

中条山铜矿峪铜矿成矿机制初探

姜玉航^{1,2}, 牛贺才¹, 严爽^{1,2}, 曾令君^{1,2}, 李宁波^{1,2}

(1. 中国科学院 广州地球化学研究所 矿物学与成矿学重点实验室, 广东 广州 510640;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

铜矿峪铜矿位于华北克拉通南缘中条山地区, 矿体赋存于古元古代石英二长斑岩及与之接触的绛县群铜矿峪组地层中, Cu 金属量达 280 万吨, Cu 平均品位为 0.68%, 是一个古老的斑岩型铜矿。

石英二长斑岩体的斑晶主要由石英、钾长石和钠长石组成, 基质矿物主要为石英和微晶长石, 长石大部分绢云母化。在岩石中可见硬石膏, 有些被石英斑晶所包裹, 显示其形成较早。硬石膏的出现, 特别是在石英斑晶中出现, 表明原始岩浆具有较高的氧化状态。其 SiO₂ 含量介于 66.98%~68.18%之间, 投影在 TAS 图解的石英闪长岩区域内。铜矿峪石英二长斑岩明显亏损 Nb、Ta、Ti 等高场强元素, 显示出聚合板块边缘岩浆岩的地球化学特征; 微量元素地球化学特征显示, 石英二长斑岩形成于岛弧构造环境。石英二长斑岩体的单颗粒锆石 U-Pb 显示, 其斑岩形成时代为 2122±10 Ma (李宁波等, 2013), 与铜矿峪矿床的 Re-Os 同位素年龄 2108 Ma (陈文明和李树屏, 1998) 在误差范围内一致, 暗示了成岩成矿的一致性, 进一步证实铜矿峪矿床是一个前寒武纪斑岩铜矿床。

铜矿峪石英二长斑岩中锆石 Hf 同位素研究显示, 其具有明显壳源特征, 因此可以推断石英二长斑岩的形成与古老地壳的熔融有关。这种熔融作用发生在全局大氧化事件 (2.3 Ga) 以后, 暗示大量高氧化态的沉积物加入导致原始岩浆具有高氧逸度特征, 这可能是造成这个世界最古老斑岩铜矿形成的必要条件之一。

铜矿峪斑岩铜矿的主成矿过程可以分为早期和晚期两个阶段, 其中早期成矿阶段形成了矿床的主体。早期成矿阶段矿石以细脉状、浸染状

产出, 金属硫化物以黄铜矿为主, 含有辉钼矿、黄铁矿、斑铜矿、辉铜矿、磁铁矿和赤铁矿, 脉石矿物为石英; 晚期成矿阶段矿石以粗脉状产出, 金属矿物主要有黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿、磁铁矿和少量的镜铁矿, 脉石矿物为石英和方解石。为了揭示铜矿峪矿床的形成机制, 对铜矿峪铜矿含石英脉 (简称 A 型石英) 和黄铜矿包裹的同生石英颗粒 (简称 B 型石英) 进行了系统的包裹体岩相学、激光拉曼探针分析和显微测温研究。A 型石英中的流体包裹体可分为气体包裹体 (V 型)、含 CO₂ 包裹体 (C 型)、水溶液包裹体 (W 型) 和含子矿物多相包裹体 (S 型) 四种类型。显微岩相学和激光拉曼探针分析显示, 早期石英细脉的 S 型包裹体含有石盐、方解石、赤铁矿、黄铜矿以及少量硬石膏等子晶; 而晚期石英粗脉的 S 型包裹体则含有石盐和钾盐子晶。早期 B 型石英中包裹体以 S 型包裹体为主, 含有少量的 V 型包裹体; 晚期 B 型石英中包裹体以 S 型包裹体为主, 含有少量的 W 型包裹体。无论是早期成矿阶段还是晚期成矿阶段, B 型石英中的包裹体特征均与 A 型石英中的包裹体特征相近。

通过对铜矿峪斑岩铜矿两类石英 (A 型石英和 B 型石英) 包裹体激光拉曼探针分析和显微测温研究取得以下三方面的认识:

(1) 富含子晶矿物的 S 型包裹体所捕获的高盐度流体贯穿于铜矿峪斑岩铜矿床的整个成矿作用过程。S 型包裹体显微测温结果显示, 铜矿峪斑岩铜矿床主要矿化的早期成矿阶段的温度为 235~420℃, 而晚期成矿阶段的温度为 186~245℃, 成矿流体温度降低是导致含铜硫化物沉淀的重要因素之一;

(2) 早期成矿阶段与黄铜矿共生石英中包裹体组合显示, 在铜矿峪斑岩铜矿的主要成矿阶段成矿流体发生了沸腾作用, 在沸腾过程中成矿元素 Cu 优先进入高盐度卤水相, 流体的沸腾是导致成矿元素进一步富集和沉淀的重要机制。无

基金项目: 华北克拉通重大地质事件与成矿项目 (批准号: 2012CB416600)

作者简介: 姜玉航, 男, 1987 年生, 博士研究生, 主要从事矿床地球化学研究。E-mail: jiangyuhang@gig.ac.cn

论是早期成矿阶段还晚期成矿阶段，B型石英中均含有相当数量的含石盐S型包裹体，暗示高盐度卤水对铜的运移具有重要的制约；

(3) 铜矿峪斑岩铜矿床的矿体内大量存在磁铁矿和赤铁矿（镜铁矿）矿物组合，且早期成矿阶段含矿石英脉中发现了含赤铁矿、黄铜矿和硬石膏的S型包裹体，表明铜矿峪斑岩铜矿成矿系统的氧逸度在磁铁矿-赤铁矿缓冲线（HM）附

近波动。S型包裹体的岩相学特征和矿体及蚀变带内矿物组合显示，在硅化-钾化蚀变阶段（成矿前阶段）成矿流体系统中已经开始发生了 SO_4^{2-} 被还原成 S^2 的反应，但在早期成矿阶段这个反应达到高峰，晚期成矿阶段该反应明显减弱， SO_4^{2-} 被还原成 S^2 的反应的强度与矿化程度呈正相关，暗示 SO_4^{2-} 被还原成 S^2 的过程对含铜硫化物的沉淀具有重要控制作用。

参 考 文 献:

- 陈文明, 李树屏. 中条山铜矿峪斑岩铜矿金属硫化物的铷-锶同位素年龄及地质意义. 矿床地质, 1998, 17(3): 224-228.
- 胡维兴, 孙大中. 中条山早元古代铜矿成矿作用与演化. 地质学报, 1987, (2): 152-165, 198.
- 李宁波, 罗勇, 郭双龙, 姜玉航, 曾令君, 牛贺才. 中条山铜矿峪变石英二长斑岩的锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素特征及其地质意义. 岩石学报, 2013, 29(7): 2416-2424.
- 孙继源, 冀树楷, 真允庆. 中条裂谷铜矿床. 北京: 地质出版社, 1995: 1-142.
- 中条山铜矿地质编写组. 中条山铜矿地质. 北京: 地质出版社, 1978: 1-190.