

文章编号: 1009-3850(2015)01-0086-10

西天山下石炭统大哈拉军山组底部角度不整合特征 及其对天山古生代洋陆转换时限的约束

白建科^{1,2}, 李智佩^{1,2}, 马中平^{1,2}, 孙吉明^{1,2}, 李 婷^{1,2}

(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)

摘要: 西天山广泛出露下石炭统大哈拉军山组火山-沉积岩系, 其与下伏地层(前寒武纪结晶基底或前石炭纪褶皱基底)之间呈广泛的区域性角度不整合接触。通过对这些角度不整合面及大哈拉军山组底部冲洪积相碎屑岩或陆相火山岩特征的研究, 认为该不整合面代表了一次强烈的褶皱、隆升造山事件; 不整合面之上初始沉积物地层序列是天山石炭纪后碰撞裂谷盆地新一轮沉积旋回的起点。取自大哈拉军山组底部粗碎屑岩中夹层安山岩样品的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素年龄为 $359 \pm 2.3 \text{ Ma}$, 这一年龄值不但限定了这一区域性角度不整合的形成时代, 而且代表天山后碰撞裂谷盆地的开启时间。因此, 天山古生代洋陆转换时限在晚泥盆世—早石炭世之交, 随后, 天山造山带进入后碰撞裂谷演化阶段。

关键词: 西天山; 下石炭统; 大哈拉军山组; 角度不整合; 洋陆转换

中图分类号: P542.4

文献标识码: A

我国新疆境内的天山造山带是中亚巨型复合造山带的重要组成部分, 构造上位于哈萨克斯坦-准噶尔板块与塔里木板块的汇聚部位, 经历了古生代多地体之间的多期碰撞、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。因此, 查明天山造山带形成、演化历史中古洋-陆格局的演变, 是开展天山造山带研究的关键地质问题之一^[1-4]。长期以来, 不同学者对天山造山带古生代造山作用的性质、洋陆转换时

限和过程以及相应的地球动力学背景进行了研究。但由于天山造山带组成、结构的复杂性及不同学者所运用研究方法、研究角度的不同, 对天山古生代洋陆转换时限仍有较大的争议, 目前主要存在 3 种不同的认识: (1) 泥盆纪晚期或早石炭世初期^[5-7], 该观点认为早石炭世时, 天山古生代洋盆已经闭合, 下石炭统底部砾岩是洋盆闭合后由于板块拼贴-碰撞挤压造山作用所产生的磨拉石。石炭纪火山岩系具有大陆裂谷板内双峰式火山岩系的岩石地

收稿日期: 2014-07-25; 改回日期: 2014-08-26

作者简介:



白建科, 男, 1983 年生, 工程师, 陕西延安人。2010 年毕业于中国地质科学院, 主要从事沉积学、盆地分析与造山带演化方面的研究。曾参与完成中国地质调查局项目《天山-兴蒙成矿带火山岩浆作用对成矿制约的综合研究》、《阿尔泰-准噶尔北缘成矿带基础地质综合研究》、《天山成矿带基础地质综合研究》、《西北矿产资源潜力评价-成矿地质背景研究》等项目。目前, 作为项目副负责人参与主持《阿尔泰关键地区区域地质调查》项目; 作为项目负责主持国家自然科学基金《西天山伊犁地块早石炭世典型沉积序列及对天山古生代洋陆转换时限的制约》项目。在国内核心期刊上发表学术论文 10 余篇(其中第一作者 6 篇)。E-mail: baijianke2003@163.com

资助项目: 国家自然科学基金青年基金项目(编号: 41202077)和中国地质调查局项目(编号: 12120113041000、12120113042200、1212011220649)联合资助成果

球化学特征,产于碰撞后裂谷拉伸环境,其形成应当与当时的古地幔柱活动有关;(2)早石炭世晚期^[8-10],该观点认为天山早石炭世火山岩为钙碱性岛弧岩石组合,发育复杂的不协调褶皱和区域性韧性断层,形成于板块汇聚背景下,为活动陆缘环境和岛弧岩浆杂岩的重要组成部分;而晚石炭世碱性系列火山岩,具有双峰式分布特征,构造变形极弱,形成于大陆裂谷环境,由此得出天山古生代洋盆闭合时限为早—晚石炭世之间;(3)晚石炭世—早二叠世^[11-13]。该观点认为天山洋盆一直持续到晚二叠世才闭合,依据主要是西南天山硅质岩中发现的二叠纪放射虫及哈尔克山北坡高压变质岩的年代学研究。

本文在前人研究基础上,结合笔者等近年来在天山地区对石炭纪及相关地层的地质调查研究实践,对西天山伊犁地区下石炭统大哈拉军山组与下伏不同时代地层间角度不整合面特征展开讨论,揭示这一区域性角度不整合面对天山古生代洋陆转换时限、古生代构造演化过程的重要意义。

1 岩石组合及区域变化

大哈拉军山组系由新疆地矿局区测大队一分队刘鸿炳等(1978)在昭苏幅(K-44-X)进行1:20万区域地质调查时,在新疆特克斯县林场科克苏河东面的大哈拉军山一带创名,原始定义为是一套紫红色辉绿岩、中酸性熔岩、火山碎屑岩、砂岩、砾岩夹少量灰岩。与上覆阿克沙克组的碎屑岩、碳酸盐岩呈不整合接触,与下伏地层志留系阿克牙子组、青白口系库什台群呈不整合接触^[16,17]。

区域上,大哈拉军山组广泛分布于西天山伊犁盆地边缘及内部,主要在博罗科努山南坡、伊宁县彼里克溪上游、那拉提山、阿吾拉勒山、昭苏县和特克斯县北的伊什基里克山南坡及特克斯县南的大哈拉军山一带(图1)。虽然大哈拉军山组火山-沉积岩建造角度不整合覆盖在元古宙或早古生代地层上,但在区域地层厚度、岩石组合、火山旋回等方面差异明显。

伊犁盆地北缘:博罗科努山南坡一带,大哈拉军山组分别角度不整合于奥陶系呼独克达坂组(O_3h)厚层状灰岩和志留系尼勒克河组(S_1n)紫红色细碎屑岩之上。伊宁县北剖面和尼勒克县北剖面底部均发育一套碎屑岩组合,沉积序列垂向上表现为砾岩、含砾粗砂岩、粗砂岩、细碎屑岩,反映出递进拉伸的沉积构造背景。该剖面地层厚度为1673m,

底砾岩之上为大套玄武安山岩,向上为安山岩夹安山质凝灰岩,再向上具有少量火山角砾岩、集块岩,顶部为玄武安山岩、安山岩及安山质凝灰岩,局部地段玄武岩具有黄铁矿化、黄铜矿化。尼勒克县北剖面地层厚度为1308m,总体呈南倾单斜,局部发育小型宽缓褶皱,底砾岩之上为浅灰色英安质玻屑凝灰岩、英安质含角砾凝灰岩,中部为浅灰色、紫红色、浅肉红色流纹质凝灰岩与流纹岩,上部又变为紫红色、浅灰色英安质含角砾凝灰岩。

伊犁盆地内部:乌孙山一带特克斯北剖面大哈拉军山组地层厚度>3267m,剖面未见底。地层序列表现为:下部为安山岩、杏仁状安山岩与英安岩韵律,向上为一套凝灰质砂岩与砂岩;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,体现了从中性-酸性-中酸性-中性喷发旋回。阿吾拉勒山阔尔库剖面大哈拉军山组地层厚度>4000m,主要为一套安山岩、英安岩、英安质含角砾熔岩与少量流纹岩组成的火山岩-火山碎屑岩旋回。

伊犁盆地南缘:火山活动强烈,形成了巨厚的火山-沉积建造,石炭纪火山活动向东逐渐减弱直到消亡,取而代之的是海陆交互的碎屑岩-碳酸盐岩建造组合^[16]。西南天山特克斯一带,大哈拉军山组角度不整合覆盖于青白口系库什台群($QbKs$)大理岩之上,底部为一套碎屑岩组合,厚约100m;中上部主体为英安岩、安山岩、安山玢岩、粗面安山质凝灰岩、安山质角砾岩,夹少量正常沉积岩。西南天山库尔特勒克一带,大哈拉军山组角度不整合于上志留统阿克牙子组(S_3a)之上,岩石组合以流纹斑岩、流纹岩、正长斑岩为主夹中酸性凝灰岩,下部为角砾熔岩^[17]。在新源县南部的那拉提山北坡,大哈拉军山组火山-沉积建造不整合覆盖在长城系特克斯群变质岩上(或者呈断层接触)。火山岩和碎屑岩-碳酸盐岩的厚度各占一半,形成间歇式火山喷发-海陆交互沉积盆地。向东到西天山东段巴伦台-莫托萨拉地区,与大哈拉军山组同时代的马鞍桥组磨拉石建造(缺失火山岩)角度不整合覆盖在元古宙巴伦台群变质岩上^[7,18-19]。

2 角度不整合特征

不整合的形成包含了区域性地壳上升,由沉积转化为剥蚀或沉积间断,后又再度下降的过程^[20]。它反映了由于时间的间断、地层的缺失、构造环境的改变,造成上覆地层和下伏地层在构造几何形态、

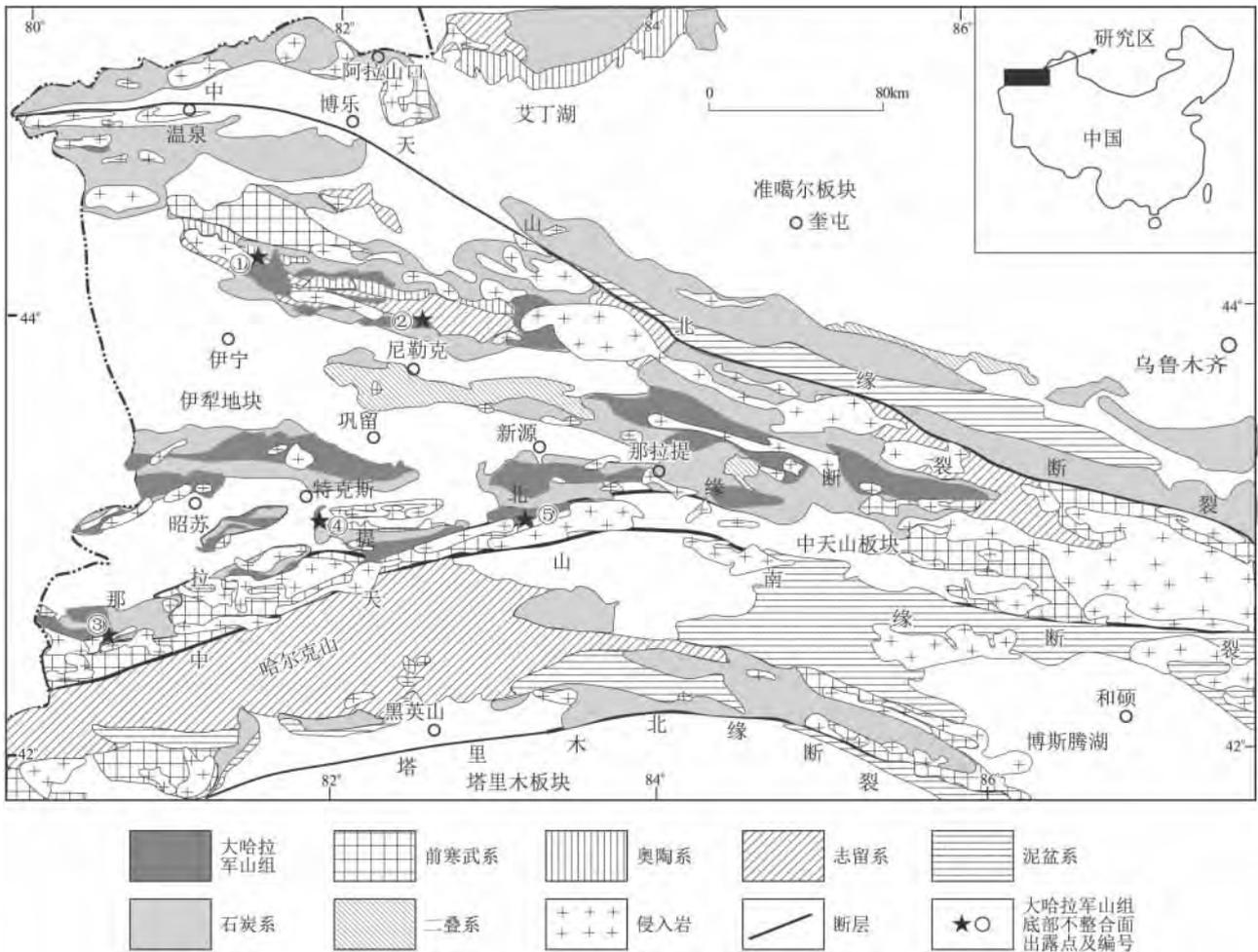


图1 西天山山下石炭统大哈拉军山组空间分布图

Fig. 1 Spatial distribution of the Lower Carboniferous Dahalajunshan Formation in the western Tianshan Mountains

古生物组合、岩性等方面的不一致、不协调。垂向上,由下伏岩层、不整合面及上覆岩层共同构成,形成了不整合的三元“宏观”结构^[21]。下石炭统大哈拉军山组底部角度不整合面提供了天山古生代构造演化过程及动力学信息,这一区域性地壳运动造成的不整合面在时间、空间上都具有普遍性,但其性质和分布有差异。伊犁石炭纪盆地边缘靠近造山带,构造变动相对强烈,所受的削截程度高,形成一系列角度不整合,下石炭统大哈拉军山组分别角度不整合覆盖于前寒武纪结晶基底或前石炭纪褶皱基底之上;而往盆地内构造变动相对较弱,削截程度低,逐渐过渡为平行不整合,甚至整合。下面将对伊犁石炭纪盆地边缘大哈拉军山组底部一系列角度不整合特征进行描述。

在伊犁盆地北缘伊宁县北剖面,大哈拉军山组角度不整合覆盖于奥陶系呼独克达坂组(O₃h)厚层状灰岩之上(图2a)。不整合面之上大哈拉军山组底部为一套厚约200m的底砾岩(图版I-4),岩石组

合由下到上依次为砾岩、含砾粗砂岩、粗砂岩、砂岩。砾岩中砾石成分复杂,以下伏奥陶纪灰岩为主,见少量火山岩及碎屑岩砾石。砾石大小一般在7~10cm之间,最大可达60cm,结构成熟度低,反映了一种快速剥蚀堆积的构造环境;不整合面之下呼独克达坂组为灰黑色、灰白色中-厚层状砂屑灰岩,夹紫红色钙质铁质细砂岩,富含珊瑚、腹足类和头足类化石,形成于碳酸盐岩开阔台地环境。呼独克达坂组发育一系列的褶皱变形(图版I-2),与上覆大哈拉军山组平缓的单斜地层在褶皱变形强度方面存在显著差异。

在伊犁盆地北缘尼勒克县北剖面,大哈拉军山组角度不整合覆盖于志留系尼勒克河组(S₁n)紫红色细碎屑岩之上(图2b)。不整合面之上大哈拉军山组底部为厚约1m的砾岩(图版I-3),砾石磨圆度较好,粒径在2~10cm之间,成分主要为浅灰色英安质屑岩凝灰岩,砾岩之上为浅灰色英安质含角砾凝灰岩;不整合面之下尼勒克河组灰紫色-紫红色薄

层状泥岩、粉砂岩互层,发育水平层理、小型波纹层理(图版 I-4)、波痕构造(图版 I-5),形成于潮间带环境。

在伊犁盆地南缘库克特勒克一带阿克牙子剖面,大哈拉军山组角度不整合于上志留统阿克牙子组(S_3a)之上(图 2c)。不整合面之上大哈拉军山组底部为流纹质角砾岩,向上过渡为流纹斑岩、流纹岩为主夹中酸性凝灰岩,少见正常沉积的碎屑岩,为陆相裂隙-中心式喷发^[17];不整合面之下阿克牙子组为一套变质岩组合,岩性为片麻岩、片岩、大理岩、千枚岩、凝灰岩等。阿克牙子组经历了强烈的挤压变质作用,发育强烈挤压破碎带。该组被侵入、交代、挤压、切割而支离破碎,具破裂、糜棱岩化现象,与上覆大哈拉军山组单斜地层在构造样式、变质程度、岩石组合等方面存在显著差异。

在伊犁盆地南缘科克苏河流域大哈拉军山组建组剖面,大哈拉军山组角度不整合覆盖于青白口系库什台群($QbKs$)大理岩之上(图 2d)(图版 I-6)。不整合面之上大哈拉军山组底部为一套碎屑岩-碳酸盐岩组合,最底部发育大套底砾岩(图版 I-7),砂质胶结。砾石成份复杂,主要为脉石英、燧石、大理岩、白云质灰岩、火山岩、砂岩,少量花岗岩,分选、

磨圆均较差,大小 $2\text{mm} \times 3\text{mm} \sim 1\text{m} \times 2\text{m}$ (图版 I-9)。向上逐渐过渡为灰色中-厚层状含砾粗砂岩、粗砂岩与砂岩互层,形成于冲洪积环境。再向上逐渐过渡为浅海相灰绿色薄层状细砂岩、粉砂岩、泥岩、泥晶灰岩,泥岩中夹 1 层厚约 1m 的紫红色安山岩;不整合面之下库什台群为一套灰白色厚层状大理岩-中粗晶白云岩-细晶白云岩-粉晶微晶白云岩-竹叶状泥晶灰岩(图版 I-8),形成于浅水碳酸盐岩台地环境。

在伊犁盆地东南缘新源县南的那拉提山北坡剖面,大哈拉军山组角度不整合覆盖在长城系特克斯群($ChTk$)变质岩上(或者呈断层接触)(图 2e)。不整合面之上大哈拉军山组底部为一套深灰色厚层状英安质角砾岩,角砾形状不规则,大小 $1\text{cm} \times 2\text{cm} \sim 3\text{cm} \times 4\text{cm}$,浅灰绿色含角砾凝灰岩中见到古芦木 *Archaeocalamites* sp.(图版 I-10),时代为早石炭世,向上过渡为浅灰绿色块状安山岩;不整合面之下为特克斯群为一套浅变质岩,主要为灰黑色厚层-块状大理岩(图版 I-11),原岩为灰岩,属浅海相环境。向东到西天山东段巴伦台-莫托萨拉地区,与大哈拉军山组同时代的马鞍桥组(C_1m)磨拉石建造(缺失火山岩)角度不整合覆盖在元古宇巴伦台群

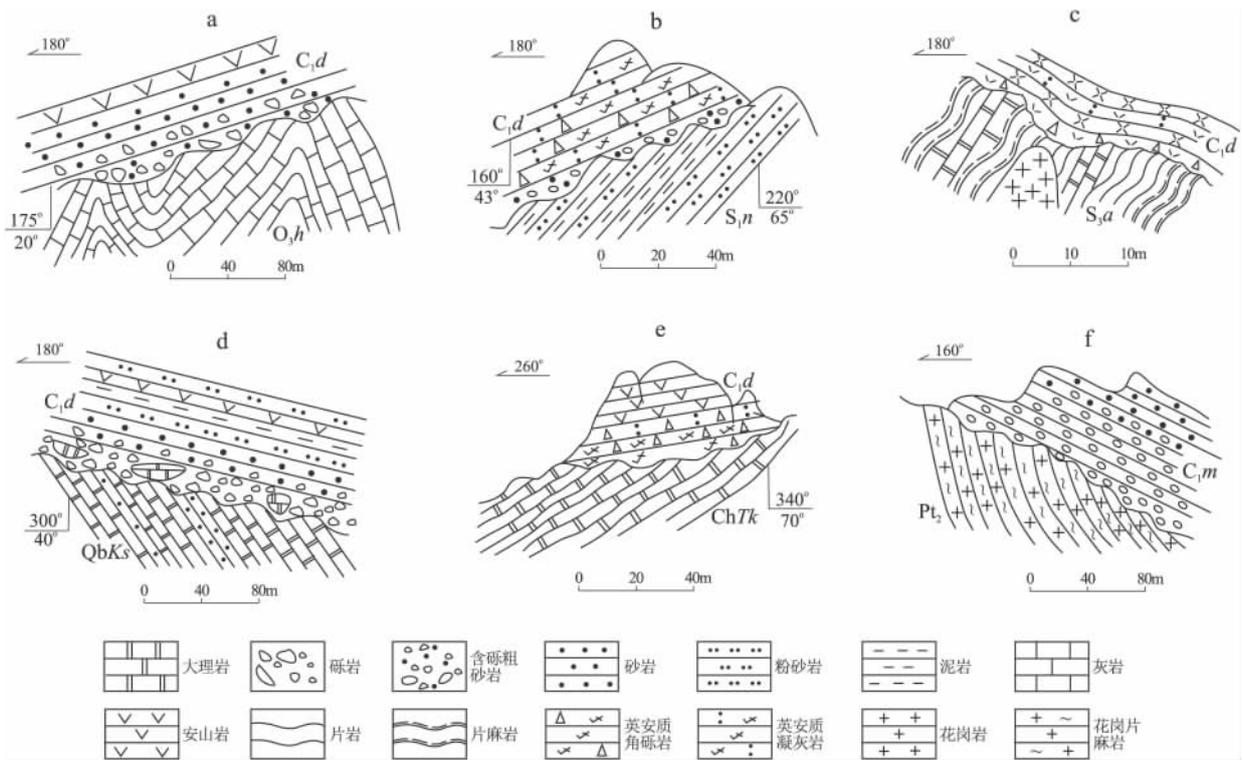


图 2 西天山大哈拉军山组底部角度不整合特征

C_1d . 大哈拉军山组; C_1m . 马鞍桥组; S_3a . 阿克牙子组; S_1n . 尼勒克河组; O_3h . 呼独克达坂组; $QbKs$. 库什台群; $ChTk$. 特克斯群; Pt_2 . 巴伦台群

Fig. 2 Angular unconformity at the bottom of the Lower Carboniferous Dahalajunshan Formation in the western Tianshan Mountains

变质岩(Pt_2)上(图2f),不整合面之上马鞍桥组为厚层巨砾岩、砾岩(砾石为基底岩石)、砂砾岩、砂岩、砂岩-粉砂岩和页岩互层夹灰岩,中上部灰岩中含有丰富的早石炭世维宪期珊瑚、腕足类、菊石、牙形石和少量杜内期牙形石(*Protograthodus meischneri*)化石^[22]。

3 不整合面形成时代

西天山自早石炭世早期开始,广泛发育下石炭统大哈拉军山组及同期层位的火山-沉积岩系角度不整合覆盖于各种类型和时代的基底之上,且下伏基底均发生不同程度的变质或变形作用。这一区域性角度不整合面代表着西天山新一轮构造旋回的开始,大哈拉军山组底部沉积超覆作用往往是随着地幔柱及火山岩浆作用的开始之后而启动^[22],也就是说,不整合面之上冲洪积相或与之密切相关的同沉积火山岩年龄,基本上代表了西天山下石炭统底部角度不整合面的形成时代,也是天山石炭纪后碰撞裂谷新一轮沉积旋回的起点年龄。西天山伊犁盆地南缘科克苏河流域大哈拉军山组建组剖面上,大哈拉军山组底部超覆沉积的陆相碎屑岩代表盆地开启时最早的充填物质,底部碎屑岩中所夹厚约1m的紫红色安山岩年龄,应与西天山下石炭统底部不整合的形成时限基本一致。因此,本文对采自大哈拉军山组剖面底部碎屑岩中夹层安山岩(采样点坐标: N: 43°05.858', E: 81°53.134')进行了锆石 U-Pb 同位素年龄测定,以此来限定西天山大哈拉军山组底部不整合面的形成时代,即石炭纪后碰撞裂谷的开启时限。

3.1 分析方法

野外采集碎屑岩中夹层安山岩新鲜样品 15kg,在实验室将其粉碎至 80 目以上,按常规方法分选后挑选 CL 图像中环带明显、无包裹体或裂纹、透明度好的单颗粒锆石进行测试。将待测试样品置于环氧树脂中,待固结后抛磨至粒径的大约二分之一,使锆石内部充分暴露,然后进行锆石显微(反射光和透射光)照相、CL 显微图像研究及 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测定。

激光剥蚀等离子体质谱(LA-ICP-MS)锆石微区 U-Th-Pb 年龄测试,激光束斑直径为 30 μ m,激光剥蚀样品的深度为 20~40 μ m。采用 He 作为剥蚀物质的载气,采用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃 NIST SRM610 为标准参考物质。采样方式为单点剥蚀,每完成 5 个测点的样品测定,加测标样一次。在所测锆石样品分析 20 个点之前、后各测 1 次 NIST SRM610。采用标准锆石 91500 为外标校正测得的锆石同位素数据,元素含量采用 NIST SRM610 为外标,²⁹Si 作为内标来进行校正。详细分析步骤和数据处理方法参见相关文献^[23]。

所得数据应用 Glitter (ver 4.0, Mac Quarie University) 程序进行计算和处理,并对其进行普通铅校正。所有样品均采用²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄,年龄计算及谐和图采用 Isoplot (ver 3.0) 完成。单个数据点的误差均为 1 σ ,其加权平均值为 95% 的置信度。

以上锆石分离在河北廊坊地质所进行,测试均在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。

3.2 锆石 U-Pb 年龄

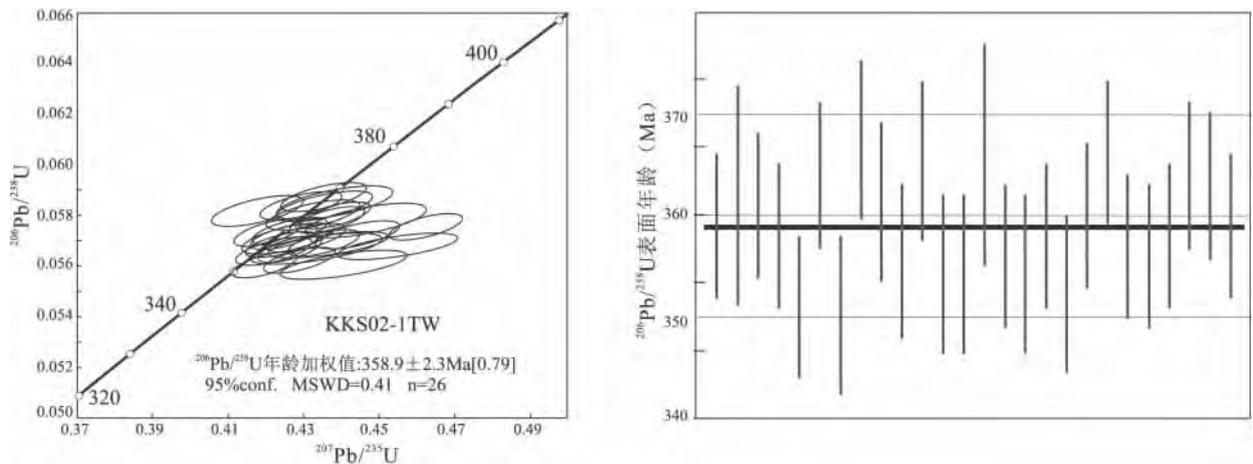


图3 西天山大哈拉军山组底部碎屑岩中夹层安山岩锆石 U-Pb 谐和图和加权平均图

Fig. 3 U-Pb concordia and weighted average age diagrams of the zircons from the interbedded andesite in the clastic rocks at the bottom of the Lower Carboniferous Dahalajunshan Formation in the western Tianshan Mountains

本次获得样品锆石颗粒较为细小,长约50~120 μm ,绝大多数为半透明-透明的柱状,长宽比大多为1.5:1~3:1,自形程度较差,晶体棱角突出。CL图像显示,大部分锆石颗粒普遍发育清晰的振荡环带,显示出典型的岩浆锆石特征。个别锆石的环带并不明显,整体呈灰色,仅在锆石边缘看见白边, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄一致,表明其为同一期岩浆作用的产物。锆石的Th/U比值较为均一,为0.61~1.04,均远大于0.1,其测年结果也应代表了锆石结晶年龄。本文共测试了30个分析点(表1),其中26个分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄在351~368Ma之间,在误差范围内比较一致,协和度为0.93~1.03,其加权平均值为 $358.9 \pm 2.3\text{Ma}$ (图3)。另有4个分析点Pb丢失较多,谐和度较差。本文选取的大哈拉军山建组剖面底部样品测试结果表明,大哈拉军山组剖面底部碎屑岩中夹层安山岩形成年龄为 $358.9 \pm 2.3\text{Ma}$,为早石炭世早期,代表了西天山大哈拉军山组底部不整合面的形成时代。

4 天山古生代洋陆转换时限

由前述可知,西天山自早石炭世早期开始,广泛发育下石炭统大哈拉军山组火山-沉积岩系角度不整合覆盖于各种类型和时代的基底之上。这一区域性的角度不整合关系,前人在天山其它地区也有类似的发现,如:天山东段库米什地区下石炭统干草湖组(C_1g)与上泥盆统破城子组(D_3p)、七角井地区下石炭统七角井组(C_1q)与上泥盆统康古尔塔格组(D_3kg)、七角井组与下泥盆统大南湖组(D_1d)及上奥陶统庙尔沟组(O_3m)、天山西段哈尔克山地区下石炭统干草湖组(C_1g)与上泥盆统哈孜尔布拉克组(D_3h)、天山中段马鞍桥地区下石炭统马鞍桥组(C_1m)与中一下奥陶统可可乃克群($O_{1-2}k$)等^[19]。

大地构造研究表明,位于哈萨克斯坦-准噶尔板块与塔里木板块汇聚部分的天山造山带经历了古天山洋的开启、消减、闭合、地壳增生以及微陆块多次碰撞造山,先后发生多期的构造、岩浆和变质作用。南天山增生杂岩带作为天山古生代洋盆最后闭合的标志,其内出露的长阿吾子-乌瓦门-库米什蛇绿混杂岩及伴生的蓝片岩带,被认为是天山古生代洋盆消减、闭合后的遗迹。其中,天山东段库米什榆树沟蛇绿岩中锆石U-Pb不一致线与谐和线的上交点年龄 $440 \pm 18\text{Ma}$ ^[25]与西段长阿吾子蛇绿岩中辉石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄 439Ma ^[26]相一致,代表古天

山洋至少在早志留世就已经打开并存在。关于该洋盆的俯冲-消减-闭合时限,目前国内外众多学者针对蛇绿杂岩带内的高压变质岩进行了同位素测年。例如,长阿吾子榴辉岩的峰期变质时代为 $415.4 \pm 2.2\text{Ma}$ ^[4],榆树沟蛇绿岩地体中高压麻粒岩的锆石SHRIMP年龄为 $390 \sim 392\text{Ma}$ ^[27]。这些年龄值指示天山古生代洋盆至少在志留纪末-中泥盆世期间已经开始俯冲-消减并遭受高压变质作用。

由此看来,天山地区下石炭统大哈拉军山组及同期层位底部角度不整合面代表着一个重大地质事件-天山古生代洋陆转换过程的结束及天山地区在早石炭世进入后碰撞裂谷拉伸阶段。首先,沉积作用是在前寒武纪结晶基底或前石炭纪变质变形基底之上开始的,这种以陆相火山岩的局部堆积或冲-洪积物沉积超覆在褶皱或结晶基底之上为标志,启动了盆地新一轮沉积作用^[28-29]。其次,这一规模巨大的区域性角度不整合面的上、下地层,在岩石组合、古地理环境、变质程度和变形样式上均迥然有别。其上,石炭纪火山岩系地层变质轻微或未变质、变形不强呈舒缓褶皱;其下地层变质深,具强烈褶皱变形,诸如盆地北缘大哈拉军山组与其下伏奥陶系呼独克达坂组的褶皱变形差异,盆地南缘大哈拉军山组与其下伏志留系阿克牙子组、青白口系库什台群、元古宇巴伦台群等在变质程度方面的差异。第三,西天山下石炭统大哈拉军山组及其相当层位底部普遍发育粗碎屑岩,向上逐渐过渡为含砾粗砂岩、砂岩、粉砂岩、泥岩、火山岩。总体上,大哈拉军山组底部砾岩具明显快速堆积底砾岩性质,并且在盆地东南缘新源县南的那拉提山北坡大哈拉军山组底部浅灰绿色含角砾凝灰岩中发现了古芦木*Archaeocalamites* sp.,表明大哈拉军山组底部具有冲洪积相或陆相火山岩特征。盆地演化表现出由陆相到海相转换的沉积充填序列,且具有由粗到细、由浅变深的特点。上述大哈拉军山组底部不整合面特征说明早石炭世天山古生代洋盆已经闭合,其底部大规模分布的底砾岩预示着天山造山带进入了一个新的历史演化阶段-后碰撞裂谷拉伸阶段。大哈拉军山组底部粗碎屑岩在盆地南北两侧均超覆沉积于下伏地质体之上,且底部均发育一套扇三角洲相的粗碎屑岩,向盆地方向碎屑岩粒度逐渐变细,进而形成了下粗上细的正常沉积粒序,总体上表现为退积型地层结构,说明石炭纪大哈拉军山组形成于明显的区域张裂环境。大哈拉军山组剖面底部碎屑岩中夹层安山岩形成年龄为 $358.9 \pm$

表1 西天山大哈拉军山组底部碎屑岩中夹层安山岩锆石的LA-ICP-MS U-Th-Pb同位素测定结果
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb isotopic analyses of the interbedded andesite in the clastic rocks at the bottom of the Lower Carboniferous Dahalajunshan Formation in the western Tianshan Mountains

样号	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$			$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$			$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$			$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$			$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$			$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$			U/Th	Th	Pb	谐和度			
	同位素比值			同位素比值			同位素比值			同位素比值			同位素年龄 (Ma)			同位素年龄 (Ma)			1 σ	年龄	1 σ					年龄	1 σ	年龄
	比值	1 σ		比值	1 σ		比值	1 σ		比值	1 σ		比值	1 σ		1 σ	年龄	1 σ										
1	0.05322	0.0009		0.42053	0.0059		0.05731	0.0004		0.01907	0.0002		338	21		356	4		359	2		382	3		162	263	74.00	1.01
2	0.05604	0.0014		0.44651	0.0105		0.05779	0.0005		0.01775	0.0002		454	38		375	7		362	3		356	4		133	144	43.33	0.97
5	0.05826	0.0010		0.46228	0.0064		0.05754	0.0004		0.01983	0.0002		540	19		386	4		361	2		397	3		121	165	88.45	0.94
6	0.05469	0.0010		0.43066	0.0070		0.05711	0.0004		0.01795	0.0002		400	25		364	5		358	2		360	3		104	125	39.34	0.98
7	0.05431	0.0009		0.41961	0.0056		0.05603	0.0003		0.01766	0.0001		384	19		356	4		351	2		354	3		213	306	60.97	0.99
8	0.05210	0.0011		0.41778	0.0081		0.05815	0.0004		0.01761	0.0002		290	32		354	6		364	2		353	3		111	134	65.25	1.03
9	0.05701	0.0015		0.44043	0.0111		0.05604	0.0004		0.01741	0.0001		492	59		371	8		351	2		349	2		154	230	59.91	0.95
10	0.05379	0.0011		0.43543	0.0075		0.05871	0.0004		0.01884	0.0002		362	27		367	5		368	2		377	3		226	217	48.74	1.00
11	0.05481	0.0009		0.43698	0.0060		0.05782	0.0004		0.01733	0.0001		404	20		368	4		362	2		347	3		197	211	80.30	0.98
12	0.05413	0.0009		0.42424	0.0063		0.05685	0.0004		0.01777	0.0002		376	22		359	5		356	2		356	3		125	168	58.91	0.99
13	0.05412	0.0012		0.43541	0.0084		0.05834	0.0004		0.01806	0.0002		376	31		367	6		366	2		362	4		223	284	54.43	1.00
14	0.05410	0.0010		0.42210	0.0067		0.05658	0.0004		0.01781	0.0002		375	24		358	5		355	2		357	3		140	218	60.81	0.99
15	0.05542	0.0015		0.43312	0.0115		0.05668	0.0004		0.01767	0.0001		429	62		365	8		355	2		354	2		132	181	52.17	0.97
16	0.05433	0.0014		0.43814	0.0102		0.05849	0.0005		0.01902	0.0002		385	38		369	7		366	3		381	5		152	215	63.49	0.99
17	0.05812	0.0014		0.45470	0.0105		0.05675	0.0004		0.01759	0.0001		534	54		381	7		356	2		352	2		127	180	71.85	0.93
18	0.05459	0.0009		0.42631	0.0056		0.05664	0.0003		0.01676	0.0001		395	19		361	4		355	2		336	2		168	211	88.02	0.98
19	0.05410	0.0011		0.42578	0.0081		0.05708	0.0004		0.01856	0.0002		375	30		360	6		358	2		372	4		189	232	59.24	0.99
20	0.05531	0.0010		0.42882	0.0062		0.05623	0.0003		0.01712	0.0001		425	21		362	4		353	2		343	3		268	320	53.94	0.98
21	0.05389	0.0010		0.42630	0.0065		0.05737	0.0004		0.01771	0.0002		366	23		361	5		360	2		355	3		134	201	46.65	1.00
22	0.05335	0.0010		0.42930	0.0072		0.05836	0.0004		0.01837	0.0002		344	26		363	5		366	2		368	3		160	191	70.42	1.01
23	0.05547	0.0010		0.43528	0.0063		0.05691	0.0003		0.01804	0.0002		431	21		367	4		357	2		361	3		100	165	66.35	0.97
26	0.05571	0.0014		0.43648	0.0105		0.05683	0.0004		0.01770	0.0001		441	57		368	7		356	2		355	2		169	235	67.44	0.97
27	0.05390	0.0009		0.42477	0.0058		0.05715	0.0003		0.01779	0.0001		367	20		359	4		358	2		356	3		140	218	74.25	1.00
28	0.05406	0.0011		0.43239	0.0081		0.05801	0.0004		0.01839	0.0002		374	30		365	6		364	2		368	4		754	713	47.26	1.00
29	0.05481	0.0009		0.43811	0.0063		0.05797	0.0004		0.01857	0.0001		404	21		369	4		363	2		372	3		133	154	80.19	0.98
30	0.05629	0.0011		0.44415	0.0073		0.05722	0.0004		0.01793	0.0002		464	25		373	5		359	2		359	2		150	223	54.09	0.96

注: 使用 Anderson 等^[20]的软件进行普通铅校正。

2.3Ma,为早石炭世早期,代表了西天山大哈拉军山组底部不整合面的形成时代。因此,可以将天山古生代洋陆转换时限限定在晚泥盆世—早石炭世之交。随后,天山地区进入后碰撞裂谷演化阶段。

5 结论

(1) 西天山广泛发育下石炭统大哈拉军山组角度不整合于前寒武纪结晶基底或前石炭纪褶皱基底上,区域上总体表现为角度不整合接触,接触界线清楚,界面极不平整,不整合面之上普遍发育洪冲积相砾岩或陆相火山岩。

(2) 大哈拉军山组底部超覆沉积的陆相粗碎屑岩代表新一轮盆地开启时最早的充填物。盆地演化表现出由陆相到海相转化的沉积充填序列,底部粗碎屑岩中夹层安山岩的形成年龄为 359 ± 2.3 Ma,时代为早石炭世,代表了西天山大哈拉军山组底部不整合的形成时代。

(3) 天山(西天山、东天山)地区下石炭统出露广泛且与下伏地层多呈角度不整合接触,不整合面上、下地层在岩石组合、地层序列、变形样式及变质程度等方面均存在显著差异,充分说明天山地区早石炭世之前曾有过一次强烈的褶皱、隆升造山事件,其地层序列均反映了后碰撞裂谷盆地演化特征。因此,可以将天山古生代洋陆转换时限限定在晚泥盆世—早石炭世之交。随后,天山地区进入后碰撞裂谷演化阶段。

参考文献:

- COLEMAN R G. Continental growth of northwest China [J]. *Tectonics*, 1989, 8(3): 621–635.
- GAO JUN, LONG LINGLI, REINER K, et al. Tectonic evolution of the South Tianshan orogen and adjacent regions, NW China: geochemical and age constraints of granitoid rocks [J]. *International Journal of Earth Sciences* 2009, 98: 1221–1231.
- JAHN B M, GRIFFIN W L, WINDLEY B F. Continental growth in the Phanerozoic: Evidence from Central Asia [J]. *Tectonophysics*, 2000, 328(1–2): vii–x.
- 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.
- ALLEN M B, WINDLEY B F, ZHANG C. Paleozoic collisional tectonics and magmatism of the Chinese Tianshan, central Asia [J]. *Tectonophysics*, 1992, 220(1–4): 89–115.
- 车自成, 刘良, 刘洪福, 等. 论伊犁古裂谷 [J]. *岩石学报*, 1996, 12(3): 478–490.
- 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.
- 朱永峰, 周晶, 郭璇. 西天山石炭纪火山岩岩石学及 Sr-Nd 同位素地球化学研究 [J]. *岩石学报*, 2006, 22(5): 1341–1350.
- 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.
- 朱志新, 董连慧, 刘淑聪, 等. 新疆西天山伊犁地块晚古生代火山岩地质特征及构造意义 [J]. *新疆地质*, 2012, 30(3): 258–263.
- XIAO W J, WINDLEY B F, BADARCH G, et al. Paleozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altai: Implications for the growth of Central Asian [J]. *Journal of the Geological Society* 2004, 161(3): 339–342.
- ZHANG L F, AI Y L, LI X P, et al. Triassic collision of western Tianshan orogenic belt, China: evidence from SHRIMP U-Pb dating of zircon from HP/UH eclogitic rocks [J]. *Lithos*, 2007, 96(1–2): 266–280.
- 张立飞, 艾永亮, 李强, 等. 新疆西南天山超高压变质带的形成与演化 [J]. *岩石学报*, 2005, 21(4): 1029–1038.
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 新疆维吾尔自治区岩石地层 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1999. 241–242.
- 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.
- 朱永峰, 周晶, 宋彪, 等. 新疆“大哈拉军山组”火山岩的形成时代问题及其解体方案 [J]. *中国地质*, 2006, 33(3): 487–497.
- 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. 25–42.
- 徐学义, 夏林圻, 张国伟, 等. 下石炭统马鞍桥组在天山构造演化中的地位 [J]. *新疆地质*, 2002, 20(4): 338–341.
- 王立社, 夏林圻, 董云鹏, 等. 天山地区下石炭统与下伏地层角度不整合接触的地质意义 [J]. *西北地质*, 2005, 38(1): 26–30.
- 付修根, 王剑, 汪正江, 等. 藏北羌塘盆地上三叠统那底岗日组与下伏地层沉积间断的确立及意义 [J]. *地质论评*, 2007, 53(3): 329–337.
- 何碧竹, 焦存礼, 徐志琴, 等. 不整合结构构造与构造古地理环境—以加里东中期青藏高原北缘及塔里木盆地为例 [J]. *岩石学报*, 2013, 29(6): 2184–2198.
- 夏林圻, 张国伟, 夏祖春, 等. 天山古生代洋盆开启、闭合时限的岩石学约束—来自震旦纪、石炭纪火山岩的证据 [J]. *地质通报*, 2002, 21(2): 56–62.
- HORN I, RUDNICK R L, MCDONOUGH W F. Precise elemental and isotope ratio determination by simultaneous solution nebulization and laser ablation ICP-MS: Application to U-Pb geochronology [J]. *Chemical Geology*, 2000, 167(3–4): 405–425.
- Andersen T. Correction of common Pb in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 2002, 192(1–2): 59–79.
- 王润三, 王焰, 李惠民, 等. 南天山榆树沟高压麻粒岩地体锆石 U-Pb 定年及其地质意义 [J]. *地球化学*, 1998, 27(6): 517

- 522.
- [26] 郝杰,刘小汉.南天山蛇绿混杂岩形成时代及其大地构造意义[J].地质科学,1993 28(1): 93-95.
- [27] 周鼎武,苏梨,简平,等.南天山榆树沟蛇绿岩地体中高压麻粒岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及构造意义[J].科学通报,2004 49(14): 1411-1415.
- [28] 王剑,曾昭光,陈文西,等.华南新元古代裂谷系沉积超覆作用及其开启年龄新证据[J].沉积与特提斯地质,2006 26(4): 1-7.
- [29] 王剑,周小琳,郭秀梅,等.华南新元古代盆地开启年龄及沉积演化特征—以赣东北江南次级盆地为例[J].沉积学报,2013 31(5): 834-844.

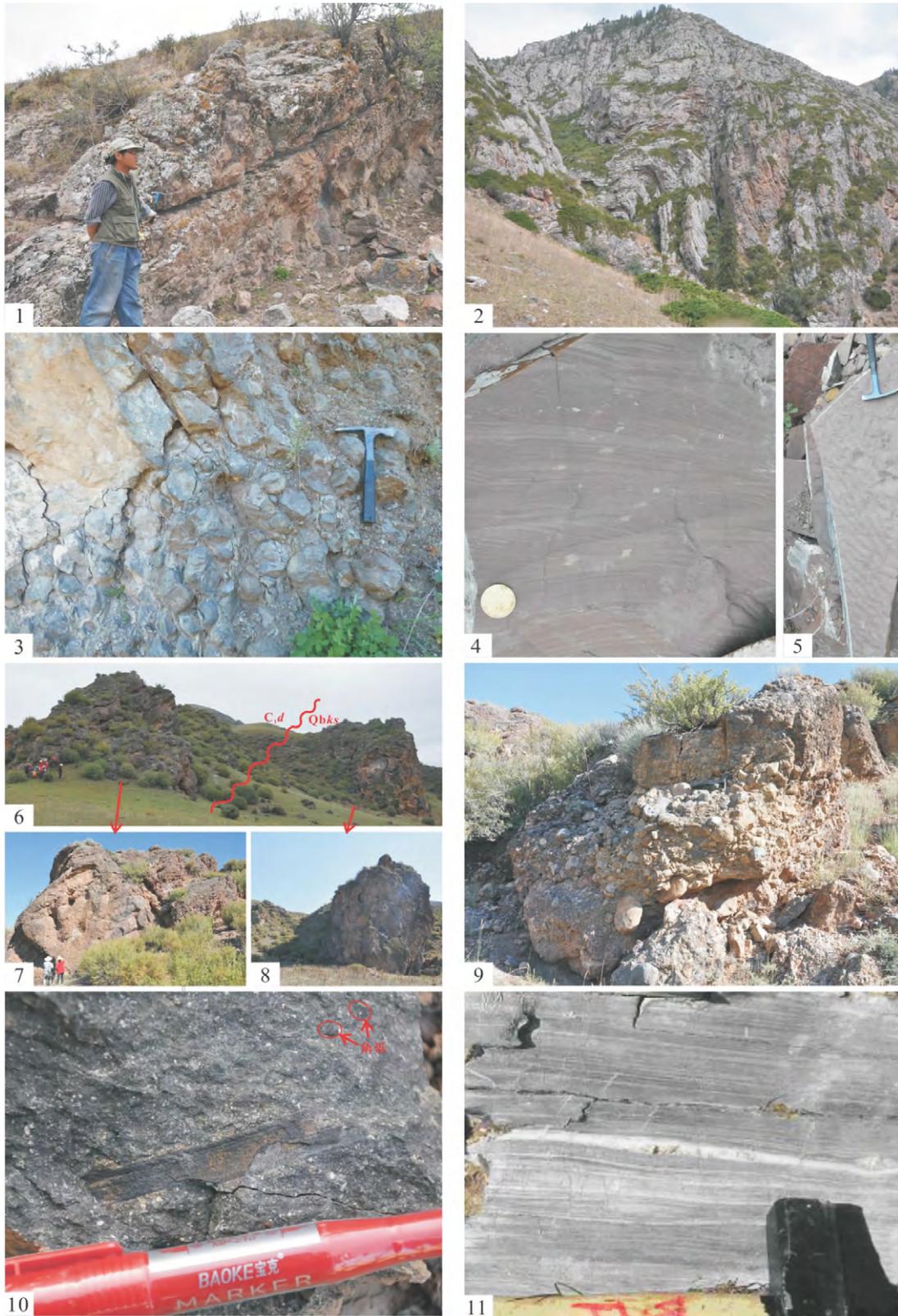
Angular unconformity at the bottom of the Lower Carboniferous Dahalajunshan Formation: constraints on the Palaeozoic ocean-continent transition in the Tianshan Mountains

BAI Jian-ke^{1,2}, LI Zhi-pei^{1,2}, MA Zhong-ping^{1,2}, SUN Ji-ming^{1,2}, LI Ting^{1,2}

(1. Xi'an Center, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, Ministry of Land and Resources, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: The volcanic-sedimentary rocks from the Lower Carboniferous Dahalajunshan Formation are widely exposed in the western Tianshan Mountains. There is a wide regional angular unconformity between the Dahalajunshan Formation and its underlying strata, i. e., the Precambrian crystalline basement or pre-Carboniferous folded basement. The regional angular unconformity represents a strong fold and uplift orogenic event judged from the angular unconformities and the alluvial-proluvial clastic rocks or continental volcanic rocks at the bottom of the Lower Carboniferous Dahalajunshan Formation. The stratigraphic sequences of initial deposits overlying the unconformity surface represent the onset of a new round of sedimentary cycles in the Carboniferous post-collision rift basin. The interbedded andesite samples collected from the bottom of the Lower Carboniferous Dahalajunshan Formation gives a LA-ICP-MS zircon U-Pb age of 359 ± 2.3 Ma, which not only defines the age of the above-mentioned regional angular unconformity, but also represents an initial age of the Tianshan post-collision rift basin. Therefore, we can draw the conclusion that the time duration of the Palaeozoic ocean-continent transition should be limited at the boundary of the Late Devonian to the Early Carboniferous, followed by the post-collision rift evolutionary stage of the Tianshan orogenic belt.

Key words: western Tianshan Mountains; Lower Carboniferous; Dahalajunshan Formation; regional angular unconformity; ocean-continent transition



图版说明: 1. 剖面 a 大哈拉军山组底部砾岩; 2. 剖面 a 呼独克达坂组(O_3h) 灰岩褶皱变形; 3. 剖面 b 大哈拉军山组底部砾岩; 4. 剖面 b 尼勒克河组(S_1n) 小型波纹层理; 5. 剖面 b 尼勒克河组(S_1n) 波痕构造; 6. 剖面 d 大哈拉军山组与库什台群($Qbks$) 之间不整合; 7. 剖面 d 大哈拉军山组砾岩特征; 8. 剖面 d 纪库什台群白云岩; 9. 剖面 d 大哈拉军山组底部砾石成分复杂; 10. 剖面 e 大哈拉军山组底部陆相火山碎屑岩中植物化石; 11. 剖面 e 特克斯群($Chlk$) 块状大理岩