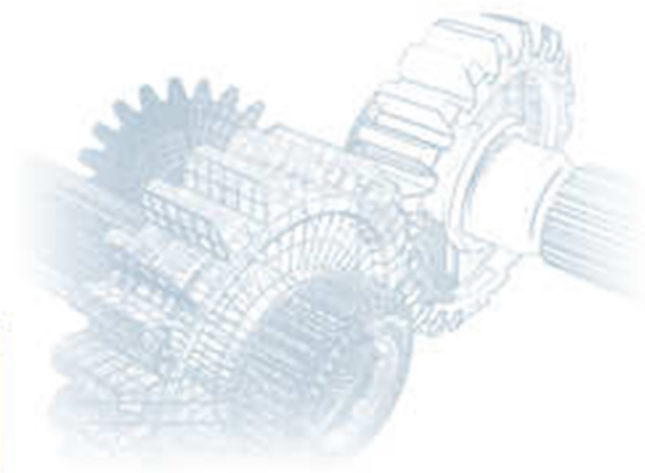


普通高等院校机械类及相关学科规划教材

机械设计基础

◎ 主编 李景春 郭凯



北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

普通高等院校机械类及相关学科规划教材

机械设计基础

主 编 李景春 郭 凯

副主编 齐瑞贵 何 波 王 磊

邢宇飞 于苏洋

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书根据编者多年的教学经验,在整合机械原理、机械设计课程基本内容的基础上编写而成。全书分6篇,共19章。第1篇主要介绍机器的组成、机械设计概论、平面机构分析基础等基本概念与原理。第2篇主要介绍常用机构及机械传动的设计方法和理论。第3篇主要介绍轴系零部件的设计基本知识。第4篇主要介绍螺纹、键、花键、联轴器、离合器和制动器连接件的设计基本知识。第5篇主要介绍机器动力学基础知识。第6篇主要介绍弹簧的设计基础知识。

本书可以作为普通高等工科院校机械类和非机械类各专业机械设计基础课程的教材,也可作为相关专业有关课程的参考用书,还可供有关工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/李景春,郭凯主编. —北京:北京理工大学出版社,2017.8(2017.9重印)
ISBN 978-7-5682-4558-6

I. ①机… II. ①李… ②郭… III. ①机械设计—高等学校—教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第193148号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 21

字 数 / 495千字

版 次 / 2017年8月第1版 2017年9月第2次印刷

定 价 / 54.00元

责任编辑 / 高 芳

文案编辑 / 赵 轩

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 施胜娟

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

高等教育改革的不断深入对机械工程及相近专业机械设计基础课程提出了新的要求。本书在结合编者多年教学实践的基础之上,吸收了近年来国内外各高校机械设计基础课程教学改革中取得的一些教学改革成果。

为了组织教学,本书在内容的编排上遵循人们对一般事物的认知规律和循序渐进的原则,将机械原理和机械设计的基本知识进行合理编排。全书分6篇,共19章。

第1篇总论由3章内容组成,主要介绍有关机械设计的共性问题,包括机器的组成、机械设计概论、平面机构运动简图绘制、自由度计算、平面机构速度分析等基础理论知识。第2篇常用机构及机械传动由7章内容组成,重点介绍连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、蜗杆机构、轮系、带传动、链传动及间歇机构的设计基础知识。第3篇轴系零部件由3章内容组成,重点介绍轴、滑动轴承、滚动轴承等轴系零部件的设计基本知识。第4篇连接由3章内容组成,主要介绍螺纹连接、键连接、花键连接、联轴器等连接零部件的设计基本知识。第5篇机器动力学基础由2章内容组成,主要介绍回转件的平衡、机械的运转及其速度波动的调节等机器动力学基础知识。第6篇其他零部件主要对弹簧的设计进行简单介绍。

本书由沈阳航空航天大学李景春、沈阳理工大学郭凯担任主编,沈阳航空航天大学齐瑞贵、何波、王磊、邢宇飞、于苏洋担任副主编,马少华参加了部分章节的编写工作。具体编写分工如下:第1章、第5章、第9章、第10章由齐瑞贵编写,第2章、第16章由于苏洋编写,第3章、第6章、第17章由李景春编写,第4章、第13章、第19章由王磊编写,第7章由郭凯和马少华编写,第8章由郭凯编写,第11章由邢宇飞编写,第12章、第14章、第15章、第18章由何波编写。

武丽梅教授对全书进行审稿,并提出了许多宝贵的修改意见和建议,在此表示衷心的感谢。

北京理工大学出版社编审人员在本书的编辑出版过程中给予了大力支持。在此向出版社诸位老师及参考文献中所有作者致以衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中难免有疏漏与欠妥之处,敬请广大读者批评指正。

第 1 篇 总 论

第 1 章 绪论	3
1.1 机器的组成及特征	3
1.2 机械设计基础课程的内容、性质和任务	5
第 2 章 机械设计概论	6
2.1 机器设计的一般程序	6
2.2 机器应满足的要求	7
2.3 机械零件的失效形式、设计准则	7
2.4 机械零件的强度、接触强度和耐磨性	8
2.5 机械零件的常用材料	10
思考与习题	12
第 3 章 平面机构分析基础	13
3.1 平面机构的组成	13
3.2 平面机构运动简图	14
3.3 平面机构自由度的计算	15
3.4 速度瞬心法及其在机构速度分析中的应用	22
思考与习题	26

第 2 篇 常用机构及机械传动

第 4 章 平面连杆机构及其设计	31
4.1 铰链四杆机构的基本形式和特性	31
4.2 铰链四杆机构的演化	36

4.3 平面四杆机构的设计	42
思考与习题	48
第5章 凸轮机构	50
5.1 凸轮机构的应用和类型	50
5.2 凸轮的基本名词和术语	54
5.3 从动件常用运动规律	55
5.4 凸轮轮廓曲线的设计	58
5.5 凸轮机构基本参数的确定	64
思考与习题	67
第6章 齿轮机构	69
6.1 齿轮机构的特点和类型	69
6.2 齿廓啮合基本定律	71
6.3 渐开线及渐开线齿廓	72
6.4 齿轮各部分的名称及渐开线标准齿轮的基本尺寸	75
6.5 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	78
6.6 渐开线齿廓的切制原理、根切和最少齿数	82
6.7 渐开线变位齿轮简介	86
6.8 齿轮传动的失效形式及设计准则	88
6.9 齿轮的材料及精度选择	90
6.10 直齿圆柱齿轮的强度计算	91
6.11 斜齿圆柱齿轮机构及其设计	98
6.12 直齿圆锥齿轮传动	107
6.13 齿轮的结构设计	113
6.14 齿轮传动的效率和润滑	116
思考与习题	117
第7章 蜗杆传动	118
7.1 蜗杆传动的传动特点	118
7.2 蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算	119
7.3 蜗杆传动的失效形式和材料的选择	123
7.4 蜗杆传动的强度计算	124
7.5 圆柱蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	126
思考与习题	128

第 8 章 轮系	130
8.1 轮系的类型	130
8.2 定轴轮系的传动比计算	130
8.3 周转轮系的传动比计算	132
8.4 复合轮系的传动比计算	134
8.5 轮系的应用	135
8.6 常用的行星轮系传动	137
思考与习题	140
第 9 章 带传动与链传动	142
9.1 带传动的类型与特点	142
9.2 带传动的工作情况分析	144
9.3 普通 V 带传动的设计计算	149
9.4 V 带轮的结构设计	157
9.5 V 带传动的张紧装置	159
9.6 链传动的特点	160
9.7 传动链与链轮	161
9.8 链传动的运动特性和受力分析	166
9.9 链传动的设计计算	168
9.10 链传动的布置和润滑	173
思考与习题	176
第 10 章 其他常用机构	177
10.1 棘轮机构	177
10.2 槽轮机构	182
10.3 不完全齿轮机构	185
10.4 凸轮式间歇机构	186
思考与习题	186

第 3 篇 轴系零部件

第 11 章 轴	191
11.1 概述	191
11.2 轴的材料	193
11.3 轴的结构设计	194

11.4 轴的强度计算	200
11.5 轴的刚度计算	201
思考与习题	205
第 12 章 滑动轴承	206
12.1 摩擦状态	206
12.2 滑动轴承的结构形式	208
12.3 轴瓦及轴承衬材料	209
12.4 润滑剂和润滑装置	211
12.5 非液体摩擦滑动轴承的计算	214
12.6 动压润滑的基本原理	216
12.7 向心动压轴承的几何关系与承载量的计算	219
12.8 液体动压多油楔滑动轴承与静压轴承	222
思考与习题	224
第 13 章 滚动轴承	225
13.1 滚动轴承的结构及基本类型	225
13.2 滚动轴承的设计与校核计算	231
13.3 滚动轴承的组合设计、润滑与密封	237
思考与习题	244
第 4 篇 连 接	
第 14 章 螺纹连接	249
14.1 螺纹的分类及参数	249
14.2 螺旋副的受力分析、效率和自锁	251
14.3 机械制造常用螺纹	254
14.4 螺纹连接的基本类型和螺纹紧固件	256
14.5 螺纹连接的预紧和防松	259
14.6 螺纹连接的强度计算	262
14.7 螺栓的材料和许用应力	266
14.8 提高螺栓连接强度的措施	267
14.9 螺旋传动	270
14.10 滚动螺旋传动	273
思考与习题	274

第 15 章 键连接和花键连接..... 276

 15.1 键连接 276

 15.2 花键连接 280

 思考与习题 281

第 16 章 联轴器、离合器和制动器..... 282

 16.1 联轴器 282

 16.2 离合器 287

 16.3 制动器 289

 思考与习题 291

第 5 篇 机器动力学基础

第 17 章 回转件的平衡..... 295

 17.1 回转件平衡的目的和分类 295

 17.2 回转件的静平衡 296

 17.3 回转件的动平衡 298

 17.4 回转件的平衡试验 299

 思考与习题 301

第 18 章 机械的运转及其速度波动的调节..... 304

 18.1 概述 304

 18.2 机械周期性速度波动的调节方法 306

 18.3 机械的非周期性速度波动及其调节 311

 思考与习题 312

第 6 篇 其他零部件

第 19 章 弹簧 317

 19.1 概述 317

 19.2 圆柱螺旋弹簧 318

 19.3 弹簧常用材料 321

 19.4 其他弹簧 322

 思考与习题 324

参考文献 325

>>> 第 I 篇 总 论

绪 论

机器的发展经历了一个由简单到复杂的过程。人类为了满足生产及生活的需要,设计和制造了类型繁多、功能各异的机器,大大提高了生产率和产品质量,同时还便于集中进行社会化大生产。因此,生产机械化和自动化是当今社会生产力发展水平的重要标志。

在人类历史上,机器的进步从来就是促进生产力发展水平的主要因素。以蒸汽机的发明和广泛使用为标志的第一次技术革命,使人类从手工生产进入机械化生产,为近代机械化大生产奠定了基础。

到了 20 世纪初,以计算机为主要标志的一场新技术革命,促进了科学技术的变革和飞速发展,机器也从单纯的机械系统进入智能化的新阶段。新一轮工业革命的孕育兴起,将互联网、大数据、虚拟制造技术融入制造技术中,又赋予了机械新的内涵。跨地域协同设计和制造成为机械制造的发展趋势。这对机械设计工作者提出了更新和更高的要求。随着国民经济的进一步发展,机械设计基础课程在社会主义建设中的地位 and 作用日益重要。

1.1 机器的组成及特征

什么是机械?一般我们认为它是机器与机构的总称。那什么是机器?它由什么组成?又具有什么样的特征?下面我们以如下实例进行分析。

图 1-1 所示为一台单缸四冲程内燃机,其工作原理如下:凸轮轴 5 上的进气凸轮推动顶杆向上移动打开进气阀 10,燃气由进气管通过进气阀 10 被下行的活塞 8 吸入气缸,然后进气阀 10 关闭,活塞 8 上行压缩燃气,点火使燃气在气缸中燃烧,燃烧的气体膨胀产生压力,推动活塞 8 向下移动,通过连杆 3 带动曲轴转动,向外输出机械能。当活塞 8 向上移动时,通过凸轮轴 5 上排气凸轮将排气阀 11 打开,废气通过排气管排出。为了保证曲轴每转两周进、排气阀各启闭一次,曲轴与凸轮轴之间安装了齿数比为 1:2 的齿轮。这样,当燃气推动活塞运动时,各构件协调地动作,进、排气阀有规律地启闭。

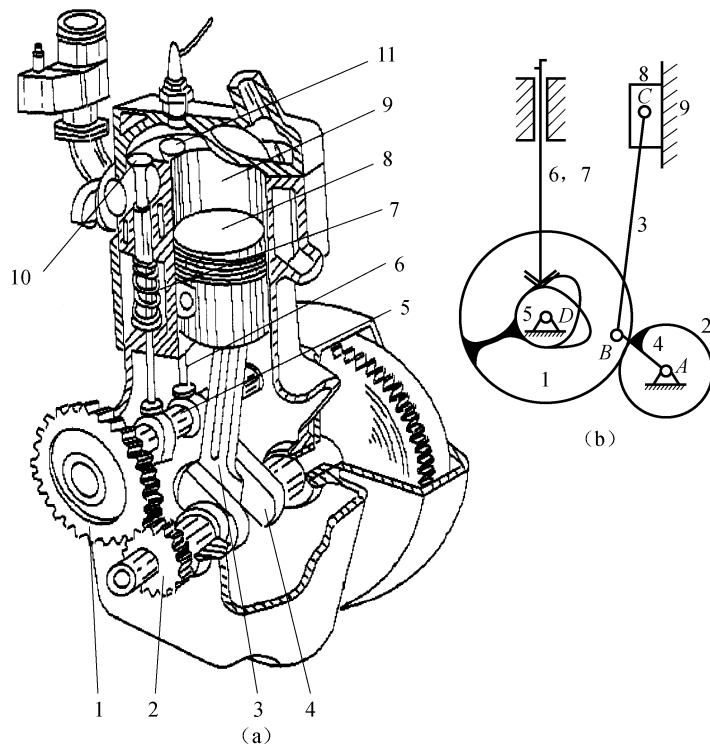


图 1-1 单缸四冲程内燃机

(a) 结构图; (b) 结构运动简图

1, 2—齿轮; 3—连杆; 4—曲轴; 5—凸轮轴; 6, 7—顶杆; 8—活塞; 9—气缸; 10—进气阀; 11—排气阀

由以上实例可以看出机器具有以下几个特征:

- (1) 机器是人为的实物组合体。
- (2) 组成机器的各构件间具有确定的相对运动。
- (3) 机器可以代替或减轻人类劳动, 以完成有效的机械功或能量转换。

凡是同时具有以上三个特征的实物组合体称为机器, 而仅具备前两个特征的则称为机构。图 1-1 所示内燃机中, 活塞、连杆、曲轴和气缸组成一个曲柄滑块机构, 将活塞的往复运动转变为曲柄的连续转动。凸轮、顶杆和气缸组成凸轮机构, 将凸轮轴的连续转动变为顶杆有规律的间歇运动。曲轴和凸轮轴上的齿轮与气缸组成齿轮机构, 使两轴保持一定的速比。

图 1-2 所示为内燃机中曲柄滑块机构的连杆, 它由铜套、螺栓、螺母、轴瓦、连杆盖、连杆体等一系列零件组成。由此可以看出, 任何机器都是由许多零件组合而成的。零件是机器的最小制造单元。

机械中的零件可分为两类: 一类称为通用零件, 在许多机械都会遇到, 如齿轮、轴、弹簧、螺栓、螺母等; 另一类称为专用零件, 只出现在特定机械之中, 如汽轮机的叶片、内燃机的曲轴等。

机械设计基础课程主要讲授通用零件的设计。

从功能而言, 一般机器包括四个基本组成部分: 原动机部分、执行部分、传动部分和控

制部分。原动机部分是驱动整部机器完成功能的动力源。通常一部机器只有一个原动机，复杂的机器也可能有几个原动机。现代机器中使用的原动机主要以电动机和热力机为主。执行部分是用来完成机器预定功能的组成部分。而传动部分是将原动机的运动和动力传递给执行部分的中间环节。控制部分保证机器的启动、停止和正常的协调动作，包括计算机、传感器、电气装置、液压系统等。例如，内燃中的凸轮机构便是用于控制气阀启闭的控制机构。

简单机器只由上述四个部分组成。随着机器的功能越来越复杂，对机器的要求也越来越高，所以机器除了以上四个部分外，还会增加一些辅助系统。以汽车为例，发动机是汽车的原动机；离合器、变速箱、传动轴和差速器组成传动部分；车轮、悬挂系统及底盘是执行部分；转盘和转向系统、换挡杆、制动踏板、离合器踏板及加速踏板组成控制系统；油量表、速度表、里程表、水温表等组成显示系统，后视镜、门锁、刮水器等组成安全系统，还有照明系统等均为辅助系统。

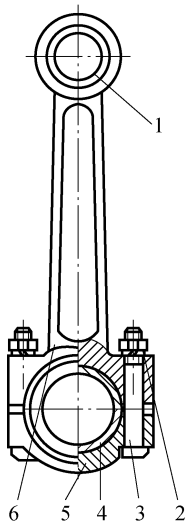


图 1-2 连杆
1—铜套；2—螺母；3—螺栓；4—轴瓦；
5—连杆盖；6—连杆体

1.2 机械设计基础课程的内容、性质和任务

机械设计基础课程主要讲述机械中的常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本设计理论和计算方法，并简单介绍有关国家标准和有关规范及一些标准零部件的选用原则。

本课程是高等院校工科机械类和近机械类专业一门理论性和实践性都很强的专业技术基础课。本课程不仅为学生学习相关技术基础和专业课程起到承前启后的作用，而且为学生今后从事机械设计和研究工作起到增强适应能力和开发创新能力的作用，是机械工程师和机械管理工程师的必备课程。

本课程综合运用机械制图、工程力学、工程材料和机械制造基础等先修课程中的理论知识，来解决机械设计中的共性问题，为以后的专业课程学习打下一定的基础。本课程培养学生初步具备运用手册设计简单机械装备的能力，为日后从事技术设计、技术革新创造条件。本课程使各个行业从事工程技术的工作人员在了解机械传动原理、选购设备、设备的正常使用和维护、设备的故障分析等方面获得必要的基础知识。

通过对本课程的学习应达到如下要求：

- (1) 掌握机构学和机器动力学的基本理论、基本知识和基本技能，学会各种常用基本机构的分析和综合方法，并具有按照机械的使用要求进行机械传动系统方案设计的初步能力。
- (2) 掌握通用机械零件的工作原理、结构特点、设计方法，初步具备设计简单机械传动装置的能力。
- (3) 具有综合运用标准、规范、手册等有关技术资料解决工程实际问题的能力。

机械设计概论

2.1 机器设计的一般程序

要提高机械设计的质量，必须有一个科学的设计程序。虽然在不同情况下机器设计的有效程序并不唯一，但是根据人们长期的机器设计经验，合理的机器设计程序基本上应该包括以下四个阶段：

1. 计划阶段

计划阶段是一个预备阶段。本阶段应对所设计的机器的需求情况做充分的调研和分析。通过分析，明确机器所应具有的功能，并为以后的决策提出各方面所需要满足的约束条件。在此基础上，本阶段应明确写出设计任务的全面要求及细节，最后形成设计任务书，作为本阶段的总结。

2. 方案设计阶段

方案设计阶段对设计的成败起关键作用。本阶段首先应对设计任务书进行综合分析，确定机器的功能参数，并按机器的原动部分、执行部分、传动部分和控制部分分别进行讨论以寻求解决方案。之后，对可行的若干个方案从技术性和经济性等方面进行综合评价，选出最终方案并确定其原理图或机构运动简图。

3. 技术设计阶段

技术设计阶段是一个具体细节设计阶段。本阶段首先要根据机器的功能需求确定零部件的具体类型和结构。之后要通过草图绘制和分析计算确定零部件基本尺寸，对重要的零部件还要进行必要的校核。最终要绘制出零件的工程图、部件的装配图和总装图。

4. 技术文件编制阶段

技术文件编制阶段是一个总结阶段。常用的技术文件有设计计算说明书和使用说明书等。其中，设计计算说明书应包括方案选择及技术设计的全部结论性的内容，使用说明书应向用户介绍机器的性能参数范围、使用操作方法、日常保养及简单的维修方案等。其他技术文件可视需求另行编制。

2.2 机器应满足的要求

对于不同类型的机器，在机械设计过程中都应该满足的一般要求主要有使用功能要求、经济性要求、劳动保护要求和环境保护要求及寿命与可靠性要求等。

1. 使用功能要求

机器必须具有预定的使用功能，并且操作、保养和维修应尽可能简单。这主要靠正确选择机器的工作原理，正确设计或选用原动机、传动机构和执行机构，以及合理配置必要的辅助系统来实现。

2. 经济性要求

机器的经济性体现在设计、制造和使用的全过程中，在设计阶段就应该全面进行考虑。设计制造的经济性表现为机器的成本低。使用经济性表现为机器具有较高的生产率和效率，较少地消耗能源、原材料和辅助材料，以及较低的管理和维护费用等。

3. 劳动保护要求和环境保护要求

劳动保护要求是指所设计的机器在操作方式方面要符合人们的心理和习惯，并设置完善的安全防护装置，给操作者提供一个安全、舒适的操作环境。环境保护要求需要降低机器运转时的噪声，防止有毒、有害物质的渗漏及对废水、废气和废液进行有效治理等。

4. 寿命与可靠性要求

任何机器都要求在一定的寿命下可靠地工作。机械设计时必须对每个零件的可靠性提出要求，并且大修或更换易损件的周期不宜过短，以免经常停机影响生产。同时也应注意个别零件的可靠性过高并无实际意义，反而会造成机器成本的急剧增加。

2.3 机械零件的失效形式、设计准则

任何机器都要求在一定的寿命下可靠地工作，机械设计时必须对每个零件提出可靠性要求。机械零件因为某种原因不能正常工作称为失效。机械零件的失效可能是由断裂或塑性变形、过大的弹性变形、表面过度损伤、发生强烈振动、连接松弛、摩擦传动打滑等引起的。机械零件可能有多重失效形式，归纳起来主要分为强度、刚度、耐磨性、稳定性等几个方面。例如，断裂或塑性变形属于强度失效，过大的弹性变形属于刚度失效，表面过度损伤属于耐磨性失效，发生强烈的振动属于稳定性失效。对于不同的失效形式，相应的有各种不同的机械零件设计准则。例如，对于强度失效，设计准则为计算应力小于或等于许用应力；对于刚度失效，设计准则为变形量小于或等于许用变形量。

在机械零件设计过程中, 需要根据一个或几个可能发生的失效形式, 运用相应的设计准则, 通过计算确定零件的形状和主要尺寸。这一计算过程一般可分为设计计算和校核计算。利用设计计算进行机械零件设计的步骤可概括如下: 拟定零件的计算简图; 确定作用在零件上的载荷; 为零件选择合适的材料; 根据可能的失效形式, 利用设计准则确定零件的形状和主要尺寸; 绘制零件工程图, 并标注必要的技术条件。利用校核计算进行机械零件设计的步骤如下: 首先参照实物、图样和经验数据初步拟定零件的结构和主要尺寸, 然后根据可能的失效形式选用相应的设计准则对初步拟定的结果进行校核计算。需要注意的是, 一般机器中只有一部分零件是通过计算确定其形状和尺寸的, 其余的零件仅根据结构和工艺要求进行设计。

2.4 机械零件的强度、接触强度和耐磨性

2.4.1 机械零件的强度

机械零件设计计算过程中最重要的一个步骤, 就是根据可能的失效形式, 利用相应的设计准则确定零件的形状和主要尺寸。而强度失效是机械零件最主要的一种失效形式, 因此利用强度设计准则确定零件的形状和主要尺寸是最常用的一种机械零件设计方法。为了利用强度准则进行机械零件设计, 首先要确定机械零件上的载荷。机械零件上的载荷可分为名义载荷与计算载荷。名义载荷是指在理想的平稳工作条件下作用在零件上的载荷。然而在机器运转时, 零件还会因为各种非确定因素而受到各种附加载荷。因此, 机械设计过程中通常引入载荷系数 K 来对这些影响因素进行估计, 载荷系数与名义载荷的乘积称为计算载荷。在机械零件设计过程中所采用的是零件的计算载荷。与名义载荷和计算载荷相对应的概念是名义应力和计算应力。名义应力是由名义载荷求得的应力, 而计算应力是由计算载荷求得的应力。

在确定了作用在机械零件上的载荷之后, 利用强度准则进行机械零件设计的方法可分为许用应力法和安全系数法。

许用应力法是比较危险截面处的计算应力 σ 是否小于等于零件材料的许用应力 $[\sigma]$ 的方法, 即

$$\sigma \leq [\sigma], \quad [\sigma] = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{S} \quad (2-1)$$

式中, σ_{lim} 为材料的极限应力, 在静应力下, 对于塑性材料可取其屈服极限 σ_s , 对于脆性材料可取其强度极限 σ_b ; S 为安全系数, 在静应力下, 对于塑性材料可取 $S=1.2\sim 1.5$, 对于脆性材料可取 $S=3\sim 4$ 。

安全系数法是比较危险截面处的安全系数 S 是否大于等于许用的安全系数 $[S]$ 。即

$$S = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{\sigma} \geq [S] \quad (2-2)$$

式中, 许用安全系数 $[S]$ 的取值可参考许用应力法中安全系数的取值方法。

2.4.2 机械零件的接触强度

通常情况下, 零件受载时是在较大的体积内产生应力, 这种应力状态下的零件强度称为