



七星墩船闸上游口门区及连接段 通航水流条件优化试验研究

于广年，赵家强

(交通运输部天津水运工程科学研究所，工程泥沙交通行业重点实验室，天津 300456)

摘要：七星墩枢纽增建船闸受原有建筑物及上游江心洲影响，船闸上游通航水流条件较差。针对这一问题，采用整体水工物理模型和自航船模试验，研究了不同布置方案船闸上游水流条件变化，并提出改善水流条件的具体措施。结果表明：1)增大口门区附近过流面积及根据模型试验水流方向调整航线等措施，可以有效改善七星墩船闸上游口门区及连接段通航水流条件；2)当船闸布置离岸较远且水流集中斜穿口门区时，在上游布置丁坝挑流，提前分散水流，对改善船闸上游口门区通航水流条件效果显著。

关键词：口门区；连接段；通航水流条件；丁坝挑流

中图分类号：U 612

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2022)05-0110-05

Optimization of navigable flow conditions at upstream entrance area and connecting section for Qixingdun ship lock

YU Guang-nian, ZHAO Jia-qiang

(Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, M.O.T.,

Key Laboratory of Engineering Sediment of Ministry of Communications, Tianjin 300456, China)

Abstract: Due to the impact of original buildings and an upstream middle bar on the new-built ship lock of the Qixingdun junction, there are poor navigable flow conditions in the upstream areas. To solve this problem, this paper utilizes the overall hydraulic physical model and self-propelled ship model test to study the changes in the upstream flow conditions for the ship lock under different ship lock layout schemes and puts forward specific measures to improve flow conditions. The following results are obtained: 1) Increasing the flow area near the entrance area and adjusting the route according to the flow direction of the model test can effectively improve the navigable flow conditions of the upstream entrance area and connecting section for the Qixingdun ship lock. 2) When the ship lock is arranged far from the shore and the water flow concentrates and obliquely passes through the entrance area, arranging a spur dike upstream to disperse the water flow in advance has a significant effect on improving the navigable flow conditions in the upstream entrance area for the ship lock.

Keywords: entrance area; connecting section; navigable flow conditions; spur dike

随着我国经济社会的持续发展，水运这种绿色、环保的交通运输方式也越来越受到重视，许多原来不通航的河流开始逐渐恢复通航，已建枢纽增建过船设施的情况大量出现，但过船设施的布置往往受原有建筑物及河道地形条件等诸多因

素制约，导致新建过船设施通航条件复杂，而船闸引航道口门区及连接段通航水流条件的好坏直接影响到船舶进出船闸的安全^[1-5]。

七星墩枢纽位于广东省乳源瑶族自治县境内武水干流，现阶段未设置过船设施，随着北江航

道扩能升级上延(武江长来—桂头段)工程的开展, 七星墩枢纽需增建1 000吨级船闸。由于七星墩枢纽上游400 m存在江心洲将河道分为左右两汊, 新建船闸平面布置受原有建筑物及河道条件制约^[6], 上游引航道口门区及连接段布置困难, 通航水流条件较难满足规范要求, 笔者通过整体水工物理模型+自航船模试验, 研究了七星墩枢纽新建船闸上游引航道口门区及连接段平面布置方案。

1 工程概况

1.1 河道概况

武江主流在广东境内比降较陡(平均比降为1.27‰)、流速大、洪水传播时间快, 流域地势高峻、植被较好、河流含沙量较少, 是弯曲型的山区河流。乐昌峡河段位于武江中游坪石镇与乐昌之间。峡谷段自罗家渡至张滩, 全长41 km, 天然落差54 m, 平均坡降为1.31‰。乐昌峡河段属V形峡谷河段, 河道曲折, 河面狭窄, 两岸沟壑纵横, 且河道切割较深, 滩多水急有“九泷十八滩”之称。乐昌—韶关河段较平缓、开阔, 比降0.59‰。武江上游径流受降水影响, 具有明显的夏雨型特征^[7]。

1.2 枢纽概况

七星墩水电站是韶关市武水梯级规划的6个梯级中的第5级, 枢纽是以发电为主、兼顾航运的综合利用水电工程, 水库正常蓄水位75.82 m, 相应库容830万m³, 校核洪水位77.04 m, 总库容1 320万m³, 电站为低水头径流式电站, 不承担防洪任务, 未设防洪库容, 七星墩枢纽电站现状挡水建筑物由左岸土坝、右岸土坝、混凝土连接段、泄水闸、发电厂房等组成, 见图1。坝顶高程为79.12 m。

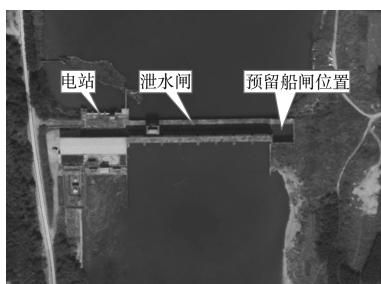


图1 七星墩枢纽布置

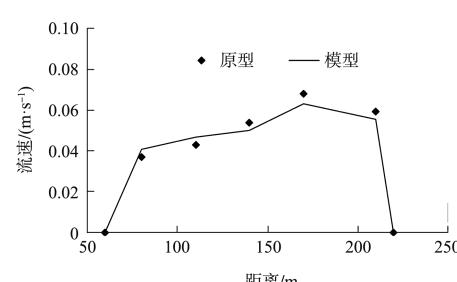
2 模型设计及验证

枢纽所在位置河道微弯, 上游为分汊河段, 枢纽下游300 m右岸为银溪水电站, 根据河床形态、地形特点, 同时为保证模型的几何相似和水流运动相似, 采用整体定床正态模型, 选用1:100的模型比尺, 按重力相似准则进行模型设计。模型模拟范围上游在江心洲分汊河段以上, 下游至枢纽下游约4.2 km弯道以下。

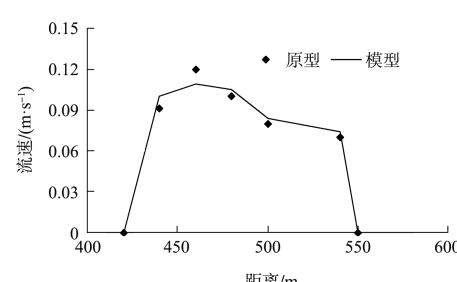
根据实测资料, 模型进行了133、396、956 m³/s共3个流量级的水位及断面流速验证。验证结果表明, 沿程测点的模型水位与天然水位差均在0.1 m以内(表1), 各测流断面流速分布与原型基本一致, 流量偏差在5%以内(图2), 验证结果满足相关规范要求。

表1 沿程水位模型与实测偏差值

断面	水位差/m		
	$Q=133 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q=396 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q=956 \text{ m}^3/\text{s}$
S6	0.01	0.03	-0.07
S7L	0.03	0.02	0.03
S7R	0.02	0.04	-0.05
S8L	0.03	-0.06	-0.05
S8R	0.07	-0.04	0.02
S9	-0.01	0.01	0.01



a) $Q=133 \text{ m}^3/\text{s}$, Q5左汊



b) $Q=133 \text{ m}^3/\text{s}$, Q5右汊

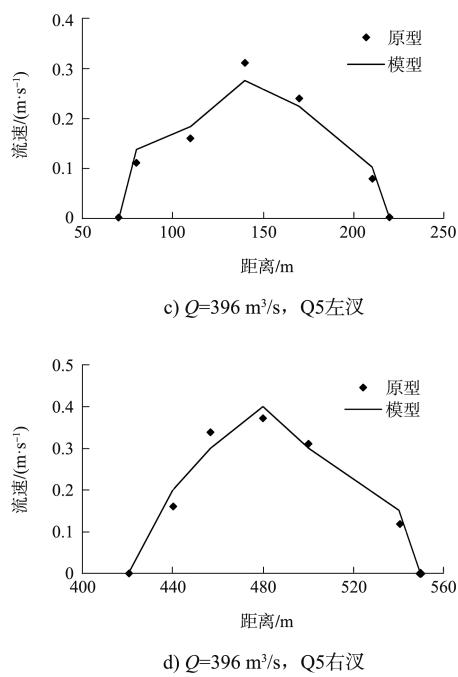


图 2 上游江心洲流速分布验证

3 方案 1

3.1 设计方案 1 试验

设计方案 1 新建船闸布置于左岸阶地, 上游引航道直线段长 306 m、底宽 55 m、口门区宽 72 m。枢纽上游江心洲将河道分为两汊, 主航道由左汊与船闸引航道相接。引航道口门段与主航道通过弯道衔接, 弯曲半径 330 m、转角 14°, 见图 3。



图 3 设计方案 1 船闸上游工程布置

试验对上游引航道口门区及连接段通航水流条件进行研究, 试验工况分别选取 $277 \text{ m}^3/\text{s}$ (电站满发)、 $800 \text{ m}^3/\text{s}$ (电站、泄洪闸联合调度)及 $1200 \text{ m}^3/\text{s}$

(工程河段通航限制流量)。试验结果表明: 1)当 $Q \leq 277 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 库区内基本为静水状态, 口门区及连接段航道流速在 0.35 m/s 以下, 横流强度基本小于 0.1 m/s , 通航水流条件优良, 随着上游来流量的增加, 库区内流速逐渐加大。2) $Q = 1200 \text{ m}^3/\text{s}$ 时(图 4), 口门区段航道流速在 $0.9 \sim 1.2 \text{ m/s}$, 受左汊水流向泄水闸汇入影响, 口门区附近水流与航道存在约 28° 的交角, 导致口门区航道右侧边缘最大横向流速分量为 0.42 m/s , 其他位置基本小于 0.3 m/s ; 连接段航道, 江心洲上游分汊口附近, 由于左侧河岸凸出, 对水流产生一定挤压, 加之该段航道布置较为弯曲, 水流与航线夹角在 33° 左右, 导致弯道段约 170 m 范围内横向流速较大, 局部横向流速分量达到 0.7 m/s , 水流条件较差, 船模试验表明, 该流量级上、下行船舶均无法安全通过该区域。

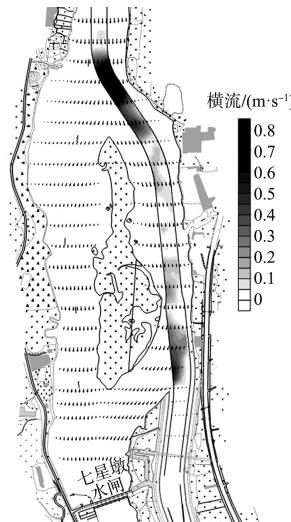


图 4 设计方案 1 横向流速分布

从水流条件试验及船模试验均可看出, 设计方案 1 存在以下问题: 1) 口门区航道右侧横向流速略有超标, 船舶经过该区域时漂角较大; 2) 连接段末端航道水流与航道交角较大, 导致横向流速过大, 加之航道转弯半径较小, 船舶操纵困难, 上、下行船舶无法安全通过。

3.2 修改方案 1 试验

针对设计方案 1 存在的问题进行修改: 1) 修整上游江心洲, 特别是江心洲洲尾左缘; 2) 江心洲上游左岸切滩, 并根据水流方向调整航线。

枢纽上游江心洲修整, 特别是江心洲洲尾左缘开挖后, 各级流量下船闸上引航道口门区附近流速均有所减小, $Q=1\,200\text{ m}^3/\text{s}$ 时(图 5), 上游口门区流速由 $0.9\sim1.2\text{ m/s}$ 减小至 $0.6\sim0.9\text{ m/s}$, 口门区最大横向流速分量 0.34 m/s , 出现在口门区航道右侧边缘, 其他位置均小于 0.30 m/s ; 江心洲上游分汊口附近, 切滩及航线调整后, 最大横向流速分量由原来的 0.70 m/s 减小至 0.38 m/s , 通航水流条件明显改善。船模试验表明, 船舶进出船闸上游口门区及通过江心洲上游分汊口河段均比较顺利, 最大舵角 18.4° , 最大漂角 -8.7° 。

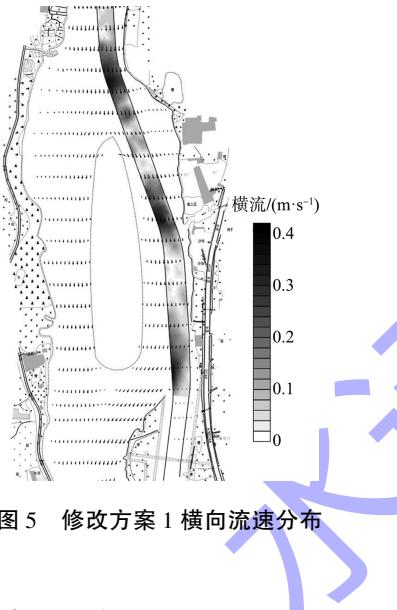


图 5 修改方案 1 横向流速分布

4 方案 2

4.1 设计方案 2 试验

为减少征地, 方案 2 船闸上游引航道尽量靠近泄洪闸布置, 挖除上游江心洲, 船闸上游口门区及连接段布置在原江心洲位置, 利用疏浚土回填左岸侧边滩, 见图 6。

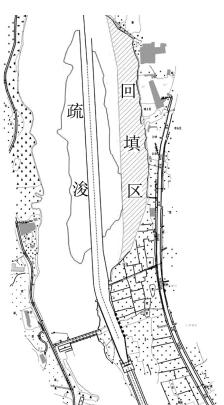


图 6 设计方案 2 船闸上游工程布置

该平面布置方案, 船闸上游口门区距离泄洪闸较近, 受泄洪闸泄流影响, 枢纽上游左岸侧水流以较大角度斜穿口门区向泄洪闸收缩, 口门区水流与航线交角在 30° 左右, $Q=1\,200\text{ m}^3/\text{s}$ 时(图 7), 口门区堤头以上 $20\sim80\text{ m}$ 航中线右侧区域最大横向流速分量超过 0.5 m/s (流速 $0.7\sim0.9\text{ m/s}$), 通航水流条件较差。分析其原因, 上游江心洲开挖后, 枢纽上游整体河势呈反“S”形, 虽然左岸侧进行了回填, 但由于船闸上游口门区及连接段距离左岸侧较远, 航道左侧水流仍在口门区堤头 $0\sim50\text{ m}$ 位置集中斜穿口门区, 导致新建船闸上游口门区局部横向流速过大, 通航水流条件较差。

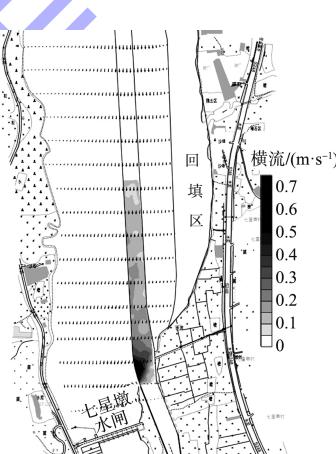


图 7 设计方案 2 横向流速分布

4.2 改善上游口门区通航水流条件试验

针对设计方案 2 存在的问题, 进行改善上游口门区通航水流条件的试验。

1) F2-1。①引航道堤头上游约 400 m 左岸侧布置 1 条丁坝, 坎长 55 m ; ②口门区左侧布置 2 个导流墩, 导流墩长度 20 m 、间距 8 m 。

2) F2-2。①上游左岸侧边滩不回填; ②引航道堤头上游约 320 m 左岸侧布置 1 条正挑丁坝, 坎长 118 m , 坎头距航道 44 m ; ③口门区左侧布置 2 个导流墩, 导流墩长度 20 m 、间距 8 m 。

图 8 为 $1\,200\text{ m}^3/\text{s}$ 两方案船闸上引航道口门区横向流速分布。从图 8 可以看出, 左岸侧增加丁坝后, 左岸侧水流在丁坝挑流作用下开始向航道内扩散, 加之口门区右岸侧导流墩作用, 水流不

再集中斜穿口门区，口门区局部横向流速过大问题得到解决；两方案相比较，F2-2 左岸侧不回填，同流量级上游库区内流速更小，相应横向流速分量小于 F2-1，整治效果更优，口门区及连接段最大横向流速分量小于 0.3 m/s，船模可顺利进出口门区及连接段。

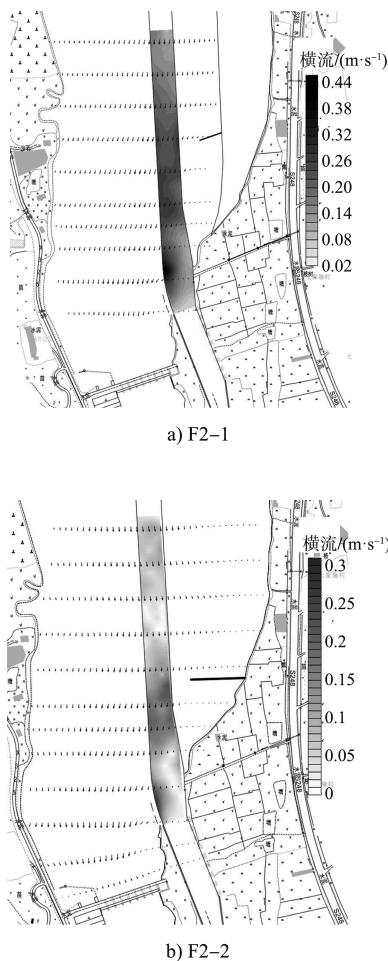


图 8 横向流速分布

通过改善试验可以看出，当船闸布置离岸较远、水流集中斜穿口门区时，利用丁坝挑流提前分散水流，对改善口门区通航水流条件效果明显。

5 结论

1) 七星墩枢纽位于分汊河段下游约 400 m，拟

建船闸位于左岸侧凸岸边滩，受现有枢纽布置及上游江心洲影响，船闸上游引航道口门区及连接段通航水流条件较差。

2) 方案 1 通过扩大口门区附近过流面积(开挖江心洲洲尾左缘)、切滩及根据水流走向调整航线等措施，有效改善了通航水流条件，但上引航道征地较多。

3) 方案 2 挖除上游江心洲、船闸上引航道靠近泄洪闸布置，征地较少，通过增加丁坝挑流及导流墩等工程措施有效解决了水流集中斜穿口门区导致横向流速过大问题，各级通航流量下船闸上游口门区及连接段水力指标满足规范要求。

4) 当船闸布置离岸较远、水流集中斜穿口门区时，在上游布置丁坝挑流提前分散水流，对改善船闸上游口门区通航水流条件效果显著。

参考文献：

- [1] 宇武, 姜兴良. 红花二线船闸平面布置方案[J]. 水运工程, 2017(9): 165-170.
- [2] 刘俊涛, 庞雪松, 潘荣友. 长洲枢纽三线四线船闸平面布置研究[J]. 水道港口, 2013, 34(1): 66-72.
- [3] 杨峰, 普晓刚, 金辉, 等. 洪江枢纽扩建船闸下游通航条件试验研究[J]. 水道港口, 2021, 42(1): 84-88.
- [4] 李艳, 张绪进, 刘洋, 等. 韩江南溪新建船闸通航水流条件试验研究[J]. 水道港口, 2020, 41(5): 585-589, 618.
- [5] 刘达, 黄本胜, 邱静, 等. 飞来峡水利枢纽新建二、三线船闸通航水流条件的试验研究[J]. 水利水电技术, 2015, 46(12): 58-60.
- [6] 李君涛, 冯小香, 王鑫. 分汊河段船闸扩建对已有建筑物运行影响及改善技术研究[J]. 水资源与水工程学报, 2020, 31(2): 129-133, 141.
- [7] 陈斯伦, 朱维科. 武江“2006·07”洪水的分析与研究[J]. 水文, 2013, 33(1): 94-96.

(本文编辑 武亚庆)