

文章编号:0258-7106(2003)02-0177-08

辽东青城子矿集区金、银成矿时代及地质意义*

薛春纪¹ 陈毓川² 路远发³ 李华芹³

(1 长安大学成矿作用及其动力学国土资源部开放研究实验室, 地球科学与国土资源学院, 陕西 西安 710054; 2 中国地质科学院, 北京 100037; 3 宜昌地质矿产研究所同位素地球化学开放研究实验室, 湖北 宜昌 433003)

摘要 为确定辽宁青城子矿集区金、银的成矿时代, 分别以含金硅化岩和含银网脉状石英晶体内流体包裹体为对象, 应用 Rb-Sr 法测得金、银成矿的等时线年龄为 $(233 \pm 31) \text{ Ma} \sim (234 \pm 14) \text{ Ma}$; 作为对 Rb-Sr 法测年结果的验证, 又以与贵金属矿石矿物共生的热液石英为对象, 用 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 快中子活化法测得坪年龄 $t_p = (238.78 \pm 0.74) \text{ Ma} \sim (238.80 \pm 0.60) \text{ Ma}$, 等时线年龄 $t_1 = (239.46 \pm 1.13) \text{ Ma} \sim (240.35 \pm 0.88) \text{ Ma}$ 。Rb-Sr 和 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 两种方法的测年结果基本一致, 与本区印支期岩浆活动时代 $[217.6 \text{ Ma} \sim (230.7 \pm 5) \text{ Ma}]$ 吻合。

关键词 地球化学 Rb-Sr 法 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法 小佟家堡子金矿床 高家堡子银矿床 印支中期 辽宁东部

中图分类号: P597+.3; P618.51; P618.52

文献标识码: A

辽宁凤城青城子地区的铅锌矿有百余年的开采历史, 新近又找到小佟家堡子大型金矿床、高家堡子大型银矿床以及林家、杨树、新岭、桃源等中小型金、银矿床(点), 在不到 $11 \text{ km} \times 9 \text{ km}$ 的范围内同时产出大型铅锌矿床、大型金矿床和大型银矿床, 成为辽宁东部重要的有色、贵金属矿集区(图1)。目前, 对该区金、银成矿作用和矿床类型存在多种认识, 如古元古代喷流-沉积矿床^①、微细浸染(卡林)型金矿床(刘国平等, 1998)、火山喷流-韧性剪切-岩浆热液叠加矿床(刘先利等, 2000)、中生代地下热卤水渗滤型金矿床(王文清等, 2000)、浊积岩型金矿床^②等。厘定矿床成因, 精确测定成矿时代是关键, 同位素年代学的进步, 使其成为可能(桑海清等, 1994; McDougall et al., 1999)。研究表明, 中国东部, 尤其是东偏南部金矿床主要形成于燕山中-晚期(胡受奚等, 1998), 而东北部的情况是否也如此? 刘国平等(2002)应用 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法测得小佟家堡子金矿床的成矿年龄为 167 Ma , 但本文联合采用 Rb-Sr 和 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素测年方法研究了青城子矿集区金、银的成矿时代, 获得了一组十分集中的印支中期成矿年龄, 现报道之以便共同讨论。

1 成矿地质背景

青城子矿集区位于辽东古元古代裂谷轴部凹陷带。辽东裂谷是在华北太古代克拉通基础上形成的陆间裂谷, 经历了地壳拉张裂陷—快速沉降—慢速沉降—回返挤压—收缩上隆的演化过程, 古元古代早期裂谷形成过程中沉积了巨厚的辽河群, 其下部为于家堡子组和浪子山组火山岩-碎屑岩建造, 产有 Cu-Co 矿床; 中部为大石桥组碳酸盐岩建造, 产有 Pb-Zn 矿床; 上部为盖县组碎屑岩-火山碎屑岩建造, 产有 Au-Ag 矿床。这些裂谷沉积在距今大约 18 亿年时经受了角闪岩相到绿片岩相变质, 形成斜长角闪岩、变粒岩、多种片岩和大理岩, 变质程度从下到上降低。

古元古代中晚期, 裂谷消亡, 地壳重熔形成钠质花岗岩, 分布在水泉、连山关、石家岭、大顶子等地。大顶子岩体为钠质黑云母斜长花岗岩, 片麻状构造, 侵位时代为 $1740 \sim 1621 \text{ Ma}$ (K-Ar 法, 芮宗瑶等, 1994), 伴随明显的逆冲推覆构造活动。

中生代区域构造-岩浆活动强烈。青城子矿集

* 本文得到国家重点基础研究发展规划项目(G1999043201)的资助

第一作者简介 薛春纪, 1962年生, 教授, 博士生导师, 从事矿床学和矿产勘查的教学与研究工作。

收稿日期 2002-07-10; 改回日期 2003-03-19。李岩编辑。

① 张启圻, 等. 1996. 青城子矿田隐伏矿床勘查研究.

② 陈江. 2001. 辽宁东部浊积岩型金银多金属矿床. 见: 中国地质调查局主编. 辽吉地区地质与成矿研讨会论文集. 24~28.

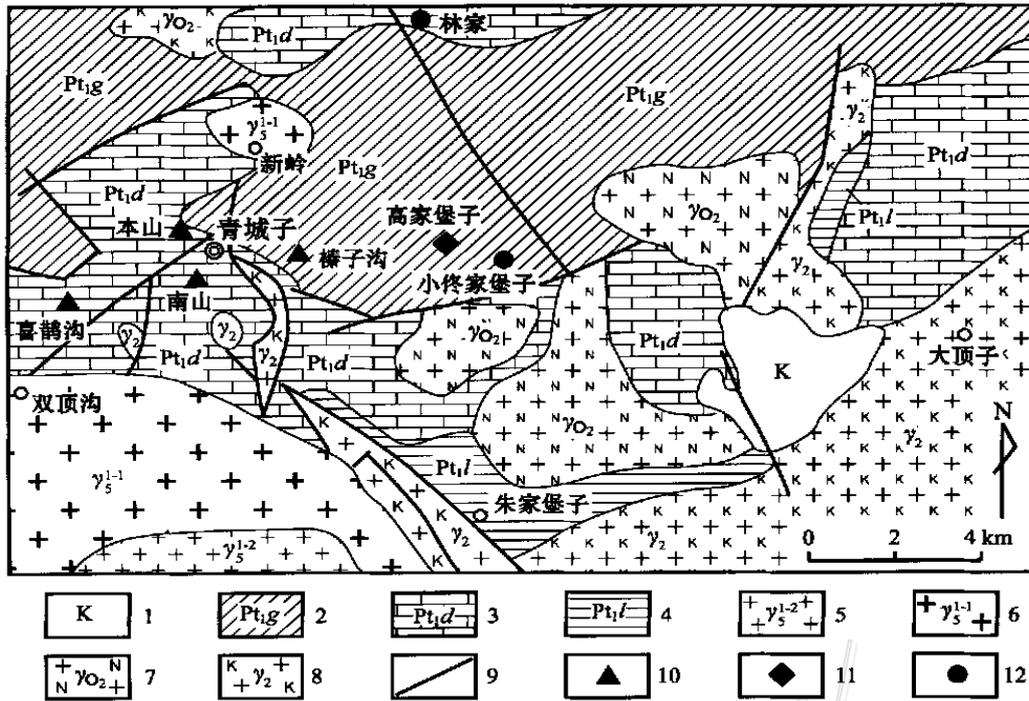


图1 辽宁青城子有色-贵金属矿集区矿产地质图(据辽宁有色丹东地勘院资料[●]简化)

1—白垩纪火山岩;2—古元古代辽河群盖县组;3—古元古代辽河群大石桥组;4—古元古代辽河群浪子山组;5—印支期第二次侵入花岗岩;6—印支期第一次侵入花岗岩;7—中元古宙钠质花岗岩;8—古元古代钾质花岗岩;9—断层;10—铅锌矿床;11—银矿床;12—金矿床

Fig.1 Geological map of the Qingchengzi ore cluster area of nonferrous-precious metals, Liaoning Province

1—Cretaceous volcanic rocks; 2—Gaixian Formation of Lower Proterozoic Liaohe Group; 3—Dashiqiao Formation of Lower Proterozoic Liaohe Group; 4—Langzishan Formation of Lower Proterozoic Liaohe Group; 5—2nd intrusive granite of Indo-Chinese epoch; 6—1st intrusive granite of Indo-Chinese epoch; 7—Middle Proterozoic sodic granite; 8—Lower Proterozoic potassic granite; 9—Fault; 10—Zinc-lead ore deposit; 11—Silver ore deposit; 12—Gold ore deposit

区几乎被侵入岩包围(图1),以中酸性岩体(株)为主,北侧有新岭岩体和姚家沟岩株,南侧有双顶沟岩体。航磁重力等地球物理资料反映为岩浆岩田,矿集区被花岗岩体兜底(芮宗瑶等,1994)。新岭似斑状黑云母花岗岩体的侵入(K-Ar法)年龄是226.7~217.6 Ma,双顶沟似斑状黑云母花岗岩形成的(K-Ar法)年龄是(230.7±5) Ma,姚家沟花岗斑岩与此同源同时代(芮宗瑶等,1994)。矿集区可见211~130 Ma(K-Ar法,刘国平等,2002)的煌斑岩脉及140 Ma(K-Ar法,芮宗瑶等,1994)的闪长岩脉。

2 矿床地质特征

小佟家堡子金矿床和高家堡子银矿床产出在青城子铅锌矿床外围 Pb-Zn-Au-Ag 元素分带的 Au,Ag

带中(图1)。金、银矿体受辽河群盖县组片岩与大石桥组大理岩之间的过渡层(上、下100~200 m范围)内层间滑动构造(剥离、破碎)带的控制,容矿岩石为云母片岩、黑云母变粒岩和大理岩。成矿作用伴随着强烈的硅化和钾化,晚期有碳酸盐化,矿床类型为构造蚀变岩型。矿体全部隐伏(地表200 m以下,图1),呈似层状、扁豆状,与围岩没有严格界线。

小佟家堡子金矿床的矿石主要是含金硅化岩(原岩为变粒岩和大理岩),矿物成分简单,硫化物较少(小于5%),主要是黄铁矿和毒砂,有用矿物是金银矿和银金矿,脉石矿物主要是石英、白云石及少量绢云母和石墨。矿石中可见金占20%,粒度一般0.001~0.01 mm,最大0.03 mm;不可见金占80%,主要赋存在硫化物(尤其是毒砂)中[●]。矿床中少部分矿石构成富硫化物金-银-铅-锌矿体。

● 辽宁有色丹东地勘院,2000. 城子矿田金银找矿工作介绍.

高家堡子银矿床具 2 种类型的矿石。一类为含银石英网脉,表现为大理岩破碎后被石英、白云石胶结,角砾构造明显,石英晶洞-晶簇发育,矿石矿物主要是自然银、银黝铜矿、深红银矿,可见极少量棕色闪锌矿、细粒方铅矿和黄铁矿。另一类是金-银-铅-锌破碎大理岩,表现为白云石大理岩破碎成角砾状,充填有细脉浸染状方铅矿、闪锌矿、黄铁矿,有时见自然银和深红银矿等;破碎带有硅化和碳酸盐化。

3 测年样品及方法

小佟家堡子金矿床测年样品取自占矿床金储量 80% 的 II 号矿带内不同位置的富矿石,为含金硅化黑云母变粒岩,强烈硅化已使其形成硅质团块,矿石中硫化物含量极低(仅 4.1%)。Rb-Sr 等时线法测年样品为含金硅化岩,即金矿石全岩,方法为常规的 Rb-Sr 测年法(样品制备、质谱分析和流程本底监控等略)。 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法测年样品(DY-17)为从强硅化矿石标本中选出的蚀变硅质团块,破碎至 60~80 目,镜下挑选出石英样品,纯度 99% 以上。

高家堡子银矿床测年样品取自占全矿床银储量 63% 的 I 号矿带不同位置的含银石英网脉型矿石,是从粉碎(60~80 目)样品中在镜下挑选出的热液石英,样品纯度 99% 以上。Rb-Sr 等时线法测年对象是银矿体不同位置矿石中石英包裹体内的一组流体样品,显微镜下观察可见矿石中热液石英半自形-自形晶,粒度 0.07~0.8 mm,纯净无杂质,颜色和干涉色均匀; $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法测年样品是该组 Rb-Sr 测年石英样品中的 FY-12 样品。

采用分步加热法获得矿石中热液石英流体包裹体内的流体样品,进行 Rb-Sr 定年实验。首先将纯净的石英样品用丙酮溶液洗净并烘干,然后放入加热装置内在 80℃ 的温度下烘烤 48 h,以除去表面吸附物,并使次生包裹体爆裂;再将加热和提取系统抽真空至压力约为 10^{-8} MPa,在此条件下加热样品至 500℃,使矿物内流体包裹体爆裂,流体释放到提取系统;继而送入质谱仪分析流体组分的铷、锶同位素组成,获得等时线年龄。纯净的自形石英晶格中理论上不含 Rb、Sr,对本次实验样品的石英矿物和石英流体包裹体所做的显微激光等离子质谱、同位素稀释质谱和气相色谱等分析(西北大学大陆动力学教育部重点实验室),发现 Rb/Sr 值及 Rb、Sr 含量的变化与流体包裹体中水的含量呈正相关关系,说明

质谱分析的 Rb、Sr 组分主要存在于石英流体包裹体内。Rb-Sr 等时线年龄应代表成矿流体被石英晶体捕获的年龄。

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年采用快中子活化阶段加热法进行。将标样(法国 B600 黑云母)和洗净并烘干的待测样品一一称重,分别放入特制的石英瓶内并抽真空后,用火火焰封死瓶口;再用 0.5 mm 厚的锡皮包裹石英瓶(屏蔽慢中子干扰),然后装入铝制反应罐,在中国原子能科学研究院 49-2 反应堆中进行快中子辐照 3 620 min;样品在反应堆内冷却到放射性安全剂量(小于 5 微伦/秒)后,取出进行阶段加热实验。将样品置于与析氦仪联机的石英熔样器歧管中,用半导体化高频感应器加热熔样,每阶段保持 20 min,释放出的气体经分子筛、海绵钛及钛升华泵纯化活性气体,然后将惰性气体 Ar 转移到 RGA10 质谱仪中作静态氦同位素分析。RGA10 质谱仪为英国 VSS 公司所产,氦同位素测量误差为 0.5%~1%,全系统静态本底为: $^{40}\text{Ar} = 1.6 \times 10^{-14}$ mol, $^{39}\text{Ar} = 4.9 \times 10^{-6}$ mol, $^{38}\text{Ar} = 3.8 \times 10^{-6}$ mol, $^{37}\text{Ar} = 3.2 \times 10^{-16}$ mol, $^{36}\text{Ar} = 1.2 \times 10^{-16}$ mol。每个 $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$ 比值、坪年龄及等时线年龄数值均经过回归,记忆效应,分馏效应,本底,大气 Ar 及 K、Ca、Cl 诱发同位素, ^{37}Ar 放射性衰变等校正。

4 金、银成矿时代测定结果

小佟家堡子金矿床金矿石(含金硅化岩)全岩 Rb-Sr 法测年同位素数据见表 1, $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 与 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 表现出良好的线性关系(图 2),等时线年龄为 (233 ± 31) Ma(具有 95% 以上的置信度)。高家堡子银矿石中石英流体包裹体的 Rb-Sr 同位素测定结果见表 2,所测的 7 个样品呈现出很好的 Rb-Sr 等时线(图 3),年龄为 (234 ± 14) Ma。

对小佟家堡子金矿 Rb-Sr 法测年样品中的 DY-17 同时采用了 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 快中子活化法测年,其氦同位素组成见表 3,获得坪年龄 $t_p = (238.78 \pm 0.74)$ Ma(占总析出 ^{39}Ar 的 51.22%,图 4),构成坪年龄的 4 组数据的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 与 $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 具有极好的相关性($r = 0.99996$),等时线年龄 $t_i = (239.46 \pm 1.13)$ Ma(图 5)。

对高家堡子银矿 Rb-Sr 法测年样品中的 FY-12 也采用了 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 快中子活化法测年,其同位素组成见表 4,获得坪年龄 $t_p = (238.80 \pm 0.60)$ Ma(占

表1 小佟家堡子金矿床金矿石全岩铷-锶同位素数据

Table 1 Rb and Sr isotopic data of whole rock samples from the Xiaodongjiabuzi gold deposit

序号	原编号	采样位置	样品性质	$w_B/10^{-6}$		$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} (\pm\sigma)$
				Rb	Sr		
1	DY-5	II号金矿体	含金硅化岩	31.51	37.25	2.446	0.73511 ± 0.00004
2	DY-10	II号金矿体	含金硅化岩	138.3	81.84	4.887	0.74113 ± 0.00003
3	DY-11	II号金矿体	含金硅化岩	234.1	107.0	6.334	0.74711 ± 0.00002
4	DY-12	II号金矿体	含金硅化岩	33.47	39.55	2.354	0.73501 ± 0.00003
5	DY-17	II号金矿体	含金硅化岩	183.2	41.10	12.53	0.77199 ± 0.00004

注:在宜昌地质矿产研究所同位素地球化学开放研究实验室测定。

表2 高家堡子银矿床矿石中石英流体包裹体铷-锶同位素组成数据

Table 2 Rb and Sr isotopic data of fluid inclusions in vein quartz from the Gaojiabuzi silver deposit

序号	原编号	采样位置	样品性质	$w_B/10^{-6}$		$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} (\pm\sigma)$
				Rb	Sr		
1	FY-2	I号银矿体	网脉状含银石英	2.831	2.074	3.945	0.73086 ± 0.00004
2	FY-3	I号银矿体	网脉状含银石英	2.937	2.227	3.811	0.73037 ± 0.00003
3	FY-8	I号银矿体	网脉状含银石英	1.777	2.754	1.863	0.72366 ± 0.00010
4	FY-9	I号银矿体	网脉状含银石英	1.760	2.891	1.758	0.72324 ± 0.00001
5	FY-10	I号银矿体	网脉状含银石英	2.415	2.447	2.850	0.72655 ± 0.00007
6	FY-11	I号银矿体	网脉状含银石英	4.696	2.384	5.782	0.73643 ± 0.00004
7	FY-12	I号银矿体	网脉状含银石英	2.941	2.428	3.499	0.72902 ± 0.00001

注:在宜昌地质矿产研究所同位素地球化学开放研究实验室测定。

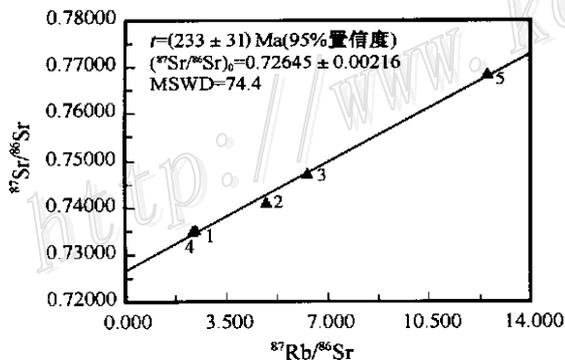


图2 小佟家堡子金矿床含金硅化岩(全岩) Rb-Sr 等时线
Fig.2 Rb-Sr isochron diagram of gold-bearing silicified rocks (whole ore samples) from the Xiaodongjiabuzi gold deposit

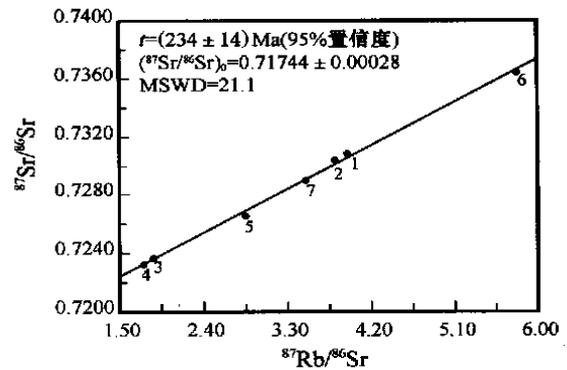


图3 高家堡子银矿床矿石中石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线
Fig.3 Rb-Sr isochron diagram of fluid inclusions in vein quartz from the Gaojiabuzi silver deposit

总析出 ^{39}Ar 的54.01%,图6),构成坪年龄的4组数据的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 与 $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 具有极好的相关性($r=0.99998$),显示等时线年龄 $t_1=(240.35 \pm 0.88)$ Ma (图7)。

5 讨论

Rb-Sr法测年结果(表1、2和图2、3)表明,小佟

家堡子金矿床的5个样品具有较好的相关性($r=0.9977$),形成良好的等时线, $t=(233 \pm 31)$ Ma;高家堡子银矿床7个样品的相关系数 $r=0.9986$,构成了更好的等时线, $t=(234 \pm 14)$ Ma。良好的Rb-Sr等时线说明所测的两组样品的同位素系统均分别在同一时间段内被彻底改造,达到了均一化,并且在封闭系统中演化,母、子体元素比值有大的变化。矿石或矿物Rb-Sr等时线一般代表岩石和矿物经受最后

表 3 小佟家堡子金矿床 DY-17 强硅化石英⁴⁰Ar/³⁹Ar 快中子活化法测年数据表
Table 3 ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of Dy-13 quartz in silicified rocks from the Xiaodongjiabuzi Au deposit
(by quick neutron activation method)

加热阶段	θ/ °C	(⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁶ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁷ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁸ Ar/ ³⁹ Ar) _m	³⁹ Ar _K /10 ⁻¹² mol	⁴⁰ Ar* / ³⁹ Ar _K (±1σ)	³⁹ Ar _K / %	ta/ Ma(±1σ)
1	460	28.842	0.0421	1.8381	0.1842	2.201	16.60 ± 0.02	8.18	290.80 ± 6.5
2	560	19.500	0.0214	1.7871	0.1535	3.244	13.33 ± 0.01	12.0	237.11 ± 3.93
3	650	16.206	0.0098	2.0927	0.1354	4.702	13.46 ± 0.01	17.4	239.41 ± 3.59
4	750	20.135	0.0236	2.5534	0.1648	3.427	13.38 ± 0.01	12.7	237.93 ± 4.11
5	850	24.433	0.0377	3.0980	0.1858	2.453	13.58 ± 0.01	9.12	241.33 ± 4.81
6	950	25.047	0.0380	2.0850	0.1676	2.432	14.00 ± 0.01	9.04	248.28 ± 4.84
7	1050	23.983	0.0325	1.8858	0.1536	2.849	14.56 ± 0.01	10.6	257.51 ± 4.73
8	1200	27.807	0.0427	2.0627	0.1775	2.166	15.38 ± 0.01	8.05	271.03 ± 5.82
9	1350	28.314	0.0449	1.9327	0.1662	2.062	15.24 ± 0.01	7.67	268.71 ± 5.77
10	1500	37.413	0.0689	2.4714	0.2293	1.343	17.33 ± 0.03	4.99	302.58 ± 9.61

分析者:中国科学院地质与地球物理研究所桑海清、王英娴。测定仪器:英国 RGA10 气体质谱仪。样品重量 0.2473 g。样品在反应堆中的照射参数 $J = 0.010536$ 。 $\lambda = 5.543 \times 10^{-10}/a$ 。* 是由 ⁴⁰K 衰变产生的氩。m 代表测定值。³⁹Ar_K 代表由 ³⁹K 衰变产生的氩。

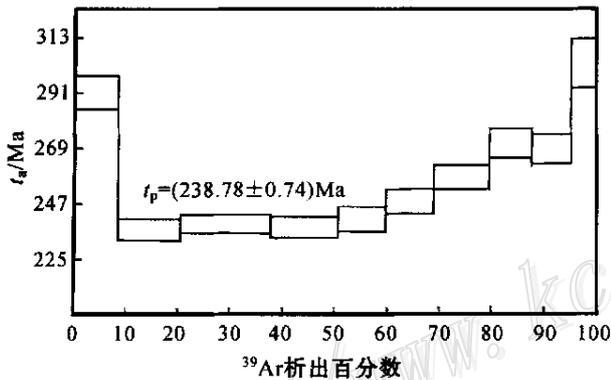


图 4 小佟家堡子金矿床含金硅化岩中石英的⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄

Fig. 4 ⁴⁰Ar/³⁹Ar plateau age of quartz from silicified gold-bearing rocks in the Xiaodongjiabuzi gold deposit

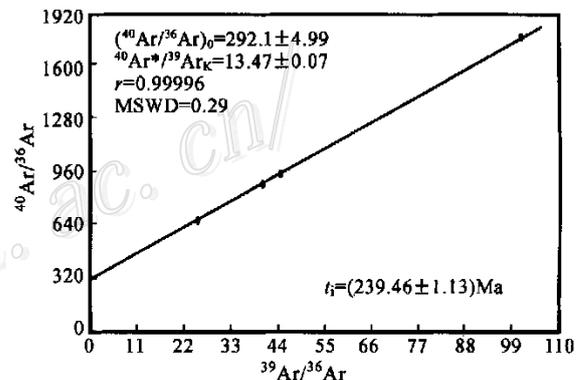


图 5 小佟家堡子金矿床含金硅化岩中石英的⁴⁰Ar/³⁶Ar-³⁹Ar/³⁶Ar 等时线年龄

Fig. 5 ⁴⁰Ar/³⁶Ar versus ³⁹Ar/³⁶Ar isochron age of quartz from silicified gold-bearing rocks in the Xiaodongjiabuzi gold deposit

一次能够使锶同位素均一化的地质热事件的时间, $t = (233 \pm 31) \text{ Ma} \sim (234 \pm 14) \text{ Ma}$ 可能代表了青城子矿集区金、银成矿的时代。但是, Rb-Sr 法定年误差多在 10 Ma 左右, 并且 Rb 易流动, Rb-Sr 同位素系统容易被改造, Rb-Sr 等时线年龄应该与等精度或精度更高的同位素年代学方法给出的相应年龄数据一致。从小佟家堡子金矿床和高家堡子银矿床 Rb-Sr 法测年的两组样品中分别任选的一个为对象进行的更高精度的⁴⁰Ar/³⁹Ar 法测年结果(表 3、4 和图 4、5、6、7)与 Rb-Sr 等时线年龄基本一致, 说明本文 Rb-Sr 测年结果具有确切的地质时代意义, 应是伴随热液硅化等蚀变的 Au、Ag 成矿时代。

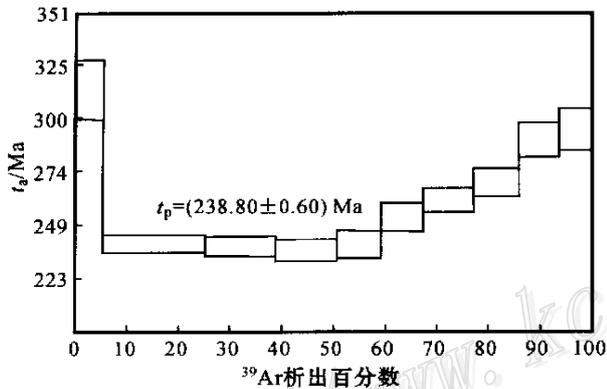
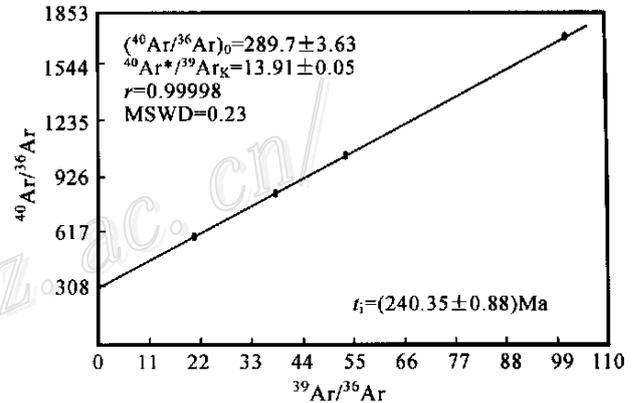
⁴⁰Ar/³⁹Ar 法测年中的过剩 Ar 与 Ar 丢失都是值得慎重研究的问题。小佟家堡子金矿床和高家堡

子银矿床的⁴⁰Ar/³⁹Ar 法年龄谱(图 4、图 6)均呈“马鞍型”, 反映阶段加热实验过程中低温和高温阶段分别存在过剩 Ar。一般来说, 样品中的过剩 Ar 要么是捕获外来 Ar, 要么是继承性 Ar。按照热体积扩散理论, 阶段升温过程中释放出的 Ar 的分布, 应按先后从矿物颗粒外部到矿物颗粒内部(张宗清, 1997)。图 4 和图 6 所示低温阶段的过剩 Ar 很可能是矿物捕获外来 Ar 所致, 高温阶段的过剩 Ar 更可能是(矿物颗粒内部未彻底硅化和同位素均一化的)继承性 Ar, 而中温各阶段(表 3 和表 5 中的 2~5 阶段)不显示过剩 Ar, 坪年龄应代表矿物形成的年龄(张宗清, 1997)。小佟家堡子金矿床和高家堡子银矿床的 $t_p = (238.78 \pm 0.74) \text{ Ma} \sim (238.80 \pm 0.60) \text{ Ma}$, 与

表4 高家堡子银矿床 FY-12 石英⁴⁰Ar/³⁹Ar快中子活化法测年数据表Table 4 ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of FY-12 quartz from the Gaojiabuzi Ag deposit (by quick neutron activation method)

加热阶段	$\theta/^\circ\text{C}$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$^{39}\text{Ar}_K/10^{-12}\text{mol}$	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}_K(\pm 1\sigma)$	$^{39}\text{Ar}_K/\%$	$t_a/\text{Ma}(\pm 1\sigma)$
1	460	48.080	0.1010	1.6045	0.1575	1.147	18.48 ± 0.01	5.27	313.03 ± 14.08
2	570	16.808	0.0106	2.4269	0.1648	4.354	13.87 ± 0.01	20.0	239.79 ± 3.98
3	660	19.375	0.0195	2.2443	0.2226	2.965	13.80 ± 0.01	13.6	238.80 ± 4.72
4	750	21.441	0.0270	2.3140	0.2450	2.571	13.67 ± 0.01	11.8	236.67 ± 5.10
5	850	28.148	0.0493	2.8164	0.2901	1.875	13.85 ± 0.02	8.61	239.54 ± 6.43
6	950	27.792	0.0454	2.7872	0.2766	1.782	14.65 ± 0.02	8.19	252.41 ± 6.53
7	1050	26.516	0.0393	2.2405	0.2179	2.061	15.12 ± 0.02	9.47	260.04 ± 5.81
8	1150	29.638	0.0481	2.4839	0.2204	1.922	15.66 ± 0.02	8.83	268.60 ± 6.57
9	1300	32.567	0.0540	3.0372	0.2581	1.713	16.92 ± 0.02	7.87	288.54 ± 8.12
10	1500	36.949	0.0677	2.7209	0.3135	1.366	17.23 ± 0.03	6.27	293.50 ± 10.10

分析者:中国科学院地质与地球物理研究所桑海清、王英阒。测定仪器:英国 RGA10 气体质谱仪。样品重量 0.2594 g。样品在反应堆中的照射参数 $J = 0.010248$, $\lambda = 5.543 \times 10^{-10}/\text{a}$ 。* 是由 ⁴⁰K 衰变产生的氩。 m 代表测定值。³⁹Ar_K 代表由 ³⁹K 衰变产生的氩。

图6 高家堡子银矿床含银脉石英的⁴⁰Ar/³⁹Ar坪年龄Fig. 6 ⁴⁰Ar/³⁹Ar plateau age of silver-bearing vein quartz from the Gaojiabuzi silver deposit图7 高家堡子银矿床含银脉石英的⁴⁰Ar/³⁶Ar³⁹Ar/³⁶Ar等时线年龄Fig. 7 ⁴⁰Ar/³⁶Ar versus ³⁹Ar/³⁶Ar isochron age of silver-bearing vein quartz from the Gaojiabuzi silver deposit

Rb-Sr 法测年结果基本一致,而且代表坪年龄 4 个加热阶段的⁴⁰Ar/³⁶Ar 与³⁹Ar/³⁶Ar 相关性好($r = 0.99996 \sim 0.99998$),等时线年龄 $t_i = (239.46 \pm 1.13) \text{ Ma} \sim (240.35 \pm 0.88) \text{ Ma}$ (图 5、图 7),与坪年龄吻合,代表了青城子矿集区 Au、Ag 的成矿时代。所以,印支中期应是青城子矿集区金、银大规模成矿的主要时期。

最近,刘国平等(2002)应用⁴⁰Ar/³⁹Ar法,对小佟家堡子水云母-绢云母蚀变金矿石中的绢云母样品进行了测定,测得成矿时代为 167 Ma,与本文结果有较大区别,这很可能是由绢云母蚀变矿物颗粒微细而造成的 Ar 丢失所致。因为利用⁴⁰Ar/³⁹Ar法测年时,在³⁹K 转化成³⁹Ar 的核反应过程中,如果样品颗粒太小($< 4 \mu\text{m}$),那么核反冲作用将可能使 Ar 丢失,因此,微细矿物的⁴⁰Ar/³⁹Ar法测年结果与真

实年龄就相差较大(张宗清,1997)。另外,本文⁴⁰Ar/³⁹Ar法测年样品与刘国平等(2002)的⁴⁰Ar/³⁹Ar法测年样品不同,测年结果的差别应在情理之中,水云母-绢云母等蚀变发生在晚期(167 Ma),而与金、银成矿关系密切的硅化等围岩蚀变可能主要发生在印支中期。

青城子矿集区印支中期的金、银成矿时代与本区内印支期的构造-岩浆事件时代相对应。据航磁和重力资料推测青城子矿集区存在岩浆岩田,可能被花岗岩兜底(芮宗瑶等,1994)。矿集区出露的岩体包括北侧的新岭岩体和姚家沟岩株、南侧的双顶沟岩体,它们均形成于印支中期(图 1),测年结果分别是 226.7 ~ 217.6 Ma 和 $(230.7 \pm 5) \text{ Ma}$ (芮宗瑶等,1994)。金、银成矿时代与印支期构造-岩浆活动

时代一致,反映印支期构造-岩浆作用可能是矿集区 Au, Ag 成矿的主要控制因素。矿集区也见印支-燕山期煌斑岩脉(211 ~ 130 Ma, K-Ar 法,刘国平等,2002)和燕山期闪长岩脉(140 Ma, K-Ar 法,芮宗瑶等,1994),但燕山期岩浆活动并没有使印支期金、银矿石中均一化的同位素体系彻底改变,其对金、银成矿的贡献有限。

中国东部内生成矿作用时代多发生在燕山中-晚期,而辽东青城子矿集区金、银成矿时代为印支中期,与东部区域,尤其是东部中段和南段的情况明显不同。看来中国东部南北有别,用统一的背景认识中国东部的地壳演化和成矿过程比较困难。在辽东地区,单层、双层等不同基底构造单元的过渡带是构造上的薄弱带,早在印支期,构造活化和岩浆活动就在原基底构造的薄弱带重新活动,使岩浆侵入和流体成矿发生;而我国东南部的构造背景不同,构造-岩浆活动和内生成矿作用要晚得多。我国东部中生代内生成矿时代可能具有从北向南渐新的趋势。

致谢 笔者对在最近两年的野外调研工作中给予我们大力支持和帮助的辽宁有色丹东地质调查院、辽宁地勘局地质调查院及周广学、杨占兴、苏建飞等专家、领导表示诚挚的谢意!中国科学院桑海清、王英澜承担了本文的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年工作,在此也对他们表示感谢!并感谢毛景文研究员、刘建明研究员的指正。

References

- Hu S X, Wang H N, Wang D Z, et al. 1998. Geology and geochemistry of gold deposits in east China [M]. Beijing: Sci. Press. 81 ~ 101 (in Chinese).
- Liu G P and Ai Y F. 1998. Metamorphic rock-hosted disseminated gold deposit: taking the Xiaodongjiabuzi gold deposit of eastern Liaoning as an example [J]. Mineral Deposits, 17 (supp.): 299 ~ 302 (in Chinese).
- Liu G P and Ai Y F. 2002. Study on ore-forming epoch of Xiaodongjiabuzi gold deposit, Liaoning Province [J]. Mineral Deposits, 21 (1): 53 ~ 57 (in Chinese with English abstract).
- Liu X L, Jiang Y and Liu Z Y. 2000. Geological characteristics and metallogenic mechanism of Gaojiabuzi large-scale Au-Ag deposits in Qingchengzi ore-field [J]. Liaoning Geol., 17 (2): 111 ~ 127 (in Chinese with English abstract).

Chinese with English abstract).

- Lu Y F, Li J F, Li L, et al. 1994. Mineralization type of gold and its control mechanism of structure in Wulong gold deposit, Dandong, Liaoning Province [J]. Geoscience, 8 (3): 309 ~ 316 (in Chinese with English abstract).
- McDougall I and Harrison T M. 1999. Geochronology and thermochronology by the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method [M]. New York: New York Univ. Press. 1 ~ 26.
- Rui Z Y, Shi L D, Fang R H, et al. 1994. Geology of nonferrous metallic deposits in the northern margin of the north China landmass and its adjacent area [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 25 ~ 553 (in Chinese).
- Sang H Q, Wang S S, Hu S L, et al. 1994. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating method and Ar isotopic mass spectrometry analysis of quartz [J]. J. Chinese Mass Spectrometry Society, 15 (2): 17 ~ 27 (in Chinese with English abstract).
- Wang W Q and Qu Y J. 2000. Geological characteristics and metallogenic models of gold deposits of Paleoproterozoic in east Liaoning Province [J]. Liaoning Geol., 17 (3): 161 ~ 172 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Z Q. 1997. The application and the limit of isotopic chronology methods [A]. In: Zhang B X, Hong D W and Wu X Z, ed. The modern method of lithosphere research [C]. Beijing: Atomic Energy Press. 186 ~ 200 (in Chinese).

附中文参考文献

- 胡受奚, 王鹤年, 王德滋, 等. 1998. 中国东部金矿地质学及地球化学 [M]. 北京: 科学出版社. 21 ~ 132.
- 刘国平, 艾永富. 1998. 变质岩容矿的微细浸染型金矿床——以辽宁小佟家堡子金矿床为例 [J]. 矿床地质, 17 (增刊): 299 ~ 302.
- 刘国平, 艾永富. 2002. 辽宁小佟家堡子金矿床成矿时代探讨 [J]. 矿床地质, 21 (1): 53 ~ 57.
- 刘先利, 姜 瑛, 刘志远. 2000. 青城子矿田高家堡子大型金银矿床地质特征及成矿机制 [J]. 辽宁地质, 17 (2): 121 ~ 127.
- 吕贻峰, 李江风, 李 龙, 等. 1994. 辽宁丹东五龙金矿化类型及其构造控制机理 [J]. 现代地质, 8 (3): 309 ~ 316.
- 芮宗瑶, 施林道, 方如恒, 等. 1994. 华北陆块北缘及邻区有色金属矿床地质 [M]. 北京: 地质出版社. 66 ~ 67, 518 ~ 519.
- 桑海清, 王松山, 胡世玲, 等. 1994. 石英的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年方法及 Ar 同位素质谱分析 [J]. 质谱学报, 15 (2): 17 ~ 27.
- 王文清, 曲亚军. 2000. 辽东古元古宙金矿地质特征及成矿模式 [J]. 辽宁地质, 17 (3): 161 ~ 171.
- 张宗清. 1997. 同位素年代学方法的应用和限制 [A]. 见: 张炳熹, 洪大卫, 吴宣志, 编. 岩石圈研究的现代方法 [C]. 北京: 原子能出版社. 186 ~ 200.

Metallogenic Epochs of Au and Ag Deposits in Qingchengzi Ore-clustered Area, Eastern Liaoning Province

Xue Chunji¹, Chen Yuchuan², Lu Yuanfa³ and Li Huaqin³

(1 Open Research Laboratory of Mineralization and Its Dynamics in Chang'an University, Ministry of Land and Resources; College of Earth Science and Land and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2 Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3 Open Research Laboratory of Isotope Geochemistry, Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang 433003, Hubei, China)

Abstract

Located in eastern Liaoning Province, Qingchengzi area has an age-old mining history. Within an area of about 11×9 km, there occur a lot of Pb-Zn deposits, some of which have been mined for more than one hundred years. Recently a large Au deposit (Xiaodongjiabuzi) and a large Ag deposit (Gaojiabuzi) have been discovered. All this has made the area an important target for further exploration. Samples used in this study were taken from fluid inclusions in silicified rocks (the Xiaodongjiabuzi Au deposit), and in vein quartz (the Gaojiabuzi Ag deposit). The study yielded a Rb-Sr isochron age of (233 ± 31) Ma \sim (234 ± 14) Ma. To confirm the result, the authors used hydrothermal quartz associated with ore sulfides for quick neutron activation dating. This yielded $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ plateau age of (238.78 ± 0.74) Ma \sim (238.80 ± 0.60) Ma, and isochron age of (239.48 ± 1.13) Ma \sim (240.35 ± 0.88) Ma. These results coincide well with the magmatism of Later Indochina age [217.6 Ma \sim (230.7 ± 5) Ma]. Indochina orogeny is the major metallogenic epoch in this area, and the tectonic events and the magmatism during this period must have been the major factors responsible for the ore-forming process. In eastern Liaoning, the age of gold mineralizations shows a trend of getting younger from west to east, and from north to south.

Key words: geochemistry, Rb-Sr method; $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method; Xiaodongjiabuzi gold deposit; Gaojiabuzi silver deposit; Middle Indo-chinese epoch; Eastern Liaoning Province