



基于下游引航道口门区流态的隔流墙结构形式优化措施

马育斌¹, 王中禹², 李维¹

(1. 四川省交通勘察设计研究院有限公司, 四川 成都 610017;
2. 四川省港航投资集团有限责任公司, 四川 成都 610095)

摘要: 船闸外侧水流受枢纽下泄不稳定流的影响较大, 为解决流速、流态对船舶航行的不利影响, 维持引航道水流条件, 分析下游引航道不稳定水流的成因, 结合近年来建成的隔流墙布置方式和结构形式, 通过平面布置、模型试验、资料统计分析等方法, 探讨了实体墙、隔流墩、透水孔墙等诸多结构形式对水流条件的影响, 研究提出多种引航道隔流墙结构布置形式和优化措施方案。

关键词: 下游隔流墙; 隔流墩; 过水洞

中图分类号: U61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)10-0019-04

Optimization measures for structural type of diaphragm wall based on flow pattern at entrance area of downstream

MAYubin¹, WANG Zhongyu², LI Wei¹

(1. Sichuan Communication Surveying & Design Institute Co., Ltd., Chengdu 610017, China;
2. Sichuan Port and Shipping Investment Group Co., Ltd., Chengdu 610095, China)

Abstract: The water flow outside the ship lock is greatly affected by the unstable flow discharged from the hub. To address the adverse effects of flow velocity and flow patterns on ship navigation and maintain the flow conditions of the approach channel, this article analyzes the causes of unstable water flow in the downstream approach channel, combined with the layout and structural types of the diaphragm wall built in recent years. Through methods such as plane layout, model testing, and data statistical analysis, the impact of various structural forms such as solid wall, barrier pier and permeable hole walls on water flow conditions has been explored. Multiple types of approach channel flow separation wall structural arrangements and optimization measures are proposed.

Keywords: downstream diaphragm wall; barrier pier; water passage tunnel

船闸工程下游引航道通航水流条件稳定可靠是船闸设计的关键环节, 受枢纽下泄水流的影响, 均采用隔流墙隔离枢纽泄水水域和通航水域, 国内针对此段通航水流条件已开展大量的研究, 分析影响水流条件的因素。对于较大型且复杂的通航枢纽工程等, 大多采用建立物理模型开展试验研究, 李艳等^[1]通过整体定床物理模型试

验对瓦村枢纽通航条件开展研究, 李兴亮等^[2]针对弯曲河段下游航道口门区通航水流条件开展研究, 均提出了诸多改善下游水流条件的优化措施。针对四川省山区河流船闸下游引航道通航保证率要求高、通航流量大的特性, 本文提出了典型隔流墙的布置方案和结构形式, 在抑制横流、保持口门区和连接段航道的船舶航行稳定作用明

显, 黄明红等^[3]等对船闸引航道的隔流墙布置提出新的设计思路; 王云莉等^[4]提出了导航堤开孔的工程措施; 周家俞等^[5]提出透空式导航墙结构形式。文中结合岷江、渠江等工程的模型试验成果, 从引航道隔流墙布置方案和结构形式应用出发, 阐述隔流墙结构的优化应用成果。

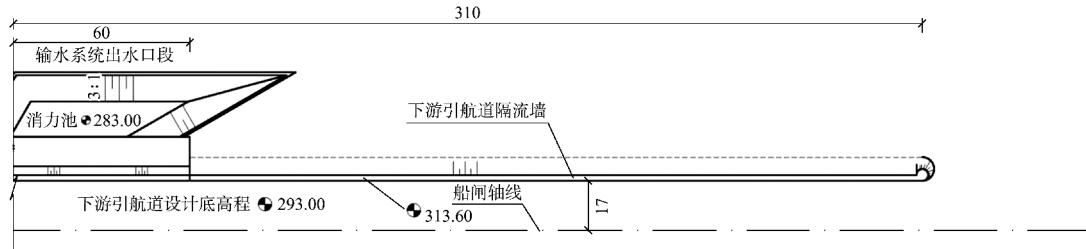


图 1 龙溪口船闸下游引航道隔流墙布置 (单位: m)

工程前期开展了枢纽总体模型试验^[6], 针对下游引航道的通航水流条件进行验证, 分析不同泄流工况下下游引航道区域的流场流态, 根据规范要求的通航数值, 提出最大通航流量值, 主要结论表明: 工程下引航道隔流墙布置长度能有效隔离外侧不稳定流对引航道内水流条件的影响, 在最大通航流量下口门区的流速、流态均满足规范要求。

1.2 岷江犍为船闸工程

工程总平面布置方案采用船闸和电站异岸布

1 下游引航道隔流墙典型布置方案

1.1 岷江龙溪口船闸工程

工程总平面布置方案采用了较为常见的异岸布置, 即通航建筑物船闸和电站分两岸布置的方式, 船闸布置于岷江右岸, 电站布置于左岸, 船闸下游引航道隔流墙长 310 m, 均为实体导墙结构形式, 平面布置方案见图 1。

置的方式, 即船闸布置在右岸, 电站布置在左岸, 下游引航道隔流墙全长 408.5 m, 导墙结构形式均采用实体结构, 其平面布置方案见图 2。

犍为船闸下游引航道外侧隔流墙结构形式采用实体墙结构, 开展了物理模型试验研究^[7], 结果表明: 隔流墙的布置方式和长度可有效抵抗泄水闸泄流引发的不稳定流态, 通过对引航道内流速、流态的数据分析, 水流条件满足船舶安全通航的要求。

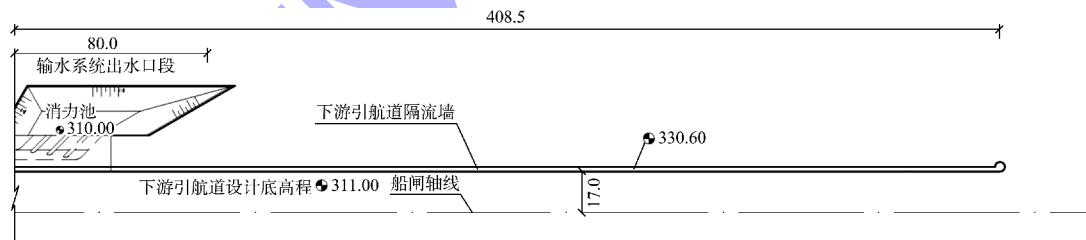


图 2 犍为船闸下游引航道隔流墙布置 (单位: m)

1.3 渠江富流滩船闸工程

工程总平面布置方案中, 新建二线船闸采用了与已建电站异岸布置的方式, 船闸布置于渠江左岸, 下游引航道隔流墙全长 420 m, 均为实体导

墙段, 其中在导航墙末端 180 m 长的实体墙上设置过水洞过流, 过水洞宽 4 m、高 7 m, 与水流方向呈 30°交角, 共设置 9 个过水洞, 导航墙布置见图 3。

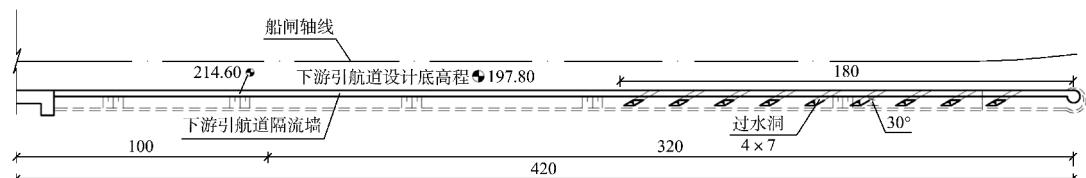


图 3 富流滩船闸下游引航道隔流墙布置 (单位: m)

富流滩二线船闸下游隔流墙在导墙末端设置 9 个结构段, 每个结构段均设置过水洞。根据物理模型试验成果, 下游口门区受斜流影响, 水流流态较差, 不满足安全通航要求, 通过在导航墙增设过水洞的方式, 使得引航道内侧水域和外侧天然河道水域连通, 减弱导航墙堤头附近的不稳定流态, 优化堤头水流条件, 引航道内船舶可安全航行。

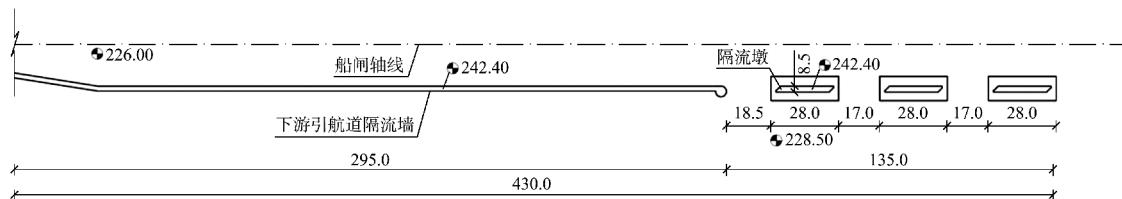


图 4 风洞子船闸下游引航道隔流墙布置 (单位: m)

下游引航道实体隔流墙末端, 顺轴线方向 135.0 m 设分离式隔流墩建筑物, 在枢纽总体物理模型试验中^[8], 分别设置 3、4 和 5 个隔流墩, 用于模拟通过隔流墩对水流的阻隔, 以改善下游引航道的水流条件。研究结果表明: 下游引航道设置分离式隔流墩, 不论形式和布置方案, 都对下游引航道口门区的水流条件改善有限。另外动床试验显示, 下游引航道隔流墩段出现部分泥沙淤积情况, 设置隔流墩一定程度上可减少河床泥沙在连接段的淤积。

2 隔流墙结构形式布置影响因素

下游引航道隔流墙主要功能是稳定引航道内水流条件, 减小枢纽泄水在引航道内引发的横流流速, 满足船舶安全出闸航行条件。

1) 工程河道特点包括河道地形、河势等因素, 河道宽浅、河床高低、滩槽分布等对船闸布置的通航水流条件有明显的影响, 通常在枢纽总布置中结合模型试验论证, 平面布置引航道隔流墙时, 通过增减隔流墙的长度, 避免口门区出现较大的回流区域。

2) 枢纽工程泄水闸不同的开启方式、电站布置方案等因素对船闸工程下游引航道水流条件影响较大, 研究结论表明: 当枢纽下泄流量相同时, 通过优化闸门开启方式, 对下游口门区域的流速、

1.4 渠江风洞子枢纽船闸工程

风洞子航运工程总平面布置方案采用船闸与电站同岸布置的方式, 船闸邻电站布置于渠江左岸, 下游引航道隔流墙全长 430.0 m, 其中实体导墙段长 295.0 m, 顺隔流墙下游 135.0 m 设 3 个隔流墩, 每个隔流墩长 28.0 m、间距 17.0 m。下游引航道隔流墙平面布置见图 4。

流态改善效果较为显著。

3) 在不同的枢纽总平面布置中, 下游引航道隔流墙布置及结构均是主要的研究对象, 结合国内众多研究成果, 隔流墙长度和结构均影响通航水流条件, 并对船舶进出闸安全航行影响十分显著。

3 隔流墙改善水流条件优化措施

3.1 改变隔流墙的长度

岷江中游河段 2 座典型船闸的下游引航道隔流墙布置方案均采用了长直线段布置, 长度约 300~400 m, 通过较短的隔流长度即可解决下游引航道的横流超标问题, 确保船舶安全通航。岷江中游河段河道相对宽阔, 约 800~1 000 m, 通航流量可达 1.1 万~1.5 万 m^3/s , 河段的通航保障率 98% 以上, 采用将下游引航道隔流墙加长的措施, 可有效隔离较大流量下的水流, 大幅提升安全通航流量。

3.2 设置隔流墩

渠江风洞子船闸工程所在河段的河道宽度相对较窄, 仅约 600 m, 枢纽泄流造成下游流态变动较大, 通航条件变差。在渠江风洞子船闸工程前期工作中, 提出下游导航墙开孔以改善连接段通航水流条件的方案, 若对下游导航墙末端采用透空形式, 墙身设置尺寸合适的过水洞, 可显著减小引航道口门区的回流范围, 降低工程投资。该工程在施工设计阶段, 下游引航道隔流墙采用了实体

挡墙和隔流墩的布置方案，其中实体墙段长 285 m，3 个隔流墩段长 135 m，隔流段全长达 420 m，模型试验结论表明：设计最大通航流量达 $6\ 700\ m^3/s$ 时，该布置方案起到了优化水流条件和减少泥沙淤积的双重效果。

3.3 导航墙开孔

导航墙开孔是最为常用的工程措施。在渠江富流滩船闸改扩建工程模型试验中，船闸下游引航道隔流墙由原设计的 320 m 加长到 420 m，并在末端导墙设置 9 个间距 18 m 与墙身夹角呈 30° 的过水洞，有效减弱了下游引航道内口门区回流和泥沙淤积的问题。

隔流墙开孔的优化措施已应用于众多项目，根据研究显示，堤头开孔有效改善口门区横向流速和回流，并使得部分流量从底孔流出，减小了水流偏角。隔流墙开孔宜布置在直线段，且开孔的透空比、开孔角度、开孔间距等因素均对水流条件有影响，需根据具体的布置方案进行设计。

4 结论

1) 船闸下游引航道口门区的不利水流条件成因较为复杂，主要原因是船闸下游引航道通常未能完全顺水流方向布置，和泄水闸的下泄水流方向有一定夹角，当水流与引航道轴线夹角偏大时，往往会导致横流、回流等不利的流态，若超过了规范的允许值，则会对船舶安全航行造成影响。为解决水流对船舶安全航行造成的影响，通常采取的工程优化措施为加长隔流墙长度、设置隔流墩、导航墙开孔等，对减少泥沙淤积和改善通航水流条件效果十分显著。

2) 通过对新建的 4 座船闸下游引航道典型隔流墙布置方案的研究，下游引航道口门区水流条件的影响因素包括枢纽总布置、河势条件、水沙条件、通航流量及泄水闸运行方式等，而下游引航道隔流墙的布置和结构形式则直接影响到水流条件，因此大部分船闸工程下游导航墙的布置方案仍需通过物理模型和船模试验研究确定，包括导航墙长度、布置位置、透水型导航墙结构等都无固定标准可循。

参考文献：

- [1] 李艳, 周勤, 米家彬, 等. 瓦村枢纽下游引航道通航水流条件试验研究[J]. 水运工程, 2018, (2): 136-141.
- [2] 李兴亮, 陈野鹰. 弯曲河段下游引航道口门区通航水流条件研究[J]. 水运工程, 2016, (2): 127-130, 141.
- [3] 黄明红, 韩巍巍, 吴澎. 船闸引航道隔流墙的布置[J]. 水运工程, 2016(11): 162-166.
- [4] 王云莉, 孙国栋, 向美煮. 船闸口门区不良流态改善措施[J]. 水运工程, 2016(3): 83-88.
- [5] 周家渝, 尹崇清, 段金曦, 等. 渠江风洞子船闸导航墙透空型效果研究[J]. 中国水运(下半月), 2010, 10(10): 184-185.
- [6] 南京水利科学研究院. 岷江航电龙溪口枢纽工程整体水工模型试验报告[R]. 南京: 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室. 2010.
- [7] 重庆西南水运工程科学研究所. 四川省岷江犍为航电枢纽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. 2010.
- [8] 交通运输部天津水运工程科学研究所. 渠江风洞子枢纽施工导流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工程泥沙交通行业重点实验室. 2021.

(本文编辑 赵娟)

© 2023 China Shipbuilding Engineering Corporation. All rights reserved.

著作权声明

本刊已许可《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司、北京万方数据股份有限公司、重庆维普资讯有限公司、北京世纪超星信息技术发展有限责任公司以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。本刊支付的稿酬已包含上述公司著作权使用费，所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。

《水运工程》编辑部