

机械设计制造及其自动化专业本科系列规划教材

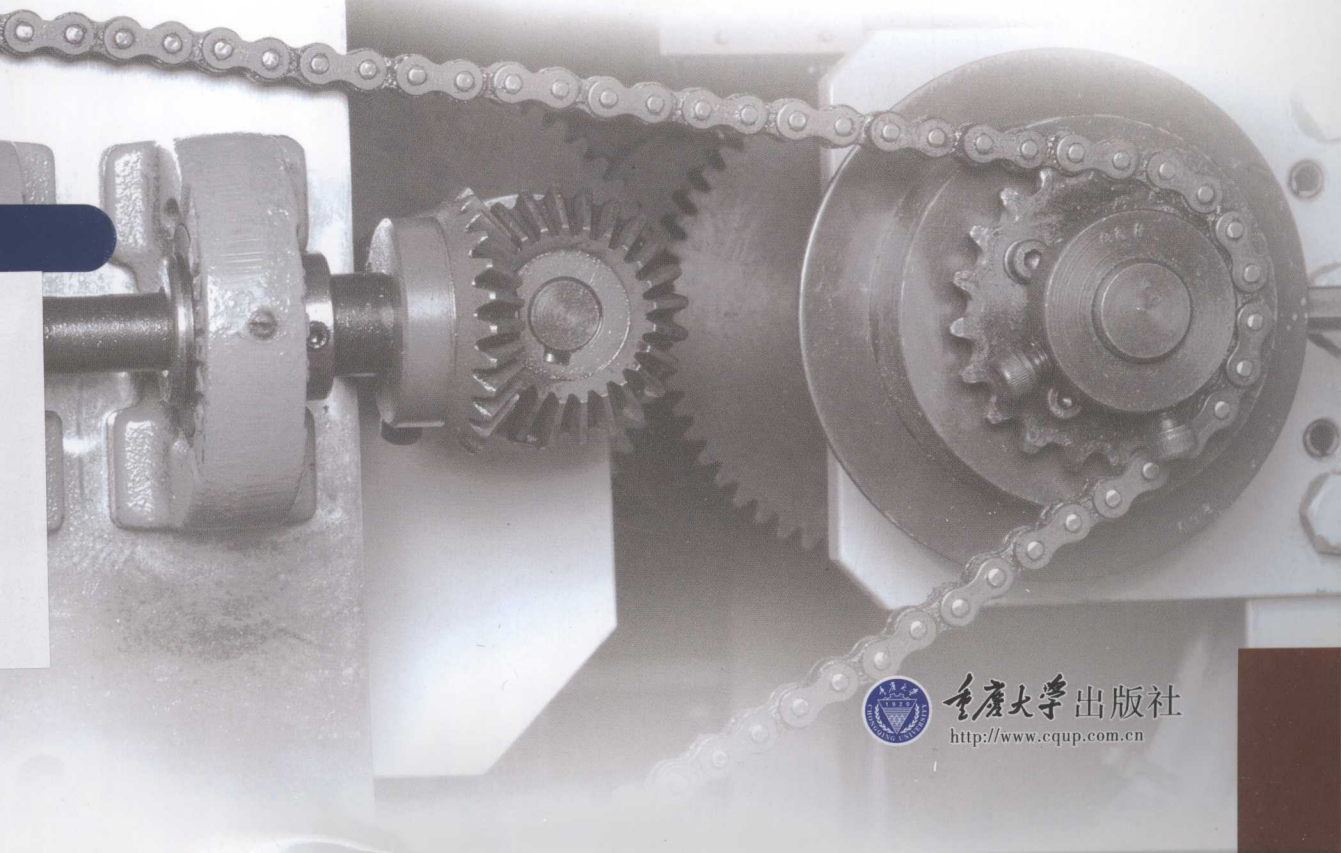
JIXIE
SHEJI

机械设计



主 编 王进戈

副主编 张国海 张均富 贾吉林



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

014001062

TH122-43
373

主要内容

机械设计

主 编 王进戈
副主编 张国海 张均富 贾吉林



重庆大学出版社



北航

C1687864

TH 122-43
373

内容提要

本书是根据国家教育部颁发的“机械设计课程教学基本要求”,并参考各高校近年来在“21 世纪高等工程教育改革”中关于机械设计课程的讨论意见,在李靖华、王进戈、唐良宝主编的,由重庆大学出版社于 2001 年出版的《机械设计》教材的基础上重新组织编写的。在教材体系方面,本书以“传动”为主线来组织内容,即在绪论中,从机器的组成提出传动的概念之后,首先介绍各类传动件,然后介绍轴系件、联接件和其他零件。本书尽可能将最新的标准引入教材。此外,为了弥补学生工程实践经验的不足,本书在各类零部件的设计中,增加了设计技巧与禁忌等内容。全书共 15 章。第 1 章绪论,第 2 章机械设计概论,第 3 章摩擦、磨损及润滑概论,第 4 章传动,第 5 章链传动,第 6 章螺旋传动,第 7 章齿轮传动,第 8 章蜗杆传动,第 9 章轴及轴毂联接,第 10 章滑动轴承,第 11 章滚动轴承,第 12 章联轴器、离合器及制动器,第 13 章螺纹联接及销联接,第 14 章弹簧,第 15 章机器的传动系统。

本书可作为高等学校机械类专业机械设计课程的教材,也可供有关专业师生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计/王进戈主编. —重庆:重庆大学出版社,2013.8

机械设计制造及其自动化本科系列规划教材

ISBN 978-7-5624-7442-5

I. ①机… II. ①王… 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(2013)第 125007 号

机械设计

主 编 王进戈

副主编 张国海 张均富 贾吉林

策划编辑:鲁 黎

责任编辑:李定群 高鸿宽 版式设计:鲁 黎

责任校对:陈 力 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址: <http://www.cqup.com.cn>

邮箱: fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

重庆市国丰印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:24.5 字数:612千

2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-7442-5 定价:45.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

本书是根据国家教育部颁发的“机械设计课程教学基本要求”,并参考各高校近年来在“21 世纪高等工程教育改革”中关于机械设计课程的讨论意见,在李靖华、王进戈、唐良宝主编的由重庆大学出版社于 2001 年出版的《机械设计》教材的基础上重新组织编写的。

在教材体系方面,本书仍然以“传动”为主线来组织内容,即在绪论中,从机器的组成提出传动的概念之后,首先介绍各类传动件,然后介绍轴系件、联接件和其他零件。这样编写能较清晰地揭示零件与零件、零件与机器之间的联系,从而增强教材的系统性,并适当拓宽教学的总体针对性。

在内容取舍方面,由于课程学时减少,本书在保证课程基本知识、基本理论和基本内容的前提下,适当精简了零件失效的描述以及一些次要的数学推导等内容。与此同时,出于教学改革中各门课程整合的需要,本书增加“极限与配合”一节。为了反映零件设计的工程背景,充实了“标准和标准化”一节的内容。并尽可能将最新的标准引入本教材。此外,为了弥补学生工程实践经验的不足,本书在各类零部件的设计中,增加了设计技巧与禁忌等内容。

借鉴西方国家的同类教材,本书将齿轮啮合原理的基本内容纳入第 7 章,将螺旋副的受力分析纳入第 6 章,将制动器纳入第 12 章,从而加强了有关各章内容的完整性。

本书中比较大型的例题,均同时列出两种设计方案,以供分析和比较。各章均附有思考题和习题。

全书共 15 章,由王进戈任主编,张国海、张均富、贾吉林任副主编。其中,第 1,2,3,7,8,15 章由西华大学王进戈编写;第 9,10,11 章由陕西理工学院张国海编写;第 5,6 章由西华大学张均富编写;第 4 章由四川理工学院刘郁葱编写;第 12,13 章由陕西理工学院贾吉林编写;第 14 章由广西科技大学韦丹柯编写。

由于编者学识水平有限,本书误漏之处在所难免,恳切期望专家和读者批评指正。

编 者

2013 年 4 月

目 录



第1章 绪论	1
1.1 机械设计在经济建设和科技发展中的作用	1
1.2 机器的组成	1
1.3 机械的零部件	2
1.4 本课程的性质、内容和学习方法	3
第2章 机械设计概论	5
2.1 机械设计的基本要求和一般程序	5
2.2 机械零件的工作能力和计算准则	7
2.3 机械零件的疲劳强度	9
2.4 机械零件的接触强度	16
2.5 机械零件设计的一般步骤	17
2.6 机械零件材料选择的依据	18
2.7 标准和标准化	21
2.8 极限与配合	24
2.9 表面粗糙度	29
2.10 现代设计方法简介	30
第3章 摩擦、磨损及润滑概述	37
3.1 概述	37
3.2 摩擦	37
3.3 磨损	39
3.4 润滑	40
3.5 摩擦学研究的现状与发展趋势	48
思考题	50
第4章 带传动	51
4.1 概述	51

4.2	V 带和 V 带轮	53
4.3	带传动的几何计算	57
4.4	带传动的工作能力分析和运动特性	58
4.5	V 带传动的设计计算	60
4.6	带传动的张紧装置	69
4.7	其他带传动简介	70
	思考题	73
	习 题	73

第 5 章	链传动	75
5.1	概述	75
5.2	链传动的运动特征	81
5.3	链传动的受力分析	83
5.4	滚子链传动的设计计算	84
5.5	链传动的布置、张紧和润滑	87
5.6	链传动设计禁忌	91
	思考题	92
	习 题	93

第 6 章	螺旋传动	94
6.1	螺旋副的受力分析、效率和自锁	94
6.2	螺旋传动的类型和应用	97
6.3	滑动螺旋传动的设计计算	98
6.4	滚动螺旋传动简介	101
6.5	静压螺旋传动简介	102
6.6	螺旋传动设计禁忌	103
	思考题	104
	习 题	104

第 7 章	齿轮传动	106
7.1	概述	106
7.2	渐开线齿廓齿轮传动	108
7.3	齿轮的失效形式	114
7.4	齿轮的材料及热处理	116
7.5	齿轮传动的计算准则和设计方法	118
7.6	直齿圆柱齿轮传动的载荷计算	119
7.7	直齿圆柱齿轮传动的强度计算	124
7.8	齿轮传动主要参数的选择	136
7.9	齿轮传动的精度及其选择	136

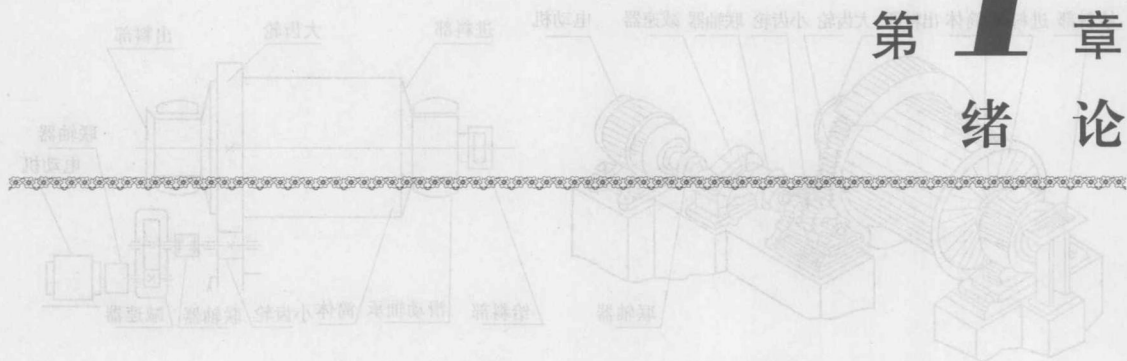
7.10	斜齿圆柱齿轮的形成原理	140
7.11	斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	142
7.12	直齿圆锥齿轮的形成原理	148
7.13	直齿圆锥齿轮传动的强度计算	150
7.14	齿轮传动的润滑	153
7.15	齿轮的结构	155
7.16	齿轮传动设计应注意的问题与禁忌	157
7.17	圆弧齿圆柱齿轮传动简介	158
	思考题	159
	习 题	159
第 8 章 蜗杆传动		161
8.1	概述	161
8.2	圆柱蜗杆传动的基本参数和几何尺寸	167
8.3	蜗杆传动的失效形式和材料选择	174
8.4	蜗杆传动的受力分析	176
8.5	蜗杆传动的强度计算	177
8.6	蜗杆轴的挠度计算	181
8.7	蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	181
8.8	蜗杆和蜗轮的结构	186
8.9	环面蜗杆传动	189
8.10	蜗杆传动设计禁忌	190
8.11	蜗杆传动的现状及发展方向	191
	思考题	192
	习 题	192
第 9 章 轴及轴毂联接		194
9.1	概述	194
9.2	轴的材料	196
9.3	轴的结构设计	198
9.4	轴的强度计算	203
9.5	轴的刚度计算简介	213
9.6	轴的振动稳定性计算简介	214
9.7	轴毂联接	214
9.8	轴及键联接设计禁忌	219
	思考题	224
	习 题	224

041	第 10 章 滑动轴承	226
541	10.1 概述	226
841	10.2 滑动轴承的结构形式	226
021	10.3 轴瓦的材料和结构	230
521	10.4 滑动轴承的润滑	234
231	10.5 不完全液体润滑滑动轴承的设计计算	237
721	10.6 液体动压润滑径向轴承的设计计算	239
821	10.7 其他形式滑动轴承简介	250
921	10.8 滑动轴承设计禁忌	251
131	思考题	255
161	习 题	255
161	第 11 章 滚动轴承	256
161	11.1 概述	256
171	11.2 滚动轴承的主要类型及其选择	257
171	11.3 滚动轴承的代号	260
171	11.4 滚动轴承的受力分析、失效形式和计算准则	261
181	11.5 滚动轴承的动载荷和寿命计算	263
181	11.6 滚动轴承的静载荷计算	271
181	11.7 滚动轴承的组合结构设计	274
181	11.8 滚动轴承的润滑与密封	280
191	11.9 滚动轴承设计禁忌	282
191	思考题	286
191	习 题	286
191	第 12 章 联轴器、离合器及制动器	288
191	12.1 概述	288
191	12.2 联轴器	288
191	12.3 离合器	294
191	12.4 制动器	297
191	12.5 联轴器、离合器及制动器设计或选用及禁忌	299
191	思考题	301
191	习 题	301
191	第 13 章 螺纹联接及销联接	303
191	13.1 螺纹联接的类型	303
191	13.2 螺纹联接的预紧和防松	305
191	13.3 单个螺栓联接的受力分析和强度分析	308
191	13.4 螺栓组联接的受力分析	314

13.5	提高螺栓联接强度的措施	319
13.6	销联接	325
13.7	螺纹联接和销联接设计禁忌	326
	思考题	330
	习 题	330
第 14 章 弹簧		331
14.1	概述	331
14.2	圆柱螺旋弹簧的结构、制造、材料及许用应力	332
14.3	圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的设计计算	337
14.4	圆柱螺旋扭转弹簧	348
14.5	其他类型弹簧简介	352
	思考题	355
	习 题	356
第 15 章 机器的传动系统		357
15.1	概述	357
15.2	选择传动类型的基本依据	359
15.3	常用机械传动的特点、性能和选择原则	360
15.4	减速器	363
15.5	变速器	370
15.6	车床的传动系统	373
附录		377
附表 1	圆角的有效应力集中系数 k_σ 和 k_τ 值	377
附表 2	螺纹、键槽、花键、横孔及蜗杆的有效应力集中 系数 k_σ 和 k_τ 值	378
附表 3	配合零件的综合影响系数 K_σ 和 K_τ 值	379
附表 4	强化表面的表面状态系数 β 值	379
附表 5	加工表面的表面状态系数 β 值	380
附表 6	尺寸系数 ε_σ 和 ε_τ	380
参考文献		381

第 1 章

绪 论



1.1 机械设计在经济建设和科技发展中的作用

机械工业担负着为国民经济各部门提供各种性能先进、价格低廉、使用安全、造型美观的技术装备的任务。在科研成果转化为商品的过程中,离不开实验、测量、生产设备的应用。在国家现代化进程中,机械工业起着主导和决定性的作用。

设计是产品开发的第一步,又贯穿于整个开发过程的始终。英、美等工业发达国家认为设计是工业的生命,是一本万利的事。机械工业经历了 200 多年的漫长历史,当前,世界各国的机械厂家林立,国内外机械产品的市场竞争十分激烈,社会对现代机器的要求日益苛刻,这就需要进行创新设计,不断开发有竞争力的新产品。我国的机械工业拥有雄厚的设备资源,但许多设备逐渐“老化”,这就需要开展改进性设计,对设备的某些环节进行技术改造,以达到提高性能、节约能源、改善环境、提高生产率的目的。设计失误给产品带来的缺陷是先天性的,事后难以弥补。统计表明,机械产品的质量事故约有 50% 是设计不当引起的,产品成本的 70% 是在设计阶段决定的。因此,无论是创新设计还是改进性设计,都是机械产品能否达到预期的技术指标和经济指标的关键。只有提高设计的总体水平,才能促使我国的机械工业焕发生机,与国民经济其他部门得到协调的发展,加速我国的社会主义现代化建设。

1.2 机器的组成

人类为了满足生产和生活的需要,设计和制造了各式各样的机器。机器尽管类型繁多、功能各异,但其组成均有共同之处。下面举一个简单机械的例子,阐述机器的基本组成。

如图 1.1(a)、(b)所示为一矿石球磨机的外形图和机动示意图。电动机通过一级圆柱齿轮减速器和一对开式齿轮传动,驱动由一对滑动轴承支承的球磨机滚筒旋转,矿石在筒体内被一定数量的钢(铁)球粉碎。

由此可见,机器通常有以下 3 个基本组成部分:

- ①原动机部分。是驱动机器的动力源,本例为电动机。
- ②执行部分。是完成预定功能的组成部分,本例为滚筒。
- ③传动部分。是将原动机的运动形式、运动及动力参数转变为执行部分所需的运动形式、运动和动力参数的组成部分。本例为齿轮减速器和开式齿轮传动,其作用是减速。

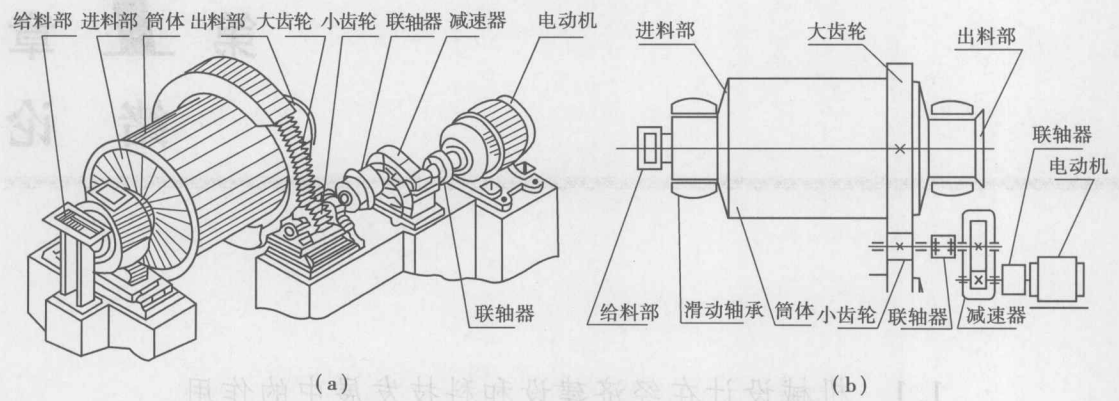


图 1.1 矿石球磨机的外形图和机动示意图

现代机器中使用的原动机以各式各样的电动机和热力机为主。传动部分多数使用机械传动系统,有时也可使用液压或电力传动系统。但是,机械传动系统仍是绝大多数机器不可缺少的重要组成部分。执行部分则随机器需要实现的功能而千变万化,即使同一用途的机器,也可能具有迥然不同的执行部分。执行部分的选择和设计,在很大程度上决定了机器的总体结构。

机器只有以上 3 个基本部分,使用起来就会遇到很大的困难和不便。因此,机器除了这 3 个部分外,还会不同程度地增加其他部分,如控制系统和辅助系统等。

至此,可用如图 1.2 所示来概括说明一部机器完整的组成。

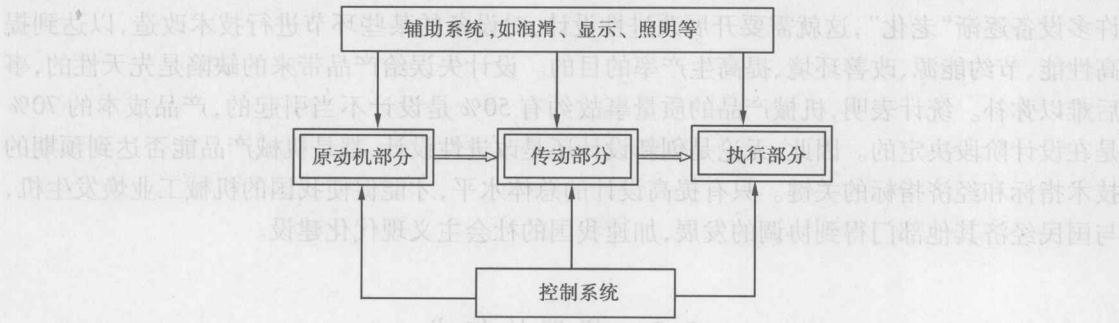


图 1.2 机器的组成

1.3 机械的零部件

无论分解哪一部机器,它总是由一些机构组成;每个机构又是由许多零件组成。因此,机器的基本组成要素就是机械零件。

概括地说,机械零件可分为两大类:一类是在各种机器中经常都能用到的零件,称为通用零件,如螺钉、齿轮、链轮等;另一类则是在特定类型的机器中才能用到的零件,称为专用零件,如涡轮机的叶片、飞机的螺旋桨、往复式活塞内燃机的曲轴等。另外,还常把由一组协同工作的零件所组成的独立制造或独立装配的组合称为部件,如减速器、离合器等。

应该明确,对于一部机器这个总体来说,一切零件都是它的局部,它们必须受到全局的制约。因而它们在机器中,或按确定的位置相互联接,或按给定的规律做相对运动,共同为完成机器的功能而发挥各自的作用。因此,任何机器的性能都是建立在它的主要零件的性能或某些关键部件的综合性能的基础之上的。由此可知,要想设计出一部很好的机器,必须很好地设计或选择它的零件;而每个零件的设计或选择,又是和整部机器的要求分不开的。本书除简要论述机械及零件设计的基本理论、要求及一般方法外,将分章讨论各种通用零件的设计原理或选用方法。但是,它们绝不是各自孤立的,而是互相关联、互相影响、共同为设计完整的机器服务的。因此必须牢记,如果不从机器的全局出发,任何一个零件都是不可能正确地设计或选择出来的。

1.4 本课程的性质、内容和学习方法

本课程是以一般通用零件的设计为核心内容,以培养学生设计一般机械的能力为基本目标的技术基础课程。

前已述及,机械传动系统是绝大多数机器的重要组成部分。本书以传动系统为主线来组织各章的内容,即在简要介绍关于整部机器设计的基本知识(设计概论、摩擦磨损及润滑)之后,分章介绍各类传动件(带传动、链传动、螺旋传动、齿轮传动及蜗杆传动),然后介绍轴系件(轴、滑动轴承、滚动轴承、联轴器、离合器及制动器)、联接件(螺纹联接及销联接;键联接附入“轴”一章中)及弹簧,最后归结到机器的传动系统。

本课程的主要任务是:通过理论学习、作业、课程设计和实验等环节,使学生逐步树立正确的设计思想;掌握通用机械零件的设计原理、方法和机械设计的一般规律;具有设计机械传动装置和一般机械的能力;具有运用标准、规范、手册、图册和查阅有关技术资料的能力;并对机械设计的新发展有所了解。

本课程是一门技术基础课,在工科教学计划中具有承前启后的作用。从本课程开始,学生将从单科性的理论课程的学习逐步转向综合性的工程性课程的学习,只有及时转变学习观念,调整思维方式,改进学习方法,才能学好本课程。以下针对学习方法提出一些建议:

本课程作为一门技术基础课,兼有理论性和工程性的特点,涉及多方面的内容,要把主要精力放在设计的基本原理、基本方法和基本技能的掌握和应用上。

将数学、力学公式用于零件设计时,经常需要作必要的假设和简化,还要加入若干经验的因素(如引入各种修正系数等)。这正是理论联系实际的过程,从中可学到分析问题和解决问题的方法。对于众多的零件设计公式,要特别注意它们的前提和应用范围,不强求对公式的推导和记忆。

设计是一个综合问题,涉及材料、制造、成本、安全等多种因素。一个机械零件的设计,离不开机器这个总体,以及与之协同工作的其他零件。要学会统筹兼顾,培养和提高综合设计

能力。将, 书零的既用消晴常整中器用解各奇是类一; 类大两式位何料零解升, 另眼法解
工程设计的方案不是唯一的, 往往有多种方案可供选择, 要注意培养和提高分析、比较和判断的能力, 能从多种方案中选出最佳方案。

机械零件设计一般包括确定主要参数和结构设计两个基本内容。对初学者来说, 后者是一个难点。零件的结构千差万别, 目前还难于归纳出共同的规律。但必须给予充分的重视, 通过学习本课程和后继课程, 逐步提高结构设计能力。

某类零件的力学性能主要取决于其材料、热处理和加工工艺。因此, 在设计时应根据零件的工作条件、材料、热处理和加工工艺等因素, 合理选择材料、热处理和加工工艺, 以保证零件具有足够的强度和刚度。同时, 还应考虑零件的制造和装配工艺, 以保证零件具有良好的加工性和装配性。

本书的主要内容及特点

本书共分五章。第一章为绪论, 主要介绍机械设计的一般原则、设计方法和设计步骤。第二章为机械零件的失效形式及设计准则。第三章为机械零件的强度计算。第四章为机械零件的疲劳强度计算。第五章为机械零件的腐蚀与防护。

本书具有以下特点:

- 1. 注重基础知识的传授, 力求做到概念清晰、重点突出。
- 2. 注重工程应用能力的培养, 力求做到理论联系实际、学以致用。
- 3. 注重设计方法的传授, 力求做到方法正确、步骤清晰。
- 4. 注重工程实践能力的培养, 力求做到动手能力强、解决问题的能力高。

第2章

机械设计概论

2.1 机械设计的基本要求和一般程序

2.1.1 机器设计的基本要求

首先要能胜任对机器提出的功能要求(或工作职能)。在此前提下,同时满足使用方便、安全可靠、经济合理、外形美观等各项要求,并希望能做到体积小、质量轻、能耗少、效率高。

在使用方面,机器应能在给定的工作期限内具有高的工作可靠性,并能始终正常工作(定期维修和更换易损件除外)。联系人和机器间的各个环节应做到:操纵轻便省力;操纵机构的部位适合人体的生理条件,操作安全,万一失误,应有联锁装置或保险装置;维修方便等。

在经济方面,应做到机器使用费用、产品制造成本等多种因素的综合衡量,选出能获得最大经济效益的最佳设计方案。功能多、适用范围广、自动化程度高的机器,价格虽然贵一些,但产品成本(包括设备、材料、生产费用)可能反而降低。

机器外观造型要比例协调、大方,给人以时代感、美感和安全感。色彩要和产品功能相适应。例如,消防、起重机械要用鲜艳醒目的颜色,给人以紧迫、预警感;医疗、食品机械要用浅色,给人以卫生、安静感;军用器械要用保护色,给人以安全感;冰箱、风扇等要用冷色,给人以清凉感,等等。

噪声也是一种环境污染。限制噪声分贝数已成为评定机器质量的主要指标之一。机器噪声最好在 70 ~ 80 dB 以下。每天工作 8 h 的机器,噪声不得高于 90 ~ 95 dB。大于 95 dB 的机器,操作时必须戴耳塞。大于 105 dB 的机器,必须采取降低噪声的措施。齿轮传动、链传动、滚动轴承、牙嵌离合器、液压系统、电动机等都是机器中常见的噪声源。为了降低噪声,首先要分析产生噪声的原因,然后从设计、工艺、材料等方面着手,采取各种降低噪声的措施。环境对机器噪声的限制日益苛刻,故低噪声设计日渐重要。

对不同用途的机器,还可能提出一些其他要求,如巨型机器有起重、运输的要求,生产食品的机器有清洁卫生的要求等。

2.1.2 机械设计的一般程序及设计人员的素质要求

机械设计是机械产品开发全过程的第一步。设计人员经过调查、构思、分析和计算,并充分考虑制造、使用、维修和营销等多方面的因素,将产品的总体结构和全部细节,通过图纸、技术文件和(或)计算机软件,具体和确切地描述出来,使之成为制造工作全面和唯一的依据。

各种机器用途不同,要求各异,故其设计步骤不尽一致。总的来说,机械设计经历以下的程序。

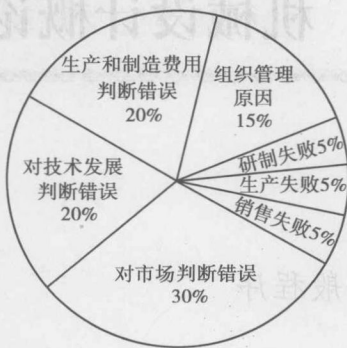


图 2.1 国外一个统计结果

(1) 确定设计任务

本阶段又称初步设计,要分析和确定所设计机器的用途、性能和其他主要经济技术指标,包括参数范围、工作条件、生产批量、成本指标等,这些都是开展设计最原始的依据。

在现代社会中,机械产品市场的竞争十分激烈,设计人员应该树立营销观念,即做到“产销对路”“以销定产”。为此,要特别注重市场需求的调查和预测,防止“闭门造车”。在此基础上确定新产品的开发计划。如图 2.1 所示为国外的一个统计结果,它分析了若干种新产品开发失败的原因,从反面说明了计划阶段的重要性。

(2) 总体设计

机器的总体设计就是按照简单、合理、经济的原则,拟订出一种能实现机器性能要求的总体方案。其主要内容包括根据机器的要求进行功能设计,研究和确定机器执行部分的方案,并分析计算其运动和阻力;选择原动机;拟订原动机和执行部分之间的传动部分(系统);绘制整机的运动简图,并做初步的运动和动力计算。对于运动链较长的传动系统,还要确定各级传动的传动比和各轴的转速和扭矩。总体设计要考虑机器的操作、安装、维修和外廓尺寸等要求,合理安排各部件的相对位置。有时还要对机器的某些关键环节进行模拟试验。

应当指出,当前机械市场的商品十分丰富,人们有广泛的选择余地,即使是用途相同的产品,也往往呈现出不同的功能结构。例如,洗衣机有立式的和卧式的;自行车有单速的和多速的;千斤顶有机械的和液压的;剪板机有上切式和下切式;内燃机有往复活塞式和旋转活塞式,等等。设计人员应该具有创新意识,探索新方案,开发新产品,力争自己设计的产品在众多相同或相近的商品中具有新意,体现特色,达到“同中求异”。

(3) 技术设计

按照机器的总体设计方案,通过必要的工作能力计算,或与同类相近机器的类比,确定组成整机的各零部件的主要参数和机构尺寸。经初审后,绘制总装配图、部件装配图、零件图以及各种系统图(传动系统图、润滑系统图、电路系统图和液压系统图等),并编制设计说明书和各种技术文件。

本阶段是确定机器的全部结构和“细节”的阶段,设计人员要严肃认真、一丝不苟地做好工作。

(4) 试制定型

按照以上步骤提出的设计图纸和技术文件,还只是设计认识过程的第一阶段。设计是否

能达到预期的要求,还需通过实践的检验。一般要试制样机。通过试车,测试各项性能指标;发现设计的错误和不妥之处,及时改正。最后组织设计鉴定。

2.2 机械零件的工作能力和计算准则

2.2.1 机械零件的主要失效形式和工作能力

(1) 机械零件的主要失效形式

机械零件的失效形式主要如下:

1) 整体断裂

零件在受拉、压、弯、剪、扭等外载荷作用时,由于某一危险截面上的应力超过零件的强度极限而发生的断裂;或者零件在受变应力作用时,危险截面上发生的疲劳断裂均属此类。

2) 过大的残余变形

如果作用于零件上的应力超过了材料的屈服极限,则零件将产生残余变形。机床上夹持定位零件过大的残余变形,将降低加工精度;高速转子轴的残余挠曲变形,将增大不平衡度,并进一步引起零件的变形。

3) 零件的表面破坏

零件的表面破坏主要有腐蚀、磨损和接触疲劳。腐蚀是发生在金属表面的一种电化学或化学侵蚀现象。

磨损是两个接触表面在做相对运动的过程中表面物质丧失或转移的现象。

零件表面的接触疲劳,是指受到接触变应力长期作用的表面产生裂纹或微粒剥落的现象。

腐蚀、磨损和接触疲劳都是随工作时间的延续而逐渐发生的失效形式。

零件到底会发生哪种形式的失效,与很多因素有关,并且在不同行业 and 不同机器上也不尽相同。从有关统计分类结果来看,由于腐蚀、磨损和各种疲劳破坏所引起的失效就占了73.88%,而由于断裂所引起的失效只占4.79%。因此,腐蚀、磨损和疲劳是引起零件失效的主要原因。

(2) 机械零件的工作能力

零件不发生失效的安全工作限度称为工作能力。对载荷而言的工作能力称为承载能力。有时零件工作能力是针对变形、速度、温度或压力而言的安全工作限度。

同一种零件可能具有数种失效形式。因而对应不同的失效形式,就有不同的工作能力。以轴为例,轴的失效可能是疲劳断裂,也可能是过大的弹性变形。对于前者而言,轴的工作能力取决于轴的疲劳强度;对后者而言,则取决于轴的刚度。显然,起决定作用的将是承载能力中的较小值。

2.2.2 机械零件的计算准则

机械零件的计算准则,即在设计时对零件进行计算所依据的准则。计算准则无疑是与零件的失效形式紧密地联系在一起的。概括地讲,大致有以下准则:

(1) 强度准则

强度准则是机械零件首先要满足的基本准则。该准则是指零件中的应力不得超过允许的限度。例如,对一次断裂来讲,应力不超过材料的强度极限;对疲劳破坏来讲,应力不超过零件的疲劳极限;对残余变形来讲,应力不超过材料的屈服极限。这样就满足了强度要求,符合了强度计算的准则。其代表性表达式为

$$\sigma \leq \sigma_{\lim} \quad (2.1)$$

考虑到各种偶然性或难以精确分析的影响,式(2.1)右边要除以设计安全系数(简称为安全系数) S ,即应力不得超过许用应力,其表达式为

$$\sigma \leq \frac{\sigma_{\lim}}{S} = [\sigma] \quad (2.2)$$

强度准则的另一种表达式,是零件工作时的实际安全系数 S 不小于零件的许用安全系数 $[S]$,即

$$S \geq [S] \quad (2.3)$$

(2) 刚度准则

零件在载荷作用下产生的弹性变形量 y (它广义地表示任何形式的弹性变形量) 小于或等于机器工作性能所允许的极限值 $[y]$ (即许用变形量), 就称为满足了刚度要求, 或符合了刚度计算准则。其表达式为

$$y \leq [y] \quad (2.4)$$

弹性变形量 y 可按各种求变形量的理论或实验方法来确定, 而许用变形量 $[y]$ 则应随不同的使用场合, 根据理论或经验来确定其合理的数值。

(3) 寿命准则

由于影响寿命的主要因素——腐蚀、磨损和疲劳是 3 个不同范畴的问题, 因此, 它们各自发展过程的规律也就不同。关于腐蚀, 由于迄今为止还没有提出实用有效的腐蚀计算方法, 因而也无法列出腐蚀的计算准则。关于磨损, 由于磨损类型众多, 产生的机理还未完全搞清, 影响因素也很复杂, 因此, 目前尚无能够进行定量计算的可行方法, 本书在第 3 章介绍磨损的基本知识。关于疲劳, 通常是求出零件在预定使用寿命时的疲劳极限作为计算依据。疲劳寿命的准则常采用式(2.3)的形式, 在本章 2.3 节中再作介绍。

(4) 振动稳定性准则

机器中存在着很多的周期性变化的激振源。例如, 齿轮的啮合, 滚动轴承中的振动, 滑动轴承中的油膜振荡, 弹性轴的偏心转动等。如果某零件本身的固有频率与上述激振源的频率重合或成整数倍关系时, 该零件就会发生共振, 以致使零件破坏或机器工作条件失常。所谓振动稳定性, 就是设计时, 要使机器中受激振作用的零件的固有频率与激振源的频率错开。令 f 代表零件的固有频率, f_p 代表激振源的频率, 则通常应保证如下的条件, 即

$$0.85f > f_p \text{ 或 } 1.15f < f_p \quad (2.5)$$

如果不能满足上述条件, 则可用改变零件及系统的刚性, 改变支承位置, 或增加(或减少)辅助支承等办法来改变 f 值。

把激振源与零件隔离, 使激振的周期性改变的能量不传递到零件上去, 或者采用阻尼以减小受激振动零件的振幅, 都会提高零件的振动稳定性。