

青山枢纽改造工程左汊桥位布置方案试验研究

邓灿¹, 曹凌瑞², 李明³, 王能³

(1. 湖南省湘水集团有限公司, 湖南 长沙 410004; 2. 长沙理工大学水利工程学院, 湖南 长沙 410114;
3. 湖南省交通规划勘察设计院有限公司, 湖南 长沙 410200)

摘要: 为保证通航安全, 在通航河流上建桥时需要论证其对船舶航行安全的影响。针对青山枢纽改造工程左汊航道桥位选择问题, 采用整体定床物理模型和遥控自航船模相结合的试验方法, 对不同桥位布置方案进行了通航条件试验研究。试验结果表明: 方案二桥位对船舶航行影响小, 船舶可以在设计通航水位安全航行, 推荐采取此桥位布置方案。

关键词: 桥位选择; 通航安全; 通航水流条件; 船模试验

中图分类号: U442 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 09—0067—03

青山枢纽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。澧水在青山枢纽上游约 1.5km 处分为两汊, 右汊为澧水干流原始航道, 左汊绕至临澧县新安镇, 转向东南于芭茅渡与右汊汇合, 两汊之间为洞子坪洲。青山枢纽船闸下游航道是澧水石门至澧县的重要交通航线, 枢纽改建工程实施后左汊通航, 原左汊下游漫水桥因阻碍通航需要拆除。为了解决洲上居民出行问题以及促进当地旅游经济发展, 在枢纽左汊需要重新架设桥梁。桥位选择不理想则会使河道的水流条件发生改变, 恶化通航环境, 从而增加船舶航行难度^[1, 2]。

根据枢纽下游河势及水流条件, 设计单位给出了两个拟建桥位布置方案(图 1)。其中方案一桥位下距枢纽下游口门区右侧导流墩约 3500m, 方案二下距下游右侧导流墩约 100m。本文针对桥位选址的两种方案, 采用整体定床物理模型和遥控自航船模相结合的试验方法, 对左汊航道通航条件进行研究分析, 为桥位选择提供依据。

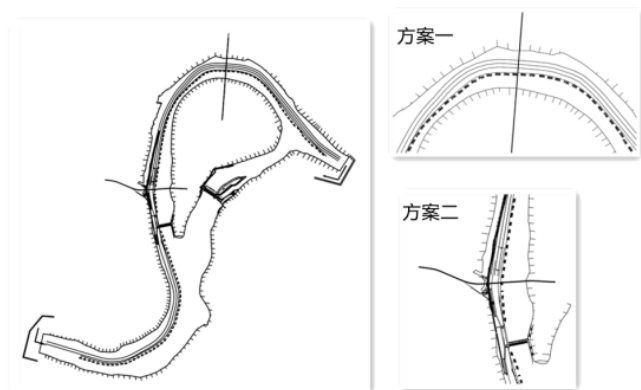


图 1 青山枢纽物理模型口门区下游图

1.1 整体模型简介

整体物理模型主要是根据研究内容、模拟河段范围、试验场地和设备条件等, 依据物理模型基本相似理论进行设计。物理模型必须满足几何相似、水流运动相似、动力相似及阻力相似。根据本项目所要研究的内容, 同时考虑船舶模型必须在物理模型上进行相应试验的要求, 物理模型采用正态定床模型。根据该项目要求模拟河段的范围(图 1), 结合试验场地大小、船舶模型试验要求、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。

经与实测枢纽下游河段沿程水位、流量、断面流速等参数对比, 模型与原型水面线基本一致, 且各项指标的偏差均符合《内河航道与港口水流泥沙模拟技术规程》^[3] (JTS/T231-4-2018) 的技术要求。

1.2 船模试验简介

本次研究代表船型为 1000t 级机动船, 其尺寸为长 85m, 宽 10.8m, 吃水深度为 2.0m。根据《内河航道与港口水流泥沙模拟技术规程》^[3] (JTS/T231-4-2018) 的规定, 用于通航条件试验的船模, 应该满足几何相似、重力相似和操作性相似条件。试验船模为几何正态, 比尺为 1:110, 即 $\lambda_l = 110$ 。根据量纲分析, 对于几何正态的船模, 其物理量之间的比尺关系如下:

$$\text{吃水比尺: } \lambda_T = \lambda_l \quad \text{排水量比尺: } \lambda_w = \lambda_l^3$$

$$\text{速度比尺: } \lambda_u = \lambda_l^{1/2} \quad \text{时间比尺: } \lambda_t = \lambda_l^{1/2}$$

经率定, 船模直线航行平稳, 吃水与实船相符, 航速与操纵性符合规范要求。

综上, 所制作的物理模型、船舶模型可作为青山枢纽下游弯曲航道优化工程模型试验研究的基础。

1 模型设计与验证

2 左汊水流条件分析

枢纽左汊下游航道,在来流 $\leq 8910\text{m}^3/\text{s}$ 的条件下,下游口门区附近水流整体相对平顺。当 $Q=8910\text{m}^3/\text{s}$ 时,下游引航道口门区纵向流速约为 1.3m/s ,绝大部分水域横向流速不超过 0.3m/s (见图2),左岸附近有局部回流,但在航道线之外,对船舶通航不会造成太大影响,下引航道连接段最大纵向流速 1.6m/s (见图3),水流条件基本满足规范要求。但在下游大约 2600m 起,航道位于弯道地形处。该弯道全长约 1700m ,宽约 465m ,弯曲半径约为 1282m ,该段水流流速较大,水流流态极为复杂,局部纵向流速达到 2.54m/s ,来往船只受横向流速影响较大,航行难度大。

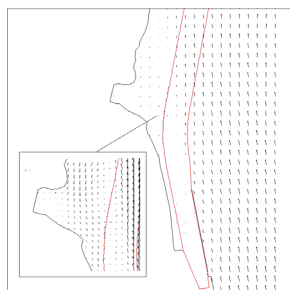


图2 下游口门区流场图

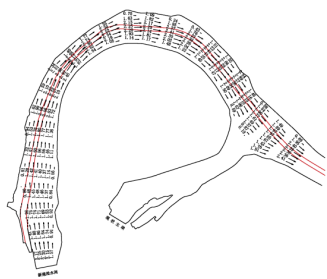


图3 下游航道流场图

3 桥位选址方案

3.1 方案一

桥位选择在下游口门区距右侧导流墩约 3500m 处,处于弯曲河段,桥位上下游 3 倍船舶长度范围内采取直线布置,与上下游航道弯道衔接。

3.1.1 桥区航线布置

为验证桥区船舶航行情况,对该桥位布置方案进行船模航行试验。并根据试验成果在原有航线基础上对该段航道航线进行优化调整,以探究此桥位布置方案的可行性。因中低流量下水流流速小,通航较为安全,故试验流量采用设计最大通航流量为 $8910\text{m}^3/\text{s}$ 。各航线布置情况见图4。

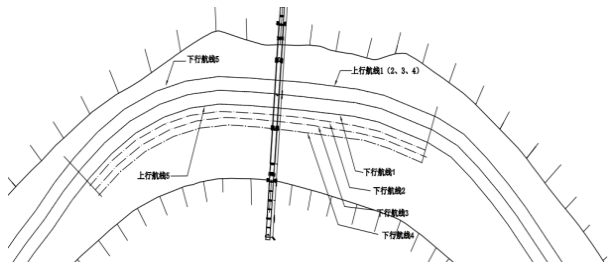


图4 航线布置图

航线1:距下游右侧导流墩下游 3300m – 3800m 范围内直线布置,航线宽为 90m ,与上下游航道弯道衔接,船舶采用左侧上行右侧下行方式航行。

航线2:仍然采用船舶左侧上行右侧下行方式航行,其中,在航线1基础上距下游右侧导流墩下游 2600m – 4300m 范围内下行航线航线向右偏 22.5° ,桥位上下游 3 倍船舶长度范围直线布置,与上下游航道弯道衔接。

航线3:仍然采用船舶左侧上行右侧下行方式航行,其中,在航线1基础上距下游右侧导流墩下游 2600m – 4300m 范围内下行航线向右偏 42.55° ,桥位上下游 3 倍船舶长度范围直线布置,与上下游航道弯道衔接。

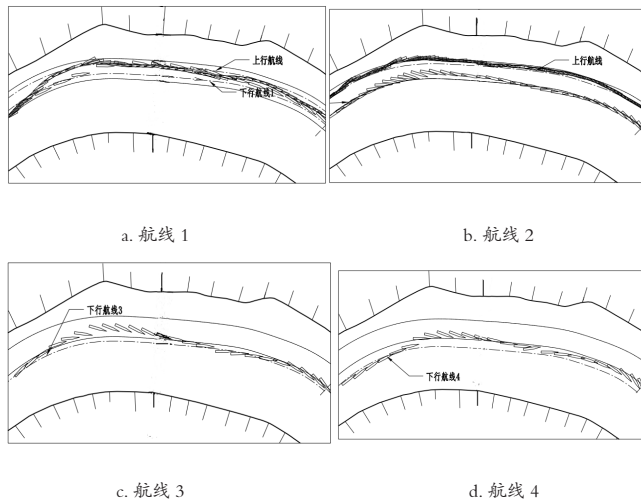
航线4:仍然采用船舶左侧上行右侧下行方式航行,其中,在航线1基础上距下游右侧导流墩下游 2600m – 4300m 范围内下行航线向右偏 62.5° ,桥位上下游 3 倍船舶长度范围直线布置,与上下游航道弯道衔接。

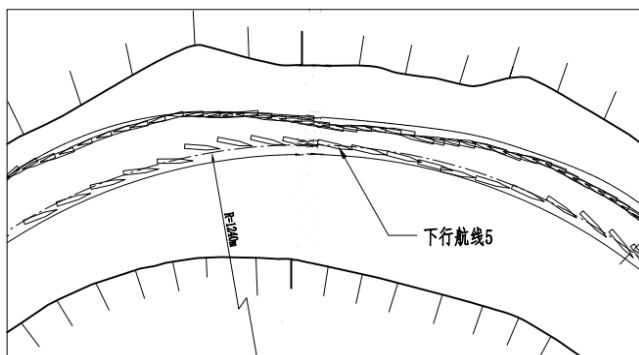
航线5:以航线1为基础,船舶采用右侧上行左侧下行方式航行,即交换上下行航线。

3.1.2 船模试验结果分析

结合船模航态图分析可知:航线1船舶能安全上行,但下行船舶无法避开上行船舶。航线2、3、4船舶能安全上行,下行船舶能避开上行船舶,但在过弯时最大舵角超过 30° ,稍有不慎,船舶会偏离下行航线,存在较大安全隐患。航线5船舶下行舵角控制在 20° 以内,船舶向凹岸漂移,漂距约 50m ;上行最大舵角 19.36° ,船舶在距下游右侧导流墩 3200m 处向凹岸漂移距较大,存在较大安全隐患。

各航线工况下船模航态图见图5。





e. 航线 5

图 5 船模航态图

试验结果表明：船舶按方案一桥位各航线航行均存在一定安全隐患，结合《航道工程设计规范》^[4]要求，航道轴线方向与水流方向夹角不宜大于 5° ，优先选择水流稳定，航道轴线平顺、避免连续转向的地势。故不建议在此桥位布置新建桥梁。

3.2 方案二

针对下游弯道处桥位的布置会对船舶通航造成一定的安全问题，提出新的布置方案。经对下游口门区附近流场的测量发现，该段航道水流平顺，航线顺直，可布置桥梁。

3.2.1 试验布置

桥位位于距下游口门区右侧导流墩 100m 处。同样，对该桥位布置进行船模航行试验，流量为 $8910\text{m}^3/\text{s}$ 。

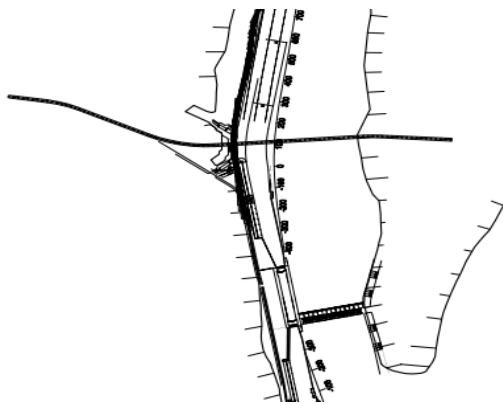


图 6 方案二桥位布置示意图

3.2.2 试验结果分析

试验结果表明：船舶在上下行行驶时航态平顺，船舶下行舵角在 10° 以内，船舶向凹岸漂移，漂距范围在 5m 之内；上行最大舵角 7.76° ，漂距范围在 4m 之内。船舶上下行航行舵角、漂角、漂距均在《内河通航标准》^[5] 要求范围内，即船舶可以在最大通航水位下安全行驶。由此可知，此桥位布置方案可满足桥区船舶通航要求。

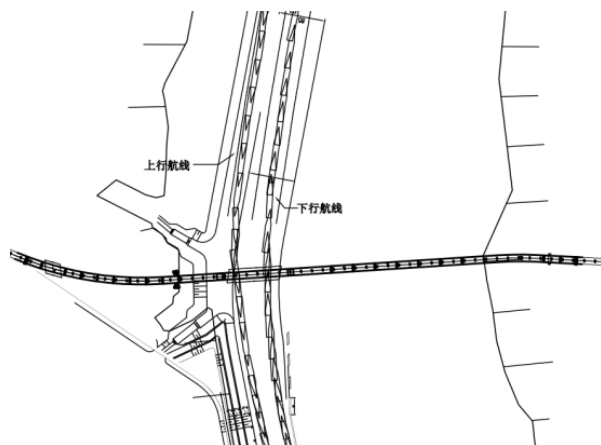


图 7 船模航态图 ($Q=8910\text{m}^3/\text{s}$)

4 结论

模型试验成果表明，受弯曲河道水流影响，在最大通航水位工况下，桥位布置方案一中船舶航行存在较大的安全隐患，不宜采用。桥位布置方案二中船舶航行受水流条件影响较小，航行姿态满足规范要求，推荐采用该桥位方案。研究成果解决了青山枢纽改造工程左汊新建桥梁桥位选择问题，可供类似项目参考。

参考文献：

- [1] 李彬, 孙东坡, 赖冠文等. 桥墩布置形式对桥墩绕流及局部流场的影响 [J]. 中国农村水利水电, 2013(07):129-132+134.
- [2] 薛小华, 刘怀汉, 茆长胜. 桥墩扰流对通航净宽尺度影响的试验研究 [J]. 水运工程, 2011(01):187-191.
- [3] TS/T231-4-2018, 内河航道与港口水流泥沙模拟技术规程 [S].
- [4] TS181-2016, 航道工程设计规范 [S].
- [5] GB50139-2004, 内河通航标准 [S].

