



青山枢纽改造工程整体布置方案

刘 领¹, 王 能², 林志远³, 江诗群^{3,4}, 程永舟^{3,4}

- (1. 湖南省湘水集团有限公司, 湖南长沙 410000;
2. 湖南省交通规划勘察设计院有限公司, 湖南长沙 410008;
3. 长沙理工大学 水利工程学院, 湖南长沙 410114;
4. 水沙科学与水灾害防治湖南省重点实验室, 湖南长沙 410114)

摘要: 澄水青山枢纽改造工程主要是在左汊拆除原有建筑物后新建船闸和挡泄水建筑物。针对青山枢纽改造工程整体布置方案中涉及的枢纽泄洪能力、通航问题, 研究了枢纽整体布置、泄洪能力和船闸口门区通航条件。采用整体物理模型试验, 对比分析枢纽现状及设计方案的泄流能力、口门区水流通航条件, 优化了原设计方案。得出结果: 枢纽泄流能力与现状接近, 将左汊主流偏向中右部位, 改善船闸口门区通航水流条件。推荐方案是: 拆除原左汊建筑物并将轴线下移 300 m, 新建 11 孔泄水闸, 减少 1 孔泄水闸孔改为连接坝段、左侧 2 孔泄水闸改为 2 孔溢流坝。该方案可行, 口门区通航条件明显改善。

关键词: 枢纽; 整体布置; 泄流能力; 口门区; 通航条件; 物理模型

中图分类号: U 641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)04-0126-07

General layout scheme of the Qingshan hydro-junction reconstruction project

LIU Ling¹, WANG Neng², LIN Zhi-yuan³, JIANG Shi-qun^{3,4}, CHENG Yong-zhou^{3,4}

(1. Hunan Provincial Xiangshui Group Co., Ltd., Changsha 410000, China;

2. Hunan Provincial Communications Planning, Survey & Design Institute Co., Ltd., Changsha 410008, China;

3. School of Hydraulic and Environmental Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China;

4. Key Laboratory of Water-Sediment Sciences and Water Disaster Prevention of Hunan Province, Changsha 410114, China)

Abstract: The Qingshan hydro-junction reconstruction project on the Lishui River is mainly to build ship locks and structures for water retaining and discharge after demolishing the original buildings on the left branch. To tackle the problems in flood discharge capacity and navigation of the hydro-junction involved in the general layout plan of the Qingshan hydro-junction reconstruction project, the paper studies the general layout and flood discharge capacity of the hydro-junction and the navigation conditions of the entrance area in the ship lock. A general physical model is adopted for tests, and a comparative analysis is carried out on the discharge capacity and navigation conditions of the current situation and the design scheme of the hydro-junction. In this way, the original design scheme is optimized. The results show that the discharge capacity of the hydro-junction is close to the current situation; when the main flow of the left branch deflects to the middle and right part, the navigation flow conditions in the entrance area of the ship lock are improved. Therefore, we recommend demolishing the original left branch buildings, moving the axis down 300 m, building a sluice with eleven holes, reducing one-hole sluices to connect the

dam section, and changing the left two-hole sluice to a two-hole spillway dam. The recommended scheme is feasible, and the navigation conditions in the entrance area are significantly improved.

Keywords: junction; general layout; discharge capacity; entrance area; navigation condition; physical model

泄水建筑物是水利枢纽工程的重要组成部分,其泄流能力和结构布置对工程中其他水工建筑物的安全使用起着十分重要的作用。胡旭跃等^[1]对水利枢纽引航道及口门区通航水流条件进行了研究,阐述了引航道及口门区水流条件的影响因素。李君涛等^[2]为论证和优化汉江雅口拟建航运枢纽总体布置,对枢纽泄流能力进行了试验研究。刘达等^[3]基于整体定床模型试验,对飞来峡水利枢纽船闸通航水流条件进行试验研究。邬年华等^[4]基于物理模型试验对峡江水利枢纽引航道口门区水流条件进行试验研究,并给出了结构优化布置方案。杨文浩等^[5]通过整体定床物理模型试验,对白石窑水利枢纽引航道布置及通航水流条件进行研究,并给出了修改方案。本文对青山枢纽改建工程进行整体物理模型试验研究,对比分析枢纽现状及设计方案的泄流能力、上游口门区水流通航条件变化,提出改造布置优化方案。

1 工程概况

青山枢纽位于湖南省常德市澧县境内,建于20世纪60年代,为日调节水库,是一个以提水灌溉为主,兼顾航运、发电等综合利用的水利工程。澧水在枢纽上游约1.5 km分为两汊,右汊为澧水干流,左汊绕至临澧县新安镇,转向东南向,于芭茅渡与右汊汇合,两汊之间为洞子坪洲。青山枢纽坝址控制流域面积15 415 km²,多年平均径流量485 m³/s,水库正常蓄水位48.20 m(1985国家高程系统)。见图1。

青山枢纽处澧水右汊河道向右弯曲,右汊主坝址处河宽约600 m,从右至左主要建筑物为水泵站、100吨级船闸(已废弃)、青山电站1(旁侧

引水)、中加电站、副坝、20×13 m泄水闸和青山电站2。



图1 青山枢纽现状

青山枢纽左汊坝址段河道较为顺直,河宽约430 m,从左至右主要建筑物为滚水坝、12孔泄水闸、滚水坝。滚水坝采用挑流方式消能;12孔泄水闸净宽96 m(12×8 m);青山枢纽右汊原船闸为VI级船闸,由于枢纽的上下水位不衔接,船闸过船设施简陋、标准低,维护和管理跟不上,已造成青山船闸事实上的断航。

青山枢纽改造工程保持右汊建筑物不变,拆除左汊现有建筑物,新建1 000吨级船闸和泄挡水建筑物。本研究通过整体模型试验研究枢纽整体布置方案,要求改建后泄流能力不低于改造前,且能够满足船舶通航要求。

2 物理模型

2.1 模型设计

基于几何相似、重力相似等准则,结合试验场地大小、模型最小水深要求等,物理模型几何相似采用1:110正态比尺,水尺布置及左汊枢纽布置见图2、3。

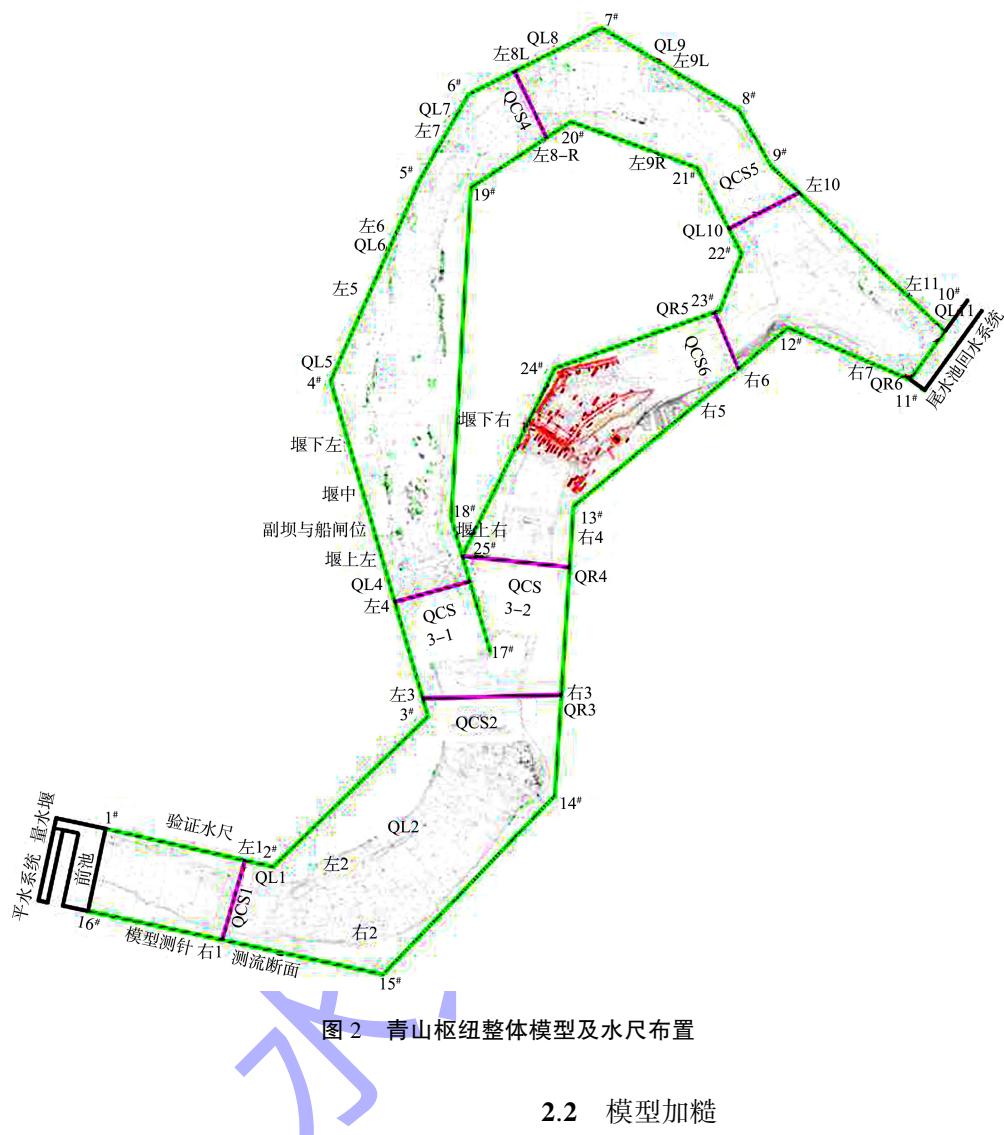


图2 壶山水枢纽整体模型及水尺布置

2.2 模型加精

根据实测枢纽河段沿程水位及流量资料, 通过计算可知枢纽河段综合糙率为 $0.031 \sim 0.068$, 其中上游河段综合糙率大于下游河段、枯水期大于洪水期。

由于枢纽河段综合糙率为 $0.031\sim0.068$ ，根据糙率比尺 $\lambda_n=2.189$ 可知，物理模型综合糙率为 $0.014\sim0.031$ 。

2.3 模型验证

2.3.1 水面线验证

经过对模型配糙反复调整后，实测3级流量枯水 $136\text{ m}^3/\text{s}$ 、中水 $822\text{ m}^3/\text{s}$ 、洪水 $4\,631\text{ m}^3/\text{s}$ 条件下水面线，模型中水水位水面线(左汊)与原型水面线对比验证结果见图4。

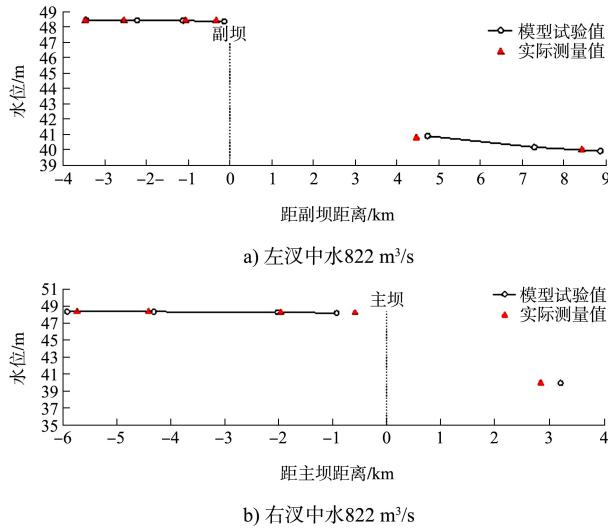
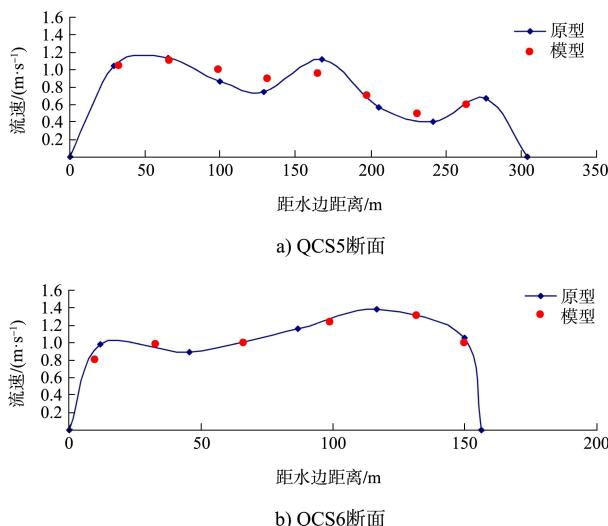


图4 中水水位验证结果

模型沿程水位与实测水位基本一致,模型水位与原型水位的偏差均在规程规定的山区河流模型允许偏差 0.10 m 以内,满足模型与原型阻力相似基本要求。

2.3.2 断面流速验证

为了保证模型与原型水流运动相似,模型制作完成后根据实际断面流速分布资料进行典型断面流速分布验证。由于枯水 $Q=136 \text{ m}^3/\text{s}$ 时原型观测流速均小于 0.15 m/s ,模型流速小于 1.43 cm/s ,流速仪已无法测量,因此只对中水 $Q=822 \text{ m}^3/\text{s}$ 、洪水 $Q=4631 \text{ m}^3/\text{s}$ 两级流量的断面流速分布进行验证。原型观测断面较多,验证时选取左汊 QCS5、右汊 QCS6 两个典型断面进行验证,中水条件验证结果见图 5。

图5 中水 $Q=822 \text{ m}^3/\text{s}$ 断面流速分布验证结果

由模型断面流速分布与原型实测断面流速分布对比可以看出,模型两级流量情况下断面流速分布形态与原型相似,流速最大偏差绝对值不超过 15% ,满足试验规程相关要求。

2.3.3 分流比验证

在进行断面流速分布验证时,观测分流前 QCS2、左汊 QCS5、右汊 QCS6 共 3 个典型断面流速;通过计算断面流量,断面 QCS2 总流量、左汊 QCS5 流量、右汊 QCS6 流量与原型值进行验证。验证结果表明,模型洪、中水期汊道分流比与原型接近,左汊流量偏差绝对值分别为 2.56% 和 1.58% ,小于规程规定的 5% ,满足试验规程相关要求。

3 整体模型试验工况与方案

3.1 试验工况

由于枢纽河段两岸大堤高程为 $54\sim55 \text{ m}$,因此,整体模型试验最大流量只能做到 50 a 一遇洪水。整体模型泄流能力试验工况见表 1。

表1 泄流能力试验工况

| 工况 | 洪水频率/% | 流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$ |
|----|--------|--|
| 1 | 50 | 8 910 |
| 2 | 20 | 12 100 |
| 3 | 10 | 14 200 |
| 4 | 3.33 | 17 600 |
| 5 | 2 | 19 100 |

3.2 研究方案

该工程主要是改建左汊副坝建筑物及新建船闸,船闸、泄洪建筑改造后,调整了副坝各建筑物的布置,所涉及到的主要问题如下:1)新建泄水建筑物泄流能力;2)施工导流;3)船闸上引航道进口通航水流条件。该工程中主要改造对象为左汊,右汊在原有的基础上进行维护,不做大的改动,因此以上所涉及的工程问题主要在左汊。

基于所涉及的主要问题,进行了枢纽现状、设计方案、优化方案 1、优化方案 2 共 4 种工况下的枢纽泄流能力试验,分析比较各方案的优缺点,并给出最优布置方案。

1)设计方案枢纽布置。拆除左汊原有副坝,坝轴线下移约 300 m ,新建船闸 1 座 13 孔泄水闸。

设计方案自左至右建筑物分别为左岸接岸建筑物、船闸和泄水闸，船闸规模为 $220\text{ m} \times 34\text{ m} \times 4.5\text{ m}$ ，泄水闸每孔净宽 16 m 、堰顶高程 42.0 m 、闸墩厚 2.5 m 、净泄流宽度 208 m 。同时，设计方案对左汊副坝下游开挖到高程 38.0 m ；航道设计宽度 60 m ，下游航道范围内高程高于 37.0 m 的范围开挖到 37.0 m 高程，拆除左汊漫水桥。

2) 优化方案 1。坝左侧 2 孔泄水闸改为 2 孔溢流坝(堰顶高程 51.8 m ，要求在最大通航流量 $14200\text{ m}^3/\text{s}$ 以下不溢流)，同时泄水闸上游开挖到 41.0 m 高程(泄水闸上游由 38.0 m 高程按照 $1:20$ 过渡到 41.0 m)。上游导航墙头部加长 34 m ，并向河侧外挑 7° ，在设计方案隔流墩的基础上增加 3 个隔流墩，隔流墩长度与原设计一样为 20 m ，将隔流墩间距由原来的 20 m 缩小至 10 m 。其主要目的是使枢纽泄流能力与现状接近、同时将左汊主流偏向左汊的中右部位，改善船闸口门区通航水流条件。

3) 优化方案 2。在优化方案 1 的基础上，右汊坝上游 2000 m 范围河底高程疏浚至 43 m ，减少 1 孔泄水闸，即泄水闸左侧第 1 孔改为连接坝段，进一步改善通航水流条件。

4 试验结果分析

4.1 水面线对比与分析

为综合比较分析工程前后及各方案泄流能力情况，对各方案上游水面线及变化趋势进行对比分析。设计方案、优化方案 1、优化方案 2 在各级特征洪水时，模型试验范围河段上游水面线均下降，图 6 为各方案上游水面线对比。

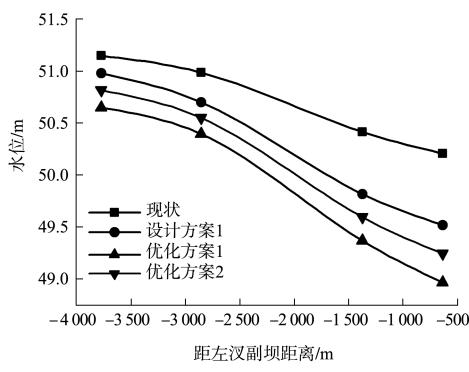
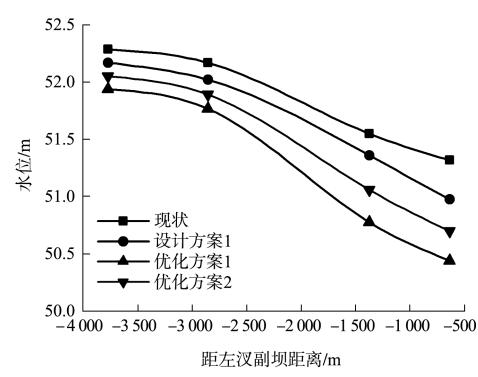
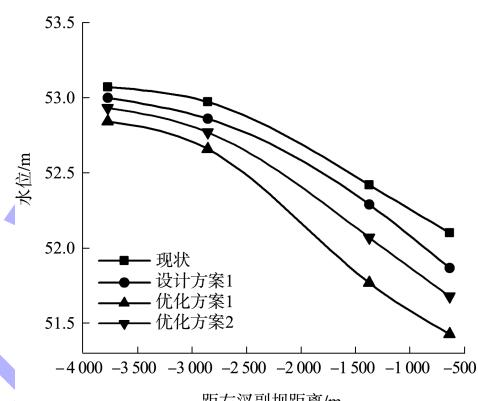
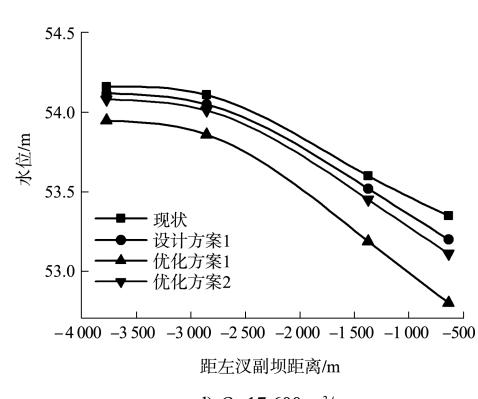
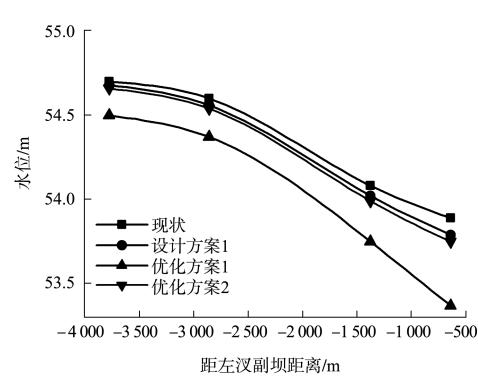
a) $Q=8910\text{ m}^3/\text{s}$ b) $Q=12100\text{ m}^3/\text{s}$ c) $Q=14200\text{ m}^3/\text{s}$ d) $Q=17600\text{ m}^3/\text{s}$ e) $Q=19100\text{ m}^3/\text{s}$

图 6 上游水面线对比

分析各方案在各级特征洪水时上游水面线情况可知:

1)各方案模型试验范围上游河段水位与现状相比均下降,说明各方案左汊泄流能力均大于现状左汊泄流能力,其中设计方案泄流能力最大,其次为优化方案2。

2)随着流量增大,与现状相比,模型试验范围上游河段水位下降值减小,在设计洪水流量 $19\ 100\ m^3/s$ 时,优化方案1、优化方案2泄流能力只稍大于现状泄流能力。主要原因是现状副坝泄水建筑物由泄水闸与滚水坝组成,在总泄流宽度中滚水坝占72.4%,流量相对较小时,滚水坝堰上水头较小、泄流能力小(泄流能力与堰上水头为1.5次方关系)。因此,改造方案全部设计为泄水闸方案后,在流量相对较小情况下其泄流能力远大于现状泄流能力、水位下降较大。

4.2 上游口门区通航条件对比与分析

4.2.1 原设计方案通航条件

2 a一遇洪水 $Q=8\ 910\ m^3/s$ 情况下,上游引航道口门区纵向流速最大不超过 $1.5\ m/s$,大部分水域横向流速不超过 $0.3\ m/s$,仅在口门上游约 $100\ m$ 范围近引航道右边线,局部横向流速较大,最大约 $0.45\ m/s$;存在一定安全隐患(图7)。

流量 $Q=12\ 100\ m^3/s$ 下,口门区纵向流速最大值 $1.8\ m/s$ 、横向流速超过 $0.3\ m/s$,存在安全隐患。上游连接段纵向流速最大不超过 $1.94\ m/s$,满足通航水流条件要求。

对应10 a一遇洪水 $Q=14\ 200\ m^3/s$ 情况,上游引航道口门区纵向流速最大约 $1.8\ m/s$,大部分水域横向流速不超过 $0.3\ m/s$,在口门上游约 $180\ m$ 范围近引航道右边线,局部横向流速较大,最大可达 $0.55\ m/s$ 。上游连接段纵向流速最大不超过 $2.01\ m/s$,满足通航水流条件要求。

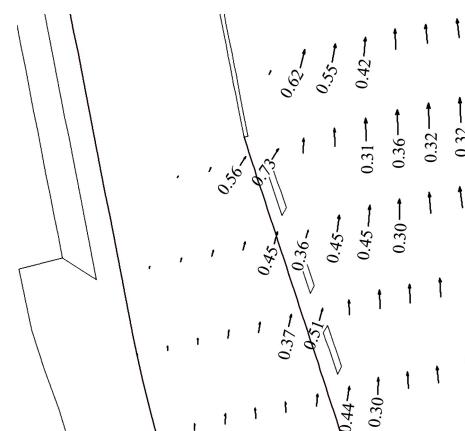


图7 $Q=8\ 910\ m^3/s$ 时上引航道口门区局部横流(单位: m/s)

4.2.2 优化方案通航条件

4.2.2.1 优化方案1

$Q=8\ 910\ m^3/s$ 条件下,上游引航道口门区纵向流速最大不超过 $1.5\ m/s$,大部分横向流速不超过 $0.3\ m/s$;在口门上游约 $150\sim250\ m$ 范围近引航道右边线,局部横向流速较大,流速约为 $0.35\ m/s$ 。 $Q=14\ 200\ m^3/s$ 条件下,上游引航道口门区纵向流速最大约 $1.8\ m/s$,大部分水域横向流速不超过 $0.3\ m/s$;在口门上游约 $180\ m$ 范围近引航道右边线,局部横向流速较大,约为 $0.4\ m/s$ 。可见两级流量下,仅在引航道右边线附近局部横向流速超过 $0.3\ m/s$,满足航行要求,且优于设计方案。见图8。

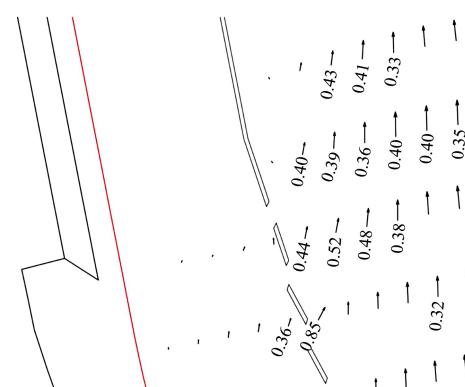


图8 $Q=8\ 910\ m^3/s$ 时优化方案1口门区局部横流(单位: m/s)

4.2.2.2 优化方案2

$Q=8\ 910\ m^3/s$ 条件下,上游引航道口门区纵

向流速不超过 1.2 m/s，大部分横向流速不超过 0.2 m/s，在口门上游约 150~250 m 范围近引航道右边线，局部横向流速较大，约为 0.25 m/s； $Q=14\,200\text{ m}^3/\text{s}$ 条件下，上游引航道口门区纵向流速最大约 1.4 m/s，大部分水域横向流速不超过 0.25 m/s，在口门上游约 180 m 范围近引航道右边线，局部横向流速较大，最大约 0.3 m/s。可见两级流量下，仅在引航道右边线附近局部横向流速超过 0.3 m/s。满足航行要求，且优于设计方案和优化方案 1。见图 9。

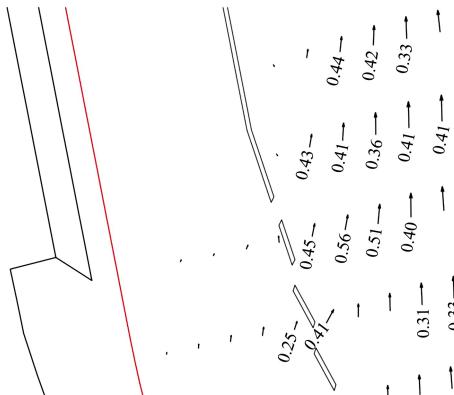


图 9 $Q=8\,910\text{ m}^3/\text{s}$ 时优化方案 2 口门区局部横流 (单位: m/s)

5 结论

1) 各方案左汊泄流能力，在 2 a 一遇洪水至 50 a 一遇洪水期，均大于现状左汊泄流能力。在流量相对较小时，各方案左汊泄流能力与现状左

(上接第 115 页)

3) 船闸上闸首廊道进口采用横支廊道顶支孔布置，进水条件良好，在最大流量前后进水口偶见少量表面旋转水流，但未形成有害串气漩涡，不影响正常运行。出水口水流水平扩散良好，无回漩现象。

参考文献：

- [1] 南京水利科学研究院. 船闸输水系统设计规范: JTJ 306—2001[S]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [2] 刘本芹, 徐新敏, 宣国祥. 颐江三溪口船闸输水系统布置及水力学模型试验 [J]. 水运工程, 2013(8): 115-120.

汊泄流能力差异较大，随着流量增大，在设计洪水量 $19\,100\text{ m}^3/\text{s}$ 时，优化方案 1、优化方案 2 泄流能力只稍大于现状泄流能力。

2) 设计方案泄流能力虽大于优化方案，但设计方案施工成本较高，口门区通航条件不如优化方案，且优化方案 2 口门区通航条件优于优化方案 1。

3) 综合考虑各种因素，考虑副坝泄水建筑物设计的一致性、施工的方便性，推荐优化方案 2 作为工程改造布置方案。

参考文献：

- [1] 胡旭跃, 李彪, 徐立君. 水利枢纽通航水流条件研究综述 [J]. 水运工程, 2005(11): 59-64.
- [2] 李君涛, 闫涛, 王艳华. 汉江雅口航运枢纽泄流能力试验研究 [J]. 中国港湾建设, 2017, 37(1): 38-41.
- [3] 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.
- [4] 邬年华, 罗优, 丁晶晶, 等. 峡江水利枢纽引航道通航水流条件改善措施试验研究 [J]. 水利与建筑工程学报, 2015, 13(3): 54-59.
- [5] 杨文浩, 费晓昕, 张绪进. 北江白石窑水利枢纽上游引航道布置及通航条件研究 [J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2014, 33(1): 70-74.

(本文编辑 武亚庆)

- [3] 宁武, 李君, 宣国祥, 等. 柳江红花二线船闸输水系统布置与水力学模型试验研究 [J]. 水运工程, 2017(10): 154-159.
- [4] 交通运输部天津水运工程科学研究所. 唐河省界至社旗航运工程(省界至马店段)水台子枢纽物理模型试验研究报告[R]. 天津: 交通运输部天津水运工程科学研究所, 2019.
- [5] 中交水运规划设计院有限公司. 唐河省界至社旗航运工程(省界至马店段)初步设计[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2018.

(本文编辑 郭雪珍)