

山东金伯利岩中橄榄石的研究

董振信

(中国地质博物馆, 北京 100034)

主题词: 金伯利岩; 金刚石; 橄榄石

提 要: 本文首次研究了山东金伯利岩中橄榄石的产状、含量、大小、世代、形态、颜色、环带、矿物包体、折光率、 $2V$ 、化学成分、端员组分特征及红外光谱和穆斯堡尔谱特征, 并分析研究了橄榄石的成因。指出了无色—浅绿色的、含 MgO 、 Cr_2O_3 、 NiO 高的橄榄石是找金刚石矿的指示性矿物。

橄榄石是金伯利岩中最重要的造岩矿物, 也是金刚石的密切伴生矿物。它的大小、形态、物理性质和化学组成及波谱特征, 不仅对于其形成条件和成因具有重要的标型意义, 而且, 对于寻找金刚石矿床具有重要的指示意义。

一、产状、大小和形态

金伯利岩中橄榄石含量高, 变化范围为25—80%, 但一般为25—50%。

金伯利岩中, 绝大部分橄榄石都已变为蛇纹石、碳酸盐类矿物及滑石等, 因而, 新鲜的橄榄石很难见到, 但其形态假象仍可见到。

金伯利岩中橄榄石的主要产状: 1. 巨晶: $>10mm$; 2. 粗粒: $5—10mm$; 3. 中粒: $2—5mm$; 4. 微粒(基质矿物): $<0.2mm$; 5. 金刚石和镁铝榴石等矿物中的包体; 6. 金伯利岩中深源岩石包体中的矿物。

金伯利岩中, 大小明显不同的巨晶、粗粒、中粒及基质矿物, 构成了显著不同的四个世代。在显微镜下, 一般都能见到二、三个世代的橄榄石。

金伯利岩中橄榄石的形态为浑圆状、椭圆状、半自形—自形粒状及次棱角状。

金伯利岩中的橄榄石的形态与其大小和世代有一定关系。一般而言, 大颗粒的橄榄石, 即世代早者, 多为浑圆状和椭圆状。而颗粒小的橄榄石, 也就是形成世代晚的橄榄石, 则多为半自形—自形晶。

次棱角状橄榄石, 主要见于金伯利角砾凝灰岩及金伯利凝灰角砾岩中。

橄榄石的形态不同, 成因也不同。浑圆状及椭圆状橄榄石形态, 主要是由金伯利岩浆早期结晶的橄榄石及幔源岩石包体解体而来的橄榄石, 在金伯利岩浆快速上升过程中, 相互碰撞而形成的。半自形—自形的基质橄榄石, 则是由金伯利岩浆晚期结晶阶段形成的。次棱角状的橄榄石, 则为金伯利岩浆喷发—侵入过程中, 崩解作用造成的。

二、颜色、环带和矿物包体

金伯利岩中, 橄榄石的颜色为无色—浅绿色、绿色等。

橄榄石的颜色与其颗粒大小有一定关系。山东胜利1号金伯利岩中粗、中粒橄榄石多为无色和浅绿色。而基质中, 颗粒细小的橄榄石多为绿色。

橄榄石的颜色与其成分关系密切。从山东胜利1号岩管中的橄榄石来看,随着其颜色由无色→浅绿色→绿色变化,则成分中Fe增高, Fa 分子增加。

金伯利岩中,橄榄石的环带结构不太明显,说明同一颗粒的橄榄石的成分较均一。例如,山东胜利1号岩管中,从橄榄石的中心至边缘, Fo 的差值为0.2—1.6,但大部分仅为0.3。

从环带的类型来看,有正环带类型(从中心至边缘, Fo 降低, Fa 升高)、反环带类型(从中心至边缘, Fo 升高, Fa 降低)、正、反混合类型(从中心至边缘, Fo 及 Fa 变化杂乱)(图1)。

橄榄石中, 可含镁铝榴石、铬尖晶石、单斜辉石及钛铁矿等矿物包体,但以镁铝榴石及铬尖晶石包体最常见。

含其它矿物包体的橄榄石,主要为大颗粒的巨晶,次为粗晶,而基质橄榄石较少见。

橄榄石中的矿物包体种类与其成分和颜色密切相关。浅绿色—绿色的富Mg橄榄石中,主要见紫色系列的镁铝榴石、铬尖晶石、硫化物包体。在含Fe较高的黄绿色橄榄石中,常见到单斜辉石包体。在含Fe高的褐黄色橄榄石中,可见到钛铁矿包体。这种情况,在苏联成功岩管及和平岩管中很常见^[1]。而且,橄榄石与其包体矿物成分之间,有着密切的联系。如镁铝榴石、单斜辉石包体的FeO含量与其橄榄石寄主矿物的FeO含量之间,单斜辉石包体的 Cr_2O_3 含量与橄榄石寄主矿物的 Cr_2O_3 含量之间及镁铝榴石中的 $Ca/(Ca+Mg)$ 与橄榄石寄主矿物中的CaO含量之间,都存在着正相关关系^[1]。这说明,橄榄石与其包体矿物是处于平衡状态下形成的,而且,这些包体是属于共生包体类型。

三、物理性质、化学成分及端员组分特征

折光率及 $2V$:

山东胜利1号岩管中,橄榄石 $Ng=1.683-1.690$; $Nm=1.665$; $Np=1.646-1.652$; $2V(+)=84^{\circ}-88^{\circ}$ 。由文契尔有关鉴定图知: $Fa=7-9.5\%$, 为镁橄榄石。

山东红旗6号岩管中,橄榄石的 $Ng=1.689-1.699$; $Nm=1.675-1.680$; $Np=1.655-1.664$; $2V(-)=86^{\circ}-87^{\circ}$, $Fa=10.5-12$, 为贵橄榄石。

MgO及 Fo :

金伯利岩中的橄榄石是富MgO的。山东胜利1号岩管的橄榄石的MgO变化范围为: 48.12—51.30%。 Fo 的变化范围为90.2—92.5%,属于镁橄榄石。

金伯利岩中不同世代的橄榄石的成分是不同的,总的趋势是:早世代的橄榄石比晚世代的橄榄石含MgO高, Fo 也高。例如,山东胜利1号岩管中,早世代的橄榄石的 Fo 为90.9—92.5,晚世代的橄榄石 Fo 为90.2—91.5。在苏联也有类似情况,成功岩管中的浅

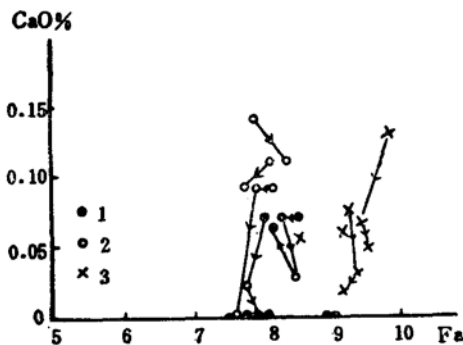


图1 山东胜利1号岩管中橄榄石的CaO—Fa图

Fig. 1. CaO versus Fa diagram for olivine from Shengli-1 pipe in Shandong Province

1—粗粒; 2—中粒; 3—微粒

绿色—绿色的第Ⅰ世代橄榄石的 Fo 为：92.1—94，而褐黄色第Ⅱ世代的橄榄石的 Fo 为86.4—92。又如，加拿大的Elwn Bay和Peuyuk 金伯利岩中，早世代的粗晶橄榄石比其晚世代的基质橄榄石富含 MgO 及 Fo 分子^[2]（图2）。

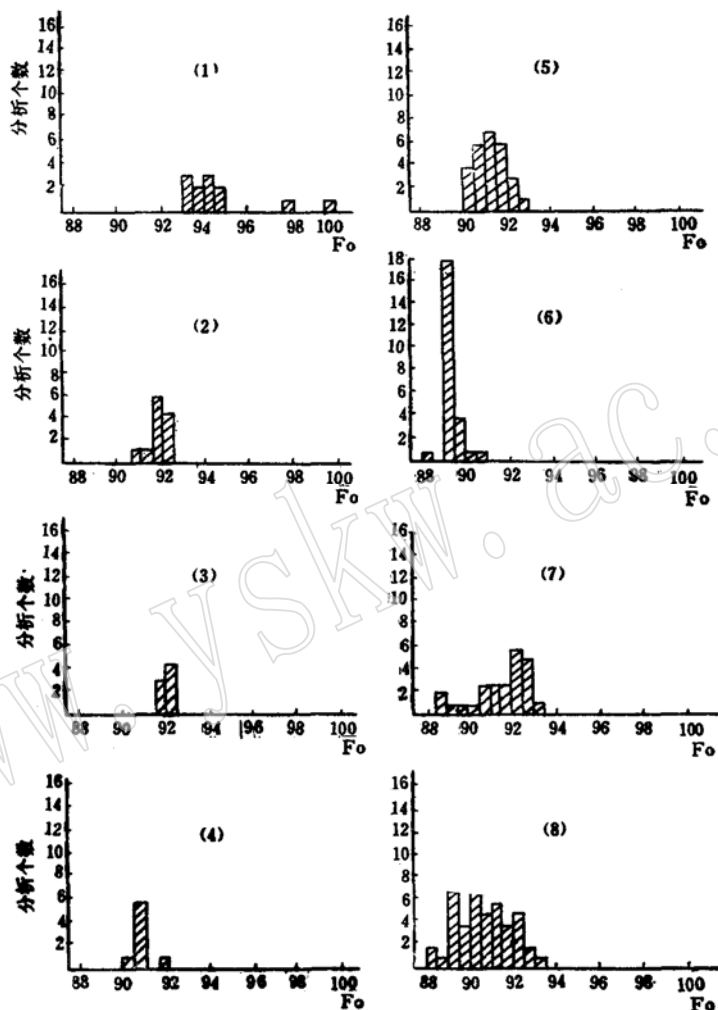


图2 金伯利岩中橄榄石 Fo 分布直方图

Fig. 2 Histogram showing the distribution of Fo in olivine from Kimberlites

(1) 金刚石中包体（其中山东12个样品，国外5个样品^[3]）(2) 山东胜利1号岩管，粗粒；(3) 山东胜利1号岩管，中粒；(4) 山东胜利1号岩管，微粒（基质矿物）；(5) Peuyuk金伯利岩，粗晶^[2]；(6) Peuyuk金伯利岩，基质矿物^[2]；(7) Elwn Bay金伯利岩，粗晶^[2]；(8) Elwn Bay金伯利岩，基质矿物^[2]

金刚石含量不同的金伯利岩体的橄榄石成分有一定差异，总起来看，岩体中含金刚石越富，其橄榄石中 MgO 含量及 Fo 分子越高。像上已述及的山东地区，富含金刚石的胜利1号岩管中的橄榄石比含金刚石较贫的红旗6号岩管中的橄榄石的 Fo 高，就是一个实例。

从山东和国外^[3]金刚石中橄榄石包体来看，它们的 MgO 含量为地球上各种产状组合的橄榄石中的最高者（高达54.96%），为镁橄榄石变种（ Fo 91.8—100）（图2,3）。

FeQ及 Fa

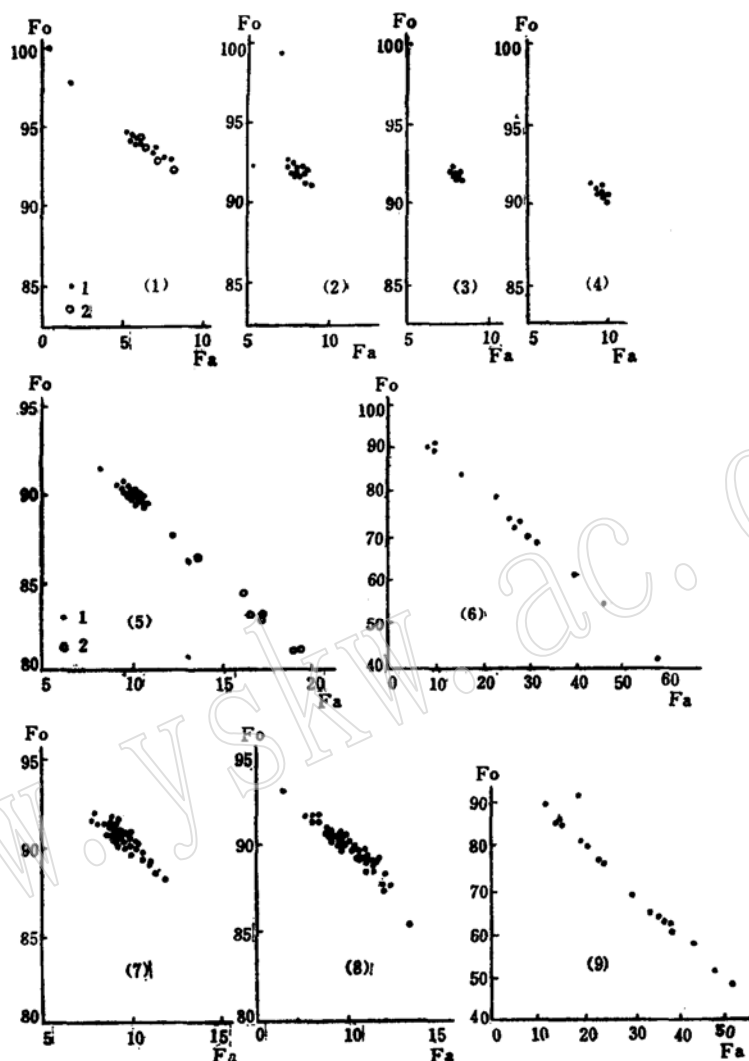
图3 不同产状的橄榄石的 F_o — F_a 图

Fig. 3. F_o versus F_a diagram for olivine of different modes of occurrence.

(1) 金刚石中包体: 1—山东, 2—国外⁽³⁾; (2) 山东胜利1号, 粗粒; (3) 山东胜利1号, 中粒; (4) 山东胜利1号, 微粒(基质矿物); (5) 我国东北地区新生代玄武岩中深源包体⁽⁴⁾, 1—橄榄岩类包体, 2—辉石岩类包体; (6) 我国东北地区新生代玄武岩⁽⁴⁾; (7) 我国华北地区新生代玄武岩中的橄榄岩—辉石岩类包体⁽⁴⁾; (8) 我国东南地区新生代玄武岩中橄榄岩—辉石岩类包体⁽⁴⁾; (9) 我国东南地区新生代玄武岩⁽⁴⁾

金伯利岩中, 橄榄石 FeO 的含量及 F_a 分子含量较低。山东胜利1号岩管中, 橄榄石的 FeO 含量变化范围: 7.31—9.31%, 而 F_a 的变化范围为 8.5—9.8%。

金伯利岩中, 晚期形成的橄榄石比早期形成的橄榄石含 FeO 高, 含 F_a 高(图3)。这种情况形成的原因, 是和橄榄石与其熔浆中的 FeO — MgO 分配系数 $\ll 1$ ($K_D^{\text{ol-liq}} = \frac{(\text{FeO}/\text{MgO})^{\text{ol}}}{(\text{FeO}/\text{MgO})^{\text{liq}}} = 0.27-0.38$)⁽⁵⁾ 有关。

金伯利岩比玄武岩中深源岩石包体中的橄榄石的 F_a (高达18) 低, 尤其是比玄武岩

中的橄榄石的 Fa (高达58)^[4]更低 (图3)。

CaO:

金伯利岩中, 橄榄石中的CaO含量: 0—0.14%。CaO 与其 Fa 有呈正相关关系的趋势 (图1)。

控制橄榄石中CaO含量的主要因素是它们形成的压力 (深度) 条件。橄榄石中CaO的含量, 随其压力的增加而降低。与金伯利岩中的橄榄石相比, 玄武岩中的橄榄石形成的压力低, 而含CaO高 (高达0.9%)^[4]。

NiO及Niol:

山东金伯利岩中橄榄石的NiO (高达0.74%) 及Niol分子含量 (高达0.73%) 较高。不同世代的橄榄石的Niol与 Fo 各自有呈正相关关系的趋势 (图4)。它们的同一颗粒的环带Niol分子变化较杂乱, 差异不大 (0.17—0.38%)。

金伯利岩中, 不同结晶阶段形成的橄榄石中的NiO含量是不同的。早世代的橄榄石中的NiO含量偏高 (高达0.74%), 而晚世代的橄榄石的NiO含量偏低 (<0.58%)。造成这种现象的原因是和橄榄石与熔浆中的NiO—MgO分配系数 >1

$$(K_D^{ol-liq} = \frac{(NiO/MgO)^{ol}}{(NiO/MgO)^{liq}} = 1.8-3.0)^{[5]}$$
有关。

Cr₂O₃:

山东金伯利岩中, 粗晶橄榄石的Cr₂O₃ (最高达0.17%) 比基质橄榄石的Cr₂O₃ (最高达0.13%) 有偏高趋势。金刚石中的橄榄石含Cr₂O₃最高 (高达1.29%)。

TiO₂:

山东胜利1号岩管中, 不同颜色和世代的橄榄石的TiO₂含量是不同的。一般来说, 无色—浅绿色的、早世代的橄榄石含TiO₂低 (最高含量为0.11%)。绿色的、晚世代的基质橄榄石含TiO₂高 (最高含量达0.17%)。

山东胜利1号岩管中, 橄榄石的TiO₂含量与FeO含量有呈正相关关系的趋势。

四、红外光谱及穆斯堡尔谱特征

所研究的红外光谱分析样品为山东胜利1号岩管中的无色—浅绿色粗粒橄榄石。其红外吸收谱特征如下:

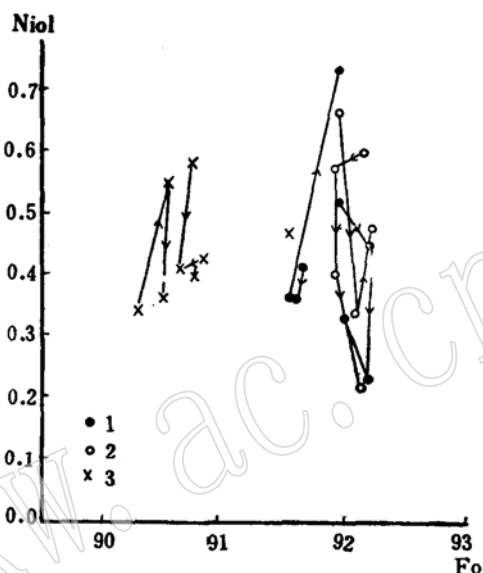


图4 山东金伯利岩中橄榄石Niol- Fo 图
Fig. 4. Niol- Fo diagram of olivine from kimberlites in Shandong province
1—胜利1号岩管, 粗粒; 2—胜利1号岩管, 中粒; 3—胜利1号岩管, 微粒 (基质矿物)。箭头所指方向为环带的中心至边缘

从350—1200 cm^{-1} 范围之内,其吸收带有10个: 982, 948, 880, 837, 606, 510, 465, 420, 380, 363 cm^{-1} (图5)。

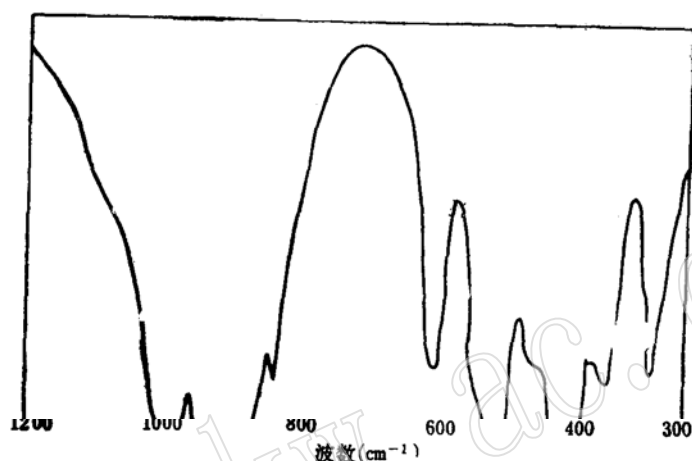


图5 山东胜利1号岩管中的橄榄石的红外吸收光谱带
Fig. 5. Infrared absorption spectrum of an olivine sample from Shengli-1 pipe in Shandong Province
(分析者: 李幼琴)

所研究的样品的红外光谱中,在420 cm^{-1} 处,出现了一个强吸收带,这表明,橄榄石为镁橄榄石,因为该强吸收带是镁橄榄石的特征吸收带,其他种属的橄榄石不具这个强吸收带。

另外,所研究的矿物的红外光谱中,出现了606 cm^{-1} 的红外吸收带,这也说明,其矿物中含Mg较高,为镁橄榄石。因为该吸收带,对阳离子性质最敏感,当橄榄石中Mg离子占绝对优势、而Fe离子含量很低时,由于 Mg^{2+} 的半径(0.66 Å)比 Fe^{2+} 的半径(0.74 Å)小,因而,使其排斥力增加,造成了 ν_4 的一个弯曲振动中的频率升高到600 cm^{-1} 以上。

880、948、982 cm^{-1} 的三个谱带的形成,是与 F_2 简并伸缩振动的位置群分裂成三个分谱带有关^[6]。

另外,465、510及606 cm^{-1} 的三个谱带,是简并的 ν_4 弯曲振动的位置分裂造成的。

在300—610 cm^{-1} 范围内的363、380、420、465、510及606六个吸收谱带,是由于Si和Mg两种原子的振动引起的。这说明, Si的位移与Si—O弯曲和Mg—O伸缩振动模式有相当程度的混合^[6]。

所测山东胜利1号岩管的橄榄石的穆斯堡尔谱分析图见图6。按 $\text{NS}=2$,对穆斯堡尔谱作了拟合(表1)。因未见到 Fe^{3+} 谱的存在,因而,两组分谱均为 Fe^{2+} ,将其指派给 $\text{Fe}^{2+}(\text{M}_1)$ 和 $\text{Fe}^{2+}(\text{M}_2)$ 。

橄榄石中的 M_1 及 M_2 的配位八面体都较接近于正八面体,因而,两分谱十分接近。 M_1 的对称性为 C_i , M—O平均值约为2.10 Å; M_2 的对称性为 C_s , M—O平均值约为2.14 Å。将外双峰指派给 $\text{Fe}^{2+}(\text{M}_2)$,内双峰指派给 $\text{Fe}^{2+}(\text{M}_1)$ 。拟合结果表明, Fe^{2+} 在 M_1 及 M_2 上的分

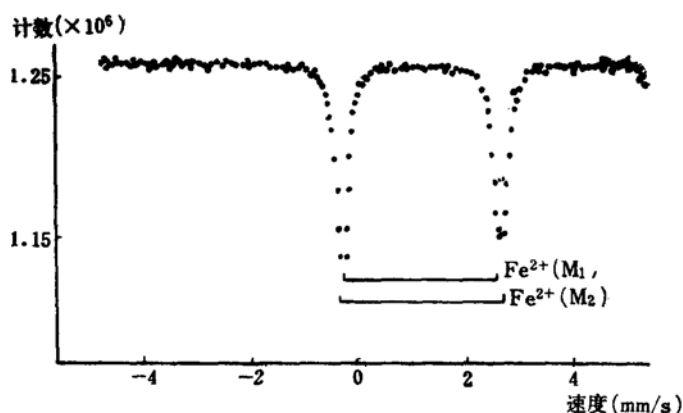


图 6 山东胜利 1 号岩管中的橄榄石的穆斯堡尔谱

Fig. 6. Mössbauer spectrum of an olivine sample from Shengli-1 pipe in Shandong Province

布, 接近于无序状态, 不过, 在 M_2 位置上的分布略多一些, 这与 Fe^{2+} 半径比 Mg^{2+} 半径较大、 M_2 的 $M-O$ 平均值稍大相吻合。

$IS[Fe^{2+}(M_2)]$ 比 $IS[Fe^{2+}(M_1)]$ 略大, 因为 M_2 配位多面体稍大, 其中的 Fe^{2+} 有较大的离子性。

所研究的橄榄石的晶体化学式为: $(Mg_{0.968}Fe^{2+}_{0.032}Cr_{0.002})_{1.002}(Mg_{0.966}Fe^{2+}_{0.034})_{1.000}Si_{0.999}O_4$ 。 $Fo:Fa=97:3$, 为镁橄榄石。

表 1 山东胜利 1 号岩管中的橄榄石的穆斯堡尔谱参数

Table 1. Mössbauer parameters of an olivine sample from Shengli-1 pipe in Shandong Province

样 品	指 派	IS (mm/s)	QS (mm/s)	$\Gamma_{\frac{1}{2}}$ (mm/s)	A %	Fe^{2+}	拟合判据
S ₁	$Fe^{2+}(M_2)$	1.153	3.065	0.236	51.34	0.034	249
	$Fe^{2+}(M_1)$	1.128	2.877	0.236	48.66	0.032	

(分析者: 中国地质科学院矿床所吴功保)

五、成 因

1. 金伯利岩中微粒橄榄石, 分布于基质中, 自形程度好, 颜色较深, 成分中含 Fe 、 Ti 、 Ca 高, 而含 Ni 低。它们是金伯利岩浆晚期结晶的产物。

2. 山东胜利 1 号岩管中的粗粒橄榄石未见有波状消光现象和扭折带。在金伯利岩中缺乏二辉橄榄岩幔源包体的一些常见矿物——单斜辉石及斜方辉石。金伯利岩中粗粒橄榄石的含量与粗粒的橄榄岩类包体含量之间, 没有明显的关系。粗粒橄榄石在空间分布上没有见到向较大的幔源橄榄岩类包体碎块逐渐过渡的情况。不同颜色和大小橄榄石与其化学成分之间有一定关系。金伯利岩中, 不同世代的橄榄石由早到晚颜色由无色→浅绿色→绿色变化, 其成分中的 MgO 和 Fo 端员组分逐渐降低, 而 FeO 及 Fa 逐渐增高, 这种有

规律的变化,正是岩浆分离结晶作用的反映。

综上所述,作者认为山东胜利1号金伯利岩中的粗晶橄榄石主要是金伯利岩浆结晶的产物。

3. 在金伯利岩的橄榄岩类包体中,没有见到10mm以上的类似巨晶大小的橄榄石晶体,因而,橄榄石巨晶不可能为橄榄岩类包体解体的产物,而是高压条件下,金伯利岩浆早期结晶的产物。

结 论

1. 金伯利岩中的橄榄石,具有大小明显不同的三、四个世代。早世代者为浑圆状、椭圆状,晚世代者为半自形—自形晶。

2. 山东胜利1号岩管中的橄榄石,颗粒由大到小,颜色由无色→浅绿色→绿色,其成分中 Fo 有降低趋势,而 Fa 有相应升高趋势。

3. 金伯利岩中的橄榄石为镁橄榄石—贵橄榄石,而且,大部分为镁橄榄石。

4. 金伯利岩中橄榄石的 NiO 与 MgO 、 CaO 与 FeO 、 TiO_2 与 FeO 都有正相关关系的趋势。

5. 无色—浅绿色的、含 MgO 及 Cr_2O_3 和 NiO 高的橄榄石,形成于金刚石稳定区的 P 、 T 条件下,因而,它们是找金刚石矿的指示性矿物。

感谢王恒升及白文吉研究员和池际尚教授在研究工作中给予的热情指导。

参 考 文 献

- [1] Космровицкий, С. И., 1986. Геохимические Особенности Минералов Кимберлитов. Новосибирск, Издательство "Наука", Сибирское Отделение. 19—90.
- [2] Mitchell, R. H., 1986. Kimberlites (Mineralogy, Geochemistry, and Petrology), Plenum Press, New York. 192—197.
- [3] Meyer, H. O. A., 1987. Inclusions in diamonds, in Mantle Xenoliths, P. H. Nixon, ed. John Wiley & Sons, New York. 501—523.
- [4] 鄂莫岚、赵大升, 1987, 中国东部新生代玄武岩及深源岩石包体. 科学出版社.
- [5] Takahashi, E., 1978, Partitioning of Ni^{2+} , Co^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , and Mg^{2+} between olivine and silicate melts: compositional dependence of partition coefficient. *Geochim. Cosmochim. Acta*, V. 42, 1829—1844.
- [6] Farmer, V. C., 1974. The infrared spectra of minerals. Mineral. Soc. Monog. 4, London.

A Study of Olivine from Kimberlites in Shandong Province

Dong Zhenxin

(Geological Museum of China, Beijing 100034)

Key words: Kimberlite; diamond; olivine

Abstract

Olivine in kimberlites of Shandong Province is known to have six main modes of occurrence: (1) megacrysts ($>10mm$); (2) coarse-grained olivine

(5-10mm); (3) medium-grained olivine (2-5 mm); (4) microgranular or groundmass olivine ($<0.2\text{mm}$); (5) olivine as inclusions in diamond; and (6) olivine in deep-seated xenoliths of kimberlite.

Megacrystalline and macrocrystalline olivine occurs as rounded crystals, whereas groundmass olivine as subhedral and euhedral crystals. Olivine in Shandong kimberlites ranges from colorless through light green to green in color, and the relationship between the color and the size is like this: large crystals (macrocrysts) are colorless and light green, while small crystals (groundmass olivine) are green, suggesting that the former contain higher *Fo* than the latter. Three compositional variation trends have been observed from core to rim of the olivine: (1) iron-increasing trend; (2) magnesium-increasing trend; (3) coexistence of the above two trends in the same olivine. However, the zonal variation is very limited, e.g., *Fo* varies in the range of 0.2-1.6% from core to rim. Usually with *Fo* decreasing NiO contents decrease and CaO contents increase.

With the increase in diamond content of kimberlites, *Fo* values of olivine increase, e.g., olivine of diamond-rich kimberlite from Shengli-1 of Shandong contains higher *Fo* (90.2-92.5%) than that of diamond-poor kimberlites from Hongqi-6 of Shandong (88-89.5%).

There are 10 strong absorption bands (982, 948, 880, 837, 606, 510, 465, 420, 380 and 363cm^{-1}) within the range of $350-1200\text{cm}^{-1}$ in infrared spectra of olivine from Shengli-1 kimberlite pipe. The presence of 420cm^{-1} and 606cm^{-1} shows that the olivine in question belongs to forsterite.