地 质 科 学
2000年 4 月 SCIENTIA GEOLOGICA SINICA 35(2): 206－211

威宁草海沉积物中的粘土矿物及其环境记录*

张乃娴[1] 万国江[2] 马玉光[1]

(1.中国科学院地质研究所 北京 100029; 2.中国科学院地球化学研究所
环境地球化学国家重点实验室 贵阳 550002)

摘 要 沉积物柱芯采自贵州威宁草海深水湖区。不同深度沉积物中粘土矿物及其它特征表明在过去几千年时期内,草海区域的气候经历了热湿向暖干的激烈变化。同时,湖体由开放型变成闭流型。

关键词 沉积物 粘土矿物 环境记录 威宁草海

大量的粘土矿物是在地表风化作用中形成的,在沉积作用和埋藏过程中可发生转变。它的形成和转化与其所处的环境有密切的关系(张乃娴,1992)。控制粘土矿物形成和转化的因素可能有多种,但最重要的是气候条件。温度和湿度两者的组合,在地球表面形成不同的气候带,各气候带内风化作用的类型程度明显不同,相应地形成了不同的风化复合体和土壤类型(Weaver,1989),其中所含的粘土矿物组合和粘土矿物的结构特点等也有明显的差异,由于粘土矿物是颗粒非常细小的层状结构铝硅酸盐矿物,以它特有的"活性"对环境条件的变化极为敏感。因此,深入研究粘土矿物的组合、含量,不同粘土矿物的结构特点和转化,以及粒度分布特征等,可以了解和推测粘土矿物的形成区和来源区的风化作用类型和气候环境的特征。为解决有关的地质科学问题和改善生态环境提供有用的资料和信息。

本文是在深入研究草海湖泥中粘土矿物的基础上,并结合非粘土物质的特点,从矿物学特征这个侧面对草海湖的环境变迁进行初步探讨,提出笔者的认识。

草海湖是贵州高原上最大的天然淡水湖,位于贵州省西部威宁县境内,西北距贵阳300－400km处,因受太平洋和印度洋季风的影响,气候有明显干、湿季节的交替。湿季湖水面积可达45 km^2,平均水深约2m,最深处达5m,干季湖水面积缩小甚至干固。据前人资料(林树基等,1987),草海盆地是第四纪时在燕山运动形成的威宁弧形背斜的基础上发育起来的构造岩溶盆地,之后开始形成草海湖,又经不断发育,演变成为现在的高原湖泊。

1 草海湖沉积物中的粘土矿物

样品采集是从草海湖中心底部垂直向下钻孔,分间隔采取岩芯样品,从上至下共采集

* 国家自然科学基金资助项目(编号: 49333040)。
张乃娴,女,研究员,1938年9月生,粘土矿物与矿物材料专业。
1998－02－18收稿,1998－06－12改回。
?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w

了 6个样品,编号为 S_1 – S_6,采样部位见表 1。从岩性看,6个样品可明显地分为上下两种不同的岩性,上面的 S_1 – S_3 3个样品极为相似,均呈黑色,主要由有机质、炭化的植物碎片和草根等组成,只含有少量粘土质。下面的 S_4 – S_6 3个样品十分相似,颜色明显变浅,呈黄褐色,其中含粘土质增多,并含较多的粉砂和细砂级石英、长石等矿物,而有机质含量甚少,基本不含植物碎片和草根。这两种明显不同的岩性已反映出不同的环境记录。

表 1　采样深度分析

Table 1　Depth distribution of collected samples

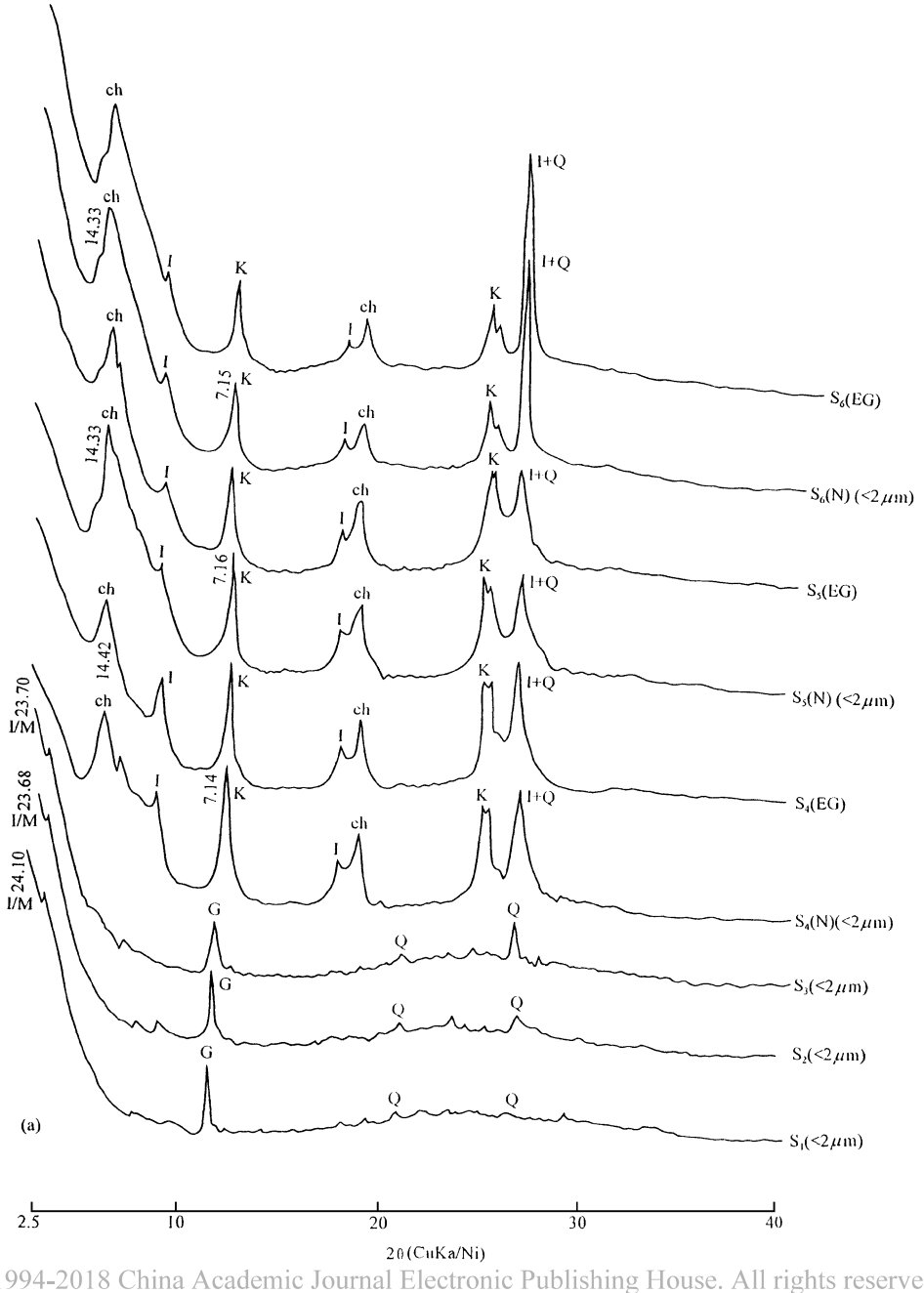
样品号	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
采样深度 (m)	20	51	71– 100	151– 152	199– 200	250– 252
时代	几千年		→			一万年

为了了解粘土矿物含量,首先对 S_4 – S_6 3个样品进行了粒度分析(表 2),从粒度分析结果可知,样品中粘土质含量较少,S_4 样品中 < 2μm 的粘粒含量为 6.31%,而 S_5 和 S_6 样品中粘粒含量更少,分别为 1.73% 和 2.42%。为了深入研究这些含量很少的粘土矿物的组合和结构特征,依据斯托克斯公式,对 6个岩心样品用沉降分离法提取出粒径 < 2μm 的粘土矿物(张乃娴, 1990),并对粒径 > 2μm 和粒径 < 2μm 的样品分别进行了 X射线衍射分析(XRD)(图 1– a– b)和电子显微镜(TEM)观察研究。

S_1 – S_3 3个样品的粘土矿物含量极少,从图 1– a 中可以看出,样品中 < 2μm 部分组合简单,主要是以非晶质的硅胶质为主的水铝英石类粘土矿物,TEM 观察,水铝英石呈细小的球形,常彼此连接成近似网络的链状集合体(图版 I– 1),其次是含有少量的结晶度极差的伊利石/蒙脱石间层过渡性矿物,以及细晶石英碎屑矿物。碳质有机质极其丰富。这 3个样品中都有少量的石膏出现(图版 I– 2)。一般在淡水湖中是不应该有沉积石膏的,它的出现原因留待后面讨论。S_4 – S_6 3个样品的粘土矿物含量明显高于 S_1 – S_3 样品,粘土矿物组合特点是均以含量较多的绿泥石为主,从样品的未处理样(N)和处理(EG)样的 XRD 图显示,绿泥石的(001)特征反射峰与岩石中常见的绿泥石峰形炯然不同,而与结晶不好的蒙脱石反射峰类似,其峰形宽化,不对称,特征的面间距均大于 14Å(S_4 – S_6: 14.4Å, 14.3Å, 14.3Å),说明绿泥石的结晶很差,结构不完整。很类似 Thorez 所提出的"开放绿泥石"(Thorez, 1976)之特征。从 TEM 观察可见绿泥石的形貌大致有两种:一种是分散的极为细小的不规则薄片状,其大小多在 0.1– 0.2μm,有些 < 0.05μm;另一部分绿泥石呈团片状集合体(一般 > 1μm,图版 I– 3, 4)。这是由原来的粘土矿物在水盆地中分解转化而成,故略具原颗粒假象。以上表明在水盆地的沉积环境中存在有新生的和由原来矿物转变而来的两钟绿泥石。另一种主要粘土矿物是高岭石(其 X射线特征峰是 7.1 – 7.2Å, 3.56– 3.57Å 等),从 TEM 观察,高岭石都是结晶为大小不等的六角片状晶体,粒径在 0.1– 0.2μm 之间,也有的更小,在 < 0.05μm 以下(图版 I– 4),表明这都是自生高岭石。同时,还可以看到部分埃洛石晶体的管端部分已出现六方形状,正向高岭石转化的现象(图版 I– 5),这种现象是高岭石矿物初期成岩转化过程的清晰记录。在适宜的介质环境中,管状埃洛石可以经过棱柱状,半展开的棱柱状阶段,再进一步转变为片状高

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://w

岭石。这是由于埃洛石结构失水时,层间水分子键消失,氢键加强,内应力使晶层向平面发展所致(杨雅秀,1994)。此外,3个样品中尚有少量的伊利石存在,但其(001)反射峰形的不对称已表明云母结构层发生水化,从 TEM 观察,晶体形态边缘有的较清楚,有的已不清楚,出现蚀变凹槽(图版 I-6),说明部分云母晶层开始向绿泥石转化。纵观岩心样品从 S_4 - S_6,即从浅至深,有开放绿泥石含量递增伊利石含量减少的趋势。普遍都存在埃洛石向高岭石的转化现象,其中,S_5样中自生高岭石更为丰富。



?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w

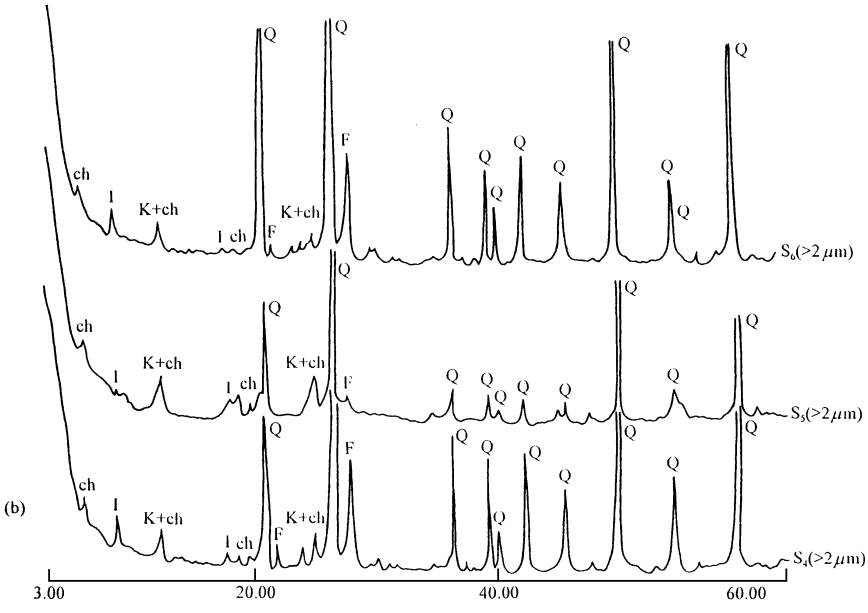


图 1　草海湖柱芯样品的 X射线衍射图

(a) 粒径 < 2μm的定向样品; (b) 粒径 > 2μm的非定向样品

N. 未经处理的原样; EG. 经乙二醇饱和处理; Q. 石英; F. 长石;

G. 石膏; Ch. 绿泥石; K. 高岭石; I. 伊利石; I/M. 伊利石/蒙脱石间层矿物

Fig. 1　XRD patterns for core samples in Caohai Lake

表 2　S_4– S_6样品颗粒分析数据

Table 2　Dada of particle size analysis for S_4 – S_6 samples in Caohai Lake

粒径范围 (μm)	< 0.50	< 1.00	< 2.00	< 5.00	< 10.0	< 15.0	< 25.0	< 50.0	< 100	< 150	平均粒径 * (μm)
S_4 含量%	3.5	4.59	6.31	11.20	18.60	37.10	46.0	49.5	100		50.4
S_5 含量%	0.73	0.78	1.73	4.40	7.93	12.6	17060	26.6	47.1	100	48.6
S_6 含量%	0.61	1.11	2.42	5.02	9.14	16.20	42.0	51.2	51.4	100	46.6

* 按 50% 颗粒计算。

另外,从 S_4– S_6样品的 > 2微米组分 XRD (图 1– b)中可见,均含有峰形较对称的云母、石英和长石等, TEM 观察过程,云母片体大多数遭受了溶蚀,边缘出现凹槽。显然是经河流搬运,来自上游地区的碎屑物质。此外,也含有少量的绿泥石和高岭石等粘土矿物。但在 S_4– S_6 3个样品中都未见石膏出现。

2　草海湖区域近一万年来环境变迁的探讨

从上述草海湖沉积物的研究结果,根据其沉积物的特征,粘土矿物结构特征,类型和组合特点等,所研究的沉积剖面可分为下部和上部明显不同的两段,表明两者的形成环境有很大的差别,即草海湖在距今几千年的时间内,曾经历了一次明显的环境变迁。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://w

下部样品沉积物均呈较浅的黄褐色,粘土质和非粘土物质含量相对较多。缺乏有机质且基本不含炭化的植物碎片和草根,除较多的碎屑矿物长石,石英等外,粘土矿物主要以绿泥石和高岭石为主及少量伊利石。这些情况表明,那个时期的草海湖是一个开放型的湖泊,即有河流相通,河水从上游带来细砂,粉沙级碎屑物和部分粘土质,这些物质均是相对稳定物,可经历很长时间不会分解,它们多半呈悬浮态随河水而来,当河水注入湖泊后,因地域变得宽阔而水流变缓,河水携带的许多碎屑物质包括粘土质即会沉淀下来,而漂浮于水面的植物根径等碎片,大部分被河水带出湖泊。因为湖泊是开放的,不断有水注入和排出。因而,湖水相对较浅,湖底和表层沉积物处于相对氧化环境,既使有植物碎片沉积下来,也会因氧化而不能积累有机质,也不能炭化,这可从浅色的沉积物颜色和缺乏有机质得到证明。从粘土矿物组分特征看,高岭石含量较多且结晶为较好的六角片状,有埃洛石向高岭石转化的过度情况,表明它们是在当地自生形成的新矿物,而较大量形成高岭石是相对湿热气候条件的特征。由于缺乏三水铝石,而且主要生成绿泥石,说明当时的气候也不是典型的湿热型气候,很可能介于热湿和暖湿气候之间。在此气候条件下,强烈的水解作用可以造成对介质环境极为敏感的层状硅酸盐矿物的改造,或形成新矿物。如结构不完整的开放绿泥石和部分新生细小绿泥石的存在。这种动荡不定的条件下也可以使某些碱和碱土金属元素被排出带走,部分硅质和铁、锰等元素也有活动,形成一些高价氧化铁、锰,使沉积物染成黄褐色。氧化环境和微酸性的水使有机物分解,致使沉机物中有机质贫乏,其中,也有一些绿泥石和云母类矿物是由河水从上游带来的,在搬运和沉积过程中,它们也会不同程度地遭受了水化蚀变,由于到达湖中很快沉积下来并被后来的沉积物掩埋,使之得以保存下来。大片的碎屑云母,多具有遭溶蚀留下的凹槽,也表明上述同样的过程。

剖面上部 S_1 – S_3样品的沉积物特点基本相同,而与下部的 S_4 – S_6样品截然不同,S_4 – S_6沉积物的颜色呈黑色,主要由有机质和炭化的植物碎片及草根等组成,粘土矿物主要是一些非晶质的水铝英石,只有少量的过渡性的间层粘土矿物。这些特点充分表明,此时的草海湖已由原来的开放型变为封闭型湖泊,本来相通的河流入口和出口均已被堵塞,不再有河水和外源的碎片的补给,湖水只靠降雨补充,沉积物也只来自湖泊本身及其边沿被雨水冲刷下来的物质,因而沉积物中只含有很少量的粘土质和碎屑物。在此情况下,湖底和沉积物均处于较还原环境,矿物水解释放的碱金属元素不能被排走,导致水体由弱酸性变为弱碱性。生长于湖泊中植物的残留物和来自湖泊边沿的植物碎片堆积在湖底形成有机质。部分不易分解的植物碎片和草根等保留了原形,但仍被碳化,由它们和有机质一起构成沉积物的主体。这些物质如进一步积累,压实即可演化形成泥炭层。沉积物中普遍含有硅胶质组成的非晶质粘土矿物水铝英石及伊利石、蒙脱石间层矿物。表明湖水已变为偏碱性,当时的气候已由湿热多雨变为具有明显干、湿季节交替的温暖–半干旱的气候。这种变化可能是受新构造运动的影响使地势抬高,气温有所降低,与草海湖相通的河流出入口被堵塞。在当时这种气候条件下,湿季多雨,湖水变深,面积扩展,此时也利于植物包括水生植物的生长,为有机质的形成积累提供了必要的条件。而干旱季节缺少降雨,强烈的蒸发使湖水大减,水呈弱碱性,最利于水铝英石等的形成。温和的气温使原有的矿物部分脱盐和去硅,使伊利石遭受一定程度的水解和蚀变,它们进一步的水解就形成过渡性的粘土矿物。由于湖泊是封闭的,这些矿物的蚀变和演化均是在湖底原地进的。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w

值得指出的在 S_1 – S_3样品中普遍含有较多的石膏矿物,笔者认为,这里的石膏不是原生的。草海湖是一个已有 0.2Ma历史的高原岩溶淡水湖。S_1 – S_3层富含泥炭的介质环境是不会沉积石膏的。那么,这里的大量 SO_4根离子是从哪里来的呢? 据有关报导,近些年来,在草海周围非法建立了许多土炼锌炉,每年向大气排放上万吨粉尘和近万吨二氧化硫气体。这些粉尘有害气体全部被吹到草海上空,严重时可以看到湖面上漂着一层粉尘,给草海带来了严重的污染。在对采集的样品进行浓缩,蒸干处理过程中,导致 SO_4浓度增高,与 Ca形成石膏。从 S_1 – S_3样品中大量的石膏出现,说明草海已经被污染的严重程度。这一情况令人担忧。

总之,草海湖在距今一万年至几千年的时期内,湖泊本身及所处的气候环境等均发生了明显的变化,即湖泊由开放型变为封闭型,气候由热湿变为温暖 – 半干旱。这种演变不是截然的,而是经过了一个渐进的过程。

致谢 感谢黄荣贵高级实验师等同志帮助采集沉积物柱芯样品。

参 考 文 献

林树基,郑洪汉. 1987. 草海的演化. 贵阳: 贵州人民出版社. 21– 68.

杨雅秀,张乃娴. 1994. 中国粘土矿物. 北京: 地质出版社. 297.

张乃娴. 1992. 粘土矿物与风化作用. 建材地质, (6): 1– 6.

张乃娴,李幼琴,赵惠敏,等. 1990. 粘土矿物研究方法. 北京: 科学出版社. 267.

Thorez J. 1976. Practical Indentification of Clay Minerals, A Handbook for Teachers and Students in Clay Mineralogy. Amsterdam: Elsevier. 90.

Weaver C E. 1989. Clays, Muds and Shales, Developments in Sedimentology, 44. Amsterdam: Elsevier. 126.

THE CLAY MINERAL AND ITS ENVIRONMENTAL RECORD IN THE SEDIMENT CORE OF CAOHAI, WEINING

Zhang Naixian[1] Wan Guojiang[2] Ma Yuguang[1]

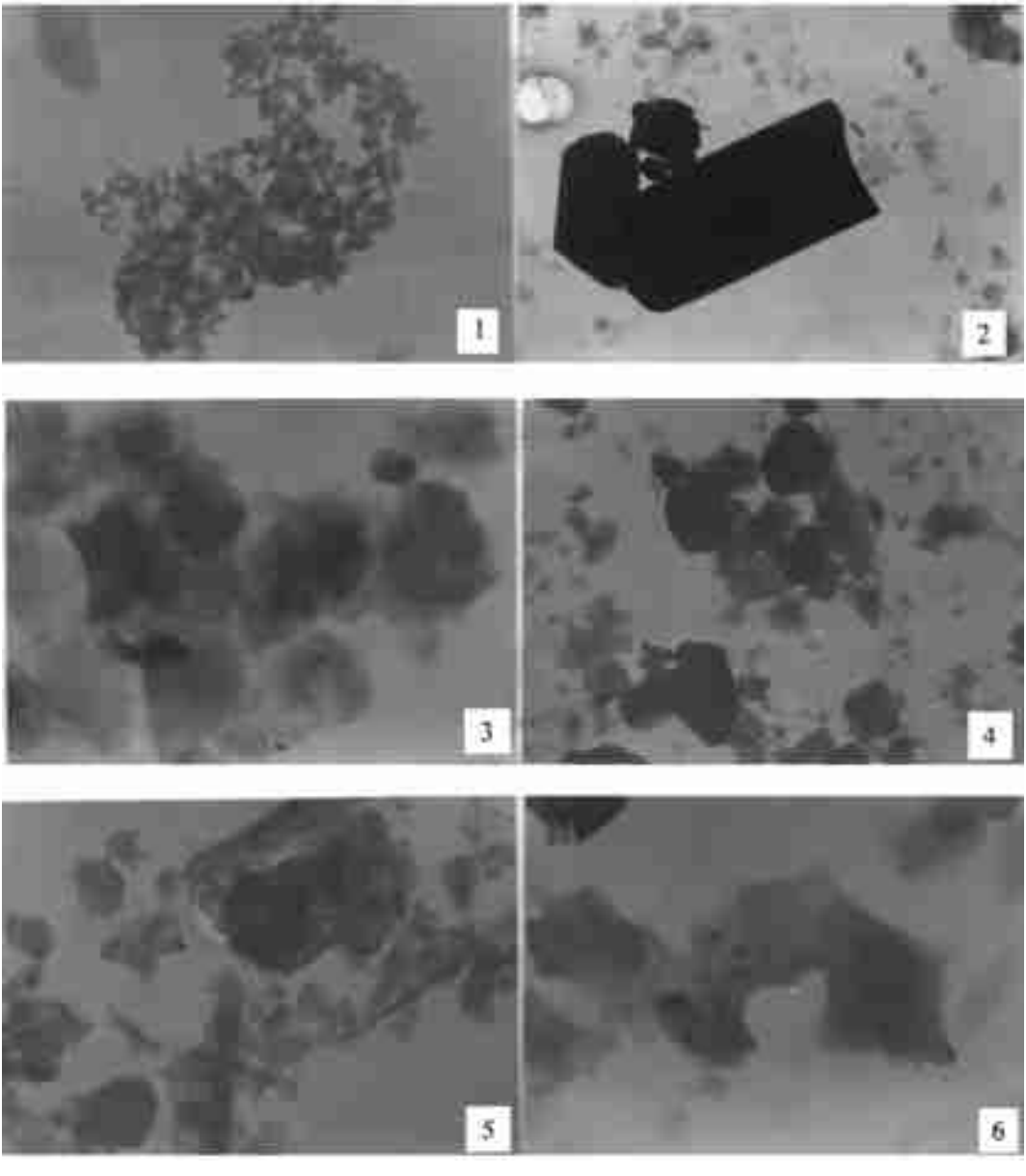
(1. *Institute of Geology, Chinese Academy of Scineces, Beijing* 100029; 2. *State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang* 550002)

Abstract

The sedimentary core was taken from the deep– water location in Caohai Lake of Weining, Guizhou province. Clay minerals and other features of the sediment in different depth show that the climate of Caohai region changed from hot– humit to warm–dry in the past several thousand years. In addition. Caohai varies to closed lake from open state.

Key Words Sediments, Clay mineral, Environmental record, Weining Caohai.

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w



1. S_2中的水铝英石,× 2000; 2. S_1中的石膏晶体,× 6700; 3. S_4中的团片状绿泥石,× 10000; 4. S_4中自生高岭石和细小的自生绿泥石,× 15000; 5. S_5中自生高岭石和埃洛石向高岭石过渡现象,× 15000; 6. S_6中云母晶片被溶蚀呈现凹槽,× 6000

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://w