江苏大丰中潮滩大小潮周期沉积特征研究

柏春广1, 龚小辉2, 王 建3

(1. 东南大学 交通学院, 江苏 南京 210096; 2. 江苏第二师范学院 城市与资源环境学院, 江苏 南京 210013;3. 南京师范大学 地理科学学院, 江苏 南京 210097)

摘要:于2007年7月28日至8月14日期间对江苏大丰海岸中潮滩进行了连续半个月的大小潮周期沉积的现场观测与采样,对采集的沉积物样品在室内进行了粒度、沉积通量和质量磁化率等的测试,结 果表明:研究区中潮滩沉积物颗粒的粗细、沉积通量等与潮汐的周期变化关系不明显,而与波浪之间有 着较为密切的关系;从中潮滩的上部到中部,再到下部,沉积物颗粒由细变粗,沉积通量由低变高,质 量磁化率由小变大。此外,研究区的中潮滩沉积物质量磁化率与粒径组分中的细砂和极细砂关系密切。 本项研究结果为微观尺度上潮滩沉积差异的分析以及潮汐韵律层作为高分辨率测年工具的适用性评价 提供了参考。

关键词:中潮滩;大小潮周期;沉积特征;淤泥质潮滩 中图分类号: P737.17 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2013)07-0083-07

淤泥质潮滩中的沉积韵律层记录了潮汐周期的 变化,由潮汐周期可以推算出沉积时间和沉积速率, 并且由古潮汐韵律的研究还可推算出古地球、月球 轨道参数、因此研究者们一直对该领域的研究非常 重视。利用古代潮汐沉积韵律对古环境进行解释的 可靠性在很大程度上需以现场连续的现代潮滩沉积 的实地观测为基础、已有研究中不同区域的观测资 料很好地揭示了从涨落潮周期^[1]、大小潮周期^[2-5]到 年周期^[6-8]和长周期^[9]的"潮滩循环",以及风浪在开 敞潮滩短期演变中的作用^[10]、从而为潮汐韵律层成 因机制的解释及区域差异的分析奠定了良好的基 础。然而关于潮滩不同微地貌的沉积差异的研究仍 显得非常不够,为突出微观尺度上潮滩沉积差异, 使潮汐韵律层作为高分辨率测年工具的可适用性得 到清晰的展示。本项研究以汀苏大丰淤泥质潮滩中 的中潮滩的现场连续半个月的沉积观测资料为依据、 探讨中潮滩不同部位的潮滩沉积随时间的变化及其 空间差异。

1 研究区概况

江苏大丰海岸为半开敞型边缘海海岸,因受北部的废黄河口和南部长江口的影响,泥沙来源丰富, 淤进型潮滩。滩面宽阔平坦,平均宽度为 8~10 km, 由于多次围垦,有的地方已不足 5 km,平均坡度 0.5‰。 潮汐类型为不规则半日潮,平均潮差 3.68 m,属于中 等潮差海岸,潮流类型为旋转流。全年平均风速,近 海为 4~5 m/s,海上为 5~7 m/s,风向以 NNE、NEE 为主。盛行偏北向浪,波高小于 1 m 的波浪的出现频 率为 85%^[11]。

该区在地貌格局上属于华东凹陷,为江苏辐射 沙洲内缘区典型的粉砂淤泥质海岸,由海向岸沉积 物颗粒逐渐变细。较大的潮差和较高的泥沙含量,使 得这里的沉积速率较快,是研究现代潮汐沉积比较 理想的区域。

实地观测地点位于大丰市川东港闸以北 10 km 的粉砂淤泥质光滩上,样品采集点为图 1 中的 C(33°07′02″N,120°50′42″E)、D(33°07′26″N,120°51′11″E)、 E(33°07′48″N,120°51′34″E)三点,它们均介于小潮高潮位 和小潮低潮位之间,即属于中潮滩,并且分别位于 中潮滩的上、中、下部。C 点位于大米草滩与光滩交 界处,D 点位于泥砂混合滩,E 点位于粉砂细砂滩。 C,D 两点相距约 1 000 m,D,E 两点相距约 900 m。 图中的 A,B 两观测点是为更长时间尺度潮滩沉积的 观测而设置。

收稿日期: 2012-12-17; 修回日期: 2013-05-02

基金项目:中国近海海洋综合调查与评价项目(JS9080103);国家自 然科学基金(40871010,49601019)

作者简介:柏春广(1971-),男,江苏盐城人,副教授,博士,从事沉 积学等方面的研究,电话:025-83795338, E-mail: baichg@seu.edu.cn



图 1 研究区位置及采样点分布 Fig.1 Study area and sampling sites

2 研究方法

2.1 野外观测

为了弄清研究区中潮滩的大小潮周期沉积特征, 课题组成员于 2007 年 7 月 28 日至 8 月 14 日间,对 C,D,E 三个点进行了半个月的连续观测及系统采样, 期间潮汐经历了从大潮到小潮,再到大潮的过程。具 体采样方法为:在每个观测点分别设置自制的沉降 板(50 cm × 40 cm)三块,使沉降板的表面与滩面保持 在同一水平面(图 2)。涨潮时,潮水携带的泥沙在高 平潮时逐步沉降下来,低平潮时,到滩面上采集沉 降板上的泥砂沉积样,装入采样袋并密封,按日期 和采样点编号,以供室内分析,观测了 30 个涨落潮 周期的沉积,共采集潮水沉积样 90 个。由于滩面沉 积物含水量较大,尤其是位于上部的 C 点,因此滩 面柱状样的采集往往非常困难。



图 2 沉降板和沉降板上的沉积物照片

Fig. 2 Photographs of sedimentation board and the sediments on the board

2.2 室内实验分析

将野外采集到的样品带回实验室,进行粒度、沉 积通量及磁化率等指标的测定,样品的测试工作是 在南京师范大学地理科学学院环境演变与生态建设 实验室完成的。

在粒度测定之前,对沉积样品进行了预处理, 具体步骤为:利用H₂O₂去除沉积物样品中的有机质; 用 HCl 去除碳酸盐、钙胶结物;用清水中和并清洗 钙、氯离子;用六偏磷酸钠(NaPO₃)₆溶液作为分散剂, 用超声波对样品进行分散。样品预处理完毕后,利用 Mastersizer 2000 激光粒度仪进行测试,粒度参数采 用福克和沃德在 1957 年提出的公式进行计算的。

样品沉积通量的测定,是通过室内对样品烘干称重,用所得值减去包装袋的重量,获得每次潮水沉积物的净沉积量。再将沉积量除以沉积面积,得出沉积通量。用公式表示为:Q = M / S,其中M代表沉积物质量,单位为g;S代表沉积面积,单位为cm²;Q代表沉积通量,单位为g/cm²。

对取自 C 点、D 点、E 点的共计 90 个沉积物样 品在实验室进行了磁化率的测试。具体方法是:将样 品在低于 40℃的烘箱内烘干,在玛瑙研钵中碾碎干 样,以不损坏自然颗粒为度,用 10 cm³ 无磁性圆柱 形聚乙烯样品测量盒装满碾碎后的样品,压实、固定 并称重。用英国产 Bartington MS2 型磁化率仪对样 品进行低频(0.47 kHz)磁化率的测试。为保证样品的 测量精度,每个样品从不同角度至少重复测量四次, 取其平均值。为避免人为因素的影响,对异常高值重 复测量多次,误差不超过 3%,以保证测量的精度。

3 结果和讨论

3.1 沉积物粒度的变化

在本项研究的潮滩沉积观测时期,潮汐经历了 从大潮到小潮、再到大潮的半个月的变化,这在潮位 的变化中可以得到很好的体现。其中,8月8日下午 的沉积为台风"帕布"形成的风暴潮沉积,在"帕布" 的影响下,C点沉积物的颗粒较风暴潮前要明显粗很 多,E点沉积物颗粒则较风暴潮前要细,D点变化不 明显,关于其详细变化特征与成因将在另外的论文 中作探讨,在此不进行详细描述。在进行沉积物大小 潮周期的粒度变化与潮位及波浪关系分析时未将风 暴潮沉积计入其中。文中所用的潮位资料来源于大 丰港,风速和浪高等气象资料为盐城气象网的对近 海海面天气预报数据。

粒度测试结果显示,观测期间 C, D, E 点的沉积 物平均粒径变化范围分别为: 4.94 Φ~7.29 Φ, 4.48 Φ~5.48 Φ, 4.24 Φ~5.55 Φ。C, D, E 点的中值粒径变 化范围分别为: 4.67Φ~7.17Φ, 4.30Φ~4.99Φ, 4.05Φ~ 4.91Φ, 图 3 显示了观测期间沉积物粒径的变化与高 潮位潮高及近海浪高的对比关系。由图可见: 就同一 次涨落潮而言, 位于中潮滩上部的 C 点的沉积物颗 粒明显比中部的 D 点和下部的 E 点要细。这是因为 C 点离岸最近, 高程最高, 水位较浅, 潮能也稍弱, 潮水携带泥沙的能力最弱, 细颗粒的物质才能被带 到该位置形成沉积, E 点情况相反。

在8月8日受台风影响之前,三个观测点总体显示出随着高潮位潮高的不断降低,沉积物颗粒不断变粗,即在大潮期间,沉积物颗粒反而较细。可能是由于潮位较高时,水深较深,潮流速较大,潮水中的泥沙在中潮滩不能沉降;而在水深较浅、落潮流速较小时,一些细粒物质才沉积下来,从而使沉积物颗粒较细。同样,在风暴潮过后,高潮位的潮高在不断增大,而中值粒径的变化除 C 点显示出颗粒变粗外,其他两点并未出现这一现象。相反,中值粒径与波浪却有着较为密切的关系:在浪高较大时,沉积物的颗粒较粗,浪高较小时,沉积物的颗粒较细。可见,若波浪作用较强,超过了潮流对沉积物的影响,从



图 3 沉积物中值粒径变化与高潮位潮高、近海浪高的对比

Fig. 3 Variation comparison of median grain size of sediments, high-tide level and wave height in the offshore area

a 表示上午; p 表示下午(后同)

"a" denotes "in the morning" and "p" denotes "in the afternoon" (the same in other figures)

而可能成为决定潮滩泥沙沉降的主要因子,并且对 中潮滩不同部位的影响也有明显差异。这一点与以 往研究中所观测到的高潮滩沉积物颗粒的粗细变化 与潮位之间的强相关性有着明显区别。

粒度参数的计算结果显示, 三个观测点自 7 月 28 日至 8 月 14 日, 沉积物平均粒径总体变粗, 分选变好。 在沉积物粒度组成的变化上表现为: C点与D点在该时 间段, 极细砂和粗粉砂的含量逐渐增大, 细粉砂和黏 土的含量逐渐减少; E 点在该时间段, 细砂与极细砂含 量增大, 细粉砂与黏土含量逐渐减少, 在台风期间, 粗 粉砂的含量也较少。这就进一步显示了: 在中潮滩, 波 浪对沉积物的影响可能比潮汐的影响更加明显。

3.2 沉积通量的变化

沉积通量的变化和潮水能够携带的泥沙量、沉 积时间、沉积滩面的粗糙程度、退潮时带走的沉积 物多少等存在密切关系。理论上由小潮向大潮的过程 中,潮水的能量逐渐增大,潮水能够携带的泥沙量逐 渐增加,沉积的泥沙量也逐渐增加,到大潮时,潮水的 能量达到最大值,能够携带的泥沙量最大,同时滩面 过水时间长,大潮时的沉积通量应该最大。大潮向小潮 的过程中,沉积通量逐渐减小。然而,本项研究中实际 测得的沉积通量并不完全符合这一理论,具体见图 4。

由图 4 中 3 个观测点的沉积通量的变化不难看 出:在中潮滩,弱浪期间的大潮向小潮转化过程中, 在中潮期间沉积通量达到高峰值,且达到峰值的时 间自陆向海推迟;强浪期间的小潮向大潮转化过程 中,达到峰值的时间自海向陆推迟。这种中潮滩不同 部位沉积通量峰值出现时间的差异,与潮汐作用过 程中不同部位的水深变化时间差异相关,水深先变 浅的部位先达到沉积通量的峰值。

就每一次涨落潮而言,三个观测点沉积通量值 基本表现为C点最小,E点最大,D点介于其间,这可 以从 C 点到 E 点水动力增强,海水浸没时间延长得 到解释。

3.3 沉积物磁化率的变化

对 C, D, E 三个观测点的沉积物样都进行了磁化 率测试,每个样品重复测量四次,取其平均值,其结 果如图 5 所示。



图 4 沉积通量及其与潮差、近海浪高对比

Fig. 4 Variation comparison of sedimentary mass per unit area, tidal range and wave height in the offshore area

海洋科学 / 2013 年 / 第 37 卷 / 第 7 期



图 5 沉积物样品质量磁化率变化 Fig. 5 Variation of mass susceptibility of sedimentary samples

各观测点沉积物的质量磁化率在连续半个月 中都出现了多个峰值,无明显的时间变化规律。但 三个观测点之间仍存在明显差异,C点距离海岸最 近,沉积物粒径最小,其连续半个月沉积物的磁 化率平均值最小,为 $5.35 \times 10^{-7}m^3/kg$,D点距离海 岸居中,其连续半个月沉积物的磁化率平均值为 $8.42 \times 10^{-7}m^3/kg$,E点距离海岸最远,沉积物粒径 最粗,其连续半个月沉积物的磁化率平均值最大, 为 $8.54 \times 10^{-7}m^3/kg$ 。这与前人研究的粉砂淤泥质海 岸, 自陆向海沉积物磁化率逐渐增大^[12]的结论相 一致。

为探讨质量磁化率与样品粒级组分之间的关系, 对每一个观测点取 30 个样用 SPSS 软件进行统计分 析,质量磁化率值与样品各粒级组分百分比的相关 性见表 1。

从表 1 可以看出,本区中潮滩磁化率总体上与 细砂(2Φ~3Φ)、极细砂(3Φ~4Φ)关系最为密切,可能 是磁性矿物更多地富集在细砂、极细砂中。

表 1 质量磁化率与沉积样品不同粒级组分百分比之间的相关性比较

TE 1 1	T 1 1 4*	ee• • / e				•	e 1º /	
Iah I	The correlation	coefficients of	mass sus	enfihilifv g	and grain	S1765 0	t sedimentary	samples
140.1	The correlation	coefficients of	mass sust	cpublicy a	ina srain	SILCS U	i scumentar y	Sampies

采样点 -	粒级组分百分比(%)				质量磁化率与粒级组分相关系数					
	细砂	极细砂	粗粉砂	细粉砂	泥	细砂	极细砂	粗粉砂	细粉砂	泥
C 点	0.162	8.901	47.804	26.871	16.262	0.811*	0.725*	-0.159	-0.207	-0.198
D 点	0.509	25.008	53.559	11.677	9.248	0.536*	0.548*	-0.220	-0.330	-0.339
E 点	1.593	28.844	47.552	12.272	9.739	0.234	0.128	-0.246	0.047	0.045

注:*表示通过 0.01 显著性水平检验

4 结论

通过以上对研究区所采集的沉积物样品的粒 度、沉积通量及磁化率等的分析可以得出如下结论: (1)与高潮滩不同,中潮滩沉积物颗粒粗细的变化 在大小潮周期中即使在弱浪期间与潮汐周期变化也 不具有很好的对应关系;而强浪对中潮滩沉积的影 响往往明显超过潮汐的作用。(2)中潮滩不同微地貌 部位的沉积无论在颗粒大小,还是沉积通量方面都 有着明显的差异,上部的沉积物颗粒明显细于中部 和下部,并且沉积通量自岸向海也呈增加的趋势。 (3)在一个大小潮周期中,中潮滩不同地貌部位出 现沉积通量峰值的时间差异与滩面高程、潮汐和波浪 共同作用的水深有着比较密切的关系。(4)研究区中潮 滩沉积物质量磁化率与粒径组分中的细砂和极细砂 关系密切,并且磁化率呈现由陆向海增加的趋势。

参考文献:

- Reineck H E. Layered sediments of tidal flats, beaches, and shelf bottoms of the North Sea[C]//Lauff G H. Washington, D.C.: American Association for the Advancement of Science, 1967:191-206.
- [2] 任美锷,张忍顺,杨巨海. 江苏王港地区淤泥质潮滩 的沉积作用[J]. 海洋通报, 1984, 3(1): 40-54.
- [3] Choi K S, Park Y A. Late Pleistocene silty tidal rhythmites in the macrotidal flat between Youngjong and Yongyou

Islands, west coast of Kore a[J]. Marine Geology, 2000, 167: 231-241.

- [4] Storms J E A, Hoogendoorn R M H, Dam R A C, et al. Late-Holocene evolution of the Mahakam delta, East Kalimantan, Indonesia[J]. Sedimentary Geology, 2005, 180: 149-166.
- [5] Bai Chunguang, Wang Jian, Xu Yonghui. Tidal couplet formation and preservation, and criteria for discriminating storm-surge sedimentation on the tidal flats of central Jiangsu Province, China[J]. Journal of Coastal Research, 2010, 26(5): 976-981.
- [6] 杨世伦.长江三角洲潮滩季节性冲淤循环的多因子分 析[J]. 地理学报, 1997, 52(2): 123-130.
- [7] Cowan E A, Cai J, Powell R D, et al. Modern tidal rhythmites deposited in a deep-water estuary[J]. Geo-Marine Letters, 1998, 18: 40-48.
- [8] 宋召军,黄海军,王珍岩,等.苏北潮滩的近期变化 分析[J]. 海洋科学,2008,32(6):25-29.
- [9] 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,1987,9(6):725-734.
- [10] 杨世伦. 风浪在开敞潮滩短期演变中的作用——以 南汇东滩为例[J]. 海洋科学, 1991, 2:59-64.
- [11] 李占海. 江苏大丰潮滩沉积动力过程研究[R]. 上海:华东师范大学, 2005.
- [12] 姜文英. 江苏海岸现代和晚第四纪沉积物磁化率分析及其环境意义[D]. 南京: 南京师范大学, 1992.

Sedimentary characteristics of spring-neap tidal cycles on middle tidal flat in Dafeng, Jiangsu Province, China

BAI Chun-guang¹, GONG Xiao-hui², WANG Jian³

(1. College of Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, China; 2. School of Urban and Resource Environment, Jiangsu Second Normal University, Nanjing 210013, China; 3. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Received: Dec., 17, 2012 **Key words:** middle tidal flat; spring-neap tidal cycles; sedimentary characteristics; muddy tidal flat

Abstract: From 28th of July to 14th of August 2007, in-situ observation of the sedimentary characteristics of middle tidal flat was carried out in the central Jiangsu province, China. During this period, sedimentary samples were collected after each high-tide period (day or night). Particle size, sediment flux and magnetic susceptibility of the samples were measured in the laboratory. The results show that the particle size of middle tidal flat sediments and sediment flux are closely related to the wave, not tidal cycle. From the upper of the middle tidal flat to the lower, the sediment particles become coarser, the sedimentary flux becomes larger and quality susceptibility turns into greater. In addition, the magnetic susceptibility of middle tidal flat sediments has a close connection with fine sand $(2\Phi\sim 3\Phi)$ and very fine sand $(3\Phi\sim 4\Phi)$. These results can provide references to the analysis of differences of tidal sedimentation in micro-scale and the reliability assessment of the age-dating method with tidal rhythmites.

(本文编辑: 刘珊珊)