

中国东部新生代玄武岩中 单斜辉石巨晶的主要特征及成因信息

邱家骧 廖群安

(武汉地质学院, 武汉)

主题词: 单斜辉石; 巨晶; 玄武岩; 成因信息; 新生代; 中国东部

提 要: 作者通过对我国东部新生代玄武岩中巨晶Cpx的109个样品的化学成分的统计、计算及投影, 研究了Cpx巨晶的产状、物性及矿物化学的主要特征, 并对其成因信息提出了自己的看法。

Cpx巨晶的成分以 Al_2O_3 、 Al^{VI} 较高而Ti、Mg'中等为特征。但在“反应边”中, Al_2O_3 、 Na_2O 、Al、 Al^{VI} 则明显降低。我国巨晶以普通辉石为主, 而透辉石、次透辉石及顽透辉石少见。国内不同地区的Cpx巨晶成分也略有不同: 华南区巨晶的 W_0 较高而 Al_2O_3 较低; 华北区 Fs 、 Al_2O_3 较高; 而东北区 En 较高而 Al_2O_3 中等。

有关Cpx巨晶的成因信息, 作者的观点是: (1) 巨晶Cpx是寄主玄武岩浆在上地幔中结晶的产物, 而不是地幔解体的捕虏晶。(2) 我国巨晶Cpx的结晶温度是 $1021-1209^{\circ}C$, 压力为 $1.4-3.2GPa$, 所以,Cpx巨晶的结晶深度为 $48-104Km$ 。(3) 我国东部新生代玄武岩均产于大陆板块内部, 以碱性玄武岩成分为主, 而拉斑玄武岩较少。

新生代碱性玄武岩及个别橄榄拉斑玄武岩中, 常见深源包体与巨晶。在巨晶中, 尤以单斜辉石巨晶最常见。国内外对于玄武岩及深源包体已有了不少的研究, 而对于单斜辉石巨晶的研究尚少。为此, 作者选择了我国单斜辉石(Cpx)巨晶进行了研究。

一、主要特征

1. 产状及物性

巨晶Cpx以普通辉石为主, 一般大小为 $1-3cm$, 大者达 $15cm$ 以上, 在玄武岩中含量多小于 1% 。爆发相中巨晶Cpx常常含量较多, 直径较大; 而溢流相中巨晶多集中在岩流的中下部, 并且随着向低处流动, 巨晶的含量与直径一般迅速降低, 反映了地表的重力分异与流动分异的存在。

巨晶Cpx多为黑色, 肉眼不见解理, 贝壳状断口, 玻璃—油脂光泽, 外貌似黑曜岩。个别巨晶为灰色, 它与黑色者主要不同之处是: 灰色者肉眼能见解理, 且光泽较弱。

巨晶多呈短柱状, 自形晶罕见, 常碎裂成棱角状外形, 后又被熔蚀成次圆—次棱角状。

巨晶的密度为 $3.20-3.47$ (18个)。镜下为浅褐色—无色, 能见到 $\{110\}$ 两组解理, 成分及光性均一。个别见有聚片双晶及玻璃质包裹体。 $N_g=1.705-1.720$, $N_m=1.686-1.704$, $N_p=1.682-1.696$, $N_g-N_p=0.023-0.024$ (28个)。(+) $2V=42^{\circ}-56^{\circ}$ (27个)。与国外巨

晶Cpx的光性类似^[1,2]。

黑色与灰色的Cpx巨晶在光性等方面也有不同^①：黑色者， $N_g=1.708$ ， $N_m=1.690$ ， $N_p=1.684$ ， $C \wedge N_g=42^\circ$ ， $(+)2V=52^\circ$ ，密度为3.471， $a_0=9.250 \text{ \AA}$ ， $b_0=8.852 \text{ \AA}$ ， $c_0=5.040 \text{ \AA}$ ；灰色者， $N_g=1.706$ ， $N_m=1.692$ ， $N_p=1.682$ ， $C \wedge N_g=43^\circ$ ， $(+)2V=50^\circ$ ，密度为3.265， $a_0=9.260 \text{ \AA}$ ， $b_0=8.874 \text{ \AA}$ ， $c_0=5.046 \text{ \AA}$ 。不难看出，黑色者，折射率、比重、光轴角略高；而灰色者，消光角、晶胞参数稍大。

巨晶的周围常见白色的“反应边”，它由单斜辉石及少量橄榄石、磁铁矿、火山玻璃组成。“反应边”宽0.2—2mm，个别达5mm，镜下可分为两层：内层为土状，几乎不透明；外层主要为针状—柱状Cpx，其长轴垂直巨晶，但光性方位与巨晶一致。在“反应边”之外，有的还见有约1mm宽的紫色含钛辉石外壳。其消光位亦与巨晶一致，而它的颜色则与寄主岩中斑晶一致，反映它与斑晶大致同时晶出。

2. 矿物化学

据玄武岩及其包体Cpx形成深度的不同，可把Cpx分为高压（地幔岩包体）、中压（堆积岩包体）、低压（玄武岩斑晶与微晶）三个相。不同压力相的Cpx矿物化学特征是不同的。作者通过对我国东部新生代玄武岩中巨晶Cpx的109个样品的化学成分（包括11个省区的化学分析及电子探针分析结果）的统计、计算、投影以及与国内外三个不同相Cpx的成分对比可知，巨晶Cpx有以下特征：

(1) 高铝、富Al^{VI} 我国巨晶中Al₂O₃含量为4—12%（109个样品），尤以含量为8—9%者最多（图1）。我国高压相Cpx中Al₂O₃为2.5—8.5%（193个样品），多小于7.5%；中压相为3.5—9.5%（55个），多小于8.0%；低压相为0.5—8.0%（96个），多小于7.0%，故

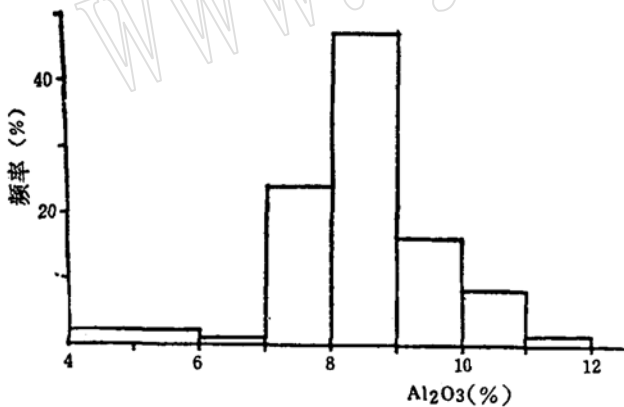


图 1 Cpx巨晶中Al₂O₃直方图

Fig. 1. Al₂O₃ histogram of Cpx megacrysts

(中国东部, 109个样品)

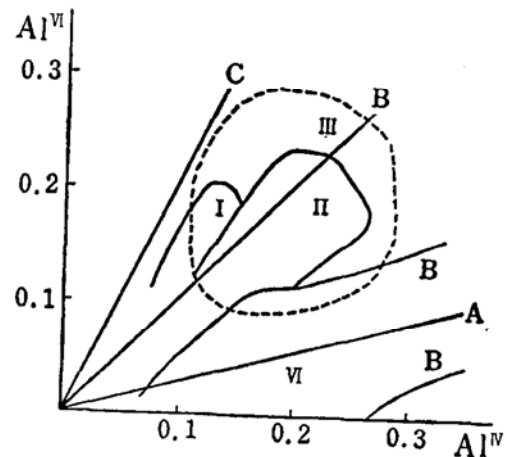


图 2 Cpx的Al^{VI}-Al^{IV}关系图

Fig. 2. Al^{VI}-Al^{IV} correlogram of Cpx

Aoki等^[3]：A线以下，火成岩中Cpx；A—C之间，粒变岩中、玄武岩包体中Cpx；C线以上，榴辉岩中Cpx。

Warren^[4]：I，高压相Cpx；II，

中压相Cpx；B—B之间，低压相Cpx。

III：我国巨晶Cpx

① 王人镜等，1985，浙江嵊县一新昌碱性橄榄玄武岩中普通辉石和歪长石巨晶的矿物学特征及其成因。岩石学矿物学论丛，待刊。

巨晶中 Al_2O_3 多高于其它相Cpx。巨晶Cpx中 $Al(O=6)$ 也高,尤其是 Al^{IV} 较富,它比国外(新墨西哥)玄武岩中不同相Cpx的 Al^{IV} 均偏多(图2)。因此,巨晶Cpx在成分上的特征之一是相对的高铝、富 Al^{IV} 。

(2) Ti、 Mg' 中等 巨晶Cpx中Ti(O=6)介于高压相与低压相Cpx之间,位于中压相范围之内,但比中压相Cpx略富Na(图3)。巨晶Cpx中的 Mg' ($Mg' = 100Mg/(Mg + Fe)$)同样也介于高压相与低压相Cpx之间(图4)。因此,巨晶Cpx在成分上的另一特征是Ti、 Mg' 中等。但我国巨晶中 Mg' 介于国外(澳大利亚)一般的与富铁的中压相Cpx及巨晶Cpx之间。

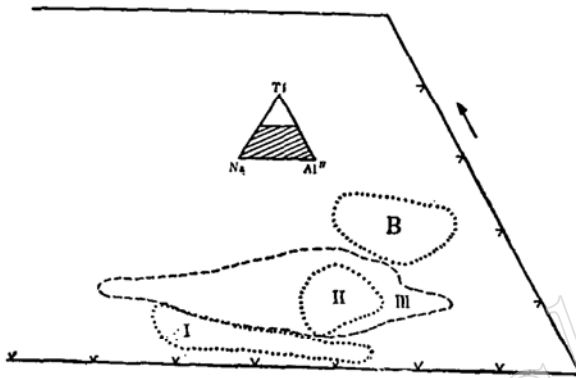


图3 Cpx的Na-Ti- Al^{IV} 关系图

Fig. 3 Na- Al^{IV} -Ti correlogram of Cpx

Warren⁽⁴⁾: I, 高压相Cpx; II, 中压相Cpx; B, 低压相Cpx。
III: 我国巨晶Cpx

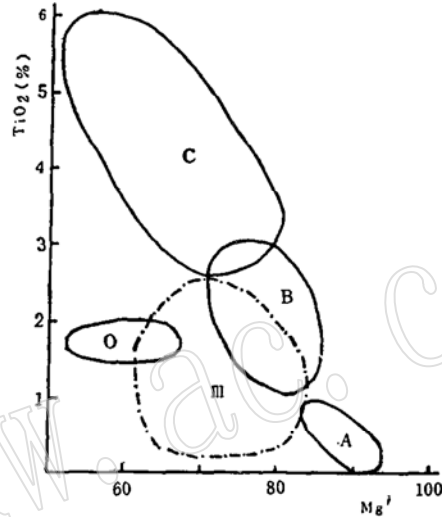


图4 Cpx的 TiO_2 - Mg' 关系图

Fig. 4 TiO_2 - Mg' correlogram of Cpx

Wass⁽⁵⁾: A, 高压相Cpx; B, 中压相及巨晶Cpx; O, 中压相及巨晶富铁Cpx; C, 低压相Cpx。
III: 我国巨晶Cpx

我国东部新生代玄武岩中巨晶Cpx成分变化范围较大,但以普通辉石占绝对优势,仅个别为透辉石、次透辉石、顽透辉石。由表1及图5、6还可看出,我国不同地区Cpx巨晶的成分比较近似,但略有差异:华南(粤、闽、浙、苏)区富Wo而贫 Al_2O_3 ;华北(皖、鲁、冀)区富Fs又富 Al_2O_3 ;东北(蒙、辽、吉、黑)区富En而 Al_2O_3 中等。

表1 不同地区巨晶Cpx及“反应边”的平均成分

Tab. 1 Average composition of Cpx megacrysts and “reaction rims” from different regions

氧化物 (%)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	ΣFeO	MnO	MgO	CnO	Na ₂ O	K ₂ O	Al ^{VI}	Al ^{IV}	Wo	FS	En	Mg'	样品数
华南	48.42	1.21	8.00	0.07	8.34	0.30	13.43	16.54	1.56	0.12	0.18	0.19	38.9	16.1	43.9	73.67	47
华北	49.12	1.06	8.76	0.04	8.97	0.13	14.07	15.69	2.00	0.10	0.19	0.20	37.2	17.3	45.4	70.3	44
东北	48.87	1.29	8.35	0.15	8.16	0.14	14.87	16.35	1.53	0.11	0.20	0.17	37.7	15.2	47.8	76.0	13
“反应边”	44.40	4.05	5.66	0.02	12.81	0.16	13.40	18.21	0.39	0.07	0.02	0.23	39.0	21.2	39.8	64.3	5

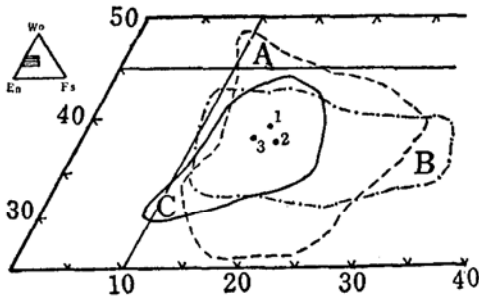


图 5 巨晶Cpx的Wo-En-Fs关系图
Fig. 5. Wo-En-Fs correlogram of Cpx megacryst

图中，以10和45 两条直线将图分为四部分，左上为透辉石，右上为次透辉石，左下为顽透辉石右下为普通辉石
A：华南区投影点范围（1为平均值投影点）；
B：华北区投影点范围（2为平均值投影点）；
C：东北区投影点范围（3为平均值投影点）。

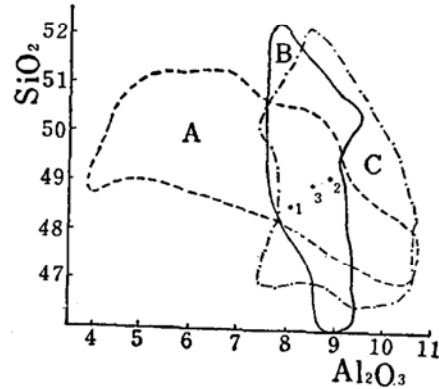


图 6 巨晶Cpx的SiO₂-Al₂O₃关系图
Fig. 6. SiO₂-Al₂O₃ correlogram of Cpx megacryst

图中，A、B、C及1、2、3同图5

巨晶与“反应边”在成分上差别较大。主要差异是，“反应边”比巨晶Cpx贫SiO₂、Al₂O₃、Cr₂O₃、Na₂O、K₂O、Al^{VI}、En、Mg^I，而富TiO₂、ΣFeO、CaO、Al^{IV}、Wo、Fs。以福建省牛头山为例，从巨晶→“反应边”：SiO₂ 46.89→43.67%，Al₂O₃ 10.38→5.05%，Na₂O 1.56→0.31%，CaO 17.49→18.61%；Al(O=6) 0.46→0.23，Al^{VI}(O=6) 0.20→0。可以看出，Al₂O₃、Na₂O、Al及Al^{VI}明显变低。这反映了压力降低，Cpx中钙契尔马克(Ca-Tsch)及硬玉(Jd)分子的减少。结合巨晶常具碎裂后又经熔蚀的外貌及“反应边”由Cpx与少量橄榄石、磁铁矿、火山玻璃组成来看，不难分析，该“反应边”是巨晶上升到浅处时，经过碎裂、熔蚀、反应、结晶的产物，它不是一般的反应边，而是逆反应产物^①。

二、成因信息

根据上述巨晶Cpx特征，结合国内外有争议或有兴趣的问题，试分析其成因信息如下：

1. 巨晶来源

巨晶Cpx的来源有岩浆结晶的观点，也有地幔解体的捕虏晶观点，作者认为岩浆结晶说是对的。其理由是：

(1) 巨晶与玄武岩浆结晶的Cpx投影点范围一致，而与地幔包体中Cpx不同(图7)，其特征也迥异：巨晶多大于1cm，黑色为主，均无扭折、出溶现象，以普通辉石常见，富Fs，且Cr₂O₃常小于0.5%；而地幔岩中Cpx多小于2mm，翠绿色为主，常有扭折、出溶现象，以透辉石常见，富Wo，且Cr₂O₃常大于0.5%。巨晶属中压相；而地幔Cpx属高压相。

(2) 巨晶产于特定的SiO₂不饱和的玄武岩浆中，不是所有玄武岩中皆能见到，并常与深源包体及石榴石、歪长石、钛铁矿等巨晶伴生。又从冀、鲁、闽、海南岛的巨晶中Al

① 邱家骥，1979，火山岩造岩矿物特征。地质与勘探，第4期。

(O=6) 与寄主玄武岩中 Al_2O_3 (%) 关系密切 (图 8) 来看, 也反映寄主玄武岩浆与巨晶之间应有“血缘”关系。

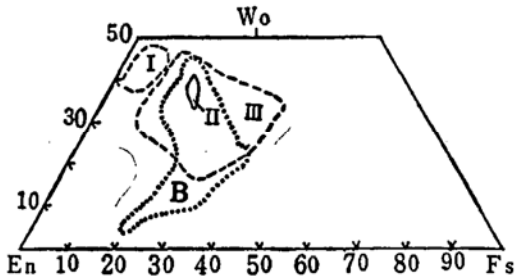


图 7 Cpx的Wo-En-Fs关系图

Fig. 7. Wo-En-Fs correlogram of Cpx

I, 高压相Cpx—我国东部193个Cpx样品。II, 中压相Cpx—福建牛头山*。B: 低压相Cpx—福建牛头山*。III: 巨晶Cpx

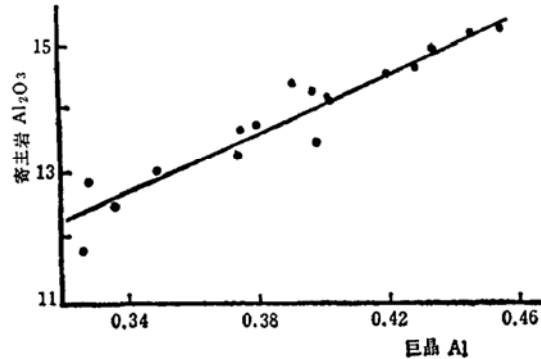


图 8 巨晶Cpx与寄主岩成分关系图

Fig. 8. Correlogram of Cpx megacrysts and host basalts

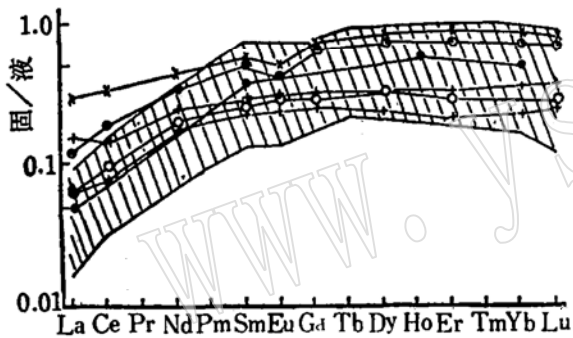


图 9 Cpx巨晶/寄主岩与不同T-P下晶体/熔体REE分配系数的比较⁽⁶⁾

Fig. 9. REE distribution coefficient of Cpx megacryst/host rock compared with crystal/melt at different T-P

右斜线范围: 16对巨晶Cpx/寄主岩范围; 配分曲线: 在温度1021°—1265°C、压力0.1MPa—2GPa实验条件下, 晶体Cpx/熔体的分配系数配分曲线。

(3) 巨晶Cpx与寄主岩的REE比值 (近似于固/液分配系数) 与不同温度、压力下实验测定的分配系数相似 (图 9)。实验资料还表明, 玄武岩浆结晶深度愈大的Cpx, 它们的分配系数也愈大。

由上述几个方面, 均说明巨晶应为玄武岩浆在深处结晶产物, 而非地幔解体的捕虏晶。并建议不要把Cpx巨晶称为捕虏晶, 以免引起不必要的混乱与误解。

2. 温压条件

巨晶Cpx 既然为地下深处从玄武岩浆结晶的产物, 但它形成的温压条件究竟是多少, 是国内外有兴趣的一个问题。有实验依据又易于定量的方法, 是周新民⁽⁷⁾根据Thompson⁽⁸⁾对富钙Cpx的高温高压实验数据所求

出的回归方程式: $P(0.1GPa) = -7.5383 + 83.1692 \times Al, r=0.95$; $T(t^{\circ}C) = 1056.8986 + 902.7978 \times Al, r=0.92$ 。式中, $Al(O=6)$ 与Cpx结晶时的P、T为正相关, 适用于碱性橄榄玄武岩。作者等^①也曾据Thompson实验数据作了新的回归方程式: $P(0.1GPa) = -6.6360 + 81.3899 \times Al, r=0.9548$; $T(t^{\circ}C) = 1057.0318 + 902.0416 \times Al, r=0.9194$ 。不难看出, 两组方程式相似, 相关系数相似, 尤其是Al与压力的相关性更好。笔者把我国Cpx巨晶中Al代入上述方程式, 经计算、投影 (图10), 可知我国玄武岩中巨晶Cpx结晶时的温压如下:

* 夏佳, 1982, 福建牛头山区玄武岩岩石学和矿物学研究。研究生论文。

① 邱家骥、曾广策, 1986, 中国东部新生代玄武岩中低压单斜辉石矿物化学的主要特征及岩石学意义。待刊。

(1) 巨晶Cpx结晶时的温度约为1021°—1209℃, 压力约为1.4—3.2GPa。因此, 其结晶时深度大致为48—104km。如果我国东部新生代时莫霍面深度为35—41km左右^[9]、华北等地软流圈埋深为50—100km^[10]的话, 则巨晶的结晶深度最大者位于软流圈之中, 最小者也在上地幔之内, 但均在莫霍面之下。

(2) 华南区压力变化大(1.4—3.1GPa), 但平均压力最小(2.0GPa); 华北区压力变化中等(2.0—3.2GPa), 但平均压力最大(2.4GPa); 东北区变化小(2.0—2.6GPa), 但平均压力中等(2.3GPa), 它与华北平均压力近似, 但比其略小。这个特点, 与前述从华南→华北→东北Al₂O₃平均值由小→大→中等一致。也与华南主要受北东向断裂控制、深度由沿海向大陆内部加大、但总的深度较小一致; 还与华北及东北主要受北北东向断裂控制、深度变化较小、但总的较深相一致, 尤其华北较深。

(3) “反应边”的形成深度均小于斑晶。据海南岛、福建、安徽的巨晶与“反应边”所计算的压力可知, 巨晶结晶时为2.4—3.1GPa, 而“反应边”形成时为0.7—2.0GPa。说明巨晶均结晶于地幔, 而“反应边”则在从上地幔到地壳的相对浅处形成。巨晶结晶后, 又上升了约17—66km, 才形成了“反应边”。从而进一步证实了“反应边”为巨晶升降压时产物。

压力大小与Cpx中铝的关系, 已由大量实验所证实。如Green等^[11、12]对贫硅玄武岩在1200°—1300℃及1.0—2.0GPa下实验表明, 液相线矿物为富铝辉石, 其中Al₂O₃达8—10%, 又如Thompson^[8]对SiO₂不饱和的玄武岩在1175—1475℃及0.8—4.5GPa下实验指出, 液相线富钙Cpx中Al₂O₃为4.3—18.1%, 上述高压辉石中富铝与巨晶中富铝是完全一致的。郑学正等^[13]对巨晶Cpx在常压下加热至1150℃时发现, 原来富铝的Cpx变为与橄榄石等共生的贫铝Cpx, 这一个实验, 也与巨晶“反应边”中的Cpx贫铝以及“反应边”中矿物组合近似。正如Kushiro以及Thompson^[14、8]等曾经指出的, 玄武岩浆高压结晶时, Cpx首晶区大, 铝易于以Al^{VI}成Ca-Tsch进入Cpx, 故高压结晶的辉石铝富、Al^{VI}高; 而低压结晶时, pl首晶区大, 铝易于以Al^{IV}代替Si, 进入pl, 故低压结晶的辉石铝贫、Al^{IV}高。

3. 构造环境

我国东部新生代玄武岩产出的板块构造环境, 或认为与消减带有关, 或认为是大陆板内产物。

作者据我国东部新生代玄武岩中Cpx巨晶的TiO₂、MnO、Na₂O投影来看(图11), 其分布范围以TiO₂、Na₂O高而MnO低为特征, 故绝大多数寄主玄武岩均位于WPA区, 仅个别东南沿海寄主玄武岩位于WPA、WPT、OFB及VAB过渡区。不难看出, 我国大陆玄武岩均

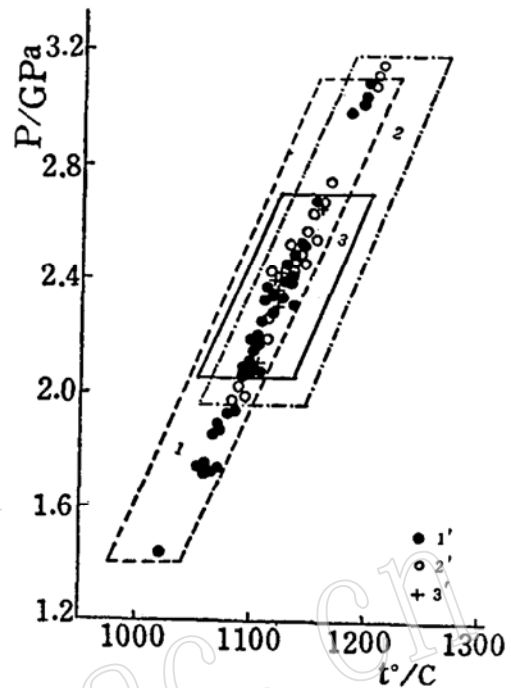


图 10 巨晶Cpx的T-P关系图
Fig. 10 T-P correlogram of Cpx megacrysts
Cpx投影点: 1'华南区; 2'华北区; 3'东北区。
Cpx投影区: 1.华南区(断线); 2.华北区(点划线); 3.东北区(实线)

为板内构造环境，以板内碱性玄武岩为主，个别为板内拉斑玄武岩。在东南沿海一带，由于邻近弧后扩张的边缘海，所以沿海的玄武岩，有向火山弧玄武岩及大洋底部玄武岩过渡的特征，而且以拉斑玄武岩常见。

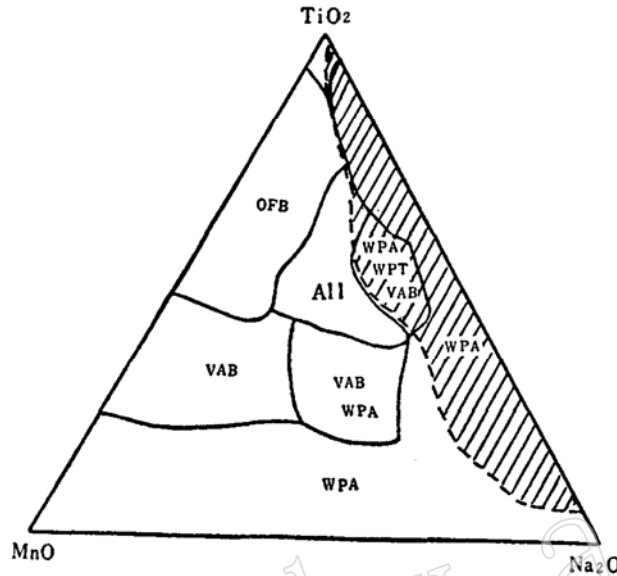


图 11 Cpx的TiO₂-MnO-Na₂O图^[15]

Fig. 11. TiO₂-MnO-Na₂O diagram of Cpx

WPA: 板内碱性玄武岩; WPT: 板内拉斑玄武岩; OFB: 大洋底部玄武岩; VAB: 火山岛弧玄武岩; All: 所有上述玄武岩
C (斜线范围): 我国巨晶Cpx投影点的范围

参 考 文 献

- [1] Binns, R. A., et al., 1970. High pressure megacrystals in alkaline lavas from northeastern New South Wales. *Am. J. Sci.*, 269, 132-168.
- [2] Владимир, Н. Я. и др., 1976. Глубинные включения из кибритов, базальтов и кибритоподовных пород, изд. «Наука», м.
- [3] Aoki, K., et al., 1973. Pyroxenes from lherzolite inclusions of Itinomegata, Japan. *Lithos*, 6, 41-51.
- [4] Warren, R. G., 1979. Geochemistry of lithic and single-crystal inclusions in basalt and characterization of upper mantle-lower crust in the Engle basin, Rio Grande rift, New Mexico, "Rio-Grande rift: Tectonics and magmatism". *Am. Geophys. Un.*, Washington, D. C.
- [5] Wass, S. Y., 1979. Multiple Origins of clinopyroxenes in alkali basaltic rocks. *Lithos*, 12, 115-132.
- [6] Irving, A. J., et al., 1984. Trace elements abundances in megacrysts and their host basalts: Constraints on partition coefficients and megacryst genesis. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 48, 1202-1221.
- [7] 周新民, 1982, 我国东南沿海碱性玄武质岩石中辉石和角闪石巨晶. *矿物学报*, 第1期.
- [8] Thompson, R. N., 1974. Some high pressure pyroxenes. *Miner. Mag.*, 39, 768-787.
- [9] 王谦身, 1984, «华东及邻区中、新生代火山岩», 吴利仁主编. 科学出版社, 30-55.
- [10] 吴利仁等, 1985, 中国东部新生代火山岩, *岩石学报*, 第1卷, 第4期.
- [11] Green, et al., 1967. The stability fields of aluminous pyroxene peridotite and their relevance in upper mantle structure. *Earth Planet. sci. Lett.*, 3, 151-160.
- [12] Green, et al., 1970. Experimental duplication of conditions of precipitation of high pressure phenocrysts in a basaltic magma. *Phys. Earth planet. Interiors*, 3, 247-254.

- [13] 郑学正等, 1978, 一种过冷却结晶效应——不平衡状态下的假高压效应。中国科学, 第 4 期。
- [14] Kushiro, I., 1960. Si-Al relation in clinopyroxenes from igneous rocks. *Amer. J. Sci.*, 258, p. 548-554,
- [15] Nisbet, E. G., et al., 1977. Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic settings. *Contrib. Miner. Petro.*, 63, 149-160.

The Main Characteristics and Genetic Information of Clinopyroxene Megacrysts in Cenozoic Basalt of Eastern China

Qiu Jiexiang Liao Qunan

(Wuhan College of Geology, Wuhan)

Key words: Clinopyroxene; megacryst; basalt; genetic information;
cenozoic; eastern China

Abstract

In this study, 109 chemical compositions of clinopyroxene (Cpx) megacrysts were collected from Cenozoic basalts in eastern China. The main characteristics of the occurrence, physical properties and mineralogical chemistry of the Cpx megacrysts are studied by means of large amounts of calculations and projections. The authors present in this paper their own views on the genetic information of Cpx megacrysts.

The compositions of megacrysts were characterized by higher contents of Al_2O_3 and Al^{VI} and moderate Ti and Mg' . But in the "reaction rim" the contents of Al_2O_3 , Na_2O , Al and Al^{VI} obviously decreased. The main species of Cpx megacrysts is augite, while diopside, salite and endiopside are rare. And, the compositions of Cpx megacrysts are somewhat varied in different regions of China. In southern China, the content of Wo is relatively high with lower Al_2O_3 ; in the north, Fs and Al_2O_3 are higher; while in the northeast En is higher with moderate Al_2O_3 .

The opinions of the authors concerning the genetic information of Cpx megacrysts are:

1. The Cpx megacrysts are the products of crystallization of the host basaltic magma in the upper mantle, but not xenocrystals derived from mantle disintegration.

2. The crystallization temperature and pressure of Cpx megacrysts in China are 1021-1209°C and 1.4-3.2 Gpa respectively. Therefore the depths of Cpx megacrysts crystallization are approximately 48-104 km. The depth is shallower in southern China, deeper in northeastern China and deepest in northern China. The "reaction rim" was formed at a more shallower mantle-crust depth.

3. The Cenozoic basalts in eastern China all occur within the continental plate, dominated by alkalibasalts, with little tholeiite. The basalts in areas along the southeastern coast of China are similar to oceanic floor basalt and volcanic arc basalts, since the regions are close to the marginal sea.