



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

工程力学 I

(第2版)

范钦珊 郭光林 主编
范钦珊 何玉梅 何 斌 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 *1*

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

(第 2 版)

范钦珊 郭光林 主编
范钦珊 何玉梅 何 斌 编著



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,全书分为《工程力学(1)》和《工程力学(2)》两册。

《工程力学(1)》为理论力学内容,分为基础部分与专题部分。基础部分包括力的概念与物体的受力分析、力矩的概念和力系的等效与简化、力系的平衡、静力学专题、运动学基础、点的复合运动、刚体的平面运动、质点动力学、动量定理及其应用、动量矩定理及其应用、动能定理及其应用、达朗贝尔原理共 12 章;专题部分包括虚位移原理、碰撞概述、机械振动基础共 3 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理论力学课程教材,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. 1/范钦珊,郭光林主编.—2 版.
—北京:高等教育出版社,2011.1
ISBN 978-7-04-030728-3

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 215757 号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	咨询电话	400-810-0598
邮政编码	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com http://www.landaco.com.cn
印 刷	高等教育出版社印刷厂	畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	2002 年 6 月第 1 版 2011 年 1 月第 2 版
印 张	20.5	印 次	2011 年 1 月第 1 次印刷
字 数	380 000	定 价	59.00 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 30728-00



面向21世纪课程教材



普通高等教育“十五”
国家级规划教材

第 2 版序

本书第 1 版作为普通高等教育“十五”国家级规划教材和面向 21 世纪课程教材,出版以来得到全国很多院校的老师同学的支持,并被评为北京市高等学校精品教材,这是对编著者的鼓励和厚爱,藉再版之机以表谢忱。

最近几年编著者在全国 30 余所高校讲学的同时,对我国高等学校工程力学(含理论力学和材料力学)课程的教学状况及对工程力学教材的需求进行了调研,与全国 500 多名基础力学老师及近 2 000 名同学交换了关于工程力学教材使用和修改的意见。在此基础上,形成了编写《工程力学》(第 2 版)的基本思路。

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理论、概念与方法,又能了解一些工程力学的最新进展;既能培养学生的力学素质,又能加强工程概念?随着教育教学改革的不断进展,第 2 版教材怎样才能充分反映教学一线的教学经验与最新的教学成果?同时,根据创新教育的要求,第 2 版教材怎样才能创新能力的培养方面发挥作用?所有这些都是很多力学老师所共同关心的问题。

根据上述思路,本书在保持第 1 版特色的基础上,做了如下调整和补充:

(1) 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)》,将全书内容分为基础部分和专题部分,以便任课老师更加方便地组织教学。

(2) 根据大多数院校教学计划中关于两门力学课程的教学顺序安排,以及教学一线老师的建议,将理论力学部分和材料力学部分分别集中编写。全书仍然分为 1、2 两册:《工程力学(1)》为理论力学内容,《工程力学(2)》为材料力学内容。

(3) 考虑到一般院校的实际情况,删去了“复合材料的弹性模量与增强效应”、“聚合物的黏弹性行为”这两章内容。

(4) 根据大部分院校老师的意见,将第 1 版材料力学部分按内力、正应力、切应力、强度、刚度等知识点分章,改为按基本受力和变形即拉压、扭转、剪切、弯曲、组合变形等分章。

(5) 将原来分散在各章的静不定问题集中成章,单独形成“简单的静不定系

统”一章,介绍简单拉压静不定、扭转静不定和静不定梁,最后介绍力法和正则方程求解简单的静不定系统。

(6) 考虑到后续课程和解决工程实际问题的需要,将理论力学部分的碰撞和振动独立成章,分别形成“碰撞概述”和“机械振动基础”两章。

(7) 更新了部分例题和习题。

(8) 对绝大多数插图重新设计和彩色绘制。

第2版《工程力学(1)》共有15章,其中基础部分12章,专题部分3章;《工程力学(2)》共有13章,其中基础部分10章,专题部分3章。

本书由范钦珊、郭光林主编,其中理论力学部分由范钦珊、何玉梅、何斌编写;材料力学部分由范钦珊、郭光林、张丽华、赵桐编写。

《工程力学(1)》和《工程力学(2)》分别承北京航空航天大学王琪教授和大连理工大学郑芳怀教授审阅,两位教授对书稿提出了很好的修改意见,藉本书出版之机,谨向两位教授致以衷心感谢。

本书由编著者在美国休假期间定稿,在美期间清华大学校友吴擎虹、范心洋为编著者提供了很好的工作和生活条件,藉本书第2版出版之际,谨向他们表示诚挚谢意。

范钦珊

2009年10月

于美国加州硅谷

第 1 版序

本书为面向 21 世纪课程教材,是“十五”国家级规划教材,并已列入北京市精品教材计划。

考虑到全国高等教育教学的发展趋势,素质教育和创新精神培养在高等学校基础课程教学中的重要地位,很多院校对力学课程的教学要求越来越高。与此同时,根据人才培养总体优化过程的要求,为了给学生的学习留出一定的时间和空间,在新的教学计划中,课程的教学总学时数大幅度减少。因而,基础力学课程的教学时数也在不断减少。基于此,基础力学课程的教学内容与课程体系需要进行改革已成共识。很多学校的基础力学课程已经由原来的理论力学和材料力学两门课程整合为一门工程力学课程,但还缺乏与之相适应的教材。

著者针对上述教学改革形势,在教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”项目成果的基础上,进一步对基础力学课程的教学内容、课程体系加以分析和研究,力图在新编的工程力学教材中,做到用有限的学时使学生既掌握最基本的经典内容,又能了解基础力学的工程应用以及最新进展,同时还希望这本新编的工程力学(1)、(2)具有较大的适用范围,能够为广大院校所采用。

本书的编写提纲曾经向全国许多院校作过问卷调查,收到 30 多所院校的回函,提出了宝贵意见。根据这些意见,我们在编写过程中努力作了以下几方面的工作。

首先,为了面向全国一般院校各个不同学时类型课程的需求,全书分(1)、(2)两卷,第(1)卷为工程静力学和弹性静力学;第(2)卷为工程运动学、工程动力学和工程力学专题。这种模块式结构可以组合成多种类型学时的工程力学课程:《工程力学(1)》可作为少学时课程的教材;《工程力学(1)》和《工程力学(2)》中的工程运动学、工程动力学则可作为中学时课程的教材;而全书(1)、(2)两卷可作为多学时课程的教材。

《工程力学(2)》中的工程力学专题主要涉及能量法、动应力和材料的力学行为。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,所占比例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,我们在本书中新编了复合材料的力学行为、聚合物的黏弹性行为与伪弹性设计方法以及材料的累积损伤与寿命估算等新内容,这些内容可以供各院校选用。

其次,为了提高课程教学效率,压缩课程教学时数,在教学内容的组织和表达方面,注意处理好一般与特殊、分解与综合之间的关系,不限于一种模式。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。

为此,我们改变原来课程中的某些大同小异的罗列现象,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。例如在工程静力学中,不采用按力系分类的方法,着重讲解受力分析、力系的等效、简化与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、扭和弯的系统,而是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、失效分析与静力学设计这样的常规工程设计思路与方法。

第三,通过贯通和渗透的办法,将原属于材料力学和理论力学的教学内容加以整合,以分析和解决工程实际问题为主要线索,形成一个比较协调的体系。力求让学生学习刚体问题时,有一点变形体概念;学习变形体问题时,有一点刚体的概念。

第四,注意处理好理论分析中定性分析与定量计算之间的关系,加强定性分析。在一些问题中,不追求过细的数学推导,着重分析“问题是什么?”、“问题的性质是什么?”、“解决问题的方法是什么?”。切实保证基本概念、基本理论、基本方法,逐步提高学生的直观判断能力。

第五,加强启发性,引导学生积极思维。在提出问题的基础上,展开理论分析,密切联系广泛的工程实际。对于基本教学内容,阐述时注意深入浅出,使绝大多数学生容易学、容易懂;对于引导思维教学内容,注意留出、留好适当的空间,尽量使多数学生有问题可以想,逐步培养学生提出问题、分析问题和解决问题的能力。

为了引导学生积极思维,逐步培养创新精神,书中每一章的最后都有一节结论与讨论。所涉及的内容中,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。这些内容中,既有比较容易的问题,又有比较深入的问题。

第六,考虑到教育教学改革必然会涉及对学生学习成果的评价方法的改革,原来那种单纯依靠做习题的课外训练方法也需要进行改革。为了适应这种改革的要求,本书第(1)卷中设计了一些带有综合性和研究性的问题,供那些有条件的学生选用,以利于培养他们的综合能力、联想能力、收集和处理信息的能力以

及表达能力。

书中有星号 * 的内容和习题可供不同专业教学选用。

本书由清华大学范钦珊教授和北京航空航天大学王琪教授主编。全书编写分工如下：“工程力学课程总论”由范钦珊编写；“工程静力学”由华东船舶工业学院景荣春教授、范钦珊编写；“弹性静力学”由东北大学刘均副教授、范钦珊编写；“工程运动学”由景荣春编写；“工程动力学”由沈阳工业学院韩一红副教授编写；“工程力学专题”由刘均、范钦珊编写。

承蒙上海交通大学刘延柱教授、大连理工大学郑芳怀教授详细地审阅了本书的初稿，提出了宝贵的修改意见，著者谨向两位教授表示诚挚的谢意。本书编写过程中还得到清华大学等院校的老师 and 研究生等的支持与协助，著者借本书出版之机，对他们表示衷心感谢。

范钦珊

2001年5月1日

于清华大学

(E-mail: fqs-dem@mail. tsinghua. edu. cn)

主要符号表

符 号	量 的 名 称
a	加速度
a_a	绝对加速度
a_C	科里奥利加速度(科氏加速度)
a_e	牵连加速度
a_r	相对加速度
a_n	法向加速度
a_τ	切向加速度
A	面积, 振幅
c	阻尼系数
d	直径, 距离, 力偶臂
e	恢复因数
f	固有频率
F	力
F_I	惯性力
F_{IC}	科氏惯性力
F_{Ie}	牵连惯性力
F_N	法向约束力
F_R	力系主矢
F_{Ax}, F_{Ay}	A 处铰约束力分量
F_x, F_y, F_z	力在坐标轴上的投影
g	重力加速度
I	碰撞冲量
J	转动惯量
k	弹簧刚度系数
l	长度

L_O	动量矩
m	质量
\mathbf{M}	力偶矩矢量
$\mathbf{M}_O(\mathbf{F})$	力对 O 点的力矩矢量
\mathbf{M}_R	合力偶矩矢量
M_{Ox}, M_{Oy}, M_{Oz}	$\mathbf{M}_O(\mathbf{F})$ 在过 O 点的 x, y, z 轴上的投影
$M_x(\mathbf{F}), M_y(\mathbf{F}), M_z(\mathbf{F})$	力 \mathbf{F} 对 x, y, z 轴之矩
N	广义坐标个数
\mathbf{p}	动量
P	功率
q	均布载荷集度
\mathbf{r}	矢径(位矢)
r, R	半径
s	弧长, 弧坐标
t	时间
T	动能, 周期
\mathbf{v}	速度
\mathbf{v}_a	绝对速度
\mathbf{v}_e	牵连速度
\mathbf{v}_r	相对速度
V	势能
W	力的功
$\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$	速度 \mathbf{v} 在三个坐标轴上的投影
$\ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{z}$	加速度 \mathbf{a} 在三个坐标轴上的投影
α	角加速度
β	放大因数
$\delta \mathbf{r}$	虚位移
δ_{st}	静变形
θ	转角, 初位相
λ	频率比
ξ	阻尼比
ρ	曲率半径
ω	角速度
ω_n	固有角频率

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

反盗版举报传真：(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：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

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	殷 然
责任印制	韩 刚

目 录

总论	1
§ 1 工程与工程力学	1
§ 2 工程力学的研究对象与模型	5
2-1 工程力学的研究对象与研究内容	5
2-2 工程力学的两种主要模型	6
§ 3 工程力学的研究方法	6
3-1 两种不同的理论分析方法	6
3-2 工程力学的实验分析方法	7
3-3 工程力学的计算机分析方法	8

基础部分

第 1 章 力的概念与物体的受力分析	13
§ 1-1 静力学模型	13
1-1-1 物体的抽象与简化——刚体	13
1-1-2 集中力和分布力	13
1-1-3 约束	14
§ 1-2 力的基本概念	14
1-2-1 力与力系	14
1-2-2 静力学基本原理	15
§ 1-3 工程中常见的约束与约束力	16
1-3-1 柔性约束	17
1-3-2 刚性约束	17
§ 1-4 受力分析与受力图	21
§ 1-5 结论与讨论	24
1-5-1 本章最基本的概念	24
1-5-2 受力分析方法	25
1-5-3 平衡的概念	25
1-5-4 静力学原理的适用性	25
习题	26

第 2 章 力矩的概念和力系的等效与简化	30
§ 2-1 力对点之矩与力对轴之矩	30
2-1-1 力对点之矩	30
2-1-2 力对轴之矩	31
2-1-3 合力矩定理	32
§ 2-2 力偶与力偶系	34
2-2-1 力偶与力偶系	34
2-2-2 力偶的性质	35
2-2-3 力偶系的合成	37
§ 2-3 力系等效定理	37
2-3-1 力系的主矢和主矩	37
2-3-2 力系等效定理	38
§ 2-4 力系的简化	38
2-4-1 力向一点平移定理	39
2-4-2 空间一般力系的简化	39
2-4-3 力系简化在固定端约束力分析中的应用	41
§ 2-5 结论与讨论	43
2-5-1 力学矢量的性质	43
2-5-2 合力之矩定理及其应用	43
2-5-3 力系简化的最后结果	44
2-5-4 实际约束的简化模型	45
2-5-5 力偶性质及其推论的适用性	45
习题	46
第 3 章 力系的平衡	49
§ 3-1 平衡与平衡条件	49
3-1-1 平衡的概念	49
3-1-2 平衡的充要条件	49
§ 3-2 力系的平衡方程	50
3-2-1 平衡方程的一般形式	50
3-2-2 空间力系的特殊情形	50
§ 3-3 平面力系的平衡方程	51
3-3-1 平面力系平衡方程的一般形式	51
3-3-2 平面力系平衡方程的其他形式	52
§ 3-4 平衡方程的应用	54
§ 3-5 静定和静不定问题的概念	61
§ 3-6 刚体系统平衡问题	61
§ 3-7 结论与讨论	65

3-7-1 受力分析的重要性	65
3-7-2 求解刚体系统平衡问题需要注意的几个问题	66
3-7-3 正确地进行直观判断,提高定性分析能力	67
习题	68
第 4 章 静力学专题	75
§ 4-1 平面静定桁架的静力分析	75
4-1-1 桁架及其工程应用	75
4-1-2 桁架的力学模型	76
4-1-3 桁架静力分析的基本方法	78
§ 4-2 考虑摩擦时的平衡问题	80
4-2-1 工程中的摩擦问题	80
4-2-2 滑动摩擦力·库仑定律	81
4-2-3 摩擦角与自锁现象	82
4-2-4 考虑滑动摩擦时的平衡问题	85
4-2-5 滚动摩阻概述	88
§ 4-3 结论与讨论	92
4-3-1 桁架分析的几点结论	92
4-3-2 关于桁架的几点讨论	92
4-3-3 摩擦平衡问题的重要结论	94
习题	94
第 5 章 运动学基础	98
§ 5-1 质点运动学	98
5-1-1 参考系	98
5-1-2 位矢、速度和加速度	98
§ 5-2 刚体的简单运动	103
5-2-1 平移	103
5-2-2 定轴转动	104
§ 5-3 结论与讨论	109
5-3-1 质点运动学两类问题	109
5-3-2 描述点的运动的不同方法	110
5-3-3 刚体简单运动分析中要注意的问题	110
习题	111
第 6 章 点的复合运动	113
§ 6-1 点的合成运动	113
6-1-1 定参考系和动参考系	113
6-1-2 绝对运动、相对运动和牵连运动	114
§ 6-2 点的速度合成定理	114

§ 6-3	牵连运动为平移时点的加速度合成定理	117
§ 6-4	牵连运动为转动时点的加速度合成定理·科氏加速度	120
6-4-1	由一个反例提出的问题	120
6-4-2	牵连运动为转动时点的加速度合成定理	120
§ 6-5	结论与讨论	126
	习题	128
第 7 章	刚体的平面运动	132
§ 7-1	刚体平面运动方程及运动分解	132
7-1-1	刚体平面运动力学模型的简化	132
7-1-2	刚体平面运动的自由度、广义坐标和运动方程	133
7-1-3	平面运动分解为平移和转动	135
§ 7-2	平面图形上各点的速度分析	136
7-2-1	基点法	136
7-2-2	速度投影定理法	137
7-2-3	瞬时速度中心法	137
§ 7-3	平面图形上各点的加速度分析	143
§ 7-4	运动学综合应用举例	148
§ 7-5	结论与讨论	152
7-5-1	运动分析的方法	152
* 7-5-2	刚体复合运动	152
* 7-5-3	平面图形的角速度 ω 与相对角速度 ω_r	153
	习题	153
第 8 章	质点动力学	157
§ 8-1	质点运动微分方程	157
8-1-1	质点运动微分方程	157
8-1-2	笛卡儿坐标系下的质点运动微分方程	157
8-1-3	自然坐标系下的质点运动微分方程	158
§ 8-2	质点动力学的两类基本问题	159
8-2-1	第一类质点动力学问题——已知运动求力	159
8-2-2	第二类质点动力学问题——已知力求运动	162
§ 8-3	结论与讨论	165
8-3-1	运动的初始条件是决定物体运动的重要因素	165
8-3-2	非惯性系下的质点运动方程	166
	习题	167
第 9 章	动量定理及其应用	170
§ 9-1	动量定理与动量守恒	170
9-1-1	质点系的动量	170

9-1-2 质点系动量定理	171
9-1-3 动量守恒定理	172
§ 9-2 质心运动定理	173
9-2-1 质心运动定理	173
9-2-2 质心运动定理的守恒形式	173
§ 9-3 应用举例	174
§ 9-4 结论与讨论	178
9-4-1 牛顿第二定律与动量定理的微分形式	178
9-4-2 有趣的实例	178
习题	179
第 10 章 动量矩定理及其应用	182
§ 10-1 动量矩定理与动量矩守恒	182
10-1-1 质点系的动量矩	182
10-1-2 质点系的动量矩定理	182
§ 10-2 相对质心的动量矩定理	185
10-2-1 质点系相对质心的动量矩	185
10-2-2 质点系相对质心的动量矩定理	186
§ 10-3 刚体定轴转动微分方程与平面运动微分方程	187
10-3-1 刚体定轴转动微分方程	187
10-3-2 刚体平面运动微分方程	188
§ 10-4 应用举例	189
§ 10-5 结论与讨论	193
10-5-1 几个需要注意的关系	193
10-5-2 刚体的惯性积和惯性主轴	194
习题	195
第 11 章 动能定理及其应用	200
§ 11-1 作用在刚体上力的功、力偶的功	200
11-1-1 定轴转动刚体上外力的功和外力偶的功	200
11-1-2 内力的功	201
§ 11-2 质点系的动能与刚体的动能	202
11-2-1 质点系的动能	202
11-2-2 刚体的动能	203
§ 11-3 动能定理及其应用	204
11-3-1 质点系的动能定理	204
11-3-2 动能定理的应用举例	205
§ 11-4 势能的概念·机械能守恒定律及其应用	208
11-4-1 有势力和势能	208