

文章编号:1000-0550(1999)增-0763-06

# 泥河湾盆地沉积物磁化率及粒度参数 对沉积环境的响应<sup>①</sup>

杨晓强 李华梅

(中科院广州地球化学研究所 广州 510640)

**摘要** 在野外工作的基础上,选取泥河湾盆地郝家台、小长梁和东谷坨三个典型剖面,采集1674块样品,进行质量磁化率的测定和颗粒分析的结果表明:湖相沉积物的磁化率值和粒度参数在一定程度上反映了沉积环境的变化。磁化率值的高峰和细粒物质含量的低值代表相对较为寒冷干燥的气候或盆地的相对抬升,反之亦然。另外,0.2~7.5 μm的细粒悬浮物质的百分含量与深海氧同位素曲线也显示出一定的可对比性,这为陆相湖泊沉积高频年龄的确定和研究古气候的变化提供了另一途径。

**关键词** 磁化率 粒度分析 氧同位素曲线

**作者简介** 杨晓强 男 1972出生 博士研究生 毕业于长春地质学院 第四纪地质和环境变化的研究

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

## 1 前言

在黄土堆积序列中,沉积物的磁化率及粒度参数是气候变化良好的替代性指标,其可以与深海氧同位素曲线相对比<sup>[1~16,18]</sup>,从而为在陆相堆积中提取第四纪古气候变化的信息提供了比较简便而可靠的手段。大量研究证明,古土壤的磁化率值较高,代表夏季风增强,而黄土磁化率值较低,代表冬季风增强<sup>[3]</sup>。同样,对黄土沉积物粒度的研究表明,>30 μm和2~8 μm的黄土粒度含量也可以作为东亚季风强度变化的一个较好的替代性指标。相对于冷的气候>30 μm的颗粒含量高,2~8 μm的颗粒含量低<sup>[3]</sup>。对深海沉积物的颗粒大小与气候变化的之间的关系,Emilliani等也作了比较详细的阐述,并认为其可以与氧同位素的变化曲线相对比<sup>[8]</sup>。

而在陆相湖泊中,沉积物磁化率值和粒度参数对气候变化响应的研究存在着诸多疑问。首先是因为陆相湖泊沉积物源的多源性和搬运介质的多变性,其不单受气候变化的控制,还与构造运动、地质地理条件等其它因素相关,沉积相在横向和纵向上的差异很大。但是沉积物中磁化率值的高低主要是由磁性矿物的成分、含量和磁性颗粒的大小决定,而

磁性矿物颗粒的含量和大小直接与水动力大小相关,与一定的沉积物粒度相联系。在沉积物物源基本相同的情况下,磁化率值的相对大小可以反映水动力条件的变化。对沉积物粒度参数来说,其大小则与物源无关,直接反映了水动力的大小。而水动力的大小则直接与沉积环境相关。因此,在陆相湖泊中,利用沉积物磁化率和粒度参数来研究当时的沉积环境存在着可能性。Kashiwaya<sup>[9]</sup>, Narcisi<sup>[10]</sup>, Bonifay<sup>[11]</sup>等对湖相沉积物的研究也证明,沉积物的粒度与气候之间存在着密切的关系。

本文选取更新世典型沉积地层—泥河湾盆地沉积,在野外研究的基础上,结合沉积岩相特征,研究其质量磁化率和粒度特征,试阐明湖相沉积物磁化率和粒度参数与气候变化之间的关系。

## 2 地质背景

泥河湾盆地位于河北省阳原县、蔚县地区,主要为早更新世的河湖相沉积。本文选取三个典型剖面:郝家台、小长梁和东谷坨作为研究对象,从盆地中心到边缘呈南东东方向展布。郝家台剖面厚128 m,小长梁剖面厚64 m,东谷坨剖面厚44 m。剖面下部为湖相细粒沉积,以粘土、粉砂沉积为主,沉积物颜色

① 国家自然科学基金(编号:49772139)资助

收稿日期:1999-05-17

呈褐色、浅红褐色—灰绿色、灰色的旋回。剖面中部为粗粒的河流相沉积,以细砂沉积为主,发育大型斜层理,沉积物颜色呈黄色。剖面上部也为湖相沉积,沉积物颜色多呈黄绿色。剖面顶部为马兰黄土,与下伏的湖相沉积没有明显的沉积间断。在郝家台剖面发育多层含钙沉积,大部分代表了一种干燥的蒸发环境,但有些也发育在还原色的细粒湖相沉积中,可能反映了温湿气候条件下,生物大量繁殖的结果。

对剖面年代学的研究,迄今仍以磁性地层学为主。马兰黄土底部大概为 13Ka., B/M 界限大概位于剖面上部湖相沉积中,在郝家台距剖面顶约 40 m 左右,小长梁距剖面顶约 30 m 左右,而在东谷坨距剖面顶约 25m 左右<sup>[12]</sup>。迄今为止,对 Jaramillo 事件的划分很不统一,其顶大概位于剖面下部湖相沉积的顶层(与程国良私人通信,1999)。在东谷坨剖面 Jaramillo 事件在石器层沉积之上约 2 m 左右<sup>[12]</sup>。

### 3 样品的采取及分析

取样平均以 15 cm 左右为间距,郝家台剖面取样 862 块,小长梁剖面取样 436 块,东谷坨剖面取样 376 块。质量磁化率的测试在中科院广州地球化学研究所古地磁实验室和中科院地球物理所古地磁实验室完成,粒度分析由中科院北京地质研究所粒度分析实验室,采用日本 SALD-3001 型激光粒度分析仪完成。沉积物粒度曲线,经分析采用平均粒度曲线和 0.2~7.5  $\mu\text{m}$  的颗粒百分含量曲线进行研究。

## 4 沉积物磁化率值及粒度参数中的环境记录

### 4.1 沉积物磁化率及粒度特征

从图 1、2 可知,黄土堆积的磁化率值和 0.2~7.5  $\mu\text{m}$  的百分含量、平均粒径与下伏的湖相沉积显示出清楚的界线。沉积物磁化率值的高峰与细颗粒含量的低值代表较温湿的气候,与前人对黄土研究的结果相一致<sup>[1,2,7]</sup>。但磁化率值的增高与颗粒平均粒径的减小相对应,在一定程度上说明黄土磁化率值的大小与搬运介质—风动力条件的大小关系不大。

剖面湖相沉积物磁化率值的大小与沉积物粒度也具有一定的相关性。粉砂、粉细砂的磁化率值相对较大,而粘土和粗砂的磁化率值相对较低。在磁化率曲线上,随沉积物粒度由粗到细的变化,磁化率值呈

现由大到小的旋回。在湖相沉积中,沉积物磁化率值的大小和 0.2~7.5  $\mu\text{m}$  的颗粒的百分含量基本上呈反相关关系。磁化率值高,细颗粒百分含量低,而磁化率值低,细颗粒百分含量则高。而细颗粒的百分含量和平均颗粒直径呈相反的变化规律。对剖面部分样品的古地磁试验证明,沉积物中磁性矿物的成分基本是一致的。因此,细颗粒含量和平均粒径的变化与沉积物磁化率值的变化相对应,反映了搬运介质动力的大小。即磁化率高峰和细颗粒含量的低值,代表相对较大的水动力。而湖相沉积物磁化率的高峰代表冰期阶段比较寒冷的气候,物理风化作用大于化学风化,岩石碎屑物质比较集中的环境<sup>[13,14]</sup>。David J. W. Piper<sup>[15]</sup>等的研究证明,深海氧同位素的偶数阶段代表海平面的相对下降,三角洲的快速进积。因此,细颗粒含量的减少和平均粒径的增加,代表着在寒冷的气候阶段,粗碎屑物质向盆地方向的进积。另外,磁化率值的大小和细颗粒的百分含量与沉积物的颜色也显示出某种相关性,一般情况下,氧化色的沉积物磁化率值比还原色的沉积物磁化率值要高,细颗粒的百分含量较之低,说明在寒冷阶段,气候环境相对干燥。

从郝家台剖面到东谷坨剖面(从盆地中心到边缘),沉积物的颗粒平均粒径并没有显著差异(如表 1),在东谷坨和小长梁剖面也没有发现砾石甚至粗

表 1 泥河湾盆地典型剖面颗粒平均粒径和磁化率值  
Table 1 The sediments susceptibility and mean grain size of typical profiles in Nihewan basin

		郝家台	小长梁	东谷坨
下湖相	颗粒平均粒径( $\phi$ )	6.65	6.06	5.63
	磁化率( $\times 10^{-5}$ SI/G)	2.46	2.54	1.90
河流相	颗粒平均粒径( $\phi$ )	5.51	5.90	5.76
	磁化率( $\times 10^{-5}$ SI/G)	3.87	3.90	3.51
上湖相	颗粒平均粒径( $\phi$ )	6.46	6.38	6.13
	磁化率( $\times 10^{-5}$ SI/G)	1.76	2.22	2.04
马兰黄土	颗粒平均粒径( $\phi$ )	5.75	5.95	6.14
	磁化率( $\times 10^{-5}$ SI/G)	4.74	5.50	6.19

砂沉积。河流相颗粒平均粒径却呈相反的减小趋势。磁化率值在小长梁剖面有所增加是由于其粉砂质含量增多的缘故。其底部的磁化率值呈异常高峰,可能是下伏红层影响的结果。对郝家台剖面河流相底部的砾石长轴排列方向的测量和磁化率椭球体长轴方

方向的测量为 324°左右。这些结果说明当时古水流方向可能来自北西向,而并不来自东谷坨和小长梁剖面方向(南东东向)。小长梁和东谷坨剖面的沉积是由于盆地沉积面积逐渐扩张而形成的。

在剖面垂向序列上,可以划分三个大的沉积旋回(如图 1、2)。旋回 1 主要由湖相沉积组成,郝家台剖面底部细粒物质中含有含砾石粗砂透镜体,透镜体层位分布不一,砾石长轴排列方向与地层倾向一致,最大直径可达 8 cm,众数值约在 2~3 cm 左右,呈棱角状、次磨圆状。在褐色粉砂质粘土中,含钙质结核。细颗粒悬浮物质呈低峰,颗粒平均粒径和磁化率值呈高峰。可能是干燥环境下的三角洲沉积。之后颗粒平均粒径有所减小,悬浮物质增多,沉积物磁化率值降低。反映了湖进的过程。在小长梁剖面 and 东谷坨剖面的下部缺少类似的沉积,直接为湖相的细粒沉积。反映了湖水面积逐渐扩大、沉积作用逐渐超覆。

旋回 2 主要为河流相粉细砂沉积,下部发育大型斜层理。底部分布一薄的砾石层,砾石最大直径可

达 20 cm,最小约 0.5 cm 左右,分选、磨圆差,长轴排列方向大概为 324°,厚度分布从北西向南东方向逐渐减薄,指示了古水流的方向。磁化率值和颗粒平均粒径由大到小,细颗粒百分含量由少到多。其孢粉资料主要为松、云杉、冷杉、铁杉等,代表了一种温湿的气候环境<sup>[16]</sup>。而在河流相砂层的上部,大型斜层理中发育有钙质结核,指示着干燥的气候条件。因此,旋回 2 的初期沉积是盆地构造抬升,河流沉积向盆地方向进积作用的结果,之后气候条件从早期的温湿向干燥过渡。

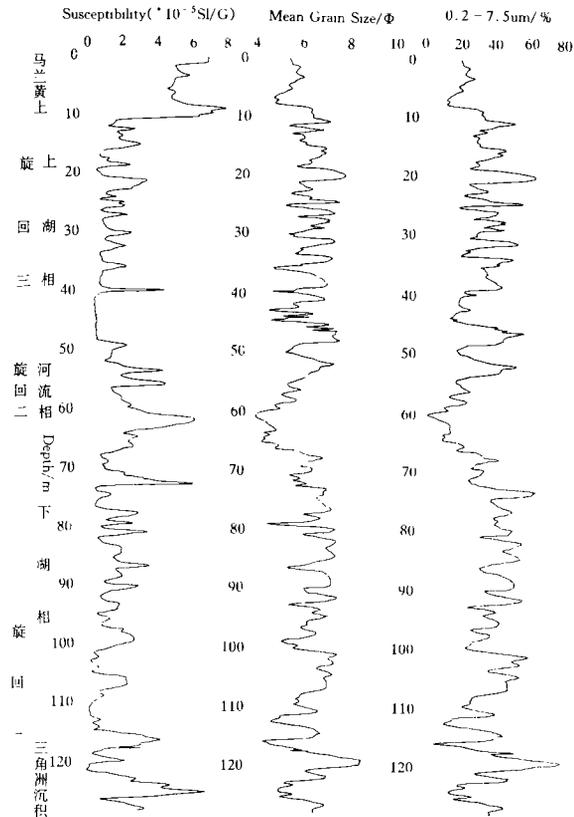


图 1 郝家台剖面沉积物磁化率、颗粒平均粒径及细粒悬浮物质含量对比

Fig. 1 The Relation between the sediments susceptibility, mean grain size and fine floating grain fraction in Haojiatai Section

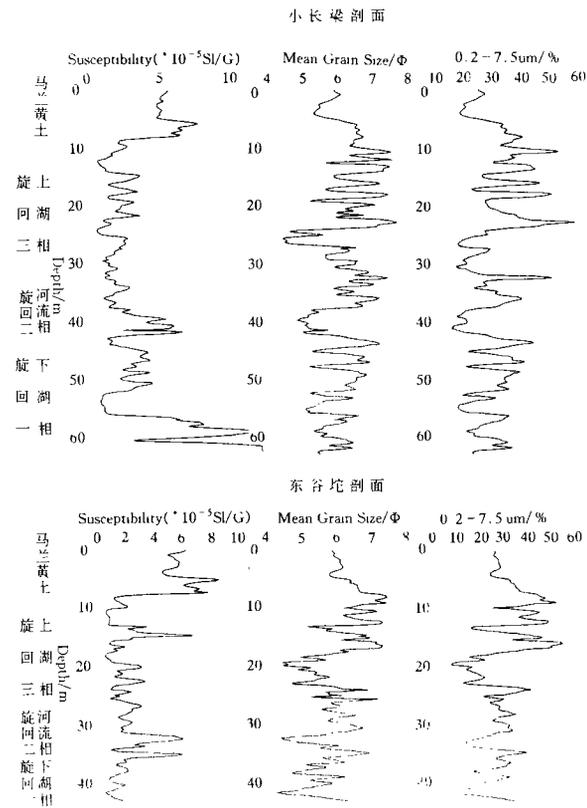


图 2 小长梁、东谷坨剖面沉积物磁化率、颗粒平均粒径及细粒悬浮物质对比

Fig. 2 The relation between the sediments susceptibility, mean grain size and fine floating grain fraction in Xiaochangliang, Donggutuo Sections

旋回 3 反映了盆地沉降由趋于稳定到晚期抬升至萎缩的过程,以湖相沉积为主,但岩相特征和磁化率、平均粒度等没有显著的差异。郝家台剖面平均粒度旋回 3 比旋回 1 大,而小长梁剖面 and 东谷坨剖面平均粒度旋回 3 却比旋回 1 小,说明在盆地演化的晚期,沉积中心向小长梁和东谷坨剖面方向转移。

在旋回3的顶部,没有粗碎屑沉积和侵蚀的痕迹,其上直接覆盖马兰黄土堆积,可能存在沉积间断。

在旋回1和旋回3的湖相沉积中,发现两段薄层粘土、粉砂韵律性沉积。沉积物颜色由灰色到褐色或黄褐色变化。反映了更高频尺度上的湖水深浅的波动。

#### 4.2 沉积物粒度与古气候记录

深海氧同位素曲线良好的记录了第四纪气候的变化。Emiliani<sup>[6]</sup>首先对深海氧同位素曲线校正,将其划分为22个阶段。偶数阶段代表寒冷的气候,而

奇数代表相对温湿的气候。Wolfgang H. Berger<sup>[17]</sup>等根据Milankovitch理论,设计数学模型,与钻孔记录的氧同位素曲线相校正,得出距今2000Ka来的氧同位素曲线。

Eutizio Vittori ANPA<sup>[18]</sup>等对Pro River valley钻孔岩芯研究发现,粘土、细泥的百分含量与氧同位素曲线之间存在着惊人的相似性,其含量的高峰与氧同位素的奇数阶段相对应<sup>[18]</sup>。而湖相沉积较之河流沉积要连续,受其它因素的影响也较之要小,因此其细粒物质与氧同位素之间也应存在可对比性。因为0.2~7.5 μm的悬浮物质对水动力条件的变化

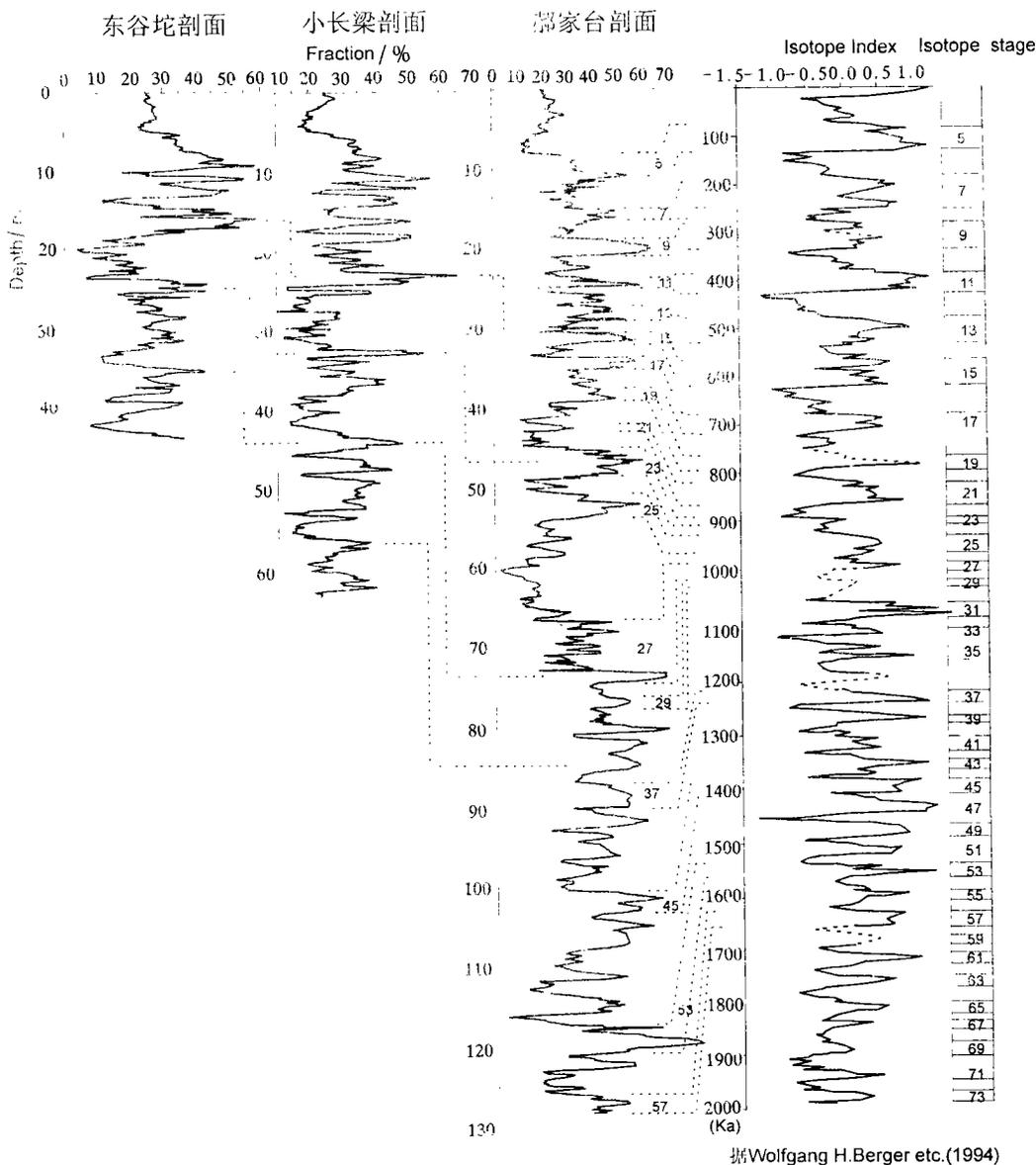


图3 泥河湾盆地典型剖面0.2~7.5μm颗粒百分含量与氧同位素曲线的对比

Fig. 3 Comparison of the grain size of 0.2~7.5μm vs. depth with isotope stage, in Nihewan Basin, Hebei

较为敏感,其初始搬运的起动流速很小,而二次搬运的起动流速很大,一旦沉积,受波浪、水流速的突然变化等外界因素的影响较小,而且可以搬运到盆地中心沉积。能够反映由气候的变化而引起的水动力大小的波动。因此将其百分含量的变化曲线与氧同位素曲线相对比,发现它们之间存在着相似性(图3)。其中阶段5对应黄土堆积,从阶段6开始,为湖相沉积。中部河流沉积悬浮物质含量少,对比存在一定的模糊性。在郝家台剖面大约22.34 m,53.36 m,80.6 m,80.7~81.2 m,120~120.76 m等多处的钙质沉积,与对比所得的氧同位素阶段也相一致,反映了寒冷干燥的气候。

对郝家台剖面的古地磁研究结果证明,B/M界线位于距剖面顶约40 m附近,Jaramillo事件顶界位于下部湖相沉积的顶部,没有出现Olduvai事件<sup>[12]</sup>。经Wolfgang H. Berger等的校正,B/M、Jaramillo和Olduvai顶界年龄分别为:790±5,992±10和178±10Ka.<sup>[17]</sup>,与氧同位素曲线相对比所得年龄基本一致。

## 5 结 论

虽然湖相沉积的影响因素复杂多样,但其磁化率值和粒度曲线仍然能够在一定程度上反映沉积环境和古气候的变化。在物源区变化不大的条件下,磁化率高值和细粒悬浮物质含量的低值代表较为寒冷干燥的气候,而磁化率低值和悬浮物质含量的高值代表较为温湿的气候环境。在冷期,物理风化作用占优势,产生大量碎屑物质,同时,地表植被减少,更多的粗颗粒物质向盆地方向进积,颗粒平均粒度增大,悬浮物质含量减少,沉积物磁化率值增大;相反,在暖期,化学风化作用占优势,植被茂盛,缺少大量的碎屑物质,粗颗粒沉积向陆退积,颗粒平均粒度减小,悬浮物质含量增多,磁化率值相对减小。

根据沉积物磁化率和粒度的变化规律,结合岩相特征,将剖面可以大致划分为三个沉积旋回。旋回1和3以湖相沉积为主,其间的含钙沉积夹于褐色、红褐色的沉积中,反映了较干燥的气候,其湖平面的波动旋回较小,可能是由气候的变化所导致。旋回2为河流相沉积,反映了盆地抬升的过程,气候从温湿向干燥过渡。

而剖面黄土堆积的磁化率值和0.2~7.5 μm颗粒的含量与湖相沉积所代表的意义有所不同,磁化率值高,细颗粒含量多,代表相对温湿的气候环

境。

但是,对湖相细粒悬浮物质与深海氧同位素曲线的对比,只是一种探索性的尝试。其是否可以作为湖相沉积反映气候变化的一种替代性指标,仍需要更进一步的研究。

## 参 考 文 献

- 1 鹿化煜,安芷生.黄土高原黄土粒度组成的古气候意义[J].中国科学(D),1998,28(3):278~283
- 2 鹿化煜,安芷生.洛川黄土粒度组成的古气候意义[J].科学通报,1997,42(1):66~69
- 3 丁仲礼,余志伟.第四纪时期东亚季风变化的动力机制[J].第四纪研究,1995,1(6):3~74
- 4 丁仲礼,孙继敏.灵台黄土—红粘土序列的磁性地层及粒度记录[J].第四纪研究,1998,1:86~94
- 5 Jef Vandenberghe, An Zhisheng, Govert Nugteren. New absolute time scale for the Quaternary climate in the Chinese loess region by grain-size analysis[J]. Geology, 1997,25(1):35~38
- 6 An Zhisheng, Stephen C. Porter. Millennial-scale climatic oscillation during the last interglaciation in central China[J]. Geology, 1997,25(7):603~606
- 7 Kukla G, Heller F. Pleistocene Climate in China dated by magnetic susceptibility[J]. Geology, 1998,16:811~814
- 8 Emiliani C. Oxygen isotopic analysis of the size fraction between 62 and 250 micrometers in Caribbean cores P6304~8 and P6304~9[J]. Science, 1977,198:1255~1256
- 9 Kshiyawa K, Yamanoto A, and Fukuyama K. Time variations of erosional force and grain size in Pleistocene lake sediments[J]. Quaternary Research, 1985,28:61~68
- 10 Narcisi B, Anselmi B. Lithostratigraphy of the 250,000 year record of lacustrine sediments from the Valle di Castiglione crater, Roma[J]. Quaternary Science Review, 1992,11:353~362
- 11 Bonifay E, Creer K M. Study of the Holocene and late Würmian sediments of Lac du Bouchet (Harte-Loire, France). First results [A], In: Rampino M R, et al, eds. Climate: History, periodicity and predictability [C]. New York: Van Nostrand Reinhold, 90~116
- 12 Li Hua-mei, Wang Jun-da. Magnetostratigraphic study of several typical geologic sections in north China. Quaternary Geology and Environment of China [M]. Beijing: China Ocean Press, 1982. 33~37
- 13 The-Quei Lee, Hwa-Sung Lin, Ping-Mei Liaw. Magnetic analysis on lacustrine deposits of Yuan-yang lake, Northern Taiwan [J]. Journal of the Geological Society of China, 1998,41(1):143~158
- 14 Roy Thompson, Frank Oldfield. Environmental Magnetism [M]. London: Allen & Unwin, 1988. 121~123
- 15 David J W, Piper A E. Aksu. Architecture stacked Quaternary deltas correlated with global oxygen isotopic curve [J]. Geology, 1992,20:415~418
- 16 夏正楷.泥河湾盆地的水下黄土堆积及其古气候意义[J].地理学报,1992,47(1):58~65

- 17 Wolfgang H Berger, Memorie K Yasuda. Quaternary time scale for the Qntong Java Plateau; Milankovitch template for Ocean Drilling Program Site 806[J]. *Geology*, 1994, 22: 463~467
- 18 Eutizio Vittori ANPA, Via Vitaliano Brancati. Grain size of fluvial deposits and late Quaternary climate: A case study in the Po River valley (Italy)[J]. *Geology*, 1995, 23(8): 735~738

## The Sediment Susceptibility and Grain-size Profile Respond to Change of Depositional Environment in Nihewan Basin

YANG Xiao-qiang      LI Hua-mei

(The Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou 510640)

### Abstract

Sampling the 1674 in Haojiatai, Xiaochangliang and Donggutuo sections in Nihewan basin based on the field works, and studying their quality susceptibility value and analysing their grain size characteristics. The results show that the change of susceptibility value and grain-size profile of lacustrine sediments reflect the change of paleoclimate to some extent. The high values of susceptibility and low fraction of fine grain indicate the cold and dry weather or the elevation of the basin, vice versa. In addition, the fine floating grain fraction between  $0.2\mu\text{m}$  and  $7.5\mu\text{m}$  may compare with isotope stage, which may good service fixing the high frequency age and studying the paleoclimate change in lacustrine sediments.

**Key words** susceptibility grain-size analysis isotope stage