

· 专题 13: 成矿作用过程、成矿末端效应及找矿预测 ·

## 黔西南泥堡金矿黄铁矿和其他硫化物的结构 和微量元素组成: LA-ICPMS 研究

韦东田<sup>1</sup>, 夏勇<sup>1\*</sup>, 谭亲平<sup>2</sup>, 谢卓君<sup>1</sup>, 郭海燕<sup>1</sup>, 何珊<sup>1</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, 贵阳 550002;

2. 中国地质科学院 地球物理地球化学勘查研究所, 河北 廊坊 065000

黄铁矿( $\text{FeS}_2$ )是沉积岩赋存金矿床中最常见的硫化物, 是很多微量元素的重要载体, 包括 As、Ni、Pb、Cu、Co、Mo、Sb、Se、Ag、Bi、Te、Cd 和 Au (Gregory, 2014)。黄铁矿在盆地历史的几个关键点形成和发展, 包括沉积、成岩、变质和热液蚀变等阶段, 使得它可以很好地记录盆地系统中的沉积条件和流体演化 (Franchini *et al.*, 2015; Large *et al.*, 2007; Meffre *et al.*, 2015)。很早以前, 沉积岩赋存金矿中的黄铁矿已经成为很多研究者的研究兴趣, 但是近年来随着一些原位微区技术的发展(如 LA-ICPMS), 使得单颗粒黄铁矿中微量元素的检测限达到 ppb 级, 又使黄铁矿的地球化学分析重新成为研究热点 (Deditius *et al.*, 2014; Large *et al.*, 2007, 2009)。前人一些研究局限于电子探针(EMPA)和/或 X 射线背散射电子成像技术, 而没有像 LA-ICPMS 这种具有 ppb 级的检测限和多元素接收的能力, 所以, LA-ICPMS 分析技术对黄铁矿微量元素化学研究已经至关重要。

在中国贵州西南地区有很多沉积岩赋存的金矿床, 如水银洞金矿、烂泥沟金矿和泥堡金矿, 其中黄铁矿是最常见的含金矿物。Su *et al.* (2012) 通过电子探针分析(EMPA)以水银洞卡林型金矿的含金砷黄铁矿为研究对象研究了金的沉淀过程, 发现砷黄铁矿中的 As 和 S 呈负相关, As 在砷黄铁矿结构中取代 S 的位置, 并且不可见金可能以  $\text{Au}^+$  的形式均匀分布在砷黄铁矿结构中, 指出砷黄铁矿中的铁可能来自沉积地层中含铁矿物的溶解, 与富  $\text{H}_2\text{S}$  的成

矿流体发生硫化作用可能是水银洞卡林型金矿金沉淀的最重要机制。Hou *et al.* (2016) 进一步研究灰家堡背斜黄铁矿的共生次序、S 同位素和微量元素地球化学, 认为 Au 和 S 可能来源于地层, 由岩浆流体带入。Xie *et al.* (2017) 通过岩相学工作, 结合扫描电镜(SEM)和 EMPA 分析, 确定了中国贵州卡林型金矿和美国内华达卡林型金矿的矿物生成顺序, 并在此基础上运用 LA-ICPMS 分析技术对成矿期矿物和成矿晚期矿物进行进一步研究, 认为成矿流体中的硫主要为岩浆来源, 但在不同矿床中混入了不同程度的地层硫。基于 X 射线粉晶衍射半定量分析技术, 得到泥堡金矿全岩中的黄铁矿含量高达 16% (韦东田等, 2016)。然而, 在泥堡矿床和多数其他卡林型矿床中, 全岩的高黄铁矿含量并不意味着高的矿石品位, 即使黄铁矿是矿床中最重要的载金矿物 (Gregory *et al.*, 2015, 2016)。因此, 黄铁矿的丰度不能用来划分矿体的边界 (Hou *et al.*, 2016)。所以, 对矿床中黄铁矿的结构进行详细的研究, 确定其生成顺序, 并划分不同的黄铁矿类型, 指出适合金沉淀的黄铁矿类型具有重要的意义。

本次研究结合反射光显微镜、SEM 和 LA-ICPMS 对泥堡金矿中的黄铁矿及其他硫化物进行综合研究, 取得以下几点新的认识:

(1) 泥堡金矿中的黄铁矿可以划分为沉积成因的草莓状黄铁矿 Py1、成岩阶段自形-半自形的较为粗粒的黄铁矿 Py2、热液成因的海绵状黄铁矿 Py3 以及热液成因的狭窄而平滑的黄铁矿边缘 Py4。金

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2014CB440905); 矿床地球化学国家重点实验室“十二五”项目群课题(SKLOD-G-ZK125-01)

第一作者简介: 韦东田(1988), 男, 博士研究生, 研究方向: 矿物学、岩石学、矿床学. E-mail: weidongtian@mail.gyig.ac.cn.

\* 通讯作者简介: 夏勇(1960-), 男, 博士, 研究员, 博士生导师, 研究方向: 矿床地球化学. E-mail: xiayong@vip.gyig.ac.cn.

作为不可见金不同程度地集中在各种黄铁矿类型之中,但只有 Py4 中的金含量达到具有经济价值。

(2)黄铁矿中的 Co、Ni 和 Mo 含量以及与世界范围内的沉积黄铁矿的对比表明泥堡金矿是沉淀在富有机质、缺氧的静海环境中。

(3)热液流体中富含 Co、Ni、Cu、As、Se、Ag、Sb、

Au、Hg、Tl、Pb 和 Bi,但是在热液流体的演化过程中这些微量元素在不同的热液阶段含量不同。4.泥堡矿床中的金、砷等微量元素可能来自沉积盆地,在沉积和成岩阶段被部分的带入黄铁矿。在成矿热液事件中,金、砷等元素在盆地深部被活化带出,并入热液流体,最后在 Py4 中沉淀成矿。