



“十三五”国家重点出版物  
出版规划项目

# 现代 机械设计手册

MODERN  
HANDBOOK  
OF MECHANICAL  
DESIGN

第2卷

第二版

秦大同 谢里阳 主编



化学工业出版社

“十三五”国家重点出版物  
出版规划项目

# 现代机械设计手册

第二版

第 2 卷

秦大同 谢里阳 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

《现代机械设计手册》第二版是顺应“中国制造 2025”智能装备设计新要求、技术先进、数据可靠的一部现代化的机械设计大型工具书,涵盖现代机械零部件及传动设计、智能装备及控制设计、现代机械设计方法三部分内容。第二版重点加强机械智能化产品设计(3D 打印、智能零部件、节能元器件)、智能装备(机器人及智能化装备)控制及系统设计、现代设计方法及应用等内容。

《现代机械设计手册》共 6 卷,其中第 1 卷包括机械设计基础资料,零件结构设计,机械制图和几何精度设计,机械工程材料,连接件与紧固件;第 2 卷包括轴和联轴器,滚动轴承,滑动轴承,机架、箱体及导轨,弹簧,机构,机械零部件设计禁忌,带传动、链传动;第 3 卷包括齿轮传动,减速器、变速器,离合器、制动器,润滑,密封;第 4 卷包括液力传动,液压传动与控制,气压传动与控制;第 5 卷包括智能装备系统设计,工业机器人系统设计,传感器,控制元器件和控制单元,电动机;第 6 卷包括机械振动与噪声,疲劳强度设计,可靠性设计,优化设计,逆向设计,数字化设计,人机工程与产品造型设计,创新设计,绿色设计。

新版手册从新时代机械设计人员的实际需求出发,追求现代感,兼顾实用性、通用性、准确性,涵盖了各种常规和通用的机械设计技术资料,贯彻了最新的国家和行业标准,推荐了国内外先进、智能、节能、通用的产品,体现了便查易用的编写风格。

《现代机械设计手册》可作为机械装备研发、设计技术人员和有关工程技术人员的工具书,也可供高等院校相关专业师生参考使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

现代机械设计手册. 第 2 卷/秦大同, 谢里阳主编. —2  
版. —北京: 化学工业出版社, 2019.3  
ISBN 978-7-122-33380-3

I. ①现… II. ①秦… ②谢… III. ①机械设计-手册  
IV. ①TH122-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 267809 号

---

责任编辑: 张兴辉 王烨 贾娜 邢涛 项激 曾越 金林茹  
责任校对: 边涛 王静

装帧设计: 尹琳琳

---

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)  
印 装: 中煤(北京)印务有限公司  
787mm×1092mm 1/16 印张 115 字数 3983 千字 2019 年 3 月北京第 2 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 售后服务: 010-64518899  
网 址: <http://www.cip.com.cn>  
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 199.00 元  
京化广临字 2019—01

版权所有 违者必究

# 撰稿和审稿人员

手册主编

秦大同 (重庆大学)

谢里阳 (东北大学)

| 卷   | 篇    | 篇主编                           | 撰稿人                                                     | 审稿人        |
|-----|------|-------------------------------|---------------------------------------------------------|------------|
| 第1卷 | 第1篇  | 化学工业出版社组织编写                   | 张红燕、刘梅、李翔、董敏                                            | 王建军        |
|     | 第2篇  | 翟文杰(哈尔滨工业大学)                  | 翟文杰                                                     | 王连明        |
|     | 第3篇  | 郑鹏(郑州大学)<br>方东阳(郑州大学)         | 郑鹏、方东阳、张琳娜、赵凤霞、<br>焦利敏、职占新、刘栋梁、吴江昊、<br>王敏、尹浩田、辛传福、武钰瑾   | 张爱梅        |
|     | 第4篇  | 方昆凡(东北大学)                     | 方昆凡、单宝峰、石加联、梁京、<br>夏永发、陈述平、崔虹雯、黄英                       | 谭建荣        |
|     | 第5篇  | 王三民(西北工业大学)                   | 王三民、袁茹、高举、李洲洋                                           | 陈国定        |
| 第2卷 | 第6篇  | 吴立言(西北工业大学)                   | 刘岚、李洲洋、吴立言                                              | 陈国定        |
|     | 第7篇  | 郭宝霞<br>(洛阳轴承研究所有限公司)          | 郭宝霞、周宇、勇泰芳、张小玲、<br>秦汉涛、陈庆熙、张松                           | 杨晓蔚        |
|     | 第8篇  | 徐华(西安交通大学)                    | 徐华、诸文俊、谢振宇、郭宝霞、<br>冯凯、张胜伦                               | 朱均         |
|     | 第9篇  | 王瑜(哈尔滨工业大学)<br>翟文杰(哈尔滨工业大学)   | 王瑜、翟文杰、郭宝霞                                              | 王连明        |
|     | 第10篇 | 姜洪源(哈尔滨工业大学)<br>敖宏瑞(哈尔滨工业大学)  | 姜洪源、敖宏瑞、李胜波、王廷剑                                         | 陈照波        |
|     | 第11篇 | 李瑰贤(哈尔滨工业大学)<br>郝振洁(陆军军事交通学院) | 李瑰贤、郝振洁、孙开元、张丽杰、<br>徐来春、马超、李改玲、孙爱丽、<br>王文照、刘雅倩、赵永强      | 李瑰贤<br>孙开元 |
|     | 第12篇 | 向敬忠(哈尔滨理工大学)                  | 向敬忠、潘承怡、宋欣                                              | 于惠力<br>向敬忠 |
|     | 第13篇 | 姜洪源(哈尔滨工业大学)<br>闫辉(哈尔滨工业大学)   | 姜洪源、闫辉                                                  | 曲建俊<br>郭建华 |
| 第3卷 | 第14篇 | 秦大同(重庆大学)<br>陈兵奎(重庆大学)        | 张光辉、郭晓东、林腾蛟、林超、<br>秦大同、陈兵奎、石万凯、邓效忠、<br>罗文军、廖映华、张卫青、欧阳志喜 | 李钊刚        |
|     | 第15篇 | 秦大同(重庆大学)<br>龚仲华(常州机电职业技术学院)  | 孙冬野、刘振军、秦大同、廖映华、<br>龚仲华                                 | 吴晓铃        |
|     | 第16篇 | 秦大同(重庆大学)                     | 秦大同、朱春梅、田兴林                                             | 孔庆堂        |
|     | 第17篇 | 吴晓铃(郑州大学)                     | 吴晓铃、刘杰、吴启东                                              | 陈大融        |
|     | 第18篇 | 郝木明(中国石油大学)                   | 郝木明、孙鑫晖、王淮维、刘馥瑜                                         | 陈大融        |

# 第4卷

| 卷   | 篇    | 篇主编       | 撰稿人                                                                           | 审稿人               |
|-----|------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| 第4卷 | 第19篇 | 马文星(吉林大学) | 马文星、杨乃乔、王宏卫、邹铁汉、宋斌、刘春宝、卢秀泉、王松林、宋春涛、曹晓宇、熊以恒、潘志勇、邓洪超、才委、何延东、赵紫苓、姜丽英、侯继海、王佳欣、魏亚宵 | 方佳雨<br>刘春朝<br>刘伟辉 |
|     | 第20篇 | 高殿荣(燕山大学) | 刘涛、吴晓明、张伟、张齐生、赵静一、高殿荣                                                         | 高殿荣<br>姚晓先<br>吴晓明 |
|     | 第21篇 | 吴晓明(燕山大学) | 吴晓明、包钢、杨庆俊、向东                                                                 | 姚晓先               |

# 第5卷

|     |      |                            |                                          |            |
|-----|------|----------------------------|------------------------------------------|------------|
| 第5卷 | 第22篇 | 孟新宇(沈阳工业大学)<br>郝长中(沈阳理工大学) | 孟新宇、刘慧芳、杨国哲、王剑、勾轶、谷艳玲、郝长中、王铁军、吴东生、杨青、高启扬 | 于国安        |
|     | 第23篇 | 吴成东(东北大学)<br>姜杨(东北大学)      | 吴成东、姜杨、房立金、王斐、迟剑宁                        | 贾子熙<br>丁其川 |
|     | 第24篇 | 孙红春(东北大学)                  | 王明赞、李佳、孙红春、胡智勇、叶大勇                       | 林贵瑜        |
|     | 第25篇 | 王洁(沈阳工业大学)                 | 王洁、王野牧、谷艳玲、杨国哲、孙洪林、张靖                    | 徐方         |
|     | 第26篇 | 时献江(哈尔滨理工大学)               | 时献江、杜海艳、王昕、柴林杰                           | 邵俊鹏        |

# 第6卷

|     |      |                          |                                                                   |            |
|-----|------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------|
| 第6卷 | 第27篇 | 华宏星(上海交通大学)              | 华宏星、陈锋、湛勇、董兴建、黄修长、黄煜、焦素娟、蒋伟康、雷敏、李富才、刘树英、龙新华、饶柱石、塔娜、吴海军、严莉、张文明、张志谊 | 胡宗武<br>塔娜  |
|     | 第28篇 | 谢里阳(东北大学)                | 谢里阳、王雷                                                            | 赵少汴        |
|     | 第29篇 | 谢里阳(东北大学)                | 谢里阳、钱文学、吴宁祥                                                       | 孙志礼        |
|     | 第30篇 | 何雪泓(东北大学)                | 何雪泓、张翔、张瑞金                                                        | 颜云辉        |
|     | 第31篇 | 盛忠起(东北大学)<br>朱建宁(大连交通大学) | 盛忠起、谢华龙、许之伟、李飞、朱建宁、尤学文、韩朝建、徐超、葛亦凡、李照祥                             | 卢碧红<br>隋天中 |
|     | 第32篇 | 李卫民(辽宁工业大学)              | 李卫民、刘淑芬、赵文川、刘阳、刘志强、唐兆峰、宋小龙、于晓丹、邢颖                                 | 刘永贤        |
|     | 第33篇 | 曾红(辽宁工业大学)               | 曾红、陈明                                                             | 刘永贤        |
|     | 第34篇 | 赵新军(东北大学)                | 赵新军、钟莹、孙晓枫                                                        | 李赤泉        |
|     | 第35篇 | 张秀芬(内蒙古工业大学)             | 张秀芬、蔚刚                                                            | 胡志勇        |

《现代机械设计手册》第一版自 2011 年 3 月出版以来,赢得了机械设计人员、工程技术人员和高等院校专业师生广泛的青睐和好评,荣获了 2011 年全国优秀畅销书(科技类)。同时,因其在机械设计领域重要的科学价值、实用价值和现实意义,《现代机械设计手册》还荣获 2009 年国家出版基金资助和 2012 年中国机械工业科学技术奖。

《现代机械设计手册》第一版出版距今已经 8 年,在这期间,我国的装备制造业发生了许多重大的变化,尤其是 2015 年国家部署并颁布了实现中国制造业发展的十年行动纲领——中国制造 2025,发布了针对“中国制造 2025”的五大“工程实施指南”,为机械制造业的未来发展指明了方向。在国家政策号召和驱使下,我国的机械工业获得了快速的发展,自主创新的能力不断加强,一批高技术、高性能、高精尖的现代化装备不断涌现,各种新材料、新工艺、新结构、新产品、新方法、新技术不断产生、发展并投入实际应用,大大提升了我国机械设计与制造的技术水平和国际竞争力。《现代机械设计手册》第二版最重要的原则就是紧密结合“中国制造 2025”国家规划和创新驱动发展战略,在内容上与时俱进,全面体现创新、智能、节能、环保的主题,进一步呈现机械设计的现代感。鉴于此,《现代机械设计手册》第二版被列入了“十三五国家重点出版物规划项目”。

在本版手册的修订过程中,我们广泛深入机械制造企业、设计院、科研院所和高等院校进行调研,听取各方面读者的意见和建议,最终确定了《现代机械设计手册》第二版的根本宗旨:一方面,新版手册进一步加强机、电、液、控制技术的有机融合,以全面适应机器人等智能化装备系统设计开发的新要求;另一方面,随着现代机械设计方法和工程设计软件的广泛应用和普及,新版手册继续促进传动设计与现代设计的有机结合,将各种新的设计技术、计算技术、设计工具全面融入传统的机械设计实际工作中。

《现代机械设计手册》第二版共 6 卷 35 篇,它是一部面向“中国制造 2025”,适应智能装备设计开发新要求、技术先进、数据可靠、符合现代机械设计潮流的现代化的机械设计大型工具书,涵盖现代机械零部件及传动设计、智能装备及控制设计、现代机械设计方法及应用三部分内容,具有以下六大特色。

1. 权威性。《现代机械设计手册》阵容强大,编、审人员大都来自于设计、生产、教学和科研第一线,具有深厚的理论功底、丰富的设计实践经验。他们中很多人都是所属领域的知名专家,在业内有广泛的影响力和知名度,获得过多项国家和省部级科技进步奖、发明奖和技术专利,承担了许多机械领域国家重要的科研和攻关项目。这支专业、权威的编审队伍确保了手册准确、实用的内容质量。

2. 现代感。追求现代感,体现现代机械设计气氛,满足时代要求,是《现代机械设计手册》的基本宗旨。“现代”二字主要体现在:新标准、新技术、新材料、新结构、新工艺、新产品、智能化、现代的设计理念、现代的设计方法和现代的设计手段等几个方面。第二版重点加强机械智能化产品设计(3D 打印、智能零部件、节能元器件)、智能装备(机器人及智能化装备)控制及系统设计、数字化设计等内容。

(1)“零件结构设计”等篇进一步完善零部件结构设计的内容,结合目前的 3D 打印(增材制造)技术,增加 3D 打印工艺下零件结构设计的相关技术内容。

# 前言

FORWARD



“机械工程材料”篇增加 3D 打印材料以及新型材料的内容。

(2) 机械零部件及传动设计各篇增加了新型智能零部件、节能元器件及其应用技术,例如“滑动轴承”篇增加了新型的智能轴承,“润滑”篇增加了微量润滑技术等内容。

(3) 全面增加了工业机器人设计及应用的内容:新增了“工业机器人系统设计”篇;“智能装备系统设计”篇增加了工业机器人应用开发的内容;“机构”篇增加了自动化机构及机构创新的内容;“减速器、变速器”篇增加了工业机器人减速器选用设计的内容;“带传动、链传动”篇增加并完善了工业机器人适用的同步带传动设计的内容;“齿轮传动”篇增加了 RV 减速器传动设计、谐波齿轮传动设计的内容等。

(4) “气压传动与控制”“液压传动与控制”篇重点加强并完善了控制技术的内容,新增了气动系统自动控制、气动人工肌肉、液压和气动新型智能元器件及新产品等内容。

(5) 继续加强第 5 卷机电控制系统设计的相关内容:除增加“工业机器人系统设计”篇外,原“机电一体化系统设计”篇充实扩充形成“智能装备系统设计”篇,增加并完善了智能装备系统设计的相关内容,增加智能装备系统开发实例等。

“传感器”篇增加了机器人传感器、航空航天装备用传感器、微机械传感器、智能传感器、无线传感器的技术原理和产品,加强传感器应用和选用的内容。

“控制元器件和控制单元”篇和“电动机”篇全面更新产品,重点推荐了一些新型的智能和节能产品,并加强产品选用的内容。

(6) 第 6 卷进一步加强现代机械设计方法应用的内容:在 3D 打印、数字化设计等智能制造理念的倡导下,“逆向设计”“数字化设计”等篇全面更新,体现了“智能工厂”的全数字化设计的时代特征,增加了相关设计应用实例。

增加“绿色设计”篇;“创新设计”篇进一步完善了机械创新设计原理,全面更新创新实例。

(7) 在贯彻新标准方面,收录并合理编排了目前最新颁布的国家和行业标准。

3. 实用性。新版手册继续加强实用性,内容的选定、深度的把握、资料的取舍和章节的编排,都坚持从设计和生产的实际需要出发:例如机械零部件数据资料主要依据最新国家和行业标准,并给出了相应的设计实例供设计人员参考;第 5 卷机电控制设计部分,完全站在机械设计人员的角度来编写——注重产品如何选用,摒弃或简化了控制的基本原理,突出机电系统设计,控制元器件、传感器、电动机部分注重介绍主流产品的技术参数、性能、应用场合、选用原则,并给出了相应的设计选用实例;第 6 卷现代机械设计方法中简化了繁琐的数学推导,突出了最终的计算结果,结合具体的算例将设计方法通俗地呈现出来,便于读者理解和掌握。

为方便广大读者的使用,手册在具体内容的表述上,采用以图表为主的编写风格。这样既增加了手册的信息容量,更重要的是方便了读者的查阅使用,有利于提高设计人员的工作效率和设计速度。

为了进一步增加手册的承载容量和时效性,本版修订将部分篇章的内容放入二维码中,读者可以用手机扫描查看、下载打印或存储在 PC 端进行查看和使用。二维码内容主要涵盖以下几方面的内容:即将被废止的旧标准(新标准一旦正式颁布,会及时将二维码内容更新为新标



准的内容)；部分推荐产品及参数；其他相关内容。

4. 通用性。本手册以通用的机械零部件和控制元器件设计、选用内容为主，主要包括机械设计基础资料、机械制图和几何精度设计、机械工程材料、机械通用零部件设计、机械传动系统设计、液压和气压传动系统设计、机构设计、机架设计、机械振动设计、智能装备系统设计、控制元器件和控制单元等，既适用于传统的通用机械零部件设计选用，又适用于智能化装备的整机系统设计开发，能够满足各类机械设计人员的工作需求。

5. 准确性。本手册尽量采用原始资料，公式、图表、数据力求准确可靠，方法、工艺、技术力求成熟。所有材料、零部件和元器件、产品和工艺方面的标准均采用最新公布的标准资料，对于标准规范的编写，手册没有简单地照抄照搬，而是采取选用、摘录、合理编排的方式，强调其科学性和准确性，尽量避免差错和谬误。所有设计方法、计算公式、参数选用均经过长期检验，设计实例、各种算例均来自工程实际。手册中收录通用性强、标准化程度高的产品，供设计人员在了解企业实际生产品种、规格尺寸、技术参数，以及产品质量和用户的实际反映后选用。

6. 全面性。本手册一方面根据机械设计人员的需要，按照“基本、常用、重要、发展”的原则选取内容，另一方面兼顾了制造企业和大型设计院两大群体的设计特点，即制造企业侧重基础性的设计内容，而大型的设计院、工程公司侧重于产品的选用。因此，本手册力求实现零部件设计与整机系统开发的和谐统一，促进机械设计与控制设计的有机融合，强调产品设计与工艺技术的紧密结合，重视工艺技术与选用材料的合理搭配，倡导结构设计与造型设计的完美统一，以全面适应新时代机械新产品设计开发的需要。

经过广大编审人员和出版社的不懈努力，新版《现代机械设计手册》将以崭新的风貌和鲜明的时代气息展现在广大机械设计工作者面前。值此出版之际，谨向所有给过我们大力支持的单位和各界朋友表示衷心的感谢！

主 编

# 目录

CONTENTS



## 第6篇 轴和联轴器

### 第1章 轴

|                      |      |
|----------------------|------|
| 1.1 轴的分类、材料 and 设计方法 | 6-3  |
| 1.1.1 轴的分类           | 6-3  |
| 1.1.2 轴的常用材料         | 6-3  |
| 1.1.3 轴的设计方法概述       | 6-5  |
| 1.2 轴的结构设计           | 6-5  |
| 1.2.1 零件在轴上的定位与固定    | 6-6  |
| 1.2.2 轴的结构与工艺性       | 6-8  |
| 1.2.3 轴伸的结构尺寸        | 6-8  |
| 1.2.4 提高轴疲劳强度的结构措施   | 6-13 |
| 1.2.5 轴的结构示例         | 6-14 |
| 1.3 轴的强度校核计算         | 6-15 |
| 1.3.1 仅受扭转的强度校核计算    | 6-15 |
| 1.3.2 受弯扭联合作用的强度校核计算 | 6-16 |
| 1.3.3 考虑应力集中的强度校核计算  | 6-17 |
| 1.4 轴的刚度校核计算         | 6-21 |
| 1.4.1 轴的扭转刚度校核计算     | 6-21 |
| 1.4.2 轴的弯曲刚度校核计算     | 6-21 |
| 1.5 轴的临界转速校核计算       | 6-22 |
| 1.5.1 不带圆盘均质轴的临界转速   | 6-23 |
| 1.5.2 带圆盘的轴的临界转速     | 6-23 |
| 1.6 设计计算举例及轴的工作图     | 6-24 |
| 1.7 轴的可靠度计算          | 6-27 |
| 1.7.1 轴可靠度计算的基本方法    | 6-27 |
| 1.7.2 轴可靠度计算举例       | 6-28 |
| 1.8 轴的计算机辅助设计与分析     | 6-28 |
| 1.8.1 轴的计算机辅助设计      | 6-28 |
| 1.8.2 轴的强度校核的有限元计算   | 6-29 |
| 1.8.3 轴的刚度校核的有限元计算   | 6-32 |
| 1.8.4 轴临界转速的有限元计算    | 6-32 |

### 第2章 软 轴

|                |      |
|----------------|------|
| 2.1 软轴的结构组成和规格 | 6-34 |
|----------------|------|

|                  |      |
|------------------|------|
| 2.1.1 软轴         | 6-34 |
| 2.1.2 软管         | 6-36 |
| 2.1.3 软轴接头       | 6-36 |
| 2.1.4 软管接头       | 6-37 |
| 2.2 常用软轴的典型结构    | 6-37 |
| 2.3 防逆转装置        | 6-38 |
| 2.4 软轴的选择与使用     | 6-39 |
| 2.4.1 软轴的选择      | 6-39 |
| 2.4.2 软轴使用时的注意事项 | 6-40 |

### 第3章 联 轴 器

|                                         |      |
|-----------------------------------------|------|
| 3.1 联轴器的分类、特点及应用                        | 6-41 |
| 3.2 联轴器的选用 (JB/T 7511—1994)             | 6-41 |
| 3.2.1 联轴器的转矩                            | 6-41 |
| 3.2.2 挠性或弹性联轴器计算                        | 6-43 |
| 3.2.3 选用联轴器有关的系数                        | 6-44 |
| 3.2.4 联轴器选用示例                           | 6-46 |
| 3.3 联轴器的性能、参数及尺寸                        | 6-47 |
| 3.3.1 联轴器轴孔和连接型式与尺寸<br>(GB/T 3852—2017) | 6-48 |
| 3.3.2 凸缘联轴器 (GB/T 5843—2003)            | 6-53 |
| 3.3.3 弹性柱销联轴器<br>(GB/T 5014—2017)       | 6-56 |
| 3.3.4 弹性套柱销联轴器<br>(GB/T 4323—2017)      | 6-63 |
| 3.3.5 弹性柱销齿式联轴器<br>(GB/T 5015—2017)     | 6-66 |
| 3.3.6 弹性块联轴器<br>(JB/T 9148—1999)        | 6-78 |
| 3.3.7 弹性环联轴器<br>(GB/T 2496—2008)        | 6-82 |
| 3.3.8 梅花形弹性联轴器<br>(GB/T 5272—2017)      | 6-85 |
| 3.3.9 膜片联轴器 (JB/T 9147—1999)            | 6-93 |
| 3.3.10 蛇形弹簧联轴器                          |      |

|                                             |       |
|---------------------------------------------|-------|
| (JB/T 8869—2000) .....                      | 6-103 |
| 3.3.11 弹性阻尼簧片联轴器<br>(GB/T 12922—2008) ..... | 6-120 |
| 3.3.12 鼓形齿式联轴器 .....                        | 6-134 |
| 3.3.13 滚子链联轴器<br>(GB/T 6069—2017) .....     | 6-148 |
| 3.3.14 十字轴式万向联轴器 .....                      | 6-149 |

|                                            |       |
|--------------------------------------------|-------|
| 3.3.15 钢球式节能安全联轴器 .....                    | 6-168 |
| 3.3.16 蛇形弹簧安全联轴器<br>(JB/T 7682—1995) ..... | 6-178 |
| 3.3.17 联轴器标准一览表 .....                      | 6-181 |

|            |       |
|------------|-------|
| 参考文献 ..... | 6-184 |
|------------|-------|

## 第7篇 滚动轴承

### 第1章 滚动轴承的分类、结构

#### 型式及代号

|                                                 |      |
|-------------------------------------------------|------|
| 1.1 滚动轴承的常用分类 .....                             | 7-3  |
| 1.2 滚动轴承其他分类 .....                              | 7-5  |
| 1.3 带座外球面球轴承分类 .....                            | 7-5  |
| 1.4 滚动轴承的代号 .....                               | 7-6  |
| 1.4.1 基本代号 .....                                | 7-7  |
| 1.4.2 常用滚动轴承的基本结构型式和<br>代号构成 .....              | 7-8  |
| 1.4.3 滚针轴承的基本结构型式和代号<br>构成 .....                | 7-15 |
| 1.4.4 前置代号 .....                                | 7-18 |
| 1.4.5 后置代号 .....                                | 7-18 |
| 1.4.6 代号编制规则 .....                              | 7-24 |
| 1.4.7 带附件轴承代号 .....                             | 7-24 |
| 1.4.8 非标准轴承代号 .....                             | 7-24 |
| 1.4.9 非标准轴承代号示例 .....                           | 7-25 |
| 1.4.10 符合 GB/T 273.1—2011 规定的圆锥<br>滚子轴承代号 ..... | 7-25 |
| 1.4.10.1 圆锥滚子轴承代号构成 .....                       | 7-25 |
| 1.4.10.2 基本代号 .....                             | 7-25 |
| 1.4.10.3 后置代号 .....                             | 7-25 |
| 1.5 带座外球面球轴承代号 .....                            | 7-26 |
| 1.5.1 带座轴承代号的构成及排列 .....                        | 7-26 |
| 1.5.2 带座轴承基本结构及代号构成 .....                       | 7-26 |
| 1.5.3 带附件的带座轴承代号 .....                          | 7-29 |
| 1.6 专用轴承的分类和代号 .....                            | 7-29 |

### 第2章 滚动轴承的特点与选用

|                            |      |
|----------------------------|------|
| 2.1 滚动轴承结构类型的特点及适用范围 ..... | 7-31 |
| 2.2 滚动轴承的选用 .....          | 7-33 |
| 2.2.1 轴承的类型选用 .....        | 7-33 |
| 2.2.2 滚动轴承的尺寸选择 .....      | 7-35 |

|                                    |      |
|------------------------------------|------|
| 2.2.3 滚动轴承的游隙选择 .....              | 7-39 |
| 2.2.4 滚动轴承公差等级的选用 .....            | 7-47 |
| 2.2.5 滚动轴承公差 .....                 | 7-47 |
| 2.2.5.1 向心轴承公差(圆锥滚子轴承<br>除外) ..... | 7-51 |
| 2.2.5.2 圆锥滚子轴承公差 .....             | 7-57 |
| 2.2.5.3 向心轴承外圈凸缘公差 .....           | 7-62 |
| 2.2.5.4 圆锥孔公差 .....                | 7-63 |
| 2.2.5.5 推力轴承公差 .....               | 7-64 |

### 第3章 滚动轴承的计算

|                                          |      |
|------------------------------------------|------|
| 3.1 滚动轴承寿命计算 .....                       | 7-68 |
| 3.1.1 基本概念和术语 .....                      | 7-68 |
| 3.1.2 符号 .....                           | 7-69 |
| 3.1.3 基本额定寿命的计算 .....                    | 7-70 |
| 3.1.4 修正额定寿命的计算 .....                    | 7-70 |
| 3.1.5 系统方法的寿命修正系数 $a_{ISO}$ .....        | 7-70 |
| 3.1.6 疲劳载荷极限 $C_u$ .....                 | 7-70 |
| 3.1.7 寿命修正系数 $a_{ISO}$ 的简化方法 .....       | 7-71 |
| 3.1.8 污染系数 $e_c$ .....                   | 7-73 |
| 3.1.9 黏度比 $\kappa$ 的计算 .....             | 7-79 |
| 3.2 基本额定动载荷的计算 .....                     | 7-80 |
| 3.2.1 轴承的基本额定动载荷 $C$ .....               | 7-80 |
| 3.2.2 双列或多列推力轴承轴向基本额定<br>动载荷 $C_u$ ..... | 7-82 |
| 3.3 基本额定静载荷的计算 .....                     | 7-82 |
| 3.4 当量载荷的计算 .....                        | 7-83 |
| 3.5 轴承组的基本额定载荷和当量载荷 .....                | 7-86 |
| 3.6 变化工作条件下的平均载荷 .....                   | 7-86 |
| 3.7 变化工作条件下的寿命计算 .....                   | 7-87 |
| 3.8 轴承极限转速的确定方法 .....                    | 7-87 |
| 3.9 额定热转速 .....                          | 7-88 |
| 3.9.1 定义及符号 .....                        | 7-89 |
| 3.9.2 额定热转速的计算 .....                     | 7-89 |
| 3.10 滚动轴承的摩擦计算 .....                     | 7-92 |

|                           |      |
|---------------------------|------|
| 3.10.1 轴承的摩擦力矩 .....      | 7-92 |
| 3.10.2 轴承的摩擦因数 .....      | 7-93 |
| 3.11 圆柱滚子轴承的轴向承载能力 .....  | 7-93 |
| 3.12 轴承需要的最小轴向载荷的计算 ..... | 7-93 |

## 第4章 滚动轴承的应用设计

|                                        |       |
|----------------------------------------|-------|
| 4.1 滚动轴承的配合 .....                      | 7-95  |
| 4.1.1 滚动轴承配合的特点 .....                  | 7-95  |
| 4.1.2 轴承（普通、6级）与轴和外壳配合<br>的常用公差带 ..... | 7-95  |
| 4.1.3 轴承配合的选择 .....                    | 7-95  |
| 4.1.4 轴承与轴和外壳孔的配合公差带<br>选择 .....       | 7-96  |
| 4.1.5 配合表面的形位公差与表面<br>粗糙度 .....        | 7-98  |
| 4.1.6 轴承与空心轴、铸铁和轻金属轴承座配合<br>的选择 .....  | 7-99  |
| 4.1.7 轴承与实心轴配合过盈量的估算 .....             | 7-99  |
| 4.2 滚动轴承的轴向紧固 .....                    | 7-100 |
| 4.2.1 轴向定位 .....                       | 7-100 |
| 4.2.2 轴向固定 .....                       | 7-101 |
| 4.2.3 轴向紧固装置 .....                     | 7-101 |
| 4.3 滚动轴承的预紧 .....                      | 7-102 |
| 4.3.1 预紧方式 .....                       | 7-102 |
| 4.3.2 定位预紧 .....                       | 7-102 |
| 4.3.3 定压预紧 .....                       | 7-102 |
| 4.3.4 卸紧载荷 .....                       | 7-102 |
| 4.3.5 最小轴向预紧载荷 .....                   | 7-102 |
| 4.3.6 径向预紧 .....                       | 7-102 |
| 4.4 滚动轴承的密封 .....                      | 7-105 |
| 4.4.1 选择轴承密封形式应考虑<br>的因素 .....         | 7-105 |
| 4.4.2 轴承的主要密封形式 .....                  | 7-105 |
| 4.4.3 轴承的自身密封 .....                    | 7-105 |
| 4.4.4 轴承的支承密封 .....                    | 7-105 |
| 4.5 滚动轴承的安装与拆卸 .....                   | 7-108 |
| 4.5.1 圆柱孔轴承的安装 .....                   | 7-108 |
| 4.5.2 圆锥孔轴承的安装 .....                   | 7-108 |
| 4.5.3 角接触轴承的安装 .....                   | 7-108 |
| 4.5.4 推力轴承的安装 .....                    | 7-108 |
| 4.5.5 滚动轴承的拆卸 .....                    | 7-108 |
| 4.6 游隙的调整方法 .....                      | 7-109 |
| 4.7 轴承的组合设计 .....                      | 7-110 |
| 4.7.1 轴承的配置 .....                      | 7-110 |
| 4.7.2 常见的支承结构简图 .....                  | 7-112 |

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| 4.7.3 滚动轴承组合设计的典型结构 .....        | 7-114 |
| 4.8 滚动轴承通用技术规则 .....             | 7-115 |
| 4.8.1 外形尺寸 .....                 | 7-115 |
| 4.8.2 公差等级与公差 .....              | 7-115 |
| 4.8.3 倒角尺寸最大值 .....              | 7-115 |
| 4.8.4 游隙 .....                   | 7-115 |
| 4.8.5 表面粗糙度 .....                | 7-115 |
| 4.8.6 轴承套圈和滚动体材料及热处理 .....       | 7-116 |
| 4.8.7 残磁限值 .....                 | 7-116 |
| 4.8.8 振动限值 .....                 | 7-116 |
| 4.8.9 密封性 .....                  | 7-116 |
| 4.8.10 清洁度 .....                 | 7-116 |
| 4.8.11 外观质量 .....                | 7-116 |
| 4.8.12 互换性 .....                 | 7-116 |
| 4.8.13 额定载荷、额定寿命和额定热<br>转速 ..... | 7-116 |
| 4.8.14 测量方法 .....                | 7-116 |
| 4.8.15 标志 .....                  | 7-117 |
| 4.8.16 检验规则 .....                | 7-117 |
| 4.8.17 包装 .....                  | 7-117 |
| 4.8.18 轴承用零件和附件 .....            | 7-117 |
| 4.9 轴承的应用 .....                  | 7-117 |

## 第5章 常用滚动轴承的基本尺寸及性能参数

|                     |       |
|---------------------|-------|
| 5.1 深沟球轴承 .....     | 7-118 |
| 5.2 调心球轴承 .....     | 7-137 |
| 5.3 角接触球轴承 .....    | 7-149 |
| 5.4 圆柱滚子轴承 .....    | 7-163 |
| 5.5 调心滚子轴承 .....    | 7-188 |
| 5.6 滚针轴承 .....      | 7-211 |
| 5.7 圆锥滚子轴承 .....    | 7-226 |
| 5.8 推力球轴承 .....     | 7-246 |
| 5.9 推力角接触球轴承 .....  | 7-259 |
| 5.10 推力调心滚子轴承 ..... | 7-261 |
| 5.11 推力圆柱滚子轴承 ..... | 7-264 |
| 5.12 推力圆锥滚子轴承 ..... | 7-264 |
| 5.13 推力滚针轴承 .....   | 7-265 |
| 5.14 带座外球面球轴承 ..... | 7-266 |
| 5.15 组合轴承 .....     | 7-295 |
| 5.16 智能轴承 .....     | 7-304 |
| 5.16.1 分类 .....     | 7-304 |
| 5.16.2 国内外情况 .....  | 7-304 |
| 5.16.3 市场应用 .....   | 7-304 |
| 5.17 锥形衬套 .....     | 7-304 |

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| 5.18 轴承座 .....        | 7-321 |
| 5.18.1 二螺柱立式轴承座 ..... | 7-321 |
| 5.18.2 四螺柱立式轴承座 ..... | 7-325 |
| 5.19 止推环 .....        | 7-326 |

|                      |       |
|----------------------|-------|
| 附录 .....             | 7-328 |
| 附录一 滚动轴承现行标准目录 ..... | 7-328 |

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| 附录二 轴承工业现行国际标准目录 .....   | 7-333 |
| 附录三 滚动轴承新旧标准代号对照 .....   | 7-337 |
| 附录四 国外著名轴承公司通用轴承代号 ..... | 7-344 |
| 附录五 国内外轴承公差等级对照 .....    | 7-349 |
| 附录六 国内外轴承游隙对照 .....      | 7-349 |

|            |       |
|------------|-------|
| 参考文献 ..... | 7-351 |
|------------|-------|

## 第8篇 滑动轴承

### 第1章 滑动轴承分类、特点与应用及选择

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 1.1 各类滑动轴承的特点与应用 .....  | 8-3 |
| 1.2 滑动轴承类型的选择 .....     | 8-4 |
| 1.2.1 滑动轴承性能比较 .....    | 8-4 |
| 1.2.2 选择轴承类型的特性曲线 ..... | 8-6 |
| 1.3 滑动轴承设计资料 .....      | 8-7 |

### 第2章 滑动轴承材料

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 2.1 对轴承材料的性能要求 ..... | 8-9 |
| 2.2 滑动轴承材料及其性能 ..... | 8-9 |

### 第3章 不完全流体润滑轴承

|                                         |      |
|-----------------------------------------|------|
| 3.1 径向滑动轴承的选用与验算 .....                  | 8-18 |
| 3.2 推力滑动轴承的选用与验算 .....                  | 8-18 |
| 3.3 滑动轴承的常见型式 .....                     | 8-19 |
| 3.3.1 整体滑动轴承 .....                      | 8-19 |
| 3.3.2 对开式滑动轴承 .....                     | 8-20 |
| 3.3.3 法兰滑动轴承 .....                      | 8-23 |
| 3.4 轴套与轴瓦 .....                         | 8-25 |
| 3.4.1 轴套 .....                          | 8-25 |
| 3.4.2 轴套的固定<br>(JB/ZQ 4616—2006) .....  | 8-30 |
| 3.4.3 轴瓦 .....                          | 8-31 |
| 3.5 滑动轴承的结构要素 .....                     | 8-36 |
| 3.5.1 润滑槽 .....                         | 8-36 |
| 3.5.2 轴承合金浇铸槽 .....                     | 8-36 |
| 3.6 滑动轴承间隙与配合的选择 .....                  | 8-37 |
| 3.7 滑动轴承润滑 .....                        | 8-40 |
| 3.8 滑动轴承座技术条件<br>(JB/T 2564—2007) ..... | 8-42 |
| 3.9 关节轴承 .....                          | 8-43 |

|                                                                   |       |
|-------------------------------------------------------------------|-------|
| 3.9.1 关节轴承的分类、结构型式与<br>代号 .....                                   | 8-43  |
| 3.9.1.1 关节轴承分类 .....                                              | 8-43  |
| 3.9.1.2 关节轴承代号方法 .....                                            | 8-43  |
| 3.9.1.3 关节轴承主要类型的结构<br>特点 .....                                   | 8-45  |
| 3.9.2 关节轴承寿命及载荷的计算 .....                                          | 8-50  |
| 3.9.2.1 定义 .....                                                  | 8-50  |
| 3.9.2.2 符号 .....                                                  | 8-50  |
| 3.9.2.3 额定载荷 .....                                                | 8-51  |
| 3.9.2.4 关节轴承寿命 .....                                              | 8-52  |
| 3.9.2.5 关节轴承的摩擦因数 .....                                           | 8-53  |
| 3.9.3 关节轴承的应用设计 .....                                             | 8-54  |
| 3.9.3.1 关节轴承的配合 .....                                             | 8-54  |
| 3.9.3.2 关节轴承的游隙 .....                                             | 8-56  |
| 3.9.3.3 关节轴承的公差 .....                                             | 8-58  |
| 3.9.4 关节轴承的基本尺寸和性能参数 .....                                        | 8-61  |
| 3.9.4.1 向心关节轴承<br>(GB/T 9163—2001) .....                          | 8-61  |
| 3.9.4.2 角接触关节轴承<br>(GB/T 9164—2001) .....                         | 8-67  |
| 3.9.4.3 推力关节轴承<br>(GB/T 9162—2001) .....                          | 8-70  |
| 3.9.4.4 杆端关节轴承<br>(GB/T 9161—2001) .....                          | 8-72  |
| 3.9.4.5 自润滑球头螺栓杆端关节轴承<br>(JB/T 5306—2007) .....                   | 8-75  |
| 3.9.4.6 关节轴承安装尺寸 .....                                            | 8-77  |
| 3.10 自润滑轴承 .....                                                  | 8-82  |
| 3.10.1 自润滑镶嵌轴承 .....                                              | 8-82  |
| 3.10.2 粉末冶金轴承(含油轴承)<br>(GB/T 2688—2012、<br>GB/T 18323—2001) ..... | 8-86  |
| 3.10.3 自润滑复合材料卷制轴套 .....                                          | 8-93  |
| 3.11 双金属减摩卷制轴套 .....                                              | 8-99  |
| 3.12 塑料轴承 .....                                                   | 8-101 |

|                                           |       |
|-------------------------------------------|-------|
| 3.13 水润滑热固性塑料轴承<br>(JB/T 5985—1992) ..... | 8-102 |
| 3.14 橡胶轴承 .....                           | 8-105 |

## 第4章 液体动压润滑轴承

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| 4.1 液体动压润滑轴承分类 .....     | 8-108 |
| 4.2 基本原理 .....           | 8-109 |
| 4.2.1 基本方程 .....         | 8-109 |
| 4.2.2 静特性计算 .....        | 8-110 |
| 4.2.3 动特性计算 .....        | 8-111 |
| 4.2.4 稳定性计算 .....        | 8-112 |
| 4.3 典型轴承的性能曲线及计算示例 ..... | 8-112 |
| 4.4 轴承材料 .....           | 8-133 |
| 4.5 轴承主要参数的选择 .....      | 8-135 |
| 4.6 液体动压推力轴承 .....       | 8-137 |
| 4.6.1 参数选择 .....         | 8-137 |
| 4.6.2 斜平面推力轴承 .....      | 8-137 |
| 4.6.3 可倾瓦推力轴承 .....      | 8-138 |
| 4.7 计算程序简介 .....         | 8-142 |

## 第5章 液体静压轴承

|                                                                     |       |
|---------------------------------------------------------------------|-------|
| 5.1 概述 .....                                                        | 8-144 |
| 5.2 液体静压轴承的分类 .....                                                 | 8-145 |
| 5.3 液体静压轴承的原理 .....                                                 | 8-145 |
| 5.4 液体静压轴承的结构设计 .....                                               | 8-147 |
| 5.4.1 径向液体静压轴承结构、特点与<br>应用 .....                                    | 8-147 |
| 5.4.2 径向液体静压轴承的结构尺寸及<br>主要技术数据 .....                                | 8-149 |
| 5.4.3 径向液体静压轴承的系列结构<br>尺寸 .....                                     | 8-150 |
| 5.4.4 推力液体静压轴承结构、特点与<br>应用 .....                                    | 8-154 |
| 5.4.5 推力液体静压轴承的结构尺寸及<br>主要技术数据 .....                                | 8-156 |
| 5.4.6 推力液体静压轴承的系列结构<br>尺寸 .....                                     | 8-156 |
| 5.4.7 液体静压轴承材料 .....                                                | 8-157 |
| 5.4.8 节流器的结构、特点与应用 .....                                            | 8-158 |
| 5.4.9 节流器的结构尺寸及主要技术<br>数据 .....                                     | 8-160 |
| 5.5 液体静压轴承计算的基本公式 .....                                             | 8-160 |
| 5.5.1 油垫流量系数 $C_d$ 、有效承载面积系数<br>$\bar{A}_e$ 、周向流量系数 $\gamma$ 和腔内孔流量 |       |

|                                              |       |
|----------------------------------------------|-------|
| 系数 $\omega$ .....                            | 8-162 |
| 5.5.2 刚度系数 $\bar{G}_0$ .....                 | 8-163 |
| 5.5.3 承载系数 $\bar{F}_n$ 或偏心率 $\epsilon$ ..... | 8-165 |
| 5.5.4 功率消耗计算 .....                           | 8-166 |
| 5.6 供油系统设计及元件与润滑油的<br>选择 .....               | 8-166 |
| 5.6.1 供油方式、特点与应用 .....                       | 8-166 |
| 5.6.2 供油系统、特点与应用 .....                       | 8-167 |
| 5.6.3 元件的选择 .....                            | 8-167 |
| 5.6.4 润滑油的选择 .....                           | 8-167 |
| 5.7 液体静压轴承设计计算的一般步骤及<br>举例 .....             | 8-168 |
| 5.7.1 液体静压轴承系统设计计算的一般<br>步骤 .....            | 8-168 |
| 5.7.2 毛细管节流径向液体静压轴承设计<br>举例 .....            | 8-168 |
| 5.7.3 毛细管节流推力液体静压轴承设计<br>举例 .....            | 8-171 |
| 5.7.4 小孔节流径向液体静压轴承设计<br>举例 .....             | 8-173 |
| 5.7.5 薄膜反馈节流径向液体静压轴承<br>设计举例 .....           | 8-176 |
| 5.8 静压轴承的故障及消除的方法 .....                      | 8-179 |

## 第6章 气体润滑轴承

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| 6.1 气体润滑理论 .....                 | 8-180 |
| 6.1.1 气体力学基本方程式 .....            | 8-180 |
| 6.1.2 雷诺方程 .....                 | 8-181 |
| 6.1.3 气体润滑计算的数值解法 .....          | 8-182 |
| 6.1.4 气体轴承计算模型 .....             | 8-182 |
| 6.2 静压气体轴承 .....                 | 8-182 |
| 6.2.1 概述 .....                   | 8-182 |
| 6.2.2 气体静压轴承工作原理及其特点 .....       | 8-183 |
| 6.2.3 气体静压轴承的设计 .....            | 8-183 |
| 6.3 气体动压轴承 .....                 | 8-185 |
| 6.3.1 动压气体轴承计算模型 .....           | 8-185 |
| 6.3.2 气体动压径向轴承 .....             | 8-185 |
| 6.3.3 气体动压刻槽推力轴承 .....           | 8-190 |
| 6.3.4 气体动压刻槽球形轴承 .....           | 8-193 |
| 6.4 挤压膜气体轴承 .....                | 8-199 |
| 6.4.1 挤压膜气体轴承的工作原理及<br>特点 .....  | 8-199 |
| 6.4.2 挤压膜气体轴承的分类及其计算<br>方法 ..... | 8-199 |

## 第7章 气体箔片轴承

- 7.1 气体箔片轴承的工作原理和轴承类型 ... 8-201
- 7.2 波箔型气体箔片轴承的理论模型 ... 8-204
  - 7.2.1 弹性支承结构模型 ... 8-204
  - 7.2.2 气体箔片轴承的气弹耦合润滑模型 ... 8-205
- 7.3 气体箔片轴承的静态性能求解 ... 8-206
- 7.4 气体箔片轴承的动态性能求解 ... 8-207
- 7.5 气体箔片轴承的静动态性能预测结果 ... 8-209
- 7.6 推力气体箔片轴承的静动态性能预测 ... 8-210

## 第8章 流体动静压润滑轴承

- 8.1 工作原理及特性 ... 8-213
- 8.2 动静压轴承的结构型式 ... 8-213
- 8.3 动静压轴承设计的基本理论与数值方法 ... 8-215
  - 8.3.1 基本公式 ... 8-215
  - 8.3.2 雷诺方程 ... 8-215
  - 8.3.3 紊流模型 ... 8-216
  - 8.3.4 能量方程 ... 8-217
  - 8.3.5 边界条件处理 ... 8-217
  - 8.3.6 环面节流器边界条件 ... 8-217
  - 8.3.7 能量方程油腔边缘边界条件 ... 8-218
  - 8.3.8 其他边界条件 ... 8-218
- 8.4 动静压轴承性能计算 ... 8-218
  - 8.4.1 静特性计算 ... 8-218
  - 8.4.2 动特性计算 ... 8-220
  - 8.4.3 动静压轴承性能计算程序 ... 8-220
  - 8.4.4 程序框图 ... 8-220
- 8.5 动静压轴承设计实例 ... 8-220
- 8.6 动静压轴承主要参数选择与确定 ... 8-223
  - 8.6.1 结构参数中的主要参数选择 ... 8-223
  - 8.6.2 运行参数中的主要参数选择 ... 8-223

## 第9章 电磁轴承

- 9.1 静电轴承 ... 8-227

- 9.1.1 静电轴承的基本原理 ... 8-227
- 9.1.2 静电轴承的分类 ... 8-227
- 9.1.3 静电轴承的常用材料与结构参数 ... 8-227
- 9.1.4 静电轴承的设计与计算 ... 8-228
- 9.1.5 应用举例——静电轴承陀螺仪 ... 8-228
- 9.2 磁力轴承 ... 8-227
  - 9.2.1 磁力轴承的分类与应用 ... 8-230
  - 9.2.2 磁力轴承的性能计算 ... 8-233
  - 9.2.3 磁力轴承的材料 ... 8-235

## 第10章 智能轴承

- 10.1 智能轴承的分类 ... 8-236
- 10.2 滚动智能轴承 ... 8-236
- 10.3 滑动智能轴承 ... 8-237
  - 10.3.1 几何形状可变轴承 ... 8-237
    - 10.3.1.1 状态可调椭圆轴承 ... 8-237
    - 10.3.1.2 压电陶瓷驱动的智能椭圆轴承 ... 8-237
    - 10.3.1.3 状态可调错位轴承 ... 8-238
    - 10.3.1.4 支点可变可倾瓦轴承 ... 8-238
    - 10.3.1.5 液压控制柔性轴瓦轴承 ... 8-239
    - 10.3.1.6 可控径向油膜轴承 ... 8-239
    - 10.3.1.7 几何形状可变轴承 ... 8-240
    - 10.3.1.8 轴向止推智能轴承 ... 8-241
  - 10.3.2 支撑结构可变轴承 ... 8-241
  - 10.3.3 机电系统控制的智能轴承 ... 8-241
  - 10.3.4 液压系统控制的智能轴承 ... 8-242
    - 10.3.4.1 主动润滑可倾瓦轴承（以液压系统作为轴承润滑系统） ... 8-242
    - 10.3.4.2 可控挤压油膜阻尼轴承（以液压系统作为控制执行器或执行机构） ... 8-243
  - 10.3.5 应用新材料（特殊材料）控制的智能轴承 ... 8-243
  - 10.3.6 主动磁轴承 ... 8-245

参考文献 ... 8-246

## 第9篇 机架、箱体及导轨

### 第1章 机架结构设计基础

- 1.1 机架设计的一般要求 ... 9-3

- 1.1.1 定义及分类 ... 9-3
- 1.1.2 机架设计的一般要求和步骤 ... 9-3
  - 1.1.2.1 机架设计的准则和要求 ... 9-3
  - 1.1.2.2 机架设计的步骤 ... 9-4

|                              |      |                            |       |
|------------------------------|------|----------------------------|-------|
| 1.2 机架的常用材料及热处理 .....        | 9-4  | 计算 .....                   | 9-54  |
| 1.2.1 机架常用材料 .....           | 9-4  | 2.1.1 轧钢机机架的结构设计与常规        |       |
| 1.2.2 机架的热处理 .....           | 9-6  | 计算 .....                   | 9-54  |
| 1.3 机架的截面形状、肋的布置及壁板上的孔 ..... | 9-8  | 2.1.1.1 轧钢机机架的结构设计 .....   | 9-54  |
| 1.3.1 机架的截面形状 .....          | 9-8  | 2.1.1.2 轧钢机机架强度和刚度计算 ..... | 9-57  |
| 1.3.2 肋的布置 .....             | 9-10 | 2.1.2 液压机机架的结构与设计计算 .....  | 9-70  |
| 1.3.3 机架壁板上的孔 .....          | 9-16 | 2.1.2.1 液压机机架的结构 .....     | 9-70  |
| 1.4 铸造金属机架的结构设计 .....        | 9-20 | 2.1.2.2 液压机机架的设计计算 .....   | 9-70  |
| 1.4.1 铸造机架的壁厚及肋 .....        | 9-20 | 2.1.3 曲柄压力机机架的设计与常规        |       |
| 1.4.1.1 最小壁厚 .....           | 9-20 | 计算 .....                   | 9-75  |
| 1.4.1.2 凸台及加强肋的尺寸 .....      | 9-21 | 2.1.3.1 曲柄压力机闭式机架的常规       |       |
| 1.4.1.3 铸件壁的连接形式及尺寸 .....    | 9-21 | 计算 .....                   | 9-75  |
| 1.4.2 机架的连接结构设计 .....        | 9-21 | 2.1.3.2 开式曲柄压力机机身的设计与      |       |
| 1.4.3 铸造机架结构设计的工艺性 .....     | 9-23 | 计算 .....                   | 9-78  |
| 1.4.3.1 铸件一般工艺性注意事项 .....    | 9-23 | 2.1.4 机床大件的设计与计算 .....     | 9-81  |
| 1.4.3.2 铸造机架结构设计应注意的问题 ..... | 9-24 | 2.1.4.1 机床大件刚度设计指标 .....   | 9-81  |
| 1.4.4 铸造机架结构设计示例 .....       | 9-26 | 2.1.4.2 普通车床床身的受力分析 .....  | 9-84  |
| 1.4.4.1 机床大件结构设计 .....       | 9-26 | 2.1.4.3 卧式镗床立柱及床身受力        |       |
| 1.4.4.2 精密仪器机架结构设计 .....     | 9-30 | 分析 .....                   | 9-84  |
| 1.5 焊接机架 .....               | 9-31 | 2.1.4.4 龙门式机床受力和变形分析 ..... | 9-88  |
| 1.5.1 焊接机架的结构及其工艺性 .....     | 9-31 | 2.1.4.5 立式钻床、卧式铣床床身(立柱)    |       |
| 1.5.1.1 典型机床的焊接床身结构及         |      | 受力及变形分析 .....              | 9-90  |
| 特点 .....                     | 9-32 | 2.1.4.6 机床热变形的形成及热变形       |       |
| 1.5.1.2 焊接横梁结构 .....         | 9-33 | 计算 .....                   | 9-91  |
| 1.5.1.3 焊接机架的结构工艺性 .....     | 9-33 | 2.1.4.7 带有肋板框架的刚度计算 .....  | 9-94  |
| 1.5.2 机床焊接机架的壁厚及布肋 .....     | 9-36 | 2.1.5 十字肋的刚度计算 .....       | 9-96  |
| 1.5.2.1 焊接机架壁厚的确定 .....      | 9-36 | 2.2 稳定性计算 .....            | 9-96  |
| 1.5.2.2 焊接机架的布肋 .....        | 9-36 | 2.2.1 不作稳定性计算的条件 .....     | 9-96  |
| 1.5.3 改善机床结构阻尼比的措施 .....     | 9-38 | 2.2.2 轴心受压构件的稳定性验算公式 ..... | 9-96  |
| 1.5.4 焊接机架结构示例 .....         | 9-39 | 2.2.3 结构件长细比的计算 .....      | 9-97  |
| 1.5.4.1 大型加工中心机床 .....       | 9-39 | 2.2.4 结构件的计算长度 .....       | 9-98  |
| 1.5.4.2 刨、镗、铣床立柱结构 .....     | 9-40 | 2.2.4.1 等截面柱 .....         | 9-98  |
| 1.5.4.3 压力机焊接机架结构 .....      | 9-41 | 2.2.4.2 变截面受压构件 .....      | 9-98  |
| 1.6 非金属机架设计 .....            | 9-44 | 2.2.4.3 桁架构件的计算长度 .....    | 9-100 |
| 1.6.1 钢筋混凝土机架 .....          | 9-44 | 2.2.4.4 特殊情况 .....         | 9-101 |
| 1.6.2 预应力钢筋混凝土机架 .....       | 9-45 | 2.2.5 偏心受压构件 .....         | 9-102 |
| 1.6.3 塑料壳体设计 .....           | 9-47 | 2.2.6 板的局部稳定性计算 .....      | 9-102 |
| 1.6.3.1 塑料特性及选择 .....        | 9-47 | 2.2.7 圆柱壳的局部稳定性计算 .....    | 9-105 |
| 1.6.3.2 塑料壳体的结构设计 .....      | 9-48 | 2.2.8 梁的局部稳定性 .....        | 9-105 |
| 1.6.3.3 塑料制品的尺寸公差 .....      | 9-51 | 2.3 典型超精密机床总体布局及振动和        |       |
|                              |      | 热控制 .....                  | 9-107 |
|                              |      | 2.3.1 超精密机床的总体布局 .....     | 9-107 |
|                              |      | 2.3.2 超精密机床的振动控制 .....     | 9-108 |
|                              |      | 2.3.2.1 超精密机床床身材料 .....    | 9-108 |
|                              |      | 2.3.2.2 超精密机床的减振措施 .....   | 9-109 |
|                              |      | 2.3.3 超精密机床的恒温控制 .....     | 9-110 |



## 第2章 机架的设计与计算

### 2.1 框架式及梁柱式机架的设计与常规



## 第3章 齿轮传动箱体的设计与计算

|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| 3.1 箱体结构设计概述 .....                   | 9-111 |
| 3.1.1 齿轮箱体结构的确定 .....                | 9-111 |
| 3.1.2 齿轮箱体焊接结构 .....                 | 9-112 |
| 3.1.3 压力铸造传动箱体的结构<br>设计 .....        | 9-115 |
| 3.1.3.1 肋的设计 .....                   | 9-116 |
| 3.1.3.2 箱体上的通孔及紧固孔的<br>设计 .....      | 9-118 |
| 3.2 按刚度设计圆柱齿轮减速器箱座 .....             | 9-119 |
| 3.2.1 剖分式齿轮减速器箱座的设计计算<br>方法及步骤 ..... | 9-120 |
| 3.2.2 齿轮箱体计算实例 .....                 | 9-122 |
| 3.3 机床主轴箱的刚度计算 .....                 | 9-126 |
| 3.3.1 箱体的刚度计算 .....                  | 9-126 |
| 3.3.2 车床主轴箱刚度计算示例 .....              | 9-126 |
| 3.4 变速箱体上轴孔坐标计算 .....                | 9-129 |
| 3.5 变速箱体的技术要求 .....                  | 9-131 |
| 3.5.1 各加工面的形状精度及表面结构中的<br>粗糙度 .....  | 9-131 |
| 3.5.2 各加工面的相互位置精度 .....              | 9-131 |
| 3.5.3 变速箱体零件工作图实例 .....              | 9-132 |



## 第4章 机架与箱体的现代设计方法

|                                          |       |
|------------------------------------------|-------|
| 4.1 机架的有限元分析 .....                       | 9-134 |
| 4.1.1 轧钢机机架的有限元<br>分析 .....              | 9-134 |
| 4.1.2 液压机横梁的有限元<br>分析 .....              | 9-135 |
| 4.1.3 开式机架的有限元分析 .....                   | 9-136 |
| 4.1.4 整体闭式机架有限元分析 .....                  | 9-137 |
| 4.2 机架与箱体的优化设计 .....                     | 9-140 |
| 4.2.1 优化设计数学模型的建立 .....                  | 9-140 |
| 4.2.2 热压机机架结构的优化设计 .....                 | 9-141 |
| 4.2.3 基于 ANSYS 的优化设计 .....               | 9-144 |
| 4.2.3.1 ANSYS 优化设计的基本<br>过程 .....        | 9-144 |
| 4.2.3.2 基于 ANSYS 的减速器箱体的<br>优化设计示例 ..... | 9-145 |
| 4.2.4 机架的模糊优化方法 .....                    | 9-146 |
| 4.2.4.1 模糊有限元分析方法 .....                  | 9-146 |
| 4.2.4.2 三轴仿真转台框架结构的模糊<br>有限元优化 .....     | 9-148 |



## 第5章 导轨

|                                       |       |
|---------------------------------------|-------|
| 5.1 概述 .....                          | 9-150 |
| 5.1.1 导轨的类型及其特点 .....                 | 9-150 |
| 5.1.2 导轨的设计要求 .....                   | 9-150 |
| 5.1.3 导轨的设计程序及内容 .....                | 9-150 |
| 5.1.4 精密导轨的设计原则 .....                 | 9-151 |
| 5.2 普通滑动导轨的结构设计 .....                 | 9-151 |
| 5.2.1 整体式滑动导轨 .....                   | 9-151 |
| 5.2.1.1 滑动导轨的截面形状 .....               | 9-151 |
| 5.2.1.2 滑动导轨尺寸 .....                  | 9-153 |
| 5.2.1.3 导轨间隙调整装置 .....                | 9-155 |
| 5.2.1.4 滑动导轨的卸荷装置 .....               | 9-159 |
| 5.2.1.5 滑动导轨压强的计算 .....               | 9-161 |
| 5.2.1.6 滑动导轨间隙的确定 .....               | 9-163 |
| 5.2.1.7 导轨材料与热处理 .....                | 9-164 |
| 5.2.1.8 导轨的技术要求 .....                 | 9-165 |
| 5.2.2 塑料(贴塑式)导轨 .....                 | 9-166 |
| 5.2.2.1 塑料导轨的特点 .....                 | 9-166 |
| 5.2.2.2 塑料导轨的材料 .....                 | 9-166 |
| 5.2.2.3 填充氟塑软带导轨典型制造<br>工艺 .....      | 9-168 |
| 5.2.2.4 软带导轨技术条件 .....                | 9-168 |
| 5.2.2.5 环氧涂层材料技术通则 .....              | 9-169 |
| 5.2.2.6 环氧涂层导轨通用技术条件 .....            | 9-170 |
| 5.2.2.7 通用塑料导轨材料的粘接 .....             | 9-171 |
| 5.2.2.8 耐磨涂层的配方 .....                 | 9-171 |
| 5.3 流体静压导轨 .....                      | 9-171 |
| 5.3.1 液体静压导轨 .....                    | 9-171 |
| 5.3.1.1 液体静压导轨的类型和特点 .....            | 9-171 |
| 5.3.1.2 液体静压导轨的基本结构<br>形式 .....       | 9-172 |
| 5.3.1.3 静压导轨的油腔结构 .....               | 9-173 |
| 5.3.1.4 导轨的技术要求和材料 .....              | 9-174 |
| 5.3.1.5 液体静压导轨的节流器、<br>润滑油及供油装置 ..... | 9-175 |
| 5.3.1.6 静压导轨的加工和调整 .....              | 9-175 |
| 5.3.1.7 液体静压导轨的计算 .....               | 9-176 |
| 5.3.1.8 毛细管节流开式静压导轨的<br>计算 .....      | 9-180 |
| 5.3.2 气体静压导轨 .....                    | 9-182 |
| 5.3.2.1 气体静压导轨的类型与特点 .....            | 9-182 |
| 5.3.2.2 气体静压导轨的结构设计 .....             | 9-183 |
| 5.3.2.3 气体静压导轨的设计计算 .....             | 9-184 |
| 5.3.2.4 气体静压导轨副的材料 .....              | 9-186 |

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| 5.4 滚动导轨 .....              | 9-186 |
| 5.4.1 滚动导轨的类型、特点及应用 .....   | 9-186 |
| 5.4.2 滚动导轨的计算、结构与尺寸系列 ..... | 9-186 |
| 5.4.2.1 滚动直线导轨的计算 .....     | 9-186 |
| 5.4.2.2 滚动直线导轨副 .....       | 9-191 |
| 5.4.2.3 滚柱交叉导轨副 .....       | 9-204 |
| 5.4.2.4 滚柱(滚针)导轨块 .....     | 9-206 |
| 5.4.2.5 滚动直线导轨套副 .....      | 9-210 |
| 5.4.2.6 滚动花键导轨副 .....       | 9-217 |
| 5.4.2.7 滚动轴承导轨 .....        | 9-222 |
| 5.5 导轨设计实例 .....            | 9-224 |
| 5.5.1 压力机导轨的形式和特点 .....     | 9-224 |

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| 5.5.2 导轨的尺寸和验算 .....      | 9-225 |
| 5.5.2.1 导轨长度 .....        | 9-225 |
| 5.5.2.2 导轨工作面宽度及其验算 ..... | 9-225 |
| 5.5.3 导轨材料的选择 .....       | 9-225 |
| 5.5.4 导轨间隙的调整 .....       | 9-226 |
| 5.6 导轨的防护 .....           | 9-226 |
| 5.6.1 导轨防护装置的类型及特点 .....  | 9-226 |
| 5.6.2 导轨刮屑板 .....         | 9-226 |
| 5.6.3 刚性伸缩式导轨防护罩 .....    | 9-226 |
| 5.6.4 柔性伸缩式导轨防护罩 .....    | 9-227 |

|            |       |
|------------|-------|
| 参考文献 ..... | 9-228 |
|------------|-------|

## 第 10 篇 弹簧

### 第 1 章 弹簧的基本性能、类型及应用

|                     |       |
|---------------------|-------|
| 1.1 弹簧的基本性能 .....   | 10-3  |
| 1.2 弹簧的类型 .....     | 10-3  |
| 1.3 弹簧的应用和标准化 ..... | 10-10 |
| 1.3.1 弹簧的应用 .....   | 10-10 |
| 1.3.2 弹簧的标准化 .....  | 10-10 |

### 第 2 章 圆柱螺旋弹簧

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| 2.1 圆柱螺旋弹簧的型式、代号及应用 .....       | 10-15 |
| 2.2 弹簧的材料及许用应力 .....            | 10-16 |
| 2.3 圆柱螺旋压缩弹簧 .....              | 10-22 |
| 2.3.1 圆柱螺旋压缩弹簧基本计算公式 .....      | 10-22 |
| 2.3.2 圆柱弹簧参数选择 .....            | 10-24 |
| 2.3.3 圆柱螺旋压缩弹簧计算表 .....         | 10-25 |
| 2.3.4 压缩弹簧端部型式与高度、总圈数等的公式 ..... | 10-38 |
| 2.3.5 螺旋弹簧的疲劳强度、稳定性及共振 .....    | 10-39 |
| 2.3.6 圆柱螺旋压缩弹簧设计计算示例 .....      | 10-40 |
| 2.3.7 圆柱螺旋压缩弹簧的压力调整结构 .....     | 10-43 |
| 2.3.8 组合弹簧的设计计算 .....           | 10-43 |
| 2.3.9 圆柱螺旋压缩弹簧的应用示例 .....       | 10-45 |
| 2.4 圆柱螺旋拉伸弹簧 .....              | 10-46 |
| 2.4.1 圆柱螺旋拉伸弹簧的设计计算 .....       | 10-46 |
| 2.4.2 圆柱螺旋拉伸弹簧的设计实例 .....       | 10-48 |
| 2.4.3 圆柱螺旋拉伸弹簧的端部结构 .....       | 10-50 |

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| 2.4.4 圆柱螺旋拉伸弹簧的尺寸和参数 .....     | 10-52 |
| 2.4.5 圆柱螺旋拉伸弹簧的拉力调整结构 .....    | 10-58 |
| 2.5 圆柱螺旋扭转弹簧 .....             | 10-59 |
| 2.5.1 圆柱螺旋扭转弹簧的基本几何参数和特性 ..... | 10-59 |
| 2.5.2 圆柱螺旋扭转弹簧的结构形式 .....      | 10-59 |
| 2.5.3 圆柱螺旋扭转弹簧的设计计算 .....      | 10-59 |
| 2.5.4 圆柱螺旋扭转弹簧的计算示例 .....      | 10-62 |
| 2.5.5 圆柱螺旋扭转弹簧的结构及安装示例 .....   | 10-63 |
| 2.6 圆柱螺旋弹簧技术要求 .....           | 10-64 |
| 2.6.1 弹簧特性和尺寸的极限偏差 .....       | 10-64 |
| 2.6.2 其他技术要求 .....             | 10-67 |
| 2.7 非圆形截面圆柱螺旋弹簧 .....          | 10-67 |
| 2.7.1 矩形截面螺旋压缩弹簧 .....         | 10-67 |
| 2.7.2 其他截面形状螺旋压缩弹簧 .....       | 10-70 |

### 第 3 章 非线性特性线螺旋弹簧

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 3.1 截锥螺旋压缩弹簧 .....           | 10-73 |
| 3.1.1 截锥螺旋压缩弹簧的结构特性及分类 ..... | 10-73 |
| 3.1.2 截锥螺旋压缩弹簧的计算 .....      | 10-73 |
| 3.1.3 截锥螺旋弹簧的计算示例 .....      | 10-75 |
| 3.1.4 截锥螺旋压缩弹簧的应用实例 .....    | 10-76 |
| 3.2 蜗卷螺旋弹簧 .....             | 10-76 |
| 3.2.1 蜗卷螺旋弹簧的特性曲线 .....      | 10-76 |
| 3.2.2 蜗卷螺旋弹簧的材料及许用应力 .....   | 10-76 |
| 3.2.3 蜗卷螺旋弹簧的计算 .....        | 10-77 |