

西藏冈底斯南缘努日铜钨钼多金属矿床成矿流体与 D、O、S 同位素特征*

陈 雷^{1,2}, 秦克章¹, 李金祥¹, 肖 波^{1,2}, 李光明¹, 赵俊兴^{1,2}, 范 新^{1,2}

(1 中国科学院地质与地球物理研究所 矿产资源研究重点实验室, 北京 100029; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

矽卡岩矿床一般认为是由岩浆侵入体与富碳酸盐地层通过接触交代作用而形成的一套硅酸盐矿物组合, 通常都是产在富碳酸盐地层与岩浆侵入体的接触带附近, 或是产在接触带附近地层的断裂或裂隙中 (Meinert et al., 2005)。由于围岩的成分的不同, 可以将矽卡岩分为钙质矽卡岩和镁质矽卡岩。通常根据矽卡岩中不同硅酸盐矿物出现的顺序, 可将矽卡岩的成岩作用分为 2 个阶段: 矽卡岩的进化形成期 (early prograde) 和矽卡岩的退化变质期 (later retrograde) (Einaudi et al., 1981; Meinert et al., 2005)。

Meinert 等 (2003), Baker 等 (2004) 对矽卡岩的流体包裹体和稳定同位素进行研究后, 表示形成矽卡岩的流体是一种高温 (400~600℃)、中高盐度的流体 ($w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 10%~60%), 成矿流体主要是岩浆流体。同时他们的研究认为形成矽卡岩进化变质期和退化变质期的流体是从结晶的侵入体中分异出来的, 在矽卡岩退化变质期间金属元素的运移和沉淀主要受岩浆流体的控制。但是, Haynes 等 (1988), 赵一鸣等 (1990), 赵斌等 (1995), Bowman (1998), Rubin 等 (1998), Lu 等 (2003) 通过对矽卡岩矿床的流体包裹体和稳定同位素的详细研究表明, 在矽卡岩的退化变质期甚至是早期的进化形成期除了岩浆流体外, 还可以混有其它来源的流体, 如大气降水。因此, 不管是岩浆流体还是其它来源的流体都对矽卡岩的形成和金属元素的沉淀有重要意义。

本次选取位于西藏泽当附近的努日矽卡岩型铜钨钼多金属矿床作为研究对象, 首次详细的研究了努日矿床流体包裹体的显微测温 and 激光拉曼光谱特征, 同时还对矽卡岩中的硅酸盐矿物和硫化物进行了氢氧、硫同位素的研究, 期望能够通过这次研究对努日矿床的成矿流体组成和演化、P-T 条件、成矿物质来源及金属物质的沉淀机制等方面能够有一个全面的理解。

1 矿床地质特征

努日铜钨钼多金属矿床位于冈底斯火山-岩浆弧构造带东段南缘, 属于冈底斯铜钨成矿带的南亚带, 是新近发现的一个大型矽卡岩-斑岩型的铜钨钼多金属矿床。矿区范围内出露有始新世的中酸性侵入体, 主要有石英闪长岩、花岗斑岩、石英闪长玢岩和花岗闪长斑岩等。地层比较单一, 主要是白垩纪的比马组地层, 其间碳酸盐岩受到强烈的热液交代和蚀变作用, 形成层状的矽卡岩, 伴随有强烈的角岩化、硅化、大理岩化等蚀变。矿化类型主要有矽卡岩型、石英脉型矿化, 同时出露有少量的斑岩型矿化, 矽卡岩型矿化主要分布在区内广泛出露的矽卡岩中, 主要发生有铜矿化、钨矿化和钼矿化, 同时也发育有钨钼、铜钨钼复合矿化, 矽卡岩中包含有大量石榴石、透辉石、硅灰石、阳起石、绿帘石等, 及少量的符山石、方柱石、透闪石等矿物。矿石矿物主要有黄铜矿、黄铁矿、辉钨矿、白钨矿、斑铜矿等, 呈浸染状分布于矽卡岩中。石英脉型矿化主要呈脉状、网脉状产出, 穿插在粉砂岩、碳酸盐、石英闪长岩及早期形成的一些矽卡岩型矿石中。这种类型的矿体主要发育铜矿化和钨矿化, 伴随有很弱的钼矿化。矿石矿物主要是黄铜矿、黄铁矿、辉钨矿和黝铜矿。斑岩型矿化主要产在石英闪长岩及闪长玢岩中, 矿石主要呈浸染状产出, 目前这种类型的矿化规模较小, 但是通过地球物理等方法的研究表明在声部这种类型的矿化具有很大的前景。地表的氧化矿石中形成了大量的孔雀石和铜蓝。根据矿体的相互穿插关系, 努日多金属矿床的成矿作用可分为 4 个成矿阶段, 分别是: (I) 石榴石矽卡岩阶段、(II) 白钨矿化阶段、(III) 石英-多金属硫化物阶段和 (IV) 石英-方解石-黄铁矿阶段, 本次研究分别选取了不同成矿阶段的石榴石、白钨矿和石英进行了包裹体显微测温实验。

2 流体包裹体及氢、氧、硫同位素研究

*本文受中国冶金地质总局“冈底斯东段南部矽卡岩-斑岩 Cu-Au-Mo 矿床成矿模式及成矿条件综合研究”资助
第一作者简介 陈 雷, 男, 1982 年生, 博士研究生, 矿床地质学专业。Email: chenlei@mail.iggcas.ac.cn
通讯作者 秦克章, 研究员、博导, 从事造山带与成矿作用研究。Email: kzq@mail.iggcas.ac.cn

通过镜下观察,发现矿区内存在有四种类型的包裹体,分别是:气液两相包裹体(I类)、含子矿物三相包裹体(II类)、富 CO_2 包裹体(III类)和单相包裹体(IV类)。各个不同成矿阶段不同类型的包裹体均一温度在 $280\sim 386^\circ\text{C}$ (石榴石矽卡岩阶段), $200\sim 340^\circ\text{C}$ (白钨矿化阶段), $140\sim 375^\circ\text{C}$ (石英-多金属硫化物阶段)及 $160\sim 280^\circ\text{C}$ (石英-方解石-黄铁矿阶段),对应的各阶段的盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 分别为 $2.9\%\sim 49.7\%$, $2.1\%\sim 7.2\%$, $2.6\%\sim 55.8\%$ 及 $1.2\%\sim 15.3\%$ 。测试结果说明在矿化过程中成矿流体的盐度是在逐渐降低。通过对富 CO_2 包裹体和 $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ 系统的相图分析,成矿流体的压力主要集中在 $50\times 10^5\sim 250\times 10^5\text{ Pa}$ 。对各个不同成矿阶段的包裹体进行了激光拉曼光谱分析,显示包裹体成分主要是以 H_2O 为主,同时也含有 CO_2 和极少量的 N_2 、 CO 等成分。选取不同成矿阶段的石榴石、白钨矿及石英进行了氢氧同位素测定,结果表明:石榴子石的 δD 为 $-114.4\permil\sim -108.7\permil$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 在 $5.9\permil\sim 6.7\permil$ 之间,白钨矿的 δD 为 $-103.2\permil\sim -101.29\permil$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 在 $2.17\permil\sim 4.09\permil$ 之间,而石英的 δD 为 $-110.2\permil\sim -92.5\permil$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 在 $-3.5\permil\sim -4.3\permil$ 之间,表明形成早期矽卡岩阶段的石榴子石等矿物的流体可能来自于深部的岩浆热液,在上升的过程中与地层围岩中的大气水发生了混合作用,使得早期含矿热液的 δD 发生了偏移,随着流体的上升,混入的大气水逐渐增多,形成了后期的石英等矿物。同时对不同类型矿体中的黄铜矿、黄铁矿和辉钼矿进行了S同位素测定,显示 $\delta^{34}\text{S}$ 值集中在 $-0.32\permil\sim 1.08\permil$ 之间,说明硫同位素在各个硫化物中分馏程度较小,具有典型岩浆源特征。通过对矽卡岩中不同的矿物组合进行研究,发现努日矿床的成矿流体在演化过程中,氧逸度是逐渐降低,硫逸度逐渐升高,这也与矽卡岩中后期硫化物含量增减而白钨矿含量减少相对应。

3 成矿流体性质、演化及成矿作用

努日矽卡岩型铜钨钼多金属矿床与国内外众多岩浆成因矽卡岩矿床相比有一些共同特点,但又有许多差异。例如,典型的岩浆成因矽卡岩型矿床中普遍存在熔融包裹体、熔-流包裹体和含子矿物包裹体,尤其是熔融包裹体和熔-流包裹体,这两类包裹体是在岩浆缓慢冷却结晶过程中捕获的;成矿过程中流体发生过明显的沸腾作用或是不混溶作用(赵斌等,1995;赵一鸣等,1990;Wang et al., 2001)。努日矿床的流体包裹体以气液两相包裹体为主,少量的含子晶矿物的多相包裹体,不发育熔融包裹体或熔-流包裹体。努日矿床中,同一矿物颗粒中经常可以发现不同的包裹体组合共生。这种不同类型包裹体共生的现象说明它们可能捕获于一种不均匀的流体状态(Shepherd et al., 1985),这种现象可能是由于流体的不混溶或沸腾而产生的相分离造成的。岩相学观察和显微测温结果显示,早期的矽卡岩阶段石榴石中的高盐度的II类包裹体的均一温度($420\sim 470^\circ\text{C}$),与I类包裹体的均一温度范围($260\sim 564^\circ\text{C}$)有一定的重叠区域,但是高盐度的II类包裹体常常是单独产出,很少出现与I类包裹体共生的现象,且I类包裹体以富液相包裹体占多数,这些都说明了在早期矽卡岩阶段成矿流体可能发生了不混溶作用;石英-硫化物阶段的I类、II类、III类和IV类包裹体也常常共生在一起,并且I类、II类、III类包裹体的均一温度范围也有很大的重叠区域,尤其是大量富气相包裹体的出现,如:富 CO_2 的III类包裹体和单气相的IV类包裹体,说明这些流体包裹体是在相对富气相的环境中捕获的。同时可以发现石英中各种类型包裹体共生的现象比较普遍,而且含子晶多相包裹体最终都是通过子晶矿物的消失而均一的,这些都说明了努日矿床在这个过程中发生了沸腾作用,使得成矿流体发生了相分离,产生了高密度的水溶液包裹体和低密度的富 CO_2 包裹体,同时 CH_4 、 N_2 等成分也趋向于在富 CO_2 相中富集。氢氧同位素的研究及不同阶段流体包裹体盐度-聚义温度演化趋势也表明这个阶段中围岩中的大气降水与成矿流体也发生了不混溶作用。

结合流体包裹体特征和D、O、S同位素结果表明,努日多金属矿床的成矿流体是由含有一定金属元素的,中高温、中等盐度的源于岩浆水的流体混合了大量的低温、低盐度的大气水而形成的。成矿早期为含有一定金属成矿元素的中高温、中等盐度的流体,这种流体可能是源自于超浅成的侵入体分异出的含矿流体,在没有经过大量聚集和水/岩反应的情况下与大气水发生混合,混合后的流体在流经围岩的过程中,沿着层间薄弱带交代碳酸盐岩形成了矿区内呈层状产出的矽卡岩,并释放出来大量的 CO_2 等气体。在反应过程中,整个系统中气体的含量和压力不断升高,导致成矿流体发生了沸腾作用并形成了一系列的裂隙,这也使得大量的大气水下渗,与成矿流体发生了大规模的混合,使整个成矿系统的P-T、pH值、氧逸度及其他的物理化学条件发生了变化,形成了铜、钨和钼的矿化。随着大气水的不断混入,成矿物质的逐渐减少,形成了不含矿或少量硫化物的石英-碳酸盐脉。在成矿流体的演化过程中, CO_2 等气体的逸出对于钨的沉淀具有重要的作用。同时,流体的沸腾和两种流体的不混溶作用对于黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿及其他硫化物的沉淀具有重要的意义。

参考文献(略)