

* 系列文章 *

自然界碱性长石调制结构及 复结构的研究

四、赣东北地区火山碎屑岩中 碱性长石复结构的研究

彭志忠 廖立兵 西门露露

(武汉地质学院北京研究生部)

(一) 工作区地质背景

工作区位于江西东北部,包括抚州地区的礼陂、高家、玉华山和上饶地区的东乡、铅山共五个地区。均处于扬子准地台和南华准地台的过渡地带。

工作区涉及地层属上侏罗统鹅湖岭组和打鼓顶组,岩性为碱性系列,中酸性-酸性火山碎屑岩,但各具体地区略有差异。

礼陂岩体边缘相为含砾晶屑弱熔结凝灰岩,中心相为霏细状碎斑熔岩。

高家火山盆地岩性为弱熔结晶屑凝灰岩(可能为过渡相)。

玉华山火山岩体边缘相是弱熔结玻屑凝灰岩、熔结玻屑凝灰岩,晶玻屑凝灰岩(东部)或含砾多晶屑熔结凝灰岩(北部),过渡相是霏细状碎斑熔岩,中心相是细粒状碎斑熔岩。

东乡地区岩性为晶玻屑熔结凝灰岩,玻屑熔结凝灰岩,角砾熔结凝灰岩等。有粗面岩出露。

铅山地区岩石韵律性明显,各韵律(除粗面岩外)岩性均为凝灰岩,仅以熔结程度、角砾、晶屑含量不等相区别。

(二) 碱性长石的一般特征

以上五个地区碱性长石都已被风化,但程度不同,高家地区凝灰岩和铅山地区粗面岩中的碱性长石风化程度最低,呈半透明状,其它地区碱性长石则多为白色、肉红色的不透明状,少数为土状。

笔者对各地区碱性长石有选择地进行了电子探针分析(表1),其An、Ab、Or各占比例见图1,结果表明,以上地区碱性长石除铅山地区钠含量相对较高,为钠透长石(或正

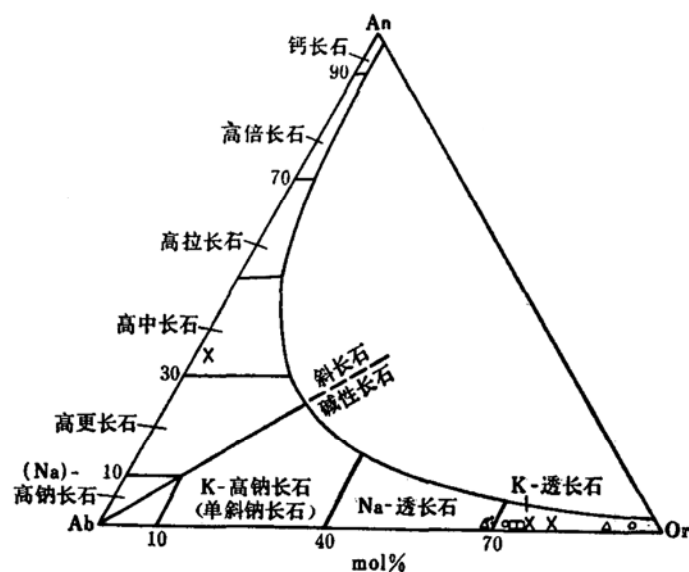


图 1. 长石在Or-Ab-An体系中的成分和命名

(据 Smith 1974)

Fig. 1. Schematic diagram illustrating the compositions and nomenclature of feldspars in Or-Ab-An system

长石)外均为钾透长石(或正长石)。值得注意的是,同一标本的不同长石晶体 Or(mol)% 相差可达20%(如表1中的L1-1和L1-2样),说明长石成分很不均匀。

多晶X射线衍射参数见表2, t_1 (Al在 T_1 的占位度)的计算公式为:

$$2t_1 = 13.015 + 0.695 \times 2\theta_{060} - 0.813 \times 2\theta_{204}$$

Or(mol)%是由单位晶胞体积 V 求得,公式为:

$$\text{Or(mol}\%) = \frac{0.2962 - \sqrt{0.953131 - 0.0013V}}{0.0018062}$$

可见,玉华山和礼陂火山岩体中部碎斑熔岩中碱性长石单斜有序度 Z 较高,为正长石系列,其它凝灰岩中之碱性长石均为低透(偏高透)长石。从Or(mol)%可看出铅山地区长石钠含量相对较高,与探针分析结果吻合,受岩石总成分影响。此外,同一地区不同样品Or(mol)%波动较大,再次证明本区碱性长石成分不均匀。

表2中各样品晶胞异常参数 Δa 值多在0.05(晶胞异常临界值^[1])以上,说明这些地区碱性长石多属异常晶胞(产生原因见本文第五部分)。

(三) 复结构类型介绍

复结构(complex structure)的概念及单晶研究方法请参见本系列文章^{〔2〕},但笔者迴摆照相采用的是 $\pm 10^\circ$ 迴摆(有别于Smith的 $\pm 7.5^\circ$ 迴摆),所以指标化结果与 $\pm 7.5^\circ$ 迴摆结果略有差别,见图2。钠长双晶和肖钠双晶衍射点指标见Smith(1974)^{〔3〕}中图6-8。

笔者对本区三十一个碱性长石晶体进行了单晶照相研究,对其中七个晶体进行了旋进照相,总结出本区碱性长石存在有十种复结构类型:

表 1. 碱性长石电子探针成分分析
Table 1. Composition of alkali feldspars determined by electron probe analysis

样号	产地	岩性	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Cr ₂ O ₃	NiO	FeO	总合	OrxAbxAnz
F1-1	高家	弱熔结晶屑凝灰岩	3.073	0.226	18.892	64.294	12.515	0.225	0.07	0.214	0.036	0	0.108	99.653	Or _{72.1} Ab _{26.8} An _{1.1}
L1-1	礼陂	霏细状碎斑熔岩	0.83	0.518	18.839	63.841	15.648	0.121	0.204	0	0.014	0.177	0.05	100.242	Or ₉₃ Ab _{7.4} An _{0.6}
L1-2	礼陂	霏细状碎斑熔岩	3.338	0.306	19.047	64.986	11.93	0.26	0	0	0.087	0.126	0.015	100.095	Or _{69.3} Ab _{29.4} An _{1.3}
Y1-1	玉华山	霏细状碎斑熔岩	2.134	0.078	19.028	65.282	13.765	0.156	0	0.011	0.024	0.241	0.069	100.788	Or _{80.4} Ab _{18.9} An _{0.7}
Y1-2	玉华山	霏细状碎斑熔岩	7.064	0.229	25.687	59.124	0.414	7.135	0.102	0.039	0.144	0.051	0.136	100.125	Or _{1.4} Ab _{83.1} An _{35.5}
Y2	玉华山	霏细状碎斑熔岩	2.49	0.078	18.22	64.983	12.871	0.287	0	0	0	0.149	0.18	99.258	Or _{78.2} Ab _{22.4} An _{1.4}
D1-1	东乡	角砾熔结凝灰岩	0.255	0.518	18.936	64.533	14.899	0.135	0.397	0.098	0	0.188	0	99.959	Or _{96.8} Ab _{2.5} An _{0.7}
D1-2	东乡	角砾熔结凝灰岩	2.895	0.284	18.938	64.664	13.032	0.568	0	0	0.198	0.029	0.039	100.647	Or _{72.8} Ab _{24.5} An _{2.7}
C1-1	铅山	玻晶屑弱熔结凝灰岩	3.477	0.214	18.628	64.904	11.609	0.475	0.032	0.019	0	0.059	0.313	99.73	Or _{67.2} Ab _{30.5} An _{2.3}
C1-2	铅山	玻晶屑弱熔结凝灰岩	3.101	0.345	19.442	65.334	11.669	0.361	0.036	0	0.062	0.047	0	100.797	Or ₇₀ Ab _{28.2} An _{1.8}
C2-1	铅山	粗面岩	3.322	0.242	19.212	64.565	12.027	0.629	0.031	0	0	0.109	0.428	100.565	Or _{68.4} Ab _{28.6} An ₃
C2-2	铅山	粗面岩	3.224	0.404	19.723	64.49	11.318	0.804	0.138	0	0.085	0	0.124	100.31	Or ₆₇ Ab ₃₀ An ₃
C3	铅山	含砾玻晶屑强熔结凝灰岩	3.529	0.074	18.483	65.366	12.02	0.027	0.103	0	0.052	0.046	0.037	99.737	Or _{69.1} Ab _{30.8} An _{0.1}
F1-2	高家	弱熔结晶屑凝灰岩	2.757	0.056	18.652	65.769	13.033	0.1	0	0.111	0	V ₂ O ₅ 0.136	0.017	100.61	Or _{75.3} Ab _{24.2} An _{0.5}

表 2. 碱性长石的有关参数
Table 2. Relevant parameters of alkali feldspars

样号	产地	岩性	$a(\text{\AA})$	$b(\text{\AA})$	$c(\text{\AA})$	β	$v(\text{\AA}^3)$	t_1	Z	Or mol%	Δa ($\text{\AA}$)
F1-1	高家	弱熔结晶屑凝灰岩	8.4671 ± 0.0024	12.9816 ± 0.0042	7.1515 ± 0.0017	115°59'	706.924	0.594	0.19	61	0.13
Y3	玉华山	含砾玻晶屑熔结凝灰岩	8.6203 ± 0.0064	12.9868 ± 0.0078	7.1855 ± 0.0048	116°28' $\pm 4'$	720.15 ± 0.65	0.65	0.3	92	0.10
Y4	玉华山	碎斑熔岩	8.5599 ± 0.0076	12.9529 ± 0.0084	7.1831 ± 0.004	116°4' $\pm 3'$	715.42 ± 0.62	0.75	0.5	80	0.18
Y2	玉华山	碎斑熔岩	8.5677 ± 0.0026	12.9581 ± 0.0034	7.1742 ± 0.0019	115°60' $\pm 1'$	715.89 ± 0.25	0.67	0.34	81	0.20
Y1	玉华山	碎斑熔岩	8.5643 ± 0.0021	12.9798 ± 0.0028	7.1882 ± 0.0017	116°6' $\pm 1'$	717.62 ± 0.22	0.74	0.48	85	0.10
L2	礼陂	碎斑熔岩	8.5766 ± 0.0028	12.9653 ± 0.0041	7.1940 ± 0.0023	115°60' $\pm 2'$	719.03 ± 0.29	0.79	0.58	89	0.13
L1	礼陂	碎斑熔岩	8.4240 ± 0.0051	12.980 ± 0.008	7.1692 ± 0.0049	116°2' $\pm 4'$	704.38 ± 0.3	0.61	0.22	57	0.04
D1	东乡	角砾熔结凝灰岩	8.619 ± 0.009	12.9851 ± 0.0082	7.1772 ± 0.0052	116°42' $\pm 5'$	717.66 ± 0.89	0.60	0.20	85	0.2
C5	铅山	含砾玻晶屑熔结凝灰岩	8.5083 ± 0.0043	12.9706 ± 0.0036	7.1638 ± 0.0024	116°4' $\pm 2'$	710.13 ± 0.3	0.59	0.18	68	0.15
C6	铅山	玻晶屑强熔结凝灰岩	8.5159 ± 0.0045	12.9824 ± 0.0028	7.1692 ± 0.0012	116°6' $\pm 1'$	711.81 ± 0.3	0.60	0.20	72	0.12
C3	铅山	含砾玻屑强熔结凝灰岩	8.5058 ± 0.0028	12.9963 ± 0.0027	7.1713 ± 0.0016	116°8' $\pm 1'$	711.93 ± 0.2	0.58	0.16	72	0.07
C4	铅山	粗面岩	8.4025 ± 0.0017	12.9694 ± 0.0027	7.1614 ± 0.0012	116°7' $\pm 1'$	700.77 ± 0.18	0.59	0.18	50	0.07

注: t_1 为Al在 T_1 位置的占位度, $Z = 2t_1 - 1$ 单斜有序度

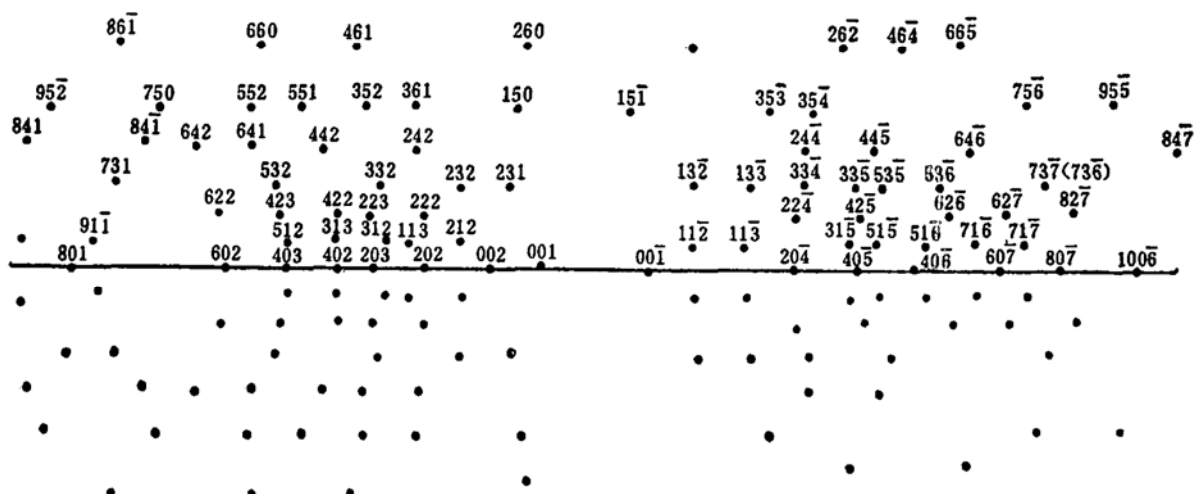


图 2. 碱性长石标准迴摆图指标化

Fig. 2. Indexing of standard orientation oscillation photograph of alkali feldspars

1. 单一钾相，具边带衍射

高家地区的F1-1的No1、No2号晶体属此类型衍射，其边带是由于密度调制造成。详细的描述及其衍射图请参见本系列文章三^[4]，与之不同的是，测量表明，本样品调制方向近于平行 $(\bar{6}01)$ ，调制周期为 $148.12 \text{ \AA}$ 。边带喇叭开口约 5° ，说明调制波周期及波前方向变化范围较小。

C4样品采自铅山地区粗面岩中，其No1、No2、No3、No4、No5号晶体都发现了“不典型”边带衍射，衍射特点与F1-1样品相似，“不典型”是指衍射点两侧边带不对称，一侧明显拉长，有出溶成另一个相的趋势。测量表明，其出溶方向也是 $(\bar{6}01)$ 。照片1是C4的No3号晶体的零层华盛顿图。

2. 一个钾相与一个钠相，两相共格

属这一类型的有礼陂地区L1的No3号晶体，玉华山地区Y4的No3、No4号晶体，东乡地区D1的No1号晶体。衍射特点：每一衍射位置有两个衍射点，说明已出溶成两个相，小 2θ 值一侧的强点是钾主相的衍射点，弱点是钠相的衍射点。钾钠两相均无双晶，但两相衍射点间有衍射条纹相连，说明两相共格^[2]。照片2是Y3的No4晶体的零层华盛顿图。

共格会使晶体产生内应力，从而导致晶胞异常^[2]，因此这些样品存在共格出溶解释了它们粉晶衍射表明的晶胞异常现象。

在华盛顿图上测得的以上各样品出溶方向与 $[100]$ 夹角列于表3中，都近于平行 $(\bar{6}01)$ 。

3. 一个钾相和一个更富钾相

D1的No2晶体（采自东乡地区）属于此类型，单晶标准迴摆图见照片3。主相为一无双晶钾相， 2θ 更小一侧的弱点为更富钾相衍射点，衍射点沿等 ξ 拉长表明有形成超显微双晶即三斜化的趋势。两相成分极为接近，衍射点几乎重合，很可能共格。

4. 一个钾相和一个具钠长双晶的钠相

出现这类衍射的为L2的No3、No4号晶体，标准迴摆图见照片4。强衍射点为钾相点，无双晶；弱点为钠相衍射点，有钠长双晶^[2]。两相不共格，双晶也不共格。

对具钠长双晶或肖钠双晶的碱性长石，可用Smith(1955)^[5]双晶法测量计算三斜有序

表 3. 长石出溶方向与〔100〕的夹角

Table 3. Acute angles between 〔100〕 and the direction of exsolution of alkali feldspars

样	号	出溶方向与〔100〕夹角
	C4	11° ±
	L1	11° ±
	D1	11° ±
	Y3	12° ±

度及相应各相的Or(mol) %。笔者做法与Smith略有不同, ζ_{hkl} 、 $\zeta_{\bar{h}\bar{k}\bar{l}}$ 、 ξ_{hkl} 、 $\xi_{\bar{h}\bar{k}\bar{l}}$ 均由贝尔纳卡读得, 然后直接代入下公式:

$$\text{钠长双晶: } \frac{lc^*}{h} \cos \alpha^* + a^* \cos \gamma^* = \frac{1}{2h} (\zeta_{hkl} - \zeta_{\bar{h}\bar{k}\bar{l}})$$

$$\text{肖钠双晶: } \frac{lc^*}{h} \cos \alpha^* + a^* \cos \gamma^* = \frac{1}{4hkb^*} (\xi_{hkl} + \xi_{\bar{h}\bar{k}\bar{l}}) (\xi_{hk} - \xi_{\bar{h}\bar{k}})$$

线性回归求得 α^* 、 γ^* 。代入下公式求出 $t_{10} - t_{1m}$ (近于等于 ΔY , 相当于三斜有序度)^[1]:

$$t_{10} - t_{1m} = \frac{\alpha^* - 1.9975\gamma^* + 89.77811}{0.24614\gamma^* - 26.86}$$

将 α^* 、 γ^* 值投入图 3 中得大致的 Or(mol) %。

用以上方法对 L2 的 No3 晶体测量结果见于表 4 中。实际上其双晶并非严格的钠长石律, 因双晶衍射点有拉长现象, 拉长方向斜交等 ξ 线, 使双晶衍射点间失去了原有的对称面。解释见本文第五部分。

5. 一个钾相和一个具肖钠双晶的钠相

C3 的 No1、No2 号晶体具有此类衍射, 见照片 5、6, 强点为无双晶主钾相

射点。钠相在高层线的每一衍射位置上均为三个衍射点, 有别于规则周期双晶 (越高层衍射点越多), 而且中间的衍射点强度明显大于两侧的衍射点, 在零层它们合为一点, 说明属同一个相。($hk0$) 方向

旋进图也证了这一点。推测钠相只局部具肖钠双晶, 大部分是无双晶区域。两相衍射点间有衍射条纹相连, ($hk0$) 旋进图上 ($0k0$) 衍射位置两相重合为一个点, 说明在垂直 ($0k0$) 方向两相为共格关系。

6. 一个钾相和一个具肖钠规则周期双晶的钠相

这一衍射类型发现于 Y2 的 No3 (采自玉华山) 晶体中。衍射特点: 在标准迴摆图零层

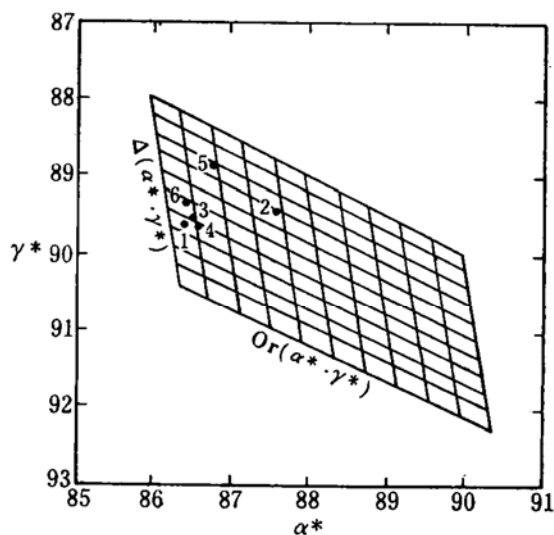
图 3. 倒易角参数 α^* 、 γ^* 图Fig. 3. Plot of reciprocal angle parameters α^* and γ^* for alkali feldspars

表 4. 线性回归结果

Table 4. Results of linear regression

样 号	双晶类型	测量点数	α^* (度)	γ^* (度)	Or(mol) %	$\iota_{10}-\iota_{1m}$	线性回归相关系数	编 号
L2 No3	钠长双晶	9	86.34	89.63	5	0.62	0.9993	1
Y1 No2	肖钠双晶	4	87.58	89.42	38	0.26	0.9925	2
L1 No1	钠长双晶	7	86.43	89.56	9	0.57	0.9995	3
Y1 No3	钠长双晶	6	86.59	89.71	10	0.60	0.9998	4
Y1 No3	肖钠双晶	7	87.07	88.89	18	0.15	0.9700	5
Y2 No4	钠长双晶	8	86.36	89.31	6	0.48	0.9992	6

注：表中数据出现的不合理现象主要由于双晶律非严格钠长石律和肖钠长石律

上，每一衍射位置只见两个点，强点为钾主相；高层上，钾相仍为单一强点，钠相为一系列等间距且强弱相间的衍射点，层数越高，衍射点越多，构成“ $\bullet \bullet \bullet \bullet \bullet$ ”的图案。见照片 7。

7. 一个钾相和一个同时具钠长双晶以及肖钠双晶的钠相

L2的No5(礼陂地区)、Y1的No2(玉华山地区)晶体的衍射属此类型，见照片 8。主衍射点为单斜钾相，由于微弱三斜化，有沿等 ϵ 线拉长现象。钠相具肖钠双晶和钠长双晶，它们的衍射点组成形如“ $\bullet \bullet \bullet \bullet$ ”的衍射图案，钠长双晶 b^* 与肖钠双晶 b 轴平行，具有M双晶的结晶学关系^[2]。钠长双晶与肖钠双晶衍射点间有衍射条纹相连，为双晶共格关系^[2]。早在1950年，Fritz、Laves就对这种现象作过解释，他们认为M双晶形成于单斜向三斜长石的转化过程中。此过程中，一些单斜对称要素被保留下来，如钠长双晶保留了单斜的对称面，肖钠双晶则保留了单斜的对称轴，从而能使钠长双晶的 b^* 与肖钠双晶的 b 轴重合。当单斜向三斜转化还不彻底时，尚未形成一定大小、较完整的三斜区域，不同区域间相互影响，还存在有介于单斜与三斜之间的中间状态，钠长双晶与肖钠双晶单体间的晶体结构发生弯曲，使这些单体的结构还能保持一定的连续性^[6]，所以在衍射图上，钠长双晶和肖钠双晶衍射点间出现了共格条纹。也有一些学者对M双晶有不同的解释，但笔者认为以上解释适合于本样品的情况。Y1的No2(玉华山)与L2的No5晶体的区别是钠长双晶衍射点较肖钠双晶衍射点弱，此外，肖钠双晶单体间以及钾钠相间都为共格关系。

8. 两个无双晶钾相与一个具钠长双晶的钠相

属该类型的分别有L2的No1、No2、No6，L1的No1、No2号晶体(礼陂地区)，Y3的No2、Y1的No1号晶体(玉华山)，衍射图见照片 9。衍射特点是以一个钾单斜相为主相， 2θ 更小一侧有一个富钾相衍射点，已三斜化， 2θ 更大一侧为具双晶的钠相衍射点，双晶单体衍射点延长方向斜交等 ϵ 线，类似于对角联合双晶(diagonal association)^[7]。L1的No1、No2号晶体的钾主相有出溶边带。双晶法测得L1的No1样品钠相Or成分于表 4 中。

9. 两个钾相与一个同时具肖钠双晶和钠长双晶的钠相

Y2的No1、Y1的No3、Y3的No1号晶体(玉华山)的衍射属这一类型，见照片10、11。此类型与第 8 类相似，但钠相除钠长双晶外还具肖钠双晶，而且它们的衍射点间有衍射条纹相连，即双晶共格，实际上它们构成了M双晶。钾钠相间不共格，旋进照片表明($0k0$)位置均为两个衍射点。双晶法测得Y1的No3号晶体钠相的成分于表 4 中。

10. 两个钾相与一个具钠长双晶、肖钠双晶和肖钠规则周期双晶的钠相

属这一类型的是Y2的No2、No4号晶体(玉华山),见照片12。与第9类衍射基本相似,但除肖钠双晶外,钠相还有肖钠规则周期双晶,且存在双晶共格。肖钠双晶衍射点之连线与肖钠规则周期双晶衍射点连线不平行,即不垂直 b 轴,说明其非严格的肖钠长石律(参见本文第五部分)。(hk0) 旋进图上,(h00) 衍射位置均为两个衍射点,而(0k0) 位置上都合为一个点,说明两相共格。

(四) 透长石晶体结构分析

大量的Or含量在80—90%间的透长石晶体结构已被很多学者测定过,但笔者测定的长石晶体Or仅为60%左右,这种成分的透长石的结构,至今被测定者不多。

进行结构分析的样品采自高家地区,无出溶(指出溶成两相)及双晶现象,有边带衍射,晶体无色(由于风化,略显乳白)透明,(001)、(010)解理发育,偏光显微镜下消光均匀,化学成分见表1,粉晶分析的晶胞参数见表2(F1-1)。单晶测定的晶胞参数为:

$$a=8.4675(\pm 0.0002) \text{ \AA}, b=12.9799(\pm 0.0024) \text{ \AA}, c=7.1562(\pm 0.0015) \text{ \AA}, \\ \beta=116.063^\circ(\pm 0.014).$$

实验条件、数据的收集和处理方法及结构分析过程见本系列文章三^[4]。结构分析结果,R偏离因子为0.0389,原子坐标,热振动参数、部分键长、键角分别见表5、6、7、8

表5. 透长石的原子坐标、占有率和热振动参数

Table 5. Atomic coordinates, occupancy, and thermal vibration parameters in sanidine

原子	原子坐标			占有率		
	X	Y	Z	K		
T ₁	0.0090(1)	0.1831(1)	0.2236(1)	0.9422		
T ₂	0.7052(1)	0.1174(1)	0.3436(1)	0.9602(0)		
O _A (1)	0.0	0.1443(2)	0.0	0.5000		
O _A (2)	0.6279(4)	0.0	0.2852(5)	0.5000		
O _B	0.8270(3)	0.1428(2)	0.2269(3)	1.0000		
O _C	0.0315(3)	0.3085(1)	0.2563(3)	1.0000		
O _D	0.1824(3)	0.1259(2)	0.4048(3)	1.0000		
(K, Na)	0.2825(2)	0.0	0.1373(2)	0.4213		

原子	热振动参数					
	U ₁₁	U ₂₂	U ₃₃	U ₂₃	U ₁₃	U ₁₂
T ₁	0.0216(4)	0.0114(3)	0.0104(3)	-0.0007(3)	0.0090(3)	-0.0025(3)
T ₂	0.0214(4)	0.0086(3)	0.0136(3)	-0.0001(2)	0.0093(3)	-0.0003(3)
O _A (1)	0.0408(17)	0.0238(14)	0.0187(13)	0.0	0.0168(13)	0.0
O _A (2)	0.0369(17)	0.0115(12)	0.0279(15)	0.0	0.0100(13)	0.0
O _B	0.0312(11)	0.0335(12)	0.0291(11)	0.0006(10)	0.0188(9)	-0.0042(10)
O _C	0.0291(11)	0.0171(9)	0.0249(10)	-0.0017(8)	0.0116(9)	-0.0016(8)
O _D	0.0328(11)	0.0210(10)	0.0168(9)	0.0021(8)	0.0084(8)	0.0018(8)
(K, Na)	0.0247(6)	0.0405(7)	0.0341(6)	0.0	0.0109(5)	0.0

表 6. 透长石的T—O和M—O键长

Table 6. T—O and M—O bond distances in sanidine

T ₁ —O _A (1)	1.646	T ₂ —O _A (2)	1.638	K—O _A (1)	2.850
T ₁ —O _B	1.637	T ₂ —O _B	1.621	K—O _A (2)	2.636(1)
T ₁ —O _C	1.642	T ₂ —O _C	1.634	K—O _B	4.569
T ₁ —O _D	1.641	T ₂ —O _D	1.629	K—O _C	4.779
平均T ₁ —O	1.643	平均T ₂ —O	1.6305	K—O _D	2.911
t_1	0.6	t_2	0.4		

表 7. 透长石的O—O键长

Table 7. O—O bond distance in sanidine

四面体	O _A (1)—O _B	O _A (1)—O _C	O _A (1)—O _D	O _B —O _C	O _B —O _D	O _C —O _D	四面体平均键长(Å)
T ₁	2.620	2.746	2.627	2.709	2.711	2.679	2.682
	O _A (2)—O _B	O _A (2)—O _C	O _A (2)—O _D	O _B —O _C	O _B —O _D	O _C —O _D	四面体平均键长(Å)
T ₂	2.658	2.594	2.653	2.677	2.680	2.704	2.661
平 均	2.639	2.670	2.640	2.693	2.696	2.692	

表 8. 透长石的O—T—O, T—O—T键角值

Table 8. Values of O—T—O and T—O—T bond angles in sanidine

T ₁ 四面体		T ₂ 四面体			
O _A (1)—T ₁ —O _B	105.9	O _A (2)—T ₂ —O _B	109.3(9)	T ₁ —O _A (1)—T ₁	144.4
O _A (1)—T ₁ —O _C	113.2	O _A (2)—T ₂ —O _C	104.9(8)	T ₂ —O _A (2)—T ₂	136.9
O _A (1)—T ₁ —O _D	105.8	O _A (2)—T ₂ —O _D	108.6(6)	T ₁ —O _B —T ₂	152.7
O _B —T ₁ —O _C	111.4	O _B —T ₂ —O _C	110.7(7)	T ₁ —O _C —T ₂	131.7(5)
O _B —T ₁ —O _D	111.3	O _B —T ₂ —O _D	111.1(7)	T ₁ —O _D —T ₂	141.8(7)
O _C —T ₁ —O _D	109.0	O _C —T ₂ —O _D	111.9(1.1)		
平 均	109.4	平 均	109.4	平 均	141.5

(表中括弧中值为标准偏差)。

Al在Ti位置的占位度可由键长计算而得, 公式为:

$$t_i = 0.25 + (\langle \text{Ti—O} \rangle - \langle \text{T—O} \rangle) / 0.25$$

(据Pawl. H Ribbe 1983)

对于单斜晶系, 空间群为C2/m, T只有两种位置, 所以i为1或2, $\langle \text{Ti—O} \rangle$ 为i位置T—O键的平均键长, $\langle \text{T—O} \rangle$ 为1和2位置T—O键长的总平均。计算结果见表6, 与粉晶结果接近。

(五) 讨 论

1. 表2中F1-1样品(高家地区)的晶胞参数是用9214程序计算所得, 用其bc轴长计算的Al在T₁的占位度0.51与用T—O键长计算的0.59(认为更接近实际情况)相差较大, 但单晶测量证明晶胞参数是正确的, 所以其原因是晶胞发生了异常使轴长受到扭曲, $\Delta a = 0.13$ 也表明了这一点, 晶胞异常有两个因素: 晶体的内应力和成分中含有某些杂

质^[1], 单晶照相已证明该样品为具边带的单一相, 所以这种异常是杂质所引起。L1 (礼陂地区) 和C3 (铅山地区) 样品也出现异常, 单晶证明它们存在强烈的共格关系, Δa 值应很大, 但事实上它们的 Δa 值却在0.5左右, 笔者认为原因也是含有如 Fe^{3+} 、 NH_4 、 H_3O^+ 等杂质。因此得出结论: 本区碱性长石晶胞异常是晶体中的内应力和成分中含有某些杂质同时作用的结果。

2. 单晶照相研究表明, 本工作区火山碎屑岩中碱性长石的复结构类型丰富多采, 既有单一相, 也有两相甚至三相连生, 有边带衍射, 还有共格和不共格现象, 双晶类型复杂多样, 有些复结构组合形式前人尚未有过报导。

3. 笔者认为第4、8类型钠相的双晶应是对角联合双晶, 是单斜向三斜转化未彻底时形成的、尚未完全达到钠长双晶结晶学位置晶域间的关系。同理, 第10类型的“肖钠双晶”是尚未完全满足肖钠双晶条件的晶域的衍射, 可以说它们是真正的钠长双晶、肖钠双晶的过渡态。因此, 对角联合双晶、肖钠双晶、钠长双晶、M双晶是同一种机制, 不同阶段的产物。

4. 从单晶衍射图看, 钾钠相均无双晶或钠相具肖钠双晶(包括规则周期双晶)时, 两相常能保持共格, 如第2、5、7、10类型, 而钠相出现钠长双晶时, 共格多不存在, 如第4、8类型, 看来肖钠双晶比钠长双晶更易于在快速冷却的条件下形成(更高温相中), 笔者认为其原因可能与肖钠长石双晶的结晶学条件(保留单斜的对称轴)更易满足有关, 只有在相对较缓慢的冷却过程中, 晶瞬间才得以充分调整以满足钠长双晶的结晶学关系。

5. 图4是碱性长石的T(温度)—X(成分)示意图, a是无应力出溶线(strain free solvus), b是共格分解线(coherent solvus), c是化学旋节线(chemical spinodal), d是共格旋节线(coherent spinodal)。对碱性长石c常被忽略, 所以图4可分为(1)、(2)、(3)三个区(如图), 在(1)区中, 出溶的机制是成核生长作用, 此区内形成的晶核在达到体积的临界值前必需失去连续性(至少为半共格), 所以称(1)区为不均匀成核作用区(亚稳区)。在(3)区中, 旋节分解没有任何阻碍能量, 这个区内的出溶仅限于离子间的扩散, 所以称(3)区为不稳定区^[8]。

因此, 当冷却速度较慢时, 长石可以在(1)区内以不均匀成核生长机制出溶, 形成不共格的显纹长石; 冷却速度加快时, 长石可以保持单一相至(2)区内以均匀成核作用方式出溶, 形成共格的微纹长石; 迅速淬火条件下, 长石可以到(3)区才发生分解, 这种机制是共格旋节, 形成隐纹长石。

根据以上分析, 高家地区的碱性长石只存在第1类型衍射, 即在(3)区内形成, 岩石冷却速度

最快。铅山地区碱性长石存在第1、2、5类型衍射, 且共格明显, 所以该地区碱性长石

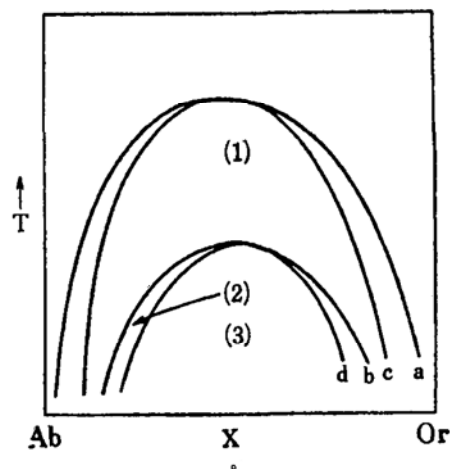


图4. 碱性长石T—X示意图
表示无应力出溶线(a), 共格出溶线(b),
化学旋节线(c)和共格旋节线(d)的关系

Fig. 4. Schematic T-X diagram
showing the relations
between strain-free solvus(a), coherent
solvus(b), chemical spinodal (c), and
the coherent spinodal(d). Ignoring the
chemical spinodal(c), the miscibility
gap can be divided into the three areas
shown

是在(3)区内由共格旋节作用(粗面岩中)和(2)区内由均匀成核作用形成,为隐纹和微纹长石,岩石冷却速度也较快,但次于高家地区。东乡地区碱性长石存在2、3类衍射,两相共格,为(2)区内形成。所以岩石的冷却速度应与铅山地区相近。礼陂、玉华山地区的碱性长石既可以是两相共格也可以是两相不共格,所以它们是在(1)、(2)区分解而成,冷却速度较慢且复杂,但所研究样品取自礼陂和玉华山岩体的较中心部位,只能反映这一部份的冷却情况。

原始成分也会影响出溶的发生和进行。如总成分接近两端元,那么长石冷却时要在(2)区内穿过较长的一段距离,均匀成核作用更易发生形成微纹长石(两相共格)。如原始成分接近临界点(弧顶),随着冷却,长石很容易越过(2)区而进入(3)区,以共格旋节机制形成隐纹长石。所以考虑长石热历史应同时考虑其成分。高家、铅山地区碱性长石总成分都较其它地区长石接近临界值,所以更易于形成隐纹长石,由此看来高家、铅山地区的长石冷却速度与其它地区长石冷却速度相差应更小些。

6. 玉华山岩体边缘相和礼陂岩体中心相碱性长石都既存在两相不共格的条纹长石又存在两相共格的微纹长石,长石结构的这种不均匀性反映了它们所寄存的岩石热历史的复杂性,表1还表明长石成分也是不均匀的。

7. 成分、键长、键角、单斜有序度等都证明以上地区碱性长石多属钾透长石,铅山地区属钠透长石系列,除礼陂、玉华山岩体中心相碱性长石为正长石外,其它均为低透长石(偏高透长石)。

8. 进行结构分析的样品是具边带衍射的单一相,但分析结果R因子为0.0389,说明强度数据质量较高,密度调制对长石的结构无太大影响。

由于笔者工作的广度和深度都有限,所以上面所作的讨论仅为自己一点肤浅的认识,还需做进一步的研究工作。

研究工作中曾得到江西261地质队宋老路、孙国平工程师、南京地矿所的黄光昭、尹家衡工程师、孙以谏付研究员的帮助,本室施倪承、马喆生、韩绍绪等同志也都给予了很多指教和帮助,在此表示感谢!

参 考 文 献

- [1] Ribbe, P. H., 1955. Feldspar Mineralogy. St-14—St-17, Printed by Southern Printing Company. Blacksburg Virginia.
- [2] 彭志忠、西门露露、王鲜华, 1986, 调制结构及复结构的概念及实验方法。《岩石矿物学杂志》, vol. 5, no. 3, p. 236.
- [3] Smith, J. V., 1974. Feldspar Minerals. vol. I, p. 190, by Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [4] 彭志忠、王鲜华、西门露露, 1986, 河北省汉诺坝玄武岩歪长石结构的研究。《岩石矿物学杂志》, vol. 5, no. 3, p. 253.
- [5] Smith, J. V., and Mackenzie, W. S., 1955. A simple X-ray technique for the study of alkali feldspars. Am. Mineral., vol. 40, p. 733—747.
- [6] Laves, F., 1950. The lattice and twinning of microcline and other potash feldspars. Jour. Geol., vol. 58, p. 548—571.
- [7] 同[3], p. 179—196.
- [8] 同[1], Y-29—Y-35.

**A Study of Modulated Structures and Complex Structures
in Natural Alkali Feldspars;**

**IV. Studies on Complex Structures of Alkali Feldspars
of Volcaniclastic Rocks in the Northeast Part of
Jiangxi Province**

[Peng Zhizhong], Liao Libing, Ximen Lulu

(Beijing Graduated School of Wuhan College of Geology)

Abstract

In this paper, the authors have studied systematically the complex structures of alkali feldspars of volcaniclastic rocks in the northeast part of Jiangxi province, mainly through X-ray single crystal analysis (including precession method, standard orientation oscillation method and Weissenberg method), accompanied by X-ray powder diffraction, electron probe analysis and complex structural analysis. Ten kinds of diffraction patterns of single crystals were concluded and discussed (some of which have not been reported yet). With messages got from the study, the authors tried to infer the cooling history of the rocks. The alkali feldspars which have side band diffraction and two phases (sodic and potassic phases) that are coherent were measured in order to determine the period of modulation (lamellar spacing) and the direction of exsolution. The structure of sanidine in one of the areas was also determined.



$/a^*$

照片 1. C4 的 No3 号晶体零层华盛顿图



$/a^*$ $/c^*$

照片 2. Y3 的 No4 晶体零层华盛顿图



照片 3(a). D1 的 No2 号晶体标准迴摆图



(b). 标准迴摆图上(405)衍射点局部放大



照片 4. L2 的 No3 号晶体标准迴摆图



照片 5. C3 的 No2 号晶体标准迴摆图上(402)衍射点放大



照片 6. C3 的 No2 号晶体标准迴摆图上(242)衍射点放大



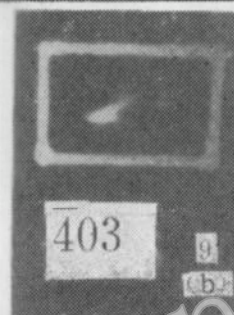
照片 7. Y2 的 No3 号晶体的标准迴摆图衍射图案形如：“•••••”



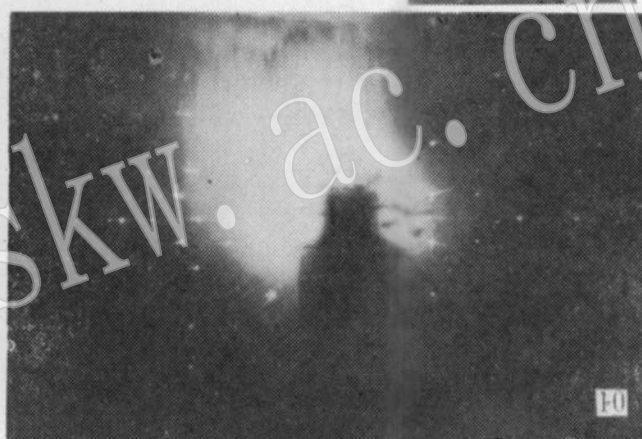
照片 8. Y1的No2号晶体标准迴摆图



照片 9(a). L1的No1号
晶体标准迴摆图
(b). 标准迴摆图
上(403) 衍射点
局部放大



照片 11. Y1的 No3 号晶体 ($hk0$) 方向旋进
图($0k0$)位置为两个点, 两相 不共格

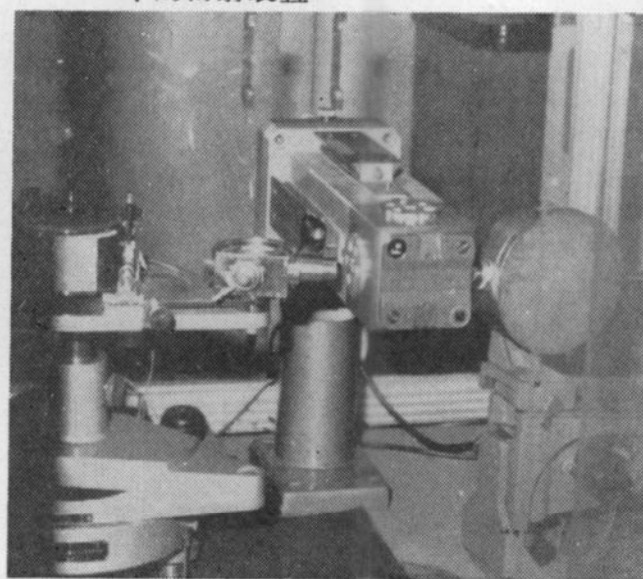


照片 10. Y1的No3号晶体标准迴摆图



照片 12. Y2的No4号晶体标准迴摆图

魏明秀: 纪尼叶聚焦相机——一种提高分辨率的衍射装置



照片 1. 国产 XDSS-821型纪尼叶相机与水平位置
的X管联用