

晋北金伯利岩的地球化学

杨建民 秦淑英 黄蕴慧

李兴海 张利秀

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京 100037) (山西地矿局 212 地质队, 长治 046000)

山西北部的金伯利岩位于华北地台北部, 在新生代的构造格局中隶属山西裂陷带汾渭地堑北段。1966 年由山西省区测队发现, 山西省 217 地质队 (1967~ 1969 年)、中国地质大学 (1985~ 1987 年)、山西省 212 地质队 (1985~ 1988 年, 1993~ 1995 年)、地矿部矿床地质研究所 (1988~ 1991 年, 1993~ 1995 年) 等单位的地质工作者先后在这一区域进行过金刚石找矿研究。在空间分布上, 从南向北可分为水沟门金伯利岩岩区和采凉山金伯利岩岩区。水沟门地区, 面积约 25 km², 由 4 个岩筒 18 条岩脉组成, 自西向东分为 NNE—NE 走向的 3 个岩带, 围岩为中下太古界恒山杂岩。采凉山金伯利岩岩区分布于采凉山南麓大同市与阳高县交界处的中下太古界集宁群中, 由 170 多条岩脉组成带状岩脉群, 总体呈 NE 50° 方向延伸, 分布范围长约 35 km, 宽 3 km。由于工作程度低, 现仅将部分岩脉定为云母金伯利岩。晋北金伯利岩的岩石类型属于富含金云母的橄榄石型金伯利岩。

1 金伯利岩岩石化学特征

金伯利岩是一种复杂的混染岩。引起岩石主元素成分混染的因素主要有: ①深源包体、壳源包体及同源包体的混入; ②蚀变及风化过程中元素的带入带出, 尤其是地下水的混入; ③原始挥发分的损失。壳源硅铝质岩石的混入可使金伯利岩中的 Si、Al、Na 含量增高, Mg 含量降低; 深源包体及橄榄石和金云母等矿物捕虏晶的混入, 则影响金伯利岩的 Mg/Fe、K/Na 及 Fe³⁺/Fe²⁺ 等比值。在进行金伯利岩地球化学研究时, 分析样品的选择相当重要, 应选择风化蚀变程度低的新鲜岩石, 剔除可见的围岩角砾、深源和同源包体, 尽量减小岩石被混染的程度。

以受到混染的金伯利岩 Al₂O₃ > 5%, SiO₂ > 35%^[4], 混染指数 $C.I. \left[\frac{(SiO_2 + Al_2O_3 + Na_2O)}{(MgO + 2K_2O)} \right] > 1.5$ ^[5] 为标准进行判别, 山西北部金伯利岩已受到壳源岩石混染或强烈混染, 俄罗斯阿尔汉根斯克金伯利岩也受到壳源岩石的强烈混染, 西澳金伯利岩未受混染或混染很弱。

2 主元素地球化学特征

晋北金伯利岩各主元素的含量变化范围为 SiO₂ 31.70%~ 41.15%, Al₂O₃ 3.66%~ 6.59%, Cr₂O₃ 0.07%~ 0.33%, MgO 7.06%~ 22.35%, TiO₂ 2.10%~ 5.60%, Fe₂O₃ 4.61%~ 11.97%, FeO 1.81%~ 16.34%, CaO 3.59%~ 19.53%, K₂O 0.11%~ 3.74%, Na₂O 0.08%~ 0.83%, CO₂ 0.61%~ 12.95%, H₂O⁺ 3.09%~ 8.67%。由图 1 可看出, 晋北金伯利岩在化学成分上与世界各地的金伯利岩相同, 具有 SiO₂ 不饱和, Al₂O₃ 含量低, K₂O > Na₂O, H₂O 和 CO₂ 等挥发分含量高的共性。水沟门金伯利岩与采凉山金伯利岩都分布在金伯利岩化学成分的范围之内, 且投点较为集中^[1]。

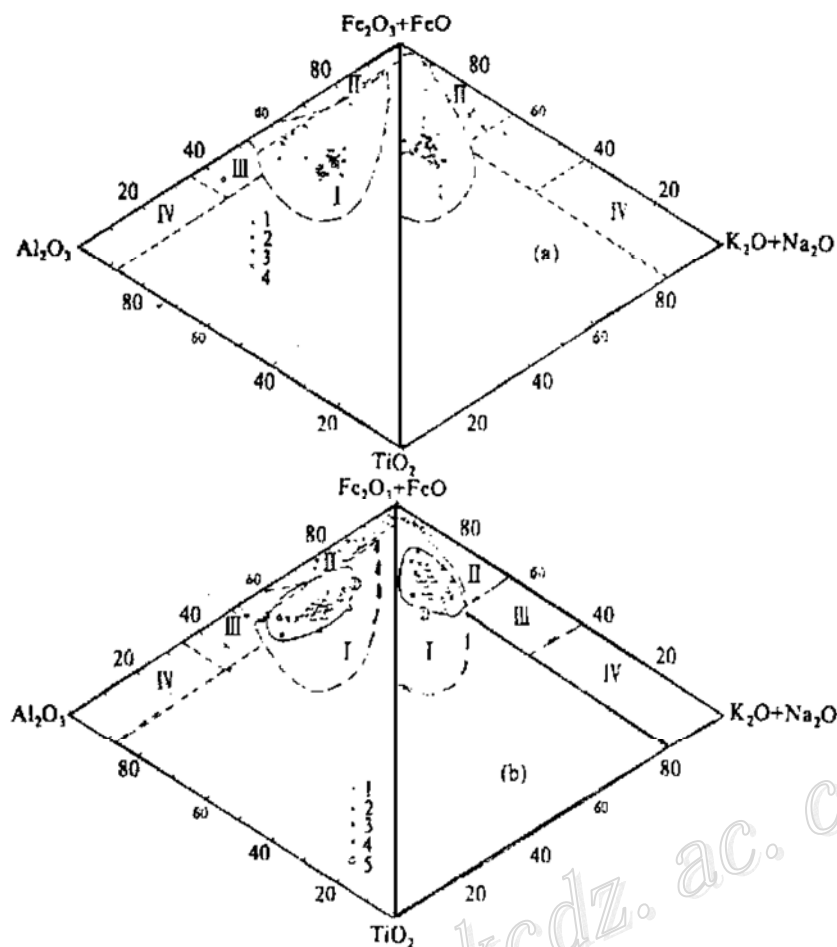


图1 金伯利岩及其深源包体 $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}) - (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) - \text{TiO}_2$ 及 $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}) - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$ 关系图

I—金伯利岩; II—超基性岩区; III—基性岩区; IV—酸性岩和碱性岩区; 上图—金伯利岩 (10^8Pa): 1—水沟门; 2—采凉山; 3—西澳; 4—阿尔汉根斯克; 下图: 1—山东金伯利岩中的橄榄岩类包体; 2—辽宁金伯利岩中的橄榄岩类包体; 3—辽宁金伯利岩中的云母类包体; 4—混染和蚀变的金伯利岩 (Mitchell, 1986); 5—世界不同地区金伯利岩的

平均化学成分 (Mitchell, 1986); ①山东、辽宁金伯利岩分布范围 (董振信, 1994)

(1) 与富含金刚石的西澳及阿尔汉根斯克金伯利岩相比, 晋北金伯利岩的 SiO_2 、 MgO 含量低, Al_2O_3 含量高, 我国山东和辽宁含矿性好的金伯利岩含 MgO 高。

(2) 晋北金伯利岩的 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ 与 TiO_2 呈正相关关系 (图2), 是岩石中钛铁矿及其它含 Fe、Ti 矿物含量较多的标志。其 TFeO 及 TiO_2 含量亦高于山东、辽宁、西澳、俄罗斯阿尔汉根斯克及西伯利亚雅库特的金伯利岩, 说明晋北金伯利岩混染和蚀变强烈。

(3) 晋北金伯利岩的 CaO 与 CO_2 含量高, 二者呈正相关关系, 这表明方解石是金伯利岩中 CaO 与 CO_2 的主要载体矿物。

(4) 晋北金伯利岩主元素成分位于世界金伯利岩范围之内, 投点分布较为集中。

晋北金伯利岩与山东、辽宁及国外金伯利岩有相似的相容元素分配模式 (图 3)。晋北金伯利岩因富含 Sc、V、Cu、Zn 而与山东、辽宁、西澳及阿尔汉根斯克富含金刚石的金伯利岩有所区别。据 Mitchell (1986) 研究, 金伯利岩中较高的 Cr、Co、Ni 和较低的 Sc、V、Cu、Zn 含量表明它们来自相对亏损的地幔源区。由此推测, 山西北部金伯利岩源区的亏损程度较低, 这对其金刚石含矿性不利。

3 微量元素地球化学特征

(1) 相容元素: 相容元素包括 Cr、Ni、Co、V、Sc、Cu、Zn、Pt 等。相容元素在上地幔物质局部熔融过程中, 它们的固相 (矿物相) 与液相的分配系数大于 1, 在岩浆结晶过程中优先进入岩浆结晶的矿物中, 从而导致它们在岩浆中的浓度迅速降低。相容元素主要赋含于橄榄石 (Ni、Co、Sc、Cr)、尖晶石 (Cr、Ni、Cu、Sc、Co、V、Zn)、金云母 (Cr、Sc)、镁铝榴石 (Cr、Sc)、钙钛矿 (Sc)、透辉石 (Cr、Sc、V、Ni) 及硫化物 (Cu、Ni) 等矿物中。相容元素的含量与金伯利岩中上述矿物的含量及粗晶和基质矿物在岩石中所占的比例有关。

晋北金伯利岩中 Ni 与 Co、Cr 与 Ni、Cr 与 V、Sc 与 Ti、Zn 与 Ti 之间都存在正相关关系, 这是由于这些元素具有相似的地球化学性状及金伯利岩矿物中存在着复杂的类质同象替代造成的。

(2) 不相容元素: 不相容元素包括 Ba、Sr、Zr、Hf、Na、Ta、U、Th、REE、Li、Rb、Cs、F、Cl、S、Se 等。不相容元素具有不寻常 (很小, 或很大) 的离子半径或离子电荷。在地幔物质部分熔融作用过程中, 它们的固相与液相间的平均分配系数接近于 0, 大量地富集于岩浆中, 不易进入矿物结晶相。随着岩浆结晶过程的进行, 它们在岩浆中的浓度逐渐增加。在固-液-气相平衡体系中, 它们总是容易进入液相和气相。

晋北金伯利岩与国内外金伯利岩中不相容元素的含量大致相当, 相应的不相容元素变化范围也相近, 因而有相近的不相容元素分配模式, 与拉斑玄武岩和霞石黄长岩的不相容元素分配模式有明显差异。

晋北金伯利岩与国内外金伯利岩中不相容元素的含量大致相当, 相应的不相容元素变化范围也相近, 因而有相近的不相容元素分配模式, 与拉斑玄武岩和霞石黄长岩的不相容元素分配模式有明显差异。

晋北金伯利岩中 Ba 与 Sr、Ba 与 K、Zr 与 Hf、Nb 与 Ta 之间有明显的正相关关系。

水沟门与采凉山金伯利岩的稀土总量分别为 $310 \times 10^{-6} \sim 479 \times 10^{-6}$ 和 $72 \times 10^{-6} \sim 487 \times 10^{-6}$, 其变化范围小于我国金伯利岩 (ΣREE 为 $20.55 \times 10^{-6} \sim 3718.75 \times 10^{-6}$)^[1] 及国外金伯利岩 (ΣREE 为 $81 \times 10^{-6} \sim 4195 \times 10^{-6}$)^[4]。华北地台金伯利岩研究表明, ΣREE 含量对金伯利岩的金刚石含矿性有指示意义, 含工业品位金刚石金伯利岩的 ΣREE 为 $300 \times 10^{-6} \sim$

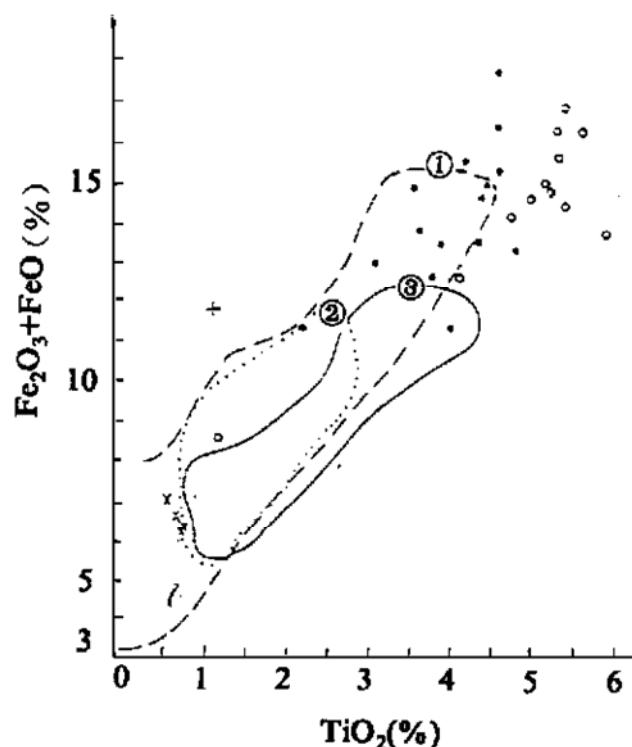


图 2 金伯利岩中 $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$ 关系图

①—中国金伯利岩区 (董振信, 1994); ②—山东、辽宁金伯利岩区 (董振信, 1994); ③—苏联西伯利亚金伯利岩区, 图例同图 1

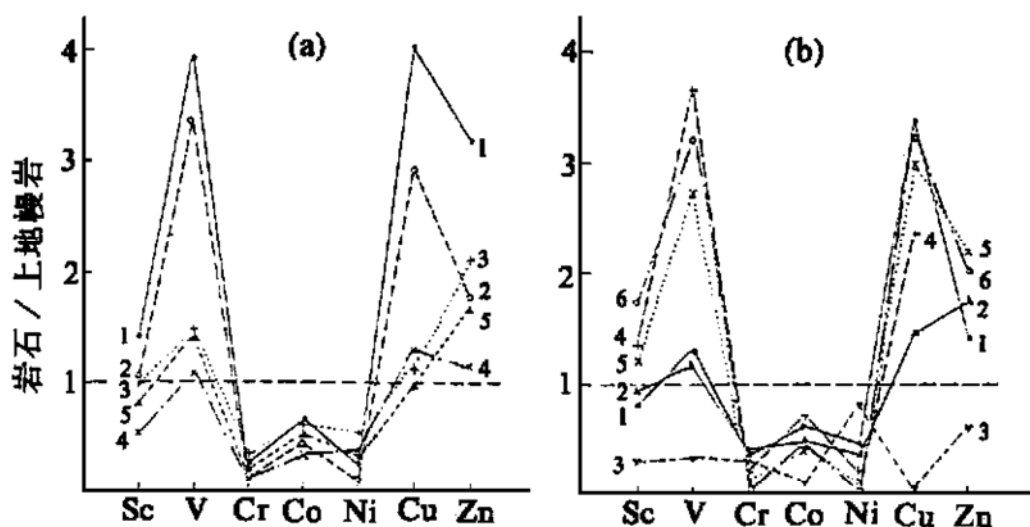


图3 金伯利岩及其它一些岩类中的相容元素的分配模式

(a): 1—水沟门金伯利岩平均值; 2—采凉山金伯利岩平均值; 3—西澳金伯利岩; 4—阿尔汉根斯克金伯利岩平均值; 5—辽宁金伯利岩平均值 (黄蕴慧等, 1992); (b): 1—金伯利岩平均值 (Mitchell, 1986); 2—山东金伯利岩平均值 (黄蕴慧等, 1992); 3—山东金伯利岩中橄榄岩类包体 (董振信, 1994); 4—黄长岩 (Mitchell, 1986); 5—碱性玄武岩 (Mitchell, 1986); 6—拉斑玄武岩 (Mitchell, 1986)

600×10^{-6} 。水沟门金伯利岩 ΣREE 落入含矿金伯利岩范围, 表明该岩体含矿。

同世界上大多数金伯利岩一样, 晋北金伯利岩的稀土配分模式线也为向右倾的简单线 (图4)。晋北金伯利岩中的 LREE 极为富集, 其 La/Yb 比值范围为 39~151, 平均值为 88, 显示了晋北金伯利岩强烈的分馏特征。在地幔矿物相与幔源熔体之间, HREE 的分配系数除在石榴石与其熔体中大于 1 外, 其余皆小于 1 或远小于 1, 而 LREE 在所有地幔矿物相中的分配系数均小于 1 (有的小于 0.01), 因而 LREE 比 HREE 有更强的不相容性质, 故金伯利岩是很低程度的部分熔融产物。

4 岩石地球化学与金伯利岩含金刚石性的关系

金刚石形成于高温、高压的上地幔热力学条件下, 被金伯利岩携带至地表, 这种特殊的形成环境和地质条件, 必然会在岩石地球化学特征上有所反映, 因此可根据金伯利岩的岩石地球化学特征对其含矿性进行评价。

(1) 池际尚教授提出利用经验判别式 $T \cdot A = \text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{P}_2\text{O}_5$ (%) 来判断金伯利岩含金刚石性^[2]。当 $T \cdot A = 4\% \sim 4.5\%$ 时为富矿; $T \cdot A = 6.5\% \sim 9.5\%$ 时为贫矿; $T \cdot A > 9.5\%$ 时基本不含矿。

(2) 金伯利岩中 MgO、Cr、Ni、Co 含量与其金刚石含量呈正相关关系的趋势^[3]。

(3) 金伯利岩中 ΣREE $382 \times 10^{-6} \sim 473 \times 10^{-6}$ 为富矿; ΣREE 为 $430 \times 10^{-6} \sim 571 \times 10^{-6}$, 含矿中等; 贫 (无) 矿组 ΣREE 为 $693 \times 10^{-6} \sim 1490 \times 10^{-6}$ 或小于 31.46×10^{-6} ^[1]。

晋北金伯利岩主元素中 MgO 含量较低, 而 Al_2O_3 、 TiO_2 、 K_2O 、 P_2O_5 含量不高; 其 $T \cdot A$ 为 $9.7\% \sim 1\%$; 富含 Sc、V、Cu、Zn, 而 Cr、Co、Ni 含量不高; ΣREE 含量与富矿组一致。

根据上述判别标志, 晋北金伯利岩既有金刚石含矿性不好的特点, 又有含矿的有利条件, 二者似乎相矛盾。但这恰恰反映出晋北伯利岩含金刚石, 又含量较少的实际。晋北金伯利岩中含有低钙铬镁铝榴石 (G10), 高铬低铝铬尖晶石、镁钛铁矿、铬透辉石等金刚石伴生矿物及细粒级金刚石, 矿物学研究结果与岩石地球化学研究结果相一致。晋北具有形成含金刚石金伯利岩的条件, 应加强这一地区的金刚石找矿工作。

在研究期间, 得到了导师黄蕴慧研究员和周秀仲研究员的指导与帮助, 特此致谢。

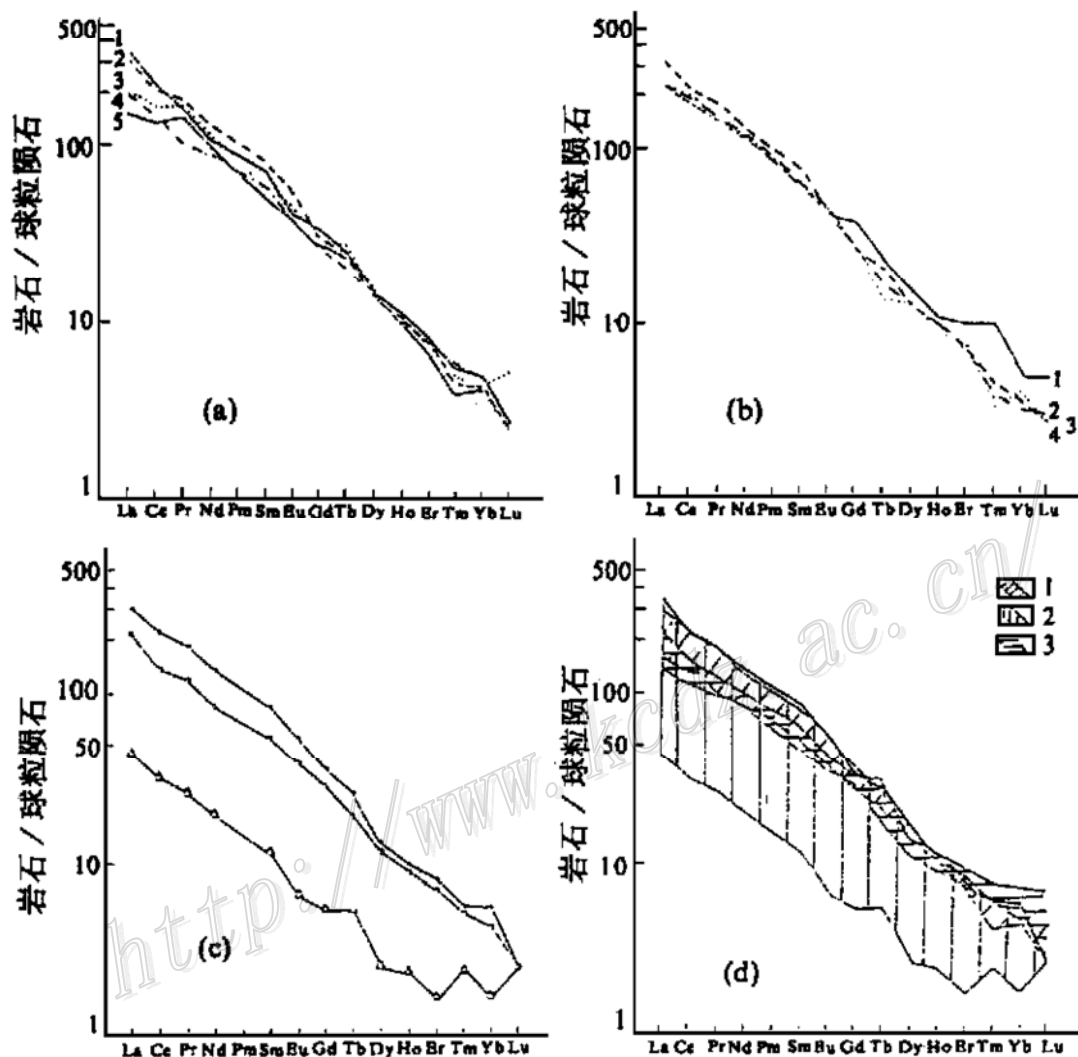


图 4 金伯利岩稀土分配模式图

(a) 一水沟门 2 号筒金伯利岩; (b) 一水沟门金伯利岩: 1—号脉; 2—4 号筒; 3—5 号筒; 4—6 号脉; (c) 一采凉山金伯利岩; (d): 1—水沟门金伯利岩; 2—采凉山金伯利岩; 3—饮牛沟钾镁煌斑岩

参 考 文 献

- 1 黄蕴慧, 秦淑英, 周秀仲等. 华北地台金伯利岩与金刚石. 北京: 地质出版社, 1992
- 2 池际尚, 中国东部新生代玄武岩及上地幔研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 1988
- 3 董振信. 中国金伯利岩. 北京: 科学出版社, 1994
- 4 Mitchell R. H. Kimberlites (mineralogy, geochemistry and petrology). New york. Pleum Press. 1986
- 5 Clement C R, Skinner E M W. and Scott Smith B H. Kimberlite redefined. J. Geol., 1984, 32: 223~ 228