

# 江苏辐射沙洲区高潮滩沉积物的沉积构造与粒度分析

燕守广, 张忍顺, 王艳红, 刘永学

(南京师范大学海洋与滩涂研究所, 南京 210097)

[摘要] 通过研究沉积物的薄片以及粒度实验, 分析了江苏中部海岸辐射沙洲区高潮滩上沉积物柱状样的原生沉积构造和沉积物的垂向粒度特征, 并以此来解释辐射沙洲高潮滩的沉积环境, 并发现砂/泥薄互层理既有风暴潮的成因, 也有大、小潮周期性变化的成因。

[关键词] 辐射沙洲, 沉积构造, 砂/泥薄互层理, 粒度特征

[中图分类号] P736.2; [文献标识码] A; [文章编号] 1001-4616(2001)03-0104-06

## 0 研究区域背景

江苏中部辐射沙洲北起射阳河口, 南至长江口, 由潮流作用形成的沙脊群以辐射状形态分布在以弶港为顶点的海岸外围, 整个沙脊群水域南北长约 200 km, 东西宽约 90 km。在弶港附近受到两种潮波的交汇, 弶港以北受南黄海西部旋转潮波的影响, 涨潮流方向为 NE 至 SW, 弶港以南, 太平洋潮波以前进波形式经东海进入黄海, 涨潮流基本以 SE 至 NW 的方向传播<sup>[1]</sup>。由于其特殊的潮汐动力环境, 加上周围丰富的泥沙来源, 海区水动力以及海岸地貌复杂多变, 辐射沙洲潮差较大, 平均潮差在 4 m 以上, 属强潮海岸, 潮汐作用强, 潮流是潮滩发育的主要因素<sup>[4]</sup>。为研究其复杂的沉积动力环

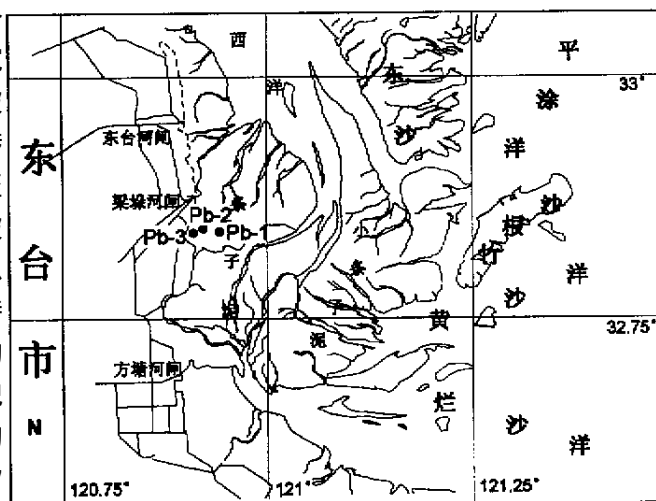


图 1 取样点位置示意图

境, 分析潮滩地貌的成因, 在辐射沙洲的高潮滩取得了沉积物的柱状样, 并在柱状样剖面上取样, 进行粒度分析, 得出沉积物的垂向粒度特征。本文着重对柱状样的沉积构造和粒度特征进行研究, 为解释辐射沙洲的沉积动力环境提供依据。

## 1 样品的采集与处理

2000 年 5 月在辐射沙洲中部沿近于东西向的剖面上共采集了 3 条柱状样: Pb-1、Pb-2 和 Pb

-3 ,同时在采样点取与柱状样相同深度的盒状样作为对比分析和存档 ,本文所讨论的为 Pb-2 号柱状样 ,其位置为 :N 32°50.397'E 120°55.330' ,距新海堤约 2 km ,柱长 112 cm .柱状样采回后用脱脂纱布和乳胶对其进行揭片 ,分析其构造层理 .在获得理想的揭片效果后 ,每隔 2 cm 对柱状样再取样 ,并对特征层理 ,如砂/泥薄互层理中的砂质层和泥质层也进行取样 .用法国产 Cilas940L 型激光粒度仪对样品进行粒度分析 .采用 Mcmanus( 1988 )矩法公式计算出样品的平均粒径、中值粒径、分选系数、偏态和峰态 ,得出柱状样的垂向粒度特征 .

2 沉积构造

辐射沙洲区岸外属正规半日潮 ,历史最高潮位 6.54 m( 文中高程为废黄河零点 ) ,平均高潮面 3.50 m ,平均海平面 1.01 m ,Pb-2 号柱状样所处的潮滩的表面高程为 3.48 m ,为辐射沙洲最高的部分 ,在潮汐的作用下 ,细颗粒物在此处开始富集 ,在大、小潮的周期作用下与风暴潮的不定期作用都可能形成砂/泥薄互层理 ,因而对柱状样进行的揭片研究发现 ,砂/泥薄互层理是辐射沙洲高潮滩上主要的沉积层理 ,并有潮成和风暴成砂/泥薄互层理两种之分 .由于风暴潮在江苏沿海的活动十分频繁 ,因而在沉积层中留下了大量的风暴潮层理 ,另外在柱状样中还发现有波状层理、扰动层理以及它们中间夹有的交错层理 .

2.1 砂/泥薄互层理( 韵律层理 )

砂/泥薄互层理在柱状样剖面中分布最多 ,整个剖面中共发现有 7 段薄互层理 ,总长 58.5 cm ,占柱状样剖面的 52% .其中 5 段为大、小潮作用形成的薄互层理( 本文中称为潮成薄互层理 ) 2 段为风暴潮作用形成的薄互层理( 本文中称为风暴成薄互层理 ) ,每一薄互层理厚 4 ~ 12 cm 不等 ,砂质纹层和泥质纹层交替出现 ,厚度各异 ,但一般小于 2 mm ,多数在 0.5 ~ 1 mm 之间 ,风暴成薄互层理中的砂质纹层最大可达 8 mm ,砂质纹层为黄棕色 ,泥质纹层为灰褐色 .砂/泥薄互层理中的砂质和泥质纹层仅指二者的相对粗细而言 ,并不是沉积物定名的“ 砂 ”和“ 泥 ”<sup>[3]</sup> ,在潮滩沉积物的不同部位 ,砂和泥的含量相差悬殊 ,甚至低潮坪中泥质纹层中的砂含量可以远高于高潮坪的砂质纹层 .对风暴成砂/泥薄互层理中的“ 砂质层 ”和“ 泥质层 ”所做的粒度实验表明 ,柱状样中砂/泥薄互层理中的“ 砂 ”和“ 泥 ”分别指的是砂质粉沙和粉沙 ( 如表 1 ) ,两者都以粉沙为主 ,粉沙的含量都在 72% 以上 ,而泥的含量都很少 ,即使泥质纹层中泥的含量也仅为 9.81% .

表 1 风暴成砂/泥薄互层理中沉积物组成与分类

纹层类型	粘土/%	粉沙/%	砂/%	沉积物分类
砂质纹层	2.21	72.84	24.95	砂质粉沙
泥质纹层	9.81	89.34	0.85	粉沙

砂/泥薄互层理的形成是潮滩沉积动力环境高、低能态周期性变化的结果 ,砂质纹层沉积于相对高能态的动力环境 ,泥质纹层形成于相对低能态的动力环境 .砂质纹层向泥质纹层的过渡是粒度递变的过程 ,反映出沉积动力环境由高能态向低能态的渐变 ,而在砂质纹层的底部多见侵蚀突变面 ,这种突变面在风暴成砂/泥薄互层理中更加明显 .对于潮汐韵律层理的成因有几种不同的解释 ,Reineik<sup>[10]</sup>认为在一次潮周期内因高低潮的变化产生一个韵律层 ,任美镔等<sup>[2]</sup>认为是大小潮周期性变化的结果 ,李从先<sup>[3]</sup>则认为韵律层中的小型层序是风暴与平静天气交替的产物 ,他在浙北奥陶系文昌组和现代、亚近代长江三角洲地区研究潮汐沉积时发现 ,潮坪层序中纹层数的保存率仅为 0.2% ,其余均被侵蚀 ,保存下来的都是沉积动力较强时形成的 ,因而小型层序是风暴层序 ,而非大小潮周期沉积 .据揭片和粒度所反映的结果看 ,潮汐韵律层理有两种不同的表现 ,一种是潮成的韵律层理 ,一种是风暴成的韵律层理 ,潮成韵律层理中

的纹层一般表现较薄,无论是砂质层还是泥质层都小于 2 mm,而且粒径相对偏小.风暴成韵律层理则表现的更加显著.沉积层中含有大量气泡、沉积粒径较粗、沉积物中砂质纹层较厚(平均为 4.5 mm,最大可达 8 mm).风暴作用期间,由于动力较强,沉积粒径粗化,在经历了强烈的侵蚀冲刷以后,大量沉积物开始落淤,因而所形成的砂质层明显加厚,在砂质纹层的底部可见到强烈的侵蚀冲刷面与泥砾,在转为平静的天气后,其上部便覆盖一层较薄的泥层.

平静天气状况下,在以半月为周期的交替中,当大潮逐渐转变为小潮,高潮水位线向海退却时,因潮能的降低,海滩上逐渐被细粒物质所覆盖,在大潮来临之前,这些泥质沉积物已有了一定的凝聚作用而不会被大潮较强的潮流重新起动,大潮潮流带来的粗粒物质便覆在其上形成砂质沉积物,但此时形成的砂质纹层和泥质纹层均较薄,多数在 0.5 ~ 1 mm 之间.然而,在一个潮周期内由于憩流时间太短而不足以形成泥层<sup>[2]</sup>,即使形成泥质沉积,但在下次高潮到来时也会被冲刷而不能保存下来.因此,砂/泥薄互层理的形成既有风暴潮的成因,也有大、小潮周期性变化的成因.

## 2.2 波状层理

揭片显示,剖面中有三处厚约 4 ~ 9 cm 的波状层理,波长从 6 ~ 16 cm 不等,砂质层和泥质层相互交替,有的波状层已向透镜状层理过渡.泥质层均匀地覆盖在砂质层上,说明砂质层是在水动力的作用下形成,之后,在水动力停滞的条件下泥开始沉降,因而,波状层理反映出沉积砂的水流和沉积泥的憩流环境相互交替的过程.

在底部波状层理中可见有氧化的砖红色斑点,并发现虫孔和生物爬行痕迹,表明在波状层理形成以后曾有一段时间暴露在水面外.

## 2.3 扰动层理

柱状样的底层为一强扰动层理,厚达 21 cm,沉积层内的纹层理呈复杂的褶曲形态,甚至发生断裂和错位.推断当时这里曾是潮沟的边缘,由于受到水流的旁蚀,在重力的作用下发生滑塌堆积而成.根据辐射沙洲潮沟摆动速度的频繁性可知,这是完全可能的.

## 2.4 风暴潮层理

在柱状样剖面 11.5 cm 和 61 cm 处发现的两段风暴成砂/泥薄互层理上段厚 5.5 cm,下段厚 4 cm,沉积层理表现出较强的韵律性,砂质沉积层较厚且含有大量气泡,泥质层很薄甚至不明显,砂质层中的气泡显然是在风暴潮末期,由于动力的减弱,海水中大量被搅起的泥沙迅速沉降,泥沙中所裹挟的气泡来不及逃逸就被掩埋起来而形成.从平均粒径曲线上可发现这两处的平均粒径比其下伏与上覆沉积物粒径偏粗,也证明了其较强的沉积动力环境.在风暴潮层理中还可见到小型交错层理(小于 2 cm),说明在泥沙的沉降过程中有弱的水流存在.一般风暴潮过后是很平静的天气,在平静天气下,风暴潮沉积物不易受到侵蚀,而被上层沉积物所覆盖,因而,风暴潮沉积层易于保存,且特征比较明显.

## 2.5 交错层理

由于采样点所处位置已是高潮滩,潮流和波浪的作用经外围潮滩和砂脊的消能已大大降

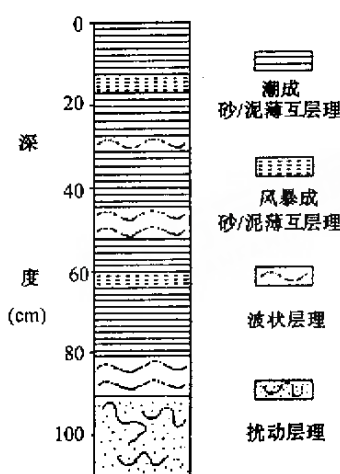


图 2 柱状样沉积构造揭示片示意图

低,因而在揭片中所观察到的交错层理波长多在 2 cm 以下.在砂/泥薄互层理中的砂质层多含有由前积纹层组成的交错层理,但纹层微弱,难以识别,呈切线形态的前积纹层以较低的角度与下底面交会.在沉积物搬运的速度脉动变化下粗粒纹层交替地被细粒纹层分开便形成前积纹层<sup>[10]</sup>,因此,沉积物的分选性越好,越难以识别交错纹层.从图 3 中可看出柱状样粒度的分选性多在 0.8~1.5,分选性较好,这可能是前积纹层难以识别的主要原因.

值得注意的是在揭片中未发现“人字形”层理,这可能是由于涨退潮流速不等,涨潮流速大于退潮流速造成的,在辐射沙洲涨落潮流速之比多在 1.4 左右<sup>[11]</sup>.

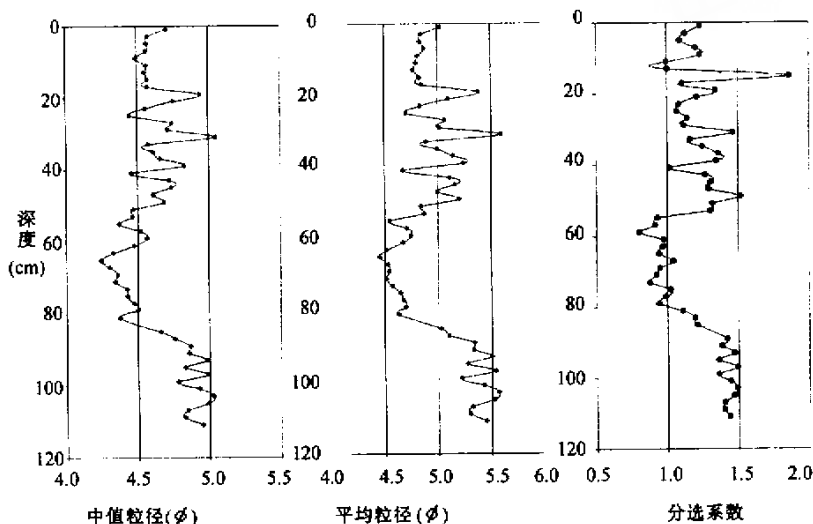


图 3 柱状样沉积物的中值粒径、平均粒径和分选系数

### 3 粒度特征

#### 3.1 中值粒径、平均粒径和分选系数

据粒度分析,柱状样中的沉积物以粉沙为主,粉沙含量的平均值为 86.29%,其次为砂,平均值为 8.63%,粘土含量最少,平均为 5.08%.柱状样的中值粒径在 4~5 $\phi$  之间,平均粒径基本在 4.5~5.5 $\phi$  之间变化,平均约为 5 $\phi$ ,分选系数基本在 0.8~1.5 之间变化,分选性中等至好,其偏度分布在 1.26~1.83 之间,平均值为 1.62,峰态在 1.71~2.35 之间变化,平均值为 2.13.从下图中可看出,柱状样中沉积物的中值粒径和平均粒径在 11.5~17 cm 和 61~65 cm 两段中有明显增大的趋势,这是在风暴潮期间在高能量的动力环境中沉积下来的粗颗粒物.而底部粒径又突然变细,这可能是在滑塌时表层大量细粒沉积物的落淤形成的.从图中可看出平均粒径与分选系数随深度的变化有很好的对应关系,平均粒径愈小,分选系数愈好,说明柱状样垂向剖面的分选系数基本上由细粒物质所决定.

#### 3.2 概率累积曲线

根据沉积环境中物质的搬运方式、营力与粒径分布的关系,维谢尔(1969)在分析了沉积物粒度的基础上,将沉积物的三种搬运方式:滚动、跃移、和悬移在正态概率纸上表现出来.悬浮搬运的粒度一般小于 0.125 mm (>3 $\phi$ ),分选差,跃移搬运的粒度大小多在 0.1~1.0 mm (0 $\phi$ )之

间,分选最好,而滚动搬运的颗粒最粗,分选较好.一个沉积样品可以由这三种或任一种或两种搬运方式组合而成,在这种图上易看出代表分选性的斜率、各线段间的截点以及混合度等.

对柱状样绘制概率累积曲线,发现所有图像均由两部分组成:跃移和悬移,缺乏滚动组分.而且,跃移由两组分选略异的成分构成,其截点分布在  $5\phi$  附近,第一跃移组分的分选性优于第二跃移组分.形成双跃移组分的原因是受到不同方向、不同速度的涨潮和落潮流所控制<sup>[7]</sup>.悬移与跃移的截点多在  $6\phi$  附近,截点的粒径范围都较偏小,这是因为在高潮滩上沉积环境的动力已大大减弱.由图中可看出,风暴成薄互层理中沉积物的粒径截点要大于潮成薄互层理中沉积物的粒径截点,而且,由于动力的加强,其悬浮沉积物的粒径也较粗,但悬浮物的含量很低.

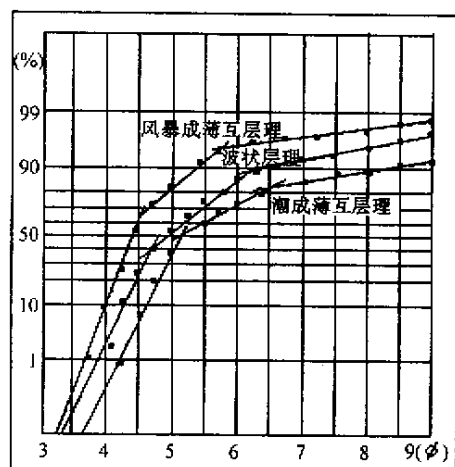


图 4 柱状样概率累积曲线

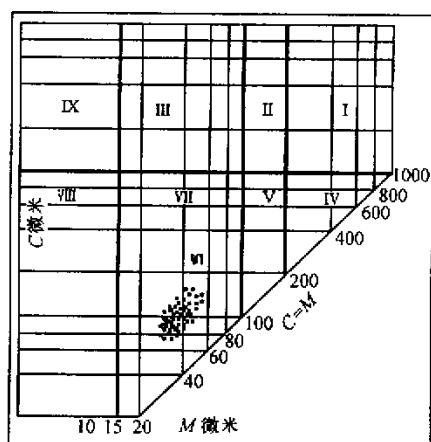


图 5 柱状样 C-M 图

### 3.3 C-M 图像

C-M 图像是帕塞加(1957)在研究了搬运营力的最大动能与平均动能关系后制作的图像, C-M 图与搬运作用密切相关,可以用来分析沉积物的水动力状况,其中 C 为百分之一含量的最粗粒径值, M 为中线粒径值, C 和 M 以微米为单位在双对数坐标纸上投点.在研究了众多样品后,帕塞加将 C-M 图分为六段:滚动、滚动和悬浮、悬浮和滚动、递变悬浮、均匀悬浮以及远洋悬浮.

在 C-M 图像上柱状样投点主要分布在递变悬浮(即通常所说的跃移)和均匀悬浮区(如图 5),且 C 和 M 基本成比例的增加,与  $C=M$  直线平行,但图中的投点略低于帕塞加的 C-M 原图,整体有所向下偏移,也就是说图 5 中递变悬浮和均匀悬浮的粒径偏小,这是可以理解的,因为帕塞加最初主要是根据密西西比河中沉积物的样品做出的 C-M 图<sup>[9]</sup>,其动力环境较强,因此沉积物的粒径较粗.递变悬浮是受底部磨擦引起的紊流所控制,被紊流举起进行分选,紊流愈强,悬移质的粒径和浓度愈大,而且随水深增加有规则地增大,反映出中等紊流的沉积环境,当紊流减弱时,便开始沉积作用.均匀悬浮区则反映了高潮滩较弱的沉积环境.

## 4 结论

1. 沉积构造以砂/泥薄互层理为主,其形成既有风暴潮的成因,也有大、小潮周期性变化的成因,但风暴潮层理中砂质纹层一般表现较厚,粒度更粗,且含有气泡构造,而平静天气下形成



的韵律层理中砂、泥质纹层均较薄。由于分选系数好,前积纹层难以识别,滑塌构造进一步证明了潮沟摆动的频繁性,涨落潮流速的不对称导致了“人字形”层理的缺乏。

2. 中值粒径、平均粒径和分选系数均较好地反映出柱状样的沉积环境,而且平均粒径与分选系数有较强的对应关系,平均粒径愈小,分选系数愈好,概率累积曲线表明沉积动力主要以跃移为主,悬移较少,滚动缺乏,C-M 图像上沉积物主要分布在递变悬浮区,其所反映的沉积动力与概率累积曲线相吻合。

致谢:在对柱状样进行揭片以及分析沉积构造时,得到了南京大学杨巨海老师的帮助,在此表示衷心的感谢。

### [ 参考文献 ]

- [ 1 ] 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—244.
- [ 2 ] 任美镔, 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 ] 李从先, 王平, 范代读, 李铁松. 潮汐沉积率与沉积间断 [ J ]. 海洋地质与第四纪地质, 1999, 19( 2 ): 11—18.
- [ 4 ] 朱大奎, 柯贤坤, 高抒. 江苏海岸潮滩沉积的研究 [ J ]. 黄渤海海洋, 1986, 4( 3 ): 19—27.
- [ 5 ] 劭虚生, 严钦尚. 上海潮坪沉积 [ J ]. 地理学报, 1982, 37( 3 ): 241—249.
- [ 6 ] 丁东, 尹延鸿, 李晓红. 渤海沿岸风暴沉积体的研究 [ J ]. 黄渤海海洋, 2000, 18( 3 ): 54—60.
- [ 7 ] 柯贤坤. 潮滩沉积物的粒度特征 [ J ]. 海洋通报, 1988, 7( 4 ): 41—48.
- [ 8 ] 刘振夏. 江苏潮流砂的粒度特征及其沉积环境的研究 [ J ]. 海洋地质与第四纪地质, 1983, 3( 4 ): 25—33.
- [ 9 ] 成都地质学院陕北队编. 沉积岩( 物 ) 粒度分析及其应用 [ M ]. 北京: 地质出版社, 1978.
- [ 10 ] Reineck H E, Singh I B. Depositional Sedimentary Environments with to Terrigenous Clastics [ M ]. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1973.

## The Analyses of the Depositional Features and Granularity of the Sediments on the Upper Tidal Flat of Radiation Sand Ridges in Jiangsu Province

Yan Shouguang, Zhang Renshun, Wang Yanhong, Liu Yongxue

( Institute of Ocean & Coastal wetland Science Research, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, PRC )

**Abstract** A drilling hole is obtained from the upper tidal flat of Radiation Sand Ridges in Jiangsu province. Based on its depositional features and granularity of the sediments, the author analyses the environment of sedimentation preliminarily and finds that the tide-flat laminae is the result either of the spring-neap tidal cycles or of the intercourse of storm and calm weathers.

**Key words** Radiation Sand Ridges; depositional features; tide-flat laminae; granularity

[ 责任编辑 陆炳新 ]