

# 一种巨晶符山石的矿物学研究

曹正民 朱红

(北京大学地质学系, 北京 100871)

主题词 巨大晶体 符山石 矿物学 河北符山

**提 要** 符山是我国北方著名的邯邢式铁矿产区, 巨晶符山石就赋存于该区燕山期闪长岩与奥陶系石灰岩接触带内的镁铝夕卡岩中。晶体一般长 2~ 8 cm, 大者可达 30 cm, 重达 15 kg, 呈棕色至翠绿色的四方扁平晶体, 晶形完整, 由简单至复杂, 至多可由十几个单形组成。密度  $3.33 \sim 3.39 \text{ g/cm}^3$ , 折射率 1.715~ 1.730, 磁化率  $3.30 \times 10^{-6} \sim 8.53 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$ 。以上参数与  $\Sigma\text{FeO}$  (%) 呈正相关。对符山石进行了 A-M-F 三元系成分分类。用穆斯堡尔谱确定了 8 配位  $\text{Fe}^{3+}$  的存在。差热分析证实(OH)脱水温度高于 1000 °C。并讨论了它们的成因及生成条件。通过符山石与岩体及围岩的 REE 对比, 探讨了成矿物质来源。

本文要介绍的巨晶符山石产于河北省涉县的符山。有意思的是矿物名与产地名巧合。符山是历史上的地名, 而巨晶符山石是笔者在 1984 年的野外工作中发现的, 两者无任何关系。该符山石的结晶形态完整且奇特, 晶体巨大, 引人注目。遗憾的是, 多数透明度不很高, 只有少部分可作为宝石原料, 但其巨大的晶体和平坦光亮的晶面与众不同, 不失为观赏陈列佳品。

## 1 产 状

本区巨晶符山石(Vs)产于燕山期闪长岩与奥陶系石灰岩接触带内的夕卡岩中。研究证明, 该区发育有产状及成分明显不同的两种夕卡岩, 即早期镁铝夕卡岩和晚期钙夕卡岩<sup>[1]</sup>, 后者与铁矿关系密切。而巨晶符山石只赋存于早期镁铝夕卡岩中, 与钙铝榴石(Gr)、钙镁橄榄石(Mo)、次硅透辉石(Di)、绿脆云母(Ch)、尖晶石(Sp)、次硅韭闪石(Pa)、次硅镁铝钙闪石(Ma)<sup>[2]</sup>和蓝色方解石(Cc)等共生。该组合中符山石形成较晚, 仅早于方解石。符山石中有大量早期矿物的残留包体, 如透辉石、石榴石、橄榄石、尖晶石、绿脆云母等, 因此, 符山石明显是交代成因的。在巨晶符山石的表面常常覆盖着一层葡萄石, 这些葡萄石很容易被剥掉而露出完整的符山石晶体。含这种符山石的镁铝夕卡岩以富含镁和富铝的矿物及蓝色方解石为特征, 位于接触带靠内侧的部分, 而钙夕卡岩则位于它的外带一方。

## 2 形态及物理性质

巨晶符山石的晶体形态与常见的柱状晶形不同, 主要有两类。其一为棕色的四方扁平

第一作者简介 曹正民, 男, 生于 1933 年, 教授, 北京大学地质学系北大宝石鉴定中心名誉主任, 长期从事结晶矿物学及宝石学的教学和研究工作。

收稿日期 1999-07-13, 改回日期 1999-12-17

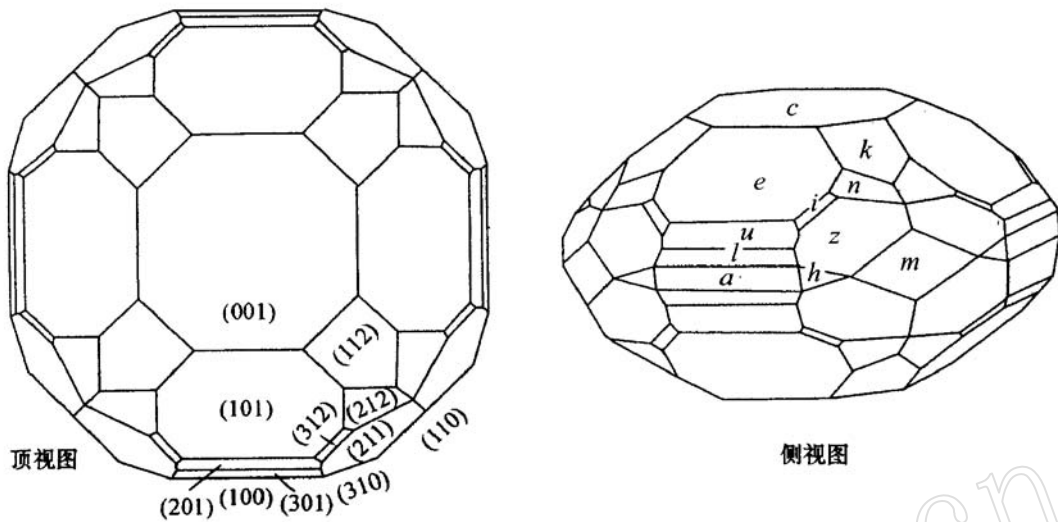
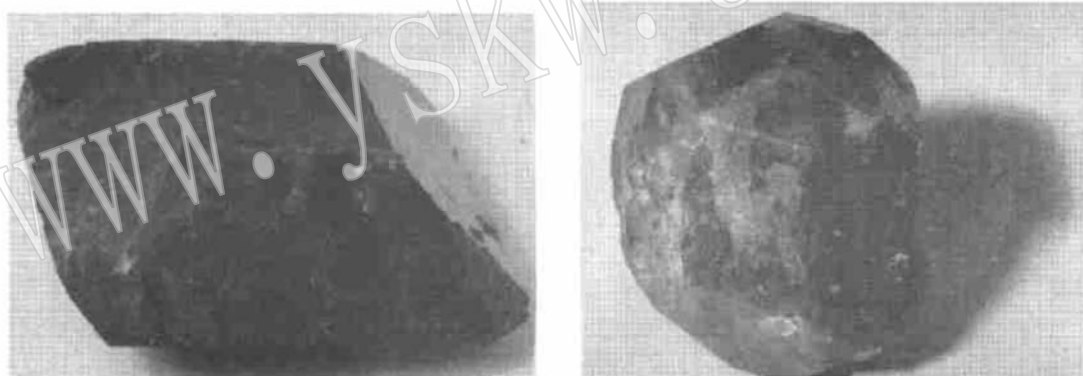


图1 符山石的晶体形态图  
Fig. 1 Crystal forms of vesuvianite



照片1 棕色符山石 1:1.3  
Photo 1 Brown vesuvianite

照片2 绿色符山石 1:1.2  
Photo 2 Green vesuvianite

晶体,一般晶形比较简单,由发育的四方双锥 $\{101\}$ 和平行双面 $\{001\}$ 及不太发育的四方柱 $\{110\}$ 组成(见照片1)(一般教科书中将 $[110]$ 方向定为 $a$ 轴,因该定向是错误的,故其 $\{111\}$ 实为 $\{101\}$ , $\{100\}$ 实为 $\{110\}$ )。但较小的晶体则复杂得多,利用双圈测角仪测量并绘制了其晶体图(图1)。由图1可知,这类符山石由十几个单形组成<sup>[3]</sup>,如四方柱 $a\{100\}$ 、 $m\{110\}$ ,平行双面 $c\{001\}$ ,四方双锥 $e\{101\}$ 、 $u\{201\}$ 、 $l\{301\}$ 、 $k\{112\}$ ,复四方柱 $h\{310\}$ ,复四方双锥 $n\{212\}$ 、 $i\{312\}$ 、 $z\{211\}$ 等,属 $4/mmm$ 晶类。晶体一般为2~8 cm,大者可达30 cm,重15 kg。其二为翠绿色的粒状晶体,由发育大小相近的 $\{101\}$ 、 $\{110\}$ 、 $\{001\}$ 单形组成假等轴状,颜色十分美观(照片2)。另外,还见到一种具有棕色核心、绿色外壳的环带晶体。这种晶体因其内部有大量包体而不透明,但表面有约2 mm厚的无固体包体的透明层使晶面平坦光洁,透过该层可清楚地看到内部包体特征及反光透射出来的特殊“闪光”效应。在 $(001)$



照片 3 符山石(001)面上的阶梯状四方凸起  
干涉显微镜 600×

Photo 3 Step square relief on (001)  
crystal face of vesuvianite

晶面上用干涉显微镜可观察到微阶梯状四方凸起(照片 3)及平行于{110}的两组正交细微条纹。

符山石以棕色为主,少数为翠绿、深绿、褐黄色,棕色者含  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  较高(见表 2)。用静水力学法测定 10 个样品的密度( $D$ )为  $3.334\sim 3.385\text{ g/cm}^3$ ;油浸法测出  $N_e = 1.715\sim 1.727$ ,  $N_o = 1.718\sim 1.730$ ,  $\Delta N = 0.003\sim 0.004$ 。利用等倾斜磁力仪测出磁化率( $X$ )为  $3.30\times 10^{-6}\sim 8.53\times 10^{-6}\text{ cm}^3/\text{g}$ 。以上参数都与  $(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$  (%) 呈正相关(见表 1),其中  $D$ 、 $N$  和  $X$  与  $\Sigma\text{FeO}$  (%) 的相关系数  $R$  分别是 0.8621、0.7588 和 0.9575,可见磁化率与  $\Sigma\text{FeO}$  (%) 的线性关系最好。

表 1 列出了符山石的某些物性参数及晶胞参数,样品号中第一个字母为 G 的,表示符山石为绿色, B 代表棕色。

表 1 符山石的某些物性参数及晶胞参数

Table 1 Physical properties and unit cell parameters of vesuvianite

样号	物性参数及晶胞参数							
	$D/\text{cm}^3\cdot\text{g}^{-1}$	$X/10^{-6}\text{cm}^3\cdot\text{g}^{-1}$	$N_e$	$N_o$	$a_0/\text{Å}$	$c_0/\text{Å}$	$V_0/\text{Å}^3$	$\Sigma\text{FeO}/\%$
Gf7-0	3.334	3.30	1.715	1.718	15.5406	11.7949	2848.6	1.65
Bf7-5	3.357				15.5899	11.8544	2881.2	3.65
Gq-1	3.345	5.01	1.721	1.725	15.5884	11.8323	2875.2	1.81
Bq-1	3.361	6.88			15.5864	11.8390	2876.1	3.28
Gf9-2	3.392		1.720	1.724	15.5811	11.8384	2874.0	4.04
Bf9-2	3.372	7.83	1.721	1.724	15.6195	11.8399	2903.4	4.37
Bf2-6	3.378	8.53	1.721	1.723	15.6248	11.8570	2897.7	4.26
Bf7-7	3.365				15.6187	11.8642	2893.8	3.61
Gf-10	3.376		1.720	1.723	15.6107	11.8467	2887.0	4.12
Bf-4	3.385		1.727	1.730	15.6202	11.8645	2894.8	5.92

### 3 化学成分

对 8 个符山石样品进行了化学分析,结果列入表 2。大量电子探针成分分析数据因篇幅所限而未列出。

由表 2 的分析数据可见,所有成分中 Ca 是最稳定的,  $\text{H}_2\text{O}$  过低,这是由于按常规升温至  $950\text{ }^\circ\text{C}$  都不足以从结构中脱失(OH)之故(见差热分析)。为了合理计算结构式,以  $(X + Y + Z)/\text{OH}$  进行修正,并以  $\text{Ca} = 19$  和  $\text{O} = 78$  计算符山石晶体结构式中的离子数,计算结果列入表 3。

表 2 符山石的化学成分

Table 2 Chemical composition of vesuvianite

成分	各成分含量/ %							
	Gq- 1	Bq- 1	Bf2- 6	Bf7- 5	Gf7- 0	Gf9- 2	Bf9- 2	Wf- 1
SiO <sub>2</sub>	37.47	37.47	36.59	37.04	38.48	37.54	37.67	36.86
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.70	16.97	16.64	17.32	17.77	16.34	16.20	15.50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.67	2.65	3.18	2.95	1.33	3.32	3.83	0.89
TiO	0.06	0.14	0.64	0.35	0.04	0.62	0.59	0.06
MgO	4.18	4.05	3.93	3.93	4.52	3.88	3.03	5.75
FeO	0.14	0.63	1.08	0.70	0.32	0.72	0.54	0.16
MnO	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.03	0.02	1.73
CaO	37.98	37.99	36.99	36.81	37.32	36.83	37.16	37.19
Na <sub>2</sub> O	0.23	0.23	0.32	0.32	0.22	0.30	0.28	0.01
K <sub>2</sub> O	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.05	0.02	0.01
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.28	0.18	0.20	0.77	0.93	0.47	0.69	2.17
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.08	0.08	0.20	0.14	0.20	0.23	0.64	未测
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.22	0.23	0.18	0.15	0.18	0.20	0.22	未测
总量	100.05	100.66	99.99	100.54	101.35	100.53	100.89	100.33

分析单位: 北京大学地质学系化学分析室。 样号中第一个字母为 W 的代表晚期黄色针状晶体, 其成分与巨晶显著不同, Al、Fe 降低, 而 Mg、Mn 升高。

表 3 符山石晶体结构式中的离子数

Table 3 Ionic number in crystallochemical formula of vesuvianite

离子	离子数						
	Gq- 1	Bq- 1	Bf2- 6	Bf7- 5	Gf7- 0	Gf9- 2	Bf9- 2
Si	17.621	18.098	17.542	17.843	17.824	18.076	17.977
Al <sup>IV</sup>	0.379		0.458	0.157	0.176		0.023
Z	18.000	18.098	18.000	18.000	18.000	18.076	18.000
Al <sup>VI</sup>	9.401	9.591	8.944	9.628	9.776	9.273	9.089
Fe <sup>3+</sup>	0.598	0.956	1.147	1.070	0.476	1.203	1.376
Ti	0.021	0.050	0.231	0.127	0.014	0.224	0.341
Mg	2.930	2.895	2.809	2.822	3.202	2.785	2.156
Fe <sup>2+</sup>	0.161	0.253	0.433	0.282	0.127	0.290	0.216
Mn	0.008	0.008	0.008	0.008	0.004	0.012	0.008
Y	13.119	13.753	13.572	13.937	13.599	13.787	13.186
Ca	19.000	19.000	19.000	19.000	19.000	19.000	19.000
Na	0.210	0.214	0.214	0.229	0.023	0.280	0.259
K	0.012	0.012	0.012	0.025	0.018	0.031	0.012
X	19.222	19.226	19.226	19.254	19.041	19.311	19.271
X+ Y+ Z	50.341	51.077	50.798	51.191	50.640	51.174	50.457
OH	9.248	6.757	8.170	6.702	8.115	6.418	7.792
P	0.088	0.093	0.073	0.061	0.072	0.094	0.098

利用本区的成分数据及 Dana(1924)<sup>[4]</sup> 和 Deer(1982)<sup>[5]</sup> 的资料, 采用 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(A) - MgO(M) - FeO+ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(F) 三元体系, 试图对符山石进行成分分类。图 2 为其 A - M - F 图, 各类的成分范围见表 4。

图 2 说明符山石存在以 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO、FeO+ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 为端员的三元固溶体置换系列。考

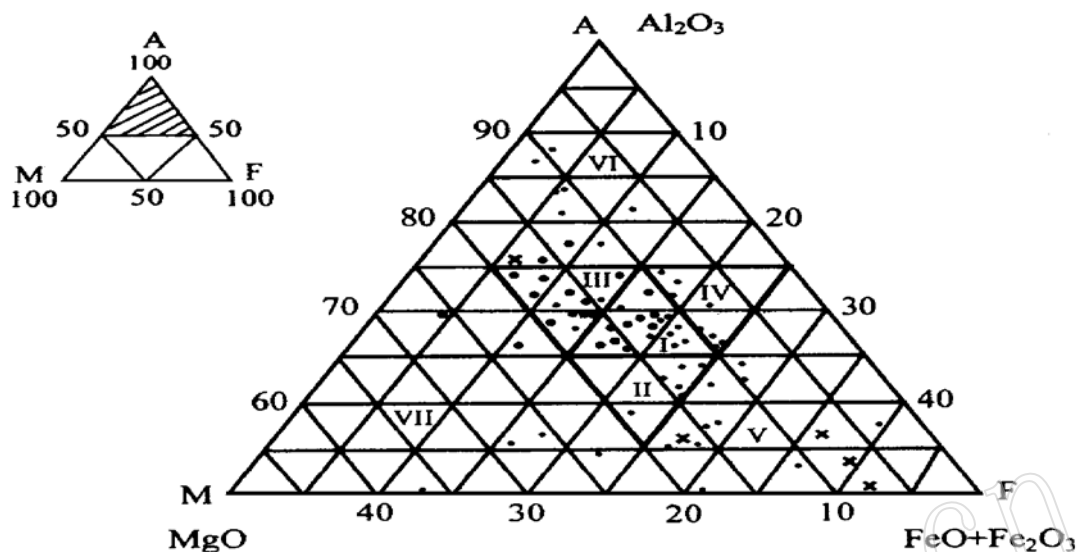


图 2 符山石分类的 A- F- M 三元图

Fig. 2 A- M- F diagram of classification of vesuvianite

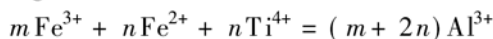
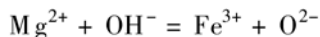
●—本文; •—Deer 和 Dana; ×—Coork 和 Himmelberg

表 4 符山石分类名称及其成分范围

Table 4 Compositional ranges and classification of vesuvianite

类序	分类名称	A/A+ M+ F	M/A+ M+ F	F/A+ M+ F
I	普通符山石	65~ 75	10~ 20	15~ 25
II	镁铁符山石	55~ 65	10~ 20	15~ 25
III	镁铝符山石	65~ 75	10~ 20	5~ 10
IV	铁铝符山石	65~ 75	≤10	15~ 25
V	富铁符山石	≤75	≤15	≥25
VI	富铝符山石	≥75	≤25	≤25
VII	富镁符山石	≤80	≥20	≤25

虑到符山石结构内由 Al、Mg、Fe<sup>3+</sup>、Fe<sup>2+</sup> 和 Ti<sup>4+</sup> 共同占据结构中的 AF 位及 B 位(见表 5), 到目前为止, 在自然界中从未发现不含镁和铁的符山石, 因此, 其三元之间可能是较为复杂的有限置换, 存在以下置换关系:



本区符山石大部分落在镁铝符山石区(III)和普通符山石区(I)。这符合于其赋存的镁铝夕卡岩的特征。

#### 4 符山石的结构特征

符山石的结构比较复杂, 一般空间群为  $P4/nnc$ , 但当四次轴上的 Ca 和 Fe 有序分布时

表 5 符山石的理想结构式

Table 5 Theoretical crystallochemical formula of vesuvianite

结构式	Ca <sub>18</sub>	Ca	Al <sub>4</sub>	(Al, Fe <sup>3+</sup> , Mg, Fe <sup>2+</sup> , Ti) <sub>8</sub> (Fe <sup>3+</sup> , Fe <sup>2+</sup> )	(SiO <sub>4</sub> ) <sub>10</sub>	(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ) <sub>4</sub>	(O, OH, F) <sub>10</sub>	
结构位置	1, 2, 3	C	A	AF	F	Si(1, 2)	Si(3)	OH, O(1~10)
配位数	8~9	8	6	6	5	4	4	
通式	X <sub>19</sub>			Y <sub>13</sub>		Z <sub>18</sub>		(O, OH, F) <sub>78</sub>

可降低为  $P4/n^{[6]}$ 。1970 年以前, 符山石的晶体化学式是以 76 个阴离子为单位的, Coda (1970)<sup>[7]</sup> 发现四次轴上存在附加氧离子及 B 位和 C 位(见表 5)上 Ca 和 Fe 的半充满, 提出应以 78 个阴离子为单位, 解决了计算中 Ca 不足和 Fe 过量的问题。

符山石的结构含十套不等效阳离子位置, 综合 Valley(1985)<sup>[6]</sup> 及 Yoshiasa(1986)<sup>[8]</sup> 的主张所得出的理想结构式列入表 5。

利用精密 X 射线衍射仪, 以 Si 为内标, 对 10 个符山石粉晶样品进行测试, 用  $c_0 = 4d_{(004)}$ ,  $a_0 = \sqrt{6^2 + 2^2} d_{(620)}$  计算的晶胞参数列入表 1 中, 其晶胞体积也与  $\Sigma\text{FeO}(\%)$  呈正相关, 相关系数为 0.7520。

## 5 符山石的穆斯堡尔谱分析

用 Elsiint AME-50 型穆斯堡尔谱仪测定了三个样品的粉末透射谱, 实验数据用最小二乘法拟合程序进行了多次拟合, 所取得的各项参数列入表 6 中。

表 6 符山石的穆斯堡尔谱参数

Table 6 Mössbauer parameters of vesuvianite

样品号	同质异能位移/ $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$	四极分裂/ $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$	线宽/ $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$	面积/%	占位
Gf9-2	0.398	0.453	0.369	59.1	六配位 Fe <sup>3+</sup>
	0.436	1.376	0.836	39.6	八配位 Fe <sup>3+</sup>
	1.084	2.915	0.152	1.3	六配位 Fe <sup>2+</sup>
Bf9-2	0.384	0.462	0.474	53.5	六配位 Fe <sup>3+</sup>
	0.418	1.212	0.948	44.0	八配位 Fe <sup>3+</sup>
	1.742	1.527	0.210	2.6	六配位 Fe <sup>2+</sup>
Bf2-6	0.374	0.604	0.514	42.1	六配位 Fe <sup>3+</sup>
	0.633	0.535	1.3	54.3	八配位 Fe <sup>3+</sup>
	1.157	2.853	0.45	3.6	六配位 Fe <sup>2+</sup>

测试条件: 放射源<sup>57</sup>Co, 强度 50 毫居里, 速度  $v = 5 \text{ mm/s}$ ; 测试单位: 中国科学院地质研究所穆斯堡尔谱实验室。

从表 6 可见化学分析的 Fe<sup>2+</sup> 偏高。结合已有的研究, 对 Fe 的占位作了推测, 六配位的 Fe<sup>3+</sup> 只占 AF 位(见表 5), 与 Tricker(1981)<sup>[9]</sup> 的结论相同。六次配位 Fe<sup>2+</sup> 的穆斯堡尔谱参数变化较大, 就 A 位和 AF 位的歪曲程度判断, 在四极分裂较大的 Gf9-2 和 Bf2-6 中, Fe<sup>2+</sup> 占畸

变较小的 A 位, 而将四极分裂较小的 Bf9- 2 中的  $\text{Fe}^{2+}$  指派给畸变较大的 AF 位。八配位的  $\text{Fe}^{3+}$  在矿物中是很少见的, Manning(1976)<sup>[10]</sup> 在晶体光谱研究中证明  $\text{Fe}^{3+}$  出现在八配位上, 笔者认为也是合理的。符山石除四次轴上的原子排列外, 大部分结构与石榴石相似, 但石榴石并不存在八配位的  $\text{Fe}^{3+}$ , 因此, 符山石中八配位  $\text{Fe}^{3+}$  应占据这一独特的正方柱形的 C 位。

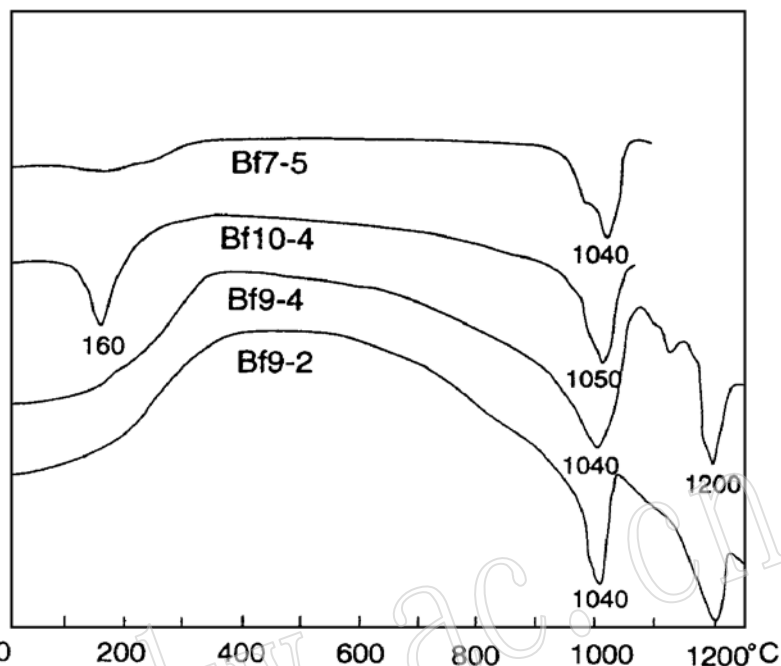


图 3 符山石的差热分析曲线

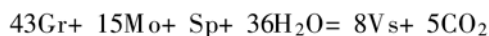
Fig. 3 DTA curves of vesuvianite

## 6 符山石的差热分析

四个样品的差热分析曲线见图 3, 证明其结构水(OH)的脱水温度高达 1040~ 1050℃, 至 1200℃熔融。常规化学分析通常加热到 950℃, 此时只能释放 0.3%~ 0.6%的水, 当加热到 1100℃时才能放出 2.18%~ 2.57%的水, 因此, 利用化学分析数据时应当注意。因符山石的晶体结构紧密, 要破坏其结构中较短的氢键需要较高的能量。

## 7 符山石的成因

本区的符山石产于一种特殊的镁铝夕卡岩内, 这种夕卡岩的矿物组合并不多见, 国内未见报道, 已知的有美国的加州、日本的玉崎、意大利等少数地区。这种夕卡岩含镁、铝较高, 硅较低。符山石是较晚期形成的矿物。据其内部有大量早期矿物残留包体和液-气-固多相包裹体, 可断定它们为典型的热液交代成因, 在  $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CO}_2-\text{H}_2\text{O}$  体系中, 可依以下的两种反应式生成符山石:



从一些具有棕心绿壳的符山石可判断棕色者比绿色者晶出要早些。巨晶符山石表面有 2 mm 厚的不含固体包体的透明层, 其气-液包裹体增多, 说明符山石形成过程中后期热液活动加强, 晶体可以在热液中自由生长。包裹体测温结果为 537~ 410℃, 属高温气液阶段; 而最晚期的细小针状晶体测温结果仅为 150~ 200℃, 是期后低温热液阶段的产物。为探讨

成矿物质来源,还测定了符山石、闪长岩和石灰岩的稀土元素含量,结果见表7,它们的稀土元素球粒陨石化配分曲线见图4。

从图4中可见,符山石(V-b和V-g)曲线恰好位于闪长岩和石灰岩曲线之间,而符山石曲线的斜率及形状明显受后两者的控制。早期棕色符山石(V-b)与闪长岩接近,晚期绿色符山石(V-g)更接近石灰岩。以上事实可以说明,成矿物质同时来源于与闪长岩和石灰岩有关的气液活动,而早期的热液成矿物质则较多来源于岩浆岩,稍后,围岩石灰岩的影响不断增强。

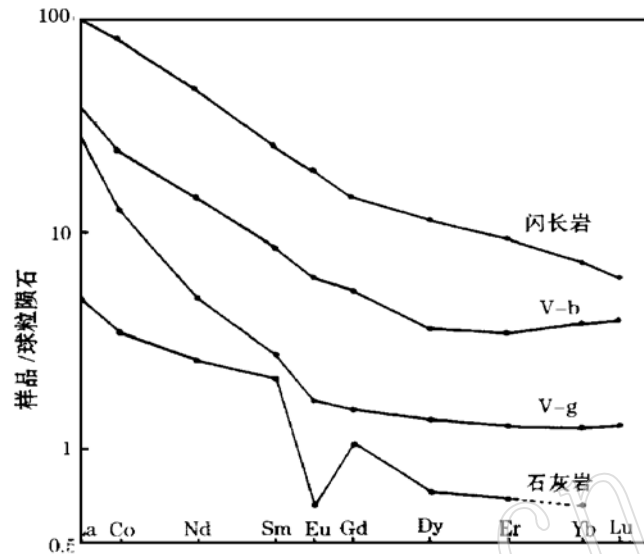


图4 符山石、闪长岩和石灰岩的稀土元素配分图

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns of vesuvianite, diorite and limestone

表7 本区闪长岩、石灰岩和符山石的稀土元素含量

Table 7 REE composition of vesuvianite, diorite and limestone

样品	稀土元素含量/ $10^{-6}$										
	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Er	Yb	Y	$\Sigma$ REE
闪长岩	30.50	63.70	26.90	4.90	1.40	3.70	3.50	1.90	1.60	15.70	153.80
石灰岩	1.56	2.79	1.53	0.41	0.04	0.27	0.20	0.12	0.11	0.76	7.79
V-b	12.31	19.52	8.78	1.66	0.54	1.36	1.13	0.69	0.77	6.76	53.52
V-g	9.19	10.35	3.01	0.53	0.12	0.38	0.43	0.26	0.25	2.04	26.56

分析单位: 北京大学地质学系 ICP 分析室。

致谢: 中国科学院地质研究所李哲教授协助进行穆斯堡尔谱测试, 中国地质大学王文魁教授协助进行微形貌照相, 在此表示感谢。

#### 参 考 文 献

- 曹正民, 王建伟, 朱 红. 一种特殊类型的夕卡岩——镁铝夕卡岩的矿物特征. 北京大学学报(自然科学版), 1990, 26(6): 686~699.
- 曹正民, 毛凌云, 秦 善等. 河北邯邢地区一种富铝角闪石的发现及研究. 岩石矿物学杂志, 1997, 16(增刊): 1~5.
- Cao Zhengmin, Zhu Hong. Mineralogy Study on Vesuvianite from Fushan Iron Deposit, Hebei Province, China. Abstracts on The 15th General Meeting of IMA, Beijing, China, 1990, 9~10.
- Dana E S. A System of Mineralogy(6 ed). John Wiley & Sons Inc., New York, 1924.
- Deer W A *et al.* Rock-Forming Minerals, Orthosilicates. London: Longmans, 1982.



- 6 Valley J W, Peacor D R. Crystal Chemistry of A Mg\_Vesuvianite and Implications of Phase Equilibria in the System Ca-Mg-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>. J. Metamorphic Geol., 1985, 3: 137~ 153.
- 7 Coda A *et al.* On The Crystal Structure of Vesuvianite. Atti. Sci. Torino., 1970, 105: 63~ 84.
- 8 Yoshiasa A, Matsumoto T. The Crystal Structure of Vesuvianite from Nakatatsu Mine. Mineral Journal., 1986, 13: 1~ 12.
- 9 Tricker M J *et al.* <sup>57</sup>Fe Mössbauer Spectroscopic Studies of Electron\_Hopping Processes in Vesuvianite. Jour. Inorg. & Nucl. Chem., 1981, 43: 1169~ 1174.
- 10 Manning P G. Ferrous\_Ferric Interaction on Adjacent Facesharing Antiprismatic Sites in Vesuvianites. Can. Mineral., 1976, 14: 216~ 220.

## Mineralogical Study on Macrocrystals of Vesuvianite

Cao Zhengmin, Zhu Hong

(Department of Geology, Peking University, Beijing 100871)

**Key words:** macrocrystal; vesuvianite; mineralogy; Hebei; Fushan

### Abstract

Macrocrystals of vesuvianite were collected from the contact zone of Ordovician limestone with Mesozoic diorite, which coexist with Al<sub>1</sub>diopside, grossularite, minticellite, clintomite and blue calcite in the Mg<sub>1</sub>Al skarn.

In general, the crystals have dimensions of 2~ 8 cm, with the biggest one up to 30 cm in length and 15 kg in weight. The color of vesuvianite is brown or green, occasionally with brown center and green shell. The crystals are dipyrmidal commonly without or with very poorly\_developed prismatic faces, and among total 11 forms the common ones are {101}, {001} and {112}. The physical properties are density  $D = 3.33 \sim 3.39 \text{ g/cm}^3$ , index of refraction  $N = 1.715 \sim 1.731$ , and susceptibility  $X = 3.30 \times 10^{-6} \sim 8.53 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$ . There exists positive correlation between these physical parameters and  $\Sigma\text{FeO}$ .

On the basis of 76 data of vesuvianite composition mainly from the authors as well as from the literature, a new classification for vesuvianite is proposed in this paper. In the ternary system of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(A) - MgO(M) - FeO+ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(F), vesuvianite might be classified into seven types: Normal-( I ), Mg- Fe -( II ), Mg- Al -( III ), Fe- Al -( IV ), Fe<sub>rich</sub> -( V ), Al<sub>rich</sub> -( VI ), and Mg<sub>rich</sub> vesuvianite -( VII ). The DTA curves show that the constitutional water (OH) of vesuvianite was lost at the temperature of 1 040~ 1 050 °C. The Mössbauer data prove that Fe<sup>3+</sup> ions occupy the 8 coordinated C site on 4\_fold axis in the structure.

The dipyrmidal vesuvianite mentioned here is the product of hydrothermal replacement. In this paper, the source material of vesuvianite is also discussed through the comparison and analysis of REE character of vesuvianite, diorite and limestone.