

## • 板块俯冲的化学过程与成矿 •

## 与俯冲有关的甘肃黑山铜镍硫化物矿床成因探讨

颀 炜<sup>1,2</sup>, 宋谢炎<sup>1</sup>, 邓宇峰<sup>1</sup>, 陈列锰<sup>1</sup>, 郑文勤<sup>1</sup>, 张晓琪<sup>1</sup>, 栾燕<sup>1</sup>,  
王玉山<sup>3</sup>, 巴多恒<sup>3</sup>, 马波<sup>3</sup>, 张超波<sup>3</sup>, 俞军真<sup>3</sup>, 周河<sup>3</sup>, 李东<sup>4</sup>

1. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002;  
2. 中国科学院 广州地球化学研究所 同位素地球化学国家重点实验室, 广州 510640;  
3. 金川有限责任公司, 甘肃 737100; 4. 河南省航空物探并遥感中心, 郑州 450000

目前, 世界上超大型岩浆硫化物矿床(如俄罗斯的Noril'sk和中国金川)多形成于与地幔柱或大陆裂谷有关的地质背景, 与成矿有关的幔源岩浆往往具有许多类似于洋岛玄武岩(OIB)的地球化学特征(Naldrett et al., 2004; Begg et al., 2010; Maier and Groves, 2011; 宋谢炎等, 2010)。但近年来的研究发现也有一些矿床的形成与受俯冲事件改造的交代地幔的部分熔融有关, 它们形成于汇聚板块边缘环境, 如西班牙的Aguablanca矿床、非洲的Botswana矿床等(Casquet et al., 2001; Piña et al., 2006; Maier et al., 2008)。这些研究成果表明在造山带也可能发现有重要经济价值的岩浆硫化物矿床, 深入研究这些矿床形成的地质背景具有非常重要的意义。黑山含铜镍硫化物矿床基性-超基性岩体位于中亚造山带南缘北山褶皱带东部, 侵入于青白口系大豁落山群地层中, 岩体主要岩相为方辉橄榄岩和二辉橄榄岩。以国内标准划分, 黑山铜镍硫化物矿床Ni储量达到大型, Cu储量小型, 平均品位: Ni 0.6%、Cu 0.27%。其中以1号和4号矿体规模最大。锆石U-Pb年龄(~357 Ma), 以及具有MORB和岛弧双重特征的微量元素和Sr-Nd-Pb同位素的研究表明黑山岩体形成于板片俯冲环境, 并与俯冲板片拆离、软流圈上涌有关(Xie et al., 2012)。因此, 黑山含矿岩体是研究中亚造山带南缘与俯冲有关的铜镍硫化物矿床成矿特征一个非常好的例子。

黑山1号矿体的硫化物主要为稀疏浸染状硫化物, 4号矿体主要为浸染状硫化物和少量的海绵陨铁状硫化

物。4号矿体硫化物含量虽然比1号矿体富集, 但100%硫化物以后, 4号矿体的PGE含量却比1号矿体低, 并且具有更高的Cu/Pd和 $\delta^{34}\text{S}$ 比值、低的Se/S比值, 表明两个矿体是由两个截然不同的硫化物乳珠形成。通过R因子公式模拟计算表示, 形成黑山1号和4号矿体的母岩浆应含120 ppm Cu, 0.04 ppb Ir和1 ppb Pd, 并且两矿体的R因子分别为4000-8000和700-1600。假设黑山原始岩浆为OIB类型的PGE不亏损岩浆, 计算可得1号和4号矿体需分别发生0.003%和0.005%的硫化物前期融离, 方可形成PGE含量总体偏低的黑山矿床。从物理学角度研究, 如此少量的硫化物很难残存在深部岩浆通道中, 而使得上升母岩浆发生PGE亏损。故我们认为形成黑山母岩浆很可能为: 1) 来自于PGE亏损的地幔源区, 2) 地幔低部分熔融导致硫化物溶解不完全残存在地幔中。Xie et al. (2012) 研究表明黑山岩体形成于板片俯冲环境, 并与俯冲板片拆离、软流圈上涌有关。其地幔源区不同于原始地幔, 由于受到俯冲板片俯冲时析出的流体或板片熔体的交代作用, Cu也许会富集而PGE亏损(McInnes et al., 1999; McDonough and Sun, 1995; Seedorf et al., 2005; Sun et al., 2011)。然而现今的研究也很难排除地幔低部分熔融导致母岩浆PGE亏损的可能, 地幔楔源区的PGE地球化学行为以及硫化物的融离机制还有待进一步的研究。

基金项目: 自然科学基金重点基金(40730420, 40973038); 中科院“百人计划”; 中科院知识创新方向性项目(KZCX2-YW-Q04)和矿床地球化学国家重点实验室课题(KCZX20090105)资助