

李紫焯, 刘晓雨, 李随民, 等. 承德牛圈银金多金属矿床硫化物 Rb-Sr 年龄和成矿物质来源分析[J]. 中国地质, 2014, 41(3): 951-960.
Li Ziye, Liu Xiaoyu, Li Suimin, et al. An analysis of geological age and materials source of the Niujuan Ag-Au polymetallic deposit in Chengde[J].
Geology in China, 2014, 41(3): 951-960(in Chinese with English abstract).

承德牛圈银金多金属矿床硫化物 Rb-Sr 年龄 和成矿物质来源分析

李紫焯¹ 刘晓雨¹ 李随民¹ 胡华斌¹ 杨阳²

(1. 石家庄经济学院, 河北 石家庄 050031; 2. 内蒙古第五地质矿产勘查开发院, 内蒙古 包头 014010)

摘要:在对牛圈矿区实地踏勘、野外观察的基础上,通过岩(矿)石样品同位素、稀土元素及流体包裹体均一温度、成分的测试分析,认为牛圈银金多金属矿床的成矿物质来源于花岗岩。岩(矿)石样品稀土元素分析结果表明,矿石与花岗岩稀土元素配分模式相似,均显示出轻稀土元素分馏较强,重稀土元素分馏较弱,二者均有较强的 Eu 负异常分布特征,表明矿石与花岗岩之间存在密切的成因联系,即成矿物质来源于花岗岩。石英包裹体中氢氧同位素的研究结果显示,成矿流体具有多来源特征,是岩浆水和循环的大气降水的混合。利用单矿物闪锌矿和共生矿物组合黄铁矿与方铅矿 Rb-Sr 等时线方法测定了牛圈矿床成矿年龄,测试结果显示矿石矿物的形成年龄为 (154.1 ± 2.6) Ma, 属于燕山中期,推断与燕山期的岩浆岩侵入有密切关系,上述认识为矿床成因类型厘定提供了理论依据。

关键词:成矿物质来源; Rb-Sr 等时线定年; 地球化学; 牛圈银金多金属矿床; 冀北

中图分类号: P597; P618.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2014)03-0951-10

牛圈银金多金属矿床位于河北省丰宁县四岔口乡,构造位置位于华北地台北缘四岔口侏罗纪火山盆地东缘扬起端, NNE 向上黄旗—乌龙沟构造岩浆岩带上。自牛圈银金矿床发现以来,已有多名学者对其的形成作用和成因类型进行了研究,但对矿床的物质来源及成矿时代的研究程度并不高,尤其是运用 Rb-Sr 等时线法直接测定闪锌矿和共生矿物组合黄铁矿与方铅矿的年龄,确定矿床的形成时代。

近年来,由于高精度、高灵敏度的同位素测试仪器的使用以及试验方法上的改进,在矿床的同位素定年方面取得了很大的进步,已由传统的间接定年方法发展出很多直接定年方法。Rb-Sr 等时线测

年方法是直接对矿石矿物或者成矿流体进行同位素年代的确定,这样得到的就是直接的成矿年龄。成矿年龄的确定将对很多矿床的成因类型厘定起到决定性的作用。

本文通过对岩(矿)石样品同位素、稀土元素及流体包裹体的研究,初步分析牛圈银金矿床的物质来源,利用单矿物闪锌矿和共生矿物组合黄铁矿与方铅矿 Rb-Sr 等时线方法直接测定了牛圈矿床成矿年龄。矿床物质来源及成矿时代的厘定对研究矿床的成因类型及矿床形成模式的演化规律的认识提供了进一步的理论依据,同时在金属矿物直接测年的技术探索上取得了可观进展,对推动金属矿床年代学研究具有重要意义。

收稿日期: 2013-09-17; 改回日期: 2014-04-14

基金项目: 河北省国土资源厅科研项目(2012055554)、中国地质调查局地质大调查项目(1212011220492)和石家庄经济学院学生科研基金实践项目(KAG201301)联合资助。

作者简介: 李紫焯,男,1987年生,硕士生,主要研究方向为矿床学、矿床地球化学; E-mail: ziye_le@126.com。

1 区域地质

牛圈银金多金属矿床位于河北省丰宁县四岔口乡,构造位置位于华北地台北缘四岔口侏罗纪火山盆地东缘扬起端,NNE向上黄旗—乌龙沟构造岩浆岩带上。

其中,上黄旗—乌龙沟构造岩浆岩带,自涞源乌龙沟向北,经涿鹿大河南、赤城、丰宁上黄旗向北进入内蒙。形成于新太古代—早元古代。燕山运动(地台活动期)表现为一系列花岗岩基(株)呈串

株状分布,最宽处可形成数千米的破碎带。该构造岩浆岩带内发育一系列次级NE—NNE向陆相火山盆地和火山机构,是主要的银金多金属矿成矿部位(图1)。燕山期的花岗岩侵入为矿床的形成奠定了物质基础。

区域内太古界和早元古界经五台—吕梁期褶皱回返,进入地台演化阶段,长期处于隆升剥蚀过程。除岩浆侵入作用(五台—吕梁期混合花岗岩、海西期混合花岗岩、印支期花岗岩、燕山期花岗岩),未接受中—新元古代、古生代沉积。中生代

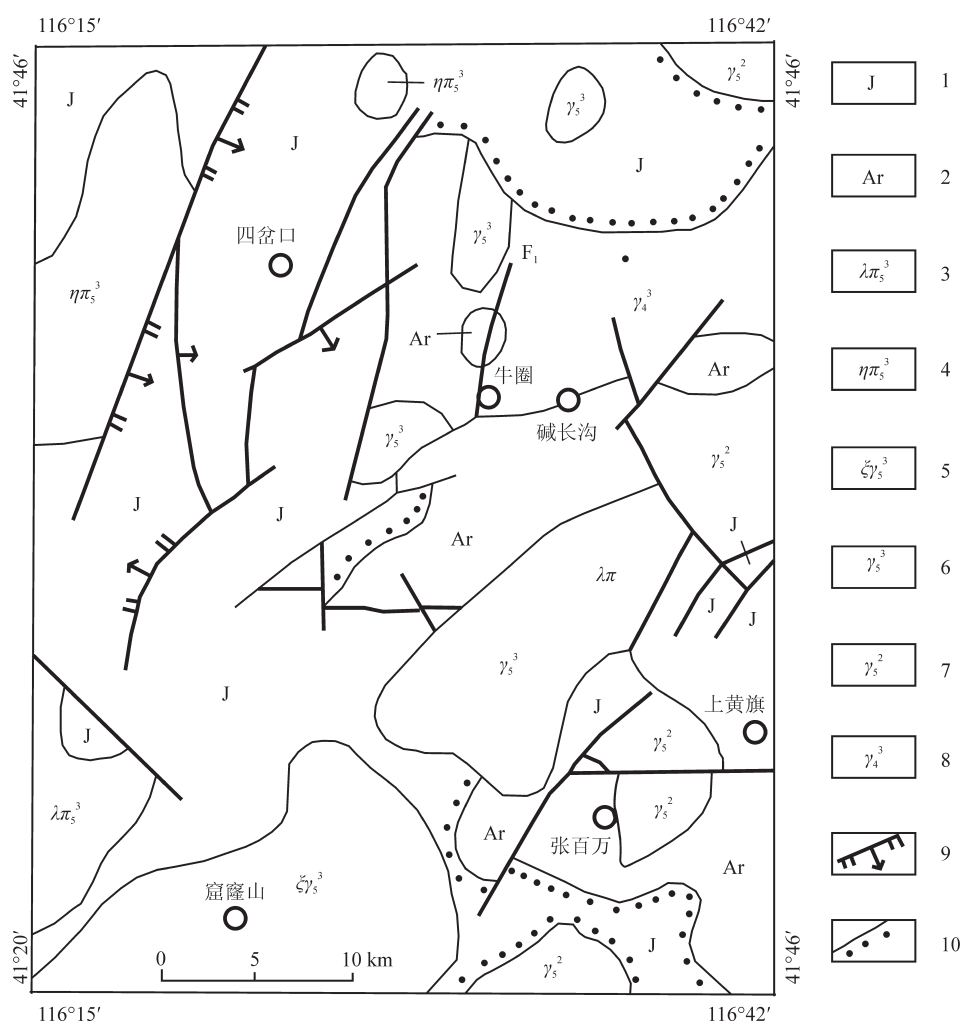


图1 牛圈区域地质图

1—侏罗纪陆相火山岩;2—太古宙变质岩;3—燕山晚期石英斑岩;4—燕山晚期二长斑岩;5—燕山晚期碱性花岗岩;6—燕山晚期花岗岩;7—燕山早期花岗岩;8—海西晚期混合花岗岩;9—正断层;10—不整合界线

Fig.1 Regional geological map of Niujuan area

1—Jurassic continental volcanic rocks; 2—Archean metamorphic rocks; 3—Quartz porphyry of Late Yanshanian period; 4—Ivornite of Late Yanshanian period; 5—Alkali granite of Late Yanshanian period; 6—Granite of Late Yanshanian period; 7—Early Yanshanian granite; 8—Migmatitic granite of Late Hercynian period; 9—Normal fault; 10—Unconformity

后,中朝板块受到太平洋板块的北西向俯冲作用,形成一系列NE—NNE展布、NW倾的箕状火山岩盆地。

区域上出露有古元古界红旗营子群变质岩和上侏罗统火山岩。红旗营子群分布很少,受岩体侵入而支离破碎,岩性有含矽线石黑云母斜长片麻岩、斜长石英岩、混合岩化斜长角闪岩、混合岩化辉石斜长变粒岩。上侏罗统火山岩分布更少,岩性为灰白色、灰绿色流纹岩、流纹质凝灰岩、英安岩、凝灰质砾岩等^[1-5]。

2 矿区地质特征

牛圈银金矿区内出露的岩体主要以华力西期白音沟粗粒钾长花岗岩和燕山期细粒花岗岩为主,贯穿全区的牛圈—老虎坝断裂是本区的主要控矿构造。矿区内断裂20余条,环形构造10余处,构成网状交织的构造格局。区域构造以断裂构造为主,主要有3组:NNE—NE向、NW向、近SN向(图2)。矿化主要和NNE向断裂有关,NW向断裂矿化较弱,近SN向断裂规模更小。位于牛圈银(金)矿床南约0.5 km的营房铅锌银矿床,和牛圈矿床同在F1断裂控制中。

其中:牛圈—老虎坝断裂(F1):与上黄旗—乌龙沟剪切带平行产出,长8 km,走向25°~35°,倾向

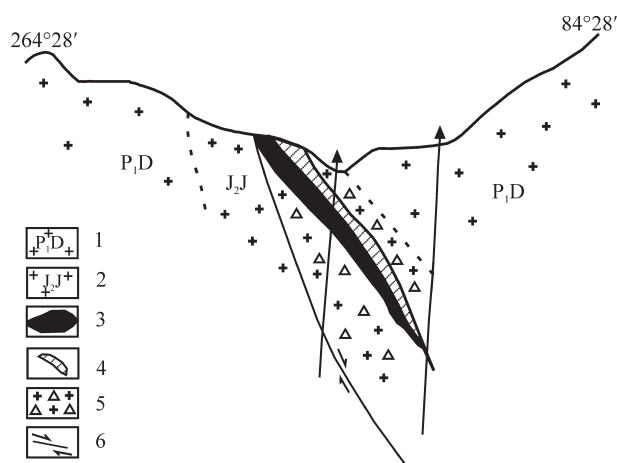


图2 丰宁牛圈银矿段83线剖面图

1—粗粒花岗岩;2—中细粒花岗岩;3—银金矿床;4—硅化带;
5—粘土化角砾岩;6—断裂

Fig.2 Geological section along No. 83 line of Fengning-Niujuan silver ore block

1—Coarse-grained granite; 2—Fine-grained granite; 3—Silver deposit;
4—Silicified zone; 5—Clay breccia; 6—Fault

SE,倾角52°~65°,宽10~34 m,由角砾岩、糜棱岩和断层泥等构成。具先压扭后张扭多期活动特点,严格控制着银矿体的规模、产状和形态。蚀变矿化幅度均不超出其范围。F1对银金矿化的控制,首先表现为对矿区最主要、也最直接容矿的隐爆贯入角砾岩的控制。隐爆贯入角砾岩呈岩墙状沿F1剪切破碎带产出,与粗粒花岗质角砾岩、糜棱岩呈侵入接触,界线分明,状如熔岩^[2,3]。

3 矿床地质特征

3.1 矿体地质特征

牛圈银(金)矿区内主要出露华力西期白音沟粗粒钾长花岗岩和燕山期细粒花岗岩。矿体赋存于隐爆角砾岩中,两者呈渐变关系,产出特征与隐爆角砾岩一致(图2)。整条矿带呈北北东向展布,长度为478 m,宽度为10~34 m。该矿带自北向南可划分为3个矿段,在地表3个矿段存在有一定的间距,但在地下深处150~260 m处它们相互贯通连为一体。目前,该矿带内共发现银(金)矿体26个,银矿体10个,金矿体16个。其中I号银矿体规模最大,占矿区总矿量98%。单个矿体大都呈脉状或透镜状沿北北东向构造带分布,平面上呈“S”形状,剖面上为“八字”形状,银(金)矿体大多向东南方向倾斜,倾角31°~65°。在空间上矿体厚度有北厚南薄、上厚下薄,品位有北富南贫、上富下贫的变化规律,与隐爆角砾岩空间变化规律相似,显示隐爆角砾岩侵入前峰矿化强,反映矿体赋存于角砾岩侵入前峰之普遍规律^[2]。

3.2 矿石特征

矿石金属矿物主要为黄铁矿,其次有方铅矿、闪锌矿、金银矿物,还有微量白铁矿、黄铜矿、毒砂等。黄铁矿有早、中、晚3期,早期黄铁矿含量少,呈浸染状分散在硅化岩石中,粒径较小,多在0.012~0.06 mm;中期黄铁矿含量相对增多,多呈立方体、八面体等晶型,粒径增大,一般在0.5~2 mm。晚期黄铁矿呈微粒,与锥柱状石英呈细脉穿切方铅矿、闪锌矿。闪锌矿呈半自形—他形粒状,相对似脉状分布,粒度0.05~1.6 mm不等,粒内常见黄铜矿、磁黄铁矿固溶体出溶物,局部见被方铅矿尖角状交代(图3),固溶体分离结构的出现说明了黄铁矿、闪锌矿、方铅矿生成的时间是一致的。

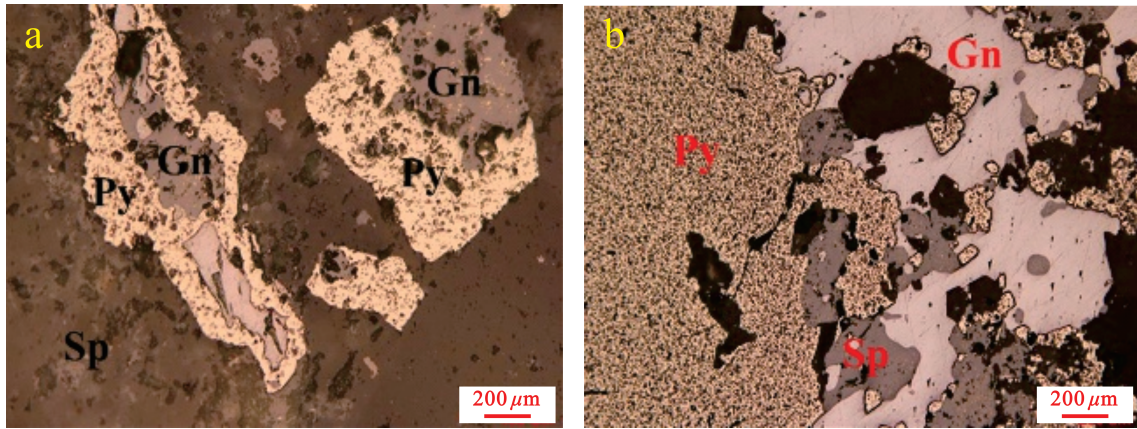


图3 牛圈 Ag-Au 矿区岩(矿)石镜下特征
a—半自形—他形粒状闪锌矿,局部见被方铅矿尖角状交代; b—半自形粒状主黄铁矿,局部具白铁矿化;
Gn—方铅矿; Sp—闪锌矿; Py—黄铁矿

Fig.3 Microscopic characteristics of rock (ore) of the Niujuan Pb-Zn-Ag deposit
a—Hypidiomorphic—granular sphalerite, replaced by galena locally;
b—Hypidiomorphic granular pyrite, with local marcasitization;
Gn—方铅矿; Sp—闪锌矿; Py—黄铁矿

4 矿床成因

4.1 成矿时代厘定

一般来讲,判别同位素等时线年龄是否具有地质意义的主要依据有3条:①所测样品是否同期形成;②所测样品的成岩(矿)物质是否具有同样来源;③样品的同位素体系是否处于封闭状态^[3-8]。

本次用于Rb-Sr等时线测年的矿石矿物样品均采自于牛圈矿区范围内的花岗岩和隐爆角砾岩。用于测试研究的矿石矿物是硫化物,矿物未见裂痕,流体包裹体中Rb-Sr可以保持很好封闭性,增加

了数据准确度^[9-15]。

实测试数据(表1、图4)由南京大学现代测试中心完成。年龄数据的处理采用Isoplot程序, $\lambda=1.42 \times 10^{-11} \text{a}^{-1}$, $n(^{87}\text{Rb})/n(^{86}\text{Sr})$, $n(^{87}\text{Sr})/n(^{86}\text{Sr})$ 输入误差分别为1%和0.1%,获得等时线年龄为 $(154.1 \pm 2.6) \text{Ma}$ (1σ), $n(^{87}\text{Rb})/n(^{86}\text{Sr})$ 初始比值为 (0.71293 ± 0.00017) (1σ), MSWD=13。由等时线年龄可知,牛圈银金多金属矿床的成矿年龄为 $(154.1 \pm 2.6) \text{Ma}$,属于燕山中期(晚侏罗世)。结果证明牛圈矿区铅锌硫化物成矿作用发生在燕山中期,可以推断与燕山期的岩浆岩侵入有密切关系^[15-17]。

表1 牛圈银(金)矿床矿石矿物Rb-Sr同位素比值测定结果

Table 1 Rb-Sr isotopic data of ore minerals from the Niujuan Ag-Au deposit

序号	样品号	样品名称	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	计算误差	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	计算误差
1	NJ-K ₁	黄铁矿	3.576	0.01	0.720856	0.0001
2	NJ-K ₁	方铅矿	5.034	0.01	0.723834	0.0001
3	NJ-K ₁	闪锌矿	0.2308	0.01	0.713611	0.0001
4	NJ-K ₂	黄铁矿	2.139	0.01	0.717539	0.0001
5	NJ-K ₂	方铅矿	6.245	0.01	0.726662	0.0001
6	NJ-K ₂	闪锌矿	0.6171	0.01	0.714335	0.0001
7	NJ-K ₃	黄铁矿	6.834	0.01	0.727918	0.0001
8	NJ-K ₄	黄铁矿	5.902	0.01	0.725727	0.0001
9	NJ-K ₄	方铅矿	7.351	0.01	0.729173	0.0001
10	NJ-K ₄	闪锌矿	1.026	0.01	0.715004	0.0001

4.2 物质来源分析

4.2.1 成矿流体来源

牛圈矿区4件石英包裹体的 δD 范围为 -98.7‰ ~ -116.9‰ ,7件石英的 $\delta^{18}O$ 范围为 1.31‰ ~ 4.15‰ ,爆裂温度范围为 $250\sim 280\text{℃}$,平均 265℃ ^①。运用Geokit软件对数据进行处理分析,在氢、氧同位素组成上投影,投影点岩浆水左下方(图5),显示出成矿流体具有多来源特征,是岩浆水和循环的大气降水的混合^[17-19]。综合前人对该矿区的研究^[3],对该区蚀变矿物(玉髓)包裹体氢氧同位素样品的测试数据显示(表2), $\delta^{18}O$ 的范围在 1.31‰ ~ 4.15‰ ,极差为 2.84‰ ,平均值为 2.74‰ ; δD 为 98.7‰ ,平均值 -106.35‰ 。将样品数据投影到 δD - $\delta^{18}O$ 组成图(图5)上,其投影点位于岩浆水的左下方,表明了成矿阶段大气降水可能起到了关键作用。但由于矿体位于比较开放的空间,净水/岩值较大,水-岩反应较强烈,氧同位素漂移明显,从而使流体中 $\delta^{18}O$ 值略有升高。 $\delta^{18}O$ 值对包裹体成因具有示踪意义^[20],统计认为陨石 $\delta^{18}O=3.7\text{‰}$ ~ 6.3‰ ;地幔 $\delta^{18}O=5.7\text{‰}\pm 1.00\text{‰}$,因此该矿床流体属于混合岩浆水。通过此次对包裹体氢氧同位素研究结果,佐证了成矿流体属于混合岩浆水,即岩浆水与循环大气降水的混合。

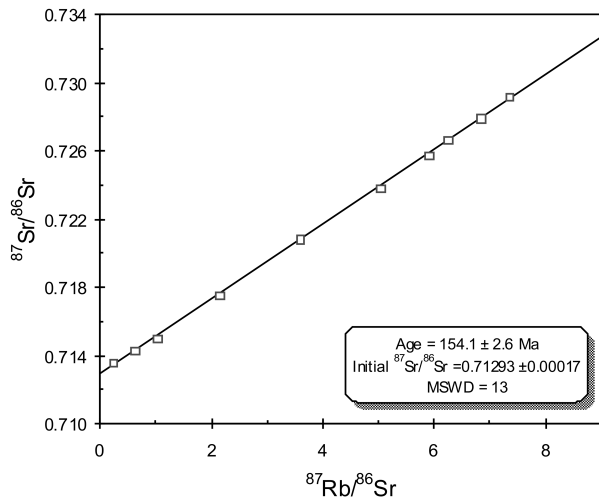


图4 牛圈Ag-Au矿床矿石矿物Rb-Sr等时线年龄图
Fig.4 Ore mineral Rb-Sr isochron age plot for the Niujuan Ag-Au deposit

中国科学院地质研究所张国辉测试了不同成矿阶段的流体包裹体,研究显示不同成矿阶段包裹体的均一温度范围及变化趋势不同,硅质角砾岩阶段温度最高,均一温度范围 $220\sim 350\text{℃}$,单峰分布,众值为 $270\sim 320\text{℃}$;黄铁矿-石英脉阶段次之,紫色萤石阶段均一温度值较前两阶段明显偏低,变化范围变小。均一温度为 $160\sim 270\text{℃}$,众值 $180\sim 240\text{℃}$ 。陈伟军等(2007)对牛圈矿区石英样品及包裹体进行了测温研究,结果显示流体包裹体的均一温度范

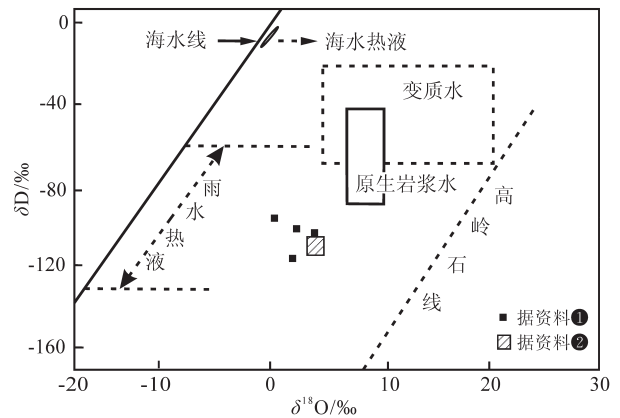


图5 牛圈银矿热液流体 $\delta^{18}O$ - δD 组成(据资料①、②)
Fig.5 $\delta^{18}O$ - δD composition of hydrothermal fluid in the Niujuan Ag deposit (after reference ①, ②)

表2 牛圈银矿氢、氧同位素测试结果(据资料①)
Table 2 H, O isotopic analyses of the Niujuan Ag deposit (after reference ①)

序号	取样位置	矿物名称	$\delta^{18}O/\text{‰}$	$\delta D/\text{‰}$
1	TC80	石英	2.21	
2	TC82	石英	4.01	
3	82线 CM3	石英	4.15	-105
4	82线 CM3	石英	2.13	
5	82线 CM3	石英	1.31	-98.7
6	ZK83-1孔	石英	2.78	-104.8
7	ZK79-3孔	石英	2.62	-116.9
8	极差		2.84	-118.2
9	均值		2.74	-106.35

①河北省地矿局第四地质大队. 河北省承德市北部银多金属矿化集中区控矿因素及成矿预测. 1994.

②李久明等. 冀北丰宁银(金)矿床地质、地球化学特征及成因. 2006.

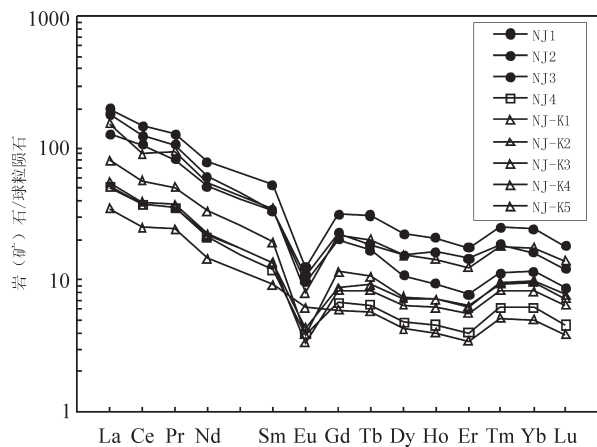


图6 牛圈多金属矿床岩(矿)石稀土元素配分模式图
Fig.6 Chondrite-normalized REE patterns of rock (ore) from the Niujuan polymetallic deposit

围在 152.9~467.1℃, 平均温度为 274.9℃, 主要的矿化温度在 230~310℃内, 流体属于中温热液范畴。然而, 包裹体盐度范围分为 2 个区间, 即高盐度和低盐度^[18,20]。

流体包裹体温度、盐度测试结果表明, 牛圈矿区可分为高温-高盐度和低温-低盐度两群共存, 高温-高盐度的包裹体群代表岩浆热液, 而低盐度-低温度的包裹体则暗示了地表水的混合作用。因此, 牛圈银矿床成矿作用过程中, 混合作用和沸腾作用可能都存在, 成矿非单一作用的结果。上述不同学者的测试结果表明, 牛圈矿床的主成矿阶段温度低于 300℃, 为中温矿床。

4.2.2 成矿元素的来源

稀土元素在矿床研究中的应用仍处于开拓、积累性阶段。国外从 20 世纪 60 年代开始研究稀土元素的丰度和分配, 由于稀土元素是一个特殊的“元素族”, 不同地质环境形成的稀土总量及各个元素含量均不尽相同, 其运动规律和组合规律是一定地质与物理化学条件的反应。因此, 可以把稀土元素作为成岩成矿地球化学作用的“指示剂”, 或“示踪剂”, 可以探讨矿床成因、判断赋矿岩石形成的背景及物质来源, 确定成岩成矿地质时代和分析地壳演化历史及矿产形成过程^[21-24]。

本次样品主要采自牛圈银金多金属矿床及其围岩。样品的稀土元素、微量元素含量测试是在北京核工业地质测试中心完成的, 稀土元素含量及特

征参数见表 3, 文中 REE 的球粒陨石标准化采用 Boynton (1984) 的数据^[25]。

从表 3 中可以看出: 花岗岩中 Σ REE 的范围较宽 $49.93 \times 10^{-6} \sim 278.9 \times 10^{-6}$, LREE 的范围为 $44.41 \times 10^{-6} \sim 249.59 \times 10^{-6}$, HREE 的范围为 $5.52 \times 10^{-6} \sim 28.80 \times 10^{-6}$, LREE/HREE 范围为 8.04~14.04, La_N/Yb_N 为 6.95~15.58, δEu 为 0.29~0.82, δCe 为 0.86~1.02; 矿石中 Σ REE 的范围为 $73.36 \times 10^{-6} \sim 190.86 \times 10^{-6}$, LREE 的范围为 $64.89 \times 10^{-6} \sim 170.95 \times 10^{-6}$, HREE 的范围为 $8.47 \times 10^{-6} \sim 19.9110 \times 10^{-6}$, LREE/HREE 范围为 7.25~9.57, La_N/Yb_N 为 5.78~8.71, δEu 为 0.25~0.39, δCe 为 0.73~0.87。从稀土元素含量以及特征参数中可以看出, 稀土元素的总量变化较大, 都具有明显的 Eu 负异常。伴随多次隐爆成矿作用, 沿断裂带-隐爆角砾岩体发生了大范围多期的中低温热液蚀变^[3], 花岗岩类岩石中的稀土元素含量通常是时间的函数, 即随岩浆演化, 稀土元素总量增加; LREE/HREE 比值减小; Eu 异常越来越明显 (即 δEu 值越来越小) 花岗岩岩浆在形成早期往往是贫水的, 岩浆上侵过程中逐渐变为饱和, 变饱和的水和挥发组分等可与稀土元素络合成有效的活动组分而进入流体相^[28], 这可能是花岗岩中的稀土总量是时间的函数, 即随岩浆岩的演化逐渐升高的原因。在岩浆热液上升过程中多次隐爆-凝固封闭-再隐爆-再凝固封闭, 同时也伴随着稀土元素的不断分馏, 使 Σ REE 在不同成矿期次发生了较大的变化, 稀土元素总量不断地增加。NJ₄, NJ-K₂, NJ-K₄ 很可能为同一成矿期相对较早期次的岩浆热液成矿, NJ₁, NJ₂, NJ₃, NJ-K₅ 为较晚期次形成。由于稀土元素之间地球化学性质的差异, LREE, HREE 之间的比值变化常用来探讨相同体系岩石或矿物的同源性^[21-23], 从所有样品来看, La/Sm 的范围为 6.5~9.1, 绝大多数分布在 6.5~7.5, 比值较大, 变化较小; Gd/Yb 的范围为 1.4~2.4, 比值较小, 变化范围也较小, 从而说明了各个期次的岩浆热液上升成矿过程中, 轻稀土元素内部分馏程度较低, 富集程度较高; 重稀土元素富集程度也较高。虽然岩(矿)石 REE 含量和有关参数变化范围较宽, 但从稀土配分模式图 (图 6) 中可看出, 花岗岩和矿石具有极为相似的配分模式, 即 LREE 富集, HREE 亏损的右倾曲线, 而且具有明显的 Eu 负异常和不明显的 Ce 正异常。隐爆角砾岩型矿床矿石的

表3 承德牛圈多金属矿床岩(矿)石的稀土元素含量及特征参数
Table 3 REE content (10^{-6}) of rock (ore) in the Niujuan polymetallic deposit

样品号	NJ1	NJ2	NJ3	NJ4	NJ-K1	NJ-K2	NJ-K3	NJ-K4	NJ-K5
岩石名称	花岗岩	花岗岩	花岗岩	硅质岩	银多金属矿石	矿石	含萤石花岗岩	矿石	矿石
La	64	57.9	40.7	16.6	25.6	17.6	11.1	16.2	49.6
Ce	115	98.6	83.9	29.1	44.8	30.5	19.9	29.3	71.6
Pr	14.3	11.8	9.12	3.98	5.62	4.17	2.72	3.97	10.5
Nd	45.6	35.4	29.8	12.2	19.2	13	8.56	12.7	32.2
Sm	9.81	6.33	6.15	2.2	3.59	2.53	1.69	2.48	6.49
Eu	0.88	0.681	0.764	0.272	0.273	0.309	0.441	0.241	0.563
Gd	8.16	5.24	5.79	1.72	2.99	2.26	1.52	2.15	5.55
Tb	1.53	0.843	0.932	0.324	0.529	0.454	0.286	0.416	1.01
Dy	7.73	3.69	5.3	1.63	2.57	2.48	1.45	2.2	5.22
Ho	1.44	0.66	1.14	0.32	0.494	0.493	0.279	0.431	0.993
Er	4.01	1.77	3.32	0.898	1.39	1.41	0.773	1.27	2.81
Tm	0.758	0.341	0.549	0.184	0.286	0.284	0.153	0.251	0.544
Yb	4.55	2.16	2.96	1.14	1.83	1.77	0.928	1.53	3.31
Lu	0.618	0.3	0.41	0.154	0.264	0.247	0.132	0.218	0.474
Y	38	18.2	28.2	8.44	13.6	16.6	10.1	12.6	29.8
Σ REE	278.39	225.72	190.84	70.72	109.44	77.51	49.93	73.36	190.86
LREE	249.59	210.71	170.43	64.35	99.08	68.11	44.41	64.89	170.95
HREE	28.8	15	20.4	6.37	10.35	9.4	5.52	8.47	19.91
LREE/HREE	8.67	14.04	8.35	10.1	9.57	7.25	8.04	7.66	8.59
La _N /Yb _N	8.18	15.58	7.99	8.46	8.13	5.78	6.95	6.15	8.71
δ Eu	0.29	0.35	0.39	0.41	0.25	0.39	0.82	0.31	0.28
δ Ce	0.89	0.88	1.02	0.85	0.87	0.84	0.86	0.87	0.73

注:样品由河北省地矿局探矿技术研究院采集,北京核工业地质测试中心分析;球粒陨石值采用Boynton(1984)的数据^[29]。

稀土元素配分模式均呈现左高右低的右倾曲线,与典型花岗岩演化的稀土元素地球化学特征相一致,具有轻稀土元素富集的趋势^[24,26-28]。同时,本次岩(矿)石的稀土元素配分模式反映了矿石与花岗岩的同源性,即矿石中的成矿元素很可能来自于花岗岩中。花岗岩的稀土元素配分模式曲线与壳源型花岗岩的非常相似^[29-33],反映成岩物质可能来源于地壳,进而佐证了成岩成矿物质具有同源性。结合稀土元素含量、特征参数以及配分模式曲线可知,牛圈银金多金属矿床成矿作用是多期次的,成矿物质元素很可能来源于同期次的花岗岩。

5 结论

本文在对前人研究资料的基础上,通过野外踏勘取样以及岩(矿)石样品的测试分析结果,利用同

位素地球化学、稀土元素示踪手段以及流体包裹体均一温度、成分的研究,根据石英包裹体中氢氧同位素的研究结果以及单矿物和共生矿物的Rb-Sr等时线定年结果,对承德牛圈银金多金属矿床形成时代和物质来源有了如下认识:

(1)成矿流体具有多来源特征,是岩浆水和循环的大气降水的混合。稀土元素数据处理结果分析,在同一成矿阶段中很可能分成若干个短期成矿阶段,岩浆热液在上升过程中 Σ REE不断增加,轻重稀土出现明显分异,轻稀土明显富集,重稀土亏损,花岗岩的稀土元素配分模式曲线与壳源型花岗岩的非常相似。岩(矿)石稀土元素配分模式图显示,花岗岩与矿石具有极为相似的配分模式,即LREE富集,HREE亏损的右倾曲线,而且具有明显的Eu负异常和不明显的Ce正异常,佐证了矿石与花岗岩

的同源性,即矿石中的成矿元素很可能来自于同期次的花岗岩。

(2)根据矿石矿物组成,利用单矿物闪锌矿和共生矿物组合黄铁矿与方铅矿 Rb-Sr 等时线方法测定了牛圈矿床成矿年龄,测试结果矿石矿物的形成年龄为(154.1±2.6)Ma,属于燕山中期(晚侏罗世),由于中生代的华北地台火山活动频繁而强烈,受地台北缘基底断裂的影响形成了SN—NNE走向的牛圈—老虎坝断裂,并伴随着多期次的岩浆侵入活动,岩浆沿断裂带上升侵入,可以推断成矿物质的来源与燕山期岩浆岩侵入形成的花岗岩有密切关系,为矿床成因类型厘定提供理论依据。

致谢:野外工作期间得到了河北省地矿局探矿技术研究院领导及工作人员的大力支持,在此致以诚挚的谢意!

参考文献(References):

- [1] 胡玲, 宋鸿林. “内蒙地轴”南缘断裂带的活动时代及结构分析[J]. 中国地质, 2002, 29(4): 369-373.
Hu Ling, Song Honglin. Ages of activities of the southern “Inner Mongolian axis” marginal fault belt and an analysis of its structure[J]. *Geology in China*, 2002, 29(4): 369-373(in Chinese with English abstract).
- [2] 赵越, 陈斌, 张拴宏, 等. 华北克拉通北缘及邻区前燕山期主要地质事件[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 900-915.
Zhao Yue, Chen Bin, Zhang Shuanhong, et al. Pre-Yanshanian geological events in the northern margin of the North China Craton and its adjacent areas[J]. *Geology in China*, 2010, 37(4): 900-915 (in Chinese with English abstract).
- [3] 王艳辉. 河北省牛圈银(金)矿床成因初探[J]. 地质调查与研究, 2010, 33(1): 36-41.
Wang Yanhui. Study on the genesis of the Niujuan silver deposit in Hebei Province[J]. *Geological Survey and Research*, 2010, 33(1): 36-41(in Chinese with English abstract).
- [4] 魏晓英. 河北丰宁营房—牛圈银矿床构造控矿特征和成因探讨[J]. 地质找矿论丛, 2000, 15(3): 261-281.
Wei Xiaoying. Discussion on structural control characteristics and genesis of YingFang—Niujuan silver deposit, Hebei[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2000, 15(3): 261-281(in Chinese with English abstract).
- [5] 聂凤军, 张万益, 江思宏, 等. 论河北丰宁银(金)矿床的成矿时限问题[J]. 地学前缘, 2007, 14(9): 167-176.
Nei Fengjun, Zhang Wanyi, Jiang Sihong, et al. Discussion on the time limitation of silver(gold) mineralization in the Niujuan deposit, Northern Hebei Province[J]. *Earth Science Frontiers*, 2007, 14(9): 167-176(in Chinese with English abstract).
- [6] 陈岳龙, 杨忠芳, 赵志丹. 同位素地质年代学与地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 2005: 25-244.
Chen Yuelong, Yang Zhongfang, Zhao Zhidan, et al. *Isotopic Geochronology and Geochemistry*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005: 25-244(in Chinese with English abstract).
- [7] 赵葵东, 蒋少涌. 金属矿床的同位素直接定年方法[J]. 地学前缘, 2004, 11(2): 425-433.
Zhao Kuidong, Jiang Shaoyong. Direct isotope dating for metallic ore deposits[J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(2): 425-433(in Chinese with English abstract).
- [8] 杨进辉, 周新华. 胶东地区玲珑金矿矿石和载金矿物 Rb-Sr 等时线年龄与成矿时代[J]. 科学通报, 2000, 45(14): 1547-1552.
Yang Jinhui, Zhou Xinhua. Rb-Sr isochron age and metallogenic age of ore minerals and pyrites of the Linglong gold deposits, Jiaodong area[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(14): 1547-1552(in Chinese).
- [9] 张振海, 张景鑫, 叶素芝. 胶东招掖金矿带金矿化蚀变带 Rb-Sr 等时线的研究及测定[J]. 贵金属地质, 1993, 2(1): 26-34.
Zhang Zhenhai, Zhang Jingxin, Ye Suzhi. Study and determination of Rb-Sr isochron dating on gold mineralization alteration zone in Zhaoyuan—Yexian gold mineralized belt, Eastern Shandong[J]. *Journal of Precious Metallic Geology*, 1993, 2(1): 26-34(in Chinese with English abstract).
- [10] 谭俊, 魏俊浩, 杨春福, 等. 矿床同位素定年方法的应用现状剖析[J]. 地质与勘探, 2006, 42(3): 61-65.
Tan Jun, Wei Junhao, Yang Chunfu, et al. Application state of isotopic dating methods for ore deposits[J]. *Geology and Prospecting*, 2006, 42(3): 61-65(in Chinese with English abstract).
- [11] Shepherd T J, Darbyshire D P F. Fluid inclusion Rb-Sr isochrones for dating mineral deposits[J]. *Nature*, 1981, 290(16): 578-579(in Chinese with English abstract).
- [12] Huntley D J, Godfrey D I, Thewalt M L W. Optical dating of sediments[J]. *Nature*, 1985, 313: 105-107.
- [13] Bell K, Anglin C D, Franklin J M. Sm-Nd and Rb-Sr systematics of scheelites: Possible implications for the age and genesis of vein hosted gold deposits[J]. *Geology*, 1989, 17: 500-504.
- [14] 李洪英, 毛景文, 王晓霞, 等. 陕西金堆城铜矿区花岗岩 Sr、Nd、Pb 同位素特征及其地质意义[J]. 中国地质, 2011, 38(6): 1536-1550.
Li Hongying, Mao Jingwen, Wang Xiaoxia, et al. Sr, Nd, Pb isotopic characteristics of granite in Jinduicheng area and their geological significance[J]. *Geology in China*, 2011, 38(6): 1536-1550(in Chinese with English abstract).
- [15] 吕鹏瑞, 李德荣, 彭义伟, 等. 黑龙江三矿沟矽卡岩型 Cu-Fe-Mo 矿床矿石硫化物硫、铅同位素特征及锆石 U-Pb 定年[J]. 中国地质, 2012, 39(3): 717-728.
Lv Pengrui, Li Derong, Peng Yiwei, et al. S-Pb isotopic characteristics of ore sulfides and U-Pb dating of zircon from the Sankuanggou skarn-type Cu-Fe-Mo deposit in Heilongjiang

- Province[J]. *Geology in China*, 2012, 39(3): 717-728(in Chinese with English abstract).
- [16] 张运强, 李胜荣, 陈海燕, 等. 胶东金青顶金矿床成矿流体来源的黄铁矿微量元素及He-Ar同位素证据[J]. *中国地质*, 2012, 39(1): 195-204.
- Zhang Yunqiang, Li Shengrong, Chen Haiyan, et al. Trace element and He-Ar isotopic evidence of pyrite for the source of ore-forming fluids in the Jinqingding gold deposit, eastern Shandong Province[J]. *Geology in China*, 2012, 39(1): 195-204 (in Chinese with English abstract).
- [17] 杨学明, 杨晓勇, 陈双喜. 岩石地球化学[M]. 合肥: 中国科技大学出版社, 2000: 83-203.
- Yang Xueming, Yang Xiaoyong, Chen Shuangxi, et al. *Petrogeochemistry*[M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2003: 83-203(in Chinese with English abstract).
- [18] 陈伟军, 刘洪涛, 张德会. 河北丰宁牛圈银矿床流体包裹体特征及地质意义[J]. *矿床与地质*, 2007, 21(1): 12-16.
- Chen Weijun, Liu Hongtao, Zhang Dehui. Fluid inclusion's characteristics of the Niujian silve deposit in Fengning, Heibei, and its geological significance[J]. *Mineral Resources and Geology*, 2007, 21(1): 12-16(in Chinese with English abstract).
- [19] 向君峰, 裴荣富, 叶会寿, 等. 南泥湖—三道庄钨(钨)矿床成矿流体的碳氢氧同位素研究及其启示[J]. *中国地质*, 2012, 39(6): 1778-1789.
- Xiang Junfeng, Pei Rongfu, Ye Huishou, et al. Source and evolution of the ore-forming fluid in the Nannihu-Sandaozhuang Mo(W) deposit constraints from C-H-O stable isotope data[J]. *Geology in China*, 2012, 39(6): 1778-1789(in Chinese with English abstract).
- [20] 郑永飞, 陈江峰. 稳定同位素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 145-148.
- Zheng Yongfei, Chen Jiangfeng. *Stable Isotope Geochemistry*[M]. Beijing: Science Press, 2000: 145-148(in Chinese with English abstract).
- [21] 段士刚, 薛春纪, 冯启伟, 等. 豫西南赤土店铅锌矿床地质、流体包裹体和S、Pb同位素地球化学特征[J]. *中国地质*, 2011, 38(2): 427-441.
- Duan Shigang, Xue Chunji, Feng Qiwei, et al. Geology, fluid inclusions and S, Pb isotopic geochemistry of the Chitudian Pb-Zn deposit in Luanchuan, Henan Province[J]. *Geology in China*, 2011, 38(2): 427-441(in Chinese with English abstract).
- [22] 孙祥, 杨子荣, 刘敬党, 等. 义县萤石矿床稀土元素地球化学特征及其指示意义[J]. *矿床地质*, 2008, 27(5): 579-584.
- Sun Xiang, Yang Zirong, Liu Jingdang, et al. REE geochemistry of fluorite from Yixian fluorite deposit and its geological implications[J]. *Mineral Deposits*, 2008, 27(5): 579-584(in Chinese with English abstract).
- [23] 牛树银, 孙爱群, 王宝德, 等. 内蒙古大井铜锡多金属矿成矿物质来源及成矿作用探讨[J]. *中国地质*, 2008, 35(4): 714-724.
- Niu Shuyin, Sun Aiqun, Wang Baode, et al. Source of ore-forming materials and mineralization of the Dajing Cu-Sn polymetallic deposit, Inner Mongolia[J]. *Geology in China*, 2008, 35(4): 714-724(in Chinese with English abstract).
- [24] 朱华平, 李虹, 张汉诚, 等. 陕西柞山地区穆家庄铜矿铅同位素地球化学与成矿物质来源[J]. *中国地质*, 2005, 32(4): 634-640.
- Zhu Huaping, Li Hong, Zhang Hancheng, et al. Lead isotope geochemistry and source of ore materials of the Mujiazhuang copper deposit, Zha (Zhashui)-Shan (Shanyang) area, Shaanxi[J]. *Geology in China*, 2005, 32(4): 634-640(in Chinese with English abstract).
- [25] Boynton W V. Cosmochemistry of the rare earth elements: Meteoritestudies[J]. *Development in Geochemistry*, 1984: 63-114.
- [26] 吴孔运, 高利鹏. 陕西庞家河金矿成矿地质特征及成矿物质来源研究[J]. *中国地质*, 2011, 38(3): 716-723.
- Wu Kongyun, Gao Lipeng. Geological characteristics and ore-forming material sources of the Pangjiahe gold deposit in Shaanxi Province[J]. *Geology in China*, 2011, 38(3): 716-723(in Chinese with English abstract).
- [27] 杜玉雕, 余心起, 刘家军, 等. 皖南东源钨钼矿成矿流体特征和成矿物质来源[J]. *中国地质*, 2011, 38(5): 1334-1346.
- Du Yudiao, Yu Xinqi, Liu Jiajun, et al. Characteristics of ore-forming fluids and sources of ore-forming materials in the Dongyuan W-Mo deposit, southern Anhui Province[J]. *Geology in China*, 2011, 38(5): 1334-1346(in Chinese with English abstract).
- [28] 邱瑞照, 周肃, 常海亮等. 香花岭花岗岩稀土元素演化[J]. *现代地质*, 2002, 16(1): 53-58.
- Qiu Ruizhao, Zhou Su, Chang Hailiang, et al. Evolution of rare earth elements of granitoid in Xianghualing area, Hunan[J]. *Geoscience*, 2002, 16(1): 53-58(in Chinese with English abstract).
- [29] 白瑾. 华北陆台北缘前寒武纪地质及铅锌成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 1993, 1-132.
- Bai Jin, *The Geology and Lead-Zinc Mineralization of Precambrian Period in Northern Margin of North China Platform* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 1-132(in Chinese with English abstract).
- [30] 李久明, 巩恩普, 姚玉增, 等. 冀北丰宁银(金)矿床地质、地球化学特征及成因[J]. *地质找矿论丛*, 2006, 21(4): 241-247.
- Li Jiuming, Gong Enpu, Yao Yuzeng, et al. The geological-geochemical characteristics and metallogeny of Fengning silver polymetallic ore deposit, north Heibei province[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2006, 21(4): 241-247(in Chinese with English abstract).
- [31] 刘健, 赵越, 叶浩. 冀北承德地区晚侏罗世盆地充填记录及其构造含义[J]. *中国地质*, 2013, 40(1): 140-151.
- Liu Jian, Zhao Yue, Ye Hao. Late Jurassic basin-fill record of

- Chengde area in northern Hebei and its tectonic implication[J]. *Geology in China*, 2013, 40(1): 140–151(in Chinese with English abstract).
- [32] 戴圣潜, 邓晋福, 吴宗絮, 等. 大别造山带燕山期造山作用的岩浆岩石学证据[J]. *中国地质*, 2003, 30(2): 159–165.
Dai Shengqian, Deng Jinfu, Wu Zongxu, et al. Evidence of magmatic petrology for the Yanshanian orogeny in the Dabie orogen[J]. *Geology in China*, 2003, 30(2): 159–165(in Chinese with English abstract).
- [33] 伍光英, 肖序常, 肖庆辉, 等. 湘南多金属矿集区燕山期成矿花岗岩的主元素地球化学特征和成因探讨[J]. *中国地质*, 2008, 35(2): 217–231.
Wu Guangying, Xiao Xuchang, Xiao Qinghui, et al. Major element geochemistry and genesis of Yanshanian mineralized granites in the polymetallic deposit concentration region, southern Hunan[J]. *Geology in China*, 2008, 35(2): 217–231(in Chinese with English abstract).

An analysis of geological age and materials source of the Niujuan Ag–Au polymetallic deposit in Chengde

LI Zi-ye¹, LIU Xiao-yu¹, LI Sui-min¹, HU Hua-bin¹, YANG Yang²

(1. *Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, Hebei, China;*

2. *Inner Mongolia No. 5 Institute of Geology and Mineral Exploration, Baotou 014010, Inner Mongolia, China)*

Abstract: On the basis of field reconnaissance, field observation, rock (ore) sample analyses and the application of such means as isotope geochemistry, REE, fluid inclusion homogenization temperature and composition, the authors hold that the ore-forming materials of the Niujuan Ag–Au deposit were derived from granite. The analytical results of REE from rock (ore) show that the chondrite-normalized REE patterns of rocks and ores from the Niujuan Ag–Au deposit are similar to each other, both assuming LREE enrichment, HREE depletion and obvious Eu negative anomalies. These characteristics demonstrate that the ore-forming materials of the Niujuan Ag–Au deposit were derived from granite. Researches on hydrogen and oxygen isotopes show that the ore-forming fluids were of multiple sources, being the mixture of magmatic water and circulated atmospheric precipitation. According to the composition of ore minerals, the authors used the Rb–Sr isochron method for monomineral sphalerite and paragenetic mineral assemblage of pyrite and galena to determine the ore-forming age, and the result shows that the age of ore mineral is (154.1 ± 2.6) Ma, belonging to middle Yanshanian period. On such a basis, it is deduced that the formation of the deposit was closely related to Yanshanian magmatite intrusion. The results obtained by the authors provide a theoretical basis for the determination of the genetic type of the ore deposit.

Key words: source of ore-forming materials; Rb–Sr isochron age; geochemistry; Niujuan Ag–Au polymetallic deposit; North China

About the first author: LI Zi-ye, male, born in 1987, master, mainly engages in the study of ore deposits and geochemistry; E-mail: ziye_le@126.com.