

# 东川桃园式铜矿 Ar-Ar 同位素年龄及意义

叶霖<sup>1,2</sup>, 刘玉平<sup>1</sup>, 李朝阳<sup>1</sup>, 刘家军<sup>1</sup>

(1. 中国科学院地球化学研究所矿床开放实验室, 贵州 贵阳 550002;  
2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**【摘要】** 通过对东川桃园铜矿与铜矿共生石英的<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar同位素年龄的测定,得到马鞍形年龄谱,其坪年龄为768.43 Ma±0.58 Ma,等时线年龄为770.00 Ma±5.44 Ma。该矿床后期改造作用明显,并非同生沉积或成岩作用早期成矿,而与晋宁期Rodinia大陆裂解有关。东川铜矿的形成可能是在Rodinia大陆裂解时,从深部带来大量成矿物质改造成岩时期初始的矿化,形成矿床的叠加富集和最终定位,因此,晋宁-澄江期是东川铜矿的主成矿期。

**【关键词】** 东川;桃园式铜矿;<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar同位素年龄;晋宁期

中图分类号:P597+.3 文献标识码:A

文章编号:1001-6872(2004)02-0057-04

成矿年代学一直是矿床学研究的首要问题,自20世纪60年代中叶Merrihue CM和Turner G<sup>[1,2]</sup>建立的<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar计时方法得到了迅速发展。地质样品中<sup>39</sup>K经中子活化转化为<sup>39</sup>Ar,现代气体质谱计可以精确测定样品中微量Ar,根据<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar比值计算年龄,因此,<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar计时技术具有更高精度的特点,使含微量钾矿物或流体包裹体定年成为可能,国内外学者已经在这方面取得许多重要成矿年龄数据<sup>[3~5]</sup>。

东川铜矿是我国重要的铜矿类型,广义上的东

川式铜矿包括赋存于昆阳群因民组紫色层的稀矿式铜矿、昆阳群落雪组白云岩中汤丹式铜矿(狭义东川式铜矿)、昆阳群黑山组底部桃园式铜矿以及上震旦统陡山沱组不整合面上的烂泥坪式铜矿。桃园式铜矿主要分布在东川矿区南部成矿带的汤丹桃园和北部矿带的落雪天宝山、老山、贪花山、大莽地等处,虽然除汤丹桃园铜矿床具有中型规模以外,一般含矿层较薄,矿化连续性差,矿体零星,规模小,但由于该类矿床品位高,一般大于一般1%,是东川矿区主要工业矿床类型之一。

收稿日期:2004-01-30; 改回日期:2004-04-12

基金项目:中国科学院知识创新工程项目(编号:KZCX2-101),中国科学院矿床地球化学开放实验室基金

作者简介:叶霖,男,34岁,副研究员(博士),矿床地球化学专业,研究方向:有色金属矿床地球化学。

## 1 矿区及矿床地质特征

桃园式铜矿主要赋存于黑山组一段底部,在落雪老山、贪花山、大莽地等地段于落雪组顶部青灰色细晶白云岩中,也有部分小矿体存在。黑山组地层的Pb-Pb同位素年龄为 $1\ 607\text{ Ma}\pm 128\text{ Ma}$ ,其下伏地层落雪组白云岩Pb-Pb同位素年龄为 $1\ 716\text{ Ma}\pm 56\text{ Ma}$ (常向阳等,1997<sup>[6]</sup>)。黑山组由下往上分为三个岩性组合段,一段:为黑色碳质白云质板岩夹粘土岩,含黄铁矿,厚445 m,底部局部赋存“桃园式”铜矿床;二段:为深灰色薄至中层泥灰岩夹板岩,厚757 m;三段:上部为碳质板岩,下部为绢云板岩夹基性火山碎屑岩,厚584 m。岩石中普遍具有石英脉、石英白云石脉,铜矿常呈散点状及不连续的粗脉、细脉沿岩石层理和裂隙分布,也常与石英白云石脉伴生。此外,在矿体下盘落雪组顶部的青灰色泥质硅质白云岩中也偶有矿化现象,有时也构成工业矿体。

**矿体规模及形态:**矿体呈似层状、透镜状沿落雪组与黑山组的接触线展布,其产状与岩层一致。走向北 $10^{\circ}$ 东、倾向西,倾角 $65^{\circ}\sim 80^{\circ}$ ,为陡倾斜矿体。矿体平均厚度3.44 m,最高品位3.73%,平均品位1.20%。

**矿物组分及结构构造:**铜的硫化物以黄铜矿为主,约占9%,铜蓝约占1%,尚有少量辉铜矿;铜的氧化物主要为孔雀石,约占60%,其次为硅孔雀石,约占30%,有微量赤铜矿,其他金属矿物有黄铁矿、褐铁矿及少量赤铁矿。脉石矿物主要为绢云母,约占55%,白云石、石英各占20%,碳泥质约占5%,有微量金红石及电气石。常见浸染状构造、条带状构造、

网脉状构造、被膜状构造等。钴和银是该矿床的主要伴生元素,但在矿体上、下盘围岩中含量极低,钴在铜矿体中的质量分数都在0.01%以上,最高达0.132%,尚未发现钴的独立矿物,铜矿体中银含量一般品位为 $1.6\times 10^{-3}$ 。

## 2 分析测试方法何技术

样品采自东川矿区汤丹桃园铜矿石中共生石英,样品在中国原子能科学研究院49-2反应堆H8孔道进行快中子照射,使样品中的 $^{39}\text{K}(n,p)^{39}\text{Ar}$ 核反应变成 $^{39}\text{Ar}$ ,照射时间为53 h,积分中子通量为 $1.23\times 10^{18n}/\text{mm}^2$ ,用于监测中子通量的标准样为:中国标准样ZBJ角闪石和ZBH-25黑云母、法国标准样B600黑云母、澳大利亚标准样77600角闪石、国际标准样BSP-1角闪石,其年龄分别为 $132.8\text{ Ma}\pm 1.4\text{ Ma}$ , $132.7\text{ Ma}\pm 1.2\text{ Ma}$ , $322\text{ Ma}$ , $414.5\text{ Ma}\pm 3.7\text{ Ma}$ 和 $2\ 060\text{ Ma}\pm 8\text{ Ma}$ 。用RGA-10(MS-10)质谱计测量氩同位素,原始数据做了时间零点,质量歧视,分馏效应,空白本底和K,Ca,Cl干扰同位素及 $^{37}\text{Ar}$ 放射性衰变校正。 $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$ 比值和年龄误差以 $1\sigma$ 计。

## 3 实验结果

桃园铜矿富矿石中与铜矿化同时生成的石英DC-16 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 测定结果见表1,表中下脚标m代表测定值, $^{40}\text{Ar}^*$ 代表放射成因氩。其年龄谱表现为两侧高,中间低的马鞍形(图1)年龄谱,Lanphere等<sup>[7]</sup>(1976)曾指出: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 呈马鞍形年龄谱可用来判断岩浆岩、岩石和矿物中的过剩氩,这种年龄谱

表1 样品Dc-16 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 快中子活化法地质年龄数据表

Table 1  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  dating data of the quartz Dc-16 by fast neutron activation method

加热阶段	加热温度/ $^{\circ}\text{C}$	$(^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar})_m$	$(^{36}\text{Ar}-^{39}\text{Ar})_m$	$(^{37}\text{Ar}-^{39}\text{Ar})_m$	$(^{38}\text{Ar}-^{39}\text{Ar})_m$	$^{39}\text{Ar}_k/10^{-12}\text{mol}$	$(^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar})\pm 1\sigma$	$^{39}\text{Ar}_k/\%$	视年龄 $t\pm 1\sigma/\text{Ma}$
1	400	100.60	0.161 61	0.735 18	0.511 11	1.147	$53.19\pm 0.096$	10.2	$964.73\pm 72.32$
2	480	64.830	0.084 7	0.598 66	0.275 42	2.736	$39.98\pm 0.043$	24.4	$768.97\pm 28.15$
3	568	63.333	0.079 9	0.833 43	0.377 33	1.739	$39.91\pm 0.049$	15.5	$767.94\pm 31.92$
4	650	76.666	0.125 00	1.213 0	0.566 66	1.112	$40.07\pm 0.074 1$	9.93	$770.35\pm 47.11$
5	780	84.242	0.151 51	1.362 2	0.793 93	0.764 8	$39.88\pm 0.098$	6.83	$767.44\pm 62.17$
6	900	96.076	0.192 30	1.465 5	0.742 30	0.602 5	$39.72\pm 0.105 5$	5.38	$764.91\pm 66.25$
7	1 050	95.588	0.176 47	1.410 3	0.808 82	0.788 0	$43.90\pm 0.110 0$	7.03	$829.27\pm 73.62$
8	1 200	103.72	0.139 53	1.324 2	0.676 74	0.996 6	$62.89\pm 0.110 1$	8.90	$1\ 096.15\pm 91.01$
9	1 350	131.61	0.193 54	1.602 0	0.909 67	0.718 4	$74.96\pm 0.166 7$	6.41	$1\ 247.30\pm 150.56$
10	1 500	159.41	0.196 07	1.393 5	0.905 88	0.591 0	$102.0\pm 0.223 3$	5.27	$1\ 546.08\pm 232.25$

注:中国科学院地质所Ar-Ar法定年实验室,桑海清分析测试

的最小值接近样品的结晶年龄,在一些样品中甚至可以得到正确的年龄值。因此,本文所测得的样品最

低视年龄可认为与桃园含铜石英脉的结晶年龄基本一致,即图1中2阶段—5阶段构成一条较平坦的

谱线,对应的坪年龄  $t_p = 768.43 \text{ Ma} \pm 0.58 \text{ Ma}$ 。其  $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  等时线年龄为  $770.00 \text{ Ma} \pm 5.44 \text{ Ma}$ ,与坪年龄相似。

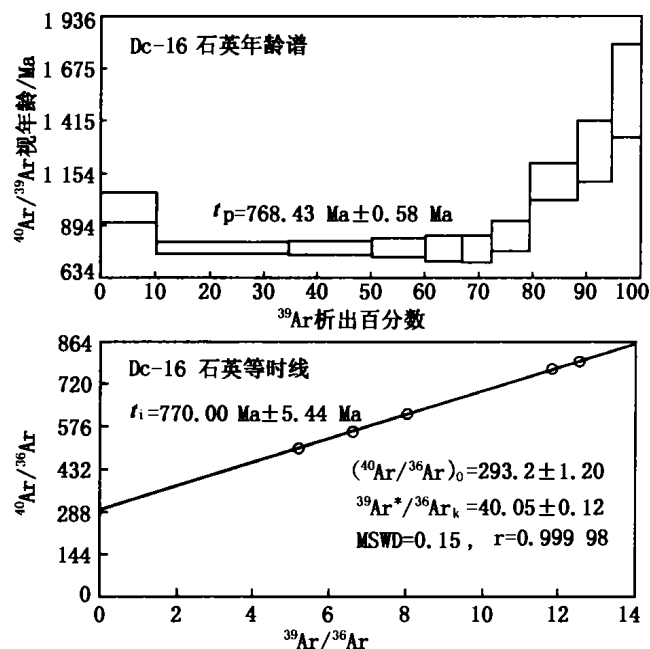


图 1 样品 Dc-16  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  年龄谱与等时线图

Fig. 1 Age spectra and normal isochron diagram based on the  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  analytical date for quartz Dc-16

## 4 总结与讨论

关于东川铜矿的成因观点很多,主要有红层汲取-藻控成矿-构造富集<sup>[8]</sup>、沉积-改造<sup>[9]</sup>、喷流沉积成因等<sup>[10]</sup>,但前人所做的成矿年龄数据很少,杨应选等(1988<sup>[11]</sup>)采用矿石 Pb 同位素模式年龄方法获得落雪组东川式铜矿年龄  $1672 \text{ Ma}$ ,认为东川式铜矿属于同生或早期成岩阶段成矿;陈好寿等<sup>[12]</sup>(1992)采用 Pb-Pb 等时线法获得因民铜矿脉状硫化物年龄  $530 \text{ Ma}$ ,这一年龄可能代表东川多期成矿较晚一期成矿作用发生的时间。近年随着一批新的同位素年龄数据的发表,对整个东川式铜矿的认识有所改变,研究结果得到汤丹矿 1 号矿体脉状石英流体包裹体  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  等时线年龄为  $712 \text{ Ma} \pm 33 \text{ Ma}$ (邱华宁等,1997<sup>[13]</sup>)和  $778 \text{ Ma} \pm 31 \text{ Ma}$ (邱华宁等,

1998<sup>[14]</sup>);落雪稀矿山段落雪组角砾状铜矿的硅质角砾富钾矿物微晶的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  反等时线年龄为  $696 \text{ Ma} \pm 57 \text{ Ma}$ (邱华宁等,2000<sup>[15]</sup>),汤丹落雪组铜矿的 Pb-Pb 等时线年龄为  $794 \text{ Ma} \pm 73 \text{ Ma}$ (邱华宁等,1997<sup>[13]</sup>);更重要的是落雪矿老山层状铜矿的石英流体包裹体  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  等时线年龄为  $807 \text{ Ma} \pm 25 \text{ Ma}$ ,样品粉末  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  等时线年龄为  $782 \text{ Ma} \pm 5 \text{ Ma}$  和  $776 \text{ Ma} \pm 18 \text{ Ma}$ (邱华宁等,2002<sup>[16]</sup>)。不仅表明东川矿区的脉状矿属于后期改造成因,而且“典型的东川式”层状铜矿并非沉积成因,而与脉状铜矿一样,也是热液成因的,说明晋宁-澄江期是东川铜矿的主成矿期。

桃园铜矿床虽赋存一定层位,但其后期的构造改造富集作用较为明显,通常在层间纵向断裂及其与规模较大的横断层交汇部位,往往形成富厚铜矿体,且随着断层距离的增大,矿体逐渐变薄以至尖灭,整个桃园式铜矿的富厚矿体受-纵向层间断裂的控制明显,因此可以认为该类矿床并非同生沉积或成岩早阶段成矿,而是后期热液交代充填成矿。参考东川矿区汤丹式铜矿、脉状铜矿的成矿年龄( $696 \text{ Ma} \sim 807 \text{ Ma}$ ),本文对东川桃园铜矿与铜矿共生石英  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  同位素年龄分析结果得到其坪年龄为  $768.43 \pm 0.58 \text{ Ma}$  和等时线年龄为  $770.00 \text{ Ma} \pm 5.44 \text{ Ma}$  可以代表铜矿形成年龄,表明桃园式铜矿的主矿化期应该是晋宁期。东川矿区晋宁期-澄江期岩浆活动强烈<sup>[10]</sup>,有大量辉长、辉绿岩和钠长闪长细晶岩出露,其  $w(\text{Cu})$  高( $64 \times 10^{-6} \sim 1988 \times 10^{-6}$ , 平均  $901.2 \times 10^{-6}$ ),且一些辉长、辉绿岩中或接触带都有铜矿化或铜矿加富的现象,此外,黄铁矿单矿物具有 Co 含量高,Co/Ni 比值大(1.7~11.4, 平均 6.55),S/Se 比值小(平均 994)等特点<sup>[17]</sup>,说明成矿物质和深部热液有关。由此可以看出晋宁-澄江期是东川铜矿的主成矿期,与 Rodina 大陆裂解的时限( $900 \text{ Ma} \sim 700 \text{ Ma}$ <sup>[18,19]</sup>)相吻合,因此,东川铜矿的形成是在 Rodinia 大陆裂解时,从深部带来大量成矿物质改造成岩时期初始的矿化,形成矿床的富集和最终定位。

## 参考文献

- [1] Merrihue C M. Trace-element determinations and potassium-argon dating by mass spectroscopy of neutron-irradiated samples[J]. *Trans Amer Geophys Union*, 1965, 46: 125.
- [2] Merrihue C M, Turner G. Potassium-argon dating by activation with fast neutrons[J]. *J Geophys Res*, 1966, 71: 2 852-2 857.
- [3] 邱华宁,戴檀.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  法测定矿物流体包裹体年龄[J]. *科学通报*, 1989, 34(9): 687-689.
- [4] 胡达骥,罗桂玲. 河北张宣金矿区含金石英脉  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  年龄[J]. *地质科学*, 1994, 29(2): 151-158.
- [5] Lippolt H J, Fuhrmann U, Hradetzky H.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age determination of sanidines of the Eifel volcanic field (Federal Republic of Germany): constraints on age duration of a Middle Pleistocene cold period[J]. *Chem Geol (Isot. Geosci. Sect.)*, 1986, 59: 187-204.

- [6] 常向阳,朱炳泉,孙大钟,等. 东川铜矿同位素地球化学研究: I. 地层年代与铅同位素化探应用[J]. *地球化学*, 1997, 26(2): 32-28.
- [7] Lanphere M A, Dalrymple C B. Identification of excess  $^{40}\text{Ar}$  by the  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age spectrum technique[J]. *Earth Planet Sci. Lett.*, 1976, 32: 141-148.
- [8] 冉崇英. 东川层控铜矿的成矿模式[J]. *中国科学(B辑)*, 1983, (3): 249-257.
- [9] 华仁民. 中国中元古代裂谷作用及其对层控铜矿床的控制[J]. *大地构造与成矿学*, 1989, 13(2): 150-160.
- [10] 龚林, 何毅特, 陈天佑, 等. 云南元古宙裂谷型铜矿[M]. 冶金工业出版社, 1995, 1-72.
- [11] 杨应选, 仇定茂, 阙梅英, 等. 西昌-滇中前寒武系层控铜矿(西昌-滇中地区地质矿产科研丛书)[M]. 重庆: 重庆出版社, 1988, 1-382.
- [12] 陈好寿, 冉崇英. 康滇地轴铜矿床同位素地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1992, 33-40.
- [13] 邱华宁, 孙大钟, 朱炳泉, 等. 东川铜矿同位素地球化学研究: I.  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  法成矿年龄测定[J]. *地球化学*, 1997, 26(2): 39-45.
- [14] 邱华宁, 孙大钟, 朱炳泉, 等. 东川汤丹铜矿床石英真空击碎及其粉末加热 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  年龄谱的含义[J]. *地球化学*, 1998, 27(4): 335-343.
- [15] 邱华宁, 孙大钟, 朱炳泉, 等. 东川铜矿硅质角砾 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  定年探讨[J]. *地球化学*, 2000, 29(1): 21-27.
- [16] 邱华宁, Wijbrans J R, 李献华, 等. 东川式层状铜矿 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  成矿年龄研究; 华南地区晋宁-澄江期成矿作用新证据[J]. *矿床地质*, 2002, 21(3): 129-136.
- [17] 吴健民, 刘肇昌, 黎功举, 等. 扬子地块西缘铜矿床地质[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1998, 207-210.
- [18] Powell C M, Li Z X, McElhinny M W, *et al.* Paleomagnetic constrains on timing of the Neoproterozoic breakup of Rodinia and the Cambrian formation of Gondwana: where is it? [J]. *J African Earth Sci*, 1993a, 23: 271-287.
- [19] Torsvik T H, Smethurst M A, Meert J G, *et al.* Continial break-up and collision in the Neoproterozoic and Paleozoic: a tale of Baltica and Laurentia[J]. *Earth-sci Revs*, 1996, 40(3-4): 229-258.

## THE Ar-Ar ISOTOPIC AGE IN DONGCHUAN TAOYUAN TYPE COPPER DEPOSIT, YUNNAN PROVINCE AND ITS SIGNIFICANCE

YE Lin<sup>1,2</sup>, LIU Yu-ping<sup>1</sup>, LI Chao-yang<sup>1</sup>, LIU Jia-jun<sup>1</sup>

1. *Open Lab. of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;*  
2. *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*

**Abstract:** The selliform age spectrum was revealed by determining  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  isotopic age in Dongchuan Taoyuan type copper deposit. The result shows that the minerogenetic age is Jinning period (784 Ma). It is obvious that the deposit was reformed by later hydrothermal activity. In fact, the deposit did not belong to idigenous sedimentation or formed in early stage of diagenesis and the mineralization was related with the Jinningian break-up of Rodinia. It was indicated that Jinningian-Chunjiangian was the main mineralization stage in Dongchuan copper deposit, the abundant minerogenetic materials was brought up from the depth, which reformed original mineralization during the Jinningian-chunjiangian break-up of Rodinia, resulting in the ultimate emplacement of Dongchuan copper deposit.

**Key words:** Dongchuan; Taoyuan type copper deposit;  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  isotopic age; Jinningian

ISSN 1001-6872(2004)02-0057-04; CODEN: KUYAE2

**Synopsis of the first author:** Ye Lin, male, 34 years old, an associate professor of ore geochemistry. Now he is engaged in nonferrous metal ore geochemistry.