



邓四二 贾群义 编著

滚动轴承 设计原理



 中国标准出版社

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、拟静力学分析方法和拟动力学分析方法。

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, 贾群义编著. —北京: 中国标准出版社, 2008

ISBN 978-7-5066-5115-8

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 204303 号

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街 16 号

邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

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 15.75 字数 277 千字

2008 年 12 月第一版 2008 年 12 月第一次印刷

*

定价 50.00 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)68533533

《滚动轴承设计原理》

编写委员会

主任：马 伟

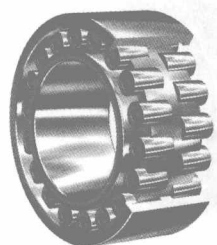
副主任：吴宗彦 王统建

委员：邓效忠 韩建海 杨建奎 邓四二

贾群义 王红军 顿涌泉 周近民

夏新涛 吴 鑫 赵滨海 王景夏

庞碧涛 梁 波 李兴林 王世保

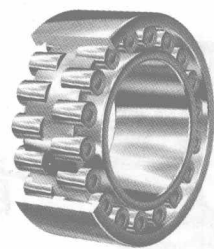


前 言

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	28
第六节 新旧标准代号对照	34
练习题一	36
第二章 滚动轴承的几何学	37
第一节 滚动体与滚道的接触状态及密合度	37
第二节 接触点的主曲率	40
第三节 接触角与游隙	43
练习题二	50
第三章 滚动轴承的运动学	51
第一节 概述	51
第二节 中低速轴承运动学简化计算	51
第三节 高速轴承运动学	56
练习题三	63
第四章 滚动体受力分析	64
第一节 概述	64
第二节 滚动体静负荷	64
第三节 高速轴承惯性力及其影响	66
第四节 滚动体一般受力情况	71
练习题四	73

第五章 滚动轴承中的负荷分布	74
第一节 概述	74
第二节 负荷与变形关系	74
第三节 受径向负荷的轴承	75
第四节 受轴向负荷的轴承	80
第五节 受径向和轴向联合负荷的轴承	84
第六节 受径向、轴向和力矩联合负荷的轴承	87
第七节 高速球轴承负荷分布	90
第八节 高速圆柱滚子轴承负荷分布	94
第九节 柔性支承轴承负荷分布	95
练习题五	98
第六章 滚动轴承接触应力和变形	99
第一节 概述	99
第二节 表面接触应力和变形计算	99
第三节 接触表面下的剪应力	105
第四节 滚子母线修缘及凸度计算	108
第五节 滚动轴承的变形和刚度	111
第六节 球轴承的极限轴向负荷	116
练习题六	118
第七章 滚动轴承的摩擦磨损和润滑	119
第一节 概述	119
第二节 滚动轴承中摩擦的来源	119
第三节 滚动轴承摩擦力矩计算	127
第四节 滚动轴承中的磨损	131
第五节 弹性流体动力润滑理论在滚动轴承中的应用	134
练习题七	141
第八章 滚动轴承的额定动负荷和疲劳寿命	143
第一节 概述	143
第二节 滚动轴承疲劳寿命的 Weibull 分布	144
第三节 滚动轴承额定动负荷和疲劳寿命的计算方法	148

第四节	滚动轴承疲劳寿命计算方法的发展	181
第五节	滚动轴承疲劳寿命试验数据处理	183
练习题八		190
第九章	滚动轴承的额定静负荷	191
第一节	概述	191
第二节	滚动轴承中塑性变形的计算	192
第三节	滚动轴承额定静负荷的计算	193
第四节	滚动轴承的当量静负荷	197
第五节	滚动轴承的许用静负荷	199
练习题九		200
第十章	滚动轴承的拟静力学分析方法	201
第一节	概述	201
第二节	高速球轴承分析	201
第三节	高速圆柱滚子轴承分析	208
练习题十		216
第十一章	角接触球轴承拟动力学分析	217
第一节	概述	217
第二节	研究对象	217
第三节	坐标系统的建立	218
第四节	角接触球轴承零件间的相互作用	220
第五节	角接触球轴承动力学方程	236
附录	本书所有习题用轴承型号的有关参数	240
参考文献		241

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,并减小了支承摩擦。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,又防止严格分组的滚动体互相混淆。与滑动轴承相比,滚动轴承有如下优点:

- 1) 摩擦力矩小,摩擦损耗即热量损耗低,起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。轴承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):能阻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:公称外径尺寸范围为 26 mm 以下的轴承;
- 2) 小型轴承:公称外径尺寸范围为 26~60 mm 的轴承;
- 3) 中小型轴承:公称外径尺寸范围为 60~120 mm 的轴承;
- 4) 中大型轴承:公称外径尺寸范围为 120~200 mm 的轴承;

- 5) 大型轴承:公称外径尺寸范围为 200~440 mm 的轴承;
- 6) 特大型轴承:公称外径尺寸范围为 440 mm 以上的轴承。



图 1-1 轴承分类

二、各类轴承的特征与用途

1. 向心球轴承

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,也易达到较高制造精度。

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,深沟球轴承还可能承受较小的偏心载荷(力矩载荷)。

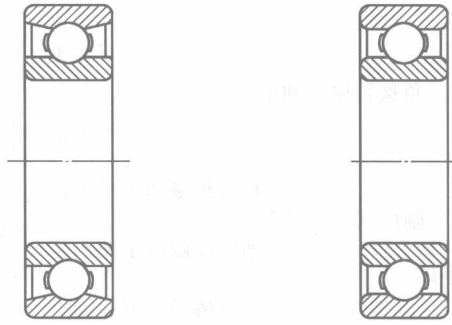
深沟球轴承的变型结构有 60 多种,主要是从密封要求、提高承载能力、调心性和安装要求考虑的。图 1-3 示出了几种主要的变型结构。



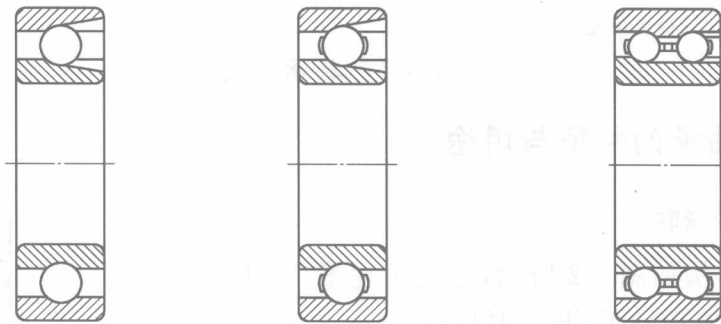
图 1-2 向心球轴承



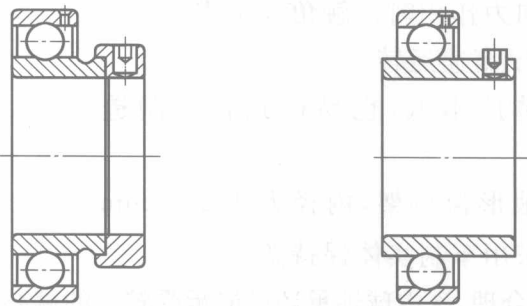
带防尘盖或密封圈的所谓密封轴承[图 1-3a), b)],可以防止润滑脂漏泄和外部异物侵入轴承。制造厂已在轴承内充填适量润滑脂,一般为轴承空腔的 1/3,在一般工作条件下能满足轴承整个使用期的需要,无需再加润滑。带密封圈的轴承密封效果好,但摩擦较大,极限转速较低。



a) 带防尘盖轴承 b) 带密封圈轴承



c) 有装球缺口的满装球轴承 d) 有装球缺口带保持架轴承 e) 双列向心球轴承



f) 带偏心套外球面轴承 g) 带顶丝外球面轴承

图 1-3 不同结构的向心球轴承

有装球缺口的向心球轴承[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,钢球会压进装球缺口。无保持架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向心球轴承[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。

向心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. 双列向心球面球轴承

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 双列向心球面球轴承

3. 向心推力球轴承



图 1-5 向心推力球轴承

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,也可承受纯轴向负荷,其主要特点:

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) 一般为内圈或外圈带锁口,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) 单列向心推力球轴承因具有接触角,不可能只承受纯



径向载荷,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。

向心推力球轴承有 70 多种不同结构,图 1-6~图 1-9 示出了几种主要结构。

成对双联向心推力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。

双列向心推力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)。

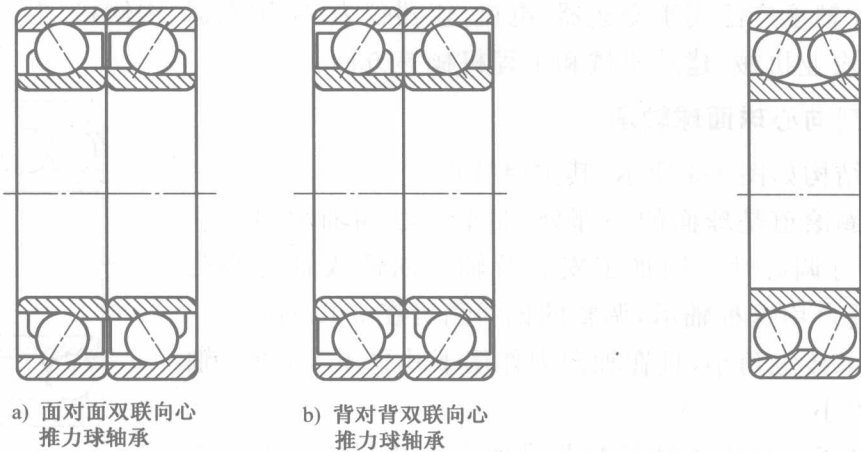


图 1-6 成对双联向心推力球轴承

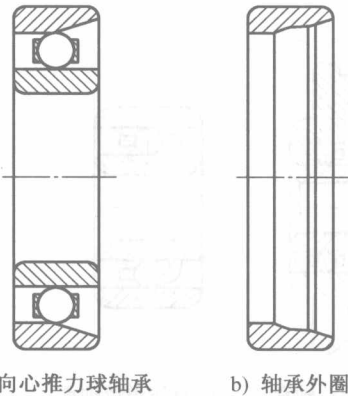
图 1-7 双列向心推力球轴承

分离型向心推力球轴承(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。套圈滚道比向心球轴承浅,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。

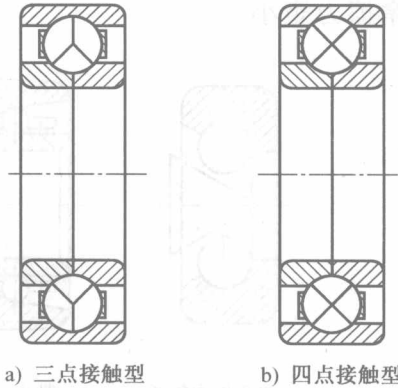
双半内圈向心推力球轴承(图 1-9),根据外滚道设计不同,在纯径向载荷作用下,钢球与内外滚道可在三点或四点接触,故又分别称为三点接触或四点接触向心推力球轴承。四点接触轴承的轴向定位精度比三点接触轴承高得多。双半内圈轴承可承受任一方向的轴向力,也能承受以轴向力为主的轴向径向联合载荷。在正常工作状况下,钢球应该是与内外滚道各接触于一点,以免在接触区发生大的滑动摩擦。因此,轴承不宜承受以径向力为主的载荷。

双半内圈向心推力球轴承主要用作喷气发动机主轴中支承,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。

各种结构的向心推力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。



a) 向心推力球轴承 b) 轴承外圈
图 1-8 分离型向心推力球轴承



a) 三点接触型 b) 四点接触型
图 1-9 双半内圈向心推力球轴承

4. 推力向心球轴承

图 1-10 所示的推力向心球轴承,接触角为 60° ,球径小,球数较多。能承受较重的双向轴向载荷和少量的径向载荷,轴向刚性好,适宜于较高的转速。这种轴承主要用于车床、镗床、摇臂钻床等机床主轴。

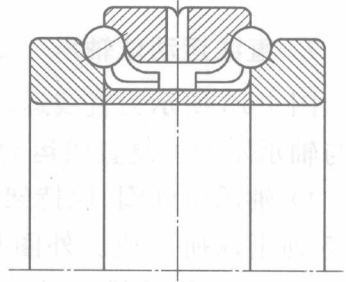
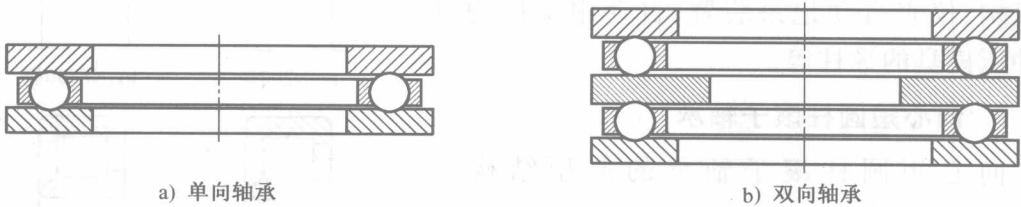


图 1-10 推力向心球轴承

5. 推力球轴承

推力球轴承如图 1-11 所示,是可分离的,接触角 90° ,只能承受轴向载荷。单向轴承只能承受一个方向的轴向载荷,双向轴承可承受两个方向的轴向载荷。带球面座圈的推力球轴承具有调心性,可消除安装误差的影响。钢球因离心力挤向滚道外侧,易于擦伤,故不适于高速运转。



a) 单向轴承

b) 双向轴承

图 1-11 推力球轴承

推力球轴承主要用于机床主轴、立式车床旋转工作台、汽车转向机构等。

6. 微型球轴承

内径小于 10 mm 或外径小于 26 mm 的轴承称为微型轴承。微型轴承中 90% 以上是球轴承,如图 1-12 所示。微型轴承主要用于各种仪器仪表、微型电机、陀螺仪、自动控制机构和医疗器械等。微型轴承应用中载荷轻,要求精度高,



要求摩擦力矩小。

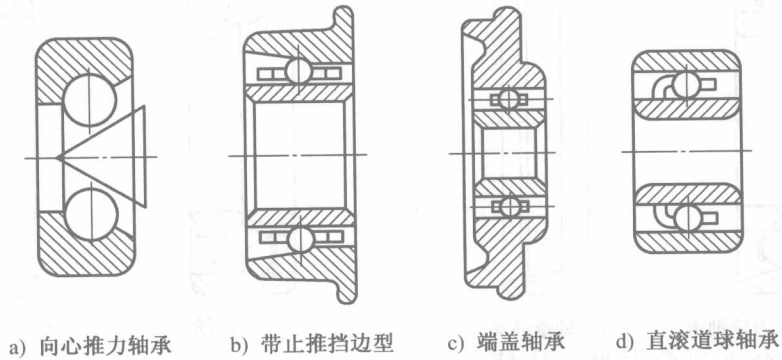


图 1-12 微型球轴承

7. 直线运动球轴承

图 1-13 所示为直线运动球轴承。这是滚动轴承的一种新型结构,用于支承轴与轴承座的往复直线运动,其主要特点:

1) 轴承由外圈、保持架(又称钢球循环架)和 3~5 列钢球所组成。外圈与轴作相对直线运动时,钢球沿轴的母线滚动,且在保持架的通道内循环。

2) 摩擦系数比滑动轴承低得多,一般为 0.001~0.003。

3) 径向游隙小,直线运动的精度高。

直线运动球轴承主要用于数控机床的往复机构、仪表自动记录装置、自动跟踪机构以及冲压模具的导柱等。

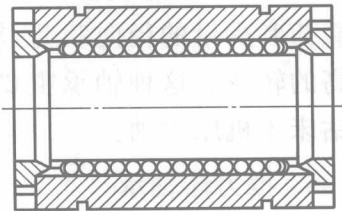


图 1-13 直线运动球轴承

8. 向心短圆柱滚子轴承

向心短圆柱滚子轴承的典型结构如图 1-14 所示,其主要特点:

1) 滚子与滚道为线接触或修正线接触,径向承载能力及径向刚度都比球轴承高。

2) 一般结构是一个套圈带双挡边,另一套圈无挡边或带一面挡边,内外圈可分离。两套圈都带有挡边的圆柱滚子轴承[图 1-14b)、d)]

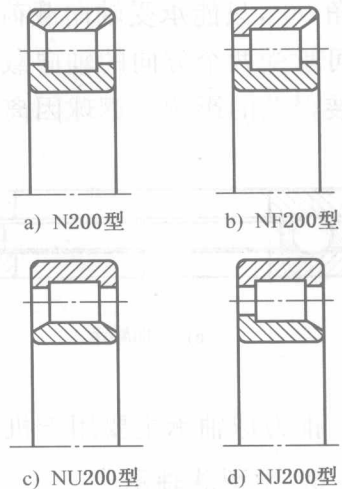


图 1-14 向心短圆柱滚子轴承

可承受少量单向轴向力。只有一个套圈带挡边的圆柱滚子轴承内外圈能轴向相对移动,可作自由端支承使用。

3) 摩擦系数小,适合高速运转。

4) 一般用冲压保持架,但内径大于150 mm的轴承、高速轴承或要求运转平稳的轴承,则用实体保持架。

5) 对轴和座孔的加工要求较高,轴承安装后内外圈轴线相对偏斜要严加控制,以免造成接触应力集中。

6) 内孔带 1 : 12 锥度的双列向心短圆柱滚子轴承,如图 1-15 所示,其径向游隙可以调整,径向刚度高,适用于机床主轴。四列短圆柱滚子轴承径向承载能力高,主要用于轧钢机中,如图 1-16 所示。

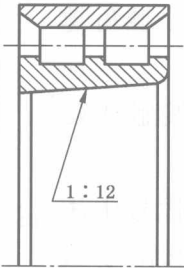


图 1-15 圆锥孔双列向心短圆柱滚子轴承

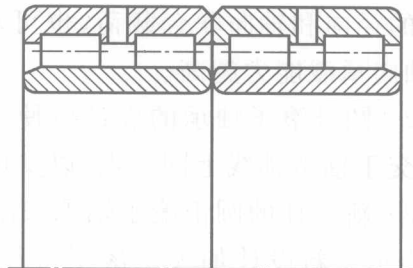


图 1-16 四列向心短圆柱滚子轴承

7) 我国向心短圆柱滚子轴承设计近年来有两大改进:一是采用加强型结构,轴承代号中用“E”表示,增大滚子的直径和长度,增加滚子数目,从而提高了承载能力;另一改进是滚子设计带一定凸度,这样可以消除滚子边缘的应力集中,同时也能改善轴线偏斜的不利影响。

向心短圆柱滚子轴承广泛用于大中型电动机、机车车辆、机床主轴、内燃机、燃气涡轮机、减速箱、轧钢机、振动筛以及起重运输机械等。

9. 双列向心球面滚子轴承

双列向心球面滚子轴承的基本结构如图 1-17 所示,其基本特点:

1) 外圈滚道是球面的一部分,轴承具有内部调心性能,以适应轴与座孔的相对偏斜。

2) 可以承受径向重载荷和冲击载荷,也能承受一定的双向轴向载荷。

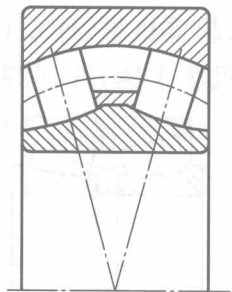


图 1-17 双列向心球面滚子轴承