

文章编号: 1000-0550(2002)02-0293-10

# 长江中游湖泊沉积微结构特征与沉积环境<sup>①</sup>

易朝路<sup>1,2</sup> 吴显新<sup>1</sup> 刘会平<sup>3</sup> 王柏轩<sup>4</sup> 许厚泽<sup>1</sup>

1( 南京大学城市与资源学系 南京 210093 )

2( 中国科学院水生生物研究所东湖生态实验站 武汉 430073 )

3( 华中师范大学地理系 武汉 430071 ) 4( 中国科学院测量与地球物理研究所环境与国土研究室 武汉 430077 )

**摘要** 在长江中游的洪湖、东湖、网湖和大九湖等四个地点取得湖沼沉积物的钻孔样品,用偏光显微镜下和电子显微镜观察微结构特征并以此解释三种湖相粘土的成因和沉积环境的变化。在长江沿岸湖泊中,0.4~0.5ka BP 以来形成的浅色粘土的微结构类型主要有:显微层理构造、颗粒的定向性、较大的微孔隙和颗粒粒径、面与面或边与边接触方式。物源主要来自河流带来的泥沙,当时河湖相通,河流入湖水沙量大。1~2.5ka BP 期间形成的青色粘土的典型微结构是:凝胶结构、絮凝结构、细颗粒粒径和小孔隙、低球度和淡水中心网硅藻。主要是有机质胶体与粘土胶体相互作用形成的。此期间,河流带入湖泊的泥沙少,江汉平原拥有一个开阔、稳定、浮游生物较多的淡水湖泊环境。0.4~1ka BP 期间形成的黑色粘土的主要微结构类型是:凝胶结构、大的圆孔隙和植物纤维的生物框架结构、呈双峰分布的孔隙。它主要是由于维管束植物残体大量积累形成的。当时江汉平原湖泊湖水变浅,大量挺水植物生长,有些湖泊沼已经沼泽化了。鱼骨框架结构证明,在 2.9~4ka BP 的全新世温暖期山间盆地大九湖出现大量鱼类,但并没有导致喜温鱼类向上游明显迁徙。

**关键词** 微结构 湖相粘土的成因 环境变化 长江中游 东湖 洪湖 网湖 大九湖

**第一作者简介** 易朝路 男 1959 年出生 博士 研究员 第四纪地质与地貌

**中图分类号** P534.63 P941.78 **文献标识码** A

## 1 引言

沉积物微结构方法已经在海洋沉积、河流三角洲沉积<sup>[1-4]</sup>、泥石流<sup>[5]</sup>和冰川沉积中<sup>[6-7]</sup>得到大量运用,获得了对这些沉积物成因机制的新认识。在湖泊沉积物研究中,扫描式电子显微镜(SEM)被用于确定矿物特征<sup>[8-10]</sup>和硅藻形态<sup>[11]</sup>。切片方法被用于研究全新世湖泊沉积物的纹层<sup>[12]</sup>。湖泊沉积物纹层的微形态也被用于解释沉积物的成因<sup>[13-15]</sup>。我国的湖泊研究者在用湖泊沉积记录反演第四纪环境变迁方面取得重大进展<sup>[16-19]</sup>。但是除纹层外,湖泊沉积物的微结构却没有专门报道过。由于湖泊沉积物颗粒细,微结构方法作为物理方法的发展,是湖泊沉积机制研究的有用的手段之一,并且能够揭示湖泊环境的变化。本文通过长江中游四个地点的湖沼沉积物的微结构实例,讨论这一地区广泛分布的三种湖相粘土的成因,并分析它们在指示环境演变中的作用。

## 2 研究区和采样点概况

采样点分布在长江中下游的网湖、东湖、洪湖和大

九湖(图 1)。长江中游的网湖、赤东湖、东湖和洪湖是浅水湖泊,属于长江的伴生湖泊<sup>[20]</sup>。历史上,这一带曾有数以千计的淡水湖泊。由于人工围垦和自然过程,很多已经消失。现在面积大于 10 km<sup>2</sup> 的浅水湖泊还有 50 个<sup>[21]</sup>。它们多沿长江堤岸两侧分布,周围是天然沼泽和人工水稻土。洪湖位于长江北岸(图 1A 和 B)的江汉平原,面积 344 km<sup>2</sup>,平均水深 1.5 m,是这一地区最大的湖泊。东湖位于武汉市市郊,面积 33.7 km<sup>2</sup>,平均水深 2.8 m,现在已无天然河流流入,但有大量生活污水,尤其是沿着西南一侧排入湖泊。网湖位于长江南岸(图 1C),面积只有几十平方公里,但水深较大,5.2 m。发源于鄂东南的长江支流富水河全长 192 km 从网湖东侧流入长江。历史上,这三个湖泊曾与长江相通,冬季湖泊补给长江,夏季长江洪水倒灌入湖。现今,水利工程的实施,进出湖水都受到人工闸口控制。大九湖位于鄂西山间盆地,海拔 1 700 m(图 1D),季节性被水淹没。

## 3 研究方法

首先在长江中游的长湖、白露湖、洪湖、东湖、汤孙

<sup>①</sup> 由国家自然科学基金(批准号:49501003 和 49971081)、中国科学院水生生物研究所东湖生态实验站(200105)和中国科学院“九五”重大项目 ZK951-A1-202-01-03 资助

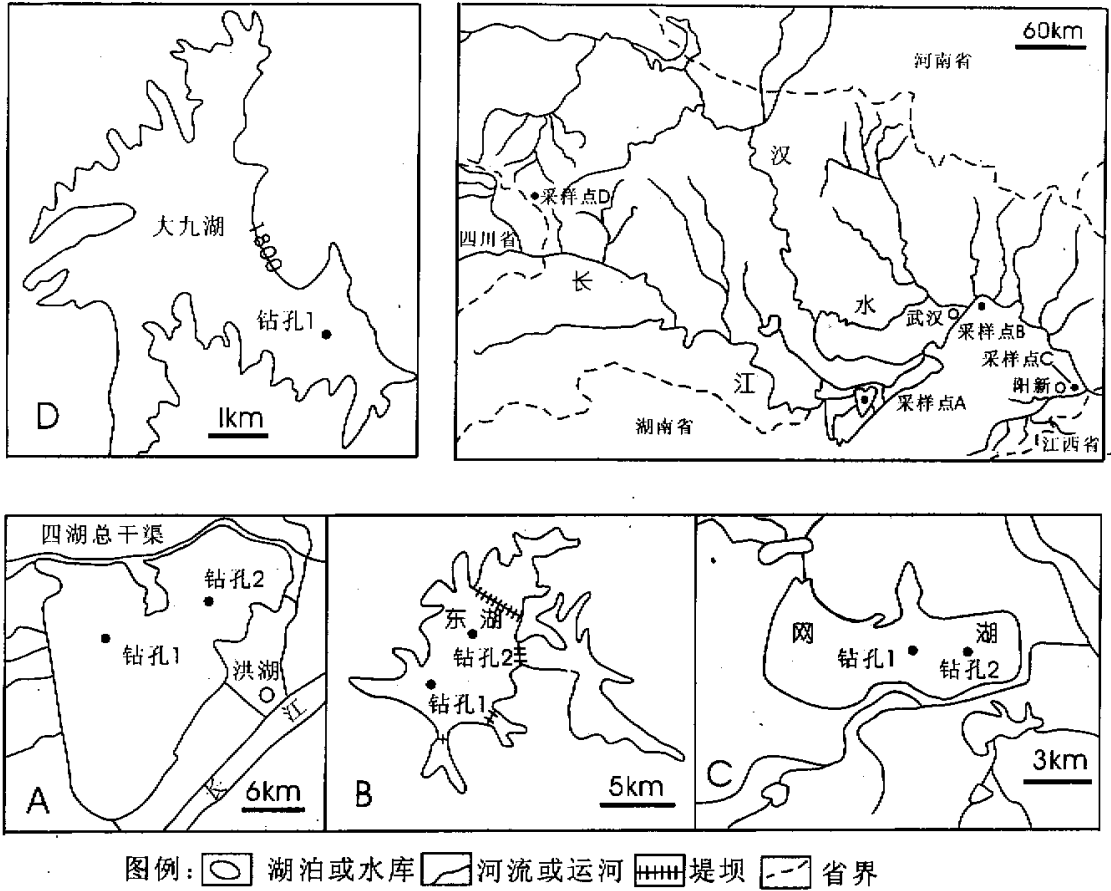


图1 采样位置图

Fig. 1 Location of sampling sites

湖、刁叉湖、网湖、黄盖湖、赤东湖和策湖等 30 多个现存和已消失的湖泊沉积物及其周围的水稻土取样调查,然后选取四个有代表性的湖沼沉积地点进行微观研究。在每个地点钻取 1~2 个深 0.7~2.25 m 的浅孔。样品储存于 1 m 长的 PVC 管(内径 48 mm)和有机玻璃管内(内径 58 mm)。在实验室用电渗析切刀纵向剖切样品,用丙酮反复浸泡使样品不变形脱水。

先用肉眼描述岩相特征,然后根据不同的岩相段选择用于 SEM 观察的小样。同样,选择样品注入不饱和聚脂树脂,然后制作两套切片—水平切片和平行长轴的切片,在偏光显微镜下观察。用移液管法,以 1 的间距测定粒度分布。粒径和孔隙也在放大 1000~2200 倍的 SEM 图象下量测,并进行统计分析。有机碳含量用气量法测定并用于估计有机质含量。表层样品年代用  $^{210}\text{Pb} + ^{137}\text{Cs}$  确定,年代较老的沉积物用常规  $^{14}\text{C}$  方法确定。

## 4 结果

### 4.1 钻孔描述

钻孔中有三种粘土。一种是浅色粘土,包括灰棕色、浅灰色、深灰色和灰黄色。一种是颜色较暗、质地较硬的青色粘土,一种是质地较软黑色粘土。各孔岩相特征见表 1。表中的年代数据来源:Rose<sup>①</sup>根据表层沉降的大气碳微粒推算网湖土  $^{14}\text{C}$  年代 0.94 ka BP 推测的<sup>[22]</sup>。东湖钻孔 2 的年代是根据表层  $^{210}\text{Pb}$  平均沉积速率 3.0 mm/a 推测的<sup>[23]</sup>。钻孔 1 青泥层下部的  $^{14}\text{C}$  年代为 1.8 ka BP,表层  $^{210}\text{Pb}$  平均沉积速率为

① Rose N L. Carbonaceous particle profiles for sediment cores from lakes on the Jiangnan plain in Hubei. In: Research Report of palaeolimnological investigations of lakes on the Jiangnan Plain, Central China, 1994.

表 1 湖沼粘土的岩相特征与微结构类型

Table 1 Lithofacies properties and microfabric types of lacustrine clays

网湖钻孔 1				东湖钻孔 1				东湖钻孔 2			
深度 /cm	距今年代/Ka	沉积物描述	典型微结构	深度/cm	距今年代/Ka	沉积物描述	微结构特征	深度/cm	距今年代/Ka	沉积物描述	典型微结构
0~2		含有机碎屑的深灰色软泥	不详	0~18		含有机碎屑的暗色软泥	不详	0~15		含有机碎屑的深灰色软泥	A+ ,D- , P-
2~5		含有机碎屑的棕黄色软泥		18 ~ 45		深灰色粘土	A+ ,D-	15~24	0.05 ~ 0.08	灰棕色粘土	A+ ,D-
5~43	0.014 ~ 0.09	灰棕色粘土	A+ ,D- , O-	45 ~ 63	? ~ 1.8	青色粘土	G+ ,A-	24~46	0.08 ~ 0.15	含贝壳灰棕色粘土	A+ ,D-
43~90	0.09 ~ 0.166	具粗略层理的灰棕色粘土	L+ ,O+ , A+					46~63	0.15 ~ 0.21	灰棕色粘土	A+ ,D-
90~140	0.166 ~ 0.47	灰棕色粘土	A+ ,D-					63~105	0.21 ~ 0.35	浅灰色粘土	A+ ,D-
								105 ~ 146	0.35 ~ 0.49	黄灰色粘土	A+ ,D-
洪湖钻孔 1				洪湖钻孔 2				大九湖钻孔 1			
深度 /cm	距今年代/Ka	沉积物描述	典型微结构	深度/cm	距今年代/Ka	沉积物描述	微结构特征	深度/cm	距今年代/Ka	沉积物描述	典型微结构
0~10		含有机碎屑的深灰色软泥	A+ ,D- , P-	0~12		含有机碎屑的深灰色软泥	不详	0~60	<30	含大量植物根系的深灰色粘土	不详
10~52	0.14 ~ 0.45	灰棕色粘土	A+ ,D-	12 ~ 110	0.063 ~ 0.58	灰棕色粘土	A+ ,D-	60 ~ 678	1.3~1.7	灰色粘土	A+ ,D- , O- ,F-
52~84	0.45 ~ 0.89	黑色粘土	P+ ,A-	110 ~ 200	0.58 ~ 0.94	黑色粘土夹青色粘土	P+ ,A-	78 ~ 100.5	1.7~2	黑色粘土	P+ ,A-
84~136	0.89 ~ 2.54	青色粘土	G+ ,A+ , D-	> 200	>0.94	棕黄色粘土	G+ ,A+ , D-	100.5 ~ 109	2~2.4	灰棕色粘土	A+ ,D- , F-
>136	>2.54	棕黄色粘土						109 ~ 122	2.4~2.8	黑色粘土	A+ ,D- , O- ,F-
								122 ~ 105~	2.8~3.55	灰棕色粘土	A+ ,D- , O- ,F-
								150 ~ 174	3.55~4.2	黑色粘土	P+ ,A-
								174 ~ 225	4.2~5.1	灰色粘土	A+ ,D- , L O+
								>225	>5.1	河流沙砾石	

符号说明 : A—絮凝结构 ;D—硅藻生物结构 ;F—鱼骨结构 ;G—凝胶结构 ;L—显微层理构造 ;O—定向构造 ;P—植物纤维结构 ;+ 频繁出现 ;- 偶然出现

3.6 mm/a<sup>[22 24]</sup> ,Rose<sup>①</sup>根据表层沉降的大气碳微粒推算东湖钻孔 1 最大沉积速率达 7.5 mm/a。钻孔 1 表层 25 cm 以内与以下的湖泥密度也有明显差异 ,因此没有推测 45 cm 以上的年代。大九湖的数据是根据三

① Rose N L. Carbonaceous particle profiles for sediment cores from lakes on the Jiangnan plain in Hubei. In : Research Report of palaeolimnological investigations of lakes on the Jiangnan Plain , Central China , 1994.

个 $^{14}\text{C}$ 和孢粉分析的结果推测的<sup>[25]</sup>。

## 5 微结构类型

**显微层理构造** 显微层理构造也称纹层,它是浅色粘土条带和暗色粘土条带的交替。湖泊沉积物中的纹层已被广泛报导过<sup>[12,17,25~30]</sup>。当样品含水分时,纹层可以用肉眼观察到。但是样品脱水后,用X光照相术也很难分辨纹层,这主要是因为偶层和单层之间的物理特征差异很小。在偏光显微镜下,有些纹层很清晰(图版 I-a,b)。浅色纹层主要由粘土和细粉沙颗粒组成。

**生物骨架构造** 生物骨架构造是动物和植物在沉积物中的残留物。它包括亚类:鱼骨(图版 I-c)、植物纤维(图版 I-d)和硅藻(图版 I-e,f)。

**凝胶结构** 这种结构在黑色粘土中和青色粘土中观察到。其表面均匀光滑(图版 I-g,h)。这种结构被认为是由于游离的铁、铝和硅的氧化物与有机胶体结合,然后絮凝成胶体形状<sup>[31]</sup>。

**絮凝结构** 这种结构是悬浮的粘土絮凝形成团聚体而成的。这种类型的结构定向性差,通常通过 SEM 放大 400~600 倍可以观察到(图版 I-e,f 和图版 II-I,j)。一些研究者将其物理化学絮凝体的成因归结为静电的吸引<sup>[4,32]</sup>。这一带湖泊水体的 pH 值通常为 7.8 至 8.6,呈弱碱性。粘土离子带正电荷,容易与水中的氢氧根离子络合,形成团粒,沉积下来。

**定向构造** 小长形团聚体或者长形粉沙颗粒具有优势方位(图版 I-e 和图版 II-j)。出现于浅色粘土地中。粘土团聚体一般趋于明显的定向排列(图 2a 至 d)。单颗粘土颗粒没有呈现明显的定向性。有时单个的石英颗粒呈交叉状(图 2e)。在青色粘土中,絮凝的团聚体呈球形,没有呈现优势方位(图版 II-i)。当所观察的平面垂直于云母的最大扁平面时,单个的云母颗粒呈现出优势方位(图版 II-k,l)。

**微孔隙** 在偏光显微镜下观察到的数量不多的微孔隙位于团聚体之间(图版 II-m)。它们具有相对较规则的形态,多数呈椭圆形和蠕虫状。通过 SEM 可以观察到大量超微孔隙(图版 II-n,o)。它们是存在于颗粒之间的粒间孔隙,形态多不规则。圆形孔隙可以在富含有机质的粘土中观察到。大九湖的浅色粘土的平均粒径比其它地点的大(表 2)。孔隙孔径的分布曲线呈明显的众数态。平原地区的灰色粘土的孔隙孔径众数出现于 0.49~0.69 m,山间盆地的浅色粘土的孔隙众数出现于 0.98~1.4 m。富含有机质的粘土孔隙呈两个峰值。众数出现于 0.49~0.69 m,另一个峰值出现于小于 0.06 m 的孔径上(图 3)。有一些样品在

5.5~7.8 m 处呈现不明显的小峰值。

**圆度** 团聚体趋于呈一个球状或椭球状的外形,没有明显的棱和角(图版 I-e,f 和图版 II-i,j)。其圆度约为 3~3.5。单颗矿物具有不同的外形。石英颗粒呈现棱角形态(圆度=1)(图版 II-n,o)和次棱角状(圆度=2)(图版 II-o)。水云母颗粒为次圆状(圆度=3)(图版 II-k,l)。

**泥状结构** 大多数样品的碎屑组成都为粘土,具有粘土岩的这种泥状结构。在偏光显微镜下,它呈均质状(图版 II-p)。大九湖底部的样品因含有细粉沙,则为粉沙泥状结构。

**颗粒接触方式** 矿物颗粒多以边与边或面与面的方式接触(图版 II-k,l,m,o)。

## 6 不同钻孔的微结构特征

不同地点钻孔的微结构特征见表 1。

## 7 三种粘土的微结构特征

浅色粘土、青色粘土和黑色粘土的微结构特征异同见表 1 和表 2。

## 8 讨论

### 8.1 湖相粘土的成因与沉积环境解释

**灰色粘土** 浅色粘土的典型微结构类型(表 1 和表 2)和低有机质含量等特征(0.8%~1.7%),说明浅色粘土是陆源碎屑沉积。网湖钻孔中 50 cm 以下的浅色粘土具有显微层理构造。一般认为显微层理构造或纹层形成于存在温度跃变层的深水湖泊中<sup>[34~35]</sup>,缺

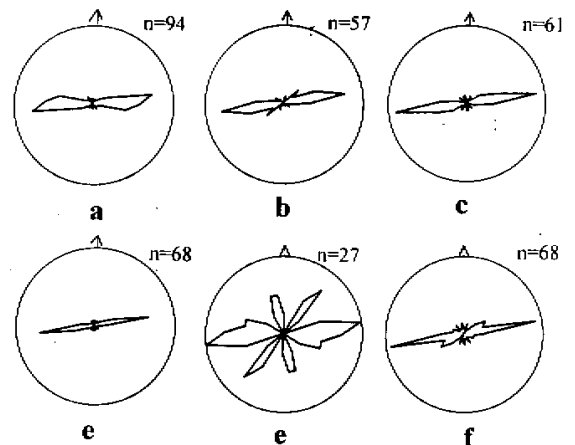


图 2 湖沼沉积物团聚体和单颗粒方位玫瑰图

Fig. 2 Rose diagrams of orientations of crumbs and single mineral grain of lacustrine sediments

表 2 SEM 下的湖沼粘土的细颗粒粒径( $\mu\text{m}$ ) 孔隙大小( $\mu\text{m}$ ) 和球度

Table 2 Sphericity sizes of fine particles and voids of lacustrine sediments in SEM

采样地点	粘土类型	颗粒			孔隙	
		粒径范围	优势粒径	球度	优势粒径	平均粒径
大九湖	浅色粘土	2.5~11.3	3.4	1.5~3	0.8~0.86	1.63~2.03
大九湖	黑色粘土				0.80~1.05	1.0~1.52
网湖	浅色粘土	0.9~3.5	0.9	3	0.62~0.65	0.56~0.68
洪湖	浅色粘土	1.1~3.7	1.0	3	0.61~0.63	0.60~0.67
洪湖	青色粘土	0.3~2.5	0.7	2~2.5	0.56~0.60	0.56~0.6
洪湖	黑色粘土				0.68~0.91	1.21~1.7
东湖	浅色粘土	0.6~3.9	0.9	3	0.62~0.66	0.56~0.64
东湖	青色粘土	0.4~2.2	0.7	2.5	0.55~0.58	0.55~0.6

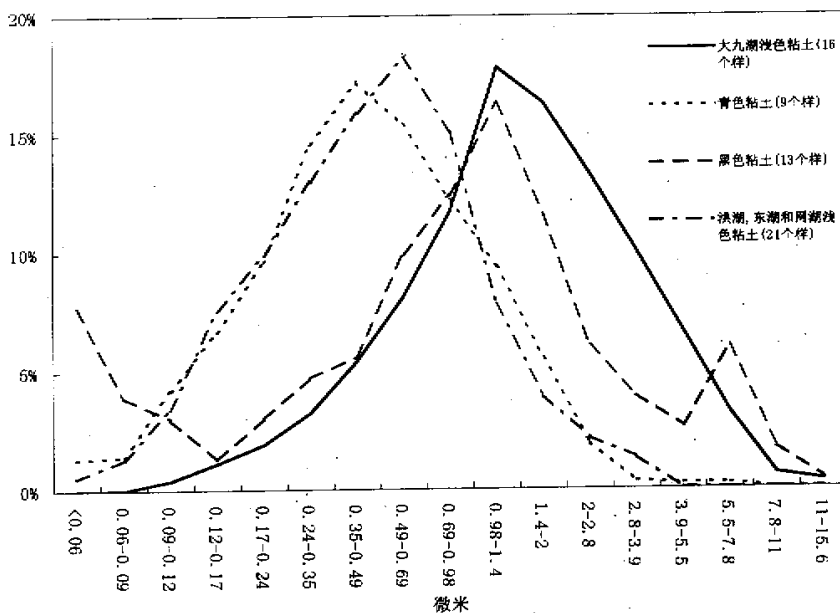


图 3 湖沼沉积物微孔隙粒径分布

Fig. 3 Void size distributions of lacustrine sediments

氧的环境才能使纹层不受生物扰动而保存下来。此外,碳酸盐沉积的季节变化<sup>[36]</sup>和油流沉积作用<sup>[37]</sup>也可以形成纹层。网湖湖水不很深,但却存在显微层理构造。我们认为这种纹层是由于长江洪水与其支流的季节性交替造成的。夏季,长江洪水倒灌进入网湖,云母和石英的矿物颗粒大量沉积在湖泊中,形成浅色纹层。冬季洪水退后,湖泊周围的支流补给湖泊,形成颜色较深的纹层。由于湖泊水位季节性抬高,在生物活跃的夏季高温期,抑制了挺水植物的生长和其他生物的活动,同时波浪作用难以达到湖底,使纹层能够保存下来。由此证明 0.4~0.5 ka BP 以来,长江中游江湖相通,物源来自与湖泊相通的河流输沙。

**青色粘土** 青色粘土有较高的密度,透水性差,广泛分布于江汉平原许多湖泊沉积物和湖泊周围的水稻

土中,然而,其成因并不确定。一些研究者们认为它是沉积物或土壤经过潜育化后形成的<sup>[32]</sup>。Cai 和 Yi<sup>[23]</sup>曾将洪湖的青色粘土和大部分浅色粘土归为静水沉积。虽然通过沉降法获得的青色粘土与浅色粘土的粒度分布特征基本相同(图 4),但是在 SEM 下观察到的细颗粒的粒径和孔隙却比浅色粘土的要小(表 2 和图 3)。圆度也低于浅色粘土,这是自生粘土的特征之一。淡水硅藻中心冈在青色粘土中比在浅色粘土中更常见。青色粘土中的有机质含量(2.9%~8.0%)高于浅色粘土的含量,但低于黑色粘土的含量。尽管青色粘土的有机质含量较高,但其孔隙并没有呈现黑色粘土的那种双峰分布的特点。这说明有机质碎屑的颗粒较小,与粘土颗粒均匀地混合,因此大孔隙难以形成。凝胶结构常见(表 1),说明富有机质的细碎屑存在,但植

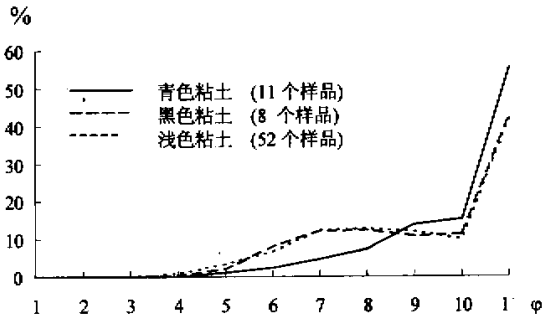


图4 浅色粘土、青色粘土和有机质粘土的粒径分布

Fig. 4 Particle size distributions of light-colored, green clay and organic-matter-rich clays

物纤维框架结构的缺乏说明含粗纤维的水生维管束植物不多。淡水贝壳、淡水螺壳和水生维管束植物的大碎屑残留物用肉眼和在偏光显微镜和 SEM 下难以找到。这些特征说明 1~2.5 ka BP 期间,江汉平原的洪湖和东湖与河流的直接联系不多,入湖泥沙少且细,湖泊具有一个开阔的敞水环境,浮游生物多(很可能是藻类),湖泊水面比较稳定。

**黑色粘土** 黑色粘土的典型微结构特征(表 1 和表 2)和 6%~14% 的高有机质含量,说明其形成时有大量的植物参与。由于植物纤维框架结构常见,而凝胶结构不多,说明黑色粘土的形成是在含粗纤维较多的水生维管束植物的参与下形成的。孔隙呈双峰分布,其中,大孔隙多呈圆形等规则形态。这种较规则的大孔隙是有机质分解后产生的气体形成的气孔<sup>[21]</sup>。这也说明江汉平原的洪湖在 0.5~1 ka BP 期间,湖水较浅,生长有大量维管束植物。

## 9 其它指示环境变化的微结构证据

**鱼骨化石** 据杨干荣和龚立新(1981)调查<sup>①</sup>,神农架地区分布海拔高度达到 1 700 m 的现有鱼类有二种:泥鳅(Class *Misguenus anguillicadatus*)和尖头鲃(即原文所称的长江鲃,Class *Phoxinus lagowskii variegatus*)。泥鳅分布于海拔高度为 500~1 700 m。尖头鲃分布于海拔高度为 800~1 800 m。另外,该地区现存的齐口裂腹鱼分布于海拔 700~1 450 m,接近于大九湖盆地海拔 1 700 m。神农架尖头鲃成鱼体长 8~10 cm 的占 62%<sup>②</sup>,成年的齐口裂腹鱼体长 21.8~26.7 cm 的占 78.3%<sup>③</sup>。泥鳅的种属与江汉平原的相同,体长也应在 7~10 cm 左右。根据化石鱼肋骨的长度、鱼肋骨长度占鱼体高的 2/3 左右(长条形鱼类的

此比值要小一些),以及根据鱼体长与体高比值的关系判断,化石鱼不可能是齐口裂腹鱼。因为齐口裂腹鱼的体长与体高比值约为 4,若化石鱼是齐口裂腹鱼,则推算其长度只有 2~3 cm,而齐口裂腹鱼的长度通常在 20 cm 厘米以上。化石鱼应是泥鳅或尖头鲃。泥鳅的体长与体高的比值约为 6。尖头鲃的体长与体高的比值为 3.5~5.2,估算鱼的个体大小为 5~7 cm,似乎比现代种体长要小一些。这就说明,在 2.9~4.2 ka BP 的全新世大暖期后期,木本植物孢粉资料证明气温现在高 2~3℃<sup>[24,33]</sup>,鱼类在大九湖大量繁殖,但齐口裂腹鱼的分布仍未能达到海拔 1 700 m 的高度。这也从另一个侧面证明了距今 4 000 年前,温度增温幅度不大。

## 10 结论

湖沼沉积物的微结构可以用于解释湖相粘土的成因,江汉平原洪湖和东湖 1~2.5 ka BP 期间沉积的青色粘土是有机质胶体(很可能是浮游藻类)与粘土胶体相互吸附沉积形成的,代表一种湖水面开阔,湖水位稳定的环境,反映当时河流水位不高,河湖水量交换不多,入湖泥沙少。0.5~1.0 ka BP 期间,江汉平原的洪湖水生植物繁茂,湖泊趋于沼泽化,江河水位较低,入湖泥沙较少。长江中游沿江地带 0.5 ka BP 以来沉积的浅色粘土是入湖河流带来的泥沙在湖泊中的沉积,反映当时河湖水量交换较频繁,入湖径流较大,并且年变化较大。有些微结构特征在认识沉积环境方面具有特别的意义。例如,大九湖的鱼骨不易用肉眼观察到,但却能通过制作切片在偏光显微镜下观察到,证明 2.8~3.6 ka BP 的全新世温暖期,鱼类曾大量繁殖,但温暖的鱼类没有向上游明显迁徙。

**致谢** 湖泊表层沉积物<sup>210</sup>Pb + <sup>137</sup>Cs 的沉积速率由华东师范大学河口海岸动力沉积和动力地貌学国家重点实验室许羽同志测定,有机质含量有湖北省农科院测试中心测定,<sup>14</sup>C 由南京大学和地质大学(武汉)测定,中科院水生所鱼类室单相红同志和藻类室施之新同志对本文有帮助,参加野外工作的还有杨汉东、刘会平、吴宝静三位博士在此一并致谢。

## 参 考 文 献 (References)

- 1 Gilbert J E. Study of the fabric of fine-grained sediments with the scanning electron microscope[J]. *Journal of Sedimentary Petrology*,

① 杨干荣,龚立新. 神农架鱼类及其生态适应. 见:杨干荣等著. 神农架鱼类. 神农架神农架科委印. 1981. 24~30

② 熊邦喜. 神农架长江岁繁殖生态学的初步研究. 见:杨干荣等著. 神农架鱼类. 神农架神农架科委印. 1981. 108~114

③ 卢林. 神农架齐口裂腹鱼类的繁殖和年龄生长资料. 见:杨干荣等著. 神农架鱼类. 神农架神农架科委印. 1981. 52~56

- 1969, 39(1): 90~105
- 2 Bennett R H, Bryant W R, Klier G H. Clay fabric of selected submarine sediment: fundamental properties and models[J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1981, 51: 217~232
  - 3 Kuehl S A, Nittrouer C A, Demaster D J. Microfabric study of fine grained sediments: observations from the Amazon subaqueous delta[J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1988, 58(1): 12~23
  - 4 Reynolds S, Gorsline D S. Clay microfabric of deep-sea detrital mudstones, California continental borderland[J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1991, 62(1): 41~53
  - 5 方小敏, 沈明智, 牟昀智. 武都泥石头流显微构造极其形成机制初探[J]. *中国科学(B辑)*, 1991, 21(2): 198~204 [ Fang Xiaomin, Shen Mingzhi, Mou Yunzhi. Preliminary studies on the microstructures of mud-rock flow and its formation mechanism in Wudou[J]. *Science in China(B series)*. 1991, 21(2): 198~204 ]
  - 6 Van der Meer J J M. Microscopic evidence of subglacial deformation[J]. *Quaternary Science Reviews*, 1993, 12: 553~587
  - 7 C-L Yi. Subglacial comminution in till-evidence from microfabric studies and grain size analysis[J]. *Journal of Glaciology*, 1997, 43(14): 1~7
  - 8 Tang Z H, Parnell J, Ruffell A H. Deposition and diagenesis of the lacustrine-fluvial Cangfanggou Group( uppermost Permian to Lower Triassic), southern Junggar Basin, NW China: a contribution from sequence stratigraphy[J]. *Journal of Paleolimnology*, 1994, 11: 67~90
  - 9 Peter A G, *et al.* The Holocene history of West Basin Lake, Victoria, Australia; chemical changes based on fossil biota and sediment mineralogy[J]. *Journal of Paleolimnology*, 1994, 12(3): 235~258
  - 10 Sack A, Last W M. Lithostratigraphy and recent sedimentation history of Little Manitoba Lake, Saskatchewan, Canada[J]. *Journal of Paleolimnology*, 1994, 10: 199~212
  - 11 Edund M B, Stoermer E F. Resting spores of the freshwater diatoms *Acanthoceras* and *Urosolenia*[J]. *Journal of Paleolimnology*, 1993, 9: 95~61
  - 12 Valero-Garc e' s B L, Kelts K R. A sedimentary facies for perennial and meromictic saline lakes: Holocene Medicine Lake Basin, South Dakota, USA[J]. *Journal of Paleolimnology*, 1995, 14: 123~149
  - 13 George H. Characteristics of varved clays of the Elk valley, British Columbia, Canada[J]. *Engineering Geology*, 1986, 23: 59~74
  - 14 Defarge C, *et al.* Texture of microbial sediments revealed by cryo-scanning electron microscopy[J]. *Journal of Paleolimnology*, 1996, 6(5): 935~947.
  - 15 Lamoureuxand S F, Bradley R S. A late Holocene varved sediment record of environmental change from northern Ellesmere Island, Canada[J]. *Journal of Paleolimnology*, 1996, 16: 239~255
  - 16 李世杰, 郑本新, 焦克勤. 西昆仑山区湖泊初探[J]. *海洋与湖沼*, 1993, 24(1): 37~44 [ Li Shijie, Zheng Benxin, Jiao Keqin. Preliminary study on the lakes in western Kunlun Mountains[J]. *Oceanology and Limnology*, 1993, 24(1): 37~44 ]
  - 17 王苏民, 薛滨. 中国全新世以来若尔盖盆地环境演化与黄土高原比较研究[J]. *中国科学*, 1996, 26(2): 323~328 [ Wang Sumin, Xue Bin. Comparative study of the evolution of Ruergai basin and Huangtu Plateau since the Holocen[J]. *Science in China(D series)*, 1996, 26(2) 323~328 ]
  - 18 王苏民, 薛滨, 夏威岚. 希门错 2000 多年来气候变化的湖泊记录[J]. *第四纪研究*, 1997, 2: 62~69 [ Wang Sumin, Xue Bin, Xia Weilan. Lake record of climatic change in the past 2000 years of Ximen Cuo(lake [J]. *Quaternary Research*, 1997, 2: 62~69 ]
  - 19 吴敬禄, 王苏民, 施雅凤等. 若尔盖盆地 200ka 以来氧同位素记录的古温度定量研究[J]. *中国科学(D辑)*, 2000, 30(1): 73~80 [ Wu Jinlu, Wang Sumin, Shi Yafeng, *et al.* Quantitative study of oxygen isotope record in Ruergai basin since 200ka[J]. *Science in China(D series)*, 2000, 30(1): 73~80 ]
  - 20 蔡述明, 宫子和. 第四纪跨江南的古云梦泽是不能成立的[J]. *海洋与湖沼*, 1981, 13(2): 130~142 [ Cai Shuming, Guan Zihe. Impossible establishment of integrated Yunmen swamp-lake in Jianghan-dongtin basir[J]. *Oceanology and Limnology*, 1981, 13(2): 130~142 ]
  - 21 王苏民, 奚鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京: 科学出版社, 1998 [ Wang Sumin, Du Hongsheng. Record of lakes in China[M]. Beijing: Science Press, 1998 ]
  - 22 Cai S M, Yi C L. Sedimentary features and evolution of Honghu Lake, central China[J]. *Hydrobiologica*, 1991, 214: 341~345
  - 23 杨汉东等. 武汉东湖沉积物环境地球化学[J]. *水生生物学报*, 1994, 18(3): 208~214 [ Yang Handong, *et al.* Environmental geochemistry of lacustrine sediment in Donghu lake, Wuhan [J]. *Acta Hydrobiologica*, 1994, 18(3): 208~214 ]
  - 24 H-D Yang, B-Y He, S-M Cai *et al.* Environmental impications of magnetic measurements on recent sediments from lake Donghu[J]. *Water, Air and Soil Pollution*, 1997, 98: 187~195
  - 25 刘会平. 神农架地区第四纪植被与古环境[D]. 同济大学海洋地质与地球物理系. 1998 [ Liu Huipin. Quaternary vegetation and paleoenvironment in Shenlongjia mountain[D]. Department of Geology and Geophysics, Tongji University, Shanghai, 1998 ]
  - 26 Leemann A, Niessen F. Varve formation and the climatic record in an Alpine proglacial lake: calibration annually-laminated sediments against hydrological and meteorological dat[J]. *The Holocene*, 1994, 4: 1~8.
  - 27 Deslodges J R. Varve deposition and sediment record at three small lakes of the southern Canadian Cordillera[J]. *Arctic and Alpine Research*, 1994, 26: 130~130
  - 28 Pike J, Kemp A E S. Early Holocene decadal-scale ocean variability recorded in Gulf of California laminated sediments[J]. *Paleoceanography*, 1997, 12(2): 227~238
  - 29 Pilskalm C H, Johnson T C. Seasonal signals in lake Malavi sediments[J]. *Limnology and Oceanography*, 1991, 36(3): 544~557
  - 30 曹家欣, 黄润华, 石宁等. 上新世湖相纹泥极其环境信息与时间标尺记录[J]. *第四纪研究*. 1998, 4: 353~357 [ Cao Jiixin, Huang Runhua, Shi Ning, Luo Yunli. Late Pliocene lacustrine varves and its environmental information and time mark record[J]. *Quaternary Research*, 1998, 4: 353~357 ]
  - 31 王正瑛等. 沉积岩结构和构造图谱[M]. 北京: 地质出版社. 1988 [ Wang Zhengying, *et al.* Atlas of textures and structures of sedimentary rock[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988 ]
  - 32 濮培民等. 三峡工程与长江中游湖泊洼地环境[M]. 北京: 科学出版社, 1994 [ Pu Peimin, *et al.* Three Gorges Construction and depression environment in the middle reach of the Yangtze River[M].

- Beijing : Science Press , 1994 ]
- 33 周明明,李文漪,姚祖驹. 神龙架大九湖全新世植被与环境 [ A ]. 中国北亚热带晚第四纪植被与环境研究 [ C ]. 北京 : 海洋出版社 , 1993. 33~45 [ Zhou Mingming , Li Wenyi. Holocene vegetation and environment in Dajihu , Shenlongjia mountain [ A ]. In : Li Wenyi and Yao Zhuju , *et al.* eds. Research on late Quaternary vegetation and environment in north subtropical of China [ C ]. Beijing Ocean Publishing House , 1993. 33~45 ]
- 34 Hakanson L , Bottom dynamics in lakes [ A ]. In Sly PG , ed. Sediment/ freshwater interaction [ C ]. The Hague , 1982. 1~22
- 35 刘家麒,刘东生,储国强等. 玛珥湖与纹泥年代学 [ J ]. 第四纪研究 , 1996 ( 4 ) : 353~358 [ Liu Jiaqi , Liu Dongsheng , Chu Guoqiang , Xiao Jule. Mara lake and varve geochronology [ J ]. Quaternary Research , 1996 ( 4 ) : 353~358 ]
- 36 Dell C I. A special mechanism for varve-formation in a glacial lake [ J ]. Journal of Sedimentary Petrology , 1973 , 43 : 466~488
- 37 Ludlam S D. The role of turbidity currents in lakes sedimentation [ J ]. Limnology and Oceanography , 1974 , 19 : 656~664
- 38 Wartel S , Singh S P , Faas R W. The nature and significance of gas-generated microvoids as "secondary" microfabric features in modern and Pleistocene marine and estuarine sediments [ A ]. In : Bennett R H , Bryant W R and Hulbert M H , eds. Microstructure of fine grained sediments from mud to shale [ C ]. Springer , 1991. 55~59

## Microfabric Properties of Lacustrine Sediments and Sedimentary Environments

YI Chao-lu<sup>1 2</sup> WU Xian-xin<sup>1</sup> LIU Hui-pin<sup>3</sup> WANG Bo-xuan<sup>4</sup> XU Hou-ze<sup>1</sup>  
( Nanjing University , Nanjing 210093 )

① Donghu Experimental Station of Ecology , Chinese Academy of Sciences , Wuhan 430073 )

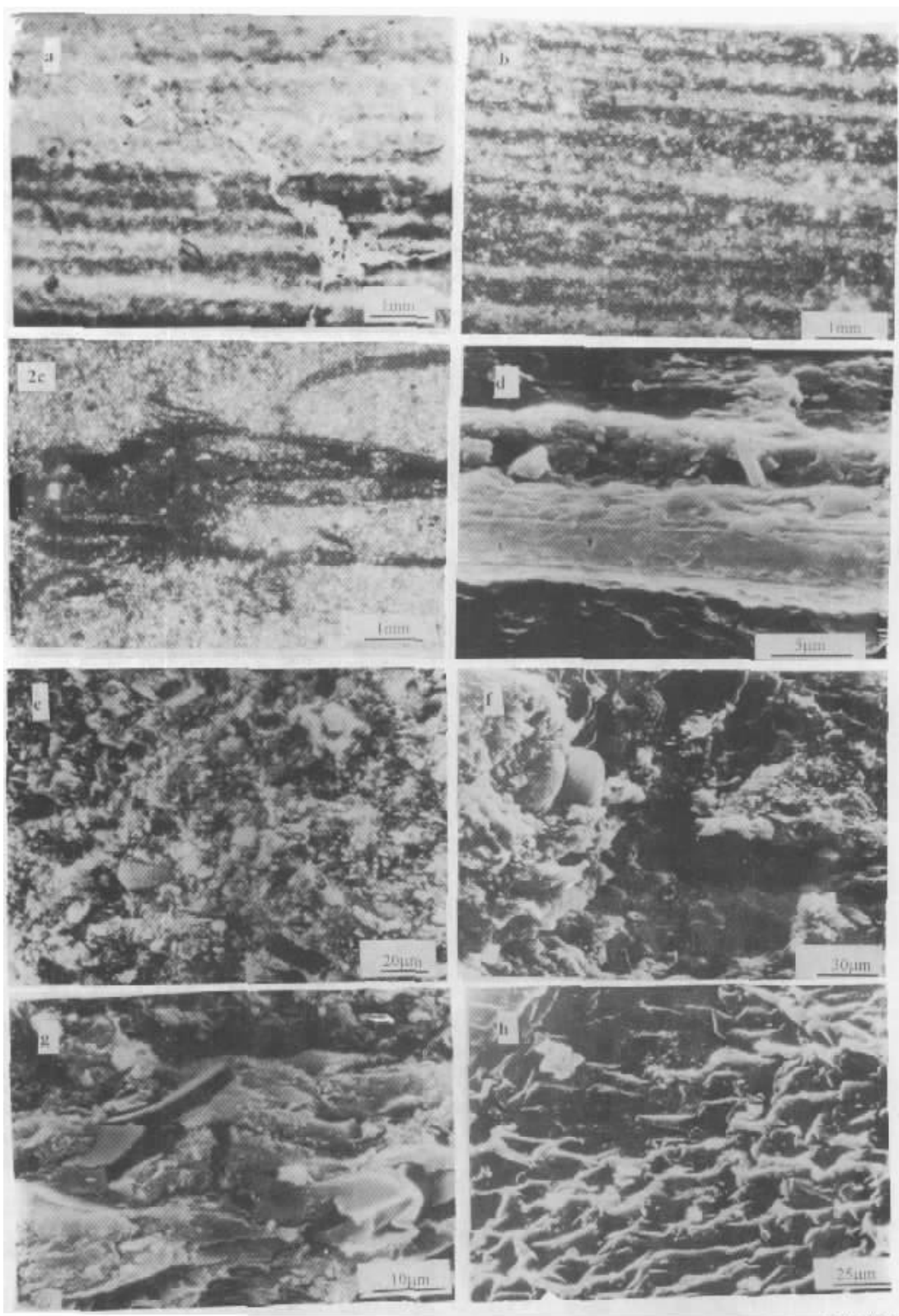
② Department of Geography , Central China Normal University , Wuhan 430071 )

④ Institute of Environmental Geosciences , China University of Geosciences , Wuhan 430073 )

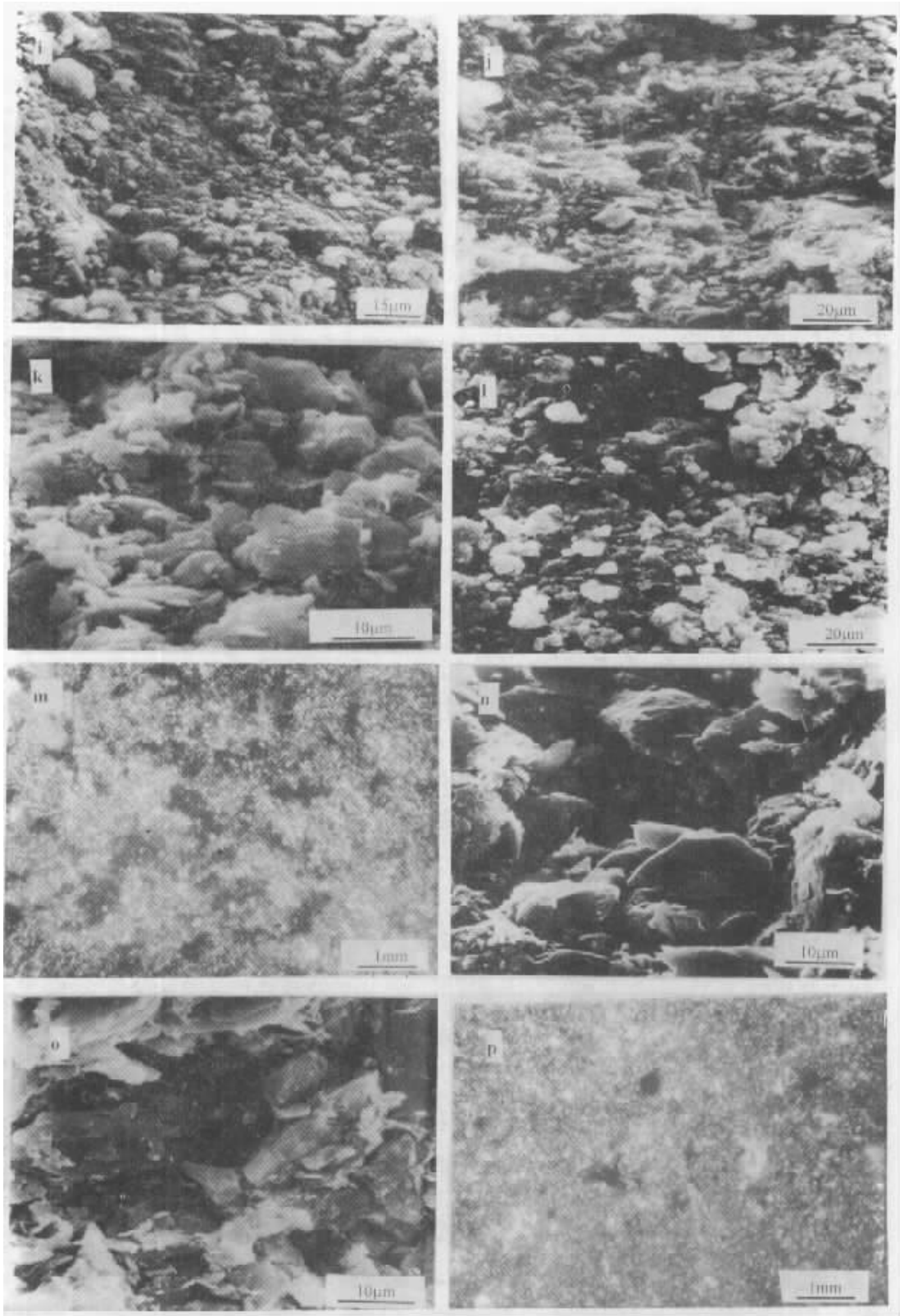
**Abstract** Microfabrics from core sediments were observed in polarizing microscope and scanning microscope and used in interpreting the origin of three types of clay as well as the changes of sedimentary environments in four sites-the Honghu Lake , the Donghu Lake , the Wanghu Lake and the Dajihu Lake along the middle reach of the Yangtze River. Micro-beddings , orientation of particles and large sizes of micro-voids and particles with contacting patterns of face to face or edge to edge occurred in the light-colored clay formed since 0.4~0.5ka BP in the lakes. Their origin was ascribed to clastic sediments from rivers surrounding the lakes. It was suggested that the lakes were connected with rivers and large amount of sediments came from rivers into the lakes during that period. The typical microfabrics in the blue clay formed in 1~2.5ka BP were gelatinous texture , agglutinational texture , small sizes of particles and voids , low sphericity and diatoms of freshwater *Class Centrium* . Their origin was ascribed to the result of the interaction between organic colloids and clay colloids. It was suggested that the lakes in the Jianghan plain were of open and stable fresh-water lake environments rich in planktons and with small amount of clay carried by rivers during this period. The main microfabrics in the black clay formed during 0.4~1ka BP were gelatinous texture , large circular voids and plant fiber. The voids had a bimodal distribution. The sediment was formed mainly due to the accumulation of large amount of aquatic vascular bundle plants. It was suggested that the lakes were shallow and rich in aquatic vascular bundle plants , and some of them were swamping. The framework of fish bone in the sediments indicated that there was large number of fish in the Dajihu area during the Holocene warm period of 2.9~4ka BP , but the thermophilous fish did not migrate upwards apparently.

**Key words** microfabric , origin of lacustrine clay , environmental changes , the middle reach of the Yangtze River , Donghu Lake , Honghu Lake , Wanghu Lake , Dajihu Lake





图版 I 说明 湖沼沉积物微结构图 a. 网湖浅色粘土中的纹层, 单偏光 b. 大九湖钻孔下部浅色粘土中的纹层, 正交偏光 c. 大九湖浅色粘土中鱼骨化石, 正交偏光 d. 洪湖黑色粘土中的植物纤维, SEM e. 大九湖黑色粘土中的硅藻, SEM f. 洪湖青色粘土中的硅藻, SEM g. 洪湖黑色粘土中的凝胶结构, SEM h. 洪湖青色粘土中的凝胶结构, SEM.



图版 II 说明 i. 洪湖浅色粘土中的絮凝结构, SEM j. 大九湖浅色粘土中长颗粒的定向构造, SEM k. 大九湖黑色粘土的次圆状片状云母平行排列, 显示定向构造, SEM l. 网湖浅色粘土中扁平颗粒的次圆状和次棱角状结构, SEM m. 网湖浅色粘土中的微孔隙, 正交偏光 n. 大九湖浅色粘土中棱角状和次棱角状结构, SEM o. 洪湖青色粘土中的颗粒次棱角状结构与粒间微孔隙, SEM p. 洪湖青色粘土中的泥质结构, 正交偏光。