

洪湖沉积物的磁性特征及其环境意义*

曹希强¹ 郑祥民¹ 周立旻¹ 杜耘² 远藤邦彦³

(1:华东师范大学教育部地理信息科学重点实验室, 上海 200062;

2:中国科学院测量与地球物理研究所, 武汉 430077; 3:日本大学地球系统科学系, 东京, 日本)

提 要 以洪湖沉积物为研究对象, 通过对 Hh01-2(B) 孔岩芯磁参数的测量发现: 在岩芯所代表的时间段内洪湖沉积物磁化率呈现了明显的四个主阶段变化; 频率磁化率变化与磁化率变化具有较好的相关性, 亚铁磁性矿物的变化主导了沉积物磁化率的变化。同时结合年代、孢粉分析以及参考相关历史记载资料, 发现磁化率高值段对应湖水动力强、湖面较宽、气候较湿润, 而磁化率低值段对应湖水动力弱、湖面较小、气候偏干旱。从而得出了洪湖沉积物磁参数曲线波峰和波谷分别对应洪湖在历史上曾经历了扩张和收缩、气候温湿和冷干的旋回。

关键词 洪湖 湖泊沉积物 磁性测量 环境演变

分类号 P512.32

湖泊的形成与消失、扩张与收缩及其引起的生态环境的演化过程受其所处自然环境的控制。湖泊沉积物以其高连续性、高沉积速率及对环境变化的高敏感性使其成为气候变化、环境演变的理想载体^[1]。湖泊沉积物中含有丰富的环境信息, 对其信息的提取有很多方法, 其中, 磁学方法因其快速简便、经济易行、连续性好、分辨率高和对样品无破坏性等优点而为诸多研究者所关注, 并发展成为湖泊沉积物研究的一项实用有效的新技术。目前在不同地质岩性、不同气候类型带的几十个湖泊的数百孔沉积物样芯的研究中成功地得到了应用, 国内学者对太湖、呼伦湖、滇池等湖泊沉积物的磁性特征及其反映的区域古气候古环境变迁曾进行了较深入的研究^[1-4]。

本文通过对洪湖 Hh01-2(B) 孔岩芯的磁性特征的研究, 结合年代、孢粉等分析, 探讨磁性参数的环境意义, 试图利用沉积物磁性特征的变化来恢复洪湖古环境变化过程。

1 洪湖的区域背景

洪湖是湖北省境内江汉湖群中最大的湖泊, 位于长江中游北岸、江汉平原荆北地区四湖水系的尾端, 横跨湖北省南部洪湖、监利两个市区, 是长江和汉水支流之间的洼地壅塞湖, 中心位置约为 29°49'N、113°17'E。洪湖总面积约为 355km², 东西长 23.5km, 南北宽 20.8km。洪湖流域气候温和、雨量充沛, 1951-1980 年 30 年平均降雨量为 1343.3mm, 年均蒸发量为 1385.6mm; 年均气温为 16.6℃, 属夏季高温多雨的北亚热带季风气候^[5]。

洪湖之名最早见于明《嘉靖沔阳县志》中的“上洪湖、下洪湖”, 彼时上、下洪湖之间, 被宽

* 国家自然科学基金项目(40131020, 40372135)和上海市重点学科计划项目资助。

2003-11-01 收稿; 2004-04-19 收修改稿。曹希强, 男, 1979 年生, E-mail: xiqiangcao@yahoo.com.cn.

约 5.0km 的民垸与河网分隔。洪湖雏形始于 2500 - 900aBP, 当时还不是一个统一的湖泊, 而是两个东西相对、彼此分离的小型湖泊, 且东湖大于西湖。直到 400aBP, 湖面迅速扩大, 东西湖连成一片, 达到鼎盛时期; 后又日渐干涸, 逐步为沼泽代替, 19 世纪后, 湖面又一次扩大。湖泊的演变历史实际上是一个湖泊、沼泽相互交替的过程。该湖水浅底平, 海拔高程为 22.5 - 22.8m。全湖平均水深 1.35m, 最大水深 2.32m, 最小水深仅 0.4m。湖泊水生植物的覆盖率目前达 98%, 挺水植物沿湖滨分布, 由菰 (*Zizania latifolia*)、莲 (*Nelumbo nucifera*) 等组成, 菰群丛占绝对优势^[6,7]。

2 样品采集和主要研究方法

2.1 样品野外采集

此样品的采样工作是在 2001 年 8 月进行的, 位于洪湖东湖区的中心位置, 地理位置如图 1 所示 (113°25.010'E, 29°54.004'N)。在野外作业船上, 将 PVC 管锤入湖底, 进样 1m。现场将采集到的样品以保鲜薄膜密封好, 运回实验室。

2.2 主要研究分析方法

2.2.1 剖面岩性特征 Hh01-2(B) 孔岩芯全长 1m, 从中间将其纵切观察其岩性变化描述如下 (从上至下): A 层 (0 - 28cm): 0 - 6cm 为灰色泥质粘土, 并有较多植物根系; 6 - 20cm 为灰黄色粘土质粉砂, 夹有暗灰色淤泥; 20 - 25cm 含有生物贝壳; B 层 (28 - 63cm): 无层理, 由上部 (28 - 37cm) 的灰黄色粘土质粉砂逐渐变成下部 (37 - 63cm) 的灰褐色淤泥质粘土, 下部含铁锰结核和大量黑色有机质斑点; C 层 (63 - 100cm): 63 - 70cm 为褐色泥质层, 空隙度增大; 70 - 88cm 为黄褐色泥质层, 含有较多黑色有机质斑点, 并有贝壳出现; 剩下部分为灰黄色泥质层, 也含较多黑色有机质斑点。

2.2.2 年代分析和孢粉分析 为了建立湖泊沉积的时间序列标尺, 对洪湖湖泊沉积物进行了 ²¹⁰Pb 分析, 得出洪湖沉积物的沉积速率为 1.12 - 1.21 mm/a, 考虑到沉积物的压实作用, 按 1.12 mm/a 的沉积速率计算, Hh01-2(B) 孔的岩芯为近 900aBP 来的沉积。共取得孢粉样品 21 个, 样品处理采用氢氟酸和重液分离相结合的方法。

2.2.3 磁学分析 为了进行系统矿物磁性测量, 对 Hh01-2(B) 孔岩芯自上而下连续取样, 以 2cm 间距对样品进行分割, 共得样品 50 个, 先将样品置于低于 40℃ 的干燥箱内烘干 (高于 40℃ 的氧化环境会改变磁性), 接着在陶瓷研钵中轻轻研磨至粉状, 以不损坏自然颗粒为度。称重后置于 10mL 容量的圆柱状聚乙烯样品盒中, 压实、密封后即可进行磁性测量^[1,8]。

采用英国 Bartington 仪器公司生产的 MS2 磁化率仪测量所有样品的低频磁化率 (χ_{lf}) 和高频磁化率 (χ_{hf}), 采用 Molspin 公司生产的旋转磁力仪和脉冲磁场发生器测量样品的: (1) 非滞后剩磁 ARM; (2) 20mt、300mt、1000mt 脉冲磁化后的等温剩磁; (3) -20mt、-40mt、-100mt、-300mt 反向退磁后的等温剩磁。将测量数据输入微机, 计算单位质量的磁化率

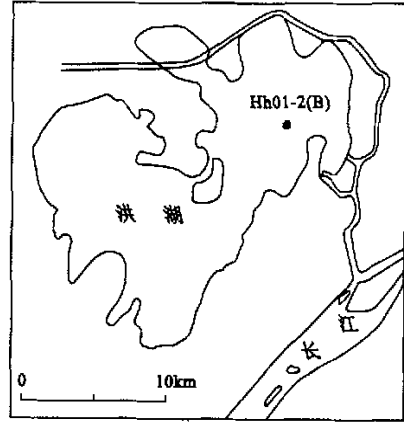


图 1 洪湖取样点位置

Fig. 1 Location of Hh01-2(B)

χ , 频率磁化率 $\chi_d\%$, 饱和等温剩磁 SIRM, 软剩磁 soft, 非滞后剩磁 ARM, 非滞后剩磁磁化率 χ_{arm} , 以及各比值参数如 $\chi_{arm}/SIRM$ 等, 并绘出了各磁性参数及比值参数的曲线图(图 2).

3 洪湖沉积物磁性特征分析

3.1 洪湖沉积物磁参数特征

沉积物柱样的磁性参数曲线可以反映沉积物中磁性矿物随深度经受的物理、化学及生物作用的变化过程. 本文选取了 Hh01-2(B) 一个具有代表性的断面进行了柱样样品的磁性测量, 从所测数据来看, 各参数值变化较大, 根据磁参数曲线的变化不难看出整个柱样可以明显分成四段. 其断面不同磁性参数特征描述如下(图 2):

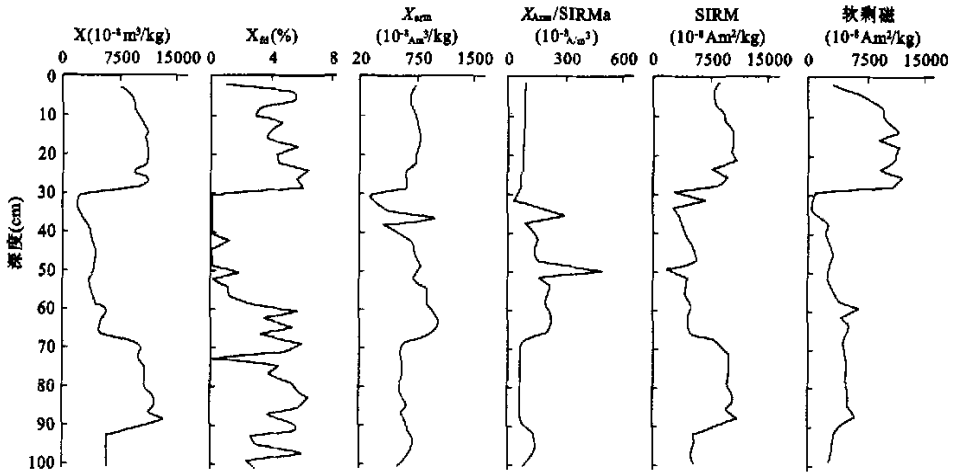


图 2 洪湖 Hh01-2(B) 孔沉积物磁化率参数变化

Fig. 2 Magnetic parameters in sediment of core Hh01-2(B)

第一段(0-28cm): χ 和 SIRM 值较高, 分别平均为 $67.05 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$ 、 $9383.03 \times 10^{-6} \text{Am}^2/\text{kg}$, 说明亚铁磁性矿物含量较多. 虽然 $\chi_d\%$ 值在此段含量也较高, 而软剩磁值在此段属于高值段, 平均值高达 $2570.18 \times 10^{-6} \text{Am}^2/\text{kg}$; 且 χ_{ARM} 值较低, 平均为 $734.29 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$, 表明磁性矿物晶粒较粗, 以多畴颗粒为主, 但也有一定的单畴-假单畴颗粒存在.

第二段(28-66cm): 此段磁参数曲线波动平稳, χ 和 SIRM 值比上一段明显呈减少趋势, 并且 χ 出现了整个柱样的最低值 $12.3 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$, 很显然亚铁磁性矿物含量较上段少. 而 χ_{ARM} 值平均为 $739.48 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$, 并比上段要高一些, 表明磁性晶粒有所细化.

第三段(66-92cm): 此段磁参数曲线波动较为剧烈, χ 和 SIRM 均在此段 88cm 出现最高值, 并且其平均值较高, 说明湖泊底泥含亚铁磁性矿物含量较高, 仅仅比第一段有所下降. χ_{ARM} 值平均为 $617.51 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$, 磁性颗粒还是以假单畴-多畴晶粒为主.

第四段(92-100cm): 此段磁参数曲线波动较为平稳, χ 、 $\chi_d\%$ 和 SIRM 值虽然比第一、三段有所下降, 但是 χ 的平均值仍然要比第二段高, χ_{ARM} 平均值为 $667.82 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$, 磁性矿物颗粒仍以假单畴-多畴晶粒为主. 但软剩磁含量比第三段有所下降.

综合以上对洪湖沉积物柱样磁性特征的分析结果, 可以得出洪湖湖泊的沉积物中主要是亚铁磁性矿物构成, 不完整反铁磁性矿物含量很少; 由于铁磁性物质的磁性除了受其本身含量影响外, 与其晶粒大小有密切关系, 超顺磁晶粒的磁化率明显大于单畴和多畴铁磁矿物, 虽然以较粗的假单畴-多畴晶粒在洪湖沉积物柱样分布广泛, 但是, 要探讨造成洪湖沉积物中磁化率四段分布变化的主要原因, 需要分别对质量磁化率(指示 SP 晶粒)与频率磁化率(指示 FV-SP 晶粒)、软剩磁(指示 PSD 和 MD 晶粒)进行相关性分析。

3.2 磁参数之间的相关性分析

为进一步研究洪湖中不同晶粒铁磁矿物含量对沉积物柱样磁性特征变化影响大小, 笔者分别对质量磁化率与频率磁化率、软剩磁进行相关分析。图 3 显示, 质量磁化率与频率磁化率的相关系数为 0.5577, 高于质量磁化率与软剩磁的相关系数 0.5382, 虽然相关系数较低, 但这主要由于在对样品研究时, 没有进行颗粒分组造成的, 因而质量磁化率与频率磁化率还是具有较好的相关性。从这一分析结果来看, 正是磁性矿物中超顺磁颗粒矿物含量的变化引起整个洪湖沉积物柱样磁性特征呈垂向曲线变化, 从而说明了洪湖沉积物中磁化率四段分布变化的主要原因。磁性矿物超顺磁颗粒的形成, 除了沉积物物源自身特性外, 更多的来自于沉积物受到的后期改造作用, 其中包括无机地球化学作用、生物化学作用等。根据现有的研究^[4], 在湖泊环境中, 当气候暖湿时, 沉积物受到的后期改造作用较强, 沉积物中的超顺磁组分含量较高, 体现较高的频率磁化率; 气候冷干时, 沉积物受到的后期改造作用较弱, 其所含的超顺磁组分相对较低, 体现较低的频率磁化率。

4 洪湖沉积物磁性特征的环境意义

以洪湖 Hh01-2(B) 孔湖泊沉积物磁化率与频率磁化率参数为主导指标, 通过对洪湖沉积物磁性特征所揭示的环境演变信息的提取, 同时参照孢粉等环境指标和历史记载资料, 可以将洪湖环境演化分为以下四个阶段(由下到上):

第 I 层(100-92cm, 相当于约 900-820aBP): 该层质量磁化率和频率磁化率值较高, 沉积物以较粗的假单畴-多畴晶粒为主。孢粉分析是木本植物花粉较高, 草本植物花粉及蕨类孢子类次之, 藻类含量较少, 说明湖岸湿生草本植物较多, 湖水有一定面积但可能比较分

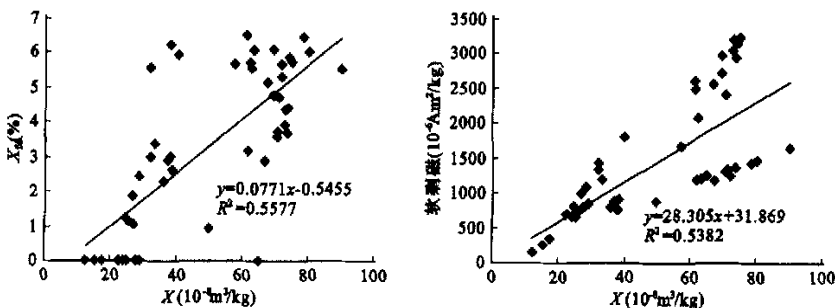


图 3 质量磁化率与频率磁化率、软剩磁的相关性

Fig. 3 The relativity of χ and $\chi_d\%$, χ and Soft

散,气候温暖湿润,洪湖尚处于形成初期。

第Ⅱ层(92-66cm,相当于约820-590aBP):该层质量磁化率在Hh01-2(B)孔样芯中出现最高值 $90.05 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{kg}$,频率磁化率平均4.41%。从超顺磁颗粒矿物含量来看,此层属于较高时期,说明了湖底沉积物被植物的改造作用较大。该层藻类含量增加,已和草本植物花粉及蕨类含量相近,发现较多盘星藻类,说明湖底植物生长较好,水域面积较大,气候温热潮湿,洪湖正处于一个扩张时期。

第Ⅲ层(66-28cm,相当于约590-250aBP):该层该孔样芯频率磁化率为一谷值段,明显低于第Ⅱ和第Ⅳ层,平均为1.34%,属于较干旱的时段。从超顺磁颗粒矿物来看,此阶段属于较低时期,并且湿生草本植物花粉和水生藻类含量减少,尤其是盘星藻类大量减少,表明了湖底植物对沉积物的改造作用明显降低,湖底植物生长没上一层旺盛,水域面积在扩张到顶峰后由于气候干燥寒冷开始减退,此阶段洪湖总体处于水面收缩的过程之中。这与“洪湖及周围地区沉积物样芯显示出多层相间的湖泊沉积与沼泽沉积,表明了自湖泊形成以后,曾经历了几次收缩—扩展阶段^[7]”相一致。

第Ⅳ层(28-6cm,相当于约250-50aBP):此层沉积物频率磁化率又上升到一较高水平,平均为4.52%,比第一阶段还高,湿生草本植物花粉和水生藻类含量增多。这反映了气候又一次变为温暖潮湿,表明洪湖又开始进入湖面扩张时期。

第Ⅴ层(6-0cm,相当于约50aBP至今):该层已进入湖泊的现代时期,气候基本跟上一阶段一致,但从沉积物频率磁化率来看,降低明显,仅为0.93%。据资料显示,20世纪特别是50年代以来,大规模的水利工程建设和围湖垦殖,湖泊水面因沼泽化而逐步缩小,从而造成了湖泊及其周围地区的一系列生态问题,导致了频率磁化率的迅速降低^[9]。从这一角度来看,湖泊沉积物频率磁化率的变化与历史时期人类活动的影响是分不开的。

5 结语

通过对洪湖Hh01-2(B)孔样芯磁参数分析,在样芯所代表的时间段内洪湖磁化率出现了明显的四个主阶段变化,从而得出了洪湖沉积物磁参数曲线波峰和波谷分别对应洪湖在历史上曾经历了扩张和收缩、气候温湿和冷干的轮回结论。

这样就表明磁参数这一高分辨率记录能对沉积环境的变化起到灵敏间接的指示作用。特别是对于封闭、半封闭的湖泊沉积物,更是恢复历史时期的环境变化的重要代用指标之一,在湖泊样芯的分层、沉积物来源判别和环境信息提取等方面有着独到的作用。

不过,由于该指标受流域自然环境与人类活动的错综影响,这给利用湖泊沉积物的磁性特征来恢复历史时期的气候环境变化带来一定的困难。因此,需要结合粒度、孢粉、地球化学等的分析测试,建立多环境指标的综合分析方法。

致谢 孢粉测试是同济大学海洋地质教育部重点实验室由张玉兰教授进行,²¹⁰Pb分析在河口海岸国家重点实验室完成,在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- 1 俞立中, 许羽, 许世远等. 太湖沉积物的磁性特征及其环境意义. 湖泊科学, 1995, 7(2): 141 - 150
- 2 胡守云, 吉磊, 王苏民等. 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. 湖泊科学, 1995, 7(1): 33 - 40
- 3 Yu Lizhong, Oldfield F, Wu Yushu, et al. Paleoenvironmental implication of magnetic measurements on sediment core from Kunming Basin, Southwest China. *Journal of Paleolimnology*, 1990, 3: 95 - 111
- 4 朱立平, 陈玲, 陈平等. 环境磁学反映的藏南沉错地区 1300 年来冷暖变化. 第四纪研究, 2001, 21(6): 520 - 527
- 5 金相灿等. 中国湖泊环境. 北京: 海洋出版社, 1995: 577 - 581
- 6 俞立中, 许羽, 蔡述明等. GIS 技术在洪湖环境演变中的应用. 湖泊科学, 1993, 5(4): 350 - 357
- 7 王苏民, 龚鸿身. 中国湖泊志. 北京: 科学出版社, 1998: 191 - 193
- 8 张卫国. 长江口潮滩沉积物环境磁学研究. 华东师范大学博士学位论文, 2001: 1 - 23
- 9 蔡述明, 易朝路, 张晓阳等. 洪湖沼泽化与成土过程及其开发利用方向. 见: 中国科学院水生物研究所洪湖课题组著. 洪湖水体生物生产力综合开发及湖泊生态环境优化研究. 北京: 海洋出版社, 1991

Paleoenvironmental Implication of Magnetic Measurements on Sediments Core from Honghu Lake

CAO Xiqiang¹, ZHENG Xiangmin¹, ZHOU Limin¹, DU Yun² & Kunihiko Endo³

(1: Key Lab. of Geographic Information Science of MOE, East China Normal University, Shanghai 200062, P. R. China;

2: Institute of Geodesy and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430077, P. R. China;

3: Department of Geosystem Sciences, Nihon University, Tokyo, Japan)

Abstract

Honghu Lake is a shallow lake in the Jiangnan Plain. The sediment core Hh01 - 2(B) from Aug., 2001 was selected for analysis. Based on magnetic measurements of the core, we can find that the changes of magnetic susceptibility appear as four obvious main stages since 900a B. P. The changes between frequency dependent magnetic susceptibility ($\chi_{fd}\%$) and magnetic susceptibility (χ) of the core have close relations, whereas the contents of finer-grain ferrimagnetic minerals play a leading role in the changes of magnetic susceptibility. Meanwhile, according to ²¹⁰Pb dating and spore-pollen analysis and referring to the relevant historical materials, we get the following conclusion: the sections with higher magnetic susceptibility correspond to the periods with stronger hydrodynamics, wider surface of the lake, and relatively moist climate; otherwise, those with lower magnetic susceptibility correspond to the periods with softer hydrodynamics, narrower surface of the lake, and relatively droughty climate.

Keywords: Honghu Lake; lake sediments; magnetic measurement; environmental change