

文章编号: 1000-4734(2011)03-0366-06

红外显微镜红外光强度对测定不透明矿物中 流体包裹体盐度的影响:以辉锑矿为例

格西^{1,2} 苏文超^{1*} 朱路艳^{1,2} 武丽艳¹

(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 100039)

摘要: 红外显微镜是研究不透明矿物中流体包裹体的重要手段,但红外光发热可能对不透明矿物中流体包裹体的盐度和均一温度测定有影响。本文以辉锑矿中流体包裹体为例,系统评价了红外光强度对测定辉锑矿中流体包裹体冰点的影响。结果表明,红外光强度对辉锑矿中流体包裹体的冰点测定有显著影响,导致过高估计流体包裹体的盐度,并提出了解决这一问题的方法。

关键词: 辉锑矿; 流体包裹体盐度; 红外光强度; 红外显微镜

中图分类号: P578.2; P579; P599; P611 **文献标识码:** A

作者简介: 格西,男,1984年生,硕士研究生,矿物学岩石学矿床学专业。E-mail: gexi_004qie@163.com

热液矿物中捕获的流体包裹体是研究热液矿床成矿作用过程的最直接样品^[1]。由于大多数金属硫化物在光学显微镜下不透明,以往流体包裹体研究仅局限于与金属硫化物共生的透明矿物(如石英等)。在岩相学上,这些透明矿物通常早于或晚于金属矿物的形成,因此,透明矿物中捕获的流体包裹体不能直接反映金属矿物形成的流体性质^[2,3]。

自20世纪80年代以来,随着红外显微镜在矿床学等研究领域中的应用,实现了热液矿床一些不透明金属硫化物中流体包裹体的直接观察和显微测温学研究。这些不透明矿物包括黑钨矿^[2,4-9]; 硫砷铜矿^[3,10-12]; 黄铁矿^[13-16], 锡石^[6]; 赤铁矿^[17-19]; 辉锑矿^[8,20]; 黑锰矿^[18]等。通过对半透明-不透明矿物中流体包裹体的红外显微镜研究,为热液矿床形成的物理化学条件以及成矿作用过程等研究提供了最直接的证据。

然而,由于红外光本身具有一定的热量,红外光的强度对测定不透明矿物中的流体包裹体冰点

和均一温度可能有显著影响。Moritz^[3]首先观察到红外光的强度对测定硫砷铜矿中流体包裹体的盐度(冰点)和均一温度的显著影响,盐度误差高达600%。本文以辉锑矿中的流体包裹体为例,评价了红外显微镜红外光的相对强度对辉锑矿中流体包裹体盐度(冰点)测定的影响,并提出解决这一问题的办法。

1 红外显微镜工作原理

红外显微镜主要是使可见光下不透明的矿物,在一定波长红外光照射下使其透明来观察矿物的结构和其中的流体包裹体。矿物谱学研究表明,矿物透明度是由矿物的禁带吸收决定的。当入射光子能量等于或大于矿物禁带宽度能量时,绝大多数入射光子被吸收,使价带顶部的电子跃迁到导带^[21]。矿物中的电子从价带跃迁到导带所需要的最小能量取决于入射光子的能量^[4]。人类眼睛可见的光线波长范围是0.35~0.75 μm,所对应的量子能量大小范围为3.5~1.65 eV^[4]。当入射光子能量小于矿物的吸收限时(如紫外与可见光的波长分界线0.35 μm,对应能量为3.5 eV),可见光不被矿物吸收而完全透过,矿物则显现透明;相反,当入射光子能量大于矿物的吸收限时(可见光与红外光的波长分界线0.75

收稿日期:2011-03-20

基金项目:国家自然科学基金(批准号:40972072);贵州省科学技术基金项目(2236)

* 通讯作者, E-mail: suwenchao@vip.gyig.ac.cn

μm 对应能量为 1.65 eV), 则可见光被矿物完全吸收而显示不透明。自然界热液矿床绝大多数硫化物的禁带能量小于 1.65 eV(图 1), 如毒砂、方铅矿、黄铜矿、黄铁矿等, 而辉锑矿的禁带能量(1.7 eV) 略大于 1.65 eV(图 1) 而呈现半透明-不透明。本次实验所用的红外摄像头(ROLERA-XR) 的波长范围为 1.1~2.2 μm , 可以实现辉锑矿等不透明矿物中流体包裹体的观察和显微测温学研究。

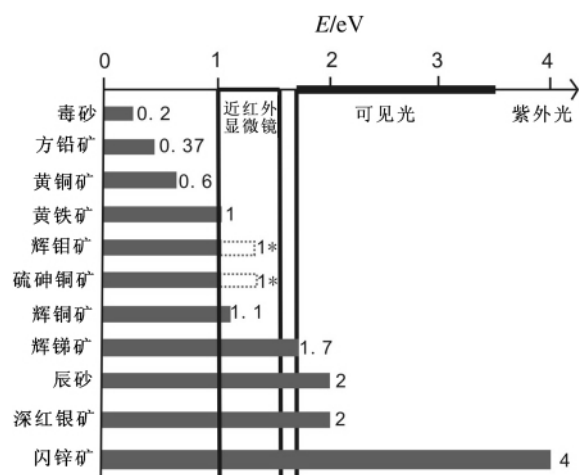


图 1 热液矿床中常见硫化物的禁带能级^[22]

Fig. 1. Band gap energies for common sulfide minerals.

2 样品特征与分析方法

辉锑矿样品主要采自晴隆大厂锑矿床。辉锑矿呈晶簇状, 单晶体长 6 cm, 宽 3 cm。沿辉锑矿单晶体的{010} 或{110} 晶面磨制双面高度抛光、厚 200 μm 的包裹体片。辉锑矿中流体包裹体观察和显微测温分析, 采用红外显微镜(Olympus BX51, 配有 ROLERA-XR 红外数码摄像头) 和 Linkam THMSG 600 型冷热台。红外光的相对强度通过显微镜底座的光圈刻度大小来控制。整个实验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完成。实验之前, 用国际人工合成流体包裹体标样对冷热台进行了校正。在低温($<50\text{ }^{\circ}\text{C}$) 和高温($>100\text{ }^{\circ}\text{C}$) 条件下, 仪器误差分别为 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

3 红外光相对强度对测定辉锑矿中流体包裹体冰点的影响

量。当红外光照射物体时, 其能量被有电极特性分子(如水分子) 吸收, 促使分子运动加速和碰撞, 从而产生一定的热量。Moritz^[3] 首先观察到红外光内加热对测定不透明矿物(如硫砷铜矿) 中的流体包裹体冰点(盐度) 和均一温度的显著影响, 盐度相对误差高达 600%, 其主要原因来自红外光的内加热。

从流体包裹体冷热台结构分析(图 2), 可以看出, 在实验过程中, 样品中的流体包裹体实际受到的热量来自冷热台的外加热和红外光的内加热, 而冷热台的温度记录则是通过连接在冷热台上的热电偶获得样品的外加热温度, 而不能记录红外光内加热的温度。因此, 流体包裹体中水分子对红外光的吸收加热, 使其最后一块冰晶或气泡过早溶化或消失, 从而导致过高估计流体包裹体的盐度或过低估计流体包裹体的均一温度。

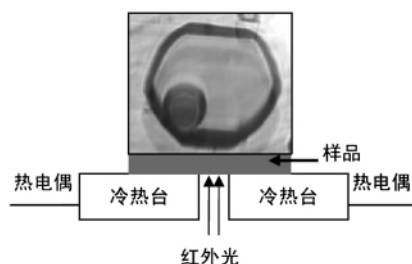


图 2 流体包裹体冷热台的结构简图

Fig. 2. Schematic structure of cooling-heating stage for fluid inclusion study.

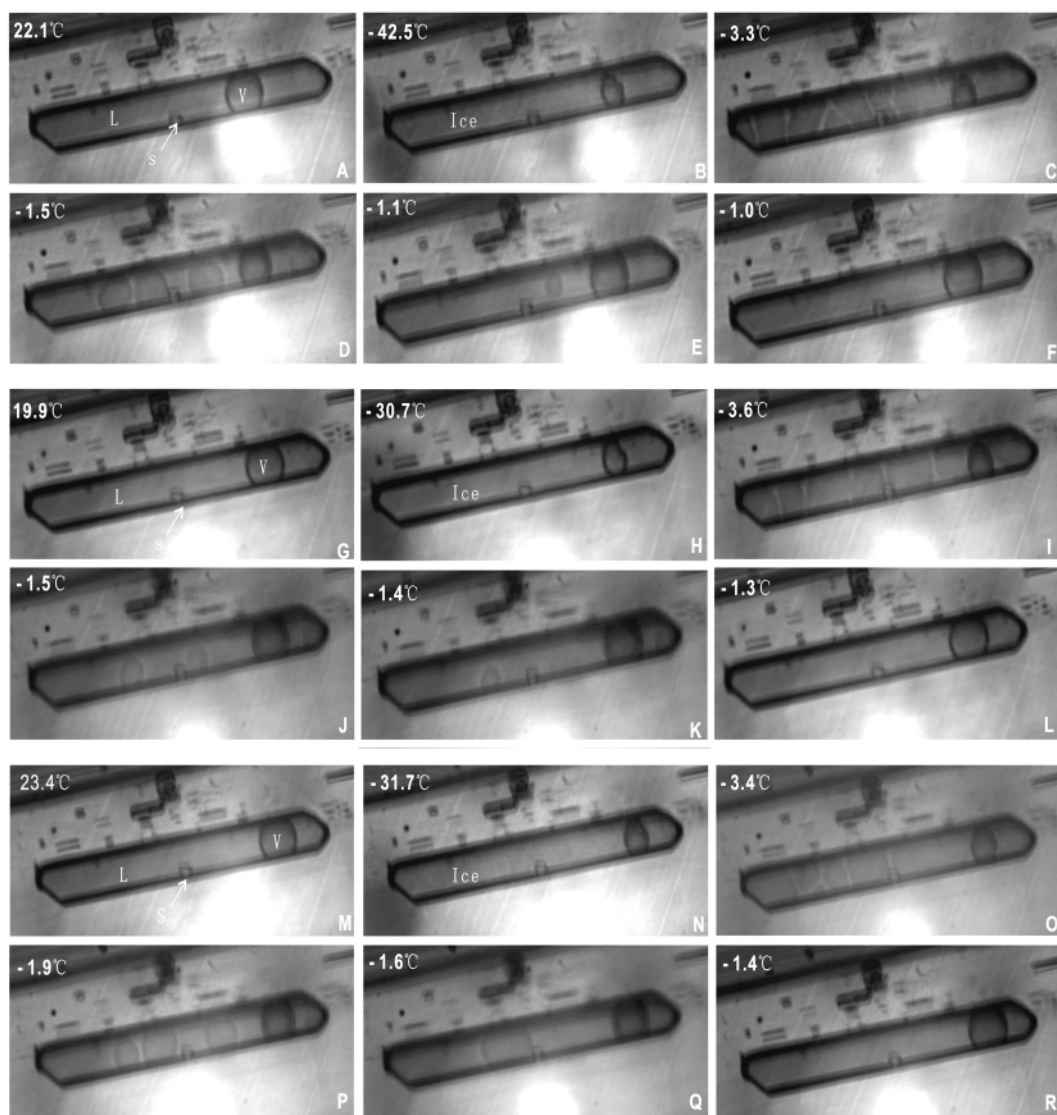
为了评价红外光相对强度对辉锑矿中流体包裹体盐度的影响, 我们对辉锑矿中同一个流体包裹体的低温相变过程进行了系统研究。在相同条件下, 通过调节显微镜光圈刻度(0.5、2、4、6、8、10 个单位) 来改变红外光的相对强度。在每一个刻度单位, 测定辉锑矿中同一个流体包裹体的冰点。结果见表 1、图 3 和图 4, 可以看出, 红外光相对强度对辉锑矿中流体包裹体冰点的测定具有显著影响, 造成了对辉锑矿中流体包裹体盐度的过高估计。

如 FI-11 流体包裹体, 在 0.5、2、4、8、10 个单位的红外光相对强度条件下(表 1 和图 3), 流体包裹体最后一块冰晶的溶化温度分别为 $-1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-1.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 其冰点与红外光相对强度具有明显的线性负相关关系(图 4C)。为了进一步证实这一现象, 我们选取

表1 不同红外光相对强度条件下辉锑矿中同一个流体包裹体冰点的测定结果(°C)

Table 1. Results of final ice melting temperatures of fluid inclusions in stibnite, by using the different infrared light source intensities

流体包裹体序号	红外光相对强度					
	0.5	2	4	6	8	10
FI-11	-1.0	-1.2	-1.3	-1.4	-1.4	-1.5
FI-4	-2.9	-3.2	-3.4	-3.5	-3.6	-3.7
FI-70	-6.4	-6.5	-6.7	-6.8	-6.9	-7.0
FI-1	-1.1	-1.2	-1.3	-1.4	-1.5	-1.5
FI-2	-3.4	-3.4	-3.5	-3.6	-3.7	-3.8
FI-37	-0.5	-0.6	-0.6	-0.7	-0.8	-1.0
FI-23	-0.3	-0.4	-0.4	-0.5	-0.7	-0.8
FI-14	-2.4	-2.6	-2.6	-2.7	-2.7	-2.8



A—F. 0.5个单位; G—L. 4个单位; M—R. 8个单位

图3 不同红外光相对强度对辉锑矿中流体包裹体冰点(盐度)测定影响的实例

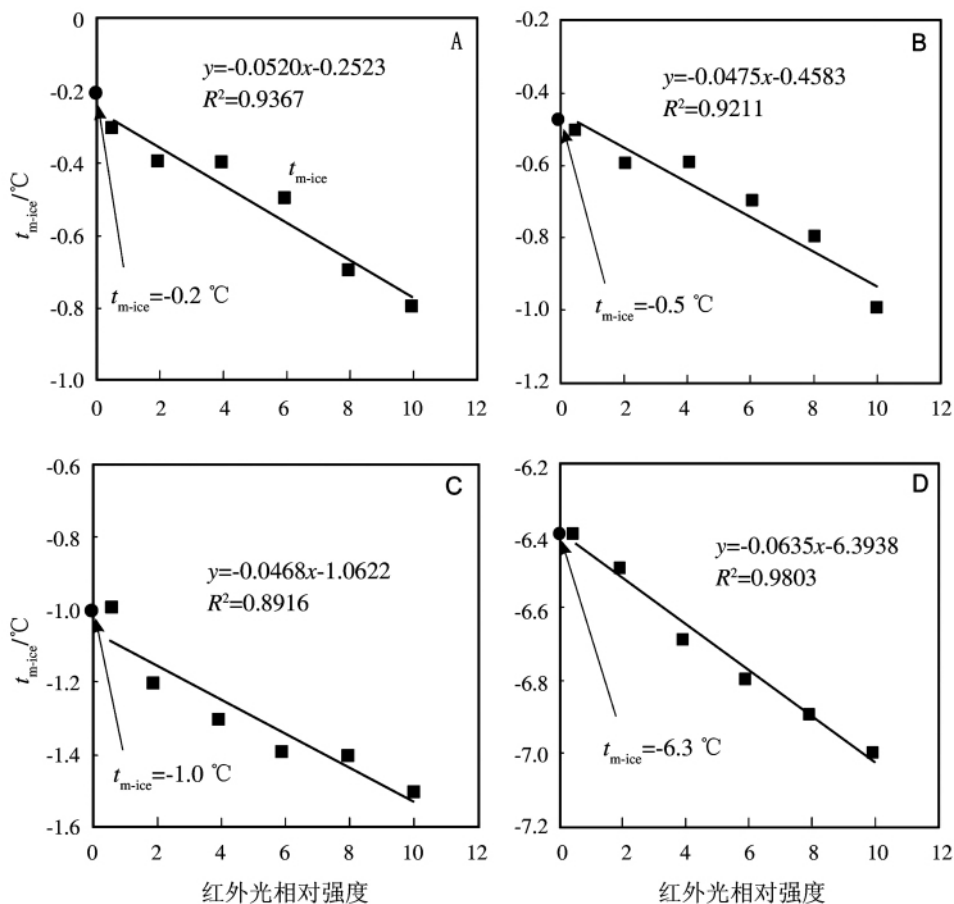


图4 红外光相对强度对测定辉锑矿中流体包裹体冰点的影响

Fig. 4. Effect of infrared light source on final ice melting temperatures of fluid inclusions in stibnite.

辉锑矿中具有不同盐度的流体包裹体,在不同红外光强度照射下反复测定其冰点,同样发现辉锑矿中流体包裹体的冰点随红外光相对强度的增加而降低(表1),并具有明显的线性负相关关系(图4A、B、D)。通过数据拟合,确定辉锑矿中每一个流体包裹体冰点与红外光相对强度的直线方程。该直线与纵坐标(冰点)的交点(红外光相对强度为零),即代表辉锑矿中流体包裹体理论上的真实冰点(图4)。与理论冰点相比较,只有在最低红外光相对强度下(如0.5个单位),测试的相对误差才最接近理论值。因此,在利用红外显微镜测定不透明矿物中的流体包裹体盐度(冰点)过程中,在保证能够观察的前提下,尽量减小红外光的强度,才能准确获得不透明矿物中流体包裹体的盐度,这对开展单个流体包裹体成分的LA-

ICP-MS分析至关重要。

4 结论

通过对辉锑矿中流体包裹体冰点与红外光相对强度的关系研究,获得以下认识:

(1) 红外显微镜红外光的强度对测定辉锑矿中流体包裹体冰点有显著影响,即过高估计流体包裹体的盐度。

(2) 在实验过程中必须采用最低的红外光强度来测定不透明矿物的盐度。

致谢:耿跃成工程师在制备流体包裹体片给予大力支持,范宏瑞研究员对本文提出许多建设性意见,在此一并表示感谢。

参 考 文 献:

- [1] Roedder E. Fluid inclusions [Z]. Reviews in Mineralogy 12, Mineralogical Society of America, 1984: 644.
- [2] Campbell A R, Robinson C S. Infrared fluid inclusion microthermometry on coexisting wolframite and quartz [J]. *Economic Geology*, 1987, 82(6): 1640-1645.
- [3] Moritz R. Fluid salinities obtained by infrared microthermometry of opaque minerals: Implications for ore deposit modeling—A note of caution [J]. *Journal Geochemical Exploration*, 2006, 89: 284-287.
- [4] Campbell A R, Hackbarth C J, Plumlee G S, Petersen U. Internal features of ore minerals seen with the infrared microscope [J]. *Economic Geology*, 1984, 79(6): 1387-1392.
- [5] Campbell A R, Robinson-Cook S, Amindyas C. Observation of fluid Inclusions in Wolframite from Panasqueira, Portugal [J]. *Portugal Bull Minéral*, 1988, 111: 252-256.
- [6] Campbell A R, Panter K S. Comparison of fluid inclusion in coexisting (cogenetic?) wolframite, cassiterite, and quartz from Sr. Michael's mount and Cligga Head, Cornwall, England [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1990, 54(3): 673-681.
- [7] Lüders V, Reutel C. Possibilities and limits of infrared microscopy applied to studies of fluid inclusions in sulfides and other opaque minerals [C]. Proceedings of Pan-American Conference on Research on Fluid Inclusions (PACROFI) VI. Madison, Wisconsin, 1996: 78-80.
- [8] Lüders V. Contribution of infrared microscopy to fluid inclusion studies in some opaque minerals (wolframite, stibnite, bournonite): Metallogenic implications [J]. *Economic Geology*, 1996, 91(8): 1462-1468.
- [9] Ni P, Huang J, Wang X, Jiang S, Ling H. Infrared fluid inclusion microthermometry on coexisting wolframite and quartz from Dajishan tungsten deposit, Jiangxi province, China [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2006, 70(18): A444.
- [10] Mancano D P, Campbell A R. Microthermometry of enargite-hosted fluid inclusions from the Lepanto, Philippines, high-sulfidation Cu-Au deposit [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995, 59: 3909-3916.
- [11] Moritz R, Petrunov R. Microthermometry of enargite from the upper Cretaceous high-sulfidation Au-Cu Chelopech deposit, Bulgaria [J]. *PACROFI-Pan-American Conference on Research on Fluid Inclusions Program and Abstracts*, 2002, 8: 73-74.
- [12] Kouzmanov K, Ramboz C, Bailly L, Bogdanov K. Genesis of high-sulfidation vinciennite-bearing Cu-As-Sn (<Au) assemblage from the Radka epithermal copper deposit, Bulgaria: Evidence from mineralogy infrared microthermometry of enargite, Can [J]. *Mineral*, 2004, 42(5): 1501-1521.
- [13] Richards J, Kerrich R. Observations of zoning and fluid inclusions in pyrite using a transmitted infrared light microscope ($\lambda \leq 1.9 \mu\text{m}$) [J]. *Economic Geology*, 1993, 88: 716-723.
- [14] Lüders V, Ziemann M. Possibilities and limits of infrared light microthermometry applied to studies of pyrite-hosted fluid inclusions [J]. *Chemical Geology*, 1999, 154: 169-178.
- [15] Lindaas S E, Kulis J, Campbell A R. Near-infrared observation and microthermometry of pyrite-hosted fluid inclusions [J]. *Economic Geology*, 2002, 97(3): 603-618.
- [16] Kouzmanov K, Bailly L, Ramboz C, Rouer O, Beny J M. Morphology, origin and infrared microthermometry of fluid inclusions in pyrite from the Radka epithermal copper deposit, Srednogorie Zone, Bulgaria [J]. *Mineralium Deposita*, 2002, 37: 599-613.
- [17] Rosiere C A, Rios F J. The origin of hematite in high-grade iron ores based on infrared microscopy and fluid inclusion studies: The example of the Conceicao mine, Quadrilatero Ferrifero, Brazil [J]. *Economic Geology*, 2004, 99(3): 611-624.
- [18] Lüders V, Gutzmer J, Beukes N. Fluid inclusion studies in cogenetic hematite, hausmannite, and gangue minerals from high-grade manganese ores in the Kalahari manganese field, South Africa [J]. *Economic Geology*, 1999, 94: 589-596.
- [19] Rios F J, Alves J V, Perez C A, et al. Combined investigations of fluid inclusions in opaque ore minerals by NIR/SWIR microscopy and microthermometry and synchrotron radiation X-ray fluorescence [J]. *Appl Geochem*, 2006, 21: 813-819.
- [20] Bailly L, Bouchot V, Bény C, Milest J P. Fluid inclusion study of stibnite using infrared microscopy; An example from the Brouzils antimony deposit (Vendée, Armorican Massif, France) [J]. *Economic Geology*, 2000, 95: 221-226.
- [21] 陈丰等. 矿物物理学概论[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [22] Shuey R T. Semiconducting ore minerals [J]. *Amsterdam, Elsevier, Developments in Economic Geology Series*, 1975, 4: 415.

A Study on the Influence of Infrared Light Source Intensity on Salinity of Fluid Inclusion in Opaque Mineral by Using Infrared Microthermometry: In the Case of Stibnite

GE Xi^{1,2}, SU Wen-chao¹, ZHU Lu-yan^{1,2}, WU Li-yan¹

(1. State Key Laboratory of Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Infrared microthermometry is useful for determining salinity and homogenization temperature of fluid inclusions in opaque minerals. Previous study showed that temperature of phase changes of fluid inclusion in opaque minerals varied with the infrared light source intensity, resulting in an overestimate of fluid salinities and an underestimate of homogenization temperatures. In this study, we evaluated the influence of infrared light source intensity on salinity of fluid inclusions in stibnite. The results reveal that the infrared light source intensity affects notably salinities of fluid inclusions in stibnite, resulting in an overestimate of fluid salinities.

Key words: stibnite; salinity of fluid inclusion; infrared light source intensity; infrared microscopy