

安徽龙河口水库流域沉积物中粘土矿物分析 及其环境意义

管章志¹, 师育新¹, 戴雪荣¹, 陶士康¹, 俞立中²

(1. 华东师范大学 地理系 上海 200062; 2. 华东师范大学 河口海岸研究所 上海 200062)

摘要 龙河口水库是巢湖上游的重要水源地,对水库钻孔 ALE 的粘土矿物进行定性和半定量分析,发现水库沉积的粘土矿物主要是绿泥石(含绿泥石/蛭石混层矿物),多年平均含量达 40%,其次是高岭石和伊利石及少量的蒙皂石,伊利石的多年平均含量只有 21%,远低于该流域中晓天河(54%)和滑石河(63.5%)的表层样。水库和龙潭河粘土矿物的含量组成较相似,与晓天河和滑石河差别较大。表层样中粘土矿物的差异主要受流域的地质地貌的影响,水库沉积物中粘土矿物的特征主要与环境动力和粘土矿物的结晶习性有密切的关系。

关键词 粘土矿物;物源;龙河口水库;安徽

中图分类号:P575.5;P579

文献标识码:A

文章编号:1000-6524(2007)01-0095-06

Clay minerals from sediments of Longhekou Reservoir basin and their environment significance

GUAN Zhang-zhi¹, SHI Yu-xin¹, DAI Xue-rong¹, TAO Shi-kang¹ and YU Li-zhong²

(1. Department of Geography, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 2. State Key Lab of Estuarine Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: The Longhekou Reservoir is a very important water source for the Chaohu Lake. Clay minerals from core ALE in the Longhekou Reservoir were analyzed qualitatively and semi-quantitatively. The result shows that the clay minerals are mainly chlorite (Ch/V), with many years' average quantity being 40%, subordinately kaolinite and illite, and minor smectite. 40 years' average quantity of illite in the reservoir is only 21%, lower than that of the surface sediments in the Xiaotian River (54%) and in the Huashi River (63.5%). The percentages of clay minerals in the Longtan River are similar to those in the Longhekou Reservoir, but obviously differ from those in the Xiaotian River and Huashi River. The physiognomic and geological features have a strong impact on the surface sediments in the Longhekou Reservoir basin, and the sediments of the Longhekou Reservoir have an intimate relationship with the environmental dynamic forces and the features of clay mineral crystallization. The results also show that the clay minerals from the Laolong River have exerted an obvious effect on the reservoir sediments, and this is very important in the control of soil erosion.

Key words: clay mineral; source sediments; Longhekou Reservoir; Anhui

大量的粘土矿物是在表生风化作用中形成的,化学成分等特征为源区母岩岩性和形成时的风化环境所控制(张乃娴,1992),因此深入研究粘土矿物的

收稿日期:2006-06-06;修订日期:2006-06-30

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40271107)

作者简介:管章志(1971-),男,硕士研究生,研究方向:沉积与环境,E-mail:guanzhangzhi@163.com

组合及其含量的变化、结构特点等特征,可以推测其形成区和来源区的风化作用类型。在我国,对于黄土、湖泊、长江、黄河、沿海及几大海域的粘土矿物研究开展的较多,成果显著,但是对于长江下游地区的湖泊粘土矿物的研究并不多见。巢湖上游重要水源地龙河口水库流域的粘土矿物特征、物质来源的研究对于认识中国南部河湖粘土矿物的沉积特征具有重要的实际意义。本文对龙河口水库流域细粒级沉积物进行了粘土矿物分析,目的是了解水库沉积物矿物特征及其与环境的关系。

1 研究区域和方法

1.1 研究区域概况

龙河口水库位于安徽省舒城县西南部,水库于 1958 年始建,1960 年完工,总库容 $9.3 \times 10^9 \text{ m}^3$,流域面积 1111 km^2 ,库区面积为 120 km^2 。流域内大面积出露的是第四系上更新统和全新统粘土和亚粘土(屠清瑛,1990)。基岩主要为坚硬的花岗岩、中性火山岩、片麻岩,且断裂发育,以上升为主的新构造运动又相当强烈,故地形特点是山高坡陡谷深。流域地貌类型以山地(海拔高度一般在 $1000 \sim 500 \text{ m}$ 左右)丘陵、岗区为主,地势由西南向东北倾斜。海拔最高的龘突尖(俗称猪头尖,海拔 1538 m)位于晓天河上游,多座山峰高于 1000 m ,坡度一般在 $35^\circ \sim 40^\circ$,有的甚至可达 70° (安徽省水利厅,1998)。流域的河流众多(图 1),其中流量以晓天河(多年年均径流量为 $3.639 \times 10^9 \text{ m}^3$)最大,其次为滑石河和龙潭河。晓天河、滑石河上游两侧以中山为主,下游两侧以低山丘陵为主;龙潭河两侧主要是低山、丘陵和平原。

2004 年 3 月课题组在龙河口水库沉积较厚的湖心区用活塞式取样器采集了长 102 cm 的柱样 ALE ($31^\circ 17' 47.4'' \text{ N}$, $116^\circ 46' 41.5'' \text{ E}$)。为了和水库沉积粘土矿物进行对比研究,同时采集了晓天河、滑石河和龙潭河的表层样,采样点主要分布于河流的河漫滩上。滑石河、晓天河表层样中的岩石沙砾颗粒较多,粘土成分含量少,龙潭河的表层样粘土成分含量高。为提取足够的粘土矿物,不同的样品称取量差别很大,晓天河和滑石河的表层样风化程度较低,每个样品称取量都为 $60 \sim 100 \text{ g}$,龙潭河每个样品需要在 $15 \sim 50 \text{ g}$ 之间,而水库柱样为湖相沉积,粘土矿物成分较高,每个样品称取量都在 10 g 以下。

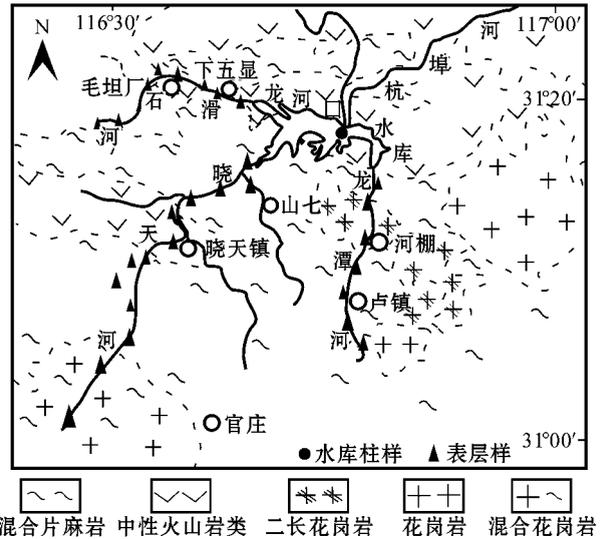


图 1 龙河口水库流域地质及采样图

(安徽省地质矿产局,1987)

Fig. 1 Geology of the Longhekou Reservoir basin and sampling sites (Bureau of Geology of Anhui Province, 1987)

1.2 研究方法

样品先用过氧化氢除去其中的有机质,再用盐酸去除其中的碳酸物,最后根据 Stocks 沉降律,从沉积物中提取出粒径小于 $2 \mu\text{m}$ 的粘土粒级,制成自然定向片(N)、乙二醇饱和片(E)、钾饱和片(K)、高温加热片(550°C 加热 2h) (H),然后采用 Philips X'Pert-MPD 衍射仪进行粘土矿物分析。X 射线衍射仪分析参数为:CuK α 辐射,电压 35 kV ,电流 25 mA ,扫描范围 $3^\circ \sim 35^\circ$,扫描速度 $0.057^\circ/\text{s}$ 。在半定量分析中用乙二醇饱和片以及高温加热片,根据 X 射线衍射谱上特征峰的强度进行相对含量的估算。粘土矿物的鉴定和解释主要依据 4 种测试条件获得的 XRD 叠加波谱的综合对比(南京大学地质系,1986;赵杏媛等,1990)。图 2(经 2 级高斯平滑)中,加热曲线同自然曲线相比较, 1.4 nm 衍射峰明显减弱、 1.0 nm 衍射峰明显增强,并出现 1.2 nm 峰,表明有绿泥石(含绿泥石/蛭石随机混层矿物)的存在;同时, 0.7 nm 衍射峰几乎消失,指示高岭石的存在。钾饱和曲线和自然曲线相比, 1 nm 衍射峰变化不明显,说明蛭石较少。乙二醇曲线同自然曲线相比较, 1.7 nm 衍射峰出现, 1.4 nm 衍射峰减弱,指示蒙皂石的存在;在 $1.0 \sim 1.4 \text{ nm}$ 之间没有出现平台或小峰,表明绿泥石(绿泥石/蛭石随机混层矿物)衍射峰移至 1.4 nm 粘土矿物中还含有少量的石英(Q)。每个波峰参数的半定量计算使用 X'Pert HighScore 软件在乙

二醇曲线上进行。粘土矿物的相对含量主要使用(001)晶面衍射峰的面积比,蒙皂石采用 1.7nm(001)晶面,伊利石采用 1.0 nm(001)晶面,绿泥石高岭石使用 1.4 nm(001)晶面,高岭石还使用了 0.358 nm(002)晶面叠加峰(Holtzapffel,1985)。

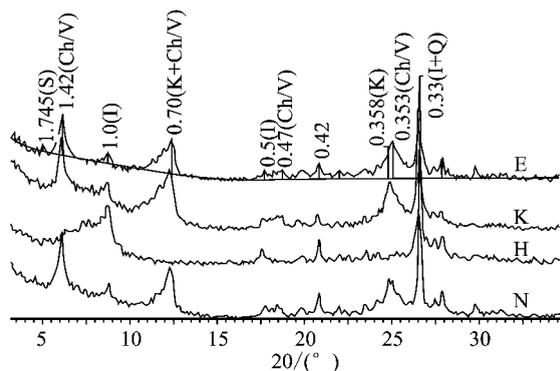


图 2 龙河口水库样品的 X 射线衍射图

Fig. 2 X-ray diffraction diagrams of clay minerals from the Longhekou Reservoir

S—蒙皂石(伊/蒙混层);I—伊利石;K—高岭石;Ch/V—绿泥石(绿泥石/蛭石混层);Q—石英
S—smectite(illite/smectite);I—illite;K—kaolinite;Ch/V—chlorite(chlorite/vermiculite);Q—quartz

2 实验结果与讨论

2.1 沉积物粘土矿物特征

X 衍射分析结果表明,水库沉积的粘土矿物主要为绿泥石、高岭石、伊利石、蒙皂石以及少量的石英,其中绿泥石含量在 27.4%~51.7%之间,40 多年来沉积的平均含量达 40.3%;伊利石含量在 12.5%~32%之间,沉积的平均含量达 21%;高岭石含量在 27.5%~44.9%之间,沉积的平均含量为 34.9%,而蒙皂石含量较低,含量在 2.5%~4.9%之间,沉积的平均含量仅 3.7%。水库柱样的粘土矿物种类及其相对含量见表 1。

为了和水库的粘土矿物进行对比研究,对流域表层样的粘土矿物做了进一步分析(表 2),结果表明表层样中均以伊利石、高岭石和绿泥石为大量矿物,而蒙皂石的含量都低于 4%。其中以滑石河和晓天河中各粘土矿物的相对含量较相似,伊利石的含量占了粘土矿物的一半以上,滑石河更高,平均达 63.5%,其次为高岭石、绿泥石,蒙皂石含量最低,都在 3.5%以下;龙潭河表层样中高岭石、绿泥石和伊

利石三者的平均含量相差不大,都在 30.1~35.5%之间。同一河流中有些样品的粘土矿物相对含量有所差异,这主要与样品点所在的位置有关。

表 1 ALE 粘土矿物成分和相对含量 %

Table 1 Mineral composition and percentage contents of clay in Core ALE

深度/cm	S	I	K	Ch/V
1	3.5	23.5	35.2	37.8
5	3.7	15.7	36.4	44.3
10	4.3	13.8	36.4	45.5
15	4.1	18.5	30	47.4
20	3.5	23.7	34.6	38.3
25	2.5	26.3	27.5	43.6
30	3	14.5	38.5	44
35	3	21.9	32.1	43
40	3.2	17.4	29.7	49.7
45	3.8	13.7	35.5	47
50	3.8	17.6	37.2	41.4
55	3.9	18.8	30.5	46.8
60	4.1	16.7	35.9	43.3
65	3	12.5	32.8	51.7
70	4.4	30.3	31.2	34.1
75	3.1	19.7	32.3	44.8
80	4.9	20	44.9	30.1
85	3.7	32	37.8	26.4
90	4.8	30.3	37.5	27.4
95	4.2	26	37.8	32.1
100	3.5	28.7	39.4	28.4
平均	3.7	21	34.9	40.3

水库中高岭石、绿泥石和蒙皂石的含量高于上述 3 条河流,但是伊利石含量明显低于滑石河、晓天河和龙潭河。伊利石从滑石河→晓天河→龙潭河→水库有减低趋势。水库中的绿泥石、高岭石、伊利石虽为大量成分,但是三者之间的差别要小于晓天河和滑石河,与龙潭河相似(略高于龙潭河)。同时流域内的水库和河流中的高岭石与绿泥石含量均相当。根据表层及湖相沉积物中的粘土矿物的相对含量,该流域的粘土矿物可分两种组合类型(按相对含量大小排列):一是滑石河、晓天河型,以伊利石-绿泥石+高岭石蒙皂石组合为特征;二是龙潭河、水库型,以高岭石、绿泥石、伊利石-蒙皂石组合为特征。

2.2 粘土矿物成因及影响因素探讨

上述结果显示流域面上和水库中的粘土矿物在

表2 流域表层样的粘土矿物成分相对含量 %

Table 2 Mineral composition and percentage contents of clay in the basin

采样点	S	I	K	Ch/V
滑石河				
H01	1.1	63.3	21.3	14.2
H05	2.7	67.8	16.2	13.3
H08	2.8	35.2	32.4	29.6
H10	0.9	83.1	6.4	9.6
H11	2.8	71.5	13.5	12.4
H13	1.9	69.1	13.2	15.8
H14	2.2	71.1	14.8	11.7
H15	2.3	58.9	13.3	25.6
H25	3.5	51.8	23.9	20.8
平均	2.2	63.5	17.2	17
晓天河				
X01	0	74.6	19.5	6
X02	2.1	68.1	15.5	14.4
X05	2.9	57.9	23.9	15.2
X07	2.4	34.6	39.8	23.2
X09	3	46.3	29	21.7
X10	3.1	75.4	12.5	9
X12	2.4	74.7	12.5	10.4
X13	1.7	34.5	22.2	41.7
X17	2.6	51.1	32.5	13.9
X18	3.5	64.4	19.7	12.3
X19	2.4	41.7	37.3	18.7
X20	3.2	39.2	38	19.5
X21	3.3	39.1	36.7	20.9
平均	2.5	54	26.1	17.5
龙潭河				
L01	1.7	31.5	32	34.9
L04	1.9	52.1	23.3	22.7
L06	3.4	18.3	38.6	39.7
L07	3.2	27.1	36.9	32.8
L11	3.4	11.8	44.7	40.1
L12	3.9	30.8	36.1	29.2
L13	3.2	38.9	36.6	21.2
平均	2.96	30.1	35.5	31.5

种类上较为一致,但河流的粘土矿物与水库各矿物在相对含量上区别较大,这主要是由于物源区的气候、地形、母岩物质的岩性特征、风化时的地质地球化学以及粘土矿物的结晶习性等因素造成的。

2.2.1 物源区气候、地形等因素

龙河口水库流域属副热带季风气候区,年平均

气温在 15~16℃ 之间,雨量充沛,且时空分布不均,流域西部最大年降水量为 947.0~1 596.5 mm,最高降水量可达 2 248.8 mm。降水集中于夏季,且以侵蚀性强的暴雨居多,该流域西南部的中山地区由于地势陡峭,故山坡上的残积、坡积物甚薄。晓天河和滑石河流域山地地表基岩物质由于受到雨水强烈冲刷及河水的切割作用,地表岩石剥蚀作用强烈,物理风化明显,所以晓天河和滑石河河水携带细粒级的粘土成分较少。高岭石是在潮湿气候酸性介质中被强烈淋滤的条件下形成的,先由花岗岩风化成长石等碎屑物质,再由长石进一步水解形成难溶的高岭石。而流域内的气候和地貌环境使得雨水的冲刷作用强于淋滤作用,导致晓天河、滑石河的高岭石含量低。

龙潭河位于水库下游的低山和丘陵地区,山脚堆积了较厚的坡积、残积物,厚度可达 30cm 左右。地貌相对平坦,多以林业(茶、桑、果)为主,较为宽阔的沟谷已辟为稻田,由于耕种作用强度大,生物风化和化学风化明显,加上雨水的淋溶作用,所以龙潭河携带的细粒级的粘土矿物成分要高于滑石河和晓天河。而生物作用、和缓地形都有利于残积高岭石的形成(熊毅,1983),所以龙潭河的高岭石要明显高于滑石河和晓天河。

2.2.2 物源区岩性的影响

水库上游是大别山元古宙变质岩、中生代火山碎屑岩及侵入岩,水库北面主要是侏罗纪的中性火山岩。滑石河和晓天河流经地区的地质类型主要为混合片麻岩、花岗岩和混合花岗岩(安徽地质矿产局,1987)。云母是片麻岩和花岗岩等的主要造岩矿物,在化学风化不太强烈时可形成含水云母较多的土壤物质(熊毅,1983),前人研究也发现岩浆岩、变质岩和沉积岩在热-湿气候条件下,大量被剥蚀的花岗岩碎屑中云母或长石绢云母化形成的伊利石等(张乃娴,1992),所以滑石河和晓天河的表层样中粘土矿物均以伊利石为主,分别达粘土矿物的 63.55% 和 53.96%。同时赵永胜(1993)在研究云南星云湖时也发现河流环境(包括分流河道和泛滥平原)不利于绿泥石的保存,而是出现伊利石-高岭石组合,伊利石平均含量为 69.9%。

绿泥石是碱性环境的产物(管俊芳等,2003),龙潭河流经地区的地质类型为二长(碱性)花岗岩、混合片麻岩及中性火山喷出岩。同时该流域卢镇还有少量下元古界的北淮阳地层的古地层出露,其原岩

是由一套火山-沉积岩系,主要由长石、石英砂质岩及基性火山岩组成,其中斜长角闪岩和大部分绿片岩属于偏碱性的玄武岩(安徽地质矿产局,1987)。熊毅(1983)的研究表明地层越老,埋藏越深,绿泥石和含绿泥石晶层矿物越多,而酸性火成岩形成的母岩中一般没有绿泥石。绿泥石属于初期风化阶段的层状硅酸盐,绿泥石的主要阳离子为 Si^{4+} 、 Al^{3+} 、 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} ,在风化作用期间,其水镁层内的二价铁容易氧化,所以绿泥石只能存在于化学风化作用受抑制的地区。我国不仅高寒的高原和山地土壤中多绿泥石,就连台中大甲溪沉积物所成的水稻土中也有不少绿泥石与高岭石伴生(熊毅,1983)。龙潭河粘粒中大量绿泥石的存在也是流域土壤发育程度不高的象征。

流域内的蒙皂石含量都较低,南方湿热的环境不利于蒙皂石的保存,但在有充足水供给的情况下由火山岩或火山物质蚀变而形成,可以不依赖特定的气候条件(Chamley,1989),该流域就存在一定面积的中性火山岩。熊国炎(1979)发现由中性火山岩发育的大兴安岭灰化土中存在大量结晶较好的蒙皂石。蒙皂石在粘土中颗粒最小、重量最轻,是水体中最易于悬浮和搬运的粘土矿物部分,造成水库沉积的蒙皂石略高于表层样。

2.2.3 水动力和粘土矿物特征对沉积的影响

进入库区的粘土矿物,其沉积分布特征受许多因素的影响,由于粘土矿物颗粒微细($<2\mu m$)对水动力作用很敏感,所以沉积区的水动力条件是影响粘土矿物分布的最主要的因素。粘土矿物的沉积主要依靠絮凝作用,所以粘土矿物的自身结晶习性也是影响粘土矿物分布的重要因素(辛春英等,1998;Clift *et al.*, 2002)。

一般来说近岸河口区湖水矿化度高絮凝作用强,但是水动力作用也较强,所以对呈假六方厚板状的高岭石类矿物来说容易先在这里沉淀下来,却不易于呈鳞片状的伊利石、蒙皂石等沉积,使得伊利石、蒙皂石等可以运移到离河口较远的距离。离岸较远的湖心区,湖水矿化度低絮凝作用有所降低,但水动力作用相对更弱,绿泥石、呈碎片状或鳞片状的伊利石与蒙皂石便逐渐在这里絮凝沉淀下来,同时由于龙潭河的河口和水库采样点距离较近,由龙潭河携带的高岭石等也在此大量沉积。所以 ALE 中的高岭石主要来源于龙潭河,而伊利石、蒙皂石、绿泥石来源于各河流。对于晶体表面积较大的蒙皂石来

说,由于其吸附作用较强,其沉积速率要远远大于表面积较小的伊利石(蒙皂石的表面积约是伊利石的 53 倍)(中科院贵阳地球化学研究所,1978;南京大学地质系,1986),库区水体中的伊利石由于沉积速率低,长期悬于水中,所以水库中沉积的伊利石含量明显低于上述的 3 条河流。

近年来流域的乱砍滥伐,造成林地面积大量减少,在 1962~1982 年的 20 年时间内,平均减少近 $15 km^2/a$,减少速度最快,1982~1992 年的 10 年时间内,林地面积平均减少近 $12 km^2/a$ (安徽省水利厅,1998)。林地的急剧减少导致水土流失现象日趋严重,据安徽省龙河口水库管理处 1957 年 7 月和 1984 年 10 月两次测算,27 年间库区共有淤积泥沙 $34.945 \times 10^6 m^3$ 。水土流失和库区淤积,一方面造成水体的矿化程度增高,水库中高岭石和绿泥石的絮凝作用加强,其次导致流域土壤发育程度较低,水库沉积物自 80 cm 以上,其中绿泥石的含量一直维持在较高水平(基本都在 40% 以上);最后是水库库容减小,悬于水体中的伊利石等更多地流向下游湖泊,使得水库沉积物中伊利石的相对含量在递减。

河流与水库粘土矿物平均含量的相关性分析表明(表 3),河流表层样与水库沉积物的相关系数(r)大小依次为龙潭河、晓天河、滑石河,经相关系数检验龙潭河和水库的相关概率大于 95%,而晓天河和水库的相关概率低于 70%,滑石河更低,所以水库中沉积细粒级的粘土矿物受龙潭河影响较大。

表 3 流域和水库粘土矿物平均含量及相关性

Table 3 Average mineral contents and correlation coefficients of clay from Core ALE and the basin

	S	I	K	Ch/V	r
滑石河	2.2	63.5	17.2	17	0.564
晓天河	2.5	54	26.1	17.5	0.681
龙潭河	3	30.1	35.5	31.5	0.964
水库	3.7	21	34.9	40.3	-

3 结论

(1) 龙河口水库沉积的粘土矿物主要为绿泥石(绿泥石/蛭石混层),其次是高岭石和伊利石及少量的蒙皂石。水库与物源区粘土矿物相对含量的分析对比表明,水库和龙潭河的粘土矿物组成为同一类

型,且水库中细粒级的粘土矿物主要来源于龙潭河,受晓天河和滑石河的影响小。

(2) 河流中各粘土矿物含量的明显不同表现在,滑石河和晓天河中粘土矿物中的伊利石含量大于高岭石+绿泥石+蒙皂石的总和;而龙潭河流经地区,由于物理、化学风化程度相当,除了蒙皂石含量较低外,其他各粘土矿物含量相差不大。表层河流的粘土矿物组分特征不同说明了流域地质地貌的差异以及地表物质风化程度的不同。

(3) 水库沉积物中绿泥石含量较高是由于流域的乱砍滥伐、毁林造地、水土流失严重所致,造成土壤化程度很低,土壤中的粘土矿物以绿泥石为大量矿物。

致谢 张卫国、顾成军、李良杰等人采集了样品,表示感谢!

References

Bureau of Geology of Anhui Province. 1987. The Regional Geology of Anhui Province [M]. Beijing: Geological Publishing, 19~176 (in Chinese).

Bureau of Water Resources of Anhui Province. 1998. Flood and Drought Disaster of Anhui [M]. Beijing: China Water Resource and Electricpower Press, 90~93 (in Chinese).

Chamley H. 1989. Claysedimentology [M]. Berlin: Springer Verlag, 1~625.

Clift P, Lee J I, Clark M K, et al. 2002. Erosional response of South China to a rearing and monsoonal strengthening: a record from the South China Sea [J]. Marine Geology, 184: 207~226.

Guan Junfang, Lu Yi, Chen Linli, et al. 2003. Forming and transforming of clay minerals of sandstone and mudstone in Carboniferous-Permian system, South North China area [J]. North Western Geology, 36(1): 74~77 (in Chinese).

Holtzapffel T. 1985. Les mineraux argileux: preparation, analyse diffractométrique et détermination [J]. Soc. Geol. Nord. Publ., 12: 1~136.

Mineral X-ray Diffraction Study on Powder Crystallography Company of Comoile Group, Guiyang Institute of Geochemistry Academia Sinica, 1978. Mineral X-ray Diffraction Study on Powder Crystallography Company [M]. Beijing: Science Press, 270~291 (in Chinese).

The mineral Lithology Staff Room of Department Geology of Nanjing University. 1986. Material Phase Analysis of Crystal powder in X-ray. [M]. Beijing: Geological Publishing House, 180~197 (in Chinese).

nese).

Tu Qingying. 1990. Study on Chaohu Lake Eutrophication [M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 5~18 (in Chinese).

Xin Chunying, He Liangbiao and Wang Huiyan. 1998. Clay minerals in the surficial sediments from the Huanghe (Yellow River) estuary and its offshore area [J]. Journal of Oceanography of Huanghai and Bohai Seas, 16(4): 23~27 (in Chinese).

Xiong Guoyan. 1979. The podzolic soils of the Northern Greater Hing'an mountains [J]. Acta Pedologica Sinica (16) (in Chinese).

Xiong Yi. 1983. Soil Colloid (Ed. 1) [M]. Beijing: China Science Press, 15~111 (in Chinese).

Zhang Naixian. 1992. Clayminerals and Weathering [J]. Nonmetall Geology, 6: 1~6 (in Chinese).

Zhao Xingyuan and Zhang Youyu. 1990. Clay Mineral and Analysis of Claymineral [M]. Beijing: China Ocean Press, 106~153 (in Chinese).

Zhao Yongsheng. 1993. Preliminary study on the relationship between the characteristics of clay mineral assemblage and sedimentary environments in down-faulted lake basins of Xingyun Lake, Yunnan Province [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 24(5): 447~455 (in Chinese).

附中文参考文献

安徽省地质矿产局. 1987. 安徽区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 19~176.

安徽省水利厅. 1998. 安徽水旱灾害 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 90~93.

管俊芳, 陆琦, 陈林丽, 等. 2003. 南华北地区石炭-二叠系砂岩和泥岩中的粘土矿物的形成与转化 [J]. 西北地质 (1): 74~77.

南京大学地质系矿物岩石学教研室. 1986. 粉晶 X 射线物相分析 [M]. 北京: 地质出版社, 180~197.

屠清瑛. 1990. 巢湖-富营养化研究 [M]. 合肥: 中国科技大学出版社, 5~6.

辛春英, 何良彪, 王慧艳. 1998. 黄河口及其近岸区的粘土矿物 [J]. 黄渤海海洋, 16(4): 23~27.

熊国炎. 1979. 大兴安岭北部的灰化土 [J]. 土壤学报, 16.

熊毅. 1983. 土壤胶体 (第一册) [M]. 北京: 科学出版社, 15~111.

张乃娴. 1992. 粘土矿物与风化作用 [J]. 建材地质 (6): 1~6.

赵杏媛, 张有瑜. 1990. 粘土矿物与粘土矿物分析 [M]. 北京: 海洋出版社, 106~153.

赵永胜. 1993. 云南星云湖断陷湖盆中粘土矿物组合特征与沉积环境关系的初步探讨 [J]. 海洋与湖沼, 24(5): 447~455.

中国科学院贵阳地球化学研究所《矿物 X 射线粉晶鉴定手册》编著组. 1978. 矿物 X 射线粉晶鉴定手册 [M]. 北京: 科学出版社, 270~291.