



平陆运河青年枢纽坝址选择和平面布置

董 霞, 吴 澄, 吕小龙

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 平陆运河青年枢纽所在工程河段河道弯曲, 坝址处桥梁众多, 建筑物密集, 库区为钦州市饮用水源保护区, 船闸运行受咸水上溯影响, 坝址选择和平面布置影响因素复杂。从地形地质、通航条件、淹没影响、接岸条件、对周边建筑物的影响和工程投资等方面, 对坝址选择和平面布置进行了多方案比选。结合物理模型试验研究, 优化上游口门区和连接段航道布置, 改善上下游引航道口门区通航水流条件。在保证通过能力不低于上游梯级的条件下, 互灌互泄的省水方案可提高最大通航流量, 工程投资较低, 平面布置方案更优。

关键词: 青年枢纽; 分散布置; 平面布置; 省水船闸; 通航流量

中图分类号: U612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)09-0151-07

Dam site selection and general arrangement of Pinglu Canal Youth Hub

DONG Xia, WU Peng, LYU Xiaolong

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: The project section of Pinglu Canal Youth Hub is located in a curved channel, with numerous bridges and dense buildings at the dam site. The reservoir area of Youth Hub is the drinking water source protection area of Qinzhou City. The operation of the ship lock is affected by the salt water flowing upstream. The influencing factors of dam site selection and general arrangement are complicated. This paper compares the site selection and general arrangement of the dam with multiple schemes from the aspects of topography and geology, navigation condition, flood impact, landing condition, impact on surrounding buildings and project investment, etc. Based on the physical model test, the paper optimizes the channel arrangement of the upstream entrance area and connecting section and improves the navigable flow conditions of upstream and downstream entrance areas. Under the condition that the carrying capacity is not lower than the upstream cascade, the water-saving scheme of mutual irrigation and mutual discharge can increase the maximum navigable flow with lower project investment and a better general arrangement scheme.

Keywords: Youth Hub; scattered arrangement; general arrangement; water-saving ship lock; navigable flow

1 工程概况

平陆运河始于西江干流西津库区平塘江口, 跨沙坪河与钦江支流旧州江分水岭, 经钦州市灵山县陆屋镇沿钦江干流南下进入北部湾钦州港海域, 全长约 140 km, 规划航道等级为 I 级, 建设 3 座枢纽全程渠化航道, 可通航 5 000 吨级船舶。青年枢纽为平陆运河最下游梯级, 按一次建成 5 000 吨级双线船闸建设。设计代表船型尺度为 90 m×15.8 m×5 m(船长×船宽×设计吃水)^[1]。

2 坝址选择

2.1 坝址选择主要影响因素

1) 地形地质。青年水闸上游 2 km 范围内钦江河道弯曲, 2 km 外河道顺直, 直线河段位于久隆断裂带上。河槽呈宽底 U 形, 河面宽 100~130 m, 河底高程为 -5.3~4.7 m。左岸为丘陵, 右岸为低洼地、池塘夹山丘。

2) 枢纽上下游过河、临河设施现状。青年水闸上游 300 m 处建有 G325 广南线钦江大桥, 下游

收稿日期: 2022-12-04

作者简介: 董霞 (1979—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事港航工程设计。

1.3 km 范围内建有 3 座桥梁，其中沿海铁路钦江双线特大桥（简称“沿海铁路桥”）距水闸 230 m。水闸左右两侧建有含生态景观、休闲、补水、灌溉、排涝等功能的东西干渠。

3) 钦江饮用水源保护区。青年水闸库区为钦州市城区钦江饮用水源保护区，水闸上游 5 km 水域范围内为一级保护区。

2.2 坝址方案

坝址选择应尽量减少对钦州市饮用水源保护

区的影响和缩短东西干渠改线长度。沿海铁路桥通航净空尺度满足 I 级航道通航要求，考虑保留利用，坝址选择应尽量避免对其产生影响。水闸下游为钦州城区，河道两岸地势较低，建筑物密集，桥梁众多，因此坝址考虑原坝址和上移坝址 2 种方案。水闸上游 2 km 河道弯曲，不具备船闸布置条件；2 km 外顺直河段位于久隆断裂带上，不具备建坝条件。结合地形和船闸直线段布置要求，上移坝址选择在青年水闸上游 1.8 km 处，见图 1。

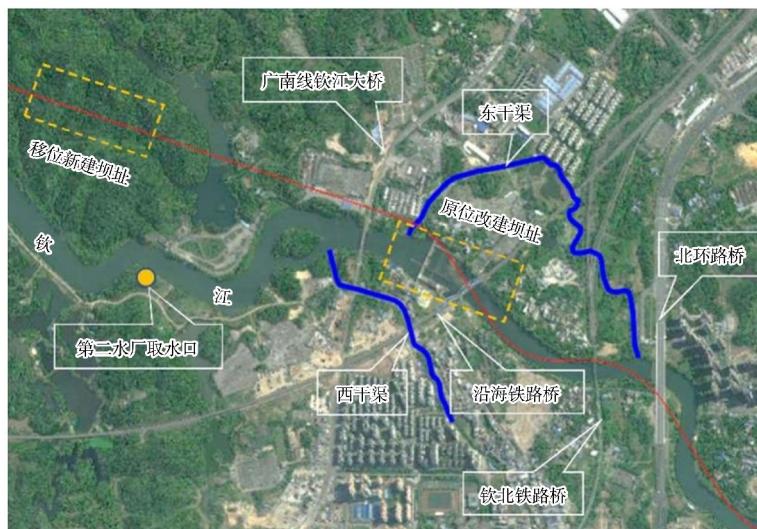


图 1 青年枢纽坝址位置

1) 方案 1：移位新建坝址方案。枢纽采用分散式总体布置方式，在左岸低山丘陵区裁弯取直布置船闸。上闸首距现状青年水闸距离约 1.8 km；泄水

闸布置在钦江河槽中，位于青年水闸上游 1.4 km 处，此处河道狭窄且较为顺直，两岸接岸条件较好。移位新建坝址平面布置见图 2。

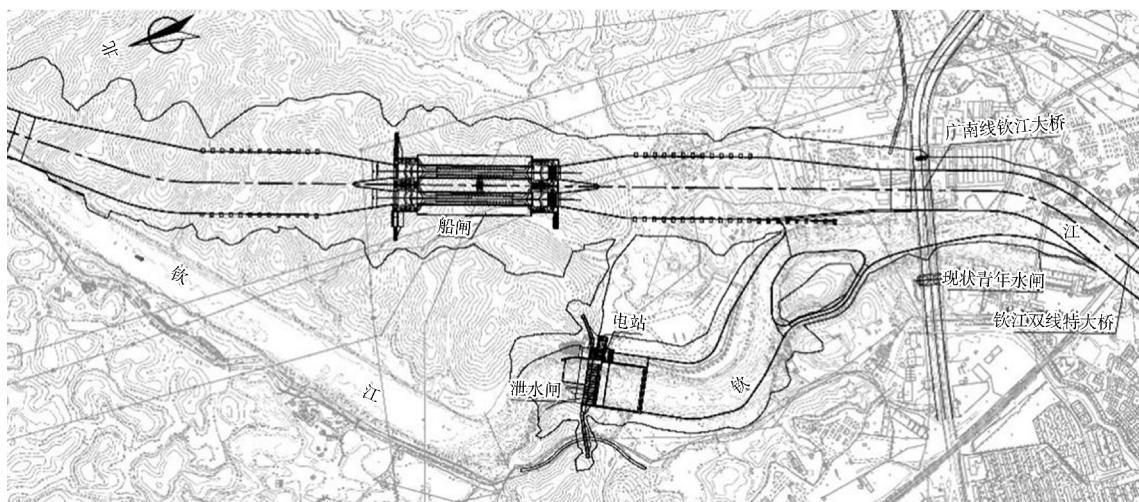


图 2 移位新建坝址平面布置

2) 方案 2: 原位改建坝址方案。原坝址河道较为顺直,采用集中式总体布置方式。为使新建船闸与上下游航道平顺衔接,将双线船闸布置在

主河槽;为减小拆迁,在船闸左侧新建泄洪闸,电站紧邻泄水闸左侧布置。原位改建坝址平面布置见图 3。

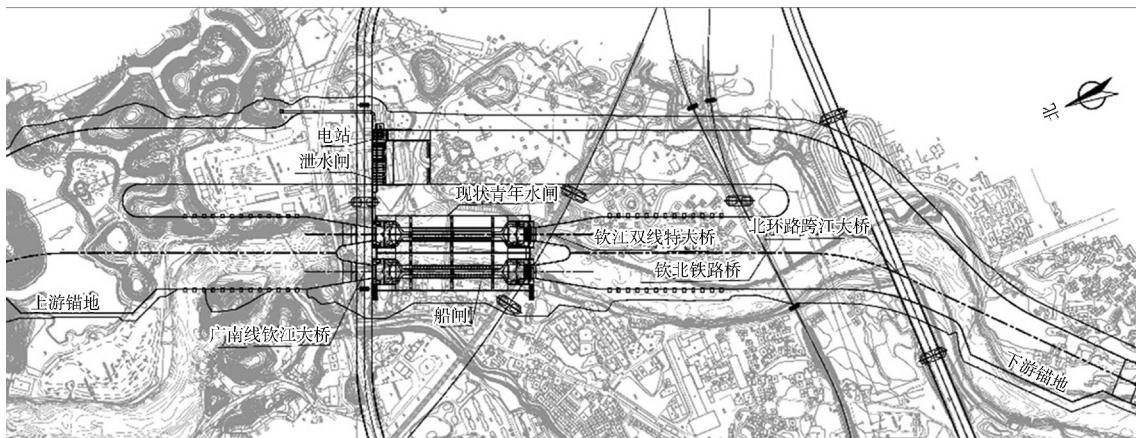


图 3 原位改建坝址平面布置

3) 坝址方案比选。从与上游枢纽水位衔接、接岸封闭条件、淹没影响及对周边建筑物的影响

和工程投资等方面进行综合比选,见表 1, 推荐移位新建方案。

表 1 枢纽坝址方案比选

方案	水位衔接条件	地质条件	与上下游航道衔接条件	挡水线封闭条件	淹没影响		
1	与上游拟建枢纽水位衔接	坝址位于久隆断裂和新圩断裂之间,河床覆盖层为中粗砂厚 1~5 m,两岸冲积层厚 6~7 m。基岩为砂岩、泥岩和泥质粉砂岩	与上游航道衔接采用转弯夹角为 18° 和 14° 的复合弯道,转弯半径为 600 m,与下游航道衔接转弯夹角为 37.8°,转弯半径 360 m	船闸和泄水闸两侧均为山丘,可建设混凝土坝形成封闭挡水线,坝轴线长度为 675 m,封闭条件较好	维持现状正常蓄水位,无新增淹没		
2	与方案 1 相同	坝址处未见较大断裂通过。河床覆盖层为中粗砂,厚度为 0.5 m,基岩为泥岩、粉砂质泥岩夹砂岩	与上下游航道衔接转弯夹角分别为 20° 和 25°,转弯半径均为 600 m	枢纽左右两岸地形较高,可建设混凝土坝形成封闭挡水线,坝轴线长度为 1 000 m,封闭条件较好	与方案 1 相同		
方案比选		地基承载力均满足结构要求。 方案 1 较优	方案 1 较优	方案 1 坝轴线较短	基本相同		
方案	施工条件	对周边建筑物的影响	对饮用水源保护区的影响	征地面积/ 万 m ²	拆迁面积/ 万 m ²	开挖量/ 万 m ³	征地+水工+桥梁+ 土石方投资/万元
1	船闸可利用预留岩梗形成干地施工条件,施工难度较小。需开挖山体形成施工道路,对外交通条件稍差	不影响沿海铁路桥;对广南线钦江大桥影响较小;需拆除青年水闸	泄水闸位于饮用水源一级保护区,船闸位于饮用水源二级保护区内	234.8	2.03	4 356	67.53
2	船闸位于主河槽,施工期长,施工难度较大。可经 G325 国道桥进入施工区,对外交通条件较好	需拆除沿海铁路桥;需拆除青年水闸;对广南线钦江大桥影响较大	枢纽上游引航道位于饮用水源一级保护区内,上游连接段航道位于饮用水源二级保护区	278.3	4.02	3 658	75.31
方案比选		方案 1 较优	方案 1 较优	方案 1 较优	方案 1 较优	方案 2 较优	方案 1 较优

3 平面布置方案比选

3.1 布置原则

枢纽布置优先满足通航需求^[2], 使船闸上下游引航道与航道平顺连接, 且口门区和连接段的通航水流条件满足船舶安全进出闸的要求^[3]。结合地形地质条件和各建筑物布置要求进行枢纽总体布置, 应有利于提高通航效率和预留远期发展条件, 减少各建筑物相互干扰, 兼顾施工和管理方便, 节省工程投资。

3.2 平面布置方案

青年枢纽由船闸、泄洪闸、电站、连接坝和鱼道组成。枢纽总体采用分散布置方式, 船闸布置在河道左侧, 双线船闸上闸首为挡水线组成部分; 泄水闸布置在河槽中, 电站和鱼道紧邻泄水闸左侧布置。由于泄水闸闸址方案唯一, 因此枢纽总体布置主要对船闸平面布置进行比选。

船闸平面布置首先需确定船闸轴线位置。船闸有效尺度为 300 m×34 m×8 m(长×宽×门槛水深)。为提高通航效率, 引航道平面布置采用曲线进闸-直线出闸形式。为减少征地和开挖量, 双线船闸采用共用引航道布置, 上下游导航调顺段采用 $y = x/6$ 线形, 主导航墙轴线投影长 177 m, 停泊段按满足一闸次过闸船舶停泊考虑, 取 325 m; 上下闸首根据结构计算和布置要求, 长度分别为 62、70 m; 上下游制动段分别取 90、45 m, 计算船闸直线段最小长度为 1 571 m。考虑沿海铁路桥可保留原桥梁, 为保证桥区段通航安全, 桥梁上游直线段长度按 2 倍设计船长控制, 船闸轴线与铁路桥桥位处中心线夹角不小于 36°。

船闸布置在左侧丘陵区, 为减少开挖量, 对船闸中心线与桥区段航道中心线夹角考虑 36.4°、

37.8°、38.4° 3 种方案比选。经开挖量计算发现, 随夹角变小, 即船闸中心线越往岸侧偏转, 开挖量越大, 开挖量分别增加 3.3%、4.1%。因此在相同平面尺度条件下, 船闸中心线偏右侧布置, 开挖量较小。

平陆运河工程水资源缺乏, 青年枢纽需采用省水船闸方案, 省水方式通过互灌互泄和省水池 2 种方案进行比选。综合考虑引航道布置、输水系统布置、金属结构检修和船闸主体结构安全等因素, 互灌互泄方案双线船闸中心间距取 70 m, 省水池方案双线船闸中心间距取 100 m。因此有必要结合不同省水方案, 进一步对船闸平面布置进行比选。

方案 1(互灌互泄方案): 船闸中心线与沿海铁路桥桥区段航道中心线夹角为 37.8°。船闸直线段长度为 1 571 m, 上下游引航道宽度为 163 m。为保证桥区段通航安全, 下游引航道末端距广南线钦江大桥距离按不小于 1 倍设计船长控制。上游引航道与主航道夹角为 18° 和 14° 复合弯道衔接, 转弯半径为 600 m, 下游引航道与主航道衔接转弯夹角为 37.8°, 转弯半径为 360 m。为改善下游引航道汇流口通航水流条件, 在下游右岸停泊段末端布置隔流墩, 长 295 m。平面布置见图 4a)。

方案 2(省水池方案): 该方案引航道宽度为 193 m, 考虑船闸轴线间距和引航道宽度较大, 在总体布置方案 1 的基础上, 按沿海铁路桥上游直线段长度取 2 倍船长控制, 将船闸轴线向河侧偏转 0.6°, 使上游引航道尽早接入主航道以减少左侧山体开挖。上游引航道与航道衔接转弯夹角分别为 35.0° 和 38.4°。其他建筑物布置与方案 1 一致。平面布置见图 4b)。

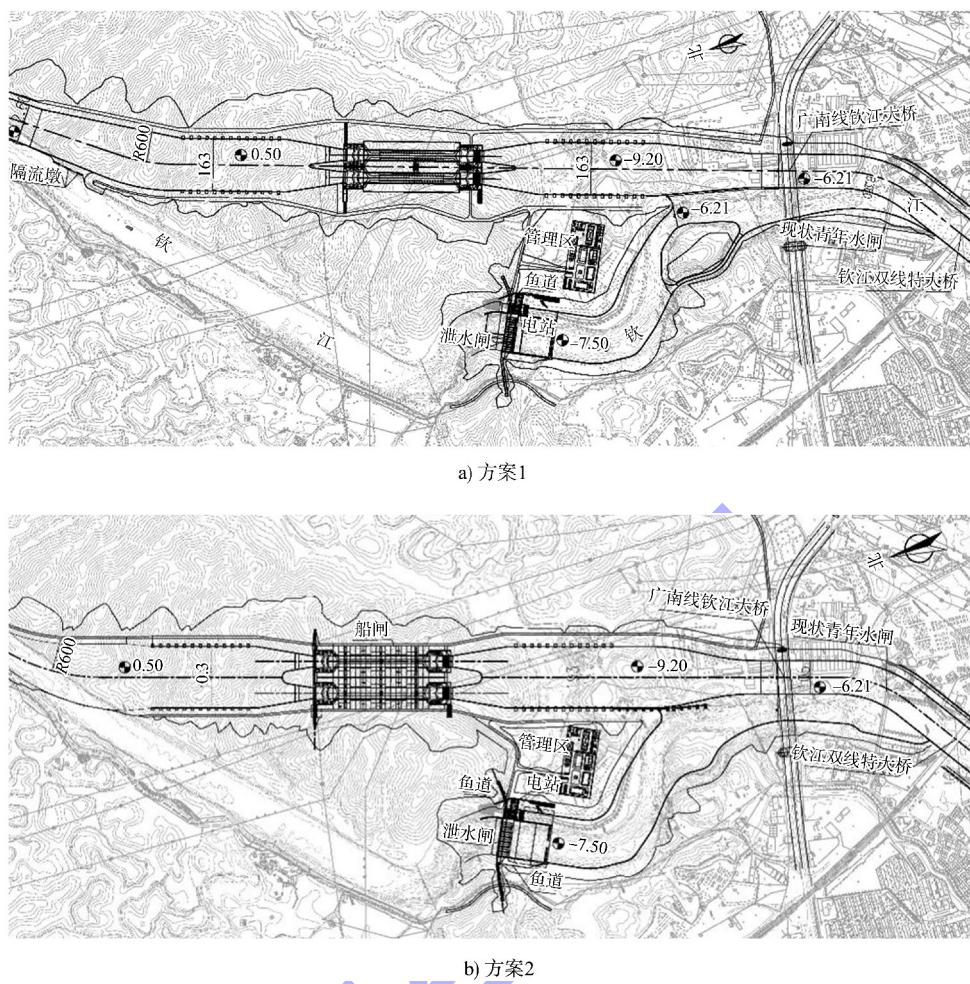


图4 两种方案平面布置 (单位: m)

3.3 平面布置方案比选

从上下游航道衔接条件、通航水流条件、开挖量、工程投资等方面对2个平面布置方案进行综合比选, 见表2。由表2可见, 方案1开挖量较小, 预留三线船闸条件较好, 投资较省, 上下游通航水流条件更好, 最大通航流量可提高至 $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 。

虽然方案2采用省水池船闸可独立运行, 通航效率较高, 但本工程船闸通过能力受第一梯级马道枢纽控制, 青年枢纽因水头较小, 输水时间更短, 即使考虑互灌互泄的运行等待时间, 其通过能力需要与马道枢纽相协调, 方案2的通航效率优势并不明显。因此推荐方案1。

表2 平面布置方案比选

方案	地质条件	上下游航道衔接条件	通航水流条件	预留三线船闸	施工条件	征地面积/ 万 m^2	开挖量/ 万 m^3	枢纽静态 投资/亿元
1	左侧船闸下游导航墙、局部下闸首及右船闸临近下闸首局部闸室结构建基面位于强风化岩层	1)与上游航道通过1个 18° 和 14° 的复合弯道顺接, 转弯半径600 m; 2)与下游航道通过1个 38° 弯道顺接, 转弯半径360 m	上下游引航道通航水流条件较好, 最大通航流量 $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$	上下游引航道宽度较窄, 有利于预留三线船闸布置	船闸主体及上下游引航道均位于左岸丘陵区, 便于采用预留围堰干地施工, 施工条件较好	1 490.1	4 350	106.75
2	左侧船闸下游部分导航段、停泊段及右侧船闸下闸首结构建基面位于强风化岩层	1)与上游航道通过1个 35° 弯道顺接, 转弯半径600 m; 2)与下游航道通过1个 38.5° 弯道顺接, 转弯半径360 m	上下游引航道通航水流条件较差, 最大通航流量 $300\text{ m}^3/\text{s}$	预留三线船闸条件较差	与方案1相同	1 563.4	4 262	110.31

4 平面布置关键影响因素及优化方案

4.1 船闸上游引航道口门区及连接段通航水流条件

4.1.1 影响因素

上游引航道口门区和连接段航道位于行洪河道主流区，上游来流与上游引航道口门区和连接段航道中心线夹角较大，约为 30° 。根据模型试验^[4]，在枢纽同时泄洪和通航工况下，2 a一遇流量 $890 \text{ m}^3/\text{s}$ 时，口门区附近流速为 1 m/s ，横向流速超过 0.5 m/s ，超过规范允许值 0.3 m/s 。自航船模试验发现，下行船舶通过该区域停靠船闸左侧靠船墩时，船尾受横流影响漂角较大。

4.1.2 优化方案

上游引航道口门区中心线采用夹角为 18° 和 14° 的复合弯道布置，使上游口门区和连接段航道不占用河道行洪水域，同时尽量减少左侧山体开挖；加大口门区和连接段航道宽度，与航道分界处宽度增大至 122 m ，对弯道内侧进行拉直处理；在上游引航道右侧隔流堤堤头上游 120 m 范围内布置3段导流墙，每段导流墙长 20 m ，分段间隔距离为 20 m ，墙顶高程为 9.5 m 。上游引航道布置见图5。

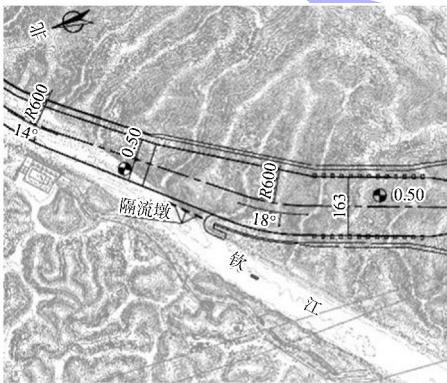


图5 上游引航道及隔流墩布置（单位：m）

4.1.3 改善效果

根据青年枢纽整体模型试验分析，上游口门区附近过水宽度增加至 200 m 左右、口门区右侧增加导流墙后，航道右侧边缘局部最大横向流速为 0.43 m/s ，其他区域均小于 0.30 m/s ，基本满足规范口门区横向流速不大于 0.30 m/s 的要求。

船模可沿下行航线顺利进入船闸左侧停泊段。

4.2 船闸下游引航道口门区及连接段通航水流条件

4.2.1 影响因素

为减少泄水闸下游河道开挖量，保留河中小岛，枢纽下泄水流受小岛挤压后，沿小岛左汊左岸侧下泄，过船闸引航道右侧导堤后，向船闸下游口门区内扩散，并在口门区左岸侧形成回流区，受水流扩散影响，导堤堤头以下 $80\sim250 \text{ m}$ 横向流速超过 0.5 m/s ，通航水流条件较差。

4.2.2 优化方案

根据峡江枢纽工程经验^[5]，峡江枢纽下游分水墙采用底部透空式导流结构，能够提前扩散进入引航道口门区的水流，水流更加平顺。本工程将导流墙延长 50 m ，采用底部透水导流墙结构，同时调整航道边线布置，减小船闸下游隔流堤堤头以下 $300\sim800 \text{ m}$ 范围内河道右侧开挖范围。下游弯道段航道开挖边线调整对比见图6。

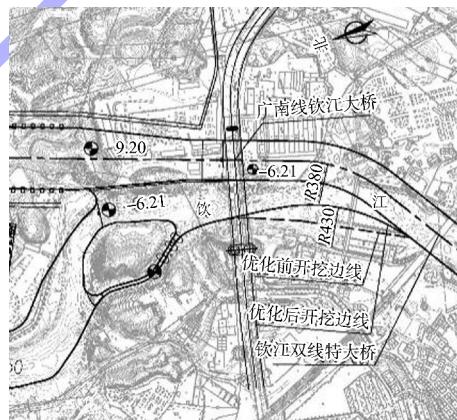


图6 下游弯道段航道开挖边线调整对比（单位：m）

4.2.3 改善效果

优化船闸下游右侧导流墙后，大部分水流沿口门区右侧非通航区域下泄， $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ 时，下游口门区内横向流速基本小于 0.25 m/s ，透水导流墙附近局部小范围最大横向流速小于 0.35 m/s ，其他区域均小于 0.30 m/s ，基本满足规范口门区最大横向流速小于 0.30 m/s 的要求。延长导流墙后，泄水闸下泄水流向口门区内扩散现象明显减弱，主流从口门区下游弯道段集中进入航道，导致下行航道在堤头以下 700 m 附近横向流速分量

在 0.45 m/s 左右, 通航水流条件稍差。通过减小船闸下游堤头以下 300~800 m 范围内河道右侧开挖范围, 使弯道段横向流速小于 0.30 m/s。

5 结语

1) 通过综合技术经济比选, 移位新建坝址更优, 结合互灌互泄省水方案的平面布置方案更经济合理。

2) 针对原布置方案泄洪主流从口门区通过导致船闸上游引航道口门区横流偏大的问题, 优化上游口门区和连接段航道布置, 使其不占用河道行洪水域, 并在隔流堤上游增设底部透空菱形导流墙, 有效改善了通航水流条件。

3) 通过延长下游导流墙长度和采用透空式导流墙, 改善下游口门区通航水流条件, 减小河中小岛的开挖, 节省了工程投资。在满足弯道加宽要求的前提下, 减小船闸下游堤头以下 300~800 m 范围内河道右侧开挖范围, 改善下游弯道段航道水流条件。

4) 对总体布置采用分散布置的枢纽工程, 在

船闸和泄水闸分流口处向远离引航道侧拓宽河道, 可降低河道流速, 改善口门段和连接段航道水流条件。本工程前期考虑不搬迁自来水厂及向右拓宽河道; 下阶段结合模型试验研究, 可考虑对右岸扩挖, 以提高通航流量和减小左侧山体开挖。

参考文献:

- [1] 中交水运规划设计院有限公司. 平陆运河工程可行性研究报告 [R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2022.
- [2] 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.
- [3] 中交水运规划设计院有限公司. 船闸总体设计规范: JTJ 305—2001 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [4] 交通运输部天津水运工程科学研究院. 平陆运河青年枢纽整体水工物理模型试验研究 [R]. 天津: 交通运输部天津水运工程科学研究院, 2022.
- [5] 罗少桢, 韩巍巍, 汤建宏, 等. 峡江枢纽船闸平面布置及闸室结构优化 [J]. 水运工程, 2016(S1): 89-93.

(本文编辑 王传瑜)

(上接第 132 页)

参考文献:

- [1] 杨静黎, 蒋孜伟, 黄超. 长江上游钱口石梁滩切礁整治试验 [J]. 水运工程, 2019(6): 93-98, 131.
- [2] 陈建. 长江三峡库区炉子梁孤礁炸礁水深的确定及整治效果分析 [J]. 水运工程, 2017(1): 125-130.
- [3] 黄振祥, 杨胜发, 张帅帅, 等. 长江上游大箭滩河段整治方案数值模拟研究 [J]. 中国水运 (下半月), 2022, 22(5): 21-23.
- [4] 雷雅文, 高亚军. 长江上游肖家石盘航道整治方案研究 [J]. 人民长江, 2019, 50(S1): 9-14.
- [5] 曾方. 长江东溪口航道整治船模通航试验研究 [J]. 水运工程, 2017(2): 71-76, 82.
- [6] 胡鹏飞, 李梁喜. 五台梁清礁工程整治效果分析 [J]. 水

运工程, 2022(2): 129-134.

- [7] 长江重庆航运工程勘察设计院. 长江上游涪陵至丰都河段航道整治工程工程可行性研究报告 [R]. 重庆: 长江重庆航运工程勘察设计院, 2021.
- [8] 重庆交通大学. 长江上游涪陵至丰都河段航道整治工程数学模型研究 [R]. 重庆: 重庆交通大学, 2021.
- [9] 天津水运工程科学研究所. 长江上游涪陵至丰都河段航道整治工程仿真船舶模拟试验 [R]. 天津: 天津水运工程科学研究所, 2021.
- [10] 交通运输部天津水运工程科学研究所. 水运工程模拟试验技术规范: JTS/T 231—2021 [S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2021.

(本文编辑 王传瑜)