

文章编号: 1000-0550(2002)03-0421-06

# 武汉东湖现代沉积界面时间标定的 磁化率与工业事件分析<sup>①</sup>

龙昱 李永涛 李晓

(中国地质大学 武汉 430074)

**摘要** 湖泊现代沉积特征界面高精度时间标定是进行综合环境研究的基础工作。本文通过东湖现代沉积五个样柱的磁化率、沉积界面、磁性物类型与武汉地区工业事件存在的对应关系,并结合空间分布特征,得出近110年间东湖沉积速率存在由小增大的特点,并且确定两个早期沉积环境变化界面的时间约为1740年和1810年。研究表明,现代沉积物磁性特征与工业事件分析方法,不仅能准确标定沉积磁性界面的年代,而且能定量分析出不同时期的沉积速率和引起磁性差异的原因。

**关键词** 沉积界面 磁化率 工业事件

**第一作者简介** 龙昱 男 1953年出生 副教授 环境地质学

**中图分类号** X141 **文献标识码** A

湖泊现代沉积特征是研究地区性自然沉积环境变化规律和人类活动对环境污染相剥离的有效场所,其中沉积界面高精度(指年或数年)时间标定是进行综合沉积特征和地方性气候序列研究、人类活动环境污染治理的规划和自然沉积变化预测,以及不同地区现代沉积对比分析的基础工作。

现代沉积物的磁学研究是近二十年来环境科学研究的重要领域之一,通常将磁参数的变化作为古气候波动和环境变化的信息<sup>[1-6]</sup>。本文将沉积学、沉积物磁化率和磁性物分析与工业文史资料相结合,初步探讨了现代湖泊沉积界面时间标定的方法以及标志。

## 1 自然背景与样柱特征

东湖是武汉城区的主要湖泊,分为若干子湖。其中郭郑湖为东湖的主湖区,湖面开阔,最大水面吹程近8 km,而菱角湖位于主湖南东侧磨山与猴山之间的湖汊区,六十年代早中期由人工堤坝将菱角湖与主湖分开,但水体相通。菱角湖解放后为当地渔场,从未受到对沉积有影响的干扰,并且北东至南西均为低缓山丘所环绕,周边是无工业生产单位的疗养区和风景区,而水果湖周边是人口较稠密的居民区,主要受生活污水的影响。菱角湖的长轴方向(NW)与当地的主导风向(盛行北风和盛夏的偏南风)呈大角度相交。使得不同取样位置的样柱有一定差异的自然沉积环境。东湖早期通过青山港与长江连接,湖体水位夏涨冬枯,受长江涨落制约<sup>[1]</sup>。1957年后青山港(位于东湖北部)用作

供水渠道,东湖与长江完全隔绝。其六十年代至八十年代水位变化特征见表1。从五十年代后期东湖水位变化最大历史幅度在4.16 m以内,而年度最大水位差为1.65 m。

采用无磁性PVC塑管在机械重力作用下五个样柱的取样位置与基本特征见图1和表1。样柱采用双行连续交错布样与单行连续布样相结合(见图2),以



图1 东湖取样位置示意图

Fig. 1 Landforms and sampling position in East Lake

<sup>①</sup> 国家自然科学基金项目(批准号:49872090)资助

表 1 东湖水位(1963~1987)变化

Table 1 Water level variations of the East Lake from 1963 to 1987

年代	最高平均水位/m	最低平均水位/m	均值平均水位/m	年最大水位差/m
1980	20.11	19.28	19.56	1.03
1970	21.06	20.30	20.61	1.04
1960	22.02	21.08	21.40	1.65

说明 根据长江流域水文资料,湖北省水文总站刊印。最高水位:1969年22.92 m,最低水位:1976年18.76 m,平均值最高水位:1969年21.68 m,平均值最低水位:1976年低于19.22 m(因资料不全)。

表 2 东湖现代沉积样柱特征

Table 2 Characteristics of recent sediment cores in East Lake

样号	样长/cm	直径/mm	岸距/m	水深/m	样数/个	布样方式	地点	湖区位置
$x_1$	86.0	110	90	2.61	70	双行交错	菱角湖	汉湖南部
$x_2$	86.5	50	210	3.45	36	单行连续	菱角湖	汉湖中部
$x_3$	84.0	50	80	2.53	35	单行连续	菱角湖	汉湖北部
$x_4$	77.5	50	250	3.51	32	单行连续	水果湖	主湖西部
$x_5$	86.0	75	1100	4.13	70	双行交错	郭郑湖	主湖中部

注 ①磁化率样盒为直径2.4 cm,高2.2 cm圆柱形无磁塑料盒。

② $x_1$ 到 $x_3$ 为近南北线性布点,其中 $x_2$ 为湖心点。采样日期2000年11月—2001年5月。

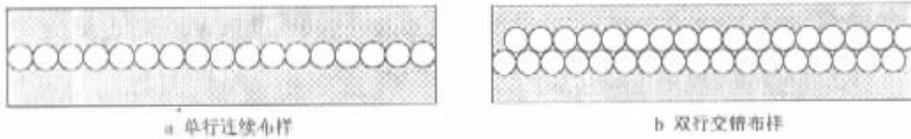


图 2 布样方式示意图

Fig. 2 The distribution modality of samples

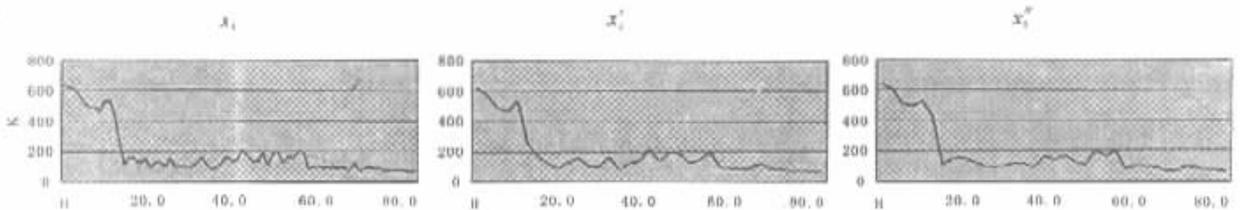


图 3 不同布样方式的 K 值曲线

Fig. 3 The curves of K value in different distribution modality of samples

提高样品所代表年段的精度和数据间的相互验证,如图3是 $x_1$ 样柱70个样品双行交错布样的磁化率曲线, $x_1'$ 和 $x_1''$ 分别是两个单行的曲线,可以看出 $x_1'$ 同 $x_1''$ 具有相似的形态特征,而 $x_1$ 更详细地反映了K值在垂向上的变化。

## 2 沉积界面 S 的确定

### 2.1 沉积特征

根据沉积物颜色、粒度和物质成分,总体存在上深下浅、上粗下细,淤泥主要分布在表层。由上至下可明

显分为四层:第一层,浅褐黄色—灰褐色淤泥质亚粘土,厚度为12.4~14.4 cm。第二层,浅灰褐色粉砂质粘土层,厚度为38.8~44.4 cm。第三层,深灰色粘土层,厚度为10.2~19.7 cm。第四层,灰黄色粘土层,厚度为6.1~16.1 cm,未见底。

上述沉积特征表明东湖现代沉积存在三个明显岩性界面,由上至下分别为 $S_1$ 、 $S_3$ 、 $S_4$ ,相应的深度在12.4~14.4 cm、50.2~58.8 cm、68.6~78.5 cm。

### 2.2 磁化率特征

平均磁化率  $K = 1/3(K_{\max} + K_{\text{int}} + K_{\min})$ ,磁化率

各向异性度  $P = K_{\max} / K_{\min}$ 。式中： $K_{\max}$ —最大磁化率， $K_{\text{int}}$ —中间磁化率， $K_{\min}$ —最小磁化率。本文所用的磁化率单位为  $10^{-6}\text{SI}$ 。采用南京产 HKB—1 型磁力仪（精度可达  $10^{-7}\text{SI}$ ），对五个样柱的 243 个样进行了两次以上重复测试，根据  $x_1$  样柱相邻样点  $K$  值的突变大小和整体分布，如图 4（ $x_1$ ）所示，明显存在两个突变点，其相应深度为 14.4 cm 和 58.8 cm，和一个整体大小变化转折点，相应的深度为 35.8 cm。结合岩性界面，其它样柱  $K$  值分层界面和岩性界面见表 4。

对比表 3 和表 4，其中两个  $K$  值突变点的磁性界

面与岩性界面相一致（12.4~14.4 cm 和 50.2~58.8 cm）转折点的界面（31.6~36.0 cm）在岩性中无明显变化特征，而深度 68.6~78.5 cm 界面是在岩性划分基础上，统计出上下层位的  $K$  值，反映了岩性渐变过程中  $K$  值特征。

### 2.3 磁性物特征

沉积物中的磁性物可分为四大类：铁磁性矿物、电磁性矿物、工业金属废渣和磁性煤渣与煤粉等（表 5）。

铁磁矿物主要为磁铁矿和少量岩屑；电磁矿物为赤铁矿、钛铁矿、菱铁矿、褐铁矿和岩屑，其中菱铁矿在

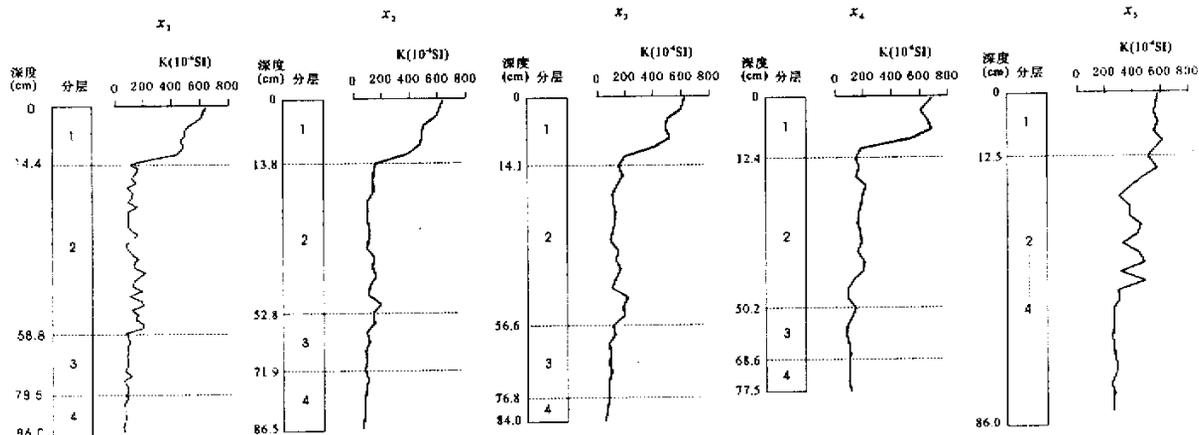


图 4 各样柱磁化率曲线及岩性分层关系图

Fig. 4 Curves of  $K$  value and stratum partition of different sample cores

表 3 东湖不同部位现代沉积岩性分层

Table 3 Characteristics of the recent sedimentary lithology in different locations of East Lake

层号	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
1	0~14.4	0~13.8	0~14.1	0~12.4	0~12.5
2	14.4~58.8	13.8~52.8	14.1~56.6	12.4~50.2	12.5~86.0
3	58.8~78.5	52.8~71.9	56.6~76.8	50.2~68.6	
4	78.5~86.0	71.9~86.5	76.8~84.0	68.6~77.5	

注：层号 1~4 为由上至下，表内数据单位为 cm。

表 4 不同湖区各沉积层  $K$  平均值分布特征

Table 4 The  $K$  distribution characteristics in different areas of East Lake

层号	深度/cm	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_{1-3}$	$x_4$	$\Delta K_1$	$\Delta K_2$	$\Delta K_3$	$\Delta K_4$	$\bar{\Delta K}$	$\bar{\Delta K}_2$	$\bar{\Delta K}_3$	$\bar{\Delta K}_4$
1	12.4~14.4	539	496	520	518	631	323	229	205	346	409	384	380	46
2	31.6~36.0	130	112	140	128	176	25	18	14	7	-23	-15	-13	7
3	50.2~58.8	153	127	153	145	169	113	56	83	28	69	44	55	61
4	68.6~78.3	85	83	98	88	108	-8	6	12	23	13	17	28	7
5	77.5~86.0	72	66	69	69	101								

注： $x_{1-3}$ 为菱角湖三个样柱相同层位的平均值， $\bar{\Delta K}_1, \dots, \bar{\Delta K}_4$ 和 $\Delta K_1, \dots, \Delta K_4$ 分别为 $x_1, x_2, x_3, x_4$ 上下层相邻样点  $K$  值差和相邻层平均值的差。单位： $\times 10^{-6}\text{SI}$ 。

表5 东湖  $x_1$  样柱磁性物重量(g)分布特征Table 5 The distribution characteristics of  $x_1$  magnetic substance weight (g) in East Lake

层号	铁磁矿物	电磁矿物	金属废渣	磁性煤渣和煤粉
1	0.012	0.141	0.232	0.102
2	0.003	0.230	<0.001	0.061
3	0.001	0.114	未见	<0.001
4	<0.001	0.467*	未见	未见
5	<0.001	1.001*	未见	未见

注: \* 为计算值:  $1.468/11 \times 3.5$  (比值) = 0.476,  $1.468/11 \times 7.5$  (比值) = 1.001。

表中数据为不同样柱相同层位等体积条件下, 按重砂分选结合镜下鉴定后称重得出。

表6 东湖现代沉积层比重和粒度特征

Table 6 The specific gravity and particle size characteristics of recent sediments in East Lake

层号	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$
1	8.27	0.31	1.04	8.43	8.10	0.33	6.59	3.62
2	8.58	1.05	0.11	9.28	7.31	1.91	2.87	0.18
3	9.63	1.26	0.95*	11.16	7.30	3.86	2.69	0.72
4	10.89	1.34	0.44	11.57	10.03	1.54	1.97	-0.34
5	12.23			12.75	11.50	1.25	2.31	

注:  $X_1$  各层平均比重(单位  $g/cm^3$ ),  $X_2(K) = X_1(K+1) - X_1(K)$  为两相邻层差值,  $K$  为层号,  $X_3$  为界面上下

样点的差值,  $X_4^*$  为过渡样点相邻上下样点重量差,  $X_4$ 、 $X_5$  和  $X_6$  分别为各层样点最大值、最小值和最大值

与最小值差,  $X_7$  为各层 200 目以下的平均粒度(单位  $\mu m$ ),  $X_8$  为相邻层的平均粒度差。比重为  $X_1$  样柱, 粒度为  $X_3$  样柱。

第一层未见, 往下明显突变增多, 金属废渣主要出现在 12.1~14.4 cm 以上的沉积物中, 以微细的小圆珠形状出现, 表面平整圆滑, 大小一般在 0.01~0.05 mm, 抗风化能力较强, 形态较完整; 磁性煤渣和磁性煤粉, 磁性煤渣呈不规则熔结状的微细颗粒, 大小在 0.005~0.05 mm, 而磁性煤粉为深灰色—浅黑色的不规则近立方状, 粒度在 0.001~0.05 mm。东湖沉积层中的磁性物来源形式有大气降尘(落尘和飘尘)、雨水携尘、地表片流和径流携带风化物 and 湖区周边人类活动的排污。

## 2.4 比重和粒度特征

沉积物的比重呈现由地表向下逐渐增大的特点, 由 8.27~12.23  $g/cm^3$ , 而 200 目以下平均粒度则由 6.59  $\mu m$  过渡到 2.3  $\mu m$ , 整体呈逐渐减少的特点。在岩性变化较大的界面上、下样的比重和粒度存在明显的突变现象, 而在岩性渐变或磁性值转折点界面上、下的变化较小, 其它特征见表 6。

## 2.5 沉积物中磁性工业事件分析

根据近代工业资料<sup>[9]</sup>, 武汉地区存在两次重大的现代工业变革期, 早期为 1890 年的汉冶萍煤铁厂矿股份公司(汉阳铁厂)为代表的现代工业发展的创业事件, 而后以 1958 年武汉钢铁公司的投产为标志的现代

工业大发展事件。表 5 中金属废渣的突增期的下界时间与 1958 年武汉钢铁公司投产相吻合, 而磁性煤渣和煤粉的突增期下界时间与汉冶萍公司成立时间相当。

## 3 沉积界面时间标定

### 3.1 界面的类型

根据五个样柱沉积岩性变化、磁性层的突变点、 $K$  值变化趋势转折点、磁性物数量突增点, 以及相应区间内的比重和粒度统计结果, 东湖现代沉积界面可为两大基本类型, 即显标志界面和隐标志界面, 具体特征见表 7。显标志界面可根据上、下定量标志的差异进一步分为两个亚类, 突变性界面和过渡性界面。

### 3.2 界面的时间标定

#### (1) S 界面沉积速率的时间标定

根据<sup>210</sup>Pb 法确定的东湖现代沉积速率<sup>[8]</sup>, 主湖(郭郑湖)为 0.30 cm/a, 汉湖(水果湖)为 0.36/a。考虑到菱角湖与水果湖周边自然环境、人口的稠密程度、污水常年排入的差异等因素, 菱角湖沉积速率取郭郑湖与水果湖的平均值: 0.33 cm/a。郭郑湖仍取 0.30 cm/a,  $S_1$  和  $S_2$  界面的时间特征见表 8。

根据湖泊沉积一般规律和  $X_2$  在菱角湖的位置,  $X_2$  的沉积速率应小于  $X_1$  和  $X_3$ , 即小于 0.33 cm/a。

表 7 东湖现代沉积界面(S)特征

Table 7 The interface (S) characteristics of recent sediments in East Lake

界面	$\bar{H}$	类型	方式	变化	$\Delta K$	$\Delta \bar{K}$	磁性物	$X_2$	$X_3$	$X_6$	$X_7$	$X_8$
$S_1$	13.68	显	突变	岩性 颜色	明显	明显	突变	较明显	明显	明显	明显	明显
$S_2$	34.63	隐	渐变	未变	部分 较明显	不明显	突变	明显	不明显	明显	不明显	不明显
$S_3$	56.05	显	突变	岩性 颜色	较明显	较明显	渐变	明显	明显	明显	较明显	较明显
较明显	73.23	显	渐变	颜色	部分 较明显	较不	明显	渐变	明显	较不 明显	不明显	较明显

注： $\bar{H}$ 为平均深度(单位:cm)表中明显.....不明显的四级划分主要根据纵向值的变化范围和相对大小划分。 $\Delta K$ 和 $\Delta \bar{K}$ 参见表4,磁性物参见表5, $X_2 \sim X_8$ 参见表6。

表 8 东湖  $S_1$  和  $S_2$  界面的时间特征

Table 8 The time characteristics of interfaces  $S_1$  and  $S_2$  in East Lake

样柱号	$S_1$				$S_2$			
	层厚	速率	年数	公元	层厚	速率	年数	公元
$x_1$	14.4	0.33	43.6	1956.9	21.4	0.33	64.9	1892.0
$x_2$	13.8	0.33	41.8	1958.7	19.8	0.33	60.0	1898.7
$x_3$	14.1	0.33	42.7	1957.8	21.9	0.33	66.4	1891.4
$x_4$	12.4	0.30	41.3	1959.2	19.2	0.30	64.0	1859.2

注:层厚(cm),速率(cm/a),取样时间以 $x_1$ 和 $x_4$ 的时间计算,即按2000.5为计算参考值,小数按十进制计算。

表 9 东湖  $S_1$  和  $S_2$  界面的时间和沉积速率特征

Table 9 The time and sedimentation rate of interfaces  $S_1$  and  $S_2$  in East Lake

样柱号	$S_1$			$S_2$		
	层厚	年数	速率	层厚	年数	速率
$x_1$	14.4	42.5	0.339	21.4	68.0	0.315
$x_2$	13.8	42.5	0.325	19.8	68.0	0.291
$x_3$	14.1	42.5	0.332	21.1	68.0	0.310
$x_4$	12.4	42.5	0.292	19.2	68.0	0.282

注:表中各数据的单位同表8。

另外根据比重、粒度和  $K$  值等因素,沉积速率不应为常数, $S_1$  界面的计算应大于 0.33 cm/a 或 0.30 cm/a, $S_2$  则应小于相应的沉积速率。

(2) S 界面的文史和标志物的时间标定

根据文史资料,武汉现代工业发展两个特殊事件的时间<sup>[9]</sup>,即 1890 年和 1958 年,结合标志物(磁性工业废渣、煤渣和煤粉)数量突增点的空间位置, $S_1$  和  $S_2$  界面的实际特征和速率,见表 9。

对比表 8 和表 9 的沉积速率在两表的不同样柱、

不同界面( $S_1$  和  $S_2$ )中所反映的结果非常接近,并且表 9 存在湖心样柱的沉积速率小于靠近岸边的沉积速率, $S_1$  所反映的速率大于  $S_2$  所反映的速率,并且主湖的沉积速率小于汉湖中心( $X_2$ )的速率,符合一般湖泊沉积不同部位的沉积规律。

(3)  $S_3$  和  $S_4$  界面的时间标定

根据表 9 的沉积速率,不同样柱中  $S_3$  和  $S_4$  所代表的实际年代特征如表 10。

平均  $S_3$  和  $S_4$  各样的结果分别为 1818.3 和

表 10 东湖  $S_3$  和  $S_4$  界面的时间特征Table 10 The time characteristics of interfaces  $S_3$  and  $S_4$  in East Lake

样号	$S_1$				$S_2$			
	层厚	速率	年数	公元*	层厚	速率	年数	公元*
$x_1$	22.8	0.315	72.4	1813.8	19.7	0.315	62.5	1751.3
$x_2$	19.2	0.291	66.0	1819.1	19.1	0.291	65.6	1753.5
$x_3$	21.4	0.310	69.0	1817.9	20.2	0.310	65.2	1752.7
$x_4$	18.6	0.282	69.5	1822.5	18.4	0.282	65.3	1757.2

注 表中数据单位同表 8, 公元\*按“2001.5-(累计层厚/速率)”计算。

1753.7。考虑到早期的沉积速率应小于或等于表 10 中所采用的速率,所以武汉地区在 1810 年左右和 1740 年左右存在一个沉积环境发生变化的时期,结合岩性特征,1810 年左右的环境变化程度应大于早期的变化。

## 4 结论

1) 稠密人口居住的湖泊地区存在较详细的文史记录,是进行沉积事件定年或沉积标志物定年的可靠场所,其年代精确可信。

2) 将引起  $K$  值变化的磁性物、物源分析与磁化率曲线形态分析相结合是确定磁性界面时间标定的基础。

3) 将沉积界面与磁性界面进行综合分析,可进一步提高对现代沉积物磁组构参数变化特性的了解。

4) 磁性界面定年精度的提高一个关键的问题是磁组构参数测试样品盒几何尺寸小型化。

5) 根据  $S_1$  和  $S_2$  界面下都有一个相对各层平均值的高  $K$  值点,说明磁性物在沉积的过程中有一个自然下延的特点,东湖在 1.2 cm 左右(相当 3~4 年的沉积厚度),是研究中应加以注意的问题,特别是  $K$  值波动较小的地区。

6) 东湖磁化率各向异性度  $P$  空间变化与  $S$  间无明显的对应关系或无明显的自身规律,应与取样点的水深较浅、存在一定规模的风浪外,还与东湖的封闭性和当地的主导气流方向、湖面旋流有关。

7) 东湖中部( $x_5$ )沉积物磁化率曲线整体变化幅度相对与其他位置较小,其原因有待进一步研究。另外,  $x_5$  样柱岩性呈缓慢的过渡,不易宏观分层,是东湖现代沉积的一个特征。

参加研究工作的还有中国地质大学地球科学学院 11971 班刘飞燕同学和 11972 班郝峥嵘同学。

研究[J]. 科学通报,1998,43(10):106~110 [Chen Qingqiang, Li Congxian, Cong Youzi. Study on the correspondence relation between magnetic fabrics and sediment dynamics character[J]. China Science Bulletin,1998,43(10):106~110]

2) 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, et al. environmental magnetism of magnetic enhancement for the change of sediment susceptibility in Hulun Lake[J]. Science in China(D),1998,28(4):334~339]

3) 吴丰昌,万国江. 湖泊沉积物中的年纹理与近代环境变化研究进展[J]. 地质地球化学,1992(2):950~953 [Wu Fengchang, Wan Guojiang. Advances in study on annual lamination and recent environment change in lake sediments[J]. Geology Geochemistry,1992(2):950~953]

4) 隋少峰,罗启芳. 武汉东湖底泥磷释放特点[J]. 环境科学,2001,22(1):102~105 [Sui Shaofeng, Luo Qifang. Release character of Phosphorus from the sediments of East Lake, Wuhan[J]. Environmental Science,2001,22(1):102~105]

5) 黄成彦等. 颐和园昆明湖 3500 余年沉积物研究[M]. 北京:海洋出版社,1996 [Huang Chengyan, et al. Kuming Lake sediments (Over 3500 yrs), Summer Palace, Beijing[M]. Beijing:China Ocean Press,1996]

6) 刘宝柱,李从先,业治铮等. 沉积磁组构在长江三角洲晚第四纪古土壤研究中的应用[J]. 海洋地质与第四纪地质,1994,14(2):55~61 [Liu Baozhu, Li Congxian, Ye Zhizheng. Applications of magnetic fabrics to the studies of Late Quaternary paleosols in the Changjiang River delta area[J]. Marine Geology Quaternary Geology,1994,14(2):55~61]

7) 金相灿等. 中国湖泊环境(第二册)[M]. 北京:海洋出版社,1992 [Jin Xiangcan et al. Lakes in China—Research of their Environment (II)[M]. Beijing:China Ocean Press,1992]

8) 杨汉东,蔡述明. 武汉东湖的现代沉积速率及其与扰动的关系[J]. 环境科学与技术,1993(4):11~13 [Yang Handong, Cai Shuming. The recent sedimentation rate and the effect of disturbance in Donghu Lake, Wuhan[J]. Environmental Science and Technology,1993,4(11):11~13]

9) 孙毓棠编. 中国近代工业史资料(第一辑(1840~1895)下)[M]. 北京:科学出版社,1957 [Sun Yutang, ed. The data of recent industry history in China(No. 1840~1895)[M]. Beijing:China Science Press,1957]

## 参考文献(References)

1 陈庆强,李从先,丛友滋. 沉积物磁组构与其动力沉积特征对应关系

(Continued on page 434)

# Age Determination of Recent Sedimentation Boundary in the East Lake , Wuhan , Identified by Magnetic Susceptibility Measurements and Industrial Events

LONG Yu LI Yong-Tao LI Xiao

( China University of Geosciences , Wuhan 430074 )

**Abstract** Accurate determination of sedimentation boundary age in recent lake is a basic work relevant to environmental investigation. Based on the relationship of two industrial events and type of magnetic substance , magnetic susceptibility , depositional characteristics in five cores from the East Lake , Wuhan , Hubei , China , the changes of sedimentation rate have been recognized during a period of past **110** years and two historically events in A. D. **1740** and **1810**. The boundaries between the layers attributed to changes in industrial activity around the lake. The study illustrates the value of magnetic susceptibility for identifying time planes in recent sediments , and obtains the difference of sedimentation rates in different period and , furthermore , discusses the cause of magnetic susceptibility influenced by the charge of magnetic substance.

**Key words** sedimentation boundary , magnetic susceptibility , industrial event