

熊耳山地区沙沟银铅锌矿床成矿流体来源的 碳氧同位素证据

李占轲^{1,2}, 李建威^{1,2}

(1 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; 2 中国地质大学资源学院, 湖北 武汉 430074)

熊耳山地区位于华北克拉通南缘, 是中国重要的金、钼成矿区。近年来随着找矿评价和勘查工作的深入, 该地区又先后发现了一批脉状银铅锌矿床(如铁炉坪、蒿坪沟和沙沟), 并围绕这些银铅锌矿床的地质特征、地球化学特征、成矿时代和矿床成因等方面开展了大量研究工作(陈旺等, 1994; 王志光等, 1997; 陈衍景等, 2003; 毛景文等, 2006; 叶会寿, 2006)。对银铅锌矿脉成矿流体性质和来源的研究有助于全面认识其矿床成因和成矿构造背景, 及与区域上其他矿床类型之间可能的成因联系。陈衍景等(2003)研究了铁炉坪矿床的流体包裹体特征和稳定同位素组成, 认为成矿流体起源于沿马超营断裂发生陆内俯冲的海相碳酸盐的变质脱水作用; 相反, 高建京等(2010)通过对沙沟矿床开展详细的流体包裹体研究认为, 该矿床的形成与区内岩浆流体活动有关。本文对沙沟矿床不同成矿阶段的碳酸盐矿物进行较为系统的碳氧同位素分析, 在此基础上结合区域地质背景和前人资料, 对熊耳山地区银铅锌矿床成矿流体的来源进行了探讨。

沙沟矿床位于熊耳山地区西部, 矿体围岩为新太古界太华群变质岩, 矿体分布和产状严格受NE-NNE向断裂构造带控制。矿区内已圈出20多个矿体, 主要集中在S2、S6、S14、S16、S7及S8等六条矿脉内。矿体沿走向和倾向变化较大, 分枝复合、膨大收缩现象明显。在断裂产状较稳定且破碎程度较弱的地段, 矿体多呈薄脉状产出, 与蚀变带及围岩接触界限较为截然; 而在破碎程度较强或是多阶段矿化相互叠加穿插的地段, 矿体一般较厚, 且与围岩接触关系复杂。

详细的野外观察和矿相学研究表明, 沙沟矿床的成矿过程包含4个阶段, 分别为石英-菱铁矿阶段(I)、石英-闪锌矿阶段(II)、石英-银矿物-方铅矿阶段(III)和石英-碳酸盐阶段(IV), 其中II、III阶段为主成矿阶段。金属矿物主要有闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、黄铜矿等, 其次为各类银矿物、毒砂、磁铁矿、辉砷镍矿等; 非金属矿物主要是石英、绢云母及各类碳酸盐矿物, 其次为绿泥石、黑云母、斜长石、角闪石等。与矿化有关的围岩蚀变较发育, 主要的蚀变类型有硅化、绢云母化、绿泥石化和碳酸盐化, 其中硅化、绢云母化与成矿关系最为密切。

沙沟矿床成矿过程中形成了大量碳酸盐矿物, 其中菱铁矿主要产于硫化物矿脉的边部, 属于成矿早阶段的产物; 铁白云石往往和闪锌矿、方铅矿等硫化物共生, 形成于主成矿阶段; 方解石则主要呈晶簇状发育于矿脉边部, 为成矿流体最晚期活动的产物。用于碳氧同位素分析的9件样品均取自沙沟矿床的地下坑道, 包括4件菱铁矿样品、3件铁白云石样品以及2件方解石样品。实验分析结果表明, 第I阶段菱铁矿的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 位于-2.90‰~-2.01‰之间, 均值为-2.58‰; $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 位于10.85‰~11.18‰之间, 均值为11.04‰。主成矿阶段铁白云石的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 位于-1.64‰~-1.39‰之间, 均值为-1.50‰; $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 位于13.38‰~13.77‰之间, 均值为13.58‰。第IV阶段方解石的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 位于-5.18‰~-5.09‰之间, 均值为-5.14‰; $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 位于14.70‰~15.03‰之间, 均值为14.87‰。

由于在所有碳酸盐矿物中均未观察到含 CO_2 三相流体包裹体的存在, 矿区内也未见其他含碳矿物(如

石墨), 表明碳酸盐矿物的碳同位素组成可代表相应阶段成矿流体的碳总同位素组成。将沙沟矿床碳酸盐矿物的碳同位素组成与地球上常见碳储库的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 进行对比可知, 沙沟矿床碳酸盐矿物的碳同位素组成比绝大多数碳储库的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值都要低, 同许多热液矿床中形成的碳酸盐矿物类似 (Rye et al., 1974), 可能反映了碳的深源性 (Faure, 1986)。具体地: 第 I 阶段菱铁矿 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 均值为 -2.58‰ , 与夏威夷火山口 CO_2 喷气 (均值 -3.4‰)、上地幔碳储库 ($-7\text{‰}\sim-5\text{‰}$; Hoefs, 2009) 均较为接近; 主成矿阶段铁白云石 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 均值为 -1.50‰ , 趋于海相碳酸盐岩的范围 ($-2.5\text{‰}\sim-2.0\text{‰}$; Wefer et al., 1991); 第 IV 阶段方解石 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 均值为 -5.14‰ , 具有向大气 CO_2 ($-10\text{‰}\sim-7\text{‰}$; Keeling et al., 1989) 靠近的趋势。

碳酸盐矿物的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}-\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 图解中碳氧同位素组成主要可分为 3 个源区: 上地幔区、海相碳酸盐岩区、沉积有机物区。沙沟矿床碳酸盐矿物的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}-\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 投影点主要位于上地幔区和海相碳酸盐岩区之间, 其中第 I 阶段菱铁矿样品的碳同位素组成靠近上地幔区以及火山喷气线; II、III 成矿阶段铁白云石样品的碳氧同位素组成具有向海相碳酸盐岩源区演化的趋势; 而第 IV 阶段方解石样品的碳同位素相比前阶段则有急剧的下降。

毛景文等 (2006) 获得沙沟矿床的成矿年龄为 $147\sim 145\text{ Ma}$, 认为中国东部中生代构造体制大转折是银铅锌矿床形成的地球动力学背景。地球深部的大规模构造活动促使该地区由挤压体制向伸展体制转变, 幔源流体容易沿深大断裂进入地壳并参与成矿, 这在胶东地区石英脉型-破碎蚀变岩型金矿床和华南地区大规模热液脉型铀矿床的碳同位素研究中均得到了体现 (毛景文等, 2002; Hu et al., 2008)。因此认为, 地幔的 CO_2 脱气可能是熊耳山地区银铅锌矿床早期成矿流体中幔源碳的主要来源。沙沟矿床的赋矿地层主要为太华群石板沟组, 该组地层含有少量大理岩夹层 (河南省地质矿产局, 1989)。含矿热液进入断裂构造带后同围岩发生交代作用, 并与太华群中夹杂的大理岩发生碳氧同位素交换, 是导致主成矿阶段沉淀铁白云石的碳氧同位素增高的主要原因。随后含有大气 CO_2 的浅层大气降水逐渐注入含矿热液 (李占轲, 未发表数据), 不仅造成多金属硫化物的大量沉淀, 同时导致热液中的碳同位素开始减低。随着成矿过程的进行, 富含大气成因 CO_2 的热液不断进入含矿流体, 最终造成晚阶段方解石含有相对较低的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值。

熊耳山地区其他金属矿床的研究也支持成矿流体起源于地幔这一认识。李永峰等 (2005) 对熊耳山地区东部公峪蚀变岩型金矿床开展了详细的 H, O, He, Ar 同位素研究, 其中氢氧同位素显示成矿流体有深源水和大气降水两个来源, 氦氩同位素显示成矿流体中有地幔流体的痕迹, 由此认为金矿床成矿作用与地幔活动有密切联系。卢欣祥等 (2003) 系统总结分析了小秦岭-熊耳山地区多金属矿床近百件样品的碳氧同位素和氢氧同位素组成, 认为早期成矿流体并非来自于变质作用或花岗岩的岩浆活动所形成的流体, 而是起源于地球深部的地幔流体。由此可认为, 熊耳山地区银铅锌矿化与金矿化具有相似的成矿地质背景, 地球深部大规模构造活动促使深部流体向上运移, 可能为该地区的多金属成矿作用提供了流体来源。

参 考 文 献 (略)