



高等院校力学教材

Textbook in Mechanics for Higher Education

工程力学

原方 主编

Yuan Fang

邵兴 陈丽 吴洁 副主编

Shao Xing Chen Li Wu Jie

清华大学出版社





高等院校力学教材
Textbook in Mechanics for Higher Education

工程力学

原方 主编
Yuan Fang

邵兴 陈丽 吴洁 副主编
Shao Xing Chen Li Wu Jie

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书主要介绍工程力学的基础理论及其应用。正文共 12 章,第 1~3 章为静力学,第 4~9 章为材料力学,第 10 章为运动学,第 11、12 章为动力学。重点内容包括物体及物体系统的静力分析;杆件的强度、刚度、稳定性分析;质点和刚体的运动及动力分析。

本书是在多年教学实践的基础上编写而成的,内容编排新颖,简明扼要。每章附有思考题、习题及答案,另配有电子教案、网络课程(获国家三等奖,网址: <http://www2.zzit.edu.cn/jpkc/index04.htm>)等计算机辅助教学 CAI 课件,便于实施教学和自学。

本书可作为工科院校粮油食品工程、生物、化工、环境、材料、纺织、地质、电子、建筑环境与设备工程等多种本科专业的《工程力学》教材,也可作为职大、业大、函大及专科的教材和教学参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话: 010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/原方主编.邵兴,陈丽,吴洁副主编. —北京:清华大学出版社,2006.6

(高等院校力学教材)

ISBN 7-302-12538-4

I. 工… II. ①原…②邵…③陈…④吴… 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(2006)第 009397 号

出 版 者: 清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客户服务: 010-62776969

组稿编辑: 徐晓飞

文稿编辑: 赵从棉

印 刷 者: 北京市清华园胶印厂

装 订 者: 北京市密云县京文制本装订厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 170×230 印张: 21 字数: 395 千字

版 次: 2006 年 6 月第 1 版 2006 年 6 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-12538-4/O · 516

印 数: 1~4000

定 价: 28.00 元

工程力学编委会名单

主 编：原 方

副主编：邵 兴 陈 丽 吴 洁

编 委（按姓氏拼音为序）：

白 杨	陈 丽	段永辉	姬鸿恩	姬振华
李爱花	李雪林	梁醒培	刘起霞	刘志钦
邵 兴	王现成	吴 洁	原 方	祝彦知

序

就学科性质来讲,力学具有二重性:力学是一门基础科学,它所阐明的规律带有普遍的性质;力学又是一门技术科学,它是许多工程技术的理论基础,又在广泛的应用过程中不断得到发展。力学具有的这种二重性,一方面使力学家感到自豪,因为他们肩负了人类认识自然和改造自然的双重任务;另一方面又使力学学科内容显得庞杂,因为力学内部诸多学科分支各自有所侧重,从而呈现出错综复杂和异彩纷呈的局面。

工程力学是力学的一个学科分支,是力学与工程学相结合的产物。工程力学在工科院校的基础教育与人才培养中具有重要作用。工程力学既要为工科学生用系统和精炼的方式讲授最基本的力学知识,又要根据专业要求有针对性地讲授不同方面和不同层次的课程内容。因此,要编好一本工程力学教材是很不容易的,需要在各个教学环节上下功夫,包括课程体系的构建和革新,教学内容的精选与更新,教学方法的钻研与改进,等等。

本书作者长期从事工科专业的力学教学工作,非常重视教材的建设和经验的积累。本书是在多年教学实践的基础上编成的。在教学内容方面,考虑了专业要求和学科发展的需要。在论述方面,体现了科学严谨和简明扼要的要求;在力学理论与工程实际的结合方面,注意相互呼应和繁简有度。在例题与习题的选取方面,注意与课堂讲授的协调分工和难易适中。除传统教材外,还有电子教案、网络课程等计算机辅助课件可以互相配合。本书的出版,为工科专业中、少学时工程力学课程提供了一本适用的好教材,为促进教学质量的提高贡献了一份力量。

龙驭球

2006 年春于清华园

前 言

为满足中、少学时工程力学课程的教学需要,我们以教育部关于“力学课程教学基本要求”为依据,考虑学科调整和发展以及“十一五”教学的需要,在多年教学实践的基础上,参考了国外多种优秀教材,编写了本书。

本书结构编排新颖,内容简明扼要,通俗易懂,繁简有度,深入浅出,联系工程紧密,引用大量与专业相结合的例题、习题,加强了应用性。为配合课堂教学,本书还配有计算机辅助教学 CAI 课件、电子教案、网络课程等。“运动学 CAI 课件”2005 年获国家三等奖;《工程力学网络课程》获第八届全国多媒体教育软件高等教育和职业教育考试网上课程三等奖,该网络课程网址为:<http://www2.zzit.edu.cn/jpkc/index04.htm>。

全书除绪论外,共 12 章,涵盖了“理论力学”和“材料力学”的基本内容。前 3 章和后 3 章为“理论力学”内容,中间 6 章为“材料力学”内容。

参加本书编写工作的有原方、邵兴、陈丽、吴洁、梁醒培、姬鸿恩、白杨、姬振华、刘起霞、段永辉、刘志钦、王现成、祝彦知、李雪林、李爱花,并由原方担任主编,邵兴、陈丽、吴洁担任副主编。

感谢为本书编写做出前期贡献的于若冰、岑运膺、苏乐道、赵霖等。

衷心感谢龙驭球院士对本书的关心和支持,感谢龙先生在 80 岁寿辰之际为本书作序。

限于作者水平,本书尚有不妥之处,恳请广大教师和读者批评指正。

编 者

2005 年 11 月

主要符号表

符号	量的名称
A	面积
a	加速度
a_a, a_e, a_r	绝对加速度, 牵连加速度, 相对加速度
a_{BA}^t	点 B 相对于基点 A 的切向加速度
a_C	科里奥利加速度 (科氏加速度)
a_{BA}^n	点 B 相对于基点 A 的法向加速度
a_n	法向加速度
a_t	切向加速度
C	质心, 重心
D	直径
d	直径、距离、力偶臂
E	弹性模量 (杨氏模量)
e	偏心距
F	力
F_{cr}	临界载荷
F_N	法向约束力
F_N	轴力
F_R, F'_R	合力, 主矢
F_S	剪力
f_s	静摩擦因数
F_T	拉力
F_x, F_y, F_z	力在 x, y, z 方向的分量
f	动摩擦因数
F_I	惯性力
G	切变模量
h	高度
I_p	极惯性矩
I_{xc}	惯性积
I	惯性矩

J	转动惯量
k	弹簧刚度系数
K	应力集中因数
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
l	长度、跨度
M_e	外力偶矩
M	弯矩
$M_O(F)$	力 F 对点 O 之矩
M_O	力系对点 O 的主矩
M_x, M_y, M_z	力对 x, y, z 轴之矩
M	力偶矩
m	质量
n	转速, 安全因数
$[n_{st}]$	稳定安全因数
p	动量
P	功率
p	内压力
P	重力
q	均布载荷集度
R, r	半径
r	矢径
s	路程、弧长
v	速度
T	扭矩, 周期, 动能
v_a, v_e, v_r	绝对速度, 牵连速度, 相对速度
v_{BA}	平面图形上点 B 相对基点 A 的速度
W_p	抗扭截面系数
W	功、抗弯截面系数
w	挠度
ν	泊松比
μ	长度系数
λ	长细比
α	角加速度

ω	角速度
ψ	截面收缩率
θ	梁横截面的转角
γ	切应变
σ, τ	正应力, 切应力
φ	相对扭转角
ε	应变, 线应变
$\sigma_s, \sigma_{0.2}$	屈服应力, 条件屈服应力
σ_t, σ_c	拉应力, 压应力
$\sigma_b, \sigma_e, \sigma_p$	强度极限, 弹性极限, 比例极限
σ_{cr}	临界应力
σ_{-1}	对称循环时的疲劳极限
$[\tau]$	许用切应力
$[\sigma]$	许用应力

目 录

绪论	1
0.1 工程力学的主要内容	1
0.2 工程力学与生产实践的关系及其研究方法	1
0.3 工程力学的性质与作用	2
 第 1 章 静力学基础	3
1.1 力 力矩 力偶	3
1.2 静力学公理	7
1.3 约束和约束力	9
1.4 物体的受力分析和受力图	12
思考题	15
习题	17
 第 2 章 平面力系	20
2.1 平面汇交力系合成与平衡	20
2.2 平面力偶系的合成与平衡	24
2.3 平面任意力系向作用面内一点简化	25
2.4 平面任意力系的平衡条件和平衡方程	29
2.5 物体系的平衡	33
2.6 考虑摩擦时的平衡问题	37
思考题	43
习题	44

第3章 空间力系	50
3.1 空间中的力、力矩与力偶	50
3.2 空间汇交力系与空间力偶系	54
3.3 空间任意力系	57
3.4 重心	62
思考题	65
习题	65
第4章 材料力学概述	68
4.1 外力及其分类	68
4.2 构件的承载能力	69
4.3 变形固体及其基本假设	70
4.4 内力 截面法	71
4.5 杆件变形的基本形式	72
第5章 拉伸、压缩和剪切	74
5.1 轴向拉伸和压缩的概念	74
5.2 拉(压)杆的内力	75
5.3 拉(压)杆内的应力	77
5.4 拉(压)杆的变形	80
5.5 材料在拉伸和压缩时的力学性能	85
5.6 失效 拉(压)杆的强度条件	90
5.7 应力集中与材料疲劳	95
5.8 简单拉压超静定问题	97
5.9 连接接头的实用计算	101
思考题	106
习题	107
第6章 扭转	112
6.1 扭转的概念	112
6.2 圆轴扭转时的内力	113
6.3 圆轴扭转时的应力及强度条件	116
6.4 圆轴扭转时的变形及刚度条件	122
思考题	125

习题	125
第 7 章 弯曲	130
7.1 平面弯曲的概念	130
7.2 梁的内力 内力图	132
7.3 梁横截面上的应力及强度条件	142
7.4 梁的弯曲变形及刚度条件	152
7.5 提高梁抗弯能力的措施及工程实例	159
7.6 简单超静定梁的解法	163
思考题	166
习题	168
第 8 章 强度理论 组合变形	174
8.1 平面应力状态分析	174
8.2 强度理论	179
8.3 拉伸(压缩)与弯曲组合变形	181
8.4 弯曲与扭转组合变形	188
思考题	192
习题	193
第 9 章 压杆稳定	196
9.1 压杆稳定的概念	196
9.2 细长压杆的临界力	197
9.3 欧拉公式的应用范围 临界应力总图	200
9.4 压杆的稳定计算	203
9.5 提高压杆稳定的措施	207
思考题	208
习题	208
第 10 章 运动学	211
10.1 点的运动学	211
10.2 刚体的平移与定轴转动	218
10.3 点的合成运动	222
10.4 刚体的平面运动	229

思考题	236
习题	238
第 11 章 动力学普遍定理	244
11.1 质点运动微分方程	244
11.2 动量定理	247
11.3 动量矩定理	251
11.4 动能定理	259
思考题	267
习题	268
第 12 章 动静法	272
12.1 质点的动静法	272
12.2 质点系的动静法	274
12.3 刚体惯性力系的简化	275
12.4 转子的轴承动约束力	277
思考题	279
习题	280
附录 A 平面图形的几何性质	283
A.1 静矩和形心	283
A.2 极惯性矩	286
A.3 惯性矩和惯性积	287
A.4 平行移轴公式	289
思考题	291
习题	291
附录 B 常见截面的几何性质	293
附录 C 型钢规格表	295
附录 D 梁在简单载荷作用下的变形	308
习题参考答案	312
参考文献	320

绪 论

0.1 工程力学的主要内容

工程力学是研究物体机械运动一般规律以及构件承载能力的一门学科。本书内容涵盖了“理论力学”和“材料力学”中的大部分内容,理论力学部分又可分为静力学、运动学和动力学三部分。

所谓机械运动是指物体在空间位置随时间的改变。它是一切物质运动最简单、最基本的形式。静止则是机械运动的特殊情况。

工程中的结构元件、机器零部件等都可称为构件。构件在承受载荷或传递运动时,能够正常工作而不破坏,也不发生过大的变形,并能保持原有的平衡形态而不丧失稳定,这就要求构件具有足够的强度、刚度和稳定性。

静力学、运动学和动力学是将物体抽象化为刚体研究力作用于物体时的外部效应,即研究物体机械运动的一般规律。材料力学则是将物体抽象化为变形固体,研究力作用时的内部效应,即研究构件的强度、刚度和稳定性。

0.2 工程力学与生产实践的关系及其研究方法

工程力学对生产实践起着重要的指导作用,为工程中构件的设计和计算提供简便实用的方法,同时又为生产的发展所推动,两者是相互促进、共

同发展的。

工程实际中作机械运动的物体是多种多样的,在外力作用下物体的变形和破坏形式也是各不相同的,这就要求我们在分析研究问题时,必须抓住主要因素,并运用抽象化的方法,得出比较合乎实际的力学模型和强度准则。例如,在研究物体的平衡时,其变形就是次要因素,忽略这一点,就可将真实物体视为刚体。但在研究物体的强度及刚度时,变形就成了主要因素,因此可用变形固体这一力学模型来代表真实物体。

对于工程实际中的问题,运用科学抽象的方法,加以综合、分析,再通过实验与严密的数学推理,从而得到工程中适用的理论公式,以指导实践,并为实践所检验。所以说,工程力学为生产实践提供必要的理论基础。

0.3 工程力学的性质与作用

工程力学是食品工程、化工、生物、冶金、地质、纺织、材料、电子、建筑环境与设备工程等专业的一门技术基础课程。它为简单机构的运动和动力分析以及简单构件的强度、刚度和稳定性计算提供基本理论和基本方法。它在基础课与专业课之间起桥梁作用。因此,学习本门课程的要领应该是重点掌握公理、定律及假设,并以此为依据,利用数学演绎、抽象方法得出简单机构的平衡、运动及杆件受力破坏的规律,并深刻理解基本概念、基本理论、基本方法,同时还需要通过演算一定数量的习题来加深和巩固对所学知识的理解。

对于工科类学生,要求在学完本门课程之后,具有能将简单的工程实际问题抽象为力学模型的初步能力;能够运用基础课知识,尤其是数学、物理的基本理论和方法,并结合本门课程所讲述的内容,对简单机构进行运动和动力分析;能够正确运用强度、刚度和稳定条件对简单受力杆件进行校核和截面选择。这些都将作为学好专业课的重要基础。

第 1 章

静力学基础

静力学研究物体在力系作用下的平衡规律及其应用。

力系是指作用在物体上的一组力。**平衡**是指物体相对惯性参考系保持静止或作匀速直线运动。在静力学中,将研究的物体视为刚体,**刚体**是指在力作用下不变形的物体,是一种理想化的模型。静力学将研究以下三个问题:(1)物体的受力分析;(2)力系的简化:用一个简单力系等效地替换一个复杂力系对物体的作用,称为力系的简化,此两力系互为等效力系;(3)力系的平衡条件及其应用。

静力学的基本概念、公理及物体的受力分析是研究静力学的基础。本章将介绍力、力矩和力偶的概念及静力学公理,并阐述工程中常见的约束和约束力的分析。最后介绍物体的受力分析及受力图,它是解决力学问题的重要环节。

1.1 力 力矩 力偶

1. 力

力是物体间相互的机械作用,这种作用使物体的机械运动状态发生变化或使物体产生变形。前者称为力的**运动效应**或**外效应**,后者称为力的**变形效应**或**内效应**。

实践表明,力对物体的作用效果应决定于三个要素:(1)力的大小,

(2)力的方向,(3)力的作用点。力的三要素表明,力是一个具有固定作用点的定位矢量。常用黑体字母 $\mathbf{F}$ 表示力矢量,而用普通字母 F 表示力的大小。在国际单位制中,力的单位是 N。

已知力 $\mathbf{F}$ 与 x 轴的夹角为 θ ,如图 1-1 所示,则 $\mathbf{F}$ 在 x, y 轴上的投影分别为

$$F_x = F \cos \theta, \quad F_y = F \sin \theta \quad (1-1)$$

力的投影是代数量。力 $\mathbf{F}$ 的分力与其投影之间有下列关系:

$$\mathbf{F}_x = F_x \mathbf{i}, \quad \mathbf{F}_y = F_y \mathbf{j}$$

力 $\mathbf{F}$ 的解析表达式为

$$\mathbf{F} = F_x \mathbf{i} + F_y \mathbf{j} \quad (1-2)$$

其中 $\mathbf{i}, \mathbf{j}$ 分别为 x, y 轴的单位矢量。

如已知力 $\mathbf{F}$ 在平面内两正交轴上的投影 F_x 和 F_y ,则由式(1-2)可求出力 $\mathbf{F}$ 的大小和方向余弦分别为

$$\begin{cases} F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \\ \cos(\mathbf{F}, \mathbf{i}) = \frac{F_x}{F}, \quad \cos(\mathbf{F}, \mathbf{j}) = \frac{F_y}{F} \end{cases} \quad (1-3)$$

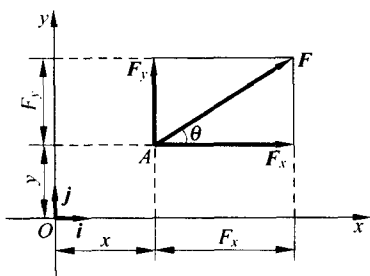


图 1-1

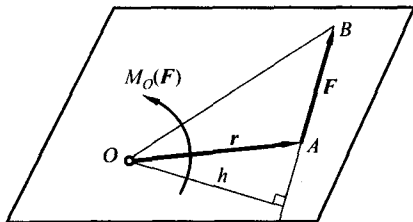


图 1-2

2. 平面力对点的矩

力对点的矩是度量力使刚体绕此点转动效应的物理量。

如图 1-2 所示,力 $\mathbf{F}$ 与点 O 在同一平面内,点 O 称为矩心,点 O 到力的作用线的垂直距离 h 称为力臂,在平面问题中力对点的矩的定义如下。

力对点之矩是一个代数量,它的绝对值等于力的大小与力臂的乘积,它的正负可按法确定:力使物体绕矩心逆时针转向转动时为正,反之为负。

力 $\mathbf{F}$ 对于点 O 的矩以记号 $M_O(\mathbf{F})$ 表示,即

$$M_O(\mathbf{F}) = \pm Fh = \pm 2A_{\triangle OAB} \quad (1-4)$$

其中 $A_{\triangle OAB}$ 为三角形 OAB 的面积。