

# 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\*

赵永胜

(成都地质学院, 四川 610059)

**提要** 于1988年对云南星云湖湖盆地区进行调查,运用X射线衍射、差热分析、红外光谱分析和扫描电镜方法,对该盆地的第四系泥岩和现代沉积环境的泥质沉积物的49个样品进行研究。发现,现代环境中粘土矿物分布规律明显,且与第四系沉积物有对比性,从而推断盆地沉积环境分布和演化与泥质沉积物的微量元素聚类分析结果相吻合。

**关键词** 粘土矿物 沉积环境 比较沉积学 微量元素

粘土矿物是多种地质因素综合作用的产物,它一方面反映蚀源区岩石种类的差异;另一方面还反映盆地性质、沉积环境及沉积介质(pH, Eb值和盐度)的变化。本文对比沉积学对云南星云湖湖盆的现代和古代泥岩样品进行研究,可为盆地分析提供有用的信息,也为构造格局和古湖盆形态相似的东部油田如东濮凹陷、东营凹陷进一步研究古沉积微相提供借鉴模式。

## 1 取样地点及样品的制备

星云湖位于云南高原,是受断陷控制的断陷湖盆。星云湖南北平均长为10.5km,东西平均宽为3.8km,面积为38.1km<sup>2</sup>,湖水最深为11.3m,平均水深为7m(赵永胜等,1988)。根据星云湖湖盆地貌特征,取样14个,样品取于河流、河流入湖处的三角洲及开阔浅水湖环境(图1);取样深度为1—5m,表层样品、井下样品采集于902井、1501井,不同深度的样品35个。共49个样品。将样品浸泡、提纯,用双氧水(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)除去有机质,用所提取的小于0.002mm的粘土矿物供分析之用,为区分不同的粘土矿物,对同一样品做乙醇处理和加热。

## 2 粘土矿物的识别和半定量分析

**2.1 粘土矿物的鉴定** 以X射线衍射、差热分析、红外光谱分析(图2)以及扫描电镜方法对样品所作的研究表明,该区粘土矿物主要有伊利石、高岭石、蒙脱石及绿泥石。

**2.1.1 伊利石** 9.976—9.929 Å, 4.983—4.969 Å, 3.335—3.346 Å范围是伊利石d<sub>(001)</sub>, d<sub>(002)</sub>, d<sub>(003)</sub>的特征衍射峰(图2),加乙醇处理无变化,加热550°C, d<sub>(001)</sub>更强;根据d<sub>(002)</sub>反射强度和d<sub>(006)</sub>的反射值分析,伊利石为三八面体型。在差热分析曲线上,590°C,145°C出现吸热谷;940°C出现放热峰(图3)。据红外光谱分析,3620cm<sup>-1</sup>,3410cm<sup>-1</sup>,1020cm<sup>-1</sup>出现强的谱带;910cm<sup>-1</sup>呈扇形(图4)。

\* 外协项目。样品采集得到云南舟桥部队的帮助;成文过程中得到赵震飞教授的指导,谨致谢意。

收稿日期:1991年6月29日,接受日期:1993年5月31日。

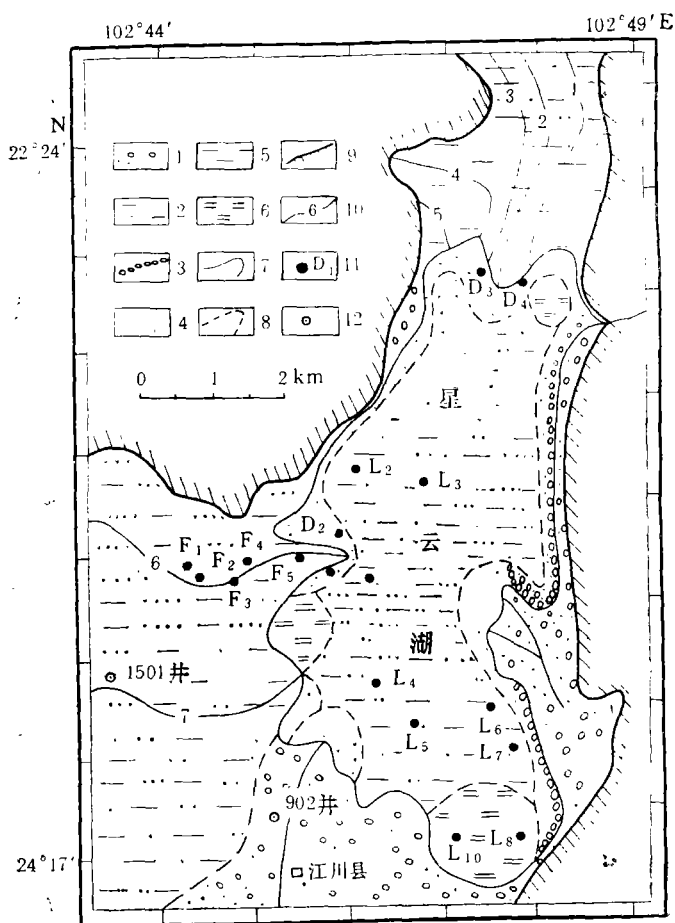


图1 星云湖现代环境与样品分布(据赵永胜、赵霞飞等修改, 1988)

Fig. 1 Modern environment and samples distribution in Xingyun Lake, Yunnan Province

1. 扇三角洲沉积; 2. 河流三角洲沉积; 3. 岸线砾石带沉积; 4. 岸线砂质带(包括三角洲前缘);  
5. 浅湖沉积; 6. 湖湾沉积; 7. 星云湖界线; 8. 沉积环境界线; 9. 盆地边缘周界; 10. 现代河流编号;  
11. 取样点位; 12. 井位。

**2.1.2 高岭石**  $d_{(001)}$ ,  $d_{(002)}$ 面反射峰面为  $7.189-7.129 \text{ \AA}$  和  $3.485-3.571 \text{ \AA}$ , 是高岭石的特征峰, 加乙醇处理  $d_{(001)}$  值不变; 加热  $550^\circ\text{C}$ ,  $d_{(001)}$  消失(图2)。差热分析曲线上,  $600^\circ\text{C}$  出现吸热谷;  $980^\circ\text{C}$  出现放热峰(图3)。红外光谱带为  $3690 \text{ cm}^{-1}$ ,  $3620 \text{ cm}^{-1}$ ,  $1100 \text{ cm}^{-1}$ ,  $690 \text{ cm}^{-1}$ (图4)。扫描电镜下呈假六边形、不规则方形、书页状(图版 I:1)。

**2.1.3 蒙脱石** 蒙脱石  $d_{Ca(001)}$  值为  $14.906-14.447 \text{ \AA}$ (图2), 而钠蒙脱石  $d_{Na(001)}$  值为  $12-13 \text{ \AA}$ , 加乙醇处理, 处理后,  $d_{Na(001)}$  增至  $17 \text{ \AA}$ ; 加热到  $300^\circ\text{C}$ ,  $d_{(001)}$  为  $10 \text{ \AA}$ 。差热分析表明,  $145^\circ\text{C}$ ,  $780^\circ\text{C}$  出现吸热谷(图3)。扫描电镜表明, 蒙脱石呈云状、花瓣状及不规则板状(图版 I:2, 3)。

**2.1.4 绿泥石** 绿泥石  $d_{(001)}$   $14.414 \text{ \AA}$  反射峰明显, 加热  $d_{(001)}$  更明显;  $d_{(002)}$  为  $7.098 \text{ \AA}$ ,  $d_{(004)}$  为  $3.745 \text{ \AA}$ (图2)。扫描电镜下呈片状(图版 I:4)。  $d_{(001)}$  和  $d_{(002)}$  值变化范围为

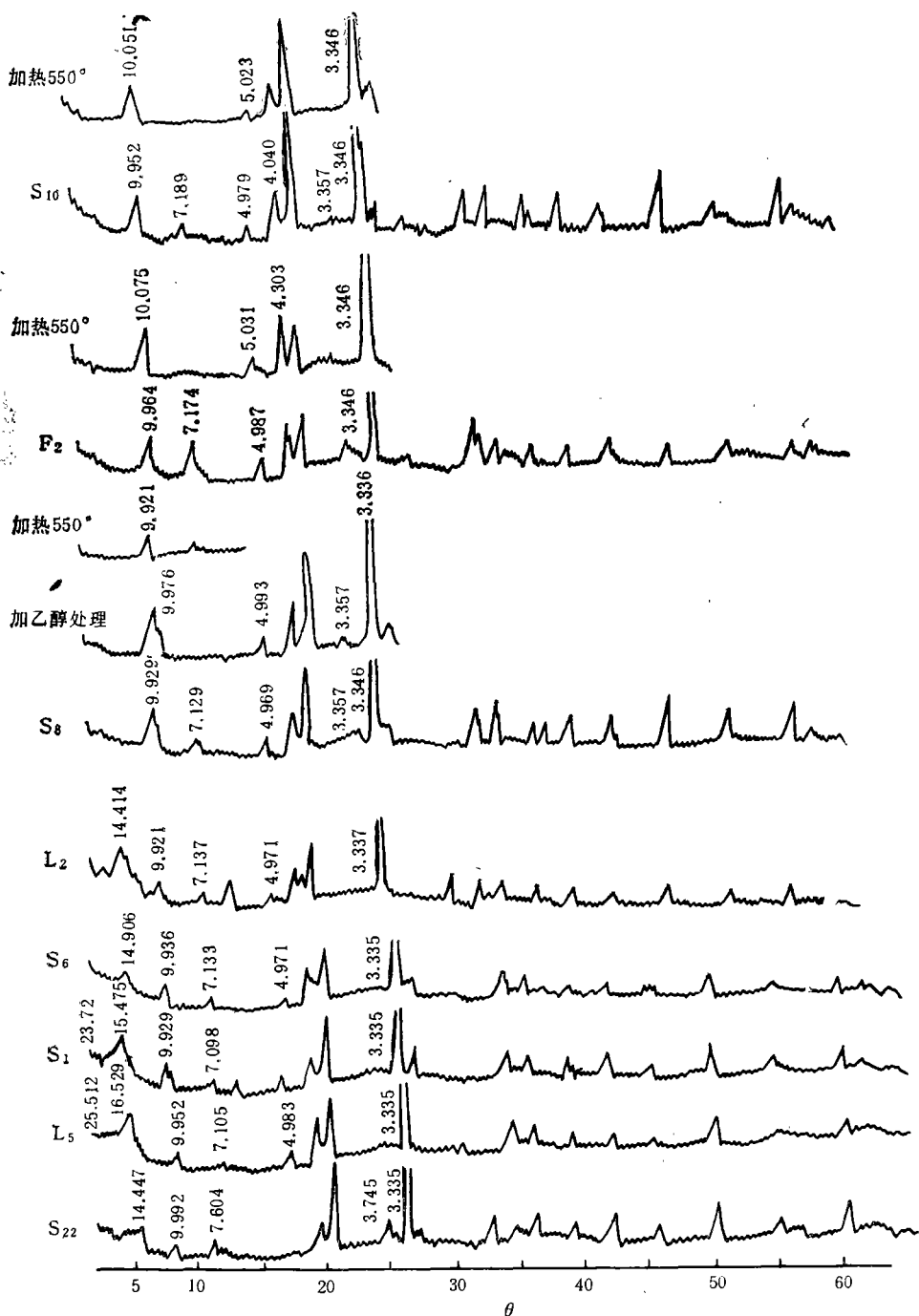


图2 粘土矿物的X射线衍射图(样品由中国科学院成都分院X光室分析)

Fig. 2 X-ray diffractogram of clay mineral in Xingyun Lake, Yunnan Province

23.721—25.512 Å 和 13.125—14.427 Å, 可能为伊利石-蒙脱石混合层矿物。在扫描电镜下还能见到蒙脱石向埃洛石、高岭石转化(图版 I:5)。

## 2.2 粘土矿物的半定量分析

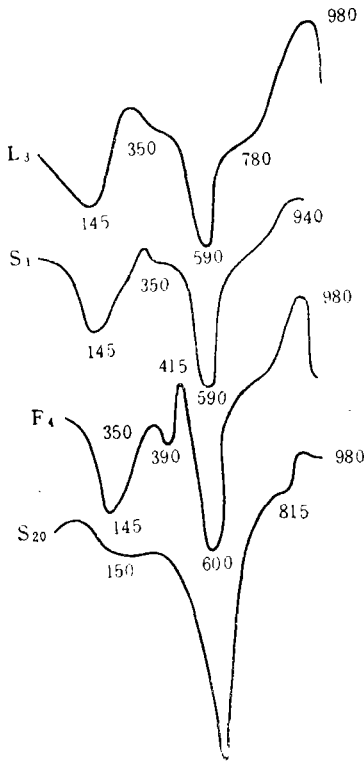


图 3 粘土矿物差热分析曲线  
(单位:  $^{\circ}\text{C}$ ) (样品由成都地质  
学院测试中心分析, 图 4、图 6 同)  
Fig. 3 Differential thermal curves of clay mineral in Xingyun  
Lake, Yunnan Province

用 Johns 和 Biscaye 法, 根据 X 射线衍射的峰值强度与经验参数值(南京大学地质学系矿物岩石教研室, 1980), 计算出各种成分的含量(包括非粘土成分石英、长石), 在此基础上将粘土矿物换算成相对含量。各种粘土矿物的百分含量见表 1。

## 3 现代沉积环境中粘土矿物的组合特征及分布规律

从表 1 可以看出, 现代沉积环境中粘土矿物组合不同, 有一定的分布规律。

**3.1 河流环境**(包括分流河道和泛滥平原)不利于蒙脱石、绿泥石的保存, 而出现伊利石-高岭石组合。以相对含量多少为序, 伊利石平均含量为 69.6%, 高岭石平均含量为 30.4%, 向湖方向含量降低。

**3.2 开阔浅水湖**(湖泊沉积中心)蒙脱石的含量相对高, 平均含量为 28.2%。从湖边缘到湖盆中心, 蒙脱石的含量增加, 这与蒙脱石的形成条件相一致, 较高的 pH 值(现代湖水 pH 值为 8.83)水介质, 有利于蒙脱石的形成。伊利石、高岭石含量减少, 绿泥石含量增加, 粘土矿物组合为蒙脱石-伊利石-高岭石组合。

**3.3 三角洲沉积环境**出现高岭石-伊利石-绿泥石-蒙脱石组合, 高岭石平均含量为 32.5%; 伊利石平均含量为 29.25%; 蒙脱石平均含量为 18.25%; 绿泥石平均含量为 20.0%。蒙脱石含量明显低于湖区, 高岭石和绿泥石含量高于湖区。

这种从盆地边缘河流到湖中心, 高岭石含量减少, 蒙脱石、绿泥石含量增加的现象, 在

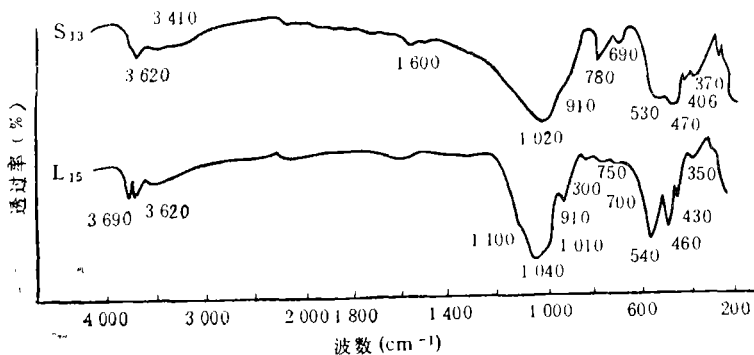


图 4 粘土矿物红外光谱分析

Fig. 4 Infrared absorption spectrum of clay mineral in Xingyun Lake, Yunnan Province

表 1 星云湖断陷湖盆中粘土矿物的含量变化(%)

Tab.1 Change in clay mineral content(%) in the Xingyun down-faulted lake basin, Yunnan Province

样品	含 量					样品	含 量				
	伊利石	蒙脱石	高岭石	绿泥石	备注		伊利石	蒙脱石	高岭石	绿泥石	备注
F <sub>1</sub>	76	0	24	0	泛滥环境	S <sub>1</sub>	60	24	8	8	902井
F <sub>2</sub>	70	0	30	0	河流	S <sub>2</sub>	60	24	10	6	902井
F <sub>3</sub>	52	0	48	0	河流	S <sub>3</sub>	40	44	6	8	902井
F <sub>4</sub>	77	0	23	0	河流	S <sub>4</sub>	40	50	4	6	902井
F <sub>5</sub>	73	0	27	0	河流	S <sub>5</sub>	76	10	6	8	902井
L <sub>1</sub>	41	26	21	12	浅湖	S <sub>6</sub>	42	30	16	12	902井
L <sub>2</sub>	39	30	23	8	浅湖	S <sub>7</sub>	65	20	10	5	902井
L <sub>3</sub>	26	27	32	15	浅湖	S <sub>8</sub>	85	0	15	0	902井
L <sub>4</sub>	47	24	19	10	浅湖	S <sub>9</sub>	40	4	20	16	902井
L <sub>5</sub>	33	34	25	8	浅湖	S <sub>10</sub>	24	63	7	6	902井
D <sub>1</sub>	29	20	29	22	三角洲	S <sub>11</sub>	52	28	10	10	902井
D <sub>2</sub>	28	17	30	25	三角洲	S <sub>21</sub>	74	0	26	0	1501井
D <sub>3</sub>	32	15	37	16	三角洲	S <sub>22</sub>	78	0	8	14	1501井
D <sub>4</sub>	28	21	34	17	三角洲	S <sub>23</sub>	84	0	16	0	1501井

国内外现代沉积中均有报道(张立仁,1989; 何良彪,1984; 吕全荣等,1985; 罗建宁等,1984; Ronld, 1977), 充分证明粘土矿物组合与沉积环境关系是密切的。

不同的沉积环境具有不同的粘土矿物组合, 究其原因为:

(1) 粘土颗粒的化学分异作用的影响 粘土矿物有较强的阳离子交换和吸附能力, 该能力明显地受控于介质的地球化学条件。在酸性的水介质中, 高岭石的稳定程度大于蒙脱石, 蒙脱石向高岭石转化; 在碱性的水介质中, 蒙脱石比较稳定, 高岭石则向蒙脱石、伊利石转化: 从而在不同的介质环境中形成不同的粘土矿物组合。此外在三角洲前缘环境中, 由于河流水与湖水汇合, 造成从河流向湖方向水介质盐度增高的趋势, 也使粘土质点因差异絮凝而发生分异作用。伊利石和高岭石的絮凝效应比蒙脱石大, 故在这种介质条件下会出现先沉积高岭石、伊利石, 后沉积蒙脱石的现象, 从而加强了粘土矿物组合的分异。

(2) 粘土矿物机械分异作用的影响 在扫描电镜下, 粘土矿物的粒径大小不一样, 高岭石、伊利石较大, 一般为 2—4 $\mu\text{m}$ , 而蒙脱石较小, 仅 0.1 $\mu\text{m}$  或更小。因此在沉积过程中, 这些不同粒径的粘土颗粒会随水动力条件的逐渐减弱而依次沉积伊利石、高岭石和蒙脱石。这种粒径大小造成的分异作用在河口地区更明显, 如在长江、黄河入海口高岭石和伊利石呈舌状向海减少; 蒙脱石则向海方向递增(何良彪, 1984; 吕全荣等, 1985)。

#### 4 湖盆中粘土矿物组合与沉积环境分析

一般沉积盆地中泥岩的粘土矿物的形成受 4 种因素的控制: 陆源区母岩岩性、母岩的风化物、盆地水体特征(包括沉积环境)和后生成岩作用。由于所对比的样品均采自同一沉积盆地, 时代相近, 埋藏较浅, 成岩作用不明显, 有理由认为粘土矿物组合差异并非是物源成分和成岩作用所致, 而是受沉积环境中水动力和水化学影响的结果。因此, 可以用

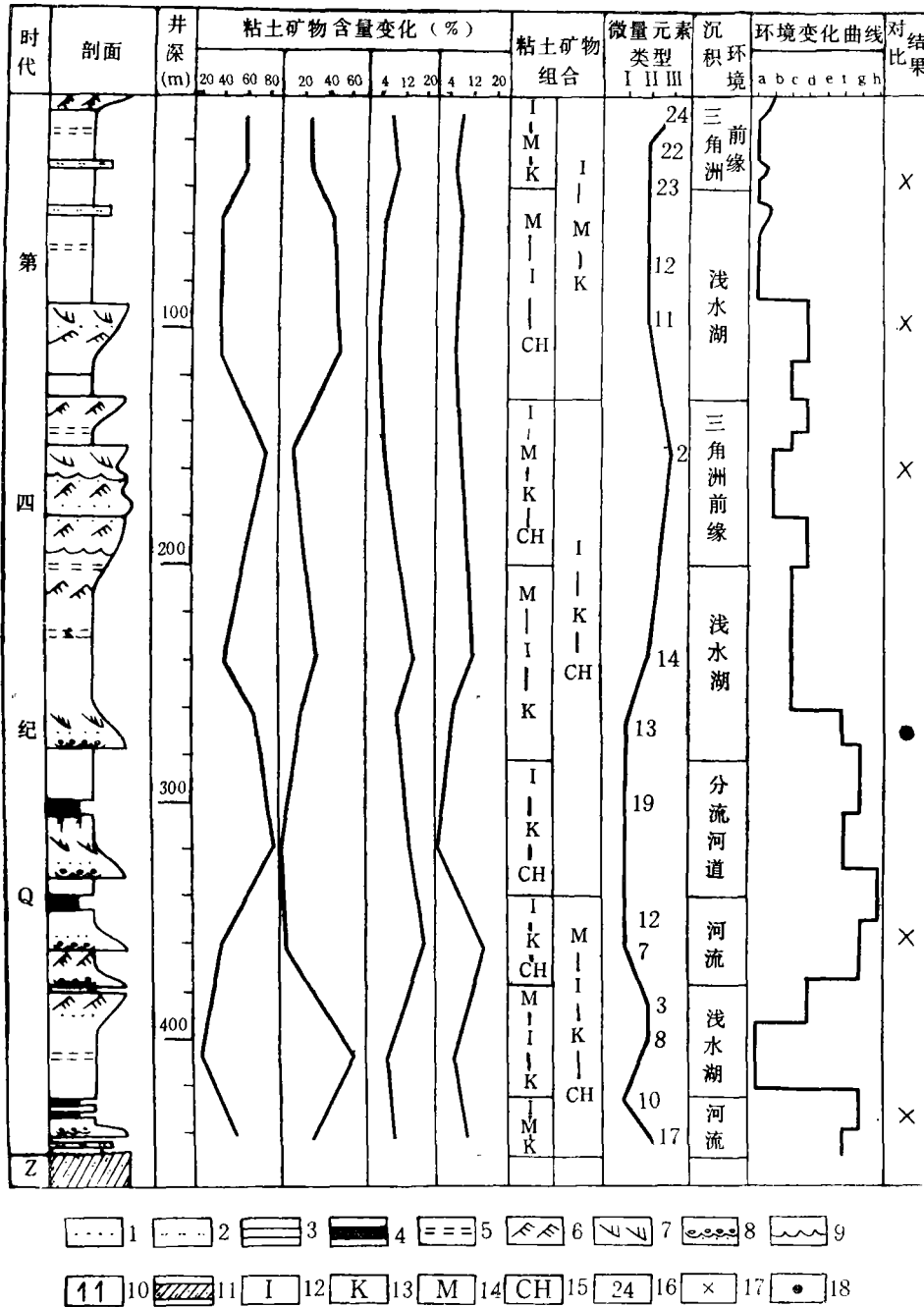


图5 星云湖断陷湖盆中902井第四系沉积环境综合分析对比

Fig.5 Comparison diagram showing the correlation and comprehensive analysis of Quaternary sedimentary environments at the well. 902 in the Xingyun down-faulted lake basin, Yunnan Province

1.细砂;2.粉砂;3.泥岩(粘土);4.煤层;5.水平层理;6.小型交错层理;7.大型交错层理;8.冲刷构造  
 9.浪成构造;10.植物根系;11.基底砂岩;12.伊利石;13.高岭石;14.蒙脱石;15.绿泥石;16.样品编号;17.吻合;18.不吻合。 a. 浅湖; b. 滨湖; c. 前三角洲; d. 三角洲前缘; e. 三角洲平原; f. 河流; g. 泛滥沉积; h. 沼泽。

来分析盆地的沉积环境。

**4.1 粘土矿物含量变化及组合类型** 粘土矿物的含量变化如图 5 所示。

由图 5 可见,伊利石是盆地内分布最广、数量最多的粘土矿物,含量高达 85%,一般介于 40%—70% 之间,自下而上出现有规律的变化;高岭石在垂向上分布连续,含量变化介于 4%—24% 之间,往上有减少的趋势。蒙脱石的变化较为显著,并深 320m 处缺少蒙脱石,自下而上出现增加→减少→增加→减少→增加的变化规律,含量高达 63%,低到没有;绿泥石的变化与蒙脱石相似,但含量较低,介于 5%—16% 之间。

根据粘土矿物含量变化,可以把盆地第四系沉积物的粘土矿物分为以下组合特征(图 5)。

(1) 下部组合 (450 m→340 m) 以含蒙脱石高为特征,伊利石含量介于 24%—52% 之间,高岭石和绿泥石含量往上增加,因此出现蒙脱石-伊利石-高岭石-绿泥石组合。

(2) 中部组合 (340m→130m) 以伊利石含量高为特征,可达 85%—76%,低含量或没有蒙脱石出现。但在 280—200m 处,出现蒙脱石含量相对高带,达 20%—30%,往上蒙脱石含量增加,绿泥石和高岭石含量有降低的迹象,出现伊利石-蒙脱石-高岭石-绿泥石组合。

(3) 上部组合 (130m→地表) 蒙脱石含量相对高,往上有降低之势;伊利石含量逐渐增加,达 60%;高岭石含量往上增高;绿泥石变化不明显,总体有增加的趋势:故出现伊利石-蒙脱石-高岭石组合。

**4.2 微量元素分析** 微量元素的种类及含量与其所附着的沉积物类型和沉积时介质条件密切相关,为此对所采集的粘土样品作了光谱半定量分析,检测了所含的 43 个元素的含量。因在不同深度,若干元素没有变化,故选出了 Al, Ba, B, Be, Bi, Ca, Cr, Cu, Fe, Ga, Mn, Mg, Mo, Na, Ni, Pb, Ti, V, Zr, Sn 等 20 多个元素作为研究对象,进行了电算处理和 Q 型聚类分析,得到谱系图(图 6)。

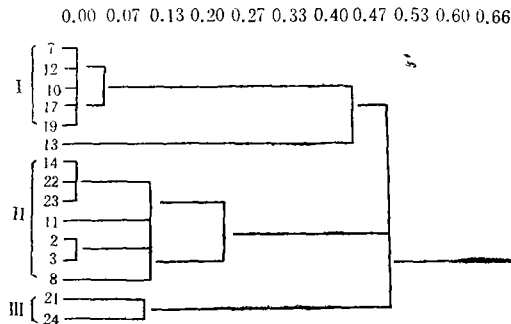


图 6 粘土矿物微量元素 Q 型聚类分类谱系图

Fig. 6 Q-type category diagram of trace elements of clay mineral in Xingyun Lake, Yunnan Province

7 代表样品号; 0.27 表示相似系数; I 表示为一类。

由图 6 可见,样品可分为三个总体,根据其它特征可以认为, I 类为河流泛滥平原环

境, II 类为浅水湖沉积, III 类为三角洲前缘和近滨环境, 这与粘土矿物组合特征所解释的结果基本吻合。

**4.3 沉积环境探讨** 利用粘土矿物组合特征和比较沉积学研究, 对盆地的沉积环境及水介质条件进行解释, 其结论基本与其它成因标志的解释相吻合。图 5 中粘土矿物的组合特征与沉积物垂向变化、微量元素、沉积构造组合层序所反映的沉积环境基本一致。

该区粘土矿物大部分来自陆源, 同时也存在自生粘土矿物。伊利石是盆内分布最广的粘土矿物, 据电镜分析显示碎屑沉积的特点。伊利石比较稳定, 不易分解, 能适应 pH 值的变化。在含钾离子较高的碱性介质中蒙脱石吸附钾离子脱水转变成伊利石。在碱性介质条件下, 火山物质易变成蒙脱石, 故蒙脱石可以反映蚀源区组成与火山岩系有关。而在含盐度增大的水体中, 沉淀顺序是高岭石→伊利石→蒙脱石, 说明蒙脱石形成于一定含盐度的水介质, 水体稳定也有利于蒙脱石形成, 故湖区蒙脱石含量一般较高。而盆地边缘 1501 井粘土中没有蒙脱石, 反映介质不利于蒙脱石形成, 为流动介质(如河流沉积环境)。

高岭石形成条件正好与蒙脱石相反, 它是在潮湿气候酸性介质中岩石被强烈淋滤的条件下形成的。碱性介质不利于高岭石的形成和保存, 盆地中自生高岭石与蒙脱石共生(图版 1:6)正好反映了三角洲沉积环境。绿泥石不稳定, 经过长期搬运要发生分解, 因此其含量变化可以反映蚀源区的远近, 该盆地沉积物以近源沉积为主。

## 5 结语

**5.1** 云南星云湖断陷湖盆现代和第四系沉积物中, 粘土矿物主要有伊利石、蒙脱石、高岭石和绿泥石, 但其含量不相等, 粘土矿物含量的变化反映了沉积介质水动力和水化学的改变。

**5.2** 沉积物中粘土矿物组合的差异是由粘土矿物自身的性质、介质的水化学和水动力的变化所致, 即由盆地的沉积环境所决定。

现代环境中粘土矿物出现有规律的分布, 粘土矿物组合与沉积环境之间关系明显, 即河流环境中出现伊利石-高岭石组合; 三角洲前缘环境中出现高岭石-伊利石-绿泥石-蒙脱石组合; 浅水湖环境为蒙脱石-伊利石-高岭石组合; 且从盆地边缘到湖中心, 高岭石、伊利石含量减少, 蒙脱石、绿泥石含量增加。

**5.3** 现代沉积环境中粘土矿物组合与分布规律可以用于盆地的沉积环境分析, 利用粘土矿物组合特征所分析的沉积环境与其它参数的研究结果相吻合。

**5.4** 湖盆第四系粘土中部分层段富含蒙脱石与沉积时介质、环境和蚀源区有关, 而与埋藏后成岩作用关系不大, 盆地中 902 井埋深 320m 处缺乏蒙脱石便是佐证。

泥岩中粘土矿物组合和结构、构造等与沉积环境的关系远还没有弄清楚, 本文粗浅地探讨了断陷湖盆中粘土矿物组合与沉积环境的关系。

## 参 考 文 献

- 张立仁, 1989, 洱海粘土矿物的初步研究, 海洋与湖沼, 20(4): 375—380。  
何良彪, 1984, 渤海表层沉积物中的粘土矿物, 海洋学报, 6(2): 237—243。  
吕全荣、王效京, 1985, 长江口细粒沉积物的粘土矿物及地球化学特征, 沉积学报, 3(4): 142—151。  
罗建宁等, 1984, 昆明盆地盘龙江三角洲平原至滇池湖区第四纪沉积相研究, 中国地质科学院成都地质矿产研究所所刊(第 5 号), 地质出版社(北京), 1—20。  
南京大学地质学系矿物岩石教研室, 1980, 粉晶 X 射线物相分析, 地质出版社(北京), 180—196。



- 赵永胜、赵震飞, 1988, 云南江川星云湖盆现代沉积的初步研究, 成都地质学院学报, 15(3): 83—92。  
Ronld, J. G., 1977, Clay mineral segregation in the marine environment, *J. Sedim. Petrol.* 47(1):237—243.

## A 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

Zhao Yongsheng

(Chengdu College of Geology, Sichuan 610059)

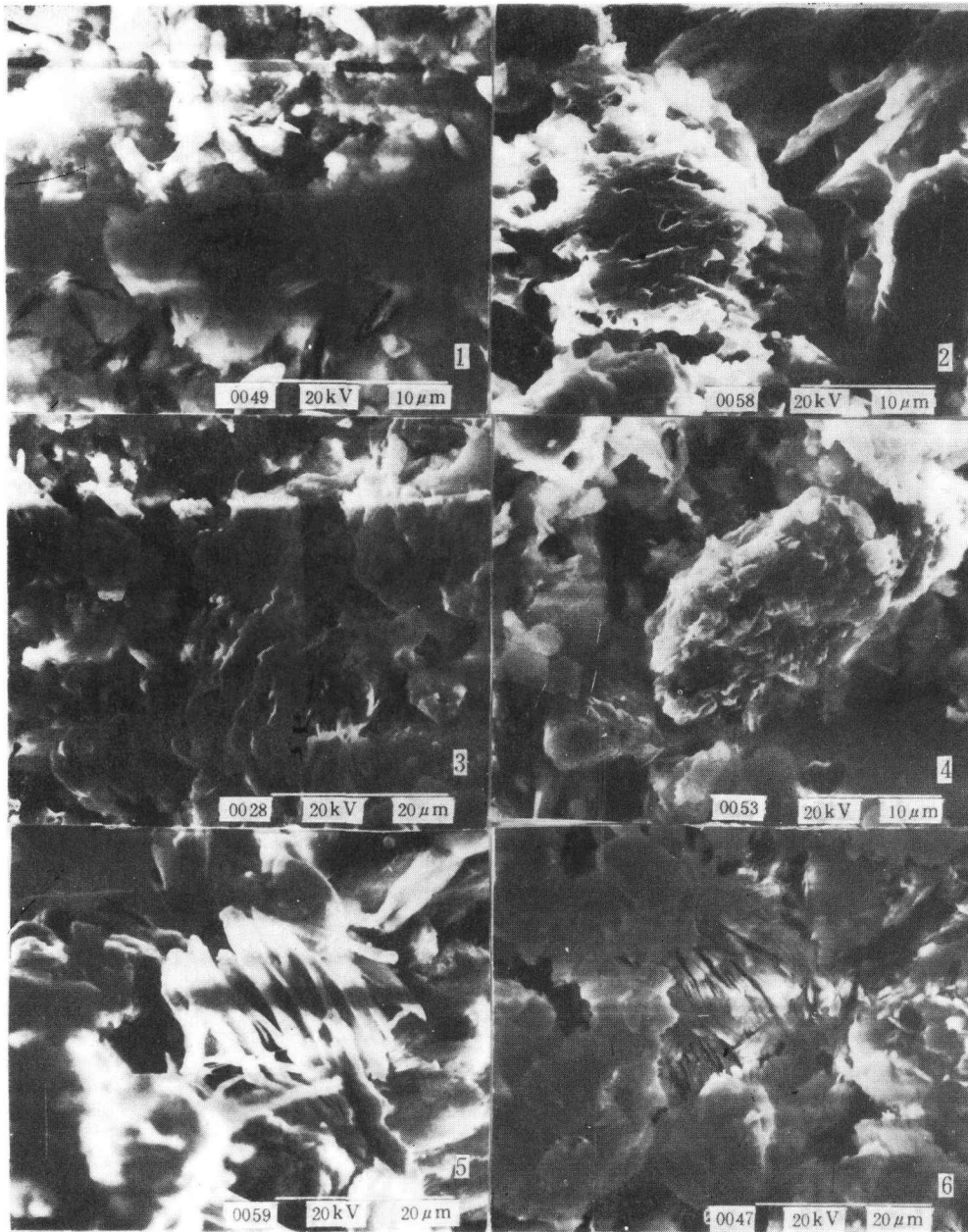
### ABSTRACT

Xingyun Lake located in the eastern part of Yunnan Province is a down-faulted basin with an area of 38.1 km<sup>2</sup>, maximum depth of 11.3 m, and mean depth of 7 m. X-ray diffraction analysis, differential thermal curves analysis, and infrared absorption spectrum analysis of 49 samples investigated in 1988 showed that the main clay minerals in the modern and Quaternary sediments of the Xingyun Lake are illite, montmorillonite, kaolinite and chlorite. They are distributed in different depositional facies in delta front environment. Illite and kaolinite appear in fluvial deposits, while montmorillonite is rich in shallow lake sediments. From the margin to the center of the lake basin, the content of illite and kaolinite decreases, while the content of montmorillonite and chlorite increases. The main clay mineral assemblages in Quaternary sediments are:

- (1) Lower assemblage: M (montmorillonite)-I(illite) -K(kaolinite)→CH(chlorite);
- (2) Middle assemblage: I-K-CH;
- (3) Upper assemblage: I-M-K.

The sedimentary environment reconstructed according to the characteristics of the clay minerals concurs with the results obtained by analyses of trace elements, fossils, sedimentary structure and vertical sequence, etc.

**Key words** Clay mineral Sedimentary environment Comparative sedimentology Trace element



星云湖断裂湖盆粘土矿物的扫描电镜观察结果

The main clay mineral external by scanning electron microscope in the Xingyun down-faulted lake basins

1. 自生高岭石, 假六边形, 1501井, 80m; 2. 蒙脱石, 花瓣状, 902井, 148.0m; 3. 蒙脱石, 云状, 902井, 159.0m; 4. 绿泥石, 片状, 1501井, 48m; 5. 蒙脱石向埃洛石、高岭石转化, 蒙脱石卷曲, 902井, 深度 148.0 m; 6. 自生高岭石和蒙脱石共生, 902井, 井深 192m。