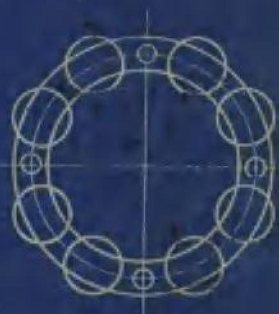


滚动轴承的 额定负荷与 寿命

刘仲九 甄士荣 著



GUNDONG ZHOUCHENG
DE EDING FUHE
SHOUMING

机械工业出版社

本书系统阐述滚动轴承计算的基本原理和额定动负荷、当量动负荷、额定静负荷、当量静负荷的确定方法以及寿命计算等问题。同时介绍了滚动轴承应用设计的基本知识，如滚动轴承的支承结构、配合、预紧、轴向紧固、密封、润滑、安装拆卸等。

本书可供科技人员在轴承设计、研究以及选用时参考，也可作为机械设计课程的补充资料供高等院校师生参考。

滚动轴承的额定负荷与寿命

刘泽九 贺士荃 著

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

煤炭工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $10\frac{7}{8}$ · 字数 232 千字

1982 年 6 月北京第一版 · 1982 年 6 月北京第一次印刷

印数 00,001—10,000 · 定价 1.10 元

*

统一书号：15033 · 4977

前 言

滚动轴承已广泛应用在各种机械中。虽然滚动轴承已是标准零件并由轴承厂专门生产，但在正确选用和合理使用中常需了解滚动轴承的负荷能力与寿命等问题。

从轴承工业开始兴起阶段，就已提出了这样的问题：一个滚动轴承究竟能承受多大的负荷，在一定的负荷作用下能够运转多长时间？十九世纪末叶和本世纪初，轴承研究者已把 Hertz 的弹性体接触理论应用到滚动轴承的计算中。经过几十年的探讨、研究，在积累大量试验数据的基础上，瑞典 G. Lundberg 和 A. Palmgren 发表了著名的滚动轴承额定动负荷理论。在此理论的基础上，国际标准化组织 (ISO) 于 1962 年制订了滚动轴承额定动负荷计算方法的推荐标准 ISO/R281，并于 1977 年将推荐标准改为正式标准 ISO 281/I，目前已为世界各国所采用。

我国已决定采用 ISO 有关滚动轴承额定负荷的计算方法。滚动轴承计算方法的更改涉及面很广，为了系统地阐述有关问题并提供资料，故编写此书。

本书共分五个部分：

1. 滚动轴承的分类与代号。
 2. 滚动轴承计算的基本知识：介绍轴承中弹性变形与应力的计算方法；负荷分布；轴承中的运动关系；向心和向心推力球轴承轴向负荷能力等。
 3. 滚动轴承的额定负荷与当量负荷：介绍滚动轴承额定
-

IV

动负荷、当量动负荷、额定静负荷、当量静负荷的基本原理和决定这些参数的方法。

4. 滚动轴承的寿命计算: 主要介绍轴承寿命计算方法和在寿命计算中涉及到的一些问题。

5. 滚动轴承的应用设计: 主要介绍滚动轴承的支承结构、配合、预紧、轴向紧固、密封、润滑、安装拆卸等。

第1~4部分由刘泽九同志编写, 第5部分由贺士荃同志编写。

本书曾请郑林庆教授审阅、特在此表示谢意!

由于作者水平有限, 错误和不当之处在所难免, 恳请读者提出宝贵意见以利改进。

符 号 表

A	最小负荷常数; 常数
a	接触椭圆长半轴; 负荷作用中心与轴承外圈宽端面间距离
a_1	可靠性系数
a_2	材料系数
a_3	使用条件系数 (润滑系数)
B	轴承宽度
b	接触椭圆短半轴
C	额定动负荷
C_0	额定静负荷
C_a	接触椭圆长半轴系数
C_b	接触椭圆短半轴系数
C_E	材料常数
C_σ	最大接触应力系数
C_δ	弹性趋近量系数
C_i	内圈额定负荷
C_e	外圈额定负荷
C_T	温度为 t 时轴承的额定动负荷
D	轴承外径
D_m	轴承平均直径
D_g	滚动体直径
d	轴承内径
E	材料弹性常数
e	韦布尔分布斜率 (离散指数); 判断参数
F	作用于支承系统上的负荷
F_A	作用于支承系统上的轴向负荷

VI

F_{Ax} ——卸紧负荷

F_a ——作用于轴承上的轴向负荷

F_r ——作用于轴承上的径向负荷

F_{a0} ——预紧负荷

F_t ——齿轮传动的圆周力

F_s ——齿轮传动的向心力

$[F_a]$ ——短圆柱滚子轴承的允许轴向负荷

F_{amin} ——推力和推力向心轴承的最小轴向负荷

f ——沟曲率半径系数

f_a ——与轴承直径系列有关的系数

f_p ——负荷性质系数

f_T ——温度系数

f_H ——决定 η_H 的系数

f_n ——转速系数

f_h ——寿命系数

f_1 ——负荷对极限转速的降低系数

f_2 ——负荷分布对极限转速的降低系数

i ——轴承中滚动体列数；传动比

J_0 ——滚动体转动惯量

J_a ——负荷分布的轴向积分

J_r ——负荷分布的径向积分

J_M ——负荷分布的力矩负荷积分

J_1 ——旋转套圈平均滚动体负荷

J_2 ——静止套圈平均滚动体负荷积分

K ——弹性变形常数

k ——弹性变形常数

L ——额定寿命

L_h ——额定寿命

L_K ——额定寿命

L_s ——与使用概率 S 相应的寿命

L_m ——中值寿命

L_{na} ——任意使用条件下的寿命

l_y ——有效接触长度

M ——弯矩

M_K ——惯性力矩

m ——齿轮模数

m_s ——齿轮端面模数

$\frac{1}{m}$ ——泊桑比

N ——传动功率

n ——轴承转速

n_i ——内圈转速

n_e ——外圈转速

n_m ——保持架转速；滚动体公转转速

n_{mi} ——保持架相对于内圈的转速

n_{em} ——外圈相对于保持架的转速

n_j ——极限转速

O_i ——内圈滚道曲率中心

O_e ——外圈滚道曲率中心

P ——当量动负荷

P_m ——平均当量动负荷

P_0 ——当量静负荷

Q ——滚动体负荷

Q_c ——额定滚动体负荷

Q_i ——内圈平均滚动体负荷

Q_e ——外圈平均滚动体负荷

q ——曲率中心距参数

R ——曲率半径

r ——沟曲率半径

- S —— 使用概率
- T —— 负荷分布参数
- t —— 温度
- u_r —— 径向游隙
- u_a —— 轴向游隙
- v_i —— 内圈接触点的线速度
- v_e —— 外圈接触点的线速度
- v_m —— 滚动体中心线速度
- X —— 径向系数
- X_0 —— 静径向系数
- Y —— 轴向系数
- Y_0 —— 静轴向系数
- z —— 滚动体数
- z_0 —— 最大剪应力深度
- α —— 接触角
- α_0 —— 名义接触角 (公称接触角)
- α_i —— 滚动体与内圈接触处的接触角
- α_e —— 滚动体与外圈接触处的接触角
- α_d —— 滚动体端面与套圈挡边接触处的接触角
- β —— 负荷角; 斜齿轮的螺旋角
- γ —— 结构参数
- δ —— 弹性趋近量
- δ_a —— 轴承轴向变位
- δ_r —— 轴承径向变位
- δ_s —— 塑性变形量
- ε —— 寿命指数
- η —— 额定动负荷降低系数
- λ —— 额定动负荷降低系数
- θ —— 轴的转角

- v —— 额定动负荷修正系数
 η_H —— 硬度系数
 ρ —— 曲率
 ρ_{I1} —— 物体 I 在主平面 1 中的曲率
 ρ_{I2} —— 物体 I 在主平面 2 中的曲率
 ρ_{II1} —— 物体 II 在主平面 1 中的曲率
 ρ_{II2} —— 物体 II 在主平面 2 中的曲率
 $\Sigma\rho$ —— 曲率总和
 $F(\rho)$ —— 曲率函数
 ψ —— 与最大负荷滚动体中心的夹角
 ψ_0 —— 轴承负荷范围角
 ω —— 角速度
 ω_i —— 内圈角速度
 ω_e —— 外圈角速度
 ω_m —— 保持架角速度
 ω_g —— 滚动体自转角速度
 角注符号
 i —— 内圈
 e —— 外圈
 m —— 保持架
 g —— 滚动体
 a —— 轴向
 r —— 径向
 $\max$ —— 最大
 $\min$ —— 最小
-

目 录

前言

符号表

第一章 滚动轴承的分类与代号	1
一、滚动轴承的基本结构与分类	1
1. 基本结构	1
2. 滚动轴承的分类	2
二、滚动轴承的代号	5
1. 轴承内径表示法	5
2. 轴承直径系列和宽度系列表示法	5
3. 轴承类型表示法	8
4. 轴承结构类型、游隙和精度等级表示法	9
5. 补充代号	9
三、基本类型轴承的特性	9
1. 单列向心球轴承	9
2. 双列向心球面球轴承	11
3. 向心短圆柱滚子轴承	12
4. 双列向心球面滚子轴承	15
5. 滚针轴承	16
6. 螺旋滚子轴承	17
7. 向心推力球轴承	17
8. 圆锥滚子轴承	19
9. 推力球轴承	20
10. 推力滚子轴承	21
第二章 滚动轴承计算的基本知识	23
一、基本概念	23
1. 接触角	23

XI

2. 滚动体负荷	25
3. 曲率半径和曲率	28
4. 密合度和沟曲率半径系数	28
5. 主平面	29
6. 曲率总和 $\Sigma\rho$ 与函数 $F(\rho)$	32
7. 接触类型	34
8. 弹性趋近量 δ	38
二、滚动轴承中的变形与应力计算	38
1. 概述	38
2. 点接触	39
3. 线接触	54
4. 最大剪应力 τ_{max}	56
5. 弹性变形常数 K	57
6. 轴承的径向变位 δ_r 和轴向变位 δ_a	59
三、滚动轴承中的负荷分布	62
1. 向心轴承中的负荷分布	62
2. 径向游隙对向心轴承中负荷分布的影响	67
3. 向心推力轴承中的负荷分布	72
4. 双列向心推力轴承中的负荷分布	78
5. 单向推力轴承中的负荷分布	83
6. 双向推力轴承中的负荷分布	86
四、滚动轴承中的运动关系	90
1. 滚动轴承中简单的运动关系	90
2. 滚动接触次数	95
3. 应力循环次数	95
五、向心和向心推力球轴承的接触角与轴向负荷能力	96
1. 向心球轴承的径向游隙与初始接触角	96
2. 向心推力球轴承的接触角变化	97
3. 向心和向心推力球轴承的安全接触角与轴向负荷能力	100

第三章 滚动轴承的额定负荷与当量负荷	105
一、滚动轴承的主要破坏形式	105
1. 疲劳剥落	105
2. 塑性变形	106
3. 磨损	106
二、滚动轴承疲劳寿命的基本规律	108
1. 疲劳寿命的基本规律	108
2. 滚动轴承疲劳寿命的韦布尔分布	111
三、滚动轴承的额定动负荷	115
1. 确定滚动轴承额定动负荷的基本原理	115
2. 决定轴承额定动负荷的方法	130
3. 球轴承的额定动负荷	134
4. 滚子轴承的额定动负荷	141
四、滚动轴承的当量动负荷	151
1. 滚动轴承额定寿命的计算公式	151
2. 单列轴承的当量动负荷	156
3. 向心和向心推力球轴承的当量动负荷	160
4. 双列向心推力轴承的当量动负荷	164
5. 推力轴承的当量动负荷	170
6. 外圈相对于负荷向量旋转时, 对当量动负荷的影响	171
五、滚动轴承的额定静负荷	173
1. 滚动轴承中的塑性变形	173
2. 滚动轴承的静负荷常数	176
3. 滚动轴承的额定静负荷 C_0	178
六、滚动轴承的当量静负荷	180
1. 决定当量静负荷 P_0 的方法	181
2. 向心和向心推力球轴承的当量静负荷	184
3. 双列轴承的当量静负荷	185
4. 推力向心轴承的当量静负荷	187

第四章 滚动轴承的寿命计算	189
一、轴承负荷计算	189
1. 各种传动作用于轴上的负荷计算	189
2. 向心推力轴承的负荷作用中心	199
3. 两支承轴的轴承负荷计算	199
4. 三支承轴的轴承负荷计算	207
二、滚动轴承的寿命计算	216
1. 疲劳寿命的计算方法	216
2. 轴承的使用寿命	231
3. 当量动负荷的计算方法	231
三、按额定静负荷选择轴承	241
四、寿命修正系数	243
1. 可靠性系数 a_1	244
2. 材料系数 a_2	244
3. 使用条件系数 a_3	244
五、影响轴承寿命的其它因素	245
1. 温度	245
2. 游隙	246
3. 硬度	247
六、滚动轴承的极限转速 n_j	248
七、寿命计算举例	250
第五章 滚动轴承的应用设计	261
一、滚动轴承的支承结构	261
1. 概述	261
2. 向心推力轴承的排列方式	262
3. 滚动轴承支承结构的基本类型	263
4. 支承结构的调整	268
5. 滚动轴承支承结构举例	270
二、滚动轴承的配合	274

1. 概述	274
2. 滚动轴承的配合与运转条件的关系	276
3. 配合选择原则	280
4. 与轴承相配合零件的精度	283
5. 带锥孔轴承的配合	286
三、滚动轴承的预紧	287
1. 概述	287
2. 滚动轴承轴向预紧的原理	288
3. 滚动轴承轴向变位的计算公式	293
4. 最小轴向预紧负荷的决定	294
5. 实现轴向预紧的方法	295
四、短圆柱滚子轴承的轴向负荷能力	297
五、推力和推力向心轴承的最小轴向负荷	299
六、滚动轴承的轴向紧固	302
1. 轴向定位	302
2. 轴向固定	304
3. 几种常用的轴向紧固装置	307
4. 常见的轴承内圈、外圈的固定方式	309
七、滚动轴承的密封	313
八、滚动轴承的润滑	318
1. 润滑的作用	318
2. 润滑剂的选择	318
3. 润滑剂的种类及其主要性能	320
九、滚动轴承的安装与拆卸	323
1. 圆柱孔轴承的安装	323
2. 圆锥孔轴承的安装	325
3. 向心推力轴承的安装	327
4. 推力轴承的安装	327
5. 滚动轴承的拆卸	328
参考资料	330

第一章 滚动轴承的分类与代号

一、滚动轴承的基本结构与分类

1. 基本结构

滚动轴承是广泛应用的机械零件，除了有特殊设计要求之外，一般由内圈、外圈、滚动体和保持架四件组成，如图1-1所示。

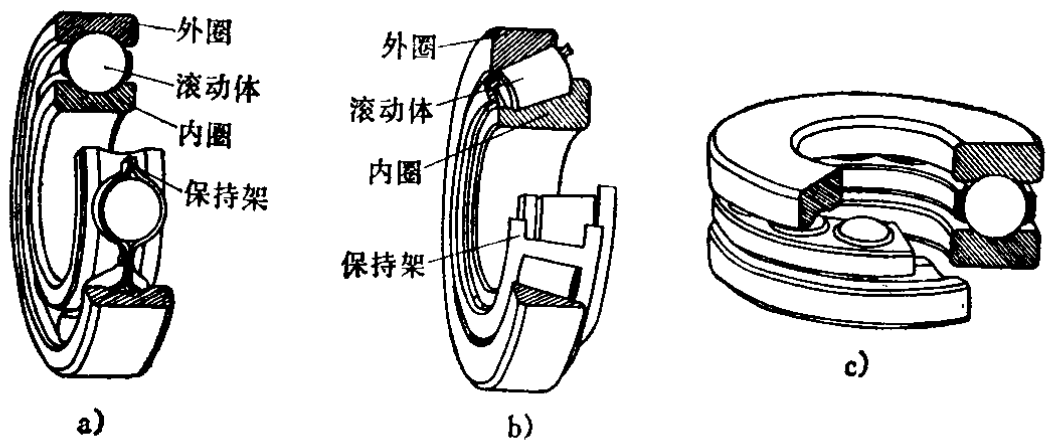


图1-1 滚动轴承的基本结构

a) 向心球轴承 b) 圆锥滚子轴承 c) 推力球轴承

通常内圈装配在轴上并与轴一起旋转，外圈装配在轴承座孔内起支承作用。但是有的轴承是外圈旋转，内圈固定起支承作用。个别情况下也有内、外圈都旋转的。

一组滚动体（钢球或滚子）在内、外圈之间滚动，借保持架将滚动体等距离排列。滚动体的形状、大小和数量直接影响轴承的负荷能力。保持架除上述作用外还有引导滚动体运动，改善轴承内部润滑性能，防止滚动体脱落等作用。

在推力轴承中，与轴紧配的套圈叫紧圈，与轴承座孔相配的套圈叫活圈。

2. 滚动轴承的分类

滚动轴承结构形式繁多，有很多种分类方法。

按轴承所能承受负荷作用的方向可分为：

(1) 向心轴承：主要承受径向负荷，某些类型的轴承也可在承受径向负荷的同时承受不大的轴向负荷。如向心球轴承和两套圈都有挡边的向心短圆柱滚子轴承。

(2) 向心推力轴承：接触角 $\alpha \leq 45^\circ$ ，能承受径向负荷和轴向负荷同时作用的联合负荷。一般以承受径向负荷为主，个别情况下也可承受纯轴向负荷。

(3) 推力向心轴承：接触角 $\alpha > 45^\circ$ 。主要承受轴向负荷，也可在承受轴向负荷的同时承受较小的径向负荷。

(4) 推力轴承：仅能承受轴向负荷。

向心和向心推力轴承主要用于承受径向负荷，推力向心和推力轴承主要用于承受中心轴向负荷，因此也可把滚动轴承分为两大类：向心轴承和推力轴承。

按轴承中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。按滚子的形状和尺寸又可分为：

1) 短圆柱滚子轴承： $\frac{l}{D_g} \leq 2.5$ 的滚子轴承，其中

l —— 滚子长度， D_g —— 滚子直径；

2) 长圆柱滚子轴承： $\frac{l}{D_g} > 2.5$ ， $D_g > 6$ 毫米的滚子

轴承；

3) 滚针轴承: $\frac{l}{D_g} > 3$, $D_g < 5$ 毫米的滚子轴承;

4) 螺旋滚子轴承: 滚子为中空螺旋形;

5) 圆锥滚子轴承: 滚子为圆锥形;

6) 球面滚子轴承: 滚子为球面腰鼓形。

按一个轴承中滚动体的列数可分为:

单列轴承;

双列轴承;

三列轴承;

四列轴承;

……。

按轴承在工作中能否调心可分为:

非调心型轴承;

调心型轴承。

在我国滚动轴承标准中, 按轴承所能承受的负荷方向和滚动体的种类, 分为十大类型:

(1) 向心球轴承;

(2) 向心球面球轴承;

(3) 向心短圆柱滚子轴承;

(4) 向心球面滚子轴承;

(5) 向心长圆柱滚子轴承和向心滚针轴承 (简称长圆柱滚子轴承和滚针轴承);

(6) 向心螺旋滚子轴承 (简称螺旋滚子轴承);

(7) 向心推力球轴承;

(8) 向心推力圆锥滚子轴承 (简称圆锥滚子轴承);

(9) 推力球轴承和推力向心球轴承;

(10) 推力滚子轴承和推力向心滚子轴承。