

文章编号: 1000-6893(2002)03-0279-03

润滑油金属磨粒的分类参数研究

陈 果, 左洪福

(南京航空航天大学 民航学院, 江苏 南京 210016)

CLASSING PARAMETER'S STUDY OF LUBRICATING OIL METAL DEBRIS

CHEN Guo, ZUO Hong-fu

(Civil Aviation College, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

摘 要: 针对润滑系统中普遍存在的 8 类金属磨粒, 通过引入数字图像描述方法和处理技术, 分别对磨粒的尺寸、形态、表面纹理以及颜色等参数进行了详细的研究, 获取了各类磨粒识别的最佳参数, 并提出了磨粒的分层识别策略, 最后运用模糊 C-均值聚类方法实现了 8 类磨粒的有效聚类。算例表明了本文方法的有效性。

关键词: 磨粒; 参数; 模式识别; 模糊聚类

中图分类号: V 233.4; V 263.6; TP391.4

文献标识码: A

Abstract In this thesis, aimed at eight kinds of metal debris existing in lubricating systems, by introducing the digital image process methods, the debris size, shape, texture, and color parameters are researched in detail. Finally, a debris' recognition method layer by layer is provided, and the fuzzy c-mean clustering recognition method is applied to recognize effectively the eight kinds of debris. Examples show that the method in this paper is simple and effective.

Key words: debris; parameter; pattern recognition; fuzzy clustering

铁谱技术是一种重要且常用的机械设备故障诊断和状态监测技术。传统的磨粒分析通常由人来完成, 其主要缺点是工作量大, 精度不高, 自动化程度低以及对分析人员水平依赖性大等。为此, 近十几年来国内外有诸多大学, 研究机构和公司的研究人员均在研究探索采用磨粒图像处理 and 识别系统代替人工分析工作^[1-4]。总的看来, 目前关于磨粒的数字描述基本上是二维的, 而且描述参数也多种多样, 到目前为止, 仍然没有一个统一的描述方法和参数体系。其中很重要的一方面原因在于缺乏对磨粒描述参数体系的优化工作, 未能寻找出磨粒之间相互区别的显著参数, 以消除因参数过多或过少所产生的误判。鉴于此, 本文运用数字图像二维描述方法, 对磨粒的尺寸、形状、纹理以及颜色等参数进行了详细的研究, 以期得到各类磨粒的最佳描述参数, 从而优化磨粒描述参数体系。

1 金属磨粒的分类参数的优化选择

文献[5]综合实际机器的不同磨损状况所产生的磨粒类型方面的知识, 将铁谱片上获取的金属磨粒按磨损形式基本上分为 8 类, 即正常滑动磨粒、严重滑动磨粒、切削磨粒、疲劳剥块、球状磨

粒、层状磨粒、红色氧化物以及黑色氧化物。

大量关于磨损及磨粒形成的机理研究表明不同种类的磨粒具有相对固定的形态特征。正常滑动磨粒是机器正常滑动磨损的结果, 由切混层局部剥离产生的, 其形状为薄片, 尺寸从 0.5~15 μm , 甚至更小。严重滑动磨粒是由于磨损表面应力过高而出现严重滑动磨损的结果, 严重滑动磨粒的粒度在 15 μm 以上, 磨粒表面有划痕, 通常有直的棱边, 有时会出现因高速滑动引起的表面烧伤。切削磨粒是由于一个表面穿入到另一个表面而产生的, 呈条状, 其粒度可从数微米到数十微米。疲劳剥块是高的接触压力和循环应力作用下, 表面产生疲劳而形成的磨粒, 其粒度通常在 15 μm 以上, 且具有光滑的表面和不规则的外形。球状磨粒产生于滚动轴承的疲劳裂纹内部, 其粒度为 1~5 μm , 且呈球状。层状磨粒是磨粒粘附于滚动元件表面后, 又通过滚动接触而形成的极薄的游离金属磨粒, 其粒度在 20~50 μm 之间, 可见许多空洞。铁红色氧化物是当水进入润滑系统时生成的普通铁锈的形式。铁黑色氧化物是润滑不良、存在过热的标志, 颗粒外观为表面粗糙不平的堆积物, 边缘能透过少量光。

上述 8 类金属磨粒的识别是磨损状态监测的关键所在。首先是特征参数的选择问题, 由于要兼顾各类磨粒, 自然磨粒特征参数的数量将会很多,

在庞大的参数体系中,必然有些参数对某类或某几类磨粒较显著,但对其它类型的磨粒则不显著,甚至根本不能反映其特征,所以必将使结果产生误判。其次是对8类磨粒同时识别,无论以何种识别方法,众多的参数会使识别的过程变得复杂,计算速度极慢,文献[6]中运用人工神经网络法构造了结构复杂的神经网络系统,通过近5h的样本训练,网络才收敛。显然,该识别过程显得很繁琐,而且识别的精度也不理想。其根本原因在于未对磨粒参数未进行优化选择,庞大冗余的参数间产生了相互干扰,从而对识别效率和精度产生了很大影响。

鉴于此,本文将磨粒参数分为尺寸参数、形状参数、表面参数和颜色参数4类,运用数字图像处理中的形态分析和纹理分析技术^[7]分别对其进行描述,从而寻找出了磨粒的最佳识别参数,减少识别参数的重复和干扰。计算结果见图1,在图1中,横坐标表示磨粒类型:1-正常滑动;2-球状;3-疲劳剥块;4-严重滑动;5-红色氧化物;6-黑色氧化物;7-层状磨粒;8-切削磨粒。通过参数的优化选择,表1列出了各类金属磨粒的显著特征参数(其中尺寸参数为主轴长度;形状参数为圆度、边界曲折度;表面参数为孔隙率、角二阶矩;相关性参数为相关性均值、相关性均方差;颜色参数为颜色特征 I_1 、 I_2 、 I_3)。

纹理、纹理的相关性、梯度熵纹理;颜色参数为彩色特征 I_1 、 I_2 、 I_3 ^[8])。

2 磨粒的分层识别策略及模糊聚类识别

通过上述分析和研究,从表1中可以获取各类磨粒的最佳识别参数,如果对待识别磨粒均用所有特征参数来进行识别,势必使各特征参数间产生相互干扰,从而影响磨粒的识别速度和精度。鉴于此,在上述研究基础上,提出磨粒的分层识别策略。其基本思路是利用最显著的特征对磨粒进行逐次分层识别,即:首先用孔隙率将层状磨粒分开;其次用圆度参数将切削磨粒分开;然后再用磨粒主轴尺寸将磨粒分为两大类:对主轴尺寸小于 $15\mu\text{m}$ 的一类,用圆度、边界曲折度和纹理梯度熵可以将其分为正常滑动磨粒和球状磨粒;对大于 $15\mu\text{m}$ 的一类,用纹理角二阶矩和梯度熵可以将其分为两类:可根据边界曲折度和纹理相关性分为疲劳剥块和严重滑动磨粒;根据正交彩色特征 I_2 将其划分为红色和黑色氧化物。

从上述分析可以看出,根据提出的分层识别策略,只有层状磨粒和切削磨粒可以仅根据一个参数来实现正确分类,其它类型的磨粒均需要根据几个参数,并运用一定的模式识别算法来进行

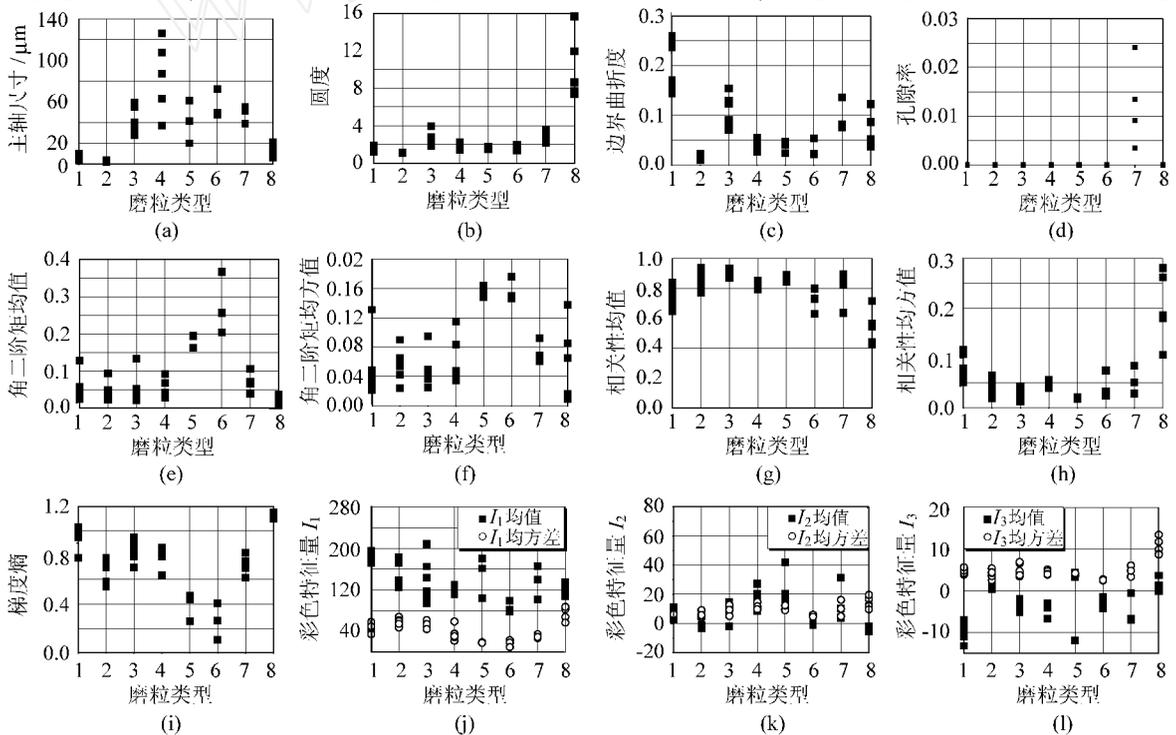


图1 磨粒的数字特征参数与8类磨粒的关系

(a) 磨粒主轴长度; (b) 磨粒圆度; (c) 磨粒边界曲折度; (d) 磨粒孔隙率; (e) 磨粒角二阶矩均值; (f) 磨粒角二阶矩均方差; (g) 磨粒相关性均值; (h) 磨粒相关性均方差; (i) 磨粒梯度熵; (j) 磨粒颜色特征 I_1 ; (k) 磨粒颜色特征 I_2 ; (l) 磨粒颜色特征 I_3

Fig. 1 Relation between debris digital characteristics with eight kinds of debris

有效的识别。因此,选择了公认有效的模糊C-均值聚类算法^[9]来进行磨粒识别,基本思路是首先从Anderson磨粒图谱库中选择一定数量的标准磨粒(训练样本)进行模糊聚类,得到各类磨粒的模糊聚类中心,然后再计算待识别磨粒到各聚类中心的欧式距离,根据距离最近原则判断待识别

磨粒应归属于的类别。

从Anderson磨粒图谱库中选取了一定数量的标准磨粒作为测试磨粒,表2为各类磨粒的识别结果,其中运用了本文提出的分层识别策略和最佳识别参数。从表中可以看出本文方法的识别精度均达到了90%以上,而且计算速度相当快。

表1 8类金属磨粒的显著特征参数

Table 1 Obvious feature parameters of eight kinds of debris

| 磨粒类型 | 正常滑动磨粒 | 球状磨粒 | 疲劳剥块 | 严重滑动磨粒 | 红色氧化物 | 黑色氧化物 | 层状磨粒 | 切削磨粒 |
|------|--------|------|------|--------|-------|-------|------|------|
| 显著参数 | 孔隙率 | 孔隙率 | 孔隙率 | 孔隙率 | 孔隙率 | 孔隙率 | 孔隙率 | 孔隙率 |
| | 圆度 | 圆度 | 圆度 | 圆度 | 圆度 | 圆度 | 圆度 | 圆度 |
| | 主轴长度 | 主轴长度 | 主轴长度 | 主轴长度 | 主轴长度 | 主轴长度 | 主轴长度 | 主轴长度 |
| | 曲折度 | 曲折度 | 角二阶矩 | 角二阶矩 | 角二阶矩 | 角二阶矩 | 角二阶矩 | 角二阶矩 |
| | 梯度熵 | 梯度熵 | 梯度熵 | 梯度熵 | 梯度熵 | 梯度熵 | 梯度熵 | 梯度熵 |
| | | | 曲折度 | 曲折度 | | | | |
| | | | 相关性 | 相关性 | | | | |
| | | | | | I_2 | I_2 | | |

表2 测试磨粒识别结果

Table 2 Recognition results of wear particle

| 磨粒类型 | 正常滑动 | 严重滑动 | 切削磨粒 | 疲劳剥块 | 层状磨粒 | 球状磨粒 | 红色氧化物 | 黑色氧化物 |
|---------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 样本磨粒数 | 9 | 5 | | 6 | | 7 | 3 | 3 |
| 测试磨粒数 | 40 | 14 | 20 | 11 | 20 | 12 | 3 | 5 |
| 正确识别率/% | 100 | 92.8 | 100 | 90.9 | 100 | 100 | 100 | 100 |

参 考 文 献

[1] 左洪福 发动机磨损状态监测与故障诊断技术[M]. 北京: 航空工业出版社, 1995. 63- 149.
(Zuo H F. Conditions monitoring and fault diagnosis technique of engine wear[M]. Beijing: Aviation Industry Publishing House, 1995. 63- 149.)

[2] Kirt G W, Stachowiak G W, Batchelor A W. Fractal parameters and computer image analysis applied to wear particles isolated by ferrography[J]. Wear, 1991, 145: 347- 365.

[3] Roylance B J, Albidewi I A, Luxmoore A R. The development of a computer-aided systematic particle analysis procedure-CA SPA [J]. Lubrication Engineering, 1992, 48: 940 - 946.

[4] Peng Z, et al. The development of three-dimensional imaging techniques of wear particle analysis[J]. Wear, 1997, 203-204: 418- 424.

[5] Anderson D P. 磨粒图谱[M]. 金元生, 杨其明译. 北京: 机械工业出版社, 1987. 1- 14.
(Anderson D P. Wear particle atlas. Jin Y S, Yang Q M translation. Beijing: Mechanical Engineering Publishing House, 1987. 1- 14.)

[6] 吴振锋, 左洪福, 杨忠, 等. 磨损颗粒形态学智能分析技术[J]. 南京航空航天大学学报, 1999, 31(增刊): 7- 12.
(Wu Z F, Zuo H F, Yang Z, et al. Morphology intelligent analysis technique of wear particle [J]. Transactions of

Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 1999, 31 (Supplement): 7- 12.)

[7] 徐建华 图像分析与处理[M]. 北京: 科学出版社, 1993. 101- 254.
(Xu J H. Image analysis and processing[M]. Beijing: Science Publishing House, 1993. 101- 254.)

[8] Ohta Y I, Kanade T. Color information for region Segmentation[J]. CGIP, 1980, 13: 222- 241.

[9] 郭桂蓉 模糊模式识别[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1993, 134- 197.
(Ge G R. Fuzzy pattern recognition[M]. Changsha: National Defense Scientific and Technical University Publishing House, 1993. 134- 197.)

作者简介:



陈 果(1972-) 男, 南京航空航天大学民航学院博士后, 主要从事图像处理、模式识别、信号分析与处理、机械振动以及故障诊断等研究工作。

左洪福(1959-) 男, 南京航空航天大学民航学院教授、博士生导师, 主要从事摩擦学、铁谱分析、机械设备故障诊断和磨损检测等研究工作。联系电话: 025-4891098(O); 025-4893241(H) E-mail: cgzyx@263.net

(责任编辑: 蔡 斐)