

文章编号: 1000-0550 (2005) 01-0138-05

1200a 来洪湖演变的环境磁学记录

陈萍^{1,2} 何报寅¹ 杜耘¹ Kunihiko Endo³ 杨汉东⁴

1(西南师范大学资源环境科学学院 重庆 400715) 2(中国科学院测量与地球物理研究所 武汉 430077)

3(日本大学文理学部 东京 日本) 4(University College of London, Department of Geography, UK)

摘要 对取自洪湖的 140 cm 沉积物样芯进行了环境磁学测量,分析了所获得的环境磁学参数随深度变化的曲线,结果表明,沉积物磁性特征由稳定单畴(SSD)和细粘滞性(FV)亚铁磁性矿物所主导,磁性矿物颗粒由下至上粒径逐渐减小。结合 AMS 测年和地球化学分析,可以推断出洪湖在 1200a 来经历了沼泽沉积和湖相沉积。并且磁性特征的变化与气候的变化大致对应:磁性参数较大值对应着冷干的气候条件;水热条件增强时,磁性参数值下降。较好记录了湖泊随气候的扩张和缩小过程,同时也反映了人类活动的影响。

关键词 湖泊沉积物 环境磁学 磁性特征 气候变化

第一作者简介 陈萍 女 1978 年出生 硕士 河流湖泊环境演变与湿地生态

中图分类号 X141 **文献标识码** A

湖泊是自然的综合体,它的形成与消失、扩张与收缩及其生态环境的演化受其所处的自然环境的控制。湖泊沉积物作为环境系统中物质循环运移的最终归宿,往往保存了丰富且相对连续的环境历史信息,是研究古气候和环境演变的理想的自然历史档案。学科的进展往往有赖研究方法的更新。环境磁学作为七十年代发展起来的磁学与地学、环境科学的跨界科学,由于它简便、快捷、对样品无破坏等优点,已经被广泛地应用,并成为湖泊沉积物研究的一项非常实用的方法^[1-8]。在此之前,较少有学者对洪湖进行磁学方面的研究。本文试图通过对洪湖沉积物的环境磁学测量与分析来探讨洪湖 1200 a 来的环境演变。

1 区域背景和研究方法

洪湖系长江和汉水支流东荆河之间的大型浅水洼地壅塞湖。它横跨洪湖和监利两个市县,与湖南省隔江相望,是湖北省最大的淡水湖泊。湖中心位于北纬 29°48',东经 113°17'。湖泊最大宽度 28 km,湖长 44.6 km,岸线总长 240 km,岸线发育系数为 2.26。洪湖在正常的蓄水条件下,全湖的平均水深 1.35 m,最大水深 2.32 m 左右。湖面总面积为 344.4 km²。洪湖是一个典型的平原浅水湖泊。

本样品采集于 1992 年,用甲基丙烯酸甲酯塑料管从湖中(采样点位置 113°21'10"E, 29°50'30"N,图 1)取得,样品号为 92-D。样芯总长 140 cm,以间隔 2cm 进行野外分样,共得到 70 个样品。样品在 40 以下烘干,轻压碾碎成粉末,称重后用聚乙烯塑料袋密封保存。磁性测量在英国利物浦大学环境磁学实验室进行,所用仪器为 Minispin 旋转磁力仪、Molspin 脉冲磁化仪和 Bartington 磁化率仪。

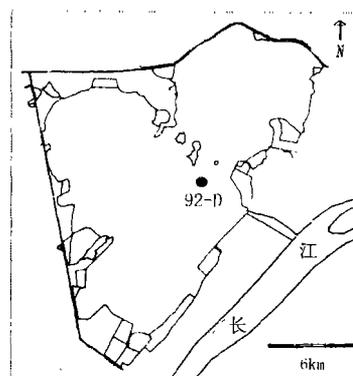


图 1 洪湖采样点位置图

Fig 1 The position of sampling sites in Honghu Lake

2 实验结果

92-D 剖面磁性测量的结果见下图,各个磁性参

数分别为: (1) 质量磁化率 χ ; (2) 频率磁化率 χ_{fd} ($(\chi_{hf} - \chi_{lf}) / \chi_{lf}$); (3) ARM 磁化率 χ_{ARM} ; 通过对样品施加一个由 100mT 逐渐衰减为 0 的交变磁场去除磁滞性质, 同时施加一个 0.04mT 的稳定磁场使样品磁化, 然后测得 χ_{ARM} , 则 $\chi_{ARM} = ARM / 31.84 Am^{-1}$ (由 0.04mT 换算而来); (4) 饱和等温剩磁 SIRM (IRM_{1000mT}); 它指样品在 1000mT 的磁场中磁化后撤去磁场后保留的剩磁; (5) 软剩磁 SOFT (IRM_{20mT}); (6) F_{300mT} ; 它是样品在 300mT 的磁场中所获得的剩磁占同磁场方

向的饱和等温剩磁的百分比值。

从下面的曲线图可以看到 χ 与 SIRM、SOFT 高度相关; χ_{ARM} / χ 与 $\chi_{ARM} / SIRM$ 具有极为类似的垂向变化, 而 F_{300mT} 随深度变化不大, 表示磁性矿物含量的参数其曲线的变化是比较复杂的, 高低起伏大。反映磁性矿物颗粒大小和类型的一些参数如 χ_{ARM} / χ 、 $\chi_{ARM} / SIRM$ 、 F_{300mT} , 曲线波动较小。洪湖沉积物可以明显地划分为四层: A (140 ~ 120cm), B (120 ~ 90cm), C (90 ~ 20cm), D (20 ~ 0cm)。

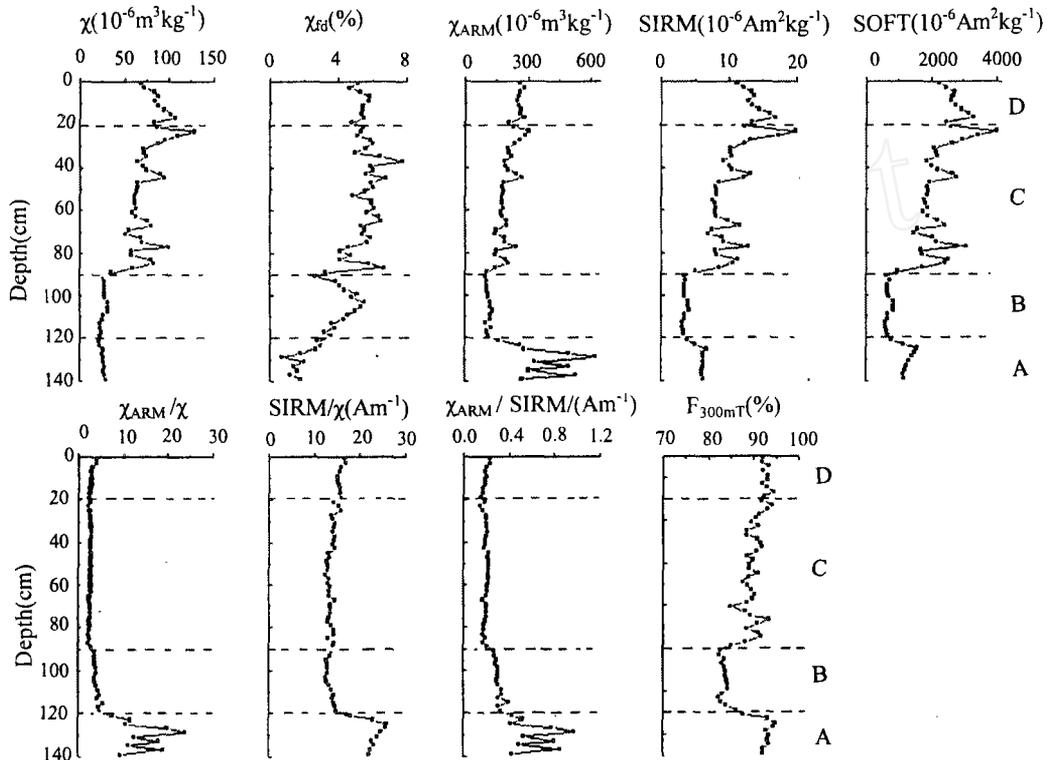


图 2 洪湖 92—D 孔磁性参数随深度的变化曲线图

Fig 2 The curve of magnetic parameters of Core 92—D in Honghu Lake

2.1 磁参数结果

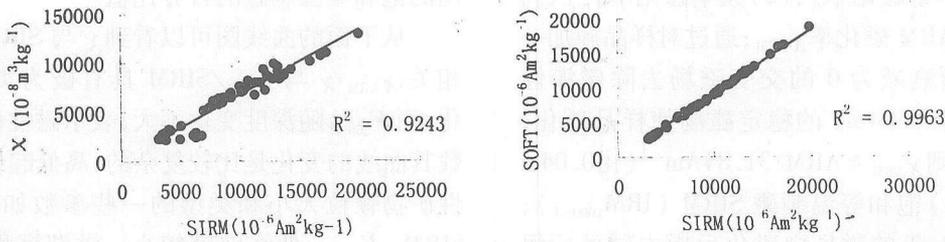
从图 2 中可以看到, 除在 A 层 χ 与 SIRM、SOFT 有不同变化外, B、C、D 层中这三个磁性参数变化呈高度一致性。其中在 A 层它们的值在整个剖面中都是最低的, 然后由 B 层向 C 层逐渐波动上升, 到达 D 层后开始下降。

磁化率 χ 在 A、B 两层变化和值都很小, 而 C 层迅速上升, 平均值为 A、B 层磁化率的 3 倍, 达到为 $73 \times 10^{-5} m^3 kg^{-1}$; 到达 D 层后, 开始下降, 仍然显著高于 A、B 层的平均值。

就频率磁化率而言, A 层是整个剖面中值最低的一层, 范围在 0.7% ~ 2% 之间; B 层则是先升后降,

在 2% ~ 4.8% 之间; C 层的 χ_{fd} 在 6% 上下振荡, 并在 40cm 处达到峰值 8%; D 层后波动着下降, 平均值为 4.8%。由于 χ_{fd} 指示了样品中细粘滞性晶粒的存在情况, 则 A 层颗粒相对较粗, 往上层磁性颗粒变细。

χ_{ARM} 与 SIRM、SOFT 除在 A 层有所不同外, B、C、D 层的变化特征很相似, 只是变化幅度较小。而 SIRM 和 SOFT 更是具有很高的相关性 (图 3)。 χ_{ARM} 在 A 层中的波动是最大的, 且平均值在整个剖面中是最高的。在 B、C、D 层中 χ_{ARM} 、SIRM、SOFT 与质量磁化率的变化情况相同。它们反映了磁性矿物的浓度。根据它们的变化曲线可知: A、B 两层中磁性矿物浓度最低, C 层后, 磁性矿物浓度达到剖面中的最

图 3 SIRM 与 X 及 SOFT 的关系图Fig 3 The relationship between SIRM, X and SOFT

大,到顶层 D 层后,磁性矿物的浓度开始下降。

根据 F_{300mT} 是样品在 300mT 的磁场中所获得的剩磁占同磁场方向的饱和等温剩磁的百分比值的定义,它反映了样品中亚铁磁性矿物与不完整反铁磁性矿物的相对比例。它随着不完整反铁磁性矿物的增加而下降^[1]。该沉积物剖面中 F_{300mT} 的均值在 A、C、D 层超过了到了 90%,B 层达到 84% 以上。可见亚铁磁性矿物主导了样品的磁性特征,同时存在部分不完整反铁磁性矿物的贡献,其中在 B 层不完整反铁磁性矿物的含量稍高于其他层。另外,SIRM 不受顺磁性和抗磁性物质的影响,主要由亚铁磁性矿物和不完整反铁磁性矿物所贡献,而 SOFT 主要反映了亚铁磁性矿物的含量^[1]。与 SIRM 的显著线性相关,及 SIRM 和 SOFT 的高度线性相关,也说明了 X 的变化主要受到亚铁磁性矿物的控制。

注意到 ARM 在最底层 A 层的值远高于其上层。根据研究,当磁性矿物没有变化的时候, ARM 对粒径分布在 0.02~0.4 μm 的稳定单畴亚铁磁性颗粒具有很高的选择性^[2]。在 A 层, F_{300mT} 始终保持在 90% 说明磁性矿物的种类没有变化,呈直线表示磁性矿物的含量不变;加上 f_{id} 在 A 层均值较低为 1.9%,可推断 A 层以稳定单畴颗粒为主;B 层后 ARM 减小, f_{id} 上升并达到最大 8%,说明细晶粒开始上升,则 C 层以细粘滞性晶粒为主;D 层后,沉积物中细磁性颗粒有所减少。

2.2 磁参数比值结果

图 2 给出了磁参数比值 ($ARM/SIRM$ 、 $ARM/SIRM$) 随深度的变化曲线,这些比值参数在各层的变化比较简单且具有非常相似的垂向变化。即 A 层的值最大且波动很大;上层 B、C、D 三层曲线的波动很小,各层间的参数比值相差不大。这些磁参数比值主要反映了磁性矿物颗粒的大小和磁性矿物的组合类型。

$ARM/SIRM$ 可指示亚铁磁性矿物颗粒的大小,较高的比值反映了稳定单畴颗粒 (SSD),而较低的比值则显示了较多的多畴 (MD) 或细粘滞性晶粒 (FV)、超顺畴 (SP) 颗粒。SIRM/ 能指示磁性矿物的变化,若沉积物中有多种磁性矿物存在,则 SIRM/ 呈散点分布,线性差;如果只有一种矿物或一种矿物占优势,即使颗粒大小变化,SIRM/ 也会呈直线^[3]。

A 层中 $ARM/SIRM$ 的值很高,而且振荡幅度很大,说明该层中磁性矿物颗粒大小变化很大且以稳定单畴颗粒为主。SIRM/ 除了在 125 cm 处有一峰值外,呈直线分布,波动很小,可推断沉积物有多相磁性矿物存在,且以一种磁性矿物占绝对优势。

B、C、D 层中 $ARM/SIRM$ 与 $ARM/SIRM$ 表现出很微弱的高—低—高的趋势,反映出细颗粒在样品中含量的变化是低—高—低,而 SIRM/ 在 B、C、D 层中为变化很小呈直线,说明沉积物中多相磁性矿物的存在,且以一种磁性矿物占绝对优势。

3 环境意义

该沉积物样芯分为四层。各个层中磁性矿物的类型、含量和粒度发生着变化。对水环境中的碎屑沉积物而言,影响其磁性特征的因素主要是物源、沉积动力以及沉积后的次生变化等。在进行磁学分析的同时,笔者对另一稍长的 150 cm 样芯 H2002—2 (采样点坐标为 113°23'47"E, 29°52'03"N,它距离 92—D 孔约 3 km) 进行了地球化学分析。分析结果表明沉积物最底部和顶部中 C、N 的含量很高 (图 4),有大量有机物存在。A 层的有机碳最大达到 5.6%,沉积物性状为黑色,含有少量植物碎屑,孔隙较多,表明为湖沼沉积层。而 D 层有机质的大量上升,主要是由于现代人类活动的增强,导致湖泊发生严重的沼泽化。有机质表现为抗磁性,它降低了沉积物中磁性矿物的浓度,使 A、D 层一些磁性参数的值出现低值或

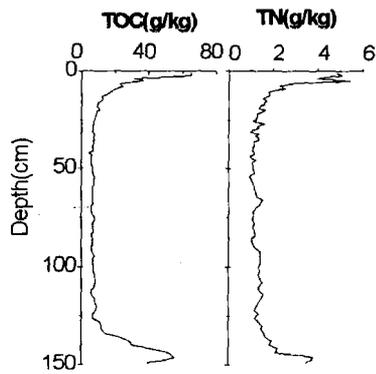


图 4 洪湖 H2002—2 孔沉积物中 C、N 的分布

Fig 4 Distributions of C and N in Core H2002—2

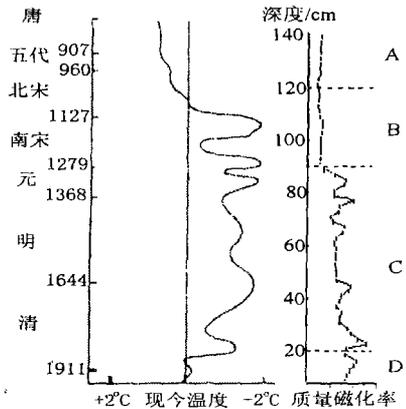


图 5 1200年来中国物候曲线与磁化率曲线对比

Fig 5 Comparison between climatic curve and susceptibility in past 1200a

表现出下降的趋势。

根据对样芯 H2002—2 的 ^{14}C 测年, 143 cm 处的年代为 $1200 \pm 32\text{a B. C.}$, 110 cm 处的年代为 $852 \pm 39\text{a B. C.}$ 。由此推算出沉积速率在 $0.092 \sim 0.129\text{ cm/a}$ 之间, 这与前人所做洪湖的沉积速率的结果是一致的^[4]。在 92—D 样芯的 A 层 120 ~ 140 cm 处计算的年代大约为公元 800 ~ 1050 年。根据竺可桢的东部物候温度曲线 (图 5 左), 公元 800 年至 1050 年, 中国东部正经历由温暖向寒冷气候过度的一个持续降温时期。历史上洪湖地区属于冷干与温湿的气候演替类型^[5]。伴随气温的持续下降, 降雨量减少, 洪湖的水位下降, 导致了湖泊沼泽化的发生。历史资料也记载唐末至五代以后, 时常出现“湖面萎缩, 水东如带”, “黄茅白带, 旷如平野”的景观。所以该层反映磁性矿物浓度的磁性参数值为整个剖面的最低。

此后到十八世纪初都处于历史上的低温时期, 而

在这个时期中又存在气温的次级波动。在经历了沼泽化之后, 开始 B 层的沉积。根据化学分析, 该层的有机碳含量平均为 0.7%, 大大低于 A 层的有机碳含量。说明自 B 层开始湖相沉积阶段。在 B 层 (约公元 1050 ~ 1300), f_{td} 值为先升后降, 说明沉积物粒度变化很大, 这也说明湖泊水动力条件的变化。从温度曲线图可以看到气温在这个阶段有着非常显著的升降波动。从磁性参数上看, B 层沉积物的 SRM 和 SOFT 的值相对较低且很稳定, 表现出较“硬”的特征, 说明不完整反铁磁性矿物增多。为什么硬磁性矿物的含量在这一层会增加, 其原因还有待于进一步的实验和探讨。

C 层是剖面中磁性参数值最大的一层, 而且波动次数也是最多的。表示磁性矿物浓度的参数有 5 个峰值, 分别在 22 cm、45 cm、67 cm、77 cm 和 84 cm 处。它们对应的年代大致为公元 1832 年、1650 年、1480 年、1400 年和 1350 年。对照中国物候温度曲线和质量磁化率对比图 (图 5) 可以看到除 77 cm (公元 1400 年) 处的峰值有一定的偏差外, 其他的峰值都基本上都对应着气温的谷值处。在前面的分析中已经确定 C 层沉积物以细粒 (粘滞性晶粒) 为主, 而且反应磁性矿物浓度的磁参数 SOFT 的值在 C 层达到了最大值, 说明细粒物质含有较多的铁磁晶粒。由此推断, 在冷干的气候条件下, 径流量减小, 径流带入的泥沙颗粒较细, 沉积物表现出很强的磁信息。可见, 磁性参数随着气候的冷干和温湿交替而波动, 记录了湖泊随气候变化的多次扩缩过程。

D 层位于顶层 (公元 1845 ~ 1992 年), 代表了洪湖近 150 年的发展历程。这一阶段人类活动非常剧烈。例如, 清光绪二十年 (公元 1894 年) 纂修的《沔阳州志》记载, 洪湖的面积约为 200 万亩; 民国二十一年 (1932 年) 根据《沔阳县图》的统计, 洪湖面积为 159.6 万亩; 1955 年大量水利工程修建和围湖造田后, 面积维持在 52 万亩。人类活动也使洪湖在此阶段开始沼泽化, 至 90 年代初洪湖水生植物的覆盖度已经达到 98%^[6]。从磁学参数上看也表现出磁性矿物浓度下降的趋势。可见在这个时期, 洪湖环境磁学参数的变化对人类活动的响应程度超过了对气候变化的响应。

4 结论

根据磁化率等磁性参数的变化,可将代表洪湖 1200 多年演化历史的 140 cm 的柱芯分为四层。A 层为湖沼沉积层, B 层开始湖相沉积层, C 层在气候条件变化下湖面随之扩张收缩的湖相沉积, D 层为受人类活动的影响下的现代沉积层。

磁性参数的变化反映了湖泊的物源, 流域环境和气候条件等的变化。洪湖沉积物的磁性参数就较好地与气候变化存在较好的对应关系。但是环境磁学机理对气候或环境变化的响应的模式并非完全一致, 所以磁学特征并不总是与湖泊外界环境变化同步。

由于洪湖与长江相通, 同时又处在人类活动频繁的江汉平原, 来自大自然和人类的扰动因素使得磁学分析有一定的难度, 磁参数指标越多, 指示的信息越多, 它们之间的矛盾也会出现, 理解难度会加大。所以应充分利用其他分析手段, 如地球化学、孢粉、粒度等。

参考文献 (References)

- 1 张卫国, 俞立中. 长江口潮滩沉积物的磁学性质及其与粒度的关系. 中国科学 (D) 辑, 2002, 32 (9): 783 ~ 792 [Zhang Weiguo, Yu Lizhong. Magnetic measurement and the relation with the granularity of sediments from Yangtze River beach. Science in China (D series), 2002, 32 (9): 783 ~ 792]
- 2 Maher B A. Magnetic properties of some synthetic sub-micron magnetites. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 1988, 94:

83 ~ 96

- 3 孙知明, 胡守云, 马醒华. 现代沉积物中磁性矿物的研究及其环境意义. 地球物理学报, 1996, 39 (2): 178 ~ 187 [Sun Zhiming, Hu Shouyun, Ma Xinghua. A rock-magnetic study of recent lake sediments and its palaeoenvironmental implication. Geophysical Transaction, 1996, 39 (2): 178 ~ 187]
- 4 Boyle J F, Rose N L, Bennion H. Environmental impacts in the Jianghan Plane: evidence from lake sediments. Water, Air, and Soil Pollution, 1999, 112: 21 ~ 40
- 5 蔡述明, 石泉. 古云梦泽研究. 武汉: 湖北教育出版社, 1996 [Cai Shuming, Shi Quan. The research of Yunmen swamp-lake. Wuhan: Hubei Education Press, 1996]
- 6 中科院水生所洪湖课题组. 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. 123 ~ 132 [Honghu Research Group, Institute of Hydrobiology, Academic Sinica. Studies on comprehensive exploitation of aquatic biological productivity and improvement of ecological environment in Honghu Lake. Beijing: China Ocean press, 1991]
- 7 卢升高, 俞劲炎, 章明奎, 等. 长江中下游第四纪沉积物发育土壤磁性增强的环境磁学机制. 沉积学报, 2000, 18 (3): 336 ~ 340 [Lu Shenggao, Yu Jinyan, Zhang Mingkui, et al. Environmental magnetism of magnetic enhancement for soils formed on quaternary sediments in Yangtze River valley. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18 (3): 336 ~ 340]
- 8 易朝路, 吴显新, 刘会平, 等. 长江中湖泊沉积微结构特征与沉积环境. 沉积学报, 2002, 20 (2): 293 ~ 300 [Yi Zhaolu, Wu Xianxin, Liu Huiping, et al. Micro fabric properties of lacustrine sediments and sedimentary environments. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20 (2): 293 ~ 300]

The Environmental Magnetic Records of Honghu Lake Evolution in Past 1200 Years

CHEN Ping^{1,2} HE Bao-yin¹ DU Yun¹ Kunihiko ENDO³ YANG Han-dong⁴

1 (Institute of Geodesy and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430077)

2 (Southwest of China Normal University the School of Resource and Environment Sciences, Chongqing 400715)

3 (Nihon University, Tokyo, Japan) 4 (University College of London, Department of Geography, London UK)

Abstract Based on the environmental magnetic measurement on the core with the length of 140cm collected from Honghu Lake, it has been analyzed the chart that the environmental magnetic parameters vary alone with the depth. The result suggests that the stable single domain and fine viscous ferromagnetic minerals dominate the characteristics of sediments. The magnetic minerals grain size increasingly reduces from the bottom to top. By combination AMS dating and geochemistry analyses, it can be deduced that Honghu Lake experiences swampy and lacustrine sediment from last 1200a. Moreover magnetic characteristics changing corresponds to palaeoclimatic changes. In cold and dry condition, the magnetic parameters are higher than that in warm and wet condition. They record the course that Honghu Lake extends and shrinks along with climate; at one time reflects the human activities' impact on the lake.

Key words sediment, environmental magnetism, magnetic character, climatic change