

# Guéret 花岗岩内黑云母粒径分析的图像开操作法<sup>\*</sup>

吴继敏

河海大学土木工程学院, 南京, 210098.

College of Civil Engineering, Hohai University, Nanjing, 210098.

1998-06-18 收稿, 1998-10-20 改回.

Wu Jimin. 1999. Method of opening in image of granularity analysis of biotite in the Guéret granite. *Acta Petrologica Sinica*, 15(1): 124~128

**Abstract** With the help of samples of thin section of rock, this article uses characteristics of opening in image analysis to estimate the granularity of biotite minerals in the Guéret granite and a good result is obtained. As so as a binary image of a kind of objective mineral is well gotten, it is easy to estimate characteristics of grain size and its distribution for all minerals. Their accuracy depends upon the pixel-picture elements of the image. The method possesses the property of easy operation and good accuracy. It is believed that there is an extremely high possibility for this method to be used in geology, specially in the quantitative analysis for rock texture.

**Key words** Biotite, Opening in image, Granularity

**摘要** 应用图像分析原理中的开操作特征, 利用岩石薄片作为样品, 进行法国 Guéret 花岗岩内黑云母粒径分析, 得到了极为理想的效果。这一方法的特点是只要制作某目标矿物的二值图像, 即可评价体现每一矿物的粒径和分布特征, 其精度取决于构成图像的像素数。该方法操作方便, 成果可靠, 在地质领域, 尤其是在岩石结构定量分析方面, 应该有很宽广的前景。

**关键词** 黑云母; 图像开操作; 粒径分析

**中图分类号** P558.1

## 1 引言

岩石中矿物的粒径分析, 是岩石结构定量评价的主要内容, 与岩石的物理力学性质有着密切关系。Grolier *et al.* (1990) 指出, 图像分析是定量研究岩石结构极为有效的方法。岩石矿物颗粒的粒径分析, 长期以来以定性分析或半定量分析为主, 大多采用显微镜下目测或野外目估的方法。

图像分析粒径测定法 (Granulometer) 之一即开操作法用来进行粒径大小的分布分析, 多用于粒状材料的粒径评价。该方法简便有效, 类似于土颗粒粒径分析筛, 每层筛子的孔径不一, 只能让小于该孔径的土颗粒通过, 结果得到具有一定粒径区间的土颗粒含量。开操作法首先要制作某目标矿物的二值图像, 然后可评价每一个矿物参与的粒径和分布特征, 其精度取决于构成图像的像素数。此外, 这一方法无须对每一个矿物进行量测, 就能全定量地评价矿物的粒径和分布特征; 从而进一步可评价岩石的结构特征 (吴继敏,

1998a)。

本文以法国 Guéret 花岗岩内黑云母 (吴继敏, 1997) 作为目标矿物, 二值图像的制作较为简单: 即将花岗岩岩石薄片放置在 CCD 照相机下, 岩石薄片的灰度转换成光信号, 数字化后即可成为灰度图像; 然后经自动阈值方法之一的互级方差最大值法 (吴继敏, 1998b), 就能提取黑云母粒子, 从而构成二值图像。其它岩石中目标矿物的二值图像成像也有许多方法, 例如, 图像合成法 (吴继敏, 1998a)、人工勾绘法 (Pirard, 1993) 等。

## 2 开操作特征

### 2.1 开操作基本原理

对于一个集合  $X$ , 在其周边先实现结构元素 (structural element) 为  $B$  的侵蚀操作 (Erosion), 得到一个新的集合  $E^B(X)$  ( $E$  表示侵蚀); 之后, 对于新的集合再进行同样结构元

<sup>\*</sup> 本文研究由国家教委留学回国人员科研启动基金资助项目资助。

作者简介: 吴继敏, 男, 1956 年出生, 教授, 工程地质、图像分析地质学应用专业。

素的膨胀操作 (Dilatation), 从而又得到一个新的集合  $D^B[E^B(X)]$ 。这一转换称为开操作 ( $O^B(X)$ ) (这里的  $O$  表示开操作, Opening)。所以有:

$$O^B(X) = D^B[E^B(X)] \quad (1)$$

结构元素  $B$  表示一个简单的几何图形, 例如正方形、长方形、六边形、八边形等, 侵蚀操作即结构元素  $B$  的中心在集合  $X$  的周边上连续滚动, 将结构元素所遇到的集合周边带侵蚀掉; 而膨胀操作是沿集合周边扩大一定的结构元素, 如结构元素为圆, 即扩大圆的半径 (Serra, 1982)。

2.2 开操作特点

Michel and Chermant (1989) 经长期的研究后, 认为任

一集合 (如矿物、粘土颗粒、材料元素等的平面形状) 经开操作后, 周边形状变得更规则、更平滑。开操作能消除集合周边凸出的“小岛”, 故具有滤波器的作用。开操作后的粒子形状与结构元素的形状趋于一致。下面以一幅 Guéret 花岗岩内黑云母矿物的图像 (实际面积为  $32.17 \text{ mm} \times 21.34 \text{ mm}$ ) 为例, 进行不同结构元素的开操作, 说明其滤波作用。该图像由  $512 \times 512$  ( $n \times n$ ) 个像素组成, 即每个像素或最小粒子的实际面积 (长  $\times$  宽:  $\Delta y \times \Delta x$ ) 为  $0.0628 \text{ mm} \times 0.0418 \text{ mm}$ 。

2.2.1 开操作对粒子面积的影响

对上述图像中黑云母矿物粒子进行不同结构元素的开操作后, 得到粒子面积变化的结果见表 1。

表 1 不同结构元素  $B$  的开操作对粒子面积的影响

Table 1 Effect of particle areas after opening with different  $B$

$B$	$N$	$A_{pm}$	$A_{moy}$	$A_{max}$	$A_{tot}$	$P_{pm}$
0	238	0.00262	0.26	2.85	61.88	1
1	138	0.02357	0.43	2.84	59.34	9
2	105	0.06546	0.51	2.76	53.55	25
3	68	0.12831	0.61	2.58	41.48	49
4	37	0.21210	0.79	2.48	29.39	81
5	24	0.31684	0.85	2.24	20.40	121

注:  $N$  为粒子数,  $A_{pm}$  表示最小粒子的面积,  $A_{moy}$  为所有粒子的平均面积,  $A_{max}$  表示所有粒子中最大粒子的面积,  $A_{tot}$  为所有粒子的总面积,  $P_{pm}$  为最小粒子的像素数。面积单位为  $\text{mm}^2$ 。

从表 1 可以看出, 随着结构元素  $B$  的增加, 粒子数、所有粒子中最大粒子的面积和所有粒子的总面积相应减小, 而最小粒子的面积、所有粒子的平均面积和最小粒子的像素数不断增大。

最小粒子像素数及其开操作可以由下图说明: 图 1(a) 为原始图像, 覆盖 12 个像素; (a) 图像被侵蚀操作后 ( $B=1$ ),

只剩下一个像素 (图 (b)); 然后, 再进行一次膨胀操作, 得到图 (c), 即为一个长方形, 包含 9 个像素。

所以有:

$$P_{pm} = [2(B + 1) - 1]^2 \quad (2)$$

$$A_{pm} = P_{pm}(\Delta y \times \Delta x) \quad (3)$$

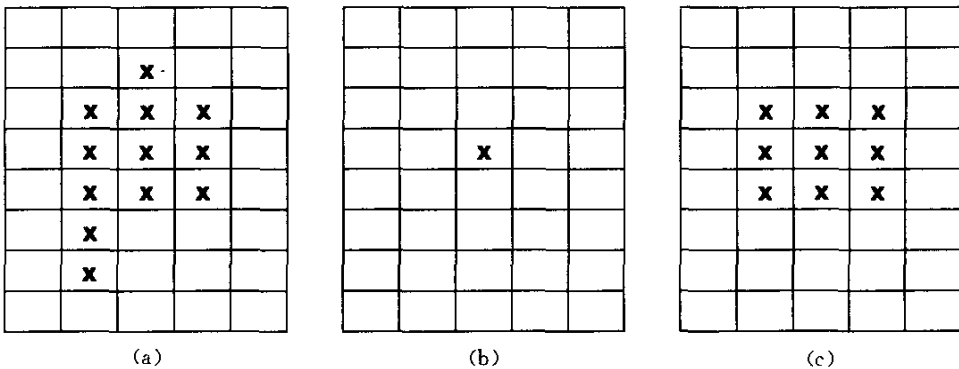


图 1 最小粒子像素数及其开操作

(a) 为原始图像; (b) 为 (a) 的侵蚀操作; (c) 为 (b) 的膨胀操作。

Fig. 1 Number of pixels of the small particle and its opening

### 2.2.2 开操作对粒子周长的影响

对上述图像中黑云母矿物粒子进行不同结构元素的开操作后, 得到粒子周长变化的结果见表 2。

从表 2 可以看出, 随着结构元素  $B$  的增加, 粒子数、所有粒子中最大粒子的周长和所有粒子的总周长相应减小, 而最小粒子的周长、所有粒子的平均周长和最小粒子的周边像素数不断增大。

对于长方形粒子, 有:

$$P_{pm} = 8B \quad (B > 0) \quad (4)$$

$$P_{min} = 4B(\Delta y + \Delta x) - \Delta x \quad (B > 0) \quad (5)$$

上述开操作对粒子面积和周长的影响, 基本上可以用线性模型来拟合, 自变量为  $B$ , 函数为本文观测的参数, 回归分析的结果(斜率、截距、相关系数、自由度、 $F$  检验等)见表 3。

表 2 不同结构元素的开操作对粒子周长的影响

Table 2 Effect of particle perimeters after opening with different B

$B$	$N$	$P_{min}$	$P_{moy}$	$P_{max}$	$P_{tot}$	$P_{pm}$	$P_{pmb}$
0	238	0.04167	1.61	12.19	383.18	1	1
1	138	0.37637	2.43	11.08	335.34	9	8
2	105	0.79441	2.69	10.23	282.45	25	16
3	68	1.21245	2.88	8.23	195.84	49	24
4	37	1.63049	3.33	7.92	123.21	81	32
5	24	2.04853	3.40	7.50	81.60	121	40

表中,  $N$  为粒子数,  $P_{min}$  表示最小粒子的周长,  $P_{moy}$  为所有粒子的平均周长,  $P_{max}$  表示所有粒子中最大粒子的周长,  $P_{tot}$  为所有粒子的总周长,  $P_{pmb}$  为最小粒子的周边像素数。周长单位为 mm。

表 3 开操作对粒子面积和周长的影响的线性回归分析

Table 3 Regressive analyses of effect of particle areas and perimeters after opening

函数	斜率	截距	$r$	$\nu$	$F$ 计算值	$F$ 临界值 ( $\alpha=0.01$ )
$N$	-40.286	202.381	0.9531	4	39.67	21.20
$A_{pm}$	0.063	-0.032	0.9716	4	67.50	21.20
$A_{moy}$	0.118	0.280	0.9921	4	251.21	21.20
$A_{max}$	-0.123	2.933	0.9627	4	50.60	21.20
$A_{tot}$	-8.838	66.434	0.9803	4	98.62	21.20
$P_{min}$	0.406	0.002	0.9994	4	3491.00	21.20
$P_{moy}$	0.338	1.878	0.9591	4	45.9108	21.20
$P_{max}$	-0.998	12.020	0.9741	4	74.10	21.20
$P_{tot}$	-63.740	392.953	0.9949	4	390.38	21.20

表 3 说明, 开操作对粒子面积和周长的影响, 基本上呈线性关系, 斜率的正负分别表明其递增及递减, 相关系数大于等于 0.9531,  $F$  检验也说明其线性模型是可以接受的。

## 3 粒径分析

### 3.1 基本原理

开操作的粒径分析包括二个参数: 总粒子数 ( $N$ ) 和粒子总面积 ( $A_{tot}$ )。其基本原理由下式表达:

$$F_c = \frac{G(x) - G[T^B(x)]}{G(x)} \quad (6)$$

式中,  $F_c$  为总粒子数或粒子总面积的累计频率,  $G(x)$  表示图像的总粒子数或粒子总面积,  $G[T^B(x)]$  为粒子直径大于  $B$  值的总粒子数或粒子总面积,  $T$  表示结构元素  $B$  的形态转换(开操作), 结构元素  $B$  相当的面积为  $\Delta y \Delta x [2(B+1) - 1] \text{ mm}^2$ 。

### 3.2 操作结果

以上述黑云母矿物为例, 取花岗岩样品中三个正交方向, 分别称为 {A}、{B} 和 {C} 系列, 各为 10、10 和 8 幅图像, 图像中分别包括 2370、2829 和 2595 个黑云母矿物粒子, 用以描述该矿物的三维粒径分布特征和各向异性特征。

对各个系列的图像分别进行开操作,使 B 以正整数不断增加,同时记录总粒子数和粒子总面积的变化,并根据公式 (6) 计算累计频率,所得结果见表 4。

表 4 总粒子数和粒子总面积的开操作及其累计频率

Table 4 Opening and cumulative frequency to total particle numbers and a total area of particles

B	(A)		(B)		(C)		(A)		(B)		(C)	
	N	F <sub>c</sub>	N	F <sub>c</sub>	N	F <sub>c</sub>	A <sub>tot</sub>	F <sub>c</sub>	A <sub>tot</sub>	F <sub>c</sub>	A <sub>tot</sub>	F <sub>c</sub>
0	2370	0.00	2829	0.00	2595	0.00	568.00	0.00	541.88	0.00	493.05	0.00
1	1413	0.40	1658	0.41	1467	0.43	532.70	0.06	457.61	0.11	425.43	0.14
2	860	0.64	921	0.67	829	0.68	454.94	0.20	358.27	0.30	331.60	0.33
3	547	0.77	500	0.82	488	0.81	366.49	0.36	248.50	0.52	234.24	0.52
4	353	0.85	250	0.91	246	0.91	280.64	0.51	152.50	0.70	142.68	0.71
5	205	0.91	119	0.96	113	0.96	198.24	0.65	87.94	0.83	79.10	0.84
6	125	0.95	43	0.98	40	0.98	141.38	0.75	42.91	0.92	39.60	0.92
7	72	0.97	18	0.99	16	0.99	94.39	0.83	21.37	0.96	17.28	0.96
8	38	0.98	9	1.00	9	1.00	60.57	0.89	10.50	0.98	8.73	0.98
9	21	0.99	7	1.00	6	1.00	29.46	0.95	7.74	0.98	4.32	0.99
10	8	1.00	3	1.00	2	1.00	12.15	0.98	1.76	1.00	0.94	1.00
11	4	1.00	2	1.00	2	1.00	4.29	0.99	0.85	1.00	0.90	1.00
12	4	1.00	2	1.00	1	1.00	4.07	0.99	0.80	1.00	0.25	1.00
13	2	1.00	0	1.00	0	1.00	1.16	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
14	1	1.00					0.37	1.00				
15	1	1.00					0.34	1.00				
16	0	1.00					0.00	1.00				

3.3 模型评价

累计频率的分布可以用负指数类型的模型来拟合,即威布尔模型的累计形式:

$$F_c = 1 - e^{-bB^a} \quad (7)$$

式中, a 与 b 为待定的参数,可以通过线性回归分析得到,即:

$$\ln[-\ln(1 - F_c)] = \ln(b) + a \ln(B) \quad (8)$$

开操作所得粒径分析结果(表 4),经回归分析后得到的模型参数、相关系数(r)、及其相应的  $\chi^2$  检验结果见表 5。

表 5 威布尔模型的参数、相关系数及  $\chi^2$  检验

Table 5 Parameters of Weibul model, correlation coefficient and  $\chi^2$  test

参数	系列	a	b	r	$\chi^2_{exp}$	$\nu$	$\chi^2_{the} (\alpha=0.01)$
N	(A)	1.040	0.483	0.9880	21.04	10	23.21
	(B)	1.101	0.538	0.9942	14.55	8	20.09
	(C)	1.100	0.544	0.9951	25.33	7	18.48
A <sub>tot</sub>	(A)	1.770	0.063	0.9989	9.77	10	23.21
	(B)	1.655	0.120	0.9989	2.94	7	18.48
	(C)	1.623	0.136	0.9990	2.03	7	18.48

注:  $\chi^2_{exp}$  为计算值,  $\nu$  为自由度,  $\chi^2_{the} (\alpha=0.01)$  表示临界值。

表5说明, 威布尔模型的线性回归分析的相关系数大于等于0.9880; 比较 $\chi^2$ 的计算值和临界值, 说明实际分布与模型有很好的-致性;  $\chi^2$ 的计算值均小于其相应的临界值( $\alpha=0.01$ ) (除了总粒子数 $N$ 系列(C)的假定被拒绝); 并且粒子总面积的模型拟合要远好于总粒子数的模型拟合, 即 $\chi^2$ 的计算值要小的多。

### 3.4 特征参数

得到了粒径分布的模型后, 可以评价模型的一些特征参数。这里引用的特征参数包括四分位值和四分位值间距(见

表6)。特征参数分析表明, {B}和{C}系列显示几乎相等的模型特征参数, 说明它们的粒径大小和分布基本相等; 而{A}系列, 尤其是粒子总面积, 具有最小的分布系数( $b$ )和最大的分布系数( $a$ ), 说明黑云母矿物颗粒粒径在该方向上大于{B}和{C}系列; 这一点也能从特征参数中得到论证, 除了总粒子数的第二四分位值(中值)外, {A}系列的特征参数均大于{B}和{C}系列的特征参数, 而{B}和{C}系列的特征参数几乎相等。综上所述, 黑云母矿物在其构成的Guéret花岗岩中, 具有明显的各向异性特征。

表6 粒径分布模型的特征参数

Table 6 Characteristic parameters of model for size distribution

参数	系列	第一四分位值	第二四分位值	第三四分位值	四分位值间距
$N$	{A}	0.61	1.15	2.76	2.15
	{B}	0.56	1.26	2.36	1.79
	{C}	0.56	1.25	2.34	1.78
$A_{tot}$	{A}	2.37	3.89	5.75	3.39
	{B}	1.70	2.89	4.39	2.69
	{C}	1.59	2.73	4.19	2.60

## 4 结论

应用图像分析中的开操作技术进行岩石中矿物的粒径分析原理上类似于土工粒径分析的筛析法, 具有很强的粒度分析功能; 作为滤波器, 开操作对矿物粒子的影响是有规律性的; 在取得岩石薄片后, 利用一定的成像技术, 能够获得岩石中目标矿物的二值图像; 在此基础上, 进行矿物粒子的粒径、分布特征和特征参数分析等, 既简单, 又方便, 并具有足够的精度。实例研究表明, 该方法的应用能够揭示岩石内部的粒径分布特征及其各向异性特征。

## References

- Grolier J, Fernandez A, Huncher M and Riss J. 1990. Les propriétés physiques des Roches, Théorie et modèles. Paris: Masson, 58~204
- Michel C and Chermant J L. 1989. Précis d'analyse d'images. Paris: Presses du CNRS, 119~160
- Pirard E. 1993. Morphométrie euclidienne des figures planes, applications à l'analyse des matériaux granulaires. Thèse d'Université de

Liege (Belgique).

- Serra J. 1982. Analyse and mathematical morphology. London: Academic press, 92~230
- Wu Jimin. 1997. A study on the texture of biotite in Guéret granite, France. Geological Journal of China Universities, 3 (1): 16~22 (in Chinese with English abstract)
- Wu Jimin. 1998a. Estimation of granite texture characteristics by image analysis. Journal of Hohai University, 26 (4): 1~7 (in Chinese with English abstract)
- Wu Jimin. 1998b. Calculating methods of image thresholding and extracting data for geology. Advances in Science and Technology of Water Resources. 18 (3): 24~27 (in Chinese with English abstract)

## 附中文参考文献

- 吴继敏. 1997. 法国Guéret花岗岩内黑云母的结构特征研究. 高校地质学报, 3 (1): 16~22
- 吴继敏. 1998a. 应用图像分析法评价花岗岩的结构特征. 河海大学学报, 26 (4): 1~7
- 吴继敏. 1998b. 图像阈值计算方法及地质信息提取. 水利水电科技进展, 18 (3): 24~27