



# 岷江龙溪口航电枢纽工程船闸 总体布置与通航条件研究

付文周<sup>1</sup>, 刘耕<sup>1</sup>, 赵佳源<sup>2</sup>

(1. 四川省交通勘察设计研究院有限公司, 四川 成都 610017; 2. 四川岷江港航电开发有限责任公司, 四川 乐山 614000)

**摘要:** 针对龙溪口航电枢纽船闸工程建设过程中出现的居民渡河安全、船闸临时通航和下游河床下切等问题, 采用二维数学模型对工程河段施工期下游水流条件和导流第三期工程第一个汛期(三期一汛)船闸上引航道通航水流条件进行数值模拟。结合工程的具体情况, 提出新民客渡临时过渡方案。结果表明, 下游河床下切预判数据、三期一汛枢纽调度和船闸运行方案保证了施工期工程河段两岸居民的渡河安全, 有效解决了河床下切对船闸通航的影响, 确保三期一汛岷江航道的畅通。

**关键词:** 航电枢纽; 渡运安全; 河床下切; 施工期临时通航

中图分类号: U641.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)10-0042-05

## General arrangement and navigation conditions of ship lock in Longxikou Navigation-power Junction project of Minjiang River

FU Wenzhou<sup>1</sup>, LIU Geng<sup>1</sup>, ZHAO Jiayuan<sup>2</sup>

(1. Sichuan Communication Surveying & Design Institute Co., Ltd., Chengdu 610017, China;

2. Sichuan Minjiang Port & Shipping & Electricity Power Development Co., Ltd., Leshan 614000, China)

**Abstract:** In the ship lock construction of the Longxikou Navigation-power Junction project, problems may occur, such as the safety hazard of residents crossing the river, temporary navigation of the ship lock, and downstream riverbed downcutting. To address these problems, we employ a two-dimensional mathematical model to numerically simulate the downstream flow conditions of the project reach during the construction period and the navigable flow conditions of the upper approach channel of the ship lock in the first flood season of the third phase project. Combining with the specific situations of the project, we propose a temporary scheme for Xinmin passenger ferrying. The results show that the prediction data of downstream riverbed downcutting, the operation plan of the first flood season of the third phase, and the operation plan of the ship lock ensure the safety of the residents on both sides of the river during the construction period. The scheme effectively solves the influence of riverbed downcutting on the ship lock navigation, guaranteeing the unimpeded channel of the Minjiang River during the first flood season of the third phase.

**Keywords:** navigation-power junction; ferrying safety; riverbed downcutting; temporary navigation during construction period

岷江乐山—宜宾合江门 162 km III 级航道是四川重大件装备出川的重要水上通道, 龙溪口航电枢纽工程位于乐山市犍为县新民镇, 为二等大(2)型工程, 装机容量为 480 MW, 船闸有效尺寸 220 m×34 m×4.5 m(闸室长×闸室宽×门槛水深), 枢纽总

平面布置见图 1。龙溪口航电枢纽工程作为近期建设岷江下游段 4 个梯级中最下游的一个, 上接犍为枢纽, 下游与 81 km 整治航道衔接, 是岷江综合开发利用承上启下的重要工程, 船闸总体布置与通航条件研究关系到岷江航道的畅通, 对枢纽施工期和

收稿日期: 2023-06-07

作者简介: 付文周(1977—), 男, 高级工程师, 从事港口与航道工程设计。

运行期的通航安全都具有十分重要的意义。



图 1 龙溪口航电枢纽总平面布置

## 1 闸址的拟定

### 1.1 位置及优势

船闸选址于沐川河口—新民镇上游河段, 该河段河床相对较宽具备修建通航建筑物的条件, 利于枢纽建筑物的布置及施工的开展, 同时可以减少新民镇的防护及排涝工程, 此河段建闸条件较好。

### 1.2 难点分析

由于坝址区无跨河交通桥, 渡口成为新民镇两岸居民往来的主要过河通道, 右岸有沙湾子渡口、瓦厂渡口和马鞍坝渡口, 左岸有新民渡口。渡船为 30 客座, 平日每天定时开船, 客流量约为 480 人/d, 逢集市及周五下午过河人数较多时, 每天客流量达 1 000 人左右(含到左岸新民镇上学、返回的学生)。随着岷江龙溪口航电枢纽工程的开工建设, 将对新民镇境内的客渡营运产生影响, 如何妥善解决两岸居民在本工程施工期的过河问题, 提高当地居民安全出行的可靠性是工程必须解决的问题。坝址区工程河段渡口分布见图 2。



图 2 坝址区工程河段渡口分布

### 1.3 对策

根据枢纽总体布置及施工导流方案<sup>[1]</sup>, 结合数学与物理模型试验结果, 提出新民客渡临时过渡方案。为了保证施工期间工程河段的通航安全, 将坝轴线上游 1.5 km 至坝轴线下游 2.0 km 的河段划定为施工期通航管制河段范围, 河段总长 3.5 km。施工期间, 管制河段内, 上、下行船舶按照管制要求单向通航, 管制河段内未经批准, 禁止客船横渡。

提出保留通航条件较好的左岸新民渡口和右岸下游马鞍坝渡口, 停运已不具备安全通航条件的右岸沙湾子渡口和瓦厂渡口, 原沙湾子和瓦厂渡乘人员通过新建的 1.2 km 公路往返下游 1.5 km 的新码头临时停靠点, 并建议业主租用大功率客船替代原小型客渡船, 由原营运公司沿经批准的规划航线渡河。调整后工程河段渡口分布见图 3。



图 3 调整后工程河段渡口分布

根据各导流时段的通航水流条件, 当流量为  $6\,750\text{ m}^3/\text{s}$  时, 整体测点范围内的水位在 304.158~305.122 m, 流速在 0.495~3.505 m/s; 当流量为  $1\text{ 万 m}^3/\text{s}$  时, 整体测点范围内的水位在 306.118~307.195 m, 流速在 0.762~3.746 m/s, 导流第二期工程第一个汛期(二期一汛)工程河段流速分布见图 4。从施工期各导流时段水流条件分析结果看, 工程施工对位于坝轴线下游右岸约 1.5 km 处新码头临时停靠点和 3.2 km 处马鞍坝渡口运营影响较小。

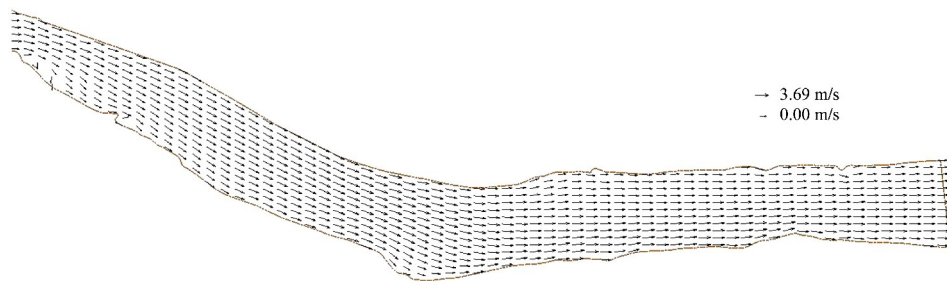


图4 二期一汛工程河段流速分布

为保证通航安全,建议新码头临时停靠点封渡流量不高于龙溪口枢纽确定的施工期最大通航流量  $6\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 。新民客渡临时过渡方案有效解决了工程施工期间两岸居民的过河问题,维护当地渡运秩序,保证居民的安全出行,获得了很好的社会反响<sup>[2]</sup>。

## 2 船闸总平面布置

### 2.1 河段特点

本工程闸址区河段河谷两岸坡属中低山-丘陵侵蚀地貌,主河槽位于右岸,左岸为堆积岸,河流阶地较为发育。若将船闸布置在左岸,须开挖左岸河流阶地形成上下游引航道,且下游引航道不能与下游主河道顺接,运行期间存在回淤问题。为了引航道与主航道的衔接顺畅,将船闸布置于右岸主河道,河床中部布置泄水建筑物,厂房与船闸分岸布置。

### 2.2 难点分析

龙溪口枢纽为岷江高等级航道近期实施的最下游一座梯级,下接  $81\text{ km}$  航道整治工程。根据我国已建航电枢纽工程船闸通航条件分析,如福建闽江水口、广西西江长洲航电和江西赣江石虎塘航电枢纽等,下游河床下切深度均达到了  $2.0\text{ m}$  以上,使得门槛水深不足,造成船舶减载运行,甚至有的无法通行。因此如何合理预测本工程河床下切对船闸通航的影响,是工程设计的难点。

### 2.3 对策

#### 2.3.1 清水下泄引起的河床下切

利用 1996—2010 年实测河床地形图对比河床变形,发现岷江下游河段下切较小,其中最大下切深

度为  $1.4\text{ m}$ 。由于枢纽下游河床为砂卵石质河床,根据砂卵石质河床梯级建设相关情况和下游  $5\text{ km}$  附近干龙子滩(汉流型浅滩)的整治情况,清水下切深度按  $1.5\text{ m}$  考虑。

#### 2.3.2 下游航道整治引起的水位下降

岷江龙溪口枢纽—宜宾合江门  $81\text{ km}$  航道共有滩险 28 处,其中新开河滩水流条件最为复杂,采取的工程措施最多,对龙溪口航电枢纽下游水位影响相对较大。另根据下游岷江新开河滩群航道整治物理模型试验研究结果,上游枢纽运行后设计流量将增至  $902\text{ m}^3/\text{s}$ ,航宽  $60\text{ m}$  时,新开河滩头水位降落  $0.89\sim 0.95\text{ m}$ 。但新开河滩群航距本工程坝址约  $25.6\text{ km}$ ,其整治工程引起的水位下降传递到本工程下游时,影响已很小。

距本工程下游最近的滩险是干龙子滩,为下游航道距枢纽最近的汉流型浅滩,河底高程在  $296\sim 298\text{ m}$ ,通过筑坝、疏浚等航道整治措施后其航深不足的情况将得到改变。根据下游航道整治资料,在航道整治时干龙子滩将本着不降低现有水位的原则进行整治工程设计。出于偏安全考虑,设计预留了  $0.3\text{ m}$  该部分引起的水位下降值。

#### 2.3.3 下游挖沙引起的水位下降

针对无序采砂这一现象,四川省水利部门高度重视,正在开展全省江河重要河道采砂规划,意在遏制非法、违规采砂活动。另外,考虑到岷江下段是国家级鱼类保护区,根据规划原则,在规划中将其划为“禁采区”。因此本工程考虑  $0.2\text{ m}$  下游挖沙引起的水位下降。

#### 2.3.4 坝区工程施工开挖引起的水位下降

由于工程的建设需要对坝区进行大范围的疏



挖, 较大程度上改变了坝区天然河道的现状。工程在确定通航水位时采用坝区疏挖后的水位-流量关系曲线, 已考虑坝区疏挖引起的水位下降 0.73 m, 采用疏挖后的下游水位 301.06 m。

这样考虑清水下泄引起的河床下切 1.50 m, 下游航道整治引起的水位下降 0.30 m, 挖沙引起的水位下降 0.20 m, 由此分析去确定工程建成多年后, 船闸下游设计最低通航水位下降 2.00 m。因此, 下游设计最低通航水位采用疏挖后的下游水位 301.06 m 减 2.00 m, 为 299.06 m。

### 2.3.5 水库反调节引起的水位变化

在确定下游最低通航水位时, 考虑船闸建成初期综合历时保证率 98% ( $Q=568 \text{ m}^3/\text{s}$ ) 所对应的下游水位 301.06 m。实际上, 当下泄流量达到下游航道整治要求的  $900 \text{ m}^3/\text{s}$  时所对应的下游水位为 301.59 m, 即门槛水深可增加 0.53 m 的富余深度。

### 2.3.6 下闸首门槛高程的确定

龙溪口船闸初设门槛水深要求为 4.5 m, 考虑到船舶大型化的需要以及下闸首改造的困难, 施工图阶段下闸首门槛高程同上游犍为枢纽保持一致, 采用下游最低通航水位 299.06 m 减 5.50 m, 最终确定为 293.56 m。

综上所述, 龙溪口船闸下闸首门槛高程确定为 293.56 m, 可有效缓解河床下切造成下游水位下降对本船闸通航的影响。

## 3 船闸施工期通航

### 3.1 原施工导流方案

枢纽施工导流第三期工程原方案是利用 24 孔泄洪闸过流, 右岸船闸施工期临时通航。该时段最低通航水位为 307.00 m, 上、下游均为天然航道, 根据航道现状, 70% 保证率时的航道水深为 1.80 m, 因此该时段最低通航水位时, 通航船舶吃水按不大于 1.80 m 考虑, 同时考虑临时通航不宜将船闸门槛降得过低, 因此船闸门槛水深和引航道均按 2.50 m 考虑, 上闸首门槛高程确定为 304.50 m, 相较枢纽运行期降低了  $6.00 \text{ m}^{[3]}$ 。

### 3.2 难点分析

根据施工导流及通航原方案, 2023 年 5 月底导流第三期工程施工结束, 左岸 13 孔泄洪闸墩及金属结构安装完成具备运行条件。2023 年 6—10 月 (完建期) 由已建 24 孔泄洪闸过流, 控制上游水位不低于 316.00 m, 船闸通航。后根据现场情况, 预测 2023 年 5 月底导流第三期工程施工结束时, 由于库区征地移民等原因, 枢纽难以满足蓄水条件, 不能达到控制上游水位不低于 316.00 m (发电水位) 的要求。

完建期须利用 24 孔泄洪闸控制上游水位不低于 307.00 m (施工期上游最低通航水位), 船闸通航。根据《四川省岷江龙溪口航电枢纽工程施工导流与通航水工模型试验研究报告》<sup>[4]</sup> 上引航道口门区及连接段通航条件为: 完建期水库保持 307 m 水位运行时, 由于上游水位相对较低, 受右岸鸡公嘴挑流及枢纽泄洪影响, 大流量时船闸上引航道口门区连接段流速急, 横流大, 并有泡水和漩水出现; 引航道调顺、停泊段回流大, 流态差。流量  $Q=7\ 000 \text{ m}^3/\text{s}$  时, 上引航道口门区连接段最大纵向、横向和回流流速分别为 2.62、1.15 和 0.70 m/s; 当流量  $Q=9\ 000 \text{ m}^3/\text{s}$  时, 最大纵向、横向和回流流速分别为 3.13、1.49 和 1.18 m/s。即当  $7\ 000 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 9\ 000 \text{ m}^3/\text{s}$  时, 船闸上引航道口门区及连接段流态差, 各项流速指标普遍超过 JTJ 305—2001《船闸总体设计规范》<sup>[5]</sup> 的口门区最大流速限值 (纵向、横向、回流流速分别不大于 2.0、0.3、0.4 m/s), 船舶无法安全进出引航道。

### 3.3 对策

结合数学模型试验结果, 提出以下工程和管理措施:

- 1) 鸡公嘴开挖至 298.50 m (水下开挖 6.0 m 深)。
- 2) 对鸡公嘴下游深沱进行适当填筑, 至高程约 284 m。
- 3) 完建期通航水工模型试验表明, 上游来流量  $Q>8\ 000 \text{ m}^3/\text{s}$  时, 船闸上引航道口门区连接段的通航水流条件已不能满足规范要求。当  $Q=8\ 000 \text{ m}^3/\text{s}$  时, 关闭中间闸门, 开启左岸 1<sup>#</sup>~10<sup>#</sup> 和右岸 21<sup>#</sup>~

24<sup>#</sup>闸门泄流, 船闸上引航道通航水流条件可满足要求, 此时的上引航道流场见图 5。因此建议完建

期采用  $8\,000\text{ m}^3/\text{s}$  作为船闸最大通航流量, 当上游来流量  $Q>8\,000\text{ m}^3/\text{s}$  时, 船闸临时停航。

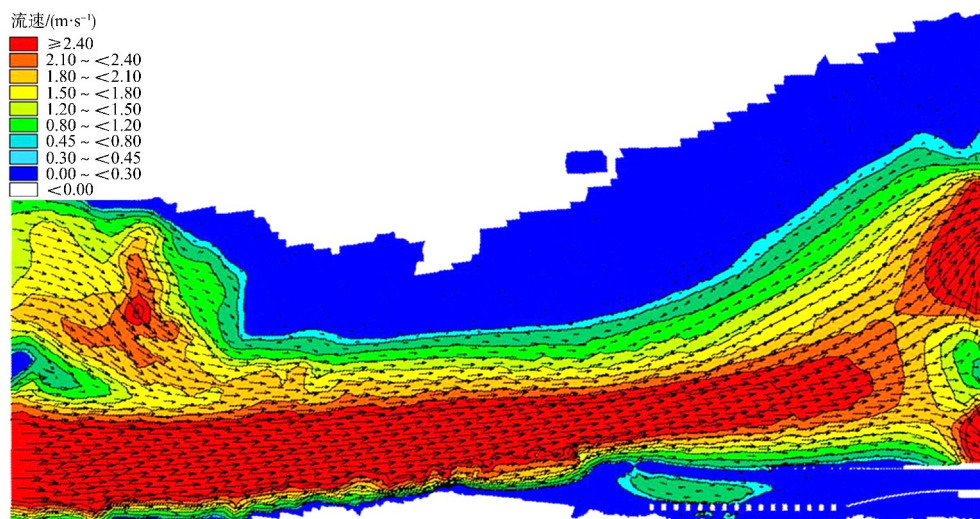


图 5  $Q=8\,000\text{ m}^3/\text{s}$  (开启 1<sup>#</sup>~10<sup>#</sup>、21<sup>#</sup>~24<sup>#</sup>闸门) 上引航道流场

4) 为了充分保障施工期通航安全, 结合模型试验和管理经验, 建议三期一汛采用  $Q=8\,000\text{ m}^3/\text{s}$  作为船闸最大通航流量, 汛期通航保证率为 96.41%。

5) 为保证船舶顺利进出船闸, 导流第三期工程船闸施工期临时通航时, 管制河段内上、下行船舶按管制要求单向通航。过往船舶先在上、下游临时锚地靠泊, 待船闸工作闸门开启且收到通行信号后直接驶入闸室停靠。

通过以上措施, 保证施工期船闸临时通航水流条件, 确保施工期岷江航道的畅通, 保证了岷江航道大件运输的要求。

#### 4 结论

1) 施工期过渡问题涉及岷江两岸民生, 须提前规划并及时实施。本工程通过及时停运右岸不具备安全通航条件的 2 个渡口、保留通航条件较好的左岸新民渡口、新建右岸下游新码头临时停靠点的方式, 并租用大功率客船替代原小型客渡船, 有效解决了工程施工期间岷江两岸居民的过河问题, 维护当地的渡运秩序, 获得了较好的社会反响。

2) 枢纽下接天然航道时, 河床下切对船闸下游最低通航水位影响较大。本工程从清水下泄、

下游航道整治和下游挖沙 3 个方面进行综合分析, 并将下游门槛水深由 4.5 m 提高到 5.5 m, 最终确定龙溪口船闸下闸首门槛高程为 293.56 m, 可有效缓解河床下切造成下游水位下降对船闸通航的影响。

3) 本工程通过工程措施和船闸管理措施并用的方式, 充分利用船舶的机动性, 较好地解决了船闸施工期临时通航存在的问题。

#### 参考文献:

- [1] 中国电建集团贵阳勘察设计研究院有限公司. 岷江龙溪口航电枢纽区施工导流方案调整报告[R]. 贵阳: 中国电建集团贵阳勘察设计研究院有限公司, 2019.
- [2] 四川省交通勘察设计研究院有限公司. 岷江龙溪口航电枢纽工程施工期通航保障实施方案专题报告[R]. 成都: 四川省交通勘察设计研究院有限公司, 2019.
- [3] 四川省交通勘察设计研究院有限公司. 岷江龙溪口航电枢纽船闸工程施工图设计[R]. 成都: 四川省交通勘察设计研究院有限公司, 2020.
- [4] 重庆西科水运工程咨询中心. 四川省岷江龙溪口航电枢纽工程施工导流与通航水工模型试验研究报告[R]. 重庆: 重庆西科水运工程咨询中心, 2020.
- [5] 中交水运规划设计院. 船闸总体设计规范: JTJ 305—2001[S]. 北京: 人民交通出版社, 2001.

(本文编辑 王璁)