

赵元楷, 李茂田, 曾剑威, 等. 三沙湾潮滩涨落潮和大小潮冲淤特征及其动力机制[J]. 海洋地质前沿, 2024, 40(3): 48-54.

ZHAO Yuankai, LI Maotian, ZENG Jianwei, et al. Scouring and silting characteristics and dynamic mechanism of ebb and flow and spring-neap tidal cycles in Sansha Bay[J]. Marine Geology Frontiers, 2024, 40(3): 48-54.

三沙湾潮滩涨落潮和大小潮冲淤特征及其动力机制

赵元楷¹, 李茂田^{1,3}, 曾剑威^{2*}, 陈静¹, 刘晓强¹, 姚慧昆¹, 刘演¹, 樊春¹, 谭子杰¹, 张雯彦¹, 彭旦¹

(1 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室, 上海 200241;

2 中国地质调查局南京地质调查中心, 南京 210016; 3 华东师范大学崇明生态研究院, 上海 202162)

摘 要:潮滩不同尺度的变化规律一直是地表过程研究的核心之一。利用声学多普勒流速仪 (ADV)、温盐深 (CTD)、光学后向散射浊度计 (OBS) 对三沙湾潮滩涨落潮和大小潮冲淤及动力变化进行了高精度的观测。结果发现, 潮周期内, 潮滩冲淤呈现涨潮初期冲刷-落潮末期淤积-中间时段稳定的特征, 涨潮初期水深 < 1 m 的 30 min 内平均冲刷 4.05 mm, 落潮末期水深 < 1 m 的 30 min 内平均淤积 3.72 mm, 中间时段动态稳定; 大小潮周期内, 呈现中潮到小潮平均淤积 3.4 mm, 小潮到大潮平均冲刷 8.2 mm 的特征。通过流速、紊动能、水深、悬沙浓度等因子与冲淤的相关性分析发现, 潮周期内, 流速和紊动能的增减决定涨潮初期冲刷和落潮末期淤积的变化; 大小潮周期内, 涨潮冲刷大于落潮淤积的特性决定了大潮到小潮阶段的冲刷, 涨潮冲刷小于落潮淤积决定了小潮到大潮阶段的淤积。涨落潮周期和大小潮周期的冲淤机制为潮滩动力地貌和动力沉积学研究提供了一定的参考。

关键词:三沙湾; 潮滩; 潮周期; 冲淤; 动力机制

中图分类号: P736; P731.2

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2023.040

0 引言

潮滩是随潮汐涨落而被淹没和露出的向海缓斜的海岸带区域, 是陆地和海洋过渡带的核心区域, 潮滩生态系统为沿海地区的社会经济提供了基础资源和生态环境。潮滩不同周期(尺度)的变化规律一直是地表过程研究的核心之一^[1-2]。首先, 潮滩具有显著的泥沙“起动滞后-沉降滞后”^[3-4], “波浪掀沙、潮流输沙”等涨落潮尺度的冲淤机制和规律^[5-6]。另外, 潮滩冲淤存在着明显的月周期、年周期和长周期的特征^[7-9]。鉴于以前潮滩多采用退潮后观测滩面高程的办法, 潮滩冲淤尺度只能精确到

天; 而且由于观测困难, 数据常常不连续, 不能详细揭示涨落潮、大小潮周期中冲淤发生的具体时段和特征, 只能依靠剖面、遥感、模型推测^[10-12]。随着各种声学 and 光学观测技术和仪器的普及^[13-15], 为深入研究潮滩高精度连续的冲淤过程、机制提供了基础^[16-18]。本文以典型的封闭性强潮海湾——福建三沙湾为研究区域, 其波浪作用微弱, 主要以潮流动能为主。利用声学多普勒流速仪 ADV (Acoustic Doppler Velocimetry)、温盐深系统 CTD (Conductivity, Temperature, Depth)、光学后向散射浊度计 OBS (Optical Back Scatter Sensor), 对三沙湾潮滩涨落潮和大小潮的冲淤变化进行高精度的观测, 记录潮滩冲淤及其多个动力因子的同步变化, 探究潮滩涨落潮和大小潮周期的冲淤特征及其动力机制。

1 研究区域、观测方法及数据处理

1.1 研究区域

三沙湾位于中国福建省东北部沿海, 属于强潮

收稿日期: 2023-02-24

资助项目: 中国地质调查局项目“长江下游及东南沿海生态地质调查”(DD20221778); 国家自然科学基金(41971007; 42261144741)

第一作者: 赵元楷(1997—), 男, 硕士, 主要从事沉积动力学方面的研究工作. E-mail: 51203904014@stu.ecnu.edu.cn

* 通讯作者: 曾剑威(1986—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事沉积地质方面的研究工作. E-mail: zjwcug@163.com

型海湾。近岸潮流是往复流, 周期基本为 12 h 24 min; 湾内涨潮历时比落潮历时长, 约为 30 min。潮位日不等(一日之内的 2 次高潮位或低潮位互不相等)现象较显著^[19], 年最小潮差 1.72 m, 最大潮差 7.56 m。观测点位于三沙湾西南部, S1 位于潮间带下部, S2 位于潮间带上部。

1.2 观测布置

在三沙湾低潮滩布置 2 个观测点, S1、S2 站位分别位于 26°37'41.73"N、119°36'19.08"E 和

26°37'40.56"N、119°35'50.27"E。潮滩观测点均处于淤泥质潮滩, 周围数百米均为光滩, 无人工建筑与设施影响, 于 2020 年 5 月 26 日—6 月 5 日观测了潮滩的涨落潮和大小潮的冲淤过程。观测仪器及其位置如图 1 所示。利用 ADV 观测近地层(距底 30 cm)的三维点流速、流向, 以及滩面高程变化, 观测间隔为 600 s, 频率 16 Hz, 工作时间为 70 s。使用 OBS 观测近地层(距底 30 cm)水体的浊度, 观测间隔为 60 s。利用 CTD 观测近地层水体盐度, 观测间隔为 1 s。

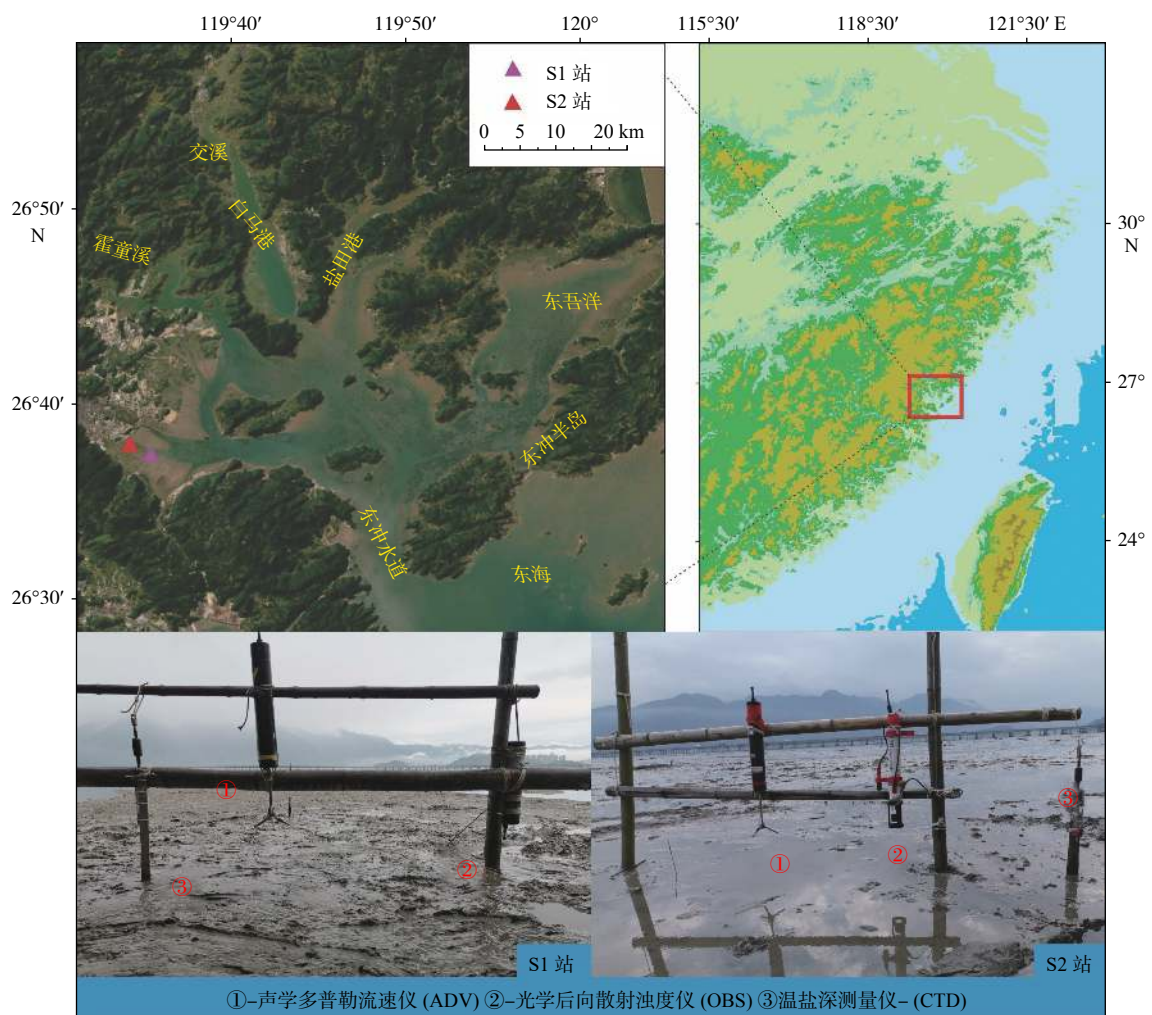


图 1 研究区域、观测点位分布以及仪器布置

Fig.1 Research area, distribution of observation points, and instrument layout

1.3 悬沙浓度校正

将 OBS 置于标定桶内, 其探头位于标定桶底部 20 cm 处, 开启底部搅拌器使水体处于搅匀状态, 然后将现场获取的泥沙分数次加入桶中。每次记录 OBS 浊度数据, 同时采取水样测量其悬沙浓度。

然后利用数据建立浊度-悬沙浓度回归线, 将现场观测的浊度转换为悬沙浓度。

1.4 滩面冲淤的计算

潮周期内, 以 ADV 传感器探头为参考零点, 滩面到探头高程(负数)增加, 表示淤积; 高程减小, 表

示冲刷。大小潮周期内,用潮周期滩面到 ADV 传感器探头高程的平均值的连续变化反映冲淤特征,当平均高程增加时为淤积,反之为冲刷。其中,ADV 探头与滩面之间的距离变化是利用后向散射强度 >120 counts、信噪比 >20 dB 的数据进行计算的^[20]。

1.5 冲淤机制分析

潮周期冲淤过程是潮滩不同时间尺度冲淤的基础过程,因此,冲淤机制的关键是分析涨落潮冲淤动力机制。首先,根据仪器观测到的冲淤量的变化尺度大小,将每个潮周期分为 3 个阶段,即涨潮初期冲刷阶段(水面漫过仪器且 <1 m 的 30 min 内)、中间冲淤平衡阶段、落潮末期淤积阶段(水面降至仪器高度前 30 min 内且水深 <1 m),计算涨潮初期和落潮末期 2 个阶段起始高度差($\delta 1$)。同时与每个阶段的流速差($\delta 2$)做相关分析,重点分析此阶段冲淤与流速的关系。其次,以 ADV 观测 10 min 为间隔,统计分析冲淤机制,将每个间隔末始高度做差得到冲淤幅度 Δ (负值为冲刷,正值为淤积),探讨冲淤幅度与紊动能、悬沙浓度与水深的关系,重点分析水深、紊动能对冲淤的影响。

1.6 紊动能计算

从 ADV 实测数据中提取三维点流速,并剔除无效和低质量数据。紊动能是单位质量水体具有的总紊动动能,是表征湍流紊动强弱的物理量^[21],公式为

$$\text{TKE} = (\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2})/2 \quad (1)$$

$$\overline{u'} = u_i - u \quad (2)$$

式中: $\overline{u'}$ 为脉动流速;

u_i 为瞬时流速;

u 为时均流速。

时均流速是根据瞬时流速的时间序列算术平均获得,公式为

$$u = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i \quad (3)$$

式中: N 为流速组次。

2 潮滩涨落潮和大小潮冲淤及动力变化特征

2 个潮滩观测点水深、冲淤、流速、流向、盐度

和悬沙浓度都呈现涨落潮和大小潮周期变化特征。

2.1 潮滩涨落潮冲淤及动力变化特征

潮周期内, S1、S2 站位水深变化均呈现半日涨落潮 2 个阶段变化,且每天 2 个半日潮最大水深不等,相差约 0.5 m(图 2a)。潮周期内冲淤过程均呈现显著的“涨潮初期冲刷-动态平衡变化-落潮末期淤积”的三阶段特征(图 2b)。流速在潮周期内存在显著的 4 个过程,即涨潮增速-涨潮减速-落潮增速-落潮减速。对比冲淤三阶段,涨潮初期冲刷对应涨潮增速阶段,动态平衡阶段对应涨潮减速和落潮增速 2 个阶段,落潮末期淤积阶段对应落潮减速阶段(图 2b、c)。盐度变化呈现涨落潮 2 个阶段变化。流向在潮周期阶段主要以往复流为主(图 2d)。涨潮阶段 S1 点盐度从平均 27.06 涨到 30.56,落潮时期回落到涨潮初期的值; S2 点盐度则是从平均 25.8 涨到 28.75,落潮时回落(图 2e)。悬沙浓度在潮周期内,与冲淤过程类似,也呈现“涨潮初期高-中间小-落潮末期高”的三阶段特征(图 2f)。

2.2 潮滩大小潮的冲淤及动力特征

大小潮周期内,从中潮到小潮,每天最大水深不断减小, S1 站由 3.47 m 减小到 2.78 m、S2 站由 3.26 m 减小到 2.31 m。从小潮到大潮,每天最大水深逐渐增加,两站分别从 2.78、2.31 m 增大至 4.39、4.05 m(图 2a、g)。滩面距探头的高程(负值)变化呈现中潮到小潮淤积,小潮到大潮冲刷的趋势。从中潮到小潮,两站潮周期探头距地高度从 -249、-296 mm 增加到 -246、-293 mm(淤积),从小潮到大潮,降低到 -252、-305 mm(冲刷)(图 2b、g)。从中潮到小潮涨落潮的最大流速呈减少趋势,然后从小潮到大潮成增加趋势^[22], S1 站小潮平均流速 0.158 m/s,大潮平均流速 0.22 m/s,是小潮的 1.4 倍。S2 站小潮平均流速 0.12 m/s,大潮平均流速 0.187 m/s,是小潮的 1.55 倍(图 2c)。大小潮期间,潮流均为往复流,涨落潮流向变化基本一致(图 2d)。盐度和悬沙浓度大小潮变化和水深变化类似, S1 站点盐度从中潮的 30.01 psu 减少到小潮的 29.7 psu,再增加到大潮的 30.05 psu; S2 站点盐度从中潮的 28.21 psu 减少至 27.48 psu,再增加到到大潮的 28.32 psu。悬沙浓度也呈现从中潮到小潮再到大潮先减少后增加的过程。 S1 站点悬沙农渡从中潮的 1.62 g/L 减少到小潮的 0.67 g/L,再增加到大潮的 1.89 g/L; S2

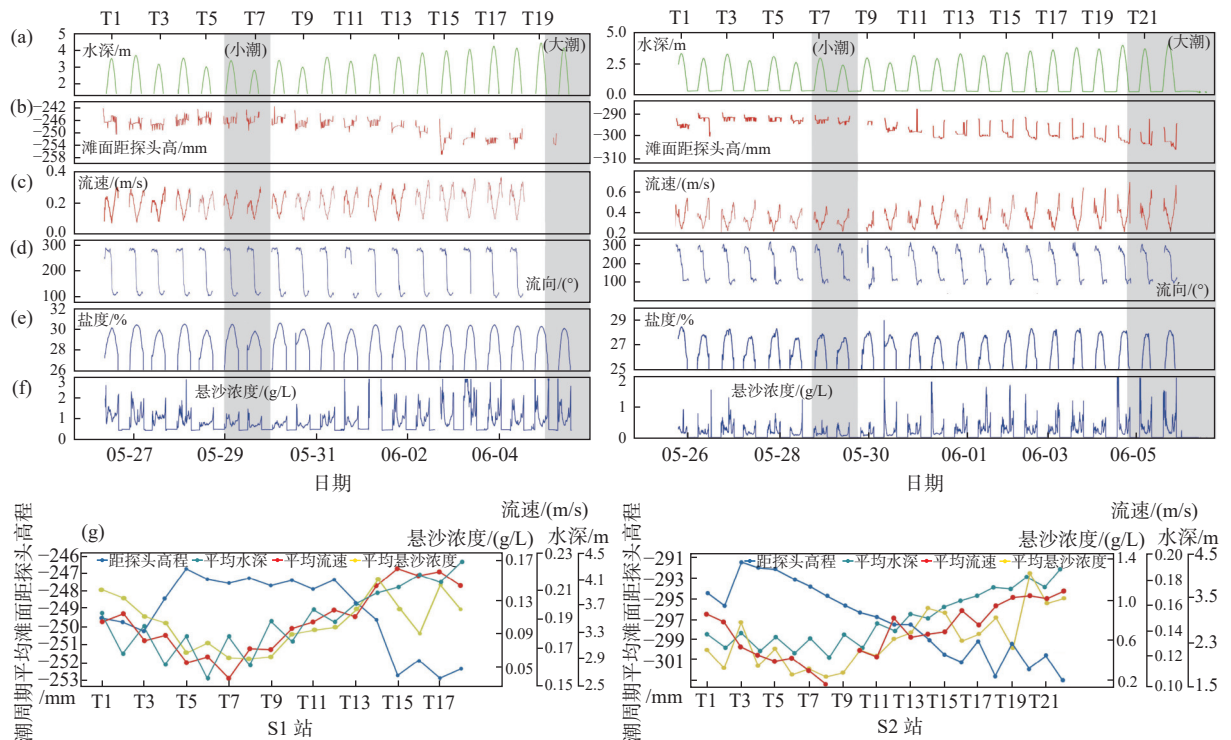


图 2 潮滩冲淤和动力的涨落潮和大小潮变化以及潮周期平均高程与最大水深、平均流速、平均悬沙浓度变化

Fig.2 Scouring and silting and dynamic changes of ebb and flow and spring-neap tidal cycles as well as changes in average elevation, maximum water depth, average flow velocity, and average suspended sediment concentration during the tidal cycle

站点悬沙浓度从中潮的 0.42 g/L 减少至 0.29 g/L, 再增加到到大潮的 0.87 g/L (图 2e、f)。

潮滩潮周期平均高程、流速、悬沙浓度和最大水深更清楚地表明, 潮滩冲淤和动力在大小潮周期上呈现如上文所述的变化趋势 (图 2g)。

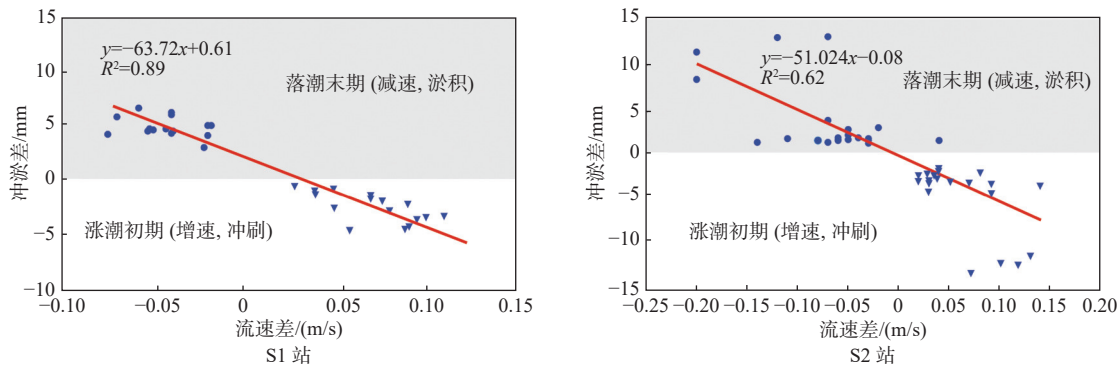
3 涨落潮和大小潮周期冲淤的动力机制

3.1 涨落潮的潮滩冲淤机制

涨落潮周期内, 潮滩的冲淤主要发生在涨潮初期和落潮末期水深 < 1 m 的 30 min 内。水深 > 1 m 期间冲淤变化不大 (图 2a、b) 以及涨潮初期和落潮末期流速急剧增减 (图 2c) 表明, 潮周期内潮滩的浅水冲淤与流速密切相关^[23-25]。为深入认识浅水期冲淤与流速的关系, 本文对所有潮周期内涨潮初期和落潮末期的冲淤差 ($\delta 1$) 和流速差 ($\delta 2$) 进行了相关分析, $\delta 1$ 和 $\delta 2$ 分别是涨潮初期、落潮末期高度起始差值和流速起始差值。结果表明二者高度相关, S1 和 S2 站点的 $\delta 1$ 和 $\delta 2$ 相关性分别为 0.89、0.62, 证明涨潮初期的冲刷和落潮末期流速的快速增减是冲淤的基本动力 (图 3)。

实际上, 流速变化引起的紊动能的变化是泥沙冲淤的直接动力。为讨论潮滩冲淤与紊动的关系, 本文对涨落潮每 10 min 间隔的冲淤幅度 Δ 和紊动能以及悬沙浓度随水深变化的关系进行研究。结果表明, 涨潮阶段主要的冲刷 ($\Delta < -1.4$ mm) 绝大部分都发生在水深 < 1 m 的涨潮初期时段, 同时, 紊动能和悬沙浓度在涨潮初期快速增大 (图 4a); 落潮阶段主要的淤积 ($\Delta > 1.4$ mm) 绝大部分都发生在水深 < 1 m 的落潮末期时段, 同时紊动能和悬沙浓度在落潮末期快速降低 (图 4b)。这种结果证明, 潮周期内, 涨潮初期和落潮末期紊动能的增减决定涨落潮的冲淤变化。实际上, 其他的研究也证明近底层水流紊动是床面泥沙淤积分布的关键因素^[26]。

而在水深 > 1 m 的涨潮减速阶段和落潮增速阶段, 紊动能具有同样的增减幅度, 却并没有出现较大幅度的冲淤变化。其主要原因是水深 < 1 m 的涨潮初期阶段, 潮峰的高紊动能将大量泥沙掀起^[27-30], 悬沙急剧浓度增加 (图 4a)。而在涨潮减速阶段和落潮增速阶段, 尽管紊动能增减幅度较高, 但是近底却没有再出现高浓度悬沙现象。其原因是涨潮初期的高紊动能已经将滩面易启动的泥沙掀起并带走, 高浓度泥沙被潮流带到高滩或者水体上层^[31], 在涨潮减速阶段和落潮增速阶段, 即使紊动能增减



纵坐标“-”为冲刷,“+”为淤积;横坐标“-”为减速,“+”为增速

图3 潮周期三阶段 δ 差值相关性

Fig.3 Correlation of the three stage δ difference in TIDAL CYCLE

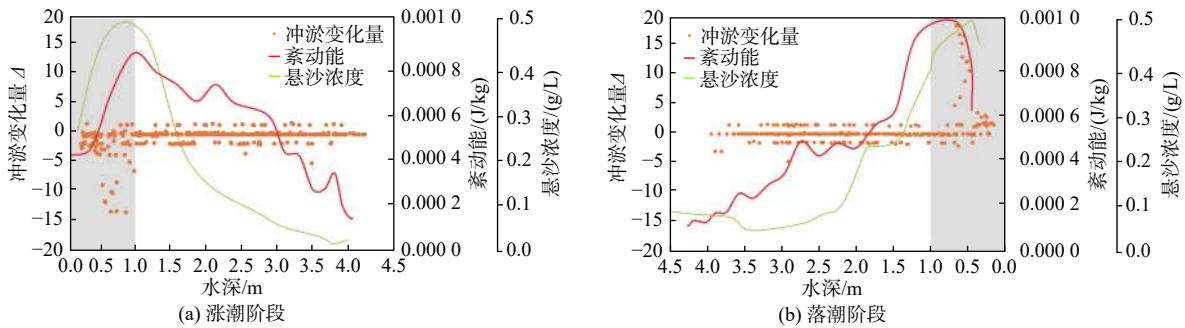


图4 冲淤变化量、紊动能、悬沙浓度和水深关系

Fig.4 The relationship between changes in scouring/silting , turbulent kinetic energy, suspended sediment concentration and water depth

幅度也较大,但滩面已经没有大量泥沙可供冲刷,因此,此阶段不能再出现高悬沙浓度。随后在落潮末期阶段,因为流速减弱,紊动能减小,动力不足,水面下降等因素综合作用,导致水体中的悬沙快速沉降,形成落潮末期阶段的悬沙“峰”,并导致滩面迅速淤积(图 4b)。上述分析表明,潮周期内,流速和紊动能的增减决定涨潮初期冲刷和落潮末期淤积的变化。

3.2 大小潮周期的潮滩冲淤机制

大小潮周期内,从中潮到小潮,随着每天最大水深不断减小和最大流速不断减少,滩面不断淤高;相反,从小潮到大潮,随着每天最大水深不断增加和最大流速不断增加,滩面不断刷深(图 2a—c、2g,表 1、2)。同时,3.1 节的讨论表明,大小潮周期中,潮周期内的冲淤变化主要集中在涨潮初期冲刷和落潮末期淤积(图 3、4)。因此,从中潮到小潮潮滩不断淤积的原因应该是此阶段内涨潮初期的冲刷小于落潮末期的淤积;从小潮到大潮潮滩不断冲刷的原因应该是此阶段内涨潮初期的冲刷大于落潮末期的淤积。从中潮到小潮,随着引潮力的持续减

少,涨潮初期冲刷的动力变化幅度小于落潮末期动力变化幅度,涨潮初期的冲刷小于落潮末期的淤积,导致潮滩不断淤积。反之,从小潮到大潮,随着引潮力的持续增加,涨潮初期冲刷的动力变化幅度大于落潮末期动力变化幅度,涨潮初期的冲刷大于落潮末期的淤积,导致潮滩不断冲刷^[32]。同时,大潮向小潮过程,潮差减小导致平均潮动力不断减少,

表 1 S1 站观测数据

Table 1 S1 station observation data

潮周期序列	相对最高潮位/m	滩面距探头的 高程最大值/mm	滩面距探头的 高程最小值/mm	最大流速 (m/s)
T1	3.18	-247.6	-251.1	0.326
T3	2.98	-247.4	-250.9	0.315
T5	2.85	-244.8	-249.3	0.297
T7(小潮)	2.85	-243.2	-248.3	0.286
T9	3.09	-244.4	-248.5	0.326
T11	3.19	-245.2	-248.1	0.361
T13	3.28	-246.4	-251.3	0.375
T15	3.51	-246.0	-256.8	0.367
T17(大潮)	3.67	-249.9	-254.6	0.400
T19	3.85	—	—	—

注:“—”为无数据。

表 2 S2 站观测数据

Table 2 S2 station observation data

潮周期序列	相对最高 潮位/m	滩面距探头的 高程最大值/mm	滩面距探头的 高程最小值/mm	最大流速 /(m/s)
T1	3.27	-291.9	-296.6	0.338
T3	3.22	-289.1	-293.0	0.298
T5	3.02	-290.3	-293.8	0.277
T7(小潮)	2.87	-290.2	-293.4	0.258
T9	2.89	-292.9	-294.9	0.218
T11	3.1	-287.8	-298.4	0.322
T13	3.25	-292.9	-299.9	0.331
T15	3.22	-292.8	-300.7	0.365
T17	3.56	-294.4	-301.0	0.384
T19(大潮)	3.64	-295.1	-302.6	0.432
T21	3.67	-292.7	-304.1	0.417

水中的泥沙容易淤落。小潮向大潮过程, 潮差增大导致平均潮动力不断增加, 滩面泥沙不断被掀起形成冲刷状态。上述分析表明, 大小潮周期内, 涨潮冲刷大于落潮淤积的特性决定了大潮到小潮阶段的冲刷, 涨潮冲刷小于落潮淤积决定了小潮到大潮阶段的淤积。

4 结论

本文利用声学多普勒流速仪(ADV)、温盐深(CTD)、光学后向散射浊度计(OBS), 成功对三沙湾潮滩涨落潮和大小潮冲淤及动力变化进行了高精度观测, 并进行了潮滩涨落潮和大小潮冲淤特征及其动力机制分析, 结论如下:

(1) 潮周期内潮滩冲淤呈现涨潮初期冲刷-落潮末期淤积-中间时段稳定等 3 个阶段的显著特征, 其根本原因是潮周期内流速和紊动能的增减决定涨潮初期冲刷和落潮末期淤积的变化。

(2) 大小潮周期内, 呈现大潮到小潮不断淤积, 小潮到大潮不断冲刷的特征, 其根本原因是涨潮冲刷大于落潮淤积的特性决定了小潮到大潮阶段的冲刷, 涨潮冲刷小于落潮淤积决定了大潮到小潮阶段的淤积。涨落潮周期和大小潮潮周期的冲淤机制为潮滩动力地貌和动力沉积学研究提供了一定的参考。

参考文献:

[1] 任美镔. 中国海岸带管理问题[J]. 海洋开发, 1986(3): 56-60.
[2] 黄广, 陈沈良, 张国安. 南汇边滩水沙运动特性及其围涂工程影响[J]. 人民长江, 2007, 38(1): 60-63.

[3] POSTMA H. Transport and accumulation of suspended matter in the Dutch Wadden Sea[J]. Netherlands Journal of Sea Research, 1961, 1(1/2): 148.
[4] STRAATEN L, KUENEN P. Tidal action as a cause of clay accumulation[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1958, 28(4): 406-413.
[5] YANG S L, LI M, DAI S B, et al. Drastic decrease in sediment supply from the Yangtze River and its challenge to coastal wetland management[J]. Geophysical Research Letters, 2006, 33(6), L064080: 1-4.
[6] 杜景龙, 杨世伦, 陈广平. 30多年来人类活动对长江三角洲前缘滩涂冲淤演变的影响[J]. 海洋通报 2013, 32(3): 296-302.
[7] 李炎, 张立人, 谢钦春. 浙江象山大目涂淤泥质潮滩发育的周期性[J]. 海洋学报(中文版), 1987, 9(6): 725-734.
[8] 夏小明, 谢钦春, 李炎, 等. 港湾淤泥质潮滩的周期变化[J]. 海洋学报(中文版), 1997, 19(4): 99-108.
[9] 龚小辉, 柏春广, 王建. 淤泥质潮滩沉积周期性研究综述[J]. 南京师范大学学报(自然科学版), 2012, 35(1): 117-121.
[10] 龚政, 靳闯, 张长宽, 等. 江苏淤泥质潮滩剖面演变现场观测[J]. 水科学进展, 2014, 25(6): 880-887.
[11] 张忍顺. 江苏省淤泥质潮滩的潮流特征及悬移质沉积过程[J]. 海洋与湖沼, 1986, 17(3): 235-245.
[12] 李炎, 陈锡士, 夏小明, 等. 沉积过程分形表达及其冲淤幅度分析应用[J]. 海洋与湖沼, 2000, 31(1): 84-92.
[13] 薛元忠, 何青, 王元叶. OBS 浊度计测量泥沙浓度的方法与实践研究[J]. 泥沙研究, 2004, 29(4): 56-60.
[14] HOITINK A J F, HOEKSTRA P. Observations of suspended sediment from ADCP and OBS measurements in a mud-dominated environment[J]. Coastal Engineering, 2005, 52(2): 103-118.
[15] 张颖, 闫玉茹, 章家保, 等. 潮滩冲淤观测技术发展现状[J]. 海洋科学, 2021, 45(3): 152-162.
[16] 庞文鸿. 中强潮海滩沉积动力过程研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2021.
[17] SHI B W, YANG S L, WANG Y P, et al. Relating accretion and erosion at an exposed tidal wetland to the bottom shear stress of combined current-wave action[J]. Geomorphology, 2012, 138(1): 380-389.
[18] 王杰, 戴志军, 魏稳, 等. 基于LiDAR观测的长江河口南汇南滩近期动力地貌研究[J]. 海洋与湖沼, 2018, 49(4): 756-768.
[19] 林航. 福建三沙湾的潮汐特征[J]. 福建水产, 2014, 36(4): 306-314.
[20] 朱琴. 基于现场观测和数值模拟的淤泥质潮滩沉积动力过程研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2017.
[21] 侯仲荃, 石进, 王宪业, 等. 空心块体水沙动力及泥沙淤积特性研究[J]. 海洋学报, 2022, 44(5): 124-133.
[22] 徐孟飘, 东培华, 马骏, 等. 大小潮作用对潮滩沉积物层理影响的数值模拟研究[J]. 海洋学报(中文版), 2021, 43(10): 70-80.
[23] 王建, 柏春广, 徐永辉. 江苏中部淤泥质潮滩潮汐层理成因机理和风暴沉积判别标志[J]. 沉积学报, 2006, 24(4): 562-569.
[24] WANG J, DAI Z J, FAGHERAZZI S, et al. A novel approach to discriminate sedimentary characteristics of deltaic tidal flats

- with terrestrial laser scanner: results from a case study[J]. *Sedimentology*, 2022, 69(4): 1626-1648.
- [25] 恽才兴. 长江河口潮滩冲淤和滩槽泥沙交换[J]. *泥沙研究*, 1983, 8(4): 43-52.
- [26] NIELSEN P, TEAKLE I A L. Turbulent diffusion of momentum and suspended particles: a finite-mixing-length theory[J]. *Physics of Fluids*, 2004, 16(7): 2342-2348.
- [27] 徐元, 王宝灿, 章可奇. 上海淤泥质潮滩潮锋作用及其形成机制初步探讨[J]. *地理研究*, 1994, 13(3): 60-68.
- [28] YANG S L, LI P, GAO A, et al. Cyclical variability of suspended sediment concentration over a low-energy tidal flat in Jiaozhou Bay, China: effect of shoaling on wave impact[J]. *Geo-Marine Letters*, 2007, 27(5): 345-353.
- [29] SHI B W, YANG S L, WANG Y P, et al. Intratidal erosion and deposition rates inferred from field observations of hydrodynamic and sedimentary processes: a case study of a mudflat-saltmarsh transition at the Yangtze delta front[J]. *Continental Shelf Research*, 2014(90): 109-116.
- [30] 陈卫跃. 潮滩泥沙输移及沉积动力环境: 以杭州湾北岸、长江口南岸部分潮滩为例[J]. *海洋学报(中文版)*, 1991, 13(6): 813-821.
- [31] 王玉海, 汤立群, 冯浩川. “上淤下冲”型潮滩的波流动力特征及剖面塑造[J]. *泥沙研究*, 2022, 47(2): 65-72.
- [32] BRUNEAU N, BERTIN X, CASTELLE B, et al. Tide-induced flow signature in rip currents on a meso-macrotidal beach[J]. *Ocean Modelling*, 2014, 74(2): 53-59.

Scouring and silting characteristics and dynamic mechanism of ebb and flow and spring-neap tidal cycles in Sansha Bay

ZHAO Yuankai¹, LI Maotian^{1,3}, ZENG Jianwei^{2*}, CHEN Jing¹, LIU Xiaoqiang¹, YAO Huikun¹, LIU Yan¹,
FAN Chun¹, TAN Zijie¹, ZHANG Wenyan¹, PENG Dan¹

(1 State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200241, China; 2 Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, China; 3 Institute of Eco-Chongming, East China Normal University, Shanghai 200241, China)

Abstract: The variation rules of tidal flat at different scales has always been one of the main contents in the study of surface processes. The high-precision instruments ADV, CTD, and OBS were used to observe the scouring and silting characteristics of ebb and flow and spring-neap tide on May 26 to June 5, 2020 in Sansha Bay, Fujian, SE China. Results show that during the tidal cycle, the scouring and silting of the tidal flat are characterized by scouring at the beginning of rising tide, silting at the end of falling tide, and stabilizing in the middle period, the average scouring was 4.05 mm within 30 min when water depth is less than 1 m at the beginning of flood tide, and the average siltation was 3.72 mm within 30 min when water depth was less than 1 m at the end of ebb tide, and was in dynamic stability in the middle period. During the spring-neap tide period, the average siltation from mid tide to neap tide was 3.4 mm, and the average scouring from neap tide to spring tide was 8.2 mm. The correlation analysis on impact factors including velocity, turbulent energy, water depth, and suspended sediment concentration to the scouring and siltation showed that in tidal cycle, fluctuations in velocity and turbulent kinetic energy determined the changes of scour at the beginning of flood tide and siltation at the end of ebb tide. During spring-neap tides, the characteristics of more flood scouring than ebb siltation determined the scouring from spring tide to neap tide, and less flood scouring than ebb siltation determined the siltation from neap tide to spring tide. This study on scouring and silting mechanism in ebb and flow periods and spring and spring tides provided a reference for the study of tidal flat dynamic geomorphology and dynamic sedimentology.

Key words: Sansha Bay; tidal flat; tidal period; scouring and silting; dynamic mechanism