

文章编号: 1000-0550(2010)04-0659-12

西昆仑山前陆盆地粘土矿物特征及其地质意义^①

徐耀明¹ 洪汉烈¹ 何雅娟²

(1. 中国地质大学地球科学学院 武汉 430074; 2. 中国地质大学资源学院 武汉 430074)

摘要 为重建西昆仑山地区晚新生代的地质构造及环境演变过程,本文利用 X 射线衍射(XRD)及扫描电子显微分析(SEM)方法,对西昆仑山前陆盆地(叶城盆地)该时期沉积的一套磨拉石建造中的粘土矿物进行了研究。结果表明,在整个晚中新世到早更新世的沉积物地层中,粘土矿物的种类始终以伊利石和蒙脱石为主,含少量的绿泥石和高岭石。但伊利石、蒙脱石、高岭石的相对含量,以及伊利石结晶度值等均显示出明显的变化。在 8~3.5 Ma B. P. 期间,伊利石相对含量值和结晶度值均比较高,而蒙脱石相对含量低,并有少量的高岭石产出;在 3.5~3.3 Ma B. P. 期间,伊利石相对含量值和伊利石结晶度值均急剧降低,而相反,蒙脱石相对含量值急剧升高,高岭石基本消失;3.3~2.8 Ma B. P. 期间沉积物的粘土矿物参数与 8~3.5 Ma B. P. 时期的粘土矿物参数非常接近;而 2.8~1.8 Ma B. P. 期间沉积物的粘土矿物参数则与 3.5~3.3 Ma B. P. 期间的粘土矿物参数相类似。根据沉积物中的粘土矿物特征变化规律可以推断,物源区母岩成分的变化是粘土矿物特征变化的主要原因,古气候古环境变化则是次要影响因素。粘土矿物特征的变化规律显示西昆仑山体在晚新生代具有不均匀的阶段性隆升的特点,在 3.5 Ma B. P.、3.3 Ma B. P.、2.8 Ma B. P. 左右分别发生了三次明显的构造隆升事件,而且总伴随着风化母岩成分的变化。物源区在早更新世中期(12.5 Ma B. P.)很可能处于干旱的古气候古环境中。

关键词 西昆仑 晚新生代 前陆盆地 磨拉石 粘土矿物 古气候 构造运动

第一作者简介 徐耀明 男 1985 年出生 硕士 矿物学 E-mail: yaoming.xu@gmail.com

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

0 引言

粘土矿物是沉积物中的一类常见矿物,每种粘土矿物的形成取决于具体的母岩成分及特定的风化条件,其晶粒微小,成分、结构易转变,对环境的变化非常敏感^[1]。又因其分布范围广,所以了解这类矿物的形成、演化,对理解地质作用及环境演变过程等,具有重要的意义。

一般认为,富钾的矿物如长石、云母等经风化作用常可形成伊利石^[2],而蒙脱石在成岩作用条件下可形成伊蒙混层矿物并最终转化为伊利石^[3]。镁、铁质矿物或火山物质在碱性条件下,经轻度到中度化学风化作用多形成蒙脱石^[4]。长石等富铝矿物或花岗岩在酸性介质条件下,多形成高岭石^[5],其它粘土矿物经强烈化学风化也可形成高岭石。来源于成岩带的伊利石的结晶度(10\AA 衍射峰的半高宽 $\Delta 2\theta$) 值一般大于 0.42° ,该值在 $0.42^\circ \sim 0.25^\circ$ 指示伊利石来源于近变质带,小于 0.25° 则指示来源于浅变质

带^[6-8]。在与造山带临近的前陆沉积盆地中,母岩成分的影响尤为突出。随着造山作用和剥蚀作用的进行,赋存于深部的近变质带、浅变质带的结晶度值小的伊利石不断被剥蚀、搬运沉积于盆地中,并覆盖在较早被剥蚀的来源于成岩带的伊利石之上,因此,这种环境下沉积物中伊利石结晶度值随深度的增大而增大^[9,10]。而沉积物中粘土矿物种类的变化,则表明剥蚀区母岩成分发生了变化,随造山作用的进行,地表的沉积岩逐渐被剥蚀,深部富镁、铁的矿物和火山岩、变质岩基底则暴露,成为新的风化母岩,此时蒙脱石的相对含量就会增加,伊利石相对含量随之减少。

沉积环境对粘土矿物的影响则主要包括沉积区的气候变化和埋藏引起的成岩作用两方面。伊利石多存在于干燥的环境中,因为水解作用脱钾可使伊利石向蒙脱石转化^[11]。绿泥石与伊利石相同,多在寒冷干燥的环境中稳定存在^[12]。但也有研究显示在寒冷条件下可以形成蒙脱石^[12]。而高岭石的存在指示矿物曾经历了温暖潮湿环境下的强烈化学风化作

^①国家自然科学基金项目(批准号:40872038),中国地质调查局项目(编号:1212010610103)地质过程与矿产资源国家重点实验室开放课题基金(编号:GPMR200910)资助。

收稿日期:2009-05-15; 收修改稿日期:2009-09-24

用^[13]。沉积区潮湿气候下化学风化造成的水解作用,可以使伊利石结晶度值增大,即结晶度变差^[14]。而伊利石化学指数小于0.5指示物理风化形成富镁铁的伊利石,比值大于0.5指示富铝伊利石,表示伊利石经历过较强水解作用^[15-18]。因此,如果古气候变化主导了粘土矿物的演变,那么伊利石结晶度值、蒙脱石相对含量值、高岭石相对含量值以及伊利石化学指数这些指示化学风化作用强的值应该具有相同的变化趋势。另一方面是沉积区成岩作用的影响,随着埋藏深度的增加,古地温的上升以及成岩作用的发生,粘土矿物应表现出如下特征:随深度增大伊利石逐渐增多,蒙脱石逐渐减少,伊蒙混层矿物中伊利石层逐渐增多,伊利石结晶度值逐渐减小^[3,19]。

由于西昆仑山及其北麓沉积地层的地质现象典型,对了解青藏高原隆升过程及塔里木盆地气候演化情况意义重大,因此已有学者在该地区进行过相关研究工作。Cui Junwen^[20]等认为,在早更新世西昆仑山体发生了强烈的抬升。黄赐璇^[21,22]等人的研究表明,在上新世末期,昆仑山北坡地区气候趋向干冷化。金小赤^[23]认为西昆仑的快速抬升始于中新世晚期,并在隆升中发生过大的脉动^[24]。王永^[25]等研究发现,

该地区构造活动存在阶段性。郑洪波^[26]通过对地层沉积相的分析认为,昆仑山在晚上新世有强烈的隆升,同时塔里木盆地经历着强烈干旱化的过程。本文通过矿物学方法,对该地区晚中新世到早更新世的地质环境演化历程进行更为精细的重建。

1 地质背景

西昆仑山山前地带主要为不同构造单元的分界所在,是西昆仑山与塔里木两大构造块体之间的结合部位。沿西昆仑山山前广泛分布着隆起带和凹陷带。隆起带多由被抬升的前寒武纪—古生代地层和岩体所组成,凹陷带为挤压背景下的前陆盆地^[25]。本次研究的样品取自叶城盆地柯克亚剖面(图1)。叶城盆地属塔里木盆地西南拗陷,是伴随着西昆仑山的逐步隆升,山体北麓不断沉陷所形成的一个前陆盆地。由于西昆仑山的隆升和随之加强的剥蚀作用,叶城盆地中沉积了一套晚新生代的巨厚磨拉石建造。盆地的演化具有阶段性,能够反映出西昆仑山不断的隆升^[27]。剖面年代从晚中新世到早更新世(8~1.8 MaB. P.)^[28]地层均整合接触^[24,29]。由于河流的下切,使剖面具有良好的出露^[26]。

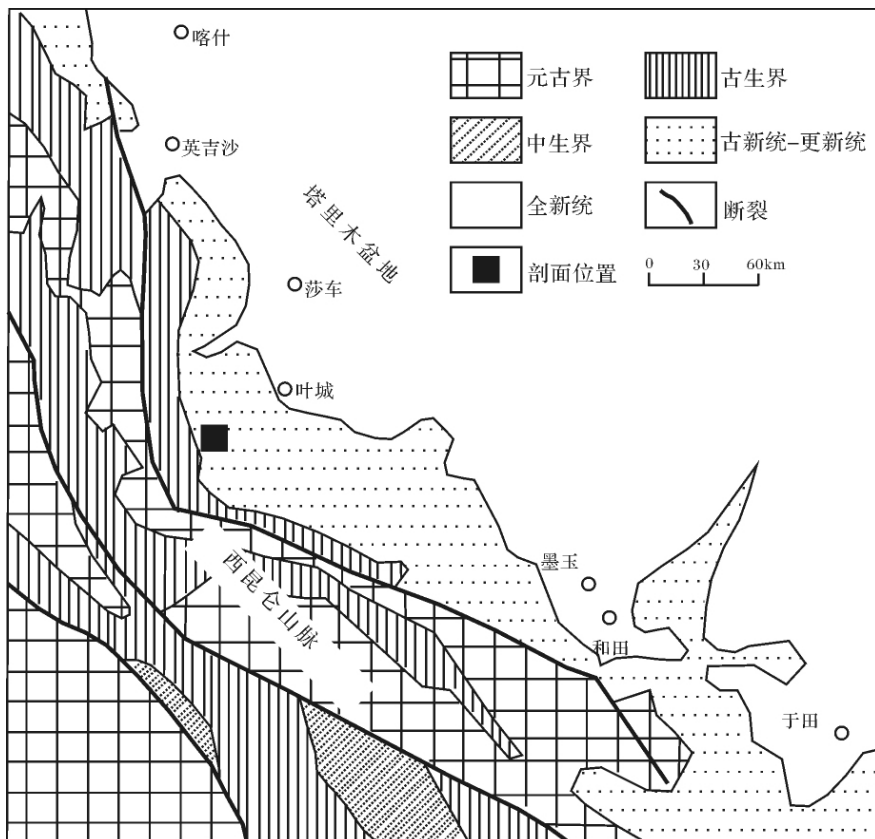


图1 西昆仑山叶城盆地地质简图(修改自[25])

Fig. 1 Geologic map of Yecheng basin of West Kunlun area

根据岩性的变化,剖面可划分为三段:下部的乌恰群,中部的阿图什组,以及上部的西域组^[30]。

乌恰群(8~4.6 Ma B. P.)^[28]在该剖面出露1 038 m。底部被第四纪黄土覆盖,上部与阿图什组整合接触。岩性以泥岩、粉砂岩为主,含有薄层砂岩和厚层砂岩体。泥岩和砂岩比例在剖面中变化很大^[30]。该段地层的沉积环境以曲流河和辫状河为主,或者是冲积扇的远端。古流指向北和西北^[26]。

阿图什组(4.6~3.5 Ma B. P.)^[28]厚822 m,与上覆西域组整合接触。岩性以砂岩和粉砂岩为主,夹有薄到中层细—中粒砾岩,砾石层的厚度、砾石数量以及粒径均有向上增加的趋势^[30]。沉积环境为冲积扇的中—远端。薄层的细—中粒砾岩主要是以面状或泥石流形式堆积,反映了位于南面的物源区已有明显的隆起^[26]。

西域组(3.5~1.8 Ma B. P.)^[28]实测厚度1 820 m,顶部被黄土覆盖,多为厚层砾岩,夹有条带状、透镜状粉砂岩层^[30]。砾岩成分复杂,粒径从中到粗,沉积于冲积扇的近端。沉积物来自于西昆仑山,搬运方式为泥石流或面状沉积^[26]。

综上所述,叶城盆地柯克亚剖面中的沉积物,从晚中新世到早更新世,岩性经历了由泥岩到砂岩再到砾岩的变化,沉积相从曲流河到辫状河再到冲积扇相的变化过程。剖面上部的巨厚砾石层即是著名的西域砾岩,这一套磨拉石建造在岩性和岩相变化上与喜马拉雅山南麓的西瓦里克群很相似,它很好的记录了西昆仑山隆起和塔里木盆地相对沉降的历史^[31]。

2 材料和方法

2.1 样品制备与实验条件

在野外根据岩性变化结合地层厚度均匀采集覆盖物下未经风化的沉积岩样品。经室内筛选后挑选出77件岩样,进行粘土矿物的提取(样品分布的层位以及岩性见图2)。首先通过外力作用使样品破碎,以便使粘土矿物脱离所附着的其它矿物颗粒;然后加入0.5%的稀盐酸除去碳酸盐矿物,用蒸馏水洗净后加10%的双氧水去除有机质^[17];再将剩余的样品经清洗后加2 000 ml蒸馏水以及少许分散剂进行沉降分选;根据斯托克斯法则,在一定时间内将上层一定高度的悬浮液用虹吸管吸取出,即吸取出粒径小于2 μm的微粒,最后用离心机快速富集所取悬浊液中的矿物颗粒。晾干备用^[32]。

将提取出的样品刮在载玻片上,制成自然定向片

(N片),即可进行X射线粉晶衍射分析。在收集粘土矿物自然定向片的X射线衍射图谱后,将自然定向片进行乙二醇饱和处理,制成乙二醇饱和片(EG片)。具体方法是将自然定向片置于70℃的乙二醇蒸汽中3 h^[33],使乙二醇分子进入具有膨胀层的粘土矿物,将其撑开,以便在X射线衍射图谱上区分衍射峰位相近的粘土矿物^[34]。X射线粉晶衍射仪型号为:日本理学D/MAX—III B,Cu Kα辐射,扫描范围3°~65°,连续扫描方式,扫描速度为8°/min,步长0.02°,靶,电流30 mA,管压30 kV。光阑系统为DS=SS=1°,RS=0.3 mm。

将具新鲜断面的小块状沉积岩原岩样品做喷金导电处理,即可进行扫描电子显微镜观察^[35],扫描电子显微镜型号为JSM—5610,加速电压20 kV,束流1~3 nA。由于粘土矿物颗粒微小,光学显微镜无法观察,因此进行SEM观察可以了解粘土矿物的微观形貌特征,并通过粘土矿物的形态,判断粘土矿物是碎屑成因还是自生成因、以及粘土矿物的种类等。

2.2 粘土矿物分析方法

通过对比N片和EG片的XRD图谱,可以确定常见的粘土矿物种类^[36]。EG片中出现16.9Å衍射峰表示蒙脱石或不规则伊蒙混层矿物存在^[37]。根据这个衍射峰的形态以及8.5Å、5.6Å衍射峰的峰形,可以粗略估计不规则伊蒙混层矿物中的蒙脱石层所占比例^[38,39]。绿泥石和高岭石由于峰位相近,高岭石通过如下方法判断:如图3中拟合前峰形所示,3.57Å衍射峰表示有高岭石存在,3.53Å表示绿泥石存在^[36]。

粘土矿物相对含量用MIF值法^[36,40]计算得出,在本次实验中,衍射峰强度使用每种矿物的(001)基面衍射峰的面积^[41]来表示。MIF值使用Churchman提出的系数,若绿泥石和高岭石同时出现,则高岭石的实际含量为计算值再乘上比例系数3.57Å峰面积/(3.57Å峰面积+3.53Å峰面积)^[40,42]。因绿泥石和高岭石的对X射线的反射能力不同^[43],所以这种对高岭石和绿泥石使用不同MIF值的方法,结果更为合理。实验中使用Jade程序进行分峰拟合操作,来求3.57Å衍射峰的面积和3.53Å衍射峰面积(图3),拟合前峰形减拟合后峰形这条曲线越平直,表示拟合效果越好^[44]。

伊利石结晶度值通过测量EG片的XRD谱图中伊利石10Å衍射峰的半高宽得到,该值越小,表示伊利石结晶越好^[45,46]。伊利石化学指数则为伊利石5.0Å衍射峰与10Å衍射峰面积的比值^[15,16]。

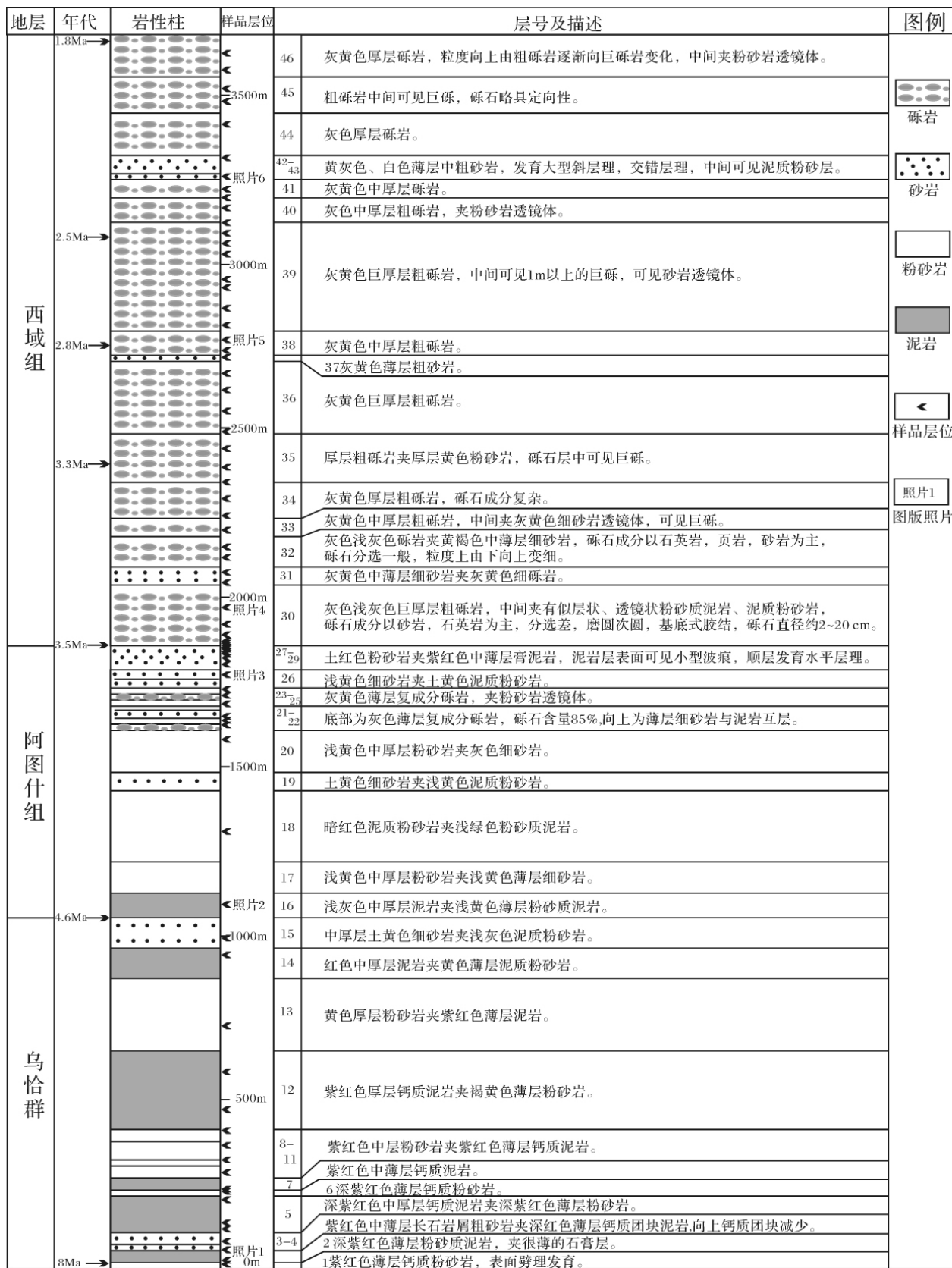


图2 剖面岩性柱状图及样品层位

Fig. 2 A schematic diagram showing the composite stratigraphy and sampling sites

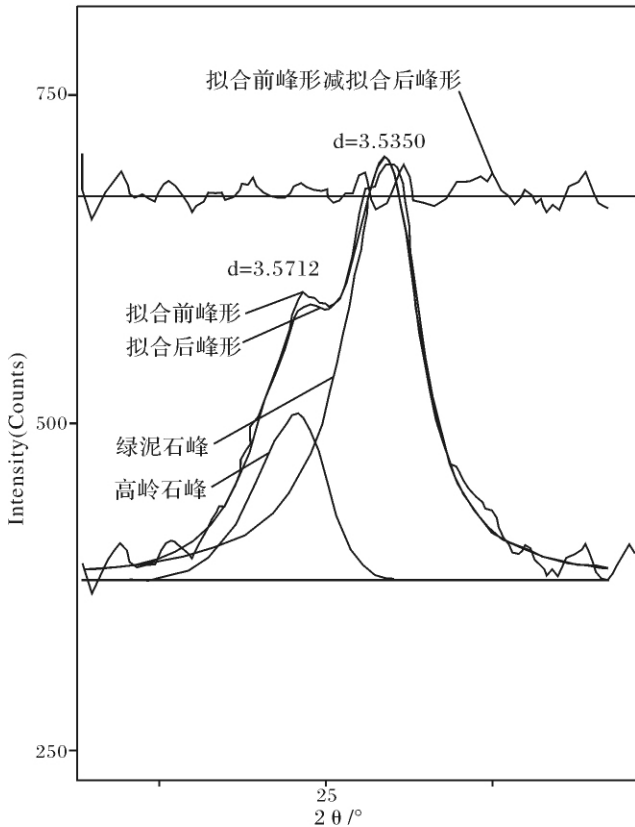


图 3 Jade 程序对高岭石绿泥石重叠峰的拟合过程示意图
Fig. 3 Fitting scene of overlapped peaks in Jade program

3 分析结果

X 射线分析结果表明,叶城剖面沉积岩样品中粘土矿物主要是伊利石和蒙脱石,以及少量的绿泥石和高岭石,并含有不规则伊蒙混层矿物^[8]。图 4 为代表性样品的 X 射线衍射结果。通过上节所述处理步骤,获得样品中各粘土矿物的相对含量、伊利石结晶度值、伊利石化学指数等 6 组特征指数。伊利石相对含量,最大值为 98%,最小值为 29%,平均值为 74%;蒙脱石相对含量,最大值为 67.7%,最小值为 0%,平均值为 21%;绿泥石相对含量,最大值为 7.6%,最小值为 1%,平均值为 3.7%;高岭石相对含量,最大值为 10.8%,最小值为 0%,平均值为 1%;伊利石结晶度值,最大值为 0.48°,最小值为 0.21°,平均值为 0.33°;伊利石化学指数,最大值为 0.5,最小值为 0.13,平均值为 0.31。SEM 观察结果显示,绝大多数粘土矿物磨蚀明显,不具完好晶形(见图版 I)。个别层位分布有少量丝状的坡缕石粘土矿物(图版 I-3)。

根据分析得到的 6 组数据作图,获得这 6 个参数值随深度变化的曲线。根据伊利石相对含量、伊利石结晶度值、蒙脱石相对含量、以及高岭石含量这 4 条曲线的变化特征,同时参考绿泥石相对含量和伊利石

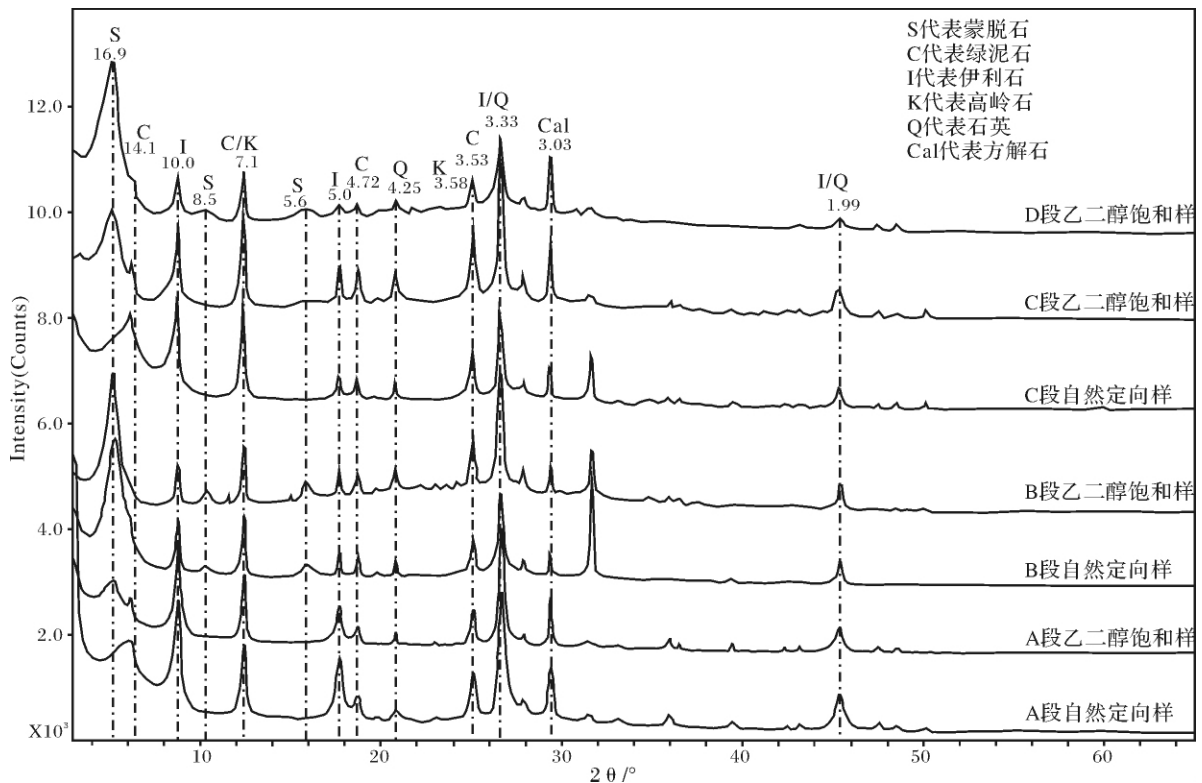


图 4 代表性样品粘土矿物的 XRD 图谱
Fig. 4 XRD patterns of representative samples of clay fractions

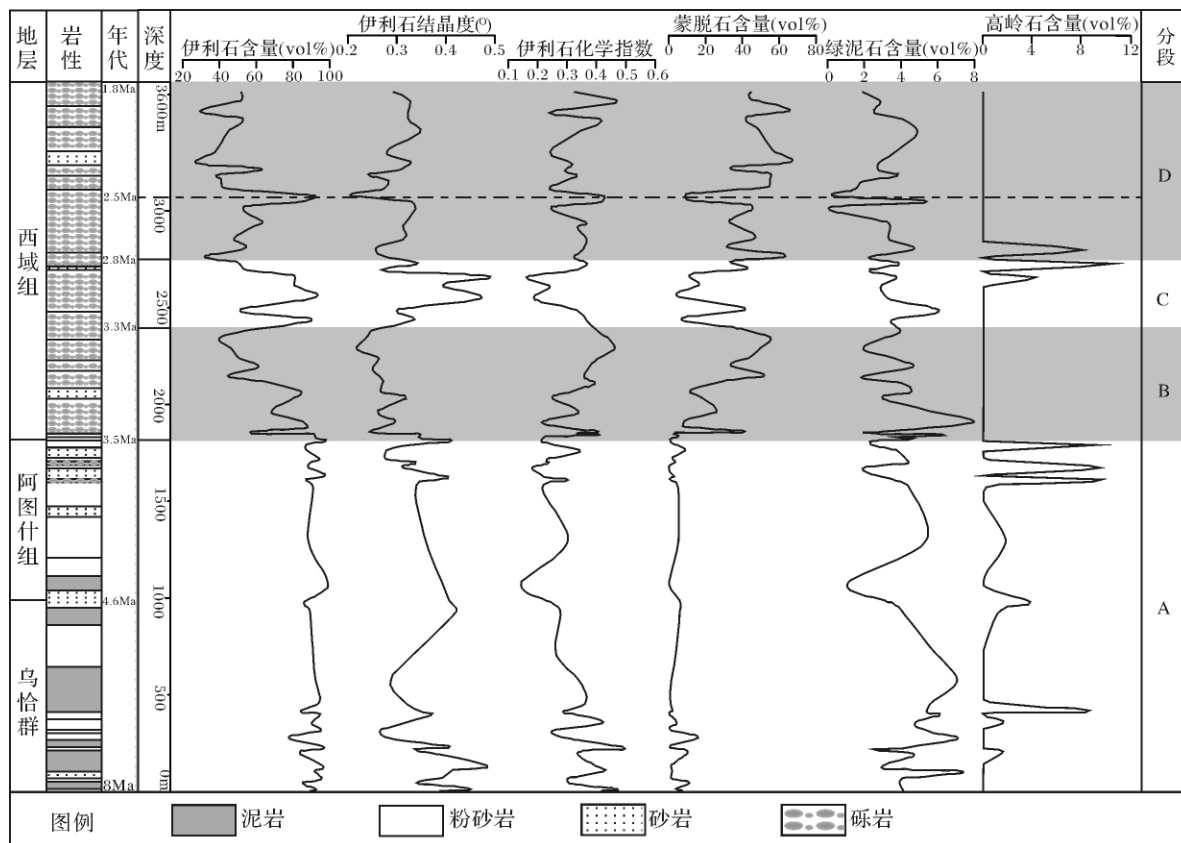


图5 叶城剖面粘土矿物特征变化曲线图

Fig. 5 The variation diagram of clay mineral characters

化学指数的变化趋势,可将研究区地层自下而上分为四段,并以 ABCD 分别表示(图 5)。

A 段(8 ~ 3.5 Ma B. P.)^[28]: 包括该剖面出露的乌恰群和阿图什组。对乌恰群和阿图什组的古流向分析表明,砂岩的物源区位于南和偏南方向^[29]。该段中伊利石相对含量和伊利石结晶度值均较高,蒙脱石的含量较低,并有少量的高岭石连续产出;在阿图什组中,伊利石结晶度值缓慢下降,而其它参数相对稳定、波动较小。A 段伊利石最大值为 98%,最小值为 77%,平均值为 91%;蒙脱石最大值为 15.7%,最小值为 0%,平均值为 3.7%;绿泥石最大值为 7.1%,最小值为 1.1%,平均值为 4.2%;高岭石最大值为 10%,最小值为 0%,平均值为 1.5%;伊利石结晶度值最大值为 0.48°,最小值为 0.27°,平均值为 0.36°;而伊利石化学指数最大值为 0.5,最小值为 0.13,平均值为 0.3。

B 段(3.5 ~ 3.3 Ma B. P.)^[28]: 该段始于西域组底界。伊利石相对含量和伊利石结晶度值急剧下降,而蒙脱石相对含量突然增加,高岭石消失;伊利石化

学指数缓慢升高。伊利石含量最大值为 89%,最小值为 41%,平均值为 66%;蒙脱石最大值为 56%,最小值为 6%,平均值为 30%;绿泥石最大值为 7.6%,最小值为 1.8%,平均值为 3.9%。伊利石结晶度值最大值为 0.34°,最小值为 0.22°,平均值为 0.27°。伊利石化学指数最大值为 0.46,最小值为 0.2,平均值为 0.35。

C 段(3.3 ~ 2.8 Ma B. P.)^[28]: 伊利石相对含量和伊利石结晶度值升高,蒙脱石相对含量同时下降。伊利石化学指数下降,表现为低值谷。该段中上部有少量的高岭石。伊利石最大值为 92%,最小值为 51%,平均值为 72%;蒙脱石最大值为 43%,最小值为 4.6%,平均值为 22.6%;绿泥石最大值为 5.8%,最小值为 2.3%,平均值为 3.5%;高岭石最大值为 11%,最小值为 0%,平均值为 2%。伊利石结晶度值最大值为 0.48°,最小值为 0.28°,平均值为 0.37°。伊利石化学指数最大值为 0.37,最小值为 0.15,平均值为 0.28。

D 段(2.8 ~ 1.8 Ma B. P.)^[28]: 伊利石相对含量

和伊利石结晶度值再次下降,蒙脱石相对含量增加,该段下部有少量高岭石。伊利石化学指数缓慢升高。在D段的2.5 Ma B. P.^[28]附近,变化曲线出现一个比较明显的波动,伊利石结晶度值下降,蒙脱石相对含量下降,伊利石相对含量上升,伊利石化学指数上升。该段伊利石最大值为91%,最小值为30%,平均值为52%;蒙脱石最大值为68%,最小值为9%,平均值为45%;绿泥石最大值为5%,最小值为0%,平均值为3%;高岭石最大值为8%,最小值为0%,平均值为0%。伊利石结晶度值最大值为 0.35° ,最小值为 0.21° ,平均值为 0.3° 。伊利石化学指数最大值为0.47,最小值为0.23,平均值为0.33。

纵观叶城剖面中粘土矿物特征的变化可以看出,伊利石结晶度值($0.21^\circ \sim 0.48^\circ$)与伊利石相对含量变化趋势基本相同(除2.5 Ma B. P.处的波动),自下向上呈现阶段性变化,经历两个高值段和两个低值段;蒙脱石相对含量变化趋势与伊利石相对含量变化趋势相反,经历两个低值段两个高值段。而伊利石化学指数变化幅度不大,均小于临界值0.5。在乌恰群和阿图什组中高岭石的相对含量很低,而在西域组中则仅在西域组中部出现而又很快消失。绿泥石相对含量变化趋势与伊利石相对含量变化趋势相似。

4 讨论与结论

4.1 粘土矿物特征及其影响因素

从图5可以看出,伊利石与蒙脱石相对含量变化不具渐变特征,而是明显的突变,而且在剖面最底部,蒙脱石相对含量反而比剖面中部高。伊利石结晶度值整体来看具有随深度增加而增大的趋势,与成岩作用下的特征正好相反。少量的无序伊蒙混层矿物中蒙脱石层相对含量与深度也无相关关系(图4中16.9Å峰形变化情况^[38])。此外,扫描电镜分析也未观察到成岩作用的迹象,未发现具有自生成因的伊利石或蒙脱石的特征晶形,绝大多数粘土矿物不具完好晶形,具有磨蚀凹痕,为碎屑成因(见图版I)。可见,该区沉积物中粘土矿物的特征主要反映了沉积碎屑特征,并未受成岩作用的改造,这与该区新近系地层成岩作用不明显的结果相一致^[27]。

除2.5 Ma B. P.附近的变化外,在大多数情况下,伊利石结晶度值变化趋势与伊利石相对含量变化相同,却与蒙脱石相对含量变化相反,这不符合以气候因素影响为主的粘土矿物变化特征。而且伊利石化学风化指数始终小于0.5,表示伊利石的水解作用

弱。由此可见,气候及风化条件的改变,并不是影响粘土矿物特征的主要原因。在2.5 Ma B. P.附近,由于伊利石结晶度值变化趋势与伊利石相对含量变化趋势相反,与气候影响下的粘土变化特征一致,因此,气候变迁是影响该地区粘土矿物特征变化的次要因素。

研究区的各项粘土矿物指数变化特征,与以物源区母岩的成分变化为控制因素的前陆盆地沉积物中粘土矿物的变化特征完全相符。地层中伊利石相对含量高的时期结晶度值也大,同时有高岭石存在,这是由于此时母岩成分以地表成岩带的富钾、富铝矿物为主,而地层中伊利石相对含量降低时结晶度值也随之降低,同时高岭石消失,蒙脱石却大量出现,这可能是由于物源区母岩成分随着剥蚀的加深,转变为近变质带甚至浅变质带的富镁、铁矿物和火山岩变质岩基底,因而导致了粘土矿物特征变化。

4.2 粘土矿物特征对构造隆升的指示意义

从分析结果可以看出,在A段中,伊利石占绝对优势,但均有少量的高岭石产出,而且伊利石结晶度值比较高,这些指示母岩应为含富钾、富铝矿物的沉积岩,且物源区为近地表的成岩带。说明此时作为物源区的西昆仑山剥蚀作用弱,海拔高度较低。该段粘土矿物特征变化小,说明物源区构造环境稳定,尚未发生明显的隆升。这与其他学者从岩石学岩相学的研究得出的该段碎屑矿物以石英、长石为主,岩屑成分以沉积岩为主的结果相一致^[47]。在上新世未发现了指示干旱一半干旱气候条件的丝状坡缕石(图版I-3),这与孢粉分析结果相吻合^[21, 22, 48, 49]。

在B段中,伊利石相对含量和结晶度值急剧下降,高岭石消失,同时蒙脱石相对含量突然上升,这说明物源区母岩中镁、铁质矿物增多或者火山岩比例升高,并且物源由成岩带向近变质带转变,这些变化均表明剥蚀作用的加剧,反映出西昆仑山体开始抬升。这与其他学者对岩屑的研究结果,即镁质矿物出现、火成岩岩屑和浅变质岩屑增加一致^[47, 49],说明物源区西昆仑山体在此时期的抬升作用比较明显,与沉积相分析结果相一致^[23, 26]。

在C段中,伊利石相对含量和结晶度值回升,蒙脱石相对含量下降,并且出现了少量高岭石,C段与A段的粘土矿物特征相似,粘土矿物相对含量的变化指示母岩中镁、铁质矿物及火山岩比例的下降,富钾、富铝矿物增多,而物源区接近于成岩带。这说明物源发生了变化。推测在这段时间中,西昆仑山主体隆升

速度减缓,山顶剥蚀去顶作用强度下降,或山体出现了不均匀隆升的情况,使物源区发生变化,进而导致了沉积区的物质变化。有学者在对砾石成分变化的研究中,同样得出了在这段地层火山岩含量有所下降的结果,而花岗岩有所增加,后又突然减少^[30]。高岭石的短暂出现可能与花岗岩的出现相关。

在D段中,伊利石相对含量和结晶度值再次下降,蒙脱石相对含量回升,高岭石消失。该段粘土矿物特征与B段相类似。粘土矿物变化所反映出的物源变化,指示西昆仑山主体再次进入隆升阶段。与其它学者对砾岩成分变化的研究结果,即镁质片麻岩、镁质麻粒岩以及火山成因砾石增多的结论一致^[30]。值得注意的是,在2.5 Ma B. P.附近,伊利石相对含量升高而其结晶度值降低,二者的变化趋势相反,这是气候影响粘土矿物特征的标志。可见,这有可能代表一个气候干旱时期,干旱的条件不利于蒙脱石形成,同时使来自近变质带的具有低结晶度值的伊利石保存了下来。

由物源区母岩成分的变化所决定的粘土矿物特征变化,显示出西昆仑山体的隆升过程具有相对快速期与相对缓和期交替出现的特征,山体呈现阶段性抬升,这与其他学者的观点一致^[24, 50, 51]。

4.3 主要结论

通过以上分析,可以得出如下结论:

(1) 物源区母岩成分的变化是导致粘土矿物特征变化的主要因素,构造运动通过控制物源间接地影响粘土矿物在剖面中的分布。因此,在研究区这种地质背景下,可以通过分析粘土矿物特征来反演地区构造作用历史。本文的结果佐证了在构造活动强烈的前陆盆地环境中,粘土矿物的变化主要是受物源变化的影响,而不是古气候的变化这一观点。

(2) 粘土矿物特征的变化显示西昆仑山具有不均匀的阶段性隆升的特点,在8~3.5 Ma B. P.期间,地质环境较稳定,山体隆升作用进行的很缓慢;在3.5 Ma B. P.左右发生了一次快速隆升事件,粘土矿物反映出了物源成分的明显变化;在3.5~3.3 Ma B. P.期间,山体处于相对稳定的构造环境,抬升作用在持续进行,但母岩始终以富镁铁岩石为主导。在3.3 Ma B. P.西昆仑山体发生了第二次强烈的构造运动,表现为风化母岩成分由富镁、富铁岩石转变为富铝、富钾的岩石,可能是其它位置的岩体发生了明显的抬升所导致,取代先前的母岩成为新的风化源区;而在3.3~2.8 Ma B. P.期间,山体应该继续隆生,而隆升

速率相对均匀;在2.8 Ma B. P.左右发生了第三次明显的山体抬升事件,风化母岩成份变回镁、铁质岩石;2.8~1.8 Ma B. P.期间西昆仑山体匀速抬升。

(3) 粘土矿物特征的变化反映出了古气候的变化,在早更新世中期(2.5 Ma B. P.)研究区很可能处于干旱的古气候古环境中。

致谢 感谢殷科先生在物源问题上的见解以及李荣彪先生对样品制备流程的指导。

参考文献(References)

- 1 王行信. 盆地形成演化对粘土矿物组成和分布的影响[J]. 中国海上油气:地质,1998,03:154-158 [Wang Xingxin. The effect of basin formation and evolution on clay mineral composition and distribution of mudstone[J]. China Offshore Oil and Gas, 1998, 03: 154-158]
- 2 李祥辉,徐宝亮,陈云华. 华北-东北南部地区中生代中晚期粘土矿物与古气候[J]. 地质学报,2008,05:683-691 [Li Xianghui, Xu Baoliang, Chen Yunhua. Clay minerals of the Middle-Late Mesozoic mudrocks from north and northeast China: implications to paleoclimate and paleohighland[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 05: 683-691]
- 3 赵明,陈小明,季峻峰. 山东昌潍古近系原型盆地粘土矿物的成岩演化与古地温[J]. 岩石学报,2006,08:2195-2204 [Zhao Ming, Chen Xiaoming, Ji Junfeng. Diagenetic and paleogeothermal evolution of the clay minerals in the Paleogene Changwei prototype basin of Shandong Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 08: 2195-2204]
- 4 Ehrmann W. Implications of late Eocene to early Miocene clay mineral assemblages in McMurdo Sound (Ross Sea, Antarctica) on paleoclimate and ice dynamics[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1998, 139(3-4): 213-231
- 5 冯启,冯庆来,于吉顺. 广西东攀剖面二叠系顶部粘土矿物特征及古气候意义[J]. 沉积学报,2007,03:365-371 [Feng Qi, Feng Qinglai, Yu Jishun. Characteristics of clay minerals from the uppermost Permian in Dongpan Section, Guangxi Province and its significance[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 03: 365-371]
- 6 Kubler B. La Cristallinité De L'illite et les Zones Tout a Fait Supérieures du Metamorphisme[J]. Neuchâtel, Univ., Inst. Geol., 1967: 105-122
- 7 王河锦,陶晓风, Rahn M. 伊利石结晶度及其在低温变质研究中若干问题的讨论[J]. 地学前缘,2007,01:151-156 [Wang Hejin, Tao Xiaofeng, Rahn M. Some aspects of illite crystallinity and its applications in low temperature metamorphism[J]. Earth Science Frontiers, 2007, 01: 151-156]
- 8 Jaboyedoff M, F BUSSY, Kubler B. Illite "crystallinity" revisited[J]. Clays and Clay Minerals, 2001, 49(2): 156-167
- 9 Dorsey R J, Buchovecky E J, Lundberg N. Clay mineralogy of Pliocene-Pleistocene mudstones, Eastern Taiwan: Combined effects of burial diagenesis and provenance unroofing[J]. Geology, 1988. 16(10): 944-947
- 10 王行信,王少依. 塔里木盆地第三系伊利石结晶度纵向变化的地质意义[J]. 新疆石油地质,1998,03:214-259 [Wang Xingxin,

- Wang Shaoyi. Geologic significance of illite crystallinity in Tertiary Mudstone, Tarim Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 1998, 03: 214-259]
- 11 Srodon J. Use of clay minerals in reconstructing geological processes: Recent advances and some perspectives [J]. *Clay Minerals*, 1999, 34 (1): 27-37
 - 12 刘志飞, 赵玉龙, 李建如. 南海西部越南岸外晚第四纪粘土矿物记录: 物源分析与东亚季风演化 [J]. *中国科学: D 辑*, 2007, 09: 1176-1184 [Liu Zhifei, Zhao Yulong, Li Jianru. Late-Quaternary clay minerals records of South China Sea: source area analysis and east Asia monsoon evolution [J]. *Science in China: Series D*, 2007, 09: 1176-1184]
 - 13 程捷, 唐德翔, 张绪教. 粘土矿物在黄河源区古气候研究中的应用 [J]. *现代地质*, 2003, 01: 47-51 [Cheng Jie, Tang Dexiang, Zhang Xujiao. Research on the Holocene climate in the source area of the Yellow River by clay minerals [J]. *Geoscience*, 2003, 01: 47-51]
 - 14 洪汉烈, 于娜, 薛惠娟. 临夏盆地晚更新世沉积物粘土矿物的特征及其古气候指示 [J]. *现代地质*, 2007, 02: 406-414 [Hong Hanlie, Yu Na, Xue Huijuan. Clay mineralogy and its palaeoclimatic indicator of the Late Pleistocene in Linxia Basin [J]. *Geoscience*, 2007, 02: 406-414]
 - 15 Esquevin J. Influence de la composition chimique des illites sur Leur cristallinité [J]. *Centre de Recherches de Pau (Société Nationale des Pétroles d'Aquitaine)*, Bulletin, 1969, 3(1): 147-153
 - 16 Gingele F X, De Deckker P, and Hillenbrand C D. Clay mineral distribution in surface sediments between Indonesia and NW Australia: Source and transport by ocean currents [J]. *Marine Geology*, 2001, 179(3-4): 135-146
 - 17 Liu Zhifei, Christophe Colin, Huang Wei. Clay minerals in surface sediments of the Pearl River Drainage Basin and their contribution to the South China Sea [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(8): 1101-1111
 - 18 Gingele F X, Mueller P M, Schneider R. Orbital forcing of freshwater input in the Zaire Fan area: Clay mineral evidence from the last 200 kyr [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1998, 138(1-4): 17-26
 - 19 Horton D G. Mixed-layer Illite/Smectite as a paleotemperature indicator in the Amethyst vein system, Creede district, Colorado, USA [C]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1985, 91: 171-179
 - 20 Cui Junwen, Li Pengwu, Guo Xianpu. Basin-and mountain-building dynamic model of "ramping-detachment-compression" in the west Kunlun-Southern Tarim Basin margin [J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2008, 02: 358-370
 - 21 黄赐璇. 上新世时期昆仑山南北古植被和古气候比较研究 [J]. *中国科学: B 辑*, 1994, 01: 87-93 [Huang Cixuan. The comparative research of Pliocene Palaeoclimate of southern and northern Kunlun Mountain [J]. *Science in China: Series B*, 1994, 01: 87-93]
 - 22 黄赐璇, 张青松. 昆仑山北坡晚新生代含植物化石石灰华的孢粉组合及其古环境 [J]. *地理学报*, 1991, 03: 348-352 [Huang Cixuan, Zhang Qingsong. A study on the sporo-pollen assemblage and its paleo-environment at the plant-bearing calcic sinter of Late Cenozoic Era on northern slope of the Kunlun Mountains [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1991, 03: 348-352]
 - 23 金小赤, 王军, 陈炳蔚. 新生代西昆仑隆升的地层学和沉积学记录 [J]. *地质学报*, 2001, 04: 460-467 [Jin Xiaochi, Wang Jun, Chen Bingwei. Stratigraphic and sedimentologic records of the uplifting of the West Kunlun in the Cenozoic [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2001, 04: 460-467]
 - 24 司家亮, 李海兵, Laurie Barrier. 青藏高原西北缘晚新生代的隆升特征—来自西昆仑山前盆地的沉积学证据 [J]. *地质通报*, 2007, 10: 1356-1367 [Si Jialiang, Li Haibing, Laurie Barrier. Late Cenozoic uplift of the northwestern margin of the Qinghai-Tibet Plateau: sedimentary evidence from piedmont basins of the West Kunlun Mountains [J]. *Geological Bulletin of China*, 2007, 10: 1356-1367]
 - 25 王永, 李德贵, 肖序常. 西昆仑山前晚新生代构造活动与青藏高原西北缘的隆升 [J]. *中国地质*, 2006, 01: 41-47 [Wang Yong, Lee Tehquei, Xiao Xuchang. Late Cenozoic tectonic movement in the front of the West Kunlun Mountains and uplift of the northwestern margin of the Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Geology in China*, 2006, 01: 41-47]
 - 26 郑洪波, Butcher K, Powell C. 新疆叶城晚新生代山前盆地演化与青藏高原北缘的隆升—II 沉积相与沉积盆地演化 [J]. *沉积学报*, 2003, (01): 46-51 [Zheng Hongbo, Butcher Katherine, Powell Chris. Evolution of Neogene foreland basin in Yecheng, Xinjiang, and uplift of Northern Tibetan Plateau: II facies analysis [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, (01): 46-51]
 - 27 陶土振, 刘德良, 魏大卫. 叶城凹陷白垩纪至晚第三纪成岩作用与古地温研究 [J]. *石油勘探与开发*, 1998, 03: 26-30 [Tao Shizhen, Liu Deliang, Wei Dawei. A study on paleo-geotemperature between Cretaceous and Neogene in Yecheng Depression [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1998, 03: 26-30]
 - 28 Zheng H, Jie Zhou, Guangrong Dong. Pliocene Uplift of the Northern Tibetan Plateau [J]. *Geology*, 2000, 28(8): 715-718
 - 29 郑洪波, 从新疆叶城剖面砂岩和砾岩组分看西昆仑山的剥蚀历史 [J]. *地质力学学报*, 2002, 04: 297-305 [Zheng Hongbo. Unroofing history of the West Kunlun viewed from the petrography of sandstone and conglomerate from Yecheng Section, Xinjiang [J]. *Journal of Geomechanics*, 2002, 04: 297-305]
 - 30 郑洪波, Katherine Butcher, Chris Powell. 新疆叶城晚新生代山前盆地演化与青藏高原北缘的隆升—I 地层学与岩石学证据 [J]. *沉积学报*, 2002, 20(02): 274-281 [Zheng Hongbo, Butcher Katherine, Powell Chris. Evolution of Neogene foreland basin in Yecheng, Xinjiang, and uplift of Northern Tibetan Plateau: I stratigraphy and petrology [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(02): 274-281]
 - 31 郑洪波, 陈惠忠, 靳鹤灵. 上新世-早更新世青藏高原北缘隆升的磁性地层学证据 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2002, 02: 57-62 [Zheng Hongbo, Chen Huizhong, Jin Heling. Magnetostratigraphic evidence for the Pliocene-Early Pleistocene uplift of the Northern Tibetan Plateau [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2002, 02: 57-62]
 - 32 须藤俊男. 粘土矿物学 [M]. 北京: 地质出版社, 1972 [Translated

- by Yan Shouhe. Clay Mineralogy [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1972]
- 33 Hanlie Hong, Ning Zhang, Li Zhaohui. Clay mineralogy across the P-T boundary of the Xiakou section, China: Evidence of clay provenance and environment [J]. Clays and Clay Minerals, 2008, 56(2): 131-143
- 34 Liu Zhifei, Christophe Colin, Alain Trentesaux. Erosional history of the Eastern Tibetan Plateau since 190 kyr Ago: Clay mineralogical and geochemical investigations from the Southwestern South China Sea [J]. Marine Geology, 2004, 209(1-4): 1-18
- 35 Hanlie Hong, Zhaohui Li, Huijuan Xue. Oligocene clay mineralogy of the Linxia Basin: Evidence of paleoclimatic evolution subsequent to the initial-stage uplift of the Tibetan Plateau [J]. Clays and Clay Minerals, 2007, 55(5): 491-503
- 36 Moore D M, Reynolds R C. X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals [M]. Oxford University Press, 1997
- 37 黄思静. 混层伊利石-蒙脱石的鉴定及其成岩意义 [J]. 沉积与特提斯地质, 1990, 05: 23-29 [Huang Sijing. Identification and diagenetic significance of interstratified illite-montmorillonite series [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 1990, 05: 23-29]
- 38 廖立兵. 蒙皂石-伊利石演化及有关问题的理论探讨 [J]. 现代地质, 1995, 01: 37-41 [Liao Libing. Discussion on smectite illitization and related problems [J]. Geoscience, 1995 01: 37-41]
- 39 Inoue A, Bouchet Alain, Velde Bruce. Convenient technique for estimating smectite layer percentage in randomly interstratified illite/smectite minerals [J]. Clays and Clay Minerals, 1989, 37(3): 227-234
- 40 Kahle M M, Kleber R Jahn. Review of XRD-based quantitative analyses of clay minerals in soils; the suitability of mineral intensity factors [J]. Geoderma, 2002, 109(3-4): 191-205
- 41 Hillier S. Accurate quantitative analysis of clay and other minerals in sandstones by XRD: Comparison of a rietveld and a Reference Intensity Ratio (RIR) method and the importance of sample preparation [J]. Clay Minerals, 2000, 35(1): 291-302
- 42 Churchman G J. Clay minerals from micas and chlorites in some New Zealand soils [J]. Clay Minerals, 1980, 15(1): 59-76
- 43 陆琦, 刘惠芳, 雷新荣. 蒙脱石 + 伊/蒙混层 + 伊利石等粘土矿物混合物相 X 射线定量分析方法-模拟定量法 [J]. 矿物学报, 1993, 01: 13-20 [Lu Qi, Liu Hui Fang, Lei Xinrong. Simulating quantitative analysis method-quantitative analysis of clay mineral mixtures of montmorillonite, illite/smectite interstratified clay minerals, illite, chlorite and some others [J]. Acta Mineralogica Sinica, 1993, 01: 13-20]
- 44 Aparicio P, Ferrell R E. An application of profile fitting and CLAY + + for the Quantitative Representation (QR) of mixed-layer clay minerals [J]. Clay Minerals, 2001, 36(4): 501-514
- 45 Kubler B, Les Argiles. Indicateurs de metamorphisme [J]. Revue de l'Institut Francais du Pétrole, 1964, 19(10): 1093-1112
- 46 王河锦, 周健. 关于伊利石结晶度诸指数的评价 [J]. 岩石学报, 1998 03: 396-405 [Wang Hejin, Zhou Jian. On the indices of illite crystallinity [J]. Acta Petrologica Sinica, 1998, 03: 396-405]
- 47 Zheng Hongbo, Huang Xiangtong, Butcher K. Lithostratigraphy, petrography and facies analysis of the Late Cenozoic sediments in the Foreland basin of the West Kunlun [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2006, 241(1): 61-78
- 48 王树基, 高存海. 塔里木内陆盆地晚新生代干旱环境的形成与演变 [J]. 第四纪研究, 1990, 04: 373-380 [Wang Shuji, Gao Cunhai. The formation and evolution of the arid environment of the inland Tarim Basin since Late Cenozoic Era [J]. Quaternary Sciences, 1990, 04: 373-380]
- 49 朱立平. 新疆叶城地区第四纪粗砂砾层沉积及其与昆仑山隆起的关系 [J]. 地理研究, 1992 04: 57-67 [Zhu Liping. The Quaternary coarse sand-gravels deposits in Yecheng, Xinjiang and the correlations with the uprising of Kunlun Mountains [J]. Geographical Research, 1992, 04: 57-67]
- 50 刘训, 王军, 张招崇. 第四纪磨拉石组分与青藏高原隆升的关系-对新疆叶城柯克亚剖面第四系砾石成分测量结果的认识 [J]. 地质通报, 2002, 11: 759-769 [Liu Xun, Wang Jun, Zhang Zhaochong. Relation between the components of Quaternary molasse and uplift of the Qinghai-Tibet Plateau: Preliminary understanding of the results of measurements of the Quaternary pebble composition at the Kokyar section, Yecheng, Xinjiang [J]. Regional Geology of China, 2002, 11: 759-769]
- 51 王军. 西昆仑卡日巴生岩体和苦子干岩体的隆升-来自磷灰石裂变径迹分析的证据 [J]. 地质论评, 1998 04: 435-442 [Wang Jun. Uplift of the Karibasheng and Kuzigan Granite in the West Kunlun Mountains: evidence from apatite fission track analysis [J]. Geological Review, 1998 04: 435-442]

Clay Mineralogy and Its Geological Significance of Sediments in the Foreland Basin of West Kunlun Mountains

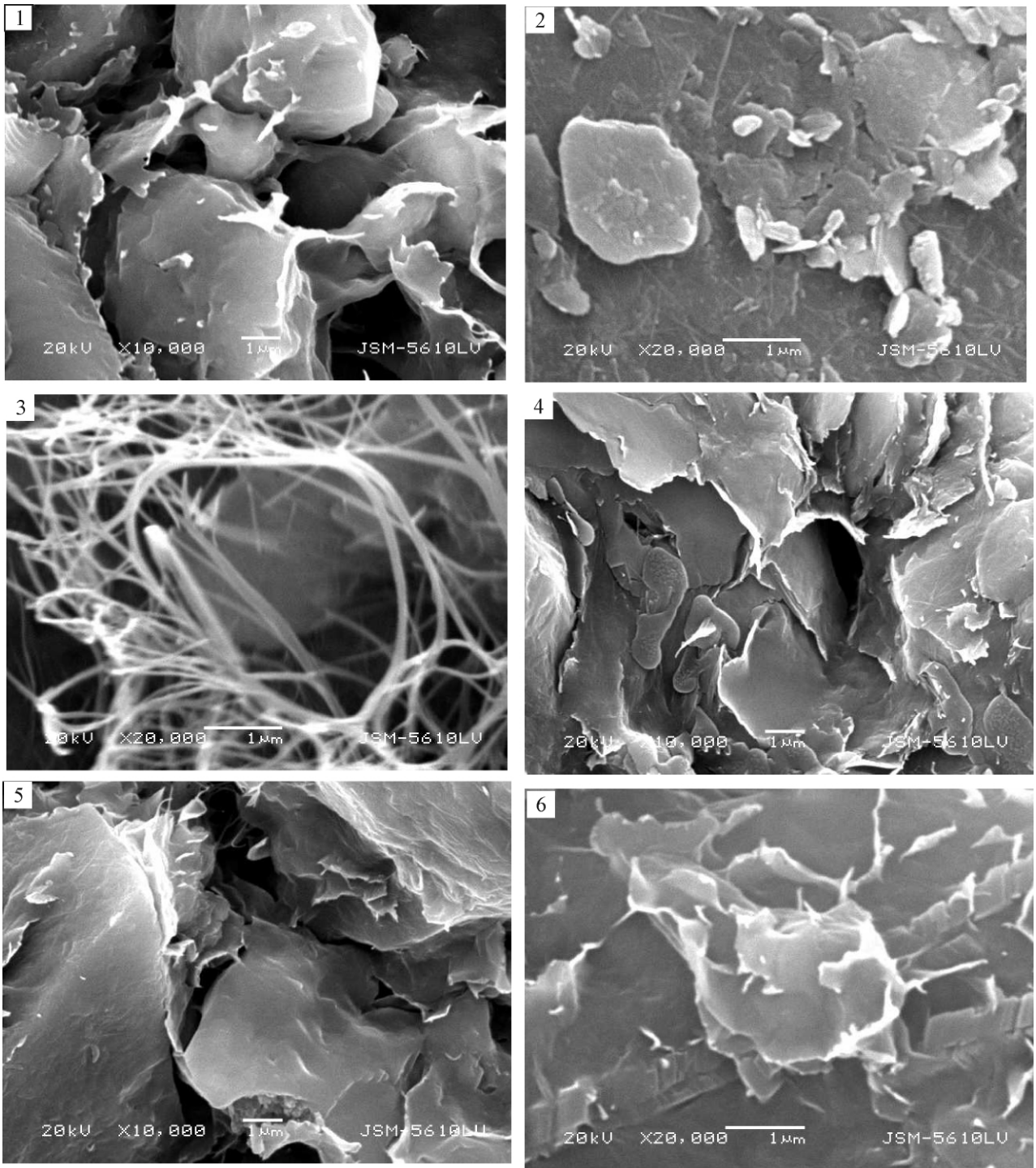
XU Yao-ming¹ HONG Han-lie¹ HE Ya-juan²

(1. Faculty of Earth Science, China University of Geoscience, Wuhan 430074;

2. Faculty of Resource, China University of Geoscience, Wuhan 430074)

Abstract To reconstruct the evolution process of tectonics and paleoenvironment during the late-Cenozoic time in West Kunlun area, clay mineralogy of the molasse sediments of the foreland basin of West Kunlun mountains were investigated using X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) methods. The results show that clay minerals in sediments of 8-1.8 Ma B. P. are mainly illite and smectite, with minor chlorite and kaolinite, while their relative contents and illite crystallinity change apparently along the profile. Illite content and its crystallinity are both notably high, and the content of smectite is low, with minor kaolinite occurring throughout the sediments of 8 ~ 3.5 Ma B. P. The content of smectite increases sharply while the content of illite, as well as the illite crystallinity, decreases, and no kaolinite is present in the period of 3.5 ~ 3.3 Ma B. P. Clay mineral indices of the period of 3.3 ~ 2.8 Ma B. P. are similar to those of 8 ~ 3.5 Ma B. P., and which of the period of 2.8 ~ 1.8 Ma B. P. are similar to those of 3.5 ~ 3.3 Ma B. P. It is concluded that changes in clay mineralogy of the Yecheng sediments was dominantly controlled by the changes of source rocks and, to some extent, by changes in climate around the area. The uplift of the West Kunlun is uneven and stepwise according to clay mineralogy of sediments. There were three times structural uplift events in the west Kunlun area, which had occurred around 3.5 Ma B. P., 3.3 Ma B. P. and 2.8 Ma B. P., respectively. In addition, an arid episode occurred around 2.5 Ma B. P. in the region.

Key words West Kunlun mountains; Late-Cenozoic; foreland basin; Molasse; clay minerals; palaeoclimate; tectonic movement



图版 I 说明: 1. 厚 50 m 处(A 段)粉砂岩中粘土矿物形貌, 粘土矿物晶形不完整, 具有磨蚀痕迹; 2. 厚 1 080 m 处(A 段)泥岩中粘土矿物形貌, 片状粘土矿物磨圆明显; 3. 厚 1 800 m 处(A 段)砂岩中丝状矿物, 属自生粘土矿物, 为坡缕石或丝状伊利石; 4. 厚 2 000 m 处(B 段)砾岩中粘土矿物形貌, 粘土矿物边缘具有磨蚀造成的港湾状凹痕; 5. 厚 2 700 m 处(C 段)砾岩中粘土矿物形貌, 粘土矿物附着于较大矿物颗粒表面; 6. 厚 3 200 m 处(D 段)砂岩中粘土矿物形貌, 片状粘土矿物, 由于磨蚀作用导致晶形被破坏