



盐城港大丰港区深水航道一期工程 回淤特征研究

林芬芬, 贾雨少, 黄志扬, 陈 语
(中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120)

摘要: 盐城港大丰港区深水航道位于苏北辐射沙洲北缘, 依托西洋水道西槽建设 10 万吨级深水航道。大丰深水航道一期工程安排一、二阶段建设, 两个阶段航道建设规模一致。基于实测水沙和地形资料对大丰深水航道开挖以后的回淤特征及原因开展研究。结果表明: 二阶段航道年淤积强度为 0.66 m/a, 小于一阶段回淤, 这与二阶段疏浚土上陆处理有关; 两个阶段航道回淤时空分布特征相似, 交工后前 4 个月航道回淤强度大, 此后回淤强度有所减小, 且冬季回淤略大于夏季; 航道内段回淤大于外段, 且高回淤区段主要位于小阴沙窄沟西侧, 主要原因是内段泥沙来源相对丰富, 包括外海冲刷带进来的泥沙、小阴沙冲刷泥沙以及临时倾倒区扩散的泥沙。

关键词: 泥沙来源; 航道回淤; 西洋水道; 大丰深水航道; 辐射沙洲

中图分类号: U612; TV148

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)12-0160-07

Backsilting characteristics of deepwater channel phase I project of Dafeng Port area in Yancheng Port

LIN Fenfen, JIA Yushao, HUANG Zhiyang, CHEN Yu

(Shanghai Waterway Survey and Design Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

Abstract: The deepwater channel of Dafeng Port area in Yancheng Port is located at the northern edge of the radial sand ridges in northern Jiangsu, constructing a 100,000 DWT deepwater channel relying on west trough of Xiyang channel. The Dafeng deepwater channel phase I project of first and second stages is arranged the same scale for the construction. Backsilting characteristics and sources after Dafeng deepwater channel excavation are studied based on the measured flow, sediment and terrain data. The results show that the annual silting intensity of the second stage of Dafeng deepwater channel is 0.66 m/a, which is less than that in the first stage, mainly because of the onshore treatment of dredged soil. The temporal and spatial distribution characteristics of channel backsilting in the two stages are similar. The channel deposition intensity is high in the first four months after acceptance, and then it decreases, with slightly higher backsilting in winter than in summer. The backsilting in the channel inner section is greater than that in the outer section, and the high deposition area is mainly located on the west side of the Xiaoyin sandbar gully. The main reason is that the sediment sources in the inner section are relatively abundant, including sediment brought by the scouring zone of the outer sea, sediment scoured by Xiaoyin sandbar, and sediment diffused from temporary sludge throwing area.

Keywords: sediment source; channel backsilting; Xiyang channel; Dafeng deepwater channel; radial sand ridge

收稿日期: 2024-03-02

作者简介: 林芬芬 (1993—), 女, 硕士, 工程师, 从事港口航道及河口治理、规划和研究。

盐城港大丰港区为苏北沿海三大深水海港之一, 处于苏北海岸线港口空白带的中心位置, 区位优势明显, 是江苏沿海中部及周边地区与国际市场接轨的大跳板, 也是苏北经济“洼地”发展的重要增长极。大丰深水航道位于苏北辐射沙洲北缘, 一期工程依托西洋水道西槽建设 10 万吨级深水航道^[1]。工程海域地处粉砂淤泥质海岸^[2-3], 泥沙活动性强, 具有沉降速度大、起动流速小、泥沙易悬易沉等特点, 航道淤积物中既有悬沙沉降的细颗粒物, 又有底沙输移的粗颗粒物, 且在大风天气可能发生强淤或骤淤等现象, 航道开挖后的回淤问题是航道建设与维护的关键技术问题^[4]。

本文利用回淤监测期间实测水沙数据及地形资料, 研究 10 万吨级航道挖深后的航道回淤特征及回淤原因, 旨在为大丰深水航道维护与后期扩建提供技术支撑, 也可供其他辐射沙洲航道建设参考和借鉴。

1 工程概况

大丰深水航道一期工程满足 5 万吨级散货船全潮单向通航、兼顾 10 万吨级散货船乘潮单向通航要求, 航道内段利用西洋西槽, 出小阴沙北端后, 转向东北偏北方向延伸至外海, 航道全长约 79.9 km。大丰 10 万吨级进港航道平面布置见图 1, 其中人工疏浚段(AC_0 段)长 46.7 km, 通航宽度 210~223 m, 航道设计底高程-15.0~-14.5 m, 航道边坡 1:10, 转弯半径 2 500 m; 自然水深段(C_0D 段)长 33.2 km, 扫海宽度 500 m。

鉴于工程区水沙条件复杂, 为了审慎推进航道建设, 大丰深水航道一期工程分一阶段、二阶段实施, 其中二阶段为一阶段的维护性疏浚工程, 因此两个阶段航道建设规模一致。两个阶段在交工后均开展了为期约 1 年的回淤监测, 其中一阶段监测时段为 2017 年 3 月—2018 年 5 月, 二阶段监测时段为 2020 年 6 月—2021 年 8 月。

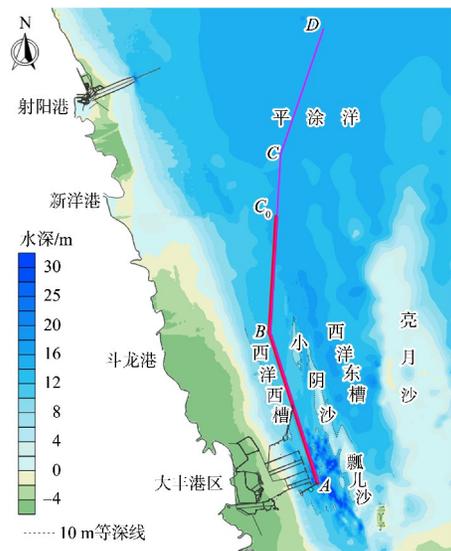
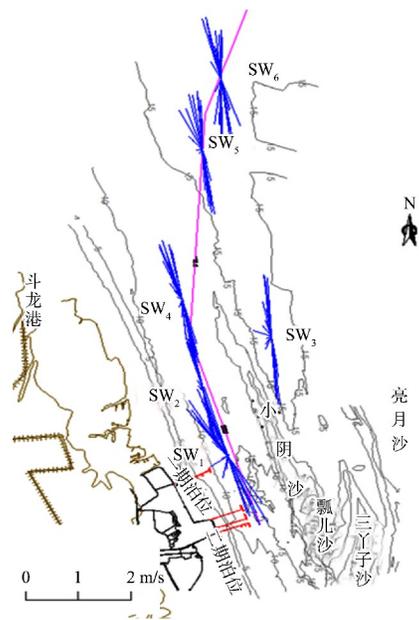


图 1 大丰 10 万吨级进港航道平面布置

2 水沙特征及观测期间海况

2.1 水沙特征

工程海域潮差大、潮动力强。根据大丰港潮位站资料统计, 平均潮差为 3.53 m, 最大潮差可达 5.79 m。工程海域大潮流速矢量见图 2。工程区潮流主要为顺岸方向的往复流, 涨潮流向南、落潮流向北, 总体上大潮流速大于小潮, 涨潮流强于落潮流, 近岸深槽侧流速整体大于外海侧。以 2021 年 3 月水沙资料为例, 大潮期间, 各定点水文测线涨潮平均流速为 0.73~0.93 m/s, 涨急流速在 1.08~1.34 m/s; 落潮平均流速范围为 0.72~0.88 m/s, 落急流速在 0.93~1.13 m/s。



a) 2017年6月(夏季大潮)

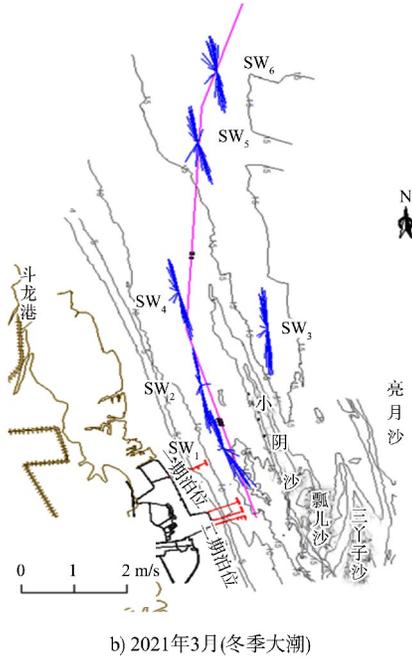


图2 工程海域大潮流速矢量图

工程海域含沙量大潮大于小潮、冬季大于夏季、近岸深槽侧大于外海侧。正常天气下工程海域冬、夏季含沙量分别为 0.98 和 0.70 kg/m³，近岸深槽侧(SW₁、SW₂)含沙量为 0.76~1.27 kg/m³，外海侧(SW₄~SW₆)含沙量为 0.66~0.80 kg/m³。

工程海域底质总体呈“外海细、内段粗”的分布特征。外海 BD 段底质中值粒径范围为 0.006~0.040 mm，主要为细粉砂和粗粉砂；内段 AB 段底质中值粒径范围 0.03~0.20 mm，主要为粗粉砂和细砂。

2.2 监测期间风浪概况

一阶段回淤监测期间经历数场风力 6 级的寒潮大风，未遭遇夏季台风过程，反映了正常天气下航道回淤情况；二阶段回淤监测期间，2020-08-05 经历“黑格比”台风，2021 年 1—2 月经历 2 次寒潮大风过程。大丰站和大丰港遥测浮标数据见图 3，台风期间，工程海域风浪水平与正常年份相当，大风未对工程海域造成显著影响，可认为未出现极端大风情况，故采用全年回淤资料分析正常天气下深水航道的回淤情况。

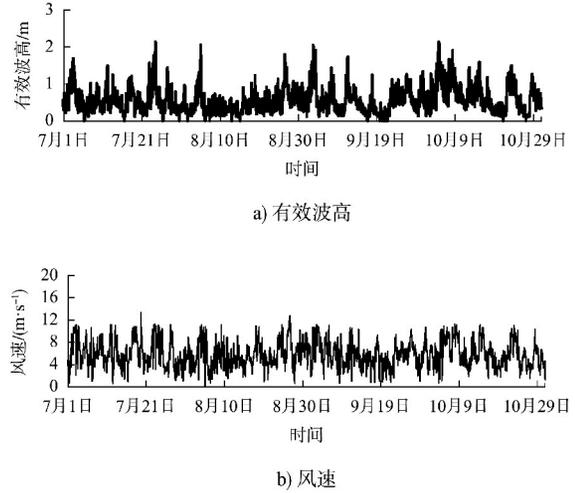


图3 2020 年“黑格比”期间大丰海域遥测数据

3 航道回淤特征分析

以疏浚端点 A 为起始边界，将 AC₀ 段航道由南向北划分为 S₁~S₄₇ 共 47 个单元，除 S₂₇ 单元长 0.9 km、S₂₈ 单元长 0.8 km 外，其余单元长度均为 1.0 km，见图 4。

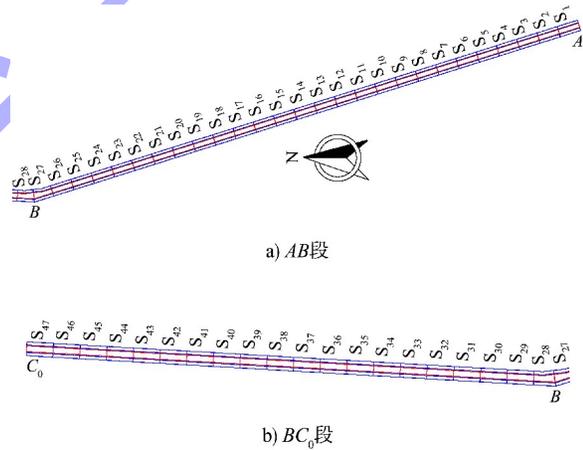


图4 大丰深水航道回淤计算单元划分

大丰港区深水航道一期工程一阶段交工后于 2017 年 3 月—2018 年 5 月开展 7 次水深测量，二阶段交工后于 2020 年 6 月—2021 年 8 月开展 6 次水深测量。采用全航道测图(S₁~S₄₇)分析深水航道全年回淤特征，采用重点监测段测图(S₁₆~S₂₁)分析回淤的时间分布特征。

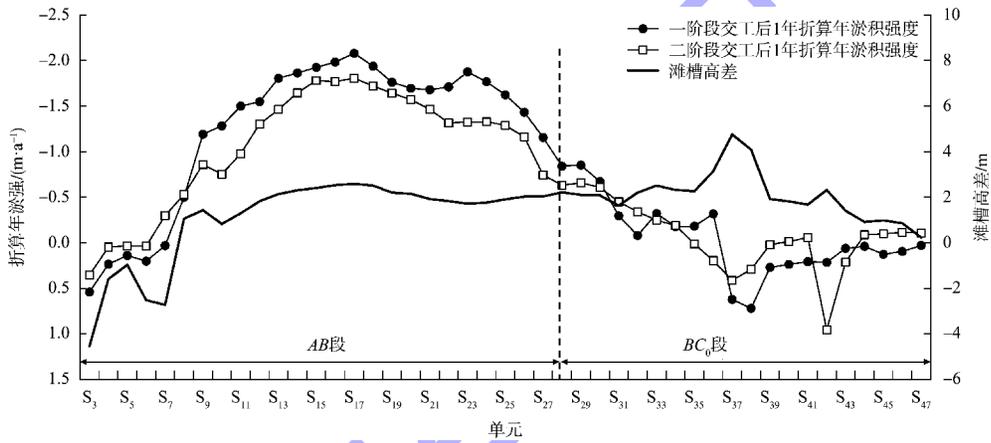
1) 一、二阶段航道折算年淤积强度分别为 0.78、0.66 m/a, 二阶段回淤减小, 见表 1。从交工 1 年左右地形变化来看, 一阶段航道回淤历时 382 d, 平均淤积厚度 0.82 m, 折算年淤积强度 0.78 m/a; 二阶段回淤历时 386 d, 平均淤积厚度 0.70 m, 折算年淤积强度 0.66 m/a。二阶段回淤小于一阶段, 主要体现在航道内段回淤强度减小, 减幅约 17%。

2) 航道回淤主要集中在内段小阴沙甯沟西侧附近, 外段回淤小、局部冲刷。大丰深水航道回淤强度沿程分布见图 5。可以看出, 航道内段(AB 段)

回淤明显大于外段(BC₀段)。航道内段平均淤积强度大于 1.0 m/a, 回淤相对集中在小阴沙甯沟西侧(AB 段的 S₁₇ 单元)附近, 向两侧有所递减。航道外段平均淤积强度不足 0.2 m/a, 且靠近外海段局部有所冲刷。

表 1 一、二阶段航道交工 1 年左右淤积强度对比

区段	实际淤积厚度/m		折算年淤积强度/(m·a ⁻¹)	
	一阶段	二阶段	一阶段	二阶段
全段	0.82	0.70	0.78	0.66
AB(内段)	1.35	1.13	1.29	1.07
BC ₀ (外段)	0.19	0.19	0.18	0.18



注: 正值表示淤积; 负值表示冲刷。

图 5 大丰深水航道回淤强度沿程分布

3) 航道交工初期回淤强度较大, 此后迅速减小, 1 年左右趋于稳定, 冬季回淤略大于夏季。航道回淤强度随时间变化过程见图 6。可以看出, 一阶段交工初期(2016 年 11 月—2017 年 3 月)航道回淤强度约 0.37 m/月, 此后 2017 年 3—4 月减小至 0.06 m/月, 2017 年 4—9 月进一步减小至 0.02~0.03 m/月, 2017 年 9 月—2018 年 3 月增加至 0.08 m/月, 2018 年 3—5 月再次减小至 0.03 m/月。可见, 航道回淤强度整体呈“交工初期大、迅速减小、趋于稳定”的变化过程, 且除交工初期回淤较大外, 后期航道回淤强度整体呈冬季(11—4 月)略大于夏季(5—10 月)的特征。

二阶段航道回淤时间分布特征基本与一阶段相似。二阶段交工初期(2020 年 4—8 月)航道回淤强度 0.22 m/月, 此后 2020 年 8 月—2021 年 1 月减

小至 0.08~0.09 m/月, 2021 年 1—5 月略增加至 0.11 m/月, 2021 年 5—8 月再次减小至 0.03 m/月。一阶段为航道开挖后第 1 年, 地形调整较为剧烈, 交工初期回淤强度最大; 随着水流与地形调整逐步适应, 二阶段开挖后初期回淤强度较一阶段有所降低。

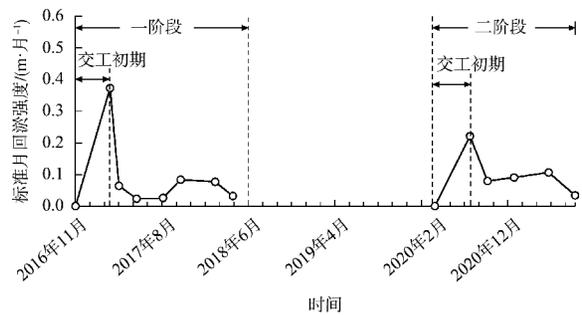


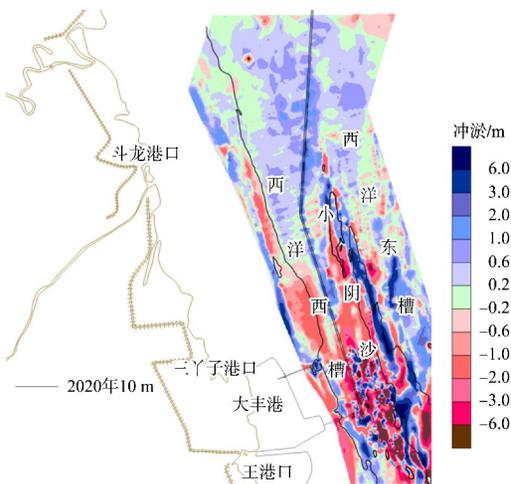
图 6 航道回淤强度随时间变化过程

航道冬、夏季回淤强度的差异主要与不同季节的风浪和含沙量水平相关。根据实测资料,工程海域夏季有效波高多为 0.50~0.66 m、含沙量为 0.70 kg/m³,冬季有效波高多为 0.60~0.80 m、含沙量为 0.98 kg/m³。可见工程海域冬季波浪水平高、含沙量大,一定程度上使得冬季航道回淤略大于夏季。

4 航道回淤原因分析

4.1 海床稳定性的影响

从苏北辐射沙洲海域宏观泥沙来源来看,1855 年黄河北归后,工程海域外来沙源减少^[5-6],北部外来泥沙不再是控制辐射沙洲发育的主导因素。辐射沙洲海区进入物源贫乏区,南北两侧泥沙来源锐减,加之潮汐动力加强,使得辐射沙洲外缘遭受侵蚀,冲刷的泥沙随潮流向内段运输,辐射沙洲地区整体呈“外缘冲、中心淤”态势^[7-9]。在此宏观演变背景下,航道外段 BC₀ 段处于冲刷环境、航道内段 AB 段处于淤积环境。此外,小阴沙呈“东北冲、西南淤”态势(图 7),沙脊线西偏,沙体规模持续减小,2009—2020 年间 5 m 以浅沙体体积减小约 80%,年均冲刷约 212 万 m³。近期小阴沙北端冲出甬沟(图 8),成为输沙通道,进一步为航道内段回淤提供沙源。



注:正值表示淤积;负值表示冲刷。

图 7 2009—2020 年工程海域冲淤云图

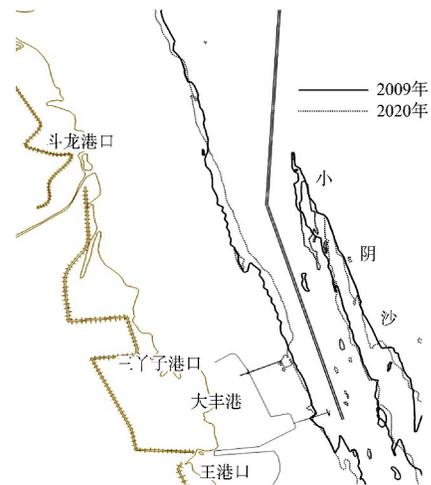


图 8 2009—2020 年工程海域 10m 等深线变化

4.2 滩槽高差影响

从航道沿程回淤强度与滩槽高差的关系(图 5)可以看出,大丰深水航道 AB 段航道走向基本平行于岸线,航道回淤强度与滩槽高差的变化相对一致;BC₀ 段航道走向与水流流向斜交,回淤变化相对复杂,且该区段受大范围海床冲刷影响,航道回淤强度较小,航道回淤与滩槽高差之间相关性不明显。

进一步分析 AB 段航道回淤强度与其原始滩槽高差之间的相关性,见图 9。可以看出,航道回淤强度与原始滩槽高差之间基本呈正相关,R² 达 0.82。即原始滩槽高差越大,航道回淤强度也越大。

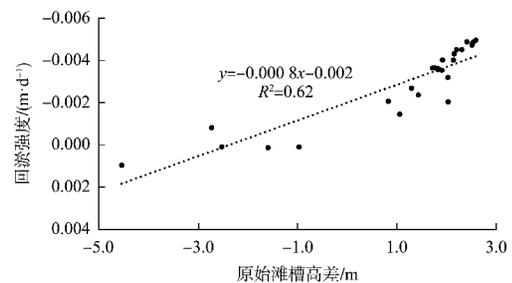


图 9 航道回淤强度与原始滩槽高差的关系

4.3 水沙环境分析

工程海域大潮单宽输沙量沿程分布见图 10。可以看出,工程海域涨潮动力大于落潮,整体表现为向港内方向的净输沙。除西洋东槽的 SW₃ 为净泄沙外,西洋西槽总体表现为向港内方向的净进沙,且航道内段输沙量过程大于外段。以航道内段 SW₂ 和小阴沙沙尾 SW₄ 为例,大潮涨潮输沙量分别为 638.8 和 521.5 t,落潮输沙量分别为 601.7 和 489.4 t,大潮期间向口内的净输沙量分别为 37.1 和 32.1 t。

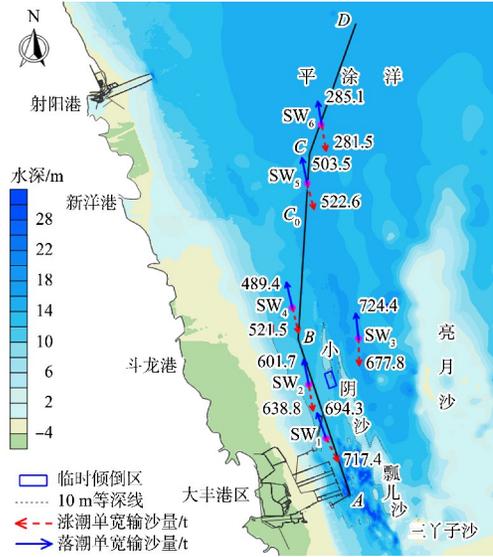


图 10 工程海域大潮单宽输沙量沿程分布

小阴沙沙尾 SW₄ 测点涨落潮过程的水深、流速、含沙量关系见图 11。可以看出, 高含沙量水流主要出现在流速较大的涨落急前后。涨潮期间, 水流跨越小阴沙, 自东北向西南方向运动, 挟带海床冲刷及小阴沙冲蚀的泥沙向西洋西槽内输移; 在涨憩前后, 随着动力的减弱, 泥沙沉降落淤。落潮期间, 水流总体上将西洋西槽的泥沙搬运至外海, 但由于涨潮动力强于落潮动力, 无法将涨潮期间带入的泥沙全部带出, 部分泥沙在西洋西槽内淤积。因此, 涨潮期大量泥沙进入航道, 而落潮水流不能将带入的泥沙输移出航道是导致航道内段回淤的主要原因之一。

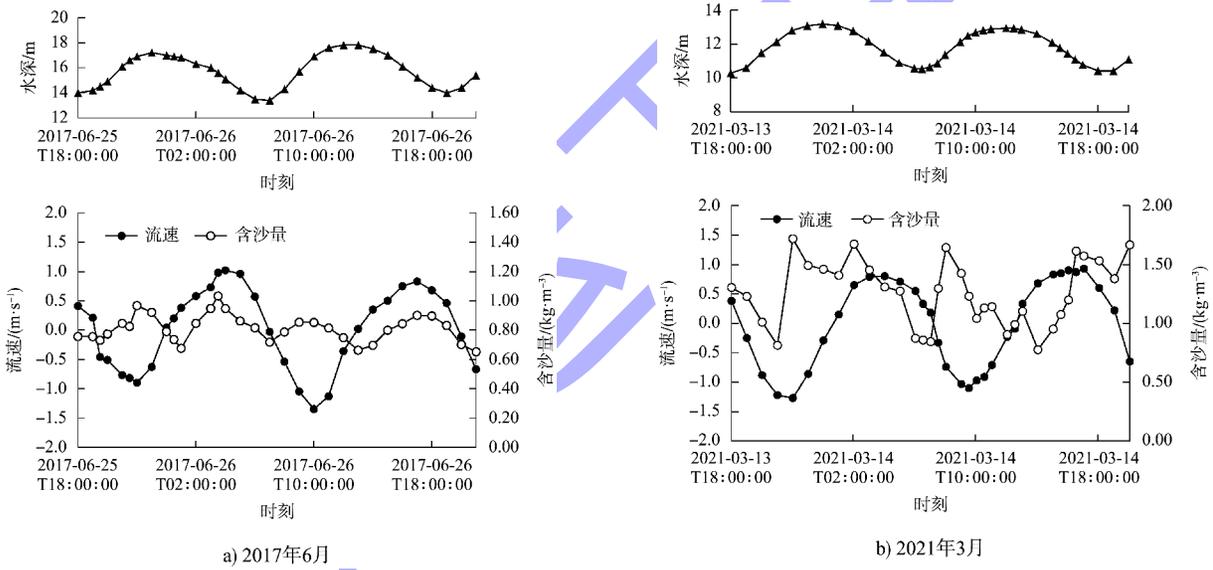


图 11 小阴沙沙尾 SW₄ 测点水深、流速、含沙量关系

4.4 疏浚土处理方式影响

临时倾倒区总面积约 3 km², 距离航道内段约 2 km。一阶段基建期间, 疏浚土抛至临时倾倒区, 累计抛泥 2 559 万 m³, 为航道内段回淤提供了沙源。抛泥结束后, 倾倒区局部淤积厚度达 3~4 m, 倾倒区内最大水深也经历了“先减小、后增大”的过程 (图 12)。根据潮流泥沙数学模型计算结果^[10], 涨潮初期抛泥后, 含沙量随潮流向南北扩散的同时, 也向东西两侧扩散, 使得航道内段含沙量增加约 0.1 kg/m³, 见图 13。二阶段基建期间, 疏浚

土上陆处理, 一定程度上减少了泥沙来源, 使得航道回淤强度有所降低。

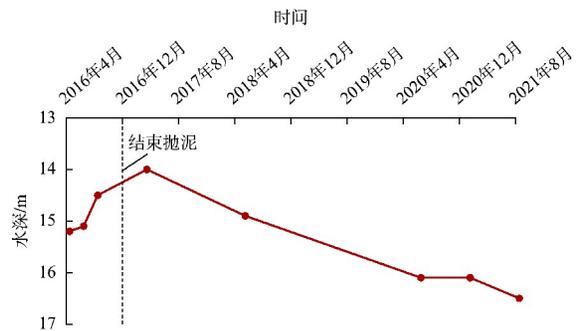


图 12 倾倒区内最大水深变化过程

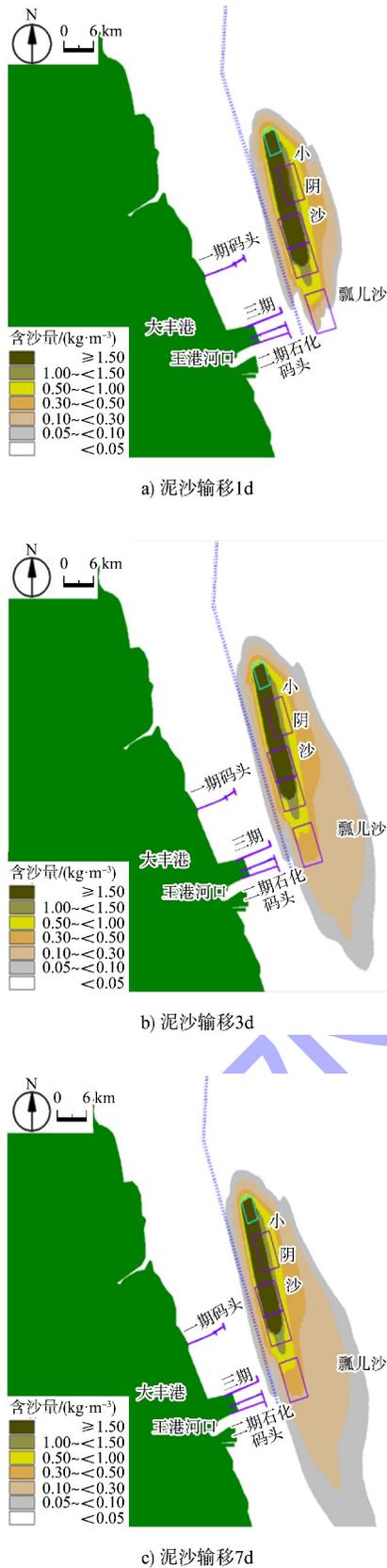


图 13 泥沙输移扩散范围包络线

5 结语

1) 大丰港区深水航道所在海域滩槽格局总体稳定, 西洋西槽的演变与东侧小阴沙沙体密切相关。近年来小阴沙沙体持续冲刷且 10 m 沙体发育甬沟, 为航道内段回淤提供沙源, 同时也降低了西洋西槽边界条件的稳定性, 建议持续关注。

2) 大丰深水航道一期工程二阶段航槽年淤积强度为 0.66 m/a, 小于一阶段。主要原因是二阶段疏浚土上陆处理, 减少了航道内段的泥沙来源, 内段回淤强度减小约 17%。

3) 两个阶段航道回淤时空分布特征相似。航道回淤呈“内段(AB段)大、外段(BC₀段)小”分布, 回淤峰值位于小阴沙甬沟西侧附近。交工初期(交工后前4个月)航道滩槽高差大、回淤强度大, 此后回淤强度减小, 冬季回淤略大于夏季。

4) 大丰深水航道回淤集中在内段的主要原因为: ①宏观上工程海域呈“外冲内淤”态势, 内段处于淤积环境; ②工程海域涨潮动力大于落潮, 表现为向港内净进沙; ③内段沙源相对丰富, 包括外海冲刷带进来的泥沙、小阴沙冲刷泥沙以及临时倾倒区扩散的泥沙。

参考文献:

[1] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司. 盐城港大丰港区深水航道一期工程可行性研究报告[R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2013.

[2] 宋双, 黄志扬, 张建锋, 等. 大丰港 15 万吨级深水航道试挖工程回淤监测[J]. 水运工程, 2015(11): 110-114.

[3] 徐艺哲, 诸裕良, 黄惠明, 等. 大丰港深水航道潮流泥沙数值模拟[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(19): 8190-8196.

[4] 李孟国, 杨树森, 韩西军. 辐射沙洲海域深水港开发建设水力泥沙问题研究[J]. 水运工程, 2011(4): 1-8.

(下转第 231 页)