

新疆阿克塔斯金矿床黑云母花岗岩锆石 U-Pb 和 绢云母 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 测年及地质意义*

卫晓锋¹, 潘东², 阴元军³, 廖震³, 吕晓强², 单立华², 丁汝福²

(1 北京矿产地质研究院, 北京 100012; 2 有色金属矿产地质调查中心, 北京 100012;

3 中色地科矿产勘查股份有限公司, 北京 100012)

摘要 阿克塔斯金矿床位于新疆阿尔泰山南缘, 矿体赋存于黑云母花岗岩与中泥盆统北塔山组中性火山岩接触带, 矿石类型主要为石英脉型和蚀变岩型。矿区中酸性侵入岩体的岩石类型为二长花岗岩、黑云母花岗岩。近矿的黑云母花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $(329.5 \pm 1.8)\text{Ma}$, 成矿时代为早石炭世; 主成矿期的金-黄铁矿-石英细脉中的绢云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 $(247.7 \pm 1.3)\text{Ma}$ 、等时线年龄为 $(245.1 \pm 1.4)\text{Ma}$, 成矿时代为早三叠世。研究表明, 阿克塔斯金矿成岩与成矿时代相距 80 Ma, 为碰撞造山和后碰撞造山不同地质作用的产物。该矿床具有造山型金矿的特点, 额尔齐斯断裂带的右形剪切走滑作用控制金矿成矿过程。

关键词 地球化学; 锆石 U-Pb 测年; 绢云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年; 阿克塔斯金矿; 阿尔泰山南带
中图分类号: P618.51 文献标志码: A

Zircon U-Pb age of biotite granite and $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ age of sericite from Aketasi gold deposit in Xinjiang, and their geological significance

WEI XiaoFeng¹, PAN Dong², YIN YuanJun³, LIAO Zhen³, LÜ XiaoQiang², SHAN LiHua³ and DING RuFu²
(1 Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, Beijing 100012, China; 2 China Non-ferrous Metals Resource Geological Survey, Beijing 100012, China; 3 Sinotech Minerals Exploration Co., Ltd., Beijing 100012, China)

Abstract

The Aketasi gold deposit is located on the southern margin of the Altay orogenic belt. Gold orebodies are mainly hosted in the contact zone between the biotite granite and the middle Devonian Beitashan Formation volcanic rock. The main ore types are quartz vein type and altered rock type. The lithology of the Aketasi rocks is mainly composed of monzonitic granite and biotite granite. The age of U-Pb dating of zircon from the biotite granite is $(329.5 \pm 1.8)\text{Ma}$, demonstrating that the petrogenetic age is early Carboniferous. The $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ age of sericite which is coexistent with that of gold, pyrite and quartz veinlets at the main metallogenic stage shows the plateau age of $(247.7 \pm 1.3)\text{Ma}$, and isochronal age of $(245.1 \pm 1.4)\text{Ma}$, implying that the metallogenic age is Early Triassic. Studies show that the difference between petrogenesis age and mineralization age of the Aktas gold deposit is 80 Ma, suggesting products of different geological processes of collision orogeny and post-collision orogeny. The deposit has the characteristics of orogenic gold deposit and the ore-forming process was controlled by the right-shaped shear strike-slip of the Irtysch fault zone

Key words: geochemistry, zircon U-Pb dating, sericite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating, Aketasi gold deposit, Altay orogenic belt

* 本文得到十二五国家科技支撑计划项目(编号:2011BA06B00)和新疆地勘基金项目(编号:AL16-2-LQ08)联合资助
第一作者简介 卫晓锋,男,1981年生,博士,高级工程师,现从事矿产资源、环境地质调查研究。Email:yanchixiaowei@163.com
收稿日期 2018-10-27;改回日期 2019-01-21。秦思婷编辑。

中亚造山带经历了板块俯冲、地体增生、克拉通碰撞以及碰撞后伸展等地质过程,不仅促成显生宙大规模的陆壳生长,而且对中亚成矿省的形成和演化也起到至关重要的作用(Sengör et al., 1993; Windley et al., 2007)。阿尔泰造山带位于中亚造山带的中部,早古生代为古亚洲洋内的岛弧,中生代碰撞增生于西伯利亚板块的南缘(Cai et al., 2011; Xiao et al., 2014),晚古生代西伯利亚板块与哈萨克斯坦板块在发生碰撞,该碰撞直接作用于阿尔泰造山带与准噶尔地块之间(Filippova et al., 2001; Buslov et al., 2004; Windley et al., 2007)。阿尔泰造山带构造岩浆活动作用,形成新疆北部一条重要的多金属成矿带(张招崇等, 2006; 杨富全等, 2010; 李文渊等, 2015)。

阿克塔斯金矿床位于新疆维吾尔自治区富蕴县东南50 km处,隶属于萨尔布拉克-老山口铜金成矿带,西侧为乔夏哈拉铜金矿,北侧为喀拉通克铜镍矿。近年来,研究得出斜长花岗岩的锆石U-Pb年龄为309 Ma(纪珊珊等, 2012),花岗岩闪长岩的锆石U-Pb年龄为327 Ma(王玉往等, 2015),含金石英脉的形成年龄为240 Ma(卫晓锋等, 2016),岩石类型、成岩关系、岩浆活动与成矿作用等方面存在不同的认识,对矿床成因等方面提出不同观点(周维康, 1991; 王玉往等, 2015)。本文基于最近的勘查成果,通过研究近矿的黑云母花岗岩和蚀变带的绢云母年代学特征,梳理成岩与成矿的相互关系,探讨矿床成因和成矿作用。

1 区域地质及矿床地质特征

1.1 区域地质特征

阿克塔斯金矿床处于西伯利亚板块与哈萨克斯坦-准噶尔板块碰撞缝合带,受北西西向萨尔布拉克-阿克塔斯大断裂与北北西向卡依尔特-二台大断裂控制(图1a)。研究区出露地层主要有中泥盆统北塔山组、蕴都喀拉组以及下石炭统姜巴斯套。其中,北塔山组以安山岩、安山质火山角砾岩、灰岩、凝灰质砂岩组成为主,蕴都喀拉组以安山岩、安山质凝灰岩为主,姜巴斯套组以碳质粉砂岩、灰岩为主。岩浆侵入活动形成泥盆纪的中性辉绿岩、闪长岩等岩体(脉)和石炭纪的中基性岩体和酸性岩体(脉)(图1b)。

1.2 矿床地质特征

矿区地层简单,以萨尔布拉克-阿克塔斯断裂为界,断裂上盘(北侧)为中泥盆统北塔山组第三岩

性段火山碎屑岩、沉积岩,下部岩性主要为片理化凝灰岩、凝灰岩、钙质砂岩、绢云母化(绿泥石化)千枚岩夹透镜状灰岩,上部岩性主要为安山质火山角砾岩、集块岩和安山岩,次火山岩安山玢岩。断裂下盘(南侧)为下石炭统姜巴斯套组火山碎屑岩、沉积岩,岩性主要为粉砂岩、砂岩、碳质砂岩(图1c)。

矿区侵入岩浆活动形成复式岩体,呈岩株状,出露面积约为0.1~0.3 km²,岩性主要为二长花岗岩、黑云母花岗岩,二者呈脉动接触关系。

矿区构造变形行迹主要为断裂和节理,断裂主要为北西向、北东向和近东西3组,其中,北西向断裂为早期韧性断裂,北东向和东西向断裂为晚期张性断裂,形成矿区中间宽、东西两端窄的帚状控矿构造;节理主要为剪节理,节理面平直光滑,为含黄铁矿石英脉充填。

1.3 矿体特征

蚀变带分布于黑云母花岗岩与安山质火山岩-火山沉积岩接触带(图2a、b,图3),宽约5~50 m,长约1.5 km,中间主要为黄铁矿绢英岩化带、北侧过渡为黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩带、弱碎裂花岗岩带、南侧过渡为绢云母化、硅化千枚岩带。矿体产于黄铁绢英岩化带中(图2c),矿体规模不一,长20~200 m,宽约1~3 m,共圈定矿脉13条,矿体严格受断裂控制,倾向以北西330°~10°为主,倾角为50°~80°,赋矿围岩为碎裂花岗岩、安山岩、片理化凝灰岩、绢云母和绿泥石千枚岩。

矿石类型分为蚀变岩型、石英脉型2种,蚀变岩型矿体厚度为1~2 m,金品位(0.5~2.2)×10⁻⁹(图2c),石英脉型宽体厚度约5~15 cm,倾角集中于10°~20°,品位(10~107)×10⁻⁹(图2d、e、h、i)。矿石组构以自形-半自形粒状、裂隙结构和浸染状-斑点状构造为主。蚀变类型主要为硅化、黄铁矿化、绢云母化、碳酸盐化、绿帘石化、绿泥石化等。金属矿物主要为黄铁矿、褐铁矿、黄铜矿、磁铁矿、自然金等,脉石矿物主要为石英、方解石、绿泥石等。

根据野外地质观察,结合矿物共生组合、矿石组构及脉体穿插关系,阿克塔斯金矿可以划分为3个成矿阶段:

贫(金)黄铁矿-纯白色石英大脉阶段(I) 主要由白色石英及少量黄铁矿组成,黄铁矿主要为自形-半自形为主,一般不含金,属于成矿早阶段。

金-黄铁矿(黄铜矿)-石英细脉-绢云母阶段(II) 主要有白色-烟灰色石英、浸染状黄铁、黄铜矿、自然

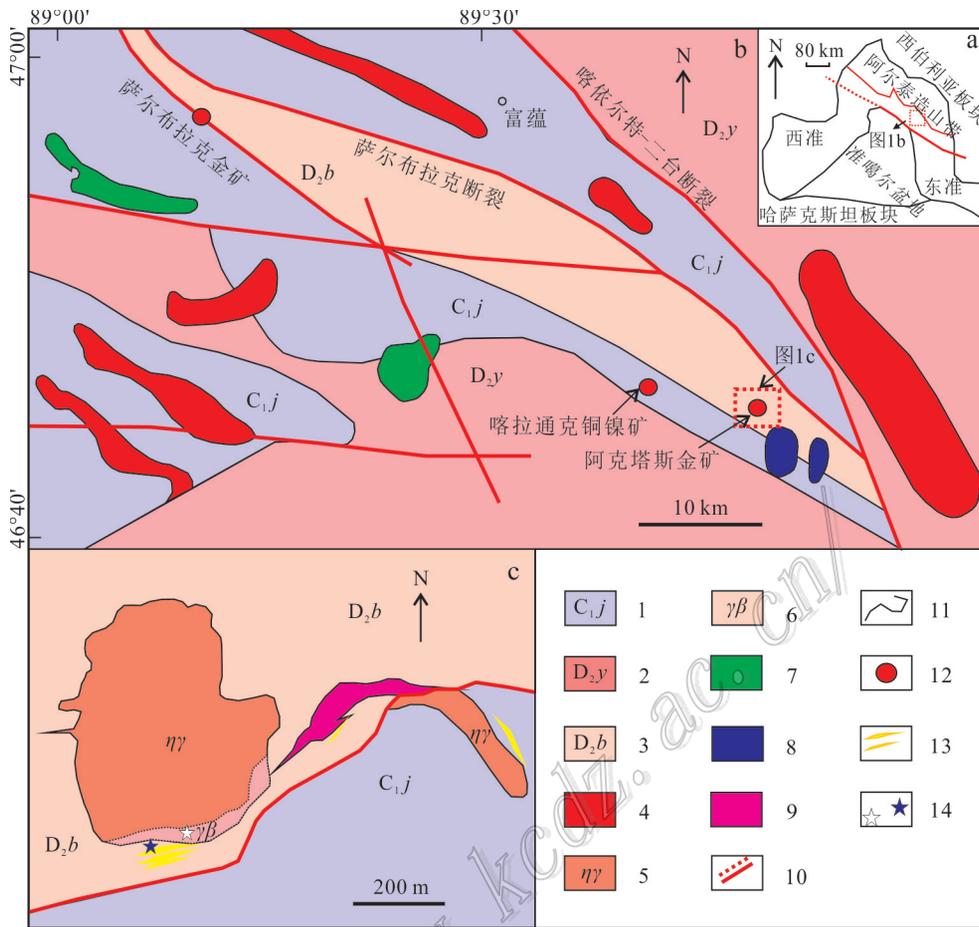


图 1 阿尔泰造山带地质简图(a)、喀拉通克地区地质简图(b,据卫晓锋等,2016 修改)和阿克塔斯矿区地质图(c,据潘东等,2012 修改)

1—下石炭统姜巴斯套组粉砂岩、砂岩;2—泥盆统蕴都喀拉组凝灰岩;3—中泥盆统北塔山组安山岩;4—花岗岩;5—二长花岗岩;6—黑云母花岗岩;7—闪长岩;8—辉长岩;9—石英脉;10—推测断裂/断裂;11—地质界线;12—矿床(点);13—金矿(化)体;14—采样位置

Fig. 1 Simplified geological map of Altay orogenic belt(a), sketch map of the kalatongke district (b, modified after Wei et al., 2016) and geological map of Aketasi mining area(c, modified after Pan et al.,2012)

1—Lower Carboniferous Jiangbutao Formation siltstone, sandstone; 2—The middle Devonian Yundukara Formation tuff; 3—Middle Devonian beitashan Formation andesite; 4—Granite; 5—Monzonite granite; 6—Biotite granite; 7—Biorite; 8—Gabbro; 9—Quartz vein; 10—Inferred fracture/fracture; 11—The geological boundary; 12—Ore deposit; 13—Gold orebodies; 14—Sampling location

金、绢云母组成;黄铁矿主要为他形、碎裂状,局部呈脉状,多分布硅化绢云母中,为主成矿阶段。

黄铁矿-石英-碳酸盐阶段(Ⅲ) 由细脉、网脉状石英、碳酸盐脉和黄铁矿组成,黄铁矿为半自形-自形,属于成矿晚阶段。

3 样品特征及测试方法

3.1 样品特征

锆石 U-Pb 年代样品(GTA-9)采集自 ZK2201 号

钻孔(56.8 m),岩性为黑云母花岗岩。

绢云母 Ar-Ar 年代样品(A13-1)采集自阿克塔斯矿化蚀变带中 1# 矿化体,岩性为黄铁绢英岩化千枚岩。

3.2 测试方法

锆石 U-Pb 同位素测定工作在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成,测试仪器为美国安捷伦公司生产的 GeoLas2005 激光剥蚀系统与 Elan 6100DRC ICP-MS 联机,分析采用的激光斑束直径为 30 μm,激光脉冲为

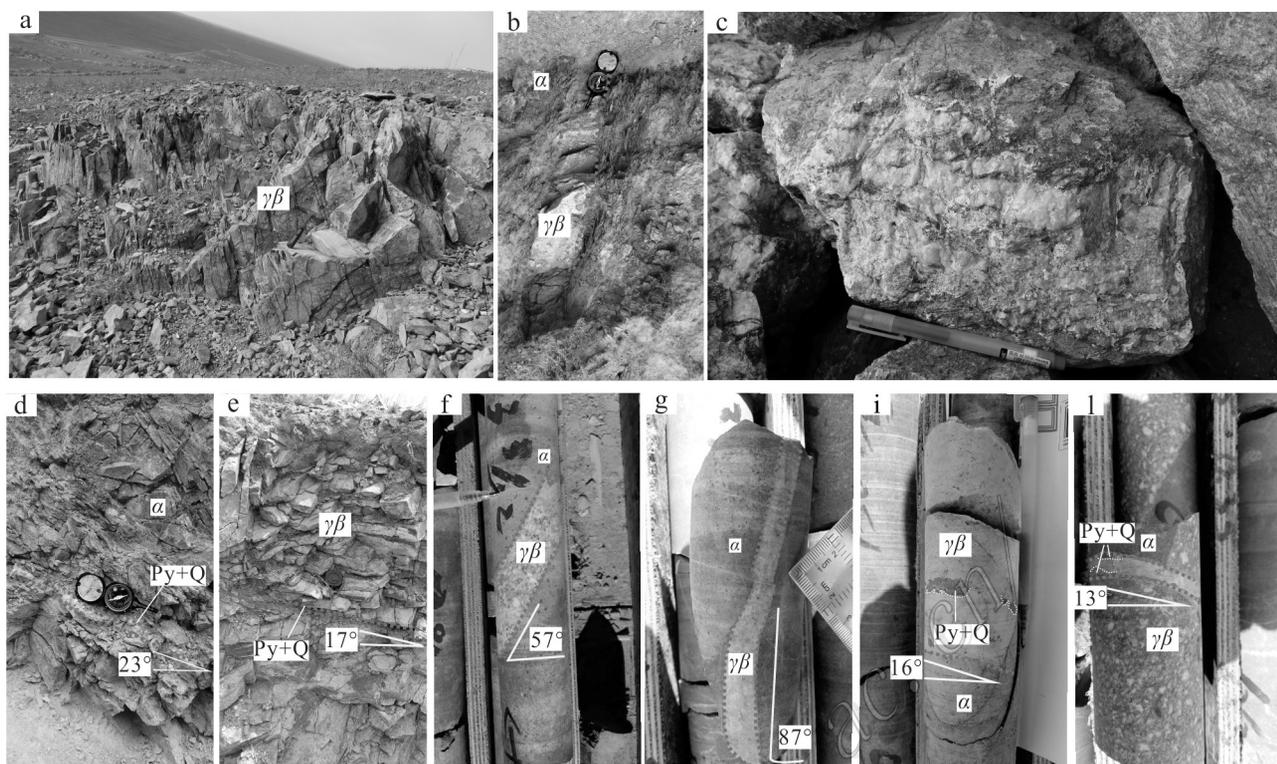


图2 矿区岩体与矿石、岩脉与矿脉的野外照片

a. 黑云母花岗岩体; b. 岩体与围岩侵入接触关系; c. 蚀变岩型矿体; d. 安山岩中石英脉型矿体; e. 花岗岩体中的石英脉型矿体;
f. 黑云母花岗岩; g. 黑云母花岗岩, 局部被错动; h. 岩体中的含黄铁矿石英脉; i. 岩体与围岩侵入接触关系
γβ—黑云母花岗岩; α—安山岩; Py+Q—含黄铁矿石英脉

Fig. 2 Field photographs of rock mass and ore, dike and lode vein

a. Biotite granite body; b. Intrusion contact relationship between rock mass and surrounding rock; c. Altered type gold orebody;
d. Quartz vein type orebody in andesite; e. Quartz vein type orebody in granite; f. Biotite granite; g. Partially dislocated
biotite granite; h. The pyrite-bearing quartz vein in the intrusive rock body; i. Intrusion
contact relationship between rock mass and surrounding rock
γβ—Biotite granite; α—Andesite; Py+Q—Pyrite-bearing quartz vein

10 Hz, 能量为 32~36 mJ, 激光剥蚀样品的深度为 20~40 μm。锆石年龄测定采用国际标准锆石 91500 作为外部标准物质。详细分析步骤和数据处理方法参见相关文献(袁洪林等, 2003)。锆石的同位素比值及元素含量计算采用 Gitter (ver4.0, Macquarie University) 程序, 并按照 Andersen Tom (Andersen, 2002) 的方法。普通铅选用了 LAM-ICP-MS Common Lead Correction (ver3.15) 软件进行校正。

绢云母 Ar-Ar 同位素测年采用连续激光阶段升温 Ar-Ar 法, 样品测试工作在核工业北京地质研究院分析测试研究中心实验室完成。将选纯的绢云母、石英矿物样品(纯度>90%)清洗后封进石英瓶中送核反应接受中子照射。照射工作在中国原子能科学

研究院的“游泳池堆”中进行。使用 H8 孔道, 其中子流密度约为 $6.0 \times 10^{12} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。照射总时间为 3223 min, 积分中子通量为 $1.16 \times 10^{12} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 同期接受中子照射的还有用做监控样的标准样: ZHB-25 黑云母中国标准样, 其标准年龄为 132.7 Ma, $w(\text{K})$ 为 7.6% (Huang et al., 2007)。

样品的阶段升温加热使用电子轰击炉, 每个阶段加热 30 min, 净化 30 min。质谱分析是在 MM-1200B 质谱计上进行的, 每个峰值均采集 8 组数据。所有的数据在回归到时间零点值后, 进行质量歧视校正、大气氩校正、空白校正和干扰素同位素校正。系统空白水平 $m/e=40, 39, 37, 36$, 分别小于 $6 \times 10^{-15} \text{ mol}$, $4 \times 10^{-16} \text{ mol}$, $8 \times 10^{-17} \text{ mol}$ 和 $2 \times 10^{-17} \text{ mol}$ 。中子照射过程中产生的干扰同位素校正系数通过分析照射

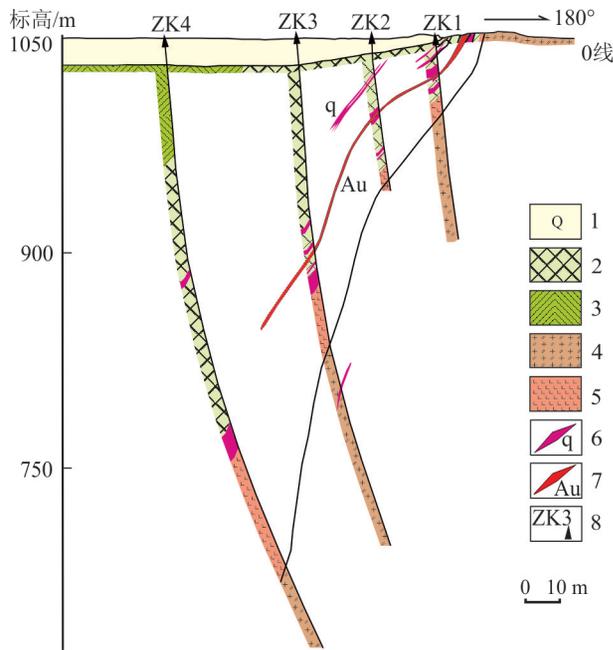


图 3 阿克塔斯金矿 0 线钻孔剖面图

1—第四系;2—千枚岩;3—凝灰岩;4—片理化黑云母花岗岩;
5—二长花岗岩;6—石英脉;7—金矿体;8—钻孔

Fig. 3 Geological section of drill hole along exploration line 0 in the Aketasi gold deposit

1—Quaternary; 2—Phyllite; 3—Tuff; 4—Foliated biotite granite;
5—Adamellite; 6—Quartz vein; 7—Gold orebody; 8—Drill hole

的 K₂SO₄ 和 CAF₂ 来获得, 其值为 (³⁶Ar/³⁷Ar)_{ca} = 0.000 806。³⁷Ar 经过放射性衰变校正:⁴⁶k 衰变常数 = 5.543 × 10⁻¹⁰a⁻¹; 坪年龄误差以 2σ 形成给出, 计算出正、反等时线年龄。

4 分析结果

4.1 黑云母花岗岩锆石 U-Pb 年代学

锆石形态、地球化学和微区特征是综合判别锆石的成因类型的主要标识(李长民, 2009)。黑云母花岗岩中的锆石多为半自形短柱状和长柱状, 颗粒晶棱及晶面清晰, 长变化于 50~120 μm, 宽介于 30~80 μm, 长宽比约为 1:1~1:10。锆石的 *w*(U) 为 (34.8~635) × 10⁻⁶, *w*(Th) 为 (78.9~622) × 10⁻⁶, Th/U 比值 0.43~1.09, 均 > 0.1 (Belousova et al., 2002)。LC 阴极发光图像(图 4)显示震荡韵律环带结构相对发育。综上所述, 阿克塔斯黑云母花岗岩所含锆石为岩浆成因。

黑云母花岗岩中 17 颗锆石 U-Pb 同位素分析数据显示, 在误差范围内有较一致的 *n*(²⁰⁷Pb)/*n*(²³⁵U) 和 *n*(²⁰⁶Pb)/*n*(²³⁸U) 值。数据均落在谐和线上及附近(图 5a、b), ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄介于 (325.5 ± 3.4) Ma~(335.2 ± 4.4) Ma, 其加权平均值为 (329.5 ± 1.8) Ma (MSWD=0.60)。

4.2 绢云母 ⁴⁰Ar-³⁶Ar 年代学结果

通过含金绢英岩化千枚岩样品(A13-1)的绢云母阶段加热 Ar 同位素测试结果(表 2), 由 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄谱图(图 5c、d)可以看出: A13-1 样品在 600~1150°C 的 11 个加热阶段析出的 ³⁹Ar 累计为 97.16%, 得出 1 个稳定的坪年龄为 (247.7 ± 1.3) Ma (MSWD=2.24), 与坪年龄对应的 ³⁹Ar/³⁶Ar-⁴⁰Ar/³⁶Ar 等时线年龄为 (245.1 ± 1.4) Ma (MSWD=0.67), ⁴⁰Ar/³⁶Ar 初始值

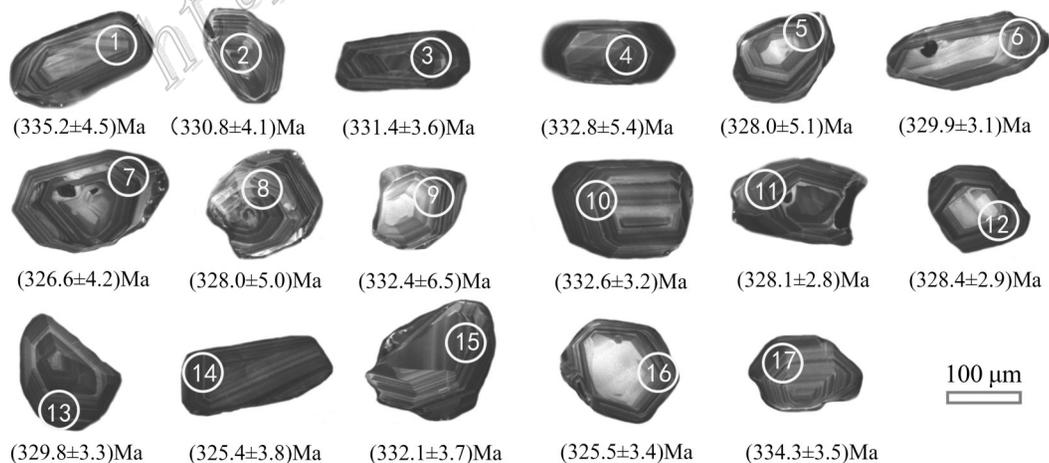


图 4 阿克塔斯黑云母花岗岩锆石阴极发光(CL)图像

Fig. 4 Cathodoluminescence (CL) image of zircon in biotite granite of Aketasi

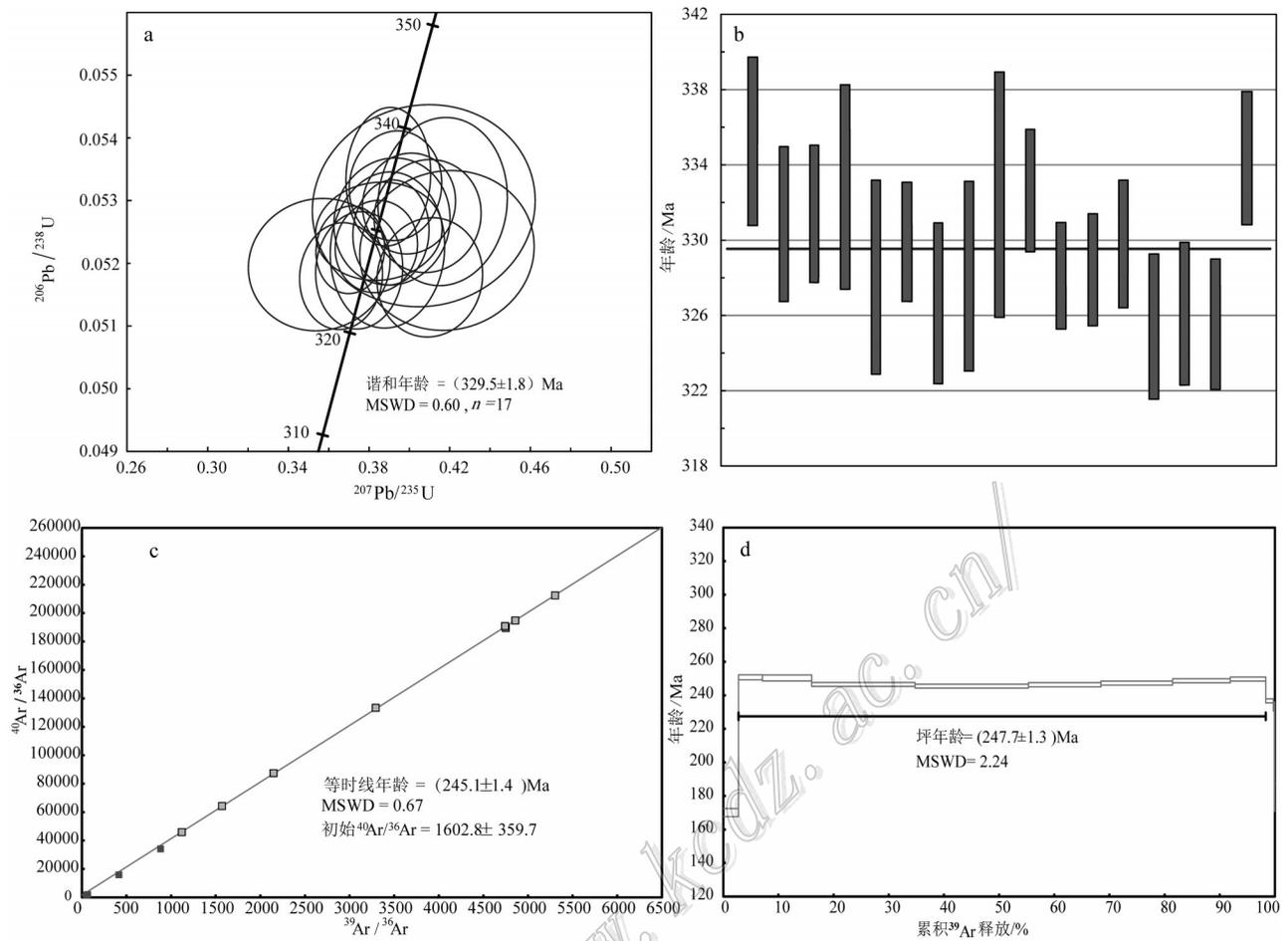


图5 阿克塔斯黑云母花岗岩年龄谐和图(a,b)与绢云母年龄谐和图(c,d)

Fig. 5 Zircon U-Pb age (a, b) and sericite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age (c, d) concordia diagrams of Aketasi biotite granite

为 (1602.8 ± 359.7) ; $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 反等时线年龄为 (245.3 ± 1.4) Ma (MSWD=0.66), $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始值为 (1539.1 ± 326.1) 。

5 讨论

5.1 成岩与成矿时空关系

(1) 成岩与矿体的空间特点表明不同的地质作用控制岩体的侵位和成矿过程。阿克塔斯黑云母花岗岩岩体沿板块碰撞形成的构造薄弱带被动侵入就位, 金矿体受控于韧-脆性剪切变形作用, 说明成岩成矿的地球动力学机制不同。

阿克塔斯岩体中心相岩性为二长花岗岩, 边缘相为黑云母花岗岩, 二者呈脉动接触关系, 以中细粒结构, 块状构造为主。岩体呈不规则带状-椭圆状产出, 沿近东西向展布, 与围岩接触面呈不规则曲面,

东部呈舌状侵入围岩, 脉壁平直陡立, 倾角 $> 50^\circ$ 。岩体未发生大规模的变形, 仅局部发生脉体错动, 上述野外特征显示岩体具有被动侵位特点。岩体的侵位空间是由板块碰撞发生剪切作用造成的空腔, 其为岩浆上升冷凝成岩提供了通道。

阿克塔斯绿泥化、绢云母化千枚岩带, 倾向北, 倾角 $50^\circ \sim 70^\circ$ 。蚀变带中眼球状石英颗粒发育, 黄铁矿呈定向排列, 具有塑性变形的特点。含金石英脉倾角 $10^\circ \sim 20^\circ$, 脉宽 $3 \sim 10$ cm, 脉壁平直, 切穿岩体和围岩, 延伸较短。细脉中立方体的黄铁矿、褐铁矿、黄钾铁矾发育, 显示脆性断层特点, 金矿化强度与韧脆性剪切带中脆性断裂破碎带的发育有关。

(2) 阿克塔斯金矿黑云母花岗岩成岩时代为早石炭世, 含金石英脉和蚀变绢云母的形成时代为早三叠世, 二者相距 80 Ma, 进一步佐证成岩成矿动力学机制不同。

表 1 阿克塔斯黑云母花岗岩锆石年代学分析数据表

Table 1 Analytical data of zircon dating data of Aketasi biotite granite

测点	$w(\text{B})10^{-6}$			Th/U	同位素比值						表面年龄/Ma					
	Pb	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ
1	93.97	401.80	533.02	0.75	0.05	00	0.39	0.01	0.05	0	316.7	81.5	334.1	10.1	335.3	4.5
2	33.98	141.96	211.45	0.67	0.05	0	0.39	0.02	0.05	0	364.9	113.0	335.4	13.9	330.9	4.1
3	44.18	188.18	253.22	0.74	0.06	0	0.41	0.02	0.05	0	464.9	98.1	348.2	12.6	331.4	3.7
4	36.72	154.88	226.43	0.68	0.06	0	0.42	0.02	0.05	0	522.3	111.1	353.6	15.2	332.8	5.4
5	17.01	62.79	126.84	0.50	0.06	0	0.42	0.03	0.05	0	583.4	149.1	355.1	20.4	328.1	5.2
6	82.05	355.66	474.23	0.75	0.05	0	0.38	0.02	0.05	0	316.7	122.2	330.6	15.2	329.9	3.2
7	47.10	193.50	265.45	0.73	0.05	0	0.36	0.02	0.05	0	168.6	156.5	308.7	17.4	326.7	4.3
8	69.91	289.15	432.86	0.67	0.05	0	0.39	0.02	0.05	0	383.4	114.8	333.7	13.7	328.1	5.0
9	10.49	35.37	82.70	0.43	0.06	0.01	0.41	0.04	0.05	0	524.1	209.2	346.8	26.3	332.4	6.5
10	48.46	194.38	335.44	0.58	0.05	0	0.40	0.02	0.05	0	398.2	85.2	341.5	11.1	332.6	3.3
11	148.46	713.06	654.33	1.09	0.05	0	0.37	0.01	0.05	0	255.6	70.4	320.2	8.3	328.1	2.8
12	96.05	442.86	438.74	1.01	0.05	0	0.38	0.01	0.05	0	339.0	83.3	329.7	9.9	328.4	3.0
13	91.14	373.93	558.72	0.67	0.05	0	0.39	0.01	0.05	0	361.2	72.2	335.0	9.1	329.8	3.4
14	32.94	124.05	250.19	0.50	0.06	0	0.41	0.02	0.05	0	520.4	94.4	349.0	12.4	325.4	3.9
15	44.63	171.90	323.90	0.53	0.05	0	0.38	0.01	0.05	0	322.5	123.1	323.4	10.5	326.1	3.8
16	61.29	271.02	318.30	0.85	0.05	0	0.37	0.01	0.05	0	257.5	87.0	316.8	10.1	325.5	3.5
17	40.59	159.71	248.90	0.64	0.05	0	0.39	0.02	0.05	0	342.7	89.8	336.6	11.0	334.4	3.5

表 2 阿克塔斯金矿床绢云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 分步加热分析结果Table 2 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ analytical data of sericites via step heating from Aketasi gold-ore deposit

$\theta/^\circ\text{C}$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$^{40}\text{Ar}/\%$	$F(^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar})$	$^{39}\text{Ar}\times 10^{-14}/\text{mol}$	^{39}Ar 累积/%	t/Ma	
								年龄	1 σ
550	31.60	0.0154	0.0042	85.56	27.04	1.94	2.77	170.09	2.43
600	41.04	0.0009	0.0028	99.35	40.77	3.02	4.32	250.70	1.49
670	40.90	0.0006	0.0025	99.54	40.71	6.26	8.93	250.35	1.81
730	40.09	0.0002	0.0018	99.86	40.04	13.13	18.75	246.46	1.18
790	39.92	0.0002	0.0033	99.84	39.86	14.40	20.57	245.47	1.16
850	40.06	0.0002	0.0020	99.86	40.01	9.19	13.12	246.31	1.23
910	40.24	0.0002	0.0012	99.84	40.17	9.10	12.99	247.27	1.17
970	40.51	0.0003	0.0021	99.78	40.42	7.34	10.48	248.70	1.19
1030	40.73	0.0005	0.0020	99.66	40.59	4.50	6.43	249.68	1.22
1090	38.68	0.0011	0.0067	99.13	38.34	0.96	1.37	236.70	1.19
1150	38.47	0.0022	0.0360	98.32	37.83	0.15	0.22	233.33	2.70
1250	34.33	0.0197	0.2169	83.09	28.53	0.04	0.06	179.01	8.08

阿克塔斯金矿黑云母花岗岩锆石 U-Pb 年龄为 (329.5 ± 1.8) Ma, 代表黑云母花岗岩的成岩时代为早石炭世谢尔普斯霍夫阶。主成矿期金-黄铁矿-石英的绢云母无明显变形痕迹, 说明未受后期构造-热事件的影响(王非等, 2014; 梁维等, 2015), 因此, 绢云母的 Ar-Ar 年龄可反映成矿时代。笔者获得坪年龄为 (247.7 ± 1.3) Ma, 等时线年龄为 (245.1 ± 1.4) Ma, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始值为 (1602.8 ± 359.7) Ma; 反等时线

年龄为 (245.3 ± 1.4) Ma, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始值为 (1539.1 ± 326.1) Ma, 坪年龄、等时线年龄和反等时线年龄接近, 表明绢云母的形成年龄为 (247.7 ± 1.3) Ma~ (245.3 ± 1.4) Ma, 据此认为阿克塔斯金矿的成矿时代约为 245 Ma, 即早三叠世, 该年龄与含金石英脉的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄(约 240 Ma)接近(卫晓锋等, 2016)。

前人研究表明, 阿尔泰造山带在晚古生代经历了板块俯冲—碰撞—后碰撞—板内 4 个阶段, 在早

石炭世末期至晚石炭世初期,属于碰撞造山阶段,发育大量的同碰撞型花岗岩(王玉往等,2015),阿克塔斯岩体侵位机制和地球化学特征,表明成岩环境为板块碰撞阶段。晚石炭世—二叠纪阿尔泰造山带转入后碰撞阶段,左形走滑活动引发大规模金矿成矿事件(Laurent-Charvet et al.,2003;刘飞等,2013;洪涛等,2015),右形走滑规模有限,主要表现为对早期的矿床产生叠加改造,局部形成独立的金矿床。因此,阿克塔斯成岩成矿过程是响应不同的区域构造活动事件。

5.2 矿床成因分析

对阿克塔斯金矿的成因,前人提出了不同的观点,如与中酸性浅成岩脉有关(周维康,1991;王玉往等,2015)、岩浆热液型(潘东等,2012),这些认识多强调成矿作用与花岗质岩浆活动相关。然而,前述研究显示阿克塔斯黑云母花岗岩成岩时代与成矿时代相差 80 Ma,认为二者受控于不同的动力学机制。部分学者认为阿克塔斯岩体黑云母花岗岩中的金元素含量相对较高,推测岩浆作用为矿床的形成提供了早期的物源。但韧-脆性构造变形作用是金矿形成的主要控制因素,一方面成矿时代与韧-脆性构造变形作用时间接近;另一方面流体包裹体研究表明成矿流体以变质流体为主(卫晓锋,未发表)。

前人研究表明,额尔齐斯断裂带在 283~275 Ma、260~245 Ma 分别发生左行走滑和右行走滑 2 次变质变形作用,该走滑-剪切活动是碰撞造山运动后陆内板块发生的 2 期挤压-伸展-隆生过程的响应(王京彬等,2006)。额尔齐斯断裂带东段赛都、多拉那萨依金矿等矿床的形成与左行走滑剪切作用有关(闫升好等,2006a;2006b),是区域金矿成矿的一个高峰期;右形走滑是区域大规模走滑-剪切活动后的局部剪切活动(周刚等,2007),同样伴随发生又一次成矿事件。最新研究显示,新疆铁木尔特铅锌矿 Ar-Ar 年龄为 235~240 Ma,萨热阔步金矿 Ar-Ar 年龄为 213.5 Ma(郑义等,2013;2014),阿舍勒铜铅锌矿韧脆性变形带 Ar-Ar 年龄为 251 Ma(吴玉峰等,2015),显示伴随区域断裂带的走滑变形过程,形成大量的矿床。

综上所述,阿克塔斯金矿床是噶尔板块与西伯利亚板块发生碰撞后,转入后碰撞造山阶段,板内发生挤压-伸展构造体制转换的产物,其成矿过程为:晚石炭世—二叠纪阿尔泰造山带转入后碰撞造山阶段,陆内板块调整形成左形、右形 2 期剪切走滑事

件,诱发强烈壳幔岩浆作用和大规模变质变形作用(张海洋等,2008;徐学义等,2014);在第二次右形剪切走滑过程中,发生韧-脆性构造变形,产生富 CO₂ 的变质流体(卫晓锋等,未发表),变质流体与大气降水相混合,在浅部脆性破碎带含金成矿流体的物理化学环境发生变化,析出、富集、沉淀、形成金矿床。

6 结论

(1) 通过对阿克塔斯金矿黑云母花岗岩和绢云母年代学研究,获得锆石 LA-U-Pb 年龄为(329.5±1.8)Ma,成岩时代为早石炭世。含金绢云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄为(247.7±1.3)Ma、等时线年龄为(245.1±1.4)Ma,成矿时代为早三叠世。

(2) 岩体和矿体时空特征显示,成岩过程为板块碰撞引发岩浆被动侵位,成矿事件响应后碰撞造山阶段板块调整诱发的走滑变形作用。研究表明,阿克塔斯金矿具有造山型金矿的特点。

致谢 实验过程中得到中国科学院贵阳地球化学研究所吕正航博士和核工业北京地质研究院实验中心刘牧老师的帮助,以及两位审稿人提出的合理建议,一并表示感谢!

References

- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ²⁰⁴Pb[J]. *Chemical Geology*, 192(1-2): 59-79.
- Belousova E A, Griffin W L, O'Reilly S Y and Fisher N I. 2002. Igneous zircon: Trace element composition as an indicator of source rock type[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 143: 602-622.
- Buslov M M, Watanabe T, Fujiwara Y, Iwata K, Smirnova L V, Yu S, Semakov N N and Kiryanova A P. 2004. Late Paleozoic faults of the Altai region, Central Asia: Tectonic pattern and model of formation[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23: 655-671.
- Cai K, Sun M, Yuan C, Long X and Xiao W. 2011. Geological framework and Paleozoic tectonic history of the Chinese Altai[J]. *NW China: A review. Russian Geology and Geophysics*, 52: 1619-1633.
- Filippova I B, Bush V A and Didenko A N. 2001. Middle Paleozoic subduction belts: The leading factor in the formation of the Central Asian fold-and-thrust belt[J]. *Russian Journal of Earth Sciences*, 3: 405-426.
- Hong T, Xiang P, You J, Zhang L C, Wu C, Wu Q and Xu X W. 2015. Texture and formation age of the eastern Irtysh collision belt[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 31(2): 571-593 (in Chinese with English

- abstract).
- Huang X L, Xu Y G, Luo C H, Wang R C and Lin G Y. 2007. Exsolution lamellae in a clinopyroxene megacryst aggregate from cenozoic basalt leizhou Peninsula, South China: Petrography and chemical evolution[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 154(6):691-705.
- Ji S S, Ding R F, Zhao Z X and Liu M. 2012. Fuyun County Aketas copper-gold deposits volcanic, rocks geochemistry[J]. Guanzhou Chemistry, 37(3):39-49(in Chinese with English abstract).
- Laurent-Charvet S, Charvet J, Monie P and Shu L S. 2003. Late Paleozoic strike-slip shear zones in eastern Central Asia(NW China): New structural and geochronological data[J]. Tectonics, 22(2):1-24.
- Li C M. 2009. A review on the minerageny and situmicroanalytical dating techniques of zircons[J]. Geological Survey and Research, 33(3):161-174(in Chinese with English abstract).
- Li W Y, Dong F C, Zhang Z W, Tan W J, Jiang H B and Xiao C Y. 2015. Major progress and Achievements in study of the Metallogenic prospect and prospecting deployment of mineral resources in northwest China[J]. Geological Survey of China, 2(1):19-24(in Chinese with English abstract).
- Liang W, Yang Z S and Zheng Y C. 2015. The Zhaxikang Pb-Zn polymetallic deposit: Ar-Ar age of sericite and its metaoogenic significance[J]. Acta Geologica Sinica, 89(3):560-568(in Chinese with English abstract).
- Liu F, Wang Z Y, Lin W, Chen K, Jiang L and Wang Q C. 2013. Structure deformation and tectonic significance of Erqis fault zone in the southern margin of Chinese Altay[J]. Acta Petrologica Sinica, 29(5):1811-1824(in Chinese with English abstract).
- Sengör A M C, Natalin B A and Burtman V S. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth in Eurasia[J]. Nature, 364:299-307.
- Pan D, Ding R F, Zhang H and You J. 2012. Main charactersitics and prospecting perspective of Aketasi gold field prospecting target area in Fuyun Country, Xinjiang[J]. Science Technology and Engineering, 12(5):1007-1013(in Chinese with English abstract).
- Wang F S, Wen B and Zhu R X. 2014. Problems of modern $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology[J]. Acta Petrologica Sinica, 30(2):326-340(in Chinese with English abstract).
- Wang J B and Xu X. 2006. Post-collisional tectonic evolution and metallogenesis in northern Xinjiang, China[J]. Acta Geologica Sinica, 80(1):23-31(in Chinese with English abstract).
- Wang Y W, Wang J B, Long L L, Ding R F, Shi Y and Zhao L T. 2015. The Early Carboniferous gold-copper-molybdenum mineralization events in the northern margin of Junggar Basin, Xinjiang: Geochronological evidence[J]. Acta Petrologica Sinica, 31(5):1448-1460(in Chinese with English abstract).
- Wei X F, Yin Y J, Huang X K, Ding R F, Liao Z and Jiang J P. 2016. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the gold-bearing quartz veins in Aktas gold deposit and its geological implications Xinjiang[J]. Mineral Exploration, 7(1):65-71(in Chinese with English abstract).
- Windley B F, Alexeiev D, Xiao W, Kroner A and Badarch G. 2007. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt[J]. Journal of Geological Society London, 164:31-47.
- Wu Y F, Yang F Q, Liu F, Zhou M and Chen H Q. 2015. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of sericite from the Brittle Ductile Shear Zone in the Ashele Cu-Zn ore district, Xinjiang[J]. Acta Geoscientica Sinica, (36)1:121-126(in Chinese with English abstract).
- Xiao W J and Santosh M. 2014. The western Central Asian Orogenic Belt: A window to accretionary orogenesis and continental growth[J]. Gondwana Research, 25(4):1429-1444.
- Xu X Y, Li R S, Chen J L, Ma Z P, Li Z P, Wang H L, Bai J K and Tang Z. 2014. New constrains on the Paleozoic tectonic evolution of the northern Xinjiang area[J]. Acta Petrologica Sinica, 30(6):1521-1534(in Chinese with English abstract).
- Yan S H, Teng R L, Wang Y T, Chen W, Zhang Z C and Chen B L. 2006a. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the Burgen gold-bearing shear zone on the southern margin of the Altay Mountains, Xinjiang, and its significance[J]. Geology in China, 33(33):648-653(in Chinese with English abstract).
- Yan S H, Wang Y T, Zhang Z C, Chen B L and Chen W. 2006b. Metallogenic type, tectonic setting, and resource potential of Ertix gold ore belt in northern Xinjiang[J]. Mineral Deposits, 25(6):693-702(in Chinese with English abstract).
- Yang F Q, Yan S H, Liu G R, Zhou G, Zhang Z X, Liu F, Geng X X and Guo C L. 2010. Geological characteristics and metallogenesis of porphyry copper deposits in Junggar, Xinjiang[J]. Mineral Deposits, 29(6):956-971(in Chinese with English abstract).
- Yuan H L, Wu F Y, Gao S, Liu X M, Xu P and Sun D Y. 2003. Precise determinations of U-Pb age and rare earth element concentrations of zircons from Cenozoic intrusions in northern China by laser ablation ICP-MS[J]. Chinese Science Bulletin, 48(22):4211-4241(in Chinese with English abstract).
- Zhang H Y, Niu H C, Shen X M, Ma L and Yu X Y. 2008. Late Paleozoic tectonic evolution and polymetallic ore-forming processes in southern Altay and northern Junggar[J]. Mineral Deposits, 27(5):596-603(in Chinese with English abstract).
- Zhang Z C, Yan S H, Chen B L, Zhou G, He Y K, Chai F M, He L X and Wan Y S. 2006. SHRIMP zircon U-Pb dating for subducting-related granitic rocks in the northern part of East Junggar, Xinjiang[J]. Chinese Science Bulletin, 51(13):1565-1574(in Chinese with English abstract).
- Zheng Y, Zhang L and Guo Z L. 2013. Zircon LA-ICP-MS U-Pb and biotite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the tiemuert Pb-Zn-Cu deposit, Xinjiang: Implications for ore genesis[J]. Acta Petrologica Sinica, 29(1):191-204(in Chinese with English abstract).
- Zheng Y, Li D F, Zhang L and Chen H Y. 2014. Biotite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology constraint on the genesis of the Sarekuobu gold deposit, Xinjiang[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 6(53):10-19(in Chinese with English abstract).
- Zhou G, Zhang Z C, Wang X K, Luo S B, He B and Zhang X L. 2007. Zircon U-Pb SHRIMP and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the granitic mylonite in the Mayinebo fault belt of North Xinjiang and its geologi-

- cal significance[J]. Acta Geoscientica Sinica, 81(3): 358-369 (in Chinese with English abstract).
- Zhou W K. 1991. Geological features and prospect of Aketasi gold deposit, Xinjiang[J]. Volcanology & Mineral Resources, 12(4): 87-95 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 洪涛, 相鹏, 游军, 张连昌, 吴楚, 吴琪, 徐兴旺. 2015. 额尔齐斯碰撞带东段结构与形成时代[J]. 岩石学报, 31(2): 571-593.
- 纪珊珊, 丁汝福, 赵智贤, 刘猛. 2012. 富蕴县阿克塔斯铜金矿床火山岩地球化学[J]. 广州化学, 37(3): 39-49.
- 李长民. 2009. 锆石成因矿物学与锆石微区定年综述[J]. 地质调查与研究, 33(3): 161-174.
- 李文渊, 董福辰, 张照伟, 谭文娟, 姜寒冰, 肖朝阳. 2015. 西北地区矿产资源成矿远景与召开部署研究主要进展及成果[J]. 中国地质调查局, 2(1): 19-24.
- 梁维, 杨竹森, 郑远川. 2015. 藏南扎西康铅锌多金属矿绢云母 Ar-Ar 年龄及其成矿意义[J]. 地质学报, 89(3): 560-568.
- 刘飞, 王镇远, 林伟, 陈科, 姜琳, 王清晨. 2013. 中国阿尔泰山带南缘额尔齐斯断裂带的构造变形及意义[J]. 岩石学报, 29(5): 1811-1824.
- 潘东, 丁汝福, 张华, 游军. 2012. 新疆富蕴县阿克塔斯金矿找矿靶区主要特征及找矿远景[J]. 科学技术与工程, 12(5): 1007-1013.
- 王非, 师文贝, 朱日祥. 2014. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学中几个重要问题讨论[J]. 岩石学报, 30(2): 326-340.
- 王京彬, 徐新. 2006. 新疆北部后碰撞构造演化与成矿[J]. 地质学报, 80(1): 23-31.
- 王玉往, 王京彬, 龙灵利, 丁汝福, 石煜, 赵路通. 2015. 新疆准噶尔北缘早石炭世金-铜-钼成矿事件: 年代学证据[J]. 岩石学报, 31(5): 1448-1460.
- 卫晓锋, 阴元军, 黄兴凯, 丁汝福, 廖震, 姜建平. 2016. 阿克塔斯含金石英脉 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学及地质意义[J]. 矿产勘查, 7(1): 65-71.
- 吴玉峰, 杨富全, 刘锋, 周明, 陈红琦. 2015. 新疆阿舍勒铜锌矿区脆韧性剪切带中绢云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学及其地质意义[J]. 地球学报, 36(1): 121-126.
- 徐学义, 李荣社, 陈隽璐, 马中平, 李智佩, 王洪亮, 白建科, 唐卓. 2014. 新疆北部古生代构造演化的几点认识[J]. 岩石学报, 30(6): 1521-1534.
- 闫升好, 滕荣丽, 王义天, 陈文, 张招崇, 陈柏林. 2006a. 新疆布尔根含金剪切带的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义[J]. 中国地质, 33(3): 648-655.
- 闫升好, 王义天, 张招崇, 陈柏林, 陈文. 2006b. 新疆额尔齐斯金矿带的成矿类型、地球化学动力学背景及资源潜力[J]. 矿床地质, 29(6): 956-971.
- 杨富全, 闫升好, 刘国仁, 周刚, 张志欣, 刘锋, 耿新霞, 郭春丽. 2010. 新疆准噶尔斑岩铜矿地质特征及成矿作用[J]. 矿床地质, 29(6): 956-971.
- 袁洪林, 吴福元, 高山, 柳小明, 徐平, 孙德有. 2003. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析[J]. 科学通报, 48(14): 1511-1520.
- 张海洋, 牛贺才, 沈晓明, 马林, 于学元. 2008. 阿尔泰山带南缘和准噶尔板块北缘晚古生代构造演化及多金属成矿作用[J]. 矿床地质, 27(5): 596-603.
- 张招崇, 闫升好, 陈柏林, 周刚, 贺永康, 柴凤梅, 何立新, 万渝生. 2006. 新疆东准噶尔北部俯冲花岗岩的 SHRIMP U-Pb 锆石定年[J]. 科学通报, 51(13): 1565-1574.
- 郑义, 张莉, 郭正林. 2013. 新疆铁木尔特铅锌铜矿床锆石 U-Pb 和黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学及其矿床成因意义[J]. 岩石学报, 29(1): 191-204.
- 郑义, 李登峰, 张莉, 陈华勇. 2014. 新疆萨热阔布金矿黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及矿床成因启示[J]. 中山大学学报(自然科学版), 6(53): 10-19.
- 周刚, 张招崇, 王新昆, 王祥昆, 罗世宾, 何斌, 张小林. 2007. 新疆玛因鄂博断裂带中花岗质糜棱岩锆石 U-Pb SHRIMP 和黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及意义[J]. 地质学报, 81(3): 358-369.
- 周维康. 1991. 阿克塔斯金矿地质特征及找矿前景[J]. 火山地质与矿产, 12(4): 87-95.