

# 368-372 碧口群铜矿床的成矿时限及其意义

丁振举<sup>1,2</sup>, 刘丛强<sup>1</sup>, 姚书振<sup>2</sup>, 周宗桂<sup>2</sup>  
 (1. 中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002)  
 (2. 中国地质大学资源学院, 湖北 武汉 430074)

**摘 要:** 碧口群铜矿床作为早期同生喷流, 后期受变质改造的沉积-变质改造型矿床, 其保留有同生沉积的纹层构造和后生叠加改造的脉状构造。脉状硫化物 Sr 同位素及含矿石英脉的 Ar 同位素定年分别给出 329 Ma 和 211.3 Ma, 说明脉状硫化物的成矿时限在 329 ~ 211 Ma 左右。由于该年龄明显小于矿体围岩的 Sm-Nd、Rb-Sr 年龄, 所以该年龄反映了碧口群矿床的后期叠加成矿的时间。

**关键词:** 碧口群; 成矿时限; 同位素

**中图分类号:** P58; P611

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-1552(1999)04-368-05

## 1 引言

造山过程导致岩石发生强烈变形、变位或变质作用。变质、变形过程使存在于颗粒边界的粒间水、结构水由于脱水作用而在可能使流体沿一定的裂隙或断裂在某些有利的空间相对富集。而流体的活动不仅可以诱发或促进岩石的蚀变、熔融, 而且对变质流体的成矿具有重要控制作用。变质流体的成岩、成矿作用与造山的构造动力学过程密切相关, 其活动的时间和空间受造山过程的演化阶段、性质控制。造山过程伴随的成矿作用关系, 是通过造山过程流体活动的控制相联系的。研究流体随造山过程不同演化阶段的活动规律, 是研究区域成矿作用时、空结构特点的重要内容。矿床的分布与造山过程除具密切的空间关系外, 其成矿时代则与造山过程不同阶段有关。流体活动时间传统上是通过其蚀变产物定年来确定的, 但在某些情况下, 因热液蚀变不明显或者不彻底, 蚀变岩石的同位素系统很难达到均一化, 因而不能给出可靠的年龄。近年来, 随着同位素分析技术水平的提高, 一些含量极微矿物 (如硫化物 [1995, Christensen 等; 1993, 1990, Nakai 等]、石英 [1994, 陈好寿; 1994, 邱华宁]) 也已成为同位素定年的对象。本文拟以碧口群铜矿床为例, 通过对改造成因的硫化物 Rb-Sr 同位素和热液石英 Ar-Ar 同位素的测年, 限制变质成矿作用的时限, 并在此基础上, 探讨成矿作用与造山过程之间可能存在的关系。

收稿日期: 1999-05-18; 改回日期: 1999-08-25

基金项目: 国土资源部攻关项目 (批准号: 9502002) 和国家攀登计划 (批准号: 95-预-39) 联合资助。

作者简介: 丁振举 (1965-), 男, 博士, 矿床与地球化学专业。

## 2 碧口地体铜成矿的地质背景

碧口地体呈楔状被夹持在扬子古陆块和秦岭造山带之间(图1)。碧口地体作为构造上相对独立的块体,是由太古界、元古界等不同时代、岩性的地层经构造多期变形叠加、改造,以岩片形式堆积在一起的复杂地质体。区域上除发育中元古界碧口群之外,尚有太古界鱼洞子群、新元古界豆坝群、横丹群、雪花太平群、震旦系等。碧口地体普遍缺乏古生界地层,中生界白垩系仅在地体边缘山间盆地局部发育,与北侧勉-略构造带发育D-T的地层及地体南侧发育巨厚的早古生界形成鲜明的对照。碧口地体缺失上覆盖层,说明其长期处于隆升状态。

碧口群作为本区铜矿床的主要产出层位,是中元古代沿扬子古陆块北缘裂解的的产物[1996,夏林圻等],主要由细

碧质-角斑质海相火山岩组成。铜矿床直接赋存于火山岩系顶部的富铁硅岩中,是由同火山喷流沉积形成。后期伴随变质、变形作用的进一步叠加改造,铜矿发生局部的富集。所以矿石组构中既保留由早期喷流沉积形成的层纹状构造,也出现了由后期热液沿裂隙充填形成的黄铜矿脉和含石英脉状构造。本区铜矿床是典型的受变质改造的同生喷流沉积矿床。

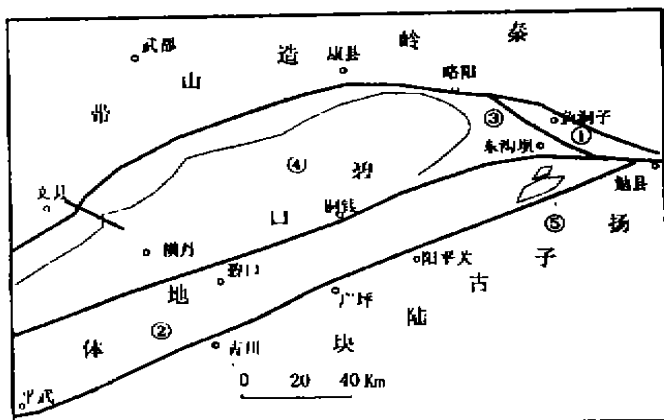


图1 研究区地质略图

1-鱼洞子群(Ar<sub>3</sub>); 2-碧口群(Pt<sub>3</sub>); 3-豆坝群(Pt<sub>3</sub>);

4-横丹群(Pt<sub>3</sub>); 5-雪花太平群(Pt<sub>3</sub>)

1-Yudongzi Group(Ar<sub>3</sub>); 2-Bikou Group(Pt<sub>3</sub>); 3-Douba Group(Pt<sub>3</sub>);

4-Hengdang Group(Pt<sub>3</sub>); 5-Xuehuataiping Group(Pt<sub>3</sub>)

Fig. 1 Geological sketch map of the study region

## 3 碧口群铜矿成矿的成矿时限

### 3.1 碧口铜矿床硫化物 Rb-Sr 同位素组成及年代意义

本次选取碧口群铜矿床广泛发育的脉状黄铜矿作为 Rb-Sr 同位素测试对象,以确定脉状硫化物的形成时间。对硫化物同位素分析按如下流程进行:先将样品粗选、碎分、水洗、磁选并在双目镜下进一步提纯;对提纯样品进一步碎至 60~80 目,分别用丙酮和四氯化碳清洗 2~3 次,让其在室温下缓慢溶解于王水溶液中;待样品完全溶解后将其蒸干,用高纯去离子水溶解蒸干样品,然后在树脂柱上进行 Rb、Sr 分离。分析过程中用 Rb、Sr 本底和 GBW04411 标准样监控 Sr 同位素制样过程和准确度。实验室的 Rb 本底为  $6.5 \times 10^{-9}$  g, Sr 本底为  $2.6 \times 10^{-10}$  g。质谱仪为 Finnigan MAT261。分析结果见表 1。

根据 7 个样品数据的最小二乘法拟合,得到对应的等时线年龄为  $329.4 \pm 29$  Ma(图 2),并得到硫化物的初始 Sr 比值为 0.7112。由于硫化物初始 Sr 比值分别大于同时期幔和亏损地幔的 Sr 同位素比值(0.7043, 0.7023; 地幔和亏损地幔 Sr 比值分别据 CHUR:  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7047$ ,  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr} = 0.0847$  和 DM:  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7026$ ,  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr} = 0.0541$ [1994, Liu 等],  $\lambda = 1.42 \times 10^{-11}$ /年计算),也大于 330 Ma 时碧口群细碧岩 Sr 同位素比值 0.7082,但低于角斑质

表 1 碧口群铜矿床矿石硫化物 Sr 同位素分析结果

Table 1 Sr isotopic analysis results of ore sulfide of copper deposit, Bikou Group

样 品	测试对象	产 状	Rb ( $\times 10^{-4}$ )	Sr ( $\times 10^{-4}$ )	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \pm 1\sigma$
1	黄铜矿	脉 状	0.16167	0.61456	0.75894	$0.71475 \pm 0.00023$
2	黄铜矿	脉 状	0.31706	0.51403	1.78044	$0.72008 \pm 0.00031$
3	黄铜矿	脉 状	0.03357	0.75268	0.12864	$0.71048 \pm 0.00009$
4	黄铜矿	脉 状	0.01491	0.66653	0.06453	$0.71308 \pm 0.00006$
5	黄铜矿	脉 状	3.7228	3.7730	2.8494	$0.72456 \pm 0.00006$
6	黄铜矿	脉 状	0.13691	0.3655	1.0808	$0.71570 \pm 0.00011$
7	黄铜矿	脉 状	0.55038	1.0651	1.4913	$0.71814 \pm 0.00020$

分析单位:中国地质大学同位素实验室,分析者:王林森

火山岩的 Sr 同位素比值 0.7130(据夏林圻(1996)计算。)所以推测脉状硫化物中的 Sr 可能通过变质流体的作用而来源于角斑质火山岩和细碧岩。因为对 Sr 同位素随水-岩反应过程流体/岩石比改变的变化趋势模拟证明,单由细碧岩与变质流体的水-岩交换,即便在水-岩比达到非常大时(如 1000 时),也不足以形成硫化物 Sr 同位素的组成,说明硫化物 Sr 同位素组成的形成需要相对富放射性 Sr 的角斑质火山岩的参入。模拟结果进一步显示角斑质火山岩在水/岩比不超过 10 条件下的参入是硫化物 Sr 同位素组成的形成必要条件。同时,硫化物 Rb-Sr 同位素年龄与围岩时代(1.6 Ga, Sm-Nd[1996, 张宗清等]; 0.734 ~ 1.39Ga, Rb-Sr [1990, 赵祥生])存在明显差异,说明硫化物是在后期构造作用过程中的热液产物。所以有理由相信硫化物 Rb-Sr 等时线年龄代表着脉状硫化物形成时间。

### 3.2 石英 $^{39}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}$ 年龄及意义

脉状石英是造山过程中由岩石脱硅形成的富硅热液沿裂隙充填、沉淀的产物。本次采集与脉状硫化物同一地点的含矿脉状石英样品进行 Ar-Ar 年龄测定,以研究成矿时间的下限。石英经分离、提纯,取 0.4 g 经中子照射(照射参数  $J=0.01038$ ),辐照后的样品在中国科学院地质研究所 Ar-Ar 定年实验室用英国 VSS 公司 RCA-10 气体质谱计测试完成。其分步升温测定的 Ar-Ar 同位素结果及其对应的石英谱系年龄图分别见表 2 及见图 3(左)。由图 3 看出,石英的年龄谱图总体为“马鞍”状。由于  $(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$  与  $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$  在加热的初始阶段和晚期阶段较大,所以“马鞍”状样式可能与该阶段相对较多的大气 Ar 组分混入有关。从图中可以看出在分步加热的 3~6 阶段,形成相对稳定的年龄坪,对应的坪表观年龄为  $211.3 \pm 1.1$  Ma。为进一步验证该坪年龄的可靠性,作出 3~6 阶段的  $^{39}\text{Ar}/^{38}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  等时线图,其对应的等时线年龄为  $206.1 \pm 6.1$  Ma(图 3 右),该年龄在误差范围内与坪年龄一致。说明 3~6 阶段石英释放出的氩未受到大气混入氩的明显影响,所以其年龄应代表石英形成的时间,也就可以限定成矿作用的下限时间。

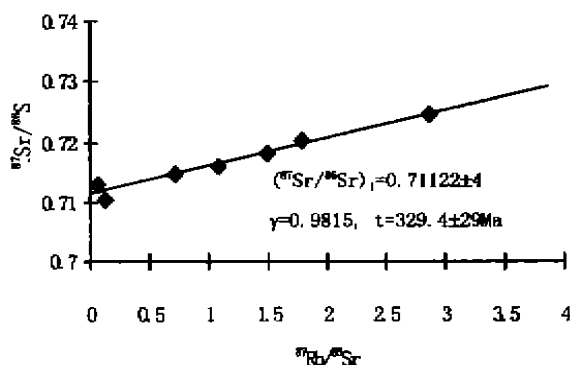


图 2 碧口群铜矿床硫化物 Rb-Sr 等时线

Fig. 2 Rb-Sr isotope isochron of sulfide of copper deposit, Bikou Group

表2 石英 Ar-Ar 同位素分析结果

Table 2 Ar-Ar isotopic analysis results of quartz

加热 阶段	加热温度 ℃	( <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) m	( <sup>36</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) m	( <sup>37</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) m	( <sup>38</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) m	<sup>39</sup> Ar <sub>N</sub> 10 <sup>-12</sup> mol	( <sup>40</sup> Ar*/ <sup>39</sup> Ar <sub>N</sub> ) ±1σ	<sup>39</sup> Ar <sub>N</sub> %	视年龄 t±1σMa
1	460	151.43	0.3714	3.1074	0.2143	0.08	42.5±0.47	3.95	658.7±2
2	640	101.08	0.2473	4.0964	0.2043	0.11	28.7±0.31	5.42	470.2±1
3	780	35.676	0.0811	3.3127	0.1622	0.17	12.1±0.11	8.37	213.0±4
4	900	23.273	0.0394	2.4819	0.1030	0.38	11.8±0.07	18.7	209.5±3
5	1000	20.335	0.0293	2.8597	0.0962	0.55	11.9±0.07	27.1	210.7±3
6	1100	27.931	0.0552	5.4678	0.2552	0.34	12.2±0.09	16.7	214.1±4
7	1250	57.037	0.1173	10.472	0.6914	0.19	23.5±0.18	9.36	393.5±8
8	1400	98.077	0.2115	11.062	0.5192	0.12	36.9±0.31	5.97	585.7±8
9	1600	152.37	0.3553	10.101	0.4474	0.09	48.9±0.49	4.43	741.1±2

测试单位:中国科学院地质研究所 Ar-Ar 定年实验室,分析测试者:桑海清,裘冀

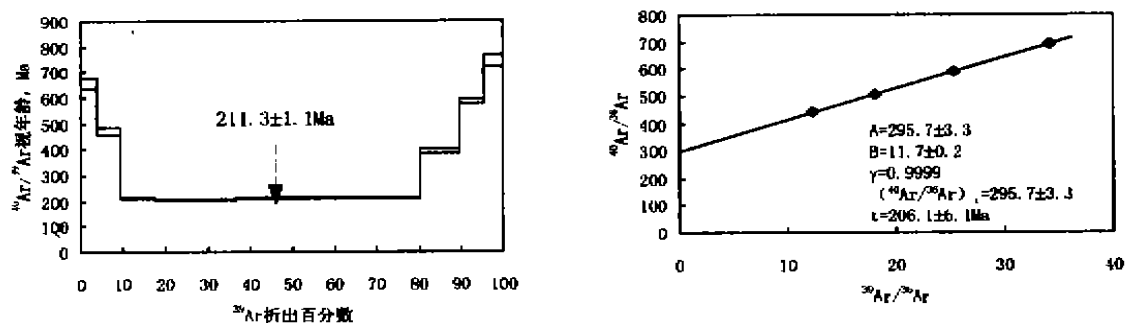


图3 石英 Ar-Ar 年龄谱系图(左)与对应加热 3~6 阶段的等时线图(右)

Fig. 3 Spectrum of dates calculated from <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar ratios of gas fraction released by incremental heating of neutron irradiated quartz (left) and isochron corresponding incremental heating stage from 3<sup>rd</sup> to 6<sup>th</sup> (right)

综上所述,硫化物 Rb-Sr 及石英 Ar-Ar 同位素定年分别给出年龄:329 Ma 和 211.3 Ma,分别对应着流体活动的两个阶段,即石炭纪和三叠纪,可能反映了碧口群铜矿的两个重要改造成矿时期。

## 4 结论

碧口铜矿床为沉积-变质改造型矿床。以脉状硫化物和含铜石英脉为代表的改造成矿的产物的 Rb-Sr、Ar-Ar 年龄显示,改造成矿发生在此 330~220 Ma 左右,与勉略构造带的发育具有一定的对应关系。硫化物的 Sr 同位素组成表明,Sr 主要源于细碧岩和角斑岩,相对富放射成因 Sr 同位素的角斑岩的参与是十分重要的,进一步证明脉状硫化物的改造成因属性。

## 参考文献:

- 1990 Nakai S, Halliday A N, Kesler S E, et al. Rb-Sr dating of sphalerite and genesis of MVT deposits[J]. *Nature*, 346: 354 - 357.
- 1990 赵祥生, 马少龙, 邹湘华, 等. 秦巴地区碧口群时代层序、火山作用及含矿性研究[J]. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, 29: 55 - 812.
- 1993 Nakai S, Halliday A N, Kesler S E, et al. Rb-Sr dating of sphalerite from Mississippi Valley-type (MVT) ore deposits[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57: 417 - 427.
- 1994 陈好寿. 同位素地球化学研究[M]. 杭州: 浙江大学出版社.
- 1994 Liu C Q, Masuda A, Okada A, et al. Isotope geochemistry of Quaternary deposits from the arid lands in northern China[J]. *Earth and Planetary Letters*, 127: 25 - 38.
- 1994 邱华宁, 戴潼漠, 蒋志平. 滇西泸水钨锡矿床  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  法成矿年龄研究[J]. 地球化学(增刊), 23: 93 - 102.
- 1995 Christensen J N, Halliday A N, Leigh K E, et al. Direct dating of sulfides by Rb-Sr: A critical test using the Polariss Mississippi Valley-type Zn-Pb deposit[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59: 5191 - 5197.
- 1996 夏林圻, 夏祖春, 徐学义. 南秦岭中晚元古代火山岩性质与前寒武大陆裂解[J]. 中国科学(D 辑), 26(3): 237 - 243.
- 1996 张宗清, 张国伟, 付国民, 等. 秦岭变质地层年龄及其构造意义[J]. 中国科学(D 辑), 26(3): 216 - 222.

## THE METALLOGENIC TIME OF COPPER DEPOSIT IN BIKOU TERRANE

DING Zheng-ju<sup>1,2</sup>, LIU Cong-qiang<sup>1</sup>, YAO Shu-zhen<sup>2</sup>, ZHOU Zong-gui<sup>2</sup>

(1. *Institute of Geochemistry, Academia Sinica, Guiyang 550002, China*)

(2. *Resource college, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China*)

**Abstract:** The copper deposits in the Bikou Group were exhalated to deposit on seafloor in the Proterozoic era and deformed by metamorphic processes later. The deposits with early lamination sedimentary structure and later overprint vein structure are classified into deformed-sedimentary type of ore deposit. Isotopic dating of vein sulfide and ore-bearing quartz show 329 Ma for Rb-Sr and 210 Ma for Ar-Ar, respectively. It indicates that the vein sulfide had generated during from about 329 Ma to 211 Ma. Because the isotope ages are younger than both wall rock Sm-Nd and Rb-Sr, the ages reflect the superimposed mineralization time of the Bikou Group copper deposits.

**Key words:** Bikou terrane; metallogenic time; isotope