

冀东地区变质岩中斜方辉石的研究*

李殿超

(长春地质学院, 长春 130061)

主题词 斜方辉石 变质作用 温压条件 冀东

提 要 通过对冀东地区34个斜方辉石样品的研究得出结论:斜方辉石由早、晚两期变质作用形成。斜方辉石的化学成分变化主要与变质作用的条件及岩石中共存矿物种类有关,同时也受原岩成分的控制。据温压计的估算结果,早期变质作用的温度为817—937℃、压力为0.99—1.11GPa;晚期变质作用的温度为747—834℃、压力为0.95GPa。

我国冀东地区出露一套太古代麻粒岩相杂岩体^[1],主要变质岩石为大面积分布的长英质片麻岩类。在长英质片麻岩类中残存有超镁铁质岩包体,以及呈层状、似层状或透镜状产出的二辉麻粒岩、英榴易熔岩、斜长角闪岩及磁铁石英岩。同时,侵入了经麻粒岩相变质作用改造形成的二辉麻粒岩型基性岩墙。研究区包括迁西县太平寨、洒河桥、娄子山,迁安县水厂、羊崖山,遵化县马兰峪等。斜方辉石广泛分布于上述各类岩石和地区内。

本文依据34个斜方辉石样品的成分资料,重点讨论其化学成分特点、成因及形成时的温压条件。

1 物理性质与岩相学标志

研究区的斜方辉石一般呈不同色调的褐色,偏光镜下呈平行消光,多色性明显, N_g —淡绿色; N_m —淡黄色; N_p —粉红色,这是麻粒岩相岩石中斜方辉石的典型特征。

大量的岩相学研究表明,斜方辉石经受了两期麻粒岩相变质作用。早期变质作用形成的斜方辉石颗粒较大,一般在0.3—1 mm左右,与单斜辉石、角闪石和斜长石彼此之间接触界线较为平直,一般呈三边镶嵌结构,说明为平衡状态下典型的稳定矿物共生组合。晚期变质作用形成微粒斜方辉石,往往出现在颗粒较大的角闪石或黑云母边缘,一般大小在0.05—0.08 mm左右。同时,在二辉麻粒岩型岩墙中原来的透辉石边缘也出现了少量的微粒斜方辉石,它们系角闪石、黑云母的分解及透辉石局部反应的产物。

2 斜方辉石的化学成分特征

根据迪尔(Deer, 1978)的辉石分类方案^[2],本区斜方辉石大多数为紫苏辉石,少数为古铜辉石、尤莱辉石(易熔石)、亚铁紫苏辉石。紫苏辉石分布于角闪二辉麻粒岩、二辉斜

* 本文是地质矿产部科技攻关项目“华北地台北缘高级变质区变质作用类型与成因模式”的部分研究成果
本文于1994年3月14日收到,1994年6月28日改回。

长角闪岩及长英质片麻岩类中；古铜辉石分布于角闪二辉石岩中；尤莱辉石分布于英榴易熔岩中；亚铁紫苏辉石只分布于石榴紫苏磁铁石英岩中。

由表1中可见，本区斜方辉石(opx)的含铁度(f_{opx})的变化范围为14%—88%。紫苏辉石的含铁度为36%—49%。太平寨和水厂的亚铁紫苏辉石含铁度为56%—69%，在姜子山发现的尤莱辉石含铁度为73%—88%。此外，洒河桥地区的一些超镁铁质岩石中的古铜辉石，含铁度为19%—21%。

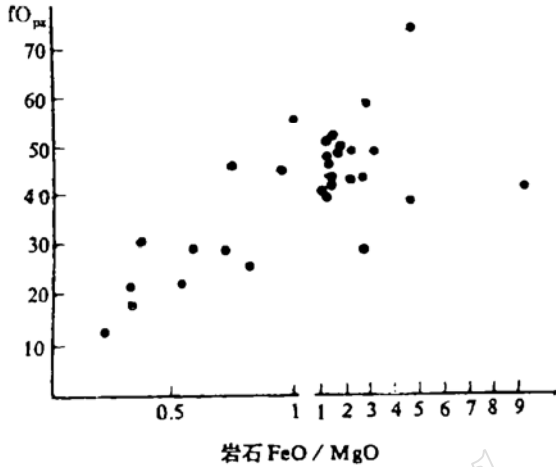


图1 斜方辉石含铁度与寄主岩石中FeO/MgO的相互关系

Fig. 1 Relations between iron content of orthopyroxene and FeO/MgO of host rocks

斜方辉石的含铁度明显受寄主岩石的化学成分的制约(图1)，寄主岩石的FeO/MgO比值愈高，含铁度也就愈高。其线性方程 $y = 37.86 + 2.9638x$, $r = 0.4653$ ，为正相关关系，但不是简单的线性关系，可能反映变质作用条件的不同。

斜方辉石中 $\langle FeO \rangle$ 与MgO含量在各类岩石中也有所差别。角闪二辉石岩中古铜辉石 $\langle FeO \rangle$ 和MgO含量的平均值分别为11.67%和30.2%；英榴易熔岩中的尤莱辉石和石榴紫苏磁铁石英岩中的亚铁紫苏辉石的 $\langle FeO \rangle$ 含量较高，平均值为40.99%和34.7%，MgO含量的平均值为5.58%和11.42%。角闪二辉麻粒岩、二辉斜长角闪岩及长英质片麻岩类中紫苏辉石的 $\langle FeO \rangle$ 平均值为25.09%—26.42%，MgO为20.1%—21.01%。上述情况说明斜方辉石的 $\langle FeO \rangle$ 与MgO含量明显受寄主岩石的控制。在同一块标本上出现的早、晚两期斜方辉石，其 $\langle FeO \rangle$ 和MgO含量早期高于晚期(表2)。这亦说明除受到原岩控制外，还受到变质作用条件的限制，但影响相对较弱。

斜方辉石中 Al_2O_3 含量的变化较大，从0.32%至6.93%，但大多数 Al_2O_3 含量较低，一般为1.4%—2.5%，只有石榴矽线堇青紫苏黑云片麻岩中斜方辉石的 Al_2O_3 含量最高，可达6.93%，个别磁铁石英岩中斜方辉石的 Al_2O_3 含量最低，只有0.14%。英榴易熔岩中尤莱辉石的 Al_2O_3 含量也很低，说明它们与寄主岩石有关。Boyd (1973) 关于MgO- Al_2O_3 - SiO_2 系统的实验表明^[3]：斜方辉石的 Al_2O_3 含量随温度增加而增高；压力的变化与共生的矿物种类有关，在与石榴石共生的斜方辉石中， Al_2O_3 含量随压力增大而降低，在不与石榴石共生的斜方辉石中， Al_2O_3 含量随压力增大而增加。在同一薄片，早期斜方辉石比晚期斜方辉石 Al_2O_3 含量稍高(表2)，而与石榴石共生的早、晚两期斜方辉石，晚期斜方辉石的 Al_2O_3 含量高于早期斜方辉石。上述分析表明，早期变质作用的温度和压力高于晚期变质作用。

一些研究者认为，变质岩中斜方辉石的CaO含量不会超过1.5%。本区大多数斜方辉石的CaO含量符合这一特点。只有部分尤莱辉石的CaO含量较高，主要是因为其中出现了单斜辉石的出溶纹^[3]。CaO含量的增高可反映斜方辉石形成时的温度条件，一般随CaO含量增高，温度增加。研究表明，早期斜方辉石CaO含量的平均值为0.56%，晚期者则为0.4%，因而，

表 1 斜方辉石化学成分变化范围
Table 1 Chemical composition of orthopyroxene

变质岩类	超 镁 铁 质 岩 类		镁 铁 质 岩 类		长 英 质 岩 类		硅 铁 质 岩 类					
	角闪二辉岩	英榴易熔岩	角闪二辉麻粒岩、二辉斜长角闪岩	浅色麻粒岩 紫苏黑云片麻岩	石榴紫苏磁铁矿石英岩							
变质期次	早 期		晚 期		早 期		晚 期					
矿物名称	古铜辉石		紫苏辉石		紫苏辉石		亚铁紫苏辉石					
	变化范围	均值	变化范围	均值	变化范围	均值	变化范围	均值				
样品数	3		4		8		6		10		3	
SiO ₂	52.95—56.03	54.67	45.60—48.70	47.10	47.17—53.21	50.77	49.84—53.81	51.25	49.08—52.38	51.46	50.22—50.85	50.83
TiO ₂	0.01—0.04	0.03	0.05—0.43	0.16	0.01—0.67	0.05	0.03—0.04	0.04	0.03—0.06	0.01	0.02—0.09	0.05
Al ₂ O ₃	0.83—4.16	2.09	0.32—1.38	1.01	1.14—1.91	1.67	1.60—2.16	1.89	0.98—6.73	2.23	0.1—1.05	0.65
Fe ₂ O ₃	0.42—1.00	0.71	0.96—4.03	1.77							0.53—1.96	0.79
<FeO>	10.20—12.79	11.67	35.66—43.49	40.99	22.41—31.25	25.00	23.53—30.69	26.42	22.78—27.94	25.36	32.82—35.33	31.70
MnO	0.21—0.48	0.34	0.03—0.76	0.48	0.11—0.91	0.52	0.29—0.71	0.51	0.19—0.60	0.45	0.19—0.71	0.39
MgO	28.70—33.19	30.20	3.46—7.99	5.58	19.22—22.67	21.01	18.14—21.79	20.01	20.07—22.74	20.92	9.83—11.35	11.12
CaO	0.39—1.06	0.66	0.73—3.91	2.47	0.45—0.61	0.54	0.29—0.46	0.40	0.31—0.67	0.46	1.20—1.82	1.50
Na ₂ O	0.01—0.09	0.04	0.08—0.66	0.36	0.02—0.08	0.05	0.03—0.09	0.05	0.03—0.07	0.06	0.09—0.17	0.12
Si	1.894—1.978	1.935	1.935—2.001	1.969	1.840—1.982	1.925	1.895—1.966	1.931	1.887—1.956	1.919	1.930—2.000	1.992
Al ^{IV}	0.022—0.067	0.041	0.051—0.052	0.038	0.018—0.032	0.056	0.015—0.032	0.063	0.044—0.143	0.074	0.002—0.020	0.011
Al ^{VI}	0.005—0.016	0.011	0.016—0.060	0.005	0.010—0.062	0.036	0.031—0.064	0.046	0.001—0.639	0.019	0.010—0.033	0.014
Ti	0.001	0.001	0.002—0.004	0.003	0.001—0.004	0.002	0.001—0.003	0.002	0.001—0.002	0.002	0.010	0.010
Fe ³⁺	0.011—0.071	0.036	0.001—0.013	0.005	0.026—0.152	0.104	0.014—0.101	0.079	0.009—0.998	0.065	0.030—0.010	0.035
Fe ²⁺	0.194—0.377	0.290	1.279—1.552	1.453	0.587—0.783	0.67	0.648—0.817	0.735	0.657—0.78	0.717	1.065—1.210	1.109
Mn	0.006—0.015	0.010	0.001—0.023	0.017	0.013—0.032	0.016	0.009—0.023	0.016	0.006—0.191	0.046	0.020—0.606	0.032
Mg	1.506—1.769	1.595	0.220—0.491	0.346	1.069—1.253	1.157	1.028—1.151	1.124	1.098—1.221	1.147	0.610—0.824	0.698
Ca	0.015—0.041	0.026	0.020—0.171	0.065	0.019—0.024	0.021	0.012—0.019	0.016	0.002—0.027	0.016	0.050—0.077	0.067
Na	0.001—0.006	0.003	0.004—0.014	0.009	0.002—0.006	0.004	0.002—0.006	0.004	0.003—0.008	0.005	0.006—0.013	0.009
f _{ox}	14—21	18	73—88	81	36—49	41	38—49	43	37—45	41	55—69	63

表 2 两期斜方辉石(FeO)、MgO、Al₂O₃的含量

Table 2 (FeO), MgO and Al₂O₃ contents of two steps of orthopyroxene

变质期	样品号	1.01			3037			3080			W130		
		(FeO)	MgO	Al ₂ O ₃	(FeO)	MgO	Al ₂ O ₃	(FeO)	MgO	Al ₂ O ₃	(FeO)	MgO	Al ₂ O ₃
早期		24.27	22.56	1.86	27.68	19.59	1.84	51.25	19.22	1.64	23.95	21.74	2.1
晚期		23.53	21.79	1.78	25.88	18.70	1.79	50.69	18.14	1.60	22.54	20.34	1.96

说明早期斜方辉石比晚期斜方辉石的形成温度稍高。

在图 2 中, Al₂O₃与CaO之间的关系为负相关性。早期斜方辉石Al₂O₃与CaO含量变化范围大, 但总的表现为富CaO, Al₂O₃变化很大。晚期斜方辉石以富Al₂O₃、贫CaO为特征。

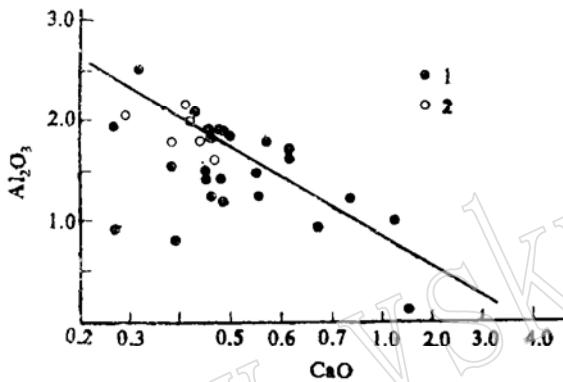


图 2 斜方辉石中Al₂O₃与CaO的相互关系
Fig. 2 Al₂O₃ versus CaO diagram of orthopyroxene
1—早期; 2—晚期

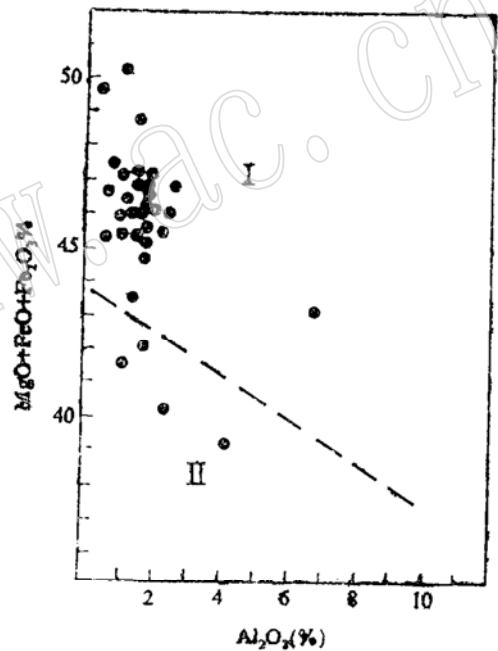


图 3 斜方辉石 Al₂O₃-(MgO+FeO+Fe₂O₃)变异图
Fig. 3 Al₂O₃-(MgO+FeO+Fe₂O₃) variation diagram of orthopyroxene
I—变质斜方辉石区; II—岩浆斜方辉石区

3 斜方辉石的成因

将本区斜方辉石投在Al₂O₃与(MgO+FeO+Fe₂O₃)变异图(图3)中, 大部分都落在变质斜方辉石区, 只有少数落在岩浆斜方辉石区; 后者均分布于角闪二辉石岩中, 该岩石为岩浆成因的深源包体, 虽经变质作用的改造, 但斜方辉石仍保留了岩浆成因的部分成分特点。

据索勃列佐夫(1973)的数理统计, 认为斜方辉石的形成条件综合反映在成因上, 提出如下判别式:

$$D(x) = -4282 + 683Si + 2192Al^M + 2181Fe^{3+} + 1455Mn + 1442Mg + 1427Ca + 1770(Na + K)$$

D(x) > 0, 属于高温辉石麻粒岩相

D(x) < 0, 属于角闪麻粒岩亚相

笔者计算了两期共15件斜方辉石样品的 $D(x)$ 值, 其 $D(x)$ 值均 < 0 , 变化范围在 -15 — -40 之间, 说明两期变质作用均属角闪麻粒岩亚相。

4 斜方辉石形成时的P-T条件

据伍德和坂野 (1973)^[4]、韦尔斯 (1977)^[5] 等人的二辉石地质温度计的估算方法, 计算出13对二辉石形成时的温度, 计算结果列于表3。由表3可见, 早期斜方辉石的形成温度为 817 — 937°C , 平均值为 855°C 。晚期斜方辉石的形成温度为 747 — 834°C , 平均值为 785°C , 早、晚两期平均温度仅相差 $60^{\circ}\text{C}(\pm)$ 。

采用伍德(1974)^[6]、哈利(1984)^[7]、哈利和格林 (1982)^[8]、牛顿和珀金斯 (1982)^[9] 等人的石榴石-斜方辉石压力计的估算方法, 获得4对压力计结果(表4)。由表4可见, 早期斜方辉石形成时的压力为 0.99 — 1.11GPa , 晚期为 0.95GPa 。

表3 二辉石地质温度计的主要参数及获得的温度
Table 3 Main parameters of the two-pyroxene geothermometer
and temperatures obtained

变质期	样品号	岩石名称	$\frac{\text{OPX}}{\text{MgSiO}_3}$	$\frac{\text{OPX}}{\text{MgSiO}_3}$	$x_{\text{Fe}}^{\text{OPX}}$	$T_1(^{\circ}\text{C})^{[3]}$	$T_2(^{\circ}\text{C})^{[3]}$	平均温度 ($^{\circ}\text{C}$)
早 期	B 414	角闪二辉石岩	0.047	0.352	0.387	860	888	874
	B 427	角闪二辉麻粒岩	0.032	0.389	0.365	816	817	817
	L 04	二辉斜长角闪岩	0.031	0.286	0.319	816	861	853
	S 025	浅色麻粒岩	0.058	0.612	0.355	838	810	820
	S 010	浅色麻粒岩	0.065	0.343	0.379	913	962	937
	J 080	角闪二辉麻粒岩	0.048	0.216	0.469	859	917	888
	J 037	角闪二辉麻粒岩	0.030	0.300	0.435	801	813	809
	J 380	角闪二辉麻粒岩	0.035	0.287	0.426	830	859	844
	晚 期	L 04	二辉斜长角闪岩	0.025	0.382	0.345	792	752
J 080		角闪二辉麻粒岩	0.042	0.255	0.483	783	807	795
J 032		角闪二辉麻粒岩	0.019	0.354	0.401	756	738	747
W109		石榴角闪二辉麻粒岩	0.035	0.329	0.405	825	843	834
JA-2		石榴角闪二辉麻粒岩	0.023	0.317	0.416	774	776	775

表4 石榴石-斜方辉石地质压力计估算的压力
Table 4 Pressures estimated from the garnet-orthopyroxene geobarometer

变质期	样品号	岩石名称	$P_1(\text{GPa})^{[5]}$	$P_2(\text{GPa})^{[7]}$	$P_3(\text{GPa})^{[8]}$	$P_4(\text{GPa})^{[9]}$	平均压力(GPa)
早 期	TF	石榴紫苏磁铁石英岩	1.02	0.98	0.96		0.99
	J136	石榴紫苏黑云斜长片麻岩	1.14	1.20	1.12	0.99	1.11
	J070	石榴紫苏黑云斜长片麻岩	0.97	1.07	1.00	1.01	1.01
晚 期	JA-2	石榴角闪二辉麻粒岩	0.94	0.92	0.95	0.97	0.95

5 结论

(1) 斜方辉石的化学成分虽然受到原岩成分的控制,但变质作用的温压条件及共存矿物种类也是控制其成分变化的主要因素。

(2) 斜方辉石属典型变质成因,变质作用类型为角闪麻粒岩亚相。

(3) 温压计的估算结果表明,早期麻粒岩相变质作用的压力、温度均高于晚期。

参 考 文 献

- 1 勒是琴,李殿超.华北麻粒岩相岩石中的辉石,长春地质学院学报,1986,16(2):29—36.
- 2 迪尔 W A 等.造岩矿物,2卷(A)单链硅酸盐,谢宇平等译.北京:地质出版社,1983.1—13.
- 3 张儒媛等.冀东太平寨地区麻粒岩及有关辉石的研究.地质科学,1982,17(2):134—143.
- 4 Wood B J and Banno S. Garnet-orthopyroxene and orthopyroxene-clinopyroxene relationship in simple and complex system. *Contr. Miner. Petrol.*, 1973, 42: 109—124.
- 5 Wells P R A. Pyroxene thermometry in simple and complex system. *Contr. Miner. Petrol.*, 1977, 62: 129—139.
- 6 Wood B J. The solubility of alumina in orthopyroxene coexisting with garnet. *Contr. Miner. Petrol.*, 1974, 46: 1—15.
- 7 Harley S L. The solubility of alumina in orthopyroxene coexisting with garnet in $\text{FeO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ and $\text{CaO}-\text{FeO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$. *Petrol.*, 1984, 25: 665—696.
- 8 Harley S L and Green D H. Garnet-orthopyroxene barometry for granulites and peridotites. *Nature*, 300: 697—701.
- 9 Newton R K and Perkins D. Thermodynamic calibration of geobarometers based on the assemblages garnet-plagioclase-orthopyroxene (clinopyroxene)-quartz. *Amer. Miner.*, 1982, 67: 203—222.

A Study of Orthopyroxene from Metamorphic Rocks of Eastern Hebei

Li Dianchao

(Changchun College of Geology, Changchun 130061)

Key words: orthopyroxene; metamorphism; condition of temperature and pressure; eastern Hebei

Abstract

A study of orthopyroxene samples from eastern Hebei shows that orthopyroxenes were formed by metamorphism of early and late stages. The variation in chemical composition of orthopyroxene is mainly related to conditions of metamorphism and types of coexistent minerals, and also controlled by the composition of the protolith. Geothermometer-geobarometer calculations indicate $t=817-937^\circ\text{C}$, $P=0.99-1.11\text{ GPa}$ at the early stage metamorphism, and $t=747-834^\circ\text{C}$, $P=0.95\text{ GPa}$ at the late stage.