

金伯利岩含金刚石性的矿物学判别标志

董振信

丛安东 韩柱国

(中国地质博物馆,北京) (辽宁地质矿产局第六地质队,普兰店)

提 要: 金刚石及其紧密伴生的镁铝榴石、铬尖晶石、钛铁矿、单斜辉石及橄榄石,形成于高温,尤其是高压的上地幔条件下,被快速上升的金伯利岩浆携带至地表,这些矿物形成的特殊的地质条件和环境,必然反映到它们的矿物学特征上来。文章通过对我国金伯利岩中金刚石伴生矿物的研究,探讨了金伯利岩含金刚石性的矿物学标志。

主题词: 金伯利岩 金刚石矿床 找矿标志 金刚石伴生矿物

金伯利岩中与金刚石紧密伴生的镁铝榴石、铬尖晶石、钛铁矿、单斜辉石及橄榄石,形成于高温,尤其是高压的上地幔条件下,对它们的标型特征进行研究,不仅对阐明它们的成因及获得上地幔信息具有重要意义,而且对指导金刚石矿普查和勘探工作起重要作用。

1 镁铝榴石

镁铝榴石是金伯利岩的副矿物。它是常见的金刚石伴生矿物,也是金刚石找矿工作中可靠的指示性矿物。国内、外很多金伯利岩型金刚石矿床都是利用重砂法,根据镁铝榴石的标型特征所提供的信息,追索金伯利岩体而找到的。

1.1 颜色

金伯利岩中镁铝榴石的颜色多种多样,多达八、九种,但主要分为两个颜色系列^[1]。紫色系列的镁铝榴石与橙色系列的镁铝榴石的含量比值越高,尤其是紫色系列镁铝榴石中的深色变种越多,则岩石中含金刚石越富。

金伯利岩中镁铝榴石的颜色与其 Cr_2O_3 和 Al_2O_3 含量的关系很密切。紫色系列镁铝榴石,尤其是深色变种,含 Cr_2O_3 高,含 Al_2O_3 低,形成的深度深,形成于金刚石 $P-T$ 区,因而,它们是找金刚石矿的最重要的指示性矿物。

金伯利岩中含金刚石富的岩体中镁铝榴石的颜色种类齐全。而含金刚石很少和不含金刚石的 金伯利岩中的镁铝榴石的颜色种类较单一,而且以橙色系列为主,深紫色者很难见到。

1.2 粒度

金伯利岩中镁铝榴石的粒度变化范围较大: $0.01\sim 15\text{ cm}$ 。但对找金刚石矿最有指示意义的是 $0.5\sim 1\text{ cm}$ 的颗粒(粗晶)。金伯利岩中镁铝榴石粗晶越多,其岩石中含金刚石越富。因为大部分镁铝榴石粗晶与地幔岩包体中的镁铝榴石的物理性质和化学成分相近,因而,它们可能为地幔岩解体的矿物。含石榴石的二辉橄榄岩及纯橄岩包体来自上地幔深处,它们形成的热力学条件与金刚石形成的热力学条件相近。

1.3 皮壳

金伯利岩中镁铝榴石常有皮壳,主要由蛇纹石、磁铁矿、金云母、铬尖晶石、绿泥石、方解石等矿物组成。它们主要为蚀变产物。其厚度一般为 $0.05\sim 3\text{ mm}$,具同心层状结构,多见呈 $3\sim 4$ 层,个别达 7 层。其它岩类中的镁铝榴石很少具皮壳,而且皮壳薄,层次少,各层为非同心圆状。

地表出露的金伯利岩中,带皮壳的镁铝榴石常裸露于岩石表面,颜色发黑或绿,外形为椭圆状或浑圆状,俗称“黑豆”或“绿豆”。它们常常是野外鉴定金伯利岩,寻找金刚石矿床的标志。

董振信,男,54岁,研究员,1989年获中国地质科学院博士学位。邮政编码:100034
1991年10月收稿,1992年6月修改回

1.4 折光率、比重和 α_0

金伯利岩中镁铝榴石的折光率变化范围为 1.725~1.799。紫色系列的镁铝榴石的折光率,随着颜色的加深而增高。含金刚石性不同的金伯利岩中的镁铝榴石的折光率各自有一定的变化范围,从紫色系列的镁铝榴石来看,富含金刚石的、山东和辽宁金伯利岩中的折光率多大于 1.760,贫含金刚石的贵州金伯利岩中的折光率一般小于 1.760。而含金刚石极少和不含金刚石的湖北、河南、山西和河北等地金伯利岩中的镁铝榴石的折光率均在 1.760 以下(图 1)。

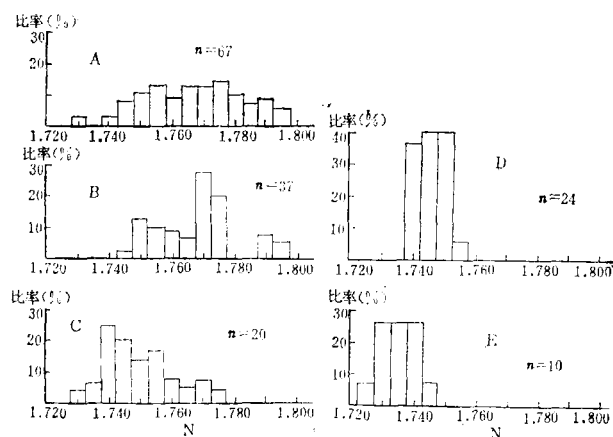


图 1 我国不同金伯利岩区紫色系列镁铝榴石折光率(N)分布直方图

A—山东; B—辽宁; C—贵州; D—湖北; E—河南

Fig. 1. Histograms showing refractive index distribution of purple series pyrope from different kimberlites of China.

A—Shandong; B—Liaoning; C—Guizhou; D—Hubei; E—Henan.

金伯利岩中镁铝榴石的比重变化范围为 3.582~3.780。不同含金金刚石性的金伯利岩中的镁铝榴石比重不同,就紫色系列的镁铝榴石而言,富含金刚石的山东(3.71~3.77)和辽宁(3.67~3.79)较高,而贫含金刚石的贵州(3.66~3.76)较低。含金刚石极少及不含金刚石的湖北(3.65~3.76)、河南(3.66~3.73)更低。

金伯利岩中镁铝榴石的晶胞参数 a_0 的变化范围为: 11.510~11.625 Å。不同含金金刚石性的金伯利岩中镁铝榴石的 a_0 也有差异。就紫色系列的镁铝榴石来看,山东金伯利岩中镁铝榴石 a_0 最高(平均 11.563 Å),辽宁次之(平均 11.542 Å),湖北(平均 11.540 Å)、贵州(平均 11.536 Å)和河南(平均 11.531 Å)低。总的来看,含金刚石极少及不含金刚石的金伯利岩中的镁铝榴石 $a_0 < 11.560$ Å,含金刚石富的金伯利岩中镁铝榴石 a_0 多大于 11.560 Å。

造成金伯利岩中镁铝榴石的折光率、比重和晶胞参数 a_0 变化的主要原因是其 Cr_2O_3 含量的差异。

1.5 化学成分及端员组分特征

金伯利岩中镁铝榴石中的 Cr_2O_3 和 Al_2O_3 呈明显的反消长关系,尤其是紫色系列的镁铝榴石的 Cr_2O_3 和 Al_2O_3 为十分明显的负相关关系。122 个紫色系列的镁铝榴石的 $\text{Al}_2\text{O}_3(x)$ 和 $\text{Cr}_2\text{O}_3(y)$ 相关分析结果,建立的直线回归方程式为: $y = 25.78 - 1.06x$, $r = -0.88$ 。

从金刚石含量不同的山东、辽宁、湖北、河南、山西等地金伯利岩的紫色系列的镁铝榴石对比来看,就可以发现它们的 Cr_2O_3 和 Al_2O_3 含量与岩石中金刚石含量分别有呈明显的正、负相关关系的趋势(图 2)。

以山东、辽宁、贵州、山西、湖北、河南金伯利岩为序,随着岩石中金刚石含量减少直至到无,岩石中镁铝榴石的 $\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al})$ 比值依次降低,尤其对于紫色系列的镁铝榴石来说,更是如此。一般,含金刚石达工业品位的金伯利岩中的紫色系列镁铝榴石的 $\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al}) > 10\%$,而不够工业品位的,其比值 $< 10\%$ 。橙色系列镁铝榴石的 $\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al})$ 与岩石中含金刚石性的关系虽不及紫色系列者明显,但也有金刚石性越

好,其比值也越高的趋势。

含金刚石性好的山东、辽宁金伯利岩中的镁铝榴石大多都含镁铬榴石分子,高达23.19%。含金刚石性差的贵州金伯利岩的紫色系列镁铝榴石中,只有深色变种含有镁铬榴石分子,最高仅为4.5%。含金刚石极少及不含金刚石的金伯利岩中的镁铝榴石,不含镁铬榴石分子。

镁铝榴石的Cr组分,尤其镁铬榴石分子与其形成压力,呈明显的正相关关系。Ca组分,尤其是钙铝榴石分子的含量,与其形成压力呈较明显的负相关关系。利用镁铝榴石的Cr组分、Ca组分、镁铬榴石分

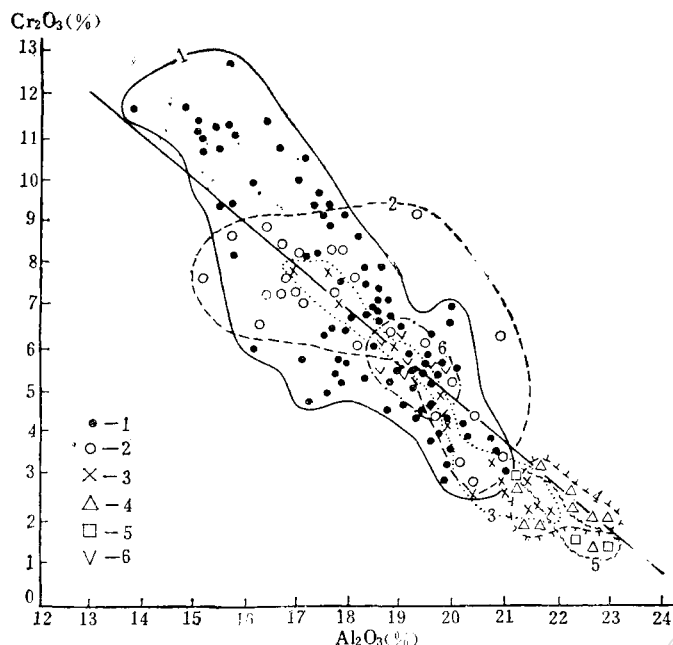


图2 金伯利岩中紫色系列镁铝榴石 Cr_2O_3 - Al_2O_3 图

富含金刚石: 1—山东; 2—辽宁; 贫含金刚石: 3—贵州; 含金刚石极少或不含金刚石: 4—湖北; 5—河南; 6—山西

Fig. 2. Cr_2O_3 versus Al_2O_3 diagram of purple series pyropes from Kimberlites.

Pyropes rich in diamond: 1—Shandong; 2—Liaoning; Pyropes poor in diamond: 3—Guizhou;

Pyropes containing very rare or no diamond: 4—Hubei; 5—Henan; 6—Shanxi.

子及钙铝榴石分子计算值,投Malinovsky—Doroshov (1977)图^[7],可以估测镁铝榴石的形成压力。山东、辽宁金伯利岩中的镁铝榴石,最大形成压力可达 $55 \times 10^8 \text{ Pa}$,很多成分投影点落入金刚石稳定区。贵州金伯利岩中的镁铝榴石成分投影点很少落入金刚石稳定区(图3)。而湖北、河南、山西等地金伯利岩中的镁铝榴石成分投影点全部落入金刚石稳定区之外,这与岩石中金刚石的实际情况相一致。

2 铬尖晶石

2.1 a_0 、 D 、 N 、 R

我国金伯利岩中铬尖晶石 a_0 的变化范围: $8.26 \sim 8.39 \text{ \AA}$ 。相对密度(D)的变化范围: $4.12 \sim 4.85$ 。折光率(N)的变化范围: $1.900 \sim 2.187$ 。反射率(R)的变化范围: $10.33 \sim 14.60$ 。

我国含金刚石性不同的金伯利岩区产出的铬尖晶石的 a_0 、 D 、 N 及 R 是有差异的,而且也有一定规律可寻的。总起来看,岩石中含金刚石越富,其铬尖晶石的 a_0 、 D 、 N 和 R 都有偏高趋势^[2]。同一地区含金刚石性不同的岩带或岩体,其铬尖晶石的物理性质也有规律的变化:含金刚石性好者,其 a_0 、 D 、 N 和 R 都偏高。从山东金伯利岩来看,常马庄岩带含金刚石性好,其 a_0 (平均值: $8.350 \text{ \AA}$)、 D (平均值: 4.61)、 N (平均值: 2.175)、 R (平均值: 13.51)较高。西峪岩带含金刚石性差,其 a_0 (平均值: $8.33 \text{ \AA}$)、 D (平

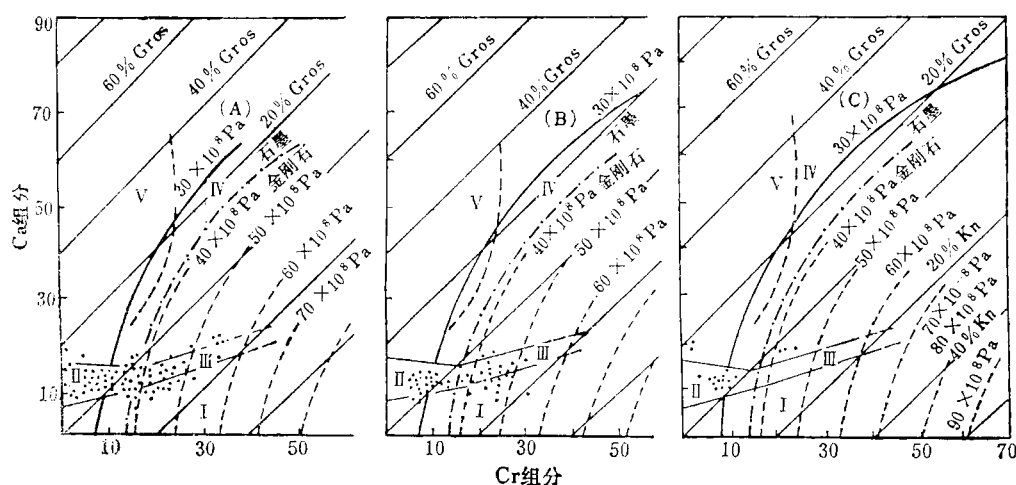


图3 金伯利岩中镁铝榴石的Ca组分-Cr组分的压力效应图

(A)—山东; (B)—辽宁; (C)—贵州; Kn—镁铬榴石分子; Gros—钙铝榴石分子;

(作图方法: 据 Malinovsky I. Yu. 和 Doroshev A. M., 1977) 石榴石组合区 (据 Содолев, Н. В., 1974):

I—纯橄岩-方辉橄岩组合区; II~III—二辉橄岩组合区; IV—异剥橄岩组合区; V—榴辉岩组合区

Fig. 3. Effects of pressure on calcium and chromium component of pyrope in kimberlites.

(A)—Shandong; (B)—Liaoning; (C)—Guizhou; Kn—Khorringite; Gros—Grossular; Garnet assemblages; I—Dunite-harzburgite; II~III—Lherzolite; IV—Wehrlite; V—Eclogite.

均值: 4.60)、 N (平均值: 2.158)、 R (平均值: 13.41) 较低。坡里岩带几乎不含金刚石, 其 a_0 (平均值: 8.318 Å)、 D (平均值: 4.57)、 N (平均值: 2.147) 及 R (平均值: 13.2) 很低。

造成铬尖晶石物理性质不同的主要原因是其本身的化学成分和结构特征。处于八面体位置的三价元素的变化比处于四面体位置的两价元素的变化对它们的物理性质的影响要大。尤其是八面体位置的Cr对Al的替代, 使其 a_0 、 D 、 N 和 R 较明显增高。

2.2 化学成分及端员组分特征

Cr_2O_3 是铬尖晶石的主要化学成分。Cr和Al呈十分明显的负相关关系^[2,3], 反映了该矿物八面体位置中 Cr^{3+} 、 Al^{3+} 完全类质同象现象的存在。而这种类质同象替代作用受矿物形成时的温度, 尤其是压力的制约。因而, 铬尖晶石中的Cr含量不仅是其形成 P - T 条件的指示剂, 而且是找金刚石矿床的标型特征。

富含金刚石的山东和辽宁金伯利岩中铬尖晶石的 Cr_2O_3 含量高 (分别为53.50%~60.44%; 43.40%~58.20%), 贫含金刚石的贵州金伯利岩中铬尖晶石 Cr_2O_3 含量低 (42.76%~57.75%), 而含金金刚石极少和不含金刚石的湖北及河南金伯利岩中铬尖晶石的 Cr_2O_3 含量更低 (分别为: 42.58%~49.26%; 30.40%~41.49%)。金刚石中的铬尖晶石的 Cr_2O_3 含量比地球上其他产状的铬尖晶石的 Cr_2O_3 含量都高^[4,8]。

含金金刚石性不同的金伯利岩中铬尖晶石的铬含量的差异及变化规律, 还明显地表现在 $\text{Cr}/(\text{Cr}+\text{Al})$ (图4)、 $\text{Cr}/(\text{Cr}+\text{Al}+\text{Fe}^{3+})$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_3'$ (为 $\text{Cr}_2\text{O}_3/(\text{Cr}_2\text{O}_3+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TFeO}+\text{MgO})$) (图5)、 MgCr_2O_4 分子及Cr组分上。它们的高、低是金伯利岩中含金刚石多、少的标志。

在Malinovsky—Doroshev的铬尖晶石 P - T 图^[7]上, 当形成温度为1100℃时, 用铬组分所估测的铬尖晶石形成压力: 山东和辽宁为 $25 \times 10^8 \sim 70 \times 10^8$ Pa, 一般为 $38 \times 10^8 \sim 48 \times 10^8$ Pa, 大部分都落入金刚石 P - T 稳定区。贵州为 $29 \times 10^8 \sim 32 \times 10^8$ Pa, 仅个别达 43×10^8 Pa, 落入金刚石 P - T 稳定区。河北为 $20 \times 10^8 \sim 29 \times 10^8$ Pa, 山西为 $27 \times 10^8 \sim 38 \times 10^8$ Pa, 河南为 $25 \times 10^8 \sim 27 \times 10^8$ Pa, 均落入金刚石 P - T 稳定区之外。这种情况与各岩区金刚石含量的实际情况相吻合。进一步说明, 铬尖晶石中的铬组分是金伯利岩含金刚石性的判别标志。

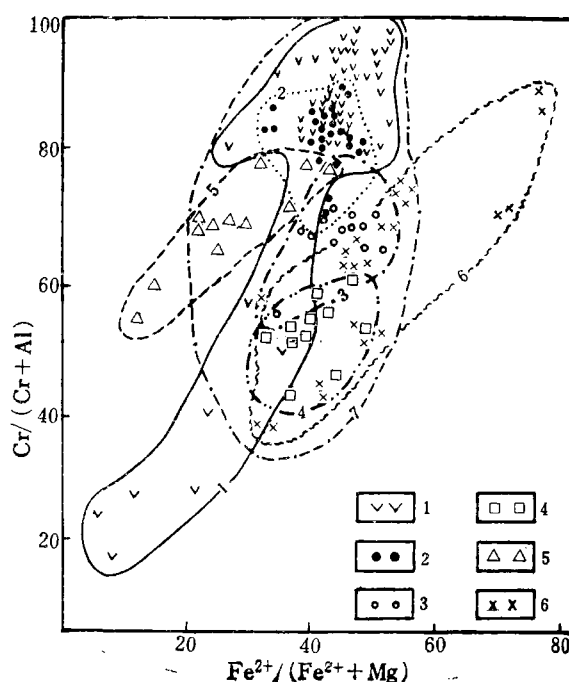
2.3 红外光谱特征

铬尖晶石中的Cr、Al类质同象替代作用, 造成了它们的红外吸收谱带有规律的位移。铬尖晶石的红外

图4 金伯利岩中铬尖晶石 $\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al}) - \text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$ 图
1—山东; 2—辽宁; 3—贵州; 4—河南;
5—山西; 6—河北; 7—我国金伯利岩铬尖
晶石主要成分区

Fig. 4. $\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al})$ versus $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$ diagram of picotites from kimberlites.

1—Shandong; 2—Liaoning; 3—Guizhou;
4—Henan; 5—Shanxi; 6—Hebei; 7—
Major compositional area of picotites
from kimberlites of China.



吸收谱带 ($625 \sim 645 \text{ cm}^{-1}$, $500 \sim 525 \text{ cm}^{-1}$) 的相应位置的波数与其 Cr_2O_3 、 $\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al})$ 、 $\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al} + \text{Fe}^{3+})$ 呈负相关关系, 而与 $\text{Al}/(\text{Cr} + \text{Al} + \text{Fe}^{3+})$ 呈正相关关系。富含金刚石的金伯利岩中的铬尖晶石红外吸收谱带位置的波数低。因而, 铬尖晶石的红外吸收谱带的相应位置, 也是判断金伯利岩中含金刚石性的标志。

2.4 穆斯堡尔谱特征

金伯利岩中铬尖晶石的穆斯堡尔谱参数与其Cr和Al的含量有明显的相关关系^[3], 铬尖晶石的 $\text{Fe}^{3+}(\text{B})$ 的 IS 值与 Cr_2O_3 含量、 $\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al})$ 呈正相关关系, 而 $\text{Fe}^{3+}(\text{B})$ 及 $\text{Fe}^{2+}(\text{A})$ 的 QS 值皆与 Cr_2O_3 含量、 $\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al})$ 呈负相关关系。当金伯利岩中, 铬尖晶石的 $IS[\text{Fe}^{3+}(\text{B})]$ 越高, $QS[\text{Fe}^{3+}(\text{B})]$ 和 $QS[\text{Fe}^{2+}(\text{A})]$ 越低, 则含金刚石越富。

3 钛铁矿

3.1 固熔体分解结构

钛铁矿固熔体分解结构的存在与否, 是金伯利岩含金刚石的间接标志。含金刚石的金伯利岩中, 往往见不到钛铁矿的固熔体分解结构。因为有利于金刚石保存的金伯利岩浆的快速上升的条件, 是不利于这种固熔体结构形成的。

3.2 化学成分及端员组分特征

金伯利岩中铬尖晶石的 Cr_2O_3 含量与其金刚石含量之间, 有呈正相关关系的趋势。尤其值得注意的是, 钛铁矿的 MgTiO_3 组分与其形成压力呈明显的正相关关系^[9], 因而, 与岩石中金刚石含量也呈明显的正相关关系。山东、辽宁金伯利岩中的钛铁矿含 MgO 高, 且大多数为镁钛铁矿变种, 而湖北等地金伯利岩中的皆属钛铁矿变种。同一地区, 不同含金刚石性的岩体也表现了这种规律性, 例如: 山东富含金刚石的胜利1号岩管 (高达16.04%)、红旗1号岩脉 (15.02%)、红旗27号岩脉 (高达17.02%) 的钛铁矿含 MgO 较高, 而含金刚石较贫的红旗5号岩体的钛铁矿含 MgO (0.42%) 低。辽宁富含金刚石的50号岩管钛铁矿含 MgO 高 (高达12.46%)。含金刚石较贫的30号岩管含 MgO (0.60%~2.87%) 较低, 而含金刚石

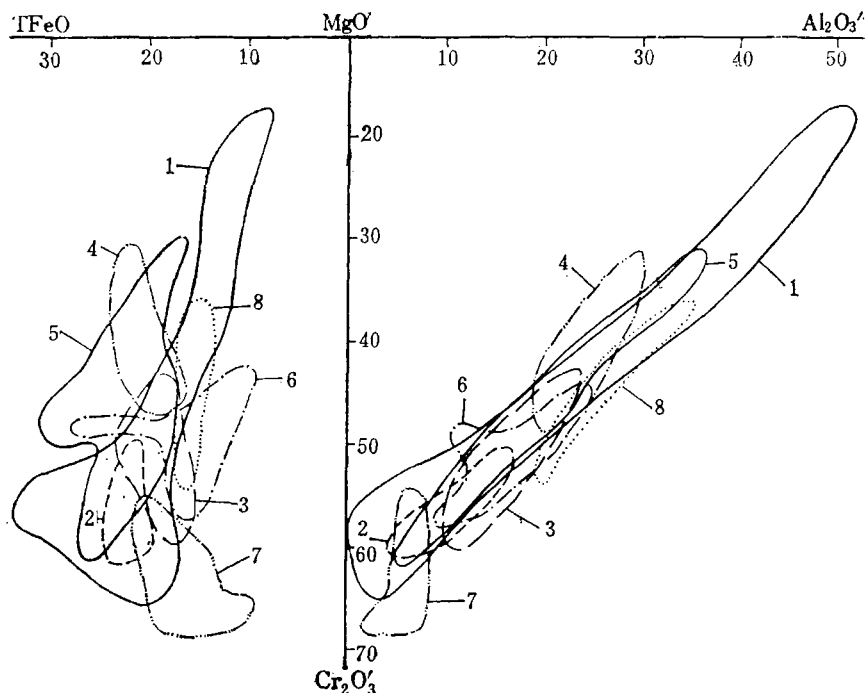


图 5 金伯利岩及其包体和金刚石中铬尖晶石 $\text{TFeO}'\text{-MgO}'\text{-Cr}_2\text{O}_3'\text{-Al}_2\text{O}_3'$ 图解

1—山东金伯利岩; 2—辽宁金伯利岩; 3—贵州金伯利岩; 4—河南金伯利岩; 5—河北金伯利岩; 6—山西金伯利岩; 7—金刚石中的包体; 8—金伯利岩中尖晶二辉橄榄岩包体

Fig. 5. $\text{TFe}_2\text{O}'\text{-MgO}'\text{-Cr}_2\text{O}_3'\text{-Al}_2\text{O}_3'$ diagram of picotites from kimberlites, their xenoliths and diamonds.

1—6—Kimberlites; 1—Shandong; 2—Liaoning; 3—Guizhou; 4—Henan; 5—Hebei; 6—Shanxi; 7—Inclusions in diamonds; 8—Spinel-lherzolite xenoliths in kimberlites.

极少的1号岩管的钛铁矿的 MgO (0.09%) 最低。

4 单斜辉石

金伯利岩中的单斜辉石, 虽然很少见, 但它对其形成的温度、压力条件变化的反映很敏感^[6]。因而, 它对寻找金伯利岩型金刚石矿床及判断金伯利岩中金刚石含量的多少, 起重要作用。

含金刚石的, 尤其是富含金刚石的金伯利岩中的单斜辉石的标型特征是: 鲜翠绿色, 浑圆状或椭圆状, 常含有蛇纹石、方解石及绿泥石等矿物组成的蚀变边。主要为顽透辉石-透辉石变种。 $\text{Ca}/(\text{Ca} + \text{Mg})$ 、 $\text{Ca}/(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Fe})$ 及钙契尔马克分子低, 而 $\text{Mg}/(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Fe})$ 及 $\text{Al}^{\text{VI}}/\text{Al}^{\text{IV}}$ 高。红外吸收谱带相应位置波数偏高。

5 橄榄石

金伯利岩中橄榄石的多世代特征越明显, 粗晶橄榄石的含量越多, 其岩石中金刚石含量也越高。

富含金刚石的金伯利岩中的粗晶橄榄石的颜色为无色—浅绿色^[6]。折光率较低, $2V$ 为正。

富含金刚石的金伯利岩中的橄榄石, 含 MgO 高, 即含 Fo 高, 为镁橄榄石变种。同时, 一般含 Cr_2O_3 、 NiO 也高。

综上所述, 紫色系列的富 Cr 镁铝榴石, 富 Cr 铬尖晶石, 富 Mg 和 Cr 、低 Ca 的单斜辉石, 富 Cr 、 Mg 的镁钛铁矿及富 Cr 、 Ni , 尤其是富 Mg 的镁橄榄石是金刚石的密切伴生的矿物, 它们形成于金刚石 P - T 稳定区, 为高压矿物。在金伯利岩中, 这些高压矿物组合中的矿物越齐全, 其含量越多, 则金刚石越富。

在研究工作中, 王恒升和白文吉研究员及池际尚教授给予指导, 李幼琴和吴功保副研究员分别提供了

红外光谱和穆斯堡尔谱分析结果。在此一一表示谢意。

参 考 文 献

- 1 董振信.我国金伯利岩及其他岩类中的镁铝榴石.矿物学报, 1981, 1(4): 219~229
- 2 董振信, 周剑雄.我国金伯利岩中铬铁矿的标型特征及其找矿意义.地质学报, 1980, 54(4): 284~299
- 3 董振信.金伯利岩中铬尖晶石的特征及与其它岩类中铬尖晶石之对比.地质论评, 1991, 37(6): 508~517
- 4 董振信.金刚石中的矿物包裹体.矿物岩石, 1991, 11(3): 64~71
- 5 董振信.中国金伯利岩中的单斜辉石.地质学报, 1992, 66(1): 35~47
- 6 董振信.山东金伯利岩中橄榄石的研究.岩石矿物学杂志, 1991, 10(4): 354~362
- 7 Malinovsky I Y, Doroshev A M. Evaluation of P - T conditions of diamond formation with reference to chrome-bearing garnet stability. Second International Kimberlite Conference. New Mexico, 1977. 200~202
- 8 Meyer H O A. Inclusions in diamonds. In: Mantle xenoliths. New York: Hong Wiley & Sons, 1987. 501~523
- 9 Гаранин В К, Кудрявцева Г П, Сошкина Л Т. Ильменит из кимберлитов. М. 1984. 5~100

MINERALOGICAL CRITERIA FOR DETERMINATION OF DIAMOND CONTENT IN KIMBERLITES

Dong Zhenxin

(Geological Museum of China, Beijing)

Cong Andong and Han Zhuguo

(No. 6 Geological Party, Liaoning Bureau of Geology and Mineral Resources, Shenyang,
Liaoning Province)

Abstract

In kimberlites, diamond is associated with pyrope, picotite, ilmenite, clinopyroxene and olivine, whose physical and chemical properties reflect to some extent their high temperature and especially high pressure formation conditions. The higher the IV, a_0 , D, Cr_2O_3 , $\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al})$, $(\text{Mg}_3\text{Cr}_2\text{Si}_3\text{O}_{12})$ and Cr component in pyrope, the richer the diamond that kimberlites contain. Picotite from diamond-rich kimberlites contains higher Cr_2O_3 , $\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al})$, $\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al} + \text{Fe}^{3+})$, MgCr_2O_4 and Cr component than that from kimberlites with little or no diamond. The lower the infrared absorption frequencies of pyrope and spinel in kimberlites, the richer the diamond in kimberlites. With the increase in $IS[\text{Fe}^{3+}(\text{B})]$ and decrease in $QS[\text{Fe}^{3+}(\text{B})]$ and $QS[\text{Fe}^{2+}(\text{A})]$ in picotite, kimberlites become increasingly richer in diamond; with the increasing MgO , MgTiO_3 and Cr_2O_3 content in megacrystalline and coarse-crystallized ilmenite, diamond content of kimberlites tends to increase. Compared with clinopyroxene in kimberlites with little or no diamond, clinopyroxene in diamond-rich kimberlites contains lower $\text{Ca}/(\text{Ca} + \text{Mg})$, $\text{Ca}/(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Fe})$ and tschermak molecules but higher $\text{Mg}/(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Fe})$, Cr_2O_3 and $\text{Al}^{\text{IV}}/\text{Al}^{\text{VI}}$. Olivine in diamond-bearing kimberlites is rich in MgO , forsterite molecules, Cr_2O_3 and NiO .