

# 青海双朋西金铜矿床的成矿流体特征及流体来源

傅晓明<sup>1</sup>, 戴塔根<sup>1</sup>, 息朝庄<sup>2</sup>, 刘伟<sup>2</sup>, 刘旭<sup>1</sup>

(1. 中南大学 地学与环境工程学院, 长沙 410083; 2. 湖南有色金属控股集团, 长沙 410015)

**摘要:** 通过对双朋西金铜矿床流体包裹体岩相学、测温学及矿石铅、硫同位素等的分析, 研究成矿流体性质和演化、成矿流体来源。结果表明: 流体包裹体主要为气液两相包裹体, 另有少量液相和含子矿物包裹体。包裹体液相成分阳离子以  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  为主, 阴离子主要以  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  为主; 气相以  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  为主。均一温度范围为 210~370 °C 和 370~460 °C, 盐度 3.0%~6.5%, 密度集中于 0.600~0.800 g/cm<sup>3</sup>, 压力主要为 8.0~20.0 MPa, 为中高温、中等盐度、中等密度、中等压力的成矿流体。铅同位素  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 18.058~18.710,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 15.581~15.641,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 38.191~38.531,  $\delta(^{34}\text{S})$  为  $+3.1 \times 10^{-3}$ ~ $+6.2 \times 10^{-3}$ , 平均值为  $+4.42 \times 10^{-3}$ , 成矿流体铅、硫同位素来源为壳幔混合源。

**关键词:** 成矿流体; 包裹体; 双朋西金铜矿; 青海省

中图分类号: P611; P618 文献标识码: A 文章编号: 1001-1412(2010)01-0024-06

## 0 引言

双朋西金铜矿床位于青海省黄南州同仁县东部的青藏高原北东端秦祁昆成矿带的交汇部位, 属于西秦岭成矿区。近年来, 对于秦祁昆结合部的研究取得了许多重要的研究成果。目前倾向于认为秦祁昆结合部是一个具有复杂洋陆演化历史的复合型造山带<sup>[1-5]</sup>。前人对双朋西金铜矿表生氧化带的有关特征及氧化带形成过程、成矿地质条件、成矿规律及找矿标志进行了系统研究<sup>[6-8]</sup>, 但是对于该矿床形成机制缺乏深入认识。本文从流体包裹体的角度来阐明形成矿床的流体特征, 进而探讨成矿流体来源的铅硫同位素特征, 为矿床研究提供重要依据。

## 1 矿床地质背景

双朋西金矿位于秦祁昆褶皱系同德—临潭冒地槽褶皱带北缘(图 1)。区内出露地层为下二叠统甘

家群、下三叠统隆务河群的沉积岩系, 呈 NWW 向展布。区内斜长支沟—江里沟复背斜是其主体构造, 断裂构造分布于背斜的两翼。区内岩浆活动强烈, 主要有花岗闪长岩、闪长岩、斑状花岗岩。岗察岩体侵位于背斜的轴部。

矿体分布在花岗闪长岩接触带或附近围岩中, 主要产在叠加于接触带之上的 NW 向断裂破碎带中, 形态呈透镜状、似层状, 铜矿体长 100~150 m, 宽 2~25.52 m, 金矿体长 25~150 m, 宽 0.97~4.49 m, 倾斜延深 15~30 m。产状  $40^\circ \sim 50^\circ \angle 3^\circ \sim 50^\circ$ ,  $226^\circ \sim 230^\circ \angle 28^\circ \sim 45^\circ$ 。

矿石共生组合: 按氧化程度分为氧化矿石和原生矿石。氧化矿石有含金粘土—褐铁矿矿石、含金褐铁矿矿石、含金土状褐铁矿矿石; 原生矿石有含金夕卡岩矿石、含金蚀变花岗闪长岩矿石、含金砂岩矿石、含金微细脉矿石、含金硅灰石透辉石化大理岩矿石。

矿石矿物组合: 金属矿物有金银矿、含银自然金、褐铁矿、磁黄铁矿、孔雀石、黄铁矿、黄铜矿、硬锰矿、软锰矿、斑铜矿、辉铜矿、铜蓝、蓝铜矿、辉铋矿、

收稿日期: 2008-12-22

基金项目: 国家 973 项目(编号 2002CG412607), 国家科技攻关项目(编号 2004BA615-02), 湖南省自然科学基金(编号 07JJ6071) 资助。

作者简介: 傅晓明(1968), 男, 江西高安人, 博士研究生; 研究方向: 地球化学。

通讯联系人: 息朝庄。E-mail: xczcsunmmmm@126.com

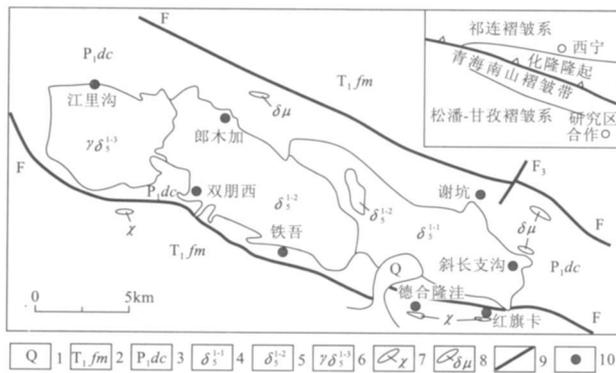


图 1 双朋西地区地质略图(据张涛<sup>[6]</sup>)

Fig. 1 Sketch geological map of Shuangpengxi area

1. 第四系
2. 下三叠统隆务河群
3. 下二叠统大关山群
4. 闪长岩
5. 花岗闪长岩
6. 斑状花岗闪长岩
7. 煌斑岩脉
8. 闪长岩脉
9. 断裂
10. 金铜床

辉钼矿、方铅矿、闪锌矿等; 非金属矿物有钙铝榴石、方柱石、沸石、阳起石、方解石、白云石、符山石、透闪石、硅灰石等。

矿石中金铜元素达工业品位, 属共生矿产, 银达到了综合利用品位, 为伴生组分, 金平均品位  $w(\text{Au}) = 8.80 \times 10^{-6}$ , 铜平均品位  $w(\text{Cu}) = 1.66\%$ , 银平均品位  $w(\text{Ag}) = 27.64 \times 10^{-6}$ 。

围岩蚀变有夕卡岩化、硅化、碳酸盐化、角岩化、褐铁矿化。

## 2 样品特征与分析方法

研究样品均采自成矿阶段矿石的石英和黄铁矿单矿物, 将其磨制成厚度约为 0.2 mm 双面抛光的薄片做岩相学与流体包裹体观察。

包裹体成分测定对象为石英和黄铁矿, 由中南大学地质研究所流体包裹体气液相成分测定实验室完成。将纯度大于 99% 的包裹体样品放入烧杯中, 加入 HCl(1 : 1), 在电热板 80~100 °C 保温 1 h, 过夜, 倒掉酸, 用去离子水清洗样品数次, 超声震荡 5 min, 再用离子水反复漂洗, 在 80 °C 烘箱内烘干样品。

流体包裹体的气相成分分析采用加热爆裂法提取气体, 其测试程序为: 将清洗干净的 500 mg 样品放入石英管内, 逐渐升温到 100 °C 排气, 待分析管内真空度为 6 MPa 以下时, 将 100 °C 以内的次生包裹体和样品吸附气体去除。以 1 °C/1 s 的速度升温到 500 °C, 记录压力计的读数, 用液氮冷冻 5 min, 再用

干冰冷冻 5 min, 记录压力计的读数(用来计算水的含量)后测定。分析仪器为 Varian-3400 型气相色谱仪(美国), 分析误差 < 5%。

流体包裹体的液相成分分析程序为, 将清洗干净的 1 g 样品放入石英管中, 500 °C 爆裂 15 min, 冷却后加 5 ml 水, 超声震荡 10 min。分析仪器为美国戴安公司生产的 DX-120 Ion Chromatograph 离子色谱仪。淋洗液: 2.5 mM 邻苯二甲酸-2.4 mM 三(羟)甲基氨基甲烷; 流速: 阴离子为 1.2 ml/min, 阳离子为 1.0 ml/min。重复测定精密度 < 5%。

流体包裹体测温工作主要在中南大学地质研究所流体包裹体测温实验室进行。本次测试使用仪器为英国产的 Linkam THMS600 型冷热台, 均一温度重现误差小于 2 °C, 冰点温度重现误差小于 0.2 °C。冷冻测温时, 利用液氮对包裹体降温, 在温度下降过程中观察包裹体的变化, 包裹体冷冻后, 缓慢升温, 至冰晶刚刚熔化, 记录冰点温度。对气液两相包裹体进行均一温度的测定时, 开始的升温速度在 10 °C/min。在气液两相接近均一时, 降低升温速度, 将其控制在 1 °C, 并及时记录均一温度。

Pb 同位素由中南大学地质研究所 ICP-MS 实验室测定, S 同位素由中国地质科学院地质研究所同位素室测定。用于 Pb 同位素测试的粉末样品先用 HF+HNO<sub>3</sub> 溶解, 然后用离子交换柱分离 Pb, 在热离子质谱计 MAT 261 上测定, 测定前及测定过程中用 NBS 981 铅标准校准仪器及监测仪器。全流程 Pb 的空白本底为 10<sup>-9</sup> g, 分析精度优于 0.05%。S 同位素挑选新鲜纯净黄铁矿单矿物样品, 纯度达 99% 以上, 所用质谱计型号为 MAT 251EM, 以 VCDT 为标准, 测试精度为 ±0.2%。

## 3 成矿流体包裹体特征

### 3.1 流体包裹体岩相学

6 件样品中, 流体包裹体广泛发育, 各类原生包裹体多呈圆形、长条形、椭圆形和不规则状无序分布, 个体较小(多在 1~15 μm), 类型多, 有液体包裹体(L, 气液比 10%~30%)、气液包裹体(L+V, 气液比 25%~45%)及含 NaCl 或 KCl 子矿物包裹体(L+V+H), 其中以气液包裹体为主。

### 3.2 流体包裹体气液相成分

双朋西金铜矿矿石不论是石英还是黄铁矿成矿, 其成矿溶液均是富含 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, F<sup>-</sup>,

Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 等的复杂成分盐水溶液。成矿流体的液相成分阳离子以 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> 为主, Na<sup>+</sup> 和 K<sup>+</sup> 的总量低于 Ca<sup>2+</sup> 和 Mg<sup>2+</sup> 的总量, 表明成矿流体以变质流体为主, 部分 Ca<sup>2+</sup> 和 Mg<sup>2+</sup> 来自主矿物的溶解; 阴离子主要以 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup> 为主, F<sup>-</sup> 次之; 根据以上特点可得出本区成矿流体应属 NaCl+KCl+CaCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O 体系。

气相成分分析结果表明: 气相以 H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> 为主, 其次为 H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, O<sub>2</sub>, CO 等含量很少。成分中富含 CO<sub>2</sub>, 含有 CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 等挥发分, 表明成矿环境为还原环境, 而且生物参与了成矿作用<sup>[9]</sup>。

H<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 的比值是反映成矿构造环境的一个重要参数, H<sub>2</sub>O/CO<sub>2</sub> 值(表 1) 成矿早阶段石英为 2.07, 大于成矿晚阶段黄铁矿的 H<sub>2</sub>O/CO<sub>2</sub> 值(0.81), 可能表明晚阶段黄铁矿的成矿作用更为强烈, 这与矿床地质情况是吻合的。因为, H<sub>2</sub>O/CO<sub>2</sub> 值的大小常可以反映成矿作用的强度和成矿有利程

度, 其值越小, 成矿作用的强度越强、成矿越有利<sup>[10]</sup>。同时, 表明在不同成矿阶段, 成矿时的构造环境具有较大的差异性。

成矿流体的 Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> 和 F<sup>-</sup>/Cl<sup>-</sup> 可以作为判别流体来源的一个标志<sup>[11]</sup>, 一般情况下, 岩浆热液 Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> 小于 1, 经计算, 成矿晚阶段黄铁矿 Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> = 0.41, 具岩浆热液特征。成矿晚阶段黄铁矿阴离子中 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > Cl<sup>-</sup> > F<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/Cl<sup>-</sup> = 10.99, 较高, 故其成矿热卤水应是富钾的硫酸盐型热卤水<sup>[12, 13]</sup>。成矿早阶段石英 Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> = 1.23, 大于 1, 说明成矿流体有可能具岩浆热液特征。成矿早阶段石英阴离子中 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > Cl<sup>-</sup> > F<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/Cl<sup>-</sup> = 4.73, 较高, 故这种热卤水应是富钠的硫酸盐型热卤水。

从表 1 可知, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > Cl<sup>-</sup>, 由于 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 质量分数反映的是介质中与金迁移有密切联系的 HS<sup>-</sup> 的数量<sup>[14]</sup>, 因此可以推断, 金在成矿流体中主要以硫氢络合物的形式迁移, 氯络合物次之。

表 1 双朋西金铜矿包裹体气液相成分及相关参数

Table1 Parameters and composition of gas-liquid phase in fluid inclusion from the Shuangpengxi gold-copper deposit

样号	矿物名称	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Li <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
12	石英	1.259	4.947	0.145	23.418	痕	3.271	0.159	2.654	0.712	11.815
3	黄铁矿	痕	3.924	痕	43.106	无	1.392	痕	3.419	痕	5.728
样号	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup> /Cl <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> O/CO <sub>2</sub>
12	11.787	痕	15.829	无	3.381	510.424	1056	1.23	4.73	0.25	2.07
3	0.49	0.956	0.864	无	无	523.413	425	0.41	10.99	接近 0	0.81

分析单位: 中南大学地质研究所; 量的单位: w<sub>B</sub>/10<sup>-6</sup>。

而当 F<sup>-</sup>/Cl<sup>-</sup> < 1 时, 反映属大气降水(或地层流体)的特征, 由表 1 可知, 本区样品中 F<sup>-</sup>/Cl<sup>-</sup> 比均小于 1, 表明有大气降水的加入。因此, 可以得出, 成矿流体是以岩浆热液为主包含有大气降水的混合流体。

### 3.3 流体包裹体的均一温度、盐度、密度、压力

均一法测温度范围最低 215℃, 最高 468℃(表 2), 频数直方图表现出明显的峰值分布, 且数据集中分布在 2 个温度范围内(210~370℃和 370~460℃)(图 2), 表明了热液矿化大致经历了中温、中高温 2 个阶段。

根据 6 个样品冰点温度计算出成矿流体盐度为 1.40%~13.40%, 频数直方图中显示盐度主要为 3.0%~6.5%(图 2), 属中等盐度。

根据均一温度和冷冻法盐度, 可以查压力-温

度-浓度-密度表<sup>[15]</sup>获得密度资料。总体上, 上述不同图解或查表法所获得的数值较接近。可推算出双朋西矿区矿床的成矿流体的密度为 0.55~0.88 g/cm<sup>3</sup>(图 2), 频数直方图中主要集中于 0.600~0.800 g/cm<sup>3</sup>, 为中等密度。

压力是控制成矿作用过程最重要却难以准确获得的参数之一, 其估算方法较多, 常用的有 CO<sub>2</sub> 包裹体的等比容法、含 CO<sub>2</sub> 包裹体浓度法、气体包裹体压力测定法等, 分别适用于含 CO<sub>2</sub> 包裹体、气成或沸腾条件。鉴于双朋西金矿区 6 件样品中未见 CO<sub>2</sub> 包裹体, 因而成矿压力的测定不适用含 CO<sub>2</sub> 包裹体的压力测定法, 同时在双朋西金矿区也未见到沸腾包裹体的特征, 因而成矿压力的测定主要根据中低盐度 NaCl-H<sub>2</sub>O 体系的压力估算法<sup>[15]</sup>。采用 Zhang 等(1987)<sup>[16]</sup> 的 NaCl-H<sub>2</sub>O 体系的 P-T 等容

式以及 Brown 等对该 P-T 等容式的修正式, 由均一温度和盐度计算求得各样品压力值(表 2), 代表了该区成矿压力的最低值。经计算推算出本区压力为

2.25~ 20.61 MPa(图 2), 频数直方图主要集中于 8.0~ 20.0 MPa。

表 2 双朋西金铜矿床流体包裹体参数

Table 2 Parameters of fluid inclusion of Shuangpengxi gold-copper deposit

序号	矿物(测试数)	类型	气液比/%		包裹体形态	d/ $\mu\text{m}$	颜色
			均一	冻结			
1	石英(26)	液体包裹体	10~ 30		椭圆形、不规则状	1~ 10	无色
2	石英(24)	气液包裹体	25~ 45		圆形、不规则状	5~ 15	无色
3	石英(27)	含子矿物的气液包裹体	20~ 40		不规则状	5~ 15	无色
4	石英(26)	气液包裹体	25~ 45		长条形、不规则状	1~ 15	无色
5	石英(25)	含子矿物的气液包裹体	20~ 40		椭圆形、不规则状	1~ 8	无色
6	石英(21)	液体包裹体	10~ 30		椭圆形、圆形	5~ 15	无色

序号	矿物(测试数)	$t$ (均一)/ $^{\circ}\text{C}$		$t$ (冷冻)/ $^{\circ}\text{C}$		盐度 $w(\text{NaCl})/\%$		压力/MPa	密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
		范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值		
1	石英(26)	270~ 410	332	- 1.8~ - 3.5	- 2.5	3.06~ 5.71	4.23	5.33~ 19.98	0.55~ 0.80
2	石英(24)	370~ 420	390	- 2.6~ - 8.2	- 5.3	4.34~ 11.93	8.18	5.99~ 19.98	0.65~ 0.85
3	石英(27)	385~ 468	425	- 2.2~ - 3.1	- 2.6	3.71~ 5.11	4.33	19.98~ 20.61	0.64~ 0.66
4	石英(26)	333~ 368	353	- 4.4~ - 9.5	- 6.8	7.02~ 13.40	10.22	12.15~ 18.95	0.70~ 0.80
5	石英(25)	215~ 420	308	- 3.4~ - 3.7	- 3.5	5.56~ 6.01	5.78	2.25~ 19.98	0.65~ 0.88
6	石英(21)	255~ 360	338	- 0.8~ - 3.1	- 1.8	1.40~ 5.11	3.07	4.64~ 17.90	0.59~ 0.80

$\times 10^{-3}$ , 平均值+  $4.42 \times 10^{-3}$ , 极差为+  $3.1 \times 10^{-3}$ , 标准差为+  $1.3 \times 10^{-3}$ , 均一化程度较高。

## 4 成矿流体来源

### 4.1 铅同位素

双朋西矿区的矿石铅同位素比较接近(表 3), 且都相当稳定,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.058 \sim 18.710$ , 极差 0.652;  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.581 \sim 15.641$ , 极差 0.060;  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.191 \sim 38.531$ , 极差 0.340。数据较集中, 在 Zartman 和 Doe 的铅构造模式演化曲线上<sup>[17]</sup>, 数据点主要分布上地壳铅和造山带铅(图 3)之间, 应为壳幔来源。矿床中矿石铅的同位素组成反映了壳源铅和与岩浆作用有关的铅混合的特点。矿石铅同位素组成反映成矿过程中曾受到岩浆活动的影响。

### 4.2 硫同位素

此次测定硫同位素数据列于表 4, 5 个黄铁矿样品的  $\delta(^{34}\text{S})$  值= +  $3.1 \times 10^{-3} \sim + 6.2$

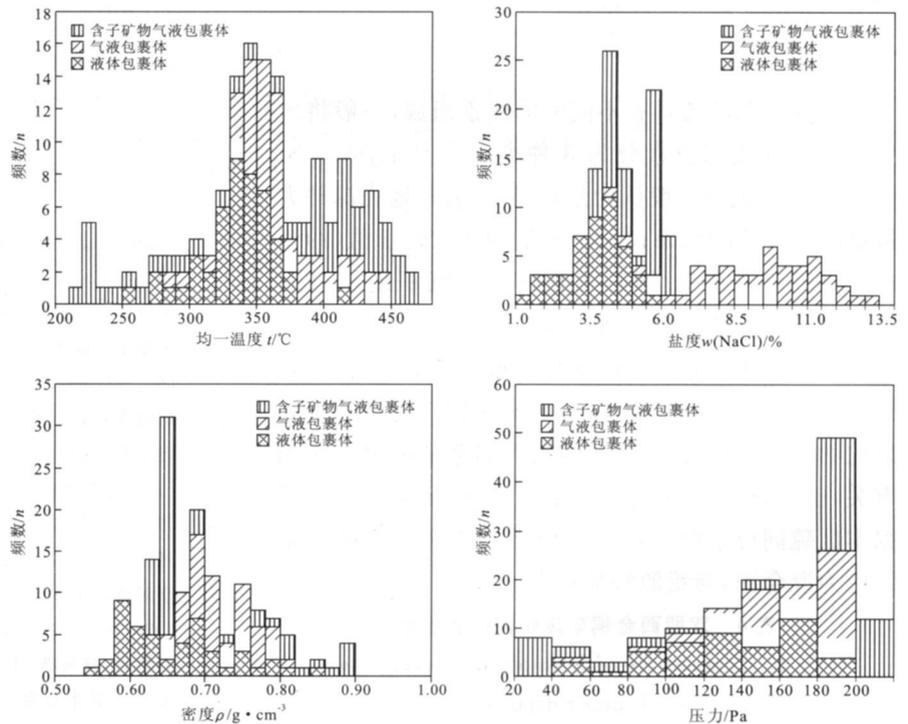


图 2 双朋西金铜矿床流体包裹体温度、盐度、密度、压力分布直方图

Fig. 2 Temperature, salinity, density and pressure histogram plots of Shuangpengxi gold-copper deposit

表3 双朋西金铜矿床铅同位素组成

Table 3 Composition of Pb isotope of

Shuangpengxi gold-copper deposit

序号	样号	测定矿物	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
1	SPX-1	黄铁矿	18.058	15.581	38.154
2	SPX-3	黄铁矿	18.163	15.590	38.191
3	SPX-5	黄铁矿	18.384	15.625	38.385
4	SPX-6	黄铁矿	18.476	15.641	38.531
5	SPX-8	黄铁矿	18.710	15.636	38.416

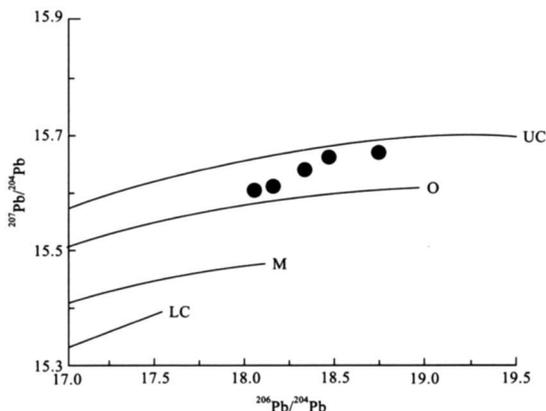


图3 双朋西金铜矿床铅同位素组成

Fig. 3 Composition of Pb isotope of Shuangpengxi gold-copper deposit

UC. 上地壳铅; O. 造山带铅; M. 地幔铅; LC. 下地壳铅

不同来源的硫具有不同的同位素组成, 一般将成矿热液的总硫同位素分为3种类型<sup>[18-21]</sup>: ① $\delta(^{34}\text{S})$ 值接近于0, 硫源一般认为是地幔源, 或是地壳深部大量物质均一化的结果; ② $\delta(^{34}\text{S})$ 值为较大的正值(约 $+20 \times 10^{-3}$ ), 大多认为来自于海水或沉积地层; ③ $\delta(^{34}\text{S})$ 值介于上述两种类型之间, 为 $+5 \times 10^{-3} \sim +15 \times 10^{-3}$ , 硫源为局部围岩或混合源。格里年科认为, 对于 $\delta(^{34}\text{S}) = 4.00 \times 10^{-3} \sim 10.00 \times 10^{-3}$ 之间的金属硫化物, 其硫源既可能和硫酸盐与岩浆硫的混合作用有关, 也可能是从地壳中吸取了各种成因硫<sup>[22]</sup>。根据本区硫同位素组成特点可以推断本区矿石硫的来源应为混合源, 与铅源特征基本一致。

表4 双朋西金铜矿床硫同位素组成

Table 4 Composition of S isotope of Shuangpengxi gold-copper deposit

序号	样号	测定矿物	$\delta(^{34}\text{S})/10^{-3}$
1	SPX-1	黄铁矿	+4.8
2	SPX-3	黄铁矿	+6.2
3	SPX-5	黄铁矿	+3.3
4	SPX-6	黄铁矿	+4.7
5	SPX-8	黄铁矿	3.1

## 5 结论

(1) 双朋西金铜矿床矿石中的流体包裹体主要为气液两相, 另有液相包裹体和含子矿物包裹体。成矿流体的液相成分阳离子以 $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ 为主, 阴离子主要以 $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ 为主; 气相以 $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ 为主。

(2) 双朋西金铜矿床矿石中的流体包裹体测温研究表明: 均一温度为 $210 \sim 370^\circ\text{C}$ 和 $370 \sim 460^\circ\text{C}$ , 盐度主要为 $3.0\% \sim 6.5\%$ , 密度主要集中于 $0.600 \sim 0.800 \text{ g/cm}^3$ , 压力主要集中于 $8.0 \sim 20.0 \text{ MPa}$ , 为中高温、中等盐度、中等密度、中等压力的成矿流体。

(3) 双朋西金铜矿床铅锌同位素特征研究表明: 成矿流体铅硫同位素来源为壳幔混合源。

## 参考文献:

- [1] 殷鸿福, 张克信. 中央造山带的演化及其特点[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1998, 23(5): 437-441.
- [2] 朱云海, 张克信, Pan Y M, 等. 东昆仑造山带不同蛇绿岩带的厘定及其构造意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1999, 24(2): 134-138.
- [3] Zhang K X, Huang J C, Yin H F, et al. Application of radiolarians and other fossils in non-Smithstrata: Exemplified by the Animaqing mélangé belt in eastern Kunlun Mountains[J]. Science in China(Series D), 2000, 43(4): 364-374.
- [4] 张克信, 朱云海, 殷鸿福, 等. 大地构造相在东昆仑造山带地质填图中的应用[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2004, 29(6): 661-666.
- [5] 寇晓虎, 朱云海, 张克信, 等. 青海省同仁地区上二叠统石关组上部火山岩的新发现及其地球化学特征和构造环境意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2007, 32(1): 45-58.
- [6] 张涛. 青海双朋西一斜长支沟地区金矿成矿地质条件及成矿规律[J]. 西北地质, 2007, 40(3): 62-66.
- [7] 李时新. 青海双朋西金矿表生氧化带的某些特征[J]. 黄金, 1998, 19(10): 9-11.
- [8] 孙继省, 魏俊浩, 王造成. 青海双朋西金矿成矿规律及找矿标志[J]. 甘肃冶金, 2005, 27(4): 22-24.
- [9] 杨金中, 沈远超, 刘铁兵, 等. 山东蓬家芥金矿床成矿流体地球化学特征[J]. 矿床地质, 2000, 19(3): 235-244.
- [10] 何明勤, 杨世瑜, 刘家军. 云南祥云金厂箐(铜)矿床的成矿流体特征及流体来源[J]. 矿物岩石, 2004, 24(2): 35-40.
- [11] 卢焕章, 李乘伦. 包裹体地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1990: 1-246.

- [12] 冉崇英. 康滇地轴层控铜矿床的成矿机理[M]. 北京: 地质出版社, 1989: 2-47.
- [13] Ran Chong-ying. On ore source and ore-forming fluid of Dongchuan-Yimen type copper deposit [J]. Sciences in China (Series B), 1989, 32(9): 1117-1124.
- [14] 刘伟. 冀西石湖金矿床地球化学特征/矿床成因及成矿预测研究(博士论文)[D]. 长沙: 中南大学, 2007.
- [15] 刘斌, 沈昆. 流体包裹体的氧逸度计算公式及其应用[J]. 矿物学报, 1995, 15(3): 291-302.
- [16] 李秉伦, 石岗. 矿物包裹体气体成分的物理化学参数图解[J]. 地球化学, 1996, (2): 126-137.
- [17] Zartman R E, Doe B R. Plumbotectonics-the Model[J]. Tectonophysics, 1981, 175(1-2): 135-162.
- [18] Ohmoto H. Systematics of Sulphur and Carbon Isotopes in Hydrothermal Ore Deposits[J]. Econ. Geol., 1972, 67.
- [19] Ohmoto H. Geochemistry of Hydrothermal Ore deposits(2nd edition)[M]. Barnes H. fohe Wiley. New York, 1979.
- [20] Ohmoto H. Stable geochemistry of ore deposits[J]. Rev. Mineral., 1986: 491-559.
- [21] Rye R O, Ohmoto H. Sulphur and carbon isotopes and ore genesis[J]. a review, Econ. Geol., 1974, 69: 824-826.
- [22] 张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用[M]. 西安: 陕西科技出版社, 1985.

## CHARACTERISTICS OF ORE-FORMING FLUID AND GENESIS OF THE SHUANGPENGXI GOLD-COPPER DEPOSIT IN QINGHAI PROVINCE

FU Xiao-ming<sup>1</sup>, DAI Ta-gen<sup>1</sup>, XI Chao-zhuang<sup>2</sup>, LIU Wei<sup>2</sup>, LIU Xu<sup>1</sup>

(1. School of geosciences and environmental engineering, Central South University, Changsha, 410083, China;

2. Department of Mineral Resources, Hunan Non-ferrous Metals Holding Group Co., Ltd, Changsha 410015, China)

**Abstract:** Based on study of the fluid inclusion, thermometry and isotope analyses, the characteristics of ore-forming fluid, fluid evolution and the origin of Shuangpengxi gold-copper deposit were discussed and systematically studied. The results showed that these inclusions are generally consisted of 2 (gas and liquid) phases, and minor liquid and solid sub-mineral phase. The liquid phase includes cations dominated by  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  and ions by  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  and gas phase  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ . The homogenization temperature, salinity and density and pressure of the fluid inclusions are medium ones ranged from 210 °C to 460 °C, and 3.0% to 6.5%, and 0.600 to 0.800 g/cm<sup>3</sup>, and 8.0 to 20.0 MPa, respectively. A analysis of  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  is in range of 18.058–18.710,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  15.581–15.641,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  38.191–38.531;  $\delta(^{34}\text{S})$  value  $+3.1 \times 10^{-3}$  –  $+6.2 \times 10^{-3}$  (average  $+4.42 \times 10^{-3}$ ) indicating the crust-mantle mixed origin of Pb and S.

**Key Words:** Ore-forming fluid; inclusion; Shuangpengxi gold-copper deposit; Qinghai province