

黔西南地区大厂锑矿流体包裹体和同位素地球化学研究

宋威方^{1,2}, 刘建中², 苏成鹏^{1,2}, 苑顺发^{1,2}, 王泽鹏³, 杨成富³

(1. 贵州大学资源与环境工程学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州省地质矿产勘查开发局; 贵州 贵阳 550004;
3. 贵州省地质矿产勘查开发局 105 地质大队, 贵州 贵阳 550018)

[摘要]选取黔西南大厂锑矿萤石为对象,开展流体包裹体和同位素地球化学研究。包裹体相态观察及显微测温结果显示,萤石的流体包裹体主要为气液两相包裹体和纯液相包裹体,包裹体测温结果显示成矿流体具有中-低温低盐度超高压的特点,表明成矿流体可能主要来源于深部。通过对大厂地区构造蚀变体同位素地球化学及产于黔西南构造蚀变体中典型金矿床同位素地球化学对比研究表明,成矿物质可能主要来源于深部,热液在上涌过程中混入地壳物质成矿。

[关键词] 黔西南; 大厂锑矿; 包裹体; 同位素

[中图分类号] P618.66 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-5943(2018)02-0109-08

1 矿床基本特征

黔西南地区大地构造位置处于扬子准地台与华南褶皱系两个 I 级构造单元的交汇部位,大部分地区属华南褶皱系右江褶皱带(刘建中等, 2017)。大致以云南个旧-贵州普定-广西宾阳三点联线的三角形区域,由区域性北东向弥勒-师宗深断裂、东西向个旧-宾阳深断裂、北西向南丹-昆仑关深断裂围限的三角形夹块,构成了滇黔桂“金三角”。根据成矿地质环境和成矿作用特征,将“金三角”划分为三个成矿带:兴仁-安龙金矿带、右江金矿带、晴隆-罗平金矿带(刘建中等, 2006)。大厂锑矿位于晴隆-罗平金矿带中的碧痕营背斜南东翼。碧痕营背斜控制了锑矿产出(图 1)。锑矿主要赋存于构造蚀变体中(刘建中等, 2014),出露厚度数米至 40 余米,变化较大,与下伏地层呈不整合接触,在岩溶漏斗内其厚度大。通过野外观察并结合前人研究资料,构造蚀变体(SBT)可分为三段:

上段为辉绿色粘土化、绿泥石化、弱硅化、黄铁

矿化凝灰岩,局部含角砾,角砾成分为玄武质凝灰岩、粘土质砾岩(曹鸿水, 1991)。黄铁矿呈浸染状、梳脉状分布,少量的锑矿脉沿节理裂隙分布。

中段为硅化、黄铁矿化、角砾状粘土化凝灰岩,角砾大小不一,无分选性,角砾成份以硅化蚀变的凝灰质粘土岩为主,胶结物以硅质为主。该段是锑最主要的含矿段,此外还有萤石、绿石英(贵翠)共生。

下段为强硅化角砾岩。硅质表现为隐晶质的玉髓,角砾以硅化的凝灰质粘土岩为主(陈代演, 1992)。在横向分布上还常出现硅化蚀变的玄武质砾岩和灰岩砾岩、蚀变的玄武质火山角砾岩,局部夹灰岩及玄武岩透镜体。

锑矿体的产出严格地受构造蚀变体的控制。矿体呈似层状,其产状与地层产状一致。其中中段硅化角砾状粘土化凝灰岩是锑矿体的主要赋矿层位(占已知矿体的 80%)。其次是上段蚀变凝灰岩。下段通常不含矿,只有少量辉锑矿呈浸染状产出,不具工业价值。单个矿体主要呈透镜状、囊状、似层状、脉状等(刘显凡等, 1996),矿体规模不大,相差也悬殊,主矿体长 20~50 余米,

[收稿日期] 2018-02-23 **[修回日期]** 2018-04-18

[基金项目] 国家重点研发计划“深地资源勘查开采”专项(2017YFC0601500)资助。

[作者简介] 宋威方(1992—),男,硕士研究生,主要从事矿床学研究。

[通讯作者简介] 刘建中(1966—),男,研究员,主要从事金磷矿找矿与研究。

宽4~7 m, 厚3~5 m; 小矿体长与宽仅几米, 厚不超过2 m, 矿石品位为1%~5%, 中段矿体品位相对较高, 为3%~10%; 层状矿体以顺层填充

交代呈层状、透镜状产出; 囊状矿体多产在角砾发育部位, 胶结角砾; 脉状矿体多产在节理发育区, 沿裂隙充填交代。

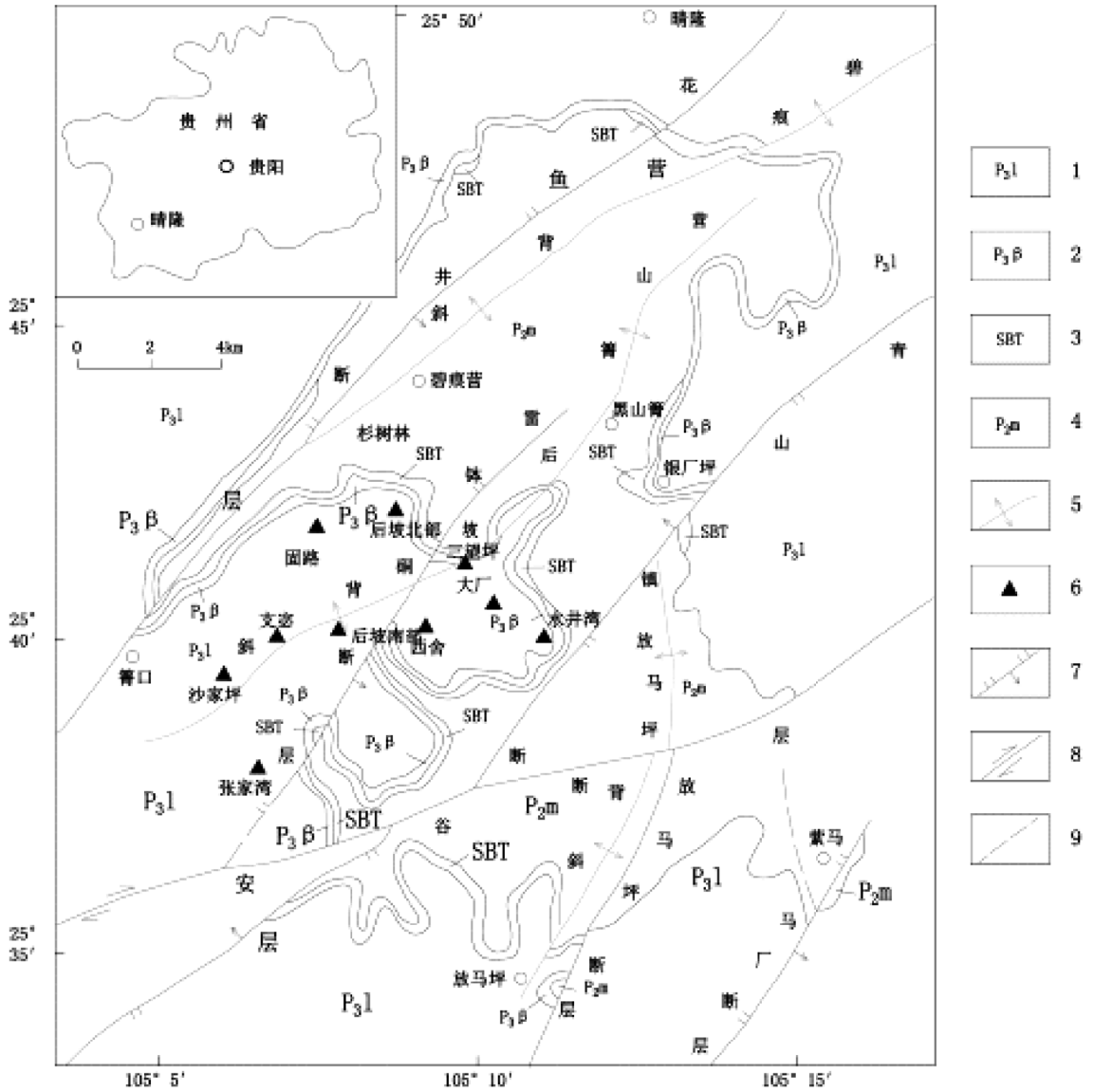


图1 大厂锑矿地质简图

Fig. 1 Geological sketch of Dachang antimony ore

1—龙潭组; 2—峨眉山玄武岩; 3—构造蚀变体; 4—茅口组; 5—背斜; 6—锑矿床; 7—正断层; 8—平移断层; 9—性质不明断层

2 包裹体地球化学

本次研究流体包裹体的脉石矿物萤石来源于大厂锑矿, 该萤石矿物与辉锑矿、石英等矿物共生在一起, 因此, 锑矿床中的萤石中流体包裹体能够有效地指示锑矿中成矿流体性质及演化规律。

2.1 流体包裹体类型及其特征

赋存于 SBT 中的锑矿床中的脉石矿物中发

育有大量的流体包裹体(图2)。包裹体成因类型有原生和次生两种, 原生包裹体主要以星散状分布, 部分沿晶面呈群带状分布, 而次生包裹体沿裂隙线状分布。据包裹体相态特征, 可分为气液两相型(L-V)、单相气相型(V)及单相液相型(L), 及少量 L-V-S 三相型包裹体。而根据包裹体的成分及在室温(21℃)下的相态(卢焕章等, 2004), 现将大厂锑矿流体包裹体主要分为3类包裹体:

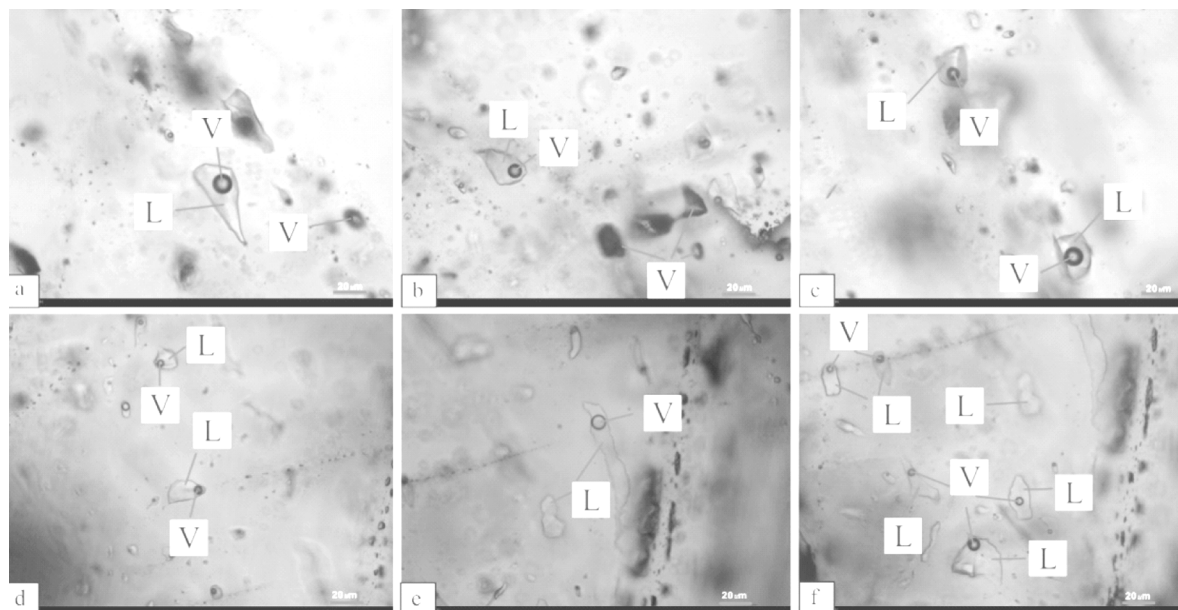


图2 黔西南大厂锑矿床 SBT 中萤石中流体包裹体类型(刘建中等,2012)

Fig. 2 Fluid inclusion types of fluorite in altered body of Dachang antimony ore in southwest Guizhou

a,b—气液两相包裹体和纯气相型包裹体;c,d—气液两相包裹体;e,f—气液两相包裹体和纯液相包裹体;L—液相;V—气相

(1) 水溶液包裹体

水溶液包裹体在大厂锑矿床中普遍存在,水溶液包裹体体积变化较大,一般长轴长度在 $6 \sim 70 \mu\text{m}$,气液比 $3\% \sim 25\%$,多呈长条形、椭圆形、近圆形及不规则形(图2)。

根据气液比,可将水溶液包裹体分成富液相气液两相水溶液包裹体和富气相气液两相水溶液包裹体、纯液相水溶液包裹体和纯气相包裹体。富液相气液两相水溶液包裹体所占比例较大,多为负晶形、椭圆形、长条及不规则状,长轴长度一般为 $8 \sim 60 \mu\text{m}$,气液比一般为 $3\% \sim 30\%$;富气相气液两相水溶液包裹体,主要呈椭圆形,少数为负晶形,长轴长度一般为 $10 \sim 50 \mu\text{m}$,气液比一般为 $52\% \sim 80\%$ 。另外,在锑矿床中还发现大量的纯水溶液包裹体,纯水溶液包裹体在锑矿床中成群分布或者与两相的水溶液包裹体共生(图2)。单相水溶液包裹体颜色较浅,体积变化较大,一般长轴长度在 $3 \sim 40 \mu\text{m}$,多呈不规则形、椭圆形、近圆形等。

(2) $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 包裹体

该类包裹体主要为气液两相包裹体和纯气相包裹体。原生和次生包裹体均较发育,原生包裹体一般呈孤立状,次生包裹体一般呈线状分布。气液两相包裹体大多呈不规则形、椭圆形等产出,包裹体体积较小(图2),长轴长度介于 $5 \sim 20 \mu\text{m}$ 之间,气液相比例多介于 $20\% \sim 70\%$,室温下多呈

两相,气液两相包裹体气相颜色较深,气液相界线较暗。纯气相包裹体一般体积较小,长轴长度一般在 $3 \sim 10 \mu\text{m}$,呈椭圆形、近圆形,常与气液两相包裹体共生在一起。

(3) 含子矿物包裹体

这类包裹体较少,大多存在于气液两相包裹体中,颜色变化较大,包裹体气液相界线不清,包裹体呈不规则形、椭圆形、长条状等,一般长轴长度在 $8 \sim 60 \mu\text{m}$ 。子晶矿物颜色变化较大,分为透明矿物和不透明矿物。

2.2 流体包裹体测温

流体包裹体显微测温学研究不仅可以提供成矿流体的温度、密度等基本参数,而且最重要的是通过测定流体包裹体在冷冻过程中所发生相变的温度,可以进一步确定成矿流体的体系、盐度、气相成分等,结合流体体系相图分析,从而获得成矿流体的压力等重要参数。

整个实验在中国科学院地球化学研究所流体包裹体实验室完成,按照鉴定-照相-冷冻-加热流程进行。使用的仪器为英国产 Linkam THMSG 600 型冷热台,仪器标定和样品测试均在 7 mm 样品台及银盖(Cover)恒温室中进行。 400°C 时,相对标准物质误差为 $\pm 2^\circ\text{C}$, -22°C 时,误差仅为 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。对气液两相包裹体,其盐度据冰点温度查表换算,该表基于公式: $\text{WNaCl} = 0.00 + 1.78X -$

4. $42 \times 10^{-2} X^2 + 5.57 \times 10^{-4} X^3$, 其中 X 为冰点温度的绝对值。

流体包裹体显微测温结果表明,大厂锑矿萤石中的气液两相包裹体均一温度为 129.4℃~214℃ (平均 151℃),气液包裹体均一温度比较集中,峰值在 140℃~160℃;气液两相包裹体冰点温度 T_m 变化在 -1.9℃~-0.1℃,对应盐度变化在 0.18~3.23 Wt% NaCl,其峰值为 1.0~2.0 Wt% NaCl,在盐度-均一温度图解中(图 3),椭圆形区域内小棱形代表锑矿床流体包裹体盐度-均一温度的投点,从图 3 可以看出,锑矿床的盐度-均一温度投点比较集中,表现为中-低温低盐度的特点。

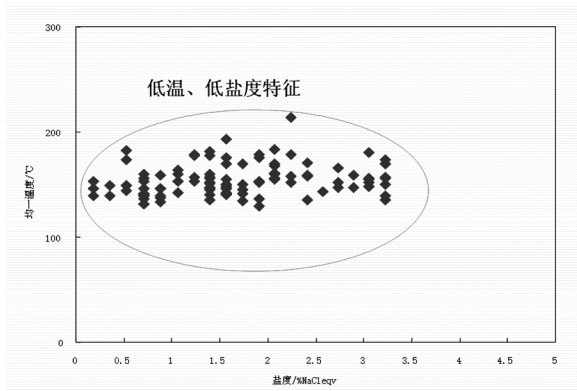


图 3 大厂锑矿流体包裹体盐度-均一温度图解

Fig. 3 Salinity-ultra temperature of the fluid inclusion in Dachang antimony ore

2.3 流体包裹体成分分析及压力结果

激光拉曼探针分析是一种原位的非破坏性的定性测试方法,能够方便快捷的检测出包裹体气相所含的主要共价化合物组分。利用激光对单个包裹体的气、液、固相进行扫描,会产生对应不同成分的特征拉曼峰位置,从而判断其成分(卢焕章等,2004)。

单个流体包裹体成分的激光 Raman 研究,整个实验在中国科学院地球化学研究所(贵阳)矿床地球化学重点实验室的 Renishaw inVia Reflex 型激光 Raman 光谱仪上完成。测试条件:Ar+激光器,激光波长为 514.5 nm,激光功率 20 mW,样品表面激光功率 5 mW,光栅 1 800 grooves/毫米,谱线分辨率 2 cm^{-1} ,空间分辨率 $1 \mu\text{m}$ ($\times 100$ 物镜),扫描时间有 10、30、60 秒,扫描范围 $150 \sim 4\,500 \text{ cm}^{-1}$ 。

大厂锑矿萤石包裹体中,包裹体类型主要有气液两相包裹体(L-V型)、纯液相包裹体(L)、

纯气相(V)包裹体和含子矿物及含有机质包裹体,流体包裹体成分主要为简单盐-水体系,显示了锑矿成矿流体可能为 NaCl-H₂O 体系。而纯液

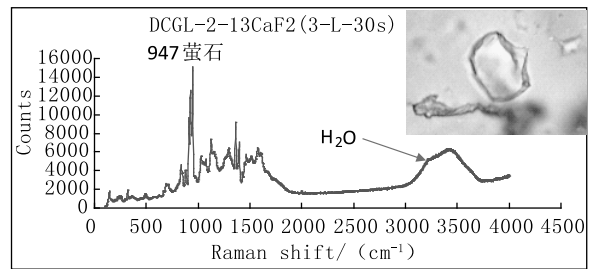


图 4(a) 大厂锑矿纯液相水溶液包裹体激光拉曼(LRM)图谱

Fig. 4(a) Laser Raman (LRM) atlas of pure liquid aqueous solution of Dachang antimony ore

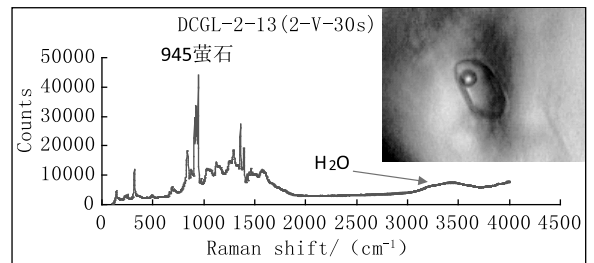


图 4(b) 大厂锑矿气液两相包裹体中气相激光拉曼(LRM)图谱

Fig. 4(b) Gas phase Laser Raman (LRM) atlas of gas-liquid two phases inclusion of Dachang antimony ore

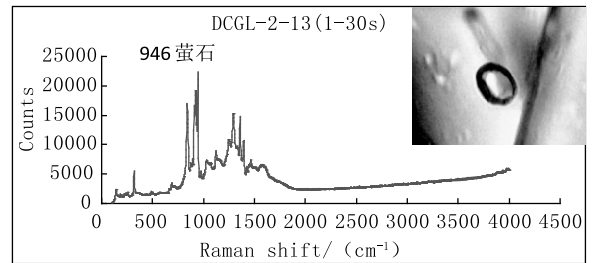


图 4(c) 大厂锑矿纯气相包裹体激光拉曼(LRM)图谱

Fig. 4(c) Laser Raman (LRM) atlas of pure gas phase inclusion of Dachang antimony ore

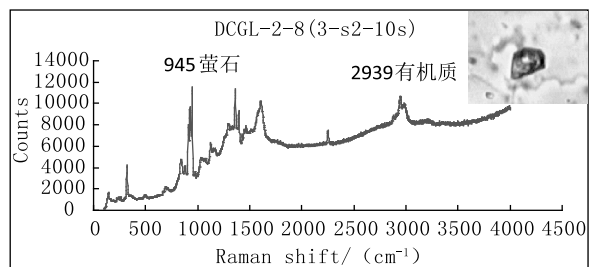


图 4(d) 大厂锑矿含固相气液两相包裹体激光拉曼(LRM)图谱

Fig. 4(d) Laser Raman (LRM) atlas of phase gas-liquid two-phase inclusion contains solid of Dachang antimony ore

相包裹体(L)成分与气液两相包裹体(L-V型)液相成分相同;纯气相包裹体(V)气相成分有时含有少量的水蒸气,其成分与气液两相包裹体(L-V型)气相成分基本相同;含固相包裹体成分较为复杂,固相主要为有机质和稀土矿物(如磷铋矿:YPO₄)见图4。同时,在大厂锑矿床中还发现气泡较亮包裹体,测试显示,荧光强度较高,可能为有机包裹体,这可能指示在锑矿形成过程中,有机质含量较高。压力结果表明(见图4),成矿流体具有很高的压力(接近1 000 bar),表现为超压流体性质;综合包裹体测温及压力结果,成矿流体表现为中-低温超高压特点。

3 同位素地球化学

3.1 硫同位素

本次研究稳定同位素样品来自贵州西南部晴

隆大厂地区的构造蚀变体中,其蚀变体以角砾状构造和强硅化蚀变为显著特征,角砾成分主要为灰岩、粘土岩等,多被石英、方解石胶结,角砾无分选,棱角状(陈代演,1993)。其中的矿物组合简单,金属硫矿物主要为辉锑矿,次为受后期热液改造的沉积型黄铁矿。首先将含有硫化物(黄铁矿、辉锑矿、雄黄、雌黄)的矿石样品粉碎至20-40目,在双目镜下挑选纯净的黄铁矿、辉锑矿、雄黄、雌黄和方解石单矿物,并将其研磨至200目以下备用。黄铁矿、辉锑矿、雄黄、雌黄硫化物的硫同位素分析采用Cu₂O作为氧化剂制备SO₂,然后将制备SO₂通入MAT252型质谱仪,测定其硫同位素组成,测试在中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室完成。

在大厂地区SBT中,黄铁矿呈立方体状、十二面体状、草莓状星散分布,黄铁矿可见明显溶蚀结构(图5a)、环带结构(图5b-d),同一颗粒黄铁矿通过电子探针面扫描可以看出明显的As环带(图5d)。

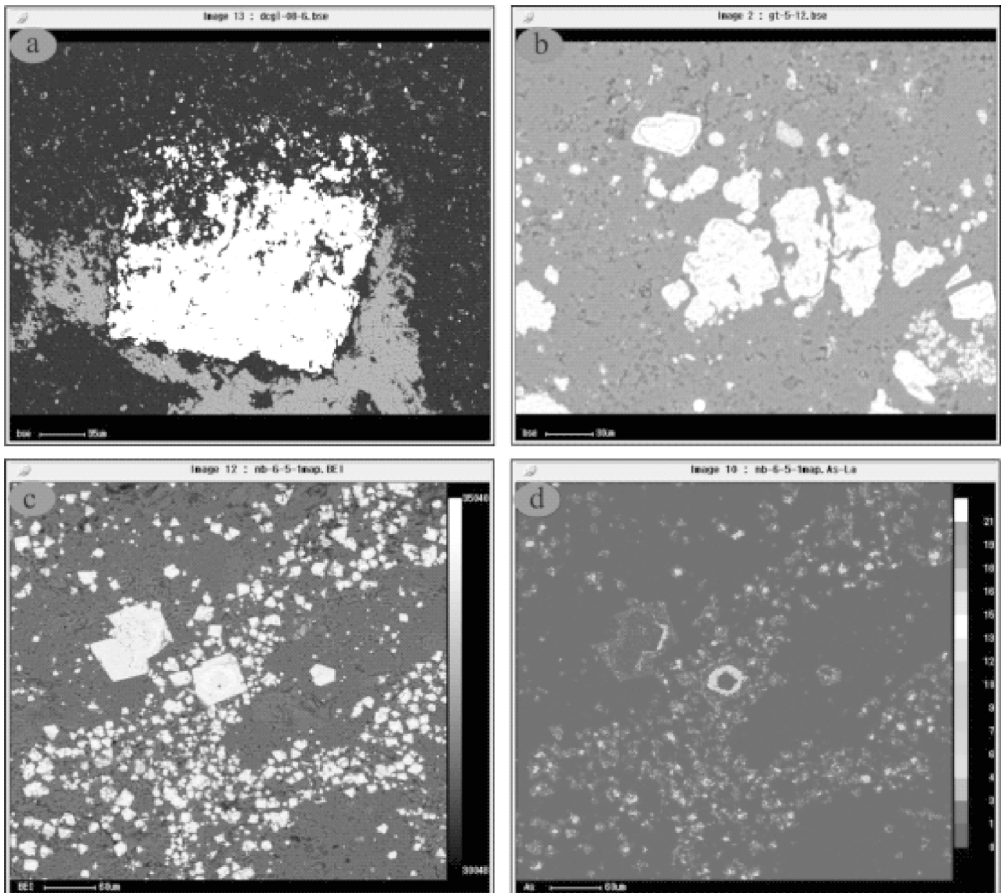


图5 贵州西南部大厂地区 SBT 中黄铁矿(褐铁矿化)结构图

Fig. 5 Structure of pyrite (limonite) in altered body in Dachang area of southwest Guizhou

a—黄铁矿可见明显溶蚀结构;b—黄铁矿(褐铁矿化)环带结构;c—环带结构黄铁矿(褐铁矿化)的电子探针背散射电子图;
d—环带结构黄铁矿(褐铁矿化)的电子探针面扫描图,含As环带明显

表1 贵州西南部 SBT 中硫化物硫同位素组成

Table 1 Sulfide sulfur isotope composition of altered body in southwest Guizhou

矿床名称	样品编号	矿物名称	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$	Stdev(标准偏差)	
大厂锑矿	DCGL-2	辉锑矿	-2.53	0	
	DCGL-2-7	辉锑矿	-2.66	0.02	
	DCGL-04	黄铁矿	-2.22	0.01	
	DCGL-05	辉锑矿	1.97	0.04	
	DCGL-08	黄铁矿	2.8	0.09	
	DCGL-10	辉锑矿	2.65	0.04	
	DCGL-11	辉锑矿	2.7	0.03	
	DCGL-12	黄铁矿	-0.5	0.05	
	DCGL-13	黄铁矿	2.69	0.12	
	DCGL-14	黄铁矿	2.48	0.15	
	DCGL-14	辉锑矿	3.04	0.02	
	GL-9	黄铁矿	4.97	0.62	
	大厂固路	GL-10	黄铁矿	10.53	0.2
		GL-11	黄铁矿	2.86	0.26
大厂戈木		DCGM-2	黄铁矿	3.17	0.08
	ZK27916	雄黄	2.72	0.03	
	ZK21524-3	辉锑矿	-0.47	0.03	
水银洞金矿	ZK15117-3	雌黄	5.2	0.05	
	SYD-21	辉锑矿	-4.88	0.02	
	SYD-XH	雄黄	2.64	0.08	
雄武金矿	XWXH-1	雄黄	-2.19	0.05	
戈塘金矿	GT-1	雄黄	-1.8	0.03	

注:中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室测试,2011。

从表1可以看出:贵州西南部 SBT 中硫化物的硫同位素变化为 $-4.88\text{‰} \sim +10.53\text{‰}$, 极差 15.41‰ 。其中黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-2.22\text{‰} \sim 10.53\text{‰}$, 极差为 12.75‰ , 均值为 2.98‰ ; 辉锑矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-4.88\text{‰} \sim +3.04\text{‰}$, 极差为 7.92‰ , 均值为 -0.023‰ ; 雄黄 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-2.19\text{‰} \sim 2.72\text{‰}$, 极差为 4.91‰ , 均值为 0.34‰ ; 雌黄 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 5.2‰ (仅有一个样品)。总体上构造蚀变体中不同硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 值的变化规律: 具有 $\delta^{34}\text{S}$ 黄铁矿 $> \delta^{34}\text{S}$ 雄黄 $> \delta^{34}\text{S}$ 辉锑矿的演化顺序。

不同硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 值总体变化为 $-4.88\text{‰} \sim +10.53\text{‰}$, 数据变化范围相对较大, 不同硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化不同, 塔式效应明显(图6), 黔西南典型金锑矿床普遍表现出硫同位素变化很大的特点, 部分学者认为这类矿床在沉积物沉积-成岩过程中就已经成矿(陈翠华等, 2004)。但是实际情况并非如此, 矿石中黄铁矿的硫同位素的组成可能只反映出一个表象。在构造蚀变体中, 存在大量的自形沉积黄铁矿, 其自形程度较高, 这些黄铁矿可能受到后期热液溶蚀交代, 使其成分结构

等发生明显的变化。黄铁矿含 As 环带表明(图5b、d), 黄铁矿在后期热液的作用下发生叠加, 形成多期次环带结构的黄铁矿颗粒, 即沉积黄铁矿和热液黄铁矿叠加。在 SBT 内各种硫化物中, 黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值的变化较大, 极差为 12.75‰ , 辉锑矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值极差为 7.92‰ , 雄黄 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-2.19\text{‰} \sim 2.72\text{‰}$, 极差为 4.91‰ , $\delta^{34}\text{S}$ 雄黄值的变化较小。从 SBT 中硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 总体变化可知, 雄黄 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化较小, 均一化程度较高, 硫同位素显示一定幔源硫同位素特征, 指示 SBT 成矿物质中的硫可能部分来源于深部, 即深部地幔硫参与成矿的可能。而辉锑矿硫同位素值变化较大, 可能与大气水的加入, 部分地层硫加入有关。黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值的变化最大, 可能与黄铁矿的多期叠加成因有关, 可能除显示出热液成因硫的特征外, 还有沉积成因硫源的加入(刘建中等, 2012)。

滇黔桂微细浸染型金矿床普遍表现出硫同位素组成变化很大的特点, 热液黄铁矿与同区同层位地层硫同位素组成相对应, 主要属于变化范围较宽的“重硫型”。黄铁矿单矿物电镜分析表明:

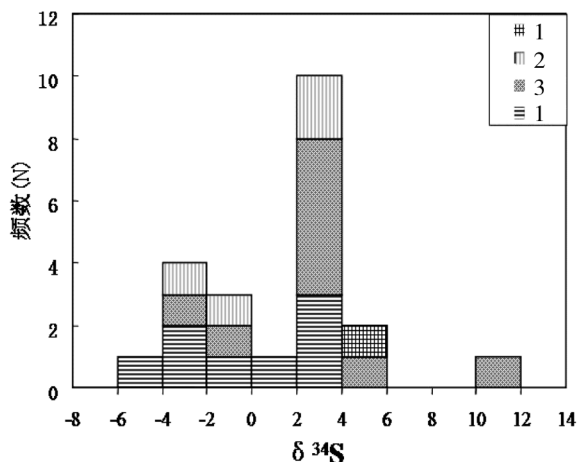


图 6 贵州西南部 SBT 中硫化物硫同位素频数直方图

Fig. 6 Frequency histogram of S isotope in altered sulfide in southwest Guizhou

1—雌黄;2—雄黄;3—黄铁矿;4—辉锑矿

矿石中黄铁矿包括草莓状(不规则状)黄铁矿粉晶及具砷黄铁矿表层(热液成因)和草莓状(不规则状)黄铁矿内核(原生沉积成因)的环带状黄铁矿,硫同位素值应只代表了原生沉积成因和热液成因

黄铁矿的硫同位素的混合结果,且由于多数情况下黄铁矿内核(成岩成因)所占的体积比成矿期(热液期)形成的砷黄铁矿环带要大的多,使所得测定的硫同位素值主要代表了成岩成因的黄铁矿的硫同位素组成,并不能代表成矿流体中硫的同位素组成。但在该区广泛分布的构造蚀变体,因其为后期源于深部的热液流体作用之产物,流体改造极为强烈,黄铁矿溶蚀交代极为明显,因此,构造蚀变体中黄铁矿、辉锑矿、雄黄、雌黄等硫化物的硫同位素组成能够有效指示成矿流体中硫来源。

3.2 铅同位素

本次测试样品主要来自大厂地区的 SBT 中,分析单矿物为黄铁矿和辉锑矿,铅同位素样品在核工业北京地质研究院同位素研究室分析。分析结果及部分计算参数列于表 2 中。为了能够对比分析,本次也收集了黔西南地区代表性的水银洞、丫他卡林型金矿硫化物的铅同位素数据(表 3),对比分析铅的来源等问题。

表 2 贵州西南部大厂锑矿硫化物铅同位素组成及特征参数

Table 2 Histogram of sulfide sulfur isotope in altered body in southwest Guizhou

矿床	样品编号	矿物名称	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	μ	ω	Th/U	Δα	Δβ	Δγ
大厂	DCGL-2	辉锑矿	20.667	15.74	38.616	10.04	30.27	2.92	190.84	26.50	30.57
大厂	DCGL-2-7	辉锑矿	25.428	16.004	38.629	14.24	30.31	2.06	465.17	43.72	30.91
大厂	DCGL-04	黄铁矿	19.01	15.617	38.627	9.44	34.35	3.52	95.36	18.48	30.86
大厂	DCGL-08	黄铁矿	19.082	15.592	38.629	9.39	33.80	3.48	99.51	16.85	30.91
大厂	DCGL-12	黄铁矿	19.879	15.655	39.037	9.47	32.24	3.29	145.43	20.96	41.80
大厂	DCGL-14	黄铁矿	19.082	15.598	38.703	9.40	34.13	3.51	99.51	17.24	32.89

表 3 贵州西南部典型金矿床中硫化物铅同位素组成及特征参数

Table 3 Lead isotopic composition and characteristic paramaters of sulfide in a typical gold deposit in southwest Guizhou

矿床	样品名称	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	μ	ω	Th/U	Δα	Δβ	Δγ	资料来源
丫他	雄黄	18.445	15.597	38.454	9.45	36.37	3.72	73.23	17.72	32.18	朱赖民等, 1997
	雄黄	18.461	15.636	38.509	9.53	36.87	3.74	77.05	20.42	35.28	
	雄黄	18.499	15.638	38.574	9.53	36.94	3.75	77.31	20.45	35.93	
	辉锑矿	18.734	15.76	38.962	9.74	38.38	3.81	89.59	28.33	45.56	李文亢等, 1989
	辉锑矿	18.547	15.627	38.645	9.50	36.87	3.76	76.33	19.52	35.71	
	辉锑矿	20.876	15.89	38.821	10.22	30.95	2.93	202.88	36.28	36.04	
水银洞	黄铁矿	18.403	15.609	38.572	9.48	37.19	3.80	74.33	18.70	37.35	王秀璋等, 1992
	黄铁矿	18.61	15.62	38.74	9.48	36.85	3.76	75.77	18.85	35.86	
	黄铁矿	18.48	15.63	38.63	9.52	37.2	3.78	76.5	19.94	37.6	夏勇等, 2009
	黄铁矿	18.476	15.667	38.644	9.59	37.63	3.80	80.07	22.57	40.12	
	黄铁矿	18.361	15.56	38.452	9.39	36.47	3.76	69.49	15.37	32.78	
	黄铁矿	18.383	15.642	38.729	9.55	38.26	3.88	77.49	21.11	44.01	

续表

矿床	样品名称	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	μ	ω	Th/U	Δα	Δβ	Δγ	资料来源
水银洞	黄铁矿	18.304	15.54	38.501	9.36	36.79	3.80	67.45	14.13	34.82	夏勇等, 2009
	黄铁矿	18.145	15.551	38.382	9.40	37.30	3.84	68.36	15.46	37.35	
	黄铁矿	17.942	15.56	38.158	9.44	37.61	3.86	69.10	16.89	38.30	
	黄铁矿	18.452	15.532	38.332	9.33	35.24	3.66	66.87	13.12	25.08	

表 2 显示：²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 为 19.01 ~ 25.428, ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 为 15.592 ~ 16.004, ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb 为 38.616 ~ 39.037。其中黄铁矿-铅同位素变化²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 为 19.01 ~ 19.879, ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 为 15.592 ~ 15.655, ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb 为 38.627 ~ 39.037; 辉锑矿的铅同位素组成²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 为 20.667 ~ 25.428, ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 为 15.74 ~ 16.004, ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb 为 38.616 ~ 38.629。由上可见, 大厂锑矿床中总体上铅同位素变化较大, 辉锑矿的铅同位素比值明显大于黄铁矿铅同位素比值, 且变化较大。

一般认为, 铅在浸取、转移和沉淀的过程中, 铅同位素组成通常是不发生变化的, 因而矿石的铅同位素组成的相对稳定或明显变化能够说明矿床中成矿物质是单一来源还是具有多来源(刘建中等, 2006; 刘建中等, 2005)。据 B. K. Doe (1974) 和 J. S. Stacey (1975), 低 μ 值(低于 9.58)的铅来自下部地壳或上地幔, 矿床的形成一般与岩浆活动关系密切, 而且在成矿过程中, 基本上没有受到地壳物质的混染, 具高 μ 值(大于 9.58)的铅来自铀、钍相对富集的上部地壳岩石(Hu R-Z et al, 2002)。对比表 2 和表 3 发现, 铅同位素的 μ 值大部分均较低(低于 9.58), 辉锑矿 μ 值一般较大, 超过 μ 值上限(9.58), 这种变化说明早期矿物(如黄铁矿、雄黄等)可能更多受深部热液影响, 铅主要来自深部。辉锑矿 μ 值较大, 可能与成矿流体演化过程中加入了地壳浅部高放射性成因的铅所致。黄铁矿-辉锑矿的 μ 值的从小到大的变化, 同样也展示了金沉淀后富锑热液的长距离运移, 平面上 μ 值从小到大的连线, 可能就示踪了成矿流体的运移方向。

4 结论

(1) 黔西南大厂锑矿流体包裹体分析结果显示, 成矿流体具有中-低温、超高压和低盐度的特点。

(2) 同位素研究表明成矿物质来源较为复杂, 其中硫同位素分析结果显示元素大量继承了

地层的硫元素, 成矿元素可能较多来源于地层; 而铅同位素测试结果显示, 铅同位素可能大量来源于深部; 综合分析认为, 成矿元素可能主要来源于深部, 在上升过程中有地壳元素混入。

(3) 猜想大厂锑矿成矿模式为: 与深部隐伏花岗岩体有关的超压流体, 在区域构造作用下沿深大断裂上涌, 沿茅口组与龙潭组或峨眉山玄武岩组之间的区域构造滑脱面向侧向运移, 并与岩石发生水岩反应形成构造蚀变体(SBT), 在局部形成锑矿床即大厂锑矿。

[参考文献]

Hu R-Z, Su W-C, Bi X-W et al. , Geology and geochemistry of Carlin-type gold deposits in China. Mineralium Deposita [J]. 2002, 37: 378-392.

曹鸿水. 黔西南“大厂层”形成环境及其成矿作用的探讨[J]. 贵州地质, 1991, 8(1): 5-12.

陈翠华, 何彬彬, 顾雪祥等. 右江沉积盆地演化与微细浸染型金矿床成矿作用关系探讨[J]. 地质与勘探, 2004, 40(1): 21-25.

陈代演. 滇东黔西区层控锑、汞矿床的元素组合及其产生原因初析[J]. 矿产与地质, 1993, (04): 247-252.

陈代演. 贵州晴隆大厂锑矿成矿流体低温地球化学特征[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1992, (1): 3-5.

刘建中, 邓一明, 夏勇等. Sbt 的概念及其区域找矿意义探讨 [A]. 第三届贵州地质矿产发展战略研讨会论文集 [C]. 2005, 4: 65-67.

刘建中, 夏勇, 陶琰, 付绍洪, 杨成富, 王泽鹏, 吴文明, 谭亲平, 陈睿. 贵州西南部 SBT 研究 [M]. 湖北: 中国地质大学(武汉), 2018.

刘建中, 邓一明, 刘川勤, 夏勇, 张兴春, 陶琰. 水银洞金矿床包裹体和同位素地球化学研究 [J]. 贵州地质, 2006, 23(1): 51-56.

刘建中, 夏勇, 陶琰, 杨成富, 王泽鹏, 谭亲平, 付绍洪, 陈睿, 吴文明. 贵州西南部 SBT 与金锑矿成矿找矿 [J]. 贵州地质, 2014, 31(4): 267-272.

刘建中, 杨成富, 王泽鹏, 王大福, 祁连素, 李俊海, 胡承伟, 徐良易. 贵州省贞丰县水银洞金矿床地质研究 [J]. 中国地质调查, 2017, 4 (2): 32-41.

刘显凡, 倪师军, 苏文超. 滇黔桂微细浸染型金矿同位素地球化学特征与深源流体成矿 [J]. 矿物岩石, 1996, 16(4): 106-111.

卢焕章, 范宏瑞, 倪培等. 流体包裹体 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.

Study on the Fluid Inclusions and Isotope Geochemistry of Dachang Antimony Ore in Southwest Guizhou

SONG Fang-wei, LIU Jian-zhong, SU Cheng-peng, YUAN Shun-fa,
WANG Ze-peng, YANG Cheng-fu

(1. College of Resources and Environmental Engineering, Guizhou University, Guiyang 550003, Guizhou, China; 2. Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Guiyang 550004, Guizhou, China; 3. 105 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Guiyang 550018, Guizhou, China)

[Abstract] In this paper, fluorite of antimony fluid inclusion of Dachang antimony ore is selected to be the study target, the inclusion phase observation and micro-thermometry shows fluid inclusion in fluorite of Dachang antimony ore mainly are gas-liquid two-phase inclusion and pure liquid inclusion, the inclusion temperature test shows the mineral fluid has the characteristics of medium-low temperature, low salinity and ultra-high pressure, so the mineral liquid may come from deep area. By compare and study the altered body isotope geochemistry and altered body typical gold deposit isotope geochemistry in southwest Guizhou, it shows the mineral material may come from deep area, the hydrothermal upwelling and mix into the crust.

[Key words] Southwest; Dachang antimony ore; inclusion; Isotope

(上接第 101 页)

Geologic Characteristics of Coal Seam in Northwest Sangmuchang Anticline of Guizhou

ZHONG Fang-de

(Guizhou Coalmine Geological Engineering Consultant and Geological Environmental Monitoring Center, 550006, Guiyang, Guizhou, China)

[Abstract] Movable seam in northwest Sangmuchang is taken as an important target, it deeply analysis the coal and rock features of each mining seam, detailed compare and analysis the seam quality in physical property, coal and rock features and chemical characteristics. The result shows that the distribution characteristics of the same coal seam is the center of northwest Longbao anticline, the tendency of be thinning from southwest to northeast. In this area, the movable seam mainly is massive and lineation-thin banded structure. The organic components are mainly vitrinite and inert mass group, not include chitin group. The coal seam maximum reflectivity show the 'turning point' in 9# as the increase of seam buried depth, it means this area maybe influenced by magmatic intrusion in the sedimentary environment. Sulfur content, ash content, gas content/concentration and other vertical volatility change shows seam 5# and 12# in the 'biggest marine flooding surface' of sequence cycle, it reveals there are at least 2 different coal reservoir pressure system in this area.

[Key words] Coal-bearing rock series; Sangmuchang anticline; Sedimentary environment; Coal reservoir; Distribution characteristics