

# 库车坳陷库车河剖面重矿物分布特征及其地质意义

李双建, 王清晨, 李忠

(中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

**摘要:** 沉积物中的重矿物分布受物源、构造背景和古气候、古环境等多种因素影响, 是盆山演化研究的良好指示剂。本文通过对库车坳陷库车河剖面中生代地层的野外观察和重矿物分析, 将库车坳陷中生代沉积与南天山隆升的分异作用分为4个阶段, 即早中三叠世、晚三叠世至早白垩世、第三纪古新世至中新世、上新世(5 Ma)以来, 并认为最后一个阶段南天山隆升作用最强烈。将库车坳陷中生代古气候演化分为3个阶段, 即早三叠世(干旱-半干旱)、中晚三叠世-中晚侏罗世(湿润-半湿润)、晚侏罗世以来(半干旱-干旱)。

**关键词:** 物源; 重矿物; 古气候; 库车坳陷; 南天山

中图分类号: P57; P512.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2005)01-0053-09

## Characteristics of Mesozoic and Cenozoic heavy minerals from Kuche River section in Kuche depression and their geological implications

LI Shuang\_jian, WANG Qing\_chen and LI Zhong

(Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

**Abstract:** The distribution of heavy minerals in sediments is affected by such factors as provenance, geological setting, palaeoclimate and palaeoenvironment, which constitute sensitive indexes for the evolution of basins and mountains. The characteristics of sediments and heavy minerals in Kuche River section have been studied in this paper. According to the results obtained, the tectonic evolution of Kuche depression and South Tianshan in Mesozoic and Cenozoic can be divided into four periods, namely early and middle Triassic, late Triassic to early Cretaceous, Paleocene to Miocene, and Pliocene to the present, with the uplift of Tianshan in the last period being most intense. The palaeoclimate evolution of Kuche depression and South Tianshan in Mesozoic and Cenozoic can be divided into three periods, i. e., early Triassic (arid-semiarid), middle Triassic to middle Jurassic (humid-semihumid), and late Jurassic to the present (semiarid-arid).

**Key words:** provenance; heavy mineral; palaeoclimate; Kuche depression; South Tianshan

天山造山带位于西伯利亚板块、伊犁-伊塞克湖板块和塔里木板块三个板块的会聚部位, 是中亚地区最大的造山带之一。近20年来, 由于在天山南北两侧中、新生代盆地中发现了大量的石油与天然气资源, 使天山中、新生代构造演化历史及盆地的形成与演化关系研究成为一个热点(Hendrix *et al.*,

1994; 杨庚等, 1995; 贾承造等, 2003; 林畅松等, 2003)。中、新生代天山的构造演化史主要是通过从天山两侧塔里木盆地北部的库车坳陷和准噶尔盆地的沉积地层研究来推测, 主要手段有沉积岩层的变形分析、各种尺度的岩石古应力分析、磷灰石热史恢复与测年、沉积相分析、盆地沉积沉降史研究等

收稿日期: 2004-06-11; 修订日期: 2004-08-19

基金项目: 国家重点基础发展规划(973)项目课题资助(G1999043303); 中国石油天然气股份公司塔里木油田分公司资助项目(11102040408)

作者简介: 李双建(1978-), 男, 汉族, 博士生, 研究方向: 盆地分析, 联系电话: 010-62008145, E-mail: lishj@mail.igcas.ac.cn.

(Yin *et al.*, 1998; 李维峰等, 2000; 杨树峰等, 2003; 李忠等, 2003)。这些手段对研究天山的构造演化都很有意义, 但多数是从构造对沉积的控制入手, 很少涉及其他因素对沉积的控制, 比如古环境和古气候。本文侧重于利用砂岩中重矿物组合特征来恢复库车坳陷与南天山的耦合关系, 因为砂岩中重矿物的分布受控于包括古构造、古环境、古气候在内的多种因素(Morton *et al.*, 1999), 其提供的信息能更全面地反映该区构造演化和古气候特征。

## 1 地质概况

库车坳陷位于塔里木盆地北部, 呈东西向展布, 南界在库车—阿克苏公路一线附近, 北界为天山南部山麓, 东西长 410 km, 南北宽 30~80 km, 面积约  $1.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。库车坳陷是塔里木盆地最北部的前陆坳陷, 坳陷北邻南天山褶皱带, 南靠塔北隆起, 长期受近南北向挤压的影响。库车坳陷继晚二叠世厚层磨拉石沉积之后, 三叠纪开始进入封闭的挤压挠曲型盆地发展阶段, 其内连续沉积了一套巨厚的冲积—湖泊碎屑体系。中生代差异升降运动(北部边缘大, 南部边缘小)造成了库车坳陷呈北陡南缓的箕状, 从而在紧临天山南麓的北部边缘沉积了一套厚达数千米的以湖泊三角洲相为主的沉积物。坳陷中新生代陆相沉积与地层格架直接受盆地北缘幕式或阶段式造山运动和物源沉积供应的控制(张希明等, 1995), 中、新生代南天山多阶段隆升和坳陷沉降关系的研究对油气勘探有重要意义。

## 2 样品的采集与处理

在盆地分析中重矿物可用于物源分析、地层对比以及岩相古地理恢复等多项研究。由于重矿物的化学性质和抗风化能力不同, 可以应用重矿物组合的稳定性变化对盆地和其周缘造山带的演化进行研究。本次研究对库车坳陷库车河剖面(图 1)进行了详细的采样, 共取 82 个重矿物样品, 取样层位从下三叠统一直到第三纪上新统。库车河剖面中, 新生代地层出露较为齐全, 剖面下三叠统至下白垩统为连续沉积, 缺失上白垩统, 第三系和第四系为连续沉积, 各时期沉积的岩性特征和沉积体系演化特点见图 2。

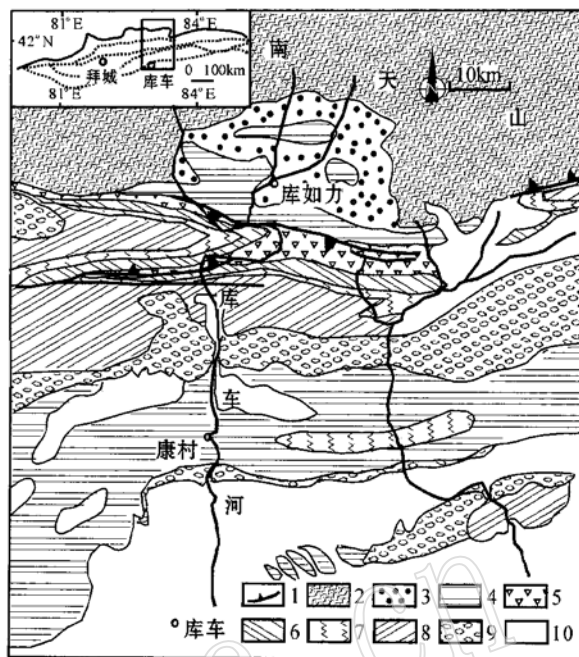


图 1 库车坳陷库车河剖面地质图

Fig. 1 Geological map of Kuche River section in Kuche depression

- 1—断层线; 2—前中生界; 3—三叠系; 4—侏罗系; 5—白垩系;  
6—下第三系; 7—中新世吉迪克组; 8—中新世康村组—上新世库车组; 9—更新世西域组; 10—现代沉积
- 1—fault; 2—Pre-mesozoic; 3—Triassic; 4—Jurassic; 5—Cretaceous; 6—Eogene; 7—Jidike Formation of Miocene; 8—Kangcun Formation of Miocene—Kuche Formation of Pliocene; 9—Xiyu Formation of Pleistocene; 10—modern sediment

重矿物的处理过程是先将砂岩样品破碎和磨细至 40~140 目, 经摇床及多次精细淘洗获得重矿物; 然后再通过磁选将重矿物分为强磁和弱磁部分; 通过电磁选, 弱磁部分矿物被分为强电磁、弱电磁和无磁部分; 最后, 对各部分矿物进行镜下鉴定。重矿物含量计算采用颗粒统计法, 每个砂岩样品统计颗粒在 400 粒左右。

## 3 重矿物组成特征

研究区共鉴定出重矿物 20 多种: 锆石、磷灰石、锐钛矿、金红石、重晶石、板钛矿、黄铁矿、榍石、石榴石、辉石、角闪石、绿帘石、电气石、方铅矿、海绿石、铬铁矿、白钛石、钛铁矿、赤褐铁矿、磁铁矿、独居石等。重矿物在不同环境下其稳定性不同(表 1), 有些矿物在不同环境下的稳定性差异很大, 比如, 磷灰石



图 2 库车拗陷库车河剖面中新代综合柱状图

Fig. 2 Mesozoic and Cenozoic comprehensive columnar section of Kuche River section in Kuche depression

表 1 重矿物的稳定性比较(据 Morton 等, 1999)

Table 1 The stability of heavy minerals(Morton *et al.*, 1999)

机械搬运过程	酸性水风化环境	深埋藏环境
电气石	TiO <sub>2</sub> 矿物	磷灰石、独居石、尖晶石、TiO <sub>2</sub> 矿物、电气石、锆石
十字石	锆石	硬绿泥石
榍石	电气石	石榴石
石榴石	硅线石	十字石
绿帘石	红柱石	蓝晶石
锆石	蓝晶石	榍石
钙闪石	十字石	绿帘石
金红石	黄玉	钙闪石
斜辉石	榍石	红柱石、硅线石
磷灰石	独居石	辉石
蓝晶石	石榴石	橄榄石
橄榄石	绿帘石	
	钙闪石	
	斜方辉石	
	斜辉石	
	橄榄石	
	磷灰石	

表中重矿物的稳定性由上向下逐渐降低; TiO<sub>2</sub> 矿物包括金红石、白钛矿、板钛矿、锐钛矿。

在酸性水风化环境下稳定性极差,而在深埋藏环境下稳定性又极好。所以,在考虑稳定重矿物组合所反映的地质信息时,应特别注意它所处的沉积及成岩环境。该区自三叠纪到晚第三纪一直处于相对稳定沉积环境。到晚第三纪,南天山大规模向盆地逆冲,使以前沉积的中生代地层褶皱隆升,第三纪以后的沉积被深埋时间不长便被抬升到地表,所以该区内中生代地层中的重矿物组合受深埋藏成岩作用影响较大,而新生代地层中的重矿物受酸性水风化作用影响较大。结合研究区的这种情况将重矿物分为 3 类: ①稳定重矿物组合,包括 TiO<sub>2</sub> 矿物(金红石、锐钛矿、板钛矿和白钛矿)、锆石、电气石; ②较稳定矿物组合,包括石榴石和磷灰石; ③不稳定矿物组合,主要是绿帘石、辉石和角闪石。

根据取样层位和重矿物几何形态、晶形特征和含量纵向变化(图 3),对剖面进行分段讨论。

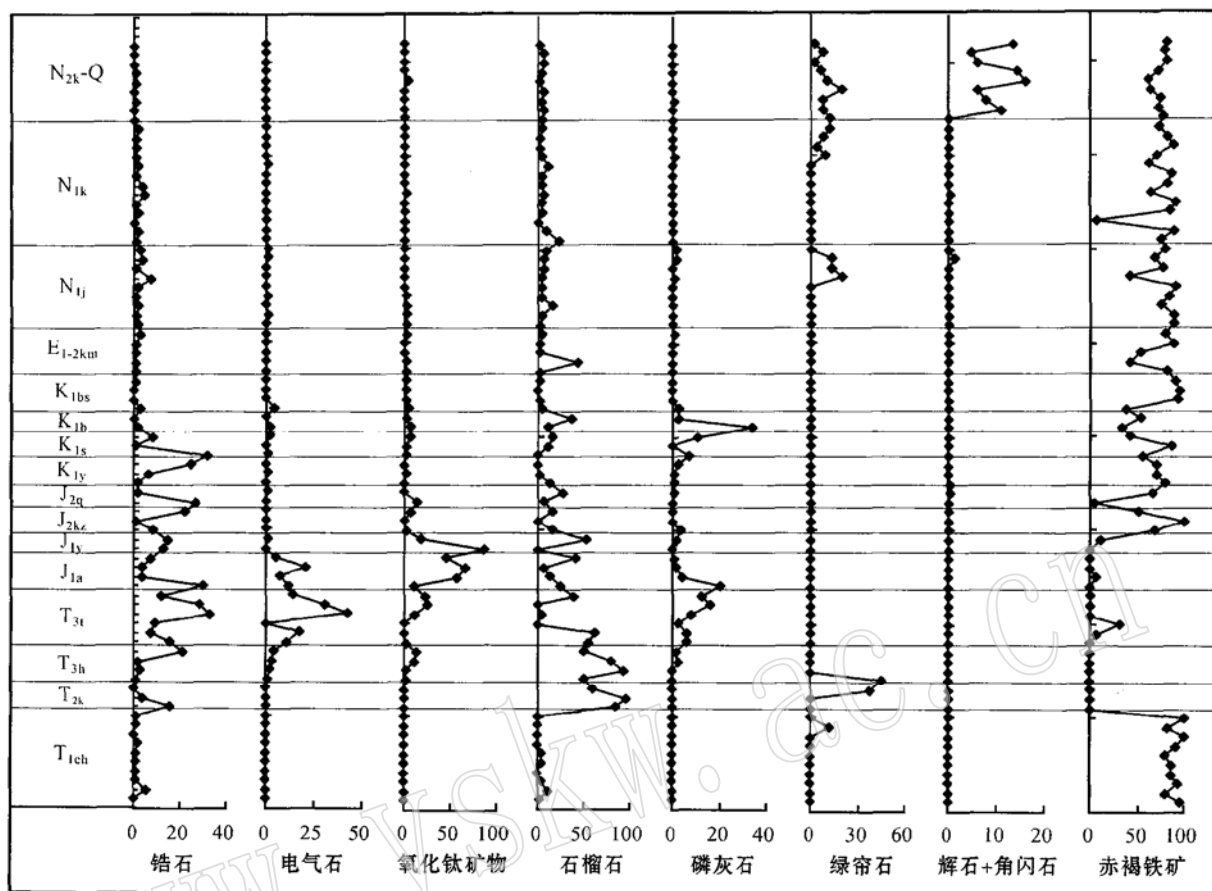


图3 库车河剖面重矿物分布特征

Fig. 3 Distribution characteristics of heavy minerals in Kuche River section

### 3.1 下中三叠统

下中三叠统共取 12 个样品。该段稳定重矿物含量很低,  $\text{TiO}_2$  矿物含量 0~ 0.47% (平均 0.1%), 锆石含量 0.06%~ 15.3% (平均 2.62%), 电气石几乎没有。较稳定矿物组合磷灰石和石榴石的含量同样不高, 磷灰石少于 0.1%, 石榴石 0~ 96% (平均含量 17.5%)。不稳定矿物辉石和角闪石的含量很少, 绿帘石 0~ 12.6% (平均 1.08%)。重矿物中锆石多是玫瑰色, 晶形以次棱角-浑圆状为主, 半自形-自行柱状晶体少量, 而且多已钝化, 显示搬运磨蚀迹象。晶体中常见裂纹、凹坑和包体, 粒径一般 0.05~ 0.1 mm。石榴石为浅粉色, 碎块状, 粒径 0.2~ 0.7 mm。其他重矿物也多为浑圆状, 而且粒度较细。

### 3.2 上三叠统一下白垩统

此阶段重矿物主要的分布特征是稳定重矿物组合和较稳定重矿物组合含量大, 非稳定矿物含量极少。

上三叠统共取 10 个样品, 稳定重矿物组合锆石、电气石和  $\text{TiO}_2$  矿物含量增加, 锆石 0.44%~ 33% (平均 11.3%), 电气石 0~ 41.9% (平均 10.4%),  $\text{TiO}_2$  矿物 0.25%~ 24.8% (平均 6.8%)。较稳定矿物磷灰石和石榴石的含量也增加, 磷灰石 0.1%~ 15.8% (平均 4.46%), 石榴石 0.01%~ 92.7% (平均含量 52.4%)。不稳定矿物绿帘石含量 0~ 45.2% (平均 9.4%), 辉石和角闪石的含量很少。与下中三叠统相比, 该段地层中的重矿物晶形普遍较好, 锆石主要呈浅粉色(75%左右), 少量呈玫瑰色(25%左右), 晶体类型单一, 呈自形双锥柱状, 棱角平直清晰, 少部分呈碎块状, 晶内裂纹密集。电气石呈茶褐色短圆柱状晶形, 0.1~ 0.3 mm。石榴石为浅粉色, 块状。从这些主要重矿物的晶形来看, 它们应来源于较新鲜的岩石, 而且搬运距离不远。

下中侏罗统共取样 11 个, 稳定重矿物组合锆石、电气石和  $\text{TiO}_2$  矿物含量增加, 锆石 0.8%~

30.3%(平均12.3%),电气石0~20.95%(平均5.7%), $TiO_2$ 矿物0.1%~87.2%(平均30.2%)。较稳定矿物磷灰石和石榴石的含量仍然较高,磷灰石0~20.2%(平均4.17%),石榴石有所下降,0~52.5%(平均含量19.4%)。不稳定矿物绿帘石、辉石和角闪石的含量很少。重矿物的磨圆程度增大。锆石仍然以浅粉色为主,说明其母岩类型并没有改变,但是其完整晶形和次浑圆状晶体的比例相近。电气石为茶褐色,自形柱状和碎块状。石榴石粉色居多,黄红色少量(3%左右),呈碎块状,少量浑圆状。矿物晶体的这种变化说明,在该阶段沉积区与物源区的距离进一步加大,风化作用加强,重矿物磨蚀程度加大。

下白垩统共取样12个,稳定重矿物组合锆石、电气石和 $TiO_2$ 矿物含量略有下降,锆石0.06%~31.7%(平均7.2%),电气石较低0~4.6%(平均1.06%), $TiO_2$ 矿物0.06%~6.7%(平均2.5%)。较稳定矿物磷灰石和石榴石的含量仍然较高,磷灰石0.03%~34%(平均5.25%),石榴石0~37%(平均含量10.2%)。不稳定矿物绿帘石、辉石和角闪石的含量很少。大多数重矿物仍表现为强烈的磨蚀状态,主要重矿物锆石为粉色,呈次浑圆-浑圆状,少数为棱角钝化的自形柱状。磷灰石、金红石和石榴石也多以浑圆状为主。

### 3.3 第三纪中新统至中新统

该段地层中的稳定重矿物和较稳定重矿物含量都很少,某些样品中的绿帘石较多但不普遍,极不稳定的辉石和角闪石也不多。

下第三系共取样5个,稳定重矿物组合中锆石含量0.52%~0.96(平均0.66%),电气石含量少于0.05%, $TiO_2$ 矿物含量0.53%~3.1%(平均1.37%)。较稳定矿物磷灰石和石榴石的含量也有所降低,磷灰石小于0.1%,石榴石1.4%~42.6%(平均含量10.4%)。不稳定矿物绿帘石、辉石和角闪石的含量很少。从该层段开始大部分重矿物晶形开始变好,锆石呈自形柱状、短柱状,其次为浑圆柱状、粒状,晶体表面粗糙。赤褐铁矿、石榴石、电气石虽然以碎块状为主,但粒状和柱状等晶形完好的晶体比例有所增加,这说明该期物源区与沉积区的距离缩小,磨蚀搬运的风化强度减弱。

晚第三纪中新统共取样22个,稳定重矿物含量依然很低,锆石0~7.2%(平均2%),电气石含量小于0.5%, $TiO_2$ 矿物0~2.65%(平均0.73%)。较

稳定矿物磷灰石和石榴石的含量也较低,磷灰石0~2.1%(平均0.38%),石榴石1.01%~22.8%(平均6.5%)。不稳定矿物绿帘石含量0~20.5%(平均3.17%),辉石和角闪石的含量很少。该阶段重矿物的晶形比较杂乱,有些矿物如锆石、辉石、角闪石自形程度较高,有些矿物如金红石、石榴石、电气石等自形程度较差,反映了该期沉积物物源的变化,一些自形程度差的重矿物多半来源于南天山逆冲上来的坳陷基底结晶和沉积盖层岩系。

### 3.4 第三纪上新统一第四纪更新统

该套地层共取样10个,以不稳定重矿物含量高为特征。稳定重矿物组合锆石、电气石和 $TiO_2$ 矿物含量很低,锆石0.12%~2.26%(平均0.68%),电气石含量很低,不足0.01%, $TiO_2$ 矿物0~4.87%(平均0.69%)。较稳定矿物磷灰石和石榴石的含量也较低,磷灰石0~0.68%(平均0.15%),石榴石1.37%~7.01%(平均含量4.66%)。不稳定矿物绿帘石含量2.37%~20%(平均9.4%),辉石和角闪石组合含量0~16%(平均7.9%)。该段重矿物形态主要呈次棱角至棱角状,晶形完好,如锆石呈棱角分明的长柱状、柱状,角闪石呈柱状、粒状,晶内有裂纹,辉石为鲜绿-浅绿色,表面干净,粉红色石榴石为等轴粒状。极易风化的辉石和角闪石能够大量保存下来,说明此时沉积区与物源距离很近。

## 4 重矿物对物源和古气候的指示

重矿物组合是源区母岩性质的指示剂,本区晶形完好的锆石、电气石和磷灰石伴随少量黑云母的矿物组合指示源区中花岗岩的存在。大量的石榴石、锆石、绿帘石、绿泥石组合表明变质岩是库车坳陷物源区重要的岩石类型。粒状白钛矿、滚圆的锆石及少量的金红石等可能是从坳陷基底沉积岩中再搬运而来的。磁铁矿、钛铁矿、锐钛矿及辉石、角闪石是基性火山岩存在的标志。

从纵向上看,各层位重矿物组合类型变化不大,从重矿物组合上很难看出物源区母岩类型有较大的变化。重矿物这种分布特点表明在沉积过程中其多样性受到改造而发生变化,使重矿物特征不仅反映母岩的组成,更多地反映了沉积物搬运和沉积过程中物理分选、机械磨蚀和化学溶解作用,这与古气候和古地形演变有密切关系。对重矿物组合有决定性影响的是非海相沉积环境中的风化作用,取决于地

下水的循环,也就是古气候的变化(Morton *et al.*, 1999)。Walker 等(1967, 1978)研究了沙漠环境下重矿物的稳定性,结果表明在这种环境下铁镁矿物大量溶解,特别是普通辉石、斜辉石和钙闪石,这些矿物溶解后的铁离子被氧化成 $Fe^{3+}$ ,使地层呈红色。在库车河剖面也可以见到红色地层,其中重矿物含量的一个重要特征是不透明矿物赤铁矿和褐铁矿在某些层位含量超过50%(图3),这些赤褐铁矿不会是火成岩或变质岩中的原生矿物,它们多呈四方体、八面体粒状,中间残存黄铁矿或呈磁铁矿假像,显然是黄铁矿、磁铁矿氧化而成;有一些呈片状,与长英质矿物共生,为含铁矿物氧化的产物。因此,笔者认为其富集代表了一种极端氧化的环境,极可能反映了气候的干旱,其含量极微的层位便反映了气候的温暖湿润。

赤褐铁矿在下三叠统含量79.2%~100%(平均89.2%),中三叠世黄山街组—晚侏罗世阳霞组含量极微,平均2.46%,在上侏罗统以上地层中,赤褐铁矿含量一直很高,从5%到95.4%,平均71.2%。这说明该区古气候至少经历了干旱—半干旱到湿润—半湿润再到半干旱—干旱的转换,这在沉积物颜色和古生物孢粉研究上也得到了证实(Hendrix *et al.*, 1992; 黄克难等, 2003)。

## 5 重矿物对盆山分异的指示

在确定沉积盆地物源背景下,根据造山带“脱顶原理”,可以通过沉积盆地内重矿物组合带及其变化来反演盆地周缘造山带形成、演化、隆升历史,进而分析造山带与盆地的关系(宋春晖等, 2002)。由于库车坳陷紧邻南天山,在中、新生代时期,南天山是其主要的物源供给区,虽然不同时期南天山上剥露的地层不尽相同,但总体上各母岩的类型变化不大,所以重矿物类型在剖面上变化不大。重矿物含量在剖面上的变化,主要反映的不是物源区的变化,而是不同阶段母岩风化剥蚀所经历的物理化学条件的变化,这主要与岩石的搬运距离、所经历的水动力条件以及氧化—还原环境和埋藏环境有关,这些信息间接反映了盆地沉降与山脉隆升的耦合关系。

盆山分异是指盆地与相邻山脉的地形高差变化以及由此引起的沉积环境、沉积物的沉积速率和分化作用的差异。盆山分异强烈,表明地形高差大,沉积物的剥蚀和沉积速率大,风化作用弱,代表构造活

动的强烈。反之,盆山分异作用弱,代表构造活动比较平静。在盆山分异强烈阶段,由于沉积物从剥蚀区到沉积区的搬运距离较短,所经历的物理和化学风化时间也较短,重矿物的种类和总体含量较多,不稳定重矿物保存下来的几率很大。而在盆山分异较弱的情况下,稳定重矿物的组合将占优势,重矿物在沉积物中的总体含量也相应降低。因此,通过对重矿物含量和由稳定重矿物锆石、电气石和金红石组成的ZTR指数分析以及该区沉积速率的计算(图4),可以将中、新生代库车坳陷和南天山的构造分异活动分为4个阶段。ZTR指数是指由稳定矿物锆石、电气石和金红石组成的透明矿物组分的百分含量(Hubert, 1962),ZTR指数越高代表重矿物的成熟度越高,岩石经受的风化作用越强。反之,则表示重矿物成熟度低,岩石经受的风化作用较弱。沉积速率曲线是根据美国PRA盆地模拟软件计算结果重新作图得到的。

### 5.1 盆山分异强烈阶段(早中三叠世)

库车河剖面早三叠世俄霍布拉克组的沉积为两组灰绿色泥岩、砂岩和两组紫红色砂、砾岩夹泥岩互层,底部为一套灰褐色底砾岩,属冲积扇产物,代表了盆缘沉积物。重矿物含量较高,平均为0.24%,ZTR指数很低,平均为2.6,沉积速率较快,为141 m/Ma,以此推断此时盆地的剥蚀区与沉积区的距离很近,盆山分异作用比较强烈。重矿物中锆石的颜色是母岩性质的良好标志(Lihou and Mange-Rajetzky, 1996)。下中三叠统锆石的颜色较深,为玫瑰色,说明其来源于古老的酸性火山岩或变质岩。

### 5.2 盆山分异平静阶段(晚三叠世到早白垩世)

从剖面露头上看上三叠统一—中侏罗统,沉积岩主要为灰白色砂砾岩、灰色泥质粉砂岩、深灰—灰绿色粉砂质泥岩、泥(页)岩及煤线(层),沉积相主要为湖泊—沼泽—湖三角洲相。晚侏罗世齐古期沉积岩的颜色依次为红色—褐红色—紫红色,说明在该阶段古气候可能有一次转变,在岩性方面变化不大,沉积相仍然以湖相为主,但沉积物粒度增大,表明湖泊变浅。

该层段沉积速率较小,平均为40 m/Ma。重矿物的分布特征表明该期代表的是一个构造活动较平静期,母岩的剥蚀较慢,或碎屑物经过长时期的风化、磨蚀才最终堆积下来。通过对该阶段重矿物含量的对比可以发现,早中侏罗世是该区构造最稳定的阶段,稳定重矿物组合含量最高,ZTR指数为

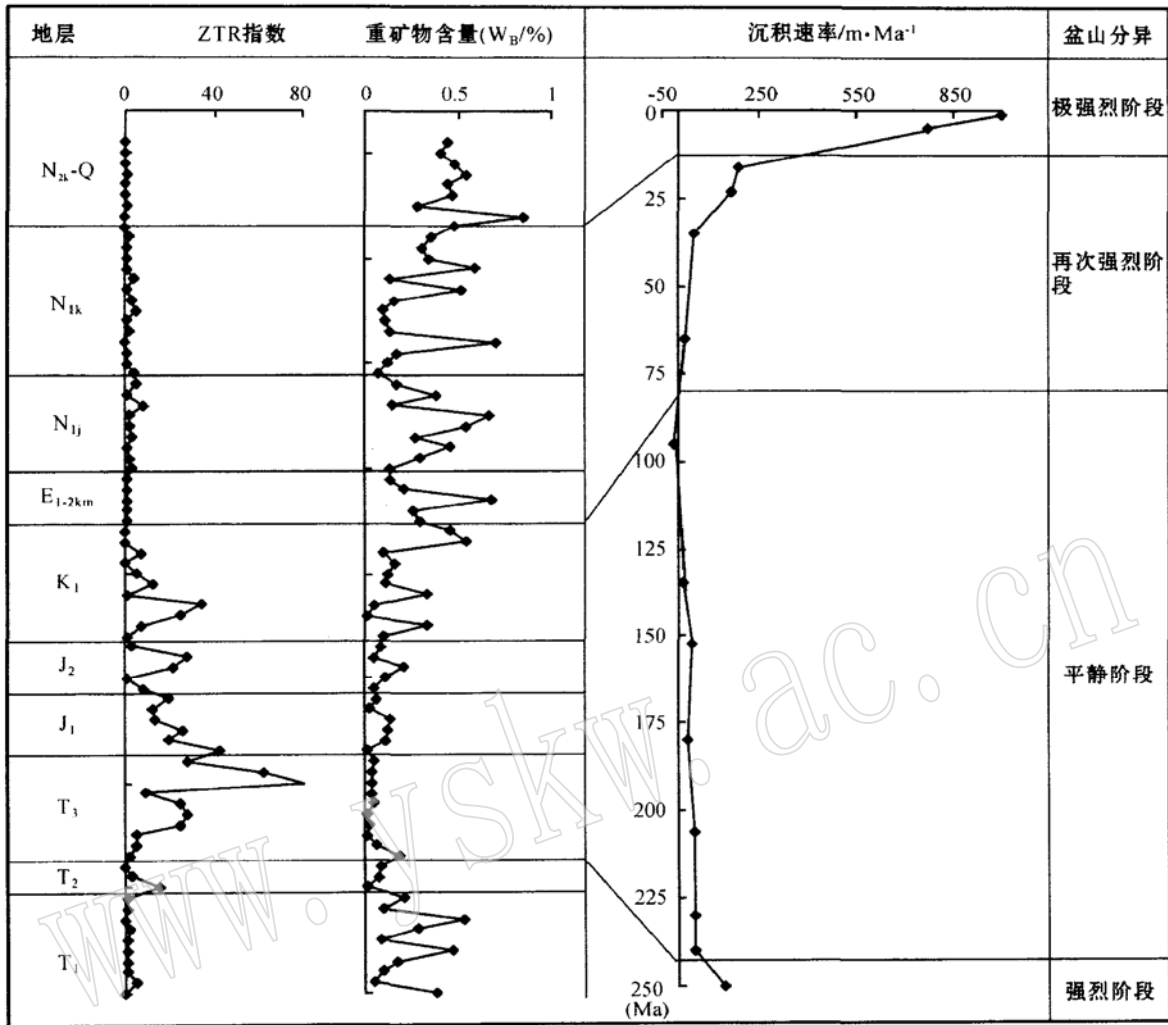


图 4 重矿物指数与盆山分异

Fig. 4 Relationship between basin and mountain indicated by heavy mineral indexes

19.5。晚三叠世和晚侏罗世-早白垩世分别是构造活动期向稳定期转变和稳定期向再次活动期转变的中间阶段,重矿物组合含量是渐变的。由重矿物的形态变化可以看出南天山的剥蚀去顶过程,晚三叠世开始重矿物形态变好,说明此时早三叠世逆冲上来的沉积岩已经剥蚀殆尽,随着盆地进一步伸展,物源区与沉积区的距离在侏罗纪和白垩纪时很远,重矿物的磨圆度进一步加强,此时天山地区经历了一个较长时间的准平原化。晚白垩世该区经历了一次较大规模的隆升,造成上白垩统的缺失,从重矿物特征上看,此次隆升并未造成大规模的盆山分异,这与磷灰石裂变径迹的研究结果相符。

### 5.3 盆山分异再次强烈阶段(第三纪古新世到中新世)

该阶段沉积地层主要是一些红色、紫红色砂砾

岩夹膏盐层,沉积相主要是干盐湖相和河流-冲积扇相。

该段沉积速率自古新世以来逐步增大,平均为  $105 m/Ma$ 。重矿物的含量增加,平均达到  $0.3\%$ 。重矿物中稳定和较稳定重矿物组合含量很低,ZTR 指数为  $1.7$ 。这表明该层位沉积时南天山的隆升再次加强,南天山向塔里木板块推进,造成沉积区与物源区距离缩小,沉积物在沉积过程中的搬运、机械磨蚀作用较小。重矿物形态多呈浑圆状,表明此时南天山的沉积地层再次向南逆冲,并向坳陷提供沉积物,重矿物多来自再旋回的沉积岩。

### 5.4 盆山分异极强烈阶段(第三纪上新世以来)

该期沉积地层包括库车组 and 西域组,主要是一套灰色、绿灰色砂砾岩互层,为冲积扇-辫状河沉积。

该时期库车坳陷的沉积速率最大,平均达到  $883$

m/Ma, 样品中重矿物含量平均为 0.48%, ZTR 指数很小为 0.66, 加上该层位保存了较多的不稳定重矿物辉石和角闪石, 说明该层沉积时南天山的隆升幅度和剥蚀-沉积速率均达到最大, 沉积物所经历的风化作用很小, 此时的盆山分异作用也应该最强, 对应的时间为 5.2 Ma (邓秀芹等, 1998)。从区域上看这次强烈隆升是受喜山运动晚期的影响, 青藏高原迅猛抬升的远程效应使南天山山系迅速上升, 相邻的库车坳陷快速沉降。另外该期重矿物晶形都保持完好, 表明它们大多来自剥蚀的新鲜岩石, 而不是逆冲断裂带, 这从另一方面说明天山经过了长期剥蚀去顶作用以后, 覆盖其表层的推覆体沉积岩已经被剥蚀殆尽。

## 6 结论

(1) 根据重矿物稳定性变化特征可将库车坳陷中生代沉积与南天山隆升的分异作用分为 4 个阶段, 即早中三叠世、晚三叠世至早白垩世、第三纪古新世至中新世、上新世(5 Ma)以来, 并认为最后一个阶段南天山隆升作用最强烈。

(2) 根据自生沉积矿物赤褐铁矿的含量变化, 库车坳陷中生代古气候演化至少存在 3 个阶段, 即早三叠世(干旱-半干旱)、中晚三叠世-中晚侏罗世(湿润-半湿润)、晚侏罗世以来(半干旱-干旱)。

(3) 晚侏罗世是该区气候演化的重要转折期, 晚白垩世是该区构造活动的重要转折期, 这两个阶段对库车坳陷内古地理演化和构造变形具有控制作用。

**致谢** 本工作获国家重点基础研究发展规划项目(编号: G1999043303)和中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司“中生代库车盆地—南天山盆地系含油气构造研究”(合同编号: 11102040408)资助, 在此表示感谢。

## Reference

Deng Xiuqin, Yue Leping and Teng Zhihong. 1998. A primary magnetostratigraphy study on Kuche and Xiyu formations on the edge of Tarim basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 16(2): 82~ 86 (in Chinese with English abstract).

Hendrix M S, Graham S A, Carrol A R, *et al.* 1992. Sedimentary record and climatic implication of recurrent deformation of the Tian

Shan: Evidence from Mesozoic strata of the north Tarim, south Junggar and Turpan basins [J]. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 104: 53 ~ 79.

Hendrix M S, Graham S A and Dumitru T A. 1994. Later Oligocene-early Miocene unroofing in Chinese Tian Shan: An early effect of the India-Asia collision [J]. *Geology*, 22: 487~ 490.

Huang Kenan, Zhan Jiazhen, Zhou Yisheng, *et al.* 2003. Sedimentary environments and palaeoclimate of the Triassic and Jurassic in Kuqa river, Xingjiang [J]. *Journal of Palaeography*, 5(2): 197~ 210 (in Chinese with English abstract).

Hubert. 1962. A zircon-tourmaline-rutile maturity index and the interdependence of the composition of heavy mineral assemblages with the gross composition and texture of sandstone [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 30(3): 440~ 450.

Jia Chengzao, Chen Hanlin, Yang Shufeng, *et al.* 2003. Late cretaceous uplifting process and its geological response in Kuqa depression [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(3): 2~ 6 (in Chinese with English abstract).

Lihou J C and Mange-Rajetzky M A. 1996. Provenance of the Sardona Flysch, eastern Swiss Alps: example of high-resolution heavy mineral analysis applied to an ultrastable assemblage [J]. *Sediment. Geol.*, 105: 141~ 157, 184~ 190.

Lin Changsong, Liu Jingyan and Zhang Yanmei. 2003. Depositional architecture of the Tertiary tectonic sequences and their response to foreland tectonism in the Kuqa depression, Tarim Basin [J]. *Science China (Series D)*, 32(3): 177~ 183 (in Chinese).

Li Weifeng, Wang Chengshan, Gao Zhengzhong, *et al.* 2000. sedimentary evolution of Mesozoic era in Kuche depression, Tarim basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 18(4): 534~ 539 (in Chinese with English abstract).

Li Zhong, Wang Qingchen, Wang Daoxuan, *et al.* 2003. Depositional record constraints on late Cenozoic uplift of Tianshan and tectonic transformation in Kuqa depression [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 21(1): 38~ 45 (in Chinese with English abstract).

Morton A C and Hallsworth C R. 1999. Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones [J]. *Sedimentary Geology*, 124: 3~ 29.

Song Cunhui, Sun Surong, Fang Xiaomin, *et al.* 2002. Analysis of tectonic uplift and heavy minerals of sediments on Jiuxi basin in the northern margin of Tibetan plateau since the Late Cenozoic [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 20(4): 552~ 559 (in Chinese with English abstract).

Walker T R, Ribbe P H and Honea R M. 1967. Geochemistry of hornblende alteration in Pliocene red beds, Baja California, Mexico [J]. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 78: 1055~ 1060.

Walker T R, Waugh B and Crone A J. 1978. Diagenesis in first cycle desert alluvium of Cenozoic age, southwestern United States and northwestern Mexico [J]. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 89: 19~ 32.

Yang Geng and Qian Xianglin. 1995. Mesozoic-Cenozoic uplift of the Tian Shan intraplate orogenic belt: evidence from zircon and apatite fission track dating [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis*



- Pekinensis, 31(4): 473~ 478 (in Chinese).
- Yang Shufeng, Chen Hanlin, Cheng Xiaogan, *et al.* 2003. Cenozoic uplifting and unroofing of south Tian Shan[J]. Journal of Nanjing University(Natural Sciences), 39(1): 1~ 8.
- YIN A, Nie S, Craig P, *et al.* 1998. Late Cenozoic tectonic evolution of the southern Chinese Tian Shan [J]. Tectonics, 17(1): 1~ 27.
- Zhang Ximing, Liu Qingfang and Wang Guiquan. 1995. Triassic - Jurassic sandstone fragment components related with plate tectonic position in the northern Tarim basin[J]. Xinjiang Geology, 3(13): 251~ 255 (in Chinese).

### 附中文参考文献

- 邓秀芹, 岳乐平, 腾志宏. 1998. 塔里木周缘库车组、西域组磁性地质学初步划分[J]. 沉积学报, 16(2): 82~ 86.
- 黄克难, 詹家祯, 邹义声, 等. 2003. 新疆库车河地区三叠系和侏罗系沉积环境及古气候[J]. 古地理学报, 5(2): 197~ 210.
- 贾承造, 陈汉林, 杨树锋, 等. 2003. 库车坳陷晚白垩世隆升过程及其地质响应[J]. 石油学报, 24(3): 2~ 6.
- 林畅松, 刘景彦, 张燕梅, 等. 2003. 库车坳陷第三系构造层序的构成特征及其对前陆构造作用的响应[J]. 中国科学(D 辑), 32(3): 177~ 183.
- 李维锋, 王成善, 高振中, 等. 2000. 塔里木盆地库车坳陷中生代沉积演化[J]. 沉积学报, 18(4): 534~ 539.
- 李忠, 王清晨, 王道轩, 等. 2003. 晚新生代天山隆升与库车坳陷构造转换的沉积约束[J]. 沉积学报, 21(1): 38~ 45.
- 宋春晖, 孙淑荣, 方小敏, 等. 2002. 酒西盆地晚新生代沉积重矿物分析与高原北部隆升[J]. 沉积学报, 20(4): 552~ 559.
- 杨庚, 钱祥麟. 1995. 中新生代天山板内造山带隆升证据: 锆石、磷灰石裂变径迹年龄测定[J]. 北京大学学报(自然科学版), 31(4): 473~ 478.
- 杨树锋, 陈汉林, 程晓敢, 等. 2003. 南天山新生代隆升和去顶作用过程[J]. 南京大学学报(自然科学), 39(1): 1~ 8.
- 张希明, 刘青芳, 王贵全. 1995. 塔里木盆地北部三叠-侏罗系砂岩碎屑组分与板块构造位置关系的研究[J]. 新疆地质, 3(13): 251~ 255.

## 2003 年度部分地质学类期刊影响因子一览表

排名	刊名	影响因子	备注	排名	刊名	影响因子	备注
1	岩石学报*	2.629	3	23	地震地质*	0.754	127
2	中国科学 D*	2.398	5	24	石油实验地质*	0.741	133
3	矿床地质	2.176	7	25	海洋地质与第四纪地质*	0.732	139
4	地球物理学报*	1.974	8	26	地球物理学进展*	0.703	153
5	冰川冻土*	1.805	10	27	地层学杂志*	0.675	166
6	地质学报*	1.767	11	28	矿物学报*	0.645	185
7	地质论评*	1.431	27	29	中国岩溶*	0.610	197
8	地球化学*	1.344	28	30	古脊椎动物学报*	0.556	237
9	岩石矿物学杂志*	1.270	33	31	矿物岩石地球化学通报	0.548	242
10	地质科学*	1.254	34	32	现代地质*	0.523	267
11	第四纪研究*	1.172	43	33	微体古生物学报*	0.523	267
12	地球学报*	1.030	60	34	地质与勘探*	0.512	288
13	地球科学进展*	0.980	71	35	古生物学报*	0.478	344
14	古地理学报	0.978	72	36	水文地质工程地质*	0.417	437
15	岩矿测试	0.918	83	37	自然科学进展*	0.410	448
16	地学前缘*	0.891	88	38	吉林大学学报地球科学版*	0.404	461
17	科学通报*	0.891	88	39	地质科技情报*	0.394	472
18	高校地质学报*	0.841	106	40	极地研究	0.394	472
19	地球科学*	0.805	113	41	地质力学学报	0.344	566
20	沉积学报*	0.804	114	42	大地构造与成矿学*	0.341	570
21	中国地质*	0.756	124	43	成都理工大学学报*	0.323	613
22	地质通报(原中国区域地质)	0.755	125	44	矿物岩石*	0.303	659

本表数据引自《2004 年版中国科技期刊引证报告》(中国科学技术信息研究所编); 备注指各期刊在当年入编的 1 576 种期刊中的影响因子总排序; \* 表示该期刊为北京大学出版社出版的《中文核心期刊要目总览》(2004 版)中的核心期刊。