

普通高等教育“十三五”规划教材

机械设计

(第二版)

安琦 顾大强 主编



科学出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

机 械 设 计

(第二版)

安 琦 顾大强 主编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本教材以传授机械设计思想为主,强调设计的过程和设计能力的培养。主要介绍机械设计的基本理论、常用机械零件的原理和设计方法,以及典型整机设计过程和具体设计方法。全书力求做到逻辑清晰、层次分明,便于学生对知识点的理解和掌握。主要特点有:强化基本原理、基本设计方法;对于具体的机械零部件设计,注重知识逻辑顺序;强化对设计步骤的介绍;对关键知识点和要求掌握的程度进行了明确的说明;对机械设计课程的教学内容进行了界定;增加了一章关于整机设计方法的内容。

本书可供普通高等院校机械类各专业学生作为教材使用,也可供工程技术人员自学参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计/安琦,顾大强主编. —2版. —北京:科学出版社,2016.1
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-03-047137-6

I. ①机… II. ①安… ②顾… 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(2016)第 003972 号

责任编辑:邓 静 / 责任校对:桂伟利
责任印制:霍 兵 / 封面设计:迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

大厂书文印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2016 年 1 月第 二 版 印张:25 1/4

2016 年 1 月第八次印刷 字数:604 000

定价:52.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

第二版前言

本教材从2008年6月出版以来,得到国内多所高校及广大科技工作者的采用,使用效果反响很好。但随着时间的推移,编者在教学实践过程中也感到原教材在有些细节及编写的逻辑性方面仍有改进的空间。为此,作者对原教材进行了修订,增加了一些内容和例题,对整本教材的内容做了进一步完善,编排的逻辑顺序以及知识点的分析等方面做了进一步改进。

本教材的编写和修订,首先得益于作者多年来从事机械设计课程教学,并在教学过程中不断进行教学研究以及科研实践,对每一章内容都深入研究并发表了教学研究论文。这次修订过程,作者参阅了国内外大量的相关教材和文献。进一步明确了以传递基本的设计原理、设计方法、设计思想和培养设计能力为基本目标,强化内容的实用性,并考虑如何通过对知识点优化逻辑安排,使得教学内容实现化繁为简,便于实现化抽象为具体设计能力的教学效果。

这次的修订工作主要体现在以下几点:

(1)进一步强化设计原理和基本设计方法。对机械设计中应用到的疲劳强度理论、机械零件的摩擦、磨损、润滑、密封、机械零件的失效等基本知识点进行了新的系统的归纳,并建立与具体设计内容的有机逻辑关系,促使学生在学习过程中能自觉与具体的设计问题联系起来。

(2)进一步强化机械零部件的知识逻辑顺序。按照“基本特点及应用——失效方式——设计计算准则——基本参数和结构的确定——设计步骤”这样一个基本的主线进行内容编排,更加符合知识的逻辑规律,并通过例题进一步阐述这一逻辑过程,强化设计步骤和实际设计能力的建立。

(3)进一步明确了关键知识点和要求掌握的程度。对机械设计课程的教学内容进行了进一步界定,对具体内容做了增减,对每一章的结尾处的“本章学习要求和知识点小结”进行了进一步归纳和整理,将具体要求掌握、要求弄懂和要求理解的内容进行了分类,并将关键知识点进行了系统的归纳,不仅使重点突出,而且方便学生的学习。

(4)增加了例题和部分近年来发展起来的新知识。根据教学过程的实际应用,结合读者的反映,本次修订增加了一些例题,以便于读者在阅读过程中更有效地理解和掌握知识点,在绪论中增加了关于对3D打印技术的介绍,在滑动轴承设计中增加了关于滑动轴承性能的数值计算方法介绍,在轴毂联接中增加了无键联接等。通过这样的内容增加,使得本教材进一步完善和紧跟时代要求。

修订过程,全体编者多次进行了研讨,并主要由华东理工大学机械与动力工程学院安琦、王建文及浙江大学机械系顾大强负责完成修订定稿工作。

限于编者能力,修订过程尚无法达到完美的程度,恳请广大教师、工程技术人员、学生批评指正。

编者

2015年8月于上海

第一版前言

机械设计是机械类专业的重点核心课程,它的主要任务有两个方面,一是学习在普通工作条件下一般参数的通用零件和部件的原理、结构、材料、设计及选型方法;二是学习综合运用各种机械零件、各种机构的知识以及其他先修课程的知识,掌握设计机械传动装置和一般机器的方法。

作为机械设计课程的主讲教师,通过长期的教学实践,结合在科研实践中机械产品开发研究的体会以及目前国际上机械设计课程教学内容的发展,我们深切感到,编写一本更加符合实际机械设计要求,便于学生学习、理解和掌握的教材十分必要。

本书是依照教育部颁发的《机械设计课程教学基本要求》(1995年修订版)、《普通高等教育“十一五”国家级教材规划建设内容建议》以及教育部机械设计教学指导委员会《机械设计课程(机械类专业)教学基本要求(讨论稿)》(2004年7月)进行编写的。在满足基本教学要求的前提下,强化内容的实用性、易学性,进行了科学的编排,主要特点如下:

(1) 强化基本原理、基本设计方法。对机械设计中应用到的疲劳强度理论,机械零件的摩擦、磨损、润滑、密封、机械零件的失效等基本知识点进行了系统的归纳。

(2) 对于具体的机械零部件设计,注重知识逻辑顺序。按照“基本特点及应用—失效方式—设计计算准则—基本参数的确定—设计步骤”这样一个基本的主线进行内容编排,更加符合知识的逻辑规律,便于学生的学习与掌握。

(3) 强化对设计步骤的介绍。对具体的每一种零部件的设计步骤进行归纳或结合具体的例题进行介绍,让学生在学习完一种零部件内容后,能够明确完整的设计方法和设计过程。

(4) 对关键知识点和要求掌握的程度进行了明确的说明。在每一章的结尾处增设“本章学习要求和知识点小结”,将具体要求掌握、要求弄懂和要求理解的内容进行了分类,并将关键知识点进行了系统的归纳,不仅使重点突出,而且方便学生的学习。

(5) 对机械设计课程的教学内容进行了界定。将先修课程已经介绍过的内容以及后续课程将要进行的内容进行了删减,如工程材料的介绍、制造工艺、减速器等,这样起到了突出核心内容的作用。

(6) 增加了一章关于整机设计方法的内容,该章可以有效地解决机械设计教材长期以来只注重单个的零部件设计,而忽略整机设计的问题,使学生能够有机会学习建立整机设计的概念和方法,了解设计过程中应该注意的事项。

参加本书编写的有:华东理工大学安琦(第1、2、3、6、8、9、13、17章),浙江大学顾大强(第4、7、14、18章),浙江大学沈萌红(第15章),华东理工大学王小芳(第5章),华东理工大学陶峰(第10、16章),华东理工大学王建文(第11章),华东理工大学殷勇辉(第12章),华东理工大学夏守浩参与了第7章的编写工作。此外,华东理工大学研究生高磊、张志明、王玮、吴昊等同学参与了文字及图表的整理工作。全书由安琦进行统稿编辑。

限于编者水平及编写时间仓促,书中缺点和错误在所难免,恳请广大教师、读者批评指正。

编者

2008年3月于上海

基本符号表

A	接触面积, 截面面积	L_{10}	基本额定寿命
A_r	真实接触面积	M	弯矩
a	长度, 中心距	M_c	计算弯矩
b	宽度	m	模数, 指数, 螺栓抗剪面数目
C, C'	试验常数, 基本额定动载荷, 刚度	N	循环次数, 数量, 法向压力
c	接触半径	N_t	未失效零件数量
D	直径	N_0	循环基数
d	直径	n	转动速度
E	弹性模量	P	功率, 螺距
E_k	冲击能	p	压强, 齿距
E_p	变形能	q	应力集中敏感系数, 每米带长质量
F	作用力, 载荷, 摩擦力	R_t	可靠度
F_c	计算载荷	R_z	表面粗糙度
F_t	失效概率	r	循环特性, 半径
F'	冲击力	S	导程
f_p	载荷因数	S_s, S_r	安全系数
f_t	温度因数	T	扭矩
$f(t)$	失效密度	t	时间, 厚度, 温度
G	剪切弹性模量	T_c	计算扭矩
$H_{\min}$	最小油膜厚度	u	齿数比
h	高度	v	速度
H'	螺母旋合长度	X	载荷系数
I	截面极惯性矩	x	变位系数
i	传动比	Y	载荷系数
K	载荷系数	y	挠度, 弹性变形量
K_A	工况系数	y'	冲击弹性变形
K_I	冲击系数	z	齿数
K_v	动荷系数	α	螺纹牙型角, 压力角
K_α	齿间载荷分配系数	α_σ, α_r	理论应力集中系数
K_β	齿向载荷分布系数	α'	啮合角
k_N	寿命系数	β	长度系数, 螺旋角
k_σ, k_r	应力集中系数	β_σ, β_r	表面状态系数
$(k_\sigma)_D, (k_r)_D$	应力集中综合影响系数	ϵ	寿命指数
L	长度, 寿命	$\epsilon_\sigma, \epsilon_r$	尺寸系数

γ	系数	σ_m	平均应力
Δ	过盈量	$\sigma_{\max}$	最大应力
δ	厚度, 锥顶角	$\sigma_{\min}$	最小应力
$\varepsilon_s, \varepsilon_r$	尺寸系数	σ_{rN}, τ_{rN}	疲劳极限
η	流体粘度, 效率	σ_p	挤压应力
θ	转角	σ_s	屈服极限
λ	膜厚比	σ'	冲击应力
μ	泊松比, 摩擦系数	τ	扭转应力
ζ	损失率	τ_B	剪切强度极限
ρ	曲率半径, 密度	ν	运动粘度
σ	拉压应力	ϕ	扭角
N_f	失效零件数量	φ	铆缝的强度系数
σ_a	应力幅	ψ	螺旋升角
σ_B	强度极限	ψ_σ	等效系数
σ_b	弯曲应力	$[S_\sigma], [S_\tau]$	许用安全系数
$\sigma_{H\max}$	最大接触应力	$[\sigma], [\tau]$	许用应力
$\sigma_{\lim}, \tau_{\lim}$	极限应力		

目 录

第二版前言	
第一版前言	
基本符号表	

第 1 篇 机械设计总论

第 1 章 绪论	1
1.1 机器与机械零件的基本概念	1
1.2 机械设计的要求和设计程序	1
1.3 机械零件的设计要求和设计过程	3
1.4 零件的计算方法和标准化原理	4
1.5 机械设计学科现状和对设计人员的要求	5
本章学习要求	7
本章习题	7
第 2 章 机械零件的强度和设计准则	8
2.1 机械零件的载荷和应力	8
2.2 机械零件计算的准则	10
2.3 机械零件的失效方式及提高强度的一般方法	13
2.4 机械零件的三种表面强度	15
2.5 机械零件的刚度和改进措施	16
2.6 机械零件的振动稳定性和冲击强度	17
本章学习要求和知识点小结	19
本章习题	20
第 3 章 机械零件的疲劳设计	21
3.1 疲劳破坏的过程及断面特征	21
3.2 材料的疲劳特性曲线	21
3.3 影响零件疲劳强度的系数	25
3.4 机械零件的疲劳极限应力图	28
3.5 机械零件的疲劳安全系数计算方法	29
3.6 线性疲劳损伤积累假说及其应用	31
本章学习要求和知识点小结	35
本章习题	35
第 4 章 机械零件的摩擦、磨损、润滑及密封	37
4.1 摩擦原理	37
4.2 磨损	41

4.3 润滑材料.....	44
4.4 机械零件的润滑方式.....	48
4.5 流体润滑原理及方法.....	49
4.6 密封装置.....	51
本章学习要求和知识点小结	55
本章习题	57

第 2 篇 联接设计

第 5 章 轴毂联接	60
5.1 键联接.....	60
5.2 花键联接.....	65
5.3 销联接.....	67
5.4 无键联接.....	69
本章学习要求和知识点小结	70
本章习题	71
第 6 章 螺纹联接设计	72
6.1 螺纹类型和主要参数.....	72
6.2 螺纹联接和螺旋传动的主要类型.....	73
6.3 螺纹联接的性能等级、材料和精度	76
6.4 螺栓联接的拧紧和防松.....	77
6.5 螺栓联接的强度计算.....	79
6.6 螺栓组联接设计.....	85
6.7 提高螺栓联接强度的措施.....	89
6.8 螺旋传动设计.....	93
本章学习要求和知识点小结	95
本章习题	97
第 7 章 其他联接设计	99
7.1 铆接.....	99
7.2 焊接	103
7.3 胶接	108
7.4 过盈配合联接	111
本章学习要求.....	117
本章习题.....	118

第 3 篇 传动设计

第 8 章 带传动设计.....	122
8.1 带传动的特点	122
8.2 带的型号和带轮结构	123

8.3	带传动几何计算及力学分析	128
8.4	弹性滑动、打滑和滑动率	132
8.5	带传动的疲劳强度计算	133
8.6	传动参数的确定和带传动设计过程	135
8.7	平带传动设计	142
8.8	带传动的张紧装置	143
8.9	其他带传动简介	144
	本章学习要求和知识点小结	145
	本章习题	146
第9章	齿轮传动设计	147
9.1	齿轮传动的特点	147
9.2	齿轮传动的失效形式与计算准则	151
9.3	齿轮材料	153
9.4	齿轮传动的受力分析	155
9.5	齿轮传动的计算载荷	157
9.6	标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算	162
9.7	斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	176
9.8	直齿锥齿轮传动计算	181
9.9	齿轮传动的润滑和效率	187
9.10	齿轮结构设计	189
9.11	其他齿轮传动简介	190
	本章学习要求和知识点小结	192
	本章习题	194
第10章	蜗杆传动设计	197
10.1	概述	197
10.2	蜗杆传动的失效形式、材料选择和结构	200
10.3	普通圆柱蜗杆传动的基本参数	201
10.4	圆柱蜗杆传动几何尺寸计算	206
10.5	蜗杆传动的受力分析和效率计算	208
10.6	圆柱蜗杆传动的强度计算	211
10.7	圆柱蜗杆传动的润滑和热平衡计算	216
10.8	圆柱蜗杆传动的设计步骤	217
10.9	提高普通圆柱蜗杆传动性能的措施	220
	本章学习要求和知识点小结	222
	本章习题	224
第11章	链传动设计	226
11.1	链传动的特点	226
11.2	传动链结构	227

11.3 链轮结构和材料	229
11.4 链传动的运动特性	232
11.5 链传动的受力分析	235
11.6 滚子链传动的失效形式及计算方法	236
11.7 滚子链传动的设计步骤和主要参数的确定	238
11.8 齿形链传动设计	240
11.9 链传动的布置、张紧和润滑	242
本章学习要求和知识点小结	244
本章习题	245

第 4 篇 轴系零部件设计

第 12 章 轴的设计	247
12.1 概述	247
12.2 轴的结构设计	251
12.3 轴的强度设计计算	256
12.4 轴的刚度计算	262
12.5 轴的临界转速	264
12.6 提高轴强度的常用措施	264
本章学习要求和知识点小结	266
本章习题	267
第 13 章 滑动轴承设计	275
13.1 概述	275
13.2 径向滑动轴承的结构特点	275
13.3 滑动轴承的材料	277
13.4 滑动轴承的润滑材料	280
13.5 滑动轴承的润滑方式	281
13.6 非液体润滑滑动轴承的计算	283
13.7 液体动压形成原理及基本方程	284
13.8 液体动压径向滑动轴承承载能力计算	287
13.9 径向滑动轴承的有关性能参数计算与选择	289
13.10 滑动轴承性能的数值计算方法	294
13.11 其他形式的滑动轴承简介	296
本章学习要求和知识点小结	300
本章习题	301
第 14 章 滚动轴承设计	302
14.1 概述	302
14.2 滚动轴承的主要类型、特点和代号	303
14.3 滚动轴承的类型选择	308

14.4 滚动轴承的工作情况分析	309
14.5 滚动轴承的寿命计算	311
14.6 滚动轴承的静强度计算	319
14.7 滚动轴承的组合结构设计	320
14.8 特殊滚动轴承简介	327
本章学习要求和知识点小结	328
本章习题	330
第 15 章 联轴器和离合器	333
15.1 联轴器的作用及分类	333
15.2 刚性联轴器	334
15.3 挠性联轴器	336
15.4 离合器的作用及分类	344
15.5 嵌合式离合器	344
15.6 摩擦式离合器	346
15.7 其他离合器	349
本章学习要求和知识点小结	351
本章习题	352
第 5 篇 其他零件及整机设计	
第 16 章 弹簧	353
16.1 概述	353
16.2 圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的几何参数和特性线	358
16.3 圆柱螺旋弹簧的设计计算	361
本章学习要求和知识点小结	368
本章习题	370
第 17 章 结构设计与机架设计	371
17.1 结构设计	371
17.2 机架零件设计	374
本章学习要求和知识点小结	378
本章习题	379
第 18 章 整机设计和现代设计方法简介	380
18.1 整机系统设计	380
18.2 设计的检查	382
18.3 现代设计方法简介	383
本章习题	391
参考文献	392

第 1 篇 机械设计总论

第 1 章 绪 论

1.1 机器与机械零件的基本概念

机械是人类进行物质生产的重要工具,是实现现代化生产的基础,也是衡量社会生产力的重要标志。关于机械的定义,古今中外有不少具有一定影响力的版本,广泛接受的一种表述是:机械是机器和机构的总称。而我们日常生活中经常谈到的机器一般是指用来执行机械运动的装置,用来变换或传递能量、物料或信息。用来进行物料传递和变换的机器一般又称作器械、装置或设备,像过滤装置、分离设备、蒸汽锅炉、热交换器、搅拌装置等均属于这类。用来进行信息传递和变换的机器通常称为仪器,像各种测量仪器、电视机、电脑、录像机、控制和监视仪器等均属于此类。

一台完整的机器一般由三部分构成,即动力机、传动装置和工作机。其中动力机是机器的驱动部分,是动力的提供者,它将各种不同形式的能量(如电能、液能、气能、热能、化学能等)通过某种过程转变为机械能,然后提供给机器。常见的动力机有电动机、蒸汽机、汽轮机、内燃机等。传动装置是一种在一定空间中传递能量并同时实现某些其他作用的装置。它的作用主要包括能量的分配、转速的改变、运动形式的改变等。工作机是直接实现规定功能、完成生产任务的部分,它的主要结构形式完全取决于机器本身的用途。

机械零件是指组成机器的不可拆的基本单元,比如螺栓、螺钉、键、带、齿轮、轴、弹簧、销等。所谓部件是指由若干个零件构成的一个特定的功能单元,比如滚动轴承、滑动轴承、联轴器、离合器等。

机械零件分为通用零件和专用零件,所谓通用零件是指在各种机器中广泛使用的零件;所谓专用零件是指只在某一类特定的机器中使用的零件。

所谓机械系统是指由许多机器、装置、监控仪器等组成的大型工业系统,或由零件、部件等组成的机器。

设计是为了实现某种工程目的而进行的创造性过程,机械设计课程是培养机械工程类专业学生初步掌握设计机械零件和一般机器能力的一门专业基础课程。

1.2 机械设计的要求和设计程序

机械设计的内容十分广泛,包括应用新的原理或新的概念,开发创造新的机器,改进现有机器或再设计。机械设计是生产机械产品的第一道工序,设计质量的高低,将直接关系到机械产品的技术水平和经济效益。机械设计对于国民经济的发展具有很重要的意义。工业产品的核心是设计,一般认为,设计阶段成功与否决定了机械产品性能高低的 70%。

设计一个机器时首先应满足功能要求。在此基础上还要考虑满足使用方便、安全可靠、环保、经济合理、外形美观、体积小、质量轻、能耗小、效率高等多种要求。

满足功能要求,就是所设计的机器能在规定的工作条件下、规定的工作寿命内执行预定的各项功能。这主要靠科学合理地设计机器的工作原理、正确地设计机械零部件来加以保证,确保机器中的零件具有足够的强度、刚度、耐磨性和振动稳定性等。

满足经济性要求,就是在满足功能要求的前提下,从机器费用、产品制造成本、产品的维修等多种因素中综合衡量,选择最佳设计方案,以获得最大的经济效益。

在设计机器的过程中还要考虑安全问题,避免发生设备和人身事故。例如,外露运转的零部件应该加装安全罩,设置保险装置消除误操作或过载引起的危险,对操作按钮的设计和布置应考虑易于辨认和操作等。

机器的外观造型目前也越来越受到人们的重视,设计时应考虑造型的比例协调大方、有时代感、美感、安全感。色彩要与产品的功能具有关联性。例如,消防、起重、救护机械要用鲜艳醒目色,从而产生紧迫感、预警感。食品机械以浅色为主色调,给人以卫生、安静感。军用器械要用保护色,给人安全感。

噪声也是机械设计过程必须加以考虑的问题,限制噪声分贝数值已经成为衡量机器性能的重要指标之一。降低噪声,首先要分析产生噪声的原因,然后从设计、工艺、材料等因素着手,采取措施进行噪声的降低。

此外,对于一些特殊的机器还有其他一些具体的要求。如运动式机器有质量轻、体积小的要求;食品机械、纺织机械有防止污染的要求;大型机械要考虑如何运输、拆卸和安装等。

然而,上述各项要求在实际设计中有时会出现矛盾的现象,在设计时要考虑抓住主要要求、兼顾其他一些要求进行设计。例如,煤矿机械、起重机械、冶金机械以安全为主,加工设备(如机床、铣床等)以性能为主,一般不重要的机械以成本为主等。

1. 机械设计的方法

机械设计的方法大体上有三种不同的类型:

1) 内插式设计

这种设计是在现有的两种或两种以上的方案中进行综合,这是最为常用的一种设计方法。在进行这种方法设计时一般已经有一些现成的经验,产品可以借鉴和类比,其实就是对原有的设计原理进行归纳、综合,只要精心设计、认真进行一些改进,加上少量的实验研究,就有把握完成设计,取得成功。

2) 外推式设计

在进行设计时,有一些设计经验可以借鉴,但这些经验只是局部性的,存在一定的未知部分,依靠经验无法完成整个设计,需要进行外推研究,即通过理论探讨、实验研究进行外推部分的开发研究。

3) 开发式设计

有些设计完全没有任何可以借鉴的成功经验,需要应用新原理、新技术进行开发式设计研究。这时要运用基础理论知识进行有关的功能设计和结构设计。

2. 机械设计的过程

机械设计的过程应按照一定的程序进行,否则不仅影响最终设计出来的产品的质量,而且设计效率不高。严格地说,机械设计没有固定不变的程序,但一般来说,对于一个新产品的机械设计过程大致可以分为如下几个主要阶段:

1) 调查研究、制定开发计划书

由用户提出要求,用户和设计人员通过讨论、调查分析,共同制订开发计划书。内容包括产品的国内外现状、用途、功能、基本结构形式、主要设计参数、动力源形式、技术经济指标、成本和利润要求、计划进度等。

2) 初步设计阶段

这一阶段要确定主要的结构形式,进行机构、零部件的初步设计,对于一些无成功经验可以借鉴的部分,要通过进行模型试验研究和技术分析,验证原理的可行性、可靠性,发现存在的问题,并探索解决的方法。这一阶段最终要通过分析、计算,绘制出必要的结构草图。

3) 绘制装配图和零部件图

在上一阶段工作的基础上,根据对零件的功能要求、加工工艺要求,将零件的形状、尺寸、机械安装尺寸、配合公差等全部确定下来,并绘制出整机的装配图,在此基础上绘制出所有的零件图,编制技术文件和设计说明书,并不断审核和修改,最终定稿。

4) 样机试制和技术经济评价

对设计图纸进行全面的审核和改进之后,开始进行样机加工制作,装配完成后进行样机试验,对出现的问题进行分析、改进,然后进行全面的技术和经济性评价,和开发计划书进行对比,研究进一步提高综合性能的方法和措施。

5) 产品定型、投放市场

在样机达到要求的基础上,进行产品的定型设计,开始小批量生产,投放市场,接受用户反馈信息,进行进一步完善,之后方可进行批量生产、定型产品。

需要说明的是,上述设计过程的各个阶段互相关联,当其中一个阶段发现问题时,必须进行返回修改。整个设计过程是一个不断修改、返工、不断完善的优化过程。另外,在有些设计中,并非经过上述设计过程的所有步骤,有时可以根据具体情况跳过某一个步骤,这要根据实际情况进行操作。

1.3 机械零件的设计要求和设计过程

机器是由机械零件构成的,机械零件的设计是开发机械产品的基础和关键,设计出来的零件首先要满足功能要求,同时工作要可靠、成本低。设计时要根据可能发生的失效形式,确定零件在强度、刚度、振动稳定性、耐磨性、温度等各方面必须满足的条件,根据这些条件建立零件工作能力判断的准则,这些准则又是对机械零件尺寸进行计算和确定的依据。

机械零件设计的一般过程为:

1) 确定零件的载荷

根据零件的工作情况,进行计算方案的简化,建立计算数学模型,根据额定功率用力学公式计算出作用在零件上的载荷(称作名义载荷)。考虑到实际载荷随时间作用的不均匀性、载荷在零件上分布的不均匀性及其他影响零件受力情况等因素的综合影响,引入载荷系数 K (或称作工作情况系数) 对名义载荷进行修正。可以得到计算载荷(名义载荷与载荷系数的乘积),计算载荷是对机械零件进行计算的依据。

2) 选择零件的材料

根据零件的工作要求和工作条件,考虑材料的力学性质、物理性质、经济因素及供应情况等选择零件的材料。

3) 确定零件的尺寸

根据零件的工作能力准则,计算确定零件的主要尺寸,考虑加工要求、装配要求、拆卸要求、标准化要求等,对尺寸进行确定和圆整。

4) 零件图绘制

根据确定的主要尺寸,并结合结构和工艺上的要求,绘制零件的工作图,标注必要的技术要求。零件工作图是制造零件的依据,应严格检查,尽量避免差错。

1.4 零件的计算方法和标准化原理

机械零件设计的计算方法一般有两种,设计计算和校核计算。设计计算是根据零件所受到的载荷,运用相应的计算准则,计算出零件危险截面的最小尺寸,然后根据结构与工艺要求,使结构尺寸进一步具体化。所谓校核计算是参照已有实物、图纸和经验数据,预先初步拟定零件的结构布局和尺寸,然后根据有关计算准则核验危险截面是否处于安全状态。在进行校核计算时,由于零件的尺寸、结构、甚至加工状态都已经确定,可以在计算过程中加以考虑,计算的结果较为精确。这种充分考虑各种有关因素的校核计算也常常称为精确的校核计算。以往人们在进行校核计算时,只能对一些形状和受力方式都比较简单的零件进行精确计算,但随着计算机技术的发展,有限元分析技术的出现,对复杂零部件的精确计算已经变得容易实现。

这里需要说明的是,目前在机械设计中,不论是设计计算还是校核计算,在计算过程中需要对某些复杂的现象作出适当的简化,例如,以集中力代替实际上的分布载荷、以点支承代替实际上的面支承、以恒定的摩擦系数代替变化的摩擦系数等。这样一些假设的引入就使得所进行的机械零件的计算带有了条件性。所以,实际的机械零件的计算一般是一种条件性计算,即一种合理的简化计算。这种条件性计算虽然在精确性上受到限制,但如果计算过程在合理的假设范围内进行,计算结果仍然具有较高的可信性,完全可以满足工程实际的要求。

这里还要特别强调的是,本教材介绍的机械零件设计方法,是以传统的疲劳强度计算方法为依据的,即在不产生裂纹的前提下进行的设计,是一种“安全—寿命”的设计思想。但由于在实际使用中有时无法避免裂纹的存在,近年来又发展了一种新的设计理论——断裂力学理论,产生了一种新的设计方法“破损—安全”的设计概念,该设计方法是允许零件在工作中产生裂纹,但对裂纹疲劳扩展的过程进行研究,掌握其发展规律,确保在规定的寿命范围内不发生断裂失效。

机械零件的设计不能完全依赖于理论计算,对于复杂的零件,有时需要通过模型试验或实物试验进行确定。要成为一名合格的设计者,应该将理论与实践经验进行有效的结合。本教材中所介绍的许多计算公式、设计理论是进行零件设计的基础,不仅应该弄清楚它们的由来和应用,而且应该通过这些公式和理论,掌握各参数之间的相互关系,了解改变这些参数对零件性能的影响过程。但在实际设计中,设计者除了计算以外,还要结合结构、制造、安装、测试、调试、维修等多方面的因素综合进行尺寸的最终确定,设计出来的零件尺寸往往大于理论计算的尺寸。此外,有时也会出现难以用计算方法确定的情况,这时就需要依据设计和生产经验来进行零件尺寸的确定,实际经验对一个成功的设计者来说十分重要,只有不断地积累设计经验才能不断提高设计水平。

任何一个机械零件的设计过程,往往都是一个不断改进和完善的过程,是一个优化的过程。从 20 世纪 80 年代以来,出现了以计算机技术为基础的机械优化设计,通过建立设计的目

标函数,确定约束条件,通过对特定的算法进行计算机编程求解,可以获得约束条件下的最优值,大大加快了设计的优化过程。

标准化设计是随着机械工程科学发展到一定阶段自然提出的一种先进设计思想,这是因为在不同类型、不同规格的各种机器中,有相当多的零部件是完全相同的。为此,将这些零件加以标准化、按尺寸大小进行系列化,可以使得设计者免除重复设计,直接从有关的设计手册中进行标准选用。通用化是指系列之内或系列之间尽量采用同一结构和尺寸的零件。

通常所说的“三化”就是指标准化、系列化、通用化。机械设计中应尽力提高三化程度,因为采用三化具有以下一些优点:

- (1) 减轻设计工作量,避免重复劳动,节省精力以应用于关键设计的活动中。
- (2) 可以减少技术过失的重复出现,增大互换性,便于维修和装配。
- (3) 可以安排专门工厂采用专业设备和先进技术生产标准零件,实现最优的技术经济性能。
- (4) 有利于提高产品的设计、制造速度,增加产品品种、扩大生产批量,达到产品的优质、高产和低消耗。

三化程度是衡量产品性能的重要指标之一。

我国的标准化体系分为:国家标准(GB)、专业标准、行业标准、企业标准、国际标准等。目前的标准体系正逐渐向国际标准靠近和接轨。

1.5 机械设计学科现状和对设计人员的要求

机械设计是一门十分古老的学科,从18世纪工业革命开始,一直在迅速发展,特别是过去的近半个世纪以来,随着计算机技术的出现、发展和在机械设计领域的应用,使得机械设计学科发生了巨大的变化,新的设计方法不断出现,正朝着计算更科学、计算精度更高、计算速度更快的方向发展。

1. 机械设计学科的发展和变化

1) 相关新学科的出现带动机械设计学科的进步

摩擦学是20世纪60年代出现的一门新学科,它对摩擦表面物理和化学性质的研究,为摩擦副的真实机理研究不断提出深入的理论支撑,使润滑的原理和提高润滑效果的方法有了更进一步的发展。其中的弹性流体动力润滑理论的建立,为滚动轴承、齿轮传动等高副接触的润滑问题、疲劳寿命计算提供了科学的理论支撑;断裂力学的出现,使得人们有能力对零件裂纹的扩展规律进行科学的预测,改变了以往认为发生裂纹就意味着失效的设计观点。

2) 动态设计成为机械设计的发展方向

传统的机械设计偏重于零、部件静态设计,每个零件的设计过程相对比较孤立。机械动力学学科的发展,特别是计算机技术的发展,大大改变了这种局面,目前正在向以多种零件的综合或整机系统为对象的动态设计方向发展。最近几年出现的计算机虚拟样机技术,借助计算机强大的三维造型和数据处理能力,使动态整机设计技术进一步发展,并取得了良好的应用效果。

3) 计算机辅助设计推动了机械设计的新发展

随着计算机技术在机械工程领域的不断深入应用,新的设计方法不断出现,如优化设计、系统设计、可靠性设计、设计方法学、价值工程、造型设计、模块化设计、并行设计、反求设计、优势设计、绿色设计、有限元方法、数值模拟、人工智能等一系列先进的设计方法的出现,加快了