

呼伦湖地区扎赉诺尔晚第四纪湖泊沉积物的磁化率变化及其影响因素

胡守云 吉 磊 王苏民 朱育新

(中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊沉积与环境开放研究实验室, 南京 210008)

提要 呼伦湖盆地扎赉诺尔晚第四纪湖泊沉积物为砂、泥质碎屑沉积。对东露天矿剖面沉积物样品进行了低、高频磁化率测量、粒度分析、磁性矿物成分鉴定和 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 含量分析。分析表明:磁铁矿是沉积物磁化率的主要贡献者,全铁含量控制了磁化率值的变化;磁化率与沉积物粒度呈负相关。进一步讨论认为,磁性矿物主要为粉砂—粘土级碎屑,集中分布在细粒沉积物中,因此造成其磁化率较高。砂质沉积物中频率磁化率较高,其原因可能是其中的磁性颗粒比粉砂—粘土级沉积物中的磁性颗粒更细一些。

关键词 呼伦湖 湖泊沉积物 磁化率 磁性矿物

近十几年来,地磁学在地球科学和环境科学研究中的广泛应用,形成了一个独立的新研究领域,即环境磁学,它的潜在作用,已引起越来越多学者的注意和重视。湖泊沉积的环境磁学研究始于 80 年代。采用地磁学的方法研究湖泊沉积中的磁性矿物类型和含量,指示矿物的物源、沉积环境、气候与环境演化历史以及人类活动影响,这方面 Thomson 等^[1]、Oldfield^[2]等作了较全面的总结。我国环境磁学研究目前主要集中在黄土—古土壤序列的研究。湖泊环境磁学起步较晚,至今只有为数不多的报道^[3~5]。

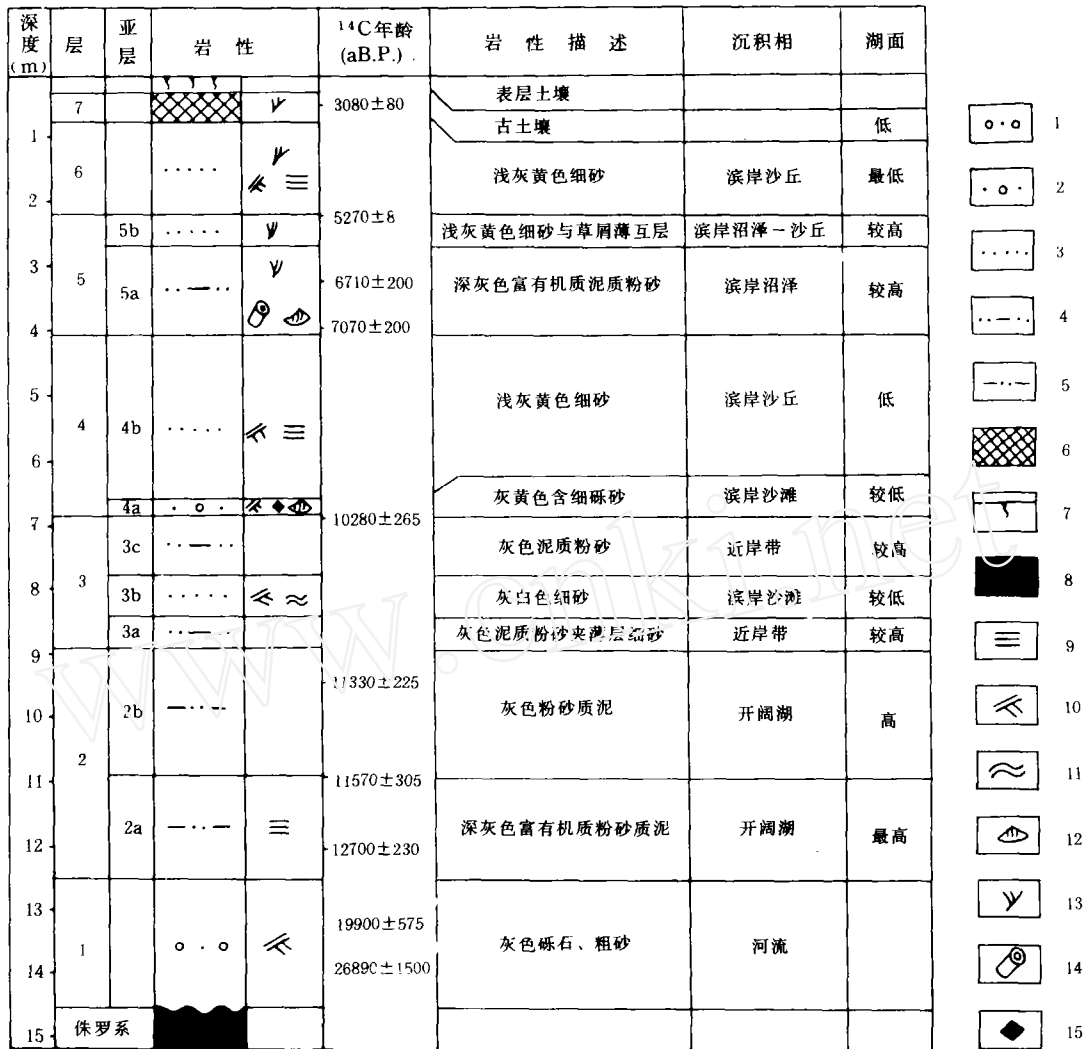
磁化率表征了物质被磁化的难易程度。由于其变化取决于磁性矿物颗粒的大小、形态、内部应力和结构,在沉积物中还取决于磁性矿物的种类和含量。同时初始磁化率分析具有经济、简便、省时、无破坏性等特点,因此在环境磁学研究中,磁化率分析是最基本和最重要的方法之一^[5]。

本文以呼伦湖地区扎赉诺尔晚第四纪湖泊沉积为例,通过沉积物磁化率的测试,并与粒度分析、矿物分析和化学分析资料对比,探讨影响沉积物磁化率的因素及其环境意义。

1 研究剖面

呼伦湖(也称达赉湖、呼伦池)是我国第五大湖,湖盆在地质构造上为一开阔向斜,受其

- 国家自然科学基金项目(49172119)和中国科学院南京地理与湖泊研究所所长择优支持基金课题(920219)。
收稿日期:1993年6月14日;接受日期:1993年9月9日。
作者简介:胡守云,男,1957年生,助理研究员。1991年于中国地质大学(武汉)应用地球物理系获硕士学位。现主要从事环境磁学和磁性地层学研究。1994年赴德国蒂宾根大学地质系进行合作研究。

图1 东露天矿晚第四纪地层柱状剖面图^[8]

1. 砂质砾石; 2. 含砾砂; 3. 细砂; 4. 泥质粉砂; 5. 粉砂质泥; 6. 古土壤; 7. 现代土壤; 8. 煤层;
9. 水平层理; 10. 交错层理; 11. 波状层理; 12. 瓣腮类; 13. 草本植物; 14. 木本植物; 15. 石器

Fig. 1 Stratigraphic profile of late Quaternary sediments in East Open Cut Mine^[8]

东侧嵯岗断层和西侧西山断层的控制, 属断陷构造湖盆^[6]。四周山体多由中酸性火山岩及玄武岩组成, 为湖泊提供了主要物源。扎赉诺尔位于湖盆北侧, 在侏罗系基岩上, 不整合覆盖了10~20m厚的晚第四纪湖泊沉积。由于东露天煤矿的开采, 揭示了发育良好的沉积剖面^[7]。研究剖面位于东露天煤矿南端, 剖面厚度为14.6m, 按岩性和沉积构造可划分为7层和9亚层(图1)^[8]。剖面中¹⁴C年龄除上部4个数据引自黎兴国等^[7]外, 其余为新测数据, 系采用FJ-2101型液体闪烁计数器改进系统测得^①。整个剖面代表了晚更新世—全新世的地层。

① 南京大学大地海洋系¹⁴C分析实验室测量。

2 方 法

在东露天矿剖面中,共采集样品 132 个,对其中部分样品分别进行了磁化率测试、粒度分析、矿物分析和化学分析。

2.1 磁化率测试

测试磁化率样品 85 个。样品先行烘干。为防止加热引起的磁性矿物发生化学变化,烤箱温度控制在 40℃ 以下。烘干后的样品研磨粉碎,称重后置于高 2.5 cm、直径 2.2 cm 的无磁性聚苯乙烯圆柱形盒中。使用英国 Bartington 仪器公司生产的 MS2 型磁化率仪进行测试。该仪器产生的交变磁场强度约 80 A/m。工作频率选择低频(0.46 kHz)和高频(4.6 kHz),并相应测得低频磁化率(X_{lf})和高频磁化率(X_{hf})。为保证测试精度,高、低频磁化率均重复测试 3 次,并求出其算术平均值。最后计算得频率磁化率。

2.2 粒度分析

粒度样品 16 个。样品浸泡后用超声波振荡仪分散,细粒部分 $>4.5\phi$ 粒级组分由 SKC-2000 光透法粒度分析仪测定。 $>4.5\phi$ 粒级组分烘干后,由 RPC-75 型波音振动式全自动筛分测定仪测定。粒级间隔为 0.25 ϕ 。分析结果经微机计算粒度参数。

2.3 磁性矿物鉴定

取沉积物样品 30~50g,浸泡在蒸馏水中用 H_2O_2 去除有机质并用超声波振荡器分散颗粒。搅动后,用虹吸法移出 $<2\mu m$ 粘粒。反复数次,直至粉粒除尽。剩余部分烘干,用多级强磁铁分离出磁性矿物^[9]。分离出的矿物用实体显微镜和偏光显微镜观察、鉴定。部分矿物样品研磨至 <100 目粉末,制成薄膜后在 Y-2 型 X 射线衍射仪上测试。由于分离技术上的原因,细粉砂级的磁性矿物较难完全分离出。

2.4 化学元素分析

将干样品研磨,过 120 目筛。用高氯酸、氢氟酸和盐酸在铂坩锅中溶化,定溶 25 mL,过滤去残留微粒,用 IL PLASMA-250 型 ICP 发射光谱仪测定金属元素含量。

3 结 果

东露天矿剖面样品的质量磁化率的量值较低,在 $n \times 10^{-8} \sim 10n \times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$ 之间。高频磁化率(X_{hf})的值比低频磁化率(X_{lf})略低,这是由于样品中细颗粒磁性矿物对高频磁场的滞后所致^[10]。但这两个参量的变化趋势是一致的。因此,下面仅讨论低频磁化率(简称磁化率 X)及频率磁化率(X_{fd})。

从岩性与磁化率的对应关系来看(图 2),细粒沉积物如粉砂质粘土、粘土质粉砂的磁化率较高。层 2 样品的磁化率值在 $20.1 \times 10^{-8} \sim 25.1 \times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$ 之间。层 5 在 $11.4 \times 10^{-8} \sim 14.4 \times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$ 之间。而砂质沉积物的磁化率值较低,如层 4、6 变化范围为 $2.4 \times 10^{-8} \sim 10.2 \times 10^{-8} m^3 kg^{-1}$ 。因此,似乎沉积物粒度越粗,其磁化率值越低。

频率磁化率的变化趋势与磁化率相反,两者呈反向关系。磁化率值高,频率磁化率则低,

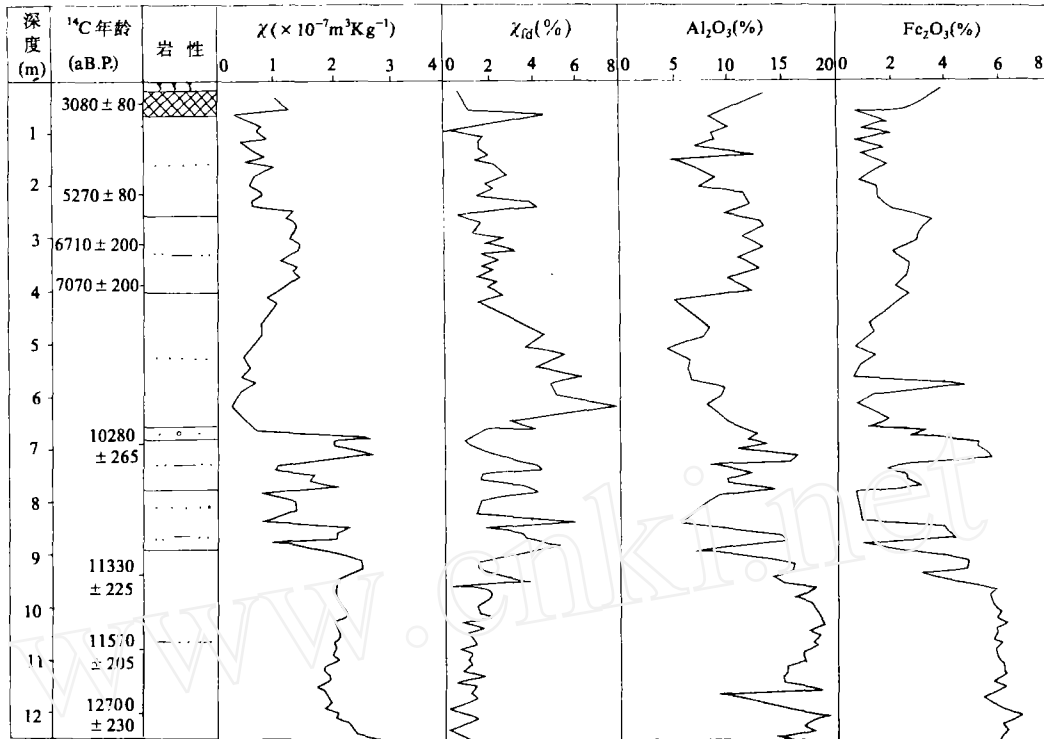


图2 东露天矿剖面磁化率、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 含量变化(岩性图例同图1)

Fig. 2 Magnetic susceptibility, Al_2O_3 and Fe_2O_3 content in East Open Cut Mine profile

反之亦然。所以细粒沉积物的频率磁化率较低,而粗粒沉积物较高。

在16个分析样品中,粒度平均值(M_z)变化范围为8.21~2.69 ϕ ,即沉积物处于粘土—细砂的范围内。分离出的磁性矿物经鉴定,主要是磁铁矿,其余有赤铁矿、黑云母、角闪石、菱铁矿、辉石、电气石、石榴子石、黄铁矿等。不同岩性沉积物中的主要磁性矿物种类变化不大,均以磁铁矿为主。因此,可以认为磁铁矿是沉积物磁化率的主要贡献者。

ICP测试结果表明, Fe_2O_3 含量(这里 Fe_2O_3 为全铁含量,即 TFe_2O_3 ,下同)变化范围在0.51%~6.65%之间。 Fe_2O_3 含量的分布规律明显:在粘土质沉积物中其含量较高,层2为5.23%~6.65%;粘土质粉砂中 Fe_2O_3 含量其次;层5样品含量为1.35%~3.38%;砂质沉积物含量最低;层4和层6的细砂中,仅为0.5%~1.5%左右。

Al_2O_3 的含量为4.22%~19.4%。由于 Al_2O_3 在层状铝硅酸盐中含量最高,因此可以其间接反映粘土矿物的含量。

4 讨 论

为定量了解磁化率与粒度及化学元素间的关系,对有粒度分析数据的16个样品的磁化率(χ)、频率磁化率(χ_{fd})、粒度平均值(M_z)、<4 ϕ 粒级组分含量、4~8 ϕ 及>8 ϕ 组分含量,

Fe_2O_3 和 Al_2O_3 含量进行相关分析(表 1、2)。相关分析结果表明:磁化率同 Fe_2O_3 含量以及 4~8 ϕ 、>8 ϕ 粒级组分均呈较好的正相关关系,频率磁化率与 <4 ϕ 粒级组分成正相关关系;同时 Fe_2O_3 含量同 4~8 ϕ 、>8 ϕ 粒级组分均呈良好的正相关关系。下面试讨论之。

表 1 东露天矿剖面部分样品磁性、粒度及化学元素测试结果

Tab. 1 Measurement of magnetism, grainsize and chemical elements of some samples from East Open Cut Mine profile

样号	χ ($10^{-6}\text{m}^3\text{kg}^{-1}$)	χ_{fd} (%)	M_z (ϕ)	<4 ϕ (%)	4~8 ϕ (%)	>8 ϕ (%)	Fe_2O_3 (%)	Al_2O_3 (%)
LT9	4.3	1.6	2.83	96.74	3.26	0	0.52	7.11
LT17	5.5	1.9	2.91	96.04	3.96	0	0.78	7.16
LT20	6.3	3.92	3.85	71.54	26.51	1.95	1.37	11.74
LT26	13.4	1.22	4.72	46.00	41.46	12.54	2.95	17.07
LT34	14.4	1.48	5.59	33.68	45.30	21.02	2.43	9.72
HLD72*	8.1	3.1	4.51	65.67	23.33	11.00	1.90	7.96
LT30	12.7	1.73	3.42	88.27	11.73	0	1.54	10.85
LT60	6.4	4.0	2.89	90.03	3.43	6.48	0.85	4.81
LT81	9.9	4.4	3.98	78.06	10.55	10.99	1.69	12.0
LT85	7.4	4.3	2.92	94.55	5.45	0	0.62	9.21
LT92	11.2	5.2	3.22	94.29	5.71	0	0.87	9.58
LT95	25.1	1.5	6.89	9.37	59.46	31.17	4.73	16.0
HLD41*	16.9	3.0	4.03	76.93	16.81	6.26	1.18	11.1
HLD33A*	22.8	1.9	6.30	6.87	69.36	23.77	2.62	13.4
LT101	20.6	2.1	7.22	3.23	60.99	35.78	5.44	16.0
LT120	19.2	1.3	8.21	4.73	36.57	58.70	5.23	13.2

* 东露天矿剖面附近样品

表 2 东露天矿剖面部分样品磁性、粒度、化学元素参量相关系数(γ)

Tab. 2 Correlation coefficients among parameters of magnetism, grainsize and chemical elements of some samples from East Open Cut Mine profile

参数	χ_{fd}	M_z	<4 ϕ	4~8 ϕ	>8 ϕ	Fe_2O_3	Al_2O_3
χ	-0.450	0.846	-0.862	0.841	0.740	0.803	0.652
χ_{fd}		-0.531	0.558	0.537	-0.489	-0.547	-0.298
M_z			-0.974	0.859	0.960	0.947	0.783
<4 ϕ				-0.946	-0.897	-0.923	-0.778
4~8 ϕ					0.707	0.807	0.772
>8 ϕ						0.912	0.649
Fe_2O_3							0.802

通常,磁化率与样品中的铁磁性矿物类型有很大关系,并与铁磁性矿物的含量大致成比例^[11]、甚至可以作为样品中铁磁性矿物丰度的直接度量^[12]。

5.1 磁化率

从表 2 中可以直观地看出,磁化率、粒度平均值、4~8 ϕ 组分、 Fe_2O_3 和 Al_2O_3 含量均有一致的变化趋势。那么影响磁化变化的主要因素有哪些呢?

从物理意义上来说,首先,磁性矿物的种类会影响磁化率的变化。在东露天矿剖面样品中所鉴定出的各种磁性矿物中,磁铁矿的单位质量磁化率($5.7 \times 10^{-4} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$)远大于其他类型矿物单位质量磁化率,如赤铁矿为 $16.6 \times 10^{-8} \sim 60 \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ [13]。所以,磁铁矿的存在,即使含量较低,也足以掩盖其它磁性矿物对样品磁化率的贡献。更何况,该剖面分离出的磁性矿物经鉴定是以磁铁矿为主。因此,可以断定,磁铁矿是样品磁化率的主要贡献者。

其次, Fe_2O_3 含量变化也影响了磁化率值的高低。图 2 直观显示了磁化率同 Fe_2O_3 百分含量的同步变化。相关分析证实,两者相关性很好($r = 0.803$)。虽然在通常情况下磁性强弱与全铁含量不一定具相关关系,但在东露天矿剖面中,这种相关关系是存在的。这可能是由于磁铁矿与 Fe_2O_3 含量变化是同步的。

第三,沉积物粒度与磁化率也有一定的相关关系。在东露天矿剖面中,很明显细粒沉积物的磁化率值较高,如沉积物磁化率与粒度平均值 M_z 相关性很好($r = 0.846$),与 $4 \sim 8\phi$ 细粒组分相关性亦很好($r = 0.841$),与 $> 8\phi$ 的组分相关性较好($r = 0.740$),说明细粉砂及粘土质沉积物磁化率较高。图 2 更是直观地表明这一点。显然,沉积物颗粒的粗细本身,并不会影响到磁化率的高低,这两者间应是间接关系。其直接的物理原因,可能是由于磁性矿物相对集中在沉积物细颗粒组分中。 Fe_2O_3 含量与细颗粒 $4 \sim 8\phi$ 组分相关系数 r 为 0.807,与 $> 8\phi$ 组分相关系数为 0.912 均证明了这一点。另外, Fe_2O_3 和 Al_2O_3 含量间的相关性($r = 0.802$)也反映出铁元素的富集与富粘土矿物有密切的关系。俞立中等曾对云南滇池钻孔(草 2 孔)沉积物进行分粒级的磁性测量,发现粉砂级组分中铁磁性矿物含量最高,尤其是细砂和极细粉砂中 χ 值最高[3~4]。因此,东露天矿沉积物可能与草 2 孔相似,铁磁性矿物富集在细粉砂级及粘土组分中,从而造成细粒沉积物磁化率较高。

从沉积学意义上讲,湖泊沉积物中的磁铁矿属于陆源碎屑矿物[14],为不稳定重物[15],在沉积物搬运和分选过程中易于分解和破坏。就东露天矿沉积剖面而言,砂层多属于滨岸沙滩和沙丘沉积,水和空气介质的反复改造和分选,促使磁铁矿被机械破碎和化学分解。相反形成于开阔湖和近岸带的泥质沉积物,因处于较稳定环境,磁铁矿易于保存。另一方面,沙滩砂和沙丘砂在反复分选沉积过程中,由于磁铁矿碎屑多属于粉砂粒级,所以容易从砂中分离出去。

当然,由于物源或沉积环境的差别,不同地区沉积物磁化率值与沉积物粒度的相应关系也不尽相同。这是因为磁性矿物在不同粒级组分颗粒中富集的缘故。例如英国奥亨凯恩湾和利物浦湾的沉积物 $2 \sim 4\phi$ 粒级组分 χ 值最高。而柯库布里湾沉积物在各粒度组分中 χ 值相差不大[2]。我国岱海沉积物中,砂质沉积物的 χ 值高于泥质沉积物[5]。

5.2 频率磁化率

频率磁化率 χ_{fd} 以下式来定义:

$$\chi_{fd} = \frac{\chi_{if} - \chi_{nf}}{\chi_{if}} \times 100\%$$

χ_{fd} 的量值表明了位于稳定单畴/超顺磁性边界的“磁粘滞”颗粒的存在以及它们对于磁化场的滞后响应。对于大致等轴状的磁铁矿,这些颗粒的直径近于 $0.02 \mu\text{m}$ [11]。频率磁化率正是这些细颗粒磁性矿物在样品中丰度的一个指标[3]。

在东露天矿剖面中,频率磁化率与磁化率是反向的,两者略呈负相关关系($r =$

-0.45)。总的说来,泥质沉积物 χ_{fd} 值较低,砂质沉积物较高。根据上述频率磁化率的物理意义,其高值应揭示沉积物中细颗粒磁性矿物的存在。但这与实际岩性及粒度分析相矛盾。似乎泥质沉积物中磁性颗粒应当相对较细些。这里,值得强调的是,粒度分析反映的是沉积物碎屑颗粒的粒径,而频率磁化率则揭示了沉积物中磁性矿物的磁颗粒的粗细。这两者所反映的物理意义不一样。在东露天矿剖面中,频率磁化率所揭示的砂质沉积物中磁性矿物的磁颗粒较泥质沉积物中的磁颗粒为细,不是没有可能的。尽管磁颗粒的大小从来也不能充分独立于沉积物颗粒大小,但仍有必要去鉴别出两者间的差别。细颗粒的磁性矿物可能刻划了整个粗颗粒沉积物的特性。也就是说,整个沉积物的磁参量是由这些细颗粒磁性矿物的特性决定的,而不是取决于整个沉积物的颗粒大小。

5 结 论

本文对扎赉诺尔东露天矿晚第四纪沉积物进行了磁化率、频率磁化率的测量,同时分析了沉积物的粒度、磁性矿物成分、 Fe_2O_3 和 Al_2O_3 含量等。得出如下几点结论:

(1) 经磁选出的磁性矿物鉴定证实,磁铁矿是沉积物磁化率的主要贡献者。磁化率值的高低,显然受 Fe_2O_3 含量的控制,两者呈正相关关系。

(2) 沉积物磁化率与沉积物粒度呈明显负相关关系。磁性矿物在粉砂—粘土质沉积物中较为富集。 Fe_2O_3 含量与这个粒级沉积物组分的相关性证实了这一点。

(3) 沉积物频率磁化率与沉积物粒度呈负相关关系。砂质沉积物的频率磁化率较高,据此推测砂质沉积物中磁性矿物的颗粒较细。

本项研究是呼伦湖晚第四纪沉积物环境磁学研究的一部分。目前正在进行其它方面的岩石磁学研究,如饱和等温剩磁、非磁滞剩磁、磁滞回线、热退磁及交变退磁的测试。其结果有望对该区沉积矿物及环境演化提出更为合理的解释。

致谢 在实验分析与论文撰写过程中,得到了吴瑞金、张立仁、龚墀、夏成岚等的帮助,插图由桑婉玉清绘,在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 Thompson R, Oldfield F. Environmental Magnetism. London: George Allen and Unwin, 1986
- 2 Oldfield F. Environmental Magnetism —— a personal perspective. *Quat Sci Rev*, 1991, 10: 73~85
- 3 Yu L Z, Oldfield F, Wu Y S, Zhang S F, Xiao J Y. Palaeoenvironmental implications of magnetic measurements on sediment core from Kunming Basin, Southwest China. *J Paleolimnol*, 1991, 3: 95~111
- 4 张树夫,肖家仪,俞立中,吴玉书. 沉积物矿物磁性测量在古环境研究中的应用. *地理科学*, 1991, 11(2): 128~193
- 5 吴瑞金. 湖泊沉积物磁化率、频率磁化率的环境意义——以青海湖、岱海近代沉积为例. *湖泊科学*, 1993, 5(2): 128~135
- 6 徐占江. 呼伦湖志. 长春: 吉林文史出版社, 1989. 9~178
- 7 黎兴国,刘光联,许国英,李凤朝,王福林. 内蒙扎赉诺尔东露天矿冰缘现象及其地质时代的初步探讨. *冰川冻土*, 1982, 4(3): 65~72

- 8 王苏民, 吉 磊. 内蒙古扎赉诺尔地区晚第四纪湖泊沉积物的沉积学及呼伦湖湖面波动历史. 第四纪研究, 待刊
- 9 中国地质科学院地矿所. 砂矿物鉴定手册. 北京: 地质出版社, 1977. 15~20
- 10 刘秀铭, 刘东生, F Heller, 许同春. 黄土频率磁化率与古气候冷暖变换. 第四纪研究, 1990, (1), 42~49
- 11 Maher B A. Magnetic properties of some synthetic sub-micron magnetites. *Geophys J*, 1988, **94**, 83~96
- 12 Sandgren P, Risberg J, Thompson R. Magnetic susceptibility in sediment records of Lake Adran, Eastern Sweden; correlation among cores and interpretation. *J Paleolimnol*, 1990, **3**, 129~141
- 13 Collinson D W. Methods in rock magnetism and palaeomagnetism. London: Chapman and Hall, 1983
- 14 Jones B F, Bowser C J. The mineralogy and related chemistry of lake sediments. In: Lerman A ed. Lakes: chemistry, geology, physics. New York-Heidelberg-Berlin: Springer-Verlag, 1978. 179~235
- 15 Pettijohn F J. Sedimentary rocks. 3rd ed. New York: Harper and Row, 1975

MAGNETIC SUSCEPTIBILITY OF THE LATE QUATERNARY LACUSTRINE SEDIMENTS AND ITS INFLUENCE FACTORS IN JULA NUR, HULUN LAKE AREA

Hu Shouyun Ji Lei Wang Sumin Zhu Yuxin

(Lake Sediment and Environment Laboratory, Nanjing Institute of Geography and Limnology,
Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

Abstract

The late Quaternary lacustrine sediments in Jula Nur of Hulun Lake basin consist of sandy and muddy clastic deposits. The low and high frequency magnetic susceptibility of the samples from of East Open Cut Mine section has been measured. Also, grain size, magnetic minerals and contents of Fe_2O_3 , Al_2O_3 of the samples have been analysed. The results indicate that magnetite is the main contributor of magnetic susceptibility of sediments, and the total Fe content controls the changes of the magnetic susceptibility which correlates negatively with the grain size of the sediments. Further study shows that the magnetic minerals are mainly silt-clay clastic deposits, resulting in higher magnetic susceptibility. The frequency-dependent susceptibility of sandy deposits is very high, due to finer magnetic grain than those in silt-clay clastic deposits.

Key Words Magnetic susceptibility, magnetic mineral, lacustrine sediment, Hulun Lake