

# 金属磨粒分形参数的计算

陆永耕 赵淳生

葛世荣

(南京航空航天大学, 南京 210016)

(中国矿业大学, 徐州 221008)

**摘要** 为了便于分析研究设备的磨损状态等相关性规律, 研制了基于计算机的磨粒图像轮廓识别和轮廓分形参数分析软件。在获取磨粒图像链码的基础上, 利用该软件对销-盘试验机采集的磨粒进行分析, 发现磨粒分形维数的变化与磨损状态有一定对应关系。该软件为磨粒分形特征与磨损状态相关性规律的研究, 提供了简便快捷的手段。

**关键词** 金属磨粒 分形参数 计算 链码

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2004)04-0491-04

## Fractal Parameters Computation of Metal Worn Particle

LU Yong-geng, ZHAO Chun-sheng

(Nanjing university of aeronautics and astronautics, Nanjing 210016)

GE Shi-rong

(China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008)

**Abstract** In order to analyze the correlation laws between fractal feature and equipments worn states, the software used to identification particles contours and to compute the fractal dimension of the particles contours is programmed based on the computer. This paper presents the fractal parameter and its calculation method of the worn particles based on particles contours' chain code. Some worn experimental tests were carried out at the pin-on-disc experiments and the worn debris were sampled at varies running-in stages. It is found that, when the subroutine be used to compute the particles' parameters, the change of the fractal dimension of the worn debris is corresponded to the machine worn states at different running-in stages. The results show that it is convenient to compute the fractal dimension of the particles contours with this subroutine. The software offers effective and simple methods in researching the correlation law between fractal feature and equipments worn states.

**Keywords** metal worn particle, fractal parameter, computation, chain code

## 1 引言

相互接触的机械零件(摩擦副)之间的摩擦磨损是导致机械设备失效故障的最常见原因, 设备状态监测与故障诊断是通过测定设备特征参数实现的。实验表明, 不同摩擦作用过程产生的磨粒有不同特征, 根据磨粒材料和成份便可分辨磨粒对应的设备工作过程和磨损产生的机理<sup>[1]</sup>。机械故障诊断水平的提高, 要求磨损磨粒参数识别技术由定性向定量、由个别参数向多元化参数、由人工识别向自动识别方向发展。这就需要针对不同的运行状况, 找到适合

于磨粒几何形态描述的特征参数。

磨粒表面粗糙而不光滑, 分形几何用具有尺度独立性的分形参数来表征磨粒表面, 具有更大的优越性。近年来, 很多学者基于分形几何建立了各种各样的研究模型进行磨损预测<sup>[2]</sup>。

从磨粒表面图像提取灰度信息, 利用磨粒颜色、群体分布、形状等, 采用计算机图像处理技术, 对磨粒图像进行分析处理, 能区别不同形状的磨粒。分析磨粒总体的图像, 就有可能确定磨粒图像所蕴涵的设备状态信息。

对于磨粒图像的分析, 主要集中在磨粒形态和群体分布上, 将磨粒各参数(如磨粒形状、群体分布、



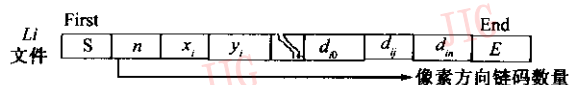


图 3 freeman 方向链码记录格式

采用方向链码(freeman)来跟踪磨粒图像边界,方向链码和边界是对应的,在方向链码中,包含了几个形状边界的全部信息,充分利用描述几何形状的方向链码,可以计算诸如:质心坐标、几何尺寸及分形参数等。

在图像处理中,一幅二值图像可能包含两个以上的连通成份,需要分别对连接的成份进行跟踪和标注,由计算机自动识别这个连接区域,然后才能标记或填充;提取二值图像的区域形状特征,如区域轮廓形状、面积、周长等。

与图像像素点处理方法不同,磨粒轮廓的跟踪并不对图像的所有点都独立地进行,在确定某一点是否为目标点时,将依赖于以前处理过的某些信息。它的处理分为检测和计算两部分,首先检测图像点是否为边缘点,然后再完成跟踪计算。

对于不同的连接区域,赋予不同标号以示区别;即一个连接成份中的每个像素用一种  $Num[i]$  标号标记,另一个连接成份中的每个像素用另一种标号  $Num[j]$  标记等。在对磨粒群体各个磨粒图像进行标注的同时,还可以设定一定链码长度界限,小于该界限的图像区域作为噪声处理,不计算在内,达到滤波目的。

### 3.2 结果分析

将磨粒图像采集到计算机后,由系统软件对其进行分析。首先作平滑滤波处理,再对图像灰度进行统计计算,将图像像素灰度在  $0\sim 255$  之间的分布曲线画出来,按照步长法计算直线的斜率,从而得到磨粒轮廓分形维数。这里步长依次选取  $Stp[10] = \{1, 3, 6, 8, 12, 24, 36, 48, 64, 96\}$ , 进行 10 次拟合运算。根据式(2)、式(3)得到不同  $\tau$  和  $M(\tau)$  的双对数

直线斜率(分形维数)。

图 4 为按照磨粒分形维数及其他几何参数进行的统计计算,磨粒轮廓分形维数以及周长、面积、圆度等参数等计算结果同时显示在屏幕上。图 5 为单个磨粒轮廓分形维数计算结果。可以看出,本系统算法能够按上述方法自动计算磨粒轮廓分形维数及磨粒的其他几何参数数值,进行的试验表明其分形参数数值符合定义的范围。



图 4 磨粒群体图像分形维数计算

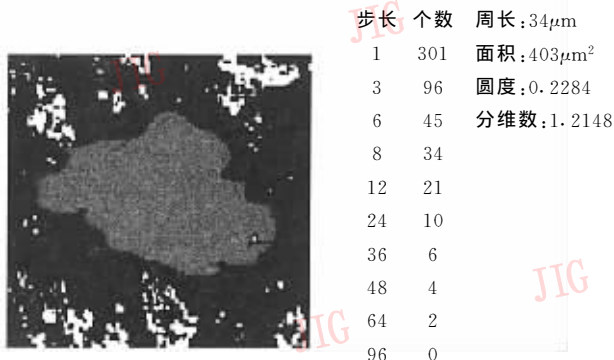


图 5 粒图像分形维数计算

不同磨损阶段测得的磨粒分形参数如表 1。其中  $D$  为磨粒分形维数。可以看出,分形维数  $D$  的变化与磨损状态改变相对应,即与磨损状态也是相对应的。分形维数的大小反映了磨损过程中磨粒数量比例变化。

表 1 不同阶段磨粒轮廓分形维数

状态	磨粒状态			
	正常磨损	切削磨损	疲劳磨损	严重滑动磨损
磨损形状				
分形维数 $D$	1.04~1.08	1.05~1.12	1.15~1.22	1.18~1.28

## 4 结 论

根据磨粒分形参数及其表征方法,自动计算磨粒轮廓不同步长时的周长,进行拟合,从而得到磨粒分形维数及大小磨粒分布情况。从统计分析结果可以找到磨粒分形特征与磨损状态相关性规律。

方向链码可以用于磨粒分形参数与群体分布的计算。磨粒分形参数的大小及其分布,反映了设备磨损的过程和磨粒产生的类型,结果表明,该方法具有可行性和可操作性。

### 参 考 文 献

- 1 屈梁生,何正嘉. 机械故障诊断学[M]. 上海:上海科学技术出版社,1986.
- 2 Kirk T B, Stachowiak G W, Batchelor A W. Fractal parameters and computer images analysis allied to wear particles isolated by ferrography[J]. Wear,1991,145(2):347~365.

- 3 徐建华. 图像处理与分析[M]. 北京:科学出版社,1992.
- 4 Mandelbrot B 著. 大自然的分形分形几何学[M].,陈守吉译,上海:上海远东出版社,1998.



陆永耕 1963年生,高级工程师,博士后。2002年于中国矿业大学获机械设计及理论专业博士学位。目前从事工业自动化、超声电机控制及数字图像处理的研究。



赵淳生 1938年生,教授、博士生导师。从事压电超声电机的研究。

葛世荣 1963年生,教授,博士生导师。从事生物和微型机械摩擦学、半金属聚合物材料等的研究。