

# 甘肃金川超大型 Ni-Cu-(PGE)矿床的块状矿石 Pt 负异常成因机制\*

陈列锰, 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 550002)

金川矿床位于华北地台边部阿拉善地块西南缘的龙首山推覆体北缘, 是仅次于俄罗斯 Noril'sk 矿床和加拿大 Sudbury 矿床的世界第三大在采镍矿床, 也是与岩浆通道系统成矿相关的典型的岩浆硫化物矿床。金川岩体侵入于古元古界白家咀子组中, 以一系列 NEE 向平移断层 ( $F_8$ 、 $F_{23}$  和  $F_{16-1}$ ) 为界, 由西至东分为 III、I、II、IV 四个岩体 (甘肃省地质矿产局第六地质队, 1984; 汤中立和李文渊, 1995)。最大的 1 号和 2 号矿体分别赋存在 II 号岩体的西部和东部, 第三大的 24 号矿体产于 I 号岩体中下部 (图 1)。

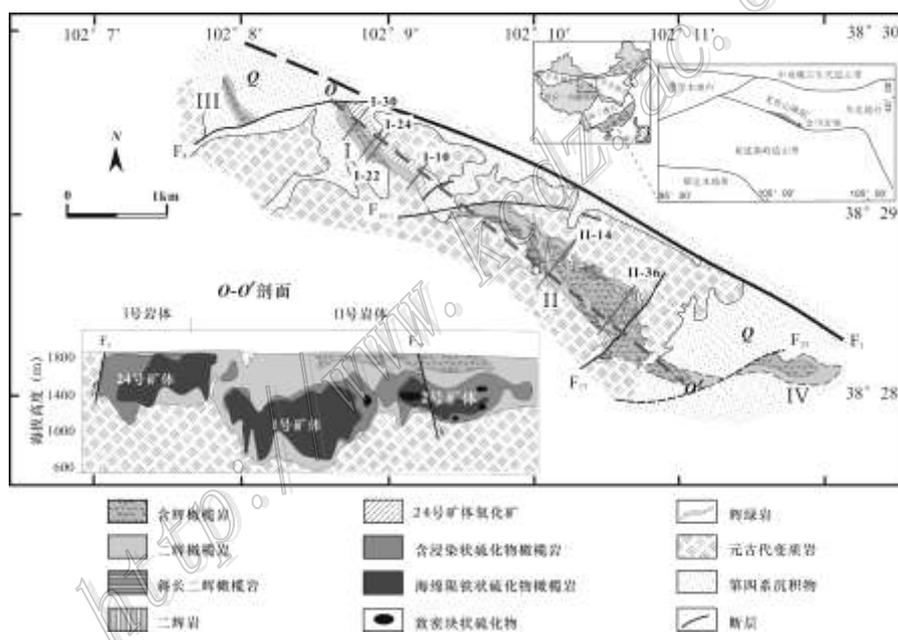


图 1 金川岩体地质示意图 (据汤中立等, 1995; Song et al., 2009)

本次研究样品采自金川 24 号矿体矿井坑道。采用火试金-碲共沉淀法对样品进行 PGE 预富集, 利用电感耦合等离子体质谱仪 (ICP-MS) 分析测定, 分析精度优于  $\pm 10\%$ 。具体分析过程见 Qi 等 (2004) 和漆亮等 (2006)。块状矿石分析结果分别为:  $\text{Ir}=27.5 \times 10^{-9} \sim 665 \times 10^{-9}$ ,  $\text{Ru}=16.6 \times 10^{-9} \sim 553 \times 10^{-9}$ ,  $\text{Rh}=7.36 \times 10^{-9} \sim 202 \times 10^{-9}$ ,  $\text{Pt}=13.8 \times 10^{-9} \sim 102 \times 10^{-9}$ ,  $\text{Pd}=121 \times 10^{-9} \sim 1216 \times 10^{-9}$ 。换算成 100% 硫化物后, 在 PGE 原始地幔标准化配分模式曲线上表现出强烈的 Pt 负异常 (图 2)。

导致 PGE 分异的因素有多种可能性 (宋谢炎等, 2009), 硫化物熔离时 “R” 因子较小、硫化物分离结晶作用、早期 Fe-Pt 合金的分离以及岩浆后期热液作用都可能导致 Pt 产生异常。金川矿床 24 号矿体的块状矿石 Pt 异常难以用硫化物熔离时 “R” 因子很小来解释, 因为通过模拟计算表明, 当 “R” 值很小时 ( $R=10$ , 实际地质过程中难以发生), 熔离出的 Pt 含量与块

\*资助项目: 国家自然科学基金 (编号: 40730420、40573014); 中国科学院“百人计划”项目

第一作者简介 陈列锰, 男, 矿物学、岩石学、矿床学专业, 研究方向: 矿床地球化学。Email: chenliemeng@163.com

通讯作者 宋谢炎, 男, 岩石与矿床地球化学专业。Email: songxieyan@vip.gyig.ac.cn

状矿石中的 Pt 相一致 (陈列锰, 2009), 但是 Ni 和其他 PGE 含量远远低于样品中的含量, 而且, Pt 和 Pd 具有相似的硫化物/硅酸盐岩浆分配系数, 硫化物熔离时“R”因子的变化难以导致二者如此明显的分异。导致 Pt 异常的另外一种可能性是硫化物分离结晶作用。硫化物分离结晶会导致单硫化物固溶体中的 PPGE 出现亏损, 然而, Pt 和 Pd 在 mss/sul 中的分配系数接近 ( $D_{Pt}=0.14$ ,  $D_{Pd}=0.13$ ) (Barnes et al., 1999), 因此, 硫化物分离结晶作用也难以引起 Pt、Pd 较大分异。

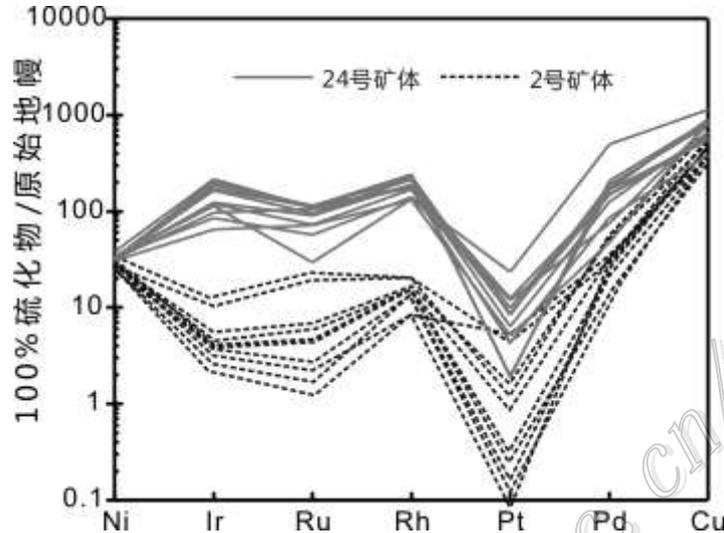


图2 金川24号和2号块状矿石(B)的100%硫化物中PGE原始地幔标准化解图(2号矿体数据引自 Song et al., 2009; 24号矿数据为本研究结果。原始地幔中元素含量数据引自 Taylor et al, 1985)

硫化物熔离前硅酸盐和氧化物结晶可能影响 PGE 含量变化。硫化物熔离前, 铬铁矿的分离结晶可能导致 Fe-Pt 合金直接从岩浆中沉淀出来, Fe-Pt 合金中及其富的 Pt 以及少量的 IPGE, 从而导致硫化物熔离时 Pt 亏损。金川岩体中铬铁矿普遍存在, 通常被橄榄石包裹, 是最早结晶的矿物 (Barnes et al., 1999), 因此, 铬铁矿的结晶分离可能导致 Fe-Pt 合金的从岩浆中分离, 这种 Pt 亏损的岩浆发生硫化物熔离而形成 Pt 负异常的块状矿石。但是, 浸染状矿石和海绵陨铁状矿石并没有明显的 Pt 负异常 (陈列锰, 2009), 因此, 该机制是否是导致 Pt 的强烈负异常的原因需要进一步讨论 (Song et al., 2009)。

岩浆后期热液作用也可能导致块石中 PGE 含量改变, 因为岩浆后期热液蚀变作用时 IPGE 通常为强不活泼元素, 而 PPGE 为弱的活泼元素。因此, 当热液活动导致 PGE 重新活化时, 块状矿石中的 Pt 被单独析出而发生迁移, 也就是说热液活动导致 Pt 重新活化迁移而不影响其他 PGE。但是, 岩体钻孔样品 PGE 含量表明, Ir 与其他 PGE 呈良好的线性关系 (陈列锰, 2009), 暗示热液蚀变作用对所有 PGE 含量的改变并不明显。

还有一种可能的解释是硫化物从岩浆中熔离之后, 后期新鲜岩浆持续补充使得硫化物熔体的中 PGE 不断富集。随着温度下降, 由于形成块状矿石的硫化物熔体中的 PGE 总量远远高于形成浸染状矿石和海绵陨铁状矿石中 PGE 的总量, 在硫化物熔体结晶晚期阶段 ( $<500^{\circ}\text{C}$ ), Pt 主要形成铂族矿物 (PGM), 而不赋存于硫化物中 (Barnes et al., 2006), 如铋碲铂矿 (PtBiTe) (Su et al., 2008), PtBiTe 容易被岩浆后期热液蚀变作用活化再迁移 (Magyarosi et al., 2002), 也可能遭受变质作用而重熔再结晶而从块状矿石中移出。Pt 的 PGM 活化再迁移或者重熔再结晶作用导致块状矿石出现 Pt 强烈负异常。

参考文献 (略)