岩体尺度信息提取探索[1)]

伍彦峰　丁　桦

(中国科学院力学研究所工程科学研究部，北京 100080)

摘要　利用边界检测、直方图滤波等图像处理技术作为对破裂岩体或含节理、裂隙岩体的图像 (数码照片) 信息处理的基础，建立表征岩体中块度分布的二值化图像. 通过对二值化图像的逐行和逐列扫描统计得到岩体块度分布的表征岩体多尺度特征的分维指数和特征块度.

关键词　岩体尺度信息，图像处理，分维，级配

1 引　言

岩体的宏观刚度、强度等力学特征与岩体中节理、裂隙的分布有着密切的关系. 利用尺度信息对岩体进行分类已被广泛应用于岩体工程的可行性设计中. 这类方法有：Deer 的岩石品质指标 (rock quality designation)，Terzaghi 的岩石载荷理论 (rock load theory)，Beniawski 的岩石质量率 (rock mass rating)，Barton 的岩石质量品质 (rock mass quality)，Palmstrom 的岩石质量指数 (rock mass index) 等等 [1]. 但运用这些方法需要在理论研究和实验的基础上进行大量的数据积累和分析，为了得到可靠的数据，研究常常需要进行大量的岩石开挖，所需时间长，花费也大且结果常常是因人而异. 而利用岩体图像信息进行岩体尺度分维分析有可能帮助人们克服上述的困难，得到比其它方法更好的效果 [2].

Crosta[3] 建议利用简单的数码摄像技术，通过计算机分析来得到岩石的分维特性. 但这种方法在实际中实现起来非常困难，主要问题是如何让计算机自动地识别、划分图像中不同的块体和块度. 本文尝试利用象素扫描提取岩体的分维特性.

本文的研究对象是通过数码摄像拍摄的岩石剖面的数字图像，通过程序处理得到增强的二值化边缘图像，然后对表征块度分布的二值化边缘图像进行级配统计，从而得到分维指数的值和一些其它有用的参数.

2 利用尺度分维信息进行岩石分类的理论

分维是一个描述不规则形状物体的几何特性的数学概念 [4,5]，它可以表征岩体整体中块体的分布特征. 分维分析中的关键参数是分维指数，它是一个实数而非整数，且不同于欧几里得或拓扑维数，后者为一整数，对线为 1，对面为 2，对体为 3. 而分维指数对于各种线在 1~2 之间，对于面则在 2~3 之间.

一种测量粒子粗糙度的方法是通过此粒子与其它各种粒子粗糙度、圆度、球状度的标准图表进行对照. 另一种方法是通过傅里叶分析，量化粒状材料的平坦度. 但由于应用范围的限制，粒子粗糙度的精确值通常无法通过以上手段得到. 而另一方面，分维在粒子粗糙度的定量上有一套近乎通用的方法，因此，它有可能在可信度和应用前景上都优于其它的方法.

近年来，工程师们和地球科学家们已经成功利用分维理论很好地分析了岩石、土颗粒和岩石节理的粗糙度；爆破引起的岩石碎片分布状态；以及一些其它的地质特性. 由于岩石节理粗糙度特性参数 (JRC) 的估计比较困难，近年来许多研究者已经倾向于使用分维几何来定量地描述破碎表面上的粗糙度，并且已经建立了分维指数和岩石节理的各种力学参数的对应关系 [6].

Carr 和 Warriner[6] 建立了分维指数和 JRC 的关系，提出把分维几何学作为描述粗糙度的有效工具之一. Hsiung[7] 等人也通过研究发现，随着分维指数的增加，JRC 值有降低的趋势. Turcotte[8] 和 Zhao[9] 利用分维理论的指数定律分析了破碎块体的分布，并提出了一些应用条件. 很多人将这些结果用到了爆破效果的分析上 [10,11]. Perfect[12] 利用分维理论研究了冲击载荷下岩体材料的破坏规律.

分维指数可由颗粒的级配信息得到，满足块体的特征尺寸 $\xi > L$(L 为一指定的值) 的块体数目 $N(\xi > L)$ 可表示如下 [8]

$$N(\xi > L) \sim L^{-D}$$

D 即为块体级配的分维指数.

有许多关系式都满足分维条件，例如 Rosin-Rammler 方程和 Schumann 方程都是经常被使用的. 本文中使用了 Schumann 方程来描述岩石分维特征，其表达式如下 [13]

$$y = 100(r/K)^{\alpha} \tag{1}$$

其中 y 为小于某一粒径 r 的累积百分数，K 为最大粒径，指数 α 为一常数. α 与分维指数具有关系 [11]

$$D = 3 - \alpha$$

为了进行比较，本文还利用 R-R 分布函数 (见式 (2)) 对岩体的尺度特征进行了分析.

$$P(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{x_0}\right)^n\right] \tag{2}$$

式中，$P(x)$ 为小于某一粒径 x 的所有岩块的相对重量 (或体积)；x_0 为岩块的特征尺寸，即筛分累积率为 63.21% 的块度尺寸；n 为块度不均匀指数.

2003-03-21 收到第 1 稿，2003-07-01 收到修改稿.

1) 中国科学院知识创新方向性项目"滑坡灾害中的关键力学问题 —— 地质体参数的动态识别方法"资助.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3 利用图像信息进行尺度特征的提取

3.1 图像预处理

要提取图像的尺度特征，首先需要对图像进行边界检测，找出岩块边界. 本文以文献 [14] 介绍的边界检测算法为基础，建立了数字图像的预处理方法. 主要由以下几个步骤组成:

把 24 位真彩色的图像提取其 R, G, B 值，作为灰度图像分别进行处理. 首先用最简单的一阶微分算子对原始图像进行初步的边界检测，选取适当阈值下的可能边界点，并定义各可能边界点的梯度方向. 然后利用此方向信息，用基于邻域的非线性算子，在原始图像空间域进行进一步的边界检测，去除冗余边界点. 而后经过处理，生成单象素宽边界.

为了进一步去除冗余边界点，得到更为清晰的岩块边界，我们采用如下步骤进行处理：首先分别得到其 R, G, B 值的直方图，然后按直方图各象素所占比例进行由大到小排序，保留其中一个占多数的象素值及其某一邻域内的象素值，直方图中其它少数象素作为干扰噪音去掉，这样就进一步降低了噪声的干扰. 最后把 R, G, B 的灰度图像二值化并叠加在一起，把图像变为黑白二值图像.

3.2 级配统计信息的提取

目前通过图像处理不通过人工干预直接得到连通的块体单元边界还没有十分有效的方法. 本文作法是避开这一难点，通过对图像进行逐行 (列) 扫描，对每行 (列) 的尺度信息进行叠加、平均从而得到对应的级配的统计信息. 当图像的块体具有统计特征时 (视场大, 包含足够多的块体) 这种方法将能够给出很好的结果.

算法如下：逐行 (列) 遍历所有象素点，记录每行 (列) 中各相邻边界点 (黑点) 之间的象素个数，得到每行 (列) 中的尺度信息，并进行叠加得到各个尺度段下的块体总个数，以及水平 (竖直) 方向上的平均级配信息. 考虑到在图像预处理中有很多小尺度的噪声干扰，程序中把小于某一尺度的块体忽略不计，并忽略掉尺度所占百分数低于某一参数的大尺度，把剩下的尺度信息作为有效的级配统计信息.

3.3 尺度信息的提取

在得到级配的统计信息后，对应不同的分布假设 (Schumann 方程和 R-R 分布函数)，可以利用最小二乘法得到其中的分布指数和特征尺度:

对于 Schumann 方程 (见式 (1))，对其两边取对数，得到如下式子

$$\log y = \alpha \cdot \log r - \alpha \cdot \log K + \log 100$$

令 $X = \log r, Y = \log y$，则

$$Y = aX + b$$

其中， $a = \alpha, b = -\alpha \cdot \log K + \log 100.$

通过图像的扫描处理可以得到 X, Y 的对应的离散序列 (X_i, Y_i)，利用最小二乘法就可以得到

$$\left.\begin{aligned} a &= \frac{\sum X_i Y_i \cdot N - \sum X_i \cdot \sum Y_i}{\sum X_i^2 \cdot N - \sum X_i \cdot \sum X_i} \\ b &= \frac{\sum X_i Y_i \cdot \sum X_i - \sum X_i^2 \cdot \sum Y_i}{\sum X_i \cdot \sum X_i - \sum X_i^2 \cdot N} \end{aligned}\right\} \tag{3}$$

其中 N 为 i 的个数. 由此可得 α 和 K 的值.

对于 R-R 分布函数 (见式 (2))，两边取两次对数，得

$$\log(-\log(1 - P(x))) = n \cdot \log x - n \cdot \log x_0$$

令 $X = \log x, Y = \log(-\log(1 - P(x)))$，则

$$Y = aX + b$$

其中， $a = n, b = -n \cdot \log x_0.$

同样对于 X 和 Y 的离散序列 (X_i, Y_i)，从式 (3) 可以得到满足最小二乘准则的 a 和 b，进而确定块体分布不均匀指数 n 和特征块度 x_0 的值.

同样对处理后的图像进行逐列扫描，可以得到按列统计的结果.

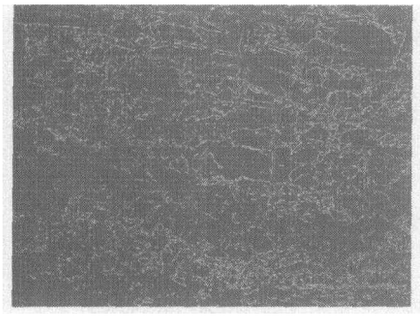
4 结果和讨论

利用前述的方法，本文对拍摄的岩石剖面图像进行了分析处理. 图 1(a)～ 图 1(c) 为不同步骤的图像处理结果. 原图图像的质量并不是很好，但处理后的结果还是很好的，岩块的轮廓基本上都刻划出来了. 图 2(a)～ 图 2(d) 为图像中块度分布的统计级配曲线. 图中曲线表示的是各参数随数据处理中块体尺度的分段数 DN(即将尺度变化划分为 DN 个级段，每一级段内的尺度认为是一样的) 变化的情况. 可以看出当 DN 取值足够大 (分级足够密) 时，各参数的变化比较平缓，即分级足够密时各参数的计算是稳定的. 这说明由本文提供的算法在一定程度上能够反映客观实际情况. 当然本文的尝试只是初步的，希望起到抛砖引玉的作用，以便能够有更多的人对其进行进一步的完善.

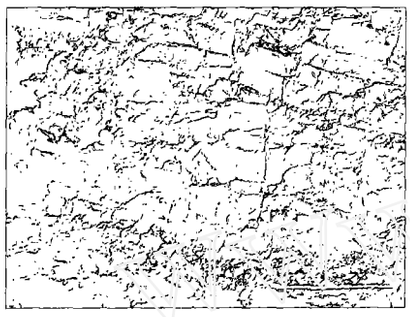
(a) 原图

图 1

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

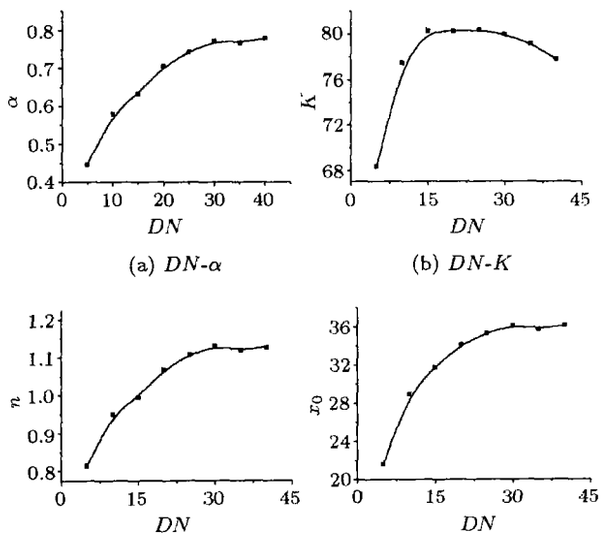


(b) 边界检测



(c) 二值化

图 1 (续)



(a) DN-α　(b) DN-K

(c) DN-n　(d) DN-x_0

图 2

参 考 文 献

1 Singh B, Goel RK. Rock Mass Classification. Oxford: Elsevier, 1999. 267

2 Bagde MN, Raina AK, Chakraborty AK, et al. Rock mass characterization by fractal dimension. Elsevier, *Engineering Geology*, 2002, 63: 141~155

3 Crosta G. Evaluating rock mass geometry from photographic images. *Rock Mech Rock Eng*, 1997, 30(1): 35~58

4 Mandelbrot BB. The Fractal Geometry of Nature. San Francisco: Freeman, 1982. 468

5 Feder J. Fractals. New York: Plenum, 1988. 283

6 Carr JR, Warriner JB. Rock mass classification using fractal dimension. In: Farmer, Daemen, Desai, Glass, Neuman eds. Proc. 28th US Symp. On Rock Mech. Tuson, 29 June-1 July 1987. 73~80

7 Hsing SM, Ghosh A, Chowdhury AH. On natural rock joint profile characterization using self-affine fractal. In: Daemen, Schultz eds. Rock Mechanics Symposium. Balkema, Rotterdam, 1995. 681~687

8 Turcotte DL. Fractals and fragmentation. *J Geophys Res*, 1986. 91(B2): 173~175

9 Zhao Y. Crack pattern evolution and a fractal damage constitutive model for rock. *Int J Rock Mech Min Sci*, 1998, 35(3): 349~366

10 Cram SV. Fractal concepts applied to bench-blast fragmentation. In: Hustrulid W, Johnson GA, eds. Proc. Rock Mechanics Contributions and Challenges, 1990. 913~919

11 Ghosh A, Daemen JJK, Zyl D. Fractal-based approach to determine the effect of discontinuities on blast fragmentation. In: Hustrulid W, Johnson GA, Eds. Proc. Rock Mechanics Contributions and Challenges. Balkema, Rotterdam, 1990. 905~912

12 Perfect E. Fractal models for the fragmentation of rocks and soils: a review. *Eng Geol*, 1997, 48(3-4): 185~198

13 Da Gama CD. Use of comminution theory to predict fragmentation of jointed rock masses subjieted to blastion. In: Proc. 1st Int. Symp. Rock Fragmentation by Blasting. Lulea, Sweden, 1983. 565~579

14 赵业. 基于边界点方向的边界检测方法. 东南大学学报, 1994, 24(6): 72~77

ON ROCK SCALE INFORMATION

WU Yanfeng　DING Hua

(Institute of Mechanics,CAS, Beijing 100080, China)

Abstract Fractal dimension and characteristic lengths of rock masses are obtained by image processing. The edge detection and pixel scanning methods are used to acquire these parameters. From the numerical results, it is shown that when the scanning is fine enough the results are stable. So the method presented here would give reasonable values of the parameters in consideration.

Key words rock scale information, image processing, fractal dimension

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net