



渠江风洞子航运工程枢纽总平面布置

李 维, 徐 红, 李 勇

(四川省交通勘察设计研究院有限公司, 四川 成都 610017)

摘要: 渠江风洞子航运工程位于渠江干流中游, 河道为典型的山区河流, 具有洪枯水位变幅大、河道弯曲系数大、洲岔发育的特点, 工程开发任务兼具通航、发电、改善城市水环境等, 综合利用要求高。由于枢纽建筑物多, 总体布置需同时满足船闸、泄水闸、发电厂房、鱼道等建筑的使用条件、便于运营管理及施工导流建筑物永临结合等, 难度较大。通过船闸左右岸比选、船闸与电站同异岸布置、鱼道出口远近坝布置等多方案比较分析, 结合水工物理模型试验, 提出船闸走汉、泄水顺槽、鱼道顺堤的总平面布置方案, 实现了通航为主的前提下, 兼顾枢纽各建筑物布置要求的目标。

关键词: 渠江; 渠化工程; 综合利用; 总平面布置

中图分类号: U 64

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)S1-0101-07

General layout of Qujiang Fengdongzi navigation hub

LI Wei, XU Hong, LI Yong

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

Abstract: The Qujiang Fengdongzi navigation project is located in the middle reaches of the main stream of the Qujiang River. The river course indicates that it is a typical mountain river. It has the characteristics of large fluctuations of flood and dry water levels, a large river bend coefficient, and development of forks. The project development tasks include navigation, power generation, urban water environment improvement, etc., and the comprehensive utilization requirements are high. Due to the large number of buildings in the hub, the overall layout needs to meet the operating conditions of the ship locks, release sluices, power plants, fishways, and other buildings at the same time, facilitate operation and management, and combine the construction diversion buildings with permanent access, which is relatively difficult. Through the comparison and selection of the left and right banks of the ship lock, the layout of the ship lock and the power station on the same or different banks, the layout of the far and near dams at the exits of the fishways, combined with the hydraulic physical model test, this paper proposes the general layout of the ship lock along the branch, the drainage channel, and the fishway along the embankment. The scheme realizes the consideration of the layout requirements of each building of the hub under the premise of navigation.

Keywords: Qujiang River; canalization works; comprehensive utilization; general layout

渠江风洞子航运工程系新中国第一条渠化河流——渠江上唯一未建梯级, 根据规划^[1]将上游老旧南阳滩梯级拆除、合并建设。工程开

发任务以航为主, 兼顾发电、防洪与改善城市水环境。

枢纽工程位于渠江中游渠县百碛滩河段,

收稿日期: 2022-06-13

作者简介: 李维(1983—), 男, 高级工程师, 从事港口与航道工程设计。

坝址处河谷开阔，左岸为在建城区，右岸与八濛山相连，河心发育一江心洲。工程所在河段弯曲，周边环境复杂，枢纽涉及建筑物较多，如何处理防洪、通航、发电、过鱼、城市水环境改善之间的关系，提出合理的枢纽总平面布置方案是

工程设计的难点。枢纽工程处河势及建设环境见图 1。本文针对坝址处水文洪枯变化与河床演变特性，就船闸轴线选择、厂房岸别、鱼道出口布置等重点难点开展坝线和枢纽总平面布置研究。

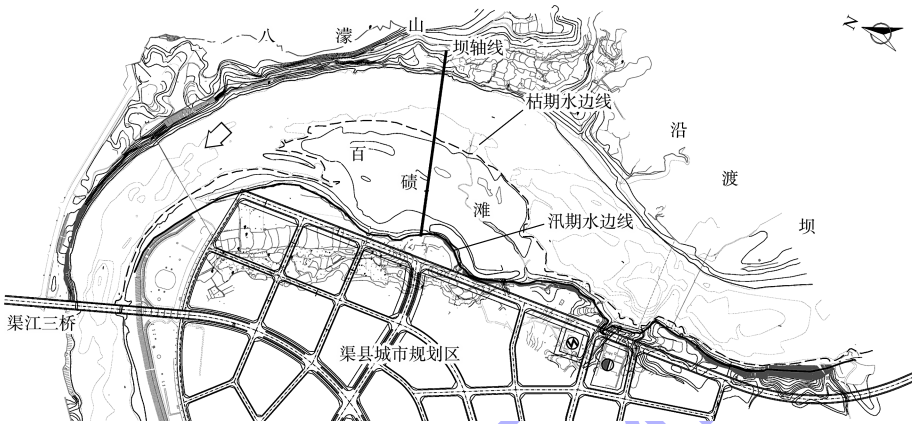


图 1 风洞子工程河段建设环境

1 工程概况

本项目工程等别为二等，正常蓄水位 243.00 m，消落水位 242.60 m。船闸为Ⅲ级，有效尺度为 200 m×23 m×4.2 m(闸室长度×宽度×门槛水深)，单向年通过能力 1240 万 t；电站装机容量 75 MW，多年平均年发电量 271 GW·h；库区航道等级为Ⅲ级，尺度 2.4 m×60 m×480 m(水深×航宽×弯曲半径)，渠化航道 57 km。枢纽由泄洪冲沙闸、非溢流坝、船闸、电站、鱼道、左右接岸等建筑物组成，主要建筑物级别为 2 级。

2 自然条件

2.1 水文

渠江为雨源性河流，径流主要来自降水。径流年内分配不均，主要集中在汛期 5—10 月，约占全年总量的 86.5%。坝址处径流成果见表 1。

渠江洪水主要由暴雨形成，常在汛期 5—10 月，尤以 7 月出现机会最多。一次洪水历时约

6~9 d，峰顶持续时间 1~2 h，常年洪枯水位变幅超 15 m。

表 1 坝址处径流成果

时期	流量均值/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	各频率径流设计值 $Q_p/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$		
		$P=10\%$	$P=50\%$	$P=90\%$
水利年(5 月—次年 4 月)	598	853	578	370
枯期(12 月—次年 4 月)	145	219	138	80

2.2 地形地质

枢纽区属浅、中丘地貌，河床为不对称 U 形河谷，河底高程 228.50~230.00 m，河心江心洲顶高程 240.00 m。两岸为Ⅰ级阶地，高程 254 m，阶面平缓开阔。右岸阶地前缘为陡坎，后缘与八濛山相连，山体坡度陡峭。坝址处河段河流流向为东偏南 9°，河床宽 700~750 m，纵坡比降约 1‰。过江心洲后，河道逐渐束窄，流向逐渐向西折转至南。

枢纽区出露地层为第四系全新统冲积堆积层和侏罗系中统上沙溪庙组，地质剖面见图 2。

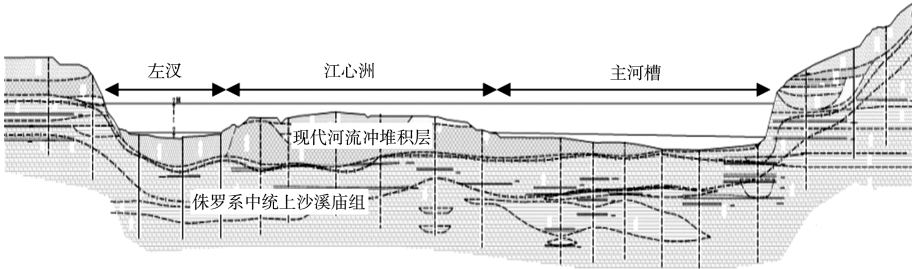


图 2 风洞子坝址河床地质横剖面

3 总平面布置

3.1 坝线选择

坝线拟定主要考虑: 1) 与下游梯级通航水位衔接; 2) 通航水流条件; 3) 建筑物布置的地形、地质条件; 4) 契合城市开发。

拟定上、下坝线为: 上坝线位于江心洲中

部, 采用船、厂同岸布置方式, 船闸顺左汊布置; 下坝线位于江心洲下部, 上距上坝线 250 m, 采用船闸与电站异岸布置方案, 船闸布置于右岸。两坝线方案枢纽总体布置见图 3, 上、下坝线综合比较见表 2。

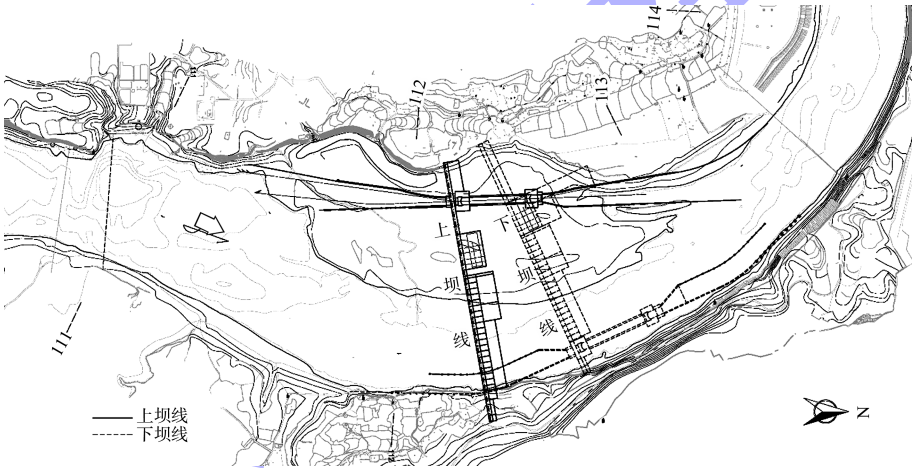


图 3 风洞子枢纽坝线比选

表 2 风洞子枢纽上、下坝线比较

坝线方案	工程布置	通航条件	施工导流	工程投资/亿元
上坝线	优点:河道顺直开阔,利于船闸布置及厂房取水防沙;闸坝布置于右岸主河槽,利于泄洪;建筑集中,管理方便 缺点:河谷较宽,挡水线较长;船闸下引与主河槽夹角较大,且为淤积凸岸	上引航道与主航道衔接平顺,下游与主航道夹角较大	两期导流,主体工程主要集中在左岸,施工导流工程较少;施工总工期 46 个月	41.44
下坝线	优点:河床较窄,坝线短;船闸与坝轴线正交,利于衔接;船闸引航道位于主河槽,衔接条件较好 缺点:船闸为曲线引航道,轴线较长,通过能力略低;厂房出水不畅;异岸布置管理略不便	引航道位于弯曲河道,受扫弯水影响较大	两期导流,左岸全年导流,右岸采用 3 个枯期导流,导流工程量较大;施工总工期 60 个月	43.82
比较	上坝线优	上坝线优	上坝线优	上坝线优

经分析认为, 两条坝线工程地质、环保、接岸等条件基本相当, 上坝线具有船闸布置条件更优、船闸电站集中布置利于施工导流与运行管理、

工期短、投资小等优点, 予以选用。
3.2 枢纽总平面布置
风洞子枢纽属于以航为主的综合利用工程,

主要建筑物包括挡泄水建筑、船闸、发电厂房、鱼道等。在进行枢纽总平面布置时，需统筹考虑闸坝泄水条件、船闸通航条件、电站取水防沙条件、鱼道进出口诱鱼水流条件等^[2]，以确保各建筑功能的发挥。

针对上述各建筑物的布置要求，枢纽总平面布置时需对各建筑的布置方案进行针对性分析，以期提出较优的布置方案。

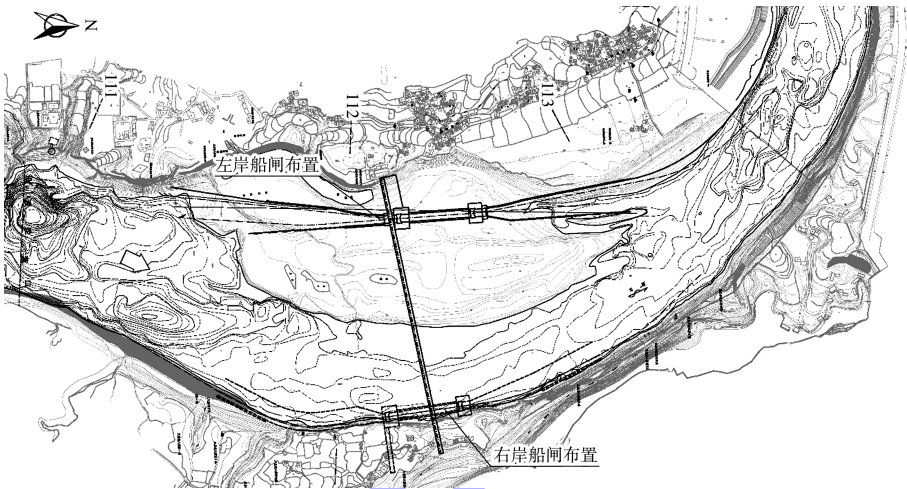


图 4 风洞子枢纽船闸左、右岸布置

左岸船闸轴线沿左汉河槽布置，与坝轴线呈 82°斜交。船闸上引航道口门区位于白蹟滩上游滩头，接上游左侧主河道。船闸下引航道口门区位于白蹟滩下游滩尾，接天然航道。由于白蹟滩左汉较为顺直，船闸轴线直线段较长，船闸上、下引航道及口门区均布置于直线段上，引航道采用曲进直出过闸方式，船闸全长约 1 006 m。

右岸船闸轴线顺右岸岸边布置，与坝轴线呈 94°斜交于闸室中部。船闸闸首、闸室及引航道导航段布置于坝轴线处直线段，上、下引航道采用曲线布置，停泊段布置于上、下游顺直段，中间采用曲线段连接。引航道采用直进曲出过闸方式，船闸全长约 1 200 m。

《渠江风洞子航运工程航道通航条件影响评价》^[3]对右岸船闸方案进行数值模拟试验，风洞子枢纽右岸船闸下引航道流场见图 5。结果显示，受弯道影响，下引航道停泊区及口门区在枢纽泄洪时存在大范围回流区，流态较差。左岸船闸布置

3.2.1 船闸布置

本项目船闸通行 1 000 吨级船舶，根据船闸有效尺度及规范中引航道长度要求，估算船闸轴线总长度(闸首、闸室及引航道)约需 1 km。

工程所在河段河谷开阔，河心发育有江心洲，右岸为微弯凹岸，左岸有约 1.5 km 顺直河汉，均基本满足船闸平面布置要求。船闸布置初拟了左、右岸船闸轴线进行比较分析，见图 4。

充分利用了坝址左岸顺直河汉，具有引航道长度短、过闸效率高、主航道衔接顺等优点，作为选用方案。

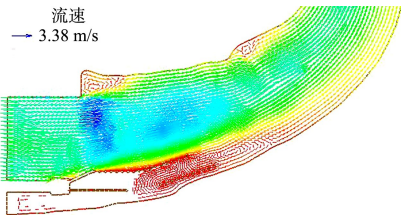


图 5 风洞子枢纽右岸船闸下引航道流场

3.2.2 发电厂房布置

电站采用河床式非溢流厂房，布置 4 台灯泡贯流式机组，主厂房长 80.5 m，安装间段长 28.5 m。

厂房布置进行了厂房、船闸同岸与异岸方案比较。同岸方案厂房布置于泄洪闸左侧，异岸方案厂房布置于右岸主河槽。两方案坝轴线长度均为 845.5 m。左、右岸厂房方案枢纽布置见图 6，综合比较见表 3。

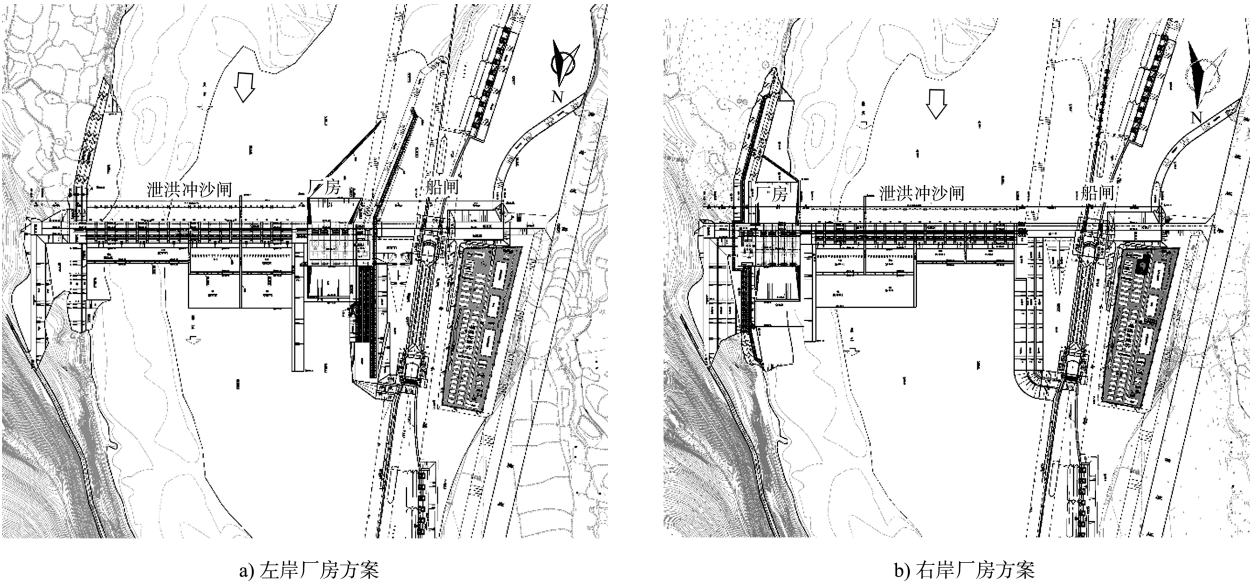


图 6 风洞子枢纽厂房布置

表 3 左、右岸厂房布置方案综合比较

布置方案	通航条件	泄洪冲沙闸	电站厂房	挡水建筑	施工导流方案	投资/亿元		
						土建	施工	总投资
左岸厂房	引航道水流条件受电站运行影响,清水下泄利于引航道防淤	泄洪闸位于右岸主河槽	电站位于左岸江心洲,基础处理工程量较大;电站位于凸岸,进水口及尾水渠易形成淤积;电站和船闸同岸布置,运行管理集中,出线、交通条件较好	挡水坝总长 119.0 m,接岸建筑总长 174.6 m	分二期导流,左岸小围堰全年施工,右岸枯水围堰施工。施工场地主要位于左岸,总工期 46 个月	21.31	2.41	41.44
右岸厂房	下引航道位于回流区,有淤积问题	泄洪闸右边线较方案 1 左移 90 m	主厂房位于主河道,安装间位于岸坡,工程量较小;电站位于凹岸,取水防沙条件较好;船闸和电站分岸布置,电站出线、运行管理较为不便	挡水坝总长 151.0 m,接岸建筑总长 147.6 m	分二期导流,左岸船闸、右岸厂房小围堰全年施工,中间泄洪闸枯水围堰施工。施工场地左、右岸分设,总工期 60 个月	21.21	2.55	41.31
比较	基本相当	左岸厂房泄洪条件较优	右岸厂房发电水流条件较优	左岸厂房略优	右岸厂房略优			

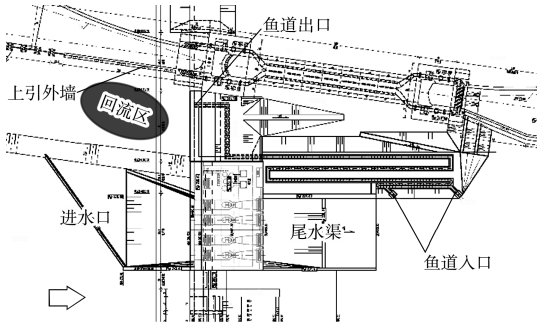
通过比较,船闸、厂房同岸有利于船闸下引航道防沙减淤、提高通航保证率,从以航为主的角度并结合施工组织与运行管理考虑,予以选用。

3.2.3 鱼道总体布置

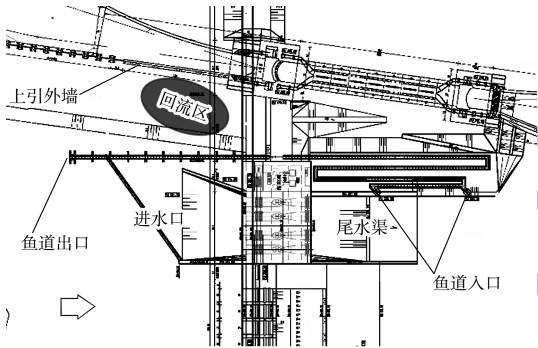
本项目过鱼建筑采用竖缝式鱼道,池室长 4 m、宽 3 m,设计水头 13 m。根据鱼道总体布置对于诱鱼上行的感应流速水流条件要求,参考类似工程^[4],鱼道一般要求靠电站厂房岸侧布置。风洞子枢纽船闸厂房均布置于左岸,根据厂房进水口与尾水渠平面布置,鱼道初拟了 3 种总体布置方案。

- 1) 方案 1。鱼道入口位于尾水渠岸侧护坡,出口穿电站左侧非溢流坝后布置于坝体上游,见图 7a)。该方案布置简单、投资低,但根据类似工程数值模拟成果,水库蓄水时进水口与船闸间存在大片静水区域,可能造成洄游鱼类无法感应流速流向。
- 2) 方案 2。将鱼道出口通过架空鱼道上延至电站上游 200 m 处,见图 7b)。该方案鱼道出口处流态略有改善,但由于该处过流断面大,故流速改善不明显,且架空部分鱼道维护条件较差,投资较高。
- 3) 方案 3。将船闸外侧现有江心洲上游抬填筑

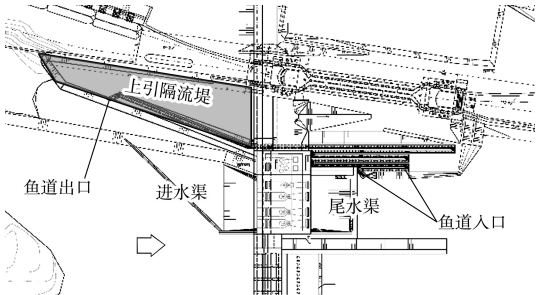
堤 4~7 m，形成长 300 m、宽 30~90 m 的隔流堤，在取代引航道隔流墙的同时，可明显改善电站进水口的流速流向。见图 7c)。该方案通过将上引外导墙与电站进水渠结合，充分利用江心洲地形和工程开挖量，经模型试验验证水流条件良好，取得了较好的效果。鱼道出口物理模型试验流态见图 8。



a) 方案1



b) 方案2



c) 方案3

图 7 鱼道布置

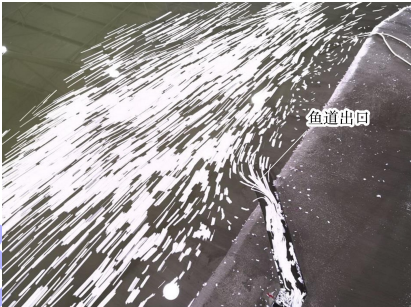


图 8 鱼道布置方案 3 出口流态

3.2.4 枢纽总平面布置

经多方案研究，提出船闸走汉、泄水顺槽、鱼道顺堤的总平面布置方案，从左至右依次布置左岸接岸、船闸、非溢流坝、鱼道拦洪闸、电站厂房、泄洪冲沙闸、右岸接岸，过鱼建筑物鱼道布置于厂房左侧尾水渠和进水渠上，坝轴线全长 845.5 m。枢纽总平面布置见图 9。

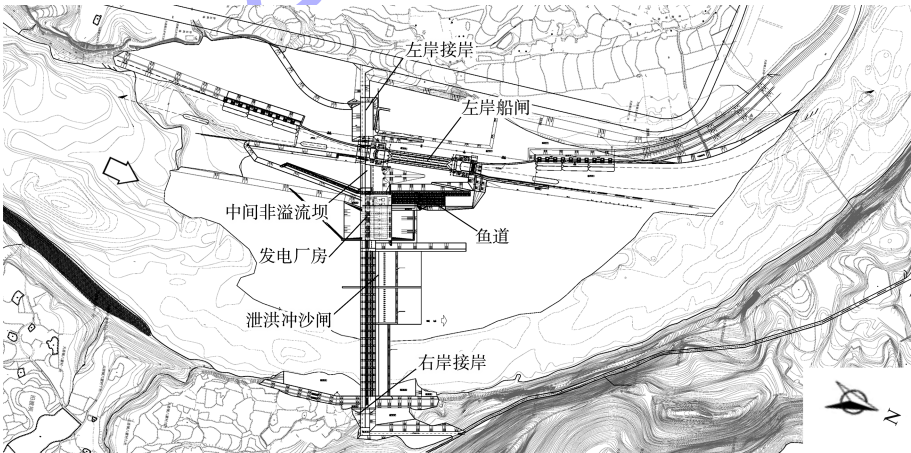


图 9 风洞子枢纽总平面布置

4 模型试验验证

采用定床正态模型对总平面布置进行试验验证^[5]，结合船模试验，风洞子航运工程在上游来流量小于 6 500 m³/s 枢纽控泄情况下，上、下游

引航道及口门区通航水流条件基本满足安全航行要求，枢纽总平面布置方案是合适的。船闸上、下游引航道流场见图 10。

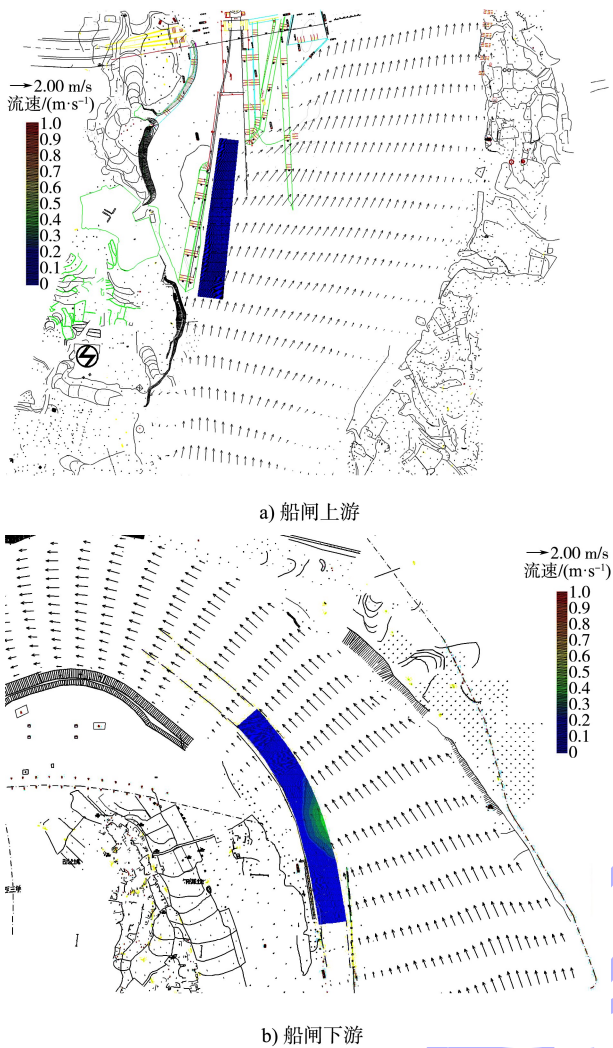


图 10 船闸上、下游引航道流场

5 结论

1)渠化工程多为具有综合利用要求的枢纽工程,需要同时满足防洪、通航、发电等工程任务。

风洞子航运工程枢纽布置遵循以航为主的原则,通过坝线与船闸轴线比选、发电厂房左右岸布置比较,因势利导提出船闸顺汉、泄水走槽的布置方案,对类似山区河流开阔河道渠化工程枢纽总平面布置有一定的指导意义。

2)针对过鱼建筑物对出口流速大小适中、流场稳定的流态要求,本项目通过坝身出口、远端架空出口以及筑堤顺岸出口多方案比选,结果显示,鱼道出口利用江心洲筑堤顺岸布置方式对电站进水渠流场优化明显,对类似电站厂房位于河床中部的枢纽有一定的借鉴意义。

参考文献:

[1] 四川省交通勘察设计院有限公司. 渠江(达州—广安段)航运发展规划报告[R]. 成都:四川省交通勘察设计院有限公司, 2021.

[2] 四川省交通厅交通勘察设计院. 嘉陵江航运梯级开发关键技术研究[R]. 成都:四川省交通厅交通勘察设计院, 2003.

[3] 四川省交通运输厅交通勘察设计院. 渠江风洞子航运工程航道通航条件影响评价[R]. 成都:四川省交通运输厅交通勘察设计院, 2018.

[4] 刘学著. 湘江长沙综合枢纽总平面布置研究[J]. 水道港口, 2013, 34(5): 425-429.

[5] 交通运输部天津水运工程科学研究所. 渠江风洞子枢纽水工整体物理模型试验研究枢纽整体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, 2021. (本文编辑 王传瑜)

· 消 息 ·

广西西津二线船闸建成通航

近日,由二航局、四航局参建的广西西津水利枢纽二线船闸正式建成通航,标志着西江航运干线拥有 3 000 吨级的船闸,并实现双线船闸全面贯通。

西津二线船闸工程为新建的 3 000 t 单级船闸,设计年单向通过能力可达 2 760 万 t,二航局承建土建 I 标和 II 标,主要建设内容为跨枢纽一、二线船闸交通桥,船闸上引航道施工导流、护坡、隔流堤、靠船墩、交通道路及其他配套工程等。四航局承建土建 III 标,主要建设内容为船闸主体和下引航道施工导流、西竹坑改道及其他附属设施等。

西津二线船闸工程是平陆运河的“桥头堡工程”。该船闸的通航,大幅提高了通航效率。