

文章编号: 1000-0550(2006) 01-0028-08

# 碎屑重矿物分析对库车坳陷白垩— 第三纪物源变化的指示

李双建 石永红 王清晨

(中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029)

**摘要** 碎屑沉积是山脉隆升和盆地沉积的直接记录,包括碎屑重矿物研究在内的碎屑沉积物的分析是开展盆山耦合研究的必要手段。对库车坳陷白垩系—第三系砂岩中重矿物含量特征进行了系统的研究,并应用电子探针技术分析碎屑石榴石和钛铁矿的化学组成,研究表明库车坳陷白垩—第三系源区主要由沉积岩、变质岩和酸性火山岩组成。白垩系砂岩中的石榴石来自西南天山蓝片岩和低级变质岩的比例较大,而第三系砂岩中的石榴石中富铁铝榴石组分,多来自高级变质岩。白垩系砂岩中的钛铁矿多来自变质岩,上第三系砂岩中来自火成岩的钛铁矿比例增加。由此可以认为南天山的大规模隆升和剥蚀发生在第三纪以来,由于它的隆升遮挡了南天山北缘古生代增生杂岩体对库车坳陷的物质贡献,并且随着剥蚀的加深,高级变质岩和火成岩的出露越来越多。

**关键词** 重矿物 库车坳陷 南天山 物源 电子探针 石榴石 钛铁矿

**第一作者简介** 李双建 男 1978 年出生 博士研究生 沉积学及盆地分析

**中图分类号** P512.2 **文献标识码** A

## 1 引言

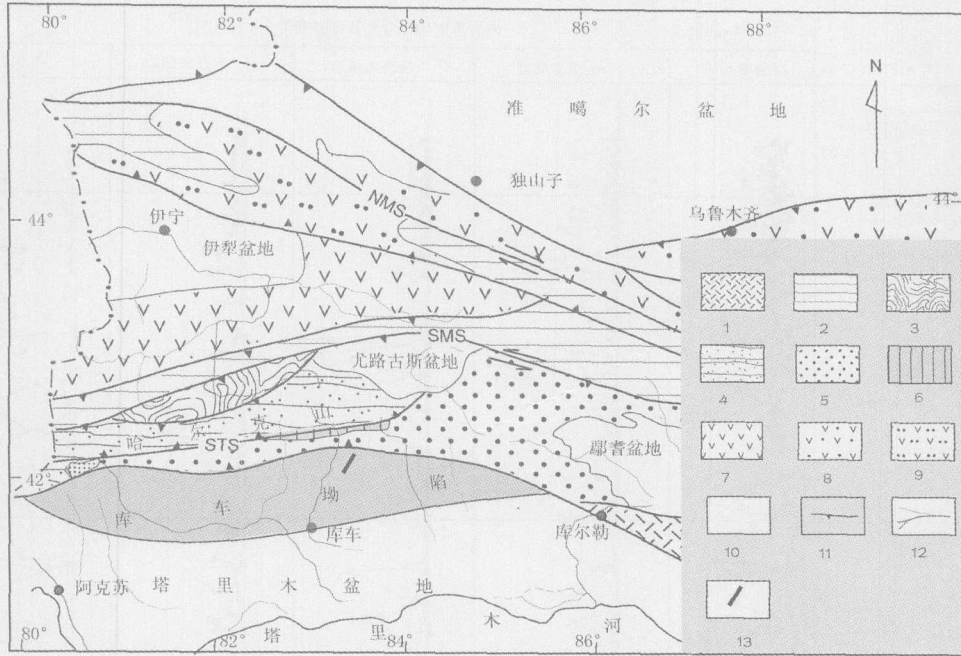
碎屑沉积岩的组分中包含了关于源区古环境、古地形和古气候以及构造活动和地壳演化等多种信息。碎屑重矿物组合对物源反映十分敏感,是物源分析的重要对象,然而,风化作用、水流搬运作用和成岩作用等地质过程或多或少的影响了现如今的重矿物组合对物源分析结果的精确性。

为了提高重矿物分析物源的精确性, Morton and Hallsworth<sup>[1]</sup>提出了两种补充方法来鉴定物源,一个是利用受水动力搬运和成岩作用影响相似的两种重矿物的比值来反映物源的变化,如石榴石/锆石、金红石/锆石、独居石/锆石和磷灰石/电气石等;另一个是利用某个稳定重矿物的量化特征来鉴定物源,常用的是矿物的光性特征和地球化学组成。一些对物源反映敏感的重矿物的光学属性包括电气石的颜色、形态<sup>[2]</sup>, 锆石的形态<sup>[3]</sup>和磷灰石的磨圆度<sup>[4]</sup>等。可以根据其地球化学组成追溯物源的重矿物包括石榴石<sup>[5,6,7]</sup>, 辉石<sup>[8]</sup>, 角闪石<sup>[9]</sup>, 电气石<sup>[10]</sup>和某些不透明矿物<sup>[11,12]</sup>。这些方法的应用大大提高了物源分析的精度,使得碎屑重矿物在盆地分析和盆山耦合研究中得到了广泛应用。

本文对库车坳陷白垩系—第三系砂岩中重矿物含量特征进行了系统的研究,分析了特征重矿物的比值对源岩组成类型的指示,并应用电子探针技术分析碎屑石榴石和钛铁矿的化学组成,以期了解库车坳陷白垩—第三纪的物源组成变化,并探讨该时期南天山的隆升和剥蚀过程。

## 2 地质背景与样品采集

研究区位于南天山和塔里木盆地的盆山交界处。天山造山带是古生代末期塔里木板块、伊犁—中天山板块和准噶尔板块碰撞拼贴形成的碰撞造山带。早二叠纪,天山开始隆升,并伴随有火山喷发和花岗岩侵入<sup>[13]</sup>。现今南天山出露的岩石主要为古生代的变质岩和沉积岩和部分前中生代的火山岩(图 1)。库车坳陷位于天山南麓,是一个中—新生代陆相盆地,其形成和演化受南天山构造演化的影响,南天山的剥蚀去顶为盆地沉积提供了物质来源,因而,盆地内的沉积物也记录了南天山的去顶过程,研究库车坳陷内碎屑重矿物的特征对反演天山演化有重要意义。本次研究的工作剖面为紧邻南天山的库车县牙哈乡克孜勒努尔沟(图 1),研究层位包括白垩系巴什基奇克组、第三系的库姆格列木组、苏维依组、吉迪克组、康



1 前寒武纪基底 2 前寒武纪基底夹古生代火山岩和花岗岩 3 增生杂岩体 4 早古生代(变)沉积岩 5 晚古生代(变)沉积岩  
6 前寒武纪基底构造窗 7 古生代火山岩; 8 晚生代岛弧型火山岩和火山碎屑岩 9. 早古生代火山岩和沉积岩  
10 中—新生代沉积岩 11 断层 12 河流 13 剖面位置 NMS 中天山北缘缝合线 SMS 中天山南缘缝合线 STS 南天山缝合线

图 1 天山地区构造地质图与剖面位置(据高俊等, 1995, 有修改)

Fig 1 Tectonic map of Tianshan area and the position of the cross-section(modified from Gao Jun, *et al.*, 1995)

村组和库车组。除了库姆格列木组底部的有 15 m 左右的海相沉积外,其余地层都是陆相沉积,总体上沉积物的粒度有向上变粗的趋势,沉积相由湖相逐步演变为河流相和冲积扇相,下第三系库姆格列木组与底部白垩系巴什基奇克组呈微角度不整合接触。在近 3 000 m 厚的地层中共取 69 个重矿物样品(样品编号由下向上顺序排列),其中白垩系巴什基奇克组地层厚度为 105 m, 取样 2 个,下第三系库姆格列木组厚 200 m, 取样 3 个,苏维依组厚 180 m, 取样 4 个,上第三系吉迪克组厚 1 038 m, 取样 20 个,康村组厚 1 193 m, 取样 30 个,库车组厚 2 000 余米,本次研究只在其下部厚约 100 m 地层中取样 10 个(图 2)

### 3 样品处理和分析方法

重矿物的处理过程参考李忠等<sup>[14]</sup>和李双建等<sup>[15]</sup>所用的方法,首先将砂岩样品破碎和磨细至 40~140 目,经摇床分选,再经过多次精细淘洗获得重矿物;然后再通过磁选,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,每个样品统计颗粒在 400

粒左右。

用于电子探针分析的重矿物都是在显微镜下挑选出来的,制成探针片后,随机选择 20~40 粒作分析。所用仪器为 CAMECA SX51 型 EPMA,工作电压为 15 kV,电流为 20 nA,所有探针分析均在中国科学院地质与地球物理研究所完成。

### 4 碎屑重矿物的分布特征

研究区 69 个重砂样品中鉴定出的重矿物主要包括:锆石、磷灰石、锐钛矿、金红石、重晶石、板钛矿、石榴石、绿帘石、电气石、白钛石、钛铁矿、赤褐铁矿、磁铁矿、独居石等。重矿物虽非砂岩中的主要成分,但同样包含了物源区母岩性质的重要线索。虽然一些重矿物如石英一样广泛出现(如锆石、电气石、金红石),但仍有一些矿物成为某种特殊类型母岩的判断标志,因此,考察地层中现存的重矿物组合特征,有可能发现关于盆山体系动力学的重要信息<sup>[16]</sup>。对比天山出露岩石类型,我们把其所提供的重矿物组合归纳为表 1。天山地区的变质岩主要是来自前寒武纪基底的深变质的片岩和片麻岩、中天山南缘缝合线南侧早古生代增生杂岩体的蓝片岩和绿片岩以及广泛分

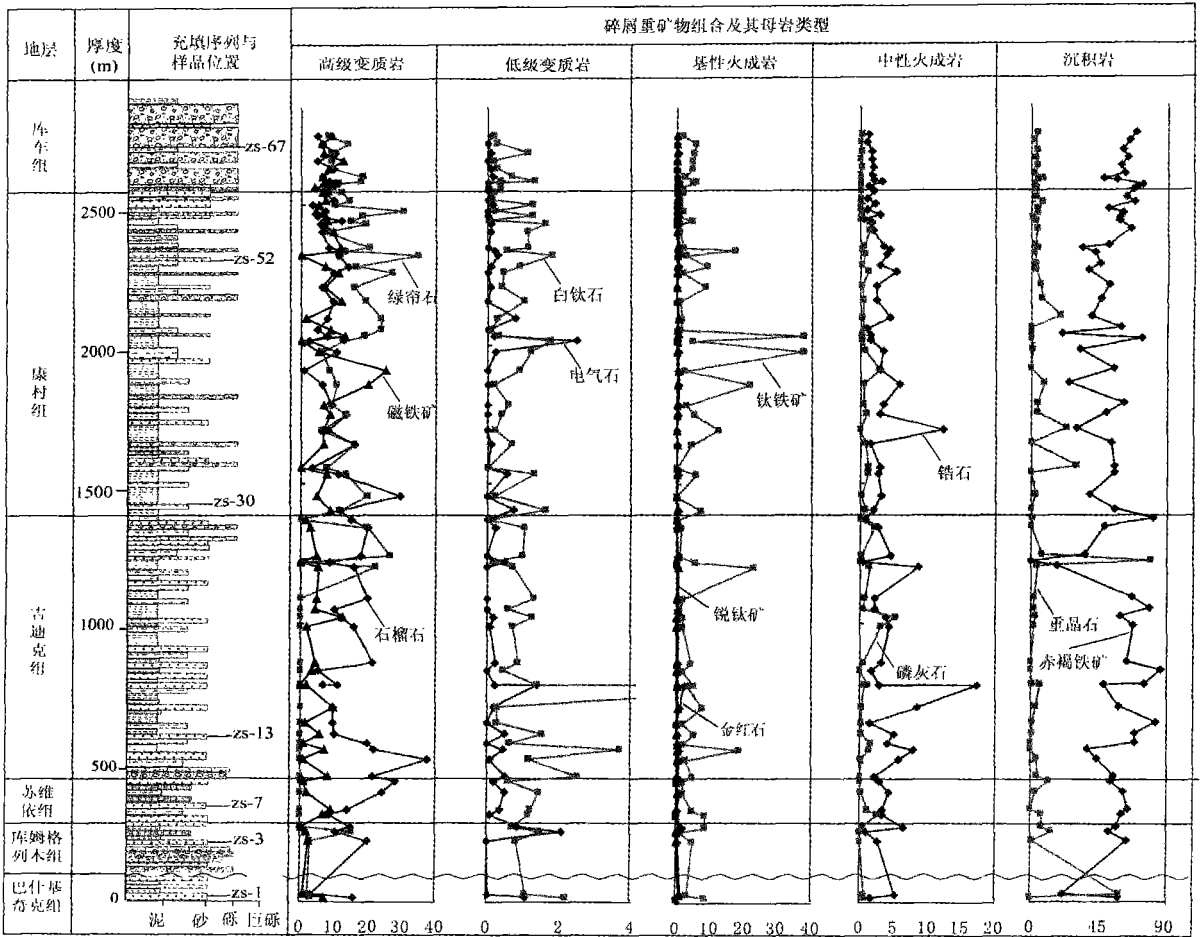


图 2 库车坳陷白垩—第三系砂岩中重矿物分布

Fig 2 The distribution of heavy minerals in Cretaceous-Tertiary sandstones Kuqa depression

表 1 库车坳陷克孜勒努尔沟剖面重矿物组合特征  
Table 1 Characteristics of heavy mineral assemblages in Kezilenuer section, Kuqa depression

碎屑重矿物组合	物源区岩石类型
石榴石、绿帘石、磁铁矿	高级变质岩 (前石炭系, 主要是早古生界)
电气石、白钛石	低级变质岩 (前石炭系, 主要是晚古生界)
金红石、辉石、铬铁矿、钛铁矿、锐钛矿	基性火成岩 (前二叠纪, 碰撞缝合线附近)
锆石、磷灰石、角闪石	中性火成岩 (前三叠纪)
赤褐铁矿、重晶石	沉积岩 (三叠纪以来, 主要是沉积成因)

布的古生代低—中级变质沉积岩。火成岩主要来自中天山南缘缝合带和南天山缝合带零星分布的蛇绿岩体和花岗岩体, 部分二叠纪中酸性火成岩分布于库车坳陷与南天山交界处。

根据重矿物的分布特征和母岩类型对比 (图 2) 可以发现库车坳陷白垩—第三系各组地层中重矿物含量的变化不大, 其中, 来自高级变质岩的重矿物石

榴石和绿帘石在大部分地层中含量都大于 15%, 另一矿物磁铁矿平均含量也超过 5%, 而母岩为低级变质岩和火成岩的重矿物含量一般都不超过 5%。这说明库车坳陷白垩—第三系物源区的主要岩性为中高级变质岩, 低级变质岩和火山岩次之。赤褐铁矿和重晶石一般是在沉积过程中形成的, 其中赤褐铁矿是在干旱的气候条件下由铁质矿物氧化而成的<sup>[15]</sup>, 研究区沉积物中次生的矿物赤褐铁矿和重晶石含量极为丰富, 各层位赤褐铁矿平均含量大于 50%, 部分可达 90%, 说明露头区在沉积和成岩过程中经历了比较强烈的氧化作用, 也说明了该区在第三纪以来气候一直比较干旱。

另外由于有些重矿物既可以出现在高级变质岩中也可以出现在低级变质岩中, 比如石榴石和绿帘石<sup>[15-7]</sup>, 有些重矿物既可以出现在火山岩中也可以出现在变质岩中, 比如钛铁矿<sup>[8]</sup>, 有些重矿物可能来源

于再旋回的沉积岩, 比如锆石、电气石和金红石<sup>[1]</sup>。为了进一步区别这些重矿物的来源, 我们对一些特征矿物进行了电子探针分析。

### 5 特征重矿物的电子探针分析

石榴石的化学组成比较复杂, 主要包括 6 个端元组份: 铁铝榴石、锰铝榴石、钙铝榴石、镁铝榴石、钙铁榴石和水钙铝榴石。不同端元组份所占比例的差异与石榴石形成时的地质条件密切相关, 又因为该矿物抗风化的能力较强, 在砂岩中广泛存在, 所以其地球化学组成很适合于沉积物物源的研究<sup>[5-7]</sup>。

本次研究共取得了 7 组样品 239 粒石榴石的化学组成数据, 包括白垩系巴什基奇克组 1 个样品 (zs-1, 39 粒), 库姆格列木组 1 个样品 (zs-3, 38 粒), 苏维依组 1 个样品 (zs-7, 39 粒), 吉迪克组 1 个样品 (zs-13, 32 粒), 康村组两个样品 (zs-30, 36 粒、zs-52, 26 粒), 库车组 1 个样品 (zs-67, 39 粒)。图 3 表示了样品中石榴石的几种端元组份的比例情况, 总体特征是铁铝和锰铝榴石总含量较高, 钙铝榴石含量由下向上减少, 铁铝榴石与锰铝榴石具有不同的成因意义, 图 4 显示了该区这两种组分的相对含量, 除了 zs-1 样品高锰铝榴石含量较高以外, 其它样品的锰铝榴石含量

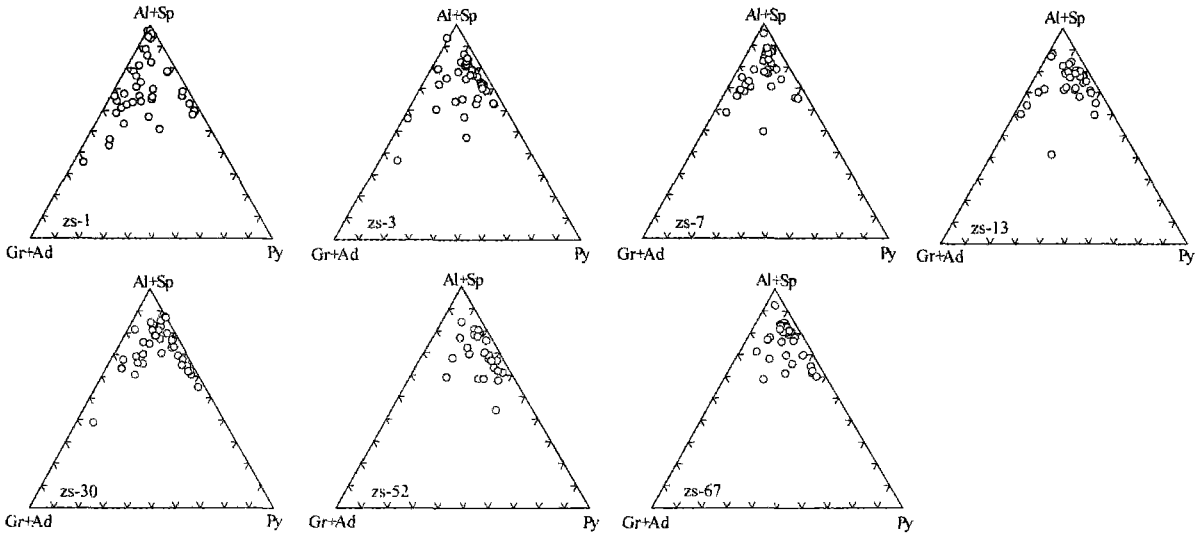


图 3 库车坳陷白垩—第三系砂岩中石榴石组成特征

Fig 3 The composition characteristics of garnet in Cretaceous-Tertiary sandstones, Kuqa depression

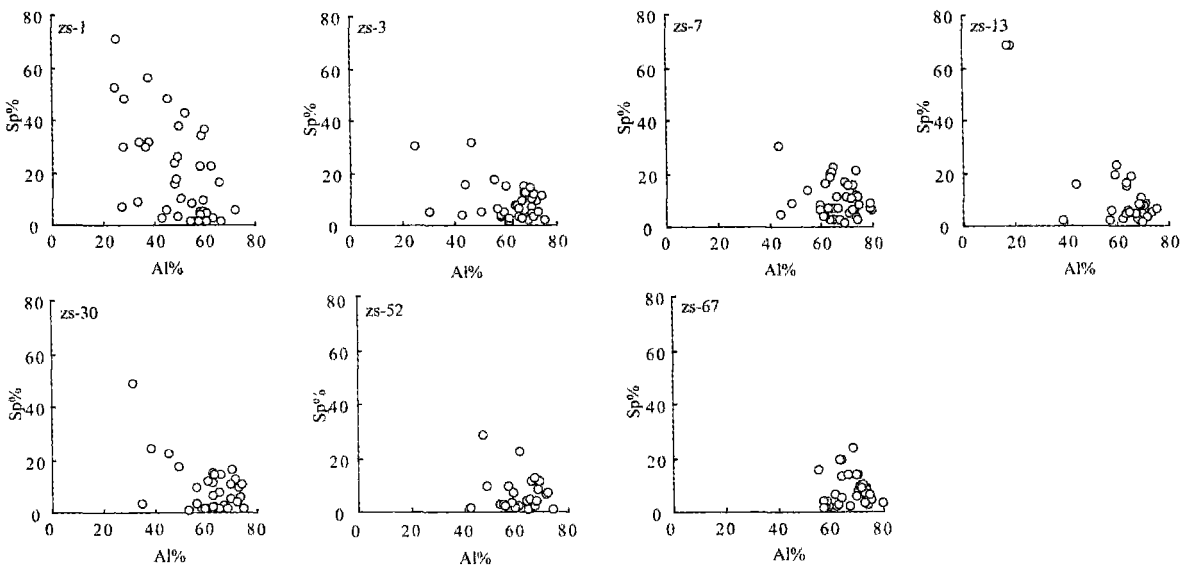


图 4 库车坳陷白垩—第三系砂岩中铁铝榴石与锰铝榴石的对比

Fig 4 Comparison between spessartine and almandine gamets in Cretaceous-Tertiary sandstones, Kuqa depression

普遍不超过 20%。

除了石榴石以外,本次研究还对非透明矿物钛铁矿进行了电子探针分析,共取得了 3 个样品 67 粒矿物的地球化学数据,这 3 个样品分别是白垩系巴什基奇克组 zs-1(26 粒),上第三系康村组 zs-52(22 粒),库车组 zs-67(19 粒)。

## 6 讨论与结论

重矿物组合和丰度在搬运沉积和成岩过程中往往受到多种因素的影响,如物理分选、机械破碎、层间溶解等,为了减少这些作用对物源解释的影响。Morton 和 Hallsworth<sup>[11]</sup>提出了利用在相似水动力条件和成岩作用下稳定性相差不大的重矿物比值反映物源特征,将这些比值称为重矿物指数,比如 ATi 指数 ( $100 \times \text{磷灰石} / (\text{磷灰石} + \text{电气石})$ )、GZi 指数 ( $100 \times \text{石榴石} / (\text{石榴石} + \text{锆石})$ )、RuZi 指数 ( $100 \times \text{金红石} / (\text{金红石} + \text{锆石})$ )、MZi 指数 ( $100 \times \text{独居石} / (\text{独居石} + \text{锆石})$ )等。

本文根据该区重矿物类型,采用了 ATi 指数、GZi 指数、RuZi 指数三个指标,分别作了 GAi-RuZi 和 GZi-ATi 两个交绘图来分析研究区的物源变化(图 5),可以看出 GZi 指数值多在 60~90 之间,并且各组样品之间的分异并不明显,说明相对于中酸性火成岩来源的锆石来讲,来自高级变质岩的石榴石比例较大(表 1),也可以说源区的变质岩分布比中酸性火成岩的分布大的多。RuZi 指数值在 5~25 之间,说明主要来自基性岩的金红石比来自中酸性岩的锆石含量少,也说明物源区基性岩的分布较少,这种状况在苏维依组沉积后更为明显。ATi 指数值在 0~100 之间都有,大于 60 的样品稍多一点,但是各组样品之间差异性也不明显,说明主要源自中酸性火山的磷灰石和主

要源自伟晶岩的电气石比例关系变化较大,总体来讲物源区伟晶岩的分布比中酸性火成岩要少。

石榴石是各种变质岩中常见的矿物,同时它也可以出现在侵入岩、结晶花岗岩和一些长英质火山岩中。该区石榴石普遍特点是富铁—锰铝榴石,钙铝(铁)和镁铝榴石含量低(图 3),经统计铁铝榴石的含量范围在 17%~80% 之间,锰铝榴石含量范围为 0~71%,钙铝榴石的含量范围为 0~58%,镁铝榴石含量范围在 1%~43% 之间。相比而言白垩系巴什基奇克组砂岩中石榴石的钙铝榴石组分含量较高,实验表明,钙铝榴石是相对高压环境下形成的,Ca 离子半径 ( $2.99 \text{ nm} \times 10 \text{ nm}$ ) 比 Mg ( $0.65 \text{ nm} \times 10 \text{ nm}$ ) 和  $\text{Fe}^{2+}$  ( $0.75 \times 10 \text{ nm}$ ) 离子半径大的多,只有当压力较大时 Ca 离子才能进入镁铝榴石—铁镁榴石系列中<sup>[17]</sup>。事实上南天山古生代增生楔内高压低温的蓝片岩中的石榴石就具有高钙铝榴石的特征,它们的几种端元组份的相对比例与 zs-1 样品有相似之处(图 6),另外在图 4 和图 6 中还可以看出样品 zs-1 中石榴石的铁铝榴石含量大多在 40%~70% 之间,与南天山蓝片岩中的石榴石组分也很接近<sup>[18~20]</sup>,而其它样品的铁铝榴石一般在 60%~80% 之间。而随着地层时代的变新,石榴石中钙铝榴石组分的含量逐渐降低,铁铝榴石组分增加(图 3)。Morton<sup>[21]</sup>曾指出岩石中钙铝榴石缺乏可能说明岩石是比较古老的再旋回沉积岩,经历了较长时间的风化和成岩作用,使石榴石中不稳定的组分流失了,这一说法在解释该区第三系砂岩中的石榴石贫钙铝榴石组分是不恰当的,因为诸多证据都显示第三纪特别是晚第三纪以来库车坳陷处于一个强烈快速的沉降期,沉积物的风化程度很低,而且白垩纪的时候,南天山就已经开始了隆升<sup>[22]</sup>,石榴石组分的差异基本反映了物源的变化。

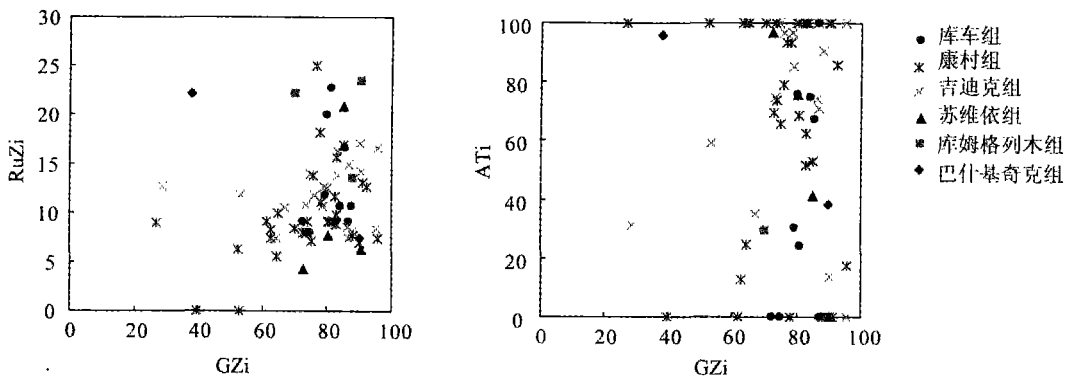


图 5 库车坳陷白垩—第三系砂岩中重矿物比值特征

Fig 5 The characteristic of heavy mineral ratios in Cretaceous-Tertiary sandstones, Kuqa depression

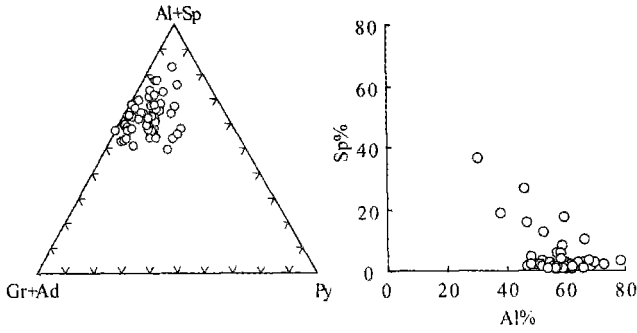


图 6 南天山古生代增生楔中蓝片岩中石榴石的组成特征  
Fig. 6 The composition characteristics of garnets in blueschist from Paleozoic accretion wedge, southwest Tianshan

样品 zs-1 与其它样品不同之处还在于其含有很多富锰铝榴石组分的颗粒, 而锰铝榴石的形成温度和压力较铁、镁铝榴石低的多, 所以这些富锰铝榴石组分的石榴石可能来源于变质程度较低的岩石。由此可以看出研究区白垩纪和第三纪的物源变化, 白垩纪南天山古生代增生楔对库车坳陷的物质供给较第三纪大, 除了代表高压的蓝片岩贡献大以外, 富锰铝榴石的低压变质岩也较第三纪多。另外, 根据天山现今水系分布 (图 1), 目前南天山的最高隆起带为哈尔克山, 能够为库车坳陷提供物源的主要是古生代沉积岩和变质沉积岩。由此可见, 哈尔克山是第三纪以来的隆

升的, 它遮挡了中天山变质基底和南天山南缘缝合带早古生代增生楔对库车坳陷的物质贡献, 并且随着剥蚀作用的加强, 早先暴露的低级变质岩逐渐减少, 取而代之的是新的变质程度较高的岩石。

钛铁矿是火成岩和变质岩中最常见的矿物, 但是对它的研究并不多见。Darby 早在 1984 年<sup>[23]</sup>就指出钛铁矿中的微量元素含量与岩石成因有关。Grigby<sup>[11]</sup>基于对已知物源的全新统砂岩的研究, 证明钛铁矿中含有可以明确指示物源的化学标志, 他指出  $MnO > 2.0 \text{ wt}\%$  的钛铁矿主要来自长英质的火山岩,  $MgO > 1.5 \text{ wt}\%$  的钛铁矿来自中性和基性岩, 根据这一标准, 研究区砂岩中钛铁矿来自中—基性岩的比例稍大一点。同时, 还指出源自火成岩的钛铁矿  $TiO_2$  的含量在 40% 到 52 wt% 之间, 较高的  $TiO_2$  含量可能指示其来源于变质岩。变质岩中, 钛铁矿常出现在泥质和铁镁质变质岩中, 特别容易出现在麻粒岩相中。在所有的岩石类型中, 钛铁矿一般不会出现于低级变质岩中, 在低于中级绿片岩或低级角闪岩相变质条件下的变质基性岩中, 钛铁矿也很少见。在变质的泥质岩和铁镁质岩中, 钛铁矿中 MnO 的含量随变质程度的增加而减少。基于这些论断, 由于 zs-1 样品中钛铁矿的  $TiO_2$  含量大都超过了 52 wt%, 而且 MnO 的含量很高, 最高达 30 wt%, 普遍大于 2 wt% (图 7), 所以推测其大部分源自低级变质岩, 这

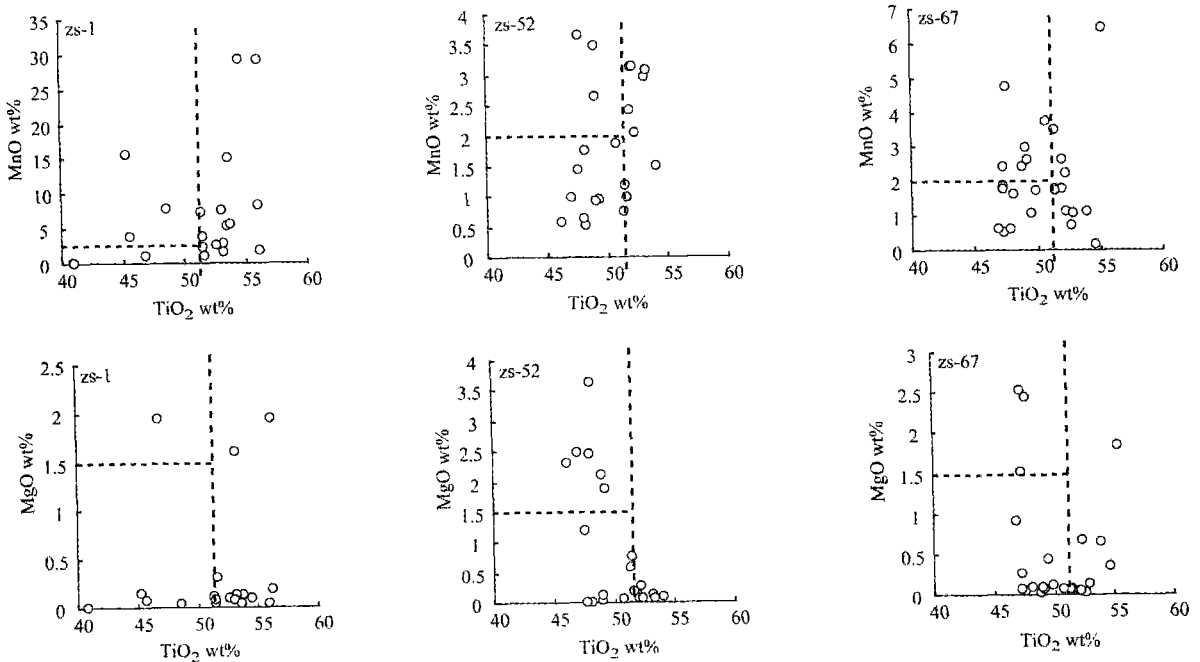


图 7 库车坳陷白垩—第三系砂岩中钛铁矿的化学成分对比

Fig. 7 Comparison of chemical compositions of ilmenite in Cretaceous-Tertiary sandstones, Kuqa depression

与石榴石电子探针分析的结果一致。第三系样品  $z_{s-52}$  和  $z_{s-67}$  中钛铁矿的  $TiO_2$  含量大于 52 w % 的部分约占总数的二分之一, 说明从白垩系到第三系库车坳陷的物源中火成岩的部分增加了, 在  $TiO_2$  含量小于 52 w % 的那部分颗粒中  $MnO > 2.0 w %$  和  $MgO < 1.5 w %$  的比例相差不大, 说明火成岩的组成比较复杂, 既有中基性火成岩也有酸性火成岩。

综合重矿物组合和特征重矿物电子探针的分析, 可以得出以下结论: 库车坳陷白垩—第三系重矿物组合主要为赤褐铁矿—石榴石—绿帘石—锆石—钛铁矿, 说明在排除重矿物含量极微的碳酸盐岩的前提下, 库车坳陷白垩—第三系源区主要由高级变质岩—沉积岩和酸性火山岩组成。从赤褐铁矿的高含量来看, 在白垩—第三纪, 该区处于干旱—氧化了的沉积环境。通过特征重矿物比值 AT 指数、GZi 指数、Ru-Z 指数分析, 可知变质岩的分布大于火成岩的分布, 沉积岩分布的相对多少, 很难通过碎屑重矿物确定。从石榴石的探针分析结果来看, 白垩系砂岩中的石榴石来自南天山早古生代增生杂岩体中蓝片岩和高锰铝榴石的低级变质岩的比例较大, 而第三系砂岩中的石榴石中锰铝榴石组分减少, 铁铝榴石组分增加, 说明其多来自高级变质岩。从钛铁矿的探针分析结果来看, 白垩系砂岩中的钛铁矿多来自变质岩, 上第三系砂岩中来自火成岩的钛铁矿比例增加。这些分析表明南天山的大规模隆升和剥蚀发生在第三纪以来, 由于它的隆升遮挡了南天山北缘古生代增生杂岩体对库车坳陷的物质贡献, 并且随着剥蚀的加深, 高级变质岩的出露越来越多。

致谢 重矿物分离得到河北地质调查局中心实验室李林庆工程师的帮助, 电子探针分析得到中科院地质与地球物理研究所探针室马玉光工程师和毛骞工程师的帮助, 在此一并表示衷心感谢!

#### 参考文献 (References)

- Morton C A, Hallworth R C. Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology*, 1999, 124: 3~29
- Krynine P D. The tourmaline group in sediments. *Journal of Geology*, 1946, 54: 65~87
- Lhou J C, Mänge-Rajetzky M A. Provenance of the Sardona Flysch, eastern Swiss Alps: example of high-resolution heavy mineral analysis applied to an ultrastable assemblage. *Sedimentary Geology*, 1996, 105: 141~157
- Allen P A, Mänge-Rajetzky M A. Devonian Carboniferous sedimentary evolution of the Clair area, offshore northwestern UK: impact of changing provenance. *Marine and Petroleum Geology*, 1992, 9: 29~52
- Morton A C. A new approach to provenance studies: electron microprobe analysis of detrital garnets from Middle Jurassic sandstones of the northern North Sea. *Sedimentology*, 1985, 32: 553~566
- 杨丛笑, 赵澄林. 石榴石电子探针分析在物源研究中的应用. *沉积学报*, 1996, 14(1): 162~166 [Yang Congxiao, Zhao Chenglin. Application of electron microprobe analysis of detrital garnet to provenance studies. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1996, 14(1): 162~166]
- 李任伟, 李忠, 江茂生, 等. 合肥盆地碎屑石榴石组成及其对源区恢复和地层对比的意义. *中国科学 (D 辑)*, 2000, 30(增刊): 91~98 [Li Renwei, Li Zhong, Jiang Maosheng, et al. Compositions of Jurassic detrital garnets in Hefei Basin and its implication to provenance reconstruction and stratigraphic correlation. *Science in China (D series)*, 2000, 30(Suppl): 91~98]
- Stykes M T, Stone P, Floyd J D. A re detritus in the Southern Uplands: mineralogical characterisation of a missing terrain. *Journal of Geological Society of London*, 1989, 146: 397~400
- Von Eynatten H, Gaupp R. Provenance of Cretaceous synorogenic sandstones in the Eastern Alps: constraints from framework petrography, heavy mineral analysis and mineral chemistry. *Sedimentary Geology*, 1999, 124: 81~111
- Henry D J, Guidotti C V. Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral: an example from the staurolite-grade metapelites of NW Maine. *American Mineralogist*, 1985, 70: 1~15
- Grigsby J D. Detrital magnetite as a provenance indicator. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1990, 60: 940~951
- Grigsby J D. Chemical fingerprinting in detrital mineralite: a viable alternative in provenance research? *Journal of Sedimentary Petrology*, 1991, 62(2): 331~337
- Gao Jun, He Guoqi, Li Maosong, et al. The mineralogy, petrology, metamorphic P-T-t trajectory and exhumation mechanism of blueschists, South Tianshan, northwestern China. *Tectonophysics*, 1995, 250: 151~168
- 李忠, 王清晨, 王道轩, 林伟. 晚新生代天山隆升与库车盆地构造转换的沉积约束. *沉积学报*, 2003, 21(1): 38~45 [Li Zhong, Wang Qingchen, Wang Daoxuan, Lin Wei. Depositional record constraints on Late Cenozoic uplift of Tian Shan and tectonic transformation in Kuqa depression, West China. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(1): 38~45]
- 李双建, 王清晨, 李忠. 库车坳陷库车河剖面重矿物分布特征及其地质意义. *岩石矿物学杂志*, 2005, 24(1): 54~61 [Li Shuangjian, Wang Qingchen, Li Zhong. Characteristics of Mesozoic and Cenozoic heavy minerals from Kuqa River section in Kuqa depression and their geological implications. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2005, 24(1): 54~61]
- 宋春晖, 孙淑荣, 方小敏, 等. 酒西盆地晚新生代沉积重矿物分析与高原北部隆升. *沉积学报*, 2002, 20(4): 552~559 [Song Chunhui, Sun Shurong, Fang Xiaomin, et al. Analysis of tectonic uplift and heavy minerals of sediments on Jiuxi basin in the northern margin of Tibetan plateau since the Late Cenozoic. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(4): 552~559]

- 17 Spear F S Metamorphic fractional crystallization and internal metamorphism by diffusional homogenization of zoned garnet. *Contribution of Mineral Petrology*, 1988, 99: 507~517
- 18 张立飞, 高俊, 阿克拜尔, 等. 新疆西天山低温榴辉岩相变质作用. *中国科学 (D)*, 2000, 30(4): 345~355 [Zhang Lifei, Gao Jun, Akbaier, *et al*. Metamorphism in low-temperature eclogites from western Tianshan, Xinjiang. *Science in China (D series)*, 2000, 30(4): 345~355]
- 19 Klend R, Schroter F C, Will T M, Gao J. P-T evolution of glaucophane-omphacite bearing HP-LT rocks in the western Tianshan Orogen, NW China: new evidence for 'Alpine-type' tectonics. *Journal of Metamorphic Geology*, 2002, 20: 239~254
- 20 Gao Jun, Klend R, Zhang Lifei, *et al*. P-T path of high-pressure/low-temperature rocks and tectonic implications in the western Tianshan Mountains, NW China. *Journal of Metamorphic Geology*, 1999, 17: 621~636
- 21 Morton A C. Geochemical studies of detrital heavy minerals and their application to provenance studies. In Morton A C, Todd S P, & Haughton P D W, eds. *Developments in Sedimentary Provenance Geology*. Geological Society of London, Special Publication, 1991, 57: 31~45
- 22 贾承造, 陈汉林, 杨树峰, 等. 库车坳陷晚白垩世隆升过程及其地质响应. *石油学报*, 2003, 24(3): 2~6 [Jia Chengzao, Chen Hanlin, Yang Shufeng, *et al*. Late cretaceous uplifting process and its geological response in Kuqa depression. *Acta Petrolei Sinica*, 2003, 24(3): 2~6]
- 23 Darby D A. Trace elements in ilmenite: A way to discriminate provenance or age in coastal sands. *Geological Society of America Bulletin*, 1984, 95: 1208~1218

## The Analysis of Detrital Heavy Minerals in Cretaceous-Tertiary Sandstones, Kuqa Depression and Their Implications for Provenance

LI Shuang-jian SHI Yong-hong WANG Qing-chen

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

**Abstract** Detrital sedimentation is the direct record in basin for mountain uplift and erosion. The analysis of detrital minerals, including heavy minerals, is a key means for basin-mountain coupling studies. The distribution characteristics of heavy minerals in Cretaceous-Tertiary sandstones, Kuqa depression have been studied systematically in this paper, and chemical compositions of detrital garnets and ilmenites have been analyzed by electronic microprobe. The results illustrate that the provenance area of Cretaceous-Tertiary sandstones, Kuqa depression, are mainly composed of sedimentary rocks, metamorphic rocks and little intermediate-felsic igneous rocks. The garnets in Cretaceous sandstones come from blueschist that located in the southwest Tianshan and low-grade metamorphic rocks by larger proportionally. The garnets in Tertiary sandstones enrich almandine, which come from high-grade metamorphic rocks. The provenance of most ilmenites in Cretaceous sandstones is metamorphic rocks, and the proportion of igneous rocks provenance increase in Tertiary. These analysis show that southern Tianshan uplift and erosion extensively from Tertiary as a result of which the provenance of blueschist in Paleozoic accretion from north margin of south Tianshan has been curtailed. With deeply erosion of Tianshan, more and more high-grade metamorphic and igneous rocks are exposed.

**Key words** heavy mineral, Kuqa depression, southern Tianshan, provenance, electronic microprobe, garnet, ilmenite