



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

工程力学 2

(第2版)

范钦珊 郭光林 主编
范钦珊 郭光林 张丽华 赵桐 编著



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



面向 21 世纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

工 程 力 学 ₂

G O N G C H E N G L I X U E

(第 2 版)



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是根据教育部高等学校力学基础课程教学指导委员会 2008 年制订的《理论力学和材料力学课程教学基本要求(A 类)》编写的,全书内容分为《工程力学(1)》和《工程力学(2)》两册。

《工程力学(2)》为材料力学内容,分为基础部分与专题部分。基础部分包括材料力学的基本概念、轴向拉伸和压缩、扭转、弯曲内力、弯曲强度、弯曲刚度、应力状态分析、强度理论、组合受力与变形等共 9 章;专题部分包括压杆的平衡稳定性与压杆设计、能量法、简单静不定问题、动载荷与疲劳强度概述等共 4 章。

全书在保持第 1 版特色的基础上,努力满足一般院校基础力学课程的教学要求,同时反映基础力学课程教学第一线最新的教学经验与教学成果。

本书可作为高等学校工科各专业的材料力学课程教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学. 2/范钦珊,郭光林主编. —2 版. —北京:
高等教育出版社,2011. 1

ISBN 978-7-04-030727-6

I. ①工… II. ①范…②郭… III. ①工程力学-高等
学校-教材 IV. ①TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 232846 号

策划编辑	单 蕾	责任编辑	赵向东	封面设计	于 涛
责任绘图	尹 莉	版式设计	马敬茹	责任校对	陈旭颖
责任印制	韩 刚				

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本 787×960 1/16
印 张 25.25
字 数 460 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2002 年 6 月第 1 版
2011 年 1 月第 2 版
印 次 2011 年 1 月第 1 次印刷
定 价 71.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 30727-00

主要符号表

符 号	量 的 名 称
a	间距
A	面积
b	宽度
d	直径, 距离
D	直径
E	弹性模量(杨氏模量)
F	力
F_N	轴力
F_P	载荷
F_{Per}	临界载荷
F_Q	剪力
F_{Ax}, F_{Ay}	A 处铰约束力分量
G	切变模量
h	高度
I	惯性矩
I_p	极惯性矩
I_{yc}	惯性积
K_d	动荷因数
K_f	有效应力集中因数
K_t	理论应力集中因数
l	长度, 跨度
M, M_x, M_y, M_z	弯矩
M_e	外加扭转力偶矩
M_x	扭矩
n	转速

n_{st}	稳定安全因数
N	循环次数
p	内压
P	功率
q	均布载荷集度
r	半径, 应力比
R	半径
S	名义应力
S_r	疲劳极限
v_d	畸变能密度
v_v	体积改变能密度
v_e	应变能密度
w	挠度
W	重量, 弯曲截面系数, 功
W_p	扭转截面系数
α	线膨胀系数
β	角, 表面质量因数
γ	切应变
θ	梁横截面转角, 单位长度相对扭转角
φ	相对扭转角
Δ	变形, 位移
Δ_d	动位移
Δ_s	静位移
δ	厚度
ε	线应变, 尺寸因数
λ	长细比
μ	长度系数
ν	泊松比
ρ	密度, 曲率半径
σ	正应力
$[\sigma]$	许用正应力
σ_b	强度极限
σ_e	弹性极限

σ_s	屈服极限
σ_p	比例极限
$\sigma_{0.2}$	条件屈服极限
σ_{-1}	对称应力循环下的疲劳极限
τ	切应力
$[\tau]$	许用切应力

目 录

基 础 部 分

第 1 章 材料力学的基本概念	3
§ 1-1 材料力学的任务与研究对象	3
1-1-1 材料力学的任务	3
1-1-2 材料力学的研究对象	4
§ 1-2 关于材料的基本假设	5
1-2-1 均匀连续性假设	5
1-2-2 各向同性假设	6
1-2-3 小变形假设	6
§ 1-3 弹性杆件的外力与内力	6
1-3-1 外力	6
1-3-2 内力	7
1-3-3 内力主矢、内力主矩与内力分量	8
1-3-4 截面法	9
1-3-5 杆件变形的基本形式	9
§ 1-4 弹性体受力与变形特征	11
§ 1-5 杆件横截面上的应力	12
1-5-1 正应力与切应力	12
1-5-2 应力与内力分量之间的关系	13
§ 1-6 正应变与切应变	14
§ 1-7 线弹性材料的应力-应变关系	15
§ 1-8 结论与讨论	15
1-8-1 关于理论力学模型与材料力学模型	15
1-8-2 关于弹性体受力与变形特点	16
1-8-3 关于理论力学中的某些概念与原理在材料力学中的可用性与限制性	16
习题	17
第 2 章 轴向拉伸和压缩	19
§ 2-1 工程中的轴向拉伸与压缩问题	19

§ 2-2 轴力与轴力图	20
§ 2-3 杆件在轴向载荷作用下的应力	23
2-3-1 横截面上的应力	23
2-3-2 拉(压)杆斜截面上的应力	24
§ 2-4 拉(压)杆的变形分析	26
2-4-1 绝对变形·弹性模量	26
2-4-2 相对变形·正应变	27
2-4-3 横向变形与泊松比	28
§ 2-5 轴向载荷作用下杆件的应力与变形算例	29
§ 2-6 拉(压)杆的强度计算	31
2-6-1 失效的概念	31
2-6-2 拉伸和压缩杆件的强度条件	32
2-6-3 三类强度计算问题	32
2-6-4 强度计算过程	32
2-6-5 强度计算举例	33
§ 2-7 拉伸和压缩时材料的力学性能	35
2-7-1 标准试样	35
2-7-2 韧性材料与脆性材料拉伸时的应力—应变曲线	36
2-7-3 韧性材料与脆性材料压缩时的应力—应变曲线	37
§ 2-8 常温、静载下材料的力学性能	37
2-8-1 弹性区域内的应力—应变关系	37
2-8-2 屈服与屈服强度	38
2-8-3 强度极限	39
2-8-4 局部变形与颈缩现象	39
2-8-5 表征材料韧性的指标——延伸率与截面收缩率	40
2-8-6 许用应力与安全因数	41
§ 2-9 结论与讨论	42
2-9-1 本章的主要结论	42
2-9-2 关于轴向拉伸(压缩)应力和变形公式的应用条件	42
2-9-3 关于加力点附近区域的应力分布	43
2-9-4 关于应力集中的概念	44
2-9-5 失效原因的初步分析	45
习题	45
第3章 扭转	50
§ 3-1 圆轴承受的外加力偶矩与所传递功率的关系	50
§ 3-2 扭矩与扭矩图	51
§ 3-3 切应力互等定理	53

§ 3-4 圆轴扭转时横截面上的切应力	54
3-4-1 平面假设	54
3-4-2 变形协调方程	54
3-4-3 物性关系——剪切胡克定律	55
3-4-4 静力学方程	56
3-4-5 圆轴扭转时横截面上的切应力表达式	56
§ 3-5 圆轴扭转时的强度条件	59
§ 3-6 圆轴扭转时的变形及刚度条件	61
§ 3-7 连接件的工程假定计算	63
3-7-1 剪切假定计算	63
3-7-2 挤压假定计算	64
§ 3-8 结论与讨论	67
3-8-1 圆轴扭转强度与刚度计算	67
3-8-2 矩形截面杆扭转时横截面上的切应力	68
习题	70
第 4 章 弯曲内力	73
§ 4-1 弯曲问题的力学模型与工程实例	73
4-1-1 工程中承受弯曲的杆件及其力学模型	73
4-1-2 对称弯曲与平面弯曲概念	76
§ 4-2 梁的内力——剪力和弯矩	77
4-2-1 截面法确定梁的剪力与弯矩	77
4-2-2 剪力和弯矩的正负号规则	78
4-2-3 应用举例——确定梁指定截面上的剪力和弯矩	78
§ 4-3 剪力方程与弯矩方程	81
4-3-1 控制面	81
4-3-2 剪力方程与弯矩方程的建立	81
§ 4-4 剪力图与弯矩图	84
§ 4-5 弯矩、剪力与载荷集度之间的关系	89
4-5-1 弯矩、剪力与载荷集度之间的微分关系	90
4-5-2 平衡微分方程在绘制剪力图、弯矩图中的应用	91
§ 4-6 刚架的内力	95
§ 4-7 结论与讨论	98
4-7-1 力系简化在确定控制面上剪力和弯矩时的应用	98
4-7-2 平衡微分方程的灵活应用	99
习题	99
第 5 章 弯曲强度	104
§ 5-1 与应力分析相关的截面图形的几何性质	104

5-1-1 静矩、形心及其相互关系	105
5-1-2 惯性矩、极惯性矩、惯性积、惯性半径	107
5-1-3 惯性矩与惯性积的移轴定理	109
5-1-4 惯性矩与惯性积的转轴定理	110
5-1-5 主轴与形心主轴、主惯性矩与形心主惯性矩的概念	111
5-1-6 组合图形的形心主轴与形心主惯性矩	113
§ 5-2 平面弯曲时梁横截面上的正应力	115
5-2-1 纯弯曲与横力弯曲的概念	115
5-2-2 纯弯曲时梁横截面上的正应力	116
§ 5-3 梁的弯曲正应力公式的应用与推广	120
5-3-1 计算梁的弯曲正应力需要注意的问题	120
5-3-2 纯弯曲正应力可以推广到横力弯曲	121
5-3-3 最大拉应力与最大压应力不等的情形	121
§ 5-4 平面弯曲正应力公式应用举例	122
* § 5-5 薄壁截面梁横截面上的切应力计算公式与推广	124
5-5-1 薄壁截面梁弯曲时横截面上的切应力	124
5-5-2 实心截面梁的弯曲切应力公式	126
5-5-3 薄壁截面梁的弯曲中心	129
§ 5-6 梁的强度计算	131
5-6-1 弯曲强度问题概述	131
5-6-2 梁的强度条件	134
5-6-3 梁的强度算例	135
§ 5-7 结论与讨论	139
5-7-1 实心截面细长梁弯曲切应力与弯曲正应力的量级比较	139
5-7-2 提高构件强度的途径	139
习题	141
第 6 章 弯曲刚度	148
§ 6-1 弯曲变形与位移的基本概念	148
6-1-1 梁弯曲后的挠度曲线	148
6-1-2 梁的挠度与转角	149
6-1-3 梁的位移分析的工程意义	150
§ 6-2 积分法计算梁的变形	151
6-2-1 小挠度微分方程	151
6-2-2 积分常数的确定	152
§ 6-3 工程中计算梁位移的叠加法	156
§ 6-4 梁的刚度条件	162
6-4-1 弯曲刚度条件	162

6-4-2 刚度计算举例	163
§ 6-5 结论与讨论	165
6-5-1 关于变形和位移的相依关系	165
6-5-2 关于梁的连续光滑曲线	166
6-5-3 提高刚度的途径	167
习题	167
第 7 章 应力状态分析	172
§ 7-1 一点处的应力状态概述	172
7-1-1 为什么要引入一点处的应力状态的概念	172
7-1-2 描述一点处的应力状态的基本方法	173
§ 7-2 平面应力状态任意方向面上的应力	175
7-2-1 方向角与应力分量的正负号约定	175
7-2-2 应力状态分析的基本方法——微元的局部平衡	175
7-2-3 平面应力状态中任意方向面上的正应力与切应力	176
§ 7-3 主应力、主方向与面内最大切应力	177
7-3-1 主平面、主应力与主方向	177
7-3-2 平面应力状态的三个主应力	178
7-3-3 用主应力表示的应力状态	178
7-3-4 面内最大切应力与一点处的最大切应力	178
§ 7-4 分析应力状态的应力圆方法	182
7-4-1 应力圆方程	182
7-4-2 应力圆的画法	183
7-4-3 应力圆的应用	184
§ 7-5 三向应力状态的特例分析	185
7-5-1 三组特殊的方向面	185
7-5-2 三向应力状态的应力圆	186
§ 7-6 一般应力状态下各向同性材料的应力—应变关系	190
7-6-1 广义胡克定律	190
7-6-2 各向同性材料各弹性常数之间的关系	192
§ 7-7 一般应力状态下的应变能密度	195
7-7-1 总应变能密度	195
7-7-2 体积改变能密度与畸变能密度	196
§ 7-8 结论与讨论	197
7-8-1 关于应力状态的几点重要结论	197
7-8-2 平衡方法是分析应力状态最重要、最基本的方法	197
7-8-3 怎样将应力圆作为思考和分析问题的重要工具,求解复杂的应力 状态问题	198

7-8-4 关于应力状态的不同的表示方法	199
习题	199
第 8 章 强度理论	202
§ 8-1 建立复杂应力状态下强度条件的难点与解决方案	202
§ 8-2 关于断裂的强度理论	203
8-2-1 断裂失效的三种类型	203
8-2-2 第一强度理论	204
8-2-3 第二强度理论	205
§ 8-3 关于屈服的强度理论	206
8-3-1 第三强度理论	206
8-3-2 第四强度理论	207
§ 8-4 强度理论的应用	208
§ 8-5 结论与讨论	212
8-5-1 关于强度失效的两点说明	212
8-5-2 关于强度理论的应用	213
8-5-3 关于安全因数的确定	213
习题	214
第 9 章 组合受力与变形	217
§ 9-1 斜弯曲	217
9-1-1 斜弯曲正应力	217
9-1-2 中性轴的概念与中性轴的位置	218
9-1-3 最大正应力与强度条件	219
§ 9-2 弯曲与拉伸或压缩同时作用时的强度计算	223
§ 9-3 圆轴承受弯曲与扭转共同作用时的强度计算	225
§ 9-4 结论与讨论	232
9-4-1 加载方向与加载范围	232
9-4-2 关于坐标系与正负号的确定	232
9-4-3 关于强度计算的全过程	232
习题	233

专 题 部 分

第 10 章 压杆的平衡稳定性与压杆设计	241
§ 10-1 弹性体平衡状态稳定性的基本概念	241
10-1-1 弹性稳定性的静力学判别准则	241
10-1-2 弹性压杆的平衡状态及分叉屈曲	241
10-1-3 细长压杆临界点平衡的稳定性	243
§ 10-2 确定临界载荷的平衡方法	243

10-2-1 两端铰支的压杆	243
10-2-2 其他刚性支承的压杆	245
§ 10-3 长细比与压杆分类	246
10-3-1 压杆的长细比	246
10-3-2 三类不同的压杆	246
10-3-3 三类压杆的临界应力公式	247
10-3-4 临界应力总图与 λ_p 、 λ_s 值的确定	247
*§ 10-4 弹性屈曲的试验验证	251
10-4-1 试样	251
10-4-2 加载与位移测量装置	251
10-4-3 试验结果与非线性理论结果的比较	251
§ 10-5 压杆稳定性设计的安全因数法	253
10-5-1 稳定性设计内容	253
10-5-2 安全因数法与稳定性安全条件	253
10-5-3 稳定性设计过程	254
§ 10-6 结论与讨论	258
10-6-1 稳定性问题的特点	258
10-6-2 要重视压杆稳定性分析与稳定性设计	259
10-6-3 要正确应用欧拉公式	260
10-6-4 提高压杆承载能力的途径	261
习题	262
第 11 章 能量法	269
§ 11-1 基本概念	269
11-1-1 作用在弹性杆件上的力所作的常力功和变力功	269
11-1-2 杆件的弹性应变能	270
*§ 11-2 互等定理	272
11-2-1 功的互等定理	272
11-2-2 位移互等定理	274
§ 11-3 虚位移原理与内力虚功	276
11-3-1 虚位移原理	276
11-3-2 各种受力形式下的内力虚功	277
§ 11-4 莫尔方法	279
§ 11-5 计算直杆莫尔积分的图乘法	282
§ 11-6 结论与讨论	288
11-6-1 关于单位力的讨论	288
11-6-2 应用图乘法时弯矩图的另一种画法	288
习题	291

第 12 章 简单静不定问题	294
§ 12-1 静不定问题的概念与方法	294
12-1-1 静定与静不定的概念	294
12-1-2 多余约束的概念与静不定次数	294
12-1-3 求解静不定问题的基本方法	295
§ 12-2 简单静不定问题	296
12-2-1 拉压静不定问题	296
12-2-2 扭转静不定问题	298
12-2-3 简单的静不定梁	299
§ 12-3 力法与正则方程	301
12-3-1 几种不同的静不定系统	301
12-3-2 静定基本系统、相当系统	303
12-3-3 正则方程	305
§ 12-4 对称性与反对称性在求解静不定问题中的应用	310
12-4-1 对称结构的对称变形	310
12-4-2 对称结构的反对称变形	312
12-4-3 对称结构的一般变形及其简化	313
§ 12-5 空间静不定结构的特殊情形	314
§ 12-6 结论与讨论	316
12-6-1 应用力法解静不定问题的步骤	316
12-6-2 关于静定基本系统的不同选择	317
12-6-3 静不定系统的位移计算	317
12-6-4 关于力偶对称性的判断方法	318
习题	319
第 13 章 动载荷与疲劳强度概述	324
§ 13-1 等加速度直线运动构件的动应力分析	324
13-1-1 动应力分析	324
13-1-2 动荷因数	325
§ 13-2 旋转构件的受力分析与动应力计算	325
§ 13-3 弹性杆件上的冲击载荷与冲击应力计算	329
13-3-1 基本假设	329
13-3-2 机械能守恒定律的应用	330
13-3-3 动荷因数	331
§ 13-4 疲劳强度概述	334
13-4-1 交变应力的名词和术语	334
13-4-2 疲劳失效特征	336
§ 13-5 疲劳极限与应力-寿命曲线	339

§ 13-6 影响疲劳寿命的因素	340
13-6-1 应力集中的影响——有效应力集中因数	340
13-6-2 零件尺寸的影响——尺寸因数	341
13-6-3 表面加工质量的影响——表面质量因数	341
§ 13-7 基于无限寿命的疲劳强度设计方法	341
13-7-1 构件寿命的概念	341
13-7-2 无限寿命设计方法——安全因数法	342
13-7-3 等幅对称应力循环下的工作安全因数	343
13-7-4 等幅交变应力作用下的疲劳寿命估算	343
§ 13-8 基于累积损伤概念的有限寿命估算	344
13-8-1 基本概念	344
13-8-2 线性累积损伤理论——迈因纳准则	344
13-8-3 周期性变幅交变应力时的疲劳寿命估算	346
§ 13-9 结论与讨论	348
13-9-1 不同情形下动荷因数具有不同的形式	348
13-9-2 运动物体突然制动或突然刹车时的动载荷与动应力	348
13-9-3 提高构件疲劳强度的途径	349
习题	349
习题答案	354
索引	362
参考文献	367
附录 型钢规格表	368
主编简介	383

工程力学 2(第 2 版)

GongchengLixue

基 础 部 分

