

# 黄山东镁铁超镁铁杂岩中的辉石 化学成分研究

倪志耀

(成都理工学院, 成都 610059)

关键词 黄山东 镁铁超镁铁岩 辉石 矿物化学 岩石学意义

**摘要** 通过对黄山东镁铁超镁铁杂岩的辉石化学成分研究, 证明辉石的化学成分受寄主岩石类型的制约, 从超镁铁岩相到角闪辉长岩相斜方辉石的化学成分由富MgO、SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>到富FeO、TiO<sub>2</sub>、CaO、MnO; 单斜辉石化学成分由富Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Na<sub>2</sub>O、MgO到富FeO、MnO、CoO。在同一寄主岩石中, 单斜辉石比斜方辉石富TiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO和Na<sub>2</sub>O, 贫MgO、SiO<sub>2</sub>、MnO和FeO。根据辉石化学成分特征得出黄山东杂岩形成于岛弧环境, 为上地幔石榴二辉橄榄岩部分熔融形成的拉斑玄武岩岩浆结晶分异作用的产物。

## 1 地质概况

黄山东镁铁超镁铁杂岩位于新疆哈密市东南160km处, 是一个含铜镍硫化物矿的复式岩体。就其大地构造背景而言, 位于北天山华力西地向斜褶皱带东端、觉罗塔格复背斜南翼。它与其西边的土墩、二红洼、香山、黄山、南边的黄山南及东边的镜儿泉等镁铁超镁铁杂岩一起构成了黄山铜镍成矿带。该成矿带受控于北东东向展布的康古尔断裂带, 出露地层有下石炭统干洞组(C<sub>1g</sub>)和中石炭统梧桐窝子组(C<sub>2w</sub>), 两者所含火山岩的岩石化学、微量元素及稀土元素等特征表明它们形成于岛弧环境。

黄山东杂岩侵入于下石炭统干洞组粉砂岩、含碳铁质板岩及生物碎屑灰岩之中, 在两者的接触带常见石榴石、符山石、硅灰石、透辉石及黑云母和白云母等接触变质矿物。杂岩的K-Ar法同位素地质年龄为 $280 \times 10^6 - 300 \times 10^6 \text{a}^{[1]}$ , 其地表出露形态为一近东西向拉长的菱形, 长5.3km, 中间膨胀部位宽1.15km, 总面积约2.8km<sup>2</sup>。

黄山东杂岩为同源岩浆经深部分异、分次侵位, 取同道占据同一构造空间形成的复式岩体<sup>[2]</sup>, 可划分出两个侵入阶段共四个岩相带。第一阶段形成杂岩的主体部分, 约占总面积的82%, 包括闪长岩相、角闪辉长岩相和辉长苏长岩相。其中, 闪长岩相围绕岩体边缘断续分布, 岩石类型有闪长岩及少量石英闪长岩, 为辉长岩浆同化粉砂岩的产物; 角闪辉长岩相广泛分布, 有角闪橄榄辉长岩、角闪辉长岩和浅色角闪辉长岩三种岩石类型, 为辉长岩浆(含部分橄榄石晶体)经流动分异和就地结晶形成; 辉长苏长岩相分布在岩体西端, 呈东西向延

伸的钩状, 规模较小, 仅有角闪辉长苏长岩一种岩石类型, 为后侵位的超镁铁岩浆同化尚未完全固结的辉长岩而形成。第二侵入阶段的超镁铁岩相分布在角闪辉长岩的虚脱空间之中, 岩石类型有斜长角闪二辉橄榄岩及辉石角闪橄榄岩, 为后侵位的晶粥状超镁铁岩浆就地结晶而成。

## 2 辉石的产状、光性及化学成分

黄山东镁铁超镁铁杂岩中的辉石有单斜辉石和斜方辉石两种, 现分别叙述。

### 2.1 斜方辉石的基本特征

斜方辉石在各岩相中均有产出, 分布较为普遍, 均属古铜辉石(表1, 图1), 但其 $En$ 变化较大(图2)。

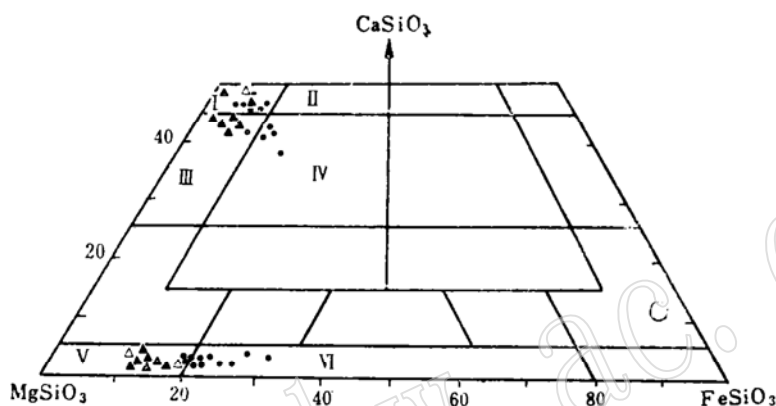


图1 黄山东杂岩辉石成分投影图<sup>[3]</sup>

Fig. 1 Projection of chemical composition of pyroxenes from the Huangshandong complex

I—透辉石; II—一次透辉石; III—顽透辉石; IV—普通辉石; V—斜顽辉石; VI—斜紫苏辉石  
▲ 超镁铁岩相 △ 辉长苏长岩相 ● 角闪辉长岩相

辉长苏长岩相中古铜辉石含量25%—38%, 呈半自形—自形的板柱状,  $Wo$  2.87—3.60,  $En$  80.16—86.24,  $Fs$  10.16—16.97, 常被熔蚀成圆滑的轮廓, 有的甚至呈港湾状包含在角闪石之中; 纵切面常见细密的// (010) 的聚片双晶, 有时可见出溶叶片; 蚀变强烈且普遍沿颗粒边缘发生滑石化和透闪石化(次变边), 表面有榍石细粒作定向排列。角闪辉长岩相中古铜辉石含量0—8%,  $Wo$  2.16—4.28,  $En$  68.51—79.49,  $Fs$  17.21—27.93。呈半自形粒状、短柱状或作为橄榄石的反应边, 偶有嵌晶状古铜辉石不仅包含橄榄石而且还包含斜长石及单斜辉石; 一般情况下, 粒度均比单斜辉石小, 约为0.2—1mm; 与单斜辉石相比稳定性较差, 很容易蚀变为滑石。超镁铁岩相中古铜辉石含量2%—11%,  $Wo$  0.71—3.09,  $En$  83.74—88.78,  $Fs$  10.51—14.19, 呈它形充填于橄榄石晶粒间或呈嵌晶状包含橄榄石及部分斜长石, 在颗粒边缘或沿裂纹多发生滑石化, 少数蚀变强烈的颗粒被滑石鳞片状集合体所代替而呈古铜辉石的假象。

上述三岩相中的古铜辉石尽管化学成分、产状及含量等特点各不相同, 但它们的光性却

表 1 黄山东杂岩中斜方辉石的化学成分 (Wt%)

Table 1 Chemical composition of the orthopyroxene from the Huangshandong complex (wt%)

序号	样号	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CoO	NiO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	总量	E <sub>7</sub>	F <sub>5</sub>	W <sub>0</sub>	种属
1	EZ6	53.549	0.464	1.455	0.147	13.276	2.580	0.401	0.039	0.024	27.427	1.226	0.048	100.546	77.52	20.01	2.47	古铜辉石
2	EZ10	54.105	0.329	1.613	0.050	13.024	1.436	0.219	0.092	0.000	28.167	1.087	0.031	100.153	78.38	19.46	2.16	古铜辉石
3	EZ96	52.440	0.502	1.190	0.039	18.064	2.308	0.427	0.056	0.000	23.830	1.740	0.010	100.606	68.51	27.93	3.56	古铜辉石
4	EZ98	51.700	0.509	1.461	0.000	15.664	4.393	0.398	0.000	0.000	24.315	2.052	0.082	100.574	71.55	24.17	4.28	古铜辉石
5	EZ100	49.525	0.182	1.002	0.002	12.464	7.343	0.426	0.038	0.055	25.287	1.294	0.005	97.623	77.25	19.94	2.81	古铜辉石
6	EZ102	53.853	0.431	1.264	0.000	15.346	0.990	0.207	0.110	0.000	26.674	1.306	0.000	100.180	74.36	23.05	2.59	古铜辉石
7	EZ104	53.010	0.600	1.414	0.109	13.314	3.185	0.227	0.011	0.023	27.175	1.330	0.050	100.458	77.23	20.00	2.69	古铜辉石
8	EZ105	53.006	0.375	1.461	0.154	12.008	3.851	0.334	0.000	0.000	27.913	1.197	0.020	100.319	79.49	18.08	2.43	古铜辉石
9	EZ132	53.548	0.287	1.089	0.000	13.019	1.177	0.372	0.009	0.066	27.561	1.311	0.000	98.439	77.80	19.57	2.63	古铜辉石
10	EZ163	53.694	0.258	1.312	0.434	14.746	3.276	0.313	0.052	0.132	26.660	1.178	0.072	102.127	75.27	22.36	2.37	古铜辉石
11	EZ166	53.004	0.580	1.892	0.210	11.693	3.109	0.333	0.000	0.000	27.899	1.679	0.022	100.421	79.40	17.21	3.39	古铜辉石
12	EZ363	53.878	0.227	2.359	0.375	7.486	2.828	0.144	0.043	0.000	30.575	1.805	0.052	99.772	86.24	10.16	3.60	古铜辉石
13	EZ364	53.579	0.212	1.780	0.111	11.491	2.816	0.405	0.000	0.000	28.358	1.429	0.017	100.228	80.16	16.97	2.87	古铜辉石
14	EZ15	54.137	0.285	1.533	0.269	8.537	3.234	0.368	0.000	0.047	30.453	1.275	0.039	100.177	85.25	12.21	2.54	古铜辉石
15	EZ28	53.447	0.389	2.275	0.124	7.652	3.282	0.256	0.000	0.103	30.573	1.143	0.058	99.302	86.64	11.06	2.30	古铜辉石
16	EZ29	55.560	0.054	1.222	0.000	9.251	2.235	0.350	0.000	0.091	31.100	0.974	0.038	100.875	84.83	13.28	1.89	古铜辉石
17	EZ110	53.466	0.429	2.181	0.455	8.195	2.305	0.242	0.000	0.047	30.025	1.537	0.078	98.960	85.27	11.64	3.09	古铜辉石
18	EZ134	54.783	0.108	1.027	0.007	9.792	3.706	0.347	0.015	0.051	30.308	1.052	0.033	101.229	83.74	14.19	2.07	古铜辉石
19	EZ169	55.484	0.006	1.484	0.007	8.471	3.055	0.285	0.024	0.127	31.729	0.649	0.034	101.355	86.42	12.32	1.26	古铜辉石
20	EZ353	53.900	0.000	1.594	0.000	6.927	2.731	0.242	0.002	0.000	31.683	0.353	0.091	97.523	88.78	10.51	0.71	古铜辉石

(1) 序号 1—11 为角闪辉长岩相, 12—13 为辉长苏长岩相, 14—20 为超镁铁岩相。

(2) 成都地质矿产研究所探针室电子探针分析。

(3) FeO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 根据电价差值法求得。

很相近, 均呈微弱的多色性,  $N_g$ =无色,  $N_m \approx N_p$ =淡玫瑰色,  $(- )2V=70^\circ-80^\circ$ ; 在化学成分上, 从超镁铁岩相到角闪辉长岩相, 古铜辉石由富Mg向富Fe方向演化(图1, 图2)。

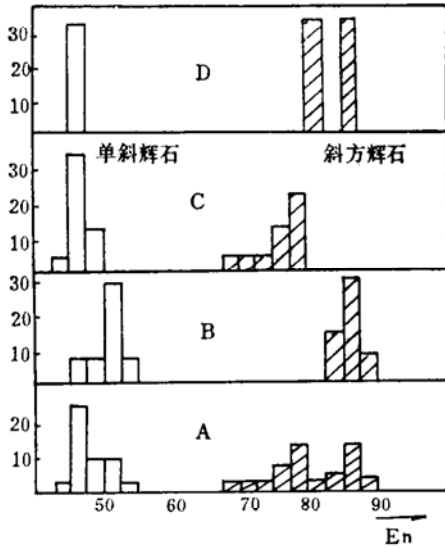


图2 黄山东杂岩各岩相辉石En组分直方图  
Fig. 2 Histogram showing En of pyroxenes from different facies of the Huangshandong complex

A—黄山东杂岩辉石 (N=40); B—超镁铁岩相辉石 (N=14); C—角闪辉长岩相辉石 (N=23); D—辉长苏长岩相辉石 (N=3)

及氧化铁微粒伴生, 进一步蚀变则可形成绿泥石。

角闪辉长岩相中单斜辉石含量14%—40%,  $Wo$  32.93—46.90,  $En$  43.87—49.65,  $Fs$  5.46—18.77, 属透辉石或普通辉石, 多呈半自形粒状, 少数为嵌晶状包含斜长石及橄榄石;  $Ng \wedge c=37^\circ-52^\circ$ ,  $(+)2V=40^\circ-55^\circ$ ,  $r > v$ 。辉长苏长岩相中单斜辉石含量12%—22%,  $Wo$  48.19,  $En$  46.69,  $Fs$  5.12, 属透辉石, 呈半自形粒状, 粒度稍大于古铜辉石, 约为0.5—3 mm, 少数也呈嵌晶状包含古铜辉石或斜长石;  $Ng \wedge c=36^\circ-38^\circ$ ,  $(+)2V=50^\circ \pm$ ; 个别颗粒发育有简单双晶。超镁铁岩相中单斜辉石含量2%—18%,  $Wo$  42.12—48.85,  $En$  47.30—52.90,  $Fs$  2.41—5.85, 属顽透辉石或透辉石, 呈它形充填粒间或嵌晶状包含橄榄石及斜长石。

单斜辉石从超镁铁岩相经辉长苏长岩相到角闪辉长岩相, 大体从富Mg低Ca的顽透辉石向着Ca逐渐增加的透辉石再向Fe逐渐增加、Mg逐渐减少的普通辉石演化(图1)。另外, 对于绝大多数样品来说, 在同一寄主岩石中单斜辉石比斜方辉石富 $TiO_2$ 、 $Al_2O_3$ 、 $Cr_2O_3$ 、CaO和 $Na_2O$ , 贫 $SiO_2$ 、MgO、FeO和MnO(图3)。

### 3 辉石化学成分的统计规律

#### 3.1 斜方辉石的统计特征

斜方辉石化学成分的R型模糊聚类分析及相关分析表明, 斜方辉石化学组分可明显分出

另外, 古铜辉石普遍缺少 $Al^{IV}$ , 而 $Al^{IV}$ 与Ti呈明显的线性正相关, 相关方程分别为:  $Ti=0.231 Al^{IV}-0.0025$  ( $R=0.649$ ) (角闪辉长岩相) 和  $Ti=0.241 Al^{IV}-0.0100$  ( $R=0.883$ ) (超镁铁岩相)。这种依赖是由于古铜辉石的 $Al^{IV}$ 较少, 几乎全部用来取代Si, 因而, 作为补偿 $Al^{IV}-Si$ 电价不足的Ti必然随 $Al^{IV}$ 的增加而增加, 同时, 也造成古铜辉石的 $Al^{IV}$ 普遍为零。

#### 2.2 单斜辉石的基本特征

单斜辉石分布于各岩相之中, 分属于透辉石、顽透辉石和普通辉石(表2, 图1), 其En变化较小(图2)。另外, 各岩相中单斜辉石虽然产状、含量及化学成分特征有所不同, 但光性很接近, 均具淡玫瑰色, 蚀变后退色, 经常具有角闪石反应边或在颗粒表面有角闪石小片(补丁状)。稳定性较高、抗风化能力强。当岩石发生强烈蚀变时, 单斜辉石也能转变成次闪石并同时有榍石微粒

表 2 黄山东杂岩单斜辉石的化学成分 (Wt%)

序号	样号	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CoO	NiO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	总量	En	Fs	Wo	种属
1	EZ6	51.147	0.840	3.237	0.403	6.112	0.000	0.089	0.043	0.091	15.670	18.759	0.039	96.430	45.38	15.56	39.06	普通辉石
2	EZ10	50.442	1.124	3.157	0.346	3.273	3.178	0.171	0.133	0.000	15.916	21.793	0.341	99.874	47.64	5.46	46.90	透辉石
3	EZ94	50.425	0.603	1.763	0.086	7.814	2.575	0.341	0.071	0.000	14.588	19.897	0.263	98.426	43.87	13.11	43.02	普通辉石
4	EZ96	50.681	0.714	1.861	0.131	7.295	3.591	0.130	0.000	0.000	15.539	19.540	0.249	99.886	46.18	12.07	41.75	普通辉石
5	EZ98	50.779	0.725	1.909	0.034	11.468	1.155	0.319	0.002	0.012	16.516	15.658	0.023	98.600	48.30	18.77	32.93	普通辉石
6	EZ102	50.383	0.639	1.765	0.168	4.464	2.852	0.286	0.000	0.000	15.880	21.038	0.281	98.211	47.41	7.43	45.16	透辉石
7	EZ104	52.097	0.345	1.357	0.173	3.724	3.734	0.290	0.097	0.035	16.122	22.296	0.275	100.545	47.11	6.05	46.84	透辉石
8	EZ105	51.026	0.766	2.496	0.126	4.113	2.729	0.284	0.129	0.000	16.072	21.827	0.141	99.709	47.19	6.73	46.08	透辉石
9	EZ132	50.852	0.828	2.733	0.214	4.821	2.345	0.109	0.000	0.050	15.638	21.356	0.284	99.230	46.42	7.99	45.59	透辉石
10	EZ142	50.282	1.093	3.653	0.001	7.185	2.923	0.194	0.000	0.000	15.497	19.245	0.318	100.390	46.48	12.61	41.50	普通辉石
11	EZ163	50.931	0.928	2.888	0.103	5.688	1.643	0.215	0.079	0.003	16.285	18.544	0.627	97.934	49.65	9.70	40.65	顽透辉石
12	EZ166	51.107	1.143	3.206	0.422	4.094	2.568	0.205	0.000	0.000	15.730	21.786	0.416	100.677	46.71	6.78	46.51	透辉石
13	EZ364	52.461	0.298	1.201	0.122	3.161	2.814	0.300	0.083	0.030	16.083	23.085	0.273	99.911	46.69	5.12	48.19	透辉石
14	EZ17	51.322	1.015	3.886	0.600	3.294	2.958	0.093	0.000	0.030	17.093	20.523	0.463	101.277	50.74	5.45	43.81	顽透辉石
15	EZ19	49.695	0.884	4.218	0.595	3.395	1.733	0.086	0.000	0.000	15.333	21.125	0.500	97.564	47.30	5.85	46.85	透辉石
16	EZ21	50.380	0.577	4.024	0.460	1.833	3.442	0.205	0.090	0.000	17.140	20.226	0.479	98.856	52.41	3.12	44.47	顽透辉石
17	EZ29	48.863	1.110	4.789	0.627	1.374	3.705	0.146	0.000	0.000	15.463	21.557	0.597	98.231	48.74	2.41	48.85	透辉石
18	EZ110	50.618	0.570	3.993	0.968	2.575	3.341	0.107	0.000	0.000	17.227	20.149	0.406	99.954	51.97	4.33	43.70	顽透辉石
19	EZ134	50.843	0.457	3.509	0.745	2.974	2.127	0.112	0.000	0.088	17.625	19.521	0.354	98.655	52.90	4.98	42.12	顽透辉石
20	EZ169	49.720	0.555	4.266	0.964	2.902	2.850	0.112	0.049	0.061	16.425	20.332	0.333	98.569	50.29	4.95	44.76	顽透辉石

注: (1) 序号 1—12 为角闪辉长岩相, 13 为辉长苏长岩相, 14—20 为超镁铁岩相。

(2) 成都地质矿产研究所探针电子探针分析。

(3) FeO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 根据电价差值法求得。

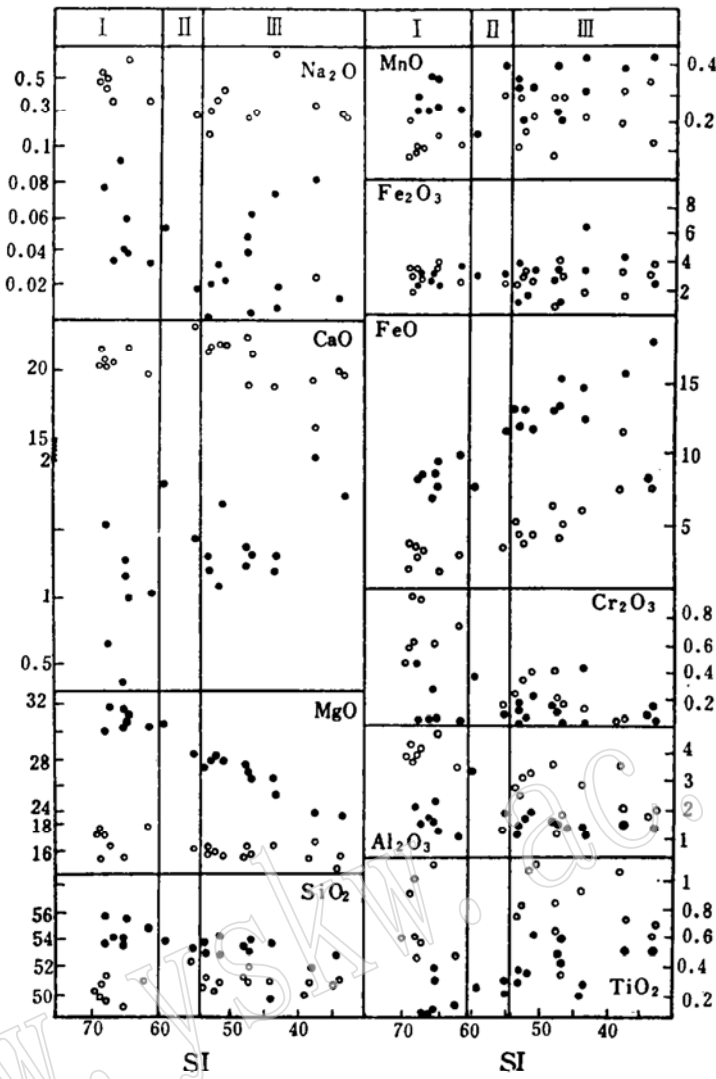


图 3 黄山东杂岩辉石化学成分与寄主岩固结指数的相关图

Fig. 3 Correlation diagram between chemical composition of pyroxenes and solidification indices of their host rocks in the Huangshandong complex

○—单斜辉石; ●—斜方辉石

I—超镁铁岩相; II—辉长苏长岩相; III—角闪辉长岩相

三组: 第一组为 $\text{SiO}_2$ 和 $\text{MgO}$ , 相互呈良好正相关性, 相关系数为0.729; 第二组为 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 和 $\text{Na}_2\text{O}$ , 相互间呈较好正相关性, 相关系数分别为0.585( $\text{Al}_2\text{O}_3$ — $\text{Cr}_2\text{O}_3$ )、0.426( $\text{Al}_2\text{O}_3$ — $\text{Na}_2\text{O}$ )和0.393( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ — $\text{Na}_2\text{O}$ ); 第三组为 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{CaO}$ 和 $\text{FeO}$ , 相互间也呈较好正相关性, 相关系数分别为0.690( $\text{TiO}_2$ — $\text{CaO}$ )、0.564( $\text{TiO}_2$ — $\text{FeO}$ )和0.463( $\text{CaO}$ — $\text{FeO}$ )。上述三组元素仅第一组与第三组之间表现出明显的负相关性, 相关系数在-0.424以上, 尤以 $\text{MgO}$ 和 $\text{FeO}$ 之间最为明显, 相关系数为-0.932。另外,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{CoO}$ 和 $\text{NiO}$ 为独立组分。上述组分的相关性反映了斜方辉石各组分之间伴生和替代关系。

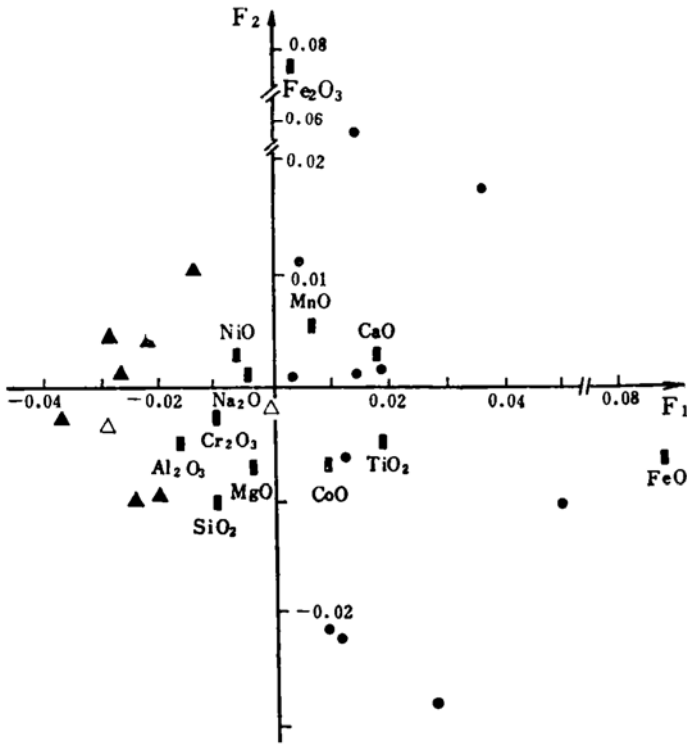


图 4 斜方辉石化学成分对应因子 $F_1$ - $F_2$ 座标图  
(图例同图 1)

Fig. 4 Coordinate diagram of correspondence factor  $F_1$ - $F_2$  for orthopyroxenes

斜方辉石化学成分的对对应因子  $F_1$ - $F_2$  座标图 (图 4) 表明, 超镁铁岩相斜方辉石富  $MgO$ 、 $SiO_2$ 、 $Al_2O_3$  和  $Cr_2O_3$ , 贫  $FeO$ 、 $TiO_2$ 、 $CaO$  和  $MnO$ ; 角闪辉长岩相斜方辉石则与此相反, 反映了斜方辉石化学成分的演化趋势。上述两岩相斜方辉石以  $SiO_2$ 、 $TiO_2$ 、 $FeO$  和  $MgO$  四变量的区别意义最大, 二类判别方程分别为:

$$Y_1 = -1268.671 + 136.354 SiO_2 - 30.958 TiO_2 - 80.771 FeO - 132.776 MgO$$

(角闪辉长岩相)

$$Y_2 = -1381.715 + 152.242 SiO_2 - 49.374 TiO_2 - 95.276 FeO - 152.679 MgO$$

(超镁铁岩相)

### 3.2 单斜辉石的统计特征

单斜辉石化学成分的  $R$  型模糊聚类分析及相关分析表明, 单斜辉石化学组分可分为三组: 第一组为  $Al_2O_3$ 、 $Cr_2O_3$ 、 $Na_2O$ 、 $MgO$  和  $TiO_2$ , 该组组分中  $Al_2O_3$  和  $Cr_2O_3$  呈良好的正相关性, 相关系数为 0.744,  $Al_2O_3$  与  $Na_2O$ 、 $Al_2O_3$  与  $TiO_2$ 、 $Cr_2O_3$  与  $MgO$  和  $Cr_2O_3$  与  $Na_2O$  及  $Na_2O$  与  $TiO_2$  呈较好正相关性, 相关系数分别为 0.567、0.476、0.497、0.394 和 0.301; 第二组为  $Fe_2O_3$  和  $CaO$ , 呈较好的正相关性, 相关系数为 0.546; 第三组为  $MnO$  和  $CoO$ , 相互呈较好正相关性, 相关系数为 0.439。  $FeO$ 、 $SiO_2$  和  $NiO$  为独立组分。在单斜辉石化学组分中, 各组分之间的负相关性有: 具良好负相关性的有  $SiO_2$  和  $Al_2O_3$ 、 $Al_2O_3$  和  $MnO$ 、 $FeO$  与  $CaO$ , 相关系数分别为 -0.703、-0.731 和 -0.724; 具较好的负相关性有  $Al_2O_3$  和  $FeO$ 、 $Cr_2O_3$  和

FeO、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和MnO、FeO和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>及FeO和Na<sub>2</sub>O，相关系数分别为-0.504、-0.645、-0.687、-0.488和-0.601。上述组分之间的相关性反映了单斜辉石基本组分的相互关系，其中Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>与SiO<sub>2</sub>的良好负相关性、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>与Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>与TiO<sub>2</sub>和Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>与Na<sub>2</sub>O的正相关性

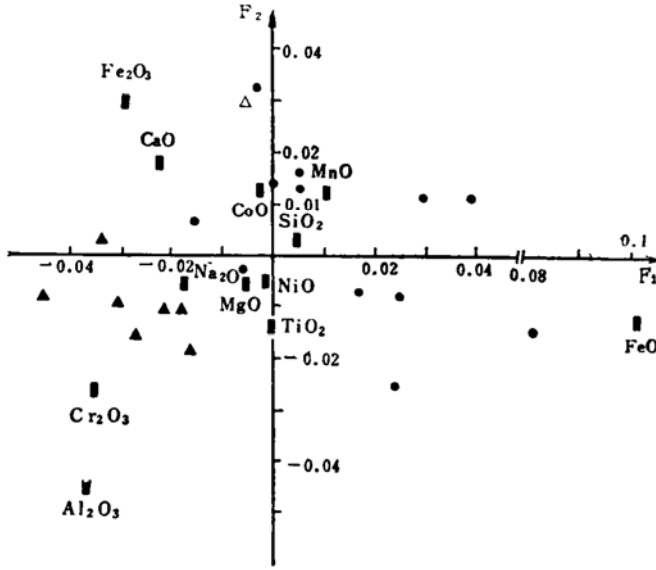


图 5 单斜辉石化学成分对应因子  $F_1$ — $F_2$  座标图  
(图例同图 1)

Fig. 5 Coordinate diagram of correspondence factor  $F_1$ — $F_2$  for clinopyroxenes

说明Al<sup>IV</sup>替代Si时Cr、Na和Ti补偿电价差值。

单斜辉石化学成分对应因子 $F_1$ — $F_2$ 座标图(图5)表明,超镁铁岩相单斜辉石富Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Na<sub>2</sub>O和MgO,贫FeO、MnO和CoO;角闪辉长岩相单斜辉石则与此相反,反映了单斜辉石化学成分的演化趋势。上述两岩相的单斜辉石以Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Na<sub>2</sub>O二变量区别意义最大。二类判别方程为:

$$Y_1 = -2.981 + 9.502 \text{Cr}_2\text{O}_3 + 15.532 \text{Na}_2\text{O} \quad (\text{角闪辉长岩相})$$

$$Y_2 = -17.741 + 31.892 \text{Cr}_2\text{O}_3 + 28.806 \text{Na}_2\text{O} \quad (\text{超镁铁岩相})$$

### 3.3 辉石相关性差异与其成分演化的关系

黄山东杂岩中的两种辉石各组分之间的相关性是不一样的,表现较为明显的组分见表

表 3 单斜辉石和斜方辉石相关系数的差异

Table 3 The difference of correlation coefficients between the clinopyroxene and the orthopyroxene

氧化物	单斜辉石	斜方辉石	氧化物	单斜辉石	斜方辉石	氧化物	单斜辉石	斜方辉石
SiO <sub>2</sub> —Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.703	0.136	SiO <sub>2</sub> —CaO	0.187	-0.483	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> —MnO	-0.687	-0.302
SiO <sub>2</sub> —Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.402	0.054	TiO <sub>2</sub> —FeO	0.067	0.564	FeO—MgO	-0.341	-0.932
SiO <sub>2</sub> —FeO	0.125	-0.445	TiO <sub>2</sub> —MgO	-0.320	-0.617	FeO—CaO	-0.724	0.463
SiO <sub>2</sub> —MnO	0.383	-0.382	TiO <sub>2</sub> —CaO	-0.080	0.690	FeO—Na <sub>2</sub> O	-0.601	-0.353
SiO <sub>2</sub> —MgO	0.214	0.729	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> —FeO	-0.645	-0.229	MgO—CaO	-0.174	-0.606



3. 这种相关性的差异反映了辉石各组分之间伴生和替代关系的差异性，与辉石化学成分的演化有关。限于篇幅，仅以FeO—MgO相关性为例加以说明，其余可类推。从图 中可知，随着岩浆演化单斜辉石和斜方辉石的FeO均升高、MgO均降低，因而均为负相关性。由于两种辉石的FeO升高基本同步，所以，FeO和MgO负相关性的 大小取决于MgO的降低速率，从图 3 中可以看出，斜方辉石中MgO降低速率大大高于单斜辉石，所以，斜方辉石FeO—MgO负相关性理应高于单斜辉石。

### 4 辉石化学成分与杂岩体成因的关系

#### 4.1 源岩浆系列归属及可能的源岩类型

黄山东杂岩中的单斜辉石，其Na<sub>2</sub>O的平均含量为 0.33 wt%，Al<sub>2</sub>(=<sup>IV</sup>Al × 100/2) 值介于 2.65—6.90 之间，相当于拉斑玄武岩浆系列<sup>[4,5]</sup>。在单斜辉石Si—Al变异图(图 )中，单斜辉石的投影点全部落入拉斑玄武岩区，也相当于拉斑玄武岩系列。上述特征与在岩石薄片 中观察到的斜方辉石与单斜辉石共生、辉石中可见出溶叶片、古铜辉石常为橄榄石的反应 边等体现拉斑玄武岩系列矿物特征的实际矿物组合相一致。

黄山东杂岩的单斜辉石在单斜辉石P—t图(图 7)中的投影点全部落入石榴二辉橄 榄岩区，推测其可能的源岩类型为石榴二辉橄榄岩。

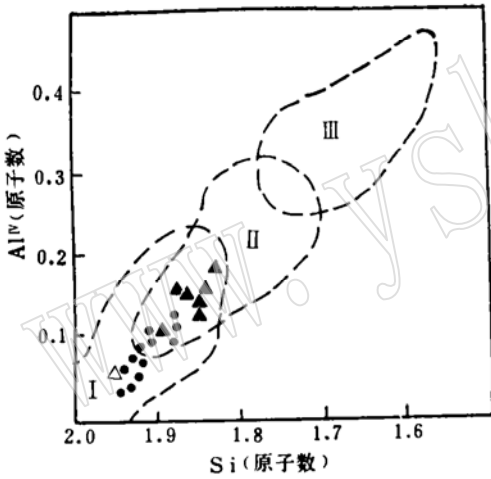


图 6 单斜辉石Si-Al关系图<sup>[6]</sup>

Fig. 6 Si-Al diagram of the clinopyroxene<sup>[6]</sup>

I—拉斑玄武岩区；II—不含似长石的碱性岩区；  
III—含似长石的碱性岩区  
(其余图例同图 1)

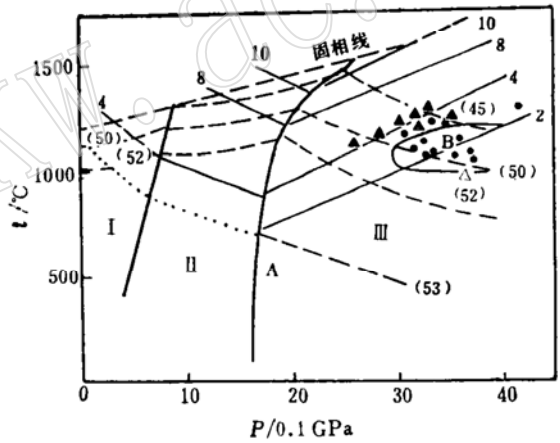


图 7 单斜辉石的P—t图解<sup>[7]</sup>

Fig. 7 P—t diagram of the clinopyroxene

图中数字 2—10 表示单斜辉石的100Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(CaSiO<sub>3</sub> + MgSiO<sub>3</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 值；数字 (45)—(55) 表示单斜辉石的 100CaSiO<sub>3</sub>/(CaSiO<sub>3</sub> + MgSiO<sub>3</sub>) 值  
A—挪威石榴石橄榄岩；B—金伯利岩中的结核  
(其余图例同图 1)

#### 4.2 共存辉石对的Fe—Mg分配规律与平衡结晶温度

黄山东镁铁超镁铁杂岩的共生二辉石的K<sub>D</sub>值 (K<sub>D</sub> = (Fg<sup>2+</sup>/Mg)<sub>OPX</sub> / (Fe<sup>2+</sup>/Mg)<sub>CPX</sub>) 介

于0.92—3.42之间, 15件样品的平均值为1.83, 基本上与岩浆结晶的 $K_D$ 值相当<sup>[3]</sup>。在 $(Fe^{2+}/Mg)$ 比值上, 两者呈良好的正线性相关性, 其回归方程为 $(Fe^{2+}/Mg)_{CPX} = -0.068 + 0.881 (Fe^{2+}/Mg)_{OPX}$  ( $R=0.8079$ ,  $N=15$ ), 表明它们形成时的温度相近。根据二辉石地质温度计<sup>[8]</sup>得到的辉石平衡温度分别为987—1130℃(角闪辉长岩相)、947℃(辉长苏长岩相)和1029—1157℃(超镁铁岩相); 根据Tompson实验数据回归方程式<sup>[9]</sup>, 得到的单斜辉石结晶温度和压力分别为: 角闪辉长岩相1040—1112℃、0.58—7.08 (0.1GPa)、超镁铁岩相1108—1150℃、6.75—10.58 (0.1GPa)。其中, 单斜辉石结晶温度基本上与上述平衡结晶温度相当。

#### 4.3 杂岩产出的板块构造背景

前已提及黄山东镁铁超镁铁杂岩的围岩——干洞组地层形成于岛弧环境, 这在杂岩的单斜辉石成分上也有反映。通过单斜辉石化学成分计算在有关图上(图8、图9)投影, 发现黄山东杂岩单斜辉石投影点位于VAB区或VAB+OFB区, 据此推测黄山东杂岩形成于洋底基础上发展起来的岛弧环境。

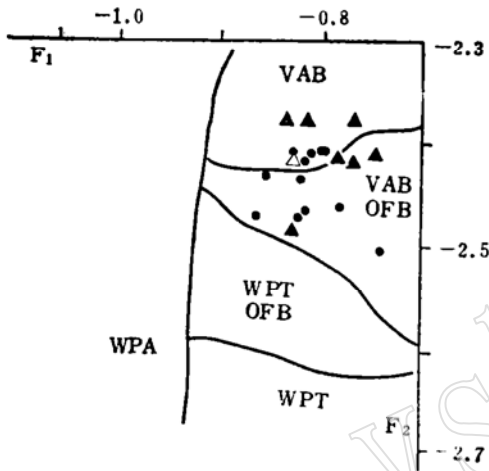


图8 单斜辉石 $F_1$ — $F_2$ 图解<sup>[10]</sup>

Fig. 8  $F_1$ — $F_2$  diagram of the clinopyroxene

VAB—火山弧玄武岩区; OFB—洋底玄武岩区

$$F_1 = -0.012 SiO_2 - 0.0807 TiO_2 + 0.0026 Al_2O_3 \\ - 0.0012 (FeO) - 0.0026 MnO + 0.0087 MgO \\ - 0.0128 CaO - 0.0419 Na_2O$$

$$F_2 = -0.0469 SiO_2 - 0.0818 TiO_2 - 0.0212 Al_2O_3 \\ - 0.0041 (FeO) - 0.1435 MnO - 0.0029 MgO \\ + 0.0085 CaO + 0.0160 Na_2O$$

(其余图例同图1)

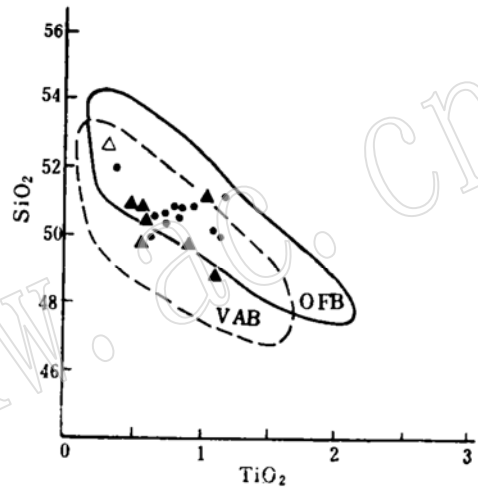


图9 单斜辉石的 $TiO_2$ — $SiO_2$ 图解<sup>[10]</sup>

Fig. 9  $TiO_2$ — $SiO_2$  diagram of the clinopyroxene

$SiO_2$ 和 $TiO_2$ 为重量百分比, 虚线范围据李达周等

(1984)<sup>[5]</sup>

(图例同图8)

#### 4.4 辉石化学成分与岩浆演化的关系

黄山东镁铁超镁铁杂岩主要氧化物随岩浆演化,  $SiO_2$ 、 $Al_2O_3$ 、 $Na_2O$ 和 $CaO$ 等含量明显增加;  $FeO$ 和 $MgO$ 含量显著降低, 但投影点互不连续(图10), 反映了深部分异作用的存在<sup>[2]</sup>。由于辉石的成分演化取决于岩浆结晶分异作用, 因此, 分岩相讨论辉石化学成分与岩浆演化的关系。在角闪辉长岩相中, 辉石的 $FeO$ 、 $MgO$ 、 $MnO$ 、 $Cr_2O_3$ 和 $Na_2O$ 等氧化物演

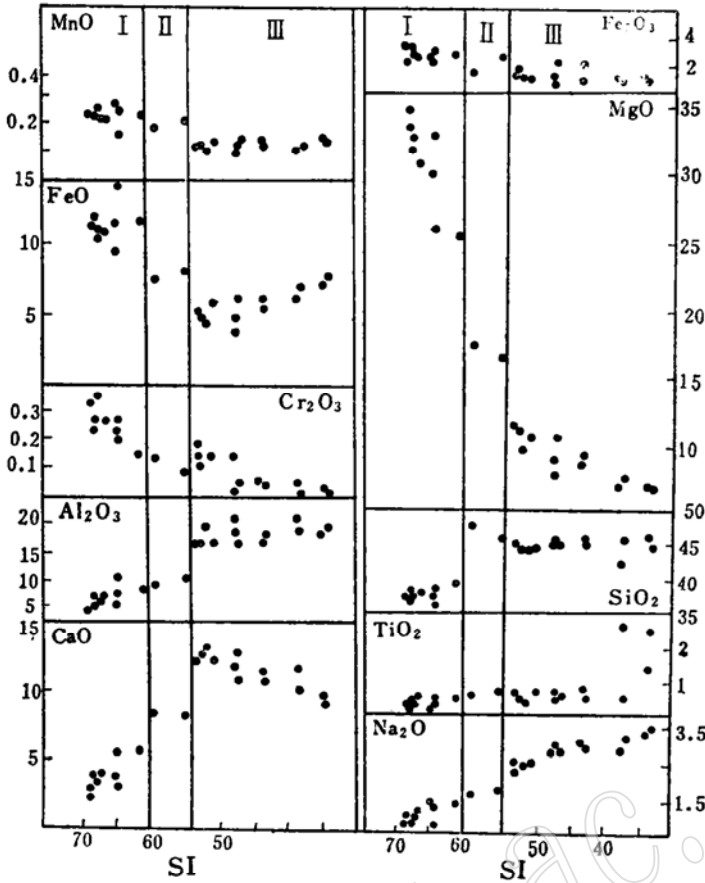


图 10 黄山东杂岩固结指数与主要氧化物相关图

Fig. 10 Correlogram between main oxides and solidification indices of the Huangshandong complex

I—超镁铁岩相；II—辉长苏长岩相；III—角闪辉长岩相

化与岩石化学演化一致， $Al_2O_3$  演化则相反。在  $CaO$  和  $SiO_2$  的演化上，单斜辉石与全岩一致，斜方辉石则相反；在  $TiO_2$  演化上，斜方辉石与全岩演化一致，单斜辉石则相反。在超镁铁岩相中单斜辉石和斜方辉石的  $MnO$ 、 $Na_2O$ 、 $SiO_2$ 、 $Al_2O_3$  和  $CaO$  与全岩演化相反； $FeO$  和  $MgO$  与全岩演化一致；单斜辉石的  $Cr_2O_3$ 、斜方辉石的  $TiO_2$  也与全岩演化相反（图 3，图 10）。

本文得到李德惠教授的悉心指导，谨致谢忱。

### 参 考 文 献

- 1 王润民，刘德权，殷定泰。新疆哈密土墩—黄山一带铜镍硫化物矿床成矿控制条件及找矿方向研究。矿物岩石，1987，7(1)：41—56。
- 2 倪志耀。岩浆深源分异在新疆黄山东杂岩体成岩成矿中的作用。成都地质学院学报，1993，20(2)：33—39。
- 3 靳是琴，李鸿超。成因矿物学概论（下册）。长春：吉林大学出版社，1984。162—211。
- 4 Le Bas M J. The role of aliumin in igneous clinopyroxene with relation to their parentage. Am. Jour. Sci., 1962, 260(4)：267—288。
- 5 李达周，王凤阁，张旗，周云生。西藏白朗地区蛇绿岩火山岩中单斜辉石的化学特征。地质科学，1984，21(2)。

149—156.

- 6 Kushiro I. Si—Al relation in clinopyroxenes from igneous rocks. *Am. Jour. Sci.*, 1960, 258(8):548—554.
- 7 曲以秀, 臧尧令. 山东高桥地区粗面玄武岩系矿物及微量元素研究. *矿物岩石*, 1985, 5(4): 14—26.
- 8 Wood B J, Banno S. Garnet-orthopyroxene and orthopyroxene-clinopyroxene relationships in simple and complex systems. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1973, 42(2): 109—124.
- 9 邱家骥, 曾广策. 中国东部新生代玄武岩中低压单斜辉石的矿物化学及岩石学意义. *岩石学报*, 1987, 3(4): 1—9.
- 10 Nisbet E G, Pearce J A. Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic settings. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1977, 63(2): 149—160.

## Chemical Composition of Pyroxenes from the Huangshandong Mafic-Ultramafic Complex in Hami, Xinjiang

Ni Zhiyao

(Chengdu Institute of Technology, Chengdu, 610059)

**Key words:** Huangshandong; mafic-ultramafic complex; pyroxene; mineralogical chemistry; petrological significance

### Abstract

The present paper deals mainly with chemical composition of pyroxenes which constitute the major rock-forming minerals in the Huangshandong mafic-ultramafic complex.

Orthopyroxenes in the Huangshandong complex are exclusively bronzite, which seems related to host rocks in chemical composition, being rich in "En" in the ultramafic facies and enriched in "Fs" in the hornblende-gabbro facies. Clinopyroxenes vary considerably in chemical composition, covering augite, diopside and enstatite-diopside. In the same host rock, clinopyroxenes contain more TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO and Na<sub>2</sub>O but less MgO, FeO, MnO and SiO<sub>2</sub> than orthopyroxenes.

Statistical analysis indicates that from the ultramafic facies to the hornblende-gabbro facies, chemical composition of orthopyroxenes varies from the enrichment of MgO, SiO<sub>2</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> to the enrichment of FeO, TiO<sub>2</sub>, CaO and MnO, whereas that of clinopyroxenes from the richness of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O and MgO to the richness of FeO, MnO and CoO.

There exists linear positive correlation between Fe<sup>2+</sup>/Mg values of coexisting two pyroxenes;  $K_D$  values vary in the range of 0.92—3.42, equivalent to  $K_D$  values of pyroxenes of magmatic origin. Their equilibrium  $t$  and  $P$  are 947—1157°C and 0.58—10.58 (0.1 GPa) respectively.

Chemical composition of the pyroxenes indicates evidently that their parental magma was tholeiitic magma formed by partial melting of garnet-lherzolite in a plate-tectonic setting of island arc.