



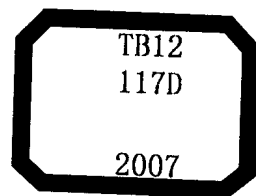
面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

工程力学

范钦珊 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



面向 21 世纪课程教材

工 程 力 学

Engineering Mechanics

范钦珊 主编

陈建平 蔡 新 范钦珊 编著

机械工业出版社

本书作为面向 21 世纪力学系列课程教学内容与体系改革的一部分,对原有工程力学课程的教学内容、课程体系加以进一步分析和研究,在确保基本要求的前提下,删去了一些偏难、偏深的内容。本书适用于开设中、少学时工程力学课程的专业,也可以作为专科、成人教育各专业的工程力学教材。

本书包括三部分:第一部分:静力学,共 3 章;第二部分:材料力学,共 9 章;第三部分:运动学与动力学,共 7 章。根据不同院校的实际情况,采用本教材大约需要 60~90 学时。

与以往的同类教材相比,本书从力学素质教育的要求出发,注重基本概念的深入浅出,而不追求繁琐的理论推导与繁琐的数字运算。本书所涉及内容的难度有所下降,工程概念有所加强,引入了大量涉及广泛领域的工程实例及相关的例题和习题。

为了让学生更快地掌握最基本的知识,在概念、原理的叙述方面作了一些改进。一方面从提出问题、分析问题和解决问题等方面作了比较详尽的论述与讨论;另一方面通过较多的例题分析,加深学生对于基本内容的了解和掌握。

为了帮助读者复习和自学,特别研制、开发了“工程力学学习指导与解题指南”教学软件光盘,随书发行。为便于老师讲授本书,作者专门为本书编制了教师用多媒体课堂教学软件以及全部习题的详细解答。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/范钦珊主编. —北京:机械工业出版社, 2007. 3
面向 21 世纪课程教材
ISBN 978-7-111-20896-9

I. 工... II. 范... III. 工程力学—高等学校—教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 021633 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:季顺利 版式设计:冉晓华 责任校对:李秋荣
封面设计:姚毅 责任印制:杨曦
北京机工印刷厂印刷
2007 年 4 月第 1 版第 1 次印刷
169mm×239mm·14.125 印张·6 插页·557 千字
标准书号:ISBN 978-7-111-20896-9
ISBN 978-7-89482-117-1(光盘)
定价:38.00 元(含 1CD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294
购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话:(010) 88379711
封面防伪标均为盗版

序

著者最近几年在全国各地讲学的同时,对我国高等学校“工程力学”的教学状况和对“工程力学”教材的需求进行了大量调研,与全国 500 多名基础力学老师以及近 2000 名同学交换关于“工程力学”课程教学和教材使用和修改的意见。为满足重点院校的非机械、非土木水利类专业和一般院校工科专业工程力学教学需要,新编了这本工程力学教材。

本书包括三部分:第一部分为静力学,共三章(静力学基础、力系的简化、工程构件的静力学平衡问题);第二部分为材料力学,共九章(材料力学的基本概念、杆件的内力图、拉压杆件的应力变形分析与强度设计、梁的强度问题、梁的位移分析与刚度设计、圆轴扭转时的应力变形分析与强度刚度设计、复杂受力时构件的强度设计、压杆的稳定性分析与设计、交变应力作用下构件的疲劳强度简述);第三部分为运动学与动力学,共七章(点的运动学与刚体的基本运动、点的复合运动、刚体的平面运动、质点动力学、动量定理和动量矩定理、动能定理、达朗贝尔原理及其应用)。其中带星号的内容供各院校选用。根据不同院校的实际情况,采用本教材需要 60~90 学时。

根据我国高等教育和教学改革的发展趋势,以及素质教育与创新精神培养的要求,全国普通高等学校新一轮培养计划中,课程的教学总学时数大幅度减少。工程力学课程的教学时数也要相应压缩。怎样在有限的教学时数内,使学生既能掌握工程力学的基本知识,又能了解一些工程力学的最新进展;既能培养学生的工程力学素质,又能加强工程概念?这是很多力学教育工作者关心的事情。

1996 年以来,基础力学课程在教学内容、课程体系、教学方法以及教学手段等方面,进行了一系列改革,取得了一些很有意义的成果,并在教学实践中取得了明显的效果。受到高等教育界和力学界诸多学者的支持和肯定。

本书作为面向 21 世纪力学系列课程教学内容与体系改革的一部

分，对原有工程力学课程的教学内容、课程体系加以进一步分析和研究，在确保基本要求的前提下，删去了一些偏难、偏深的内容。目的是为了那些对工程力学的深度和难度要求不高，但对工程力学的基础知识有一定了解的专业的要求，作为这些专业的素质教育的一部分。希望这本工程力学教材具有较大的适用面，能够被更多的院校、更多的专业所采用。

从力学素质教育的要求出发，本书更注重基本概念，而不追求繁琐的理论推导与繁琐的数字运算。

工程力学与很多领域的工程密切相关。工程力学教育不仅可以培养学生的力学素质，而且可以加强学生的工程概念。这对于他们向其他学科或其他工程领域扩展是很有利的。基于此，本书与以往的同类教材相比，难度有所下降，工程概念有所加强，引入了大量涉及广泛领域的工程实例及相关的例题和习题。

为了让学生更快地掌握最基本的知识，在概念、原理的叙述方面作了一些改进。一方面从提出问题、分析问题和解决问题等方面作了比较详尽的论述与讨论；另一方面通过较多的例题分析，加深学生对于基本内容的了解和掌握。

本书每章的结论与讨论内容，既帮助学生复习并加深理解本章知识，又为学生进一步巩固和扩展所学知识，提供指导帮助。

本书由清华大学范钦珊教授主编，南京航空航天大学陈建平教授、河海大学蔡新教授、清华大学范钦珊教授共同编著。

为了帮助读者复习和自学，特别研制、开发了“工程力学学习指导与解题指南”教学软件光盘，随书发行。软件的内容包括：各章的教学要求、重点和难点以及解题分析。这一软件可以在光盘上直接运行，也可以复制到硬盘中运行，操作非常简便。为了给一线授课老师提供全方位的优质服务，作者研制开发了与本书配套的讲课教学软件、讨论课的教学软件及全书习题的详细解答。有需要者，请与南京航空航天大学航空宇航学院唐静静老师联系。

新世纪中新事物层出不穷，没有也不应该有一成不变的教材，我们将努力跟上时代的步伐，以不断提高“工程力学”课程教学质量为己任，不断地从理念、内容、方法与技术等方面对“工程力学”教材加以修订，使之日臻完善。

衷心希望关爱本书的广大读者继续对本书的缺点和不足提出宝贵意见。

范钦珊

2006.10 于南京

主要符号表

符号	量的含义
A	面积
a	间距
a	加速度
a_a	绝对加速度
a_c	牵连加速度
a_C	科里奥利加速度 (科氏加速度)
a_t	切向加速度
a_n	法向加速度
a_{BA}^t	点 B 相对于基点 A 的切向加速度
a_{BA}^n	点 B 相对于基点 A 的法向加速度
a_r	相对加速度, 径向加速度
a_ϕ	横向加速度
b	宽度
c	粘阻系数
C	质心, 重心
d	直径, 距离, 力偶臂
D	直径
e	恢复因数, 偏心距
E	机械能, 弹性模量
f	频率, 动摩擦因数
f_s	静摩擦因数
F	力
F_{Ax}, F_{Ay}	A 处铰约束力
F_I	达朗贝尔惯性力
F_{Ic}	牵连惯性力
F_{IC}	科里奥力 (科氏力)
F_N	法向约束力, 轴力
F_P	载荷
F_{Per}	临界载荷、分叉载荷
F_Q	剪力
F_R	合力、主矢
F_S	牵引力、拉力

符号	量的含义
F_T	拉力
F_x, F_y, F_z	力在 x, y, z 轴上的分量
$F_{Q_1}, F_{Q_2}, \dots, F_{Q_n}$	广义力
g	重力加速度
G	切变模量
h	高度
I	惯性矩
I_p	极惯性矩
I_{xy}	惯性积
I	冲量
I_x, I_y, I_z	冲量在 x, y, z 轴上的分量
J	转动惯量
k	弹簧刚度系数
l	长度、跨度
L_o	质点系对点 O 的动量矩
m	质量
m_{eq}	等效质量
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	力系对 x, y, z 轴之矩, 弯矩
M_e	外加扭转力偶矩
M_x	扭矩
M_f	滚动阻力偶
n	转速
$[n]_n$	稳定安全因数
p	内压力
p	动量
P	功率
q	分布载荷集度, 材料的敏感系数
q_1, q_2, \dots, q_N	广义坐标
R, r	半径
r	应力比
r	位置矢量 (位矢)
s	路程, 弧长, 弧坐标
t	时间
T	周期

符号	量的含义
T_d	衰减振动周期
u	水平位移、轴向位移
$[u]$	许用轴向位移
v_d	畸变能密度
v_v	体积改变能密度
v_e	应变能密度
V_e	应变能
v	速度
v_a, v_c, v_r	绝对速度, 牵连速度, 相对速度
v_r, v_φ	径向速度, 横向速度
v_{BA}	平面图形上点 B 相对基点 A 的速度
V	势能, 体积
W	功, 重量, 抗弯截面系数
W_p	抗扭截面系数
α	倾角, 线膨胀系数
β	角, 表面加工质量因数
θ	梁横截面的转角、单位长度相对扭转角
φ	相对扭转角
γ	切应变
Δ	变形、位移
δ	厚度, 滚动阻碍系数
ε	应变, 尺寸因数
$\dot{\varepsilon}$	应变速率
ε_e	弹性应变
ε_p	塑性应变
ε_v	体积应变
λ	柔度、长细比, 频率比
μ	长度系数
ν	泊松比
ρ	密度, 曲率半径, 回转半径
ξ	阻尼比
ω	角速度, 角频率
ω_0	固有频率
$\omega_x, \omega_y, \omega_z$	角速度沿 x 、 y 、 z 轴的分量
σ	正应力
σ_b	拉应力
σ_{bc}	压应力

符号	量的含义
$\bar{\sigma}$	平均应力
$[\sigma]$	许用应力
$[\sigma_b]^-$	许用拉应力
$[\sigma_{bc}]^+$	许用压应力
σ_b	强度极限或抗拉强度
σ_c	挤压应力
σ_{cr}	临界应力
σ_d	动载应力
σ_f	纤维中的实际应力
σ_m	基体中的实际应力
σ_e	弹性极限
σ_p	比例极限
$\sigma_{0.2}$	条件屈服极限
σ_s	屈服极限
σ_{-1}	对称循环时的疲劳极限
τ	切应力
$[\tau]$	许用切应力
ω	挠度
η	粘度
K_f	有效应力集中系数
K_t	理论应力集中系数
δw	虚位移
δF	虚力
δW	虚功
δW_c	虚余功

目 录

序

主要符号表

工程力学课程总论	1
0.1 工程力学是工程科学的基础	1
0.2 课程的主要内容与分析模型	6
0.2.1 课程的主要内容	6
0.2.2 工程力学的两种分析模型	7
0.3 工程力学的分析方法	9
0.3.1 两种不同的理论分析方法	9
0.3.2 工程力学的实验分析方法	10
0.3.3 工程力学的计算机分析方法	10

第1篇 静 力 学

第1章 静力学基础	14
1.1 力和力矩	14
1.1.1 力的概念	14
1.1.2 作用在刚体上的力的效应与力的可传性	15
1.1.3 力对点之矩	16
1.1.4 力系的概念	17
1.1.5 合力矩定理	18
1.2 力偶及其性质	19
1.2.1 力偶——最简单、最基本的力系	19
1.2.2 力偶的性质	20
1.2.3 力偶系及其合成	21
1.3 约束与约束力	21
1.3.1 约束与约束力的概念	21
1.3.2 柔性约束	21
1.3.3 光滑面约束	22
1.3.4 光滑铰链约束	23
1.3.5 滑动轴承与推力轴承	25
1.4 平衡的概念	25
1.4.1 二力平衡与二力构件	26

1.4.2	不平行的三力平衡条件	27
1.4.3	加减平衡力系原理	27
1.5	受力分析方法与过程	28
1.5.1	受力分析概述	28
1.5.2	受力图绘制方法应用举例	28
1.6	结论与讨论	30
1.6.1	关于约束与约束力	30
1.6.2	关于受力分析	31
1.6.3	关于二力构件	31
1.6.4	关于静力学中某些原理的适应性	31
	习题	32
第2章	力系的简化	36
2.1	力系等效与简化的概念	36
2.1.1	力系的主矢与主矩	36
2.1.2	等效的概念	36
2.1.3	简化的概念	37
2.2	力系简化的基础——力向一点平移	37
2.3	平面力系的简化	38
2.3.1	平面汇交力系与平面力偶系的合成结果	38
2.3.2	平面一般力系向一点简化	38
2.3.3	平面力系的简化结果	39
2.4	固定端约束的约束力	41
2.5	结论与讨论	42
2.5.1	关于力的矢量性质的讨论	42
2.5.2	关于平面力系简化结果的讨论	42
2.5.3	关于实际约束的讨论	42
	习题	43
第3章	工程构件的静力学平衡问题	46
3.1	平面力系的平衡条件与平衡方程	46
3.1.1	平面一般力系的平衡条件与平衡方程	46
3.1.2	平面一般力系平衡方程的其他形式	51
3.2	简单的刚体系统平衡问题	53
3.2.1	刚体系统静定与超静定的概念	53
3.2.2	刚体系统的平衡问题的特点与解法	54
3.3	考虑摩擦时的平衡问题	58
3.3.1	滑动摩擦定律	58
3.3.2	考虑摩擦时构件的平衡问题	59

3.4 结论与讨论	62
3.4.1 关于坐标系和力矩中心的选择	62
3.4.2 关于受力分析的重要性	63
3.4.3 关于求解刚体系统平衡问题时应注意的几个方面	64
3.4.4 摩擦角与自锁的概念	64
3.4.5 空间力系平衡条件与平衡方程简述	66
习题	68

第2篇 材料力学

第4章 材料力学的基本概念	74
4.1 关于材料的基本假定	74
4.1.1 均匀连续性假定	74
4.1.2 各向同性假定	75
4.1.3 小变形假定	75
4.2 弹性杆件的外力与内力	75
4.2.1 外力	75
4.2.2 内力	75
4.2.3 截面法 内力分量	76
4.3 弹性体受力与变形特征	78
4.4 杆件横截面上的应力	78
4.4.1 正应力与切应力定义	78
4.4.2 正应力、切应力与内力分量之间的关系	79
4.5 正应变与切应变	80
4.6 线弹性材料的应力—应变关系	81
4.7 杆件受力与变形的基本形式	81
4.7.1 拉伸或压缩	81
4.7.2 剪切	82
4.7.3 扭转	82
4.7.4 平面弯曲	82
4.7.5 组合受力与变形	83
4.8 结论与讨论	83
4.8.1 关于静力学模型与材料力学模型	83
4.8.2 关于弹性体受力与变形特点	83
4.8.3 关于静力学概念与原理在材料力学中的可用性与限制性	83
习题	84
第5章 杆件的内力图	86
5.1 基本概念与基本方法	86

5.1.1	整体平衡与局部平衡的概念	86
5.1.2	杆件横截面上的内力与外力的相依关系	87
5.1.3	控制面	87
5.1.4	杆件内力分量的正负号规则	87
5.1.5	截面法确定指定横截面上的内力分量	88
5.2	轴力图与扭矩图	89
5.2.1	轴力图	89
5.2.2	扭矩图	91
5.3	剪力图与弯矩图	93
5.3.1	剪力方程与弯矩方程	93
5.3.2	载荷集度、剪力、弯矩之间的微分关系	95
5.3.3	剪力图与弯矩图的绘制	96
5.4	结论与讨论	100
5.4.1	几点重要结论	100
5.4.2	正确应用力系简化方法确定控制面上的内力分量	101
*5.4.3	剪力、弯矩与载荷集度之间的微分关系的证明	101
	习题	102
第6章	拉压杆件的应力变形分析与强度设计	105
6.1	拉伸与压缩杆件的应力与变形	105
6.1.1	应力计算	105
6.1.2	变形计算	106
6.2	拉伸与压缩杆件的强度设计	110
6.2.1	强度设计准则、安全因数与许用应力	111
6.2.2	三类强度计算问题	111
6.2.3	强度设计准则应用举例	111
6.3	拉伸与压缩时材料的力学性能	114
6.3.1	材料拉伸时的应力—应变曲线	114
6.3.2	韧性材料拉伸时的力学性能	115
6.3.3	脆性材料拉伸时的力学性能	116
6.3.4	强度失效概念与失效应力	116
6.3.5	压缩时材料的力学性能	117
6.4	结论与讨论	118
6.4.1	本章的主要结论	118
6.4.2	关于应力和变形公式的应用条件	119
*6.4.3	关于加力点附近区域的应力分布	120
*6.4.4	关于应力集中的概念	120
*6.4.5	拉伸和压缩超静定问题简述	121
	习题	123

第 7 章 梁的强度问题	126
7.1 工程中的弯曲构件	126
7.2 与应力分析相关的截面图形的几何性质	127
7.2.1 静矩、形心及其相互关系	128
7.2.2 惯性矩、极惯性矩、惯性积、惯性半径	129
7.2.3 惯性矩与惯性积的移轴定理	131
7.2.4 惯性矩与惯性积的转轴定理	132
7.2.5 主轴与形心主轴、主惯性矩与形心主惯性矩	132
7.3 平面弯曲时梁横截面上的正应力	134
7.3.1 平面弯曲与纯弯曲的概念	134
7.3.2 纯弯曲时梁横截面上正应力分析	135
7.3.3 梁的弯曲正应力公式的应用与推广	139
7.4 平面弯曲正应力公式应用举例	140
7.5 梁的强度计算	143
7.5.1 梁的失效判据	143
7.5.2 梁的弯曲强度计算准则	143
7.5.3 梁的弯曲强度计算步骤	144
7.6 斜弯曲	149
7.7 弯矩与轴力同时作用时横截面上的正应力	152
7.8 结论与讨论	154
7.8.1 关于弯曲正应力公式的应用条件	154
7.8.2 弯曲切应力的概念	154
7.8.3 关于截面的惯性矩	155
7.8.4 提高梁强度的措施	155
习题	158
第 8 章 梁的位移分析与刚度设计	162
8.1 基本概念	162
8.1.1 梁弯曲后的挠度曲线	162
8.1.2 梁的挠度与转角	163
8.1.3 梁的位移与约束密切相关	164
8.1.4 梁的位移分析的工程意义	164
8.2 小挠度微分方程及其积分	165
8.2.1 小挠度曲线微分方程	165
8.2.2 积分常数的确定 约束条件与连续条件	166
8.3 工程中的叠加法	168
8.3.1 叠加法应用于多个载荷作用的情形	168
8.3.2 叠加法应用于间断性分布载荷作用的情形	170

8.4 简单的超静定梁	171
8.4.1 求解超静定梁的基本方法	171
8.4.2 几种简单的超静定问题示例	171
8.5 梁的刚度设计	173
8.5.1 刚度设计准则	173
8.5.2 刚度设计举例	173
8.6 结论与讨论	175
8.6.1 关于变形和位移的相依关系	175
8.6.2 关于梁的连续光滑曲线	176
8.6.3 关于求解超静定问题的讨论	177
8.6.4 关于求解超静定结构特性的讨论	177
8.6.5 提高刚度的途径	178
习题	181
第9章 圆轴扭转时的应力变形分析与强度刚度设计	185
9.1 工程上传递功率的圆轴及其扭转变形	185
9.2 切应力互等定理	186
9.3 圆轴扭转时的切应力分析	187
9.3.1 变形协调方程	187
9.3.2 弹性范围内的切应力—切应变关系	188
9.3.3 静力学方程	188
9.3.4 圆轴扭转时横截面上的切应力表达式	189
9.4 承受扭转时圆轴的强度设计与刚度设计	191
9.4.1 扭转试验与扭转破坏现象	191
9.4.2 扭转强度设计	192
9.4.3 扭转刚度设计	194
9.5 结论与讨论	196
9.5.1 关于圆轴强度与刚度设计	196
9.5.2 矩形截面杆扭转时的切应力	196
习题	198
第10章 复杂受力时构件的强度设计	201
10.1 基本概念	201
10.1.1 什么是应力状态,为什么要研究应力状态	201
10.1.2 应力状态分析的基本方法	202
10.1.3 建立复杂受力时失效判据的思路与方法	203
10.2 平面应力状态分析——任意方向面上应力的确定	203
10.2.1 方向角与应力分量的正负号约定	204
10.2.2 微元的局部平衡	204

10.2.3	平面应力状态中任意方向面上的正应力与切应力	204
10.3	应力状态中的主应力与最大切应力	206
10.3.1	主平面、主应力与主方向	206
10.3.2	平面应力状态的三个主应力	207
10.3.3	面内最大切应力与一点的最大切应力	207
*10.4	分析应力状态的应力圆方法	210
10.4.1	应力圆方程	210
10.4.2	应力圆的画法	211
10.4.3	应力圆的应用	211
10.5	复杂应力状态下的应力—应变关系 应变能密度	213
10.5.1	广义胡克定律	213
10.5.2	各向同性材料各弹性常数之间的关系	215
10.5.3	总应变能密度	216
10.5.4	体积改变能密度与畸变能密度	217
10.6	复杂应力状态下的强度设计准则	217
10.6.1	最大拉应力准则	218
*10.6.2	最大拉应变准则	219
10.6.3	最大切应力准则	219
10.6.4	畸变能密度准则	220
10.7	圆轴承受弯曲与扭转共同作用时的强度计算	222
10.7.1	计算简图	222
10.7.2	危险点及其应力状态	224
10.7.3	强度设计准则与设计公式	224
10.8	薄壁容器强度设计简述	227
10.8.1	环向应力与纵向应力	227
10.8.2	强度设计简述	228
10.9	结论与讨论	229
10.9.1	平衡方法是分析应力状态最重要、最基本的方法	229
10.9.2	正确应用广义胡克定律	229
10.9.3	应用强度设计准则需要注意的几个问题	230
	习题	231
第 11 章	压杆的稳定性分析与设计	235
11.1	弹性平衡稳定性的基本概念	235
11.1.1	平衡位置的稳定性和不稳定性	235
11.1.2	临界状态与临界载荷	236
11.1.3	三种类型压杆的不同临界状态	236
11.2	细长压杆的临界载荷——欧拉临界力	237