



感潮河段支流口门枢纽 局部流态优化试验研究^{*}

朱明成¹, 苏 福², 滕 娟³, 朱 昊^{1,4}, 李寿千¹

(1. 南京水利科学研究院, 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏南京 210029;
2. 中交广州航道局有限公司, 广东广州 510640; 3. 扬州市水利工程建设中心, 江苏扬州 225001;
4. 江苏省水利科学研究院, 江苏南京 210017)

摘要: 感潮河段支流口门受潮汐作用影响, 在落潮高强度引水时, 由于枢纽建筑物局部断面突变, 产生多种不良流态, 严重影响闸门过流能力。以新孟河界牌枢纽为例, 开展局部水流条件物理模型优化试验, 提出不同隔流墙长度和不同导流墩形式的整治措施方案。结果表明, 延长隔流墙仅使遮闭区回流位置提前, 回流长度有所增加, 对入闸流态无明显效果; 导流墩平行布置可使各墩所处流带不重叠且较好衔接, 整流效果较好, 同时内侧左边墩延长 10 m 方案的流速分布更加均匀。

关键词: 感潮河段; 口门区; 水流条件; 物理模型试验

中图分类号: U 64; TV 131.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)06-0110-05

Experimental study on local flow pattern optimization of hydro-junction at entrance of tidal river's branch

ZHU Ming-cheng¹, SU Fu², TENG Juan³, ZHU Hao^{1, 4}, LI Shou-qian¹

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering Science, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. CCCC Guangzhou Dredging Co., Ltd., Guangzhou 510640, China;
3. Yangzhou Water Conservancy Construction Center, Yangzhou 225001, China;
4. Jiangsu Provincial Hydraulic Research Institute, Nanjing 210017, China)

Abstract: The tributary entrance of tidal reach is affected by the tidal action. Due to abrupt change of the local junction building section, a variety of adverse flow patterns are produced during high-intensity water diversion at low tide, which seriously decreases the flow capacity of the lock gate. Taking the Jiepai Junction of the Xinmeng River as an example, we carry out the physical model optimization experiment of local flow condition, and propose the scheme of regulation measures of the different barrier wall lengths and diversion pier forms. The results show that the extension of the barrier wall can only advance the backflow position and increase the backflow length, but it has no obvious effect on the flow pattern of entering the lock. The parallel arrangement of the diversion pier can make the flow zones of each pier non-overlapping and connect well. The scheme of 10 m extending of the inner left pier leads to a more uniform flow velocity distribution.

Keywords: tidal river; entrance area; flow condition; physical model experiment

收稿日期: 2020-08-25

*基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2017YFC1404200); 长江航道局科技创新项目(Hs219003); 南京水利科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(Y218003)

作者简介: 朱明成(1989—), 男, 博士研究生, 工程师, 从事水力学及河流动力学方面的研究。

通讯作者: 朱昊(1989—), 男, 博士, 工程师, 从事河流、海岸动力学方面的研究。E-mail: 592382399@qq.com。

引河段枢纽工程受土地征用量、移民投资成本等的限制^[1], 常采用闸站结合的布置形式且距江较近^[2], 引起枢纽进口处的不良流态^[3-4]。同时, 作为闸下河道与节制闸进水口之间过渡段, 水流条件良好与否将直接影响枢纽的过流能力^[5]。

为此, 众多学者针对前池内的水力学条件优化进行有益的探索。探索工程中水力流动特性的研究手段主要包括数值模拟^[6-8]和模型试验^[9]。目前主要的流态改善工程方案可分为 3 类: 1) 延长节制闸与泵站间的隔流墙长度^[10]。改变隔流墙长度可适当调整回流产生区域, 然而随着隔流墙的增加, 对于闸前横流的改善效果有限^[11]。2) 在前池增设导流墩^[12-14]。在恰当的位置以及以合理的形式布置导流墩可有效缩小回流区的范围, 改善进口断面流速分布均匀度。3) 在上游河道内设置底坎^[15-16], 通过迫使水流沿坎横向运动, 对偏流、回流具有一定改善效果。工程中常将多种方法有机结合, 达到改善流态的目标^[17]。

上述研究多集中于多功能枢纽整体布置的限制, 导致水流流向偏离河道中心线, 在建筑物附近产生立轴回流和局部横流等不良流态, 而对于感潮河段支流口门枢纽进口段的流态研究较少。由于长江中下游经济发达地区的长时间高强度引水需求, 闸泵入口处的流态复杂, 可能会影响枢纽引水功能的有效发挥和闸泵的安全运行。

本文通过物模试验研究感潮枢纽进口段的水流条件, 并提出有针对性的工程优化措施。

1 河段概况

新孟河入江口位于长江下游扬中河段大夹江汊道, 界牌枢纽中心线距口门约 700 m(图 1), 处于长江潮流界范围内, 洪季以径流作用为主, 枯季存在流速 1.0 m/s 以内涨潮流, 为不规则半日潮。

界牌枢纽为闸站合建多功能水利枢纽, 闸下河道中心线与大夹江的夹角约 60°, 节制闸与泵站间设有隔流墙, 泵站前池设有导流墩, 见图 2。

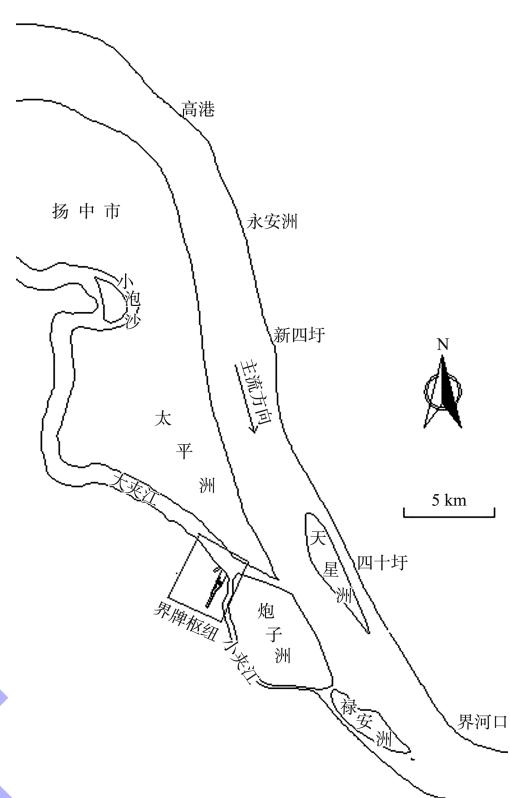


图 1 扬中河段河势

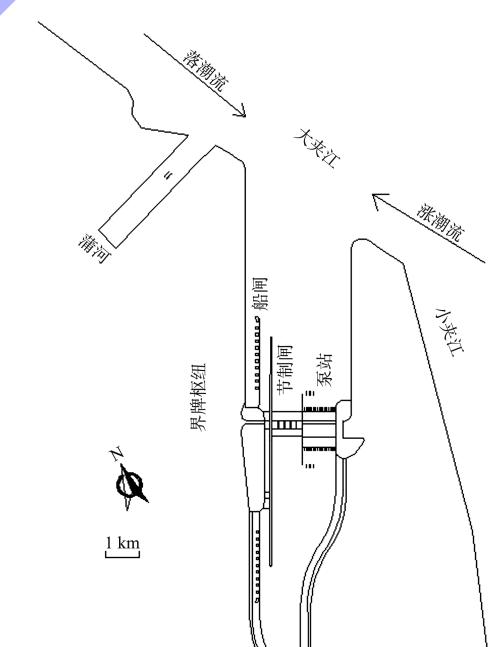


图 2 枢纽布置

2 试验工况与初步结果

2.1 模型建立

考虑大夹江对入江口水流的牵引作用, 模型既要包括大夹江半条江的范围, 又要考虑枢纽各建筑物及其进出水池、消力池、海漫护底、防冲

槽、两岸翼墙、隔流墙、导流墩等设施，结合模型厅场地条件，模型比尺初步定为 1:50。

2.2 试验工况

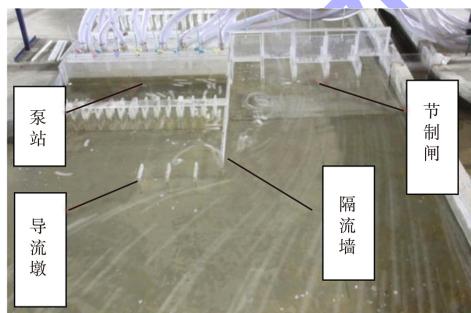
考虑大夹江的潮汐变化和枢纽引排水功能，工况设置见表 1。

表 1 枢纽工况设置

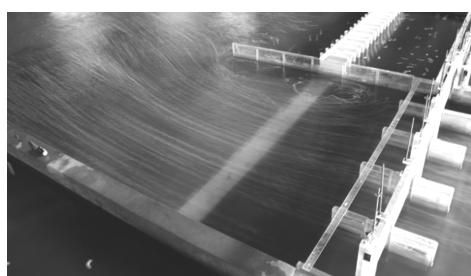
枢纽引排工况	枢纽闸泵运行情况	外江潮势
引水	闸开泵关	落潮
		涨潮
	泵开闸关	落潮
		涨潮
排水	闸开泵关	落潮
		涨潮
	泵开闸关	落潮
		涨潮

2.3 初步成果

水流试验初步结果显示，泵站进口处仅在涨潮引水时隔流墙处存在斜流，但经过拦污格栅作用后流态较为均匀，不需要考虑优化措施。而引水时由于闸门进口处存在斜流（图 3），靠近泵站侧两孔基本处于回流区，严重影响枢纽过流能力的有效发挥；由于内河侧引河正对节制闸中心线，出口段水流较为均匀。



a) 正视图



b) 侧视图

图 3 模型试验现场（落潮闸引流量 300 m³/s）

在枯水流量条件下，闸引流量 300 m³/s 情况下，水流斜向进入泵闸间隔流墙的范围时，在泵闸隔流墙的遮蔽区产生回流，节制闸左侧两孔恰位于该回流范围，流速减小，甚至出现不过水或倒流现象，而右侧 3 孔流速增大，最大流速达 0.92 m/s。

随着闸引流量的增大，进口处主流宽度及强度增加，使得泵站与闸站间隔流墙处的斜流强度增加，进而使左侧两孔处的回流强度和范围均有所增加。出口处过闸流速分布与 300 m³/s 流量时相似，在出口断面靠近隔流墙处存在微弱回流，水流下行至隔流墙头处离开回流区，最大流速为 1.49 m/s。

3 优化试验

3.1 优化思路

局部水流条件分析结果表明，落潮节制闸引水时，水流贴泵站侧岸壁进入，行至泵站前，斜向进入节制闸，节制闸近泵闸孔处于隔流墙遮蔽范围内，形成缓流区，靠泵站侧闸孔流速远小于其他孔流速，闸孔过流极不均匀，影响引水过流能力，须进行适当优化。选择缓流区范围最大时的不利工况，即枯水节制闸引水流量 745 m³/s 作为试验条件，开展闸孔流态优化试验。

优化思路为：1) 考虑增加隔流墙长度，提前调整水流方向，从而减小回流的影响范围并使得回流发生位置提前；2) 考虑在节制闸外江侧增设导流墩，提前把水流调整顺直，而后再入闸孔；3) 对节制闸口门处设置的导流墩布置形式进行优化试验，试图探寻能够改善水流的最佳方案。

3.2 隔流墙延长方案

设置不同的隔流墙延长方案，分别延长 10、20、30、40 m。隔流墙延长后节制闸闸孔前流速分布见图 4。闸孔前流速分布依然极其不均匀，延长隔流墙对流态改善无明显效果。

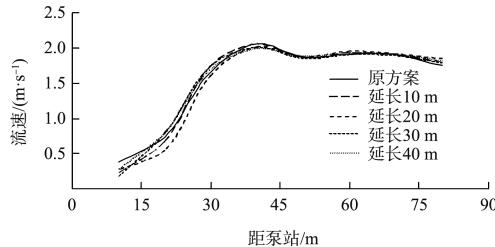
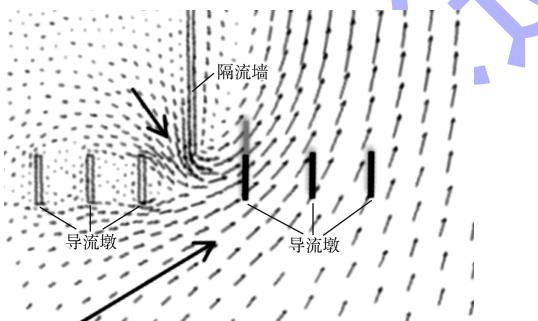


图 4 隔流墙延长后节制闸闸孔前流速分布

3.3 增设导流墩方案

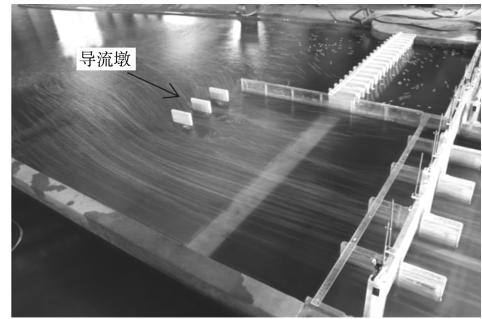
隔流墙进口处存在斜流, 为了能够更好地调整各流带区域的斜向水流, 导流墩布置时考虑首尾相互衔接, 从而达到最佳的整流效果, 具体数量及长度取决于各导流墩所处位置能够覆盖斜向流带的范围。因此, 参考泵站前池导流墩, 在闸前布置第 1 个导流墩外侧墩头与第 2 个导流墩内侧墩头连线与流线平行, 同理第 2 个导流墩外侧墩头与第 3 个导流墩内侧墩头连线与流线平行。导流墩尾部与隔流墙头部齐平, 其长度与间隔取单个闸孔距离 (0.1 m), 导流墩试验结果见图 5。



注: 右侧为无导流墩时的流场。

图 5 导流墩布置

增设导流墩后节制闸入口流态及流速分布见图 6。与图 3 的流态相比, 调整归顺斜流后, 闸前回流被破坏, 近泵侧闸孔开始过流, 用测点流速与断面平均流速的均方差(标准差)来表示断面流速分布的不均匀程度, 布置导流墩后, 入闸断面水流不均匀系数由 1.65 降至 1.02, 可见导流墩起到较好的流态调整作用。



a) 流态

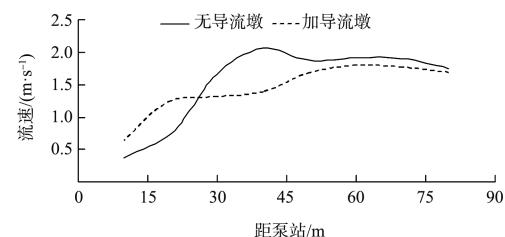


图 6 增设导流墩后节制闸入口流态及流速分布

3.4 导流墩形式优化

增设导流墩取得了较好的调整流态效果, 以此为基础方案, 分别设置不同的导流墩内外侧墩头延长方案, 探讨导流墩布置是否存在优化空间, 各方案流速分布见图 7。

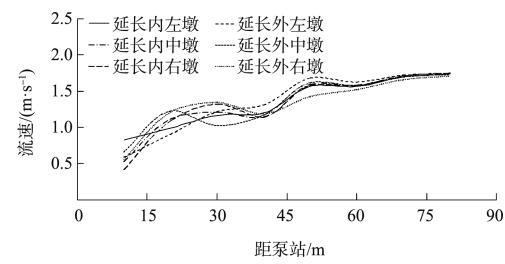


图 7 不同优化方案下节制闸入口流速分布

对于内侧延长方案, 中间及右侧墩延长对流态的改善效果不明显, 因为其虽然延长, 但分别位于左侧及中间墩的遮蔽区, 而左侧墩的延长增加了覆盖流带范围, 入闸断面水流不均匀系数由 1.02 降至 0.90。

对于外侧延长方案, 左侧墩延长将覆盖中间墩所处流带, 中间墩延长将覆盖右边墩的所处流带, 其没有延长覆盖流带的宽度, 右边墩延长尽管延长了覆盖流带的宽度, 但是本身此处流向偏

角有限, 入闸断面水流不均匀系数基本不变。

综上所述, 内侧左边墩延长 10 m 方案流速分布更加均匀。

4 结语

1) 感潮河段支流口门处由于用地所限, 枢纽常采用开敞式闸站组合布置形式, 易引起闸前入口处的不良流态, 本文提出在闸前增设导流墩的流态优化手段, 可为类似枢纽建设提供参考。

2) 在落潮节制闸引水条件下, 枢纽节制闸前区域出现不良流态, 水流斜向进入泵闸间的隔流墙的范围时, 在泵闸间的隔流墙的遮蔽区产生回流, 引水流量的增大将增加斜流强度, 进一步减弱节制闸左侧闸孔过流能力。

3) 增加隔流墙长度将改变回流区位置, 但回流长度也有所增加, 没有从根本上改善流态, 近泵站侧一孔半闸孔仍处于回流状态; 不同导流墩布置形式的试验结果表明, 导流墩平行布置时, 由于各墩所处的流带不重叠且衔接较好, 导流效果较为明显, 同时内侧左边墩延长 10 m 方案可使流速分布更加均匀。

参考文献:

- [1] 严忠民, 周春天, 阎文立, 等. 平原水闸泵站枢纽布置与整流措施研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2000, 28(2): 50-53.
- [2] 陆倩, 崔冬, 田利勇, 等. 平原河网地区泵闸合建枢纽布置形式[J]. 水利水电科技进展, 2019, 39(3): 62-67.
- [3] 黄建军, 郑源, 张盾. 泵闸结构流场的水力特性[J]. 排灌机械工程学报, 2010, 28(2): 149-154.
- [4] 季永兴. 不对称布置的泵闸枢纽工程水流问题分析[J]. 水利水电科技进展, 1999, 19(1): 58-60.
- [5] 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.
- [6] 郭高贵, 王吉勇, 董壮. 二维数学模型在泵站上游水动力研究中的应用[J]. 人民长江, 2019, 50(9): 204-208.
- [7] 王志刚. 闸站合建水利枢纽水闸进水口流态数值模拟[D]. 南京: 河海大学, 2008.
- [8] 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(7): 100-108.
- [9] 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(7): 160-162, 32.
- [10] 资丹, 王福军, 姚志峰, 等. 大型泵站进水流场组合式导流墩整流效果分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(16): 71-77.
- [11] 傅宗甫, 顾美娟, 严忠民. 闸站合建枢纽导流墙体型及适宜长度[J]. 水利水电技术, 2011, 42(10): 128-131.
- [12] 江文, 于建忠, 傅宗甫, 等. 弯道河段下游泵站进水前池流态及整流措施[J]. 人民黄河, 2019, 41(4): 83-87, 118.
- [13] 徐波, 张从从, 李占超, 等. 基于 CFD 的导流墩几何参数对闸站合建枢纽通航水流条件的影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(2): 115-122.
- [14] 赵苗苗, 贾君德, 秦景洪, 等. 闸站结合泵站前池导流墩整流模拟[J]. 中国农村水利水电, 2018(4): 125-130.
- [15] 冯建刚, 李志祥, 钱尚拓. 泵闸工程闸下双底坎整流的水力特性[J]. 水利水电科技进展, 2020, 40(1): 25-31, 36.
- [16] 王晓升, 陈毓陵, 孙靖康. 分水闸站枢纽分水池流态改善措施研究[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(12): 107-113.
- [17] 杨靖, 陈毓陵, 周春天. 分侧泵闸枢纽闸下出流整流措施研究[J]. 中国农村水利水电, 2017(7): 137-139, 143.

(本文编辑 王璁)

(上接第 109 页)

- [4] 刘蓉, 钱兆燕, 赵志舟. 采砂对河道的影响分析及治理措施研究[J]. 重庆交通大学学报, 2006(4): 146-149.
- [5] 陈绍新, 陈海全. 无序采砂对东江下游及三角洲地区水文特性影响分析[J]. 广东水利水电, 2006(4): 57-59.
- [6] 马中和. 无序采砂的危害和对策[J]. 中国水运, 2000(9): 32-33.
- [7] 李顺超, 张有林, 何熙, 等. 岷江下段航道典型滩险整治

技术[J]. 水运工程, 2020(4): 84-91.

- [8] 杨建东, 裴金林, 许乐华. 基于航道及通航影响的采砂方案优化[J]. 水运工程, 2014(12): 147-150.
- [9] 刘贤, 张绪进, 刘亚辉, 等. 东江中游长河段浅滩群航道整治模型试验研究[J]. 水运工程, 2019(8): 127-133.

(本文编辑 武亚庆)