



新沂河行洪制约下宿连航道最大通航流量分析

瞿鑫栋¹, 范红霞¹, 张跃东², 胡 鹏¹, 王 勇¹

(1. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029; 2. 华设设计集团股份有限公司, 江苏 南京 210014)

摘要: 新沂河是沂沭泗水系下游人工开挖排洪通道, 承接骆马湖洪水, 受控嶂山闸, 下泄水流涨水快、流量大、历时长。宿连航道规划等级二级, 在沭阳县境内出柴沂河后长距离横穿新沂河, 穿越区滩泓交错、支流入汇、设施众多, 新沂河行洪水流在航道区形成强劲横流, 严重制约宿连航道通航历时和通航安全。现状条件下难以在设计要求 20 a 一遇水位对应流量下通航, 降低最大通航流量辅以航道整治措施改善通航水流条件。在大范围地形测量和洪水期现场水文测验的基础上, 建立交汇区水流数学模型, 分析日均保证率流量和河道边界条件, 建议采用沭阳水文站 99% 保证率流量作为最大通航流量。通过数学模型计算, 提出对应的航道整治方案, 研究成果可为工程设计和运行提供依据, 也可类似工程提供参考。

关键词: 新沂河行洪; 高等级航道; 长距离穿越; 强横流; 最大通航流量; 整治措施

中图分类号: U612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)11-0166-09

Maximum navigable discharge of Sulian Channel under the constraint of Xinyi River

QU Xindong¹, FAN Hongxia¹, ZHANG Yuedong², HU Peng¹, WANG Yong¹,

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. China Design Group Co., Ltd., Nanjing 210014, China)

Abstract: The Xinyi River is an artificial flood discharge channel in the lower reaches of the Yi-Shu-Si River system, designed to handle flood from Luoma Lake. It is regulated by the Zhangshan Gate, and the flood is characterized by rapid rise, high discharge, and prolonged durations. The Sulian Channel is planned Class II and crosses the Xinyi River over a long distance after exiting the Chaoyi River in Shuyang County. The traversal section exists numerous troughs and shoals, tributaries converge and numerous facilities. The flood discharge of Xinyi River forms strong cross-currents, severely restricting navigation duration and safety of the Sulian Channel. Under the current conditions, it is difficult to navigate at the design-required flow corresponding to the 20-year return period water level. Reducing the maximum navigable discharge and implementing channel regulation measures can improve navigational flow conditions. Based on large-scale topographic surveys and on-site hydrological measurements during flood periods, a mathematical model of water flow in the intersection area is established. By analyzing the daily average flow with guarantee rate and river boundary conditions, it is recommended to use the 99% guarantee flow rate at the Shuyang Hydrological Station as the maximum navigable discharge. Through mathematical model calculations, corresponding channel regulation plans are proposed. The research can provide a basis for engineering design and operation, as well as reference for similar projects.

Keywords: flood discharge of Xinyi River; high grade waterway; long distance crossing; strong cross flow; maximum navigable discharge; treatment measures

设计通航水位是航道工程建设中重要参数, 直接影响通航天数、通过能力和工程投资, 其中设计最高通航水位及其对应流量确定还关乎洪水期船舶通航安全^[1]。GB 50139—2014《内河通航标准》^[2]

规定二级航道及船闸设计最高通航水位的洪水重现期为 20 a, 实际上由于受到复杂边界条件限制, 洪水期船闸引航道及口门区通航水流条件经常难以满足规范要求, 船闸经常需降低流量运行以保

收稿日期: 2025-01-23

作者简介: 瞿鑫栋(2000—), 男, 硕士, 研究方向为水力学及河流动力学、航道整治。

障通航安全。洪水期允许运行的安全流量称为最大通航流量^[3], 航道工程运行流量受关键节点船闸工程的影响。

针对航道工程最大通航流量的确定, 文训科等^[4]通过物理模型试验以及船模试验, 分析山区河流的通航水流条件, 并确定相应最大通航流量; 朱军政等^[5]通过采用高潮位频率法, 建立二维水动力数学模型研究通航水位; 吴凌波等^[6]采用图解适线法进行最大通航流量的计算; 黄定军等^[7]采用高水保证率法对最大通航流量进行计算。

宿连航道作为江苏省干线航道网主骨架的重要组成部分之一, 正由三级航道升级为二级航道^[8], 其中宿迁段全长 102.2 km, 在沭阳境内出柴沂河后长距离穿越新沂河, 长约 4 km, 航道中心线与新沂河南偏泓、中泓和北偏泓基本正交, 见图 1。新沂河是沂沭流域下游洪水南排主要通道, 受骆马湖嶂山闸控制, 行洪期间具有“涨水快、流量大、历时长”三大特点, 下泄水流在与航道区交汇区形成强劲横流, 严重制约宿连航道高水位期通航历时和通航安全。由于新沂河河道较宽, 采用行洪与通航分离方案投资巨大, 由此研究穿越段通航水流条件, 确定最大通航流量成为航道建设和运行关键技术问题。本文分析新沂河行洪现状, 参照船闸最大通航流量研究方法, 切实考虑穿越段河道边界和重要设施, 建议了本段航道最大通航流量, 并通过数学模型计算分析提出对应的整治方案。

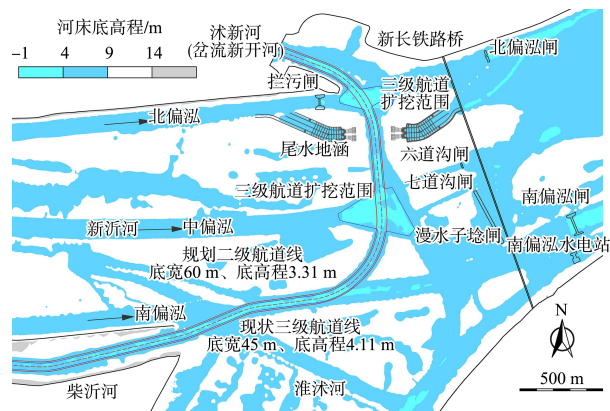


图 1 宿连航道穿越新沂河段河势及水利设施布置(现场实测)

Fig. 1 River regime and water conservancy facilities layout of the Sulian Channel crossing Xinyi River (field measurement)

1 研究区域概况

1.1 新沂河行洪控制工程——嶂山闸

骆马湖是沂河、泗水下游的主要防洪湖泊型水库, 正常蓄水位 22.83 m, 平均水深 3.32 m, 库容 9.18 亿 m^3 。嶂山闸是骆马湖泄洪的主要控制工程, 总宽 428.97 m, 共 36 孔, 单孔净宽 10 m; 设计防洪标准 50 a 一遇, 设计流量 8 000 m^3/s , 闸上水位 24.83 m; 校核防洪标准 100 a 一遇, 校核流量 10 000 m^3/s , 闸上水位 25.83 m。1974 年 8 月 16 日, 实测最大泄洪流量 5 760 m^3/s , 闸上水位 25.08 m。国家防汛抗旱总指挥部在 2005 年印发的《沂沭泗河洪水调度方案》(国讯[2005]8 号)的修订中提及, 骆马湖洪水调度方案为: 当骆马湖水位达到 22.50 m 并继续上涨时, 嶂山闸泄洪或相继开启皂河闸、宿迁闸泄洪; 预报骆马湖水位超 23.50 m, 骆马湖提前预泄; 预报骆马湖水位不超过 24.50 m, 嶂山闸泄洪控制新沂河沭阳站洪峰流量不超过 5 000 m^3/s ; 预报骆马湖水位超过 24.50 m, 嶂山闸泄洪控制新沂河沭阳站洪峰流量不超过 6 000 m^3/s ; 当骆马湖水位超过 24.50 m 并预报继续上涨时, 嶂山闸泄洪控制新沂河沭阳站洪峰流量不超过 7 800 m^3/s 。

1.2 新沂河概况及沭阳枢纽工程

新沂河为人工开挖河道, 开挖于建国初期, 承接骆马湖洪水, 是沂沭泗洪水“南下”工程的重要组成部分。2003 年淮河大水后, 按 50 a 一遇防洪标准续建, 于 2010 年通过竣工验收, 设计行洪流量 7 500~7 800 m^3/s 。新沂河嶂山闸下至入海口全长 146 km, 河床滩地自西向东倾斜, 滩面坡降东缓西陡。嶂山闸至山东河口段坡度最陡, 平均坡降 1/1 300, 口头至沭阳段平均坡降 1/3 000~1/4 000, 沭阳向东逐渐平坦, 滩面平均坡降约为 1/17 500。除嶂山闸下 6 km 为切岭开挖外, 全线修筑南北大堤, 束水漫滩行洪, 沭阳以西堤距 1 100~1 300 m, 沭阳以东堤距 1 300~3 300 m。沭阳以上南岸有山东河、路北河、柴沂河等支流汇入, 北岸有老沭河、新开河、淮沭新河汇入, 至沭阳城西, 南会淮沭河, 沭阳以下与盐河相交。

1.3 新沂河沭阳枢纽工程

新沂河沭阳枢纽工程位于淮沭河、新沂河交汇处,包括南偏泓闸、南偏泓水电站、漫水子埝闸、六道沟闸、七道沟闸、北偏泓闸等建筑物,是集闸、站、埝一体的综合性水利枢纽,控制沭阳以上段新沂河、大官庄以下段老沭河、岔流新开河等支流春汛来水,承担防洪、灌溉、航运、向连云港输送清水等功能。

沭阳尾水控制闸(拦污闸)位于北偏泓,为钢筋混凝土开敞式结构,总宽 46.02 m,共 4 孔,每孔净宽 10 m,设计流量 $150\text{ m}^3/\text{s}$,校核流量 $200\text{ m}^3/\text{s}$ 。北偏泓闸为单孔水闸,闸孔净宽 8 m,设计流量 $52.7\text{ m}^3/\text{s}$ 。新沂河沭阳尾水北地涵为宿连航道一期配套水利工程,设计流量 $90\text{ m}^3/\text{s}$ 。

六道沟闸、七道沟闸均为单孔闸,规模相同,闸室净宽 8 m,设计流量 $50\text{ m}^3/\text{s}$ 。漫水子埝闸采用浇筑钢筋混凝土底板,底板上安装液压翻板钢闸门挡水,设置 34 扇闸门,每扇闸门宽 10 m,总宽 356 m。

南偏泓闸总宽 100 m,共 9 孔,每孔净宽 10 m,设计流量 $250\text{ m}^3/\text{s}$,校核流量 $400\text{ m}^3/\text{s}$ 。南偏泓水电站为河床式小型水电站,采用 4 台立式轴流定桨式水轮机,设计流量 $26.8\text{ m}^3/\text{s}$,设计最高发电水位 9.0 m,正常发电水位 8.3 m。

根据宿迁市新沂河调度工程管理处关于《沭阳枢纽工程调度运行方案》,沭阳枢纽调度方案为:当流域内遭遇大暴雨,嶂山闸开启泄洪,当泄洪量小于 $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,根据下泄流量开启南偏泓闸并调节开启闸门、孔数、高度;当行洪流量大于 $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,南偏泓闸、六道沟闸、七道沟闸、漫水子埝闸和北偏泓闸全部敞开泄洪。

1.4 航道建设方案

宿连航道是江苏省干线航道网“五横”之一的徐宿连通道的重要组成部分,在宿迁境内起自陆运河止于古泊河,其中一期工程自陆运河至沐新

河南船闸,全长 58.5 km,正在按三级航道整治方案施工。三级航道设计最大船舶等级 1 000 吨级,航道标准尺度 $45\text{ m}\times 3.2\text{ m}\times 320\text{ m}$ (最小航宽 $\times$ 水深 $\times$ 最小转弯半径)。穿越新沂河段,设计最高通航水位为 20 a 一遇水位 11.20 m,对应流量为 $5\,138\text{ m}^3/\text{s}$;设计最低通航水位 7.31 m,航道设计底高程 4.11 m,采用梯形断面,边坡比 1:5。

嶂山闸泄洪起开流量为 $500\text{ m}^3/\text{s}$,沭阳枢纽调控,洪水不上滩,水流沿北、中和南偏泓下行,航道与北偏泓、中偏泓基本正交,下泄水流形成航道横流。三级航道管理流量为 $500\text{ m}^3/\text{s}$,即新沂河行洪即停航,同时采取扩挖北偏泓和中偏泓整治措施,控制航槽内最大横向流速为 0.3 m/s 。据实测资料统计超 $500\text{ m}^3/\text{s}$ 天数多年均值为 16.4 d。

二级航道在三级航道基础上建设,航道标准尺度 $60\text{ m}\times 4.0\text{ m}\times 320\text{ m}$ (最小航宽 $\times$ 水深 $\times$ 最小转弯半径),初拟保持航道中心线不变,向两侧各拓宽 15 m。设计通航水位同三级航道,航道底高程 3.31 m,边坡比为 1:4.5。

2 新沂河行洪现状

2.1 依据资料

沭阳水文站位于穿越段下游 1.2 km,是新沂河水文泥沙主要控制站,收集到沭阳水文站 1990—2024 年最大行洪流量、日平均流量和日平均水位。

2.2 行洪流量分析

新沂河沭阳站连续多年最大行洪流量见表 1,由表可见,35 a 以来新沂河仅 1992、1994、1999、2002、2014、2015、2016 年没有行洪,行洪年数高达 27 a;最大洪峰流量出现在 2019 年,达到 $5\,900\text{ m}^3/\text{s}$;洪峰流量超 $4\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 的年数达 11 a,超 $4\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 的年数达 16 a;2018—2024 年均大流量行洪。

表 1 新沂河多年最大行洪流量
Tab. 1 Annual maximum flood discharge of Xinyi River

序号	年份	流量/(m ³ ·s ⁻¹)	序号	年份	流量/(m ³ ·s ⁻¹)	序号	年份	流量/(m ³ ·s ⁻¹)
1	1990	4 850	13	2002	481	25	2014	204
2	1991	3 800	14	2003	4 860	26	2015	260
3	1992	474	15	2004	2 700	27	2016	520
4	1993	4 580	16	2005	4 310	28	2017	1 650
5	1994	388	17	2006	2 840	29	2018	3 860
6	1995	2 870	18	2007	3 900	30	2019	5 900
7	1996	2 560	19	2008	4 760	31	2020	4 860
8	1997	1 350	20	2009	2 930	32	2021	5 120
9	1998	4 220	21	2010	3 010	33	2022	3 180
10	1999	214	22	2011	2 510	34	2023	4 250
11	2000	1 770	23	2012	3 610	35	2024	5 420
12	2001	2 330	24	2013	1 240			

2.3 沭阳站水位流量关系

沭阳水文站设立于 1950 年,周中甫等^[9]分析了 1950—2003 年洪峰流量下水位变化,结果表明同流量下水位逐年抬高,可分为 3 个阶段,分别为 1950—1964 年、1965—1978 年、1979—2003 年。与 1965—1978 年相比,1979 年后同流量下水位抬高约 0.4 m,同水位下流量减少约 20%;与 1950—1964 年相比,同流量下水位抬高约 0.9 m,同水位下流量减少约 35%,这与枢纽等建筑物建设以及滩地利用相关,1979 年后水位流量关系相对稳定。

点绘 1990—2023 年沭阳水文站水位流量数据见图 2,以沭阳枢纽控制临界流量 1 000 m³/s 为界,拟合了水位下包络线,1 000 m³/s 以下为二项式,以上为一次函数;1 000 m³/s 以上敞泄流量增绘了中水位拟合线:

$$\left\{\begin{array}{l}y=-0.000\ 005\ 4x^2+0.009\ 9x+2.8\\x\leqslant 1\ 000\\y=0.000\ 782x+6.518\\x>1\ 000\ (\text{下包络线})\\y=0.000\ 616x+7.384\\x>1\ 000\ (\text{中水拟合线})\end{array}\right.\quad (1)$$

沭阳站流量 1 000 m³/s 条件下,低、中水位分别为 7.3 和 8.0 m;在 99%保证率流量 2 710 m³/s 条件下,低、中水位分别为 8.67 和 9.05 m;20 a 一遇流量 5 138 m³/s 条件下,中、低水位均为 10.5 m。受沭阳水利枢纽调控影响,在工程区流量 2 710 m³/s 时,低、中水位相差约 0.1 m。

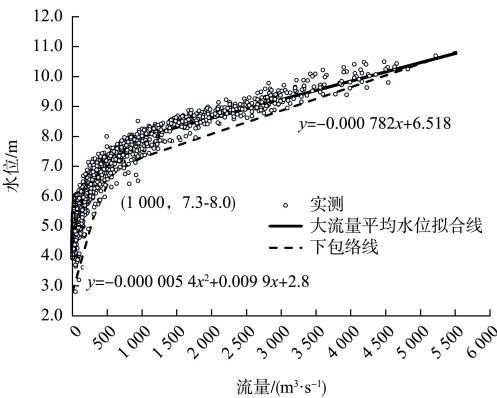


图 2 沭阳水文站实测水位流量关系
Fig. 2 Stage-discharge relation at Shuyang hydrological station

3 最大通航流量及相应整治方案研究

3.1 现场水文测验结果分析

根据 GB 50139—2014《内河通航标准》,二级航道设计最高通航水位重现期为 20 a 一遇,对应沭阳站流量 5 138 m³/s。

2024 年 5 月汛前测量了穿越段 1:2 000 河床地形, 2024 年 7 月 8 日嶂山闸开启泄洪, 开闸后流量迅速增加, 9 时为 $500 \text{ m}^3/\text{s}$, 10 时加大至 $2\,000 \text{ m}^3/\text{s}$, 14 时加大至 $4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 。2024 年 7 月 9 日开展现场水文测验, 布置 9 把水尺, 4 个 ADCP (声学多普勒流速剖面仪, acoustic Doppler current profilers)

测流断面。地形测量范围和水文测验布置见图 3, 水尺 7# 位于沭阳站, CS3 断面为沭阳站观测断面。测流期间 CS1 新沂河断面实测流量 $5\,100 \text{ m}^3/\text{s}$, CS4 岔流新开河实测流量 $410 \text{ m}^3/\text{s}$, 沭阳站流量 $5\,160 \sim 5\,510 \text{ m}^3/\text{s}$, 基本为 20 a 一遇流量级, 水尺 5# 实测水位 11.1 m。

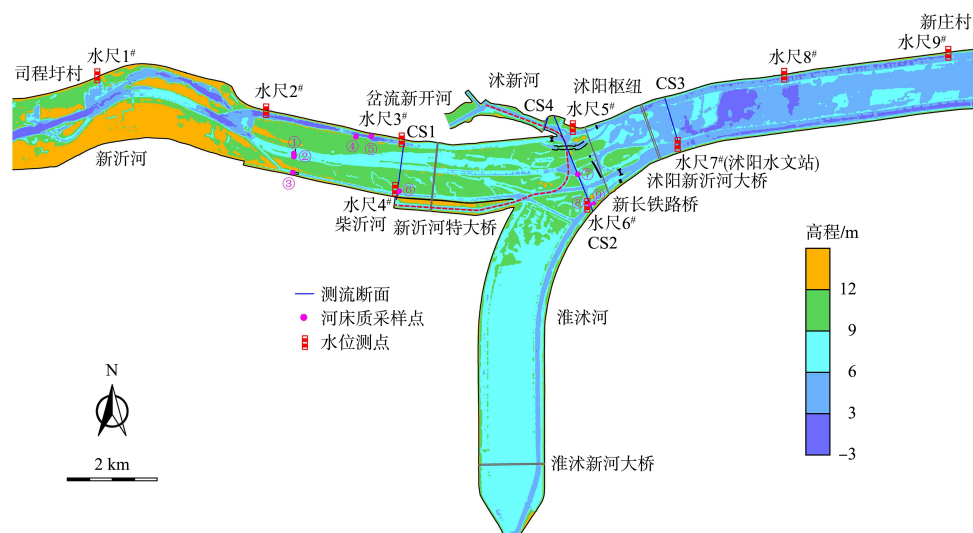


图 3 地形测量范围与现场水文测验布置

Fig. 3 Topographic measurement range and on-site hydrological survey layout

嶂山闸和沭阳站流量过程见图 4, 嶂山闸开启后洪峰约 10 h 到达沭阳水文站。测验期间 CS2 断面穿越北、中和南偏泓, 实测最大流速分别达 1.56、1.52、1.46 m/s, 见图 5, 可见遭遇 20 a 一遇泄洪流量, 不采取整治措施, 规划航槽内横向表面流速均远超 0.5 m/s 。

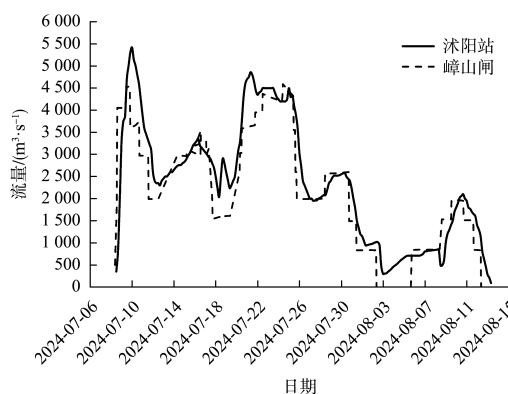


图 4 2024 年 7—8 月沭阳水文站流量过程

Fig. 4 Flow process of Shuyang Hydrological Station from July to August 2024

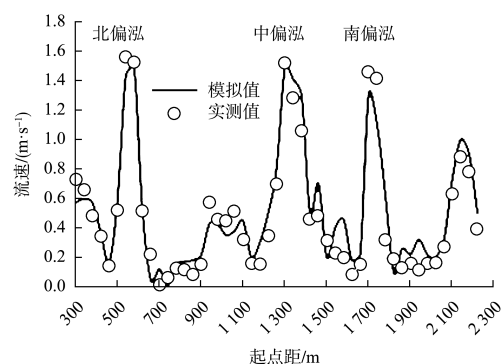


图 5 穿越段航道内垂线平均流速分布 (CS2 断面)

Fig. 5 Vertical average velocity distribution in crossing section of the channel (section CS2)

3.2 二级航道建设方案通航水流条件初步分析

依据 2024 年最新实测资料, 采用丹麦水工所 Mike21 无结构网格模块, 建立工程河段平面二维水流数学模型, 模型计算范围为新沂河沭阳枢纽上游 12 km 至下游 10 km, 共计 22 km 长河道; 淮沭河共长 7.8 km 河道; 岔流新开河共长 2.7 km 河道; 柴沂河共长 2.8 km 河道, 通过水面线和断

面流速分布验证, 糙率取值为 0.025~0.038, 紊动黏性系数采用值为 0.28。采用 2024 年 7 月 9 日实测水文资料对模型进行验证, 实测新沂河流量为 $5\,100\text{ m}^3/\text{s}$, 岔流新开河流量为 $410\text{ m}^3/\text{s}$ 。水位沿程分布见表 2, CS2 断面流速分布验证可以较好地复演新沂河行洪期间水流运动特征。

表 2 新沂河水位沿程分布

Tab. 2 Water level distribution along Xinyi River

岸别	水尺	位置	距离/ km	实测值/ m	模拟值/ m	误差/ m
左岸	1 [#]	模型进口	0	13.94	13.86	-0.08
	2 [#]	北偏泓上	3.8	13.30	13.27	-0.03
	3 [#]	北偏泓中	6.9	12.59	12.49	-0.10
	5 [#]	北偏泓闸上	10.9	11.09	11.05	-0.04
	7 [#]	京沪高速公路桥	15.8	10.07	10.07	0
	9 [#]	模型出口	19.5	9.75	9.75	0.01
右岸	4 [#]	南偏泓中	0	12.51	12.44	-0.07
	6 [#]	南偏泓闸上	4.3	11.18	11.12	-0.07
	7 [#]	沭阳水文站	7.0	10.49	10.39	-0.10

计算现状地形沭阳水文站 $1\,000\sim5\,138\text{ m}^3/\text{s}$ 流量条件下水动力场, 工程区与沭阳站相距 2.5 km, 大流量泄洪时, 航道区水位较沭阳站高约 1.00 m, 比降约万分之四。20 a 一遇相当流量 $5\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时航道区水位 11.10 m, 接近设计最高通航水位。针对二级航道建设方案, 计算了平滩流量 $1\,500\text{ m}^3/\text{s}$ 和 20 a 一遇流量 $5\,138\text{ m}^3/\text{s}$ 流场, 提取了航道中心线流速, 见图 6, 可见仅将航槽自 45 m 拓宽至 60 m, 航道底高程自 4.11 m 疏浚至 3.31 m, 在两级流量下穿越段横向流速仍局部超过 0.5 m/s, 这与实测资料接近, 说明需降低最大通航流量且需采取整治措施降低航道横流。

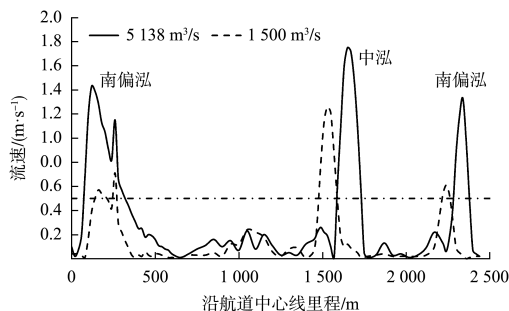


图 6 航道中心线横向流速分布

Fig. 6 Transverse velocity distribution at channel centerline

3.3 最大通航流量初步分析

实践经验表明国内很多已建船闸运行流量很难达到规范标准。根据近期修编中的 JTS 305—2025《船闸总体设计规范》^[10]提出,“当年论证得到的船闸最大通航流量低于 GB 50139—2014《内河通航标准》规定的洪水频率标准对应的流量时, 应分析洪水停航历时, 确定的多年日均流量小于等于最大通航流量的天数占比不宜低于 99%, 并根据通航流量分析确定最高通航水位; 特殊情况不能满足上述要求时, 应进行专题论证”。根据现场实测得知沭阳最大流量超过 $5\,510\text{ m}^3/\text{s}$, 远低于《内河通航标准》规定的 20 a 一遇洪水标准。

将沭阳站连续 34 a 逐日平均流量按从大到小进行排列, 绘制流量保证率曲线, 得到 99%、98%、97%、96%、95%保证率流量分别为 $2\,710$ 、 $1\,690$ 、 $1\,050$ 、 750 、 $530\text{ m}^3/\text{s}$, 见表 3。根据实测资料统计, 在 1990—2023 年期间, 2005、2007 和 2021 年新沂河行洪天数均超 60 d, 其次是 2003 和 2020 年, 分别达 51 和 47 d。超 95%、96%、97%、98%、99% 保证率的流量平均天数分别为 18.3、14.6、11.0、7.4 和 3.7 d, 最多天数分别为 65、53、45、35 和 20 d, 连续天数分别为 29、21、20、20 和 15 d。

可见若取 99% 流量 $2\,710\text{ m}^3/\text{s}$ 作为最大通航流量, 则平均年停航天数 3.7 d, 最不利年连续断航天数 15 d; 若取 98% 流量 $1\,690\text{ m}^3/\text{s}$ 作为最大通航流量, 则平均年停航天数 7.4 d, 最不利年连续断航天数 20 d。98% 保证率流量 $1\,690\text{ m}^3/\text{s}$ 接近平滩, 对应嶂山闸泄洪流量级 $1\,500\text{ m}^3/\text{s}$, 穿越段新沂河滩地高程约 9~11 m, 数学计算得到该级流量条件下航道区水位为 9.30 m; 99% 保证率流量 $2\,710\text{ m}^3/\text{s}$ 条件下, 洪水刚出泓漫滩, 对应嶂山闸泄洪流量级 $2\,500\text{ m}^3/\text{s}$, 航道区水位为 10.00 m, 此时洪水刚出泓漫滩, 航道边界尚清晰, 见图 7。综合考虑通航损失天数与工程投资, 初步推荐 99% 保证率流量作为本段航道最大通航流量。

表 3 沭阳站各保证率和流量级出现天数
Tab. 3 Number of days for each guarantee rate and flow level at Shuyang Station

年份	天数/d				
	$Q \geq 530 \text{ m}^3/\text{s}; P = 95\%$	$Q \geq 750 \text{ m}^3/\text{s}; P = 96\%$	$Q \geq 1\,050 \text{ m}^3/\text{s}; P = 97\%$	$Q \geq 1\,690 \text{ m}^3/\text{s}; P = 98\%$	$Q \geq 2\,710 \text{ m}^3/\text{s}; P = 99\%$
1990	31	27	22	13	11
1991	28	25	15	10	7
1992	0	0	0	0	0
1993	17	8	7	6	5
1994	0	0	0	0	0
1995	13	9	6	3	0
1996	16	8	6	5	0
1997	4	3	2	0	0
1998	23	21	17	12	6
1999	0	0	0	0	0
2000	14	9	6	0	0
2001	7	4	2	1	0
2002	0	0	0	0	0
2003	51	42	37	30	20
2004	34	25	20	8	0
2005	61	53	41	35	20
2006	17	12	9	5	0
2007	65	51	29	23	4
2008	26	21	18	16	11
2009	10	6	5	5	1
2010	15	14	11	7	1
2011	8	6	4	3	0
2012	6	6	2	2	1
2013	7	3	1	0	0
2014	0	0	0	0	0
2015	0	0	0	0	0
2016	0	0	0	0	0
2017	4	3	1	0	0
2018	9	7	7	3	3
2019	8	6	5	5	4
2020	47	42	27	12	8
2021	65	53	45	26	17
2022	29	26	24	18	6
2023	8	6	5	3	2

注：Q 为流量；P 为保证率。

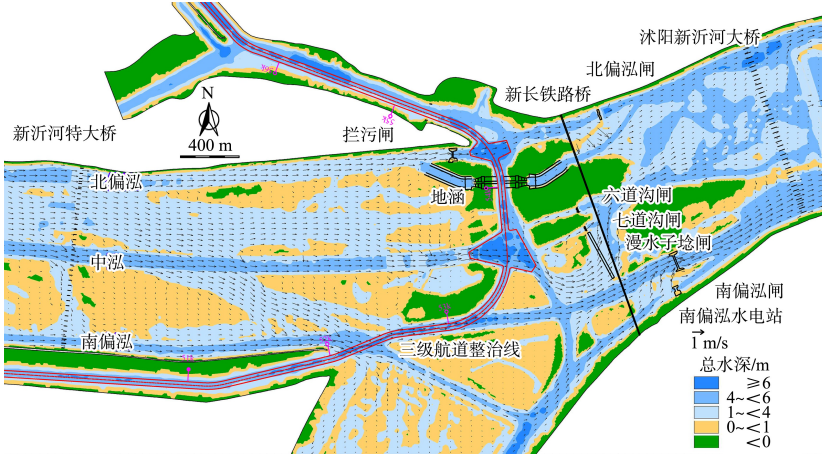


图 7 $Q=2\,710 \text{ m}^3/\text{s}$ 条件下宿连航道穿越新沂河段水深
Fig. 7 Water depth of section of Sulian Channel crossing Xinyi River under the discharge of $2\,710 \text{ m}^3/\text{s}$

3.4 整治方案

在 99% 保证率流量条件下, 针对二级航道建设方案, 北、中、南偏泓规划航槽内的最大横流仍存在部分流速大于 0.5 m/s, 为改善穿越段通航水流条件, 需采用扩挖、航道疏浚等工程措施^[11-16]。扩挖范围见图 8, 扩挖总面积 106.67 hm², 扩挖总方量 450 万 m³, 其中扩挖区航道内底高程 -0.26 m, 航道外 2.74 m, 中泓往南泓分流以及漫水子埝闸上游段 7.0 m, 中泓下游切滩区 7.0 m。

经数学模型初步计算采取扩挖及航道浚深的整治措施后, 沭阳站流量 2 710 m³/s 条件下扩挖前后航道中心线横向流速分布见图 9。此时横向流速基本可以控制在 0.5 m/s 以下, 但是在与南、中、北三泓处仍超 0.3 m/s, 建议进行航道局部加宽, 保障通航安全^[17-18]。

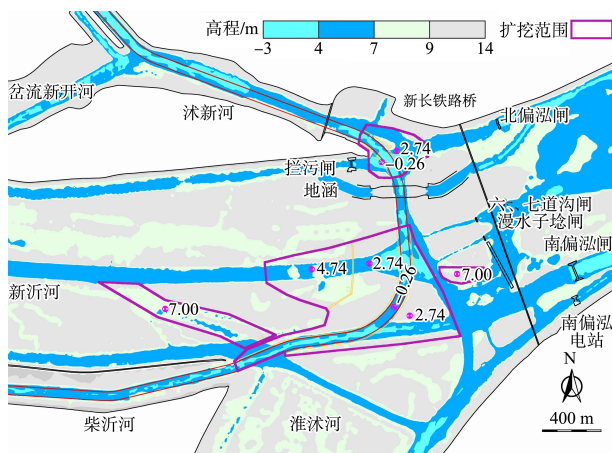


图 8 沭阳站流量 2 710 m³/s 条件下扩挖范围

Fig. 8 Expansion excavation range under the discharge of 2,710 m³/s at Shuyang Station

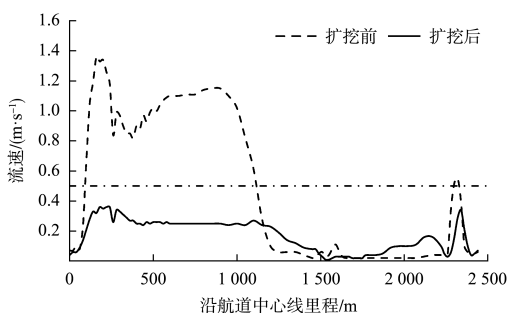


图 9 扩挖前后横向流速分布

Fig. 9 Transverse velocity distribution before and after excavation expansion

4 结论

1) 宿连航道穿越新沂河段受新沂河行洪影响, 在南、中、北泓处横流强劲, 现行内河通航标准规定的最大通航流量标准过高无法满足。

2) 本文采用高水保证率法, 综合考虑通航损失天数、后期管理与工程投资, 提出了将 99% 流量保证率 2 710 m³/s 作为宿连航道穿越新沂河段的最大通航流量, 其结果可作为后续本河段航运建设工程提供依据。

3) 在最大通航流量下, 仍存在部分水流条件略高于通航要求, 需进一步采用航道疏浚与航道拓宽等工程措施, 以改善通航水流条件, 满足相关规范要求。

参考文献:

- [1] 石岩. 平原水网地区闸控航道设计最高通航水位的特征分析[J]. 中国水运, 2024, 24(4): 92-93, 95.
SHI Y. Characteristics of the highest designed navigable water level of the gate-controlled channel in the plain water network area [J]. China water transport, 2024, 24(4): 92-93, 95.
- [2] 内河通航标准: GB 50139—2014[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
Navigation standard of inland waterway: GB 50139-2014[S]. Beijing: China Planning Press, 2014.
- [3] 杨本新. 枢纽通航建筑物最大通航流量设计标准探讨[J]. 人民长江, 2004, 35(10): 24-26, 60.
YANG B X. Discussion on design standard of maximum navigable discharge of navigation structures athydroprojects [J]. Yangtze River, 2004, 35 (10): 24-26, 60.
- [4] 文训科, 兰芙蓉, 刘晓帆. 山区河流航电枢纽最大通航流量研究[J]. 水运工程, 2021(3): 151-158, 173.
WEN X K, LAN F R, LIU X F. Study on the maximum navigable flow of navigation power junction in mountainous rivers[J]. Port & waterway engineering, 2021(3): 151-158, 173.
- [5] 朱军政, 刘冰. 浦阳江航道设计最高通航水位计算分析[J]. 水运工程, 2022(6): 145-149.
ZHU J Z, LIU B. Calculation and analysis of designed highest navigable stage of Puyang River waterway [J]. Port & waterway engineering, 2022(6): 145-149.

- [6] 吴凌波, 祁永升. 黄河兰州城区段航道设计通航水位分析[J]. 水运工程, 2023(9): 119-125.
- WU L B, QI Y S. Design navigable water level of Lanzhou urban reach of the Yellow River [J]. Port & waterway engineering, 2023(9): 119-125.
- [7] 黄定军, 胡颖, 马爱兴, 等. 河湖两相条件下昌江航道最高通航水位确定方法分析[J]. 珠江水运, 2024(11): 34-36
- HUANG D J, HU Y, MA A X, et al. Analysis on determination method of maximum navigable water level of Changjiang waterway under river-lake two-phase condition [J]. Pearl River water transport, 2024(11): 34-36.
- [8] 徐飞. 宿连航道整治建设迫切性分析[J]. 中国水运, 2024, 24(8): 11-12.
- XU F. Urgency analysis of Sulian channel regulation construction[J]. China water transport, 2024, 24(8): 11-12.
- [9] 周中甫, 张荣生. 新沂河沭阳站水位流量关系分析[J]. 江苏水利, 2006(9): 33-34.
- ZHOU Z F, ZHANG R S. Analysis of relationship between water level and flow in Shuyang Station of Xinyi River[J]. Jiangsu water resources, 2006(9): 33-34.
- [10] 船闸总体设计规范: JTS 305—2025[S]. 北京: 人民交通出版社, 2025.
- Code for master design of shiplocks: JTS 305-2025[S]. Beijing: China Communications Press, 2025.
- [11] 毛森浩, 王威, 张铭, 等. 干支流垂直交汇下跌水工程下游通航水流条件优化[J]. 水利水运工程学报, 2023(3): 29-37.
- MAO S H, WANG W, ZHANG M, et al. Navigable flow condition optimization at vertical channel confluence in the downstream of a water drop project [J]. Hydro-science and engineering, 2023(3): 29-37.
- [12] 何熙, 邓涯, 李顺超, 等. 岷江下游典型滩群碍航特性及整治研究[J]. 水利水运工程学报, 2023(4): 62-70.
- HE X, DENG Y, LI S C, et al. Study on the characteristics of navigation-obstructing of typical serial rapids and regulation in the downstream of Minjiang River [J]. Hydro-science and engineering, 2023(4): 62-70.
- [13] 张辉, 李涛, 李铭, 等. 引江济淮五老堰跌水工程汇流口通航水流条件及改善措施[J]. 水运工程, 2022(7): 140-146.
- ZHANG H, LI T, LI M, et al. Navigable flow conditions and improvement measures at confluence of Wulaoyan water drop project for water diversion project from the Yangtze River to the Huaihe River[J]. Port & waterway engineering, 2022(7): 140-146.
- [14] 王伟, 王建中, 杨志, 等. 引江济淮工程派河口船闸通航水流条件及改善措施[J]. 水运工程, 2021(3): 138-144.
- WANG W, WANG J Z, YANG Z, et al. Navigation flow condition and improvement measures of the Paihekou ship lock in water diversion project from the Yangzi River to the Huaihe River [J]. Port & waterway engineering, 2021(3): 138-144.
- [15] 范红霞, 王建中, 朱立俊. 新水沙条件与整治工程下和畅洲汉道演变分析[J]. 水利水运工程学报, 2021(5): 19-26.
- FAN H X, WANG J Z, ZHU L J. Riverbed evolution characteristics in the Hechangzhou braided reach under new flow-sediment conditions and waterway regulations[J]. Hydro-science and engineering, 2021(5): 19-26.
- [16] 王荣华, 刘济乐, 钟广达, 等. 弯曲河段支流汇入影响的航道与锚地通航水流条件优化研究[J]. 西部交通科技, 2023(12): 22-24.
- WANG R H, LIU J L, ZHONG G D, et al. Study on optimization of navigable flow conditions of channel and anchorage affected by tributary inflow in curved river section [J]. Western China communication science & technology, 2023(12): 22-24.
- [17] 张莹. 不同横流条件下航道宽度确定的数值模拟研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2023.
- ZHANG Y. Numerical simulation on the determination method of channel navigation width under different cross-flow conditions [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2023.
- [18] 陈浩东, 童思陈, 张莹, 等. 超标横流作用下航道尺度加宽研究及应用[J]. 人民长江, 2025, 56(1): 156-163.
- CHEN H D, TONG S C, ZHANG Y, et al. Determination of channel scale and application under conditions of superscalar transverse flow with branches entering confluences[J]. Yangtze River, 2024, 56(1): 156-163.

(本文编辑 赵娟)