

内蒙古太古宙麻粒岩相岩石中辉石 特征和结晶温压条件

张 荫 芳

(中国地质科学院地质研究所)

主题词: 辉石矿物学; 变质作用; 麻粒岩相; 内蒙集宁群

提 要: 辉石是本区的主要造岩矿物,在麻粒岩相岩石中分布比较广泛。综合研究表明,本区斜方辉石的一个显著特征是普遍较富铁,从含铁量的变化范围来看,矿物的含铁量和岩石中的含铁量大致呈正相关关系。单斜辉石中 FeO、MgO、CaO 的含量变化较小,从化学成分上对比,单斜辉石 MgO 的含量与斜方辉石 MgO 含量都受岩石成分所控制。本文所研究的两种辉石均属平衡共生关系,据二辉石矿物对获得本区麻粒岩相变质作用的温度为 800—900°C,压力为 $(7-10) \times 10^8 \text{Pa}$ 。

研究区位于华北陆台北缘西段,太古宙集宁群⁽¹⁾⁽²⁾在本区有广泛分布,西起包头附近的哈达门沟,东到集宁至兴和一带,大致呈东西向展布。

集宁群是由一套中基性火山熔岩和泥砂质沉积岩以及少量的凝灰质岩石变质生成的。该变质岩系按其特征可大致概括为麻粒岩和片麻岩两大类,麻粒岩类位于该群下部,主要岩石类型有辉石麻粒岩夹含辉斜长片麻岩。片麻岩类位于该群上部,主要由一套含石墨的富铝片麻岩、浅粒岩和含榴石英岩等组成。

它们的主要矿物共生组合是:斜方辉石+单斜辉石±角闪石±黑云母+斜长石±石英+不透明矿物;斜方辉石+单斜辉石+石榴石+斜长石+石英+不透明矿物;斜方辉石+角闪石±黑云母+斜长石+石英;石榴石+夕线石±黑云母+斜长石(钾长石)±董青石+石英+石墨。

一、辉石的分布和产出特征

本区辉石包括斜方辉石和单斜辉石两种,它们主要产于集宁群和原乌拉山群,现归入集宁群同类岩系的麻粒岩相岩石中。在集宁群麻粒岩和部分片麻岩中,以及不同层位的大理岩中,在部分混合花岗质岩石中有时亦可见到。另外少部分单斜辉石呈不规则的脉体产于麻粒岩相岩石的裂隙中,其形成时间稍晚。

根据多别列佐夫(1971)提出的辉石分类^①,本区斜方辉石可分为紫苏辉石和铁紫苏辉石,根据波尔德瓦和赫斯(1951)首次提出的分类命名法^②,本区单斜辉石主要为次透辉石和普通辉石。辉石赋存的岩石和产地见表1注。

二、辉石晶体形态和物性特征

(一) 斜方辉石

1. 紫苏辉石 常呈不规则的柱粒状和粒状集合体,有时也呈斑状产出。在手标本上呈褐色,风化后呈黄褐色,玻璃光泽,比重为3.31—3.53(表1)。在显微镜下无色,或微带淡红色调,平行消光,有时也见倾斜消光。多色性明显: N_p 为浅灰绿色, N_g 为粉色, $(-)2V = 70^\circ - 84^\circ$,两组解理完全,裂纹发育,沿裂隙有铁质析出,粒径大小不均匀,部分受混合岩化影响有变粗趋势,一般为1—3mm。 $N_g' = 1.712 - 1.728$, $N_p' = 1.692 - 1.704$ 。

2. 铁紫苏辉石 同紫苏辉石相类似,一般也呈它形粒状集合体产出。常呈褐黑色,玻璃光泽,比重3.36—3.54(表1)。在显微镜下呈平行消光,有时也见少量呈斜消光,多色性明显: N_p 为淡黄色, N_g 为淡灰绿色, $N_g' = 1.715 - 1.726$, $N_p' = 1.683 - 1.700$, $(-)2V = 85^\circ$ 。

(二) 单斜辉石

1. 次透辉石 呈它形或半自形粒状,暗绿色或黑色,玻璃光泽,比重3.27—3.49(表1)。在显微镜下无色或淡绿色,多呈粒状和不规则状,沿裂隙有铁质析出,二组解理完全,晶体中有时见石英、磷灰石、斜长石包体。粒径大小不一,有的晶体见有蚀变现象。 $N_g' = 1.695 - 1.718$, $N_p' = 1.685 - 1.695$, $(+)2V = 54^\circ - 60^\circ$ 。

2. 普通辉石 呈半自形和它形粒状。在手标本上常呈黑绿色,风化后呈黄绿色,玻璃光泽,比重为3.45—3.48(表1),二组解理完全,有不规则裂纹。在透射光下呈淡绿色,含Ti高者有呈淡绿微带黄褐色,有微弱的多色性。 $N_g' = 1.704 - 1.726$, $N_p' = 1.689 - 1.693$, $(+)2V = 56^\circ$ 。

三、化学成分特点

辉石的化学成分和按6个氧为基础计算的阳离子数列于表1。为了对比,将岩石成分列于表2。

①②新是琴,1981,确定变质相及相系,变质地质学的一些基本问题,长春地质学院前寒武纪地质研究室汇编,第311—331页。

表1 辉石的化学成分
Table 1 Chemical composition of pyroxene

成 分 名 称	化 学 分 析						探 针 分 析									
	N80-135		Nm81-24		Nm81-96		Nm81-179		Nm81-157		Nm84-3		Nm84-7		Nm81-22	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
SiO ₂	49.52	49.46	49.86	50.99	50.15	49.80	49.75	48.65	51.82	51.38	50.97	51.19	51.09	50.63	50.16	50.51
TiO ₂	0.67	0.58	0.43	0.14	0.23	0.09	0.28	0.19	0.39	0.09	0.06	0.06	0.29	0.29	0.29	0.29
Al ₂ O ₃	3.33	1.98	3.82	1.88	2.25	1.24	2.23	2.40	2.23	1.08	1.94	1.11	2.20	1.06	2.73	1.63
Cr ₂ O ₃			0.20	0.11					0.24					0.04		
Fe ₂ O ₃	2.05	2.00	2.33	3.69	3.17	2.98	2.97	3.04	2.64	0.24						
FeO	11.57	25.86	6.81	19.26	11.13	27.93	12.45	28.25	7.74	30.27	10.10	25.86	11.06	27.14	15.00	33.18
MnO	0.39	0.73	0.76	0.53	0.42	0.83	0.47	0.90	0.57	0.94	0.46	0.98	0.20	0.89	0.70	0.78
MgO	11.58	17.04	13.84	21.97	12.05	15.64	11.16	14.75	12.78	15.46	12.85	20.22	12.25	18.81	9.77	14.45
CaO	19.58	1.81	20.71	0.65	20.28	0.83	20.06	0.96	21.31	0.97	21.78	0.58	22.11	0.47	21.86	0.93
N ₂ O	0.60	0.16	0.50	0.07	0.54	0.45	0.11	0.34	0.10	0.47	0.47	0.02	0.57	0.04	0.40	0.08
K ₂ O	0.12	0.12	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03	0.21	0.03	0.02	0.11	0.03	0.02	0.04	0.01	0.01
合 计	99.41	99.74	99.31	99.34	100.22	99.84	99.80	99.45	99.85	100.55	98.53	99.96	99.48	99.08	100.91	101.57
G	3.48	3.45	3.36	3.44	3.49	3.54	3.45	3.47	3.35	3.43	3.27	3.53	3.38	3.31	3.48	3.52
N _g '	1.726	1.721	1.718	1.718	1.701	1.719	1.704	1.722	1.703	1.715	1.710	1.725	1.715	1.712	1.695	1.728
N _p '	1.689	1.695	1.695	1.699	1.693	1.700	1.693	1.700	1.689	1.683	1.685	1.704	1.687	1.692	1.693	1.707
(±)2P	56*	70*	60*	84*					57*	85*	54*	72*		71*		
Si	1.89	1.91	1.88	1.91	1.90	1.94	1.90	1.92	1.93	1.99	1.93	1.95	1.94	1.96	1.92	1.96
Al ^{IV}	0.11	0.09	0.12	0.08	0.10	0.06	0.10	0.08	0.07	0.01	0.07	0.05	0.06	0.04	0.08	0.04
Al ^{VI}	0.04	0.02	0.05	0.02	0.01	0.04	0.01	0.03	0.03	0.04	0.02	0.01	0.04	0.01	0.04	0.03
Ti	0.02	0.02	0.01					0.01	0.01							
Cr	0.06	0.06	0.07	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.07	0.01						
Fe ³⁺	0.38	0.84	0.22	0.60	0.35	0.91	0.40	0.93	0.24	0.98	0.19	0.82	0.35	0.88	0.48	1.08
Fe ²⁺	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01	0.03	0.02	0.03
Mn	0.68	0.98	0.78	1.23	0.68	0.91	0.63	0.84	0.71	0.89	0.73	1.15	0.69	1.08	0.56	0.83
Mg	0.80	0.08	0.84	0.03	0.83	0.04	0.82	0.04	0.85	0.04	0.88	0.02	0.90	0.02	0.89	0.04
Ca	0.80	0.08	0.84	0.03	0.83	0.04	0.82	0.04	0.85	0.04	0.88	0.02	0.90	0.02	0.89	0.04
Na	0.05	0.01	0.04	0.01	0.04	0.03	0.03	0.01	0.02	0.01	0.04				0.03	0.01
K	0.01	0.01														

按6个氧为基础计算的阳离子数

注: 1. 化学分析由中国地质科学院岩矿测试研究所陈德勋、史世云分析, 电子探针分析由中国科学院地质研究所韩秀玲分析。

2. 序号10-16为电子探针分析, 化学成分中的FeO为全铁, 而在计算阳离子数时均做Fe³⁺处理。

3. 样品岩石名称和采样地点: N80-135、Nm81-24、96、179、157均为角闪二辉斜长麻粒岩, 它们分别采自山西阳高许家园、内蒙兴和韭菜疙瘩南沟、兴和西马道沟、兴和黄土咀桥头和兴和黄土窑村剖面; Nm84-3、7均为含黑云母二辉斜长麻粒岩, 均采自新平瓦窑口; Nm81-22为含石榴石二辉斜长麻粒岩, 采自兴和韭菜疙瘩南沟。

表2 岩石化学成分 (wt%)
Table 2 Chemical composition of rocks (wt%)

成分 样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O
N80-135	50.54	1.43	12.89	4.35	10.26	0.22	5.86	9.11	2.47
Nm81-24	51.15	0.64	12.40	1.02	9.93	0.21	11.67	9.98	2.16
Nm81-96	50.13	0.82	13.80	2.03	10.75	0.25	6.87	11.19	2.77
Nm81-179	48.40	1.24	13.23	1.82	13.90	0.32	6.98	10.51	2.30
Nm81-157	50.78	1.20	13.18	1.82	12.25	0.23	5.90	10.30	2.75
Nm84-3	48.23	1.78	13.43	6.60	8.64	0.23	6.58	10.43	3.22
Nm84-7	50.51	1.80	13.49	6.02	8.41	0.22	5.61	9.21	3.08

成分 样品	K ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	合计	矿物 FeO/MgO	岩石 FeO/MgO
N80-135	0.59	0.18	0.36	0.58	0.08	98.92	1.52	1.75
Nm81-24	0.32	0.52		0.03		100.03	0.88	0.85
Nm81-96	0.80	0.10		0.71		100.22	1.79	1.57
Nm81-179	1.00	0.10		0.64		100.44	1.92	1.99
Nm81-157	0.74	0.11		0.66		99.92	1.96	2.08
Nm84-3	0.44	0.22	0.09	0.54	0.08	100.51	1.28	1.31
Nm84-7	0.44	0.24	0.54	0.46		100.03	2.30	1.50

注：化学分析由中国地质科学院岩矿测试研究所分析。

本区斜方辉石比较富铁，其含铁度 f 值 [$f = 100 \times (Fe^{2+} + Fe^{3+} + Mn) / (Mg + Fe^{2+} + Fe^{3+} + Mn)$] 一般变化范围为37.4—60.5。铁紫苏辉石铁的含量相对比紫苏辉石铁的含量更高些。 f 值一般是随岩石中铁含量增加而增大的。斜方辉石FeO含量为19.26—33.18%，MgO为14.45—21.97%，Fe²⁺和Mg值大致呈负相关关系(图1)；FeO/MgO比值与岩石中FeO/MgO比值大致呈正相关关系；Al₂O₃的含量为1.06—2.4%，Al^{IV}和Al^{VI}的含量也大致呈负相关；Ca含量与Al^{IV}、Al^{VI}相关关系不明显。从上述来看，斜方辉石的化学成分基本受岩石成分所控制，同时也受变质作用的温压条件所制约。另外与马德拉斯麻粒岩的斜方辉石相比^[5]，本区麻粒岩中的斜方辉石具有较高的铁，与冀东迁西地区麻粒岩中的斜方辉石相比^[6]，铝含量较高。

本区单斜辉石的FeO、MgO、CaO含量变化较小，MgO的含量与斜方辉石的MgO含量特点相似，与冀东麻粒岩的单斜辉石相类似^[5]，也基本受岩石成分和变质作用的温压条件所控制。矿物中Fe²⁺、Mg与Ca含量相关关系不明显，而Fe²⁺含量与Mg含量呈明显的负相关关系。Al₂O₃的含量比斜方辉石中Al₂O₃含量普遍高得多，一般认为单斜辉石中的铝的含量与变质条件有关，即随压力

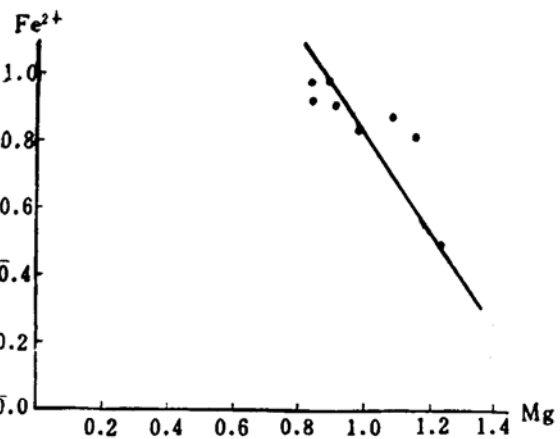


图1 斜方辉石的Fe²⁺和Mg相关图
Fig. 1 Fe²⁺ versus Mg diagram of orthopyroxene

增加而 Al^{IV} 含量减少。但本区单斜辉石中 Al^{IV} 含量大于 Al^{VI} 含量, 矿物在形成时压力不应该太高, 这与后面根据矿物计算的的压力有一定矛盾, 有待进一步研究。

四、辉石的穆斯堡尔谱研究

为了研究辉石在穆斯堡尔谱方面的特点, 做了4个斜方辉石和5个单斜辉石的穆斯堡尔谱分析, 测得的参数见表3。由于差别不大, 所以同种辉石仅列部分谱线, 分别见图2和图3。

表3 辉石穆斯堡尔谱参数
Table 3 Mössbauer parameters of pyroxene

样号	矿物	中心位移(mm/s)			四极分裂(mm/s)			线宽(mm/s)			面积百分数(%)			N ₁	N ₂
		Fe ²⁺ (外)	Fe ²⁺ (内)	Fe ³⁺	Fe ²⁺ (外)	Fe ²⁺ (内)	Fe ³⁺	Fe ²⁺ (外)	Fe ²⁺ (内)	Fe ³⁺	Fe ²⁺ (外)	Fe ²⁺ (内)	Fe ³⁺		
N80-135	紫苏辉石	1.22	1.19	0.60	2.37	2.06	0.38	0.45	0.29	0.24	26.8	71.1	2.1	0.23	0.61
Nm81-96	铁紫苏辉石	1.16	1.15	0.68	2.41	2.06	0.30	0.36	0.27	0.19	29.5	68.3	2.2	0.27	0.64
Nm81-24	紫苏辉石	1.14	1.15	0.44	2.25	2.08	0.74	0.39	0.27	0.18	50.2	47.4	2.4	0.31	0.29
Nm81-96	次透辉石	1.17	1.16	0.55	2.62	2.04	0.50	0.32	0.34	0.34	16.6	72.2	11.2	0.07	0.29
Nm81-24	次透辉石	1.23	1.21	0.63	2.59	2.02	0.45	0.44	0.33	0.29	21.5	65.2	13.3	0.06	0.17
Nm81-157	次透辉石	1.20	1.19	0.64	2.35	1.87	0.33	0.41	0.29	0.25	32.6	52.6	7.8	0.09	0.15
Nm81-179	普通辉石	1.16	1.16	0.58	2.61	2.04	0.46	0.33	0.35	0.30	18.4	76.0	5.5	0.20	0.32

注: 1. $N_1 = \frac{A_1}{A_1 + A_2} \cdot N$, $N_2 = \frac{A_2}{A_1 + A_2} \cdot N$, N_1 —M₁位置上的原子数, N_2 —M₂位置上的原子数, N —Fe的原子数, M_1 为外双峰, M_2 为内双峰。

2. 由中国地质科学院地质研究所甘源明、冯延玲、袁嘉琪分析。采用国产261厂等加速穆斯堡尔谱仪, ⁵⁷Co源。

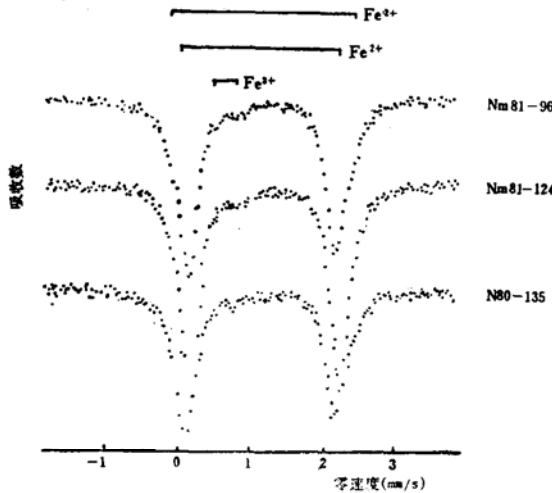


图2 斜方辉石穆斯堡尔谱线图
Fig. 2 Mössbauer spectra of orthopyroxene

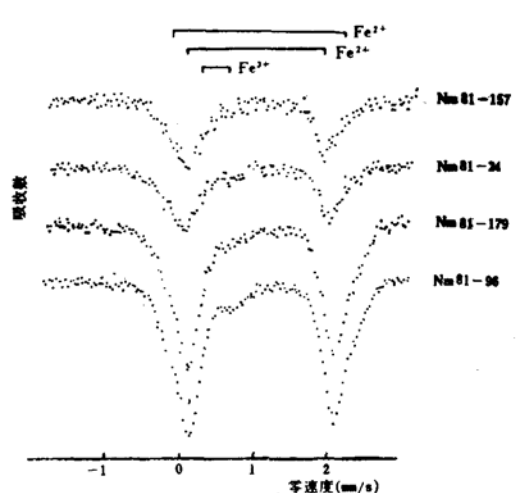


图3 单斜辉石穆斯堡尔谱线图
Fig. 3 Mössbauer spectra of clinopyroxene

一般来说, 辉石的单晶胞中有两种不等效的结晶学位置, 即 M_1 和 M_2 。 M_1 接近正八面体, 而 M_2 为畸变的八面体, 从表3中可看出本区斜方辉石中 M_2 占位优势很大, 说明 Fe^{2+} 在 M_2 位置上可具有较高的占位优势, 有序度也较好。单斜辉石晶体结构与斜方辉石系列相似⁽⁶⁾, 不同之处是单斜辉石中有时也有Ca充填 M_2 位置, 但根据计算表明, 本区单斜辉石中 Fe^{2+} 仍然进入 M_2 位置。

五、变质作用的P-T条件

本文所研究的 8 个斜方辉石全部产在麻粒岩中, 根据斜方辉石的化学成分特点和矿物组合, 野外产状等, 在 $(MgO + FeO + Fe_2O_3) - Al_2O_3$ (图4)图解⁽⁷⁾上投影全部落在斜线以上的变质区, 均属于区域变质成因的麻粒岩相产物。

根据矿物共生特点, 在Ca-Mg- $(Fe^{2+} + Fe^{3+} + Mn)$ 三角图解(图4)中投点, 本区单斜辉石是沿着Binns确定的麻粒岩单斜辉石趋势线分布⁽⁸⁾, 故可认为本区麻粒岩中的辉石已基本达到了平衡。但通常认为单斜辉石的成分比斜方辉石的成分复杂得多, 这种复杂的原因主要

与它们的多种成因有关。为了进一步确定本区单斜辉石的成因, 采用了维杰纳 (Vejnar, 1975) $Al_2O_3 - TiO_2$ 变异图⁽⁹⁾ (图5)。在图中投点除二个样品落在火成钙辉石区, 一个位于重叠区外, 其它样品均落在变质钙辉石区, 但由于这三个样品都与斜方辉石共生, 故表明本文所研究的单斜辉石仍是区域变质成因的产物。

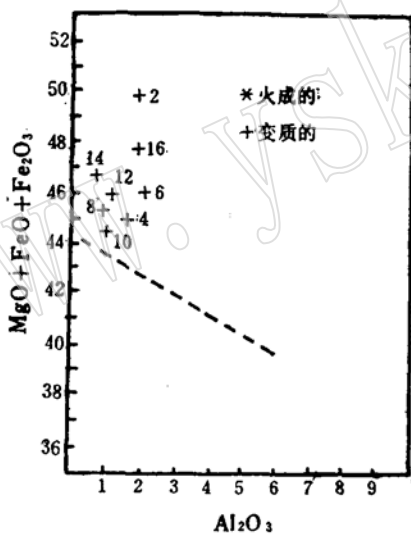


图 4 斜方辉石的 $(MgO + FeO + Fe_2O_3) - Al_2O_3$ 图解(据巴塔彻亚, 1971)

Fig. 4 $(MgO + FeO + Fe_2O_3) - Al_2O_3$ diagram of orthopyroxene

斜线以下为火成的斜方辉石区, 斜线以上为变质的斜方辉石区

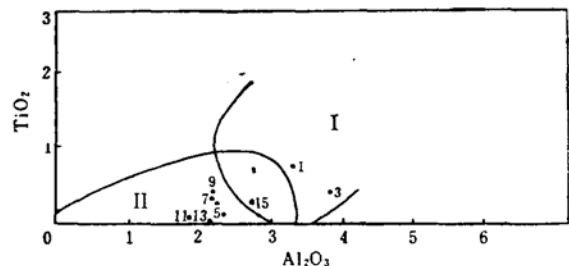


图 5 单斜辉石的 $Al_2O_3 - TiO_2$ 图解(据维杰纳, 1975)

Fig. 5 $Al_2O_3 - TiO_2$ diagram of clinopyroxene

I—火成钙辉石区; II—变质钙辉石区

(一) 变质作用的温度

8个二辉石对分别采用Wood-Banno法和Wells法计算了它们的形成温度, 结果列于表4。由表中可见, 两种方法获得的温度, 大多数都比较接近。一般认为Wood和Banno法, 对不是在很高压力条件下形成的岩石是合适的, 但许多研究者认为Wood和Banno的方法所获得的温度偏高, 建议下修 60° , 根据本区的实际资料表明, Wells方法计算的温度, 结果普遍略高

些, Wells认为他的方法精度为 $\pm 70^\circ$, 通过上述两种方法计算二辉石的温度, 笔者认为Wood和Banno法与Wells法计算所获得的变质作用温度都比较合适, 同时也不需上修或下修。两种方法获得的平均温度 \bullet 分别为859 $^\circ\text{C}$ 和904 $^\circ\text{C}$ 。

表 4 二辉石地质温度计的主要参数及获得温度

Table 4 Main parameters and temperatures obtained from the two
-pyroxene geothermometer

样号	矿物	X_{Mg}^{M1}	X_{Mg}^{M2}	$a_{Mg_2Si_2O_6}$	X_{Fe}^{Opx}	$t_1(^{\circ}\text{C})$	$t_2(^{\circ}\text{C})$
N80-135	Opx	0.50	0.48	0.05	0.48	879	956
	Cpx	0.56	0.09	0.24			
Nm81-24	Opx	0.58	0.64	0.37	0.33	891	908
	Cpx	0.69	0.07	0.05			
Nm81-96	Opx	0.45	0.45	0.20	0.50	901	990
	Cpx	0.54	0.11	0.06			
Nm81-179	Opx	0.39	0.43	0.17	0.53	890	980
	Cpx	0.23	0.22	0.05			
Nm81-157	Opx	0.45	0.43	0.20	0.54	807	854
	Cpx	0.78	0.04	0.03			
Nm84-3	Opx	0.55	0.55	0.31	0.42	848	857
	Cpx	0.64	0.07	0.04			
Nm84-7	Opx	0.51	0.54	0.28	0.43	837	879
	Cpx	0.61	0.06	0.04			
Nm81-22	Opx	0.42	0.41	0.17	0.56	756	780
	Cpx	0.51	0.04	0.02			

注: t_1 为Wood和Banno(1973)法求得温度。 t_2 为Wells(1977)法求得温度。

(二) 变质作用的压力

根据岩石类型和矿物共生组合特点, 推测本区太古宙麻粒岩相变质作用的压力为 $(7-10) \times 10^8 \text{Pa}$, 笔者又根据电子探针分析, 采用Aroneim法计算了采自集宁群兴和韭菜疙瘡剖面中Nm81-22号含石榴石二辉斜长麻粒岩样品中石榴石-单斜辉石的压力, 采用的温度则是同一块标本中二辉石对的温度(Wood和Banno法, 计算了共存石榴石-单斜辉石矿物对的铁镁分配系数 $K_D \left[K_D = \frac{(\text{FeO}/\text{MgO})^{\text{Opx}}}{(\text{FeO}/\text{MgO})^{\text{Cpx}}} \right]$ 为4.29, 压力为 $7.5 \times 10^8 \text{Pa}$, 崔文元⁽¹⁰⁾计算卓资-阳高一带麻粒岩的压力范围为 $(12-14) \times 10^8 \text{Pa}$, 根据H.G.H.温克勒⁽¹¹⁾的资料 $\text{Opx} + \text{Pl} = \text{Cpx} + \text{Gar} + \text{Q}$ 这一反应, 在 700°C 和 $(8-10) \times 10^8 \text{Pa}$ 条件下时, 会使 $\text{Cpx} + \text{Gar} + \text{Q} + \text{Opx} + \text{Pl}$ 五项组合稳定。另外, 在某一温度下, 当岩石的Fe/Mg比值较高时, 单斜辉石+石榴石组合开始形成所必须的压力要略低一点。由于含水矿物角闪石和黑云母的存在, 以及本区岩石中的

\bullet 平均值的求得是去掉一个最高值和一个最低值。

Fe/Mg比值也较高,所以压力是不会大于 $10 \times 10^8 \text{Pa}$ 的。故可看出根据矿物共生组合特点推测的压力和估算的压力基本是一致的。

据宿怀壁等^①根据八木建三等的研究认为辉石中钛辉石分子的含量随压力增大而递减,当压力大于 $10 \times 10^8 \text{Pa}$ 时就不出现,而集宁群麻粒岩中的单斜辉石均含有少量(1.03—2.15%)钛辉石($\text{CaTiAl}_2\text{O}_6$)分子,故推断其压力上限不超过 $10 \times 10^8 \text{Pa}$,接着B. A. Глебовишкв等人的图解,宿怀壁等又用样品中的石榴石和黑云母化学分析结果计算求得压力为 $8 \times 10^8 \text{Pa}$,他们认为集宁群压力范围(8—10) $\times 10^8 \text{Pa}$,与本文计算的也是吻合的。故可认为本区太古宙麻粒岩相岩石的变质作用温度为 800°C — 900°C ,压力为(7—10) $\times 10^8 \text{Pa}$,均属中压相系的麻粒岩。

本文在撰写过程中得到了沈其韩研究员的指导和帮助,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 内蒙古自治区地层表编写组, 1978, 华北地区区域地层表, 内蒙古分册. 地质出版社.
- [2] 山西省地层表编写组, 1979, 华北地区区域地层表, 山西省分册(一). 地质出版社.
- [3] Weaver, B. L., Tarney, J., Windley, B. F., Sugavanam, E. B. and Rao, V. R., 1978. Madras granulite; Geochemistry and *P-T* conditions of crystallization, In *Archaean Geochemistry* (ed Windley, B. F. and Naqui, S. M.) Elsevier Amsterdam, pp.177-204.
- [4] 张儒媛、从柏林, 1981, 冀东迁西地区早太古代麻粒岩的矿物学和结晶的 *P-T* 条件. 中国科学, 第7期, 第855-867页.
- [5] 蒋永年, 1981, 冀东前震旦变质岩系中某些辉石的初步研究. 第4号, 天津地质矿产研究所刊. 第49-63页.
- [6] 应言浦、李哲, 1977, 穆斯堡尔谱效应在矿物学中的应用. 地质出版社.
- [7] Arndt, N. T., Naldrete, A. J., and Pyke, D. R., 1977. Komatiitic and iron-rich tholeiitic lavas of Munro township, Northeast Ontario. *J. Petrol.*, vol.18, no. 2, pp. 319-369.
- [8] Binns, B.A., 1965, The mineralogy of metamorphosed basic rocks from the Willyama complex, Broken Hill district, New South Wales. part. II: pyroxenes, garnets, plagioclases and opaque oxides. *Min. Mag.*, 35, pp. 561-587.
- [9] 张儒媛、从柏林, 1983, 矿物温度计和矿物压力计. 地质出版社.
- [10] 崔文元, 1982, 卓资-阳高一带麻粒岩的矿物学和结晶的 *P-T* 条件. 地质研究论文集, 北京大学出版社.
- [11] 温克勒, 1980, 变质岩成因. 科学出版社(中译本).

① 宿怀壁、余萍, 1986, 内蒙古太古代集宁群的变质作用特征. 全国变质地质及变质成矿作用学术讨论会摘要汇编, 第65—66页.

Characteristics and Temperature-Pressure Conditions for Crystallization of Pyroxene in Archean Granulite Facies of Inner Mongolia

Zhang Yinfang

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences)

Key words: pyroxene mineralogy; metamorphism; granulite facies; Jining group of Inner Mongolia

Abstract

The Archean granulite rocks in Inner Mongolia occur mainly in Jining and Wulashan Groups which extend from Hadamengou near Baotou in the west to Jining-Xinghe area in the east, roughly in E-W direction. The main rock-forming mineral is pyroxene widely distributed in the granulite rocks. Integrated studies indicate that the orthopyroxene there is commonly rich in iron, that the variation in iron content of the mineral is in direct correlation with that of the rock, that the FeO, MgO and CaO contents of clinopyroxene vary in a rather small range and that the MgO content of clinopyroxene is similar to that of orthopyroxene, both controlled by the components of the rocks.

The two pyroxene in this paper belongs to the equilibrium associated relation. The metamorphic temperatures obtained for the two-pyroxene pair are 800-900°C. In the light of rock types and paragenetic association of the minerals it is inferred by calculation that the pressure is between $(7-10) \times 10^8 \text{ Pa}$, suggesting that the granulite belongs to the medium pressure phase.