

# 机械故障诊断

● 李国华 张永忠编著



化学工业出版社

机械故障诊断

4117/30

TH17  
38

2012/06

# 机械故障诊断

李国华 张永忠编著



00472030



化学工业出版社  
·北京·

(京)新登字 039 号

**图书在版编目(CIP)数据**

机械故障诊断/李国华,张永忠编著. —北京:化学工业出版社,  
1999.1  
ISBN 7-5025-2429-0

I. 机… I. ①李… ②张… III. 机械-故障诊断 IV. TH17

中国版本图书馆CIP数据核字(98)第38782号

---

**机械故障诊断**

李国华 张永忠编著

责任编辑:周国庆 李玉晖

责任校对:马燕珠

封面设计:于兵

\*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码100029)

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

\*

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 16 1/2 字数 405 千字

1999年2月第1版 1999年2月北京第1次印刷

印数:1—5000

ISBN 7-5025-2429-0/TH·44

定价:26.00元

---

**版权所有 违者必究**

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换

TH17  
38

## 前 言

机械故障诊断是一门新兴的综合性学科。关于它的内涵和外延，至今还没有形成统一的观点。本书在内容的安排上，考虑到既要适于教学，又要适当反映机械故障诊断的最新进展情况，以便通过本书的学习，读者既能了解到机械故障诊断的概貌及其基本知识，掌握一些必备的实际操作技能，同时还对机械故障诊断的未来发展趋势有所认识。总之，作者希望本书在内容的深度和广度两方面达到平衡。当然，机械故障诊断毕竟是一门综合性很强的学科，企望在有限的篇幅中把它所涉及的各个方面都阐述得十分详尽也是不现实的。同时，它也是一门实践性很强的学科，因此，本书只是学习机械故障诊断的一本入门性书籍，更多的技术还有待大家到实践中去学习，去提高。

本书共分八章，全书主要按机械故障诊断的技术体系划分章节。其中，第一章主要介绍机械故障及其诊断的基本概念；第二章集中讨论了故障诊断的信号分析与处理技术；第三章简要介绍了振动诊断的基本理论；第四章介绍机械故障的振动诊断方法；第五章系统地介绍了故障诊断的油样分析技术；第六章介绍温度监测技术；第七章重点讨论了超声检测和声发射检测技术；第八章机械故障诊断的最新进展中简要介绍了故障诊断的专家系统、人工神经网络和小波变换，作为进一步学习有关内容的导引。本书自成体系，既可作为本科生和研究生学习机械故障诊断课程的教材，也可供广大工程技术人员参考。

作者在组织材料的过程中，参阅了大量有关文献，作者在此向有关人士一并致谢。

作者自知水平有限，加之时间仓促，书中错误与不妥之处在所难免，还望各位读者批评指正，更望各位同行不吝赐教。

编著者

1998.8 于北京

## 内 容 提 要

本书介绍新兴的综合性学科——机械故障诊断，着重讲解各类实用诊断技术，同时反映机械故障诊断的最新进展和未来发展趋势。本书内容实用，在介绍必需的基础知识和技术概况之后，还能使读者掌握一些实际操作技能。本书在内容的深度和广度方面掌握恰当，是一本深入浅出的入门书。本书按技术体系分为八章，分别介绍故障诊断的信号分析与处理和振动诊断、油样分析、温度监测、无损检测等技术及故障诊断的最新进展。

本书供机械工程技术人員参考，也可用作本科生及研究生教材。

# 目 录

绪论	1
一、机械故障诊断研究的意义和内容	1
二、主要的技术手段及各自的特点	2
三、机械故障诊断的研究现状及发展	3
第一章 机械故障诊断的基本原理	5
第一节 机械故障诊断概述	5
一、机械故障及其分类	5
二、机械故障诊断及其分类	6
三、机械故障诊断的基本环节	6
第二节 故障特征参量	7
一、故障特征参量的定义	7
二、故障特征参量的选取原则	7
三、故障特征参量的选定方法	8
第三节 机械故障诊断的一般思维方法	8
一、形式逻辑推理	8
二、故障树分析法 (FTA)	10
第二章 故障诊断的信号分析与处理技术	21
第一节 信号分析与处理中的常用数学变换	22
一、付里叶 (Fourier) 变换	22
二、拉普拉斯 (Laplace) 变换	29
三、Z 变换	32
四、希尔伯特 (Hilbert) 变换	35
第二节 时域分析方法	36
一、统计特征参量分析	36
二、相关分析	39
三、时域中系统特性的描述	43
第三节 频域分析方法	44
一、幅度谱分析	44
二、功率谱分析	44
三、频域中系统特性的描述	46
第四节 时间序列分析方法	46
一、时间序列与时间序列分析	47
二、时间序列分析的数学模型	47
三、时间序列分析在机械设备故障诊断中的应用	48
第五节 信号处理的一些特殊方法	48

一、时域平均方法 .....	49
二、倒频谱分析方法 .....	49
三、自适应消噪技术 (ANC) .....	51
四、共振解调技术 .....	54
附表 2-1 常用付里叶变换对简表 .....	55
附表 2-2 常用拉氏变换简表 .....	56
附表 2-3 常用 Z 变换对简表 .....	57
<b>第三章 振动诊断的理论基础</b> .....	<b>58</b>
<b>第一节 机械振动的运动学</b> .....	<b>58</b>
一、机械振动及其分类 .....	58
二、机械振动按其输出的分类描述 .....	59
<b>第二节 机械振动系统的建模基础</b> .....	<b>61</b>
一、建立力学模型的前期准备 .....	61
二、振动系统力学模型三要素 .....	62
<b>第三节 单自由度系统的自由振动</b> .....	<b>66</b>
一、单自由度系统的无阻尼自由振动 .....	66
二、单自由度系统的有阻尼自由振动 .....	71
<b>第四节 单自由度系统的强迫振动</b> .....	<b>73</b>
一、系统在简谐激振力作用下的强迫振动 .....	74
二、旋转偏心质量引起的强迫振动 .....	76
三、支承运动引起的强迫振动 .....	78
四、周期性激振的响应 .....	79
五、任意激振的响应 .....	80
<b>第四章 机械故障的振动诊断技术</b> .....	<b>82</b>
<b>第一节 测振传感器</b> .....	<b>82</b>
一、压电加速度传感器 .....	82
二、电涡流振动位移传感器 .....	94
三、磁电式速度传感器 .....	99
四、振动传感器的选用原则 .....	100
<b>第二节 信号记录与处理设备</b> .....	<b>102</b>
一、磁带机 .....	102
二、数据采集器 .....	108
三、信号分析与处理设备 .....	113
<b>第三节 振动诊断的基础工作</b> .....	<b>113</b>
一、确定诊断对象 .....	114
二、选定测量参数 .....	114
三、选择监测点 .....	115
四、确定测量周期 .....	116
五、确定判断标准 .....	116
<b>第四节 典型零部件故障的振动诊断</b> .....	<b>120</b>

一、转轴组件的故障诊断	120
二、齿轮的故障诊断	123
三、轴承的故障诊断	127
<b>第五章 机械故障诊断的油样分析技术</b>	134
<b>第一节 油样分析概述</b>	134
一、油样分析的含义	134
二、油样分析的信息含量	134
<b>第二节 油样铁谱分析技术</b>	137
一、铁谱分析与铁谱仪	137
二、铁谱分析的一般程序	140
三、铁谱的定性分析	141
四、铁谱分析的定量指标	143
五、铁谱分析的特点	143
六、铁谱技术的应用	145
<b>第三节 油样光谱分析技术</b>	146
一、油样光谱分析的简单原理	146
二、油样光谱分析的特点	146
三、油样光谱分析的磨损界限	148
<b>第四节 磁塞</b>	149
一、磁塞检测的基本原理	149
二、磁塞的构造	149
三、安装	150
四、磁性磨屑的识别	150
<b>第六章 机械故障诊断的温度监测方法</b>	154
<b>第一节 接触式测温方法</b>	154
一、热电偶法测温	154
二、热电阻法测温	164
三、集成温度传感器	169
<b>第二节 非接触式测温</b>	169
一、辐射测温的基本原理	169
二、辐射温度计	172
三、辐射测温的误差来源	181
<b>第七章 无损检测技术</b>	183
<b>第一节 常见缺陷的分类描述</b>	183
一、铸件中常见的缺陷现象	183
二、锻件中常见的缺陷现象	184
三、型材中常见的缺陷现象	184
四、焊缝中常见的缺陷现象	185
五、使用与维修过程中常见的缺陷现象	185
<b>第二节 超声波检测</b>	186



一、超声波检测的基本原理	186
二、超声波检测设备	192
三、超声波检测方法	199
四、超声波检测的应用实例	205
第三节 射线检测	206
一、射线检测的简单原理	206
二、射线检测的操作过程	206
三、射线检测(照相法)的特点和适用范围	207
四、应用注意事项	207
第四节 磁粉检测	207
一、磁粉检测的简单原理	207
二、磁粉检测的基本步骤	208
三、磁粉检测的特点与适用范围	209
第五节 渗透检测	209
一、渗透检测的简单原理	209
二、渗透检测法的种类	210
三、渗透检测的特点和适用范围	210
第六节 涡流检测	211
一、涡流检测的简单原理	211
二、涡流检测的特点与适用范围	211
第七节 声发射检测	212
一、声发射检测的基本原理	212
二、声发射检测的技术基础	215
三、声发射检测仪器	218
四、声发射检测的应用	220
第八节 无损检测的评价	228
一、内部缺陷的检测	228
二、表层缺陷的检测	230
<b>第八章 故障诊断的最新进展</b>	<b>233</b>
第一节 故障诊断的专家系统	233
一、专家系统概述	233
二、知识表示	236
三、知识获取	238
四、推理机制	239
五、专家系统在机械故障诊断中的应用	241
第二节 人工神经网络及其在机械故障诊断中的应用	241
一、人工神经网络(ANN)概述	241
二、ANN的基本原理	243
三、ANN在机械故障诊断中的应用	246
第三节 小波变换及其在机械故障诊断中的应用	247

一、小波分析原理·····	247
二、小波变换的性质·····	248
三、小波变换的应用·····	249
<b>主要参考文献</b> ·····	<b>249</b>

# 绪 论

## 一、机械故障诊断研究的意义和内容

机械故障诊断是本世纪六七十年代产生并发展起来的一门综合性边缘学科。一方面，随着现代设备的日趋大型化、复杂化、自动化和连续化，设备一旦发生故障，给生产和质量以至人们的生命财产安全造成的影响往往大得难以估算，为使设备保持正常运行状态所花的维修费用在企业经营费用中也占了很大的比重，因此，为使这一占有重要地位的设备维修工作更加高效而科学，就必须对维修对象——设备的劣化、故障状态、故障部位及其原因有正确的了解；另一方面，信息传感技术、信号处理技术以及现代测试技术等相关学科的发展，特别是电子计算机技术的飞速发展，为设备故障诊断提供了极大的技术支持，从而使上述需要成为可能。正是在这种情况下，受医疗诊断学中的一些基本逻辑思想的启发，并将之推广到工程技术领域，就形成了一门新的学科——工程诊断。

机械故障诊断是识别机器或机组运行状态的科学，它研究的是机器或机组运行状态的变化在诊断信息中的反映，其研究内容包括对机器运行现状的识别诊断、对其运行过程的监测以及对其运行发展趋势的预测三个方面。

图 0-1 所示是两种不同的维修制度，图中纵坐标代表设备运行状态的被监测参量，其值越大表示设备的运行状态越差。在图 0-1 (a) 所示的定期维修方式中，不管设备的实际运行状态如何，每隔一段时间（定期）都对设备进行一次修理。图示清楚地说明：在对设备施行的多次维修中，只有 A 点的修理是必要的，而在此前所进行的各次修理都是多余的。图 0-1 (b) 则不同，它将图 0-1 (a) 所示的各修理点改为监测点，只有当被监测参量的值增大到表明设备已出现或即将出现故障时，才对设备进行修理，此即预知维修方式。机械故障诊断的研究是实现维修制度从定期维修到预知维修或视情维修变革的根本保证。

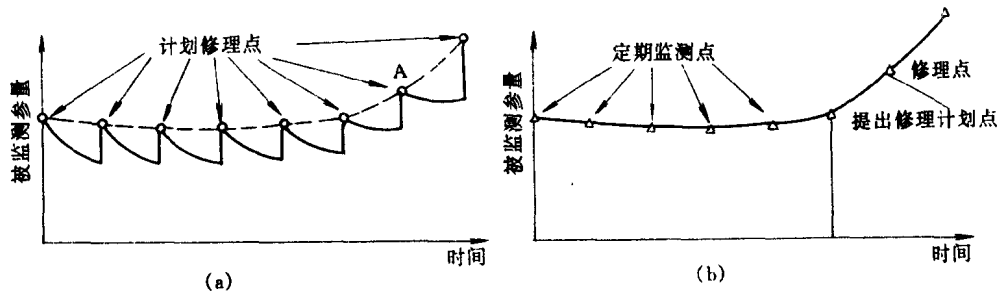


图 0-1 定期维修与预知维修

(a) 定期维修方式；(b) 预知维修方式

变预防维修 (PM; Preventive Maintenance) 中的定期维修 (TBM; Time Based Maintenance) 为预知维修 (PM; Predictive Maintenance) 或视情维修 (CBM; Condition Based Maintenance) 中的定期监测 (如图 0-1 所示)，这样，既克服了预防维修制度因过剩维修而造成的材料消耗和维修工作量、停产时间以及维修费用的增加，而且还可以减少因维修安排不当所引起的过失维修。三种维修方式在维修工作量及停机时间上的比较如图 0-2 所示，该图是根据英国某造纸厂的实际资料绘制的。图中有阴影线的图像，其高度代表维修工作量，其宽

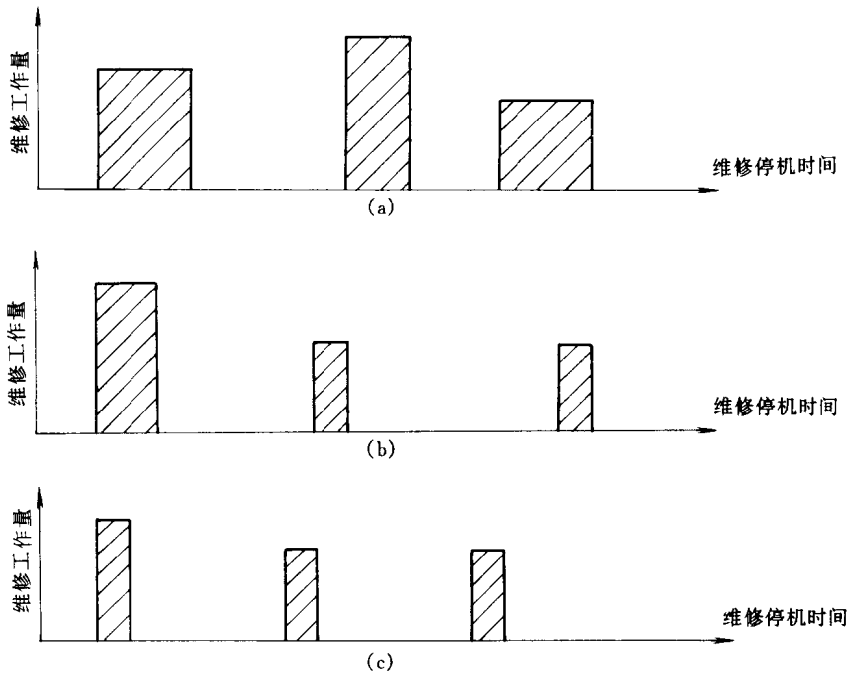


图 0-2 维修方式与维修工作量的关系

(a) 事后维修 (BM); (b) 定期维修 (TBM); (c) 视情维修 (CBM)

度代表维修造成的停机时间，其面积代表维修总量或维修费用。由图可见，实行预知维修（或视情维修）可大大减小停机时间和维修工作量，从而可大大节约维修费用（25%~50%），因而具有重要的经济意义和社会价值。

## 二、主要的技术手段及各自的特点

经过各国专家、学者以及广大工程技术人员 30 多年来的共同努力，机械故障诊断学无论是在广度还是在深度方面都得到了较大的发展，新的诊断理论不断产生，诊断技术手段也不断完善，机械故障诊断学日趋科学化、实用化，目前，已基本形成了以振动诊断技术、油液分析技术、温度监测技术以及无损探伤技术等为主要技术手段的局面，几种技术各具特点。

### 1. 机械故障的振动诊断技术

与其他方法相比，振动诊断技术由于具有理论基础雄厚、分析测试设备完善、诊断结果准确可靠、便于实时诊断等诸多优点而在机械故障诊断的整个技术体系中居主导地位。其不足之处在于因振动诊断技术涉及信息传感、振动测试、信号处理等诸多领域，因而对设备诊断技术人员的要求较高。此外，振动诊断的另一个特点是部位敏感性。

### 2. 油液分析技术

以光谱分析和铁谱分析为代表的油液分析技术，具有信息集成度高的显著特点。所谓信息集成度高是指对某一机械设备进行故障诊断时，只要是油液所经过的部位，其磨损故障一般都可通过对该处的油液进行取样分析诊断出来，这是它的优点；其不足之处在于只对磨损类故障有效、诊断周期长，而且一般还只能在实验室进行，诊断结果受操作人员的影响大。油液分析技术常用于液压系统和润滑系统的故障诊断。

### 3. 温度监测技术

正如人的体温可用于其健康检查，温度参数也常用于设备的故障诊断。其中，接触式测

温多用于需要连续监测或不可观察的部位，如轴承的温度监测；非接触式测温则多用于危险部位或不易接近的部位，如高压电气接点的温度监测。温度监测的显著特点是诊断过程简单，诊断结果一目了然，特别是红外摄像仪的出现，使得对物体温度场的测量更加直观形象。

#### 4. 无损检测技术

所谓无损检测或无损探伤，就是利用物质的某一物理性质因存在缺陷而发生变化的特点，在不破坏被检对象的前提下，对其进行检测，以探测其中是否有缺陷存在的一门综合性诊断技术。其显著特点在于其无损性。无损探伤是五六十年代在发达工业国家首先发展起来的，目前，主要包括射线探伤、超声探伤、磁力探伤和渗透探伤等。无损探伤技术对于改进产品制造工艺、降低制造成本、提高设备的运行可靠性等具有重要意义，是一门很有发展前途的学科。

应该指出，能够应用于机械设备的故障诊断与监测的技术手段远不止这些，并且可以预见，随着科学技术的发展，新的、更有发展前途的技术手段一定会不断出现。

表 0-1 所示是机械诊断测试与人体医学诊断测试的对比，由此可见两者有许多相通之处。

表 0-1 机械诊断测试与医学诊断测试之比较

医学诊断测试	机械诊断测试	原理及特征信息
直接观察（感官） 中医：望、闻、问、切 西医：望、触、扣、听、嗅	直接观察 听、摸、看、闻	通过形貌、声音、温度、颜色、气味的变化来测试
听心音、做心电图	振动、噪声测试	通过振动、噪声的大小及其变化规律进行测试
量体温	温度测试	研究分析温度的变化
量血压	应力应变（液压气压）测试	研究分析力、应力、应变
化验（血、尿）	油液分析	研究分析油液中磨粒的化学成分、形貌、数量
X 射线、超声波检查	超声、X 射线探伤	研究分析机件内部缺陷
观测皮肤	表面状态测试	研究分析机件表面缺陷
做胃镜	内窥镜观察	观察内部情况
总体性能测试，如肺活量、握力、耐力、摸高、拉力等	整机性能测试	分析整机性能参数，如功率、效率、工作精度等
问病史	查阅机器运行技术档案资料	找规律、查原因、作判断

### 三、机械故障诊断的研究现状及发展

机械故障诊断作为一门新兴的综合性边缘学科，经过 30 多年的发展，已初步形成了比较完整的学科体系。就其技术手段而言，已逐步形成以振动诊断、油样分析、温度监测和无损检测探伤为主，其他技术或方法为辅的局面。这其中又以振动诊断涉及的领域最广、理论基础最为雄厚、研究得最为充分而最具生机与活力。由于计算机技术的发展，目前可用于振动测试的设备十分丰富，从少通道（1~2 通道）、较低采样频率（<10kHz）、较低精度（8bits）、只有简单的分析功能的低价位简易设备到多通道（可达 256 通道甚至更多）、超高速（1~200MHz）、超高精度（16~24bits）、超大容量（几个 G）的巨型系统应有尽有，对于振动信号的采集来说，目前的计算机技术已足以胜任各种场合的需要。在硬件技术突飞猛进发展的同时，软件技术日新月异的进步也极大地促进了信号分析与处理技术的发展。目前，在振动信号的分析处理方面，除了经典的统计分析、时频域分析、时序模型分析、参数辨识外，近来又发展了频率细化技术、倒频谱分析、共振解调分析、三维全息谱分析、轴心轨迹分析以及基于非平稳信号假设的短时付里叶变换、Wigner 分布和小波变换等。事实上，振动信号的分析处理技术还在不断的发展之中，新的理论和技术还将不断涌现。

就诊断方法而言，除了单一参数、单一故障的技术诊断外，目前多参量、多故障的综合诊断已经兴起。人工智能的研究成果为机械故障诊断注入了新的活力，故障诊断的专家系统不仅在理论上得到了相当的发展，而且国外已有许多成功的应用实例，国内也有许多单位积极从事这方面的探索研究，并取得了一定的进展。与此同时，人工智能的另一个重要分支——人工神经网络的研究也逐步渗透到机械故障诊断领域，并已成为机械故障诊断领域的一个最新研究热点，但目前还多处于实验室研究阶段，应用成功的实例还不多见。最近又有人探索将人工神经网络与传统的专家系统结合起来，建造神经网络专家系统。初步的研究成果表明，这种新型的专家系统能较好地克服传统的专家系统和人工神经网络各自独立的缺陷而具有很多优势。

就应用领域而言，机械故障诊断技术已在旋转机械、往复机械、各种流程工业、机加工过程和各種基础零部件的故障诊断方面获得了应用，这其中以旋转机械的故障诊断应用最广、最为成熟，而往复机械的故障诊断目前还多集中于发动机汽缸（套）的振动监测诊断。

机械故障诊断技术在世界各国的发展是不平衡的，美国在这一领域处于领先地位，其次是英、法、德、日等国，也具有各自的优势。与这些先进国家相比，我国还有一定的差距，虽然我国在理论上跟踪得比较紧，但在诊断设备的可靠性等方面仍有一定差距。就目前的市场配额来看，还有相当大的国内市场为外国产品所占领，这不得不引起我们的重视。

# 第一章 机械故障诊断的基本原理

机械故障诊断包括机械故障诊断的理论与技术两大部分。作为机械故障诊断的理论基础，本章先来讨论几个与机械故障诊断有关的基本问题，主要包括机械故障概述、诊断信息的来源、故障诊断的一般思维方法。

## 第一节 机械故障诊断概述

### 一、机械故障及其分类

所谓机械故障，就是指机械系统（零件、组件、部件或整台设备乃至一系列的设备组合）因偏离其设计状态而丧失部分或全部功能的现象。通常见到的发动机发动不起来，机床运转不平稳、汽车刹车不灵等等现象都是机械故障的表现形式。机械故障可以从不同的角度来进行分类。不同的分类方法反映了机械故障的不同侧面，对机械故障进行分类的目的是为了更好地针对不同的故障形式采取相应的对策。以下是各种故障分类方法。

#### 1. 按发生的原因分

(1) 磨损性故障 机械系统因使用过程中的正常磨损而引发的一类故障，对这类故障形式，一般只进行寿命预测。

(2) 错用性故障 因使用不当而引发的故障。

(3) 先天性故障 由于设计或制造不当而造成机械系统中存在某些薄弱环节而引发的故障。

#### 2. 按造成的后果分

(1) 危害性故障 故障发生后会对人身、生产和环境造成危险或危害的一类故障，如机床保护系统不能进行有效工作而造成损害工件或操作者等。

(2) 安全性故障 故障的发生不会对人身、生产和环境造成危害的一类故障，如保护系统在不需保护时动作等。

#### 3. 按发生的快慢分

(1) 突发性故障 不能靠早期测试探测出来的一类故障。即此类故障是不可预测的，对这类故障只能进行预防，如过载造成机件损坏。

(2) 渐发性故障 故障的发展有一个过程，因而可对其进行预测和监视，如疲劳裂纹的产生和扩展。

#### 4. 按发生的范围分

(1) 部分性故障 设计功能部分丧失的一类故障。

(2) 完全性故障 设计功能完全丧失的一类故障。

#### 5. 按发生的频次分

(1) 偶发性故障 发生频率很低的一类故障，即“意外现象”。

(2) 多发性故障 经常发生的一类故障。

机械故障还可从其他角度来进行分类。在以上所列的五种分类方法中，按故障原因和按故障发生的快慢这两种分类方法对于机械故障诊断最具现实意义。

## 二、机械故障诊断及其分类

所谓机械故障诊断，就是对机械系统所处的状态进行监测，判断其是否正常，当出现异常时分析其产生的原因和部位，并预报其发展趋势。机械故障诊断可以分类如下：

### 1. 按目的分

(1) 功能诊断 即对新安装或刚维修过的机械系统诊断其功能是否正常，也就是投入运行前的诊断。

(2) 运行诊断 即对服役中的机械系统进行的诊断。

### 2. 按方式分

(1) 巡回检测 就是每隔一定的时间对服役中的机械系统进行检查和诊断。

(2) 在线监测 就是连续地对服役中的机械系统进行监测，此时测试传感器及二次仪表等安装在设备现场，随机械系统一起工作。

### 3. 按提取信息的方式分

(1) 直接诊断 诊断对象与诊断信息来源直接对应的一种诊断方法，即一次信息诊断。如通过检测齿轮的安装偏心和运动偏心等参数来判断齿轮运转是否正常即属此类。

(2) 间接诊断 诊断对象与诊断信息来源不直接对应的一种诊断方法，即二次、三次等非一次信息的诊断。如通过测箱体的振动来判断齿轮箱中齿轮是否正常等。通常所说的诊断主要是指间接诊断。

### 4. 按诊断时所要求的机械运行工况条件分

(1) 常规工况诊断 在机械的正常运行条件下进行的一种故障诊断方式。

(2) 特殊工况诊断 对某些机械，需为其创造特殊的工作条件才能对其进行诊断，如动力机组的升降速过程诊断。

### 5. 按功能分

(1) 简易诊断 对机械系统的状态作出相对粗略的判断。一般只回答“有无故障”等问题，而不分析故障原因、故障部位及故障程度等。

(2) 精密诊断 是在简易诊断基础上更为细致的一种诊断过程，它不仅要回答“有无故障”的问题，而且还要详细地分析出故障原因、故障部位、故障程度及其发展趋势等一系列的问题。

此外，机械故障诊断还可根据所采用的技术手段不同而分为：振动诊断、油样分析、温度监测以及无损检测等。本书的后续章节就是按照这条线索来进行讨论的。

## 三、机械故障诊断的基本环节

一个完整的诊断过程一般由以下几个基本环节组成。

### 1. 确立运行状态监测的内容

主要包括确立监测参数、监测部位及监测方式等方面的内容，这主要取决于故障形式，同时也要考虑被监测对象的结构、工作环境等因素以及现有的测试设备条件，这是整个诊断工作的基础。状态监测的内容确立得当，不仅能极大地提高诊断效率，有时甚至决定着诊断工作的成败，因此必须对此予以足够的重视。

### 2. 建立测试系统

根据步骤1的要求选取传感器及其配套设施，组成测试系统，用以收集故障诊断所需的信息。在建造测试系统时，不仅要注意有用信号的获取（灵敏度和精度等性能），同时还要考虑测试系统的环境适应性以及如何在测试阶段进行降噪除噪等，以便简化后续的信号分析处理过程。正确、有效信号的取得是正确诊断的先决条件，偏离了这个前提，诊断工作就无从



谈起。

### 3. 测试、分析及信息提取

主要内容是对借助测试系统所获得的信号进行加工,包括滤波、异常数据的剔除以及各种分析算法等,其主要目的是从有限的信号中获得尽可能多的关于被诊断对象状态的有用信息,这是机械故障诊断的核心,关于这方面的内容,本书在后续章节还将以较大的篇幅进行论述。

### 4. 状态监测、判断及预报

是诊断工作的最后一个环节,也就是机械故障诊断的最终目的之所在。这一步工作主要是构造或选定判据,确定划分设备状态的各有关参量的阈值等内容,以此判定被诊断对象的运行状态,并对其未来发展趋势进行预测。

## 第二节 故障特征参量

在前一节里,我们已对机械故障及其诊断方法进行了分类,并简述了机械故障诊断的几个实施步骤。对机械故障诊断有了初步认识之后,接下来简要讨论故障特征参量这个机械故障诊断工作的灵魂。

### 一、故障特征参量的定义

对于某一具体的故障类型,我们所关心的是:①这种故障通过哪些物理参量表现出来;②与各物理参量间的关系强弱情况如何。一般而言,对于前一个问题,只要机械系统的状态发生了变化,就必定会影响到与之相联系的各个动态物理参量,牵涉面较广;而故障类型与物理参量的关系强弱是我们最感兴趣的。因为只有那些与某种故障类型之间的关系密切、对故障灵敏可靠的物理参量才被用于故障的诊断。在机械故障诊断学领域,将这些对故障灵敏、稳定可靠的物理参量称为故障特征参量。

机械系统的故障类型是千差万别的,与每一种故障类型相对应,机械系统必定会通过一个或多个物理参量将其表征出来,每一种故障类型也必须由一种或多种原因所引起。这就是说,故障表现与其特征参量和故障原因之间存在如下的对应关系

$$F = f(\alpha_1, \alpha_2, \dots) \quad (1-1)$$

式中  $F$  —— 某种故障类型;

$\alpha_1, \alpha_2, \dots$  —— 各特征参量或故障原因。

故障诊断就是要确定  $F$  与  $\alpha_1, \alpha_2, \dots$  之间的某种对应关系  $f$ , 以便通过检测  $\alpha_1, \alpha_2, \dots$  来判断故障类型  $F$  是否发生,或在已知  $F$  发生的情况下去查明造成  $F$  的原因  $\alpha_1, \alpha_2, \dots$  等。

应该指出的是,对于同一种故障类型,当它们发生在不同的机械系统上时,其故障特征参量也不同,因此,在确定某种故障的特征参量时,应结合具体的系统进行。例如,一般机器的轴承发生故障时,其温度会升高,此时温度可选为故障特征参量。然而,对于矿山井下的通风机,其转子轴承处于风道内,受到强风冷却,即使出现故障温度也未必明显升高,此时就不宜选用温度作为轴承故障的特征参量。

### 二、故障特征参量的选取原则

由上面的分析可知,虽然某种故障类型发生所能引起变化的物理参量有许多个,但可用作故障特征的参量是有限的,这就引出了如何来选定故障特征参量的问题。实践证明,选取故障特征参量应遵循以下原则:

#### 1. 高度敏感性

机械系统状态的微弱变化应引起故障特征参量的较大变化。