

文章编号:0258-7106 (2008) 05-0570-09

湖北徐家山锑矿床流体包裹体特征及其意义*

沈能平^{1, 2}, 彭建堂¹, 袁顺达^{1, 3}, 张东亮^{1, 2}, 胡瑞忠¹, 王国强^{1, 2}

(1 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要 文章利用激光拉曼光谱和显微测温学方法,对湖北徐家山锑矿床成矿期的石英、重晶石和方解石中的流体包裹体进行了研究。研究表明,这些矿物中的流体包裹体主要有纯液体包裹体和液体包裹体(气相+液相)2类,其液体包裹体的气相成分为 $H_2O \pm CO_2 \pm N_2$;石英、重晶石和方解石的均一温度分别为 $134 \sim 258^\circ C$ 、 $154 \sim 259^\circ C$ 和 $145 \sim 230^\circ C$,主要集中于 $150 \sim 200^\circ C$;流体的盐度 $w(NaCl_{eq})$ 和密度分别集中于 $3\% \sim 6\%$ 和 $0.90 \sim 0.96 g/cm^3$ 。流体包裹体资料揭示出该矿床为典型的中低温热液锑矿床,其成矿流体为中低温、低盐度、中等密度热液。结合H、O、Sr、Pb同位素等研究结果,进一步推断该成矿热液主要是经深部循环演化的大气降水。

关键词 地球化学;流体包裹体;成矿流体;徐家山锑矿床;湖北

中图分类号:P618.66

文献标志码:A

Characteristics of fluid inclusions in Xujiashan antimony deposit of Hubei Province and its implications

SHEN NengPing^{1, 2}, PENG JianTang¹, YUAN ShunDa^{1, 3}, ZHANG DongLiang^{1, 2},
HU RuiZhong¹ and WANG GuoQiang^{1, 2}

(1 State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China; 2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037, China)

Abstract

The Xujiashan antimony deposit is located in Tongshan County, Hubei Province, and its antimony mineralization occurs in marine carbonates of Upper Sinian Doushantuo and Dengying Formations. Microthermometry and laser Raman spectroscopy were used to study fluid inclusions in such gangue minerals associated with antimony mineralization as quartz, barite and calcite. There are two types of inclusions observed at room temperature in the studied minerals, namely liquid and liquid-vapor inclusions. Laser Raman spectrometric analysis shows that gaseous components of the liquid-vapor inclusions are mainly H_2O and subordinately CO_2 and N_2 . Homogenization temperatures of liquid-vapor inclusions in quartz, barite and calcite range from $134^\circ C$ to $258^\circ C$, $154^\circ C$ to $259^\circ C$ and $145^\circ C$ to $230^\circ C$, respectively, mostly concentrated between 150 and $200^\circ C$. The calculated salinities and densities of fluids mainly fall in the range of $3\% \sim 6\%$ NaCl equivalent and $0.90 \sim 0.96 g/cm^3$, respectively. These fluid inclusion data indicate that the ore-forming fluid of the Xujiashan antimony deposit is character-

* 本文得到国家自然科学基金项目(40673021、40472053)的资助

第一作者简介 沈能平,男,1979年生,博士研究生,主要从事矿床学、矿床地球化学研究。E-mail: shennengping@163.com。

通讯作者:彭建堂,男,博士,研究员,主要从事矿床学、同位素地球化学研究。通讯地址:贵州省贵阳市观水路46号中国科学院地球化学研究所,邮编:550002。E-mail: pengjiantang@vip.gyig.ac.cn。Tel: +86-851-5895405。

收稿日期 2008-01-28; 改回日期 2008-04-01。李德先编辑。

ized by low-moderate temperature, low salinity and moderate density.. Combined with H, O, Sr and Pb isotopes data, it is held that this fluid should be deep circulating meteoric water.

Key words: geochemistry, fluid inclusion, ore-forming fluid, Xujiashan antimony deposit, Hubei Province

流体在热液矿床形成过程中扮演着十分重要的角色,是成矿物质得以活化、迁移、富集的主要介质。对流体包裹体(成矿过程中矿物捕获的流体)进行研究是获取成矿流体信息最直接、最有效的手段(Roedder,1984;Savard et al.,2000;Graupner et al.,2001;Wilkinson,2001;Lu et al.,2003;卢焕章等,2004;Paradis et al.,2004;Ioannou et al.,2007)。湖北徐家山锑矿床是鄂南地区最具经济价值的锑矿床,同时也是华南锑矿带内赋存于震旦纪地层中典型的锑矿床之一。总体而言,该矿床研究程度偏低,对其成矿流体的来源,目前还没有一个统一的认识,如俞惠隆(1988)认为主要来源于大气降水,而李江洲(1998)推测可能主要来源于地层水和岩浆期后热液。

本文对该矿床成矿期脉石矿物(石英、重晶石和方解石)中的流体包裹体进行了显微测温工作,并对其中一些代表性的单个流体包裹体的气相成分进行了激光拉曼光谱分析,以期确定该矿床成矿流体的性质,为探讨流体来源和认识矿床成因提供新的依据。

1 矿床地质概况

徐家山锑矿床位于湖北省通山县境内,在构造上位于下扬子地台褶皱带南缘,大幕山短轴背斜北翼东段,大幕山锑矿田内(图 1)。矿区内出露地层有下震旦统南沱组(Z_1n)冰碛含砾砂质泥岩,上震旦统陡山沱组(Z_2d)和灯影组(Z_2dn)碳酸盐岩、硅质岩

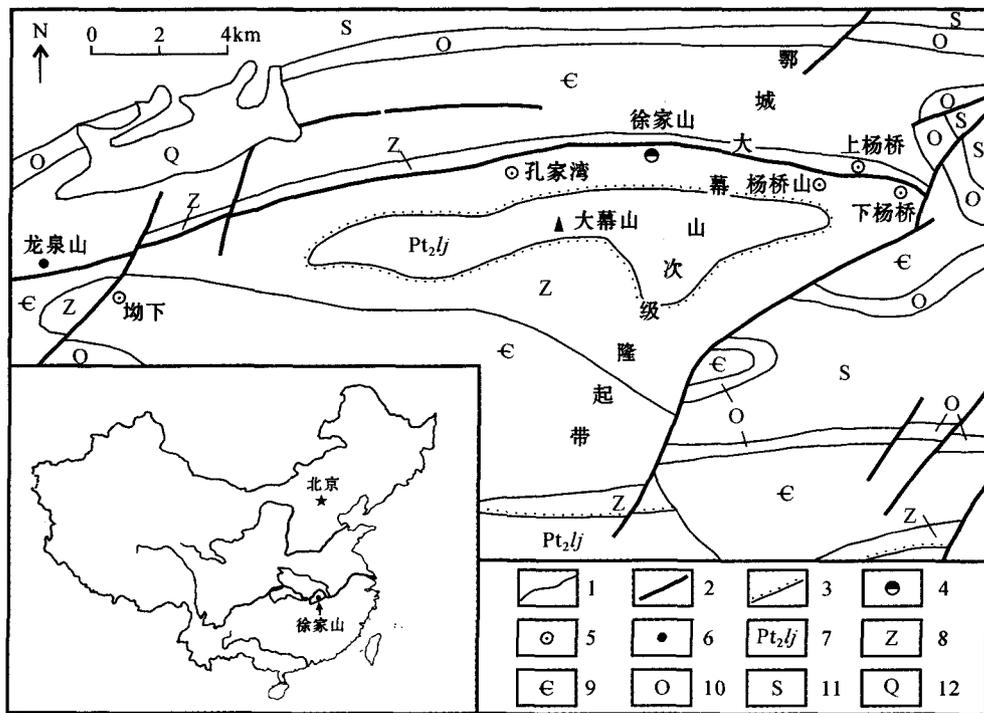


图 1 湖北通山县大幕山锑矿田地质图(据俞惠隆,1987 修改)

1—地质界线; 2—断裂; 3—角度不整合界线; 4—徐家山锑矿床; 5—锑矿点; 6—汞锑矿点; 7—中元古界冷家溪群; 8—震旦系; 9—寒武系; 10—奥陶系; 11—志留系; 12—第四系

Fig. 1 Geological map of the Damushan antimony orefield in Tongshan County, Hubei Province (modified after Yu, 1987)
Geological boundary; 2—Fault; 3—Angular unconformity boundary; 4—Xujiaoshan antimony deposit; 5—Antimony ore spot; 6—Mercury-antimony ore spot; 7—Mesoproterozoic Lengjiaxi Group; 8—Sinian; 9—Cambrian; 10—Ordovician; 11—Silurian; 12—Quaternary

及下寒武统东坑组(E_1d)硅质岩和页岩的一部分。地层走向近EW,向北倾,倾角 $45\sim 90^\circ$ 。区内断裂以近EW向为主,NE向、NNE向构造也较发育,但规模均较小(孙汉芝等,1988)。在矿区范围内未见岩浆岩出露(俞惠隆,1986)。

截止目前,徐家山锑矿床共圈出9个矿体,归属于4个锑矿带,主要呈似层状、透镜状、脉状等赋存于灯影组及陡山沱组中。单个矿体长 $13\sim 375\text{ m}$,延深 $13\sim 391\text{ m}$,厚 $0.6\sim 5.2\text{ m}$,总体走向 $93\sim 100^\circ$,倾向北,倾角 $59\sim 86^\circ$,矿体走向与地层走向一致^①。

该矿床的矿物组合较简单,金属矿物主要是辉锑矿,近地表有部分锑的氧化物(锑华、锑赭石),另有少量黄铁矿、闪锌矿等;脉石矿物以石英、方解石为主,另有少量重晶石。根据矿石中的矿物共生组合(图2a、b、c)特征,一般将矿石划分为石英-辉锑

矿、方解石-石英-辉锑矿、重晶石-辉锑矿、方解石-辉锑矿等类型。此外,围岩蚀变以硅化为主,次为方解石化、重晶石化和黄铁矿化等。

2 研究结果与分析

2.1 流体包裹体基本特征

通过对徐家山矿床详细野外地质观察和系统采样,笔者选择有典型代表性的样品共制备了75件包裹体片。经显微镜下详细观察和系统鉴定,大部分样品中流体包裹体不发育,少数样品局部流体包裹体发育,但类型较为单一。根据卢焕章等(2004)分类方案,徐家山锑矿床中的流体包裹体仅有纯液体包裹体和液体包裹体(气相+液相)2类,未见含 CO_2 包裹体和含子矿物包裹体等。总体上,这些流体包裹

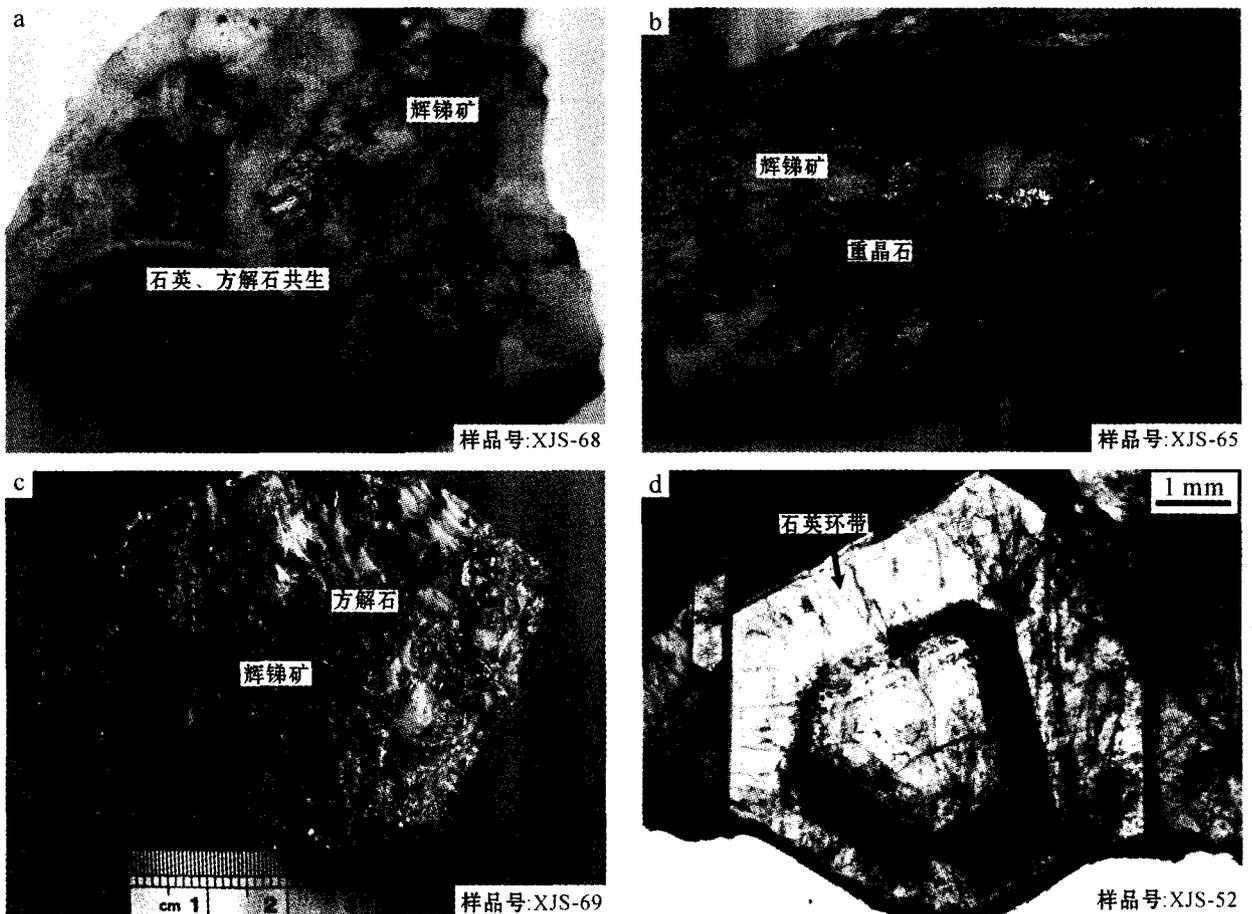


图2 徐家山锑矿床不同类型矿石(a、b、c)和成矿期石英(d)

Fig. 2 Different types of ores (a, b, c) and quartz of the ore-forming stage (d) from the Xujiashan antimony deposit

① 湖北省鄂东南地质大队. 1985. 湖北省通山县徐家山锑矿床详细普查地质报告.

体在石英中主要分布于生长环带内(图 2d);在重晶石中局部成群分布;在方解石中成带分布,带的走向与方解石解理不平行。绝大多数包裹体个体较小,一般小于 $3\ \mu\text{m}$ 。

本次进行详细研究的主要是石英、重晶石和方解石中那些个体相对较大的液体包裹体,大小以 $6\sim 14\ \mu\text{m}$ 为主,个别可达 $20\ \mu\text{m}$ 左右(图 3)。这些包裹体的形态以近椭圆形为主(图 3a、d、f),次为长条状(图 3b)和不规则状(图 3c),偶见负晶形包裹体(图 3e)。据镜下观察判断,这些包裹体均为原生包裹体,呈孤立分布或不规则分布,其气相百分数相对较小,绝大多数小于 5% 。

2.2 包裹体的均一温度和冰点

液体包裹体的显微测温工作在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室流体包裹体实验室完成。测试仪器为英国 Linkam THMSG600 型冷热台,测温范围为 $-196\sim$

$+600\ ^\circ\text{C}$,冷冻数据和均一温度数据的精度分别为 $\pm 0.1\ ^\circ\text{C}$ 和 $\pm 2\ ^\circ\text{C}$ 。本次测试过程中升温速率在冰点附近为 $0.2\ ^\circ\text{C}/\text{min}$,在均一温度附近为 $0.5\ ^\circ\text{C}/\text{min}$ 。

尽管常温下可以观察到徐家山锑矿床重晶石局部发育有很好的液体包裹体(图 3d),但有两方面的原因经常导致对其测温失败:一是在升降温的测试过程中,包裹体容易破裂;二是大部分包裹体边部呈黑色,相变很难分辨清楚。而方解石中能用于测温的液体包裹体一般很少,且个体较小。故对这 2 种矿物中包裹体进行测温相对较困难,得到的均一温度和冰点数据偏少。相对来说,石英中液体包裹体发育较好,容易进行测温;但有些在冰点附近相变难以准确判断,故对这部分包裹体只测定了均一温度。本次显微测温及计算的盐度和密度统计结果显示(见表 1),石英、重晶石和方解石中流体包裹体的均一温度(均一至液相)分别为 $134\sim 258\ ^\circ\text{C}$ ($n=153$)、 $154\sim 259\ ^\circ\text{C}$ ($n=12$)和 $145\sim 230\ ^\circ\text{C}$ ($n=9$)。3种

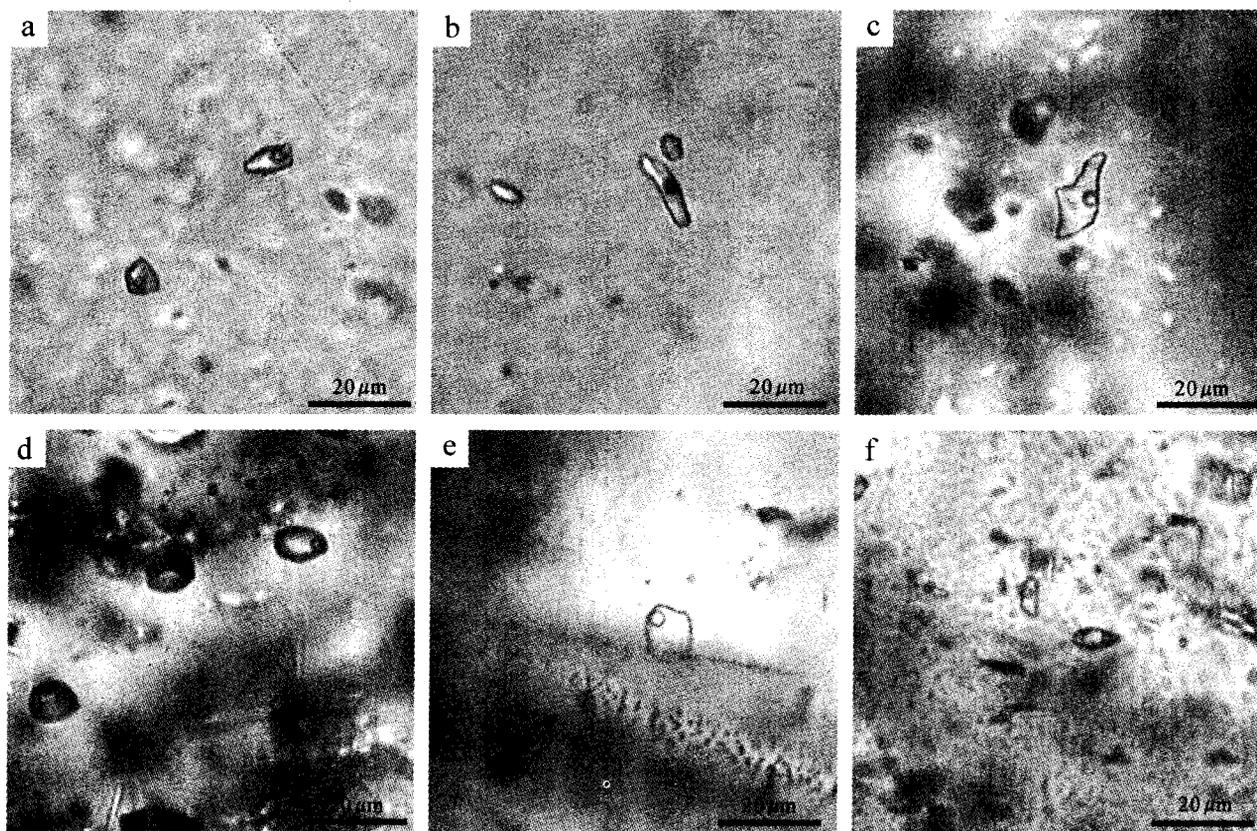


图 3 徐家山锑矿床石英(a、b、c)、重晶石(d、e)和方解石(f)中流体包裹体显微照片

Fig. 3 Photomicrographs of fluid inclusions in quartz (a, b, c), barite (d, e) and calcite (f) from the Xujiashan antimony deposit

表1 徐家山锑矿床流体包裹体测温结果

Table 1 Microthermometric data of fluid inclusions from the Xujiashan antimony deposit

| 寄主矿物 | $t_m/^\circ\text{C}$ | | $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})/\%$ | | $t_h/^\circ\text{C}$ | | 密度/(g/cm^3) | |
|------|----------------------|----------|---------------------------------|----------|----------------------|----------|-------------------------------|----------|
| | 范围 | 平均值 | 范围 | 平均值 | 范围 | 平均值 | 范围 | 平均值 |
| 石英 | -4.5~-0.9(51) | -2.8(51) | 1.48~7.15(51) | 4.59(51) | 134~258(153) | 175(153) | 0.83~0.96(49) | 0.93(49) |
| 重晶石 | -3.2~-0.5(16) | -2.4(16) | 0.86~5.29(16) | 4.02(16) | 154~259(12) | 187(12) | 0.82~0.95(10) | 0.92(10) |
| 方解石 | -2.8~-2.4(6) | -2.7(6) | 4.02~4.59(6) | 4.45(6) | 145~230(9) | 183(9) | 0.86~0.96(6) | 0.92(6) |

注:密度和盐度由 Bodnar(1983;1993)的经验公式计算获得;括号内为统计数。

矿物的包裹体均一温度变化范围一致,在直方图中总体存在一个峰值区间:150~200 $^\circ\text{C}$ (图4),表明该矿床属典型的中低温热液矿床。

用冷冻法测得石英、重晶石和方解石中流体包裹体的冰点分别为-4.5~-0.9 $^\circ\text{C}$ ($n=51$)、-3.2~-0.5 $^\circ\text{C}$ ($n=16$)和-2.8~-2.4 $^\circ\text{C}$ ($n=6$),在直方图中峰值区间为-3.5~-2.0 $^\circ\text{C}$ (图5a)。

2.3 包裹体气相激光拉曼探针分析

单个包裹体的成分分析在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室激光拉曼光谱实验室完成。测试仪器为英国 Renishaw 公司生产的 InVia Reflex 型显微共焦激光拉曼光谱仪,光源为 Spectra-Physics 氙离子激光器,波长 514 nm,激光功率 20 mW,空间分辨率为 1~2 μm 。本次分析积分时间一般为 30 s,少数积分时间适当延长至 60 s、120 s 或 240 s,并主要在 100~4 000 cm^{-1} 波段取谱。

分析结果表明,徐家山锑矿床石英、重晶石和方解石中绝大多数液体包裹体的气相成分以 H_2O 为

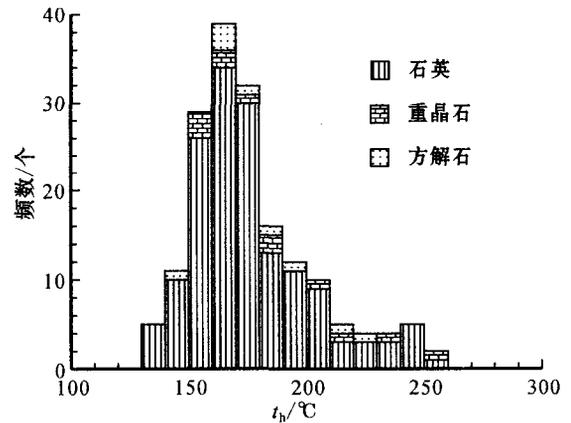


图4 徐家山锑矿床流体包裹体均一温度直方图
Fig. 4 Histogram showing homogenization temperature of fluid inclusions from the Xujiashan antimony deposit

主,尤其是那些气相百分数相对较小(<5%)的包裹体,在激光拉曼光谱中只显示主矿物峰和 H_2O 峰(在重晶石中 H_2O 峰一般不明显),与水溶液激光

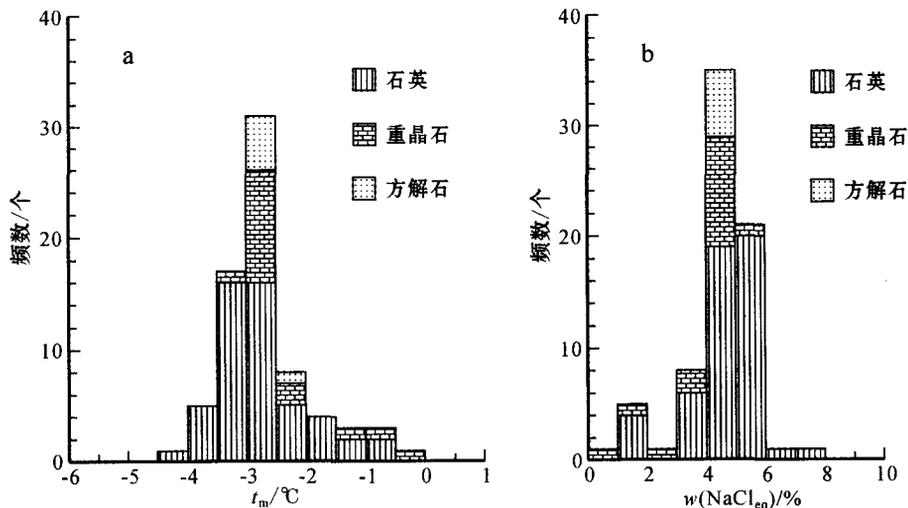


图5 徐家山锑矿床流体包裹体冰点(a)和盐度(b)直方图

Fig. 5 Histogram of freezing points (a) and salinities (b) of fluid inclusions from the Xujiashan antimony deposit

拉曼光谱基本一致。气相百分数相对较大的液体包裹体,其气相成分往往含有 CO₂(图 6a、b、c),极少数石英液体包裹体中可检测到 N₂(图 6d)。通过峰强度分析,CO₂ 的含量要高于 N₂ 的含量,但总的来说,两者的含量均甚微,不适于计算,且不同矿物包裹体中气相成分 CO₂ 及石英包裹体中气相成分 N₂ 的含量均呈现从无到有,由少到多的渐变过程。此外,本次研究的所有包裹体中均没有 H₂S、CH₄ 等其他气体成分,故该矿床主要脉石矿物中液体包裹体

的气相成分可综合为 H₂O ± CO₂ ± N₂。

2.4 成矿流体的盐度和密度

徐家山锑矿床成矿期脉石矿物中未见含子矿物包裹体,且本次测试得到的流体包裹体冰点数据,均指示其流体盐度很低。利用 Bodnar(1993)获得的低盐度下 H₂O-NaCl 体系中盐度-冰点关系式:

$$w = 0.00 + 1.78\theta - 0.0442\theta^2 + 0.000557\theta^3$$

(*w* 为 NaCl 的重量百分数, *θ* 为冰点下降温度,即所测冰点的绝对值),计算出石英、重晶石和方解石的盐度 *w* (NaCl_{eq}) 分别为 1.48% ~ 7.15% (*n* = 51)、0.86% ~ 5.29% (*n* = 16) 和 4.02% ~ 4.59% (*n* = 6),在直方图中峰值区间为 3% ~ 6% (图 5b)。

徐家山锑矿床成矿流体属于中低温、低盐度流体。根据流体包裹体的均一温度和盐度数据,利用 Bodnar(1983)的经验公式,得到石英、重晶石和方解石的流体密度 (g/cm³) 分别为 0.83 ~ 0.96 (*n* = 49)、0.82 ~ 0.95 (*n* = 10) 和 0.86 ~ 0.96 (*n* = 6),其密度范围一致 (表 1),但在直方图中存在 2 个区间:即 0.82 ~ 0.86 和 0.89 ~ 0.97,流体密度主要集中于 0.90 ~ 0.96 g/cm³ 范围内 (图 7)。

3 成矿流体来源探讨

通过上述研究可得出,徐家山锑矿床成矿期脉石矿物中流体包裹体的主要特征为类型少,气相百分数低等;其成矿流体为中低温、低盐度、中等密度 (图 8) 的 NaCl + H₂O ± CO₂ ± N₂ 热液,明显不同

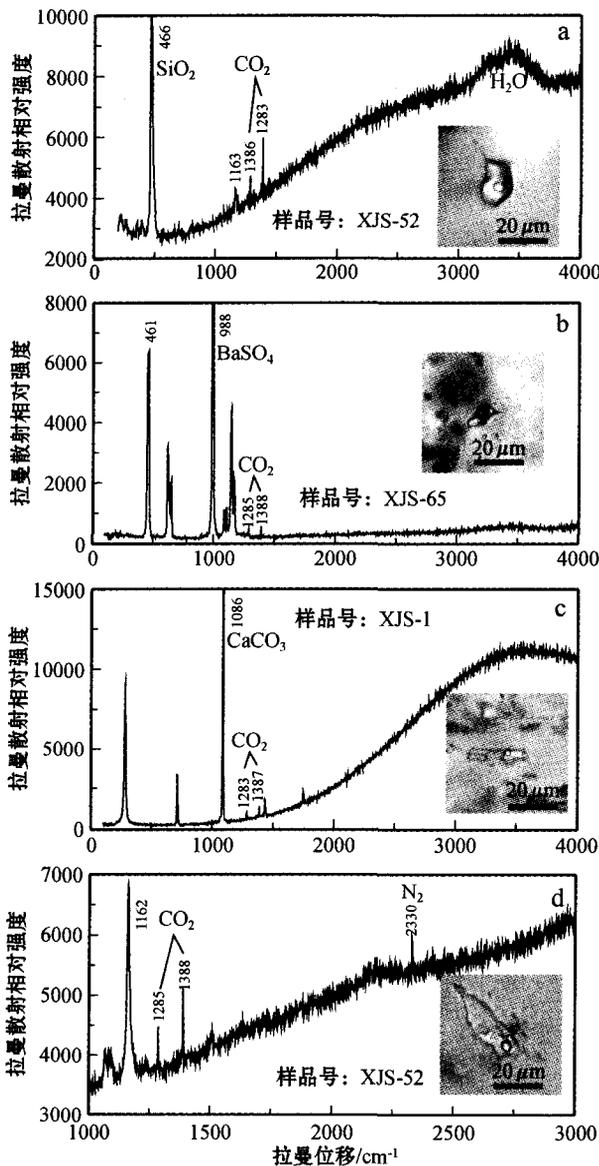


图 6 徐家山锑矿床脉石矿物中流体包裹体激光拉曼光谱
a、b、c 寄主矿物分别为石英、重晶石和方解石,积分时间 30 s;
d 寄主矿物为石英,积分时间 120 s

Fig. 6 Laser Raman spectra of fluid inclusions in gangue minerals from the Xujiashan antimony deposit

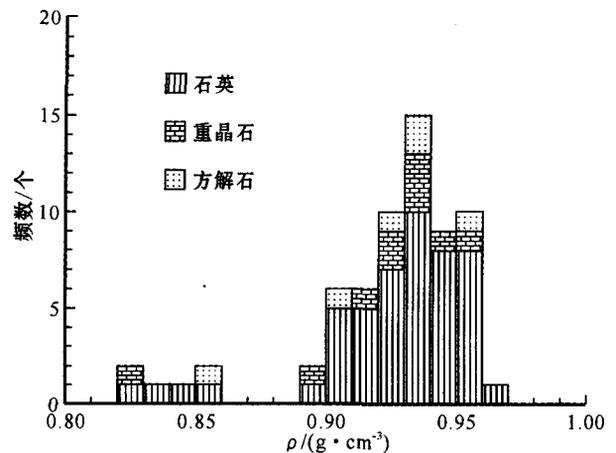


图 7 徐家山锑矿床不同矿物中流体密度直方图

Fig. 7 Histogram of densities of different gangue minerals from the Xujiashan antimony deposit

于岩浆热液矿床中包裹体特征及其成矿流体的性质(卢焕章,2000),且至今未发现徐家山矿区范围内出露岩浆岩(俞惠隆,1986),指示该矿床的成矿流体与岩浆热液无关,不支持成矿热液来源于岩浆期后热液的推断(李江洲,1998)。对比研究发现,本次流体包裹体显微测温结果与华南锑矿带内一些典型锑矿床流体包裹体研究结果类似(表2),表明徐家山锑矿床的成矿流体来源可能同这些锑矿床一样,主要来源于大气降水。该矿成矿期方解石和石英中包裹体的H、O同位素数据($\delta D = -90\text{‰} \sim -82\text{‰}$, $\delta^{18}O = -1.6\text{‰} \sim +1.7\text{‰}$)(俞惠隆,1987)也支持该结论。此外,结合该矿已有的Sr、Pb同位素研究结果(沈能平等,2007;2008),进一步推断其成矿流体主要来源于经深部循环的大气降水,类似于湖南锡矿山锑矿床的成矿流体来源(杨照柱等,1998;彭建堂等,2001)。

表2 华南锑矿带内典型锑矿床流体包裹体均一温度和盐度

Fig. 2 Homogenization temperature and salinity of fluid inclusions from some typical antimony deposits in South China antimony ore belt

| 矿床名称 | 寄主矿物 | $t_h/^\circ\text{C}$ | | $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})/\%$ | | 资料来源 |
|------|-----------|----------------------|-----|---------------------------------|-----|-----------|
| | | 范围 | 平均值 | 范围 | 平均值 | |
| 锡矿山 | 方解石 | 124~280 | 190 | 3.1~8.5 | 4.8 | 解庆林等,1996 |
| 锡矿山 | 方解石和石英 | 139~275 | 198 | 0.6~8.5 | 2.8 | 杨照柱等,1998 |
| 渣滓溪 | 方解石和石英 | 156~222 | | 4.7~7.7 | | 何江等,1996 |
| 老厂 | 方解石和萤石 | 130~194 | | 4.0~9.1 | | 蔡华君等,1997 |
| 晴隆大厂 | 萤石、石英和重晶石 | 130~195 | | 4.3~8.1 | | 蔡华君等,1997 |
| 木利 | 石英和方解石 | 95~196 | | 3.7~8.8 | | 蔡华君等,1997 |
| 马雄 | 石英 | 141~210 | | 6.6~10.1 | | 蔡华君等,1997 |
| 独山半坡 | 石英和方解石 | 144~165 | | 1.8~7.3 | 4.4 | 王学琨等,1994 |
| 独山巴年 | 方解石 | 122~234 | 157 | 2.7~8.0 | 7.0 | 王学琨等,1996 |
| 沃溪 | 石英 | 165~210 | 195 | 4.3~8.2 | 7.0 | 牛贺才等,1991 |

4 结论

通过对徐家山锑矿床脉石矿物中流体包裹体研究,发现该矿床中成矿期石英、重晶石和方解石中包裹体类型单一,仅有纯液体包裹体和液体包裹体2类。激光拉曼探针分析表明,这些脉石矿物中液体包裹体的气相成分以 H_2O 为主,含少量 CO_2 和 N_2 。显微测温结果表明,该矿床成矿流体为中低温度($150\sim 200^\circ\text{C}$)、低盐度(3%~6%)和中等密度($0.90\sim 0.96\text{ g/cm}^3$)热液。流体包裹体资料揭示出,该矿床为典型的中低温热液锑矿床。结合H、O、Sr、Pb同位素研究结果,推断其成矿流体主要来源于经深

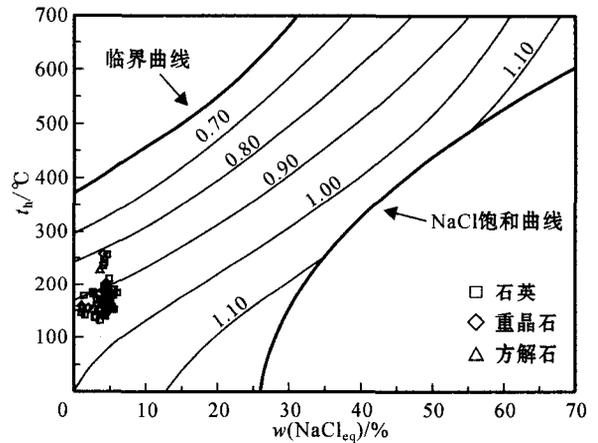


图8 NaCl-H₂O体系的均一温度-盐度-密度相图(底图据Bodnar,1983)

Fig. 8 Phase diagram of homogenization temperatures-salinities-densities in the NaCl-H₂O system (base map from Bodnar, 1983)

部循环的大气降水。

志谢 野外工作期间得到湖北省通山县徐家山锑矿工作人员的大力支持;室内分析测试得到中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室秦朝建助理研究员、田建吉博士和武丽艳博士的指导和帮助;苏文超副研究员审阅了全文并提出一些中肯意见。在此一并致以诚挚的谢意!

References

- Bodnar R J. 1983. A method of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and P-V-T-X properties of inclusion fluids

- [J]. *Econ. Geol.*, 78(3): 535-542.
- Bodnar R J. 1993. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57(3): 683-684.
- Cai H J, Zhang B G and Li Y S. 1997. Fluid inclusion geochemistry of antimony deposits in the border area between Yunnan, Guizhou and Guangxi[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 17(4): 427-434 (in Chinese with English abstract).
- Graupner T, Kempe U, Spooner E T C, Bray C J, Kremenetsky A A and Irmner G. 2001. Microthermometric, laser Raman spectroscopic, and volatile-ion chromatographic analysis of hydrothermal fluids in the Paleozoic Muruntau Au-bearing quartz vein ore field, Uzbekistan[J]. *Econ. Geol.*, 96(1): 1-23.
- He J, Ma D S and Liu Y J. 1996. Geochemistry of mineralization in the Zhazixi antimony ore belt on the margin of the Jiangnan old land [J]. *Mineral Deposits*, 15(1): 41-52 (in Chinese with English abstract).
- Ioannou S E, Spooner E T C and Barrie C T. 2007. Fluid temperature and salinity characteristics of the matagami volcanogenic massive sulfide district, Quebec[J]. *Econ. Geol.*, 102(4): 691-715.
- Li J Z. 1998. Analysis on the ore-forming materials source of the antimony deposit in Southern Hubei[J]. *Hubei Geology & Mineral Resources*, 12(3): 16-23 (in Chinese with English abstract).
- Lu H Z. 2000. High temperature, salinity and high concentrated ore metal magmatic fluids: An example from Grasberg Cu-Au porphyry deposit[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 16(4): 465-472 (in Chinese with English abstract).
- Lu H Z, Liu Y M, Wang C L, Xu Y Z and Li H Q. 2003. Mineralization and fluid inclusion study of the Shizhuyuan W-Sn-Bi-Mo-F skarn deposit, Hunan Province, China[J]. *Econ. Geol.*, 98(5): 955-974.
- Lu H Z, Fan H R, Ni P, Ou G X, Shen K and Zhang W H. 2004. Fluid inclusions[M]. Beijing: Science Press. 1-487 (in Chinese).
- Niu H C and Ma D S. 1991. Fluid inclusion studies of Jiangnan-type gold deposits in western Hunan Province[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 11(4): 386-394 (in Chinese with English abstract).
- Paradis S, Chi G and Lavoie D. 2004. Fluid inclusion and isotope evidence for the origin of the Upton Ba-Zn-Pb deposit, Quebec Appalachians, Canada[J]. *Econ. Geol.*, 99(4): 807-817.
- Peng J T and Hu R Z. 2001. Carbon and oxygen isotope systematics in the Xikuangshan giant antimony deposit, Central Hunan[J]. *Geological Review*, 47(1): 34-41 (in Chinese with English abstract).
- Roedder E. 1984. Fluid inclusions[M]. *Reviews in Mineralogy*. 12, 1-644.
- Savard M M, Chi G, Sami T, Williams-Jones A E and Leigh K. 2000. Fluid inclusion and carbon, oxygen, and strontium isotope study of the Polaris Mississippi Valley-type Zn-Pb deposit, Canadian Arctic Archipelago: Implications for ore genesis[J]. *Mineralium Deposita*, 35(6): 495-510.
- Shen N P, Peng J T, Yuan S D, Zhang D L, Fu Y Z and Hu R Z. 2007. Carbon, oxygen and strontium isotope geochemistry of calcites from Xujiashan antimony deposit, Hubei Province [J]. *Geochimica*, 36(5): 479-485 (in Chinese with English abstract).
- Shen N P, Peng J T, Yuan S D, Zhang D L and Hu R Z. 2008. Lead isotope compositions and its significance for ore-forming material of the Xujiashan antimony deposit, Hubei Province[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 28(2): 169-176 (in Chinese with English abstract).
- Sun H Z and Lei L. 1988. Geological characteristics of the Xujiashan stratified antimony deposit in Hubei Province[J]. *Mineral Deposits*, 7(2): 49-54 (in Chinese with English abstract).
- Wilkinson J J. 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits[J]. *Lithos*, 55(1-4): 229-272.
- Xie Q L, Ma D S and Liu Y J. 1996. Geochemical characteristics of calcite in the Xikuangshan antimony deposit, Hunan[J]. *Mineral Resources and Geology*, 10(2): 94-99 (in Chinese with English abstract).
- Yang Z Z, Ma D S and Xie Q L. 1998. The genesis and ore-forming fluid of the super-large antimony deposit of Xikuangshan, China [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 13(3): 49-60 (in Chinese with English abstract).
- Yu H L. 1986. An antimony deposit of the megacrystalline calcite vein-type[J]. *Chinese Science Bulletin*, 31(19): 1491-1494 (in Chinese).
- Yu H L. 1987. The material source of and the properties of ore-forming solutions responsible for stratabound Sb deposits in carbonate rocks at Xujiashan, Hubei Province[J]. *Geochimica*, 16(2): 167-175 (in Chinese with English abstract).
- Yu H L. 1988. Typomorphic characteristics of stibnite from Xujiashan, Hubei Province with a discussion on its genesis[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 7(4): 361-367 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 蔡华君, 张宝贵, 李院生. 1997. 滇黔桂三角地区锑矿床流体包裹体研究[J]. *矿物学报*, 17(4): 427-434.
- 何江, 马东升, 刘英俊. 1996. 江南古陆边缘渣滓溪锑矿带成矿作用地球化学研究[J]. *矿床地质*, 15(1): 41-52.
- 李江洲. 1998. 鄂南地区锑矿成矿物质来源浅析[J]. *湖北地矿*, 12(3): 16-23.
- 卢焕章. 2000. 高盐度、高温和高成矿金属的岩浆成矿流体——以格拉斯伯格 Cu-Au 矿为例[J]. *岩石学报*, 16(4): 465-472.
- 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 欧光习, 沈昆, 张文淮. 2004. 流体包裹体[M]. 北京: 科学出版社. 1-487.
- 牛贺才, 马东升. 1991. 湘西南南型金矿床流体包裹体的研究[J]. *矿*

- 物学报, 11(4): 386-394.
- 彭建堂, 胡瑞忠. 2001. 湘中锡矿山超大型铋矿床的碳、氧同位素体系[J]. 地质论评, 47(1): 34-41.
- 沈能平, 彭建堂, 袁顺达, 张东亮, 符亚洲, 胡瑞忠. 2007. 湖北徐家山铋矿床方解石 C、O、Sr 同位素地球化学[J]. 地球化学, 36(5): 479-485.
- 沈能平, 彭建堂, 袁顺达, 张东亮, 胡瑞忠. 2008. 湖北徐家山铋矿床铅同位素组成与成矿物质来源探讨[J]. 矿物学报, 28(2): 169-176.
- 孙汉芝, 雷 蕾. 1988. 湖北徐家山层状铋矿床地质特征简介[J]. 矿床地质, 7(2): 49-54.
- 王学琨, 金世昌. 1994. 贵州独山铋矿地质[M]. 昆明: 云南科技出版社. 53-82.
- 王学琨, 崔银亮. 1996. 贵州独山巴年铋矿床地质特征及成矿条件探讨[J]. 西南矿产地质, 10(3-4): 22-31.
- 解庆林, 马东升, 刘英俊. 1996. 锡矿山铋矿床方解石的地球化学特征[J]. 矿产与地质, 10(2): 94-99.
- 杨照柱, 马东升, 解庆林. 1998. 锡矿山超大型铋矿床流体成矿作用及矿床成因[J]. 地质找矿论丛, 13(3): 49-60.
- 俞惠隆. 1986. 一种巨晶方解石脉型铋矿[J]. 科学通报, 31(19): 1491-1494.
- 俞惠隆. 1987. 徐家山碳酸盐地层中层控铋矿床的矿质来源与矿液性质[J]. 地球化学, 16(2): 167-175.
- 俞惠隆. 1988. 湖北徐家山辉铋矿的标型特征及其成因探讨[J]. 岩石矿物学杂志, 7(4): 361-367.