

白建科, 李智佩, 徐学义, 等. 西天山乌孙山地区大哈拉军山组碎屑锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 中国地质, 2015, 42(1): 85-95.  
Bai Jianke, Li Zhipei, Xu Xueyi, et al. Detrital zircon U-Pb dating of Dahalajunshan Formation in Wusun Mountain region, western Tianshan, and its geological implications[J]. Geology in China, 2015, 42(1): 85-95(in Chinese with English abstract).

# 西天山乌孙山地区大哈拉军山组碎屑锆石 U-Pb 定年及其地质意义

白建科<sup>1,2</sup> 李智佩<sup>1,2</sup> 徐学义<sup>1,2</sup> 李婷<sup>1,2</sup> 茹艳娇<sup>3</sup> 李晓英<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 2. 国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 3. 西北有色地质勘查局物化探总队, 陕西 西安 710068)

**摘要:** 西天山伊犁地区广泛出露的大哈拉军山组火山-沉积岩系, 是研究西天山早石炭世古地理格局和天山古生代造山作用演化过程最为直接的载体。文章对西天山乌孙山地区大哈拉军山组砂岩样品进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年。结果显示, 其碎屑锆石  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄分布范围较宽 ( $(321\pm 2)\sim(435\pm 2)$  Ma), 按年龄及频率分布特征大致可以划分为 2 组: 321~372 Ma 和 395~435 Ma。结合锆石的矿物学特征、CL 图像特点及乌孙山区域地质资料, 初步获得以下认识: (1) 西天山乌孙山地区大哈拉军山组沉积时代不晚于早石炭世晚期; (2) 所研究砂岩的碎屑物质主要来源于乌孙山及南部那拉提山相关的火山岩浆岩; (3) 西天山造山带在中一晚泥盆世期间经历了一次重要的洋陆转换事件。早石炭世以后, 进入后碰撞裂谷伸展演化阶段, 因此大哈拉军山组火山-沉积岩系形成后碰撞伸展构造环境。

**关键词:** 西天山; 大哈拉军山组; 碎屑锆石; U-Pb 定年; 后碰撞伸展环境

中图分类号: P597.3; P534.44-45 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2015)01-0085-11

## Detrital zircon U-Pb dating of Dahalajunshan Formation in Wusun Mountain region, western Tianshan, and its geological implications

BAI Jian-ke<sup>1,2</sup>, LI Zhi-pei<sup>1,2</sup>, XU Xue-yi<sup>1,2</sup>, LI Ting<sup>1,2</sup>, RU Yan-jiao<sup>3</sup>, LI Xiao-ying<sup>1,2</sup>

(1. Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, MLR, Xi'an Center of Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 3. Geophysical and Geochemical Exploration Corporation, Northwest Bureau of Geology for Nonferrous Metals, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

**Abstract:** Dahalajunshan Formation volcanic-sedimentary rocks, widespread in Yili area, western Tianshan, are the most direct carrier in the study of Early Carboniferous palaeogeography of western Tianshan and Paleozoic orogenic evolution of the Tianshan. The age distribution of detrital zircons of sandstone in Dahalajunshan Formation was studied by using LA-ICP-MS U-Pb isotopic ages of zircons. The results show that the detrital zircons have a wide range of zircon ages from  $(321\pm 2)$  Ma to  $(435\pm 2)$  Ma, which

收稿日期: 2014-01-13; 改回日期: 2014-04-08

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(41202077)和中国地质调查局项目(12120113041000, 1212011085475, 12120113042200, 1212011220649)联合资助。

作者简介: 白建科, 男, 1983年生, 工程师, 主要从事沉积学、盆地分析与造山带演化; E-mail: baijianke2003@163.com。

can be divided into 2 groups: 321–372 Ma and 395–435 Ma, according to the age and frequency distribution characteristics. Based on these dating data, combined with the mineralogical characteristics and CL images of zircons as well as the regional geological data of the Wusun Mountain, the authors have reached the following conclusions: (1) The age of the deposition of Dahalajunshan Formation is not later than the later Early Carboniferous; (2) the detrital materials of the studied sandstone were mainly derived from volcanic and magmatic rocks related to the Wusun Mountain and Nalati Mountain; (3) during middle–late Devonian, western Tianshan orogenic belt experienced significant ocean–land transition events and entered into the post–collision rift extensional stage. Therefore, the formation of volcanic–sedimentary rocks of Dahalajunshan Formation was in a post–collision extensional setting.

**Key words:** western Tianshan; Dahalajunshan Formation; detrital zircon; U–Pb dating; post–collision extensional setting

**Abstract the first author:** BAI Jian–ke, male, born in 1983, engineer, mainly engages in sedimentology, basin analysis and evolution of tectonic belt; E–mail: baijianke2003@163.com.

作为中亚造山带的重要组成部分,中国新疆境内的西天山造山带内含有丰富的矿产资源,并体现了中亚造山带古生代构造演化与成矿作用典型特征,一直备受国内外地质学家的关注。西天山造山带位于中亚造山带西南缘,其古生代的构造演化是古亚洲洋演化史的一个重要组成部分。一般认为,天山造山带经历了古生代多期碰撞、增生构造事件,不但是典型的增生型造山带,也是全球显生宙大陆地壳生长最为显著的地区<sup>[1–5]</sup>。西天山伊犁地区广泛出露的大哈拉军山组火山–沉积岩系,其岩石组合为流纹岩、粗面岩、粗面安山岩、玄武岩、中酸性火山碎屑岩、正常沉积岩及少量灰岩。该套地层不但是西天山晚古生代重要的赋矿层位,而且其形成时代和构造环境对研究西天山造山带古生代洋陆转换及探讨其成矿规律具有极其重要的意义。因此,西天山大哈拉军山组一直以来是地质学界研究和讨论的重点,前人从岩石类型、火山岩组合、岩石地球化学、同位素年代学、同位素地球化学和成矿等方面进行了较为深入的研究<sup>[6–10]</sup>。普遍认为大哈拉军山组火山–沉积岩系形成于晚泥盆世到早石炭世,且其时代在伊犁地区呈现出规律性变化:伊犁地块南、北缘,其形成年龄介于368~345 Ma,表明火山喷发相对较早,从晚泥盆世开始一直持续到早石炭世;伊犁地块中部,其形成时代在342~337 Ma,属于早石炭世,时代稍晚于南、北缘<sup>[11–13]</sup>。

然而到目前为止,地质界对这套火山–沉积岩系形成构造环境尚存在争议,存在几种不同认识:(1)碰撞后裂谷拉伸环境<sup>[14–17]</sup>,甚至认为这些火山–沉积岩系的形成与碰撞后裂谷拉张环境的古地幔柱活动有关<sup>[18]</sup>;(2)岛弧或陆缘弧<sup>[11, 13, 19–21]</sup>;(3)活动大陆边缘弧后拉张环境<sup>[22]</sup>;(4)大陆减薄拉张环境<sup>[23]</sup>。

究其原因,这些认识多是在对大哈拉军山组中火山岩或同时代花岗质侵入岩进行研究的基础上提出的,尚缺乏从沉积学角度对其沉积岩的研究。查明这套火山–沉积地层中沉积岩建造组合、地层序列、形成时代及其物源区特征与确定伊犁地块晚古生代构造环境密切相关。因此,获得大哈拉军山组沉积地层更精确的年代学资料,不仅有助于确定这套地层的时代,也有助于探讨其形成的构造环境,进而认识西天山伊犁地块晚古生代的演化历史。

盆地陆缘碎屑沉积物作为区域构造背景控制下的蚀源区(或隆起区)与沉积盆地演化有机结合配置的产物,记录了洋陆变迁、盆山耦合及其演化历史,可以用来示踪源区、反演构造演化历程等信息<sup>[24]</sup>。近年来,越来越多的研究者试图通过对碎屑锆石年龄的测定,确定其碎屑物质来源、源区特征及演化、沉积时代和形成环境,从而讨论造山带与沉积盆地之间的耦合关系<sup>[25–27]</sup>。基于以上分析,笔者从西天山乌孙山地区大哈拉军山组的砂岩中采集了1件样品,对其中的碎屑锆石进行了研究,获得了确定其沉积时代的可靠资料,以及其源区特征的重要信息。试图进一步从碎屑锆石的年龄分布特征来约束该套碎屑沉积岩的形成时代及其形成的构造环境,从而进一步理解西天山古生代造山带的形成与构造演化过程。

## 1 地质背景

西天山伊犁地块位于准噶尔板块和塔里木板块的交汇部位,夹于中天山北缘断裂和南部尼古拉耶夫—那拉提山北坡断裂之间,呈楔形向东尖灭(图1-a)。其南北两侧均为叠加在前寒武纪结晶基底之

上的古生代大陆边缘。伊犁地区广泛出露大哈拉军山组火山-沉积岩系,该套岩石组合主要分布于伊犁地区博罗科努山南坡、那拉提山、阿吾拉勒山、昭苏县和特克斯县北的乌孙山南坡及特克斯县南的大哈拉军山一带。研究区位于西天山乌孙山一带,大地构造上属于伊犁微地块,处于伊犁地块中部,向东经阿吾拉勒山脉,可能一直延续到巩乃斯河源头一带尖灭,向西与吉尔吉斯斯坦北天山地块南缘古生代活动陆缘相连。其北部以伊犁—中天山北缘断裂为界,与北天山弧增生体相邻;南部以那拉提山—尼古拉耶夫线断裂为界,与中天山复合弧地体相邻。该地区是新疆重要的Au-Cu多金属成矿带,已发现的金、铜矿床和矿点均产于早石炭世大哈拉军山组中。区内出露的地层主要是石炭纪火山-沉积岩系,其次是下二叠统乌郎组双峰式火山岩系,中—新生代河湖相碎屑岩建造覆盖于其上(图1-b)。受区域断裂的控制,研究区地层大致呈近东西向带状展布,岩层北倾,基本上无变质,局部发育宽缓的褶皱。石炭系自下而上为下石炭统大哈拉军山组(C<sub>1d</sub>)火山-沉积岩,包括玄武岩安山岩、英安岩、流纹岩、同质火山碎屑岩及正常沉积碎屑岩;下石炭统阿克沙克组(C<sub>1a</sub>)海陆过渡相粗碎屑

岩、浅海相碎屑岩-碳酸盐岩;上石炭统伊什基里克组(C<sub>2ys</sub>)双峰式裂谷火山岩;下二叠统乌郎组(P<sub>1w</sub>)下部为一套陆相沉积的砾岩、砂岩,上部为一套双峰式火山岩;上二叠统晓山萨依组(P<sub>2xs</sub>)河流相砾岩—砂岩—粉砂岩组合;侏罗系水西沟群(J<sub>1-2s</sub>)河流—沼泽相的含煤碎屑岩地层。乌孙山地区的侵入岩主要为晚古生代的花岗岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、钾长花岗岩等及特克斯县东北部出露的辉长岩。

## 2 采样位置与剖面特征

西天山乌孙山地区大哈拉军山组为一套火山-沉积岩系组合,为了进一步了解具体的岩石组合,笔者等在乌孙山中段沿阿尔玛依沟测制了大哈拉军山组地层剖面AB(图1-b)。剖面中大哈拉军山组地层厚度>3267 m,剖面起点、终点处均见到早石炭世阿克沙克组灰岩逆冲到大哈拉军山组火山岩之上(图2-a)。大哈拉军山组岩石组合变化为:下部为安山岩、杏仁状安山岩与英安岩的韵律,向上为一套正常沉积凝灰质砂岩、砂岩;中部为辉石安山岩与砂岩;上部为肉红色流纹岩与英安岩,向上变为安山岩与安山质凝灰岩,夹薄层玄武岩。可以划

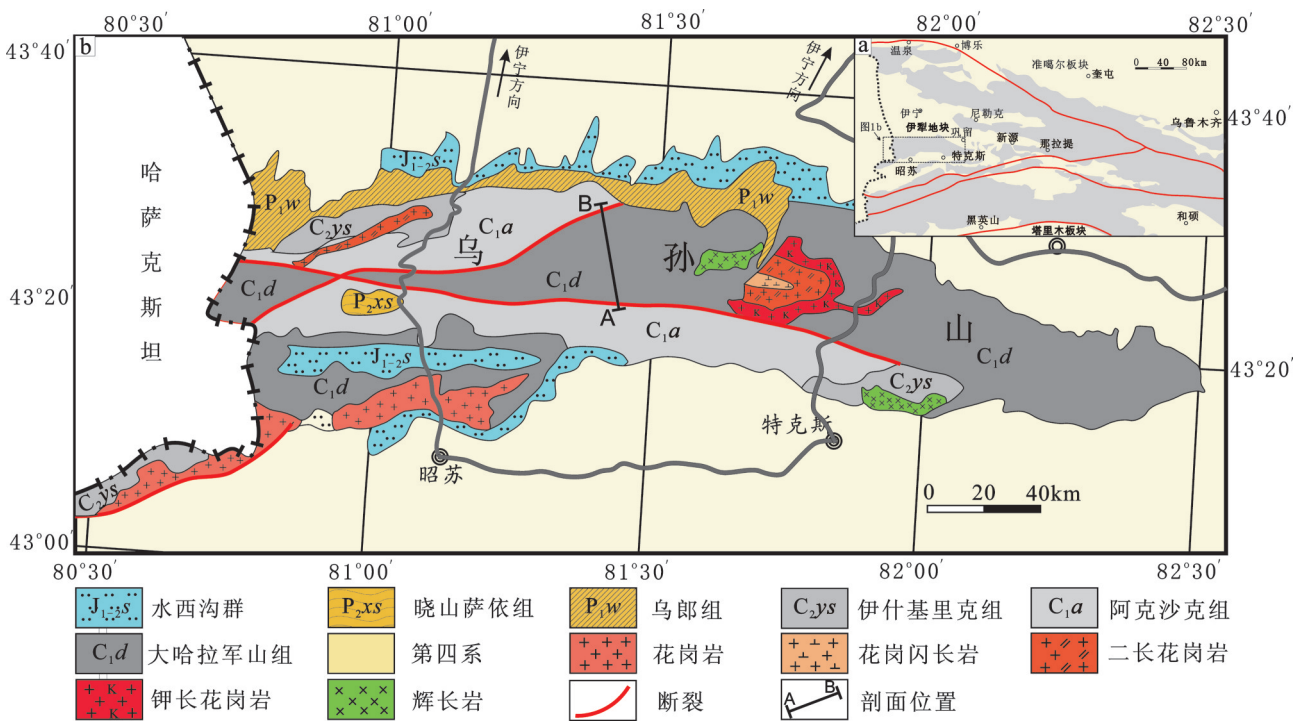


图1 西天山乌孙山大地构造位置(a)及地质简图(b)

Fig.1 Tectonic setting (a) and geological map (b) of the Wusun Mountain, western Tianshan

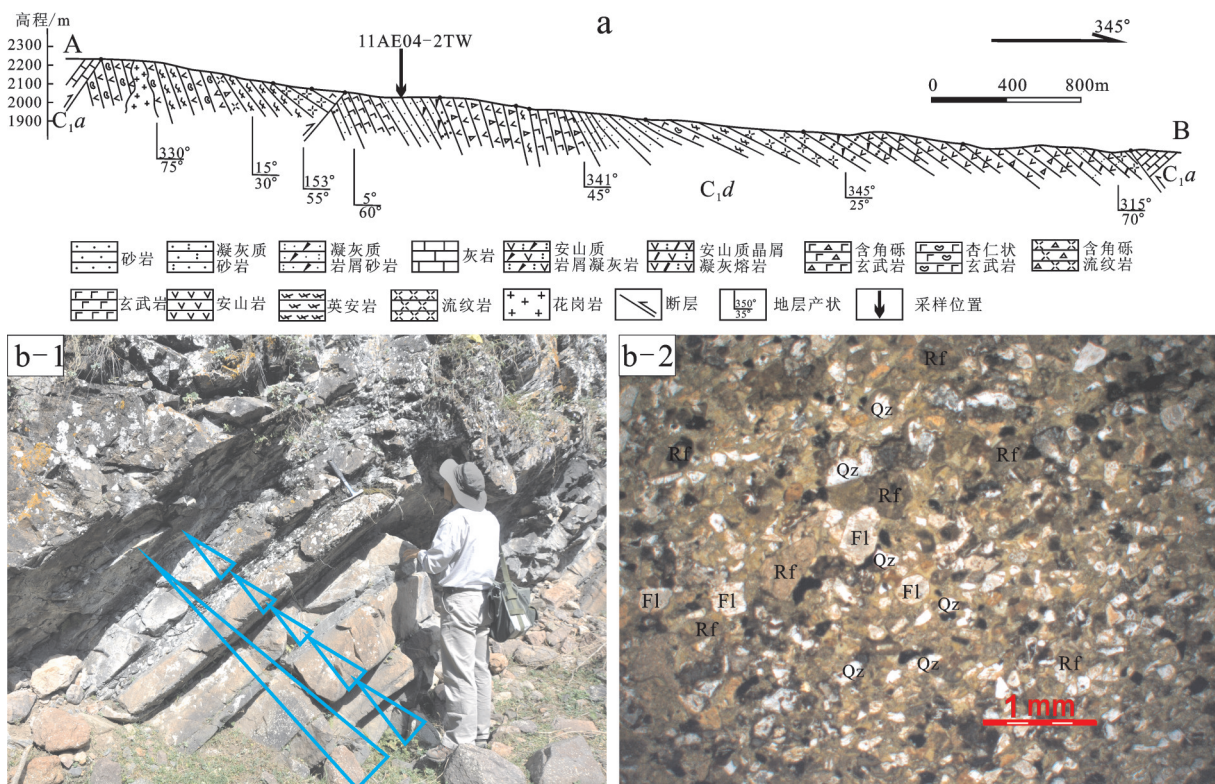


图2 西天山乌孙山大哈拉军山组实测地层剖面(a)及砂岩样品特征(b)

Qz—石英;Fl—长石;Rf—岩屑

Fig.2 Geological section of Dahalajunshan Formation (a) and characteristics of sandstone samples (b) from the Wusun Mountain, western Tianshan

Qz—Quartz; Fl—Feldspar; Rf—Rock fragment

分出2~3个火山-沉积旋回。

用于定年研究的样品采自剖面下部砂岩中(编号11AE04-2TW),地理坐标为北纬 $43^{\circ}27.314'$ ,东经 $81^{\circ}26.597'$ ,砂岩野外露头上呈薄—中层状,发育水平层理(图2-b-1),砂岩与泥岩组成5个由粗到细的正旋回,向上整体表现为退积型沉积序列。经过显微镜下鉴定,样品岩性为细粒岩屑砂岩(图2-b-2),呈不等粒粒状结构,以碎屑为主,泥质胶结。碎屑主要由岩屑、石英和长石碎屑组成,碎屑包括两类:一类是磨圆度较好,经历了搬运磨蚀过程;另一类磨圆度较差,棱角明显,显示近源快速堆积的特点。岩屑含量可达60%~65%,石英含量10%~15%,长石含量占5%~10%,部分长石发生绿帘石化。

### 3 分析方法

用于测年的锆石由河北省廊坊市诚信地质服务公司分选,具体流程为:将选取的6 kg砂岩样品粉碎至60目以下,先用磁选和重液方法粗选锆石,

然后在双目镜下将锆石颗粒逐一挑出,共挑选锆石颗粒1000余粒。

锆石的制靶、CL图像及U-Pb同位素含量测定均在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。具体方法为:将锆石颗粒粘在双面胶上,后固定在透明的环氧树脂中,和树脂一起打磨抛光,直至露出锆石的内部以适合ICP-MS分析。抛光后的锆石首先进行反射光照明,以观察其抛光面有无裂隙及包裹体等,后进行阴极发光照相,所得CL图像采用装有MonoCI3+阴极发光系统的扫描电镜拍摄,锆石的U-Pb同位素含量测定在该实验室使用带有GeoLas200M激光剥蚀系统的Agilent7500a ICP-MS测定。用标准硅酸盐玻璃NIST610进行仪器最佳化,采用91500标准锆石作为外部校正,激光束斑直径为 $30\ \mu\text{m}$ ,详细的分析过程和参数见文献[28]。普通Pb的校正采用文献[29]的方法。样品的同位素比值及元素含量采用Glitter(ver. 4.0, Macquarie university)程序,年龄计算及年龄谱图的

绘制采用 Isoplot(ver2.49)程序完成。

## 4 测试结果

对样品中65粒锆石进行了LA-ICP-MS定年,获得了65个测点的分析数据,符合年龄分布统计的要求<sup>[30-31]</sup>。同时,结合<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U来计算碎屑锆石的谐和性,以不谐和度10%为标准遴选U-Pb年龄数据,剔除不谐和度>10%的年龄数据。本次研究中共有61个测点给出有效年龄数据,表1列出了有效数据测点的U/Pb同位素组成和表面年龄计算结果,其中同位素比值的误差为1 $\sigma$ ,加权平均年龄具95%的置信度。

样品的锆石阴极发光CL图像显示(图3),具岩浆结晶环带和结构均匀的锆石都存在,且锆石的岩浆结晶环带多数比较清楚,说明碎屑锆石大部分来源于岩浆区。部分碎屑锆石晶型完整,有的呈现长柱状(图3中1, 2, 19, 39, 43)表明碎屑物质来自于近源区,或者以岩屑形式搬运沉积,这与显微镜下观察到的长石、石英、岩屑分选、磨圆度较差的结果是一致的;部分锆石呈浑圆状,显示出其是经过搬运-沉积的碎屑锆石(图3中31, 32, 34, 51)。

样品中大多数锆石均具有明显的韵律环带,其<sup>232</sup>Th/<sup>238</sup>U值介于0.35~1.19(表1),表现为岩浆锆石成因。<sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U-<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U谐和图(图4-a)显示,所有的测点基本上都落在谐和线及其附近,呈现出较好的谐和性,表明不存在明显的铅丢失。

从碎屑锆石U-Pb年龄分布图上(图4-b)可以看出,乌孙山地区大哈拉军山组碎屑锆石<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U表面年龄值分布范围较宽((321 $\pm$ 2)~(435 $\pm$ 5) Ma),按年龄及频率分布特征大致可以划分为2组:(1)<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄集中在321~372 Ma,主峰值在(346 $\pm$ 4) Ma;(2)<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄集中在395~435 Ma,主峰值在(415 $\pm$ 7) Ma。

(1)321~372 Ma,47个数据点分布在这个年龄段,峰值为346 Ma(图4-b)。它们的Th、U含量分别为56~686  $\mu$ g/g, 83~797  $\mu$ g/g, Th/U比值0.35~0.76。根据CL结构和组成特征,可以明显地分成两类,一类具有较为明显韵律生长环带(图3中1, 4, 6, 7, 8, 64, ),这类锆石多呈浑圆状或破损不全,锆石长80~100  $\mu$ m,宽60~80  $\mu$ m,长宽比为1:1~1.2:1;另一类内部结构均匀,不具明显韵律环带结构,且

多呈长柱状或板状(图3中2, 15, 26, 39, 45, 50等),锆石长80~200  $\mu$ m,宽50~100  $\mu$ m,长宽比为1:1~3:1。两类锆石整体晶型较完整,多呈柱状或棱角状,磨圆度较差,但其年龄相似,说明都是同一期岩浆活动的产物,CL组构的不同可能系锆石结晶时的深度及温度等环境条件所致。

(2)395~435 Ma,14个数据点分布在这个年龄段,峰值为415 Ma(图4-b)。它们的Th、U含量分别为11~170  $\mu$ g/g, 20~438  $\mu$ g/g, Th/U比值0.76~1.19。其锆石的CL结构和组成特征大体相同,主要表现为均没有核部和边部之分,内部结构均匀,或韵律生长环带较宽、不明显(图3中19, 20, 29, 41, 54等)。大多数锆石长宽比为1:1~1:1.2,仅个别锆石长宽比较大,约为1:3(图3中19)。Th/U比值介于0.76~1.19,具有岩浆锆石的典型特征。锆石晶型不完整,多已破碎成棱角状或不规则状,所有锆石的磨圆度都较差,以上特征综合表明本次研究所分析的绝大多数碎屑锆石来源于近源的岩浆岩区。

## 5 讨论

### 5.1 大哈拉军山组形成时代

西天山乌孙山地区广泛分布的大哈拉军山组火山-沉积岩系是由玄武岩、玄武安山岩、安山岩、粗面安山岩、英安岩、流纹岩、基性-中酸性火山碎屑岩及正常沉积碎屑岩组成。由于前人对该地区大哈拉军山组形成时代的研究主要从火山岩入手,乌孙山西段火山岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为353 Ma和344 Ma<sup>[32]</sup>;乌孙山东段安山岩与安山质晶屑凝灰熔岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为354 Ma、356 Ma<sup>[10]</sup>。而对其中的沉积岩研究较少,因此到目前为止,关于该组形成时代,不但缺乏古生物化石资料,而且未见到大哈拉军山组碎屑岩锆石U-Pb年代学研究。

本次研究中,在乌孙山西段沿阿尔玛依沟测制了大哈拉军山组地层剖面,查明其岩石组合的基础上,采集剖面中砂岩样品(编号11AE04-2TW)进行LA-ICP-MS锆石U-Pb测试,所获得61组有效年龄数据中,有47组年龄集中在321~372 Ma,属于晚泥盆世-早石炭世,其<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U加权平均年龄为(346 $\pm$ 4) Ma,最小年龄为(321 $\pm$ 2) Ma,表明这套火山-沉积地层沉积时代不晚于早石炭世晚期(谢尔普霍夫期)。此外,

表1 样品11AE04-2TW碎屑锆石U-Pb年龄分析数据  
Table 1 Detrital zircon U-Pb age of the sample (No. 11AE04-2TW)

测点号	$^{232}\text{Th}/10^{-6}$	$^{238}\text{U}/10^{-6}$	$^{238}\text{Th}/^{232}\text{U}$	同位素比值						年龄/Ma					
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$
01	260	362	0.72	0.05551	0.00154	0.4446	0.0119	0.0581	0.00042	364	3	374	8	364	3
04	94	146	0.64	0.05396	0.00167	0.4123	0.0121	0.0554	0.0005	348	3	351	9	348	3
06	211	375	0.56	0.06136	0.00140	0.4620	0.0096	0.0546	0.00042	266	6	386	7	343	3
07	155	189	0.82	0.06128	0.00185	0.4837	0.0137	0.0573	0.00053	279	2	401	9	359	3
08	235	287	0.82	0.05968	0.00298	0.4197	0.0207	0.0510	0.00042	321	3	356	15	321	3
09	145	209	0.7	0.05527	0.00194	0.3940	0.0134	0.0517	0.00043	321	2	337	10	325	3
10	361	499	0.72	0.05998	0.00096	0.4380	0.0059	0.0530	0.00034	325	3	369	4	333	2
11	237	371	0.64	0.05862	0.00144	0.4422	0.0104	0.0547	0.00039	329	2	372	7	343	2
12	218	333	0.65	0.05854	0.00109	0.4231	0.0069	0.0524	0.00036	331	2	358	5	329	2
13	256	216	1.19	0.05952	0.00132	0.4798	0.0097	0.0585	0.00044	331	13	398	7	366	3
14	336	435	0.78	0.05583	0.0011	0.4306	0.0076	0.0559	0.00039	333	2	364	5	351	2
15	129	168	0.77	0.0534	0.00203	0.3949	0.0147	0.0536	0.00045	333	3	338	11	337	3
16	132	169	0.78	0.05813	0.00165	0.4672	0.0124	0.0583	0.00051	334	2	389	9	365	3
17	181	196	0.93	0.0526	0.00125	0.4074	0.0089	0.0562	0.00043	336	2	347	6	352	3
18	231	291	0.79	0.05576	0.00112	0.4181	0.0075	0.0544	0.00038	336	2	355	5	341	2
21	686	711	0.96	0.05714	0.00159	0.4331	0.0117	0.0550	0.00039	337	3	365	8	345	2
22	281	621	0.45	0.0546	0.00364	0.4355	0.0284	0.0579	0.0008	338	3	367	20	363	5
24	56	92	0.61	0.05405	0.00235	0.4086	0.0174	0.0548	0.00052	340	2	348	13	344	3
25	78	125	0.63	0.05504	0.00158	0.4391	0.0118	0.0579	0.00049	341	2	370	8	363	3
26	60	84	0.71	0.05611	0.00455	0.4546	0.0359	0.0588	0.0012	341	2	381	25	368	7
27	234	306	0.76	0.05752	0.00139	0.4209	0.0093	0.0531	0.00041	341	3	357	7	333	3
28	160	242	0.66	0.05612	0.00119	0.4202	0.0080	0.0543	0.00039	341	2	356	6	341	2
31	263	414	0.63	0.05608	0.00105	0.4232	0.0070	0.0547	0.00037	343	2	358	5	343	2
32	292	465	0.63	0.05926	0.0013	0.4168	0.0087	0.0510	0.00034	343	2	354	6	321	2
33	91	171	0.53	0.05987	0.00146	0.4709	0.0106	0.0570	0.00045	344	3	392	7	358	3
34	150	243	0.62	0.05494	0.00118	0.4339	0.0084	0.0573	0.00041	344	3	366	6	359	2
35	106	155	0.68	0.0546	0.00192	0.4055	0.0138	0.0539	0.00045	345	2	346	10	338	3
38	163	267	0.61	0.06119	0.00126	0.4483	0.0083	0.0531	0.00038	347	3	376	6	334	2
39	339	797	0.43	0.05867	0.00189	0.4638	0.0145	0.0573	0.00046	350	2	387	10	359	3
40	177	276	0.64	0.05856	0.00156	0.4316	0.0111	0.0535	0.00039	351	2	364	8	336	2
42	160	297	0.54	0.05579	0.00109	0.4290	0.0075	0.0558	0.00038	351	3	362	5	350	2
43	226	356	0.64	0.06234	0.00266	0.4748	0.0197	0.0552	0.00055	352	3	394	14	347	3
45	113	178	0.64	0.0553	0.00136	0.4524	0.0102	0.0593	0.00046	352	3	379	7	372	3
47	184	243	0.76	0.06262	0.0041	0.4870	0.0312	0.0564	0.00075	352	3	403	21	354	5
48	160	187	0.85	0.0622	0.00139	0.4816	0.0098	0.0561	0.00042	354	5	399	7	352	3
49	253	370	0.68	0.05756	0.00146	0.4293	0.0105	0.0541	0.00038	355	3	363	7	340	2
50	257	418	0.61	0.05645	0.00132	0.4502	0.0101	0.0578	0.0004	358	3	377	7	362	2
51	110	146	0.75	0.05743	0.00183	0.4526	0.0137	0.0572	0.00053	358	3	379	10	358	3
53	151	274	0.55	0.05665	0.00154	0.4367	0.0114	0.0559	0.00041	359	3	368	8	351	3
55	108	186	0.58	0.05663	0.00187	0.4274	0.0137	0.0547	0.00044	359	2	361	10	344	3
57	177	217	0.81	0.05943	0.0013	0.4639	0.0091	0.0566	0.00041	362	2	387	6	355	3
58	452	546	0.83	0.05554	0.00163	0.4035	0.0115	0.0527	0.00038	363	5	344	8	331	2
59	131	173	0.76	0.05539	0.00371	0.4774	0.0314	0.0625	0.00082	363	3	396	22	391	5
60	63	144	0.44	0.05482	0.00215	0.4107	0.0157	0.0543	0.00047	365	3	349	11	341	3
61	78	137	0.57	0.05553	0.00193	0.4860	0.0164	0.0635	0.00052	366	3	402	11	397	3
63	266	261	1.02	0.05858	0.00193	0.4611	0.0147	0.0571	0.00044	368	7	385	10	358	3
64	230	348	0.66	0.05426	0.00094	0.4411	0.0066	0.0590	0.00038	369	2	371	5	369	2
05	204	334	0.61	0.05788	0.00165	0.4331	0.0120	0.0543	0.00039	391	5	365	8	341	2
30	106	154	0.69	0.06195	0.00981	0.4494	0.0693	0.0526	0.00213	397	3	377	49	331	13
02	37	63	0.6	0.05643	0.00213	0.5289	0.0191	0.0680	0.0007	407	3	431	13	424	4
03	90	182	0.49	0.05651	0.00137	0.5383	0.0121	0.0691	0.00055	410	3	437	8	431	3
19	64	105	0.61	0.05942	0.00161	0.5567	0.0140	0.0680	0.00057	411	3	449	9	424	3
20	153	438	0.35	0.05896	0.00127	0.5446	0.0106	0.0670	0.0005	418	3	441	7	418	3
23	56	86	0.65	0.057	0.00387	0.5344	0.0352	0.0680	0.00119	418	3	435	23	424	7
36	170	286	0.6	0.05874	0.00111	0.5279	0.0088	0.0652	0.00045	423	6	430	6	407	3
44	41	85	0.49	0.05612	0.00243	0.5397	0.0225	0.0697	0.00081	424	4	438	15	435	5
29	98	176	0.55	0.05647	0.00132	0.5215	0.0111	0.0670	0.00051	424	3	426	7	418	3
41	117	202	0.58	0.05599	0.00152	0.5083	0.0133	0.0659	0.00049	424	7	417	9	411	3
54	84	148	0.57	0.05589	0.00189	0.5064	0.0166	0.0657	0.00054	425	6	416	11	410	3
46	11	21	0.55	0.05694	0.00359	0.5330	0.0327	0.0679	0.00102	431	3	434	22	423	6
62	38	53	0.71	0.05958	0.00325	0.5605	0.0295	0.0682	0.00098	435	5	452	19	425	6

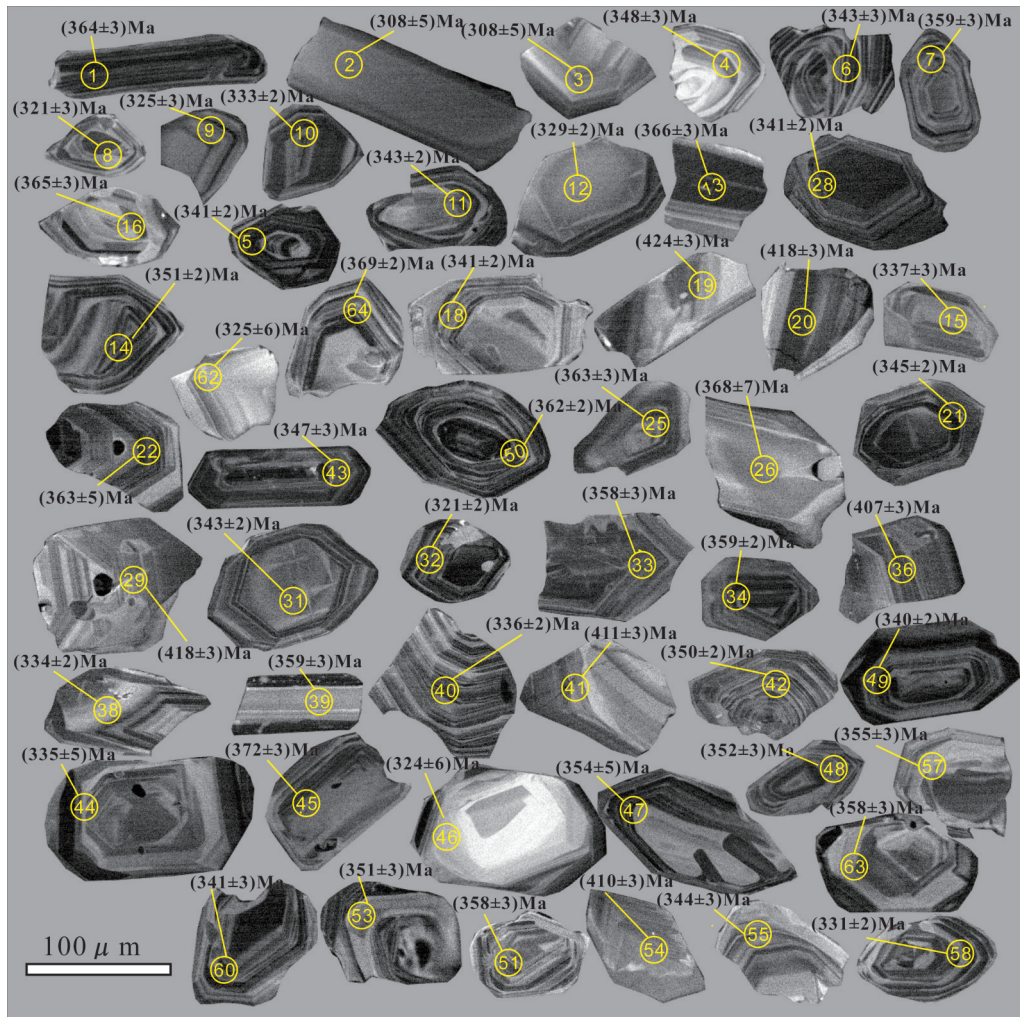


图3 样品碎屑锆石阴极发光图像(图中仅标出有效年龄数据)

Fig.3 Detrital zircon CL image of the sample(only valid age data shown in the figure)

从地层接触关系也能进一步限定大哈拉军山组的形成时代,在伊宁通往昭苏的公路上,可以清楚地观察到早石炭世阿克沙克组灰岩整合于大哈拉军山组之上,阿克沙克组中产出大量的珊瑚、腕足类化石,主要有珊瑚: *Gangamophyllum* sp., *Arachnolasma* sp., *Siphonophyllia* sp., *Palaeosmilia regia* 等;腕足类主要有: *Gigantoproductus giganteus*, *Syringothyris nilkenses* 等; 筴: *Eostaffella* cf. *pseudostruvei angusta*, *E. cf. depressa*。时代为早石炭世晚期,大致相当于维宪阶<sup>[33]</sup>。因此,乌孙山地区大哈拉军山组形成于晚泥盆世—早石炭世,火山—沉积作用一直持续到早石炭世谢尔普霍夫期。

## 5.2 砂岩的物质来源

砂岩野外露头的槽模和交错层理的指向标志

表明其物质来源于南部。从砂岩野外产出状态来看,所采样砂岩呈夹层的形式出现于火山岩层中,砂岩上、下岩层分别是中酸性火山岩或相应的火山碎屑岩;镜下特征表明,所采砂岩以中酸性火山岩岩屑及长石等不稳定组分为主,少量石英等稳定组分,并且砂岩分选及磨圆均较差,新鲜的不稳定长石矿物和火山岩屑大量存在,其物源有两种可能:一是火山岩岩屑来源于先形成的主要以火山岩—侵入岩出露的地区,经风化、搬运后沉积于该地区;二是晚泥盆世—早石炭世期间在乌孙山及其以南地区出现一次强烈的火山活动,这次火山活动形成的火山岩经快速风化、搬运后沉积于乌孙山地区。以上两种砂岩的物源都说明大哈拉军山组中沉积岩是近源沉积的结果。

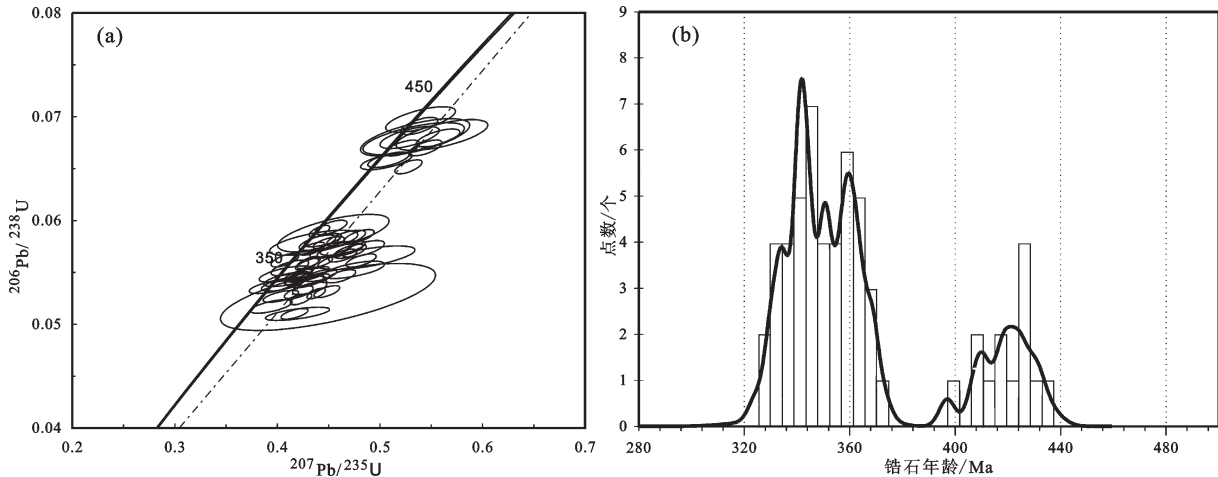


图4 西天山乌孙山地区大哈拉军山组样品11AE04-2TW碎屑锆石谐和曲线(a)和U-Pb年龄谱图(b)

Fig.4 Concordia plots (a), histograms and relative probability plots (b) of detrital zircon U-Pb ages of Dahalajunshan Formation sandstone sample (No. 11AE04-2TW) from the Wusun Mountain, western Tianshan

砂岩样品中锆石的U、Th含量及Th/U比值及CL组构表明,61粒锆石绝大多数来源于岩浆岩区,这些锆石数据可以划分为2个年龄段,其中47个数据为321~372 Ma,属于晚泥盆世—早石炭世;另外14个数据为395~435 Ma,属于志留纪—早泥盆世。从区域资料可以看出,西天山乌孙山及其南部的那拉提山出露大面积的早古生代—石炭纪侵入岩。其中乌孙山地区主要出露晚泥盆世—早石炭世侵入岩:昭苏煤矿花岗闪长岩锆石U-Pb年龄为(348.4±0.8) Ma<sup>[34]</sup>,乌孙山琼博拉森林公园黑云二长花岗岩锆石U-Pb年龄为(341.1±1.8) Ma,巩留县莫乎尔村南花岗闪长岩和钾长花岗岩锆石U-Pb年龄分别为(366±4.1) Ma, (343.1±1.7) Ma(未发表);而其南部那拉提山古生代岩浆岩活动在早、晚古生代均比较发育:巴音布鲁克以东约20 km处戈伦塔古什出露的片麻状花岗岩锆石U-Pb年龄为(421±11) Ma<sup>[35]</sup>;新源林场一带二长花岗岩锆石U-Pb年龄为(436±8) Ma;确鹿特达坂一带闪长岩和花岗岩锆石U-Pb年龄分别为(370±7) Ma和(466±8) Ma<sup>[36]</sup>;那拉提山森木塔斯石英闪长岩锆石U-Pb年龄为(426±9.4) Ma,科克苏河东岸片麻状黑云母花岗岩锆石U-Pb年龄为(407±12) Ma,科克苏河哈拉温克尔片麻状黑云二长花岗岩锆石U-Pb年龄为(432±11) Ma,那拉提二长花岗岩锆石U-Pb年龄为(466±11) Ma;那拉提北恰布河花岗闪长岩和二长花岗岩的锆石U-Pb年龄分别为(449±7) Ma, (320.7±7) Ma<sup>[37]</sup>。从收集的侵入岩锆石年代学资料分析,西天山

乌孙山及其南部那拉提山地区晚古生代岩浆活动的侵入时代(310~370 Ma),与本研究获得的大部分碎屑锆石(47个)年龄(321~372 Ma)是一致的;那拉提山早古生代岩浆活动的侵入时代(407~466 Ma),与本研究获得碎屑锆石(14个)年龄(390~440 Ma)是一致的。因此,笔者推测这一时期乌孙山及其南部那拉提山的岩浆活动是乌孙山大哈拉军山组砂岩的主要来源。

### 5.3 形成构造环境

本次研究所获得61组年龄明显可分为2个年龄段:晚泥盆世—早石炭世(321~372 Ma)的碎屑锆石有47粒,占全部锆石的77%,志留纪—早泥盆世(395~435 Ma)的碎屑锆石有14粒,占全部锆石的23%,锆石Th、U含量及其CL组构特征显示,这些锆石大多是岩浆锆石。从时代上看,所研究样品碎屑锆石的年龄与西天山乌孙山及其南部那拉提山一带火山岩浆活动的时限相吻合。

西天山伊犁地块南缘那拉提地区发育强烈的古生代花岗质岩浆活动,依据野外特征和形成时代,将该地区花岗岩分为明显的2类,一类为早古生代—晚泥盆世花岗岩,岩石经历变质变形作用,发育片麻理构造。另一类为石炭纪花岗岩,普遍未发生变形<sup>[37]</sup>。本次所研究砂岩碎屑锆石年龄分为晚泥盆世—早石炭世和志留纪—早泥盆世两段,中间缺失中—晚泥盆世(372~397 Ma)年龄段的数据,预示着西天山造山带在中—晚泥盆世期间经历了一次重要的洋陆转换事件,该事件可能代表了天山古生



代洋陆转换的结束。托克逊马鞍山地区下石炭统马鞍山组磨拉石建造组合角度不整合于下一中奥陶统可可乃克群变凝灰岩、变基性熔岩之上,磨拉石建造就是随着洋盆闭合而接踵发生的板块间碰撞挤压造山作用过的地质记录<sup>[38]</sup>。西天山乌孙山东部大哈拉军山组玄武质岩浆形成于板内裂谷环境,其形成可能与古天山洋俯冲板片在早石炭世垮塌有关<sup>[16]</sup>。南天山东段库兹山基性超基性岩带指示该岩浆事件由石炭纪延续到二叠纪(331~286)Ma,属于洋盆俯冲关闭碰撞后的岩浆事件<sup>[39]</sup>。乌孙山西部昭苏县北大哈拉军山组碱性橄榄玄武岩和少量的拉斑玄武岩可能形成于具有元古宙陆壳基底的活动大陆边缘弧后拉张环境<sup>[22]</sup>。

从西天山伊犁地块南部目前发表的大哈拉军山组火山岩年龄统计规律来看,伊犁地块南缘的火山岩形成年龄在326~368 Ma,表明火山喷发从晚泥盆世开始,主体在早石炭世杜内期—维宪期。伊犁地块内部大哈拉军山组火山岩形成年龄在337~342 Ma,属早石炭世晚期。显示伊犁地块大哈拉军山组火山岩作用由边缘向内部逐渐变年轻的特点,为同一构造背景下的产物,具有裂谷火山岩由边缘相到中心相的空间展布规律。因此,早石炭世以后,西天山进入后碰撞裂谷伸展演化阶段,西天山乌孙山早石炭世大哈拉军山组火山—沉积岩系形成于后碰撞伸展构造环境,

## 6 结 论

(1) 乌孙山地区大哈拉军山组砂岩形成时代的下限为(321±2)Ma,表明这套火山—沉积地层沉积时代不晚于早石炭世晚期(谢尔普霍夫期),结合区域资料,笔者认为乌孙山地区大哈拉军山组形成于晚泥盆世—早石炭世。

(2) 砂岩组成特征、古水流分析及碎屑锆石U-Pb年代学的综合分析表明,乌孙山地区大哈拉军山组砂岩的主要物质来源于乌孙山及南部那拉提山相关的火山岩浆岩。

(3) 砂岩碎屑锆石年龄分布规律表明,西天山造山带在中—晚泥盆世期间经历了一次重要的洋陆转换事件。早石炭世以后,西天山进入后碰撞裂谷伸展演化阶段,大哈拉军山组火山—沉积岩系形成后碰撞伸展构造环境。

## 参考文献(References):

- [1] Coleman R G. Continental growth of northwest China[J]. *Tectonics*, 1989, 8(3): 621–635.
- [2] Gao Jun, Long Lingli, Klemd Reiner, et al. Tectonic evolution of the South Tianshan orogen and adjacent regions, NW China: geochemical and age constraints of granitoid rocks[J]. *Int. J. Earth Sci. (Geol Rundsch)*, 2009, 98: 1221–1231.
- [3] 舒良树, 朱文斌, 王博, 等. 新疆古块体的形成与演化[J]. *中国地质*, 2013, 40(1): 43–60.  
Shu Liangshu, Zhu Wenbin, Wang Bo, et al. The formation and evolution of ancient blocks in Xinjiang[J]. *Geology in China*, 2013, 40(1): 43–60(in Chinese with English abstract).
- [4] 舒良树, 卢华复, 印栋浩, 等. 新疆北部古生代大陆增生构造[J]. *新疆地质*, 2001, 19(1): 59–63.  
Shu Liangshu, Lu Huafu, Yin Donghao, et al. Late Paleozoic continental accretionary tectonics in northern Xinjiang[J]. *Xinjiang Geology*, 2001, 19(1): 59–63(in Chinese with English abstract).
- [5] 高俊, 钱青, 龙灵利, 等. 西天山的增生造山过程[J]. *地质通报*, 2009, 28(12): 1804–1816.  
Gao Jun, Qian Qing, Long Lingli, et al. Accretionary orogenic process of Western Tianshan, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(12): 1804–1816(in Chinese with English abstract).
- [6] 沙德铭, 董连慧, 毋瑞身, 等. 西天山浅成低温金矿容矿火山岩地球化学及成矿环境初探[J]. *地质与资源*, 2003, 12(4): 206–214.  
Sha Deming, Dong Lianhui, Wu Ruishen, et al. A preliminary analysis on the epithermal gold deposits in west Tianshan mountains, Xinjiang: geochemical characteristics of host rocks and ore-forming environments[J]. *Geology and Resources*, 2003, 12(4): 206–214(in Chinese with English abstract).
- [7] 姜晓玮, 王永江. 西天山阿希型金成矿系列及其成因[J]. *中国地质*, 2002, 29(2): 203–207.  
Jiang Xiaowei, Wang Yongjiang. Characteristics and genesis of the minerogenic series of the Axi type gold deposits in the West Tianshan[J]. *Geology in China*, 2002, 29(2): 203–207(in Chinese with English abstract).
- [8] 李智明, 薛春纪, 王剑辉, 等. 中国新疆及周边国家和地区典型矿床特征对比研究[J]. *中国地质*, 2006, 33(1): 160–168.  
Li Zhiming, Xue Chunji, Wang Jianhui, et al. Comparative study of the characteristics of typical mineral deposits in Xinjiang, China, and its neighboring countries and regions[J]. *Geology in China*, 2006, 33(1): 160–168(in Chinese with English abstract).
- [9] 白建科, 李智佩, 徐学义, 等. 新疆西天山吐拉苏—也里莫墩火山岩带年代学: 对加曼特金矿成矿时代的约束[J]. *地球学报*, 2011, 32(3): 322–330.  
Bai Jianke, Li Zhipei, Xu Xueyi, et al. The Chronology of Tulasu–Yelimodun volcanic belt: constraints on the metallogenic epoch of the Jiamante Gold deposit, Western Tianshan Mountains of Xinjiang[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2011, 32(3): 322–330(in Chinese with English abstract).

- Chinese with English abstract).
- [10] 茹艳娇, 徐学义, 李智佩, 等. 西天山乌孙山地区大哈拉军山组火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其构造环境[J]. 地质通报, 2012, 31(1):50-62.  
Ru Yanjiao, Xu Xueyi, Li Zhipei, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and tectonic background of the Dahalajunshan Formation volcanic rocks in Wusunshan area, West Tianshan Mountains[J]. Geological Bulletin of China, 2012, 31(1):50-62(in Chinese with English abstract).
- [11] 翟伟, 孙晓明, 高俊, 等. 新疆阿希金矿床赋矿围岩—大哈拉军山组火山岩 SHRIMP 锆石年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(5): 1933-1404.  
Zhai Wei, Sun Xiaoming, Gao Jun, et al. SHRIMP dating of zircons from volcanic host rocks of Dahalajunshan Formation in Axi gold deposit, Xinjiang, China, and its geological implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(5): 1399-1404 (in Chinese with English abstract).
- [12] 朱永峰, 周晶, 宋彪, 等. 新疆“大哈拉军山组”火山岩形成时代问题及其解体方案[J]. 中国地质, 2006, 33(3): 487-497.  
Zhu Yongfeng, Zhou Jing, Song Biao, et al. Age of the “Dahalajunshan” Formation in Xinjiang and its disintegration[J]. Geology in China, 2006, 33(3): 487-497 (in Chinese with English abstract).
- [13] 朱永峰, 安芳, 薛云兴, 等. 西南天山特克斯科桑溶洞火山岩的锆石 U-Pb 年代学研究[J]. 岩石学报, 2010, 26(8): 2255-2263.  
Zhu Yongfeng, An Fang, Xue Yunxing, et al. Zircon U-Pb age for Kesang Rongdong volcanic rocks, Southwest Tianshan Mts., Tekes, Xinjiang[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(8): 2255-2263(in Chinese with English abstract).
- [14] 车自成, 刘良, 刘洪福, 等. 论伊犁裂谷[J]. 岩石学报, 1996, 12(3): 478-490.  
Che Zicheng, Liu Liang, Liu Hongfu, et al. Review on the ancient Yili rift, Xinjiang, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 1996, 12(3): 478-490(in Chinese with English abstract).
- [15] 顾连兴, 胡受奚, 于春水, 等. 论博格达俯冲撕裂型裂谷的形成与演化[J]. 岩石学报, 2001, 17(4): 585-597.  
Gu Lianxing, Hu Shouxi, Yu Chunshui, et al. Initiation and evolution of the Bogda subduction-torn-type rift[J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 17(4): 585-597(in Chinese with English abstract).
- [16] 程春华, 张芳荣, 余泉, 等. 西天山乌孙山地区大哈拉军山组火山岩形成的构造背景[J]. 华东理工大学学报(自然科学版), 2010, 33(1): 22-28.  
Cheng Chunhua, Zhang Fangrong, Yu Quan, et al. The tectonic setting of volcanic rocks for Dahalajunshan Formation in Wusun Mountain region, West Tianshan Mountain[J]. Journal of East China Institute of Technology, 2010, 33(1): 22-28(in Chinese with English abstract).
- [17] 孙吉明, 马中平, 徐学义, 等. 西天山伊宁县北琼阿希河谷火山岩地球化学特征及构造背景探讨[J]. 岩石矿物学杂志, 2012, 31(3): 335-347.  
Sun Jiming, Ma Zhongping, Xu Xueyi, et al. An investigation of geochemistry and tectonic setting of Qiongaxi valley volcanic rocks in northern Yining County, western Tianshan[J]. Acta Petrologica Et Mineralogica, 2012, 31(3): 335-347(in Chinese with English abstract).
- [18] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 等. 天山石炭纪大火成岩省与地幔柱[J]. 地质通报, 2004, 23(9-10): 903-910.  
Xia Liqi, Xia Zuchun, Xu Xueyi, et al. Carboniferous Tianshan igneous megaprovince and mantle plume[J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(9-10): 903-910 (in Chinese with English abstract).
- [19] 龙灵利, 高俊, 钱青, 等. 西天山伊犁地区石炭纪火山岩地球化学特征及构造环境[J]. 岩石学报, 2008, 24(4): 699-710.  
Long Lingli, Gao Jun, Qian Qing, et al. Geochemical characteristics and tectonic setting of Carboniferous volcanic rocks from Yili region, western Tianshan[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(4): 699-710 (in Chinese with English abstract).
- [20] Wang Bo, Shu Liangshu, Cluzel D, et al. Geochemical constraints on Carboniferous volcanic rocks of the Yili Block(Xinjiang, NW China): implication for the tectonic evolution of Western Tianshan[J]. Journal of Earth Sciences, 2007, 29: 148-159.
- [21] 李永军, 李注苍, 佟丽莉, 等. 论天山古洋盆关闭的地质时限——来自伊宁地块石炭系的新证据[J]. 岩石学报, 2010, 25(6): 2905-2912.  
Li Yongjun, Li Zhucang, Tong Lili, et al. Revisit the constraints on the closure of the Tianshan ancient oceanic basin: New evidence from Yining block of the Carboniferous[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 25(6): 2905-2912 (in Chinese with English abstract).
- [22] 钱青, 高俊, 熊贤明, 等. 西天山昭苏北部石炭纪火山岩的岩石地球化学特征、成因及形成环境[J]. 岩石学报, 2006, 22(5): 1307-1322.  
Qian Qing, Gao Jun, Xiong Xianming, et al. Petrogenesis and tectonic setting of Carboniferous volcanic rocks from north Zhaosu, western Tianshan Mountains: constraints from petrology and geochemistry[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(5): 1307-1322 (in Chinese with English abstract).
- [23] 陈丹玲, 刘良, 车自成, 等. 中天山骆驼沟火山岩的地球化学特征及其构造环境[J]. 岩石学报, 2001, 17(3): 378-384.  
Chen Danling, Liu Liang, Che Zicheng, et al. Geochemical characteristics and tectonic implication of Carboniferous volcanites in the Luotuogou area of Middle Tianshan[J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 17(3): 378-384 (in Chinese with English abstract).
- [24] Dickinson W R, Suczek C. Plate tectonics and sandstone compositions[J]. AAPG Bulletin, 1979, 63: 2164-2182.
- [25] 孙桂华, 李锦轶, 朱志新, 等. 新疆东部哈尔里克山南麓石炭纪

- 砂岩碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J]. 中国地质, 2007, 34(5): 778-789.
- Sun Guihua, Li Jinyi, Zhu Zhixin, et al. Detrital zircon SHRIMP U-Pb dating of Carboniferous sandstone from the southern foot of the Harlik Mountains, eastern Xinjiang, and its geological implications[J]. *Geology in China*, 2007, 34(5): 778-789 (in Chinese with English abstract).
- [26] 李仰春, 汪岩, 吴淦国, 等. 大兴安岭北段扎兰屯地区铜山组源区特征: 地球化学及碎屑锆石 U-Pb 年代学制约[J]. 中国地质, 2013, 40(2): 391-402.
- Li Yangchun, Wang Yan, Wu Ganguo, et al. The provenance characteristics of Tongshan Formation in north Zalantun area of the Da Hinggan Mountains: the constraint of geochemistry and LA-ICP-MS U-Pb dating of detrital zircons[J]. *Geology in China*, 2013, 40(2): 391-402 (in Chinese with English abstract).
- [27] 苏慧敏, 张承帅. 赣东北贵溪地区片岩中碎屑锆石的 U-Pb 年龄、Hf 同位素及其地质意义[J]. 中国地质, 2012, 39(6): 1577-1592.
- Su Huimin, Zhang Chengshuai. U-Pb ages and Hf isotopes of detrital zircons from mica quartz schist in Guixi area of northeastern Jiangxi Province and their geological significance[J]. *Geology in China*, 2012, 39(6): 1577-1592 (in Chinese with English abstract).
- [28] Gao Shan, Liu Xiaoming, Yuan Honglin, et al. Analysis of forty two major and trace elements of USGS and NIST SRM Glasses by LA-ICP-MS[J]. *Geostand NewsL.*, 2002, 22: 181-195.
- [29] Andersen T. Correlation of common lead in U-Pb analysis that do not report  $^{204}\text{Pb}$ [J]. *Chemical Geology*, 2002, 192: 59-79.
- [30] Dodson M H, W Compston, I S Williams, et al. A search for ancient detrital zircons in Zimbabwean sediments [J]. *J. Geol. Soc.*, (London), 1988, 145(6): 977-983.
- [31] Andersen T. Detrital zircons as tracers of sedimentary provenance: limiting conditions from statistics and numerical simulation[J]. *Chemical Geology*, 2005, 216: 249-270.
- [32] 张芳荣, 程春华, 余泉, 等. 西天山乌孙山一带大哈拉军山组火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年[J]. 新疆地质, 2009, 27(3): 231-235.
- Zhang Fangrong, Cheng Chunhua, Yu Quan, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of volcanic rocks from Dahalajunshan Formation, Wusun Mountains in West Tianshan[J]. *Xinjiang Geology*, 2009, 27(3): 231-235 (in Chinese with English abstract).
- [33] 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1: 20 万昭苏幅区域地质调查报告[R]. 新疆: 新疆维吾尔自治区地质矿产局, 1978.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region. The Report of Regional Geological Survey of Zhaosu Sheet at the Scale of 1:200000[R]. Xinjiang: Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region, 1978 (in Chinese).
- [34] 徐学义, 马中平, 夏祖春, 等. 天山中西段古生代花岗岩 TIMS 法锆石 U-Pb 同位素定年及岩石地球化学特征研究[J]. 西北地质, 2006, 39(1): 50-75.
- Xu Xueyi, Ma Zhongping, Xia Zuchun, et al. TIMS U-Pb isotopic dating and geochemical characteristics of Paleozoic Granitic rocks from the Middle-Western section of Tianshan[J]. *Northwestern Geology*, 2006, 39(1): 50-75 (in Chinese with English abstract).
- [35] 韩宝福, 何国琦, 吴泰然, 等. 天山早古生代花岗岩锆石 U-Pb 定年、岩石地球化学特征及其大地构造意义[J]. 新疆地质, 2004, 22(1): 4-11.
- Han Baofu, He Guoqi, Wu Tairan, et al. Zircon U-Pb dating and geochemical features of Early Paleozoic granites from Tianshan, Xinjing: implication for tectonic evolution[J]. *Xinjiang Geology*, 2004, 22(1): 4-11 (in Chinese with English abstract).
- [36] 朱志新, 王克卓, 郑玉洁, 等. 新疆伊犁地块南缘志留纪和泥盆纪花岗岩侵入体锆石 SHRIMP 定年及其形成时构造背景的初步探讨[J]. 岩石学报, 2006, 22(5): 1193-1200.
- Zhu Zhixin, Wang Kezhuo, Zheng Yujie, et al. Zircon SHRIMP dating of Silurian and Devonian granitic intrusions in the southern Yili block, Xinjiang and preliminary discussion on their tectonic setting[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(5): 1193-1200 (in Chinese with English abstract).
- [37] 徐学义, 王洪亮, 马国林, 等. 西天山那拉提地区古生代花岗岩的年代学和锆石 Hf 同位素研究[J]. 岩石矿物学杂志, 2010, 29(6): 691-706.
- Xu Xueyi, Wang Hongliang, Ma Guolin, et al. Geochronology and Hf isotope characteristics of the Paleozoic granite in Nalati area, West Tianshan Mountains[J]. *Acta Petrologica Et Mineralogica*, 2010, 29(6): 691-706 (in Chinese with English abstract).
- [38] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 等. 天山古生代洋陆转化特点的几点思考[J]. 西北地质, 2002, 35(4): 9-20.
- Xia Linqi, Xia Zuchun, Xu Xueyi, et al. Some thoughts on the characteristics of Paleozoic ocean-continent transition from Tianshan Mountains[J]. *Northwestern Geology*, 2002, 35(4): 9-20 (in Chinese with English abstract).
- [39] 李金阳, 杨经绥, 徐向珍, 等. 新疆南天山东段库兹山基性超基性岩特征和成因探讨[J]. 中国地质, 2011, 38(4): 890-908.
- Li Jinyang, Yang Jingsui, Xu Xiangzhen, et al. Characteristics and genesis of ultrabasic and basic rocks in the Kuzi Mountain on the eastern margin of Southern Tianshan, Xinjiang[J]. *Geology in China*, 2011, 38(4): 890-908 (in Chinese with English abstract).