

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

—研究簡訊—

无长石超基性岩化学成分换算定量矿物的三角图解

崔翼万 白文吉

一、图解的目的及其应用范围

本图解是通过超基性岩(包括由它变成的蛇纹岩)的主要化学成分求出其主要造岩矿物的含量,并以此确定岩石类型。其应用范围只适用于由橄榄石和辉石等组成的无长石超基性岩类及由它们变成的蛇纹岩。

该图解只考虑了超基性岩的主要化学成分: MgO、《FeO》、CaO 及 SiO₂, 而没有考虑碱性组分,因此,只适用于含少量碱性组分的无长石超基性岩。此外,它不仅可用岩石全分析数据而且也能够用包括上述四种组分的简项分析数据进行换算。

二、图解的原理

无长石超基性岩的主要造岩矿物是橄榄石、斜方辉石及单斜辉石,其主要化学组分为 MgO、《FeO》、CaO 及 SiO₂。这样,就有可能在同一个图解中研究化学组分与矿物含量间的关系。

组成超基性岩的主要矿物为铁镁硅酸盐,所以可将超基性岩视为 FeO—MgO—SiO₂ 三组分系统。我们以等边三角形表示超基性岩主要化学组分之间的关系(图1)。在三角形中以如下的重量关系确定出橄榄石与辉石的位置:镁橄榄石(Fo),分子式 Mg₂SiO₄,重量组成(即氧化物重量%)为 MgO 57%,SiO₂43%;铁橄榄石(Fa),分子式 Fe₂SiO₄,其重量组成为 FeO 71%,SiO₂ 29%;镁辉石(En),分子式 Mg₂[Si₂O₆],其重量组成为 MgO40%、SiO₂60%;铁辉石(Fs),分子式 Fe₂[Si₂O₆],其重量组成为 FeO 55%,SiO₂ 45%。将此四个点联成一四边形(图1)。四边形之底边为橄榄石线(Fo—Fa),顶边为辉石线(En—Fs)。令其高为100,并分成50等分,则每一格代表2%。于是,在此组横线上就能判阅橄榄石与辉石的含量值(图2)。

其次,超基性岩除铁镁硅酸盐矿物外尚有钙铁镁硅酸盐矿物。可视为 CaO—FeO—MgO—SiO₂ 四组分系统。四组分系统当以四面体图形表示

之。然而用四面体表示岩石化学成分与矿物组分的关系甚为复杂,不便使用。因此采用合并组分的办法,即将四组分合并为三组分并以和上述相同的三角形表示之。

在橄榄石和辉石的成分中, Mg⁺⁺ 与 Fe⁺⁺ 呈类质同象相互替换。这就有可能将其中之一以等当量换算成另一个,然后合并。

由于我们研究的主要为镁质超基性岩,因此就以镁橄榄石与镁辉石表示实际矿物。于是将《FeO》(重量%)换算成等当量的 MgO,合并于原有的 MgO 中,以《MgO》表示之。此换算按下式进行: $MgO = 0.56 \times \langle FeO \rangle^{1)}$ 。

这样,就以 CaO—《MgO》—SiO₂ 之三组分系统代替 CaO—MgO—《FeO》—SiO₂ 四组分系统。同 MgO—《FeO》—SiO₂ 系统一样,仍借等边三角形表示其组分。

将镁橄榄石、镁辉石及透辉石按下列关系(重量%)表示在三角图中。镁橄榄石与镁辉石所在位置与 MgO—《FeO》—SiO₂ 系统重合。透辉石(Di)分子式为 CaMg[Si₂O₆],其重量组成为 CaO 25.9%、MgO 18.5%、SiO₂ 55.6%。将 En、Fo、Di 三点联成三角形(图1)。令其各边为100。将各边等分为50,则每一格代表2%,并将对应点相联。这样就构成了橄榄石—斜方辉石—单斜辉石含量图(图3)。在该图上就能判阅与其化学成分相当的三种矿物含量百分比。

三、作 图

本图解之作图法较为简单,现将上述二个系统分述于下:

1. 《FeO》—MgO—SiO₂ 系统

设一等边三角形,各顶点为 SiO₂、MgO、FeO 并令其各边为100。将各边等分为100,则每一格代表1%(重量)。将各边之对应点联成得一化学

1) 一个 Fe⁺⁺ 替换一个 Mg⁺⁺ 时其重量关系为(按氧化物重量%换算), $MgO/\langle FeO \rangle = 40/72 \approx 0.56$ 。

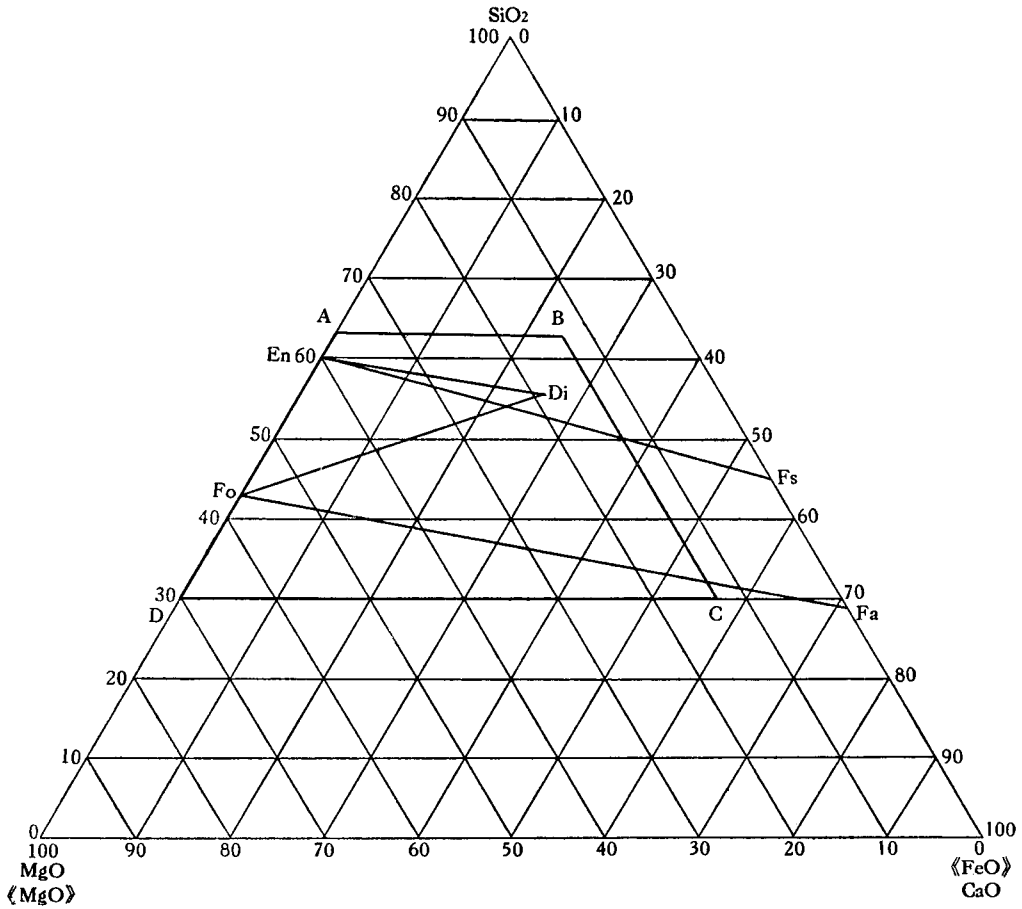


图 1

成分含量三角图(图 1)。凡属该系统的化学成分即可以投入此图上。

在 SiO₂—MgO 边与 SiO₂—《FeO》,分别确定 Fo 与 En、Fa 与 Fs 的位置。并将四点联成一四边形。为了便于使用,我们在图 1 中只取用 ABCD 表示之梯形部分并放大成图 2。令其高为 100,并将该四边形之二高各等分成 50,则其每一格代表 2%(重量)。将对应点相联成图 2。此图为橄榄石—斜方辉石之含量图。它重迭于岩石化学成分含量图之上。

2. CaO—《FeO》—MgO—SiO₂ 系统

如前所述,将该系统视为 CaO—《MgO》—SiO₂ 三组分系统。

又如图 1 所示,在《FeO》—MgO—SiO₂ 系统之化学成分三角图上,将 MgO、FeO 顶点各以《MgO》、CaO 来代替,即将《FeO—MgO—SiO₂》系

统变为 CaO—《MgO》—SiO₂ 系统。在该图中仍以以前节叙述之方法确定透辉石的位置,并将 En、Fo、Di 联成三角形。我们在图 1 中只取以 ABCD 表示之梯形部分并放大成图 3。令其各边为 100,并将各边等分为 50,则每一格代表 2%。将各边之对应点相联成一个橄榄石、斜方辉石、单斜辉石含量三角图(图 3)。该图重迭于该系统的化学成分三角图之上。

四、化学组分之投影及其相应矿物含量之判读方法

1. 化学成分简易计算

1) 除去附加成分(如次生的淋滤的碳酸盐)当含有 CO₂ 时,首先以 CaO/CO₂ 之比(重量)去掉等当量的 CaO。即 1.27 CO₂ = CaO。如

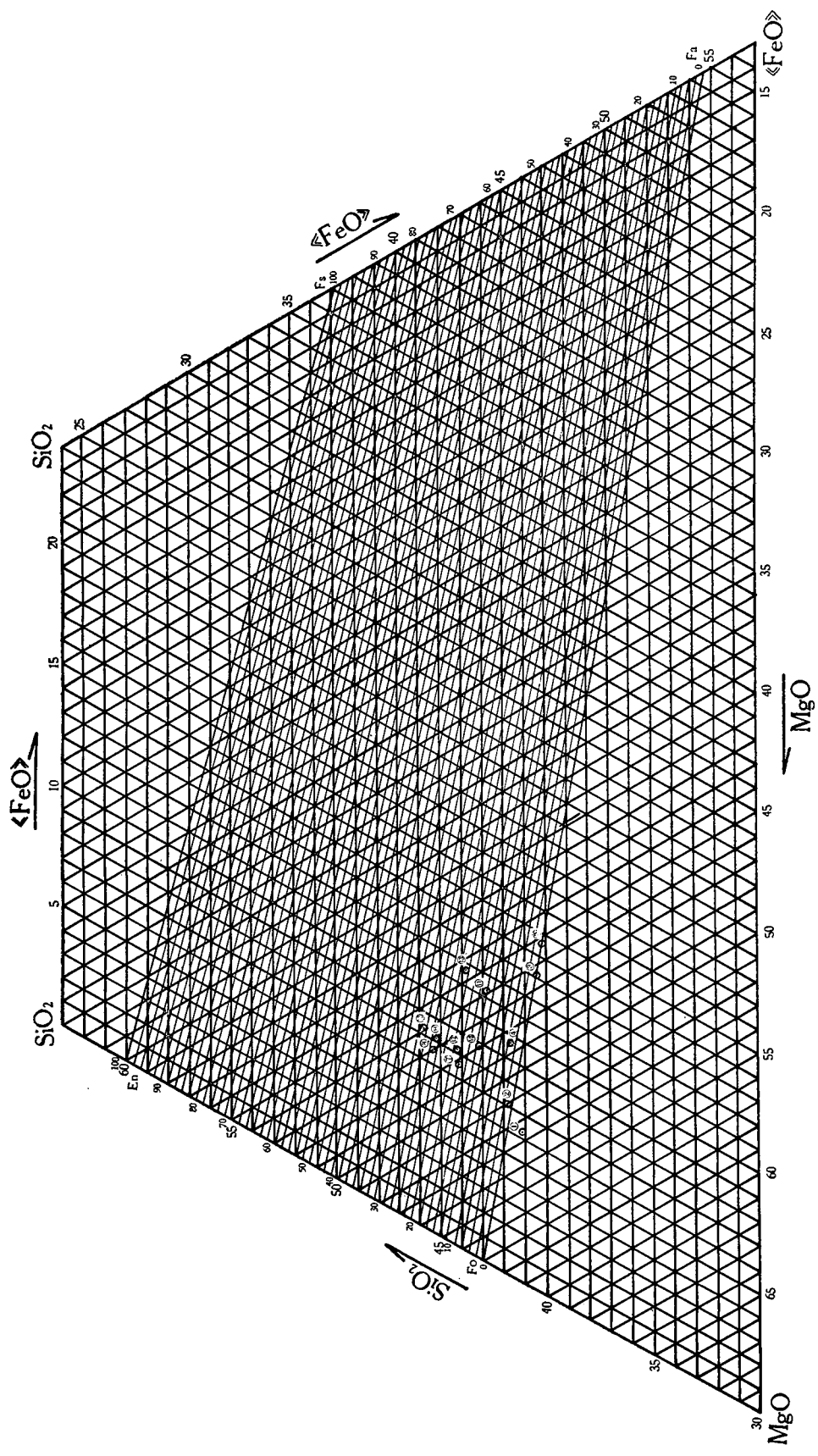


图2 《FeO》—MgO—SiO₂ 系统之化学成分与矿物含量图
 注：正体字为化学成分含量(%),斜体小字为矿物含量(%)

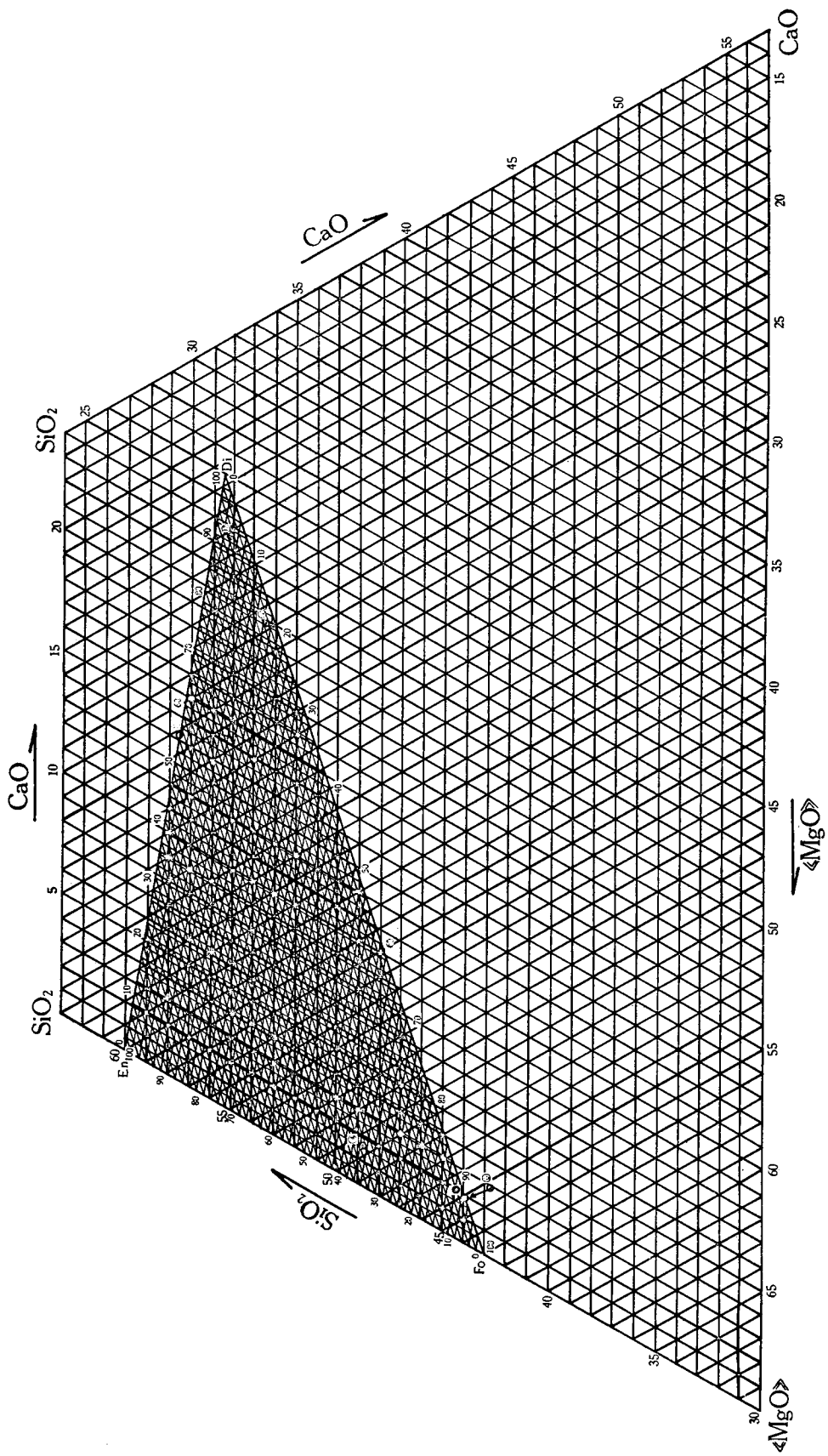


图3 CaO—《FeO》—MgO—SiO₂ 系统之化学成分与矿物含量图

注：正体字为化学成分含量(%), 斜体小字为矿物含量(%)

尚有余,则以 MgO/CO₂ 之比(重量)去掉等当量的 MgO。即 0.92 CO₂=MgO。依此例类推去掉其它已知杂质。

2) 氧化物的合并

氧化物均按重量百分比合并:

① «FeO» = 0.9 Fe₂O₃ + FeO + MnO + NiO + CaO

② 如薄片中共见有单斜辉石或者分析中 CaO 占有 1% 以上者(人为的规定,尚需要商榷),将 «FeO» 换算成等当量的 MgO。即 0.56 «FeO» = MgO,并将此值合并于原有 MgO 中。此总值以 «MgO» 表示之。

③ 如无单斜辉石或者分析中 CaO 少于 1%,则求 SiO₂、«FeO»、MgO 之总和并求三者重量%。如为②的情况,则求 SiO₂、«MgO»、CaO 之和,并求它们的重量%。

2. 化学成分投影

将求得的新的氧化物重量百分比值(依据简易计算)投于相应系统的化学成分三角图中(图2、3)。

3. 矿物含量的判读

1) «FeO»—MgO—SiO₂ 系统矿物含量之判读
直接在图 2 中的矿物含量图上,判读与化学成分投影点吻合之横线值,左右边所标出的值均为斜方辉石含量。凡超四边形底边(Fo—Fa)者,均为纯橄榄岩(不含斜方辉石);反之,凡超出顶边(En—Fs)者,均为斜方辉石岩(不含橄榄石)。

2) CaO—«MgO»—SiO₂ 系统矿物含量之判读
直接在图 3 的矿物含量图上判读与化学成分投影点相应的矿物含量值线,底边值为橄榄石含量,右边值为单斜辉石含量,左边值为斜方辉石含量。

凡超出矿物含量三角图底边与右边者,各为不含斜方辉石及橄榄石的岩石,此时仅有两种成分。判读方法如下:从该化学成分投影点向其对应边引一垂线,所得的交点即为矿物含量点。

凡超出矿物含量三角图的投影点,由它引垂线与三角形的对应边相交一点,该点越出三角形顶点之外者,均为单矿物岩,即为由顶点可代表的单矿物岩。

4. 岩石镁铁比值的换算

将由重量百分比所求得的镁铁比值,再以 0.56 去除,即得出镁铁比值(分子比)。

MgO (重量%)/0.56 «FeO» (重量%) =

MgO/«FeO»(分子比)。

五、实例

现将上述两个系统的典型例子,以列表形式表示计算步骤,并将其结果与实际矿物含量作对比。

将简易重量百分比值投于图 2 化学成分三角图上,并在矿物含量图中判读与其相应之矿物含量,结果为:

- 橄榄石.....77%
- 斜方辉石.....23%

而实际矿物之体积组分为:

- 橄榄石(残晶).....0.9%
- 蛇纹石.....66.3%
- 伊丁石.....8.2%
- 绢石.....23.9%
- 铬尖晶石.....0.7%。

其中,蛇纹石与伊丁石为橄榄石蚀变产物。

将简易重量百分比值投于图 3 之化学成分三角图上,并在矿物含量三角图中判读与其对应之矿物含量,结果为:

- 橄榄石.....0%
- 斜方辉石.....45%
- 单斜辉石.....55%

而实际矿物之体积组分为:

- 橄榄石.....0%
- 斜方辉石.....43.7%
- 单斜辉石.....56.0%
- 磁铁矿.....0.8%

六、相对差值的讨论

为检验图解的实际效果,我们曾换算了几十个化学分析。现将其中的 18 个原始分析数值列于表 1。表 2 是由表 1 数据换算而得的简易化学组分。为检查图解的相对差值,我们将简易计算矿物含量与实际含量以及按其它方法换算所得的计算矿物组列于表 3,以便于比较。为使这种检查确切,除用自己的资料外还用了其它原始资料。对表 3 资料的两种不同情况的误差值讨论如下:

1. 简易计算矿物与计算矿物含量之差值

由前所知,简易图解法乃系岩石化学计算的范畴,只不过以岩石化学分析重量%直接计算矿物含量,从而简化了复杂的计算过程。

① 在 18 个分析中,有 9 个分析是按王恒升、

例 1

编号: 9

岩石类型: 全蛇纹石化斜辉橄辉岩

氧化物	重量%	除去 CO ₂	氧化物合并	简易化学组分	简易重量%
SiO ₂	36.54	-0.92 × 1.05 = 0.97	0.9 × 6.02 0.66 0.13 6.57 0.30 0.06	SiO ₂ :36.54	45.2
Al ₂ O ₃	0.02				
Fe ₂ O ₃	6.02				
FeO	0.66				
MnO	0.13				
Cr ₂ O ₃	0.24				
MgO	38.60				
NiO	0.30				
CoO	0.06				
CaO	0.03			—	—
Na ₂ O	0.19	(尚有 1.05% 的 CO ₂)	—	—	—
H ₂ O ⁺	13.34	—	—	«FeO»:6.57	8.1
H ₂ O ⁻	2.80				
CO ₂	1.07				
总 量	100.0	—	—	MgO:37.63	46.7
				80.74	100.0

白文吉所提的方法换算的。由该法而得出的矿物含量与简易矿物组成之相对误差仅为 1—2%，而大部分为 1% 土。

② 在 18 个分析中，只有 3 个是按 CIPW 方法换算的。与简易计算的矿物含量相差 2—3%，极个别的达 5%。我们在综合对比一些化学分析资料时发现，许多作者机械地按着 CIPW 方法换算，其结果不仅在定性定量上与实际矿物含量有不小的差值，而且与其它计算方法也有不小的误差。

2. 简易计算的矿物含量与实际矿物含量差值

在 18 个分析中有 15 个是附有实际矿物体积含量的，它们与简易计算矿物含量之差值在 1—3%，个别的到 7%。这说明两者相对系统差值范围可能为 1—3%，而个别的则系偶然误差，它产生原因多数由于实际矿物含量测定之可靠程度差所造成。在 CaO—«MgO»—SiO₂ 系统中，差值稍大些。

应该指出，仅仅用上述 18 个分析讨论和检验

图解的相对误差是不足的，还必须在今后工作中检验。

七、结 论

1. 本图解适用于根据超基性岩主要化学成分求其主要造岩矿物的含量以及蛇纹岩之原岩的恢复上。

2. 本图解的使用范围只适用于橄榄石及辉石等组成的无长石超基性岩类。

3. 图解可利用全分析资料，也可以利用简分析资料。

4. 图解直接用重量百分比值来换算，从而去掉了—般岩石化学换算法中的许多复杂的查表及计算过程。

5. 由本图解中求得的矿物组成与实际矿物含量之相对系统差值的主要范围为 1—3%，而与计算矿物含量之相对系统差值变化范围为 1—2%。后者因各种换算方法不同而可能有些出入。

表 1 超基性岩化学成分

氧化物	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
SiO ₂	33.76	40.50	38.97	33.76	38.46	34.25	37.13	37.03	36.54	36.40	36.22	35.86	35.71	42.48	42.99	53.21	51.76	49.52
TiO ₂	0.00	未测				0.05				0.10	0.04	0.02				0.26	0.21	0.11
Al ₂ O ₃	0.04	0.22	0.92	0.76	1.67	1.45	0.55	0.58	0.02	0.30	0.41	1.20	0.47	2.94	1.11	1.94	3.06	2.89
Fe ₂ O ₃	4.42	2.03	1.97	7.27	2.54	2.90	4.96	5.22	6.02	6.64	8.29	5.93	8.05	1.54	1.87	1.44	1.50	1.46
FeO	0.67	4.92	10.35	0.69	11.49	35.55	1.57	1.30	0.66	1.10	1.41	1.28	1.85	8.70	5.91	7.92	3.93	3.98
MnO	0.11	0.10	0.29	0.05	0.15	0.40	0.13	0.13	0.13	0.16	0.28		0.09	0.14	0.05	0.22	0.14	0.15
Cr ₂ O ₃	0.39	0.40	0.26	0.35		0.10	0.37	0.19	0.24	0.27	0.18	0.25	0.12	0.69		0.20	0.31	0.33
MgO	42.78	49.34	44.91	39.52	43.20	22.00	40.63	40.03	38.60	40.47	38.83	38.65	38.94	8.01	43.14	20.78	16.90	20.80
NiO	0.31		0.20	0.29			0.26	0.26	0.30	0.27	0.41	0.08	0.32	0.24	0.15	0.03		0.03
CoO	0.04			0.01			0.04	0.06	0.06	0.01	0.03	0.01				V ₂ O ₅ 0.03		
CaO	0.03	0.02		0.21		2.35	0.01	0.01	0.03	0.01			0.52	1.44	0.10	13.21	22.07	19.40
Na ₂ O	0.00			0.20		0.20	0.01		0.19	0.02	0.01		0.05	0.82	0.29	0.11		痕迹
K ₂ O	0.00			0.08						0.01				0.42	0.13	0.07		痕迹
H ₂ O ⁺	14.50	2.05	0.06	15.04	0.04	0.55	11.92	11.76	13.34	14.00	13.52	15.22	9.94	2.40	4.00	0.87	0.66	0.12
H ₂ O ⁻	1.90	0.15	3.48	2.00			2.10	2.18	2.80		0.86	1.28	1.23	0.36		0.14	0.17	1.02
CO ₂	1.25			S. 0.05		烧失量 2.00	1.07	1.07	1.07	0.52	0.66	V ₂ O ₅ 0.13	3.28			0.10		
P ₂ O ₅	0.00					0.05					0.01			0.04		FeS ₂ 0.30	S.0.05	
总量	100.20	99.81	101.41	100.28	99.50	99.85	100.84	99.82	100.00	100.28	101.18	99.90	100.50	100.22	100.29	100.47	100.76	99.80

1——全蛇纹石化纯橄辉岩,新疆(内) 1962, 2——蛇纹石化纯橄辉岩(据 Johannsen, M.) 1937, 3——纯橄辉岩, Желтая сопка (Воробьева, О. А. 等), 1962, 4——纯橄辉岩带铁矿物,肯皮尔泰(巴甫洛夫, Н. В.) 1959, 5——橄辉石岩(据 Великославинский, Д. Л. 等) 1962, 6——纯铁辉橄辉岩(据 Tröger, W. E.) 1935, 7——蛇纹石化斜方辉石橄辉岩,新疆(内) 1962, 8——同上, 9——同上, 10——同上, 11——同上, 12——斜方辉石橄辉岩,肯皮尔泰(巴甫洛夫, Н. В.) 1959, 13——斜方辉石橄辉岩(据白文吉), 14——蛇纹石化斜方辉石橄辉岩,南罗得西亚大岩墙韦扎区(沃尔斯特, В. G.) 1958, 15——方辉橄辉岩(据 Tröger, W. E.) 1935, 16——二辉岩(据 Johannsen, M.) 1937, 17——透辉岩(据 Johannsen, M.) 1937, 18——橄辉辉石岩,极乌拉尔(Морковкино, В. Ф.) 1964.

例 2

编号: 16

岩石类型: 二辉岩

氧化物	重量(%)	除去 CO ₂	氧化物之合并	简易化学组分	简易重量%
SiO ₂	53.21	-0.1×127=0.13	0.9×1.44 7.92 0.22 9.47 0.03 0.56×9.47 =5.30MgO «MgO»=20.78 +5.30 =26.08	SiO ₂ :53.21	57.6
TiO ₂	0.26				
Al ₂ O ₃	1.94				
Fe ₂ O ₃	1.44				
FeO	7.92				
MnO	0.22				
Cr ₂ O ₃	0.20				
MgO	20.78				
NiO	0.03				
Li ₂ O	tr				
V ₂ O ₅	0.03				
CaO	13.21				
Na ₂ O	0.11				
K ₂ O	0.07				
H ₂ O ⁺	0.87				
H ₂ O ⁻	0.14				
FeS ₂	0.3				
CO ₂	0.10	—			
总 量	100.47			92.37	100.0

表 2 超基性岩简易化学成分(据表 1 换算)

合并的氧化物	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
SiO ₂	41.3	41.9	40.4	41.7	40.2	42.8	44.1	45.4	44.8	43.1	42.8	44.2	43.8	48.8	45.8	57.5	55.1	53.5
«FeO»	6.3	7.1	13.1	9.7	14.6		7.7	7.7	8.0	8.9	11.3	8.2	11.7		8.3			
MgO	52.4	51.0	46.5	48.6	45.2		42.8	47.9	47.2	48.0	45.9	47.6	44.5		45.9			
«MgO»						54.3								50.0		29.0	21.3	25.6
CaO						2.9								1.6		14.5	23.6	20.9
由重量%计算的 MgO/«FeO» 值	14.8	12.6	6.2	8.9	5.3	1.0	11.1	11.1	11.8	9.8	7.1	10.3	6.8	6.6	9.8	3.9	5.5	6.8

表 3 实际矿物(体积%)、计算矿物(重量%)与简易计算矿物(重量%)组分之比较

矿物	1			2			3			4			5			6			7			8			9		
	1	*2	3	1	2	3	1	2	3	1	*2	3	1	2	3	**2	3	1	*2	3	1	*2	3	1	*2	3	
橄 榄 石	100.0	99.0	100.0	81.3	99.0	98-99.0	100.0	98.0	96.0	90.0	80.0	100.0				93.0	93.0	12.6	83.0	84.0	22.8	81.0	77.0	9.1	78.0	79.0	
斜方辉石		1.0			1.0				4.0	3.0									17.0	16.0		19.0	23.0		22.0	21.0	
单斜辉石																5.0	7.0										
角 闪 石																2.0											
萤尖晶石				2.9		1.0			2.0									0.6			0.5						0.7
蛇 纹 石				15.9							9.0							72.2			57.2						66.3
绢 石																		14.6			19.5						23.9
绿 泥 石											8.0																
磁 铁 矿											2.0																

矿物	10			11			12			13			14			15			16			17			18		
	1	*2	3	1	*2	3	1	2	3	1	*2	3	1	*2	3	*1	**2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
橄 榄 石	2.2	87.5	89.0		86.0	88.0	83.0	83.0	83.0		81.0	81.0	39.0	47.4	65.0	71.0	66.0	73.0							4.0	14.2	15.0
斜方辉石		12.5	11.0		14.0	12.0	15.0	17.0		19.0	19.0	30.0	18.8	29.0	29.0	31.0	27.0	43.7			45.0				5.0		3.0
单斜辉石												2.0	3.2	6.0				56.0			55.0	95.0	±		91.0	77.0	80.0
角 闪 石							2.0										3.0										
萤尖晶石	2.2			0.6								3.0	0.6													0.2	
蛇 纹 石	83.1			80.9								25.0	17.1														6.6
绢 石	12.5			18.3																							
绿 泥 石																											
磁 铁 矿				0.2														0.8									

注: 第二行——1. 实际矿物体积成分%; 2. 计算矿物重量成分%; 3. 简易计算矿物重量成分%。
 (*: 据王雁升、白文吉“基性与超基性岩石化学计算方法”和图解;
 **: 据 CIPW 系统);