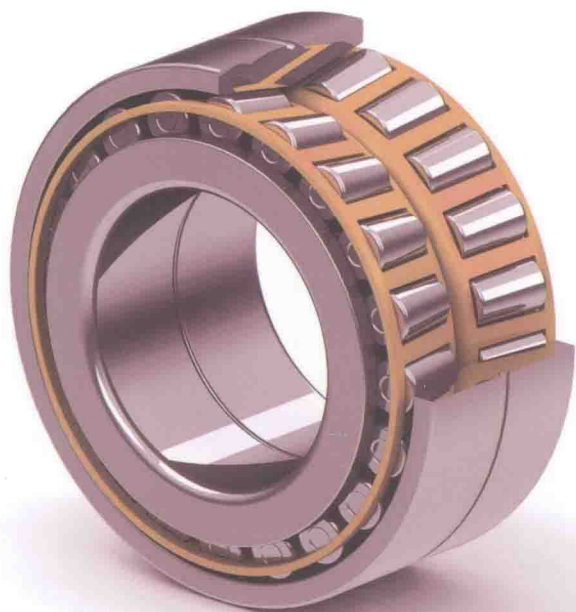




邓四二 贾群义 薛进学 编著

滚动轴承 设计原理

(第二版)



 中国标准出版社

滚动轴承设计原理

(第二版)

邓四二 贾群义 薛进学 编著

中国标准出版社

北京

内 容 简 介

本教材全面系统地叙述了滚动轴承的设计原理,内容包括滚动轴承基础知识、几何学、运动学、负荷分布、接触应力与变形、刚度、摩擦磨损和润滑、额定动负荷与疲劳寿命、寿命试验数据处理、额定静负荷、拟静力学分析方法、拟动力学分析方法和动力学分析方法等。

本教材可作为轴承专业本科生教材,也可作为从事轴承研究方向的研究生参考教材和高等理工院校有关师生的教学参考书,并可作为从事滚动轴承设计和制造的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

滚动轴承设计原理/邓四二,贾群义,薛进学编著.—2版.—
北京:中国标准出版社,2014.4
ISBN 978-7-5066-7484-3

I. 滚… II. ①邓…②贾…③薛… III. ①滚动轴承-
设计 IV. ①TH133.33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 014814 号

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100013)
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)
网址 www. spc. net. cn
总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235
读者服务部:(010)68523946
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 18 字数 318 千字
2014 年 4 月第二版 2014 年 4 月第三次印刷

*

定价 55.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107

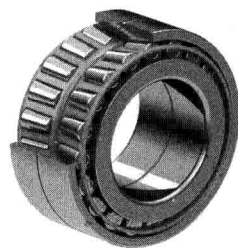


第二版前言

为适应滚动轴承技术的发展，第二版在第一版基础上，对第一章滚动轴承基础知识、第八章滚动轴承的额定动负荷和疲劳寿命这两章作了较大的修改。另外，结合编著者多年来从事滚动轴承设计理论研究成果，在第一版基础上，增加了第十二章高速圆柱滚子轴承动力学分析和第十三章高速圆柱滚子轴承保持架动态性能分析两方面的研究内容。

本书从轴承静力学分析、拟静力学分析、拟动力学分析和动力学分析四个方面较完整地介绍了滚动轴承性能分析方法，对滚动轴承设计有着指导性意义。

本书可作为轴承专业本科生教材，供从事滚动轴承设计和制造的工程技术人员参考，也可作为从事轴承研究方向的研究生参考教材和高等理工院校有关师生的教学参考书。

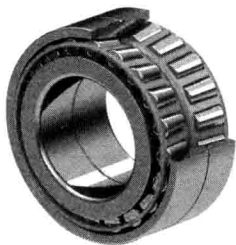


在本书第二版编著过程中，得到编著者的学生杨海生、崔永存、张文虎、胡光存、顾金芳、付金辉、孙朝阳、李猛、贾永川等人的帮助，在此一并表示深厚谢意。

限于水平，书中难免出现缺点错误，恳请读者指出。

编著者

2014年1月于洛阳

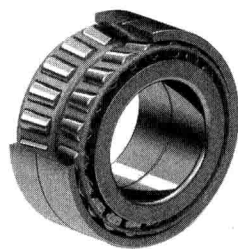


第一版前言

滚动轴承广泛地用于交通车辆、机床、纺织机械、矿山机械、建筑机械、飞机、船舶、航天器、机器人以及精密仪器、电子计算机、家用电器等各种各样的机器和装置中。滚动轴承是一种重要的机械零件。一套轴承的性能好坏会影响整个装置甚至整个自动生产线的工作。目前，随着现代化工业和科学技术的发展，对滚动轴承的承载能力、动态性能、高可靠性、高精度、高速高温和小型化、轻量化、组合化等提出了愈来愈高的要求。

滚动轴承虽是一种外形简单的零件，但它的设计原理和性能分析方法却十分复杂。因此，从事滚动轴承设计和制造的工程技术人员应该掌握滚动轴承的设计原理，才能迅速发展轴承的品种，提高轴承的性能，满足现代化工业和科学技术发展的需要。

本书是为滚动轴承专业编写的教材。书中



全面系统地叙述了滚动轴承的设计原理，内容包括滚动轴承基础知识、几何学、运动学、负荷分布、接触应力与变形、刚度、摩擦磨损和润滑、额定动负荷与疲劳寿命、寿命试验数据处理、额定静负荷、拟静力学分析方法和拟动力学分析方法等。本书可供从事滚动轴承设计和制造的工程技术人员参考，也可用作从事轴承研究方向的研究生参考教材和高等理工院校有关师生的教学参考书。

限于水平，书中难免出现错误之处，恳请读者指出。

邓四二 贾群义
2008年11月于洛阳

目 录

第一章 滚动轴承基础知识	1
第一节 滚动轴承的结构类型	1
第二节 滚动轴承代号	13
第三节 滚动轴承的精度	20
第四节 滚动轴承的径向游隙	20
第五节 滚动轴承材料	29
第六节 新旧标准代号对照	35
习题一	37
第二章 滚动轴承的几何学	38
第一节 滚动体与滚道的接触状态及密合度	38
第二节 接触点的主曲率	41
第三节 接触角与游隙	44
习题二	51
第三章 滚动轴承的运动学	52
第一节 概述	52
第二节 中低速轴承运动学简化计算	52
第三节 高速轴承运动学	57
习题三	64
第四章 滚动体受力分析	65
第一节 概述	65
第二节 滚动体静负荷	65
第三节 高速轴承惯性力及其影响	67
第四节 滚动体一般受力情况分析	72
习题四	74

第五章 滚动轴承中的负荷分布	75
第一节 概述	75
第二节 负荷与变形关系	75
第三节 受径向负荷的轴承	76
第四节 受轴向负荷的轴承	81
第五节 受径向和轴向联合负荷的轴承	85
第六节 受径向、轴向和力矩联合负荷的轴承	88
第七节 高速角接触球轴承负荷分布	91
第八节 高速圆柱滚子轴承负荷分布	95
第九节 柔性支承轴承负荷分布	96
习题五	99
第六章 滚动轴承接触应力和变形	100
第一节 概述	100
第二节 表面接触应力和变形计算	100
第三节 接触表面下的剪应力	106
第四节 滚子母线修缘及凸度计算	109
第五节 滚动轴承的变形和刚度	112
第六节 球轴承的极限轴向负荷	117
习题六	119
第七章 滚动轴承的摩擦磨损和润滑	121
第一节 概述	121
第二节 滚动轴承中摩擦的来源	121
第三节 滚动轴承摩擦力矩计算	129
第四节 滚动轴承中的磨损	133
第五节 弹性流体动力润滑理论在滚动轴承中的应用	136
习题七	143
第八章 滚动轴承的额定动负荷和疲劳寿命	145
第一节 概述	145
第二节 滚动轴承疲劳寿命的 Weibull 分布	146
第三节 滚动轴承额定动负荷和疲劳寿命的计算方法	150

第四节	滚动轴承额定寿命修正计算方法	183
第五节	滚动轴承疲劳寿命试验数据处理	188
习题八		195
第九章	滚动轴承的额定静负荷	196
第一节	概述	196
第二节	滚动轴承中塑性变形的计算	197
第三节	滚动轴承额定静负荷的计算	198
第四节	滚动轴承的当量静负荷	202
第五节	滚动轴承的许用静负荷	204
习题九		205
第十章	滚动轴承拟静力学分析方法	206
第一节	概述	206
第二节	高速角接触球轴承分析	206
第三节	高速圆柱滚子轴承分析	213
习题十		221
第十一章	角接触球轴承拟动力学分析	222
第一节	概述	222
第二节	研究对象	222
第三节	坐标系统的建立	223
第四节	角接触球轴承零件间的相互作用	225
第五节	角接触球轴承动力学方程	241
第十二章	高速圆柱滚子轴承动力学分析	245
第一节	概述	245
第二节	研究对象	246
第三节	轴承动力学分析坐标系的建立	246
第四节	圆柱滚子轴承零件间的相互作用	247
第五节	圆柱滚子轴承动力学方程	261

第十三章 高速圆柱滚子轴承保持架动态性能分析	264
第一节 概述	264
第二节 保持架动态特性分析	264
附录:本书所有习题用轴承型号的有关参数	272
参考文献	273

第一章 滚动轴承基础知识

第一节 滚动轴承的结构类型

滚动轴承一般由内圈、外圈、滚动体和保持架组成。特殊情况下可以无内圈或外圈,由相配的主机零件轴或外套代替。起支承作用的滚动体在套圈滚道上滚动,实现轴与机座的相对旋转、摆动或往复直线运动,减小了支承摩擦。保持架把滚动体均匀地隔开,并对滚动体的运动起着引导作用。分离型轴承的保持架把滚动体结合成一个组件,既便于安装,又能防止严格分组的滚动体相互混淆。与滑动轴承相比,滚动轴承有如下优点:

- 1) 摩擦力矩小,摩擦损耗低,启动摩擦力矩略高于旋转摩擦(动摩擦)力矩。
- 2) 一定范围内,载荷、转速和工作温度的改变并不影响良好的滚动轴承性能。
- 3) 润滑和维护保养容易,可以省去昂贵的润滑系统。某些滚动轴承还具有长寿命自润滑功能。
- 4) 大多数滚动轴承能同时承受径向和轴向联合载荷。
- 5) 滚动轴承轴向尺寸小于流体动压轴承。
- 6) 滚动轴承外形尺寸已国际标准化,互换性好,替换方便。
- 7) 滚动轴承易实现专业化大规模生产,生产成本低。

滚动轴承种类繁多,每种类型又有许多不同的结构型式,以满足不同的需要。

一、滚动轴承的分类

1. 结构类型分类

(1) 滚动轴承有多种分类方法,按其所能承受的载荷方向或公称接触角的不同,分为:

- 1) 向心轴承:主要用于承受径向载荷的滚动轴承,其公称接触角从 0° 到 45° 。按公称接触角不同,又分为:



① 径向接触轴承:公称接触角为 0° 的向心轴承;

② 角接触向心轴承:公称接触角大于 0° 到 45° 的向心轴承。

2) 推力轴承:主要用于承受轴向载荷的滚动轴承,其公称接触角大于 45° 到 90° 。按公称接触角的不同,又可分为:

① 轴向接触轴承:公称接触角为 90° 的推力轴承;

② 角接触推力轴承:公称接触角大于 45° 但小于 90° 的推力轴承;

(2) 按滚动体的种类可分为:

1) 球轴承:滚动体为球;

2) 滚子轴承:滚动体为滚子。

滚子轴承按滚子种类,又可分为:

① 圆柱滚子轴承:滚动体是圆柱滚子的轴承;

② 滚针轴承:滚动体是滚针的轴承;

③ 圆锥滚子轴承:滚动体是圆锥滚子的轴承;

④ 调心滚子轴承:滚动体是球面滚子的轴承。

(3) 按滚动轴承调心功能可分为:

1) 调心轴承:滚道是球面形的,能适应两滚道轴心线间的角偏差及角运动的轴承;

2) 非调心轴承(刚性轴承):能抵抗滚道间轴心线角偏移的轴承。

(4) 按轴承滚动体列数可分为:

1) 单列轴承:具有一列滚动体的轴承;

2) 双列轴承:具有两列滚动体的轴承;

3) 多列轴承:具有多于两列的滚动体并承受同一方向载荷的轴承。如:三列、四列轴承。

按轴承结构形状(如:有无装填槽,有无内外圈以及套圈的形状、挡边的结构,甚至有无保持架等)还可以分为多种结构类型。常用轴承结构类型分类见图 1-1。

2. 尺寸大小分类

滚动轴承按其公称外径尺寸大小可分为:

1) 微型轴承:公称外径尺寸 $D \leq 26$ mm 的轴承;

2) 小型轴承:公称外径尺寸 $26 \text{ mm} < D < 60$ mm 的轴承;

3) 中小型轴承:公称外径尺寸 $60 \text{ mm} \leq D < 120$ mm 的轴承;

4) 中大型轴承:公称外径尺寸 $120 \text{ mm} \leq D < 200$ mm 的轴承;

5) 大型轴承:公称外径尺寸 $200 \text{ mm} \leq D < 440$ mm 的轴承;

6) 特大型轴承:公称外径尺寸 $D > 440$ mm 的轴承。

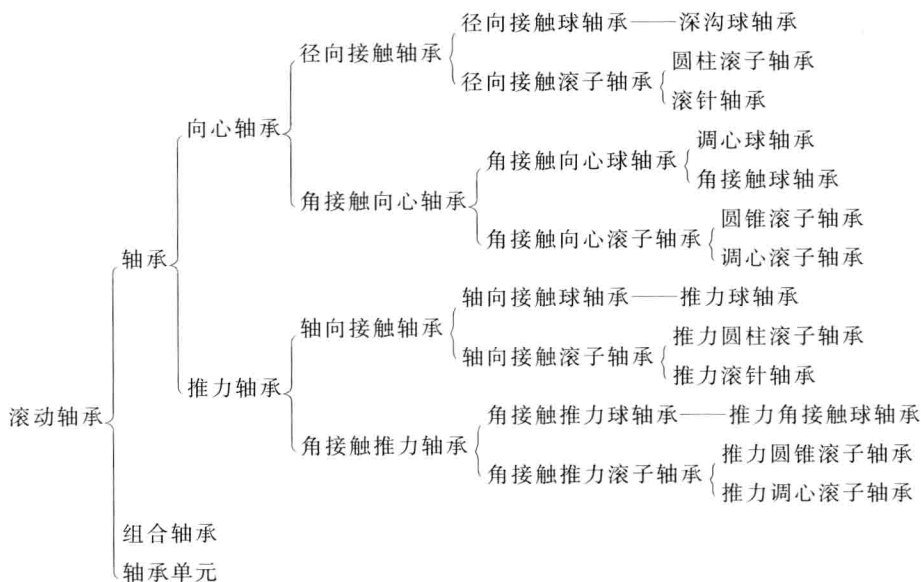


图 1-1 轴承分类

二、各类轴承的特征与用途

1. 深沟球轴承

基本结构如图 1-2 所示,这是用途最广,生产批量最大的一类滚动轴承,其主要特点:

1) 主要承受径向载荷,也可承受少量轴向载荷,选取较大的径向游隙时轴向承载能力增加。承受纯径向力时接触角为零;有轴向力作用时接触角大于零。

2) 摩擦系数小,适于高速运转。

3) 结构简单,制造成本低,易于达到较高制造精度。

4) 一般采用冲压浪形保持架,内径大于 200 mm 或高速运转的轴承,则采用车制实体保持架。

5) 如果保持架设计合理,深沟球轴承还能承受较小的偏心载荷(力矩载荷)。

深沟球轴承的变型结构有 60 多种,主要是从密封要求、提高承载能力、调心性和安装要求等方面考虑。图 1-3 示出了几种主要的变型结构。

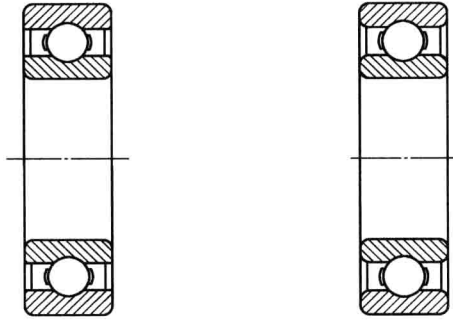
带防尘盖或密封圈的密封深沟球轴承[图 1-3a), b)],可以防止润滑脂漏泄



图 1-2 深沟球轴承

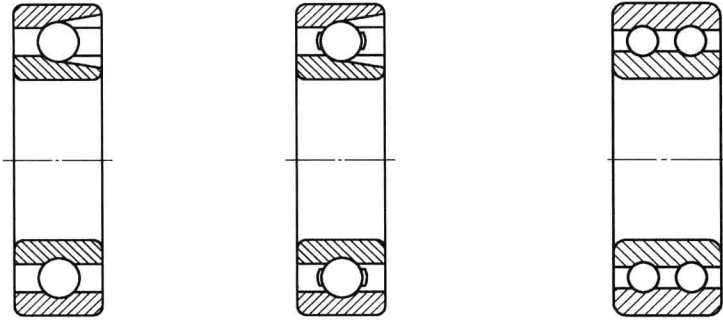


和外部异物侵入轴承内部。制造厂已在轴承内充填适量的润滑脂,一般为轴承空腔的1/3,在一般工作条件下能满足轴承整个使用期的需要,无需再加润滑脂。带密封圈的轴承密封效果好,但摩擦较大,极限转速较低。



a) 带防尘盖深沟球轴承

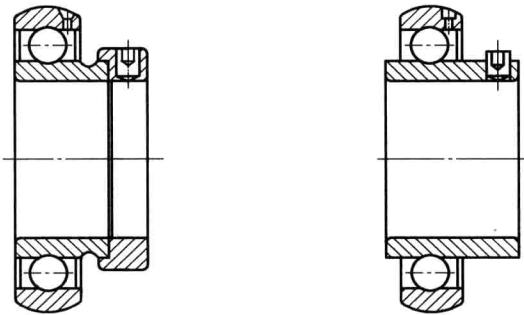
b) 带密封圈深沟球轴承



c) 有装球缺口的满装深沟球轴承

d) 有装球缺口、有保持架的深沟球轴承

e) 双列深沟球轴承



f) 带偏心套外球面球轴承

g) 带顶丝外球面球轴承

图 1-3 不同结构的深沟球轴承

有装球缺口的深沟球轴承[图 1-3c), d), e)]是为了能装进较多的钢球,以提

高轴承径向承载能力。这种轴承不宜承受轴向负荷,因为在轴向力作用下,钢球会被压进装球缺口。无保持架的满装球轴承径向承载能力很高,但因钢球之间滑动摩擦大,一般只适合于低速运转情况。

带偏心套和顶丝的外球面球轴承[图 1-3f),g)]具有调心性能,轴与座孔在不同心的情况下能正常运转。这种轴承用偏心套或顶丝可将轴承内圈紧固在无轴肩的光轴上。轴承装有两面密封圈,有时还加装离心防护片。

深沟球轴承广泛用于变速器、电机、仪器仪表、家用电器、内燃机、燃气轮机、交通车辆、农业机械、建筑机械和工程机械等方面。

2. 调心球轴承

基本结构如图 1-4 所示,其主要特点:

1) 外圈滚道是球面的一部分,曲率中心和轴承中心一致,轴承具有调心性。因加工安装及轴弯曲造成轴与座孔不同心时适合用这种轴承,调整的偏斜角可在 3° 以内。

2) 轴承接触角小,且在轴向力作用下几乎不变,所以轴向承载能力小。

这类轴承主要用于轴易弯曲或加工安装误差较大的部位,如木工机械和纺织机械的传动轴及滑轮滑车等。

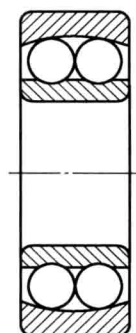


图 1-4 双列调心球轴承

3. 角接触向心球轴承

基本结构如图 1-5 所示,这类轴承可同时承受径向负荷和轴向负荷,也可只承受纯轴向负荷,其主要特点:



图 1-5 角接触向心球轴承

1) 名义接触角有 15° 、 25° 和 40° 三种,接触角越大轴向承载能力越高。高精度和高速轴承通常取 15° 接触角。在轴向力作用下接触角会增大。

2) 一般内圈或外圈带锁口,内、外圈不可分离。外圈加热膨胀后与内圈、滚动体、保持架组件装配。装球数比向心球轴承多,额定负荷比较大。

3) 一般用冲压保持架,内径大于 150 mm 的大轴承、高速轴承及要求运转平稳的轴承采用实体保持架。

4) 单列角接触向心球轴承因具有接触角,不可能只承受纯径向载荷作用,必定同时承受一定的轴向载荷,因此,常成对使用,并施加预负荷,以提高轴承刚性。



角接触向心球轴承有 70 多种不同结构,图 1-6~图 1-9 示出了几种主要结构。

成对双联角接触向心球轴承由制造厂选配组合提供给用户(图 1-6),轴承安装后一般施加轴向预负荷,以便提高轴承支承刚度和旋转精度。

双列角接触向心球轴承可以承受较大的径向力、双向轴向力及径向轴向联合载荷(图 1-7)。

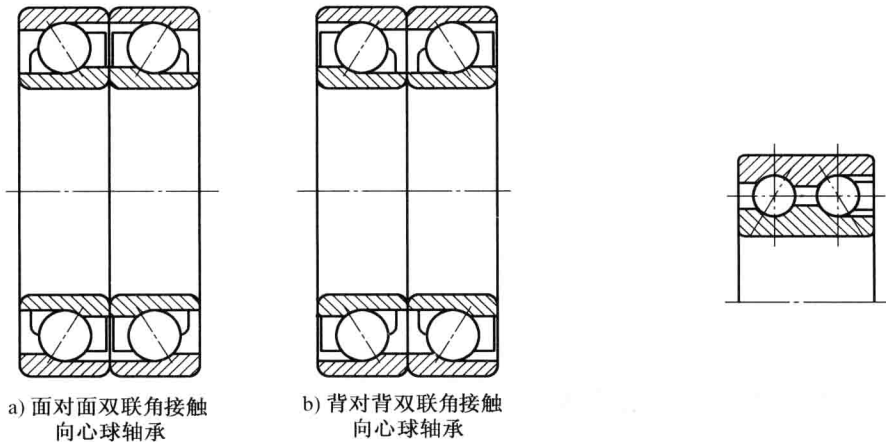


图 1-6 成对双联角接触向心球轴承

图 1-7 双列角接触向心球轴承

分离型角接触向心球轴承(图 1-8),因起初用于内燃机的发电机,又称为磁电机轴承,外圈只有单挡边,轴承能分离,内外圈分别安装。套圈滚道比深沟球轴承浅,轴向承载能力较小。这种轴承外径限于 50 mm 以下,主要用于小型发电机、仪器仪表、柴油机用燃料油泵等。

双半内圈角接触球轴承(图 1-9),根据外滚道设计不同,在纯径向载荷作用下,钢球与内外滚道可在三点或四点接触,故又分别称为双半内圈三点接触球轴承或双半内圈四点接触球轴承。双半内圈四点接触球轴承的轴向定位精度比双半内圈三点接触球轴承高得多。双半内圈角接触球轴承可承受任一方向的轴向力,也能承受以轴向力为主的轴向、径向联合载荷。在正常工作状况下,钢球应该是与内、外滚道各接触于一点,以免在接触区发生大的滑动摩擦。因此,轴承不宜承受以径向力为主的载荷。

双半内圈角接触球轴承主要用于喷气发动机主轴中作为支承件,在高速高温下工作。因此,保持架多用青铜或合金钢制成,并且表面镀银,以改善润滑性能。

各种结构的角接触向心球轴承广泛用于磨削主轴、高频电动机、燃气轮机、高速离心机、仪器仪表、小轿车前轮等。