



# 万安枢纽二线船闸平面布置方案

李华勇<sup>1</sup>, 杜军<sup>2</sup>, 王志鹏<sup>1</sup>

(1. 江西省港航建设投资集团有限公司, 江西南昌 330008; 2. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

**摘要:** 万安枢纽二线船闸平面布置综合考虑了邻近建筑物结构安全稳定、通航水流条件、施工条件、征拆及土石方开挖等影响因素, 比选出布置在一线船闸右岸且在坝顶公路桥中心线处一、二线船闸轴线间距为 230 m 的方案。通过数模与物模试验对上、下游引航道通航水流条件进行分析与优化, 提出延长二线船闸上游引航道停泊段、一、二线船闸共用部分停泊段, 并在转弯处加宽上引航道底宽、加深疏浚, 延长一线船闸与泄水闸之间的隔流堤, 采用全旁侧泄水形式等措施, 改善了上、下游引航道通航水流条件, 可为类似高水头库区船闸平面布置提供借鉴。

**关键词:** 二线船闸; 平面布置; 轴距比选; 通航水流条件

中图分类号: U 641.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)11-0159-06

## Layout plan of the second-line ship lock of Wan'an Junction

LI Hua-yong<sup>1</sup>, DU Jun<sup>2</sup>, WANG Zhi-peng<sup>1</sup>

(1. Jiangxi Provincial Port & Waterway Construction Investment Group Co., Ltd., Nanchang 330008, China;

2. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

**Abstract:** The plan layout of the second-line ship lock of the Wan'an Junction comprehensively considers the safety and stability of the adjacent building structure, navigable conditions, construction conditions, demolition and earthwork excavation, etc. The first and second line ship lock axis spacing is 230 m. Through numerical simulation and physical model tests, we analyze and optimize the navigable conditions of the upstream and downstream approach channels, and propose to extend the mooring section of the upstream approach channel of the second-line ship lock and the mooring section shared by the first and second-line ship locks, widen the bottom of upper approach channel and deepen the dredging at the turn, extend the dike between the first-line ship lock and the sluice lock, and adopt the full side discharge method, to improve the navigable conditions of the upstream and downstream approach channels. It can provide reference for the plan layout of ship locks in similar high-head reservoir areas.

**Keywords:** second-line ship lock; plan layout; wheelbase comparison; navigable condition

近年来, 随着沿江腹地经济的高速发展, 水运货运量激增, 流域现有航道等级不能满足当前航运需求<sup>[1]</sup>。江西赣江作为江西省南北向水运大通道, 是江西省综合运输体系的重要组成部分, 但由于赣江航道等级偏低, 水资源综合利用与航运效益未得到充分发挥。根据《江西省公路水路交

通运输“十三五”发展规划》要求, 江西省提出基本建成“两横一纵”内河高等级航道、高等级航道达到 795 km 的目标, 其中包括万安枢纽二线船闸工程。万安枢纽布置自右至左分别为土坝、船闸、右岸非溢流坝、电厂、溢流坝、左岸溢流坝。原一线船闸位于枢纽右岸, 是高水头单级船闸, 布

置在右岸一级阶地上，闸室有效尺度为  $175\text{ m} \times 14\text{ m} \times 2.5\text{ m}$ (长×宽×门槛水深)，可通过 2 艘 500 t驳船组成的船队，设计年通过能力为 265 万 t。根据规划要求，拟建万安二线船闸等级为Ⅲ级船闸，有效尺度为  $180\text{ m} \times 23\text{ m} \times 4.5\text{ m}$ (长×宽×槛上水深)，设计代表船型为 1 000 吨级单船，设计最大水头 32.5 m，设计水平年单向通过能力为 988 万 t。

## 1 设计原则

### 1.1 安全性

安全性是首要考虑的因素。设计阶段必须考虑拟建二线船闸施工期及运行期各工况下对原有邻近建筑物结构安全稳定、枢纽度汛安全及通航安全等的影响是否满足要求。

### 1.2 通航保障

拟建二线船闸施工不得影响原一线船闸通航水流条件，保障一线船闸正常运行。

### 1.3 经济合理

拟建二线船闸应充分考虑施工的便捷性，尽可能利用原有建筑物(交通桥、靠船建筑物、码头等)作为施工通道、场地等，减少征拆和土石方开挖量，以减少工程量、降低施工造价。

### 1.4 生态环保

对于主体施工区、取弃土场、施工生产生活区等应充分调研、合理规划，规避生态红线、水源保护点等，尽可能便于集中整治，促进施工生产与周边环境相协调。

## 2 平面布置方案

### 2.1 选址

已建万安枢纽位于山区丘陵地带，两岸山体地势较高，坝址处于微弯河段，布置较为紧凑。根据现场地形、施工、通航、征拆等条件，拟定出二线船闸闸址左、右岸布置方案(表 1)。

表 1 选址方案比较

选址	地形	上、下游通航条件	施工条件	施工期通航	征地拆迁	船闸联合调度	土石方开挖量/万 m <sup>3</sup>
右岸	地势较低，上游为库区淹没的高漫滩，水域较宽阔，副坝下游为现有枢纽管理区位置，船闸下游引航道端部右岸为地势较高的山体	上游引航道基本顺直，可以与库区航道平顺衔接；下游引航道为避开山体，为曲线段，停泊段位于转弯后的直线路段	船闸主体及下游引航道均位于左岸阶地，便于采用预留围堰干地施工，施工条件较好；上游库区水深较浅，有条件施工	施工期除个别时间段，一线船闸正常运行。两线船闸并列布置，船闸建成后检修期不会断航	仅涉及枢纽管理区	两闸同岸布置，方便联合调度	331
左岸	地势较高，上游山体延伸至库区，下游存在电站进线塔，左岸下游存在一些丁坝	上游引航道与主航道的衔接较不顺畅；下游引航道可以较平顺地与主航道衔接；但下游连接段航道存在一些丁坝，需要拆除	在地势较高的山体进行施工，高边坡施工难度大；上游库区水深较大，施工困难	不影响一线船闸的安全与运行	拆迁量很大	两闸异岸布置，不便管理	1 009

从表 1 可知，拟建二线船闸布置在右岸可以减少土石方开挖量和征拆工作量，便于施工，水流通航条件良好，便于后续船闸联合调度，是较好的选择。

### 2.2 平面布置

拟建坝址右岸地势较低，上游为库区淹没的高漫滩，水域较宽阔，土石坝下游为现有枢纽管

理区，下游引航道端部岸侧为地势较高山体。二线船闸布置需使上、下游引航道与主航道平顺连接，下游引航道尽量避开山体，减少土石方开挖；要考虑拆除和复建右岸土石坝，形成的围堰应便于干地施工<sup>[2-5]</sup>。综合考虑以上因素，形成 2 个不同间距的布置方案(图 1)。

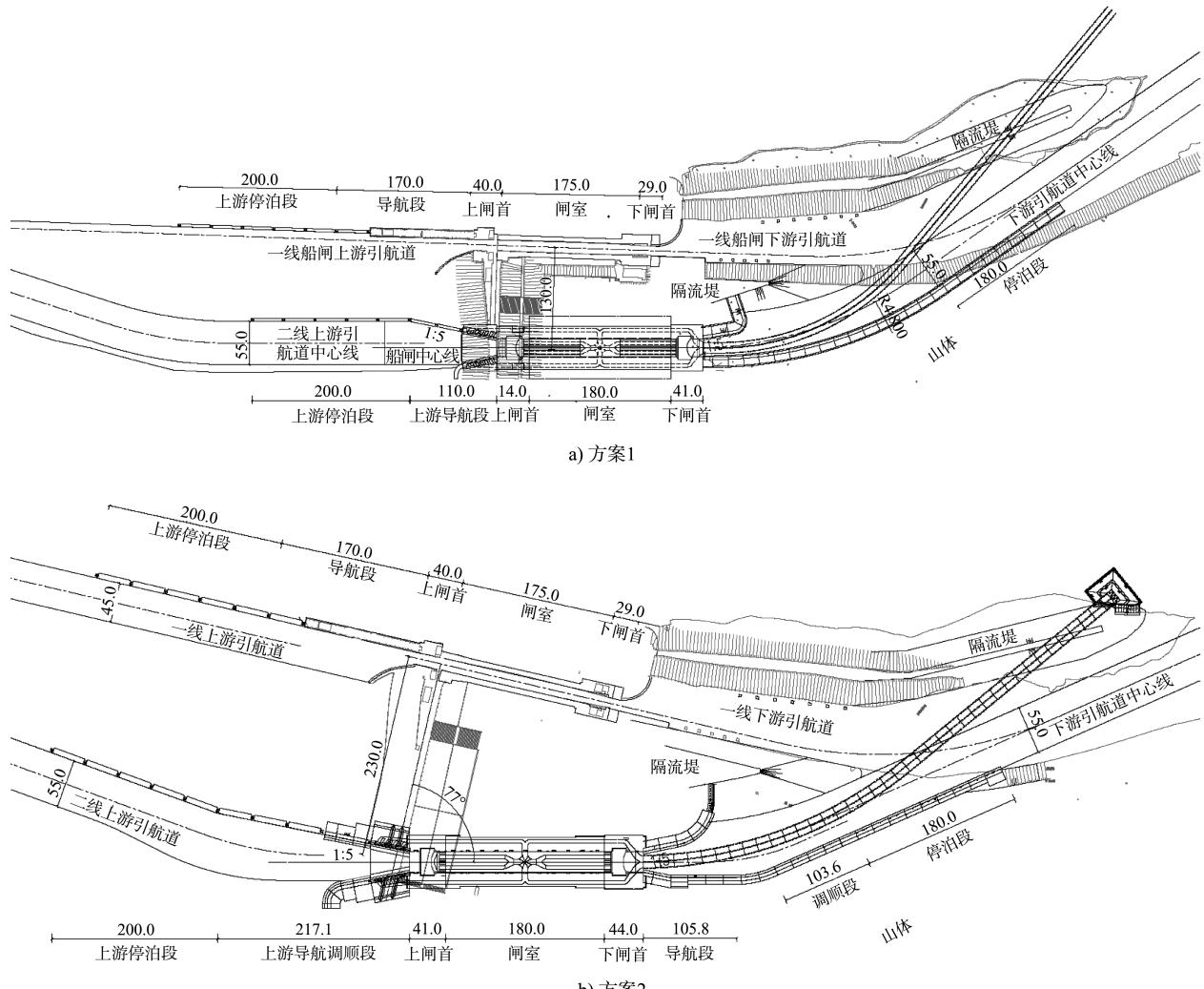


图 1 平面布置方案 (单位: m)

1) 方案 1: 二线船闸布置在一线船闸右侧, 在坝顶公路桥中心线处船闸轴线与一线船闸轴线间距为 130 m, 上闸首位于坝顶公路桥中心线下游 6 m, 上游引航道进水口段、上闸首、上闸门与现有挡水坝形成挡水前沿, 下游依次布置闸室及下闸首。为尽量避开下游山体, 为下游引航道布置提供较好条件, 以船闸轴线与坝顶公路桥中心线交点为圆心, 将船闸轴线向河侧转角 2°。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, 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 为停泊段。

2) 方案 2: 二线船闸在坝顶公路桥中心线处的

轴线距离与一线船闸轴线距离为 230 m。为保证船闸引航道布置, 同时避开下游山体开挖, 将二线船闸主体工程轴线, 以二线船闸中心线与坝顶公路桥中心线交点为圆心, 向河侧旋转 13°。船闸上游引航道呈折线形布置, 上游航道中心线与船闸中心线夹角为 20°。船闸下游引航道呈弧线布置, 下游停泊段与下闸首通过弯曲半径为 260 m 的圆弧段连接。

### 2.3 方案比选

上述 2 个方案除轴线间距及转角不同外, 其他设计基本相同, 所处的地形、地质条件也无本质区别, 但是对于已有邻近结构物安全稳定、施工工程量等将会呈现较大差异, 见表 2。

表 2 轴线间距方案比选

方案	坝顶公路桥中心线处船闸轴线与一线轴线间距/m	对一线船闸的影响	上、下游通航条件	施工条件	施工期通航	征地拆迁	土石方开挖量/万 m <sup>3</sup>
方案 1	130	在一线船闸岸侧布置,距离较小,采用半直立式开挖,新、老结构衔接处存在安全隐患	上游引航道比较顺直,可以与库区航道平顺衔接;下游引航道为避开山体,为曲线段,停泊段位于转弯后的直线段	须先形成枢纽的挡水线才能施工;船闸主体及下游引航道均位于右岸阶地,便于采用预留围堰干地施工,施工条件较好。上游库区水深较浅,有条件施工	施工期除个别时间段,一线船闸正常运行	主要涉及枢纽管理区的管理楼等部分拆迁,占地较小	330.6
方案 2	230	在一线船闸岸侧布置,距离较远,对一线船闸的安全几乎不产生影响	上游引航道为折线布置,通过转角 20°可与库区航道衔接;下游引航道为避开山体,设计为曲线段,停泊段位于转弯后的直线段。上游引航道更靠近岸侧,需要维护性疏浚。上游库区航道由直线型布置变成折线型布置,出闸船舶经过停泊段时需转弯慢行通过,将影响船舶在引航道的行船安全及过闸效率。下游引航道需要经过较长的一段导航调顺段,直接降低了船闸的通过能力	同方案 1,但深基坑施工需采用大开挖方案,土石方开挖及回填均较大	同方案 1	枢纽管理区需整体拆迁,占地较大;下游两根电缆不满足通航净空要求,需升建	379.3

综上可知:方案 1 虽然占地和土方开挖量较小,但是施工难度很大,施工期深基坑支护复杂程度高,新老结构衔接处存在较大安全隐患,并对一线船闸的结构安全和正常运行产生一定影响;方案 2 上游围堰及基坑支护的安全度更高,确保了枢纽防洪不受施工影响,枢纽在施工期及运行期更安全,从确保枢纽整体安全的角度分析推荐方案 2。

### 3 引航道通航水流条件优化

采用比尺为 1:100 的枢纽整体物理模型和数值仿真模拟<sup>[6]</sup>,研究万安枢纽二线船闸在方案 2 布置下不同运行工况下的通航水流条件,并根据研究成果,提出有针对性的改善措施。表 3 为拟定的通航水流条件研究工况。

表 3 通航水流条件研究工况

工况	频率/%	库水位/m	总泄流流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	机组发电流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	坝下水位/m	备注
C-1	5.00	91.35	16 200	2 803(1 <sup>#</sup> ~5 <sup>#</sup> 机组)	79.10	-
C-2	10.00	89.00	14 700	2 803(1 <sup>#</sup> ~5 <sup>#</sup> 机组)	78.40	10 a —遇
C-3	20.00	86.80	12 300	2 803(1 <sup>#</sup> ~5 <sup>#</sup> 机组)	77.30	5 a —遇
C-4	-	85.00	7 700	2 803(1 <sup>#</sup> ~5 <sup>#</sup> 机组)	74.30	-
C-5	-	85.00	2 803	2 803(1 <sup>#</sup> ~5 <sup>#</sup> 机组)	70.93	5 台机满发
C-6	-	85.00	1 500	1 500(1 <sup>#</sup> ~4 <sup>#</sup> 机组)	69.00	-
C-7	-	85.00	1 500	1 500(1 <sup>#</sup> ~4 <sup>#</sup> 机组)	69.00	船闸充泄水

### 3.1 上游引航道通航水流条件及改善措施

#### 3.1.1 航道特点和水流条件

上游引航道位于库区,呈折线形布置,上游

航道中心线与船闸中心线夹角为 20°。数模试验显示枢纽泄流  $\geq 7 700 \text{ m}^3/\text{s}$  时,一线船闸停泊段均存在流速超标现象,最大横向流速为  $-0.54 \text{ m/s}$ ,不

满足船舶停泊要求; 二线船闸停泊段在大部分泄流工况下, 横、纵向流速满足要求, 仅在  $16\ 200\ m^3/s$  流量级下存在较多区域横向流速超标。考虑设计 1 000 吨级通航船舶长约 62 m, 要求 2~3 倍船长的口门范围, 即 124~186 m, 综合考虑各工况下的水流条件, 可认为二线船闸上引航道口门区满足通航水流条件。上游 85 m 与下游 69 m 水位组合, 二线船闸停泊段内船闸充水工况下, 停泊段内及其上部分断面引航道水流条件不满足要求。物模试验结果显示, 一线船闸上游引航道水流条件与数模试验结论基本一致, 二线船闸上游停泊段在  $16\ 200\ m^3/s$  流量级下存在一定范围内的横向流速超标, 最大横向流速达  $-0.95\ m/s$ 。表 4 为上游引航道及口门区水流特征值。

表 4 上游引航道及口门区水流特征值  $m^3/s$

工况	一线船闸		二线船闸	
	最大横向流速	最大纵向流速	最大横向流速	最大纵向流速
C-1	-0.69	1.73	-0.95	1.67
C-2	-0.59	1.68	-0.75	1.37
C-3	-0.52	1.56	-0.36	0.78
C-4	-0.37	1.12	-0.21	0.68
C-5	-0.12	0.47	-0.08	0.24
C-6	-0.13	0.27	0.05	0.06
C-7	-0.06	0.29	0.41	1.36

注: “-”代表横流方向指向河侧。

### 3.1.2 优化措施

针对枢纽在泄流  $\geq 7\ 700\ m^3/s$  时一线停泊段均存在流速超标现象, 如果将一线进闸船舶停靠在二线趸船外侧, 则大部分泄流流量下满足船舶停泊要求, 但考虑到一线船闸进闸角度和尽量少开挖一线与二线船闸之间的高地, 提出加大二线船闸趸船长度(向上游延伸 360 m), 其中 160 m 过渡段, 最上游 200 m 用于一线船闸停泊, 一线船闸与二线船闸共用停靠段, 一线船闸停靠于趸船外侧且进闸角度与现状保持一致, 二线船闸停靠于趸船内侧(图 2)。考虑深水库区和双向停靠船舶的需求, 靠船段采用浮式趸船结构(图 3), 单个趸船尺寸为  $36.5\ m \times 6.0\ m \times 3.2\ m$ (长×宽×高), 通过限位装置连接到直径 2.5 m 的灌注桩上。

针对数值模拟中上游最低通航水位 85.0 m, 二线船闸阀门连续开启充水时, 二线船闸停靠段流速超标, 采取以下措施: 1) 工程措施。在转弯处加宽引航道底宽, 最大加宽处为 65 m, 并直接与库区主航道衔接, 辅以局部增加疏浚深度等方式; 2) 非工程措施。通过调整船闸运行方式, 控制船闸最大充水流量在  $120\ m^3/s$  左右。

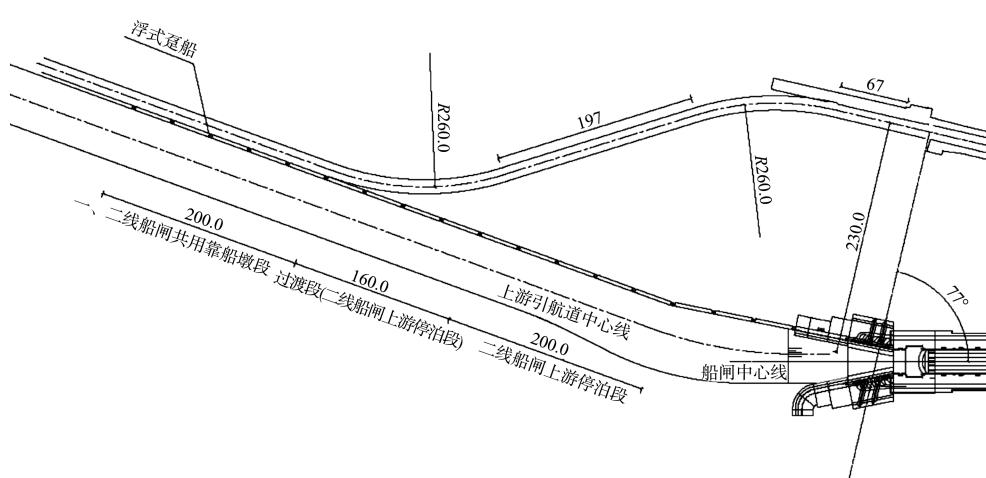


图 2 一、二线船闸共用停泊段布置 (单位: m)

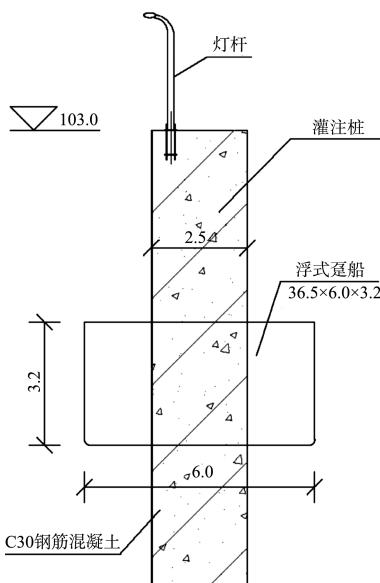


图 3 灌注桩及浮式趸船结构 (单位: m)

### 3.1.3 优化效果

延长趸船后一线进闸船舶停靠位置与二线未建前停靠位置基本一致,该方案未降低一线船闸通航标准,未恶化及改变其进闸方式,同时延长了二线船闸的掩护长度,有利于改善二线船闸口门区的水流条件,停泊段水流条件满足规范要求。

### 3.2 下游引航道水流条件及改善措施

由于下游引航道右侧阶地有一高差约 60 m 的山体,为避开山体开挖将轴线向河侧偏转 13°呈弧线布置,下闸首与引航道通过 260 m 的转弯半径相连接,最终在下游与一线船闸引航道汇合共用。该布置方案下,停泊段末端略超出原一线船闸隔流堤,停靠在二线船闸的船舶可能会受到电站下泄水流横向水流影响,因此提出优化措施:在原一线船闸隔流堤的基础上按照基本平行于二线船闸停泊段的方向延长隔流堤约 230 m,作为对二线船闸的掩护,减小电站下泄水流的横向水流影响。同时,由于该船闸属于高水头船闸,当闸室全部通过引航道内灌泄水时,船舶在引航道内的停泊或航行无法满足,因此采用旁侧泄水的方式,将闸室泄水通过长度 622 m 的泄水涵管引到主河床。

模型试验结果显示,通过采取以上措施,枢纽各个下泄流量工况下,下游引航道口门区纵向流速均小于 2 m/s,满足规范要求。枢纽下泄总流

量 $\geq 14\ 700\ m^3/s$ 时,一、二线船闸下引航道部分区域横向流速超标,但距靠船墩下游边缘 387.5 m 范围内引航道右侧至少有宽约 30 m 的范围横向流速满足通航要求;枢纽下泄流量 $\leq 12\ 300\ m^3/s$ 时,大部分测点横向流速均小于 0.3 m/s,尽管局部区域横向流速大于 0.3 m/s,但其左侧均有大于 30 m 宽范围横向流速满足要求,可供船舶进出引航道。综合考虑各工况下的水流条件,可认为下游引航道口门区满足通航水流条件。

## 4 结论

1) 拟建二线船闸平面布置方案比选应综合考虑既有邻近建筑物结构安全稳定、通航水流条件、施工条件、征拆条件、土石方量开挖等影响因素。

2) 通过延长二线船闸上游引航道停泊段使一、二线船闸共用部分停泊段,并在转弯处采取加宽引航道底宽、加深疏浚等优化措施,维持了原一线船闸进闸方式,加长了二线船闸的掩护范围,改善了一、二线船闸停泊段水流条件。

3) 通过延长原一线船闸与泄水闸之间的隔流堤,采用全旁侧泄水形式等措施,改善了下游引航道水流条件,口门区通航水流条件满足规范要求。

## 参考文献:

- [1] 王亚武.我国内河港口现状及发展趋势[J].中国港口,2011(10): 14-15.
- [2] 周丁,姜兴良.株洲二线船闸轴线布置方案[J].水运工程,2015(9): 138-142.
- [3] 宁武,姜兴良.红花二线船闸平面布置方案[J].水运工程,2017(9): 165-170.
- [4] 吴澎,张珊,罗少桢,等.航电枢纽工程选址与布置[J].水运工程,2011(9): 185-188.
- [5] 中交水运规划设计院有限公司.江西赣江万安枢纽二线船闸工程初步设计报告[R].北京:中交水运规划设计院有限公司,2018.
- [6] 南京水利科学研究院.万安枢纽二线船闸工程引航道口门区通航水流条件水工整体模型试验[R].南京:南京水利科学研究院,2018.