

滇西北羊拉铜矿流体演化与成矿过程

朱经经* 胡瑞忠 毕献武

中国科学院地球化学研究所 贵阳 550081

羊拉铜多金属矿床（以下简称羊拉铜矿）位于云南省西北部，大地构造位置上处于金沙江缝合带中段，为西南“三江”成矿带古特提斯成矿域的重要代表。关于其成因类型，长期存在“同生”或“矽卡岩型”两种不同看法。矿床地质特征表明，该矿床的矿体以矽卡岩型为主，并呈层状—似层状赋存于泥盆系大理岩和变质石英砂岩地层层间。矿石亦以矽卡岩型为主，同时含有角岩化变质石英砂岩型、石英—金属硫化物型及大理岩型矿石。其中角岩化变质石英砂岩型及大理岩型矿石均发育脉状—网脉状矿化，表明成矿晚于地层，而石英—金属硫化物型矿石中常发现石榴子石、辉石等矽卡岩矿物的残余，暗示其应与矽卡岩型矿石为同期热液体体系的产物。通过矿物交代、穿插关系，将成矿期划分为矽卡岩期（成矿前）、石英—金属硫化物期（主成矿期）和方解石—硫化物期（成矿晚期），其中矽卡岩期分为早、晚两阶段，早矽卡岩阶段，亦称干矽卡岩阶段，以发育石榴子石—辉石为特征；晚矽卡岩阶段，亦称湿矽卡岩阶段，产出一系列含水矿物，如铁闪石—阳起石系列、绿帘石、绿泥石等；随后石英—金属硫化物阶段以黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿等矿物的产出为主，另含少量斑铜矿、方铅矿、闪锌矿等；成矿晚期主要产出方解石、方铅矿、闪锌矿等。

矿区贝吾、里农和路农花岗闪长岩体与铜成矿关系密切，其均侵入到上覆泥盆系地层中，矿体则主要产出于岩体与围岩的外接触带。SIMS 锆石 U-Pb 定年结果显示，贝吾、里农和路农岩体分别侵入于 233.9 ± 1.4 Ma (2σ)、 233.1 ± 1.4 Ma (2σ) 和 231.0 ± 1.6 Ma (2σ)。通过辉钼矿 Re-Os 同位素定年，获得羊拉铜矿的成矿年龄为 232.0 ± 1.5 Ma，这与花岗闪长岩体的成岩年龄在误差范围内一致。各种类型矿石的金属硫化物具有高度一致的 S 同位素组成， $\delta^{34}\text{S}$ 值介于 -1.9% 和 2.6% 之间；Pb 同位素与花岗闪长岩体一致，且显著不同于围岩和矿区玄武岩的 Pb 同位素组成，表明成矿物质来源于岩浆。方解石形成于两个阶段，早阶段方解石具有较低的 C-O 同位素组成，其中 $\delta^{13}\text{C} = -5.3\% \sim -5.9\%$ ，而 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $7.2\% \sim 12.7\%$ ；晚阶段方解石大部分 $\delta^{13}\text{C}$ 值介于 -3.2% 和 -3.7% 之间， $\delta^{18}\text{O}$ 值较均一为 $14.9\% \sim 18.0\%$ 。通过水岩反应理论模拟，获得成矿流体的 C-O 同位素分别为： $\delta^{13}\text{C} = -5\%$ ， $\delta^{18}\text{O} = 7.5\%$ ，暗示成矿流体亦来源于岩浆。

流体包裹体研究发现两次流体沸腾现象：成矿前石榴子石和透辉石中发育共生的高盐度（49 wt% NaCl）和气相包裹体，它们具有相似的均一温度（560–600℃），计算获得捕获压力为 600 bar，静岩压力下对应深度为 ~ 2 km；主成矿期石英中发育共生的气相和液相包裹体（4.2 wt% NaCl），同样具有相似的均一温度（350℃），计算获得的捕获压力为 200 bar，静水压力下对应深度亦为 ~ 2 km。成矿后方解石中发育的流体包裹体均一温度（250℃）和盐度（4.6 wt% NaCl）均较低。据此，我们将羊拉铜矿流体演化和成矿过程简述如下：与花岗闪长岩有关的浅部岩浆房随着分离结晶，发生流体早期出熔，该流体上升过程中在 2 km 左右发生相分离，此时温度较高，金属硫化物没有发生沉淀；而晚阶段流体出熔，由于地温梯度的升高，流体沸腾发生在较晚阶段，由于此时温度较低，金属在流体中溶解度较低，从而触发金属硫化物的饱和沉淀，进而形成羊拉铜矿床。