

# 冀东太平寨地区单斜辉石的 地质特征和成因

陈曼云

(长春地质学院, 长春 130026)

**主题词** 变余和变晶单斜辉石 世代 冀东太平寨

**提要** 冀东太平寨地区的各类变质岩石中普遍含有单斜辉石, 按成因可分为岩浆成因的变余单斜辉石和变质成因的变晶单斜辉石。后者又可分为三个世代, 它们分别形成于该区变质作用的不同阶段。第一世代和第二世代单斜辉石的形成温度分别为  $880 \pm 60^\circ\text{C}$  和  $820 \pm 60^\circ\text{C}$ , 相当于辉石麻粒岩亚相。第三世代单斜辉石的形成温度为  $775^\circ\text{C}$  左右, 压力为  $0.914\text{GPa}$ , 相当于角闪麻粒岩亚相。岩石中的变余单斜辉石主要是普通辉石, 变晶单斜辉石大多属次透辉石。另外, 原岩成分也是控制单斜辉石成分的主要因素。

冀东太平寨地区主要由紫苏花岗岩和变质基性侵入体组成。紫苏花岗岩中常有辉石岩、角闪石岩、麻粒岩、斜长角闪(辉石)岩、(夕线)石榴黑云斜长片麻岩和磁铁石英岩等大小不等的岩石包体。变质基性侵入体有两种产状: 一种是分布于金厂峪的变质辉长岩体; 另一种是变质基性岩脉群。它们均经受不同期次变质作用的改造<sup>[1]</sup>。

## 1 单斜辉石的地质特征

本区单斜辉石广泛分布于麻粒岩、辉石岩、斜长角闪(辉石)岩、紫苏花岗岩、变质辉长岩、变质基性岩脉和部分磁铁石英岩等岩石中。

在麻粒岩中, 据单斜辉石的颗粒大小、产状及其与其它矿物之间的关系, 可区分出不同变质阶段形成的三个世代的单斜辉石。第一世代单斜辉石的颗粒较大 ( $0.3-1\text{mm}$ ), 经常与岩石中颗粒较大的斜长石和紫苏辉石共生。单斜辉石已部分被黄绿色角闪石所置换, 而呈残块状分布于角闪石中, 两者呈渐变过渡, 但它们的解理相连(图1)。单斜辉石和角闪石在岩石中均定向分布而形成片麻理。上述特征反映出单斜辉石和角闪石是与区域片麻理同时形成的, 但前者比后者要早些。

第二世代单斜辉石的颗粒细小 ( $0.01-0.1\text{mm}$ ), 呈小芽状随机分布在定向排列的黄绿色角闪石周围。与该世代单斜辉石一起呈梳状生长的还有细小的紫苏辉石和斜长石(图1), 它们是稍晚期麻粒岩相变质作用的产物<sup>[2]</sup>。细小辉石无方向生长的特征, 反映出它们是在构造变形后的静态环境中形成的。当麻粒岩中含有石榴子石时, 后者围生于第一和第二世代辉

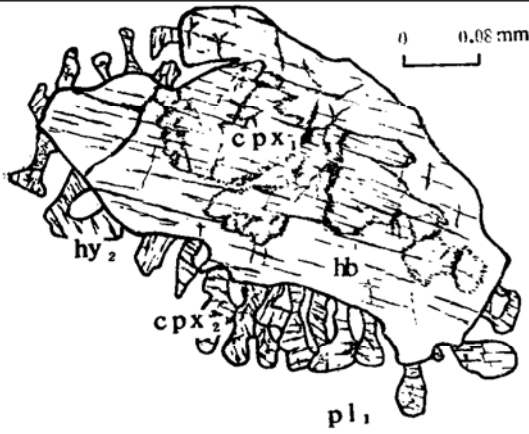


图1 麻粒岩中第一世代和第二世代的单斜辉石  
(孙家沟, 光学显微镜照片素描, ×100)

Fig.1 The first and second generation clinopyroxene in granulite

cpx<sub>1</sub>—第一世代单斜辉石; hy<sub>2</sub>—第二世代紫苏辉石;  
cpx<sub>2</sub>—第二世代单斜辉石; hb—角闪石; pl<sub>1</sub>—第一世代斜长石

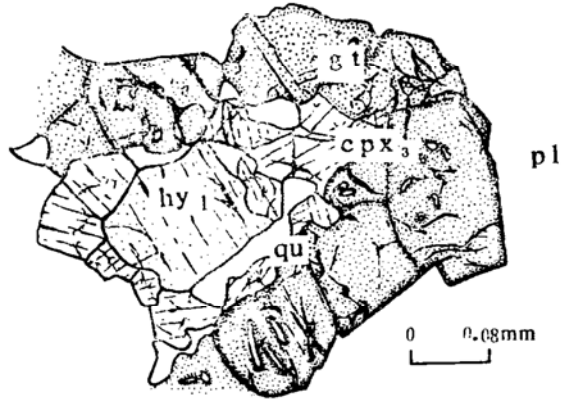
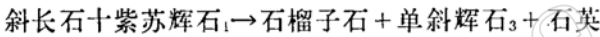


图2 由紫苏辉石和斜长石经变质反应而形成的与石榴子石、石英共生的第三代单斜辉石  
(罪家庄, 光学显微镜照片素描, ×100)

Fig.2 The third generation clinopyroxene coexisting with garnet and quartz formed by the metamorphic reactions of hypersthene and plagioclase

gt—石榴子石; hy<sub>1</sub>—第一世代紫苏辉石; cpx<sub>3</sub>—第三代单斜辉石; qu—石英; pl—斜长石

石之上(图2)。紫苏辉石周围的石榴子石、石英和单斜辉石是下述变质反应的产物:



与石榴子石平衡共生的单斜辉石属于第三世代<sup>[3]</sup>。

本区的变质基性岩脉穿切紫苏花岗岩, 多呈块状构造, 边缘有冷凝边, 这反映变质基性岩脉形成于区域片麻理之后。变质基性岩脉中的辉石按成因可分为变余单斜辉石和变晶单斜辉石两类<sup>[4]</sup>。变余单斜辉石的颗粒较大(0.5—3mm), 多呈半自形柱状和他形粒状, 常与自形长板状的斜长石共生, 斜长石组成格架, 辉石类矿物充填于格架中, 形成变余辉绿结构。可见, 这类单斜辉石为岩浆成因, 但已受到变质作用的改造而属于变余单斜辉石。另一种单斜辉石颗粒细小(0.02—0.05mm), 呈他形粒状, 它们和紫苏辉石围生于变余单斜辉石和斜长石之间, 呈多边形镶嵌变晶结构(图3), 反映出这种单斜辉石是变质结晶作用的产物<sup>[5]</sup>, 从这种辉石的产状、颗粒大小、无定向排列等特征来看, 它们应属于第二代单斜辉石。变质基性岩脉中的石榴子石和角闪石环生于第二代变晶辉石的周围<sup>[4]</sup>。在石榴子石周围也经常有平衡共生的第三代单斜辉石和石

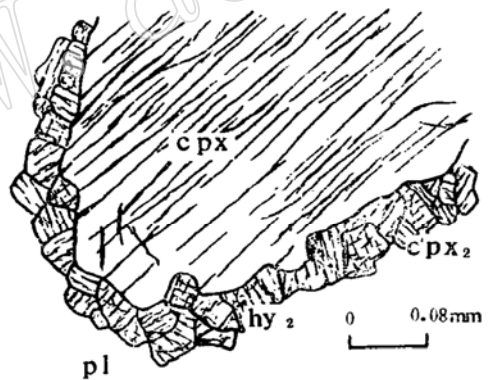


图3 变质基性岩脉中的变余单斜辉石和第二代变晶单斜辉石  
(老李家, 光学显微镜照片素描, ×100)

Fig.3 Relict clinopyroxene and the second generation blastic clinopyroxene in metabasic dykes

cpx—单斜辉石; cpx<sub>2</sub>—第二代单斜辉石; hy<sub>2</sub>—第二代紫苏辉石; pl—斜长石

在石榴子石周围也经常有平衡共生的第三代单斜辉石和石

英。

金厂峪变质辉长岩体中单斜辉石的粒径大多为1—3mm。有的单斜辉石中有板状自形或半自形斜长石的包裹体,呈变余嵌晶含长结构,反映其也是岩浆结晶的产物,后经变质作用改造而成变余单斜辉石。它们普遍被晚期的阳起石交代。紫苏花岗岩和辉石斜长角闪岩的辉石或角闪石等矿物的边缘也有细小粒状的单斜辉石环生,它们与第二世代变晶单斜辉石的特征基本一致。

## 2 单斜辉石的化学成分特征

将根据本区单斜辉石电子探针分析数据(表1)计算的单斜辉石成分投影于单斜辉石CaSiO<sub>3</sub>-MgSiO<sub>3</sub>-FeSiO<sub>3</sub>三端员组分图解(图4)中,它们主要分布在次透辉石和普通辉石区域。其中有一个样品位于I区,这是该样品的原岩(变质超镁铁质岩)成分中MgO的含量较高所致。另一个样品位于IV区的上方,经岩相学观察并分析与其共生的石榴子石和斜长石的成分,发现石榴子石成分中钙铁榴石和钙铝榴石端员组份含量高达48%,斜长石中钙长石

表1 单斜辉石电子探针分析数据(wt%)

Table 1 Electron microprobe analyses of clinopyroxene(wt%)

样品号	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	总量
201-1	50.566	0.030	1.678	5.821	0.198	15.833	24.139	0.726	0.007	98.998
B <sub>2</sub>	50.504	0.202	1.921	8.459	0.164	14.090	21.970	0.510	0.000	97.820
572-10	51.628	0.000	2.159	9.340	0.098	13.501	21.332	0.542	0.060	98.660
2006-A	50.188	0.109	2.991	10.762	0.160	12.197	21.143	0.828	0.000	98.678
2006-B	51.676	0.146	2.962	9.435	0.407	12.561	20.380	0.658	0.031	98.256
420-11-A	51.910	0.281	2.900	11.795	0.348	11.485	22.132	0.497	0.007	101.355
420-11-B	51.183	0.241	2.514	9.537	0.408	11.753	22.007	0.545	0.023	98.211
420-12-A	52.034	0.241	2.842	9.135	0.296	11.029	21.895	0.615	0.000	98.087
420-12-B	50.283	0.120	2.561	9.945	0.148	12.798	20.767	1.508	0.019	98.149
3433-10	46.285	0.179	3.859	20.220	0.133	4.779	23.395	0.747	0.000	99.597
816-4	52.139	0.000	1.978	15.857	0.130	12.775	18.069	0.724	0.006	101.678
M413	51.159	0.040	2.297	10.198	0.327	12.278	22.117	0.882	0.019	99.317
I-1	51.061	0.239	2.135	12.087	0.314	12.268	22.026	0.766	0.000	100.896
I40-2	50.331	0.230	4.354	8.229	0.103	12.900	20.259	1.443	0.110	97.959
I53-13	53.361	0.126	2.450	9.775	0.000	12.666	21.679	0.839	0.000	100.896

201-1—角闪二辉石岩(云梦山); B<sub>2</sub>—二辉麻粒岩(老李家); 572-10—紫苏麻粒岩(老李家); 2006—二辉角闪麻粒岩(孙家沟); 420-11—石榴角闪二辉麻粒岩(长家峪); 420-12—二辉角闪麻粒岩(长家峪); 3433-10—石榴斜长辉石岩(麻达峪); 816-4—二辉磁铁矿英岩(工书台); M413—紫苏花岗岩(秋丈子); I-1—紫苏花岗岩(太平寨); I40-2—变质辉长岩(金厂峪); I53-13—变质辉长岩(十八盘)

测试单位: 长春地质学院电子探针室

分子的含量为49%,岩石中还含有富钙的方柱石,副矿物中磁铁矿达3%。由此可见,由于原岩成分中Ca、Fe等组分含量较高,致使其成分与本区大多数单斜辉石的成分差别较大。由图4可见,本区大部分变质辉长岩中的单斜辉石位于普通辉石区;变质基性岩脉中的变余单斜辉石分布于普通辉石区,而其第二世代变晶单斜辉石都位于次透辉石区;麻粒岩、磁铁矿英岩

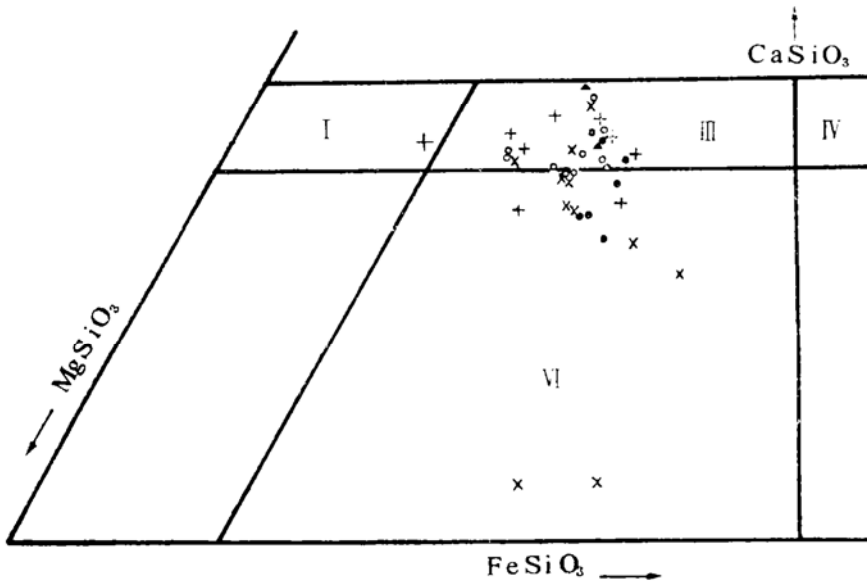


图4 单斜辉石CaSiO<sub>3</sub>-MgSiO<sub>3</sub>-FeSiO<sub>3</sub>体系图解(据Polder Vaart and Hess, 1951)

Fig. 4 Diagram of CaSiO<sub>3</sub>-MgSiO<sub>3</sub>-FeSiO<sub>3</sub> system of clinopyroxene

I—透辉石区; III—次透辉石区; IV—铁次透辉石区; VI—普通辉石区; ●—紫苏花岗岩; ○—麻粒岩; ×—变质辉长岩; +—变质基性岩脉; ⊕—变质超镁铁质岩; ▲—磁铁石英岩; △—斜长辉石岩

中的单斜辉石大都分布于次透辉石区;紫苏花岗岩中的单斜辉石部分分布于普通辉石区,部分在次透辉石区内。总之,岩浆成因的变余单斜辉石多数为普通辉石,而不同世代的变晶单斜辉石大部分为次透辉石,成分特殊的单斜辉石受原岩成分的控制则较明显。

本区单斜辉石中Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量大多在1.142%—3.6%,其中,超镁铁质岩中单斜辉石的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量为1.6878%—2.877%;麻粒岩、变质辉长岩和变质基性岩脉中单斜辉石的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>平均含量分别为2.582%、2.7143%、2.64%,它们的含量较接近;磁铁石英岩和紫苏花岗岩中单斜辉石的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>平均含量分别为1.89%和2.206%;变质基性岩脉中变余单斜辉石与变晶单斜辉石的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>平均含量分别为2.705%和2.568%;第一世代与第二世代单斜辉石的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>平均含量是2.911%和2.679%。由此可见,本区单斜辉石的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量不仅与原岩成分有关,也与其成因和经受变质作用的条件有关。本区单斜辉石中FeO的含量为8.35%—15.816%,在全岩FeO—单斜辉石FeO相关图中(图5),各类岩石两者均呈正相关趋势。其中,紫苏花岗岩FeO含量较低,但其单斜辉石的FeO含量较高,说明紫苏花岗岩中的铁主要赋存在辉石类矿物中。在各类岩石的CaO—单斜辉石CaO相关图中,除了紫苏花岗岩以外,其它岩类两者均呈正相关趋势。

在单斜辉石和紫苏辉石共生矿物对的FeO和MgO的相关图中,两者大都呈现正相关趋势,反映它们形成于相似的变质条件。

变质基性岩脉中变余单斜辉石和变晶单斜辉石的成分如表2所示。两者相比,后者的MgO含量低,而CaO含量则高些,其它组分互有升降,但规律性并不明显。

第一世代和第二世代变晶单斜辉石的平均成分如表3所示,总的来看两者的成分较接近,但前者的SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO、CaO含量略高,而MgO和Na<sub>2</sub>O等组份的含量则稍低。

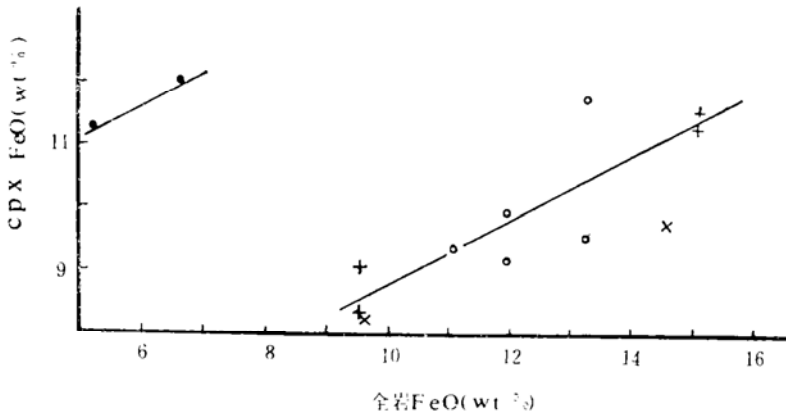


图 5 全岩FeO—单斜辉石FeO相关图(图例符号同图4)

Fig. 5 FeO correlatogram between whole rocks and clinopyroxene  
cpx—单斜辉石

表 2 变质基性岩脉中变余单斜辉石和变晶单斜辉石的成分(wt%)

Table 2 Composition of relict and blastic clinopyroxene from metabasic dykes(wt%)

样品号	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O
184-1 (A)	51.295	0.238	3.050	11.881	0.236	12.157	20.104	0.599
(B)	51.088	0.240	3.600	10.003	0.118	11.601	21.933	0.645
t <sub>1</sub> -3 (A)	50.695	0.081	2.973	8.354	0.164	13.918	22.716	0.628
(B)	50.168	0.081	2.875	9.085	0.229	12.769	22.778	0.513
500-1 (A)	51.879	0.080	2.646	9.694	0.262	14.561	20.986	0.542
(B)	51.197	0.081	1.690	8.930	0.098	13.686	22.271	0.451
Tzdg (A)	51.379	0.080	2.160	11.313	0.098	12.228	22.507	0.644
(B)	53.453	0.080	2.175	11.599	0.228	11.713	21.610	0.798

(A) — 变余单斜辉石; (B) — 第二世代的变晶单斜辉石。测试单位: 长春地质学院电子探针室

表 3 第一世代和第二世代变晶单斜辉石的成分(wt%)

Table 3 Average composition of the first and the second generation blastic clinopyroxene(wt%)

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O
第一世代变晶单斜辉石	51.377	0.210	2.911	10.564	0.368	11.904	21.723	0.647
第二世代变晶单斜辉石	51.047	0.169	2.679	9.639	0.321	12.371	21.051	0.927

测试单位: 长春地质学院电子探针室

对同一磁铁石英岩中经受不同变形强度的第一世代单斜辉石分别测定其成分, 如表 4 所示。变形较强的单斜辉石中CaO含量明显降低, MgO稍有降低, SiO<sub>2</sub>有所增加, 其它组分含量变化不大。

表4 同一磁铁石英岩中经受不同变形强度的第一世代单斜辉石的成分(wt%)  
Table 4 Composition of the first generation clinopyroxene which underwent different degrees of deformation in the same BIF(wt%)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O
变形较弱的单斜辉石	50.509	1.826	10.785	0.190	12.752	25.117	0.747
变形较强的单斜辉石	51.285	1.802	10.633	0.217	12.297	21.884	0.724

测试单位:长春地质学院电子探针室

第一世代和第二世代斜方辉石和单斜辉石的  $Fe^{2+}$ -Mg 分配系数  $KD$  值\*为 1.3031—3.5003, 大多在 1.5—2.6 范围内, 与华北地区麻粒岩的分配系数相近<sup>[6]</sup>。其中, 紫苏花岗岩和磁铁石英岩的平均  $KD$  值分别是 1.9558 和 1.6233; 麻粒岩、变质基性岩脉和变质超镁铁质岩的平均  $KD$  值为 2.0588、2.5597、2.3673, 第一世代二辉石的  $KD$  值为 2.1486, 第二世代的为 2.2473, 两者数值十分接近, 反映其变质作用的条件十分相似。从不同岩类的  $KD$  值稍有变化来看, 可能还是与原岩成分对单斜辉石的成分有一定的影响有关。

综上所述, 影响本区单斜辉石成分的因素较复杂, 有成因、原岩成分、变质条件和变形强度的差异等, 但以成因和原岩成分对单斜辉石成分的控制较为主要。

### 3 单斜辉石形成的温度和压力

由本区单斜辉石的地质产状、粒径大小及其与其它矿物之间的反应关系可知, 单斜辉石是由不同阶段的变质作用形成的。

据第一世代颗粒较大的单斜辉石与紫苏辉石共生矿物对<sup>[7]</sup> 计算出其形成温度为  $880 \pm 60^\circ C$ 。

第二世代颗粒细小的单斜辉石和紫苏辉石共生矿物对<sup>[7]</sup> 的形成温度平均为  $820 \pm 60^\circ C$  (由于未见与第一、第二世代单斜辉石共生的石榴子石, 因而未能计算单斜辉石的形成压力)。

利用石榴子石-单斜辉石地质温度计<sup>[8]</sup> 计算出第三世代单斜辉石的形成温度为  $775^\circ C$  左右。利用石榴子石-单斜辉石-斜长石-石英地质压力计<sup>[9]</sup> 计算其压力为 0.914 GPa。

本区第一和第二世代单斜辉石均与紫苏辉石平衡共生, 它们的形成温度均在  $800^\circ C$  以上, 两者属于辉石麻粒岩亚相的变质条件, 而与石榴子石共生的第三世代单斜辉石的形成温度明显下降为  $775^\circ C$  左右, 相当于角闪麻粒岩亚相的变质条件。

### 4 结论

(1) 本区单斜辉石的成因可分为两类: 一类是岩浆成因的后经变质作用改造的变余单斜辉石, 它们产于变质辉长岩和变质基性岩脉中; 另一类为变质成因的单斜辉石, 据其地质产

\* 二辉石  $KD = \frac{(Fe^{2+}/Mg)^{Dpx}}{(Fe^{2+}/Mg)^{Cpx}}$

状和与其它矿物之间的反应关系，又可分为三个世代，主要产于麻粒岩、磁铁石英岩、斜长辉石岩、变质基性岩脉中。据岩相学研究，各世代单斜辉石的矿物共生组合及反应关系如图6所示。图6-1为第一世代颗粒较大的单斜辉石，在岩石中它与颗粒较大的紫苏辉石和斜长石平衡共生，其共生的矿物组合为单斜辉石<sub>1</sub>+紫苏辉石<sub>1</sub>+斜长石<sub>1</sub>；图6-2，在温度下降条件下，辉石开始不稳定，转变为黄绿色角闪石，其变质反应为单斜辉石<sub>1</sub>+紫苏辉石<sub>1</sub>+斜长石<sub>1</sub>→角闪石+石英；在温度升高条件下，角闪石不稳定，转变为呈小芽状围生于角闪石边缘的细小的第二世代变晶辉石，其变质反应为角闪石+石英→单斜辉石<sub>2</sub>+紫苏辉石<sub>2</sub>+斜长

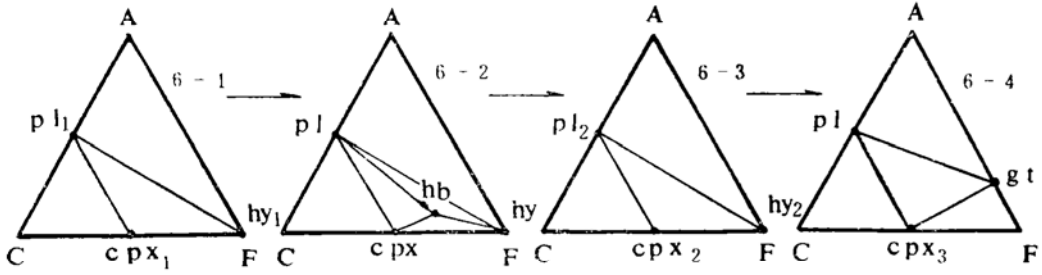


图6 三个世代单斜辉石矿物共生组合演化的ACF图解

Fig. 6 ACF diagram showing the evolution of three generations of clinopyroxene-bearing assemblages

cp<sub>x1</sub>—第一世代单斜辉石；cp<sub>x2</sub>—第二世代单斜辉石；cp<sub>x3</sub>—第三世代单斜辉石；pl<sub>1</sub>—第一世代斜长石；hy<sub>1</sub>—第一世代紫苏辉石；hb—角闪石；pl<sub>2</sub>—第二世代斜长石；hy<sub>2</sub>—第二世代紫苏辉石；gt—石榴子石

石<sub>2</sub>，图6-3，平衡时的矿物共生组合为单斜辉石<sub>2</sub>+紫苏辉石<sub>2</sub>+斜长石<sub>2</sub>；图6-4，在温度降低条件下，辉石转变为石榴子石，其变质反应为单斜辉石<sub>1+2</sub>+紫苏辉石<sub>1+2</sub>+斜长石<sub>1+2</sub>→石榴子石+单斜辉石<sub>3</sub>+石英，达到平衡时的矿物共生组合为石榴子石+单斜辉石<sub>3</sub>+石英。

(2)影响本区单斜辉石成分的因素较复杂，单斜辉石的成因、原岩成分、变质条件和变形强度等因素，都会使单斜辉石的成分发生改变，其中以成因和原岩成分的控制作用最为主要。

参 考 文 献

- 1 张秋生等. 冀东金厂峪地区高级变质区地质与金矿床. 北京: 地质出版社, 1991. 2—11.
- 2 陈曼云. 冀东太平寨地区斜方辉石的地质特征和成因研究. 长春地质学院学报, 1991, 21(4): 367—374.
- 3 陈曼云. 冀东太平寨—金厂峪地区石榴子石的成因研究. 长春地质学院学报, 1989, 19(4): 375—384.
- 4 陈曼云. 高级变质区基性岩脉群的研究. 地质学报, 1990, 66(2): 157—169.
- 5 Bohlen S R, Essene E J. Igneous pyroxenes from metamorphosed anorthosite massite. *Contrib. Min. Petro.*, 1978, 65: 433—443.
- 6 靳是琴、李殿超. 华北麻粒岩相中的辉石. 长春地质学院学报, 1986, 16(2): 29—36.
- 7 Wood B J, Banno S. Garnet—orthopyroxene and orthopyroxene—clinopyroxene relationship in simple and complex systems. *Contrib. Min. Petro.*, 1973, 42: 109—124.
- 8 Ellis D J, Green D H. An experimental study of the effect of Ca upon garnet—clinopyroxene Fe—Mg exchange equilibria. *Contrib. Min. Petro.*, 1979, 71: 13—22.
- 9 Newton R C, Perkins D. Thermodynamic calibration of geobarometers based on the assemblages garnet—plagioclase—orthopyroxene(cclinopyroxene)—quartz. *Am. Min.*, 1982, 67: 203—222.

## Geological Characteristics and Geneses of Clinopyroxene from Taipingzhai Area, Eastern Hebei

Chen Manyun

(Changchun College of Geology, Changchun 130026)

**Key words:** blastic and relict clinopyroxene; generation; Taipingzhai of eastern Hebei

### Abstract

The rocks in Taipingzhai area are mainly composed of charnockite and metabasic intrusive bodies. Granulite, amphibolite, pyroxenite, garnet biotite plagioclase gneiss and BIF are scattered as inclusions in the charnockite. Clinopyroxene occurs widely in various metamorphic rocks of this area. According to the grain size and the mode of occurrence of clinopyroxene as well as its relationship with the other minerals, the three generations of the mineral have been recognized.

The large and oriented clinopyroxene grains associated with hypersthene and plagioclase constitute the first generation, whose stable temperature is about  $880 \pm 60^\circ\text{C}$ . The fine-grained clinopyroxene surrounding hornblende and the first generation pyroxene make up the second generation, with the formation temperature being  $820 \pm 60^\circ\text{C}$ . The stable condition of these two generations is equivalent to pyroxene granulite subfacies. The third generation clinopyroxene associated with garnet and quartz was formed by the metamorphic reaction of early pyroxene and plagioclase, with the formation temperature being  $775^\circ\text{C} \pm$ . Besides the three generations of clinopyroxene, there is another kind of clinopyroxene which occurs in metagabbro and metabasic dikes. In these rocks, clinopyroxene and plagioclase large in size make up blastophitic texture, suggesting that the clinopyroxene is of magmatic origin and belongs to relict clinopyroxene.

The relict clinopyroxene is mainly augite in the metabasic intrusive bodies, whereas most blastic clinopyroxene belongs to sahlite. The composition of the protolith is also one of the main factors controlling the composition of clinopyroxene.