

李路, 季永兴, 滕飞, 等. 长江口北支上口江心沙近期演变及其对北支上段的影响[J]. 海洋地质前沿, 2024, 40(7): 56-67.

LI Lu, JI Yongxing, TENG Fei, et al. The recent morphological evolution in the upper mouth sandbar of the North Branch and the impacts on its upper reach in the Changjiang Estuary[J]. Marine Geology Frontiers, 2024, 40(7): 56-67.

# 长江口北支上口江心沙近期演变及其 对北支上段的影响

李路<sup>1,2</sup>, 季永兴<sup>1,2\*</sup>, 滕飞<sup>1,2</sup>, 徐双全<sup>3</sup>

(1 上海市水利工程设计研究院有限公司, 上海 200232; 2 上海滩涂海岸工程技术研究中心, 上海 200232;

3 上海市水务局, 上海 200050)

**摘要:** 针对近年来长江口南北支分汉口近北支一侧水域发育的新生沙体, 采用该区域 2010—2020 年的实测地形资料, 分析了江心沙近 10 年的演变特征, 并采用水动力数学模型结合经验公式分析沙体进一步淤涨或对其采取疏浚措施后对周边水动力和地形冲淤变化的影响。结果表明, 近 10 年间, 江心沙面积增加了近 5 倍, 滩顶高程从 <1 m 逐步发育至 >3 m, 近期沙体已不再“长大”, 但仍在逐渐“长高”, 并有从低滩向高滩逐渐转化的趋势; 若江心沙进一步淤涨, 北支分流比将进一步减小, 海门港至日新河段主槽流速减小并产生淤积, 不利于北支的入流, 同时跃进港近岸流速增加, 深槽将进一步冲刷逼岸, 不利于沿线海塘安全; 若对江心沙采取疏浚措施, 北支分流比将增加, 有利于缓解其上段“S”型河势, 海门港至日新河段流速增加, 深槽冲刷, 有利于北支入流以及分流比的增加, 同时, 跃进港近岸流速减小, 出现淤积, 有利于该岸段海塘安全。

**关键词:** 北支上口; 江心沙; 演变特征; 数学模型

中图分类号: P737.1

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2024.072

## 0 引言

长江口在外海潮汐、上游径流等多种动力因素的共同作用下, 经过长期的自然演变, 形成了目前较为稳定的“三级分汊、四口入海”总体河势。长江在徐六泾以下被崇明岛分为南支和北支, 形成第 1 级分汊, 其中, 北支西起崇头, 东至连兴港, 全长约 83 km。目前, 北支总体呈上窄下宽的“喇叭型”河势, 上口崇头断面河宽约 2.6 km, 下口连兴港断面河宽约 10 km, 最窄处在大新河至灵甸港段, 河宽

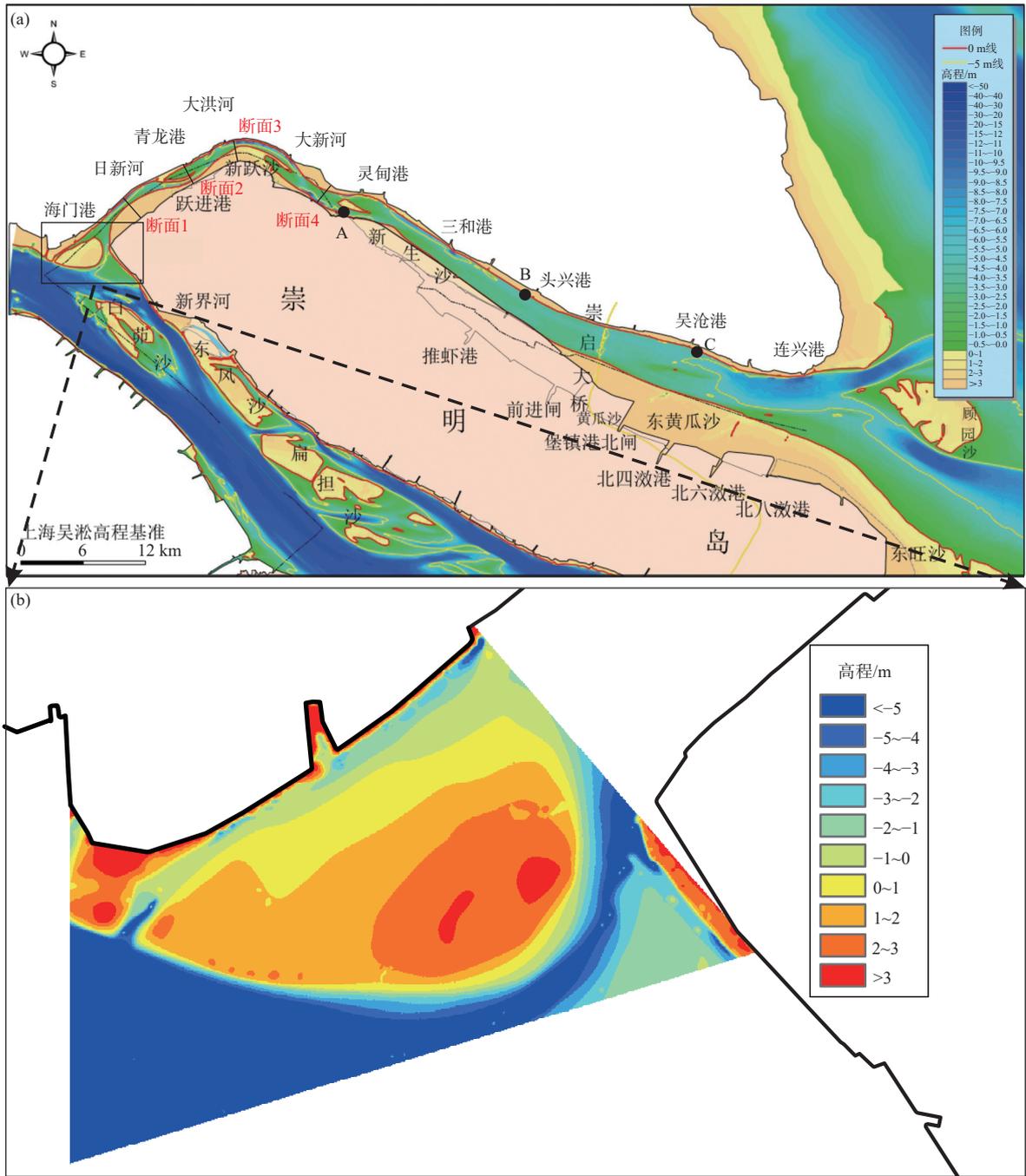
仅 1.6 km<sup>[1]</sup>(图 1a)。历史上北支曾经是长江径流入海的主通道, 18 世纪后, 北支入口处河宽不断减小, 逐渐演变成支汊, 此后, 长江口主流由北支转向南支。1950—2010 年间, 北支 0 和 -5 m 线(1985 国家高程基面)以下河槽容积减小了 53% 和 92%<sup>[2]</sup>, 北支河段的泥沙向陆输运是其不断淤积的主要原因<sup>[3]</sup>。近半个世纪来, 受江心沙、圩角沙围垦工程等人类活动的影响, 北支入流角度加大<sup>[4]</sup>, 使得北支涨、落潮分流比出现了明显减小, 从 20 世纪 70 年代末至 2017 年, 北支涨潮分流比由 21.6% 减至约 10%, 落潮分流比则由约 10% 减至 2%~5%<sup>[5]</sup>, 目前北支是长江 4 条入海通道中分流比最小的 1 条。北支的河势变化与长江上游来水来沙、南北支分流分沙比、局部工程等密切相关。总体上, 北支上段是近年来河势变化较为显著的岸段, 崇头至大洪河段深泓线摆动较大<sup>[1,4]</sup>。北支进口段深泓在 2001 年以前紧贴崇头一侧, 2001 年以后逐渐由崇头侧转移至海门港侧, 2008 年深泓开始呈右移趋势, 至 2013

收稿日期: 2024-03-27

资助项目: 上海市科学技术委员会科研项目(22DZ1202700, 18DZ1206400, 19DZ1201500); 上海市水务局科研项目(沪水科 2020-03, 沪水科 2022-11)

第一作者: 李路(1983—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事河口海岸动力学方面的研究工作。E-mail: lu\_li2@arcplus.com.cn

\* 通讯作者: 季永兴(1970—), 男, 博士, 正高级工程师, 主要从事水利及海岸工程方面的研究工作。E-mail: jiyx@sh163.net



(a)长江口北支河势;(b)北支上口江心沙水下地形

图 a 中黑色圆点为 2017 年 2 月北支测点位置, 黑色实线为数学模型输出的流量分析断面位置

图 1 2020 年长江口北支河势

Fig.1 The bathymetry of the North Branch of the Changjiang River Mouth in 2020

年又位于崇头侧。受进口深泓摆动影响, 青龙港附近的深泓也在不断发生变化, 2001—2013 年最大摆动约为 1.1 km<sup>[1]</sup>。一般情况下, 北支主槽与南支主流之交角越小, 越有利于落潮流进入北支<sup>[6]</sup>。目前, 北支上口主槽走向与南支主流交角已达 105°, 落潮主流流路弯曲, 已明显影响到北支入流条件<sup>[7]</sup>。同时, 北支上段主槽在海门港至日新河段位于海门侧,

在青龙港段位于上海崇明侧, 至大洪河段又回到海门侧, 呈现“S”型的形态, 加剧了暗沙、江心洲和岸滩动荡<sup>[8]</sup>。北支的河势变化, 特别是近岸滩地的冲淤变化, 对两岸海塘的防汛安全<sup>[8-9]</sup>、湿地的生境安全<sup>[10]</sup> 以及船只的通航安全<sup>[11]</sup> 造成影响。同时, 由于北支枯季特有的盐水倒灌现象<sup>[12-14]</sup>, 其河势变化还会对南支多个水源地的供水安全产生不利影响<sup>[15]</sup>。

长江口目前相对稳定的“三级分汊”总体河势得益于对南北支、南北港和南北槽3个分流口的有效控制。近年来,南北支分汊口靠近北支一侧水域发育的江心沙引起多位学者的关注。周良平等<sup>[7]</sup>基于实测资料,发现该水域经历了从舌状沙体到暗沙,再到沙体的变化过程,并从0、-1 m线(1985国家高程基面)以及滩顶高程的历年变化,初步分析了其变化趋势。通过卫星遥感影像可以发现,该水域2007年尚未见到出露的江心沙体<sup>[15]</sup>,但从2014年以来,江心沙逐渐出露并迅速扩大<sup>[8]</sup>,犹如在北支上口长了一个“肿瘤”。关于该沙体形成的机制,已有研究认为主要与北支相对较高的含沙量、北支上口口门向上游快速放宽及涨落潮流路分离等因素有关<sup>[7]</sup>。随着江心沙2007—2016年这10年的发育,大潮期间北支倒灌量增加15%、分流比减小0.4%,北支盐水倒灌明显增强,导致了东风西沙、陈行、青草沙三大河口水库取水口盐度的增加<sup>[15]</sup>。

根据2020年实测水下地形资料,北支上口江心沙0 m线(上海吴淞高程基面,下同)范围已占据北支上口段大部分区域,崇头侧和海门侧近岸水深相对较深,北支上口段主泓靠近崇头一侧,-5 m线基本贯通(图1a)。江心沙体总体呈NE—SW走向的锥形,东南侧地形相对较高,大部分在2~3 m,局部>3 m(图1b)。从2021年6月的无人机影像可以看出,沙体东南侧高滩已被植被覆盖,并伴有潮沟发育(图2)。由于该沙体位于南北支分汊口近北支上口,在长江口关键分汊节点出现如此显著的河势变化应引起重视,其快速演变很可能对北支及邻近区域的水动力、河势等造成一定的影响。本研究采用实测地形资料,按照不同高程区段分析北支上

口江心沙近10年来的演变特征和趋势,在此基础上,采用水动力数学模型结合经验公式,定量分析如果江心沙进一步自然淤涨,以及采取新一轮长江口综合整治规划成果中提出的对江心沙实施疏浚措施后,对周边水动力和地形冲淤变化的影响,同时分析其对沿岸海塘设施运行安全的影响,并初步提出对江心沙控制和治理的方向,为长江口北支的保护和综合治理提供科学依据。

## 1 研究资料及方法

### 1.1 研究资料

为定量分析北支上口水域江心沙的演变特征和趋势,收集了该区域2010—2020年逐年的1:10 000滩涂地形及水下地形实测数据,采用ArcGIS软件建立了数字高程模型,提取并统计了0、1、2、3 m等高线的面积。为了验证水动力数学模型计算结果的准确性,收集了2017年2月21—27日北支现场水文观测资料,包含3个测点小潮至大潮期间逐小时的水位、流速和流向变化过程,并同步收集了2017年2月大通水文站的径流量资料。

### 1.2 水动力数学模型

本研究采用MIKE 21二维水动力数学模型,研究北支上口江心沙演变对周边水动力的影响。该模型基于Boussinesq静压假定后的简化Navier-Stokes方程,采用无结构网格建模,能灵活、高效刻画水域中岛屿群和曲折岸线,并能对重点研究区域的网格进行局部加密来提高计算精度,该模型已在长江口水动力和盐水入侵的研究中得到应用<sup>[16]</sup>。模型计算区域包括长江河口、杭州湾及邻近水域,上游边界取在大通水文站(图3)。该网格考虑了长江口近期主要的重大涉水工程,如长江口深水航道工程、青草沙水库工程、横沙东滩促淤圈围工程、浦东机场圈围工程、南汇东滩促淤工程等,并对南北支分汊口及北支上段网格进行了局部加密,最高分辨率约30 m。模型水深在长江口口外主要取自近年新出版的海图,口内大部分水域采用2016年实测地形,北支局部河段采用收集到的2020年实测地形。模型外海开边界由调和常数合成水位给出,上游开边界以通量形式给定。在模拟实际过程时,采用大通水文站实测的流量资料,模拟典型枯季和洪季特征时,采用大通水文站多年1月和7月



拍摄时间:2021年6月8日

图2 北支上口江心沙无人机影像

Fig.2 The drone-taken view of the sandbank in the upper reach of the North Branch

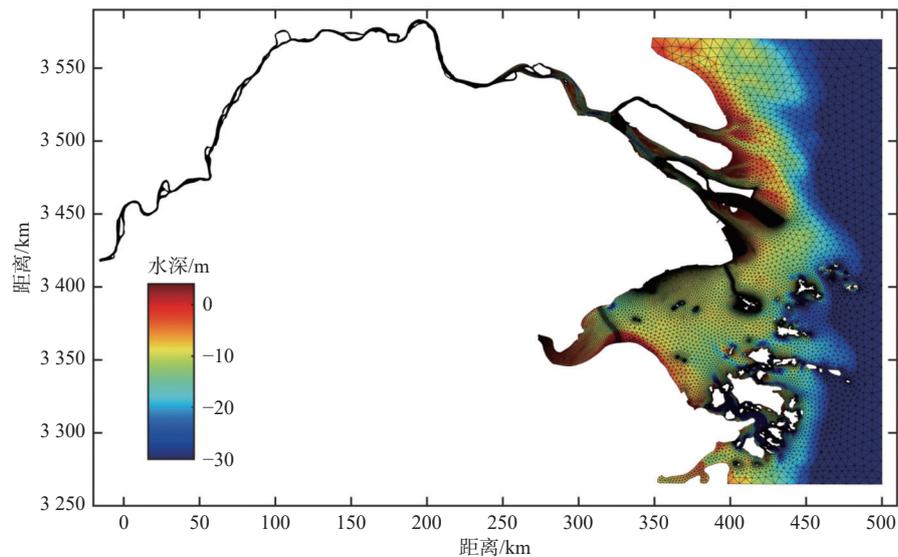


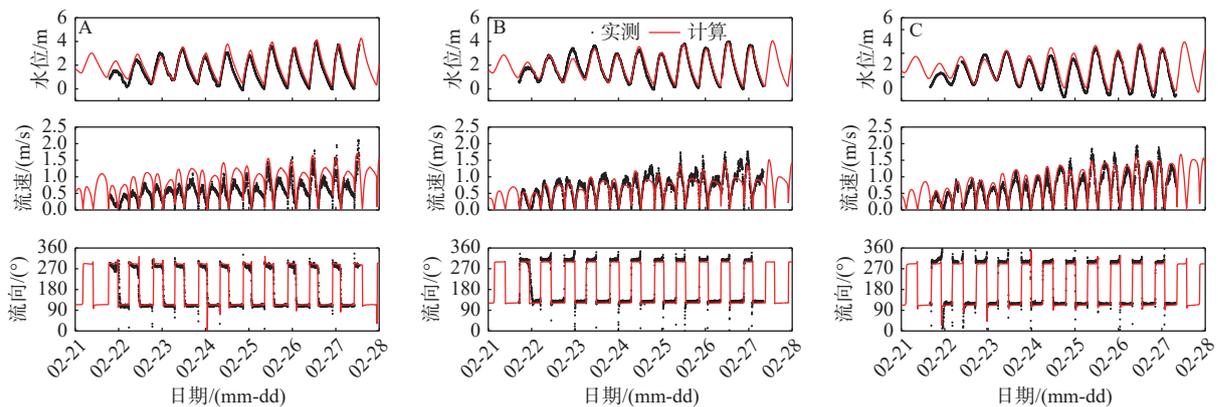
图 3 水动力模型范围及网格地形

Fig.3 The domain of the hydrodynamic model, grid, and topography

的月平均值(11 800 m<sup>3</sup>/s 和 50 000 m<sup>3</sup>/s)<sup>[17]</sup>。

为确保模型对北支及邻近水域水动力模拟的准确性, 本文采用收集的 2017 年 2 月 21—27 日北支现场水文观测资料对模型进行验证, 测点分布位置如图 1a 所示, 其中, A 点位于北支中段新村沙圈围工程的上沿, B 点位于北支中段头兴港附近, C 点位于北支下段吴淞港附近。观测期间各点实测水位、流速和流向与模型计算结果的比较如图 4 所示。

数学模型计算的水位能较好模拟出长江口涨落潮和大小潮变化, 除 2 月 21 日前后小潮期间计算水位略低于实测水位外, 总体上与实测资料吻合良好; 计算的垂向平均流速和流向与实测资料吻合良好, 能较好地模拟出涨潮流速大于落潮流速的特征。本文建立的长江口及邻近水域二维水动力数学模型计算的水位、流速和流向与实测资料吻合良好, 表明模型可用于北支及邻近水域水动力的模拟分析。



测点位置如图 1a 所示

图 4 2017 年 2 月 21—27 日定点观测测点 A、B 和 C 实测水位、流速、流向、盐度与模型计算结果比较

Fig.4 Modeled water elevation, speed, and direction in stations A, B and C compared with the measured data during 21-27 February, 2017

### 1.3 河口河相关系式

定量预测工程实施对邻近水域地形冲淤变化的影响是河口海岸工程界时常遇到的问题, 但由于工程实施后引起的动力过程变化十分复杂, 预测精

度仍较为有限, 目前主要有物理模型试验法、泥沙数学模型算法、半理论半经验公式法等。半理论半经验的预报公式一般从物理概念出发, 基于泥沙运动动力学的试验研究成果, 根据非恒定流输沙方程推导演绎而来, 因其计算相对简便, 在初步分析和

预测工程实施对周边地形冲淤变化的影响时较为常用。国内目前用于工程影响预报的半理论半经验公式主要有王义刚公式<sup>[18]</sup>、刘家驹公式<sup>[19]</sup>、徐群公式<sup>[20]</sup>以及基于河床输沙平衡状态的河口河相关式<sup>[21]</sup>,其中前3个侧重于对工程实施后第1年地形冲淤的预报,最后一个侧重于对工程实施稳定后地形冲淤的预报。河口河相关式如(1)式所示:

$$H_2 = \left(\frac{S_1}{S_2}\right)^{1/3} \left(\frac{q_2}{q_1}\right)^{2/3} H_1 \quad (1)$$

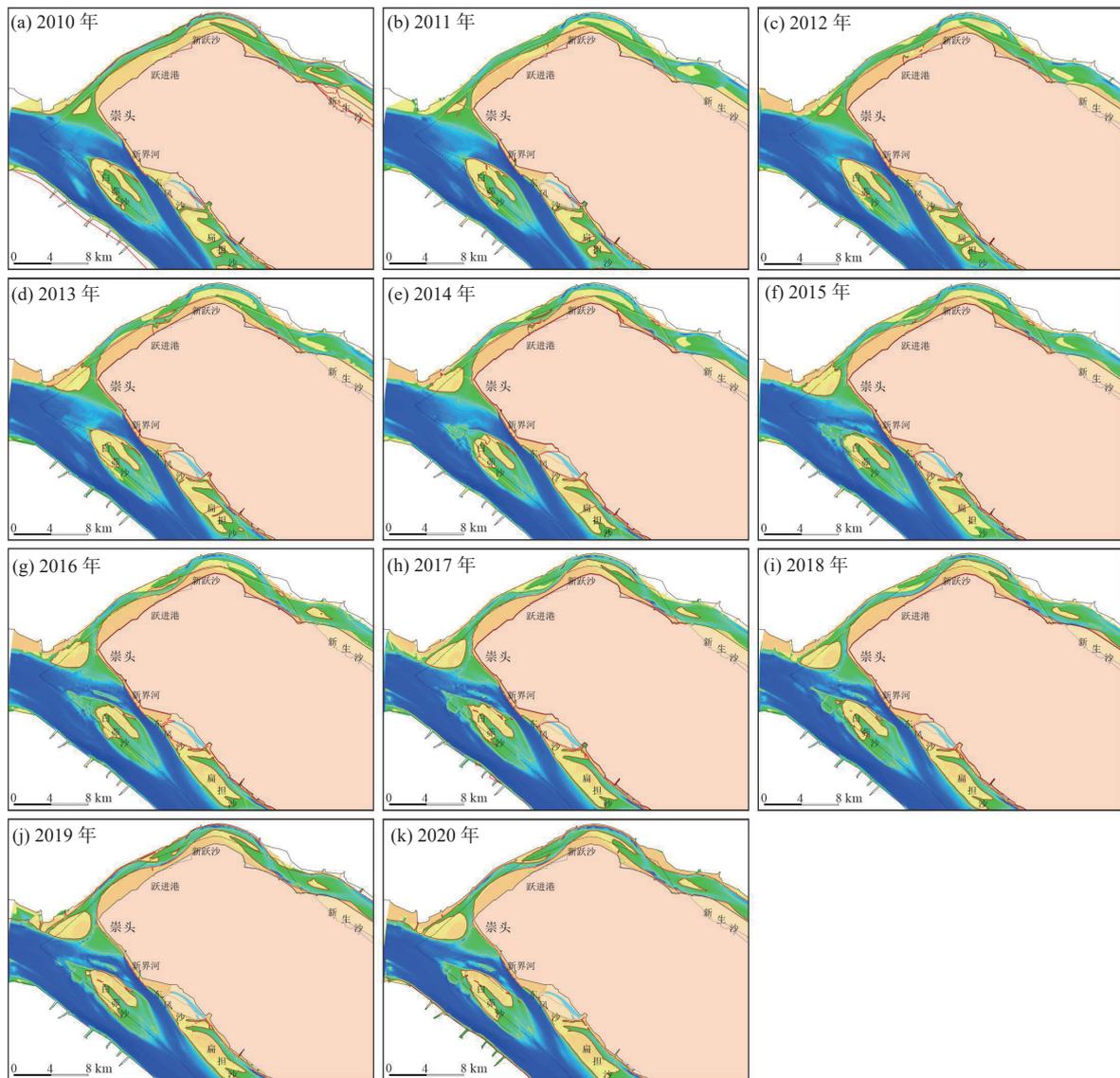
式中: $H_1$ 、 $H_2$ 分别为工程前、后平均潮位以下水深;  
 $S_1$ 、 $S_2$ 分别为工程前、后的含沙量;  
 $q_1$ 、 $q_2$ 分别为工程前、后的单宽潮量。  
在工程前后含沙量变化不大的情况下,可假定 $S_1$

与 $S_2$ 相等,该公式已在长江口相关工程实施对周边地形冲淤变化影响的初步分析中得到应用。本研究基于1.2节建立的数学模型计算江心沙演变前后的水动力变化,并采用河相关式分析地形冲淤变化。

## 2 结果与分析

### 2.1 北支上口江心沙近期演变特征及趋势

南北支分叉口及邻近水域2010—2020年实测地形如图5所示,其中,北支上口江心沙(0 m线以上范围)的不同高程的面积变化如图6所示。从江



图例同图 1a

图 5 北支上口江心沙 2010—2020 年地形演变

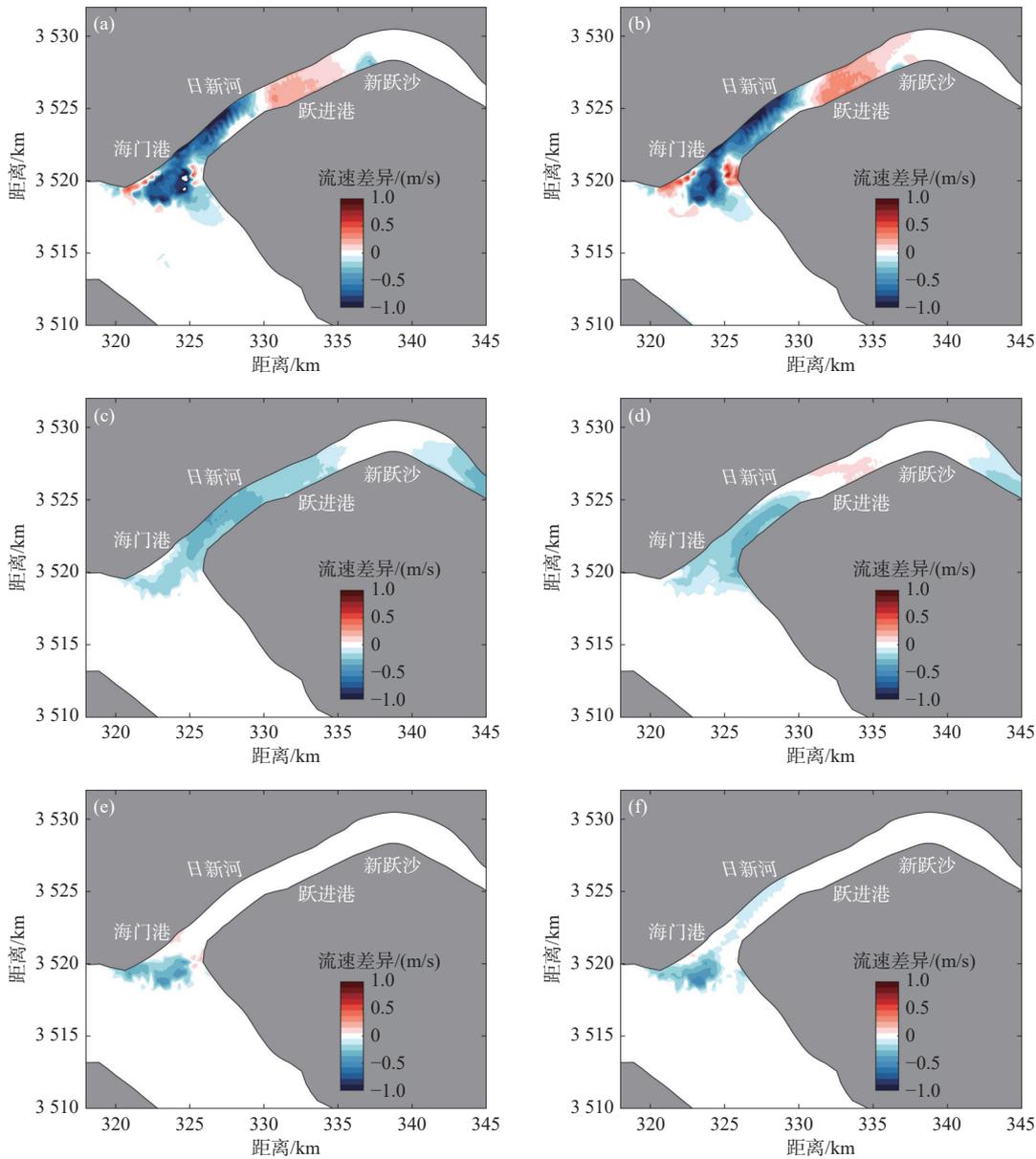
Fig.5 The topography evolution of sandbar in the upper mouth of the North Branch during 2010-2020



析,近年来沙体不断淤涨变高。为了分析江心沙进进一步淤涨对北支及邻近水域的影响,在数学模型中将现状沙体 0 m 线以上部分增加 2 m,并控制沙体最高不超过 3.5 m,代表江心沙淤高 2 m 的工况进行模拟分析。

北支江心沙淤高 2 m 后,阻水作用更加显著,导致北支洪、枯季的涨、落潮分流比均有所下降,其中,涨潮分流比下降 0.69%~1.09%,落潮分流比下降 0.52%~0.91%,北支的入流条件进一步恶化。由于南北支涨、落潮存在一定的相位差,本文分析了在南北支分汉口涨急、北支上段涨急、北支上段落

急 3 个时刻,江心沙淤高 2 m 与现状地形下南北支分汉口及邻近水域的流速差异。江心沙淤高 2 m 后,在南北支分汉口涨急时刻,由于南支进入北支的涨潮流减弱,日新河以上河段流速总体减小、以下河段流速总体增加(图 7a、b),海门港至日新河沿段主槽流速减小 0.5~0.8 m/s,可能会引起该河段的淤积从而进一步减小北支的分流比;跃进港岸段近岸流速增加 >0.3 m/s,可能会对近岸滩涂造成进一步冲刷,从而威胁沿岸海塘的防汛安全。在北支上段涨急时刻,北支上段枯季流速总体减小,洪季日新河以上河段流速略有减小、以下河段流速总体



(a—b) 南北支分汉口涨急时刻; (c—d) 北支上段涨急时刻; (e—f) 北支上段落急时刻  
左列(a)、(c)和(e)为枯季结果,右列(b)、(d)和(f)为洪季结果;流速差异为江心沙淤高 2 m 的流速减去现状地形的流速

图 7 江心沙淤高 2 m 与现状地形下南北支分汉口及邻近水域不同时刻的流速差异

Fig. 7 The difference in water speed between the cases of sandbank silting up 2 m and current topography

略有增加(图7c、d),变化幅度介于0.1~0.3 m/s。在北支上段落急时刻,流速总体变化不大,仅在江心沙周围略有差异(图7e、f)。

### 2.2.2 江心沙疏浚2 m

北支上口江心沙进一步淤高将减小北支分流比,同时减小进口段主槽流速、并加剧现状冲蚀岸段近岸的流速,可能对北支上段的河势有不利影响。为了定量回答对江心沙采取适当的疏浚措施是否对河势有利的问题,在数学模型中将现状江心沙0 m线以上的地形减小2 m,并控制沙体总体 $\geq 0$  m,代表江心沙疏浚2 m的工况进行模拟分析。

北支江心沙疏浚2 m后,北支洪枯季的涨、落潮分流比均有所增加,其中涨潮分流比增加0.32%~0.48%,落潮分流比增加0.21%~0.41%,北支入流条件将得到改善。为了进一步分析北支分流比增加后,北支滩槽过流变化的响应,在北支崇明边滩(断面1)、跃进港(断面2)、新跃沙(断面3)和庙港(断面4)设置断面(位置如图1a所示),并以0 m线

为界将断面分成深槽和滩面2个部分,分别统计江心沙疏浚前后每个断面深槽和滩面过流占比的变化(表3、4)。在枯季流量条件下,现状地形下均是深槽过流占比大于滩面过流;江心沙疏浚2 m后,崇头边滩断面涨潮和落潮期间深槽过流占比分别增加3.0%和0.5%,而跃进港断面涨潮和落潮期间深槽过流占比分别减小1.7%和1.4%,新跃沙和庙港北闸断面深槽和滩面过流比例基本无明显变化(表3)。在洪季流量条件下,由于长江口余水位抬升,现状地形下各断面上滩面过流比例增加;江心沙疏浚2 m后,崇头边滩断面涨潮和落潮期间深槽过流占比分别增加6.9%和0.5%,而跃进港断面涨潮和落潮期间深槽过流占比分别减小5.4%和0.9%,新跃沙和庙港北闸断面深槽和滩面过流比例基本无明显变化(表4)。根据表3、4的数据分析可知,江心沙疏浚2 m后,对水动力的影响至多到新跃沙(断面3),对庙港北闸(断面4)已基本无影响。上述变化表明,无论是洪枯季还是涨落潮期间,江心

表3 江心沙疏浚2 m前后北支中上段枯季深槽和浅滩过流比例

Table 3 The discharge ratios of deep channel and tidal flat during flood and ebb tides under current topography and case of sandbank dredging 2 m in the upper and middle reaches of the North Branch in dry season

| 断面位置      | 深槽/浅滩 | 涨潮    |       |       | 落潮    |       |       |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|           |       | 现状    | 疏浚2 m | 变化    | 现状    | 疏浚2 m | 变化    |
| 崇头边滩(断面1) | 深槽    | 76.2% | 79.2% | 3.0%  | 87.8% | 88.3% | 0.5%  |
|           | 浅滩    | 23.8% | 20.8% | -3.0% | 12.2% | 11.7% | -0.5% |
| 跃进港(断面2)  | 深槽    | 47.0% | 45.3% | -1.7% | 52.5% | 51.1% | -1.4% |
|           | 浅滩    | 53.0% | 54.7% | 1.7%  | 47.5% | 48.9% | 1.4%  |
| 新跃沙(断面3)  | 深槽    | 86.5% | 86.0% | -0.5% | 82.5% | 82.3% | -0.2% |
|           | 浅滩    | 13.5% | 14.0% | 0.5%  | 17.5% | 17.7% | 0.2%  |
| 庙港北闸(断面4) | 深槽    | 60.4% | 60.7% | 0.3%  | 67.6% | 67.6% | 0.0%  |
|           | 浅滩    | 39.6% | 39.3% | -0.3% | 32.4% | 32.4% | 0.0%  |

表4 江心沙疏浚2 m前后北支中上段洪季深槽和浅滩过流比例

Table 4 The discharge ratios of deep channel and tidal flat during flood and ebb tides under current topography and case of sandbank dredging 2 m in the upper and middle reaches of the North Branch in wet season

| 断面位置      | 深槽/浅滩 | 涨潮     |       |       | 落潮    |       |       |
|-----------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
|           |       | 现状     | 疏浚2 m | 变化    | 现状    | 疏浚2 m | 变化    |
| 崇头边滩(断面1) | 深槽    | 48.40% | 55.3% | 6.9%  | 84.4% | 83.9% | -0.5% |
|           | 浅滩    | 51.60% | 44.7% | -6.9% | 15.6% | 16.1% | 0.5%  |
| 跃进港(断面2)  | 深槽    | 47.10% | 41.7% | -5.4% | 52.9% | 52.0% | -0.9% |
|           | 浅滩    | 52.90% | 58.3% | 5.4%  | 47.1% | 48.0% | 0.9%  |
| 新跃沙(断面3)  | 深槽    | 87.00% | 87.0% | 0.0%  | 79.8% | 80.2% | 0.4%  |
|           | 浅滩    | 13.00% | 13.0% | 0.0%  | 20.2% | 19.8% | -0.4% |
| 庙港北闸(断面4) | 深槽    | 59.90% | 60.0% | 0.1%  | 66.4% | 66.4% | 0.0%  |
|           | 浅滩    | 40.10% | 40.0% | -0.1% | 33.6% | 33.6% | 0.0%  |

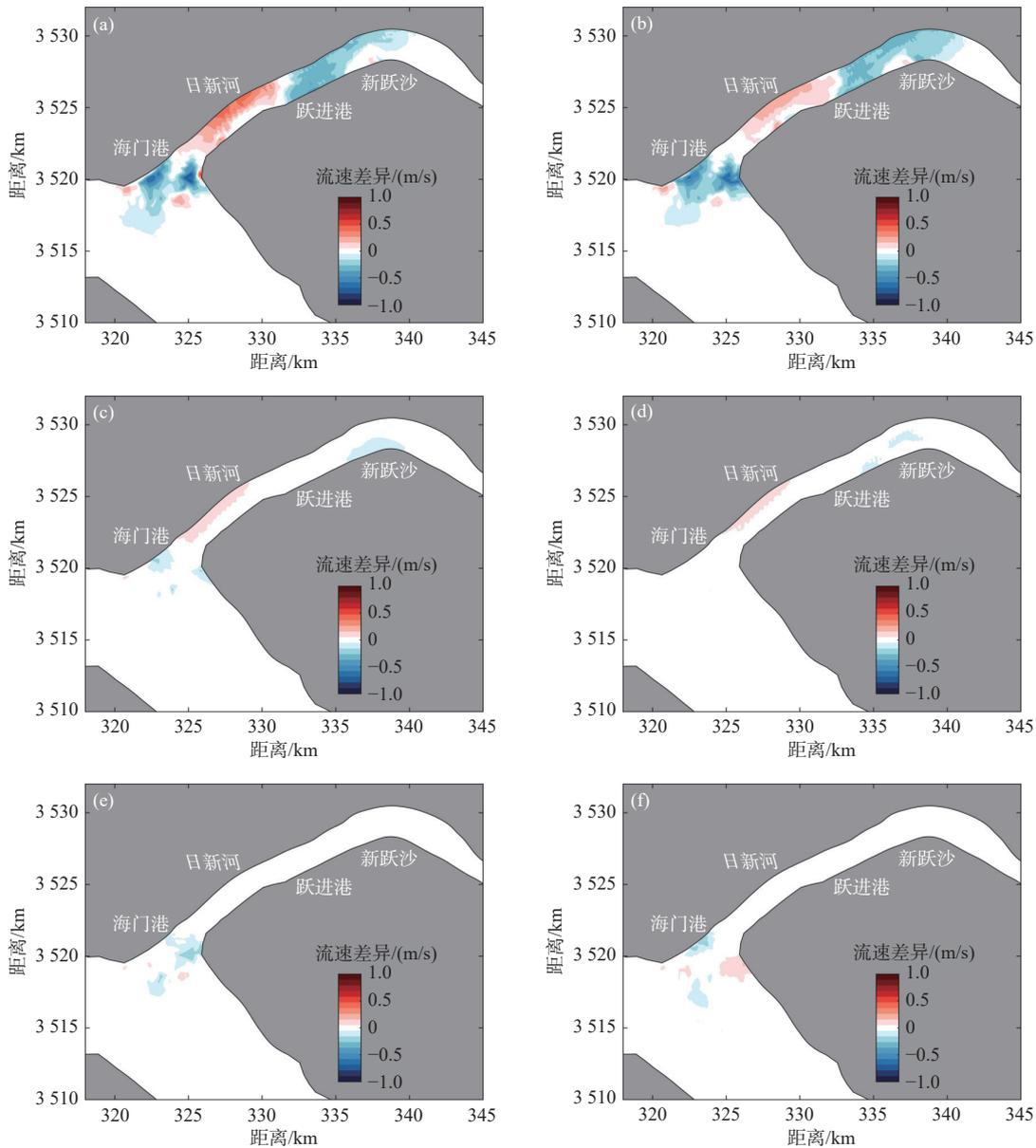
沙疏浚 2 m 后, 崇头边滩断面深槽过流占比增加, 跃进港断面深槽断面流量占比减少, 总体上北支上段主流有沿左岸(江苏海门侧)增强的趋势, 有利于缓解北支上段“S”型的河势, 避免主槽向崇明侧进一步冲刷逼岸, 有利于沿线的海塘安全。

江心沙疏浚 2 m 后, 在南北支分汉口涨急时刻, 由于南支进入北支的涨潮流增加, 日新河以上河段流速总体增加、以下河段流速总体减小(图 8a、b), 其中, 海门港至日新河沿段主槽流速增加 0.2~0.4 m/s, 有利于维持主槽现状水深; 跃进港岸段近岸流速减小约 0.2 m/s, 有利于缓解该岸段近岸冲刷,

维护沿岸海塘安全。在北支上段涨急时刻, 北支上段洪、枯季流速在青龙港以上流速增加、以下流速略有减小(图 8c、d), 流速变化幅度基本 < 0.1 m/s。在北支上段落急时刻, 流速变化不大, 仅在江心沙周围略有差异(图 8e、f)。

### 2.3 北支上口江心沙演变对北支上段地形冲淤的影响

本节基于数学模型计算的江心沙淤高或疏浚后水动力的差异, 采用 1.3 节提出的河相关式初步分析江心沙演变对北支上段地形变化的影响。



(a—b) 南北支分汉口涨急时刻; (c—d) 北支上段涨急时刻; (e—f) 北支上段落急时刻

左列(a)、(c)和(e)为枯季结果, 右列(b)、(d)和(f)为洪季结果; 流速差异为江心沙疏浚 2 m 的流速减去现状地形的流速

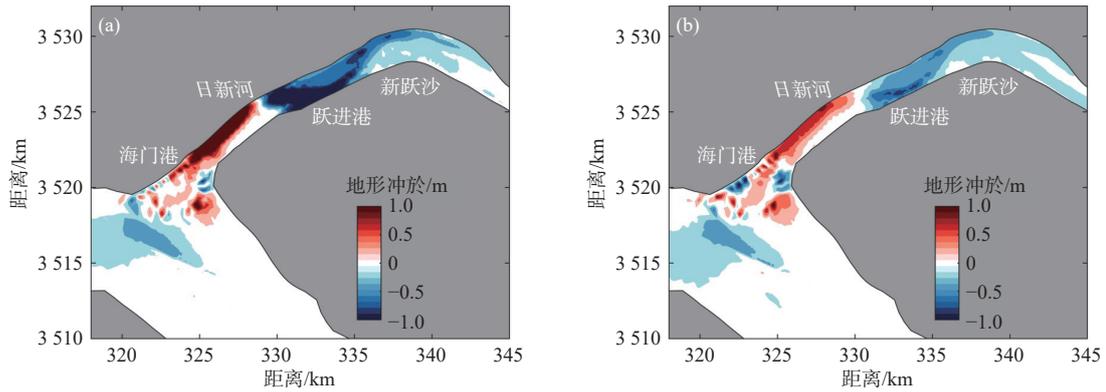
图 8 江心沙疏浚 2 m 与现状地形下南北支分汉口及邻近水域在不同时刻的流速差异

Fig.8 The difference in water speed between the cases of sandbank dredging 2 m and current topography

### 2.3.1 江心沙淤高 2 m

江心沙淤高 2 m 引起的水深冲淤变化主要在北支上段和南北支分叉口附近(图 9)。从洪、枯季差异上看, 冲淤分布特征总体一致, 但枯季冲淤变化幅度较洪季显著, 这主要是因为枯季径流较小, 长江口相应的余水位较低, 江心沙淤高相同高度对枯季的水动力和泥沙运输的影响更大。从冲淤变

化分布区域上看, 海门港至日新河段近江苏侧的主槽淤积, 北支上口段的淤浅萎缩不利于北支的入流, 北支分流比将进一步减小; 日新河至大新河段总体冲刷, 北支上段的“S”型河势将进一步维持和发展, 尤其是崇明侧跃进港近岸深槽将进一步冲刷逼岸, 不利于该岸段海塘安全。由此可见, 江心沙的淤高对北支上段的河势不利。



(a) 枯季; (b) 洪季

地形冲淤变化为江心沙淤高 2 m 后的地形减去现状地形

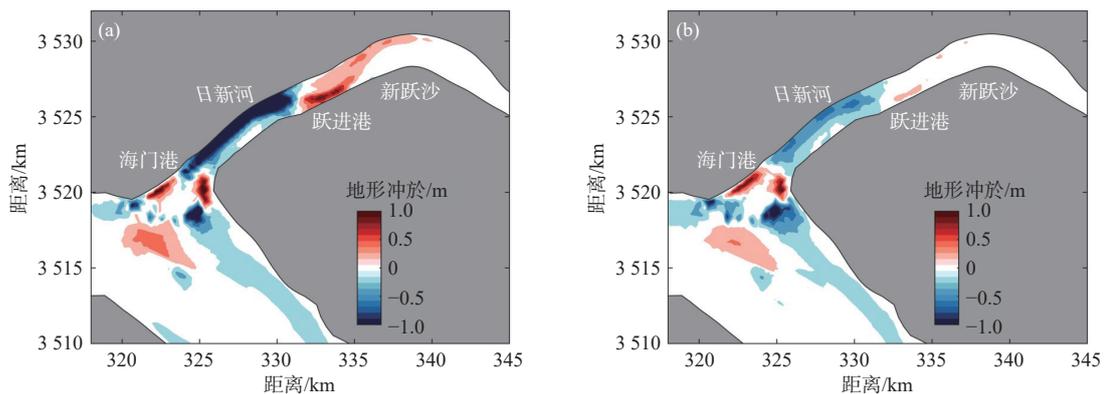
图 9 江心沙淤高 2 m 与现状地形下南北支分叉口及邻近水域地形冲淤变化

Fig.9 The difference of water depth between the cases of sandbank silting up 2 m and current topography

### 2.3.2 江心沙疏浚 2 m

江心沙疏浚 2 m 引起的水深冲淤变化同样在北支上段和南北支分叉口附近较为明显(图 10)。从洪枯季差异上看, 冲淤分布特征总体一致, 但枯季冲淤变化幅度明显较洪季显著。从冲淤变化分

布区域上看, 海门港至日新河近江苏侧的深槽冲刷, 北支上口江苏侧主槽的冲深有利于北支入流以及分流比的增加; 跃进港近岸出现淤积, 有利于该岸段海塘安全。由此可见, 江心沙的疏浚对北支上段的河势有利。



(a) 枯季; (b) 洪季

地形冲淤变化为江心沙疏浚 2 m 后的地形减去现状地形

图 10 江心沙疏浚 2 m 与现状地形下南北支分叉口及邻近水域地形冲淤变化

Fig.10 The difference of water depth between the cases of sandbank dredging 2 m and current topography

## 3 结论

本文基于实测地形资料, 分析了北支上口江心

沙近 10 年的演变特征和变化趋势, 并采用水动力学数学模型结合河口河相关式对江心沙进一步淤涨或对其采取疏浚措施后周边水动力和地形冲淤的变化做了初步分析, 主要结论如下。

(1)2010—2020年近10年来,北支上口江心沙从滩顶高程不足1 m的水下暗沙逐步发育成高程超过3 m的沙体,0 m线以上的面积从2010年的1.78 km<sup>2</sup>变化至2020年的8.65 km<sup>2</sup>,增加了近5倍。近年来江心沙已不再“长大”,但仍在逐渐“长高”,有从低滩向高滩逐渐转化的趋势。该江心沙体的发展壮大不利于北支及白茆沙北水道的入流。

(2)若江心沙进一步淤涨(整体淤高2 m),北支涨潮分流比下降0.69%~1.09%,落潮分流比下降0.52%~0.91%,北支入流条件将进一步恶化;在南北支分汉口涨急时刻,流速较现状变化明显,日新河以上河段流速总体减小、以下河段流速总体增加,海门港至日新河沿段主槽流速减小0.5~0.8 m/s,跃进港岸段近岸流速增加>0.3 m/s;海门港至日新河段近江苏侧的主槽淤积,不利于北支的入流,日新河至大新河段总体冲刷,跃进港近岸深槽将进一步冲刷逼岸,不利于沿线海塘安全。总体上,江心沙进一步淤高对北支上段的河势不利,后续应加强对沙体地形的监测,密切关注其范围及高程变化。

(3)若对江心沙进行疏浚(整体疏浚2 m),北支涨潮分流比增加0.32%~0.48%,落潮分流比增加0.21%~0.41%,北支入流条件将得到改善,同时北支上段主流有沿左岸(江苏海门侧)增强的趋势,有利于缓解北支上段“S”型的河势;在南北支分汉口涨急时刻,流速较现状变化明显,日新河以上河段流速总体增加、以下河段流速总体减小,海门港至日新河沿段主槽流速增加0.2~0.4 m/s,跃进港岸段近岸流速减小约0.2 m/s;海门港至日新河近江苏侧的深槽冲刷,有利于北支入流以及分流比的增加,跃进港近岸出现淤积,有利于该岸段海塘安全。总体上,江心沙的疏浚对北支上段的河势有利。

**致谢:**衷心感谢河海大学水文水资源学院张行南教授提供的北支上口江心沙不同高程的面积统计成果,以及华东师范大学河口海岸学国家重点实验室朱建荣教授提供的北支实测水文资料!

#### 参考文献:

- [1] 陈正兵,陈前海,谢作涛.长江口北支近期水沙特性及河道演变特征[J].人民长江,2016,47(23):5-9.
- [2] DAI Z J, FAGHERAZZI S, MEI X F, et al. Linking the infilling of the North Branch in the Changjiang (Yangtze) Estuary to an-thropogenic activities from 1958 to 2013[J]. Marine Geology, 2016, 379(11): 1-12.
- [3] GUO L C, XIE W M, XU F, et al. A historical review of sediment export-import shift in the North Branch of Changjiang Estuary[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2022, 47(1): 5-16.
- [4] 李伯昌. 1984年以来长江口北支演变分析[J]. 水利水电工程学报, 2006(3): 9-17.
- [5] 代炳珂,路川藤,韩玉芳,等. 1958年以来长江口南、北支河段河床演变及影响因素研究[J]. 水利水电工程学报, 2021(2): 27-37.
- [6] GU J, QIN X, CHEN W, et al. Influence of the diversion angle on flow characteristics of the North Branch of the Changjiang River Estuary[J]. Advanced Materials Research, 2013, 610: 2697-2700.
- [7] 周良平,周东泉,杜德军,等. 长江北支进口段演变特征及治理[J]. 水运工程, 2022(12): 128-133.
- [8] 季永兴,李路,袁琳,等. 长江口北支上段岸滩侵蚀及保护实施效果分析[J]. 海洋地质前沿, 2024, 40(2): 11-19.
- [9] 李路,刘新成,宋永港,等. 强潮河口海岸冲刷对海堤安全的影响研究[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2019(4): 202-211.
- [10] 杨芳丽,韩婷,闫军,等. 长江口北支河段演变分析及航道治理思路初探[J]. 水运工程, 2014(12): 79-82.
- [11] 孙永涛,张金池. 长江口北支湿地分类及生境特征[J]. 湿地科学与管理, 2010, 6(2): 49-52.
- [12] WU H, ZHU J R, CHEN B R, et al. Quantitative relationship of runoff and tide to saltwater spilling over from the North Branch in the Changjiang Estuary: a numerical study[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2006, 69(1/2): 125-132.
- [13] GU J H, ZHU J R, LYU H H. Observation and analysis of water and salt transports in the North Branch of the Changjiang Estuary[J]. Journal of Coastal Research, 2021, 37(3): 518-527.
- [14] YANG Y D, ZHU J R, CHEN Z B, et al. The impact of sluice construction in the north branch of the Changjiang Estuary on saltwater intrusion and freshwater resources[J]. Journal of Marine Science and Engineering, 2023, 11: 2107.
- [15] 李志鹏,朱建荣. 2007—2016年北支河势变化对长江口盐水入侵影响数值研究[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2022(3): 109-124.
- [16] DING J, SHAO Y C, WU D A. Effect of tidal currents on the transport of saline water from the North Branch in the Changjiang River Estuary[J]. Journal of Oceanology and Limnology, 2018, 36(6): 2085-2097.
- [17] 卜东平. 咸潮入侵对长江上海段过境水资源利用的影响探讨[J]. 上海国土资源, 2023, 44(3): 61-67.
- [18] 王义刚,林祥,吴中. 河口边滩围垦后淤积计算方法研究[J]. 海洋工程, 2000(3): 67-70.
- [19] 刘家驹,喻国华. 淤泥质海岸保滩促淤计算及预报[J]. 海洋工程, 1990(1): 51-59.
- [20] 徐群,张继昌,王俊,等. 瓯江河口浅滩促淤估算分析[J]. 海洋工程, 2005(3): 39-44.
- [21] 黄胜,卢启苗. 河口动力学[M]. 北京:水利电力出版社, 1995.

## The recent morphological evolution in the upper mouth sandbar of the North Branch and the impacts on its upper reach in the Changjiang Estuary

LI Lu<sup>1,2</sup>, JI Yongxing<sup>1,2\*</sup>, TENG Fei<sup>1,2</sup>, XU Shuangquan<sup>3</sup>

(1 Shanghai Water Engineering Design and Research Institute Co. Ltd., Shanghai 200232, China; 2 Shanghai Engineering Research Center of Coastal Zones, Shanghai 200232, China; 3 Shanghai Water Authority, Shanghai 200050, China)

**Abstract:** Due to the new-born sandbank found in the upper river mouth of the North Branch in Changjiang Estuary, the bathymetry data during 2010—2020 was used to investigate its evolution and trends in the last decade. Additionally, a hydrodynamic numerical model combined with an empirical formula was used to further explore the effects on the hydrodynamics and bathymetry after the sandbank was further silted up or dredged. Results indicate that, in the past 10 years, the area of the sandbank has increased by nearly 5 times, and its elevation has gradually developed from less than 1 m to more than 3 m. In the recent years, the sandbank has stopped growing larger, but still gradually grown taller, and exhibited a trend of transformation from the lower tidal flat to the higher one. If the sandbank further silts up, the water diversion ratio of the North Branch will be further reduced. At the same time, the velocity of the main channel from Haimen Port to Rixin River will decrease, which may lead to siltation and the restrict of inflow in the North Branch. The nearshore water speed around Yuejin Port will increase, and may enhance the erosion there, which may threaten the safety of sea dikes. If the sandbank is dredged off, the water diversion ratio of the North Branch will increase, which takes advantageous to alleviate the S-shaped river regime in the upper North Branch. At the same time, the velocity from Haimen Port to Rixin River will increase, the main channel will be deepened, which will promote the water diversion ratio in the North Branch, decrease the nearshore water speed around Yuejin Port, induce the local siltation, and finally benefit the safety of sea dikes.

**Key words:** upper river mouth of the North Branch; sandbank; evolution characteristics; numerical model