

# 扬子西南缘拉拉 IOCG 矿床辉钼矿硫同位素 及其地质意义

刘晓文, 李泽琴, 王奖臻

成都理工大学地球科学学院, 成都, 610059

**关键词:** IOCG 矿床; 辉钼矿; 硫同位素

硫是铁氧化物铜金 (IOCG) 矿床中铜和金沉淀的重要因素之一 (Williams et al., 2005), 因此, 硫的来源对于了解此类矿床的形成过程及其成因具有重要意义 (Haynes, 2000), 但由于 IOCG 矿床在成矿环境、成矿时代、矿床类型上的多样性以及成矿机制的复杂性, 加之硫同位素数据的相对缺乏, 人们对系类矿床硫的来源有较大争议 (何德峰, 2009)。

拉拉 IOCG 矿床中, 如黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿、辉钼矿等都以硫化物的形式存在。因此, 确定硫的来源对于研究拉拉铜矿床的形成条件和矿床成因具有重要的意义。已有学者对拉拉铜矿床的硫同位素进行过研究 (陈好寿等, 1992; 申屠保涌, 1997; 孙燕等, 2006), 对于硫的来源问题认识基本上一致, 认为既有由火山作用带出的地幔深源硫, 也有海水硫酸盐还原作用所产生的硫, 但在硫以什么来源为主的问题上存在分歧。且都仅限于从直方图的角度进行讨论, 需要进一步的分析论证。

因此, 本文对拉拉 IOCG 矿床中不同成矿阶段的辉钼矿进行了硫同位素测定, 并结合前人研究的大量数据, 讨论了矿床不同成矿阶段的矿物硫同位素组成特征, 并计算了成矿流体的总硫同位素组成、硫同位素平衡温度, 从而讨论矿床硫的可能来源。

## 1 成矿期次

拉拉 IOCG 矿床共有两期辉钼矿产出, 通过镜下显微观察对比发现, 分别产出于变质热液期和叠加热液期, 其中变质热液期辉钼矿呈浸染状产于黑

云母片岩中, 与紫色萤石、黄铜矿、磁铁矿相伴生, 镜下观察主要有三种不同的产出状态: ①由多个不规则状或弯曲的板柱状辉钼矿晶体组成的集合体, (图 1c); ②呈鳞片状分布于矿石中, 有的被磁铁矿或黄铜矿包裹, 粒径 50~100  $\mu\text{m}$  (图 1d); ③呈规则的板柱状产出, 与黄铜矿共生, 长约 50~100  $\mu\text{m}$ , 宽约 10  $\mu\text{m}$  (图 1e)。下文中将此类辉钼矿命名为辉钼矿 (I); 后期热液期辉钼矿呈团块状填充于黑云母片岩中, 与方解石、浅色萤石、黄铜矿共生, 团块直径 2~5 cm, 晶体粗大且结晶程度较高, 辉钼矿往往交代早期形成的黄铜矿, 使得后者整体呈碎布状结构或孤岛状结构, 边部呈港湾状结构 (图 1f), 与辉钼矿 (I) 表现出截然不同的矿相学特征, 下文中将本区此类辉钼矿命名为辉钼矿 (II)。

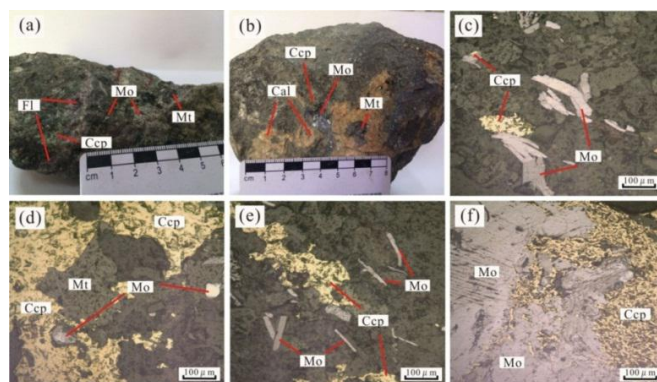


图 1 拉拉 IOCG 矿床中辉钼矿代表性手标本及显微图 (a) 辉钼矿 (I) 手标本照片 (L0-25); (b) 辉钼矿 (II) 手标本照片 (L0-97); (c) 弯曲板柱状辉钼矿集合体 (L-25); (d) 鳞片状辉钼矿 (L0-25); (e) 板柱状辉钼矿 (L0-6); (f) 片状辉钼矿集合体 (L0-134) Mo-辉钼矿; Fl-萤石; Cal-方解石; Ccp-黄铜矿; Mt-磁铁矿

注: 本文为国家自然科学基金资助项目 (编号: 41072065) 和教育部博士点基金项目 (编号: 20105122110001) 的成果。

收稿日期: 2019-01-10; 改回日期: 2019-03-20; 责任编辑: 费红彩。 Doi: 10.16509/j.georeview.2019.s1.107

作者简介: 刘晓文, 男, 1986 年生, 博士研究生, 地球化学专业, Email: liu\_xiaowen@126.com。通讯作者: 李泽琴, 女, 1957 年生, 博士, 教授, 主要从事地球化学研究与教学工作, Email: lzq@cdut.com。

## 2 成矿流体总硫同位素组成特征及硫源

根据前人大量的热力学实验和实践证明在硫同位素分馏达到平衡条件下,共生矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值按辉钼矿—黄铜矿的顺序递减。在本矿床中辉钼矿(I)、黄铜矿(I)的 $\delta^{34}\text{S}$ 均值依次为:3.6‰、1.72‰,辉钼矿(II)、黄铜矿(II)的 $\delta^{34}\text{S}$ 均值依次为:-3.18‰、-4.05‰,均表现为辉钼矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值>黄铜矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值与硫化物结晶时 $\delta^{34}\text{S}$ 富集顺序一致,一定程度上反映出本矿床两期成矿流体的硫同位素基本达到了平衡,故将两期辉钼矿、黄铜矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 均值通过 Excel 作图 2,分析结果显示,变质热液期总硫同位素计算所得 $\delta^{34}\text{S}_{\Sigma\text{S}}(\text{‰})$ 为 1.43‰,后期热液期总硫同位素计算所得 $\delta^{34}\text{S}_{\Sigma\text{S}}(\text{‰})$ 为-2.87‰。

自然界 $\delta^{34}\text{S}$ 的总变化范围为-65‰~120‰,其中 98%的样品落在-40‰~40‰范围内;而在地球上,硫同位素主要有 3 个储存库:一是幔源硫,其组成较稳定, $\delta^{34}\text{S}$ 值约为 $0\pm 3\text{‰}$ ;二是海水硫,现代海洋硫酸盐的 $\delta^{34}\text{S}$ 相当稳定,约为 20‰;三是沉积物中的还原硫,这种硫的同位素主要以具有较大的负值为特征,且变化范围大。宋国学等(2010)统计了 30 多个钼多金属矿床的硫同位素组成,发现绝大多数矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 值介于-4‰~7‰,拉拉铜矿辉钼矿(I)-黄铜矿(I)计算所得 $\delta^{34}\text{S}_{\Sigma\text{S}}$ 为 1.43‰,辉钼矿(II)-黄铜矿(II) $\delta^{34}\text{S}_{\Sigma\text{S}}(\text{‰})$ 为-2.87‰,均接近壳幔混合源硫特征,因此,得出拉拉 IOCG 矿床矿辉钼矿(I)硫源主要为壳幔混合源硫,辉钼矿(II)硫源主要为壳源—壳幔混合源硫。

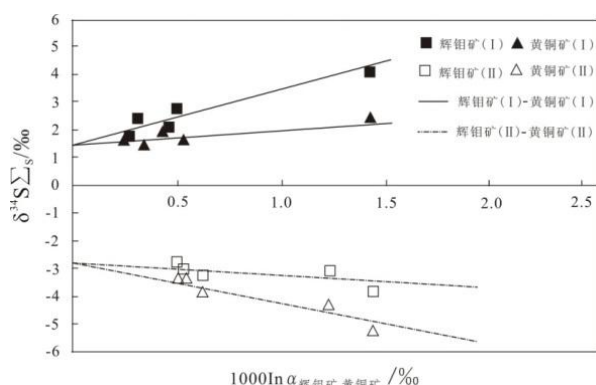


图 2 拉拉 IOCG 矿床硫化物共生矿物对总硫同位素图

## 3 结论

(1) 辉钼矿(I)S 同位素与辉钼矿(II)S 同位素具不同的分布特征,其中辉钼矿(I) $\delta^{34}\text{S}_{\Sigma\text{S}}(\text{‰})$ 为 1.43‰,辉钼矿(II) $\delta^{34}\text{S}_{\Sigma\text{S}}(\text{‰})$ 为-2.87‰,因此,得出拉拉 IOCG 矿床矿辉钼矿(I)硫源主要为壳幔混合源硫,辉钼矿(II)硫源主要为壳源—壳幔混合源硫。

(2) 辉钼矿(I)的成矿物质属于壳幔混源,其成矿主要受 Rodinia 超大陆的拼贴作用的影响,成矿流体为变质热液;辉钼矿(II)的成矿物质属于壳源-壳幔混源,其成矿主要受到 Rodinia 超大陆的裂解事件的影响,期间辉长岩岩浆的侵入为本期辉钼矿的成矿提供必要的空间和热源。

## 参考文献 / References

- Willia ms P J, Barton M D, Johnson D A. 2005. Iron oxide copper-gold deposits: geology, space-time distribution, and possible modes of origin. *Economic Geology*, 100th Anniversary volume: 371~405.
- Haynes D W. 2000. Iron oxide copper (-gold) deposits: their position in the ore deposit spectrum and modes of origin. Porter TM (ed.), *Hydrothermal Iron Oxide Copper-gold and Related Deposits: A Global Perspective* (v1). PGC Publishing: 71~90.
- 何德锋. 2009. 四川省拉拉铜矿床岩石学及地球化学研究. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 1~64.
- 陈好寿, 冉崇英. 1992. 康滇地轴铜矿床同位素地球化学. 北京: 地质出版社: 29~84.
- 申屠保涌. 1997. 四川会理拉拉厂铜矿床地质地球化学特征及成矿模式. *特提斯地质*, 21: 112~126.
- 孙燕, 舒晓兰, 肖渊甫. 2006. 四川省拉拉铜矿床同位素地球化学特征及成矿意义. *地球化学*, 35(5): 553~559.
- 宋国学, 秦克章, 李光明. 2010. 长江中下游池州地区矽卡岩-斑岩型 W-Mo 矿床流体包裹体与 H、O、S 同位素研究. *岩石学报*, 26(9): 2789~2782.

LIU Xiaowen, LI Zeqin, WANG Jiangzheng: S isotopes of molybdenites from Lala IOCG deposit, SW margin of Yangtze block and its geological significance

Keywords: IOCG deposit; molybdenite; S isotopes