



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 (Ⅲ)

范钦珊 主编

薛克宗 程保荣 范钦珊 刘 燕 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(Ⅲ)

Engineering Mechanics

范钦珊 主编

薛克宗 程保荣 范钦珊 刘 燕 编著

VD40/17

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 (Ⅲ)/范钦珊主编;薛克宗等编著.
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 7-04-006695-5

I. 工… II. ①范… ②薛… III. 工程力学-高等教育-
教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 33921 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 29 字数 560 000

1998 年 12 月第 1 版 1998 年 12 月第 1 次印刷

印数 0 001-7 429

定价 38.00 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

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(Ⅲ)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。

本书责任编辑 王 晶 黄 毅

主要符号表

符号	量的名称
a	加速度
a_a	绝对加速度
a_e	牵连加速度
a_r	相对加速度
a_C	科里奥利加速度(科氏加速度)
a_τ	切向加速度
a_n	法向加速度
a_{BA}^τ	点 B 相对于基点 A 的切向加速度
a_{BA}^n	点 B 相对于基点 A 的法向加速度
a_r	径向加速度
a_φ	横向加速度
A	面积
c	粘阻系数
C	质心, 重心
d	力偶臂, 直径, 距离
e	恢复因数, 偏心距
E	机械能, 弹性模量
f	频率, 动摩擦因数
f_s	静摩擦因数
F	力
F_N	法向约束力
F_R	主矢, 合力
F_{Ax}, F_{Ay}	A 处的约束力分量
F_I	达朗贝尔惯性力(惯性力)
F_{le}	牵连惯性力
F_{IC}	科里奥利力(科氏力)
g	重力加速度

I	冲量
I_x, I_y, I_z	冲量在 x, y, z 轴上的投影
J	转动惯量
k	弹簧刚度系数
L_O	质点系对点 O 的动量矩
L_x, L_y, L_z	质点系对 x, y, z 轴的动量矩
m	质量
m_{eq}	等效质量
M_O	力系对点 O 的主矩
$M_O(F)$	力 F 对点 O 之矩
M	力偶矩
M_x, M_y, M_z	力系对 x, y, z 轴的主矩
M_f	滚动阻力偶
n	转速
P	功率
p	动量
q	分布载荷
$q_1, q_2, \dots, q_N$	广义坐标
$F_{Q1}, F_{Q2}, \dots, F_{QN}$	广义力
R, r	半径
r	位置矢量(位矢)
s	路程, 弧长, 弧坐标
t	时间
T	周期, 动能
T_d	衰减振动周期
ΔE	能量损失
v	速度
v_a, v_e, v_r	绝对速度, 牵连速度, 相对速度
v_r, v_φ	径向速度, 横向速度
v_{BA}	平面图形上点 B 相对基点 A 的速度
V	势能, 体积
W	功, 重量
α	角加速度
δ	滚动阻碍系数

ρ	曲率半径,回转半径,密度
ζ	阻尼比
λ	频率比
ω	角速度,角频率
ω_0	固有频率
$\omega_x, \omega_y, \omega_z$	角速度沿 x, y, z 轴的分量

说明:在实施国家标准(GB3100~3102—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形下,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	王晶	黄毅
封面设计	王凌波	
责任绘图	杜小丹	吴文信
版式设计	焦东立	
责任校对	胡晓琪	
责任印制	陈伟光	

目 录

第一篇 工程运动学

第1章 引 论(1)

2	§ 1-1 工程运动学的任务
2	§ 1-2 工程运动学与机构的运动分析
3	§ 1-3 工程运动学的模型及其运动形式
3	1-3-1 工程运动学的模型:点与刚体
4	1-3-2 点的运动形式
4	1-3-3 刚体的运动形式
7	§ 1-4 变矢量对时间的导数与动参考系
9	§ 1-5 结论与讨论
9	1-5-1 结论
9	1-5-2 讨论
10	习题

第2章 点的一般运动(13)

13	§ 2-1 变矢量法
13	2-1-1 点的运动方程、速度与加速度
15	2-1-2 速度端图
15	2-1-3 变矢量对时间导数的几何解释
17	§ 2-2 直角坐标法
17	2-2-1 运动方程
18	2-2-2 速度
18	2-2-3 加速度
20	§ 2-3 弧坐标法
20	2-3-1 运动方程
21	2-3-2 密切面与自然轴系
22	2-3-3 速度
23	2-3-4 切向加速度与法向加速度
27	§ 2-4 结论与讨论

27	2-4-1 结论
29	2-4-2 讨论
30	习题

第3章 点的复合运动(34)

35	§3-1 绝对运动、相对运动与牵连运动
36	§3-2 绝对运动方程与相对运动方程关系式
36	3-2-1 变矢量法
36	3-2-2 直角坐标法
38	§3-3 矢量的绝对导数与相对导数
39	3-3-1 矢量的绝对导数与相对导数定义
39	3-3-2 矢量的绝对导数与相对导数关系
41	§3-4 速度合成定理
41	3-4-1 绝对速度、相对速度与牵连速度
41	3-4-2 解析法推证速度合成定理
45	§3-5 加速度合成定理
45	3-5-1 绝对加速度、相对加速度与牵连加速度
45	3-5-2 一个反例
46	3-5-3 特例的几何法证明 科氏加速度
49	3-5-4 解析法证明
52	§3-6 结论与讨论
52	3-6-1 结论
53	3-6-2 讨论
54	习题

第4章 刚体平面运动(62)

63	§4-1 刚体平面运动方程
63	4-1-1 刚体平面运动力学模型的再简化
63	4-1-2 刚体平面运动的自由度、广义坐标和运动方程
65	§4-2 平面运动分解为平移和转动 平面运动的角速度概念
67	§4-3 平面图形上各点的速度分析 瞬时速度中心概念
67	4-3-1 基点法
70	4-3-2 速度投影定理法
71	4-3-3 瞬时速度中心法
75	§4-4 平面图形上各点的加速度分析 瞬时加速度中心概念
75	4-4-1 基点法

82	* 4-4-2 瞬时加速度中心法简述
84	§ 4-5 平面运动分解为转动和转动
85	4-5-1 一种机构的两种运动分解
86	* 4-5-2 刚体绕平行轴转动的角速度合成定理
89	§ 4-6 结论与讨论
89	4-6-1 结论
89	4-6-2 讨论
94	习题

第 5 章 刚体定点转动与刚体一般运动(101)

102	§ 5-1 力学模型的再简化 自由度
102	* § 5-2 用方向余弦矩阵描述刚体定点转动
102	5-2-1 方向余弦矩阵与刚体的有限转动
103	5-2-2 方向余弦矩阵的正交性
103	5-2-3 方向余弦矩阵的约束条件
104	§ 5-3 用欧拉角描述刚体定点转动
104	5-3-1 欧拉角
105	5-3-2 运动方程
106	§ 5-4 达朗贝尔-欧拉位移定理 转动瞬轴与瞬时角速度
106	5-4-1 达朗贝尔-欧拉位移定理
107	5-4-2 转动瞬轴,瞬时角速度与角加速度
108	5-4-3 刚体定点转动的运动性质
109	* § 5-5 刚体绕相交轴转动的角速度合成定理 欧拉运动学方程
109	5-5-1 刚体绕相交轴转动的角速度合成定理
110	5-5-2 欧拉运动学方程
114	§ 5-6 刚体定点转动时各点的速度与加速度分析
117	§ 5-7 刚体一般运动
117	5-7-1 一般运动分解为平移与定点转动
118	5-7-2 自由度、广义坐标和运动方程
118	5-7-3 刚体上各点的速度与加速度分析
120	§ 5-8 结论与讨论
120	5-8-1 结论
121	5-8-2 讨论
123	习题

第二篇 工程动力学(一)

第6章 引 论(129)

130	§ 6-1 工程动力学的任务与地位
130	6-1-1 工程动力学的任务及其中心问题
130	6-1-2 工程动力学的地位
131	§ 6-2 工程动力学的力学模型
131	6-2-1 一般质点系模型
131	6-2-2 连续质点系与离散质点系
132	6-2-3 封闭质点系与开放质点系
132	6-2-4 简单刚体系统与多刚体系统
133	§ 6-3 工程动力学的理论研究方法与课程体系
133	6-3-1 工程动力学理论研究方法
134	6-3-2 工程动力学的课程体系
135	§ 6-4 工程动力学两类应用问题
135	§ 6-5 结论与讨论
135	6-5-1 结论
136	6-5-2 讨论

第7章 质点在惯性与非惯性参考系中的动力学(138)

138	§ 7-1 质点在惯性参考系中的动力学
138	7-1-1 物理学阐述的牛顿第二定律回顾
139	7-1-2 质点在惯性系中的运动微分方程
140	7-1-3 质点动力学第二类问题应用举例
146	§ 7-2 质点在非惯性参考系中的动力学
146	7-2-1 质点在非惯性系中的运动微分方程
148	7-2-2 牵连惯性力与科氏力概念
152	7-2-3 应用举例
155	§ 7-3 结论与讨论
155	7-3-1 结论
156	7-3-2 讨论
158	习题

第 8 章 质点系动量定理(165)

166	§ 8-1 动量定理与质量中心运动定理
166	8-1-1 质点系整体运动的基本特征量之一:动量的主矢
167	8-1-2 物理学中相关内容的回顾与扩展
169	8-1-3 实例分析
171	§ 8-2 应用于简单刚体系统
178	§ 8-3 应用于开放质点系(1):定常质量流
178	8-3-1 质量流的形式与模型
180	8-3-2 动量定理的定常流形式
183	* § 8-4 应用于开放质点系(2):变质量质点运动
183	8-4-1 变质量质点的运动微分方程
185	8-4-2 单级火箭的理想速度表达式
188	§ 8-5 结论与讨论
188	8-5-1 结论
188	8-5-2 讨论
190	习题

第 9 章 质点系动量矩定理(195)

196	§ 9-1 质点系(相对定点)动量矩定理
196	9-1-1 质点系整体运动的基本特征量之二:动量的主矩
196	9-1-2 质点系动量矩定理
199	9-1-3 实例分析
202	§ 9-2 应用于简单刚体系统(1)
208	§ 9-3 质点系动量矩定理的定常流形式
209	§ 9-4 质点系相对质心(平移坐标)动量矩定理
209	9-4-1 质点系相对质心(平移坐标)动量矩
210	9-4-2 质点系相对质心(平移坐标)动量矩定理
211	9-4-3 关于质点系相对质心(平移坐标)动量矩定理的讨论
211	§ 9-5 刚体平面运动微分方程
211	9-5-1 刚体平面运动微分方程
212	9-5-2 实例分析
214	§ 9-6 应用于简单刚体系统(2)
219	§ 9-7 结论与讨论
219	9-7-1 结论
220	9-7-2 讨论
222	习题

第 10 章 质点系动能定理(229)

230	§ 10-1 动量与能量
230	§ 10-2 内力之功与理想约束力之功
231	10-2-1 内力之功
232	10-2-2 一种理想约束力之功
233	§ 10-3 质点系的动能与刚体的动能
233	10-3-1 质点系的动能
235	10-3-2 柯尼希定理
237	10-3-3 刚体的动能
238	§ 10-4 质点系动能定理与机械能守恒
238	10-4-1 质点动能定理
238	10-4-2 质点系动能定理
239	10-4-3 机械能守恒
239	§ 10-5 质点系动能定理应用(1):简单刚体系统
245	* § 10-6 质点系动能定理应用(2):定常流系统
245	10-6-1 伯努利方程
247	10-6-2 落链运动问题
248	§ 10-7 功率与功率方程
248	10-7-1 功率
249	10-7-2 功率方程
250	§ 10-8 质点系普遍定理的综合应用
255	§ 10-9 结论与讨论
255	10-9-1 结论
256	10-9-2 讨论
258	习题

第 11 章 达朗贝尔原理(266)

266	§ 11-1 达朗贝尔原理与惯性力
269	§ 11-2 达朗贝尔原理的质点系形式
270	§ 11-3 刚体惯性力系的简化
270	11-3-1 惯性力系的分布特征
271	11-3-2 惯性力系的主矢与主矩
273	11-3-3 惯性力系的主矢与主矩的物理意义
274	§ 11-4 动静法应用(1):刚体的动约束力分析
278	§ 11-5 动静法应用(2):弹性杆件的动应力分析

283	§ 11-6 结论与讨论
283	11-6-1 结论
284	11-6-2 讨论
286	习题

第 12 章 分析动力学基础(294)

295	§ 12-1 引言
295	12-1-1 分析动力学的发展与拉格朗日的目标
296	12-1-2 分析动力学的研究对象、任务与方法
296	12-1-3 分析动力学的基本概念
301	§ 12-2 达朗贝尔-拉格朗日原理
301	12-2-1 达朗贝尔-拉格朗日原理的推证与表述
301	12-2-2 从达朗贝尔原理推导达朗贝尔-拉格朗日原理的讨论
302	12-2-3 达朗贝尔-拉格朗日原理的应用
304	§ 12-3 拉格朗日方程
305	12-3-1 拉格朗日关系式
305	12-3-2 拉格朗日方程的基本形式
307	12-3-3 拉格朗日方程的有势力形式
307	12-3-4 从达朗贝尔-拉格朗日原理推导拉格朗日方程的讨论
308	12-3-5 拉格朗日方程的应用
311	* 12-3-6 拉格朗日方程的首次积分介绍
314	§ 12-4 结论与讨论
314	12-4-1 结论
315	12-4-2 讨论
316	习题

第三篇 工程动力学(二)

第 13 章 碰 撞(322)

323	§ 13-1 碰撞的力学特征与模型
323	13-1-1 碰撞现象的力学特征
324	13-1-2 完全刚体模型与有局部接触变形的刚体模型
325	§ 13-2 动力学普遍定理在碰撞问题中的应用 恢复因数
325	13-2-1 质点系动量定理的积分形式
325	13-2-2 质点系动量矩定理的积分形式
326	13-2-3 刚体定轴转动与平面运动微分方程的积分形式

326	13-2-4 恢复因数
330	13-2-5 碰撞过程中的动能变化
333	§ 13-3 两球的斜碰撞
335	§ 13-4 刚体的碰撞
335	13-4-1 从“上旋球”看碰撞的刚体模型
337	13-4-2 无摩擦的刚体碰撞与突加约束问题
340	13-4-3 撞击中心
342	§ 13-5 机械能守恒应用于弹性杆件:冲击载荷的计算
345	§ 13-6 结论与讨论
345	13-6-1 结论
346	13-6-2 讨论
348	习题

第 14 章 振 动(354)

355	§ 14-1 振动问题运动微分方程的建立及常见振动问题的分类
358	§ 14-2 单自由度线性系统的自由振动
358	14-2-1 单自由度系统的等效刚度和等效质量 无阻尼自由振动
363	14-2-2 单自由度系统的广义阻力系数 阻尼对自由振动的影响
367	§ 14-3 单自由度线性系统的受迫振动
367	14-3-1 简谐激励的响应(全解)
369	14-3-2 简谐激励的响应(特解研究)
374	14-3-3 受迫振动中的能量关系
376	* § 14-4 研究单自由度系统振动的相平面方法
378	* § 14-5 无阻尼多自由度线性系统的振动
385	§ 14-6 结论与讨论
385	14-6-1 结论
386	14-6-2 关于单自由度系统、多自由度系统和连续系统计算模型的讨论
386	习题

* 第 15 章 三维刚体动力学基础(392)

393	§ 15-1 惯量矩阵
393	15-1-1 物体的惯性概念
393	15-1-2 惯量矩阵
394	15-1-3 转动惯量与惯性积
395	15-1-4 惯量主轴与主转动惯量
397	§ 15-2 刚体对点的动量矩

397	15-2-1 刚体对点的动量矩表达式
399	15-2-2 惯量矩阵的本征值问题
400	§ 15-3 陀螺运动的近似理论
400	15-3-1 莱查定理
401	15-3-2 陀螺运动的近似分析方法
402	15-3-3 三自由度陀螺的力学特性
406	§ 15-4 欧拉动力学方程及其应用介绍
406	15-4-1 欧拉动力学方程
408	15-4-2 无力矩的定点转动刚体作永久转动的稳定性
411	§ 15-5 刚体定点转动与刚体一般运动的动能
411	15-5-1 刚体定点转动的动能
411	15-5-2 刚体一般运动的动能
412	§ 15-6 用拉格朗日方程建立三维刚体动力学模型
414	§ 15-7 结论与讨论
414	15-7-1 结论
415	15-7-2 讨论
418	习题

附录 A 习题答案(423)

附录 B 索引(438)

附录 C 主要参考书目(443)

主编简介(444)

鸣谢(445)