

尹公洲水道通航条件水流数值模拟研究

东培华, 徐孟飘

(华设设计集团股份有限公司, 江苏 南京 210014)

摘要: 自长江南京以下 12.5 米深水航道二期工程试运行以来, 受尹公洲水道通航制约, 12.5 米深水航道并未实质性延伸到南京。为深入挖掘尹公洲水道通航潜力, 进一步提升其通航能力, 需开展尹公洲水道通航能力提升研究。本文建立二维水流数学模型, 模拟不同代表流量条件(航道整治流量、多年平均流量、平滩流量、多年平均洪峰流量及防洪设计流量)下尹公洲水道内的水动力特征及航道水流条件, 为船舶操纵模拟试验提供基础流场数据, 为通航能力提升研究提供技术支撑。

关键词: 尹公洲水道; 数值模拟; 水动力

中图分类号: U61 **文献标识码:** X **文章编号:** 1006—7973 (2022) 10—0121—03

尹公洲航道全长约 20 公里, 其中航宽不足 300 米的航段约 13 公里, 航道呈 90 度弯曲, 为单向控制段, 目前主要存在航道弯曲、狭窄、流态复杂和通航密度大等问题, 是长江江苏段著名的两个瓶颈航段之一。

自长江南京以下 12.5 米深水航道二期工程试运行以来, 长江江苏段航运组织进一步优化, 黄金水道效益进一步发挥。但受尹公洲水道通航的制约, 12.5 米深水航道并未实质性延伸到南京, 使得南京港未能充分享受深水航道船舶大型化的红利, 港口综合竞争力难以提升。

本文基于尹公洲水道现状条件, 建立二维水流数学模型, 模拟计算不同代表流量条件下尹公洲水道内的水动力特征及航道水流条件, 为船舶操纵模拟试验提供基础流场数据, 为尹公洲水道通航能力提升研究提供技术支撑。

1 水道自然条件

1.1 河道概况

尹公洲水道(即和畅洲南水道)位于长江镇扬河段下段, 长江镇扬河段上起三江口, 下迄镇江五峰山, 全长约 74km, 自上而下依次由仪征水道、世业洲水道、和畅洲水道组成。和畅洲水道自世业洲尾~五峰山, 包含六圩弯道、和畅洲水道及大港水道, 和畅洲水道又分为和畅洲北水道及和畅洲南水道(尹公洲水道)。

和畅洲水道右汊为通航主汊道, 上段航道称为焦山尾水道或尹公洲航道段, 右汊中下段~五峰山为丹徒直水道, 下连口岸直水道, 其平面形态上呈“Z”字形。该段航道弯曲多变、航宽狭窄、流态紊乱、通航密度大, 历来是长江镇江段事故多发地带, 是长江下游深水航道的“瓶颈”^[3-4]。

1.2 潮位特征

据镇江水文站长期潮位观测资料统计, 历年最高潮位 6.7m, 最低潮位 -0.65m, 最大潮差 2.32m, 最小潮差 0m, 多年平均潮差为 0.96m。

1.3 水流特征

根据近年多次实测水流资料统计, 尹公洲水道测流断面上垂线平均最大流速基本出现在主泓, 最小流速基本出现在两岸边, 表明各断面流速一般中间大两岸小。

1.4 分流比特征

(1) 12.5 米深水航道二期整治工程实施前: 和畅洲左汉口门控制工程实施后, 工程限流效果较明显, 左汊枯季分流比由工程前 76.0% 左右减少至 73.0% 左右; 2008 年以后, 左汊分流比又有缓慢抬升的迹象^[5]。

(2) 12.5 米深水航道二期整治工程实施后: 左汊限流、右汊增流的效果十分显著, 和畅洲右汊分流比逐步抬高, 由 25.4% 上升至 40%。

2 数学模型的建立及验证

2.1 模型建立

模型的计算网格及地形如下图 1 所示。平面二维水流数学模型上起世业洲汇流口, 下至五峰山, 全长约 48km。为准确模拟复杂分汊河道, 模型采用三角形网格, 同时于关注区域对网格进行加密, 网格尺度在 50~80m 之间。

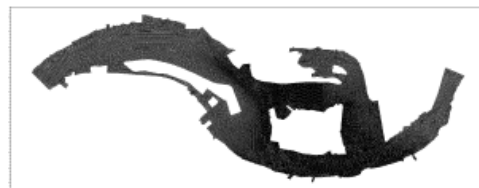


图 1 数学模型计算范围及网格

2.2 模型验证

采用 2018 年 7 月洪季及 2019 年 2 月枯季实测水文资料，分别对洪枯季的水面线、流速分布及汉道分流比进行验证。图 2 为洪枯季水位站及测流断面分布图。验证结果表明：从水面线来看，水位一般误差为 $\pm 0.04\text{m}$ ；从断面流速分布来看，除个别垂线点外，绝大部分点流速误差均在 $\pm 5\%$ 以内；从分流比来看，偏差在 0.2% 以内。以上验证结果均满足《水运工程模拟试验技术规范》（JTS-T 231-2021）的要求。限于篇幅，仅给出部分验证结果。

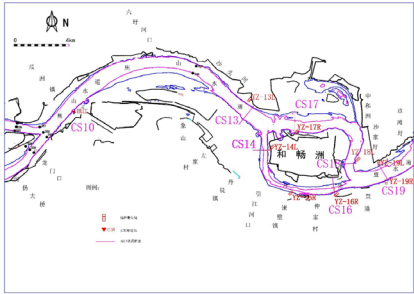


图 2 洪枯季水位站及测流断面分布图

表 1 2018 年洪季水面线率定部分验证结果表

测点位置	实测水位(m)	计算水位(m)	差值(m)
YZ-13L	3.76	3.8	0.04
YZ-14L	3.68	3.71	0.03
YZ-16R	3.51	3.54	0.03

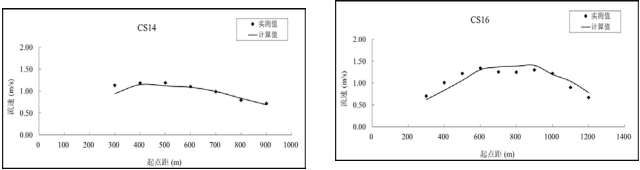


图 3 部分断面洪季流速分布验证图

表 2 2018 年洪季分流比验证表

	实测	计算	差值
左汉	64.2%	64.0%	-0.2%
右汉 (尹公洲水道)	35.8%	36.0%	0.2%

3 计算特征水文条件

本文选取了 5 个计算流量级，分别为航道整治流量（ $16500\text{m}^3/\text{s}$ ）、多年平均流量（ $28500\text{m}^3/\text{s}$ ）、平滩流量（ $46000\text{m}^3/\text{s}$ ）、多年平均洪峰流量（ $57500\text{m}^3/\text{s}$ ）及防洪设计流量（ $85400\text{m}^3/\text{s}$ ）。下游控制水位利用多年实测资料，建立大港港区的水位（中潮位）与大港实测流量关系，再由流量确定相应的水位。

4 计算结果分析

为更准确地分析尹公洲航道的水动力条件，于航道中心线沿程布置多个采样点。图 4 为航道中心线沿程采样点布置图。限于篇幅，本文仅对最小流量级及最大流量级下（航道整治流量及防洪设计流量）的计算结果进行分析。

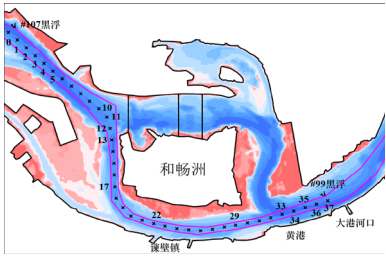


图 4 航道中心线沿程采样点布置图

4.1 航道整治流量条件下

图 5 为航道整治流量下尹公洲水道流场图。在航道整治流量条件下，自 #107 黑浮至分流区水道内流态较为平顺，通航条件良好，横流流速约在 0.1m/s 以内。分流段附近由于转角较大，航道内流态较乱，航道中心线走向与水流流向约呈 $20^\circ \sim 40^\circ$ 夹角，横流流速最大达 0.17m/s 。右汉进口段深水航道内流态平顺，通航条件良好，横流流速在 0.1m/s 以内。右汉中段（弯道段）水流流向与航道中心线夹角约呈 $5^\circ \sim 20^\circ$ ，横流流速最大达 0.16m/s 。右汉中下段及下段流向与航道中心线夹角较小，横流较小，横流流速在 0.1m/s 以内。汇流段附近由于左、右汉下泄水流在深水航道内交汇，流态紊乱，水流流向与航道中心线夹角约为 $12^\circ \sim 14^\circ$ ，横流相对较大，最大达 0.14m/s ；黄港 ~ 99# 黑浮航段内流态平顺，通航条件良好。

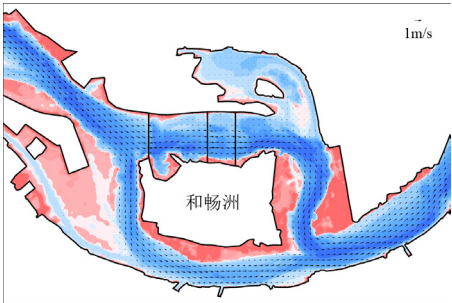


图 5 航道整治流量下尹公洲水道流场图

4.2 防洪设计流量条件下

图 6 为防洪设计流量下尹公洲水道流场图。在防洪设计流量条件下，自 #107 黑浮至分流区水道内流向与中心线夹角较小，深水航道中心流速为 $2.34 \sim 2.76\text{m/s}$ ，横流流速约在 0.4m/s 以内。分流段附近水流流向与中心线夹角较大，横流流速较大，最大约为 0.62m/s 。

右汊进口段航道中心线水流流向与航道中心线夹角较小,流速约为 1.45~2.06m/s,横流流速约在 0.35m/s 以内。右汊中段(弯道段)水流流向与航道中心线夹角约呈 2~21°,横流流速相对较大,最大约为 0.61m/s。右汊中下段及下段流态较为平顺,流速约为 2.0~2.21m/s,横流流速在 0.3m/s 以内。汇流段附近水流流向与航道中心线夹角约为 13~14°,流速约为 2.02~2.18m/s,横流流速相对较大,最大约为 0.54m/s;黄港~99#黑浮航段内流态平顺,水流流速约为 2.15~2.20m/s。

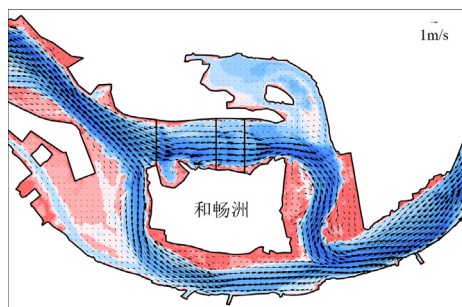


图 6 防洪设计流量下尹公洲水道流场图

5 结论

本文通过建立平面二维水流数学模型,计算分析不同代表流量条件下尹公洲水道内水动力特征,为船舶操纵仿真试验提供基础流场环境数据,为尹公洲水道通航能力提升研究提供技术支撑。主要结论如下:

(1) 尹公洲水道流态特征:各典型代表水文条件下航道流态情况基本相似。分流口(尹公洲水道进口水域)由于转角较大,航道内流态较乱,航道中心线走向与水流流向约呈 20°~40° 夹角;弯道段(右汊中段)

水流流向与航道中心线夹角约呈 5~20°;顺直段(#107 黑浮至分流区水道、尹公洲水道进口段、出口段及大港水道)内流态相对较为平顺,水流流向与中心线夹角约 10° 以内;汇流口(黄港附近)由于左、右汊下泄水流在深水航道内交汇,流态紊乱,水流流向与航道中心线夹角约为 12~14°。

(2) 尹公洲水道流速特征:航道内流速随着流量级别的增大而增大,航道整治流量条件下航道内流速最小,防洪设计流量条件下航道内流速最大。分流口、弯道段以及汇流口的横流相对较大,顺直段(#107 黑浮至分流区航道、尹公洲水道进口段、出口段及大港水道)较于分流口、汇流口以及弯道段,流速相对更大。

参考文献:

- [1] 凌金平. 镇扬河段和畅洲汊道近期河势演变分析 [J]. 江苏水利, 2021(09):66-69.
- [2] 沈彦军, 王国波, 陈亮. 长江南京以下深水航道和畅洲水道整治效果分析 [J]. 港工技术, 2021, 58(04):6-9.
- [3] 王则胜, 朱中华, 叶志云. 尹公洲航段通航环境分析及对策研究 [J]. 交通运输工程与信息学报, 2014, 12(03):32-37.
- [4] 王岩, 孙寿保, 徐峰, 徐鹏鹏. 提升尹公洲段航道通过能力的探讨 [J]. 水运工程, 2020(12):161-165+190.
- [5] 胡颖, 文天翼, 马爱兴, 蔡建冬, 李玉婷. 和畅洲水道深水潜堤施工过程引起的水动力变化 [J]. 水运工程, 2018, No.541(04):1-7.

基金项目: 江苏省交通运输科技项目(2017ZX01)。

