



CAILIAO LIXUE 材料力学

CAILIAO
LIXUE

(第3版)

郭开元 陈天富 冯贤桂 编著



重庆大学出版社
<http://www.cqup.com.cn>



CAILIAO

材料力学

CAILIAO
LIXUE

(第3版)



郭开元 陈天富 冯贤桂 编著

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书是根据教育部高等学校力学教学指导委员会及力学基础课程教学指导分委员会编制的“材料力学课程教学基本要求(A类)”(2008年版)修订编写的。

全书共14章,内容包括:绪论、轴向拉伸和压缩、剪切、平面图形几何性质、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态分析和强度理论、组合变形、压杆的稳定性、交变应力和冲击应力、能量法及力法计算静不定结构等。除第1章外,各章均附有习题及部分参考答案。

本书可作为高等院校开设多、中学时材料力学课程的机械、工程力学、航天航空、水利、交通运输、船舶、农业工程、冶金、矿山、环境、机电、材料、仪表等专业的教材,也可作为其他相近专业的教材,本书还可供材料力学课程教师及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/郭开元,陈天富,冯贤桂编著. —3版. —重庆:重庆大学出版社,2013.12
ISBN 978-7-5624-7626-9

I. ①材… II. ①郭…②陈…③冯… III. ①材料力学—高等学校—教材 IV. ①TB301

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第175721号

材料力学(第3版)

郭开元 陈天富 冯贤桂 编著
责任编辑:梁 涛 版式设计:梁 涛
责任校对:刘 真 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:fk@equp.com.cn(营销中心)
全国新华书店经销
重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:18.75 字数:468千
2013年12月第3版 2013年12月第6次印刷
印数:14 001—17 000
ISBN 978-7-5624-7626-9 定价:38.00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

第3版 序 言

本书自第1版(1998年)及修订版(2006年)出版以来,已相继经历了15年,深受学生和教师的喜爱,总体效果良好。2008年教育部高等学校力学教学指导委员会及力学基础课程教学指导分委员会编制了新的基础力学课程教学基本要求,相关力学符号规范也有相应调整,为适应新的教学要求和力学规范,适量扩大覆盖面,我们在保持原书的架构下,对本书进行了修订和适量增编。

第3版的修订部分主要依据力学符号规范化要求,修正了老版的常用符号系统。对书中出现的一些错误点的内容进行了更正,尽量减少本书的错误,进一步完善教材。

在本版本中,根据新的专业覆盖和教学要求,增删了部分章节,主要新加了“13章能量法”“14章力法计算静不定结构”两章;为配合这两章学习,在第2章中新增“轴向拉伸和压缩的应变能”一节,在第5章第3节中新增“纯剪切应力状态的比能”部分。通过本版的适量增删调整,增强了材料力学教材的完整性和覆盖面,由原来的“中学时”扩展为“中学时+多学时”,弥补了我校缺少“机类多学时材料力学教材”的现状;教材结构更加合理、规范;和其他相关课程、基础力学类竞赛及实践的衔接更为自然、流畅。

本版材料力学(第3版)是在陈天富、冯贤桂两位老师编写的材料力学(修订版)基础上进行的修订的,本书第1章至第12章由陈天富、冯贤桂两位老师共同完成,修订工作由郭开元完成;增编的第13章和第14章由郭开元完成。

本书适用于机械、工程力学、航天航空、水利、交通运输、船舶、农业工程、冶金、矿山、环境、机电、材料、地质等专业,主要作为理工科类高等院校材料力学课程(多、中学时)的教材,也可供材料力学课程教师及有关工程技术人员参考。

限于编者的水平,本书难免出现错误、疏漏及欠妥之处,殷切期望使用本书的广大师生及读者批评和指正。

本版教材为重庆市重大教改项目(项目编号:1201035)及重庆大学重大教改项目(项目编号:2012Z10)“面向创新型人才培养的基础力学自主学习诱导方法及体系建设”的子项目资助教材。

编 者
2013 年 6 月

修订版 序 言

本书自第1版(1998年)出版以来,已有7年,在使用过程中收到了良好的效果,受到学生们的欢迎与好评。为了适应教学改革的需要,取得更好的教学效果,把本科生的材料力学教学推向一个新的台阶,我们在保持本书原有体系和特点的基础上,对本书进行了修订。

在修订版中,对全书的文字叙述做了必要的增删与修改,力求做到主次分明、详略适当;对全书的插图部分做了修改与增补,对习题中的答案也进行了校对。

在本版中,增加了一些章节内容,在“弯曲变形”一章中,加写了“用莫尔定理计算梁的弯曲变形”一节;在“交变应力”一章中,增写了“冲击应力”一节。这对材料力学教材的完整性,对拓宽学生的视野,提高学生的学习兴趣,是极为有益的。

在此次修订中,最大的特点是附加了光盘内容。经过精心制作,光盘中的内容不仅涵盖了修订版的全部内容,而且在形式上更为完美,图文并茂,生动形象。附加光盘对于学生课后复习或者自学材料力学,提供了很好的素材。

材料力学(修订版)由陈天富、冯贤桂担任修订与改写工作,陈天富任主编并编写和制作附加光盘的全部内容。

本书主要适用于高等工科院校机械制造、机械生产自动化、采矿、材料加工、冶金机械、电机、动力工程等专业的材料力学课程,也可供有关工程技术人员参考使用。

虽然经过修订与改写,但教材中仍难免存在缺点错误以及疏漏、欠妥之处,殷切希望广大读者批评与指正。

编 者

2005年12月

序 言

材料力学是工程教育中一门重要的技术基础课,它是为结构工程设计提供理论基础和计算方法的一门学科。

本书是根据国家教委审订的高等工业学校“材料力学课程教学基本要求(中学时)”编写的,对材料力学课程基本要求的全部内容——拉伸、压缩、剪切、扭转、弯曲,到应力状态与强度理论、组合变形、压杆稳定、交变应力的基本理论和方法教做了较为详尽的阐述。内容的编写与安排尽量做到理论联系实际,注重工程应用,为读者从事工程设计提供必要的理论基础。

本书编者长期担任材料力学课程的教学工作,编写中吸取了其他版本材料力学教材的精华,也将编者多年的教学经验编入教材之中。在材料的力学性能中,按最新国标规定,取消了弹性极限概念,用“规定非比例伸长应力”取代“比例极限”定义;在扭转变形中,去掉了薄壁圆筒扭转这一节,直接从圆轴扭转来推导剪应力;弯曲剪应力的推导,也采用了新的方法;对强度理论概念提出了新的定义方法;在压杆稳定方面,提出了压杆稳定的物理实质。

本书由冯贤桂编写第1章、第3章、第4章、第5章、第6章、第7章、第8章;陈天富编写第2章、第9章、第10章、第11章、第12章。

限于编者的水平,书中难免有不少缺点错误和疏漏之处,希望使用本书的广大师生和读者批评指正。

编 者

1997年11月

主要符号表

符 号	量的含义
A	面积
a	间距
b	宽度
d	直径、距离、力偶臂
D	直径
e	偏心距
E	弹性模量(杨氏模量)
F_{Ax}, F_{Ay}	A 处铰约束力
F_N	法向约束力、轴力
F_P	荷载
F_{Per}	临界荷载
F_Q	剪力
F_x, F_y, F_z	力在 x, y, z 方向的分量
F_{Pe}	挤压力
G	剪切弹性模量
h	高度
I	惯性矩
I_P	极惯性矩
I_{yz}	惯性积
k	弹簧刚度系数
K_σ, K_τ	有效应力集中系数
K_t	理论应力集中系数
l	长度、跨度
M, M_y, M_z	弯矩
M_e	外力偶矩
M_x	扭矩
m	质量
M_O	力系对点 O 的主矩
$M_O(F)$	力 F 对点 O 之矩
M	力偶矩
M_x, M_y, M_z	力对 x, y, z 轴之矩
n	转速
n_{st}	稳定安全系数

p	内压力
P	功率
q	均布荷载集度
R, r	半径
s	路程、弧长
u	比能
u_v	体积改变比能
u_f	形状改变比能
W	功、重量、抗弯截面模量
W_p	抗扭截面模量
α	倾角、线膨胀系数
β	角、表面加工质量系数
θ	角梁横截面转角、单位长度相对扭转角
φ	相对扭转角
γ	剪应变
Δ	变形、位移
δ	厚度
ε	线应变
λ	柔度、长细比
μ	泊松比、长度系数
ρ	曲率半径
σ	正应力
σ^+	拉应力
σ^-	压应力
σ_m	平均应力
σ_b	强度极限
σ_c	挤压应力
$[\sigma_c]$	许用挤压应力
$[\sigma]^+$	许用拉应力
$[\sigma]^-$	许用压应力
$[\sigma]$	许用应力
σ_{cr}	临界应力
$\sigma_{0.2}$	条件屈服极限
σ_s	屈服极限
σ_u	极限正应力
σ_{-1}	对称循环时的疲劳极限
τ	剪应力
τ_b	剪切强度极限
$[\tau]$	许用剪应力
τ_u	极限剪应力

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 材料力学的任务	1
1.2 可变形固体及其基本假设	2
1.3 杆件变形的形式	3
第 2 章 轴向拉伸和压缩	5
2.1 轴向拉伸和压缩的概念	5
2.2 内力和截面法 轴力和轴力图	5
2.3 拉压杆应力	8
2.4 轴向拉伸或压缩时的变形	11
2.5 材料在拉伸和压缩时的力学性能	15
2.6 轴向拉伸和压缩时的强度计算	22
2.7 轴向拉伸和压缩的应变能	25
2.8 拉伸和压缩静不定问题	27
习题	32
第 3 章 剪切	40
3.1 概述	40
3.2 剪切强度计算	41
3.3 挤压强度计算	42
3.4 计算实例	42
习题	46
第 4 章 平面图形的几何性质	49
4.1 概述	49
4.2 静矩和形心	49
4.3 惯性矩和惯性积	52
4.4 平行移轴公式	54
习题	56
第 5 章 扭转	58
5.1 扭转的概念和实例	58
5.2 外力偶矩的计算 扭矩和扭矩图	59
5.3 纯剪切	61
5.4 圆轴扭转时的应力和变形	63

5.5	圆轴扭转时的强度和刚度计算	67
5.6	扭转静不定问题	71
5.7	非圆截面杆扭转简介	72
	习题	73
第6章	弯曲内力	77
6.1	平面弯曲的概念	77
6.2	梁的计算简图	78
6.3	剪力和弯矩	80
6.4	剪力图和弯矩图	82
6.5	用叠加法作弯矩图	86
6.6	剪力、弯矩和荷载集度间的关系	87
	习题	90
第7章	弯曲应力	95
7.1	梁弯曲时的正应力	95
7.2	弯曲正应力强度计算	100
*7.3	非对称梁的弯曲	103
7.4	梁弯曲时的剪应力	104
7.5	提高梁弯曲强度的措施	111
	习题	114
第8章	弯曲变形	118
8.1	工程中的弯曲变形问题	118
8.2	梁的挠曲线近似微分方程	118
8.3	用积分法求梁的弯曲变形	120
8.4	用叠加法求弯曲变形	126
8.5	梁的刚度计算	128
8.6	静不定梁	132
	习题	135
第9章	应力状态分析和强度理论	140
9.1	应力状态概述	140
9.2	二向应力状态分析——解析法	142
9.3	二向应力状态分析——图解法	145
9.4	三向应力状态	149
9.5	广义胡克定律 体积应变	152
9.6	三向应力状态下的弹性比能	155
9.7	强度理论的概念	157
9.8	4个常用的强度理论	158
9.9	莫尔强度理论	162
	习题	165

第 10 章 组合变形	169
10.1 组合变形概念和应力叠加法	169
10.2 斜弯曲	170
10.3 拉伸(压缩)与弯曲的组合	174
10.4 弯曲与扭转的组合	177
习题	181
第 11 章 压杆的稳定性	187
11.1 压杆稳定的概念	187
11.2 细长压杆的临界力 欧拉公式	189
11.3 其他约束条件下细长压杆的临界力	192
11.4 欧拉公式适用范围 中、小柔度杆的临界应力	196
11.5 压杆的稳定性计算	201
11.6 提高压杆稳定性的措施	206
习题	206
第 12 章 交变应力和冲击应力	211
12.1 交变应力和疲劳破坏	211
12.2 循环特征、平均应力和应力幅	213
12.3 材料的持久极限及其测定	214
12.4 影响构件持久极限的主要因素	215
12.5 对称循环下构件的疲劳强度校核	219
12.6 冲击应力	221
习题	225
第 13 章 能量法	227
13.1 概述	227
13.2 构件应变能的计算	227
13.3 应变能的普遍表达式	231
13.4 互等定理	232
13.5 卡氏第二定理	233
13.6 虚功原理	235
13.7 莫尔积分及单位载荷法	237
13.8 图乘法	240
习题	242
第 14 章 力法计算静不定结构	246
14.1 静不定结构概述	246
14.2 用力法求解静不定结构	248
14.3 对称性的利用	255
习题	260
附录 型钢表	264
习题答案	275
参考文献	285

第 1 章

绪 论

1.1 材料力学的任务

在工程实际中,广泛应用着各种机械设备和工程结构。组成机械设备和工程结构的零件或部件统称为构件。例如,房屋的梁或柱、机器的轴或齿轮都是构件。构件在工作中受到荷载的作用,为保证机械设备和工程结构的正常工作,每一构件都应有足够的承载能力,以承受作用于其上的荷载。构件的承载能力包括以下 3 个方面:

(1) 构件应有足够的强度

例如,冲床的曲轴,在工作冲压力作用下不应折断。又如,锅炉的筒体在规定的蒸气压力下不应爆破。因此,强度是指构件在荷载作用下抵抗破坏的能力。

(2) 构件应有足够的刚度

在载荷作用下,构件的形状和尺寸将发生变化,称为变形。对某些构件,若变形过大,也会影响其正常工作。例如,若齿轮轴变形过大,将造成齿轮和轴承的不均匀磨损,从而引起噪声。机床主轴变形过大,将影响加工精度。因而,刚度是指构件在荷载作用下抵抗变形的能力。

(3) 构件应有足够的稳定性

有些受压力作用的细长直杆,如千斤顶中的螺杆、内燃机的气门挺杆等,应始终维持原有的直线平衡形态,保持不被压弯。故稳定性是指构件保持其原有平衡形态的能力。

设计一个构件,首先是要求构件安全可靠,即要求构件具有足够的强度、刚度和稳定性;同时还应考虑合理使用和节约材料,即既要考虑经济性,又要尽可能减轻构件的质量。一般来说,前者要求构件的截面尺寸大一些,材质好一些;后者要求构件的截面尺寸尽可能小,并且尽可能用廉价的材料。这二者往往是矛盾的,材料力学则为合理地解决这一矛盾提供了理论基础及计算方法。

材料力学的任务就是在满足强度、刚度和稳定性的要求下,为构件确定合理的截面形状和尺寸,选择适当的材料;为设计既经济又安全的构件提供必要的理论基础和计算方法。

1.2 可变形固体及其基本假设

制造各种构件所采用的材料,虽然品种繁多,性质各异,但它们都有一个共同的特点,就是在外力作用下会产生变形。在研究构件的强度、刚度等问题时,物体的变形是一个不可忽略的因素。因此,在材料力学中,将组成构件的材料皆视为可变形固体。

材料的物质结构和性质是比较复杂的,在研究构件的强度、刚度和稳定性时,为方便起见,必须略去材料的一些次要性质,而保留其主要属性,以抽象出理想化的力学模型。为此,在材料力学中,对可变形固体作以下的基本假设:

(1) 连续性假设

认为在物体的整个体积内都毫无空隙地充满了固体物质。实际上,组成固体的粒子之间存在着空隙,并不连续,但这种空隙与构件的尺寸相比极其微小,可以忽略不计。于是就认为固体在其整个体积内是连续的。这样,当把某些力学量看作是固体中点的坐标之函数时,对这些量就可以作为连续函数来进行数学处理。

(2) 均匀性假设

认为在固体内任何部分的力学性能都完全相同。就使用最多的金属来说,组成金属的各晶粒的力学性能并不完全相同。但由于构件内含有为数极多的,而且是无规则地排列的晶粒,固体的力学性能是各晶粒的力学性能的统计平均量,各晶粒的非均匀性,从统计平均的观点看,可以不加考虑,认为各部分的力学性能是均匀的。这样,如从固体中取出一部分,不论其大小以及从何处取出,力学性能总是相同的。可以将小尺寸试样测得的材料性质,用于构件的任何部位。

(3) 各向同性假设

认为无论沿任何方向,固体的力学性能都是相同的。各方向力学性能相同的材料,称为各向同性材料。这一假设对许多材料都是符合的。均匀的非晶体材料一般都是各向同性的。对金属等由晶体组成的材料,虽然每个晶粒的力学性能具有方向性,但由于它们的大小远小于构件的尺寸,且排列也不规则,因此它们的统计平均值在各个方向是相同的。铸钢、铸铁、玻璃等都可看做是各向同性材料。

在不同方向上力学性能不同的材料,称为各向异性材料,如岩石、土壤、木材、胶合板和某些人工合成材料等。

(4) 小变形假设

在工程实际中,构件的变形相对于构件的原有尺寸是很小的,因此,在分析构件上力的平衡关系时,变形的影响可以忽略不计,仍按构件的原有几何尺寸来进行计算。材料力学一般只研究小变形问题。

在以后的讨论中,一般都把可变形固体假设为连续、均匀及各向同性的,并且在外力的作用下变形很微小。

1.3 杆件变形的的基本形式

实际构件有各种不同的形状。如果构件的长度远大于它的横截面尺寸,则称为杆件。材料力学主要研究杆件。杆件各横截面形心的连线称为杆件的轴线。轴线为直线的杆件称为直杆。横截面的形状和大小不变的直杆件称为等直杆。轴线为曲线的杆件称为曲杆。工程上常见的很多构件都可以简化为杆件,如连杆、传动轴、立柱、丝杆、吊钩等。

等直杆在工程中的应用最广泛,它是材料力学研究的主要对象。等直杆的问题解决了,不仅解决了工程中大部分构件的问题,也为解决其他形状构件的问题提供了基础。等直杆的计算原理可以近似地用于曲率较小的曲杆或横截面无急剧变化的变截面杆。

除杆件外,工程中常用的构件还有平板和壳体等。

随着外力作用方式的不同,杆件受力后所产生的变形也有差异。杆件变形的基本形式有以下4种:

(1) 拉伸和压缩

一对大小相等、方向相反、作用线与杆件轴线重合的外力作用在杆的两端,使杆件产生伸长或缩短,这种变形称为拉伸或压缩。例如,图 1.1 (a) 所示的简易吊车,在外力 F_P 作用下,AC 杆受到拉伸[图 1.1 (b)],而 BC 杆受到压缩[图 1.1 (c)]。起吊重物的钢索、桁架的杆件、液压油缸的活塞杆等的变形,都属于拉伸或压缩变形。

(2) 剪切

一对大小相等、方向相反、作用线相距很近且与杆轴线垂直的外力作用在杆的两侧,两外力间的横截面发生相对错动,这种变形称为剪切。图 1.2 (a) 表示一铆钉联接,在 F_P 力作用下,铆钉即受到剪切[图 1.2 (b)]。机械中常用的联接件,如键、销钉、螺栓等都产生剪切变形。

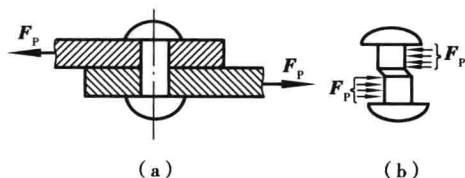


图 1.2

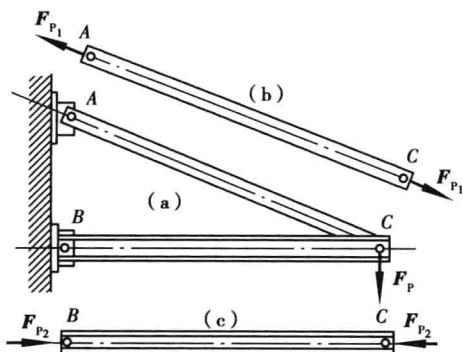


图 1.1

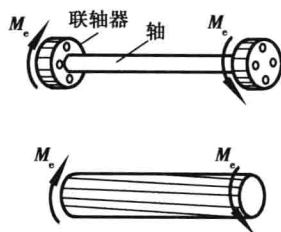


图 1.3

(3) 扭转

大小相等、方向相反,作用面与杆件轴线垂直的两个力偶作用在杆的两端,使杆的任意两个横截面绕轴线发生相对转动,这种变形称为扭转。图 1.3 所示的传动轴在外力偶作用下,

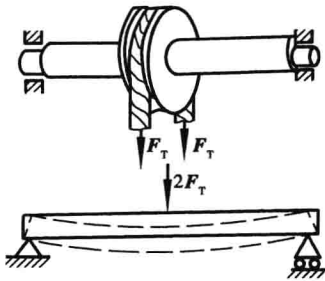


图 1.4

发生扭转变形。汽车的凸轮轴、电机和水轮机的主轴,都是主要发生扭转变形的构件。

(4) 弯曲

作用在包含杆件轴线的纵向面内的力偶或垂直于杆件轴线的横向力,使杆件的轴线由直线变为曲线,这种变形称为弯曲。图 1.4 所示的轮轴,在外力作用下发生弯曲变形。在工程中,受弯杆件是最常遇到的情况。桥式起重机的大梁,机车的车轴以及车刀等,都是主要发生弯曲变形的构件。

有一些杆件在工作时,同时发生几种基本变形,例如,车床主轴工作时发生弯曲、扭转和压缩三种基本变形;钻床立柱同时发生拉伸和弯曲两种基本变形。这种情况称为组合变形。本书以下各章,首先将依次讨论四种基本变形的强度及刚度计算,然后再讨论组合变形。

第 2 章

轴向拉伸和压缩

2.1 轴向拉伸和压缩的概念

在工程实际中,有许多承受轴向拉伸和压缩的构件。例如,在理论力学中介绍过的连杆机构中的连杆,桁架结构中的二力构件,以及起吊重物的钢丝绳等。这些构件的受力有共同的特点,即这些构件均为直杆,所承受的集中载荷或分布力的合力的作用线与杆件轴线重合,如图 2.1 所示。这种载荷的作用形式称为轴向加载。图 2.1(a)杆件承受的是轴向拉力,使杆件伸长,称为拉杆;图 2.1(b)杆件承受的是轴向压力,使杆件变短,称为压杆。

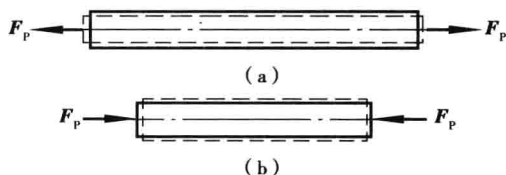


图 2.1

轴向拉伸和压缩时杆件的受力和变形特点是:作用于杆件上的外力合力是一对大小相等,方向相反,作用线与轴线重合的集中力,杆件变形是沿轴线方向伸长或缩短。因此工程实际中的构件,只要能简化成图 2.1 的受力和变形形式,就是轴向拉伸或轴向压缩。

轴向拉伸和压缩是杆件 4 种基本变形形式中最简单的一种。本章将通过对轴向拉伸和压缩的讨论,建立其基本理论和计算方法;介绍材料力学研究问题的两大方法;材料拉压时的力学性能及实验方法;通过本章的研究初步掌握材料力学的处理方法。

2.2 内力和截面法 轴力和轴力图

构件未受外力作用时,其内部的各质点之间存在着相互作用的力,一般称为内聚力。这种内聚力使构件能够保持固有的形状。当构件受外力作用时,构件产生了变形,使其内部各