

文章编号: 1009-3850(2000)02-0074-09

## 脉状黝铜矿型铜矿床的稳定同位素组成 及其成因意义

张立生

(成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082)

**摘要:**脉状黝铜矿型铜矿床是产于兰坪-思茅盆地中的一种新的铜矿床类型。碳酸盐及CO<sub>2</sub>包裹体的 $\delta^{13}\text{C}$ 值大多在-4‰~-7‰之间变化,显示碳来自地幔。矿石中铅同位素组成与盆地中喜马拉雅期碱性岩长石中铅的同位素组成一致,方解石和铁白云石的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值接近或稍高于碱性岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的比值,显示矿石锶、铅与碱性岩锶、铅是同源的,均来自于上地幔。硫化物中硫的 $\delta^{34}\text{S}$ 值大多集中在0~-4‰之间,显示其硫主要是深部来源并有少量的地壳硫参与。包裹体水的 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\text{D}$ 值显示成矿流体的水为大气降水、岩浆水和变质水的混合物。结合其它质、地球化学特征,笔者认为这类矿床的成因类型为壳-幔混合热液成因型。

**关键词:**稳定同位素组成;矿床成因;脉状黝铜矿型铜矿床

中图分类号: P618.41

文献标识码: A

## Stable isotope compositions and their implications for ore genesis of vein tetrahedrite-type copper deposits

ZHANG Li-sheng

*Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China*

**Abstract:** A new type of copper deposits is discovered in the Lanping and Simao Basins. It is named after vein tetrahedrite-type copper deposits.  $\delta^{13}\text{C}$  values for carbonate vein and CO<sub>2</sub> inclusions from the studied deposits range from -4‰ to -7‰, indicating mantle-derived carbon. Pb isotopic compositions for sulfides from the studied ores are comparable to those for feldspar Pb from the Himalayan alkaline rocks and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios for calcite and ankerite are similar to or higher than those for the Himalayan alkaline rocks, indicating mantle-derived Sr and Pb. Most of  $\delta^{34}\text{S}$  values for

收稿日期: 1999-03-10

the sulfide from the studied ores range from 0 to  $-4\text{‰}$  showing mantle-derived sulfur mixed with crustal sulfur.  $\text{D}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  values for water in fluid inclusions reveal that water in ore fluid are derived mainly from meteoric water, secondly, from magmatic water and metamorphic water. Combined with geologic-geochemical features, this paper puts forward that the vein tetrahedrite-type copper deposits belong to mixed mantle-crust hydrothermal genetic type of copper deposits.

**Key words:** stable isotopic composition; implication for ore genesis; vein tetrahedrite-type copper deposits

兰坪-思茅盆地中一种新的铜矿床类型的发现<sup>[1]</sup>, 笔者将其称为脉状黝铜矿型铜矿床<sup>[2]</sup>。笔者根据现有的稳定同位素组成资料, 探讨该矿床的成矿流体和成矿物质来源, 认为矿床的成因类型可称其为幔-壳混合热液型。

## 1 矿床地质特征

兰坪-思茅盆地为位于印度板块与欧亚板块之间的一个微板块, 它的两侧都为板块结合带, 其西为澜沧江结合带, 东为金沙江-哀牢山结合带。在兰坪-思茅盆地的中部为营盘山断裂带, 尹汉辉(1993)称其为兰坪-勐腊中主轴断裂<sup>[3]</sup>。沿此断裂带有一个区域低压力热液变质带, 即营盘山变质带, 其变质年龄值为  $31.6 \sim 24.1\text{Ma}$ <sup>[4]</sup>。沿上述各深断裂带有喜马拉雅期的碱性岩侵入(喷出)于始新统(上), 其同位素年龄值为  $37 \sim 35\text{Ma}$ <sup>[2]</sup>。

脉状黝铜矿型铜矿床在营盘山变质带内沿深断裂带产出。矿体呈大脉状、脉状赋存在上二叠统至古新统的各个地层的不同岩性中, 这是此类型矿床的基本特征; 次为斑铜矿、黄铜矿、锌铜矿等, 在思茅盆地的矿床中尚有雄黄、辰砂等低温矿物出现。脉石矿物则以石英、碳酸盐(方解石)为主, 尤以铁白云石脉发育为特征。

围岩蚀变以硅化和碳酸盐化为主, 铁白云岩脉(菱铁矿)发育为此类矿体的重要特征。

## 2 铅同位素组成

由于铅同位素在地质作用过程中基本上不发生同位素分馏, 因而铅同位素组成特征是成矿物质来源的良好示踪剂。综合现有的铅同位素组成数据(表1), 此类铜矿床矿石铅的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值为  $18.565 \sim 18.956$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值为  $15.556 \sim 15.793$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值为  $38.567 \sim 39.306$ , 而区内喜马拉雅期富碱性岩体的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值为  $18.588 \sim 18.864$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值为  $15.593 \sim 15.826$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值为  $38.739 \sim 39.501$ , 将上述脉状黝铜矿矿床与新生代碱性岩体的铅同位素组成投在 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解上(图1), 可以清楚地看出, 它们的铅同位素组成分布范围完全一致。这表明脉状黝铜矿型铜矿床的矿石铅与喜马拉雅期富钾碱性岩体的长石铅是同源的, 或者说, 此类铜矿床的成矿物质来源与区内喜马拉雅期富钾碱性岩浆岩有某种内在的联系。

## 3 锶同位素组成

兰坪-思茅盆地脉状黝铜矿型铜矿床中共生脉石矿物的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值为  $0.70829 \sim 0.71433$ (表2), 在地球的锶同位素演化曲线图上, 位于地幔与地壳之间, 但较靠近地幔演化

曲线(图2)。脉石矿物中最低 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值属白龙厂矿区方解石样品,其值为0.70829,较接近地幔碳酸岩的最大 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值(0.706),由于方解石不含放射性 $^{87}\text{Rb}$ ,因而方解石所含Sr可代表初始锶,具有指示物源区地球化学性质的意义。同时,我们收集到研究区内喜马拉雅期富钾碱性岩体的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值为0.7072~0.70869,其在地球的锶同位素演化曲线图上,同样也不在地幔演化线上(图2)。从图2可以清楚地看出,白龙厂方解石的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值落在碱性岩 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 各投点的中间,即位置与之吻合。由此可知,脉状黝铜矿矿石中的锶同位素组成与喜马拉雅期富钾碱性岩的锶同位素组成具有相同的特征,它们具有同源的特征。

表1 兰坪-思茅盆地脉状黝铜矿型铜矿床与新生代钾质碱性岩的铅同位素组成

Table 1 Pb isotopic composition for vein tetrahedrite-type copper ores and Cenozoic K-rich alkaline rocks in the Lanping and Simao Basins

| 矿区    | 样号     | 测定矿物   | $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | 资料来源   |
|-------|--------|--------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------|
| 金     | J-3-1  | 石英     | 18.800                            | 15.724                            | 39.082                            | (1)    |
|       | LK-5   | 石英     | 18.750                            | 15.699                            | 39.015                            | (1)    |
|       | J-14   | 黝铜矿    | 18.609                            | 15.613                            | 38.766                            | (2)    |
|       | J-17   | 黝铜矿    | 18.565                            | 15.556                            | 38.567                            | (2)    |
|       | JD-2   | 黝铜矿    | 18.628                            | 15.581                            | 38.605                            | (2)    |
|       | JX-1   | 黝铜矿    | 18.639                            | 15.586                            | 38.615                            | (2)    |
|       | BY-1   | 黝铜矿    | 18.865                            | 15.628                            | 38.896                            | (2)    |
|       | 满      | J-5-1  | 斑铜矿                               | 18.647                            | 15.793                            | 39.240 |
| JD-3  |        | 斑铜矿    | 18.631                            | 15.593                            | 38.887                            | (2)    |
| JX-2  |        | 斑铜矿    | 18.666                            | 15.670                            | 38.842                            | (2)    |
| J-9   |        | 黄铜矿    | 18.633                            | 15.618                            | 38.657                            | (2)    |
| J-5-1 |        | 黄铜矿    | 18.743                            | 15.689                            | 39.044                            | (2)    |
| JD-1  |        | 黄铜矿    | 18.687                            | 15.642                            | 38.775                            | (2)    |
| JX-3  | 黄铜矿    | 18.610 | 15.619                            | 38.741                            | (2)                               |        |
| 大华    | D-1    | 黄铜矿    | 18.626                            | 15.684                            | 38.896                            | (2)    |
| 甸尾    | DW-1   | 黝铜矿    | 18.713                            | 15.664                            | 38.859                            | (2)    |
| 水泄    | S-1-2  | 黝铜矿    | 18.623                            | 15.584                            | 38.689                            | (1)    |
| 帕娃山   | P-2-1  | 黝铜矿    | 18.956                            | 15.746                            | 39.133                            | (1)    |
|       | P-4-1  | 黝铜矿    | 18.677                            | 15.616                            | 38.165                            | (1)    |
| 白龙厂   | B-1-1  | 黝铜矿    | 18.703                            | 15.704                            | 39.165                            | (1)    |
| 瑶家山   | Ya-9-2 | 黝铜矿    | 18.810                            | 15.737                            | 39.306                            | (1)    |
|       | Ya-9-3 | 黄铜矿    | 18.788                            | 15.735                            | 39.298                            | (1)    |
| 卓潘岩体  |        |        | 18.864                            | 15.826                            | 39.501                            | (3)    |
| 剑川岩体  |        |        | 18.625                            | 15.593                            | 38.739                            | (3)    |
| 北衙岩体  |        |        | 18.588                            | 15.670                            | 38.836                            | (3)    |

(1) 据颜文(1993); (2) 据冉崇英(1992); (3) 据尹汉辉(1993)

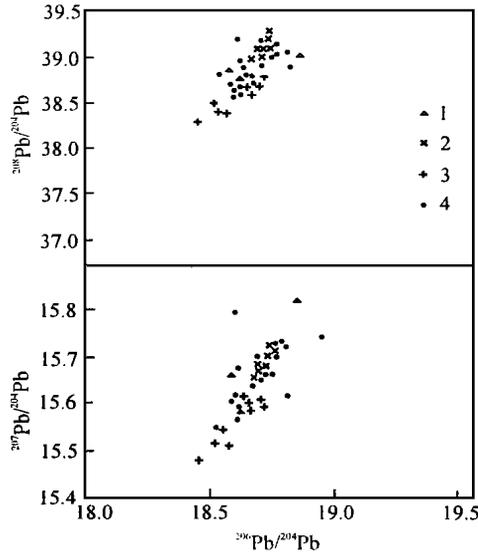


图 1 兰坪-思茅盆地脉状黝铜矿型铜矿床矿石铅与新生代富钾碱性岩的<sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb-<sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb 和<sup>208</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb 图解

1—3. 新生代富钾岩浆岩<sup>[3]</sup>: 1. 喜马拉雅期钾质碱性岩; 2. 海东新生代岩浆岩; 3. 腾冲第四纪火山岩; 4. 脉状黝铜矿型铜矿床

Fig. 1 <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb-<sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb 和<sup>208</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb diagram for the studied vein tetrahedrite-type copper ores and Cenozoic K-rich alkaline rocks in west Yunnan

1—3=Cenozoic K-rich magmatic rock (after Yin Hanhui et al, 1993); 1=Himalayan K-rich alkaline rock; 2=Cenozoic Haidong K-rich magmatic rock; 3=Quaternary Tengchong volcanic rock; 4=vein tetrahedrite-type ores (data in Table 1)

表 2 兰坪-思茅盆地脉状黝铜矿型铜矿床与新生代钾质碱性岩的锶同位素组成

Table 2 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr ratios for the studied vein tetrahedrite type copper ores and the Cenozoic K-rich alkaline rocks

| 矿区   | 样号    | 测定矿物     | <sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr | 资料来源     | 矿区     | 样号     | 测定矿物    | <sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr | 资料来源 |
|------|-------|----------|------------------------------------|----------|--------|--------|---------|------------------------------------|------|
| 金    | LK-5  | 石英       | 0.71433                            | (1)      | 帕娃山    | P-3-1  | 石英      | 0.71027                            | (1)  |
|      | J-5   | 石英       | 0.7125                             | (1)      | 白龙厂    | B-2    | 方解石     | 0.70829                            | (1)  |
|      |       | 重晶石      | 0.711976                           | (2)      |        | B-4    | 重晶石     | 0.70938                            | (1)  |
|      | 满     |          | 铁白云石                               | 0.708740 | (2)    | 卓潘岩体 1 |         | 0.70806                            | (3)  |
|      |       |          | 铁白云石                               | 0.712317 | (2)    | 卓潘岩体 2 |         | 0.70869                            | (3)  |
|      |       | J-13     | 黄铜矿                                | 0.71718  | (1)    | 剑川岩体 1 |         | 0.70732                            | (3)  |
| 黝铜矿  |       |          | 0.71530                            | (1)      | 剑川岩体 2 |        | 0.70867 | (3)                                |      |
| J-41 | 斑铜矿   | 0.725525 | (1)                                | 冷家坪岩体    |        | 0.7072 | (3)     |                                    |      |
| 水泄   | S-1-1 | 重晶石      | 0.71150                            | (1)      |        |        |         |                                    |      |

(1) 据颜文(1993); (2) 据肖荣阁(1991); (3) 据尹汉辉等(1993)

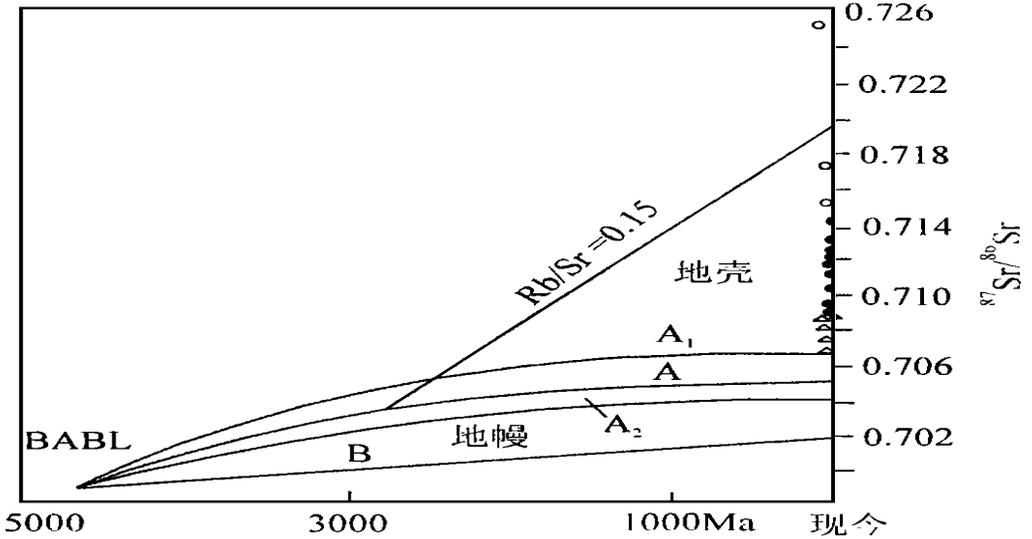


图2 兰坪-思茅盆地脉状黝铜矿型铜矿床脉石矿物(实心)、硫化物(空心)及新生代富钾碱性岩(三角形)的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 图解(仿 Faure, 1977)

Fig. 2  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio evolution diagram for vein minerals (solid circle) and sulfides (open circle) from the studied vein tetrahedrite-type copper ores, and for the Cenozoic K-rich alkaline rocks (triangle) (after Faure, 1977)

需要指出的是,虽然富钾碱性岩浆源于上地幔,但本区碱性岩的锶同位素比值在地球锶同位素演化曲线上的投影却偏离了地幔演化曲线,因为,兰坪-思茅盆地富钾碱性岩的 Pb、Sr、Nd 同位素组成特征揭示本区上地幔存在着 Dupal 异常,而该异常源被认为是岩石圈地幔,这就是本区钾质碱性岩 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值投点偏离地幔源演化曲线的原因。因此,脉状黝铜矿型铜矿床的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值与喜马拉雅期钾质碱性岩 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值投点极为相似,由此可以认为二者具同源性,同时还可认为它们共同来自同一个存在着 Dupal 异常的上地幔。锶同位素数据特征表明,脉状黝铜矿型铜矿床中矿物的锶是幔源的,但硫化物的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值较脉石矿物和碱性岩高,也高于地壳或位于地壳与地幔之间,具有壳-幔物质混合的特点(表2,图2)。

#### 4 碳同位素组成

脉状黝铜矿型铜矿床中碳酸盐矿物的碳和石英中流体包裹体二氧化碳的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  值列于表3中。由表3可知,其碳酸盐的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  值为  $0.85\text{‰} \sim 5.26\text{‰}$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$  值为  $-3.08\text{‰} \sim -10.76\text{‰}$ ,但其主要分布范围为  $-3\text{‰} \sim -7\text{‰}$ ,尤其是在  $-3\text{‰} \sim -5\text{‰}$  的范围内(图3)。由于铜矿床中石墨与碳酸盐不共生,气相/气液包裹体主要为  $\text{CO}_2$  包裹体,或者  $\text{CO}_2$  含量远远高于  $\text{CH}_4$  和  $\text{CO}$ ,因此上述热液脉中的碳酸盐(方解石和铁白云石)和包裹体  $\text{CO}_2$  的  $\delta^{13}\text{C}$  值基本上为成矿流体的  $\delta^{13}\text{C}$  值。

自然界中可能参与成矿作用的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  值主要为生物来源,即有机质分解而成的碳为  $36\text{‰} \sim 10\text{‰}$ ,均值为  $-22\text{‰}$ (Onmoto, 1986),沉积(海相)碳酸盐分解的碳几乎为零,地幔表气

作用即幔源的碳为-3‰~-9‰,均值为-7‰左右<sup>[3]</sup>。

综上所述,脉状黝铜矿型铜矿床的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值表明,成矿源体中的碳属幔源。

表3 兰坪-思茅盆地脉状黝铜矿型铜矿床的碳同位素组成

Table 3 C isotopic composition for the studied vein tetrahedrite-type copper ores

| 矿区  | 样号                            | 测定矿物   | 同位素组成(‰)                           |   | 资料来源 |
|-----|-------------------------------|--------|------------------------------------|---|------|
|     |                               |        | $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ | $\delta^{13}\text{O}_{\text{CO}_2\text{PDB}}$ |      |
| 鸿 尤 | HY1                           | 石英中包裹体 |                                    | -4.89   | (1)  |
|     | HY2                           | 石英中包裹体 |                                    | -3.08   | (1)  |
| 连 城 | L2-5                          |        |                                    | -8.12   | (1)  |
|     | V-11                          | 石英中包裹体 |                                    | -3.36   | (1)  |
|     | L5-3                          | 石英中包裹体 |                                    | -7.28   | (1)  |
| 恩棋  | NQ-4                          | 石英中包裹体 |                                    | -10.76  | (1)  |
| 甸尾  | D-15                          | 石英中包裹体 |                                    | -3.66   | (1)  |
| 金   | JL30-1                        | 石英中包裹体 |                                    | -6.03   | (1)  |
|     | JL30-2                        | 石英中包裹体 |                                    | -3.57   | (1)  |
|     | JZ3-16                        | 石英中包裹体 |                                    | -3.18   | (1)  |
|     | ZK1504-4-1                    | 方解石    | -4.83                              |   | (2)  |
| 满   | ZK1504-4-2                    | 方解石    | -4.83                              |   | (2)  |
|     | JD-1-1                        | 铁白云石   | -4.92                              |   | (3)  |
|     | JD-1-2                        | 方解石    | -4.89                              |   | (3)  |
| 大 华 | D-12                          | 铁白云石   | -5.26                              |   | (3)  |
|     | D-2                           | 方解石    | -5.07                              |   | (2)  |
| 白龙厂 | B-2                           | 方解石    | 0.85                               |   | (3)  |
|     | B-7                           | 方解石    | 0.94                               |   | (3)  |
|     | BL-1                          | 方解石    | -3.04                              |   | (4)  |
| 瑶家山 | Y <sub>a</sub> -1-1           | 方解石    | -3.13                              |   | (3)  |
|     | Y <sub>j</sub> B <sub>2</sub> | 方解石    | -2.50                              |   | (4)  |

(1) 据肖荣阁(1991); (2) 据李峰等(1992); (3) 据颜文(1993); (4) 本课题组(1998)。

## 5 硫同位素组成

表4为现有兰坪-思茅盆地中脉状黝铜矿型铜矿床矿石硫化物硫的同位素组成,图4为这些数据的直方图。由表4和图4可知,其 $\delta^{34}\text{S}$ 值主要集中在0~6‰之间,尤其是0~4‰的范围内。这表明,硫化物中的硫主要是深部来源的,但有部分地层硫酸盐中的硫混入。

## 6 成矿流体的氢氧同位素组成

兰坪-思茅盆地脉状黝铜矿型铜矿床的流体包裹体测定和矿物水分馏计算的氢氧同位素组成(表5)。由表5可以看出,成矿流体中水的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}(\text{SMOW})}$ 值为-11.56‰~9.77‰, $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}(\text{SMOW})}$ 值为-60‰~-135.6‰。其值在 $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta\text{D}$ 图解(图5)上,大部分落在大气降水与岩浆水和变质水之间的范围内,可以解释为大气降水与碎屑岩和岩浆水与大气降水相混合而产生同位素交换的结果。另外有一部分落在变质水范围内,一部分为岩浆水范围内。因此,成矿流体的氢、氧同位素组成数据提供的信息表明,成矿流体的水来自大气降水、岩浆水和变质水,主要为大气降水,但岩浆水和变质水的存在是不容忽视的。

表4 兰坪-思茅盆地脉状黝铜矿型铜矿床硫化物硫同位素组成

Table 4  $\delta^{34}\text{S}$  values for sulfides from the studied vein tetrahedrite-type copper ores

| 矿区   | 样号     | 矿物    | $\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$ | 资料来源  | 矿区  | 样号     | 测定矿物  | $\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$ | 资料来源 |
|------|--------|-------|--------------------------------|-------|-----|--------|-------|--------------------------------|------|
| 金    | JX-1   | 黝铜矿   | -4.57                          | (1)   | 金满  | JM-6   | 黄铜矿   | -1.57                          | (4)  |
|      | JD-1   | 黝铜矿   | -0.008                         | (1)   |     | JM-10  | 黄铜矿   | -3.88                          | (4)  |
|      | JD-2   | 黝铜矿   | 1.98                           | (2)   |     | JM-15  | 黄铜矿   | -0.52                          | (4)  |
|      | JX-1   | 黝铜矿   | 3.31                           | (2)   | 连城  | LC-11  | 黝铜矿   | -1.94                          | (4)  |
|      | LK5-1  | 黝铜矿   | -1.09                          | (2)   | 啦井  | LG-8   | 黝铜矿   | -3.03                          | (4)  |
|      | TC4-1  | 黝铜矿   | 1.68                           | (2)   | 大华  | D-21   | 黄铜矿   | -6.04                          | (2)  |
|      | BY-1   | 黝铜矿   | 4.18                           | (2)   |     | D-25   | 黄铜矿   | -9.00                          | (2)  |
|      | JM-1   | 黝铜矿   | 7.00                           | (4)   | 甸尾  | DW-1   | 黝铜矿   | -1.80                          | (2)  |
|      | JX-2   | 斑铜矿   | -5.49                          | (1)   | 水泄  | S-1-2  | 黝铜矿   | 0.11                           | (3)  |
|      | JD-2   | 斑铜矿   | -9.63                          | (1)   | 帕娃山 | P-2-1  | 黝铜矿   | -0.67                          | (3)  |
| JD-3 | 斑铜矿    | 2.07  | (2)                            | P-4-1 |     | 黝铜矿    | -5.82 | (3)                            |      |
| 满    | JX-2   | 斑铜矿   | -3.15                          | (2)   | 白龙厂 | B-1-1  | 黝铜矿   | -5.75                          | (3)  |
|      | LK-5   | 斑铜矿   | -2.95                          | (2)   |     | BL-1   | 黝铜矿   | -8.41                          | (5)  |
|      | JM-35  | 斑铜矿   | -2.47                          | (4)   |     | BL-S   | 黝铜矿   | -10.62                         | (5)  |
|      | JM-9   | 斑铜矿   | -9.32                          | (4)   |     | BL-t   | 黝铜矿   | -14.30                         | (5)  |
|      | JX-3   | 黄铜矿   | -5.86                          | (1)   |     | BL-6   | 黝铜矿   | -4.90                          | (5)  |
|      | JX-3   | 黄铜矿   | -0.86                          | (2)   | 瑶家山 | Ya-9-1 | 黝铜矿   | -2.42                          | (3)  |
|      | JD-1   | 黄铜矿   | -0.32                          | (2)   |     | Ya-9-2 | 黝铜矿   | -2.63                          | (3)  |
|      | JD-3   | 黄铜矿   | -1.34                          | (1)   |     | Ya-9-3 | 黝铜矿   | -2.90                          | (3)  |
|      | JC11-1 | 黄铜矿   | -3.18                          | (2)   |     | Y-5    | 黝铜矿   | -2.56                          | (5)  |
|      | LK2    | 黄铜矿   | -0.63                          | (2)   |     | Y-6    | 黝铜矿   | -1.66                          | (5)  |
| JM-3 | 黄铜矿    | -0.51 | (4)                            | Y-9   | 黝铜矿 | -1.18  | (5)   |                                |      |

(1) 据西南有色地质勘查局 304 队(1991); (2) 据冉崇英(1992); (3) 据颜文(1993); (4) 据季宏兵(1993); (5) 本课题组(1998)。

表5 兰坪-思茅盆地脉状黝铜矿型铜矿成矿溶液的氢、氧同位素组成

Table 5  $\delta\text{D}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  values for water of fluid inclusions from the studied vein tetrahedrite-type copper ores

| 序号 | 矿区  | 样号             | 测定矿物 | $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}(\text{SMOW})}/\text{‰}$ | $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}(\text{SMOW})}/\text{‰}$ | 资料来源      |
|----|-----|----------------|------|--|---|-----------|
| 1  | 金   | JL30-1         | 石英   | 0.11   | -70.7   | 肖荣阁(1991) |
| 2  |     | JL30-2         | 石英   | 9.77   | -63.7   | 肖荣阁(1991) |
| 3  |     | JZ3-10         | 石英   | -5.14  | -82.3   | 肖荣阁(1991) |
| 4  |     | YM-1           | 石英   | 4.02   | -94.7   | 李峰等(1992) |
| 5  |     | JC-5           | 石英   | 3.63   | -73.8   | 李峰等(1992) |
| 6  |     | LK-5           | 石英   | 3.64   | -99.1   | 李峰等(1992) |
| 7  |     | ZK1505-2       | 石英   | 4.34   | -95.4   | 李峰等(1992) |
| 8  | 连   | L2-5           | 石英   | -1.76  | -86.7   | 肖荣阁(1991) |
| 9  |     | L5-3           | 石英   | -10.57   | -135.6  | 肖荣阁(1991) |
| 10 | 城   | D-12           | 方解石  | -4.84  | -109.4  | 肖荣阁(1991) |
| 11 | 大华  | D-2            | 方解石  | -0.75  | -102.9  | 李峰等(1992) |
| 12 |     | D-12           | 方解石  | -1.89  | -95.9   | 李峰等(1992) |
| 13 | 帕娃山 | P-3-1          | 石英   | 7.00   | -89±2.0   | 颜文, 私人通信  |
| 14 | 白龙厂 | B-2            | 方解石  | -6.69  | -88±2.0   | 颜文, 私人通信  |
| 15 |     | P <sub>2</sub> | 石英   | -2.99  | -69   | [4]       |
| 16 |     | BL-6D          | 重晶石  | -11.56   | -76.9   | [4]       |
| 17 | 瑶家山 | Ya-1-1         | 方解石  | -1.24  | -60±2.0   | 颜文, 私人通信  |
| 18 |     | Yj-5           | 重晶石  | -9.21  | -73.1   | [4]       |
| 19 |     | Yj-B1          | 重晶石  | -1.50  | -103.5  | [4]       |

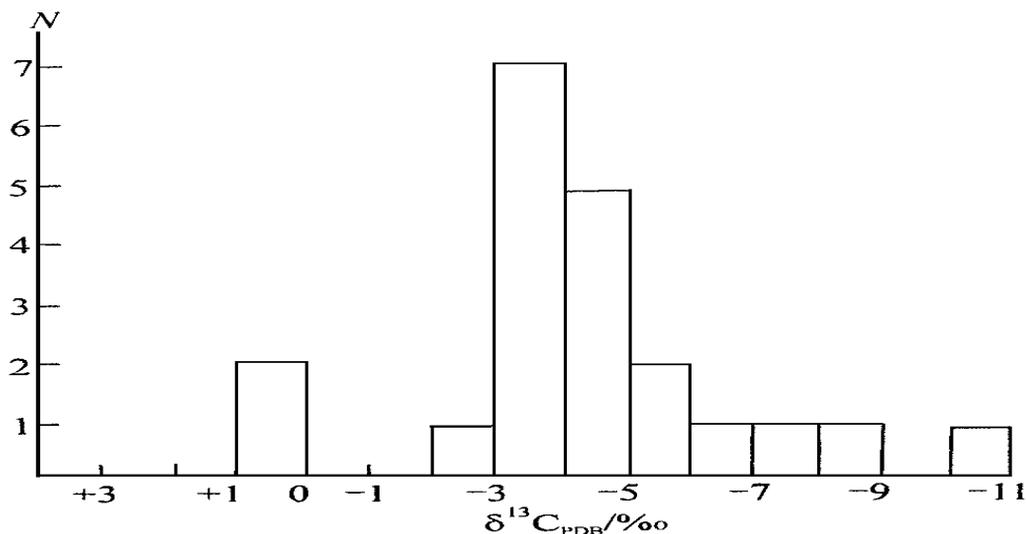


图3 兰坪-思茅盆地脉状黝铜矿型铜矿床的  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  分布直方图

Fig. 3 Histogram of  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  values for the studied vein tetrahedrite-type copper ores

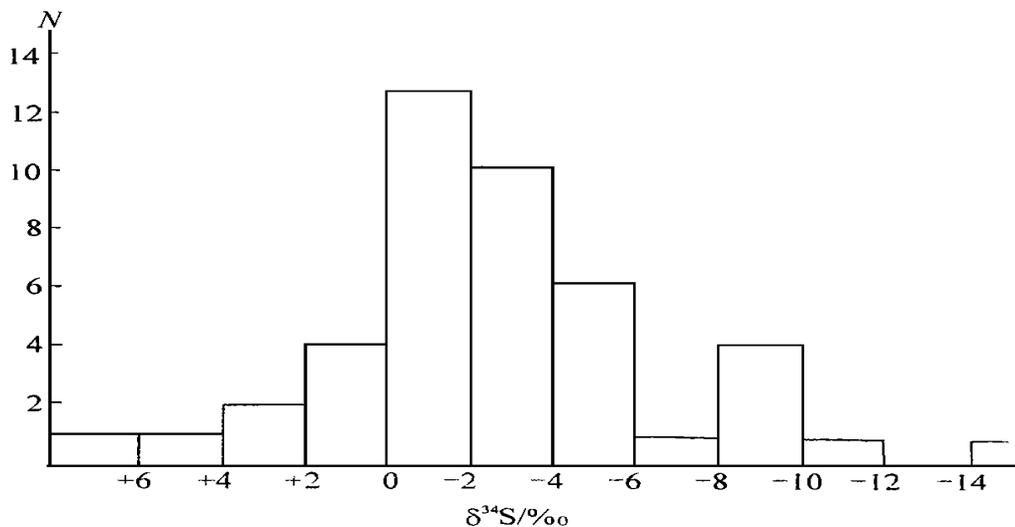


图4 兰坪-思茅盆地脉状黝铜矿型铜矿床的  $\delta^{34}\text{S}$  值分布直方图

Fig. 4 Histogram of  $\delta^{34}\text{S}$  values for sulfides from the studied vein tetrahedrite-type copper ores

## 7 结论

综上所述,结合黝铜矿床的地质地球化学特征,可以得出下列结论:

(1) 黝铜矿石的铅同位素组成与区内新生代富钾碱性岩长石的铅同位素组成一致,表明矿石的形成与区内碱性岩浆活动有直接的内在联系。

(2) 黝铜矿脉石矿物的锶同位素组成与新生代富钾碱性岩的锶同位素组成十分相似,矿床的成矿物质与碱性岩浆作用有关,而硫化物的锶同位素组成特征表明有地壳物质的混入。

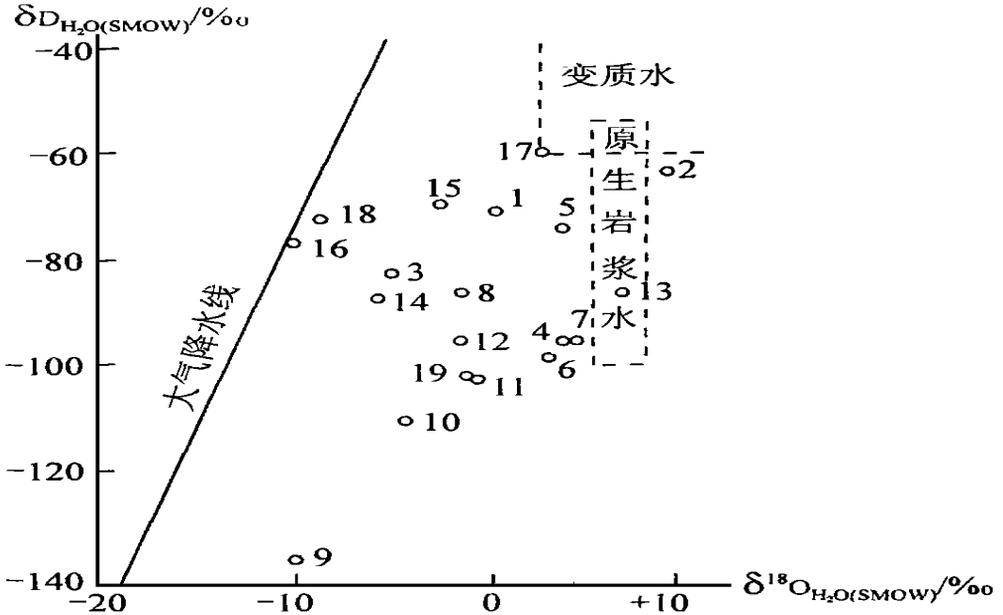


图 5 兰坪 思茅盆地脉状黝铜矿型铜矿床成矿流体的氢氧的同位素组成图解(序号见表 5)

Fig. 5  $\delta D$  vs.  $\delta^{18}O$  plots for water of fluid inclusions from the studied vein tetrahedrite-type copper ores

(3) 脉石矿物的碳同位素组成值为  $-3\text{‰} \sim -7\text{‰}$ , 具幔源特征。

(4) 矿石中硫化物的硫同位素组成主要为  $0 \sim -6\text{‰}$ , 尤其是  $0 \sim -4\text{‰}$ , 表明硫的来源主要来自深部, 有部分地层硫酸盐的混入。

(5) 流体包裹体的氢、氧同位素组成特征表明, 成矿流体的水为大气降水、岩浆水和变质水混合成因。

(6) 区内变质带的变质年龄值为  $31 \sim 24\text{Ma}$ , 碱性岩浆岩的年龄值主要为  $40 \sim 30\text{Ma}$ , 矿体围岩的最高地层层位为古新世。上述同位素资料表明铜矿的成矿作用与新生代富钾碱性岩浆作用、营盘山变质带的变质作用有密切关系。因此, 笔者认为, 兰坪-思茅盆地脉状黝铜矿型铜矿床的成矿物质主要来自上地幔, 与区内新生代富钾碱性岩浆作用和变质作用有成因上的联系, 同时成矿物质中有地壳物质的混入, 成矿流体中除大气降水外, 还有岩浆水和变质水, 因此成矿流体是一种壳-幔混合的热流体。这样, 我们可以把兰坪-思茅盆地中脉状黝铜矿型铜矿体的矿床成因类型称之为壳-幔混合热液型。

#### 参考文献:

- [1] 颜文. 一种新类型铜矿床的地球化学研究[J]. 地质地球化学, 1994, (5): 100-101.
- [2] ZHANG LISHENG. On genesis of a new type-vein tetrahedrite type of copper deposits. 30th IGC Abstracts, 1996, Vol. 2, 730p.
- [3] 尹汉辉. 滇西地洼构造与成矿[M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1993.
- [4] 阙梅英, 程敦模, 张立生, 夏文杰, 朱创业. 兰坪-思茅盆地铜矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [5] TAYLOR B E. Magmatic volatiles; isotope variation of C, H and S. Mineralogy, 1986, 16: 185-226.