

# 新疆磁海铁矿床中辉石的研究与单斜辉石 分类定名的多元三角图解法

中国地质科学院矿床地质研究所 秦淑英

## 一、磁海矿区单斜辉石的研究

在我国新疆磁海铁矿区的辉长岩、辉绿岩、闪长岩、辉石花岗岩、石榴石辉石岩及辉石岩等不同类型的岩石中，辉石广为发育。辉石主要属单斜辉石中的透辉石—钙铁辉石系列及普通辉石系列。

作者对上述辉石进行了物性、光性、化学成分、X光衍射、红外吸收光谱及穆氏谱测定。现将所获资料及认识分述如下：

1. 辉石的物性、光性特征：产于矿区变质岩及岩浆岩中的辉石，均呈绿色或深绿色，在镜下多色性较明显。但其结晶形态不同：在岩浆岩中为他形或半自形，而在石榴石辉石岩及辉石岩中自形程度较高，呈短柱状和粒状（图版I—照片1）。在变质岩中有时见到淡紫色或灰色的辉石，这可能是由于辉石中含较多的钛所致。辉石的物性、光性特征见表1。

2. 各种辉石的X光衍射图谱相似， $d$ 值接近（图1，表2）。且多数单斜辉石的内部结构、空间群（ $C2/c$ ）相同，要将某些辉石用X光衍射加以区分是困难的。某些研究者曾提出用 $2\theta_{311-310}$ 、 $2\theta_{300-331}$ 等晶面反射峰的差值或特征区分这些矿物<sup>[4,5]</sup>，但从作者所取得的衍射数据看，效果不明显。磁海矿区辉石的 $2\theta_{311-310}$ 多在 $0.7^\circ$ 以上，而安徽罗河普通辉石则在 $0.6^\circ$ 以下， $2\theta$ 差值的变化规律不明显。上述晶面的反射峰有时并不全都出现，其原因可能是由于辉石的解理十分发育，在制样时辉石粉晶发生择优取向，导致一些反射峰的强弱不一，甚至消失。所以，用某些反射峰的显现、消失和强弱做为区分单斜辉石的依据可能是不够充分的。

3. 对上述辉石还进行了红外吸收光谱分析，根据谱带特点将其吸收带分为四部分（见图2、表3）。

800—1100 $CM^{-1}$ 吸收区，为一组由四峰组成的强吸收带。这组谱带由硅氧四面体的伸缩振动造成。

所有单斜辉石都具有三个强峰，只是900—930 $CM^{-1}$ 峰的峰值和强弱有所不同。有的研究者将此峰做为区分透辉石和普通辉石的依据<sup>[6]</sup>，即此峰明显的为透辉石；与此相反，有的则认为含铁高时，此峰明显。从作者获得的资料来看：无论对透辉石系列，还是对普通辉石，此峰有的明显，有的不明显，其原因可能与较多的 $R^{3+}$ 阳离子（Al, Fe）加入到矿物的晶格中有关。

600—800 $CM^{-1}$ 吸收带，为一组由两峰组成的强吸收带，为Si—O链的弯曲振动，谱带形态一致、频率值变化很小。

450—600 $CM^{-1}$ 吸收带，为Si—O链弯曲振动。该组峰位的变化与M1中Mg、 $Fe^{2+}$ 的类质同像替代有关。

频率在450 $CM^{-1}$ 以下的红外长波段吸收带，表示辉石结构中O—Si—O的摇摆振动及Ca—O、Mg—O、Fe—O与Mn—O的弯曲振动。

表3所列出的红外吸收光谱分析数据代表了单斜辉石中透辉石系列及普通辉石系列的共同特点，它们在中红外波段之间没有明显的区别。本文所涉及的单斜辉石，阳离子成分复杂，目前利用中红外吸收光谱数据尚难加以区分。

4. 对普通辉石进行了穆斯堡尔实验研究，着重对其中的Fe的配位分布进行了探索。根据次最邻近效应，把普通辉石谱拟合为三对双峰，但由于矿物本身的不均匀性及其他因素，使实验结果受到影响。现将普通辉石的穆斯堡尔参数列于表4，表中给出峰位的指派和相应的穆氏参数。

根据表4所列参数及铁的两种价态总数，得到矿物的有用信息：（1）纠正化学分析中 $Fe^{3+}$ 增高和 $Fe^{2+}$ 降低的偏差；（2）比较合理地计算出普通辉石中 $Fe^{2+}$ 在M1和M2配位分布数量（表5）。

5. 对辉石做了化学分析，对不易分选纯净的辉石做了电子探针分析（表6）。

表 1

辉石物性、光性对比表

顺序号	钻孔及深度	矿物名称及代号	岩石类型及组成矿物	辉石结晶习性	比重 (用克里奇波测定)	镜下颜色及多色性			折光率			消光角 Z∧C	
						X	Y	Z	α	β	γ		
1	C102-460	次透辉石 (Sal)	葡萄石石榴石辉石岩, 由辉石、石榴石、葡萄石及黝帘石组成	短柱状C		紫灰	浅红	亮绿黄				35—40°	47°
2	C36-294.8	"	磁铁矿石榴石辉石岩, 由石榴石、磁铁矿、辉石、黄铁矿及磷灰石组成	"	3.43	深绿	浅兰灰	浅绿黄	1.702 ±0.002	1.708 ±0.001	1.731 ±0.001	59° (校正)	44°
3	C36-122.5	"	黑云母辉绿岩, 主要由黑云母、斜长石、辉石等矿物组成	他形、半自形		灰绿	几乎无色	带绿色调	1.672 ±0.002		1.697 ±0.002	57° (实测)	40°±
4	C115-376.4	"	辉石岩, 由辉石组成, 其中有黑云母及方解石细脉穿插	自形, 短柱状C		深绿	灰绿	浅绿					
5	C103-561	"	磁铁矿辉石岩, 主要由磁铁矿、辉石组成, 含少量磷灰石, 辉石局部绿钙闪石、阳起石化	他形, 半自形		深绿	同	上					
6	C103-552	深绿辉石 (Fas)	辉石岩, 由辉石组成	他形, 半自形	3.47	深绿	浅兰绿	浅灰	1.713 ±0.002	1.720 ±0.002	1.740 ±0.002	57° (校正)	48°
7	134-707	普通辉石 (Au)	硬石膏辉石岩, 主要由硬石膏及辉石组成, 含少量的磷石、磷灰石及磁铁矿	自形, 长柱状C		深绿	绿	黄				63—64°	44°
9	C36-48	普通辉石 (Au)	辉石岩, 由辉石及少量的斜长石组成	他形, 半自形		绿	几乎无色	略带淡绿色调	1.691'	1.700'	1.719'	57.5° (校正)	41°±

辉石 X 光衍射数据

表 2

2		4		5		6		7		8		9		10		11		
C36-294.8		C115-376.4		C103-561		C103-552		134-707		784 <sup>(1)</sup>		C36-48		867 <sup>(2)</sup>		11-654 <sup>(3)</sup>		
次透辉石		次透辉石		次透辉石		深绿辉石		普通辉石		普通辉石		普通辉石		次透辉石		透辉石		
d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	hkl
7.015	4											8.427	7					
(Chl)												(A <sub>m</sub> )						
6.415	4	6.442	6	6.475	3	6.427	8	6.415	4			7.085	8					
												(Chl)						
4.670	5	4.687	6	4.676	6	4.680	7	4.667	5			6.417	5					
																4.69		1200
4.438	6	4.440	7	4.440	5	4.445	5	4.431	9			4.697	8					
												4.438	8			4.47		3020
																4.41		311 $\bar{1}$
3.521	3											3.527	6					
(Chl)												(Chl)						
3.336	5	3.337	4	3.336	3	显		3.328	5			显				3.66		3111
3.231	35	3.232	31	3.232	37	3.229	33	3.219	58	(3.25)	5	3.232	31	3.25	5	3.23		11 021
				3.132	3													25 220
				(A <sub>m</sub> )								3.133	8					
												3.017	24					
				(A <sub>m</sub> )								(Cal)						
2.985	100	2.986	100	2.979	100	2.986	100	2.980	100	2.98	10	2.980	100	2.98	10	2.991	100	221 $\bar{1}$
2.9565	60	2.9565	65	2.9505	67	2.9535	69	2.9425	61			2.9580	64			2.952	25	310
2.9810	27	2.8885	23	2.8860	36	2.8885	25	2.8875	24			2.8845	23	(2.87)	3	2.893	30	31 $\bar{1}$
										2.78	3					2.837	1	130
2.5625	34	2.5625	26	2.5625	30	2.5610	32	2.5575	33			2.5615	29	2.56	4	2.566	20	13 $\bar{1}$
2.5210	46	2.5245	55	2.5215	62	2.5230	47	2.5140	57	2.522	10	2.5205	50	2.52	10	2.528	40	002 20 $\bar{2}$
																2.518	30	11 $\bar{2}$ 221
						2.3477	3									2.392	3	131
2.310	12	2.310	10	2.309	11	2.3065	9	2.3020	11	2.290	2	2.310	7	2.31	3	2.304	15	311
2.224	7	2.222	7	2.2165	5	2.2235	7	2.2217	6	2.213	2					2.218	13	11 $\bar{2}$
2.203	5	显		显		显		2.1960	4			显				2.200	11	022 22 $\bar{2}$
2.1565	23	2.160	12	2.1575	19	2.1565	13	2.152	35			2.1580	15			2.157	9	330
2.1375	34	2.132	38	2.1315	25	2.132	27	2.127	34	2.120	6	2.1230	29	2.13	7	2.134	15	33 $\bar{1}$
2.113	19	2.1085	19	2.108	16	2.108	15	2.105	14			2.1070	19			2.109	7	42 $\bar{1}$
								显								2.077	1	420
2.041	12	2.0425	10	2.042	13	2.038	10	2.036	17			显		2.04	4	2.043	13	041
2.0176	10	2.0112	14	2.0104	12	2.018	12	2.0118	13	2.017	6	2.0195	14	2.01	4	2.016	9	40 $\bar{2}$ 240
												2.0096	11			2.009	9	20 $\bar{2}$
1.9698	4							1.969	3			1.9096	6					
												(Cal)						
1.8642	4			1.8662	5	显		显				1.8712	8			1.862	3	331
1.8382	6	1.8418	6	1.8396	8	1.8396	5	1.8344	10	1.832	3	1.8379	5			1.838	5	510 42 $\bar{2}$
																1.832	3	22 $\bar{2}$
																1.815	3	13 $\bar{2}$
																1.777	1	421
1.7539	23	1.7546	24	1.7571	19	1.7526	17	1.7522	28			1.7571	21	1.757	7	1.755	11	150
				显		显		显		(1.743)	4	显						(042)

续表 2

2		4		5		6		7		8		9		10		11		
C36-294.8		C115-376.4		C103-561		C103-552		134-707		784 <sup>(1)</sup>		C36-48		867 <sup>(2)</sup>		11-654 <sup>(3)</sup>		
次透辉石		次透辉石		次透辉石		深绿辉石		普通辉石		普通辉石		普通辉石		次透辉石		透辉石		
d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	hkl
																		1.720 1512
																		1.713 1113 312
																		1.685 1151
1.678	3	1.678	3							(1.665)	3							1.674 5042 242
																		1.659 5313
1.6274	23	1.6234	21B	1.6234	25B	1.6274	26B	1.6248	27			1.6237	30	1.622	10	1.625	25	223 531
1.619	29			1.6177	8					1.619	10	1.6158	33			1.618	5	440
1.5901	2															1.588	3	530
1.567	8	1.567	6	1.5684	7							1.5726	10			1.565	3	600
1.5508	5	1.5529	8	1.5531	11	1.5517	9	1.5484	12	1.555	4	1.5534	8			1.551	3	550
1.5463	5	1.5296	11	1.5296	14	1.5281	8	1.5264	13			1.5295	10			1.529	1	602
1.5279	9													1.522	4	1.526	9	402 621
1.508	4	1.5062	6	1.5054	5	1.5072	5	1.5038	5	1.503	5					1.504	11	133
		1.4903	6	1.4936	5							1.4922	7			1.494	1	242
						1.4881	5	1.4868	5					1.489	4	1.488	3	060
																1.468	1	333
																1.463	1	441
																1.447	3	513 622
1.4279	17	1.4298	22	1.4289	20	1.4289	19	1.4246	19	1.412	10	1.4287	16B	1.422	9	1.424	13	531
1.4096	8	1.4110	10	1.4102	8	1.4096	9	1.4086	21			1.411	8			1.410	7	352
																1.391	3	223
																1.374	1	243
						1.3415	9									1.345	1	043
1.3335	7	1.3328	11	1.3316	13			1.3305	12			1.3316	14			1.330	7	715
1.3298	7									1.324	8			1.327	8	1.327	3	512 710
																1.317	3	532
												1.2858	6	1.284	7	1.288	7	114 623
1.2839	4	1.2849	7	1.2843	9	1.284	5	1.2827	6			1.2832	6			1.282	7	262 062
		1.2642	3									1.2648	4			1.265	5	261 004*
1.2522	10	1.2531	5			1.2521	4	1.2496	7	1.246	4	1.2525	4			1.249	3	352 153*
								1.2146	2									
1.1773	3																	

\* 2、4、5、6、7、9 由本所黄家山同志测定，编号同表 1。实验条件：CuK $\alpha$ ，30KV，22mA。d 值以  $\lambda$  计算。

## 二、单斜辉石多元三角图解法

作者采用了上述方法，对磁海矿区的辉石进行了研究，并试用多元三角图解法对文中涉及的辉石进行了分类定名，现将该方法介绍如下：

以往，常用三元组分(CaSiO<sub>3</sub>，MgSiO<sub>3</sub>和FeSiO<sub>3</sub>)三角作图法对辉石进行分类<sup>(9)</sup>。但这种方法未能反映辉石的结构特点及化学成分的复杂性，因此，对

于实际应用，似不够完善。

由于单斜辉石的内部结构近似，成分复杂，因而，近几年来矿物研究工作者不断提出辉石分类的意见。例如，1971年，H.Л.多布列卓夫在辉石专著<sup>(10)</sup>中对辉石作了全面论述，并进一步提出以契尔马克分子(Миналы)计算辉石的组分，按多布列卓夫的分类方法，将辉石分为19种；1975年，H.В.金兹堡在辉石结晶化学的基础上，以阳离子

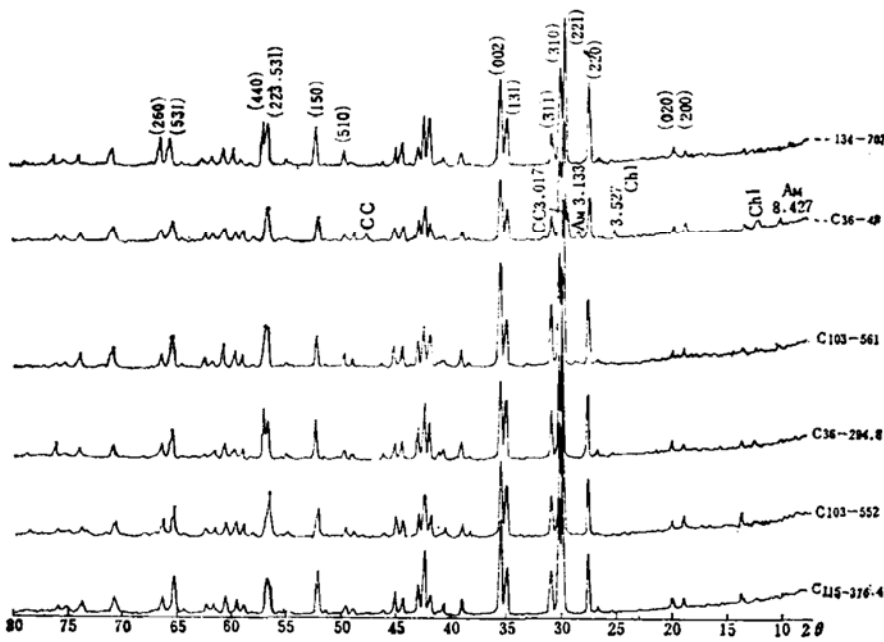


图1 单斜辉石X光衍射图谱  
 134-707、C36-48为普通辉石，C103-552为深绿辉石，C103-561、C36-294.8、C115-376.4为次透辉石（本所黄家山测定）

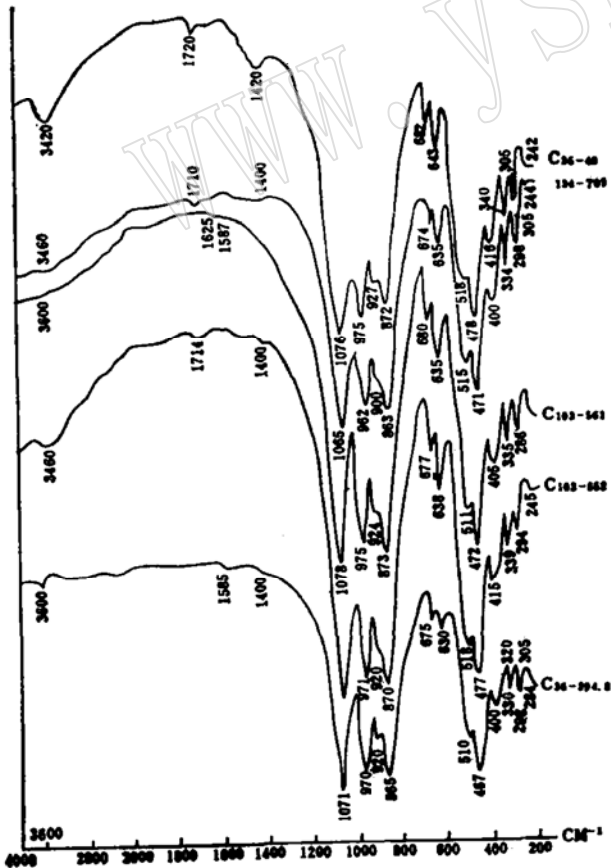


图2 单斜辉石的红外吸收光谱  
 图中矿物编号同图1（本所郭立鹤、陈燕知测定）

数量把辉石分为13大类及若干亚种<sup>[11]</sup>。这些分类使辉石的研究向前发展了。但方法比较复杂，特别未能充分考虑辉石中含多种一价和高价阳离子，因此，在实践中对成分复杂的辉石的定名依然存在着困难。

作者在研究辉石时也遇到了这些问题，为了能充分考虑Al、Fe<sup>3+</sup>、Na等组分的类质同像置换的影响，现尝试提出一种新的分类定名方法。这种方法是用理论矿物组分代替CaSiO<sub>3</sub>-MgSiO<sub>3</sub>-FeSiO<sub>3</sub>三元成分，也用三角图解法，因此，叫多元三角图解法。根据各类辉石投点的分布，将辉石划分为若干区，这样，能较合理地体现辉石矿物结晶化学的变化。这种方法分两步进行，第一步先区分矿物种（系列），第二步定矿物亚种。简单说来，就是首先根据矿物的主要组分与投点的位置，定出矿物种，如区分透辉石系列与普通辉石系列等，再以镁铁比值进一步将矿物分成亚种。

多元三角图解法理论矿物式如下：

- (1) 透辉石系列理论式：Ca(Mg, Fe) Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>-DiS（代号，下同）；
- (2) 斜顽辉石系列理论式：(Mg, Fe)<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>-CES；
- (3) 契尔马克理论式：M<sub>2</sub>M<sub>1</sub>(T<sub>2</sub>O<sub>6</sub>)-T<sub>s</sub>及霓石(NaFe<sup>3+</sup>Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>-Ae)、硬玉(NaAlSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>-Ja)组分。

契尔马克组分包括TsT、TsM<sub>1</sub>和TsM<sub>2</sub>，统一用Ts表示，在矿物中常含有一种或数种契尔马克组分。将Ts连同Ae和Ja作为一个计算单元，与DiS及CES构成理论矿物三角图。

计算步骤如下：

- (1) 将矿物化学成分换算成离子数；
- (2) 以阳离子为4，计算阳离子数；
- (3) 配成M<sub>2</sub>M<sub>1</sub>T<sub>2</sub>O<sub>6</sub>的形式（表7），矿物理论式计算如下：

先将M<sub>2</sub>中的(Na+K)组成霓石分子(Ae)-(K, Na)Fe<sup>3+</sup>Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>。若Fe<sup>3+</sup>>(K+Na)，以(K+Na)的离子数配成霓石组分，多余的Fe<sup>3+</sup>留待组成其他契尔马克分子；若Fe<sup>3+</sup><(K+Na)，以Fe<sup>3+</sup>数组成Ae，多

表3 单斜辉石红外吸收光谱

样品号	矿物名称	Si-O-Si(Al <sub>IV</sub> <sup>*</sup> ) 伸缩振动	Si(Al <sub>IV</sub> )-O 弯曲振动	Si-O与 O-Mg(Fe <sup>2+</sup> )-O 弯曲振动	O-Si-O摇摆振动和 Ca-O, Mg-O, Fe <sup>2+</sup> (Mn)-O 弯曲振动
2	次透辉石	1071 970 920(显)	865	510 467	400(小) 385(主) 300(主) 320(小) 305(显) 298(小)
5	"	1078 975 924(小)	873	511 472	405 395(主) 335 286 284(主)
6	深绿辉石	1071 971 920(显)	870	518 477	415(主) 395(显) 339(主) 331(显)
7	普通辉石	1065 962 900(显)	863	515 471	400 334 298 288 244
9	普通辉石	1076 975 927(小)	872	518 478	305(小) 305(显) 293(显) 244
184(B) <sup>(6)</sup>	钙铁辉石	1070 970 920	870	520(495) 470	
MN77K <sup>(7)</sup>	透辉石	1070 963 905	859	510 470	282
368-B6 <sup>(8)</sup>	透辉石	1070 970 920	870	515 475	
MN25K <sup>(7)</sup>	普通辉石	1655 960 900	850	510 470	330

\* Al<sub>IV</sub>表示Al占据四次配位(2、5、6、7、9由郭立鹤、陈燕知同志测定)

余的(K+Na)' (一表示组成Ae后剩余的Na+K)与Al<sub>IV</sub>组成硬玉组分,即(Na,K)AlSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>,若(K+Na), < Al<sub>IV</sub>, 多余的Al<sub>IV</sub>留待参与组成其他 契尔马克分子,若(K+Na)' > Al<sub>IV</sub>, 则多余的(K+Na)再组成TsM2。

进一步将T(四面体)中的Al、Fe<sup>3+</sup>、Ti等相加组成TsT。先用Ml中的高价组分(除组成Ae及Ja外)Al、Ti、Fe<sup>3+</sup>、Cr等(总量为R<sup>3+</sup>)配齐契尔马克分子(TsT)。若Ml中R<sup>3+</sup> < TsT, 则由Ml中其它离子补齐TsT;若Ml中R<sup>3+</sup> > TsT, 多余的R<sup>3+</sup>组成TsM1。

再进一步求DiS,从Ca离子总数中减去组成TsT与TsM1分子的Ca离子数,即得Ca'离子数。从Ml的离子总数中减去组成Ts(TsT、TsM1、TsM2)、Ae和Ja用去的6次配位离子数,即得Mg'。若Mg' > Ca'则Ca'全部组成DiS, Ml中多余的阳离子数(Mg' - Ca')被2除,组成斜顽辉石系列组分。若Mg' < Ca', 则将(Mg' + Ca') + 2, 得出DiS, 此时有部分Ca进入Ml中(即DiS中含有少量Ca<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>理论分子), 而斜顽辉石分子数为零。

令等边三角形的顶角为DiS, 代表透辉石系列组分, 左下角为CES, 即斜顽辉石系列组分, 右下角为Ts + Ae + Ja的和, 即各种契尔马克分子、霓石分子、硬玉分子的总和, 将计算的理论矿物组分投点(图3)。

根据单斜辉石<sup>(12)</sup>在图3上投点的分布情况, 划分矿物区(图4)。根据图4能分出矿物系列(种), 然后再根据每个矿物的镁铁比值(fMg)区分矿物亚种, 或根据Ae、Ja等含量区分亚种。

$$\text{镁铁比值 } fMg = \frac{Mg}{Mg + Fe^{2+} + Mn} (\%), \text{ 不包}$$

括Fe<sup>3+</sup>, 因为Fe<sup>3+</sup>已归入契尔马克分子和霓石分子。

从图3可以看出, 大部分透辉石系列矿物落在DiS ≥ 75%的范围内, 而普通辉石系列矿物主要落在75—50%的范围内, 因此, 在DiS ≥ 75%的范围内分出透辉石系列矿物区, 在75—50%时, 定为普通辉石区, 其中包括多种辉石: 普通辉石和高铁普通辉石(CES ≥ 5%)、含霓石普通辉石(Ae ≥ 10%, 在图上用Aep表示)、含硬玉普通辉石(Ja ≥ 10%, 在图上用Jap表示)及深绿辉石(CES ≤ 5%, 钛辉石与深绿辉石位于同一区域内); DiS分子含量在50—25%区间, 左边, 斜顽辉石与透辉石系列组分之和(DiS + CES) ≥ 80%的范围内, 为贫钙辉石区, 即次钙辉石区。右边, 在斜顽辉石组分 ≤ 15%的区域

普通辉石穆斯堡尔参数\*

表4

样品号	穆斯堡尔参数	第一对双峰 Fe <sup>3+</sup> [M <sub>1(1,2,3)</sub> ]	第二对双峰 Fe <sup>3+</sup> [M <sub>1</sub> ]	第三对双峰 Fe <sup>2+</sup> [M <sub>1(4)</sub> + M <sub>2</sub> ]	Fe <sup>3+</sup> /Fe <sup>2+</sup>
134-707	同质异能位移(毫米/秒)	1.083	0.391	1.160	0.4562
	四极分裂(毫米/秒)	2.552	0.837	1.956	
	半高宽(毫米/秒)	0.330	0.410	0.324	
	占总面积的百分率(%)	12.21	31.33	56.46	
C36-48	同质异能位移(毫米/秒)	1.108	0.391	1.161	0.04427
	四极分裂(毫米/秒)	2.685	0.837	2.067	
	半高宽(毫米/秒)	0.354	0.410	1.312	
	占总面积的百分率(%)	24.67	4.24	71.10	

\* 穆斯堡尔实验工作与计算由本所吴功保同志完成,表中M<sub>2</sub>、M<sub>1</sub>代表8次及6次配位。

铁的配位分布

表5

样品号	原Fe含量	Fe <sup>3+</sup> [M <sub>1</sub> ]	Fe <sup>2+</sup> 离子数	Fe <sup>2+</sup> [M <sub>2</sub> ]	Fe <sup>2+</sup> [M <sub>1(1,2,3,4)</sub> ]
C36-48	0.50	0.021	0.479	0.061	0.418
134-707	0.39	0.122	0.268	0.128	0.140

单斜辉石化学成分

表6

分析项目	顺序号	1	2	3	4	5	6	7	8 <sup>(1)</sup>	9	10 <sup>(2)</sup>
	矿物代号	(Sal)	(Sal)	(Sal)	(Sal)	(Sal)	(Fas)	(Au)	(Au)	(Au)	(Sal)
SiO <sub>2</sub>		48.60	47.55	49.83	49.08	49.64	47.80	48.69	48.77	46.52	50.14
TiO <sub>2</sub>		0.72	0.19	0.13	0.07	0.07	0.18	0.50	1.06	0.32	0.12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		4.44	2.98	1.10	1.80	1.08	4.28	2.38	5.91	2.36	0.25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			4.55		2.84	2.84	4.66	6.02	2.23	1.28	1.09
FeO		10.48	9.72	13.28	12.02	12.94	12.54	6.80	7.26	14.22	15.63
MnO		0.20	0.38	0.25	0.51	0.31	0.46	0.29	0.24	0.35	0.12
MgO		11.43	9.80	9.99	9.05	8.95	7.25	12.22	13.22	10.03	10.11
CaO		21.63	23.73	22.04	23.65	22.66	22.52	20.22	20.35	21.86	20.44
Na <sub>2</sub> O			0.19		0.20	0.22	0.25	0.93		0.27	0.12
K <sub>2</sub> O			0.04		0.03	0.07	0.03	0.085		0.22	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>					0.09	0.15	0.03				0.05
CO <sub>2</sub>					0.40	0.26	0.17	0.18		1.45	
S					0.04	0.07		0.97 (SO <sub>3</sub> )		0.004	0.07 (SO <sub>3</sub> )
F						0.01		0.03			
Cl					0.05	0.20	0.08				1.15*
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>			0.10		0.32	0.40	0.46	0.42	1.06*	0.63	0.12
其他			0.025 (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		0.0057	0.01	0.02	0.093	0.07 (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.053	0.09
-S.F.Cl=O					-0.03	-0.09	-0.02	-0.01		-0.004	
总计		97.50	99.26	96.62	100.51	100.51	100.71	99.99	100.17	99.57	100.10

注: 1, 3为电子探针分析, 由本所周剑雄、陈克樵同志测定, 2, 4, 5, 6, 7, 9为化学分析, 由中国地质科学院测试技术研究所分析; \*为烧失量。

单斜辉石阳离子的配位分布

表 7

顺序号	矿物名称	M2						M1					T				Mg/Mg + Fe <sup>2+</sup> + Mn (fMg, %)	
		K	Na	Ca	Mg	Fe <sup>2+</sup>	Mn	Mg	Fe <sup>2+</sup>	Mn	Ti	Fe <sup>3+</sup>	Al	Ti	Fe <sup>3+</sup>	Al		Si
1	次透辉石			0.89	0.07	0.03	0.01	0.59	0.31		0.02		0.08			0.12	1.88	65
2	次透辉石		0.01	0.98			0.01	0.57	0.31		0.01	0.11			0.02	0.14	1.84	64
3	次透辉石			0.94	0.03	0.02	0.01	0.56	0.42				0.02		0.03	1.97	57	
4	次透辉石		0.02	0.96	0.01		0.01	0.51	0.39	0.01		0.08	0.01		0.09	1.91	56	
5	次透辉石		0.02	0.93	0.03	0.01	0.01	0.49	0.41			0.08	0.02		0.06	1.94	55	
6	深绿辉石		0.02	0.95	0.02		0.01	0.41	0.34	0.01	0.01	0.14	0.09		0.11	1.89	54	
7	普通辉石		0.07	0.80		0.13		0.72	0.14	0.01	0.01	0.12		0.01	0.11	1.88	76	
8	普通辉石			0.83	0.13	0.03	0.01	0.61	0.20		0.03	0.06	0.10		0.16	1.84	76	
9	普通辉石	0.01	0.02	0.86	0.04	0.06	0.01	0.56	0.42			0.02		0.01	0.02	0.11	1.86	55
10	次透辉石			0.85	0.08	0.06	0.01	0.51	0.45			0.01	0.03		0.02	0.01	1.97	53

注：Mg、Fe<sup>2+</sup>和Mn在M1和M2中的数量是按照fMg分配的，其中№7、9是按穆斯堡尔参数计算的。

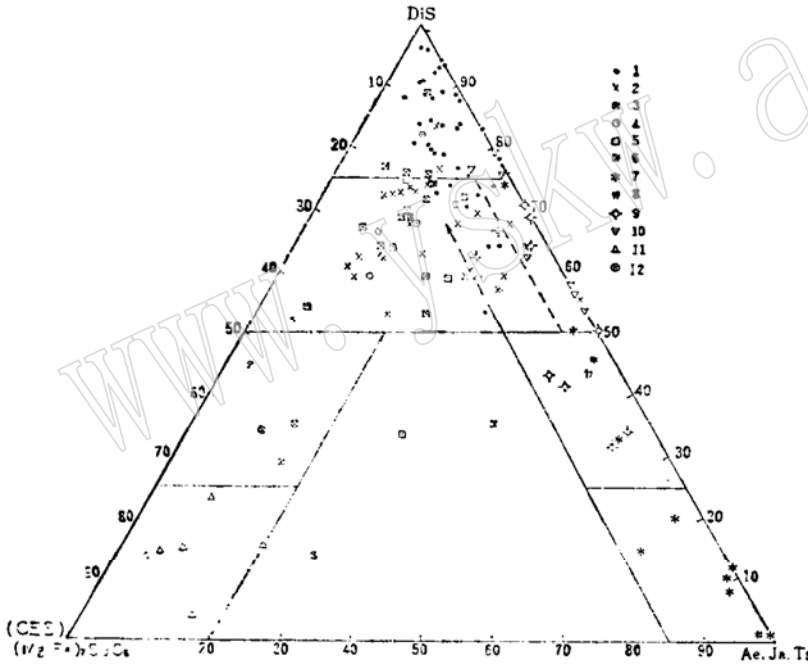


图 3 单斜辉石的分布图 (按理论矿物式计算)

图例中：1—透辉石—钙铁辉石系列矿物；2—普通辉石；3—低铁普通辉石；4—顽透辉石；5—低铁钙铁辉石；6—钠辉石；7—霓辉石；8—硬玉及透辉石—硬玉 (Diopside—jadeite)；9—绿辉石；10—深绿辉石；11—易变辉石；12—次钙辉石

内为绿辉石及霓石普通辉石区；DiS组分在25%以下的区域内，左边为易变辉石区，右边相应的位置上为普通辉石—霓石区，以霓石为主，通常称为霓辉石区。较纯净的霓石、硬玉集中在右下角 (图4中不包括钛辉石、锂辉石、锰辉石，因为这些辉石可以根据矿物自身的成分直接确定)。根据图4对辉石进行分类定名，能较成功地将单斜辉石区分开

来，这对进一步研究辉石提供了合理的分类方案，其优点在于：除包括了硅酸盐的三个主要组分Ca、Mg、Fe<sup>2+</sup>之外，还考虑了一价和高价离子组分的影响。矿物系列 (种) 确定之后，再进一步将矿物区分出亚种。对透辉石系列，采用常用的镁铁比值 (fMg)，即以含透辉石分子的多少将透辉石系列分为：100—80% 为透辉石，80—50% 为次透辉石，50—20% 为低铁次透辉石，20—0% 为钙铁辉石。图中在普通辉石区内单独分出了深绿辉石区 (在普通辉石中斜顽辉石组分≤5%)；含霓石普通辉石和含硬玉普通辉石区叠加在普通辉石区之上，可根据霓石和硬玉的含量区分。除此以外，其它普通辉石可根据 fMg 值定出：fMg 在50% 以上为普通辉石，50% 以下的为低铁普通辉石。

把磁海矿区和其他地区的一些辉石用两种三角图解法进行对比：大部分投点是一致的，分别落到了透辉石系列区和普通辉石系列区。一些落点不一致的辉石，其原因是明显的。因为三元系图解法没有考虑R<sup>+</sup>和R<sup>3+</sup>的影响，而本文提出的多元分类定名法充分考虑了这些组分的影响，因此可以适当



### 结束语

1. 在磁海铁矿区，产于不同岩石类型中的辉石，大部分属次透辉石，其次为普通辉石，也有深绿辉石，它们虽属几种不同的辉石，但产于同一地质构造条件下，为同一变质作用的产物。在同一地质过程中，由于周围介质化学成分变化及变质因素的改变，导致同一结构的矿物之间类质同像替代的差异，前者主要表现为二价离子的替代，后者有较多高价离子参与。

2. 磁海矿区的辉石与铁矿生成密切相关。与磁铁矿紧密共生的辉石 (C36-294.8, C103-561)，大部分为鲜绿色和深绿色，多色性强。不与磁铁矿共生或远离矿体的辉石 (C36-48及 C36-122.5)，其颜色浅，多色性微弱。那些多色性强的辉石，除含 $Fe^{2+}$ 外，

含 $Fe^{3+}$ 较多，从表5列举的磁海矿区的辉石看，多色性与 $Fe^{3+}$ 的含量关系密切。辉石与磁铁矿形成的地质条件相似，辉石物性的变化与矿物中铁的价态变化有直接关系，故辉石是本矿区成岩成矿作用的主要特征矿物，可做为寻找磁海式铁矿床的标志矿物。

3. 作者对单斜辉石的分类定名，由于考虑了硅酸盐矿物的主要组分，因此，有可能进一步研究除Ca、Mg、 $Fe^{2+}$ 以外其他组分对矿物物性的影响。从图4可以看出，用新的图解法区分单斜辉石是比较合理的，它为进一步研究辉石提供了方便。

野外和室内工作是同盛继福同志共同进行的。本文承蒋溶先生指正，刘金定、黄家山、朱小玲、郭立鹤、吴功保、周剑雄、陈克樵等同志在测试方面大力支持与帮助，作者在此表示感谢。

### 参考文献

1. Михеев, В. И., 1957, „Рентгенометрический определитель минералов.“
2. 辽宁省地质局, 1977, 矿物X射线鉴定表。

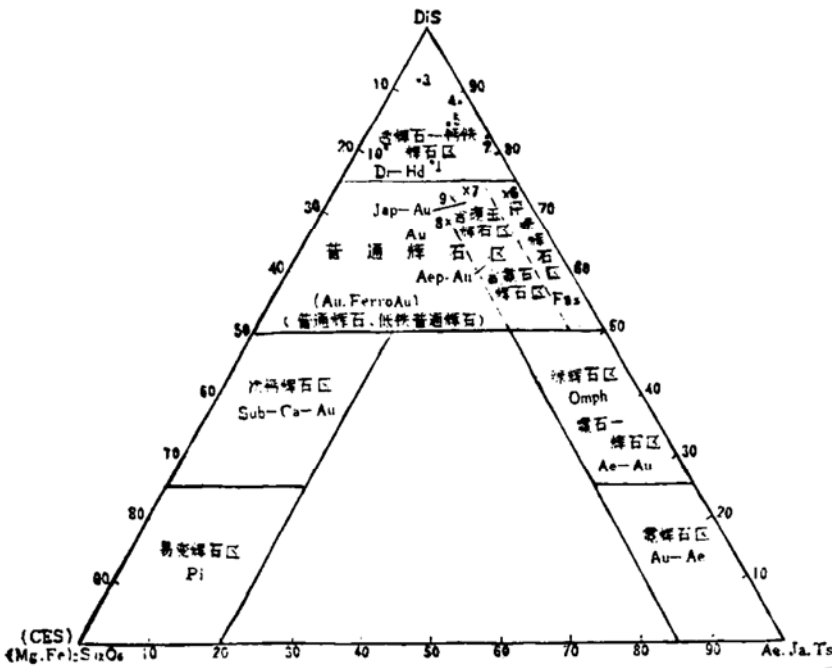


图4 单斜辉石分类定名多元三角图

图中分透辉石—钙铁辉石区 (Di—Hd)，普通辉石区 (Au) [包括：普通辉石本身与高铁普通辉石 (Au, Ferro Au)、含硬玉普通辉石区 (Jap—Au)、含霓石普通辉石区 (Aep—Au)、深绿辉石区 (Fas)]，次钙辉石区 (Sub—Ca—Au)，绿辉石区 (Omph) 与霓石—辉石区 (Ae—Au)，易变辉石区 (Pi)，霓辉石区 (Au—Ae)。左下角为斜顽辉石系列矿物，右下角为霓石 (Ae) 和硬玉 (Ja)。图中1—10与表1.6.7的编号一致。

将它们分开。对透辉石系列矿物来说，是成分比较纯的钙镁—钙铁硅酸盐类质同象系列，而普通辉石系列的阳离子复杂，含一价和高价阳离子较多，含斜顽辉石分子也较多，同时，还含一定量的硬玉或霓石分子，是阳离子类质同象替代比较复杂的辉石。一般说普通辉石系列含钙要少些，但不完全如此，若契尔马克分子与斜顽辉石分子较多，含钙多的辉石也会进入普通辉石区。磁海矿区的辉石投点，主要落在两个区内：落在透辉石系列区的辉石，镁铁比值为55—65%，定为次透辉石；落在普通辉石区的，镁铁比值为54—55%，含霓石分子很少，定为普通透石。其中  $N_26, Ts + Ae + CES = 27\%$ ，该组分大于25%，由于多元三角图解法充分考虑了三价阳离子，投点落在普通辉石区的右边，应属深绿辉石。深绿辉石是典型的变质矿物，出现在变质岩及砂卡岩中。又如  $N_29$ ，虽然矿物中含钙离子多于  $N_210$ ，但铝的含量增加，斜顽辉石及契尔马克分子随之增加，应定为普通辉石。

3. Powder Diffraction File(Inorganic)by Joint Committee on Powder Diffraction Standards, in Cooperation with American Society for Testing Materials (ASTM),1972.

4. Гинзбург,И.В.и Сидоренко,Г. А., 1964, Труды Минералогического Музея АН СССР, Вып.15.

5. Марушкин,А.И.,1979, К минералогии пироксенов вулканических пород неспровско—донецкой впадины.

6. Болдырев,А.И.,1976, Инфракрасные спектры минералов.

7. The Sadtler Standard Spectra Minerals

Infrared Grating Spectra,1973,U.S.A.

8. Кузнецова,Л. Г.,1968,Записки ВМО ч.97,Вып.6.

9. Tröger, W.E.,1971,Optische Bestimmung der gestein-Sbildenden Minerale.

10. Добрецов,Н.Л.,1971,Породообразующие пироксены.

11.Гинзбург,И.В.,1975, Записки ВМО. ч.104,Вып.5.

12.Дир,У.А.,Хауи,Р.А.и Зусман,Дж.. 1965,Породообразующие минералы.Т.2.

13.Плюснина,И.И.,1977, Инфракрасные спектры минералов.

## One the Study of Clinopyroxenes from Cihai Iron Ore Deposits and a Triangular Diagram for a System with Three New End-Members of Monoclinic Pyroxenes

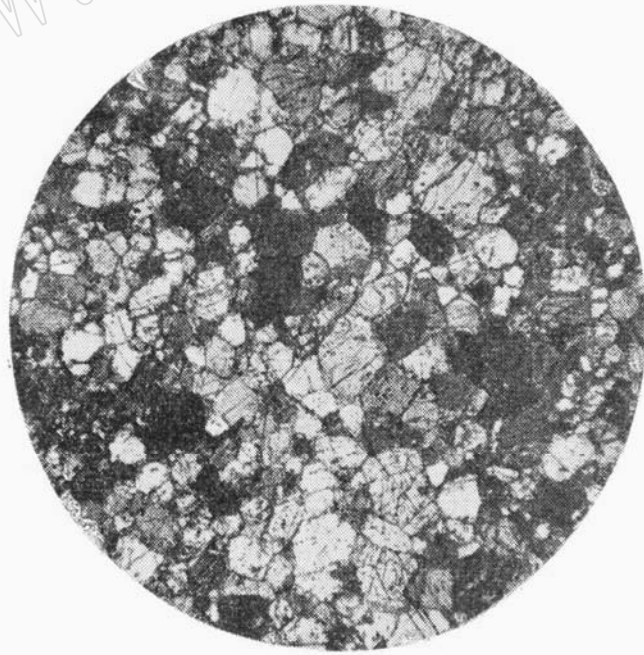
Qin Shuying

### Abstract

Geological characters, physical and chemical properties of clinopyroxenes from Cihai iron ore deposits are studied with X-ray diffraction, IR-spectroscopy, mössbauer spectrum and mineral chemistry. Since the clinopyroxenes are criterion minerals in the deposits of Cihai type, the data of pyroxenes provide form an important basis for our study of the petrogenesis and mineralization.

In this paper a triangular diagram with three end-members for nomenclature of monoclinic pyroxenes is related. Theoretical mineral formulas of triangular diagram are as follows: (1) Formula of diopside-hedenbergite series,  $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$ —DiS; (2) Formula of minerals of clinoenstatite,  $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_6$ —CES; (3) Formula of theoretical minerals of tschermak:  $\text{M}_2\text{M}_1(\text{T}_2\text{O}_6)$ —Ts, components of aegirine ( $\text{NaFe}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$ —Ae) and jadeite ( $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ —Ja). The three corners of the triangle represent the three components. In consideration of complicated composition of clinopyroxenes, which have the same type of crystal structure, this method is reasonable and practicable.

秦淑英：新疆磁海铁矿床中辉石的研究与单斜辉石分类定名的多元三角图解法



照片1：辉石岩（C36—142.5）辉石呈  
粒状、短柱状 正交偏光  $\times 21$