

# 铂族元素矿物的迁移控制 Ni-Cu-PGE 矿床中铂族元素的宏观分异特征

梁庆林<sup>\*</sup>, 宋谢炎

(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 550081)

岩浆硫化物矿床富集了全球 95% 以上的铂族元素资源 (PGE, 包括 Os, Ir, Ru, Rh, Pt 和 Pd)。在岩浆硫化物矿床中, PGE 富集在贱金属硫化物中或与半金属元素 (As, Sn, Sb, Te, Bi) 形成铂族元素矿物。在硫化物熔体演化过程中, 单硫化物固溶体 (MSS) 早于中间硫化物固溶体 (ISS) 结晶, 而 IPGE 对单硫化物固溶体相容, PPGE 和半金属元素对 MSS 和 ISS 均不相容。一般认为 MSS 的分离结晶导致了矿床中 IPGE 和 PPGE 之间的宏观分异。而近年来的研究发现一些铂族元素矿物, 例如砷铂矿 ( $\text{PtAs}_2$ ) 和硫砷铱矿-硫砷铑矿-硫砷铂矿固溶体 ( $(\text{Ir-Rh-Pt})\text{AsS}$ ), 能从硫化物熔体中结晶形成 (Dare et al., 2010; Liang et al., 2022)。厘清铂族元素矿物的迁移对 PGE 宏观分异特征的影响, 对更好地利用 PGE 示踪岩浆硫化物矿床的成矿过程具有重要意义。

峨眉大火成岩省 (~260 Ma) 西北边缘的丹巴复背斜南端杨柳坪地区 Cu-Ni-PGE 矿床主要由杨柳坪和正子岩窝两个矿床组成, 已探明金属 Ni 总储量约 55 万吨, PGE 储量约 56 吨 (四川省地质矿产局, 1982)。杨柳坪和正子岩窝矿床分别赋存在杨柳坪和正子岩窝两个基性-超基性岩体中。岩体长分别为 2600 米和 2100 米, 沿倾向延深 350-500 米, 最大厚度分别为 254 米和 298 米, 近顺层侵入泥盆-二叠系地层中。岩体分异明显, 但后期热液蚀变强烈。以杨柳坪岩体为例, 从上至下由蚀变辉长岩、次闪石岩、滑石岩和蛇纹岩构成。硫化物矿化集中在岩体底部的蛇纹岩中, 浸染状矿石向下逐渐过渡到稠密浸染状矿石和富镍块状矿石 (四川省地质矿产局, 1982)。岩石学、元素和同位素地球化学研究表明杨柳坪 Ni-Cu-PGE 矿床是峨眉山幔柱活动的产物, 硫化物熔体在岩体中的聚集成矿, 残余的玄武岩浆喷出地表形成了矿区附近大石包组中段 PGE 亏损的峨眉山玄武岩 (Song et al., 2006)。

杨柳坪和正子岩窝矿床具有不同的 PGE 宏观分异特征。杨柳坪和正子岩窝矿床的浸染状和网脉状矿石具有相似的 PGE 含量, 但杨柳坪矿床的块状矿石富集 Pd 和 Pt, 而正子岩窝矿床的块状矿石和富铜矿石均贫 Pt。正子岩窝块状矿石中未见  $\text{PtAs}_2$  矿物颗粒, Pd 的铂族元素矿物数量少 (21 粒) 且粒径小 (0.3-10  $\mu\text{m}$ ); 而杨柳坪块状矿石中可见大量的自形  $\text{PtAs}_2$  颗粒, Pd 的矿物数量更多 (42 粒), 且粒径更大 (2-20  $\mu\text{m}$ )。根据上述研究结果, 我们认为正子岩窝矿床中  $\text{PtAs}_2$  的分离结晶导致硫化物熔体贫 Pt, 因而后续形成的块状矿石和富铜矿石均贫 Pt。而杨柳坪矿床中,  $\text{PtAs}_2$  和 Pd 的矿物颗粒伴随着 MSS 分离结晶, 导致块状矿石富集 Pd 和 Pt (Liang et al., 2023)。

## 参考文献:

- Dare, S.A.S., Barnes, S.J., Prichard, H.M., Fisher, P.C., 2010b. The Timing and Formation of Platinum-Group Minerals from the Creighton Ni-Cu-Platinum-Group Element Sulfide Deposit, Sudbury, Canada: Early Crystallization of PGE-Rich Sulfarsenides. *Economic Geology* 105, 1071-1096.
- Liang, Q.-L., Song, X.-Y., Wirth, R., Chen, L.-M., Yu, S.-Y., Krivolutszkaya, N.A., Dai, Z.-H., 2022. Thermodynamic conditions control the valences state of semimetals thus affecting the behavior of PGE in magmatic sulfide liquids. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 321, 1-15.
- Liang, Q.-L., Song, X.-Y., Long, T.-M., Wirth, R., Dai, Z.-H., 2023. Thermodynamic conditions control the valences state of semimetals thus affecting the behavior of PGE in magmatic sulfide liquids. *Chemical Geology*, 636, 121645.
- Song, X.Y., Zhou, M.F., Keays, R.R. Cao, Z.M., Sun, M., Qi, L., 2006. Geochemistry of the Emeishan flood basalts at Yangliuping, Sichuan, SW China: implications for sulfide segregation. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 152, 53-74.
- 四川省地质矿产局, 1982, 四川丹巴正子岩窝和杨柳坪 Pt-Ni 矿床勘探报告, 地质出版社, 北京。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (批准号: 42121003; 41772067; 41630316)

第一作者简介: 梁庆林, 男, 1991 年生, 博士, 主要从事岩浆硫化物矿床以及贵金属元素赋存状态研究。