

# 苏北盆地兴化 1# 钻孔的沉积物粒度特征 及其古环境意义

卫艳 舒强 陈晔

(南京师范大学地理科学学院 210097 江苏 南京)

[摘要] 选取苏北盆地兴化 1# 钻孔, 通过对其剖面 3 MaB. P. 以来的沉积物进行岩性描述及粒度特征的研究, 探讨了此岩芯剖面沉积环境的演变过程. 结果表明, 该岩芯垂直剖面沉积物颗粒基本构成是以粘土、粉砂、砂为主, 沉积环境变化频繁. 根据粒度参数特征所反映的沉积环境意义, 划分出 6 个沉积阶段, 在深度 350 ~ 296.1 m, 为河湖交替相沉积环境; 296.1 ~ 254.1 m, 为湖泊相沉积环境; 254.1 ~ 230.1 m, 为河流相沉积环境; 230.1 ~ 156.2 m, 为浅湖相沉积环境; 156.2 ~ 102.8 m, 为湖滨相沉积环境; 102.8 ~ 0 m, 为湖沼相沉积环境, 从而揭示了苏北盆地兴化 1# 钻孔 3 MaB. P. 以来的沉积环境的演变过程. 此外, 还记录到 2.26 ~ 2.16 MaB. P.、0.9 MaB. P. 两次季风气候性质上的巨变.

[关键词] 苏北盆地 岩芯 粒度参数 沉积环境

[中图分类号] P512.3, [文献标识码] A, [文章编号] 1001-4616(2005)02-0101-07

## Grain Size Characteristics and Their Paleo Environmental Significance of Xinghua 1# Core Sediments in Northern Jiangsu Basin, China

Wei Yan, Shu Qiang, Chen Ye

(School of Geographical Science, Nanjing Normal University, 210097, Nanjing, China)

**Abstract** Grain-size characteristics of Xinghua 1# core sediments in Northern Jiangsu Basin are studied to analyze the evolutive course of deposit environment, and the sediments have a record of 3 MaB. P. continuous deposit. These studies cover lithological description, mean grain-size,  $Md-S_0$  scattered diagram, and probability accumulative curve. The analytical results of the sediments in the sect help us find out that the basic composition of sediment particles is dominated by clay, sand and silt sand, with frequent changes of the sedimentary environment. Compartmentalizing 6 deposit phases are made in terms of the meanings of deposit environment reflected by grain-size parametric characteristics. It is alternation of fluvial and lacustrine sedimentary environment in the depth of 350 ~ 296.1 m, and lacustrine sedimentary environment in 296.1 ~ 254.1 m and fluvial sedimentary environment in 254.1 ~ 230.1 m, and shallow lacustrine sedimentary environment in 230.1 ~ 156.2 m, and lakefront sedimentary environment in 156.2 ~ 102.8 m, and limnological sedimentary environment in 102.8 ~ 0 m. So these explain evolutive course of deposit environment 3 MaB. P. in Northern Jiangsu Basin. Furthermore, the sediments record twice immense transformation of mosoon climate in 2.26 ~ 2.16 MaB. P. and 0.9 MaB. P..

**Key words** Northern Jiangsu Basin, core, grain size parameter, deposit environment

### 1 区域地质构造背景

苏北盆地属于我国东部平原的一部分, 是我国惟一的一个兼跨海陆的盆地——苏北-南黄海盆地的陆上部分, 是连接海洋与陆地、东部与西部的关键地段, 是海洋-陆地-大气耦合作用明显、东亚夏季风影响显著的区

收稿日期: 2004-11-24.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40471135).

作者简介: 卫艳, 女, 1978—, 硕士研究生, 主要从事环境演变与气候变化的学习与研究. E-mail: weiyanyan1013@hotmail.com

通讯联系人: 舒强, 1975—, 讲师, 主要从事全球变化与区域响应的教学与研究. E-mail: xjshuqiang@sina.com

万方数据

域.地质构造上属于扬子古陆、苏北拗断构造单元<sup>[1]</sup>,且自震旦纪以来各地质时代的岩层发育完整,说明自元古代成陆以来,以沉降为主.连续沉积的地层蕴含着丰富的古环境气候的变化信息,是恢复古气候环境演变的理想材料.而沉积物粒度参数能反映沉积环境和物源信息,利用其特征来识别沉积环境,解释搬运、沉积作用的动力状况,已经成为沉积学研究的重要方法之一<sup>[2]</sup>.据此选用粒度参数等特征来分析该岩芯沉积环境的变化过程.

## 2 岩性描述

苏北盆地兴化1#钻孔岩芯的岩性具体描述如下:

第六段(350~296.1 m),此段总体以粗颗粒沉积物为主,间或粘土,粉砂沉积,且粗砂中均含有粒径不等的砾石,并且在320 m含有约6 cm厚的钙质、铁锰质结核.

第五段(296.1~254.1 m),杂色粘土层,但多为红、褐棕色粘土,中部夹粉砂质粘土、极细砂、细砂、中细砂、粘土交互层.

第四段(254.1~230.1 m),总体是灰绿、灰黄色的中粗砂、粗砂砂砾层,是整个剖面中含砾最多的层段,其间也夹杂黄褐、灰绿色粉砂粘土层.

第三段(230.1~156.2 m),下部为粘土为主的交错沉积层,中部有三段含砾砂层,上部为细砂与粘土的交互沉积层.

第二段(156.2~102.8 m),砂(粗、中、细)与粘土韵律互层,沉积物以细砂为主,在110~117 m含有钙质结核,部分层段有砾石存在,但磨圆度较好.

第一段(102.8~0 m),主要以粘土与粉砂质粘土沉积为主,且个别层段中含有贝壳碎片和钙质结核.

## 3 实验方法、结果及粒度特征分析

### 3.1 年代测定与平均粒径( $M_z$ )的变化

兴化钻孔的样品剩磁是在中国科学院地质与地球物理研究所进行热退磁测试的.热退磁仪为英国生产的MMTD60和MMTD80型热退磁仪,它们能对标准古地磁样品进行小于700℃的热退磁,炉内残留场小于10 nT,温控误差小于±2℃.剩磁测量是在2G-755R岩石超导磁力仪上进行,此磁力仪能精确测量各种标准古地磁单样品的剩余磁性,测量范围 $1.0 \times 10^{-12} \sim 2.0 \times 10^{-4} \text{ Am}^2$ ,灵敏度 $1.0 \times 10^{-12} \text{ Am}^2$ .绝大多数的样品经过了10~15步的逐步热退磁.温度间隔的选择总体上是遵循低温段间隔大、高温段间隔小的原则,低温段一般是以50℃为间隔,高温段先是按25℃为间隔,后按10℃为间隔.所有样品的加热、退磁和剩磁测试过程均是在无磁空间中进行的,测量结果见图2.粒度测试是在南京师范大学激光粒度实验室英国产Mastersizer2000粒度仪上进行,测量范围0.2~2000 μm,因样品的预处理已有大量文献给予说明<sup>[3-5]</sup>,故不赘述.

平均粒径代表着粒度分布的集中趋势,在一定程度上取决于物源区的粒度分布,研究平均粒径值的变化,可以了解物质来源及沉积环境的变化,若以有效能表示,它又代表了沉积介质的平均动能<sup>[6]</sup>.图3是根据岩性、平均粒径的变化,将兴化1#钻孔剖面沉积物划分为6个阶段:阶段VI 350~296.1 m;阶段V 296.1~254.1 m;阶段IV 254.1~230.1 m;阶段III 230.1~156.2 m;阶段II 156.2~102.8 m;阶段I 102.8~0 m.从图2、3可以看出,沉积物粒度组成以粉砂为主,还包括粘土、粉砂质粘土、粘土质粉砂、细砂、中砂、粗砂以及含砾砂层等成分,平均粒径波动明显.阶段VI平均粒径出现5次较大波动,粗细颗粒间隔变化,以小于0.25 mm的细砂占绝

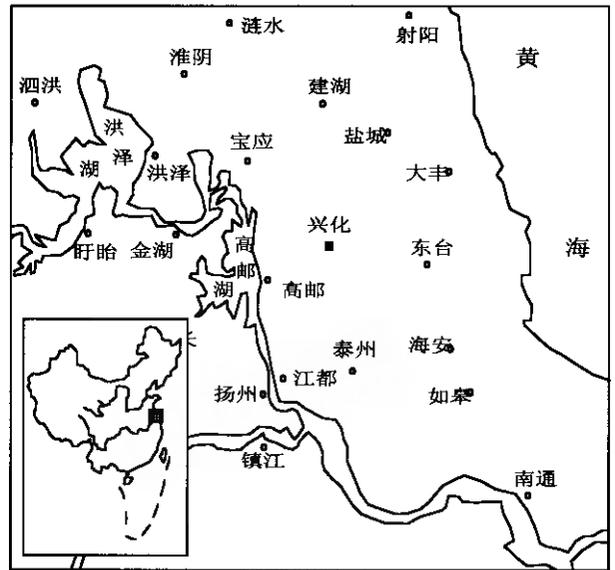


图1 兴化1#钻孔位置图

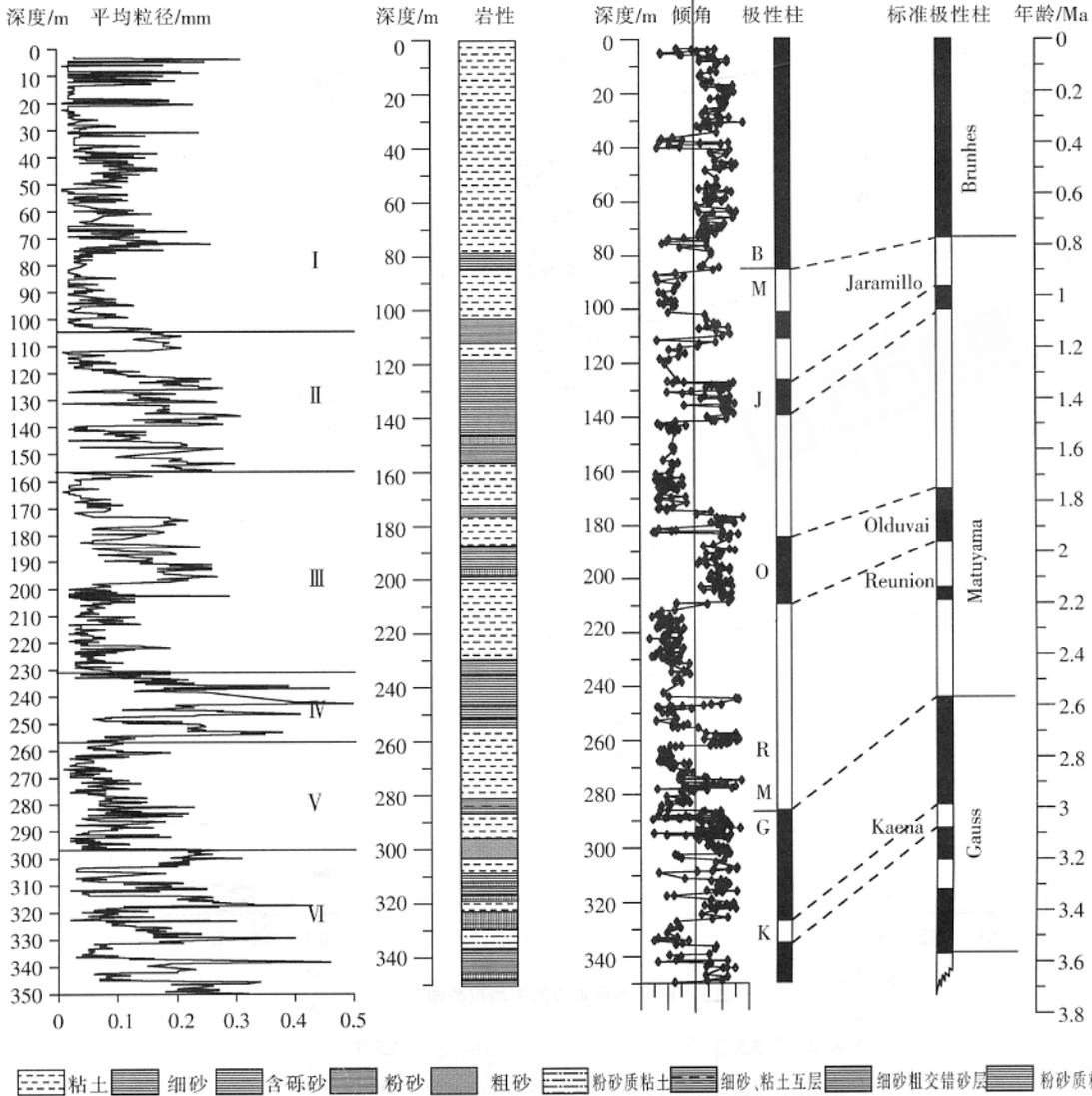


图2 平均粒径、岩性及其对应年代图

对优势阶段 V 沉积颗粒最细,以粉砂、粘土为主;阶段 IV 沉积颗粒是该岩芯中沉积颗粒最大层段,且波动也最大;阶段 III 沉积物颗粒总体较细,中间出现高值波动,细颗粒以粉砂、粘土占优势,粗颗粒以细、中砂为主;阶段 II 也是连续几次大的波动,颗粒主要在 0.1 ~ 0.3 mm 范围内波动;阶段 I 沉积物颗粒较细,且波动频繁,偶尔存在短暂的高值波动。这些表明此钻孔沉积物沉积动力和沉积环境多变,构造运动对沉积物岩性的变化有很大的影响。

### 3.2 中值粒径 ( $Md$ ) 与分选系数 ( $S_0$ )

中值粒径  $Md$  是在粒度累积频率曲线上含量为 50% 时所对应的粒度值,它能敏感地反映水动力条件的变化。沉积物颗粒的分选系数是表示颗粒沉积时的均一性或一致性,而将中值粒径对分选系数作散点图(见图 4)能够较好的区分沉积环境和水动力的变化,其中分选系数是按照福克和沃德的划分标准<sup>[7]</sup>进行计算的。

阶段 VI (350 ~ 296.1 m): 中值粒径分布在 0.01 ~ 0.3 mm 之间,而且比较分散;分选系数主要集中在 1.5 ~ 2.5 之间,个别分选性很差,达到 3.5 以上,反映了当时较强的水动力条件,且沉积颗粒粗细间隔连续变化(这从平均粒径图中可以看出),说明当时的沉积环境多变,根据其特点应为河湖交替相沉积环境。

阶段 V (296.1 ~ 254.1 m): 中值粒径分布在 0.01 ~ 0.1 mm 之间,沉积物主要以细颗粒粘土为主,而且很集中,分选性比 VI 好,除了在深度 280 m 左右有峰值外,粒径波动变化很小,说明水动力条件较弱,沉积环境比较稳定,反映的是稳定的湖泊相沉积环境。

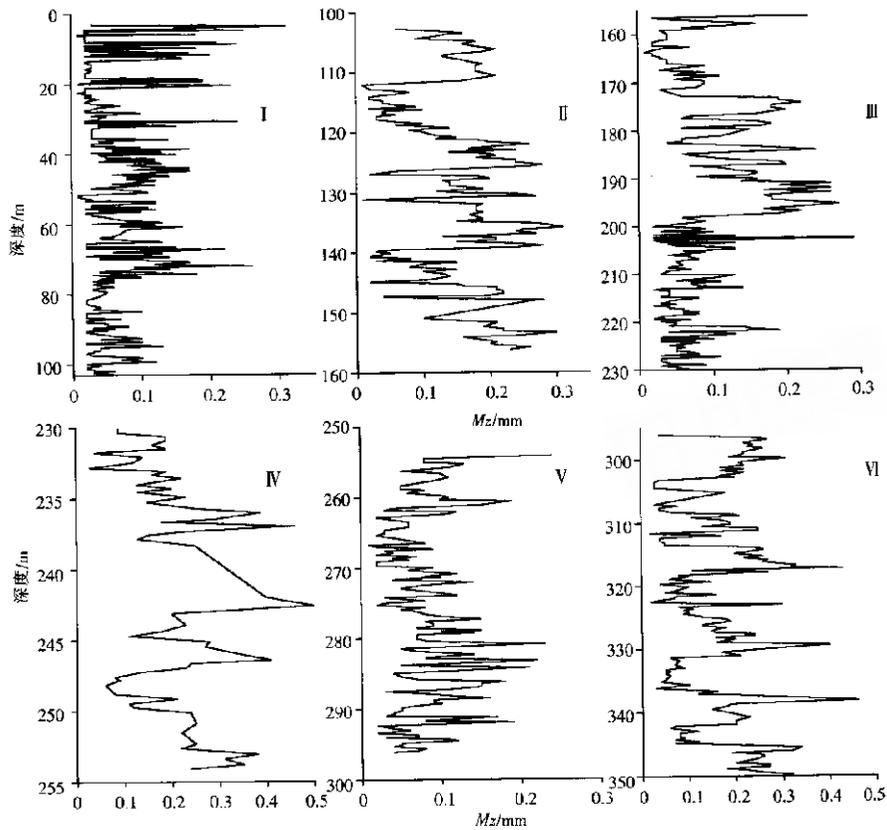


图3 各个沉积阶段的平均粒径图

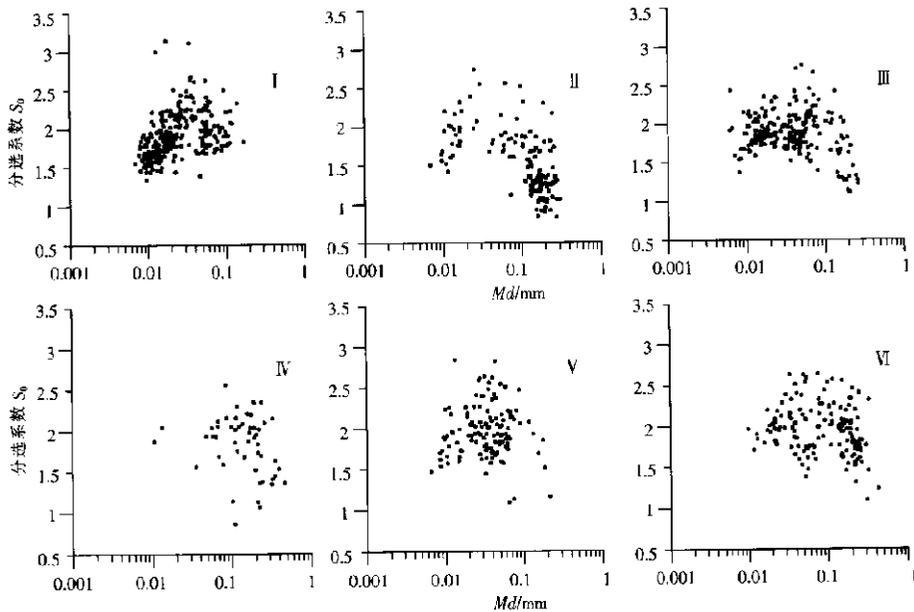


图4 分选系数  $S_0$  对中值粒径  $Md$  的散点

阶段IV(254.1~230.1 m):中值粒径集中在0.06~0.4 mm之间,是整个剖面沉积物粒径最大值,分布极为分散,分选性中等,分选系数主要在1.3~2.3之间,说明水动力极强;在238~248 m之间波动很大,最大的粒径波峰达到0.5 mm,且含有砾石层,反映了一次强烈的构造运动的发生.这一深度大致对应的年代是2.3~2.16 MaB. P. 苏北盆地可能受此构造运动的影响,沉积环境发生了大的变化,此阶段属于河流相沉积环境.

阶段III(230.1~156.2 m):中值粒径分布在0.006~0.3 mm,集中在0.01~0.1 mm之间,分选系数在1.1~2.8,集中在1.6~2.2之间,总体是以粉砂沉积为主,间有粗粒沉积,说明总体是浅湖相沉积环境,在此期间有短暂的河流相沉积环境.

阶段 II(156.2 ~ 102.8 m):中值粒径分布在 0.008 ~ 0.3 mm,集中在 0.1 ~ 0.3 mm,分选系数分布在 0.7 ~ 2.7,集中在 0.8 ~ 1.8 之间,在散点图上看出,与 III 相比,是由细颗粒向粗颗粒转移,分选性变好,以中、细砂为主,当时的沉积环境为湖滨相沉积。

阶段 I(102.8 ~ 0 m):中值粒径分布在 0.008 ~ 0.1 mm 之间,而且很集中,分选系数集中分布在 1.5 ~ 2.2 之间,水动力在此段总体波动很小,但存在短暂的高值波动(这由平均粒径图上可以看出),分选性一般到较差,说明整体沉积环境相对比较稳定,属于湖沼相沉积环境。

### 3.3 概率累积曲线

概率累积曲线是以粒径( $\phi$ )值为横坐标,以概率值为纵坐标所作的图。因搬运方式的不同划分为推移、跃移和悬移 3 个粗细不同的组分,在正态概率纸上表现为几个直线段,而且斜率代表分选性,斜率越大分选越好。重要的是这几个直线段为沉积物的直接对比提供了许多定量指标。图 5 是在 350 m 岩芯中,按照沉积类型抽取的具有典型性、代表性的样品而作出的概率累积曲线图。各个曲线联结起来就可以粗略的说明 3MaB. P. 年来沉积环境的变化,对恢复古环境,划分沉积相提供重要的依据。

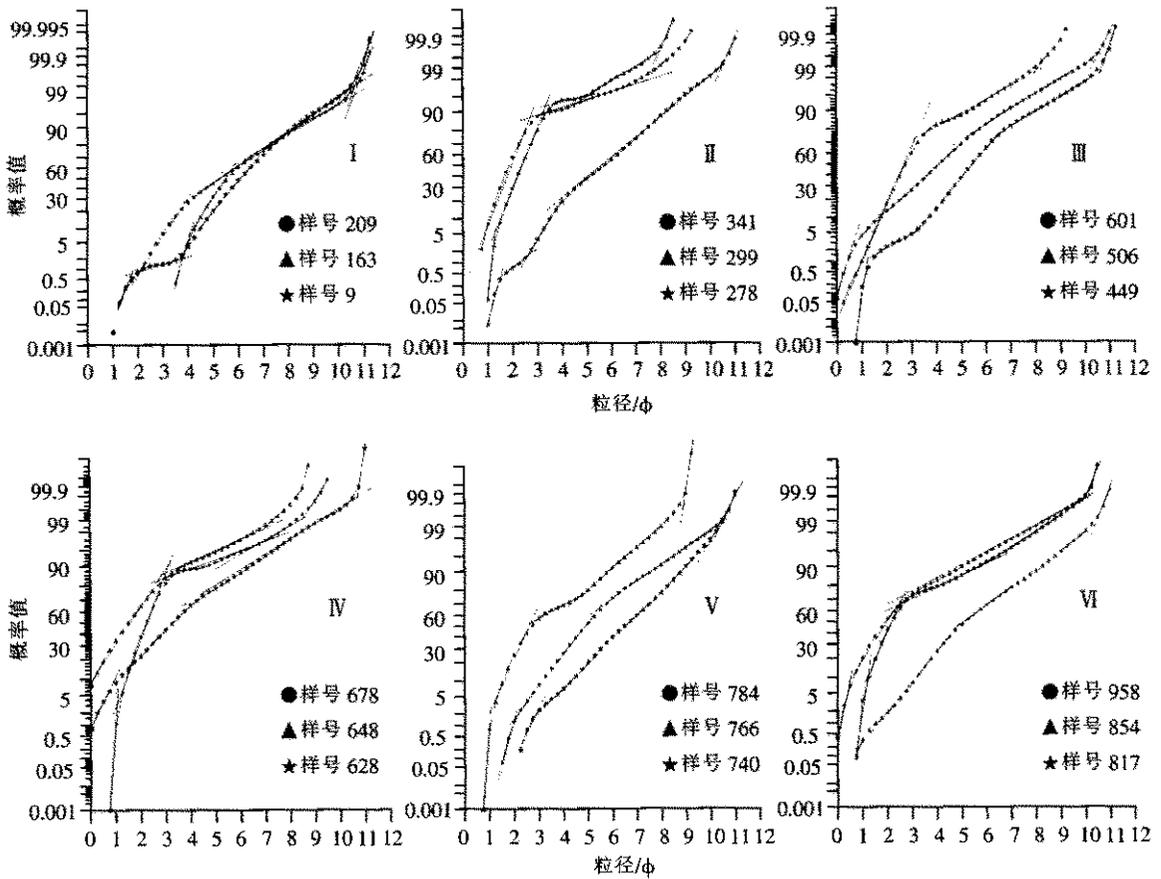


图 5 概率累计曲线图

阶段 VI(350 ~ 296.1 m):概率曲线主要由三、四段式组成。大部分曲线缺少推移总体,跃移总体由两段式组成,且粗段式的斜率比细段式好,即粗段式的分选性比细段式好,跃移总体含量占 70%,悬移总体含量达到 30%,说明水动力波动很大,分选较差,表现为河流沉积形式(样号 958、817 是其代表);还有小部分由三段式组成(样号 854),推移含量达到 40%,悬移含量不到 1%,与河流沉积相比,说明这时的水动力减弱,沉积环境比较稳定,分选中等,是湖流沉积作用的结果。所以此段总的来说属于河湖交替相沉积环境。

阶段 V(296.1 ~ 254.1 m):由推、跃、悬移三个总体组成,推移组分含量小于 3%,主要以粉砂质粘土沉积为主,与阶段 VI 相比,推、跃移两总体之间的截点变细,说明水动力较弱,搬运能力也随之下降,而且波动明显减小。此阶段沉积环境的变化趋势为较稳定——波动——稳定,总体比较稳定,且分选性有所改善,是湖泊相沉积环境的表现。

阶段IV(254.1~230.1 m):主要是跃、悬移两个总体组成,缺乏推移总体,如果存在的话,也比 $1\phi$ 粗,这与河流沉积的粒度分布曲线特点相一致<sup>[6]</sup>。样号678、648都不含推移总体,各自的跃、悬移总体含量相同,且两者的跃、悬移总体间的截点都在 $3\phi$ 左右,不同的是跃移总体前者由两段式组成,后者由单段式组成,而样号628推移含量占10%,跃移含量达到将近90%,从图5中看出这一阶段的水动力变化是:较强——最强——稍弱,也由此决定了此段为这个剖面粒径的最大处。这些特点表明是河流相沉积环境。

阶段III(230.1~156.2 m):此段中大部分曲线是四、五段式组成(样号449、601),推移含量在5%以下,跃移总体的含量达90%左右,两段式组成,截点在5.5~6.5之间,且粗粒段的斜率大于细粒段的斜率,即粗粒段的分选性比细粒段好,这可能反映了湖流的冲刷与回流作用,粗粒代表水动力强的冲刷沉积,细粒代表水动力弱的回流作用<sup>[8]</sup>,这个截断可能与湖流的冲刷和回流作用有关。还有少部分曲线由三段式组成(样号506),缺少推移总体,跃移含量达80%,分选性较好,悬移组分含量占20%,分选较差,属于是河流沉积环境。总的来说,此段属于浅湖相沉积环境,在此期间有过短暂的河流沉积过程。

阶段II(156.2~102.8 m):概率曲线由三、四段组成,绝大部分样品(样号341、299)缺少推移总体,跃移总体的含量达到90%,因有湖浪冲刷和簸分作用,故分选性较好。悬移组分区间很宽( $3\sim 10\phi$ ),且是由两段式组成,分选性很差,属于湖滨相沉积环境,湖滨相沉积物颗粒大小不等,砂质、砾质、粘土质的沉积物均有,这与海滨相沉积相似<sup>[9]</sup>。而少部分的样品(样号278)可能是湖滨相沉积作用的后期,由于水流作用减弱,沉积环境稳定,主要是以细颗粒沉积为主,具有湖泊沉积作用的特点。

阶段I(102.8~0 m):这一阶段概率曲线为三种形式:“三段式”、“四段式”和“低斜多段式”。三段式的推移含量达到30%,悬移含量不到1%,跃移含量将近70%;四段式的推移总体含量为10%左右,跃移总体是由两段式组成,其含量达到90%,分选一般,沉积稳定;低斜多段式是在动荡环境能量不稳定时沉积所表现出来的<sup>[10]</sup>。属于湖沼相沉积环境特征。

### 3.4 平均粒径所反映的东亚季风气候特征

早在60年代,刘东生等<sup>[11]</sup>通过对马兰黄土的粒度分析,发现黄土粒径从西北向东南逐步变细,由此推测,黄土高原的粉尘物质主要是由西北向的气流所搬运,这也与现代条件下,当地冬半年盛行的冬季风运行的路径相一致。因此,认为同一黄土剖面上粒度粗细的变化直接指示了第四纪冬季风风力强度的变化<sup>[12]</sup>。现在越来越多的研究表明,粒度的大小与冬季风强弱有着很大的关系,粒度逐步成为广为接受的冬季风替代指标。

苏北盆地兴化1#钻孔沉积物近3 MaB. P.以来的环境记录首次为东部地区东亚季风提供较长时间尺度的连续而高精度的陆上记录。从图2、3平均粒径的变化看出,在深度250~230 m之间,平均粒径突然增大,而后再陡然减小,变化幅度最大是在248~238 m间;另一次是在深度110 m左右,平均粒径值突然增大,持续一段时间后,又迅速减小。将兴化1#钻孔沉积物平均粒径与其它环境代用指标进行对比后,可以看出兴化1#钻孔粒度指标的这两次大的变化对季风变化有着很好的响应<sup>[13]</sup>。兴化1#钻孔沉积物记录到的两次季风气候性质上的巨变,一次是在约2.26~2.16 MaB. P.(深度在250~230 m),在此时间段后,兴化地区记录到的气候环境具有了明显的现代典型季风气候特征,指示了冬、夏季风的显著增强。在南海海域1148站浮游有孔虫的 $\delta^{13}\text{C}$ 从3.1~2.2 MaB. P.显著降低,根据现代南海表层沉积中浮游有孔虫 $\delta^{13}\text{C}$ 的分布判断,反映出冬季风的加强<sup>[14]</sup>。这次季风特征的变化很可能是北半球冰盖发育和增大,引起季风增强的结果。再一次是在约0.9 MaB. P.(深度约在110 m左右),兴化钻孔记录到的气候环境以显著的冰期与间冰期作用过程为特征。约0.9 MaB. P.的“中更新世革命事件”之后,兴化地区的湖沼相沉积物记录到5次显著的气候旋回,冰期与间冰期的显著反差,使得气候干湿、冷暖变化尤为明显。黄土中也记录了0.85 MaB. P.以后,黄土风化程度降低,古土壤的发育程度显著增强,表明冬、夏季风的显著增强<sup>[15]</sup>。这可能与全球冰量变化及青藏高原的快速隆升有关。当时全球冰量增加了15%,进入北半球第四纪冰期的全盛期。在0.85 MaB. P.前后青藏高原有过一次快速隆升过程(昆黄运动),使青藏高原的海拔高度达到3000 m以上,西风带在越过青藏高原时发生分流,并在长江中下游汇合。冰期时,南支西风急流可能常年而稳定的存在,有效的阻止夏季风的北进,而使冬季风影响范围相对扩大。

## 4 结论

沉积物的粒度参数包含大量的环境信息,其特性的转变可以体现沉积环境的演变过程。通过上述分析,可

以初步得出以下结论:

(1) 苏北盆地兴化 1#钻孔岩芯深度 350 m,其剖面沉积物以粘土、粉砂、砂为主,沉积环境变化频繁。

(2) 通过对中值粒径与分选系数的散点图、沉积物的概率累积曲线的分析以及结合沉积物岩性描述得出:VI 是河湖交替相沉积环境;V 是湖泊相沉积环境;IV 是河流相沉积环境;III 是浅湖相沉积环境,其间有短暂的河流沉积过程;II 是湖滨相沉积环境;I 是湖沼相沉积环境。此岩芯除了河流沉积环境以及构造运动的影响造成大的波动,形成粗颗粒外,总体沉积环境比较稳定。

(3) 沉积物粒度特征与其它环境代用指标对比分析,也记录到在 2.26 ~ 2.16 MaB. P. 和约 0.9 MaB. P. 两个时段存在季风气候性质上的巨变。

#### [ 参考文献 ]

- [ 1 ] 单树模,王庭槐,金其铭. 江苏省地理[ M ]. 南京:江苏教育出版社,1986.15—20.
- [ 2 ] 朱宣清,何乃华. 运用粒度分析方法恢复河流地貌[ J ]. 河北省科学院学报,1990,7(1):17—29.
- [ 3 ] 徐馨,何才华,沈志达. 第四纪环境研究方法[ M ]. 贵阳:贵州科技出版社,1992.70—72.
- [ 4 ] 孙千里,周杰,肖举乐. 岱海沉积物粒度特征及其古环境意义[ J ]. 海洋地质与第四纪地质,2001,21(1):93—95.
- [ 5 ] 胡刚,王乃梁,罗建育,等. 花海湖泊古风成砂的粒度特征及其环境意义[ J ]. 沉积学报,2001,19(4):642—647.
- [ 6 ] 成都地质学院陕北队编写. 沉积岩(物)粒度分析及其应用[ M ]. 北京:地质出版社,1978.
- [ 7 ] 徐馨,何才华,沈志达,等. 第四纪环境研究方法[ M ]. 贵阳:贵州科技出版社,1992.93—94.
- [ 8 ] 杨世伦,徐海根. 长兴、横沙两岛潮滩沉积物的粒度概率及其分析[ J ]. 海洋科学,1994,18(1):60—63.
- [ 9 ] 任明达,王乃梁. 现代沉积环境概论[ M ]. 北京:科学出版社,1985.98—100.
- [ 10 ] 袁静,杜玉民. 惠民凹陷古近系碎屑岩主要沉积环境粒度概率累积曲线特征[ J ]. 石油勘探与开发,2003,30(3):103—106.
- [ 11 ] 刘东生. 黄土的物质成分和结构[ M ]. 北京:科学出版社,1966.1—132.
- [ 12 ] 丁仲礼,余志伟,刘东生. 中国黄土研究新进展(三)时间标尺[ J ]. 第四纪研究,1991,11(4):336—348.
- [ 13 ] 舒强. 苏北盆地兴化钻孔近 3Ma 环境变化记录研究[ D ]. 南京:南京师范大学,2004.
- [ 14 ] 翦知湓. 南海北部上新世晚期东亚冬季风增强的同位素和有孔虫证据[ J ]. 第四纪研究,2001,21(5):461—469.
- [ 15 ] 郭正堂. 约 0.85 前后黄土高原区季风强度的变化[ J ]. 科学通报,1993,38(2):143—146.

[ 责任编辑:丁蓉 ]