

地质参考资料（第十三辑）

岩石化学换算方法

内部资料 注意保存

宁夏地质局科技情报室

一九八〇年三月

目 录

一、换算具同型氧化物化学式的组	(1)
ϕ .IO.列文生—列星法	(1)
二、换算为指标组	(4)
(一) A.H.查瓦里茨基法	(4)
(二) P.尼格里“数”法	(9)
三、基于计算矿物组份的数量关系的换算方法	(12)
(一) C.I.P.W.法(省略)	(12)
(二) P.尼格里标准分子法	(12)
(三) E.A.库兹涅佐夫法	(21)
四、基于比较体积关系的方法	(24)
氧法(巴尔特法)	(24)
五、里特曼火成岩稳定矿物组合“计算方法”	(26)
六、北京第三研究所花岗岩类化学计算方法	(78)
七、基性岩超基性岩岩石化学计算和分类	(80)
八、超基性岩化学成分的计算及图解方法(吴利仁法)	(89)
九、基性岩与超基性岩岩石化学计算及图解方法	(93)
十、岩浆岩的平均化学成分的计算方法	(113)
十一、C.I.P.W.计算方法	(120)
十二、C.I.P.W.标准矿物成分与里特曼标准矿物成分 (稳定矿物组合)对比	(130)

附 录

附录1 由氧化物重量百分数换算原子数表	(135)
2 由A.B.C.S(总和由1000至2000)换算a.b.c.s(总和为100)表	(143)
3 根据分子数计算矿物分子的重量百分含量表	(150)
4 戴里的岩浆岩平均化学成分及A.H.查瓦里茨基数字指标表	(164)
5 根据A.H.查瓦里茨基数字指标确定岩石化学类型表	(174)
6 尼格里岩浆类型鉴定表	(176)
7 P.尼格里岩浆类型表	(189)
8 岩石平均化学成分(据戴里) 根据E.A.库兹涅佐夫投影值的分类表	(196)

9	岩浆岩平均成分(据戴里)之E.A.库兹涅佐夫投影值及 尼格里标准分子数值	(200)
10	П.Н.奇尔文斯基造岩矿物成分及其A.H.查瓦里茨基、 P.尼格里和E.A.库兹涅佐夫造岩矿物投影数值表	(207)
11	矿物成份表	(222)
12	元素在主要类型岩石中的平均含量(%)	(242)
13	各种岩石化学成分的平均含量(%)	(246)
14	火成岩岩浆几个主要类型的化学成份(%)	(247)
15	某些岩石类型主要化学成份(%)	(249)
16	几种主要矿产中常见有益伴生组分	(250)
17	含稀有分散元素的矿石矿物	(250)
18	稀有分散元素在最常见的矿物中的含量	(252)
19	最主要的稀土矿物	(256)
20	有关矿物的硬度比重表	(257)
21	中国各类基性岩、超基性岩岩石化学成分及其数字特征 (按A.H.查瓦里茨基法)	(295)
22	我国各类超基性岩的化学成分及其数字特征 (按吴利仁修定的方法)	(307)
23	各类陨石中硅酸盐相的化学成分及数字特征 (按吴利仁修定的方法)	(315)
24	中国地槽区、地召区各类超基性岩的平均化学成分表(重量%)	(317)
25	岩浆岩平均化学类型图解(根据戴里)	(318)

附录

(132)	附录一 岩浆岩平均成分(据戴里)之E.A.库兹涅佐夫投影值及 尼格里标准分子数值	1
(143)	附录二 元素在主要类型岩石中的平均含量(%)	2
(150)	附录三 各种岩石化学成分的平均含量(%)	3
(164)	附录四 火成岩岩浆几个主要类型的化学成份(%)	4
(171)	附录五 某些岩石类型主要化学成份(%)	5
(176)	附录六 几种主要矿产中常见有益伴生组分	6
(183)	附录七 含稀有分散元素的矿石矿物	7
(188)	附录八 稀有分散元素在最常见的矿物中的含量	8
(193)	附录九 最主要的稀土矿物	9
(198)	附录十 有关矿物的硬度比重表	10
(203)	附录十一 中国各类基性岩、超基性岩岩石化学成分及其数字特征 (按A.H.查瓦里茨基法)	11
(208)	附录十二 我国各类超基性岩的化学成分及其数字特征 (按吴利仁修定的方法)	12
(213)	附录十三 各类陨石中硅酸盐相的化学成分及数字特征 (按吴利仁修定的方法)	13
(218)	附录十四 中国地槽区、地召区各类超基性岩的平均化学成分表 (重量%)	14
(223)	附录十五 岩浆岩平均化学类型图解(根据戴里)	15

一、换算具同型氧化物化学式的组

Φ·Ю. 列文生-列星格法

1. 方法的任务

- (1) 确定岩石按化学成分分类的标准。
- (2) 找出将某些岩石列入岩浆混合而成的混染岩的客观标准。
- (3) 利用“岩浆公式”统计整理岩石化学资料。

2. 换算的方法和步骤

(1) 将分析的重量百分数除以氧化物的相当分子量而换算成分子数。本刊末由重量百分数化原子数的附录 1 也可以用以计算分子数。由原子数化成分子数只需进行极简单的补充运算。为了得到 Al、Fe⁺³、Na、K 和 H 的氧化物分子数，即将它们的原子数应为除以 2。这是由于上述元素在其氧化物的化学式中的原子数为 2。由此可见，分子数应为相应原子数的一半。

(2) 水这种组份，主要是与岩浆岩的变化作用有关，因而不是原生的，可以忽略不计。TiO₂ 含量不多，也可忽略不计。

(3) 用相当的 CaO 使 CO₂ 和 P₂O₅ 饱和，并舍掉。这样，在进一步换算时就只能取用减去用于形成方解石和磷灰石的 CaO 后所余 CaO 的数量。计算化合成方解石和磷灰石的 CaO 量可按下面的方式进行。根据形成方解石的反应方程式 $\text{CaO} + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3$ ，每一分子 CO₂ 要消耗一分子 CaO。因此，变成方解石的 CaO 分子数等于 CO₂ 的分子数。为了计算用于形成磷灰石（或者正确地说钙的磷酸盐）的 CaO 量必须根据反应方程式： $3\text{CaO} + \text{P}_2\text{O}_5 = \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 。由此方程式得知，每一分子 P₂O₅ 需要三分子 CaO。因此化合成磷灰石的 CaO 量等于 P₂O₅ 分子数的三倍。于是形成方解石和磷灰石后所余的 CaO 等于： $\text{CaO} - (\text{CO}_2 + 3\text{P}_2\text{O}_5) = \text{CaO}'$ 。

(4) 根据原子价或通式的类型将氧化物合并成组： RO_2 ， R_2O_3 ， RO 及 R_2O ，这时 $\text{RO}_2 = \text{SiO}_2$ ， $\text{R}_2\text{O}_3 = \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Cr}_2\text{O}_3$ ， $\text{RO} = \text{FeO} + \text{MnO} + \text{NiO} + \text{MgO} + \text{CaO} + \text{SrO} + \text{BaO}$ ， $\text{R}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{Li}_2\text{O}$ 。氧化物的符号代表其分子数。为了使氧化物的分组比较精简，可将 RO 和 R₂O 组合成 $\overline{\text{RO}}$ 组。

(5) 根据所得数值计算“岩浆公式”： $m\overline{\text{RO}} \cdot n\text{R}_2\text{O}_3 \cdot q\text{SiO}_2$ 。若以 R₂O₃ 的系数为 1，则上述比例关系可以化简。简化后岩浆公式的形式为 $\frac{m}{n}\overline{\text{RO}} \cdot \text{R}_2\text{O}_3 \cdot \frac{q}{n}\text{SiO}_2$ 。

(6) 为了确定碱金属 R₂O 及 RO 型氧化物在 $\overline{\text{RO}}$ 组中的作用，要计算 RO:R₂O 或

$R_2O:RO$ 的比值（取决于 RO 多于 R_2O 或 R_2O 多于 RO ）。

(7) 为了表明岩石中硅酸的饱和程度要计算“酸度系数” a 。它等于和硅化合的氧原子数与和其余元素化合的氧原子数的比： $a = \frac{2q}{m + 3n}$ 。

(8) 计算系数 β 和 γ 。它们分别等于： β ——以硅酸为100时盐基的百分数 $\frac{m+n}{q} \times 100$ ， γ ——硅酸除以盐基总数的商。系数 γ 称为“酸性参数”。在一定程度上它可表明全晶质岩石中能否出现石英。例如， γ 大于2时，岩石就含有石英（或者说，如果岩石中存在玻璃质的话，则可能含有石英）。

为了提供按 $\phi. IO.$ 列文生-列星格法换算岩石分析结果的例子，可换算两个典型的岩石，如：(1) 玄武岩，(2) 花岗岩，（见表一、表二），供参阅。

玄武岩*（198个分析的平均值） 表一

氧化物	重量 (%)	分子数	SiO ₂ 组	R ₂ O ₃ 组	RO组	R ₂ O组	RO组
SiO ₂	49.06	817	817				
TiO ₂	1.36	17					
Al ₂ O ₃	15.70	154		154			
Fe ₂ O ₃	5.38	34		34			
FeO	6.37	89			89		
MnO	0.31	4			4		
MgO	6.17	153			153		
CaO	8.95	160			151**		
Na ₂ O	3.11	50				50	
K ₂ O	1.52	16				16	
H ₂ O	1.62	90					
P ₂ O ₅	0.45	3					
总和	100.50						

酸度系数 $\alpha = 1.60$ 酸性参数 $\gamma = 1.28$ β 系数 = 79

岩浆公式 $31 RO : 13 R_2O_3 : 56 SiO_2$

其中系数用百分数表示
 $RO : R_2O = 6 : 1$

* 换算时舍掉： TiO_2 、 H_2O 和 P_2O_5 （预先与 CaO 化合）。
** 已扣除与 P_2O_5 化合成磷灰石的 CaO 。

花岗岩* (546个分析的平均值)

表二

氧化物	重量 (%)	分子数	SiO ₂ 组	R ₂ O ₃ 组	RO组	R ₂ O组	$\bar{R}O$ 组
SiO ₂	70.18	1169	1169				
TiO ₂	0.39	5					
Al ₂ O ₃	14.47	142		142			
Fe ₂ O ₃	1.57	10		10			
FeO	1.78	25			25		
MnO	0.12	2			2		
MgO	0.88	22			22		
CaO	1.99	36			33**		
Na ₂ O	3.48	56				56	
K ₂ O	4.11	44				44	
H ₂ O	0.84	47					
P ₂ O ₅	0.19	1					
总 和	100.0						

酸度系数 $\alpha = 3.7$ 岩浆公式 $12\bar{R}O:10R_2O_3:78SiO_2$ 酸性参数 $\gamma = 3.5$ $R_2O:RO = 1.2:1$ β 系数 = 28* 换算时舍去TiO₂、H₂O及已与CaO化合的P₂O₅。** 已扣除与P₂O₅化合成磷灰石的CaO。

二、换算为指标组

换算岩石分析结果的第二种方法是基于根据组份在岩浆岩矿物中的自然联系而将它们组合成(组合元素或氧化物)“数字指标”、“参数”或“数”。

(一) A.H.查瓦里茨基法

1. 方法的任务

- (1) 利用物理化学资料, 尽可能研究岩浆作用的主要特征。
- (2) 较准确地了解岩石的物质成分, 并从数量上表现出岩石在其天然组合中的真实的多样性。
- (3) 确定在岩石化学成分中的多样性中的经验规律。
- (4) 利用较可靠的换算方法对岩浆岩进行化学分类。
- (5) 利用提出的图示法全面地同时考察岩石化学成分的主要组分之间的联系。

2. 换算的方法和步骤

根据A.H.查瓦里茨基提出的岩石分析结果换算原理, 应按下面的步骤进行换算:

(1) 将分析结果的重量百分数换算成原子数。为此每种氧化物的百分含量应除以该氧化物的分子量(例如, 将 SiO_2 的百分含量除以 SiO_2 的分子量60)。对于被氧化元素的原子数为2的那些氧化物(Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 Na_2O 、 K_2O), 重量百分含量应除以氧化物分子量的一半(例如, Al_2O_3 的重量百分数不是除以它的分子量103, 而是除以51.5)。除法运算进行到三位小数为止。

将所得的商乘以1000化成整数。因为重要的是原子数之间的比值, 乘以1000后其结果不变。(该项计算可采用附录1)

(2) 根据铝、钙及碱金属原子的数量关系确定被研究岩石属何类型。当 $2\text{Ca} + \text{K} + \text{Na} > \text{Al}$ 时, 岩石属正常系列。 $\text{Al} > \text{K} + \text{Na} + 2\text{Ca}$ 的岩石属铝过饱和岩石系列。 $\text{K} + \text{Na} > \text{Al}$ 的岩石属碱金属过饱和岩石系列。

(3) 计算S组, 其数值等于硅原子加钛原子的和 $S = \text{Si} + \text{Ti}$ 。

(4) 确定A组。根据岩石类型分别进行计算:

a. 在正常系列岩石的场合下:

$$A = \text{K} + \text{Na};$$

b. 在铝过饱和岩石的场合下:

$$A = \text{K} + \text{Na};$$

c. 对于碱金属过饱和岩石:

$$A = Al.$$

(5) 计算C组 (或 $\bar{C}$):

a. 在正常系列岩石的场合下:

$$C = \frac{1}{2} [Al - (Na + K)];$$

b. 在铝过饱和岩石的场合下:

$$C = Ca;$$

c. 在岩石为碱金属过饱和的场合下, 没有c, 而为指标 $\bar{C}$ 所代替:

$$\bar{C} = (Na + K) - Al;$$

d. 对于碱金属极度过饱和的岩石—— $(Na + K) - Al > Fe'$:

$$\bar{C} = Fe'.$$

(6) 计算B组:

a. 对于正常系列岩石:

$$Fe^{+3} + Fe^{+2} + Mn^{+2} = Fe';$$

$$Ca - C = Ca';$$

$$B = Fe' + Ca' + Mg;$$

b. 对于铝过饱和岩石:

$$Fe^{+3} + Fe^{+2} + Mn^{+2} = Fe';$$

$$Al - [2Ca + Na + K] = Al';$$

$$B = Fe' + Al' + Mg;$$

c. 对于碱金属过饱和岩石:

$$Fe'' = Fe' - \bar{C},$$

$$B = Fe'' + Ca + Mg;$$

d. 对于碱金属极度过饱和岩石:

$$Na' = [(K + Na) - Al] - \bar{C};$$

$$B = Ca + Mg + Na'.$$

(7) 计算数值S、A、B、C ($\bar{C}$) 的和:

$$S + A + B + C \text{ (或 } \bar{C}) = N.$$

令所得的和N为100, 将全部指标分别换算成百分数: (附录2)

$$a. \frac{S}{N} \times 100 = s;$$

$$b. \frac{A}{N} \times 100 = a;$$

$$c. \frac{B}{N} \times 100 = b;$$

$$d. \frac{C \text{ 或 } \bar{C}}{N} \times 100 = c \text{ 或 } \bar{c}。$$

这样就得出了四个基本指标:

$$s、a、b、c \text{ 或 } \bar{c}。$$

(8) 根据主要指标的数值计算Q值:

a. 对于正常及铝过饱和系列的岩石:

$$Q = s - (3a + 2c + b);$$

b. 对于硷性系列岩石:

$$Q = s - (3a + 2\bar{c} + b)。$$

(9) 为了对岩石进行分类需确定a:c的比值:

a. 对于正常系列岩石及铝过饱和系列的岩石, a:c的值在一定程度上可代表斜长石的成分(当n值很大时);

b. 对于硷性系列的岩石, a: $\bar{c}$ 的值代表铝硅酸盐中硷金属元素原子数对有色矿物中硷金属元素原子数的比。

(10) 阐明B值的补充指标按下列公式即可算得:

a. 对于正常系列的岩石:

$$c' = \frac{Ca'}{B} \times 100, \quad m' = \frac{Mg}{B} \times 100,$$

$$f' = \frac{Fe'}{B} \times 100,$$

$$c' + m' + f' = 100;$$

b. 对于铝过饱和岩石:

$$a' = \frac{Al'}{B} \times 100; \quad m' = \frac{Mg}{B} \times 100;$$

$$f' = \frac{Fe'}{B} \times 100;$$

$$a' + m' + f' = 100;$$

c. 对于硷金属过饱和岩石:

$$c' = \frac{Ca}{B} \times 100; \quad m' = \frac{Mg}{B} \times 100;$$

$$f' = \frac{Fe' - \bar{C}}{B} \times 100;$$

$$c' + m' + f' = 100;$$

d. 对于硷金属极度过饱和岩石:

$$c' = \frac{Ca}{B} \times 100; m = \frac{Mg}{B} \times 100;$$

$$n' = \frac{Na'}{B} \times 100;$$

$$c' + m' + n' = 100.$$

(11) 阐明A值的补充指标n按下列公式计算:

a. 对正常系列及铝过饱和岩石:

$$n = \frac{Na}{A} \times 100;$$

b. 对于硷金属过饱和岩石:

$$n = \frac{A1-K}{A} \times 100;$$

因为在这种场合下A值包括全部钾及部分钠(等于A1-K)。

(12) 阐明S值的补充指标可按下式算得:

$$t = \frac{Ti}{S} \times 100.$$

(13) 关于B值中的Fe⁺³的补充指标可按下列公式计算:

a. 对于正常及铝过饱和岩石:

$$\varphi = \frac{Fe^{+3}}{B} \times 100;$$

b. 对于硷金属过饱和岩石:

$$\varphi = \frac{Fe^{+3} - \bar{C}}{B} \times 100.$$

若Fe⁺³ - $\bar{C}$ 为负值, 则 $\varphi = 0$ 。

3. 换算结果的投影

(1) 为了使所得的投影便于和A. H. 查瓦里茨基的基本投影对照, 主要参数的投影的尺度应选为1% = 10毫米。补充参数的尺度为上述尺度的十分之一, 即1% = 1毫米。

(2) 由原点s沿水平方向向右取参数a, 沿垂直方向向下取参数b。所得的点称为“右点”。由点s沿水平方向向左取参数c, 沿垂直方向向下取参数数b, 即可得出“左点”。在有参数 $\bar{c}$ 的场合下, 它当然应向右取, 和参数a相同。

根据这种投影图可以立即确定岩石属于正常系列及铝过饱和系列(二图形点位于直线sb两侧)或者属于硷金属过饱和和岩石系列(二图形点位于直线sb的同侧(右侧))。

(3) 补充参数的作图根据在空间投影中作同一箭状向量并将它投影在四面体底面和侧面上的作图原则进行。右图形点取作参数c'、m'、f'的投影原点。

在岩石属于正常类型的条件下, 按前述尺度向右取参数c', 向下取参数m'。将所得点用

一条直线与补充投影的起点(点 f')相连,在直线末端加上一个箭头。如前所述,根据箭状向量的倾斜可以判断 $c':m'$ 的比值,根据箭状向量的长度则可获得关于 f' 值的概念。

对于铝过饱和岩石,指标 c' 已被指标 a' 所代替。在“右点”上作向量时,参数 a' 应从 f' 点向左取,因此向量箭头将指向左下方,于是根据投影即可区别铝过饱和岩石和正常系列岩石。

对于硷金属过饱和岩石,箭状向量的作图按正常岩石的方法进行。

在岩石为硷金属极度过饱和的场合下没有指标 f' ,并已代之以计算出来的指标 n' 。作箭状向量时,在这种情况下,原点将不是 f' 而为 n' ,为了区别于正常岩石,向量用虚线划出。

(4) K和Na的比是影响箭状向量在空间中的方向的一个因素。将箭状向量投影到四面体侧面(sbc 面)上时,在左点上即可得到一个箭头,其倾斜由K对Na的比值来决定。从图形点向左以任意尺度取参数K,按同一尺度向下取参数Na。K和Na的比值即可决定阐明参数 a (即硷性铝硅酸盐——长石或似长石的特征)的向量箭头的倾斜。因为左向量是空间中同一向量在 sbc 面上的投影,所以它的终点应当和右向量的终点位于同一高度。这种图形的好处在于可以比较容易地对比同一岩石的投影的左右向量。

(5) 为了对比两种相近的岩石的成分可用常用的方法,即根据解析几何定则利用点的坐标确定两点之间的距离。大家知道,距离 d 将等于 $\sqrt{(a-a_0)^2+(b-b_0)^2+(c-c_0)^2}$ 。岩石在成分上的差别不仅反映在长度上,而且也反映在方向上。差别可能有两种类型: a .一种参数的差显著地大于另外两种参数。 b .两种参数的差大致相等。同时显著地大于第三种参数。

如果以 a_0 、 b_0 、 c_0 为基本岩石的参数, a 、 b 、 c 为被比较岩石参数,则当差 $a-a_0$ 为正值时,可以说被比较的岩石为富于硷金属的铝硅酸盐,而当此一差数为负值时,则为贫于硷金属的铝硅酸盐。根据同一原因,当差 $b-b_0$ 为正值时被比较岩石将富于有色硅酸盐,而当此差值为负时则贫于有色硅酸盐。最后,当 $c-c_0$ 的差值为正时,被比较岩石将富于“钙长石”,而当此差值为负时,则贫于“钙长石”。

如果岩石的参数有 $\bar{c}$,又 $\bar{c}-\bar{c}_0$ 的差值为正,则代表被比较岩石的成分较主体岩石富于霓辉石。上述差值为负则代表被比较岩石的成分贫于霓辉石。

如果以克留契夫火山主火山口的熔岩的成分(1937年喷发,指标为: $a=9.4$, $c=7.1$, $b=19.5$, $s=64.0$, $c'=13$, $m'=46$, $f'=41$, $n=81$)与分布于1000米高度上的寄生火山口的熔岩的成分与主火山口的差别既表现在数值又表现在性质上。现将算式列举于下:

$$|d| = \sqrt{(7.4-9.4)^2 + (5.7-7.1)^2 + (26.8-19.5)^2} = \sqrt{4+1.96+53.29} = 7.7。$$

这时寄生火山口岩石的成分与主火山口岩石的成分的差别表现在前者明显地富于有色硅酸盐。这一事实可作为肯定克留契夫火山的火山源中曾发生岩浆重力分异作用的依据。图2-1为这些参数在A.H.查瓦里茨基投影图上的投影。当差别属于 b 型时,可赋予该成分以双重名称。例如,富于钙长石和有色硅酸盐,富于霓辉石和硷金属铝硅酸盐,等等。

$$al = \frac{Al_2O_3 \times 100}{\Sigma}, \quad fm = \frac{(FeO' + MgO + MnO)}{\Sigma} \times 100,$$

$$c = \frac{CaO \times 100}{\Sigma}, \quad alk = \frac{(Na_2O + K_2O)}{\Sigma} \times 100.$$

其中 $\Sigma = Al_2O_3 + 2Fe_2O_3 + FeO + MgO + MnO + CaO + Na_2O + K_2O$ 。

附注：将氧化铁换算成氧化亚铁可以根据分子数进行。这时误差一般不超过10%：

$Fe_2O_3 = 2FeO + O$ ，即以144克分子代替160克分子。损失10%。

〔5〕将 SiO_2 的分子数换算成用相同的单位表示的 si 数：

$$si = \frac{SiO_2}{\Sigma} \times 100.$$

〔6〕根据用同一单位表示分子数这种原则算出全部补充数：

$$ti = \frac{TiO_2}{\Sigma} \times 100, \quad p = \frac{P_2O_5}{\Sigma} \times 100,$$

$$h = \frac{H_2O}{\Sigma} \times 100, \quad zr = \frac{Zr_2O}{\Sigma} \times 100.$$

〔7〕其余“微量”元素如果它们已被测定出来的话，应当和那些通常与它们形成固体溶液的主要元素一起计算。例如将 Cr_2O_3 并入 Al_2O_3 ， NiO 和 CoO 并入 FeO ， BaO 和 SrO 并入 CaO ， Li_2O 并入 $K_2O + Na_2O$ 。

〔8〕计算补充数 mg 以详细表示 fm 组：

$$mg = \frac{MgO}{2Fe_2O_3 + FeO + MnO + MgO}.$$

〔9〕计算补充数 o 以估计三价铁的作用：

$$o = \frac{2Fe_2O_3}{2Fe_2O_3 + FeO + MnO + MgO}.$$

〔10〕根据下式计算氧化钾在 alk 数中的作用

$$k = \frac{K_2O}{K_2O + Na_2O}.$$

〔11〕计算数 t 作为岩石的补充指标——岩石的氧化铝饱和程度：

$$t = al - (alk + c).$$

〔12〕代表岩石中二氧化硅饱和程度的石英数根据 t 值的大小分别按下列各式进行计算：

a. t 为负值时 ($al < alk + c$) $qz = si - (100 + 4alk)$ ；

b. t 为正值时 ($al > alk + c$) $qz = si - (100 + 4alk)$ ；

或者 (在 $50 < al > alk + c$ 的条件下) $qz = si - (100 + 4alk + 0.5t)$ ；

a. 当 t 为负值且 $al < alk$ 时 $qz = si - (100 + 3al + alk)$ 。

3. 换算结果的投影

作所得数值的投影为的是更明显地表现出某一岩石或岩组的岩石化学特征，按 P. 尼格里的作法是在等边四面体中作图形点。作图按下述方式进行：首先在 $al-alk-fm$ 面上作一辅助点，然后自该点平行 $c-fm$ 边向四面体内引一直线与同时垂直于 $c-fm$ 和 $al-alk$ 二边的直

线相交。这一直线是从 $c-fm$ 棱上将该棱分成已知比例 $c:fm$ 的点引出的。作某一系列分析结果的投影是在四面体内绘出代表整个系列的全部点“云”。将立体投影转绘成平面投影要借助于用通过 $al-alk$ 棱及 $c-fm$ 棱上一些点的平面来切割四面体。这些切面用罗马数字编号并和 $c-fm$ 棱上一定的点相适应(图2-2)

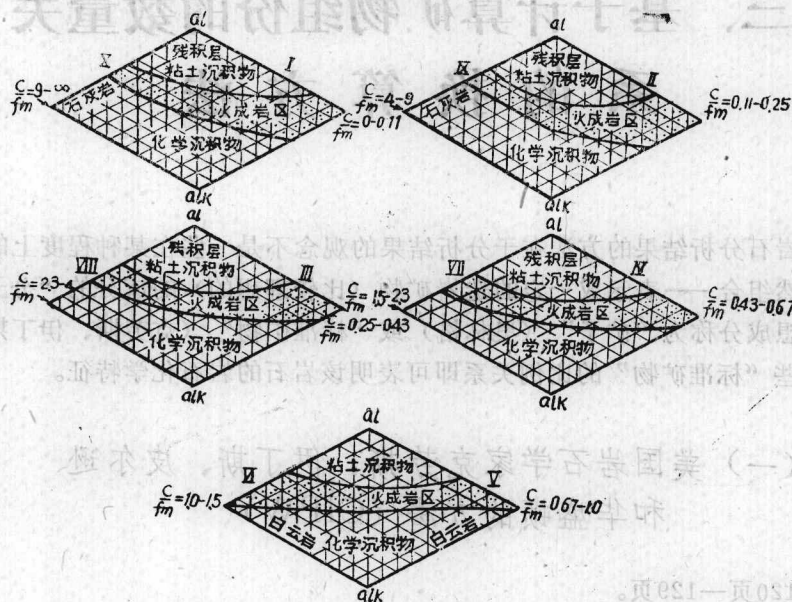


图2-2 展开的P.尼格里四面体切面

- | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| I 切面一点5:95或 $c:fm$ 的值从0到0.11 | II 切面一点15:85或 $c:fm$ 的值从0.11到0.25 |
| III 切面一点25:75或 $c:fm$ 的值从0.25到0.43 | IV 切面一点35:65或 $c:fm$ 的值从0.43到0.67 |
| V 切面一点45:55或 $c:fm$ 的值从0.67到1.0 | VI 切面一点55:45或 $c:fm$ 的值从1.0到1.5 |
| VII 切面一点65:35或 $c:fm$ 的值从1.5到2.3 | VIII 切面一点75:25或 $c:fm$ 的值从2.3到4.0 |
| IX 切面一点85:15或 $c:fm$ 的值从4.0到9.0 | X 切面一点96:5或 $c:fm$ 的值从9.0到 |

实际上可以直接将数投影在以 al 、 alk 及 $(c+fm)$ 为顶角的三角形中,并根据 $c:fm$ 的比值确定切面的号码。

除了将数投影在四面体中而外,作“变化曲线”也很有意义。作这种图形在直角坐标系中进行,在横坐标轴上可以取各种不同的数值,这取决于希望查明何科联系。在纵坐标轴上适当之处取 al 、 alk 、 c 、 fm 。除了主要的数而外尚可取次要的数: h 、 tr 、 p 等,也可以取石英数(qz)和氧化铝数(t)。当然,利用石英数及氧化铝数这些数时必须考虑到它们可能为负值。在横坐标轴上取各种岩石的 si 值,这样就可以发现其它的数与该值的联系。

要查明各数和岩石在被研究岩体中的位置之间的联系时,各数的数值可以从水平投影轴上相当于从该岩石所在之处到岩体中心或边缘的距离的点截取。岩石成分在时间上的变化过程也可以借变化曲线来表示,只要各数按时间顺序投影就行了。将每一数的投影点连接起来即可得出明显而且容易判读的变化曲线。

研究变质岩的岩石化学时也可以利用P.尼格里数。在这种场合或者投影在相当的三角形中或者彼此直接比较。

三、基于计算矿物组份的数量关系的换算方法

此种换算岩石分析结果的方法在于分析结果的观念不是一些在某种程度上的假定参数的总和，而是天然组合——表示成一定的造岩矿物（比较理想的）的成分的“分子”或原子的总和。这些理想成分称为“矿子”（奥林格）或“标准矿物”（克劳斯、伊丁斯、皮尔逊和华盛顿）。这些“标准矿物”的比例关系即可表明该岩石的岩石化学特征。

（一）美国岩石学家克劳斯、伊丁斯、皮尔逊和华盛顿的方法（CIPW）

此略，见120页—129页。

（二）P.尼格里标准分子法

1. 方法的任务

方法的基本任务在于用由化学分析的数据算得的矿物组份来表示岩石的成分。因为这样计算可以得出好些矿物成分方案，故所提出的方法应当保证容易而迅速地将一种方案化成另一种方案。将算得的方案与岩石的实际矿物成分比较可以解决为什么该岩石只能用某一方案而不能用任何其它方案的问题。特别有意义的是可以比较“岩浆”、“交代”和“变质”方案。

标准分子换算法可以应用图示法表示岩石系列，这自然大大有利于发现某些经验规律。此外，它还可以将薄片定量矿物计算的数据用于岩石化学研究。

2. 换算结果的投影

算得的原始分子可根据它们在形成造岩矿物中的作用而合并成一些岩石化学组M、L、Q。这些组可组成四种基本组合：

（1）原始分子KP、Ne和CaI组成L组并作为形成长石及似长石组合（铝硅酸盐）的基础。

（2）下面有两种可能：a、原始分子Cs、Fo和Fa组成M组而作为橄榄石—辉石组合（岛状及链状硅酸盐）的基础。b、原始分子C作为矽线石—刚玉组合的基础（部分为云母型层状铝硅酸盐的基础，多半为变质矿物组合的基础）。

(3) 原始分子Q和Ru可作为形成石英的硅化组。

(4) 下面又有两种可能方案：a. 原始分子Ns、Ks、Fs是硷性辉石和金属矿物组合的基础。b. 原始分子Sp、Hz、Fs作为尖晶石和金属矿物组合的基础。

显然，在(2)和(4)的场合下“a”、“b”方案都不可能同时成立，因此全部原始分子的组合可以分为四种。

在岩浆岩中通常没有原始分子Ks、Sp、Hz和C而原始分子Fs和Ns则参与岩石有色部分的矿物的成分中。它们或者参与硷性有色矿物(辉石或闪石)或者参与金属矿物。所以按(4) a和(2) a的组合是合理的。于是，全部原始分子自然就分为三个主要的组合，为了对一系列岩石化学关系提供比较明显的概念可以利用这些组合在以 $L = Kp + Ne + Cal$ 、 $M = Cs + Fo + Fa + Fs + Ns$ 、 $Q = Q + Ru$ 为顶角的等边三角形中的投影(图3-1)。

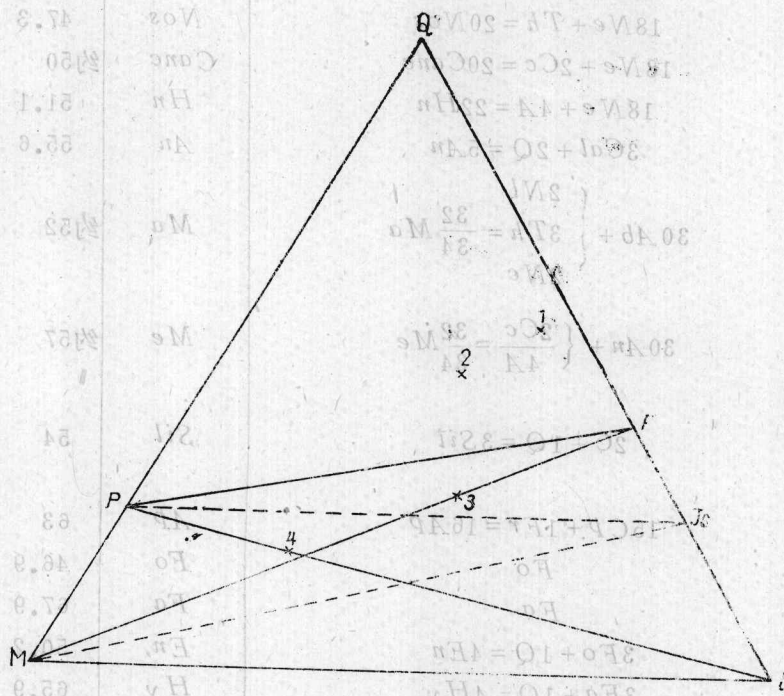


图3-1 岩石成分按P. 尼格里标准分子法的投影

在此三角形的边上可以作出相当于比富含SiO₂的化合物，例如辉石(MQ边上的P点)和长石(LQ边上的F点)的辅助点。在LQ边上还容易作出一点：白榴石(3Kp + Q)、硬玉(3Ne + 1Q)和契尔马克分子(3Cal + 1Q)的公共点。P点(辉石点)的位置容易根据方程式 $3(Fo, Cs, Fa) + 1Q = 4(Em, Wo, Hy)$ 中系数的比而定出。显然，所求的P点位于从M到Q的距离的1/4之处。从顶角L起根据相同的比可以得出Lc, Jd及Ts点。长石点F的位置距顶角Q要近一些，这取决于方程式 $3Kp + 2Q = 5Or$ 及钠长石和钙长石的类似方

表 1

主要标准造岩矿物

矿物名称	由原始分子换算标准矿物的方程式	标准矿物的符号	当量	偏差的性质
石英	Q	Q	60.1	+
钾霞石	Kp	Kp	52.7	=
白榴石	$3Kp + Q = 4Lc$	Lc	54.6	=
钾长石	$3Kp + 2Q = 5Or$	Or	55.7	=
霞石	Ne	Ne	47.4	—
方沸石	$3Ne + Q + W = 4Am$	Am	55.0	=
钠长石	$3Ne + 2Q = 5Ab$	Ab	52.4	—
方钠石	$18Ne + 2Hi = 20Sod$	Sod	约48	—
黝方石	$18Ne + Th = 20Nos$	Nos	47.3	—
钙霞石	$18Ne + 2Cc = 20Canc$	$Canc$	约50	—
蓝方石	$18Ne + 4A = 22Hn$	Hn	51.1	—
钙长石	$3Cal + 2Q = 5An$	An	55.6	=
钠柱石	$30Ab + \begin{cases} 2Nl \\ 3Th = \frac{32}{34}Ma \\ 2Nc \end{cases}$	Ma	约52	—
钙柱石	$30An + \begin{cases} 2Cc \\ 4A = \frac{32}{34}Me \end{cases}$	Me	约57	=
硅线石	$2C + 1Q = 3Sil$	Sil	54	=
红柱石				
蓝晶石				
磷灰石	$15Cp + 1Fr = 16Ap$	Ap	63	+
镁橄榄石	Fo	Fo	46.9	—
铁橄榄石	Fa	Fa	67.9	+
顽火辉石	$3Fo + 1Q = 4En$	En	50.2	—
铁紫苏辉石 (斜铁辉石)	$3Fa + 1Q = 4Hy$	Hy	65.9	+
硅灰石	$3Cs + 1Q = 4Wo$	Wo	58.1	+
透辉石	$2Wo + 2En = 4Di$	Di	54.1	=
铁镁辉石	$2Wo + 2Hy = 4Hdb$	Hdb	62	+
“契尔马克” 分子	$3Cal + 1Q = 4Ts$	Ts	54.5	=
锥辉石	$3Ns + 2Hm + 3Q = 8Ac$	Ac	57.7	+
霓石				
硬玉	$3Ne + 1Q = 4Jd$	Jd	50.3	—
石榴石	$1Ru + 2Wo = 3Tn$	Tn	65.3	+