

云南富乐铅锌矿床锗超常富集及机理探讨

叶霖^{1*}, 李珍立^{1,2}, 韦晨^{1,2}, 胡宇思^{1,2}, 王浩宇^{1,2}

(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 550081;

2. 中国科学院大学, 北京 100049

“川滇黔矿集区”是我国重要铅锌资源基地, 该区铅锌矿床(点)众多, 成群成带分布, 赋矿地层复杂, 锗是多数矿床中重要伴生资源(Hu and Zhou, 2012; Zhang et al., 2015; Hu et al., 2017)。云南富乐铅锌矿床位于该矿集区东南部, 是代表性铅锌矿床之一, 其铅锌矿体呈层状或似层状产出, 赋矿地层为二叠统阳新组白云岩夹灰岩, 为该区已知铅锌矿床赋矿最年轻地层。矿石中矿物组成简单, 矿石矿物以闪锌矿和方铅矿为主, 含少量黄铁矿和微量铜矿物, 围岩蚀变较弱, 以方解石化和白云石化为主。铅锌矿石总体品位较高, Zn+Pb 多在 10~25%之间, 并伴生 Cd 和 Ge。

我们的研究表明, 闪锌矿是富乐矿床 Ge 的主要载体矿物, 而方铅矿中并不含 Ge, 类质同象是其主要的赋存形式。LA-ICPMS 分析结果可以看出, 矿床中闪锌矿均属于低铁类型($Fe < 5000 \text{ ppm}$), 其中微量元素组成复杂, 且具有较大变化范围, Cd 和 Ge 是重要的伴生元素, 其含量分别在 2800~46000 ppm (均值 17000 ppm) 和 0.54~600 ppm (190 ppm) 之间。值得注意的是, Ge 与 Cd 不存在明显相关关系, 而与 Cu 存在较好正相关关系, 其相关系数为 0.93 ($n=88$), 暗示耦合替代是闪锌矿中 Ge 的主要置换机制。

成矿流体研究表明, 该矿床闪锌矿中流体包裹体以富液相包裹体为主, 气液比值较低($g/L=5\% \sim 40\%$), 显微测温获得其成矿流体均一温度主要分布在 120~160°C 和 180~210°C 两个区间, 盐度分布在 4~10% NaCleq 和 16~22% NaCleq 两个区间, 暗示中低温低盐度和中低温较高盐度流体的混合可能是富乐矿床铅锌沉淀富集主要机制。此外, 矿床中黄铁矿 $\delta^{34}S$ 值介于 +14.65~+23.76‰ (均值 +19.96‰), 而闪锌矿 $\delta^{34}S$ 值为 +14.87~+24.95‰ (均值 +19.95‰), 且 $\delta^{34}S_{Py} > \delta^{34}S_{Sp}$, 表明其中硫同位素分馏已达到平衡, 矿物硫同位素组成可以代表矿床硫同位素组成, 矿床中硫主要来源于二叠纪下伏地层海相硫酸盐热化学还原作用(TSR)。此外, 该矿床铅锌矿化多发生在峨眉山玄武岩下 100m 左右范围, 最近距离不到 50m, 我们在该矿床内发现少量镍矿物, 包括方硫镍矿、硫镍矿和针镍矿等, 该类矿物呈团斑状不均匀分布于方解石脉中, 形成略晚于闪锌矿和方铅矿, 应为同一成矿阶段产物。并在铅锌矿石中发现较多细小铜矿物, 包括黄铜矿、锌砷黝铜矿和黝铜矿等, 这些铜矿物多呈他形细脉状交代早期铅锌矿物, 其形成明显晚于铅锌矿物。我们的研究表明, 其中 Ni 和部分 Cu 可能为铅锌成矿流体从峨眉山玄武岩中萃取出。总体而言, 矿床中闪锌矿以富集 Cd、Ge 贫 Fe、Mn、In 等元素为特征, 与 SEDEX 型矿床差异明显, 而与典型 MVT 型矿床及川滇黔其他铅锌矿床类似; 而方铅矿富集 Sb、Tl、Cd, 贫 Bi 和 Ag 等元素, 不同于 SEDEX 型矿床, 而与川滇黔地区铅锌矿床中方铅矿微量元素组成基本一致。

上述研究表明, 富乐矿床后生成矿作用明显, 成矿流体属于中低温盆地卤水, 结合矿床产出地质特征, 我们认为云南富乐铅锌矿床属于 MVT 型矿床。该矿床下伏地层是其主要的硫源, 而二叠纪古海水硫酸盐仅提供部分硫。矿床中 Pb、Zn、Ge 等成矿物质主要来源于基底地层, 而二叠纪峨眉山玄武岩可提供部分的 Cu、Ni 等成矿物质。由于成矿流体中 Ge 的丰度相对较低, 难以形成独立矿物, 故以类质同象形式赋存于闪锌矿中, 其替代机制可能为多种复杂的耦合替代形式, 成矿流体中 Cu 的富集, 有利于 Ge 与其耦合替代闪锌矿中 Zn, 从而富集成矿。在此基础上初步总结出该矿床流体混合的成矿模式。

基金项目: 国家自然科学基金项目(批准号: 41673056); 国家重点研发项目(2017YFC0602502); 贵州省科学技术基金重点项目(黔科合基础[2017]1421)

作者简介: 叶霖, 男, 1970 年生, 博士, 主要从事矿床地球化学研究. E-mail: yelin@vip.gyig.ac.cn