

材料力学

[美] S. 铁摩辛柯 著
J. 盖 尔

科学出版社

材 料 力 学

[美] S. 铁摩辛柯 I. 盖尔 著

胡 人 礼 译



科 学 出 版 社

1 9 7 8

内 容 简 介

本书内容丰富, 论述系统, 深入浅出, 且有大量的例题和习题, 是材料力学方面的重要著作。

本书内容包括: 承受轴向载荷、扭转和弯曲的结构杆件之分析, 以及材料力学的基本概念, 例如应变能、应力和应变的变换、非弹性性能等等; 还有工程人员所关心的专门课题, 例如热效应、非棱柱形杆、梁的大挠度、非对称梁的弯曲、剪切中心和许多其他问题。在最末一章介绍了结构分析和能量法, 可以作为读者研究现代结构理论之基础。

本书可供高等工业院校师生和有关工程技术人员参考。

S. Timoshenko J. Gere
MECHANICS OF MATERIALS
Van Nostrand Reinhold Company
1972

2095/07

材 料 力 学

[美] S. 铁摩辛柯 J. 盖尔 著
胡 人 礼 译

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

北京印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1978年3月第一版 开本: 787×1092 1/32
1978年3月第一次印刷 印张: 21 3/8
插页: 精2
印数: 精 1—52,050 字数: 486,000
平 1—38,580

统一书号: 13031·660

本社书号: 959·13—2

定价: 布脊精装本 2.35 元
平 装 本 1.95 元

译者序

本书系根据 1972 年所出版铁摩辛柯和盖尔合著名为《Mechanics of Materials》(材料力学)一书译出的。它是铁摩辛柯的新著。

伟大领袖毛主席教导我们,要“打倒奴隶思想,埋葬教条主义,认真学习外国的好经验,也一定研究外国的坏经验”,这是我们对待国外科学技术所应持的根本态度。早在 1930 年,铁摩辛柯出版过名为《Strength of Materials》一书,后来于 1940 年和 1955 年进行了再版。1951 年出版过中译本,亦译为《材料力学》。近一些年来,材料力学有了发展,在此新著中得到了反映。本书共分十一章。它具有内容丰富,编排系统以及阐述深入浅出等特点,既可供初学者阅读,也适于一般工程技术人员参考。但是,同时我们也应看到,此书存在一些问题,譬如,在书后面的“参考文献和历史注释”中对于历史人物的评价,存在不正确的观点,这是我们阅读时应加以分析的。

本书采用英制单位。为了便于读者参考,译者在书的末尾增加了英制单位与公制单位换算表。

本书的翻译和译稿的校核工作得到译者所在单位的领导及同志们的大力支持,特别是王恩惠和郑象铤两位同志对译稿作了全面的校核,谨在此表示感谢。

译者

1976 年

前 言

希望有可能写出这样一本材料力学课本，它能满足初学这门课程的学生和要求一本可信任的参考书的工程技术人员之需要。著者的目标是满足这两方面的要求。我们已尝试借充分的讨论和解释例题，采取利于教学和便于学习的方式，来介绍它的理论和方法，使学生能易于掌握其原理。然而，课文中往往超出了初等课程，而包括较为高等的课题和较为专门的问题。这样，无论对于从事设计还是从事研究的工程技术人员，也不管他是在既有基础上作进一步学习，都将发现这里有许多与其有益的附加材料。

从目录中，可以看出本书所涉及到的论题。这些论题包括承受轴向荷载、扭转和弯曲的结构杆件之分析，以及材料力学的基本概念，例如应变能、应力和应变的变换、非弹性性能等等。对于工程人员所关心的专门课题，包括有热效应、非棱柱形梁、梁的大挠度、非对称梁的弯曲、剪切中心以及许多其它问题。最后，在本书最末一章中，对结构分析和能量法进行了介绍，包括单位荷载法、互等定理、柔度法、刚度法、应变能定理、位能原理、瑞利-里兹法以及余能定理。该章可供读者作为研究现代结构理论之基础。

显然，本书中的材料多于学校正规课程中所要涉及的材料，从而，每一位教师有机会选择他认为是最基本的和最重要的材料。教师还可以挑选本书中几百个新的习题（总数超过了600个习题）作为课余练习或用于课堂讨论。

读者将立即看到在本书的后面收集了广泛的参考文献。

这些参考文献介绍了历史的发展和其主题的最初来源。此外,由于考虑读者对发展该主题的先驱们有很大的兴趣,我们还在参考文献中的许多地方列出了他们的传记注释。

如就书中包括现时所关心的题材为材料力学的全新介绍这一意义来说,本书是“新”的。但是,另一方面它又是“老”的,因为它是从众所周知的铁摩辛柯教授所著两卷名为《Strength of Materials》¹⁾的著作发展而来的。《Strength of Materials》一书最后修订于1955年和1956年,以第三版出版。其第二版出版于1940年和1941年,第一版出版于1930年。此外,第一版实际上是建于俄国出版的较早的几个版本甚至是早在1908年出版的版本基础之上的。著者期望通过本书连同稍晚将要出版的名为《Advanced Mechanics of Materials》(高等材料力学)一书,使上述一系列课本发展到最新水平。

S. 铁摩辛柯

J. 盖 尔

1971年7月,于斯坦福,加利福尼亚

1) 通常译作《材料力学》。——译者注

符 号 表

A	面积、作用力(力或力偶)、常数
a, b, c	尺寸、距离、常数
C	积分常数、形心
c	中性轴至梁外缘表面的距离
D	位移、动未知数
d	直径、尺寸、距离
E	弹性模量、第二类椭圆积分
E_r	折合弹性模量
e	偏心距、尺寸、距离
F	力、第一类椭圆积分、柔度系数
f	剪力流、塑性弯曲的形状系数
f_s	剪切形式系数
G	剪切弹性模量
g	重力加速度
H	距离、力、反力、马力
h	高度、尺寸
I	平面面积的惯性矩(或二次矩)
I_x, I_y, I_z	对 x, y 和 z 轴的惯性矩
I_1, I_2	主惯性矩
I_{xy}	平面面积对 x 轴和 y 轴的惯性积
J	极惯性矩、扭转常数
K	体积弹性模量、柱的有效长度系数
k	用于 $\sqrt{P/ET}$ 的符号

L	长度、跨度
M	弯矩、反力偶
M_p	梁的塑性弯矩
M_y	梁的屈服弯矩
N	轴向力
n	安全系数、数目、比率、整数、每分钟的转数
O	坐标原点
P	集中力、荷载、轴向力
P_{cr}	柱的临界荷载
P_u	极限荷载
P_w	资用荷载或容许荷载
P_y	屈服荷载
p	压力
Q	集中力、平面面积的一次矩(或静力矩)
q	分布荷载的强度(单位距离上的荷载)
q_u	极限荷载
q_y	屈服荷载
R	反力、半径
r	半径、距离、迴转半径($r = \sqrt{I/A}$)
S	力、梁的截面模量、剪切中心、刚度系数
s	距离、沿曲线的长度
T	温度、扭转力偶或扭矩
T_u	极限扭矩
T_y	屈服扭矩
t	厚度
U	应变能
u	单位体积的应变能
$U★$	余能

u ★	单位体积的余能
V	剪力、体积
v	挠度、速度
v', v'' 等	$dv/dx, d^2v/dx^2$ 等
W	重量、功
W ★	余功
X	静赘余力
x, y, z	直角坐标、距离
$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$	形心坐标
Z	梁的塑性模量
α	角、热膨胀系数、比率
α_s	剪切系数
β	角
γ	剪切应变、单位体积的重量
$\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$	xy, yz 和 zx 平面内的剪切应变
γ_θ	对于斜轴的剪切应变
δ, Δ	挠度、位移、伸长量
ϵ	法向应变
$\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$	顺 x, y 和 z 方向的法向应变
$\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$	主法向应变
ϵ_y	屈服应变
ϵ_θ	对于斜轴的法向应变
θ	角、单位长度的扭转角、梁轴旋转角
θ_p	对主平面的角或对主轴的角
θ_s	对最大剪应力平面的角
κ	曲率($\kappa=1/\rho$)
κ_y	屈服曲率
λ	距离

ρ	半径、曲率半径、极坐标中的径向距离
ν	泊松比
σ	法向应力
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	与 x, y 和 z 轴相垂直平面上的法向应力
σ_θ	斜平面上的法向应力
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	主应力
σ_{cr}	柱的临界应力($\sigma_{cr} = P_{cr}/A$)
σ_r	残余应力
σ_u	极限应力
σ_w	资用应力或容许应力
σ_y	屈服应力
τ	剪应力
$\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$	与 x, y 和 z 轴相垂直平面上平行于 y, z 和 x 轴的剪应力
τ_θ	斜平面上的剪应力
τ_u	极限剪应力
τ_w	资用剪应力或容许剪应力
τ_y	屈服剪应力
ϕ	角、扭转角
ψ	无量纲系数
ω	角速度

目 录

符号表	ix
第一章 拉伸、压缩和剪切	1
1.1 引言	1
1.2 应力和应变	2
1.3 拉伸试验	4
1.4 线性弹性和虎克定律	8
1.5 承受轴向荷载的杆的变位	12
1.6 静不定结构	15
1.7 热效应和预应变效应	24
1.8 非线性状态	27
1.9 剪应力和剪切应变	32
1.10 应变能	35
习题	43
第二章 应力和应变的分析	55
2.1 斜平面上的应力	55
2.2 双轴应力	59
2.3 纯剪	64
2.4 双轴应力的莫尔圆	67
2.5 平面应力	70
2.6 平面应力的莫尔圆	76
2.7 三轴应力	79
2.8 平面应变	83
习题	90
第三章 扭转	95
3.1 圆杆的扭转	95

• v •

3.2	空心圆杆的扭转	101
3.3	扭转应变能	104
3.4	薄壁管	106
3.5	圆杆的非弹性扭转	112
	习题	115
第四章	剪力和弯矩	121
4.1	梁的类型	121
4.2	梁中的应力合力	123
4.3	荷载、剪力和弯矩之间的关系	127
4.4	剪力图和弯矩图	130
	习题	138
第五章	梁中的应力	146
5.1	梁中的法向应力	146
5.2	梁的设计	154
5.3	梁中的剪应力	159
5.4	圆形横截面梁中的剪应力	167
5.5	合成梁	169
5.6	梁中的主应力	172
5.7	非棱柱形梁中的应力	176
5.8	组合梁	184
5.9	弯曲和扭转的组合	192
5.10	弯曲和轴向荷载的组合	195
	习题	201
第六章	梁的挠度	215
6.1	挠度曲线的微分方程	215
6.2	简单梁	219
6.3	悬臂梁	224
6.4	力矩-面积法	226
6.5	叠加法	232
6.6	非棱柱形梁	237

6.7	有限差分法	241
6.8	弯曲应变能	246
6.9	与挠度成比例的荷载	250
6.10	热效应	254
6.11	剪切变形的效应	256
6.12	梁的大挠度	264
	习题	269
第七章	静不定梁	280
7.1	静不定梁	280
7.2	挠度曲线的微分方程	282
7.3	迭加法	285
7.4	力矩-面积法	295
7.5	有限差分法	299
7.6	连续梁	301
7.7	热效应	309
7.8	梁端的水平位移	311
	习题	314
第八章	非对称弯曲	324
8.1	承受斜荷载的对称梁	324
8.2	非对称梁的纯弯曲	327
8.3	非对称梁由于横向荷载引起的弯曲	333
8.4	薄壁开口横截面梁中的剪应力	337
8.5	薄壁开口横截面的剪切中心	344
8.6	绕非主轴弯曲的梁中剪应力	351
	习题	358
第九章	非弹性弯曲	366
9.1	引言	366
9.2	非弹性弯曲方程	367
9.3	塑性弯曲	368
9.4	塑性铰	377

9.5	梁的塑性分析	379
9.6	挠度	390
9.7	非弹性弯曲	394
9.8	残余应力	401
	习题	403
第十章	柱	411
10.1	承受偏心轴向荷载的柱	411
10.2	柱的临界荷载	416
10.3	柱中的应力	424
10.4	柱的正割公式	427
10.5	柱的缺陷	430
10.6	柱的设计公式	433
	习题	436
第十一章	结构分析和能量法	442
11.1	引言	442
11.2	虚功原理	443
11.3	用以计算位移的单位荷载法	448
11.4	梁的剪切挠度	466
11.5	互等定理	472
11.6	柔度法	480
11.7	刚度法	495
11.8	应变能和余能	510
11.9	应变能法	520
11.10	势能法	531
11.11	瑞利-里兹法	535
11.12	余能原理	548
11.13	力法	556
11.14	卡斯提里阿诺第二定理	560
11.15	应变能和柔度法	563
11.16	结构分析的其它方法	565

习题	566
参考文献和历史注释	583
附录 A 平面面积的特性	603
A. 1 面积的形心	603
A. 2 组合面积的形心	606
A. 3 面积的惯性矩	608
A. 4 极惯性矩	610
A. 5 平行轴定理	613
A. 6 惯性积	614
A. 7 轴的旋转	617
A. 8 主轴	619
习题	621
附录 B 平面面积的特性	626
附录 C 几种结构型钢的特性	629
附录 D 梁的挠度和斜度	635
习题答案	642
英制-公制单位换算	666

第一章 拉伸、压缩和剪切

1.1 引言

材料力学是应用力学的一个分支，它讨论固体在承受各种荷载时的性能。它是以“材料强度”和“变形体力学”等不同名称为人们所熟知的研究领域。本书中所讨论的固体，包括承受轴向荷载的杆、轴、梁和柱，以及由这些部件装配成的结构。通常，我们分析的目的是要确定由于荷载所产生的应力、应变和变形；如果对于在破坏荷载之前所有荷载下的这些量都能求得，那么我们将得到物体的力学性能的完整概念。

理论分析和试验结果在材料力学研究中具有同等重要的地位。在很多情况下，我们采取逻辑推导得到预示力学性能的公式和方程，但是，同时我们必须承认这些公式不能实际应用，除非材料的某些性质为已知。只有在实验室里做了相适应的试验之后，我们才能得到这些性质。另外，工程中的许多重要问题不能借理论手段有效地去处理，而试验测定方法却成为实用所必需的东西。材料力学的历史发展是理论和试验二者最好的融合。在有些情况下试验得出对结果有用的方法，而在另一些情况下则理论得出对结果有用的方法。象达·芬奇(Leonardo da Vinci, 1452—1519)和伽利略(Galilei Galileo, 1564—1642)这些著名人物虽然他们没有提出充分的理论(按今天的标准来看)去解释他们的试验结果，但是他们用试验确定了金属线、杆和梁的强度。反之，著名数学家欧拉(Leonhard Euler, 1707—1783)在有试验验证表明他的结果的重要意义之前很久，他就于1744年提出了柱的数学理论

并计算了柱的临界荷载。欧拉的理论成果今天已成为柱的理论基础，虽然它们在很多年内一直没有被应用¹⁾。

在我们进行本课程学习之后，将明显看出理论推导与试验确定的材料性质相结合的重要性。本章中我们将从讨论某些基本概念着手，例如先讨论应力和应变，然后，我们研究承受拉伸、压缩和剪切的简单结构部件的性能。

1.2 应力和应变

应力和应变的概念可藉讨论棱柱形杆的拉伸这一基本方法（见图 1-1 a）来阐述。棱柱形杆是沿其整个长度上具有等截面和直线轴线的杆件。在这里的阐述中，假设杆的两端作用有使杆产生均匀伸长或拉伸的轴向力 P 。我们可藉与杆轴线成正交的人为切面（截面 mm ），将杆件分离出一部分作为自由体（图 1-1 b）。在其右边端头处，作用有拉力 P ，而另一端存在表示杆件移去部分对留下部分所作用的力。这些力沿整个横截面连续分布，类似于浸没面上液体静压力的连续分布。该力的强度，亦即单位面积上的力，称为应力，通常用希腊字母 σ 来表示。假设应力在整个横截面上均匀分布，我们可容

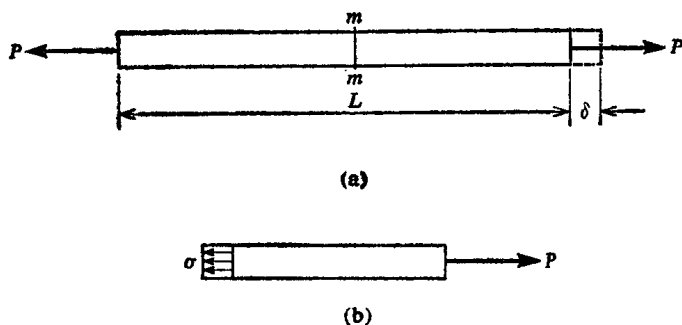


图 1-1 棱柱形杆受拉

1) 从达·芬奇和伽利略开始的材料力学史，可参见参考文献 1-1, 1-2 和 1-3。