

文章编号: 1000-0550(2007) 02-0267-07

# 潮滩表层沉积物磁性特征的季节性变化及其对沉积动力作用的响应: 以杭州湾北岸为例

邢云 张卫国 杨世伦 俞立中

(华东师范大学河口与海岸学国家重点实验室 上海 200062)

**摘要** 根据 2004 年 9 月—2005 年 8 月杭州湾北岸中潮滩固定观测点重复采集的表层沉积物的磁学参数和粒度分析, 探讨了研究区域潮滩沉积物磁性性质的季节性变化及其对沉积动力的响应。结果表明, 该观测点潮滩沉积物磁学参数存在显著的月际变化, 2004 年 12 月底—2005 年 5 月上旬的半年中,  $SIRM$ 、 $X_{ARM}$ 、 $X_{HF}$ 、 $X_{ARM}/X_{IRM}$  等参数出现高值, 指示了沉积物中含有较多的细晶粒亚铁磁性矿物, 对应于潮滩淤积时段和较细的沉积物粒级组成, 其余各月上述磁参数值较低, 对应于潮滩沉积物较粗的侵蚀期。上述结果表明, 沉积物的磁性特征可以很好地反映潮滩冲淤过程中沉积动力的变化。

**关键词** 沉积物 磁性特征 沉积动力 潮滩 杭州湾

**第一作者简介** 邢云 女 1982 年出生 硕士 环境磁学和海岸动力地貌 E-mail 51049901003@ student.ecnu.edu.cn

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

位于海陆交界的潮滩, 随着泥沙供应、水动力、人类活动等因子的变化, 存在着淤积和侵蚀现象, 反映在高程和潮滩剖面形态、粒度组成的改变上, 并直接影响其海岸防护、野生生物栖息地等功能的发挥<sup>[1-4]</sup>。伴随着物质来源、潮滩冲淤过程和沉积动力等的变化, 沉积物的地球化学和矿物组成也可能发生改变<sup>[5,6]</sup>。作为污染物的载体, 潮滩沉积物性质的改变会对污染物的归宿产生重要影响<sup>[7]</sup>, 因此, 潮滩冲淤变化过程中沉积物组成改变的研究引起了广泛的重视。

磁性矿物(主要为铁的氧化物和硫化物)是沉积物中普遍存在的组分, 磁性矿物的类型、含量和晶粒大小等特征, 与沉积物的物质来源、搬运和沉积过程中的动力条件等有关。因此, 通过沉积物磁性特征的分析, 可以提取沉积物来源和沉积环境变化的信息<sup>[8-10]</sup>。本文通过一年期杭州湾北岸潮滩 49 个表层沉积物样品的测试分析, 拟揭示矿物磁性特征的季节性变化及其控制因子, 并探讨其环境指示意义。

## 1 研究区概况

采样点位于杭州湾北岸东段(图 1)。该岸段多年平均潮差 3.0 m, 大潮潮差 > 4 m, 属于中—强潮海岸。潮流基本为东西向往复流, 主流向与沿岸等深线

大致平行, 大潮涨潮平均流速 1.1 m/s, 落潮平均流速 0.91 m/s, 波浪特别是东南向波浪作用较强。该岸段滩面的季节性变化显著, 年内变化表现为冬淤夏冲, 潮滩沉积物类型主要为粉砂和粘土<sup>[1,2]</sup>。

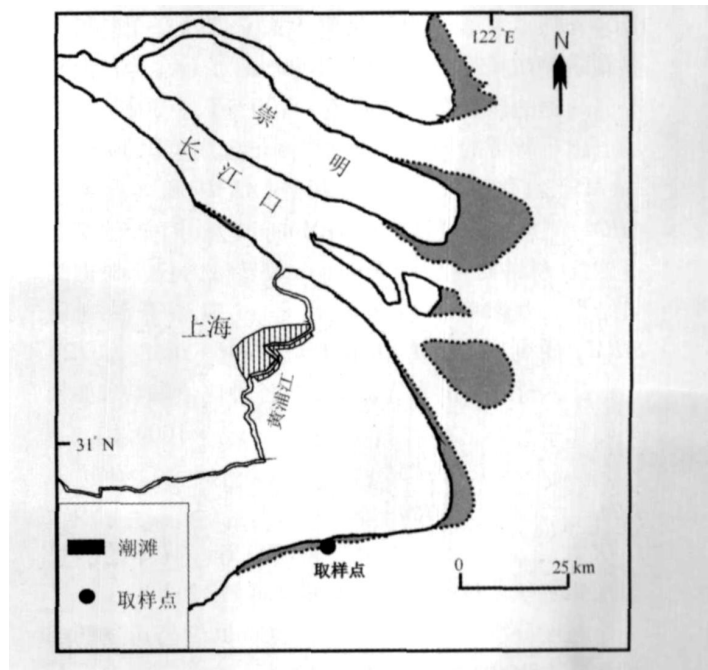


图 1 研究区域及采样点

Fig 1 The Study area with the sampling site

## 2 研究方法

### 2.1 样品采集和滩面高程测量

2004年9月-2005年8月,每月大、小潮在中潮滩(平均潮位附近)一固定点(30°50'9"N, 121°51'3"E)(图1)各取一个表层(<1cm)沉积物。大潮期间,中午为高潮位,早、晚为低潮位,取样时间在早上或傍晚;小潮期间相反,中午为低潮位,早、晚为高潮位,取样时间在中午。为了了解表层沉积物变化与滩面冲淤之间的关系,取沉积物样的同时进行滩面相对高程变化的测量(双桩法)<sup>[11]</sup>,并根据初始水准测量结果换算出相对于基面(吴淞基面)的高程。双桩法即在潮滩上垂直插入两根细木桩,间距1m,两桩均高出滩面0.2m左右。每次测量时,在两桩上架一根横梁,记录横梁中部距滩面的高度,该高度的变化反映滩面的淤高或刷低。

### 2.2 样品分析

对上述采集的样品于低温下烘干(<40℃),除一部分样品进行粒度分析外,其余样品用研钵分散,以备磁性测量。

磁性测量按下列次序进行:(1)低频磁化率( $\chi_{LF}$ , 0.47 kHz)和高频磁化率( $\chi_{HF}$ , 4.7 kHz);(2)非磁滞剩磁( $ARM$ , 交变磁场峰值 100 mT, 支流磁场 0.04 mT, 本文表达为磁化率形式  $\chi_{ARM}$ );(3)饱和等温剩磁( $SIRM$ , 磁场强度为 1000 mT);(4)具有饱和等温剩磁的样品在磁场强度 -100 mT、-300 mT 磁场退磁后所带的剩磁。磁化率测量选用英国 Bartington MS2 磁化率仪,非磁滞剩磁( $ARM$ )和等温剩磁( $IRM$ )测量所用仪器为英国 Molspin 公司生产的交变退磁仪、脉冲磁化仪和 Minispin 旋转磁力仪。根据测量结果,计算单位质量磁化率  $\chi$  饱和等温剩磁  $SIRM$ , 硬剩磁  $HIRM$  ( $HIRM = [SIRM + IRM_{-300}] / 2$ ), 非磁滞剩磁磁化率 ( $\chi_{ARM}$ ) 以及各种比值参数,如频率磁化率  $\chi_{HF} / \chi_{LF}$  ( $\chi_{HF} / \chi_{LF} = [\chi_{HF} - \chi_{LF}] / \chi_{LF} \times 100$ ),  $\chi_{ARM} / \chi$ ,  $\chi_{ARM} / SIRM$ ,  $SIRM / \chi$ ,  $S_{-100}$  ( $S_{-100} = [SIRM - IRM_{-100mT}] / [2 \times SIRM] \times 100$ ),  $S_{-300}$  ( $S_{-300} = [SIRM - IRM_{-300mT}] / [2 \times SIRM] \times 100$ ) 等。具体的测量方法和磁学参数的含义可参照文献[12]。

粒度分析采用美国库尔特(Coulter)公司生产的库尔特 LS100Q 型激光粒度仪进行。

## 3 研究结果

### 3.1 沉积物磁性特征

#### 3.1.1 磁性矿物的含量

$\chi$ 和  $SIRM$  近似地指示样品中磁性矿物含量,与  $\chi$  不同的是,  $SIRM$  不受顺磁性、抗磁性矿物的影响,主要反映亚铁磁性矿物(如磁铁矿)的含量<sup>[13,14]</sup>。由图2知,  $\chi$ 没有明显季节性变化,而  $SIRM$  的季节性变化较明显。具体体现为:2005年1~5月上旬  $SIRM$  值较高,83%的样品  $SIRM$  值均大于  $8000 \times 10^{-6} \text{ Am}^2 \text{ kg}^{-1}$ ;而2004年9~12月以及2005年6~8月样品  $SIRM$  值较低,除一个样品外,其他样品的  $SIRM$  均小于  $8000 \times 10^{-6} \text{ Am}^2 \text{ kg}^{-1}$ 。硬剩磁  $HIRM$  反映不完整反铁磁性矿物(如赤铁矿、针铁矿)的含量。 $HIRM$  的变化表明,2005年1~5月不完整反铁磁性矿物含量较高,5月以后呈下降趋势。

#### 3.1.2 晶粒特征

$\chi_{ARM}$  反映超顺磁(SP,  $\sim < 0.03 \mu\text{m}$ ) - 稳定单畴(SSD,  $0.04 \sim 0.06 \mu\text{m}$ ) 界限附近的细粘滞性亚铁磁性颗粒(FV,  $0.015 \sim 0.025 \mu\text{m}$ ) 晶粒对磁化率的贡献<sup>[13,14]</sup>。2005年1~5月样品具有较高的  $\chi_{ARM}$  值,指示这些样品中含有较多的 SP/FV 颗粒。 $\chi_{ARM}$  受到磁性矿物晶粒大小的显著影响,稳定单畴亚铁磁性矿物晶粒的  $\chi_{ARM}$  要显著高于超顺磁晶粒和多畴晶粒(MD,  $> 10 \mu\text{m}$ )<sup>[9]</sup>。 $\chi_{ARM}$  与  $\chi_{HF}$  具有类似的时间变化:2004年9~12月份基本没有变化,维持  $88 \times 10^{-8} \sim 103 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  的低值;2004年12月底至次年5月上旬  $\chi_{ARM}$  值急剧升高,且同一月内样品变化范围较大,大部分大于  $200 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ ,最高值达  $455 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ ;5月中旬至8月  $\chi_{ARM}$  呈下降趋势,但大部分大于  $100 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ 。

比值参数  $\chi_{ARM} / \chi$  可指示亚铁磁性矿物晶粒的大小,较高的比值反映了 SSD 晶粒,而较低的比值则显示了较多的 MD 或 SP 晶粒。 $\chi_{ARM} / SIRM$  与  $\chi_{ARM} / \chi$  类似,但由于不受 SP 晶粒的影响,较低的比值则反映较粗的 MD 晶粒<sup>[9]</sup>。本区沉积物  $\chi_{ARM} / \chi < 7$ ,  $\chi_{ARM} / SIRM < 50 \times 10^{-5} \text{ mA}^{-1}$ , 指示了亚铁磁性矿物晶粒以假单畴(PSD,  $0.1 \sim 10 \mu\text{m}$ ) - 多畴为主<sup>[8]</sup>。2005年1~5月样品具有较高的  $\chi_{ARM} / \chi$  和  $\chi_{ARM} / SIRM$  值,说明这些样品中磁性矿物颗粒较细。

#### 3.1.3 磁性矿物的类型

$S_{-300}$  反映样品中亚铁磁性矿物(如磁铁矿)与不完整反铁磁性矿物(如赤铁矿、针铁矿)的相对组成,它随着不完整反铁磁性矿物的贡献的增加而下降<sup>[12,13]</sup>。本区沉积物样品的  $S_{-300}$  达到 93%~98%,即经 -300mT 磁场磁化后,样品所携剩磁已接近饱和,说明亚铁磁性矿物主导了样品的磁性特征,但同

时存在不完整的反铁磁性物质的贡献。2004 年 9~12 月样品  $S_{-300}$  较高, 表明这一时段内, 亚铁磁性矿物占有更大的比例。图 3 揭示了典型样品的热磁曲线特征。其中 2004 年 12 月 23 日样品中砂、粉砂、粘土

含量分别为 7.7%、12.0%、80.3%; 2005 年 4 月 4 日样品中砂、粉砂、粘土含量分别为 29.8%、69.5%、0.7%。这两个样品的居里点  $T_c$  都在 580°C 左右, 表明磁铁矿是主要的亚铁磁性矿物。

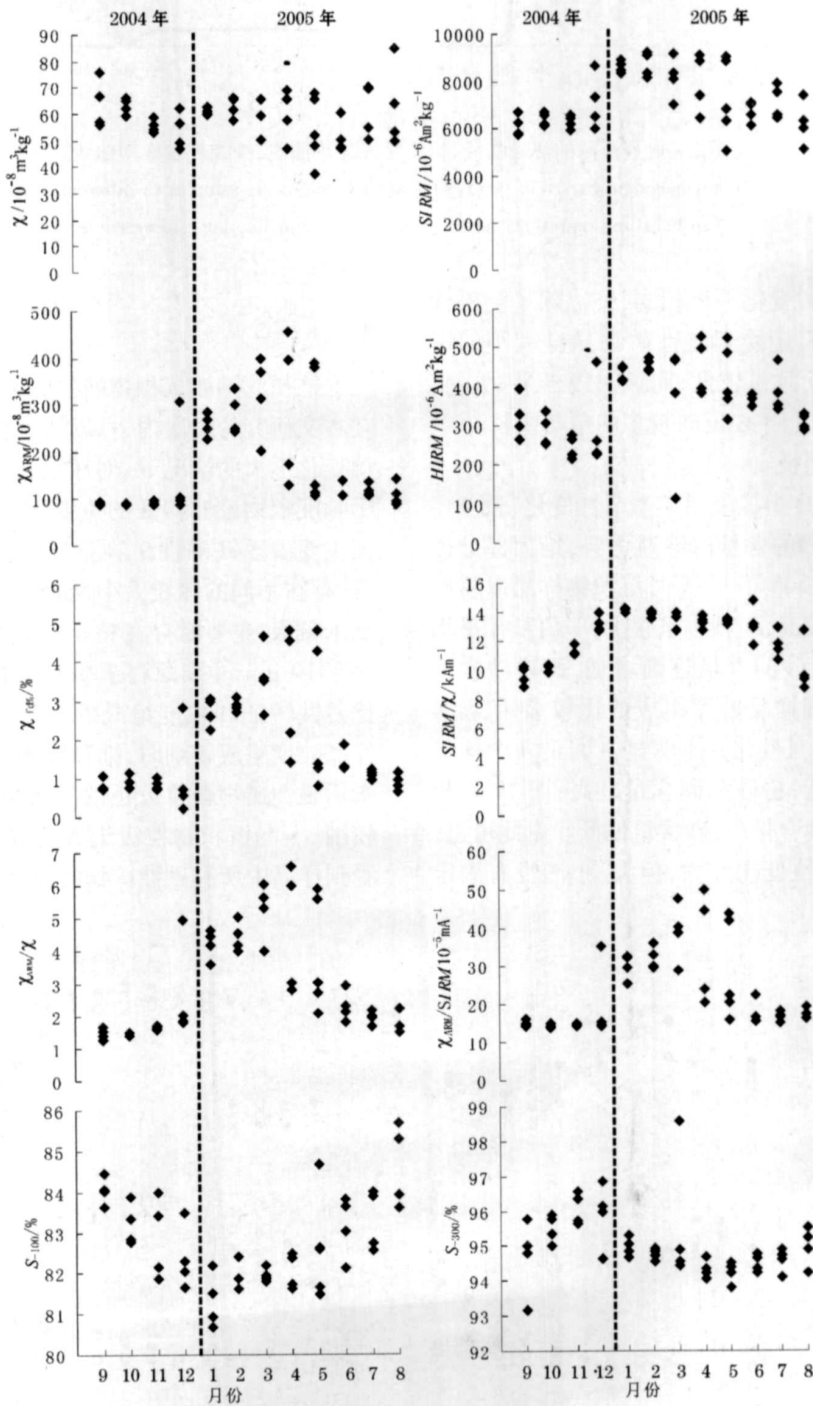


图 2 磁性特征的逐月变化 (2004 年 9 月 - 2005 年 8 月, 每月大潮和小潮日期样品)

Fig 2 Monthly variation of magnetic properties for surface sediments sampled from September 2004 to August 2005 on the dates of spring and neap tides with in each month

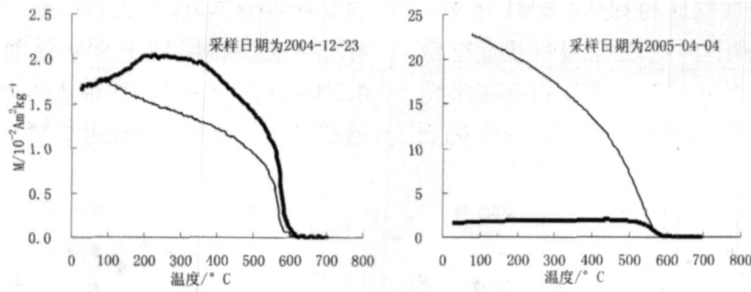


图 3 典型样品的热磁曲线,粗线代表加热曲线,细线代表冷却曲线

Fig 3 Thermomagnetic curves of two typical surface sediments samples in different seasons

The bold line represents heating curve while thin line for cooling curve

$S_{-100}$ 和 $S_{-300}$ 的变化不尽相同, $S_{-100}$ 除了受磁性矿物类型的影响外,还受到磁性矿物晶粒大小的影响<sup>[8]</sup>。 $S_{-100}$ 在1~5月份较低,而该时段样品 $\chi_{ARM}$ 较高,因此,较低的 $S_{-100}$ 主要反映较多的单畴颗粒。

### 3.2 沉积物粒度特征

潮滩沉积物粒度组成呈明显季节性变化(图4)。2004年9~12月,砂的含量占绝对优势,绝大部分样品含量超过60%;2005年1~5月沉积物样品以粉砂为主,但粘土含量较高,而砂含量很少,中值粒径平均为17 $\mu\text{m}$ ;6月以后砂的含量逐渐增加,而粉砂含量明显下降。大、小潮样品粒度组成的比较显示,除4月、12月外,其他各月变化并不明显,4月的4个样品中,大潮粘土含量低,粉砂和砂含量较高;而12月相反,大潮粘土和粉砂含量高,砂含量偏低。由此可见,沉积物粒度的季节性变化较大,但大、小潮没有固定的变化趋势。

## 4 讨论

杭州湾潮滩沉积物的物源主要为长江来沙<sup>[1,15]</sup>,在本文研究的时段内,可以认为物源变化不大。在物源变化不大的情况下,对于表层沉积物而言,粒度是影响沉积物磁性特征的重要因素。沉积物的磁性特征主要由亚铁磁性矿物主导,对于亚铁磁性矿物而言,存在不同的颗粒大小,如SP/FV/SSD颗粒主要为纳米级,主要赋存在粘土粒级中,而多畴颗粒一般大于10 $\mu\text{m}$ ,主要赋存于粉砂及更粗的粒级中<sup>[8]</sup>。对比磁性特征和粒度组成的变化,可以看出,1~5月样品粒度组成较细时,细颗粒SP/FV/SSD含量较高,指示磁性矿物颗粒大小的参数也反映磁性矿物颗粒较细。 $\chi$ 与沉积物粒级组成的关系不显著,可能是 $\chi$ 受到样品中所有磁性矿物的贡献,不同的磁性矿物分

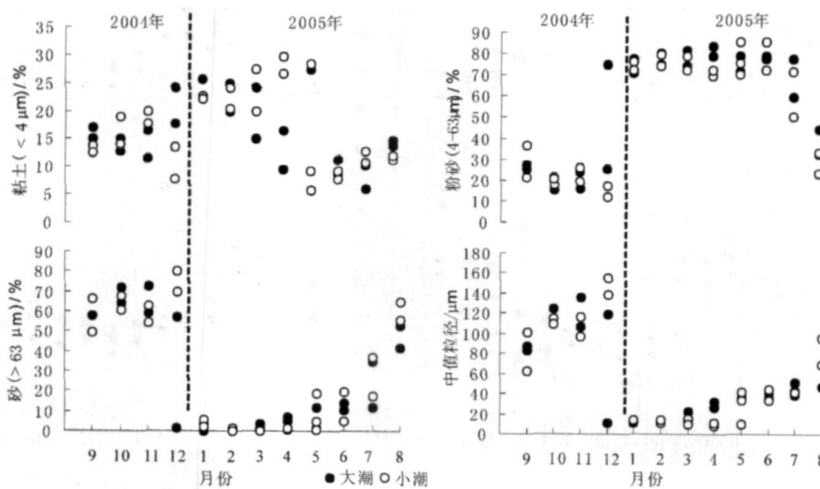


图 4 沉积物粒度组成与中值粒径的时间变化(2004年9月-2005年8月)

Fig 4 Temporal changes in particle size composition and median particle size of sediments samples from September 2004 to August 2005

表 1 磁性参数与粒度组成、粒度参数的相关系数

Table 1 Correlation coefficients between magnetic properties and granulometric parameters

	$\chi$	$H_{RM}$	$S_{RM}$	$\chi_{FF\%}$	$\chi_{ARM}$	$\chi_{ARM}/\chi$	$\chi_{ARM}/S_{RM}$	$S_{RM}/\chi$	$S_{-100}$	$S_{-300}$
< 1 $\mu$ m	0.44	0.46	0.71	0.75	0.79	0.73	0.76	0.30	-0.59	0.05
< 2 $\mu$ m	0.45	0.50	0.75	0.80	0.83	0.78	0.80	0.34	-0.61	0.04
< 4 $\mu$ m	0.46	0.50	0.76	0.81	0.85	0.79	0.82	0.34	-0.61	0.04
< 8 $\mu$ m	0.46	0.53	0.79	0.84	0.87	0.82	0.84	0.37	-0.62	0.03
< 16 $\mu$ m	0.43	0.58	0.84	0.87	0.91	0.87	0.88	0.47	-0.65	-0.01
< 32 $\mu$ m	0.26	0.66	0.86	0.90	0.92	0.93	0.90	0.67	-0.71	-0.14
1~ 2 $\mu$ m	0.45	0.52	0.77	0.83	0.86	0.81	0.83	0.36	-0.62	0.02
2~ 4 $\mu$ m	0.47	0.51	0.77	0.83	0.86	0.81	0.83	0.35	-0.61	0.04
4~ 8 $\mu$ m	0.46	0.55	0.82	0.86	0.90	0.85	0.87	0.41	-0.62	0.01
8~ 16 $\mu$ m	0.36	0.62	0.87	0.88	0.92	0.90	0.89	0.58	-0.68	-0.06
16~ 32 $\mu$ m	-0.11	0.60	0.62	0.67	0.64	0.73	0.66	0.81	-0.59	-0.32
32~ 63 $\mu$ m	-0.47	0.16	-0.21	-0.12	-0.21	-0.11	-0.17	0.27	0.14	-0.48
> 63 $\mu$ m	0.05	-0.71	-0.66	-0.76	-0.72	-0.79	-0.73	-0.78	0.57	0.42
中值粒径	-0.08	-0.75	-0.66	-0.76	-0.72	-0.77	-0.74	-0.65	0.45	0.49
平均粒径	-0.06	-0.73	-0.66	-0.79	-0.75	-0.80	-0.77	-0.67	0.52	0.46

布于不同的粒级中。SIRM 与  $\chi_{ARM}$  之间具有显著正相关关系, 2004 年 9~ 12 月及 2005 年 5 月中旬 - 8 月的样品, SIRM 在  $8000 \times 10^{-6} \text{ Am}^2 \text{ kg}^{-1}$  以下,  $\chi_{ARM}$  在  $80 \times 10^{-8} \sim 250 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  之间; 其他月份的样品, SIRM 在  $8000 \times 10^{-6} \text{ Am}^2 \text{ kg}^{-1}$  以上,  $\chi_{ARM}$  在  $250 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  以上, 表明 SSD 颗粒对 SIRM 有较大的贡献, 因此 SIRM 与粒度组成有密切的关系。磁性参数与粒度组成、粒度参数的相关分析表明 (表 1), SIRM、 $\chi_{ARM}$ 、 $\chi_{FF\%}$ 、 $\chi_{ARM}/\chi$  和  $\chi_{ARM}/SIRM$  与 1  $\mu$ m、1~ 2  $\mu$ m、2~ 4  $\mu$ m、4~ 8  $\mu$ m、8~ 16  $\mu$ m、16~ 32  $\mu$ m 以及 < 2  $\mu$ m、< 4  $\mu$ m、< 8  $\mu$ m、< 16  $\mu$ m、< 32  $\mu$ m 粒级皆呈显著正相关性, 以与 8~ 16  $\mu$ m 和 < 32  $\mu$ m 粒级相关性最为显著。这一结果, 与在 Irish 海滨岸沉积物<sup>[8]</sup>以及长江口潮滩沉积物研究<sup>[16]</sup>结果相似, 表明细颗粒沉积物中含有较多的细颗粒磁性矿物。

前人的研究成果表明, 以当年 5~ 10 月为夏半年, 11 月 - 翌年 4 月为冬半年, 受杭州湾北岸的风浪以及长江口、钱塘江输水输沙年内变化的影响, 杭州湾北岸岸滩的年内变化表现为滩面的冬淤夏冲<sup>[17]</sup>。根据观测, 取样点高程的年变化幅度在 0.20 m 左右, 月均高程的年变幅为 0.13 m, 1 月份开始潮滩逐渐淤高, 至 5 月中旬达到最高值, 淤高趋势稳定平缓, 波动小, 反映这个时段潮滩处于稳定建设期; 此后的半年受向岸风浪和台风的影响, 滩面呈冲刷态势; 10 月 - 翌年 1 月, 滩面基本维持在刷低状态 (图 5)。沉积物粒度与滩面冲淤过程关系密切: 即滩面侵蚀阶段沉积物较粗, 反之, 滩面淤积阶段沉积物细<sup>[18]</sup>。本研

究中, 1~ 5 月中旬的潮滩淤积期沉积物粒径较细, 因而沉积物中细颗粒磁性矿物含量较高, 磁性矿物颗粒总体较细。

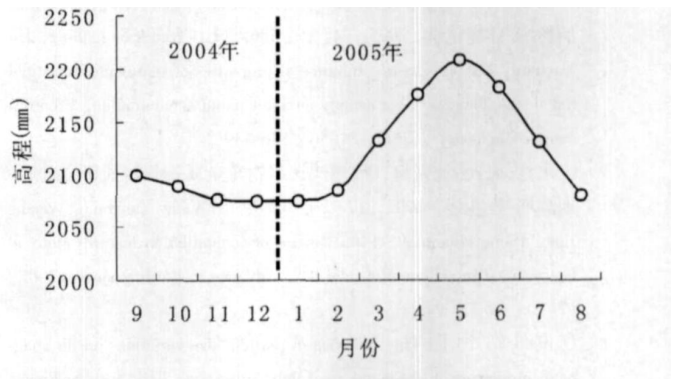


图 5 采样点滩面月均高程的变化 (2004 年 9 月 - 2005 年 8 月)

Fig 5 Changes in monthly elevation of sediment surface at the sampling site (September 2004 to August 2005)

### 5 结论

研究区潮滩沉积物磁性参数存在显著的季节性变化, 它与潮滩动力条件变化引起的滩面冲淤和沉积物粒度变化密切相关。12 月底 - 次年 5 月上旬为潮滩淤积时期, 沉积物粒度较细, 以粘土质粉砂为主, SIRM、 $\chi_{ARM}$ 、 $\chi_{FF\%}$ 、 $\chi_{ARM}/\chi$ 、 $\chi_{ARM}/SIRM$  等参数出现高值; 其余时段为潮滩侵蚀期, 沉积物较粗, 属粉砂质砂, 上述参数出现低值。磁性参数与粒度的变化的一致性, 说明磁性参数可以很好地反映沉积动力的变化。

## 参考文献 (References)

- 1 陈吉余, 王宝灿, 虞志英, 等. 中国海岸发育过程及演变规律. 上海: 上海科学技术出版社, 1989. 81-96 [ Chen Jiyu, Wang Baocan, Yu Zhiying, *et al.* Development and Evolution of China's Coast. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1989. 81-96 ]
- 2 夏小明, 杨辉, 李炎, 等. 长江口—杭州湾毗连海区的现代沉积速率. 沉积学报, 2004, 22(1): 131-135 [ Xia Xiaoming, Yang Hui, Li Yan, *et al.* Modern sedimentation rates in the contiguous sea area of Changjiang estuary and Hangzhou Bay. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(1): 131-135 ]
- 3 Goodwin P, Mehta A J, Zedler J B. Coastal wetland restoration: an introduction. *Journal of Coastal Research*, 2001, 27: 1-6
- 4 杨世伦, 谢文辉, 朱骏, 等. 大河口潮滩地貌动力过程的研究——以长江口为例. 地理学与国土研究, 2001, 17(3): 44-48 [ Yang Shilun, Xie Wenhui, Zhu Jun, *et al.* A study of intertidal flat morphology dynamics of a large river mouth: Yangtze River Mouth. *Geography and Territorial Research*, 2001, 17(3): 44-48 ]
- 5 Wang B C, Eisma D. Supply and deposition of sediment along the north bank of Hangzhou Bay, China. *Netherlands Journal of Sea Research*, 1990, 25(3): 377-390
- 6 方圣琼, 胡雪峰, 徐巍, 等. 长江口潮滩沉积物的性状对重金属累积的影响. 环境化学, 2005, 24(5): 586-589 [ Fang Shengqiong, Hu Xuefeng, Xu Wei, *et al.* Influence of properties of sediments from tidal flat in the Yangtze River estuary to heavy metal accumulation. *Environmental Chemistry*, 2005, 24(5): 586-589 ]
- 7 王永红, 张经, 沈焕庭, 等. 潮滩沉积物重金属累积特征研究进展. 地球科学进展, 2002, 17(1): 69-77 [ Wang Yonghong, Zhang Jing, Sheng Huanting, *et al.* Review of accumulation features study of heavy metal in sediment of tidal flat. *Advance in Earth Sciences*, 2002, 17(1): 69-77 ]
- 8 Orlfield F, Yu L. The influence of particle size variations on the magnetic properties of sediments from the northeastern Irish Sea. *Sedimentology*, 1994, 41: 1093-1108
- 9 Maher B A. Magnetic properties of some synthetic submicron magnetites. *Geophysical Journal*, 1988, 94: 83-96
- 10 Zheng H, Orlfield F, Yu L, *et al.* The magnetic properties of particle-sized samples from the Luo Chuan bress section: evidence for pedogenesis. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1991, 68: 250-258
- 11 Yang S L, Friedrichs C T, Ding P X, *et al.* Morphological response of tidal marshes, flats and channels of the outer Yangtze River mouth to a major storm. *Estuaries*, 2003, 26(6): 1416-1425
- 12 Walken J, Orlfield F, Smith J P. Environmental magnetism: a practical guide. Technical Guide, No. 6 Quaternary Research Association, London, 1997. 63-88
- 13 张卫国, 俞立中, Hutchinson S M. 长江口南岸边滩沉积物重金属污染记录的磁诊断方法. 海洋与湖沼, 2000, 31(6): 616-623 [ Zhang Weiguo, Yu Lizhong. Magnetic diagnosis of heavy metal pollution record in coastal sediments on the southern bank of the Changjiang River estuary. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2000, 31(6): 616-623 ]
- 14 贾海林, 刘苍宇, 张卫国, 等. 崇明岛 CY 孔沉积物的磁性特征及其环境意义. 沉积学报, 2004, 22(1): 117-123 [ Jia Hailin, Liu Cangyu, Zhang Weiguo, *et al.* Magnetic properties of core CY from Chongming island, the Yangtze estuary and its environmental significance. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(1): 117-123 ]
- 15 陈沈良, 杨世伦, 吴瑞明. 杭州湾北岸潮滩沉积物粒度的时间变化及其沉积动力学意义. 海洋科学进展, 2004, 22(3): 299-305 [ Chen Shenliang, Yang Shilun, Wu Ruiming. Temporal changes in tidal flat sediment grain size along the north bank of the Hangzhou Bay and their implication of sedimentation dynamics. *Advances in Marine Science*, 2004, 22(3): 299-305 ]
- 16 张卫国, 俞立中. 长江口潮滩沉积物的磁学性质及其与粒度的关系. 中国科学(D辑), 2002, 32(9): 783-791 [ Zhang Weiguo, Yu Lizhong. Relationship between magnetic properties and grain size in coastal sediments on the Changjiang River estuary. *Science in China Series D*, 2002, 32(9): 783-791 ]
- 17 丁家元. 杭州湾北岸岸滩动态及建港条件分析. 水运工程, 2003, 349(2): 30-32 [ Ding Jiayuan. Analysis of shoal dynamics and port construction conditions of Hangzhou Bay north bank. *Port & Waterway Engineering*, 2003, 349(2): 30-32 ]
- 18 杨世伦. 长江口沉积物粒度参数的统计规律及其沉积动力学解释. 泥沙研究, 1994, 3: 23-31 [ Yang Shilun. Statistic features for grain-size parameters of the Yangtze River estuary and their hydrodynamic explanation. *Journal of Sediment Research*, 1994, 3: 23-31 ]

# Seasonal Changes in Magnetic Properties of Surficial Tidal Flat Sediment and Their Response to Sedimentation Dynamics

a case study from the coast of the Hangzhou Bay

XING Yun ZHANG Wei-guo YANG Shi-lun YU Li-zhong

(State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062)

**Abstract** This study discussed the monthly variations of magnetic properties of surface intertidal sediments along the northern bank of the Hangzhou Bay and their response to sedimentation dynamics. Forty-nine surface sediment samples were collected at a fixed sampling site in the middle tidal flat from September 2004 to August 2005. The results indicate that magnetic properties of surface sediments vary significantly with month. From late December of 2004 to early May of 2005, the values of *SIRM*,  $\chi_{ARM}$ ,  $\chi_{HF}$ ,  $\chi_{ARM}/\chi$  and  $\chi_{ARM}/SIRM$  in surface sediments are relatively higher, suggesting higher concentration of ferrimagnetic minerals with finer grain size. Samples with such magnetic properties occur in the period of tidal flat accretion with a finer sediment particle size composition. For samples from the remaining months, the above magnetic parameters have lower values, corresponding to a period of tidal flat erosion with a coarse particle size composition. Therefore, magnetic properties of surface sediments can reflect the changes in sedimentation dynamics during the process of tidal flat accretion-erosion cycle.

**Key words** sediment; magnetic properties; sedimentation dynamics; tidal flat; Hangzhou Bay