



国际机械工程先进技术译丛

滚动轴承分析

(原书第5版)：第1卷

轴承技术的基本概念

Essential Concepts of Bearing Technology

(美) T.A.Harris, M.N.Kotzalas 著
罗继伟 马伟 等译



英文原版
包含大量例题和
多个数据表格

3.33

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



TH133.33
H023

54

国际机械工程先进技术译丛

滚动轴承分析(原书第5版)

第1卷

轴承技术的基本概念

(美)T. A. Harris, M. N. Kotzalas 著
罗继伟 马伟 杨咸启 罗天宇 译



机械工业出版社

TH133.33
H023

滚动轴承分析(第五版)分为两卷。本卷为基本概念卷,内容共14章,包括滚动轴承的类型、宏观几何学、配合与游隙、载荷与速度、应力与变形、位移与预载荷、摩擦力矩、疲劳寿命、润滑、材料、振动与噪声及工况监测等。

本书可供工程技术人员、设计与研究人员、大专院校师生阅读。

Rolling Bearing Analysis FIFTH EDITION: Essential Concepts of Bearing Technology/by Tedric A. Harris Michael N. Kotzalas/ISBN: 978-0-8493-7183-7 Copyright© 2007 by CRC Press.

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC. All right reserved.

China Machine Press is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese(Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2008-2960

图书在版编目(CIP)数据

滚动轴承分析:原书第5版.第1卷,轴承技术的基本概念/
(美)哈里斯(T. A.)等著;罗继伟等译. —北京:机械工业出版社,
2009.10

(国际机械工程先进技术译丛)

ISBN 978-7-111-27982-2

I. 滚… II. ①哈…②罗… III. 滚动轴承 IV. TH133.33

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第139196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:孔劲 责任编辑:郑铨 版式设计:霍永明

责任校对:刘志文 封面设计:鞠杨 责任印制:李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2010年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·22印张·546千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-27982-2

ISBN 978-7-89451-171-3(光盘)

定价:79.00元(含1CD)

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

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

译丛序言

一、制造技术长盛永恒

先进制造技术是20世纪80年代提出的，由机械制造技术发展而来。通常可以认为它是将机械、电子、信息、材料、能源和管理等方面的技术，进行交叉、融合和集成，综合应用于产品全生命周期的制造全过程，包括市场需求、产品设计、工艺设计、加工装配、检测、销售、使用、维修、报废处理、回收利用等，以实现优质、敏捷、高效、低耗、清洁生产，快速响应市场的需求。因此，当前的先进制造技术是以产品为中心，以光机电一体化机械制造技术为主体，以广义制造为手段，具有先进性和时代感。

制造技术是一个永恒的主题，与社会发展密切相关，是设想、概念、科学技术物化的基础和手段，是所有工业的支柱，是国家经济与国防实力的体现，是国家工业化的关键。现代制造技术是当前世界各国研究和发展的主题，特别是在市场经济高度发展的今天，它更占有十分重要的地位。

信息技术的发展并引入到制造技术，使制造技术产生了革命性的变化，出现了制造系统和制造科学。制造系统由物质流、能量流和信息流组成，物质流是本质，能量流是动力，信息流是控制；制造技术与系统论、方法论、信息论、控制论和协同论相结合就形成了新的制造学科。

制造技术的覆盖面极广，涉及到机械、电子、计算机、冶金、建筑、水利、电子、运载、农业以及化学、物理学、材料学、管理科学等领域。各个行业都需要制造业的支持，制造技术既有普遍性、基础性的一面，又有特殊性、专业性的一面，制造技术具有共性，又有个性。

我国的制造业涉及以下三方面的领域：

- 机械、电子制造业，包括机床、专用设备、交通运输工具、机械装备、电子通信设备、仪器等；
- 资源加工工业，包括石油化工、化学纤维、橡胶、塑料等；
- 轻纺工业，包括服装、纺织、皮革、印刷等。

目前世界先进制造技术沿着全球化、绿色化、高技术化、信息化、个性化和服务化、集群化六个方面发展，在加工技术上主要有超精密加工技术、纳米加工技术、数控加工技术、极限加工技术、绿色加工技术等，在制造模式上主要有自动化、集成化、柔性化、敏捷化、虚拟化、网络化、智能化、协作化和绿色化等。

二、图书交流源远流长

近年来，国际间的交流与合作对制造业领域的发展、技术进步及重大关键技术的突破起到了积极的促进作用，制造业科技人员需要及时了解国外相关技术领域的最新发展状况、成果取得情况及先进技术应用情况等。

必须看到，我国制造业与工业发达国家相比，仍存在较大差距。因此必须加强原始创新，在实践中继承和创新，学习国外的先进制造技术和经验，提高自主创新能力，形成自己

的创新体系。

国家、地区间的学术、技术交流已有很长的历史,可以追溯到唐朝甚至更远一些,唐玄奘去印度取经可以说是一段典型的图书交流佳话。图书资料是一种传统、永恒、有效的学术、技术交流载体,早在20世纪初期,我国清代学者严复就翻译了英国学者赫胥黎所著的《天演论》,其后学者周建人翻译了英国学者达尔文所著的《物种起源》,对我国自然科学的发展起到了很大的推动作用。

图书是一种信息载体,图书是一个海洋,虽然现在已有网络、光盘、计算机等信息传输和储存手段,但图书更具有广泛性、适应性、系统性、持久性和经济性,看书总比在计算机上看资料更方便,不同层次的要求可以参考不同层次的图书,不同职业的人员可以参考不同类型的技术图书,同时它具有比较长期的参考价值和收藏价值。当然,技术图书的交流具有时间上的滞后性,不够及时,翻译的质量也是个关键问题,需要及时、快速、高质量的出版工作支持。

机械工业出版社希望能够在先进制造技术的引进、消化、吸收、创新方面为广大读者作出贡献,为我国的制造业科技人员引进、纳新国外先进制造技术的出版资源,翻译出版国际上优秀的制造业先进技术著作,从而能够提升我国制造业的自主创新能力,引导和推进科研与实践水平不断进步。

三、选择严谨质高面广

1) 精品重点高质 本套丛书作为我社的精品重点书,在内容、编辑、装帧设计等方面追求高质量,力求为读者奉献一套高品质的丛书。

2) 专家选择把关 本套丛书的选书、翻译工作均由国内相关专业的专家、教授、工程技术人员承担,充分保证了内容的先进性、适用性和翻译质量。

3) 引纳地区广泛 主要从制造业比较发达的国家引进一系列先进制造技术图书,组成一套“国际机械工程先进技术译丛”。当然其他国家的优秀制造科技图书也在选择之内。

4) 内容先进丰富 在内容上应具有先进性、经典性、广泛性,应能代表相关专业的技术前沿,对生产实践有较强的指导、借鉴作用。本套丛书尽量涵盖制造业各行业,例如机械、材料、能源等,既包括对传统技术的改进,又包括新的设计方法、制造工艺等技术。

5) 读者层次面广 面对的读者对象主要是制造业企业、科研院所的专家、研究人员和工程技术人员,高等院校的教师和学生,可以按照不同层次和水平要求各取所需。

四、衷心感谢不吝指教

首先要感谢许多积极热心支持出版“国际机械工程先进技术译丛”的专家学者,积极推荐国外相关优秀图书,仔细评审外文原版书,推荐评审和翻译的知名专家,特别要感谢承担翻译工作的译者,对各位专家学者所付出的辛勤劳动表示深切敬意,同时要感谢国外各家出版社版权工作人员的热心支持。

本套丛书希望能对广大读者的工作提供切实的帮助,欢迎广大读者不吝指教,提出宝贵意见和建议。

机械工业出版社

前 言

球轴承和滚子轴承统称为滚动轴承，它们通常用于机械部件中，在诸如自行车、旱冰鞋和电动机等简单的商业器械中，被用来承受轴的运动或是绕轴运动。它们还用于复杂的机械，如航空发动机、轧机、牙钻、陀螺仪和动力传输装置等。大约在1940年之前，滚动轴承的设计和應用更多侧重于工艺而不是科学。1945年以后，以第二次世界大战结束和开创原子时代为标志，科学的进步正以爆炸式的方式发生。1958年标志着太空遨游时代的开始，此后工程装备对滚动轴承的需求与日俱增。为了确定滚动轴承在现代工程应用中的有效性，就必须对这些轴承在不同的而且往往是极其苛刻的工作条件下的行为有深刻的理解。

在轴承制造商的产品样本中介绍了关于滚动轴承性能的大量信息和数据。这些数据大部分带有经验性质，它们来源于大轴承制造公司，或者更多是较小轴承公司的产品实验以及各种标准出版物上的信息，例如，美国国家标准化协会(ANSI)、德国标准化协会(DIN)、国际标准化组织(ISO)等等。这些数据仅适用于中低转速、简单载荷和正常的工作温度等这样的应用条件。当超过这些应用范围时，为了评估轴承的性能，就必须回到滚动轴承中发生的集中接触下的滚动和滑动等基本问题上来。

A. Palmgren 曾经担任 SKF 公司航空部技术主任多年，他的《球和滚子轴承工程》是关于滚动轴承最早的著作之一。该书比早先的其他著作更完整地解释了滚动轴承疲劳寿命的概念。瑞典哥得堡查默斯技术学院的机械工程教授 Palmgren 和 G. Lundberg 提出了计算滚动轴承疲劳寿命的理论和公式，它们构成了现行的国家标准和国际标准的基础。另外，A. B. Jones 的著作《应力和变形分析》对静载荷作用下的球轴承给出了很好的分析。Jones 曾在很多技术部门任过职，比如通用汽车公司新成立的球轴承事业部、马林-洛克威尔公司和法夫利尔球轴承公司等，他还担任过咨询工程师，并且是第一批使用数值计算机来分析球和滚子轴承以及轴-轴承-轴承座系统性能的人之一。其他关于滚动轴承的早期文献大部分是使用方法的经验介绍。

1960年以后，大量的研究转向滚动轴承和滚动接触。扫描透射电子显微镜、X射线衍射仪和数值计算机等现代实验设备的使用已经对滚动轴承运转中的力学、流体动力学、冶金学和化学现象有了更深入的了解。各种工程协会，例如美国机械工程师协会、机械工程师学会、摩擦和润滑工程师协会及日本机械工程师协会等已出版了大量重要的技术论文，其中包括特殊应用，如高速、重载、特殊内部设计和材料条件下滚动轴承的性能分析。在滚动轴承润滑机理和润滑剂流变学方面也引起了相当多的关注。尽管存在以上提到的文献，但提供可供参考的有关滚动轴承性能分析的统一的、最新的方法仍然是很有必要的，这也正是出版本书的目的。

为了实现这一目标，我们回顾了涵盖滚动轴承性能及其有关材料和润滑的相当数量的技术论文和著作。包含在本书中的概念和数学表达方式在内容上已做了压缩和简化，以便于能够迅速和容易理解。但这并不能说本书提供了关于滚动轴承的完整的参考书目，仅仅是对实际分析有用的资料才在参考文献中列出。

《滚动轴承分析》第5版的目的是理解滚动轴承设计与应用的原理。这一版的内容被分成了两卷:《轴承技术的基本概念》和《轴承技术的高等概念》。第1卷是针对仅要求对轴承有基本了解的用户,而第2卷能使用户在复杂的轴承应用中开展轴承性能分析,以解决应用中不同程度的需要。第1卷在内容上是独立的,而第2卷经常会涉及第1卷中说明的基本概念。

为了充实讨论,在一些章节中列举了计算实例。每一卷中的这些例题被记录在书后提供的光盘中。几个例题都涉及到209深沟球轴承、209圆柱滚子轴承、218角接触球轴承和22317球面滚子轴承。当读者阅读本书时,会查到屡次使用的每一种轴承的设计和性能数据。所有例题计算都采用米制或国际标准单位(SI)制(毫米、牛顿、秒、摄氏度等);但也在括弧中给出了英制单位的结果。在附录中以SI或米制单位以及英制单位给出了公式中使用的常数。

光盘中还包括摘自ABMA/ANSI标准的关于轴承尺寸、安装尺寸和额定寿命等许多表格。书中要参考这些表格,例如表CD2.1中的数据在很多例子中都会用到。

书中的内容横跨了很多学科,如几何学、弹性力学、静力学、动力学、流体动力学、统计学和传热学等。这样会用到很多数学符号,在某些情况下,同一个符号会用来表示不同的参数。为了避免混淆,在大多数章节的开头都列出了符号表。

由于这两卷书涉及多门学科,问题的处理在范围和方式上都有所不同。可行的办法是介绍问题的数学解答方法。另一方面,更实用的是用经验方法解决问题。在关于润滑、摩擦和疲劳寿命的章节中特别明显地使用了数学和经验技术相结合的方法。

正如前面所说,这里介绍的内容在其他出版物中大体上也存在。本书的目的是将同一领域的知识集中起来,以利于对这方面有需求的大学生和用户拓宽对滚动轴承技术领域和产品的理解。每一章结尾提供的参考文献可以使有兴趣的读者进一步了解详细内容。

自1995年以来,美国轴承制造商协会(ABMA)赞助了在宾夕法尼亚州立大学举办的滚动轴承技术短期讲座,每周一次的课程:“轴承技术的高等概念”就是以《滚动轴承分析》第3版和第4版中的内容为基础的。然而,部分学生相信,最初三天的课程:“轴承技术的基本概念”为成功完成高等课程提供了所需的充分的背景材料。现在“轴承技术的基本概念”已成为该讲座每年讲授的课程。

由于本书以前的几个版本曾与SKF公司有过长期的合作,因此第5版采用了SKF出版物中介绍过的几幅插图;对于这些插图,已适当注明了出处。此外也采用了其他一些滚动轴承制造商的照片和插图。非常感谢下列公司提供的图片资料:INA/FAG公司、NSK公司、NTN美国轴承公司和Timken公司,他们提供的图片也注明了出处。

在我担任宾夕法尼亚州立大学机械工程教授期间,有幸指导了M. N. Kotzalas的理学硕士和哲学博士学位的学位论文。他于1999年毕业之后便进入了Timken公司,在那里他极大地扩展了知识面并活跃在滚动轴承工程和研究领域。所以我非常满意地欢迎他作为第5版的合著者,他也为该书做出了积极的贡献。

作者简介

Tedric A. Harris 毕业于宾夕法尼亚州立大学机械工程专业，1953 年获理学学士学位，1954 年获理学硕士学位，毕业之后进入联合飞机公司汉弥尔顿标准部担任实验开发工程师。后来进入威斯丁豪斯电子公司贝迪原子能实验室担任分析设计工程师。1960 年加入位于宾夕法尼亚州费城的 SKF 工业公司，担任主管工程师。在 SKF 期间，在几个关键的管理岗位上任过职：分析服务经理；公用数据系统主任、特种轴承部总经理、产品技术与质量副总裁、SKF 摩擦学网站总裁、MRC 轴承(全美)工程与研究副总裁、位于瑞典哥得堡 SKF 总部的集团信息系统主任以及位于荷兰的工程与研究中心执行主任等。1991 年从 SKF 退休后被聘为宾夕法尼亚州立大学机械工程专业教授，在大学里讲授机械设计与摩擦学课程并从事滚动接触摩擦学领域的研究，直到 2001 年再次退休。近年来，还担任工程应用顾问和机械工程兼职教授，在大学的继续教育活动中为工程师们讲授轴承技术课程。

发表过 67 部技术著作，其中大部分是关于滚动轴承的。1965 年和 1968 年，获得了摩擦与润滑工程师协会的杰出技术论文奖，2001 年获得美国机械工程师协会(ASME)摩擦学分会杰出技术论文奖，2002 年又获得 ASME 的杰出研究奖。

积极参与许多技术组织的活动，包括抗摩轴承制造商协会(即现在的 ABMA)，ASME 摩擦学分会和 ASME 润滑研究委员会，1973 年被选为 ASME 的资深会员，还担任过 ASME 摩擦学分会以及摩擦学分会提名和监督委员会的主席，拥有三项美国专利。

Michael N. Kotzalas 毕业于宾夕法尼亚州立大学，1994 年获得理学学士学位，1997 年获理学硕士学位，1999 年获得哲学博士学位，三个学位都是机械工程专业。这期间，学习和研究的重点是滚动轴承性能分析，包括高加速度条件下球和圆柱滚子轴承的动力学模拟以及保养条件下轴承的剥落过程实验与模拟算法。

毕业后进入 Timken 公司从事研究与开发，最近在工业轴承部门工作，现在负责为工业轴承客户提供先进产品设计与应用方面的支持，更重要的是从事新产品和分析算法开发。在写这本书的同时，获得了两项圆柱滚子轴承设计专利。

工作之外，还参与工业协会的活动，作为美国机械工程师协会(ASME)会员，现在担任出版委员会主席，滚动轴承技术委员会委员，同时担任摩擦与润滑工程师协会(STLE)奖励委员会委员。已在专业权威杂志和一次会议论文集中发表过 10 篇论文，为此，2001 年获得 ASME 摩擦学分会最佳论文奖；2003 年和 2006 年获得 STLE 的霍德森奖。此外，还参与美国轴承制造商协会(ABMA)的工作，也是短期讲座“轴承技术的高等概念”的讲课教师之一。


译 者 序

新中国成立后，特别是改革开放以来，中国轴承工业已经取得了令世人瞩目的飞速发展，在滚动轴承技术领域已经形成了设计、应用、材料、工艺和实验的完整的研究开发体系，从事滚动轴承技术开发的人员也越来越多。为了满足应用领域日新月异的多元化要求以及更好地应对国际、国内日趋激烈的市场竞争，广大技术人员越来越迫切地感到需要掌握更多、更全面的滚动轴承理论和技术方面的知识。在这种背景下，出版《滚动轴承分析》中文版是一件很有意义的事情。

在过去的四十多年中，T. A. Harris 的《滚动轴承分析》已被公认为是滚动轴承技术领域的经典著作之一。该书涵盖了滚动轴承技术的各个方面，既有理论的深度，又有应用技术的广度。在 20 世纪 90 年代，洛阳轴承研究所曾将《滚动轴承分析》第 3 版作为对工程师进行培训的内部教材，取得了很好的效果。最新出版的该书第 5 版，不仅在内容上反映了滚动轴承理论和技术最新发展，而且在篇幅上也增加较多，由过去的 1 卷变成了现在的两卷，即第 1 卷：“轴承技术的基本概念”和第 2 卷：“轴承技术的高等概念”。这样能更好地满足技术人员不同层次的需求。为了压缩篇幅，原书所有的例题和有关图表被放进了随书附带的光盘之中，为了方便读者，我们将它放进了译著的每一章之后。

经作者的授权和机械工业出版社的委托，我有幸能够组织《滚动轴承分析》第 5 版的翻译工作。参加本书第 1 卷翻译的人员有：罗继伟(第 1 章、第 5 章、第 6 章)，马伟(第 10 章、第 11 章、第 12 章、第 13 章、第 14 章)，杨成启(第 8 章、第 9 章)，罗天宇(第 2 章、第 7 章)，孙北奇(第 3 章、第 4 章)，马新忠(第 1 章)。原书光盘中例题的翻译大部分由罗天宇完成(第 2 章、第 5 章、第 6 章、第 7 章、第 8 章、第 9 章)，其余由马伟(第 10 章、第 11 章、第 14 章)和孙北奇(第 3 章)完成。光盘中图表的文字翻译全部由罗天宇完成。全书由罗继伟校对、统稿。

特别要提到的是，江苏通用钢球滚子有限公司总经理施祥贵先生和山东东阿钢球集团有限公司董事长申长印先生对本书的翻译工作给予了大力支持，并资助了部分经费；此外，刘耀中、葛世东、吴素琴和古文辉等同志也给予了热情的帮助。在此，谨向他们表示衷心的感谢！

特别感谢美国 Timken 公司对本书中文版出版的大力资助(The Chinese edition is courtesy of The Timken Company )。

由于时间仓促以及译者的水平所限，译文中的错误和不当之处在所难免。欢迎广大读者批评指正，并与我们联系，以便在今后加以改进。

罗继伟

目 录

译丛序言

前言

作者简介

译者序

第 1 章 滚动轴承类型及应用	1
1.1 滚动轴承简介	1
1.2 球轴承	8
1.2.1 深沟球轴承	8
1.2.2 角接触球轴承	11
1.2.3 推力球轴承	14
1.3 滚子轴承	15
1.3.1 概述	15
1.3.2 向心滚子轴承	15
1.3.3 圆锥滚子轴承	17
1.3.4 调心滚子轴承	18
1.3.5 推力滚子轴承	20
1.4 直线运动轴承	22
1.5 特殊用途轴承	23
1.5.1 汽车轮毂轴承	23
1.5.2 凸轮随动轴承	24
1.5.3 航空蜗轮机及动力传输用轴承	25
1.6 结束语	26
参考文献	27
第 2 章 滚动轴承宏观几何学	28
符号表	28
2.1 概述	29
2.2 球轴承	29
2.2.1 吻合度	29
2.2.2 接触角和轴向游隙	30
2.2.3 自由偏转角	32
2.2.4 曲率与相对曲率	33
2.3 球面滚子轴承	35
2.3.1 节圆直径和游隙	35
2.3.2 接触角和轴向游隙	35

2.3.3 吻合度	35
2.3.4 曲率	35
2.4 向心圆柱滚子轴承	36
2.4.1 节圆直径, 径向游隙和轴向游隙	36
2.4.2 曲率	37
2.5 圆锥滚子轴承	37
2.5.1 节圆直径	37
2.5.2 轴向游隙	37
2.5.3 曲率	38
2.6 结束语	39
例题	39
表	44
参考文献	47
第3章 过盈配合与游隙	48
符号表	48
3.1 概述	48
3.2 行业、国家和国际标准	49
3.2.1 基本方法和范围	49
3.2.2 轴承套圈与轴和轴承座压配合的公差	49
3.3 过盈配合对游隙的影响	51
3.4 压力	54
3.5 温差膨胀	55
3.6 表面粗糙度的影响	55
3.7 结束语	56
例题	56
表	60
参考文献	85
第4章 轴承载荷与速度	86
符号表	86
4.1 概述	87
4.2 径向集中载荷	87
4.2.1 轴承载荷	87
4.2.2 齿轮载荷	88
4.2.3 带-轮和链传动载荷	88
4.2.4 摩擦轮传动	89
4.2.5 偏心转子产生的动力载荷	89
4.2.6 曲柄往复机构引起的动力载荷	90
4.3 径向集中载荷与力矩载荷	91
4.3.1 斜齿轮载荷	92

4.3.2 锥齿轮载荷	92
4.3.3 准双曲面齿轮	94
4.3.4 蜗轮蜗杆	94
4.4 轴的转速	95
4.5 分布载荷系统	96
4.6 结束语	97
参考文献	97
第5章 轴承作用载荷引起的球和滚子载荷	98
符号表	98
5.1 概述	98
5.2 球-滚道载荷	98
5.3 对称球面滚子-滚道载荷	99
5.4 圆锥和对称球面滚子-滚道以及滚子-挡边载荷	99
5.5 圆柱滚子-滚道载荷	100
5.5.1 径向受载	100
5.5.2 滚子歪斜力矩	101
5.6 结束语	102
例题	102
第6章 接触应力与变形	104
符号表	104
6.1 概述	105
6.2 弹性理论	106
6.3 表面应力与变形	108
6.4 次表面应力	114
6.5 表面切向应力的影响	121
6.6 接触类型	123
6.7 滚子端面与挡边接触应力	127
6.8 结束语	128
例题	128
参考文献	131
第7章 静载荷作用下轴承内部载荷分布	133
符号表	133
7.1 概述	134
7.2 载荷-位移关系	135
7.3 径向载荷下的轴承	135
7.4 推力载荷下的轴承	138
7.4.1 中心推力载荷	138
7.4.2 角接触球轴承	138
7.4.3 偏心推力载荷	140

7.5 径向和推力载荷联合作用下的轴承	144
7.5.1 单列轴承	144
7.5.2 双列轴承	146
7.6 结束语	148
例题	148
参考文献	156
第8章 轴承位移与预载荷	157
符号表	157
8.1 概述	158
8.2 刚性支承套圈的轴承位移	158
8.3 预载荷	159
8.3.1 轴向预载荷	159
8.3.2 径向预载荷	162
8.3.3 等弹性预载荷	163
8.4 球轴承极限推力载荷	163
8.4.1 一般考虑	163
8.4.2 使球超出挡边的推力载荷	164
8.4.3 产生过度接触应力的推力载荷	165
8.5 结束语	165
例题	166
参考文献	170
第9章 永久变形与轴承额定静载荷	171
符号表	171
9.1 概述	172
9.2 永久形变计算	172
9.3 轴承额定静载荷	174
9.4 当量静载荷	176
9.5 轴承零件的断裂	177
9.6 轴承许用静载荷	177
9.7 结束语	177
例题	178
表	179
参考文献	180
第10章 运动速度、摩擦力矩和功率损耗	181
符号表	181
10.1 概述	182
10.2 保持架速度	182
10.3 滚动体的转速	183
10.4 滚动轴承的摩擦	184

10.5 滚动轴承的摩擦力矩	184
10.5.1 球轴承	184
10.5.2 圆柱滚子轴承	186
10.5.3 调心滚子轴承	187
10.5.4 滚针轴承	189
10.5.5 圆锥滚子轴承	189
10.5.6 高速效应	190
10.6 轴承的功率损耗	190
10.7 额定热流速	190
10.8 结束语	191
例题	191
表	195
参考文献	197
第 11 章 疲劳寿命：基本理论和额定标准	198
符号表	198
11.1 概述	200
11.2 滚动接触疲劳	200
11.2.1 轴承运转前的材料微观结构	200
11.2.2 滚动引起的微观结构的变化	201
11.2.3 滚动引起的疲劳裂纹和滚道剥落	203
11.2.4 疲劳失效的初始应力和深度	204
11.3 疲劳寿命的离散性	205
11.4 Weibull 分布	206
11.5 滚动接触的额定动载荷和寿命	209
11.5.1 点接触	209
11.5.2 线接触	213
11.6 滚动轴承的疲劳寿命	214
11.6.1 点接触向心轴承	214
11.6.2 点接触推力轴承	223
11.6.3 线接触向心轴承	224
11.6.4 线接触推力轴承	228
11.6.5 点、线混合型接触的向心滚子轴承	228
11.6.6 点、线混合型接触的推力滚子轴承	231
11.7 额定载荷标准	231
11.8 变载荷对疲劳寿命的影响	233
11.9 摆动轴承的疲劳寿命	237
11.10 可靠性和疲劳寿命	238
11.11 结束语	240
例题	241

参考文献	249
第12章 润滑剂和润滑技术	251
12.1 概述	251
12.2 润滑剂的种类	251
12.2.1 润滑剂的选择	251
12.2.2 液体润滑剂	252
12.2.3 脂	252
12.2.4 聚合物润滑剂	252
12.2.5 固体润滑剂	252
12.3 液体润滑剂	252
12.3.1 液体润滑剂种类	252
12.3.2 基础油润滑剂	254
12.3.3 基础液体润滑剂的性能	254
12.3.4 润滑添加剂	256
12.4 润滑脂	256
12.4.1 润滑脂的功用	256
12.4.2 脂润滑的优点	257
12.4.3 润滑脂的类型	257
12.4.4 润滑脂的性能	258
12.5 固体润滑剂	259
12.6 润滑剂供给系统	260
12.6.1 油池	260
12.6.2 循环供油系统	260
12.6.3 油气/油雾润滑	261
12.6.4 脂润滑	261
12.6.5 聚合物润滑	262
12.7 密封	263
12.7.1 密封的作用	263
12.7.2 密封的类型	263
12.8 结束语	266
参考文献	266
第13章 轴承结构材料	267
13.1 概述	267
13.2 滚动轴承钢	267
13.2.1 滚动轴承零件用钢的种类	267
13.2.2 淬硬钢	267
13.2.3 表面淬硬钢	268
13.2.4 特种轴承钢	269
13.3 轴承钢的生产	270

13.3.1	冶炼方法	270
13.3.2	原材料	270
13.3.3	碱性电炉冶炼工艺	270
13.3.4	钢的真空脱气	271
13.3.5	钢包炉	271
13.3.6	生产高纯度钢的方法	271
13.3.7	轴承钢产品	272
13.3.8	钢的冶金学特性	273
13.4	加工方法对钢零件的影响	275
13.5	钢材的热处理	275
13.5.1	基本原理	275
13.5.2	时间—温度转变曲线	277
13.5.3	连续冷却转变图	277
13.5.4	淬透性	278
13.5.5	淬火方法	279
13.5.6	高碳铬轴承钢淬火	279
13.5.7	表面淬火	280
13.5.8	结构稳定性热处理	283
13.5.9	热处理对力学性能的影响	284
13.6	特殊轴承材料	286
13.7	保持架材料	288
13.7.1	材料类型	288
13.7.2	低碳钢	289
13.7.3	黄铜	289
13.7.4	青铜	289
13.7.5	聚合物材料	289
13.7.6	高温聚合物	292
13.8	密封材料	293
13.8.1	功能描述和说明	293
13.8.2	橡胶密封圈材料	293
13.9	轴承零件的表面处理	296
13.9.1	表面涂层概述	296
13.9.2	表面沉积工艺	297
13.9.3	减轻恶劣工作环境下损伤机制的表面处理技术	298
13.10	结束语	302
	参考文献	303
第14章	振动、噪声与工况监测	305
	符号表	305
14.1	概述	305

14.2 对振动或噪声敏感的应用场合	306
14.2.1 振动和噪声的意义	306
14.2.2 对噪声敏感的应用场合	306
14.2.3 对振动敏感的应用场合	307
14.3 轴承在机器振动中的作用	308
14.3.1 轴承对机器振动的影响	308
14.3.2 结构元件	308
14.3.3 可变弹性柔度	309
14.3.4 几何缺陷	309
14.3.5 波纹度模型	312
14.4 圆度和振动测试	313
14.4.1 波纹度测试	313
14.4.2 振动测试	314
14.4.3 轴承通过频率	315
14.4.4 振动与波纹度或其他缺陷的关系	316
14.5 机器中失效轴承的识别	316
14.6 现场维护	319
14.7 结束语	323
例题	323
参考文献	333
附录 部分轴承钢号对照表	335