维普资讯 http://www.cqvip.com

第5卷第2期
1993年6月

湖 泊 科 学
JOURNAL OF LAKE SCIENCES

Vol. 5, No. 2
Jun., 1993

128-135

湖泊沉积物的磁化率、频率磁化率及其古气候意义

P512.3

——以青海湖、岱海近代沉积为例

吴 瑞 金

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

提要 湖泊沉积物的磁性参数是古气候、古环境的重要代用指标。通过对青海湖 QL_5 孔和岱海 DH_{32} 孔短岩心的磁化率、频率磁化率的研究，并与地球化学参数等其它资料对比，探讨了以上两个湖区历史时期古气候变化规律；论证了用磁化率、频率磁化率作为古气候、古环境指标的可靠性和敏感性；并对其变化机制进行了初步探讨。

关键词 湖泊沉积物，磁化率，频率磁化率 气候变化

目前，随着全球变化研究的不断深入，如何建立高分辨率的古气候、古环境指标，改进并发展更为精确、有效的分析方法，以便最大限度地提取信息，重建古气候、古环境记录，并进一步阐明导致其变化的物理、化学、生物等方面的机制，已成为日趋迫切的关键问题。

环境磁学作为磁学与地学、环境科学的跨界科学，是利用沉积物的各种磁性参数来研究古气候、古环境演变的一门科学。由于它具有"便宜、简便、快捷、对样品无破坏"等优点[1]，正受到越来越多的地学工作者的重视。目前在我国环境磁学的研究尚刚起步，主要表现在通过黄土磁化率、频率磁化率的变化研究古气候变换。事实证明，黄土磁化率变化曲线与深海氧同位素曲线，及按南极冰岩心中氢同位素氘的含量作出的气候变化曲线十分吻合，极好地反映了古气候的变化。特别是频率磁化率曲线反映出了很多古气候波动的细节[2,3]。所以，可以说是一个分辨率很高的古气候代用指标。

湖泊，特别是封闭、半封闭湖泊的沉积物作为气候与环境变迁的忠实记录者，存储了大量信息。它的高连续性、高分辨率及对气候与环境变化的高敏感性使之成为研究古气候的理想材料。而湖泊沉积物的磁性参数，作为一个重要的古气候古环境指标，应该说是有很大潜力的。正如：Thompson 与 Oldfield 所指出的[4]："变化着的气候影响着湖泊的环境过程，而湖泊的环境过程控制了湖泊沉积物中磁性矿物的浓度和类型。湖泊沉积物的磁性参数可以反映古气候条件。"但迄今为止，在我国除俞立中外[5]，尚无人涉足对湖泊沉积物的环境磁学研究工作。本文拟通过对青海湖、岱海近代沉积物短岩芯（<1m）的磁化率、频率磁化率变化

国家自然科学基金项目（48701330和中日合作青海湖研究课题。

本文于1992年9月22日收到，1992年11月4日改回。

维普资讯 http://www.cqvip.com

的粗浅研究，对其古气候意义作初步的探讨。

一、概念与方法

当物质置于外磁物 $\vec{H}$ 时，所获得的磁化强度 $\vec{J}$ 与外磁场强度 $\vec{H}$ 成正比，即 $\vec{J}=\chi\vec{H}$，其比例系数 χ 称磁化率。显然，它表征了物质被磁化的难易程度，取决于物质本身的性质。对磁性矿物颗粒本身来说，取决于其大小、形状、内部应力和结构等；而对沉积物样品来说，则主要取决于其中磁性矿物的种类、含量与磁颗粒的粒度组分[6]。而这又直接间接地受环境条件的制约，所以可以通过剖面中磁化率的变化解释古气候。

频率磁化率（χ_{fd}）(frequency dependent susceptibility)当用百分比表示时又可称磁化率频率系数，是通过分别对样品进行高频（χ_{HF}）和低频磁化率（χ_{LF}）测量来完成的。表示为

$$\frac{\chi_{LF}-\chi_{HF}}{\chi_{LF}}\times 100\% = \chi_{fd}\%$$

频率磁化率对指示气候与环境变化有其独特意义。这是因为细粒的超顺磁/稳定单畴界限附近的细粘滞性铁磁颗粒（对大致等轴的颗粒来说直径约为0.015—0.025μm）只对低频磁化率有贡献，这造成了高频磁化率与低频磁化率数据之差。Oldfield 认为"如此细粒在未风化的母质中是极少见的，但它们是风化层、土壤、或受较高温影响形成的沉积物的磁化率的主要贡献者。所以，由于可以确定极细粒铁磁性物质的存在和比例，样品的频率磁化率既可提供岩石磁性资料又可得到环境信息。"

本研究使用的是英国 Bartington 公司生产的 MS_2 型磁化率测量仪和 MS_2B 双频探头（高、低频分别为4.7kHz 和0.47kHz）。样品在40℃（不得超过60℃）烘箱中烘干、磨碎（以不损伤自然颗粒为度），装入特制的10mL 圆柱形样品测量盒，压紧、称重后，即可量测。

二、QL_5、DH_{32}孔沉积物磁化率、频率磁化率及其古气候意义

青海湖、岱海都是水文封闭的内陆湖。前者位于青藏高原东北缘，面积4304km²，是我国最大的半咸水湖；岱海在内蒙古高原的南缘，面积134km²，是微咸水湖。封闭的水文条件使它们对气候变化都十分敏感，表现在湖面的频繁波动、湖水化学条件多变等方面。加之这两个湖泊都处于东亚季风区的边缘，东亚季风的进退对它们都有较显著的影响，故是研究古气候变化的良好场所。

QL_5孔采自青海湖海心山南深水区（水深约26m），芯长52cm，上部10cm 以1cm 间隔，以下以2cm 间隔采样，共得样品31个。据^{210}Pb 测年，青海湖现代沉积速率为1.1mm/a，故该岩芯为约500年以来的沉积。

DH_{32}孔采自岱海中部偏东深水区（水深约15m），芯长60cm，从4cm 开始以2cm 间隔采样，获样品28个。据^{210}Pb 测年，岱海现代沉积速率为2—2.1mm/a。故该岩芯为大约300年以来的沉积（图1）。

测得磁化率、频率磁化率曲线如图2。

维普资讯 http://www.cqvip.com

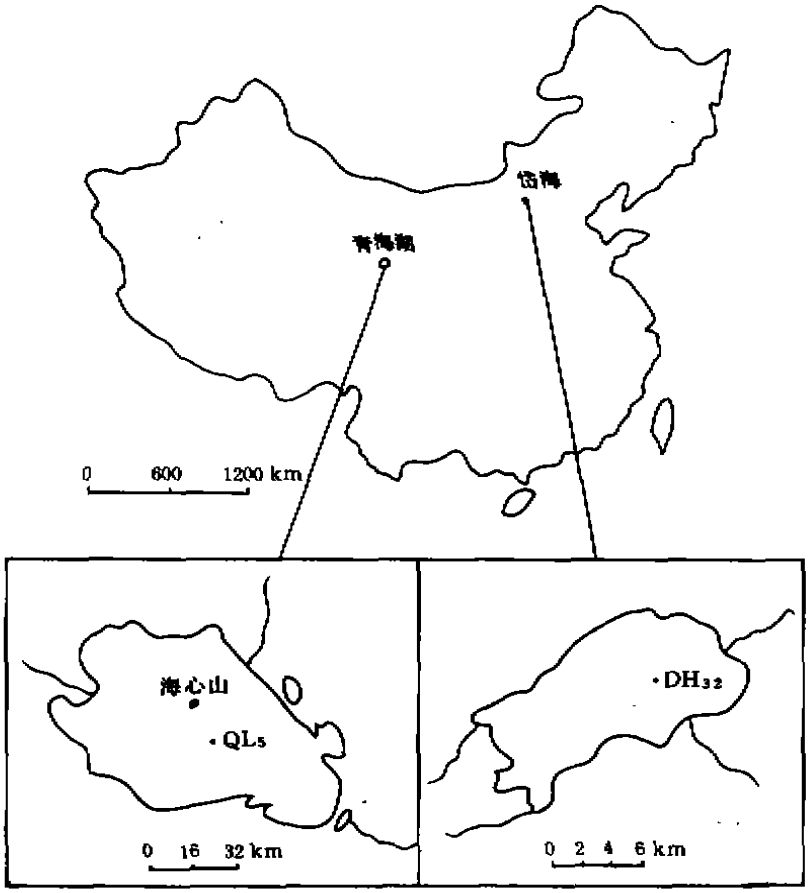

图1 采样点 DH_{32}与 QL_5位置图

Fig. 1 Locations of Core DH_{32} in Daihai Lake and Core QL_5 in Qinghai Lake

1. 磁化率与频率磁化率特点

从图2中不难看出 QL_5和 DH_{32}孔的磁化率、频率磁化率曲线具有以下特点：

(1) 两湖沉积物磁化率数值相去甚远。QL_5孔数值很低，平均只有$6.33\times10^{-8}m^3kg^{-1}$，最低为$4.87\times10^{-8}m^3kg^{-1}$，最高为$17.10\times10^{-8}m^3kg^{-1}$。$DH_{32}$孔数值超过 QL_5孔至少一个量级，平均为$96.15\times10^{-8}m^3kg^{-1}$，最高达$120.54\times10^{-8}m^3kg^{-1}$，最低也有$83.69\times10^{-8}m^3kg^{-1}$。这主要和两个因素有关。一是物源母质。青海湖周围岩性以变质岩(片麻岩、花岗片麻岩、石英岩等)、酸性岩浆岩(花岗岩、花岗闪长岩)为主，西部尚有石灰岩分布，均为铁磁性矿物含量很低的岩石；而岱海周围有大面积分布的第三系基性玄武岩，侏罗、白垩系碎屑岩，低山丘陵上又覆盖着厚层黄土，上述母质中铁磁性矿物含量均相对较高。据矿物分析，在 DH_{32}点附近的 DH_{30}点表层沉积物中，磁铁矿占重矿物总量的19.50%[7]。显然湖区周围的岩性直接控制了沉积物中磁性矿物的种类和含量。二是与湖盆面积、形态、水化学条件及受其控制而成的沉积物类型等有关。尽管两个岩芯都采自湖泊的深水区，但岱海面积仅为青海湖的1/30，岱

维普资讯 http://www.cqvip.com

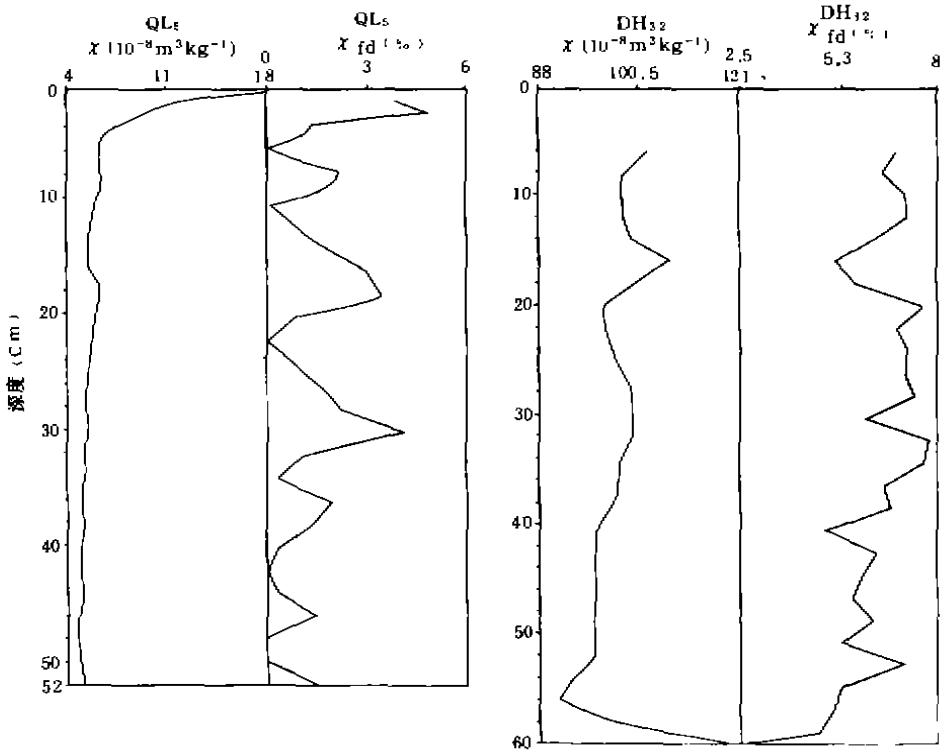

图2　QL_5孔、DH_{32}孔磁化率和频率磁化率曲线

Fig. 2　Magnetic susceptibility (χ) and frequency dependent susceptibility (χ_{fd}) of Core DH_{32} and Core QL_5

海最大水深约16m(1986)，青海湖最大水深约28m(1987)，显然，岱海的水下地形坡度大于青海湖，因此，陆源物质对深水区沉积物的影响明显地大于青海湖。另外，青海湖湖水矿化度(14.15g/L，1985年)[8]，约为岱海湖水矿化度(3g/L，1987年)[7]的5倍，所以，沉积物中碳酸盐含量比岱海高得多。岱海湖心沉积物中碳酸盐矿物总量不超过5%[7]，而青海湖深水区沉积物中总碳酸盐含量达35—40%，其中自生碳酸盐矿物占20%左右[9]。因此，仅碳酸盐一项，就大大稀释了沉积物中磁性矿物的浓度。当然，影响这两个湖沉积物中磁性矿物含量的因素还很多。正是这些区域条件的差别，造成了两个湖泊沉积物磁化率量值的巨大差异。

(2) QL_5与DH_{32}的磁化率曲线均较平直。青海湖QL_5孔除顶部4—0cm磁化率迅速升高外，无明显峰值。按沉积速率计算0—4cm约代表1950年以来的沉积。这显然是与该区解放以来的迅速开发、开垦荒地、建立农场、发展工业等人类经济活动有直接关系。这种现象在国外研究中是屡见不鲜的[10]。岱海DH_{32}孔除在14—20cm和56—60cm处有两个峰形外，曲线也无明显变化。

(3) 两孔的频率磁化率数值差别也很大，DH_{32}孔平均值是QL_5孔的三倍，可达6.28%，最低2.78%，最高7.78%；QL_5孔平均值2.09%，最高5.69%，最低接近0。

(4) 与磁化率曲线相比，显然频率磁化率曲线的变化要丰富得多，高、低峰值呈有规律

维普资讯 http://www.cqvip.com

的周期性变化。若按沉积速率推算年代，并与其它气候、环境参数对照，可挖掘其变化的古气候信息。

(5) QL_5孔磁化率曲线过于平直，难以看出其与频率磁化率曲线的关系。但就DH_{32}孔的磁化率曲线与频率磁化率曲线对比而言，一个很值得注意的现象是二者基本上呈负相关，磁化率高峰与频率磁化率低峰相对应。这与黄土很不相同。从已发表的有关黄土磁化率、频率磁化率曲线来看，尽管在土壤层数值明显高于黄土层，但磁化率与频率磁化率二者间总呈明显的同步正相关关系。事实上，湖泊沉积物的情况要复杂得多。它取决于流域物质、环境过程、气候变化的影响等各种因素，到目前为止，还很难概括出湖泊沉积物的磁化率与频率磁化率的一般规律。当然，如何解释这里的负相关关系，尚需作进一步的深入研究，是一个很值得探讨的问题。

2、QL_5、DH_{32}孔磁化率、频率磁化率曲线的古气候意义

显然，对于QL_5孔和DH_{32}孔来说，频率磁化率曲线提供了更多的信息。

王苏民、李建仁[9]在对青海湖、岱海近代沉积与历史气候关系研究中提出"青海湖10、24、34、52、66cm五个深度代表五个湖泊相对扩张、水位上升、湖水趋于淡化的阶段。"将QL_5孔的频率磁化率曲线与该孔的总碳酸盐含量(%)、自生碳酸盐含量(%)、Sr/Ba比、Ca/Mg比等参数比较，发现与上述结果十分吻合，频率磁化率在10、22、34、48—52cm处亦为低值，另外尚有5cm和42cm处两个低值(图3)。可见，在青海湖频率磁化率的低值是与湖面上升、湖水淡化一致的。而在上述深度上磁化率值并无变化。这说明沉积物中磁性矿物总量无显著变化，只是其中小于0.015—0.025μm的极细粒组分降低了。究其原因，可能是因为历史时期青海湖地区属于冷湿与暖干的气候演替类型，高湖面是与冷期相对应的[9]。从图3的沉积物平均粒径(MS)曲线可以看出，一般来说频率磁化率低的段落，平均粒径均偏粗。这说明在冷湿气候条件下，由于化学风化、成土作用的减弱，使陆源母质细组分减少了。另外，降水量的增加导致入湖水量的增加，也使较多的粗的陆源物质被带入湖中。根据沉积速率推算，10、20、34、42、48—52cm深度大致相当于距今100、200、300、400、500年，也就是说在这五个时段青海湖地区气候偏湿冷，湖水淡化，水位升高。表现出了明显的气候变化的100年准周期。其中，34cm附近的低峰应为17世纪末叶，小冰期最盛期的产物，而10cm处的低峰值代表了19世纪末小冰期的末次波动。

岱海DH_{32}孔的磁化率与频率磁化率曲线基本上呈负相关。最明显的是磁化率曲线16—18cm和56—60cm两处的高峰值恰与频率磁化率曲线低峰值对应。另外在40cm和30、50cm处尚有三个次一级的低峰值。据沉积速率推算，56—60cm和16—18cm处大致为距今300年左右和距今约100年的沉积。据历史记载此二时段(17世纪后半叶—18世纪初，19世纪末—20世纪初)确为本区两个明显的干冷期，前者为小冰期最盛期，后者相当于小冰期末次波动。40cm处的低峰幅度较16—18cm和56—60cm处为小，30、50cm处的较40cm处的又小，但上述三个次级波动也是等间隔的，很有规律的，大致分别为距今200、150、250年。上述规律明显地反映了该区历史时期气候波动的200年、100年、50年三个不同时间尺度的准周期。DH_{32}孔磁化率与频率磁化率之间负相关性的形成是和历史时期内岱海地区气候类型及湖区地质、地貌背景分不开的。据研究，历史时期岱海属冷干与暖湿的气候演替类型，低湖面为冷干时期的产物[9]。磁化率高值与频率磁化度低值的相对应说明虽然样品中磁性矿物含量高，但其

维普资讯 http://www.cqvip.com

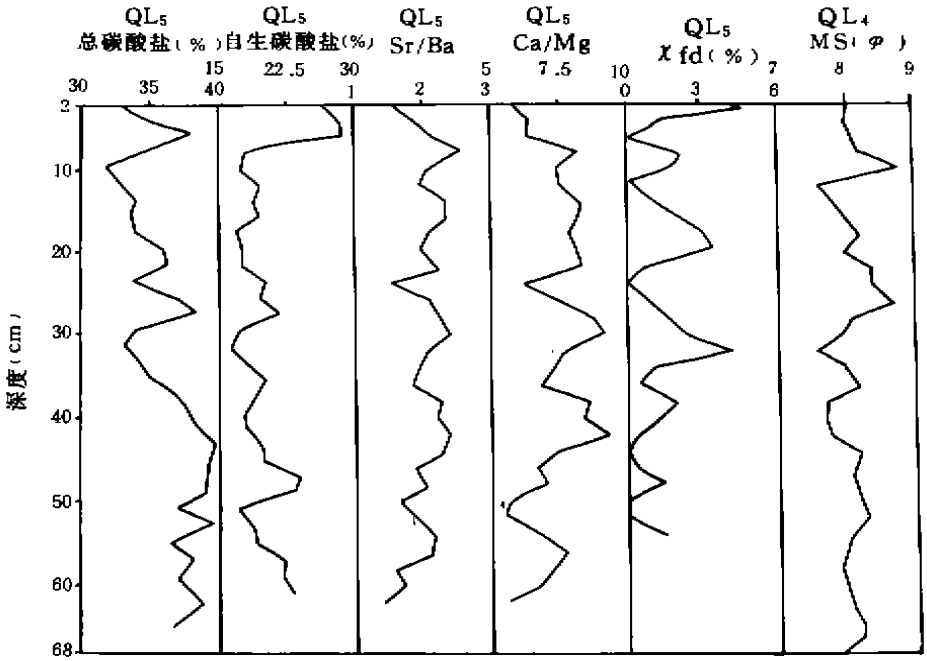

图3　QL_5孔频率磁化率、碳酸盐总量、自生碳酸盐含量、Sr/Ba、Ca/Mg和平均粒径对比图

Fig. 3　The correlation of frequency dependent susceptibility, total carbonate content, authigenic carbonate content, Sr/Ba, Ca/Mg, and Ms(ϕ) of Core QL_5

中细粒组分所占比例很低。据历史记载岱海地区在小冰期最盛期时表现为大冷大旱，降水减少但更为集中，湖面大幅度下降，最甚时面积仅剩约60km²[11]。在这种背景条件下，集中的暴洪可将大量碎屑玄武岩、黄土等带入湖中，而化学风化、成土过程的减弱又势必造成磁性矿物中细粒组分的减少。

对比QL_5、DH_{32}孔的磁化率、频率磁化率研究结果，不难看出尽管青海湖与岱海在历史时期内气温波动是同向的、干湿波动是反向的，但其变化的周期性基本上是一致的，特别是两个湖泊的沉积物对小冰期最盛期和小冰期末次波动的反映都十分敏感。这一点与其它参数的研究结果一致。

三、结　　论

1. DH_{32}孔和QL_5孔的磁化率曲线，特别是频率磁化率曲线呈现出明显的周期性变化规律，这种规律与粒度、自生碳酸盐含量、地球化学指标(Sr/Ba、Ca/Mg)的变化周期基本一致，指示了古气候、古环境的不同时间尺度的周期性变化。

2. 湖泊沉积物的磁化率、频率磁化率可以作为反映古气候、古环境变化的灵敏间接指标。特别是频率磁化率，能灵敏地记录微小的古气候波动，具有更明确的古气候意义。由于磁化率、频率磁化率测量具有方法简便、对样品无特殊要求、无需作化学前处理，对样品无破坏

维普资讯 http://www.cqvip.com

等特点，故与其它指标(如地球化学、稳定同位素、微古生物等)相比，具有一定的优势。

3. 湖泊沉积物的磁化率、频率磁化率量值的变化范围可以很大，影响因素复杂。除受湖区地质、地形、湖泊形态大小、流域背景条件等制约外，尚受所处气候区、植被覆盖状况甚至人类活动等一系列因素影响。而且，沉积之后，也可能因受生物、化学作用(如：铁细菌、成岩作用等)的影响而改变。每一个湖泊作为一个相对独立的封闭的自然系统，其沉积物具有自己的磁性参数背景值。所以，对湖泊沉积物来说，磁化率与频率磁化率的意义不在于其绝对量值的大小，而主要在于其相对变化(幅度、周期、频率等)所反映的古气候、古环境信息。另外，由于影响因素的多元性，湖泊沉积物的磁参数曲线只有在一定的区域背景条件下，与其它沉积学参数、生物化学指标等相互对照、相互补充，才能对区域的环境变化作出正确解释。

4. 湖泊沉积物磁性参数变化的机制是一个既涉及磁学又涉及地学的复杂问题。而只有对机制有较深入的了解，才能更准确可信地利用这些磁性参数所提供的信息。所以，这是一个急需深入探讨的问题。目前，很多学者对黄土与古土壤磁化率变化的机制进行了深入研究，提出了一些不同看法。但不管怎么说，我国黄土毕竟是在统一的大气系统中形成的，岩性、沉积特征、层序等都比较一致，地区差异性对其形成机制并无根本影响。而湖泊的情况就复杂了，不同湖泊的区域背景情况可能完全不同。显然，其磁性参数的变化机制也应是多模式而不是单一模式所解释得了的。必须具体情况具体分析。

5. 最后应强调指出的是磁化率与频率磁化率在某种程序上受湖区岩性、地形等非气候因子影响较大，在解释古气候古环境演变中难免有片面性。应当与其它参数互相比较、互相印证、综合分析，才能得到更为可靠的结论。

参 考 文 献

[1] Oldfield, F., Environmental Magnetism——a personal perspective. *Quaternary Science Reviews*, 1991, **10**: 73—85.

[2] 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)。

[3] 李吉均、朱俊杰等。末次冰期旋回兰州黄土剖面与南极东方站冰岩芯的对比。中国科学(B辑)，1990，(10)：1086—1094.

[4] Thompson, R. & Oldfield, F., Mineral magnetic studies of lake sediments. In: Environmental Magnetism. Allen & Unwin, London, 1986: 101—113.

[5] Yu Lizhong, F. Oldfield, Wu Yushu, Zhang Sufu & Xiao Jiayi, Paleoenvironmental implication of magnetic measurements on sediment core from Kunming Basin, Southwest China. *Journal of Paleolimnology*, 1990, (3): 45—111.

[6] Collinson, D. W., Methods in Rock Magnetism and Palaeomagnetism. Chapman and Hall, London, New York, 1983: 21—33.

[7] 王苏民、余源盛、吴瑞金、冯 敏。岱海—湖泊环境与气候变化。合肥，中国科学技术大学出版社，1990：56—98。

[8] 陈克造、J. M. Bowler、K. Kelts，四万年来青藏高原的气候变迁，第四纪研究. 1990，(1)：21—31。

[9] 王苏民、李建仁。湖泊沉积——研究历史气候的有效有段——以青海湖、岱海为例，科学通报，1990，36(1)：54—56。

[10] Oldfield, F., The role of magnetic studies in palaeohydrology. In: Background to Palaeohydrology (Edited by K. J. Gregory). Joho Wiley & Sons Ltd. London, 1983.

维普资讯 http://www.cqvip.com

[11] 王苏民、吴瑞金、蒋新朱。内蒙古岱海末次冰期以来的环境变迁与古气候。第四纪研究，1990，(3)：224—232。

MAGNETIC SUSCEPTIBILITY (χ) AND FREQUENCY DEPENDENT SUSCEPTIBILITY (χ_{fd}) OF LAKE SEDIMENTS AND THEIR PALEOCLIMATIC IMPLICATION

——The case of recent sediments of Qinghai Lake and Daihai Lake

Wu Ruijin

(Nanjing Institute of Geography and Limnology, Academia Sinica, Nanjing 210008)

Abstract

Mineral magnetic measurement can contribute to lake sediment studies in a wide variety of ways, ranging from analysis of sediment sources to understanding of the response of lake sediments to climate change.

The magnetic susceptibility (χ) and the frequency dependent susceptibility (χ_{fd}) curves of two short sediment cores from Qinghai Lake (QL_5) and Daihai Lake (DH_{32}), spanning respectively the last 500 and 300 years, have been made. It is interesting that the variations in χ_{fd} (%) approximately coincide with those of geochemical and grain size analysis data. Additionally, due to the variation of magnetic mineral content, type and magnetic grain size controlled mainly by the processes of weathering, pedogenesis, erosion and so on, the curves (especially χ_{fd} (%) curves) have all shown considerable regular alternations of wave peaks and troughs, implying climatic fluctuations in different time scales during historical period in the two areas. These results indicate that the magnetic parameters of lake sediments, especially their frequency dependent susceptibility are sensitive to paleoclimatic fluctuation and can provide us important information about climate change.

Key words Lake sediments, magnetic susceptibility, frequency dependent susceptibility, climate change