

高等学校规划教材·机械工程  
PROGRAMMING TEXTBOOKS FOR HIGHER EDUCATION



(第3版)

# 机械设计教程

西北工业大学机械原理及机械零件教研室 编  
吴立言 刘光磊 主编

西北工业大学出版社

高等学校规划教材·机械工程

# 机械设计教程

(第3版)

西北工业大学机械原理及机械零件教研室 编

吴立言 刘光磊 主编

西北工业大学出版社

**【内容简介】** 本书是在西北工业大学濮良贵、陈庾梅主编的《机械设计教程》(1994年修订本)的基础上,为适应近年来我国机械设计的发展对教学提出的新要求,经全面修订重新编写而成的。

本书除绪论外,包括机械设计总论、机械连接(轴毂、螺纹、铆、焊、胶)、机械传动(螺旋、带、链、齿轮、蜗杆)、轴系零部件(轴承、联轴器、离合器、轴),以及其他零部件(弹簧、减速器、变速器、机械零件结构设计、润滑剂)共五部分。

本书主要用作高等学校近机械类专业机械设计课程(40~50学时)的教材,也可作为某些近机械类专业开设机械设计基础课程中机械设计部分的教材,同时,还可供有关专业教师及工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械设计教程/吴立言,刘光磊主编;西北工业大学机械原理及机械零件教研室编. —西安:西北工业大学出版社,2012.1

高等学校规划教材. 机械工程

ISBN 978-7-5612-3311-5

I. ①机… II. ①吴…②刘…③西… 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(2012)第011394号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路127号 邮编:710072

电话:(029)88493844 88491757

网址:www.nwpu.edu.cn

印刷者:陕西兴平报社印刷厂

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:15.875

字数:382千字

版次:2012年1月第3版 2012年1月第1次印刷

定价:33.00元

# 前 言

本书是在《机械设计教程》(1994年修订版)的基础上,为适应机械设计的发展对教学提出的新要求,经全面修订重新编写而成的。

本次修订的指导思想和具体内容包括:

- (1)精选内容,突出重点,充实习题的类型和数量。
- (2)适应1994年以来国家标准的变动情况,更新了相关术语、计算方法、插图、表格及设计数据。
- (3)改进了部分不够清晰或表达不够准确的插图。
- (4)更正或改进了本书前一版中的一些疏漏和错误。

1988年,濮良贵先生为满足近机械类专业机械设计的教学需求,规划并主编了本书的第一版。1994年,濮先生又与陈庾梅一起完成了对本书的修订。在问世以来的23年中,本书为近机械类专业机械设计课程的教学起到了十分重要的作用。从2009年开始,我们怀着对先生的崇敬之心,重新开始本教材的修订工作,经过近两年的不懈努力终于完成。

参加本次修订工作的有吴立言(第1,2,16章)、李育锡(第3,15章)、李建华(第4,8章)、袁茹(第5,7章)、刘光磊(第6,11章)、宁方立(第9,13章)、陈国定(第10章)、谷文韬(第12章)、李洲洋(第14章),由吴立言、刘光磊担任主编。

由于水平所限,难免有错漏之处。我们在此诚挚地希望读者将发现的问题,通过下面的联系方式告诉我们,我们将及时改正。

通信地址:陕西省西安市友谊西路127号西北工业大学178信箱(邮政编码710072)。

电子邮箱:wuliyang@nwpu.edu.cn;liuguang@nwpu.edu.cn。

编 者

2011年9月

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 引言 .....	1
1.2 机器的组成 .....	1
1.3 本课程的内容、性质与任务 .....	2
<b>第 2 章 机械设计概论</b> .....	3
2.1 机械设计的一般过程和主要内容 .....	3
2.2 机器应满足的基本要求 .....	4
2.3 机械零件应满足的基本要求 .....	6
2.4 机械零件的强度 .....	9
2.5 机械制造常用的材料及其选择原则 .....	13
<b>第 3 章 轴毂连接</b> .....	16
3.1 键连接 .....	16
3.2 花键连接 .....	20
3.3 无键连接 .....	22
3.4 销连接 .....	23
3.5 过盈连接 .....	24
习题 .....	25
<b>第 4 章 铆接、焊接和胶接</b> .....	27
4.1 铆接 .....	27
4.2 焊接 .....	28
4.3 胶接 .....	31
<b>第 5 章 螺纹连接和螺旋传动</b> .....	34
5.1 螺纹 .....	34
5.2 螺纹连接的基本类型和螺纹紧固件 .....	36
5.3 螺栓(螺柱、螺钉)组的结构设计 .....	39
5.4 螺纹连接的预紧和防松 .....	40
5.5 螺栓连接的强度计算 .....	44

5.6	螺纹紧固件的性能等级与许用应力	49
5.7	提高螺栓连接强度的措施	51
5.8	螺旋传动	54
5.9	滚动螺旋传动简介	59
	习题	60
<b>第 6 章</b>	<b>带传动</b>	<b>63</b>
6.1	概述	63
6.2	带传动工作情况分析	66
6.3	普通 V 带传动的设计计算	69
6.4	V 带轮的设计	76
6.5	V 带传动的张紧、安装与防护	78
	习题	81
<b>第 7 章</b>	<b>链传动</b>	<b>82</b>
7.1	概述	82
7.2	传动链、链轮及几何计算	82
7.3	链传动的运动分析	86
7.4	链传动的主要参数及其选择	87
7.5	链传动的设计计算	89
	习题	94
<b>第 8 章</b>	<b>齿轮传动</b>	<b>96</b>
8.1	齿轮传动装置形式	96
8.2	齿轮传动的失效及设计准则	96
8.3	齿轮材料及热处理	99
8.4	标准直齿圆柱齿轮传动强度计算	100
8.5	标准斜齿圆柱齿轮传动强度计算	103
8.6	标准直齿锥齿轮传动强度计算	105
8.7	齿轮传动的设计参数、许用应力、齿轮精度及计算说明	107
8.8	齿轮结构设计	110
8.9	齿轮设计实例	112
	习题	120
<b>第 9 章</b>	<b>蜗杆传动</b>	<b>123</b>
9.1	蜗杆传动的类型和特点	123
9.2	蜗杆传动的基本参数和主要几何尺寸	124

9.3	蜗杆传动的承载能力计算 .....	127
9.4	蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算 .....	132
9.5	蜗杆和蜗轮的结构设计 .....	134
9.6	几种类型蜗杆传动的比较 .....	135
	习题 .....	138
<b>第 10 章</b>	<b>轴承 .....</b>	<b>140</b>
10.1	滚动轴承的结构、类型和代号 .....	140
10.2	滚动轴承的类型选择 .....	145
10.3	滚动轴承的尺寸选择 .....	147
10.4	滚动轴承装置设计 .....	154
10.5	滑动轴承及其润滑状态 .....	160
10.6	滑动轴承的结构、材料与润滑 .....	164
10.7	不完全液体润滑滑动轴承的设计 .....	169
10.8	滚动轴承与滑动轴承的比较 .....	172
	习题 .....	173
<b>第 11 章</b>	<b>联轴器和离合器 .....</b>	<b>175</b>
11.1	联轴器的种类和特性 .....	175
11.2	离合器 .....	181
11.3	特殊功用的联轴器和离合器 .....	184
	习题 .....	187
<b>第 12 章</b>	<b>轴 .....</b>	<b>188</b>
12.1	概述 .....	188
12.2	轴的结构设计 .....	191
12.3	轴的强度验算 .....	197
12.4	轴的刚度验算 .....	200
	习题 .....	206
<b>第 13 章</b>	<b>弹簧 .....</b>	<b>207</b>
13.1	概述 .....	207
13.2	圆柱螺旋弹簧的结构、材料及制造 .....	207
13.3	圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的设计计算 .....	212
13.4	圆柱螺旋扭转弹簧的设计计算 .....	218
13.5	其他形式弹簧简介 .....	220
	习题 .....	221

<b>第 14 章 减速器和变速器</b> .....	223
14.1 减速器.....	223
14.2 变速器.....	226
<b>第 15 章 机械零件结构设计简介</b> .....	230
15.1 概述.....	230
15.2 机械零件结构设计要点.....	230
<b>第 16 章 润滑剂</b> .....	237
16.1 润滑油.....	237
16.2 润滑脂.....	241
16.3 固体润滑剂.....	243
<b>附录 常用量的名称、单位、符号及换算关系表</b> .....	244
<b>参考文献</b> .....	245



# 第 1 章 绪 论

## 1.1 引 言

机器是代替人们体力和部分脑力劳动的工具。机器通过将能量、物料和信息等进行传递或转换来为人类做各种有用功。机器既能承担人力所不能或不便进行的工作,又能更好地保障产品的质量,特别是能够大大提高劳动生产率和改善劳动条件。在国民经济的绝大多数部门中,都要利用机器来完成其生产过程。机械工业已经成为国民经济发展的主要基础,肩负着为各个部门提供机械装备和促进技术改造的重任。

人类社会的进步源于人们不断地创新,设计活动则是各项创新的策划、起点和关键环节。机器的发明、使用和发展是推动社会发展的一个重要创新过程。在这一过程中,人们总结出了进行机械设计的理论与方法,从而为更高层次的创新与设计奠定了基础。

现代的机器,正在朝着自动化、智能化、性能更高以及更加与人和谐的方向发展。现代的机械设计与方法正在不断与自动化技术、信息技术、管理科学、生命科学以及艺术学等学科交融。现代机械的设计,除了依靠专业的机械设计师外,更加需要掌握了不同专门技术人才的团队协作。因此,从事各类生产、研究的技术人员,都应该掌握一定的机械设计知识。只有这样,才能设计出更多更好的机器。

## 1.2 机器的组成

机器一般都包含:一个(或几个)用来接受外界能源的原动部分(如电动机、内燃机和蒸汽机等);实现机器生产职能的执行部分(如机床中的刀具、汽车中的车厢与车轮);把原动机的运动和动力传递给执行部分的传动部分(如机床中的齿轮与螺旋传动机构、汽车中的离合器与变速器);保障机器中的各部分协调工作的检测与控制系统(如机床中的数控系统、汽车中的自动变速系统)。所以,机器的主体一般是由原动部分、传动部分、执行部分和测控部分组成的。

如果把机器进一步分解,最后得到的总是一些各式各样的零件。所以,机器的基本组成要素就是机械零件。

机械零件可以概括地划分为两大类:一类是在各种机器中经常都要用到的零件,例如螺钉、齿轮、轴、轴承等,称为通用零件;另一类则是在一定类型的机器中才会用到的零件,例如飞机的螺旋桨、内燃机的活塞和军械的枪栓等,称为专用零件。此外,还常把一些协同工作的零件所组成的零件组合体称为部件或组件,例如滚动轴承、减速器、联轴器等。

各式各样自由分散的零件,一旦装配到机器上,它们就要为实现机器的职能分担各自的责任,发挥各自的作用。因此,一些主要零件的性能或者某些关键零件的综合性能,就在很大程度上决定了机器的性能。由此可知,设计或选择任何零件时,都必须以机器对它的要求为依

据。同理,设计、维修与管理机器时,都要对机器的总体有个基本的了解,并对各种零件的设计与选择掌握一定的知识与技能。为此,本书除了简要介绍机器设计的基本要求、主要内容和设计步骤等概论性知识外,将分章重点论述通用机械零件的工作原理与特点、设计原则与方法。需要提醒的是,虽然是分章学习一种一种的零件,而且只能从中选择极少数典型的结构来学,但是不应把它们视为分散孤立的个体,因为在具体应用时,它们都是作为一定的要素在机器的总体中按照预定的要求有机地联系在一起。此外,还得注意联系实际,勤于实践;通过典型,掌握一般。这样才能通过学习通用零件的具体设计方法,掌握基本的机械知识与设计技能。

### 1.3 本课程的内容、性质与任务

本课程的主要内容是讲述机械设计的一般要求和过程,讲述通用零件设计的基本知识、基本理论和基本方法。它主要包括机械设计的基本要求、主要内容和步骤;一般尺寸和参数的通用零件(巨型、微型以及在高速、高压、高温、低温条件下工作的通用零件不在此列)的工作原理与特点、设计原则与方法等。

本书讲述的主要内容可分为概论部分、连接部分、传动部分、轴系零部件部分和其他部分等五个部分。具体内容是:

- 1) 概论部分包括机器的组成,机械设计的一般步骤、主要内容和应满足的基本要求,机械零件的工作能力和设计准则,常用材料及其选择原则等;
- 2) 连接部分包括键、花键、无键、销及过盈连接,螺纹连接,焊接及胶接等;
- 3) 传动部分包括带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动、螺旋传动等;
- 4) 轴系零部件部分包括轴、滑动轴承与滚动轴承、联轴器与离合器等;
- 5) 其他部分包括弹簧、减速器与变速器、润滑剂等。

由上述可知,本课程的性质是以机械设计为“轮廓”,并以一般通用零部件的设计为“实体”的设计性课程,而且是论述它们的基本设计理论和方法的技术基础课程。

本课程的主要目的是:

1) 培养学生掌握通用机械零件的工作原理、特点、应用、维护和设计计算的基本知识,并初步具有设计机械装置的能力。

2) 培养学生具有运用标准、规范、手册、图册等有关技术资料的能力。

当然,上述任务是通过本课程的课堂讲授、实验验证、设计作业和课程设计等各教学环节的综合培养来完成的。因此,学习本课程时,不仅要努力掌握书本知识,而且要积极主动联系实际,认真加强设计技能的基本锻炼,切实提高自已的实践能力,真正达到并力争超过上述的培养要求。

# 第2章 机械设计概论

## 2.1 机械设计的一般过程和主要内容

一台新的机器是根据设计任务书的要求进行设计的。任务书中必须明确规定:机器的用途、主要性能参数范围、工作环境条件、有关特殊要求、生产批量、预期成本范围、环境保护要求、设计完成期限,以及承制单位生产条件等。在全面明确上述要求后,设计人员应在调查研究、分析资料、研究措施、拟定计划的基础上,按下述步骤进行设计。

### 1. 机器工作原理的选择

工作原理是机器实现预期职能的基本依据。例如设计生产螺钉的机器时,可以用车床将预定的毛坯车制成螺钉,也可以用滚丝机将毛坯滚压成螺钉;又如采煤,可以用风镐开采,也可用高压水柱冲击煤层开采,还可用联合割煤机开采;再如挖泥,可以用挖泥机来实现,也可预先注水把泥混成泥浆,然后用泵汲出。所以实现同样的预期职能,可以有多种不同的工作原理。机器的工作原理是随着科学技术的发展而不断发展的。不断探讨与创造更先进的工作原理是设计人员的一项重要任务。研制新的机器时,应结合具体情况研究提出多种不同的工作原理、经过全面分析对比后,从中选择最满意的一种。机器工作原理的选择属于专业机械设计的范围,这里不作详述。

### 2. 机器的运动设计

运动设计是根据机器工作原理的要求,确定机器执行部分的运动规律。例如牛头刨床的刨刀,要求前进刨削工件时运行慢些,而在后退的空程时运行快些,即要求传动机构具有急回作用。所以运动设计就是要考虑适当选取原动机的类型与运动特性,妥善选择与设计机器的传动部分,把原动机的运动转变为机器执行部分所需的机械动作,并考虑在某些运动参数范围内灵活调整的必要性及可能性。这些工作可运用机械原理知识来完成。

### 3. 机器的动力设计

动力设计是在初步确定机器的传动部分和执行部分后,根据机器的运转特性、执行部分的工作阻力与工作速度、传动部分的总效率等,算出机器所需的驱动功率。再结合机器的具体情况,选定一部(或按各个传动系统的需要分别选定几部)合适的原动机进行驱动。同时应考虑在适当范围内进行调节与控制的必要性及可能性。这方面的工作可运用机械原理及与原动机相关的知识来完成。

### 4. 机器零部件的工作能力设计

机器零部件的工作能力,可以根据原动机的功率和机器的运转特性进行设计,也可以根据零部件的实际工作载荷进行设计。不过对于一般的机器,通常是采用前一方法,并结合各个零部件的具体工作情况,计算出各零部件所受的载荷。进而从机器的总体出发,考虑各个零部件所需的工作能力(强度、刚度、寿命等)及技术经济性等一系列问题,设计或选择出各个零部件。

如果从图纸设计方面来看,上述设计过程在机器工作原理选定后,大体可分为下面的三个阶段:

### 1. 总体设计阶段

机器的总体设计,就是根据工作原理的要求,本着简单、实用、经济、环保、美观等原则,设计出一套能够实现预期职能的装置。为了拟定机器的总体布置,分析比较各种可能的传动方案,以及进行具体机构的选择和设计,就需要把机器各部分之间的运动和动力关系,以及各个机构和主要零件在机器中的大体位置,用规定的简单符号清晰而简明地表示在图纸上。这就形成了机器的机构运动简图。有了机构运动简图,机器的图形便有了“骨架”。这是图纸设计的第一阶段——从工作原理到运动简图阶段,常叫做总体设计(或方案拟定)阶段。

### 2. 结构设计阶段

由于运动简图并没有确定机器的形态,所以还要把运动简图中的符号变成具体的零、部件。这就需要考虑与决定各个部件的相对位置及连接方法,主要零件的具体形状、材料、尺寸、制造、安装、配合等一系列问题。通过类比、选择和必要的计算与实验等,把运动简图变成具体的装配图(或结构图)。这样便描绘出了机器的形态。这是图纸设计的第二阶段——从运动简图到装配图的阶段,常叫做结构设计阶段。

### 3. 零件设计阶段

由于装配图只是初步确定了机器的总体尺寸及各个零、部件间的相对位置关系、配合要求等,并未反映出各个零件的全部尺寸、结构要素(如圆角半径、倒角尺寸)及加工要求(如尺寸公差、表面粗糙度等),因而装配图还是不能作为加工的依据。为了把零件制造出来,还得根据装配图设计出各个零件的工作图。设计零件(工作)图时,要从机器的总体要求出发,综合考虑零件的强度、刚度、寿命、工艺性,以及质量、体积、成本的限制等,来具体确定零件的材料、尺寸、结构要素、制造精度等,并规定出适当的技术条件(如材料的热处理方法及表面硬度等),从而绘制出零件图。这是图纸设计的第三阶段——从装配图到零件图的阶段,常叫做零件设计阶段。

当然,设计工作的各个局部都是与总体密切联系着的,所以上述三个阶段不可能是截然划分的,而是要相互牵连、相互影响、相互交叉地反复进行的。

还应指出,在一套完整的机器图纸和文件中,除应有机器的机构运动简图、总装配图、部件装配图及零件图外,还应包括各种明细表、各种系统图以及设计说明书和使用说明书等。

还需强调指出,实践是检验真理的唯一标准。在全套图纸设计绘制完毕后,整个设计是否能够完全符合客观外界的规律性,是否能够完全达到预想的设计目的,还得经过制造、装配、试车、生产等一系列实践的检验。因此,设计人员还应了解或参加制造、装配、试车、生产等全过程,及时发现问题,采取改进措施,总结设计经验,以便进一步提高产品质量与设计水平。

## 2.2 机器应满足的基本要求

### 2.2.1 使用性要求

机器的使用性要求,首先是按照规定的技术条件,对机器有效且顺利地实现各项预定功能的要求。这主要靠正确选择机器的工作原理及正确设计能够全面实现工作原理的机构组合来

保证。再者就是对机器在预定寿命期间正常工作的要求。这里包括机器在预期的使用过程中,不发生破坏;不因过度磨损或过度变形而导致机器的失效;也不因机器的运转不够准确,以及强烈的冲击和振动等而损害到机器的正常工作质量。所有这些,都要靠正确设计和选择机器的零、部件来保证。

### 2.2.2 经济性要求

机器的经济性是一个综合指标,它表现在设计、制造和使用的整个过程中,即在设计、制造上,要求成本低,生产周期短;在使用上,要求生产率高,效率高,适用范围大,燃料和辅助材料消耗少,照管方便,维护费用低廉等。

#### 1. 提高设计及制造经济性的主要途径

1)力求做到产品系列化、部件通用化和零件标准化。这样将大大有利于开展专业协作,组织产品配套,缩短设计、制造周期,降低成本。例如标准减速器由于采用了产品系列化,大大缩短了设计及制造周期,大幅度地降低了生产成本。再如组合机床由于部件通用化程度高达80%以上,它既能起到专用机床的作用,又能弥补专用机床不易改装的缺点,使设计、制造及改装的成本显著降低。至于零件标准化,这在保证质量、降低成本、便利设计及保证互换性等方面,对机器的设计、制造、使用与维护等都有着极为重要的意义。

2)合理运用现代设计理论和制造方法,尽量采用新技术、新材料、新结构、新工艺。例如采用优化设计、可靠性设计、计算机辅助设计与制造、设计方法学、现代摩擦学、有限元素法、并行设计方法等现代理论与方法,进行机械设计及制造。这些对改进产品性能,提高产品质量、缩短产品研发周期,进而取得经济效益等,均有十分积极的意义。

3)认真做好设计及制造的组织工作,实行科学管理,千方百计地降低材料用量及制造工时,以及提高机器的制造和装配工艺性等,亦可在不同程度上提高设计及制造的经济性。

#### 2. 提高使用经济性的主要途径

1)提高机器的自动化和智能化水平,以提高劳动生产率及减少管理、维护费用。

2)选用效率高的传动系统及支撑装置,以提高机械效率,减少动力或燃料消耗。

3)采用适当的防护(如闭式传动、表面喷涂)和润滑装置,以延长机器工作寿命及降低维护费用。

4)采用可靠的密封装置,防止漏油、漏气等损耗。

### 2.2.3 劳动保护性要求

劳动保护是设计机器时必须特别重视的要求。它可概括为三个方面:

#### 1. 极力保证技术安全

对机器中易于造成危害工人安全的部分,均应加装隔离或保护设施;一切传动机构均应尽可能设计成闭式的;易与工人接触的外露部位不应有锋利的棱角或灼热的介质等。采用各种可靠的安全保险装置和信号报警系统,例如在可能超过温升限制的地方,安装限温报警器,一旦该部位的工作温度高达报警温度时,信号系统立即报警,以防止发生人身或设备事故。

#### 2. 力争减小工人操作时的体力及脑力消耗

注意减小机器所需的操作力;力求简化操作过程,并适当利用自动化操纵装置(如轿车上采用的自动变速器);尽量减少操纵手柄的数目,并集中于适宜的位置,操作效果应符合人们的

习惯;仪表及信号等指示装置亦应布置适中。

尽量降低操作者的精神负担,避免操作者因精神紧张导致不良的操作。例如,可以在具有集中润滑的大型设备中,采用联锁装置。即在油路中接入一个压力继电器,以保证在未接通油泵电机的电源及油压未达到预定的指标时,不可能开动机器。这既实现了机器自动避免摩擦副在润滑不良情况下启动引发过度磨损,又可减轻了操作者的精神负担。

### 3. 努力改善操作者的工作环境

力争降低机器的噪声;有效地净化或排除操作时产生的废气、废液及灰尘等;保持工作环境通风流畅,使温度和湿度适中;适当美化机器的外形及表面,例如适当协调壳体、机架的外形,以及进行电镀或喷涂适当颜色的油漆等。

## 2.2.4 工艺性要求

机器的不同设计方案,将直接影响到后续的制造过程。若设计的产品是便于制造和装配的,则称该产品具有良好的工艺性。在不影响工作性能的条件下,应使机器的结构尽可能简化,力求用最简单的机构和装置取代非必需的复杂装置去完成同样的预期职能。为此,应全面分析对比各种机构组合方案,尽量采用标准零、部件,力求制造及装配的劳动量少,装拆维修方便。

## 2.2.5 环境保护要求

地球是人类生存和发展的环境,保护环境是全社会的责任。产品的设计应该尽量追求“绿色产品”的目标。所谓“绿色产品”,是指能够在生产、使用和回收等环节中不产生污染物,产品本身不对环境产生危害,并且尽量少地消耗资源的产品。

为了达到“绿色产品”的目标,应该从产品设计开始,把改善环境影响的努力贯彻在产品设计中。产品设计的环境保护要求主要有降低物料消耗、降低能耗、减少废料产生以及尽量做到可生态降解。

在产品设计中努力实现环境保护要求,不仅可以减少产品对环境的影响,还能因产品具有较高的环保质量而提高产品的市场竞争力。

## 2.2.6 其他特殊的要求

有些机器还各自具有其特殊的要求。例如,飞机的构件有质量小的要求;机床有长期保持精确度的要求;经常搬动的机器(如建筑起重机、钻探机等)有便于安装、拆卸和运输的要求;食品、纺织、造纸机械有不得污染产品的要求等。

## 2.3 机械零件应满足的基本要求

设计机械零件时,应根据它在机器中的作用及具体工作情况,满足强度、刚度、寿命、工艺性、经济性、可靠性以及某些特殊要求等的一部分或全部。

### 2.3.1 强度要求

强度是指零件在工作时不发生断裂或不产生超过容许限度的塑性变形的能力。显然,这

是机器正常运转和安全生产最基本的要求。在机械设计中,除了那些受力很小不需进行强度计算,或结构形状较为复杂不易进行强度计算的零件,常按经验规范或工艺要求进行设计外,大多数重要的零件都是用强度条件式来判断是否满足要求的。

对于剖面面积为  $A$  的简单拉杆,当承受拉力  $F$  时,其强度条件式为

$$1) \quad \sigma = \frac{F}{A} \leq [\sigma] \quad (2.1a)$$

其含义为零件的工作应力  $\sigma$  不应超过其许用应力  $[\sigma]$ 。此式是用来校核零件的初定剖面面积  $A$  是否满足强度要求的,所以叫做校核计算。又因零件的许用应力是由其材料的极限应力  $\sigma_{\text{lim}}$  除以设计安全系数  $S$  而求得的,所以式(2.1a)又可写成

$$\sigma = \frac{F}{A} \leq \frac{\sigma_{\text{lim}}}{S} \quad (2.1b)$$

$$2) \quad A \geq \frac{F}{[\sigma]} = \frac{F}{\sigma_{\text{lim}}/S} \quad (2.2)$$

此式由式(2.1b)变换而来,其含义为零件的剖面面积  $A$  不应小于其所受载荷  $F$  除以许用应力  $[\sigma]$ 。这是用来设计零件剖面尺寸  $A$  的公式,所以叫做设计计算。

$$3) \quad F \leq \frac{A\sigma_{\text{lim}}}{S} = \frac{F_{\text{lim}}}{S} \quad (2.3)$$

此式是由式(2.2)换算而得到的,并引入零件的极限载荷  $F_{\text{lim}} = A\sigma_{\text{lim}}$ 。其含义是零件的载荷  $F$  不应超过零件的极限载荷  $F_{\text{lim}}$  除以设计安全系数  $S$ 。显然,这是校核零件的承载能力,也是一种校核计算。

$$4) \quad S_{\text{ca}} = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{\sigma_{\text{ca}}} \geq S \quad (2.4)$$

式中的  $\sigma_{\text{lim}}/\sigma_{\text{ca}}$  表征了根据材料的极限应力  $\sigma_{\text{lim}}$  与零件的计算应力  $\sigma_{\text{ca}}$  对比而计算出的安全系数,所以把  $S_{\text{ca}} (= \sigma_{\text{lim}}/\sigma_{\text{ca}})$  叫做计算安全系数。式(2.4)的含义是零件的计算安全系数  $S_{\text{ca}}$  应当大于或等于其设计安全系数  $S$ 。这也是一种校核计算。

顺便说明,当零件剖面上承受的  $F$  是剪切载荷时,应当用  $\tau$ ,  $[\tau]$  和  $\tau_{\text{lim}}$  分别取代式(2.1a)~式(2.4)中的  $\sigma$ ,  $[\sigma]$  和  $\sigma_{\text{lim}}$ 。

显然,尽管上述四种强度条件式的形式各异,但从本质上说,都是把对零件起损伤作用的一方(如载荷和应力)与零件对损伤起抵抗作用的一方(如材料强度和剖面尺寸)进行对比来判断零件的强度的。

提高零件强度的原则措施有:①增大零件危险剖面的尺寸,合理设计剖面形状,以增大剖面面积的惯性矩;②采用高强度材料,对材料进行提高强度及降低内应力的热处理,控制加工工艺以减小或消除微观缺陷等;③力求降低零件上的载荷,例如,减小轴的支撑跨距以降低作用弯矩,采用减振结构以降低冲击载荷等;④妥善设计零件的结构以降低应力集中程度等。

### 2.3.2 刚度要求

刚度是指零件工作时不产生超过规定限度的弹性变形的能力。这个要求只是对那些由于弹性变形过大就要降低机器工作性能的零件提出的。这类零件除了要作强度计算外,还必须进行刚度计算。

零件是否满足刚度要求,也是用刚度条件式来判断的。设以  $y$  及  $\theta$  分别代表零件弯曲变形

时的挠度和偏转角,  $\varphi$  代表扭转变形时的扭转角, 并以  $[y]$ ,  $[\theta]$  及  $[\varphi]$  分别代表对应于  $y$ ,  $\theta$  及  $\varphi$  的许用量, 则弯曲及扭转刚度条件式可分别表示为

$$y \leq [y] \quad \text{或} \quad \theta \leq [\theta] \quad (2.5)$$

$$\varphi \leq [\varphi] \quad (2.6)$$

上面讲的都属于零件的体积刚度。对于那些在压力下相接触且相对位置有严格要求的零件, 还有表面接触刚度的要求。因为如果两个零件的接触面积较小或表面较为粗糙, 则在大的压力作用下, 接触表面的微观凸峰将被压平, 就会引起两零件的相对位置发生超过容许限度的变化, 这就不能满足接触刚度的要求。

提高零件整体刚度的原则措施有: 适当增大零件的剖面尺寸, 合理设计零件的剖面形状, 合理添加加强肋, 采用多支点结构等。提高零件接触刚度的原则措施有: 提高接触表面加工精度或经适当跑合, 以降低表面粗糙度; 适当增大接触面积, 以降低单位压力等。

### 2.3.3 寿命要求

寿命要求就是要求零件在预定的工作期间保持正常工作而不致报废。这个要求主要是对那些在变应力下工作和工作时受到磨损或腐蚀的零件提出的。这些零件可能在开始时能够正常工作, 但经历一段时间后, 却会由于疲劳、过度磨损或严重腐蚀而丧失其强度、刚度或精度以致报废。

由于影响零件材料疲劳极限的主要因素是应力集中、尺寸大小、表面质量和环境条件, 所以提高零件寿命的主要措施有: ① 妥善设计零件结构以降低应力集中程度; ② 采用精加工或表面强化处理以提高零件工作表面质量; ③ 合理选择摩擦副配对材料、润滑剂与润滑方法以提高零件抗磨损能力; ④ 选用耐腐蚀材料制造在腐蚀性介质中工作的零件; ⑤ 利用热处理提高零件材料的机械性能, 或利用滚辗、喷丸等工艺使零件表面产生有利的残余预应力等。

### 2.3.4 工艺性要求

零件的工艺性要求就是在给定的工艺条件和生产水平下, 能用较少的成本和劳动量把零件制造出来, 并便于进行装配。这要从生产批量、材料、毛坯制作、加工方法、装配过程、使用要求等各方面考虑, 合理设计零件的结构。这项工作在整个设计工作中居于很重要的地位, 并占有很大的比重, 初学设计的人员必须给予特别的重视。

### 2.3.5 经济性要求

零件的经济性要求就是要用较低的成本和较少的工时制造出满足技术要求的零件。这与零件的工艺性有着密切的关系, 并在很大程度上影响着机器的经济性。

力求降低材料消耗, 采用少余量或无余量的毛坯; 以廉价材料替代昂贵的材料, 只在零件的关键部位使用优质贵重的材料; 尽量采用标准零件等措施, 对提高零件的经济性都有一定的作用。

除上述几点外, 随着零件的容许空间、质量限制、重要程度、工作情况等的不同, 还会提出体积、质量、可靠性、振动稳定性、噪声等各种不同的要求, 设计者应结合具体情况予以区别对待。



## 2.4 机械零件的强度

根据上一节提出的强度要求,在具体应用到零件的强度计算时,还需作下述进一步的理解。

### 2.4.1 机械零件强度计算中的载荷与应力

#### 1. 公称载荷与公称应力

在设计一个零件时,当然最好能够根据它所承受的实际载荷,计算出它的危险剖面上的实际应力。然而对于每一个具体的零件,它所承受的实际载荷可能是千变万化的。例如,在车床上车削零件时,由于材料品种、毛坯制作方法、热处理情况、切削用量、刀具磨损及刃磨等一系列情况不同,车床的各个零件上的载荷都要发生变动;再如汽车,由于每次装载量不等、行驶路面或速度不同,它的各个零件承受的载荷也是随时变化的,零件中的实际应力自然也要随时变化。由于零件的实际载荷和实际应力都是随机变量,所以具体设计零件时,可以根据机器原动机的额定功率或完成机械功时的工作阻力(如起重机提升的物体所受的重力)等原始数据,计算出零件上的载荷。这个载荷叫做公称载荷(或名义载荷)。按此载荷计算出的应力叫做公称应力(或名义应力)。

#### 2. 计算载荷与计算应力

既然零件上的实际载荷时时变化,显然不使用它来计算零件的应力。公称载荷虽是一个常量,但它没有考虑机器及零件的具体工作情况对载荷变化的影响,也不宜用来计算零件的应力。为此,在实际的设计计算中,引入一个考虑上述影响的大于1的系数 $K$ ,用这个系数 $K$ 乘上公称载荷 $F_n$ 而计算出的载荷叫做计算载荷,用 $F_{ca}$ 表示,即

$$F_{ca} = KF_n \quad (2.7)$$

式中的系数 $K$ 叫做计算载荷系数<sup>①</sup>。载荷系数考虑了实际载荷可能经常性超过额定载荷的范围,通常可根据统计的、经验的或类比的方法确定,或按某种理论通过实验求得。在通常的设计中,可由设计手册或设计规范查得。

根据计算载荷 $F_{ca}$ 算出的应力叫做计算应力 $\sigma_{ca}$ 。在实际设计零件时,应该用计算载荷 $F_{ca}$ 和计算应力 $\sigma_{ca}$ 分别代入式(2.1a)~式(2.4)中的 $F$ 和 $\sigma$ 来检验零件的强度条件。

#### 3. 机械零件应力的分类

按照零件工作时应力的的大小是否随时间变化,可将零件中的应力分为:不随时间变化的静应力;随时间变化的变应力。但是前已指出,机械零件的实际应力是个随机变量,所以实际上零件通常是在变应力下工作。不过为了简化,常把那些变化缓慢或重复作用次数不多(一般指小于 $10^3$ 次)或变动幅度与其平均值相比甚小的变应力近似地当作静应力看待。

#### 4. 设计安全系数与许用应力

设计安全系数 $S$ 是为了考虑一系列不定因素而取定的一个大于1的常数。不定因素包括载荷及应力计算的不精确性、材料机械性能的不稳定性、零件的重要性等。如果考虑这些因素分别取定大于1的安全系数 $S_1, S_2, S_3, \dots$ ,则设计安全系数为 $S = S_1 S_2 S_3 \dots > 1$ 。

<sup>①</sup> 在以后有些章里,也称为工作情况系数(简称工况系数),以 $K_A$ 表示。