

# 旺罗水闸布置优化试验研究

付波, 黄智敏, 陆汉柱, 朱红华

(广东省水利水电科学研究院, 广东省水动力学应用研究重点实验室, 广东 广州 510635)

**摘要:** 通过物理模型试验优化了旺罗水闸拦河闸及船闸的体形和布置, 妥善解决了拦河闸下游消能防冲问题, 满足了船闸通航水流条件的要求。试验成果可为类似工程设计提供参考。

**关键词:** 重建工程; 转弯河段; 船闸; 拦河闸; 消能防冲

**中图分类号:** TV66    **文献标志码:** B    **文章编号:** 1008-0112(2014)08-0001-06

## 1 工程概况

旺罗水闸位于鉴江河中上游的高州市南塘镇旺罗村委会境内, 是一座以灌溉为主、兼顾发电及航运的综合利用的大(2)型水利枢纽工程。旺罗水闸闸址以上集雨面积为1 670 km<sup>2</sup>, 河道平均坡降为2.1‰, 实际灌溉面积为0.226万 hm<sup>2</sup>。工程始建于1973年, 经过40多年运行后, 2009年2月旺罗水闸被鉴定为四类闸, 需进行重建。

本重建工程包括拦河水闸、左岸水轮泵站、右岸水轮泵站、电站进水闸和船闸等(见图1)。拦河水闸

设11孔闸, 单孔净宽为12 m, 总净宽为132 m, 闸底板高程为36.0 m, 闸下游采用底流消能。原河床式电站布置于左岸, 安装4台灯泡贯流式机组, 装机容量为1 250 kW, 工程对电站进水闸进行改造。船闸布置于拦河水闸2号孔与3号孔之间, 船闸纵轴线与水道平行布置, 水闸所在河段航道等级为Ⅶ(2)级, 通航船舶吨位为50 t。拦河闸设计正常蓄水位为38.0 m; 设计洪水为50年一遇( $P=2\%$ ), 泄洪流量为3 413 m<sup>3</sup>/s; 校核洪水为200年一遇( $P=0.5\%$ ), 泄洪流量为4 654 m<sup>3</sup>/s。

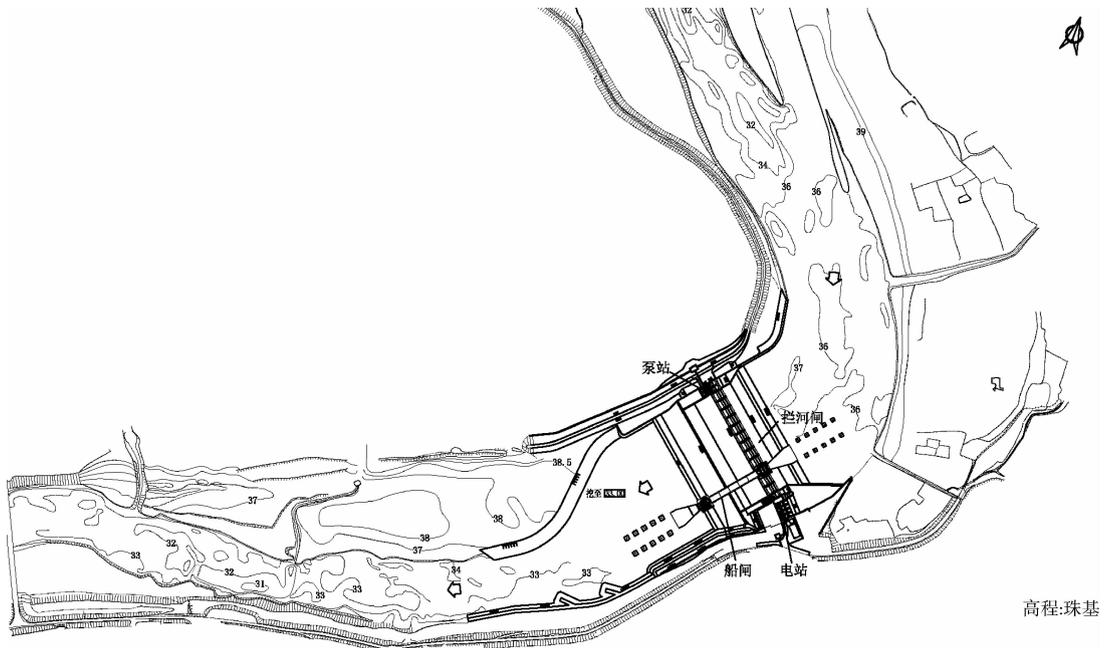


图1 旺罗水闸枢纽布置及河段示意(单位: m)

收稿日期: 2014-01-07; 修回日期: 2014-07-08

作者简介: 付波(1981), 男, 硕士, 工程师, 主要从事水工水力学试验研究。

为论证枢纽工程设计方案的合理性,并为枢纽工程选择最优的建筑物布置形式及体形尺寸,采用水工断面模型研究拦河闸下游消能工体形,采用水工整体模型研究拦河闸、船闸等建筑物各水力特性。由于篇幅限制,本文重点阐述船闸通航试验和拦河闸运行试验的优化过程<sup>[1]</sup>。

## 2 模型设计和制作

### 2.1 模型设计

水工模型按佛汝德重力相似律设计为正态,水工断面模型几何比尺  $L_r = 37$ ; 水工整体模型几何比尺  $L_r = 50$ 。

### 2.2 拦河闸运行方式

1) 当水闸上游水位不超过正常蓄水位 38.0 m 时,水闸关闸挡水,以维持水位,满足水轮泵站及电站运行需要;

2) 当来水流量大于水轮泵站及电站运行需要、闸前水位高于正常蓄水位 38.0 m 时,水闸开闸控泄,闸门开度按来水流量而定,保持上游水位为 38.0 m;

3) 上游来水流量  $Q > 361 \text{ m}^3/\text{s}$  时,闸门全开运行。

## 3 拦河闸下游消能工体形优化试验<sup>[2]</sup>

### 3.1 设计方案试验与分析

方案布置:水闸设有 11 孔闸,单孔净宽为 12 m,总净宽为 132 m,闸底板高程为 36.0 m;闸底板末端以 1:4 坡度与下游消力池相接,消力池水平长度为 19 m,池深为 1.2 m,池末尾坎顶高程为 32.0 m;尾坎末端连接 10 m 长的水平海漫段,然后接 1:20 坡比的斜坡海漫段,斜坡海漫段水平投影长度为 40 m,末端设抛石防冲槽(见图 2)。

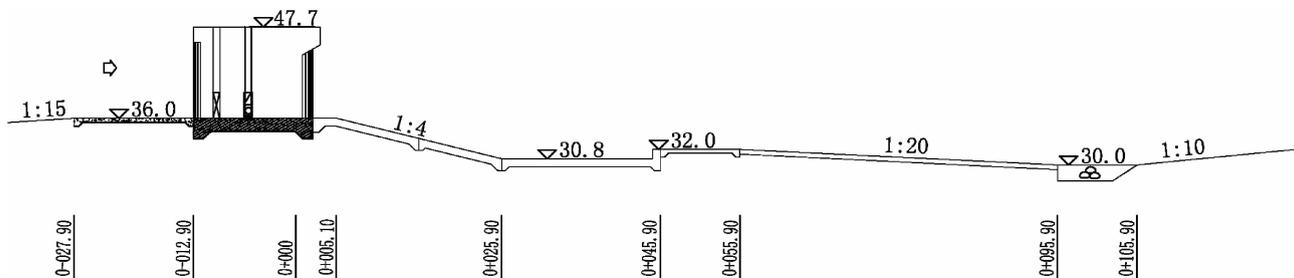


图2 设计方案拦河闸体形布置示意(单位:m)

试验表明:设计方案下游消力池尾坎过高,在闸门开度  $e = 0.2 \text{ m}$  ( $Q = 116 \text{ m}^3/\text{s}$ ) 泄流运行时,出水水流不能与下游河道水流平顺衔接,出水水流形成较明显的跌流,下游海漫段出现急流,急流段流速较大值达约  $4.1 \text{ m/s}$ ,易造成下游海漫段和防冲槽冲刷破坏,因此,需要对设计方案下游消能工进行修改。

### 3.2 推荐方案试验与分析

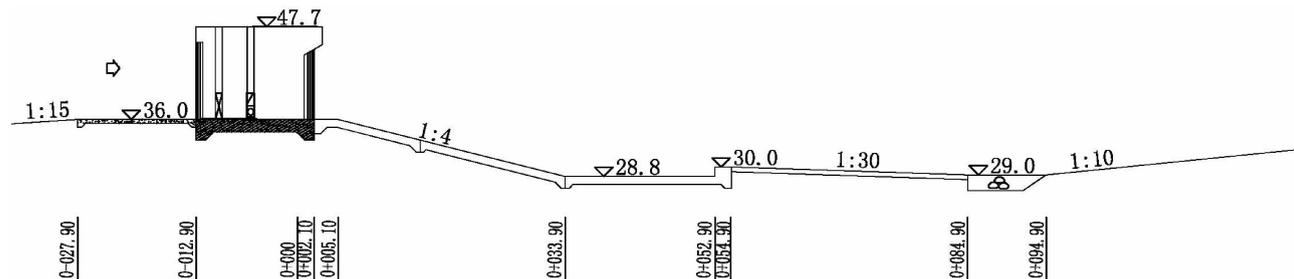


图3 推荐方案拦河闸体形布置示意(单位:m)

试验表明:推荐方案消力池尾坎降低 2 m 后,出水水流与下游河道水流的衔接较平顺,泄流流态较好,消力池内形成较稳定的水跃,满足工程设计的要求。

## 4 船闸通航优化试验<sup>[1]</sup>

本工程船闸级别为 VII 级,船闸最高通航流量为

$1842 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $P = 20\%$ ),对应下游最高通航水位为 41.31 m,上游最高通航水位为 41.4 m。

### 4.1 设计方案试验与分析

#### 4.1.1 方案布置

船闸布置于拦河水闸 2<sup>#</sup> 闸孔与 3<sup>#</sup> 闸孔之间,属于

河中布置且位于直角转弯河道, 船闸主要建筑物从上游至下游依次为上游引航道、上闸首、闸室、下闸首和下闸引航道等。船闸上游引航道长为 117.5 m, 口门区宽度为 25 m, 并于引航道的调顺段及停泊段设置导航墩(导航墩直径为 1 m, 墩顶高程为 43.0 m, 墩间

距为 15 m); 上闸首长为 20 m, 宽为 18 m, 净宽为 8 m; 闸室长为 80 m, 净宽为 8 m; 下闸首长为 19 m, 宽为 18 m, 净宽为 8 m; 下游引航道长为 117.5 m, 口门区宽度为 25 m(见图 4)。

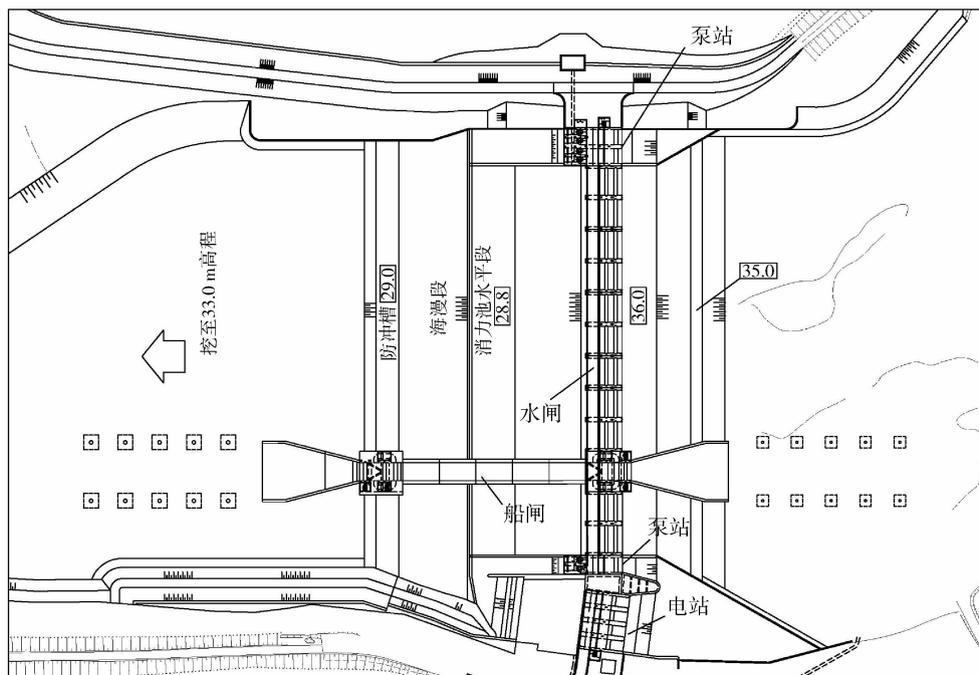


图 4 设计方案船闸布置示意(单位: 高程为 m)

#### 4.1.2 试验成果与分析

为研究船闸上、下游引航道口门区流态, 分别进行了最大通航流量为  $1\ 842\ \text{m}^3/\text{s}$  ( $P=20\%$ ) 和电站单独运行 2 组试验。

上游引航道口门区运行试验表明:

1) 当泄放最大通航流量为  $1\ 842\ \text{m}^3/\text{s}$  ( $P=20\%$ ) 运行时, 船闸上游引航道口门区水流较平顺, 其水流流向与航线呈一定夹角(如图 5 中的 A 点流速分为与航线平行的流速  $V_1$  和与航线垂直的流速  $V_2$ ), 测试的上游引航道导航墩段水面流速约为  $1.3\sim 1.4\ \text{m/s}$ , 其与口门区平行航线的纵向流速  $V_1$  呈约  $10^\circ\sim 15^\circ$  的夹角, 因此, 可得出该区域水面横向流速  $V_2$  约为  $0.23\sim 0.36\ \text{m/s}$ , 不能满足通航要求(见图 5)。

2) 当上游维持正常蓄水位( $Z=38.0\ \text{m}$ )、电站单独运行时, 上游来流流经口门区导航墩时, 测试的上游引航道导航墩段水面流速约为  $0.5\ \text{m/s}$ , 其与口门区平行航线的纵向流速  $V_1$  呈约  $40^\circ\sim 45^\circ$  的夹角, 因此, 可得出该区域水面横向流速  $V_2$  约为  $0.3\sim 0.4\ \text{m/s}$ , 不能满足通航要求。

下游引航道口门区运行试验表明:

在最大通航流量为  $1\ 842\ \text{m}^3/\text{s}$  ( $P=20\%$ ) 泄流运行时, 水闸下泄水流经消力池段消能后, 船闸下游口门区流速已明显减小, 水流流向基本与航线平行, 测试的口门区水面纵向流速  $V < 1.5\ \text{m/s}$ , 无明显的回流出现, 可满足通航要求。

因此, 船闸下游引航道口门区水流流速分布可以满足通航要求, 而船闸上游引航道口门区水流流速分布不能满足通航要求, 需对船闸布置形式进行优化。

#### 4.2 推荐方案试验与分析

##### 4.2.1 优化思路

由设计方案布置可知, 船闸上游导航墩布置形式与弯曲河道水流流向呈一定夹角, 试验从减小船闸航线与水流流向的夹角入手, 考虑将导航墩改为弧形导航墙, 以期改善通航水流条件; 同时, 从船舶安全停靠的角度考虑, 在船闸导航墩内增设隔梁; 再者, 扩挖左岸侧地形, 以减小弧形导航墙两侧水位差, 使得电站进水渠一侧水流入流平稳。

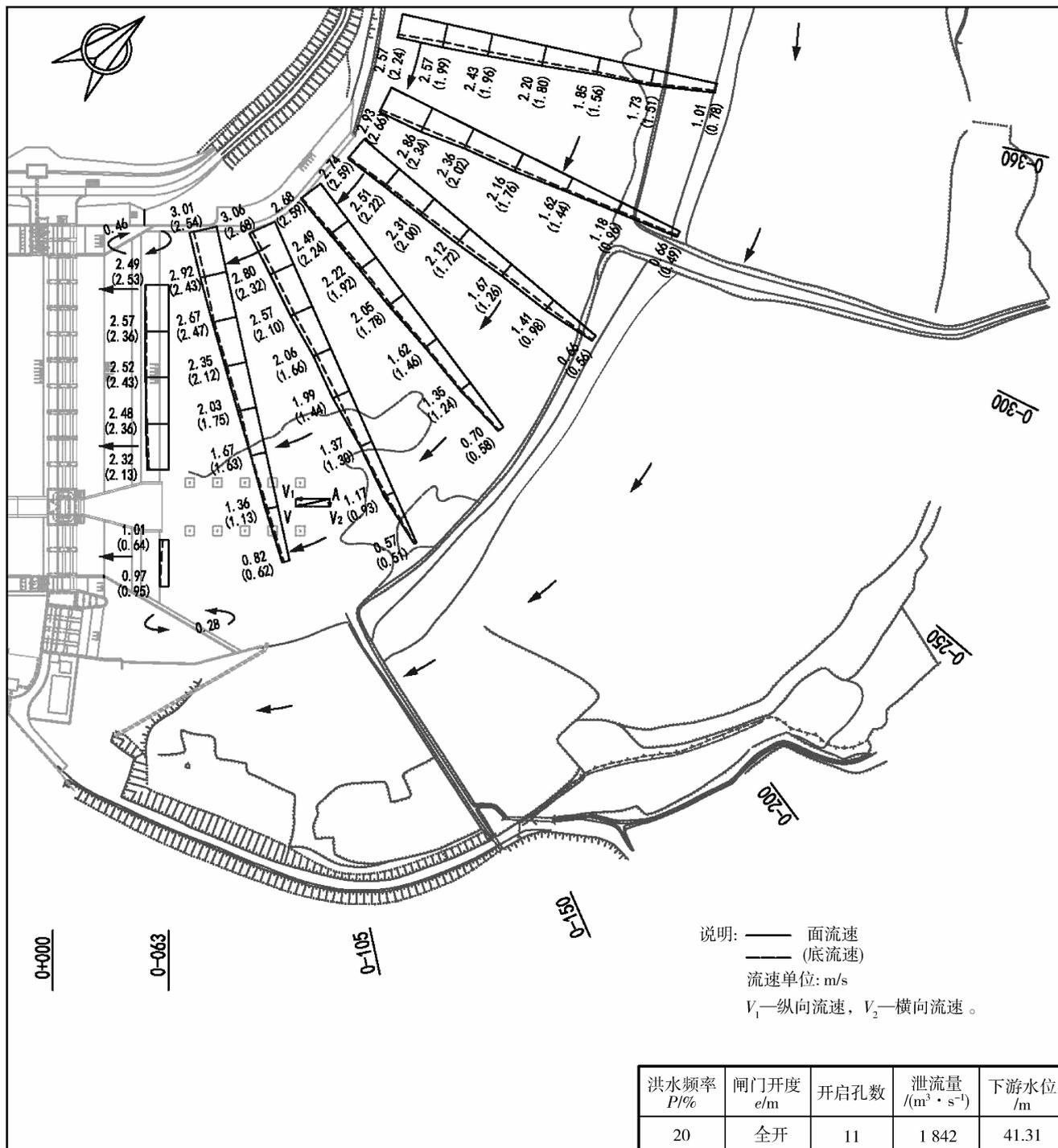


图5 设计方案-上游河道运行流态和流速分布示意

#### 4.2.2 方案布置

经多个修改方案试验比较,形成推荐方案船闸布置:在设计方案船闸布置的基础上,将船闸上游调顺段左侧的导航墩修改为导航墙,导航墙上游端连接60 m长直段导墙和63.1 m长圆弧段导墙,圆弧段下部设置半径 $R=0.5$  m、间距为2.0 m的排水孔,导航墙顶高

程为43.0 m;于船闸上游右侧导航墩内近闸首的3个导航墩内各增加1根隔梁,隔梁为圆柱型、半径 $R=0.4$  m,其圆心轴线高程为41.3 m,隔梁底部设2根立柱支撑;同时,对导航墙左侧河道的河床及二级阶地进行适当开挖,拓宽导航墙左侧河道(见图6)。

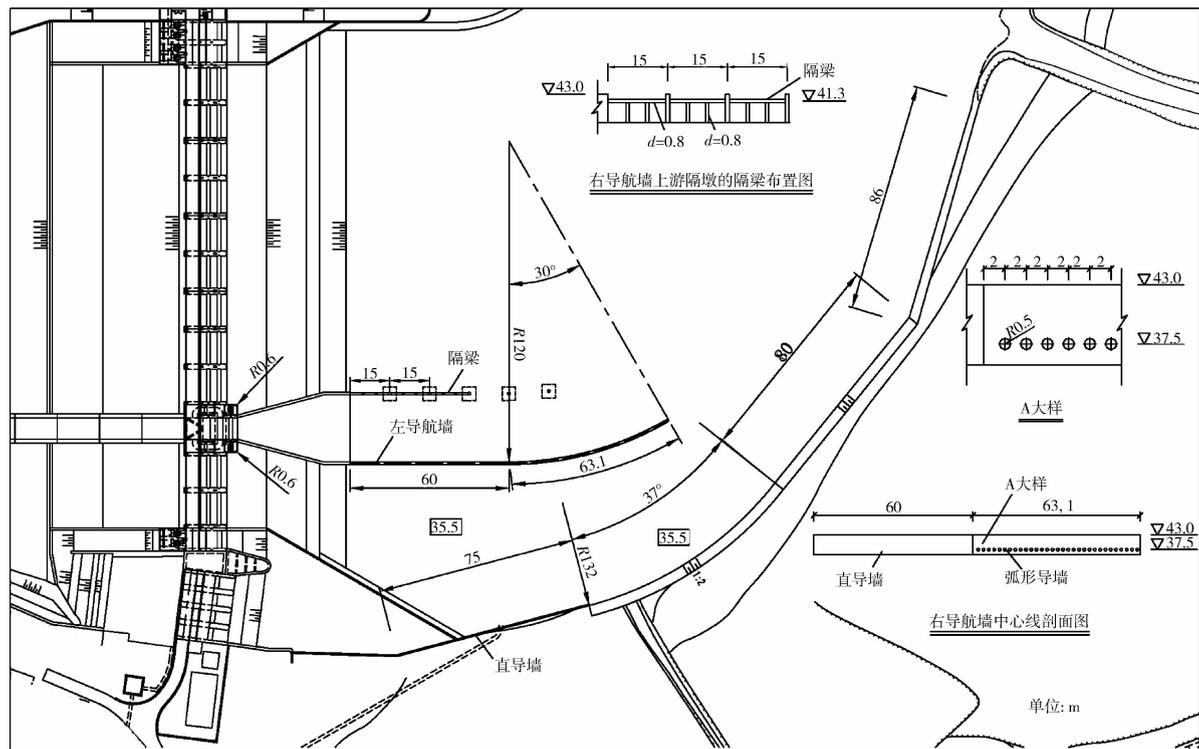


图6 推荐方案船闸上游引航道口门区布置示意

#### 4.2.3 试验成果与分析

在最大通航流量  $1\ 842\ \text{m}^3/\text{s}$  ( $P=20\%$ ) 及以下各级洪水流量运行时, 上游右导航墙头部区域绕流流速降低, 流态改善, 船闸上游引航道口门区及导墙段区域水流流向基本与船闸航线平行, 测试的口门区水流纵向流速  $V_1 < 1.5\ \text{m/s}$ , 横向流速  $V_2 < 0.25\ \text{m/s}$ , 口门区无明显的回流区, 口门区的流态和流速分布可满足安全通航的要求(见图7)。

### 5 拦河闸运行优化试验研究<sup>[1,3]</sup>

#### 5.1 设计方案运行试验

拦河闸下游消能工形体优化后, 将下游消能工形体放入整体模型中进一步试验。当设计方案拦河闸局部开启和全开泄流运行时, 闸上游受天然河道影响形成偏流流态, 但进闸水流仍较平稳和顺畅, 其泄流能力可以满足工程设计要求, 因而设计方案拦河闸布置基本合理, 待其余建筑物布置得到优化后, 可进行推荐方案拦河闸运行试验。

#### 5.2 推荐方案运行试验

经船闸通航和电站运行<sup>[1]</sup>(本文不再详述)优化试验, 形成新的枢纽工程布置, 在此基础上进行了推荐方案拦河闸运行试验。

1) 在设计洪水频率( $P=2\%$ ,  $Q=3\ 413\ \text{m}^3/\text{s}$ )和校核洪水频率( $P=0.5\%$ ,  $Q=4\ 654\ \text{m}^3/\text{s}$ )流量泄流运行时, 测试的水闸上游水位(桩号为0-100)分别为

44.11 m 和 45.82 m, 比设计值分别低 0.03 m 和 0.02 m, 因此, 水闸泄流能力可满足工程设计的要求。

2) 当水闸上游维持 38.0 m 水位、闸门局部开启( $e=0.2\sim 0.8\ \text{m}$ )运行时, 来流主流分布于河道右侧及中部区域, 河道右侧流速明显大于河道左侧流速, 闸上游来流运行呈现偏流, 但进闸水流仍较平稳和顺畅, 泄流在消力池内形成稳定的水跃, 消力池出池水流经海漫段调整后, 在海漫段末端较平顺与下游河道水流衔接; 测试的闸上游(桩号为0-063)河道流速  $V < 2.0\ \text{m/s}$ , 消力池尾坎底流速较大值约为 0.9 m/s, 防冲槽断面底流速较大值约为 0.7 m/s。

3) 泄放各级洪水频率流量运行时, 闸上游来流较平稳和顺畅。主流分布于河道右侧及中部区域, 河道右侧区域流速明显大于河道左侧流速, 闸上游来流运行呈现偏流, 但进闸水流仍较平稳和顺畅。在设计洪水频率( $P=2\%$ )和校核洪水频率( $P=0.5\%$ )流量泄流运行时, 过闸水流较顺畅, 由于拦河闸上、下游水位差相对较小, 消力池内水流呈波状流流态, 出池水流较平顺与下游河道水流衔接, 测试的消力池尾坎底流速较大值为 2.4 m/s, 防冲槽断面底流速较大值为 2.3 m/s; 拦河闸下游的主流分布于河道中部, 主流流速  $V$  一般小于 2.6 m/s, 近河道两岸区域的流速相对较小; 右岸泵站、左岸电站尾水渠区域回流流速值约为 0.2~0.4 m/s, 船闸下游口门区的流速较大值约为 1.4 m/s。

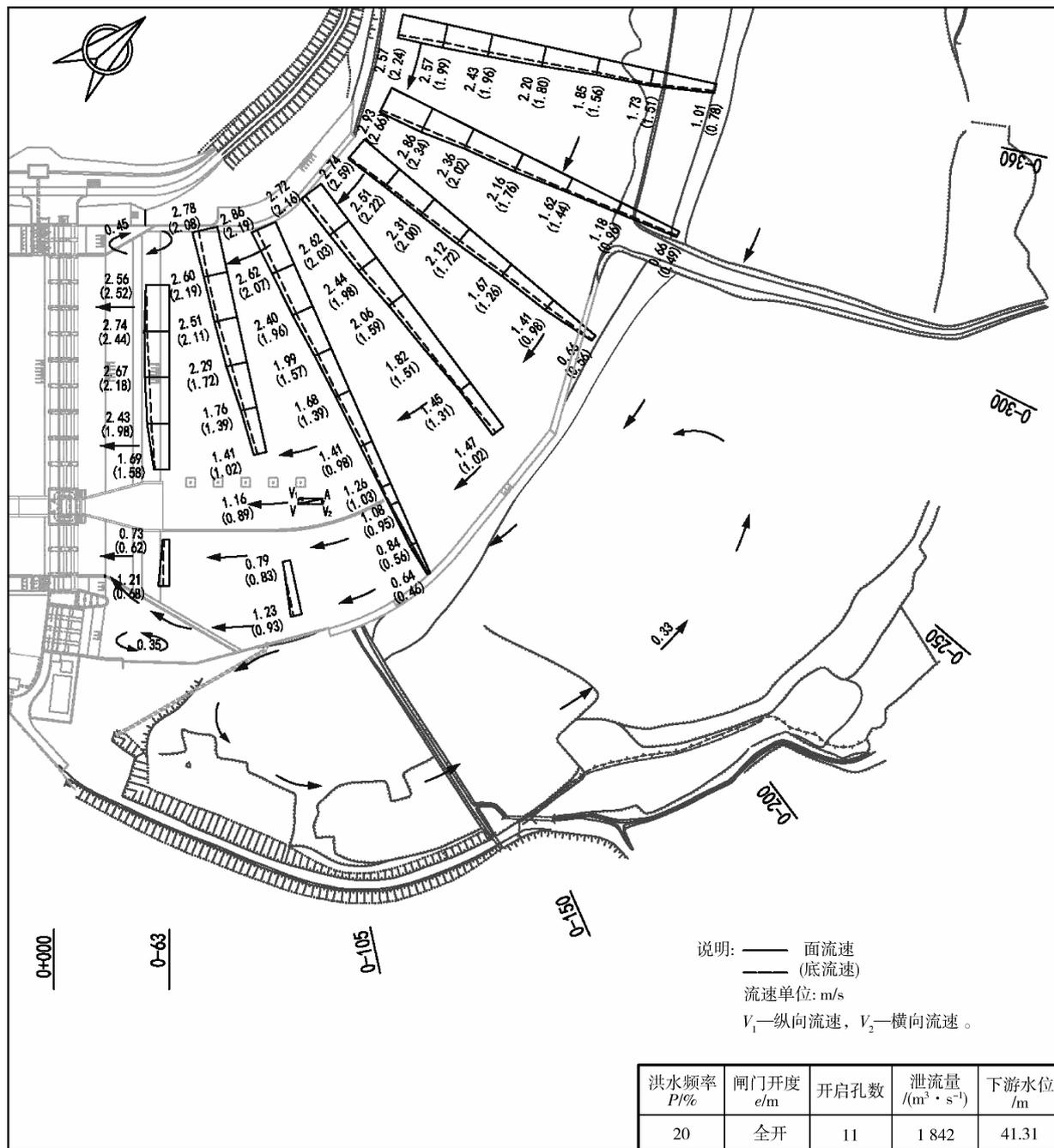


图7 推荐方案-上游河道运行流态和流速分布示意

## 6 结语

1) 结合转弯河道及工程布置特点, 本文通过水工模型试验优化了拦河闸及船闸的体形布置和尺寸, 妥善解决了闸下游消能防冲问题, 满足了船闸通航要求, 试验成果可供工程设计和运行管理参考。

2) 需要说明的是: 本工程船闸属于河中布置, 工程建成运行时, 需结合实际运行制定严格的通航标准, 确保船只安全通航。

### 参考文献:

[1] 付波, 黄智敏, 陆汉柱, 等. 旺罗水闸重建工程水工整

体模型试验研究报告[R]. 广州: 广东省水利水电科学研究院, 2013.

[2] 陆汉柱, 黄智敏, 付波, 等. 旺罗水闸重建工程水工断面模型试验研究报告[R]. 广州: 广东省水利水电科学研究院, 2013.

[3] 华东水利学院. 水工设计手册: 第6卷 泄水与过坝建筑物[M]. 北京: 水利电力出版社, 1982.

(本文责任编辑 马克俊)

(下转第12页)

