

# 2018—2024年通州沙滩槽格局新变化及 对航道条件影响分析

李森<sup>1,2</sup>, 陈柯兵<sup>3\*</sup>, 王岗<sup>2</sup>, 雷雪婷<sup>1</sup>, 郑惊涛<sup>4</sup>, 肖潇<sup>3</sup>

(1. 长江航道规划设计研究院, 湖北 武汉 430040; 2. 河海大学港口海岸及近海工程学院, 江苏 南京 210024; 3. 长江水利委员会水文局, 湖北 武汉 430010;  
4. 长江航道勘察设计院(武汉)有限公司, 湖北 武汉 430040)

**摘要:**针对上游水库运行叠加自然演变导致长江下游通州沙河段滩槽格局出现新调整、进而威胁12.5 m深水航道稳定的问题,本研究基于2018—2024年实测水沙地形数据,采用时空对比、断面分析与冲淤计算等方法,揭示了近期河势演变特征与航道响应机制。河段滩槽调整剧烈且呈现规律性差异;南通水道深泓年际摆幅达0.4 km,其碍航浅滩历经“切割下移—断开—聚合”三阶段动态演变,整体呈现“槽冲滩淤”与季节性“洪淤枯冲”特征;通州沙水道则以新开沙右缘持续冲退、串沟发育为主要特征,驱动裤子港沙整体向东南迁移并挤压航槽。研究进一步量化了水文动力的关键调控作用,丰水年强动力驱使南通水道浅滩冲刷、面积缩减约30%,航道条件改善,但同时加剧通州沙水道串沟发育与沙体迁移;枯水年则导致浅滩淤积入侵航槽,恶化航道条件,通州沙水道呈现局部调整。研究成果可为深水航道演变预测、疏浚与整治工程优化设计提供关键科学依据,从而为航道的长期稳定与可持续治理奠定重要理论支撑。

**关键词:**航道工程;通州沙河段;河床演变;滩槽格局;航道条件

中图分类号:TV147;U61 文献标志码:A DOI:10.3969/j.issn.1000-4653.2026.02.006

## Analysis of recent changes in the shoal-channel pattern and their impact on navigation conditions in Tongzhou shoal (2018—2024)

Li Sen<sup>1,2</sup>, Chen Kebing<sup>3\*</sup>, Wang Gang<sup>2</sup>, Lei Xueting<sup>1</sup>,  
Zheng Jingtao<sup>4</sup>, Xiao Xiao<sup>3</sup>

(1. Changjiang Waterway Institute of Planning and Design, Wuhan 430040, China;

2. College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210024, China;

3. Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010, China;

4. Changjiang Waterway Survey Design and Research Institute(Wuhan), Wuhan 430040, China)

**Abstract:** In response to recent adjustments in the fluvial shoal ~ channel pattern of the Tongzhou Shoal Reach in the lower Yangtze River caused by upstream reservoir operations and natural evolution, which threaten the stability of the 12.5-m deep-draft channel, this study investigates the characteristics of recent river regime evolution and the corresponding channel response mechanisms based on measured hydrological, sediment, and topographic data from 2018 to 2024. Spatiotemporal comparison, cross-section analysis, and erosion-deposition calculation were employed. The shoal-channel adjustments in the reach are pronounced and exhibit systematic spatial differences. The annual swing amplitude of the thalweg in Nantong

收稿日期:2025-08-20

基金项目:国家重点研发计划项目(2024YFB2606200);长江水科学研究联合基金项目(U2240206)资助

作者简介:李森(1997—),男,助理工程师,研究方向为港口、海岸及近海工程方面研究。\*通信作者:senli1997@163.com

引用格式:李森,陈柯兵,王岗,等. 2018~2024年通州沙滩槽格局新变化及对航道条件影响分析[J]. 中国航海, 2026, 49(2): 51-60.

Li S, Chen K B, Wang G, et al. Analysis of recent changes in the shoal-channel pattern and their impact on navigation conditions in the Tongzhou Shoal (2018—2024)[J]. Navigation of China, 2026, 49(2): 51-60. (in Chinese)

Waterway reaches 0.4 km, and its navigation-obstructing shoal undergoes a three-stage dynamic evolution of "downstream incision-disconnection-aggregation," characterized by channel erosion and bar deposition, together with seasonal patterns of flood-season deposition and dry-season erosion. In contrast, the Tongzhou Shoal Waterway is mainly characterized by continuous retreat along the right margin of Xinkaiasha and the development of chutes, which drive the entire Kuzigangsha to migrate southeastward and squeeze the navigation channel. The study further quantifies the key regulatory role of hydrodynamic forcing. During high-flow years, enhanced hydrodynamics induce approximately 30% reduction in the shoal area in the Nantong Waterway, improving channel conditions, but simultaneously intensify chute development and sandbody migration in the Tongzhou Shoal Waterway. During low-flow years, shoal deposition intrude into the navigation channel, deteriorating channel conditions, while the Tongzhou Shoal Waterway exhibits localized adjustments. These findings provide critical scientific basis for predicting the evolution of deep-draft channels and for optimizing the design of dredging and regulation projects, thereby establishing an important theoretical foundation for the long-term stability and sustainable management of the channel.

**Key words:** waterway engineering; Tongzhou shoal reach; riverbed evolution; shoal-channel pattern; navigation conditions

长江下游航道是贯通中国东部沿海与内陆的核心水道,作为长江经济带主动脉,支撑长三角城市群及沿江九省 45% 的国内生产总值(Gross Domestic Product, GDP)。通过江海联运串联上海港、宁波舟山港两大国际枢纽,年均通行 50 万艘次船舶,保障大宗物资流通并降低物流成本<sup>[1-2]</sup>。鉴于该河段在水库群运行影响下所面临的复杂水沙输移、河床演变和滩槽格局变化等问题,许多学者已针对长江下游口岸直水道、福姜沙水道和长江口河段开展了系列研究<sup>[3-6]</sup>。

通州沙河段地处长江下游感潮河段,受上游径流和长江口潮流上溯的双重作用,水动力条件复杂。近年来,徐华等<sup>[7]</sup>研究发现,通州沙河段存在往复流与半旋转流共存的流场结构,其水沙交换具有“槽向滩”和“洪强枯弱”的特征。贾雨少等<sup>[8]</sup>研究南通水道航道回淤加剧的成因,指出河道展宽导致水动力减弱,泥沙落淤成暗沙并横向输移,沪通大桥及通州沙西水道整治工程是回淤加剧的直接诱因。朱博渊等<sup>[9]</sup>分析潮汐对河段冲淤的调节机制,发现当大通站径流量达到 36 000 m<sup>3</sup>/s 临界值时,下游天生港—徐六泾段冲刷速率随流量减小呈现先降后升的特征。Chen 等<sup>[10]</sup>研究长江口澄通河段河床演变,得出通州沙主槽净泄流比(Net Discharge Ratios, NDR)在上游径流量增加时普遍减小,主槽水动力减弱。Zhu 等<sup>[11]</sup>研究长江口近口段分汉型河道在径流变化影响下的冲淤模式与淤积中心迁移规律,得出通州沙西水道在低径流强度时淤积,淤积中心向上游迁移;高径流强度时冲刷,淤积中心向下游迁移的结论。乔红杰等<sup>[12]</sup>对近 30 a 水文与地形资料分析,认为通州沙西水道持续发展,2023 年分流比为 12%,狼山沙东水道冲刷加剧,使东、西水道形成 8:2 的分流格局。针对两期航道整治工程实施后出现的新问题,学者们也先后研究提出了针对性的建议方案<sup>[13-16]</sup>。现有研究表明,通州沙河段在河势演

变规律、回淤动力机制和整治工程效应评估等方面已形成较为充分的理论认识。然而,上游水库运行叠加自然演变的新驱动机制下,近期该河段滩槽形态调整过程及其与航道水深条件的动态联动关系仍需深入探讨。为此,本文基于通州沙河段 2018—2024 年实测断面、地形数据,结合流域水沙变化分析,探究河势演变与滩槽格局新特征,揭示航道条件与滩洲形态演变的关联机制。

## 1 研究区域

通州沙河段地理位置及河势见图 1。通州沙河段位于长江下游的江苏境内,上起十三圩,下至徐六泾,全长约 39 km。受径流和潮流双重作用,江中沙洲、暗滩交替分布,江心洲滩冲淤演变剧烈,航道边界条件极不稳定,是长江南京以下 12.5 m 深水航道工程的重要碍航浅段之一<sup>[17]</sup>。河段进口段长江被通州沙体分为东、西水道,其中,东水道是以落潮流为主的长江主流通带,目前分流比约占 90%;出口段被自左而右的新开沙、狼山沙和铁黄沙分为新开沙夹槽、狼山沙东、西水道和福山水道,目前,狼山沙东水道分流比超 80%<sup>[15,18]</sup>。自 2011 年以来,通州沙河段已实施了通州沙西水道整治工程(2011—2016 年)和南京以下 12.5 m 深水航道建设一期工程(2012—2015 年),将 12.5 m 深水航道从太仓港向上延伸至南通港<sup>[19-20]</sup>。

## 2 数据来源与方法

本研究使用数据来自长江航道局和长江水利委员会水文局。水沙数据取自长江下游控制站(距通州沙河段约 460 km)大通水文站 1950—2024 年的径流量与输沙量序列。鉴于大通站以下入汇的主要支流,包括青弋江、水阳江、裕溪河、秦淮河、滁河、淮河入江水道和太湖水系等水量总和不足长江总流量

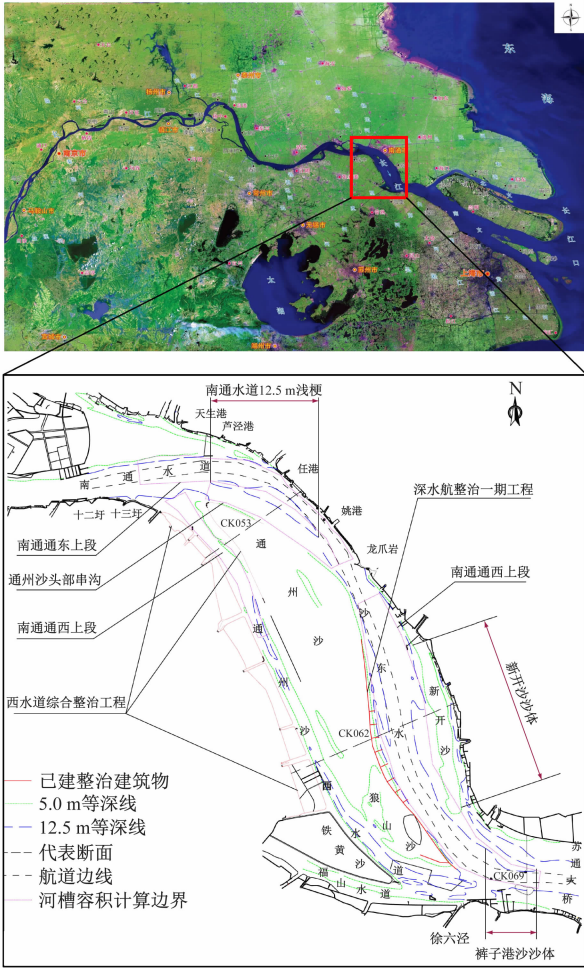


图1 通州沙河段地理位置及河势

Fig. 1 Geographical location and river regime of the Tongzhou Shoal Reach

5%,其径流资料可代表本河段的上游来水状况。大通站年径流总量和输沙总量分布图见图2。图2中:基于长序列观测数据,大通站多年平均径流总量约为 $8.947 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ,年际间波动较大但无显著趋势变化;多年平均输沙量( $3.36 \times 10^8 \text{ t}$ )受上游水土保持及水库建设等因素影响呈明显下降趋势,2003—2024年平均输沙量已降至 $1.24 \times 10^8 \text{ t}$ 。虽然输沙量显著减少,但近年观测数据表明径流量与输沙量之间依然基本遵循“大水大沙,小水小沙”的内在规律。

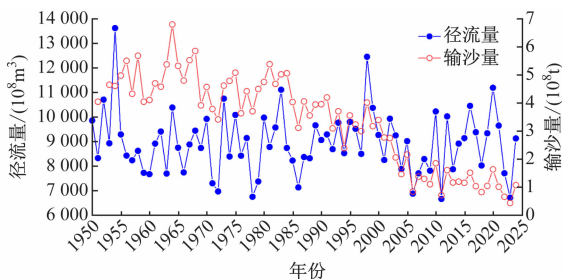


图2 大通站年径流总量和输沙总量分布图

Fig. 2 Annual runoff and sediment transport distribution at Datong Station

通州沙河段在实施长江南京以下12.5 m深水航道一期整治及通州沙西水道治理工程后,工程效应显著<sup>[21-22]</sup>。研究表明,通州沙左缘沙体稳定性得到提升,西水道边滩得以稳固,有效增强了通州沙东水道主航道通航效能,并推动汉道系统向双汉均衡态势发展<sup>[23-25]</sup>。然而,仍处于自然演变的南通水道及新开沙—裤子港沙段近期呈现演变新特征,局部航道条件趋于恶化。基于此,本研究收集了2018—2024年1:40 000实测断面与地形数据;此外,针对二期工程竣工初期12.5 m等深线尚未稳定的情况,选用2020—2024年等深线数据评估航道条件变化;并利用2018—2023年关键断面观测数据,揭示工程竣工前后滩槽格局的演变趋势。最终以龙爪岩为分界点,从河势格局调整、航道条件变化、河床冲淤特征和滩槽演变特点等方面对两段进行系统分析。

### 3 结果与分析

#### 3.1 南通水道演变

##### 3.1.1 深泓线变化

通州沙河段深泓平面变化见图3。受弯道特性的影响,南通港以上深泓线由进口右岸逐渐向左岸过渡,南通港以下则傍左岸而下。九龙港—十二圩段深槽一直稳定贴靠南岸。本水道深泓线摆动主要集中在十二圩至任港之间的弯道进口段,主要受“大水趋直,小水坐弯”的水流特性及通州沙头部潜堤工程引起的滩槽冲淤调整与动力轴线向南北偏移共同影响。观测期内显示:2019年深泓线依附横港沙左缘,至2021年整体南偏约0.2 km,向通州沙沙体靠拢,2023年又大幅北摆近0.4 km,尤其在任港对开区域摆动最为明显。

##### 3.1.2 平面冲淤变化

2019—2023年间,南通水道冲淤空间分布差异显著,可划分为通东上段微冲区、串沟剧烈淤积区和通西上段缓淤区等3个典型区域见图4。该格局主要受沪通大桥桥墩壅水、横港沙西北—东南向输沙及涨落潮动力辐聚等因素影响<sup>[8,26-27]</sup>。河槽容积变化进一步印证了这一差异见图5,尤其12.5 m深槽在串沟区域骤减26.8%,凸显了该区域是航道维护的重点。

2020年南通水道整体呈现“槽冲滩淤”的演变格局见图6。在浏海沙水道下段至任港弯道区域,水动力轴线沿右岸进入后逐渐贴靠左岸,导致弯道左侧边界及通州沙头部冲刷,最大冲刷深度达2 m,右侧滩体则对应淤积1~2 m,显示出典型弯道横向输移特征。任港下游出弯段动力轴线趋于居中,河槽左侧沿岸和右侧心滩发育淤积体。从河槽容积



则淤积;通西水道上段河槽持续冲刷,0 m 容积由 7 620 万 $\text{m}^3$  增至 8 750 万 $\text{m}^3$ ,增幅 14.8%,12.5 m 深槽也显著扩大,反映河段整体下切明显。上述变化表明,在强水动力条件下,南通水道主槽冲刷与滩体重塑协同作用显著。

2021 年进入小水年后如图 6 所示,横港沙尾部至通州沙头部形成东南向淤积带,东北角浅滩明显淤积并逐年向东南移动;芦泾港至南通港段主航槽冲刷增强,局部超 5 m;任港下段左岸淤积体逐年下移淤积幅度在 5~8 m;通西水道入口处仍以淤积为主但幅度减小。河槽容积方面,南通通东上段 0 m 河槽呈现“洪淤枯冲”季节性波动,2022 年 3 月达到峰值 37 867 万 $\text{m}^3$ ,洪季(6—9 月)回落,9 月降至 36 881 万 $\text{m}^3$ ;其 12.5 m 深槽在枯季扩展,2022 年 3 月达到 14 261 万 $\text{m}^3$ ,反映枯水归槽对河床的冲刷作用。通州沙头部串沟仍保持“洪淤枯冲”规律,0 m 河槽每年 3 月出现冲刷峰值,洪季则淤积;12.5 m 深槽容积变幅剧烈,达 28.7%,揭示弯道横向输沙对滩槽结构的调控。南通通西上段持续淤积,0 m 河槽容积缩减 6.4%,12.5 m 深槽大幅萎缩 63.8%,形成“浅槽冲刷、深槽淤积”的格局。

### 3.1.3 断面冲淤变化

通州沙东水道进口断面显示,左侧深槽总体冲刷,右侧浅滩持续淤高,通州沙头部串沟逐步发育,左右深槽夹浅滩的形态日益显著,通州沙东水道进口 CK053 断面变化见图 7。

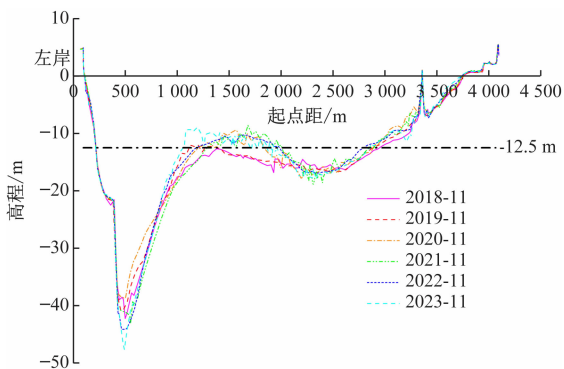


图 7 通州沙东水道进口 CK053 断面变化  
(断面位置见图 1)

Fig. 7 Changes in cross-section CK053 at the entrance of the eastern Tongzhou Shoal Waterway (cross-section location shown in Figure 1)

深槽在 2018—2020 年大洪水后出现淤浅,右岸淤积,断面形态趋于 V 形;2021 年起进入连续小水年,深槽持续刷深,右岸也逐渐冲刷,至 2023 年 11 月最深点达 -47.6 m,体现出“洪淤枯冲”的变化规律。浅滩在 2018—2020 年间整体淤高,最大淤幅超

5 m;2021 年后左缘继续淤积,右缘转为微冲。2018—2023 年期间,浅滩总体由 -15 m 淤浅至 -10 m 平台。串沟在 2018—2022 年从“宽浅型”向“窄深型”发展,右岸明显淤积,最大淤幅超 2.5 m;2023 年受“洪水不洪”影响,右岸大幅冲刷,最大冲刷距离超 200 m。

### 3.1.4 对航道条件影响分析

以 12.5 m 等深线为研究对象,根据 2020—2024 年通州沙河段航道条件变化,分析其年际和特征年内变化特征。受涨、落潮主流流路不一致影响,南通水道任港附近水流交汇,在通州沙头部外缘形成水深不足 12.5 m 的浅滩,对航道通行造成阻碍。

近 5 a 观测显示,该浅滩先后经历“切割下移—断开—聚合”的动态演变过程见图 8。2020—2021 年,上游来沙增强,浅滩整体下移 0.18 km,头部因横港沙底沙输移向航道侧淤长 0.46 km,尾部受冲刷切割下移 1.02 km,切割面积约 0.09  $\text{km}^2$ ,浅滩总面积从 3.66  $\text{km}^2$  增至 4.26  $\text{km}^2$ 。2021—2022 年,串沟冲刷导致滩体头部断开约为 1.03 km,尾部继续下移 0.33 km,总面积缩减至 3.35  $\text{km}^2$ 。2022—2023 年,上部切割长度由 0.20 km 扩展至 1.47 km,头部断开距离略减至 0.96 km,总面积回增至 3.64  $\text{km}^2$ 。至 2024 年 3 月,经历枯水期泥沙沉积,滩体重新聚合,总面积扩大至 4.35  $\text{km}^2$ ,尾部继续下移 0.46 km。

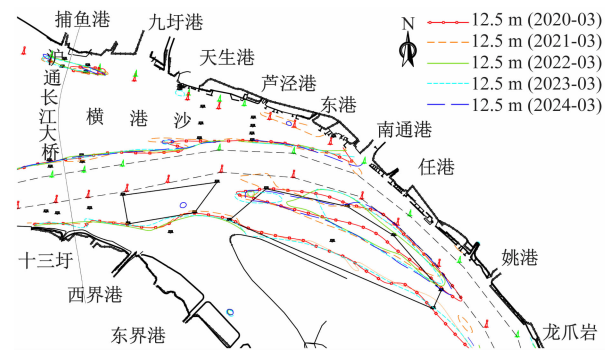


图 8 南通水道年际间 12.5 m 等深线变化

Fig. 8 Interannual variation of the 12.5 m isobath in Nantong Waterway

研究表明,不同水文条件下浅滩演变特征差异显著,南通水道年内 12.5 m 等深线变化见图 9。2020 年丰水期,受主流冲刷与串沟水动力减弱共同影响,浅滩头部后退、尾部上提,整体向西南偏移,与航道边线距离增大,面积由 3.66  $\text{km}^2$  减至 2.57  $\text{km}^2$ ,演变有利于航道维护。2022 年枯水年期间,浅滩在 6 月和 9 月发生 2 次明显淤积,全年面积增长 32.1%,造成航道条件恶化。洪水年强水动力对浅

滩起冲刷重塑作用,是维持航道形态的关键,而枯水年泥沙淤积则对航道维护构成主要制约。

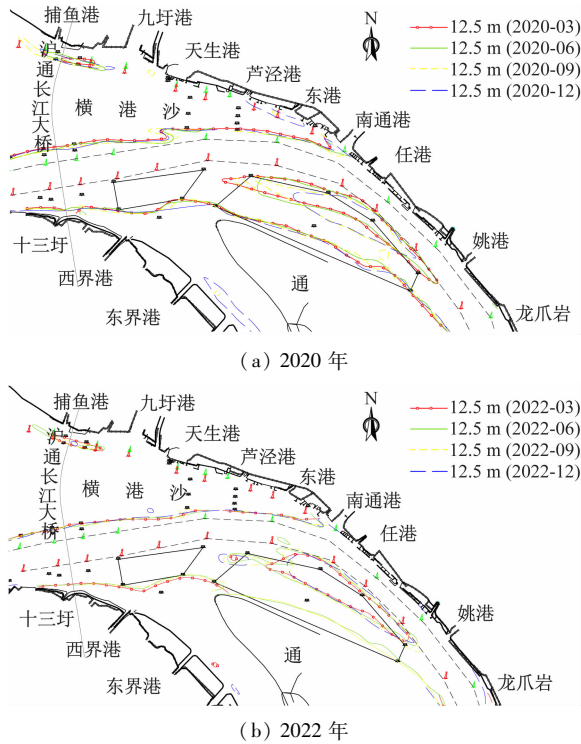


图9 南通水道年内12.5 m等深线变化

Fig. 9 Intra-annual changes of the 12.5 m isobath in Nantong Waterway

### 3.2 通州沙水道演变

#### 3.2.1 深泓线变化

通州沙东水道深泓变化如图3所示,姚港—营船港河段受顶冲点上移及龙爪岩节点控制作用减弱影响,深泓横向摆动加剧,观测期内最大摆幅超350 m。相比之下,营船港—狼山沙尾段较为稳定。具体来看,2019年深泓自进口沿左岸而下,于姚港附近逐渐偏离岸线;至2021年,营船港以上河段整体西偏;2023年又向东回摆,反映出该区域河床仍处于动态调整阶段。

#### 3.2.2 平面冲淤变化

2019—2023年,通州沙东水道整体呈现“进口冲刷、中上段航槽内微淤(槽外冲刷)和下段剧烈淤积”的演变格局,并伴随串沟与出口段的差异变化见图10。受上游主流左摆影响,新开沙头部及右缘中部冲刷,其右缘尾部则淤积超8 m;新开沙—裤子港沙串沟一带出现西南—东南向冲刷,幅度达4~6 m;裤子港沙尾部及苏通大桥上段因水动力辐散形成东西向淤积带,局部淤积超5 m。河槽容积变化见图11,图11中:0 m等深线下通东中下段容积略增0.93%,而12.5 m深槽容积显著扩大7.46%,整体表现出“槽冲滩淤”的变化趋势。

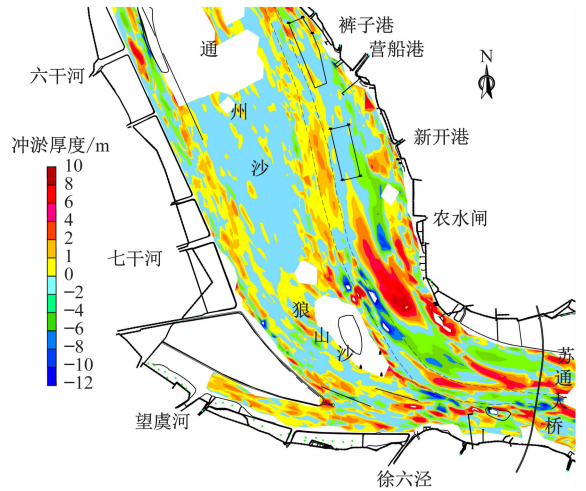


图10 通州沙水道年际冲淤变化(2019—2023年)

Fig. 10 Interannual erosion and deposition changes in the Tongzhou Shoal Waterway (2019—2023)

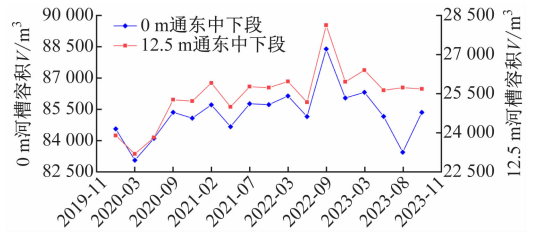


图11 通州沙水道0 m和12.5 m以下河槽容积变化(河槽容积计算边界见图1)

Fig. 11 Changes in channel capacity below 0 m and 12.5 m in the Tongzhou Shoal Waterway (calculation boundary shown in Figure 1)

2020年,通州沙东水道冲淤演变主要表现为(见图12):进口段与中上段航槽内微淤、槽外冲刷,幅度约1 m。受汛期洪水动力作用,新开沙头部明显冲刷,尾部形成长约3 600 m的条带状淤积体,最大淤幅超过8 m;新开沙—裤子港沙串沟持续发育,其冲刷作用导致裤子港沙南向挤压航槽。河槽容积呈现明显的季节性波动:0 m河槽容积从2019年11月起经历枯季淤积,于2020年3月达年内最小值为83 053万 $\text{m}^3$ ,随后在洪季径流驱动下,9月冲刷至峰值85 343万 $\text{m}^3$ ,较年初增长约2.7%,年末略有回淤,呈V形变化;12.5 m深槽响应更为敏感,枯季至洪季容积增加约8.9%,增幅为0 m河槽的2.3倍。

2021年进入小水年后,通东中上段淤积体逐渐持续下移并向航道外缘辐散,新开沙头部由冲转淤,尾部淤积体纵向输移;至2023年11月,淤积体长度缩短至3 300 m,且淤幅超8 m,范围明显减小。这一演变抑制了新开沙—裤子港沙串沟的发育,缓解了裤子港沙对南侧航槽的挤压,但苏通大桥前缘仍存在东西向淤积体,最大淤幅显著减小。河槽容

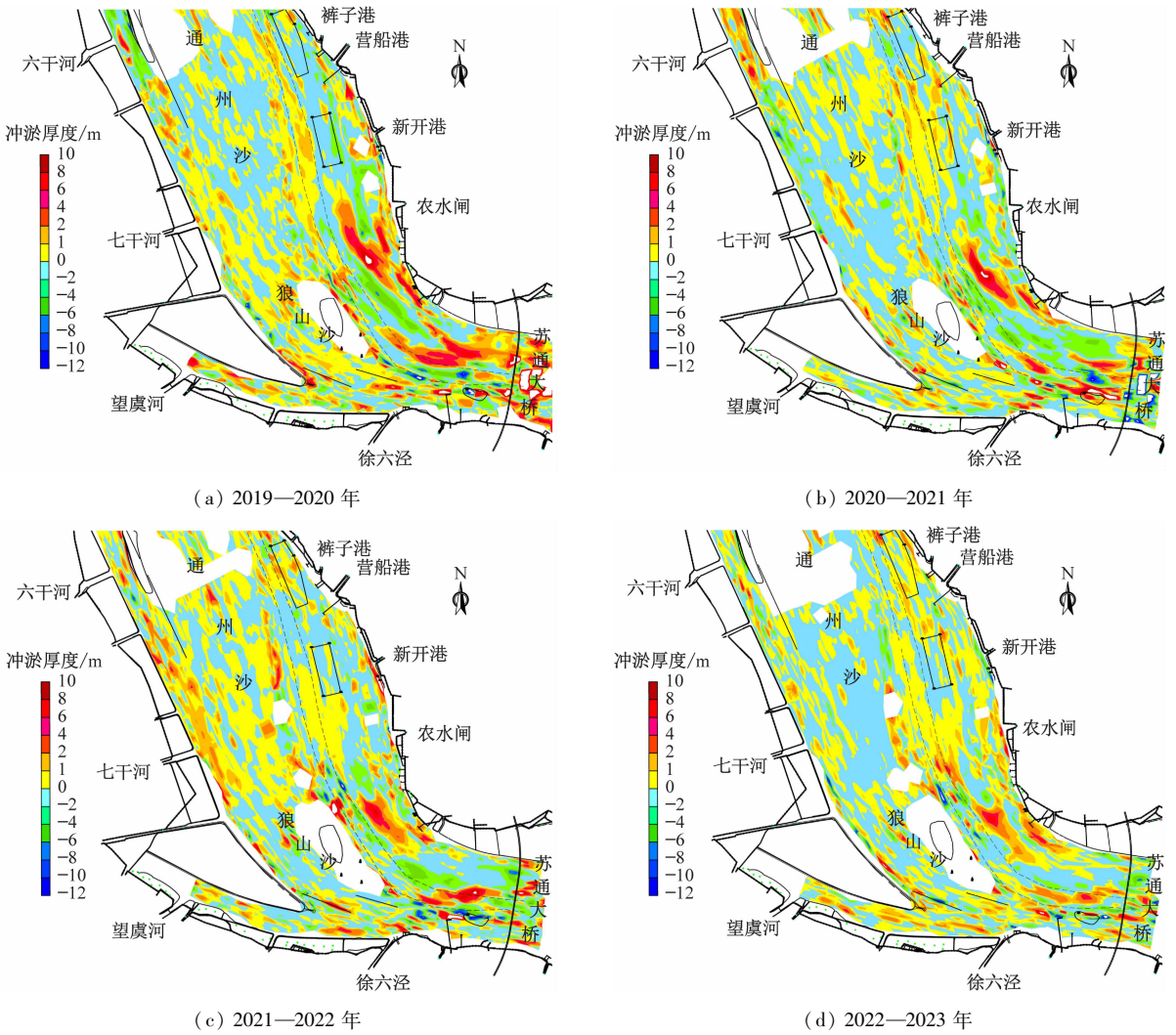


图 12 通州沙东水道年间冲淤变化

Fig. 12 Interannual erosion and deposition changes in the eastern Tongzhou Shoal Waterway

积方面,0 m 河槽在 2021—2023 年呈现“扩张 - 萎缩 - 再扩张”的周期性波动;2022 年 9 月达到峰值 88 374 万  $\text{m}^3$ ,2023 年 8 月急剧回淤至 83 434 万  $\text{m}^3$ ,年末小幅回升至 85 341 万  $\text{m}^3$ ,整体维持动态平衡;12.5 m 深槽则在 2022 年 9 月剧烈冲刷后进入缓慢回淤阶段。上述研究表明:高强度水动力下通东水道以总体冲刷、串沟发育和新开沙尾—裤子港淤积为主要演变模式;小水年则随水文条件呈现周期性冲淤调整。

### 3.2.3 断面冲淤变化

新开沙 CK062 断面 2018—2023 年新开沙夹槽持续淤积、缩窄和浅化,但主槽仍维持 -17 m 水深见图 13a。沙体左缘在径潮流动力耦合作用下冲淤交替,2020 年大水后淤积速率达 1.5 m/a;右缘受洪水冲刷明显,年内最大冲幅达 5 m,后续冲退速率减缓。通州沙东水道主航道水深总体稳定,但左缘淤积加剧及串沟上溯对航道维护构成潜在威胁。狼山

沙西水道略有窄化,水深基本稳定。

徐六泾出口 CK069 断面 2018—2023 年河床演变分为 3 个阶段见图 13b;2018—2019 为稳定期,断面保持 W 形格局;2020—2021 年为剧变期,受 2020 年特大洪水影响,新开沙夹槽及其左缘串沟发生非对称淤积,串沟右侧最大淤幅超 7.5 m,深槽右移 250.0 m,15.0 m 以深深槽束窄 50%。2021 年中水期整体转为冲刷,夹槽下切幅度约 5 m,串沟呈“北冲南淤”格局,裤子港沙尾剧烈冲刷,局部超 10 m,主航道水深条件显著改善;2022 年至今为调整期,新开沙系统冲淤趋缓,夹槽与串沟变化较小,裤子港沙尾重新淤积,并有南压主航道的趋势。

### 3.2.4 对航道条件影响分析

通州沙东水道新开沙—裤子港沙段目前仍处于自然演变状态。受涨、落潮主流流路不一致的影响,落潮主流沿航道左侧下行,顶冲新开沙头部右缘,促使滩面串沟发育;涨潮主流则沿航道右侧上溯,作用

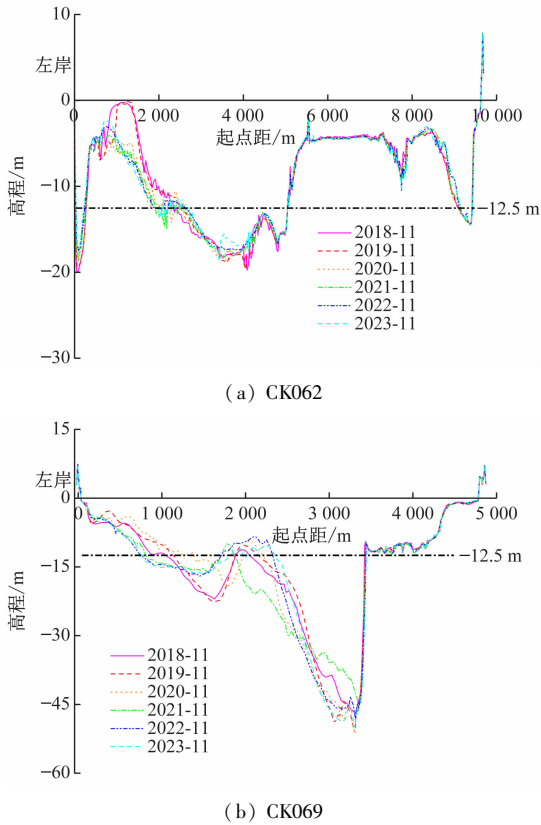


图 13 新开沙下段 CK062 和徐六泾出口 CK069 断面变化(断面位置见图 1)

Fig. 13 Changes in cross-sections CK062 (lower Xinkaisha) and CK069 (Xuliuqing outlet) (locations shown in Figure 1)

于通州沙左缘,两者交汇形成水动力弱平衡带,导致悬沙沉降。研究显示,新开沙—裤子港沙间串沟已与东水道及新开沙夹槽贯通,分流量占上游落潮总量的 25%<sup>[6]</sup>,致使新开沙尾部持续被切割南移。

12.5 m 等深线变化近年主要集中于新开沙右缘、通州沙左缘和裤子港沙等 3 处,见图 14。新开沙右缘(区域 1)在 2020—2022 年头部左侧强烈冲刷,累计冲退 1 700 m,之后速率减缓至年均 300 m;右侧则呈现“冲退—淤长”波动,2020—2024 年累计冲退 870 m,左侧已出现串沟发育迹象。通州沙左缘(区域 2)串沟向上游延伸 760 m,最大切深超 3 300 m,导致左侧滩体淤积入侵航槽,成为航道养护的关键难点。裤子港沙(区域 3)持续向东南输移,2020—2021 年洪水期串沟快速发展,与新开沙连接处缩窄至 350 m;2022 年沙体东移 500 m,连接处进一步缩至 330 m,虽后续中水期局部略有展宽,但 2020—2024 年累计东南向位移达 960 m × 100 m。

2020 年丰水年,新开沙右缘头部冲退约 900 m,通州沙左缘串沟延伸近 1 500 m,新开沙—裤子港沙串沟发展使连接处束窄 870 m,驱动尾部南移见图

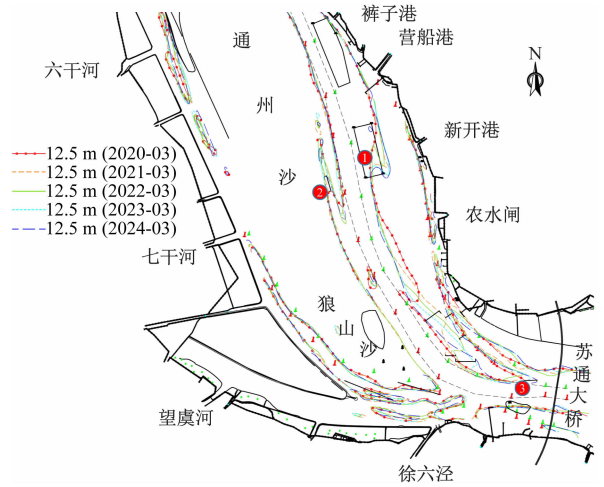


图 14 通州沙水道年间 12.5 m 等深线变化  
Fig. 14 Interannual changes of the 12.5 m isobath in Tongzhou Shoal Waterway

15a。2022 年枯水年,新开沙右缘头部冲刷减弱,冲退约 600 m,通州沙左缘串沟略有回退,连接处局部展宽,但裤子港沙南移趋势仍未改变见图 15b。由图 15 可知:丰水年明显促进串沟发育与洲滩形态调整,枯水年由于水动力减弱则使其进入短暂调整期,但裤子港沙整体向东南演变的趋势未发生根本转变。

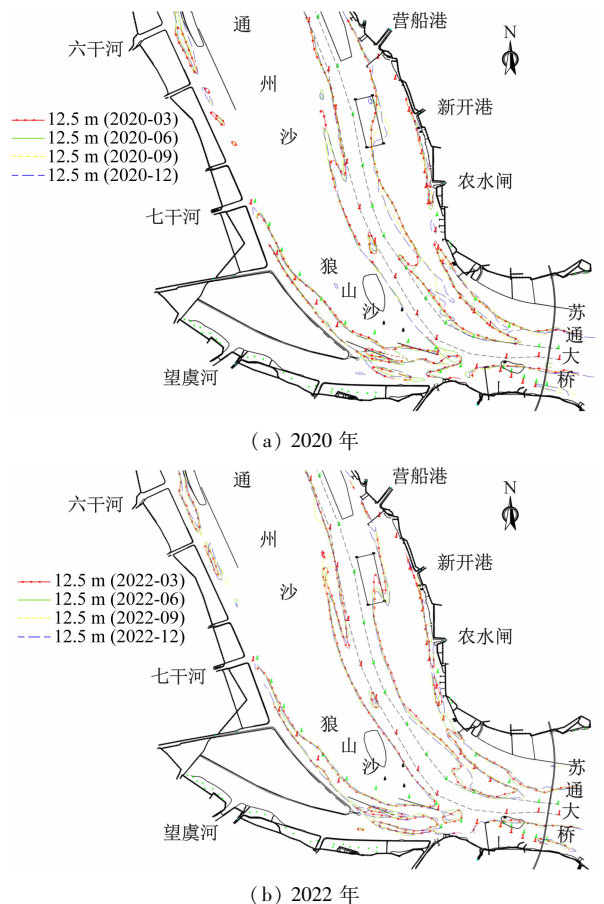


图 15 通州沙水道年内 12.5 m 等深线变化  
Fig. 15 Intrannual changes of the 12.5 m isobath in Tongzhou Shoal Waterway

## 4 讨 论

1) 上游来沙锐减促使通州沙河段呈现“槽冲滩淤”的格局。尽管流域总来沙大幅减少,但上游河段局部冲刷及洲滩的蚀退,为下游河段浅滩发育提供一定沙源<sup>[8]</sup>。南通水道等关键区域在枯水年出现浅滩周期性淤长,体现河床自动调整与局部供沙对浅滩演变的持续驱动,也预示着未来航道维护需更加关注泥沙来源与输移路径的变化。

2) 河段内水动力条件变化是滩槽演变的重要驱动力。南通水道浅滩在枯水年淤积挤压航槽,而在丰水年因水动力增强而冲刷;通州沙水道在丰水年强动力作用下总体冲刷、串沟发展,尾部形成淤积带,枯水年则进入调整期,表明水动力强弱直接影响滩槽演变格局与航道条件。

3) 滩槽之间的横向输沙是浅滩演变的关键过程。南通水道弯道段表现出典型的“左冲右淤”格局,反映横向环流对泥沙输移的控制<sup>[8,26]</sup>。通州沙头部串沟“洪淤枯冲”的特征说明滩槽间泥沙交换的季节性变化。此外,新开沙—裤子港沙段串沟的发育与延伸,加剧了裤子港沙体切割与东南向迁移,直接影响航道左边界稳定性。滩槽冲淤的协同演变体现了横向输沙在塑造浅滩形态与航道维护中的重要作用。

4) 为稳定南通水道河势并改善通州沙水道通航条件,建议采取以下措施:在南通水道加固通州沙头部潜堤,抑制浅滩发育,并于任港弯道段布设导流设施,稳定深泓流向;在通州沙水道应重点实施新开沙右缘和裤子港沙护岸固滩工程,通过优化串沟区水流结构,减缓沙体东南向迁移、阻断泥沙进入航槽。

## 5 结 语

本研究基于 2018—2024 年长江下游通州沙河段实测水沙与地形资料,系统分析了近期滩槽格局演变及其对航道条件的影响,主要结论如下:

1) 河床演变活跃,局部变化剧烈。受上游水沙条件变化影响,河床对水文动力的响应更趋敏感。南通水道任港段深泓年际摆幅达 0.4 km,其头部外缘碍航浅滩在 4 a 内先后经历“切割下移—断开—聚合”的演变循环;通州沙水道裤子港沙整体向东南迁移,观测期内年均位移约东向 240 m 和南向 25 m,受徐六泾天然节点控制,预计其迁移速率将逐渐减缓。

2) 滩槽格局呈现“槽冲滩淤”态势。南通水道呈现“主槽冲刷、浅滩淤积”特征,东北角浅滩周期性侵入航槽是当前碍航主因;通州沙水道主槽总体冲刷,新开沙右缘持续冲退及尾部串沟发育,共同驱动裤子港沙东南向迁移并挤压航槽,对航道稳定构成潜在威胁。

3) 丰枯水年对航道条件的影响差异显著。丰水年南通水道浅滩向西南偏移且面积缩减达 30%,显著改善航道条件,但同时加剧通州沙水道串沟发育与沙体迁移;枯水年则导致南通水道浅滩淤积恶化,通州沙水道演变暂缓,但沙体向东南迁移趋势未根本改变。

## 参 考 文 献

- [1] 陈宇奇. 长江下游 12.5 m 深水航道建成对南京以下港口与城市发展影响分析[D]. 上海:华东师范大学, 2021.  
Chen Y Q. Analysis of the impact of completion of the 12.5 m deep water channel in the lower reaches of the Yangtze River on the development of ports and cities below Nanjing [D]. Shanghai: East China Normal University, 2021. (in Chinese)
- [2] 赵德招. 长江南京以下沿江港口对 12.5 m 深水航道的效益响应[J]. 水运工程, 2019(6):8-14.  
Zhao D Z. Benefit response of ports along the Yangtze River below Nanjing to 12.5m deepwater navigation channel[J]. Port & Waterway Engineering, 2019(6):8-14. (in Chinese)
- [3] 杨云平,张夏博,郑金海,等. 长江下游落成洲河段洲滩联动关系与航道浅滩碍航机制[J]. 水科学进展, 2023,34(2):250-264.  
Yang Y P, Zhang X B, Zheng J H, et al. Linkage relationship of beach/ central bar and waterway shoal obstruction mechanism in Luochengzhou reach of the lower reaches of Yangtze River[J]. Advances in Water Science, 2023, 34(2):250-264. (in Chinese)
- [4] 范新云,张祥文,董文炯,等. 基于长江口测深数据北港河势演变趋势分析[J]. 中国航海,2024,47(增刊1):208-212.  
Fan X Y, Zhang X W, Dong W J, et al. Changes of waterway regime and trend analysis of North Channel based on the Yangtze River Estuary of sounding data [J]. Navigation of China, 2024, 47(Suppl. 1): 208-212. (in Chinese)
- [5] Yang Y P, Zheng J H, Zhang W, et al. Quantitative relationship between channels and bars in a tidal reach of the lower Yangtze River: implications for river management [J]. Journal of Geographical Sciences,

- 2021, 31(12):1837-1851.
- [6] Wang J J, Yang Y P, Zhang M J, et al. Critical threshold of periodic point bar scour and sediment body transport path in tidal reaches: a case study of Fujiangsha reach, Yangtze River [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2023, 33(6):1334-1358.
- [7] 徐华,刘桂平,吴道文,等. 潮汐多汊河段滩槽水沙交换特性研究与应用——以长江通州沙河段为例[J]. *人民长江*, 2015, 46(7):12-15.
- Xu H, Liu G P, Wu D W, et al. Study on characteristic of flow-sediment exchange between beach and channel at multi-branch tidal reach and application: case of Tongzhou Sand Shoal Reach[J]. *Yangtze River*, 2015, 46(7):12-15. (in Chinese)
- [8] 贾雨少,谢婕. 南通水道航道回淤原因分析[J]. *水运工程*, 2018, 549(12):147-154.
- Jia Y S, Xie J. Cause analysis of siltation in navigation channel in Nantong Waterway [J]. *Port & Waterway Engineering*, 2018, 549(12):147-154. (in Chinese)
- [9] 朱博渊,李义天,杨培炎,等. 长江澄通河段河床冲淤对流域减沙的响应[J]. *水科学进展*, 2018, 29(5):706-716.
- Zhu B Y, Li Y T, Yang P Y, et al. River bed erosion and deposition responses to sediment reduction in the Chengtong reach of the Yangtze River[J]. *Advances in Water Science*, 2018, 29(5):706-716. (in Chinese)
- [10] Chen Y P, Li J X. Dynamic analysis of riverbed evolution: Chengtong reach of Yangtze estuary [J]. *Journal of Coastal Research*, 2016, 75 (Suppl. 1):203-207.
- [11] Zhu Y B, Deng J Y, Tang J W, et al. Erosion-deposition patterns and depo-center movements in branching channels at the near-estuary reach of the Yangtze River[J]. *Frontiers of Earth Science*, 2020, 14(3):537-552.
- [12] 乔红杰,陈雪梅,张菁,等. 水沙变化条件下长江澄通河段河道演变特征及趋势分析[J]. *水利水电快报*, 2025, 46(5):14-21.
- Qiao H J, Chen X M, Zhang J, et al. Analysis of evolution characteristics and trends of Chengtong Section in Changjiang River under water and sediment change condition[J]. *Express Water Resources & Hydropower Information*, 2025, 46(5):14-21. (in Chinese)
- [13] 袁文昊,徐元,刘红. 新开沙一裤子港沙河段近期河床演变及对深水航道工程的影响[J]. *水运工程*, 2019(5):1-6.
- Yuan W H, Xu Y, Liu H. Recent riverbed evolution in Xinkaisha to Kuzigangsha branch and influence on deepwater channel project [J]. *Port & Waterway Engineering*, 2019(5):1-6. (in Chinese)
- [14] 余文畴,栾华龙. 长江下游澄通河段通州沙汊道演变新特征[J]. *长江科学院院报*, 2020, 37(12):1-7.
- Yu W C, Luan H L. Recent evolution features of Tongzhou Shoal Channel in Chengtong reach of lower Yangtze River[J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2020, 37(12):1-7. (in Chinese)
- [15] 刘高峰,王统泽. 南京以下 12.5 m 深水航道通州沙河段完善工程物理模型研究[J]. *水运工程*, 2023, 606(2):97-102.
- Liu G F, Wang T Z. Physical model for improvement engineering of Tongzhou shoal section on 12.5 m deepwater navigation channel from Nanjing[J]. *Port & Waterway Engineering*, 2023, 606(2):97-102. (in Chinese)
- [16] 杜德军,夏云峰,徐华,等. 长江河口段节点控导作用及河势格局研究[J]. *人民长江*, 2018, 49(14):1-5.
- Du D J, Xia Y F, Xu H, et al. Study on river nodes' control-guide effects and river regime in Yangtze River estuary [J]. *Yangtze River*, 2018, 49(14):1-5. (in Chinese)
- [17] 吴道文. 长江通州沙河段 12.5 m 深水航道碍航分析[J]. *水运工程*, 2014(8):8-14.
- Wu D W. On navigation obstruction of 12.5 m deep waterway channel in Yangtze Tongzhou beach[J]. *Port & Waterway Engineering*, 2014(8):8-14. (in Chinese)
- [18] 王金华,闻云呈,章卫胜. 不同水文条件下通州沙河段沿程分流分沙特征[J]. *水利水运工程学报*, 2017(3):1-7.
- Wang J H, Wen Y C, Zhang W S. Water-sediment diversion ratio along Tongzhousha shoal reach under different hydrological conditions[J]. *Hydro-Science and Engineering*, 2017(3):1-7. (in Chinese)
- [19] 沈淇,吴华林,刘高峰,等. 长江南京以下 12.5 m 深水航道一期工程通州沙河段齿坝方案研究[J]. *水运工程*, 2013(4):1-6.
- Shen Q, Wu H L, Liu G F, et al. Groin engineering of channel regulation project in Tongzhousha shoal reach [J]. *Port & Waterway Engineering*, 2013(4):1-6. (in Chinese)
- [20] 刘高峰,贾晓,吴华林,等. 长江南京以下 12.5 m 深水航道一期工程整治效果多水文条件物模研究[J]. *水运工程*, 2013(11):87-94.
- Liu G F, Jia X, Wu H L, et al. Physical model study on the first phase project of 12.5 m deep-water navigation channel from Nanjing in the Yangtze River under multi-hydrological conditions [J]. *Port & Waterway Engineering*, 2013(11):87-94. (in Chinese)

- 1157-1166.
- Chen A W, Wang H W. Fault diagnosis of planetary gearbox based on HBA-ICEEMDAN and HWPE [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2023, 40(8): 1157-1166. (in Chinese)
- [17] Chen, Yan H, Liu B, et al. Analysing and forecasting China containerized freight index with a hybrid decomposition-ensemble method based on EMD, grey wave and ARMA [J]. Grey Systems: Theory and Application, 2021, 11(3): 358-371.
- [18] 张倩, 曲晨蕊, 曾庆成. 基于经验模式分解的原油运价指数波动[J]. 中国航海, 2019, 42(1): 129-134.
- Zhang Q, Qu C R, Zeng Q C. Volatility of tanker freight rates by empirical mode decomposition [J]. Navigation of China, 2019, 42(1): 129-134. (in Chinese)
- [19] 张欣, 林晓彬. 基于复杂网络的国际油轮运价波动传导特征[J]. 中国航海, 2024, 47(4): 87-96.
- Zhang X, Lin X B. Conductivity characteristic of international tanker rate fluctuations based on complex networks [J]. Navigation of China, 2024, 47(4): 87-96. (in Chinese)
- [20] Shao Y J, Chou H C, Wu C C. Return lead-lag and volatility transmission in shipping freight markets [J]. Maritime Policy & Management, 2014, 41 (7): 697-714.
- 
- (上接第60页)
- [21] 陈前海, 徐照明, 侯卫国. 长江澄通河段综合整治规划要点及实施效果分析 [J]. 人民长江, 2013, 44(21): 12-15.
- Chen Q H, Xu Z M, Hou W G. Comprehensive harnessing guideline for Chengtong Reach of Yangtze River and its implementation effect [J]. Yangtze River, 2013, 44(21): 12-15. (in Chinese)
- [22] 朱巧云, 刘传杰, 刘桂平, 等. 长江下游通州沙西水道整治工程效果分析 [J]. 水运工程, 2020(6): 106-112.
- Zhu Q Y, Liu C J, Liu G P, et al. Regulation engineering effect of west waterway of Tongzhou Shoal in lower reaches of the Yangtze River [J]. Port & Waterway Engineering, 2020 (6): 106-112. (in Chinese)
- [23] 张玮, 陈乾阳, 倪兵. 通州沙西水道整治工程对通州沙河段潮流量影响研究 [J]. 科学技术与工程, 2013, 13(6): 1520-1525.
- Zhang W, Chen Q Y, Ni B. A Study on impact on discharge of Tongzhousha reach caused by the regulation project of west Tongzhousha Waterway [J]. Science Technology and Engineering, 2013, 13(6): 1520-1525. (in Chinese)
- [24] 张玮, 倪兵, 陈乾阳. 长江澄通河段通州沙西水道整治工程对分流比影响研究 [J]. 水道港口, 2013, 34(1): 39-44.
- Zhang W, Ni B, Chen Q Y. Research on influence of regulation works on diversion ratio of Tongzhousha west channel in Chengtong reach, Yangtze River [J]. Journal of Waterway and Harbor, 2013, 34(1): 39-44. (in Chinese)
- [25] 倪兵, 何瑞, 张玮. 通州沙河段西水道航道疏浚尺度选择研究 [J]. 水道港口, 2014, 35(6): 608-612.
- Ni B, He R, Zhang W. Study on dredging scale of Tongzhousha west channel [J]. Journal of Waterway and Harbor, 2014, 35(6): 608-612. (in Chinese)
- [26] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司. 太仓—南通河段底沙输移特征及其对深水航道的影响研究 [R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2015.
- China Communications Shanghai Waterway Survey and Design Institute Co., LTD.. Research on the characteristics of sediment transport in the taicang-Nantong River section and its impact on deep water Channels [R]. Shanghai: China Communications Shanghai Waterway Survey and Design Institute Co., LTD., 2015. (in Chinese)
- [27] 长江航道规划设计研究院. 长江南京以下 12.5 米深水航道养护跟踪观测分析报告 (2024 年度) [R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院, 2024.
- Changjiang Waterway Institute of Planning and Design. Analysis report on maintenance tracking observation of 12.5-meter deep water channel of the Yangtze River Below Nanjing (2024) [R]. Wuhan: Changjiang Waterway Institute of Planning and Design, 2024. (in Chinese)