

# 含砷黄铁矿原位硫同位素对卡林型金矿床流体演化的应用展望——以滇黔桂卡林金矿床为例

李金翔<sup>1,2</sup>, 赵成海<sup>1</sup>, 黄勇<sup>1,2</sup>

(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 地球科学学院, 北京 101408)

卡林型金矿床因成矿机理的复杂性, 日益成为当今矿床学研究的热点和争议点, 诸多学者已经对其流体来源、成矿过程、控矿因素及矿床成因提出了多种不同的观点(涂光炽, 1990; 刘东升等, 1994; 扬科佑等, 1994; 谭运金等, 1994; 陈毓川等, 1995; 朱赖民等, 1999; 刘显凡等, 1999; Hofstra et al., 2000; Hu et al., 2002; Kesler et al., 2003, 2005; Cline et al., 2005; Su et al., 2009)。硫作为卡林型金矿重要的组成部分, 含硫络合物是金的重要运移方式之一(Williams et al., 2009), 对硫同位素的高精度分析可以探究硫源区对矿床成因的指示意义(朱赖民等, 1997)。谈及原位硫同位素对于成矿流体演化的指示意义, 首先需要认清硫的三个来源: 幔源硫( $\delta^{34}\text{S}$ 在0‰左右)、海水硫(较高正值)及沉积岩硫化物(变化较大, 主要为较大负值)(熊灿娟等, 2015)。

含砷黄铁矿作为卡林型金矿中最为重要的赋金矿物之一, 在传统实验技术条件下, 学者常将具有环带结构的细粒含砷黄铁矿的硫同位素组成研究方法局限在单矿物分析上(夏勇, 2005), 即硫同位素值仅仅能够代表沉积阶段和热液阶段黄铁矿的硫同位素混合结果; 且因矿物颗粒细小使得单矿物分离较为困难。微区原位硫同位素分析技术(如 SHRIMP、NanoSIMS 等)的迅速发展使得其分析精度大幅度提高, 实验样品用量更少, 低至纳米级尺度原位分析得以实现(徐伟彪, 2005; Badro et al., 2007; Barker et al., 2009; 李秋立等, 2013; 杨宝菊等, 2015; 杨蔚等, 2015)。矿石矿物微区原位硫同位素组成的研究更能为示踪成矿物质来源及演化提供最直接最有效的证据, 为对比分析成矿物质与成矿流体之间的关系、探究分析成矿元素迁移、沉淀机制和矿床成因, 提供重要依据。但硫同位素作为一个参数值, 不能简单地根据某一个特定的值或值域把成矿物质的来源单一化处理; 首先应当考虑是否为不同源区混合的结果, 更应该结合锶铅同位素、碳氢氧同位素或流体包裹体特征来综合判断, 如是否有盆地硫及地层硫的混入、硫酸盐热化学反应(TSR)释放还原性 $\text{H}_2\text{S}$ 等, 此外还需考虑成矿过程中的压力变化和构造活动等。

滇黔桂卡林型金矿床地处扬子地台西南缘与华南褶皱系右江褶皱带的过渡部分, 与陕甘川卡林金矿床共同组成中国卡林型金矿床。该区控矿类型分为断裂控制和岩层控制两类, 赋矿层位分别为中下三叠统地层和上二叠统地层, 成矿时代争议较大, 主要结果为195~80 Ma(Hu et al., 2002; 胡瑞忠等, 2007; 陈懋弘, 2007; Su et al., 2009)。虽研究程度较深, 但对其成矿物质来源认知不一致, 目前主要有以下三种观点:

(1) 成矿物质来源于赋矿围岩(刘东生, 1994; 陈懋弘, 2007); (2) 来源于深部地幔和上部地壳围岩地层的混合(朱赖民, 1997, 1998; 王登红, 2000; 贾大成, 2001; 王泽鹏, 2013); (3) 来源于区域岩浆岩(聂爱国, 2006, 2007), 即峨眉山玄武岩。硫同位素特征作为上述观点的重要依据, 既有单矿物分析结果, 又有原位分析结果, 但综合分析结果来看, 单矿物分析方法虽得出统计意义的结果, 但其在分析精度上远不及原位分析。

综上所述, 尽管在滇黔桂卡林型金矿的研究中, 微区原位硫同位素测试技术的应用尚处于探索阶段, 但其高分辨率、样品制备便捷、直接用载金矿物做为测试对象的优势, 可以为探讨卡林型金矿成矿流体演化提供新的视角, 相信在未来的地球科学研究中将发挥出更重要的作用。

**基金项目:** 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(编号: 2014CB440906); 国家自然科学基金重点项目(批准号: 41230316)

**作者简介:** 李金翔, 男, 1991年生, 硕士研究生, 主要从事矿床地球化学研究. E-mail: lijinxiang@mail.gyig.ac.cn