

岩浆岩中斜长石成分和含量的计算

曹 祥 文

本文是作者的学习心得,着重介绍 A. H. 查瓦里茨基和 E. A. 库兹涅佐夫计算斜长石成分的方法,同时提出岩石类型判别式,并列了用矿物正电原子数计算斜长石成分的过程。

1. 正常成分系列岩石

(1) 判别式:

$$K + Na + 2(Ca - 1.5P) > Al > K + Na$$

(2) 计算斜长石成分的公式:

$$N_b = \frac{2.5(Al - K - Na)}{5Na + 2.5(Al - K - Na)} \times 100$$

2. 铝过饱和系列岩石

(1) 判别式:

$$Al > K + Na + 2(Ca - 1.5P)$$

(2) 计算斜长石成分的公式:

$$N_b = \frac{5(Ca - 1.5P)}{5Na + 5(Ca - 1.5P)} \times 100$$

式中 K、Na、Ca、P、Al 分别代表岩石中钾、钠、磷、铝的原子数;公式 N_b 中之所以未约分,是因为要求组成斜长石矿物的正电原子数占岩石中总原子数的百分比,若只求斜长石成分(牌号)时则可约分。

一 斜长石及其在岩石分类命名中的作用

斜长石是由钠长石和钙长石这两种成分组成的,通常按其量比将斜长石划分为以下六种:

钠长石 (Ab) — Na[AlSi ₃ O ₈]	
钠钙斜长石 (更长石)	} Ab + An 的类质同象混合物
中长石	
钙钠长石 (拉长石)	
培长石	
钙长石 (An) — Ca[Al ₂ Si ₂ O ₈]	
岩浆岩按斜长石分为:	
(亚)碱性长石	
酸性长石	
中性长石	
基性长石	

钠长石分子 (Ab) 的含量(%)	钙长石分子 (An) 的含量(%)
100~90	0~10
90~70	10~30
70~50	30~50
50~30	50~70
30~10	70~90
10~0	90~100

N_b	0~10
	10~30
	30~60
	60~100

所谓“酸性”、“中性”、“基性”是表示 SiO₂ 的含量由钠长石—钙长石递减,即斜长石系列中钙长石分子的含量增加时

SiO₂ 的含量递减。

斜长石在除橄榄岩—苦橄玢岩、霞石正长岩—响岩、霓霞岩—霞石岩等少数岩石

外,在其它岩石中的含量一般不少于岩石总量的30%,大部分在50%左右,是大多数岩浆岩的主要组成部分。因此,斜长石的成分和含量是一个很重要的标志,在岩浆岩分类中有着重要作用。长石在岩浆岩中的分布具有明显的规律性,反映了岩浆演化过程的一般规律,因此,准确鉴定和计算斜长石的成分和含量,对岩浆岩分类命名,特别是对无斑或斑晶很少、基质为隐晶质或玻璃质的岩浆岩的分类命名,对探讨岩浆成因及成矿特征等,都有重要意义。

二 A.H.查瓦里茨基和E.A.库兹涅佐夫计算斜长石成分的方法及简要说明

1. A.H.查瓦茨基斜长石成分算法

查氏本人并没有直接提出计算斜长石成分的方法。B.И.季诺维耶夫在查氏岩石化学计算的基础上提出了“根据岩浆岩的化学分析鉴定斜长石成分”的公式:

$$P = \frac{C}{2MNa_2O + C} \times 100$$

式中P—斜长石牌号。文中把P值作为查氏岩石化学算法的补充数值之一。C—查氏算法主要数值特征之一,它代表与铝结合呈铝酸钙($CaAl_2$)的钙质铝硅酸盐中的钙原子数,即文中所说的钙长石组分中CaO的分子数。

在正常成分系列岩石中, $C = MAl_2O_3 - (MNa_2O + MK_2O)$

在铝过饱和系列岩石中, $C = MCaO$

M—代表相应氧化物的分子数,如 MNa_2O — Na_2O 的分子数。用该法鉴定斜长石成分(牌号)的几个实例见表1。

普通辉长岩(据P.O.戴里) 表1—1

氧化物	重量%	分子数	鉴定过程及说明
SiO ₂	48.24	176	CaO + Na ₂ O + K ₂ O < Al ₂ O ₃ < Na ₂ O + K ₂ O, 即有196 + 41 + 10 > 176 > 41 + 9 故属正常成分系列岩石
TiO ₂	0.97		
Al ₂ O ₃	17.88		
Fe ₂ O ₃	3.16		
FeO	5.95		
MnO	0.13	196	$P = \frac{C}{2MNa_2O + C} \times 100$ 其中, $C = MAl_2O_3 - (MNa_2O + MK_2O)$
MgO	7.51		
CaO	10.99		
Na ₂ O	2.55		
K ₂ O	0.89		
P ₂ O ₅	0.28	2	$= 176 - (41 + 10) = 125$ $\therefore P = \frac{125}{2 \times 41 + 125} \times 100$ $= 60$ 即该岩石中斜长石牌号为61(No)。
H ₂ O	1.45		

新疆达坂斜长粗面安山岩 (原称辉石安山玢岩) 表1—2

SiO ₂	58.09	125	83 + 70 + 21 > 125 > 70 + 21 故属正常成分系列岩石。在该系列岩石中,组成碱质铝硅酸盐后剩下的Al ₂ O ₃ ,才与CaO结合,所以C = MAl ₂ O ₃ - (MNa ₂ O + MK ₂ O)
TiO ₂	1.49		
Al ₂ O ₃	12.84		
Fe ₂ O ₃	1.77		
FeO	7.78		
MnO	0.14	83	C = 125 - (70 + 21) = 34 $\therefore P = \frac{34}{2 \times 70 + 34} \times 100$ $= 20$ 即该岩石中斜长石平均成分(牌号)为20。
MgO	1.50		
CaO	4.64		
Na ₂ O	4.33		
K ₂ O	2.04		
P ₂ O ₅	0.60	4	

各时代花岗岩(P.O.戴里) 表1—3

SiO ₂	70.18	142	Al ₂ O ₃ > CaO + Na ₂ O + K ₂ O 故属铝过饱和系列岩石。由于铝过饱和,这种情况下钙全部与铝结合(成CaAl ₂),组成钙质铝硅酸盐,故C = MCaO = 36
TiO ₂	0.39		
Al ₂ O ₃	14.47		
Fe ₂ O ₃	1.57		
FeO	1.78		
MnO	0.12	36	$\therefore P = \frac{36}{2 \times 56 + 36} \times 100$ $= 24$ 即该岩石中斜长石平均成分(牌号)为24。
MgO	0.88		
CaO	1.99		
Na ₂ O	3.48		
K ₂ O	4.11		
P ₂ O ₅	0.19	1	
H ₂ O	0.84		

2. F.A.库兹涅佐夫计算斜长石成分的方法

在库氏岩石化学成分算法中,斜长石成分的确定可采用以下方法:

$$(1) N_b = \frac{Ca1}{Ne + Ca1} \times 100, \text{ 式中:}$$

N_b —斜长石成分(牌号), Ne —钠长石的基本分子, 分子式为 $NaAlSiO_4$ 。 $Ca1$ —组成钙长石的基本分子(铝酸钙), 分子式为 $CaAl_2O_4$ 。在正常成分系列岩石中, $Ca1 =$

$$= MA1 - MK - MNa + \frac{MA1 - MK + MNa}{2}$$

$$= 1.5(MA1 - MK - MNa) \text{ 在铝过饱和系列}$$

岩石中, $Ca1 = M_{Ca} - \frac{3}{2}MP$ 。其中, M —相应氧化物(Al 、 K 、 Na 、 P)的原子数。

$$(2) N_b = \frac{c}{n + c} \times 100$$

式中, c 、 n 为库氏算法中补充数值特征中的数值, 分别代表钾长石、钠长石、钙长石基本分子中钙长石基本分子、钠长石基本分子所占的比例。

用库氏法计算斜长石成分的过程见表2。

普通辉长岩

表2—1

氧化物	重量 (%)	原子数		$KAlSiO_4$ K_p	$NaAlSiO_4$ Ne	$CaAl_2O_4$ $Ca1$	
SiO_2	48.24	803		20	82		$K + Na + 2Ca > Al > Na + K$ 即 $20 + 82 + 2 \times 196 > 352 > 18 + 82$ 属正常成分系列岩石。 $N_b = \frac{Ca1}{Ne + Ca1} \times 100$ 式中, $Ca1 = (352 - 20 - 82) \times 1.5$ $= 375$ $Ne = 3Na = 246$ 故 $Ne = 61$ 。
TiO_2	0.97	12					
Al_2O_3	17.88	352		20	82	250	
Fe_2O_3	3.16	39					
FeO	5.95	82					
MnO	0.13	2					
MgO	7.51	186					
CaO	10.99	196				126	
Na_2O	2.55	82			82		
K_2O	0.89	20		20			
P_2O_5	0.28	4					
		1776		60	246	376	

新疆达坂斜长粗面安山岩

表2—2

氧化物	重量 (%)	原子数		K_p	Ne	$Ca1$	
SiO_2	58.09	967		43	139		$K + Na + 2Ca > Al > Na + K$ 为正常成分系列岩石。 $N_b = \frac{Ca1}{Ne + Ca1} \times 100$ $= \frac{103.5}{417 + 103.5} \times 100$ $= 20$
TiO_2	1.49	19					
Al_2O_3	12.84	251		43	139	69	
Fe_2O_3	1.77	22					
FeO	7.78	109					
MnO	0.14	2					
MgO	1.50	37					
CaO	4.64	83				34.5	
Na_2O	4.33	139			139		
K_2O	2.04	43		43			
P_2O_5	0.60	8					
总计		1680			417	103.5	
换算为百分数							

氧化物	重量 (%)	原子数	基 本 分 子 数												
			Ca ₃ P ₂ O ₈	TiO ₂	KAlSiO ₄	NaAlSiO ₄	CaAl ₂ O ₄	Fe ₂ O ₃ FeO	MS'		SiO				
			Cp	Ru	Kp	Ne	Cal	Mt	Al	FeMg	Q				
SiO ₂	70.18	1169	3	5	88	112	66	19	17	20	949				
TiO ₂	0.39	5													
Al ₂ O ₃	14.47	283			88	112									
Fe ₂ O ₃	1.57	19											19		
FeO	1.78	25											10		15
MnO	0.12	2													2
MgO	0.88	22													22
CaO	1.99	36											33		
Na ₂ O	3.84	112										112			
K ₂ O	4.11	88										88			
P ₂ O ₅	0.19	2	2												
总 计		1763	5	5	264	336	99	29	17	59	949				
换算为百分数	100(%)		0.3	0.3	15.0	19.0	5.6	1.6	0.9	3.3	54.0				

$Al > K + Na + 2Ca$, 即 $283 > 88 + 112 + 2 \times 36$, 为铝过饱和系列岩石。

采用(1)式时有:

$$N_b = \frac{Cal}{Ne + Cal} \times 100 = \frac{99}{336 + 99} \times 100 = 23 \quad \text{或} \quad N_b = \frac{5.6}{19.0 + 5.6} \times 100 = 23$$

采用(2)式时有:

$$N_b = \frac{c}{n + c} \times 100, \quad \text{其中}, \quad n = \frac{Ne}{Kp + Ne + Cal} \times 100 = 48$$

$$c = \frac{Cal}{Kp + Ne + Cal} \times 100 = 14, \quad \therefore N_b = \frac{14}{48 + 14} \times 100 = 23$$

3. 对上述计算方法的简要说明

查氏和库氏岩石化学计算方法, 特别是查氏算法, 尚存在许多问题, 这里不予详述, 仅对其计算斜长石的方法作简要说明如下:

上述计算斜长石成分法对正常成分系列岩石来说, 其结果应是一样的, 因二氏计算时均以和K、Na结合后所剩之 Al' 为准来确定与其结合所需之Ca。一般说来, Ca先与P结合后所剩之Ca再与 Al' 结合还有剩余。查氏计算中虽然没有考虑Ca与P之间的关系, 但由于Ca有剩余, 不影响钙长石基本分子的计算, 所以两种方法在这种情况下其结果是一致的。

岩浆岩中 $K + Na + 2Ca$ 略大于 Al 时, 或构成磷灰石的 P_2O_5 较高时 (碳酸盐化时应首先扣除碳酸盐化所用之钙), 按判别式虽属正常成分系列, 但实际上很可能是铝过饱和系列岩石了。这是由于库氏算法中正常成分系列岩石的判别公式忽略了Ca与P之间的关系 (尽管在计算过程中考虑到了这一点) 所致。改正常成分系列岩石的判别式为 $K + Na + 2(Ca - 1.5P) > Al > K + Na$, 就可避免这种现象 (实例见后)。式中 K、Na、Ca、P、Al 均代表它们各自的正电原子数, 1.5P 是因为组成磷灰石时有 $Ca_3P_2O_8$, 其中金属原子 $Ca : P = 3 : 2$,

$Ca = \frac{3}{2}P = 1.5P$, 即磷灰石形成时所需之钙为1.5P (正电原子)。

若岩石中磷石的存在需考虑时 (假定此时磷灰石甚微而无需考虑), 则判别式应改为 $K + Na + 2(Ca - Ti) > Al > K + Na$ 。由于磷石— $CaTiSiO_5$ 中 $Ca : Ti : Si = 1 : 1 : 1$, 即组成磷石时所需的钙原子等于钛原子。

查氏计算法中, 原来就没有考虑Ca、P、N间的关系, 所以就无法避免这种现象。

对铝过饱和系列的岩石, 库氏法总是比查氏法计算结果的数值为小。这是因为库氏法中由于铝过饱和, 钙除和磷结合成磷灰石的基本分子— $Ca_3P_2O_8$ 外, 所剩之钙均与相应的铝结合成钙长石的基本分子— $CaAl_2O_4$ 后, 铝还有剩余 (在库氏法中同样应将铝过饱和系列岩石的判别式改为 $Al > K + Na + 2(Ca - 1.5P)$ 为宜)。由于查氏法中没有考虑钙与磷之间的关系, 而把所有的钙全用于结合成 $CaAl_2$, 从而组成钙质铝硅酸盐。若该系列的某种岩石中, P_2O_5 含量甚微, 或没做此项分析, 则二种计算法的结果应是一致的, 但有 P_2O_5 时, 查氏法比库氏法所得结果要大, 而且 P_2O_5

含量越增多, 两法所得结果相差也就越大。一般说来, 库氏法比较接近实际。

因为两法所计算的并不是岩石中真正存在的矿物, 而是所称的基本分子, 所以虽计算出斜长石的成分 (牌号), 但不能计算出其含量, 而斜长石的成分和含量对绝大多数岩浆岩来说却是一个很重要的标志。

三 用矿物正电原子数计算斜长石的成分及相对含量

大家知道, 斜长石的成分 $Nb = \frac{An}{An + Ab} \times 100$, 其中

$An - CaAl_2Si_2O_8$, 正电原子数比 $Ca : Al : Si = 1 : 2 : 2$ 。

$Ab - NaAlSi_3O_8$, 正电原子数比 $Na : Al : Si = 1 : 1 : 3$ 。

用矿物正电原子数计算斜长石的过程见表3, 对不同系列岩石中斜长石的公式, 推导如下:

1. 正常系列岩石

有 $K + Na + 2(Ca - 1.5P) > Al > K + Na$ 时, 才能称正常系列岩石。此时, 全

普通辉长岩 (据 P. O. 戴里)

表3—1

氧化物	重量 (%)	原子数				
			正长石及云母	$NaAlSi_3O_8$ Ab	$CaAl_2Si_2O_8$ An	
SiO_2	48.24	803	8×20	8×82	250	
TiO_2	0.97	12				
Al_2O_3	17.88	352	20	$- 82 =$	250	
Fe_2O_3	3.16	39				
FeO	5.95	82				
MnO	0.13	2				
MgO	7.51	186				
CaO	10.99	196			$\frac{1}{2} \times 250$	
Na_2O	2.55	82		82		$\frac{410}{1776} \times 100 = 23.1$
K_2O	0.89	20	20			
P_2O_5	0.28	4				$\frac{625}{1776} \times 100 = 35.2$
总和		1776		410	625	
换算为百分数		100		23.1	35.2	

新 达 坂 斜 长 粗 面 安 山 岩

表 3—2

氧化物	重量(%)	原子数			Ab	An	
SiO ₂	58.09	967		3 × 43	3 × 139	69	$43 + 139 + 2(83 - 8) > 251 > 43 + 139$, 正常成分系列。 $Ab = 5Na = 5 \times 139 = 695$ $An = 2.5(251 - 43 - 139) = 173$ $N_b = \frac{173}{695 + 173} \times 100 = 21$ 所占岩石总正电原子数百分比为51.66。
TiO ₂	1.49	19					
Al ₂ O ₃	12.84	251	—	43	—139 =	69	
Fe ₂ O ₃	1.77	22					
FeO	7.78	109					
MnO	0.14	2					
MgO	1.50	37					
CaO	4.64	83				$\frac{1}{2} 69$	
Na ₂ O	4.33	139			139		
K ₂ O	2.04	43		43			
P ₂ O ₅	0.60	8					
总 和		1680			695	173	
换算为百分数		100			41.36	10.30	

各 时 代 花 岗 岩 (P. O. 戴 里)

表 3—3

氧化物	重量(%)	原子数	Ca ₃ P ₂ O ₈ Cp	正长石 及云母	Ab	An	
SiO ₂	70.18	1169		8 × 88	8 × 112	2 × 33	$283 > 88 + 112 + 2(36 - 8)$, 铝过饱和系列。 $Ab = 5Na = 5 \times 112 = 560$ 以组成钙长石时满足磷(或钛, 成榍石)所过剩的Ca为准。 $Ca' = Ca - 1.5P = 36 - 8 = 33$ $An = 5 \times Ca' = 5 \times 33 = 165$ $N_b = \frac{165}{560 + 165} \times 100 = 23$
TiO ₂	0.39	5					
Al ₂ O ₃	14.47	283		88	112	2 × 33	
Fe ₂ O ₃	1.57	19					
FeO	1.78	25					
MnO	0.12	2					
MgO	0.88	22					
CaO	1.99	36	- 8			= 33	
Na ₂ O	3.84	112					
K ₂ O	4.11	88		88			
P ₂ O ₅	0.19	2	2				
总 和		1763			560	165	
换算为百分比							

石 英 斜 长 斑 岩 (新 疆 阿 可 秋 别 山)

表 3—4

氧化物	重量(%)	原子数			Ab	An	
SiO ₂	64.90	1081		8 × 82	8 × 51		若按传统的判别式: $K + Na + 2Ca > Al > K + Na$, 即 $82 + 51 + 2 \times 69 > 264 > 82 + 51$, 属正常成分系列。 按此计算, 满足K、Na后所剩的Al'为131, 且与相应钙(此时应为 $\frac{1}{2} \times 131 = 65.5$)组成钙长石, 但此时仅有钙为63, 所以计算无法进行。这是因为采用的判别式没有考虑P与Ca之间的关系所致。
TiO ₂	0.63	8					
Al ₂ O ₃	13.5	264			51	131	
Fe ₂ O ₃	2.04	25					
FeO	3.11	43					
MnO	0.03						
MgO	1.24	31					
CaO	3.86	69	6			63	
Na ₂ O	1.58	51			51		
K ₂ O	3.88	82		82			
P ₂ O ₅	0.26	4	4				
总 和							
换算为百分比							

部铝消耗在正长石（部分云母）和斜长石上，并剩余过多的钙，形成有色矿物辉石或闪石。

从上表计算可知：

$$Ab = 5Na = 5 \times 82 = 410$$

以组成钙长石来满足 K、Na 所剩余的 Al' 为准，即

$$Al' = Al - K - Na$$

$$Al' = 352 - 20 - 82 = 250$$

$$\therefore An = \frac{5}{2} Al' = 2.5 (Al - K - Na) \\ = 625$$

$$N_0 = \frac{625}{410 + 625} \times 100 = 60$$

斜长石的正电原子数所占岩石总正电原子数的百分比为 58.3。

2. 铝过饱和系列岩石

有 $Al > K + Na + 2(Ca - 1.5P)$ 时，方能称为铝过饱和系列岩石。此时，钙除参与组成磷灰石（或榍石）外，均参与斜长石中钙长石的组分，过剩的铝含于有色矿物中。

该岩石中斜长石正电原子数占岩石总

$$\text{正电原子数百分比: } \frac{560 + 165}{1763} \times 100\% \\ = 40.6\%。$$

若采用所提出的判别式，则为： $264 > 82 + 51 + 2(69 - 1.5 \times 4)$ ，属铝过饱和系列岩石， $\therefore N_0 = \frac{5 \times 63}{5 \times 51 + 5 \times 63} \times 100 = 55$ ，所占岩石总正电原子数百分比：34.4。

由上述各例可看出，在计算斜长石时，要首先判别出岩石属何系列，以后就不需列表，可直接用公式计算。

（1）正常成分系列岩石：

$$N_0 = \frac{2.5 (Al - K - Na)}{5Na + 2.5 (Al - K - Na)} \times 100$$

（2）铝过饱和系列岩石：

$$N_0 = \frac{5 (Ca - 1.5P)}{5Na + 5 (Ca - 1.5P)} \times 100$$

若列表计算时，用试算法也可，不需先求判别式了。

上述计算的斜长石正电原子数所占岩石总原子数的百分比，并不等于斜长石矿物所占整个岩石的重量百分比。要用重量百分比计算斜长石，还得预先算出许多用表，这里不再叙述了。

矿 山 地 质 人 员 的 野 外 培 训

在过去的八年间，中央条约组织经济委员会为实用矿山地质的培训计划提供资金。土耳其、伊朗和巴基斯坦这三个国家的五、六名地质学家每年夏天在其中一个国家的一个生产矿山教授10个星期的课程。该种课程主要是对所选择的某一矿区进行全面的地质评价，其中包括：矿山地质的详细填图（地表与坑下），小比例尺的区域地质填图及矿山评价课程。讲授的课程还有野外工作的常规步骤和一般说来较为重要的地质课题。尽管该项工作是执行一项训练计划，但其目的要求达到专业水平。工作结果汇编起来，地质图重新绘制，因此，其结论将有助于所研究的矿

山的未来生产。这些结果均移交给原矿山公司，以供其用。参加者为这三个国家的地质或采矿专业的毕业生，每期平均17人左右。

培训计划的宗旨是教给参加者在实践工作中如何系统地研究一个矿床。每星期有五天进行野外工作，晚上讲授课程。

（据英《采矿与冶金学会会报》

一九七七年第一期）