



# 感潮河段支流口门枢纽通航水流条件研究\*

李寿千, 朱昊, 朱明成, 陆永军, 莫思平, 陆彦

(南京水利科学研究院, 江苏南京 210029)

**摘要:** 界牌水利枢纽位于长江下游感潮河段支流口门, 受用地条件限制, 距江边较近且开敞布置, 枢纽外江侧水流受到非对称涨落潮牵制作用明显, 涨潮引水情形下, 引航道口门区横流超标。物理模型试验结果表明: 延长导流堤仅使得横流发生位置提前, 并没有减小横流强度; 船闸侧岸壁外扩能提前调整水流, 为引航道口门区提供遮蔽环境, 从而削弱横流, 但受口门区用地条件的限制; 而导流堤头部透空可较好地分散横流, 改善流态, 满足通航水流条件, 其中透空段的长度取决于横流的分散效果, 整个导流堤的长度取决于停泊区的纵向水流控制条件。

**关键词:** 感潮河段; 通航; 水流条件; 口门区

中图分类号: U 618

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)12-0132-05

## Navigation flow condition of navigation junction at entrance of tidal river's branch

LI Shou-qian, ZHU Hao, ZHU Ming-cheng, LU Yong-jun, MO Si-ping, LU Yan

(Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** Jiepai junction is located at the branch entrance of a tidal river on the lower reach of the Yangtze River, and it is close to the main river and keeps an open layout due to limited land conditions. The branch mouth flow is significantly affected by the asymmetric tidal flow of the main river, and the cross flow at the entrance area of the approach channel exceeds the required value on the flood tide diversion case. The results of the physical model tests show that extension of the channel wall could just move the cross flow's position forward, but can't reduce its value; bank expansion towards the branch center could provide a shelter for the entrance area of the approach channel, and thus weaken the cross flow, but this method is restricted by the land condition; a permeable navigation wall head would disperse the cross flow and improve the flow pattern significantly, length of the permeable section is determined by the cross flow dispersion effect, while length of the whole wall is determined by the longitudinal tidal flow condition at the berthing area.

**Keywords:** tidal river; navigation; flow condition; entrance area

河道综合开发中常需修建船闸以满足通航要求, 而船闸引航道的口门区处于静水与动水的交汇处, 因受到分、泄水建筑物影响, 水流在上游口门束窄处收缩, 在下游口门放宽处扩张, 从而在引航道口门区产生流速梯度, 形成不良流态, 影响船舶航行安全<sup>[1-6]</sup>。

为此, 国内外众多学者对如何改善引航道口门区不良流态进行了有益的探索。主要改善措施

分为3类: 1) 增加引航道导流堤长度<sup>[7]</sup>。普遍认为增加引航道导流堤长度可以使引航道与河道走势保持一致, 有效改善口门区水流条件。2) 导流堤端部前方修筑丁潜坝<sup>[8]</sup>。结果表明, 合适长度及迎水坡度的丁浅坝可起到挑流作用, 有效减少口门区水流流速, 满足通航要求。3) 设置透空导流堤。德意志联邦水工所等机构<sup>[9-10]</sup>研究表明, 该方法可有效分散口门区横流、

收稿日期: 2016-09-19

\*基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFC0402107, 2016YFC0402108); 江苏水利科技重点技术攻关项目 (2016006)

作者简介: 李寿千 (1986—), 男, 博士, 工程师, 从事河流、海岸动力学研究工作。

改善不良流态<sup>[11]</sup>。此外, 根据具体工程的需要, 上述不同方法可结合使用, 从而达到改善流态的最佳效果<sup>[12]</sup>。

上述研究多集中于地形束窄和放宽所致的引航道口门区不良流态及改善措施, 而对于受外江涨落潮牵制作用下引航道口门区的通航水流条件研究较少。事实上, 流域由于水资源调配的需要, 感潮河段支流口门需建枢纽以调控水流, 且多有通航要求, 该类枢纽由于受到涨落潮流的牵制, 引航道口门处流态复杂, 通航安全难以保证。

本文以新孟河延伸拓浚工程界牌水利枢纽为例, 通过物理模型试验, 研究涨落潮牵制影响下引航道口门区水流条件, 揭示不良流态的形成机理, 并对通航水流条件改善措施进行研究。

## 1 工程概况

### 1.1 水文条件

界牌枢纽位于长江扬中河段太平洲右汊(图 1)。扬中河段上起五峰山, 下至界河口, 位于潮流界变化区段之内, 以径流作用为主, 同时亦有涨落潮。其中太平洲左汊为主汊, 分流比在 90% 左右, 右汊为支汊, 分流比为 10% 左右。根据 2006 年 3 月、2009 年 5 月及 2007 年 8 月水文测验, 右汊大夹江工程区附近中、枯水时, 仍存涨潮流, 涨潮历时约 3 h, 落潮历时约 8 h, 涨潮流速最大可至 0.5~0.9 m/s。至洪水 54 500 m<sup>3</sup>/s 时则全部为落潮流。

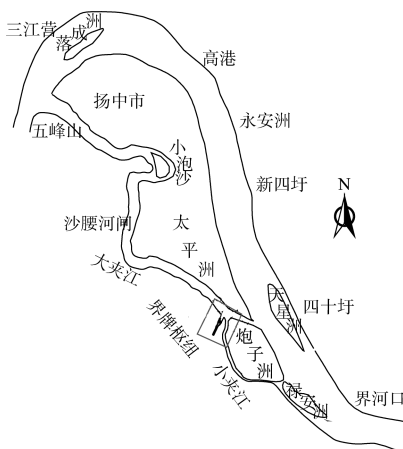


图 1 扬中河段河势

### 1.2 枢纽布置

界牌水利枢纽工程具有防洪、排涝、引水和通航等功能, 由 1 座闸孔总净宽 80 m 的节制闸、1 座总装机流量为 300 m<sup>3</sup>/s 的双向泵站以及 1 座 VI 级船闸(16 m×180 m)组成。界牌水利枢纽斜向进入大夹江, 河道中心线与江堤的夹角约 57.8°, 建筑物轴线距长江约 700 m。其中闸站工程布置在东岸(靠小夹江侧), 船闸工程布置在西岸(靠浦河侧), 节制闸中心线与新孟河河道中心线重合, 船闸中心线与节制闸中心线、泵站中心线平行布置。船闸内、外河均布置有导航段、调顺段、停泊段(靠船墩)。枢纽布置如图 2 所示。

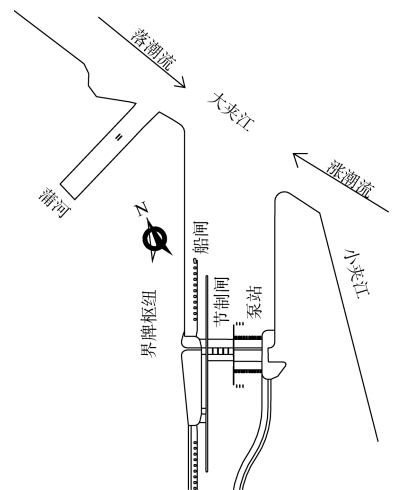


图 2 枢纽布置

## 2 模型的建立和验证

为保证模拟复杂水流流态与原型相似, 物理模型设计为正态模型, 模型比尺为 1:50。传统的水工模型通常只需包含枢纽上、下游河段, 而界牌水利枢纽距江边较近, 口门区水流受非对称涨落潮牵制作用明显, 模型需考虑大夹江作为控制边界条件。由于模型比尺较大, 受场地限制, 大夹江考虑半江范围, 模型的进出口边界条件通过数学模型来提供。

新孟河为新开河, 无相关的实测水文资料, 模型主要针对大夹江入江口断面进行枯季涨落潮及中、洪季落潮的断面流速分布验证, 模型进、出口水位流量边界条件由数学模型提供。验证结果表明物理模型实测数据与现场实测数据吻合较

好,符合物理模型试验规范精度要求,为枢纽引排水动力特征研究奠定基础。

### 3 不利通航水流条件

节制闸引排水设计流量为  $745 \text{ m}^3/\text{s}$ ,选择枯水涨、落潮最为不利工况,开展节制闸引排水枢纽水流条件认识性试验。结果表明,枢纽由于离江边较近且开敞布置,水流顺势而进出引河,落潮引排水时水流趋右岸而进出,涨潮工况时水流趋左岸而进出,口门区水流受到大夹江牵制作用明显。不良流态出现在节制闸涨潮引水工况,流态如图3所示,水流直接顶冲船闸侧岸壁,随后顺岸壁而下至导流堤头部折冲进入节制闸,从而在导流堤头部形成了较大强度的横流。枯水涨潮时刻节制闸引水流量  $745 \text{ m}^3/\text{s}$  时靠江侧导流堤头部横流流速大小如图4所示,可见最大横流已经超过规范要求的  $0.25 \text{ m/s}$ ,影响船舶通航安全。

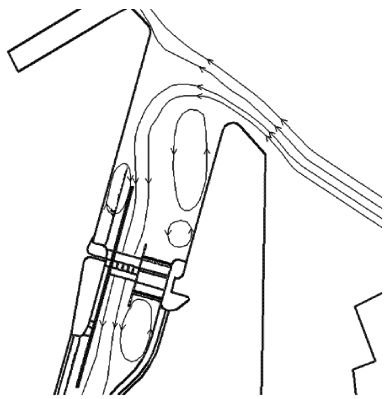


图3 涨潮节制闸引水流态

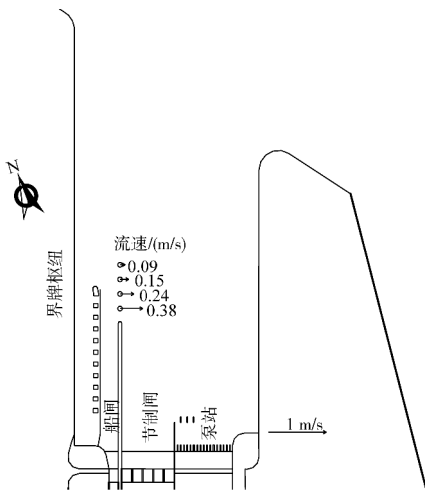


图4 枯水涨潮闸引  $745 \text{ m}^3/\text{s}$  时导流堤头部横流分布

## 4 优化措施

### 4.1 优化思路

堤头横流形成的主要原因为岸壁处水流行至导流堤头部折冲所致,为减弱导流堤头部横流,从以下3个思路对引航道口门区水流条件进行优化:1) 加长导流堤,尽可能减小贴岸壁水流,从而减弱折冲水流,消弱横流;2) 将船闸侧岸壁向引河口门中心推进,使得岸壁与导流堤平行,提前将水流调整顺直,引航道口门区处于遮蔽区,从而消弱不良流态;3) 将堤头设置透空形式,利用透空段将折冲水流分散,减小横流流速。

### 4.2 导流堤延伸方案

设置不同的导流堤延伸长度,开展堤头横流测量,延伸  $40 \text{ m}$  后口门区横流分布如图5所示。从图5可见,导流堤加长后,尽管最大横流有所减小,但仍然不能满足流速限制条件。主要由于导堤延长后,水流依然顶冲船闸侧岸壁,随后贴岸壁前行至导流堤头部折冲进入节制闸,导流堤的延长仅使得顶冲岸壁水流提前折冲进入节制闸,并没有减小折冲水流流量,更不能从根本上消除折冲水流,因此改善流态效果不佳。

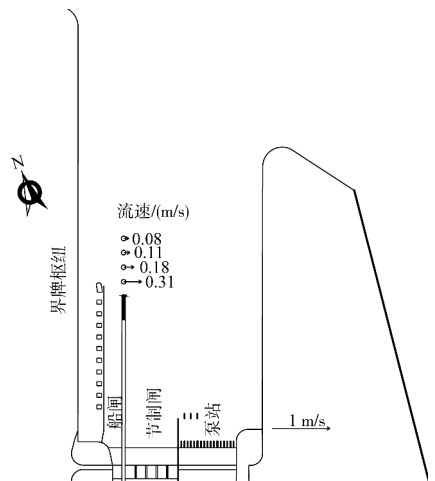


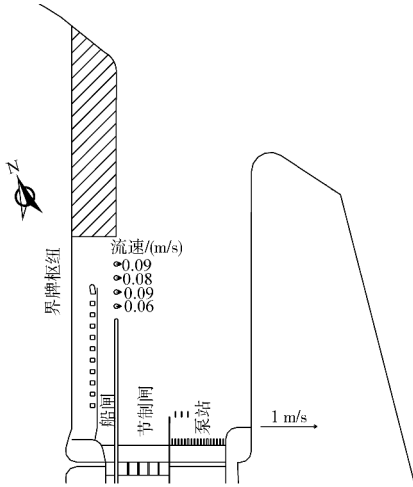
图5 导流堤延长  $40 \text{ m}$  头部横流

由于导流堤的延长和缩短情形下口门区依然保持相似的流态,从节约投资成本的角度考虑,后续方案的优化均在导流堤缩短  $40 \text{ m}$  的基础上开展。

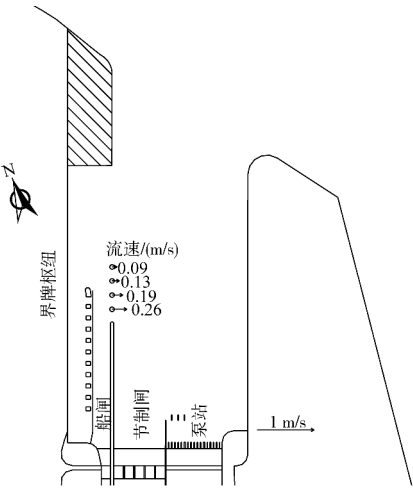
### 4.3 引航道侧岸壁外扩方案

设置不同岸壁外扩长度,并对口门区横流进

行测量, 当外扩段长度为 300 m 时, 岸壁将起到调整顶冲水流的作用, 并对引航道口门起到明显的遮蔽作用(图 6a))。可见, 横流流速大幅减小, 最大横流小于 0.25 m/s, 同时位于原始导流堤头部 50 m 范围的停泊区域亦处于掩护范围, 满足纵向流速及横向流速的要求。该方案一方面减小新开引河的开挖工程量, 另一方面节省土地资源。



a) 岸壁内扩方案, 导流堤缩短40 m, 外扩段长度300 m



b) 岸壁外扩方案, 导流堤缩短40 m, 外扩段长度140 m

图 6 各导流堤头横流

然而考虑到船舶进出引航道停泊区转弯半径的要求, 需要保证口门区进出岸线足够的长度, 从而使引航道侧岸壁外扩段长度最大只能保持为 140 m(图 6b))。可见, 由于岸壁外扩段太短, 不足以将顶冲岸壁水流调整平顺, 引航道口门区依然存在折冲水流, 减小横流效果有限, 堤头 20 m

处横流流速已经大于相关通航规范要求。

因此, 尽管岸壁外扩方案具有很好的遮蔽效果, 但在目前的枢纽离江距离条件下, 受空间范围的限制, 岸壁外扩段长度有限, 遮蔽性不足, 水流依然能够进入引航道而形成折冲水流, 致使堤头最大横流流速超过规范要求。

#### 4.4 透空堤头方案

##### 1) 透空段长度试验。

由于口门处水流在导流堤头部集中折冲, 导致横流严重, 考虑在堤头设置为透空, 使得水流分散进入引河, 从而分散横流, 满足通航要求。模型试验中, 以透空砖头作为透水导流堤, 其透水率为 40%。在导墙缩短 40 m 的基础上, 分别增加 22.5、45、67.5 及 90 m 的透水导流堤, 并对堤头横流进行观测。结果表明, 随着透水堤头的加长, 口门区的横流逐渐减小, 直至 90 m 时, 口门区横流消失, 进入引航道水体全部通过透空堤头进入主流, 此时的分散水流效果最优, 90 m 透空堤头方案布置及横流流速如图 7 所示。同时, 90 m 透空堤头方案条件下, 泊稳区最外端与透空堤头保持齐平, 使得停泊区处于遮蔽范围内, 满足纵向及横向水流条件。

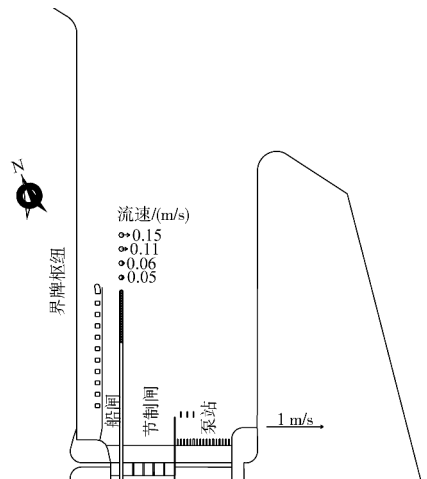


图 7 导流堤头部透空方案横流 (堤头缩短 40 m, 加透空砖 90 m)

##### 2) 导流堤不透水段长度试验。

鉴于外江侧导流堤头部的主要不良流态为涨潮引水时折冲水流导致的口门区横流超标, 在通



过设置透空导流堤解决横流超标问题的基础上, 试图在保持导流堤透空长度不变的情形下, 逐步减小不透水段长度, 探讨是否存在优化的空间。此时透空堤的长度不变, 可以保证减弱横流效果, 因此可缩短的不透水导流堤长度主要受限于停泊区的水流条件。设置不透水段缩短 66 m 及 106 m 两种方案。结果表明: 导航墙缩短使得停泊区暴露在外江涨潮流中, 停泊区水流强度明显增大, 当堤头缩短 66 m 时, 停泊区最外侧纵向流速为 0.48 m/s, 接近 0.5 m/s 的限制条件; 当堤头缩短 106 m 时, 最外侧纵向流速达到 0.53 m/s, 超过设计要求的 0.5 m/s。

上述试验结果表明, 透空式导流堤可较好地分散折冲水流, 减小横流流速, 随着透空段长度的增加堤头横流逐渐消失, 而随着导流堤整体长度的减少, 停泊区纵向流速逐渐增加。透空段长度取决于其分散横流的效果, 导流堤的整体长度取决于停泊区的水流条件。综合考虑堤头缩短 40 m 加透空段 90 m 方案作为优化方案。

## 5 结语

1) 在涨落潮牵制条件下, 引航道口门区不良流态出现在节制闸涨潮引水工况, 水流直接顶冲船闸侧岸壁, 随后顺岸壁而下至导流堤头部折冲进入节制闸, 从而在导流堤头部形成较大强度的横流。

2) 延长导流堤仅使顶冲至岸边的水流提前进行折冲进入节制闸, 没有减少折冲水流的流量, 对减小横流无明显效果。

3) 船闸侧岸壁内扩方案可提前调整水流, 使得口门区形成遮蔽区, 大幅减小横流流速。但是, 在感潮河段支流口门兴建枢纽时, 若用地条件受到限制, 将无法保证内扩段的长度, 从而达不到调整流态的目的。

4) 导流堤堤头透空可较好地分散横流, 改善流态, 满足通航水流条件, 其中透空段的长度取决于横流的分散效果, 整个导航墙的长度取决于停泊区的纵向水流控制条件。

## 参考文献:

- [1] 王云莉, 孙国栋, 向美焘. 船闸口门区不良流态改善措施[J]. 水运工程, 2016 (3): 83-88.
- [2] 田辉. 船闸引航道口门区通航水流条件研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2013.
- [3] 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.
- [4] 郑宝友, 陈波. 船闸上游口门区连接段为弯道的通航水流条件[J]. 水道港口, 2005, 26(2): 99-102.
- [5] 陈作强. 通航建筑物口门区及连接段通航水流条件研究[D]. 成都: 四川大学, 2006.
- [6] 李云, 胡亚安, 宣国祥. 通航船闸水力学研究进展[J]. 水动力学研究与进展: A 辑, 1999, 14(2): 232-239.
- [7] 王晓丽. 小南海水利枢纽通航建筑物引航道口门区水流条件数值模拟研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2011.
- [8] 周华兴, 郑宝友. 船闸引航道口门区通航水流条件改善措施[J]. 水道港口, 2002, 23(2): 81-86.
- [9] Jong R J, Vrijer A. Mathematical and hydraulic model investigation of longitudinal forces on ships in locks with door filling system[R]. Delft: Delft Hydraulic Laboratory, 1980.
- [10] Casulli V. Numerical simulation of three dimensional free surface flow in isopycnal coordinates [J]. International Journal for Numerical Methods in Fluids, 1997, 25(6): 645-658.
- [11] 李伟. 透空隔流堤对船闸引航道口门区水流条件影响研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2007.
- [12] 胡旭跃, 李彪, 徐立君. 水利枢纽通航水流条件研究综述[J]. 水运工程, 2005 (11): 59-64.