

21世纪应用型本科系列教材

材料力学

闵行 刘书静 诸文俊



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

21世纪应用型本科系列教材

材料力学

闵行 刘书静 诸文俊



西安交通大学出版社

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

· 西安 ·

内容提要

全书共分 11 章:绪论、轴向拉伸与压缩、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、组合变形的强度、压杆的稳定、动载荷、联接件的强度。附录包括截面图形的几何性质和型钢表。各章均附有复习思考题和习题。

本书结构紧凑,语句简明,由浅入深,注意联系工程实际,便于教学和自学。

本书为普通高等学校 60~70 学时材料力学教学用书,也可供高等职业学校和成人教育学院师生及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/闵行,刘书静,诸文俊编著. —西安:西安交通大学出版社,
2009.12

ISBN 978-7-5605-3241-7

I. 材… II. 闵… III. 材料力学-高等学校-教材 IV. TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 157354 号

书 名 材料力学
编 著 闵行 刘书静 诸文俊
责任编辑 桂亮
文字编辑 郑丽芬

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址 <http://www.xjtpress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315 82669096(总编办)
传 真 (029)82668280
印 刷 陕西向阳印务有限公司

开 本 727mm×960mm 1/16 印张 14.375 字数 260 千字
版次印次 2009 年 12 月第 1 版 2009 年 12 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-3241-7/TB·54
定 价 22.00 元

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82664954

读者信箱:jdly@yahoo.cn

版权所有 侵权必究

前 言

本教材是普通高等学校 60~70 学时的材料力学教材,适用于机械、能源、动力、材料等专业。

随着教学改革不断深入,学时减少和教学要求提高的矛盾日益突出。本教材力求贯彻教学改革精神,在保证课程基本内容和要求的同时,使内容和语言更加精炼,注重理论紧密结合工程实际,培养学生分析和解决问题的能力。

本教材密切结合前置课程和后续课程的内容,加强学生今后学习和工作中必需的知识。教材中注意避免过于繁杂的理论推导,给学生以简明易懂的说明;增加实际结构及材料破坏断口的照片和图,使学生对材料强度有更多的感性认识。教材刻意精选一些既结合理论知识又联系工程实际的例题和习题,便于学生复习学过的理论知识,使学生了解如何利用这些知识解决工程实际问题,提高学生学习本课程的兴趣。教材在理论的论述、公式的推导、例题的讲述等方面都注意到便于学生阅读和自学。在每一章后面都有复习思考题,以帮助学生掌握该章节的重点。书中带有 * 号的内容可根据不同要求由教师选用。

本教材由闵行、刘书静和诸文俊编写。闵行和刘书静任主编。

本教材反映了西安交通大学材料力学教研室多年来教学改革成果和丰富的教学经验。在编写过程中,参考了西安交通大学材料力学教研室和兄弟院校已经公开出版的许多教材和书籍。在此特向有关作者表示敬意和衷心感谢。

本教材在编写过程中得到西安交通大学力学教学实验中心和西安交通大学城市学院机械工程系的大力支持,责任编辑桂亮和郑丽芬为本书的出版做了大量细致的工作。在此一并致以衷心的感谢。

限于编者的水平,教材有疏漏和不妥之处,敬请读者提出批评指正。

编 者

2009.9

本书主要符号表

符号	符号意义	常用单位
A	面积	m^2, mm^2
a	间距	m, mm
	加速度	m/s^2
b	宽度	m, mm
C	形心	
D, d	直径	m, mm
E	弹性模量	$\text{GN}/\text{m}^2 (\text{GPa})$
E_k	动能	$\text{J} (\text{N} \cdot \text{m})$
E_p	势能	$\text{J} (\text{N} \cdot \text{m})$
e	偏心距	m, mm
F	力(外力, 载荷)	N, kN
F_{Ax}	A 处沿 x 方向的支反力	N, kN
F_{cr}	压杆临界力	N, kN
F_x, F_y, F_z	力在 x, y, z 方向的分量	N, kN
F_N	轴力	N, kN
F_S	剪力	N, kN
G	切变模量	$\text{GN}/\text{m}^2 (\text{GPa})$
	重量	N, kN
g	重力加速度	m/s^2
H, h	高度	m, mm
I_y, I_z	截面对 y, z 轴的惯性矩	m^4, mm^4
I_p	极惯性矩	m^4, mm^4
I_{yz}	截面对 yz 轴的惯性积	m^4, mm^4
i_y, i_z	截面对 y, z 轴的惯性半径	m, mm
K_d	动荷因数	

符号	符号意义	常用单位
K_{σ}, K_{τ}	理论应力集中因数	
K_{σ}, K_{τ}	正应力,切应力有效应力集中因数	
k	弹簧刚度系数	N/m, kN/m
L, l	长度	m, mm
M	弯矩	N · m, kN · m
M_O	对点 O 的矩	N · m, kN · m
M_A	弯曲外力偶矩 (A 处)	N · m, kN · m
M_y, M_z	对 y, z 轴的弯矩	N · m, kN · m
m	质量	kg
m	单位长度力偶矩	N · m/m, kN · m/m
n	安全因数	
	转速	r/min
$[n_{st}]$	规定稳定安全因数	
$[n_f]$	规定疲劳安全因数	
N	循环次数	
N_0	循环基数	
P	功率	W, kW
p	压强, 压力	N/m ² (Pa), MN/m ² (MPa)
	全应力	MN/m ² (MPa), N/mm ²
q	分布载荷集度	N/m, kN/m
R, r	半径	m, mm
r	交变应力循环特征	
S_y, S_z	截面对 y, z 轴的静矩	m ³ , mm ³
s	弧长	m, mm
T	扭矩	N · m, kN · m
t	温度	°C
	时间	s
	壁厚	m, mm
u	线位移	m, mm
V_{ϵ}	(变形能)应变能	J (N · m)

符号	符号意义	常用单位
V	体积	m^3, mm^3
v	速度	m/s
w	梁的挠度	m, mm
W	外力功	$\text{N} \cdot \text{m}, \text{kN} \cdot \text{m}$
	重量	N, kN
W_p	扭转截面系数	m^3, mm^3
W_y, W_z	对 y, z 轴的弯曲截面系数	m^3, mm^3
α	倾角	$\text{rad}, (^\circ)$
	线膨胀因数	K^{-1}
β	角	$\text{rad}, (^\circ)$
	表面质量因数	
Δ	变形, 位移	mm
δ	厚度	m, mm
	延伸率	
$\epsilon, \epsilon_e, \epsilon_p$	线应变, 弹性应变, 塑性应变	
γ	切应变	
	单位体积重量	$\text{N/m}^3, \text{kN/m}^3$
ψ	断面收缩率	
φ	转角	$\text{rad}, (^\circ)$
λ	柔度	
μ	泊松比, 压杆长度因数	
θ	梁截面转角	$\text{rad}, (^\circ)$
	单位长度扭转角	$^\circ/\text{m}$
ρ	密度	kg/m^3
	曲率半径	m, mm
σ	正应力	$\text{MN/m}^2 (\text{MPa}), \text{N/mm}^2$
σ^+, σ^-	拉应力, 压应力	同上
σ°	破坏(极限)应力	同上
$[\sigma]$	许用应力	同上
$[\sigma]^+$	许用拉应力	同上

符号	符号意义	常用单位
$[\sigma]$	许用压应力	$\text{MN/m}^2 (\text{MPa}), \text{N/mm}^2$
σ_a	应力幅	同上
σ_b	强度极限	同上
σ_c	挤压应力	同上
σ_d	动应力	同上
σ_{cr}	临界应力	同上
σ_e	弹性极限	同上
σ_m	平均应力	同上
σ_p	比例极限	同上
σ_r	持久极限	同上
	径向应力	同上
σ_{ri}	相当应力	同上
σ_s	屈服应力	同上
$\sigma_{0.2}$	条件屈服应力	同上
τ	切应力	同上
τ_m	均方根切应力	同上
$[\tau]$	许用切应力	同上
ω	角速度	$\text{rad/s}, (^\circ/\text{s})$

目 录

前言

本书主要符号表

第 1 章 绪论	(1)
1.1 材料力学的任务	(1)
1.2 变形固体的基本假设	(2)
1.3 内力和应力	(3)
1.4 位移、变形与应变	(6)
1.5 杆件变形的基本形式	(7)
复习思考题	(7)
第 2 章 轴向拉伸与压缩	(9)
2.1 概述	(9)
2.2 直杆横截面上的内力与应力	(10)
2.3 轴向拉伸或压缩时的强度计算	(12)
2.4 斜截面上的应力	(15)
2.5 轴向拉伸或压缩时的变形	(16)
2.6 材料在拉伸时的力学性质	(19)
2.7 材料在压缩时的力学性质	(24)
2.8 安全因数和许用应力	(24)
2.9 应力集中的概念	(25)
2.10 简单拉压超静定问题	(27)
复习思考题	(31)
习题	(32)
第 3 章 扭转	(39)
3.1 概述	(39)
3.2 外力偶矩、扭矩和扭矩图	(39)
3.3 圆杆扭转时的应力与强度条件	(41)
3.4 圆杆扭转时的变形与刚度条件	(45)

3.5	圆杆扭转的应力分析	(49)
3.6	非圆截面杆扭转的概念	(51)
	复习思考题	(52)
	习题	(53)
第4章	弯曲内力	(56)
4.1	概述	(56)
4.2	梁的简化及其典型形式	(56)
4.3	梁的内力和正负号规则	(58)
4.4	剪力方程和弯矩方程 剪力图和弯矩图	(59)
	复习思考题	(65)
	习题	(66)
第5章	弯曲应力	(69)
5.1	概述	(69)
5.2	弯曲正应力	(70)
5.3	弯曲正应力的强度计算	(73)
5.4	弯曲切应力和切应力强度条件	(77)
5.5	提高弯曲强度的措施	(81)
	复习思考题	(84)
	习题	(85)
第6章	弯曲变形	(89)
6.1	概述	(89)
6.2	挠曲线近似微分方程	(89)
6.3	直接积分法	(91)
6.4	用叠加法求梁的变形	(94)
6.5	梁的刚度条件和提高弯曲刚度的措施	(96)
6.6	简单超静定梁	(98)
	复习思考题	(99)
	习题	(100)
第7章	应力状态分析和强度理论	(103)
7.1	应力状态的概念	(103)
7.2	平面应力状态分析的解析法	(104)
7.3	平面应力状态分析的图解法	(107)
7.4	三向应力状态的最大应力	(110)

7.5 广义胡克定律	(112)
7.6 强度理论的概念	(115)
7.7 四种常用的强度理论	(115)
7.8 强度理论的应用	(118)
复习思考题	(121)
习题	(121)
第 8 章 组合变形的强度	(126)
8.1 概述	(126)
8.2 拉伸(压缩)与弯曲组合变形	(127)
8.3 弯曲与扭转组合变形	(132)
复习思考题	(136)
习题	(136)
第 9 章 压杆的稳定	(141)
9.1 概述	(141)
9.2 细长压杆的临界力	(142)
9.3 压杆的临界应力 临界应力总图	(144)
9.4 压杆稳定性的校核	(149)
9.5 提高压杆稳定性的措施	(154)
复习思考题	(155)
习题	(156)
第 10 章 动载荷	(161)
10.1 概述	(161)
10.2 惯性力问题	(161)
10.3 构件受冲击时的应力和变形	(164)
10.4 提高构件抗冲击能力的措施	(169)
10.5 疲劳强度的概念	(169)
10.6 交变应力及其循环特征	(172)
10.7 材料的疲劳极限	(172)
10.8 影响构件疲劳极限的主要因素	(174)
10.9 交变应力下构件的疲劳强度条件	(175)
10.10 提高构件疲劳强度的措施	(176)
复习思考题	(177)
习题	(178)

第 11 章 联接件的强度	(181)
11.1 概述.....	(181)
11.2 联接件的实用计算法.....	(182)
复习思考题.....	(188)
习题.....	(188)
附录 A 截面图形的几何性质	(191)
A.1 静矩和形心	(191)
A.2 惯性矩和惯性积	(193)
A.3 平行移轴公式	(195)
复习思考题.....	(197)
习题.....	(197)
附录 B 简单载荷下梁的变形	(199)
附录 C 型钢表	(202)
表 1 热轧等边角钢	(202)
表 2 热轧普通工字钢	(207)
表 3 热轧普通槽钢	(209)
习题答案.....	(211)
参考文献.....	(218)

第 1 章 绪 论

1.1 材料力学的任务

工程中广泛使用的各种机械与结构物,如机床、电机和建筑物等,都是由许多零部件组成的,组成机械与结构物的零部件统称为**构件**。构件工作时,一般都受到载荷的作用。为确保机械和结构物能够正常地工作,要求构件具有一定的承受载荷能力(简称**承载能力**),材料力学就是研究构件承载能力的一门学科。

构件承载能力分为三个方面:

(1) **强度** 构件抵抗破坏的能力称为强度。构件承受载荷时,不应该发生破坏,如起重机在起吊重物时(图 1-1),钢索不能断裂、在规定的压力下储气罐不能开裂(图 1-2)等,即构件要有足够的强度。

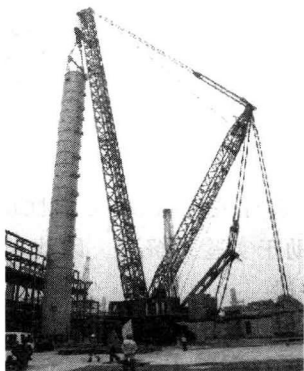


图 1-1

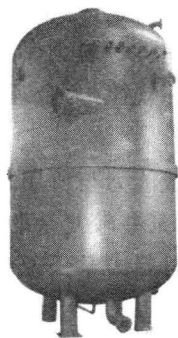


图 1-2

(2) **刚度** 构件抵抗变形的能力称为刚度。构件刚度不足,在受载荷时可能产生过大的变形,即使有足够的强度,仍不能正常工作。如钻床工作时(图 1-3),若立柱和摇臂变形过大,将会影响加工精度等。因此,这类构件必须具有足够抵抗变形的能力,即有足够的刚度。

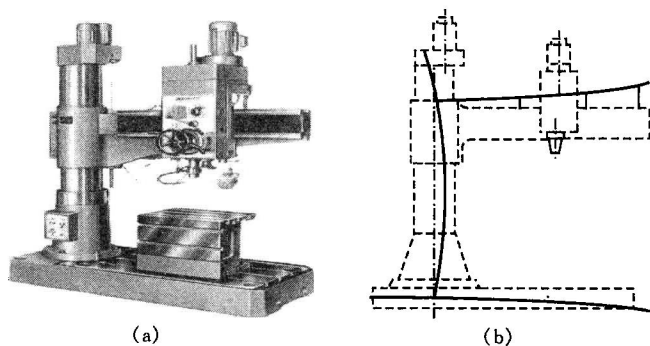


图 1-3

(3) **稳定性** 构件保持原有平衡形式的能力称为稳定性。一些细长受压构件,如千斤顶中的支杆(图 1-4)、内燃机中的挺杆等,要求这类构件在工作中能保持原有的直线平衡状态,即具有足够的稳定性。

增大构件的截面尺寸和使用较好的材料,可满足构件承载能力的要求,以保证机械和结构能够正常地工作。另一方面,若构件的截面尺寸过大或使用过好的材料,尽管满足了上述的要求,却增加了构件的成本和重量。因此,必须为构件选择适当的材料、合适的截面形状和尺寸,使构件既安全适用又经济合理。材料力学的任务是研究构件在外力作用下的变形和破坏规律,为合理设计构件提供必要的理论基础和计算方法。

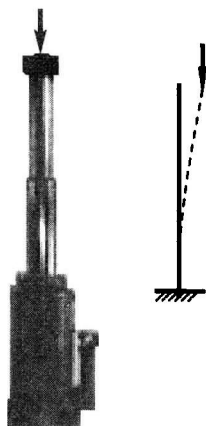


图 1-4

构件的承载能力与所用材料的力学性质有关,而这些力学性质必须通过实验来测定。此外,某些较复杂的问题也须借助于实验来解决。因此,实验研究和理论分析都是完成材料力学任务必不可少的手段。

1.2 变形固体的基本假设

组成机械与结构物的构件,都是由各种材料制成的固体,在外力作用下会发生变形,称为**变形固体**。

材料力学在研究构件承载能力时,为了简化计算,通常略去一些次要因素,将它们抽象为理想化的模型。下面是对变形固体所作的基本假设:

(1) **连续性假设** 即认为组成变形固体的物质毫无间隙地充满了它的整个几

何空间,而且变形后仍保持这种连续性,物体的一切物理量都可用坐标的连续函数来表示。

(2) **均匀性假设** 即认为物体是由同一均匀材料组成,其各部分的物理性质相同,且不随坐标位置而变。这样就可以从中取出任一微小部分进行分析和试验,其结果适用于整个物体。

(3) **各向同性假设** 即认为物体在各个方向具有相同的物理性质,物体的力学性质不随方向而变,具备这种性质的材料称为各向同性材料。

实际上,从微观角度观察,工程材料内部都有不同程度的空隙和非均匀性,组成金属的各单个晶粒,其力学性质也具有明显的方向性。但由于这些空隙和晶粒的尺寸远远小于构件的尺寸,且排列是无序的,所以从统计学的观点,在宏观上可以认为物体的性质是均匀、连续和各向同性的。实践证明,在工程计算的精度范围内,上述假设可以得到满意的结果。

材料在外力作用下将产生变形。对于大多数材料,当外力不超过一定限度时,去除外力后,物体将恢复到原有的形状和尺寸,材料这种性质称为**弹性**。去除外力后能消失的变形称为**弹性变形**。当外力过大时,去除外力后,变形只能部分消失而残留下一部分永久变形,材料的这种性质称为**塑性**,残留的变形称为**塑性变形**。

工程实际中,为保证构件正常工作,一般要求构件只发生弹性变形。对于大多数工程材料,如金属、木材和混凝土等,其弹性变形与构件原始尺寸相比甚为微小,因此在力学分析中,可以不考虑因变形而引起的尺寸变化。这样在研究平衡问题时,仍可按构件的原始尺寸进行计算,使问题大为简化,这就是**小变形概念**。

这里需要指出,由于材料力学的研究对象是变形固体,因而在应用以刚体为研究对象的理论力学中的有关概念时,要特别注意其适用条件。如在分析构件的变形时,力的可传性原理等不再适用。

1.3 内力和应力

1.3.1 内力

构件受到其他物体作用的力称为**外力**,外力包括载荷和支反力。构件不受外力时,内部各部分之间存在着相互作用力,使构件维持一定的形状。当构件受到外力作用而变形时,其内部各部分之间的相互作用力发生了改变。这种因外力作用而引起构件内各部分之间相互作用力的改变量,称为**附加内力**,通常简称为**内力**。构件的内力随外力的改变而变化,当内力达到某一极限值时,构件就会破坏,因此内力与构件的强度有着密切关系。

1.3.2 截面法

为了显示内力并确定其大小,可采用下述方法:图 1-5(a)所示构件在外力作用下处于平衡状态。欲求 $m-m$ 截面上的内力,可假想将构件沿 $m-m$ 截面切开,分为 I、II 两部分,如图 1-5(b)、(c)所示。任取其中一部分,如部分 I 为研究对象,因为构件在原来力系作用下处于平衡状态,则部分 I 也必须处于平衡状态。因此,部分 I 除受外力 F_1 和 F_2 外,在 $m-m$ 截面必定有作用力与其平衡,这就是部分 II 对部分 I 的内力,根据连续性假设,内力沿 $m-m$ 截面连续分布。这种分布内力的合力即为该截面的内力。根据部分 I 的静力平衡条件就可以确定 $m-m$ 截面上的内力值。同样,如以部分 II 为研究对象,也可以求出部分 I 作用给部分 II 的内力。根据作用与反作用定律,作用在 I、II 两部分的内力大小相等,方向相反。

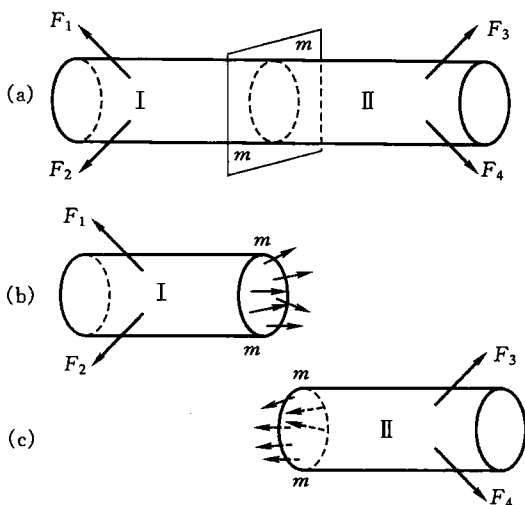


图 1-5

上述这种显示内力和确定内力的方法称为**截面法**,它是材料力学中研究内力的基本方法。截面法可以归纳为:欲求构件内某一截面的内力,可假想地用该截面把构件截分为两部分,任取一部分为研究对象;以内力代替另一部分对研究部分的作用;根据研究部分在外力和内力作用下的静力平衡条件确定内力。

例 1-1 电车架空线立柱结构简图如图 1-6(a)所示,已知力 F 和长度 a ,试求立柱 $m-m$ 截面上的内力。

解 (1) 沿 $m-m$ 截面假想地将立柱截为两段,取上半部分进行研究,如图 1-6(b)所示。

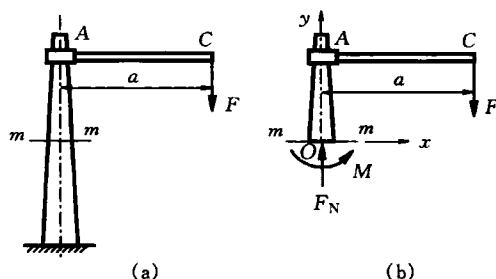


图 1-6

(2) 外力 F 将使上半部分立柱向下平移, 并绕截面形心 O 顺时针转动。为保持平衡, 下半段立柱作用于 $m-m$ 截面的内力应是向上的力 F_N 和逆时针的力偶 M (图 1-6(b))。

(3) 由静力平衡条件

$$\sum F_y = 0, \text{ 得 } F_N = F$$

$$\sum M_O = 0, \text{ 得 } M = Fa$$

1.3.3 应力

截面法只能确定构件截面上分布内力的合力, 但不能确定内力在截面上的分布情况。为此引入应力的概念。

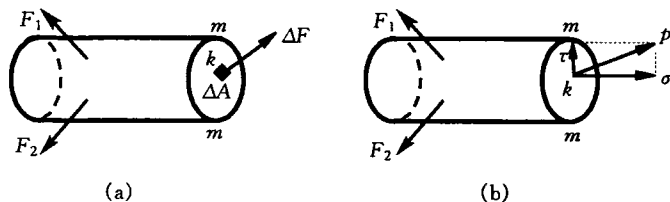


图 1-7

如图 1-7(a) 所示, 在 $m-m$ 截面上任一点 k 处, 取一微面积 ΔA , 设 ΔA 上内力的合力为 ΔF , 则比值

$$p_m = \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

称为 ΔA 上的平均应力。一般情况下, 内力沿截面并非均匀分布, 平均应力 p_m 的大小及方向随所取面积 ΔA 的大小而变化, 为了精确反映 k 点处的内力密集程度, 应使 ΔA 趋近于零, 由此极限值