



山区急弯段船闸引航道口门区导流墩布置*

方 洋¹, 尚倩倩², 许 慧², 李文清²

(1. 安徽省交通勘察设计院有限公司, 安徽 合肥 340000; 2. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210024)

摘要: 针对山区急弯段船闸引航道口门区横流、回流超标等问题, 采用物理模型, 研究导流墩布置对船闸引航道口门区通航水流条件的影响。选取新安江妹滩枢纽船闸为研究对象, 全面考虑墩形、布置角度、墩尺寸、墩间距、墩数量等参数, 重点分析不同墩间距、墩数量条件下的水流流态, 通过对比口门区纵向流速、横向流速、回流流速等水力指标, 优化导流墩布置。结果表明: 导流墩墩形可选用平行四边形, 布置角度应沿航线平行布置, 墩群间隙轴线与水流方向布置为锐角; 对于急弯段而言, 导流墩相对间距取0.50倍墩长, 导流墩数量不小于5, 守护范围应至口门区中段, 可有效改善妹滩枢纽船闸引航道口门区通航流态。

关键词: 导流墩; 通航水流条件; 船闸引航道口门区; 物理模型试验; 急弯河段

中图分类号: U641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)08-0118-09

Layout of diversion piers at entrance area of ship lock approach channel in mountainous sharp bends

FANG Yang¹, SHANG Qianqian², XU Hui², LI Wenqing²

(1. Anhui Transport Survey and Design Institute Co., Ltd., Hefei 340000, China;

2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China)

Abstract: To the problems of crossflow and backflow exceeding the standards in the entrance area of approach channel for mountainous sharp bends, especially in sharp bend sections of mountainous area, this study uses physical model experiments to investigate the influence of diversion piers layout on navigation flow conditions in the entrance area of the ship lock approach channel. Taking the Meitan ship lock in Xin'an River as the research object, this paper comprehensively considers multiple parameters such as pier type, layout angle, pier dimensions, pier spacing and piers quantity, and focuses on analyzing the water flow state under different pier spacing and pier quantity conditions. By comparing hydraulic indicators such as longitudinal flow velocity, transverse flow velocity, and backflow velocity in the entrance area, the layout of diversion piers is optimized. The results show that the diversion pier geometry can be designed as a parallelogram, and the layout angle should be arranged parallel to the navigation channel. Additionally, the central axis of the inter-pier spacing should be arranged at an acute angle with the water flow direction. For sharp bend sections, the relative spacing between the diversion piers is set to 0.50 times the pier length, and the number of diversion piers is not less than 5. The protection range should extend to the middle section of the entrance area, which can effectively improve the navigation flow conditions in the entrance area of the approach channel for the Meitan ship lock.

Keywords: diversion pier; navigation flow condition; entrance area of lock approach channel; physical model experiment; sharp bend section

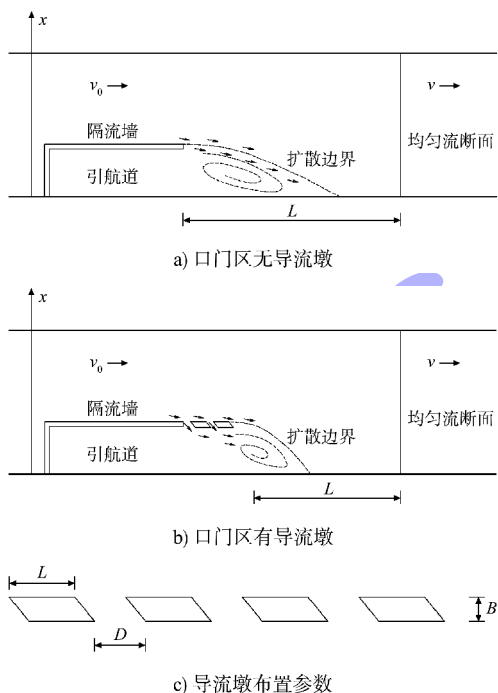
收稿日期: 2024-11-20

*基金项目: 国家重点研发计划重点专项项目(2024YFC3212500)

作者简介: 方洋(1988—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口航道工程设计咨询工作。

引航道口门区处于河流动水与引航道静水交界处,易产生斜向水流和回流,当斜向水流的横向流速分量和回流达到一定强度后,易使航行船舶产生横漂和扭转,严重时会发生事故^[1-2]。对位于山区急弯段的船闸引航道而言,这种情况更为突出^[3],严重影响到过闸船舶的安全。因此,研究改善船闸引航道口门区水流条件具有重要的现实意义。

针对改善船闸引航道口门区通航水流条件的工程措施,国内外进行了大量研究,主要工程措施包括:调整隔水墙长度和堤头形式^[4]、堤身开孔引流^[5]、隔水墙浮式结构^[6-7]、丁坝和潜坝挑流^[8]等。导流墩是近年来应用较为广泛的改善措施。其原理主要是利用导流墩的阻流作用,使得进入口门区流量减小,削弱横向流速;改变原口门区回流结构,减弱回流流速,缩短扩散长度,见图1。



注: L 为导流墩长度; D 为相邻导流墩间距; B 为导流墩宽度。

图1 导流墩削弱斜流的原理及布置参数

Fig. 1 Principle of diversion piers in mitigating oblique flow and layout parameters

从船闸引航道口门区导流墩实际应用案例来看,导流墩结构形式主要是以单一实体型为主,对于口门区水深较大的枢纽工程,为节省导流建筑物投资,也会采用底部为桩基、上部为实体墩的组合式导流墩结构,但由于急弯段处横流或回流强度往往较大,采用实体型导流墩优于底部透

水结构。导流墩布置参数主要有:墩形及布置角度、墩尺寸(墩长 L 、墩宽 B 、墩高程)、墩间距 D 和墩群数量等,导流墩布置对其效果发挥起到重要作用。朱红等^[9]通过概化直水槽试验,认为当导流墩的长度、数量相同时,导流墩相对间距 D/L 为 1.00 时导流效果最佳;李君涛等^[10-11]通过湘江土谷塘航电枢纽模型,认为导流墩布置数量越多,改善效果越佳,在相同数量条件下,导流墩相对间距 D/L 为 1.00 时导流效果最佳;赵根生等^[12]、王熔荣等^[13]认为对于岩滩升船机下游口门区,八边形导流墩整流效果优于平行四边形,布置 7~8 个导流墩,导流墩相对间距 D/L 为 0.50~1.00 时,可较好改善船闸下游口门区通航水流条件;王建平等^[14]采用在上游引航道导航墙末端设置多个间距较小、截面为平行四边形的导流墩,改善上游口门区斜向流速。尽管上述研究已取得较多成果,但大多是基于顺直或微弯河段船闸引航道口门区的研究成果,对山区急弯段边界复杂条件下,引航道口门区导流墩布置研究仍相对有限。

以新安江航道综合整治提升工程妹滩枢纽续建船闸为研究对象,分析导流墩布置对引航道口门区通航水流条件的影响,通过物理模型试验,模拟不同导流墩数量、相对间距时,船闸引航道口门区的水流流态,对比口门内横向流速、纵向流速及回流流速等水力参数,提出导流墩最优布置方案,可为类似急弯段船闸引航道口门区通航水流条件改善提供参考。

1 工程概况

新安江干流上起屯溪三江口,下至歙县街口,全长 85 km,河床为卵石夹砂组成,其中,妹滩枢纽位于屯溪下游 40.8 km 处,河道宽度为 350 m,枢纽附近所在河道呈现 90°急弯,见图 2b)。妹滩枢纽是以航运为主,兼顾旅游、发电、水产养殖等功能,从左岸往右岸依次为重力坝、船闸、电站、泄水闸,工程于 1991 年 11 月开工,1994 年底停工。泄水闸为开敞式活动坝,单孔净宽 30.0 m,共 7 孔;电站采用钢筋混凝土整体结构,共布置 4 孔,单孔净宽 4.0 m;船闸是按 300 吨级船舶,Ⅴ级航道设计,船闸左侧采用重力坝与左岸连接,

受资金影响仅建设了上闸首，见图 2c)。能，拟拆除现状未完成船闸，在原址处新建Ⅳ级船闸 1 座。

为实现新安江干流全线通航，提升航运旅游功

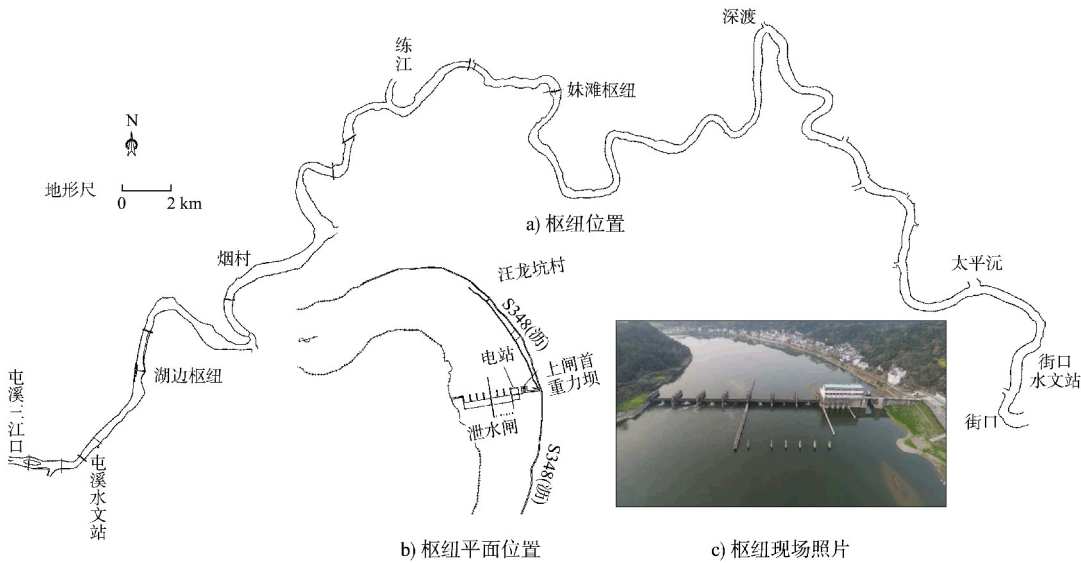


图 2 妹滩枢纽位置及平面布置

Fig. 2 Location and plan layout of Meitan Hub

2 物理模型试验

2.1 模型建立

物理模型模拟河道全长 5.0 km，试验段河宽为 450 m，模型进口距妹滩枢纽 2.5 km，模型出口距枢纽 2.5 km，进出口与试验段保持足够距离，满足 JTS/T 231—2021《水运工程模拟试验技术规范》^[15]中关于范围规定的要求，此外根据研究内容、试验场地等因素，确定采用正态模型，几何比尺为 80，主要相似比尺如下。

几何比尺：

$$\lambda_l = \lambda_h = 80 \tag{1}$$

重力相似比尺：

$$\lambda_v = \lambda_h^{1/2} = 8.94 \tag{2}$$

阻力相似比尺：

$$\lambda_n = \lambda_h^{2/3} / \lambda_l^{1/2} = 2.08 \tag{3}$$

式中： λ 为比尺符号； l 、 h 、 v 、 n 分别为平面尺度、垂直尺度、流速和河床糙率。

依据 2022 年全河段地形测图，采用断面法制作模型，断面间距为 60 cm，模型高程误差控制在±0.5 mm 内，断面平面位置精度控制在±1 cm 内；选取灰塑料板制作枢纽及船闸，尺寸严格按照设计图纸进行加工，允许偏差范围在±0.5 mm 内。此外，根据调研，原型河道糙率为 0.030 ~

0.035，取均值 0.033，求得模型糙率为 0.016，因水泥砂浆拉毛后糙率在 0.013 ~ 0.017，因此不需对模型进行加糙。

2.2 模型验证

采用 2023 年 3 月河道水文测验成果，对模型水位、断面流速分布进行验证，见表 1 和图 3。水文测验时，妹滩枢纽断面流量为 312 m³/s，妹滩枢纽坝前水位 107.92 m，妹滩枢纽运行方式为：电站满发，流量为 92 m³/s；泄水闸 1#、5#、7# 闸门（闸门编号：最右侧为 1# 闸孔，最左侧为 7# 闸孔，其余闸孔依次排序）局部均匀开启，控泄。

表 1 河道沿程水位验证					
Tab. 1 Verification of water levels along river channel					
实测水尺编号	水尺位置/m	原型/m	模型/m	差值/m	备注
21	上距闸址 2 400	107.94	107.96	0.02	
22	上距闸址 1 600	107.94	107.95	0.01	枢纽上游
23	上距闸址 900	107.92	107.93	0.01	
24	上距闸址 50	107.92	107.92	0	
25	下距闸址 40	99.50	99.52	0.02	
26	下距闸址 650	99.39	99.36	-0.03	枢纽下游
27	下距闸址 1 400	99.37	99.36	-0.01	
28	下距闸址 1 800	99.28	99.28	0	

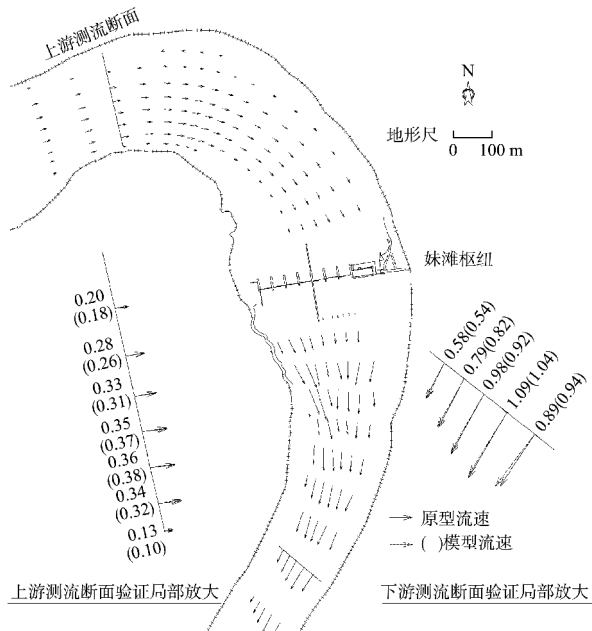


图3 断面流速分布验证 (单位: m/s)

Fig.3 Verification of cross-sectional flow velocity distribution (unit: m/s)

模型与原型水位偏差在 ± 0.05 m内,符合《水运工程模拟试验技术规范》要求的“山区河流的水

位允许偏差为原型水位 ± 10 cm”的规定,表明模型的河床阻力达到相似要求;各断面上模型流速与原型相差在 ± 0.10 m/s内,流量偏差程度在 $\pm 1.3\%$ 内,符合“断面流速分布应与原型基本一致,流量允许偏差为 $\pm 5\%$ ”的规定。

3 引航道通航水流条件

3.1 试验条件

妹滩枢纽主要功能为航运,兼顾发电、旅游。枢纽正常蓄水位为108 m,电站满发流量为 $92 \text{ m}^3/\text{s}$,当来流量大于电站满发流量时,泄水闸分散对称开启,采取1#、5#、7#闸孔控泄。通过模型试验发现,随着来流量的增大,河道流速增加,拟建船闸引航道口门区的横流和回流等不良流态也有所增强,通航条件趋于恶化,因此,结合枢纽运行方式,选取最大通航流量 $1\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 作为试验最不利工况。模型尾门水位根据水面比降将下游街口水文站水位推算至模型尾门处。

表2 物理模型试验条件

Tab.2 Physical model test conditions

最大通航流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	泄水闸/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	电站/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	坝前水位/m
1 000	1#、5#、7#均匀开启,下泄流量 908	满发,下泄流量 92	108

3.2 初步方案水流条件

结合妹滩枢纽现状场地条件,设计单位提供初步方案,见图4,船闸布置在河道左侧,位于弯道凹岸侧,紧邻水电站布置。船闸中心线与泄水闸中心线平行,相距189.2 m。闸首、闸室与枢纽挡水建筑物形成封闭防洪圈。引航道呈不对称布置,船舶进出闸采用“曲进、曲出”布置形式,以适应弯曲狭窄河道形态。

船闸由上、下游引航道,上、下闸首及闸室组成,全长770.84 m。上闸首位于坝轴线上游约73.8 m,长28 m、宽26.6 m,顶高程为114.00 m,门槛高程104.50 m,右侧临河,左侧与左岸堤防连接;闸室总长120 m、净宽12 m,闸室底高程94.92 m;下闸首长26 m、宽26.6 m,顶高程为114.00 m,门槛高程94.92 m。船闸引航道与水电站之间采用隔水墙隔开,上游隔水墙长224 m,上

起停泊段首段,下至辅导航墙;下游隔水墙长376 m,上起辅导航墙,下至停泊段末段。

在最不利工况下,量测初步方案布置时船闸上下游引航道口门区流速,口门区通航水流条件统计见表3。枢纽上游水深较大,为8~10 m,上游引航道口门区通航水流条件较好,能够满足规范要求;相比于上游引航道,枢纽下游河道水深较小,为4~6 m,流速较大,加之受河道急弯边界形态影响,水流动力轴线存在自右侧向左侧过渡,在船闸下游引航道口门区水流与口门区夹角较大,并形成大范围的回流。引航道口门区水流纵向流速为0.17~0.89 m/s,横向流速为0.02~0.16 m/s,口门区基本被回流占据,回流流速0.05~0.50 m/s,超标明显,不满足JTJ 305—2001《船闸总体设计规范》^[16]要求。

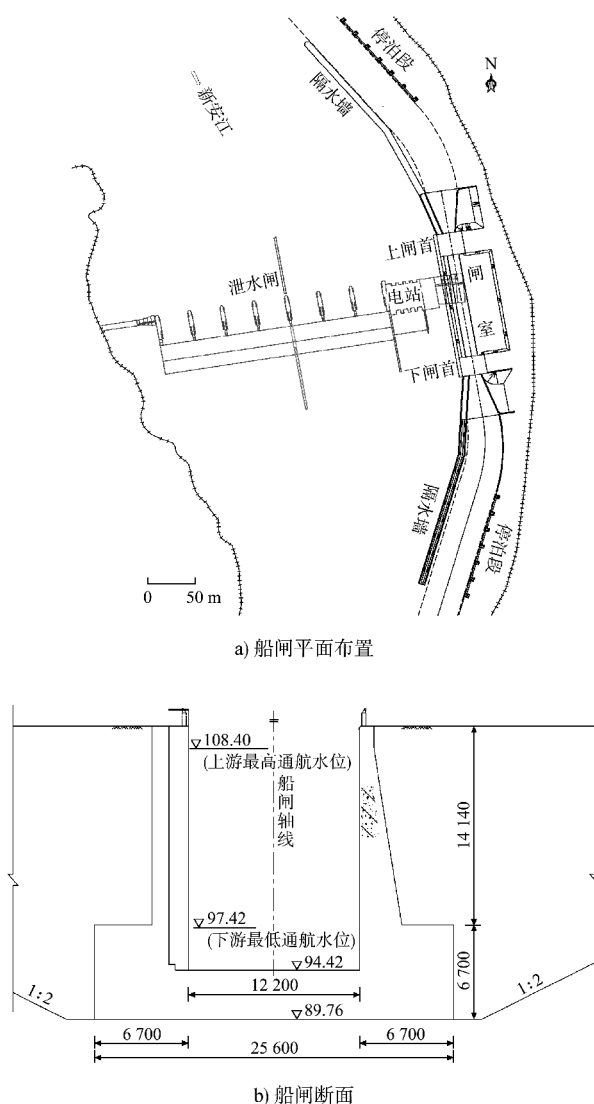


图 4 船闸引航道初步方案布置 (尺寸: mm; 高程: m)
Fig. 4 Preliminary layout of ship lock approach channel
(dimension: mm; elevation: m)

表 3 初步方案时船闸上下游引航道口门区流速
Tab. 3 Flow velocity in entrance area of upstream
and downstream approach channel of ship lock
in preliminary plan

位置	纵向流速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	横向流速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	回流流速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	通航水流 条件
上游引航 道口门区	0.14~0.32	0.01~0.06	无回流	满足规范要求
下游引航 道口门区	0.17~0.89	0.02~0.16	0.05~0.50	回流超标, 不 满足规范要求

4 导流墩布置试验

根据初步方案试验结果, 妹滩枢纽上游引航道口门区水流条件满足规范要求, 下游引航道口门区回流超标, 因此, 针对下游引航道口门区,

采用在下游隔水墙末端布置若干个导流墩的方法, 利用导流墩阻流效应, 改变回流结构, 削弱回流强度, 达到改善引航道口门区通航水流条件的目的。

4.1 墩形及布置角度

根据已有研究成果, 选择平行四边形的墩形, 同时, 试验发现, 导流墩布置角度应沿航线平行布置, 导流墩左偏和右偏布置均会在航线边界产生小范围漩涡, 平行布置优于左偏、右偏布置; 墩群间隙轴线与水流方向布置应为锐角, 锐角布置条件下, 下泄水流能够较为平稳进入引航道口门区, 锐角布置优于钝角和直角布置。

4.2 墩尺寸

导流墩长度是控制其阻流的参数, 若长度过短, 效果将明显减弱, 若长度过长, 引入口门区水量过少, 对导流墩末端斜向扩散水流的调整作用会减弱。综合国内航电枢纽工程船闸口门区布置导流墩的长度, 一般为泄流宽度的 1/20。妹滩枢纽泄水闸宽度为 210 m, 取宽度的 1/20, 单个导流墩长度为 10.5 m; 根据结构稳定要求, 墩宽取为 3 m。导流墩高程一般设置为最高通航水位以上 1 m 左右, 保证在通航流量范围内, 导流墩为出水建筑物。

4.3 墩间距

在隔水墙下游布置 5 个导流墩, 隔水墙和导流墩的间距与相邻导流墩的间距相同。在不利工况下, 进行不同墩间距试验, 墩间距分别取 0.25L、0.50L、0.75L、1.00L (L 为导流墩顺水流长度), 量测口门区纵向流速、横向流速和回流流速, 试验照片见图 5, 试验表明:

1) 相比初步方案, 增设导流墩后, 船闸引航道口门区回流均有所减小, 说明导流墩能够起到平顺水流流向、削弱引航道内回流的作用。

2) 当墩间距离为 0.25L 时, 由于导流墩守护范围较小, 口门区末端回流超标; 当导流墩间距为 0.50L 时, 口门区通航水流条件满足规范要求; 当导流墩间距为 0.75L、1.0L 时, 由于墩间距增

加, 横向水流易通过墩间隙进入口门区, 局部区域横流超标, 见表 4。

综上, 从改善通航水流条件而言, 最佳墩间距为 $0.50L$ 。



a) 墩间距为 $0.25L$



b) 墩间距为 $0.50L$



c) 墩间距为 $1.00L$

图 5 不同导流墩间距试验照片

Fig. 5 Experimental photos under different diversion pier spacings

表 4 不同导流墩间距时船闸下游引航道口门区流速

Tab. 4 Flow velocity at entrance area of downstream approach channel of ship lock under different diversion pier spacings

导流墩 间距	纵向流速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	横向流速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	回流流速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	通航水流 条件
$0.25L$	$0.09\sim0.84$	$0\sim0.12$	$0.09\sim0.41$	口门区末端回流超标
$0.50L$	$0\sim0.76$	$0\sim0.09$	$0\sim0.25$	满足规范要求
$0.75L$	$0\sim0.66$	$0\sim0.18$	$0\sim0.13$	墩间过流较大, 局部 横流超标
$1.00L$	$0\sim0.35$	$0\sim0.28$	$0\sim0.09$	墩间过流较大, 局部 横流超标

4.4 墩数量

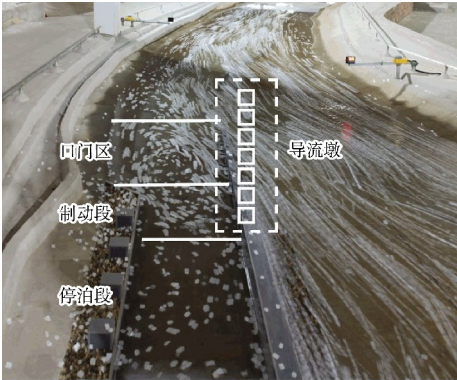
在隔水墙下游分别布置 3、5、7 个导流墩, 墩间距均取 $0.50L$, 3 个导流墩守护范围为引航道制动段, 5 个导流墩守护至口门区中段, 7 个导流墩则守护至口门区下段。在不利工况下, 进行不同导流墩数量试验, 量测口门区纵向流速、横向流速和回流流速, 试验照片见图 6。



a) 3 个导流墩



b) 5 个导流墩



c) 7个导流墩

图 6 不同导流墩数量试验照片

Fig. 6 Experimental photos under different diversion pier quantities

试验表明:

1) 与初步设计方案相比,在有导流墩守护的范围内,纵流和回流均有所减小,当导流墩数量为3个时,仅制动段水流条件改善明显,但口门区末端回流强度仍超过 0.40 m/s;当导流墩数量为5和7个时,口门区水流条件满足规范要求。说明导流墩守护范围至少需涵盖至口门区中段,否则口门区水流条件不满足规范要求。

2) 随着导流墩数量的增加,口门区回流强度逐步减弱,但从墩间进入引航道的水流流速略有增大,见表5。当导流墩为5个时,口门区回流已满足规范要求;当导流墩为7个时,口门区回流基本消失。

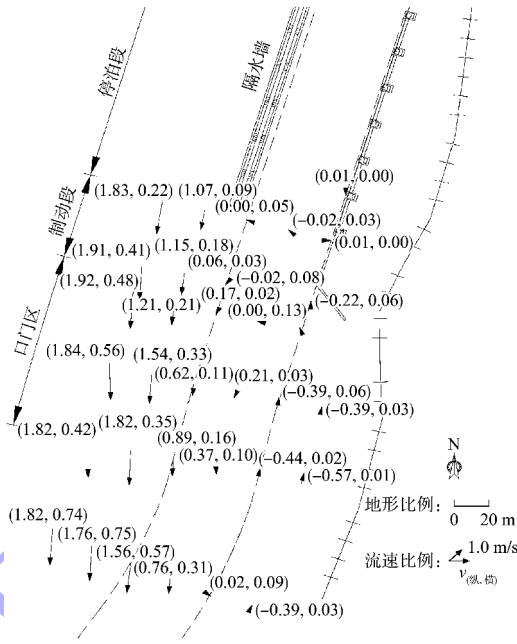
表 5 不同导流墩数量时船闸下游引航道口门区流速

Tab. 5 Flow velocity at entrance area of downstream approach channel of ship lock under different diversion pier quantities

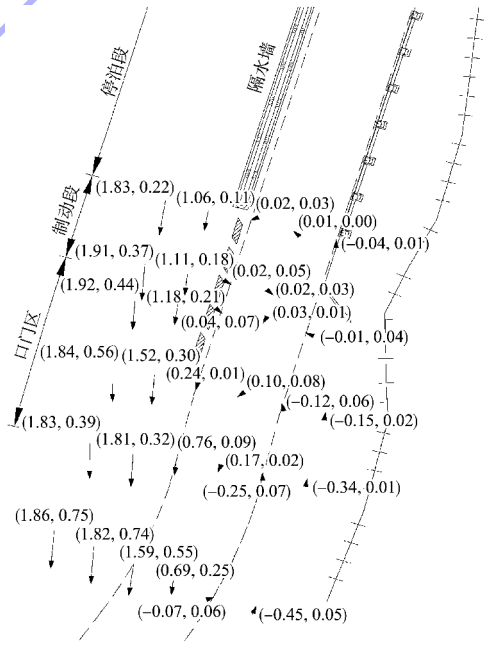
导流墩 数量/个	纵向流速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	横向流速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	回流流速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	通航水流条件
3	0.02~0.89	0.03~0.12	0~0.41	口门区末端有回流,回流强度超标
5	0~0.76	0~0.09	0~0.25	满足规范要求
7	0~0.16	0~0.13	回流消失	满足规范要求

综合不同墩间距和墩数量试验,从改善通航水流条件结合经济角度考虑,导流墩数量选取5个、

墩间距设置为 0.50L 的方案最优。相比于初步方案,该方案船闸下游口门区通航水流条件得到大幅度改善,见图7。导流墩布置见图8。



a) 初步方案



b) 隔水墙下游增设5个导流墩,墩间距0.50L的方案

图 7 船闸下游引航道口门区通航水流条件对比 (单位: m/s)

Fig. 7 Comparison of navigable flow conditions at entrance area of downstream approach channel of ship lock (unit: m/s)

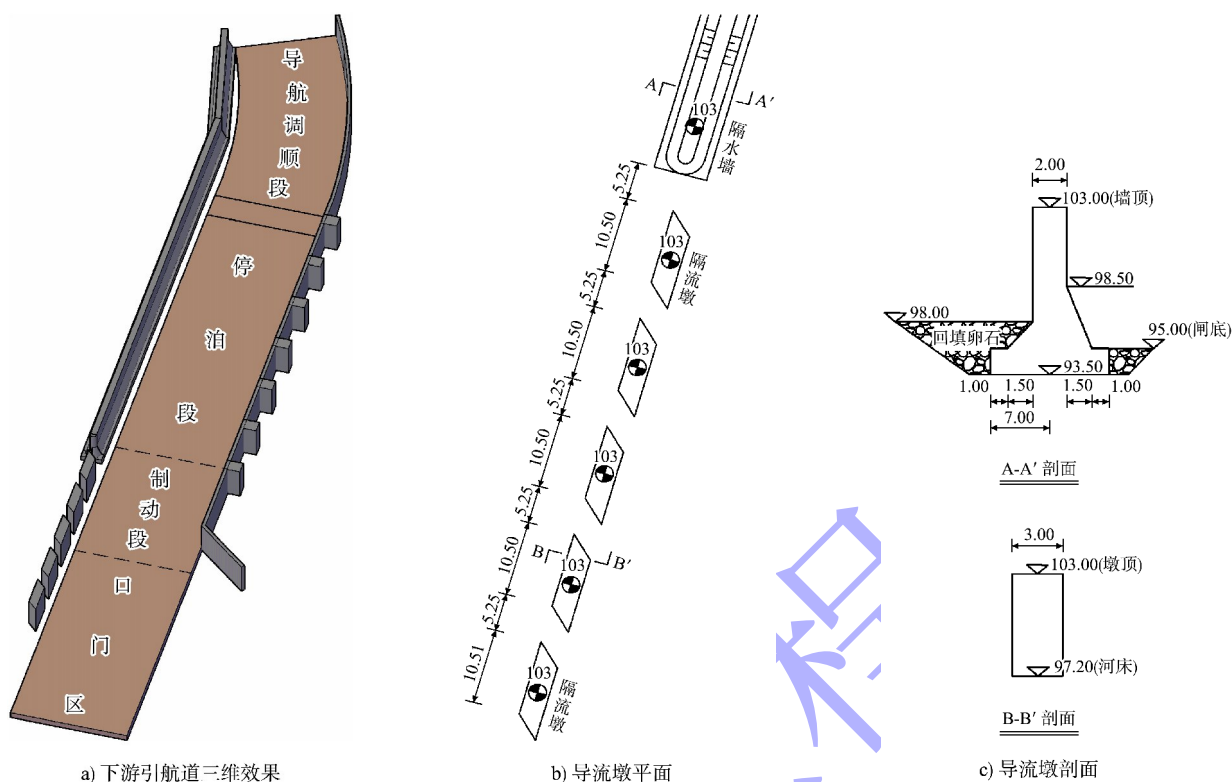


图8 船闸下游引航道口门区导流墩布置 (单位: m)

Fig. 8 Layout of diversion pier at entrance area of downstream approach channel of ship lock (unit: m)

5 结论

1) 对于山区急弯段枢纽而言, 受枢纽壅水影响, 上游水深大流速小, 引航道通航水流条件相对较好; 下游水深小流速大, 加之受河道边界急弯影响, 水流存在自凹岸向凸岸的过渡, 船闸下游引航道口门区往往存在横流以及大范围的回流, 通航水流条件较差, 难以满足规范要求。

2) 在船闸下游隔水墙末端布置导流墩, 利用导流墩的阻流效应, 使得进入口门区流量减小, 削弱横向流速, 改变口门区回流结构, 减弱回流流速, 达到改善通航水流条件目的。

3) 导流墩墩形可选用平行四边形, 布置角度应沿航线平行布置, 墩群间隙轴线与水流方向布置为锐角, 优于钝角和直角。导流墩的长度可取泄流宽度的 $1/20$, 宽度根据结构稳定进行取值。导流墩间距和数量, 可通过模型试验确定, 对于妹滩枢纽而言, 导流墩相对间距应取为 $0.50L$; 导流墩至少需 5 个, 守护范围应至口门区中段。

参考文献:

- [1] 吴澎, 张珊, 罗少桢, 等. 航电枢纽工程选址与布置[J]. 水运工程, 2011(9): 185-188.
WU P, ZHANG S, LUO S Z, et al. Site selection and layout of navigation-power junction[J]. Port & waterway engineering, 2011(9): 185-188.
- [2] 王定. 船闸口门区布置及其通航安全判别标准[J]. 水运工程, 2024(3): 87-91.
WANG D. Layout of gate area of ship lock and criterion of navigation safety [J]. Port & waterway engineering, 2024(3): 87-91.
- [3] 周勤, 尹崇清. 山区河流船闸引航道连接段通航水流条件标准[J]. 水运工程, 2007(12): 77-79, 102.
ZHOU Q, YIN C Q. Navigable flow conditions criteria for connection reach of shiplock approach channel on mountainous river [J]. Port & waterway engineering, 2007(12): 77-79, 102.
- [4] 陈永奎, 焦春文. 自航船模与航道水力学试验研究中几个问题的认识与实践[J]. 长江水利水电科学研究院院报, 1986(1): 74-84.

- CHEN Y K, JIAO C W. The understanding and the proving in practice of some problems in hydraulic research of navigation channel by means of remote-controlled ship models [J]. Journal of Yangtze River scientific research institute, 1986(1): 74-84.
- [5] 韩昌海, 王博文. 飞来峡水利枢纽下游引航道口门区通航条件改善途径探讨[J]. 水运工程, 1996(12): 26-29.
- HAN C H, WANG B W. Discussion on the way to improve the navigation conditions at the entrance of the downstream approach channel of Feilaixia hydro-junction [J]. Port & waterway engineering, 1996(12): 26-29.
- [6] 黄碧珊, 张绪进, 舒荣龙, 等. 新政电航枢纽船闸引航道口门区通航条件研究[J]. 重庆交通学院学报, 2003, 22(3): 120-124.
- HUANG B S, ZHANG X J, SHU R L, et al. Study on the flow conditions at the entrance area of shiplock approach channel in hydro-power station [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 2003, 22(3): 120-124.
- [7] 王玮, 卢文蕾. 嘉陵江船闸透空式导航墙的研究及应用[J]. 水道港口, 2013, 34(4): 352-358.
- WANG W, LU W L. Research and application of permeable guide wall of ship lock in Jialing River [J]. Journal of waterway and harbor, 2013, 34(4): 352-358.
- [8] 周千凯, 李帆, 周林辉, 等. 沅水桃源枢纽二线船闸整体布置试验研究[J]. 水运工程, 2025(1): 145-153, 198.
- ZHOU Q K, LI F, ZHOU L H, et al. Test on overall layout of second ship lock at Taoyuan Hub in Yuan River [J]. Port & waterway engineering, 2025(1): 145-153, 198.
- [9] 朱红, 郝品正. 导流墩改善船闸引航道口门区水流条件试验研究[J]. 水道港口, 2005, 26(2): 109-112.
- ZHU H, HAO P Z. Tests on improving flow conditions at the entrance of approach channel by diversion pier [J]. Journal of waterway and harbor, 2005, 26(2): 109-112.
- [10] 李君涛, 普晓刚, 张明. 导流墩对狭窄连续弯道枢纽船闸引航道口门区水流条件改善规律研究[J]. 水运工程, 2011(6): 100-105.
- LI J T, PU X G, ZHANG M. On improvement laws of flow conditions at the entrance of ship approach channel in narrow continuous meandering river by diversion pier [J]. Port & waterway engineering, 2011(6): 100-105.
- [11] 李君涛, 张公略, 冯小香. 导流墩改善口门区水流条件机理研究[J]. 中国港湾建设, 2011, 31(2): 1-3.
- LI J T, ZHANG G L, FENG X X. Improvement mechanism of flow conditions at the entrance of approach channel by diversion pier [J]. China harbour engineering, 2011, 31(2): 1-3.
- [12] 赵根生, 孙佳, 张首元. 导流墩布置对岩滩升船机下游口门区通航水流条件影响[J]. 水运工程, 2024(11): 86-91.
- ZHAO G S, SUN J, ZHANG S Y. Influence of diversion pier layout on flow conditions in downstream entrance area of Yantan ship lift [J]. Port & waterway engineering, 2024(11): 86-91.
- [13] 王熔荣, 赵根生, 张首元, 等. 导流墩对急弯河道下游口门区水流条件的改善作用[J]. 水运工程, 2023(3): 99-104.
- WANG R R, ZHAO G S, ZHANG S Y, et al. Improvement effect of diversion pier on flow conditions in downstream entrance area of sharp bend channel [J]. Port & waterway engineering, 2023(3): 99-104.
- [14] 王建平, 刘超, 张世宝, 等. 风光枢纽扩建船闸上游口门区通航水流条件试验研究[J]. 水运工程, 2021(1): 156-161.
- WANG J P, LIU C, ZHANG S B, et al. Experimental research on navigation flow condition in upstream entrance area of Fengguang hydro-junction's expanded locks [J]. Port & waterway engineering, 2021(1): 156-161.
- [15] 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.
- Technical code of modelling test for port and waterway engineering: JTS/T 231-2021 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2021.
- [16] 船闸总体设计规范: JTJ 305—2001 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- Code for master design of shiplocks: JTJ 305-2001 [S]. Beijing: China Communications Press, 2001.

(本文编辑 赵娟)