

文章编号: 1000-0550(2002)02-0274-08

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^①

郑洪波^{1,2} Katherine Butcher³ Chris Powell³

1(同济大学海洋地质实验室 上海 200092) 2(中国科学院地球环境研究所 西安 710054)

3(Tectonic Special Research Centre, The University of Western Australia, Australia)

摘要 叶城晚新生代山前盆地的岩性主要由中新世的细粒泥岩和砂岩(乌恰群),上新世的砂岩夹薄层砾岩(阿图什组)及上新世—更新世的粗粒砾岩(西域组)构成。中新世的沉积以细颗粒泥砂岩为主,表明物源区较远,古流域坡度较小,搬运距离较长。古流向分析显示物源区位于南和偏南方,此时昆仑山的地势起伏尚不大。到上新世的阿图什组沉积时,开始出现砾石沉积,反映西昆仑山已经开始有规模地隆升。西域砾岩的沉积标志着作为物源区的西昆仑山已有相当的高度,随着山系的隆升,基底岩石被暴露和剥蚀。

关键词 叶城 晚新生代 地层学 青藏高原

第一作者简介 郑洪波 男 1965年出生 教授 第四纪地质与过去全球变化

中图分类号 P534.63 **文献标识码** A

1 前言

新生代晚期青藏高原的形成和整体隆升,是地球发展演化中的一个重大事件,对区域乃至全球环境产生了深远的影响。然而,关于青藏高原隆起的时代和幅度,或者更准确地说,青藏高原隆起到足以影响大气环流(其中主要是西风环流和亚洲季风环流)的高度的时代,学术界存在很大分歧。一种观点认为,青藏高原地区在中新世晚期(大约 8.0 Ma)即达到与现在相当的高度(约 4 500~5 000 m)。这一观点以欧美学者对发育于喜马拉雅山南麓并广泛分布于印巴和尼泊尔的西瓦里克群(Siwalik Group)^[1~4]的研究和对阿拉伯海和印度洋的沉积物的研究^[5]最具代表性。其主要证据认为,印度季风在中新世晚期开始形成或急剧加强。与此相对的另一观点则认为,青藏高原的隆起主要发生于更新世或/和晚上新世。该观点的主要依据是基于对青藏高原古生物化石^[6],古植被^[7],古地貌及高原外围的新构造活动^[8]的研究。最近几年通过对中国中部风成沉积序列^[9]和青藏高原边缘盆地的河湖相沉积序列^[10]的研究,又提出许多新的认识,同时也产生更多的分歧。

在塔里木盆地南缘,由于西昆仑山的隆起和剥蚀,

在新生代山前盆地沉积了一套巨厚层的磨拉石建造。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可以媲美^[11]。这些磨拉石建造记录了塔里木盆地相对沉降和昆仑山隆起的历史。在过去的几年中,我们对这套磨拉石建造进行了详细的地层学(包括岩石地层学和磁性地层学)、沉积学和构造学的研究,结合综合古环境指标分析,获得了重要的关于青藏高原北部隆升的信息。

本文介绍的是对新疆叶城地区新生代山前盆地磨拉石建造的岩石地层学和磁性地层学的研究结果,并从砂岩和砾岩的岩石学特征入手,讨论西昆仑山的去顶和剥蚀历史,提供青藏高原北部隆升的新证据。关于叶城晚新生代山前盆地的沉积相和古地理分析及其与青藏高原隆升的关系,将另文论述。

2 地质背景

塔里木盆地是在漫长的地质历史中,由多时代、多类型盆地迭加复合而成的大型沉积盆地。从新元古代到新生代,盆地发育经历了多个阶段,受到了不同板块运动体制的影响。中新世时,南面的羌塘地块、冈底斯地块以及喜马拉雅地块由于受到印度板块挤压,不断向塔里木方向拼贴,使塔里木长期处于压性的环境,

^① 中国科学院“百人计划”,国家杰出青年基金(40025107),国家重点基础研究发展规划项目(G2000078501)教育部“长江特聘教授”计划资助
收稿日期:2001-04-28 收修改稿日期:2001-09-04

发生板内的垂向升降和地壳均衡作用,从而引起一系列板内块断活动。这些构造活动控制了中、新生代的构造格架和沉积形式^[12]。

始新世的海相碳酸岩广泛分布于塔里木盆地南缘。到渐新世,海侵范围只限于塔西南地区。中新世开始,由于受印度板块挤压效应的影响,塔里木盆地全面下沉,结束了断陷、拗陷分割的局面,形成了一个统一的大型拗陷盆地^[13],沉积了一套浅湖相、河流相、三角洲相的红色碎屑岩。到上新世以后,由于周缘山系的不断隆升,盆地封闭,气候干燥,形成今日之戈壁、沙漠和冲—洪积扇沉积等景观。

叶城剖面位于新疆叶城县柯克亚乡西南(77°10' E, 37°23' N),剖面水平距离约10 km,真实厚度约4 km。剖面的顶底部均被第四纪黄土覆盖。由于柯克亚河的下切,使剖面有良好的出露,而且所有地层均呈单斜向北倾斜。

3 岩石地层与磁性地层

3.1 岩石地层

叶城剖面厚约4 000 m(图1)。通过与前人的地层工作对比^[14],认为剖面主要由下部的中新世红层乌恰群,中部上新世阿图什组和上部上新世—早更新世西域组构成。更新世中期一次强烈的构造隆升,使所有地层呈单斜状向盆地倾斜。水平状的乌苏组砾岩超覆于前第四纪地层之上,又被风成黄土(新疆群)覆盖。

(1) 乌恰群

乌恰群在该剖面出露1 695 m。底部被第四纪黄土覆盖,上部与阿图什组整合接触。所有地层向北单斜,倾角70°~75°。岩性包括互层的泥岩、片岩、薄层砂岩和厚层砂岩体。砂、泥岩岩性组合比例在剖面中变化很大。

(2) 阿图什组

阿图什组厚度805 m,与上覆西域组整合接触。所有地层向北单斜,倾角70°,沿剖面向上倾角略微变缓。阿图什组底部以第一层细砾岩开始出现为界。阿图什组岩性以细砂岩和粉砂岩为主,夹有薄到中层细—中粒砾岩,砾石层的厚度和砾石数量以及砾石最大粒径均有向上增加的趋势。阿图什组中粉砂岩层的厚度从几十到数米不等,最厚可达50 m。粉砂岩为块状构造,有时见毫米级的页岩夹层。细砾岩条带为基质支撑,最大粒径可达10 cm,但平均粒径只有5 mm。细砾岩条带厚度从阿图什组底部的6 cm向上可增加到3 m厚。砾石成分复杂,呈次圆到次棱角状,分选差。砾岩条带正、反韵律均有出现,砾岩常下切底部岩层。

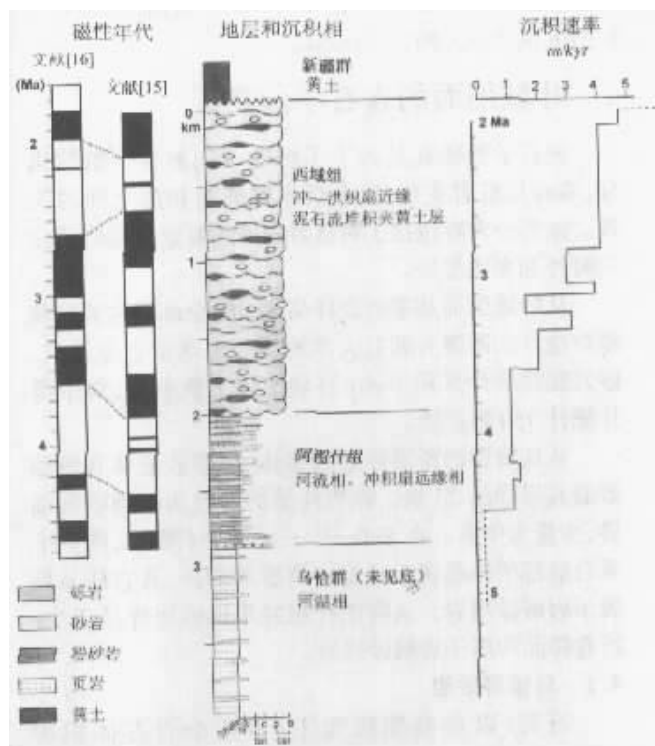


图1 新疆叶城柯克亚剖面的岩石地层、磁性地层、沉积相划分及线性沉积速率

Fig. 1 Lithostratigraphy, magnetostratigraphy and facies of the Kekeya section

(3) 西域组

西域组是本研究剖面最顶部地层,厚2 000余米,顶部被黄土覆盖。西域组砾岩成分复杂,粒径从中到粗,有的砾石粒径可达2.5 m。砾岩层为混杂状堆积,厚层,偶见正韵律和反韵律,夹有条带状、透镜状粉砂岩层,层厚0.5~3 m,灰黄至浅黄色,钙质胶结,致密,块状构造,无层理。在野外观察,这些粉砂岩条带,除少数含有少量细砾条带外,没有经过流水作用的痕迹,但具有明显的风成堆积的特征。经粒度和地球化学分析,认为这些粉砂岩条带为风成黄土^①。

3.2 磁性地层

郑洪波等曾对阿图什组和西域组进行了系统详细的磁性地层学研究^[15]。结果表明,阿图什组沉积于早上新世,古地磁年龄为4.6~3.5 Ma。西域砾岩的沉积时代为晚上新世至早更新世,磁性地层年龄为3.5~<1.8 Ma(图1)。阿图什组的极性年龄点与深度有较好的线性关系,沉积速率约8 m/ka。西域砾岩的沉

① Zheng H et al. Late Neogene aeolian loess deposition in southern Tarim Basin and its palaeoenvironmental significance. Submitted to Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 2001.

积速率明显加快,最高可达 14 m/ka 。根据推测,乌恰群的沉积速率大约为 3 m/ka 。

4 叶城剖面的岩石学研究

岩石学的研究是为了了解叶城剖面各个组的成分、结构及成岩变化,以及沉积特征与物源之间的关系。该部分内容包括了对砂岩的薄片鉴定和砾岩成分的野外和室内鉴定。

从叶城剖面共采砂岩样品 31 块,全部薄片鉴定和颗粒统计在西澳大利亚大学地质与地球物理系完成。砂岩颗粒统计采用 Swift 自动统计记数装置,每个薄片统计 750 粒矿物。

从乌恰群的厚层砂岩透镜体、巨厚砂岩体和薄层砂岩共采样品 23 块。砂岩样品的岩性为极细砂到细砂,少量为中砂。在 Folks^[17]三元图中(图 2),除一个采自底部的样品属于长石岩屑砂屑岩外,其它样品均属于岩屑砂屑岩。从阿图什组共采得砂岩样品 7 块,所有样品均属于岩屑砂屑岩。

4.1 乌恰群砂岩

石英:以单晶颗粒为主(占整个岩石体积的 25%),应变石英和多晶石英次之(9%)。石英颗粒呈次圆到次棱角状,剖面向上棱角角度增加。火山成因石英以微量出现。

长石:钾长石占长石类绝大多数(2.7%)且以正长石为主,斜长石微量。颗粒次圆到次棱角状,大多沿节理面发育蚀变。

岩屑:岩屑是砂岩的主要成分,占 11%~45%,平均 27%。成分以沉积岩和浅变质沉积岩为主,含少量火山岩和侵入岩。沉积岩岩屑成分包括燧石、杂砂岩、

砂岩和泥岩。变质岩屑包括片岩、千枚岩和片麻岩。硅质大理岩出现于乌恰群顶部。火山岩以长英质为主。

副矿物:云母、碳酸岩和重矿物出现于所有样品,但含量极微。白云母是云母的主要组分。重矿物包括(从多到少顺序)铁氧化物、锆石、电气石、金红石、重晶石和锆石常表现为次棱角状。

基质:基质含量 4.6%,最高可达 9.7%,包含粉砂级的石英和粘土矿物。

胶结物:胶结物可占 24%~48%的体积。自生矿物包括方解石、赤铁矿、绢云母、石英和软锰矿。方解石是最主要的胶结物。

4.2 阿图什组砂岩

石英:以单晶颗粒为主,多晶石英次之。火山成因石英和变质成因的剪切多晶石英出现于所有样品。石英颗粒呈次圆到次棱角状,但次棱角状石英居多。

长石:钾长石占长石类绝大多数(6.8%),斜长石微量(0.5%)。颗粒呈次圆到次棱角状,少数颗粒沿节理面有蚀变。

岩屑:岩屑占总体积的 31%~44%,平均为 29.5%。在以细粒为主的砂岩中,沉积岩碎屑(燧石、粉砂岩、杂砂岩和砂岩)占主导地位,而在含有砾石的砂岩中,岩屑中变质岩(片岩、片麻岩和硅质大理岩)成分多于沉积岩。火山岩和侵入岩量较少,成分包括玄武岩、流纹岩、花岗岩和粗玄岩。

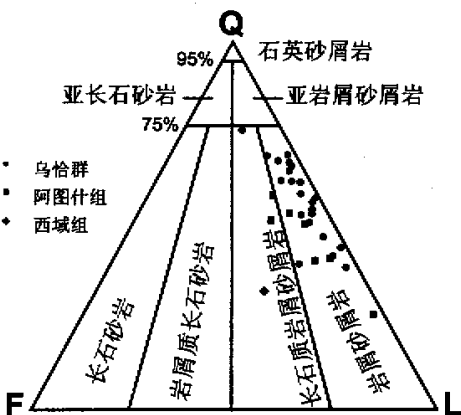
副矿物:云母和重矿物出现于所有样品,但含量极微。白云母含量较多,但黑云母含量随剖面向上有增加的趋势。重矿物包括(从多到少顺序)铁氧化物、锆石、电气石、金红石和重晶石。

基质:基质含量 5.4%,为粉砂级的石英和铁染的粘土矿物。

胶结物:胶结物包括方解石、赤铁矿、石英、绢云母。方解石是最主要的胶结物。

4.3 砂岩的物源分析

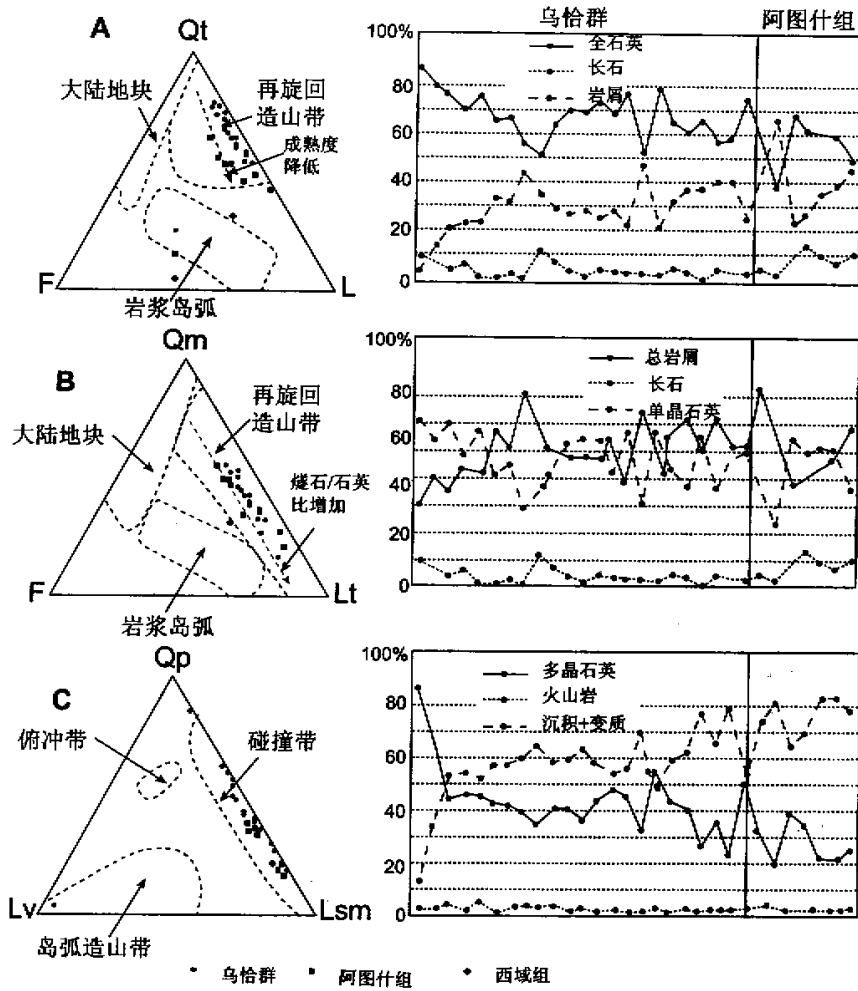
经过对砂岩样品的镜下鉴定和统计分析,并将结果投影于迪金森 QtFL 和 QmFLt 图解中^[18],发现大多样品落入再旋回造山带物源区图 3。在图 3a 中将所有的石英质矿物累加,该参数可以用来指示碎屑岩的稳定性和成熟度。从图中可以看出,石英质矿物不断减少,岩屑增加,指示了砂岩的稳定性和成熟度降低。图 3b 将所有的岩屑累加,可以看出岩屑含量随剖面深度变化不显著,但阿图什组砂岩趋向于 Lt 端,而且所有样品落入再旋回造山带物源区。图 QpLvLsm (图 3c)进一步说明砂岩的物源区属于造山带的环境。乌恰群和阿图什组砂岩的岩石学研究结果表明,大多



图中 Q 石英, F 为长石, L 为岩屑

图 2 乌恰群和阿图什组砂岩的分类

Fig. 2 Classification of Wuqia and Artux sandstones.



(A) Qt = 总石英, F = 长石, L = 岩屑 (B) Qm = 单晶石英, F = 长石, Lt = 岩屑总量;
(C) Qp = 多晶石英, Lv = 火山碎屑, Lsm = 沉积和变质岩碎屑

图 3 乌恰群和阿图什组砂岩的成分三元相图

Fig. 3 Ternary plots of sandstones compositions of Wuqia Group and Artux Formation.

数样品落入大陆碰撞带区域。

4.4 砾岩的岩石学特征和物源分析

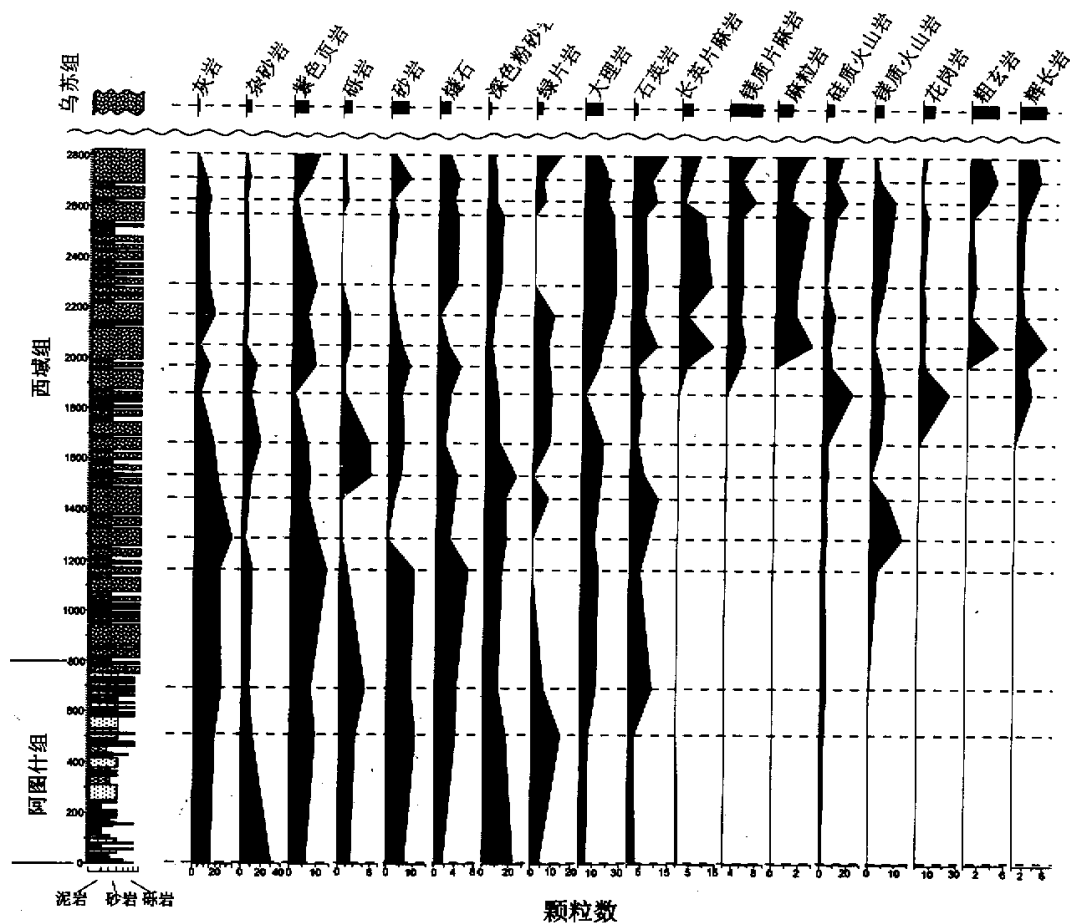
西域组的砾石以中粗粒为主,也有巨砾。砾岩的成分复杂,岩性为沉积岩、变质岩、火山岩和少量侵入岩。砾岩主要以基质支撑,基质为粉砂/砂和细粒砾石。

对西域组以约 150 m 为间距进行砾石统计,共选取 15 个统计点。为便于对比,在阿图什组选取 3 个点,乌苏组选取一个点。每个点统计砾石 200 粒,统计内容包括岩性和粒度。砾石的总体分布描述如下(图 4):

沉积岩

沉积岩丰度最大,但岩性组合在剖面上有较大变化。其中最具特征的是紫色的泥岩和粉砂岩,它们在整个剖面中都有分布。粉色和灰色的灰岩也比较常见,尤其在剖面下部。其它沉积岩包括杂砂岩、燧石和砂岩,火山成因岩石硅质和镁质火山岩都有出现。硅质丰度较高,平均含量 7.9%,最高值出现于乌苏组,可达 27.6%。硅质砾岩以流纹质为主。镁质砾岩平均含量 3.6%,成分以玄武质为主。在剖面上,火山成因的砾石向上显著增加。

变质岩



图中每一条虚线代表一个统计点

图4 阿图什组和西域组砾岩岩性及丰度

Fig. 4 Point-count results of conglomerate from Artux and Xiyu Formations.

浅变质岩为另一种常见砾石,平均含量 30.3%,其中丰度较大的是绿片岩、泥板岩、浅变质粉砂岩和硅质大理岩。硅质大理岩在西域组的中部可达 24.5%。深变质岩只在西域组的中部以上出现,并存在向上不断增加的趋势。石英长石片麻岩是最常见的深变质岩,包括富钾长石和富斜长石—角闪石等不同种类。其它深变质岩有镁质片麻岩、镁质麻粒岩和微量的角闪岩。

侵入岩

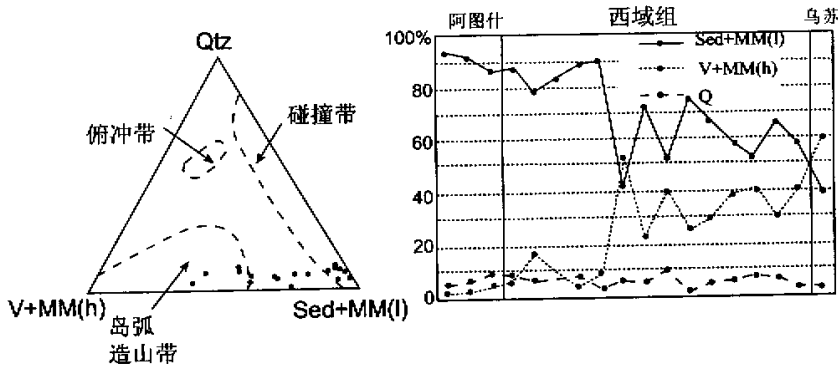
侵入岩在剖面中含量较少,而且只在 640 m 以上才开始出现,以富钾花岗岩和粗玄岩为主。见有少量闪长岩和辉长岩。花岗岩在剖面中部突然增加(22.5%),之后又显著减少。从石英质—沉积/浅变质—火成/深变质三元相图上(图 5)可以看出,砾石的物源有

从碰撞造山带源区向岛弧造山带源区演化的趋势。这一趋势反映了物源区的去顶和剥蚀序列。图 5 中还可以看到,火山成因的砾石在剖面中呈增加的趋势,石英质砾石总体含量较低,而且保持含量基本不变。

5 西昆仑山的去顶历史

我们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。古流域坡度较缓,有横向的主干河道西流。叶城剖面的砂岩成熟度较低,岩屑含量较高,且多呈棱角状和次圆状,基质含量达 5%~10%。乌恰群主要由粉砂岩、细砂岩到极细砂岩和泥岩构成,表明搬运距离较长,搬运能量较低,沉积区附近没有过度强烈的地形起伏。

石英含量在剖面向上逐渐减少,而岩屑和长石不



其中 Sed= 沉积岩屑, MM(l)= 浅变质岩, MM(h)= 中—深变质岩, V= 火山岩, Qtz= 石英质岩石

图 5 砾岩碎屑的大地构造源区

Fig. 5 Plate-tectonic source of conglomerate clasts from Xiyu Formation

断增加,表明砂岩成熟度不断降低。阿图什组中细砾岩和中砾岩的出现,标志着物源状况的一次重大变化,至少可以说明,沉积物源区开始变近,搬运距离缩短,和/或物源区地势起伏增大,气候开始干旱或者干旱程度增大。只是此时的砾岩仍占阿图什组很小的一部分,沉积物仍以细粒为主。

从岩性上看,砂岩主要来自于大陆碰撞造山带。如果西昆仑是主要物源区的话,那么当时的地势一定比现在低得多,否则不会有如此多的细粒物质在叶城盆地沉积。青藏高原南部和喜马拉雅山在中新生代已有相当程度的隆起^[19],因而也有可能成为物源区之一。如果是这样的话,当时的流域要比现在大得多,而且面貌上也迥然不同。

西域砾岩沉积于西昆仑山的山前盆地。西域砾岩的沉积形式为泥石流和面状沉积,因而源区应该是近源的西昆仑山,而且此时流域的坡度较大,地势具有相当的起伏。砾岩中深变质岩和火成岩的增多,意味着昆仑山剥蚀深度不断增加。

图 6 指示了西昆仑山被剥蚀的层序。早期的沉积物包括了元古代和早古生代的浅变质岩、晚古生代的海相岩系和中生代的碎屑岩系,类似的岩石组合位于北昆仑地块^[20]。这一岩性组合贯穿了整个西域组。自西域组 640 m 开始,出现一次岩浆岩和火山岩脉冲,岩石类型为斑状花岗闪长岩。这种岩石可能属于早古生代,在昆仑山出露于麻扎—康西瓦缝合带。另一类主要的岩浆岩为长英质火山岩,可能来源有两个:深红色斑岩可能来自中生代火山弧^[21],高硅质长英质火山岩可能来自古生代,与花岗岩基底有关^[19]。这次火成岩脉冲以后,火成岩含量减到 20% 左右,之后又不断增加,到乌苏组高达 60%。元古代的浅变质岩分布于整个西域组,表明这一岩性连续为盆地提供物源,而作为盖层的沉积岩,开始较多,随剖面向上,含量不断减少,相对之下,基底岩石的比率则不断增加。从西域砾岩的成分变化上,可以推测西昆仑山总体的去顶序列是:首先是盖层沉积岩的剥蚀,随着山系的不断隆升,作为基底的深层深变质岩和岩浆岩也不断被暴露和剥

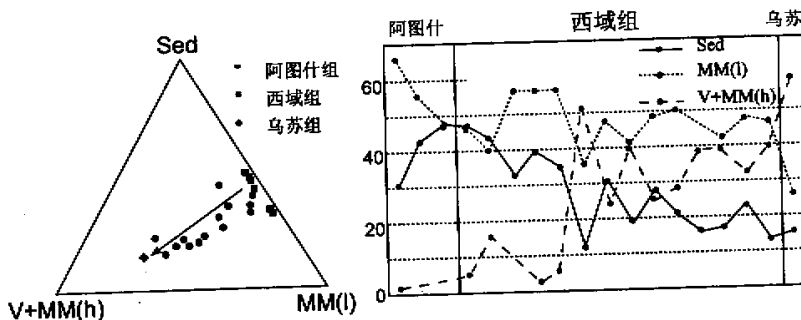


图 6 叶城剖面阿图什组、西域组和乌苏组砾岩岩石组合的三元相图及成分变化图

Fig. 6 Ternary chart and graph showing trends of the different rock suites of the Yecheng conglomerate

蚀。

6 结论

叶城晚新生代山前盆地的岩性主要由中新世的细粒泥岩和砂岩,上新世的砂岩夹薄层砾岩及上新世—更新世的粗粒砾岩构成。磁性地层学研究表明,乌恰群的沉积速率大约为 3 m/ka ,阿图什组的沉积速率约 8 m/ka 。西域砾岩的沉积速率明显加快,最高可达 14 m/ka 。沉积速率和岩性变化,反映了沉积盆地和物源区相互偶合演化的关系。

中新世的沉积物以细颗粒为主,表明物源区较远,坡度较小,搬运距离较长,古流向分析显示物源区位于南和偏南方,此时昆仑山的地势起伏尚不大。到上新世,开始出现砾石沉积,但砾石只占阿图什组的一小部分。西域砾岩的沉积标志着作为物源区的西昆仑山已有相当的高度,而且随着山系的隆升,作为基底的深变质火成岩石不断被暴露和剥蚀。

本研究曾得益于与[吴锡浩]研究员(中国地质科学院地质力学研究所)的讨论。强小科博士协助了野外工作。

参 考 文 献 (References)

- Johnson N M, Opydyke, N J, Johnson G D, *et al.* Magnetic polarity stratigraphy and ages of Siwalik Group rocks of the Potwar Plateau, Pakistan [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1982, 37 : 17~42
- Decelles P G, Gehrels G E, Quade J, *et al.* Neogene foreland basin deposits, erosional unroofing, and the kinematic history of the Himalayan fold-thrust belt, western Nepa [J]. *Geol. Soc. Ame. Bulletin*, 1998, 1 : 2~21
- Molnar P, Burchfiel B C, Lian K, *et al.* Geomorphic evidence for active faulting in the Altyn Tagh and northern Tibet and quantitative estimates of its contribution to the convergence of India and Eurasia [J]. *Geology*, 1987, 15 : 249~253
- Quade J, Cerling T E, Bowman J R. Development of Asian monsoon revealed by marked ecological shift during the latest Miocene in northern Pakistan [J]. *Nature*, 1989, 342 : 163~165
- Kroon D, Steens T, Troelstra S R. Onset of monsoonal related upwelling in the western Arabian Sea as revealed by planktonic foraminifers. *Proceedings of the Ocean Drilling Program* [J]. *Scientific Results*, 1991, 117 : 257~263
- 计宏祥, 黄万波, 陈万勇等. 西藏三趾马动物群的首次发现极其对青藏高原隆起的意义 [A]. 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 青藏高原隆起的时代、幅度和形式问题 [C]. 北京 : 科学出版社, 1981. 19~25 [Ji Hongxiang, Huang Wanbo, Chen Wanyong, *et al.*, The discovery of *Hipparion* fauna on the Tibetan Plateau and its significance on Tibetan uplift [A]. In : Tibetan Expedition Team Members, The Age, Magnitude and Forms of the Uplift of the Tibetan Plateau [C]. Beijing : Science Press, 1980. 19~25]
- Xu R. Vegetational changes in the past and the uplift of the Qinghai-Xizang Plateau [A]. In : *Geological and Ecological Studies of the Qinghai-Xizang Plateau* [C]. Beijing : Science Press, 1981. 138~144
- Li J. The Uplift of the Qinghai-Xizang Plateau and its effect on environment [A]. In : Liu T S, ed. *Quaternary Geology and Environments in China* [C]. Beijing : Science Press, 1991. 265~272
- 孙东怀, 刘东生, 陈明扬等. 中国黄土高原红粘土序列的磁性地层与古气候变化 [J]. *中国科学 D 辑*, 1997. 27(3) : 265~270 [Sun D H, Liu T S, Chen M Y, *et al.* Magnetostratigraphy and palaeoclimatic changes of the red clay deposits in the Chinese Loess Plateau [J]. *Science in China* [D], 1997 27(3) : 265~270]
- 方小敏, 李吉均, 朱俊杰等. 临夏盆地中心王家山剖面磁性地层与构造事件 [A]. 青藏项目专家委员会编. 青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究 [C]. 北京 : 科学出版社, 1995. 65~73 [Fang X M, Li J J, Zhu J J, *et al.* Magnetostratigraphy and tectonic events of Wangjiashan section in central Linxia Basin [A]. In : Tibetan Project Academic Committee ed. *The Formation, Evolution, Environmental Changes and Ecological System of Tibetan Plateau* [C]. Beijing : Science Press, 1995. 65~73]
- Tandon S K. The Himalayan Foreland : Focus on Siwalik Basin [A]. In : Tandon S K, Pant C C and Casshyap A M, eds. *Sedimentary Basins of India : Tectonic Context* [C]. Gyanodaya Prakashan, 1991. 171~201
- 陈荣林, 朱宏发, 陈跃等. 塔里木盆地中生界沉积特征与石油地质 [M]. 江苏 : 河海大学出版社, 1995. 1~3 [Chen R L, Zhu H F, Chen Y, *et al.* *Sedimentary Characteristics and Petroleum Geology of the Mesozoic in Tarim Basin* [C]. Jiangsu : Hehai University Press, 1995. 1~3]
- 叶春辉, 黄金仁. 第三系 [A]. 周志毅, 陈丕基主编. 塔里木生物地层和地质演化 [C]. 北京 : 科学出版社, 1990. 308~338 [Ye C H, Huang J R. Tertiary. In : Zhou Z Y, Chen P J, eds. *Biostratigraphy and Geological Evolution of Tarim Basin* [C]. Beijing : Science Press, 1990. 308~338]
- 李云通. 中国地层 13, 中国的第三系 [M]. 北京 : 科学出版社, 1984, 10~30 [Li Y T. *Stratigraphy of China, Tertiary* [M]. Beijing : Science Press, 1984, 13 : 10~30]
- Zheng H, Powell C, An Z, Zhou J, Dong G. Pliocene uplift of the northern Tibetan Plateau [J]. *Geology*, 2000, 28(8) : 715~718
- Cande S C, Kent D V. Reversed calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1995, 100 : 6 093~6 095
- Folk R L, Andrews P B, Lewis D W. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand [J]. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 1970, 13 : 937~968
- Dickinson W R, Suzek C A. Plate tectonics and sandstone compositions [J]. *The American Journal of Petroleum Geologists Bulletin*, 1979, 63 : 2 164~2 182
- Chang C. Tectonic evolution of western Tibetan Plateau [A]. In : *Proceedings of International Symposium, Karakorum and Kunlun Mountain* [C]. 1994. 11~22
- Dewey J F, Shackleton, N J, Chang, C *et al.* The tectonic evolution of the Tibetan Plateau [J]. *Roysal Society of London Philosophical Transactions. Series A*, 1986, 327 : 379~413

- 21 Matte P, Tapponnier P, Arnaud N, *et al.* Tectonics of western Tibet, between the Tarim and Indus [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1996, 142: 311~330

Evolution of Neogene Foreland Basin in Yecheng, Xinjiang, and Uplift of Northern Tibetan Plateau ——I Stratigraphy and Petrology

ZHENG Hong-bo^{1,2} BUTCHER Katherine³ POWELL Chris³

1 (Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092)

2 (Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710054)

3 (Tectonic Special Research Centre, The University of Western Australia, Perth Australia)

Abstract Late Cenozoic foreland basin deposits in Yecheng are composed of Miocene mudstone and sandstone (Wuqia Group), Early Pliocene sandstone with minor gritstone (Artux Formation) and Late Pliocene-Early Pleistocene conglomerate (Xiyu Formation). The Miocene strata are dominated by fine-grained clastic material, indicating a distal source and low gradient slope. Palaeocurrent measurements suggested northward direction, indicating that the Kunlun area was at low elevation. Deposition of Artux Formation marked the first appearance of gravel and lithic detritus, indicating the uplift of the Kunlun. Xiyu Formation is characterized by coarse debris flow deposits, marking the strong uplift of the northern part of Tibetan Plateau and unroofing of the Kunlun.

Key words late Cenozoic, stratigraphy, Tibetan Plateau, Yecheng

(Continued from page 242)

where the river, locating in one side of the sediment-erosion basin, flew into the lake. It had vertical-sequences strata composed of bottom-set bed, foreset bed and topset bed, with sand lobe shape. It had no relationship with fan in the origin space. Based on this, the authors discussed geologic setting of two kinds of lake deltas, and, moreover, investigated the origin of their developing conditions and progradational patterns.

Key words half-braben-like basin, shrinkage phase of lake, river-mouth-dam-lake delta, Gilbert lake delta