

# 冷水箐 Cu-Ni 硫化物矿床 PGE 和 Re-Os 同位素地球化学特征及成矿意义

苟体忠<sup>1,2</sup>, 钟宏<sup>1</sup>, 朱维光<sup>1</sup>, 漆亮<sup>1</sup>, 冷成彪, 吴孔文<sup>1,2</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, 贵州 贵阳 550002;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

冷水箐 Cu-Ni 硫化物矿床位于四川省盐边县高家村岩体东侧的镁铁质-超镁铁质小杂岩体中, 为一中型规模、形成于新元古代的典型 Cu-Ni 硫化物矿床。本文首次分析了冷水箐 I 号矿体中不同类型矿石的 PGE 和 Re-Os 同位素组成特征, 并据此讨论了其成矿过程。

冷水箐 Cu-Ni 硫化物矿床的 Ni/Cu 比值变化较大, 其中浸染状矿石具有较小的 Ni/Cu 比值, 而块状矿石则具有较大的 Ni/Cu 比值, 但总体上所有样品的 Ni/Cu 比值均 > 1, 表明该矿床是以 Ni 为主的矿床。该矿床中矿石样品的  $\Sigma$ PGE (Os + Ir + Ru + Rh + Pt + Pd) 含量较低, 其变化范围为  $7.90 \times 10^9 \sim 56.9 \times 10^9$ , 平均  $25.9 \times 10^9$ 。以镍黄铁矿和磁黄铁矿为主的块状矿石具有相对高的 Os, Ir, Ru 和 Rh 含量, 而 Pt 和 Pd 含量相对较低。与之相比, 以黄铜矿为主的浸染状矿石具有相对低的 Os, Ir, Ru 和 Rh 而 Pt 和 Pd 相对较高。这些矿石的 Pt/Pd 比值变化较小, 且大多数样品的 Pt/Pd 小于 1。冷水箐 Cu-Ni 硫化物矿石的原始地幔标准化 PGE, Cu-Ni 配分曲线显示两种不同的型式: ①浸染状矿石表现为 Pt-Pd 配分型, 即 Pt/Pd 相对于 Os, Ir, Ru 和 Rh 明显富集; ②块状矿石具有 Os, Ir, Ru 和 Rh 平坦以及 Pt 亏损的配分模式。

本研究显示, 冷水箐矿石中 Os, Ir, Ru, Rh 和 Ni 含量与 S 含量呈明显正相关, 暗示它们的分布可能受硫化物控制。Cu 与 S 无明显相关性, 与样品中黄铜矿含量变化较大有关。Pt/Pd 与 S 也不具明显的相关性, 可能与源区 PGE 特征及岩浆演

化过程有关。我们对矿石金属含量进行 100% 硫化物计算后, 其 PGE 总量变化在  $32.8 \times 10^9 \sim 492 \times 10^9$  之间, 平均  $178 \times 10^9$ 。浸染状矿石相对于块状矿石富集 Pt 和 Pd 而 Os, Ir, Ru 和 Rh 相对亏损, 与经单硫化物固熔体结晶分异后残余硫化物熔体的特征一致。由于在单硫化物固熔体中 Os, Ir, Ru 和 Rh 是相容元素, 而 Pt 和 Pd 是不相容元素, 因此单硫化物固熔体的结晶分异会导致残余硫化物熔体中 Os, Ir, Ru, Rh 亏损和 Pt, Pd 富集。在 Ir-Pt 和 Ir-Pd 图上, 浸染状矿石呈现出 Pt 和 Pd 随 Ir 含量增加而升高的趋势, 而块状矿石则表现出相反趋势。同时, 浸染状矿石有相对较高的 Pd/Ir 比值, 而块状矿石有相对低的 Pd/Ir 比值, 也暗示浸染状矿石和块状矿石的 Ir 和 Pt, Pd 具不同分异程度。总体上, 所有矿石样品均具有低 Os, Ir, Ru 的特征, 这可能反映了形成矿石的岩浆经历了橄榄石、铬铁矿等矿物的分离结晶作用, 与 Cu-Ni 硫化物在橄榄石和辉石的结晶之后形成的特征吻合。上述矿石的 Ni 与 Pd 呈明显正相关, Cu 与 Pt 呈一定正相关, 暗示镍黄铁矿是 Pd 的主要赋存相, 而黄铜矿可能是 Pt 的主要赋存相。

本文根据冷水箐浸染状矿石的平均 Cu 含量 ( $33800 \times 10^6$ ), 计算出冷水箐矿床的 R 因子为 601, 以此 R 值可以推算出形成冷水箐矿床的母岩浆中 PGE 含量。计算结果显示, 冷水箐矿床母岩浆中含有 Pt  $0.25 \times 10^9$ , Pd  $0.27 \times 10^9$ , Ir  $0.003 \times 10^9$ , Ru  $0.004 \times 10^9$  和 Rh  $0.004 \times 10^9$ 。与 PGE 不亏损的原始岩浆相比, 形成冷水箐矿床的母岩浆中的 PGE 明显亏损。Cu/Pd 比值常被用于研究 Cu-Ni 硫化物矿床中硫化物熔离时间的早晚。冷水箐矿石具有较高的 Cu/Pd 比值, 其比值变化在 9460~318040 之间, 平均 166610。所有样品的 Cu/Pd 比值均大于原始地幔值 (6300), 显

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX2-YW-136); 国家自然科学基金项目 (40873028); 中国科学院“百人计划”项目

作者简介: 苟体忠, 男, 1981年生, 博士研究生, 同位素地球化学专业

E-mail: gzt810110@126.com

示 Pd 相对于 Cu 亏损。上述特征及冷水箐硫化物矿石的 PGE 总量较低都表明冷水箐的成矿母岩浆在侵位过程中曾经历过 S 饱和。因此, 少量富含 PGE 的硫化物有可能滞留于上升通道中, 残余岩浆由此明显亏损 PGE, 造成冷水箐 I 号矿体中 PGE 含量较低。

不同类型矿石的 Re 和 Os 的含量有明显差异。块状矿石的 Re 和 Os 含量分别为  $119 \times 10^{-9}$  ~  $153 \times 10^{-9}$  和  $3.55 \times 10^{-9}$  ~  $5.78 \times 10^{-9}$ 。浸染状矿石的 Re 和 Os 含量分别为  $2.25 \times 10^{-9}$  ~  $8.27 \times 10^{-9}$  和  $0.108 \times 10^{-9}$  ~  $0.304 \times 10^{-9}$ 。各样品的  $(^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os})_i(821\text{Ma})$  为 0.2367 ~ 0.7961, 平均

0.4265, 明显高于 821 Ma 时球粒陨石或地幔的  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  比值 (0.1221)。相应的  $\lambda\text{Os}(821\text{Ma})$  值为 93.8 ~ 552, 平均 249。这一 Os 同位素特征显示, 在岩浆侵位期间和成矿过程中有较多地壳物质加入到成岩成矿系统。

综上所述, 冷水箐矿床的成矿作用经历了原始岩浆 (PGE 不亏损) 产生  $\rightarrow$  少量地壳物质混染或橄榄石、铬铁矿等矿物分离结晶  $\rightarrow$  深部少量硫化物熔离  $\rightarrow$  成矿母岩浆发生 PGE 亏损  $\rightarrow$  浅部岩浆房中较多上地壳物质混染及橄榄石、铬铁矿等矿物的堆晶作用  $\rightarrow$  硫化物大量熔离形成浸染状和块状矿石。