

# 新疆小热泉子铜（锌）矿显微结构及稳定同位素 对其成因的启示

刘申志<sup>1</sup>, 吕新彪<sup>1, 2</sup>, 曹晓峰<sup>1, 2</sup>, 张平<sup>1</sup>

(1 中国地质大学资源学院, 湖北 武汉 430074; 2 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室,  
湖北 武汉 430074)

小热泉子铜（锌）矿床位于准噶尔板块与塔里木板块对接带北侧的哈尔力克-大南湖晚古生代陆源岛弧带内, 矿区内出露地层有下石炭统小热泉子组和中石炭统底坎尔组。下石炭统小热泉子组分 4 个岩性段, 为一套滨浅海相火山碎屑岩及少量沉积岩组成, 其中小热泉子组第一岩性段是主要的富矿围岩, 主要为火山灰凝灰岩、凝灰质细-粉砂岩。矿区内构造发育, 发育有穹窿构造、断裂构造和片理化构造。断裂构造分布整个矿区, 有 NW 向断裂、NE 向断裂及 SN 向断裂。

矿区内顶部发育有氧化矿体, 沿构造裂隙处发育, 呈环状分布。氧化矿下部为原生矿, 有时氧化矿下部有硫化物次生富集过渡带。由于原生矿体受构造和地层因素控制明显, 形态复杂, 多呈褶曲状、透镜状、马鞍状、脉状、似层状等。主要矿石类型有石英脉型铜（锌）矿石、细脉浸染型铜锌矿石、块状黄铜矿石、块状闪锌矿石、石英脉形黄铁闪锌矿。金属矿物主要有黄铜矿、铜蓝、闪锌矿、方铅矿、孔雀石、铜蓝、黝铜矿、蓝铜矿、毒砂、黄铁矿、磁黄铁矿等。非金属矿物主要是石英、方解石、绿泥石、绢云母等。矿石构造主要有薄膜状、土状、块状、网脉状、浸染状、角砾状、团块状及条带状构造。

## 1 硫化物显微结构

小热泉子原生铜（锌）矿体与其围岩一起受到了后期构造作用的影响, 矿体与围岩一起发生同步褶曲。因此现在所观察到的矿石结构构造相对于矿体最初形成时期的矿石组构或多或少发生变化。

在显微镜下, 凝灰岩中的黄铁矿分大小两群, 自形等粒状结构的黄铁矿多呈立方体晶形, 在凝灰岩中常以团块状分布, 如果有石英脉切穿的凝灰岩中越靠近石英脉边缘的黄铁矿晶形越好, 颗粒较大, 草莓状结构的黄铁矿依附于暗色矿物周围分布, 形成胶状黄铁矿外壳, 黄铁矿颗粒较细小, 受后期改造作用形成自形变斑晶, 说明早期黄铁矿是火山喷流沉积成岩期形成的产物, 并受后期热液作用影响发生明显的矿物重结晶。在反光镜下, 绝大多数黄铁矿以脆型变形为特征, 少数发生塑型变形呈拉长状或透镜状变斑晶黄铁矿, 局部还可见由细菌还原作用形成的团斑状细粒黄铁矿集合体, 说明早期黄铁矿是火山喷流沉积成岩期形成的产物, 并受后期热液作用影响发生明显的矿物重结晶, 也可能是在造山过程中因变质作用而重结晶(顾连兴等, 2006), 但 Kullerud 等实验表明, 黄铁矿的稳定温度可达 742℃, 另外, Parr J 也提出在有些变质程度达高级角闪岩相甚至麻粒岩相的块状硫化物矿床中, 共生黄铁矿仍能保存沉积特征, 小热泉子铜（锌）矿床中黄铁矿变斑晶很有可能受后期热液和构造作用共同影响形成的。以脆性变形为主的黄铁矿呈碎裂结构、细粒化结构和布丁结构, 碎裂状黄铁矿被黄铜矿石英脉充填, 其边缘被交代溶蚀形成港湾结构, 细粒化黄铁矿基质在粗粒黄铁矿周围或在石英中分布, 黄铁矿受剪切作用形成布丁结构, 黄铜矿充填其中。相对黄铁矿的脆性变形外, 闪锌矿和黄铜矿表现为塑性变形特征, 小热泉子矿床中块状和石英脉型矿石中, 闪锌矿内没有或很少见固溶体出溶的黄铜矿, 闪锌矿中黄铜矿呈 S 型面理结构分布, 明显从闪锌矿到黄铁矿周围发生过活化迁移富集作用, 而有的黄铜矿以乳滴状分布于闪锌矿中, 可见到黄铜矿在闪锌

矿中分布不均,脆性黄铁矿碎斑呈透镜状或细粒化结构,可能表明在富矿体形成过程中曾伴有压溶和增生作用,也表明矿物受到后期构造作用的影响发生再活化,并且黄铜矿的再活化迁移能力比闪锌矿强,优先在黄铁矿和石英周围应力薄弱地方富集。

## 2 稳定同位素分析

### 2.1 S 同位素

硫同位素分析结果与前人对小热泉子原生矿石硫化物的  $\delta^{34}\text{S}$  值(33个样品)在 3.1‰~11.1‰ 范围内非常相近,说明本次分析样品为主成矿期的原生矿石,其硫同位素组成能够很好的反映主成矿期硫的来源。硫同位素值分布范围较宽,在 4.8‰~13.4‰ 之间,并且  $\delta^{34}\text{S}$  值高,有 75% 的  $\delta^{34}\text{S}$  值在 8‰ 以上,不具有明显的塔式分布特征,可能存在两期成矿作用,早期以凝灰岩中的团块状黄铁矿为代表,硫同位素值主要集中在 10‰~13‰ 范围内,主要有浸染状黄铜矿和黄铁矿化和弱硅化,晚期以石英脉型黄铜矿和闪锌矿为代表,主要为脉状矿体和块状矿体,硫同位素值集中在 5.5‰~7‰ 之间,S 主要继承了前期的火山喷流沉积过程中的矿化特点,导致  $\delta^{34}\text{S}$  值为正值,但相对于火山喷流沉积期的矿化 S 值略低,而块状黄铜矿和部分脉状黄铜矿闪锌矿的 S 值低于 6‰。

### 2.2 H、O 同位素

石英中氧同位素组成在 6.5‰~10‰ 之间,包裹体中  $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$  为 -84‰ ~ -77.0‰。采用矿物与水反应平衡的分馏方程  $1000\ln\alpha_{\text{矿物-水}} = \delta^{18}\text{O}_{\text{矿物}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{水}} = A \times 10^6/T^2 + B$  进行校正,计算包裹体中 O 同位素组成,将校正后结果投影到  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta\text{D}$  相关图中。数据点投影于近岩浆水区域,并向大气降水线靠近,陈衍景(2008)认为脉状硫化物矿体中硫化物沉淀时,  $\text{H}_2\text{S}$  或  $\text{HS}^-$  的少量释放 H 可导致流体水  $\delta\text{D}$  的显著降低,  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta\text{D}$  相关图可发现样品点分布于海水范围下方,并略向岩浆水方向偏离,  $\delta\text{D}$  明显亏损,很可能在矿质沉淀过程中,由于海底还原环境条件下,成矿流体中的  $\text{H}_2\text{S}$  或  $\text{HS}^-$  释放 H 导致流体水  $\delta\text{D}$  值显著降低。从区域地质背景和矿区内富矿围岩及流体氢氧同位素特征分析,小热泉子铜(锌)矿床成矿流体很有可能为次火山热液与古海水的混合流体相互作用的结果。

## 3 成因认识

黄铁矿脆性变形以及块状闪锌矿中黄铜矿发生活化迁移富集现象说明矿体受强烈的构造作用,前人研究认为闪锌矿中有黄铜矿疾病,由此可见,闪锌矿中黄铜矿疾病并非独有的特征,也可能因为应力作用使其黄铜矿再活化富集。说明硫化物在后期构造作用下发生的活化富集很有可能是成矿作用过程中重要的成矿机制。

显微镜下观察也发现火山喷流沉积期的草莓状黄铁矿明显受到后期的热液作用发生重结晶作用形成自形黄铁矿变斑晶,硫化物中  $\delta^{34}\text{S}$  值反映成矿期硫的来源源于古海水硫酸盐和火山碎屑岩中硫不同比例混合的结果。

H、O 同位素组成反映成矿流体很有可能为次火山热液与古海水的混合流体相互作用的结果,前人认为小热泉子铜(锌)矿床的成矿流体为次火山热液与地下水的混合流体有待商榷。