



普通高等教育“十五”国家级规划教材

工程力学

陈景秋 张培源

ENGINEERING MECHANICS



高等教育出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材

工 程 力 学

陈景秋 张培源

高等教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程力学 / 陈景秋, 张培源. —北京: 高等教育出版社, 2004. 11

ISBN 7-04-014483-2

I. 工... II. ①陈... ②张... 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(2004)第 103947 号

策划编辑 黄毅 责任编辑 张玉海 封面设计 刘晓翔 责任绘图 吴文信
版式设计 范晓红 责任校对 张颖 责任印制 杨明

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 100011
总机 010-58581000

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 北京未来科学技术研究所
有限责任公司印刷厂

开 本 787×960 1/16
印 张 11.5
字 数 200 000

版 次 2004 年 11 月第 1 版
印 次 2004 年 11 月第 1 次印刷
定 价 13.80 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: 14483-00

内容简介

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材,包括通常理论力学、材料力学和工程流体力学几门课程的基础的内容,介绍了工程力学课程的基本框架和工程中力学问题的建模方法和分析方法,使学生对近代力学学科的全貌有一个最简要的了解。

全书分8章。第1章引言,简介工程力学和几种力学模型;第2章力系的简化和平衡,内容为静力学基本原理,等效力系,平衡力系,平衡方程以及重心;第3章静力分析,内容为杆的内力,桁架和索的内力与应力;第4章弹性静力学,内容为应力和应变的概念,材料的力学行为和杆的基本变形;第5章强度失效和强度准则,内容为强度评价的许用应力法和许用载荷法,经典强度理论;第6章运动学,内容为质点、刚体和连续体运动的描写;第7章动力学,内容为运动微分方程,动力学基本定理,刚体的定点转动与平面运动;第8章流体力学基础,内容为流体静力学,流场的概念,连续方程,动量方程和伯努利方程。

本书可作为高等院校少学时工程力学课程教材,也可作为基础力学教师进修的参考书。第1~7章需要40~44学时,第8章需要6~10学时。用星号(*)标明的章节和用斜体字排印的内容对最少学时可不讲授。

本书获得教育部重点科技项目(编号02058)资助。

前 言

高等学校少学时的工程力学课程,要在 60 学时左右的时间里,讲授涵盖通常理论力学、材料力学和流体力学几门课程的最基础的内容,选择教材内容是一项相当困难的任务。根据当前科学技术发展(特别是工程技术发展)的趋势对于人才培养的要求,基于我们的教学实践,参考国内外一些优秀教材,我们尝试写了这本简明的教科书。我们假设使用本书的学生,已经修完少学时的大学物理、高等数学和线性代数等先行课程。

本书把讲述的重点放在工程力学课程的基本框架和工程中力学问题的建模方法和分析方法,努力使学生对近代力学学科的全貌有一个最简要的了解。

本书可作为高等院校少学时工程力学课程教材,也可作为教师的参考书。第 1~7 章需要 40~44 学时,第 8 章需要 6~10 学时。用星号(*)标明的章节和用斜体字排印的内容对最少学时可不讲授。

教育部重点科技项目(编号 02058)和重庆大学的资助,使作者得以在繁忙的教学和科研任务下无暇完成这本书。

北京理工大学的梅凤翔教授,北京航空航天大学谢传锋教授、王琪教授,华中科技大学陈传免教授,复旦大学丁光宏教授和重庆大学徐铭陶教授认真地审阅了本书原稿,提出了宝贵的修改意见和建议。作者在此一并致以衷心的感谢。

我们希望本书能有一些个性。但囿于作者的水平,本书不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

陈景秋 张培源

于嘉陵江畔

2004 年 7 月

本书常用符号

$Oxyz$	右手直角坐标系, 空间坐标系
e_x, e_y, e_z	右手直角坐标系 $Oxyz$ 的基本单位矢量
x, y, z	空间坐标
$R = [x \ y \ z]^T$	以 (x, y, z) 为空间坐标的点的位矢 R 的坐标矩阵列向量
R_{CA}	以点 C 为起点、点 A 为终点的矢量 R_{CA} , 或称点 A 相对点 C 的位矢
$u = u_x e_x + u_y e_y + u_z e_z$	矢量 u 在 $Oxyz$ 的坐标分解记法
$u(A), u_A$	点 A 处的约束矢量 u
$u = [u_x \ u_y \ u_z]^T$	矢量 u 的坐标列矩阵
$F_i, (F_{ix}, F_{iy}, F_{iz})$	杆的内力及其分量
$M_i, (M_{ix}, M_{iy}, M_{iz})$	杆的内力矩及其分量
$F_e, (F_{ex}, F_{ey}, F_{ez})$	杆的外力及其分量
$M_e, (M_{ex}, M_{ey}, M_{ez})$	杆的外力矩及其分量
m	质量
$I_{\zeta\zeta}$	关于轴 $A\zeta$ 和 $A\xi$ 的惯性积
J_ζ	关于轴 $A\zeta$ 的转动惯量
$v, (v_x, v_y, v_z), v = [v_x \ v_y \ v_z]^T$	速度及其分量、坐标矩阵列向量
$a, (a_x, a_y, a_z), [a] = [a_x \ a_y \ a_z]^T$	加速度及其分量、坐标矩阵列向量
$q, (q_x, q_y, q_z)$	杆的分布外力及其分量
$m, (m_x, m_y, m_z)$	杆的分布外力矩及其分量
$f, (f_x, f_y, f_z)$	体力及其分量
p	面力的面密度, 应力矢量; 动量

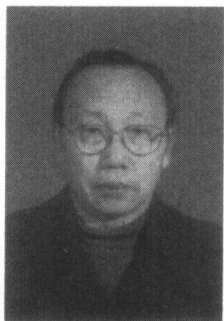
$M_c[u(A)]$	约束矢量 $u(A)$ 对点 $C(x_c, y_c, z_c)$ 的矩
p	液体的压力
L	动量矩

作者简介



陈景秋, 1944 年生于贵阳市。重庆大学工程力学研究所所长、教授、博士生导师。1968 年毕业于北京大学数学力学系数学专业, 1981 年获重庆大学机械工程系硕士学位, 1987 年获德国亚琛大学 (RWTH Aachen) 数学 - 自然科学系博士学位。

兼任教育部科技委数理学部委员和教育部高等学校力学教学指导委员会委员、中国力学学会常务理事、重庆市力学学会理事长。历任重庆大学讲师、副教授、教授、校长助理、副校长。曾受聘德国 SFB401 和 SFB1580 研究计划客座教授和日本东北大学材料研究所 (IMR) 客座教授。发表专著 3 部、论文 50 多篇, 主持完成十多项国家、省、部级科研项目。



张培源, 1941 年生, 重庆市人。重庆大学工程力学系教授。1964 年毕业于西安交通大学数理力学系本科应用力学专业, 1981 年毕业于上海交通大学研究生固体力学专业, 获工学硕士。一直从事力学基础课、固体力学和连续介质力学的教学和研究。曾任重庆大学工程力学系主任, 国家教委、教育部力学专业教学指导委员会第三届委员。

郑 重 声 明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街 4 号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)64014089 64054601 64054588

目 录

本书常用符号	I
第 1 章 引言	1
§ 1.1 工程力学课程的内容和研究方法简介	1
§ 1.2 工程力学研究对象的主要模型	2
§ 1.3 关于数学记号的说明	3
第 2 章 力系的简化和平衡	4
§ 2.1 力的基本概念	4
2.1.1 力的概念	4
2.1.2 力的单位和分类	6
§ 2.2 力系的主矢	8
2.2.1 力的直角坐标分量	8
2.2.2 力系的主矢	8
§ 2.3 力系的主矩	10
2.3.1 力矩	10
2.3.2 力系的主矩	11
2.3.3 力偶和力偶矩	12
2.3.4 力的平移	13
§ 2.4 力系向一点的简化	13
§ 2.5 等效力系和平衡力系	14
2.5.1 等效力系	14
2.5.2 平衡力系和平衡方程	15
§ 2.6 受力分析、约束模型和受力图	17
2.6.1 受力分析	17
2.6.2 约束模型	18
2.6.3 受力图	20
2.6.4 静定问题和静不定问题	20
§ 2.7 平行力系和重心	20
2.7.1 平行力系	20

2.7.2 重心	21
习题	24
第3章 静力分析	27
§3.1 杆的外力与内力	27
3.1.1 杆的几何要素与载荷	27
3.1.2 杆件的内力	28
3.1.3 受拉压直杆的轴力	29
3.1.4 轴的扭矩	30
3.1.5 梁的弯矩和剪力	30
§3.2 平面弯曲梁的内力图	31
3.2.1 梁的平面变形和支承模型	31
3.2.2 弯矩图和剪力图	32
3.2.3 梁元素的平衡	34
3.2.4 弯矩图和剪力图的间断条件	35
§3.3 静定平面桁架的内力	36
3.3.1 桁架	36
3.3.2 节点法	37
§3.4 索的内力	38
3.4.1 索及其简化模型	38
*3.4.2 悬链线	38
*3.4.3 索上悬挂重物	39
习题	39
第4章 弹性静力学	43
§4.1 引论	43
4.1.1 固体力学与连续介质	43
4.1.2 几点基本的假设	43
4.1.3 几何元素的描写	43
§4.2 应力张量	44
4.2.1 应力矢量与应力原理	44
4.2.2 应力张量	45
4.2.3 斜截面上应力矢量	47
4.2.4 坐标系变换	48
4.2.5 主应力	51
4.2.6 典型的应力张量	52
§4.3 应变张量与位移	53
4.3.1 位移与应变	53

4.3.2	应变张量	54
4.3.3	主应变	55
4.3.4	典型的应变张量	55
§ 4.4	材料的力学行为和拉伸试验	56
4.4.1	材料的力学行为和拉伸试验	56
4.4.2	拉伸图描写的材料特征	57
§ 4.5	线弹性本构方程	58
4.5.1	线弹性本构方程	58
4.5.2	胡克(Hooke)介质的本构方程	59
§ 4.6	直杆拉压的应力和变形	59
4.6.1	平截面假设与变形和应力的分布	59
4.6.2	位移表示平衡方程	60
4.6.3	热应力	61
§ 4.7	圆轴扭转的应力和变形	62
4.7.1	变形模式与应力分布	62
4.7.2	扭率与扭矩的关系	64
4.7.3	扭转角的控制方程	65
§ 4.8	直梁弯曲的应力和变形	66
4.8.1	变形和应力	66
4.8.2	轴力和弯矩的等效本构方程	67
4.8.3	应力分布	68
4.8.4	切力和切应力	69
§ 4.9	挠曲线的微分方程	70
4.9.1	挠曲线的微分方程	70
4.9.2	常用静定梁的挠曲线参数	71
* § 4.10	简单静不定问题	74
习题		75
第 5 章	强度失效与强度准则	78
§ 5.1	强度失效和强度评价	78
§ 5.2	许用载荷法、许用应力法及强度条件	79
5.2.1	许用载荷法	79
5.2.2	许用应力法	79
§ 5.3	强度理论	81
5.3.1	最大正应力理论(第一强度理论)	81
5.3.2	最大正应变理论(第二强度理论)	81
5.3.3	最大切应力理论(第三强度理论)	82

5.3.4	应变能密度理论(第四强度理论)	82
5.3.5	剪切强度	84
§ 5.4	组合变形杆的强度条件	84
5.4.1	主应力和应力主方向	84
5.4.2	圆截面杆拉压、弯曲与扭转组合变形的强度条件	85
§ 5.5	刚度条件	87
5.5.1	梁的刚度条件	87
5.5.2	折杆的强度和刚度评价	88
	习题	89
第 6 章	运动学	91
§ 6.1	质点的运动描写	91
6.1.1	质点的坐标与运动描写	91
6.1.2	运动的约束	92
6.1.3	速度	93
6.1.4	加速度	94
§ 6.2	质点系和连续体的运动描写	95
6.2.1	质点系和连续体的运动描写	95
6.2.2	物质坐标和连续体的运动描写	95
6.2.3	刚体的运动描写的物质坐标方法	96
§ 6.3	刚体的定点转动	97
6.3.1	速度和角速度	97
6.3.2	加速度分布和角加速度	98
6.3.3	定轴转动	99
6.3.4	Euler 角	101
§ 6.4	刚体的一般运动和平面运动	102
6.4.1	平动	102
6.4.2	刚体的一般运动	102
6.4.3	刚体的平面运动	103
6.4.4	速度瞬心	105
	习题	106
第 7 章	动力学	107
§ 7.1	牛顿运动定律和质点运动的微分方程	107
7.1.1	牛顿运动定律和惯性坐标系	107
7.1.2	质点运动的微分方程	108
7.1.3	达朗贝尔原理	109
7.1.4	动力学问题的提法	109

§ 7.2 动力学定理	110
7.2.1 动量定理	110
7.2.2 动量矩定理	112
7.2.3 动能定理	113
§ 7.3 质点系和刚体的动量与动量矩定理	115
7.3.1 质点系的动量定理	116
7.3.2 质心运动定理	116
7.3.3 质点系的动量矩定理	117
§ 7.4 刚体的平面运动	119
7.4.1 平面运动刚体的动量和动量矩	119
7.4.2 转动惯量与惯性积	122
§ 7.5 刚体平面运动的微分方程	123
7.5.1 刚体的定轴转动	123
7.5.2 刚体平面运动的一般情况	125
习题	127
第 8 章 流体力学基础	129
§ 8.1 流体静力学	129
8.1.1 流体的物理性质	129
8.1.2 平衡方程	130
8.1.3 重力场中流体内的压力	132
§ 8.2 静流体对物体的作用力	133
8.2.1 任意壁面上的流体静压力	133
8.2.2 平面壁上的液体静压力	134
8.2.3 潜体的受力	136
8.2.4 浮体的受力	136
§ 8.3 流场的描写	136
8.3.1 流场的空间描写	136
8.3.2 流线和流管	138
§ 8.4 连续性方程	139
8.4.1 系统和控制体的概念	139
8.4.2 连续性方程	140
8.4.3 流管的连续性方程	141
§ 8.5 动量方程	142
8.5.1 动量方程的微分形式	142
8.5.2 动量方程的积分形式	142
§ 8.6 伯努利方程	143

习题	147
附录 矩阵和向量	149
参考文献	155
部分习题参考解答	156
名词索引	162
作者简介	168

第1章 引言

§1.1 工程力学课程的内容和研究方法简介

力学是研究物质宏观机械运动的学科。机械运动是指空间位置的变化,例如固体的运动、变形和流体的流动。涉及机械运动的最基本的概念之一就是力。力学基于时间、空间、力、能量和物质等物理概念之上的,是研究物理学、化学、生物学等以及工程技术必需的基础。在科学和工程问题中研究力所引起的运动、变形以及流动等因素的重要性是显然的。由此产生的力学至今已经发展得相当完善,对质点模型、质点系模型和连续体模型的力、运动、变形和流动问题的数学描写和解析处理有了一整套完整的方法和成熟的结果。在科学技术问题中,这些方法和结果已被广泛地应用并作为研究工具。

在传统的工程问题中,尤其是在制造业和土木工程的历史进程中,工程力学始终是最基本和最有力的工具之一。在今天,日新月异发展的高新技术依然是工程力学得到广泛应用并促进工程力学自身迅速发展的领域,例如:大跨度结构必须解决一系列非线性力学问题;高层建筑的风致振动;微型机械在复杂的工作环境中的强度、刚度、振动和平衡稳定性;与水坝设计、施工到在役监测的相关的有限元分析与力学模型实验;作为船体强度设计依据的全船体的有限元分析;航空与航天工程与高速气动力学、计算流体力学、复合材料力学等力学分支的相互推动,等等。即使在生物医学工程这样的领域,在血液动力学、人造肢体和人造器官的力学分析等方面也有令人鼓舞的进展。工程力学在工程技术中的重要应用内容是非常丰富的。

而作为我国高等院校工程类专业的一门课程的工程力学,只能介绍工程力学中最基础的内容。近年来国内外已有不少优秀的工程力学教材问世。本书是为少学时类的工程力学课程而编写的,包括了通常理论力学、材料力学和工程流体力学的最基础的内容。

解决工程技术中力学问题通常从建立研究对象的力学模型开始,进一步则应用力学定律或定理建立数学模型,随后求解数学模型得出问题的答案,最后用

实验检验答案的适用性。

对工程系统的力学问题有理论解法、数值解法和实验方法。在计算技术和数值解法高度发展的今天,数值模拟是非常有效而方便的手段。在我们这门课程里,将讨论一些基础的实验和一些基本的概念和理论解法。学习当中应当特别注意怎样建立数学模型。

§ 1.2 工程力学研究对象的主要模型

将研究对象统称为物体。依研究的不同目的,可以把复杂的研究对象抽象化、简单化为质点模型、质点系模型或连续体模型。连续体又可以分为刚体模型和可变形体模型。可变形体又进一步分为可变形固体模型和流体模型。这两种模型还可以进一步分类。

质点是具有质量的几何点,忽略其形状和尺寸大小。例如,讨论人造地球卫星的周期和轨道时,可将人造地球卫星视为质点。质点系是有限或无限个彼此离散的质点组成的体系。例如,太阳系或其他星系,在一定条件下,均可看作质点系。 N 个天体组成所谓 N 体模型的质点系。

连续介质直观上可以理解为组成物体的物质连续地占满物体所在的空间区域,严格地则意味着数学上可以建立物体与三维欧氏空间一个区域同构。连续介质有可变形与不可变形之分,分别称为刚体和变形体。

刚体、变形体在确定时刻都有确定的几何形状及尺寸、空间区域和质量分布。但是刚体不变形,变形体可变形。所谓不变形,是指物体内部任意两点之间的距离不变。当然质点、刚体等都是简化了的理想的模型,现实世界中不存在只有质量的几何点或受力后不变形的物体。

应当注意连续介质假设适用的范围,例如,当考虑原子尺度的数量级的体积时,定义连续介质流体密度是没有意义的。一个模型的简化正确与否,最终要由实验来判断。

同一对象因为讨论的目的不同,使用的模型可以不同,也可以交替地使用不同的模型。例如,对人造卫星在不同问题中提出的不同模型。当考虑绕地运行轨道时,可将人造卫星简化为质点;当讨论其的姿态控制时,常用多刚体模型,卫星主体和伸展开的太阳能电池等附件,均分别作为刚体,在一定的条件下可以不考虑它们的变形。但在讨论卫星各构件的强度可靠性时,则需要用可变形体模型。