



普通高等教育机械类国家级特色专业规划教材
国家级精品课程主干教材



机械设计基础

黄平 朱文坚 主编



科学出版社
www.sciencep.com

普通高等教育机械类国家级特色专业规划教材
国家级精品课程主干教材

机械设计基础

黄 平 朱文坚 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书共 20 章,由材料力学、机械原理和机械设计三大部分组成。在材料力学部分,介绍了拉伸、扭转和弯曲应力分析,并讨论了机械设计常用的复杂应力分析。在机械原理部分,先介绍了平面机构的运动简图及自由度,然后分析了连杆机构、凸轮等常用机构的运动规律等,同时还讨论了间歇运动机构与组合机构和机械调速与平衡;在给出了齿轮传动、蜗杆传动、轮系传动比的计算等之后,详细介绍了这些零件和带、链与螺旋传动的设计。本书还讲述了常用通用零件的设计,包括螺纹连接、键连接、其他形式的连接、弹簧、轴、滑动轴承、滚动轴承、联轴器、离合器和制动器等。另外,还简要介绍了机械现代设计与创新设计的基本方法。本书各章附有相应的习题,并给出了部分习题的参考答案或求解过程,供教学使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/黄平,朱文坚主编. —北京:科学出版社,2009
(普通高等教育机械类国家级特色专业规划教材·国家级精品课程主干教材)

ISBN 978-7-03-023686-9

I. 机… II. ①黄…②朱… III. 机械设计-高等学校-教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 197626 号

责任编辑:毛 莹 王向珍 / 责任校对:陈丽珠
责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

装 订 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 1 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009 年 1 月第一次印刷 印张:25 1/2

印数:1—4 000 字数:478 000

定 价:36.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

前 言

本书是在作者多年从事《机械设计基础》这门课程的教学实践基础上,根据教育部关于“机械设计基础课程教学基本要求”编写而成的。在参考了目前国外主流教材后,为适合在未修材料力学的教学中使用,特别增加了材料力学的主要内容,使之覆盖范围更加广泛。在编写时,本书以材料力学→机械原理→机械设计为编写主线,并进行了必要的融合。本书可作为 50~80 学时的近机械类和非机械类专业“机械设计基础”课程的教材,也可以作为相关专业科技人员的参考书。

本书具有以下内容和特色:

(1) 本书内容包括绪论、拉伸、扭转和弯曲应力分析、复杂应力分析、平面机构的运动简图及自由度、连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构与组合机构、机械调速与平衡、齿轮传动、蜗杆传动、轮系、挠性传动、螺纹形成与螺旋传动、螺纹连接、键连接、花键连接、成型连接和销连接、铆接、焊接、胶接和过盈连接、弹簧、轴、滑动轴承、滚动轴承、联轴器、离合器和制动器,以及机械现代设计与创新设计等,共 20 章。其中,带有“*”的章节为选讲内容,使用时可酌情取舍。

(2) 本书在借鉴国外相关教材的基础上,将应力分析内容的基础知识放在全书的前面,为未修过材料力学和工程力学的学生作铺垫,以便更好地学习后续的内容。对已修过相关力学内容的学生,可在学完绪论之后,直接从第 6 章开始进行机械原理和机械设计主要内容的学习。

(3) 本书在介绍连杆、凸轮和间歇机构之后,加入了组合机构内容,希望帮助学生更灵活地掌握这些机构组合使用的技巧和设计方法。本书将定轴轮系、周转轮系和复合轮系的传动比计算纳入一节,这样既有助于帮助学生将相互联系的传动比计算内容统一起来学习,也精简了教学内容。另外,本书还将键连接、花键连接、销连接以及其他连接放在一章中讲授,便于相互间的对比。

(4) 本书主要章节均附有相应的习题供教师在教学中使用,并且在附录 A 中给出了部分习题的参考答案和(或)求解,可为学生自行练习提供参考和帮助。同时保留一部分习题未给出解算,可供教师在布置作业时选用。另外,本书还增加了中英文索引,以方便快速检索本书内容。

本书由黄平和朱文坚担任主编。参加编写工作的有:朱文坚(第 1、17 章),林怡青(第 2、3 章),黄平(第 4、5 章),李琳(第 6、7 章),翟敬梅(第 8、9 章),刘小康(第 10、19 章),胡广华(第 11、12 章),陈扬枝(第 13、14 章),徐晓(第 15、16 章),王海林(第 18 章),史天录(第 20 章)。

欢迎广大读者对本书提出宝贵意见。

编 者

2008 年 6 月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 机械的组成	1
1.2 本课程研究的对象和任务	2
1.3 机械零件的失效形式及设计准则	3
1.4 机械零件常用材料及其选用原则	4
1.5 机械设计的基本要求及程序	8
习题	10
第 2 章 材料的力学性质	12
2.1 应力与应变.....	12
2.2 材料试验.....	13
2.3 材料的其他性质.....	17
2.4 影响材料性能的因素.....	18
本章要点	21
习题	21
第 3 章 几种形式的应力分析	23
3.1 直杆的轴向拉伸.....	23
3.2 简单剪切.....	25
3.3 圆轴扭转的应力与变形.....	28
本章要点	31
习题	32
第 4 章 梁的弯曲	42
4.1 梁的支承形式及其支承反力计算.....	42
4.2 梁弯曲的剪力与弯矩.....	43
4.3 剪力图和弯矩图.....	45
4.4 纯弯曲时梁的正应力.....	47
4.5 弯曲正应力的强度条件.....	51
* 4.6 弯曲变形	55
本章要点	59
习题	59

第 5 章 复杂应力分析	66
5.1 应力与应变分析	66
5.2 强度理论	71
本章要点	76
习题	76
第 6 章 平面机构的运动简图及自由度	80
6.1 运动副	80
6.2 平面机构运动简图	81
6.3 平面机构的自由度	84
本章要点	89
习题	90
第 7 章 平面连杆机构	92
7.1 铰链四杆机构的基本形式和特性	92
7.2 铰链四杆机构的演化	97
7.3 平面四杆机构的设计方法	103
本章要点	109
习题	109
第 8 章 凸轮机构与其他常见机构	112
8.1 凸轮机构的应用与分类	112
8.2 从动件的常用运动规律	114
8.3 盘形凸轮轮廓设计	119
8.4 凸轮机构设计应注意的问题	123
8.5 间歇运动机构与组合机构	126
本章要点	134
习题	134
* 第 9 章 机械调速与平衡	137
9.1 机械速度波动与调节	137
9.2 回转件的平衡	140
本章要点	145
习题	145
第 10 章 齿轮传动与蜗杆传动	147
10.1 齿轮传动特点、类型	147
10.2 齿廓啮合基本定律	148
10.3 渐开线及渐开线齿廓	149
10.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮各部分名称和几何尺寸计算	151

10.5 渐开线直齿圆柱齿轮传动分析	154
10.6 渐开线直齿圆柱齿轮的加工	156
10.7 标准直齿圆柱齿轮强度设计	160
10.8 斜齿圆柱齿轮传动	170
10.9 圆锥齿轮传动	177
10.10 齿轮的结构	181
10.11 齿轮传动的润滑	184
10.12 蜗杆传动	184
本章要点	194
习题	194
第 11 章 轮系	198
11.1 概述	198
11.2 轮系的传动比计算	200
本章要点	205
习题	205
第 12 章 带传动与链传动	208
12.1 带传动概述	208
12.2 带传动的工作能力分析	212
12.3 普通 V 带传动设计	215
12.4 V 带轮的结构	220
12.5 带传动的张紧装置及维护	222
12.6 同步带传动简介	223
12.7 链传动概述	225
12.8 链传动工作情况分析	229
12.9 滚子链传动的设计	231
12.10 链传动的布置和润滑	236
本章要点	240
习题	240
第 13 章 螺纹连接与螺旋传动	241
13.1 螺纹的形成原理和类型及其主要参数	241
13.2 螺旋副的受力分析、效率和自锁	243
13.3 螺纹连接	245
* 13.4 螺旋传动	258
本章要点	262
习题	263

第 14 章 键连接、销连接和其他形式的连接	265
14.1 键连接	265
14.2 花键连接	268
14.3 成型连接	268
14.4 销连接	269
14.5 铆接	269
14.6 焊接	270
14.7 胶接	271
14.8 过盈连接	272
本章要点	273
习题	273
* 第 15 章 弹簧	274
15.1 概述	274
15.2 圆柱螺旋弹簧	275
15.3 弹簧常用材料	278
本章要点	279
习题	279
第 16 章 轴	280
16.1 轴的类型与材料	280
16.2 轴的结构设计	283
16.3 轴的强度计算	288
16.4 轴的刚度计算	292
本章要点	295
习题	295
第 17 章 滑动轴承	297
17.1 摩擦状态	297
17.2 滑动轴承的类型	298
17.3 滑动轴承材料及润滑	302
17.4 非液体摩擦滑动轴承的计算	308
17.5 液体摩擦滑动轴承简介	310
本章要点	312
习题	312
第 18 章 滚动轴承	314
18.1 滚动轴承的结构及类型	314
18.2 滚动轴承的失效形式及寿命计算	321

18.3 滚动轴承的组合设计、润滑与密封·····	327
本章要点·····	334
习题·····	334
第 19 章 联轴器、离合器和制动器 ·····	337
19.1 联轴器·····	337
19.2 离合器·····	346
19.3 制动器·····	354
本章要点·····	355
习题·····	355
第 20 章 机械现代设计与创新设计 ·····	357
20.1 现代设计方法·····	357
20.2 创新设计·····	361
习题·····	365
附录 A 部分习题选解与答案 ·····	366
附录 B 中英文索引 ·····	384
参考文献 ·····	390

Contents

Preface

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Composition of machinery	1
1.2 Objectives and tasks of this course	2
1.3 Failure forms and design criteria of mechanical elements	3
1.4 Common materials and their selection principles	4
1.5 Basic requirements and steps of mechanical design	8
exercises	10
Chapter 2 Material mechanical properties	12
2.1 Stress and strain	12
2.2 Material testing	13
2.3 Other material properties	17
2.4 Factors to influence material performances	18
Chapter essential	21
exercises	21
Chapter 3 Stress analysis for several forms	23
3.1 Bar tension	23
3.2 Simple shear	25
3.3 Deformation and stress of torsion of a circular bar	28
Chapter essential	31
exercises	32
Chapter 4 Beam bending	42
4.1 Supporting forms of beams	42
4.2 Shearing force and bending moment of beam bending	43
4.3 Diagrams of shearing force and bending moment	45
4.4 Normal stress of a pure bending beam	47
4.5 Normal stress intensity condition of bending	51
* 4.6 Bending deformation	55
Chapter essential	59

exercises	59
Chapter 5 Complex stress analysis	66
5.1 Stress and strain analysis	66
5.2 Theory of strength	71
Chapter essential	76
exercises	76
Chapter 6 Kinematic diagram and freedom of planar machineries	80
6.1 Kinematic pairs	80
6.2 Kinematic diagram of planar machineries	81
6.3 Freedom of planar machineries	84
Chapter essential	89
exercises	90
Chapter 7 Linkage machinery	92
7.1 Basic forms and features of hinge four-bar linkages	92
7.2 Hinge four-bar linkage evolution	97
7.3 Planar four-bar linkage design	103
Chapter essential	109
exercises	109
Chapter 8 Cam machinery	112
8.1 Cam machinery application and classification	112
8.2 Common movement rules of driven elements	114
8.3 Disk cam profile design	119
8.4 Some notifications of cam machinery design	123
8.5 intermittent and compound machineries	126
Chapter essential	134
exercises	134
* Chapter 9 Mechanical velocity modulation and balance	137
9.1 Mechanical velocity fluctuation and modulation	137
9.2 Balance of rotating elements	140
Chapter essential	145
exercises	145
Chapter 10 Gear and worm transmission	147
10.1 Features and types of gear transmission	147
10.2 Basic engagement rule of gear tooth profile	148

10.3	Involute curve and involute tooth profile	149
10.4	Names and dimensional calculation of standard involute spur gear	151
10.5	Involute spur gear transmission analysis	154
10.6	Manufacture of involute spur gear	156
10.7	Strength design of spur gear	160
10.8	Helical gear transmission	170
10.9	Bevel gear transmission	177
10.10	Structure of gear	181
10.11	Gear transmission lubrication	184
10.12	Worm transmission	184
	Chapter essential	194
	exercises	194
Chapter 11	Gear trains	198
11.1	Introduction	198
11.2	Calculation of drive ratio of a gear train	200
	Chapter essential	205
	exercises	205
Chapter 12	Flexible transmissions	208
12.1	Belt transmission introduction	208
12.2	Working ability analysis of belt transmission	212
12.3	V belt transmission design	215
12.4	Structure of V belt sprocket	220
12.5	Tension apparatus of belt transmission and its maintenance	222
12.6	Synchronous belt transmission	223
12.7	Introduction of chain transmission	225
12.8	Working condition analysis of chain transmission	229
12.9	Design of roller chain transmission	231
12.10	Arrangement and lubrication of chain drive	236
	Chapter essential	240
	exercises	240
Chapter 13	Screw drive and connection	241
13.1	Forming principles, types and main parameters of screw	241
13.2	Force analysis, efficiency and self locking of screw pair	243

13.3	Threaded and coupled	245
* 13.4	Screw drive	258
	Chapter essential	262
	exercises	263
Chapter 14	Key, pin and other connections	265
14.1	Key connection	265
14.2	Spline connection	268
14.3	Confecting connection	268
14.4	Pin connection	269
14.5	Riveting	269
14.6	Welding	270
14.7	Cementing	271
14.8	Interference connection	272
	Chapter essential	273
	exercises	273
* Chapter 15	Spring	274
15.1	Introduction	274
15.2	Circular helical spring	275
15.3	Common materials of springs	278
	Chapter essential	279
	exercises	279
Chapter 16	Shaft	280
16.1	Types and materials of shafts	280
16.2	Structure design of shafts	283
16.3	Strength calculation of shafts	288
16.4	Rigidness calculation of shafts	292
	Chapter essential	295
	exercises	295
Chapter 17	Journal bearing	297
17.1	Types of journal bearing	297
17.2	Structure of journal bearing	298
17.3	Materials and lubrication of journal bearing	302
17.4	Calculation of journal bearing with non-liquid friction	308
17.5	Liquid friction journal bearing brief introduction	310

Chapter essential	312
exercises	312
Chapter 18 Rolling contact bearing	314
18.1 Structure and types of rolling contact bearings	314
18.2 Failure forms and life calculation of rolling contact bearings ...	321
18.3 Unitized design, lubrication and sealing of rolling contact bearings	327
Chapter essential	334
exercises	334
Chapter 19 Coupling, clutch and brake	337
19.1 Coupling	337
19.2 Clutch	346
19.3 Brake	354
Chapter essential	355
exercises	355
Chapter 20 Advanced mechanical design and creative design	357
20.1 Advanced design methods	357
20.2 Creative design	361
exercises	365
Appendix A Solutions and answers of some exercises	366
Appendix B Chinese-English index	384
References	390

第 1 章 绪 论

1.1 机械的组成

人类为了满足生产和生活的需要,设计和制造了类型繁多、功能各异的机器。机器是执行机械运动的装置,用来变换速度或传递能量、物料,如内燃机、电动机、洗衣机、机床、汽车、起重机以及各种食品机械等。机器的种类很多,它们的用途、性能、构造、工作原理各不相同,通常一台完整的机器包括三个基本部分。

(1) 原动部分:其功能是将其他形式的能量变换为机械能(如内燃机和电动机分别将热能和电能变换为机械能)。原动部分是驱动整台机器完成预定功能的动力源。

(2) 工作部分(或执行部分):其功能是利用机械能去变换或传递能量、物料、信号,如发电机把机械能变换成为电能,轧钢机变换物料的外形等。

(3) 传动部分:其功能是把原动机的运动形式、运动和动力参数转变为工作部分所需的运动形式、运动和动力参数。

以上三部分都必须安装在支撑部件上。为了使三个基本部分协调工作,并准确、可靠地具备整体功能,必须增加控制部分和辅助部分。

所有的机器都是由许多机械零件组合而成的。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,如齿轮、链轮、蜗轮、螺栓、螺母等;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,如内燃机的曲轴、汽轮机叶片等。根据机器功能、结构要求,某些零件需固连成没有相对运动的刚性组合,成为机器中独立运动的单元,通常称为构件。构件与零件的区别在于:构件是运动的基本单元,而零件是加工单元。如图 1-1 所示,内燃机的连杆由连杆体 1、连杆盖 4、螺栓 2 以及螺母 3 等 4 个零件组成,形成一个运动整体。

若从运动的观点来说,机器由机构组成,机构由若干构件组成,各构件之间具有确定的相对运动,机构通常指传递运动的机械。一台机器可以包含一个机构(如电动机),也可以包含几个机构,如图 1-2 所示的单缸四冲程内燃机包含:由齿轮 9 和 9'、齿轮 10 组成的齿轮机构;由活塞 2、连杆 5、曲轴 6 组成的曲柄滑块机构;由凸轮 7、从动杆 8 组成的凸轮机构等。

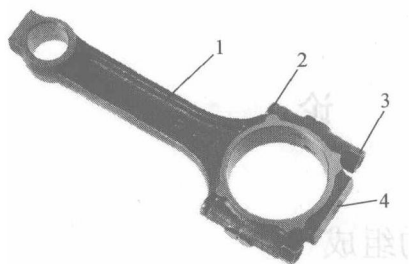


图 1-1 内燃机的连杆

1-连杆体;2-螺栓;3-螺母;4-连杆盖

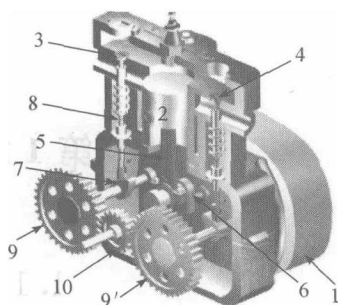


图 1-2 单缸四冲程内燃机

1-机罩;2-活塞;3、4-进、排气阀;5-连杆;
6-曲轴;7-凸轮;8-从动杆;10、9、9'-齿轮

1.2 本课程研究的对象和任务

机械设计基础是工科院校中的一门重要的技术基础课。课程主要介绍机械中的常用机构和通用零件的工作原理、结构特点、基本的设计理论和计算方法。第2~5章主要介绍材料力学基础知识,包括拉伸、扭转、弯曲的应力分析,以及复杂应力分析,这些是机械设计的基础。已经学过材料力学或工程力学的学生,可以从第6章开始学习。第6~9章主要介绍机械中的常用机构(连杆机构、凸轮机构、组合机构等)的工作原理、机械调速与平衡,这些内容是机械原理基础,是为机械的功能设计奠定基础的。第10~13章主要介绍常用传动件(齿轮传动、蜗杆传动、挠性传动)的设计。在第11章中介绍的轮系内容是机械原理的一部分内容,将其放在齿轮后介绍,使学生更容易理解其内容。第13~15章主要介绍连接件,包括了螺纹连接、键连接、销连接及其他类型连接,对于第15章的弹簧设计,可以供部分有需要的教学选用。第16~19章主要介绍轴系零部件(轴、轴承、联轴器、离合器)的设计及选用。此外,还扼要介绍了国家标准和有关规范。这些常用机构和通用零件的工作原理、设计理论和计算方法,对专用机械和专用零件的设计也具有一定的指导意义。本课程的内容可为学生学习专业机械设备课程提供必要的理论基础。本课程的主要任务是培养学生使其具备以下能力:

(1) 掌握常用机构和通用零件的工作原理和结构特点,使学生具有设计机械传动装置和简单机械的能力。

(2) 初步具有运用标准、手册、规范、图册和查阅有关技术资料的能力。

(3) 了解典型机械的实验方法,受到实验技术的基本训练。

1.3 机械零件的失效形式及设计准则

机械零件在预定的时间和规定的条件下,不能具备正常的功能,称为失效。

机械零件的失效形式主要有断裂、过大的残余应变、表面磨损、腐蚀、零件表面的接触疲劳和共振等。

机械零件的失效形式与许多因素有关,具体取决于该零件的工作条件、材质、受载状态及其所产生的应力性质等多种因素。即使是同一种零件,由于材质及工作情况不同,也可能出现不同的失效形式。例如,轴工作时,由于受载情况不同,可能出现断裂、过大的塑性变形、磨损等不同失效形式。

为了使设计零件能在预定时间内和规定的工作条件下正常工作,设计机械零件时应满足下面的基本要求。

1) 强度

强度是保证机械零件正常工作的基本要求。为了避免零件在工作中发生断裂,必须使零件工作时满足下面的设计准则:

$$\sigma \leq [\sigma]$$

或

$$\tau \leq [\tau]$$

式中, σ 、 τ 分别为零件工作时的正应力和剪应力; $[\sigma]$ 、 $[\tau]$ 分别为零件材料的许用正应力和许用剪应力。

为了提高机械零件的强度,设计时可采取下列措施:

- (1) 用强度高的材料;
- (2) 使零件具有足够的截面尺寸;
- (3) 合理地设计机械零件的截面形状,以增大截面的惯性矩;
- (4) 采用各种热处理和化学处理方法来提高材料的机械强度特性;
- (5) 合理地进行结构设计,以降低作用于零件上的载荷等。

2) 刚度

刚度是指零件在载荷作用下抵抗弹性变形的能力。若零件刚度不够,将产生过大的挠度或转角而影响机器正常工作,如若车床主轴的弹性变形过大,会影响加工精度,为了使零件具有足够的刚度,设计时必须满足下面的设计准则:

$$y \leq [y]$$

$$\theta \leq [\theta]$$

$$\varphi \leq [\varphi]$$

式中, y 、 θ 、 φ 分别为零件工作时的挠度、偏转角和扭转角; $[y]$ 、 $[\theta]$ 、 $[\varphi]$ 分别为零件的许用挠度、许用偏转角和许用扭转角。