

高等院校规划教材

Machine Design Basics

机械设计基础

■ 主 编 王春华 何 凡 王 琦



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

机械制图与机械CAD

机械制图与机械CAD

机械设计基础

主 编 王 伟 副 编 王 伟

机械工业出版社

高等院校规划教材

机械设计基础

主 编 王春华 何 凡 王 琦

副主编 曲 辉 席本强



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大學出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础 / 王春华, 何凡, 王琦主编. — 杭州:
浙江大学出版社, 2008. 8

ISBN 978-7-308-06107-0

I. 机… II. ①王…②何…③王… III. 机械设计
IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 101776 号

机械设计基础

王春华 何 凡 王 琦 主编

责任编辑 宋纪浔 傅百荣

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州天目山路 148 号 邮政编码 310028)

(E-mail: zupress@mail. hz. zj. cn)

(网址: <http://www.zjupress.com>

<http://www.press.zju.edu.cn>)

电话: 0571—88925592, 88273066(传真)

排 版 杭州求是图文制作有限公司

印 刷 浙江中恒世纪印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 18.25

字 数 430 千

版 印 次 2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-06107-0

定 价 29.80 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话(0571)88925591

内容简介

本书根据教育部对高等工科院校机械设计基础课的最新教学基本要求,并结合多年来的教学实践经验及我国机械工业发展的需要而编写。本书涵盖的知识面较广、内容较精、深度适中,具有较好的可读性。可作为普通高等工科院校机械设计基础课程的教材,也可供有关工程技术人员参考。

本书6编共22章,第一编总论,主要介绍本课程的内容、性质与任务,机械及其设计的共性知识;第二编常用机构,介绍机构自由计算,连杆、凸轮、齿轮及间歇机构的类型、特性及设计。第三编机械的平衡与调速,重点介绍刚性转子的静平衡与动平衡原理及计算方法,讨论机械速度波动的原因与飞轮设计;第四编联接,主要介绍轴毂联接和螺纹联接的类型、特点及应用;第五编常用传动,介绍螺旋传动、带传动、链传动、齿轮传动、蜗杆传动的类型、特点、工作原理及设计;第六编轴系部件及其他,主要介绍轴、轴承、联轴器、离合器、制动器、弹性元件的类型、特点、工作原理及设计。

前 言

本书是根据1995年由国家教委课程教学指导委员会审定通过、经国家教委批准的高等工业学校《机械设计基础课程教学基本要求(多学时及少学时)》编写而成。适用于近机类和非机类各专业机械设计基础课的教学。

为了便于组织教学和设计实践,遵循对机械的认识规律及循序渐进的原则,遵循理论联系实际和注重机械设计能力培养的要求,将机械原理、机械设计的知识集中在一起构成了本书。全书共分六编,第一编总论,第二编常用机构,第三编机械的平衡与调速,第四编联接,第五编常用机械传动,第六编轴系零部件及其他。这六编既相对独立,又互相联系。

本书在编写时,力求反映机械设计的新理论、新技术、新方法和新标准。

本书的编写是从教学改革实际需要和提高学生的素质、培养创新能力出发,本着少而精的原则,但又注重知识的系统性、适用性和先进性,突出本课程所需的基本理论、基本方法和基本技能。使本课程既为专业课打好基础,又注重对学生的设计能力和技能的培养。

本书的第1、3、5、11、12、22章由王春华编写;第2、6、16章由王琦编写;第4、9、17章由何凡编写;第7、10、14、15章由席本强编写;第8、13章由郝志勇编写;第18、19、20、21章由曲辉编写。本书由王春华、何凡、王琦任主编。全部书稿由汤为光主审。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,殷切希望读者批评指正。

编 者

2008年4月

目 录

前 言

第一编 总 论

第 1 章 绪论	1
1.1 机械及其设计	1
1.2 机械设计基础课研究的内容、性质和任务	2
第 2 章 机械及机械零件设计概要	4
2.1 机械设计的基本要求和一般设计程序	4
2.2 机械零件计算准则和一般设计程序	5
2.3 机械零件的材料及热处理	10
2.4 机械零件的结构工艺性和标准化	14
思考题与练习题	15

第二编 常用机构

第 3 章 平面机构的自由度计算	16
3.1 平面机构的组成	16
3.2 平面机构运动简图	18
3.3 平面机构的自由度	20
思考题与练习题	24
第 4 章 平面连杆机构	25
4.1 平面连杆机构的特点、类型及应用	25
4.2 平面四杆机构的演化	26
4.3 平面四杆机构的基本特性	29
4.4 平面四杆机构的设计	31
思考题与练习题	35
第 5 章 凸轮机构	38
5.1 凸轮机构的特点、应用及分类	38
5.2 从动件的运动规律	40
5.3 用图解法设计凸轮	43



机械设计基础

5.4 凸轮机构基本尺寸的确定	46
5.5 用解析法设计凸轮	48
5.6 凸轮轮廓的加工	48
思考题与练习题	49
第6章 齿轮机构	50
6.1 齿轮机构的特点、应用及类型	50
6.2 齿廓啮合基本定律	51
6.3 渐开线齿廓的啮合特性	52
6.4 渐开线标准齿轮的基本参数和几何尺寸	53
6.5 渐开线齿轮的啮合传动	56
6.6 渐开线齿轮的切齿原理	57
6.7 公法线和固定弦	58
6.8 根切现象、最少齿数及变位齿轮	59
6.9 斜齿圆柱齿轮机构	60
6.10 圆锥齿轮机构	67
思考题与练习题	69
第7章 轮系	71
7.1 轮系的类型	71
7.2 定轴轮系的传动比	72
7.3 基本周转轮系的传动比	73
7.4 混合轮系的传动比	76
7.5 轮系的功用	76
7.6 特殊行星轮系简介	78
思考题与练习题	80
第8章 间歇运动机构	82
8.1 棘轮机构	82
8.2 槽轮机构	84
8.3 凸轮式间歇运动机构	87
8.4 不完全齿轮机构	87
思考题与练习题	87

第三编 机械的平衡与调速

第9章 回转件的平衡	89
9.1 回转件平衡的目的和方法	89
9.2 回转件平衡计算	90
9.3 平衡实验简介	94
思考题与练习题	95

第 10 章 机械速度波动的调节	97
10.1 机械速度波动的原因和调节方法	97
10.2 机械速度波动的调节	97
10.3 飞轮的设计	99
思考题与练习题	101

第四编 联 接

第 11 章 轴毂联接	103
11.1 键联接	103
11.2 花键联接	107
11.3 无键联接	109
思考题与练习题	111
第 12 章 螺纹联接	112
12.1 螺纹	112
12.2 螺纹联接的基本类型及螺纹联接件	117
12.3 螺纹联接的强度计算	119
12.4 螺纹联接中的预紧及防松	127
思考题与练习题	128

第五编 常用机械传动

第 13 章 螺旋传动	130
13.1 滑动螺旋传动的类型和特点	130
13.2 滑动螺旋的设计计算	131
13.3 滚动螺旋、静压螺旋传动简介	133
思考题与练习题	134
第 14 章 带传动	135
14.1 带传动的工作原理、特点、类型及应用	135
14.2 带传动的力和运动分析	136
14.3 普通 V 带传动的设计	139
14.4 带传动的张紧方法	146
思考题与练习题	148
第 15 章 链传动	149
15.1 链传动的特点、类型及应用	149
15.2 滚子链与链轮	150
15.3 链传动的运动特性	155
15.4 链传动的失效形式及功率曲线图	156
15.5 滚子链传动的设计计算	158

15.6 链传动的布置、张紧与润滑	161
思考题与练习题	165
第 16 章 齿轮传动	166
16.1 齿轮传动的失效形式和计算准则	166
16.2 齿轮材料及热处理	168
16.3 齿轮传动的计算载荷	169
16.4 标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算	172
16.5 标准斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	183
16.6 标准直齿圆锥齿轮传动的强度计算	187
16.7 齿轮的结构	189
16.8 齿轮传动的润滑	190
思考题与练习题	191
第 17 章 蜗杆传动	193
17.1 蜗杆传动的类型和参数选择	193
17.2 蜗杆传动的计算准则及材料选择	196
17.3 蜗杆传动的强度计算及结构形式	197
17.4 蜗杆传动的热平衡计算	200
思考题与练习题	203
第六编 轴系零部件及其他	
第 18 章 轴	204
18.1 轴的类型及应用	204
18.2 轴的常用材料及计算准则	205
18.3 轴的结构设计	207
18.4 轴的工作能力计算	210
思考题与练习题	215
第 19 章 滑动轴承	216
19.1 滑动轴承的类型、结构和应用	216
19.2 滑动轴承的润滑	221
19.3 非液体摩擦滑动轴承的计算	225
19.4 液体润滑轴承简介	227
思考题与练习题	229
第 20 章 滚动轴承	231
20.1 滚动轴承的类型、特点和代号	231
20.2 滚动轴承的失效形式和选择计算	236
20.3 滚动轴承的组合设计	248
思考题与练习题	259

第 21 章 联轴器、离合器和制动器	261
21.1 联轴器	261
21.2 离合器	265
21.3 制动器	267
思考题与练习题	268
第 22 章 弹簧	269
22.1 弹簧的作用、类型和材料	269
22.2 圆柱螺旋弹簧的设计	271
22.3 其他弹簧简介	277
思考题与练习题	278
主要参考文献	279

第一编 总 论

机械是机构与机器的总称,机械设计是为生产机械所进行的技术决策活动(用文字和图形表示)机械设计基础课是研究机械设计一般规律和方法的一门技术基础课。本编简单介绍机械及其设计的基本概念、机械设计基础课的内容、性质、任务及机械零件设计中的共性问题。

第 1 章 绪 论

本章主要介绍机械、机械设计,机械设计基础课的内容、性质、任务以及学习这门课程的方法。通过本章的学习,对机械、机械设计及机械设计基础课程有总体的了解及认识。

1.1 机械及其设计

1.1.1 机 械

就一般意义来讲,机械就是劳动工具。人们在长期的生活、生产中发明了劳动工具,劳动工具经历了从简单到复杂的发展过程。劳动工具的水平高低代表了社会生产力水平的高低,历史上劳动工具经历了由石头、铜、铁制造到出现蒸汽机,人类社会也经历了远古时代、奴隶社会、封建社会及资本主义社会。

从专业意义讲,机构和机器总称为机械。日常生活中,机械无处不在,像缝纫机、洗衣机、起重机、飞机、军舰等都是机械。机械的种类繁多,其结构、性能和用途等各不相同,但他们却有着相同的特征。一个机器是由许多部分组成的,每一部分由工厂加工制造,然后组装而成。其中制造的最小单元称为零件。运动的最小单元称为构件,构件是由一个或若干个零件组成。机构是构件组合体,各构件间有确定的相对运动。机器是由一个或若干个机构组成的执行运动的装置,用来变换或传递能量、物料与信息,以减轻人的体力或脑力劳动。

下面以内燃机为例介绍零件、构件、机构和机器的含义。如图 1-1 所示的内燃机,它由汽缸 11、活塞 10、连杆 3、曲柄 4、齿轮 1 与 18、凸轮 7 以及气阀推杆 8 与 9(进气和排气阀)组成。燃气的热能推动着活塞、通过连杆转换为曲柄的转动,代替人们的劳动而做功;再经过相互啮合的齿轮带动凸轮不断地交替打开和关闭进气和排气阀,实现输入燃气和排出废气的工作。经过四冲程把燃气能转化为曲柄轴输出的机械能,它是机器。图 1-2 为内燃机中的连杆,连杆在内燃机中是作为一个整体运动的,所以它是一个构件。连杆分别由连杆头 1,螺母 2,

螺栓 3, 连杆体 4 等组成。而连杆头 1, 螺母 2, 螺栓 3, 连杆体 4 分别是制造的最小单元, 称为零件。零件分为两大类, 一类是通用零件, 如轴、齿轮, 另一类是专用零件, 如汽车中的曲轴、内燃机中的活塞等。而图 1-1 中的构件 11、10、3 和 4; 11、1 和 8; 11、7 和 8(9) 组成了常用的曲柄滑块机构、齿轮机构、凸轮机构, 它们具有确定的运动。

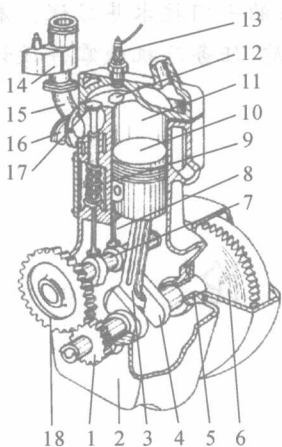


图 1-1 内燃机

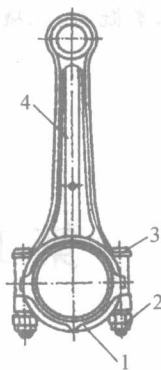


图 1-2 内燃机连杆

1.1.2 机械设计

机械设计就是为生产机械所必须进行的技术决策活动, 最终结果要以图和文字的形式表示, 以作为机械制造依据, 泛指整个机器和机器一部分的设计。

1.2 机械设计基础课研究的内容、性质和任务

1.2.1 机械设计基础课研究的内容

机械设计基础主要研究机械中的常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论、计算方法。

本书共分六大部分。第一编主要介绍机械、机械设计、机械设计基础课内容、性质和任务, 机械、机械零件设计中的共性问题; 第二编主要介绍机构自由度、机构的传动原理与特点、常用的机构的工作原理、结构特点、运动规律及设计; 第三编主要介绍机器动力学知识, 如机械平衡与调速等内容; 第四编主要介绍联接件, 如键和螺纹联接件等结构特点、工作原理、如何选用及强度校核; 第五编主要介绍常用传动件结构特点、工作原理、如何选用及强度校核; 第六编主要介绍轴系部件及弹簧的结构特点、工作原理、如何选用、设计及强度校核等内容。

1.2.2 机械设计基础课的性质和任务

机械设计基础是建立在画法几何及机械制图、理论力学、材料力学、工程材料及金属工

艺学等课程的基础上的一门技术基础课。本课程将为有关专业的学生学习专业机械设备提供必要的理论基础。

随着国民经济的发展,机械化生产规模日益扩大,不但机械部门,而且在动力、采矿、冶金、石油、化工、土建、轻纺、食品工业等部门工作的技术人员,将会经常接触到通用或专用机械。因此,必须使工程技术人员掌握应有的机械知识,才能搞好生产机械化和自动化。

通过本课程的学习使得学生和有关技术人员了解机械设备的传动原理、正确使用和维护以及故障分析与排除等方面必备的基础知识;培养他们运用机械设计手册、设计机械传动装置和简单机械的能力。为他们更好地从事技术改革和机械设计创造条件。

机械设计基础是一门理论性和实践性很强的技术基础课。一是要学好基本理论知识,掌握基本概念、基本理论、基本方法;二是敢于实践,做到理论联系实际,做到举一反三。充分发挥创造才能,努力进行发明创造。

随着科学技术的发展,特别是计算机的应用,出现了一些新的机械设计方法。例如:优化法、有限元法、可靠性法、CAD法等,这些新的设计方法目前已在我国高等学校单独授课,故未列入本课程之中。



第 2 章 机械及机械零件设计概要

本章扼要阐述机械及机械零件设计中的一些共性问题,即对设计的基本要求、设计计算准则、设计程序、零件的材料及热处理等进行简述。

2.1 机械设计的基本要求和一般设计程序

2.1.1 机械设计的基本要求

机械设计包括两种形式的设计:应用新技术、新方法开发设计新机械;在原有机械的基础上重新设计或进行局部改造,从而改变或提高原有机械的性能。设计质量的高低直接关系机械产品的性能、成本及经济效益。

机械设计应满足以下几个方面的基本要求:

(1) 功能要求

设计的机械能实现预定的功能,并在规定的工作条件下、规定的工作期限内能正常运行。

(2) 可靠性要求

可靠性是机器在使用中性能的稳定性,是机器的一个重要质量指标。机器是由若干个零件及部件组成,其可靠度取决于零部件的可靠度。机械系统的零部件越多,可靠度也就越低,因此在设计机器时要尽量减少零部件的数目。

(3) 经济性要求

机器的经济性指标是一项综合性指标,在产品的设计、制造、使用、维护、管理等各个环节均有所体现。经济性要求在满足功能要求的前提下使机器的总费用最低。

(4) 工作安全、操作方便

安全是指使用机器的人的安全及机器工作时本身的安全。因此要采取各种防护措施,如暴露运动构件配防护罩、过载保护装置等。操作系统简便有利于减轻操作人员的劳动强度。

(5) 造型美观、减少污染

结合工业艺术造型设计方法对机械产品进行工业造型设计,使其外形美观,富有时代特点,使产品具有市场竞争力。

噪声也是反映机械产品质量的一个综合指标,所以要尽量降低噪声,减轻对环境的污染。

2.1.2 机械设计的一般程序

机械设计是一项复杂、细致并且科学性很强的技术工作。随着科技的发展,设计理念不断更新,设计方法不断发展,“可靠性设计”、“优化设计”、“计算机辅助设计”、“有限元设计”及“模块化设计”等现代设计方法已经在机械设计中得到了应用,但常规的设计方法是工程技术人员进行机械设计的重要基础。

机械是多种多样的,其设计过程也不尽相同,但遵循的设计规律是一样的。机械的一般设计程序如图 2-1 所示。

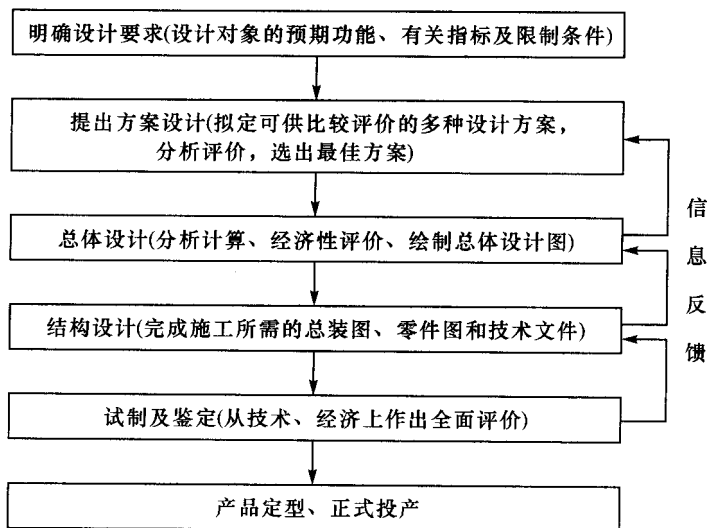


图 2-1 机械的一般设计程序

2.2 机械零件计算准则和一般设计程序

2.2.1 机械零件的工作能力

在进行机械设计时,除要求在预定的寿命期限内实现预定功能的前提下,还要满足性能好、效率高、成本低、安全可靠、操作方便、维修简便和造型美观等要求。设计零件时,也必须考虑上述要求,也就是要求零件具有工作能力,即在不发生失效的前提下,零件能安全工作的限度。通常此限度是针对载荷而言,故又称承载能力。

机械由于某种原因不能正常工作,称为失效。零件常见的失效形式有断裂或疲劳断裂、疲劳点蚀、摩擦磨损、塑性变形和共振等。

2.2.2 机械零件的设计计算准则

机械零件工作能力的衡量指标称为机械零件的工作能力准则。它是计算确定零件基本

尺寸的主要依据,又称为设计计算准则。主要计算准则有:强度准则、刚度准则、耐磨性准则、振动稳定性准则、耐热性准则等。设计机械零件时,根据不同情况选择某一个或几个准则进行计算。

(1) 强度准则

在理想平稳的工作条件下,作用在零件上的载荷为名义载荷,按照这一载荷计算出来的应力称为名义应力。机器运转时,零件上往往还作用有附加载荷,通常用载荷系数 K 来考虑附加载荷的影响。名义载荷与载荷系数之积,称为计算载荷。按照这一载荷计算出来的应力称为计算应力。

强度是衡量机械零件工作能力最基本的计算准则。为使零件正常工作,即工作时不产生断裂和过大的残余变形以及不出现疲劳破坏,必须使零件具有足够的强度。机械零件必须满足强度条件。

对于应力产生在零件内部各个剖面上的体积强度,条件为:零件危险截面上的计算应力不超过零件材料的许用应力,即

$$\sigma \leq [\sigma] \text{ 或 } \tau \leq [\tau] \quad (2-1)$$

式中: σ 、 τ 为零件危险剖面的计算正应力、剪应力; $[\sigma]$ 、 $[\tau]$ 为零件材料的许用应力值(保证零件既有足够的强度、寿命,又不至于尺寸过大而浪费)。

对于应力只产生在零件接触表面层的接触强度,其条件为:零件的接触应力 σ_H 不超过其材料的许用接触应力 $[\sigma_H]$,即

$$\sigma_H \leq [\sigma_H] \quad (2-2)$$

接触强度是机械零件抵抗疲劳点蚀的能力。

接触应力的计算公式,可由图 2-2 并通过弹性力学的分析而获得,即

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{F_n}{L} \cdot \frac{\frac{1}{\rho_1} \pm \frac{1}{\rho_2}}{\pi \left(\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right)}} \quad (2-3)$$

式中: σ_H 为接触应力; L 为接触长度; F_n 为法向外载荷; ρ_1 、 ρ_2 为相接触两圆柱体的曲率半径;公式中“+”用于外接触,“-”用于内接触; μ_1 、 μ_2 为相接触两圆柱体材料的泊松比; E_1 、 E_2 为相接触两圆柱体材料的弹性模量。

体积强度简称强度,主要衡量轴类零件的工作能力;接触强度主要衡量点、线接触的齿轮、滚动轴承及凸轮等的工作能力。

(2) 刚度准则

刚度是指零件抵抗弹性变形的能力。轴类零件如机床主轴、电机轴,要保证正常工作,必须有足够的刚度。机械零件的刚度条件为

$$y \leq [y]; \theta \leq [\theta]; \varphi \leq [\varphi] \quad (2-4)$$

式中: y 、 θ 、 φ 为零件工作时的挠度、偏转角、扭转角; $[y]$ 、 $[\theta]$ 、 $[\varphi]$ 为零件的许用挠度、偏转角、扭转角,对于不同精度机械中的零件,其值是不同的,可参考有关手册。

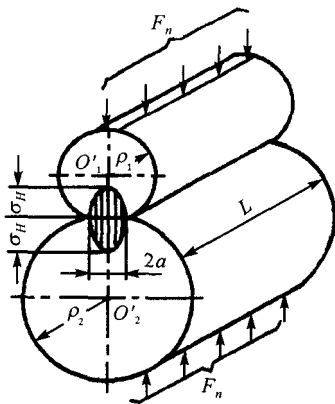


图 2-2 接触应力