

文章编号: 1006-6616(2004)04-0300-10

西藏纳木错晚更新世以来湖面变化和湖相沉积中粘土矿物显示的环境信息

朱大岗¹, 孟宪刚¹, 赵希涛², 邵兆刚¹
马志邦², 杨朝斌³, 王建平¹, 吴中海¹

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 3. 西藏自治区国土资源厅, 拉萨 850000)

摘要:通过对西藏海拔最高、面积最大湖泊—纳木错周缘湖相沉积、湖岸堤的野外调查和湖岸阶地的水准测量,发现在纳木错沿岸拔湖48m以下,发育有6级湖岸阶地,拔湖48~139.2m发育有高位湖相沉积。湖相沉积物的同位素测年结果表明,纳木错湖泊发育与藏北高原东南部古大湖演化可划分为3个阶段:①116~37kaB. P. 间的古大湖期;②37~30kaB. P. 间的外流湖期;③30kaB. P. 以来的纳木错期。根据纳木错晚更新世以来湖相沉积中粘土矿物的X光衍射分析结果,以及采用比值法、高岭石法和衍射峰法的研究,探讨了粘土矿物所显示的环境变化信息。粘土矿物成分变化表明,该区已具备了寒温带干旱、半干旱区的气候环境特征。为研究青藏高原的湖泊演化、气候变化、古地理变迁及其隆升过程等提供了新资料。

关键词:西藏纳木错;晚更新世;湖泊演化;湖相沉积;粘土矿物;环境变化

中图分类号:P534.63⁺¹, X141

文献标识码:A

西藏是我国湖泊最多的省区,藏北内流区则集中了西藏最多的湖泊和大湖,其中位于藏北内流区东南部的纳木错可谓多中之最,面积1940km²,海拔4718m。其周缘湖泊沉积与湖成地貌发育,为研究藏北高原湖泊演化、气候变化、古地理变迁及第四系划分等,都提供了有利的佐证^[1-4]。近年来,笔者在开展纳木错第四纪环境演变调查研究与1:25万当雄幅区域地质调查工作中,通过环纳木错周缘湖相沉积的野外水准测量、室内分析鉴定、同位素测年等资料分析,结合沉积相、岩相组合等特征,探讨了纳木错晚更新世以来湖面变化的过程及其与青藏高原古大湖演化的关系。根据湖相沉积中粘土矿物的X光衍射分析结果,探讨了粘土矿物成分变化所显示的环境变化信息。

收稿日期:2004-03-12

基金项目:国土资源大调查项目“西藏纳木错地区第四纪环境演变调查研究”(编号DKD2001006)和“西藏当雄幅1:25万区域地质调查”(编号DKD9901001)的部分研究成果。

作者简介:朱大岗(1951-),男,研究员,从事区域地质、沉积相与古环境研究, E-mail: dagangzhu@sohu.com, 电话 010-68422370。

1 纳木错周缘的湖岸堤与湖相沉积

在纳木错沿岸，分布着多级由湖相砂与粘土沉积所组成的湖岸堆积阶地、基座阶地与环湖分布的数十道由湖滨相砾石所组成的湖岸堤（图 1），而且还有浪蚀平台、浪蚀洞、浪蚀柱、浪蚀崖与浪蚀壁龛等侵蚀地貌，以及与湖面变化有关层状分布的石灰岩喀斯特溶洞等^[5]。

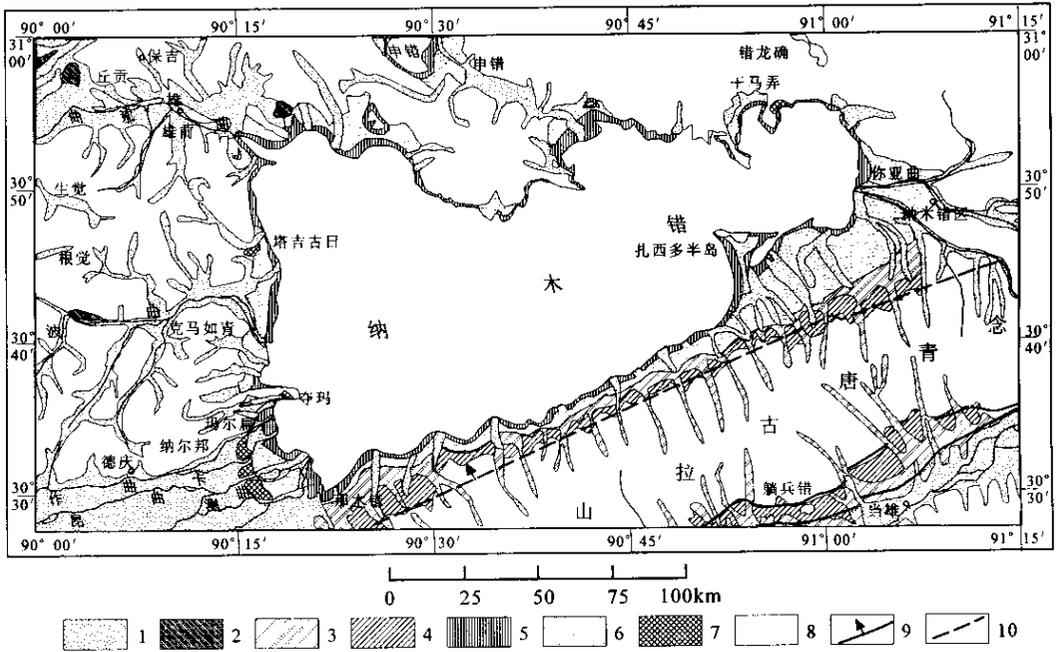


图 1 纳木错沿岸第四纪沉积物分布图

Fig.1 Distribution of Quaternary deposits along the banks of Nam Co

1. 河流一级阶地堆积物、现代河床河漫滩堆积和山麓洪坡堆积物；2. 河流二、三、四级阶地堆积物；3. 冰川侧碛、终碛和冰水扇堆积物；4. 山麓冰川、冰水堆积物，构成山麓冰碛、冰水台地；5. 现代湖滩和一级阶地上的砂、粘土层和砾石层；6. 湖岸二、三级阶地上的砂、粘土层和砾石层；7. 湖岸四级以上阶地的粘土层和砾石层；8. 基岩；9. 活动正断层；10. 推测断层

1.1 湖岸堤与湖滨相沉积

在纳木错沿岸低于拔湖 48m 以下的较平坦的湖岸阶地上，均有数十条由湖滨相砾石所组成的沿岸堤分布，其中规模较大的十余条沿岸堤均沿湖岸连续分布，在遥感图像图上清晰可见，在野外也可明显地观察到。通过对纳木错沿岸 14 条湖岸堤及邻近地点湖蚀地形的水准仪测量，纳木错沿岸湖岸堤的最大拔湖高度为 26.6m。在拔湖 27m 以下，发育了多达 8~30 条的沿岸堤。如塔吉古日北岸有近 30 条，扎弄淌下游古湖湾内、玛尔迥北岸与南岸、纳尔邦、夺玛东南岸、雄曲河口、日达南岸、作曲卡下游等地，均有 30 条左右。它们多数由长径 5~10cm 的扁圆状砾石所组成^[6]。砾石的成份比较复杂，常见有灰岩、石英岩、砂岩、火山凝灰岩、花岗岩、片岩、片麻岩等。

1.2 湖岸阶地与湖相沉积

在纳木错沿岸平原和基岩山丘的丘顶与坡麓，分布着多级由湖相砂与粘土沉积所组成的

湖岸堆积阶地或基座阶地^[7]。对纳木错沿岸 7 个剖面的湖岸阶地、高位湖相沉积的水准测量结果表明,其中沿湖分布较宽广、可比性较好的湖岸阶地有 6 级,其拔湖高度自低至高依次为 1.5~8.3m, 8.3~15.6m, 14.0~19.9m, 18.7~25.8m, 26.0~37.3m 和 38.3~47.6m。湖相沉积地层的最大高度拔湖为 139.2m。在这 6 级阶地中,第一至第四级阶地均为堆积阶地,第五、六级阶地则为基座阶地。它们有清晰的微层理,由分选良好的砂、粉砂、粘土及亚砂土与亚粘土所组成。高位湖相沉积由青灰色的砂、粉砂、粘土及亚砂土与亚粘土组成,水平层理发育,有的甚至有清晰的微层理,现存的厚度在 1~2m 至 1~2cm 之间,拔湖逾高湖相地层逾薄。

2 纳木错周缘的湖相与湖滨相沉积物年龄测定

2.1 铀系法年龄测定

铀系测年样品中 18 个样品采自纳木错沿岸,分别为西北岸班戈县德庆乡的塔吉古日和扎弄淌、班戈县保吉乡的丘贡、纳木错北岸的当雄县干玛弄、东北岸的当雄县期波拉、当雄县扎西多半岛的多青与多穷等地。8 个对比样品分别采自班戈县保吉乡的仁错、久如错,以及那曲县的错那、错鄂、蓬错、夹不弄等地,后者位于藏北内流区与怒江水系分水岭上方靠外流区一侧。这些样品均为富含碳酸盐的湖相细砂、粉砂或粘土和湖滩岩,属于不纯的碳酸盐,故采用了全溶样品的等时线技术^[8-9]。

根据铀系等时线年龄研究结果可以确定,纳木错沿岸的高位湖相沉积形成于 $115.9 \pm 12.1 \sim 71.8 \pm 8.5$ kaB.P. 的晚更新世早期;高阶地(第六至第三级阶地)分别形成于 53.7 ± 4.2 kaB.P.、 $41.2 \pm 4.7 \sim 39.5 \pm 3.0$ kaB.P.、 $36.1 \pm 2.2 \sim 35.2 \pm 3.0$ kaB.P. 和 32.3 ± 4.4 kaB.P. 的晚更新世中晚期;低阶地(第二与第一级阶地)分别形成于 28.2 ± 2.8 kaB.P. 和 11.2 ± 2.0 kaB.P. 的晚更新世晚期^[7-8]。

2.2 ¹⁴C法年龄测定

9 个¹⁴C法测年样品,均为湖相细砂、粉砂或粘土中的水草层、螺壳或淤泥。全部样品均采自纳木错沿岸,分别为西北岸班戈县德庆乡扎弄淌、波曲河口,当雄县纳木错乡干玛弄、丁曲怕等地的 T₁ 和 T₂ 阶地。根据纳木错湖相沉积¹⁴C法年代学的初步研究, T₁~T₂ 阶地湖相地层中的水草层¹⁴C测年结果为 2350~10390aB.P.;螺壳为 5290~9030aB.P.^[10]。

2.3 纳木错湖面变化与藏北高原古大湖演化过程

根据纳木错沿岸湖相沉积、湖岸堤、湖成阶地、湖蚀地形等的水准仪实测数据与邻区地质调查,结合铀系等时线和¹⁴C年龄测定结果,作者将纳木错晚更新世以来的湖面变化历史与藏北高原古大湖演化过程,从老到新划分为如下几个阶段^[11-12]:

(1) 古大湖期——古大湖发育阶段:此阶段(115.9~37kaB.P.),古大湖水面的拔湖高于现今纳木错湖面达 140~26m,水准仪测量结果为 139.2~26.0m。纳木错沿岸高位湖相沉积—T₄ 阶地的铀系法年龄测定结果为 115.9~36.1kaB.P.。

(2) 外流湖期——古大湖分裂阶段:此阶段(37~30kaB.P.),古湖面高于现今纳木错 26~15m,水准仪测量结果为 25.8~14.0m。纳木错沿岸 T₄~T₃ 阶地湖相沉积的铀系法年龄测定结果为 36.1~32.3kaB.P.。

(3) 纳木错期——残留湖盆阶段:此阶段(<30kaB.P.),湖水面高于现今纳木错 <15m,水准仪测量结果为 15.6~1.5m。纳木错沿岸 T₂~T₁ 阶地湖相沉积的铀系法年龄测定

结果为 28.2 ~ 11.2kaB.P.，¹⁴C测年结果为 10390 ~ 2350aB.P.。

3 纳木错湖相沉积中粘土矿物 X 光衍射分析

采用沉积岩粘土矿物相对含量 X 射线衍射分析方法^①，得出了定向 N 片、乙二醇饱和 EG 片和 550℃加热片的 X 射线衍射图谱（图 2），并分别计算得出湖相沉积物中蒙脱石、伊利石、绿泥石和高岭石的相对百分含量（表 1）。

表 1 纳木错沿岸沉积物剖面中各类粘土矿物相对含量与衍射峰高度

Table 1 Relative contents and heights of the diffraction peaks of various clay minerals from sediments along the banks of the Nam Co

样品编号	采样地点	衍射峰 (cm)			粘土矿物含量 (%)				
		10?	7?	3?	方解石	伊利石	高岭石	绿泥石	伊利石/蒙脱石混层
6-24-1-56	扎弄淌东岸 T ₁ 中部	3.8	1.8	4.0	10	55	10	10	15
6-25-1-40	扎弄淌东岸 T ₂ 下部	2.7	2.0	5.8	20	42	18	15	<5
7-3-1-15	干马弄 T ₃ 中部	3.9	2.4	5.7	20	60	12	11	15
6-26-2-5	塔吉古日 T ₄ 下部	2.4	1.6	3.6	10	58	15	15	<5
6-7-1-6	干玛弄西南 T ₅ 上部	2.4	1.5	3.2	15	47	14	12	12
6-9-1-15	干玛弄西南 T ₆ 上部	2.5	1.5	2.9	15	54	15	11	<5
6-9-3-5	干玛弄高位湖相沉积	1.8	1.3	3.0	10	52	14	14	10
7-1-1-13	仁错北岸马尺西	2.2	1.5	2.1	10	41	14	16	19
7-11-1-4	久如错西岸	1.0	0.6	1.1	15	53	14	13	<5

注：中国地质大学（北京）X 光实验室测定

4 纳木错湖相沉积中粘土矿物所显示的环境变化信息

4.1 粘土矿物成分分析讨论的前提条件

在进行粘土矿物资料分析讨论之前，有两个问题必须明确：

(1) 在粘土矿物组分当中尽管有来自早期沉积物的再沉积成分，即继承成分，但它主要来自于母岩风化产物^[13]。所以，粘土矿物所指示的生成环境主要是侵蚀区的环境。利用南美洲热带河流在温带入海，入海口处现代粘土矿物以高岭石为主的事实，证明作为沉积类型的粘土矿物，主要反映侵蚀区的自然地理环境，而不是沉积区的自然地理环境^[14]。

(2) 纳木错作为藏北地区的内陆湖泊，属于内流封闭的流域系统^[15-16]。因此，从环纳木错湖相沉积的几条剖面中采集的粘土矿物，全部代表封闭流域里的粘土矿物沉积前夕的环境条件。

4.2 粘土矿物所显示的环境变化信息

如表 1 数据所示，纳木错沿岸几个不同地点的内陆湖泊沉积中，沉积粘土矿物以伊利石

① 中国石油天然气总公司“沉积岩粘土矿物相对含量 X 射线衍射分析方法”，1995。

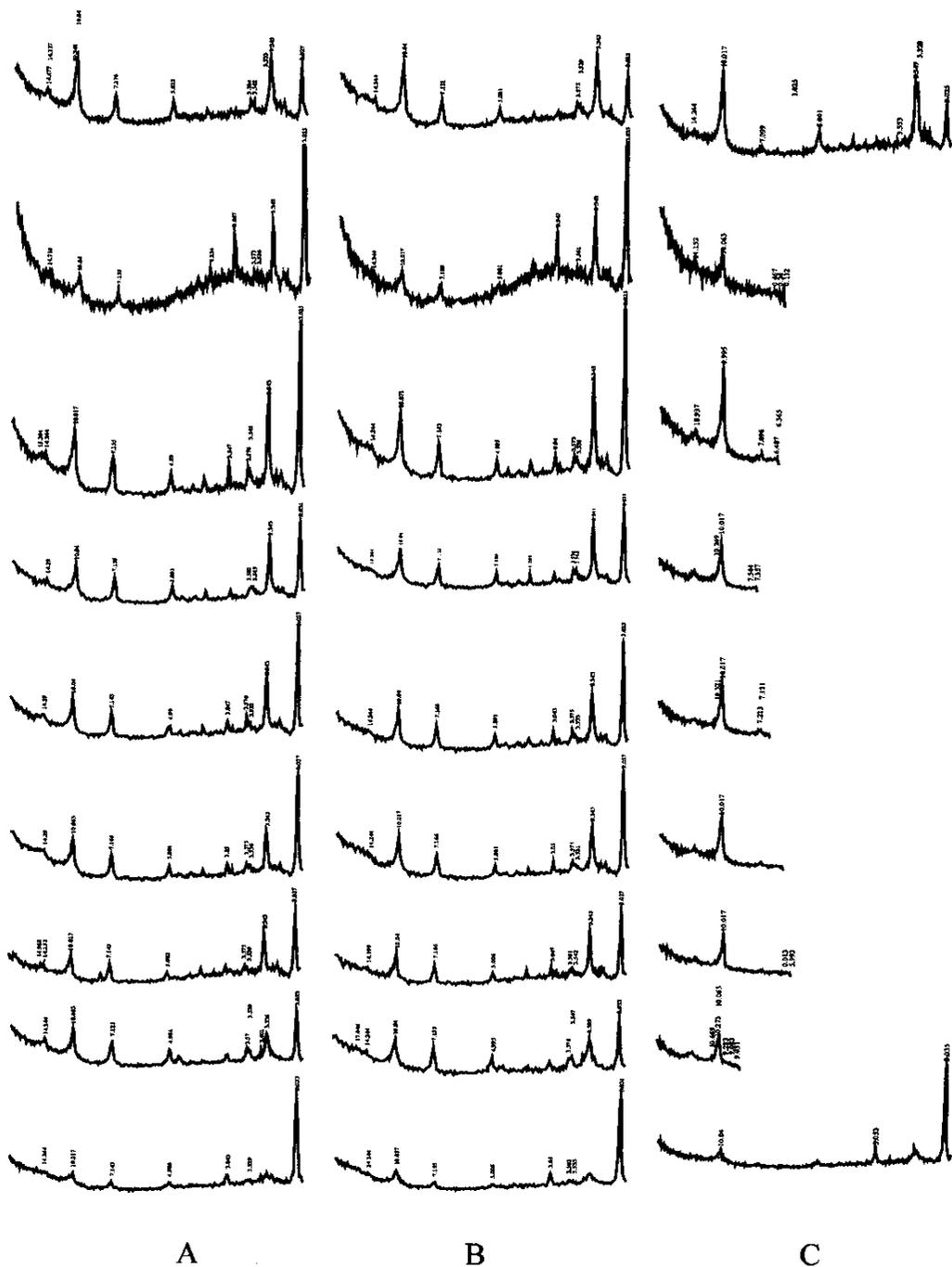


图 2 纳木错沉积物中粘土矿物的 X 射线衍射图谱

Fig.2 X-ray diffraction spectra of clay minerals in sediments from Nam Co

A. 定向 N 片；B. 乙二醇饱和 EG 片；C. 550°C 加热片

占绝对优势，其它矿物主要有高岭石、绿泥石、方解石和伊利石/蒙脱石混层，反映这些地点都已具备了寒温带干旱、半干旱区的气候环境特征，能够满足这种矿物在生成时期所需要的碱性环境。而且，当水分条件优越时，伊利石/蒙脱石混层数量增多，伊利石减少；当水份条件恶劣时，伊利石/蒙脱石混层会部分乃至绝大部分转变成伊利石^[17]。两种粘土矿物的转化关系和含量比值的变化，为分析当地的气候与环境变化提供了可行性。本文探讨环境变化信息主要采用以下的分析方法：

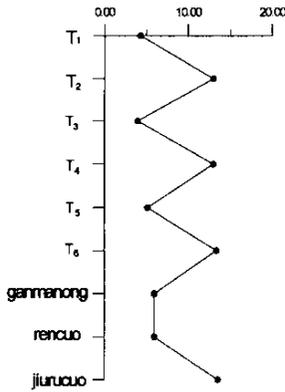


图 3 伊利石/蒙脱石混层与伊利石比值曲线图

Fig.3 Curve showing the ratio of the content of mixed-layer illite-montmorillonite to the content illite

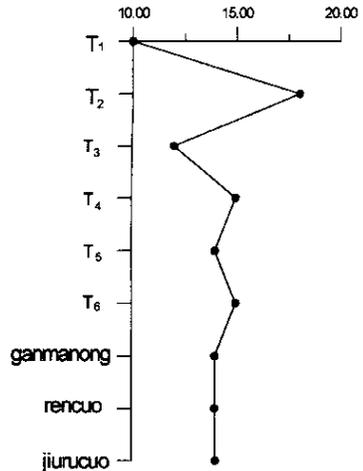


图 4 粘土矿物中高岭石相对含量变化曲线图

Fig.4 Variation curve of the relative content of kaolinite in clay minerals

(1) 比值法：采用伊利石/蒙脱石混层含量与伊利石含量之间的比值，来分析环境变化信息。当水份条件好时，比值小；水份条件差时，比值大。伊利石/蒙脱石混层与伊利石比值曲线见图 3。图中显示，在纳木错地区从 T₁ ~ T₆ 阶地到高位湖相沉积，即“古大湖期”到“纳木错期”，至少存在三 ~ 四期干旱期。在早期干旱阶段，同时出现了纳木错的水下埋藏湖蚀平台和在该湖蚀平台上堆积的厚层沙丘砂。在剖面中最底层出现的古土壤层显示，此时该区的古气候和古环境已发生较大变化，气候变得温暖而湿润，植物生长茂盛，形成古土壤层；而湖泊的范围则急剧减小。另外，还可以从曲线看出，12 万年以来曾有三个水份条件优越的时段，最明显的一期在距今 7 ~ 9 万年间，与藏北高原古大湖晚更新世的扩张时期相吻合。从而，也反映出应用伊利石/蒙脱石混层与伊利石比值法利于分析内陆盆地的气候与环境变化，特别有利于分析降水量的变化规律。

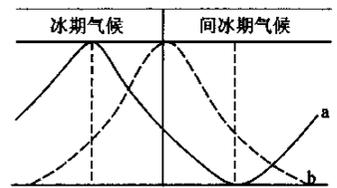


图 5 温度—湿度理论变化曲线

Fig.5 Theoretical variation curves of temperature and humidities
a. 温度曲线；b. 湿度曲线

(2) 高岭石法：在纳木错沿岸各剖面内的沉积粘土矿物中，高岭石的比例占 10% ~ 18%。在干旱区高岭石的形成，很难用高温多雨条件来解释，夏季地面高温才是使它出现的充分条件。从高岭石在环纳木错剖面中的正弦曲线变化看到（图 4），高岭石含量的高峰值大多数略大于伊利石/蒙脱石混层与伊利石比值曲线所显示的高峰值；即前者略大于后者所

显示的干旱峰。这种落后现象恰好说明,气候演变由干暖转变为干冷再转为干旱的自然规律。从而使粘土矿物资料进一步证明,温度—湿度理论变化曲线的正确性(图5)^[18]。另外,对比粘土矿物中高岭石含量相对增多,大体上与湖面升高或扩展期相吻合;反之,高岭石含量减少,湖面降低、收缩。从绿泥石与高岭石相对含量之和的变化曲线(图6),也可以看出类似的规律。

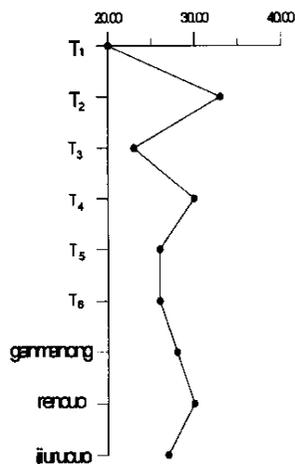


图6 绿泥石+高岭石
对含量变化曲线图

Fig.6 Variation curve of the
content of chlorite + kaolinite

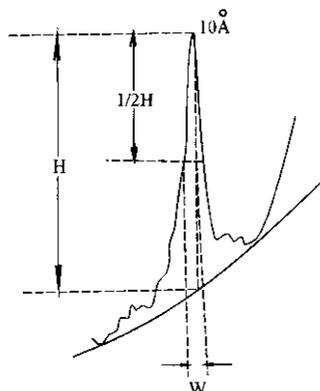


图7 伊利石的高宽指数图

Fig.7 Parameter diagram of
the width of illite

(3) 衍射峰法:根据测量伊利石 X 射线衍射峰形态指数(又称“结晶度”;Weaver 指数;Kubler 指数),决定伊利石高宽指数的简易而精确的方法称为衍射峰法,前人依据实验资料总结出如下公式^[18]:

$$H_W = \frac{H}{W}$$

式中: H ——伊利石 10 \AA 衍射峰的峰高 (mm);

W ——伊利石 10 \AA 衍射峰的半高宽度 (mm);

H_W ——高宽指数 (图7)。

从矿物学角度,认为伊利石具有由云母和蒙脱石晶层组成的混合层结构。当所含蒙脱石晶层愈多时,衍射峰态不对称性就愈明显,半高宽度增大, H_W 值愈小。这种情况发生在淋溶层的粘土质沉积中,与 K^+ 离子的淋失有关。因此, H_W 值的变化可以显示出如下的规律性:

①在酸性火山岩区域内发育的湖相沉积中,伊利石含量最大值多出现在降水量 500 ~ 700mm 的地区, > 700mm 时,伊利石会向蛭石转化,即伊利石存在于一定湿度范围内^[19]。

②在同样降水量条件下,降雨集中在夏季比冬季更利于矿物的转化。有鉴于此, H_W 值高低与降水量的多少有一定对应关系, H_W 值低,降水量多; H_W 值高,降水量少。

③纳木错湖相沉积物中伊利石的 10 \AA 峰态指数,从高位湖相沉积到 $T_6 \sim T_1$ 阶地,沿剖面的垂直变化(图8),反映了高湖面时期与 H_W 低值相对应,低湖面时期与 H_W 高值相对

应,说明湖面收缩与扩张主要受气候,尤其是降水量多寡的制约;气候温暖,念青唐古拉山冰川融水增加,大气降水量多,湖面升高;反之,气候寒冷,冰川融水减少,大气降水量少,湖面下降。

5 结论与讨论

(1) 水准仪测量结果表明,在纳木错沿岸,发育了拔湖低于 48m 以下的 6 级湖岸阶地,以及拔湖 48m 以上,最高至 139.2m 的高位湖相沉积;铀系全溶样品的等时线年龄测定结果表明,纳木错沿岸的高位湖相沉积形成于 $115.9 \pm 12.1 \sim 71.8 \pm 8.5$ kaB.P. 的晚更新世早期,第六至第一级阶地,分别形成于 53.7 ± 4.2 、 $41.2 \pm 4.7 \sim 39.5 \pm 3.0$ 、 35.2 ± 3.0 、 32.3 ± 4.4 、 28.2 ± 2.8 和 11.2 ± 2.0 kaB.P. 的晚更新世中晚期; $T_1 \sim T_2$ 阶地湖相地层中的水草层 ^{14}C 测年结果为 2350 ~ 10390aB.P., $T_1 \sim T_2$ 阶地中的螺壳 ^{14}C 测年结果为 5290 ~ 9030aB.P., 为全新世以来。 $T_1 \sim T_2$ 阶地湖相沉积的 ^{14}C 法的同位素年龄值与铀系法测值相比,普遍偏低,其原因待查。

(2) 晚更新世以来纳木错和藏北高原东南部古大湖演化,从老到新划分为以下三个大的阶段:①115.9 ~ 37ka. B.P. 前晚更新世早中期之“古大湖期”,古湖面高于现今纳木错 140 ~ 26m;②37 ~ 30kaB.P. 间的“外流湖期”,古湖面拔湖为 26 ~ 15m;③30kaB.P. 即晚更新世晚期以来的“纳木错期”,古湖面拔湖 < 15m。

(3) 纳木错周缘湖相沉积中的粘土矿物以伊利石占绝对优势,其它矿物有高岭石、绿泥石、方解石和伊利石/蒙脱石混层等,反映出该区已具备了寒温带干旱、半干旱区的气候环境特征。因此,沉积物粘土矿物的演化与易溶盐地球化学的变化过程^[20]有相似性。

(4) 粘土矿物比值法对于应用伊利石/蒙脱石混层与伊利石比值,分析内陆盆地气候与环境变化,特别有利于分析降水量的变化规律;高岭石法反映出高岭石含量的高峰值,要早于伊利石/蒙脱石混层与伊利石比值曲线所显示的干旱峰,说明本区在随着青藏高原隆升过程中,气候的演变顺序是由干暖,转为干冷,再转为干旱;衍射峰法则表明衍射峰形态指数的高低与降水量多少,有一定的对应关系。

因此,纳木错周缘湖相沉积地层中粘土矿物的研究具有理论与实际意义,它可为青藏高原的湖泊演化、气候变化、古地理变迁及其隆升过程等提供新的资料。

致谢:在野外工作期间得到了西藏国土资源厅王保生厅长、西藏地勘局培训中心平错主任、中国地质调查局拉萨安全保障工作站负责人李全文、河南地质勘查局区域地质调查院王建平院长、河南地质勘查局区域地质调查院刘彦明队长等同志全力支持以及地质力学研究所 1:25 万当雄幅项目组全体成员的大力协助,在此表示衷心感谢。

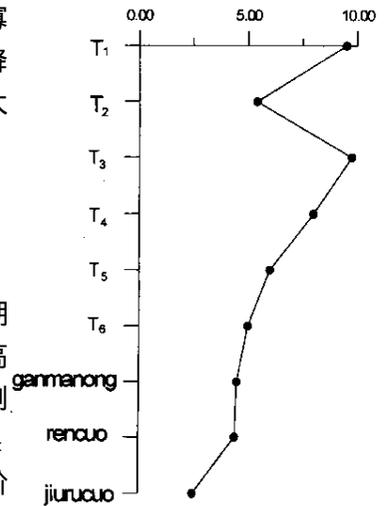


图 8 H_W 值变化曲线图

Fig.8 Variation curve of the H_W values

参 考 文 献

- [1] 陈克造, Bowler J. M., Kelts K., 四万年来青藏高原的气候变迁 [J]. 第四纪研究, 1990, (1): 21 ~ 30.
- [2] Shi Yafeng, Yu G, Liu X D, et al. Reconstruction of 30 ~ 40kaBP enhanced Indian monsoon climate based on geological records from the Tibetan Plateau [J]. Palaeogeography, Palaeoclimate, Palaeoecology, 2001, 169 (1-2): 69 ~ 83.
- [3] 朱大岗, 赵希涛, 孟宪刚, 等. 西藏纳木错与仁错—久如错连通和藏北高原古大湖的发现 [J]. 中国地质, 2001, 28 (12): 40 ~ 42.
- [4] 赵希涛, 朱大岗, 严富华, 等. 西藏纳木错末次间冰期以来的气候变迁与湖面变化 [J]. 第四纪研究, 2003, 23 (1): 41 ~ 52.
- [5] 崔之久. 古岩溶与青藏高原抬升 [A]. 见: 中国科学院青藏高原综合考察队编, 青藏高原隆起的时代、幅度和形成问题 [C]. 北京: 科学出版社, 1981. 40 ~ 51.
- [6] 朱大岗, 赵希涛, 孟宪刚, 等. 西藏纳木错与仁错—久如错连通与藏北高原古大湖的发现 [J]. 中国地质, 2004, 31 (3): 269 ~ 277.
- [7] Zhu Dagang, Zhao Xitao, Meng Xiangang et al, Quaternary lake deposits of Nam Co, Tibet, with a discussion of the connection of Nam Co with Ring Co-Jiuru Co [J]. Acta Geologica Sinica, 2002, 76 (3): 283 ~ 291.
- [8] 马志邦, 赵希涛, 朱大岗, 等. 西藏纳木错湖相沉积的铀系年代学研究 [J]. 地球学报, 2002, 23 (4): 311 ~ 316.
- [9] Luo, S. D., Ku, T. L. U-series isochron dating: A generalized method employing total-sample dissolution [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1991, 55, 555 ~ 564.
- [10] 朱大岗, 赵希涛, 孟宪刚, 等. 西藏纳木错第四纪湖相地层划分及纳木错群的建立 [J]. 地质通报, 2002, 21 (11): 708 ~ 716.
- [11] 赵希涛, 朱大岗, 吴中海, 等. 西藏纳木错晚更新世以来的湖泊发育 [J]. 地球学报, 2002, 23 (4): 329 ~ 334.
- [12] 朱大岗, 赵希涛, 孟宪刚, 等. 西藏纳木错晚更新世以来湖面变化和藏北高原古大湖的演化 [J]. 地质通报, 2003, 22 (11 ~ 12): 918 ~ 928.
- [13] 任明达, 王乃樾. 现代沉积环境概论 [M]. 北京: 科学出版社, 1981.
- [14] [英] H. G. 里丁 (周明鉴、陈昌明、张彊等译). 沉积环境和相 [M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [15] Van Campo E, Gasse F. Pollen-and diatom-inferred climatic and hydrological changes in Samxi Co basin (western Tibet) since 13000yr B. P. [J]. Quat. Res., 1993, 39: 300 ~ 313.
- [16] Hacker B R, Gnos E and Ratschbacher L et al. Hot and dry xenoliths from the Bottom of Tibet [J]. Science, 2000, 287: 2463 ~ 2466.
- [17] 刘宝璋. 沉积岩石学 [M]. 北京: 地质出版社, 1980.
- [18] 李容全, 郑良美, 朱国荣. 内蒙古湖泊与环境变迁 [M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1990.
- [19] [日] 须藤俊男 (严寿鹤、刘万、贾克实译). 粘土矿物学 [M]. 北京: 地质出版社, 1981.
- [20] 朱大岗, 赵希涛, 孟宪刚, 等. 西藏纳木错扎弄淌剖面 10000 年以来的沉积间断和环境变化记录 [J]. 地质力学学报, 2003, 9 (4): 355 ~ 362.

LAKE-LEVEL CHANGE OF NAM CO , TIBET , SINCE THE LATE PLEISTOCENE AND ENVIRONMENT INFORMATION OF CLAY MINERALS IN LACUSTRINE DEPOSITS

ZHU Da-gang¹ , MENG Xian-gang¹ , ZHAO Xi-tao² , SHAO Zhao-gang¹
MA Zhi-bang² , YANG Chao-bin³ , WANG Jian-ping¹ , WU Zhong-hai¹

(1. *Institute of Geomechanics , Chinese Academy of Geological Sciences , Beijing 100081 ;*

2. *Institute of Geology and Geophysics , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100029 ;*

3. *Department of Land and Resources of the Tibet Autonomous Region , Lhasa 850000 , Tibet)*

Abstract : Field surveys of lacustrine sediments and lakeshore levees and leveling surveys of lake terraces at peripheries of Nam Co—the largest lake with the highest altitude above sea level in Tibet—indicate that there are 6 lake terraces below the lakeshore of Nam Co 48 m above the lake level and highstand lacustrine sediments from 48 to 139.2 m above the lake level. Isotopic dating of the lacustrine sediments shows that the development of Nam Co and the evolution of the ancient large lake on the southeastern North Tibetan Plateau can be divided into three stages : ① the ancient large lake stage at 116 ~ 37 ka BP , ② the outflow lake stage at 37 ~ 30 ka BP , and ③ the Nam Co stage since 30 ka BP. Clay minerals in lacustrine sediments of Nam Co since the late Pleistocene were analyzed by X-ray diffraction , and according to the analytic results , the paper discusses the environment information of clay minerals by using the ratio method , kaolinite method and X-ray diffraction method. The changes of the clay mineral composition show the climatic and environmental features of a dry temperate arid and semi-arid area. The study provide new data for the study of the lake evolution , climate change , paleogeographic change and the plateau uplift process.

Key words : Nam Co , Tibet ; Late Pleistocene ; lake evolution ; lacustrine sediments ; clay minerals ; environmental evolution