

闪锌矿分相 Rb-Sr 同位素定年机理 及其分析流程稳定性

杨红梅, 刘重芃, 蔡红, 李华芹, 张利国, 蔡应雄, 王云峰

中国地质调查局武汉地质调查中心同位素地球化学研究室, 武汉, 430205

1 前言

成矿作用同位素地质年代学研究不仅对了解矿床成因、探讨区域成矿地质背景和总结区域成矿规律具有重要的理论意义, 而且对指导矿产普查、勘探、进行区域成矿预测, 扩大找矿远景具有十分重要的现实意义。然而, 因铅锌矿床中很少出现适合 U-Pb 和 Re-Os 同位素定年的矿物, 对于与海相火山岩有关的块状硫化物矿床 (VMS)、与海相沉积岩有关的铅锌矿床 (SEDEX) 和产于碳酸盐地层中的密西西比河谷型 (MVT) 铅锌矿床的定年一直比较困难。自 1980s 起, 国内外地质学家和矿床学家对铅锌矿床开展了闪锌矿 Rb-Sr (Shepherd et al., 1981; Medford et al., 1983; Nakai et al., 1990, 1993; Christensen et al., 1995; Petke et al., 1996; 李文博等, 2002; 李发源等, 2003a, b; 喻钢, 2005; 张长青等, 2008; 汤达愉, 2010; 姚军明等, 2010; 杜国民等, 2012; 罗俊华等, 2012; 胡乔青等, 2012; 杨红梅等, 2013; 刘重芃等, 2013; 张云新等, 2014; 段其发等, 2014; 曹亮等, 2015) 和 Ar-Ar (蒋映德等, 2006, 2007; Qiu et al., 2007)、磷灰石裂变径迹 (李小明等, 2000)、辉钼矿、沥青和黄铁矿 Re-Os (毛德宝等, 2000; 李超等, 2011; 高炳宇等, 2012; 唐永永等, 2013)、萤石和方解石 Sm-Nd (Chesley et al., 1994; 李文博等, 2004) 或共生矿物组合 Rb-Sr、Sm-Nd (田世洪等, 2009) 与 U-Pb (Brannon et al., 1996; Grandia et al., 2000) 法定年研究, 为铅锌矿床成矿时代与成因研究提供了重要依据。已有研究表明, Rb-Sr 同位素定年为

铅锌矿床较理想的直接定年方法。然而, 该定年方法仍受部分学者质疑, 一是 Rb、Sr 的赋存状态和定年机理尚无定论, 二是获得年龄的可靠性有待多种方法验证。本项研究针对这两个问题开展了相关工作。

2 样品处理与分析方法

将矿石样品粉碎至 40-80 目, 淘洗后进行初选, 然后在双目镜下挑纯闪锌矿, 对其开展显微镜下观察及 X 射线物相与电子探针分析, 确保其纯度大于 99%。用去离子水清洗挑纯的单矿物, 在低温下烘干备用。Rb-Sr 同位素分析方法如文献 (杨红梅等, 2015) 所述。Rb、Sr 的流程空白分别为 $\sim 1 \times 10^{-10}$ 和 $\sim 5 \times 10^{-10}$ 。整个分析过程采用标准物质 GBW04411、NBS607 和 NBS987 进行质量监控, 分析结果与其证书推荐值在误差范围内完全一致, 表明 Rb-Sr 测试数据可靠可信。

3 闪锌矿中 Rb、Sr 的赋存状态和定年机理

为了定量研究 Rb、Sr 在闪锌矿中的赋存状态, 对 5 件闪锌矿开展了矿物、酸提取相和硫化物相的 Rb、Sr、Pb、Zn、Fe、Ca、Mg 含量分析, 结果表明, 矿物、酸提取相和硫化物相的 Rb 含量 ($\mu\text{g/g}$) 分别介于 0.68~1.18、0.04~0.13 和 0.62~0.94 之间, Sr 含量 ($\mu\text{g/g}$) 分别介于 5.83~27.8、3.64~15.0、0.48~0.68 之间, Pb 含量 ($\mu\text{g/g}$) 分别介于 135~345、1.11~3.64、142~296 之间, Zn 含量 ($\mu\text{g/g}$) 分别介于

注: 本文由中国地质调查局科研项目 (12120114005701[#]、12120113061900[#]) 和国土资源部公益性行业科研专项经费 (201011027-3[#]) 联合资助。

收稿日期: 2015-09-20; 改回日期: 2015-09-26; 责任编辑: 黄敏。

作者简介: 杨红梅, 女, 博士, 教授级高工, 地球化学专业。Email: ycyanghmei@163.com。

523~574、5.34~6.26、545~806之间, Fe含量($\mu\text{g/g}$)分别介于3.56~4.30、0.07~0.23、3.97~6.69之间, Ca含量($\mu\text{g/g}$)分别介于3.14~13.1、6.15~9.61、0.04~0.06之间, Mg含量($\mu\text{g/g}$)分别介于0.34~4.58、0.34~3.88、0.01~0.05之间, 表明挑纯的闪锌矿矿物中, Rb、Pb、Zn、Fe主要分布在硫化物相中, Sr、Ca、Mg主要分布在酸提取相中, 且酸提取相中的Sr含量与Ca+Mg含量大致呈正相关。这主要是因为Sr的离子半径($1.13\text{\AA}$)与Ca的($0.99\text{\AA}$)相似, Sr易与Ca在方解石、白云石、长石等矿物中形成类质同象。对闪锌矿开展的电子探针分析表明, 有些挑选的闪锌矿矿物中确实含有少量方解石、白云石和石英等。与酸提取相相比, 硫化物相中的Rb含量稍高、Sr含量较低, 其Rb/Sr比值变化范围大为提高, 可能就是因为去除了大量普通Sr对放射成因Sr的掩饰作用, 从而导致硫化物相的Rb/Sr比值具有较大的变化范围。据此认为, 对闪锌矿开展弱酸提取以消除碳酸盐中普通Sr的影响, 对闪锌矿Rb-Sr同位素定年具有重要意义。

4 闪锌矿分相Rb-Sr同位素定年流程的稳定性

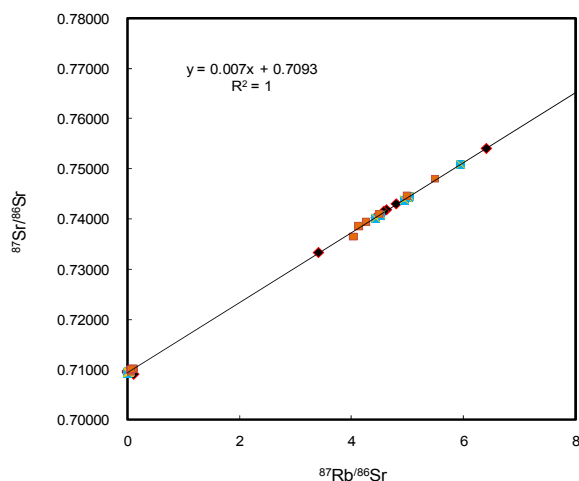


图1 不同酸浓度、不同浸泡时间条件下的 Rb-Sr 同位素组成关系图

为了检验用于浸泡闪锌矿的酸浓度和浸泡时间对等时线年龄是否有影响, 本次研究采用不同浓度的酸浸泡闪锌矿以及同一浓度酸对闪锌矿浸泡不同时间, 然后分析酸提取相和硫化物相的 Rb-Sr 同位素组成。结果表明, 不同酸浓度、不同浸泡时

间条件下得到的 Rb-Sr 同位素组成沿着同一拟合线分布, 即获得的 Rb-Sr 等时线年龄是一致的(图1)。说明闪锌矿分相 Rb-Sr 同位素分析流程稳定可靠。

5 闪锌矿 Rb-Sr 同位素年龄的可靠性

近年来, 关于闪锌矿 Rb-Sr 同位素定年的研究报道不断增多, 为铅锌矿床成矿时代与成因研究提供了重要依据。但因所研究的矿床中无法找到适合开展 U-Pb 和 Re-Os 同位素定年的矿物, 获得的 Rb-Sr 年龄是否具有明确的地质意义或其年龄结果的可靠性, 大多是从矿床地质背景和矿石矿相学角度进行解释, 缺乏多种定年结果的相互验证。本研究以湖南铜山岭铜铅锌多金属矿床为例, 开展了闪锌矿 Rb-Sr 同位素定年, 获得 Rb-Sr 等时线年龄 $156 \pm 8\text{Ma}$ (MSWD=1.5), 与文献中(卢有月等, 2015)所报道的铜山岭 I 号岩体的细粒花岗闪长斑岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 $157 \pm 1.7\text{Ma}$ (MSWD=1.2)、铜山岭矿床石英脉型矿体中的辉钼矿 Re-Os 年龄 $161 \pm 1.3\text{Ma}$ (MSWD=0.2)、桥头铺矿床矽卡岩型矿体中的辉钼矿 Re-Os 年龄 $155 \pm 2.6\text{Ma}$ (MSWD=1.5) 和石榴子石 Sm-Nd 等时线年龄 $155 \pm 8.0\text{Ma}$ (MSWD=0.41) 在误差范围内完全一致, 表明闪锌矿 Rb-Sr 同位素等时线年龄是可靠的。

参 考 文 献

- Christensen J N, Halliday A N, Leigh K E, Randell R N, Kesler S E, 1995. Direct dating of sulfides by Rb-Sr: A critical test using the Polaris Mississippi Valley-type Zn-Pb deposit. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(24): 5 191~5 197.
- Halliday A N, Shepherd T J, Dickin A P, Chesley J T. 1990. Sm-Nd evidence for the age and origin of a Mississippi Valley Type ore deposit. *Nature*, 344(3): 54~56.
- Medford G A, Maxwell R J, Richard L A, 1983. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio measurements on sulfides, carbonates and fluid inclusions from Pine Point, Northwest Territories, Canada; an $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio increase accompanying the mineralizing process. *Economic Geology*, 78(7): 1375~1378.
- Nakai S, Halliday A N, Kesler S E, Jones H D, Kyle J R, Lane T E, 1993. Rb-Sr dating of sphalerites from Tennessee and the genesis of Mississippi Valley type ore deposits, 1990. *Nature*, 346: 354~357.
- Nakai S, Halliday A N, Kesler S E, Jones H D, Kyle J R, Lane T E, 1993. Rb-Sr dating of sphalerites from Mississippi Valley-type (MVT) ore deposits. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57: 417~427.

- Petke T and Diamond L W, 1996. Rb-Sr dating of sphalerite based on fluid inclusion-host mineral isochrones: A clarification of why it works. *Economic Geology*, 91: 951~956.
- Qiu H N and Jiang Y D, 2007. Sphalerite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ progressive crushing and stepwise heating techniques. *Earth and Planetary Science Letters*, 256(1-2): 224~232.
- Yin M D, Li W B and Sun X W, 2009. Rb-Sr isotopic dating of sphalerite from the giant Huize Zn-Pb ore field, Yunnan Province, Southwestern China. *Chinese Journal of Geochemistry*, 28: 70~75.
- 胡乔青, 王义天, 王瑞廷, 李建华, 代军治, 王双燕, 2012. 陕西省凤太矿集区二里河铅锌矿床的成矿时代: 来自闪锌矿 Rb-Sr 同位素年龄的证据. *岩石学报*, 28 (1): 258-266.
- 蒋映德, 邱华宁, 肖慧娟, 2006. 闪锌矿流体包裹体 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法定年探讨—以广州凡口铅锌矿床为例. *岩石学报*, 22(10): 2425-2430.
- 蒋映德, 邱华宁, 云建兵, 王强, 2007. 闪锌矿 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 真空击碎与阶段加热定年技术. *地球化学*, 36(5): 457-466.
- 卢友月, 付建明, 刘树生, 黎传标, 张利国, 程顺波, 马丽艳, 2015. 湘南铜山岭铜多金属矿田成岩成矿作用年代学研究. *大地构造与成矿学*, 第 6 期, 待刊.
- 杨红梅, 刘重芄, 段瑞春, 顾晓敏, 卢山松, 谭娟娟, 蔡应雄, 张利国, 邱啸飞, 2015. 贵州铜仁卜口场铅锌矿 Rb-Sr 与 Sm-Nd 同位素年龄及其地质意义. *大地构造与成矿学*, 第 5 期, 待刊.