



# 西津水利枢纽二线船闸总体布置方案\*

叶青<sup>1</sup>, 姜兴良<sup>2</sup>

(1. 广西北部湾国际港务集团有限公司, 广西南宁 530022;  
2. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

**摘要:** 西津水利枢纽位于C形弯曲河段, 枢纽两岸为高耸山体, 受已建设施安全及运行条件限制, 二线船闸闸位选择和平面布置难度较大。在总结类似工程建设经验的基础上, 根据西津水利枢纽工程特点, 针对性提出闸位选址原则, 从已建枢纽设施安全与功能影响、船闸工程通航水流条件、工程占地和拆迁面积、施工方案、运行管理便利性、开挖工程量与工程投资等方面, 采用定性分析与定量计算相结合对二线船闸闸位方案进行多方案比选。结合物理模型试验研究, 优化上下游隔流堤长度, 改善上下游引航道口门区通航水流条件。经现场运行检验, 推荐方案船闸通过能力能够满足设计要求, 达到高效通航的目标。提出的闸位选址原则和研究方法可为类似高水头库区船闸总体布置提供借鉴。

**关键词:** 水利枢纽; 二线船闸; 轴线间距; 布置方案

中图分类号: U641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)12-0172-07

## General layout scheme of second-line ship lock of Xijin hydro-junction project

YE Qing<sup>1</sup>, JIANG Xingliang<sup>2</sup>

(1. Guangxi Beibu Gulf International Port Group Co., Ltd., Nanning 530022, China;  
2. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

**Abstract:** Xijin hydro-junction project is situated in a C-shaped curved section of the river with towering mountains on both sides. Due to the safety and operation conditions of the built facilities, it is difficult to select the location and plane layout of the second-line ship lock. On the basis of summarizing the construction experience of similar projects, according to the characteristics of Xijin hydro-junction project, this paper puts forward the principles of lock location selection. The principles take into account factors such as the impact on existing hub facilities in terms of safety and functionality, navigable water flow conditions at the lock site, project area and demolition requirements, construction scheme feasibility, convenience of operation and management, excavation volume, and project investment. The combination of qualitative analysis and quantitative calculation method is used to compare and select an optimal position for the second-line ship lock. Combined with the physical model test, the length of upstream and downstream barrier is optimized to improve the navigable flow conditions in the entrance area of the upstream and downstream approach channel. Field operation tests confirm that the proposed lock's passage capacity meets design requirements and achieve efficient navigation goals. The principle and research method of lock-location proposed can provide reference for the general arrangement of locks in similar high head reservoir area.

**Keywords:** hydro-junction; second-line ship lock; axis spacing; layout scheme

### 1 工程概况

西津水利枢纽位于C形弯曲河段, 为季调节低

水头河床式电站, 开发任务以发电、通航为主, 兼顾灌溉等综合利用功能, 总装机容量为242.2 MW。

收稿日期: 2024-03-12

\*基金项目: 国家重点研发计划项目(2023YFC3206100)

作者简介: 叶青(1967—), 男, 高级工程师, 从事水运工程船闸和枢纽电站工程建设及运营管理工作。

枢纽建筑物轴线全长为 833.47 m, 自左向右依次布置 15.6 m 长左岸接头土坝、32.0 m 长左岸重力接头坝、132.1 m 长发电厂房、299.7 m 长泄水闸坝、50.0 m 长右岸重力坝、62.21 m 长心墙坝、74.65 m 长一线船闸、167.21 m 长右岸接头土坝。一线船闸最大水头 21.7 m, 为 2×1 000 吨级单线两级船闸, 每级闸室有效尺寸为 190 m×15 m×4.5 m(有效长度×有效宽度×槛上水深), 一线船

闸设计单向通过能力为 650 万 t/a, 见图 1<sup>[1]</sup>。

根据运量预测, 西津水利枢纽 2040 年过坝货运量将达到 3 720 万 t, 其中上行 1 037 万 t, 下行 2 413 万 t。设计代表船型为 3 000 吨级货船、3 000 吨级多用途集装箱船、2×2 000 吨级顶推船队。为满足货运需求, 拟建二线船闸采用单级船闸, 闸室有效尺寸为 280 m×34 m×5.8 m, 设计单向通过能力为 2 760 万 t/a<sup>[2]</sup>。

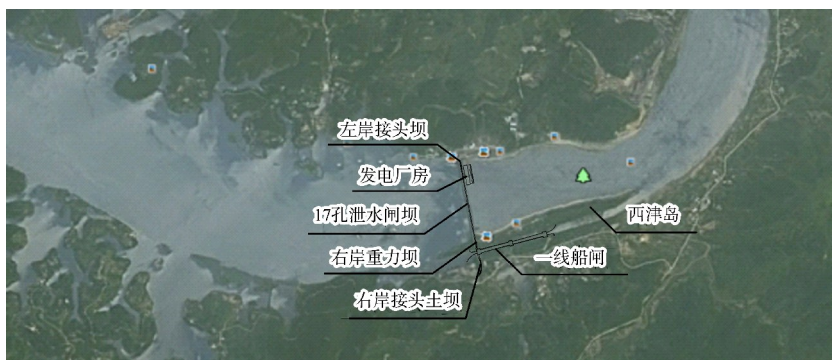


图 1 已建西津水利枢纽布置

## 2 选址原则

JTJ 305—2001《船闸总体设计规范》<sup>[3]</sup>和 JTS 182-1—2009《渠化工程枢纽总体设计规范》<sup>[4]</sup>从已建和拟建建筑物安全性、通航水流条件、引航道衔接等方面对船闸工程闸位选择提出了原则性规定和要求。研究人员针对特定工程案例, 对船闸工程闸位选择的影响因素进行分析, 采用技术经济比选、模型试验优化的方式提出了推荐方案<sup>[5-6]</sup>。影响因素包括地形地质条件、通航水流条件、已建建筑物安全稳定性、土石方开挖工程量、施工条件、征地拆迁数量、淹没影响、对外交通条件、施工期通航、工程投资等。

由于工程建设条件多样性, 难以建立完善的闸位选址约束因素和评价指标体系。通过检索文献, 结合西津水利枢纽工程特点, 归纳总结提出 6 条选址原则: 1) 在建设期和运行期, 二线船闸对已建枢纽设施本身安全和防洪、通航等功能的影响最小; 2) 两线船闸引航道和口门区通航水流条件能够满足规范要求, 实现高效通航; 3) 各类工程设施尽可能紧凑布置, 控制工程占地和征地拆迁面积; 4) 施工围堰布置方便, 控制水下施工

工程量, 建设期坝顶交通畅通; 5) 对外交通便利, 便于枢纽和船闸工程运行管理; 6) 减少土石方开挖工程量, 控制环境影响和工程投资。

## 3 二线船闸闸位选择

枢纽所在河段为向右岸突出的弯道, 从河势和枢纽运行实际情况分析, 左岸容易发生淤积。左岸水流条件受发电厂房尾水影响较大, 必须有足够长度隔流堤或隔流墙, 口门区水流条件才能满足通航要求。船闸建设需干地施工, 布置施工围堰会影响到发电厂房的取水, 施工布置非常困难。且一、二线船闸分别布置在枢纽两侧, 运行管理较为不便。因此, 重点研究枢纽右岸布置船闸的方案。

### 3.1 两线船闸轴线间距

根据上下游河道走势及一线船闸平面布置方案, 拟建二线船闸中心线按基本平行于一线船闸中心线布置。二线船闸建设需开挖深基坑, 如果两线船闸轴线间距很近, 将影响一线船闸结构物的安全性。为满足二线船闸施工期基坑开挖和一线船闸结构物安全性要求, 两线船闸轴线应保证

一定的距离，其距离应根据原有建筑荷载大小、基础形式和土质情况确定。

按照《船闸总体设计规范》中的要求，根据设计船型和货运量预测结果，拟定二线船闸有效尺寸为 280 m×34 m×5.8 m，引航道直线段设计底宽

为 75.0 m，导航、调顺段布置长度取 225 m，停泊段长度取 300 m。坝顶道路跨过二线船闸需满足通航净空尺度要求，为控制二线船闸占用坝轴线的长度，将二线船闸上闸首上游端布置在坝轴线上，如图 2 所示。

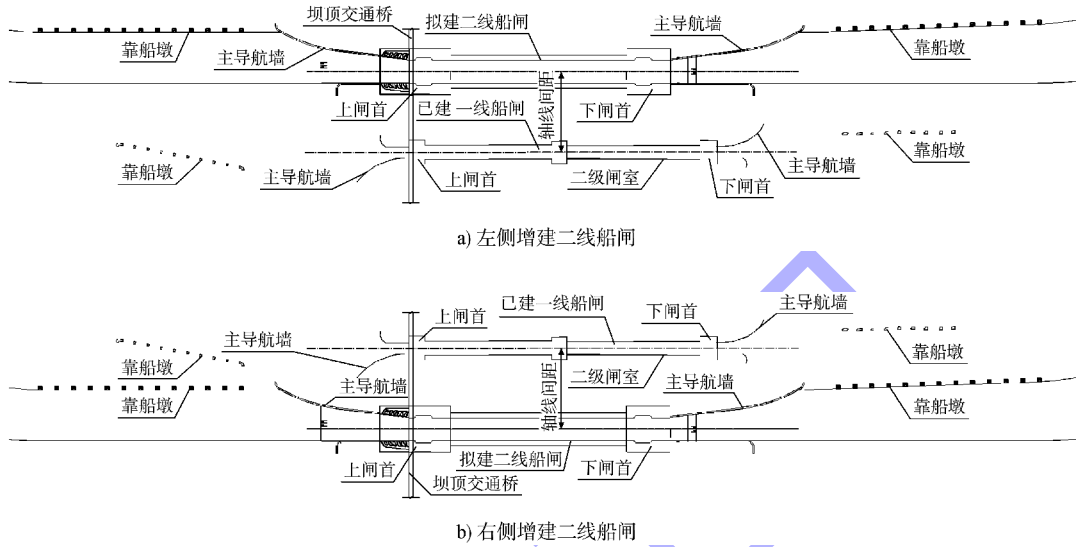
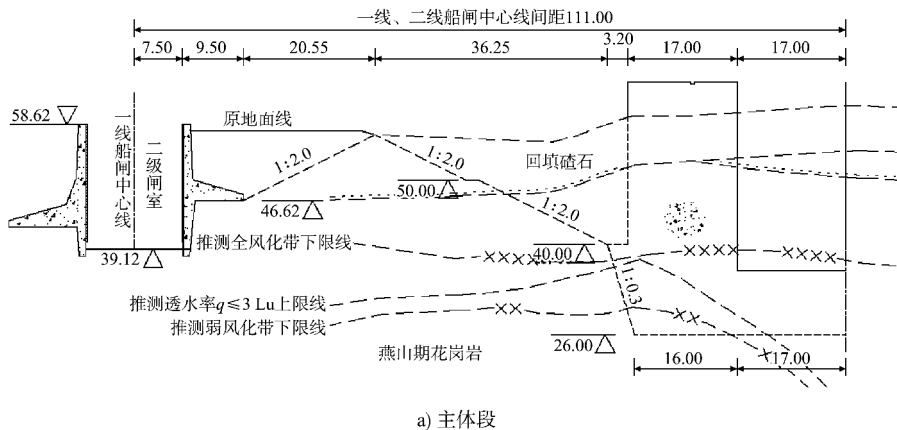


图 2 两线船闸位置关系

已建一线船闸闸首采用重力式结构，上、中、下闸首结构建基面高程分别为 55.12、34.62、33.12 m；闸室采用混合式闸墙结构，一级闸室上部重力坝建基面高程为 42.62 m，二级闸室上部重力坝建基面高程为 46.62 m。拟建二线船闸闸室采用重力式结构，闸墙底高程为 26.0 m，高差分别为 8.62、16.62 及 20.62 m。二线船闸基坑开挖至建基面时，一线船闸的闸墙在高水位运行时应保持稳定，按照开挖坡比计算的最小净距为 111 m，如图 3 所示。

一线船闸引航道底高程为 40 m，拟建二线船闸引航道底高程为 34 m。一线船闸中心线距引航道边缘 8 m，二线船闸中心线距靠船墩 58 m，两线隔水堤顶高程为 55 m，按照土坡 1:1.5 的坡比，则两线船闸最小净距为 120 m，如图 3 所示。根据船闸主体结构安全性和引航道布置要求，综合考虑施工道路布置和爆破施工影响等因素，确定两线船闸中心线间距为 120 m。遇到局部地质异常情况时，采用钻孔灌注桩进行支护。



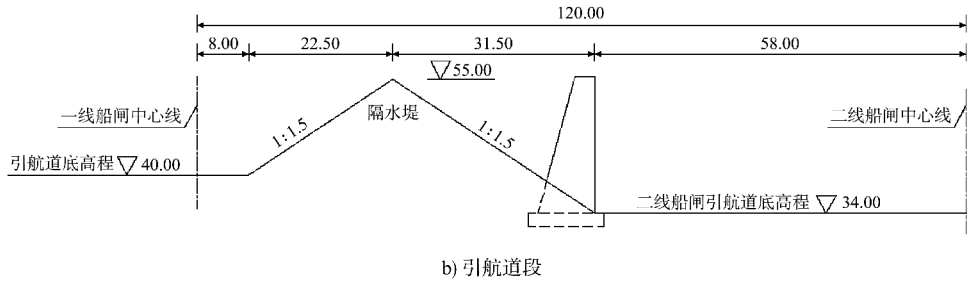


图 3 两线船闸计算典型断面 (单位: m)

增大两线船闸中心线间距将更有利于减少二线船闸施工对一线船闸结构物安全的影响, 施工布置相对更为灵活, 并可为将来一线船闸的改扩建预留更大的调整余地, 但同时也会增加建设用地面积和二线船闸上、下游引航道的长度, 使工程量和投资相应增大。

### 3.2 闸位方案

按照拟建二线船闸与一线船闸的位置关系, 提出 3 个右岸船闸布置方案, 即左侧船闸方案(拟建二线船闸布置在一线船闸的左侧)、右侧船闸方案(拟建二线船闸布置在一线船闸的右侧)和原闸位方案(拆除一线船闸, 原位建设二线船闸)。

#### 3.2.1 左侧船闸方案

一线船闸与泄水建筑物之间为一线船闸开挖形成的西津岛。西津岛在大坝下游长约 980 m, 顶

宽 20~60 m, 地面高程 60 m, 地形平缓; 在大坝上游长约 250 m, 地面高程 66 m, 顶宽 3~14 m。

将二线船闸布置在一线船闸左侧, 轴线间距 120 m。两线船闸上闸首上游端齐平, 船闸主体段长 405 m, 位于坝轴线下游。上下游引航道采用不对称布置形式, 均向左侧拓宽, 主导航墙、靠船墩布置在引航道左侧, 辅导航墙布置在右侧, 上下游船舶过闸方式均为“曲线进闸、直线出闸”。上、下游引航道长度分别为 560 和 860 m, 上、下游口门区均通过连接段航道与上、下游主航道衔接。

在二线船闸上闸首的上段坝顶, 按照通航净空要求设置跨越船闸的交通桥, 并与右侧一线船闸上闸首交通桥衔接。由于二线船闸上闸首交通桥桥面设计高程比现状坝顶交通路面高 7.32 m, 需将整个坝顶交通桥进行改建。布置方案见图 4。

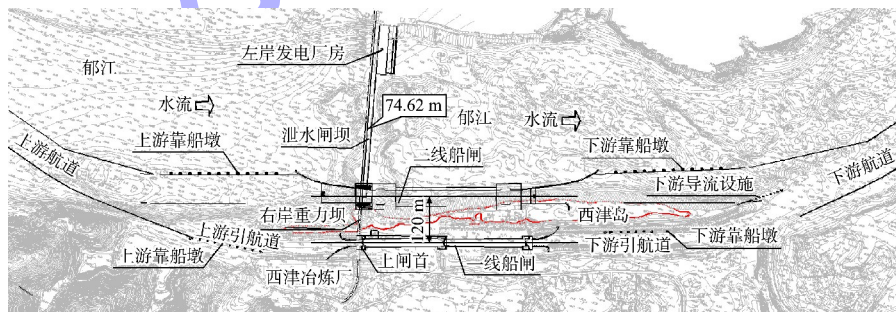


图 4 左侧船闸布置方案

#### 3.2.2 右侧船闸方案

一线船闸右岸为 167.21 m 长的接头土坝, 场地相对宽阔。将二线船闸布置在一线船闸右侧, 轴线间距 120 m, 两线船闸上闸首上游端齐平, 主体段位于坝轴线下游, 上、下游靠船墩左侧布置。

上、下游引航道长度分别为 960 m 和 1 114 m, 上、下游口门区均通过连接段航道与上、下游主航道衔接。其他布置方案与左侧船闸方案相同, 布置方案见图 5。



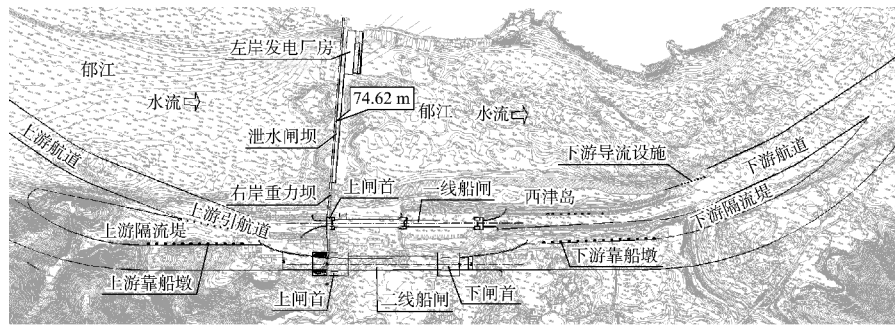


图5 右侧船闸布置方案

### 3.2.3 原闸位方案

该方案将原一线船闸拆除，在原位置重建船闸，保留一线船闸上游靠船墩、下游导流设施。重建船闸上游进水墙段位于坝轴线，船闸主体段位于坝轴线下游。上游靠船墩靠右侧布置，利用一线船闸已建靠船墩；下游靠船墩靠左侧布置，重新建设靠船墩。上、下游引航道长度分别为 480

和 950 m，上、下游口门区均通过连接段航道与上、下游主航道衔接。上、下游引航道底宽 75.0 m，口门区底宽 115.0 m，口门区弯曲段转弯半径 900 m。在上游进水墙段坝顶设置交通桥跨越船闸，并与左侧泄水闸坝顶部交通桥和右侧接头坝坝顶公路衔接。其他布置方案与左侧船闸方案相同。布置方案见图 6。

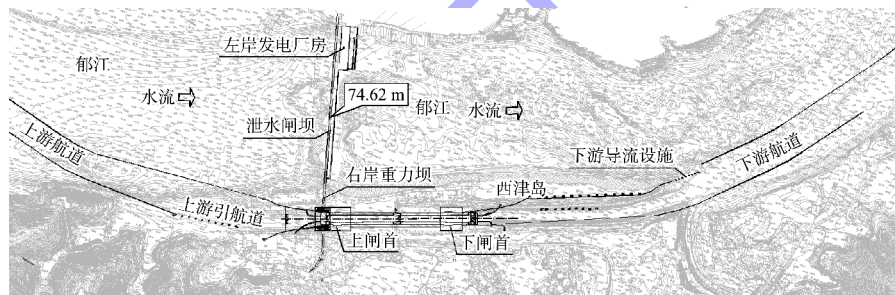


图6 原闸位布置方案

### 3.2.4 闸位方案比选

根据拟定的选址原则，从二线船闸建设对已建枢纽设施安全与功能影响、船闸工程通航水流

条件、工程占地和拆迁面积、施工方案、运行管理便利性、开挖工程量与工程投资等方面对方案进行比选，见表 1。

表 1 闸位方案比选

闸位方案	枢纽安全与功能影响	船闸通航水流条件
左侧船闸方案	1) 修筑施工围堰需拆除部分泄水闸段,临近围堰的未拆除泄水闸段安全度降低; 2) 施工围堰占用河道,水下施工难度大; 3) 二线船闸上下游隔水堤、导流墩及靠船墩等建筑物占用河床过流断面,降低枢纽的泄洪能力	船闸接近原河床,隔流堤过短,泄洪时二线船闸的通航水流条件不满足规范要求;隔流堤布置过长,将明显恶化一线船闸的通航水流条件,局部横流超标
右侧船闸方案	1) 建设期需拆除部分接头土坝,基本不影响原枢纽工程的运行及建筑物的安全; 2) 运行期不影响原枢纽工程的运行及建筑物的安全	通过模型试验验证,仅在二线船闸右边缘存在局部回流,两线船闸的通航水流条件均可满足规范要求
原闸位方案	1) 施工期将断航; 2) 爆破施工在一定程度上会降低原枢纽结构物的安全性和耐久性; 3) 运行期不影响原枢纽工程的运行及建筑物的安全	当大坝下泄流量 $\leq 9\ 120\ \text{m}^3/\text{s}$ 时,船闸纵向、横向及回流流速均满足规范要求;当大坝下泄流量超过 $9\ 120\ \text{m}^3/\text{s}$ 时,电站关闭,泄洪闸敞泄,口门区部分水域纵向、横向及回流流速超过规范要求

续表1

闸位方案	工程占地和 拆迁面积	施工方案	运行管理 便利性	工程投资/ 亿元
左侧船闸 方案	工程新增用地 90.00 万 m <sup>2</sup> , 拆迁面积 682 m <sup>2</sup>	1)施工围堰水下施工工程量大,施工与度汛交叉,不确定因素多; 2)坝顶交通桥需拆除重建,施工期坝顶交通会临时中断; 3)施工期为 42 个月	两线船闸布置在同侧,管理方便	26.32
右侧船闸 方案	工程新增用地 199.07 万 m <sup>2</sup> , 拆迁面积 1 370 m <sup>2</sup>	1)利用两线船闸间的岩坎作为围堰,围堰施工难度小; 2)施工期可通过搭设钢便桥保障坝顶交通; 3)施工期为 38 个月	两线船闸布置在同侧,管理方便	25.31
原闸位 方案	工程新增用地 42.40 万 m <sup>2</sup> , 拆迁面积 326 m <sup>2</sup>	1)利用西津岛作为围堰,围堰施工难度小; 2)施工期可通过搭设钢便桥保障坝顶交通; 3)施工期为 45 个月	单线船闸运行,管理方便	24.86

右侧船闸方案将二线船闸布置在一线船闸右侧,轴线间距 120 m,建设期需拆除部分接头土坝,基本不影响原枢纽工程的运行及建筑物的安全,相对左侧船闸方案对枢纽的安全性和泄洪能力影响小,相对原闸位方案对通航的影响小。二线船闸建成后,上下游引航道在一线船闸上下游引航道右侧,对枢纽泄洪、厂房取水无任何影响。右侧船闸方案和原闸位方案可利用西津岛地形和导流设施保障通航水流条件,相对左侧船闸方案更容易保障通航水流条件。

右侧船闸方案施工期可利用两线船闸间的岩坎作为围堰,围堰填筑与拆除工程量相对较小,围堰施工难度与原闸位方案相当,相对左侧船闸方案施工围堰建设难度小。右侧船闸方案和原闸位方案施工期可通过搭设钢便桥保障坝顶交通,相对左侧船闸方案坝顶临时交通建设难度小,投资节省约 320 万元。右侧船闸方案和原闸位方案工程施工场区与右岸既有道路、坝顶交通桥可形成交通环路,相对左侧船闸方案对外交通条件好。3 个方案中船闸工程均位于西江右岸,不改变枢纽工程运行管理格局,运行管理较为方便。左侧船闸方案需显著抬高坝顶交通桥的顶高程,需对既有坝顶交通桥全面改建。

总体来看,右侧船闸方案在建设期和运行期对已建枢纽设施的安全性及防洪、通航功能影响最小;两线船闸引航道和口门区具备良好的通航水流条件;施工围堰布置方便、建设难度小;便

于集中管控,对外交通条件好,运行管理方便;且将来可改造一线船闸提升枢纽货物通过能力。右侧船闸方案的最大问题是需占用一定面积的陆地,征拆一定数量的民房,征地拆迁难度和投资较左侧船闸方案和原闸位方案大。经调查,该区域无重要工矿企业,通过合理规划、制定翔实的征地移民方案是可以解决的。综合分析,推荐右侧船闸闸位方案。

#### 4 平面布置方案与通航水流条件

##### 4.1 平面布置方案

在确定闸位方案后对船闸平面布置方案进行优化比选。优化原则是通过旋转船闸中心线或将船闸向上游或下游平移,实现在保证通航安全的同时尽可能降低工程投资的目标。

由于枢纽上游山体较高且库区水深大,为减少上游开挖量,优化方案将船闸中心线顺时针旋转 2°。优化方案仍不能避开上游山体,土石方开挖量减少有限;下游引航道切入山体,开挖和征地移民工程量明显增大;而且与主河流方向偏离,需开挖更长的连接段航道与主航道衔接,不予推荐。

若将二线船闸主体段上移,则上游引航道开挖工程量显著增加。若将船闸主体段适当下移,上游可避开山体,但下游将切削山体。经测算工程量和投资,将船闸向上游或下游平移,工程投资不具备优势,不予推荐<sup>[7]</sup>。

推荐方案两线船闸轴线平行,间距120 m,两线船闸上闸首上游端线齐平,上下游引航道均向左侧拓宽。主导航墙及靠船墩布置在引航道左侧,主导航墙采用1:8直线和半径 $R=220$  m圆弧连接。船闸左侧设贯通上下游引航道的隔水堤将两线船闸引航道隔开,隔水堤兼做施工期围堰。

#### 4.2 通航水流条件

二线船闸上游引航道口门区河面较宽,引航道轴线与主流之间的夹角较大,在口门区和连接段航道存在较大范围回流和局部较强横流。当入库流量大于 $9\ 122\ \text{m}^3/\text{s}$ (2 a一遇洪水,泄洪闸敞泄)时,二线船闸口门区最大纵向、横向及回流流速均超过规范允许值。模型试验通过多方案比选认为,通过加长隔流墙和调整引航道右侧开挖边线,可显著改善上游引航道口门区和连接段航道的通航水流条件。即使入库流量达到 $13\ 400\ \text{m}^3/\text{s}$ (10 a一遇洪水)时,通航区域内水流条件仍可满足规范要求<sup>[8]</sup>。

二线船闸下引航道位于L形弯道顶点,其水流条件受出库流量、阀门开启方式及弯道水流特性等影响,当出库流量大于 $6\ 320\ \text{m}^3/\text{s}$ 时,最大纵向、横向及回流流速分别达到2.46、0.89及1.09 m/s,超过规范允许值,且回流上溯至停泊段,流态紊乱,通航条件较差。模型试验通过多方案比选认为,两线船闸下引航道采用分开布置,延长隔流堤,显著改善上游引航道口门区和连接段航道的通航水流条件。即使出库流量达到 $13\ 400\ \text{m}^3/\text{s}$ 时,通航区域内水流条件仍可满足规范要求<sup>[9]</sup>。

## 5 结论

1) 已建枢纽设施安全运行影响、口门区及连接段航道通航水流条件、工程投资和对外交通条件是船闸改扩建工程的重要制约因素,应作为船闸总体布置的原则性要求。

2) 根据主体结构安全性和引航道布置要求,

西津水利枢纽扩建二线船闸工程与一线船闸的轴线间距取为120 m,经技术经济比选推荐右侧船闸布置方案,经工程建设实践检验能够满足已建枢纽设施安全运行要求。

3) 西津水利枢纽两线船闸采用设置独立引航道的布置方案,经模型试验检验,通过加长透空隔流堤可显著改善口门区及连接段航道通航水流条件,满足船舶通航要求。

#### 参考文献:

- [1] 中国能源建设集团广西电力工业勘察设计研究院,广西壮族自治区交通规划勘察设计研究院.西津水利枢纽二线船闸工程可行性研究报告[R].南宁:中国能源建设集团广西电力工业勘察设计研究院,广西壮族自治区交通规划勘察设计研究院,2015.
- [2] 中国能源建设集团广西电力工业勘察设计研究院,广西壮族自治区交通规划勘察设计研究院.西津水利枢纽二线船闸工程初步设计[R].南宁:中国能源建设集团广西电力工业勘察设计研究院,广西壮族自治区交通规划勘察设计研究院,2016.
- [3] 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.
- [4] 中交水运规划设计院有限公司.渠化工程枢纽总体设计规范:JTS 182-1—2009[S].北京:人民交通出版社,2009.
- [5] 董霞,吴澎,吕小龙.平陆运河青年枢纽坝址选择和平面布置[J].水运工程,2023(9):151-157.
- [6] 王晨晨,黄承兵.清远枢纽三线船闸平面布置方案[J].水运工程,2024(1):173-177.
- [7] 蒋峰,麦建清,陆宏健.西津水利枢纽二线船闸工程总平面布置方案研究[J].西部交通科技,2014(4):75-79.
- [8] 重庆西南水运工程科学研究所.西津水利枢纽二线船闸工程枢纽整体水工模型试验研究报告[R].重庆:重庆西南水运工程科学研究所,2016.
- [9] 周家俞,徐奎,黄成林,等.西津水利枢纽二线船闸下引航道布置方案对比[J].水运工程,2018(11):108-113.

(本文编辑 王传瑜)