



面向21世纪课程教材

普通高等教育“九五”国家级重点教材

工程力学教程

(II)

范钦珊 主编

庄 茁 王 波 范钦珊 薛克宗 编著

高等教育出版社

面向 21 世纪课程教材

普通高等教育“九五”国家级重点教材

工 程 力 学 教 程 (II)

Engineering Mechanics

范钦珊 主编

庄 茁 王 波 范钦珊 薛克宗 编著

高等教育出版社

·北京·

(京)112 号

图书在版编目(CIP)数据

工程力学教程 (Ⅱ)/范钦珊主编;庄茁等编著. —
北京:高等教育出版社,1998
面向 21 世纪课程教材
普通高等教育“九五”国家级重点教材
ISBN 7-04-006694-7

I. 工… II. ①范… ②庄… 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(98)第 29052 号

*

高等教育出版社出版
北京沙滩后街 55 号
邮政编码:100009 传真:64014048 电话:64054588
新华书店总店北京发行所发行
北京外文印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 18.25 字数 350 000
1998 年 12 月第 1 版 1998 年 12 月第 1 次印刷
印数 0 001—7 424

定价 39.00 元

(含光盘 1 张)

凡购买高等教育出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页等
质量问题者,请与当地图书销售部门联系调换

版权所有,不得翻印

内 容 提 要

本书是教育部《面向 21 世纪高等教育教学内容和课程体系改革计划》项目中“力学系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”项目的第一个研究成果,属于面向 21 世纪课程教材,同时又是国家级重点教材。其特点是:对经典内容加以创新处理,使之更加简练;采用渗透融合的办法,引进面向 21 世纪的新内容;消除重叠,实现原有理论力学与材料力学两门课程的相互贯通;注意启发式教学,为发挥学生学习积极性和创新精神留出了大的思维空间。全书采用模块式结构,便于组装成不同类型的基础力学课程。

全书共三卷,本卷为第(Ⅱ)卷。第(Ⅰ)卷主要包括“刚体静力学”和“弹性静力学(一)”两篇,共 13 章,涵盖了原“静力学”和“材料力学”的基本要求,适用于高等学校工科各类专业;第(Ⅱ)卷主要包括“分析静力学”、“弹性静力学(二)”和“材料的力学行为”三篇共 11 章,可供对基础力学要求较高的高等学校工科各类专业选用;第(Ⅲ)卷主要包括“工程运动学”、“工程动力学(一)”和“工程动力学(二)”三篇,共 15 章,其中部分内容也可供不同专业选用。

本卷附有“材料力学(弹性静力学)问题求解器”软件光盘一张,该软件可为在校学生求解各类弹性静力学计算问题提供重要的辅助分析手段,也可作为工程技术人员进行常规设计的重要工具。

本书责任编辑 余美茵 吴 博

主要符号表

A	面积
a	间距
b	宽度
$C_c(t)$	蠕变柔量
C_R	可靠性因数
D, d	直径
E	弹性模量(杨氏模量)
$E_r(t)$	松弛模量
F	力
F_{Ax}, F_{Ay}	A 处铰支座反力
F_N	轴力
F_P	载荷
F_{Pcr}	临界载荷、分叉载荷
F_Q	剪力
F_T	拉力
F_x, F_y, F_z	力在 x, y, z 方向的分量
F_{X1}	超静定结构中的未知轴力
F_{X2}	超静定结构中的未知剪力
F_{X3}	超静定结构中的未知弯矩
G	切变模量
G_c	临界应变能释放率
g	重力加速度
h	高度
I	惯性矩
I_p	极惯性矩
I_{xy}	惯性积
K_I	I 型裂纹应力强度因子

主要符号表

K_{Ic}	I 型裂纹断裂韧性
K_c	临界应力强度因子
K_t	理论应力集中因数
k	弹簧刚度系数
l, L	长度、跨度
M, M_y, M_z	弯矩, 力偶矩
M_x	扭矩
M_{xt}	横截面上的总扭矩
M_{x1}	自由扭转扭矩
M_{x2}	约束扭转扭矩
m	质量
N	自由度
n	转速, 质点数
$[n]_{st}$	稳定安全因数
P	功率
p	压力
q	分布载荷集度, 广义坐标
R, r	半径
$\bar{r}$	位置矢量(位矢)
S	约束数
T	外加扭转力偶矩, 热力学温度
T_m	熔点温度
t	摄氏温度, 时间
u	水平位移、轴向位移
$[u]$	许用轴向位移
u_p	标准离差
V	总势能, 体积
V_p	非弹性力之保守力的位置势能
V_ϵ	应变能
v	应变比能
v_d	形状改变比能
v_v	体积改变比能
W	功, 重量, 弯曲截面系数
W_p	扭转截面系数

主要符号表

α	倾角,线膨胀系数,材料敏感系数
β	角,表面加工因数
θ	梁横截面的转角,单位长度相对扭转角,角位移
φ	相对扭转角
φ_m	摩擦角
γ	切应变
Δ	变形、位移
δ	厚度
$\delta F(\delta x, \delta y, \delta z)$	虚位移
δW	虚功
ϵ	线应变,尺寸因数
$\bar{\epsilon}$	ϵ 的拉普拉斯变换
$\dot{\epsilon}$	蠕变率
ϵ_e	弹性应变
ϵ_p	塑性应变
ϵ_v	体积应变
η	粘度
λ	柔度,长细比
μ	长度系数
ν	泊松比
ρ	密度,曲率半径
σ	正应力
σ^+	拉应力
σ^-	压应力
$\bar{\sigma}$	平均应力, σ 的拉普拉斯变换
σ_b	强度极限
$[\sigma]$	许用应力
σ_{cr}	临界应力
σ_e	弹性极限
σ_p	比例极限
$\sigma_{0.2}$	条件屈服应力
σ_s	屈服强度,屈服应力
τ	切应力
$[\tau]$	许用切应力

主要符号表

ψ	横截面积减少率
w	挠度

说明：在实施国家标准(GB 3100～3102—93)《量和单位》的过程中,为保证国家标准和现有惯例的衔接,本书作了认真的考虑。例如：

- 1. 国家标准规范的物理量的名称和符号,按国家标准使用,注重量的物理属性。如各种力,包括载荷、约束力和内力,都用 F 作为主符号,而将其特性以下标(或上标)表示,等等。
- 2. 对于量的数学运算,为使书写简单和习惯保持一致,在不致引起混淆的情况下,经征得国家技术监督局同意,采用如下处理方法:运算的中间步骤,在所有量的单位均采用基本单位表示的情况下,省略单位符号,而只在运算的最后结果标明量的单位(需要时再给出其倍数单位)。
- 3. 书中凡重点内容或第一次出现的名词与术语,均用黑体;要点用楷体;一般用宋体。

责任编辑	余美茵	吴 博
封面设计	王凌波	
责任绘图	朱 静	
版式设计	焦东立	
责任校对	王 超	
责任印制	陈伟光	

目 录

第一篇 分析静力学

第 1 章 引 论(1)

1	§ 1-1 刚体静力学与分析静力学比较
4	§ 1-2 分析力学的基本概念
4	1-2-1 约束
6	1-2-2 广义坐标与自由度
7	1-2-3 虚位移与虚功
10	1-2-4 理想约束
10	§ 1-3 结论与讨论
10	1-3-1 结论
11	1-3-2 讨论
12	习题

第 2 章 虚位移原理(14)

14	§ 2-1 虚位移原理及其应用
14	2-1-1 虚位移原理
15	2-1-2 虚位移原理应用概述
16	2-1-3 虚位移原理在简单刚体系统中的应用
20	2-1-4 虚位移原理应用于变形体的形式及其应用初步
22	§ 2-2 势能驻值定理与最小势能原理——虚位移原理的有势力形式
22	2-2-1 保守系统和势能的基本概念
24	2-2-2 势能驻值定理
25	2-2-3 最小势能原理
30	§ 2-3 结论与讨论
30	2-3-1 结论
31	2-3-2 讨论
32	习题

第二篇 弹性静力学(二)

第3章 虚位移原理在弹性杆件问题中的应用(39)

40	§ 3-1 基本概念
40	3-1-1 功和余功
40	3-1-2 应变能和余应变能
41	3-1-3 应变能与余应变能的计算
42	§ 3-2 互等定理
43	3-2-1 功的互等定理
43	3-2-2 位移互等定理
45	§ 3-3 应用于弹性体的虚位移原理
45	3-3-1 原理表述
45	3-3-2 必要条件的简单证明
46	3-3-3 不同的虚位移模式
47	§ 3-4 虚位移原理应用于弹性杆件
47	3-4-1 直接应用——求解位移曲线的近似方程
48	3-4-2 由虚位移原理导出卡氏第一定理
50	§ 3-5 势能驻值定理与最小势能原理在弹性稳定分析中的应用
50	3-5-1 铁摩辛柯法
53	3-5-2 瑞利-里兹法
54	§ 3-6 结论与讨论
54	3-6-1 虚位移原理应用于刚体和弹性体的比较
55	3-6-2 关于虚位移模式的多样性
55	3-6-3 能否通过虚位移原理确定弹性杆的内力和应力
55	3-6-4 怎样减小近似解的误差
56	习题

第4章 虚力原理及其在弹性杆件问题中的应用(63)

64	§ 4-1 虚力原理
64	4-1-1 弹性体的虚力原理
64	4-1-2 关于虚力原理的几点讨论
64	4-1-3 虚力原理应用于求解线性与非线性问题
66	§ 4-2 卡氏第二定理
68	§ 4-3 莫尔法
68	4-3-1 虚力数值等于1时的虚力原理

目 录

69	4-3-2 关于单位力与 Δ_i 的讨论
70	4-3-3 莫尔法应用举例
72	§4-4 图乘法——计算莫尔积分的图解解析法
75	§4-5 应用能量原理求解超静定问题
76	4-5-1 对称结构的对称变形
77	4-5-2 对称结构的反对称变形
78	4-5-3 对称结构的一般变形及其简化
78	4-5-4 空间超静定结构的特殊情形
79	4-5-5 应用卡氏第二定理求解超静定问题
83	4-5-6 图乘法在求解超静定问题中的应用
85	§4-6 结论与讨论
85	4-6-1 不同能量原理与方法之间的关系
85	4-6-2 应用图乘法时弯矩图的另一种绘制方法
86	4-6-3 关于超静定结构位移的确定
90	习题

第5章 开口薄壁截面杆件弹性静力学(104)

105	§5-1 开口薄壁截面杆件应力变形特征
107	§5-2 开口薄壁截面的扇性几何性质
107	5-2-1 扇性面积
107	5-2-2 对于不同极点与零点的扇性面积之间的关系
108	5-2-3 开口薄壁截面的扇性几何性质
109	5-2-4 主扇性面积与主扇性惯性矩
114	§5-3 弯曲中心的扇性几何性质描述
116	§5-4 开口薄壁截面杆件的约束扭转
116	5-4-1 基本假定
116	5-4-2 扭转中心与扭转翘曲位移
117	5-4-3 自由扭转与约束扭转
119	5-4-4 翘曲应力
120	5-4-5 扭转角变化率的微分方程
122	5-4-6 边界条件
124	5-4-7 约束扭转引起的自相平衡力系——双力矩
126	§5-5 杆上作用有均布扭转外力偶时的微分方程及其解答
128	§5-6 一般载荷作用下开口薄壁杆件的应力计算
128	5-6-1 叠加法及其前提
128	5-6-2 载荷的简化
130	5-6-3 算例

目 录

133	§ 5-7 静力等效的影响区域——圣维南原理的适用范围
135	§ 5-8 结论与讨论
135	5-8-1 截面翘曲与约束扭转
135	5-8-2 关于双力矩
135	5-8-3 关于静力等效
136	习题

第三篇 材料的力学行为

第 6 章 复合材料的力学行为(141)

142	§ 6-1 引言
143	§ 6-2 单层纤维复合材料
143	6-2-1 垂直于纤维方向的弹性模量
144	6-2-2 平行于纤维方向的弹性模量
147	§ 6-3 纤维增强效应
147	6-3-1 复合材料中的名义应力与纤维和基体中的实际应力
147	6-3-2 增强效应
149	§ 6-4 单层复合材料的沿轴性态
149	6-4-1 坐标与符号定义
150	6-4-2 柔度矩阵及其确定
151	6-4-3 刚度矩阵及其确定
152	§ 6-5 单层复合材料的离轴性态
152	6-5-1 应力变换
153	6-5-2 应变变换
154	6-5-3 单层复合材料的离轴刚度矩阵与柔度矩阵
157	§ 6-6 单层复合材料的失效判据与设计准则
158	§ 6-7 对称叠层复合材料
159	6-7-1 面内载荷作用下对称叠层复合材料的刚度矩阵
161	6-7-2 面内载荷作用下对称叠层复合材料的柔度矩阵
162	6-7-3 对称叠层复合材料的弯曲性态
162	6-7-4 工程应用实例
165	§ 6-8 结论与讨论
165	6-8-1 结论
165	6-8-2 几点讨论
166	习题

第 7 章 聚合物的粘弹性行为(168)

168	§ 7-1 引言
169	§ 7-2 聚合物的粘弹性行为
169	7-2-1 基本概念
170	7-2-2 两种基本元件
170	7-2-3 串联模型
171	7-2-4 并联模型
174	§ 7-3 拉普拉斯变换的应用
174	7-3-1 变换应用于简单模型
176	7-3-2 标准线性固体模型
177	§ 7-4 聚合物的屈服与应变软化和硬化行为
179	§ 7-5 结论与讨论
179	7-5-1 结论
179	7-5-2 几点讨论
181	习题

第 8 章 材料的非线性粘弹性行为(183)

183	§ 8-1 非线性蠕变分析
185	§ 8-2 非线性应力松弛
186	§ 8-3 工程应用实例
190	§ 8-4 非线性粘弹性构件设计的工程方法
190	8-4-1 等应变线与等时线
191	8-4-2 伪弹性设计方法
191	8-4-3 应用举例
193	§ 8-5 结论与讨论
193	8-5-1 结论
193	8-5-2 关于纯弯梁蠕变正应力分析的讨论
194	8-5-3 关于纯弯梁蠕变位移分析的讨论
195	8-5-4 关于圆轴扭转蠕变时应力与变形分析的讨论
195	8-5-5 关于橡胶的非线性粘弹性行为的讨论
198	习题

第 9 章 材料的屈服与塑性行为(201)

201	§ 9-1 经典屈服准则回顾
-----	----------------

目 录

202	§ 9-2 静水压力效应
204	§ 9-3 材料的塑性行为
204	9-3-1 塑性变形
205	9-3-2 拉延问题
207	§ 9-4 结论与讨论
207	9-4-1 结论
207	9-4-2 关于材料应力-应变关系简化模型的讨论
208	9-4-3 关于结构承载能力的讨论
209	9-4-4 关于残余应力的讨论
210	习题

第 10 章 材料的断裂行为(213)

214	§ 10-1 引言
214	§ 10-2 线性断裂力学基础
214	10-2-1 格里菲斯断裂准则
216	10-2-2 临界应变能释放率的确定
217	§ 10-3 线弹性断裂判据
217	10-3-1 裂纹类型
218	10-3-2 应力强度因子
219	10-3-3 线弹性断裂判据与设计准则
220	§ 10-4 影响裂纹扩展的因素
220	10-4-1 试样的几何尺寸效应
221	10-4-2 温度与晶粒尺寸影响
222	§ 10-5 结论与讨论
222	10-5-1 结论
222	10-5-2 关于塑性变形对裂纹尖端应力场影响的讨论
223	10-5-3 关于断裂韧性 K_{Ic} 的讨论
223	10-5-4 叠加原理在确定应力强度因子中的应用
224	习题

第 11 章 材料的疲劳与损伤行为(225)

226	§ 11-1 引言
226	11-1-1 疲劳失效概述
228	11-1-2 疲劳失效特征
230	11-1-3 疲劳极限与应力-寿命曲线
232	§ 11-2 影响疲劳寿命的因素

目 录

232	11-2-1 应力集中的影响——有效应力集中系数
236	11-2-2 零件尺寸的影响——尺寸因素
237	11-2-3 表面加工质量的影响——表面质量因素
238	11-2-4 载荷频率的影响
238	11-2-5 提高构件疲劳强度的途径
239	§ 11-3 有限寿命设计与无限寿命设计
239	11-3-1 基本概念
240	11-3-2 无限寿命设计方法概述
241	11-3-3 等幅交变应力时的疲劳寿命估算
242	§ 11-4 线性累积损伤理论
242	11-4-1 基本概念
243	11-4-2 线性累积损伤理论——迈因纳准则
244	11-4-3 变幅交变应力作用下的疲劳强度设计
247	11-4-4 周期变幅交变应力时的疲劳寿命估算
249	§ 11-5 疲劳强度可靠性概述
249	11-5-1 疲劳试验结果的分散性
250	11-5-2 标准离差与可靠性的关系
252	§ 11-6 结论与讨论
252	11-6-1 结论
252	11-6-2 关于非对称应力循环疲劳问题的讨论
253	11-6-3 关于应用断裂力学估算疲劳裂纹扩展速度的讨论
255	习题

附录 A 拉普拉斯变换(258)

附录 B 习题答案(260)

附录 C 索引(267)

附录 D 主要参考书目(271)

附录 E 材料力学(弹性静力学)问题求解器使用说明(272)

主编简介 (273)

第一篇 分析静力学

第 1 章 引 论

§ 1-1 刚体静力学与分析静力学比较(1)	1-2-4 理想约束(10)
§ 1-2 分析力学的基本概念(4)	§ 1-3 结论与讨论(10)
1-2-1 约束(4)	1-3-1 结论(10)
1-2-2 广义坐标与自由度(6)	1-3-2 讨论(11)
1-2-3 虚位移与虚功(7)	习题(12)

本章首先分析了刚体静力学在理论和应用上的不足,从而提出了分析静力学的力学模型、基本思想和研究方法。通过二者比较,可以看到:分析静力学提供了静力学最基本、最普遍的原理。它为了解一般的非自由质点系(含弹性体和流体)的平衡问题开辟了新途径;然后初步阐述了不仅对分析静力学,而且对分析动力学也适用的一些基本概念:约束、广义坐标与自由度、虚位移与虚功、理想约束等。

§ 1-1 刚体静力学与分析静力学比较

刚体静力学研究对象的力学模型是刚体;其基本思想是,如果物体系统处于平衡,则寻求作用于其上的外力系(含全部约束力)应该满足的条件,即仅在物体系统