编号:0258-7106(2017)03-0643-16

新疆北部青河县阿斯喀尔特铍矿区花岗质 岩石年代学及地球化学特征^{*}

张亚峰¹, 蔺新望¹, 赵玉梅², 郭岐明¹, 赵端昌¹, 王 星¹, 朱伟鹏³

(1 陕西省地质调查中心,陕西西安 710068;2 新疆地质矿产勘查开发局第七地质大队,新疆乌苏 833000;
3 太原理工大学矿业工程学院,山西太原 030024)

摘 要 新疆北部青河县阿斯喀尔特铍矿床的形成与岩浆活动密切相关,是中国花岗岩型铍矿床的典型代表。 对矿区斑状二云母二长花岗岩进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测试,获得其加权平均年龄为(216.7±2.8)Ma (MSWD=0.48)表明该岩体形成时代为晚三叠世 据此限定阿斯喀尔特铍矿床成矿时代略晚于 216 Ma,为晚三叠 世—早侏罗世。岩石具有高硅(w(SiO₂)=70.86%~76.34%)富碱(ALK=5.54~9.30)富铝(w(Al₂O₃)= 13.00%~14.74%,A/CNK=0.99~1.23)低钛(u(TiO₂)=0.02%~0.18%)和镁(u(MgO)=0.02%~1.21%) 存在,为过铝质中钾-高钾岩石系列。稀土元素配分型式显示 LREE 的相对弱富集,HREE 较平坦以及 Eu 弱-中等的负 异常(δ Eu=0.37~0.90)是略右倾型。微量元素 Ba,Sr,Hf,Ti 等具负异常,Rb,Th,K,Nb,Ta,La,Ce,Nd,Sm 等具正 异常,Rb/Sr 比值较高(9.34~26.81),显示出 S型花岗岩特征。结合区域资料,认为阿斯喀尔特铍矿矿区印支期花 岗岩形成于后造山构造阶段,可能是上地壳含砂泥质岩石部分熔融的产物。

关键词 地球化学 ;LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年 ;后造山 ;阿斯喀尔特铍矿 ;阿尔泰 中图分类号 : P618.72 文献标志码 ;A

Geochronology and geochemistry of granitoids of Ascalt beryllium deposit in Qinghe County, northern Xinjiang

ZHANG YaFeng¹, LIN XinWang¹, ZHAO YuMei², GUO QiMing¹, ZHAO DuanChang¹, WANG Xing¹ and ZHU WeiPeng²

(1 Shaanxi Center of Geological Survey, Xi'an 710068, Shaanxi, China; 2 No. 7 Geological Party of Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Wusu 833000, Xinjiang, China; 3 College of Mining Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, Shanxi, China)

Abstract

LA-ICP-MS zircon U-Pb geochronological studies were conducted for porphyritic two-mica adamellite from the Ascalt beryllium deposit in Aershat area of Qinghe County, northern Xinjiang. The results show that the zircon 206 Pb/ 238 U weighted average age of the rocks is (216.7±2.8) Ma(MSWD=0.48), indicating that the crystallization age of the plutons is late Triassic. The Ascalt beryllium deposit is the typical representative of the granite type beryllium deposits, closely related to the magmatic plutons. The authors hold that the beryllium deposit was formed slightly later than 216 Ma in late Triassic-early Jurassic period. The granites have high SiO₂ (w(SiO₂)=70.86% ~ 76.34%), ALK(ALK = 5.54~9.30) and Al₂O₃(w(Al₂O₃) = 13.00% ~ 14.74%,

^{*} 本文得到中国地质调查局区域地质调查项目(编号:1212011120503、1212011120509、DD20160006)资助

第一作者简介 张亚峰,男,1984年生,硕士,构造地质学专业,主要从事区域地质调查工作。Email:aimom84@163.com 收稿日期 2015-07-15;改回日期 2017-04-01。秦思婷编辑。

A/CNK=0.99~1.23) and low TiO₂ (w (TiO₂) = 0.02% ~ 0.18%) and MgO (w (MgO) = 0.02% ~ 1.21%), suggesting middle-high K series with peraluminous features. The REE patterns are characterized by weak enrichment of LREE, with moderate-faint Eu negative anomalies ($\delta Eu = 0.37 \sim 0.90$). The trace elements show enrichment of Rb, Th, K, Nb, Ta, La, Ce, Nd, Sm and Rb/Sr ratios (9.34~26.81) and depletion of Ba, Sr, Hf and Ta, with the characteristics of S-type granite. Combined with the previous studies, the authors consider that the Ascalt granitic plutons were generated from the partially melting of the upper continental crust dominated by argillaceous rocks at the post-orogenic stage.

Key words: geochemistry, LA-ICP-MS zircon U-Pb dating, post-orogenic, Ascalt beryllium deposit, Altay

中亚造山带是全球最大的增生型造山带,阿尔 泰造山带位于中亚造山带的西南部,是中亚造山带 的重要组成部分(图 1a),呈 NW-SE 向横贯于中、 俄、哈、蒙 4 国,是由一系列块体、岛弧和增生杂岩构 成的增生型造山带(Sengör et al.,1993;Xiao et al., 2004)。该造山带内分布着数以万条的伟晶岩脉,蕴 藏着丰富的稀有金属、白云母、长石和宝玉石矿床 (王登红等,2003),以产出巨晶矿物、清晰的矿物结 构分带及稀有金属顺序矿化的可可托海 3 号伟晶岩 矿床受到国内外矿业界和地学界的广泛关注(Windley et al.,2002;Xiao et al.,2004;Wang et al., 2006)。这些伟晶岩脉主要分布于 38 个伟晶岩田 内,受各时期深变质岩或花岗岩控制明显(邹天人 等 2006),尤其是印支期伟晶岩脉稀有金属成矿作 用与岩浆-热液活动关系密切(朱永峰,2007)。

阿斯喀尔特铍 绿柱石 矿床位于新疆青河县北 约 80 km 的阿尔沙特一带,为一富含绿柱石的中型 铍矿床,该矿床已探明氧化铍 5041.7 t、钼 1168.9 t、 镓 187.6 t、手选绿柱石 2726.6 t。 矿床由 3 种类型 的铍矿体组成 即花岗岩型、石英脉型(似伟晶岩脉) 和砂矿型 是中国花岗岩型铍矿床的典型代表(邹天 人等 2006)。新疆维吾尔自治区地质局区域地质调 查大队(1979)根据矿区出露岩体特征及岩体与地层 的接触关系等将其厘定为燕山早期;邹天人等 (1996)获得其中的斑状黑云母花岗岩 Rb-Sr 等时线 年龄为 279.4~254 Ma 斑状二云母碱长花岗岩 Rb-Sr 等时线年龄为 263.34 Ma,白云母钠长石花岗岩 Rb-Sr 等时线年龄为(234±12)Ma,据此将其划归为 海西晚期。综上所述,该岩体缺少精确的同位素年 龄数据,导致该矿床成矿时代不清楚。另外,前人关 于该岩体岩石成因机制和成矿动力学背景研究较薄 弱。因此 本次研究是在对研究区域进行大范围区 域地质调查基础之上,选取阿斯喀尔特铍(绿柱石) 矿区赋矿岩石(斑状二云母二长花岗岩)作为年代学

研究对象 通过详细的矿区地质特征、岩相学、岩石 地球化学及锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年研究,结合 区域成岩、成矿动力学背景,对花岗岩的类型、成因、 时代及构造环境等问题进行探讨,旨在限定阿斯喀 尔特铍矿床形成时代和成矿环境,同时为在该区域 寻找同类型矿床奠定理论基础。

1 区域地质背景

《中国阿尔泰造山带位于新疆北部 大地构造位 置属西伯利亚板块南缘,北至中—蒙、中—俄及中— 哈边境 南以额尔齐斯—玛因鄂博构造带与哈萨克 斯坦—准噶尔板块北缘相邻(何国琦等 ,1990)。由 北向南,分别以红山嘴-诺尔特断裂和阿巴宫-库尔提 断裂为界可将其划分为北阿尔泰、中阿尔泰和南阿 尔泰 3 个块体(Li et al. ,2003 ;Xiao et al. ,2004)(图 1b)。北阿尔泰块体主要由震旦系—寒武系、上泥盆 统—下石炭统火山-沉积岩组成,并发育晚加里东期 花岗岩 冲阿尔泰块体主要由元古界—下古生界变 质岩系和奥陶纪——侏罗纪侵入岩组成,以泥盆纪花 岗岩广泛发育为特征,具有微陆块的特点(Windlev et al. ,2002 ;Li et al. ,2003 ;Xiao et al. ,2004 ;Wang 泥盆系火山-沉积岩系(下泥盆统康布铁堡组和中泥 盆统阿勒泰组)组成 其次是石炭系火山-沉积岩系。

2 岩体地质及岩石学

阿斯喀尔特矿区花岗岩体出露于大青格里河上 游阿尔沙特一带(图1c),构造单元属中阿尔泰块体, 主要出露中元古界苏普特岩群、震旦系—寒武系喀 纳斯群和石炭系红山嘴组。其中,苏普特岩群为一 套经历多期变质、变形的构造岩石地层,岩性为各 类片岩、片麻岩、混合岩和变粒岩等的组合。喀纳斯



图 1 阿尔泰造山带构造位置图(a,据何国琦等,1990)、构造分区图(b,据 Windley et al.,2002)和阿斯喀尔特铍 矿区地质简图(c,据陕西省地质调查院,2015 改绘)

1-第四系; 2-下石炭统红山嘴组; 3-震旦系-寒武系喀纳斯群; 4-中元古界苏普特岩群; 5-侏罗纪花岗岩; 6-三叠纪花岗岩; 7-泥盆纪花岗岩; 8-地质界线/断层; 9-国境线; 10-采样点

Fig. 1 Tectonic position (a, after He et al., 1990) and division (b, after Windley et al., 2002) and simplified geological map of Ascalt plutons (c, modified after Shaanxi Institute of Geological Survey, 2015) of Altay

orogenic belt

1—Quaternary: 2—Lower Carboniferous Hongshanzui Formation: 3—Sinian-Cambrian Kanas Group: 4—Mesoroterozoic Supute Group complex: 5—Jurassic granite: 6—Triassic granite; 7—Devonian granite; 8—Geological boundary/fault; 9—Boundary line; 10—Sampling location 群为一套绿片岩相变质的巨厚层浅海相碎屑岩类复 理石建造。红山嘴组为一套碎屑岩、火山岩组合,主 要由千枚岩化粉砂岩、砂岩、流纹斑岩、结晶灰岩等 组成。花岗岩类岩石分布广泛,以早泥盆世花岗岩 为主,岩性为英云闪长岩、花岗闪长岩等,时代集中 在 400 Ma±;其次为石炭纪、三叠纪,前者岩性主要 为黑云母花岗岩、黑云母二长花岗岩等,后者主要为 斑状黑云(二云)二长(正长)花岗岩等;少数岩体时 代为侏罗纪,岩性主要为细粒正长花岗岩、二云母花 岗岩等。

阿斯喀尔特铍矿床位于阿尔沙特一带泥盆纪英 云闪长岩基内的一个 NW-SE 向的复式岩株顶部,岩 株长约 7 km,最宽约 2 km,面积约 8.5 km²,呈北西 向外倾的岩钟状。北部侵入于中元古界苏普特岩群 之混合岩、片岩、片麻岩中,其他地段均侵入于泥盆纪 英云闪长岩,岩石中发育暗色细粒闪长质包体,包体 多呈椭圆状,大小不一,一般在(10~20)cm×(5~10) cm 左右。围岩蚀变不明显,但有大量脉岩贯入其中。

岩株主体组成岩性为斑状二云母二长花岗岩, 分布于岩体北西部,向北西、北东、南西以 20°~65° 的倾角外倾,呈上小、下大的岩钟状形态,与围岩侵 入接触关系清楚。岩石呈灰白色,具花岗结构、似斑 状结构、块状构造(图 2a、b)。组成矿物主要为微斜 长石、条纹长石(40% ±)、斜长石(25% ±)、石英 (25% ±)、黑云母(5% ±)和白云母(5% ±)等,肉眼 可见星点状黄铁矿、磁铁矿。w(BeO)为 13×10⁻⁶, $w(Ta_2O_5)为 15 \times 10^{-6}, w(Nb_2O_5)为 45 \times 10^{-6}, w(Mo)为 110 \times 10^{-6}, 是阿斯喀尔特铍矿原生矿的 母岩(李庆昌, 1989)。$

岩株顶部出露中细粒白云母花岗岩,呈饼状,与 斑状二云母花岗岩呈渐变过渡关系,岩石呈灰白色, 具花岗结构、块状构造。主要组成矿物为微斜长石 $(20\% \pm)$ 、斜长石 $(45\% \pm)$ 、石英 $(20\% \sim 25\%)$ 和白 云母 $(5\% \pm)$ 。微斜长石的边部被钠长石交代,呈典 型的变余结构,并具较强的沸石化现象。这种岩性 中的伟晶岩脉发育,绿柱石、白云母矿化明显, w(BeO)为 265×10⁻⁶, $w(Ta_2O_5)$ 为 395×10⁻⁶, $w(Nb_2O_5)$ 为 57×10⁻⁶,w(Mo)为 150×10⁻⁶。

阿斯喀尔特铍矿床由原生矿和次生砂矿2部分 组成。原生铍矿床产于斑状二云母二长花岗岩顶 部,白云母钠长花岗岩与泥盆纪斑状英云闪长岩交 界处的蚀变高温气成热液似伟晶岩中(李庆昌, 1989)。这些伟晶岩一般仅有与下伏花岗岩相同的 矿化,未形成独立的矿床。而向深部逐渐变为含 Nb、Mo、Be的花岗岩矿床,形成由上部的似伟晶岩 型铍矿体和下部的花岗岩型铍矿体组成的矿床。

》原生矿床从顶部向下可分为7个带(图 3a、b):

Ⅰ 含绿柱石的白云母-微斜长石-钠长石伟晶岩带,厚2~10 m,Be 矿化弱;

Ⅱ 含绿柱石的和海蓝宝石的上部白云母-石英带,长265 m,厚0.1~1.1 m,为Be矿体;

Ⅲ 块体石英带,长 264 m,厚 1~35 m,Be 矿化弱;



Fig. 2 Features of granitoids and mineralization of the Ascalt beryl ore district

a. Field characteristics of the porphyritic two mica adamellite: b. Microscopic characteristics of the porphyritic two mica adamellite

Kp—Potash feldspar; Q—Quartz; Pl—Plagioclase



图 3 阿斯喀尔特铍矿床平面结构分带图(a)和剖面分带图(b)(据邹天人,1996改绘) 1—第四系冰川漂砾;2—含绿柱石的白云母-微斜长石-钠长石伟晶岩带;3—块体石英带;4—含海蓝宝石-绿柱石的白云母-石英带;5—条 带状白云母-石英-钠长石带;6—含绿柱石的细粒白云母钠长石花岗岩带;7—中细粒白云母(钠长石)花岗岩带;8—斑状二云母二长花岗 岩;9—岩相过渡带;10—地质界线

Fig. 3 The plan zonation pattern(a) and profile zonation pattern(b) of the Ascalt beryllium deposit(modified after Zou, 1996) 1—Quaternary glacier boulders; 2—Muscovite-microcline-albite pebble zone, with beryl; 3—Block quartz zone; 4—Muscovite-quartz zone, with aquamarine and beryl; 5—Striped muscobite-quartz-albite zone; 6—Fine muscovite albite granite zone, with beryl; 7—Fine-grained muscovite (albite) granite zone; 8—Porphyritic two mica adamellite; 9—Rock transition zone; 10—Geological boundary

Ⅳ 含绿柱石和海蓝宝石的下部白云母-石英带, 长 265 m 厚 0.1~5 m ,为 Be 矿体;

Ⅴ 条带状白云母-石英-钠长石带,长 110 m,厚 10 m,为 Be 矿体;

Ⅶ 含绿柱石的细粒白云母钠长石花岗岩带 ,厚 20~50 m ,为 Be 矿体 ;

₩ 中细粒白云母钠长石带,仅有微弱的 Be 矿化。

其中,Ⅱ、Ⅳ、Ⅴ带为伟晶岩内的 Be 矿体,Ⅶ带 为花岗岩内的 Be 矿体,白云母石英带分布于块体石 英带两侧,构成 2 个富含绿柱石的矿带,矿带内主要 由白云母、石英及微斜长石组成,含绿柱石达 0.5% ~30%,绿柱石粒径为 0.5~20 cm,长 5~40 cm,最 长者达 40~200 cm。绿柱石除常与白云母、钠长石、 微斜长石和石英共生外,常伴生的副矿物有磷灰石、 锰铝榴石、铌钽锰矿、辉钼矿、黄铁矿、辉铋矿、泡铋 矿、闪锌矿、黄钾铁钒等。绿柱石富集的部位一般为 矿带倾角变缓处、黄铁矿密集的边缘处、绿柱石-白 云母-石英带的分支汇合处、矿带产状突变处和晶壁 洞。

次生砂矿是原生矿脉经次生风化在其下盘沿山 坡一带形成的残-坡积类型绿柱石砂矿,展布方向及 范围受原生矿地表位置及山坡地形严格控制,长350 m,宽224 m,一般厚度8~12 m(李庆昌,1989)。

3 样品及分析方法

用于锆石 U-Th-Pb 同位素测定的样品岩性为灰 白色中细粒斑状二云母二长花岗岩(样品 4299-2), 采样地理坐标为 N47°18′42″,E90°17′00″。用于地球 化学数据测试的样品采自新鲜、蚀变较轻的各岩相 单元中。

同位素测年样品按常规方法粉碎,用磁选、电磁 选方法分选得到重砂矿物,再淘洗获得锆石精矿,最 后在双目镜下挑选出晶形和透明度较好的锆石晶体 作为 U-Th-Pb 同位素测定对象。首先将锆石颗粒粘 在双面胶上,然后用无色透明的环氧树脂固定,待环 氧树脂充分固化后,对其表面进行抛光至锆石内部 暴露。锆石的阴极发光照相在西北大学大陆动力学 国家重点实验室扫描电镜加载阴极发光仪上完成。 锆石微区原位 U-Th-Pb 同位素年龄分析在西北大学 大陆动力学国家重点实验室的 LA-ICP-MS 仪器上 用标准测定程序进行。分析仪器为 Agilent7500a 型 四极杆质谱仪和 Geolas200M 型激光剥蚀系统,激光 器为193 nm ArF 准分子激光器。激光剥蚀斑束直 径为 20 µm, 激光剥蚀样品的深度为 20~40 µm。 锆 石年龄计算采用标准锆石 91500 作为外标,元素含 量采用美国国家标准物质局人工合成硅酸盐玻璃 NIST SRM610 作为外标,²⁹Si作为内标元素进行校 正。样品的同位素比值和元素含量数据处理采用 GLITTER(ver4.0, Macquarie University)程序,并采 用 Andersen 软件(Anderson, 2002)对测试数据进行 普通铅校正,年龄计算及谐和图绘制采用 ISOPLOT (2.49版)软件(Ludwig, 2003)完成。详细的实验原 理和流程及仪器参见 Yuan 等(2004)。

地球化学分析在咸阳核工业二〇三研究所分析 测试中心完成。常量元素用常规湿法、容量法分析, 其中烧失量用重量法分析,微量元素用电感耦合等 离子体发射光谱法(ICP-AES)分析,稀土元素用电 感耦合等离子体质谱法。常量元素的分析精度(相 对标准差)一般小于1%,微量元素和稀土元素分析 精度优于5%。

4 分析结果

4.1 锆石 U-Pb 年龄

从测年样品(4299-2)中选取的锆石以浅褐红色 为主,金刚光泽,透明-半透明,棱角状-次棱角状,晶 体自形程度较好,形态以柱面 a(100)与锥面 P(111),x(311)聚合晶型为主,多呈长柱状,粒度介 于 $100 \sim 500 \ \mu m$ 之间,长宽比多介于 $2 \sim 4$,个别晶体 为 $5 \sim 6$,锆石阴极发光图像(图 4)显示锆石内部结 构清楚,大多数锆石发育较好的环带结构,且所测锆 石的w(Th)为 $21.2 \times 10^{-6} \sim 1069 \times 10^{-6}, w(U)$ 为 $43.2 \times 10^{-6} \sim 1988 \times 10^{-6}, Th/U 比值多大于 0.4,$ 表现出典型的岩浆锆石的特征(Rubatto, 2002; 吴元保等, 2004)。

通过对锆石透射光、反射光和阴极发光图像的 比对研究,选择样品 23 粒锆石进行 25 个分析点测 试,测试结果见表 1。其中,10 号和 24 号 2 个测点 的²⁰⁶Pb/²⁰⁷Pb值明显偏高,在谐和年龄图中偏离谐 和线,故将其剔除;其余23个测点的²⁰⁶Pb/²³⁸U和



图 4 阿斯喀尔特铍矿区斑状二云母二长花岗岩(样品 4299-2)中锆石阴极发光图像及²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄(Ma) Fig. 4 Zircon CL images and ²⁰⁶Pb/²³⁸U ages (Ma) of the porphyritic two mica syenogranite (sample 4229-2) in the Ascalt beryl ore district

· Ascalt beryl ore district		h 1σ	8	9	٢	٢	9	10	5	6	11	٢	10	6	5	5	8	5	×	б	4	6	4	8	٢	9	17
		⁸ Pb/ ²³² T	413	229	410	432	393	475	220	430	452	382	413	464	203	292	387	228	399	211	217	455	261	221	383	379	417
		$1\sigma^{-20}$	9	5	9	9	9	7	4	9	9	8	9	7	4	9	9	4	9	б	б	٢	9	5	9	9	6
	Ma	⁶ Pb/ ²³⁸ U	410	217	430	414	400	443	222	416	389	405	412	443	218	413	401	217	417	214	216	443	412	215	395	400	427
	年龄/1	1σ ²⁽	Ξ	22	8	6	6	14	11	11	6	37	11	12	7	×	11	10	10	5	5	10	9	21	6	٢	24
		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	419	224	423	426	400	452	232	419	393	616	420	441	210	422	395	239	409	237	233	450	425	237	399	339	428
in th		0 10	41	25	26	31	31	56	87	43	37	160	44	48	55	25	44	70	36	61	31	32	17	175	33	24	118
le 4229-1		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pł	469	301	383	490	401	498	331	437	419	1495	463	434	384	472	355	461	367	ي 469 469	405	488	496	454	423	1298	431
lite (samp		10	0.00040	0.00019	0.00035	0.00035	0.00032	0.00051	0.00023	0.00045	0.00057	0.00036	0.00049	0.00047	0.00023	0.00025	0.00039	0.00024	0,00040	0.00017	0.00019	0.00046	0.00018	0.00039	0.00033	0.00028	0.00087
ica adamel		⁰⁸ Pb/ ²³² Th	0.02063	0.01073	0.02049	0.02162	0.01962	0.02380	0.01092	0.02148	0.02260	0.01906	0.02062	0.02320	0.01009	0.01456	0.01931	0.01136	0.01994	0.01051	0.01081	0.02278	0.01299	0.01101	0.01912	0.01895	0.02087
itic two m		1σ ²	0.00106	0.00086	0.00105	0.00103	0.00099	0.00121	0.00063	0.00107	0.00098	0.00132	0.00107	0.00116	0.00058	0.00100	0.00103	0.00059	0.00105	0.00054	0.00052	0.00110	0.00097	0.00083	0.00098	0.00097	0.00141
he porphyr	Ĩ	⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	0.06570	0.03418	0.06897	0.06635	0.06405	0.07108	0.03507	0.06658	0.06223	0.06480	0.06608	0.07107	0.03436	0.06615	0.06425	0.03420	0.06681	0.03378	0.03406	0.07109	0.06602	0.03398	0.06323	0.06395	0.06850
results of t	比值	1σ ²	0.01603	0.02683	0.01183	0.01346	0.01251	0.02186	0.01352	0.01628	0.01368	0.06604	0.01668	0.01885	0.00872	0.01162	0.01530	0.01208	0.01409	0.00577	0.00655	0.01460	0.00901	0.02571	0.01298	0.00934	0.03626
analytical		$^{07}\mathrm{Pb}/^{235}\mathrm{U}$	0.51108	0.24681	0.51624	0.52109	0.48344	0.56031	0.25651	0.51055	0.47333	0.83414	0.51288	0.54434	0.22976	0.51557	0.47506	0.26506	0.49666	0.26279	0.25751	0.55792	0.52005	0.26266	0.48184	0.39690	0.52398
a U-Th-Pb		1σ ²	0.00234	0.00584	0.00192	0.00213	0.00205	0.00273	0.00318	0.00234	0.00219	0.00763	0.00239	0.00246	0.00210	0.00199	0.00227	0.00302	0.00212	0.00153	0.00205	0.00215	0.00184	0.00578	0.00212	0.00304	0.00418
P-MS zirco		¹⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	0.05641	0.05237	0.05428	0.05695	0.05473	0.05716	0.05304	0.05561	0.05516	0.09335	0.05628	0.05554	0.05430	0.05651	0.05361	0.05621	0.05391	0.05643	0.05482	0.05691	0.05712	0.05605	0.05526	0.08425	0.05547
LA-ICI	11/ 11	TP/ C	0.63	1.35	0.43	0.82	0.79	0.74	1.27	0.52	0.21	1.10	0.40	0.65	0.60	0.61	0.60	0.93	0.47	0.32	0.46	0.36	0.54	1.21	0.61	0.88	0.49
able 1	9	n	177	69	392	290	320	103	129	175	267	225	159	128	524	374	191	160	291	603	612	292	1988	64	383	485	43
Ë	3)/10 ⁻	Th	111	94	170	237	253	LT TT	164	91	55	246	63	83	314	230	114	148	138	193	282	105	1069	78	235	425	21
	w(1)	Pb*	14.5	3.9	32.4	25.5	26.4	9.5	6.5	14.4	18.7	29.4	12.8	11.9	37.1	30.8	15.1	24.3	23.9	24.7	25.2	7.5	53.0	3.7	29.3	41.0	3.6
	다 나	川 イ ー	-	5	3	4	5	9	٢	×	6	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21 1	22	23	24	25
	-		•																								

第36卷 第3期

注: $Pb^* 为 放射性成因铅, Pb^* = 0.241 \times ^{206}Pb + 0.221 \times ^{207}Pb + 0.524 \times ^{208}Pb$



图 5 阿斯喀尔特铍矿区斑状二云母二长花岗岩(样品 4299-2)中锆石 U-Pb 年龄图

Fig. 5 LA-ICP-MS zircon U-Pb diagram of the porphyritic two mica adamellite (sample 4229-2) in the Ascalt beryl ore district

 207 Pb/²³⁵U投点均落在谐和线上或其附近,年龄值可 分为 2 组,第一组有 16 个测点,年龄值介于 389~ 443 Ma(图 5),对照阴极发光图像,其测点或位于锆 石核部,或位于锆石震荡环带上,可能代表捕获锆石 的年龄;第二组有 7 个测点,测点多位于岩浆震荡环 带上,年龄值集中于 214~ 222 Ma,其 206 Pb/²³⁸U和²⁰⁷Pb/²³⁵U谐和年龄为(218.7 ± 4.9) Ma(MSWD = 0.34),²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄的加权平均值 为(216.7 ± 2.8) Ma(MSWD = 0.48)(图 5),时代为 晚三叠世,代表了阿斯喀尔特矿区花岗质岩石主体 岩浆结晶年龄。

4.2 岩石地球化学

岩石地球化学数据(表 2)显示,岩石具有高硅 (w(SiO₂)=70.86%~76.34%,均值为73.77%) 富碱(ALK = 5.54~9.30)、高铝(w(Al₂O₃)= 13.00%~14.74%)低钛(w(TiO₂)=0.02%~ 0.18%均值为0.10%)和镁(w(MgO)=0.02%~ 1.21%均值为0.31%)等特征。岩石碱度率(AR) 介于1.96~3.80(2件白云母钠长石花岗岩AR值 略大于 4) 在 SiO₂-K₂O 图解(图 6a)中表现出中钾-高钾钙碱性岩石特征。铝饱和指数(A/CNK)介于 0.99~1.23 之间,在 A/CNK-A/NK 图解(图 6b)中, 样品基本落入过铝质花岗岩区域。CIPW 标准矿物 中均出现石英、正长石、钠长石、钙长石和刚玉,其 中 刚玉质量百分数含量为 0.14~3.19,平均达 1.89,说明岩石属铝和硅过饱和类型。岩石分异指 数(*DI*)介于 91.14~96.80(仅1件斑状黑云母花岗 岩样品的 *DI* 值为 74.89),Mg[#] 值介于 3.33~ 36.57 表明岩石经历了较强程度的分异作用。综上 所述 岩石总体属中钾-高钾钙碱性、过铝质、高分异 花岗质岩石。

岩石稀土元素含量变化较大(表 2),其中似伟晶 岩含量最高(Σ REE = 3142.51×10⁻⁶),白云母钠长 石花岗岩 Σ REE 含量最低, Σ REE 仅 5.24×10⁻⁶~ 9.79×10⁻⁶。斑状二云母二长花岗岩的 REE 介于 二者中间(Σ REE = 69.76×10⁻⁶~261.13×10⁻⁶)。球 粒陨石标准化稀土元素配分曲线图中(图 7a),似 伟晶岩与斑状二云母二长花岗岩样品较相似,均显



图 6 阿斯喀尔特铍矿区花岗质岩石 SiO₂-K₂O 图(a 据 Maniar et al. ,1989)和 A/CNK-A/NK 图(b 据 Rickwood ,1989) 1—斑状二云二长花岗岩;2—白云母二长花岗岩;3—钠长石化白云母花岗岩;4—似伟晶岩脉

Fig. 6 SiO₂-K₂O diagram (a, after Maniar et al. ,1989) and A/CNK-A/NK diagram (b, after Rickwood, 1989) of granitoids in the Ascalt beryl ore district

1-Porphyritic two mica adamellite ; 2-Muscovite adamellite ; 3-Albitized muscovite granite ; 4-Pegmatoid

示右倾型配分模式((La/Yb)_N = 4.16~49.06),白 云母钠长石花岗岩显示较为平缓的曲线形态((La/ Yb)_N = 1.62~2.79)。白云母二长花岗岩样品显示 "V"型配分模式((La/Yb)_N = 0.52)。岩石的 δ Eu 值 介于 0.37~0.90(多集中在 0.37~0.51),显示弱到 中等程度的负 Eu 异常,这与岩石富含钾长石、斜长 石为贫 Ca 的钠长石特征相一致,暗示岩浆在形成过 程中可能存在斜长石的分离结晶作用或部分熔融过 程中源区有斜长石的残留。

岩石微量元素含量(表 3)和原始地幔标准化微量元素蛛网图(图 7b)显示,所有样品分布均表现出近乎一致的分布模式,元素 Cs、Rb、Th、K、Nb、Ta、La、Ce、Nd、Sm、Tb 等相对富集,Ba、Sr、Hf、Ti 等相对亏损,总体显示左高右低曲线样式,与 S 型花岗岩的配分样式相近(Condie,1989)。Nt(17.0×10⁻⁶~31.5×10⁻⁶)富集,Ba(34.1×10⁻⁶~199.2×10⁻⁶)。St(19.0×10⁻⁶~60.7×10⁻⁶)的相对亏损,具有非造山花岗岩的特征。

5 讨 论

5.1 花岗岩形成时代及其对成矿时代的限定

对阿斯喀尔特铍矿床母岩斑状二云母二长花岗 岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测定的结果表明,其 年龄值分 2 组,一组年龄值介于 389~443 Ma,分析

该组年龄值代表捕获围岩锆石年龄信息 因为本次 工作获得矿区周围岩体时代多为早泥盆世 ,如阿尔 沙特北东黑云母花岗岩、南侧阿克布拉克花岗闪长 岩、昆格依特英云闪长岩及西侧珠涅斯达拉斯英云 闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为(396.5± 5.6) Ma、(397.6 \pm 5.2) Ma、(403.4 \pm 7.4) Ma(张 亚峰等 2014)和(396.3±3.3) Ma(未发表资料),更 重要的是斑状二云母二长花岗岩侵位于泥盆纪英云 闪长岩中(张辉等,2015);另一组年龄值介于214~ 222 Ma,其²⁰⁶ Pb/²³⁸ U 和²⁰⁷ Pb/²³⁵ U 谐和年龄为 (218.7 ± 4.9) Ma(MSWD=0.34), 206 Pb/ 238 U 年龄 的加权平均值为(216.7±2.8) Ma(MSWD=0.48), 时代为晚三叠世。阿斯喀尔特铍矿区西部可可托海 3号伟晶脉母岩阿拉尔花岗岩体主体岩性为斑状黑 云正长(二长)花岗岩,最近研究表明其形成时代为 晚三叠世(刘锋等,2012;张亚峰等,2015),与阿斯喀 尔特铍矿区花岗岩从地质特征、岩性、含矿性等均具 可对比性。综上所述,本文将阿斯喀尔特铍矿床母 岩主体岩浆结晶时代厘定为晚三叠世。

阿斯喀尔特铍矿是中国典型的花岗岩型铍矿床 (李庆昌,1989;巫晓兵等,1996;邹天人等,2006),矿 体形成与岩浆侵入、分异作用具有明显的成因联系。 丁欣等(2015)对矿区花岗岩中熔体包裹体和伟晶岩 中含子晶包裹体做均一实验后获得二者完全均一温 度均为750~800℃,据此推断阿斯喀尔特铍矿可能

表 2 阿斯喀尔特铍矿区花岗质岩石主量和稀土元素分析结果

Table 2 Major element and REE data of granitoids in the Ascalt beryl ore district

40/2		斑状	二云母二长花	花岗岩	白云母花岗岩	白云母钠	似伟晶岩		
组力	4299-1	4299-2	4299-3	ZL-1	ZL-2	4298-1	ZL-4	ZL-5	ZL-3
					α (B)/ %				
SiO_2	73.83	73.35	73.90	70.86	73.18	76.07	73.96	76.34	72.45
TiO_2	0.13	0.17	0.15	0.06	0.18	0.03	0.02	0.03	
Al_2O_3	14.69	14.74	14.54	13.88	14.13	13.67	14.54	13.00	14.65
$\mathrm{Fe_2O_3}$	0.44	0.45	0.59	0.99	0.71	0.09	0.07	0.39	1.49
FeO	1.13	0.95	0.83	2.85	0.60	0.95	0.45	0.40	0.63
MnO	0.06	0.07	0.05	0.07	0.05	0.35	0.08	0.15	0.05
MgO	0.21	0.25	0.24	1.21	0.29	0.02	0.16	0.12	0.29
CaO	0.35	0.77	0.46	3.26	0.63	0.30	0.28	0.12	0.53
Na ₂ O	3.96	3.68	3.72	3.73	4.02	5.02	5.81	4.96	3.95
K_2O	4.40	4.47	4.52	1.81	4.41	3.00	3.49	3.44	5.15
P_2O_5	0.19	0.19	0.18	0.14	0.26	0.11	0.13	0.13	0.09
烧失量	0.67	0.96	0.91	0.09	0.15	0.46	0.05	0.06	0.19
AR	3.44	3.11	3.32	1.96	3.60	3.70	4.37	4.56	3.80
A/CNK	1.23	1.20	1.23	0.99	1.13	1.13	1.05	1.07	1.12
$\mathrm{Mg}^{\#}$	19.66	24.70	23.94	36.57	29.44	3.33	35.73	22.17	20.78
SI	2.07	2.55	2.42	11.43	2.89	0.22	1.60	1.29	2.52
DI	92.73	91.14	92.64	74.89	93.18	94.54	96.66	96.80	92.96
Q	32.87	33.07	33.98	32.17	32.18	34.14	26.21	33.95	28.65
Or	26.19	26.68	26.96	10.83	26.49	17.81	20.85	20.54	30.68
Ab	33.67	31.39	31.70	31.89	34.51	42.59	49.60	42.31	33.63
An	0.63	2.73	1.24	15.54	1.63	0.85	0.63	0.60	2.12
С	3.19	2.87	3.09	0.14	2.18	1.85	0.97	0.90	1.80
					u(B)∕10 ^{−6}	5			
La	14.70	23.80	12.40	34.85	4.43	2.73	0.66	0.98	534.83
Ce	35.10	56.00	30.80	92.32	31.93	5.86	1.35	2.20	1411.28
Pr	3.57	5.91	3.16	9.32	4.03	0.58	0.15	0.33	130.72
Nd	14.60	24.00	13.10	36.74	14.27	2.23	0.57	1.68	415.17
Sm	2.40	3.88	2.27	8.41	2.98	0.43	0.15	0.42	104.82
Eu	0.32	0.51	0.30	1.21	0.42	0.08	0.05	0.10	11.99
Gd	1.79	2.83	୬ ≫1.74	8.35	1.90	0.47	0.19	0.43	89.18
Tb	0.22	0.32	0.20	1.42	0.26	0.11	0.04	0.07	14.48
Dy	1.20	1.53	1.05	8.89	1.30	1.30	0.24	0.40	88.51
Ho	0.23	0.27	0.19	1.73	0.25	0.40	0.05	0.09	14.32
Er	0.78	0.79	0.56	5.17	0.62	1.75	0.15	0.25	30.62
Tm	0.14	0.11	0.08	0.75	0.10	0.41	0.03	0.05	3.84
Yb	1.12	0.76	0.58	0.48	0.72	3.54	0.16	0.41	21.18
Lu	0.17	0.12	0.08	0.85	0.21	0.55	0.03	0.08	3.33
δEu	0.45	0.45	0.44	0.44	0.51	0.51	0.90	0.71	0.37
δCe	1.11	1.08	1.13	1.18	1.61	1.05	0.98	0.91	1.22
$(La/Sm)_N$	3.86	3.86	3.44	2.61	0.94	4.00	2.77	1.47	3.21
(Gd/Yb) _N	1.30	3.02	2.43	14.10	2.14	0.11	0.96	0.85	3.41
(La/Yb) _N	8.87	21.16	14.45	49.06	4.16	0.52	2.79	1.62	17.06
∑REE	84.03	129.40	72.53	261.13	69.76	33.54	5.24	9.79	3412.51
Y	7.69	8.57	6.02	50.64	6.34	13.10	1.43	2.30	538.24

注:比值单位为1/样品 ZL-1、ZL-2、ZL-3、ZL-4、ZL-5 数据引自邹天人等 2006; Q、Or、Ab、An、C均为标准矿物 其中 Q 代表石英、Or 代表正 长石、Ab 代表钠长石、An 代表钙长石、C 代表刚玉。

Table 3 Trace element data of granitoids in the Ascalt beryl ore district

ᄷᇢᇢ	ut B $\mathcal{Y}10^{-6}$													
1+00 5	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	Cr	Sr	Ba	Rb	Cs	Nb	Та	Zr	
4299-1	17.9	27.0	48.4	1.51	4.27	7.6	43.8	132.7	588.4	26.2	31.5	2.49	76.1	
4299-2	13.4	31.4	73.3	1.52	4.83	5.4	60.7	199.2	603.0	31.6	22.4	2.38	85.5	
4299-3	11.7	30.1	66.8	2.42	3.57	4.5	58.4	184.3	571.7	33.1	24.2	1.75	94.4	
4298-1	3.5	19.7	21.0	0.89	2.19	5.2	19.0	34.1	509.3	12.9	17.0	0.86	25.3	
ᄷᇢᇢ	$\pi CB \gamma 10^{-6}$													
1+00 5	Hf	U	h	W	Mo	Sn	В	Bi	Sb	Ga	Р	Ti	Κ	
4299-1	0.96	2.10	32.3	6.78	0.97	4.49	35.9	0.26	0.18	26.7	618	780	36511	
4299-2	0.88	3.51	32.3	5.79	0.63	3.68	41.4	0.13	0.07	26.4	612	1020	37091	
4299-3	0.76	2.70	39.6	5.09	0.58	4.29	47.2	0.13	0.11	28.3	636	900	37506	
4298-1	1.45	1.59	41.3	2.68	0.74	0.46	15.7	0.05	0.25	24.0	519	180	24894	

注 样品 P、Ti、K 含量根据主量元素原子量计算得出。





1—斑状二云二长花岗岩;2—白云母二长花岗岩;3—钠长石化白云母花岗岩;4—似伟晶岩脉

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns (a, normalization values after Taylor et al., 1985) and primitive mantle-normalized trace element spidergrams (b, normalization values after Sun et al., 1989) of the granitoids in the Ascalt beryl ore district 1—Porphyritie two mica adamellite; 2—Muscovite adamellite; 3—Albitized muscovite granite; 4—Pegmatoid

是岩浆演化晚期发生液体不混溶作用,分离出的贫 硅富挥发分的熔体或流体演化为成矿流体。可见, 铍矿床形成于岩体侵入晚期或略晚于侵入期,即岩 体结晶年龄(216.7±2.8)Ma为铍矿床形成时代的 下限。与矿区西部的可可托海3号伟晶岩矿床相比, 二者内部矿物组合特征(巫晓兵等,1996),围岩时代 (Wang et al.,2006 刘锋等 2014),成矿母岩时代(Zhu et al.,2006;Lü et al.,2012;张亚峰等,2015)均相 似,且空间分布距离近,同属中阿勒泰块体构造带, 暗示二者具有相似的成矿作用。而前人研究资料表 明可可托海3号伟晶岩脉成矿时代为晚三叠世—早 侏罗世(周其凤 2013)。因此 本文将阿斯喀尔特铍 矿成矿时代确定为晚三叠世—早侏罗世。

大量研究结果显示阿尔泰地区成矿伟晶岩时代 主要集中在印支期,如王登红等(2003)获得大、小喀 拉苏伟晶岩白云母 Ar-Ar 坪年龄分别为(248.42± 2.11) Ma 和(233.79±0.41) Ma; Zhu 等(2006)报 道阿尔泰 3 号伟晶岩脉边缘带形成的 Rb-Sr 等时线 年龄为(218±5.8) Ma; Wang 等(2007)利用 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年法获得其 I、V和 III 带的 形成年龄分别为(220±9) Ma、(198±7) Ma 和(213 ±6) Ma; 刘锋等(2012)获得其边部带中辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄为(208 ± 2.4) Ma;琼库尔、佳木 开、阿巴宫-塔拉特稀有金属伟晶岩形成时代分别为 (206.8 ± 1.6) Ma、(212.2 ± 1.7) Ma 和(246.8 ± 1.2) Ma(任宝琴等,2011);柯鲁木特 112 号伟晶岩 脉锆石 U-Pb 定年结果显示为 238~216 Ma(Lü et al.,2012)。可见,印支期是阿尔泰山最重要的稀有 金属成矿时期,其成矿多与中生代花岗岩有密切的 成因联系(朱永峰,2007;韩宝福,2008)。因此,对印 支期与成矿相关花岗岩的研究值得重点关注。

5.2 源岩类型及岩石成因

阿斯喀尔特铍矿区花岗质岩石岩性以斑状二云 母二长花岗岩、白云母花岗岩等为主,岩石组成矿物 中未见角闪石,而以钾长石、钠长石和白云母等矿物 为主,CIPW标准矿物中出现刚玉分子,含量多大于 1,A/CNK值大于1。岩石Mg[#]指数为3.33~36.6, 明显小于玄武岩熔融实验熔体成分的Mg[#]值(Rapp et al.,1995)。Nb/Ta比值为9.40~19.8,与地壳的 Nb/Ta值(11)接近。Rb/Sr=9.34~26.81, α (Cr) α (Ni) α (Co)分别为4.50×10⁻⁶~7.60×10⁻⁶、 2.19×10⁻⁶~4.83×10⁻⁶和0.89×10⁻⁶~2.41× 10⁻⁶,暗示岩体不可能由富集的幔源岩浆受到地壳 混染形成(Riley et al.,2001)。在ACF 图解(图 8a) 中样品投影在S型花岗岩区域,表明岩石具有"S" 型花岗岩特征,是地壳物质熔融的产物(Chappell et al.,1974)。 研究表明 "S"型过铝质花岗岩中 CaO/NaO 比 值、Rb/Sr 和 Rb/Ba 比值可以很好的指示花岗岩源 区物质成分(Sylvester,1998)。当 CaO/NaO 比值> 0.3 时,指示源区为砂屑岩;当 CaO/NaO 比值<0.3 时,指示源区为泥岩。本区花岗岩 CaO/NaO 比值除 1 件样品外,其余均小于 0.3(0.02~0.21),在 Rb/ Sr-Rb/Ba 图解(图 8b)中,样品全部落入黏土岩源 区 表明花岗岩源区物质可能主要为泥岩。Rb/Nb 比值为 18.7~30.0,明显高于全球上地壳的 Rb/Nb 值(4.50),进一步证明矿区花岗质岩石与上地壳的 含砂泥质岩石部分熔融有关(Taylor et al., 1985; Wilson,1989)。

综上所述,阿斯喀尔特铍矿区花岗质岩石具有 "S'型花岗岩特征,可能是上地壳含砂泥质岩石部分 熔融的产物。部分熔融形成原始岩浆之后,源区主 要有斜长石、钛铁矿、角闪石等的残留。

5.3 岩体构造环境分析

关于阿尔泰造山带印支期花岗岩的构造属性问题,目前仍存在争议,有学者认为其形成于板内构造环境(王涛等,2010),也有学者认为是构造体制由挤压转换为伸展构造背景的产物(Lü et al. 2012)。另外,俄罗斯学者 Potseluev等(2006)认为,阿尔泰印支期花岗岩类与西伯利亚超级地幔柱有关的幔源含矿岩浆活动的时限基本一致,属于非造山花岗岩类, 是该地幔柱演化最后阶段的产物。



图 8 阿斯喀尔特铍矿区花岗质岩石 ACF 图(a,据 Nakada,1979)和 Rb/Sr-Rb/Ba 图解(b,据 Sylvester,1998) 1—斑状二云二长花岗岩;2—白云母二长花岗岩;3—钠长石化白云母花岗岩;4—似伟晶岩脉 Fig. 8 ACF(a,after Nakada,1979) and Rb/Sr-Rb/Ba(b,after Sylvester,1998) diagram of the granitoids

in the Ascalt beryl ore district

1-Porphyritic two mica adamellite; 2-Muscovite adamellite; 3-Albitized muscovite granite; 4-Pegmatoid

阿勒泰地区二叠系主体为一套陆相沉积地层, 其中富蕴地区下二叠统特斯巴汗组为一套粉砂岩、 砾岩组合 角度不整合于下伏地层之上 为断陷内陆 湖盆沉积:上二叠统库尔提组底部为一套巨砾岩,上 部为陆相中基性火山岩建造,是早二叠世内陆湖盆 沉积的延续,说明阿勒泰地区在这一时期存在小型 断陷盆地 ,是阿尔泰造山带构造应力场松弛阶段的 产物,这与泥盆系康布铁堡组、阿勒泰组海相地层, 石炭系姜巴斯套组、那林卡组的海陆交互相沉积地 层特征完全不同,说明古额尔齐斯洋二叠纪时期已 经关闭。同时,二叠纪花岗岩岩石类型以 A 型花岗 岩为主,多伴生基性岩(脉)。岩体形态除额尔齐斯 构造带内受走滑变形影响的岩体呈带状、线状展布 外(孙桂华等,2009),其他地段多呈不规则圆状,清 楚地切割了区域变质岩的片麻理,且没有造成明显 的变形弯曲。上述特征表明,阿尔泰造山带二叠纪 时期进入了后碰撞构造演化阶段(王涛等 2010)。

阿斯喀尔特铍矿区花岗岩岩石新鲜,未变形,岩 性为斑状二云母二长花岗岩、白云母花岗岩等,这与 区域上大面积分布的俯冲期泥盆纪花岗岩特征截然 不同(杨富全等,2008;张亚峰等,2014)。在构造环 境判别 *R*₁-*R*₂ 图解(图 9a)中,样品落入后造山环境 区域;在 SiO₂-FeO_t/(FeO_t + MgO)图解(图 9b)中,样 品落入后碰撞构造环境区域。岩石地球化学显示非

常低的 Sr(19.0×10⁻⁶~60.7×10⁻⁶) Ba(34.1× 10⁻⁶~199×10⁻⁶),高的 Nb(17.0×10⁻⁶~31.5× 10⁻⁶)值,具有板内花岗岩特征,表明矿区花岗岩既 具有造山后阶段的地球化学特性,也具有非造山(板 内)阶段的地球化学特征,与岩体西部同时期的阿拉 尔花岗岩相似(张亚峰等,2015),反映了岩体由造山 后环境向非造山(板内)构造环境转换的趋势,这种 转换标志着造山阶段的结束、板内(非造山)构造环 境的开始,即为后造山阶段(肖庆辉等,2002)。实际 上,区内侏罗纪花岗岩岩性多为细粒正长花岗岩、二 云母花岗岩等,地球化学数据显示具板内花岗岩特 征(陕西省地质调查院,2014;2015),表明侏罗纪时 期阿尔泰造山带已进入板内阶段。这进一步证实了 阿尔泰造山带在三叠纪时期处于从造山后环境向板 内(非造山)环境转换的后造山构造阶段。

6 结 论

(1)新疆北部青河县阿斯喀尔特铍矿床矿区花 岗岩由斑状二云钾长花岗岩(主体相)和白云母花岗 岩(边缘相)组成。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄结果 显示其形成时代为(216.7 ± 2.8)Ma(MSWD = 0.48),为晚三叠世。结合区域地质资料,限定阿斯 喀尔特铍矿成矿时代为晚三叠世—早侏罗世。



9 阿斯喀尔特铍矿区花岗质岩石 R₁-R₂(a 据 Batchelor et al. , 1985)和 SiO₂-FeO_t/(FeO_t + MgO)(b 据 Pearce et al. , 1984) 构造环境判别图解

1—斑状二云二长花岗岩;2—白云母二长花岗岩;3—钠长石化白云母花岗岩;4—似伟晶岩脉

Fig. 9 R_1 - R_2 (a , after Batchelor et al. , 1985) and SiO₂-FeO₁/(FeO₁ + MgO)(b , after Pearce et al. , 1984)

diagrams of the tectonic setting for the granitoids in Ascalt beryl ore district

1-Porphyritic two mica adamellite; 2-Muscovite adamellite; 3-Albitized muscovite granite; 4-Pegmatoid

(2)新疆北部青河县阿斯喀尔特铍矿床矿区花 岗岩形成于后造山构造阶段,可能是上地壳含砂泥 质岩石部分熔融的产物。

志 谢 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测试和岩 石地球化学数据分析分别得到西北大学大陆动力学 国家重点实验室柳小明博士和咸阳核工业二〇三研 究所分析测试中心林桂芝工程师的大力支持和热心 帮助,评审专家对文稿提出诸多宝贵而中肯的意见, 在此一并谨志谢忱!

References

- Anderson T. 2002. Correction of common Pb in U-Pb analyses that do not report ²⁰⁴Ph[J]. Chemcal Geology , 192(1-2):59-79.
- Batchelor B and Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters J J. Chemical Geology , 48 : 43-55.
- Chapell B W and White A J R. 1974. Two contrasting granite types [J]. Pacific Geology, 8:173-174.
- Condie K C. 1989. Plate tectonics and crustal evolution [M]. Oxford : Pergamon Press. 1-476.
- Han B F. 2008. A preliminary comparison of Mesozoic granitoids and rare metal deposits in Chinese and Russian Altai Mountain. J. J. Acta Petrologica Sinica, 24(4):655-660(in Chinese with English abstract).
- He G Q , Han B F , Yue Y J and Wang J H. 1990. Tectonic division and crustal evolution of Altay orogenic belt in China M]. Beijing Geological Publishing House. 9-20(in Chinese).
- Li J Y, Xiao W J, Wang K Z, Sun G H and Gao L M. 2003. Neoproterozoec-Paleozoic tectonostratigraphy ,magmatic activities and tectonic evolution of eastern Xinjian ,NW China[A]. In : Mao J W, eds. Tectonic evolution and metallogeny of the Chinese Altay and Tianshar[C]. IAGOD Guidebook Series 10 CERCAM/NHM. 31-74.
- Liu F, Zhang Z X, Li Q, Qu W J and Li C. 2012. New age constraints on Koktokay pegmatite No. 3 Vein, Altay Mountains, Xinjiang: Evidence from molybdnite Re-Os dating J]. Mineral Deposits, 31 (5):1111-1118 in Chinese with English abstract).
- Liu F, Cao F, Zhang Z X and Li Q. 2014. Chronology and geochemistry of the granite near the KeKetuohai No. 3 pematite in Xinjiang J]. Acta Petrologica Sinica, 30(1):1-15(in Chinese with English abstract).
- Lü Z H , Zhang H , Tang Y and Guan S J. 2012. Petrogenesis and mag-

matic-hydrothermal evolution time limitation of Kelumute No. 112 pegmatite in Altay, northwestern China: Evidence from zircon U-Pb and Hf isotopes[J]. Lithos, 154(1):374-391.

- Ludwig K R. 2003. Isoplot/Ex version 2.49. A geochronological toolkit for Microsoft Excel M]. Berkeley :Berkeley Geochronology Center Special Publication. 1-56.
- Maniar P D and Piccoli P M. 1989. Tectionic discrimination in of granitoid [J]. Geological Society of America Bulletin , 1:635-643.
- Nakada S and Takahashi M. 1979. Regional variation in chemistry of the Miocene intermediate to felsic magmas in the Outer Zone and the Setouch Province of southwest Japar[J]. Mining Geology , 85(9): 571-582.
- Pearce J A, Harris N B L and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of the granitic rocks[J]. Journal of Petrology 25 :956-983.
- Potseluev A A, Babkin D I and Kotegov V I. 2006. The Kalguty complex deposit, the Gorny Altai: Mineralogical and geochemical characteristics and fluid regime of ore formation[J]. Geologiya Rudnykh Mestorozhdenii, 48(5):439-459(in Russian).
- Rapp R P and Watson E B. 1995. Dehydration melting of metabasalt at 8-32 kbar : Implication for continental growth and crust-mantle recycling J]. Journal of Petrology , 36 :891-931.
- Ren B Q, Zhang H, Tang Y and Lü Z H. 2011. LA-ICPMS U-Pb Zircon Geochronology of the Altai Pegmatites and its geological significance J. Acta Mineralogica Sinica, 3(31): 587-596(in Chinese with English abstract).
- Rickwood P C. 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides for major and minor element J]. Lithos , 22 :246-263.
- Riley T R , Leat P T , Pankhurst R J and Harris C. 2001. Origins of large volume rhyolitic volcanism in the Antarctic Pennisula and Patagonia by crustal melting J J. Journal of Petrology , 42(6):1043-1065.
- Rubatto D. 2002. Zircon trace element geochemistry : Paritioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism[J]. Chemcal Geology, 184 : 123-138.
- Sengör A M C , Natal 'in B A and Burtman V S. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia J J. Nature , 364 (22):299-307.
- Sun G H , Li J Y , Yang T N , Li Y P , Zhu Z X and Yang Z Q. 2009. Zircon SHRIMP U-Pb dating of two linear granite plutons in southern Altay Mountains and its tectonic implications J]. Geology in China , 36 (5):976-987 (in Chinese with English abstract).
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[J]. Geological Society Special Publication, 42:313-345.
- Sylvester P J. 1998. Post-collisional strongly peraluminous granites J].

Lithos, 45:29-44.

- Taylor S R and Mclenann S M. 1985. The continental crust : Its composition and evolutior[M]. Blackwell : Oxford Press. 1-312.
- Wang D H , Chen Y C and Xu Z G. 2003. ⁴⁰Ar/³⁹Ar Isotope dating on muscobites from Indosinian raremetal deposits in Central Altay , northwestern China J Bulletin of Mineralogy , Petrology and Geochemistry , 22(1):14-17 in Chinese with English abstract).
- Wang T , Hong D W , Jahn B M , Tong Y , Wang J B , Han B F and Wang X X. 2006. Timing , petrogenesis , and setting of Paleozoic synorogenic intrusions from the Altai Mountains , northwest China : Implications for the tectonic evolution of an accretionary Oroger[J] Journal of Geology , 114 : 735-751.
- Wang T , Tong Y , Jahn B M , Zou T R , Wang J B , Hong D W and Han B F. 2007. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of the Altai No. 3 Pegmatite , NW China , and its implications for the origin and tectonic setting of the pegmatit [J]. Ore Geology Reviews , 32:325-336.
- Wang T , Tong Y , Li S , Zhang J J , Shi X J , Li J Y , Han B F and Hong D W. 2010. Spatial and temporal variations of granitoids in the Altay orogen and their implications for tectonic setting and crustal growth :Perspectives from Chinese Altay[J]. Acta Petrologica et Mineralogica , 29(6) 595-618(in Chinese with English abstract).
- Wilson M. 1989. Igneous petrogenesis M J. London : Unwin Hyman Press. 295-323.
- Windley B F , Krner A , Guo J H , Qu G S , Li Y and Zhang C. 2002. Neoproterozoic to Palaeozoic geology of the Altai orogen , NW China : New zircon age data and tectonic evolutior[J]. The Journal of Geology , 110 :719-737.
- Wu X B , Fan L M and Mao Y Y. 1996. Retrace of the genesis of Ascalt beryllium deposit J J. Journal of Chengdu University of Technology , 23(3):113-118(in Chinese with English abstract).
- Xiao Q H , Deng J F and Ma D Q? 2002. Thought and approach of granite research[M]. Beijing : Geological Publishing House. 1-294 (in Chinese).
- Xiao W J, Windley B F, Badarch G, Sun S, Li J, Qin K Z and Wang Z H. 2004. Palaeozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altaids : Implications for the growth of Central Asia [J]. Journal of the Geological Society, 161:339-342.
- Yang F Q , Mao J W , Yan S H , Liu F , Chai F M , Zhou G , Liu G R , He L X , Geng X X and Dai J Z. 2008. Geochronnlogy , geochemistry and geological implications of the Mengku synorogenic Plagiogranite Pluton in Altay , Xinjiang[J]. Acta Geologica Sinica , 82(4):485-499 (in Chinese with English abstract).
- Yuan H L , Gao S , Liu X M , Li H M , Günther D and Wu F Y.2004. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by

laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry[J]. Geostandards and Geoanalytical Research , 28(3):353-370.

- Zhang Y F , Lin X W , Wang X , Guo Q M , Zhao D C , Lü J L and Wang X. 2014. LA-ICP-MS U-Pb geochronology , petrogenesis and its geological implications of Kungeyite plutons in southern Altay orogenic Belt J]. Geoscience , 28(1):16-28 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Y F , Lin X W , Guo Q M , Wang X , Zhao D C , Dang C and Yao S. 2015. LA-ICP-MS Zircon U-Pb dating and geochemistry of Aral granitic plutons in Koktokay area in southern Altay margin and their source significance J . Acta Geologica Sinica , 89(2):339-354 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Q F. 2013. The geochronology, mineralogy, melt-fluid evolution and metallogenesis of the Koktokay No. 3 pegmatitic rare-element deposit, Altai, China D J. Supervisor Qin K Z. Beijing Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences University of Chinese Academy of Sciences. 44-46 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Y F, Zeng Y S and Gu L B. 2006. Geochemistry of the rare metalbearing pegmatite No. 3 vein and related granites in the Keketuohai region, Altay Mountains, northwest China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 27:61-77.
- Zhu Y F. 2007. Indosinian movement and metallogeny in Xinjiang J J. Geological Bulletin of China , 26(5) : 510-519 (in Chinese with English abstract).
- Zou T R and Li Q C. 2006. Rare and rare earth metallic deposits in Xinjiang , Chind M]. Beijing : Geological Publishing House. 34-51 (in Chinese).

附中文参考文献

- 丁欣 李建康. 2015. 新疆阿斯喀尔特铍矿床的流体和熔体包裹体特 征成矿机制研究 J]. 矿物学报 S1:573-574.
- 韩宝福.2008. 中俄阿尔泰山中生代花岗岩与稀有金属矿床的初步对 比分析报[J]:岩石学报 24(4):655-660.
- 何国琦,韩宝福,岳永君,王嘉桁.1990.中国阿尔泰造山带的构造分 区和地壳演化[M]北京,地质出版社.9-20.
- 李庆昌.1989. 阿斯喀尔特铍矿床地质特征及成矿模式浅析[J].新疆 矿产地质(1):1-15.
- 刘锋,曹峰,张志欣,李强.2014. 新疆可可托海近3号脉花岗岩成岩 时代及地球化学特征研究11,岩石学报 30(1):1-15.
- 任宝琴 ,张辉 ,唐勇 ,吕正航. 2011. 阿尔泰造山带伟晶岩年代学及其

地质意义[J].矿物学报 3(31):587-596.

- 陕西省地质调查院.2014.新疆 1:250 000 可可托海幅、江德勒克幅区 域地质调查报告[R].
- 陕西省地质调查院.2015.新疆 1:50 000 阿尔沙特等四幅区域地质调 查报告[R].
- 孙桂华,李锦轶,杨天南,李亚萍,朱志新,杨之青.2009. 阿尔泰山脉 南部线性花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J].中 国地质 36(5):976-987.
- 王登红 陈毓川 徐志刚.2003. 新疆阿尔泰印支期伟晶岩的成矿年代 学研究 J].矿物岩石地球化学通报 22(1):14-17.
- 王涛,童英,李舢,涨建军,史兴俊,李锦轶,韩宝福,洪大为.2010. 阿 尔泰造山带花岗岩时空演变、构造环境及地壳生长意义——以 中国阿尔泰为例[J].岩石矿物学杂志,29(6):595-618.
- 巫晓兵 范良明 毛玉元.1996. 阿斯喀尔特铍矿床成因再认识[J].成 都理工学院学报 23(3):113-118.
- 吴元保,郑永飞.2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释 的制约[J]:科学通报 A9(16):1589-1604.
- 肖庆辉 邓晋福,马大铨.2002.花岗岩研究思维与方法[M].北京: 地质出版社.1-294.
- 新疆维吾尔自治区地质局区域地质调查大队.1979.1:200000德柳、 注 青河幅区域地质调查报告[R].

- 杨富全,毛景文,闫升好,刘锋,柴凤梅,周刚,刘国仁,何立新,耿新 霞,代军治.2008.新疆阿尔泰蒙库同造山斜长花岗岩年代学、地 球化学及其地质意义[J].地质学报 82(4):485-499.
- 张辉,刘文政,唐勇,唐红峰.2015.新疆阿斯喀尔特花岗岩-伟晶岩岩 浆-热液演化及其 Be-Mo矿床成因[J].矿物学报,S1:364.
- 张亚峰, 蔺新望, 王星, 郭岐明, 赵端昌, 吕军利, 王旭. 2014. 阿尔泰造 山带南缘昆格依特岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学、岩石成 因及其地质意义[J]. 现代地质 28(1):16-28.
- 张亚峰, 葡新望, 郭岐明, 王星, 赵端昌, 党晨, 姚珊. 2015. 阿尔泰南缘 可可托海地区阿拉尔花岗岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年、岩 石地球化学特征及其源区意义[1]. 地质学报 89(2): 339-354.
- 周其凤.2013. 阿尔泰可可托海 3 号脉伟晶岩型稀有金属矿床年代 学、矿物学、熔-流体演化与成矿作用(博士论文 ID].导师:秦克 章.北京:中国科学院地质与地球物理研究所中国科学院大学. 44-46.
- 朱永峰.2007. 新疆的印支运动与成矿[J]. 地质通报,26(5):510-519.
- 邹天人. 1996. 新疆阿斯喀尔特似伟晶岩型海蓝宝石-绿柱石矿 床J]. 矿床地质,15(增刊2):38-40.
- 邹天人 李庆昌. 2006. 中国新疆稀有金属及稀土金属矿床[M]. 北京 地质出版社. 34-51.