

文章编号: 1000-0550(2002)04-0675-05

泥河湾盆地沉积物 粒度组分与磁化率变化相关性研究^①

杨小强^{1,2} 李华梅²

1(中山大学地球科学系 广州 510275) 2(中国科学院广州地球化学研究所 广州 510640)

摘要 以泥河湾盆地郝家台剖面为例,分析沉积物粒级组分与磁化率大小变化的相关性。从厚约122 m的剖面选取800多个样品,分别测试从0.2~500 μm 各个粒度区间颗粒的百分含量和质量磁化率。通过计算它们之间的相关关系,认为湖相沉积物磁化率的变化与0.2~35 μm 间细粒物质的含量,特别是与0.2~7.5 μm 区间悬浮物质的含量反相关,而与35~500 μm 间较粗粒物质的含量正相关。这种相关性与顶部的黄土堆积刚好相反,反映了二者之间磁化率不同的变化机制。据此可认为以外源碎屑输入为主的湖泊中,沉积物磁化率的变化主要受控于外源铁磁性矿物,它反映了湖水面的升降,蕴涵着一定的古气候信息。

关键词 郝家台剖面 沉积物粒级组分 磁化率

第一作者简介 杨小强 男 1972年出生 博士 环境磁学和第四纪环境

中图分类号 X141 P534.63 文献标识码 A

沉积物磁化率作为反映气候和环境变化的替代性指标之一,已广泛的应用于黄土堆积、海洋和湖泊沉积物的研究中^[1~8]。但是,对磁化率变化机理的研究,尤其是对内陆湖相沉积而言,处于比较薄弱的阶段。以前大量的工作集中在岩石磁学研究方面,并发现了自生作用和成岩作用形成的硫化铁矿物对湖相沉积物磁化率的影响^[4,9,10]。然而,在内陆非封闭性、沉积物以外源碎屑输入为主的湖泊中,磁性矿物是以铁磁性氧化物为主,其浓度、种类和颗粒大小等特征,应与沉积物粒级组分相关,它影响磁化率的大小变化。

本文以泥河湾盆地的典型剖面郝家台为例,选取约800多个样品,测试沉积物质量磁化率和0~500 μm 间颗粒的百分含量,探讨湖泊沉积物粒级组分与磁化率变化之间的相关关系。其中,磁化率的测试在中国科学院广州地球化学研究所古地磁实验室用Bartington MS2磁化率仪完成,粒度分析在中国科学院地质与地球物理研究所用日本岛津产的SALD-3001激光粒度分析仪完成。

泥河湾盆地位于河北阳原、蔚县境内,大约在 $40^{\circ}05' \sim 40^{\circ}25' \text{N}$, $114^{\circ}25' \sim 114^{\circ}44' \text{E}$ 之间。郝家台剖面位于盆地相对中心,但距离边缘不远,沉积物以粒度在0.2~500 μm 间(有 $> 500 \mu\text{m}$ 的粗砂、砾石)的外源碎屑为主,能够清楚的记录由环境变化引起的沉积相迁移和沉积物粒度变化。剖面全厚122.3 m(未见

底),顶部为厚约10 m的马兰黄土(L_1)和 S_1 古土壤,10.8~53 m和63~122.3 m上、下两段为湖相沉积,中部从53~63 m为河流相沉积。采样间距平均为15 cm,沉积物磁化率和粒度测试采用平行样品。

1 剖面磁性矿物的来源

湖相沉积物中磁性矿物的来源主要有三种:外源磁性矿物、自生磁性矿物和成岩过程中产生的磁性矿物。自生磁性矿物是在长时期的地质过程中,在湖内由化学或生物过程生成次生的磁性矿物。在自生磁性矿物中,针铁矿和磁黄铁矿、胶黄铁矿是较常见的矿物,其形成于还原环境或高Eh、pH值的环境^[9,10,11]。针铁矿的居里温度一般为120 $^{\circ}\text{C}$,磁黄铁矿的居里温度大约在290~320 $^{\circ}\text{C}$ 之间^[6],而胶黄铁矿由于在达到居里温度之前就已分解,很难测得其准确的居里温度,但在300~400 $^{\circ}\text{C}$ 之前会失去大部分磁性,在等温剩磁曲线上有明显的反映。

我们对郝家台剖面根据岩性的变化选取具有代表性的样品做大量系统热退磁和饱和等温剩磁实验^[12](详细的岩石磁学结果在还未发表的其他文章中),发现绝大部分样品的饱和磁化场在300~500 mT之间,剩磁矫顽力约60 mT,居里温度在500~600 $^{\circ}\text{C}$,只有个别样品在800 mT之上时才达到饱和磁化,剩磁矫顽力约为150 mT,居里温度在600~700 $^{\circ}\text{C}$ 。因此可以推

^① 国家自然科学基金项目(批准号:40104002;49772139)资助

收稿日期:2001-06-25 收修修改稿日期:2002-05-09

断剖面沉积物中的磁性矿物以磁铁矿系列为主。同时对样品频率磁化率的测试表明,高频与低频磁化率的差异几乎为零^[12],排除了沉积物中存在超顺磁颗粒的可能性。故剖面沉积物磁化率的大小变化应主要是由磁铁矿系列含量的多少所控制。

2 沉积物磁化率变化与沉积物粒度的相关性

郝家台剖面沉积物粒度分布如图1。整个剖面以粒度 $< 100 \mu\text{m}$ 的颗粒为主,上、下湖相沉积粒度 < 7.5

μm 的颗粒含量平均达40%~45%,河流相沉积各个粒度区间的含量分布相对比较均匀,黄土堆积随粒度的增大含量逐渐减少(下部湖相沉积约370个样品,河流相沉积约60个样品,上部湖相沉积约385个样品,黄土堆积约85个样品,均为平均值)。粒度小于 $7.5 \mu\text{m}$ 的颗粒一般为悬浮沉积物,在 $7.5 \sim 225 \mu\text{m}$ 之间的多为跃移搬运而沉积。如果将粒度区间在 $0.2 \sim 7.5 \mu\text{m}$, $30 \sim 60 \mu\text{m}$, $30 \sim 225 \mu\text{m}$ 间颗粒的百分含量和颗粒平均粒径随剖面深度的变化曲线与磁化率曲线相对比(图2),发现有如下的基本规律:

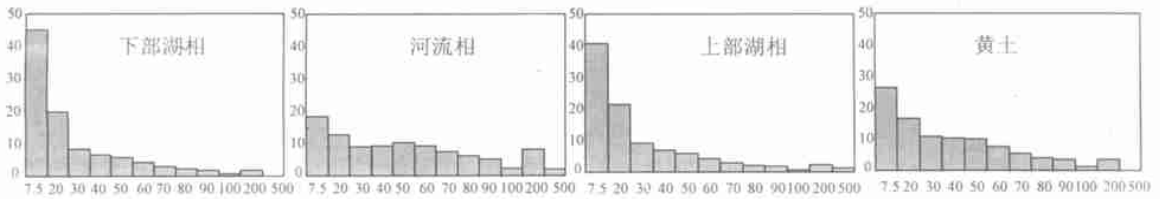


图1 郝家台剖面沉积物粒度分布

Fig. 1 Grain size distribution of sediment in Haojiatai profile

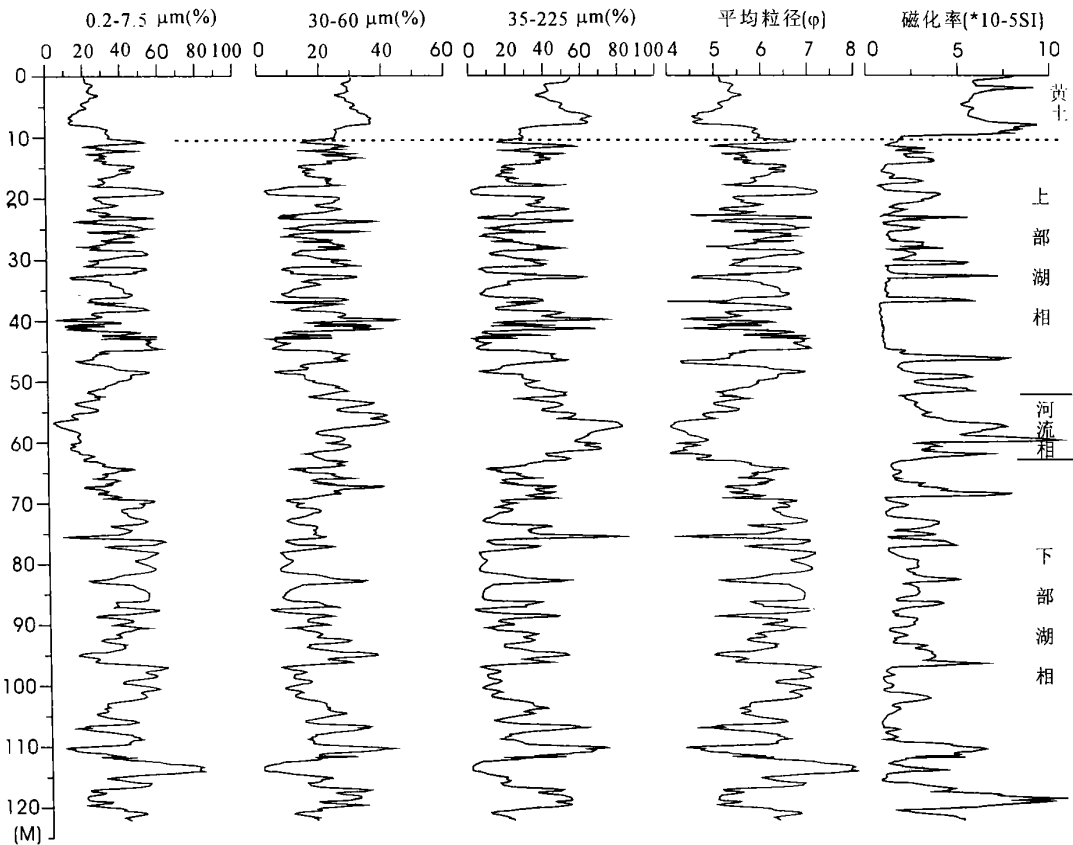


图2 沉积物磁化率与不同粒级颗粒含量的关系

Fig. 2 Relationship between sediment magnetic susceptibility and grain content of different grain size fractions

湖相沉积序列小于 $7.5 \mu\text{m}$ 的颗粒的百分含量与磁化率值基本呈反相关关系, 含量的低值对应磁化率的高峰; 颗粒平均粒径、 $30 \sim 60 \mu\text{m}$ 和 $35 \sim 225 \mu\text{m}$ 间颗粒的含量与磁化率基本呈正相关关系, 平均粒度大, $35 \sim 225 \mu\text{m}$ 间颗粒含量高, 沉积物磁化率值也相应较高。在剖面个别地段存在与此规律有所不符合的现象(图2阴影部分), 其原因还有待更进一步的研究。在黄土堆积序列, 则出现与湖相沉积恰好相反的情况, 磁化率的高值对应着细粒物质含量的高峰和较粗粒物质含量的低值。

我们更进一步计算磁化率与沉积物粒度各个区间

的相关系数(表1), 可以看出在不同的沉积相, 沉积物磁化率与不同粒度组分的相关系数是不同的。湖相沉积从 $0.2 \sim 35 \mu\text{m}$, 各个粒度区间颗粒的含量与磁化率的相关系数为负值, 从 $35 \sim 500 \mu\text{m}$, 各个粒度区间颗粒含量与磁化率相关系数为正值, 而黄土堆积却相反。将 $0.2 \sim 35 \mu\text{m}$ 、 $35 \sim 500 \mu\text{m}$ 粒度区间总体含量和颗粒平均粒径分别与磁化率计算相关系数, 仍具有相同的规律。河流相和上部湖相沉积物粒度与磁化率正、负相关的粒度界限稍有所变化(河流相在 $55 \mu\text{m}$, 上部湖相在 $40 \mu\text{m}$), 而在这两段沉积中, 存在多层钙板和钙质结核, 可能反映了干燥、氧化环境对沉积物磁化率

表1 沉积物磁化率与沉积物粒度间的相关系数(R)

Table 1 Correlation efficient between sediment magnetic susceptibility and grain size

粒度区间/ μm	湖相总相关系数 R	下部湖相 R	河流相 R	上部湖相 R	黄土 R
0.2~0.5	-0.205	-0.218	-0.431	-0.032	0.428
0.5~1	-0.491	-0.257	0.072	-0.179	0.246
1~2	-0.563	-0.345	-0.238	-0.233	0.456
2~5	-0.595	-0.396	-0.300	-0.275	0.453
5~7.5	-0.412	-0.456	-0.377	-0.330	0.436
7.5~10	-0.453	-0.483	-0.430	-0.373	0.413
10~15	-0.498	-0.500	-0.507	-0.430	0.399
15~20	-0.496	-0.464	-0.578	-0.446	0.371
20~25	-0.409	-0.370	-0.593	-0.365	0.312
25~30	-0.244	-0.169	-0.551	-0.238	0.217
30~35	-0.067	0.037	-0.478	-0.105	0.101
35~40	0.057	0.168	-0.412	-0.004	-0.141
40~45	0.157	0.260	-0.332	0.085	-0.371
45~50	0.280	0.407	-0.196	0.147	-0.406
50~55	0.304	0.429	-0.140	0.160	-0.391
55~60	0.360	0.475	0.027	0.196	-0.384
60~65	0.377	0.482	0.101	0.209	-0.371
65~70	0.390	0.490	0.133	0.222	-0.380
70~75	0.441	0.507	0.284	0.284	-0.408
75~80	0.441	0.507	0.284	0.284	-0.408
80~85	0.453	0.513	0.322	0.298	-0.413
85~90	0.498	0.525	0.545	0.362	-0.424
90~100	0.498	0.525	0.545	0.362	-0.424
100~110	0.557	0.596	0.613	0.427	-0.415
110~130	0.578	0.605	0.640	0.475	-0.405
130~150	0.561	0.524	0.692	0.521	-0.375
150~175	0.493	0.399	0.636	0.525	-0.332
175~200	0.430	0.325	0.559	0.494	-0.301
200~225	0.372	0.258	0.489	0.459	-0.246
225~250	0.260	0.190	0.273	0.400	-0.162
250~300	0.249	0.170	0.268	0.381	-0.128
300~400	0.218	0.129	0.322	0.339	-0.077
400~500	0.143	0.094	0.320	0.270	
0.2~35	-0.510	-0.531	-0.528	-0.440	0.435
0.2~7.5	-0.355 8	-0.402	-0.341 99	-0.266 1	0.471 203
35~225	0.465	0.530	0.413	0.319	-0.435
平均粒径 $M_z(\Phi)$	-0.462	-0.468	-0.557	-0.424	0.464

的影响。

3 讨论

从前面的分析知道,湖相沉积物磁化率与细粒悬浮物质的含量呈反相关关系,而与一定区间的较粗颗粒组分正相关。当粒度小于 $0.2 \mu\text{m}$ 和大于 $500 \mu\text{m}$ 之后,这种相关性则很弱。这种规律说明在以外源碎屑输入为主的湖泊沉积物中,沉积物磁化率的变化主要依赖于外源磁性矿物,它与一定的沉积物粒级组分相关联。当细粒悬浮物质含量高, $35 \sim 500 \mu\text{m}$ 区间颗粒含量低时,沉积物磁化率值较小;相反,则磁化率值相对较大。由此可以认为湖相沉积中的磁性矿物主要分布于粒度在 $35 \sim 500 \mu\text{m}$ 区间的沉积物中,在此粒度区间沉积物含量的多少对磁化率的大小有重要贡献,基本上控制了磁化率的变化规律。

顶部黄土堆积磁化率值与粒级组分的相关规律,以 $35 \mu\text{m}$ 粒度为界,与湖相沉积相反。在黄土堆积中, $0.2 \sim 35 \mu\text{m}$ 间颗粒含量与磁化率值的相关系数为正值,而 $35 \sim 500 \mu\text{m}$ 颗粒含量与磁化率值的相关系数为负值。当黄土细粒物质含量较高时,对应磁化率的较大值。这意味着湖相沉积和黄土堆积的磁化率变化机制是不同的。前者与流域剥蚀、外源输入有关,而后者主要受控于季风强弱变化。鹿化煜等研究认为黄土 $> 35 \mu\text{m}$ 的粒度含量变化代表了东亚冬季风的强弱变化, $0.2 \sim 7.5 \mu\text{m}$ 的含量代表了夏季风的强弱变化。因此黄土中细粒物质含量增加,磁化率值增大,反映了夏季风增强,在温湿气候条件下的成土作用等使磁性物质富集的过程^[13, 14, 15]。

那么湖相序列沉积物粒度与磁化率的这种相关性反映了什么样的变化机制? 郝家台剖面 $0.2 \sim 7.5 \mu\text{m}$ 间细颗粒物含量占了很大的优势,它是以悬浮形式搬运,需要在水流能量很小的条件下才能沉积,基本上代表了相对静水环境,它的含量随深度的变化在一定程度上反映了湖水面的深、浅波动状况。 $35 \sim 225 \mu\text{m}$ 间的沉积物主要以跳跃形式搬运,它在沉积物中的含量与 $0.2 \sim 7.5 \mu\text{m}$ 的含量呈反相关,相关系数达 -0.89 。 $35 \sim 225 \mu\text{m}$ 间颗粒含量高的沉积段, $0.2 \sim 7.5 \mu\text{m}$ 间颗粒的含量必然低。因此可以推断,郝家台剖面沉积物磁化率值的变化由搬运水动力条件的大小控制。

对处于盆地相对中心的郝家台剖面而言,水动力条件的大小应主要表现在湖岸线和河流的进、退状况,即湖平面的升降。如果构造稳定,这种变化则归因于气候的周期性变化。Eutizio Vittori^[16]在研究 Po Valley 河流沉积物的粒度时发现,在 150m 厚的剖面上,

粘土+淤泥物质平均百分含量的变化曲线与深海氧同位素曲线之间存在惊人的相似性,粘土+淤泥物质含量的高值对应氧同位素的奇数阶段,而低值则对应于偶数阶段。也就是说,在气候温暖时期以细粒的粘土、粉砂沉积为主,在气候寒冷时期,粗粒沉积则占优势。他认为气候对沉积物粒度的控制在湖泊沉积中可能更为明显。因此我们认为湖相沉积物磁化率的大小与气候的变化相关,当气候寒冷、干燥时,湖岸线后退,河流进积,盆地中粗碎屑物质含量增加,悬浮物质含量减少,沉积物磁化率增加;当气候温暖、湿润时,湖岸线向陆扩展,河流退积,盆地中粗碎屑物质含量较少,悬浮物质含量增加,沉积物磁化率减小。

4 结论

从湖相沉积物磁化率与粒级组分的相关性和同黄土堆积截然不同的规律,我们认为在以外源碎屑输入为主的湖泊沉积中,磁化率变化的机制与黄土堆积不同,它主要受控于外源铁磁性矿物,其大小变化与细粒悬浮物质含量反相关,而与相对较粗粒的沉积物含量正相关,反映了湖平面的升降变化,蕴涵着特定的古气候信息。

参考文献(References)

- 1 George Kukla, Friedrich Heller. Pleistocene climates in China dated by magnetic susceptibility[J]. *Geology*, 1988, 16: 811~814
- 2 安芷生, 吴锡浩. 最近 2 万年中国古环境变迁的初步研究. 黄土(第四纪地质)全球变化[C]. 1990. 1~26 [An Zhisheng, Wu Xihao. A pilot study about Chinese paleoenvironment evolution last 20kyr. *Loess (Quaternary Geology) Global Change*, 1990. 1~26]
- 3 Rosenbaum J G. A Record of middle Pleistocene climate change from Buck Lake, Cascade range, southern Oregon: Evidence from sediment magnetism, trace-element geochemistry, and pollen[J]. *Geological Society of American Bulletin*, 1996, 108(10): 1328~1332
- 4 胡守云, 王苏民, Appel E 等. 呼伦湖湖泊沉积物磁化率变化的环境磁学机制[J]. 中国科学(D), 1998, 28(4): 334~339 [Hu Shouyun, Wang Sumin, Appel E. Environmental magnetism mechanism of susceptibility changes in Hulun lake sediments[J]. *Science in China(D)*, 1998, 28(4): 334~339]
- 5 Teh-Quei Lee, Hwa-Sung Lin. Magnetic analysis on lacustrine deposits of Yuan-Yang lake, Northern Taiwan[J]. *Journal of the Geological Society of China*, 1999, 41(1): 143~158
- 6 Roy Thompson & Frank Oldfield. *Environmental magnetism* [M]. London: Allen & Unwin, 1986
- 7 Peck J A, King J W. A rock-magnetic record from Lake Baikal, Siberia: Evidence for Late Quaternary climate change[J]. *Earth Planet Sci. Lett.*, 1994, 122: 221~238
- 8 Williams D F, Peck J. Lake baikal record of continental climate response to Orbital Insolation during the past 5 million years[J]. *Science*, 1997, 278: 1114~1117

- 9 Jones B F, Bowser C J. The mineralogy and related chemistry of lake sediments[A]. In: Leman A, ed. Lakes: Chemistry, Geology, Physics[C]. New York: Springer, 1978.
- 10 Dell C I. An occurrence of greigite in Lake Superior sediments[J]. Am. Mineralogist 57, 1972
- 11 Hilton J, Lishman J P. The effect of redox change on the magnetic susceptibility of sediments from a seasonally anoxic lake[J]. Limnol. Oceanogr., 1985, 30: 907~909
- 12 杨小强, 李华梅. 泥河湾盆地典型剖面沉积物磁化率特征及其意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1999, 19(1): 75~84 [Yang Xiao-qiang, Li Huamei. The susceptibility characteristics of the typical sections in Nihewan basin and its implication[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1999, 19(1): 75~84]
- 13 Jef Vandenberghe. An Zhisheng. New absolute time scale for the Quaternary climate in the Chinese loess region by grain-size analysis [J]. Geology, 1997, 25(1): 35~38
- 14 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, 3: 278~283 [Lu, Huayu, An Zhisheng. Paleoclimatic significance of grain size of loess-palaeosol deposit in Chinese Loess Plateau[J]. Science in China(Series D, Earth Sciences), 1998, 41: 626~631 1 006~1 313]
- 15 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 [Lu Huayu, An Zhisheng. Paleoclimate significance of grain size in Luochuan loess-palaeosol series[J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(1): 66~69]
- 16 Eutizio Vittori. 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 Correlation between the Content of the Different Grain Size and Magnetic Susceptibility in Lacustrine Sediments, Nihewan Basin

YANG Xiao-qiang^{1,2} LI Hua-mei²

¹ (Department of Earth Sciences, Sun Yat Sen University, Guangzhou 510275)

² (Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou 510640)

Abstract The different grain size content range from 0.2~500 μm and magnetic susceptibility were measured to study the correlation between grain size and magnetic susceptibility, selected more 800 samples, in Lacustrine sediments from Nihewan Basin. The correlation coefficient of susceptibility with the content of 0.2~35 μm , especially 0.2~7.5 μm , is positive, and with the content of 35~500 μm is negative. This correlation is contrast to the loess deposits on top of profile, which shows the mechanism of magnetic response towards paleoclimate changes in lacustrine sediments is unlike that in loess. So, we can conclude that the susceptibility change in lake (the sediments are mainly allogenic) sediments is controlled by the allogenic magnetic minerals. The fluctuations of susceptibility indicate the changes of the lake level and paleoclimate.

Key words Haojiatai Section, the content of the different grain size, magnetic susceptibility