

文章编号: 1009-3850(2010)01-0085-04

四川里伍黑牛洞矿床中 石榴石的 $Sm-Nd$ 同位素年龄及其意义

祝向平¹, 冯孝良¹, 姚 鹏¹, 张惠华¹, 马东方¹, 胡如权², 唐高林²

(1. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082; 2. 四川里伍铜业股份有限公司, 四川 甘孜 626200)

摘要: 黑牛洞矿床中的石榴石有三个期次: 早期的石榴石呈顺片理拉长的条带, 中期的石榴石呈颗粒碎块发育, 硫化物常沿早期和中期的石榴石的裂隙和颗粒边缘填充, 晚期石榴石呈完整细粒变晶产出。本文测得晚期石榴石的 $Sm-Nd$ 年龄为 $101 \pm 26 Ma$ (初始 $^{143}Nd/^{144}Nd = 0.511765 \pm 0.00025$), 其可能代表黑牛洞矿床最后一期中高级变质作用的时代, 与形成富矿体的脆韧性变形作用同期。

关键词: 黑牛洞矿床; 石榴子石; $Sm-Nd$

中图分类号: P597⁺. 1

文献标识码: A

里伍铜矿田位于扬子板块西侧松潘-甘孜构造带南缘, 是川西著名的富铜矿产区。黑牛洞矿床产于江浪穹隆的南西侧, 是国内近年来发现的一个富铜矿床。由于矿区变形变质作用强烈, 目前对变质作用与成矿的关系尚未明确。石榴石是黑牛洞矿床中常见的变质矿物, 因为重稀土元素在石榴石中比轻稀土有较高的分配系数, 因而石榴石有较高的 Sm/Nd 值。前人曾用石榴石或石榴石与全岩做 $Sm-Nd$ 分析, 获取等时线年龄来进行变质岩的变质时代研究^[1, 2]。本文通过对矿区石榴石的 $Sm-Nd$ 同位素年龄研究, 探讨黑牛洞矿床的变质作用与铜富矿的关系。

1 地质背景

黑牛洞铜矿位于扬子地台西侧锦屏山断裂以西的江浪变质核杂岩内(图 1)。赋矿地层主要为中元古界里伍群, 其主要岩性为云母片岩、云母石英片岩、片状石英岩夹斜长角闪岩及变基性岩, 原岩主要

为含火山凝灰质的砂泥质浊积沉积岩, 形成于活动大陆边缘环境^[3]。根据岩性差异, 里伍群分为三个岩性段, 其中富铜矿主要赋存于第二岩性段内的二云母片岩、二云母石英片岩、石英片岩和斜长角闪岩中。在二云母片岩、二云母石英片岩、石英片岩中广泛见有石榴石发育。从石榴石的产出形态上可断定其呈三个期次: 早期的石榴石呈顺片理拉长的条带(图 2a); 中期的石榴石颗粒较大, 切片理, 呈破裂状(图 2b), 部分见有硫化物沿裂隙和石榴石颗粒边缘填充; 晚期石榴石颗粒晶形完整, 切片理、细粒(图 2c)。

2 样品测试

在黑牛洞矿床采取二云母石英片岩 8 件, 破碎后选取晶形完整的细粒石榴石, 石榴石用盐酸酸洗后, 碎至 200 目。 $Sm-Nd$ 同位素测试在核工业北京地质研究院分析测试研究中心进行, 称取 0.1~0.2 粉末样品于低压密闭溶样罐中, 加入钨酸铈稀释剂, 用混

收稿日期: 2009-10-09 改回日期: 2010-01-04

作者简介: 祝向平(1979-), 工程师, 博士, 主要从事矿床学研究

资助项目: 全国危机矿山接替资源找矿“四川里伍铜矿、泸沽铁矿床成矿规律总结研究”项目(编号: 20089952)和成都地质矿产研究所青年基金“里伍式富铜矿黑牛洞铜矿区铜矿石变质富集条件矿物学研究”项目

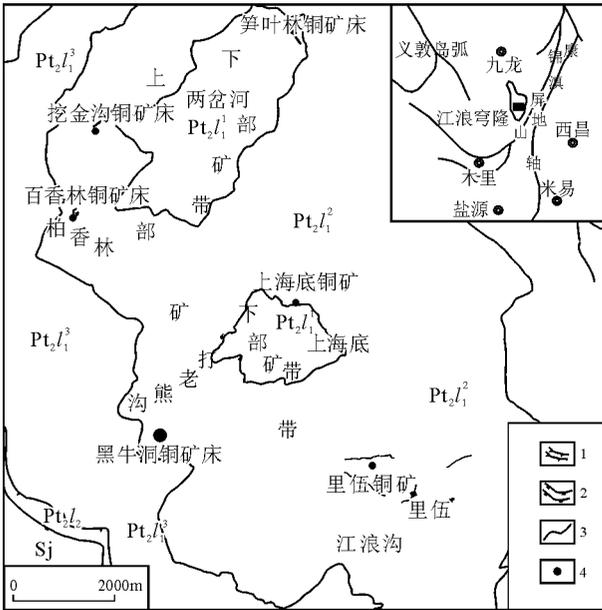


图 1 里伍铜矿矿区地质略图

S₁志留系上坝板组; P₂L₁中元古界里伍群上段; P₂L₂中元古界里伍群下段上岩带(二道棚带); P₂L₂中元古界里伍群下段中岩带(里伍带); P₂L₃中元古界里伍群下段下岩带(两岔河带)。1 实测、推测主滑脱正断层; 2 实测、推测一般滑脱正断层; 3 实测、推测地质界线; 4 铜矿床(点)

Fig 1 Simplified geological map of the Liwu copper mining district

S₁= Silurian Gaba Slate Formation; P₂L₁= upper member of the Mesoproterozoic Liwu Group; P₂L₂= upper rock belt (Erdaopeng belt) of the lower member of the Mesoproterozoic Liwu Group; P₂L₂= middle rock belt (Liwu belt) of the lower member of the Mesoproterozoic Liwu Group; P₂L₃= lower rock belt (Liangchahe belt) of the lower member of the Mesoproterozoic Liwu Group; 1 = measured/inferred major decollement normal fault; 2 = measured/inferred small decollement normal fault; 3 = measured/inferred geological boundary; 4 = copper deposit (spot)

合酸 (HF+HNO₃+HClO₄)溶解 24小时;待样品完全溶解后,蒸干,加入 6mol/L 的盐酸转为氯化物蒸干;用 0.5mol/L 的盐酸溶液溶解,离心分离,清液栽入阳离子交换柱 (φ0.5 cm×15 cm, AG50W×8(H⁺), 100~200目),用 1.75mol/L 的盐酸溶液和 2.5mol/L 的盐酸溶液淋洗基体元素和其它元素,用 4mol/L 的盐酸溶液淋洗轻稀土元素;蒸干;钐钕用 B507萃淋树脂分离,蒸干后转为硝酸盐,采用 ICP-MS 电感耦合等离子体光谱分析。质量分馏用 ¹⁴⁶Nd/¹⁴⁴Nd=0.721校正,标准测量结果:SHNESTU 为 0.512118±3(标准值为 0.512110)。

3 测试结果

测试采用的石榴石样品取自黑牛洞矿床含浸染状磁黄铁矿和黄铜矿的二云母石英片岩。石榴石呈棕红色,粒径 3~5mm,晶粒完整,在岩石中呈浸染状切片理稀疏分布。测试所得的 Sm、Nd 含量及 Nd 同位素比值列于表 1, Sm-Nd 等时线年龄如图 3 所示。从图 3 可以看出,5 个测点均分布于等时线附近,获取的石榴石 Sm-Nd 年龄为 101±26Ma (MSWD=0.041),初始 ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd=0.511765±0.000025,因 ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 比值相近,使得 Sm-Nd 等时线年龄精度受到一定限制。

表 1 Sm-Nd 同位素测试结果
Table 1 Sm-Nd isotopic determinations

样号	Sm ×10 ⁻⁶	Nd ×10 ⁻⁶	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	Error (2σ)	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	Error (2σ)
HNd-1	1.89	6.26	0.1825	0.0004	0.511877	0.000008
HNd-2	2.67	12.31	0.1311	0.0003	0.511843	0.000008
HNd-3	1.71	8.64	0.1193	0.0002	0.511837	0.000014
HNd-4	1.60	7.43	0.1299	0.0003	0.511841	0.000010
HNd-5	2.16	11.2	0.1167	0.0002	0.511834	0.000028

4 讨论

本次测试的石榴石取自于黑牛洞矿床钻孔中的二云母石英片岩,各样品位置距离较近,特征相同,石榴石颗粒完整,未受后期变形变质破坏,表明所测样品系同期形成,同位素体系处于封闭状态,所测的等时线年龄能代表石榴石形成的区域变质年龄。

黑牛洞矿床经历了多期的变形、变质作用,成矿物质具有多来源,成矿作用具有多期次、多成因的特点。依据矿区构造解析的结果,可将黑牛洞矿床的成矿作用分为早期韧性变形期、后期脆韧性变形期和喜山期变形期。其中喜山期变形对矿床的形成作用较小。

早期的韧性变形期,伴随以矿物组合为石榴石+矽线石+十字石的绿片岩相低角闪岩相的变质作用,为里伍群含矿岩系中的矿质的萃取、迁移、沉淀均提供了较好的条件,造成矿元素的初步富集,形成平行于片理发育的浸染状黄铜矿化、磁黄铁矿化和条带状矿体。由于受强烈的韧性变形,该期较早产出的石榴石多以压扁拉长的带状发育,较晚者颗粒大,以碎片状产出,在此两种石榴石晶粒边部和裂隙中均见有硫化物发育。

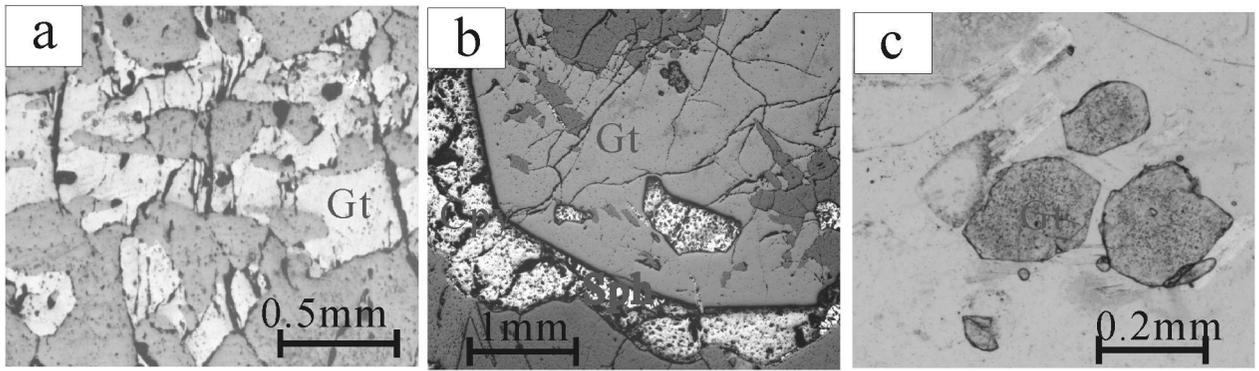


图 2 不同期次的石榴石

a 最早期石榴石, 顺片理拉长; b 中期大颗粒石榴石, 呈碎片; c 晚期细粒石榴石, 晶形完整。Gt: 石榴石; Sph: 闪锌矿; CPY: 黄铜矿

Fig. 2 Garnet development in different Phases

a Garnet elongated along schistosity during the earliest Phase; b Fragmented garnet during the middle Phase; c Fine-grained garnet during the latest Phase. Gt = garnet; Sph = sphalerite; CPY = chalcopyrite

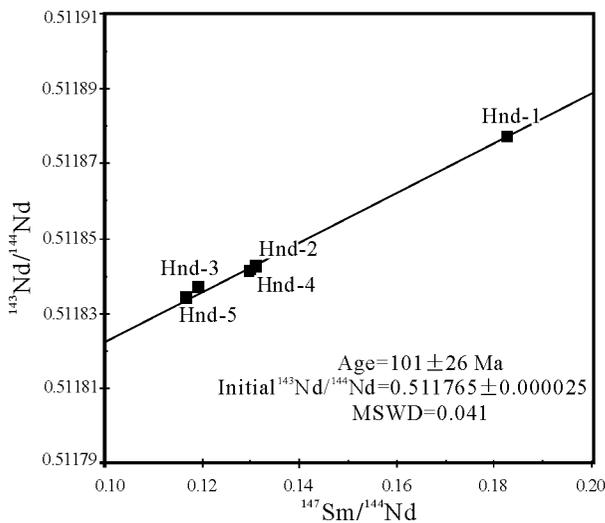


图 3 黑牛洞矿床石榴石 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ vs $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 图

Fig. 3 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ vs $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ diagram of garnet from the Heinudong copper deposit

脆韧性变形阶段是黑牛洞矿床成矿元素的再富集期。在燕山期, 松潘-甘孜构造带发生大规模的壳熔岩浆活动, 致使江浪穹隆发生隆升, 在快速抬升过程中, 沿早期韧性剪切带等薄弱带发育了规模不等的重力滑脱破碎带, 形成了一系列的导矿、容矿构造。同时, 区域内发育的花岗岩 (K-A 年龄 $131 \pm 5\text{Ma}$) 为里伍矿田的成矿提供了热源和大量的流体, 使早期形成的以条带状和浸染状为主的贫矿体进一步活化和运移富集, 并最终诱发部分熔融形成富铁、富铜的成矿流体贯入容矿构造中而形成块状矿体。此外, 花岗岩提供的热源也导致了热变质作用的发生, 形成了以黑云母 + 白云母 + 石榴石 +

十字石等变质矿物组合为特征的变质岩。根据变质矿物组合和矿石矿物的标型特征, 该期变质作用的温度可达 500°C 以上^[5]。由于新生代的形变质作用对黑牛洞矿床影响较小, 脆韧性变形期产出的石榴石以细粒、晶形完整为特征。

黑牛洞矿床的块状矿体边部的团块状黑云母的 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 年龄分别为 $136.4 \pm 0.8\text{Ma}$ 和 $143.4 \pm 1.9\text{Ma}$ ^[6,7], 与矿区内花岗岩侵位时代 (K-A 年龄 $131 \pm 5\text{Ma}$) 同期, 可见矿床的富集与区域内花岗岩的侵位存在紧密关系。

细粒石榴石的封闭温度高于 500°C ^[2,8-11], 石榴石的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 年龄可能代表退变质作用的年龄^[1]。新生代变形期可能伴生浅变质作用, 但不能对石榴石 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位素体系造成影响。本文所选的黑牛洞矿床中石榴石晶形完好, 未受后期变质、变形作用破坏, 为矿床中产生的最晚期的石榴石, 获取的石榴石 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 年龄为 $101 \pm 26\text{Ma}$, 其可能代表黑牛洞矿床最后一期中高级变质作用的退变质的年龄, 与富矿体的形成同期。

结合区域花岗岩的侵位时代, 我们认为里伍铜矿区各矿床成矿元素再富集成矿是一持续的热液过程, 此过程可能持续超过 $15 \sim 20\text{Ma}$ 。

参考文献:

[1] MEZGER K, ESSENE E J, HALLDAY A N. Closure temperatures of the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ system in metamorphic garnets [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1992, 113(3): 397-409.
 [2] 李曙光, 侯振辉, 李秋立. 超高压变质岩的放射性同位素体系

- 及年代学方法 [J]. 岩石学报, 2005, 21: 1929—1942
- [3] 四川省地质局第一区域地质测量大队. 1974 1:20万金矿幅区域地质调查报告 [R].
- [4] 宋鸿林, 田竞亚, 颜丹平, 等. 1995 扬子地台西缘江浪变质核杂岩体变形变质作用及李伍式铜矿成矿模式. “八五”地质矿产部重点科技攻关项目研究成果报告 [R].
- [5] 姚鹏, 汪名杰, 李建忠, 等. 里伍式富铜矿床同位素示踪及其成矿地质意义 [J]. 地球学报, 2008, 29(6): 691—696
- [6] 马国桃, 汪名杰, 姚鹏, 等. 2009 四川省九龙县黑牛洞富铜矿床黑云母 ^{40}Ar — ^{39}Ar 测年及其地质意义 [J]. 地质学报, 2009, 83, 671—679
- [7] DOSON M H. Closure temperature in a cooling geochronological and Petrological system [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology 1973, 40(3): 259—274
- [8] HURTON K W, KOHN M J, COHEN A S et al. The relative diffusion of Pb, Nd, Sr and O in garnet [J]. Earth and Planetary Science Letters 1995, 133(1): 199—211.
- [9] GANGALY J, TRONEM, HERVIG R L. Diffusion kinetics of samarium and neodymium in garnet and a method for determining cooling rates of rocks [J]. Science 1998, 281(5378): 805—807
- [10] LI Ş, JAGOUTZ E, CHEN Y et al. Sm-Nd and Rb-Sr isotopic chronology and cooling history of ultrahigh pressure metamorphic rocks and their country rocks at Shuanghe in the Dabie Mountain, central China [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta 2000, 64(6): 1077—1093.

Sm-Nd age dating of garnet from the Heiniudong copper deposit in the Liwu copper mining district western Sichuan

ZHU Xiang-ping, FENG Xiao-liang, YAO Peng, ZHANG Hui-hua, MA Dong-fang, HU Ru-quan, TANG Gao-li²

(1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, Sichuan, China; 2. Liwu Copper Mining Company, Garze 626200, Sichuan, China)

Abstract The Heiniudong copper deposit in the Liwu copper mining district is a newly found Cu rich deposit in western Sichuan, and characteristic of polyphyletic, polyphase and polygenetic origins. Three phases of garnet are found in this deposit. Both the earliest garnet as bands along schistosity and subsequent one as grains are found to be filled by sulfides along fractures or around the grains. The latest garnet occurs as fine-grained crystalloblasts and gives a Sm-Nd age of 101 ± 26 Ma and an initial $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ value of 0.511765 ± 0.000025 , which may be the age of the latest medium- to high-grade metamorphism. On the basis of the $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ ages of biotite from the Heiniudong copper deposit (136.4 ± 0.8 Ma) and Zhongzui copper deposit (143.4 ± 1.9 Ma), and emplacement age of granites (K-Ar age of 131 ± 5 Ma), the mineralization in individual deposits of the Liwu copper mining district has gone through a long period (15 ~20 Ma) of hydrothermal processes.

Key words: Heiniudong copper deposit; garnet; Sm-Nd isotopic age