

金川铜、镍(含 PGE)岩浆硫化物 矿床原始岩浆成分的探讨

徐章华^{1*} 汤中立² 蔡克勤¹

(1 中国地质大学, 北京 2 甘肃省地质矿产局, 兰州)

提 要: 通过金川侵入体的岩石化学分析资料, 根据 Roeder 和 Emslie^[3] 的橄榄石-液相平衡原理估计金川超镁铁质岩的原始岩浆是大约含 MgO 为 10.8% 的高镁玄武岩浆, 并且与不同构造背景下所形成的玄武岩岩石化学成分进行对比, 认为金川侵入体的原始岩浆的化学成分与巴西北部 Maranhao 低 Ti 玄武岩浆的化学成分相似, 代表了一种大陆裂谷背景下火山活动的产物。

关键词: 原始岩浆成分 铜、镍硫化物矿床 镁铁质-超镁铁质岩浆 金川

金川铜-镍(含 PGE)矿床是我国最大也是世界上超大型岩浆硫化物矿床之一^[1]。其原始岩浆性质及成分前人已做过大量的研究^[1,2], 但仅限于定性地描述和归类, 或只对其成分进行了粗略的计算。

一般认为, 与镁铁质-超镁铁质岩浆有关的铜、镍硫化物矿床的原始岩浆成分是成矿作用本质的关键。超镁铁质岩浆一般形成以 Ni 为主, $Ni/Cu > 7$ 的硫化物矿床, 与火山橄榄岩(科马提岩)有关的镍矿床, 如西澳 Kambalda 矿床($Ni/Cu > 13$)和加拿大的 Abitibi 绿岩带中的镍矿床($Ni/Cu > 30$)及与纯橄岩-橄榄岩有关的镍矿床, 如澳大利亚阿格纽矿床($Ni/Cu = 40$), 加拿大的达蒙特(Dumont)矿床($Ni/Cu > 20$)。然而, 镁铁质岩浆通常形成既富 Cu 又富 PGE 的镍矿床且 $Ni/Cu < 2$ 。如加拿大的肖德贝里硫化物矿床($Ni/Cu = 1$), 前苏联诺里尔斯克矿床($Ni/Cu = 0.5 \sim 1$)及美国的达拉斯矿床($Ni/Cu = 0.3$), 中国新疆的喀拉通克矿床($Ni/Cu < 0.8$)等。

金川铜-镍矿床的特征是不仅富 Ni 而且富 Cu 及 PGE, 其硫化矿石平均 $Ni/Cu = 1.6$, 总的 PGE + Au 的品位大约为 1×10^{-6} 。但是, 赋存金川矿床的主岩侵入体全部由超镁铁质岩组成, 岩相从纯橄岩到二辉岩。从而被解释为: 金川矿床由大约含 30% MgO 的超基性岩浆组成^[2], 这与上述的世界上典型由超镁铁质岩浆形成以 Ni 为主的硫化物矿床($Ni/Cu > 7$)的事实相悖。

本文根据 Roeder & Emslie^[3] 橄榄石-液相平衡原理探讨金川原始岩浆的化学成分及其性质。

1 岩体化学成分

1.1 岩石化学成分

金川超镁铁质岩体所有岩石富 MgO (25% ~ >40%), 纯橄岩含 32% ~ 40% MgO, 贫

* 徐章华, 男, 40 岁, 现在中国地质大学(北京)攻读博士学位, 主要从事岩浆矿床的研究。邮政编码: 100083

Al_2O_3 、 K_2O 和 Na_2O 在富镁的样品中这些氧化物含量接近于 0；含二辉橄榄岩含 40% MgO ，大多数样品含 30%~40% MgO ，二辉橄榄岩一般含 24%~40% MgO ，大多数样品含 32%~38% MgO ；斜长二辉橄榄岩一般含 30%~36% MgO ；橄榄二辉岩一般含 25%~33% MgO ；二辉岩含 25%~27% MgO 。 SiO_2 ， Al_2O_3 ， Cr_2O_3 和 TiO_2 含量从纯橄岩—二辉岩逐渐增加。

1.2 橄榄石成分

金川岩体镁橄榄石 (mol% F_o) 在纯橄岩中为 84%~86%；含二辉橄榄岩为 81%~85%；二辉橄榄岩为 78%~84%；斜长二辉橄榄岩为 80%~82%。样品中橄榄石成分变化不大 (<1%)，橄榄石中 MgO 的含量在 42%~46% 之间，与从全岩化学分析外推得出的含 42%~46% MgO 数据相吻合。橄榄石中 NiO 丰度在 0.15%~0.3% 之间，并随 F_o 牌号的增加而稍有增加；在矿化和非矿化的岩石中橄榄石 F_o 没有明显差异，但在矿化的岩石中大多数橄榄石含 MgO 较高 (约 44%)。

2 原始岩浆成分的估计

2.1 原始岩浆的 $\text{MgO}/(\text{MgO} + \text{FeO})$ 摩尔比值

通过金川岩体橄榄石成分根据 Roeder 和 Emslie^[3] 橄榄石 Mg-Fe 分配系数来估计岩浆熔体的 Mg-Fe 比值：

$$K_D = (\text{FeO}/\text{MgO})_{\text{Ol}}/(\text{FeO}/\text{MgO})_{\text{Liq}} = 0.3 \pm 0.03$$

分配系数 (K_D) 对温度、压力和液体成分相对独立^[3]。然而，堆晶橄榄石要比其在原始结晶期间其镁质含量要低，这是因为初始结晶的橄榄石与晶间液体发生了再平衡作用。所以，计算的 $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$ 的摩尔比值可能低于原始岩浆中的比值。然而，金川岩体橄榄石的两种特征表明它非常接近于原始岩浆成分。第一，金川橄榄石没有过大的生长；事实上，它常常被辉石所包围；第二，分布在硫化物中的橄榄石几乎没有与晶间硅酸盐液相接触。所以，橄榄石可能保持了它原有的成分。橄榄石与硫化物接触在固相线之下再平衡期间可能对橄榄石的 Fe 含量有所影响，但这种影响可以忽略不计。金川侵入体中最富镁的橄榄石 $F_o \approx 86$ ，所以根据 0.3 的分配系数计算液相中的 $\text{MgO}/(\text{MgO} + \text{FeO}) = 0.64$ ，后者 (0.64) 比金川侵入体任何岩石类型中的 $\text{MgO}/(\text{MgO} + \text{FeO})$ 的摩尔比值要低得多，所以，金川侵入体中的任何岩石类型中 $\text{MgO}/(\text{MgO} + \text{FeO})$ 的比值既不能代表原始岩浆的比值，也不是侵入体平均成分的比值。

2.2 原始岩浆的成分

估计金川岩体原始岩浆的成分除了知道 $\text{MgO}/(\text{MgO} + \text{FeO})$ 比值外，还需要估计其它氧化物成分。

甘肃省地质六队^[2]考虑到金川岩相及矿化的侧向分带现象对原始岩浆成分进行过计算。他们认为：金川岩体是由成分相当于各种岩相的岩浆多次贯入而形成的杂岩体。并简单地以不同岩相按照它们的体积加权的平均化学成分计算出原始岩浆的成分。计算结果得出： MgO 33.90%，和 FeO [$\text{Fe}_2\text{O}_3/(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}) = 10\%$] 14.53%，但是这种计算结果不能令人信服。因为， $\text{MgO}/(\text{MgO} + \text{FeO}) = 0.81$ 。然而，上述计算所得出较合适的值为 0.64。

由于我们仅仅知道金川原始岩浆中 $\text{MgO}/(\text{MgO} + \text{FeO})$ 摩尔比值为 0.64，问题的关键就

是要确定 FeO 或者 MgO 含量。为此,我们首先建立 FeO 与 MgO 之间的相互关系。如果 FeO-MgO 之间的变化趋势线能够确定并且这种趋势线的斜率不同于由分配系数 0.3 所确定的原始岩浆中 $\text{MgO}/(\text{MgO} + \text{FeO})$ 摩尔比值的橄榄石-液相平衡的直线斜率,那么,趋势线与代表原始岩浆中 $\text{MgO}/(\text{MgO} + \text{FeO}) = 0.64$ 的平衡线的交点将给出原始岩浆的 MgO 和 FeO 的含量。

这种方法存在 3 个问题: ① 全岩样品必须无硫化物, 因为甚至微量的硫化物都增加了全岩成分中的铁含量。而且, 这种全岩成分难于精确校正; ② 从硅酸盐岩浆中分离出的硫化物基本上都含有一定量难于估计的氧化物 (Naldrett, 1969; Shima & Naldrett, 1975); ③ 侵入岩原始 FeO 值难于确定, 因为, 现代分析方法不能精确给出 Fe_2O_3 和 FeO 的值。我们已经把全铁当作 FeO 是由于金川侵入岩主要受橄榄石控制, 而橄榄石几乎不含 Fe_2O_3 , 铬铁矿和晶间液相中少量的 Fe_2O_3 可以忽略不计, 但是它们对原始成分的估计有所影响。

基于上述理由, 我们选择硫小于 0.2% 的样品并做出 FeO-MgO 变化趋势图(图 1)。

由图 1 可以看出, FeO 与 MgO 显示出相关系数 $R > 0.8$ 的正相关性。再者, FeO 变化趋势较为平缓, 所以其稍为有点变化在原始岩浆 $\text{MgO}/(\text{MgO} + \text{FeO}) = 0.64$ 平衡线上的 MgO 的含量影响不大。由线性回归方程与原始岩浆平衡方程求解可得交点坐标 $\text{MgO} = 10.8\%$ 和 $\text{FeO} = 10.4\%$ 。这一计算结果表明: 金川原始岩浆是一种高镁玄武岩浆而远不是 $\text{MgO} > 30\%$ 的超镁铁质的岩浆。

金川原始岩浆的其它主要氧化物含量可以由 MgO 与其它氧化物的变化趋势图中计算出来。用这种方式所获得的金川原始岩浆成分以及从不同构造背景下产出的火山岩的岩石化学成分列于表 1。

从表 1 可见, 估计的金川原始岩浆化学成分在主要氧化物上不同于大洋中脊玄武岩 (MORB), 因大洋中脊玄武岩含 Al_2O_3 较高 (16%); 金川原始岩浆中较低的 TiO_2 (1.2%) 含量也排除了它属于洋岛玄武岩 (如夏威夷的 Kilauea 玄武岩) 的可能。与金川原始岩浆成分相似的玄武岩包括岛弧钙碱性玄武岩和大陆裂谷高镁玄武岩, 例如, 美国新墨西哥州 Taos 高原的 Servilleta 玄武岩及巴西北部 Maranhao 低 Ti 玄武岩。与岛弧玄武岩相比较, 其 CaO 稍高而 SiO_2 及 TiO_2 较低。但是, 如果金川原始岩浆中扣除

掉 5% 结晶的橄榄石 ($F_o = 84$), 那么, 这种残余熔浆的化学成分与巴西 Maranhao 高镁玄武岩极为相似, 其 SiO_2 、 Al_2O_3 、CaO、MgO、FeO 和 TiO_2 含量与金川原始岩浆成分几乎相同。因此, 金川原始岩浆显然代表了大陆裂谷环境下的火山作用的产物。

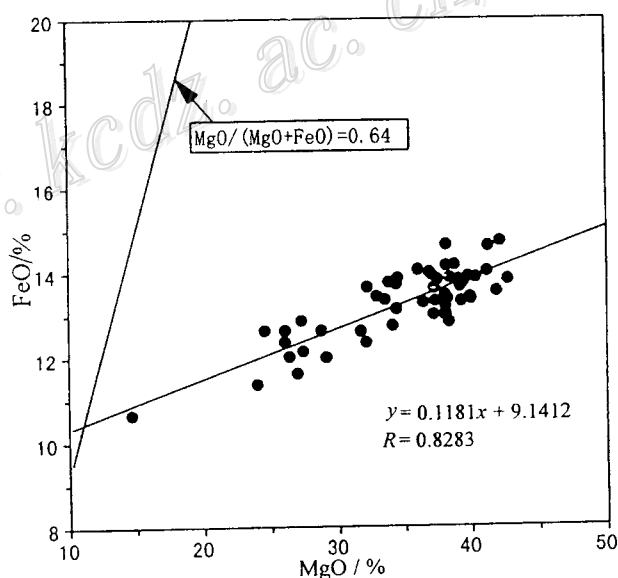


图 1 FeO-MgO 变化图的外推法估计金川原始岩浆的成分

金川原始岩浆含 $\text{MgO} = 10.8\%$

表 1 金川岩体原始岩浆和不同构造背景下玄武岩的化学成分对比

氧化物	金川原始 岩浆	5% Ol 结晶 ^①	低 Ti CRB ^②	高 Ti CRB ^②	N MORB ^③	P MORB ^④	CB ^⑤	IACAB ^⑥	Kilauea ^⑦
SiO ₂	51.23	51.66	51.52	51.37	50.55	49.72	46.18	49.40	50.51
Al ₂ O ₃	12.47	12.76	13.90	12.81	16.38	15.81	14.47	13.29	13.45
CaO	9.71	9.91	10.13	8.17	11.62	11.84	9.68	12.22	11.18
MgO	10.80	9.59	8.63	5.33	7.80	7.90	9.99	10.44	7.41
Fe ₂ O ₃	1.02	1.03	1.03	1.34	0.90	0.93	1.35	1.02	1.14
FeO	10.60	10.27	9.26	12.03	8.13	8.35	12.17	9.14	10.23
Na ₂ O	2.07	2.35	2.27	2.56	2.43	2.35	2.63	2.16	2.28
K ₂ O	0.83	0.85	0.83	1.69	0.08	0.50	0.61	1.06	0.49
Mg-no	64.48	62.46	62.41	44.11	63.09	62.76	59.39	67.05	56.34

① 金川原始岩浆扣除 5% 橄榄岩 ($Fo = 84$) 结晶后的残余岩浆成分; ② CRB 大陆裂谷玄武岩, Fodor et al, 1990; ③ N MORB 正常大洋中脊玄武岩, Schilling et al, 1983; ④ P MORB 热柱大洋中脊玄武岩, Schilling et al, 1983; ⑤ CB 大陆玄武岩, Basaltic Volcanism Study Project, 1981; ⑥ IACAB 岛弧钙碱性玄武岩, Perfit et al, 1990; ⑦ Kilauea 洋岛玄武岩, Basaltic Volcanism Study Project, 1981

这种产生金川原始岩浆的大陆裂谷构造背景的解释与金川岩体 Sm-Nd 同位素测年数据 ($(1508 \pm 31) \times 10^6$ a) 时北祁连处于前裂拱曲的构造背景^[1]的解释相同。至于与这种裂谷模式有关的镁铁质火山岩, 考虑到这种原始岩浆在龙首山地区已经形成了一个侵入岩浆岩系列, 不排除有部分镁铁质火山岩喷出地表, 但龙首山区经历了长期的隆起和剥蚀, 不难解释这些火山岩已被剥蚀殆尽。

3 结 论

从以上分析和计算, 可以得出以下几点结论:

(1) 金川侵入体的原始岩浆不是 $MgO > 30\%$ 的超镁铁质岩浆, 而是含 MgO 为 10.8% 的高镁玄武岩浆, 这种镁铁质而非超镁铁质岩浆才可能形成既富 Cu 又富 PGE 的岩浆硫化物镍矿床。

(2) 金川侵入体主要是橄榄石(含铬铁矿)的堆晶岩, 金川侵入体的外围已形成了一个镁铁质岩浆岩的侵入系列, 可能有部分岩浆通过火山作用喷出地表, 金川侵入体本身也许就是大陆边缘裂谷火山活动的通道。

参 考 文 献

- 1 汤中立等. 金川铜、镍硫化物(含)铂矿床成矿模式及地质对比. 北京: 地质出版社, 1995, 1~368.
- 2 甘肃省地质六队. 白家咀子硫化 Cu、Ni 矿床地质. 北京: 地质出版社, 1984, 325~327.
- 3 Roeder P L & Emslie R F. Olivine-Liquid equilibrium, Contr. Miner. Petrol., 1970, 29: 275~289.