



铁谱图像分析理论与技术

Theory and Technique of Ferrographic Image Analysis

王汉功 陈桂明 著



科学出版社

www.sciencep.com

铁谱图像分析 理论与技术

王汉功 陈桂明 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书研究了不同来源的铁谱图像获取的主要方法,预处理的主要内容、方法及处理效果,各种变换方法在图像处理中的应用,铁谱图像数学形态学运算的理论与应用,铁谱图像中磨粒分割与特征提取的步骤和方法,铁谱图像的颜色特征,通过颜色特征来进行铁谱图像和磨粒分类,并结合磨粒的几何特征进行磨粒识别;设计了铁谱图像处理与识别系统(FIPRS)的结构及功能,并介绍其中软件系统的结构、功能及其运行结果。

本书对从事图像处理理论与应用研究的人员具有一定的启发作用;对从事设备磨损状态监测与故障诊断技术工作的人员具有指导作用;对从事铁谱技术研究,特别是铁谱图像处理、分析与应用的人员具有参考价值;并可供从事相关专业的工程技术人员和高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

铁谱图像分析理论与技术/王汉功,陈桂明著. —北京:科学出版社, 2005

ISBN 7-03-015141-0

I. 铁… II. ①王…②陈… III. 磨粒磨损-图像分析 IV. TH117.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第017501号

责任编辑:鞠丽娜 陈砾川 / 责任校对:郝 岚

责任印制:吕春珉 / 封面设计:郝希平

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年3月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2005年3月第一次印刷 印张:15 3/4

印数:1—2 500 字数:300 000

定价:32.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62138978-8002

序

机械系统中摩擦和磨损是不可避免的,摩擦消耗着 $1/3$ 到 $1/2$ 的能源,磨损则是 80% 零部件损坏、失效的主要原因。如何获取机械系统磨损信息,监测机械系统工作状态,发现设备的异常磨损苗头,确定异常磨损的部位和故障产生的原因,从而给出避免异常磨损故障的方法,将事故消灭在萌芽状态,实现设备的预防性维修,减少停机损失,并保证设备与人身安全,避免突发故障和灾难的发生,是设备维修管理面临的重要课题。科学技术的进步,使解决这一课题成为可能。其中油液分析就是专门获取机械磨损信息的技术方法,它通过对机械系统油液中所含多种金属元素的定量、定性分析,对各种磨粒的尺寸、形状、颜色、分布,以及大、小磨粒的相对比值变化的分析,来判断系统工作状态或故障部位。它已被实践证明是一种效能高、费用低的设备维修管理技术,已在机械、能源、石化、冶金和军事等领域得到广泛应用。

在诸多的油液分析技术中,20 世纪 70 年代出现的铁谱分析技术是目前最经济而有效的方法之一。与其他油液分析方法相比,它具有能分离较大尺寸范围的磨粒或污染物;能够进行定性观察分析和定量测量;还可以对磨粒的主要组成元素进行分析,以判断磨损或确定故障部位等优点。

由于磨粒产生的复杂性、随机性等原因,目前磨粒识别与磨粒诊断主要是依靠具有丰富经验的铁谱专业分析人员进行。这就极大地限制了铁谱技术的发展与推广。随着计算机、图像识别、专家系统等兴起与逐步完善,为这一问题的解决提供了可能。

王汉功、陈桂明所著的《铁谱图像分析理论与技术》一书,在大量试验、理论分析的基础上,系统地研究了各种来源铁谱图像预处理问题;提出了统一图像变换的参数化空间频率分析方法;成功地将数学形态学理论用于彩色铁谱图像的分割、特征提取和图像识别过程;开拓了一种比较实用的铁谱图像磨粒自动分割方法的算法和步骤,提出了基于图像分割结果的铁谱图像压缩、存储方法;给出了铁谱图像自动分类和磨粒识别的参数集,以及参数值获取的方法;根据理论分析成果,设计了一个可用于不同来源铁谱图像处理与识别的软硬件系统。该系统对铁谱图像分类和磨粒识别的效果较好。

王汉功、陈桂明二位教授长期从事设备状态监测和故障诊断技术的教学和科研工作,本书是他们科研成果的总结;对从事图像处理理论与应用研究人员具有一定的启发作用,对从事机械设备状态监测与故障诊断技术工作的人员具有指导作用,对从事铁谱技术研究的人员具有参考价值。

中国钟鄂院士
陈桂明

2005年1月

前 言

铁谱技术是油液分析诊断技术中重要的实用方法之一,传统的铁谱分析方法依赖于分析人员的经验,而采用图像处理技术和定量化方法,也主要局限在灰度图像领域。本书在大量试验、理论分析的基础上,系统研究了铁谱分析技术,针对铁谱图像处理、应用的局限性,提出了对彩色铁谱图像进行处理、定量化和识别研究的新方法。

铁谱图像获取是处理与识别图像的来源。不同来源的铁谱图像,在图像质量、存放形式、数据格式等方面存在很大差异,要使其适应图像处理与识别系统,就要进行必要的预处理。本书论述了铁谱图像获取的主要方法,研究了铁谱图像预处理的主要内容、方法及处理效果。

图像的本质是多维信号,图像处理理论实际上是信号处理理论的拓展,而信号变换是信号处理的重要内容之一。因此,要研究图像处理理论应从图像变换着手。本书从常见的信号变换方法入手,研究了各种变换方法在图像处理中的应用,提出了一种统一各种变换的方法——二维 FM^mlet 变换,对其主要子空间进行了讨论,并给出了应用的实例。

从数学形态学理论研究入手,将图像形态学运算用于铁谱磨粒的特征提取,为图像分割、铁谱图像分类和磨粒识别提供了重要的定量依据;为图像处理、识别和进一步研究提供了一定的理论基础。书中设计的许多算法中都用到了图像形态学运算。

铁谱图像处理、分析的目的就是要通过对图像中磨粒信息的研究来判断机械磨损形式及故障原因,而磨粒信息的获取依赖于铁谱图像磨粒的分割和磨粒特征提取。本书详细研究了铁谱图像磨粒分割与特征提取的步骤和方法。

彩色铁谱图像所包含的彩色信息对于分析磨损形式非常重要。本书在对图像分类技术研究的基础上,对铁谱图像的颜色特征进行了充分研究,通过颜色特征来进行铁谱图像和磨粒分类,并结合磨粒的几何特征进行磨粒识别,将聚类树、模糊聚类等分类技术应用于彩色铁谱图像分类研究、颜色特征提取和磨粒识别。

本书还介绍了所设计的铁谱图像处理与识别系统(FIPRS)的结构和功能。重点介绍了其软件系统的结构、功能及运行结果。对图像分类、磨粒识别进行了试验

并进行了结果分析。

本书是作者科研成果的总结,其中大部分数据都是作者研究成果中的真实数据。在研究过程中得到了多位同行教授和专家的指导与帮助,特致谢意。

由于作者水平所限,书中难免存在错误和不当之处,敬请读者指正。

作 者

2005 年 1 月

主要符号说明

$\cap$	集合运算, 交
$\cup$	集合运算, 并
$\forall$	任意给定
$+$	表示模二加法运算, 相当于位“异或”运算
$\mathbb{Z}$	整数集
$\mathbb{Z}^+$	正整数集
$\mathbb{R}$	实数集
$\mathbb{R}^+$	正实数集
$x \in X$	x 是集合 X 的元素
$X \ominus B$	用结构元素 B 对 X 进行数学形态学腐蚀运算
$X \oplus B$	用结构元素 B 对 X 进行数学形态学膨胀运算
$X \boxtimes B$	用结构元素 B 对 X 进行数学形态学击中击不中变换
$X \oslash B$	用结构元素 B 对 X 进行数学形态学开运算
$X \bullet B$	用结构元素 B 对 X 进行数学形态学闭运算
$L^2(\mathbb{R})$	在 $(-\infty, \infty)$ 定义的所有可测且有 $\int_{-\infty}^{\infty} s(x) ^2 dx < \infty$ 的函数集
$\mathfrak{S}$	图像变换算子符
l^2	表示所有双无限平方可和序列空间
R'	表示 R 的转置
$g^*(x)$	表示函数 $g(x)$ 的共轭
$\langle f, g \rangle$	表示两函数 f, g 内积, 定义为 $\int_{-\infty}^{\infty} f(x)g^*(x)dx, f, g \in L^2(\mathbb{R})$
$\ f\ $	表示函数 f 的范数, 定义为 $\langle f, f \rangle^{1/2}$
$\mathbb{F}[f(x)]$	表示函数 $f(x)$ 的 Fourier 变换
$f(x) \odot g(x)$	表示函数 $f(x)$ 和 $g(x)$ 的卷积运算

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 油液分析诊断技术概况	1
1.1.1 油液分析诊断技术的分类	2
1.1.2 各种油液分析诊断技术的特点	3
1.2 铁谱分析技术的应用与发展	4
1.2.1 铁谱分析技术原理与应用	4
1.2.2 铁谱分析技术的发展	4
1.3 铁谱图像分析理论与技术研究的意义和主要内容	6
1.3.1 铁谱图像分析理论与技术研究的意义	6
1.3.2 铁谱图像分析理论与技术研究的主要内容	6
1.3.3 本书主要章节	7
第 2 章 铁谱磨粒图像获取及其预处理	9
2.1 铁谱磨粒图像获取	9
2.1.1 铁谱仪及磨粒获取	9
2.1.2 铁谱图像获取	11
2.2 铁谱图像数字化.....	11
2.2.1 图像数字处理技术概述	11
2.2.2 图像数字化	12
2.2.3 彩色铁谱图像数字化	15
2.3 铁谱图像预处理.....	17
2.3.1 铁谱图像格式转换	17
2.3.2 铁谱图像大小调整	20
2.3.3 铁谱图像拼接与剪裁	20
2.3.4 铁谱图像增强	20
2.3.5 铁谱图像像素点大小确定	37
2.4 本章小结.....	39
第 3 章 图像处理理论研究	40
3.1 图像变换概述.....	40
3.1.1 图像变换的数学描述	40
3.1.2 图像离散 Fourier 变换(DFT)	42

3.1.3	图像离散余弦变换(DCT).....	47
3.1.4	图像 Hadamard 变换	51
3.1.5	图像 Karhunen-Loeve 变换	52
3.1.6	图像小波变换	53
3.1.7	Radon 变换	60
3.2	图像参数化空间频率分析——二维 FM ^m let 变换	62
3.2.1	参数化时频率分析	62
3.2.2	一维信号的 FM ^m let 变换	63
3.2.3	基于自适应匹配投影塔形分解的 FM ^m let 变换的逆变换	64
3.2.4	二维 FM ^m let 变换的定义	64
3.2.5	二维 FM ^m let 变换的子空间	70
3.3	二维 FM ^m let 变换应用	79
3.4	本章小结.....	80
第4章	铁谱图像数学形态学运算	81
4.1	图像数学形态学运算.....	81
4.1.1	图像数学形态学运算	81
4.1.2	二进制图像的形态学处理.....	83
4.2	铁谱图像形态学运算.....	84
4.2.1	二进制铁谱图像的形态学运算	84
4.2.2	灰度铁谱图像的形态学运算	88
4.2.3	彩色铁谱图像的形态学运算	90
4.3	本章小结.....	93
第5章	铁谱图像磨粒分割与特征提取	94
5.1	图像分割技术研究.....	94
5.1.1	阈值分割方法	94
5.1.2	梯度分割方法	96
5.1.3	边缘分割方法	97
5.1.4	区域增长分割方法	100
5.2	铁谱图像磨粒分割	100
5.2.1	自动阈值法将铁谱图像转换成二进制格式	100
5.2.2	铁谱图像自动阈值法分割及滤波对结果的影响	105
5.3	铁谱图像物体特征分析及基于多特征的物体分割	112
5.3.1	铁谱图像物体(磨粒)特征表示	112
5.3.2	磨粒几何特征统计特性分析与图像分割方法改进	114

5.4 铁谱图像磨粒特征提取及结果分析	124
5.4.1 铁谱图像中磨粒物体特征提取	124
5.4.2 铁谱图像中磨粒物体特征提取结果分析	131
5.5 基于磨粒分割结果的铁谱图像存储	135
5.6 本章小结	136
第6章 铁谱图像分类及磨粒识别	138
6.1 铁谱图像分类技术研究	138
6.1.1 图像分类技术	138
6.1.2 铁谱图像和磨粒分类技术研究	143
6.1.3 基于照明的铁谱图像分类	144
6.1.4 铁谱图像聚类试验与分析	147
6.2 铁谱图像磨粒与背景颜色特征分析	155
6.2.1 机械磨损磨粒的主要类型	155
6.2.2 铁谱图像中可确定的磨粒类型及其分类特征研究	159
6.2.3 铁谱图像中背景颜色特征	191
6.3 基于颜色特征的分类研究及试验	201
6.3.1 铁谱图像中背景和磨粒颜色特征规律研究	201
6.3.2 基于颜色和磨粒几何特征的磨粒识别	206
6.4 本章小结	207
第7章 铁谱图像处理与识别系统	208
7.1 系统结构	208
7.1.1 系统硬件设计	208
7.1.2 系统软件设计	211
7.2 系统软件各模块功能及应用	211
7.2.1 文件子系统	211
7.2.2 图像预处理子系统	213
7.2.3 图像运算子系统	216
7.2.4 图像分析子系统	220
7.2.5 特征检测子系统	220
7.2.6 图像变换子系统	222
7.2.7 图像合成	225
7.2.8 图像识别子系统	226
7.2.9 结果处理子系统	228
7.3 系统运行效果	228
7.4 本章小结	230

第 8 章 结束语	231
8.1 研究内容的主要创新	231
8.2 主要研究结论	231
8.3 存在的问题和设想	232
参考文献	233

第 1 章 概 述

1.1 油液分析诊断技术概况

进入新的世纪后,人类社会正向信息化的方向加速发展。随着科学技术的不断发展和进步,人们对设备管理的概念已经从一般的常规管理向以信息为基础的综合管理的方向发展,形成了设备现代化管理的新兴学科,其中包括设备运行、状态监测、故障诊断、趋势预报和智能维修等。设备维修体制,也已从早期的事后维修和按计划维修进入到具有预知性的视情维修,目前正向基于信息化的现代化维修发展。设备状态监测与故障诊断是现代设备维修和管理的重要技术基础。设备故障诊断技术是一种通过了解和掌握设备在使用过程中的状态信息,确定其整体或局部是正常运转还是发生了异常现象,以便早期发现故障及其原因并预报故障发展趋势的技术。

设备状态监测与故障诊断包括的内容相当广泛。比较常用的有:功能性监测诊断技术,振动噪声监测技术和油液分析诊断技术等。

油液分析(oil analysis)技术实质上是一种磨损颗粒分析技术。20 世纪 60 年代中期开始应用于设备磨损状态监测和故障诊断^[1]。它是根据油样中磨损物质的成分、形态、尺寸及数量等特征来分析设备的磨损部位、磨损类型、磨损过程、磨损程度和油液的污染程度,并可对机械设备、部件(齿轮箱、液压系统、涡轮机、压缩机等)故障和寿命进行预测。

由于机械零部件之间的表面接触,即使在润滑条件良好的系统中,磨损也是不可避免的。机械设备的预期寿命、安全系数、性能等级、维修决策等均由发生的机械磨损而决定。现代化、自动化、复杂的设备系统,带来了高的生产效率,而由于故障或故障检查带来的停工和非生产损失也是巨大的,这就是为什么油液分析技术、振动分析技术、磨粒分析技术和声发射技术等非干扰技术广泛应用的原因。

机械系统中磨损是不可避免的,磨损消耗着 1/3 到 1/2 的能源,也是 80% 零部件损坏、失效的主要原因^[2,3],而油样分析是专门用来获取机械磨损信息的技术方法,对于机械系统的磨损监测有着非常好的效果,因此,该技术得到了非常广泛的应用。油液分析技术监测系统状态和诊断故障,是通过对油液中所含多种金属元素的定量、定性分析,对各种磨粒的尺寸、形状、颜色、分布,以及不同尺寸磨粒的相对比值变化的分析,来发现设备的异常磨损苗头,确定异常磨损的部位和故障产生

的原因,从而给出避免异常磨损故障的方法,将事故消灭在萌芽状态,实现设备的预防性保养与维修,减少停机损失。对设备故障进行早期预报,可以保证设备与人身安全,避免突发故障和灾害性事故的发生。

油液分析诊断技术已被证实是一种效能高、费用低的维修管理技术,目前已在机械、交通、能源、石化、冶金和军事等领域得到广泛应用,主要通过对各类发动机、液压系统、传动系统的油样进行分析,从而判断系统工作状态或故障部位。

1.1.1 油液分析诊断技术的分类

油液分析诊断技术是基于摩擦学原理的机械磨损故障诊断方法,其原理是:相对运动的金属表面的相互摩擦,使得磨损颗粒进入到系统油液(包括润滑油、润滑脂、液压油等)中,油液中的磨损颗粒带有机械系统的工作状态与故障信息,而油液(含磨粒)则是这些信息的载体,对载体——油液的分析,可以监测系统的工作状态、故障部位及故障类型,还可以由此来确定维修对象和时机。

随着各种机械设备的发展,特别是自动化程度高、成本高、效益大的大型机械设备的广泛应用,使得油液分析技术在设备状态监测与故障诊断领域得到了广泛的重视和迅速的发展。

油液分析技术主要研究分析的内容包括两大类:一是对油液中所含磨损颗粒的数量、大小、形状、纹理、颜色、成分及其变化情况的分析;二是对油液劣化变质程度的分析,如氧化程度、硫化程度、硝化程度、聚合化程度、污染程度、被其他油液或水的稀释程度及添加剂成分损耗程度等。油液分析诊断技术主要包括:油液理化指标及污染度检测,光谱分析(spectrometric elemental analysis),Fourier 变换红外光谱分析(Fourier transform infrared spectrometer analysis),铁谱分析(ferrography analysis),磁塞分析(magnet plug analysis),颗粒计数(particle count)等。

应用原子吸收光谱仪(AAS)、原子发射光谱仪(AES)和感应耦合电离发射光谱仪(ICPES)对油液进行光谱分析,通过分析油中金属磨粒化学元素的含量,对比不同时期油液中金属含量的增加速度,了解设备摩擦副的磨损情况。这类分析监测技术称为油液光谱分析技术。

Fourier 变换红外光谱仪(FTIR)广泛用于确定油液中水和冷冻剂的污染,识别、监测添加剂消耗和累积氧化产物。通过用新油的频谱减去用过油的频谱得到差分频谱,来清楚显示油液质量变化情况^[4]。

铁谱分析技术是利用高梯度强磁场将油样中所含的(铁磁性)机械磨损磨粒按其粒度大小有序地分离出来,通过对磨粒进行形状、大小、成分、数量、粒度分布等方面的定性和定量观测,以判断设备的磨损状况和趋势,监测设备状态,预测或诊断故障。铁谱分析方法与其他油液分析方法相比,其优点有:能分离较大尺寸范围

(1~250 μm)的磨粒或污染物;能够进行定性观察分析和定量测量;还可以对磨粒的主要组成元素进行分析,以判断磨损或故障部位。

磁塞分析技术是在油液系统中装设磁塞来吸引油液中的磨损颗粒,通过定期分析磨屑的大小、数量和形状,来分析机器磨损发展趋势,监测磨损状态与诊断故障的技术。

颗粒计数器是用于测定油样中不同尺寸颗粒的数量的仪器。颗粒计数法所测定的是油样中各种尺寸范围的颗粒数量,包括金属、非金属、化合物等,通过参照有关标准确定润滑油的污染等级,级别越高,数值越大,表明油液污染越严重,也说明油液中的磨损产物多,磨损较严重。

1.1.2 各种油液分析诊断技术的特点

光谱分析技术对于小颗粒比较有效,可分析磨粒尺寸范围在0.1~10 μm 之间;能够准确地分析油液中各种元素的成分;对磨损趋势监测效果好;但不能识别磨粒的形状、尺寸等特性。目前比较先进的油液光谱分析仪器有:Spectro公司的Spectroil M系列,D²R²等。由于分析磨粒尺寸较小,对于大磨粒显得无能为力,而大磨粒对于设备状态监测与故障诊断非常重要,从而大大限制了其应用范围。

铁谱分析技术,可以较好地分析铁磁性磨粒的浓度、形状和尺寸;也可以分析主要磨粒元素的成分;其分析磨粒尺寸范围较大,大于1 μm 的磨粒都可以;对于磨损机理分析和早期失效预报效果特别好;还可进行专门的磨粒识别研究。其不足之处是主要用于分析铁磁性磨粒,但目前这一问题已经得到初步解决,即在取样后的制谱过程中,在油样中分别针对要分析的非铁磁性磨粒(铜、铝等)加入相应的磁化液,使这些磨粒磁化。铁谱分析技术已成功用于发动机、齿轮箱、传送机构等的状态监测。铁谱分析方法主要仪器设备有铁谱仪、铁谱显微镜、扫描电子显微镜(SEM)等。与光谱分析方法相比,铁谱分析的成本低得多,可分析磨粒的尺寸范围大,覆盖了机器从正常状态到故障状态所有可能的尺寸,因此适用范围更广。

磨粒计数方法,对于磨粒尺寸在1~80 μm 的磨粒比较有效,可以进行磨粒浓度分析和尺寸分布分析,但不能识别磨粒的形状和元素成分。比较先进的仪器有:由Lockheed Martin Tactical Defense System与Naval Research Laboratory联合研制的LaserNet Fines。

磁塞分析方法,对铁磁性磨粒的浓度分析、形状分析效果较好,其适用磨粒尺寸范围在25~400 μm 之间,可用于检测异常磨损,只能对铁磁性磨粒进行分析,不能进行磨粒识别。

滤器分析方法,可以采集全部磨粒,对于分析磨粒浓度和形状较好,但不能识别磨粒的尺寸分布,通常用作辅助简易分析。

油液理化指标及污染度检测主要是对油液理化性能(如黏度、闪点、凝点、酸

值、水分、机械杂质等)进行检测,从而判断油液的质量和污染程度。

1.2 铁谱分析技术的应用与发展

1.2.1 铁谱分析技术原理与应用

磨损是机械设备发生故障的主要原因,大约有 80% 的机械故障是由于磨损所产生的,所以油样分析技术对于设备状态监测与故障诊断具有广阔的应用前景;同时,作为现代设备维修中状态监测与故障诊断的重要手段,油样分析的重点也自然就放在了磨损颗粒的检测上了,铁谱分析技术在磨粒检测与分析方面具有明显的优势和特点。因此,铁谱分析技术可以应用的范围广泛。

铁谱技术(ferrography)的原理是利用高梯度强磁场和重力场的作用,从设备内采取的油样中分离出磨损颗粒,并借助于不同仪器检验分析这些磨损颗粒的形状、大小、数量、成分等特征,从而对机械设备的运转状况、关键零部件的磨损状态进行分析判断。各种不同的铁谱仪,可根据分离和检测磨粒的方法不同,分为分析式铁谱仪、直读式铁谱仪、旋转式铁谱仪等基于油样的离线测量分析仪器;而能在设备的油液中直接分离测量磨粒的铁谱仪称为在线式铁谱仪^[5~7]。

铁谱技术主要包括采取代表性油样技术、铁谱仪及制谱技术、磨粒分析技术等。铁谱技术是以磨粒分析为基础的状态监测与故障诊断技术,因此,本书内容研究的重点在于磨粒分析技术。

铁谱技术可用于机械、交通、能源、石化、冶金、军事等领域,对各类机械设备的运行状态进行监测,判断主要磨损形式,预测磨损发展趋势,诊断故障类型和故障部位,预测故障,预防事故。

1.2.2 铁谱分析技术的发展

铁谱技术是 20 世纪 70 年代开始发展起来的油液监测与分析技术。1971 年,英国的 D. Scott、美国的 W. W. Seifert 和 V. C. Westcott 首先提出了铁谱分析技术理论^[8,9]。自 1972 年第一台分析式铁谱仪(analytical ferrograph)出现以后,又出现了直读式铁谱仪(direct reading ferrograph)、旋转式铁谱仪(rotary ferrograph)^[10~13]和在线式铁谱仪(on-line ferrograph)^[14~20]。

目前国外常用的铁谱仪和铁谱分析系统有:Spectro 公司的 T²FM 分析式铁谱仪, Predict 公司的 DR 系列直读式铁谱仪、FM 系列分析式铁谱仪、FS 铁谱显微镜和 Passport System 5 铁谱分析系统等。国内常用的铁谱仪和铁谱分析系统有:中国矿业大学的 KTP 系列旋转式铁谱仪,重庆光学仪器厂的 TPD-2 型直读式铁谱仪,西安交通大学的 OLF-1~OLF-4 系列在线式铁谱仪等。

随着铁谱技术的推广应用和发展,国内外有关铁谱技术的科研、学术交流活动逐渐增多,在铁谱技术研究领域涌现了一大批学术和科研成果。

铁谱油样分析技术是目前最经济而有效的设备状态监测与故障诊断方法之一。铁谱油样分析技术研究的重点包括三方面:一是磨粒获取方法的研究,如新型铁谱仪研制、铁谱片的制作、磨粒图像获取等;二是磨粒识别技术研究,包括磨粒图像处理、特征提取等;三是基于磨粒特征的机器状态判断、故障诊断技术研究。磨粒获取方法和磨粒识别技术研究都属于通用理论与方法研究,而基于磨粒特征的机器状态判断、故障诊断技术研究一般是针对具体设备来进行的。本书着重研究铁谱磨粒图像获取、处理及磨粒识别通用理论与技术。

由于磨粒产生的复杂性、随机性等原因,目前磨粒识别与磨损诊断主要是依靠具有丰富经验的铁谱专业分析人员进行^[21]。这就极大地限制了铁谱技术的发展与推广。随着计算机、图像识别、专家系统等技术的兴起与逐步完善,这些问题的解决也越来越成为可能。自从 Roylance 等人将图像处理方法运用到铁谱分析以来,在磨粒的计算机识别方面,国内外有许多探索性的研究^[22~34],但是并没有取得突破性的进展,磨粒识别仍然离不开专业分析人员^[1,21]。近十年来,专家系统在该领域的应用备受关注,并取得了许多非常有效的成果,其中较为典型的有 FAST 系统、后来的 FAST-PLUS 系统及 CASPA 系统^[23]等。由于铁谱分析过程的复杂性和模糊性等原因,铁谱分析领域仍存在问题,多数情况下完全是根据铁谱工作者本人的经验,因而在利用传统专家系统时,知识库及规则的建立存在一定的困难;目前的铁谱分析系统一般只是较低层次的,仍未能直接基于铁谱图像自动处理与识别。铁谱分析系统要产生大量的图像、文字和数字信息,如何管理和利用好这些信息也是非常困难的,其中,铁谱图像处理与识别是铁谱分析技术智能化和自动化过程中的主要难点。

现阶段,铁谱分析技术应用的手段主要采用人工方法对铁谱图片进行分析、对照^[35],从而判断设备或系统的状态,但该方法存在明显不足,它过分依赖于分析人员的知识和经验。因此,铁谱图像自动识别研究就成了铁谱技术发展和应用的必由之路。将图像处理、图像识别、专家系统等技术与油样分析技术相结合,开发铁谱信息管理与分析系统,进行铁谱图像处理与磨粒类型自动识别的研究,将为提高油样分析的自动化水平和油样分析的准确度提供有效的途径。近年来,铁谱磨损监测技术在工业工程中的应用越来越广泛,其中以磨粒识别尤其重要。进行油样铁谱图像处理与自动识别技术研究,可以提高铁谱分析的效率和准确性,实现铁谱分析的自动化和实用化。

随着计算机视觉研究的不断深入,有关人脸、指纹、文字、细胞等图像处理与识别的研究和应用非常多,也非常成功,但这些研究主要是基于灰度或黑白图像的处理与特征提取^[36~49],而对于铁谱图像而言,色彩信息是识别磨粒的重要依据之一,