

北京密云群变质岩的矿物演化

长春地质学院

靳是琴

分布于北京密云水库附近的密云群变质岩是太古代遭受多期变质作用的片麻杂岩，研究它的矿物演化将有利于阐明变质作用过程及早期地壳发展的特点。

密云群主要由超镁铁质变质岩类 ($Si=100-200, C>15, K<0.2$)、镁铁质变质岩类 ($Si=200-300, C<15, K<0.3$)及长英质变质岩类 ($Si=300-400, C<10, K=0.4\pm$)三大系列岩石组成，具体岩石类型见图1，其中分布最广的是含石榴石、角闪石或辉石的黑云斜长片麻岩和变粒岩。典型的麻粒岩及石榴斜长辉石岩等只呈夹层或透镜体出现。各类岩石均遭受不同程度的混合岩化作用。

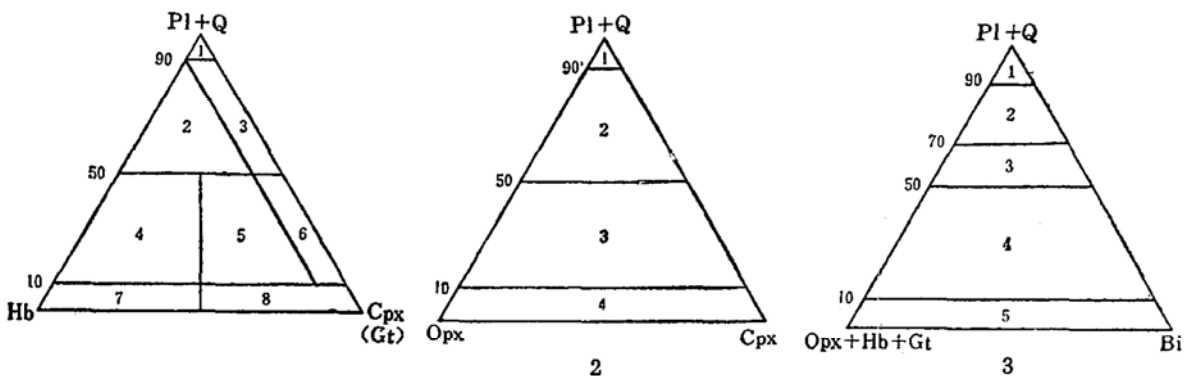


图 1 密云群主要变质岩分类命名图

Fig.1 Classification and nomenclature of main metamorphic rocks in Miyun Group

1—1 榴辉斜长角闪岩—石榴斜长辉石岩类：1—榴辉浅粒岩，2—榴辉闪变粒岩，3—榴辉变粒岩，4—榴辉斜长角闪岩，5—角闪石榴斜长辉石岩，6—石榴斜长辉石岩，7—透辉角闪石岩，8—角闪透辉石岩。1—2麻粒岩类：1—含辉石浅粒岩，2—（角闪）二辉浅色麻粒岩，3—（角闪）二辉暗色麻粒岩，4—角闪二辉石岩。1—3云母（角闪）辉石质岩类：1—浅粒岩，2—含榴辉闪黑云变粒岩，3—含榴辉闪黑云片麻岩，4—黑云（角闪）二辉麻粒岩，5—黑云（角闪）二辉石岩。矿物代号：Opx—斜方辉石，Hb—角闪石，Gt—石榴石，Q—石英，Cpx—单斜辉石，Bi—黑云母—金云母，Pl—斜长石

研究表明, 本区的主要变质作用有两期^①, 第一期发生于29亿年前, 属麻粒岩相, 第二期出现于17亿年前, 其高峰阶段也属于麻粒岩相, 晚期过渡为角闪岩相, 并伴随普遍的混合岩化作用。此后局部还有叠加的退变质及蚀变作用。

密云群与阳坡地群、元古代末变质盖层的接触关系见密云地区地质略图 (图2)。

一、主要变质岩类的矿物组合及其演化

(一) 超镁铁质变质岩类

野外观察和镜下结构研究表明, 本类岩石中第一期的平衡矿物组合 (图3)是:

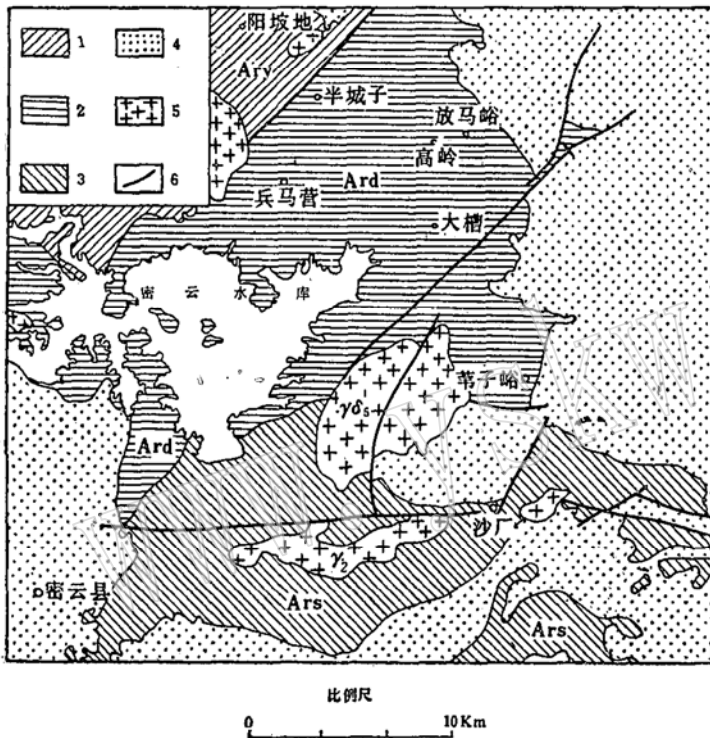


图 2 密云地区地质略图

Fig.2 Geolical sketch map of Miyun district

- 1—太古代阳坡地群; 2—太古代密云群单斜辉石—石榴石带;
- 3—太古代密云群二辉石带; 4—元古代末变质盖层; 5—花岗质侵入岩; 6—断层



图 3 角闪二辉石岩 (DQ—2)

Fig.3 Amphibole twopyroxene rock

二辉石之间界线平直, 为共生结构。
d = 4.5mm

角闪石和黑云母的出现与否, 决定于原岩中 Na_2O 、 Al_2O_3 和 K_2O 的含量。当 Al_2O_3 和 Na_2O 的含量超过当时P—T条件下辉石晶格所能容纳的最大限度时, 可有角闪石出现。当含一定量 K_2O 时, 可有少量黑云母出现。这类岩石中很少出现橄榄石, 其原因可能一方面和原岩中 SiO_2 饱和 (40—50%), 斜方辉石代替橄榄石出现有关, 另一方面可能因当时压力较高 (10^9Pa 左右⁽¹⁾), $\text{Ol} + \text{Pl}$ 组合不稳定, 而代之以 $\text{Opx} + \text{Cpx} + \text{Hb}$ 的组合。

某些本类岩石中不均匀地含少量斜长石, 它们不规则地出现在辉石粒隙中, 有时交代

① 卢良兆等, 长春地质学院第四届学术报告会论文选集, 1979

斜方辉石形成石榴石。斜长石多为An30—35，个别达An45，有时其中含有蠕虫状石英。有些岩石中斜方辉石被单斜辉石交代的现象明显。第二期第一阶段的平衡组合是(图4)：



此后是角闪石和黑云母对两种辉石的广泛交代，这个过程显然也不是等化学的，必须有多量SiO₂和K₂O等从外部加入，故这一转变过程与混合岩化作用有关，形成第二期第二阶段的平衡组合为：

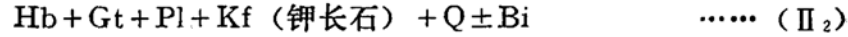


图4 石榴斜长辉石岩 (P₁-18)

Fig.4 Garnet plagioclase pyroxenite

右上方细粒石榴石围绕较大的次透辉石晶体分布，但二者之间接触线平直，辉石外形良好，无交代关系。d=4.5mm



图5 石榴角闪斜长辉石岩 (ZH-9)

Fig.5 Garnet amphibole plagioclase pyroxenite-

左上方石榴石交代角闪石现象明显。右上方石榴石中有角闪石残留体，左下方角闪石残破，但新形成的辉石晶形较好。d=4.5mm

在后期退变质及蚀变过程中，主要矿物变化是：斜方辉石变为滑石 (Tal) 和蛇纹石 (Sep)；单斜辉石和角闪石变为纤闪石 (Ser)，同时有粉末状铁质析出 (Mt)，这时的平衡组合为：



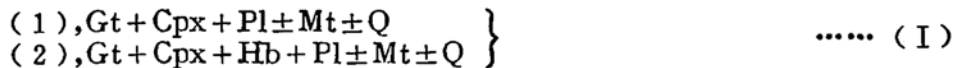
(二) 镁铁质变质岩类

本类岩石因原岩总化学成分的不同，矿物组合及其演化特点也有差异，主要分为三类：

1. 石榴斜长角闪辉石质岩石

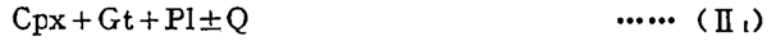
这类岩石在密云水库以北高岭地区⁽¹⁾分布最广，占主导地位，库南沙厂地区较少。

其第一期最常见的典型矿物组合有二：



组合(1)由Hb + Pl反应形成⁽²⁾ (图5)，(1)和(2)呈相邻条带状分布，二者岩石化学分析表明，其化学成分基本相同，但含角闪石的条带MgO的含量较高，只含辉石的条带CaO较高。由于原岩总化学成分的某些差别，较富钙层中Hb + Pl → Cpx + Gt + Pl反应已彻底完成。对于某些较富镁的层来说，反应进行的不彻底，形成Hb + Pl与Cpx + Gt同时存在。

在此之后是一期与混合岩化有关的重结晶及交代作用，表现为单斜辉石、石榴石和斜长石聚集、加粗，斜长石号码降低到An30及经钾质交代形成反条纹长石，此时全区的平衡组合是：

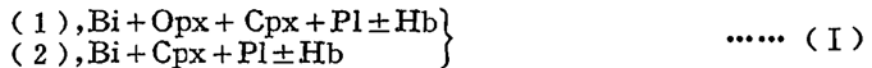


当温度继续降低时，单斜辉石转变成角闪石，进入到第二期的第二阶段，形成稳定的共生组合为：



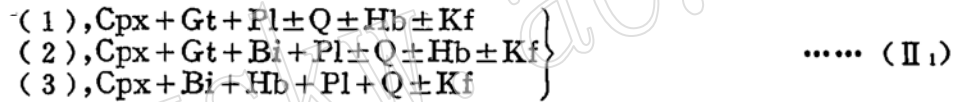
2. 云母二辉麻粒岩及斜长片麻岩

其第一期的典型组合是：



这类组合在高岭地区只限于一定层位，在沙厂地区分布广泛。云母与辉石平衡共生⁽³⁾ (图6)，云母的出现与岩石中K₂O含量较高有关。

在混合岩化作用过程中，矿物重结晶变粗、分异集中、斜长石号码降低、反条纹长石大量出现和石英不均匀加入。斜方辉石和云母被石榴石交代；单斜辉石由原来的透辉石、次透辉石变为普通辉石。故此时的平衡组合有三个：



此后的变化，主要是辉石被黑云母和角闪石交代，石榴石仍稳定存在，因此第二期第二阶段的平衡组合是：



3. 二辉麻粒岩

其第一期典型组合为：

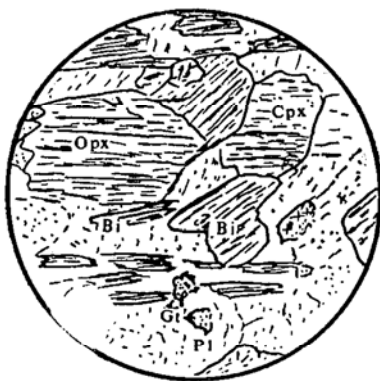


图 6 石榴黑云二辉麻粒岩 (P II'-3)
Fig.6 Garnet biotite two-pyroxene granulite

斜方辉石、单斜辉石、黑云母及斜长石之间接触界线平直，无交代现象，石榴石是辉石或黑云母转变所成
d = 4.5mm



图 7 石榴二辉麻粒岩 (变质基性脉岩) (D4018)
Fig.7 Garnet two-pyroxene granulite (metamorphosed basic dyke rock)

紫苏辉石成残留状，四周都有石榴石分布，后者中有斜长石残留体。d = 2mm



它是沙厂地区分布最广泛的组合，高岭地区少见。

在混合岩化作用过程中，除矿物粒度变粗外，反条纹长石大量发育，石英大量增加，呈似文象结构。暗色矿物的主要变化是斜方辉石被交代形成石榴石，由于反应一般进行得不彻底，形成石榴二辉麻粒岩，实际上这个阶段的平衡组合为：

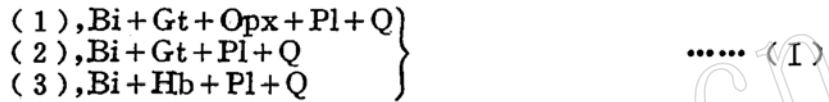


此后最常见的矿物变化是两种辉石被角闪石交代，形成角闪二辉麻粒岩，而此时的平衡组合应为：



(三) 长英质变质岩类

这类岩石在全区分布最广，但矿物组合比较简单，第一期有代表意义的组合有三：



在混合岩化过程中，除各种矿物的重结晶加粗，斜长石的反条纹长石化之外，还见到斜方辉石、黑云母被石榴石交代的现象，但总的看来矿物变化不明显。

(四) 变质基性脉岩

在研究区内变质基性脉岩广泛分布，它们斜交围岩片理，为第一期变质作用之后侵入，后又变质成为含磁铁二辉麻粒岩或角闪石榴斜长辉石岩等。斜方辉石为交代残留体⁽²⁾

Table 1

表 1

第一期区域变质作用	第二期区域变质及混合岩化作用	后期退变质及蚀变作用
超镁铁质岩石 $\text{Opx} + \text{Cpx} \pm \text{Hb} \pm \text{Bi}$	第一阶段 $\text{Cpx} + \text{Gt} + \text{Pl} + \text{Q} \pm \text{Hb} + \text{Bi}$ 第二阶段 $\text{Ct} + \text{Hb} + \text{Pl} + \text{Kf} + \text{Q} \pm \text{Bi}$	$\text{Tal} + \text{Sep} + \text{Ser} + \text{Mt}$
镁铁质岩石 $\left. \begin{array}{l} \text{Hb} + \text{Pl} \text{ 进变质} \\ (1) \text{ 石榴角闪斜长辉石质岩} \\ \text{Cpx} + \text{Gt} + \text{Pl} \pm \text{Q} \\ \text{Cpx} + \text{Gt} + \text{Hb} + \text{Pl} \\ (2) \text{ 云母二辉麻粒岩及斜长片麻岩} \\ \text{Bi} + \text{Opx} + \text{Cpx} + \text{Pl} \\ \text{Bi} + \text{Cpx} + \text{Pl} + \text{Hb} \\ (3) \text{ 二辉麻粒岩} \\ \text{Opx} + \text{Cpx} + \text{Pl} + \text{Q} \\ \text{Opx} + \text{Cpx} + \text{Gt} + \text{Pl} \end{array} \right\}$	$\text{Cpx} + \text{Gt} + \text{Pl} \rightarrow \text{Gt} + \text{Hb} + \text{Pl} + \text{Kf} + \text{Q} + \text{Bi}$ (重结晶加粗，斜长石号码降低，反条纹长石化) $\left. \begin{array}{l} \text{Cpx} + \text{Gt} + \text{Pl} \pm \text{Q} \pm \text{Hb} \\ \text{Cpx} + \text{Gt} + \text{Bi} + \text{Pl} \pm \text{Q} \pm \text{Hb} \\ \text{Cpx} + \text{Bi} + \text{Hb} + \text{Pl} + \text{Q} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{---} \text{Gt} + \text{Hb} + \\ \text{Pl} + \text{Kf} + \text{Bi} + \text{Q} \end{array}$	$\text{Hb}_2 + \text{Bi}_2 + \text{Pl} + \text{Q}$
长英质岩石 $\left. \begin{array}{l} \text{Bi} + \text{Gt} + \text{Opx} + \text{Pl} + \text{Q} \\ \text{Bi} + \text{Gt} + \text{Pl} + \text{Q} \\ \text{Bi} + \text{Hb} + \text{Pl} + \text{Q} \end{array} \right\}$	重结晶加粗，斜长石反条纹长石化 $\text{---} \text{Gt} + \text{Bi} + \text{Hb} + \text{Pl} + \text{Q} + \text{Kf}$	
基性脉岩侵入 $\text{Opx} + \text{Cpx} + \text{Pl} \rightarrow \text{Cpx} + \text{Gt} + \text{Pl} + \text{Q} + \text{Mt}$	$\text{---} \text{Gt} + \text{Hb} + \text{Pl} + \text{Q} + \text{Mt} + \text{Kf}$	

(图7), 在有些岩石中斜方辉石完全消失, 有少量石英出现, 表明 $\text{Opx} + \text{Pl} \rightarrow \text{Cpx} + \text{Gt} + \text{Q}$ 的反应已较彻底完成, 反映当时 P-T 条件的平衡组合是:



有些变质脉岩中无辉石, 或者含量很少, 但有大量角闪石, 角闪石交代辉石的现象明显, 形成的线理与脉壁斜交。此外, 有钾长石、石英加入, 故此时的平衡组合为:



上述各类岩石的后期退变质及蚀变作用基本相同, 云母、石榴石和辉石被细鳞片状的黑云母交代, 角闪石变为纤闪石等。

综合上述, 各类变质岩中矿物组合的演化如表 1。

二、各期变质作用的矿物共生分析

密云群第一期变质作用的产物可划分为两个变质带, 库北高岭地区以镁铁质成分的变质岩中出现 $\text{Cpx} + \text{Gt} + \text{Pl} \pm \text{Hb} \pm \text{Q}$ 组合为特征, 称为单斜辉石-石榴石带; 库南沙厂地区以同样成分的变质岩中出现 $\text{Opx} + \text{Cpx} + \text{Pl} \pm \text{Gt} \pm \text{Q}$ 组合为特征, 称为二辉石带(图 2)。

高岭地区的平衡矿物组合为:

- (1) $\text{Opx} + \text{Cpx} \pm \text{Hb} \pm \text{Bi}$ (超镁铁质岩石)
- (2) $\text{Cpx} + \text{Gt} + \text{Pl} \pm \text{Hb} \pm \text{Q}$
- (3) $\text{Opx} + \text{Cpx} + \text{Bi} + \text{Pl} \pm \text{Q}$ } 镁铁质岩石)
- (4) $\text{Opx} + \text{Cpx} + \text{Gt} + \text{Pl} \pm \text{Q}$
- (5) $\text{Opx} + \text{Gt} + \text{Bi} + \text{Pl} + \text{Q}$ } (长英质岩石)
- (6) $\text{Bi} + \text{Gt} + \text{Pl} + \text{Q}$

其中以 (2) 和 (6) 分布最广, 占全区岩石的 90% 以上, 代表一般的镁铁质和长英质岩石的平衡组合, 能更好地指示当时的 P-T 条件。该区矿物组合特点用 ACF、A'KF 图解表示(图 8)。图中 A、C、F、K 值除斜长石外, 其它矿物均由单矿物化学分析结果算出^{(1)②}。

沙厂地区的平衡矿物组合为:

- (1) $\text{Opx} + \text{Cpx} \pm \text{Hb} \pm \text{Bi}$ (超镁铁质岩石)
- (2) $\text{Opx} + \text{Cpx} + \text{Bi} + \text{Pl} \pm \text{Gt} \pm \text{Q}$ } (镁铁质岩石)
- (3) $\text{Opx} + \text{Cpx} + \text{Pl} \pm \text{Gt}$
- (4) $\text{Opx} + \text{Bi} + \text{Gt} + \text{Pl} + \text{Q}$ } (长英质岩石)
- (5) $\text{Bi} + \text{Gt} + \text{Pl} + \text{Q}$

其中 (1)、(2) 和 (5) 与高岭地区相同, 是贯通组合, 但 (2) 的分布比高岭地区广泛得多, 组合 (3) 是本区的特征组合, 分布广泛。该区矿物组合特点用 ACF、A'KF 图解表示(图 9)。

密云群第二期变质及混合岩化作用的矿物组合是一种交代反应的平衡, 属于开放系统, 用柯尔仁斯基方法⁽⁵⁾做 $\mu\text{Na}_2\text{O}-\mu\text{K}_2\text{O}$ 矿物共生图解, 以便阐明该期矿物演化特点及混

① 叶慧文等, 长地院第五届学术报告会论文选集 (1981), P.33—46。

② 靳是琴等, 全国第一届成因矿物学术会议论文 (1980) ——北京密云群变质岩中的角闪石和云母

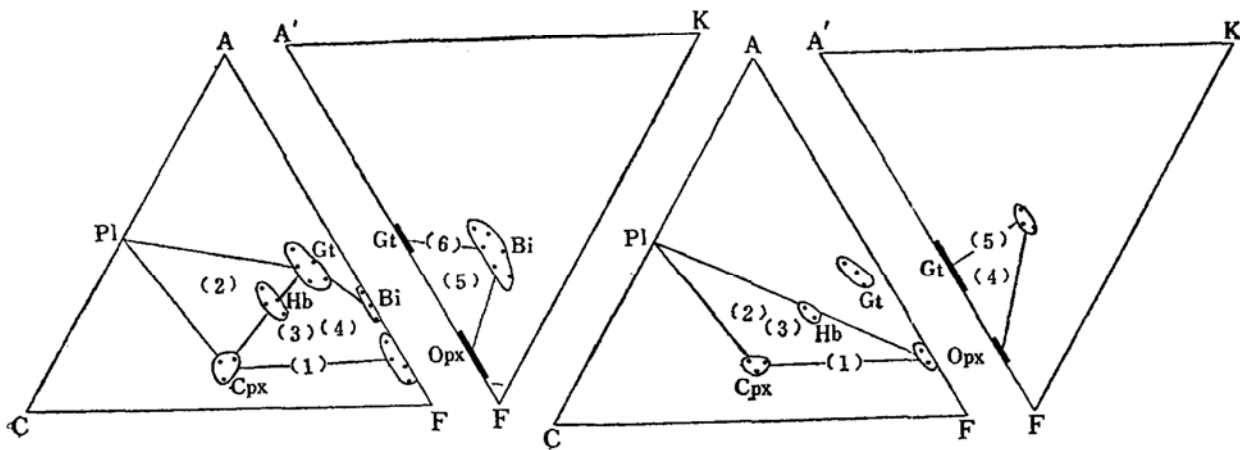
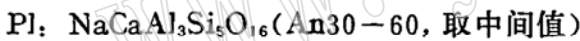
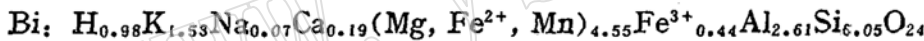
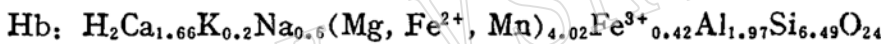
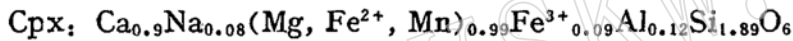


图 8 高岭地区ACF、A'KF图解
Fig. 8 ACF and A'KF diagrams
of Gaoling district

图 9 沙厂地区ACF、A'KF图解
Fig. 9 ACF and A'KF diagrams
of Shachang district

合岩化作用的性质。

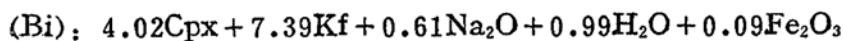
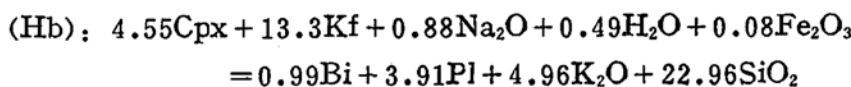
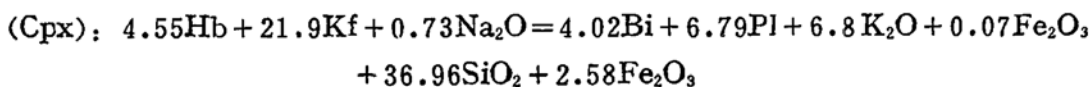
该期出现有Cpx、Bi、Hb、Pl、Kf、Gt、Q及Mt八种矿物。Gt、Q和Mt为过剩矿物，其余五种矿物的化学组成，除斜长石由费氏台确定外，其它均由单矿物化学分析结果算出。



根据矿物组合及结构特点取 K_2O 、 Na_2O 为有效活动组份， SiO_2 、 Fe_2O_3 为过剩组份， Al_2O_3 、 $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O}$ 、 CaO 为有效惰性组份。计算矩阵为：

	$1/2\text{Al}_2\text{O}_3$	$(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O}$	CaO
Cpx	0.12	0.99	0.9
Hb	1.97	4.02	1.66
Bi	2.61	4.55	0.19
Pl	3	0	1
Kf	1	0	0

经行列式计算，并对活动组份 K_2O 、 Na_2O 、 H_2O ，过剩组份 SiO_2 、 Fe_2O_3 进行平衡，所得的单变反应为：



$$= 0.99\text{Hb} + 1.98\text{Pl} + 3.08\text{K}_2\text{O} + 13.44\text{SiO}_2$$

$$\begin{aligned} (\text{Pl}): & 3.91\text{Hb} + 1.87\text{K}_2\text{O} + 4.63\text{SiO}_2 = 6.79\text{Cpx} + 1.98\text{Bi} + 1.73\text{Kf} \\ & + 0.71\text{Na}_2\text{O} + 2.94\text{H}_2\text{O} + 0.18\text{Fe}_2\text{O}_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\text{Kf}): & 13.76\text{Hb} + 4.28\text{K}_2\text{O} + 5.45\text{SiO}_2 = 21.9\text{Cpx} + 7.39\text{Bi} \\ & + 1.73\text{Pl} + 2.13\text{Na}_2\text{O} + 10.14\text{H}_2\text{O} + 0.61\text{Fe}_2\text{O}_3 \end{aligned}$$

单变反应的斜率:

$$\langle \text{Cpx} \rangle: \quad \text{tg}\alpha = \frac{d\mu\text{K}_2\text{O}}{d\mu\text{Na}_2\text{O}} = \frac{0.73}{6.8} = 0.107 \quad \alpha = 6^\circ 07'$$

$$\langle \text{Hb} \rangle: \quad \text{tg}\alpha = \frac{d\mu\text{K}_2\text{O}}{d\mu\text{Na}_2\text{O}} = \frac{0.88}{4.96} = 0.177 \quad \alpha = 10^\circ 03'$$

$$\langle \text{Bi} \rangle: \quad \text{tg}\alpha = \frac{d\mu\text{K}_2\text{O}}{d\mu\text{Na}_2\text{O}} = \frac{0.61}{3.08} = 0.198 \quad \alpha = 11^\circ 12'$$

$$\langle \text{Pl} \rangle: \quad \text{tg}\alpha = \frac{d\mu\text{K}_2\text{O}}{d\mu\text{Na}_2\text{O}} = \frac{0.71}{1.87} = 0.38 \quad \alpha = 20^\circ 47'$$

$$\langle \text{Kf} \rangle: \quad \text{tg}\alpha = \frac{d\mu\text{K}_2\text{O}}{d\mu\text{Na}_2\text{O}} = \frac{2.13}{4.28} = 0.498 \quad \alpha = 26^\circ 27'$$

第二期变质及混合岩化作用的 $\mu\text{Na}_2\text{O}$ — $\mu\text{K}_2\text{O}$ 矿物共生图解如图10所示。

综观图10可见, 在混合岩化作用过程中 $\mu\text{K}_2\text{O}$ 的变化对共生矿物组合影响较大, 而 $\mu\text{Na}_2\text{O}$ 则相对影响较小。该期变质及混合岩化作用的第一阶段以出现(I)区和(II)区矿物组合为特征, 第二阶段以出现含Hb的矿物组合(III、IV、V)为特征。从(I)区到(V)区的边界反应和从(II)区到(III)区的边界反应都是吸水和显示 $\mu\text{Na}_2\text{O}$ 增加的反应, 表明混合岩化作用向着 $\mu\text{Na}_2\text{O}$ 升高和温度降低的趋势发展。Cpx与Kf共生只发生在 $\mu\text{K}_2\text{O}$ 相对高的条件下, 这种共生关系在研究区内少见, 表明本区混合岩化作用的性质以

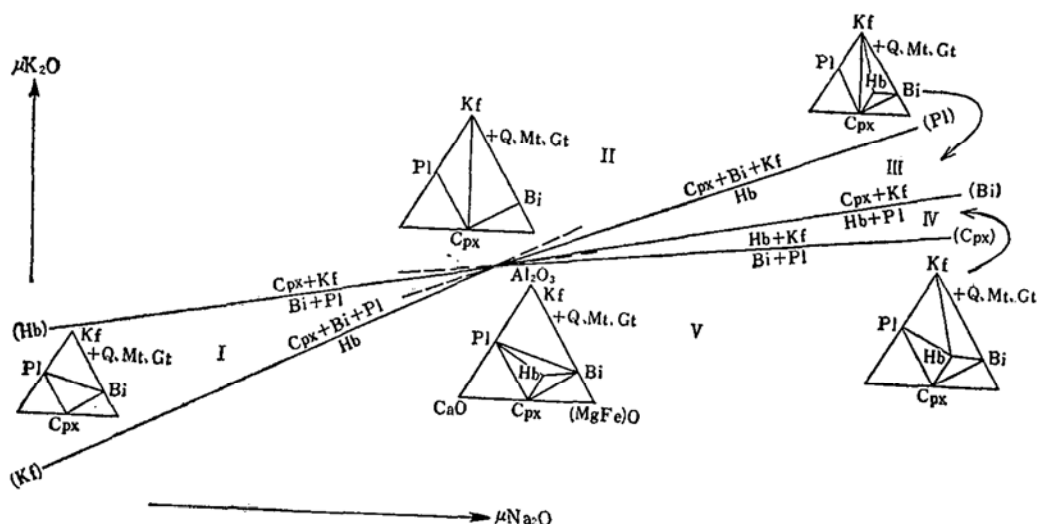


图 10 北京密云群第二期变质及混合岩化作用 $\mu\text{Na}_2\text{O}$ — $\mu\text{K}_2\text{O}$ 矿物共生组合图解
 Fig. 10 $\mu\text{Na}_2\text{O}$ — $\mu\text{K}_2\text{O}$ diagram for mineral paragenesis of MiYun Group in the second metamorphic and migmatitic episode

钠质交代为主,与野外及镜下研究结果相符。五个单变反应中 Fe_2O_3 的变化量均较小,表明氧的逸度变化不大。

三、讨 论

1. 从密云群变质岩的矿物演化特点,可以推测华北地台北部边缘太古代麻粒岩区的中段至少有两次热事件,第一次热事件温度由低到高,矿物从含水矿物向无水矿物转化,典型的变质反应是 $\text{Hb} + \text{Pl} \rightarrow \text{Cpx} + \text{Gt} + \text{Pl} + \text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{Hb} + \text{Q} \rightarrow \text{Opx} + \text{Cpx} + \text{Pl} + \text{H}_2\text{O}$ 。变质温度为 $745-850^\circ\text{C}$, 压力 $(9-10)10^8\text{Pa}$, 相当于埋藏深度约 35km , 地热梯度应为 $22^\circ-25^\circ/\text{km}$, 属中压高温麻粒岩地区^[4]。这表明至少在太古代晚期开始,华北地台的某些地区已存在较厚的原始Si、Al地壳。

第二次热事件的早期高峰阶段温度仍较高 (700°C 左右)^[4], 以变质基性脉岩和二辉麻粒岩中广泛发生 $\text{Opx} + \text{Pl} \rightarrow \text{Cpx} + \text{Gt} + \text{Q}$ 这一反应为特征,但作用并未完全达到平衡,现仍保留广泛的反应结构。随着温度下降及深部含 K_2O 、 Na_2O 溶液的上升,开始发展成混合岩化作用。斜方辉石、单斜辉石首先变得不稳定,被角闪石,接着又被黑云母交代,中基性斜长石则被酸性斜长石及钾长石交代。这一系列变化主要是受渗透溶液中 Na_2O 的变化所控制,这一阶段的温度在 560°C 左右^[4]。

2. 在第一、二期变质作用条件下,云母和角闪石均可作为稳定矿物,斜方辉石主要稳定于第一期的二辉石带中,但少数情况下它也出现于其它带的特殊成分的岩石中;单斜辉石只稳定于第一期及第二期的第一阶段;石榴石在第一期只出现于特定成分的岩石中,而第二期则广泛分布于各类岩石中。

参 考 文 献

- [1] 靳是琴, 矿物学报, 4(1981), 236—244页。
- [2] 卢良兆等, 长春地质学院学报, 3(1979), 10—25页。
- [3] 靳是琴, 长春地质学院学报, 1(1980), 23—35页。
- [4] 卢良兆等, 地球化学, 1(1984), 50—60页。
- [5] Коржинский, Д. С., 1957, «Физико-химические основы анализа парагенезисов Минералов», 126—151, Москва.

Evolution of Mineral Assemblage in Metamorphic Rocks of Miyun Group, Beijing

Jin Shiqin

Abstract

This paper is a comprehensive discussion based on field observations and laboratory studies of metamorphic rocks and minerals in the Miyun Group.

The mineral assemblages of the major rock groups (ultramafic, mafic and felsic metamorphic rock groups) and their evolution have been studied and the

equilibrium among coexisting minerals in each metamorphic episode has been determined. On this basis, ACF and A'KF diagrams for two prograde zones of the first metamorphic episode and a $\mu\text{Na}_2\text{O}-\mu\text{K}_2\text{O}$ diagram of the second metamorphic and migmatitic episode are produced.

According to the results obtained, the metamorphism and the evolution of the mineral assemblages in the Miyun Group can be divided into three episodes. The progressive metamorphism of the first episode belongs to granulite facies under intermediate pressure; the metamorphism and migmatization of the second episode proceeded in an open system, with a general tendency of rising in $\mu\text{Na}_2\text{O}$ and dropping in temperature; and the third regressive metamorphic episode took place more later and superimposed heterogeneously on the previously metamorphosed rocks.

In the first two episodes, both mica and amphibole were stable. Orthopyroxene was stable mainly in the Opx-Cpx zone in the first episode, but in a few cases, it also occurs in some rocks with special composition in other zones. Clinopyroxene was stable in the first episode and the first stage of the second episode. Garnet appears only in the rocks with specific composition in the first episode, whereas in the second episode, but distributed widely in various rock types in the second episode.