文章编号：1006-6616（2017）02-0306-09

塔里木盆地腹地玛扎塔格地区新近纪砂岩组分和重矿物组合特征及物源分析

李　钦，刘　健
（中国地质科学院地质力学研究所，北京 100081）

摘　要：发育于塔里木盆地腹地——玛扎塔格地区的新近纪沉积地层出露良好，保存了其物源区造山带的隆升剥蚀信息。利用古水流、砂岩碎屑组构和重矿物组合特征等研究方法，结合研究区的区域构造演化，探讨玛扎塔格地区晚新生代以来古地貌格局及沉积物源区隆升剥蚀的沉积响应关系。结果表明该研究区的古地貌总体格局为西高东低，沉积物源在上新世早期之前主要来自于西昆仑造山带和帕米尔造山带，而到了上新世以来其沉积物源主要来自于帕米尔造山带，并且在上新世早期，物源区发生明显的构造隆升运动，更新世期间物源区出现快速隆升剥蚀构造事件。

关键词：玛扎塔格；新近纪；古地貌；帕米尔高原；隆升剥蚀；青藏高原；西昆仑山脉
中图分类号：P512.2　　**文献标识码：**A

0　引言

新生代以来印度板块向欧亚板块的碰撞导致了青藏高原和天山的先后隆起，也使得帕米尔——天山地区成为内陆变形最为活跃，也是最为关注的地区之一[1~13]。塔里木盆地呈不规则菱形介于天山和昆仑山之间，长期接受周缘造山带和高原区的沉积碎屑的补给[14]。

前人对于塔里木盆地周缘造山带的隆升和剥蚀已经做过很多工作：郑洪波等通过对叶城剖面和阿尔塔什剖面的研究认为西昆仑造山带隆升始于上新世的早期（4.6 Ma），到了 3.5 Ma 进入了强烈隆升的阶段[1~2]；对于天山山脉的隆升时间，从晚渐新世到早更新世，存在不同的认识[4~5,11,15~17]，孙继敏对天山南缘的库车前陆盆地中发育的生长地层的磁性数据的研究认为其开始沉积的时间距今约 6.5 Ma[6]；Thompson 等[7]关于帕米尔东北缘别尔托阔依背驮型盆地的研究认为帕米尔前缘逆冲推覆系活动的时代是中新世与上新世的界线时间（5～6 Ma）。那么，塔里木盆地腹地中沉积物最早是来自于西昆仑山、帕米尔高原还是南天山？该套沉积物是否响应周缘山脉的构造隆升事件？目前尚不清楚。

这不仅关系到对晚新生代以来塔里木盆地中沉积物与不同造山带构造响应的问题，而且还关系到塔里木盆地腹地古地貌的问题。因此，本文选择塔里木盆地腹地——玛扎塔格地区进行相关研究。玛扎塔格地区位于塔里木盆地腹地，该地区中新世至晚更新世地层发育完整，有利于研究其物源区造山带和高原的隆升剥蚀[3,18]。本文通过对玛扎塔格地区地层的古水流方向、碎屑组分特征和重矿物组合特征及前人年代学方面的研究，目的在于判断中新世以来不同沉积时期塔里木盆地古地貌格局的变化以及厘清玛扎塔格地区沉积物的物源和物源区构造隆升信息。

1　区域地质概况

物源区造山带岩石单元时间跨度大，出露岩石类型有沉积岩、岩浆岩和变质岩，其主要分布特征见图 1。其中，沉积岩的分布广泛，研究区大

收稿日期：2016-08-11
基金项目：特殊地质地貌区填图试点项目（DD20160060）；塔里木盆地气候变化湖相沉积记录调查项目（12120113006200）
作者简介：李钦（1991-），男，硕士研究生，研究方向为盆地分析。E-mail：qinjelly555@126.com
通讯作者：刘健（1970-），男，教授级高工，主要从事构造地质学、沉积学等方面研究工作。E-mail：jianliu686@163.com

部分地区均能发现；岩浆岩则主要分布于西昆仑造山带和帕米尔构造结，而南天山仅有少量的出露；已知的变质沉积岩，主要是分布于帕米尔中北部的奥陶系和三叠系变质岩[19]。

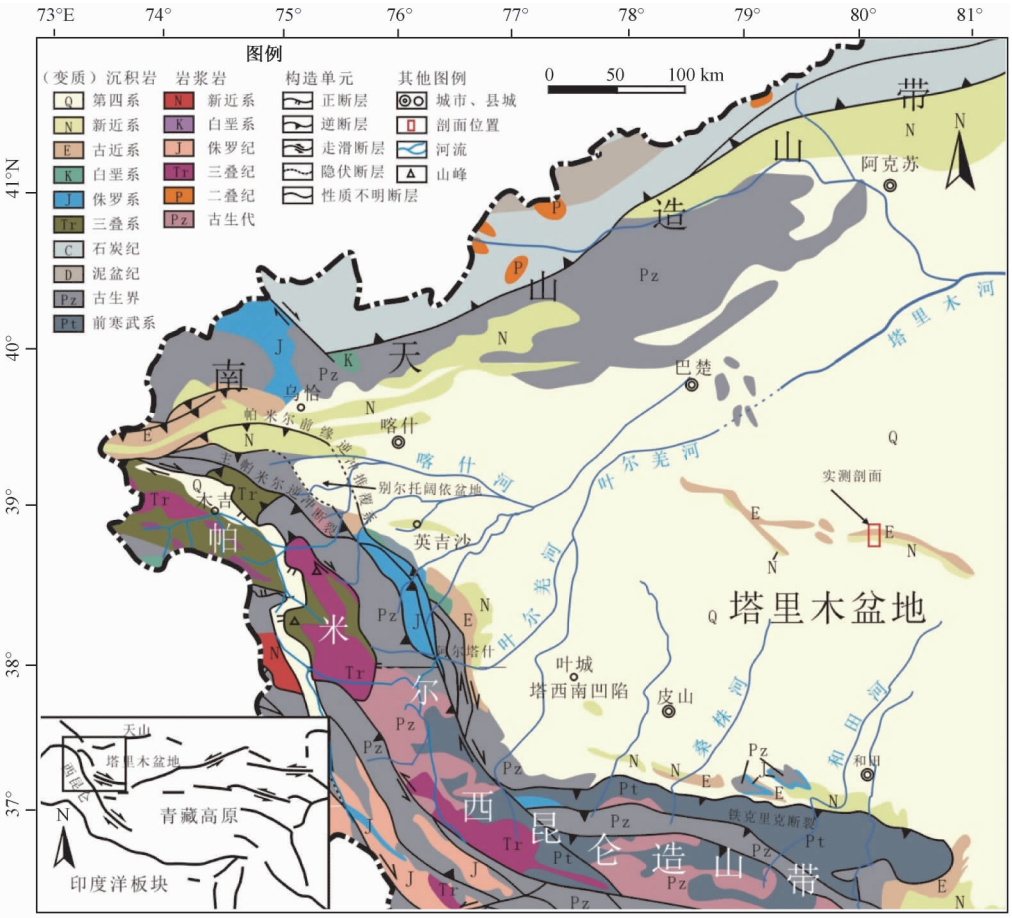


图 1　玛扎塔格地区及其物源区地质图[7~8]

Fig. 1　A geological map of Mazhatage and its provenance

帕米尔构造结内的岩浆岩具有明显的分带性（见图 1）：寒武纪—奥陶纪岩浆岩主要分布于昆仑地块[20]，帕米尔东北缘分布晚石炭纪岩浆岩[21]，变质岩和三叠纪岩浆岩则主要分布于帕米尔的北部[22]，新生代岩浆出露位置见图 1。沉积岩大部分地区均有出露，古生界沉积岩包括泥盆系石英砂岩和泥岩，石炭系灰岩和砂岩。已知的变质沉积岩包括帕米尔中北部的三叠系变质沉积岩[19]。

通过对野外地层的划分[23~24]、调查，绘制剖面图（见图 2），剖面所在地区（见图 1）古近纪喀什群为一套厚约 243 m 的海相近岸沉积的石膏层夹紫红色泥岩；其底部是一层生物碎屑灰岩，灰岩风化色呈灰红色，新鲜色呈铁红色，其中发现大量牡蛎化石，长度在 5 ~ 10 cm 之间，壳体表面风化破碎（见图 3A）。

玛扎塔格中新世沉积常以假整合形式直接盖在渐新统—始新统的滨浅海相—泻湖相—三角洲相喀什群沉积物上[23~24]，接触面附近次生网脉状石膏发育，表现出干旱气候条件下风化剥蚀面附近的典型淋滤特征，剖面中新世乌恰群厚度约为 536 m，其底部是一套紫红色砂岩、粉砂岩夹泥质岩的河流相沉积，砂岩底部有河道冲刷嵌入，可见泥砾、槽状层理和板状斜层理等沉积构造，为一套曲流河相沉积（见图 3B）。

本区阿图什组地层厚约 326 m，主要是中—薄层土黄色松散砂岩、灰绿色和浅灰白色粉砂岩以及砂岩夹薄层泥质岩，与乌恰群的界线清晰（见图 3C），其中槽状交错层理、平行层理和板状交错层理发育并保存较好，为一套辫状河相沉积。在阿图什组顶部砂岩中发育明显的粗砂岩和砂砾岩（见图 3D），同时可以观察到有较多的硅化木碎片（见图 3F）。本区出露的西域组地层厚度约在 409 m，

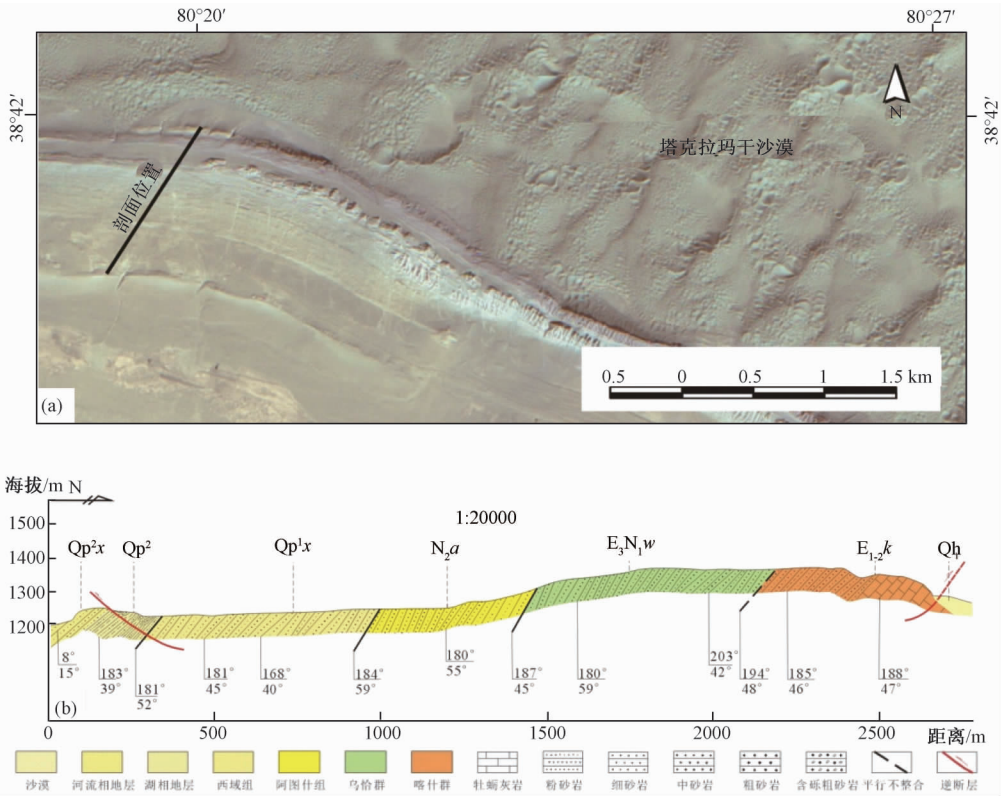
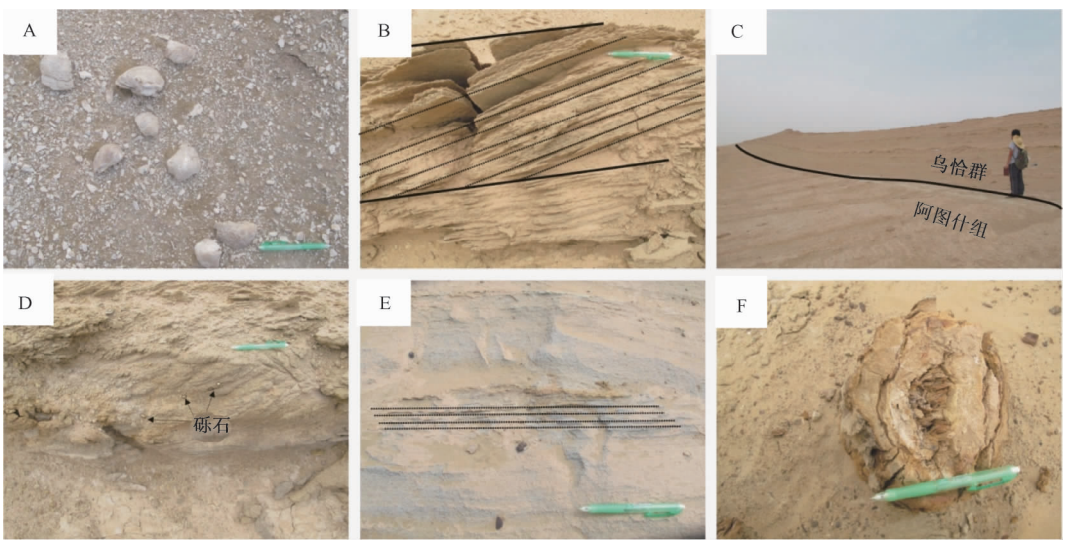


图 a 中遥感影像中黑线的位置表示为剖面所在位置（剖面起点坐标位置为 N 80°19′14. 17″，E 38°42′04. 75″；终点坐标位置为 N 80°18′15. 14″，E 38°40′51. 61″）；图 b 为测量地质剖面图

图 2 玛扎塔格剖面地层分布特征

Fig. 2 Distributing characteristics of strata profile in Mazhatage



a—喀什群地层中的牡蛎化石 b—乌恰群地层中发育的板状斜层理 c—乌恰群—阿图什组界线 d—阿图什组地层中发育的砂砾岩 e—西域组地层中发育的水平层理 f—西域组顶部地层中的硅化木化石

图 3 野外考察照片

Fig. 3 Pictures of field investigation

是一套灰色、灰黄色的砂砾岩、砂岩、粉砂岩和泥质岩，较常见板状斜层理和平行层理（见图 3E），断续出露因充填石膏而显灰白色硬化突出的砂质层，为一套辫状河相沉积，该地层顶部保存

较多的硅化木化石，其上覆盖一套湖相沉积，以灰色泥质岩为主，夹有粉砂岩、砂岩和灰褐色、桔黄色松散砂岩。

2　样品采集

对于重矿物组合特征研究来说野外剖面的连续性是保证研究成果准确性的必要前提，本文中研究的剖面出露良好，保存完整，便于野外的观察记录和样品采集工作的进行。地层的产状较为一致，岩性以砂岩和粉砂岩为主，偶见含有砾石的粗砂岩。

2.1　样品的采集和加工

由于玛扎塔格地区地层的固结程度不高、岩石中碎屑和矿物颗粒的粒径较小，为便于制片和镜下观察，在实测剖面的同时选取固结程度较高、颗粒粒度适于镜下观察的岩层进行采集。

将地层风化破碎部分剔除，采集固结程度较高的岩石。样品采集的间隔视岩层发育情况而定，通常为 5 ~ 10 m 采集一个样品，为便于对重矿物的观察和统计，主要采集中、粗砂岩，采集了 213 块样品。

2.2　观察统计

对野外采集样品所制得的薄片使用 Leica 偏光显微镜下人工点计法统计重矿物组分含量，每个样品所统计的总颗粒不少于 350 个。统计其碎屑组构和重矿物组合特征。为了保证统计的准确性和易操作性，清点视域中的重矿物主要采用了人工点记法，该方法被认为与直线法具有相同的结果，但是更加简单便捷[25]。根据统计的数据绘制重矿物成分统计图（见图 4）。

3　分析方法

3.1　古水流分析

古水流分析的原理最早是由 Clifton 等人提出，逐渐成熟后成为盆地分析的重要方法。确定古水流的方向可以有效的重建地质历史时期沉积物来源，而且也包含了构造演化和环境变迁的信息[14]。古水流分析主要以波痕和交错层理、水道和冲蚀、砾石组构、底面印痕以及斜坡地区的滑塌构造等为标志，其他水流的定向流动所形成的沉积记录则是相对次要的[26 ~ 28]。由于研究区玛扎塔格地区的沉积地层距离物源区较远，碎屑颗粒的粒径较小，未发现砾石的叠瓦状排列等相关沉积构造，而地层中板状交错层理发育较好，因此古水流分析主要是采集板状斜层理的产状，室内经过相关软件的处理，得到古水流示意图，其直接、简便，可以判断出物源的大体方向[29]。

通过对野外测量的 15 组数据的处理与分析，古流向产状经过室内相应专业软件的校正，使其恢复被改造前的产状，以便正确指示古流向。恢复后的古水流常通过其玫瑰花图的绘制来呈现其空间展布特征，可以直观的指示出了研究区各个时期的古流向（见图 4），发现在渐新世喀什群的古水流方向主要为 NNE，其物源区为西昆仑—帕米尔；中新世乌恰群的古水流方向主要集中在 NE - 近 EW，古水流方向的变化具有曲流河相的特征，总体上其物源来自于 SW - W 的物源区，其物源区为帕米尔；上新世阿图什组的古水流的方向为 NE，其物源区为帕米尔；到了更新世西域组的古水流的方向主要是 NE - NEE，其物源区为帕米尔（见图 1）。

3.2　砂岩碎屑组分特征

砂岩的碎屑组分直接记录了沉积物的母岩性质和组合特征等信息，通过砂岩碎屑组分统计可以确定物源区岩石类型和母岩性质，是分析物源的主要方法之一[25]。对 213 块砂岩薄片的碎屑组分的统计，得到以下的特征（见图 4）：石英的含量较高，其含量介于 52% ~ 90%，岩屑的含量次之，为 8% ~ 45%，而长石的含量较少，大约在 2% ~ 14%。杂基的含量在上新世中期之前一直保持较低的水平，主要集中在 15 ~ 20%，但到了阿图什组开始，其含量逐渐增多，含量主要集中在 20 ~ 25% 之间，并以锯齿状波动为主。西域组沉积物中杂基含量高于阿图什组沉积物杂基含量，主要集中在 30% 左右，且西域组中杂基含量变化多呈梯形状波动为主。砂岩结构不一，粗砂、中砂和细砂状结构均有，很少一部分为含砾结构。砂粒的磨圆度在上新世的早期之前，以次圆—次棱状为主，磨圆度较好，但到了阿图什组底部直至西域组，磨圆度主要集中在次棱状和棱状，少量次圆状，磨圆度明显变差。其分选性也基本具有相似的特征，即在阿图什组底部开始，其分选性由好—中变成中—差或者差，分选性变差。西域组的磨圆度以棱角状为主，分选性以差为主，另外，西域组碎屑物中的杂基含量相对其之前沉积

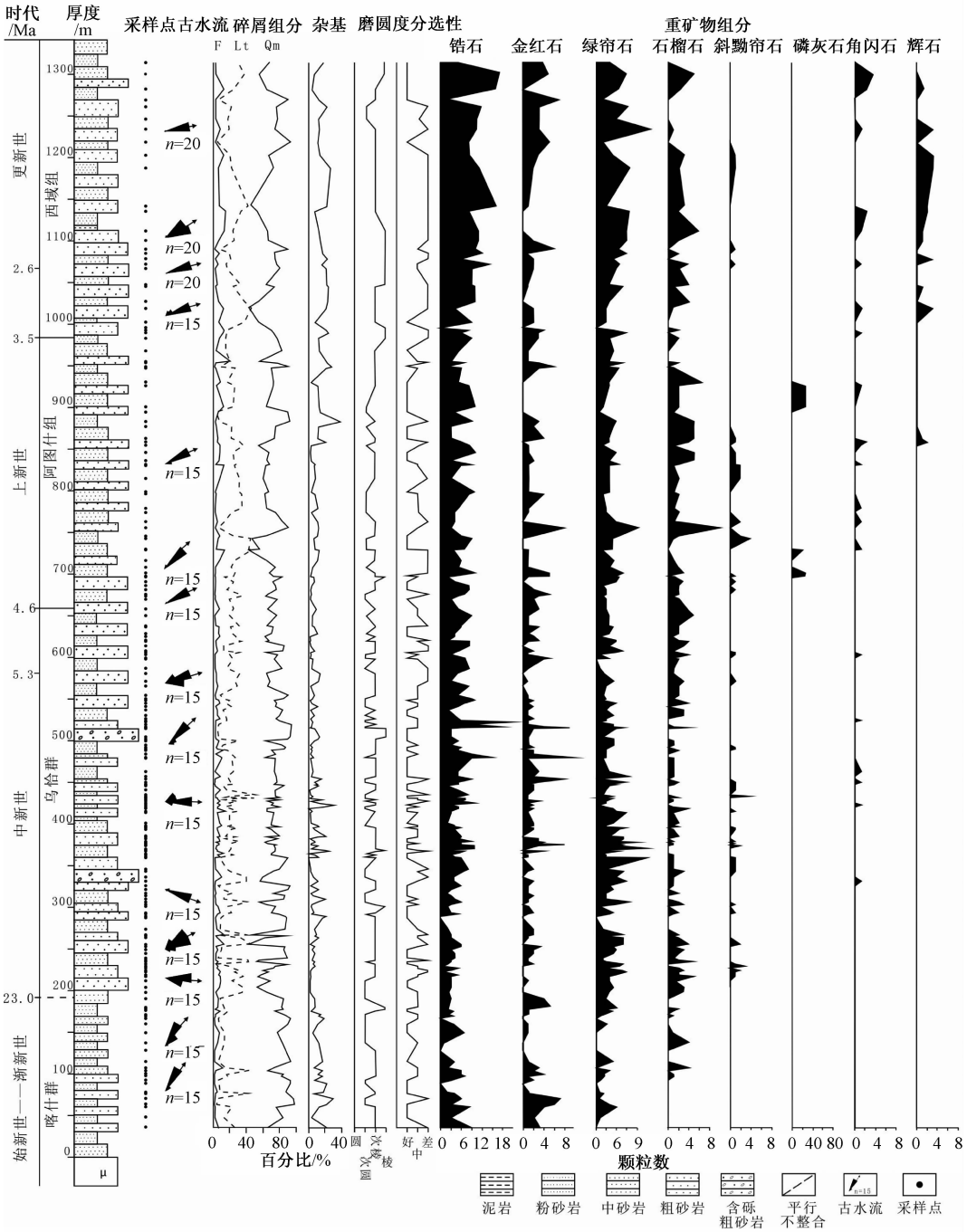


图 4 沉积地层、砂岩碎屑组分和重矿物组合特征（年龄数据来自文献［2］）

Fig. 4 Sedimentary strata、sandstone detrital component and heavy mineral combination characteristics

物是最多的。

3.3 重矿物组合特征

不稳定矿物由于搬运距离的增加和风化作用的改造，导致其含量逐渐减少，而稳定矿物得以保存[30]。在砂岩中，杂基和胶结物的特征及含量容易受成岩作用和后期改造作用影响，重矿物因具有耐磨蚀、稳定性强等物理特点，所以能够更多更好地保留下其母岩的初始特征，很好地进行物源追踪，而这些重矿物颗粒组合可以敏锐的反应出物源区母岩的性质和组成，因而可用其进行砂岩物源的分析，进而指导大地构造背景的演化[31]。由于野外露头剖面所处的地理位置和环境，不同程度地遭受物理化学风化和后期成岩作用的改造，岩石中的组成矿物成分含量有不同的变化，所以详细而准确的砂岩重矿物成分统计在物源分析上是很有必要的[32]。

通过重矿物组分组合特征（见图 4）的分析，可以发现上新世早期以来重矿物的种类、含量和组合特征均发生了较大的变化。重矿物的种类在上新世以来增多，除了常见的锆石、金红石、绿帘石和石榴石，还发现了磷灰石、角闪石、斜黝帘石和辉石。其含量也发生了较大的变化，其中锆石、金红石、绿帘石和石榴石的含量在上新世阿图什组沉积之前基本呈波动状，在宏观上其含量较为稳定，但是到了上新世以来，其含量明显增多，而且磷灰石、斜黝帘石、角闪石和辉石也有发现。不同的重矿物组合特征反映了不同的母岩性质，玛扎塔格剖面地层采集样品中重矿物组合特征和其所反映的物源区的岩石类型见表 1。中新世乌恰群的重矿物组合特征主要是：锆石、金红石和石榴石；石榴石、绿帘石。上新统阿图什组的重矿物组合特征主要是：锆石、金红石和石榴石；石榴石、绿帘石；辉石、角闪石和金红石；角闪石、辉石、锆石和绿帘石；角闪石、磷灰石和锆石。更新世西域组的重矿物组合特征主要是：锆石、金红石和石榴石；石榴石、绿帘石；辉石、角闪石和金红石；角闪石、辉石、锆石和绿帘石。

表 1　玛扎塔格剖面重矿物组合特征

Table 1　Heavy mineral combination characteristics of Mazartagh section

碎屑重矿物组合	物源岩石类型
石榴石、绿帘石	高级变质岩
辉石、角闪石、金红石	基性火山岩
角闪石、辉石、锆石、绿帘石	中性火山岩
角闪石、磷灰石、锆石	酸性火山岩
锆石、金红石、石榴石	沉积岩

4　讨论

塔里木盆地腹地——玛扎塔格地区的新生代沉积地层记录了西昆仑山和帕米尔高原的隆升剥蚀。我们选取了发育和保存较好的沉积剖面进行野外观察、测量和取样，并进行了古水流、碎屑组分特征和重矿物组合特征分析。结合前人的研究讨论物源区造山带和高原的隆升时代以及研究区沉积地层的物质来源。

沉积地层中碎屑粒径和沉积速率的改变主要受沉陷或物源供给的影响[33~34]。碎屑物质供给速率的增加和粒径的快速变化是由于物源区造山带的快速隆升或者气候的急剧变化造成的，沉积碎屑发生变化的时期对应了物源区快速隆升的时代[7]。

砂岩的碎屑组分特征表明杂基的含量在上新世中期之前一直保持较低的水平，主要集中在 15% ~20%，但到了阿图什组开始，其含量逐渐增多，含量主要集中在 20% ~30% 之间，而且西域组沉积物中杂基含量主要集中在 30% 左右。砂岩磨圆度在上新世的早期之前，以次圆—次棱状为主，磨圆度较好，表明其搬运距离较远，但到了阿图什组底部直至西域组，磨圆度主要集中在次棱状和棱状，少量次圆状，磨圆度明显变差。分选性在阿图什组底部开始，其分选性由好—中变成中—差或者差。西域组的磨圆度以棱角状为主，分选性以差为主，另外，西域组碎屑物中的杂基含量相对其之前沉积物是最多的。上述特征表明从上新世阿图什组开始物源区剥蚀物明显增多，而且搬运距离也较上新世之前的沉积物相对较近，特别是西域组沉积时期的物源区提供给玛扎塔格地区的碎屑物快速增多，搬运距离更近，碎屑物沉积速度更快，未能够很好的分选磨圆。重矿物组合特征也有类似的特征，即在渐新世喀什群和中新世乌恰群沉积物中，重矿物的类型主要包括了锆石、石榴石、绿帘石和金红石，这一组合特征表明了物源区复杂的岩性单元，母岩主要是沉积岩和高级变质岩。但是，到了上新世阿图什组沉积物中，重矿物的含量、种类和组合特征均发生了改变，除了锆石、石榴石、绿帘石和金红石，还发现磷灰石、角闪石和辉石，表明其物源区岩性由沉积岩和变质岩增加了基性火山岩和中酸性火山岩，剥蚀加深，变质岩和火山岩（见图 1）不断隆升剥蚀并为玛扎塔格地区新近纪沉积地层提供碎屑物质，表明在上新世以来，物源区由西昆仑造山带和帕米尔高原转变为主要来自于帕米尔高原。到了早更新世西域砾岩沉积时期，古水流的方向主要是来自于西缘的帕米尔高原，并且重矿物组合中金红石、石榴石、辉石和角闪石的比重明显增加，其剥蚀深度不断加深，高级变质岩被剥蚀。玛扎塔格地区阿图什组沉积物与 Thompson 等[7]对别尔托阔依盆地的新生代沉积地层的研究成果相吻合，即在晚中新世—早上新世帕米尔前缘逆冲推覆系开始有明显的构造活动。在更新世西域组沉积时期，物源区进入了强烈隆升的阶段[1~2]。

孙继敏等[35]对西昆仑前陆盆地的巨厚古近纪沉积开展研究，结果表明西昆仑与帕米尔在 55 Ma 前后发生过构造隆升，海水从塔里木盆地西南缘撤出的最后时间为 47 Ma，即中始新世早期；自渐新世初期的 34 Ma 以来，帕米尔、西昆仑再次隆升，而且帕米尔与南天山的汇聚加速[35]。研究区沉积物的古水流方向表明，古近纪喀什群的古水流方向主要为 NNE，其物源可能主要来自于早期隆升的西昆仑—帕米尔造山带。该时期帕米尔高原隆升可能仅仅局限于西南部，尚无改变形成现今东高西低的地貌格局。中新世乌恰群的沉积物的物源来自于 SW-W，表明塔里木盆地西南缘古地貌格局于喀什群沉积时期发生了变化，该阶段帕米尔向南天山汇聚[35]，塔里木盆地西南缘地势明显增高，但是，从沉积相判断，在玛扎塔格地区乌恰群沉积物源区相对其上的阿图什组沉积物还是距离较远。

玛扎塔格地区的上新世阿图什组沉积物的古水流方向近 NE，表明该时期其物源主要来自于帕米尔东缘—东南缘。另外，从沉积相、砂岩碎屑组分特征及重矿物组合特征等，表明阿图什组沉积时期物源区明显比其早期沉积的乌恰群距离较近，这也说明了帕米尔开始加速向南天山汇聚，其周缘山脉在帕米尔向北推覆过程中，由于南天山和塔里木板块的阻隔，在构造作用下，帕米尔周缘山脉隆升幅度增加，而且不断向周缘扩展。因此，补给塔里木盆地腹地的物质成分明显增多，增快，古地貌表现为西南高东北低。到了西域组沉积时期，沉积物中杂基明显增多，分选磨圆明显变差，重矿物组合特征表明物源区剥蚀显著加深，帕米尔周缘山脉进入了强烈的隆升阶段[1~2]，西域组粗碎屑沉积物的古水流方向为 NE-NEE，古地貌明显呈现出西高东低的地貌格局。另外，古水流的数据表明南天山造山带对于该研究区的新近纪以来的沉积地层贡献甚少，这表明在西域组沉积时期，由于印度板块的向北俯冲过程中，西构造结——帕米尔强烈向南天山汇聚，西昆仑—帕米尔快速抬升剥蚀，塔里木盆地西南至其腹地——玛扎塔格地区古地貌总体上呈现出西南地势较高的地貌格局。

5 结论

（1）通过对玛扎塔格地区晚新生代以来沉积物的古水流方向分析表明，渐新世喀什群的沉积物源主要来自于塔里木盆地西缘的帕米尔和西昆仑造山带；到了中新世以来其物源的方向主要来自于帕米尔。帕米尔向南天山汇聚过程中，其周缘的逆冲推覆系的构造作用下，控制了塔里木盆地西南缘的整体上呈西高东低古地貌格局。

（2）结合玛扎塔格晚新生代以来的沉积地层的特征、砂岩碎屑组分特征和重矿物组合特征，研究结果表明，渐新世喀什群和中新世乌恰群的物源区远于上新世以来的沉积物的物源区，从上新世—更新世，物源区发生了快速的隆升剥蚀事件，导致了大量的沉积碎屑沉积于玛扎塔格地区，特别是更新世以来大量粗碎屑物的堆积表明帕米尔高原开始发生快速隆升剥蚀阶段。

参 考 文 献

[1] Zheng H B, McAulay Powell C, An Z S, et al. Pliocene uplift of the northern Tibetan Plateau [J]. Geology, 2000, 28 (8): 715 ~ 718.

[2] 郑洪波，贾军涛，王可. 塔里木盆地南缘新生代沉积：对青藏高原北缘隆升和塔克拉玛干沙漠演化的指示 [J]. 地学前缘，2009，16 (6)：154 ~ 161.
ZHENG Hong-bo, JIA Jun-tao, WANG Ke. Cenozoic sedimentation in the southern Tarim Basin: Implications for the uplift of northern Tibet and evolution of the Taklimakan Desert [J]. Earth Science Frontiers, 2009, 16 (6): 154 ~ 161.

[3] Zheng H B, Wei X C, Tada R, et al. Late Oligocene-early Miocene birth of the Taklimakan Desert [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2015, 112 (25): 7662 ~ 7667.

[4] Sun J M, Zhu R X, Bowler J. Timing of the Tianshan Mountains uplift constrained by magnetostratigraphic analysis of molassedeposits [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2004, 219 (3/4): 239 ~ 253.

[5] Sun J M, Xu Q H, HuangB C. Late Cenozoic magnetochronology and paleoenvironmental changes in the northern foreland basin of the Tian Shan Mountains [J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2007, 112 (B4): B04107.

[6] Sun J M, Li Y, Zhang Z Q, et al. Magnetostratigraphic data on Neogene growth folding in the foreland basin of the southern Tianshan Mountains [J]. Geology, 2009, 37 (11): 1051 ~ 1054.

[7] Thompson J A, Burbank D W, Li T, et al. Late Miocene northward propagation of the northeast Pamir thrust system, Northwest China [J]. Tectonics, 2015, 34 (3): 510 ~ 534.

[8] Cao K, WangG C, van der Beek P, et al. Cenozoic thermotectonic evolution of the northeastern Pamir revealed by zircon

and apatite fission-track thermochronology [J]. Tectonophysics, 2013, 589: 17 ~ 32.

[9] 司家亮, 李海兵, Barrier L, 等. 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, 26 (10): 1356 ~ 1367.
SI Jia-liang, LI Hai-bing, Barrier L, et al. Late Cenozoic uplift of thenorthwestern margin of the Qinghai-Tibet Plateau: Sedimentary evidence from piedmont basins of the West Kunlun Mountains [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26 (10): 1356 ~ 1367.

[10] 陈杰, 卢演俦, 丁国瑜. 塔里木西缘晚新生代造山过程的记录——磨拉石建造及生长地层和生长不整合 [J]. 第四纪研究, 2001, 21 (6): 528 ~ 539.
CHEN Jie, LU Yan-chou, DING Guo-yu. Records of Late Cenozoic Mountain building in western Tarimbasin: molasses, growth strata and growth unconformity [J]. Quaternary Sciences, 2001, 21 (6): 528 ~ 539.

[11] Chen J, Burbank D W, Scharer K M, et al. Magnetochronology of the Upper Cenozoic strata in the Southwestern Chinese TianShan: rates of Pleistocene folding and thrusting [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2002, 195 (1/2): 113 ~ 130.

[12] 陈杰, 李涛, 李文巧, 等. 帕米尔构造结及邻区的晚新生代构造与现今变形 [J]. 地震地质, 2011, 33 (2): 241 ~ 259.
CHEN Jie, LI Tao, LI Wen-qiao, et al. Late Cenozoic and present tectonic deformation in the Pamirsalient, northwestern China [J]. Seismology and Geology, 2011, 33 (2): 241 ~ 259.

[13] 潘家伟, 李海兵, Van Der WoerdJ, 等. 西昆仑山前冲断带晚新生代构造地貌特征 [J]. 地质通报, 2007, 26 (10): 1368 ~ 1379.
PAN Jia-wei, LI Hai-bin, Van Der Woerd J, et al. Late Cenozoic morphotectonic features of the thrust belt in the front of the West Kunlun Mountains [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26 (10): 1368 ~ 1379.

[14] 裴军令, 李海兵, 孙知明, 等. 塔里木盆地腹地玛扎塔格山隆升时限探讨及其环境意义 [J]. 岩石学报, 2011, 27 (1): 333 ~ 343.
PEI Jun-ling, LI Hai-bin, SUN Zhi-ming, et al. Constraints the uplift age of MazaTaghMountain in the Centre of Tarim basin and its climatic implications [J]. ActaPetrologicaSinica, 2011, 27 (1): 333 ~ 343.

[15] Charreau J, ChenY, Gilder S, et al. Magnetostratigraphy and rock magnetism of the NeogeneKuitun He section (northwest China): implications for Late Cenozoic uplift of the Tianshanmountains [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2005, 230 (1/2): 177 ~ 192.

[16] Charreau J, Gilder S, Chen Y, et al. Magnetostratigraphy of the Yaha section, Tarim Basin (China): 11 Ma acceleration in erosion and uplift of the Tian Shan mountains [J]. Geology, 2006, 34 (3): 181 ~ 184.

[17] Hubert-Ferrari A, Suppe J, Gonzalez-Mieres R, et al. Mechanisms of active folding of the landscape (southern Tian Shan, China) [J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2007, 112 (B3): B03S09.

[18] Heermance R V, Chen J, Burbank D W, et al. Chronology and tectonic controls of Late Tertiary deposition in the southwestern Tian Shan foreland, NW China [J]. Basin Research, 2007, 19 (4): 599 ~ 632.

[19] Robinson A C, Ducea M, Lapen T J. Detrital zircon and isotopic constraints on the crustal architecture and tectonic evolution of the northeastern Pamir [J]. Tectonics, 2012, 31 (2): TC2016.

[20] Cowgill E, An Y, Harrison T M, et al. Reconstruction of the AltynTagh fault based on U-Pb geochronology: Role of back thrusts, mantle sutures, and heterogeneous crustal strength in forming the Tibetan Plateau [J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2003, 108 (B7): 2346.

[21] Jiang Y H, Liao S Y, Yang W Z, et al. An island arc origin of plagiogranites at Oytag, western Kunlun orogen, northwest China: SHRIMP zircon U-Pb chronology, elemental and Sr-Nd-Hf isotopic geochemistry and Paleozoic tectonic implications [J]. Lithos, 2008, 106 (3/4): 323 ~ 335.

[22] Schwab M, Ratschbacher L, Siebel W, et al. Assembly of the Pamirs: Age and origin of magmatic belts from the southern Tien Shan to the southern Pamirs and their relation to Tibet [J]. Tectonics, 2004, 23 (4): TC4002.

[23] 司家亮, 李海兵, 裴军令, 等. 塔里木盆地玛扎塔格第四纪沉积环境演变及构造学意义 [J]. 岩石学报, 2011, 27 (1): 321 ~ 332.
SI Jia-liang, LI Hai-bing, PEI Jun-ling, et al. Sedimentary environment variation and its tectonic significanceof MazarTagh in the middle Tarim basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27 (1): 321 ~ 332.

[24] 雍天寿, 单金榜, 王诗俭. 玛扎塔克山区的几个地质问题——兼谈塔克拉玛干大沙漠形成的地质时代 [J]. 新疆石油地质, 1983, (4): 1 ~ 9.
YONG Tian-shou, SHAN Jin-bang, WANG Shi-yi. Several problems on the geological aspects of theMazhatageMountain [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1983, (4): 1 ~ 9.

[25] 储书武, 李双应. 两种砂岩碎屑组分统计方法的比较 [J]. 合肥工业大学学报 (自然科学版), 2007, 30 (6): 668 ~ 671.
CHU Shu-wu, LI Shuang-ying. Comparison between two methods for statistical study of detrital composition of sandstones [J]. Journal of Hefei University of Technology, 2007, 30 (6): 668 ~ 671.

[26] Dickinson W R. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones [A]. Zuffa G G. Provenance of Arenites [M]. Netherlands: Netherlands, 1985: 333 ~ 361.

[27] Morton A C, Todd Jr S P, Haughton P D W. Developments in sedimentary provenance studies [M]. London: Oxford UniversityPress, 1991.

[28] 郑超, 李宝芳, 温显端. 秦岭北麓晚二叠世平顶山段辫状

河－辫状三角洲沉积体系及其构造涵义［J］. 现代地质，2003，17（4）：415～420.
ZHENG Chao，LI Bao-fang，WEN Xian-duan. Depositional characteristics of the late permian braided channel-braided delta deposits in northern foothills of the Qinling Mountains，China［J］. Geoscience，2003，17（4）：415～420.

［29］ 杨仁超，李进步，樊爱萍，等. 陆源沉积岩物源分析研究进展与发展趋势［J］. 沉积学报，2013，31（1）：99～107.
YANG Ren-chao，LI Jin-bu，FAN An-ping，et al. Research progress and development tendency of provenance analysis on terrigenous sedimentary rocks［J］. Acta Sedimentologica Sinica，2013，31（1）：99～107.

［30］ 胡宗全，朱筱敏，彭勇民. 准噶尔盆地西北缘车排子地区侏罗系物源及古水流分析［J］. 古地理学报，2001，3（3）：49～54.
HU Zong-quan，ZHU Xiao-min，PENG Yong-min. Analysis of provenance and Palaeocurrent direction of Jurassic at Chepaizi region in Northwest edge of Junggarbasin［J］. Journal of Palaeogeography，2001，3（3）：49～54.

［31］ 杜叶龙，李双应，孔为伦，等. 安徽东南部二叠系龙潭组砂岩碎屑组分及物源分析［J］. 高校地质学报，2010，16（4）：509～516.
DU Ye-long，LI Shuang-ying，KONG Wei-lun，et al. Sandstone detrital composition and provenance analysis of the Permian Longtan Formation in southeastern Anhui Province［J］. Geological Journal of China Universities，2010，16（4）：509～516.

［32］ 赵红格，刘池洋. 物源分析方法及研究进展［J］. 沉积学报，2003，21（3）：409～415.
ZHAO Hong-ge，LIU Chi-yang. Approaches and prospects of provenance analysis［J］. Acta Sedimentologica Sinica，2003，21（3）：409～415.

［33］ Heller P L，Paola C. The large-scale dynamics of grain-size variation in alluvial basins，2：Application to syntectonicconglomerate［J］. Basin Research，1992，4（2）：91～102.

［34］ Paola C，Heller P L，Angevine C L. The large-scale dynamics of grain-size variation in alluvial basins，1：Theory［J］. Basin Research，1992，4（2）：73～90.

［35］ Sun J M，Jiang M S. Eocene seawater retreat from the southwest Tarim Basin and implications for early Cenozoic tectonic evolution in the Pamir Plateau［J］. Tectonophysics，2013，588：27～38.

ANALYSIS OF DETRITAL COMPOSITION，HEAVY MINERAL COMBINATION CHARATERISTICS AND SAND PROVENANCE OF NEOGENE SANDSTONES，MAZHATAGE MOUNTAIN IN THE CENTRE OF TARIM BASIN

LI Qin，LIU Jian

（*Institute of Geomechanics*，*Chinese Academy of Geological Sciences*，*Beijing* 100081，*China*）

Abstract：Developed in the hinterland of the tarim basin，Neogene sedimentary stratain the centre of Tarim basin are well-outcropped and hold the information about the uplift and denudation of provenance orogenic belt. Using the methods of paleocurrent，sandstone detrital component and heavy mineral assemblages characteristics，combing with regional tectonic evolution of the study area，the sedimentary response relationship between the paleogeomorphology pattern and the uplifting and denudation of the sediment source area is discussed in Mazhatage Mountain. Results show that the overall pattern of the ancient landform in the study area is high in the west and low in the east，the sediment source of the study area before the early Pliocene mainly comes from the West Kunlun orogenic belt and Pamirsorogenic belt，while since the beginning of Pliocene epoch the sediment source mainly comes from Pamirs orogenic belt，and in the early Pliocenethere was an obvious structural uplift movement in the source area，and a rapid rise and denudation tectonic event occurred during the pleistocene period

Key words：Mazhatage Mountain；Neogene；ancient landform；Pamirs；uplift and denudation；Tibet Plateau；West Kunlun Mountains