

引航道与泄洪河道交汇区流速及通航条件研究

杨升耀¹, 秦杰¹, 杜志水², 洪坤辉¹

(1.河海大学海岸灾害及防护教育部重点实验室, 江苏南京 210098;

2. 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司, 710065)

摘要: 引航道与泄洪河道交汇区水流条件复杂, 容易产生横向水流。本研究以成子河航道为例, 建立数学模型, 分析不同整治方案下交汇区域的流速条件, 并确定优化的导流墙布置方案。在此基础上, 针对优化方案, 开展极端条件下的通航条件研究。结果表明: 当废黄河来流 $206\text{m}^3/\text{s}$ 和 $308\text{m}^3/\text{s}$, 成子河船闸瞬时最大下泄流量 $69.5\text{m}^3/\text{s}$, 下游为低水位 12.5m 的时候, 交汇区最大表面横向流速大于 $0.3\text{m}/\text{s}$, 不满足通航条件。若遇到该极端条件, 建议成子河船闸停航。

关键词: 船闸; 引航道; 数学模型; 横向流速

1 引言

成子河航道及船闸位于宿迁市泗阳县境内, 涉及淮河流域的淮河、沂沭泗水系, 跨洪泽湖周边及以上地区、废黄河独立排水区, 与沂沭泗地区的骆南中运河相交, 是洪泽湖北航线的重要组成部分, 所处水系十分复杂。由于成子河下游引航道与废黄河几乎为 90° 交角, 汇入水流使航行安全受到影响。针对改善引航道交汇区域的河流流态, 国内外学者进行了大量研究, 并提出多种实用措施, 例如对岸线进行拓宽、改变岸线平滑程度、改变导流墙的形式、设置丁坝群、进行航道疏浚工作、设置导流堤等^[1]。也有学者通过数值模拟方法对正交河流交汇处所产生的分离区水流特征进行了研究, 提出了可以改善交汇区的泥沙淤堵和水位雍高、减小或消除分离区的优化堤线整流方案^[2]。导堤应该是目前解决交汇区域水流问题的最为重要的方法, 许多学者都对导堤进行了研究, 包括: 淹没式长隔流导流墙的研究^[3]、短丁坝方案的研究^[4]、增加直长导堤和弧形短导堤的研究^[5]等。此外, 也有从水下疏浚与管理宣传相配合的角度来维护其引航道口门段枯水问题的解决方案^[6]。针对成子河引航道与泄洪河道交汇区通航安全问题, 有学者通过构建数学模型, 分析计算区域内表面横向流速与纵向流速^[7]; 为进一步的研究成子河引航道与泄洪河道交汇区通航水流条件的改善措施, 应用数学模型分析比较了在废黄河 20 年一遇与 10 年一遇两种计算条件下, 无导流堤和两种导流堤改进方案区域流态, 发现在废黄河出口布置一道导流堤, 能够有效改善交汇区的流态和航道内的通航水流条件^[8-9]。但上述研究并未考虑下游遇枯水, 并且成子河船闸开闸泄流时的通航条件, 此时为通航的极端不利条件, 影响航行安全。故本

文将采用数学模型计算在极端不利条件下，设置优化弧形导流堤时交汇区域的流场，探究在该极端条件下航道安全通航问题。

2 数学模型的建立与验证

二维数学模型计算区域划分为 7962 个网格，网格尺度控制在 0.5~5m 间，满足计算精度要求。采用 2011 年江苏省水利工程科技咨询有限公司的《成子河船闸工程水文分析报告》中的数据进行验证。表 1 为二维数学模型的验证结果，计算值与理论分析的数值较为接近，模型能反映水流变化。

表 1 二维数学模型验证^[7]

工况	模型下游边界水位(m)	上游流量(m ³ /s)	排水标准	理论分析流速(m/s)	数模计算航道断面平均流速(m/s)
a	13.92	308	20 年一遇	1.10	1.01
b	15.11	308	20 年一遇	0.83	0.87
c	16.28	308	20 年一遇	0.63	0.65
d	13.23	206	10 年一遇	0.89	0.81
e	13.54	206	10 年一遇	0.83	0.78
f	16.16	206	10 年一遇	0.43	0.41

3 导流堤方案

考虑到该区域存在三汊，采用的导流堤方案一为废黄河与引航道交界处布置一道弧形导流堤，导流堤尾端向下游延伸，尾端角度稍大，使得水流得以调向下游，导流堤布置方案如图 1 所示；导流堤方案二为在交汇区域布置三角导堤。此时从废黄河来流因为被导流堤所阻挡，主流的流向倾向和下游引航道相平行方向而往下游流去；而导流堤左侧水流则比较平顺；该方案下导流堤下游的航道内水流受导流堤阻挡横向流速迅速减小，导流堤布置方案如图 2 所示。

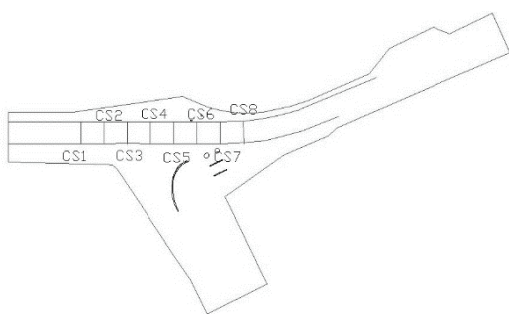


图 1 导流堤方案一布置图

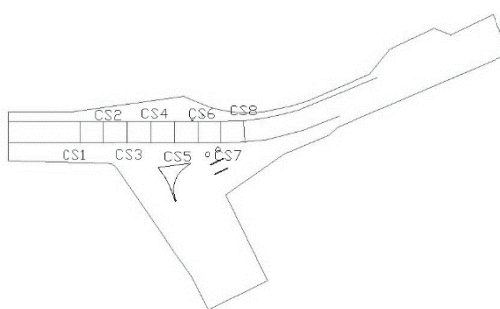


图 2 导流堤方案二布置图

考虑成子河分洪时给出了不同的上下游水位，选取最不利的条件：废黄河 20 年一遇分

洪流量为 $308 \text{ m}^3/\text{s}$ ，闸下最低洪水位为 14.09m ，湖口处的水位为 11.5m ；10 年一遇的分洪流量为 $206\text{m}^3/\text{s}$ ，闸下最低洪水位为 13.37m ，湖口水位为 11.5m 。通过数学模型计算得到上述条件下两种导流堤方案在 CS4、CS5、CS6 三个断面的横向流速。图 3 和图 4 分别为导流堤方案一和方案二不同测点的表面横向流速值。由计算结果可知，方案一和方案二均能满足要求，方案一的最大横向流速小于方案二。并且方案二是在交汇区域修建三角洲工程，相对而言工程量较方案一大，故导流堤方案一为较优方案。下文将针对导流堤方案一作为极端不利条件下的通航条件分析。

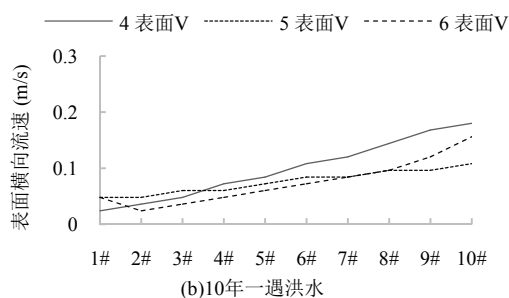


图 3 方案一各测点表面横向流速值

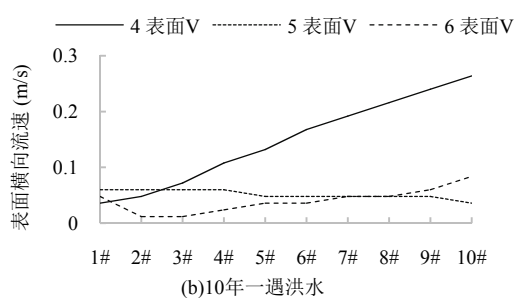


图 4 方案二各测点表面横向流速值

4 极端情况水流条件

由前文的数值分析可知，20 年遇和 10 年遇洪水条件下导流堤方案一航道交汇区域横向流速能满足要求。但在两种频率洪水条件下，若下游湖泊水位较低，则此时成子河船闸开闸泄流时通航条件最为不利。本研究采用数学模型进一步计算该条件下交汇区域的通航条件。表 2 为极端不利条件下的计算条件。

表 2 极端不利工况计算条件

工况	节制闸下泄流量 (m^3/s)	模型边界水 位(m)	成子河船闸泄流 量 (m^3/s)	备注
1	308	12.5	69.5	20 年一遇
2	206	12.5	69.5	10 年一遇

5 极端条件下通航条件分析

5.1 极端工况 1 计算结果

根据《内河通航标准》(GB50139-2004)中有关规定，航道口门区纵向流速限值为 2.0m/s ，横向流速限值为 0.3m/s 。通过数值模拟计算，得在该条件下，所有断面的纵向流速值均小于 2.0m/s ，但 CS6 断面的 8#测点表面横向流速为 0.336m/s ，9#测点表面横向流速为 0.384m/s ，10#测点表面横向流速为 0.432m/s ，三测点处表面横向流速均大 0.3m/s ，故不能满足通航要求。图 5 为极端不利工况 1 航道交汇区各测点纵向流速图，图 6 为极端不利工况 1 航道交

汇区各测点横向流速图。该工况下综合流速最大出现在断面6上下游区域，尤其以上游段最大。

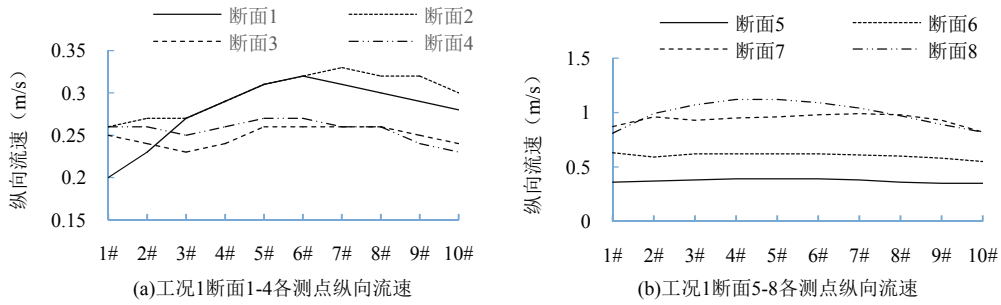


图5 极端工况1 航道交汇区各测点纵向流速

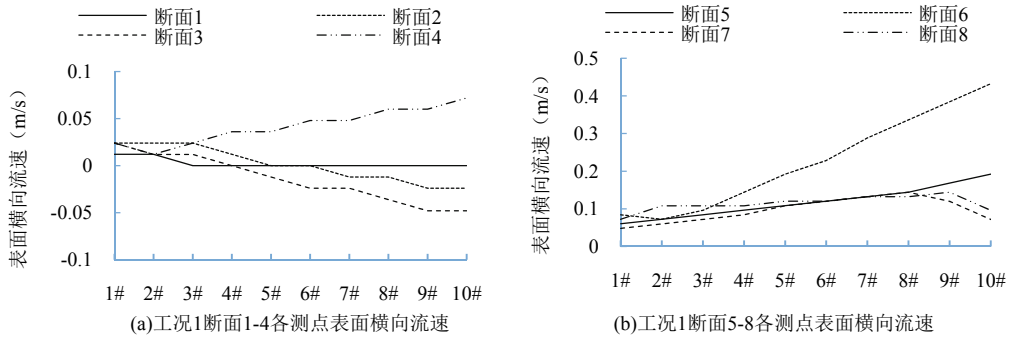


图6 极端工况1 航道交汇区各测点表面横向流速

5.2 极端不利工况2 计算结果

通过数值模拟计算，可知该条件下，所有断面的纵向流速均小于 2.0m/s，但 CS6 断面 10#测点处表面横向流速为 0.312m/s，大于 0.3m/s 限定值，故也不能满足通航要求。图 7 为极端不利工况 2 航道交汇区各测点纵向流速图，图 8 为极端不利工况 2 航道交汇区各测点横向流速图。

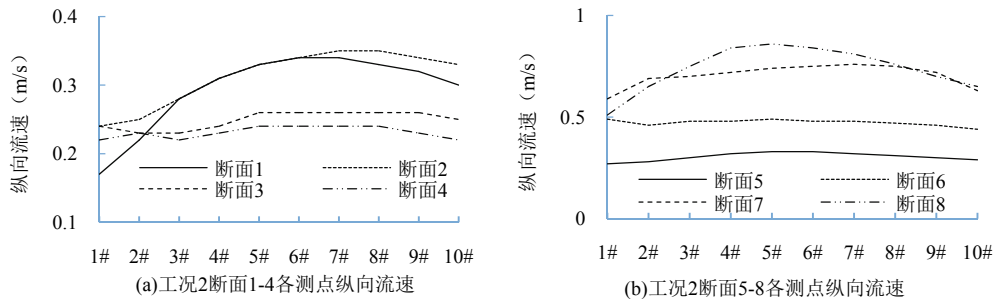


图7 极端不利工况2 航道交汇区各测点纵向流速

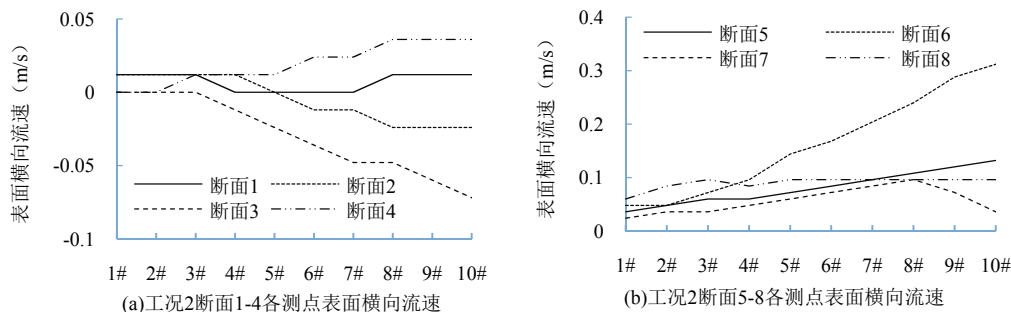


图8 极端不利工况2 航道交汇区各测点表面横向流速

5.3 极端条件下导流堤左右分流比

表3为极端不利条件下导流堤左右分流比，废黄河20年遇分洪流量，同时成子河船闸瞬时下泄流量最大，下游低水位时，导流堤左侧的分流为25.5%，导流堤右侧的分流量为74.5%；10年遇分洪流量，同时成子河船闸瞬时下泄流量最大，下游低水位时，导流堤左侧的分流量为23.1%，导流堤右侧的分流量为76.9%。

表3 极端不利条件下导流堤左右分流比

节制闸下泄流量 (m ³ /s)	模型边界水位 (m)	成子河船闸泄流量 (m ³ /s)	导流堤左侧分流	导流堤右侧分流	备注
308	12.5	69.5	25.5%	74.5%	极端不利条件20年一遇
206	12.5	69.5	23.1%	76.9%	极端不利条件10年一遇

6 结论

数学模型计算，结果表明：引航道与泄洪河道交汇区横向流速较大，需要修建导流墙才能减小横流，文中提出了两种导流墙的布置方案，其中方案一为较优方案。当废黄河来流为20年一遇洪水条件和10年一遇洪水条件，成子河船闸瞬时最大下泄流量69.5m³/s，下游为低水位12.5m的时候，在导流堤方案一的布置形式下，成子河航道与泄洪河道交汇区的CS6断面附近，最大表面横向流速均大于0.3m/s。若遇到该不利情况时，建议成子河船闸停航以确保安全。

致谢

本研究得到了国家重点研发计划(2016YFC0402506)资助，特此感谢。

参 考 文 献

- 1 符蔚, 王能, 李志威, 等. 分汊河段船闸引航道整治试验研究[J]. 长江科学院院报, 2019:1-8.
- 2 王冰洁, 周苏芬, 王海周, 等. 明渠干支河流直角交汇区整流方法探讨[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2015(S1):7-12.
- 3 王晓刚, 王小东, 宣国祥, 等. 五里亭船闸下游引航道综合整治[J]. 水利水运工程学报, 2017(04):1-7.
- 4 敖大光, 曾志诚, 李波, 等. 西北江交汇区航道整治试验研究[J]. 中国工程科学, 2002(05):67-70.
- 5 杨校礼, 李昱, 孙永明, 等. 弧形短导墙对船闸引航道水流结构影响的研究: 第二十七届全国水动力学研讨会, 中国江苏南京, 2015[C].
- 6 朱鹏, 章昆仑, 朱年龙. 引航道枯水期船舶通航问题分析及对策[J]. 中国水运, 2018(09):66-67.
- 7 吴腾, 秦杰, 丁坚. 引航道与泄洪河道交汇区安全通航研究: 第二十七届全国水动力学研讨会, 中国江苏南京, 2015[C].
- 8 丁坚, 吴腾, 邵雨辰, 等. 成子河船闸引航道与泄洪河道交汇区域通航水流条件与改善措施研究[J]. 水道港口, 2016(02):166-169.
- 9 吴腾, 秦杰, 王东英. 引航道与泄洪河道交汇区流态及航道安全措施研究: 第十七届中国海洋(岸)工程学术讨论会, 中国广西南宁, 2015[C].

Study on flow velocity and navigation conditions at the intersection area of approach channel and flood discharge channel

YANG Sheng-yao, QIN Jie, DU Zhi-shui, HONG Kun-hui

(Key Laboratory of Coastal Disaster and Defence, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China.)

Abstract: The water flow conditions at the intersection of the approach channel and the flood discharge channel are complex, and it is easy to generate lateral water flow. Taking the Chengzi River channel as an example, this paper establishes a mathematical model, analyzes the flow velocity conditions in the intersection area under different regulation schemes, and determines the optimal diversion wall layout scheme. On this basis, navigation conditions under extreme conditions is carried out for the optimization scheme. The results show that when the inlet flows at $206\text{m}^3/\text{s}$ or $308\text{m}^3/\text{s}$, the instantaneous maximum discharge flow of the Chengzihe ship lock is $69.5\text{m}^3/\text{s}$, and the downstream is low water level 12.5m, the maximum surface lateral velocity of the intersection is greater than 0.3m/s. If this extreme condition is encountered, it is recommended that the Chengzihe ship lock be not running.

Key words: Ship lock, approach channel, mathematical model, lateral flow rate