

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2017.03.006

板溪锑矿床流体包裹体研究

唐宇蔷^{1,2}, 孔 华^{1,2}, 吴堃虹^{1,2}, 奚小双^{1,2}

(1. 中南大学地球科学与信息物理学院, 长沙 410083;

2. 有色金属成矿预测与地质环境监测教育部重点实验室, 长沙 410083)

摘要: 板溪锑矿床是湘中锑矿集区内的一个中型石英脉型锑矿床, 赋存于板溪群五强溪组浅变质碎屑岩中, 受 NE 向的桃江—城步断裂带控制。流体包裹体研究表明, 板溪锑矿流体包裹体类型包括富液相水溶液包裹体(I 型)、富二氧化碳包裹体(II 型)、纯液相包裹体(III 型)三类; 流体盐度为 $w(\text{NaCl}, \text{eq}) = 3.4\% \sim 7.7\%$, 均一温度为 $181 \sim 331^\circ\text{C}$, 流体的密度为 $0.78 \sim 0.92 \text{ g/cm}^3$, 矿区成矿流体具有中低温、低盐度、低密度的特点, 成矿流体的 pH 值为 5.72, 估计成矿压力为 $49 \sim 91 \text{ MPa}$, 成矿的地壳深度为 $5.6 \sim 7.8 \text{ km}$; 均一温度与盐度呈正相关关系, 成矿过程中两种流体发生混合作用而成矿。

关键词: 流体包裹体; 成矿流体; 板溪; 湘中地区

中图分类号: P599; P618.66 **文献标识码:** A

0 引言

湘中地区是我国最重要的锑矿生产基地和资源基地, 板溪锑矿是本区内一中型石英脉型锑矿床, 具有悠久的开采历史。前人对此矿床的矿床地质特征、控矿因素等方面作了详细的研究^[1-4]; 关于矿区成矿流体的来源观点有: 地热水^[5]、岩浆水与地热水的混合溶液^[3]、岩浆水与大气降水的混合溶液^[6]等。本文将在前人研究的基础上, 通过研究板溪锑矿床不同类型流体包裹体的特征来探讨成矿流体的性质和形成条件。

1 矿床地质概况

板溪锑矿地处扬子板块与华夏板块的过渡地带——华南锑矿带, 受 NE 向桃江—城步断裂带控制^[5]。板溪群五强溪组(Pt_3Bw)浅变质碎屑岩为该区间的主要赋矿围岩(图 1), 矿区构造分为 EW 向构

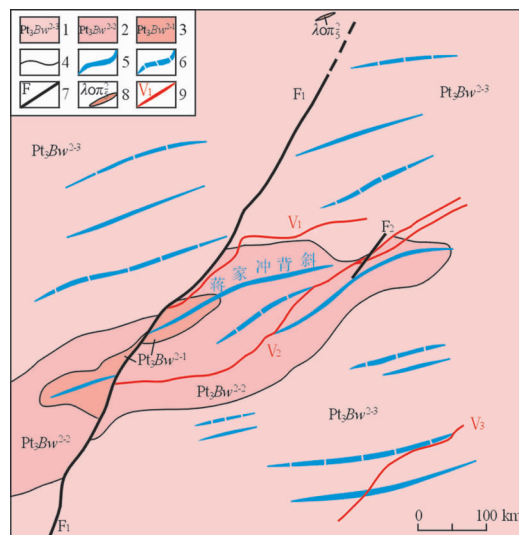


图 1 板溪锑矿床地质简图

(据注释①修改)

Fig. 1 Geologic sketch of the Banxi antimony deposit

1. 板溪群五强溪组上段第三亚段;
2. 板溪群五强溪组上段第二亚段;
3. 板溪群五强溪组上段第一亚段; 4. 地层界线;
5. 背斜; 6. 向斜; 7. 断裂; 8. 石英斑岩脉; 9. 矿脉

收稿日期: 2016-07-25; 责任编辑: 王传泰

作者简介: 唐宇蔷(1991—), 女, 硕士研究生, 研究方向矿床地球化学。通信地址: 湖南省长沙市岳麓区中南大学本部校区, 地球科学与信息物理学院 423 室; 邮政编码: 410083; E-mail: 969214616@qq.com

造与 NNE 向构造,EW 向构造以复式褶皱为主, NNE 向构造以 F_1 及派生的 NE 向断裂为主,矿区内未见与成矿有关的岩浆岩,仅在矿区的北部见一石英斑岩脉,该岩脉的 K-Ar 年龄为 200 Ma^[7]。NNE 向雁行排列的 V_1 、 V_2 和 V_3 为矿区的主要脉组。脉组由多个透镜状、脉状矿体以串珠状方式联接构成(图 2a、图 2b)。围岩蚀变主要是毒砂化、黄铁矿化、绢云母化和硅化作用,分布于矿脉的两侧,与锑矿化存在密切的空间关系。从矿石构造进行分类,板溪锑矿的矿石类型主要有浸染状、角砾状和致密块状等三种类型(图 2c、图 2d、图 2e)。矿石的矿物成分十分简单,金属矿物主要为辉锑矿,其次为少量的黄铁矿和毒砂;非金属矿物主要为石英,其次为少量的方解石和绿泥石。矿石结构主要为他形细粒

结构(图 2f)。

2 流体包裹体

2.1 包裹体样品采集及研究方法

本次研究的样品为含锑石英脉中的石英,采自板溪锑矿区 V_2 号脉的 8、11、14、17 和 18 中段的主巷道;将样品磨制成双面抛光的薄片,厚度约 0.06~0.08 mm。

在单偏光显微镜下进行岩相学研究,在 15 件样品中选择了 7 件包裹体发育好的样品作为测试样品。流体包裹体岩相学研究和冷冻-均一法测温工作在中南大学地球科学与信息物理学院流体包裹体

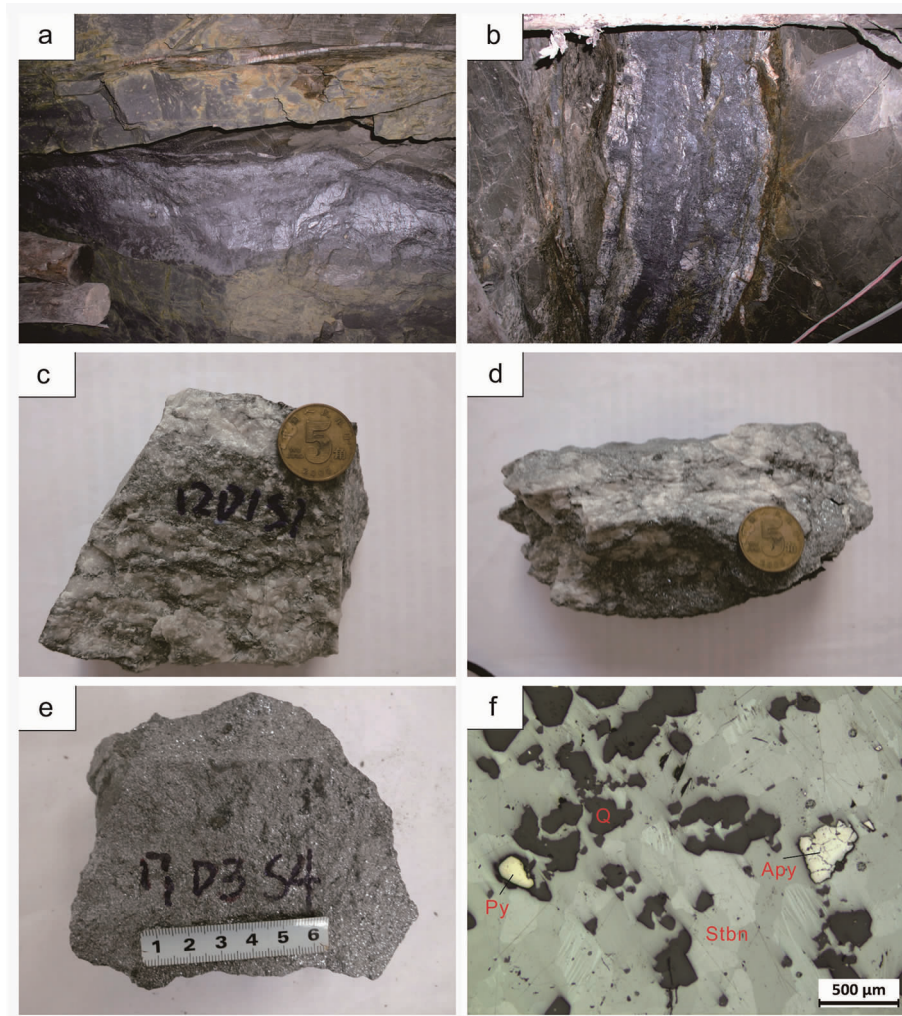


图 2 板溪锑矿床的矿体、矿石标本及镜下照片

Fig. 2 Field and microscopic photos of ore body and hand specimen samples

a、b. 脉状矿体; c. 浸染状矿石; d. 角砾状矿石; e. 致密块状矿石;

f. 矿石组成镜下照片: Q. 石英, Py. 黄铁矿, Apy. 毒砂, Stbn. 辉锑矿

实验室完成,使用仪器为英国产 Linkam THMS-600 型冷-热台,测温时仪器的使用温度范围为 $-196\sim 600^{\circ}\text{C}$;在 $30\sim 600^{\circ}\text{C}$ 时,精度为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$,在 $-196\sim 30^{\circ}\text{C}$ 时,精度为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$;升温速率主要控制在 $0.1\sim 1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

2.2 流体包裹体岩相学特征及分类

石英中存在原生包裹体和次生包裹体,次生包裹体一般穿切了石英颗粒或沿裂隙产出,包裹体大小为 $1\mu\text{m}$ 左右,形态很不规则,属非成矿期热液的产物。原生包裹体(图3)呈孤立状分布或呈层叠状较密集分布,大小为 $2\sim 8\mu\text{m}$,可分为富液相水溶液包裹体(I型)、富二氧化碳包裹体(II型)、纯液相包裹体(III型)三类。因无法获得III型包裹体的均一温度与盐度,仅对I型和II型包裹体进行了研究。

(1) I型包裹体。占原生包裹体总数的80%以上,该类包裹体由盐水溶液和气泡组成(图3a),形状为椭圆状、矩形、多边形状和不规则状,大小为 $2\sim 8\mu\text{m}$,气液比为10%左右,均一为液相。

(2) II型包裹体。占原生包裹体总数的5%左右,包裹体呈矩形、菱形或多边形,大小为 $2\sim 6\mu\text{m}$,

气液比为5%~10%,在 20°C 室温下为单相(图3b),降温出现气泡(图3c),在低于 31°C 时均一为液相,同一视域下见II型包裹体与I型包裹体共生(图3d)。

2.3 流体包裹体测温结果

用冷热台对各类型流体包裹体进行了冷冻法和均一法测温,测试结果见表1,利用均一温度和盐度绘制了直方图,如图4所示。

(1) I型包裹体均一温度。均一温度范围为 $181\sim 332^{\circ}\text{C}$,集中分布于 $200\sim 240^{\circ}\text{C}$ 附近,平均值为 242°C ,采用BROWN^[8]的FLINCOR计算程序计算得到水溶液的盐度和密度,其盐度范围为 $w(\text{NaCl}, \text{eq}) = 3.4\% \sim 7.7\%$,集中分布于5%~6%,平均值为5.6%;流体的密度值范围为 $0.74\sim 0.93\text{ g}/\text{cm}^3$,集中分布于 $0.84\sim 0.92\text{ g}/\text{cm}^3$ 附近,平均值为 $0.87\text{ g}/\text{cm}^3$ 。

(2) II型包裹体均一温度。均一温度范围为 $8\sim 19^{\circ}\text{C}$,平均值为 13°C ,均一为液相;固相 CO_2 的融化温度范围为 $-60.5\sim -59.0^{\circ}\text{C}$,平均值为 -59.8°C 。从卢焕章^[9]的数据表中查得,流体的密度范围为 $0.78\sim 0.87\text{ g}/\text{cm}^3$,平均值为 $0.83\text{ g}/\text{cm}^3$ 。

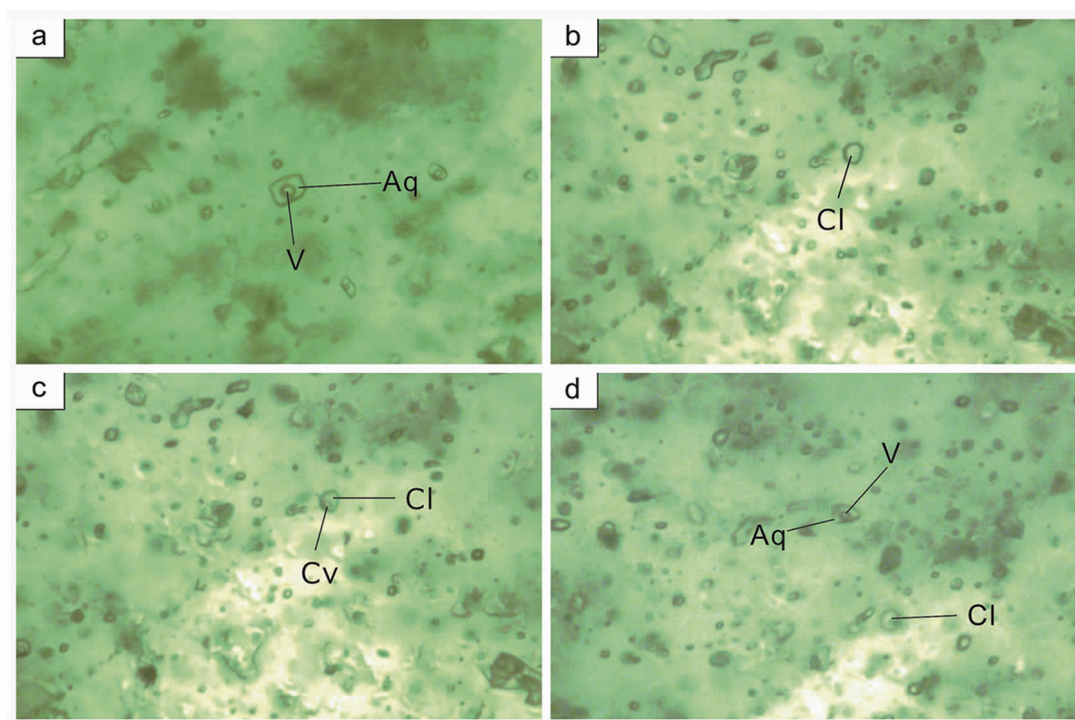


图3 板溪各类型包裹体镜下照片

Fig. 3 Microphotographs of fluid inclusions in the Banxi Sb deposit

a. I型:富液相水溶液包裹体;b. II型:富二氧化碳包裹体(20°C);c. II型:富二氧化碳包裹体(0°C);

d. I型包裹体与II型包裹体共生;

Aq. 水溶液;V. 气相;Cl. 液相二氧化碳;Cv. 气相二氧化碳

表 1 板溪锑矿床流体包裹体显微测温结果统计表

Table 1 Microthermometric data of fluid inclusions in Banxi Sb deposit

样品编号	包裹体类型	个数	大小/ μm	气液比/%	$T_m/^\circ\text{C}$		$T_h/^\circ\text{C}$		$w(\text{NaCl,eq})/\%$	
					范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值
0812D19S1	I	20	2~4	10	-4.7~-3.3	-4.0	203~313	253	5.3~7.4	6.3
29-16s2	I	20	2~5	10	-4.9~-2.0	-4.0	185~332	246	5.9~7.7	5.9
27-2	I	20	2~8	10	-3.7~-2.7	-3.3	202~249	219	4.7~5.9	5.3
29-10	I	20	3~8	10	-3.7~-2.1	-3.0	203~293	238	3.4~5.9	4.9
29-8	I	20	2~5	10	-4.0~-3.0	-2.0	183~294	230	4.6~6.4	5.5
0817D3S2	I	20	2~4	10	-4.1~-2.9	-3.5	181~271	236	4.7~6.5	5.6
0821D1S1	I	10	2~6	10	-2.3~-3.0	-2.5	193~266	233	3.8~4.9	4.7
	II	11	2~6	5~10	-60.5~-59.0	-59.8	8~19	13		

注: T_m , 冰点温度; T_h , 均一温度。

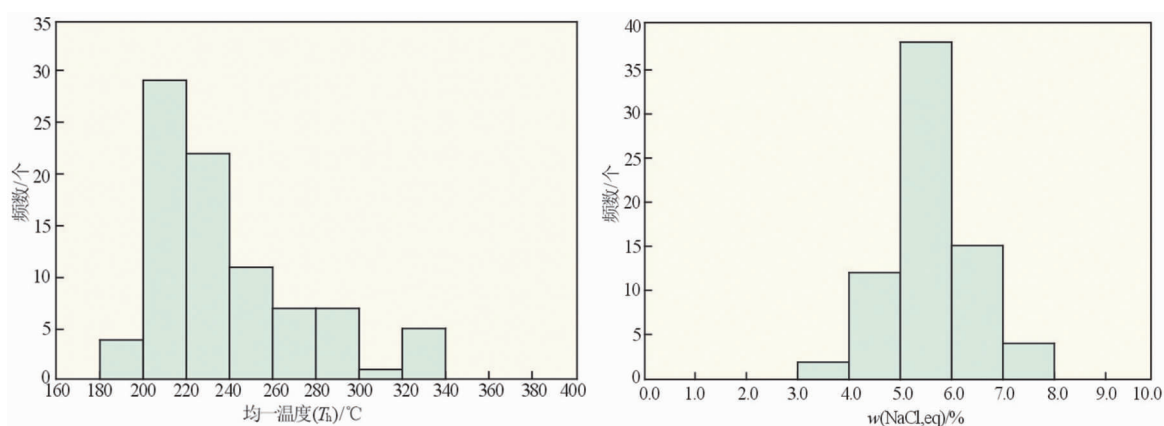


图 4 流体包裹体均一温度和盐度直方图

Fig. 4 Histograms of homogenization temperature and salinity of fluid inclusions

3 讨论

3.1 成矿压力和成矿深度估计

根据流体包裹体的均一温度 (T_h) 和流体盐度 (w), 利用邵洁连^[10] 计算流体压力的经验公式:

$$P = P_0 T_h / T_0$$

式中, $P_0 = 219 + 2620w$, $T_0 = 374 + 920w$ 。本次研究计算出 I 型包裹体的流体压力范围为 49~91 MPa。又由孙丰月^[11] 引入 Sibson^[12] 断裂带流体垂直分带规律推出的深度和压力之间分段关系式, 本次研究还求得成矿的地壳深度范围为 5.6~7.8 km。

3.2 成矿流体 pH 值

刘斌^[13] 对简单体系水溶液包裹体给出了计算 pH 值的方法:

$$\text{pH} = -\log[H^+] \quad (1)$$

$$[H^+]^2 = K_w / [1 + (m_{\text{HCl}} \times K_{\text{NaCl}})^{1/2} / K_{\text{HCl}}] \quad (2)$$

其中的平衡常数 K_w 、 K_{NaCl} 、 K_{HCl} 可引用 Ryzhen-

ko^[14] 给出的数据, m_{NaCl} 为包裹体盐度转换的 NaCl 的摩尔浓度。对于低盐度的水溶液包裹体可以根据公式(1)和(2)计算得到 pH 值。本次对湘中板溪石英脉型锑矿床石英中流体包体研究计算得到的热流体的 pH 值为 5.72。

3.3 成矿流体的性质

利用 CO_2 熔化温度可大致判断流体的成分, 矿区的 II 型包裹 CO_2 的熔化温度 $-60.5 \sim -59.0^\circ\text{C}$, 低于纯 CO_2 熔化温度 (-56.6°C), 说明包裹体中除 CO_2 外, 还含有 CH_4 、 N_2 等其他组分 (A. Martín-Izard, 2009)。板溪锑矿石英群体包裹体成分分析也表明气相组分除 CO_2 外, 还有 H_2O 、 H_2 和痕量的 CH_4 ^[6]。

根据均一温度盐度数据绘制成气液均一温度对盐度的图解 (图 5), 均一温度与盐度呈正相关关系, 反映了有两种成矿流体可能发生了混合作用, 许多锑矿床矿石矿物的沉淀与流体的混和作用有关。比如, 沃溪锑矿床、晴隆大厂锑矿床、龙山锑矿床等^[16-18]。板溪锑矿床硫化物的粒度细且晶型差 (见

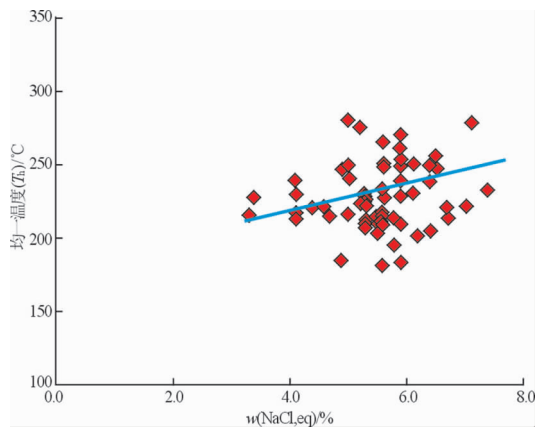


图 5 包裹体均一温度—盐度散点图

Fig. 5 Scattered plot of homogenization temperature—salinity of fluid inclusions

图 2a—图 2d), 显示了快速沉淀析出的特点, 说明成矿时成矿溶液的物理化学性质发生了显著的变化, 改变的原因可解释为流体的沸腾或流体的混合^[18-19]; 因未见流体沸腾的证据, 所以改变的原因与流体的混合有关。此外, I 型包裹体与 II 型包裹体共生于同一石英颗粒也可能与成矿流体的混合有关^[20]。

A. A. Obolensky^[21] 实验研究发现辉锑矿易于在酸性—中性环境下沉淀, 本次计算 pH 值为 5.72, 说明辉锑矿是在弱酸性的环境下沉淀析出。

4 结论

(1) 矿区的流体包裹体包括富液相水溶液包裹体、富二氧化碳包裹体和纯液相包裹体三种类型, 成矿流体的盐度为 $w(\text{NaCl}, \text{eq}) = 3.4\% \sim 7.7\%$, 均一温度为 $181 \sim 332^\circ\text{C}$, 密度为 $0.78 \sim 0.92 \text{ g/cm}^3$, 矿区成矿流体具有中低温、低盐度、低密度的特点。

(2) 成矿压力为 $49 \sim 91 \text{ MPa}$, 估计成矿深度为 $5.6 \sim 7.8 \text{ km}$, pH 值为 5.72, 辉锑矿在弱酸性的环境下沉淀析出。均一温度与盐度呈正相关关系, 说明两种成矿流体发生混合作用而成矿。

致谢: 野外工作得到桃江久通锑业有限责任公司的大力支持和帮助; 野外采样期间得到张强和黄乾峰的热心帮助, 在此一并致谢。

注释:

① 湖南省桃江县板溪矿区深部锑矿详查报告[R]. 湖南 湘潭: 湖

南省有色地质勘查局二总队, 2011.

参考文献:

- [1] 罗献林. 湖南板溪锑矿床地球化学特征及找矿效果[J]. 矿产与地质, 1994, 8(3): 169-177.
- [2] 罗献林. 湖南板溪锑矿床的成矿地质特征[J]. 桂林工学院学报, 1995, 15(3): 231-242.
- [3] 吴雪明, 陈小湘. 板溪锑矿控矿因素分析及应用[J]. 华南地质与矿产, 2004(3): 26-30+37.
- [4] 曾茂华, 彭恩生, 高光明. 湖南桃江板溪锑矿成矿构造特征分析[J]. 大地构造与成矿学, 1998, 22(增刊): 78-82.
- [5] 朱景文. 湖南省桃江—城步断裂带北东段锑矿成矿规律及找矿模型[J]. 地质论评, 2002, 48(1): 89-95.
- [6] 黎盛斯. 湘中锑矿深源流体的地幔柱成矿演化[J]. 湖南地质, 1996(3): 12-17.
- [7] 赵军红, 彭建堂, 胡忠瑞, 符亚洲. 湖南板溪脉岩的年代学、岩石学、地球化学及其构造环境[J]. 地球学报, 2005, 26(6): 525-534.
- [8] Brown P E. FLINCOR: A microcomputer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data [J]. American Mineralogist, 1989, 74: 1390-1393.
- [9] 卢焕章. 包裹体地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1990.
- [10] 邵洁连. 金矿找矿矿物学[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1990: 1-158.
- [11] 孙丰月, 金巍, 李碧乐, 等. 关于脉状热液金矿床成矿深度的思考[J]. 长春科技大学学报, 2000, 30(增刊): 27-30.
- [12] Sibson R H. Crustal stress, faulting and fluid flow [C]// Parnell J (ed). Geological Society Special Publication, 1994, 78: 69-84.
- [13] 刘斌. 简单体系水溶液包裹体 pH 和 Eh 的计算[J]. 岩石学报, 2011(5): 1533-1542.
- [14] Ryzhenko B N, Bryzgalin O V. Reference neutrality points for the redox and acid-base properties of aqueous solution at parameters for hydrothermal ore formation [J]. Geokhimiya. 1984(7): 1056-1066.
- [15] Martín-Izard A, Gumiel P, Arias M, et al. Genesis and evolution of the structurally controlled vein mineralization (Sb-Hg) in the Escarlata deposit (León, Spain): Evidence from fault population analysis methods, fluid-inclusion research and stable isotope data [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2009, 100(1): 51-66.
- [16] Zhu Y N, Peng J T. Infrared microthermometric and noble gas isotope study of fluid inclusions in ore minerals at the Woxi orogenic Au-Sb-W deposit, western Hunan, South China [J]. Ore Geology Reviews, 2015, 65: 55-69.
- [17] 苏文超, 朱路艳, 格西, 等. 贵州晴隆大厂锑矿床辉锑矿中流体包裹体的红外显微测温学研究[J]. 岩石学报, 2015, 31(4): 918-924.
- [18] 王秀章. 中国改造型金矿床地球化学[M]. 科学出版社, 1992.
- [19] 李晶, 陈衍景, 李强之, 等. 甘肃阳山金矿流体包裹体地球化学和矿床成因类型[J]. 中国科技期刊研究, 2007, 23(9):

2144–2154.

- [20] Hagemann S G, Lüders V. P-T-X conditions of hydrothermal fluids and precipitation mechanism of stibnite-gold mineralization at the Wiluna lode-gold deposits, Western Australia: conventional and infrared microthermometric constraints [J].

Mineralium Deposita, 2003, 38(8): 936–952.

- [21] Obolensky A A, Gushchina L V, Borisenko A S, et al. Antimony in hydrothermal processes: solubility, conditions of transfer, and metal-bearing capacity of solutions [J]. Russian Geology & Geophysics, 2007, 48(12): 992–1001.

Study on fluid inclusions of the Banxi antimony deposit

TANG Yuqiang^{1,2}, KONG Hua^{1,2}, WU Qianhong^{1,2}, XI Xiaoshuang^{1,2}

(1. School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China;

2. Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals and Geological Environment Monitoring, Ministry of Education, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: The Banxi antimony deposit is a medium-sized quartz vein type deposit occurring in low grade metamorphic clastic rock of Wuqiangxi Formation of the Banxi Group. It is controlled by the Taojiang-Chengbu fault zone. Fluid inclusion studies indicate that there are three fluid inclusion types: liquid-rich aqueous inclusion (type I), CO₂-rich fluid inclusion (type II) and totally aqueous fluid inclusion (type III). The salinities range is from 3.4‰ to 7.7‰, homogenization temperatures 181°C to 331°C, densities 0.78 g/cm³ to 0.92 g/cm³ which are characteristic of low temperature, salinity and density. The pH value is 5.72. The ore-forming pressure is estimated about 49 MPa to 91 MPa and depth 5.6~7.8 km in crust. The positive homogenization temperature-low salinity relationship could have resulted from the partial mixing of two originally homogeneous fluids.

Key Words: fluid inclusions; ore forming fluid; Banxi; central Hunan