

文章编号: 1000-4734(2014)02-0261-06

湖南宝山 Pb-Zn 多金属矿床硫同位素地球化学特征及其地质意义

鲍谈^{1,2}, 叶霖^{1*}, 杨玉龙^{1,2}, 李珍立^{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. 中国科学院大学, 北京 100039)

摘要: 湖南宝山 Cu-Mo-Pb-Zn-Ag 多金属矿床规模大、矿种多、分带明显, 是南岭有色金属成矿带的代表性矿床之一。本文对该矿床的硫同位素组成进行了较系统的研究, 以探讨该矿床成矿物质的来源。研究表明, 硫化物硫同位素组成具有 $\delta^{34}\text{S}_{\text{黄铁矿}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{闪锌矿}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{方铅矿}}$ 特征, 说明成矿流体中硫已达到分馏平衡; 矿床硫化物的硫同位素组成均为较低正值, 变化范围很窄, $\delta^{34}\text{S}$ 值主要集中在 1.50‰~4.50‰之间, 峰值在 3‰左右, 明显低于研究区石炭系碳酸盐岩硫同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 值 (17.8‰~22.6‰), 具岩浆硫特征, 暗示成矿流体中硫主要来源于燕山期花岗岩闪长斑岩有关的岩浆分异, 地层硫贡献较少。此外, 不同围岩的矿体, 硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 值基本相同, 围绕花岗岩闪长斑岩体 $\delta^{34}\text{S}$ 值没有分带现象, 表明硫的来源具有一致性。因此, 有理由认为, 赋存于下石炭统梓门桥组白云岩、测水组砂页岩和石凳子组灰岩中的 Pb-Zn 多金属矿化具有相同成因联系, 它们应为同一岩浆-热液系统演化的产物。

关键词: Cu-Mo-Pb-Zn-Ag 多金属矿床; 硫同位素组成; 岩浆硫; 湖南宝山

中图分类号: P597; P611; P618.4

文献标识码: A

作者简介: 鲍谈, 男, 1988 年生, 硕士研究生, 从事矿床地球化学研究. E-mail: baotancsu@163.com

湖南宝山铜钼铅锌银多金属矿床是湘南多金属成矿带的代表性矿床之一, 其矿床地质勘探工作已经积累了非常丰硕的成果, 然而在地球化学研究方面相对薄弱, 前人的研究主要集中在: (1)矿床地质、成矿构造与找矿方向^[1-3]; (2)围岩蚀变分带^[4]; (3)银的赋存状态^[5-6]和(4)宝山花岗岩体岩石学与成岩时代^[7-8]等方面, 仅有少量学者进行了初步矿床地球化学研究^[9], 因此在正确认识矿床成矿作用方面缺少实际的地球化学证据。此外, 近年来地质勘探过程中发现除下石炭统石凳子组灰岩和梓门桥组白云岩为矿区主要赋矿围岩外, 测水组砂页岩也是铅锌多金属矿体赋矿围岩之一^[10-11], 其中不同赋矿地层中矿体是否存在联系还不清楚。热液矿床硫化物硫同位素组成是示踪成矿物质来源的重要手段, 也是热液成矿作用研究的核心问题^[12-15]。因此, 本文拟通过研究该矿床不同赋矿地层矿体中硫化物硫同位素组

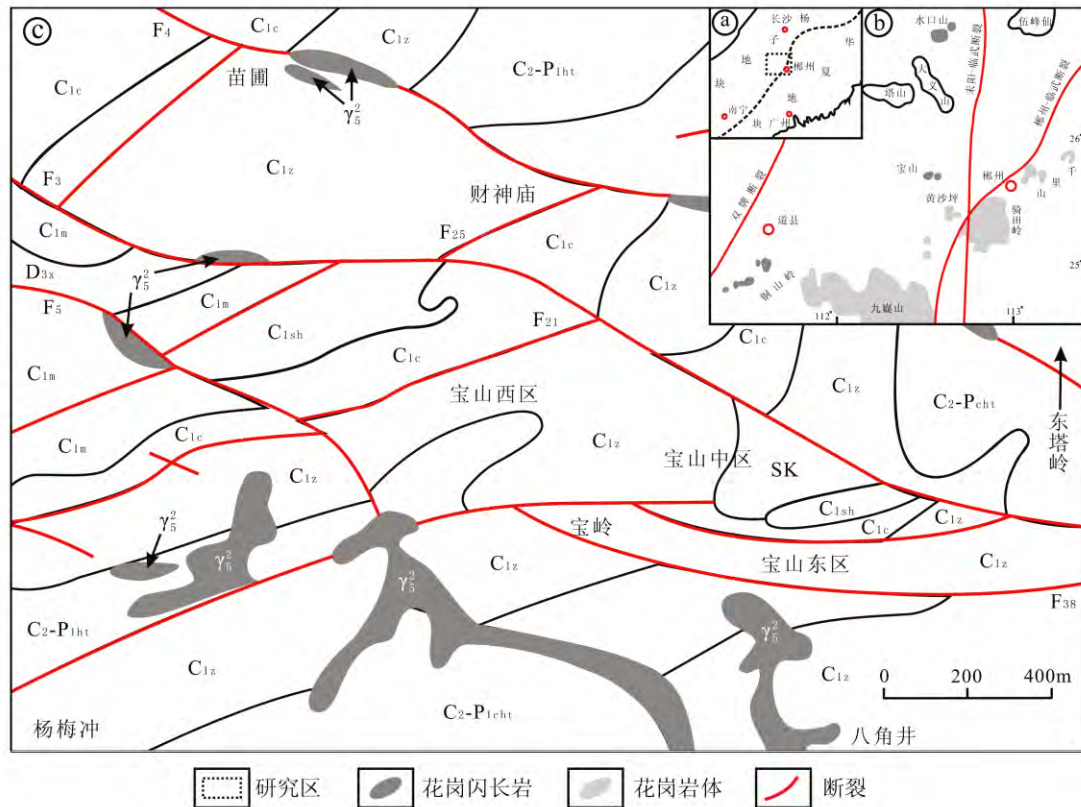
成, 探讨其成矿物质来源, 并与邻区水口山铅锌金银矿床和铜山岭铜铅锌矿床进行对比, 为认识宝山矿床成矿作用提供实际地球化学证据。

1 区域成矿背景

宝山铜钼铅锌银多金属矿床大地构造上位于扬子和华夏 2 个板块的新元古代碰撞拼接带—钦杭结合带的中南段, 板块边界呈 SW-NE 走向 (图 1a)。钦杭结合带及其旁侧是华南地区最为重要的 Cu-Au-Pb-Zn-Ag 多金属成矿带, 分布着一系列 (特) 大型铜金铅锌矿床, 湘南构造-岩浆-成矿带是这一巨型金属成矿带的典型代表^[16], 宝山、水口山、铜山岭等花岗岩闪长质小岩体就位于该带, 与之相关的矿化以铜、铅、锌、金等为主, 代表性矿床有宝山铜钼铅锌银矿床、水口山铅锌金银矿床和铜山岭铜铅锌矿床等 (图 1b)。已有的研究表明这几个花岗岩闪长质小岩体集中形成于 160 Ma 左右^[17-20], 其相关的成矿作用与花岗岩闪长岩的成岩作用基本同时或稍晚于成岩作用^[9,17], 成岩成矿形成于岩石圈“伸展-减薄”为主的地球动力学环境中^[21-23]。

收稿日期: 2013-10-16

基金项目: 国家自然科学基金项目 (批准号: 41173063); 矿床地球化学国家重点实验室“十二五”项目群 (编号: SKLOGD-ZY125); 地质矿产调查评价专项项目 (编号: 1212011120354)



C2-P1ht: 下二叠和上石炭统壶天群; C1sh: 下石炭统石凳子组; C1z: 下石炭统测水组; C1m: 下石炭统孟公坳组;
D3x: 上泥盆统锡矿山组; SK: 夕卡岩

图1 湘南地区构造位置 (a)、花岗岩类分布略图 (b) 及宝山矿区地质图 (c) (据姚军明等^[9]修改)

Fig. 1. Tectonic location (a), distribution of granitoids (b) and geological map (c) of Baoshan deposit, Southeastern Hunan Province, China.

2 矿床地质特征

宝山矿田地处于坪宝复式向斜的北端, 矿田由宝山中部、宝山东、宝山西和财神庙 4 个矿床组成 (图 1c)。矿区出露地层以石炭系碳酸盐岩为主, 自新而老依次为下二叠和上石炭统壶天群白云岩、下石炭统梓门桥组白云岩、测水组砂页岩、石凳子组灰岩, 其中梓门桥组和石凳子组为该 Pb-Zn 矿化的主要赋矿围岩^[1-2]。此外, 测水组地层和花岗闪长斑岩附近夕卡岩中也存在脉状铅锌矿化。区内地质构造复杂, 前泥盆纪基底构造呈 EW 方向, 泥盆纪以后的盖层构造为 SN-NE 方向, 构造型式表现为由 3 个复式向斜与 2 个复式背斜及发育在褶皱之间的断层组合而成的一个往南收敛、向北撒开的褶皱断带, 宝山矿田恰处于该褶皱断带由 SN-EW-NE 转向的拐弯部位^[2]。矿区内岩浆岩十分发育, 在地表呈岩墙、岩脉, 至深部呈小岩株状产出, 成群成带分布, 主要以花岗闪长斑岩为主, 属于典型的壳幔混合 I 型花岗岩, 锆石 SHRIMP U-Pb 同位素定年结果表明其

形成于 160 Ma 左右, 为中生代早期岩石圈伸展-减薄、软流圈上涌、壳幔相互作用的产物^[7-9]。

矿床成矿作用与燕山期花岗闪长斑岩密切相关, 成矿元素环绕花岗闪长斑岩具有明显分带, 形成中部夕卡岩型 Cu-Mo-W-Bi 矿化和外带 Pb-Zn-Ag 矿化。矿体多呈脉状、似层状、囊状、透镜状和楔形状产出, 受各种类型的褶皱构造、断层构造、层间滑动构造和节理裂隙构造等控制^[1-2]。主要矿石矿物为方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿、白钨矿、辉钼矿和辉铋矿等, 脉石矿物主要为石榴石、辉石、绿泥石、绿帘石、石英和方解石。矿石结构构造复杂, 矿石构造包括致密块状构造、条带状构造、细脉浸染状构造和角砾构造等。矿石结构包括自形粒状结构、半自形粒状结构、他形晶粒状结构、交代结构等。与 Cu-Mo-W-Bi 矿化有关的蚀变主要有: 夕卡岩化、硅化、绿泥石化、大理岩化等, 多见于宝岭背斜及其北翼测水组中。而与铅锌银矿有关的蚀变主要有铁锰碳酸盐化和黄铁矿化。

3 样品采集、加工与分析方法

前人在宝山矿床开展了一些硫同位素的研究工作^[9], 但由于测试数据较少且不够系统, 故不能准确反映宝山矿床硫同位素的整体特征以及硫的来源。为了探讨宝山矿床成矿物质来源与成矿机制, 我们针对宝山矿床不同中段和不同赋矿地层中的矿体, 包括宝山西区和北区梓门桥组白云岩、测水组砂页岩和石凳子组灰岩地层中脉状铅锌矿化带进行了系统采样。对采集到的样品, 破碎到 40~80 目, 在双目镜下挑选出硫化物单矿物 (主要为黄铁矿、闪锌矿和少量方铅矿), 纯度到达 99% 以上。

本研究对宝山矿床 42 件硫化物单矿物进行了 S 同位素测试分析, 分析工作在中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室完成的, 其中黄铁矿、方铅矿和闪锌矿分别加不同比例的 CuO (黄铁矿: CuO=1:8; 闪锌矿: CuO=1:6; 方铅矿: CuO=1:2) 置于马弗炉内, 在

1000℃真空条件下反应 15min, 将 S 氧化成 SO₂, 分析仪器为 CF-IRMS (EA-IsoPrime, 型号为 Euro3000, GVinstruments) 同位素质谱仪, 并对同一样品重复测定两次, 测试结果采用以国家硫同位素 CDT 标准标定的国家硫同位素标准 (硫化银) GBW04414 和 GBW04415 校正, 误差小于 ±0.2‰。分析结果见表 1。

4 结果与讨论

4.1 分析结果

宝山矿床 42 件硫化物的硫同位素分析结果如表 1 所示。可以看出, δ³⁴S 值变化不大, 均为较小正值, 其中闪锌矿 δ³⁴S 值相对中等, 变化范围较窄 (+2.3‰~+5.1‰), 均值为 +3.5‰ (n=19); 方铅矿 δ³⁴S 值相对最低, 变化范围相对较窄, 多低于 +2.5‰, 均值为 +1.8‰ (n=6); 黄铁矿 δ³⁴S 值相对高, 变化范围较小 (+2.3‰~+4.6‰), 均值为 +3.9‰ (n=17)。

表 1 宝山矿床不同不同赋矿地层矿体中硫化物硫同位素分析结果

Table 1. Sulfur isotope composition of sulfide minerals from Baoshan Cu-Mo-Pb-Zn ore deposit

| 样品 | 中段 | 地层 | 样品描述 | δ ³⁴ S/‰ | | |
|-----------|---------|------------------|-------------|---------------------|------|------|
| | | | | 黄铁矿 | 闪锌矿 | 方铅矿 |
| BW11-8-1 | -150 中段 | C _{1sh} | 角砾岩型铅锌矿石 | - | 3.58 | - |
| BW11-9-1 | -150 中段 | C _{1sh} | 方铅矿闪锌矿矿石 | 4.35 | 3.93 | 1.80 |
| BW11-10-2 | -150 中段 | C _{1sh} | 角砾岩型铅锌矿石 | 4.18 | 4.00 | - |
| BW11-14-2 | -150 中段 | C _{1c} | 方铅矿闪锌矿矿石 | 4.00 | 5.08 | 1.54 |
| BW11-18-2 | -150 中段 | C _{1sh} | 块状黄铁方铅矿石 | 4.24 | 4.43 | - |
| BW11-20-1 | -150 中段 | C _{1z} | 块状铅锌矿石 | 4.03 | 3.87 | 2.11 |
| BW11-20-3 | -150 中段 | C _{1z} | 灰岩中黄铁铅锌矿脉 | - | 3.53 | - |
| BW11-20-6 | -150 中段 | C _{1z} | 灰岩中黄铁铅锌矿脉 | 3.53 | 3.74 | 2.20 |
| BW11-24-1 | -150 中段 | C _{1c} | 条带黄铁铅锌矿石 | 4.62 | - | - |
| BW11-24-2 | -150 中段 | C _{1c} | 条带黄铁铅锌矿石 | - | 4.33 | - |
| BW11-32-6 | -110 中段 | C _{1sh} | 条带状铅锌矿石 | - | 3.29 | - |
| BW11-44-2 | -110 中段 | C _{1c} | 块状铅锌矿石 | 4.63 | 2.48 | 1.43 |
| BW11-50-1 | -110 中段 | C _{1z} | 含方解石萤石铅锌矿石 | 4.22 | 2.39 | - |
| BW11-55-2 | -110 中段 | C _{1sh} | 块状黄铁铅锌矿石 | 4.24 | 2.29 | - |
| BW11-55-3 | -110 中段 | C _{1sh} | 含绿色萤石黄铁铅锌矿石 | 2.94 | 2.37 | - |
| BW11-56-1 | -110 中段 | C _{1sh} | 夕卡岩型黄铜矿矿石 | 3.36 | - | - |
| BW11-56-3 | -110 中段 | C _{1sh} | 夕卡岩型黄铜矿矿石 | 3.82 | - | - |
| BW11-56-4 | -110 中段 | C _{1sh} | 夕卡岩型黄铜矿矿石 | 4.33 | 3.22 | 1.43 |
| BW11-59-2 | -110 中段 | C _{1sh} | 夕卡岩型黄铜矿矿石 | 3.61 | - | - |
| BN11-4-2 | -110 中段 | C _{1sh} | 块状含黄铁黄铜闪锌矿石 | 2.32 | 4.25 | - |
| BN11-8-3 | -70 中段 | C _{1sh} | 块状黄铁铅锌矿石 | 3.34 | - | - |
| BN11-9-3 | -70 中段 | C _{1sh} | 块状黄铁铅锌矿石 | - | 3.16 | - |
| BN11-12-2 | -50 中段 | C _{1c} | 条带状黄铁铅锌矿石 | - | 3.31 | - |
| BN11-15-1 | -50 中段 | C _{1sh} | 块状铅锌矿石 | - | 3.36 | - |
| BN11-15-4 | -50 中段 | C _{1sh} | 块状铅锌矿石 | - | 3.07 | - |

注: “-” 未测。

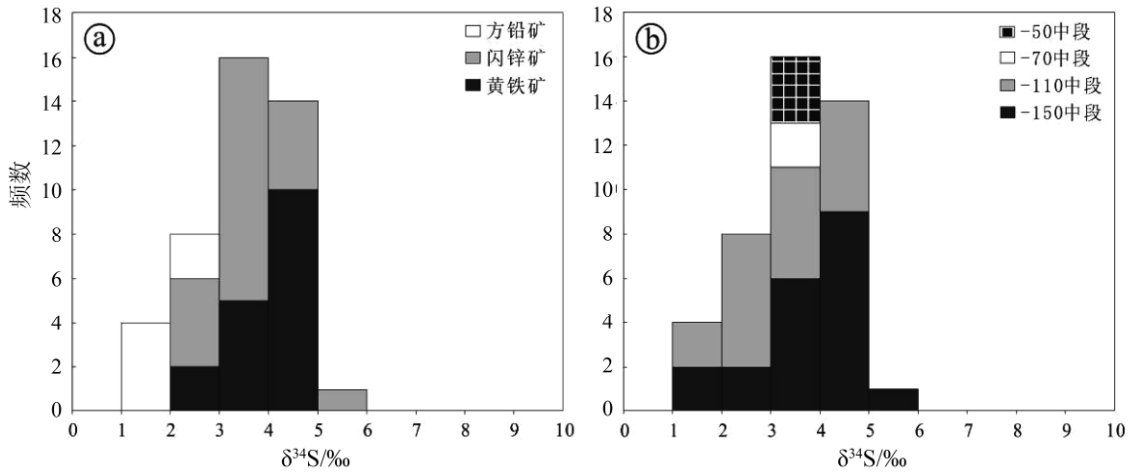


图 2 宝山矿床硫化物硫同位素组成直方图
 Fig. 2. Histograms of $\delta^{34}\text{S}$ values in Baoshan deposit.

4.2 硫的来源

如表 1 所示，总体上，矿床硫化物 $\delta^{34}\text{S}_{\text{黄铁矿}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{闪锌矿}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{方铅矿}}$ ，这与硫同位素在热液矿物体系中的平衡结晶顺序相一致，表明成矿物质沉淀时基本达到了硫同位素分馏平衡^[18]。从表 1 还可以看出，本矿床各类硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 值相对集中，主要分布在较小正值之间 (+1.5‰~+4.5‰)，峰值集中在 3‰左右，且变化范围狭窄，略高于与深部岩浆作用有关硫化物的硫同位素组成 ($\delta^{34}\text{S}=0\pm 3\text{‰}$)，明显低于研究区石炭系碳酸盐地层硫同位素组成 (+17.8‰~+22.6‰，据湖南省有色地质勘查局二三八队，1989，湖南省桂阳县宝山西部矿区铅锌银矿详查地质报告)，在硫同位素直方图(图 2a)中呈现明显的塔式分布特征，具岩浆硫特征。

此外，不同围岩矿体中硫化物硫同位素值比较相近， $\delta^{34}\text{S}$ 主要集中于 2.0‰~4.0‰之间。从不同矿区(图 3)、不同中段(图 2b)矿体硫化物的硫同位素组成对比图看，它们之间同样具有相似的硫同位素组成，均以较低正值为主， $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围主要集中在 2.0‰~5.0‰之间。且从靠近花岗斑岩体的夕卡岩型铜钼矿化向外到地层中的铅锌矿化，其硫化物硫同位素组成也基本一致，没有明显的分带现象和变化趋势，表明其来源具有一致性，且矿床中至今未发现重晶石等硫酸盐，可以指示硫化物的硫为岩浆来源^[12-15,24]。

上述研究结果不仅表明矿床中不同赋矿围岩(地层)中矿石硫的来源具有一致性，而且暗示其主要来源于花岗闪长斑岩有关的岩浆分异，不同地层中的矿化具有相同成因。由此判断，宝

山矿床成矿作用与燕山期花岗闪长斑岩密切相关，成矿元素环绕花岗闪长斑岩具有明显分带，形成中部夕卡岩型 Cu-Mo-W-Bi 矿化，外带 Pb-Zn-Ag 矿化，它们应为同一岩浆-热液系统演化的产物。

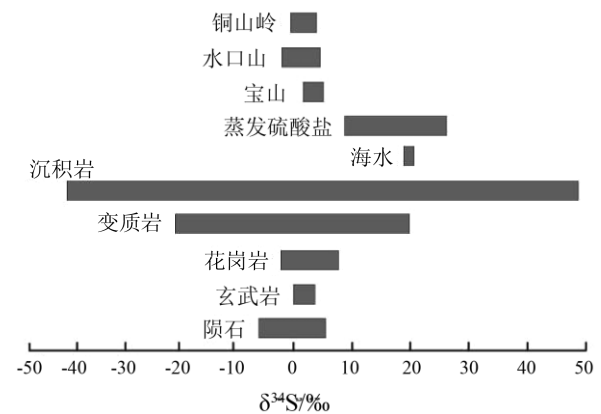


图 3 宝山、水口山和铜山岭多金属矿床硫化物硫同位素组成图

Fig. 3. Sulfur isotopic composition histograms of sulfide minerals from Baoshan, Shuikoushan and Tongshanling polymetallic ore deposit.

4.3 与水口山铅锌金矿床和铜山岭铜铅锌矿床硫同位素特征对比

与宝山矿床硫同位素特征类似，邻近的水口山铅锌金矿床 ($\delta^{34}\text{S}=-2.2\text{‰}\sim+4.4\text{‰}$)^[25]、铜山岭铜铅锌矿床 ($\delta^{34}\text{S}=-0.6\text{‰}\sim+3.8\text{‰}$)^[26-27]，硫同位素组成相对集中，均为较低的正值，具岩浆硫特征(图 3)，均为相应的花岗闪长质岩浆提供硫源。与这 3 个矿床有成因联系的岩浆岩的基本特征对比如表 2 所示，可以看出这 3 个岩体的形成

表2 宝山、水口山和铜山岭岩体的基本特征

Table 2. Typical characteristics of Baoshan, Shuikoushan and Tongshanling intrusions

| 岩体 | 宝山岩体 | 水口山岩体 | 铜山岭岩体 |
|------------------------------------|---------------------------------|----------------|----------------|
| 岩性 | 花岗闪长斑岩 | 黑云母闪长岩 | 黑云母花岗闪长岩 |
| 结构构造 | 似斑状结构, 块状构造 | 等粒-不等粒结构, 块状构造 | 斑状-似斑状结构, 块状构造 |
| 成矿类型 | Pb、Zn、Ag、Cu、Mo | Pb、Zn、Cu、Au | Cu、Pb、Zn、Au |
| 岩石类型 | I 型 | | |
| 稀土模式 | 右倾型, 轻重稀土分异明显, Eu 负异常较弱或无 Eu 异常 | | |
| 成岩物质来源 | 软流圈物质与中下地壳混合作用的产物 | | |
| 成岩年龄 | 158 Ma | 163 Ma | 163 Ma |
| $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(t)$ | 0.7095~0.7103 | 0.7088~0.7103 | 0.7079~0.7104 |

时代基本一致, 其岩石类型、成岩物质来源和稀土配分模式方面也基本一致, 导致矿化类型也大致相同。

矿物学、岩石学和岩石地球化学研究表明, 宝山、水口山和铜山岭岩体是典型的壳幔混合 I 型花岗岩, 源岩是亏损地幔来源的玄武岩与少量的中下地壳古老物质的混合物^[7-8]。因为幔源岩石或玄武岩的硫同位素值一般为 0‰左右, 变化较小^[14-15,24], 由它们部分熔融、结晶分异演化而来的花岗岩类继承源区硫同位素特征, 使得形成的花岗岩类岩体硫同位素组成均接近 0‰。湘南地区在中生代处于岩石圈伸展减薄的背景之下, 由于软流圈上涌导致幔源岩浆底侵, 壳幔相互作用形成富含 Cu、Pb、Zn、Au、Ag 以及 S 的母岩浆, 上升到浅部地壳形成大规模的铜铅锌金银矿化。

5 结论

宝山矿床硫化物的硫同位素组成 $\delta^{34}\text{S}$ 以较低正值为特征, 变化范围很小, 主要集中在 1.50‰~4.50‰之间, 具有明显的塔式分布特征, 表明矿床中硫主要为岩浆硫, 来源于燕山早期花岗闪长质岩浆。

不同矿化带、不同中段和不同围岩矿体中硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值基本相同, 围绕花岗闪长岩体 $\delta^{34}\text{S}$ 值没有分带现象, 表明硫的来源具有一致性。

致谢: 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室安宁工程师在硫同位素分析方面给予了很大帮助, 野外采样过程中得到湖南宝山有色矿业有限责任公司罗征厚、段华辉、李茂平、周梦祥等地质技术员的协助, 在此一并致谢。

参 考 文 献:

- [1] 印建平. 湖南宝山铅锌银多金属矿成矿构造机制分析[J]. 大地构造与成矿, 1998, 22: 57-61.
- [2] 唐朝永. 湖南宝山多金属矿田构造控矿特征[J]. 矿产与地质, 2005, 19(1): 43-47.
- [3] 张金河. 宝山西部矿区砂页岩型铅-锌矿成矿地质特征及新区找矿预测[J]. 矿产与地质, 2007, 21(1): 56-58.
- [4] 杨国高, 陈振强. 湖南宝山铜铅锌银多金属矿田围岩蚀变与矿化分带特征[J]. 矿产与地质, 1998, 12(2): 96-100.
- [5] 张刚生. 桂阳宝山铅锌银矿中部铅锌矿伴生银赋存特征[J]. 湖南地质, 1996, 15(3): 159-162.
- [6] 伍超群. 宝山铅锌银矿床混合矿石中银矿物的赋存状态[J]. 矿物学报, 2001, 21(3): 537-538.
- [7] 王岳军, 范蔚茗, 郭锋, 李旭. 湘东南中生代花岗闪长质小岩体的岩石地球化学特征[J]. 岩石学报, 2001, 17(1): 169-175.
- [8] Wang Y J, Fan W M, Guo F. Geochemistry of early Mesozoic potassium-rich diorites-granodiorites in southeastern Hunan Province, South China: Petrogenesis and tectonic implications [J]. *Geochemical Journal*, 2003, 37: 427-448.
- [9] 姚军明, 华仁民, 林锦富. 湘南宝山矿床 REE、Pb-S 同位素地球化学及黄铁矿 Rb-Sr 同位素定年[J]. 地质学报, 2006, 80(7): 1045-1053.
- [10] 周孟祥. 宝山北部铅锌银矿床地质与找矿思路[J]. 采矿技术, 2006, 16(3): 580-582.
- [11] 张金河. 宝山西部矿区砂页岩型铅-锌矿成矿地质特征及新区找矿预测[J]. 矿产与地质, 2007, 21(1): 56-58.
- [12] Ohmoto H. Stable isotope geochemistry of ore deposits [J]. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 1986, 16(1): 491-559.
- [13] Barnes H L. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits* (3rd ed) [M]. New York: John Wiley and sons, 1997: 972.
- [14] 郑永飞, 陈江峰. 稳定同位素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 218-247.
- [15] Hoefs J. *Stable Isotope Geochemistry* [M]. Berlin: Springer, 2009.
- [16] 毛景文, 陈懋弘, 袁顺达, 郭春丽. 华南地区软流圈成矿带地质特征和矿床时空分布规律[J]. 地质学报, 2011, 85(5): 636-658.
- [17] 路远发, 马丽艳, 屈文俊, 梅玉萍, 陈希清. 湖南宝山铜-钼多金属矿床成岩成矿的 U-Pb 和 Re-Os 同位素定年研究[J]. 岩石学报, 2006, 22(10): 2483-2496.
- [18] 马丽艳, 路远发, 梅玉萍, 陈希清. 湖南水口山矿区花岗闪长岩中的锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(10): 2475-2482.

- [19] 魏道芳, 鲍征宇. 湖南铜山岭花岗岩体的地球化学特征及锆石 SHRIMP 定年[J]. 大地构造与成矿, 2007, 31(4): 482-489.
- [20] Jiang Y H, Jiang S Y, Dai B Z, Liao S Y, Zhao K D, Ling H F. Middle to Late Jurassic felsic and mafic magmatism in southern Hunan Province, southeast China: Implications for a continental arc to rifting [J]. *Lithos*, 2012, 107: 185-204.
- [21] 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 刘晓东, 陆建军, 林锦富, 姚军明, 戚华文, 张展适, 顾晟彦. 华南中、新生代与花岗岩类有关的成矿系统[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2003, 33(4): 335-343.
- [22] 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 陆建军. 论华南地区中生代 3 次大规模成矿作用[J]. 矿床地质, 2005, 24(2): 99-107.
- [23] 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 张长青, 梅燕雄. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J]. 地学前缘, 2004, 11(1): 45-55.
- [24] Robert R S. Sulfur Isotope Geochemistry of Sulfide Minerals [J]. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 2006, 61: 633-677.
- [25] 李能强, 彭超编. 湖南水口山铅锌金银矿床[M]. 北京: 地震出版社, 1996: 1-107
- [26] 欧超人. 湖南铜山岭夕卡岩型伴生金银矿的地质地球化学特征[J]. 桂林冶金地质学院学报, 1990, 10(1): 27-34.
- [27] 惠慧, 徐素云. 铜山岭矿田庵堂岭铅锌矿床地球化学特征分析[J]. 地质与勘探, 2006, 42(4): 20-24.

Characteristics of Sulfur Isotope Geochemistry of Baoshan Cu-Mo-Pb-Zn-Ag Polymetallic Deposit, Hunan Province and Its Geological Significance

BAO Tan^{1,2}, YE Lin¹, YANG Yu-long^{1,2}, LI Zhen-li^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;

2. School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Baoshan Cu-Mo-Pb-Zn-Ag polymetallic ore deposit, located in Hunan Province, South China, is one of the most famous deposits in Nanling non-ferrous metal belt. This deposit shows characteristics of multiple element mineralization, large ore reserve and typical zonation from skarn-type mineralization to distal hydrothermal veins. In this paper, we report the sulfur isotope compositions of ores to discuss the source of ore-forming material. The sulfur isotopic compositions of the sulfides show characteristic of $\delta^{34}\text{S}_{\text{pyrite}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{sphalerite}} > \delta^{34}\text{S}_{\text{galena}}$, which indicates that sulfur isotope in ore-forming fluid have reached equilibrium. The sulfur isotopic compositions of the sulfides show characteristics of lower positive value and narrow change range. The values of $\delta^{34}\text{S}$ are concentrated in the range of 1.5‰ to 4.5‰, with the peak value of 3‰, and are significantly lower than those of carboniferous carbonate rock (17.8‰–22.6‰). With the characteristic of magmatic sulfur, the sulfur in ore-forming fluid mainly came from Yanshanian granodioritic porphyry, whereas sulfur from strata contributed relatively little. In addition, the $\delta^{34}\text{S}$ values of sulfide from the different ore-bearing stratas are roughly the same and the values of $\delta^{34}\text{S}$ do not have zonation surround by granodioritic porphyry, indicating that the origin of sulfur should be coherent. As a consequence, We believe that Pb-Zn polymetallic mineralizations, situated in Ximengqiao formation of dolomite, Ceshui formation of sand-shale and Shidengzi formation of limestone, the Lower Carboniferous Series, have the same genetic relation and they should be the evolution products of the same magmatic-hydrothermal system.

Key words: polymetallic ore deposit; sulfur isotope composition; magmatic sulfur; Baoshan, Hunan Province