



江苏射阳港 3.5 万吨级进港航道 回淤特征研究

袁文昊, 刘 红

(中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120)

摘要: 基于实测水文和地形资料对射阳港 3.5 万吨级进港航道开挖以后的回淤特征及回淤机理进行研究。结果表明: 射阳港所在海域受废黄河三角洲冲刷泥沙输移的影响, 含沙量较高, 为航道回淤提供了丰富的泥沙来源; 进港航道年回淤量为 995 万 m^3 , 其中导堤掩护段占全航道回淤量的 93%, 该段平均回淤强度可达 5.0 m/a, 高于开敞海域段的 0.6 m/a。导堤掩护段航道回淤主要是由于涨潮期带入的高含沙水流在憩流时刻形成悬沙落淤所致, 航道两侧滩面上的流泥归槽以及洪季期间上游河流的开闸泄洪对航道回淤也有一定贡献。

关键词: 射阳港; 航道整治; 航道回淤; 废黄河三角洲

中图分类号: TV 148; U 614

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)01-0112-07

Back silting characteristics of 35,000 DWT navigation channel at Sheyang Port in Jiangsu Province

YUAN Wen-hao, LIU Hong

(Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

Abstract: Based on the measured hydrological data and several topographic maps, we analyze the back silting characteristics of 35,000 DWT navigation channel at Sheyang Port. The results show that the sea area where Sheyang Port is located is influenced by the sediment transport of the ancient Yellow River Delta, which has a high sand content and provides a rich source of sediment for the siltation of the channel; the annual siltation of the inlet channel is 9.95 million m^3 , of which the section covered by the guide dike accounts for 93% of the total siltation of the channel, and the average siltation intensity of this section can reach 5.0 m/a, which is higher than that of the open sea section of 0.6 m/a. The siltation of the channel in the section covered by the guide dike is mainly due to the high sandy water brought in during the high tide period, which also contributes to the siltation of the channel.

Keywords: Sheyang Port; waterway regulation; channel siltation; ancient Yellow River Delta

射阳港位于江苏省盐城市境内, 地处江苏沿海中部, 是江苏沿海开发和长三角经济一体化国家战略的叠加区域, 也是中国距离日本和韩国最近的港口之一。为治理河口拦门沙, 提高航道等级、改善航道通航环境, 射阳河进港航道治理工程采取“整治+疏浚”结合的思路, 采用双导堤方

案进行航道治理^[1]。自 2011 年 3 月射阳港进港航道工程实施以来, 历经 5 年的分阶段实施, 进港航道水深已增至 10.5~11.3 m, 可满足 3.5 万吨级散货船乘潮单向通航。但由于航道位于拦门沙海域, 特殊的水沙条件导致航道回淤问题十分突出, 对进港航道的回淤特征需要进一步认识, 为

收稿日期: 2021-02-10

作者简介: 袁文昊(1983—), 博士, 高级工程师, 从事港口航道工程设计与研究。

后续减淤措施实施以及航道等级提升提供科学依据^[2]。本研究基于工程实施期间的现场水文泥沙观测资料以及 3.5 万吨级航道开挖后的实测地形资料, 研究 3.5 万吨级航道挖深后的航道回淤过程, 分析航道回淤的原因。

1 工程概况

射阳港海域位于废黄河三角洲南缘, 由于黄河淤积物的堆积形成了淤泥质海岸。1855 年黄河北归后, 外来泥沙骤减, 废黄河三角洲由淤积转为侵蚀, 侵蚀范围由北向南扩展, 射阳河口岸段也逐渐转变为缓慢侵蚀的状态^[3-8]。射阳港进港航道整治工程采用双导堤方案, 通过河口双导堤归顺水流、挡沙挡浪, 以达到改善通航环境、减少航道回淤的目的; 通过分期实施、逐步增深的建设思路

实现万吨级散杂货船全潮双向通航, 兼顾 3.5 万吨级散货船单向乘潮通航的整治目标。一期工程于 2011 年 3 月开工, 2013 年 10 月完工, 修建南、北导堤分别长约 6.2 km 和 6.3 km, 并疏浚航道至设计底高程至-9.1~-8.0 m, 实现万吨级散杂货船乘潮单向通航; 二期工程(即 3.5 万吨级航道整治工程)进一步延长南、北导堤, 其中南导堤延长后约 7.3 km, 北导堤延长后约 7.9 km, 堤顶为不透水结构, 顶高程为 2.8~4.0 m, 口门放坡段长 500 m, 顶高程从 2.8 m 放坡至-1.0 m, 口门宽 900 m, 航道掩护段航道通航宽度取 160 m, 设计底高程-10.5 m, 口门段航道通航宽度取 360 m, 口门外段航道通航宽度取 260 m, 设计底高程均为-11.3 m (图 1)。3.5 万吨级航道基建疏浚于, 2016 年 4 月开工, 2016 年 8 月底完工, 此后航道未疏浚维护。

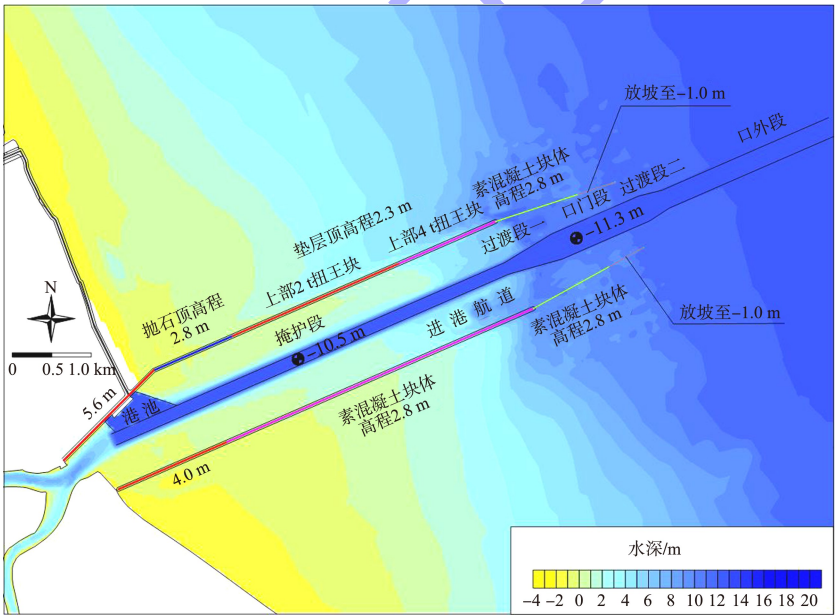


图 1 航道及整治建筑物

2 水文、泥沙特征

射阳沿海潮汐受南黄海旋转潮波系统控制, 近岸水域同时受苏北沿岸流的影响, 为不规则半日潮, 平均涨潮历时约 5 h, 平均落潮历时约 7.5 h; 根据射阳港口水文站的潮位资料统计, 平均高潮位 2.84 m, 平均低潮位 0.70 m, 平均潮差 2.15 m, 最大潮差 4.16 m。

根据 2013 年 5 月南、北导堤完工后工程区附近潮流特征分析, 各垂线的大潮流速大于小潮, 涨潮流速大于落潮, 大潮期间, 涨潮平均流速在 0.54~0.93 m/s, 其中涨急流速在 0.85~1.62 m/s, 落潮平均流速在 0.32~0.72 m/s, 其中落急流速在 0.38~1.07 m/s; 小潮期间, 涨、落潮平均流速分别在 0.34~0.72 m/s 和 0.25~0.60 m/s。位于导堤

堤头外侧的 SW4 垂线，涨、落潮流速均较导堤内各垂线的流速大。

射阳港进港航道双导堤工程建设前，射阳河口外侧潮流为 N-S 向往复流，潮流主流向与岸线平行。双导堤工程建设后，导堤内涨落潮流方向发生改变，为沿航道方向的往复流，且涨落潮流历时不等的现象加剧，表现为涨潮快、落潮慢；SW4 由于位于导堤口外，总体仍保持该区域海流 N—S 向往复流的特征(图 2)。

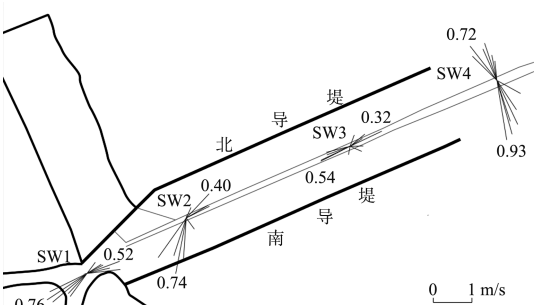


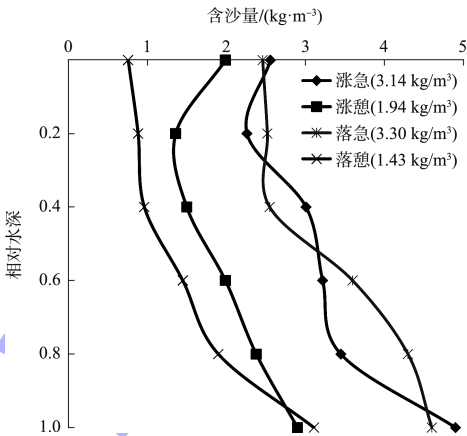
图 2 大潮期间各定点水文测验垂线流速矢量 (单位: m/s)

射阳沿海含沙量很高，大潮含沙量大于小潮、涨潮含沙量大于落潮，导堤口门内大潮涨潮垂线平均含沙量在 1.5~2.2 kg/m³，落潮垂线平均含沙量在 0.8~1.4 kg/m³；口门外大潮涨潮垂线平均含沙量为 1.85 kg/m³，落潮垂线平均含沙量为 1.76 kg/m³。小潮期涨、落潮含沙量分别在 0.6~1.1 kg/m³和 0.3~0.9 kg/m³，虽较大潮期有所降低，但总体含沙量水平仍较高(表 1)。

测线	表 1 各垂线涨、落潮含沙量 kg/m ³			
	大潮		小潮	
	涨潮	落潮	涨潮	落潮
SW1	1.74	0.76	0.61	0.30
SW2	1.54	1.04	0.57	0.43
SW3	2.21	1.40	1.13	0.87
SW4	1.85	1.76	0.75	0.80

含沙量垂线分布呈“表层低、底层高”的特征。导堤口门内的 SW3 测线涨、落急垂线平均含沙量分别为 3.1、3.3 kg/m³，涨、落憩垂线平均含沙量分别为 1.9、1.4 kg/m³；其中表层含沙

量在 1.0~2.6 kg/m³，涨落急底层含沙量高达 5.0 kg/m³(图 3)。已有资料分析表明^[9]，射阳港进港航道双导堤建设后，由于导堤内、外水域涨落潮主流向接近垂直，越堤流及口门涨潮带入的泥沙无法输出，使得导堤内涨潮平均含沙量增大。



注：括号内含沙量为涨落急、涨落憩时刻垂线平均含沙量。

图 3 SW3 测线含沙量垂线分布

射阳海域大潮期悬沙的中值粒径在 6.5~11.4 μm，小潮为 6.2~12.2 μm，大、小潮期间差异不明显。底质以航道内最细，中值粒径在 10~39 μm，<5 μm 黏粒含量为 13.6%~25.7%，为淤泥质粉质黏土，导堤内两侧边滩底质略粗于航道区域，导堤外侧边滩以砂质粉土为主，表明航道区域的回淤以悬沙落淤为主。

3 航道回淤特征

为分析 3.5 万吨级开挖后航道的回淤情况，收集了 2015 年 6 月工程实施前的地形测图、2016 年 9 月—2017 年 9 月工程完工后 1 年内的 3 次测图(2017 年 3 月、2017 年 6 月、2017 年 9 月)以及 2020 年 3 月的现状地形测图，按照每 500 m 长度划分 1 个回淤单元进行不同时段航道水深统计，其中 H0~H13 单元位于导堤掩护区内，H14~H23 单元位于开敞海域，24 个回淤单元的划分如图 4 所示。

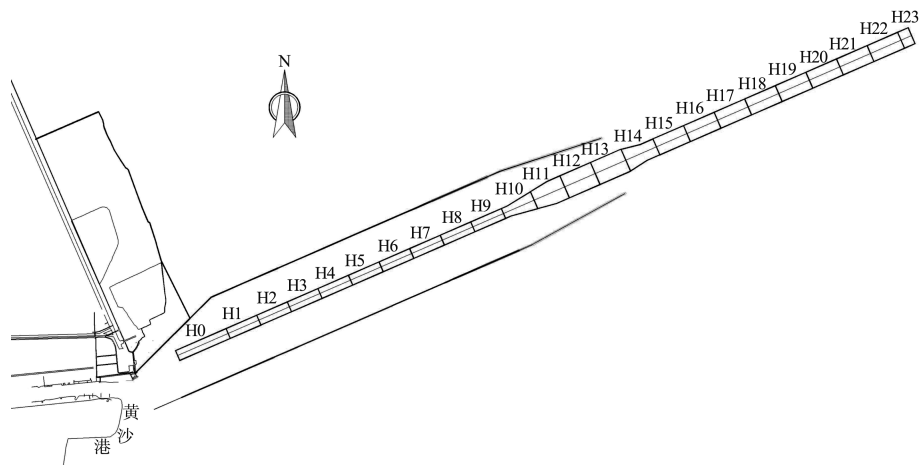


图 4 射阳港区 3.5 万吨级航道回淤计算单元划分

2015 年 6 月工程前航道沿程水深统计分析表明, 导堤掩护段水深较浅, 3.5 万吨级航道开挖深度在 6.0~9.0 m; 口门附近航道开挖深度明显减小, 多在 1.8 m 左右, 口门以外开敞段水深条件也较好, 开挖深度多在 0.5 m 左右(图 5)。

从 3.5 万吨级航道交工以后 1 年的地形变化分析得知, 航道开挖初期航道回淤强度较大, 随后回淤强度逐渐减小, 在工程交工后的半年内淤积明显, 尤其在导堤掩护段内, 航道淤浅幅度在 2.8~4.6 m, 越往口内航道的淤积幅度越大, 在堤头附近的 H14 单元, 由于导堤附近局部冲刷的影

响, 航道水深变化较小, 口外开敞海域也有小幅淤积, 淤积幅度在 0.3~0.5 m。在 2017 年 3—6 月期间, 航道回淤相对较小, 淤积的航段主要位于导堤掩护段的口门附近的 H7~H13 单元, 最大淤积出现在 H10 单元, 淤积幅度为 0.9 m, 其余单元的淤积幅度在 0.6 m 左右; 在 H7 以内的航段呈冲刷状态, 平均冲刷幅度为 0.5 m, 自内向外冲刷趋于减小; 口外敞开海域的航道内总体也以 0.2 m 左右的小幅冲刷为主。2017 年 6—9 月期间, 航道总体仍表现为淤积状态, 其中掩护段内平均淤积幅度为 1 m, 开敞海域的淤积幅度为 0.2 m(图 5)。

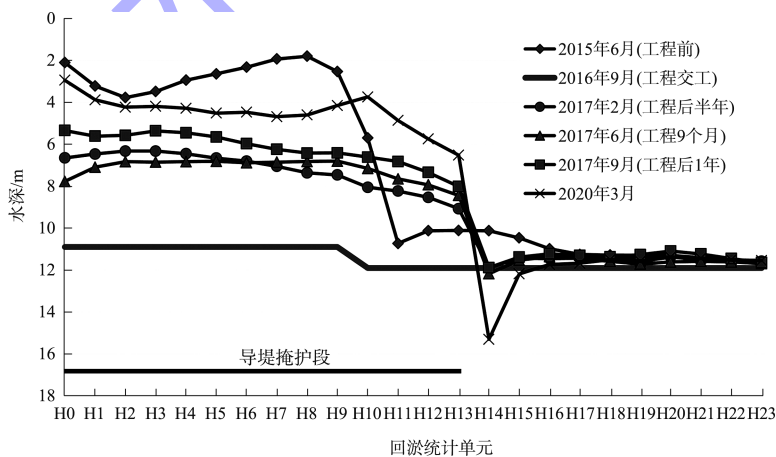


图 5 射阳港区 3.5 万吨级航道工程前、后沿程平均水深变化

根据航道工程交工后 1 年的地形变化统计得到的航道年回淤强度; 导堤掩护区内航道回淤强度在 4.0~5.6 m/a, 平均淤强为 5.0 m/a; 导堤头部附近 H14 单元受堤头局部冲刷的影响, 航道及附近区域明显冲刷, 航道回淤强度仅为 0.02 m/a; 导堤口外侧 H15~H23 单元航道回淤强度在 0.2~0.8 m/a 之

间, 平均淤强为 0.6 m/a; 就回淤量而言, 射阳港区 3.5 万吨级航道年回淤量 955 万 m³, 其中导堤掩护区内 (H0~H13 单元) 航道回淤量 889 万 m³, 占全航道的 93%, 开敞海域 (H14~H23 单元) 航道回淤量 66 万 m³, 占全航道的 7%(图 6)。根据年回淤强度和开挖深度之间的比值统计的航道回淤

率，导堤掩护段 H0~H10 单元航道回淤率 49%~85%，平均为 65%；导堤口门内段 H11~H13 单元受导堤头部延长掩护区淤积影响，航道开挖 1 年后航道迅速回淤并高出开挖前的泥面线；导堤口

门处 H14 和 H15 单元航道回淤率为 1% 和 36%；导堤口外侧 H16~H23 单元航道回淤率为 74%~137%，平均为 107%，表明航道开挖 1 年后基本淤平。

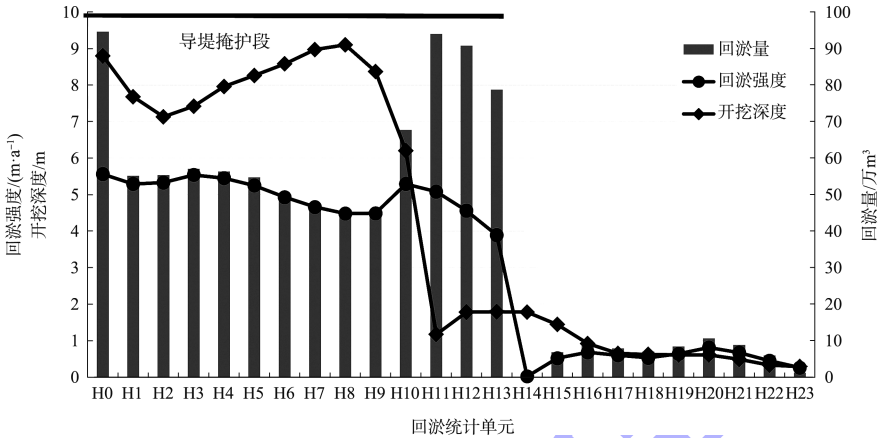


图 6 射阳港区 3.5 万吨级航道沿程回淤强度、开挖深度和回淤量沿程分布

近期地形测图分析表明，2017 年 9 月—2020 年 3 月期间的 30 个月内，导堤掩护段 H0~H13 单元航道内继续淤积 1.0~3.2 m，平均淤积幅度

1.7 m；导堤口门附近 H14 和 H15 单元航道内分别冲刷 3.4、0.8 m；导堤口外侧 H16~H23 航道单元内冲刷 0.1~0.5 m，平均为 0.3 m(图 7)。

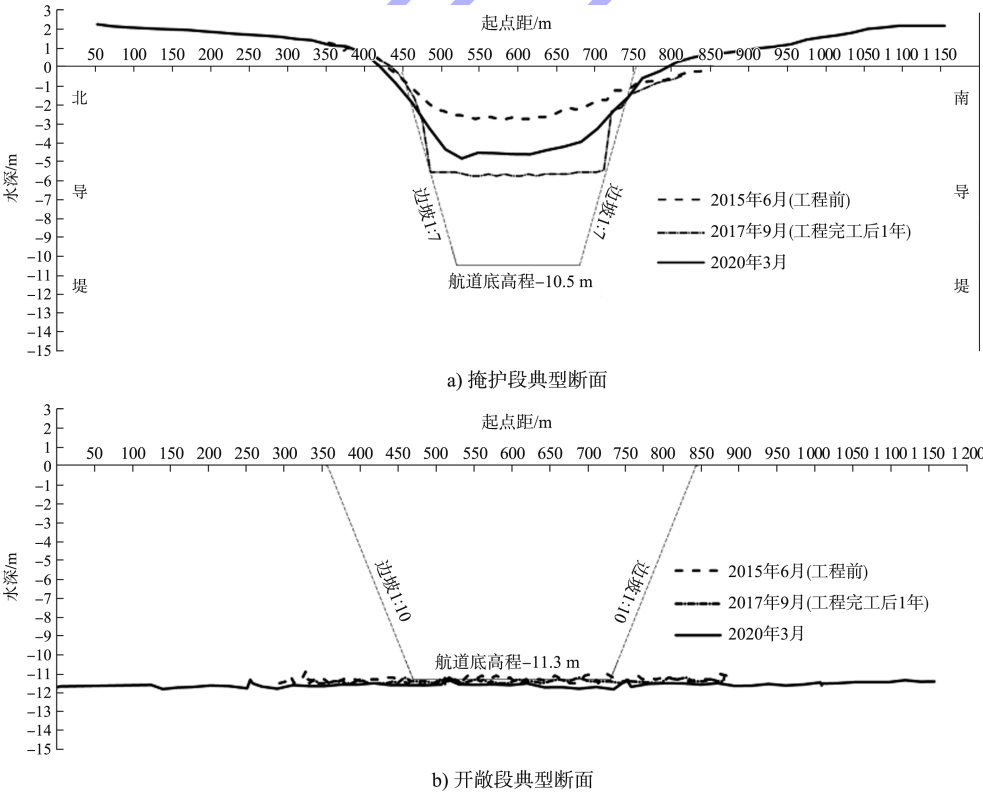


图 7 3.5 万吨级航道工程前、后地形变化

4 航道回淤原因

4.1 泥沙来源

黄河北归以后，废黄河三角洲泥沙来源枯竭，

在潮流和波浪的共同作用下，三角洲前缘及两侧海岸由淤积转为冲刷，泥沙输移呈现出“以废黄河三角洲为顶点向南北两侧输移”的特征，射阳

港岸段位于废黄河三角洲南侧, 处于泥沙南移的路线上, 通过南黄海旋转潮波和苏北沿岸流对三角洲冲刷的泥沙进行输运。根据实测水文资料, 大潮期间的涨、落潮含沙量分别可达 2.2 、 1.4 kg/m^3 , 海域含沙量较高, 这是导致航道回淤强度较大的宏观背景因素。

4.2 水沙环境

射阳港双导堤建成后, 受地形条件限制, 导堤内部大致呈东西方向的往复流, 口外开敞海域仍呈南北方向的往复流, 口门内侧 2 km 区段处形成回流, 不利于泥沙向外输移^[10]。从实测的潮流和泥沙过程看, 涨潮期间, 潮流流速增大, 动力增强, 水流挟沙能力相应增大, 含沙量也增大, 由此口外的高含沙水流进入航道, 涨急至涨憩时段, 水流动力降低, 挟沙能力减小, 导致航道内悬沙落淤, 水体含沙量也明显减小, 此后于落潮期, 至落急时刻水流动力虽有增大, 但仍小于涨急, 含沙量也小于涨潮期, 且受到口门附近回流区的影响, 航道内落淤的泥沙难以被落潮流全部带走, 由此导致掩护段航道回淤较大(图 8)。进一步对比导堤掩护段(SW1~SW3)和开敞海域(SW4)的落潮流特征, 可以发现导堤掩护段内的落潮流在潮周期过程中, 落潮流速的极值存在于落潮初期水流归槽时刻和落急时刻的双峰结构, 表明在落潮期两侧滩面上的一部分泥沙也被带入航槽内, 从而增加了航道回淤(图 8)。

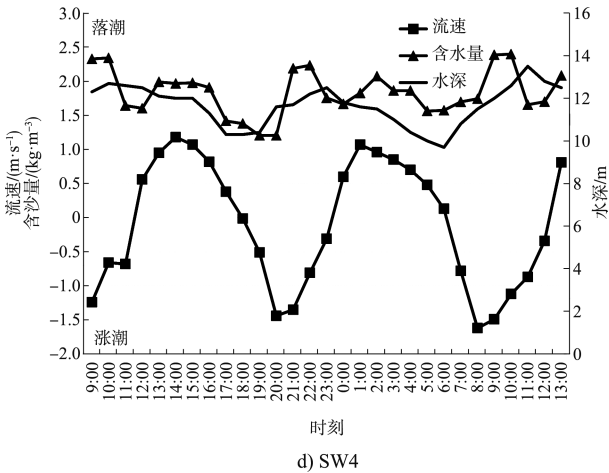
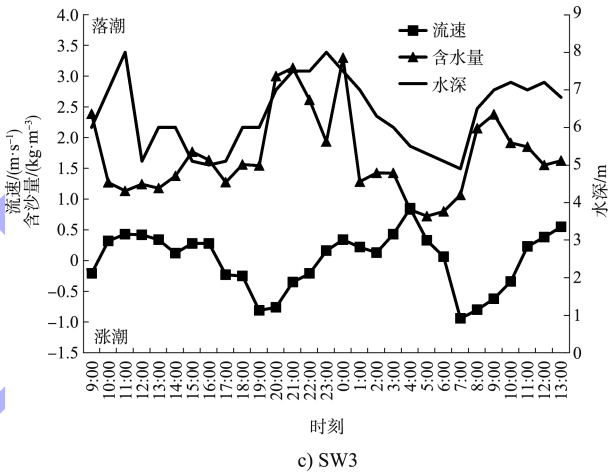
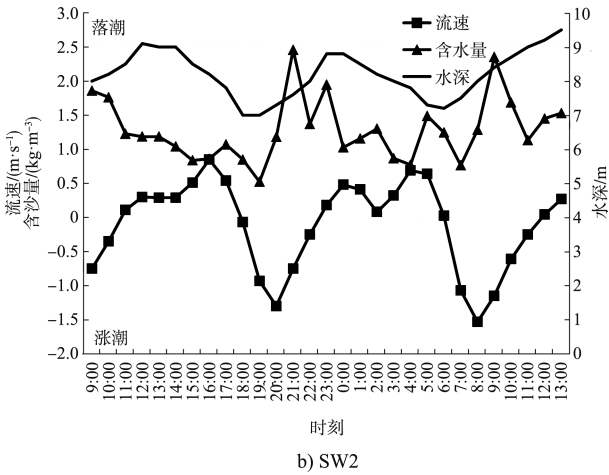
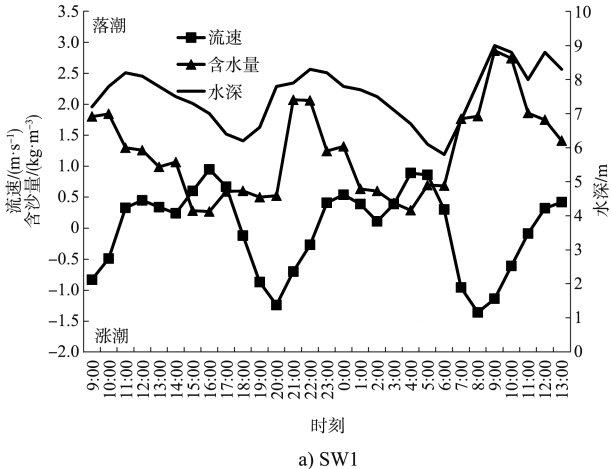


图 8 射阳港附近水位、流速、含沙量变化

根据潮周期内的潮量和输沙量统计, 射阳港口外段航道涨潮向南输水输沙、落潮向北输水输沙; 受地形及两侧导堤的影响, 口内段航道涨潮向口内输沙、落潮向口外输沙。进港航道涨潮单宽潮量大于落潮单宽潮量, 涨潮单宽输沙量大于

落潮。以口门内 SW2 和 SW3 站为例，大潮涨潮输沙量分别为 290、259 t，落潮输沙量分别为 125、159 t，大潮期间向口内的净输沙量分别为 165、100 t。口门外段 SW4 站输沙量更大，涨、落潮单宽输沙量高达 882、758 t。因此，从潮量和输沙量的沿程变化也表明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回淤的主要因素(图 9)。

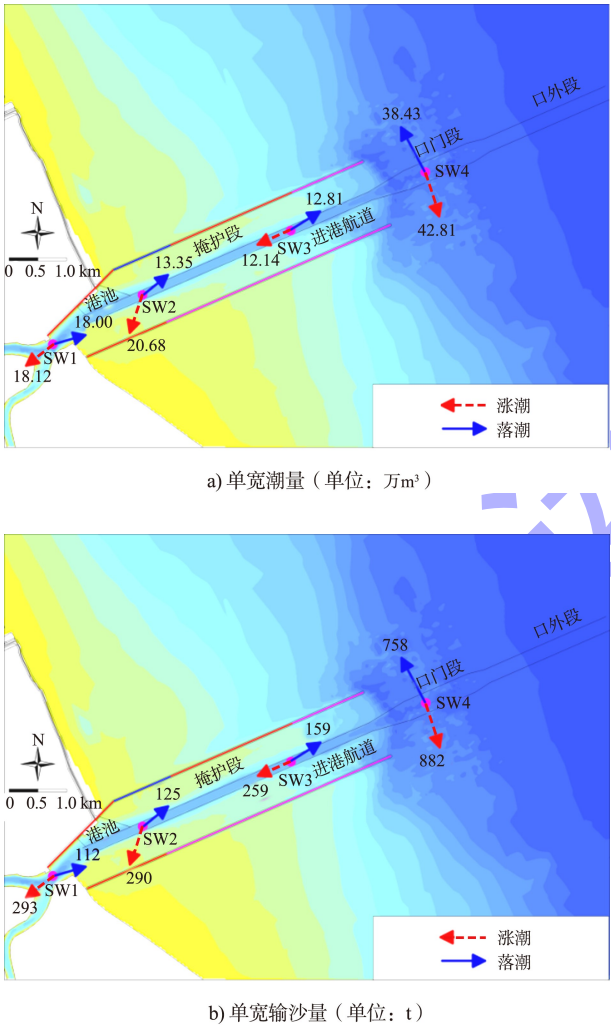


图 9 射阳港附近涨落潮单宽潮量、单宽输沙量沿程分布 (大潮)

此外，射阳河口是射阳河、黄沙港、运棉河、利民河等河流的入海通道，上述河流均已建闸，洪季期间水闸泄洪也有大量泥沙下泄，由此也会对夏季的航道回淤产生影响^[11]。

以上分析表明，射阳港区进港航道的泥沙淤

积主要来自口外，由于所处海域的含沙量较高，涨潮期大量泥沙进入导堤掩护段内，至憩流时刻悬沙落淤在航道内，而落潮动力难以将落淤的泥沙全部带走，从而引起航道回淤。因此，通过进一步的工程措施减少涨潮期间口外泥沙输入，同时增强掩护段落潮水流向口外输移泥沙的能力仍是实现航道减淤的主要思路。考虑到掩护段内两侧滩面上的流泥归槽也对航道回淤产生了重要影响，通过植被固滩也可作为减淤的辅助措施，从而减少边滩泥沙对主槽淤积的影响。

5 结论

- 1) 射阳港位于废黄河三角洲南缘，黄河北归以后，废黄河三角洲由淤积转为冲刷，由于处在泥沙向南输移的路线上，海域含沙量较高，为航道回淤提供了丰富的泥沙来源；
- 2) 射阳港 3.5 万吨级航道建成后，航道年回淤量达到 995 万 m³，其中导堤掩护段是回淤产生的主要区段，占全航道回淤量的 93%，该段平均回淤强度可达 5.0 m/a，明显高于开敞海域段的 0.6 m/a；
- 3) 导堤掩护段航道回淤强度大原因在于涨潮期带入的高含沙水流在憩流时刻动力减弱，形成悬沙落淤，而落潮水流无法完全带走落淤泥沙，此外航道两侧滩面上的流泥归槽以及洪季期间上游河流的开闸泄洪也在一定程度上增加了航道回淤。

参考文献:

[1] 王栋甫,管玉东.射阳港进港航道整治工程导堤高程研究[J],武汉勘察设计,2015(6): 54-58.

[2] 栾加友.射阳港拦门沙演变规律探讨[J].海岸工程,1998,17(3): 14-17.

[3] 叶青超.试论苏北废黄河三角洲的发育[J].地理学报,1986,41(2): 112-122.

[4] 李元芳.废黄河三角洲的演变[J].地理研究,1991,10(4): 29-39.

(下转第 139 页)