



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

Engineering Mechanics (I)

范钦珊 主编

范钦珊 薛克宗 王 波 编著

高等教育出版社

TB12
F12-3
1

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 (I)
Engineering Mechanics

范钦珊 主编
范钦珊 薛克宗 王波 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 (I)/范钦珊主编;范钦珊等编著.
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 7-04-006444-8

I. 工… II. ①范… ②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(98)第 11844 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 32 字数 620 000
1998 年 8 月第 1 版 1998 年 8 月第 1 次印刷
印数 0 001—7 019
定价:39.80 元

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

0703/3815

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(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 12 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。

本书责任编辑 余美茵

序

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》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,也是著者们多年从事工程力学课程教学内容与体系改革以及科学研究成果的结晶。

本书的绝大部分内容已在清华大学、北方交通大学、上海大学、石家庄铁道学院等院校中试用,几位著者还在全国性的讲习研讨班和 30 多所院校就部分章节内容进行了示范性教学。

作为“力学系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”项目的牵头学校,清华大学根据 21 世纪对高层次人才素质的要求,以及力学学科的发展趋势,提出了面向 21 世纪力学系列课程改革的总体目标是:学时要少,内容要新,水平要高,效果要好。根据“因材施教”的原则,设计了三个不同层次的力学系列课程结构,即:基础型课程(面向工科 100% 的学生);扩展型课程(面向 50%~75% 的工科学生);研究型课程(面向 10%~20% 的工科学生)。工程力学则属于“基础型课程”。

为了实现上述目标,著者在教学改革过程中力求做到以下各点,这些也是我们在本书成书过程中所追求的。

(一)

在教学内容的选取上,一方面对传统的经典内容加以精选,通过贯通、融合和相互渗透,以减少原来理论力学和材料力学两门课程之间的重叠以及每门课程内的罗列现象。这不仅有利于减少教学时数,提高课程的教学效率,而且有利于使读者学会如何寻找事物的内在联系,掌握课程的精华。基于此,本书中体现了:刚体与变形体的贯通;平衡方法的贯通;内力与应力分析方法的贯通;虚位移原理的贯通;质量几何与面积几何的贯通;静力学与动力学的贯通,等等。另一方面,书中应用新的科技成果对某些经典内容加以创新处理,使之富有新意。例如,书中第一次引入了我们自己的研究成果——细长压杆弹性屈曲试验结果,验证了弹性屈曲的临界点的平衡是稳定的。

传统的材料力学是以钢铁为主体的材料力学,已经经历了 300 多年。20 世纪 60 年代以来,聚合物、复合材料、工业陶瓷等新材料越来越多地应用于各个领域,所占比重与钢铁相比越来越大。这表明“材料的力学行为”在工程力学课程教学中已显得非常重要。为此,我们在本书中新

序

编了“复合材料的力学行为”、“聚合物的粘弹性行为”、“材料的非线性粘弹性行为”、“材料的屈服与塑性行为”、“材料的断裂行为”和“材料的疲劳行为”等6章,独立成篇,定名为“材料的力学行为”。

(二)

本书虽然涵盖了原有理论力学和材料力学两门课程的主要经典内容,但不是两门课程的简单相加或合并。著者力求改变过去两门课程各自封闭的体系,消除那些互相隔离、彼此重叠的现象;同时试图改变以往同一门课程的教材类型过多、模式单一的问题,采用分层次和模块式的课程结构。

全书由“刚体静力学”、“弹性静力学(一)”、“分析静力学”、“弹性静力学(二)”、“材料的力学行为”、“工程运动学”、“工程动力学(一)”和“工程动力学(二)”等8个相对独立又相互关联的模块组成。分成《工程力学教程(I)》、《工程力学教程(II)》、《工程力学教程(III)》三卷出版。

采用这样的课程体系的目的是,一是实现两门课程的贯通、融合和渗透。例如,“刚体静力学”中关于力系的等效、简化和平衡的概念和方法,在紧接着的“弹性静力学(一)”中便得到进一步深化,而且更趋完善。又如,“分析静力学”中的虚位移原理,在其后的“弹性静力学(二)”中不仅得以延伸,而且使之更加完整、更加全面。再如,在“工程动力学(一)”中不仅涉及刚体的动力学问题,而且还融入了弹性体的动应力问题。

二是为了便于因材施教,在“弹性静力学”和“工程动力学”部分都各分为(一)和(二)两篇,分别作为课程教学基本要求和课程教学基本要求加宽加深或应用专题部分,供不同的院校选教或者不同层次的学生选学。

三是模块式结构可以组成不同类型的基础力学课程。除了本书的结构外,上述8个模块,加上“工程力学基本实验”,还可以组合成供机械、土木、航空、航天各大类专业以外的一般工程专业用的“工程力学”(“刚体静力学”+“弹性静力学(一)”),也可以组成“应用力学基础”(“刚体静力学”+“弹性静力学(一)”+“分析静力学”+“弹性静力学(二)”)、“材料的力学行为”和“动力学”(“工程运动学”+“工程动力学(一)”+“工程动力学(二)”),供对工程力学要求较高的各专业用。当然也可以组合成“材料力学”(“弹性静力学(一)”+“弹性静力学(二)”+“材料的力学行为”)和“理论力学”(“刚体静力学”+“分析静力学”+“工程运动学”+“工程动力学(一)”+“工程动力学(二)”),等等。

(三)

在教学内容的组织和表达方面,著者注意处理好一般与特殊、分解与综合之间的关系,不图

于一个模式。这样做,一方面是为了提高课程教学起点;另一方面是为了给学生的思维留出一定的空间。

为改变课程内的某些大同小异的罗列现象,本书采用既有分解又有综合,既有特殊到一般又有一般到特殊的表达和叙述方法。在“刚体静力学”中,不采用按力系分类的方法,着重讲解受力分析、力系的等效、力系的简化和力系的平衡等重要概念和方法,将各种力系穿插其中。在弹性静力学中,不采用传统的拉、压、剪、扭、弯的罗列叙述,根据处理工程问题的要求,加强内力分析、应力分析、应力状态分析、失效分析与静力设计这样的常规工程设计思路。

为了给任课教师在教学过程中有一定的自由度,例如可以适当增加某些内容、拓宽学生知识面、采用多种教学形式等,同时也为了给积极思维创造必要的条件,使其有问题可想、有问题可以研究,在很多内容的表达上,不采用面面俱到的办法,而是突出重点,点到为止,让学生去举一反三。

为了加强启发性和研讨性,本书采用类似于科学研究论文和报告的写法,在每一章的最后都安排一节“结论和讨论”,编写了大量的具有思考性和研究性内容。这些内容中,既有前面没有深入阐述的结论,也有推理过程中没有详细涉及的问题,还有关于已讲授内容的可扩展性与可延伸性。采用这种开放式的表达方法,一方面可以培养学生的综合能力,另一方面也为学生创新思维开辟了一个空间。

(四)

面向 21 世纪高等教育教学内容和课程体系的改革,关键在于转变教学思想,其中最重要的是,要重视学生在学习活动中的主体地位,不能将学生单纯视为传授知识的对象,更不能将他们视为“灌输的对象”,要尊重学生自主学习精神。基于此,我们在成书的过程中,除注意对教学内容加以精选外,还注意给学生留出一定的思维空间,启发他们去思考,去研究,去寻找结论,包括某些重要的结论。全书除新编了一些基本训练题外,在教学过程中还为不同层次的学生准备了一些问题,初步形成了“学习研究问题集”(见附录 B),引导学生对所学的知识加以扩展、延伸和综合,学习撰写论文和报告,以利于培养他们的联想能力、综合能力和表达能力。为了培养学生自己提出问题、分析问题和解决问题的能力,本书第(Ⅱ)、(Ⅲ)卷中将不再提供“学习研究问题”,而由学生独立命题。

参加本书编著工作的有范钦珊、薛克宗、王波、程保荣、庄苗、刘燕等,具体分工如下:范钦珊、王波负责“弹性静力学(一)”和“弹性静力学(二)”;薛克宗、程保荣、刘燕、范钦珊负责“刚体静力学”、“分析静力学”、“工程运动学”、“工程动力学(一)”、“工程动力学(二)”;庄苗、范钦珊负责“材料的力学行为”。“序”与“课程总论”由范钦珊撰稿。

书稿由教育部委托基础力学课程教学指导小组组织专家评审,并召开了审稿会,梅凤翔教授、郑芳怀教授、赵志岗教授等对书稿提出宝贵意见;刘卫丹、周传宇、潘登、彭栋军等同学在本书

序

的习题解答、图形设计、制图以及审校等方面都付出了不少辛勤劳动,著者谨向他们表示诚挚的谢意。

参加和将要参加本项目试点的兄弟院校有:北方交通大学、华南理工大学、上海大学、北京建筑工程学院、东北大学、河海大学、沈阳工业学院、长沙铁道学院、石家庄铁道学院、西安工业学院、内蒙古工业大学、甘肃工业大学、辽宁工程技术大学、南京工程兵工程学院、华东交通大学等。对于兄弟院校的精诚合作与支持,著者深表谢忱。

著者

1998年5月16日

于清华大学

主要符号表

A	面积
a	间距
b	宽度
D, d	直径
E	弹性模量(杨氏模量)
f	动摩擦因数
f_s	静摩擦因数
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_R	合力、主矢
F_S	牵引力、拉力
F_T	拉力
F_x, F_y, F_z	力在 x, y, z 方向的分量
G	切变模量
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	弹簧刚度系数
l, L	长度、跨度
m	质量
M, M_y, M_z	弯矩

主要符号表

M_x	扭矩
n	转速
$[n]_{st}$	稳定安全因数
p	压力
P	功率
q	分布载荷集度
R, r	半径
T	外加扭转力偶矩
t	摄氏温度
u	水平位移、轴向位移
$[u]$	许用轴向位移
v_d	形状改变比能
v_v	体积改变比能
v	应变比能
V_e	应变能
W	功,重量,弯曲截面系数
W_p	扭转截面系数
α	倾角,线膨胀系数
β	角
θ	梁横截面的转角,单位长度相对扭转角
φ	相对扭转角
φ_m	摩擦角
γ	切应变
Δ	变形、位移
δ	厚度
ε	线应变
ε_e	弹性应变
ε_p	塑性应变
ε_v	体应变
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

主要符号表

σ^+	拉应力
σ^-	压应力
$\bar{\sigma}$	平均应力
σ_b	强度极限
σ_c	挤压应力
$[\sigma]$	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	屈服应力
τ	切应力
$[\tau]$	许用切应力
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、反力和内力，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
封面设计 王凌波
责任绘图 朱静
版式设计 焦东立
责任校对 朱惠芳
责任印制 宋克学

目 录

课程总论(1)

- 1 | §1 工程与工程力学
- 14 | §2 工程力学的研究对象与模型
- 14 | §3 工程力学的研究方法

第一篇 刚体静力学

第1章 引 论(17)

- 18 | §1-1 刚体静力学模型:刚体、分布力与集中力、理想刚性约束
- 18 | 1-1-1 工程实际对象的力学分析程序
- 18 | 1-1-2 物体的理想化——刚体
- 20 | 1-1-3 受力的理想化——分布力与集中力
- 21 | 1-1-4 物体间接触性质和连接方式的理想化——理想刚性约束
- 27 | §1-2 物体的受力分析方法与受力图
- 31 | §1-3 刚体静力学对变形体静力学的适用性
- 32 | §1-4 结论与讨论
- 32 | 1-4-1 结论
- 33 | 1-4-2 讨论
- 33 | 习题

第2章 力系的等效与简化(40)

- 41 | §2-1 力矩
- 41 | 2-1-1 力对点之矩
- 41 | 2-1-2 力对轴之矩
- 43 | 2-1-3 力对点之矩与力对轴之矩的关系
- 43 | 2-1-4 汇交力系的合力之矩定理
- 44 | §2-2 力系的基本特征量:主矢与主矩
- 44 | 2-2-1 主矢
- 45 | 2-2-2 主矩
- 46 | §2-3 等效力系定理及其对基本力系的应用
- 46 | 2-3-1 等效力系定理

目 录

47	2-3-2 对力偶及力偶系的应用
53	§ 2-4 一般力系的简化
53	2-4-1 力向一点平移定理
54	2-4-2 空间一般力系的简化
56	§ 2-5 力系简化的最后结果与一般力系的合力之矩定理
56	2-5-1 力系简化的最后结果,力螺旋
58	2-5-2 力系有合力时的合力之矩定理
60	§ 2-6 结论与讨论
60	2-6-1 结论
60	2-6-2 讨论
61	习题

第 3 章 力系的平衡(67)

67	§ 3-1 力系的平衡条件与平衡方程
67	3-1-1 平衡条件
68	3-1-2 平衡方程
69	3-1-3 平衡方程的其他形式
69	3-1-4 关于式(3-6)的证明
70	§ 3-2 平面力系平衡方程应用于单刚体
73	§ 3-3 平面力系平衡方程应用于简单多刚体系统
78	§ 3-4 空间力系平衡方程的应用
80	§ 3-5 超静定问题的基本概念
80	3-5-1 物体的自由度概念
80	3-5-2 刚体的三种约束状态
81	3-5-3 静定与超静定问题
82	§ 3-6 结论与讨论
82	3-6-1 结论
84	3-6-2 讨论
84	习题

第 4 章 刚体静力学专门问题(95)

95	§ 4-1 平面静定桁架的静力分析
95	4-1-1 桁架及其工程应用
97	4-1-2 桁架的力学模型
99	4-1-3 桁架静力分析的基本方法
101	§ 4-2 摩擦与考虑摩擦时的平衡问题
101	4-2-1 摩擦的类型
102	4-2-2 滑动摩擦

目 录

103	4-2-3 摩擦角与自锁现象
107	4-2-4 考虑滑动摩擦的平衡问题
113	4-2-5 滚动阻碍
116	§4-3 结论与讨论
116	4-3-1 关于桁架分析的几点结论
117	4-3-2 关于桁架的几点讨论
118	4-3-3 关于摩擦平衡问题的重要结论
118	4-3-4 关于摩擦平衡问题的讨论
119	习题

第二篇 弹性静力学 (一)

第5章 引论(129)

130	§5-1 弹性体及其理想化
130	5-1-1 弹性变形与弹性体
130	5-1-2 各向同性弹性体与各向异性弹性体
130	5-1-3 各向同性弹性体的均匀连续性假定
131	§5-2 弹性体受力与变形特征
132	§5-3 工程结构与构件
132	5-3-1 弹性体的几何分类
132	5-3-2 工程结构及其构件
132	§5-4 结论与讨论
132	习题

第6章 杆件的内力分析(136)

136	§6-1 内力主矢、主矩及内力分量
137	§6-2 平衡微分方程
138	6-2-1 平面载荷作用的情形
140	6-2-2 扭转力偶作用的情形
141	6-2-3 一般情形
142	§6-3 平衡微分方程的应用
142	6-3-1 纵向载荷引起的内力图
143	6-3-2 梁的剪力图与弯矩图
145	6-3-3 刚架的剪力图与弯矩图
147	6-3-4 复杂载荷作用下杆件的内力图
149	§6-4 结论与讨论
149	6-4-1 结论
149	6-4-2 几点重要讨论

第 7 章 弹性杆件横截面上的正应力分析(157)

158	§ 7-1 应力、应变及其相互关系
158	7-1-1 正应力和切应力
158	7-1-2 正应变与切应变
159	7-1-3 线弹性材料的物性关系
160	§ 7-2 杆件横截面上的正应力分析
160	7-2-1 平面假定与变形协调方程
161	7-2-2 应变分布与应力分布
162	7-2-3 静力学平衡方程的应用——待定常数的确定
163	7-2-4 问题的简化——正应力的一般表达式
164	§ 7-3 正应力公式的应用
164	7-3-1 轴向载荷作用下杆件横截面上的正应力
165	7-3-2 平面弯曲正应力
167	7-3-3 斜弯曲时的正应力
167	7-3-4 中性轴的概念及其位置
167	7-3-5 截面核心的概念
168	§ 7-4 应用举例
173	§ 7-5 结论与讨论
173	7-5-1 结论
173	7-5-2 几点重要讨论
176	习题

第 8 章 弹性杆件横截面上的切应力分析(185)

186	§ 8-1 圆轴扭转时横截面上的切应力
187	8-1-1 圆轴扭转变形特征——反对称性论证横截面在变形后保持平面
188	8-1-2 变形协调方程
189	8-1-3 物性关系——剪切胡克定律
189	8-1-4 静力学方程
190	8-1-5 切应力表达式
191	8-1-6 端部加载方式的影响
194	§ 8-2 非圆截面杆扭转时的切应力
194	8-2-1 截面翘曲——非圆截面杆扭转时的变形特征
194	8-2-2 直接由平衡得到的结论
195	8-2-3 薄膜比拟与切应力公式
196	§ 8-3 薄壁梁横截面上的切应力流与弯曲中心
196	8-3-1 切应力流

目 录

198	8-3-2 弯曲中心
201	§8-4 横向载荷作用下开口薄壁杆件扭转变形
201	§8-5 结论与讨论
201	8-5-1 不同变形情形下切应力的不同特点
202	8-5-2 实心截面梁的弯曲切应力
203	8-5-3 实心截面细长梁弯曲正应力与弯曲切应力的量级比较
204	8-5-4 确定内力分量时力系简化中心的不同选择
204	习题

第9章 应力状态分析(214)

215	§9-1 一点处应力状态描述及其分类
216	§9-2 平面应力状态的应力坐标变换
216	9-2-1 正负号规则
216	9-2-2 微元的局部平衡
217	9-2-3 应力坐标变换
218	§9-3 类比法的应用——应力圆
218	9-3-1 应力圆方程
218	9-3-2 几种对应关系
219	9-3-3 应力圆的应用
220	§9-4 主应力、主方向与面内最大切应力
220	9-4-1 主平面、主应力与主方向
221	9-4-2 面内最大切应力
221	9-4-3 应力状态的主应力表示
221	§9-5 三向应力状态的特例分析
222	9-5-1 三组特殊方向面
223	9-5-2 三向应力状态的应力圆
223	9-5-3 一点处应力状态中的最大切应力
224	§9-6 各向同性材料在一般应力状态下的应力-应变关系
224	9-6-1 广义胡克定律
225	9-6-2 各向同性材料各弹性常数之间的关系
226	§9-7 一般应力状态下的应变比能
226	9-7-1 总应变比能
227	9-7-2 体积改变比能与形状改变比能
228	§9-8 应用举例
234	§9-9 结论与讨论
234	9-9-1 关于应力状态的几点重要结论
234	9-9-2 几点讨论
235	习题