

文章编号 10258-7106 (2008) 05-0605-08

江苏观山铜铅金矿床成矿流体地球化学和成因*

梁业恒¹, 孙晓明^{1,2**}, 翟伟¹, 马春³, 吴志强³, 丁存根³, 王堂喜³,
李爱菊^{2,3}, 梁金龙²

(1 中山大学地球科学系, 广东 广州 510275; 2 中山大学有色金属华东地勘局隐伏矿床勘查研究院,
江苏 南京 210007; 3 华东有色地质矿产勘查开发院, 江苏 南京 210007)

摘 要 观山铜铅金矿床中含有 4 种类型的流体包裹体:(I) 纯液相水溶液包裹体;(II) 富液相气液两相水溶液包裹体;(III) 富气相气液两相水溶液包裹体;(IV) 纯气相包裹体。它们的气相分数变化较大, 显示成矿过程中可能发生过沸腾作用。流体包裹体的显微测温结果显示, 成矿流体的冰点温度为 $-0.3^{\circ}\text{C} \sim -4.7^{\circ}\text{C}$, 流体盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 变化范围为 $0.48\% \sim 7.39\%$, 均一温度为 $133 \sim 304^{\circ}\text{C}$, 对应流体密度为 $0.70 \sim 0.98 \text{ g/cm}^3$ 。同位素测定显示成矿流体的氢氧同位素组成分别为 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}} = -81.0\text{‰} \sim -90.0\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 0.1\text{‰} \sim 2.3\text{‰}$, 说明成矿流体主要为大气降水, 但在矿体深部可能有少量岩浆水的加入。热液方解石碳同位素 $\delta^{13}\text{C}_{\text{方解石}} = -1.2\text{‰} \sim 2.9\text{‰}$, 显示其中的 C 主要来源于流体对流循环过程中对基底岩石中碳酸盐地层的溶解。综合成矿地质特征、成矿流体的证据与围岩蚀变类型, 初步推断观山铜铅金矿为高硫型浅成低温热液金属矿床, 沸腾作用可能是引起矿质发生沉淀富集成矿的重要因素之一。

关键词 地球化学 流体包裹体 氢氧同位素组成 浅成低温热液矿床 观山铜铅金矿

中图分类号: P618.51

文献标志码: A

Geochemistry of ore-forming fluids and genesis of Guanshan Cu-Pb-Au polymetallic deposit in Jiangsu Province

LIANG YeHeng¹, SUN XiaoMing^{1,2}, ZHAI Wei^{1,2}, MA Chun³, WU ZhiQiang³,
DING CunGen³, WANG TangXi³, LI AiJu^{2,3} and LIANG JinLong²,

(1 Department of Earth Sciences, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, Guangdong, China; 2 Hidden Deposits Research Institute of Sun Yat-sen University & East China Geological & Mining Organization for Non-ferrous Metals, Nanjing 210007, Jiangsu, China; 3 East China Geological Exploration and Development Institute for Non-Ferrous Metals, Nanjing 210007, Jiangsu, China)

Abstract

Four types of fluid inclusions were recognized in the Guanshan Cu-Pb-Au deposit, i. e., (I) liquid aqueous inclusions, (II) liquid-rich two-phase fluid inclusions, (III) gas-rich two-phase inclusions, and (IV) pure gaseous inclusions. Different types of inclusions with remarkably varied vapor/liquid ratios exist together, implying that boiling might have occurred during mineralization. Microthermometric measurement of the fluid inclusions show that the ice melting temperatures range from -0.3°C to -4.7°C , and the corresponding salinities vary from $0.48 \text{ wt } \%$ to $7.39 \text{ wt } \% \text{ NaCl}_{\text{eq}}$. The homogenization temperatures range from 133°C to 304°C , with densities from 0.70 to 0.98 g/cm^3 . Isotopic analyses show that $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ and $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ values of the ore-form-

* 本文得到江苏省有色金属华东地质勘查局委托研究项目资助

第一作者简介 梁业恒,男,1980 年生,在读博士生,研究方向为矿床地球化学。E-mail: gtogto54321@msn.com

**通讯作者 E-mail: ccssxm@mail.sysu.edu.cn

收稿日期 2007-11-28; 改回日期 2008-07-24。张绮玲编辑。

ing fluids are -81.0% to -90.0% and 0.1% to 2.3% , respectively, indicating that the ore-forming fluids are composed mainly of meteoric water, probably with the involvement of magmatic fluids. Carbon isotopic composition of hydrothermal calcites from the ore veins ($\delta^{13}\text{C}_{\text{calcite}}$) are -1.2% to -2.9% , suggesting that carbon in the ore-forming fluids was derived from carbonate sediments in the basement rocks. Geological characteristics, ore-forming fluid geochemistry and alteration assemblage suggest that the Guanshan Cu-Pb-Au deposit might be a high sulfidation type epithermal polymetallic deposit, and boiling seems likely to be the main factor for the deposition of ore solutions.

Key words: geochemistry, fluid inclusions, δD and $\delta^{18}\text{O}$ composition, epithermal hydrothermal deposit, Guanshan Cu-Pb-Au deposit

观山铜铅金矿位于江苏省南京市溧水县晶桥镇。自 1957 年被发现以来,对该矿区的地质矿产勘探及开发工作一直在进行中。据现有的资料分析(周金城等,1994;夏嘉生,1995),该矿区及其外围都有较好的找矿前景。本文将从观山铜铅金矿的成矿流体包裹体特征与成矿流体稳定同位素地球化学两方面入手,结合相关资料对其成矿流体的地球化学特征进行了讨论,旨在为本区今后的工作提供部分资料。

1 区域成矿地质背景

矿区位于江苏省溧水县晶桥镇与白马镇交界处,距溧水县城 16 km。该区大地构造上隶属于扬子准地台下扬子沿江(古生代—三叠纪)拗陷带,处于江南古陆的北东边缘,是一个以断裂为界的菱形火山岩凹陷区,其西有方山-小丹阳断裂,东有茅山西侧断裂,北有南京-湖熟断裂,南有小丹阳-双牌石断裂。区内出露自志留系高家边组至侏罗系西横山组一套完整的沉积岩系,构成了本区的基底,其上部不整合覆盖着白垩系龙王山组(K_1l)、云台山组(K_1y)、大王山组(K_1d)和甲山组(K_1j)的火山岩。火山岩系之上不整合覆盖着白垩系葛村组及红层(浦口组和赤山组)。新第三纪局部有玄武岩。次火山岩(包括火山-侵入体)是各旋回火山活动特定阶段的产物,与火山岩具有时间、空间、物质组分和岩浆源‘四同’的特点。常见的次火山岩为充填于火山机构的火山颈相岩石,由闪长岩、闪长玢岩、钾质(石英)粗安斑岩、正长斑岩、英安斑岩和石英斑岩等组成^①。

2 矿区地质特征

观山铜铅金矿处于新桥-白马断裂与马鞍山-李巷断裂的交汇点,观山古火山之中心部位。整个火山通道被粗安质次火山岩侵入充填,其形态与该次火山岩的形态基本一致,呈向南西倾斜收缩的喇叭状。火山颈四周为早白垩系大王山组丘虎山旋回($K_1^?$)和观山旋回($K_1^?$)之粗安质-粗面质火山岩,距火山通道较近处的火山岩多为粗安质集块角砾岩,而距离较远的多为粗安质凝灰角砾岩、粗安岩。成矿岩体为白垩系次火山岩-斑岩,呈岩颈及岩脉状产出,与大致同期侵位的闪长岩类存在过渡关系。矿床围岩是侏罗纪-白垩纪浅成岩体及其爆发角砾岩,也可以是成矿前的其他围岩。矿体定位与产出于火山通道外侧的裂隙带中,呈近平行-平行的脉体或脉带,矿脉沿走向和倾向长度可达数百米,铜含量一般在 1% 左右。成矿作用以充填和交代为主,呈细脉、复脉分布。矿脉均分布在粗安斑岩次火山岩体的边缘,在地表表现为重晶石赤铁矿铁帽,在平面上大致呈三角形(或近环形),每条矿脉的产状均与粗安斑岩接触面一致,向‘三角形’(近环形)的中心倾斜。各矿脉长短不一,倾角陡,厚度变化较大,矿化不均匀。浅部矿体膨大收缩、分枝复合现象明显,平行小矿体也较多,到深部矿体渐趋稳定,形态较规则,厚度变化较小。有用组份的分布具分带性。在平面上,自北西向南东铜矿带过渡到铅铜混合矿带,再过渡到铅矿带,在垂直方向上,地表的铜铅金混合矿向深部过渡为铜矿。北部矿体的金含量高于南部,形成金共生矿体或独立矿体。矿脉长数十米至数百米,

① 华东有色地质矿产勘查开发院. 2005. 江苏省溧水县观山及其外围次火山岩型铜多金属矿普查工作设计书(2005 年续作).

最长达 1 850 m,宽一般 2~5 m,最大达 30 m,倾角较大,一般在 50~80°。剖面上可见多个平行矿体,各矿体大致呈侧列式排列,其间距一般为 10~25 m 左右。规模较大的矿脉为一号、二号、六号,其中:一号脉,长 1 850 m,走向近东西,倾向北,由 2 条断续的主矿体和 10 个小矿体组成,以铜矿为主;二号脉,长 900 m,走向北东,倾向南东,由一个主矿体和 13 个小铜矿体组成。主矿体旁侧有数条扁豆状的小矿脉,呈大致平行于主矿体的雁列式排列,并组成约 30 m 宽的矿带;六号脉,长 1 350 m,走向北西,倾向南西,倾角 60°左右,呈舒缓波状弯曲伸展。该矿脉分为北西和南东两矿段,北西矿段为铜铅金混合矿,南东矿段为铅(锌)矿^①(图 1)。

矿化以铜铅锌硫化物-碳酸盐(石英、重晶石)组合为主,矿体原生带的主要金属矿物为黄铜矿、方铅矿、闪锌矿,次为斑铜矿、辉铜矿,并伴生黄铁矿、赤铁矿等。在氧化带上述矿物被氧化形成褐铁矿、软锰矿、孔雀石、铜蓝及铅矾等次生矿物,在地表形成“铁帽”。脉石矿物以菱铁矿为主,次为重晶石、石英及方解石。矿石的结构多为微粒、细粒,地表可见胶状。

矿体的围岩蚀变有 2 期:早期蚀变类型有绢云母化、硅化、黄铁矿化、菱铁矿化;后期有绿帘石化、高岭石化、碳酸盐化、重晶石化及赤铁矿化。蚀变分带较明显,略呈对称的带状,由矿体向两侧依次为菱铁矿化、重晶石化、黄铁矿化、硅化、高岭石化和绢云母化。

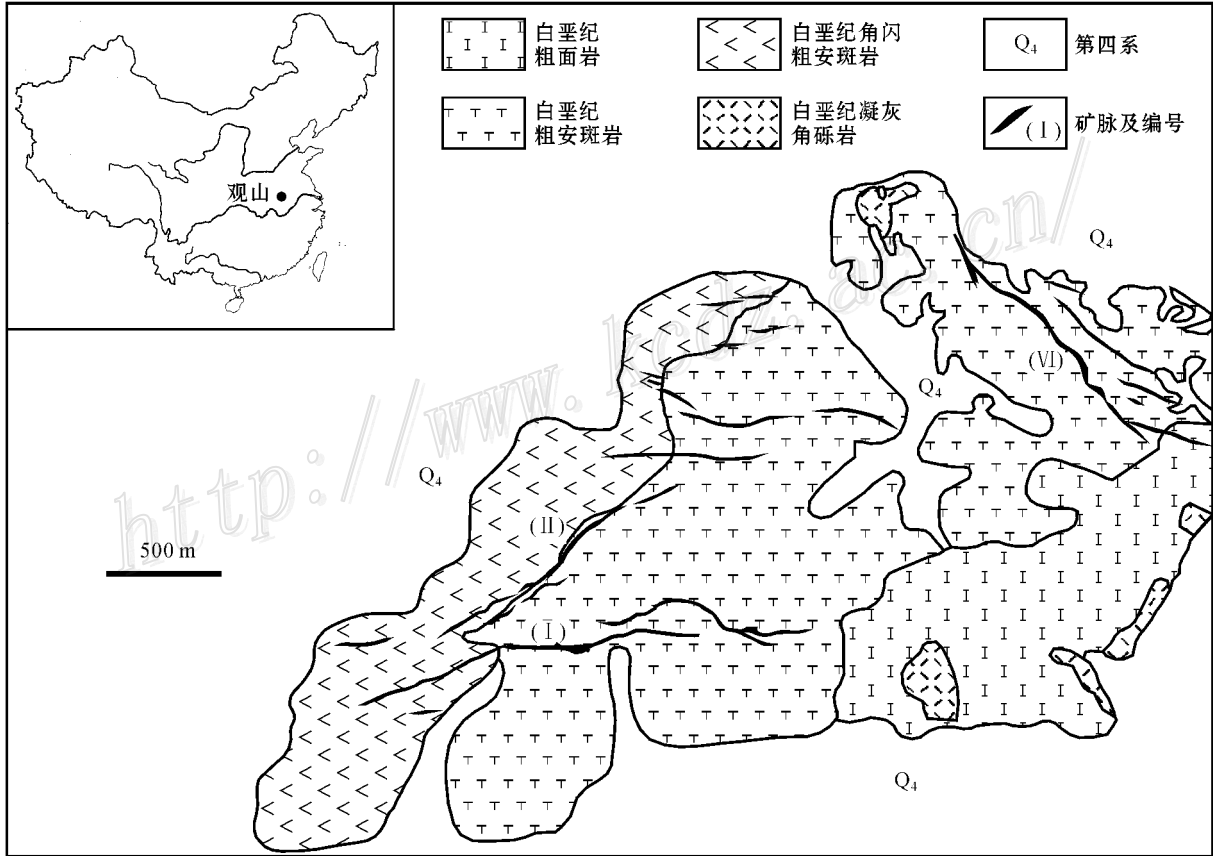


图 1 江苏省溧水县观山铜多金属矿床综合地质图(据华东有色地质矿产勘查开发院改编, 2005)

Fig. 1 Geological sketch map of the Guanshan copper-polymetallic deposit in Jiangsu Province (modified after East China Geological Exploration and Development Institute for Non-Ferrous Metals, 2005)

① 华东有色地质矿产勘查开发院. 1982. 江苏省溧水县观山铜铅矿床六号脉带地质勘查报告书.

3 样品及分析方法

本研究所用样品采自观山铜铅金矿六号脉 ZK1702 和 ZK2301 钻孔中不同位置主成矿期的矿脉。样品围岩为粗安斑岩,其中主要矿石矿物为黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、斑铜矿、辉铜矿、铜蓝和黄铁矿,而主要脉石矿物为方解石和重晶石。主要对其中的方解石,包括少量重晶石中的流体包裹体进行了观测。显微测温在中山大学地球科学系的 Linkam THMSG600 型冷热台上进行,测温前用纯 CO_2 包裹体(熔点为 -56.6°C)、纯水(熔点为 0°C)和重铬酸钾(熔点为 398°C)对冷热台进行了温度校正。冰点温度测定精度为 $\pm 0.1^\circ\text{C}$,均一温度测定精度为 $\pm 2^\circ\text{C}$ 。根据显微测温结果用 Flincon 软件(Brown, 1989)计算流体包裹体的各种物理化学参数,并利用 Geokit 软件(路远发,2004)进行数据处理。

单个流体包裹体的激光拉曼光谱分析主要在中国科学院广州地球化学研究所的 Rainshaw RM2000 型拉曼光谱仪上完成,室温下测定,氩离子激光器(514 nm),扫描功率为 10 mW,光谱计数时间为 20 s,在 $0\sim 4000\text{ cm}^{-1}$ 范围内进行初次扫描,再根据出现的特征谱峰缩小频率范围进行第 2 次和第 3 次扫描。

样品的碳、氢、氧同位素分析由中国国家地质测试中心同位素实验室完成。将样品碎至 $0.2\sim 0.3\text{ mm}$ 粒级,在双目镜下挑选,使纯度大于 99% 的样品达 5 g。流体包裹体氢同位素用爆裂法取水,锌法制氢,氧同位素用 BrF_5 法,方解石的碳同位素用 100% 磷酸法。氢、氧、碳同位素采用 MAT 251EM 质谱计测定,氢、氧同位素采用的国际标准为 SMOW,碳同位素采用国际标准为 PDB。碳、氧同位素分析精度为 $\pm 0.2\text{‰}$,氢同位素分析精度为 $\pm 2\text{‰}$ 。根据方解石中流体包裹体的均一温度和矿物-水氧同位素方程,计算出流体的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值。流体的均一温度取其平均值,方解石与水的氧同位素平衡公式采用以下公式(O'Neil et al., 1969): $\Delta_{\text{方解石-水}} = 2.78 \times 10^6 / T^2 - 3.39$ 。

4 流体包裹体特征及显微测温

经过镜下显微分析观察,流体包裹体主要分布在方解石当中,少数分布在重晶石中(样品 07013)。

包裹体多为原生或假次生,呈孤立或成群状分布在方解石与重晶石颗粒中,少部分呈次生包裹体,沿穿切方解石颗粒的裂隙分布。流体包裹体形态、大小各异,呈椭圆形、近圆形、长柱形、不规则形等,直径介于 $5\sim 40\text{ }\mu\text{m}$ 之间。根据气相分数可以把它们分成 4 类(图 2):①纯液相水溶液包裹体,室温下为单一气相,不出现气相;②富液相气液两相水溶液包裹体,在室温下为液相与气相两相,气相分数小于 50%;③富气相气液两相水溶液包裹体,在室温下为液相与气相两相,气相分数大于 50%;④纯气相包裹体,室温下为单一气相,不出现液相。重晶石颗粒中的一些纯气相包裹体,颜色呈深黑,激光拉曼原位测试谱图上在 2916 cm^{-1} 处出现峰值(图 3),为 CH_4 峰,表明它们是 CH_4 包裹体。

在显微冷热台上对富液相气液两相水溶液包裹体的冰点温度(t_m)和气-液均一温度(t_h)分别进行测定,测温结果表明,方解石中原生包裹体的冰点温度为 $-0.9^\circ\text{C}\sim -4.7^\circ\text{C}$,流体盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 变化范围为 $1.49\%\sim 7.39\%$,均一温度为 $176\sim 304^\circ\text{C}$,计算得到的流体密度为 $0.70\sim 0.98\text{ g/cm}^3$ 。方解石中次生包裹体的冰点温度为 $-0.3\sim -3.4^\circ\text{C}$,流体盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 变化范围为 $0.48\%\sim 5.47\%$,均一温度为 $133\sim 202^\circ\text{C}$,计算得到的流体密度为 $0.87\sim 0.93\text{ g/cm}^3$ 。

对方解石中富气相气液两相包裹体进行测定表明,冰点温度为 $-2.8\sim -3.6^\circ\text{C}$,流体盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 变化范围为 $4.55\%\sim 5.78\%$,均一温度为 $208^\circ\text{C}\sim 223^\circ\text{C}$,计算得到的流体密度为 $0.87\sim 0.90\text{ g/cm}^3$ 。 CH_4 包裹体在冷热台上均一温度为 $-130\sim -136^\circ\text{C}$ 。

从直方图(图 4、图 5)上可以看到,方解石中原生包裹体的均一温度与盐度峰值明显地比次生包裹体要高,而重晶石中包裹体的均一温度与盐度分布则比较平均。对比来看,Ⅱ类原生包裹体与Ⅲ类包裹体的均一温度与冰点温度都较为相近。Ⅱ类富液相气液两相包裹体与Ⅲ类富气相气液两相包裹体同时出现(图 2D、2E),并且它们分别均一为液相或气相状态时的全均一温度相近($210\sim 215^\circ\text{C}$),表明流体可能发生过沸腾作用。

5 稳定同位素地球化学

稳定同位素地球化学特征对于成矿流体和成矿

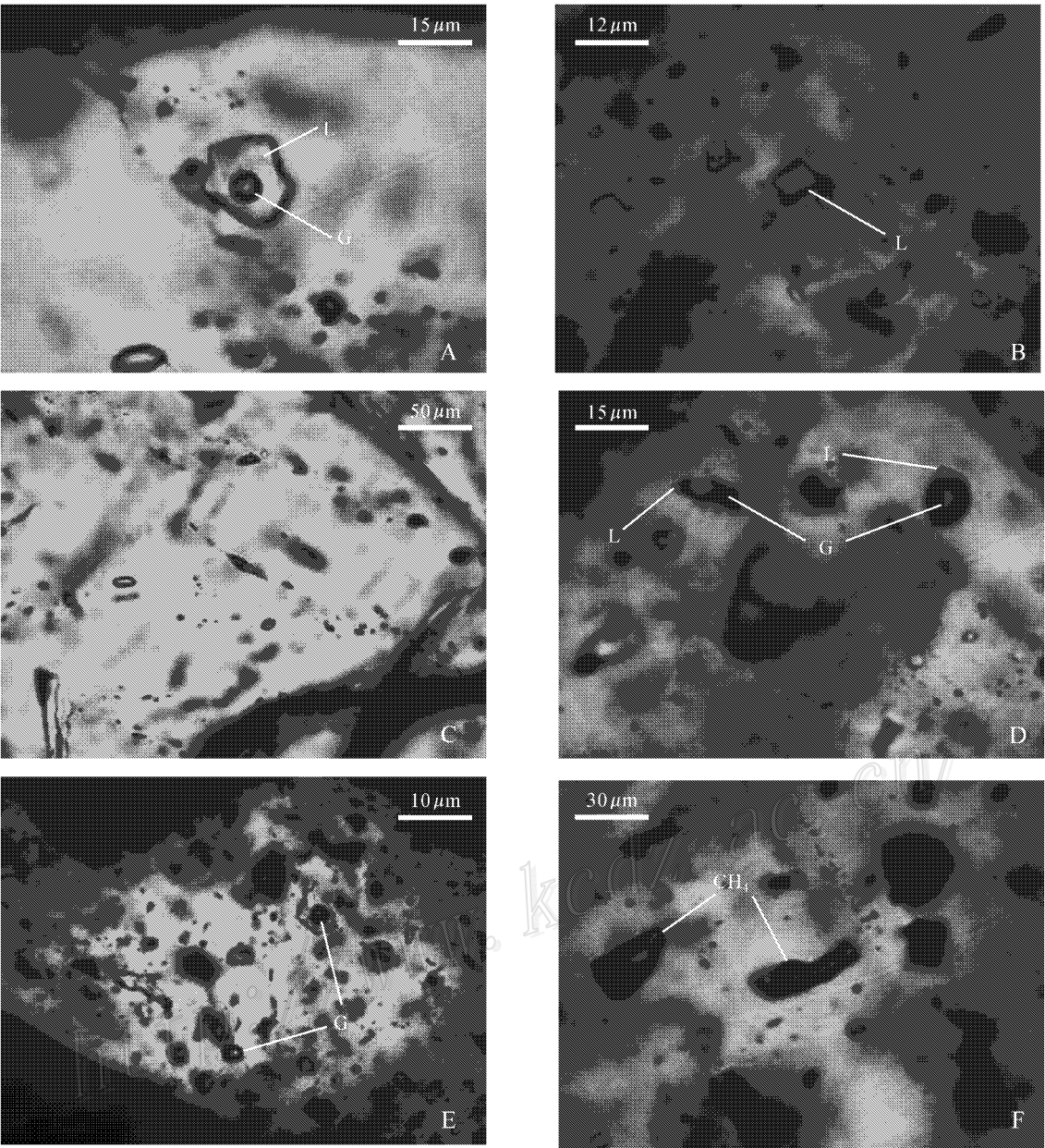


图 2 观山铜铅金矿床方解石与重晶石中的流体包裹体显微照片(常温,单偏光)

A. 方解石中的富液相气液两相水溶液包裹体(样品 07013) ;B. 方解石中纯液相水溶液包裹体(样品 07034) ;C. 方解石中沿裂隙分布的次生包裹体(样品 07034) ;D. 方解石中的富气相气液两相水溶液包裹体(样品 07013) ;E. 重晶石中各种气液相比例的包裹体共存(样品 07013) ;F. 重晶石中的纯气相 CH_4 包裹体(样品 07013)

Fig. 2 Microphotographs of fluid inclusions in calcite and barite in the Guangshan Cu-Pb-Au deposit (plain polarized light)
A. Liquid-rich two-phase fluid inclusions in calcite (sample 07013) ;B. Liquid aqueous inclusions in calcite (sample 07034) ;C. Secondary fluid inclusions along fissures in calcite (sample 07034) ;D. Gas-rich two-phase fluid inclusions in calcite (sample 07013) ;E. Coexistence of fluid inclusions with different vapor/liquid ratios in barite (sample 07013) ;F. Pure gaseous CH_4 fluid inclusions in barite (sample 07013)

物质的来源、成矿机制有极其重要的意义,本次研究对观山铜、铅、金矿床方解石中流体包裹体进行了氢、氧、碳同位素分析,分析结果见表 1。可见 5 件样品中流体包裹体水的 $\delta\text{D}_{\text{水}}$ 为 $-81.0\text{‰} \sim -90.0\text{‰}$,

$\delta^{18}\text{O}_{\text{方解石}}$ 为 $10.1\text{‰} \sim 15.5\text{‰}$ 。根据方解石与水的氧同位素平衡公式计算的成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 为 $0.1\text{‰} \sim 2.3\text{‰}$ 。样品的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{方解石}}$ 为 $-1.2\text{‰} \sim 2.9\text{‰}$ 。

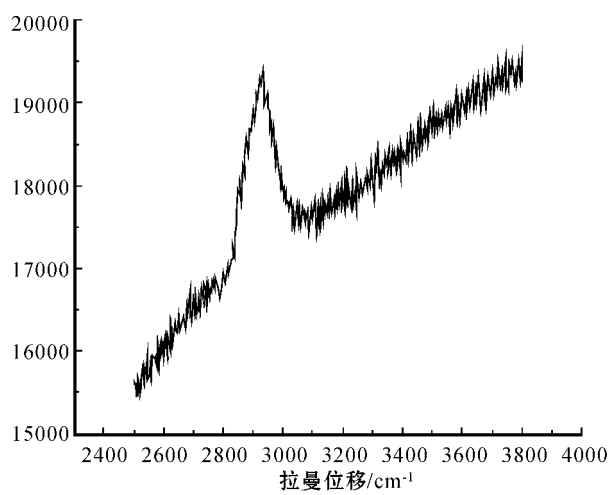


图 3 观山矿床重晶石中 CH₄ 包裹体的激光拉曼光谱图
图中峰值 2 916 cm⁻¹代表 CH₄

Fig. 3 Laser Raman spectrogram of CH₄ inclusions in barite from the Guanshan Cu-Pb-Au deposit

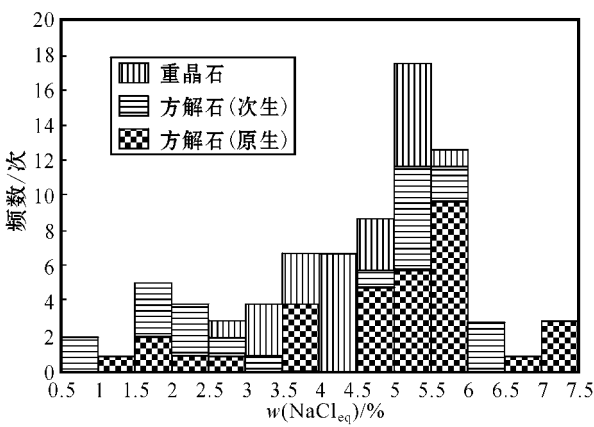


图 5 观山矿床方解石与重晶石中流体包裹体盐度直方图
Fig. 5 Histogram of salinities of fluid inclusions in calcite and barite from the Guanshan Cu-Pb-Au deposit

6 讨 论

从显微测温结果来看,流体包裹体均一温度较低,介于 133℃~304℃ 之间,峰值区间位于 160℃~220℃ ;盐度也偏低, $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 介于 0.48%~7.39% 之间,峰值为 3.5%~5.0%。纯液相、富气相、富液相水溶液包裹体与纯气相流体包裹体在同一矿物中共存,其中富气相与富液相两个端员的水溶液包裹体,具有大致相近的均一温度,富气的端员均一到气相,富液的端员均一到液相,初步推断沸腾作用可能是引起矿质发生沉淀富集成矿的因素之一 (Roedder,1984)。沸腾作用使溶液中的溶质发生过饱和富集沉淀,同时,在非均匀介质环境条件下,捕获各种气相比比例不一的包裹体,且气液相比比例变化大。

夏嘉生(1995)的研究显示,观山铜铅金矿成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值为 0.75‰~10.80‰,其中地表及浅部矿体中的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值为 0.75‰~4.69‰,贫¹⁸O,

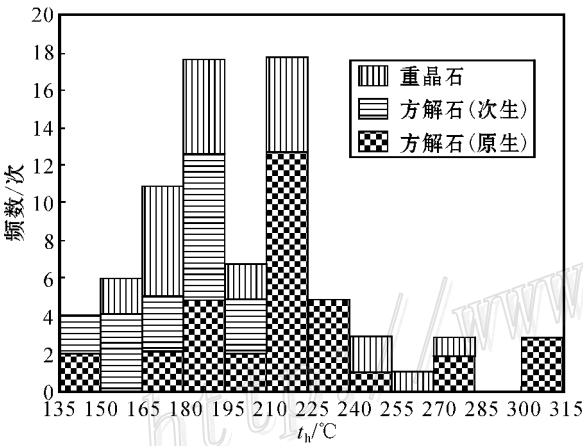


图 4 观山矿床方解石与重晶石中流体包裹体均一温度直方图
Fig. 4 Histogram showing homogenization temperature (t_h) of fluid inclusions in calcite and barite from the Guanshan Cu-Pb-Au deposit

表 1 观山铜铅金矿床方解石碳氢氧同位素分析结果表

Table 1 Carbon, hydrogen and oxygen isotopic composition of calcite from the Guanshan Cu-Pb-Au deposit					
样品号	采样位置	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}/\text{‰}$	$\delta\text{D}_{\text{SMOW}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{方解石-SMOW}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{水-SMOW}}/\text{‰}$
07013	ZK1702,187m 处	-1.2	-82	10.1	2.1
07032	ZK1702,447m 处	2.9	-87	12.6	0.1
07034	ZK1702,471m 处	2.7	-81	13.1	2.3
07037	ZK1702,548m 处	0.3	-90	12.1	1.3
07061	ZK2301,450m 处	1.9	-85	15.5	0.7

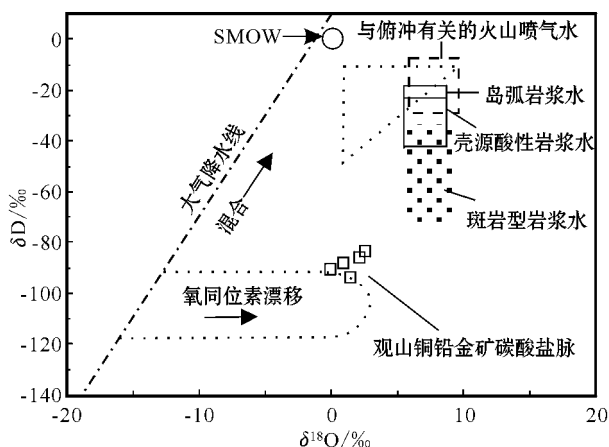


图 6 成矿流体氢氧同位素组成图(据 Hedenquist et al., 1994)

Fig. 6 Ore-forming fluid composition of hydrogen and oxygen isotopes (after Hedenquist et al., 1994)

热液基本来自大气降水,而深部矿体和蚀变围岩中的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值较高,为 $5.98\text{‰} \sim 10.8\text{‰}$,已进入岩浆水的范畴,因此观山矿床中成矿热液主要是大气降水,但矿体深部有岩浆水参与。

本次稳定同位素研究显示,方解石氢氧同位素为 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}} = -81.0\text{‰} \sim -90.0\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 0.1\text{‰} \sim 2.3\text{‰}$ (平均值 1.3‰),在 $\delta^{18}\text{O}-\delta\text{D}$ 投影图(图 6)上位于大气降水和岩浆水的区域之间。考虑到本地区中生代大气降水的氧同位素组成 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 -8‰ (张理刚, 1989),而本次研究的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 均为正值(平均值为 1.3‰)。假设观山成矿流体全部由大气降水组成,则相应的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值必然为负值。成矿流体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值升高的主要原因有 2: ①深部有岩浆水的参与; ②大气降水与次火山岩围岩进行水岩交换,导致氧同位素向岩浆水区域发生漂移。考虑到部分流体包裹体具有较高的盐度,同时 Cu^{2+} 和 Pb^{2+} 等贱金属离子需要与较多的 Cl^- 形成络合物而进行运移和富集,单纯的大气降水显然无法提供较多的 Cl^- ,因此,不能排除该矿成矿流体中含有少量岩浆水。

矿石中方解石的碳同位素分析结果表明, $\delta^{13}\text{C}_{\text{方解石}} = -1.2\text{‰} \sim 2.9\text{‰}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{方解石}}$ 平均为 1.3‰ ,与 Hoefs (2004) 确定的海相碳酸盐碳同位素范围(平均 $-3\text{‰} \sim 2\text{‰}$)基本一致。因此,方解石中的碳可能来自构成本区基底的志留系高家边组至侏罗系西横山组一套完整的碳酸盐类沉积岩系。大气降水在下渗和加热对流过程中,溶解基底地层中的碳酸盐类,并将其带到粗安质次火山岩体裂隙中,形

成金属硫化物-碳酸盐矿脉。

综合上述成矿流体证据,本文推断观山铜铅金矿成矿类型为浅成低温热液金属矿床,与前人所认为的火山热液型相符。同时考虑到其中大量出现贱金属硫化物与重晶石,在蚀变矿物中大量出现高岭石等粘土矿物,并且成矿流体中可能有岩浆水的参与,因此该矿应属于典型的高硫型浅成低温热液金属矿床。

7 结 论

观山铜铅金矿方解石中发现了 4 种类型的流体包裹体,它们的气相分数变化较大,显示成矿过程中曾发生过沸腾作用。流体包裹体的显微测温结果显示,成矿流体的均一温度及盐度均较低。同位素测定显示成矿流体的氢氧同位素组成为: $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}} = -81.0\text{‰} \sim -90.0\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 0.1\text{‰} \sim 2.3\text{‰}$,说明成矿流体主要由大气降水组成,但在深部可能有岩浆水的加入。方解石碳同位素显示成矿流体中的 C 来源于基底岩石中的碳酸盐地层。综合成矿流体的证据与围岩蚀变类型,推断观山铜铅金矿为高硫型浅成低温热液金属矿床。沸腾作用可能是引起矿质发生沉淀富集成矿的主要因素之一。

志 谢 江苏有色金属华东地质勘查局叶水泉教授级高工给予了大力的帮助。激光拉曼光谱分析工作得到中科院地球化学研究所拉曼光谱实验室王英老师的支持,中国国家地质测试中心同位素实验室万德芳老师在同位素测定中给予了支持,在此一并表示感谢!

References

- Brown P E. 1989. FLINCOR: A microcomputer program for the deduction and investigation of fluid inclusion data [J]. American Mineralogist, 74: 1390-1393.
- Hedenquist J W and Lowenstern J B. 1994. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits [J]. Nature, 370: 519 ~ 526.
- Hoefs J. 2004. Stable isotope geochemistry (5th Edition) [M]. Berlin: Springer-Verlag. 1-244.
- O'Neil J R, Clayton R N and Mayada T K. 1969. Oxygen isotope fractionation in divalent metal carbonates [J]. Journal of Chemical Physics, 51: 5547-5558.
- Lu Y F. 2004. GeoKit-A geochemical toolkit for Microsoft Excel [J].

- Geochimica, (5):459-464 (in Chinese with English abstract).
- Roedder E. 1984. Fluid inclusion[M]. Mineralogical Society of America Review in Mineralogy. 12:644
- Xia J S. 1995. Location model and prospecting model of endogenetic metallic deposits in Lishui volcanic basin, Jiangsu[J]. Jiangsu Geology, 19(1):5-11(in Chinese with English abstract).
- Zhang L G. 1989. Petrogenetic and minerogenetic theories and prospecting-stable isotopic geochemistry of main type ore deposits and granitoids of China[M]. Beijing: Press of Beijing University of Technology. 1-200(in Chinese).
- Zhou J C, Zhao T P and Chen K R. 1994. Analyses of tectonic setting for occurrence of Lishui Mesozoic shoshonite series and its evolutionary relationship[J]. Journal of Nanjing University, 30(3):504-510 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 路远发. 2004. Geokit: 一个用 VBA 构建的地球化学工具软件包[J]. 地球化学, 33(5):459-464.
- 夏嘉生. 1995. 江苏溧水火山岩盆地内生金属矿床定位模式及找矿思路[J]. 江苏地质, 19(1):5-11.
- 张理刚. 1989. 成岩成矿理论与找矿——中国主要类型矿床及花岗岩类岩石的稳定同位素地质学[M]. 北京: 北京工业大学出版社. 1-200.
- 周金城, 赵太平, 陈克荣. 1994. 溧水中生代橄榄安粗岩系的构造环境及演化关系[J]. 南京大学学报, 30(3):504-510.

<http://www.kcdz.ac.cn/>