小秦岭大湖金钼矿同位素地球化学特征

赵海香，赵智
河海大学地球科学与工程学院，南京，210023

小秦岭金矿区是仅次于胶东金矿区的我国第二大金矿产地，大地构造位置上位于华北克拉通的南部边缘，是华北南缘多金属成矿带(Au-Mo-Pb-Zn-Ag)的重要组成部分。大湖金钼矿作为小秦岭北矿带的代表性矿床，其成矿物质来源一直备受争议，本文通过对矿石的 Pb-S 同位素的分析来为成矿物质来源提供证据。

1 地质背景

小秦岭矿集区地理位置上位于河南和陕西的交界处，主要是河南灵宝和陕西潼关境内，西起陕西华山，东至河南省灵宝-朱阳盆地西北边缘，长 50 km，宽 7～15 km，近东西向展布，南北分别以小河断裂和太要断裂为界，总体呈不规则带状，主要由太古代到早元古代基底岩石和晚中生代侵入岩组成。大湖金（钼）矿位于小秦岭金矿区的最北端，围岩为太华群的混合花岗岩和黑云斜长片麻岩， Au 和 Mo 矿化主要赋存于一系列 NEE 和 NWW 向北倾的断裂中，原生金矿石以石英脉型矿石为主，多金属硫化物型占少数，黄铁矿呈网脉状、块状、浸染状产于石英中，另有部分氧化矿石。金主要以自然金包体的形式产于黄铁矿中，少量产在石英中，或者作为自然金+黄铜矿+方铅矿细脉充填于早期立方体黄铁矿中。辉钼矿呈浸染状集合体产于未变形的石英脉和蚀变围岩中，星点雪花状产于变形石英脉的角砾中，或者是薄膜状或细脉状产于角砾岩或者破碎的石英脉团块中，胶结石英角砾的一般为氧化矿石。

2 样品及分析方法

所分析的样品采自大湖金矿矿区的井下或者矿石堆，F35、F5 以及 F7 断裂带内的石英脉中。将矿石样品粉碎至 60-80 目，在双目镜下仔细分选出硫化物单矿物（黄铁矿、黄铜矿和方铅矿），纯度一般高于 99%。同时从中生代花岗岩岩体中分离出长石样品，以与硫化物的 Pb 同位素进行对比。

铅同位素分析在在中国地质科学院地质研究所固体同位素室的 Nu Plasma 多接收等离子质谱（MC-ICPMS）上完成。样品加入 HNO_3 完全消解后，采用传统的 AG1-X8（200～400 目）阴离子交换树脂柱方法完成铅的分离与提纯，在中国地质科学院地质研究所固体同位素室的 Nu Plasma 多接收等离子质谱（MC-ICPMS）上测试 Pb 同位素组成。测试过程中 Pb 同位素比值分析误差小于 0.02%。

硫同位素分析是将样品与氧化亚铜在真空状态下加热, 进行氧化反应, 生成 SO_2 气体经纯化后, 用 Finnigan MAT251 气体同位素质谱仪分析硫同位素组成。实验在国土资源部同位素地质重点实验室完成,结果用 $\delta^{34}S$ 表示, 相对标准为 V-CDT，分析精度为 0.2%。

3 结果及讨论

Pb 同位素分析结果显示，大湖金钼矿硫化物的 Pb 同位素范围为：$^{206}Pb/^{204}Pb$ 为 17.0924~17.3155, $^{207}Pb/^{204}Pb$ 为 15.4136~15.4575, $^{208}Pb/^{204}Pb$ 为 37.4047~37.7312, 将硫化物、中生代花岗岩体中长石及前人文献中（聂凤军等，2001；倪志勇等，2009）太华群围岩的 Pb 同位素组成一同投影到 Zartman and Doe (1981)的 Pb 构造模式图上（图 1）。从图上可以看出，三者的 Pb 同位素组成在同一范围内变化，而燕山期花岗岩体主要来源于太华群的部分熔融（Zhao et al., 2012），因此 Pb 的来源应该是太华群基底围岩。

注：本文为国家自然科学基金会项目（编号 41203011）和中央高校基本科研业务费专项资金（2013B03014）联合资助的成果。
收稿日期：2015-09-28；改回日期：2015-09-28；责任编辑：刘恋。
作者简介：赵海香，女，1983 年生，博士，助理研究员，矿床学专业。Email：zhao.haixiang@gmail.com。

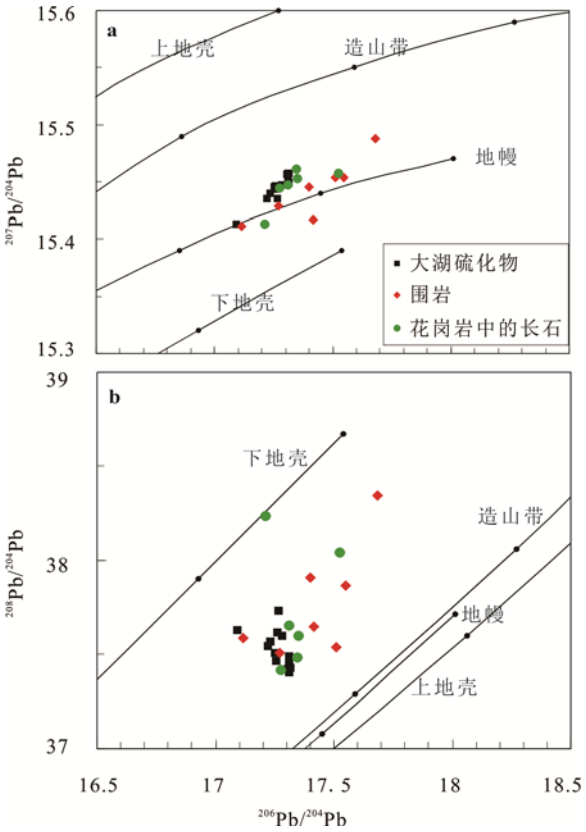


图 1 小秦岭大湖金钼矿硫化物、太华群围岩以及花岗岩中长石的 Pb 同位素组成图解。

数据来源：太华群的全岩 Pb 同位素组成（聂凤军等，2001；倪志勇等，2009）；硫化物和燕山期花岗岩中长石的 Pb 同位素组成来自本次测试。

硫同位素测试结果显示，大湖 Au（Mo）矿 15 个硫化物 $\delta^{34}S$ 变化范围为-13.6~2.7‰，平均-7.9‰，其中 10 个黄铁矿-10~2.7‰，平均-6.8‰，1 个黄铜矿-5.1‰，4 个方铅矿-13.6～-6.8‰，平均-11.5‰。对共生的黄铁矿-黄铜矿、黄铁矿-方铅矿的 S 同位素组成对比发现，$\delta^{34}S_{黄铁矿}>\delta^{34}S_{黄铜矿}$，$\delta^{34}S_{黄铁矿}>\delta^{34}S_{方铅矿}$，是硫化物间 S 同位素达到平衡的体现。本区燕山期文峪花岗岩中黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 变化范围较小，为 1.4~4.3‰(徐九华等，1993; 黎世美等，1996; 聂凤军等，2001)，而太华群中黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 变化范围也较大，为-5.4~10.5‰ (栾世伟等，1985; 黎世美等，1996; 聂凤军等，2001)。由于本区矿石中 S 同位素组成变化范围较大，与同样是 S 同位素变化范围较大的太华群地层更吻合，硫源来自于地壳深部的太华群老地层，而造成硫同位素组成偏负的原因可能是成矿过程中氧逸度升高造成的，这与矿床氧化带发育，矿石遭受不同程度氧化的地质事实相符合。

4 结论

铅和硫同位素分析结果显示，在 Pb 同位素图解中，矿石矿物的投影区域落在太华群地层的范围内， Pb 源应为太华群。S 同位素组成变化范围较大，与太华群一致，S 源应是太华群。因此主要存在于黄铁矿中的有用金属元素很可能也是来自于太华群。

参 考 文 献 / References

黎世美，瞿伦全，苏振邦，黄建军，王小生，岳铮生. 1996. 小秦岭金矿地质和成矿预测. 北京: 地质出版社. 250.

栾世伟，曹殿春，方耀奎，王嘉运. 1985. 小秦岭金矿床地球化学. 矿物岩石, 5(2): 1~118.

倪智勇，李诺，张辉，薛良伟. 2009. 河南大湖金钼矿床成矿物质来源的锶钕铅同位素约束. 岩石学报, 25(11): 2823~2832.

聂凤军，江思宏，赵月明. 2001. 小秦岭地区文峪和东闯石英脉型金矿床铅及硫同位素研究. 矿床地质, 20(2): 163~173.

徐九华，何知礼，申世亮，杨振林，杜加锋. 1993. 小秦岭文峪-东闯金矿床稳定同位素地球化学及矿液矿质来源. 地质找矿论丛, 8(2): 87~100.

Zartman R E, Doe B R. 1981. Plumbotectonics--the model. Tectonophysics, 75(1~2): 135~162.

Zhao H X, Jiang S Y, Frimmel H E, Dai B Z, Ma L. 2012. Geochemistry, geochronology and Sr−Nd−Hf isotopes of two Mesozoic granitoids in the Xiaoqinling gold district: Implication for large-scale lithospheric thinning in the North China Craton. Chemical Geology, 294~295: 173~189.