

● 设备诊断现场实用技术丛书

滚动轴承诊断

现场实用技术



现场实用：

内容涵盖全面

原理讲解清晰

案例透彻易懂

阳建宏
黎敏 等编著
丁福焰



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

设备诊断现场实用技术丛书

滚动轴承诊断现场实用技术

阳建宏 黎敏 丁福焰 编著
路俏俏 王德志 胡军



机械工业出版社

本书旨在为从事现场故障诊断的技术人员提供一种开展滚动轴承诊断工作和进行故障分析判别的实用参考书。

本书共分8章。第1章“概论”；第2章“滚动轴承失效机理”；第3章“滚动轴承的振动诊断方法”；第4章“滚动轴承的其他诊断方法”，主要介绍温度、油液、噪声、声发射等滚动轴承诊断技术；第5章“滚动轴承的状态综合评定”，主要介绍滚动轴承振动诊断的绝对判定标准和相对判定标准，并在此基础上给出几种常用的滚动轴承劣化趋势分析方法；第6章“滚动轴承状态监测与故障诊断仪器及系统”；第7章“设备管理中的滚动轴承故障诊断实践”，主要结合设备管理与维修模式的概念，介绍滚动轴承故障诊断的工作流程、低速重载工况下的诊断方法等；第8章“滚动轴承的诊断实例”，通过有条理的案例介绍，逐步引导读者掌握滚动轴承的诊断流程。

本书突出“现场实用”的特点，内容涵盖全面、原理讲解清晰、案例透彻易懂，可供各行业从事滚动轴承诊断工作的技术人员及设备维修管理人员使用，也可作为现场设备诊断技术培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

滚动轴承诊断现场实用技术/阳建宏等编著. —北京：机械工业出版社，2015.5

(设备诊断现场实用技术丛书)

ISBN 978-7-111-50390-3

I. ①滚… II. ①阳… III. ①滚动轴承-故障诊断
IV. ①TH133.33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 114887 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑: 李万宇 责任编辑: 李万宇 版式设计: 霍永明
责任校对: 佟瑞鑫 封面设计: 陈 沛 责任印制: 刘 岚
北京中兴印刷有限公司印刷
2015 年 8 月第 1 版第 1 次印刷
169mm × 239mm · 22 印张 · 450 千字
0 001—3 000 册
标准书号: ISBN 978-7-111-50390-3
定价: 68.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
电话服务 网络服务

服务咨询热线: 010-88361066 机工官网: www.cmpbook.com
读者购书热线: 010-68326294 机工官博: weibo.com/cmp1952
010-88379203 金书网: www.golden-book.com
封面无防伪标均为盗版 教育服务网: www.cmpedu.com

“设备诊断现场实用技术丛书”编委会

主任：黄昭毅

委员：袁宏义 邢井明 杨其明

叶晓明 莽克伦 吴柏青

序

随着现代化生产的高速发展，设备不仅是作为重要的物质基础，而且还在其中起着越来越重要的作用，诸如生产的提高、质量的改善、成本的降低、资源的节约、环境的保护以及效益的增长等，都无一不和它有着密切的关系。然而当这些现代化设备一旦发生了故障，所带来的严重后果也非过去可比，有的还会成为人类历史的悲剧。过去的一个世纪里，曾在世界范围内发生的重大设备事故，是很值得我们予以充分重视的。

在20世纪80年代初，世界上一些发达国家在总结经验教训的基础上，开发和创立了一种叫作“设备诊断技术”的高新技术，它能在设备运行中或基本不拆卸全部设备的情况下，掌握设备运行状态，判定产生故障的部位和原因，并预测预报未来的技术状态，从而可在早期有效地发现，以及在后期及时地抑制故障，保障生产的可持续发展。1983年1月国家经委采纳了各方建议，及时地在国有工业交通企业设备管理试行条例中作了明确规定，强调采用这项技术，发展以状态监测为基础的预防维修体制。

多年来，在国家倡导、企业重视以及各级有关管理部门、大专院校、科研单位和群众团体的大力支持、共同努力下，设备诊断技术已经兴旺发达，得到了广泛共识，取得了众多效益，不仅在理论研究、科研试验、产品开发及工程应用上达到了较高水平，而且在保证设备安全、防止突发事件、保障设备精度、提高产品质量、节约维修费用以及防止环境污染上，也都体现出重要的地位与作用。

为了把这项先进技术成果充分肯定，努力推向未来并与世界接轨，国内的设备工程界人士，特别是在现场从事设备诊断的广大技术人员，长期以来盼望能有一套诊断丛书是由我们自己的现场人员、在消化吸收国外经验，并经过充分生产考核认定的基础上写作出来，它们应当有别于当前一些教科书、专著，具备为现场维修服务的明确观点，能够采用通俗易懂的语言和图表，总结介绍丰富的现场经验与工作案例，以求达到更好地适合企业技术人员学习和使用的目的。

在机械工业出版社的大力支持下，经过了充分酝酿和多方论证，进行了必要性与可行性研究，于北京筹组了一个七人的小型编委会，以负责确定丛书的题目，提出编写内容及特点要求，以落实各分册作者的任务，与此同时还多方面地收集了丛书的编写意见，从而为这一工作的美好进展提供了条件。

编委会成立后，首先明确了书的名称为“设备诊断现场实用技术丛书”，按照诊断技术及对象设备的综合分类，初步定为十个分册，每册30万字左右，分期发行；其次明确了读者对象为在现场从事设备诊断技术应用的初、中级技术人员（包括技术员、技师和工程师），大中专院校有关专业的教师和学生以及有关管理人员；再次明确了编写人员的要求，主要邀请有十年以上现场经验、并具有一定理论基础、善于总结和有写作能力的工程师们参加，但也要吸收那些理论联系实际较好、并有一定现场体会的教授们，以及仪器公司和生产厂家中从事技术开发及咨询服务的工程师们。

为了统一编写，编委会还制定了“通用写作导则”以及“分类编写参考意见”，其中对写作特点强调了要以现场性、实用性和系列性为主，既不同于学报，也有别于教科书。现在丛书的编写进展顺利，作者们都把此书作为自己一生经验的总结，广泛收集资料，认真比较分析，以此作为对伟大的社会主义建设的积极贡献，读者们不难从书中内容有所理解。

此套丛书共分为十个分册，分别为《简易振动诊断现场实用技术》《精密振动诊断现场实用技术》《油液监测分析现场实用技术》《红外诊断现场实用技术》《无损检测诊断现场实用技术》《电气设备诊断现场实用技术》《往复机械诊断现场实用技术》《大型回转机械诊断现场实用技术》《滚动轴承诊断现场实用技术》《齿轮和齿轮箱诊断现场实用技术》。

此套丛书的创作有别过去，尚少经验可供借鉴，更限于作者的时间和水平，不足之处在所难免，欢迎读者批评指正。

“设备诊断现场实用技术丛书”编委会

前言

《滚动轴承诊断现场实用技术》一书是“设备诊断现场实用技术丛书”的一个分册。本书充分体现了丛书编辑的方针，突出了“现场实用”的特点，并以从事滚动轴承故障诊断的现场工程技术人员和管理干部为主要读者对象进行编写，同时也可供大、中、专院校及科研院所的研究人员、教师和学生参考。

本书共分为8章。

第1章“概论”，主要对滚动轴承诊断在设备管理中的重要意义、滚动轴承诊断国内外的现状和发展趋势、现场实用的诊断技术及其适用范围进行概括性的介绍。

第2章“滚动轴承失效机理”，主要讲述滚动轴承的主要结构、失效形式和机理、滚动轴承寿命预测等内容。

第3章“滚动轴承的振动诊断方法”，主要包括：滚动轴承的振动机理，时域、频域和幅域等传统分析方法，还介绍了冲击脉冲、共振解调、尖峰能量和峰值检测等现场实用诊断技术，最后讲述了小波、数学形态学等现代分析方法，以及几种常用的滚动轴承诊断流程。

第4章“滚动轴承的其他诊断方法”，主要介绍温度、油液、噪声、声发射等滚动轴承诊断技术。

第5章“滚动轴承的状态综合评定”，主要介绍滚动轴承振动诊断的绝对判定标准和相对判定标准，并在此基础上给出几种常用的滚动轴承劣化趋势分析方法。

第6章“滚动轴承状态监测与故障诊断仪器及系统”，主要讲述轴承故障检测与诊断仪器系统的发展趋势、传感器选用原则、信号预处理方法等内容。

第7章“设备管理中的滚动轴承故障诊断实践”，主要结合设备管理与维修模式的概念，介绍滚动轴承故障诊断的工作流程、低速重载工况下的诊断方法，以及在诊断实践中如何将滚动轴承的故障与电机、风机、齿轮、转子等零部件故障加以区分的案例。

第8章“滚动轴承的诊断实例”，通过有条理的案例介绍，逐步引导读者掌握滚动轴承的诊断流程。

书稿中第1、2、6、7章内容主要由北京科技大学的阳建宏负责编写，第3、4、5章内容主要由北京科技大学的黎敏负责编写，第8章内容由阳建宏、黎敏与鞍钢股份有限公司的路俏俏、胡军共同编写。中国铁道科学研究所的丁福焰、王德志参与了第1、2、4、6章部分内容的编写工作。全书由阳建宏负责统稿。此外，北京科技大学的李修文、王永伟等博士研究生以及徐志远、胡欢、穆星泽等硕士研究生对本书也进行了大量的编辑和整理工作。

在本书编写的过程中，中国核工业集团公司黄昭毅教授在资料搜集、内容组织、书稿审查等各个环节都给予了极大的帮助与指导。黄昭毅教授在指导本书编写过程中展现出严谨的治学态度和一丝不苟的工作作风，是我辈学习的优秀榜样。在此特向黄昭毅教授表示衷心的感谢和深深的敬意。北京科技大学沈水福教授在本书编写过程中也给予了热情关心、帮助和指导，并提供了大量宝贵资料作为参考，在此对他表示衷心感谢。“设备诊断现场实用技术丛书”编委会、机械工业出版社李万字编辑为本书的出版做了许多具体工作，特向各编委和出版社同志表示衷心谢意。

本书在编写过程中参阅了不少著作和文献资料，其中主要篇目均列于书末“参考文献”中。在此，谨向这些著作、论文的作者致以深深的谢意。由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免有错误或不妥之处，恳请读者批评指正。

目 录

序 前言

第 1 章 概 论

1.1 滚动轴承概述	1	流程	7
1.1.1 滚动轴承在现代工业中的重要性	1	1.3 国内外滚动轴承故障诊断技术的发展与现状	8
1.1.2 滚动轴承的技术特点	2	1.3.1 滚动轴承故障机理研究现状	9
1.1.3 滚动轴承故障诊断的必要性和重要性	3	1.3.2 滚动轴承诊断现场实用技术与使用范围	10
1.2 滚动轴承故障诊断技术综述	6	1.3.3 滚动轴承状态监测与故障诊断技术的发展趋势	12
1.2.1 滚动轴承故障诊断的基本内容简介	6	1.4 本章小结	14
1.2.2 滚动轴承故障现场诊断的一般			

第 2 章 滚动轴承失效机理

2.1 滚动轴承的分类和结构	15	2.2 滚动轴承的失效形式与机理	37
2.1.1 滚动轴承的分类	15	2.2.1 滚动轴承的失效形式概述	37
2.1.2 滚动轴承的结构特点及其适用范围	17	2.2.2 疲劳失效形式与机理	39
2.1.3 滚动轴承的精度、游隙、预紧与接触角	19	2.2.3 磨损失效形式与机理	42
2.1.4 滚动轴承的固定、配合和装卸	23	2.2.4 腐蚀失效形式与机理	48
2.1.5 滚动轴承的摩擦、润滑和密封	27	2.2.5 塑性变形失效形式与机理	49
2.1.6 不同载荷作用下滚动轴承的变形和载荷分布	32	2.2.6 烧损失效形式与机理	51
2.1.7 滚动轴承选用步骤	37	2.2.7 其他失效形式与机理	53
		2.3 滚动轴承的寿命预测	56
		2.3.1 滚动轴承寿命理论概述	56
		2.3.2 滚动轴承寿命预测方法	63
		2.4 本章小结	76

第3章 滚动轴承的振动诊断方法

3.1 概述	77	3.4 滚动轴承的振动诊断方法之二	110
3.2 滚动轴承的振动机理	80	3.4.1 冲击脉冲法	110
3.2.1 轴承结构本身引起的振动	83	3.4.2 共振解调法	122
3.2.2 加工和制造精度引起的振动	84	3.4.3 尖峰能量法	130
3.2.3 轴承缺陷或使用不当引起的 振动	85	3.4.4 峰值检测法	136
3.3 滚动轴承的振动诊断方法之一	88	3.5 滚动轴承的现代诊断方法	140
3.3.1 幅域分析	88	3.5.1 小波分析方法	140
3.3.2 时域分析	93	3.5.2 数学形态学分析方法	146
3.3.3 频域分析	98	3.5.3 分形维数诊断法	149
		3.6 本章小结	153

第4章 滚动轴承的其他诊断方法

4.1 滚动轴承的温度诊断	154	4.3 滚动轴承的噪声诊断	175
4.1.1 滚动轴承的温升机理及其 影响因素	155	4.3.1 噪声产生的机理	175
4.1.2 滚动轴承温度检测的常用 方法	157	4.3.2 噪声分类及其产生原因	176
4.1.3 滚动轴承温度诊断分析 方法	162	4.3.3 轴承噪声控制	179
4.2 滚动轴承的油液诊断	165	4.3.4 轴承噪声测量	180
4.2.1 概论	165	4.4 滚动轴承的声发射诊断	185
4.2.2 油液铁谱技术	168	4.4.1 声发射技术	185
4.2.3 光谱分析技术	171	4.4.2 声发射信号分析	187
4.2.4 案例分析	174	4.4.3 声发射采集系统	193
		4.4.4 案例分析	198
		4.5 本章小结	202

第5章 滚动轴承的状态综合评定

5.1 滚动轴承振动诊断标准	203	5.2 滚动轴承劣化趋势分析	222
5.1.1 概述	203	5.2.1 曲线拟合法	223
5.1.2 绝对判定标准	205	5.2.2 灰色关联预测法	226
5.1.3 相对判定标准	213	5.2.3 基于多流形分析的趋势预测 方法	230
5.1.4 建立滚动轴承振动标准 实例	218	5.3 本章小结	235

第6章 滚动轴承状态监测与故障诊断仪器及系统

6.1 传感器的选择和使用	236	6.1.4 测试准备工作	245
6.1.1 振动传感器的选型	237	6.1.5 传感器的标定	246
6.1.2 传感器测点布置	242	6.2 信号采集及预处理	247
6.1.3 传感器的安装	244	6.2.1 数据采集	247

6.2.2 数据预处理	250	6.3.3 轴承故障检测与诊断仪器 系统简介	257
6.3 轴承监测诊断仪器与系统	252	6.3.4 轴承故障检测与诊断仪器 系统的发展趋势	263
6.3.1 检测与诊断仪器的基本 原理及功能	252	6.4 本章小结	264
6.3.2 在线状态监测与故障诊断 系统	254		

第7章 设备管理中的滚动轴承故障诊断实践

7.1 设备管理与维修模式	265	7.3.3 滚动轴承故障与风机旋转 失速故障的区分	284
7.1.1 设备状态管理	265	7.3.4 滚动轴承故障与转子裂纹故障 的区分	286
7.1.2 设备维修制度	266	7.4 低速重载滚动轴承的故障诊断	289
7.1.3 滚动轴承维修制度	267	7.4.1 开展低速重载滚动轴承故障 诊断的必要性	289
7.1.4 在设备管理与滚动轴承诊断 实践中的思考	268	7.4.2 低速重载滚动轴承的诊断 难点	290
7.2 滚动轴承诊断的流程	270	7.4.3 低速重载滚动轴承的诊断分析 步骤	290
7.2.1 简易诊断的基本思路	270	7.4.4 低速重载滚动轴承的分析 方法	292
7.2.2 精密诊断的基本思路	270	7.4.5 低速重载轴承诊断未来发展 趋势	301
7.2.3 滚动轴承典型诊断流程	271	7.5 本章小结	302
7.3 复杂设备中滚动轴承的综合诊断 分析	280		
7.3.1 滚动轴承故障与电机故障的 区分	280		
7.3.2 滚动轴承故障与齿轮故障的 区分	281		

第8章 滚动轴承的诊断实例

8.1 煤矿提升机轴承的滚动体故障 诊断	303	8.8 烟道风机轴承的内圈故障诊断	318
8.2 煤矿通风机轴承的内圈故障诊断	306	8.9 吐丝机轴承的内圈故障诊断	320
8.3 石化混炼机组轴承的内圈故障 诊断	309	8.10 增速机轴承的外圈故障诊断	321
8.4 铁路货车轴承的外圈故障诊断	311	8.11 彩涂风机轴承的外圈故障诊断	324
8.5 纸厂瓦楞纸机轴承的保持架故障 诊断	312	8.12 高炉废气风机轴承的外圈故障 诊断	326
8.6 核电站风机轴承的滚动体故障 诊断	314	8.13 热轧厂减速机轴承的内圈故障 诊断	330
8.7 锅炉引风机轴承的内圈故障诊断	316	8.14 无缝轧机变速箱润滑问题的 故障诊断	332
		8.15 本章小结	335

参考文献	336
------------	-----

第 1 章

概 论

1.1 滚动轴承概述

滚动轴承是以内外两个滚道与一组滚子为基础结构的特殊零件，是机械装置（尤其是包含旋转运动的机械装置）中非常重要的零件，在日常生活、工业生产以及国防建设等各个领域中的应用极为广泛。滚动轴承的结构虽然看似简单，实际构造却十分精密，制造工艺相当复杂，对安装维护有很高的要求。滚动轴承由于通常还起到支撑作用，所以对整个机械装置的运行状态有非常重要的影响。因此，对滚动轴承进行状态监测与故障诊断是机械设备维护工作中的重要内容之一。

1.1.1 滚动轴承在现代工业中的重要性

滚动轴承在现代工业中的重要性主要体现在以下几个方面：

(1) 在国民经济中 滚动轴承被称为“工业的关节”。轴承工业是机械工业的基础产业和骨干行业，其发展水平的高低，往往代表或制约着一个国家机械工业和其他相关产业的发展水平。

对滚动轴承的需求几乎覆盖了国民经济的各个行业，如航空航天、冶金、电力、矿山、机械、石油、煤炭、铁路、造纸等行业。可以这么说，只要有旋转的地方，就可能用到滚动轴承。

(2) 在国防事业中 滚动轴承是必备的军备物资。没有轴承，导弹不能升空、飞机不能上天、军舰不能出海、坦克不能出击……轴承在许多军事装备中，都是重要或者核心零部件。例如，在我国曾从某国引进的“海豚式”飞机发动机中，共计 30 余种零件列入该国重要零件清单内，其中 8 种轴承全部列于其中。

在战争中，轴承制造厂是敌对国列入重点打击的目标之一，第二次世界大战中的德国与苏联之间的战争，就是最为典型的案例。同时，战争还是轴承工业的“催化剂”或“催生剂”，例如日本轴承工业就是由于二战而迅速发展起来的。

冷战时期，轴承专用设备曾是西方国家对社会主义国家实行经济封锁的禁运物资之一。至今，很多轴承产品和技术仍被许多军事大国列入技术封锁的范畴。我国曾经实施的“三线建设”中，“大三线”和“小三线”轴承企业共计有十数家。

(3) 在技术领域方面 轴承工业是最早开展标准化活动并且实现国际化的现代工业领域之一。早在 1928 年, 国际标准化协会 ISA 成立时, 即设立了滚动轴承技术委员会(第 4 技术委员会) ISA -4。1947 年, 国际标准化组织 ISO 正式成立后, 滚动轴承仍是其中的第 4 技术委员会 ISO/TC4, 在国际标准化活动中一直扮演着重要的角色。

轴承钢是各种合金钢中技术指标要求最多而且最严的钢种。世界公认, 轴承钢的冶炼水平是一个国家冶金技术水平的标志。在我国, 在不锈钢、高速钢、齿轮钢、阀门钢和弹簧钢等诸多特殊钢中, 轴承钢是唯一需要颁发生产许可证的钢种。

滚动轴承工业是最早采用可靠性技术的工业领域。早在 1947 年, 就已在经典轴承寿命理论中提出了“基本额定寿命 L_{10} ”(即可靠度为 90% 的轴承寿命) 概念, 随后即在国际轴承界被广泛认同与采用。而在其他工业领域, 可靠性技术的应用则开始于 1960 年前后。例如, 在可靠性技术应用方面最负盛名的美国“阿波罗登月计划”起始于 1961 年, 而在 1962 年, 轴承工业就已将 L_{10} 寿命作为成熟技术成果, 并制定了 ISO 标准。

1.1.2 滚动轴承的技术特点

滚动轴承的基本特点是摩擦力小、精度高、刚度高及维护保养方便。滚动轴承的技术特点主要是由其应用领域的繁杂性和广泛性所决定的。

滚动轴承是最精密的机械产品之一, 其尺寸公差和旋转精度一般均是以微米级来设计和制造的。对于轴承钢球, 其形状偏差要求达到 $0.01\mu\text{m}$ 甚至更高精度。目前, 在计算机硬盘驱动器和一些高精度仪器仪表中, 已开始采用“纳米级”轴承。

滚动轴承的尺寸范围跨度较大。小者, 内径仅 0.6mm , 质量约为 0.002g 。大者, 外径已达 8m , 质量约为 32t 。微型轴承如同“微雕工艺品”, 特大型轴承则又是名副其实的“重型机械产品”。

滚动轴承的应用性能已达到高级化和超高级化的程度。例如: ①在高速性能上, 对轴承线速度的要求已超过 200m/s ; ②在耐温性能上, 用于火箭氢氧发动机的耐低温轴承需要耐受 -253℃ 的低温, 用于航空发动机的耐高温轴承目前承受的温度已达 650℃ , 预测将来的耐温需求要达到 $800\sim 1100\text{℃}$; ③在低摩擦性能上, 用于陀螺仪表中的轴承, 已要求摩擦力矩小于 $0.02\times 10^{-4}\text{N}\cdot\text{m}$; ④在低振动与低噪声性能上, 用于一些微型电机的轴承, 已要求其振动加速度极值低于 18dB , 用于空调器等家用电器中的轴承, 现已达所谓的“超静音”水平; ⑤在润滑性能上, 很多场合均要求一次性“终身润滑”, 例如人造卫星在太空中数年的运行期间, 不能对轴承进行再润滑; ⑥在长寿命和高可靠性上, 通用轴承已开始使用“无限寿命”这一新概念, 专用轴承已追求与配套主机的“终身寿命”和大修期内的“零失效”, 可靠度也已由过去常规的 90% 提高到 95% 以上, 甚至高达 99% (军品轴承更要求高达 100%); ⑦在其他应用性能上, 如抗重载、耐冲击, 耐磨损、耐腐

蚀、抗辐射、防磁化等方面，也已达到相当高的水平。另外，滚动轴承在高新技术领域也扮演着十分重要的角色。例如，在工程陶瓷中，滚动轴承是结构陶瓷最具有应用前景的一类产品。陶瓷轴承现已应用到机床、汽车、地铁、航空、航天、化工等许多领域，其本身就属于新材料、新技术产品；在计算机中，硬盘驱动器转速已由过去的 7200r/min 提高至现在的 10000r/min 和 15000r/min，且磁道密度越来越密，如果没有轴承的高转速和高旋转精度（不可重复跳动已达几十纳米级），这是不可能实现的；还有智能轴承，装在 ABS 的汽车轮毂轴承单元以及其他各种轴承单元等。

因此，滚动轴承尽管从结构形式上看比较简单，但从实质上看，却是一种包含了复杂技术、综合技术甚至尖端技术的具有高技术含量的机械产品。

滚动轴承的技术特点和工作需求对滚动轴承的可靠性保障技术也提出了很高的要求。可靠性保障技术可以分为设计制造的保障技术和运行维护的保障技术。相对于设计制造技术而言，滚动轴承运行维护保障技术发展较慢。相比于滚动轴承本身的应用，滚动轴承状态监测与故障诊断技术的应用在深度和广度上都有很大的差距。其主要原因在于，受限于滚动轴承本身和工作环境的特点，某些应用条件下滚动轴承的状态监测与故障诊断技术仍然面临着很大的挑战。例如：在对微小轴承的状态监测中，选择何种传感器是一件很难的事情；对于低速重载轴承的状态监测，传统的信号采集和信号处理方法都难以适用。

1.1.3 滚动轴承故障诊断的必要性和重要性

1. 滚动轴承的主要失效形式及工作寿命的离散性

滚动轴承故障，或滚动轴承的失效，从狭义上说，是指其不能继续担当预期的任务；从广义上说，还包含滚动轴承虽仍可维持运行，但其零件已经出现早期“病变”或整体运行性能出现劣化和降阶。

滚动轴承的失效形式有很多，主要失效形式有以下几种：

1) 疲劳点蚀。滚动轴承在载荷作用下，滚动体与内、外圈滚道之间将产生接触应力。轴承转动时，接触应力是循环变化的，当工作若干时间以后，滚动体或滚道的局部表层材料脱落，导致轴承运转时产生振动和噪声加剧而失效。

2) 塑性变形。当轴承的转速很低或间歇摆动时，轴承不会发生疲劳点蚀，此时轴承失效是因承受过大的载荷（称为静载荷）或冲击载荷，使滚动体或内、外圈滚道上出现大的塑性变形，形成不均匀的凹坑，从而加大轴承的摩擦力矩，振动和噪声增加，运动精度降低。

3) 磨粒磨损、黏着磨损。在轴承组合设计时，轴承处均设有密封装置。但在多尘条件下工作的轴承，外界的尘土、杂质仍会侵入到轴承内，使滚动体与滚道表面产生磨粒磨损。如果润滑不良，滚动轴承内有滑动的摩擦表面，还会产生黏着磨损，轴承转速越高，黏着磨损越严重。经磨损后，轴承游隙加大，运动精度降低，振动和噪声增加。

不同的失效形式下,对滚动轴承的寿命有不同的计算方式。对于转速较高($n \geq 10r/min$)的轴承,疲劳点蚀是其主要的失效形式,轴承应进行疲劳寿命计算;对于转速较低($n < 10r/min$)或摆动的轴承,轴承承载能力取决于所允许的塑性变形,寿命应按静强度进行计算。对高转速轴承,因其会发生黏着磨损,除应进行疲劳寿命计算外,还应校核极限转速。

疲劳寿命是滚动轴承最常使用、也是最重要的性能指标之一,通常作为更换轴承的主要依据之一。疲劳寿命是指在润滑充分且其他使用条件正常的情况下,轴承工作到滚动工作表面出现疲劳剥落为止而累计的工作小时数或运转的总转数,以 10^6 转计(对单个轴承运转的总转数而言)。滚动轴承的疲劳寿命,即使是同样尺寸、结构、材料、热处理、加工方法的同一批轴承,在同一条件下运转,也是非常离散的,最长与最短的寿命可能相差数十倍甚至百倍。试验研究得出,寿命分布服从一定的统计规律,要用数理统计方法处理数据,以计算在一定的损坏概率下的轴承寿命。额定疲劳寿命是指同一型号的一批轴承,在同一条件下运转,其中90%的轴承能够不出现疲劳剥落的累计运转总转数,以 10^6 转计,或在一定旋转速度下的累计工作小时数,记作 L_{10} 。

滚动轴承实际疲劳寿命的离散性以及对其工况的依赖性,决定了对滚动轴承实施状态监测及预知维修的必要性和重要性。通过有效的设备状态监测与故障诊断技术,可以准确评估滚动轴承的实际工作状态,预测轴承的服役寿命,有效延长轴承的服役时间,减少不必要的停机维修,从而提高经济效益。

2. 设备故障诊断技术的基本概念

设备状态监测与故障诊断技术是一种了解和掌握设备在使用过程中的状态,确定其整体或局部是否正常,早期发现故障及查明原因,并能预报故障发展趋势的技术。设备故障诊断技术是近几十年发展起来的一门新学科,也是适应工程实际需要而形成的各学科交叉的综合学科。

设备故障诊断的历史和人类对设备的维修方式紧紧相连。在工业革命后相当长的时期内,由于当时生产规模的限制,设备的技术水平和复杂程度都较低,设备的利用率和维修费用问题没有引起人们的重视,人类对设备的维修方式基本上是事后维修,即设备运行出现问题之后再行故障分析和维护。20世纪以后,由于大生产的发展,尤其是流水线生产方式的出现,设备本身技术水平和复杂程度都大大提高,设备故障对生产影响显著增加。为了保障设备运行的可靠性,出现了定期维修,即根据设备故障维修结果和对设备故障的统计分析,确定设备的维修间隔,到达维修时间后,无论设备工作状态如何,都进行检修,以便在事故发生之前就对故障隐患加以处理。二战之后,大约在20世纪60年代,美国军方意识到定期维修的一系列弊病,开始变定期维修为预知维修,即在设备正常运行过程中就开始进行监护,以发现潜在的故障因素,及早采取措施,防止突发性故障的产生。军方的这种主动维修方式,不仅大大避免了灾难性的设备故障,而且避免了失修和过剩维修,

经济效益十分显著。这种主动维修、精确维修的方式很快被其他行业所效仿，设备故障诊断技术迅速发展起来。

3. 开展滚动轴承故障诊断的目的和意义

滚动轴承是各种机械装置中应用最广泛的一种通用机械部件，其运行状态是否正常往往直接影响到整台机器的性能（包括精度、可靠性及寿命等）。滚动轴承的地位独特而重要，从而决定了滚动轴承一旦出现故障，必然导致机组瘫痪，从而造成重大的经济损失。例如，铁路部门机车车辆的牵引电动机、车轴轴箱轴承，一旦发生故障，轻者堵塞线路，造成很多列车中断运行；重者车翻人亡，造成经济和商业形象损失惨重。1995年12月14日，美国CNSE3号货运列车因其机车牵引电动机电枢轴承突然发生重大故障而导致脱轨。担当该次列车牵引任务的CR6588号机车（C30-7A）的2号牵引电动机电枢轴承发生故障并抱死，从而造成速度为72km/h的机车和54辆货车脱轨。1997年4月1日我国铁路主要干线列车全面提速，国内某机务段担任京广线武昌至郴州区段691km的旅客列车牵引任务，其速度高达118km/h。武郴区段曲线多，半径小，而新的牵引机型是在构造速度为100 km/h的原有机车的基础上改变传动比的升级产品，其转向架结构参数、车体与转向架连接方式均未改变。因此提速之后，机车运行品质恶化，摇头振动和蛇行运动剧烈，仅仅运行3个月，就开始出现轴箱轴承烧损故障。在接续的3个月中，因滚动轴承烧损连续发生8起机破事故，造成铁路运输频繁中断，不仅造成了巨大的经济损失，同时，也严重损害了铁路服务的形象。2005年1月，国内某钢厂粗轧机滚动轴承损坏，造成生产线非计划停产检修48h，直接经济损失超过3000万元。虽然滚动轴承自身的价值不一定很高，但因滚动轴承失效而导致生产线或整个装备无法正常工作，进而造成的经济损失常常是巨大的。因此，对滚动轴承实施状态监测和故障诊断有着重要的意义。

与别的机械零部件相比，滚动轴承有一个很大的特点，即寿命离散性很大、对工况的依赖性很大。在实际使用中会出现这样一种情况，同一批轴承中，有的轴承已大大超过设计寿命而依然完好地工作，而有的轴承远未达到设计寿命就出现各种故障。所以，如果按照设计寿命对轴承进行定期维修，则会出现以下情形：一方面，对超过设计寿命而完好工作的轴承拆下来进行报废处理，这不但会造成浪费，同时还会因设备的拆装造成设备故障隐患；另一方面，未达到设计寿命而出故障的轴承会使得机械在轴承出现故障后到定期维修拆下前这段时间内工作精度下降，甚至未到定期维修时间就出现严重故障，导致整个机械出现严重事故。由此看来，对重要用途的轴承来说，定时维修是很不科学的，应进行状态监测与故障诊断。改传统的定期维修为视情维修或预知维修，这不但可以防止机械工作精度下降，减少或杜绝事故发生，而且可以最大限度地发挥轴承的工作潜力，节约开支。因此，滚动轴承的状态监测与故障诊断引起了国内外有关部门的重视。

滚动轴承故障诊断是机械设备系统或装置维修的重要一环，最终目的也不外乎

“以最少的投入，获得系统或装置的最长有效运行期限”。具体而言应是：①防止突发故障（即事故），保证装置可靠运行；②防止渐变性故障（即性能过度劣化），保证装置预期的精度与效率；③按实际工作状态维修，避免“过剩维修”及“欠缺维修”，降低维修成本、事故损失成本，提高装置利用率。

1.2 滚动轴承故障诊断技术综述

1.2.1 滚动轴承故障诊断的基本内容简介

1. 滚动轴承故障诊断技术的基本概念

滚动轴承故障诊断技术即设备故障诊断技术在滚动轴承诊断领域里的具体运用，是指在装置不解体、不停机的情况下，通过测量相关信息参数，掌握滚动轴承运行情况，识别滚动轴承状态（正常、异常，部位，原因等），并结合其质量变化规律，采取预防性措施，维持滚动轴承可靠运行，防止事故发生，提高整体设备的利用率。

2. 滚动轴承状态监测与故障诊断的区别与联系

“监测”一词本身的含义是指为了特殊的目的而进行的注视、观察与校核。滚动轴承的状态监测是利用各种传感器，对反映其运行状态的物理、化学等参量进行检测，从而判断其是否处于正常状态。监测结果不需要做更进一步的分析和处理，而是要用有限的几个指标就能确定滚动轴承的服役状态（例如当特征参数小于允许值时便认为是正常，否则为异常；以特征参数超过允许值多少表示故障严重程度；当特征参数达到某一设定值或极限值时就要停机检修等）。状态监测过程有时也被称为简易诊断。由此可见，状态监测与故障诊断是相互关联的。

“诊断”原是医学名词。对滚动轴承进行故障诊断，是技术人员根据状态监测所得到的反映滚动轴承运行状态的各测量值及其运算处理结果所提供的信息，用所掌握的知识及经验进行推理判断，找出滚动轴承故障的原因、部位及严重程度，从而提出对滚动轴承维护的处理意见。故障诊断不仅要检查出滚动轴承是否发生了故障，还要对滚动轴承发生故障的部位，产生故障的原因、性质和程度等做出正确的判断，即要做出精密诊断。故障诊断人员不仅要了解监测、诊断系统，而且对滚动轴承及其所属整套机械装置的结构、特性、动态过程、故障机理及发生故障后的维修、管理工作等更要有比较深入的了解。从这一角度来看，故障诊断和状态监测是有区别的。

状态监测与故障诊断技术两者是相辅相成、相互促进、相互发展的。一方面，诊断是目的，监测是手段。两者相互联系，又有各自的侧重点。以对滚动轴承的温度监测为例，状态监测的任务是观测轴承温度变化，若超过报警阈值，就提示轴承状态异常，而故障诊断的任务是要确定轴承温度升高的原因、部位及严重程度（即对设备功能和寿命的影响程度）。另一方面，状态监测是故障诊断的基础和前