洪湖及其周围三种湖相粘土的微结构特征与沉积环境*

易朝路

(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;
中国科学院水生生物研究所东湖湖泊生态系统试验站,430071)

提 要 在江汉平原濒临长江北岸的洪湖及其周围的土壤中,分别取得沉积物柱状钻孔样品和土壤剖面样品,用偏光显微镜和电子显微镜观察了 2.5kaBP 以来形成的三种湖相粘土的微结构特征,并以此解释的其成因和沉积环境. 0.9－2.5kaBP 期间形成的青色粘土的典型微结构有:凝胶结构、细颗粒粒径和小孔隙、矿物颗粒低圆度和淡水中心冈硅藻等生物框架结构. 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,洪湖拥有一个开阔、稳定、浮游生物较多的淡水湖泊环境. 0.45－1kaBP 期间形成的黑色粘土的主要微结构类型有:凝胶结构、大的圆孔隙和植物纤维等生物框架结构、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. 当时洪湖湖水变浅,大量挺水植物生长,湖泊已经沼泽化了. 0.45kaBP 以来形成的灰色粘土的微结构类型主要有:絮凝结构、较大的微孔隙和颗粒粒径、矿物颗粒较高的圆度等. 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.

关键词 微结构 湖相粘土 成因 江汉平原 洪湖
分类号 P343.3

沉积物微结构方法已经在海洋沉积、河流三角洲沉积[1-4]、泥石流[5]和冰川沉积中[6-7]得到大量运用,并获得了对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[8-10]和硅藻形态[11]. 切片方法被用于研究全新世湖泊沉积物的纹层[12]. 湖泊沉积物纹层的微形态也被用于解释沉积物的成因[13-15]. 我国的湖泊研究者们在用湖泊沉积特征、地球化学和生物特征记录反演第四纪环境变迁和湖泊演变等方面取得重大进展[16-19]. 但是除纹层外,湖泊沉积物的微结构却还没有专门报道. 本文对洪湖及其周围的水稻土中存在的三种颜色的湖相粘土-灰色粘土、青色粘土和黑色粘土微结构特征的研究,讨论其成因,并分析它们在指示环境演变的作用.

1 研究区及研究方法

1.1 研究区和采样点概况

洪湖位于长江中游湖北省江汉平原的长江北岸(图 1),面积 344km^2,平均水深 1.5m,是这一地区最大的湖泊. 历史上,它曾与长江相通,冬季湖泊补给长江,夏季长江洪水倒灌入湖.

* 国家自然科学基金(49501003)、中国科学院创新工程重点项目(KZCX2－310－01－02)、中国科学院"九五"重大项目(ZK951－A1－202－01－03)和东湖湖泊生态系统试验站(200105)联合资助.
收稿日期:2000－12－21;收到修改稿日期:2001－04－10. 易朝路,男,1959 年,研究员. clyi@asch.whigg.ac.cn.

现今,水利工程的实施,进出湖水都受到人工闸口控制.

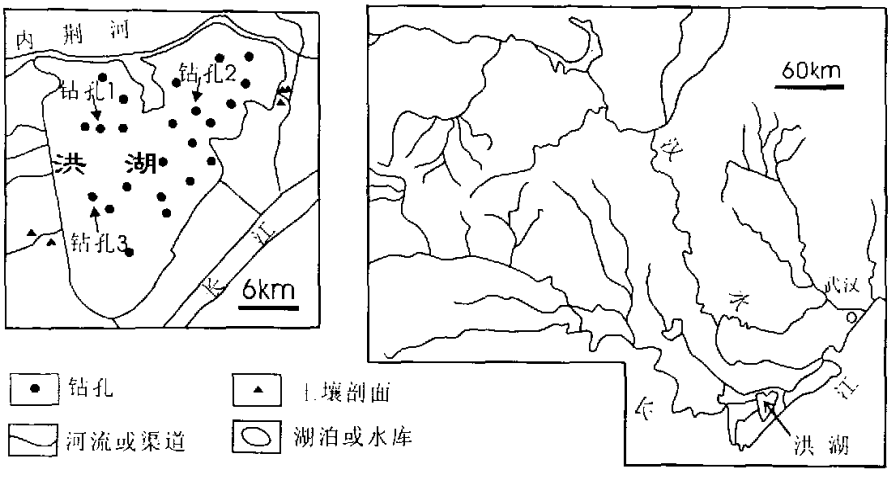


图 1　采样位置图

Fig. 1　Location of sampling sites in the Honghu Lake region

1.2　研究方法

在洪湖钻取 3 个深 0.7－2.25m 的浅孔(图 1).样品储存于 1m 长的 PVC 管(内径 48mm)和有机玻璃管内(内径 58mm).在实验室用电渗析切刀纵向剖切样品成两半,用肉眼描述岩相特征.一半用于有机质含量和粒度分析.另一半用丙酮反复浸泡使样品不变形脱水,用于微结构分析.用 Russia 取样器在湖泊中取了 20 个其它样品.在洪湖周围的水稻土中挖 5 个剖面分层取了样(图 1),分析三种粘土的有机质含量和粒度.

取脱水后的小样,表面喷金,在电子显微镜(SEM)下观察微结构.另外,在减压条件下将不饱和聚脂树脂注入到样品中,加入适量固化剂和促进剂,初步固化样品,然后在 80 度以下的温度下加热,固化样品.然后磨制薄片,在偏光显微镜下观察总体结构.用移液管法,以 1φ 的间距测定粒度分布.粒径和孔隙也在放大 1000 到 2200 倍的 SEM 图象下量测 150－250 颗进行统计分析.有机碳含量用气量法测定并用于估计有机质含量.

2　结果

2.1　钻孔描述

钻孔中有三种粘土.一种是浅色的灰棕色粘土,位于柱状沉积样品的上部;一种是颜色较暗、质地较硬的青色粘土,位于柱状沉积样品的下部;另一种是质地较软的黑色粘土,位于灰色粘土之下,青色粘土之上.土壤剖面中只能分出青色粘土和灰色粘土.大多数样品的碎屑组成都为粘土,具有粘土岩的泥状结构.在偏光显微镜下,它们呈均质状(图版Ⅰ－A).各孔岩相特征见表 1.

表1 湖沼粘土的岩相特征

Tab.1 Lithographical properties of lacustrine clays

钻孔1		钻孔2		钻孔3	
深度(cm)	沉积物描述	深度(cm)	沉积物描述	深度(cm)	沉积物描述
0-10	含有机碎屑的深灰色软泥	0-12	含有机碎屑的深灰色软泥	0-8	含有机碎屑的深灰色软泥
10-52	灰棕色粘土	12-110	灰棕色粘土	8-44	灰棕色粘土
52-84	黑色粘土	110-200	黑色粘土夹青色粘土	44-50	青色粘土
84-136	青色粘土	>200	棕黄色粘土	50-62	黑色粘土
>136	棕黄色粘土			62-77	青色粘土
				77-88	黑色粘土
				>88	青色粘土

2.2 微结构类型

2.2.1 生物骨架结构 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:植物纤维(图版Ⅰ-A,B)和硅藻(图版Ⅰ-C,D).硅藻外形呈圆形,属于淡水中心冈.植物纤维这种结构常在黑色粘土中观察到,有时在青色粘土中也能见到.硅藻在黑色粘土和青色粘土中比灰色粘土中要多一些.

2.2.2 凝胶结构 这种结构的表面均匀光滑(图版Ⅰ-E,F).它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[20].这种结构在黑色粘土中和青色粘土中观察到,尤其是在青色粘土中多见.

2.2.3 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-G),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[4,20].洪湖湖泊水体的pH值达7.8以上,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.这种结构在灰色粘土中常见.

2.2.4 微孔隙 通过SEM可以观察到大量超微孔隙(图版Ⅰ-C,G,H).它们是存在于颗粒之间的粒间孔隙,形态多不规则.较大的圆形孔隙可以在黑色粘土中观察到(图版Ⅰ-D,I).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[21].黑色粘土孔隙的平均孔径最大,灰色粘土孔隙的平均孔径次之,青色粘土孔隙的孔径最小(表2).灰色粘土和青色粘土孔隙的孔径的众数出现于0.24-0.98μm,黑色粘土的孔隙呈两个峰值.众数出现于0.69-2.0μm,另一个峰值出现于小于0.06μm的孔径上(图2).有一些样品在5.5-7.8μm处呈现不明显的小峰值.

表2 SEM下的湖沼粘土的细颗粒粒径(μm)、孔隙大小(μm)和球度

Tab.2 Particle size, void size and sphericity of lacustrine clay in SEM

粘土类型	样品数	颗粒			孔隙	
		粒径范围	优势粒径	圆度	优势粒径	平均粒径
浅色粘土	12	1.1-3.7	1.0	3	0.61-0.63	0.60-0.67
青色粘土	7	0.3-2.5	0.7	2-2.5	0.56-0.60	0.56-0.6
黑色粘土	9	未测出	未测出	未测出	0.68-0.91	1.21-1.7

2.2.5　表面结构　灰色粘土中的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-G).其圆度约为3-3.5.单颗矿物具有不同的外形.灰色粘土的石英颗粒呈次棱角至次圆状(圆度2-3)(图版Ⅰ-G).和青色粘土的石英颗粒呈次棱角状至棱角状(圆度1-2)(图版Ⅰ-H).出现于灰色粘土中的水云母颗粒为次圆状(圆度=3)(图版Ⅰ-J).青色粘土比灰色粘土的圆度差一些(表2).

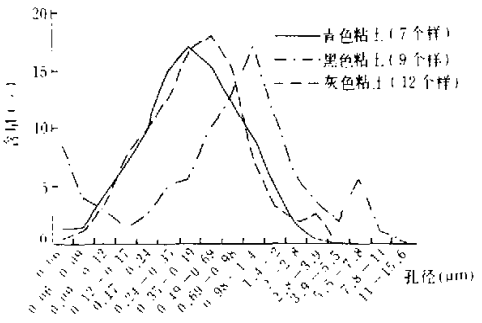


图2　湖沼沉积物微孔隙粒径分布

Fig.2　Void size distribution of lacustrine sediments

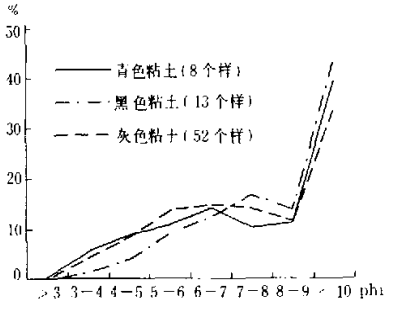


图3　灰色粘土、青色粘土和黑色粘土的粒径分布

Fig.3　Grain size distribution of lacustrine sediments

2.3　粒度和有机质含量

三种粘土的粒度分布特征大致相同,呈单峰分布(图2).黑色粘土的粘粒含量最高,平均为43.47%;青色粘土次之,平均为39.05%,灰色粘土的粘粒含量最少33.54%.但是,在电镜下观察,青色粘土的粒度要比灰色粘土的粒度小一些(表2).

青色粘土的有机质含量最高,在3.4%-12.2%之间,平均为7.12%.黑色粘土的有机质含量次之,在2.0%-8.0%之间,平均为3.14%.灰色粘土有机质含量平均值为1.41%,波动较小(表3).

表3　三种粘土的有机质含量(%)

Tab.3　Organic matter content of lacustrine clays(%)

青色粘土		黑色粘土		灰色粘土					
7.98[a]	2.47[a]	6.73[a]	4.15[a]	1.63[a]	1.47[a]	1.99[a]	1.50[a]	1.92[a]	1.12[a]
2.18[a]	2.01[a]	3.35[a]	10.49[a]	1.36[a]	1.73[a]	0.81[a]	1.47[a]	0.96[a]	0.79[a]
3.13[b]	2.98[b]	11.77[a]	12.16[a]	1.59[a]	0.69[a]	1.99[a]	1.91[a]	2.20[a]	2.56[a]
2.56[b]	2.46[b]	7.50[a]	12.22[a]	1.07[a]	1.50[a]	1.55[a]	2.12[a]	1.43[a]	1.49[a]
2.96[b]	3.08[b]	3.66[a]	4.55[a]	2.10[b]	1.00[b]	0.97[b]	0.73[b]	0.36[b]	2.34[b]
2.73[b]		9.87[c]	2.97[c]	0.88[b]	0.40[b]	1.19[b]	0.80[b]	1.38[a]	1.33[a]
		3.11[c]		1.45[b]	1.89[b]	2.43[b]	1.14[b]	1.04[b]	

a:湖泊钻孔样品;b:土壤剖面样品.

3　湖相粘土的成因与沉积环境解释

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土壤潜育层[22].蔡述明等[23]则认为土壤中的青泥层有些是原生的.Cai 和 Yi[24]曾将洪湖的青色

粘土和大部分灰色粘土归为静水沉积.虽然通过沉降法获得的青色粘土与灰色粘土的粒度分布特征基本相同(图3),但是在SEM下观察到的青色粘土细颗粒的粒径和孔隙却比灰色粘土的要小(表2和图2),圆度也低于灰色粘土,有棱角状石英,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灰色粘土中更常见.除了在急流中可能有附生以外,淡水中心冈一般是浮游生物.它们的存在说明当时湖泊较开阔.青色粘土中的有机质含量(2.9%－8.0%)高于灰色粘土的含量,低于黑色粘土的含量,但其孔隙并没有呈现黑色粘土的那种双峰分布的特点,而与灰色粘土孔隙的孔径分布相似.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.青色粘土以下的灰色粘土不及青色粘土密实,压实作用似不明显.凝胶结构常见(表1),说明富有机质的细碎屑存在,但植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.青色粘土的底部^{14}C年代为2.5ka,上覆的黑色粘土的底部^{14}C年代为0.89－0.95ka[25],因此青色粘土形成于0.9－2.5kaBP.此时期,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.

黑色粘土的微结构特征中植物纤维框架结构常见,而凝胶结构不多,有机质含量高达6%－14%,说明是在含粗纤维较多的水生维管束植物的参与下形成的.黑色粘土的底部^{14}C年代为0.89－0.95ka,根据^{210}Pb沉积速率推测,上覆的灰色粘土底部的年代为0.44ka[24],因此黑色粘土形成于0.45－0.9kaBP.洪湖在此期间,湖水较浅,生长有大量维管束植物.

灰色粘土的絮凝结构等微结构特征以及低有机质含量等特征(0.8%－1.7%),说明0.45kaBP以来形成的灰色粘土是陆源碎屑沉积.濒临长江的洪湖在20世纪50年代以前有天然河道与长江相通.夏季,内荆河河水流入洪湖,随着长江洪水倒灌或漫堤入湖,云母和石英等矿物颗粒大量沉积在湖泊中,形成灰色粘土.

4 结论

洪湖0.9－2.5kaBP期间沉积的青色粘土具有凝胶结构、颗粒细、孔隙小、有机质含量较高、碎屑颗粒的圆度较高等特征,它是有机质胶体(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.0.45－0.9kaBP期间沉积的黑色粘土具有植物纤维框架结构、颗粒细、大孔隙、有机质含量高等特征,代表当时水生植物繁茂,湖泊趋于沼泽化,江河水位较低,入湖泥沙较少.0.45kaBP以来沉积的灰色粘土具有絮凝结构、水云母定向排列、颗粒较粗、有机质含量低等特征,它是入湖河流带来的泥沙在湖泊中的碎屑沉积,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.

致谢 有机质含量由湖北省农业科学院测试中心测定.中国科学院水生生物研究所施之新先生对本文硅藻生境解释有帮助.中国科学院武汉分院测试中心和小港湿地生态站给予支持.

参 考 文 献

1 Gilbert J E. Study of the fabric of fine-grained sediments with the scanning electron microscope. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1969, **39**(1):90－105

2 Bennett R H, Bryant W R, Kller G H. Clay fabric of selected submarine sediment: fundamental properties and models. *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. *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. *Journal of Sedimentary of Petrology*, 1991, **62**(1):41－53

5 方小敏,沈明智,牟昀智.武都泥石流显微构造及其形成机制初探.中国科学(B辑),1991,**21**(2):198－204

6 Van der Meer J J M. Microscopic evidence of subglacial deformation. *Quaternary Science Revieus*, 1993, **12**:553－587

7 Yi C-L. Subglacial comminution in till-evidence from microfabric studies and grain size analysis. *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 contributon from sequence stratigraphy. *Journal of Paleolimnology*, 1994, **11**:67－90

9 Peter A G, Barker P A, De Deckker P, *et al*, The Holocene history of West Basin Lake, Victoria, Australia-chemical changes based on fossil biota and sediment mineralogy. *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. *Journal of Paleolimnology*, 1994, **10**:199－212

11 Edund M B, Stoermer E F. Resting spores of the freshwater diatoms *Acanthoceras* and *Urosolenia*. *Journal of Plaeolimnology*, 1993, **9**:55－61

12 Valero-Garcés B, Kelts K R. A sedimentary facies for perennial and meromictic saline lakes: Holocene Medicine Lake Basin, South Dakota, USA. *Journal of Paleolimnology*, 1995, **14**:123－149

13 George H. Characteristics of varved clays of the Elk valley, British Columbian, Canada. *Engineering Geology*, 1986, **23**:59－74

14 Defarge C, Trichet J, Jaunet A M, *et al*. Texture of microbial sediments revealed by cryo-scanning electron microscopy. *Journal of Paleolimnology*, 1996, **16**:935－947

15 Lamoureux S F, Bradley R S. A late Holocene varved sediment record of environmental change from northern Ellesmere Island, Canada. *Journal of Paleolimnology*, 1996, **16**:239－255

16 张振克,吴瑞金,沈　吉等.近1800年来云南洱海流域气候变化与人类活动的湖泊沉积记录.湖泊科学,2000,**12**(4):297－303

17 薛　滨,王苏民,吴艳宏等.若尔盖盆地RM孔揭示的过去14万年古环境.湖泊科学,1999,**12**(3):206－212

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.第四纪研究,1997,(2):62－69

19 吴敬禄,王苏民,施雅风等.若尔盖盆地200ka以来氧同位素记录的古温度定量研究.中国科学(D辑),2000,**30**(1):73－80

20 王正瑛,张锦全,王文才等.沉积岩结构和构造图谱.北京:地质出版社,1988.56－62

21 Wartel S, Singh S P, Faas R W. The nature and significance of gas-generated microviod as "secondary" microfabric features in modern and Pleistocene marine and estuarine sediments. In :Bennett R H, Bryant W R, Hulbert M H. eds. Microstructure of fine grained sediments from mud to shale. New York: Springer-Verlag. 1991. 55－59

22 濮培民,蔡述明,朱海虹等.三峡工程与长江中游湖泊洼地环境.北京:科学出版社,1994.9－49

23 蔡述明,王学雷,黄进良等.江汉平原四湖地区区域开发与农业持续发展.北京:科学出版社,1996.73－74

24 Cai S M, Yi C L. Sedimentary features and evolution of Honghu Lake, central China. *Hydrobiologica*, 1991, **214**:341－345

Microfabric Properties of Three Types of Lacustrine Clay in the Honghu Lake and Their Sedimentary Environments

YI Chaolu

(*Department of Environmental Sciences, Institute of Geodesy and Geophysics, CAS, Wuhan* 430077, *P. R. China*)

Abstract

Core samples were collected from the Honghu Lake and in paddy soil profiles around the lake. Using SEM and polarizing microscope, the microfabrics property, grain size and organic matter content of three types of lacustrine clays were examined. The microfabrics of green clay formed during 0.9－2.5kaBP are illustrating gelatinous texture, fine particles, small voids, subangular to angular surface texture of the particles, which also has a relatively higher content of organic matter (average 3.14%). The green clay was formed by the interaction of the colloids of suspended clay sediment with that of organic matter. The Honghu lake had a open, stable environment enriched in plankton diatoms, with less sediment from the river during this period. The black clay that was formed during 0.45－1kaBP was gelatinous texture, larger circular voids, with plant remain frame. Its void size distribution displays bimodes. The origin is ascribed to the accumulation of great amount of aquatic vascular plant. During the period, the lake was shallower than the present with a lot of vescular plants. The gray clay formed since 0.45kaBP was agglutinational texture, larger sizes of voids and grain particles, orientation of flaky hydromica, subrounded to subangular surface texture of the particles, indicating certain influence by the sediment from river discharge.

Key Words Microfabric, lacustrine clay, origin, sedimentary environment, Honghu Lake, Jianghan Plain

图版说明(Captions of plates)

A. 青色粘土中的泥质结构和植物纤维(图中心暗色部分),正交偏光;Argilaceous texture and plant fiber (dark in the center of the picture) in green clay, crossed nicols;

B. 黑色粘土中的植物纤维(图中心浅色部分),SEM;Plant fiber (white in the picture) in black clay, SEM;

C. 青色粘土中的淡水中心冈硅藻(箭头所指),SEM;Diatom (arrow direction) in green clay, SEM;

D. 黑色粘土中的淡水中心冈硅藻(小环藻或冠盘藻?)(单箭头所指)和较大的孔隙(图中暗色部分);Diatom (direction of single arrow) in black clay and large void (dark in the center of the picture), SEM;

E. 黑色粘土中的凝胶结构,SEM;Gelalinous texture in black clay, SEM;

F. 青色粘土中的凝胶结构,SEM;Gelalinous texture in green clay, SEM;

G. 灰色粘土中的絮凝结构,球状团聚体(单箭头所指)和次圆状石英颗粒(双箭头所指),SEM;Agglutinational texture, spherical aggregate (direction of single arrow) and subrounded quartz particles (direction of double arrow) in gray clay, SEM;

H. 青色粘土中的次棱角状石英颗粒与粒间微孔隙,SEM;sub-angular quartz grains and inter-granular micro-voids (dark in the center of the picture), SEM;

I. 黑色粘土中较大的圆形孔隙(图中暗色部分); Circular large voids in black clay (dark in the center of the picture), SEM

易朝路：洪湖及其周围三种湖相粘土的微结构特征与沉积环境　　图版 I
YI Chaolu: Microfabric Properties of Lacustrine Clay in Honghu Lake and Their Sedimentary Environments　　Plate I

