

江苏灌河口沉积物粒度组分特征及沉积速率研究

徐芳¹, 冯秀丽¹, 陈斌林², 贺心然³, 魏飞¹

(1. 中国海洋大学 海洋地球科学学院, 山东 青岛 266100; 2. 连云港市环境保护局, 江苏 连云港 222001; 3. 连云港市环境监测中心站, 江苏 连云港 222001)

摘要: 为了研究灌河口海区的沉积环境, 利用激光粒度仪对位于灌河口的柱状样 GH-1 孔进行了沉积物粒度分析, 根据粒级-标准偏差方法对此柱状样的环境敏感粒级进行了计算, 并结合对粒度概率曲线图的分析来对该区域进行沉积环境的研究, 从而探讨了该环境敏感粒度组分的环境指示意义。在研究区内确定环境敏感粒度组分为 250~32 μm , 32~16 μm , 代表沉积过程中的两种动力机制, 分别是风暴流和沿岸流。通过该柱状样的 ^{210}Pb 测年可以得到沉积速率和沉积环境的变化, 上段沉积速率较大为 1.9 cm/a, 下段 20 cm 沉积速率较低为 0.4 cm/a。

关键词: 灌河口; 环境敏感粒度组分; ^{210}Pb ; 沉积变化

中图分类号: P736.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2013)06-0083-06

沉积物的粒度特征是沉积物分类的定量指标, 是分析和对比沉积环境的重要依据^[1]。近海沉积物的粒径组合形式是对沉积物物源条件和水动力搬运过程等综合作用的反应。因此粒度分析在判定物质输运方式、判别水动力条件、区分沉积环境和分析粒径趋势等方面具有重要作用^[2]。灌河口地区水下地形复杂, 河口水流由潮流、径流、沿岸流以及波浪等多种流动汇合而成^[3], 其复杂的水动力条件对周边港口发展有较大的限制。因此探讨其沉积过程动力机制对该地区的经济发展具有重要意义。

近年来, 随着激光粒度仪的出现, 粒度测量结果的准确性得到了很大的提高, 样品测量速度明显加快, 从而使得利用沉积物粒度分析进行气候古环境演化的研究得到了很好的发展, 取得了一系列的研究成果^[4-7], 表明了沉积物粒度分析在古环境演化研究中具有良好的应用前景。本文以灌河口地区 GH-1 孔为研究对象, 分析河口区沉积物粒度资料中反映环境变化最为敏感的粒度组分, 探讨该环境敏感粒度组分的环境指示意义。

1 研究区概况

灌河位于江苏省盐城市北部、连云港市南端, 是苏北地区最大的入海潮汐河流, 在灌云县燕尾港处注入南黄海。灌河水量丰富, 河道宽阔, 在入海口呈喇叭型, 自河口向外水域开敞。灌河口水下地形复杂, 河口水流由潮流、径流、沿岸流以及波浪等多种流

动汇合而成, 水动力条件复杂。灌河口的潮汐属不正规半日潮型^[8-9]平均潮差为 3.07 m, 最大潮差为 4.85 m。口外潮流属于正规半日潮流型。在水动力作用下, 灌河口泥沙运动变化多端, 主要受到波浪掀沙、潮流输沙的作用, 含沙量的变化不仅与潮流速变化有关, 而且与波浪大小也有密切关系^[9]。

2 研究材料与方法

本文所研究样品取自灌河口区, 取样点 GH-1 的坐标是 119°47.880'E, 34°28.626'N(如图 1), 取样点处水深 3 m。柱状样长 60 cm, 整个岩心样品以灰褐色粉砂为主, 其中还有 4 个黄褐色粉砂隔层, 分别位于 4, 13, 28, 47 cm 处。样品以砂质粉砂、黏土质粉砂为主。对样品按照 1 cm 的间距进行分割, 共获取样品 60 个。

由于不同时期沉积物的沉积物源和沉积动力环境不同, 且后期沉积物保存过程中沉积环境的变化, 因此在粒度分析时通常要先进行样品前处理, 然后从多物源、多动力条件影响的沉积物中提取一至两个能够反映气候环境变化的组分^[4]。为更好地反映悬浮物质搬运沉积时的粒度特征, 排除后期沉积环境

收稿日期: 2012-05-16; 修回日期: 2013-04-1

基金项目: 江苏省环保科技项目(2010043); 连云港市科技发展计划项目(SH1113)

作者简介: 徐芳(1988-), 女, 山东泰安人, 硕士在读, 主要从事海洋地质环境与工程研究, E-mail: sddxf@163.com; 冯秀丽(1962-), 通信作者, 电话: 0532-66782057, E-mail: fengxiuli@ouc.edu.cn

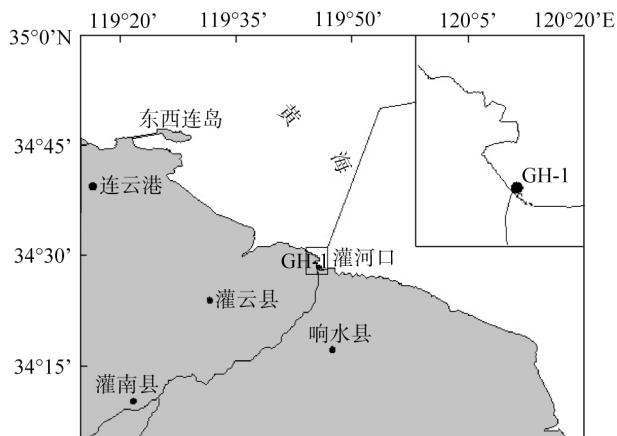


图1 研究区 GH-1 孔站位位置

Fig.1 Location of the GH-1 drilling in the study area

的变化影响,在粒度分析的前处理过程中只加入 10% H₂O₂ 溶液去除有机质的影响。

粒度分析采用英国 Malvern 2000 型激光粒度仪进行测试,仪器测量范围为 0.02 ~ 2000 μm, 粒径分辨率为 0.01Φ, 重复测量的相对误差 < 3%。粒度分析按海洋调查规范^[10]要求进行,取湿沉积物样约 1 g 置于烧杯中,将溶液样品加入 0.5 mol/L 的六偏磷酸钠 5 mL 进行搅拌,静置 24 h 后进行粒度分析。对所有样品进行了激光粒度分析,部分样品还进行了重复测试,显示了良好的可重复性。

在现代和地质历史时期中的沉积物往往都是多种物源或沉积动力过程的混合,直接用全样的粒度参数只能近似地作为沉积环境的代用指标^[5],因此需要把不同物质来源或不同动力条件下的粒度组分分离,划分出环境敏感粒度组分,再详细研究不同组分所代表的沉积环境意义,进而根据其在沉积序列中的变化推断气候环境的演化历史。

环境敏感粒度组分是指那些对沉积环境中水体能量变化敏感,能够指示沉积环境中不同能量水动力的粒度组分^[4,11-15]。不同能量的水动力具有不同的环境敏感粒度组分。不同能量的水动力所能搬运、沉积的沉积物粒度具有一定的范围,超过这个范围的沉积物将不能在该水动力条件下被搬运和沉积。

利用沉积物的粒度测试分析资料确定环境敏感粒度组分需要对沉积物粒度分布进行多组分分离^[15]。目前从沉积物粒度中进行粒度组分分离的方法主要有以下几种:孙怀东等^[16]曾以 Weibull 分布作为流水和风成沉积物的拟合函数,运用数学方法对多成因组分的混合型沉积物进行了组分分离;Prins 等^[5]和张

晓东等^[17]根据端元粒度模型(end-member modeling)对沉积序列中的粒度组分进行分离;曲政^[18]从统计学中样本和母体分布的区别入手,基于“混合模型”的“子体分离技术”,借助于神经网络模式识别技术,开发出一个基于粒度母体沉积环境识别系统;孙有斌等^[4,11,15]通过计算粒级-标准偏差的变化来获得敏感粒度组分的个数和分布范围。粒级-标准偏差变化曲线主要反映不同样品的粒级含量在各粒径范围内的差异性,高的标准偏差值反映样品的粒级百分含量在某一粒径范围内差异较大,低的标准偏差值则反映差异较小,据此可以反映出在一系列样品中粒度变化存在明显差异的粒度组分的个数和范围,这些粒度组分与沉积动力环境的变化密切相关,即为敏感粒度组分。本文主要是依据粒级-标准偏差的变化对 GH-1 孔的粒度组分进行了分离和分析研究。

3 沉积物粒度特征

3.1 粒度曲线特征

样品的频率曲线图表示样品的粒度分布,能够直观地观察到样品的粒度分布特征。GH-1 孔柱状样频率曲线的形态和粒径分布特征有较大的差异,大体可以分为 3 种主要类型,选取比较具有代表性的 3 个深度样品如图 2 所示。在柱状样 29 cm 处以上大都具有两个众数,但众数值差别较大,以 5 cm 处沉积物的频率曲线为例;40 cm 以下也具有两个众数,都在 30~50 μm 存在一个众数,选取 41 cm 处沉积物频率曲线为例。从 GH-1 孔的粒度频率分布曲线(图 2)可以看出,其形态和分布范围有较大的差别,说明整个孔的沉积环境较不稳定,控制因素较多,物源或水动力条件复杂。

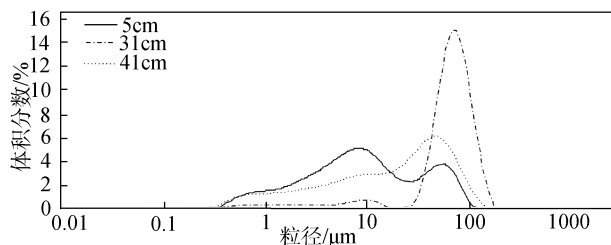


图2 GH-1 孔不同深度粒度频率分布曲线

Fig.2 Grain-size frequency distribution curves in GH-1 drilling

根据沉积物的概率累计频率图可以区分沉积环境。Visher^[19]曾对 1500 个不同沉积环境的样品进行

粒度分析在正态概率纸上作图, 得出沉积物搬运方式与粒度分布之间的关系。如图 3A 中所示为 5, 31, 41cm 处样品的概率累计频率曲线。可见此区域的曲线大都是由 3 条直线段所组成, 其概率累积是从 2Φ 开始的, 不存在牵引总体部分, 由跃移总体和悬浮总体组成, 属于跳跃加悬浮式, 含有较多的粉砂和黏土沉积物。且在悬浮总体分为两段, 属于递变悬浮^[20]。

所取样品的具体位置不同, 入海河流的性质不同以及所取样品的沉积物性质的差异, 都会对曲线的形状产生影响, 通过与 Visher 所绘的概率图进行对比, 得到该区域的概率累计频率曲线与图 3B 海滨线的概率累计频率曲线的基本性质相同, 因此判定该区域的沉积物属于三角洲和河口区的海滨线沉积环境, 与现场采样的河口海滨区位置基本符合。

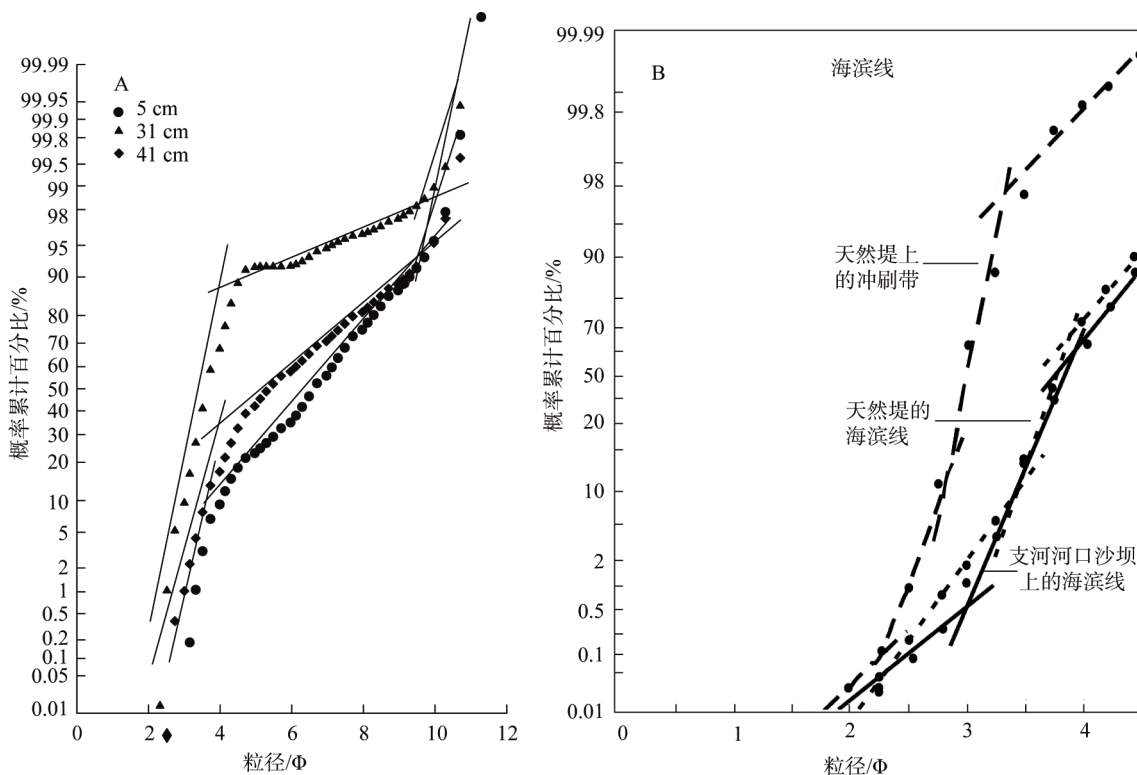


图 3 研究区域(A)与 Visher 海滨线(B)粒度概率累计曲线图对比

Fig.3 Probability cumulative curves comparison between the experiment(A)and the shoreline of Visher(B)

3.2 粒级-标准偏差特征

图 4 显示了利用粒级-标准偏差变化得出的 GH-1 孔的粒度组分, 图中较高标准偏差值所对应的粒级代表不同粒度组分的综合峰值, 分别出现在 94, 24, 12 和 $4\mu\text{m}$ 处。另外, 在 $1\mu\text{m}$ 处出现了一个较小的峰值, 由于粒度较细, 可能是沉积过程中微生物作用导致的细粒组分的变化, 所以不予以考虑。根据峰值和曲线变化, 可将粒度组分的范围分别划为 $>250\mu\text{m}$, $250\sim 32\mu\text{m}$, $32\sim 16\mu\text{m}$, $16\sim 8\mu\text{m}$ 和 $<8\mu\text{m}$ 。其中 $>250\mu\text{m}$ 组分为粗组分, 标准偏差值相对较低。只有在 24 cm 和 39 cm 处, $>250\mu\text{m}$ 的粗粒级含量稍高分别为 2.585%, 4.614%, 平均含量约 0.125%, 其余深度 $>250\mu\text{m}$ 的粗粒级含量极低, 所以 $>250\mu\text{m}$ 组不予以考虑。因此, 我们考虑 $250\sim 32\mu\text{m}$ (组分 1)、 $32\sim 16\mu\text{m}$ (组分 2), $16\sim 8\mu\text{m}$ (组分 3) 和 $8\sim 0.5\mu\text{m}$ (组分

4) 4 个粒度组分反映的环境变化, 组分 1 的标准偏差值相对较高, 组分 2、组分 3 和组分 4 的标准偏差值

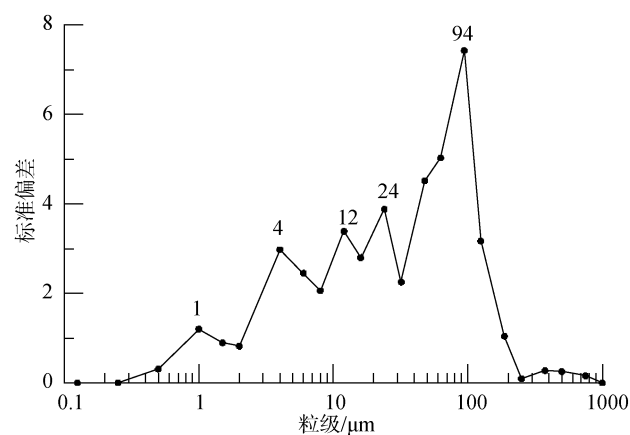


图 4 GH-1 孔标准偏差随粒级变化的曲线

Fig.4 Gain-size standard deviation variation in GH-1 drilling

相对较低(图4), 根据各组分的分布范围可分别计算出各组分的粒级百分含量和平均粒径。

根据各组分的分布范围分别计算出了各组分的粒级百分含量和平均粒径(如图5)。组分3和组分4的百分含量较低, 平均粒径大致保持在稳定的水平, 变化不大, 表明影响该组分的动力条件变化不大, 其粒级百分含量的变化表明陆源物质运输量的变化情况。组分1和组分2的百分含量相对较高且都呈现出明显的波动变化, 其中组分1的标准偏差值较高。

表明这两者对环境变化都较敏感, 且组分1比组分2敏感。另外, 组分1和组分2的平均粒径均有波动, 组分1平均粒径和粒级百分含量不仅表现出明显的波动, 而且变化趋势非常相似。组分2的平均粒径和粒级百分含量的变化趋势相反, 说明某一环境的变化对组分1和组分2的作用是相反的。也就是说, 平均粒径升高时, 组分1的含量增高, 而组分2的含量相对降低。所以, 组分1(250~32 μm)和组分2(32~16 μm)都是反映环境变化的敏感粒度组分。

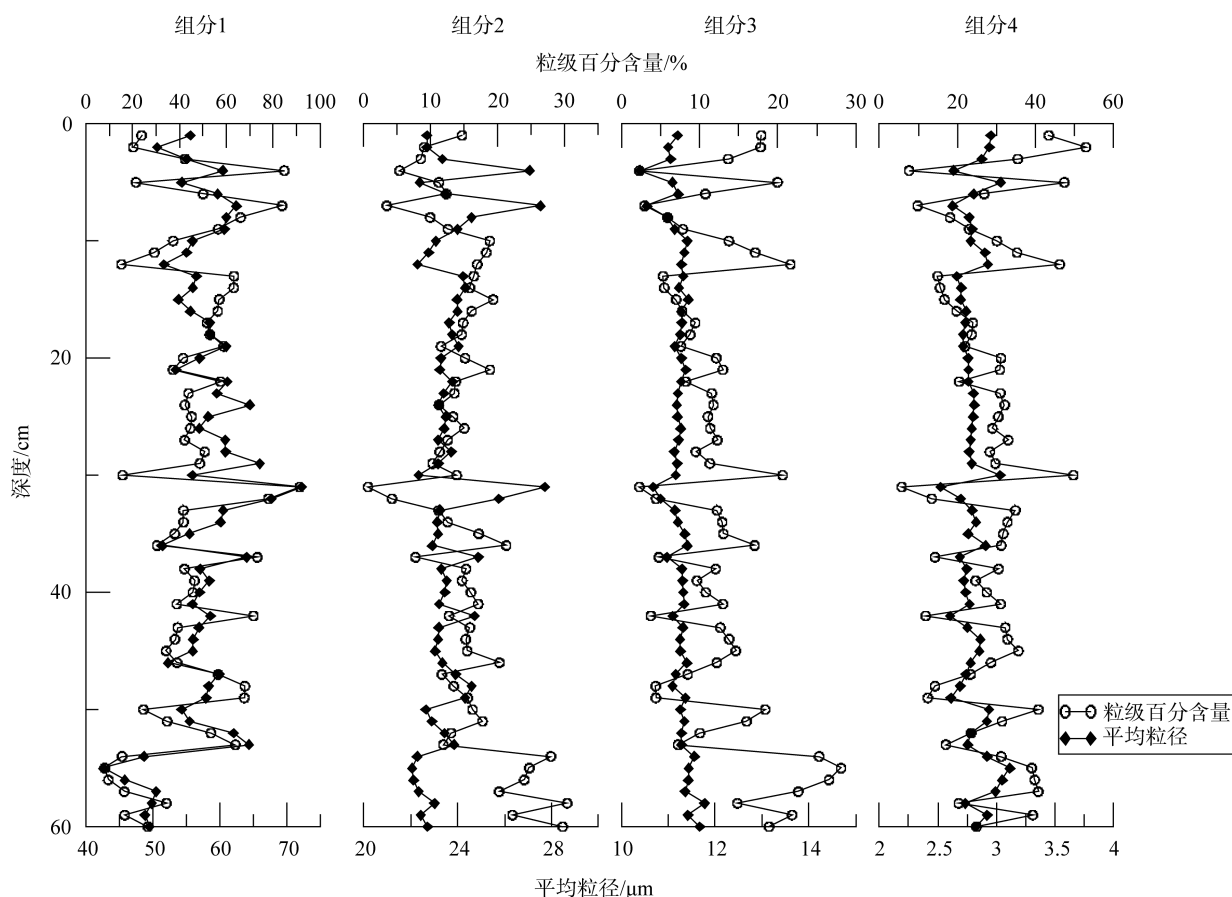


图5 GH-1孔4个主要粒度组分的粒级百分含量和平均粒径

Fig.5 Content and mean-size variations of 4 main grain-size components in GH-1 drilling

通过对该地区的沿岸潮流和风浪资料进行分析, 并结合相关文献对敏感粒度组分的分析, 肖尚斌^[13]曾对东海内陆架泥质区沉积物进行环境敏感粒组分析, 得出19 μm和130 μm的环境敏感粒级, 2个粒度组分的分界线约为45 μm, 分析得到细粒组分(<45 μm)主要是东海冬季沿岸流携带的悬浮体沉降的结果, 而>45 μm的粗粒组分则起因于风暴, 为风暴沉积物^[21]。同时由于受风暴动力条件变化以及水深等因素的影响, 风暴沉积的敏感粒度组分可能在不同的沉积地点会有所不

同。因此本文所得出的这两个敏感粒度组分分别代表风暴流和沿岸流的动力机制。各敏感粒组含量的变化可反映风暴流和沿岸流的强弱趋势。

4 沉积速率分析

目前研究现代沉积速率与沉积过程的重要手段为²¹⁰Pb技术^[22,23]。²¹⁰Pb的半衰期为22.26 a, 是百年尺度内测年的极好核元素。它常被用于沉积过程较稳定且沉积环境较封闭的连续沉积中。对该样品进行

取样, 根据划分出来的敏感粒度组分含量与沉积物平均粒径的对应关系进行层位划分, 分别对0~12, 12~30, 30~54, 54~60 cm 4段进行分段取样, 共取样20个, 进行 ^{210}Pb 测年。

测年结果曲线的异常性显示了该地区沉积过程的复杂变化, 对42 cm以下所测得的过剩 ^{210}Pb 进行分析得到沉积速率约为0.4 cm/a, 但42 cm以上所得过剩 ^{210}Pb 分析所得沉积速率约为1.9 cm/a(如图6)。在42 cm以上以此沉积速率计算, 应沉积20 a左右, 因此沉积速率变化发生在1990年左右。在1990年以前沉积速率较低, 1990年以后沉积速率较快, 这些在文献资料中都可以得到证实, 在1997年发表的灌河口现代沉积速率的研究中^[24], 将本文取样点的坐标点入该文献取样图中, 取样点位于高沉积强度区, 物质来源丰富。且根据沉积速率计算所得其沉积层位的样品岩性是基本一致的, 均为粉砂。1990年沉积速率的变化应该与灌河口区沙嘴沉积以及河口地貌的演化有关。灌河口外沙嘴沉积层分为两至三个不连续的沉积层, 口外沙嘴的沉积速率分布呈现的趋势为不同地貌部位的沉积速率不同, 沙嘴脊线一带沉积速率快, 沙嘴内侧的两水道内相对较慢。因此由于河口沙嘴沉积地貌的变化可导致沉积速率的变化^[25]。

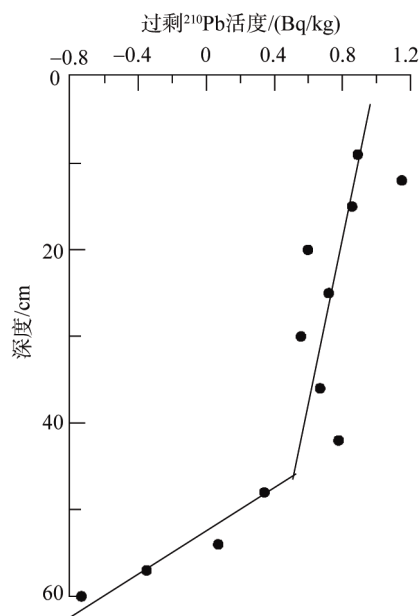


图6 过剩 ^{210}Pb 活度随深度的变化趋势

Fig.6 Variation tendency of excess ^{210}Pb activity with depth

5 结论

本文在前人沉积物分析研究的基础上, 对灌河口地区柱状样GH-1进行沉积物分析, 对灌河口地区

的沉积动力环境进行分析。可得出结论如下: (1)在灌河口地区进行沉积物柱状采样, 进行沉积物粒度分析, 获得了沉积物粒度曲线和累积频率曲线图, 反映沉积环境为河口海滨区。(2)通过计算粒级-标准偏差的变化获得了该区域的敏感粒度组分分布范围, 分别为组分1(250~32 μm)和组分2(32~16 μm)。这两个敏感粒度组分分别代表风暴流和沿岸流的动力机制。各敏感粒组含量的变化可反映风暴流和沿岸流的强弱趋势。(3)通过对该柱状样的 ^{210}Pb 测年所得结果进行分析, 得出结论大部分沉积速率较大为1.9 cm/a, 下部有20 cm沉积速率较低为0.4 cm/a, 是由灌河口沙嘴沉积和河口地貌的变化引起的。

参考文献:

- [1] 肖晨曦, 李志忠. 粒度分析及其在沉积学中的应用研究[J]. 新疆师范大学学报(自然科学版), 2006, 25(3): 118-123.
- [2] 刘付程, 张存勇, 彭俊. 海州湾表层沉积物粒度的空间变异特征[J]. 海洋科学, 2010, 34(7): 54-58.
- [3] 陈君, 王义刚, 林祥. 江苏灌河口海域现代沉积特征研究[J]. 资源调查与环境, 2006, 27(1): 39-45.
- [4] 孙有斌, 高抒, 李军. 边缘海陆源物质中环境敏感粒度组分的初步分析[J]. 科学通报, 2003, 48(1): 83-86.
- [5] Prins M A, Postmaa G, Weltje G J. Controls on terrigenous sediment supply to the Arabian Sea during the late Quaternary: the Makran continental slope[J]. Marine Geology, 2000, 169: 351-371.
- [6] 田立柱, 耿岩, 裴艳东, 等. 渤海湾西部表层沉积物粒度特征与沉积混合[J]. 地质通报, 2010, 29(5): 668-674.
- [7] Stuu J B, Prins M A, Schneider P R, et al. A 300-kyr record of aridity and wind strength in southwestern Africa: Inference from grain-size distributions of sediments on Walvis Ridge, SE Atlantic[J]. Mar Geol, 2002, 180: 221-233.
- [8] 张东生, 张长宽. 灌河口沙嘴成因分析及治理研究[J]. 河海大学学报, 1993, 21(4): 29-37.
- [9] 谢金赞. 灌河口外水文动力条件分析[J]. 河海大学学报, 1987, 15(5): 12-20.
- [10] GB/T12763.8-2007, 海洋调查规范第8部分: 海洋地质地球物理调查[S].
- [11] 向荣, 杨作升, Saito Y, 等. 济州岛西南泥质区近2300a来环境敏感粒度组分记录的东亚冬季风变化[J]. 中国科学D辑: 地球科学, 2006, 36(7): 654-662.
- [12] 徐树建. 风成沉积物环境敏感粒度指标的提取及意义[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(3): 95-98.

- [13] Boulay S, Colin C, Trentesaux A, et al. Mineralogy and Sedimentology of Pleistocene Sediment in the South China Sea (ODP Site 1144)[J]. Proceedings of Ocean Program, Scientific Results, 2003, 184: 1-21.
- [14] 肖尚斌, 李安春. 东海内陆架泥区沉积物的环境敏感粒度组分[J]. 沉积学报, 2005, 23(1): 122-129.
- [15] 操应长, 王健, 刘惠民. 利用环境敏感粒度组分分析滩坝砂体水动力学机制的初步探讨——以东营凹陷西部沙四上滩坝砂体沉积为例[J]. 沉积学报, 2010, 28(2): 274-283.
- [16] 孙东怀, 安芷生, 苏瑞侠, 等. 古环境中沉积物粒度组分分离的数学方法及其应用[J]. 自然科学进展, 2001, 11(3): 47-54.
- [17] 张晓东, 许淑梅, 翟世奎, 等. 东海内陆架沉积气候信息的端元分析模型反演[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(2): 25-32.
- [18] 曲政. 沉积物粒度数据表征方法的研究[J]. 中国粉体技术, 2001, 7(4): 24-31.
- [19] Visher G S. Grain size distributions and depositional processes[J]. Journal Sedimentary Petrology, 1969, 39(3): 1074-1106.
- [20] 成都地质学院陕北队. 沉积岩(物)粒度分析及其应用[M]. 北京: 地质出版社, 1978: 59.
- [21] 肖尚斌, 李安春, 蒋富清, 等. 近 2ka 来东海内陆架的泥质沉积记录及其气候意义[J]. 科学通报, 2004, 49(21): 2233-2238.
- [22] DeMaster D J, Mckee B A, Nittrouer C A, et al. Rates of sediment accumulation and particle reworking based on radiochemical measurements from continental shelf deposits in the East China Sea[J]. Continental Shelf Research, 1985, 4: 143-158.
- [23] 万邦和, 刘国贤, 杨松林, 等. ^{210}Pb 地质年代学方法的建立及在渤海锦州湾污染历史研究中的应用[J]. 海洋通报, 1983, 2(5): 66-70.
- [24] 肖玉仲, 刘国贤, 杜瑞芝, 等. 江苏灌河口现代沉积速率的研究[J]. 海洋学报(中文版) 1997, 19(5): 91-96.
- [25] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志(第十四分册)[M]. 北京: 海洋出版社, 1998: 521-544.

Study on grain-size characteristics and deposition rate in the Guanhe Estuary of Jiangsu Province

XU Fang¹, FENG Xiu-li¹, CHEN Bin-lin², HE Xin-ran³, WEI Fei¹

(1. College of marine geosciences, Ocean university of China, Qingdao 266100, China; 2. Lianyungang Environmental Protection Bureau, Lianyungang 222001, China; 3. Lianyungang Environmental Monitoring Central Station, Lianyungang 222001, China)

Received: May, 16, 2012

Key words: the Guanhe Estuary; environmentally sensitive grain size component; ^{210}Pb ; deposition variation

Abstract: In order to explore the deposition environment of the Guanhe Estuary, grain-size analysis of sediment GH-1 drilling, retrieved from Guanhe Estuary, was carried out by using a Malvern 2000 grain-size analyzer. The environmentally sensitive grain size components were calculated according to variations in the grain-size standard deviation. The deposition environment was studied combined with the analysis of grain size probability curve. At the same time, the environmental implications were discussed. Two environmentally sensitive grain-size components, 250~32 μm and 32~16 μm , were identified, representing two dynamic mechanisms in the process of sedimentary, storm flow and coastal current. The variation of deposition rate and sedimentary environment can be obtained by using the ^{210}Pb technique. The results show that the deposition rate was larger at 1.9 cm/a, and the deposition rate of the last 20 cm was smaller at 0.4 cm/a.

(本文编辑: 刘珊珊)