

滚动轴承 应用手册

刘泽九 主编

第2版



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



滚动轴承应用手册

(第 2 版)

主编 刘泽九

参编 贺士荃 李兴林 刘 晖
康乃正 张亚军 陈德金



机械工业出版社

本手册系统阐述了滚动轴承选用的基本知识、计算方法、应用设计、特殊工况下的典型应用及各种使用性能，如振动噪声、精度、摩擦、寿命、预紧、极限转速、清洁度、密封轴承漏脂、温升、防尘性能及工况检测、失效分析等，反映了国内外最新标准资料和科研成果，内容丰富实用。

本手册可供各类工程技术人员在选用滚动轴承、分析滚动轴承运转性能和进行滚动轴承应用设计时参考；也可供轴承应用人员、大中专院校师生及轴承供销人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

滚动轴承应用手册/刘泽九主编. —2版. —北京: 机械工业出版社, 2006.1

ISBN 7-111-04964-0

I. 滚... II. 刘... III. 滚动轴承 - 手册
IV. TH133.33-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 124589 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 黄丽梅 版式设计: 霍永明 责任校对: 李秋荣

封面设计: 姚毅 责任印制: 杨曦

北京机工印刷厂印刷

2006 年 1 月第 2 版第 1 次印刷

890mm × 1240mm A5 · 44.375 印张 · 3 插页 · 1318 千字

0 001—4 000 册

定价: 98.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

主编简介

刘泽九 教授级高级工程师

享受国务院政府特殊津贴专家



1935 年生于河南孟县。1960 年清华大学精密仪器系毕业。1964 年清华大学机械学专业研究生毕业。1983 年在英国 Leeds 大学工业摩擦学中心学习进修。1965~1980 年在洛阳轴承研究所工作，任理论研究室主任。

从 1981 年起参加联合国援助杭州轴承试验研究中心筹建工作，1984~1995 年任所长，把该中心从无到有、从小到大建成为国内外著名的轴承科研机构。

主持领导完成了许多项重点科研课题，获得了许多项奖励。领导开发研制出 BVT 型轴承测振仪系列、滚动轴承疲劳寿命强化试验机、铁谱仪等达到国际先进水平、填补了我国空白的先进仪器设备，并推向市场，取得了较好的经济效益和社会效益。

发表专著、论文、译著多篇，主要有：“36204 向心推力球轴承中球的运动规律的研究”，《滚动轴承的额定负荷与寿命》，主编《滚动轴承应用手册》等。此外还参加了《机械工程手册》、《机械零部件手册》、《机修手册》、《中国大百科全书》等的编写工作。

前 言

滚动轴承是广泛应用的机械基础件，在国际上已标准化、系列化、通用化。随着科学技术的飞速发展，滚动轴承的设计应用理论、制造水平、材料科学也在不断更新与发展。

为了使轴承能够达到性能好、寿命长、可靠度高，正确选用与合理使用滚动轴承是非常重要的。因此 1995 年我主持编写了《滚动轴承应用手册》，力图向读者提供有关滚动轴承正确选用、合理应用的基础知识和有关数据，系统阐述了滚动轴承选用的基本知识、计算方法、应用设计、典型应用及各种使用性能，如振动噪声、精度、摩擦、寿命、预紧、极限转速、清洁度、密封轴承漏脂、温升、防尘性能以及工况检测、失效分析等内容。

《滚动轴承应用手册》自 1996 年出版发行以来，受到广大读者的欢迎。虽经两次印刷发行仍不能满足读者的需求，至今仍不断有读者索要此书。考虑到近 10 年来，有关滚动轴承的国家标准、机械行业标准和滚动轴承行业标准都有较大的变更，又有许多新的标准颁布施行，此外在《滚动轴承应用手册》第 1 版编写时，由于时间仓促，其中有些章节比较零散，不够系统。为此最近又组织人员对《滚动轴承应用手册》第 1 版进行了修订。主要修订的内容是：

1) 本书统一采用目前国际上通用的名词术语和参数符号，按国标 GB/T 6930—2002、ISO 5593: 1997、GB/T 7811—1999 进行修订。

2) 全书选用的国家标准、机械行业标准和滚动轴承行业标准和 ISO 标准都是截止 2005 年的最新标准。

3) 第 1 章增加了系统阐述按疲劳寿命、静承载能力、磨损量选用轴承的简化计算方法以及现在国际上通用的滚动轴承常用名词术语和轴承外形尺寸总方案。

4) 第 2 章的内容全部重新编写。系统阐述滚动轴承应用计算的基础理论，如：滚动轴承中弹性变形、塑性变形和应力计算；滚动

轴承中的相对运动关系；滚动轴承中的载荷分布；滚动轴承疲劳寿命的基本规律；Lundberg-Palmgren 理论以及由此理论产生的国际标准 ISO 281；Palmgren 额定静载荷理论以及由此理论产生的国际标准 ISO 76；静定和静不定情况下轴承载荷的计算；滚动轴承的刚性与预紧；滚动轴承的极限转速以及各类轴承所需的最小径向载荷或轴向载荷等。

5) 第 3 章增加了滚动轴承支承设计计算的举例和有关滚动轴承安装与拆卸的内容。

6) 第 5 章增加了现行的 11 个我国有关滚动轴承振动标准和国际标准 ISO 15242 滚动轴承振动测量方法的内容。

7) 第 6 章增加了最新的各国滚动轴承用钢牌号及其化学成分。

8) 第 8 章删去了一些零散的内容，增加了直线运动轴承和关节轴承以及汽车轮毂轴承和汽车离合器分离轴承及其单元的系统介绍。

9) 第 10 章增加了国家标准防锈包装与行业标准清洗防锈规程的有关内容。

10) 附录 B 增加了常用滚动轴承国内外型号对照表。

除以上改变外，第 2 版仍保留原第 1 版的章名与章序。

参加此次修订工作的人员有：刘泽九、贺士荃、李兴林、刘晖、康乃正、张亚军、陈德金等。各人负责修订的章节是：刘泽九任主编并负责第 1 章、第 2 章、第 5 章第 4 节、第 7 章、第 8 章第 1~4 节、第 10 章及附录 B；贺士荃负责第 3 章和附录 A；李兴林负责第 4 章；刘晖负责第 5 章第 1~3 节；康乃正负责第 6 章；张亚军负责第 8 章的第 5、6 节；陈德金负责第 9 章。

由于水平有限，因此书中难免有错误和不当之处，敬请读者提出宝贵意见，以便改正。

刘泽九

2005 年 11 月 15 日

常用符号表

A	最小载荷常数; 常数	L	额定寿命
α	接触椭圆长半轴; 载荷作用中心与轴承外圈宽端面之间距离	L_s	与使用概率相应的寿命
a_1	可靠度寿命修正系数	L_{10}	基本额定寿命
B	轴承宽度	L_m	中值寿命
b	接触椭圆短半轴	L_{na}	任意使用条件下的修正寿命
C	额定动载荷	L_{we}, l_{we}	滚子有效接触长度
C_a	接触椭圆长半轴系数	M	弯矩
C_b	接触椭圆短半轴系数	μ	泊松比
C_g	最大接触应力系数	N	传动功率
C_δ	弹性趋近量系数	n	轴承转速
D	轴承外径	n_i	内圈转速
D_{pw}	轴承节圆直径	n_e	外圈转速
D_m	轴承平均直径	n_c	保持架转速
D_w	滚动体直径	n_{ci}	保持架相对于内圈的转速
d	轴承内径	n_{ec}	外圈相对于保持架的转速
E	材料弹性模量	n_w	滚动体绕自身中心轴线的转速, 或称滚动体自转速度
F	作用于支承系统上的载荷	O_i	内圈滚道曲率中心
F_A	作用于支承系统上的轴向载荷	O_e	外圈滚道曲率中心
F_a	作用于轴承上的轴向载荷	P	当量动载荷
F_r	作用于轴承上的径向载荷	P_0	当量静载荷
F_t	齿轮传动的圆周力	Q	滚动体载荷
F_s	齿轮传动的向心力	Q_c	额定滚动体载荷
f	沟曲率半径系数	q	曲率中心距参数
i	轴承中滚动体列数	R	曲率半径
J_a	载荷分布的轴向积分	r	沟曲率半径
J_r	载荷分布的径向积分	S	使用概率(幸存概率, 可靠度)
J_1	旋转套圈平均滚动体载荷积分	G_r	径向游隙
J_2	静止套圈平均滚动体载荷积分	G_a	轴向游隙
K	弹性变形常数	V_i	内圈接触点

V_e	外圈接触点的线速度	ρ_{I1}	物体 I 在主平面 1 中的曲率
V_c	滚动体中心的线速度	ρ_{I2}	物体 I 在主平面 2 中的曲率
x	径向系数	ρ_{II1}	物体 II 在主平面 1 中的曲率
x_0	静径向系数	ρ_{II2}	物体 II 在主平面 2 中的曲率
y	轴向系数	$\sum \rho$	曲率总和
y_0	静轴向系数	$F(\rho)$	曲率函数
z	滚动体数	ψ	与最大载荷滚动体中心的夹角
z_0	最大剪应力深度	ψ_0	轴承载荷范围角
α	轴承公称接触角	ω	角速度
α_i	滚动体与内圈接触处的接触角	ω_i	内圈角速度
α_e	滚动体与外圈接触处的接触角	ω_e	外圈角速度
α_d	滚动体端面与套圈挡边接触处的接触角	ω_w	滚动体自转角速度
β	载荷角		
γ	轴承结构参数		
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		
η	额定动载荷降低系数		
λ	额定动载荷降低系数		
θ	轴的转角		
ν	额定动载荷修正系数		
ρ	曲率		

常用角标符号

i	内圈
e	外圈
c	保持架
w	滚动体
a	轴向
r	径向
p	中心圆的
m	平均的
min	最小的
max	最大的

目 录

前言

常用符号表

第 1 章 滚动轴承的选用基础	1
1 滚动轴承的特点和选用程序	1
1.1 滚动轴承的选用程序	1
1.2 滚动轴承类型的选择	4
1.3 按接触疲劳寿命选用轴承	6
1.4 按额定静载荷选用轴承	38
1.5 滚动轴承的磨损寿命	40
2 滚动轴承的分类和适用范围	44
2.1 滚动轴承结构类型分类	44
2.2 滚动轴承尺寸大小分类	56
2.3 深沟球轴承和双列深沟球轴承	56
2.4 调心球轴承	59
2.5 单列角接触球轴承和双列角接触球轴承	60
2.6 推力球轴承和双向推力角接触球轴承	63
2.7 四点接触球轴承	65
2.8 带座外球面球轴承	65
2.9 圆柱滚子轴承	68
2.10 圆锥滚子轴承	71
2.11 调心滚子轴承和推力调心滚子轴承	72
2.12 滚针轴承	74
2.13 推力滚子轴承	78
3 滚动轴承代号方法	78
3.1 我国新采用的滚动轴承代号方法	78
3.2 带附件轴承的代号	103
3.3 带座外球面球轴承的代号	104
3.4 非标准轴承代号编制方法	109

3.5	我国新旧轴承代号方法的对照	111
4	滚动轴承的标准	139
4.1	我国已制定的滚动轴承标准	139
4.2	ISO 已制定的滚动轴承标准	139
5	滚动轴承外形尺寸总方案	176
5.1	向心轴承外形尺寸总方案	176
5.2	推力轴承外形尺寸总方案	194
5.3	圆锥滚子轴承外形尺寸总方案	210
6	常用滚动轴承名词术语	224
01	轴承	224
02	轴承零件	234
03	轴承配置及分部件	249
04	尺寸	252
05	与公差关联的尺寸	260
06	力矩、载荷及寿命	270
07	其他	275
第 2 章	滚动轴承的应用计算	295
1	基本概念	295
1.1	接触角	295
1.2	滚动体载荷	297
1.3	曲率半径和曲率	299
1.4	密合度和沟曲率半径系数	300
1.5	主平面	300
1.6	曲率总和 $\sum \rho$ 与函数 $F(\rho)$	301
1.7	接触类型	305
1.8	弹性趋近量 δ	307
2	滚动轴承中的变形与应力计算	308
2.1	概述	308
2.2	点接触	308
2.3	线接触	323
2.4	最大切应力 τ_{\max}	323
2.5	弹性变形常数 K	328
2.6	轴承径向变位 δ_r 和轴向变位 δ_u	330
3	滚动轴承中的载荷分布	332

3.1	向心轴承中的载荷分布	332
3.2	径向游隙对向心轴承中载荷分布的影响	336
3.3	角接触轴承中的载荷分布	340
3.4	双列角接触轴承中的载荷分布	346
3.5	单向推力轴承中的载荷分布	349
3.6	双向推力轴承中的载荷分布	352
4	滚动轴承中的运动关系	355
4.1	滚动轴承中简单的运动关系	355
4.2	滚动接触次数	359
4.3	应力循环次数	359
5	向心球轴承和角接触球轴承中的接触角与轴向承载能力	360
5.1	向心球轴承的径向游隙与初始接触角	360
5.2	角接触球轴承的接触角变化	361
5.3	向心球轴承和角接触球轴承的安全接触角和轴向承载能力	363
6	Lundberg-Palmgren 滚动轴承寿命理论	367
6.1	滚动轴承的主要破坏形式	367
6.2	滚动轴承疲劳寿命的基本规律	368
6.3	滚动轴承的额定动载荷	374
6.4	滚动轴承的当量动载荷	406
7	国际标准 ISO281 和国家标准 GB/T 6391	424
7.1	向心球轴承	427
7.2	推力球轴承	433
7.3	向心滚子轴承	436
7.4	推力滚子轴承	439
7.5	修正额定寿命	442
8	A. Palmgren 滚动轴承静承载能力理论	445
8.1	滚动轴承中的塑性变形	445
8.2	滚动轴承的静载荷常数	448
8.3	滚动轴承的额定静载荷	449
8.4	滚动轴承的当量静载荷	451
9	国际标准 ISO76: 1987 和国家标准 GB/T 4662—2003	458
9.1	向心球轴承	461
9.2	推力球轴承	464
9.3	向心滚子轴承	465

9.4	推力滚子轴承	466
9.5	基本额定静载荷计算中的间断点	467
10	作用于滚动轴承上的载荷计算	470
10.1	各种传动作用于滚动轴承上的载荷计算	470
10.2	双支承轴的轴承载荷计算	477
10.3	三支承轴的轴承载荷计算	483
11	圆柱滚子轴承的轴向承载能力	491
12	滚动轴承的预紧	493
12.1	概述	493
12.2	滚动轴承轴向预紧的原理	494
12.3	滚动轴承轴向变位的计算公式	498
12.4	最小轴向预紧载荷的决定	499
12.5	实现轴向预紧的方法	499
12.6	轴向预紧的数值	501
12.7	径向预紧	504
13	滚动轴承的极限转速	504
13.1	滚动轴承极限转速的确定方法	504
13.2	实际使用的滚动轴承极限转速	506
13.3	极限转速试验方法	507
14	推力和推力角接触轴承的最小轴向载荷	509
15	向心轴承必需的最小径向载荷 F_{\min}	512
15.1	深沟球轴承、调心球轴承、角接触球轴承	512
15.2	向心圆柱滚子轴承	513
15.3	滚针轴承、调心滚子轴承、圆锥滚子轴承	514
15.4	单个使用的角接触球轴承、DT 配置的角接触球轴承、四点 接触球轴承	514
第 3 章 滚动轴承的应用设计		516
1	滚动轴承的支承结构	516
1.1	选择支承结构形式应考虑的问题	516
1.2	支承结构的基本类型	517
1.3	轴支承的三种基本组合形式	520
1.4	常见的支承结构示意图	522
2	滚动轴承配合的选择	526
2.1	滚动轴承的配合特点	527

XII

2.2	轴承与轴、外壳孔配合的常用公差带	528
2.3	滚动轴承配合的选用原则	530
2.4	滚动轴承配合标准推荐的配合	530
2.5	空心轴、铸铁和轻金属轴承座轴承配合的选择	533
2.6	用估算法选择轴承的配合	535
2.7	机床主轴轴承配合的选择	535
2.8	轴承公差及相配轴和外壳孔的公差	538
3	滚动轴承相配零件的加工精度	574
3.1	我国有关相配零件加工精度的国家标准	575
3.2	SKF 公司推荐的有关相配零件精度的取值方法	579
3.3	FAG 公司推荐的有关相配零件精度的取值方法	582
3.4	ISO 的精度等级公差及表面粗糙度 R_a 的数值	583
4	滚动轴承工作游隙的选择	584
5	滚动轴承的密封装置	592
5.1	轴承自身的密封	593
5.2	轴承的支承密封	597
5.3	密封的目的及结构处理	611
6	滚动轴承的轴向紧固装置	611
6.1	滚动轴承的轴向定位和固定	611
6.2	几种常用的轴向紧固装置	613
6.3	常见的轴承内、外圈固定方式	615
7	滚动轴承的安装尺寸	617
7.1	滚动轴承的装配倒角极限尺寸	617
7.2	轴和外壳孔的单向圆角半径	623
7.3	深沟球轴承、角接触球轴承、调心球轴承及调心滚子轴承的 挡肩高度	624
7.4	圆柱滚子轴承的安装尺寸	625
7.5	实体外圈滚针轴承的安装尺寸	629
7.6	圆锥滚子轴承的安装尺寸	630
7.7	推力球轴承的安装尺寸	636
7.8	推力调心滚子轴承的安装尺寸	638
7.9	带紧定套向心轴承的安装尺寸	640
8	滚动轴承的安装与拆卸	643
8.1	圆柱孔向心轴承的装卸	644

8.2	圆锥孔向心轴承的装卸	647
8.3	向心推力轴承的装卸	653
8.4	推力轴承的装卸	655
8.5	组合支承游隙的调整	656
9	滚动轴承支承结构的设计计算举例	657
第4章	滚动轴承的精度、性能与测试	669
1	滚动轴承的精度与测量	669
1.1	滚动轴承的精度等级	669
1.2	滚动轴承的尺寸公差和旋转精度符号	669
1.3	各级精度滚动轴承的尺寸公差和旋转精度	673
1.4	滚动轴承精度测量	708
2	滚动轴承的游隙与测量	720
2.1	滚动轴承径向游隙	721
2.2	滚动轴承径向游隙的测量及评定方法	728
3	滚动轴承的摩擦力矩与摩擦系数	732
3.1	滚动轴承摩擦力矩	732
3.2	滚动轴承摩擦系数	735
3.3	静/动态摩擦力矩试验	736
4	密封轴承的密封性能试验	738
4.1	漏脂试验	738
4.2	温升试验	739
4.3	防尘试验	739
5	滚动轴承的调心性能	741
6	滚动轴承的清洁度及试验方法	742
6.1	定义	742
6.2	清洁度对轴承使用性能的影响	743
6.3	轴承清洁度试验方法	745
6.4	推荐的轴承清洁度控制标准	745
7	滚动轴承的寿命试验	748
7.1	试验目的	748
7.2	疲劳寿命试验方法	749
7.3	滚动轴承寿命试验机	750
7.4	滚动轴承寿命试验相关标准	753
第5章	滚动轴承的振动与噪声	754

1 滚动轴承的振动特性	754
1.1 滚动轴承的振动类型	754
1.2 影响滚动轴承振动的因素	758
2 滚动轴承的振动测试	761
2.1 评定滚动轴承振动的物理量和参数	761
2.2 测量滚动轴承振动的装置	762
2.3 滚动轴承振动测试标准	772
3 滚动轴承噪声及测量	797
3.1 滚动轴承噪声和振动的关系	797
3.2 滚动轴承噪声的表示方法	798
3.3 滚动轴承噪声的测量	799
4 国际标准 ISO 15242——滚动轴承振动测量方法	800
4.1 第 1 部分：基础	801
4.2 第 2 部分：向心球轴承	813
第 6 章 滚动轴承用材料	819
1 轴承套圈和滚动体用材料	819
2 普通轴承钢	835
2.1 高碳铬轴承钢	835
2.2 渗碳轴承钢	840
2.3 轴承零件用中碳合金钢	846
3 耐腐蚀轴承用材料	848
3.1 轴承用不锈钢的牌号与化学成分	849
3.2 不锈钢制轴承零件的热处理	850
3.3 轴承用不锈钢的力学性能	855
3.4 抗硫轴承材料	856
4 耐高温轴承用材料	857
4.1 耐高温轴承钢的牌号与化学成分	858
4.2 耐高温轴承零件的热处理	858
4.3 耐高温轴承钢的力学性能	862
5 防磁轴承材料	862
5.1 防磁轴承材料及其化学成分	863
5.2 防磁轴承材料的热处理	863
5.3 防磁轴承材料的力学性能和物理性能	864
6 陶瓷轴承材料	865

6.1	工程用陶瓷材料的种类	865
6.2	陶瓷材料的性能	867
6.3	陶瓷球的制造	867
7	塑料轴承材料	868
7.1	轴承用工程塑料	868
7.2	轴承用塑料的物理、力学和化学性能	868
7.3	轴承用塑料的抗摩特性	872
8	保持架材料	872
8.1	保持架用材料的牌号和化学成分	874
8.2	保持架的热处理	874
8.3	保持架材料的力学性能	874
9	其他材料	890
第7章 滚动轴承的润滑		891
1	润滑的作用和润滑剂的选择	891
2	润滑剂的种类及主要性能	893
2.1	润滑油	893
2.2	润滑脂	895
2.3	固体润滑剂	896
3	润滑脂润滑	896
3.1	润滑脂的选用	896
3.2	填脂量与换脂周期	909
3.3	润滑脂性能试验	915
4	润滑油润滑	921
4.1	润滑油的选用	921
4.2	润滑方式选择	935
4.3	换油周期	942
第8章 特殊工况下滚动轴承的应用		944
1	特殊工况下滚动轴承选用的特点	944
1.1	高速轴承	944
1.2	高温轴承	946
1.3	低温轴承	947
1.4	耐腐蚀轴承	947
1.5	抗硫轴承	948
1.6	防磁轴承	948

1.7	真空轴承	948
1.8	自润滑轴承	949
1.9	陶瓷轴承	949
2	直线运动轴承	950
2.1	直线运动轴承的特点	950
2.2	直线运动轴承的工作原理与结构	951
2.3	直线运动球轴承的基本额定寿命	951
2.4	直线运动球轴承的应用实例	952
2.5	直线运动轴承的标准	953
2.6	直线运动支承的分类	954
2.7	直线运动支承的代号方法	955
3	关节轴承	971
3.1	关节轴承的特点	971
3.2	关节轴承的技术性能	971
3.3	关节轴承的承载能力	973
3.4	关节轴承的摩擦系数和摩擦力矩	973
3.5	关节轴承的标准	974
3.6	关节轴承的分类	974
3.7	关节轴承的代号方法	989
3.8	关节轴承的配合	995
3.9	关节轴承的安装尺寸	1005
4	汽车水泵轴连轴承	1011
4.1	轴连轴承的分类	1013
4.2	我国水泵轴连轴承的代号方法	1014
4.3	水泵轴连轴承的尺寸	1015
4.4	水泵轴连轴承的公差	1018
4.5	轴连轴承的润滑与密封	1019
4.6	轴连轴承的游隙	1020
5	汽车轮毂轴承	1021
5.1	轮毂单元的结构形式和外形尺寸	1022
5.2	汽车轮毂单元的代号方法	1026
5.3	技术要求	1027
5.4	润滑与密封	1029
5.5	寿命试验和型式试验	1029