

Study on the Intelligent Identification Wear Particles Based on the K Value

Yunyong Qi

Huayang Maritime Center, Beijing
Email: 251286588@qq.com

Received: Jul. 3rd, 2015; accepted: Jul. 24th, 2015; published: Jul. 27th, 2015

Copyright © 2015 by author and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

A new method named K value method is adopted to classify the wear particles as the criterion of the wear particles. Through analyzing the K value obtained from wear particle image samples, the range of the three kinds of wear particle images' K value are obtained. Although the K value ranges, the three different particles are still a little overlapped. It is better than the variable metric method, so it can be used as a good method to classify the three different kinds of wear particles. As a criterion to distinguish the above three kinds of wear particles, the K value method can effectively make up for ineffective results from fractal dimension. The K value method can improve the precision of the identification. The K value method provides a new method for ferrographic wear particles intelligent identification and has certain theoretical significance and practical value.

Keywords

Ferrographic Technology, Image Engineering, Fractal Theory, Fractal Dimension, K Value

基于 K 值的铁谱磨粒智能识别研究

齐运永

华洋海事中心, 北京
Email: 251286588@qq.com

收稿日期: 2015年7月3日; 录用日期: 2015年7月24日; 发布日期: 2015年7月27日

摘要

本文采用了 K 值法作为磨损颗粒分类的判据。通过对样本磨损颗粒图像的 K 值计算，得出了三种磨损颗粒图像 K 值的区间。虽然区间中有个别样本的 K 值存在重叠，但是能作为区分这三种磨损颗粒的依据，对这三种磨粒进行分类。将 K 值法作为区分上述三种磨损颗粒的判据，可以有效弥补用分形维数区分磨损颗粒时，识别不精确的情况，从而提高了识别的精确度。 K 值法为铁谱磨损颗粒智能识别提供了一种新的方法，具有一定理论意义和实用价值。

关键词

铁谱技术，图像工程，分形理论，分形维数， K 值

1. 序言

机械设备的摩擦过程异常复杂，再加上环境和界面介质的作用，使得在表面摩擦过程中产生形貌不同的磨粒[1]。磨粒往往携带有少量关于摩擦的信息，其颜色、尺寸和形貌等信息又和磨损方式密切相关[2]。表 1 给出了各种摩擦颗粒分类以及每种颗粒的大致特征的表格[3]。

从表 1 中可以看出，这五种磨粒中正常的滑动磨粒和切削磨粒比较容易区分，因为正常的滑动磨粒的尺寸在五种磨粒中最小，一般可以通过尺寸的大小来判断。而另外四种磨粒尺寸大小均匀重叠的部分，故不好用尺寸来区分。对于切削磨粒和其他三种磨粒(疲劳剥落、层状磨粒、严重滑动)最大的区别在于其边界形状一般呈细长、卷曲状。可以通过计算磨粒长轴和短轴之比，来和其他的磨粒进行区分。对于剩下的三种磨粒，尺寸均有重叠部分，边界形状也相似，故用上述的方法不能有效的进行区分。

2. 铁谱磨粒图像轮廓 K 值算法

2.1. K 值算法原理

根据观测对空间或者时间的随机变量的统计性质进行调查时，往往可以得到与波数变动相对应的频谱。这些变动是否为分形可以通过频谱的研究就能阐明。从频谱的观点来看，所谓改变观察尺度就是改变截止频率 f_c 。这里的截止频率是指把较此更细小的振动成分舍去的界限频率。因此，如果某变动是分形的，那么即使改变截止频率也不会改变频谱的形状[4]。

Table 1. Classification and preliminary characteristic of various kinds of wear particles

表 1. 各种磨损颗粒的分类和初步特征

磨粒种类	磨粒尺寸 μm	磨粒边界形状	表面形貌	表面颜色
正常滑动磨粒	不到 15	薄片、轮廓光滑	大体光滑	金属原色
切削磨粒	二体 30~100	细长卷曲	大体光滑	金属色占优
	三体 < 10	细长卷曲		
疲劳剥落	15~100	不规则边界	表面有小颗粒	同金属原色
层状磨粒	20~50	不规则边界	时常有皱褶	同金属原色
严重滑动	>20	有长直边	直线划痕	金属色占优

图像中选取不同的截止频率，得到的图像的灰度值的差异也不同。而 K 值法就是改变图像中的截止频率，从而得到图像中不同的灰度差值，将这些截止频率为横坐标，图像中灰度的差值之和取对数为纵坐标。然后对图上的折线段进行线性拟合，拟合的斜率就是 K [5]。

具有分形特征的图形，在某一个尺度范围内满足 $M(t) = t^k$ 。判断图形是否为分形只需判断图像是否存在无标度区间。一般判断有无标度区间的方法有三种[6]：

1) 观察法：在双对数坐标中绘出 $M(t)$ 与 t 的关系，通过观察找到线性关系较好的区间作为无标度区间，若没有线性较好的区间，那么该图形不具备分形特性。这种方法总体而言是正确的，且方便有效。但存在一定的主观因素。

2) 分段直线回归法：假设测量点分布在 3 条线段构成的折线附近。通过分段线性回归，以总的回归线差平方和最小作为目标，求出中间一段斜率。这种方法只能保证测量点在无标度区间内按一定斜率分布。

3) 逐渐逼近法：选定一个起始点，逐点进行直线的线性拟合并求出线性拟合系数，以拟合系数最好的作为直线的斜率，该长度区域即为无标度区。若拟合不满意，可调整截取长度重新进行拟合。

2.2. 基于逐渐逼近法的 K 值计算

本文通过逐渐逼近法对图像进行线性拟合得出截止频率在 3.0~4.0 区间线性中直线的线性拟合效果最好。所以图形符合分形特性，其无标度区间为 3.0~4.0。

K 值计算法的步骤：首先将铁谱磨粒图像灰度化处理，然后在图像表面随机选取 64×64 像素的正方形区域，对区域中的灰度值进行逐个比较，将相邻的两个灰度值之差相加，设区域中所有相加值和为 S 。选择不同的截止频率，从而得到不同的 S 值，从而形成以截止频率为横轴， $\lg S$ 值为纵轴的折线图，然后对图上的折线段进行线性拟合，并求出线性拟合后直线的斜率，设其斜率值为 K 。图 1(a)为严重滑动磨粒 64×64 像素的正方形区域，当严重滑动磨粒进一步放大成一个个具有一定像素值的小方格，如图 1(b)所示，图中方格中的数字表示该方格的灰度值。

根据上述过程， K 值计算法的步骤分为三步：

图像获取：本试验图像的获取选用分析式铁谱仪，放大倍数为 500 倍；

灰度处理：分析式铁谱仪所获取的图像是彩色的，将图像灰度化处理，为后续的步骤做准备；

阈值分割：采用阈值分割法将图像的背景色变成黑色，方便 K 值的计算；

选取目标区域：随机选取 64×64 像素区域，在计算机图像中，白色的灰度值为 255，黑色的灰度值为 0，不同的灰度对应不同的灰度值；

计算不同 S 值： S 值是指在 64×64 像素区域中所有灰度值的和值。改变不同的截止频率，得到不同的 S 值；

生成 $\ln S - f_c$ 图像并进行线性拟合；线性拟合的斜率就是所求的 K 值。

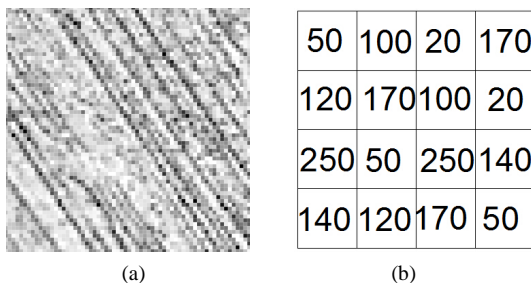


Figure 1. Severe sliding grinding grains enlarge figure
图 1. 严重滑动磨粒放大图

3. 三种铁谱磨粒图像的 K 值计算

对 70 种层状磨损颗粒、疲劳磨粒及严重滑动磨粒样本进行 K 值进行计算。首先选取截止频率在 3.0~4.0 的区域，然后计算图像的 S 值，最后对图像进行线性拟合。图 2、图 3 及图 4 分别表示层状磨粒、疲劳磨粒及严重滑动磨粒在不同截止频率下，其和值 S 变化，图中的斜率就是所求的 K 值。

对 70 个样本的层状磨粒进行 K 值统计，层状颗粒的 K 值在 0.110~0.350 之间，疲劳后期颗粒的 K 值在 0.375~1.30 之间，严重滑动磨粒的 K 值在 1.160~1.955 之间。

4. 结果分析

以磨粒的分形维数值为纵坐标， K 值为横坐标作二维坐标图，如图 5 所示。

通过对严重滑动磨粒、层状磨粒、疲劳(后期)磨粒的分形维数和 K 值形成的坐标图可知：

1) 根据纵坐标(分形维数)可以看出疲劳(后期)磨粒和层状磨粒、严重滑动磨粒和层状磨粒分布均有不同程度的重叠，所以不能很好的区分这三种磨粒。

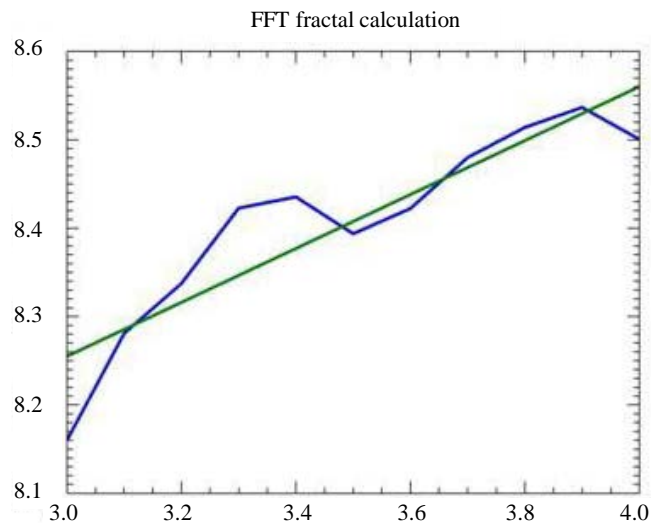


Figure 2. The K value calculation of layer wear particles
图 2. 层状磨粒的 K 值计算

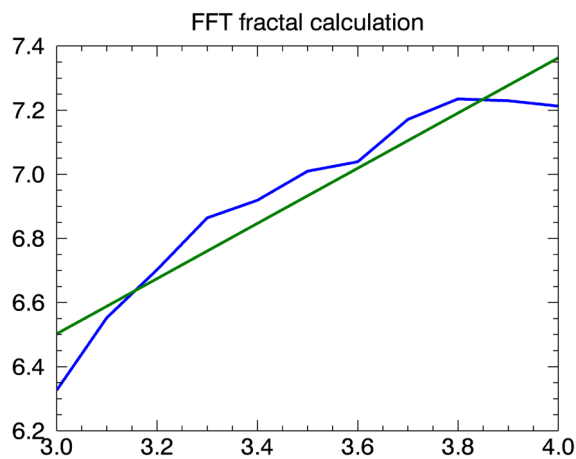


Figure 3. The K value calculation of fatigue wear particles
图 3. 疲劳磨损颗粒 K 值计算

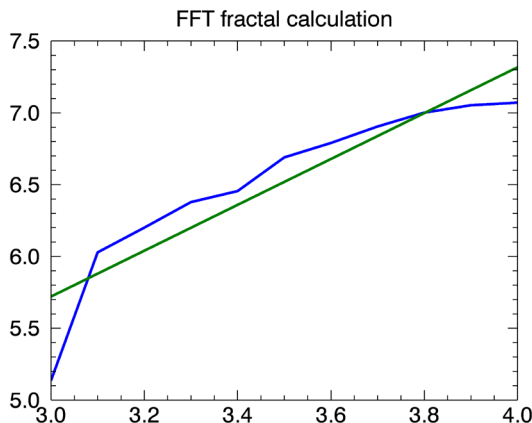


Figure 4. The K value calculation of severe sliding wear particles
图 4. 严重滑动 K 值计算

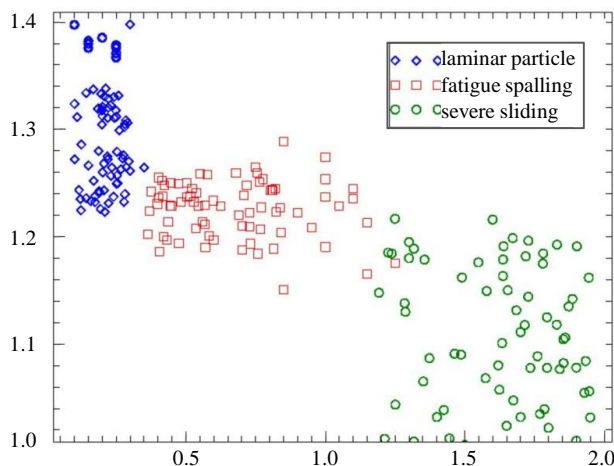


Figure 5. K value-fractal dimension coordinate
图 5. K 值 - 分形维数坐标图

2) 根据横坐标(K 值)可以看出严重滑动磨粒、层状磨粒和疲劳(后期)磨粒的分布基本没有重叠, 所以可以用来对着三种磨粒进行区分。

3) K 值从物理意义上表示磨粒图像表面灰度值的不同差异度。严重滑动磨粒的 K 值最大, 表明其表面明暗程度差距明显。层状磨粒 K 值最小, 说明其表面色差比较小。 K 值算法为铁谱磨粒识别提供了一种新方法, 具有一定的理论意义和实用价值。

5. 结论

通过计算严重滑动磨粒、层状磨粒和疲劳(后期)磨粒的 K 值表明, 疲劳(后期)磨粒和层状磨粒、严重滑动磨粒和层状磨粒的分形维数有不同程度的重叠, 不能很好的区分磨粒的种类。而三种磨粒的 K 值分布基本没有重叠, 故对磨粒分类有良好的效果。

参考文献 (References)

[1] 王弢 (2001) 磨粒在线监测方法研究及试验装置的设计. 硕士论文, 武汉理工大学, 武汉.
[2] Xu, K., Luxmoore, A.R., Jones, L.M. and Deravi, F. (1998) Integration of neural networks and expert systems for mi-

- croscopic wear partiele analysis. *Knowledge-Based Systems*, **11**, 213-227.
- [3] Podsiadio, P. and Stachowiak, G.W. (1999) Applications of Hurst orientation transform to the characterization of surface anisotropy. *Tribology International*, **32**, 387-392.
- [4] Peng, Z. and Kirk, T.B. (1998) Computer image analysis of wear partielees in three-dimensions for machine condition monitoring. *Wear*, **223**, 157-166. [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1648\(98\)00280-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1648(98)00280-4)
- [5] Peng, Z. and Rink, T.B. (1997) The development of three dimensional imaging techniques of wear particle analysis. *Wear*, **203-204**, 418-424. [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1648\(96\)07371-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1648(96)07371-1)
- [6] Stachowiak, G.P., Stachowiak, G.W. and Podsiadlo, P. (2008) Automated classification of wear particles based on their surface texture and shape features. *Tribology International*, **41**, 34-43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2007.04.004>