

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

闫升好¹ 滕荣丽² 王义天¹ 陈 文³ 张招崇⁴ 陈柏林⁵

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 山东地矿局第六地质勘查院, 山东 招远 265400;
3. 国土资源部重点实验室, 北京 100037; 4. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037;
5. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

摘要: 对产于布尔根大型剪切带中的科克萨依和阿拉塔斯 2 个金矿含金绢英质糜棱岩中的云母类矿物进行了连续激光阶段升温 Ar-Ar 法同位素测年, 获得坪年龄分别为 $(274.5 \pm 2.2)\text{Ma}$ 和 $(282.6 \pm 2.2)\text{Ma}$, 对应的等时线年龄分别为 $(275.8 \pm 5.2)\text{Ma}$ 和 $(283.1 \pm 5.2)\text{Ma}$, 表明含金剪切带初-脆性剪切活动的时代以及金成矿时代为早二叠世初。结合区域地质资料说明, 布尔根含金剪切带的成生演化主要受早二叠世 (290~270Ma) 西伯利亚板块南缘巨型额尔齐斯剪切带区域性左行韧性剪切相伴的构造-岩浆热事件控制, 其地球动力学背景为造山带构造演化的后碰撞伸展构造环境。

关键词: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄; 剪切带金矿; 布尔根; 阿尔泰; 新疆

中图分类号: P597+.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2006)03-0648-08

剪切带是一种非常重要的控(成)矿构造, 与剪切带有关的金矿床或“剪切带型金矿”在世界各地分布广泛, 并往往形成大型、超大型金矿床, 如太古宙绿岩地体中的脉状金矿、显生宙活动大陆边缘增生造山带中的造山型金矿^[1-4]。新疆布尔根剪切带位于阿尔泰山东南的青格里河与布尔根河交汇处(图 1-A), 其西起可可托海—二台断裂, 东南延伸进入到蒙古境内, 总体呈 NW-SE 向展布, 中国境内长达 80 km、宽 2~10 km^[5-7]。尽管自上个世纪 80 年代以来, 在剪切带内相继发现了科克萨依、阿拉塔斯等一批金矿床(点), 但其规模普遍较小, 与剪切带的宏大规模相比极不相称。另外, 前人对该区金矿的地球化学特征、成矿流体、控矿构造等方面进行了较多的研究^[6,9-14], 但迄今未见较为可靠的同位素成矿年龄的报道。

目前, 国内外大量研究结果表明, 含大型-超大型金矿床的剪切带往往经历了漫长复杂的构造演化历史, 其中韧性-脆性转换、多期次构造叠加以及同构造岩浆活动等可能是控制含金剪切带成矿强度的重要因素^[4,15-17]。因此, 有必要对布尔根剪切带的构造演化历史、变形变质序列及其成岩成矿作用进行研究, 以准确评价其成矿潜力。笔者主要报道科克萨依和阿拉塔斯两个金矿含金绢英质糜棱岩的 Ar-Ar 同位

素测年结果, 并结合区域构造演化资料来探讨金矿成矿时代和含金剪切带形成的动力学背景。

1 地质简况

布尔根剪切带位于西伯利亚板块与哈萨克斯坦—准噶尔板块拼接带(玛因鄂博韧性剪切带)南侧的加波萨尔岛弧区, 界于卡拉先格尔—接勒的卡他乌断裂与克孜勒他乌两条断裂之间, 其 NW 端收敛、SE 端散开(图 1-A)。剪切带内地层为上泥盆统卡希翁组浅变质玄武安山岩、凝灰质粉砂岩及千枚岩, 北侧为上泥盆统江孜尔库都克组玄武安山岩夹凝灰岩, 南侧为下泥盆统托让格库都克组中基性火山岩、火山碎屑岩及其浅变质岩。区内岩浆岩主要为海西中晚期花岗岩、花岗闪长岩株及其岩脉, 它们大多沿卡拉先格尔—接勒的卡他乌断裂带南侧分布, 规模较大的岩体有克孜勒他乌南东侧的乌图布拉克(Rb-Sr 等时线年龄 $334 \pm 6\text{Ma}$)^[18]、阿拉塔斯东北侧的开则勒萨依、塔克什肯口岸南东 12 km (TIMS 锆石 U-Pb 年龄 $286 \pm 9\text{Ma}$)^①。剪切带内断续分布着火山岩构造透镜体, 周围环绕着强烈片理化的绿泥石片岩; 中酸性侵入岩脉多遭受片理化或碎裂岩化; 大量发育的石英脉多呈拉长的透镜状, 尖灭再现或侧列展布, 走向与挤压片理化带一致, 以

收稿日期: 2006-03-20; 改回日期: 2006-04-08

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2001CB409807)和国家科技攻关项目(2001BA609A-07-02)资助。

作者简介: 闫升好, 男, 1966 年生, 博士, 研究员, 主要从事矿产资源评价与成矿作用研究; E-mail: yansh808@sohu.com。

① 童英, 等. 阿尔泰南东塔克什肯口岸后造山 A 型花岗岩的形成时代、成因及地壳垂向生长意义. 见: 2005 年全国岩石学与地球动力学研讨会论文摘要, 杭州, 2005.

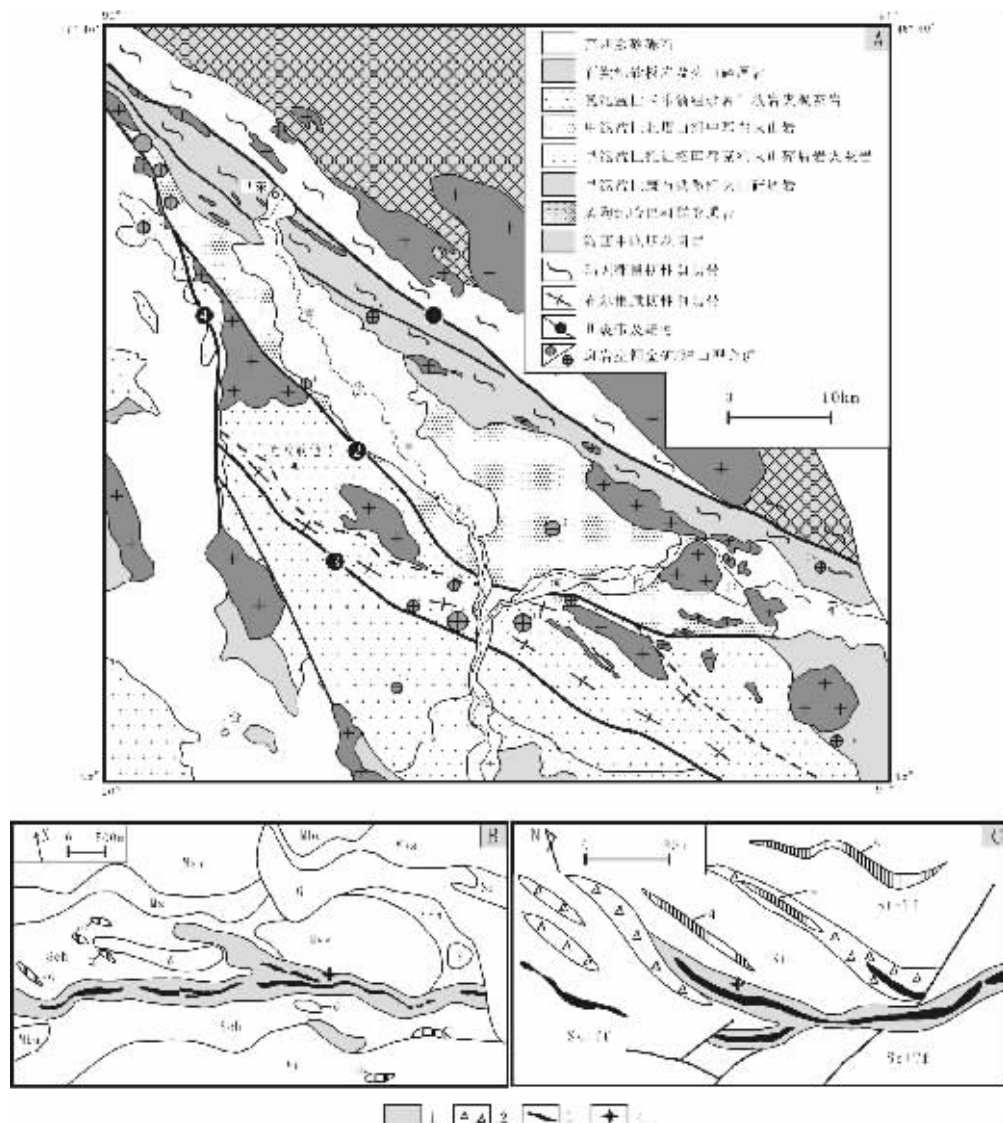


图 1 新疆阿尔泰山南缘布尔根剪切带地质背景、金矿分布及典型矿床地质特征

图 1—A 示意布尔根剪切带的地质背景和金矿床分布(据 1:20 万二台幅地质图修编);图 1—B、图 1—C 分别示意科克萨依和阿拉塔斯金矿地质和矿体产出特征^[9,11];①—玛因鄂博断裂;②—卡拉先格尔—接勒的卡他乌断裂;③—克孜勒他乌断裂;④—可可托海—二台断裂。金矿床(点): 1—哈腊苏;2—卡拉先格尔;3—卡拉先格尔南东;4—老山口;5—扎克特;6—喀腊萨依;7—马热勒铁;8—苏鲁巴依;9—喀拉套;10—科克萨依; 11—阿拉塔期;12—开则勒萨依;13—墩特西;14 塔克什肯;15—阿比金

Q—第四系砂砾石;Ms—泥盆世卡希翁组变质砂岩;Mss—晚泥盆世卡希翁组变质凝灰质粉砂岩;Mt—晚泥盆世卡希翁组变质凝灰岩; Sch—晚泥盆世卡希翁组绿泥石片岩;Ss+Tf—晚泥盆世卡希翁组粉砂岩夹凝灰岩;St—晚泥盆世卡希翁组板岩; St+Tf—晚泥盆世卡希翁组板岩夹凝灰岩;δ—闪长岩脉;q—石英脉;1—强片理化带;2—断裂破碎带;3—金矿体;4—采样位置

Fig. 1 Map showing the geological setting, gold deposit distribution and geological characteristics of typical gold deposits in the Buergen shear zone on the southern margin of Altay Mountains, Xinjiang

Fig. 1—A shows the geological setting and distribution of gold deposits (modified from the 1:200,000 geological map of the Er'tai Sheet)

Fig. 1—B and 1—C show the geology and orebodies of the Kekesayi and Alatasi gold deposits^[9,11]; Faults:

- ①—Mayinebo fault; ②—Kalaxianger—Jieledikatawu fault; ③—Kiziltaw fault; ④—Koktoday—Er'tai fault. Gold deposits and occurrences: 1—Halasu; 2—Kalaxianger; 3—SE Kalaxianger; 4—Laoshankou; 5—Zhakete; 6—Kalasayi; 7—Mareletie; 8—Sulubayi; 9—Kalatao; 10—Kekesayi; 11—Alatasi; 12—Kaizelesayi; 13—W. Dunte; 14—Takeshiken; 15—Abijin. Q—Quaternary sand and gravel; Ms—Metasandstone of the Upper Devonian Kaxiweng Formation; Mss—Metatuffaceous siltstone of the Upper Devonian Kaxiweng Formation; Mt—Metatuff of the Upper Devonian Kaxiweng Formation; Sch—Chlorite schist of the Upper Devonian Kaxiweng Formation; Ss+Tf—Siltstone with metatuff of the Upper Devonian Kaxiweng Formation; St—Slate of the Upper Devonian Kaxiweng Formation; St+Tf—Slate with tuff of the Upper Devonian Kaxiweng Formation; δ—Diorite dike; q—Quartz vein. 1—Highly schistose zone; 2—Fracture zone; 3—Gold orebody; 4—Location of sampling

不含金的石英脉居多;发育 S-C 面理、柔褶构造、拖曳褶曲、石英透镜体拖尾构造等,指示剪切带以左行平剪为主、兼有小角度逆冲;局部岩石变形强烈形成绢英质糜棱岩带,伴有强烈的褐铁矿化、硅化、绿泥石化和高岭土化^[5-7]。

剪切带内目前已发现多处金矿(化)点,但具规模的只有科克萨依小型矿床。最近在其 NW 端卡拉先格尔一带发现了极具找矿前景的斑岩型铜金矿床^[8]。科克萨依金矿产于近 EW 向展布的科克萨依紧闭背斜核部的强片理化带内(图 1-B),矿体呈脉状、透镜状,其空间分布受 Riedel 剪切裂隙控制^[9]。矿石类型主要为石英脉型和绢英质糜棱岩型,矿石矿物主要为黄铁矿和毒砂,少量黄铜矿、方铅矿等。热液蚀变主要有硅化、绢云母化、绿泥石、黄铁矿-毒砂化等。蚀变矿化分带明显,内带为含金石英脉,中带为强烈硅化、绢云母化糜棱岩,外带为绿泥石化片理化碎屑岩。阿拉塔斯金矿的成矿地质特征与科克萨依金矿基本类似(图 1-C),但其糜棱岩化的强度和规模均不及科克萨依金矿^[10]。

2 成矿年代学研究

2.1 样品描述及测试方法

用于 Ar-Ar 同位素测年的样品(KSY-1、ATS-1)分别来自科克萨依和阿拉塔斯两个金矿床含金蚀变构造岩中的绢云母单矿物,采样位置见图 1-B-C。样品 KSY-1 来自科克萨依金矿床 3 号矿体的露天采矿,岩性为含金绢英质糜棱岩,灰黑色,条带状构造(由石英细网脉和绢英质糜棱岩构成),金属硫化物呈细脉浸染状分布。石英细脉多呈大小不一的透镜体或石香肠状,宽 0.5~2 cm,长几厘米到十几米,其两端常具旋尾构造,内部发育密集的 C 面理,沿 C 面理分布着细粒黄铁矿线条;绢英质糜棱岩发育 S-C 组构,C 面理间距一般小于 1 cm,S-C 面理夹角小于 10°。野外观察表明,C 面理一般与区域性片理产状一致,走向 280~290°、倾角近直立,片理与变质粉砂岩的原始层理(275°/N50°)呈小角度斜交。

镜下观察岩石呈较为典型的糜棱结构、发育显微 S-C 组构,矿物组成主要为石英、绢云母、绿泥石和细粒浸染状黄铁矿等,石英颗粒具波状消光、拉长和重结晶等应变现象,绢云母发育膝折构造。样品 ATS-1 采自阿拉塔斯金矿 1 号矿体露天采坑含金石英脉旁侧的绢英质糜棱岩,其岩石和矿化特征与样品 KSY-1 基本雷同。

同位素测年采用连续激光阶段升温 Ar-Ar 法,样品测试工作在中国地质科学院地质研究所同位素地质实验室完成。将选纯的矿物(纯度>99%)在丙酮中用超声波清洗。超声清洗过程中要注意清洗液的选择和严格控制时间。一般先用经过两次亚沸蒸馏净化的纯净水清洗 3 次,每次 3 min,在此过程中矿物表面和解理缝中在天然状态下和碎样过程中吸附的粉末和杂质被清除。然后在丙酮中清洗两次,每次 3 min,在此过程中,矿物表面吸附的油污等有机物质被清除。清洗后的样品被封进石英瓶中送核反应接受中子照射。照射工作是在中国原子能科学研究所的“游泳池堆”中进行的。使用 H8 孔道,其中子流密度约为 $6.0 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。照射总时间为 3 223 min,积分中子通量为 $1.16 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2}$;同期接受中子照射的还有用做监控样的标准样:ZBH-25 黑云母国内标样,其标准年龄为 132.7 Ma,K 含量为 7.6%。

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再进行质量歧视校正、大气氩校正、空白校正和干扰元素同位素校正。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 $2 \times 10^{-17} \text{ mol}$ 。中子照射过程中所产生的干扰同位素校正系数通过分析照射过的 K_2SO_4 和 CaF_2 来获得,其值为: $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}_0)_{\text{Ca}} = 0.000 238 9, (^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.004 782, (^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}_0)_{\text{Ca}} = 0.000 806$ 。 ^{37}Ar 经过放射性衰变校正; ^{40}K 衰变常数 $= 5.543 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$;坪年龄误差以 2σ 给出。用 ISOPLOT 程序计算正、反等时线

表 1 科克萨依金矿含金片岩中绢云母 KSY-1) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 快中子活化法测年结果

Table 1 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ data for sericite from gold-hosted schist (KSY-1) in the Kekesayi gold deposit

加热阶段	温度($^{\circ}\text{C}$)	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$^{39}\text{Ar}(\times 10^{-14} \text{ mol})$	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	^{39}Ar 累积(%)	视年龄 $t \pm 1 \sigma$ (Ma)
1	400	14.6349	0.0213	0.0867	0.0303	18.98	8.3330	0.18	166±14
2	500	17.7057	0.0187	0.1581	0.0446	36.57	12.1934	0.54	238.0±6.6
3	600	12.4319	0.0090	0.1540	0.0414	99.54	9.7745	1.50	193.2±3.3
4	700	11.3799	0.0050	0.1084	0.0290	210.92	9.9036	3.54	195.6±3.0
5	800	12.9030	0.0003	0.0206	0.0177	715.17	12.8220	10.47	249.5±2.4
6	900	13.2727	0.0008	0.0528	0.0145	936.41	13.0482	19.53	253.6±2.5
7	950	13.8147	0.0004	0.0345	0.0132	1116.61	13.6824	30.35	265.0±2.7
8	1000	14.1240	0.0003	0.0054	0.0131	1888.89	14.0403	48.63	271.5±3.0
9	1050	14.3512	0.0003	0.0048	0.0137	1918.35	14.2654	67.21	275.5±2.6
10	1100	14.3208	0.0004	0.0053	0.0138	1119.70	14.1982	78.05	274.3±2.6
11	1160	14.4520	0.0005	0.0058	0.0139	898.02	14.2906	86.74	275.9±2.6
12	1250	14.7034	0.0013	0.0120	0.0136	623.36	14.3199	92.78	276.5±2.7
13	1400	17.6925	0.0123	0.0288	0.0156	745.81	14.0470	100.00	271.6±3.5

注:样品重量 60.0 mg;照射参数 $J=0.011566; \lambda=5.543 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$;由中国地质科学院地质研究所同位素地质实验室陈文分析。

表 2 阿拉塔斯金矿含金片岩中绢云母 (ATS-1) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 快中子活化法测年结果Table 2 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ data for sericite from gold-hosted schist (ATS-1) in the Alatasi gold deposit

加热阶段	温度($^{\circ}\text{C}$)	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$^{40}\text{Ar}*/^{39}\text{Ar}$	$^{39}\text{Ar}(\times 10^{-14}\text{mol})$	^{39}Ar 累积(%)	视年龄 $\pm 1\sigma$ (Ma)
1	500	17.9627	0.0394	0.0494	0.0452	6.3224	6.34	0.06	126 \pm 13
2	600	13.1820	0.0107	0.1115	0.0326	10.0289	51.95	0.51	196.2 \pm 4.7
3	700	12.1710	0.0054	0.0729	0.0308	10.5689	110.78	1.49	206.1 \pm 4.9
4	800	12.4016	0.0015	0.0198	0.0155	11.9556	367.37	4.73	231.5 \pm 2.4
5	880	13.1847	0.0006	0.0171	0.0139	13.0101	837.21	12.11	250.6 \pm 2.5
6	950	14.2477	0.0003	0.0097	0.0133	14.1515	2040.68	30.10	271.0 \pm 3.1
7	1000	14.8316	0.0001	0.0068	0.0132	14.7837	2157.06	49.11	282.2 \pm 3.3
8	1050	14.6383	0.0002	0.0061	0.0128	14.5790	1734.03	64.4	278.6 \pm 2.9
9	1100	15.0267	0.0003	0.0076	0.0132	14.9290	1169.40	74.71	284.8 \pm 2.7
10	1150	14.9796	0.0008	0.0101	0.0125	14.7384	1038.54	83.86	281.4 \pm 2.9
11	1200	15.1857	0.0010	0.0151	0.0142	14.8999	553.82	88.74	284.3 \pm 2.8
12	1300	15.8788	0.0034	0.0165	0.0138	14.8668	838.52	96.13	283.7 \pm 2.8
13	1400	19.3405	0.0153	0.0502	0.0172	14.8251	438.63	100.00	282.9 \pm 3.2

注:样品重量 50.0 mg;照射参数 $J=0.011454$; $\lambda=5.543 \times 10^{-10}\text{a}^{-1}$;由中国地质科学院地质研究所同位素地质实验室陈文分析。

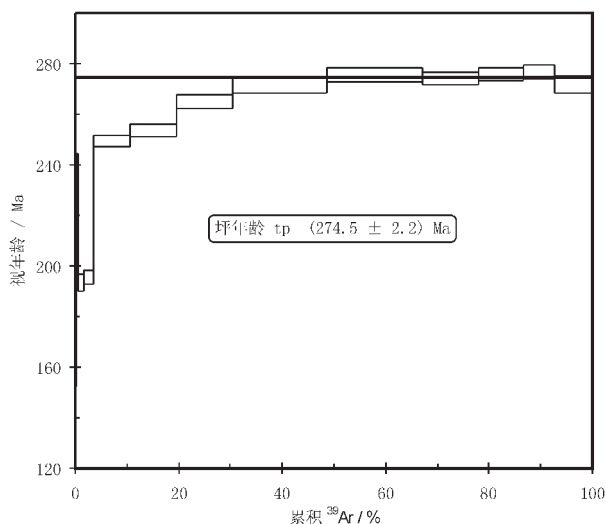


图 2 科克萨依含金绢英质糜棱岩绢云母 Ar-Ar 视年龄图谱
Fig. 2 Ar-Ar apparent age spectrum of sericite from gold-bearing phyllic mylonite in the Kekesayi gold deposit

(Ludwig, v2.49, 2001)。详细实验流程见陈文等^[10]。

2.2 测年结果

科克萨依金矿含金绢英质糜棱岩中绢云母样品(Ksy-1)的阶段加热氩同位素测试结果见表 1, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄图谱见图 2。从表 1 和图 2 可以看出, Ksy-1 样品在 1000~1400 $^{\circ}\text{C}$ 之间的 6 个加热阶段析出的 ^{39}Ar 累积为 69.7%, 给出一个稳定的坪年龄为(274.5 \pm 2.2)Ma。由坪年龄对应的 $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 和 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 数据得到的等时线年龄为(275.8 \pm 5.2)Ma(图 3), 坪年龄和等时线年龄基本一致。 $(^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar})_i=276\pm 44$, 略低于现今的大气氩(295.5)。

由表 2 和图 4 可见, 阿拉塔斯金矿含金绢英质糜棱岩中

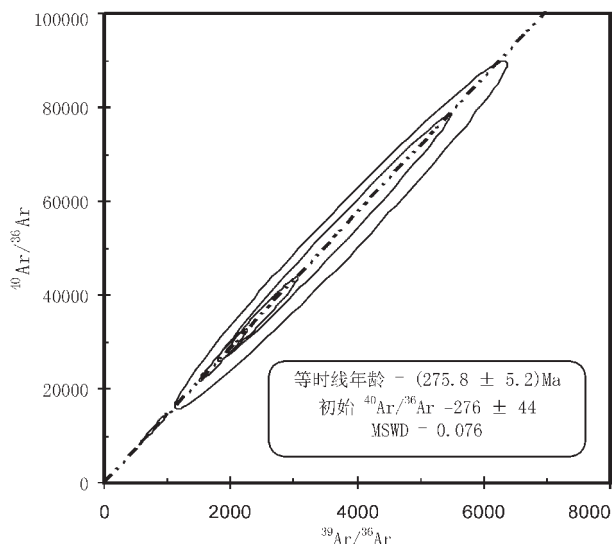


图 3 科克萨依含金绢英质糜棱岩绢云母 Ar-Ar 等时线年龄图
Fig. 3 Ar-Ar isochron age of sericite from gold-bearing phyllic mylonite in the Kekesayi gold deposit

绢云母样品(Ats-1)的 7 个加热阶段(1000~1400 $^{\circ}\text{C}$)累计析出的 ^{39}Ar 总量为 69.9%, 得到的坪年龄为(282.6 \pm 2.2)Ma。对应的等时线年龄为(283.1 \pm 5.2)Ma(图 5), 坪年龄和等时线年龄非常接近。 $(^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar})_i=296\pm 28$, 与现今的大气氩基本一致。

3 地质意义

3.1 成矿时代

布尔根含金剪切带是新疆阿尔泰南缘额尔齐斯金成矿带的重要组成部分。虽然目前在该地区发现的金矿(化)点数目不少(图 1-A), 但矿化规模远不及额尔齐斯成矿带中、西段的金矿床(如多拉纳萨依、赛都、萨热阔布、萨尔布拉克),

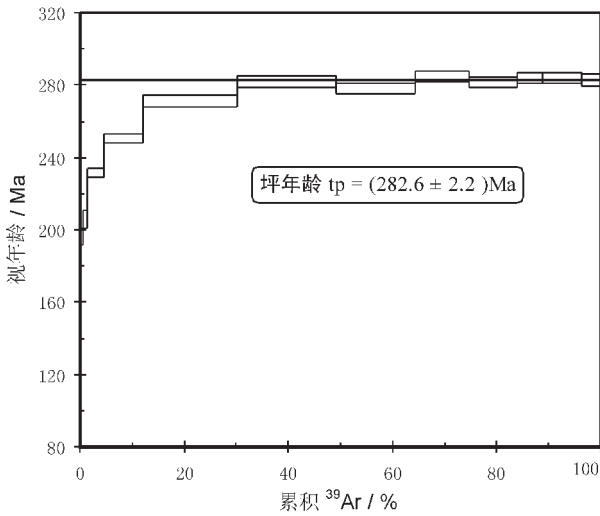


图4 阿拉塔斯金矿含金绢英质糜棱岩绢云母 Ar-Ar 视年龄图谱

Fig. 4 Ar-Ar apparent age spectrum of sericite from gold-bearing phyllic mylonite in the Alatasi gold deposit

对其研究程度也远不如中西段的金矿床,特别是金成矿作用同位素年代学资料更是长期以来处于空白。本文获得的科克萨依和阿拉塔斯2个金矿的含金蚀变岩绢云母 Ar-Ar 年龄为 275~283 Ma,相当于早二叠世早期,基本可以代表布尔根地区金成矿作用的主成矿时代,其理由为:①科克萨依和阿拉塔斯金矿是目前布尔根地区较具规模的两个金矿床,矿化特征具代表性;②这两个金矿均为典型的剪切带糜棱岩型金矿,矿体空间分布严格受 Riedel 剪切裂隙控制,矿化产于绢英质糜棱岩中,金矿化与硅化、绢云母化和黄铁矿化成正相关,绢云母的形成时代即为金成矿时代;③该年龄数据与产于卡拉先格勒—接勒的卡他乌断裂带南侧的哈丹逊花岗岩体 (281 ± 14 Ma)^[18]、口岸南东 12 km 碱性花岗岩体 (286 ± 9 Ma)^①的形成时代接近,而晚于克孜勒他乌南东遭受韧性剪切变形的乌图布拉克花岗闪长岩体 (334 ± 6 Ma)^[18]的形成时代。

3.2 含金剪切带的动力学背景

目前的研究资料表明,大多数研究者赞同布尔根地区的金矿属较为典型的剪切带型金矿。王金良^[9]较早报道了布尔根韧性剪切带的宏观特征及其对金矿化的控制作用。之后,王军升^[10]详细研究了布尔根剪切带的变形构造及各种剪切标志;王军升等^[9]、刘悟辉等^[20]深入分析了科克萨依金矿的控

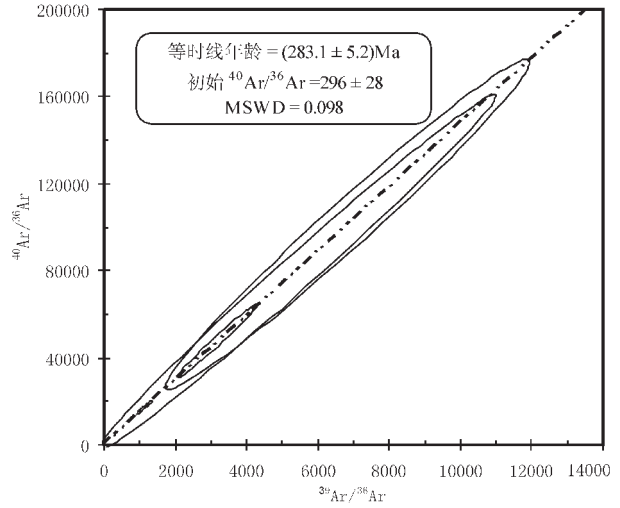


图5 阿拉塔斯金矿含金绢英质糜棱岩绢云母 Ar-Ar 等时线年龄图

Fig. 5 Ar-Ar isochron age of sericite from gold-bearing phyllic mylonite in the Alatasi gold deposit

矿构造特征,认为矿化严格受 Riedel 剪切裂隙控制;尹意求等^[12]仿照 Bonnemaion et al^[13]三阶段成矿模式,提出了科克萨依的成矿构造演化模式。尽管如此,由于对含金剪切带复杂构造演化过程的研究不够,特别是缺乏可靠的同位素年龄数据,致使对含金剪切带形成的地球动力学背景尚存在模糊认识;尹意求等^[12]认为布尔根剪切带的形成演化受控于碰撞造山过程的逆冲—推覆构造体系;而王军升^[10]的研究结果表明,剪切带的运动学特征以左行平剪为主、兼有小角度上冲;汪劲草等^[21]认为布尔根剪切带是后造山伸展垮塌阶段近平行于造山带走向的顺层伸展滑脱形成的,后期叠加了 NW-SE 向的挤压褶皱构造。

区域地质资料表明,布尔根剪切带是西伯利亚板块南缘巨型“额尔齐斯走滑剪切带”的一部分,其向西与哈萨克斯坦境内的同名剪切带相连、向东延入蒙古的 Bulgan 断裂^[22-23]。在 NNW 向可可托海—二台右行走滑断裂以东,剪切带由北侧的玛因鄂博韧性剪切带和南侧的布尔根脆性剪切带组成(图 1-A),这两条剪切带向西分别与库尔提—富蕴韧性剪切带、萨尔布拉克—喀拉通克脆性剪切带相连^②。对于额尔齐斯剪切带的变形时代,胡霭琴等^[24]最早在勒拿富蕴地区的混合片麻岩中,获得黑云母 Ar-Ar 坪年龄 (271 ± 2) Ma、角闪石

① 童英,等. 阿尔泰南东塔克什岗口岸后造山 A 型花岗岩的形成时代、成因及地壳垂向生长意义. 见:2005 年全国岩石学与地球动力学研讨会论文摘要,杭州,2005.

② 陈柏林,等. 额尔齐斯构造带东段构造变形特征. 见:2005 年全国岩石学与地球动力学研讨会论文摘要,杭州,2005.

Ar-Ar 坪年龄(277.5±2)Ma;Melnikov et al^[23]根据同构造花岗岩云母 Ar-Ar 年龄(280~290Ma)认为,哈萨克斯坦境内额尔齐斯剪切带的韧性变形可能始于 290 Ma,结束于 270 Ma。

近年来,对北侧额尔齐斯—玛因鄂博韧性剪切带变形变质和南侧剪切带喀拉通克铜镍硫化物矿床成岩成矿的年代学研究获得了大量高精度的同位素年龄数据,为深入探讨阿尔泰山缘巨型剪切带的动力学演化提供了有力的约束。在北侧额尔齐斯—玛因鄂博韧性剪切带的青河段,Laurent-Charvet et al^[24]对剪切带北侧云母片岩中云母类矿物进行单颗粒激光 Ar-Ar 测年,获得黑云母等时线年龄(261.4±3.2)Ma,白云母坪年龄(249.9±2.2)Ma、等时线年龄(248.8±2.2)Ma;玛因鄂博断裂南侧的阿特勒托别(卫东)同构造花岗岩体 Rb-Sr 等时线年龄(300±8.7)Ma^[25];玛因鄂博断裂北侧片麻岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为(281±3)Ma^[27]。在富蕴—库尔提地段的中泥盆统阿勒泰镇组变质中基性火山岩中,2个正片麻岩黑云母 Ar-Ar 等时线年龄为(245.4±2.5)Ma、(244.0±2.6)Ma,2个角闪岩角闪石 Ar-Ar 等时线年龄为(244.1±2.8)Ma、(249.1±3.8)Ma,1个混合片麻岩黑云母 Ar-Ar 等时线年龄为(265.6±2.5)Ma^[24];富蕴乌恰沟基性麻粒岩中4个 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为(271±6)Ma、(279±5.6)Ma、(268±5.8)Ma、(271±5.4)Ma^①。在萨尔布拉克—喀拉通克脆性剪切带,韩宝福等^[28]获得喀拉通克1号岩体含矿苏长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为(287±5)Ma;张作衡等^[29]对喀拉通克矿区1号和2号岩体中铜镍硫化物矿石进行了 Re-Os 同位素测年,获得两个等时线年龄分别为(282.5±4.8)Ma、(290.2±6.9)Ma。可以看出,上述同位素年龄数据主要集中在两个区间:290~270 Ma、270~250 Ma。Laurent-Charvet et al^[24]认为 290~270 Ma 代表额尔齐斯走滑带大规模左行韧性剪切的活动时限、270~250 Ma 可能代表局部的左行或右行剪切以及走滑抬升快速冷却。实际上,290~270 Ma 的年龄时段不仅表现为区域性大规模的韧性剪切活动,表现更为突出的是区域性的变质事件、镁铁质—超镁铁质岩浆和碱性花岗岩质浆侵入活动以及相关的成岩成矿作用^[28]。因此,本文两件绢英质糜棱岩绢云母 Ar-Ar 年龄数据(275~283 Ma)不仅表明,布尔根含金剪切带脆性剪切成矿活动与额尔齐斯走滑带区域性大规模左行韧性剪切的活动时限相对应,而且说明其成生演化的地球动力学背景应为造山带后碰撞阶段的伸展构造环境。事实上,科克萨依金矿成矿物质主要为深部幔源、成矿流体以深源岩浆流体为主^[10,14],表明布尔根含金剪切带的成矿作用与伸展构造环境下的岩浆作用有关。

致谢:野外工作得到新疆地矿局第四地质大队的周刚、何立新、贺永康、杨文平等高级工程师的大力协助,深表感谢。

参考文献(References):

- [1] Groves D I, Goldfarb R J, Gebre-Mariam M, et al. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types[J]. *Ore Geology Reviews*, 1998, 13: 7~27.
- [2] Groves D I, Goldfarb R J, Robert F, et al. Gold deposits in metamorphic belts: Overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance[J]. *Economic Geology*, 2003, 98: 1~29.
- [3] Goldfarb R J, Groves D I, Gardoll S. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis[J]. *Ore Geology Review*, 2001, 18: 1~75.
- [4] 王义天,毛景文,李晓峰,等.与剪切带相关的金成矿作用[J]. *地学前缘*, 2004, 11(2): 393~400.
Wang Yitian, Mao Jingwen, Li Xiaofeng, et al. Gold mineralization related to the shear zone [J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(2): 393~400 (in Chinese with English abstract).
- [5] 王金良.新疆布尔根脆性剪切带金矿地质特征[J]. *矿产与地质*, 1994, 8(5): 334~336.
Wang Jinliang. Geological features of gold deposits in the Bu'ergen ductile-brittle shear zone, Xinjiang[J]. *Mineral Resources and Geology*, 1994, 8(5): 334~336 (in Chinese with English abstract).
- [6] 王军升.新疆布尔根韧性剪切带的地质构造特征及对金矿化的控制[J]. *有色金属矿产与勘查*, 1997, 6(4): 208~211.
Wang Junsheng. Bu'ergen ductile shear zone in Xinjiang and its control of gold mineralization [J]. *Geological Exploration for non-ferrous Metals*, 1997, 6(4): 208~211 (in Chinese with English abstract).
- [7] 廖启林,戴塔根,刘梧辉,等.布尔根韧性剪切带金矿找矿前景[J]. *桂林工学院学报*, 1999, 19(2): 95~100.
Liao Qilin, Dai Tagen, Liu Wuhui, et al. On prospect of gold deposit in Bu'ergen ductile shear zone[J]. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 1999, 19(2): 95~100 (in Chinese with English abstract).
- [8] 杨文平,张招崇,周刚,等.阿尔泰山南缘希勒克特哈腊苏斑岩铜矿的发现及其意义[J]. *中国地质*, 2005, 32(1): 107~114.
Yang Wenping, Zhang Zhaochong, Zhou Gang, et al. Discovery of the Xileketalasu porphyry copper deposit on the southern margin of the Altay copper metallogenic belt[J]. *Geology in China*, 2005, 32(1): 107~114 (in Chinese with English abstract).
- [9] 王军升,邓吉牛,廖启林.新疆科克萨依金矿控矿构造特征及找矿评价标志[J]. *有色金属矿产与勘查*, 1998, 7(5): 283~288.
Wang Junsheng, Dengjiniu, Liao Qilin. Geology of ore-controlling structures and prospecting guide of the Kekesayi gold deposit, Xinjiang[J]. *Geological Exploration for Non-Ferrous Metals*, 1998, 7(5): 283~288 (in Chinese with English abstract).
- [10] 王军升,邓吉牛.科克萨依金矿地质特征及矿床成因分析[J]. *有色金属矿产与勘查*, 1999, 8(6): 530~535.

① 陈汉林,等.阿尔泰山带基性麻粒岩的年代学及其动力学含义.见:2005年全国岩石学与地球动力学研讨会论文摘要,杭州,2005.

- Wang Junsheng, Dengjiniu. Geology and metallogenesis of the Kekesayi gold deposit in Xinjiang [J]. Geological Exploration for Non-Ferrous Metals, 1999, 8(6): 530~535 (in Chinese with English abstract).
- [11] 王军升. 新疆北部阿拉塔斯金矿床地质特征及找矿方向[J]. 矿产与地质, 2002, 16(1): 6~8.
- Wang Junsheng. The geological characters of Alatasi gold deposit in Northern Xinjiang and its prospecting direction [J]. Mineral Resources and Geology, 2002, 16(1): 6~8 (in Chinese with English abstract).
- [12] 尹意求, 李嘉兴, 张积斌, 等. 新疆青河科克萨依韧性剪切带型金矿床的构造演化模式[J]. 矿床地质, 1998, 17(4): 314~319.
- Yin Yiqiu, Li Jiaxing, Zhang Jibin, et al. The structural evolutionary model of the Keksayi ductile shear zone type gold deposit in Qinghe county, Xinjiang [J]. Mineral Deposits, 1998, 17(4): 314~320 (in Chinese with English abstract).
- [13] 李志纯. 阿尔泰山南缘两类构造成矿类型金矿床及其成矿模式[J]. 大地构造与成矿学, 1999, 23(1): 16~28.
- Li Zhichun. Two tectono-metallogenic types of Au deposits and their metallogenic models in the southern Altay mountain [J]. Geotectonica et Metallogenia, 1999, 23(1): 16~28 (in Chinese with English abstract).
- [14] 王莉娟, 王京彬, 王玉往, 等. 新疆准噶尔地区金矿床成矿流体稀土元素地球化学特征[J]. 岩石学报, 2004, 20(4): 977~998.
- Wang Lijuan, Wang Jingbin, Wang Yuwang, et al. REE geochemistry of ore-forming fluids of gold deposits in Junggar area, Xinjiang [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(4): 977~998 (in Chinese with English abstract).
- [15] Bonnemaïson M, Marcoax M. Auriferous mineralization in some shear-zones: A three-stage model of metallogenesis [J]. Mineralium Deposita, 1990, 25(2): 96~104.
- [16] 翟裕生, 张湖, 宋鸿林, 等. 大型构造与超大型矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1997, 97~125.
- Zhai Yusheng, Zhang Hu, Song Honglin, et al. Macroscopic Structures and Superlarge Ore Deposits [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997, 144~67 (in Chinese with English abstract).
- [17] 孙晓明. 韧性剪切带中的脆性构造及其对金矿化的控制[J]. 中山大学学报(自然科学版), 1998, 37(1): 98~102.
- Sun Xiaoming. Two kinds of brittle structures in ductile shear zone and their controlling significances for gold mineralization [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 1998, 37(1): 98~102 (in Chinese with English abstract).
- [18] 周刚, 张招崇, 谷高中, 等. 新疆东准噶尔北部青格里河下游花岗岩类的时代及地质意义[J]. 现代地质, 2006, 20(1): 141~150.
- Zhou Gang, Zhang Zhaochong, Gu Gaozhong, et al. Dating of granitic plutons and its geological implications in the Lower reaches of the Qinggeli river in the northern part of East Junggar, Xinjiang [J]. Geoscience, 2006, 20(1): 141~150 (in Chinese with English abstract).
- [19] 陈文, 刘新宇, 张思红. 连续激光阶段升温 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 地质年代测定方法研究[J]. 地质论评, 2002, 48(增刊): 127~134.
- Chen Wen, Liu Xinyu, Zhang Sihong. Continuous laser stepwise heating $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating technique [J]. Geological Review, 2002, 48 (Supp.): 127~134 (in Chinese with English abstract).
- [20] 刘悟辉, 廖启林, 戴培根, 等. 阿尔泰山南缘与韧性剪切带有关金矿床成矿特征浅析[J]. 地质找矿论丛, 1999, 14(3): 42~49.
- Liu Wuhui, Liao Qilin, Dai Peigen, et al. Preliminary analyses on minerogenetic characteristics of gold deposits related to ductile shear zone in southern margin area of Altay [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 1999, 14(3): 42~49 (in Chinese with English abstract).
- [21] 汪劲草, 夏斌. 中国阿尔泰山后造山伸展垮塌的地质证据[J]. 桂林工学院学报, 2005, 25(3): 267~273.
- Wang Jincuo, Xia Bin. Geological evidences for post orogenic extensional collapse in Altaides, NW China [J]. Journal of Guilin University of Technology, 2005, 25(3): 267~273 (in Chinese with English abstract).
- [22] Windley B F, Kroner A, Guo J, et al. Neoproterozoic to Paleozoic geology of the Altai orogen, NW China: New zircon age data and tectonic evolution [J]. Journal of Geology, 2002, 110: 719~739.
- [23] Laurent-Charvet S, Charvet J., Shu L S, et al. Palaeozoic late collisional strike slip deformations in Tianshan and Altay, Eastern Xinjiang, NW China [J]. Terra Nova, 2002, 14, 249~256.
- [24] 胡霭琴, 张国新, 李启新, 等. 新疆北部主要地质事件同位素年表[J]. 地球化学, 1995, 24(1): 20~31.
- Hu Ai qin, Zhang Guoxin, Li Qixin, et al. The isotopic chronological scale of major geological events in northern Xinjiang, China [J]. Geochimica, 1995, 24(1): 20~31 (in Chinese with English abstract).
- [25] Melnikov A, Travin A, Plotnikov A, et al. Kinematics and Ar/Ar geochronology of the Irtysh shear zone in NE Kazakhstan [Abs]. Continental Growth in the Phanerozoic: evidence from East-Central Asia, IGCP-420, Urumqi, China, 1998, p30.
- [26] Laurent-Charvet S, Charvet J, Monié P, et al. Late Paleozoic strike-slip shear zones in eastern central Asia (NW China): new structural and geochronological data [J]. Tectonics, 2003, 22, doi 10.1029/2001TC901047.
- [27] 胡霭琴, 韦刚健, 邓文峰, 等. 阿尔泰山地区青河县西南片麻岩中锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义 [J]. 岩石学报, 2006, 22(1): 1~10.
- Hu Ai qin, Wei Gangjian, Deng Wenfeng, et al. SHRIMP zircon U-Pb dating and its significance for gneisses from the southeast area to Qinghe County in the Altai, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(1): 1~10 (in Chinese with English abstract).
- [28] 韩宝福, 季建清, 宋彪, 等. 新疆喀拉通克和黄山东含铜镍矿镁铁-超镁铁杂岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. 科学通报, 2004, 49(22): 2324~2328.
- Han Baofu, Ji Jianqing, Song Biao, et al. SHRIMP U-Pb zircon age of the mafic-ultramafic rocks and geological significance in

Karatungk and Huangshan, Xinjiang [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(22):2324~2328 (in Chinese).

[29] 张作衡, 柴凤梅, 杜安道, 等. 新疆喀拉通克铜镍硫化物矿床 Re-Os 同位素测年及成矿物质来源示踪[J]. 岩石矿物学杂志, 2005, 24(4):285~293.

Zhang Zuoheng, Chai Fengmei, Du Andao, et al. Re-Os dating and ore-forming material tracing of the Karatungk Cu-Ni sulfide deposit in northern Xinjiang [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2005, 24(4):285~293 (in Chinese with English abstract).

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the Bu'ergen gold-bearing shear zone on the southern margin of the Altay Mountains, Xinjiang, and its significance

YAN Sheng-hao¹, TENG Rong-li², WANG Yi-tian¹, CHEN Wen³,
ZHANG Zhao-chong⁴, CHEN Bo-lin⁵

(1. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

2. No.6 Geological Exploration Institute, Shandong Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Zhaoyuan 265400, Shandong, China;

3. Laboratory of Isotope Geochronology, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

4. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

5. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Through continuous laser stepwise heating $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of two mica samples from auriferous phyllic mylonite of the Kekesayi and Alatasi gold deposits hosted in the Bu'ergen shear zone, the authors obtained plateau ages of 274.5 ± 2.2 and 282.6 ± 2.2 Ma and corresponding isochron ages of 275.8 ± 5.2 and 283.1 ± 5.2 Ma for the two deposits respectively. These ages suggest that the ductile-brittle shear of the Bu'ergen shear zone and formation of gold deposits occurred at the beginning of the Early Permian. These chronological data combined with regional geological data show that the formation and evolution of the Bu'ergen gold-bearing shear zone were mainly controlled by the tectonomagmatic event related to the regional sinistral ductile shear of the huge Irtysh (Ertix) strike-slip shear zone on the southern margin of the Siberian plate, and its tectonic setting is the post-collisional extensional environment of the Altay orogeny.

Key words: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age; shear zone-related gold deposit; Bu'ergen shear zone; Altay Mountains; Xinjiang

About the first Author: YAN Sheng-hao, male, born in 1966, Ph.D and senior researcher, his main research interests are on mineral resources assessment and metallogeny; E-mail: yansh808@sohu.com.