

# 米仓山碱性岩中的主要矿物研究 及其成因信息

许 继 锋

(中国地质大学, 武汉 430074)

**主题词** 碱性岩 主要矿物 氧逸度 米仓山

**提 要** 米仓山碱性岩中的主要矿物为富铝的(次硅)铝铁质透辉石、钙质角闪石、霞石等,且大量出现霞石,但无或极少有碱性暗色矿物。研究表明:氧逸度低是碱性岩浆不能结晶出碱性暗色矿物的原因。本区这种无碱性暗色矿物的碱性岩是在封闭体系及深成条件下结晶的,而其它地区含有碱性暗色矿物的岩石则是在开放体系中形成的。

在国内外的过碱性岩中,通常大量出现似长石及碱性暗色矿物。而在四川省南江县及旺苍县境内的米仓山过碱性岩中仅有霞石,几乎不出现碱性暗色矿物。本文将探讨该岩体中主要矿物的成分特征及成因。

## 1 区域地质背景与碱性岩的类型

米仓山碱性岩区位于扬子地台北缘的汉南地块的南部,主要由四个碱性岩体组成,从东向西依次为坪河霓霞岩—正长岩岩体、李家河碳酸岩岩体、水磨霓霞岩—正长岩岩体、中子园碱性辉长岩体,它们呈近东西向展布,平行主构造线,在 $687 \times 10^6$  a时侵入于中元古界的板岩、片岩、大理岩等岩石中(图1)。

碱性岩分为两个演化系列<sup>[1]</sup>。系列I:霓霞岩—碱性辉长岩系列,成岩顺序从早期到晚期依次为钛铁霞辉岩、霓霞岩、磷霞岩、碱性辉长岩、碳酸岩。主要矿物有(次硅)铝铁质透辉石、钙质角闪石、霞石斜长石等,不同岩石中几种矿物的比例有差异,该系列岩石形成较早;系列II:正长岩系列,有角闪正长岩、浅色正长岩、霞石正长岩。主要矿物是钙质角闪石、钙铁辉石、霞石、碱性长石等。该系列比系列I形成稍晚。两个系列岩石的副矿物为:钛铁矿、磷灰石、镁铁尖晶石、原生方解石、榍石、六方碳硅石、刚玉、石墨等。

## 2 主要矿物的特征

本区碱性岩中矿物类型很多,本文仅阐述其部分主要矿物:单斜辉石、钙质角闪石、霞

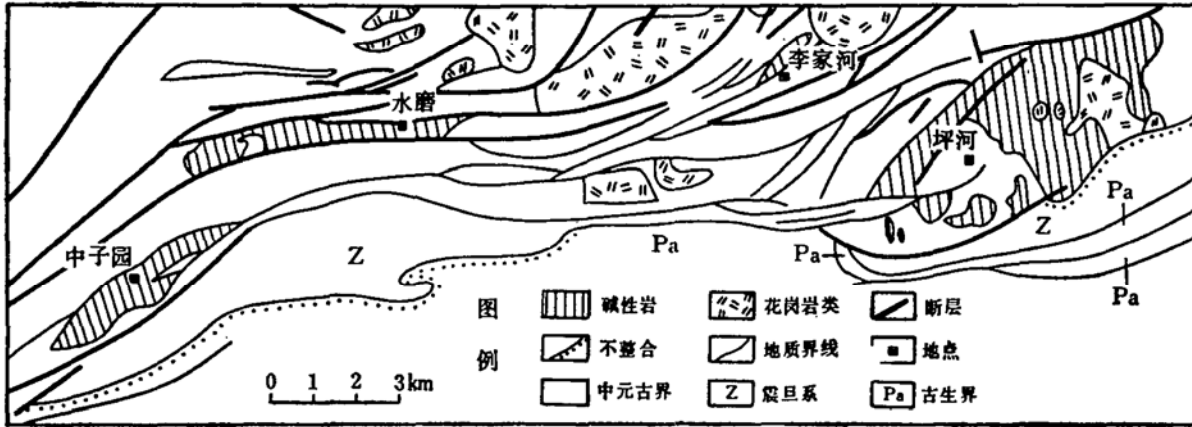


图 1 米仓山碱性岩区地质图  
(据川西北地质队地质图简化)

Fig. 1 Geological map of the Micangshan alkaline rock area

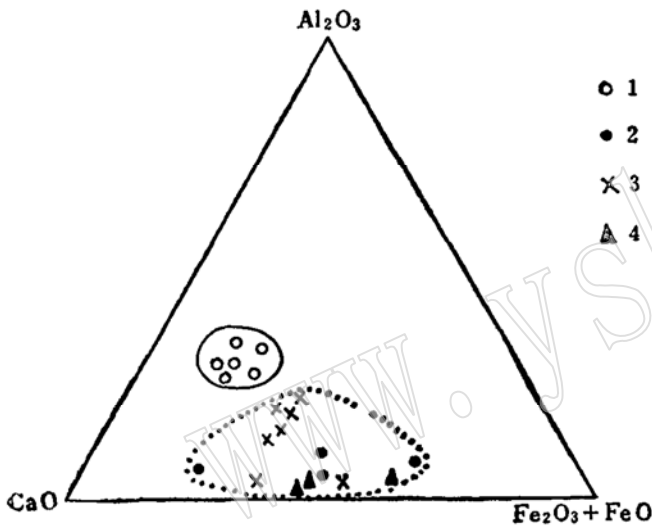


图 2 单斜辉石的 $Al_2O_3$ - $CaO$ - $(Fe_2O_3 + FeO)$ 成分图解

Fig. 2  $Al_2O_3$ - $CaO$ - $(Fe_2O_3 + FeO)$  diagram of clinopyroxenes

图中实线区为本区霓霞岩中辉石的成分范围；虚线区为其它地区单斜辉石的成分范围。1—米仓山；2—苏联霓霞岩中辉石<sup>(3)</sup>；3—Magnet cove霓霞岩中辉石<sup>(4)</sup>；4—Fen岩体中单斜辉石<sup>(5)</sup>

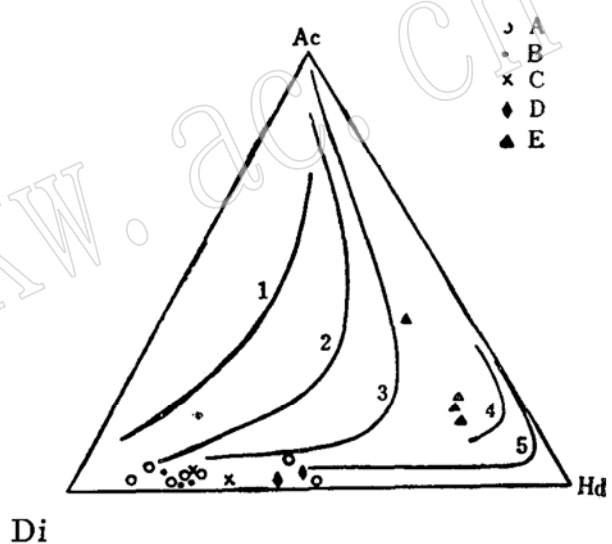


图 3 辉石的Ac-Di-Hd图解

Fig. 3 Ac-Di-Hd diagram of pyroxene

A—钛铁霞辉岩；B—霓霞岩；C—磷霞岩；D—碱性辉长岩；E—霞石正长岩。1—法国Auvergne<sup>(6)</sup>；2—苏联Lovozer<sup>(6)</sup>；3—南格陵兰<sup>(6)</sup>；4—Pantellerite<sup>(6)</sup>；5—Ilimaussaq岩体<sup>(6)</sup>  
Ac =  $NaFe^{3+}Si_2O_6$  Di =  $CaMgSi_2O_6$  Hd =  $CaFeSi_2O_6$

石的特点。

### 2.1 单斜辉石

单斜辉石分布在系列I的所有岩石及系列II的霞石正长岩中，是本区最重要的造岩矿物之一。按照辉石的分类<sup>(2)</sup>，系列I岩石中为（次硅）铝铁质透辉石（原称深绿辉石）；在霞石正长岩中者为钙铁辉石（边部可出现霓辉石）。所有代表性辉石的成分及特征见表1、图2和图3。

（次硅）铝铁质透辉石粒径为0.5—5 mm，伟晶霓霞岩中的（次硅）铝铁质透辉石可达

表 1 碱性岩中单斜辉石的化学成分

Table 1 Composition of clinopyroxenes from alkaline rocks

岩石类型	钛 铁 霞 辉 岩					霓 霞 岩				碱性辉长岩		霞石正长岩		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SiO <sub>2</sub>	45.27	46.95	48.15	46.80	44.55	43.97	44.53	43.32	45.37	48.52	50.02	48.10	47.11	50.17
TiO <sub>2</sub>	1.86	1.04	0.75	2.34	1.28	1.56	1.24	1.36	1.43	1.80	0.63	0.22	0.27	0.19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.69	8.82	6.73	7.67	9.15	11.77	10.72	10.85	12.25	5.94	3.19	1.97	2.06	1.42
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0.11	0.11	0.18	0	0	0	0	0.28	0.02	0.10	0	0	0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					4.85	3.34	3.63	4.60						
FeO*	11.43	6.24	6.37	11.19	7.44	3.70	5.93	4.19	5.70	12.40	11.96	22.39	22.59	22.29
MnO	0.31	0.14	0.22	0.06	0.19	0.10	0.13	0.14	0.06	0.57	0.48	0.86	0.78	0.83
MgO	8.74	11.66	12.16	8.75	12.32	10.56	9.87	11.51	9.91	8.37	9.32	1.86	1.66	2.00
NiO	0	0	0	0.18	0	0	0	0	0	0	0.44	0	0	0
CaO	22.47	23.59	24.06	22.04	15.66	23.75	23.29	21.28	24.77	22.35	22.56	22.11	22.37	19.98
Na <sub>2</sub> O	1.07	0.51	0.47	1.11	2.00	0.46	0.52	1.28	0.21	0.76	0.62	1.82	1.92	4.06
K <sub>2</sub> O	0	0	0	0	0.56	0	0	0.40	0.04	0.03	0	0.01	0.01	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0	0	0.01	0.20	0.04	0.01	0.16	0	0.06	0	0.08	0	0
CO <sub>2</sub>					0	0.29	0.17	0.25						
H <sub>2</sub> O					1.40	0.20	0.20	0.73						
Σ	99.84	99.06	99.02	100.33	99.60	99.74	100.23	100.07	100.02	100.82	99.31	99.42	98.77	100.94

以 6 个氧原子为基准

Si	1.710	1.754	1.807	1.764	1.681	1.646	1.672	1.615	1.687	1.836	1.917	1.910	1.892	1.946
Al <sup>IV</sup>	0.290	0.246	0.193	0.236	0.319	0.354	0.328	0.385	0.313	0.164	0.083	0.090	0.097	0.054
Al <sup>VI</sup>	0.097	0.142	0.083	0.105	0.086	0.166	0.146	0.092	0.224	0.101	0.061	0.002	-0.011	0.011
Fe <sup>3+</sup>	0.165	0.090	0.102	0.072	0.136	0.094	0.102	0.130	0.022	0.013	0.030	0.242	0.258	0.321
Fe <sup>2+</sup>	0.196	0.102	0.098	0.281	0.234	0.116	0.186	0.130	0.155	0.379	0.353	0.501	0.501	0.399
Mn	0.010	0.004	0.007	0.002	0.006	0.003	0.004	0.004	0.002	0.018	0.016	0.029	0.027	0.027
Mg	0.492	0.647	0.683	0.492	0.692	0.589	0.552	0.639	0.549	0.472	0.533	0.110	0.099	0.115
Ca	0.909	0.944	0.969	0.890	0.632	0.953	0.937	0.850	0.987	0.906	0.926	0.941	0.963	0.827
Na	0.078	0.037	0.034	0.081	0.145	0.034	0.038	0.092	0.015	0.056	0.046	0.140	0.150	0.304
K	0	0	0	0	0.027	0	0	0.019	0.002	0.001	0	0.001	0.005	0
Ti	0.053	0.029	0.021	0.066	0.036	0.044	0.035	0.039	0.040	0.051	0.018	0.007	0.008	0.005
P	0	0	0	0.001	0.006	0.001	0	0.005	0	0.002	0	0.027	0	0
Cr	0.003	0	0.003	0.005	0	0	0	0	0.004	0.001	0.003	0	0	0
Ni	0	0	0	0.005	0	0	0	0	0	0	0.014	0	0	0

\* FeO, 除 5、6、7、8 为化学分析值外, 其余均为探针分析的全铁值, 它们的 Fe<sup>2+</sup>、Fe<sup>3+</sup> 为调整所得结果。表中 5、8 引自文献[3]。空格代表未测试。

试测位单, 化学分析由湖北地质实验研究所测试; 探针分析由中国地质大学(北京)探针室测试。

10cm以上。镜下具淡红—紫褐多色性,  $c \wedge Ng = 40^\circ - 55^\circ$ ,  $(+) 2V = 50^\circ - 63^\circ$ ,  $Ng = 1.712 - 1.746$ ,  $Nm = 1.703 - 1.727$ ,  $Np = 1.697 - 1.712$ , 光性特征均匀, 未见环带。边部常见角闪石的反应边, 甚至可被其替代; 在与霞石接触处常见由绿帘石、绿泥石、钙霞石组成的次变边。本区这种辉石化学成分均一, 不同岩石之间或同一晶体从中央到边缘, 成分相差不大, 仅铁镁含量有变化。与世界其它地区同种岩石类型中的辉石相比, 本区此种辉石明显富铝、贫铁(见图2); 与科拉半岛碱性岩中辉石( $Di_{69-75}Hd_{10-15}Aug_{7-8}Ac_{3-10}$ )相比, 本区(次硅)铝铁质透辉石( $Di_{33-76}Hd_{9-55}Aug_{31-33}Ac_{1-4}$ )贫Ac而较富Hd分子。在图3中, 本区系列I的辉石成分点靠近Di端, 向Hd方向稍有变化, 而向Ac方向则无变化。因而系列I中无碱性辉石, 这与其它地区霓霞岩中均含有碱性辉石是不相同的。

霞石正长岩中的单斜辉石呈长柱状, 2—3mm左右,  $Ng$ 为浅黄绿色、 $Nm$ 为淡绿色、 $Np$ 为绿色,  $c \wedge Np = 39^\circ - 43^\circ$ ,  $(+) 2V = 40^\circ - 49^\circ$ ,  $Ng = 1.743 - 1.745$ ,  $Nm = 1.720 - 1.722$ ,  $Np = 1.711 - 1.712$ 。探针分析证明常有不同成分环带, 内部为钙铁辉石, 边部变化成霓辉石。在图3中, 成分向Ac方向演化, 但幅度较小。与其它地区霞石正长岩相比, 本区辉石Ac分子明显偏低, 因而无霓石等矿物。并且系列I与系列II的单斜辉石在图3上成分存在间断, 这表明系列I的母岩浆不能演化形成系列II的岩石。

## 2.2 钙质角闪石

钙质角闪石在两个系列中均出现。系列II中的角闪石为自形—半自形长柱状, 1—5mm,  $Ng$ 为深绿色,  $Nm$ 为绿色,  $Np$ 为黄绿色,  $c \wedge Ng = 10^\circ - 12^\circ$ ,  $(-) 2V = 30^\circ - 40^\circ$ ; 系列I岩石中的角闪石呈不规则柱状或作为(次硅)铝铁质透辉石的环边出现,  $Ng$ 为棕褐色,  $Nm$ 为淡褐色,  $Np$ 为黄色,  $c \wedge Ng = 10^\circ - 18^\circ$ ,  $(-) 2V = 46^\circ - 80^\circ$ 。

钙质角闪石的成分列于表2中, 据角闪石的分类, 它们均为钙质角闪石类, 但不同岩石中具体种属不同: 碱性辉长岩中属亚铁钛角闪石; 钛铁霞辉岩中为含钛亚铁非闪石、非闪角闪石; 霓霞岩中为含钠亚铁非闪石; 正长岩中为含钛亚铁非闪角闪石, 它们的成分相差如此之大, 可能是由于寄主岩成分不同以及晚期残余岩浆演化成分相差较大而造成, 因为角闪石均晚于辉石结晶, 是在晚期形成的。

与其它地区碱性岩中的角闪石相比, 本区没有发现碱性角闪石, 并且角闪石较富铝、钙而贫硅、碱(图4)。另外, 在图4中可以看出, 本区角闪石铝含量明显高; 随着铝含量的增高, 硅的含量降低, 这与其它地区角闪石成分变化相同。但是, 铝增高, 本区角闪石的碱增高、钙降低, 而其它地区角闪石的成分变化正好与之相反。这反映出本区角闪石成分变化有其特殊性。

## 2.3 霞石

霞石是本碱性岩区唯一的似长石矿物, 大量出现在系列I的霓霞岩、磷霞岩及系列II的霞石正长岩中。另据报导, 在钛铁霞辉岩及碱性辉长岩中也有少量出现<sup>①</sup>。其多呈半自形粒状, 粒径为3—7mm, 伟晶磷霞岩中可达2—10cm。霞石的 $No = 1.538 - 1.539$ ,  $Ne = 1.533 - 1.535$ 。在边缘常见有栉壳状排列的钙霞石, 岩石中钙霞石交代霞石十分普遍, 多沿边缘及裂隙交代, 有的甚至被完全替代。

① 川西北地质队, 82, 四川米仓山西段南缘地区地质矿产总结报告书。

表 2 碱性岩中角闪石的化学成分  
Table 2 Composition of amphiboles from alkaline rocks

岩石类型	钛 铁 霞 辉 岩				霓 霞 岩		碱性辉长岩		角闪正长岩
矿物序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO <sub>2</sub>	42.92	36.96	40.57	44.66	40.06	39.22	38.84	38.04	39.97
TiO <sub>2</sub>	1.55	4.02	3.09	1.04	0.20	0.17	4.93	5.60	3.26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.32	14.12	12.32	12.14	14.04	16.30	14.03	13.69	11.09
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.17								
FcO*	9.98	23.01	14.47	10.74	21.00	18.81	18.55	19.08	23.96
MnO	0.15	0.39	0.16	0.06	0.27	0.23	0.25	0.14	0.37
MgO	13.93	3.95	10.68	13.81	6.72	6.68	6.29	5.96	4.12
CaO	11.40	10.46	11.57	11.84	9.73	10.79	11.58	11.54	10.27
Na <sub>2</sub> O	1.85	2.35	2.48	1.95	4.05	3.65	2.04	1.90	2.14
K <sub>2</sub> O	0.81	2.15	0.49	0.83	0.58	0.75	2.13	2.24	1.66
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02	0	0	0	0.10	0	0	0	0
CO <sub>2</sub>	0.12								
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	2.28								
Σ	99.50	97.41	96.13	96.84	96.75	96.61	98.65	98.19	96.84

以23个氧原子为基准

Si	6.670	5.852	6.186	6.578	6.145	6.037	5.990	5.933	6.337
Al <sup>IV</sup>	1.330	2.148	1.814	1.442	1.855	1.963	2.010	2.067	1.663
Σ	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Al <sup>VI</sup>	0.928	0.488	0.386	0.661	0.688	0.995	0.549	0.449	0.410
Fc <sup>3+</sup>	0.254	0	0.144	0.123	0.542	0.182	0	0	0
Fc <sup>2+</sup>	1.297	3.048	1.688	1.200	2.148	2.290	2.392	2.489	3.176
Mn	0.020	0.052	0.020	0.007	0.037	0.030	0.037	0.019	0.050
Mg	2.320	0.933	2.410	2.874	1.537	1.534	1.447	1.386	0.974
Ti	0.181	0.479	0.352	0.115	0.028	0.019	0.575	0.657	0.390
P	0.002	0	0	0	0.018	0	0	0	0
Σ	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Ca <sub>B</sub>	1.898	1.775	1.878	1.837	1.603	1.780	1.960	1.929	1.745
Na <sub>B</sub>	0.102	0.225	0.122	0.163	0.397	0.220	0.090	0.071	0.255
Σ	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Na <sub>A</sub>	0.455	0.496	0.606	0.395	0.802	0.870	0.522	0.504	0.402
K <sub>A</sub>	0.151	0.434	0.096	0.156	0.111	0.148	0.427	0.446	0.335
Σ	0.606	0.930	0.702	0.551	0.913	1.018	0.949	0.950	0.737

注：角闪石的一般式为：A<sub>0-1</sub>B<sub>2</sub>C<sub>5</sub>T<sub>8</sub>O<sub>22</sub>(OH)<sub>2</sub>，表中T位阳离子为Si + Al<sup>IV</sup>，总和(Σ)等于8；C位为Al<sup>VI</sup> + Fc<sup>3+</sup> + Fc<sup>2+</sup> + Mn + Mg + Ti + P，总和为5；Ca<sub>B</sub>、Na<sub>B</sub>分别为占据B位的钙离子和钠离子，总和为2；Na<sub>A</sub>与K<sub>A</sub>分别为占据A位的钠离子和钾离子。

\* FcO，序号1为化学分析值，由湖北地质实验研究所测试。其余均为探针分析全铁值，Fc<sup>2+</sup>、Fc<sup>3+</sup>为调整所得，由中国地质大学（北京）探针室测定。表中空格表示未测试。

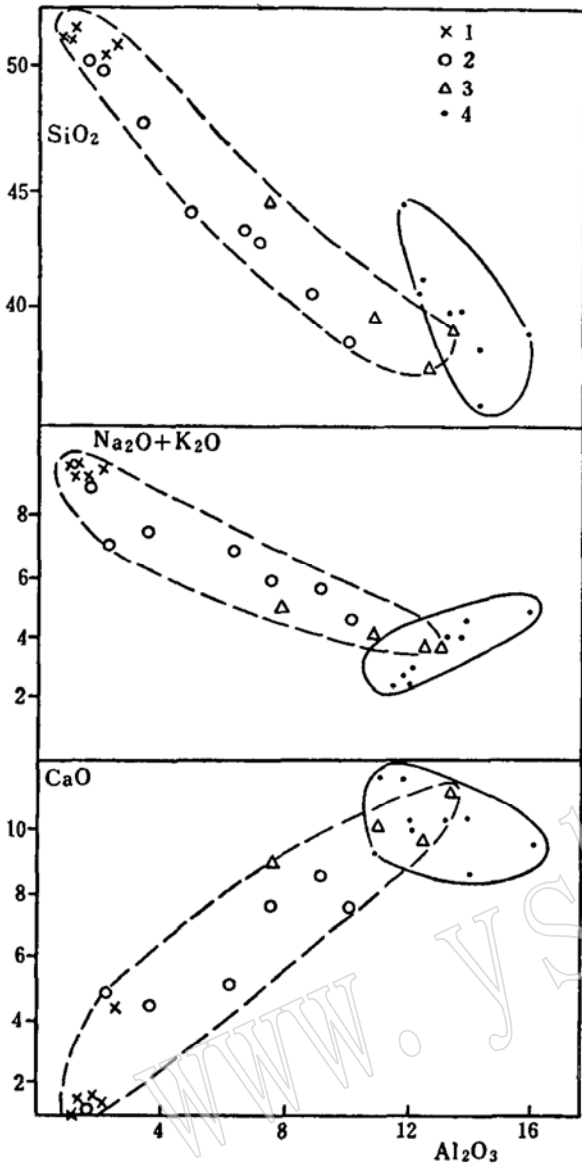


图 4 角闪石的 $Al_2O_3$ -氧化物变异图  
 Fig. 4  $Al_2O_3$ -oxides variogram of amphiboles  
 1—Tenerife<sup>(7)</sup>; 2—Chilwa岩区<sup>(8)</sup>; 3—Monchique  
 岩体<sup>(9)</sup>; 4—本区角闪石

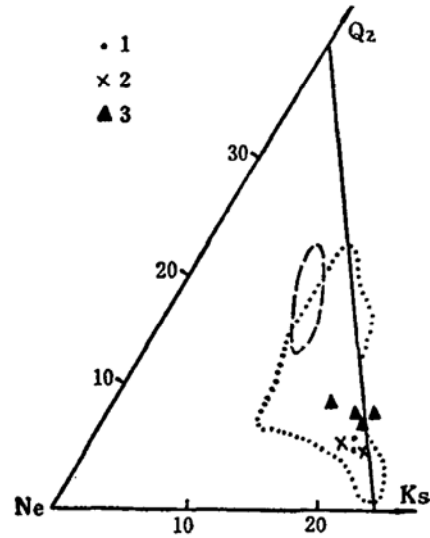


图 5 霞石的Ne-Ks-Qz图  
 Fig. 5 Ne-Ks-Qz diagram of nepheline  
 1—霞霞岩; 2—磷霞岩; 3—霞石正长岩  
 图中实线与点线分别是Barth与Dollas划定的天然霞  
 石区<sup>(7)</sup>; 虚线为Tenerite霞石成分范围<sup>(7)</sup>

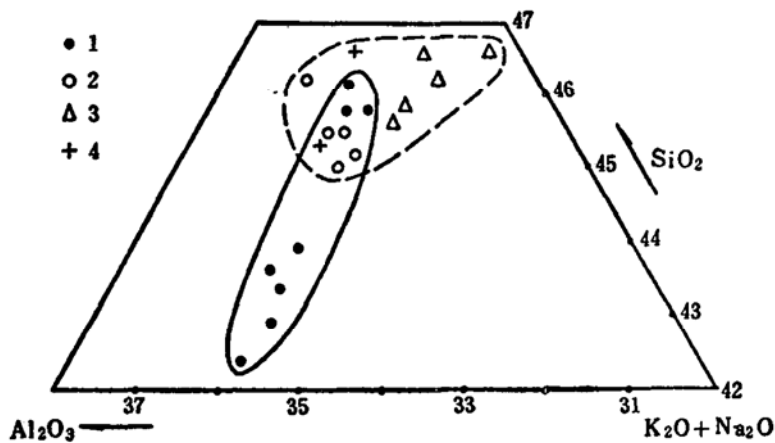


图 6 霞石的 $Al_2O_3$ -( $Na_2O + K_2O$ )- $SiO_2$ 成分分图  
 Fig. 6  $Al_2O_3$ -( $Na_2O + K_2O$ )- $SiO_2$  diagram of nepheline  
 1—米仑山; 2—chilwa区霞石<sup>(8)</sup>; 3—Magner Cove的霞石<sup>(4)</sup>; 4—Monchique岩体中的霞石<sup>(9)</sup>  
 图中虚线区为其它地区霞石的成分范围; 实线区为本区霞石的成分范围

表 3 碱性岩中霞石的化学成分

Table 3 Composition of nepheline from alkaline rocks

岩石类型	霓霞岩		磷霞岩		角闪正长岩			
矿物序号	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	41.16	42.68	40.39	43.30	43.31	45.03	45.07	44.79
TiO <sub>2</sub>	0.07	0	0.005	0	0	0	0.11	0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34.36	33.91	32.85	33.48	34.32	31.72	31.70	31.80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.077		0.061					
FeO	0.048	0.14	0.035	0	0.09	0	0.28	0
MnO	0	0.12	0	0	0	0	0.01	0.16
MgO	0.045	0.05	0.18	0	0	0	0	0
CaO	1.64	0.96	3.61	0.21	0.40	0.14	0	0
Na <sub>2</sub> O	15.30	15.11	15.49	14.91	16.01	15.48	14.93	15.20
K <sub>2</sub> O	6.21	6.48	5.36	6.75	6.04	5.95	5.97	6.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.007	0	0	0	0	0	0	0
CO <sub>2</sub>	0.31		0.71					
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.41		0.85					
Σ	99.64	99.52	99.54	98.65	100.17	98.32	98.07	98.05

以32个氧原子为基准

Si	8.032	8.255	8.000	8.409	8.290	8.727	8.754	8.713
Ti	0.011	0	0.001	0	0	0	0.016	0
Al	7.903	7.732	7.669	7.663	7.742	7.248	7.260	7.291
Fe <sup>3+</sup>	0.011	0.021	0.010	0	0.011	0	0.041	0
Fe <sup>2+</sup>	0.008		0.006					
Mn	0	0.020	0	0	0	0	0.001	0.027
Mg	0.013	0.014	0.054	0	0	0	0	0
Ca	0.342	0.199	0.766	0.043	0.082	0.039	0	0
Na	5.802	5.688	5.951	5.615	5.943	5.818	5.623	5.732
K	1.546	1.599	1.354	1.673	1.474	1.472	1.480	1.489
P	0.002	0	0	0	0	0	0	0

注：1、3为化学分析值，由湖北地质实验研究所测试；其余均为探针分析值，其全铁值均作 Fe<sup>3+</sup> 计算，由中国地质大学（北京）探针室分析；表中空格表示未测试。

本区碱性岩中霞石的成分列于表3中。所有的霞石均为钠质霞石,含Ne分子77.10%—81.57%;Ks(钾霞石)分子18.5%—22.9%。不同岩石类型中霞石成分相差甚小,系列I中的霞石仅比系列II中的霞石略贫硅,这可能是前者硅酸不饱和程度更高的缘故。在图5中,本区霞石大多落入Barth与Dollas划定的天然霞石区<sup>[7]</sup>,个别在区外,属于较富钾、低硅的霞石种属。另外,与其它地区碱性岩中的霞石成分相比,从图6中可知,本区霞石较富铝,略贫碱。因此,米仓山碱性岩中矿物富铝在霞石中也有反映。

### 3 成因及讨论

#### 3.1 矿物的结晶条件及富铝的原因

本文采用了数种适合于碱性岩的温度计:霞石-熔体温度计<sup>[10]</sup>,霞石Ne-Ks-Qz温度计<sup>[11]</sup>,霞石-碱性长石温度计<sup>[12]</sup>等,求得霓霞岩-碱性辉长岩系列的结晶温度范围是775—1023℃,正长岩系列是700—950℃,这反映出本区碱性岩矿物结晶温度较高。

碱性岩体侵入时,本区上覆地层厚度约为10km<sup>①</sup>,这表明碱性岩形成的深度为深成相,辉石等矿物应是在大于或等于10km的较深位置结晶的。这可从岩石中矿物结晶粗大、长石有序度高、共生有六方碳硅石等深来源矿物得到佐证。

本区矿物特别是单斜辉石等富铝,作者认为是矿物的结晶条件及岩石成分所决定的,原因如下:

- ① 本区碱性岩中出现刚玉及镁铁尖晶石等副矿物,表明岩石铝过饱和。
- ② 本区碱性岩与国外相同类型的岩石相比,岩石成分中明显含铝高<sup>[1]</sup>。因为碱性岩浆中铝含量高,故本区矿物富铝,这是辉石等富铝的内因。
- ③ 在深处结晶的单斜辉石可以富含铝。邱家骧认为<sup>[13]</sup>:含铝高的单斜辉石产于两种环境:一是火山岩中的辉石微晶,另一是深成(高压)条件下结晶的辉石巨晶。本区辉石的铝含量与高压环境下形成的辉石巨晶的铝含量( $Al_2O_3=4\%—12\%$ <sup>[13]</sup>)相当,可见本区的单斜辉石是碱性富铝岩浆在深处的结晶,所以富铝。

#### 3.2 低氧逸度及结晶限制

本区碱性岩中几乎不见碱性暗色矿物,这是由于本区碱性岩浆氧逸度低,不利于碱性暗色矿物的形成。岩浆氧逸度低,证据如下:

- ① 探针分析表明,在所有岩石类型中,未见有磁铁矿,只出现钛铁矿。
- ② 各种岩石中,普遍含有副矿物石墨,显然,石墨仅产于还原环境。
- ③ 在霓霞岩-碱性辉长岩系列岩石中,常见岩浆结晶的原生方解石,它从岩浆中直接晶出,反映出本区碱性岩浆中 $fCO_2$ 高,因而 $fO_2$ 相对较低。
- ④ 作者根据莫宣学的方法<sup>[14]</sup>,计算了本区霓霞与岩Magnet Cove含有碱性辉石霓霞岩的 $fO_2$ 值(图7),发现在相同的温压条件下,本区霓霞岩浆的氧逸度要低几个数量级。

霓石( $NaFe^{3+}Si_2O_6$ )与钠闪石 $[Na_2Fe^{2+}Fe^{3+}(Si_8O_{22})(OH)_2]$ 等碱性暗色矿物均含有很高的 $Fe^{3+}$ 组份。由于本区碱性岩浆氧逸度低,不能使足够的 $Fe^{2+}$ 转变成 $Fe^{3+}$ ,因而不能或难以结

① 川西北地质队,1982,四川米仓山西段南缘地区地质矿产总结报告书。



晶出碱性暗色矿物。

### 3.3 碱性岩浆演化的两种环境

辉石是最好的岩浆示踪计<sup>[5]</sup>。

从图3可知,大部分的碱性岩浆从富镁向富铁、富钠方向演化(即辉石的Di→Hd→Ac演化趋势)。但是本区碱性岩石中,系列I的岩浆未向富钠方向演化,系列II的演化幅度也小。作者认为这是两种不同体系的演化产物。

Osborn指出<sup>[15]</sup>,岩浆演化有两种不同的环境:开放体系 $fO_2$ 高,岩浆向富硅、钠方向演化;而封闭体系 $fO_2$ 低,岩浆向富铁方向演化。同样,碱性岩浆演化也应服从这样的规律。

在含有碱性暗色矿物的碱性岩中,霓石、钠闪石等都是最后残余岩浆结晶的产物,这从它们分布在间隙相(呈针状)或矿物的边部可得到证实<sup>[5,7,8]</sup>。因此,残余岩浆必须有高的氧逸度和富钠,才能结晶出这些矿物,而在结晶过程中,氧是不断被消耗的,因此只有在开放体系中,氧才能不断得到补充并保持高氧逸度,碱性岩浆才能结晶出碱性暗色矿物。故这些碱性暗色矿物结晶于开放体系。

与此不同的是米仓山碱性岩区的碱性岩浆是在封闭体系下演化的。随着岩浆的不断结晶,氧逐渐被消耗, $fO_2$ 不断降低,二价铁不能氧化形成三价铁,因而本区岩石中最后不能结晶出碱性暗色矿物,岩浆不能向富钠(Ac)方向演化,而只能朝富铁(Hd)方向变化。在李家河及水磨岩体中,有铁矿和铁矿矿化存在也证实了本区碱性岩浆确实向富铁方向演化,且富集成矿,所以,本区岩浆是在封闭体系中结晶的。封闭体系可能是碱性岩形成的深度大、构造活动微弱(断裂不发育)、氧的含量得不到补充等因素造成的。

致谢:本文得到邱家骧教授、李昌年副教授的指导;部分问题曾向路凤香、王人镜、王方正教授请教,在此一并致谢。

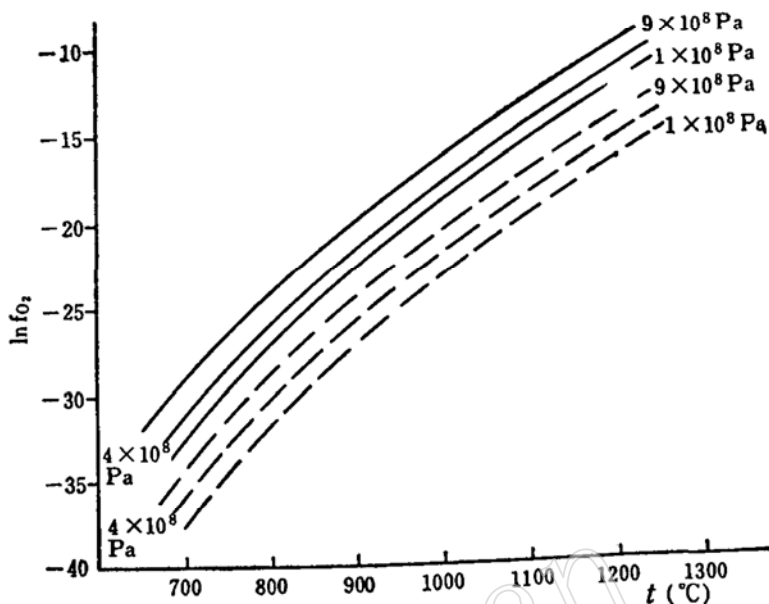


图7 碱性岩浆 $t$ - $P$ - $fO_2$ 的关系

Fig. 7  $t$ - $P$ - $fO_2$  diagram of alkaline magma

图中实线为Magnet Cove霓霞岩浆的变化曲线;虚线为米仓山霓霞岩浆的变化曲线。图中数值为压力值。

### 参 考 文 献

- 1 许继锋. 四川米仓山西部碱性岩的岩石成因探讨. 岩石学论文集, 武汉: 中国地质大学出版社, 1992. 134—145.
- 2 Morimoto N. 辉石命名法. 矿物学报, 1988, 8(4): 289—305.
- 3 吴利仁等. 若干地区碱性岩研究. 北京: 科学出版社, 1966. 71—123.
- 4 Flohr M J K, et al. Alkaline igneous rocks of Magnet Cove, Arkansas; Metasomatized ijolite xenoliths from Diamond quarry. *Am. Mineralogist* 1989, 74(1/2): 113—131.
- 5 Andersen T. Evolution of peralkaline calcite carbonatite magma in the Fen Complex. Southeast Norway, *Lithos*, 1988, 22(2): 99—112.
- 6 Mitchell R H, et al. Mafic Mineralogy of ferroaugite syenite from the coldwell alkaline complex. Ontario, Canada, *J. Petrol* 1978, 19(4): 627—651.

- 7 Wolfe J A. Crystallization of nepheline syenite in a subvolcanic magma system; Tenerife, Canary Islands, *Lithos*, 1987, 20(3): 207—223.
- 8 Woolley A R, Platt R G. The mineralogy of nepheline syenite complexes from the northern part of the Chilwa province Malawi. *Mineral. Mag.* 1986, 50(4): 597—610.
- 9 Rock N M S. Petrology and Petrogenesis of the Monchique alkaline complex, Southern Portugal. *J. Petrol* 1978, 19(2): 173—213.
- 10 Peterson T D. Peralkaline nephelinites. I, Comparative petrology of Shombole and oldoinyo Lengai, East Africa, *Contrib. Mineral. Petrol.* 1989, 101(4): 458—478.
- 11 Hamilton. Nephelines as crystallization temperature indicator. *J. of Geology* 1961, 69(2): 321—329.
- 12 Powell M, et al. A nepheline-alkali feldspar geothermometer. *Contrib. Mineral. Petrol.* 1977, 62(3): 193—204.
- 13 邱家骥等. 中国东部新生代玄武岩中单斜辉石巨晶的主要特征及成因信息. *岩石矿物学杂志*, 1987, 6(1): 56—63.
- 14 莫宣学. 岩浆中氧化物组份的偏摩尔体积及其岩石学意义. *地球科学*, 1984, (1): 31—42.
- 15 周珣若等. 岩石物理化学. 郑州: 河南科学技术出版社, 1985, 144—146.

## Studies of Essential Minerals in Alkaline Rocks of Micangshan Area and Their Genetic Information

Xu Jifeng

(China University of Geosciences, Wuhan, 430074)

**Key words:** alkaline rock; essential mineral; oxygen fugacity; Micangshan

### Abstract

Located in Nanjiang County and Wangcang County of northern Sichuan, alkaline rocks in Micangshan area might be divided into ijolite-essexite series (I) and syenite series (II). Nephelines are present in large quantities, whereas there are no or very few alkaline dark minerals. Clinopyroxenes, amphiboles and nephelines in alkaline rocks are richer in aluminium than those minerals from the same sort of rocks in other areas, with aluminiferous diopside (fassaite) exhibiting this feature most obviously. Pyroxenes from Series I are different from those from Series II in composition and evolution trend. Rocks of Series I were crystallized in the temperature range of 775—1023°C, whereas those of Series II, 700—950°C, indicating that the depth for their crystallization was larger than 10 km. The richness of aluminium in pyroxenes should be attributed to the abundant aluminium in rocks and the crystallization of minerals at fairly great depth. In other areas, alkaline rocks often have alkaline dark minerals, which contain very high Fe<sup>3+</sup>. In this area, however, the low oxygen fugacity hindered Fe<sup>2+</sup> from converting into sufficient Fe<sup>3+</sup>, and hence it was quite impossible for alkaline dark minerals to crystallize from magma. The low-fO<sub>2</sub> alkaline rocks without alkaline dark minerals in this area were crystallized from alkaline magma in a closed environment, whereas high-fO<sub>2</sub> alkaline rocks that contain alkaline dark minerals in other areas were formed by crystallization of alkaline magma in an open system.