

文章编号: 1000-0550(2006)04-0521-10

# 沉积物颜色和粘土矿物对库车坳陷第三纪气候变化的指示<sup>①</sup>

李双建<sup>1, 2</sup> 张 然<sup>3</sup> 王清晨<sup>2</sup>

(1 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院 北京 100083; 2 中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029;

3 Department of Geosciences University of Houston, U. S. A.)

**摘 要** 库车坳陷第三纪连续的碎屑沉积, 记录了丰富的古环境与古气候变化的信息。在详细的磁性地层年代学基础上, 对库车坳陷北部第三系沉积剖面进行了系统的沉积物颜色测定和粘土矿物分析。结果表明, 库车坳陷第三纪沉积物颜色变化与全球第三纪温度的变化有一致的趋势, 随着全球气温的降低, 沉积物的颜色的红色指数降低。粘土矿物的组合和含量变化在 13 Ma 出现了一个转折, 在此之前, 库车坳陷泥岩样品中的粘土矿物组合为伊利石和绿泥石, 指示干旱的气候环境。在 13 Ma 之后, 库车坳陷的粘土矿物组合变为蒙脱石、高岭石、绿泥石和伊利石, 指示干冷与温湿交替的气候环境, 与亚洲内陆季风气候加强相对应。由此, 可以认为库车坳陷第三纪 13 Ma 的气候变化与青藏高原的隆升密切相关。

**关键词** 沉积物颜色 粘土矿物 古气候 第三纪 库车坳陷 青藏高原

**第一作者简介** 李双建 男 1978 年出生 博士研究生 沉积学与石油地质学

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

## 1 引言

关于第三纪以来构造抬升对气候的影响, 是近年来地球系统科学研究的重要内容<sup>[1, 2]</sup>。特别是青藏高原隆起导致中国西北地区第三纪构造尺度上气候变化的相关研究已经成为国内外地球系统科学的研究热点。如, 安芷生等<sup>[3]</sup>基于对中国西北黄土的研究提出, 亚洲内部的干旱化始于 8~9 Ma 前。郭正堂等<sup>[4]</sup>基于对甘肃祁南黄土剖面的研究提出, 中国西北的干旱化始于 22 Ma 前。Detman 等<sup>[5]</sup>对临夏盆地碳酸盐岩沉积物氧同位素的研究揭示出, 12 Ma 时大气环流格局发生变化, 西北开始干旱化。所有这些研究都把气候的变化归因于青藏高原的隆起。目前对于天山南北第三纪气候、环境变化的国际性讨论尚不多见, 这主要是由于大家的关注目光尚停留在青藏高原隆起的气候效应上。实际上, 国内对天山地区第三纪的气候变化从上世纪 80 年代就很关注, 主要是通过孢粉分析进行研究。如, 赵英娘等<sup>[6]</sup>、王树基和闫顺<sup>[7]</sup>、王树基和高存海<sup>[8]</sup>、关绍曾和关世桥<sup>[9]</sup>、金小赤等<sup>[10]</sup>的研究成果。他们的研究表明, 天山南麓及塔里木盆地第三纪环境气候演变的总趋势是向干

旱环境发展, 但其后也有相对湿润时期, 上新世降水量较中新世急剧减少, 大陆性气候已很明显, 完全处于干旱环境。研究还表明, 塔里木盆地北缘曾与古地中海有密切的联系<sup>[11, 12]</sup>。美中不足的是, 这些研究对天山地区第三纪气候环境的变化研究手段单一, 而且深层次原因探讨不够, 本文从沉积物颜色和粘土矿物含量变化两个参数, 来探讨塔里木盆地北缘库车坳陷第三纪古气候变化, 并与周边地区的研究成果对比, 探究引起古气候变化的内在驱动力。

## 2 地质背景

库车坳陷位于塔里木盆地北缘、天山南缘, 是一中新世形成的陆内盆地(图 1)。它的形成与天山的构造活动密不可分, 同时受印度板块与欧亚板块碰撞的远程效应影响。晚第三纪以来, 伴随着青藏高原的隆升和向北挤压, 南天山快速隆升, 导致库车坳陷沉降加快, 沉积了一套巨厚的河流相和冲积扇相碎屑物。这些沉积物中蕴涵了大量的有关于天山构造隆升和古气候、古环境变迁的信息。

由于库车坳陷独特的科学研究和油气资源评价地位, 近 20 年来, 众多的地质工作者对其第三系地层

①国家重点基础研究发展规划(973)项目 2005CB422101 课题资助。

收稿日期: 2005-11-01; 收修改稿日期: 2006-04-10

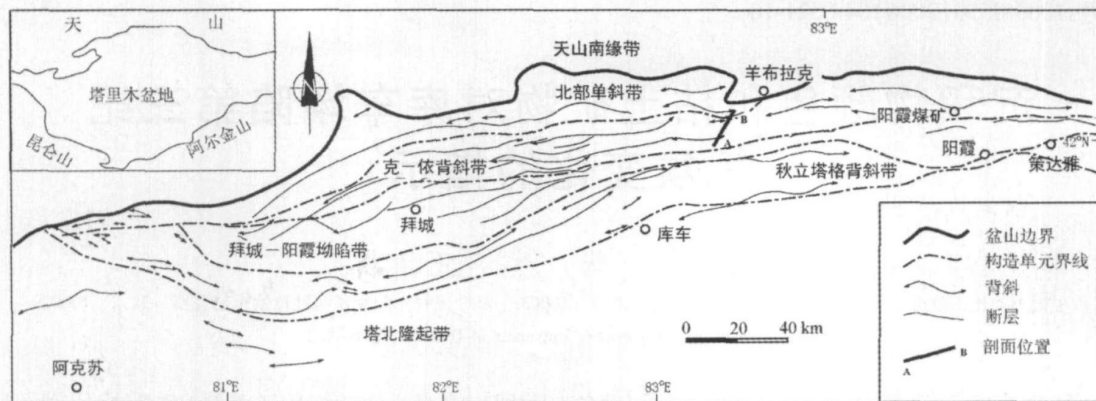


图 1 库车坳陷地质图与剖面位置

Fig 1 Geological map of Kuqa depression and location of sampling section

进行了大量的年代学研究<sup>[13, 14]</sup>。然而, 由于地层缺乏特征的古生物而且横向上岩性变化较大, 地层年代界限的认识存在很大分歧。王清晨研究员、黄宝春研究员和李忠研究员及其学生刘涛和彭守涛和本文作者于 2002—2004 两次赴库车坳陷对第三系进行了详细的磁性地层研究。根据古地磁的测量结果(图 2), 库车组 康村组, 康村组 吉迪克组、吉迪克组 苏维依组、苏维依组 库姆格列木组的界限年龄分别为 4.7 Ma(约相当于上新世的底界)、13.5 Ma、26 Ma(约相当于新近系的底界)和 29 Ma。库姆格列木组的底界年龄最大可推到 38 Ma 左右。即库车组属于上新世—第四纪, 康村组属于中新世晚期, 吉迪克组属于上渐新世—中新世, 苏维依组属于渐新世, 库姆格列木组属于始新世晚期—渐新世早期(据《国家重点基础研究发展规划》项目 G19990433 结题总结报告)。

在古地磁研究的基础上, 我们还对古地磁的第三系取样剖面进行了详细的沉积学研究。该剖面位于库车县牙哈乡克孜勒努尔沟(42°04.715'N, 83°18.419'E)(图 1), 剖面自下而上分为库姆格列木组、苏维依组、吉迪克组、康村组和库车组(图 2)。库姆格列木组底部为灰白、浅灰色泥灰岩、灰质砾岩, 下部为紫红色砂砾岩与同色泥岩、粉砂岩、石膏层互层, 上部为紫红色泥岩, 厚 330 m。苏维依组主要为褐红色砂岩、泥岩和少量砾岩, 上部含钙质较高, 厚 143 m。吉迪克组岩性主要为一套棕红色砂质泥岩与泥岩互层, 其间夹有较多的厚层状或中薄层状灰绿色泥灰质粉砂岩或泥质条带, 宏观上具有明显的红、绿条带相间的特点, 厚 1 075 m。康村组上段以暗棕褐

色砂质泥岩为主, 夹砂岩, 下段为暗棕色砂质泥岩夹灰绿色泥岩及粉砂岩, 厚 1 140 m。库车组上段主要为褐黄色粉砂岩夹灰褐色砾岩、砂岩, 下段为青灰色细—中粒块状砂岩, 夹褐黄色带灰色砾岩, 厚度 2 700 m, 受岩性限制, 本次研究只涉及了库车组底部 50 m 厚的地层。

本次研究共采集粘土矿物分析样品 36 块, 所有样品的岩性均为泥岩, 其中库姆格列木组 3 块、苏维依组块 2 块、吉迪克组 12 块、康村组 15 块, 库车组 4 块(图 2)。

### 3 库车坳陷第三系陆相沉积岩颜色的测定

#### 3.1 沉积岩颜色所反映的地质意义

沉积岩的颜色反映了它们的岩石组成和有机质含量。沉积岩的颜色范围很广, 从白色到灰白到黑色都可以见到, 其它比较常见的沉积物颜色还包括蓝色、绿色、黄色、棕色、桔红色和红色等。

有三种因素会影响沉积物的颜色, 首先有机质含量在某种程度上会影响沉积物的颜色, Sheu and Presley<sup>[15]</sup>发现墨西哥湾 Orea 盆地中有机碳含量 >1.0% 的泥页岩呈黑色或黑灰色, 而有机碳含量 <1% 的呈浅灰色。

沉积物中所含的矿物类型对沉积物颜色的影响也比较大, McBride<sup>[15]</sup>通过对来源于同一物源的泥岩的颜色变化研究表明: 红色和棕褐色的泥岩往往含有铁质包壳; 绿色的泥岩含有绿泥石和伊利石, 而缺乏赤铁矿、有机质和硫化物; 橄榄色和黄色的泥岩中含有绿泥石、伊利石、有机质和铁的硫化物; 灰色泥岩的

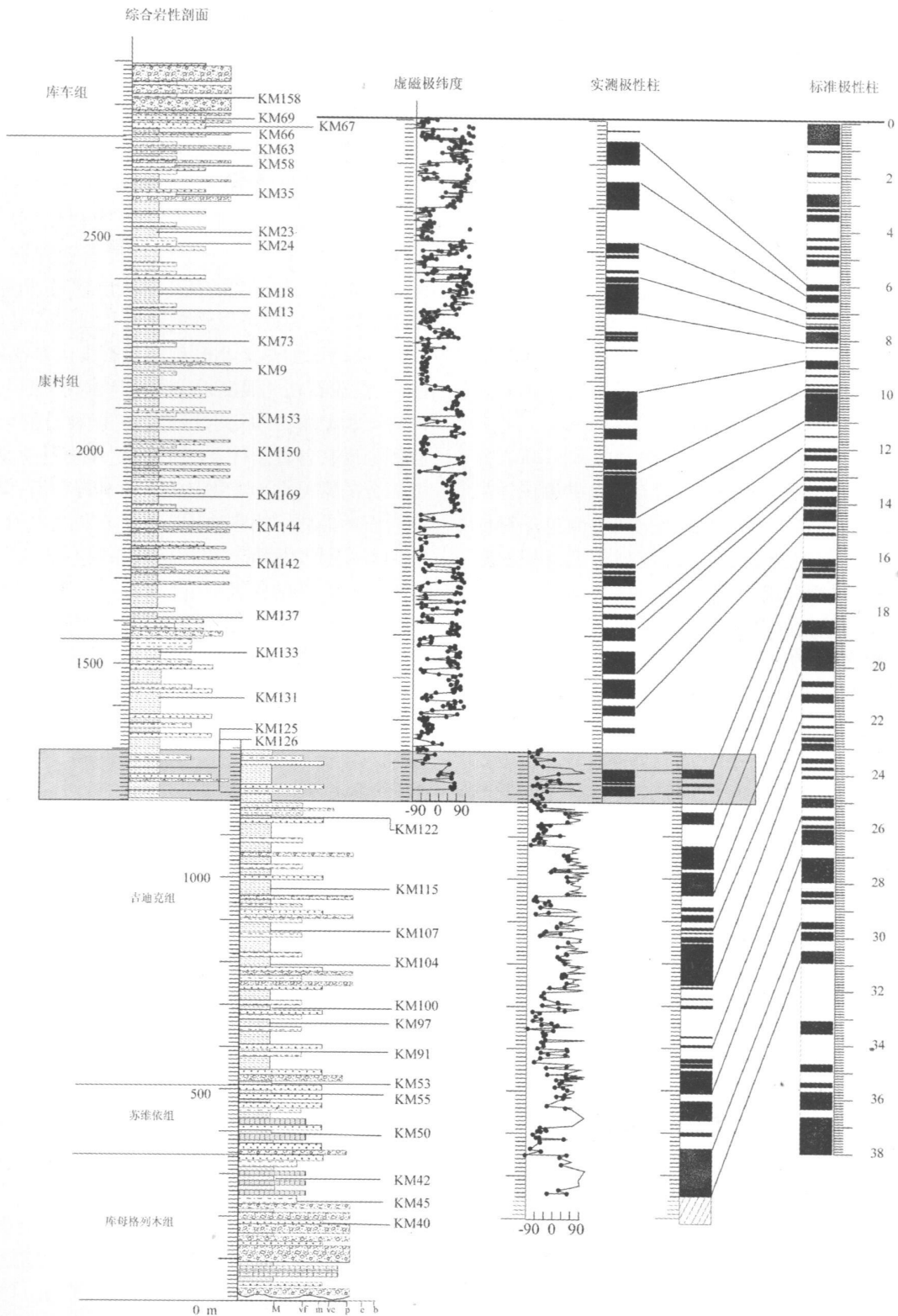


图 2 库车坳陷第三系古地磁年代标定与样品位置

Fig 2 Paleogeomagnetic age of Tertiary Kuqa depression and sampling location

颜色主要受有机质和铁的硫化物影响。

相比于沉积碎屑成分,沉积过程和成岩作用对沉积物颜色的影响更大。因为这些过程中可能会发生氧化或还原作用,地层中高的  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  会使地层呈红色,此时铁离子以赤铁矿的形式存在。还原作用会使  $Fe^{3+}$  的比例降低,在有机质含量高的泥岩中常会发生还原作用,此时铁离子往往以黄铁矿和白铁矿的形式存在。

综上所述沉积物的颜色的表现是多种因素综合影响的结果,其中沉积物沉积过程中和成岩过程中所处的氧化或者还原环境尤为重要,颜色越红代表地层沉积时气温越高,铁质沉积物的氧化程度也越高。

### 3.2 沉积物颜色的测定及其结果

本实验采用日本美能达公司生产的 CM-2002 分光测色计对古地磁样品的颜色进行测定,共测试样品 1021 块。采用的是  $L^* a^* b^*$  色空间对颜色进行标定,其中  $a^*$  为红色指数,它的值越高代表沉积物颜色越红。测试结果如图 5。

从测试结果上可以看出库车坳陷克孜勒努尔沟第三系沉积物最红的层位是吉迪克组中下部,由此向上向下代表红色指数的  $a^*$  值减小,沉积物的颜色与沉积环境和古气候有关,从图 5 上也可以看出,颜色的变化在大尺度内不受岩性的控制,同为湖相沉积的吉迪克组与康村组颜色的差异主要反映了古气候的变迁。从颜色变化上可以看出该地区在第三纪最干旱的时期是吉迪克组沉积早中阶段,次为康村组沉积早期,库车组虽然为陆上的冲积扇和辫状河沉积,由于气候相对湿润,或者干冷,使得沉积物所经受的氧化作用并不十分强烈,反映在颜色上,多呈灰褐色,沉积物的  $a^*$  值较低。

## 4 粘土矿物分析

### 4.1 粘土矿物分析方法

粘土矿物分析方法是采取沉降法提取  $< 2\mu m$  的粘土颗粒,制成定向样后,进行 X 射线衍射 (XRD) 分析。样品处理在中国科学院地质与地球物理研究所。在分析过程中,主要制备了三种定向样(自然样,高温样和乙二醇样),具体方法见张乃娴等<sup>[16]</sup>。X 射线衍射使用的仪器为 Rigaku 公司 DMAX-2400 型 X 射线衍射仪。测试在中国科学院地质与地球物理研究所完成。工作电压 40 kV, 电流 40 mA, Cu 靶, 连续扫描, 扫描速度  $1^\circ/\text{分}$ , 步长  $0.02^\circ$ , 扫面范围  $3^\circ \sim 35^\circ 2\theta$ 。为了在粘土矿物半定量计算中精确的区

分高岭石和绿泥石,对  $24^\circ \sim 26^\circ / 2\theta$  进行高精度慢速扫描,扫描速度为  $0.2^\circ/\text{分}$ ,步长为  $0.005^\circ$ 。

### 4.2 粘土矿物定性分析

根据 X 射线衍射结果对粘土矿物进行定性分析主要参考衍射峰的位置、强度、形状和宽度等<sup>[17]</sup>。图 3 给出了库车坳陷第三系典型的泥岩 X 射线衍射图谱,根据它们的位置和变化特点,可以识别出其中含有蒙脱石、绿泥石、伊利石和高岭石四种粘土矿物。蒙脱石在乙二醇饱和的条件下晶层膨胀,衍射峰强度增加,通过这一点可以将蒙脱石与绿泥石易区分开。55 $^\circ\text{C}$  条件下加热 2 小时后高岭石失去结晶水、晶格破坏,蒙脱石在此温度下失去结构水,膨胀层消失,使高岭石和蒙脱石的衍射峰消失。伊利石的衍射峰位置和强度在各种条件下变化不大,很容易鉴别。最难以区分的常见粘土矿物是高岭石和绿泥石,绿泥石和高岭石的晶体结构和地质产出都有很大差异,但是它们的 X 射线衍射峰却很相似。绿泥石的偶数衍射峰正好与高岭石的各级别衍射峰重合,而且富铁绿泥石的奇数衍射峰强度比较低,这样一来绿泥石和高岭石的 X 衍射比较难以区分。高岭石的 002 峰在  $24.9^\circ 2\theta$ , 绿泥石 004 峰在  $25.1^\circ 2\theta$ , 当两种矿物含量较多时,可以看到它们的衍射峰的细微差别。通过高温加热也能很好的区分这两种矿物,经 55 $^\circ\text{C}$  高温后,绿泥石脱去层间羟基,它的衍射峰模式发生显著变化。001 峰强度会大大加强,但是峰的位置会移到  $6.3^\circ \sim 6.4^\circ 2\theta$ , 而 002, 003 和 004 衍射峰的强度会降低(但不会消失)。在 55 $^\circ\text{C}$ , 高岭石变成无定形状态,它的衍射峰会完全消失。

### 4.3 粘土矿物含量的半定量计算

在 X 射线衍射图谱上,粘土矿物的衍射强度主要与矿物的含量多少有关,粘土矿物的定量研究就是建立在这种基础上<sup>[17, 18]</sup>。但是,矿物的衍射强度受其物理性质,如结晶度、同晶替换等因素的影响,完全意义上的量化很难达到。为了表达沉积物中粘土矿物的含量变化,往往通过一些半定量方法或粘土矿物的一些特征参数来反映它们的相对含量<sup>[17-19]</sup>。

本次研究采用 Biscaye<sup>[19]</sup> 提出的矿物强度因素半定量的计算沉积物中的粘土矿物的含量。具体公式如下:

$$\begin{aligned} \text{Total-area} &= \text{Sm-area}(001) + \text{I-area}(001) \times 4 \\ &+ [\text{K-area}(001) + \text{Ch-area}(002)] \times 2 \\ \text{Sm}\% &= \text{Sm-area}(001) / \text{Total-area} \\ \text{I}\% &= 4 \times \text{I-area}(001) / \text{Total-area} \end{aligned}$$

$$K\% = 2 \times K - \text{area}(001) / \text{Total} - \text{area}$$

$$Ch\% = 2 \times Ch - \text{area}(002) / \text{Total} - \text{area}$$

式中, Sm—蒙脱石, I—伊利石, K—高岭石, Ch—绿泥石。扣除背景值后, 蒙脱石衍射峰面积的计算根据乙二醇处理后的 17—18Å 峰、伊利石为 10Å 处的峰、高岭石和绿泥石衍射峰面积根据 7.1Å 峰计算。高岭

石和绿泥石在 7.1Å 所占的比例是根据高岭石和绿泥石在 3.5Å 附近面积峰的拟合面积比例换算而得。

#### 4.4 粘土矿物对古气候变化的指示

根据泥岩样品中粘土矿物的含量和组合变化(图 4), 可以将库车坳陷第三纪古气候演化划分为 2 个阶段。

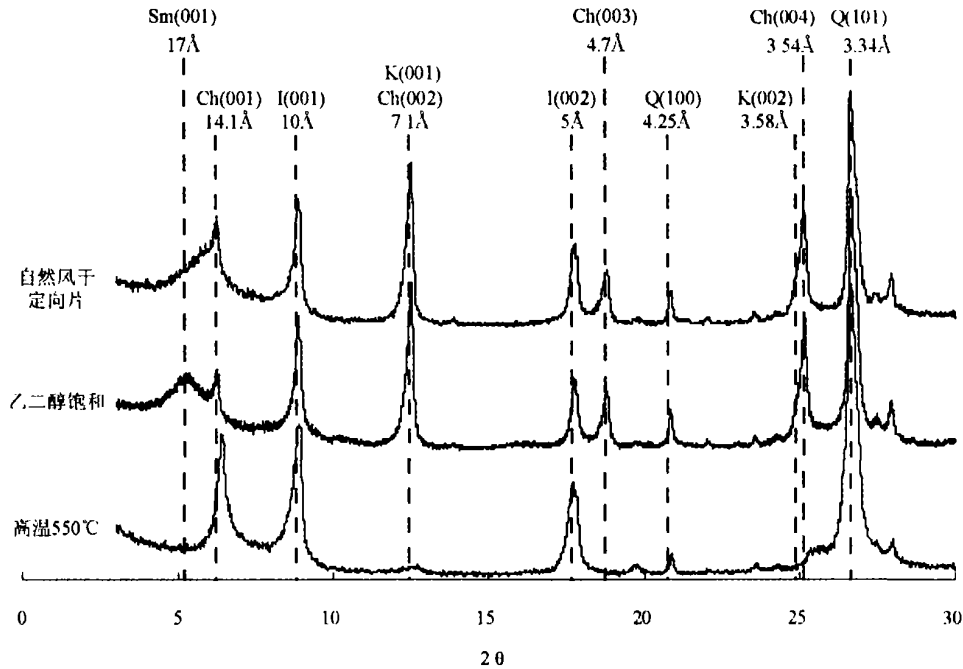


图 3 库车坳陷第三系典型的泥岩 X 射线衍射图谱 (Sm: 蒙脱石; Ch: 绿泥石; I: 伊利石; K: 高岭石; Q: 石英)

Fig 3 Typical XRD diffraction map of Tertiary Kuqa depression (Sm: smectite; Ch: chlorite; I: illite; K: kaolinite; Q: quartz)

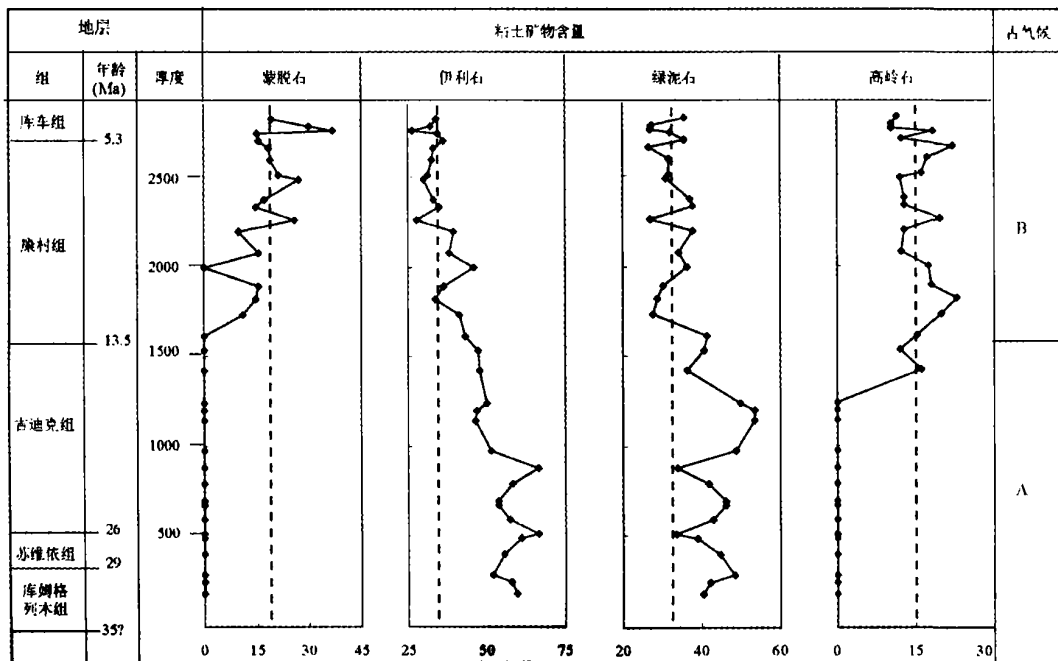


图 4 库车坳陷第三系粘土矿物含量对古气候的指示

A 阶段:大致与库姆格列木组、苏维依组和吉迪克组以及康村组底部沉积相对应,时限为? 35~13Ma。该阶段粘土矿物组合为绿泥石和伊利石,伊利石平均含量大于 50%,并且随着地层的变新有减少的趋势,绿泥石的平均含量在 40%左右,随着地层时代的变新,也有变少的趋势,整个 A 阶段几乎不含蒙脱石和高岭石。气候干燥、淋滤作用弱对伊利石的形成和保存有利。绿泥石一般只能在化学风化作用受抑制的地区(如冰川或干旱的地表)幸存下来。因此认为,绿泥石和伊利石含量增加一般代表逐渐变为干旱的气候条件<sup>[20,21]</sup>,由此可以说明在 A 阶段库车坳陷的化学风化作用比较微弱,古气候条件总体为炎热干旱。

B 阶段:大致与康村组和库车组底部沉积对应,时限为 13~5Ma。该阶段粘土矿物组合为蒙脱石、绿泥石、伊利石和高岭石,伊利石平均含量小于 30%,并且随着地层的变新仍然有减少的趋势,绿泥石的平均含量在 30%左右,随着地层时代的变新,也有变少的趋势,蒙脱石平均含量在 20%左右,随着地层年代的变新,有增加的趋势,高岭石平均含量在 15%左右。蒙脱石的存在说明气候比较寒冷,风化作用不彻底,高岭石的存在说明气候有时又很温暖,风化作用比较强<sup>[20,21]</sup>,对此只有一种可能的解释就是该期古

气候为频繁的干冷与暖湿交替,可能是季节的明显分异产生的结果。康村组组沉积中频繁出现的冲积成因的砾岩可能也是这种季节性气候条件的产物。

## 5 成岩作用对粘土矿物的影响

沉积岩中粘土矿物的含量受多种因素的影响,包括物源、沉积环境、成岩作用等。这其中成岩作用的影响会在某种程度上掩盖其古气候信息。如何定量评价成岩作用的影响,至今尚没有成熟的方法。根据 Lanson 等提出的方法,应用 Decofom 软件进行伊利石衍射峰的拟合与分解,将碎屑伊利石和新生伊利石的峰分开<sup>[22-24]</sup>。一般认为碎屑伊利石是源区变质岩直接剥蚀沉积的结果,指示源岩的组成,而自生伊利石是成壤和成岩过程形成的,指示沉积岩源区气候和沉积后成岩的特征<sup>[25]</sup>。根据衍射峰面积,可以计算出这两种伊利石的含量,具体方法参照陈莉<sup>[25]</sup>。由结算结果来看(图 5),碎屑伊利石和自生伊利石的绝对含量都随地层的变新而减少,但是它们的相对含量有不同的变化趋势,随地层的变新,碎屑伊利石含量有增加的趋势,自生伊利石含量有减少的趋势,这种变化表明,研究区在康村组沉积中后期以后,物源区与沉积区的距离更近了,大量的来自源区的碎屑伊利石来不及风化就堆积下来。而该区时代老的地层中

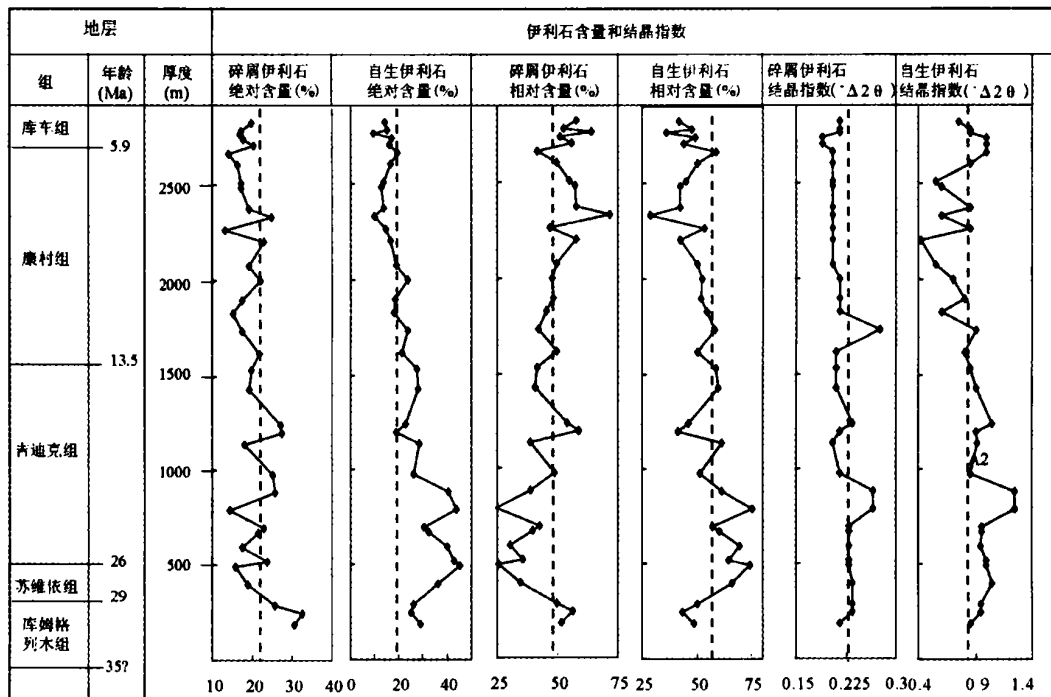


图 5 库车坳陷第三系泥岩中伊利石含量和结晶度

Fig 5 The contents and crystallinity of illite in Tertiary mudstone from Kuqa depression

自生伊利石含量较高,可能有两个原因:一是成岩作用的影响,即时代较老的地层,埋藏较深,在成岩过程中会发生蒙脱石向伊利石的转变;二是地层沉积时源区古气候的影响,如果当时古气候炎热干旱,岩石在成壤过程中会产生和保存较多的伊利石。为了进一步区分这两种因素的影响,我们分析了碎屑伊利石和自生伊利石的结晶度指数。

伊利石的结晶度(IC)高低取决于其生长环境的温度、压力、岩性和钾含量等。目前通常利用伊利石1 nm衍射峰的半宽高,来衡量其结晶程度,它是划分成岩带、近变质带和浅变质带的主要指标。近变质带与浅变质带的界限为 $IC=0.25$ ;与成岩带的界限为 $IC=0.42$ 。库车坳陷第三系粘土矿物中碎屑伊利石的IC都小于0.25(图5),说明它们都是变质岩母岩直接风化的产物,而自生伊利石的IC都大于0.42,说明它们是有其它矿物转化而来的。理论上讲,随着地层年代的变老,埋藏深度的增加,沉积岩成岩作用会加强,伊利石的结晶度也会增加,IC指数会减小,然而,从图5可以看出,自生伊利石IC值较小的阶段对应着上第三系康村组中上部,而不是年代较老、埋藏较深的下第三系,这说明该区自生伊利石的成因不完全受成岩作用控制。

从另一方面来说,根据成岩阶段的划分蒙脱石完全转变为伊利石的地温在 $170^{\circ}\text{C}$ 左右,库车坳陷地温梯度为 $25^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 左右<sup>[26]</sup>,这意味着吉迪克组地层埋深在6000 m以上,这与实际地质情况不相符。尽管如此,随着地层埋深,蒙脱石和高岭石有向伊利石和绿泥石转变的趋势,目前没有办法将成岩形成的粘土矿物和风化成因的粘土矿物定量的区分出来,所以本文利用粘土矿物对第三纪古气候变化的研究部分是探索性的。

## 6 古气候变化的驱动力探讨

引起古气候变化的因素有很多,包括古纬度的变化、海陆分布的变化、大气环流以及构造抬升等<sup>[2]</sup>。中国西北第三纪古气候的变化除了受全球气候变化影响以外,青藏高原的隆升以及由此引起的大气环流的变化对气候变化也产生了巨大影响<sup>[2~5]</sup>。大多数学者认为青藏高原开始隆升发生在中新世或距今约25 Ma,加速隆升发生在距今20 Ma,在距今约8 Ma到达接近现今的高度,或者第四纪之前至初期达到现今的高度<sup>[27]</sup>。根据粘土矿物含量变化,13 Ma左右是

该区古气候变化的一个转折期,在此之前,库车坳陷泥岩样品中的粘土矿物组合为伊利石和绿泥石,指示干旱的气候环境。在13 Ma之后,库车坳陷的粘土矿物组合变为蒙脱石、高岭石、绿泥石和伊利石,指示干冷与温湿交替的气候环境,与亚洲内陆季风气候加强相对应。这与Dettman等<sup>[5]</sup>对临夏盆地的研究成果相近,这一气候变化指示在该时期青藏高原原升到了—定的高度,对全球大气环流产生了一定的影响,在高原北部逐步形成了季风气候。

对于新生代天山隆起始于何时的争论至今未已。如,Hendrix等<sup>[28]</sup>通过对天山地区中生代砂岩的裂变径迹测量,提出天山的最初隆起是24 Ma时开始的。Avouac等<sup>[29]</sup>根据平衡剖面研究,认为天山变形始于15 Ma,而Me'tivier和Gaudemer<sup>[30]</sup>根据对准噶尔盆地充填速率变化的研究提出,天山的隆起始于16 Ma并在5 Ma时加速。Yang and Liu<sup>[31]</sup>根据塔里木盆地的沉积记录,通过挠曲模型的计算,认为天山的隆起始于渐新世初(25 Ma)或更早。以上的研究表明,在13 Ma天山已经开始隆升,由粘土矿物组合的表现来看,此时天山对大气降雨气团也能产生一定的影响,造成了山前带比塔里木盆地内部降雨量较大。

过去55 Ma深海氧同位素分析资料表明, $\delta^{18}\text{O}$ 在持续增加的背景下存在三个十分快速的变化时期,这指示着过去的55 Ma中,气候在逐渐变冷的过程中存在三次急剧的变冷阶段。第一次 $\delta^{18}\text{O}$ 急剧增加发生在大约36 Ma以前的早渐新世,可能是南极第一次冰川大规模增长的反映。第二次 $\delta^{18}\text{O}$ 快速增加时期发生在距今15 Ma左右的中中新世,它记录了南极冰量第二次快速增加并覆盖整个南极大陆,代表着晚新生代冰期的到来,自此以后南极冰盖一直连续存在至今,从未消失。 $\delta^{18}\text{O}$ 的最近一次急剧增加出现在距今2.4 Ma左右的上新世末第四纪初,它反映了北极冰盖的出现,全球至此进入了冰期时代。从研究区沉积物颜色变化上看,它与全球气温变化又很好的相关性(图6),温度升高时一般对应着沉积物颜色变红,例如在25~22 Ma中新世暖期,库车坳陷沉积物的颜色也是最红的。全球温度降低时,沉积物的红度也降低。整个第三纪全球平均气温总体上呈下降的趋势,库车坳陷第三纪沉积物的颜色红度也成降低的趋势。由此说明全球气候变化对库车坳陷有影响,库车坳陷第三纪气候变化总体上和全球气候变化一致。

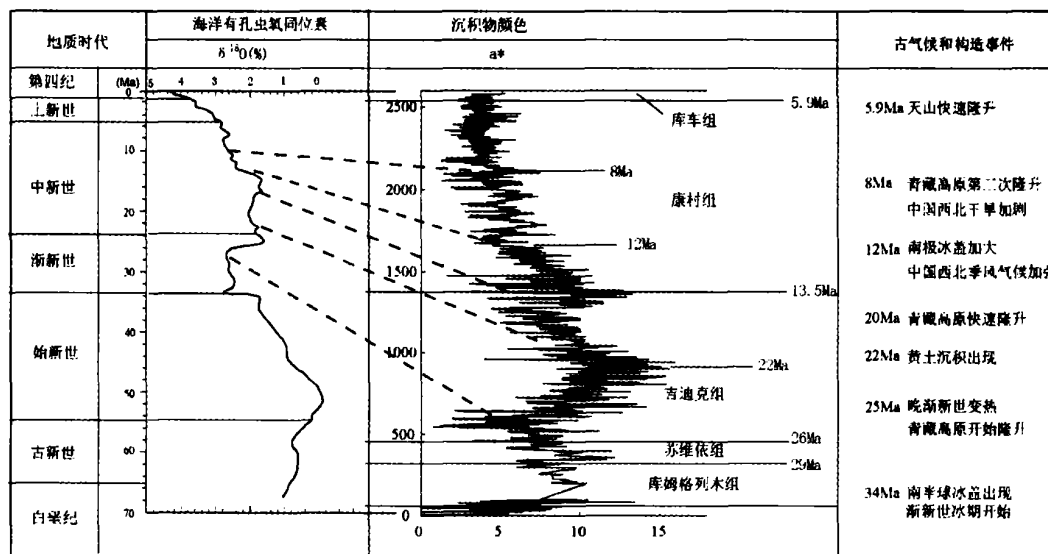


图 6 库车拗陷第三纪气候变化与全球和区域气候变化的关系

Fig 6 The relationship between Tertiary climate from Kuqa depression and global and regional climate change

## 7 结论

本文以磁性地层年代学为基础,通过沉积物颜色分析和粘土矿物分析认为库车拗陷第三纪古气候在 13~12 Ma 存在一次较大的气候变化,变化前 (35~13 Ma) 以温暖干旱气候为主,沉积物颜色主要是红色、紫红色,粘土矿物主要是伊利石和绿泥石。在 13~5 Ma 沉积物颜色变为以褐灰色为主,粘土矿物出现蒙脱石和高岭石,说明该阶段为干冷和温湿交替的古气候。

通过与全球和区域第三纪古气候变化的对比,认为库车拗陷第三纪古气候变化总体上与全球气候变化一致,13 Ma 的气候转折主要是由于青藏高原隆升导致的季风气候加强引起的,粘土矿物组合所表现出的气候湿润部分是由于天山隆升造成山前降雨量较大的原因。

致谢 野外取样得到了中国石油塔里木分公司宋文杰先生的支持,室内分析化验得到了彭淑贞博士和张振禹研究员的指导,粘土矿物分析软件的应用得到了北京大学陈莉博士和张立飞教授的帮助,研究过程中还与丁仲礼院士进行了有益的探讨,在此一并表示衷心感谢!

## 参考文献 (References)

1 Raymond E. Ruddiman W. F. Tectonic forcing of late cenozoic climate. *Nature*, 1992, 359: 117~122

2 Ruddiman W. F. *Tectonic Uplift and Climate Change*. New York: Plenum Press, 1997

3 An Z. S., Kutzbach J. E., Prell W. L. & Porter S. C. Evolution of Asian monsoons and phased uplift of the Himalaya-Tibetan plateau since Late Miocene times. *Nature*, 2001, 411: 62~66

4 Guo Z. T., Ruddiman W. F., Hao Q. Z. et al. Onset of Asian desertification by 22 Myr ago inferred from loess deposits in China. *Nature*, 2002, 416: 159~163

5 Detman D. L., Xiaom in Fang, Garzone C. N., and Jijun Li. Uplift-driven climate change at 12 Ma: a long  $\delta^{18}\text{O}$  record from the NE margin of the Tibetan plateau. *Earth and Planetary Science Letters*, 2003, 214: 267~277.

6 赵英娘, 孙秀玉, 王大宁. 新疆莎车和库车盆地第三纪的孢粉组合. 中国地质科学院地质研究所所刊, 1982, 4: 95~125 [Zhao Yingniang, Sun Xiuyu, Wang Daning. Tertiary palynological assemblage of Shache and Kuqa basin, Xinjiang. *Journal of Institute of Geology*, 1982, 4: 95~125]

7 王树基, 闫顺. 天山南北麓新生代地理环境演变. 地理学报, 1987, 42(3): 211~220 [Wang Shuji, Yan Sun. Cenozoic geographical environment transition of South and North piedmont of Tianshan. *Journal of Geographical Sciences*, 1987, 42(3): 211~220]

8 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. 第四纪研究, 1990, 4: 372~380 [Wang Shuji, Gao Cunhai. The formation and evolution of arid environment of the inland Tarim basin since later Cenozoic. *Quaternary Sciences*, 1990, 4: 372~380]

9 关绍曾, 关世桥. 新疆库车盆地吉迪克组的地层时代和沉积环境. 化工矿产地质, 2002, 24(1): 1~6 [Guan Shaozeng, Guan Shiqiao. Stratigraphic age and depositional environment of Jidike formation of Kuqa basin of Xinjiang. *Geology of Chemical Minerals*, 2002, 24(1): 1~6]



- 10 金小赤,王大宁,柳永清,张建平. 新疆库车库尔哈剖面两个新生代孢粉组合的时代和环境意义. 地质通报, 2002, 21(12): 823~833 [ Jin Xiaochi Wang Daning Liu Yongqing Zhang Jianping Two Cenozoic palynological assemblages of Kurha section Kuqa Xinjiang and their age and environmental significance Geological Bulletin of China 2002, 21(12): 823~833 ]
- 11 贾承造,杨树峰,陈汉林,等. 特提斯北缘盆地群构造地质与天然气. 北京:石油工业出版社, 2001 [ Jia Chengzao Yang Shufeng Chen Hanlin et al Tectonic Geology and Natural Gas of Basin Group North of Tethys Beijing: Petroleum Industry Press 2001 ]
- 12 关世桥,关绍曾. 塔里木盆地至黑海一带晚第三纪沉积特征及古地理环境. 中国煤田地质, 2002, 14(1): 7~10 [ Guan Shiqiao Guan Shaozeng Sedimentary features and palaeogeographic environment of Nogenge period of the zone from Tarim basin to Black Sea Coal Geology of China 2002, 14(1): 7~10 ]
- 13 邓秀芹,岳乐平,腾志宏. 塔里木盆地周缘库车组、西域组磁性地层学初步划分. 沉积学报, 1998, 16(2): 82~86 [ Deng Xiuling Yue Leping Teng Zhihong A primary magnetostratigraphy study on Kuqa and Xiyu Formations on the edge of Tarim basin Acta Sedimentologica Sinica 1998, 16(2): 82~86 ]
- 14 腾志宏,岳乐平,何登发,等. 南疆库车河新生界剖面磁性地层研究. 地层学杂志, 1997, 21(1): 55~62 [ Teng Zhihong Yue Leping He Dengfa et al Magnetostratigraphic research of Cenozoic section of Kuqa river area South Xinjiang Journal of Stratigraphy 1997, 21(1): 55~62 ]
- 15 Loren Raymond. Petrology: The Study of Igneous Sedimentary and Metamorphic Rocks McGraw Hill Education 2001. 359~360
- 16 张乃娴,李幼琴,赵惠敏,等. 粘土矿物研究方法. 北京:科学出版社, 1990. 1~97 [ Zhang Naixian, Li Youqin, Zhao Huimin et al Analytical Technique of Clay Mineral Beijing: Science Press 1990. 1~97 ]
- 17 Moore and Reynolds. X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals New York: Oxford University Press 1989
- 18 Kahle M. Kleber M. Jahn R. Review of XRD-based quantitative analyses of clay minerals in soils: the suitability of mineral intensity factors Geoderma 2002, 109: 191~205
- 19 Biscaye P E. Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans Geological Society of American Bulletin 1965, 76: 803~832
- 20 蓝先洪. 粘土矿物作为古气候指标矿物的探讨. 地质科技情报, 1990, 9(4): 31~35 [ Lan Xianhong Clay minerals as an index of paleoclimate Geological Science and Technology Information 1990, 9(4): 31~35 ]
- 21 Chamley H. Clay Sedimentology Berlin: Springer-Verlag 1989
- 22 Lanson B. Besson G. Characterization of the end of smectite to illite transformation: decomposition of X-ray patterns Clays and Clay Minerals 1992, 40: 40~52
- 23 Lanson B. Champion D. The I/S to illite reaction in the late stage diagenesis American Journal of Science 1991, 291: 437~506
- 24 Wang H J. Zhou J A. Data smoothing and distortion of X-ray diffraction peaks I. Theory Journal of Applied Crystallography 2000, 33: 1128~1135
- 25 陈莉,张立飞,王河锦,等. 陕北洛川黄土中两种不同类型的伊利石. 科学通报, 2004, 29(23): 2449~2454 [ Chen Li Zhang Liefei Wang Hejin et al Two different illites in Luochuan loess Northern Shaanxi Province Chinese Science Bulletin 2005, 50(1): 82~87 ]
- 26 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征与油气. 北京:石油工业出版社, 1997. 348~364 [ Jia Chengzao The Structure and Oil-gas of Tarim Basin China Beijing: Petroleum Industry Press 1997. 348~364 ]
- 27 潘保田,李吉均,陈发虎. 青藏高原:全球气候变化的驱动与放大器. 兰州大学学报(自然科学版), 1995, 31(3): 120~128 [ Pan Baotian Li Jijun Chen Fahu Tibetan plateau: a driver and amplifier of global climatic changes Journal of Lanzhou University (Natural Science), 1995, 31(3): 120~128 ]
- 28 Hendrix M S. Dumitru T A and Granham S A. Late Oligocene-early Miocene unroofing in the Chinese Tianshan: An early effect of India-Asia collision Geology 1994, 22: 487~490
- 29 Avouac J P. Tapponnier P. Bai P. You M. Wang G. Active thrusting and folding along the northern Tianshan and late Cenozoic rotation of the Tarim relative to Dzungaria and Kazakhstan Journal of Geophysical Research 1993, 98: 11791~11808
- 30 Me tivier F. and Gaudemer Y. Mass transfer between eastern Tianshan and adjacent basins (central Asia): constraints on regional tectonics Geophysical Journal International 1997, 128: 1~17
- 31 Yang Y. and Liu M. Cenozoic deformation of the Tarim plate and the implications for mountain building in the Tibetan Plateau and the Tianshan Tectonics 2002, 21(6): 9~16

## Implications of the Color of Sediments and Clay Minerals for Tertiary Climatic Changes of Kuqa Depression

LI Shuang-jian<sup>1,2</sup> ZHANG Ran<sup>3</sup> WANG Qing-chen<sup>2</sup>

(1. Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083;

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

3. Department of Geosciences, University of Houston, U. S. A. )

**Abstract** Rich paleo-environmental and paleo-climatic formation is recorded in Tertiary successive detrital deposition of Kuqa depression. Based on detail magnetstratigraphic chronology, the color of sediments and the clay minerals of Tertiary from Kuqa depression are tested systematically. The results illustrate that there has consistent alteration trends between the color of Tertiary sediments from Kuqa depression and Tertiary global temperature change. Along the falling of global temperature, the red index of sediments decreases. The assemblages and contents of clay minerals change dramatically at 13Ma. The assemblages of clay minerals before 13Ma are illite and chlorite, and are smectite-chlorite, illite and kaolinite after 13Ma, which indicate that the climate is arid before 13Ma and alternation between dry and cold climate and warm and wet climate after 13Ma. The climatic change is consistent with enhancement of Asian inland monsoon which shows that the Tertiary climatic change of Kuqa depression at 13Ma has intimate relation with the uplift of Tibetan plateau.

**Key words** color of sediments, clay minerals, climate, Tertiary, Kuqa depression, Tibetan plateau