。



a) 现状条件下



b) 二线船闸按原方案修建后

图3 典型试验工况(C-2)物理模型试验上游流场

综上可知,原设计方案下,二线船闸上引航道停泊段局部范围横向流速不满足要求;一线船闸上引航道口门区及停靠段相对于二线船闸未建前,水流条件变差,在枢纽泄流 $7\,700\text{ m}^3/\text{s}$ 及以上时停靠段通航水流条件不满足要求,因而须采取一定的优化措施。

3.2 优化方案通航水流条件

为改善一、二线船闸停靠段和口门区通航水流条件,拟采取以下优化方案:将二线船闸趸船长度向上游延伸 324.5 m ,二线船闸上游靠船墩向下游平移 40 m ;一线船闸停靠段与二线船闸未建前实际停靠位置保持一致,即在二线船闸趸船的靠河侧,且重新设置一线船闸的进闸航道线路。优化方案中,二

线船闸引航道的监测点不变,一线船闸设置监测点见图4。为研究新航线内及停泊段水流条件,采用物理模型试验对典型工况(工况 C-3, $Q=12\,300\text{ m}^3/\text{s}$)下该方案下的水流条件进行研究。

试验所得上游引航道在典型工况下的流态及横、纵向流速见图5。可以看出,在优化方案下,因趸船长度向上游延伸,且二线船闸靠船墩向下游平移,靠船墩处水流流速在 0.1 m/s 以内。二线船闸口门区各测点纵向流速均小于 2 m/s ;距靠船墩上游边缘 287.7 m 范围内横向流速均在 0.3 m/s 以内。考虑设计 $1\,000$ 吨级通航船舶长约 62 m ,要求 $2\sim 3$ 倍船长的口门范围,即 $124\sim 186\text{ m}$,可认为上游引航道口门区在 $12\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 下满足通航水流条件。

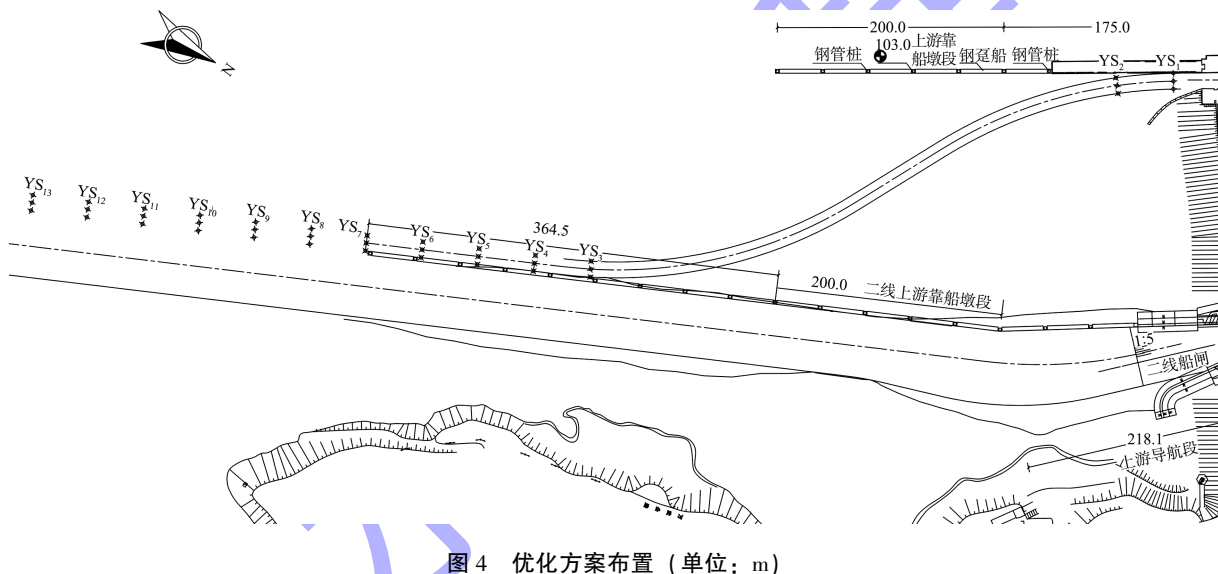


图4 优化方案布置 (单位: m)



图5 优化方案在 C-3 工况下一、二线船闸口门区流速 (单位: m/s)