



机械故障诊断丛书

轴承故障诊断

雷继尧 丁康 编著



西安交通大学出版社

7

机械故障诊断丛书之七

轴 承 故 障 诊 断

江苏工业学院图书馆
藏书章

康 编著

西安交通大学出版社

内 容 提 要

本书重点讨论与轴承（包括滑动轴承及滚动轴承）故障诊断有关的各种问题。系统地介绍了轴承诊断的基本原理、监测方法及各种实用诊断技术。适合作为工厂企业一切从事机械设备设计、制造、使用、维修、管理及生产自动化工作的工程技术人员的参考用书，亦可作为大专院校各类机械专业学生、教师和研究生的教学参考书。

轴承故障诊断

雷继尧 丁 康 编著

责任编辑 潘瑞麟

*

西安交通大学出版社出版

(邮政编码 710049)

西安交通大学出版社微机排版

西安交通大学出版社印刷厂印装

陕西省新华书店经售

*

开本 787×1092 1/32 印张 3.75 字数: 73 千字

1991 年 7 月第 1 版 1991 年 7 月第 1 次印刷

印数: 1——5000

ISBN7-5605-0421-3/TH·21

定价: 2.30 元

“机械故障诊断丛书”总前言

机械故障诊断技术是有关设备运行、维护的一项新兴技术。它的推广应用不但根本改变了原有设备维修制度，而且在保证设备安全运行、消除设备事故方面起着巨大的作用。当前，机械设备运行状态的监测，已经从单凭直觉的耳听、眼看、手摸发展到采用先进的传感技术、计算机和信息处理技术。新的监测手段，诸如超声、声发射、红外等，层出不穷。人工智能、专家系统、模糊数学等新兴学科在机械故障诊断技术中也找到了用武之地。

近年来，在国家计委中国设备管理协会和有关学会的大力支持下，机械故障诊断技术在各行各业中推广应用。它已经并将继续在实践中获得巨大的经济效益和社会效益。本丛书是为满足广大工程技术人员的迫切需要而编写的；同时，也希望这套丛书能引起高等学校机械类专业广大师生和有关研究人员的兴趣。

在组织编写这套丛书时要求既注意科学性，又注意实用性。内容有一定的理论深度，力求阐明机械故障诊断技术的理论基础，努力避免过多的数学推导，既能为广大实际工作者所接受，对研究人员和高等学校的师生也有参考价值。为了尽量节省读者的精力和时间，每本就一个专题编写，简洁明了，以便于读者阅读和使用。

由于各类产业机械既有各自的特点，又有某些共同点，机械故障诊断技术本身又正处于迅速发展的阶段，本丛书在

编写时着重讨论多个行业中机械设备的共同技术问题，诸如轴承、齿轮、转子、润滑油等的监测与诊断，同时尽量向读者介绍和展示一些诊断方面的新技术、新动向，以开阔视野。丛书也注意总结作者的理论研究成果和实际经验，以促进这些成果和经验在生产中发挥应有的作用。

本丛书和广大读者见面之后，编者和作者衷心希望能得到广大读者的反馈信息，以便改进我们的工作，提高丛书的质量。

“机械故障诊断丛书”编辑委员会

1988年2月

前 言

在回转机械的各种故障中，轴承故障占有相当大的比例。所以轴承运行的故障诊断和监测，一直是机械故障诊断中重点发展的技术之一。

本书从工程观点出发，系统地介绍了轴承诊断的基本原理、监测方法及判别技术。在对基本原理和技术的阐述方面，力求做到实用性和科学性相结合；既认真总结了现场诊断的各种经验，又充分体现了这一技术的最新发展。书中介绍的许多内容，是编著者多年来科研工作的总结。

编著者感谢重庆大学测试中心全体同志的支持；特别感谢多年来为开展轴承故障诊断工作而共同付出辛勤劳动的同志们、研究生们；也感谢和重庆大学测试中心建立科研协作关系的广大院校、工厂、研究单位的工程技术人员对这一工作的支持。

书中引用了国内外有关专家学者的研究资料，在此一并致谢。

书中不免有所疏漏，敬请读者指正。

编著者

1988年10月 于重庆大学测试中心

目 录

“机械故障诊断丛书”总前言

前 言

第一章 概 述

第二章 滑动轴承故障诊断技术

§ 2.1 滑动轴承的结构及工作原理	(3)
§ 2.2 滑动轴承的失效形式及故障分析	(4)
1. 滑动轴承的失效形式	(5)
(1) 磨损失效	(5)
(2) 疲劳失效	(6)
(3) 腐蚀失效	(7)
(4) 气蚀失效	(8)
2. 滑动轴承的其它故障形式	(8)
(1) 油膜涡动和油膜振荡	(8)
(2) 过热	(12)
§ 2.3 滑动轴承故障的诊断技术	(12)
1. 滑动轴承的油样分析诊断技术	(12)
(1) 油样分析诊断原理	(13)
(2) 油样分析的步骤	(14)
(3) 油样分析的方法	(14)
2. 滑动轴承的温度诊断技术	(20)
(1) 滑动轴承温度诊断的原理	(21)
(2) 温度检测方法	(22)
(3) 温度诊断方法	(24)

3. 滑动轴承的振动诊断技术	(26)
(1) 滑动轴承的振动分类	(26)
(2) 滑动轴承振动诊断的原理	(26)
(3) 振动测试	(26)
(4) 滑动轴承的振动诊断方法	(27)
(5) 对滑动轴承振动现象的一些补充说明 ...	(32)
4. 滑动轴承的声学诊断技术	(34)
(1) 滑动轴承的噪声诊断技术	(34)
(2) 滑动轴承的超声诊断技术	(35)
(3) 滑动轴承的声发射诊断技术	(43)
5. 滑动轴承的系统状态参数诊断技术	(56)
(1) 问题的提出	(56)
(2) 滑动轴承的特性分析及其简化模型	(56)
(3) 应用系统状态参数法进行滑动轴承 故障诊断的数学模型	(58)
(4) 应用举例	(60)

第三章 滚动轴承故障诊断技术

§ 3.1 滚动轴承的结构及工作原理	(63)
§ 3.2 滚动轴承失效的基本形式	(64)
1. 磨损失效	(64)
2. 疲劳失效	(64)
3. 腐蚀失效	(64)
4. 断裂失效	(64)
5. 压痕失效	(64)
6. 胶合失效	(65)
§ 3.3 滚动轴承故障的诊断技术	(65)

1. 滚动轴承的振动诊断技术	(65)
(1) 滚动轴承造成的振动	(65)
(2) 滚动轴承几类典型异常 的时、频、幅域特征	(77)
(3) 滚动轴承的振动诊断方法	(82)
2. 滚动轴承的其它监测诊断技术	(97)
(1) 声学诊断法	(97)
(2) 温度诊断法	(97)
(3) 磨损屑的分析	(98)
(4) 轴承的间隙测定	(98)
(5) 油膜电阻法	(99)
(6) 光纤监测技术	(101)
3. 滚动轴承故障诊断的一般监测程序	(104)

参考文献目录

第一章 概 述

轴承用于支承轴颈，有时也用来支承轴上的回转零件，是回转机械中所不可缺少的基本元件之一。

根据轴承工作时摩擦的性质，轴承可分为滑动摩擦轴承（简称滑动轴承）和滚动摩擦轴承（简称滚动轴承）两类。

滑动轴承具有结构简单、制造方便、工作平稳、可靠、无噪声、承载能力强等特点，如果能够保证液体摩擦润滑，滑动表面被润滑油分开而不发生直接接触，还可以大大减小摩擦损失和表面磨损，油膜还具有一定吸振能力等独特的优点，特别适用于：

- a. 极高转速；
- b. 高支承定位精度；
- c. 巨大振动和冲击载荷；
- d. 要求支承为剖分形式；
- e. 小的径向尺寸；
- f. 工作条件特殊（在水或腐蚀性介质中工作）等等场合。

滚动轴承则具有摩擦系数小、消耗润滑剂少，不需要用有色金属、轴向结构紧凑且为标准件，由专门的轴承工厂成批生产等优点，适用于

- a. 中等转速；
- b. 小起动力矩；

- c. 安装维修方便;
- d. 不允许大量采用润滑油液, 不允许泄漏污染;
- e. 要求价格比较便宜等等场合。

总之, 滑动轴承及滚动轴承二者各有优点互为补充, 在各种发动机、仪表、金属切削机床、内燃机、铁路机车、车辆、工程机械、轧机、雷达、卫星、通信地面站及天文望远镜等领域中已获得广泛的应用。

轴承作为回转机械中的一个重要部件, 它的工作状态如何将直接影响整机的性能(如精度、寿命、安全性、可靠性等)。因此, 对轴承工作状态监视及故障诊断技术的研究工作越来越受到人们的重视, 并成为保证回转机械良好工作的一个重要措施。

由于滑动轴承和滚动轴承的结构和工作机理各异, 其诊断方法也不尽相同, 下面将分别进行讨论。

第二章 滑动轴承故障诊断技术

§ 2.1 滑动轴承的结构及工作原理

滑动轴承一般由轴承体（简称轴承，包括轴承座及轴瓦）和润滑系统（包括供油系统及润滑油）两部分组成，其结构简图如图 2.1 所示。工作时轴颈在轴承中旋转带动润滑油形成动压油膜，靠油膜压力与外载荷相抵来实现支撑并保证轴颈灵活转动。

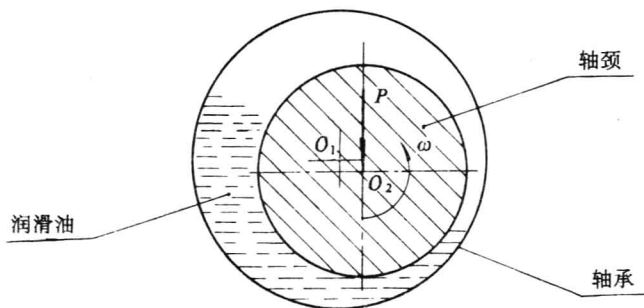


图 2.1 滑动轴承结构示意简图

图 2.2 以径向滑动轴承为例，说明了动压油膜形成的简单原理。如图所示，在给定的工作条件下，轴颈回转中心 O_2 将距轴承回转中心 O_1 某一稳定距离 e ， e 称为偏心距。

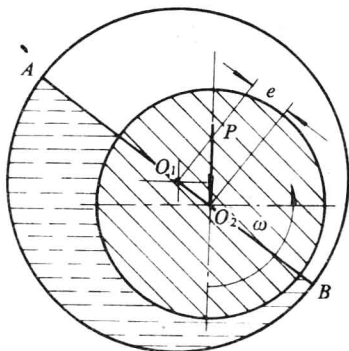


图 2.2 动压油膜的形成原理

在 O_1 和 O_2 的连线下方将形成一个收敛的空间。从 A 点到 B 点，油被轴颈强迫带入收敛空间，使油形成收敛楔状油膜（动压油膜），产生很大的压力，其压力总和等于外载荷 P 时，即能将轴颈抬起。不难明白，对滑动轴承而言，动压油膜不仅是载荷的传递体，而且也是避免轴颈与轴承直接接触的中介物质。油压膜的性质

和工作状态将严重影响滑动轴承的工作品质。由于油压膜的形成和性质不仅与轴承结构本身有关，还与工作条件（如转速）、供油系统（如油的种类和供油量）和环境因素（如温度、尘埃等）发生千丝万缕的联系。这一切就决定了滑动轴承故障诊断的特殊性和复杂性。

§ 2.2 滑动轴承的失效形式及故障分析

故障诊断过程实际上是一个从状态信号中提取故障信息特征形成待检模式，并与基准模式（故障档案）进行比较的模式识别或分类过程。由此可知，建立滑动轴承各种常见故障的档案库（即各类故障的基准模式库）自然就成为滑动轴承故障诊断技术研究中的首要工作。而弄清滑动轴承的各种失效及故障形式以及与之相应的状态特征，则是建立滑动轴

承故障档案库的基础。

1. 滑动轴承的失效形式

滑动轴承失效是导致故障的主要原因。滑动轴承在使用过程中，由于设计参数、制造工艺、工作条件和环境的影响，往往会引起磨损、疲劳、腐蚀、气蚀等多种形式的失效，使轴承不能继续正常工作。下面分别对这些失效形式产生的机理、原因及特征进行讨论。

(1) 磨损失效

轴承零件的磨损是一种表面损伤现象，它可以缓慢地也可以急速地发展。磨损失效的类型很多：

I. 按磨损机理的不同，滑动轴承的磨损可分为磨粒磨损、粘附磨损等几种。

磨粒磨损：这是轴承表面在与硬质颗粒发生摩擦的过程中引起表面划伤或材料脱落的现象。

粘附磨损：当两个金属表面在压力作用下接触并作相对滑移时，峰部局部接触产生局部高压而导致冷焊粘合。发生粘合的表面作相对运动时，由于粘合强度可能高于材料本体的强度，从而在本体的某一深度发生撕裂破坏形成粘附磨损。

II. 按磨损的形态不同，滑动轴承的磨损又可分为早期磨合磨损、正常磨损、伤痕、异常磨损和咬粘等几种。

早期磨合磨损：指轴承新开始使用时，由于起动、停车未形成油膜时工作表面的微峰谷间相互切割，从而产生微观磨合。磨合结果轴颈和轴承的接触面积增大，接触面光洁度提高，趋向均匀承载。这是一种正常有益的磨损，不属失效。

正常磨损：在规定的使用期限内，滑动轴承的正常磨损量逐渐积累并超过了规定极限而不能再使用。其特征为：轴颈和轴承的配合间隙逐渐增大，轴承承载能力逐渐减弱，当磨损过大时将发生振动、噪声，磨损速度也大大加快。

伤痕：由于异物作用，在滑动轴承表面形成点状凹坑或沿轴向分布形成线状痕迹和拉槽。其特征是：它是一种不均匀磨损，凹坑和拉槽使油膜变薄或破坏，从而导致轴承过快磨损而失效。

异常磨损：由于安装时轴线偏斜、负载偏载、轴承背钢与轴承座孔之间有硬质点和污物、轴或轴承座的刚性不良等原因，造成轴承表面严重损伤。其特征为：轴承承载不均、局部磨损大、表面温度升高，影响了油膜的形成，从而使轴承过早失效。

咬粘：由于轴承温度过高其材料软化，或在高负荷、偏载、轴承间隙过小时开车、停车，使轴颈和轴承直接局部接触，都会产生咬粘现象。其特征是：油路堵塞或机器停止运转。

(2) 疲劳失效

I. 滑动轴承疲劳失效的原因及机理

a. 轴承表面受到交变应力的作用而产生的疲劳失效

正常使用条件下的轴承，变化着的负载通过油膜传递到轴承工作表面，由于油膜压力的作用，在轴承表面产生往复作用的拉应力、压应力和剪切应力，从而萌发裂纹；此外，由于油膜破坏使轴承表面咬粘而产生的伤痕会形成新的裂纹源。这些裂纹在轴承工作中不断扩展，最后形成疲劳破坏。

b. 铅相腐蚀和渗出形成疲劳源，在交变应力作用下形

成疲劳失效

这种失效常在铜铅合金轴承中见到。由于润滑油中混入水和重油,产生铅相被腐蚀而渗出,只留下铜的枝晶髀,强度降低并形成疲劳源。在油膜的交变载荷作用下产生变形,并以铅渗出后的空隙作为裂纹进行扩展,最终形成疲劳破坏。

c. 热应力引起的疲劳失效

由于轴承工作时产生的磨擦热和咬粘现象,轴承工作表面温度升高产生热应力,导致裂纹的萌生和扩展,形成疲劳剥落。

II. 滑动轴承疲劳失效的特征

滑动轴承疲劳失效的特征是:首先产生裂纹,继而裂纹扩展,最终形成疲劳剥落。剥落坑呈大小不一的块状,有时呈疏松的点状,有时呈虫孔状。

(3) 腐蚀失效

I. 腐蚀失效的原因及机理

滑动轴承的腐蚀主要由环境介质与轴承工作表面间产生的化学反应所引起,并在轴承表面形成氧化膜或其它化学反应产物,导致滑动轴承失效。常见的轴承腐蚀失效有三类:

a. 电解质腐蚀:由于表面金属被溶解或在表面形成硬而脆的氧化膜,在载荷作用下崩碎剥离,从而在轴承表面形成受酸、碱、盐水溶液腐蚀而产生的麻点。

b. 有机酸腐蚀:它们来自内燃机燃料油不完全燃烧,以及润滑油被氧化等等。

c. 其它的腐蚀:如寄生电流通过潮湿的轴承面产生腐蚀;润滑油中的硫化物与轴承中的银和铜等元素生成硬而脆的硫化膜;以及工作环境对轴承的污染腐蚀等等。

II. 轴承腐蚀失效的特征

表面上的氧化膜、硫化膜，在变载下剥落，轴承工作表面变粗糙，剥落物混入轴颈与轴承运动表面间隙之中，起磨粒磨损作用，同时润滑油中也常混有腐蚀产物。

(4) 气蚀失效

I. 气蚀失效的原因和机理

在重载、高速运转的情况下，滑动轴承工作表面与轴颈表面间的油膜压力降到润滑油蒸气压以下时，会形成小的油蒸气气泡，若随后润滑油压力升高或气泡跑到压力较高的区域，气泡消失，气泡周围的润滑油迅速地补充到原气泡处，形成一个压力波冲击原先气泡附近的轴承表面，该压力波的作用面积很小但量值很高，使轴承表面受到强烈冲击，引起表面塑性变形，改变了轴承的受力状态而使工作应力升高，最后导致轴承表面的局部剥落。这种现象称为气蚀。

II. 气蚀失效的特征

气蚀使轴承表面出现不规则的剥落，一般较轻微，而其它部位没有磨损和腐蚀的迹象。

2. 滑动轴承的其它故障形式

滑动轴承还有如下两类常见的故障形式：

(1) 油膜涡动和油膜振荡

利用动压油膜工作的滑动轴承虽有许多优点，但同时也带来了由于动力失稳^①而产生的油膜涡动和油膜振荡问

^①一般回转机械的动力学行为（振动失稳等）是与转子、轴承甚至基础等密切相关的，而不应仅考虑轴承，但它发生在使用利用动压油膜工作的滑动轴承的条件下，所以我们把它视为滑动轴承的故障形式之一。