

江苏观山高硫型铜铅金矿床稳定同位素地球化学和成因意义

梁业恒^{1, 2, 3}, 孙晓明^{1, 2, 3}, 翟伟^{1, 2}, 马春⁴,
吴志强⁴, 丁存根⁴, 王堂喜⁴

(1. 中山大学海洋学院, 广州 510275; 2. 广东省海洋资源与近岸工程重点实验室, 广州 510275;
3. 中山大学地球科学系, 广州 510275; 4. 华东有色地质矿产勘查开发院, 南京 210007)

[摘要] 江苏观山铜铅金矿是典型的高硫型浅成低温热液矿床。本文通过对观山铜铅金矿床氢、氧、碳、硫同位素组成的研究, 探讨成矿溶液中水、碳、硫的来源以及成矿溶液的演化。同位素测定显示石英流体包裹体水的 $\delta D = -90\text{‰} \sim -70\text{‰}$, $\delta^{18}O_{\text{水}} = -8.9\text{‰} \sim -1.1\text{‰}$; 热液方解石流体包裹体水的 $\delta D = -90\text{‰} \sim -81\text{‰}$, $\delta^{18}O_{\text{水}} = 0.1\text{‰} \sim 2.3\text{‰}$ 。氢氧同位素组成说明成矿流体主要为与围岩进行过水岩反应的循环大气降水, 不排除有少量岩浆水的加入。黄铁矿与黄铜矿矿石的 $\delta^{34}S_{\text{V-CDT}} = 5.8\text{‰} \sim 9.9\text{‰}$, 平均值为 7.6‰ , 表明该矿成矿过程中的 S 很可能是沉积岩来源的硫与岩浆岩来源硫的混合。矿床中可见较多的重晶石等硫酸盐矿物, 这种高价态硫的矿物的存在显示其成矿溶液具有富集³⁴S 的特征, 加上成矿过程中流体的沸腾导致 H_2S 等气体大量逸出和残余岩浆流体富集³⁴S, 使得沉淀的黄铁矿、黄铜矿等硫化物同样具有富集³⁴S 的特征; 热液方解石碳同位素 $\delta^{13}C_{\text{方解石}} = -4.1\text{‰} \sim 6.1\text{‰}$, 平均为 $\delta^{13}C_{\text{方解石}} = 1.3\text{‰}$, 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。

[关键词] 稳定同位素 浅成低温热液矿床 观山铜铅金矿 成矿溶液

[中图分类号] P618.51 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2010)04-0698-07

Liang Ye-heng, Sun Xiao-ming, Zhai Wei, Ma Chun, Wu Zhi-qiang, Ding Cun-gen, Wang Tang-xi. Stable isotopic geochemistry and genesis of the Guanshan high-sulphidation type Cu-Pb-Au deposit in Jiangsu Province[J]. *Geology and Exploration*, 2010, 46(4): 0698-0704.

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没有中断。一些学者对其成矿区域地质、矿床控矿特点、成矿特征等方面进行了一系列的研究工作, 提出该矿为火山热液型矿床(周金城等, 1994; 夏嘉生, 1995)。梁业恒等(2008)通过对观山铜铅金矿脉体中的流体包裹体研究, 发现它们的气相比例变化较大, 显示成矿过程中可能发生过沸腾作用, 成矿流体的冰点温度与均一温度都较低, 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, 因此提出该矿应属于典型的高硫型浅成低温热液金属矿床。鉴于整合覆盖白垩系龙王山组(K_1l)、云台山组(K_1y)、

该矿床在稳定同位素方面的研究还不够深入, 本文从氢、氧、碳、硫同位素几个方面对观山铜铅金矿的成矿物质来源与成矿溶液的演化进行探讨。

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 16km。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, 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, 其上部不大王山组(K_1d)和甲山组(K_1j)的火山岩。火山岩

[收稿日期] 2010-02-03; [修订日期] 2010-07-01; [责任编辑] 郑杰。

[基金项目] 江苏省有色金属华东地质勘查局委托研究项目(编号: 32110-4206243)和中央高校基本科研业务费专项基金资助。

[第一作者简介] 梁业恒(1980年-), 男, 博士后, 研究方向为矿床地球化学, E-mail: gtogto54321@msn.com。

[通讯作者] 孙晓明(1963年-), 男, 教授, 研究方向为矿床地球化学, E-mail: eessxm@mail.sysu.edu.cn。

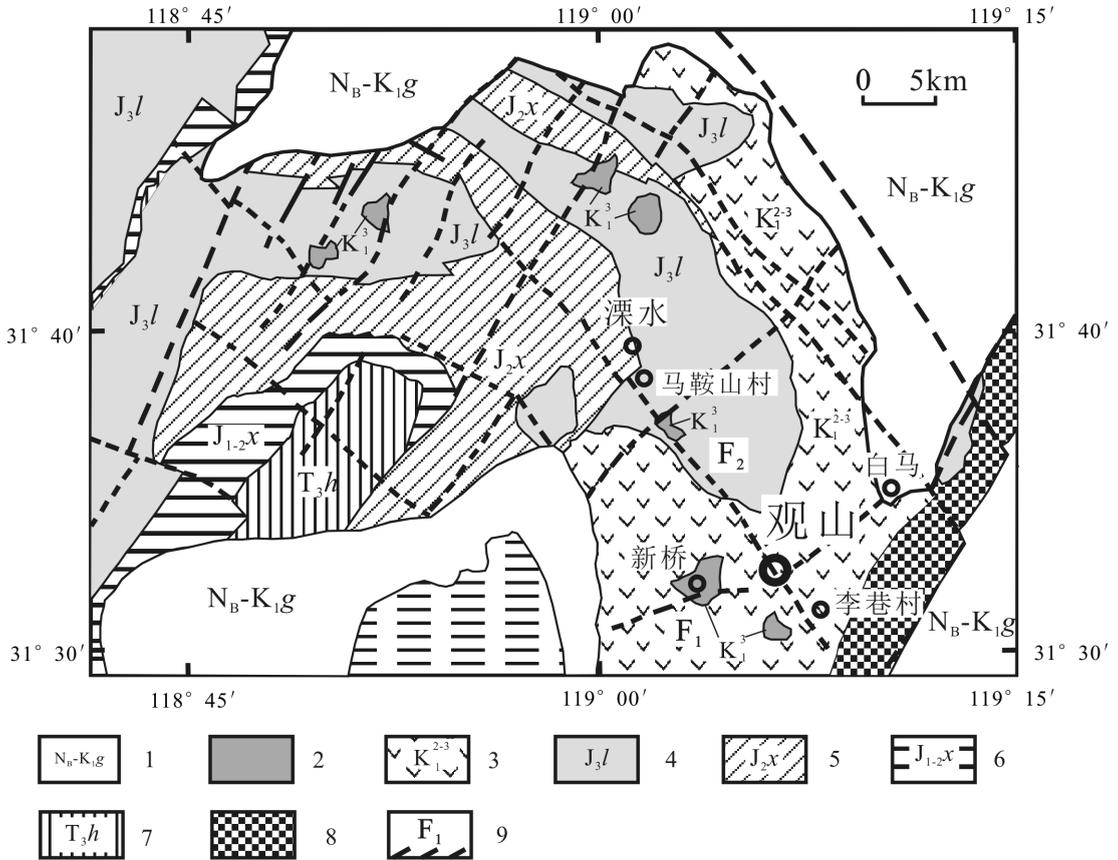


图1 江苏省溧水地区地质构造图(据华东有色金属矿产勘查开发院图件改编,2005)^①

Fig.1 Geological map of Lishui, Jiangsu province (after East China Geological Exploration and Development Institute for Non-Ferrous Metals, 2005)^①

- 1-泥岩;2-流纹岩;3-粗安斑岩;4-安山岩及火山碎屑岩;5-泥灰岩;6-石英砂岩;7-粉砂岩;8-加里东海西构造层;9-断裂(F1-新桥-白马断裂,F2-马鞍山-李巷断裂)
- 1-mudstones;2-rhyolites;3-trachyandesites;4-andesites and pyroclastic rocks;5-marlites;6-quartz sandstones;7-siltstones;8-caledonian-hercynian tectonic layers;9-faults(F1-Xinqiao-Baima fault,F2-Ma'anshan-Lixiang fault)

系之上不整合覆盖葛村组及红层(浦口组和赤山组)。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、物质组分和岩浆源相同的特点。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(图1)。整个火山通道为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(K₁1)和观山旋回(K₁2)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-白垩系浅成岩体及其爆发角砾岩,也可以是成矿前的其它围岩。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。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形态(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”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

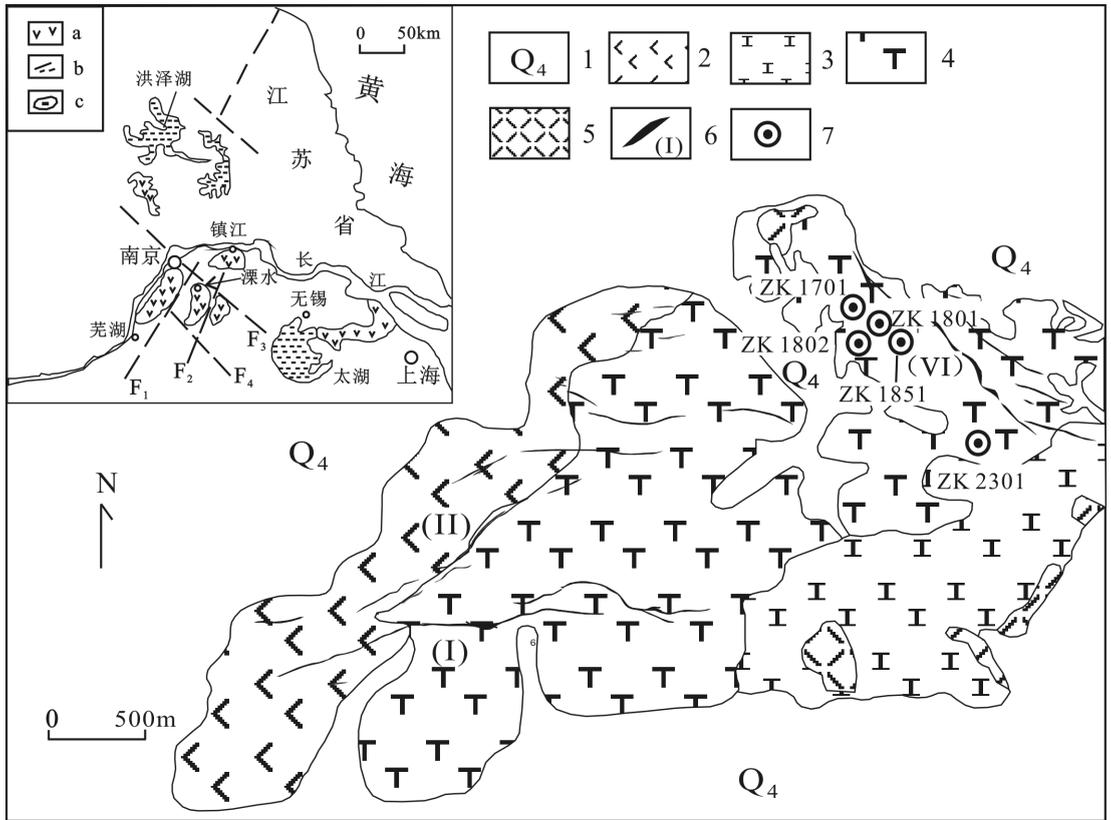


图2 江苏省溧水县观山铜铅金多金属矿床综合地质图
(据华东有色地质矿产勘查开发院改编^{①②})

Fig.2 geological sketch map of Guanshan Cu-Pb-Au polymetallic deposit, Jiangsu province (modified after east China geological exploration and development institute for non-ferrous metals)

a-中生代火山岩;b-断层(F₁-方山-小丹阳断裂;F₂-茅山西侧断裂;F₃-南京-湖熟断裂;F₄-小丹阳-双牌石断裂);c-湖泊;1-第四系;2-白垩系角闪粗安斑岩;3-白垩系粗面岩;4-白垩系粗安斑岩;5-白垩系凝灰角砾岩;6-矿脉;7-钻孔位置及编号

a-Mesozoic volcanic rocks;b-fault (F₁-Fangshan-Xiaodanyang fault;F₂-Maoshan fault;F₃-Nanjing-Hushu fault;F₄-Xiaodanyang-Shuangpaishi fault);c-lake;1-Quaternary;2-Cretaceous hornblende trachyandesites;3-Cretaceous trachytes;4-Cretaceous trachyandesites;5-Cretaceous tuff breccias;6-veins;7-borehole and its serial number

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~数百米,最长达1850m,宽一般2~5m,最大达30m,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10~25m左右。规模较大的矿脉为一号、二号、六号,其中一号脉长1850m,走向近东西,倾向北,由两条断续的主矿体和十个小矿体组成,以铜矿为主;二号脉长900m,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30m宽的矿带;六

号脉长1350m,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,南东为铅(锌)矿^②(图2)。

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、石英及少量方解石。矿石的结构多为微粒、细粒,地表可见胶状。

矿体的围岩蚀变有两期,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、高岭土化、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

表1 观山铜铅金矿含矿石英脉及热液方解石脉的氢、氧、碳同位素组成表

Table 1 Hydrogen, oxygen and carbon isotope compositions of hydrothermal calcites and quartz veins in the Guanshan Cu-Pb-Au deposit

样品编号	岩性	采样位置	$\delta D(\text{‰}, \text{SMOW})$	Th ($^{\circ}\text{C}$)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ ($\text{‰}, \text{SMOW}$)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}$ ($\text{‰}, \text{SMOW}$)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{方解石}}$ ($\text{‰}, \text{SMOW}$)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{方解石}}$ ($\text{‰}, \text{PDB}$)
07028	石英	ZK1702, 393m 处	-76	249.1	-1.1	12.4		
07036	石英	ZK1702, 520m 处	-70	217.3	-7.6	9.7		
07046	石英	ZK2301, 96m 处	-78	189.2	-8.9	5.0		
07049	石英	ZK2301, 176m 处	-81	233.1	-4.5	13.2		
07186	石英	ZK1802, 323m 处	-90	227.3	-4.5	13.5		
07013	方解石	ZK1702, 187m 处	-82	251.6	2.1		10.1	-1.2
07032	方解石	ZK1702, 447m 处	-87	196.7	0.1		12.6	2.9
07034	方解石	ZK1702, 471m 处	-81	187.7	2.3		13.1	2.7
07037	方解石	ZK1702, 548m 处	-90	206.3	1.3		12.1	0.3
07061	方解石	ZK2301, 450m 处	-85	193.9	0.7		15.5	1.9
07057	方解石	ZK2301, 357m 处					28.4	6.1
07081	方解石	ZK1801, 177m 处					14.5	-0.3
07100	方解石	ZK1801, 398m 处					15.2	-4.1
07149	方解石	ZK1851, 160m 处					14.2	2.0
07202	方解石	ZK1802, 357m 处					11.6	3.7

测试单位:中国国家地质测试中心同位素实验室;测试时间:2008年5月。

化、重晶石化、黄铁矿化、硅化、高岭土化和绢云母。

$10^6/T^2 - 3.40$ (Clayton, 1972)。

3 样品及分析测试方法

本次研究所用样品采自观山铜铅金矿 VI 号脉五个钻孔 (ZK1702、ZK1801、ZK1802、ZK1851、ZK2301) 中不同位置的岩石和矿脉。其中矿石矿物为黄铜矿、黄铁矿和方铅矿等硫化物,代表该矿形成的主要成矿阶段,脉石矿物为热液方解石和石英。本文主要对这几种矿物进行氢、氧、碳、硫同位素测定。

样品的氢、氧、碳、硫同位素分析由中国国家地质测试中心同位素实验室完成。石英及方解石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;硫同位素样品用硫化物与 Cu_2O 和 V_2O_5 混合氧化剂在高温真空条件下反应制取 SO_2 。氢、氧、碳同位素采用 MAT 251EM 质谱计测定,硫同位素采用 MAT-251C 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,硫同位素采用国际标准为 CDT。氧、碳、硫同位素分析精度为 $\pm 0.2\text{‰}$,氢同位素分析精度为 $\pm 2\text{‰}$ 。根据方解石或石英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 $\Delta_{\text{方解石-水}} = 2.78 \times 10^6/T^2 - 3.39$ (O'Neil *et al.*, 1969),石英与水的氧同位素平衡公式采用 $\Delta_{\text{石英-水}} = 3.38 \times$

表2 观山铜铅金矿硫化物的硫同位素组成表

Table 2 Sulfur isotope compositions of sulfides in the Guanshan Cu-Pb-Au deposit

样品号	采样位置	岩性	$\delta^{34}_{\text{S-CDT}}(\text{‰})$
07001	ZK1702, 28m 处	黄铁矿	6.6
07018	ZK1702, 247m 处	黄铜矿	9.8
07025	ZK1702, 333m 处	黄铜矿	6.8
07027	ZK1702, 393m 处	黄铁矿	8.7
07034	ZK1702, 471m 处	黄铜矿	9.2
07055	ZK2301, 265m 处	方铅矿	1.8
07099	ZK1801, 396m 处	黄铁矿	8.4
07143	ZK1851, 105m 处	黄铁矿	6.3
07149	ZK1851, 160m 处	黄铁矿	9.9
07161	ZK1802, 79m 处	黄铁矿	5.8
07201	ZK1802, 355m 处	黄铁矿	6.0
07207	ZK1802, 407m 处	黄铁矿	6.1

测试单位:中国国家地质测试中心同位素实验室;测试时间:2008年5月。

4 分析结果及讨论

4.1 氢、氧同位素地球化学

本次测定的含矿石英脉及热液方解石脉的氢氧同位素组成见表1。石英流体包裹体水的 $\delta D = -90\text{‰} \sim -70\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}} = 5.0\text{‰} \sim 13.5\text{‰}$,根据石英与水的氧同位素平衡公式计算的成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}} = -8.9\text{‰} \sim -1.1\text{‰}$ 。方解石流体包裹体水的 $\delta D = -90\text{‰} \sim -81\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{方解石}} = 10.1\text{‰} \sim 15.5\text{‰}$ 。根据

方解石与水的氧同位素平衡公式计算的成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}} = 0.1\text{‰} \sim 2.3\text{‰}$ 。石英与方解石的 δD 相当, 而前者的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ (平均值 -5.3‰) 则明显地低于后者 (平均值 1.3‰)。

前人的研究显示, 观山铜铅金矿成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}$ 水值为 $0.75\text{‰} \sim 10.80\text{‰}$, 其中地表及浅部矿体中的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值为 $0.75\text{‰} \sim 4.69\text{‰}$, 贫 ^{18}O , 热液基本来自大气降水, 而深部矿体和蚀变围岩中的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值较高, 为 $5.98\text{‰} \sim 10.80\text{‰}$, 已进入岩浆水的范畴, 由此推断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入 (夏嘉生, 1995)。

从 $\delta^{18}\text{O}-\delta\text{D}$ 投影图 (图 3) 上面可以看出, 含石英脉中流体包裹体的氢氧同位素组成较接近于大气降水, 而方解石位于大气降水和岩浆水的区域之间, 显示它们的主体应为大气降水。考虑到本地区中生代大气降水的氧同位素组成为 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}} = -8\text{‰}$ (张理刚, 1989), 而本次研究的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 多数高于此值。造成大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 值升高的主要原因有二方面: 1). 深部有岩浆水的渗入; 2). 大气降水与围岩进行水岩交换, 导致氧同位素组成发生漂移。从图 2 可见, 观山成矿流体 δD 变化不大, 而 $\delta^{18}\text{O}$ 变化较大, 主要落在氧同位素组成漂移线上, 显示该矿成矿过程中, 下渗的大气降水与次火山岩曾发生较强烈的水岩反应。同时, 考虑到观山部分流体包裹体具有较高的盐度, 可达到 $7.39\% \text{NaCl}_{\text{eq}}$, 而 Cu^{2+} 和 Pb^{2+} 等贱金属离子需要较多的 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有少量岩浆水的加入。

4.2 硫同位素地球化学

观山硫同位素分析结果见表 2, 可见黄铁矿与黄铜矿的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 基本接近, 为 $5.8\text{‰} \sim 9.9\text{‰}$, 平均值为 7.6‰ , 远高于方铅矿 $\delta^{34}\text{S}$ 组成 ($\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}} = 1.8\text{‰}$), 显示该矿成矿过程中 S 同位素组成基本达到了平衡。同时该矿硫同位素组成比较集中, 说明其硫源比较单一, 成矿环境和成矿物理化学条件较为稳定。

与国内多宝山 (冯健行, 2008)、阿勒舍 (陈毓川等, 1996) 等明显岩浆来源的其它矿床相比, 观山铜铅金矿的硫同位素组成相对较高 (图 4)。不同含硫物种富集 ^{34}S 的能力具有明显的差异, 呈现的规律为 ($\text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{SO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{S}$)。观山矿床脉石矿物中可见较多的重晶石等硫酸盐矿物, 这种高价态硫的矿物的存在显示其成矿过程中 f_{O_2} 较高, 同时其成矿流体的

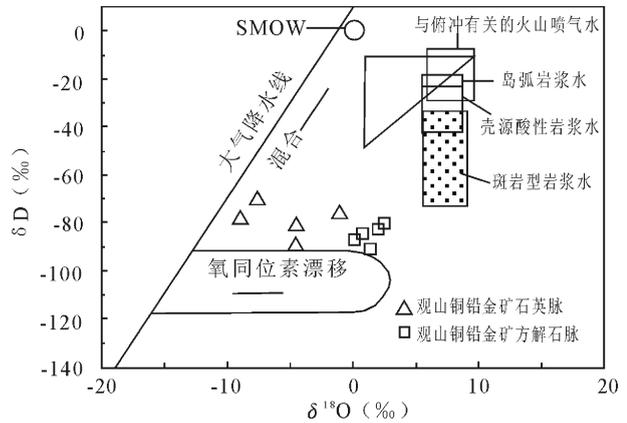


图 3 观山铜铅金矿床成矿流体氢氧同位素组成图 (据 Hedenquist *et al.*, 1994)

Fig. 3 hydrogen and oxygen isotope compositions of ore forming fluids in the Guanshan Cu-Pb-Au deposit (after Hedenquist *et al.*, 1994)

$\delta^{34}\text{S}$ 应远高于从其结晶的硫化物 S 同位素组成 (郑永飞等, 2000), 很可能接近 10‰ , 本次测定的 S 同位素值范围相当大, 说明其中的 S 主要来自火山岩盆地基底沉积岩和次火山岩浆中 S 的混合。此外, 郑永飞等 (2000) 对现代火山气体中硫同位素组成的研究显示, 火山气体中主要含硫物种为 SO_2 和 H_2S , 其间存在同位素交换。 SO_2 在水中的溶解度远大于 H_2S , 因此富 ^{32}S 的 H_2S 易呈气相逸出, 较富 ^{34}S 的 SO_2 溶于水而残留在岩浆体系当中, 并可形成 $[\text{SO}_4]^{2-}$ 等原子团, 适当条件下可还原成 S^{2-} , 同时保存了其富 ^{34}S 的特性, 使得沉淀的黄铁矿、黄铜矿等硫化物同样富集 ^{34}S 。梁业恒等 (2008) 的研究表明, 观山矿成矿过程中曾经历过明显的流体沸腾过程, H_2S 等气体大量逸出, 导致残余岩浆流体富集 ^{34}S 。本矿热液硫化物 ^{34}S 的高度富集很可能部分源自这种火山气体的同位素交换。

4.3 碳同位素地球化学

成矿热液中的碳主要有 3 种可能来源 (田世洪等, 2007): 1) 地幔射气或岩浆来源。地幔射气和岩浆来源的碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ 变化范围分别为 $-5\text{‰} \sim -2\text{‰}$ 和 $-9\text{‰} \sim -3\text{‰}$ (Taylor, 1986); 2) 沉积岩中碳酸盐岩的脱气或含盐卤水与泥质岩相互作用。这种来源 $\delta^{13}\text{C}$ 变化范围为 $-2\text{‰} \sim +3\text{‰}$, 海相碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}$ 大多稳定在 0‰ 左右 (Veizer *et al.*, 1980); 3) 各种岩石中的有机碳。有机碳一般富集 ^{12}C , 因而碳同位素组成很低, 其 $\delta^{13}\text{C}$ 变化范围为 $-30\text{‰} \sim -15\text{‰}$, 平均为 -22‰ (Ohmoto, 1972)。从表 1 的分

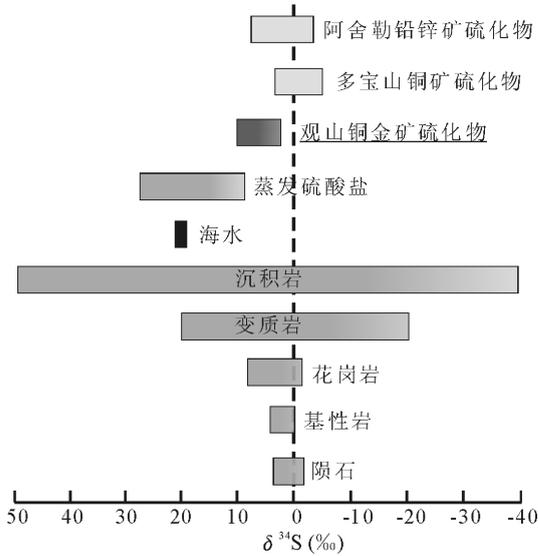


图 4 观山铜金矿床硫化物硫同位素组成图
(底图仿 Hoefs,2004)

Fig. 4 Sulfur isotope compositions of sulfides in the Guanshan Cu-Pb-Au deposit

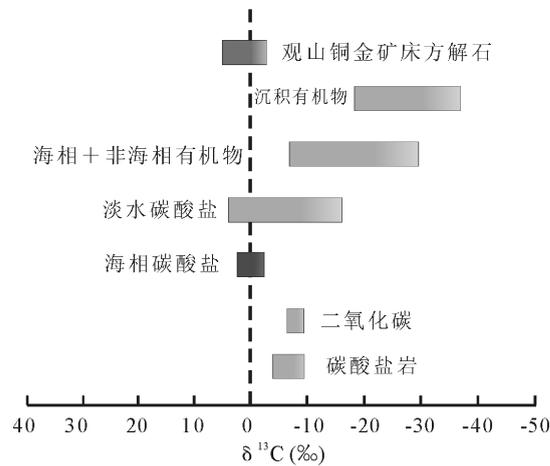


图 5 观山铜金矿床方解石碳同位素组成图
(底图仿 Hoefs,2004)

Fig. 5 Carbon isotope compositions of calcites in the Guanshan Cu-Pb-Au deposit

析结果可见,观山铜多金属矿热液方解石的 $\delta^{13}\text{C}$ 方解石 $=-4.1\text{‰} \sim 6.1\text{‰}$,平均为 $\delta^{13}\text{C}_{\text{方解石}} = 1.3\text{‰}$,与海相碳酸盐碳同位素范围(平均 $-3\text{‰} \sim 2\text{‰}$)基本一致(图 5)。而且,在高 f_{O_2} 条件下,热液方解石的 $\delta^{13}\text{C}$ 基本可以代表成矿流体总 C 的 $\delta^{13}\text{C}$ 组成(郑永飞等,2000)。因此,观山热液方解石中的碳可能主要来自构成本区基底的自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,并将其带到火山岩体裂隙中,形成热液碳酸盐矿脉。

5 结论

氢、氧同位素研究显示,观山铜铅金多金属矿成矿热液主要为经过了水岩反应的循环大气降水组成,但不排除少量岩浆水加入;热液硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 已基本达到同位素平衡,硫很可能来自本区基底沉积岩来源硫与岩浆岩来源硫的混合。观山矿成矿过程中的流体沸腾导致 H_2S 等气体大量逸出和残余岩浆流体富集 ^{34}S 。热液方解石碳同位素显示观山成矿流体中的 C 主要来源于基底岩石中的碳酸盐地层。

致谢: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。核工业北京地质研究院刘汉彬老师和中国国家地质测试中心同位素实验室万德芳老师等在同位素测定中给予了支持,在此一并表示感谢!

[注释]

- 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
- ② 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

[References]

Chen Yu-chuan, Ye Qing-tong. 1996. Ore-forming conditions and metallogenetic prognosis of the Ashele copper-zinc metallogenic belt, Xinjiang, China [M]. Beijing: Geological Publishing House: 134 (in Chinese)

Clayton R N, O'Neil J R and Mayeda T K. 1972. Oxygen isotope exchange between quartz and water [J]. Journal of Geophysical Research, B77: 3057-3067

Feng Jian-xing. 2008. Distribution character of sulfur isotope in the duobaoshan copper deposit [J]. Geology and Prospecting, 42(1): 46-49 (in Chinese with English abstract)

Hedenquist J W, 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: 48-53, 71-73

Liang Ye-heng, Sun Xiao-ming, Zhai Wei, Ma Chun, Wu Zhi-qiang, Ding Cun-gen, Wang Tang-xi, Li Ai-ju, Liang Jin-long. 2008. Geochemistry of ore-forming fluids and genesis of Guanshan Cu-Pb-Au [J]. Mineral Deposits, 27(5): 587-594 (in Chinese with English abstract)

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

Ohmoto H. 1972. Systematics of sulfur and carbon isotopes in hydrother-

- mal ore deposits[J]. *Economic Geology*, 67: 551-578
- Taylor B E. 1986. Magmatic volatiles: Isotope variation of C, H and S. Reviews in Mineralogy. In: Stable isotopes in high temperature geological process[J]. Mineralogical Society of America, 16: 185-226
- Tian Shi-hong, Hou Zeng-qian, Yang Zhu-sen, Ding-Tiping, Zeng Pu-sheng, Wang Yan-bing, Wang Xun-cheng. 2007. REE and stable isotope geochemical characteristics of the Mashan Au-S deposit in Tongling, Anhui province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 81(7): 929-938 (in Chinese with English abstract)
- Veizer J, Holser W T and Wilgus C K. 1980. Correlation of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ secular variation[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44: 579-588
- Xia Jia-sheng. 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 Li-gang. 1989. Diagenesis and Metallogeny-Stable Isotope Geology of Major Deposits and Granites in China[M]. Beijing: Beijing University of Technology Press: 121 (in Chinese)
- Zheng Yong-fei, Chen Jiang-feng. 2000. Stable Isotope Geochemistry[M]. Beijing: Science Press: 134 (in Chinese)
- Zhou Jin-cheng, Zhao Tai-ping, Chen Ke-rong. 1994. Analysis 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]
- 陈毓川, 叶庆同. 1996. 阿舍勒铜锌成矿带成矿条件和成矿预测[M]. 北京: 地质出版社: 134
- 冯健行. 2008. 多宝山铜矿硫同位素空间分布特征[J]. *地质与勘探*, 42(1): 46-49
- 梁业恒, 孙晓明, 翟伟, 马春, 吴志强, 丁存根, 王堂喜, 李爱菊, 梁金龙. 2008. 江苏观山铜铅金矿床成矿流体地球化学和成因[J]. *矿床地质*, 27(5): 587-594
- 田世洪, 侯增谦, 杨竹森, 丁悌平, 蒙义峰, 曾普胜, 王彦斌, 王训诚. 2007. 安徽铜陵马山金硫矿床稀土元素和稳定同位素地球化学研究[J]. *地质学报*, 81(7): 929-938
- 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: 121
- 郑永飞, 陈江峰. 2000. 稳定同位素地球化学[M]. 北京: 科学出版社: 233-234
- 周金城, 赵太平, 陈克荣. 1994. 溧水中生代橄辉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

Stable Isotope Geochemistry and Genesis of the Guanshan High-Sulphidation Type Cu-Pb-Au Deposit in Jiangsu Province

LIANG Ye-heng^{1,2,3}, SUN Xiao-ming^{1,2,3}, ZHAI Wei^{1,2}, MA Chun⁴
WU Zhi-qiang⁴, DING Cun-gen⁴, WANG Tang-xi⁴

(1. School of Marine Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 51027;

2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Marine Resources and Coastal Engineering, Guangzhou 519275;

3. Department of Earth Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275;

4. Eastern China Geological & Mining Organization for Non-ferrous Metals, Nanjing 210007)

Abstract: The Guanshan Cu-Pb-Au deposit in Jiangsu Province is a high-sulphidation type epithermal poly-metallic deposit. This work studies the stable isotope compositions of ore minerals and fluid inclusions, the sources of ore-forming fluid and materials. The result shows that the δD and $\delta^{18}\text{O}$ of fluid inclusions in quartz veins range from -90‰ to -70‰ and -8.9‰ to -1.1‰ , respectively, while those of the hydrothermal calcites are $-90\text{‰} \sim -81\text{‰}$ and $0.1\text{‰} \sim 2.3\text{‰}$, respectively, indicating that the ore-forming fluids stem mainly from cycling atmospheric precipitation and a little amount of magmatic water. The sulfur isotope of chalcopyrites and pyrites range from 5.8‰ to 9.9‰ , with average 7.6‰ , suggesting that the sulfur is probably derived partly from sedimentary rocks. Plenty of sulfates such as barites can be found in Guanshan implies the enrichment of ^{34}S in the ore-forming fluids. Along with the boiling of ore-forming fluids, it resulted in degassing of trace gases such as H_2S , and enrichment of ^{34}S in the residual magmatic fluids, and deposited pyrites and chalcopyrites enriched in ^{34}S . $\delta^{13}\text{C}$ of hydrothermal calcites are $-4.1\text{‰} \sim 6.1\text{‰}$ with average 1.3‰ , implying that the primary source of the carbon in the ore-forming fluids is the dissolved carbonate formation in the basement rocks.

Key words: Stable isotope, Epithermal deposit, Guanshan Cu-Pb-Au deposit, Ore-forming fluids