



国家出版基金资助项目·“十二五”国家重点图书

航天科学与工程专著系列

DESIGN AND NUMERICAL ANALYSIS OF ROLLING
ELEMENT BEARING FOR EXTREME APPLICATIONS

滚动轴承的极限设计

● 王黎钦 著



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



国家出版基金资助项目·“十二五”

航天科学与工程专著系列

DESIGN AND NUMERICAL ANALYSIS OF ROLLING
ELEMENT BEARING FOR EXTREME APPLICATIONS

滚动轴承的极限设计

● 王黎钦 著



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书主要介绍面向环境和工况耦合条件下滚动轴承使用性能的设计分析、验证的相关理论和技术体系,分为3篇10章。第1篇涵盖第1章至第3章,介绍滚动轴承的基础知识,包括滚动轴承的基本结构形式与主要参数、滚动轴承的材料体系及应用和轴承的寿命计算方法;第2篇涵盖第4章至第8章,介绍面向滚动轴承极限设计分析的理论和方法,包括轴承的稳态性能、瞬态性能、热性能的量化指标分析理论体系,以及轴承工作时与环境、工况、安装结构的耦合效应;第3篇涵盖第9章和第10章,介绍滚动轴承的失效分析与试验技术,包括苛刻环境工况条件下的轴承失效模式及其分析方法,轴承的试验技术与方法。

本书是对作者长期从事苛刻环境与工况条件摩擦学基础研究、滚动轴承应用基础研究和特种轴承技术开发工作的部分总结和凝练,书中有关理论和案例都经历了工程应用检验,可供工程技术人员、研究人员、高等学校相关师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

滚动轴承的极限设计/王黎钦著. —哈尔滨:哈尔滨
工业大学出版社,2013.12
ISBN 978-7-5603-4526-0

I. ①滚… II. ①王… III. ①滚动轴承—极限设计法
IV. ①TH133.33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 300150 号

策划编辑 田 秋
责任编辑 李长波 田 秋
封面设计 高永利
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂
开 本 787mm×960mm 1/16 印张 25.5 字数 527 千字
版 次 2013 年 12 月第 1 版 2013 年 12 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5603-4526-0
定 价 49.80 元



(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

常用滚动轴承产品结构简单,由内圈、外圈、滚动体和保持架组成,俗称“四件套”,已经标准化和系列化生产,市售货架产品丰富,价格低廉。滚动轴承又是高度封装的重要工业基础部件,通常情况下,轴承成品零件不可拆分,因此非轴承专业人员只能通过轴承产品目录了解轴承的内径、外径、宽度、基本额定载荷等基本静态使用信息,对轴承内部的结构和性能、轴承的生产过程和核心技术所知甚少。然而滚动轴承确实是高端机械装备的核心部件,俗称机械装备的“关节”,与高技术装备和高新工程密切相关,不仅直接影响装备的高速、耐高低温、精度、寿命、可靠性、承载能力及长期工作稳定性等性能指标,是复杂重大装备的健康状态监测和视情维护的主要对象之一,而且还直接影响装备的排放和效率,对环境和能源利用效率产生直接影响。近年来,轴承技术制约高端装备技术发展的问題引起了行业和管理部门的重视,轴承相关研究取得了长足发展和进步,产业技术水平有了较大的提升。

但是在盾构、轨道交通、风电、机器人、高档数控装备、航空航天、兵器等领域高速发展的今天,与轴承相关的技术问题似乎越来越多,也越来越难。在盾构和风电装备领域,大型轴承的承载能力、精度保持能力、可靠润滑能力是核心技术之一;在机器人和高档数控装备领域,轻量化结构、高刚度、高精度、小惯量、大加速度启停等对轴承要求极为苛刻;在航空器、燃汽轮机、轨道交通装备、兵器上,轴承已经成为主要的限寿部件、系统可靠性的薄弱环节、极限转速和耐高温能力的直接限制件;在航天器领域,滚动轴承及其润滑成为机械系统精度及精度保持能力、运动和效率稳定性能等关键指标的制约因素之一。以致相关领域的专家经常会问,轴承结构如此简单,在复杂机械系统中所占价值比例极小,轴承问题何以如此严重?高性能轴承技术的“瓶颈”到底在哪里?

很显然,问题的严峻性被科技界、工程界和管理部门长期忽视了,且远不止于此。这是由轴承具有工业基础性的固有特征确定的,同时还由于行业技术进入容易、提升难的特点决定的。轴承问题长期存在,只不过随着工业化进程加快和装备产业升级换代,复杂装备对高端滚动轴承产品需求量越来越大,使资源分散、基础研究和积累薄弱、人才培养滞后等问题凸显出来。按照中国轴承工业协会的统计,就目前我国每年1 000多亿元的轴

承产品市场、1 600 多家以上的规模企业现状,且不说开展企业自主创新,即使是在价格和技术双重竞争压力下保持生存下去都十分困难。此外,与其他工业技术一样,滚动轴承的轻量化、集成化、智能化是其主要发展趋势,也是装备技术发展的迫切需求,发展面向使用工况的先进轴承综合配套技术已经是无法回避的问题。

科技界有一句名言,准确找到问题等于解决了问题的 90%,确实如此。有关轴承技术的“瓶颈”很难用简单的几何字精准概括。从几何上看,滚动轴承的结构相对简单,在某些场合,甚至没有内圈、外圈或者保持架。但几何结构远非轴承的全部,从轴承的安装位置和功能看,轴承是隔离轴系和机体、将轴承一个套圈上的载荷通过轴承内部的点接触(球轴承)或者线接触(滚子轴承)等摩擦面传递到另一个套圈上的唯一部件。换句话说,无论机械装备的功率容量多大,轴系承受多大的载荷、多高的转速、多恶劣的工况条件,轴承都必须在保证轴系精度和长期工作稳定性的前提下传递轴系的载荷和运动。因此不难理解,轴承内部的接触点或者接触线一旦出现磨损、发热、疲劳、腐蚀、胶合、卡滞或者咬死,就会导致装备功能失效;也不难理解,在轨道交通、风电、数控装备、航空航天、兵器等复杂装备不断向大型化、高速化、重载化、智能化方向发展的今天,要提高机械装备的转速、载荷、精度、寿命、稳定性和可靠性等关键指标,必须先提高轴承的极限转速、承载能力、精度、寿命和稳定性等极限性能指标,轴承技术必须先行发展。然而,提高意味着对现有技术的突破,这些轴承指标的提高直接取决于轴承的设计分析、精密制造、材料、表面工程、无损检测、试验、润滑、应用基础等技术的协调发展,缺一不可,需要机械、材料、化学、物理、力学、摩擦学等更大的学科基础发展作为支撑。

先进的滚动轴承技术应该覆盖轴承产品全生命周期内的各个阶段,覆盖先进完备的设计分析技术、高度专业化的制造技术和精准的应用技术,三者相互支撑,互为保障,不可分割,且呈螺旋式交替发展和提升。Hertz(赫兹)接触分析理论、Lundberg—Palmgren 基于次表层起源的滚动接触疲劳寿命理论(行业简称 L—P 寿命理论)和 D. Dowson 的摩擦副弹性流体动压润滑理论构成了滚动轴承现代设计分析技术的基础理论体系,基于这些理论体系建立起来的滚动轴承分析方程组具有强非线性和耦合特征,但计算机技术和数值计算技术的发展使得这些问题迎刃而解。经过长期基础研究积累和试验应用验证,国际上形成了多款滚动轴承的集成分析软件,但这些软件计算结果的准确性直接与材料、工艺和应用基础数据相关联,换言之,设计分析软件、设计验证技术和相应的基础数据都是一个企业乃至一个国家的轴承工业核心技术,是面向苛刻环境、极限工况进行轴承设计、验证和应用的必备基础手段。数控技术是现代轴承工业走向精准制造和小批量制造

的基本前提之一,也是高精度集成结构轴承制造的必要手段,包括材料冶金技术、数控加工、表面强化和热处理、高精度无损检测技术等,都大大推动了轴承技术的更新换代。例如双真空重熔(VIA VAR)技术使轴承钢的纯净度大幅度提高,但在次表层微观缺陷、夹杂和对疲劳寿命有害的元素含量大幅度减少、疲劳寿命大幅度增长的同时,轴承的失效模式也从基于次表层起源的疲劳失效模式逐步发展转变为表面起源的微疲劳失效模式,而且高速重载工况下还可能出现局部过热导致胶合失效,此时 L-P 寿命理论需要修正,表面加工损伤需要精心控制,无损检测方法和检测深度需要重新研究,表面强化影响行为需要重新研究和确认,这一切都会反过来促进轴承设计和制造技术的进一步发展。

轴承的应用技术长期被忽视是一个不争的事实,特别是在恶劣环境和极限工况条件下工作的轴承应用技术,既是面向工况开展轴承设计分析的输入条件,又是满足用户需求的输出,需要轴承专业人员、轴承应用人员和轴承配套主机专业人员的密切协作。大量高端滚动轴承失效分析和故障归零工作案例表明,工况不明,工况波动情况不明,多工况或者环境状态之间的转换关系不明,配置配合、安装、预紧不合适等导致的应用失效情况所占比例长期被低估,这些本应该在轴承技术开发的顶层设计中予以统筹量化考虑的因素也是高端轴承的技术瓶颈之一。

本书是对作者与所指导的研究生团队长期从事苛刻环境与工况条件摩擦学基础研究、滚动轴承应用基础研究和特种滚动轴承技术开发的阶段性总结,是多年来在航空航天国防和高端制造装备领域中有关轴承基础理论和技术、轴承极限失效形式分析、表面质量控制和轴承结构的极限设计方面研究成果的积累,科研工作得到了国家 973 课题(2013CB632305,2007CB607602)连续资助和国家自然科学基金项目(51375108)资助,书中有关理论、技术和案例都经历了工程应用检验。作者充分考虑到轴承的专业性和系统依赖性非常强的特点,在内容安排方面,本书共分 3 篇,分别介绍轴承结构和材料基础,轴承极限性能分析方法和典型参数影响规律,以及与轴承极限设计边界密切相关的轴承失效分析与试验技术,并用面向工况的极限设计理念将轴承关键技术指标的可设计性、可制造性、可检测性和使用受控性关联起来。此外,作者将本书书名定为“滚动轴承的极限设计”,是希望通过本书在传递先进技术和方法的同时,善意传递滚动轴承作为基础工业需要长期、系统的研究积累和转化的理念,借此鼓励自己团队和相关人员在长期艰苦致力于该领域研究和发展的同时应该承担和坚守的一份责任。

极限设计和分析难在精和准。推出本书的过程中,作者曾力图结合几个成功的案例总结和介绍一个完整的面向工况的滚动轴承极限设计准则,但终因涉及工况范围和技术

指标体系复杂、基础研究深度不足、基础数据严重缺失而不得不放弃,就好像在准备精确设计轴承时要用到一个设计公式,左边包含未知数的设计项都有了结果,而右端应该是包含材料技术、工艺能力、检测精度、表面状态和应用条件等信息的设计边界值依然不清。就此而言,本书提供的有关分析方法和软件是一个科学工具,所提供的案例是对读者的一个引导和提醒,如何用这个工具去精确设计和正确使用面向具体极限工况的轴承,还需要读者根据具体要求建立相应的准则和规范予以保证。

轴承技术还在发展,人们在轴承及其相关零部件的功能集成化、结构轻量化和智能化等方面正在取得令人鼓舞的进展。但有理由坚信,只要轴承的基本功能没有被取代,只要人们追求机械装备大功率容量、高速、高精度、重载、高可靠性、长寿命等关键指标的需求动力还在,轴承技术一定还会面临长期的极限性能不足的挑战,与极限设计相关的方法和技术的发展就不会也不应该停止。

参与本书整理工作的人员有毛宇泽、马欣新、张政、杨国凯、秦奋起、关键、郑德志,定稿过程中,哈尔滨工业大学航空宇航研究室的同事们和研究生提出了宝贵的意见和建议,使书稿结构更合理易读,在此对他们的辛勤劳动致以衷心感谢,同时对国家 973 课题和国家自然科学基金的资助一并表示感谢。

成稿之际,作者深知该书只是阶段性总结,深知提升轴承极限性能所涉及的相关学科范围非常广,书中一定存在疏漏和不足之处,对此还请广大读者批评指正。



2013 年 9 月于哈工大

目 录

第 1 篇 滚动轴承的基础知识

第 1 章 滚动轴承的基本结构形式与主要参数	1
1.1 滚动轴承概述	1
1.2 球轴承	2
1.2.1 深沟球轴承	2
1.2.2 角接触球轴承	5
1.2.3 三点、四点接触球轴承	6
1.3 滚子轴承	7
1.3.1 短圆柱滚子轴承	7
1.3.2 圆锥滚子轴承	9
1.3.3 圆柱滚子的边缘应力效应与修形滚子轴承	10
1.4 调心轴承	11
1.4.1 调心球轴承	12
1.4.2 调心滚子轴承	13
1.5 滚动轴承主要结构参数	14
1.5.1 滚动轴承的主要尺寸	14
1.5.2 轴承游隙与接触角	15
1.5.3 主曲率	18
1.6 滚动轴承的内部几何关系	20
1.6.1 沟道挡边高度	20
1.6.2 极限倾斜角	21
1.6.3 保持架偏移	21
1.6.4 密合度	22
参考文献	22
第 2 章 滚动轴承的材料体系及应用	24
2.1 概述	24

2.2	普通轴承钢	26
2.2.1	高碳铬轴承钢	26
2.2.2	渗碳轴承钢	27
2.2.3	不锈轴承钢	28
2.3	高温轴承钢	29
2.3.1	普通高温轴承钢 W9Cr4V2Mo	29
2.3.2	高性能高温轴承钢 8Cr4Mo4V	30
2.3.3	高温渗碳轴承钢 13Cr4Mo4Ni4VA	32
2.4	保持架材料	34
2.4.1	钢保持架材料	34
2.4.2	有色金属保持架材料	35
2.4.3	非金属保持架材料	37
2.5	表面处理技术	39
2.5.1	表面强化处理	39
2.5.2	表面自润滑处理	44
2.6	新型轴承材料	46
2.6.1	陶瓷材料	46
2.6.2	新型高强材料	48
2.6.3	新型碳-碳保持架材料	51
	参考文献	52
第3章	滚动轴承的寿命计算方法	56
3.1	基本额定寿命计算方法的对比分析	56
3.1.1	球轴承基本额定寿命计算方法	57
3.1.2	滚子轴承基本额定寿命计算方法	61
3.1.3	基本额定寿命计算方法的比较与分析	64
3.2	基于接触区应力分布的寿命修正计算方法	69
3.2.1	轴承内部载荷分布与套圈周向应力对寿命的影响	69
3.2.2	初始游隙对基本额定寿命的影响	71
3.2.3	过盈配合对基本额定寿命的影响	75
3.2.4	残余应力对基本额定寿命的影响	80
3.2.5	温度对基本额定寿命的影响	81
3.2.6	载荷及弯矩联合作用对基本额定寿命的影响	83
3.3	基于疲劳极限应力的寿命修正计算方法	86
3.3.1	基于应力-寿命关系的寿命修正计算方法	86

3.3.2 润滑对基本额定寿命的影响	89
3.3.3 污染对基本额定寿命的影响	93
3.3.4 高可靠度下额定寿命的修正算法	96
参考文献	97

第 2 篇 面向滚动轴承极限设计分析的理论和方法

第 4 章 滚动轴承稳态性能的数值分析	100
4.1 引言	100
4.2 滚动轴承的拟静力学分析	101
4.2.1 球轴承的拟静力学分析	101
4.2.2 圆柱滚子轴承的拟静力学分析	106
4.3 滚动轴承的拟动力学分析	114
4.3.1 球轴承拟动力学分析模型	114
4.3.2 高速球轴承动态性能的拟动力学分析结果	127
4.3.3 滚子轴承拟动力学分析模型	137
4.3.4 高速滚子轴承动态性能的拟动力学计算结果	144
参考文献	149
第 5 章 滚动轴承瞬态性能的数值分析	151
5.1 球轴承的动力学分析模型	151
5.1.1 球轴承动力学分析的基本假设及坐标系	151
5.1.2 球轴承内部零件相互作用模型	151
5.1.3 球轴承动力学方程及求解	163
5.2 高速球轴承的动力学行为分析	166
5.3 滚子轴承的动力学分析模型	170
5.3.1 滚子轴承动力学分析的基本假设及坐标系	170
5.3.2 滚子轴承内部零件相互作用模型	171
5.3.3 滚子轴承动力学方程及求解	179
5.4 高速滚子轴承的动力学行为分析	182
参考文献	189
第 6 章 滚动轴承—转子系统的耦合效应	190
6.1 滚动轴承—转子系统稳态动力学行为分析	190
6.1.1 Riccati 传递矩阵法基本理论	190
6.1.2 考虑轴承动刚度的转子系统动力学特性计算方法	193

6.1.3	滚动轴承支承的单转子系统动力学特性	195
6.1.4	滚动轴承支承的多转子系统动力学特性	197
6.2	滚动轴承—转子系统瞬态动力学行为分析	201
6.2.1	转子系统瞬态响应的计算方法	201
6.2.2	滚动轴承—转子系统瞬态响应整体计算法流程	204
6.2.3	载荷谱对转子系统的瞬态响应及其对轴承动态性能的影响	205
6.2.4	突加不平衡力对转子瞬态响应及其对轴承动态性能的影响	208
6.3	高速滚动轴承与转子系统的非线性振动与耦合效应分析	209
6.3.1	球轴承—转子系统的非线性振动	209
6.3.2	滚子轴承—转子系统的非线性振动	220
6.3.3	考虑轴承波纹度的非线性振动分析	225
6.3.4	刚性转子系统非线性振动对滚动轴承动态性能的影响	229
	参考文献	230
第7章	滚动轴承的热特性分析	232
7.1	滚动轴承的内部热源	232
7.1.1	轴承内部摩擦功耗的整体计算法	233
7.1.2	基于运动学动力学分析结果的轴承摩擦热局部计算法	234
7.1.3	整体法和局部法计算高速滚动轴承摩擦热的结果对比分析	240
7.2	滚动轴承的温度场及其分析方法	243
7.2.1	高速球轴承的温度场分析	245
7.2.2	高速圆柱滚子轴承的温度分析	249
7.3	高速滚动轴承的热影响分析	251
7.3.1	结构参数对轴承热影响的分析	252
7.3.2	工况条件对轴承热影响的分析	255
7.3.3	润滑条件对轴承热影响的分析	258
7.3.4	滚动轴承的瞬态温度场分析	259
	参考文献	267
第8章	高速滚动轴承的分析软件简介	271
8.1	滚动轴承的三维参数化建模	271
8.2	拟静力学分析软件	278
8.3	拟动力学分析软件	281
8.4	热特性分析软件	284
8.5	动力学分析软件	287
8.6	轴承—转子耦合分析软件	292

参考文献	304
------	-----

第 3 篇 滚动轴承的失效分析与试验技术

第 9 章 滚动轴承的失效模式及分析方法	306
9.1 接触疲劳失效	308
9.2 元件断裂	310
9.3 胶合失效	312
9.4 过量塑性变形	314
9.5 过量磨损	315
9.6 腐蚀失效	318
9.7 电蚀失效	318
9.8 卡伤、擦伤和烧伤失效	319
9.9 综合失效模式	320
9.10 滚动轴承失效分析方法	322
9.10.1 宏观分析	322
9.10.2 微观及几何分析	324
9.10.3 金相分析	327
9.10.4 工作条件分析	328
9.10.5 建立故障树	329
9.11 滚动轴承失效分析流程	332
9.11.1 轴承基础数据复查	332
9.11.2 相似性检查	333
9.11.3 复核复算	333
9.11.4 失效件及机理分析	334
9.11.5 重要轴承的故障复现	334
9.11.6 改进措施验证	335
9.11.7 失效分析报告	335
参考文献	335
第 10 章 滚动轴承的试验技术与方法	337
10.1 概述	337
10.2 轴承材料基础性能试验简介	338
10.3 润滑剂流变特性测试	339
10.3.1 润滑油拖动特性	340

10.3.2	润滑油高压流变特性·····	341
10.3.3	润滑脂流变特性·····	342
10.4	四球疲劳试验·····	343
10.4.1	四球疲劳试验机简介·····	343
10.4.2	氮化硅陶瓷球的疲劳试验结果与分析·····	344
10.5	球一棒疲劳试验·····	347
10.5.1	球一棒疲劳试验机简介·····	347
10.5.2	陶瓷球的抗污染能力试验·····	348
10.6	高速轴承材料胶合试验·····	350
10.6.1	航空发动机主轴轴承摩擦副胶合试验机设计·····	351
10.6.2	高速滑滚接触摩擦试验方法·····	356
10.6.3	M50 摩擦副高温润滑表面损伤行为·····	357
10.7	苛刻工况下滚动轴承的试验机试验·····	359
10.7.1	轴承试验机技术·····	360
10.7.2	国外先进航空轴承试验器介绍·····	366
10.7.3	国内典型高速轴承试验器·····	367
10.7.4	高速轴承性能试验·····	375
10.8	其他类型试验·····	381
10.8.1	启停试验·····	381
10.8.2	断油试验·····	381
10.8.3	滚动轴承的冲击载荷试验·····	382
	参考文献·····	383
	名词索引·····	385

第 1 篇 滚动轴承的基础知识

第 1 章 滚动轴承的基本结构形式与主要参数

1.1 滚动轴承概述

轴承是一种常见的机械零部件。当其他机械零部件在轴上产生相对运动时,轴承用来降低动力传递过程中的摩擦损耗和保持轴中心位置固定,是当代机械设备中一种举足轻重的核心零部件。

滚动轴承是将运转的轴与轴承座之间的滑动摩擦变为滚动摩擦,从而减少摩擦损失的一种精密的机械部件。常见的滚动轴承一般由外圈、内圈、滚动体和保持架四部分组成(图 1.1)。

- (1) 外圈 —— 装在轴承座孔内,随轴承座静止或转动,起支承作用。
 - (2) 内圈 —— 装在轴颈上,随轴转动或直线运动。
 - (3) 滚动体 —— 滚动轴承的核心承载元件,通常是球、滚子或滚针,其形状大小和数量直接影响滚动轴承的使用性能和寿命。
 - (4) 保持架 —— 将滚动体均匀隔开,避免滚动体之间相互摩擦。
- 相比滑动轴承,滚动轴承具有以下优点:

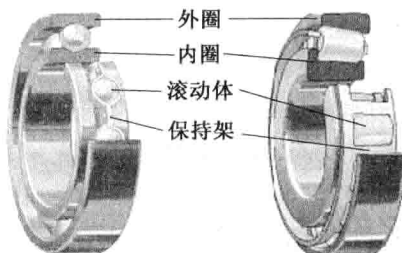


图 1.1 滚动轴承

- (1) 摩擦阻力小,功率消耗小,机械效率高,启动灵活。
- (2) 尺寸标准化,具有互换性,便于安装拆卸,维修方便。
- (3) 旋转精度高,转速高,磨损小,使用寿命长。
- (4) 部分轴承具有自动调心的性能,可以补偿轴线偏斜。
- (5) 适用于大批量生产,质量稳定可靠,生产效率高。
- (6) 启动摩擦力矩仅略高于转动摩擦力矩,传动摩擦力矩比流体动压轴承低得多,因此摩擦温升与功耗较低。

(7) 只需要少量的润滑剂便能正常运行,运行时能够长时间提供润滑剂。

同时,滚动轴承也有一些缺点:在高速运转或加工精度较低时有较大噪声,成本较高,以及会因为滚动接触表面的疲劳而失效。

从重载车轮轴和机床主轴到精密的钟表零件,很多场合都需要轴承。我国是世界上较早发明滚动轴承的国家之一,早在公元前 221 ~ 前 207 年秦朝时期,在今山西省永济县薛家崖村就有关于车轴轴承构造的记载。进入 20 世纪后,尤其是在 1960 年之后,得益于轴承钢的开发,滚动轴承的设计、制造水平飞速发展,轴承的性能、寿命和可靠性已有了巨大的提高,滚动轴承的设计分析方法随着计算机技术和计算方法的发展有了根本的变革。现在,轴承作为高度封装的工业基础部件,已经标准化、系列化生产;数控制造技术的发展也为特种非标滚动轴承产品的开发提供了便利条件和可行性。

滚动轴承种类繁多,可以有多种分类方法。按照滚动体类型分类,可以分为球轴承和滚子轴承,按照所承受的载荷方向分类,可以分为向心轴承和推力轴承等。因此在开始讨论轴承理论和应用分析之前,简要介绍常见的轴承类型及其基本结构与主要参数。

1.2 球 轴 承

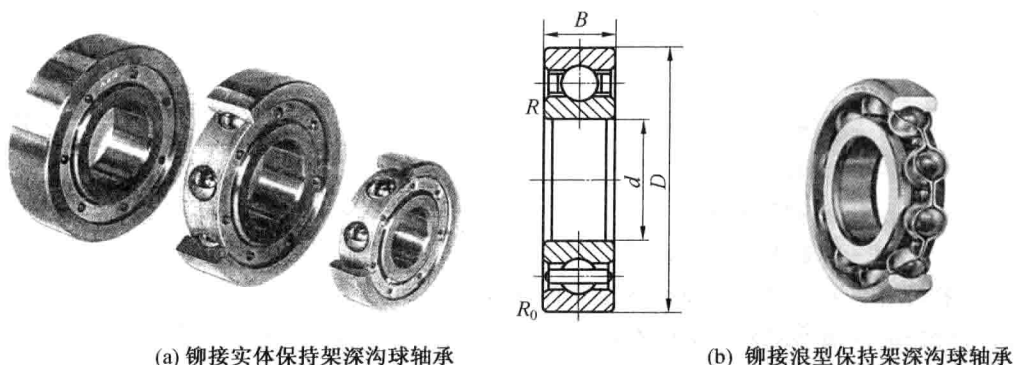
1.2.1 深沟球轴承

深沟球轴承是最常用的一类滚动轴承,它结构简单,使用方便,是生产批量最大、价格相对低廉、应用范围最广的一类滚动轴承(图 1.2)。

深沟球轴承具有以下主要特点:

- (1) 内外圈滚道都呈圆弧状深沟,沟道圆弧半径略大于球半径。
- (2) 主要用于承受径向载荷,也可承受一定的轴向载荷。当轴承的径向游隙加大时,可承受较大的轴向载荷,而且适用于高速旋转。轴承在外壳孔和轴相对倾斜 $8' \sim 16'$ 时,仍可正常工作,但由于施加了内部弯矩影响其使用寿命。在转速较高且不宜采用推力球轴承的情况下可用该类轴承承受纯轴向载荷。

(3) 摩擦系数小,适宜高速运转,特别在有轴向载荷的高速运转状态下,比推力轴承



(a) 铆接实体保持架深沟球轴承

(b) 铆接浪型保持架深沟球轴承

图 1.2 深沟球轴承(哈尔滨轴承集团公司)

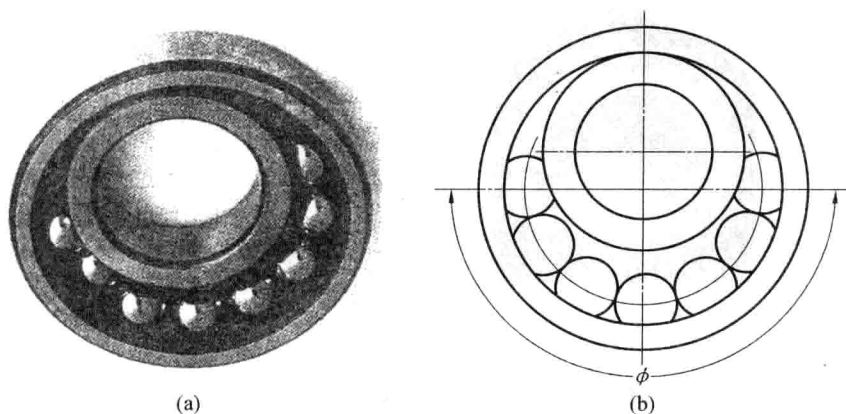
更合适。

(4) 结构简单,易于制造,易于达到较高的制造精度。

(5) 深沟球轴承一般采用一件由两部分合成的钢板冲压保持架,但大尺寸或高速轴承则采用实体保持架,这种保持架同冲压保持架一样由球引导,高速深沟球轴承的保持架通常由内圈或外圈挡边引导。

(6) 深沟球轴承的装配方法如图 1.3 所示,把保持架内圈与外圈偏心放置,把滚动体依次填入内外圈之间后,等间距分开,并将内圈推至与外圈同心的位置。装入的球数由装配角限制。球个数可以按如下公式估取,即

$$Z = \frac{93}{\arcsin \frac{D_w}{D_m}} + 1$$



(a)

(b)

图 1.3 深沟球轴承的装配方法

装配角与球数之间的估算关系为

$$\phi = 2(Z - 1) \arcsin \frac{D_w}{D_m} \quad (1.1)$$

式中 ϕ ——装配角；
 Z ——球数；
 D_w ——球的直径；
 D_m ——轴承的平均直径。

采用脂润滑的深沟球轴承可以带密封圈或防尘盖，这些组件可以防止润滑剂泄露以及污染物进入轴承内部。根据不同需要，密封圈和防尘盖有多种不同形式，如果润滑剂充分并能提供足够冷却，深沟球轴承可以在很高的转速下运转。

根据 ANSI 和 ISO 标准，深沟球轴承有多种不同尺寸系列，与尺寸相同的其他类型轴承比较，深沟球轴承摩擦系数小，振动与噪声也较低，极限转速高，精度高，是实际应用中首选的轴承类型。但是，该类轴承不耐冲击，不适应承受较重载荷。

为了增加深沟球的径向负载能力，发展了带有装球缺口的深沟球轴承，这种轴承在内外圈的一侧挡边上各加工了一个缺口，这样可以填装更多的球而不受装配角限制。带装球缺口的深沟球轴承结构如图 1.4 所示，内外圈的缺口相互对准构成装球的通道。由于滚道上有装球的缺口，这类轴承不适用于承受轴向载荷。通常不带保持架，称为装满球的向心轴承，这种轴承由于相邻钢球的滑动摩擦大，限制了轴承极限转速，因此发展了既带装球缺口又带保持架的深沟球轴承。除此之外，带装球缺口的深沟球轴承的其他特点与一般的深沟球轴承相似。

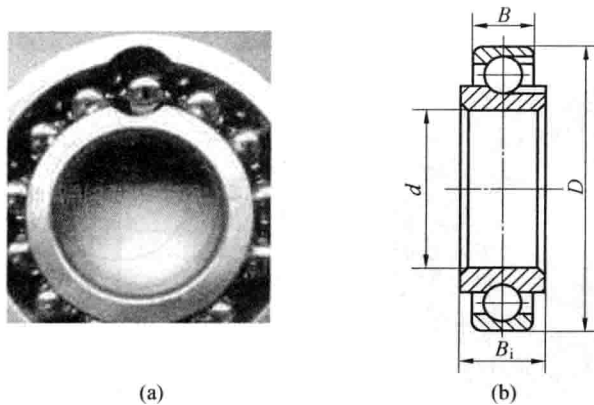


图 1.4 带装球缺口的深沟球轴承结构