

基于模型试验的导流墩对闸站合建工程 通航水流条件的影响研究

张从从¹, 韦爱群², 李金宝¹, 高 琛³

(1. 扬州大学水利与能源动力工程学院, 江苏 扬州 225127; 2. 江苏省水文水资源勘测局盐城分局, 江苏 盐城 224000;
3. 江西省水利规划设计研究院, 江西 南昌 330029)

摘要: 闸站合建工程在闸行使通航功能时, 导流墩附近出现回旋区、斜流等复杂水力现象, 影响着船只通航安全性。采用物理模型试验方法对不同方案下的导流墩进行试验, 并对试验结果进行分析。试验在自排工况下, 设计了 6 种不同长度、不同开孔参数的导流墩方案对通航口门区水力特性进行研究。试验结果表明: 方案 4 中导流墩适宜长度及开孔参数, 可减小导流墩附近回旋区范围及墩头前斜流区, 改善口门区水流流态, 为通航提供了良好的水流条件, 为类似闸站工程通航口门区整流方案提供参考。

关键词: 闸站合建; 导流墩; 模型试验; 水流条件

中图分类号: TV131.65

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2019)04-0013-05

Study on the influence of diversion piers on the navigable flow conditions in the joint construction project of sluice and pumping station based on model test

ZHANG Congcong^{1*}, Wei Aiqun², LI Jinbao¹, GAO Chen³

(1. College of Hydraulic, Energy and Power Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, Jiangsu;
2. Yancheng Hydrology and Water Resources Investigation Bureau of Jiangsu Province, Yancheng 224051, Jiangsu;
3. Jiangxi Provincial Water Conservancy Planning and Designing Institute, Nanchang 330029, Jiangxi)

Abstract: Complex hydraulic phenomena, such as circular area and oblique flow, occur near diversion piers in the joint construction of station and pumping station, which affects the navigation safety of ships. The physical model test method was used to test the piers under different schemes, and the test results were analyzed. Under the self-discharging condition, 6 kinds of piers with different length and different opening parameters were designed to study the hydraulic characteristics of navigable port area. The test results showed that the suitable length and opening parameters of the diversion pier in plan 4 could reduce the circle area around the diversion pier and the inclined flow area before the pier head, improve the flow pattern in the mouth area, provide favorable flow conditions for navigation, and provide reference for the rectification scheme of navigable mouth area of similar sluice station engineering.

Key words: joint construction of station and pumping station; diversion pier; model test; flow condition

收稿日期: 2018-10-21

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(51409227, 51779215); 江苏省博士后科研资助计划项目(1501115B); 长江科学院开放研究基金资助项目(CKWV2016386/KY); 扬州大学大学生科创基金项目(X20180431)

作者简介: 张从从(1993—), 男, 硕士研究生, 研究方向为水工结构工程。

0 引言

在平原地区闸站合建工程较为常见,优点是节约土地用量和工程投资,减少大规模拆迁、搬运等工作^[1-2]。但该种工程布置结构特殊,在闸站结合处易出现大范围斜流,且当闸行使通航功能时,航道口门区易出现大范围斜流将会给过往船只带来威胁,甚至影响建筑物安全^[3-4]。基于上述问题,提出一种整流措施来改善闸站工程水闸通航时导流墩墩头前斜流区和抑制侧面旋涡,改善通航水流条件,有助于提高船只通航安全性。

导流墩作为一种改善水流条件的措施,因其结构简单,施工方便,已经应用较为广泛。近年来,模型试验作为一种重要手段用来探索水利工程中水力特性,国内外学者对通航口门区水流特性进行了大量的模型试验探究^[5-10]。模型试验方面,针对闸站结合布置闸通航时水流条件,赵明辉等^[11]利用水工模型试验研究分析盘龙寺拦河闸枢纽工程通航建筑物的布置方式及上下游引航道口门区的通航水流条件;李君等^[12]通过按比例制作枢纽整体水工模型并试验,得出了枢纽上游采用顺岸式整治方案、下游采用顺岸式整治方案结合透空式隔流导墙的综合措施,能极大改善船闸上下游引航道及其口门区通航水流条件;王云莉等^[13]对引航道导流墙长度及布置形式对口门区及引航道内水流条件的影响进行了探讨,提出了导流墙合适长度和布置方式。前人在研究闸站合建枢纽工程时多是研究在闸站结合处加设导流墩来改善流态,但大多数只研究导流墩长度及位置对前池的影响,对导流墩的开孔与否、开孔参数对闸站工程行使通航功能时水流条件的影响研究较少。

本文考虑到闸站合建工程的复杂形式,在前人研究的基础上,提出利用模型试验探究导流墩进行开孔参数对通航水流条件的影响。将某闸站合建式引河、泵站前池及进水池和航道口门区作为整个模型试验,重点研究闸站结合处加设不同开孔参数导流墩后通航口门区的水力特性,定性分析了 6 种方案下通航口门区水流条件的变化,定量得出了导流墩墩头前斜流区范围、导流墩右侧的旋涡面积,以作为各方案的定量评价指标,进而得出一种航道口门区水流条件最好的导流墩开孔方案。

1 水工试验模型设计

1.1 模型试验比尺选择

为了准确还原水利工程原型的水力条件,必须要求水工模型与原型遵循相似准则和重力准则^[14-16],引河及航道口门区水流流动是以重力为主导作用力的流动,故遵循重力相似准则,即 Froude 准则,要求原型与模型流动的 Froude 数(Fr)一致。根据该闸站工程尺寸及平面布置,结合水工大厅场地条件确定模型几何比尺为 $\lambda_r = 30$,再根据相似准则得出流速比尺 $v_r = 5.477$ 、时间比尺 $T_r = 5.477$ 、流量比尺 $Q_r = 4929.503$ 、糙率比尺 $n_r = 1.763$ 。

1.2 试验模型系统

整个模型包括上游引河段、节制闸、前池、进水流道、通航口门区,同时下游河道通淮河。根据模型粗糙率相似准则要求,本试验采用优质 PVC 灰板来制作,角钢、槽钢、工字钢等材料用来制作框架,利用管道泵提供循环水动力,采用 LDY 型智能电磁流量计计量流量,利用连通器在上下游相应位置连接测压管观测上下游水位情况,站身部分采用透明有机玻璃制作,在实验室内按照比尺用有机玻璃制作,再将平面有机玻璃板加工成形。模型布置图见图 1,通航水闸自左向右编号为 1~3#。

1.3 试验测试方法

该闸站工程模型试验采用流态观测方法,使用闸阀、管道泵调节流量大小,由 LDY 型智能流量计测定,面层流态测量可根据试验要求先调节上下游水位及流量,等水流稳定后抛洒粒子观察面层流态,同时采用延迟曝光方式使用相机记录面层流场情况。底层流态采用化学示踪法显示其流场,此方法可清楚展示水体的回流和旋涡情况^[17]。

2 试验方案比选设计

2.1 研究工况

本实验研究的是在自排工况下模型流量为 $219.14 \text{ m}^3/\text{s}$,其上游模型水深为 29.3 cm ,下游模型水深为 28.2 cm 。

2.2 模型试验方案

本次模型试验主要研究该闸站工程在自排工况下,试验流量为 3 个节制闸全开,泵站机组全关闭,导流墩对通航口门区水力特性的影响。导流开孔参数对通航水流条件影响因素主要有:导流墩长度 L 、开孔宽度 B 、相邻孔口中心间距 C 、开孔高度 H 。研究原则为先确定导流墩长度参数,才能进行其他因素比选,相邻孔口中心间距的确定依赖于导

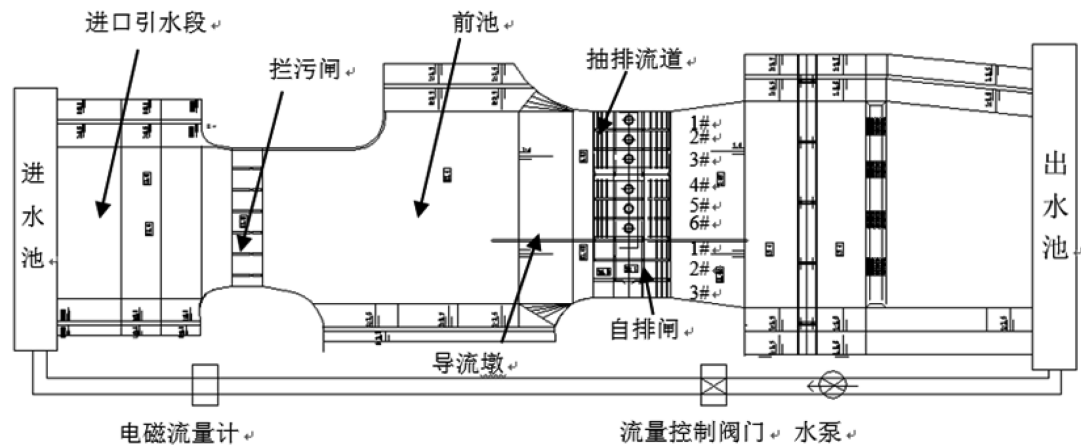


图 1 模型平面整体布置示意图

流墩的长度和开孔宽度,开孔高度与其他因素没有直接关系,故放到最后研究。于是,本文采用单因素递进分析法通过实验来研究上述参数对通航水流条件的影响,确定各因素的研究顺序依次为导流墩长度 L 、导流墩开孔宽度 B 、相邻孔口中心间距 C 、开孔高度 H 。自排工况下选取典型方案如下表 1,导流几何示意图如图 2。

表 1 模型试验各典型方案

工况	方案	长度 L (cm)	开孔宽度 B (cm)	相邻孔口中心 间距 C (cm)	开孔高度 H (cm)
自排 工况	方案 1	80	0	0	0
	方案 2	135	0	0	0
	方案 3	80	5	20	12
	方案 4	80	15	20	12
	方案 5	80	15	40	12
	方案 6	80	15	20	16

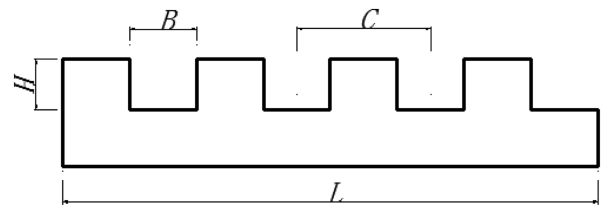


图 2 导流墩开孔参数示意图

3 试验结果分析

自排工况下方案 1 和方案 2 对比了导流墩长度对通航口门区水力特性的影响,方案 1 中在模型试验中泵站和节制闸之间设置 80 cm 长导流墩,其面层流态如图 3 所示。由面层流态图可知水流由引

河穿过拦污栅进入通航口门区,由于泵站与节制闸之间有导流墩的存在,导致前池左岸出现逆时针回旋流动,回旋区主要位于前池左岸和导流墩右侧,(顺水流方向)流线不顺直,前池左岸的回旋区距离口门区较远,对通航水流影响较小,而导流墩右侧回旋区范围正位于口门区附近,对通航水流流态有较大影响,进而影响船只通航安全性。方案 2 将试验导流墩延长至 135 cm,前池流态如图 4 所示,左岸回旋区向外移动,但是范围有所增大,这使得通航口门区水流愈加紊乱,两方案对比可知试验导流墩长度设为 80 cm 更为合理。

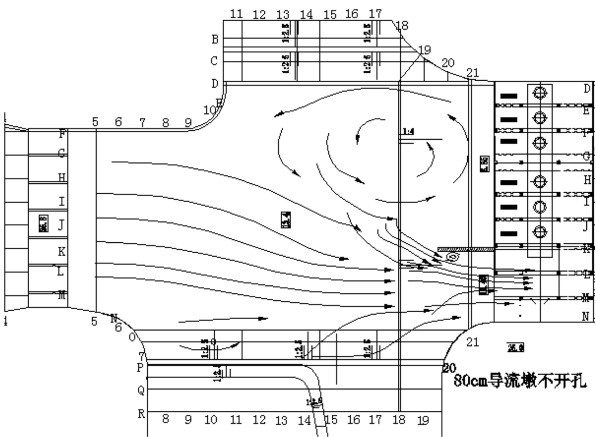


图 3 方案 1 面层流态图

由图 3、图 4 可知优选试验导流墩长度后并不能有效缩小回旋区范围,为了进一步控制由导流墩所产生的回旋区范围,本次试验提出了在导流墩开孔比选方案,并依次比选了开孔宽度、相邻孔口间距、开孔高度。

方案 3 在方案 1 的 80 cm 长度导流墩基础上进行开孔,开孔宽度为 5 cm,相邻孔口中心间距为 20 cm,开孔高度为 12 cm。面层流态图如图 5 所

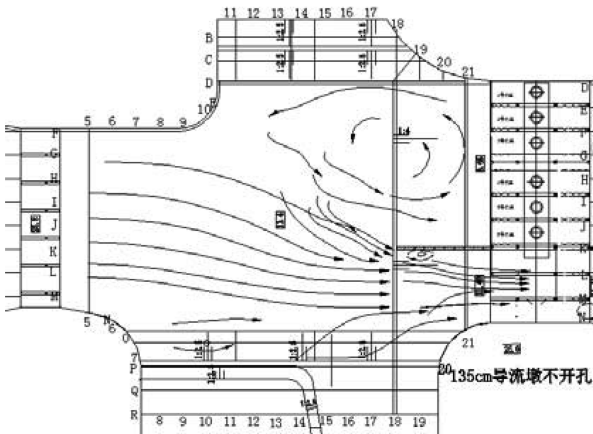


图4 方案2 面层流态图

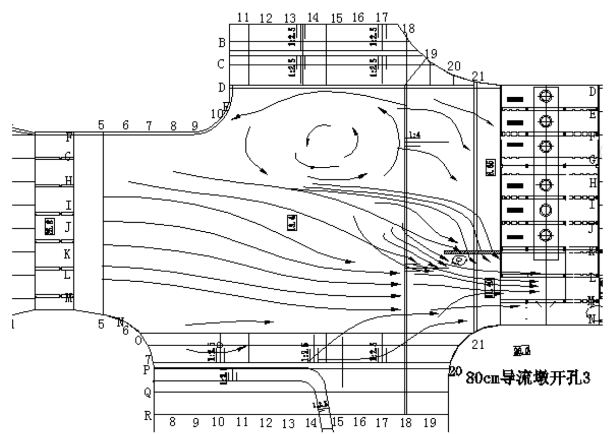


图7 方案5 面层流态图

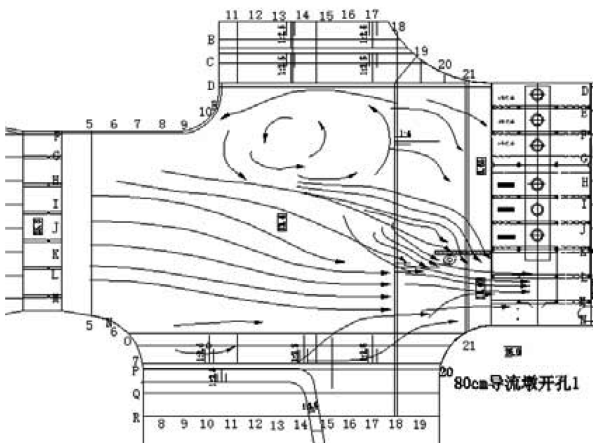


图5 方案3 面层流态图

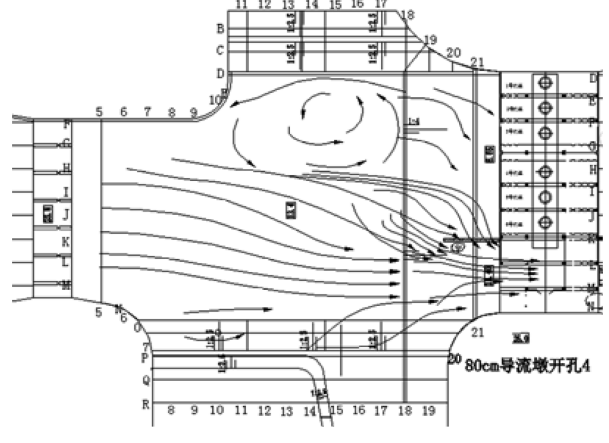


图8 方案6 面层流态图

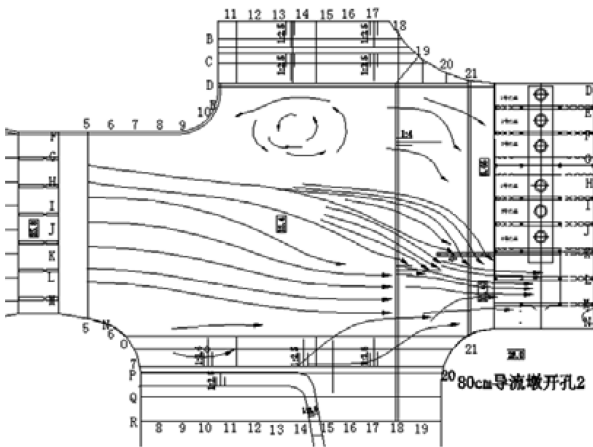


图6 方案4 面层流态图

示,由图5可知,导流墩开孔后较未开孔的方案,开孔附近水流重新分布,前池的水流顺着孔口斜流入口门区,前池左岸回旋区范围明显减小,导流墩左侧回旋区范围也有所减小。方案4改变导流墩宽度,其余尺寸不变,其面层流态如图6所示。对比图5和图6可知,相比方案3($B=5$)试验导流墩开孔宽度由5 cm变成15 cm,导流墩附近的斜流范围

减小,回旋区范围明显减小,流线变为顺直。方案5在方案4的基础上扩大了导流墩相邻孔口中心间距,由20 cm变为40 cm,其余尺寸和方案4一致。图7为方案5自排工况下面层流态图,当相邻孔口中心间距为40 cm时,经过导流墩的水流增多,斜流范围进一步加大,导流墩右侧回旋区范围反而增大。方案6导流墩开孔参数为导流墩长度80 cm,开孔宽度15 cm,相邻孔口中心间距20 cm,开孔高度16 cm。图8为自排工况下方案6的面层流态图,相对比方案4,开孔高度由12 cm变为16 cm,前池左岸回旋区范围增大,墩头前斜流范围增大,流线变得不顺直,导流墩右侧回旋区有所增大,依旧影响着通航安全。

通过以上对比发现,导流墩开孔后通航口门区流态最优为方案4,即导流墩长度为80 cm,开孔宽度为15 cm,相邻孔口中心间距为20 cm,开孔高度为12 cm,即图6所示,左岸回旋区面积最小,导流墩右侧回旋区明显较小。为了更加直观地显示各方案通航口门区流态改善效果,各方案下通航口门区回旋区面积、导流墩流线顺直情况统计如表2所

示,由表 2 中可明显看出,方案 4 影响通航水流流态的回旋区面积最小。

表 2 自排工况下各方案回旋区面积统计表

方案	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6
回旋区面积	0.336	0.131	0.152	0.030	0.152	0.126
流线顺直情况	不顺直	不顺直	不顺直	顺直	较顺直	较顺直

4 结论

为了改善闸站工程在自排工况下通航口门区水流条件,采用物理模型试验的方法设计了 6 种方案,分别研究了不同开孔方案下的通航口门区水力特性,得到如下结论:

(1) 闸站结合工程由于导流墩的存在,前池左岸易出现大范围回旋区和导流墩右侧出现回旋区,流线倾斜,导流墩墩头前出现斜流区。

(2) 通过对比得出试验导流墩长度为 80 cm 时要优于长度为 135 cm,同时方案 4 的开孔参数要优于其他开孔方案,此时通航口门区水流流态稳定,流线变得顺直,明显减小前池左岸回旋区和导流墩右侧回旋区及墩头前斜流范围。

(3) 试验导流墩长度为 80 cm,开孔宽度为 15 cm,相邻孔口中心间距为 20 cm,开孔高度为 12 cm,该开孔方案能进一步优化通航口门区水流流态,是一种较优的改善方案。

参考文献:

[1] 陆银军,周伟,明月敏,等. 基于数值模拟的闸站结合布置优化设计[J]. 排灌机械工程学报, 2014, 32(11):963-967.

[2] 罗灿,钱均,刘超,等. 非对称式闸站结合式泵站前池导流墩整流模拟及试验验证[J]. 农业工程学报, 2015, 31(07):100-108.

[3] 杨宇,余之光,韩昌海,等. 分散式布置枢纽引航道口门区水流条件优化措施[J]. 水运工程, 2016(12):95-100+112.

[4] 杨文浩,费晓昕,张绪进. 北江白石窑水利枢纽上游引航道布置及通航条件研究[J]. 重庆交通大学学报:自然科学版, 2014, 33(01):70-74.

[5] 徐波,张从从,夏辉,等. 非对称式闸站结合式泵站前池流态模型试验研究[J]. 水电能源科学, 2018, 36(07):160-162+32.

[6] 李艳,周勤,米家杉,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(02):136-141.

[7] Desmukh T S, Gahlot V K. Numerical study of flow behavior in a multiple intake pump sump[J]. International Journal of Advanced Engineering Technology, 2011, 2(2):118-128.

[8] 徐进超,宣国祥,刘本芹,等. 贵港二线船闸下引航道物理模型试验研究[J]. 水利水电工程学报, 2017(06):9-13.

[9] 朱卫国,何贞俊. 大藤峡水利枢纽船闸上引航道口门区水流条件模型试验[J]. 水运工程, 2017(09):137-143.

[10] 宋为威,逢勇,宋达昊,等. 淮河入江水道分汊段泄流相互影响的模型试验研究[J/OL]. 南水北调与水利科技:1-10[2018-10-03]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20180829.1656.004.html>.

[11] 赵明辉,汤雷,张建勋,等. 盘龙寺拦河闸枢纽引航道模型试验研究[J]. 水利水电技术, 2017, 48(12):101-105.

[12] 李君,赵建钧,洪娟,等. 船闸凹岸布置上下游引航道水流条件优化[J]. 水运工程, 2016(12):101-105+131.

[13] 王云莉,孙国栋,李艳,等. 北江濠里枢纽上游引航道通航水流条件试验研究[J]. 水运工程, 2016(04):105-112.

[14] 韩春玲,王修贵,时述凤. 水工模型试验中的相似性定律[J]. 中国水运:学术版, 2006(10):67-70.

[15] Zhan Jiemin, Wang Bencheng, YU Linghui, et al. Numerical investigation of flow patterns in different pump intake systems[J]. Journal of Hydrodynamics, 2012, 24(6):873-882.

[16] 朱红耕,奚斌. 水泵进水池模型试验新方法研究[J]. 农业机械学报, 2003(05):72-75.

[17] LI Shi-rong, CHENG Wen, WANG Meng, et al. The flow patterns of bubble plume in an MBBR [J]. Journal of Hydrodynamics, 2011, 23(4):510-515.