

# 斑岩型铜（金）矿床成矿元素析出新机制及找矿意义\*

梁华英<sup>1</sup>, 莫济海<sup>2</sup>, 胡光黔<sup>1</sup>

(1 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 五山 510640; 2 广东省核工业地质局, 广州 花都 510800)

斑岩型矿床一直是矿床领域的研究热点之一。当前斑岩矿床成矿模式主要有两种: ① 基于 B 型俯斑岩矿床研究, 建立了被广泛接受为岩浆弧背景的斑岩矿床成矿模型 (Sillitoe et al., 1972); ② 基于青藏高原斑岩矿床的研究, 提出大陆碰撞斑岩成矿模式 (Hou et al., 2009)。对中酸性岩浆系统中成矿元素沉淀析出控制因素作了很多工作, 提出温度降低、不同来源流体混合、水岩反应等在成矿元素沉淀析出过程中起着重要的作用 (Hedenquist et al., 2002)。我们研究结果表明, 斑岩铜金矿床成矿过程中发生磁铁矿化, 在成矿元素沉淀析出中起着重要作用 (Liang et al., 2009)。

## 1 斑岩铜金矿床磁铁矿化与成矿元素沉淀析出

现有研究表明, 斑岩铜金矿床成矿岩浆多为富水高氧逸度岩浆, 这主要是由铜元素的化学性质决定的。硫在岩浆中主要以 $S^{2-}$ 或 $SO_4^{2-}$ 形式存在。在低氧逸度岩浆中硫主要以 $S^{2-}$ 形式存在, 在高氧逸度岩浆中以 $SO_4^{2-}$ 形式存在。 $S^{2-}$ 在岩浆中溶解度低 (Carroll et al., 1985), 易达还原硫饱和, 硫化物释出。Cu在硫化物相和硅酸盐熔体之间的分配系数很大,  $D_{Cu}^{硫化物/硅酸盐熔体}=550\sim 10000$  (Halter et al., 2002)。如果岩浆经历早期硫化物分离, 那么岩浆中绝大部分铜元素进入早期结晶硫化物相中, 而难以进入岩浆晚期岩浆-热液流体中, 不利于斑岩铜矿床的形成。在较高氧逸度条件下, 岩浆中的硫主要以 $SO_4^{2-}$ 存在于岩浆中, 氧化态硫在岩浆中溶解度较高 (Gaetani et al., 1997), 岩浆中不易达硫饱和, 即使达硫饱和亦只形成不富铜的石膏矿物, 岩浆中的铜在岩浆结晶分异过程中富集。

我们在玉龙斑岩铜矿带成矿岩体石英斑晶中发现石膏子矿物及在我国多个斑岩铜矿床中发现成矿早期发育赤铁矿, 以及很多斑岩矿床中发现岩浆阶段石膏等也表明, 斑岩铜金矿床成矿岩浆为高氧逸度岩浆, 岩浆期至成矿早期硫主要为氧化态硫。斑岩矿床在成矿时, 发生大量硫化物堆积, 硫主要是还原态硫。斑岩铜金矿床中硫同位素表明, 成矿系统中的硫主要来自岩浆岩。因此, 在成矿早期, 硫从氧化态硫还原成还原态硫, 为硫化物大量堆积提供还原态硫, 是成矿的关键条件。分析成矿系统硫从氧化态硫还原成还原态硫对深入了解斑岩铜（金）矿床成矿元素大规模堆积的制约机制有着重要的意义。

与中酸性岩浆作用有关矽卡岩型铜（金）矿床成矿早期多发生磁铁矿化, 斑岩型铜（金）矿床在成矿早期钾化阶段也多发生磁铁矿化。磁铁矿 ( $Fe_3O_4$ ) 由氧化铁 ( $Fe_2O_3$ ) 和氧化亚铁 ( $FeO$ ) 组成, 约 2/3 为  $Fe^{3+}$ , 1/3 为  $Fe^{2+}$ 。斑岩矿床中见磁铁矿交代早期结晶析出的角闪石及云母等富还原铁矿物, 这个过程可使岩浆系统中的氧化态硫还原成还原态硫 ( $12[FeO] + H_2SO_4 = 4Fe_3O_4 + H_2S$ ), 有利于斑岩成矿系统中硫化物的沉

\*中国科学院重大项目 (KZCX1-YW-15-3)、国土资源部深部矿产资源立体探测技术及实验研究 (SinoProbe-03-01) 及国家自然科学基金 (40772054) 资助

淀析出；在钾化阶段浸染状磁铁矿和钾长石紧密共生，钾化阶段磁铁矿结晶析出，也可使成矿系统中氧化态硫还原成为还原态硫（ $8\text{KFe}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = 8\text{KAlSi}_3\text{O}_8 + 8\text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{S}$ ），为硫化物大规模结晶析出提供了丰富的物质基础；此外，岩浆热液系统中的铁在高压条件下以气相形迁移（Simon et al., 2004），主要以气相迁移的亚铁被氧化形成磁铁矿（ $\text{FeCl}_2 + 12\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{SO}_4 = 4\text{Fe}_3\text{O}_4 + 24\text{HCl} + \text{H}_2\text{S}$ ），也使岩浆中的氧化态硫还原成为还原态硫，有利于硫化物结晶析出。因此，斑岩铜金矿床成岩成矿系统在成矿早期发生磁铁矿化，使岩浆系统中氧化态硫还原成为还原态硫，为硫化物大量析出提供充足的物质基础，在斑岩铜金矿床形成中起着重要的作用。

## 2 斑岩矿床找矿方向

斑岩矿床在成矿过程中发生磁铁矿化，使成矿系统中氧化态硫还原成为还原态硫，成矿斑岩多富磁铁矿，因此，高磁化率岩体是斑岩铜金矿床主要找矿靶区。但我们观察发现，斑岩矿床在绢云母化时，磁铁矿会被黄铁矿交代，磁铁矿含量降低。钾化叠加绢云母化是斑岩铜金矿床富矿体主要产出部位，斑岩铜金矿床富矿部位磁化率降低。综上所述，斑岩铜金矿床找矿方向是：先找高磁化率岩带，圈出重要潜在成矿岩体，在高磁化率岩带中寻找低磁化率区，确定重要成矿部位。

### 参考文献

- Carroll M R and Rutherford M J. 1985. Sulfide and sulfate saturation in hydrous silicate melts, in Proc 15th Lunar and Planetary Science Conf, part 2 [J]. J. Geophys Res Suppl, 90: C601-612.
- Gaetani G A and Grove L T. 1997. Partitioning of moderately siderophile elements among olivine, silicate melt, and sulfide melt: constraints on core formation in the Earth and Mars [J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 61: 1829-1842.
- Halter W E, Pettke T, Heinrich C A. 2002. The origin of Cu/Au ratios in porphyry-type ore deposits [J]. Science, 296: 1844-1846.
- Hedenquist J W, Arribas A J, and Reynolds T J. 2002. Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system; Far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines [J]. Econ. Geol., 93: 373-404.
- Hou Z Q, Yang Z M, Qu X M, Meng X G, Li Z Q, Beaudoin G, Rui Z Y, Gao Y F, Zaw K. 2009. The Miocene Gangdese porphyry copper belt generated during post-collisional extension in the Tibetan Orogen [J]. Ore Geology Reviews, 36: 25-51.
- Liang H Y, Sun W D, Su W C, Zartman R E. 2009. Porphyry copper-gold mineralization at Yulong, China, promoted by decreasing redox potential during magnetite alteration [J]. Economic Geology, 104: 587-596.
- Sillitoe R H. 1972. A plate tectonic model for the origin of porphyry copper deposits [J]. Econ. Geol., 67: 184-197.
- Simon A C, Pettke T, Candela P A, Piccolli P M and Heinrich C A. 2006. Copper partitioning in a melt-vapor-brine-magnetite-pyrrhotite assemblage [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 70: 5583-5600.