

冈底斯驱龙巨型斑岩 Cu-Mo 矿床富 S、高氧化性成矿岩浆特征*

肖波^{1, 2}, 秦克章¹, 李光明¹, 李金祥¹, 夏代祥³, 陈雷^{1, 2}, 赵俊兴^{1, 2}

(1 中国科学院矿产资源研究重点实验室, 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3 西藏巨龙铜业有限公司, 西藏 拉萨 850030)

西藏冈底斯成矿带上的驱龙 Cu-Mo 矿床是一处典型斑岩 Cu-Mo 矿床。初步结果显示其铜矿资源量已超过藏东玉龙铜矿(650 万吨)和江西铜厂铜矿(500 万吨), 亦已成为我国第一大铜矿。矿区范围内多期次中酸性岩浆侵入到叶巴组地层中, 从早到晚依次为: 花岗闪长岩((19.5±0.4) Ma); 黑云母二长花岗岩((16.35±0.40) Ma); 二长花岗斑岩((17.58±0.74) Ma); 花岗闪长斑岩(侵入黑云母二长花岗岩中)(17.7±0.3) Ma(即 X 斑岩); 巨斑石英闪长玢岩((15.7±0.2) Ma); 构成了一个复杂的浅成岩浆成矿系统。中新世岩石均具有埃达克质岩石的地球化学特征。矿体呈半隐伏-隐伏状产出, 矿体主要赋存于黑云母二长花岗岩、二长花岗斑岩、花岗闪长斑岩中, 矿化为典型的细脉浸染状、细脉状。驱龙矿床辉钼矿 Re-Os 年龄为 16.41 Ma; 15.82~16.85 Ma; (15.99±0.32) Ma。其形成于印度板块与欧亚板块碰撞造山过程的晚期阶段。其形成环境不同于产出在岛弧和陆缘弧背景的经典斑岩铜矿床。

驱龙矿区发育有丰富的热液硬石膏, 主要以角砾岩中的胶结物及各种硬石膏±石英+硫化物脉的形式产出。手标本上多为紫红色, 偶见淡蓝色及无色透明, 其中发育大量呈负晶形(立方体)的气液两相包裹体。

岩浆硬石膏是指直接从硅酸盐熔体中结晶的硬石膏, 与硅酸盐熔体达到平衡。目前, 仅在美国新墨西哥州的 Santa Rita 斑岩型 Cu 矿床和智利的 El Teniente 斑岩型 Cu-Mo 矿床中有关于岩浆硬石膏的报道。这两处矿床中, 对硬石膏的 S 同位素研究也证实其为岩浆来源。岩浆硬石膏的出现, 对于指示成岩/成矿母岩浆的性质具有重要的、特征性指示意义。驱龙斑岩 Cu-Mo 矿区中新世各类侵入岩石均含有岩浆硬石膏; 通过详细的岩相学观察, 首次发现在驱龙矿区中新世各类侵入岩中均发育有岩浆成因的硬石膏, 尤其在成矿主岩——二长花岗斑岩和花岗闪长斑岩中最为发育。驱龙矿区岩浆硬石膏的岩相学特征是: 镜下岩相学上清楚地显示, 一些新鲜的长石矿物颗粒中含有硬石膏的包裹体; 其次, 岩浆成因的硬石膏与岩石中的其他主要矿物均为原生相, 与石英、长石等矿物在同一空间同时结晶, 呈平整接触关系; 最典型的是在新鲜的花岗闪长斑岩中, 岩浆硬石膏以粒度不等(0.2~5 mm)的斑晶形式产出, 伴有磷灰石在其边部或被包裹在其中; 斑晶硬石膏的颗粒边界往往不平整, 被基质硅酸盐溶蚀成港湾状。与岩浆硬石膏密切共生的氟磷灰石 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$, 含少量的 Cl, 其中 Ca 主要是被 Ce 不完全类质同象替代。磷灰石中, SO_4^{2-} 替代 PO_4^{3-} 。驱龙矿床的磷灰石中 SO_3 含量为 0.11%~0.44%, 平均为 0.20%, 明显大于江西铜厂斑岩铜矿中岩浆期磷灰石的 SO_3 含量 0.10%, 也略大于其主成矿期的 0.18%。驱龙矿床中与岩浆硬石膏共生的这种富 S 磷灰石同样表明其母岩浆具有富 S、高氧逸度、富挥发分的特征。

1 岩浆硬石膏——富 S、高氧逸度岩浆的成矿意义

实验研究表明硫在硅酸盐熔体中的溶解行为与其氧化状态紧密相关, 主要以硫化物(还原态 S^{2-})和硫酸盐类(氧化态 SO_4^{2-})的形式存在。在低氧逸度条件下, S 只能以 S^{2-} 形式存在于岩浆中, S^{2-} 在硅酸盐熔体中溶解度低, 因而在低氧逸度条件下结晶分异的岩浆易达到还原硫饱和, 硫化物得以析出。如果岩浆经历早期硫化物分离, 那么大部分 Cu、Mo、Au 进入早期堆晶岩中的硫化物相中, 而难以进入晚期岩浆热

*本文得到全国危机矿山替代资源找矿项目(编号: 20089932)、国家自然科学基金(编号: 40772066)、国家“十一五”科技支撑计划项目(编号: 2006BA01A04)和西藏巨龙铜业有限公司的联合资助联合资助成果。

第一作者简介 肖波, 1983 年生, 博士研究生, 矿床学专业。Email: xiaobo06@mail.iggcas.ac.cn

液流体中,从而不利于硫化物的富集成矿。在较高氧逸度条件下, S 主要以 SO_4^{2-} 和 SO_2 存在于岩浆中,氧化态的 S 在岩浆中溶解度很大。

驱龙矿床的二长花岗斑岩体出露面积不大于 1 km^2 。因此要形成如此大面积的蚀变和巨量的成矿物质堆积,其母岩浆性质一定有其特殊性。驱龙矿床中岩浆硬石膏以及与之共生的富 S 磷灰石的出现明确指示其成矿母岩浆具有富 S、高氧逸度的特征。实验岩石学证实:任何成分的硅酸盐岩浆只要含有足够多的 S,在氧逸度大于 Ni-NiO 缓冲剂 $\log 0.5$ 个单位的情况下都可以有硬石膏的结晶。后期存在大量的热液硬石膏,说明该矿床中成矿流体较早的从岩浆体系中出溶,否则,岩浆硬石膏的含量可能会更多。

2 流体包裹体

驱龙斑岩 Cu-Mo 矿床中各种典型的脉系都很发育,脉系中流体包裹体极其丰富,根据室温下的包裹体中物相组成和加热时均一行为分类,将驱龙矿床中的流体包裹体分 3 种类型:即气-液包裹体(类型 1)、富气相包裹体(类型 2)和多相包裹体(类型 3),根据相组成又可进一步分为 9 个亚类;未发现典型的 CO_2 的包裹体。测温结果总结表 1 所示:

表 1 驱龙斑岩 Cu-Mo 矿床中不同脉系中流体包裹体均一温度-盐度表

产 状	包裹体类型	均一温度/ $^{\circ}\text{C}$	w(NaCl_{eq})/%
石英斑晶	1a,b	215-496,ave. 365	1.91-22.38,ave. 10.94
	2a	390-505,ave. 462	10.49-14.25,ave. 12.69
	3a,b	222-510,ave. 341	33.03-62.45,ave. 42.10
A 脉	1a,b	248-489,ave. 357	4.03-23.18,ave. 13.00
	2a,b	350-553,ave. 415	6.45-23.05,ave. 17.55
	3a,b,c,e	251-560,ave. 362	26.24-67.33,ave. 42.95
B 脉	1a,b	204-418,ave. 351	1.74-23.7,ave. 11.71
	2a	340-530,ave. 435	5.86-21.11,ave. 15.14
	3a,b,c,d,e	219-535,ave. 334	30.70-55.79,ave. 40.26
D 脉	1a	196-376,ave. 289	2.41-8.41,ave. 5.28
	3a	238-308,ave. 263	33.95-38.79,ave. 35.63

从上表中流体包裹体的测温结果可以看出:驱龙矿床中,流体演化从早期到晚期,与流体发生水岩反应的围岩性质没有变化(围岩始终是黑云母二长花岗岩)、主要成矿期的 A 脉和 B 脉中包裹体的类型没有明显变化、包裹体的温度、盐度、捕获压力变化不明显;因此造成 Fe、Cu 等的 S 化物大量沉淀的机制最有可能是:由于硬石膏和磁铁矿的大量集中沉淀析出以及,造成高氧化的岩浆流体中 SO_4^{2-} 的减少以及流体氧逸度的降低,即流体由较高氧化状态迅速转换为相对还原的状态,流体中的 S 由 SO_4^{2-} 为主导转变为以 S^{2-} 为主导, S 的溶解度大大降低,从而使 Fe、Cu 等的 S 化物集中沉淀、成矿。造成流体的盐度和温度明显下降,形成晚期的 D 脉以及造成相应的黑云母二长花岗岩和叶巴组火山岩中发生弱硅化-绢云母化、绿泥石化、少量碳酸盐化蚀变。

3 结论与讨论

在西藏冈底斯带上,中新世的岩浆活动频繁,驱龙巨型的斑岩 Cu-Mo 矿床的成矿岩浆及流体具有以下特征:

(1) 驱龙矿区内,成矿早期的花岗闪长岩、黑云母二长花岗岩,主成矿期的二长花岗斑岩、花岗闪长斑岩中,均发育有不同产状的岩浆硬石膏,并往往有富 S 磷灰石共生。岩浆成因硬石膏及富 S 磷灰石的出现,表明驱龙矿床的成矿母岩浆具有富 S、高氧逸度特征, S 在该岩浆体系中存在氧化态的 SO_4^{2-} 形式。这种富 S、高氧逸度的岩浆具有很大的携带 Cu、Mo 等成矿元素的潜力,进而才有可能提供巨量的成矿物质。

(2) 驱龙矿床中后期普遍发育的热液硬石膏和磁铁矿,同样表明其成矿流体继承了这种富 S、高氧逸度的特征。造成黄铜矿、黄铁矿等 S 的还原态矿物大量沉淀成矿的原因可能不是由于流体温度的变化;而可能是流体演化过程中,硬石膏、磁铁矿的沉淀改变了流体的氧化还原状态。