

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

中国金伯利岩中的单斜辉石

董振信

(中国地质博物馆,北京)



本文对我国金伯利岩中,作为巨晶、粗晶、基质相矿物、与镁铝榴石和钛铁矿的连生体、深源岩石包体矿物及金刚石中包体矿物产出的单斜辉石的粒度、形态、颜色及蚀变壳、矿物种属、化学成分特征、端员组分、红外光谱等进行了研究。并与玄武岩中的巨晶及其深源岩石包体矿物、钾镁煌斑岩和云煌岩中的单斜辉石作了对比。研究了单斜辉石和镁铝榴石共生对。探讨了金伯利岩中单斜辉石的成因,形成的温、压条件及所反映出的金伯利岩体形成的构造环境,指出了该矿物在找寻金刚石矿工作中的指示标志。

关键词 金伯利岩 单斜辉石 地球化学

对金伯利岩中单斜辉石的研究,不仅对于研究金伯利岩及其地幔岩石包体形成的温度、压力条件和获得上地幔信息具有重要作用,而且对于寻找金伯利岩型金刚石矿床同样具有重要意义。

1 产状、形态、颜色及蚀变壳

金伯利岩中单斜辉石的主要产状及共生组合类型:(1)巨晶单斜辉石($> 10\text{mm}$);(2)粗晶单斜辉石($5-10\text{mm}$);(3)基质相单斜辉石($< 0.5\text{mm}$);(4)金刚石中单斜辉石包体;(5)深源岩石包体中的单斜辉石;(6)与镁铝榴石、钛铁矿连生的单斜辉石。单斜辉石粗晶和巨晶多呈浑圆状,少数呈棱角状碎块。基质相单斜辉石为柱状自形晶。金伯利岩中单斜辉石的颜色为暗绿-浅绿色及翠绿色。单斜辉石粗晶和巨晶的表面,常有一层薄膜状皮壳,它是由很细小的蛇纹石、方解石及绿泥石矿物组成,是交代蚀变的产物。皮壳剥离后,单斜辉石巨晶和粗晶表面常见齿状突起,棱柱状和叠互状蚀象。

2 矿物种属分类

金伯利岩中的单斜辉石的主要种属是顽透辉石,次为透辉石。另外,还有少量的次透辉石及普通辉石(图1,2)。

不同产状和共生组合中的单斜辉石的种属^[1]是不同的:(1)金伯利岩中,单斜辉石粗晶和巨晶,主要为顽透辉石^[2],较少为透辉石,偶见次透辉石。(2)金伯利岩中橄榄岩-辉

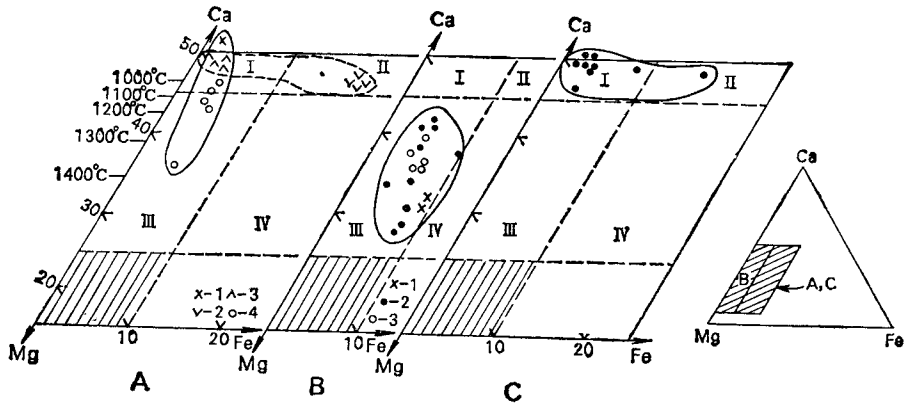


图 1 金伯利岩中单斜辉石巨晶及其深源岩石包体和基质相单斜辉石的 Ca-Mg-Fe 图
 Fig.1 Plot of Ca-Mg-Fe for megacryst clinopyroxenes in kimberlites and deep-seated xenoliths and groundmass clinopyroxenes of kimberlites

- A. 金伯利岩中深源岩石包体:
 - 1. 山东红旗 6 号岩管中二辉橄榄岩; 2. 河北金伯利岩中榴辉岩; 3. 山东红旗 2 号岩脉中榴辉岩; 4. 金伯利岩中橄辉岩-辉石岩类 (Dawson, 1980)
- B. 单斜辉石巨晶:
 - 1. 山东胜利 1 号岩管; 2. 金伯利岩中巨晶 (Mitchell, 1986); 3. 与钛铁矿的连生体 (Mitchell, 1986)
- C. 金伯利岩中基质相单斜辉石 (Mitchell, 1986):
 - I. 透辉石; II. 次透辉石; III. 顽透辉石; IV. 普通辉石(据王濮等, 1984)
- A. Deep-seated xenoliths in kimberlites:
 - 1. Lherzolites in Hongqi-6 pipe, Shandong; 2. eclogites in Hebei kimberlites; 3. eclogites in Hongqi-2 dike, Shandong; 4. peridotite-pyroxenite suite in kimberlites (Dawson, 1980)
- B. Clinopyroxene megacrysts:
 - 1. Shengli-1 pipe, Shandong; 2. megacrysts in kimberlites (Mitchell, 1986); 3. intergrowths with ilmenites (Mitchell, 1986)
- C. Groundmass clinopyroxenes in kimberlites (Mitchell, 1986):
 - Field: i. diopside; ii. salite; iii. endiopside; iv. augite(After Wang Pu et al, 1984)

石岩包体中的单斜辉石,主要为透辉石和顽透辉石。而在榴辉岩包体中的单斜辉石,则主要为透辉石和次透辉石^[3]。(3)金刚石中的单斜辉石包体^[4],不同共生组合类型的种属是有明显差异的。超镁铁岩型组合的单斜辉石为透辉石和顽透辉石,而榴辉岩型组合的单斜辉石为次透辉石和普通辉石。(4)金伯利岩基质相单斜辉石主要为透辉石,个别为次透辉石。

3 化学成分特征

3.1 Cr₂O₃

按 Cr₂O₃ 的含量,单斜辉石可分为两类:(1)富铬单斜辉石 (Cr₂O₃ > 1%);(2)贫铬单斜辉石 (Cr₂O₃ < 1%)。

不同产状和共生组合的单斜辉石中 Cr₂O₃ 含量有所不同(表 1):(1)我国金伯利岩中,绝大部分的粗晶单斜辉石为富铬变种 (Cr₂O₃ 含量高达 5.57%)。而且,岩石中含金刚石性越好,其单斜辉石中的 Cr₂O₃ 含量越高^[5,6]。(2)我国胜利 1 号岩管中的巨晶单斜

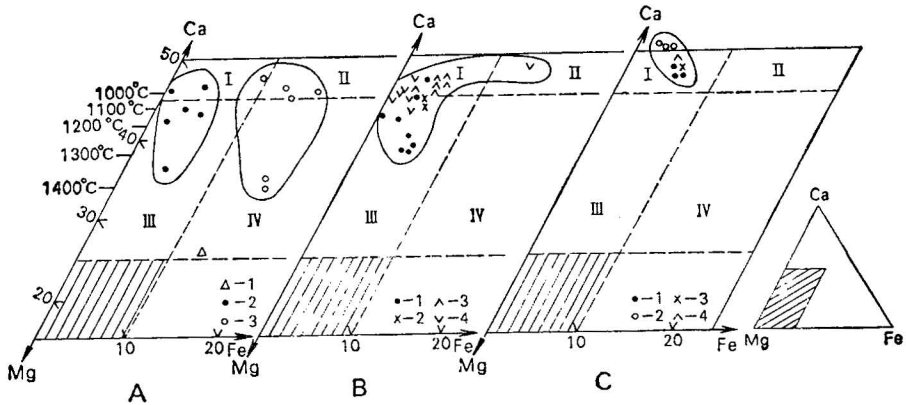


图 2 金刚石中单斜辉石包体、金伯利岩和钾镁煌斑岩及云煌岩中的粗晶单斜辉石 Ca-Mg-Fe 图
 Fig.2 Ca-Mg-Fe diagram for clinopyroxene inclusions in diamonds and macrocryst clinopyroxenes in kimberlites, lamproites and minettes

A. 金刚石中单斜辉石包体:

1. 山东金刚石中包体; 2. 超镁铁岩型组合的金刚石包体 (Meyer, 1987); 3. 榴辉岩型组合的金刚石包体 (Meyer, 1987)

B. 我国金伯利岩中粗晶单斜辉石:

1. 山东胜利 1 号岩管; 2. 山东红旗 6 号岩管; 3. 湖北京山岩体; 4. 山西应县岩体

C. 我国钾镁煌斑岩及云煌岩中粗晶单斜辉石:

1. 贵州白坟钾镁煌斑岩; 2. 湖北向冲钾镁煌斑岩; 3. 湖北徐家冲钾镁煌斑岩; 4. 山西应县云煌岩 I, II, III, IV 注解同图 1

A. Clinopyroxene inclusions in diamonds:

1. Inclusions in diamonds from Shandong; 2. inclusions in diamonds of ultramafic suite (Meyer, 1987); 3. inclusions in diamonds of eclogitic suite (Meyer, 1987)

B. Macrocryst clinopyroxenes in kimberlites from China:

1. Shengli-1 pipe, Shandong; 2. Hongqi-6 pipe, Shandong; 3. Jingshan kimberlites, Hubei; 4. Yingxian kimberlites, Shanxi

C. Macrocryst clinopyroxenes in lamproites and minettes from China:

1. Lamproites in Baifen, Guizhou; 2. lamproites in Xiangchong, Hubei; 3. lamproites in Xujiachong, Hubei; 4. minettes in Yingxian, Shanxi; Field I, II, III and IV are defined as in Figure 1

辉石为贫铬变种 (Cr_2O_3 0.28%—0.33%)。(3)金伯利岩中基质相单斜辉石的 Cr_2O_3 含量低 (<0.25%), 属贫铬变种。(4)金伯利岩中, 橄辉岩-辉石岩中的单斜辉石含 Cr_2O_3 高 (0.83%—2.6%), 绝大部分为富铬变种。而榴辉岩中的单斜辉石为贫铬变种。(5)金刚石中的超镁铁岩型组合的单斜辉石含 Cr_2O_3 高 (可达 11.8%), 主要为富铬变种。但榴辉岩型组合的单斜辉石的 Cr_2O_3 含量很低 (<0.09%), 为贫铬变种。

3.2 Al_2O_3

不同产状和共生组合中的单斜辉石的 Al_2O_3 含量有一定差异: 金伯利岩中粗晶单斜辉石的 Al_2O_3 含量较低 (0.01%—2.61%) (图 3), 巨晶单斜辉石的 Al_2O_3 含量较高 (1.20%—3.40%), 基质相单斜辉石的 Al_2O_3 含量低 (<1.61%)。金伯利岩中橄辉岩-辉石岩类包体中的单斜辉石的 Al_2O_3 含量高 (1.39%—5.92%), 而榴辉岩中单斜辉石的 Al_2O_3 含量很

表1 金伯利岩中不同产状的单斜辉石成分*

Table 1 Compositions for clinopyroxenes of various occurrences in kimberlites

| 样品号 氧化物 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|
| SiO ₂ | 55.32 | 55.43 | 55.72 | 51.99 | 53.64 | 56.68 | 56.03 | 55.40 | 54.71 | 56.06 |
| TiO ₂ | 0.12 | 0.12 | 0.04 | 0.20 | 0.12 | 0.25 | 0.28 | 0.01 | 0.10 | 0.00 |
| Al ₂ O ₃ | 0.99 | 1.52 | 0.76 | 1.04 | 2.61 | 1.88 | 1.79 | 7.46 | 7.27 | 2.89 |
| Cr ₂ O ₃ | 2.87 | 5.19 | 3.51 | 0.00 | 1.18 | 0.33 | 0.28 | 0.03 | 0.00 | 0.03 |
| TFeO | 2.15 | 2.20 | 2.79 | 9.67 | 1.93 | 4.72 | 5.08 | 9.93 | 10.07 | 8.21 |
| MnO | 0.04 | 0.06 | 0.01 | 0.47 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| MgO | 15.42 | 13.99 | 15.04 | 12.55 | 17.98 | 19.86 | 19.66 | 7.19 | 7.14 | 20.57 |
| CaO | 20.21 | 17.03 | 19.44 | 22.07 | 20.31 | 15.03 | 14.66 | 12.81 | 13.47 | 11.88 |
| Na ₂ O | 1.82 | 3.30 | 2.41 | 0.47 | 1.57 | 1.41 | 1.20 | 6.61 | 6.03 | 0.00 |
| K ₂ O | 0.07 | 0.04 | 0.02 | 0.03 | 0.00 | 0.05 | 0.07 | 0.01 | 0.06 | 0.00 |
| NiO | 0.16 | 0.37 | 0.07 | 0.04 | 0.04 | 0.00 | 0.11 | 0.04 | 0.22 | 0.00 |
| 总和 | 99.17 | 99.25 | 99.81 | 98.53 | 99.45 | 100.21 | 99.16 | 99.49 | 99.07 | 99.64 |
| 以6个氧原子为基础的离子数 | | | | | | | | | | |
| Si | 2.03 | 2.03 | 2.03 | 1.98 | 1.93 | 2.03 | 2.03 | 2.02 | 2.01 | 2.04 |
| Al ^{IV} | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Al ^{VI} | 0.04 | 0.07 | 0.03 | 0.02 | 0.04 | 0.08 | 0.08 | 0.32 | 0.32 | 0.12 |
| Ti | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Cr | 0.08 | 0.15 | 0.10 | 0.00 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Fe ³⁺ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.09 | 0.00 | 0.00 | 0.11 | 0.09 | 0.00 |
| Fe ²⁺ | 0.07 | 0.07 | 0.09 | 0.28 | 0.00 | 0.14 | 0.15 | 0.19 | 0.22 | 0.25 |
| Mn | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Mg | 0.84 | 0.76 | 0.82 | 0.71 | 0.97 | 1.06 | 1.06 | 0.39 | 0.39 | 1.12 |
| Ca | 0.79 | 0.67 | 0.76 | 0.90 | 0.78 | 0.58 | 0.57 | 0.50 | 0.53 | 0.46 |
| Na | 0.13 | 0.23 | 0.17 | 0.04 | 0.11 | 0.10 | 0.08 | 0.47 | 0.43 | 0.00 |
| K | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Ni | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| 端员分子数 | | | | | | | | | | |
| NaCrSi ₂ O ₆ | 8.51 | 15.56 | 10.49 | 0.00 | 3.35 | 0.96 | 0.82 | 0.09 | 0.00 | 0.00 |
| NaFeSi ₂ O ₆ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.44 | 7.60 | 0.00 | 0.00 | 11.36 | 9.16 | 0.00 |
| NaAlSi ₂ O ₆ | 4.38 | 6.80 | 3.39 | 1.06 | 0.00 | 8.11 | 7.81 | 32.92 | 32.30 | 0.00 |
| CaTiAl ₂ O ₆ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.58 | 0.34 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CaFeAlSiO ₆ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.83 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CaCr ₂ SiO ₆ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.05 |
| CaAl ₂ SiO ₆ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.25 | 4.29 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.55 |
| Ca ₂ Si ₂ O ₆ | 40.62 | 34.60 | 39.36 | 44.47 | 35.96 | 29.49 | 29.13 | 25.70 | 27.20 | 21.19 |
| Mg ₂ Si ₂ O ₆ | 43.12 | 39.55 | 42.37 | 35.91 | 48.28 | 54.21 | 54.36 | 20.07 | 20.06 | 59.00 |
| Fe ₂ Si ₂ O ₆ | 3.37 | 3.49 | 4.41 | 14.30 | 1.65 | 7.23 | 7.88 | 9.87 | 11.29 | 13.21 |
| T(°C) | 990.3 | 1093.7 | | 960.2 | 1082.6 | 1572.1 | 1544.9 | | | 1531.3 |
| P(10 ⁹ Pa) | 42.25 | 43.32 | | 38.2 | 32.55 | 101.19 | 86.69 | | | 45.10 |

* 由于篇幅所限,表中仅列出部分数据。

1——山东胜利1号岩管,粗晶;2——山东红旗6号岩管,粗晶;3——湖北京山岩体,粗晶;4——山西应县4号岩体,粗晶;5——山西应县2号岩体,粗晶;6、7——山东胜利1号岩管,巨晶;8、9——河北金伯利岩中橄辉岩包体;10——山东金金刚石中包体。探针分析者:中国地质大学,陈进。

低($<0.36\%$)。从金刚石中不同共生组合类型的单斜辉石的 Al_2O_3 含量来看,超镁铁岩型组合的单斜辉石的 Al_2O_3 含量 ($0.38\%—3.14\%$)比榴辉岩型组合的单斜辉石的 Al_2O_3 含量($5.78\%—15.10\%$)低得多。

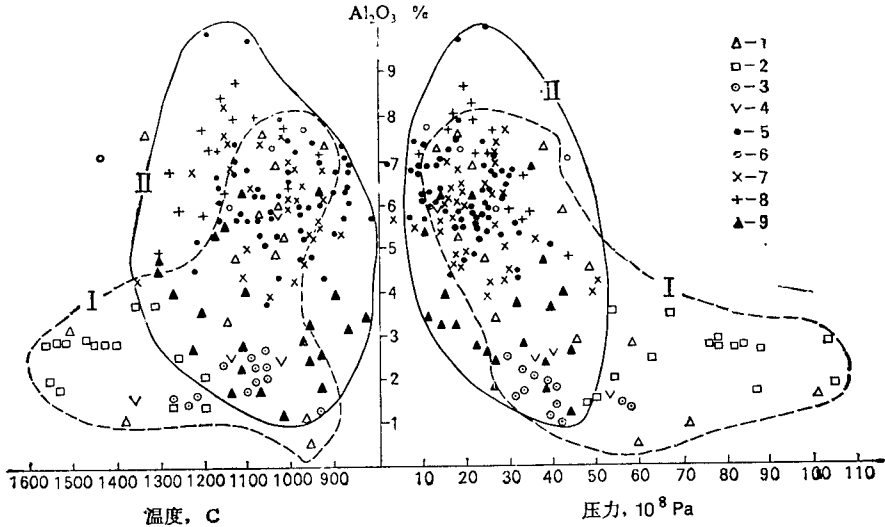


图 3 不同产状的单斜辉石的 Al_2O_3 与 T,P 关系图

Fig. 3 Relationship diagram of Al_2O_3 versus T and P of clinopyroxenes of various occurrences

1. 金刚石中包体; 2. 金伯利岩中巨晶; 3. 金伯利岩中粗晶; 4. 金伯利岩中深源岩石包体; 5. 华北地区玄武岩中橄榄岩包体; 6. 华北地区玄武岩中辉石岩包体; 7. 东北地区玄武岩中橄榄岩包体; 8. 东北地区玄武岩中辉石岩包体; 9. 东南地区玄武岩中橄榄岩-辉石岩包体

(5—9, 作者计算所用的单斜辉石成分资料来源: 鄂莫岚、赵大升, 1987)

I. 金伯利岩巨晶、粗晶及其深源岩石包体和金刚石中单斜辉石区; II. 玄武岩中橄榄岩-辉石岩包体区

1. Inclusions in diamonds; 2. megacrysts in kimberlites; 3. macrocrysts in kimberlites; 4. deep-seated xenoliths in kimberlites; 5. peridotite xenoliths in basalts from North China; 6. pyroxenite xenoliths in basalts from North China; 7. peridotite xenoliths in basalts from Northeast China; 8. pyroxenite xenoliths in basalts from Northeast China; 9. peridotite-pyroxenite xenoliths in basalts from Southeast China

(5—9: clinopyroxene composition data which are used for the calculation are from E Molan and Zhao Dasheng, 1987)

Field: I. Clinopyroxene megacrysts and macrocrysts in kimberlites, clinopyroxenes occurring in deep-seated xenoliths and diamonds; II. peridotite-pyroxenite xenoliths in basalts

金伯利岩中的单斜辉石 Al_2O_3 含量受其形成温度,尤其是形成压力(深度)的制约,它们之间有呈负相关关系的趋势(图 3)。

金伯利岩中单斜辉石的 Al_2O_3 与 SiO_2 有呈负相关关系的趋势。这揭示了 Al^{3+} 替代 Si^{4+} 的地球化学规律。

从不同产状和共生组合的单斜辉石的 Al^{VI} 和 Al^{IV} 来看,也有一定差异: 金伯利岩的粗晶和巨晶单斜辉石中的 $Al^{VI} > Al^{IV}$ 。金伯利岩中深源岩石包体中的单斜辉石的 Al^{VI} 也比 Al^{IV} 高,尤其是榴辉岩中的单斜辉石的 Al^{VI} 比 Al^{IV} 高得多。金伯利岩基质相单斜辉石的 Al^{VI} 比 Al^{IV} 低,仅个别例外。金刚石中单斜辉石包体的 $Al^{VI} \gg Al^{IV}$, 其 Al^{VI} 可高达 0.62。

从对不同产状和共生组合的单斜辉石形成的温度、压力计算结果与 Al^{VI}/Al^{IV} 值对

比来看,总的趋势是:单斜辉石形成的温度高,尤其是压力高,其 Al^{VI}/Al^{IV} 值也高。

3.3 Ca/(Ca + Mg)

金伯利岩中不同产状和共生组合的单斜辉石的 Ca/(Ca + Mg) 值有较明显的区别:金伯利岩中巨晶单斜辉石的 Ca/(Ca + Mg) 值低(30.7%—44.07%),基质相单斜辉石的 Ca/(Ca + Mg) 值高(50.35%—57.68%)。金伯利岩的粗晶单斜辉石和深源岩石包体中的单斜辉石的 Ca/(Ca + Mg) 值较高,其变化范围分别为:40.37%—55.83%;37.68%—55.45%。金刚石中不同共生组合的单斜辉石的 Ca/(Ca + Mg) 值变化范围不同,超镁铁岩型组合的单斜辉石包体的 Ca/(Ca + Mg) 值低(29.33%—48.43%),钙-硅酸盐型组合的单斜辉石的 Ca/(Ca + Mg) 值高(51.5%—52.27%),而榴辉岩型组合的单斜辉石的 Ca/(Ca + Mg) 值较高(40.6%—55.38%)。

金伯利岩中单斜辉石的 Ca/(Ca + Mg) 值与其形成的温度和压力呈负相关关系,因而,该比值是一个反映其形成时 T, P 条件的特征值。

4 端 员 组 分

金伯利岩中单斜辉石的主要端员组分是: $Ca_2Si_2O_6$ 和 $Mg_2Si_2O_6$ 。另外,还有少量的 $Fe_2Si_2O_6$, $NaCrSi_2O_6$, $NaFeSi_2O_6$, $NaAlSi_2O_6$, $CaAl_2SiO_6$, $CaTiAl_2O_6$, $CaCr_2SiO_6$, $CaFeAlSiO_6$ 。

从单斜辉石中的钙契尔马克分子 (Tsch, $CaAl_2SiO_6$) 的含量来看,金伯利岩中的粗晶和巨晶单斜辉石及其橄榄岩-辉石岩包体中的单斜辉石变化范围相差不大。金刚石中单斜辉石包体的 Tsch 变化范围大,且大部分单斜辉石的 Tsch 较低。

在上地幔条件下,单斜辉石中的钙契尔马克分子含量受其形成的温度和压力条件的制约,它们之间有呈负相关关系的趋势。

不同产状和共生组合的单斜辉石的硬玉分子 (Ja, $NaAlSi_2O_6$) 含量不同,河北金伯利岩中榴辉岩包体的单斜辉石含 Ja 高(32.3%—32.9%),为硬玉-次透辉石。金刚石中榴辉岩型组合的单斜辉石的 Ja 也高(23.4%—59.08%),为硬玉-次透辉石及硬玉-普通辉石。而金刚石中超镁铁岩型组合的单斜辉石的 Ja 低(0.35%—14.06%)。金伯利岩中,粗晶(<6.80%)、巨晶(2.64%—10.29%)及基质相单斜辉石(<4.06%)和橄榄岩-辉石岩包体中的单斜辉石的 Ja 含量都较低。

从 Tsch + Ja 端员分子来看,其含量最高的为河北金伯利岩中榴辉岩包体中的单斜辉石及金刚石中的榴辉岩型组合的单斜辉石,而其它产状的单斜辉石的含量均较低(图4)。

5 与相关岩类中的单斜辉石对比

(1) 金伯利岩中巨晶单斜辉石与我国东部新生代玄武岩中巨晶单斜辉石之对比:

与金伯利岩中巨晶单斜辉石不同,玄武岩中巨晶单斜辉石多为黑色,绝大部分属普通辉石变种^[7,8]。

金伯利岩中巨晶单斜辉石的 Fe/(Ca + Mg + Fe) 低(<10%),而玄武岩中巨晶单斜辉石的 Fe/(Ca + Mg + Fe) 高(>10%)。

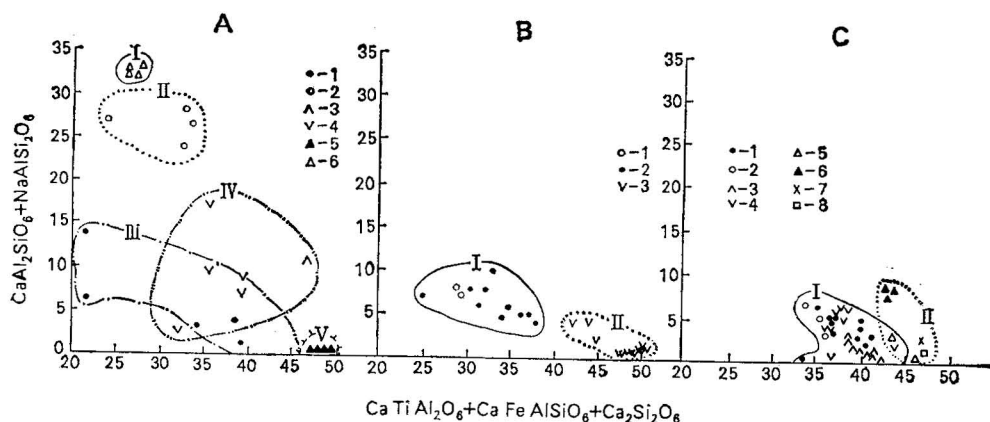


图 4 金伯利岩及其包体和金刚石中的单斜辉石的 $(\text{CaAl}_2\text{SiO}_6 + \text{NaAlSi}_2\text{O}_6)$ -
 $(\text{CaTiAl}_2\text{O}_6 + \text{CaFeAlSiO}_6 + \text{Ca}_2\text{Si}_2\text{O}_6)$ 图

Fig. 4 $(\text{CaAl}_2\text{SiO}_6 + \text{NaAlSi}_2\text{O}_6)$ - $(\text{CaTiAl}_2\text{O}_6 + \text{CaFeAlSiO}_6 + \text{Ca}_2\text{Si}_2\text{O}_6)$ diagram for clinopyroxenes in kimberlites and their xenoliths and diamonds

A. 1. 超镁铁岩型组合的金刚石包体 (Meyer, 1987); 2. 榴辉岩型组合的金刚石包体 (Meyer, 1987); 3. 山东红旗 6 号岩管中二辉橄榄岩包体; 4. 金伯利岩中橄辉岩-辉石岩包体 (Dawson, 1980); 5. 山东红旗 2 号岩脉中榴辉岩; 6. 河北金伯利岩体中榴辉岩包体

I. 河北金伯利岩中榴辉岩包体; II. 榴辉岩型组合的金刚石包体; III. 超镁铁岩型组合的金刚石包体; IV. 金伯利岩中橄辉岩-辉石岩包体; V. 山东红旗 2 号岩体中榴辉岩包体

B. 1. 山东胜利 1 号岩管, 巨晶; 2. 金伯利岩, 巨晶 (Mitchell, 1986); 3. 金伯利岩, 基质 (Mitchell, 1986)

I. 金伯利岩, 巨晶; II. 金伯利岩, 基质

C. 1. 山东胜利 1 号岩管, 粗晶; 2. 山东红旗 6 号岩管, 粗晶; 3. 湖北京山岩体, 粗晶; 4. 山西应县岩体, 粗晶; 5. 贵州白坟钾镁煌斑岩, 粗晶; 6. 湖北向冲钾镁煌斑岩, 粗晶; 7. 湖北徐家冲钾镁煌斑岩, 粗晶; 8. 山西应县云煌岩, 粗晶

I. 金伯利岩中粗晶; II. 钾镁煌斑岩、云煌岩中粗晶

A. 1. Inclusions in diamonds of ultramafic suite (Meyer, 1987); 2. inclusions in diamonds of eclogitic suite (Meyer, 1987); 3. lherzolite xenoliths in Hongqi-6 pipe, Shandong; 4. peridotite-pyroxenite xenoliths in kimberlites (Dawson, 1980); 5. eclogites in Hongqi-2 dike, Shandong; 6. eclogite xenoliths in Hebei kimberlites

Field: I. Eclogite xenoliths in Hebei kimberlites; II. inclusions in diamond of eclogitic suite; III. inclusions in diamond of ultramafic suite; IV. peridotite-pyroxenite xenoliths in kimberlites; V. eclogite xenoliths in Hongqi-2 dike, Shandong

B. 1. Megacrysts in Shengli-1 pipe, Shandong; 2. megacrysts in kimberlites (Mitchell, 1986); 3. groundmass clinopyroxenes in kimberlites (Mitchell, 1986)

Field: I. Megacryst clinopyroxenes in kimberlites; II. groundmass clinopyroxenes in kimberlites

C. 1. Macrocrysts in Shengli-1 pipe, Shandong; 2. macrocrysts in Hongqi-6 pipe, Shandong; 3. macrocrysts in Jingshan kimberlites, Hubei; 4. macrocrysts in Yingxian kimberlites, Shanxi; 5. macrocrysts in Baifen lamproites, Guizhou; 6. macrocrysts in Xiangchong lamproites, Hubei; 7. macrocrysts in Xujiachong lamproites, Hubei; 8. macrocrysts in Yingxian minettes

Field: I. macrocrysts in kimberlites; II. macrocrysts in lamproites and minettes

金伯利岩中巨晶单斜辉石的 TiO_2 (0.13%—0.60%) 比玄武岩中巨晶单斜辉石的 TiO_2 (0.1%—5.06%) 低。

金伯利岩巨晶单斜辉石的 SiO_2 (53.6%—56.7%) 和 Cr_2O_3 (达 2.5%) 高。而玄武岩中巨晶单斜辉石的 SiO_2 (43.67%—54.60%) 和 Cr_2O_3 (< 0.48%) 低。

玄武岩中巨晶单斜辉石的 Al_2O_3 (3.39%—11.03%) 比金伯利岩巨晶单斜辉石的 Al_2O_3 (1.20%—3.40%) 明显高,但前者比后者的 $\text{Al}^{\text{VI}}/\text{Al}^{\text{IV}}$ 值低。

两种不同产状的巨晶单斜辉石的 Al_2O_3 和 $\text{Al}^{\text{VI}}/\text{Al}^{\text{IV}}$ 值的差异,反映出它们之间形成的 T, P 条件不同。金伯利岩巨晶单斜辉石形成的温度(1200—1600°C), 尤其是压力 (45×10^8 — 105×10^8 Pa) 明显比玄武岩中巨晶单斜辉石形成的温度(1050—1220°C) 和压力 (17×10^8 — 32×10^8 Pa) 高。

(2) 金伯利岩粗晶单斜辉石及其橄榄岩-辉石岩包体中的单斜辉石与我国东部新生代玄武岩中的橄榄岩-辉石岩深源岩石包体中的单斜辉石^[7,8]对比, 其差异主要表现在:

玄武岩中深源岩石包体中的单斜辉石除有绿色者外, 还有黑色者。除透辉石、顽透辉石外, 还出现了普通辉石变种。Ca/(Ca + Mg) (35%—63%) 高。含 Cr_2O_3 (< 1.5%) 低, 大部分为贫铬变种。SiO₂ (44%—54.5%) 低, Al_2O_3 (3%—8.5%) 高, $\text{Al}^{\text{VI}}/\text{Al}^{\text{IV}}$ 偏低, Tsch (可达 16%) 高。另外, 玄武岩中橄榄岩-辉石岩包体中单斜辉石的 Al_2O_3 与其 T, P 形成条件之间的相关性很不明显(图 3)。

(3) 与钾镁煌斑岩及云煌岩中的单斜辉石对比, 可以看出:

金伯利岩中, 粗晶单斜辉石的种类较多, 除了透辉石和顽透辉石外, 还有极少数次透辉石。而我国贵州、湖北等地的钾镁煌斑岩及山西的云煌岩中的单斜辉石变种仅为透辉石。

金伯利岩粗晶单斜辉石的 Al_2O_3 (0.01%—2.61%), TiO_2 (< 0.59%) 比我国钾镁煌斑岩的 Al_2O_3 (0.47%—3.09%) 和 TiO_2 (0.09%—1.14%) 较低。但前者的 Cr_2O_3 含量高, 大部分为富铬变种, 而后的 Cr_2O_3 (0.46%—1.22%) 低。

金伯利岩中的粗晶单斜辉石比我国钾镁煌斑岩、云煌岩中单斜辉石的 Ca/(Ca + Mg), Ca/(Ca + Mg + Fe) 值及 Tsch 低, 但 Mg/(Mg + Fe) 及 Mg/(Ca + Mg + Fe) 高。

金伯利岩粗晶单斜辉石比我国钾镁煌斑岩及云煌岩中的单斜辉石 Ja 及 Na 组分偏高。

6 单斜辉石与镁铝榴石共生对

计算结果表明, 山东胜利 1 号岩管中的单斜辉石及其连生的镁铝榴石的分配系数 $K_B^{\text{Gt}-\text{Cpx}} = (\text{Fe}/\text{Mg})^{\text{Gt}}/(\text{Fe}/\text{Mg})^{\text{Cpx}} = 3.57$ 。山东红旗 2 号岩体中榴辉岩包体中两对矿物对的 $K_B^{\text{Gt}-\text{Cpx}}$ 分别为 3.07 和 3.04, 它们十分相近。这说明金伯利岩及其榴辉岩包体中的镁铝榴石和单斜辉石共生对中的 Fe 和 Mg 分配, 符合能斯特分配定律。

7 成因讨论

7.1. 巨晶、粗晶及基质单斜辉石的成因

金伯利岩中单斜辉石的巨晶, 虽常与橄榄岩-辉石岩类地幔岩石包体在一起产出, 然而, 它们并不是地幔岩石包体解体的产物, 而是高压条件下, 金伯利岩浆早期结晶的产物。其证据是: 巨晶单斜辉石颗粒大 (> 10mm), 而地幔岩石包体中的单斜辉石颗粒小 (2mm 左右); 巨晶单斜辉石, 绝大部分呈单晶产出, 一般不见连生体; 从巨晶单斜辉石的矿物种属及在各种图解中的成分投影点来看, 与地幔岩石包体的单斜辉石有明显差异; 它

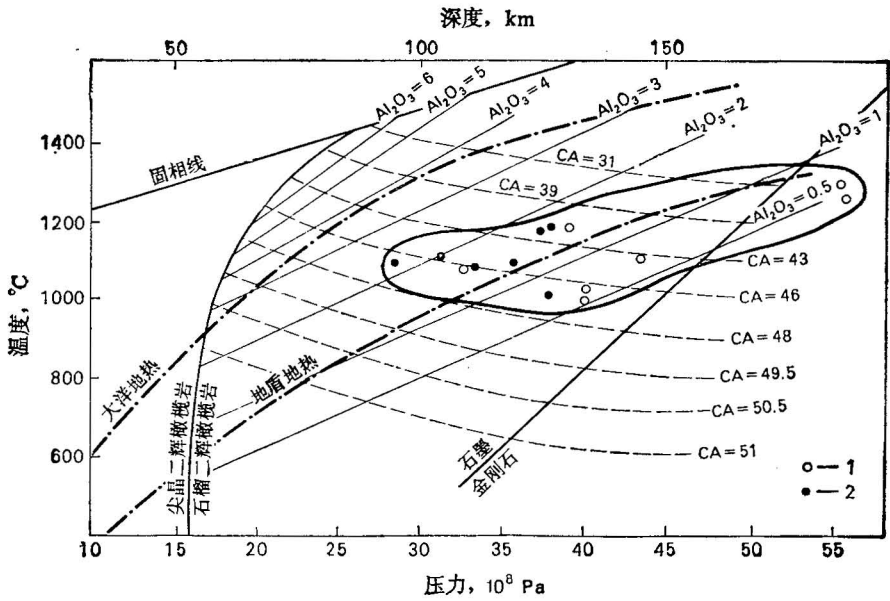


图 5 金伯利岩 T-P 分布图

Fig.5 Distribution diagram of T-P for kimberlites

1. 山东金伯利岩中粗晶单斜辉石; 2. 山西金伯利岩中粗晶单斜辉石

尖晶二辉橄榄岩和石榴二辉橄榄岩的界线引自 O'Hara 等(1971)^[9]资料; 大洋和地盾地热线, 据 Clark 及 Ringwood (1964)^[10]; CA 为单斜辉石的 $Ca/(Ca + Mg)$ 比值; Al_2O_3 为斜方辉石中 Al_2O_3 的含量; T, P 值的计算利用 Mercier (1976)^[11] 单斜辉石的温、压计方法计算

1. Macrocryst clinopyroxenes in Shandong kimberlites; 2. macrocryst clinopyroxenes in Shanxi kimberlites

The boundary line between spinel lherzolite and garnet lherzolite is from O'Hara et al (1971)^[9]; The oceanic and shield geotherms are from Clark and Ringwood (1964)^[10]; $CA = Ca / (Ca + Mg)$ of clinopyroxenes; $Al_2O_3 = Al_2O_3$ contents of orthopyroxenes; T and P calculation is based on Mercier's single-pyroxene geothermometry and geobarometry (1976)^[11]

们形成的温度和压力条件不一致, 巨晶单斜辉石形成的温度和压力比金伯利岩中的橄榄岩-辉石岩包体中单斜辉石形成的温度(1000—1350°C)和压力 (15×10^8 — $60 \times 10^8 Pa$), 高。

金伯利岩中粗晶单斜辉石的成因是多方面的, 可能有 3 种成因:

(1) 地幔岩石解体的产物。其证据是: 从矿物种属来看, 粗晶单斜辉石和地幔岩石包体中单斜辉石皆为透辉石-顽透辉石; 它们在有关成分图解中的投影点, 有很大部分是重合的; 它们的颗粒大小相差不大; 粗晶单斜辉石形成的温度(950—1300°C)和压力 (30×10^8 — $55 \times 10^8 Pa$) 变化范围与地幔岩石包体中的单斜辉石形成的温度和压力变化范围相近。

(2) 岩浆结晶产物。其证据是: 粗晶单斜辉石与地幔岩石中单斜辉石成分投影区不完全重合。而且, 两者在空间分布上, 有不共生现象。从形成的温度和压力范围来看, 部分粗晶单斜辉石比巨晶单斜辉石低, 但比基质相单斜辉石高。因而, 它们有可能是金伯利岩浆不同演化阶段的产物。

(3) 巨晶破碎产物。其证据是：部分粗晶单斜辉石和巨晶单斜辉石的种属是相同的；它们的部分成分投影点区有重合现象；两者的部分温度和压力的形成条件是相同的。

基质相单斜辉石为岩浆结晶晚期的产物，这不仅可以从它们的大小、形态和成分特点显示出来。而且，从它们形成的温度和压力都较低的情况，也能得到证实。

7.2. 地质构造环境

将计算得出的山东、山西金伯利岩中单斜辉石粗晶形成的温度和压力值，投其有关 T-P 相图，投影点落入地盾地热线附近(图 5)。这与金伯利岩产出于地台区的实际情况相一致。

8 红外光谱特征

从对我国金伯利岩、钾镁煌斑岩和云煌岩中的单斜辉石所作的红外吸收光谱分析来

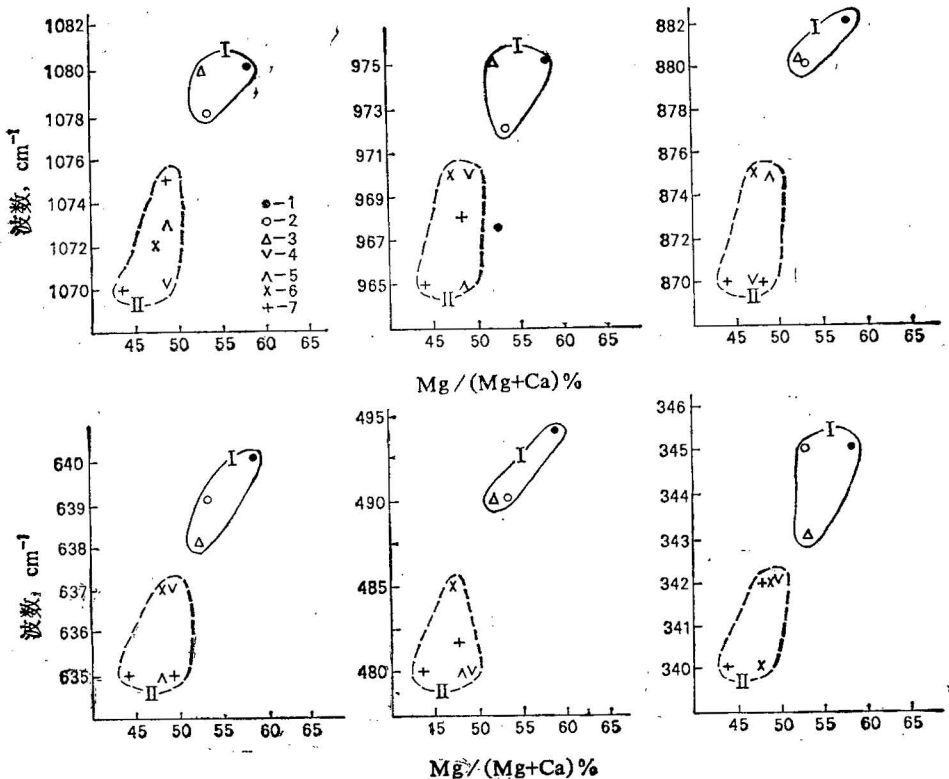


图 6 单斜辉石 $Mg/(Mg + Ca)$ 与红外吸收谱带之间的关系

Fig.6 Relationship between $Mg/(Mg + Ca)$ and absorption bands of intrared spectra for clinopyroxenes

1. 山东胜利 1 号金伯利岩; 2. 山东红旗 6 号金伯利岩; 3. 湖北京山金伯利岩; 4. 湖北徐家冲钾镁煌斑岩; 5. 贵州白坟钾镁煌斑岩; 6. 湖北向冲钾镁煌斑岩; 7. 山西应县云煌岩

1. 金伯利岩区; II. 钾镁煌斑岩、云煌岩区

1. Shengli-1 kimberlite, Shandong; 2. Hongqi-6 kimberlite, Shandong; 3. Jingshan kimberlites, Hubei; 4. lamproites in Xujiachong, Hubei; 5. lamproites in Baifen, Guizhou; 6. lamproites in Xiangchong, Hubei; 7. minettes in Yingxian, Shanxi

Field: I. kimberlite; II. lamproite and minette

看,主要有 8 个强红外吸收谱带: $1070-1080\text{cm}^{-1}$; $965-975\text{cm}^{-1}$; $870-882\text{cm}^{-1}$; $635-640\text{cm}^{-1}$; $520-522\text{cm}^{-1}$; $480-494\text{cm}^{-1}$; $400-418\text{cm}^{-1}$; $340-345\text{cm}^{-1}$ 。

随着单斜辉石的 $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Ca})$ 值增高,其红外吸收谱带位置有规律地向高波数方向移动,它们之间有较明显的正相关关系(图 6)。

由此可见,单斜辉石红外吸收谱带位置有规律的位移,主要是与 Ca, Mg 离子之间的类质同象替代作用有关。而且,随着 Ca 对 Mg 的替代作用的增强,其红外吸收谱带向波数低的方向移动。

与钾镁煌斑岩、云煌岩中的单斜辉石相比,金伯利岩中的单斜辉石的红外吸收相应谱带位置的波数高,即位于相应谱带振动频率高的部分。

9 结 论

金伯利岩中巨晶、粗晶及基质相单斜辉石,由于它们成因上的差异,尤其是在形成温度和压力条件方面的差异,造成了它们在矿物种属、化学成分及其端员组分等方面有明显的差异。

金刚石中超镁铁岩型组合的单斜辉石含 Cr_2O_3 高,而且绝大部分为富铬变种。这表明,富铬单斜辉石变种是找金刚石矿的指示性矿物。然而,单斜辉石中的 Cr_2O_3 含量不如镁铝榴石、铬尖晶石中的 Cr_2O_3 含量对找金刚石矿的指示意义大^[12,13]。

金伯利岩中与金刚石紧密共生的单斜辉石形成于高温,尤其是在高压条件下。它们具有 $\text{Ca}/(\text{Ca} + \text{Mg})$ 和 $\text{Ca}/(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Fe})$ 值、 Al_2O_3 含量及 T_{sch} 低, $\text{Al}^{\text{VI}}/\text{Al}^{\text{IV}}$ 和红外吸收相应谱带位置较高等标型特征,是寻找金刚石的指示标志。

金伯利岩中榴辉岩包体及金刚石中的榴辉岩型组合的单斜辉石,含硬玉分子及 Na 组分高。

金伯利岩及其深源岩石包体中的单斜辉石和石榴石的连生体,处于平衡的温度和压力条件下形成的,它们之间的 Fe, Mg 分配符合能斯特分配定律。

随着单斜辉石 Ca 对 Mg 的替代作用增强,其相应红外吸收谱带位置向波数低的方向移动。

在研究工作中,王恒升及白文吉研究员和池际尚教授给予热情指导,李幼琴副研究员提供了红外吸收光谱分析数据,陈进同志作了电子探针分析,在此表示谢意。

参 考 文 献

- 1 王濮,潘兆鲁,翁玲宝. 系统矿物学(中册). 北京: 地质出版社,1984: 266—303 页.
- 2 Mitchell R H. Kimberlites (Mineralogy, Geochemistry and Petrology). New York: Plenum Press, 1986. 175—187.
- 3 Dawson J B. Kimberlites and their xenoliths. New York: Springer Verlag, 1980. 100—104.
- 4 Meyer H O A. Inclusions in diamonds. In: Mantle xenoliths. New York: P. H. Nixon, ed John Wiley & Sonns. 1987. 501—523.
- 5 Лазько Е Е. Минералы-спутники алмаза и генезис кимберлитовых пород. Москва: "Недра". 1979. 64—73.
- 6 Харьков, А. Д. Минералогические основы поисков алмазных месторождений. Москва: "Недра". 1978. 38—39.
- 7 池际尚. 中国东部新生代玄武岩及上地幔研究. 中国地质大学出版社,1988. 157—174 页.
- 8 鄂莫岚,赵大升. 中国东部新生代玄武岩及深源岩石包体. 北京: 科学出版社,1987. 39—443 页.
- 9 O' Hara M J, Richardson S W Wilson G. Garnet peridotite stability and occurrence in crust and mantle. Contrib. Mineral. Petrol., 1971, 32:48—68.
- 10 Clark S P, Ringwood A E. Density distribution and constitution of the mantle. Rev. Geophys.1964, (2): 35—88.
- 11 Mercier J C C. Single-pyroxene geothermometry and geobarometry. Am. Mineral., 1976, 61: 603—615.
- 12 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,(4): 219—229 页.
- 13 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 页.

CLINOPYROXENES IN KIMBERLITES OF CHINA

Dong Zhenxin

(Geological Museum of China, Beijing)

Abstract

The principal conclusions of this work are as follows:

(1) Clinopyroxenes in kimberlites are dominated by endiopside with subordinate diopside and minor salite and augite.

(2) Megacryst and macrocryst clinopyroxenes in kimberlites occur as single crystals and typically as smooth rounded nodules. They often are covered with an altered coat consisting of very fine-grained serpentine and calcite aggregates.

(3) Ca/(Ca+Mg) ratios (30.7%—44.07%) of megacryst clinopyroxenes are lower than those (40.37—55.83%) of macrocryst clinopyroxenes, but much lower than those (50.35%—57.68%) of clinopyroxenes occurring as ground mass phase.

(4) Clinopyroxenes in kimberlites exhibit a large scatter in SiO₂ and Al₂O₃ contents, and a weak negative correlation exists between SiO₂ and Al₂O₃ contents.

(5) Megacryst and macrocryst clinopyroxenes in kimberlites are high-Al^{VI} and low-Al^{VI} in contrast, clinopyroxenes occurring as groundmass phase in kimberlites and inclusion mine-

erals in basalts are low-Al^{VI} and high-Al^{VI}. Moreover, Al^{VI} of clinopyroxene inclusions in diamonds is much higher than Al^{VI}.

(6) Some macrocryst clinopyroxenes in kimberlites are compositionally close to those of peridotite-pyroxenite inclusions in kimberlites, reflecting the former have been derived from the latter.

(7) The coexisting clinopyroxenes and garnets in kimberlites and their inclusions are in an equilibrium state under variable P-T conditions.

(8) The absorption band positions of infrared spectra for clinopyroxenes shift to the higher frequency with increasing Mg/(Mg+Ca).

(9) P-T fields of formation of kimberlite clinopyroxenes in China are located near or on the shield geothermal curve, tallying with the fact that kimberlites occur tectonically within stable platforms.

(10) Clinopyroxenes containing lower Al₂O₃, Ca/(Ca+Mg), Ca/(Ca+Mg+Fe) and CaAl₂SiO₆ (Tsch) and higher Mg/(Mg+Ca), Cr₂O₃ and Al^{VI}/Al^{VI} were formed at high T, especially high P, conditions, and are an indicator mineral for diamond exploration.

Key words: kimberlites, clinopyroxenes, geochemistry

作 者 简 介

董振信, 1938年生。1963年毕业于南京大学地质系岩矿专业, 1968年原北京地质学院岩石学专业研究生毕业, 1982年获中国地质大学(北京)硕士学位, 1989年获中国地质科学院博士学位。长期从事岩石学、矿物学、矿床学、宝石学及地球化学研究。现在中国地质博物馆工作, 副研究员。通讯处: 北京西四中国地质博物馆, 邮政编码: 100034。