

大别山北麓千鹅冲超大型钼矿床地质与成矿流体特征

杨永飞¹, 李诺¹, 糜梅², 徐友灵³, 李法岭³, 万守全³

(1. 北京大学 造山带与地壳演化重点实验室, 北京 100871; 2. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广东 广州 510640;

3. 河南省地质矿产勘查开发局 地调三队, 河南 信阳 464000)

1 矿床地质特征

千鹅冲斑岩钼矿床位于河南省光山县与新县交界处, 大别山北麓, 已探明钼金属储量 60 万 t, 平均品位 0.081%, 其辉钼矿 Re-Os 加权平均年龄为 127.82 ± 0.87 Ma(杨梅珍, 2010), 形成于早白垩世大别造山带进入伸展构造体制时。

矿区出露地层主要为泥盆系南湾组和震旦系-奥陶系下统肖家庙组, 以北西向区域性桐-商断裂为界限。矿区发育一组北西西向次级断裂, 叠加近南北向断裂, 为成矿热液的运移和沉淀提供了有利条件。地表出露闪长玢岩脉、石英钠长斑岩脉和花岗斑岩脉。与成矿密切相关的千鹅冲隐伏岩体侵位于南湾组地层, 由含黑云母花岗斑岩和含黑云母二长花岗岩组成。岩体主要有钾长石、斜长石、石英、少量黑云母以及磁铁矿、钛铁矿、锆石、榍石等副矿物组成, 已知花岗斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 加权平均年龄为 128.8 ± 2.6 Ma(杨梅珍, 2010)。

钼矿体主要赋存于隐伏花岗斑岩体外接触带的南湾组绿帘黑云石英片岩中, 呈不规则透镜体状, 边部分枝尖灭, 东西向延伸约 1500 m, 南北宽 150~900 m, 平均厚度约 300 m。钼矿石类型主要为蚀变绿帘黑云(二云)石英片岩型, 含少量蚀变花岗斑岩型。矿石矿物主要包括辉钼矿、磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿和闪锌矿; 脉石矿物包括石英、钾长石、绿帘石、绢云母、萤石、方解石、绿泥石等。常见叶片状结构、鳞片状结构、交代结构、斑状结构, 浸染状、细脉浸染状、网脉状、角砾状构造。自岩体向外, 发育钾长石化、绢英岩化、高级泥化、青磐岩化、碳酸盐化等典型斑岩蚀变。按矿物组合与脉体穿插关系可将流体成

矿过程分为 4 个阶段: 石英-钾长石-磁铁矿阶段(I)、石英-辉钼矿阶段(II)、石英-方解石-硫化物阶段(III)、碳酸盐阶段(IV)。

2 成矿流体特征

研究样品来自千鹅冲钼矿床 005 钻孔和 703 钻孔的系统采样, 包括不同深度、不同成矿阶段的石英-钾长石脉、石英-钾长石-绿帘石-磁铁矿脉、石英-(钾长石)-磁铁矿-黄铁矿脉、石英-辉钼矿脉、石英-绿泥石-辉钼矿脉、石英-方解石-硫化物脉等。

2.1 流体包裹体岩相学特征及激光拉曼分析

根据流体包裹体成分以及室温下相态, 将千鹅冲钼矿床流体包裹体分为如下 4 类: 纯 CO_2 包裹体(PC 型), 含量极少, 只见于 I 阶段石英脉中, 孤立分布, 多为椭圆形、长条形和负晶形, 颜色较深, 长轴长度约为 $10 \sim 20 \mu\text{m}$, 与 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 型包裹体(见后)密切共生。 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 型包裹体(C 型), 主要为 $\text{V}_{\text{CO}_2} + \text{L}_{\text{CO}_2} + \text{L}_{\text{H}_2\text{O}}$ 三相, 分布于 I、II 阶段的热液石英中, 多呈负晶形、椭圆形、长条形, 孤立分布, 长轴长度集中于为 $5 \sim 20 \mu\text{m}$, CO_2 相体积分数变化于 $20\% \sim 80\%$ 。水溶液包裹体(W 型), 见于成矿各阶段热液石英、方解石中, 孤立分布或成群分布, 主要为负晶形、椭圆形、不规则形和长条形, 长轴长 $5 \sim 30 \mu\text{m}$, 气液比为 $5\% \sim 60\%$ 。含子晶多相包裹体(S 型), 主要见于 I、II 阶段热液石英中, III 阶段热液石英中有少量发育, 多孤立分布, 负晶形、长条形、不规则形; 长轴长度一般 $5 \sim 25 \mu\text{m}$, 气相所占比例一般为 $10\% \sim 40\%$; 可含有一个或多个子矿物。

激光拉曼显微探针分析显示, PC型包裹体由纯 CO_2 组成, 仅见 CO_2 特征峰(1285 cm^{-1} 和 1388 cm^{-1}); C型包裹体中 CO_2 相仅见 CO_2 特征峰(1283 cm^{-1} 和 1387 cm^{-1}), 未见其他成分, 水液相亦仅见宽缓的水峰; W型包裹体成分以 H_2O 为主, 部分产于石英-钾长石-磁铁矿的该类包裹体气相中含少量 CO_2 ; S型包裹体, 液相成分以 H_2O 为主, 气相成分可分为 H_2O 和 CO_2 两种, 子矿物识别出黄铜矿(290 cm^{-1})和方解石(298 cm^{-1} 和 1090 cm^{-1}), 其余透明子矿物无特征峰显示, 不能鉴别。

2.2 流体包裹体显微测温结果及最小捕获压力

流体包裹体显微测温结果显示:

I阶段C型包裹体 CO_2 固相的初熔温度为 $-56.8\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -58.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, 笼合物消失温度为 $5.1\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 9.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 相应盐度为 $2.00\% \sim 8.82\% \text{ NaCl}_{\text{eq}}$; 在 $16.7\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 31.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 部分均一至气相或液相; 爆裂温度为 $266\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 425\text{ }^{\circ}\text{C}$, 未爆裂者在 $295\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 396\text{ }^{\circ}\text{C}$ 均一至液相或气相; 流体密度为 $0.45\text{ } \sim 0.84\text{ g/cm}^3$ 。W型包裹体冰点温度为 $-7.8\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -1.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 对应盐度为 $2.24\% \sim 11.46\% \text{ NaCl}_{\text{eq}}$; 密度为 $0.60\text{ } \sim 0.84\text{ g/cm}^3$, 在 $257\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 均一至液相。S型包裹体加热过程中, 子矿物不熔, 流体相在 $211\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 422\text{ }^{\circ}\text{C}$ 均一到液相; 流体盐度为 $2.07\% \sim 11.58\% \text{ NaCl}_{\text{eq}}$ 。

II阶段C型包裹体 CO_2 初熔温度为 $-57.0\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -59.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 笼合物消失温度为 $6.6\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 8.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, 相应盐度为 $2.20\% \sim 6.37\% \text{ NaCl}_{\text{eq}}$; 部分均一温度变化于 $16.8\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 31.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间, 部分均一至气相, 少量到液相; 爆裂温度为 $262\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 348\text{ }^{\circ}\text{C}$, 完全均一温度介于 $211\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 348\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间, 均一至液相; 流体密度为 $0.53\text{ } \sim 0.83\text{ g/cm}^3$ 。W型包裹体冰点温度为 $-7.4\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, 对应盐度为 $1.06\% \sim 10.98\% \text{ NaCl}_{\text{eq}}$; 加热过程中在 $146\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 370\text{ }^{\circ}\text{C}$ 均一至液相; 流体密度为 $0.62\text{ } \sim 0.97\text{ g/cm}^3$ 。S型包裹体流体相在 $160\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 331\text{ }^{\circ}\text{C}$ 均一到液相; 得到流体盐度为 $1.22\% \sim 10.61\% \text{ NaCl}_{\text{eq}}$ 。

III阶段W型包裹体冰点温度为 $-6.2\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 对应盐度为 $0.53\% \sim 9.47\% \text{ NaCl}_{\text{eq}}$, 加热过程中于 $137\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 均一至液相, 流体密度为 $0.76\text{ } \sim 0.97\text{ g/cm}^3$ 。S型包裹体很少, 流体相均

一到液相, 均一温度为 $143\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 299\text{ }^{\circ}\text{C}$; 流体盐度为 $2.34\% \sim 8.28\% \text{ NaCl}_{\text{eq}}$ 。

根据 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 包裹体的部分均一温度、部分均一方式、部分均一时 CO_2 相所占比例及完全均一温度, 计算获得 I、II 阶段流体包裹体最小捕获压力范围分别为 $15\text{ } \sim 100\text{ MPa}$ 和 $5\text{ } \sim 62\text{ MPa}$, 由此可知干鹅冲钼矿床 I 阶段最大成矿深度应大于等于 4 km , 初始矿化的深度可能较深。

3 讨论及结论

3.1 流体演化与成矿

在 I 阶段初始成矿流体属 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ 体系, 具有高温、高 K、低 NaCl、富 CO_2 以及金属元素的特征, 随温度降低, 该流体系统自然导致黑云母、钾长石、石英等造岩矿物的形成。由 I 阶段流体包裹体组合及测温结果推断早期沸腾导致该阶段大量磁铁矿的沉淀; 同时该阶段流体系统中氧逸度较高, S^{2-} 活度低, 不利于硫化物沉淀, 故系统 Mo 矿化较为微弱。I 阶段的蚀变消耗了热液系统的热量和溶质, 导致流体的温度和盐度降低。由于磁铁矿的大量沉淀, 流体氧逸度大大降低, 导致 $\text{Mo}^{6+} \rightarrow \text{Mo}^{4+}$, $\text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{S}^{2-}$, S^{2-} 活度变强; 碱金属离子和 OH^- 大量消耗, 流体酸性程度增高, 导致 $2\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$, 流体中 CO_2 大量逃逸; $[\text{SiO}_3^{2-}]$ 或 SiO_2 的消耗导致流体粘度降低, 渗透能力增强; 同时大气降水不断加入混合。上述流体性质的一系列变化势必导致以辉钼矿大量沉淀为特征的 II 阶段矿化。随斑岩系统裂隙的大量发育, 高氧逸度的大气降水不断混入成矿流体系统并循环对流, 由斑岩岩浆侵入带来的热能逐渐消耗, 流体氧逸度、酸度不断增高, III 阶段流体已逐步向大气降水热液转变, 主要为低温的方铅矿、闪锌矿、石英和方解石沉淀; 到 IV 阶段已基本转化为大气降水热液, 主要形成方解石脉, 矿化结束。

干鹅冲钼矿床各成矿阶段脉石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $7.1\text{ }^{\circ}\text{‰} \sim 10.2\text{ }^{\circ}\text{‰}$, 与其平衡的成矿热液水的 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $-1.4\text{ }^{\circ}\text{‰} \sim 5.7\text{ }^{\circ}\text{‰}$; 脉石英中包裹体水的 δD 为 $-55\text{ }^{\circ}\text{‰} \sim -72\text{ }^{\circ}\text{‰}$, 氢氧同位素特征也显示成矿热液由岩浆水向大气降水热液演化。

3.2 富 CO₂ 的斑岩成矿流体

千鹅冲钼矿床产于秦岭-大别碰撞造山带内部,斑岩系统成岩成矿作用发生于早白垩世中国东部构造伸展体制,属于典型的陆内斑岩成矿系统。详细的流体包裹体研究表明,千鹅冲钼矿床初始成矿流体亦以高温、富 CO₂ 为特征,其成矿流体性质与我国大陆内部若干典型斑岩矿床的

流体性质可以完全类比。究其原因,认为这些矿床具有相同的物质源区,即均源自大陆地壳的部分熔融,这种相对于大洋壳贫 H₂O、贫 Na、贫 Cl 而高 K、富 F、富碳酸盐地层的陆壳熔融所产生的流体势必以相对贫 H₂O、贫 Cl、贫 Na、富 F、富 K、富 CO₂ 区别于岩浆弧区同类矿床(陈衍景, 2009)。