

高等学校教材

材料力学

上册

(第二版)

孙训方 方孝淑 陆耀洪 编

高等教育出版社

普通物理学教材

材料力学

上册

（第三版）

童景丰 童景周 何德全 等

清华大学出版社

高等学校教材¹

材 料 力 学

上 册

(第 二 版)

孙训方 方孝淑 陆耀洪 编

高等教育出版社

内 容 提 要

本书第一版是根据1962年5月审订的高等工业学校“材料力学教学大纲(试行草案)”(150学时)内容写的,本书第二版保持了第一版的体系和内容,仍分上下册出版。上册为基本内容,其中包括绪论、基本概念、轴向拉伸和压缩、拉伸和压缩超静定问题、材料在拉伸和压缩时的力学性质、剪切、扭转、截面的几何性质、梁的内力、梁的应力、梁的变形以及弯曲的几个特殊问题等十二章。

本书修订以后,采用国际单位制单位,并且采用国家标准和国际上较通用的字符。每一章后增加了适当数量的典型习题,以便教学使用,同时加深读者对本书内容的理解和提高读者的工程应用能力。

(京)112号

高等学校教材

材 料 力 学

上 册

(第二版)

孙训方 方孝淑 陆耀洪 编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京科技发行所发行

北 京 印 刷 一 厂 印 装

*

开本 850×1168 1/32 印张 10.875 字数 270 000

1964年9月第1版 1991年7月第2版 1991年7月第1次印刷

印数0001—10 620

ISBN 7-04-002665-1/TB·180

定价 3.95 元

第二版前言

这一套《材料力学》(上、下册)是60年代贯彻“少而精”教学原则由材料力学教材编审委员会组织编写的。原书例题较少,由于当时另有习题集与之配合使用,因而,书中未附进习题。

80年代以来很多学校在采用此教材时感到内容精练,文字都是经严格推敲过的,很适合于学时日益压缩的材料力学课程教学使用。但教师和学生普遍反映例题太少,又没有附进习题,因此,在教学中使用起来颇感不便,希望能在再版时弥补这一不足之处。

经高等教育出版社委托原编者之一孙训方负责对此书进行修订,其主要任务是适当增加例题并附进一定数量的习题,使此书能作为独立的教材使用而不必另采用习题集,以方便教学。

参加修订此书工作的还有西南交通大学材料力学教研室的金心全副教授。全部新增例题和习题的选配及附图底图的绘制、习题的答案都是由他负责完成的,并经孙训方进行了全面的审核。为保持原书的风格,原书内容除对个别修辞及错误之处作了必要的修订外,没有进行更动。

本书的下标统一作了改动,从原书采用的汉语拼音改为国际通用型下标。

原书编者之一 孙训方

1990. 8. 10.

第一版审阅说明

1962年5月高等工业学校150学时类型“材料力学教学大纲”试行草案审订后,孙训方、方孝淑、陆耀洪等同志曾根据这一大纲对杜庆华等原编“材料力学”进行了修订工作。经过两年时间,最后完成了这一本书。本书在编写过程中曾经以修订本名义广泛征求意见。但最后鉴于全书内容与杜庆华等原编“材料力学”内容更动较大,原编者和参加审稿的同志都觉得这是另一本书,所以经审查后建议作为新的试用教科书出版。

本书的内容和现有的多学时教材相比在次要内容上作了很多的精简。全书体现了作者们的丰富的教学经验和近年来对于教学上贯彻“少而精”原则的体会。所有审阅者都觉得这是一个在编写通用教材时值得提倡的方向。同时本书在内容处理上以及举例说明上都具有一定特点。

本书曾由材料力学课程教材编审小组约请张维(上册)、钱令希(上册)、梁治明、蔡强康、张福范、贾有权、阮孟光、杜庆华等同志进行审查。特别是由于曾经广泛征求不少兄弟学校的意见,吸收了其中大部分意见,对于最后定稿起了很有益的作用。当然本书也还存在一些可以商榷的问题。有必要请使用者进一步提出意见,以利于本书质量的提高。

高等工业学校材料力学课程教材编审小组

小组长 杜庆华

1964.5.

第一版序

本书是根据 1962 年 5 月审订的高等工业学校本科五年制机械制造、土木建筑工程类专业 150 学时类型的材料力学教学大纲(试行草案)编写的。

本书内容的取舍主要是根据该教学大纲基本部分的要求。但考虑到今后在教学中进一步贯彻“少而精”原则时,还可能压缩一些内容,因此,对于某些在大纲基本部分中的枝节性内容,例如计算不规则图形惯性矩的图解法、计算梁变形的初参数法、莫尔强度理论、接触应力等等,在了解到大多数学校均不讲授或认为可不必讲授后,也予以删去。但对于基本变形形式下的内力分析、应力计算公式的推导及其适用的条件性、以及变形计算中的边界条件等,则予以加强;因为这些正是材料力学这门工程专业的技术基础课的重要基础内容。编者认为只有坚决压缩不重要的枝节内容和某些次要的方法性内容,教师才有可能集中精力把基本概念、基本理论和基本方法作透彻的阐述,学生也才有可能在规定学时内做足够数量的习题,从而为学生将这些基本内容切实学到手创造条件。

在编写本书时,为了能符合循序渐进的原则,编者曾作了一些尝试,例如应力状态理论和强度理论两章虽移至基本变形形式的各章之后,但应力状态的概念则在基本变形形式的各章中就逐步加以介绍;对叠加原理的应用是结合梁的内力和变形计算以及组合变形问题等逐步引出的;在例题中有意识地安排了一些应用基本理论和方法的题目,以避免引导学生过早地使用最后形式的公式等等。在本书中也注意到加强与工程实际的联系,例如介绍了许用弯曲应力与许用拉、压应力不同这一概念,以及对梁的挠曲线

图解法应用了连续作图的方法等等。对于带有手册性质的图表，在内容上都作了压缩，因为作为一本教科书，这些资料的用途只不过是给初学者一个轮廓的概念而已。本书的字符下标部分改用了汉语拼音文字的字首，一些通用的字符下标则用国际通用的符号或国家标准所规定的字符。

本书的内容对于 150 学时的材料力学课程来讲已足够多了，建议教师在使用时根据“少而精”的原则，并按照专业的特点，对一些次要的内容作进一步的压缩，以便集中精力讲透基本内容。本书的例题都是最基本的，教师还可以根据学生的水平，讲述一些联系实际的例题。本书中除例题外的一些用小字排印的内容，大体上可分为两类，即适用于不同专业的内容和某些枝节性的内容，前者可根据专业的特点选用，后者则可由教师根据学生的实际情况决定取舍。

在本书编写过程中，唐山铁道学院、大连工学院和南京工学院三校的领导同志给予了大力的支持；高等工业学校材料力学课程教材编审小组的委员们以及二十多所兄弟院校材料力学教研室的同志们对本书的初稿提供了宝贵的意见，对本书的定稿起了很大的作用。但限于编者的水平和对“少而精”原则的体会不够深刻，本书必定还会有很多缺点和不妥之处，相信经过一个时期的使用和广大教师与读者积极提供意见后，将可使本书得到不断的改进和提高，使之成为一本更符合我国实际需要的教本。

本书全部插图的描图工作是由唐山铁道学院绘图组朱美育同志担任的。

编 者

一九六四年一月

主要字符表(上册)

本书字符	字符意义	国际制单位
x, y, z	坐标轴 (x 轴代表杆件轴线)	
	坐标	m, mm
N	轴力(内力分量)	kN
	功率	W
M_i	扭矩(内力分量)	kN·m
M	弯矩(内力分量)	kN·m
$\bar{M}$	虚梁的虚弯矩	kN·m ³
Q	剪力(内力分量)	kN
$\bar{Q}$	虚梁的虚剪力	kN·m ²
q	线分布载荷集度	kN/m
$\bar{q}$	虚梁的虚载荷集度	kN/m
R	支反力	kN
	合力	kN
$\bar{R}$	虚梁的虚支反力	kN·m ²
T	外扭矩	kN·m
m	外力偶矩	kN·m
A	截面面积	m ² , mm ²
S_y, S_z	静矩	m ³ , mm ³
I_y, I_z	惯性矩	m ⁴ , mm ⁴
I_p	极惯性矩	m ⁴ , mm ⁴
I_{yz}	惯性积	m ⁴ , mm ⁴
i_y, i_z	惯性半径	m, mm
W_y, W_z	抗弯截面系数	m ³ , mm ³
I_t	扭转计算惯性矩	m ⁴ , mm ⁴

续表

本书字符	字 符 意 义	国际制单位
W_t	抗扭截面系数	m^3, mm^3
U	变形能	J
W	外力所作的功	J
u	比能	$\text{J}/\text{mm}^3, \text{J}/\text{m}^3$
σ	正应力	MPa
$\sigma_{\max}$	最大正应力	MPa
σ_u	极限应力	MPa
$[\sigma]$	许用拉(压)应力, 许用弯曲应力	MPa
σ_{bs}	挤压应力	MPa
$[\sigma_{bs}]$	许用挤压应力	MPa
τ	剪应力	MPa
$\tau_{\max}$	最大剪应力	MPa
$[\tau]$	许用剪应力	MPa
σ_p	比例极限	MPa
σ_e	弹性极限	MPa
σ_s	流动极限	MPa
$\sigma_{0.2}$	名义流动极限	MPa
σ_b	强度极限	MPa
τ_p	剪切比例极限	MPa
τ_s	剪切流动极限	MPa
ε	线应变	无量纲量
γ	剪应变	无量纲量
δ	伸长率	无量纲量
ψ	面积缩减率	无量纲量
φ	扭转角	rad
θ	杆的单位长度扭转角	rad/m
θ	梁的转角	rad
$[\theta]$	单位长度杆的允许扭转角	$^{\circ}/\text{m}$
f	梁的挠度	m, mm

续表

本书字符	字 符 意 义	国际制单位
E	弹性模量	MPa
μ	横向变形系数	无量纲量
G	剪切弹性模量	MPa
n	安全系数	无量纲量
C	弹簧常数	N/m

说明：本书第二版字符采用国家标准规定的或国际上较通用的；字符下标为说明性的字排正体，下标本身代表物理量的排斜体。

目 录

第二版前言

第一版审阅说明

第一版序	1
主要字符表(上册)	1

第一章 绪 论

§ 1-1. 材料力学的任务	1
§ 1-2. 材料力学与生产实践间的关系	2
§ 1-3. 材料力学与其他课程间的关系	4

第二章 基 本 概 念

§ 2-1. 可变形固体的性质及其基本假设	6
§ 2-2. 材料力学所研究的主要构件的几何特征	8
§ 2-3. 外力及其分类	8
§ 2-4. 内力·截面法	10
§ 2-5. 应力	12
§ 2-6. 应变	13
§ 2-7. 杆的变形的度量及其基本变形形式	14
§ 2-8. 材料力学处理问题的方法	16
习题	17

第三章 轴向拉伸和压缩

§ 3-1. 概述	22
§ 3-2. 横截面和斜截面上的应力	23
§ 3-3. 拉(压)杆的变形·虎克定律·横向变形系数	26
§ 3-4. 杆内变形成能	31
§ 3-5. 轴力计算及轴力图	33

§ 3-6. 许用应力·强度条件	36
§ 3-7. 考虑自重影响的计算	40
习题	44

第四章 拉伸和压缩超静定问题

§ 4-1. 超静定问题及其解法	56
§ 4-2. 装配应力	61
§ 4-3. 温度应力	64
习题	66

第五章 材料在拉伸和压缩时的力学性质

§ 5-1. 材料的拉伸和压缩试验	73
§ 5-2. 材料在拉伸时的力学性质	75
§ 5-3. 材料在压缩时的力学性质	82
§ 5-4. 安全系数·许用应力	86
§ 5-5. 温度和时间因素对材料的力学性质的影响	89
习题	94

第六章 剪 切

§ 6-1. 剪切的“假定计算”	97
§ 6-2. 铆接头的“假定计算”	100
§ 6-3. 纯剪切应力状态的研究	104
习题	108

第七章 扭 转

§ 7-1. 概述	112
§ 7-2. 等直圆杆在扭转时的应力	113
§ 7-3. 等直圆杆在扭转时的变形和杆内的变形能	120
§ 7-4. 外力偶矩和扭矩的计算·扭矩图	122
§ 7-5. 强度条件·刚度条件	125

§ 7-6. 密圈螺旋弹簧计算	128
§ 7-7. 扭转超静定问题	132
§ 7-8. 考虑材料塑性时圆杆的极限扭矩	134
§ 7-9. 非圆截面等直杆纯扭转理论的主要结果	136
§ 7-10. 开口薄壁截面杆在纯扭转时的应力和变形	139
习题	140

第八章 截面的几何性质

§ 8-1. 引言	152
§ 8-2. 截面的静矩和形心位置	152
§ 8-3. 惯性矩和惯性积	156
§ 8-4. 惯性矩和惯性积的平行移轴及转轴公式	159
§ 8-5. 截面的主形心惯性轴和主形心惯性矩	162
§ 8-6. 组合截面主形心惯性矩的计算	164
§ 8-7. 计算不规则截面惯性矩的近似方法	169
习题	171

第九章 梁的内力——剪力与弯矩

§ 9-1. 概述	176
§ 9-2. 梁上的载荷·梁的支座及支反力的计算	177
§ 9-3. 剪力与弯矩	182
§ 9-4. 剪力方程式和弯矩方程式·剪力图和弯矩图	185
§ 9-5. 剪力、弯矩与载荷集度三函数间的关系	191
§ 9-6. 按叠加原理作弯矩图	193
习题	195

第十章 梁的应力

§10-1. 引言	204
§10-2. 纯弯曲时梁的正应力	204
§10-3. 纯弯曲时正应力公式的推广·正应力的强度条件	210

§10-4. 梁的合理截面	214
§10-5. 梁的剪应力	215
§10-6. 梁的剪应力强度校核	221
§10-7. 非对称截面梁的弯曲 · 开口薄壁截面的弯曲中心概念	224
§10-8. 梁内的弯曲变形能	228
习题	230

第十一章 梁 的 变 形

§ 11-1. 梁的挠曲线近似微分方程式	243
§ 11-2. 挠曲线近似微分方程式的积分	246
§ 11-3. 按叠加原理计算梁的变形	255
§ 11-4. 共轭梁法	257
§ 11-5. 用图解法确定梁的挠曲线	265
§ 11-6. 梁的刚度校核	271
习题	273

第十二章 弯曲的几个特殊问题

§ 12-1. 引言	279
§ 12-2. 变截面梁	279
§ 12-3. 平面曲杆在纯弯曲时的正应力计算公式	284
§ 12-4. 考虑材料塑性时梁的极限弯矩	287
习题	291

附 录

附表 1 常用截面的几何性质计算公式	295
附表 2 简单载荷作用下梁的挠度和转角	297
型钢规格表	300
上册习题答案	316

第一章 绪 论

§ 1-1. 材料力学的任务

结构物或机械都是由构件组成的。当它们承受载荷或传递运动时,各个构件都必须能够正常地工作,这样才能保证整个结构物或机械的正常工作。为此,首先要求构件在受载荷作用后不破坏,例如电动机的轴若因所受的载荷过大而断裂,则它所带动的机器将停止运转。但单是不发生破坏,并不一定就能保证构件或整个物体的正常工作,例如机床的轴若在工作中受载荷时发生过大的变形,则将影响机床的工作精密程度。此外,有一些构件受到某种载荷作用时,其原有形状下的平衡可能变成不稳定的平衡。例如受压的细长直杆当压力增大到一定程度时将在外界干扰力下突然变弯,如果静定桁架中的受压杆件发生这种现象,就可能使桁架变成几何可变的结构而损坏。类似上述压杆所发生的现象,通常称为构件在其原有形状下的平衡丧失了稳定性。针对上述情况,对构件正常工作的要求可以归纳为如下三点:

(一) 在载荷作用下构件应不致于破坏, 即 应具有足够的强度;

(二) 在载荷作用下构件所产生的变形应在工 程 上允许的范围以内, 也就是要具有足够的刚度;

(三) 在载荷作用下构件在其原有形状下的 平 衡应保持为稳定的平衡, 也就是要满足稳定性的要求。

设计构件时, 不但要满足上述强度、刚度和稳定性这三点要求,同时,还必须尽可能地选用合适的材料和降低材料的消耗量,以节约资金或减轻构件的自身重量。前者往往要求多用材料,而

后者则要求少用材料，两者之间是存在着矛盾的。材料力学的任务就在于力求合理地解决这种矛盾。而矛盾的解决也就进一步促进了材料力学的发展。

构件的强度、刚度和稳定性问题均与其所用材料的力学性质——材料在外力作用下，其变形与所受外力间的关系——有关，这些力学性质均须通过试验来测定。此外，也有些单靠现有理论解决不了的问题，须借助于实验来解决。因此，实验研究和理论分析同样重要，都是完成材料力学的任务所必需的手段。

§ 1-2. 材料力学与生产实践间的关系

材料力学的发展正如其他科学一样，是由生产发展所推动的，同时它也反过来对生产实践起着重要的指导作用。

在封建社会及其以前，建筑物多用天然的石料、木材以及冶炼粗糙的铸铁、铸铜等为主要的建筑材料，同时，这些建筑物的工作条件也较简单；在设计它们时多凭经验并采用模仿的方法。但在古代建筑中也已体现出当时劳动人民根据生产实践中所积累起来的经验，而对构件受力特点及材料的力学性质有了初步认识，并能结合构件受力特点正确地利用材料。例如：在我国古代就已将一些砖石结构做成拱形，以充分发挥材料的抗压强度；用竹索做成悬索桥，以充分利用竹材的抗拉强度；此外，在木结构中也积累了不少制造梁、柱的经验，如对于矩形截面的木梁采用了截面高宽比为3:2，这事实上是符合材料力学的原理的。

封建社会解体后，生产力得到了迅速的发展。为了建造新的建筑物、车、船及机械等，单凭经验并采用模仿的方法就解决不了新提出的问题。材料力学也就在这个情况下逐渐形成为一门科学。这一时期的意大利科学家伽利略，为了解决建造船只和水闸所需梁的尺寸问题进行了一些实验，并在1638年首先提出了计算梁的强度所用的公式。虽然由于他用了刚体力学的方法而未考虑