

第二版



高等学校教材

材料力学

马安禧 于绶章 周康年 屈革 合编
马安禧 主编

高等教育出版社

内 容 摘 要

本教材的第一版为北京钢铁学院与东北工学院合编的《工程力学》，分上（静力学）、中（材料力学）、下（运动学和动力学）三册。现在出版的第二版，是参照一九八〇年修订的工程力学教学大纲（草案）中的材料力学部分，按 60 课时的教学要求，由第一版的中册修订而成的。全书内容包括：绪论、轴向拉伸和压缩、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形和超静定梁、联接件的强度计算、应力状态和强度理论、组合变形构件的强度、动载荷问题、交变应力、压杆稳定、专题简介。各章之后附有小结、思考题和习题；书后附有习题答案。

本教材适用于冶金、地质、热加工、材料、仪表等专业的材料力学或工程力学课程；对深广度作适当调整后，也可适用于学时相近的有关专业。本书除作为高等学校教材外，也可供有关工程技术人员参考。

本书可与刘思议主编的《理论力学》配合使用。

高等学校教材

材 料 力 学

（第二版）

马安禧 于燮堂 合编
周震年 周 革

马安禧 主编

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

水利电力出版社印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 15.625 字数 376 000

1979 年 5 月 第 1 版 1987 年 4 月第 2 版 1987 年 4 月第 1 次印刷

印数 00 001—10 100

书号 15010-0814 定价 2.80 元

第二版序

本教材是在北京钢铁学院与东北工学院合编的《工程力学》的基础上,参照一九八〇年审订的工程力学教学大纲(草案)中的材料力学部分修订而成的。

本书的第一版《工程力学》一书,出版于一九七九年,分上、中、下三册。上册为静力学,中册为材料力学,下册为运动学和动力学。为适应我国教育事业不断发展的需要和使用上的方便,根据一九八二年材料力学教材编委扩大会议和理论力学教材编委扩大会议的建议,现将《工程力学》修订为《材料力学》和《理论力学》(仍按静力学、运动学和动力学分上、下两册),分为两书出版。两本教材均按60学时的教学要求选取内容,适用于少学时类型的材料力学、理论力学或工程力学课程。两本教材仍可配合使用。

经修订后,本教材加强了对基本理论的阐述,增加了深度和广度,章节的安排作了较大的调整。在内容的选取上,本书在保证课程基本要求的同时,为适应不同专业的需要,便于因材施教和扩大学生的知识面,还增加了一些带“*”号的选学内容;一些章节的深度也留有可调整的余地。以上可根据教学时数和专业要求,由教师灵活掌握;也可供学生深入自学之用。本书对思考题和习题也作了适当的增补,所收入的思考题,多为概念问题和方法问题,习题的类型和难度也有所增加。我们希望这本教材的第二版能对材料力学的教学起到一些有益的作用。

本教材适用于冶金、地质、热加工、材料、仪表等类专业;对深广度作适当调整后,也可适用于学时相近的有关专业。本书除作为高等学校教材外,也可供有关工程技术人员参考。

本书承材料力学教材编审委员于光瑜、单辉祖两位同志作了

细致的审查,他们提出了不少修改意见,对本书质量的提高起了很大作用。许多兄弟院校对我们的修订工作给予了热情的帮助和支持。谨此一并致以衷心的感谢。

参加这次修订工作的仍为编写本书第一版的同志,有北京钢铁学院马安禧(第一、二、四、五、六章)、屈革(第三、七章)、东北工学院于綏章(第八、九、十二章)、周庚年(第十、十一、十三章),仍由马安禧担任主编。

限于编者水平,本书必然存在不少缺点和错误,恳切希望广大教师和读者继续提出批评和指正。

编 者

一九八五年七月

第一版序

本教材是根据一九七七年十一月教育部委托召开的高等学校工科大学教材会议的建议,按照120学时的教学要求编写的。本教材主要适用于地质、采矿、冶金、热加工、材料等专业;作适当增删后,也可适用于100~130学时的有关专业。

为适应各类专业的不同要求,本教材还编写了一些带有“*”号的选学内容。各章之后附有小结、思考题和习题,以期帮助读者总结收获,澄清概念和加强基本训练。习题的数量和类型已考虑了一定的选择范围和专业需要,不足之处可另作补充。

本教材采用国际单位制,同时也介绍了工程单位制及二者的换算关系。

为使用上的方便及适应不同专业的需要,本教材分三册出版:上册为静力学,中册为材料力学,下册为运动学和动力学,并分别独立编章。各册之间有一定的配合,也有相对的独立性。根据不同的教学要求及安排,可采用本教材的全部或其中的某一册或两册;作少量内容调整后,也可先讲授上、下册,然后再讲授中册。

本教材在编写过程中,得到许多兄弟院校的帮助和支持。初稿完成后,于一九七八年十月由教育部委托召开了审稿会议。参加会议的有中南矿冶学院、重庆大学、昆明工学院、中国矿业学院、西安交通大学、西安冶金建筑学院、武汉地质学院、河北矿冶学院、鞍山钢铁学院和上海工业大学等十个院校,由中南矿冶学院和重庆大学主审。在此一并表示谢意。

参加本教材编写的同志有:北京钢铁学院纪炳炎(上册第一、二、三、四章)、屈革(上册第五、六章,中册第二、三章)、马安椿(中册第一、四、五、六章);东北工学院于绥章(中册第七、八、九章)、周

库年(中册第十章)、刘思汉(下册第一、二、五、六、七、九章)、殷汝珍(下册第三、四、八、十章);由刘思汉(上、下册)、马安椿(中册)主编。限于编者水平,同时由于编写时间匆促,本教材必然存在不少缺点和错误,殷切希望读者批评指正。

编 者

一九七九年四月

主要字符表

字符	字符意义	常用国际制单位	公制单位	主要换算关系
P	集中力	N, kN	kgf, tf	1kgf=9.81N
q	线分布力集度	N/m, kN/m	kgf/m, tf/m	1kgf/m=9.81N/m
M	外力偶矩	N·m, kN·m	kgf·cm, kgf·m, tf·m	
X, Y, Z	支反力沿 x, y, z 轴的分力	N, kN	kgf, tf	
R	支反力、合力	N, kN	kgf, tf	
N	轴力	N, kN	kgf, tf	
Q	剪力	N, kN	kgf, tf	
M_x	扭矩	N·m, kN·m	kgf·cm, kgf·m, tf·m	
M	弯矩	N·m, kN·m	kgf·cm, kgf·m, tf·m	
A	截面面积	m ² , mm ²	cm ² , mm ²	
S_x, S_y	静矩	m ³ , mm ³	cm ³ , mm ³	
I_x, I_y	惯性矩	m ⁴ , mm ⁴	cm ⁴ , mm ⁴	
I_x, I_y	惯性矩	m ⁴ , mm ⁴	cm ⁴ , mm ⁴	
W_x, W_y	抗扭截面模量	m ³ , mm ³	cm ³ , mm ³	
W	抗弯截面模量	m ³ , mm ³	cm ³ , mm ³	
i_x, i_y	惯性半径	m, mm	cm, mm	
U	变形能	J(N·m)	kgf·m	1kgf·m=9.81J
W	外力功	J(N·m)	kgf·m	
N, N_e	功率	W(J/s), kW	马力, W, kW	1马力=0.7355kW
σ	正应力	Pa(N/m ²), kPa, MPa	kgf/cm ² , kgf/mm ²	1kgf/cm ² =98.1kPa 1kgf/mm ² =9.81MPa
τ	剪应力	Pa, kPa, MPa	kgf/cm ² , kgf/mm ²	
$[\sigma]$	许用正应力	Pa, kPa, MPa	kgf/cm ² , kgf/mm ²	
$[\tau]$	许用剪应力	Pa, kPa, MPa	kgf/cm ² , kgf/mm ²	
ϵ	线应变	无量纲量	无量纲量	
γ	剪应变	无量纲量	无量纲量	
φ	扭转角	rad	rad, °/m	

(续前表)

字符	字符意义	常用国际制单位	公制单位	主要换算关系
θ	单位长度扭转角	rad/m	rad/m, °/m	
	梁的转角	rad	rad	
$[\theta]$	单位长度许用扭转角	rad/m	rad/m, °/m	
	梁的许用转角	rad	rad	
y	梁的挠度	m, mm	cm, mm	
$[y]$	梁的许用挠度	m, mm	cm, mm	
E	弹性模量	MPa, GPa	kgf/cm ² , kgf/mm ²	
G	剪切弹性模量	MPa, GPa	kgf/cm ² , kgf/mm ²	
μ	泊松比	无量纲量	无量纲量	
n	安全系数	无量纲量	无量纲量	
	轴的转速	r/min	r/min	

目 录

主要字符表	1
第一章 绪论	1
§ 1-1 材料力学的任务	1
§ 1-2 可变形固体及其基本假设	2
§ 1-3 杆件变形的形式	3
第二章 轴向拉伸和压缩	6
§ 2-1 轴向拉伸和压缩的概念及实例	6
§ 2-2 轴向拉伸和压缩时的内力	8
§ 2-3 轴向拉伸和压缩时的应力	12
§ 2-4 轴向拉伸和压缩时的变形	18
§ 2-5 拉伸和压缩时材料的机械性质	25
§ 2-6 轴向拉伸和压缩时的强度计算	39
§ 2-7 拉伸和压缩超静定问题	46
§ 2-8 变形能的概念	56
小结	59
思考题	60
习题	63
第三章 扭转	74
§ 3-1 扭转的概念及实例	74
§ 3-2 外力偶矩的计算	75
§ 3-3 扭矩·扭矩图	76
§ 3-4 薄壁圆筒的扭转·剪应力互等定理和剪切虎克定律	80
§ 3-5 圆轴扭转时的应力和变形	83
§ 3-6 圆轴扭转时的强度和刚度计算	94
*§3-7 圆柱形密封圈螺旋弹簧的计算	101
*§3-8 扭转超静定问题	106
§ 3-9 矩形截面杆扭转的概念	107
小结	109
思考题	110

习题	113
第四章 弯曲内力	120
§ 4-1 平面弯曲的概念·梁的计算简图	120
§ 4-2 剪力和弯矩	123
§ 4-3 剪力图和弯矩图	128
*§ 4-4 剪力、弯矩和分布载荷集度间的关系	136
小结	142
思考题	143
习题	144
第五章 弯曲应力	150
§ 5-1 梁弯曲时的正应力	150
§ 5-2 惯性矩的计算	160
§ 5-3 梁弯曲时的剪应力	167
§ 5-4 梁弯曲时的强度计算	173
§ 5-5 提高梁弯曲强度的措施	181
*§ 5-6 塑性弯曲的概念	186
小结	190
思考题	192
习题	194
第六章 弯曲变形·超静定梁	202
§ 6-1 梁的挠度和转角	202
§ 6-2 梁的挠曲线近似微分方程	205
§ 6-3 求梁变形的积分法	206
§ 6-4 叠加原理及其在求梁变形中的应用	218
§ 6-5 梁的刚度计算	223
§ 6-6 超静定梁	227
小结	235
思考题	238
习题	240
第七章 联接件的强度计算	246
§ 7-1 概述	246

§ 7-2 剪切强度计算·····	248
§ 7-3 挤压强度计算·····	250
§ 7-4 计算实例·····	251
小结·····	258
思考题·····	259
习题·····	260
第八章 应力状态和强度理论 ·····	265
§ 8-1 应力状态的概念·····	265
§ 8-2 二向应力状态下斜截面上的应力·····	268
§ 8-3 应力圆·····	271
§ 8-4 二向应力状态下的主应力和最大剪应力·····	275
§ 8-5 三向应力状态下的最大应力·····	280
§ 8-6 广义虎克定律·····	281
§ 8-7 强度理论·····	283
§ 8-8 强度理论的应用·····	287
小结·····	295
思考题·····	296
习题·····	298
第九章 组合变形构件的强度 ·····	306
§ 9-1 概述·····	306
§ 9-2 弯曲与拉伸(压缩)的组合·····	307
*§ 9-3 斜弯曲·····	317
§ 9-4 弯曲与扭转的组合·····	323
小结·····	330
思考题·····	331
习题·····	333
第十章 动载荷问题 ·····	340
§ 10-1 概述·····	340
§ 10-2 构件作加速运动时的应力计算·····	340
§ 10-3 构件受冲击时的应力计算·····	345
§ 10-4 提高构件抵抗冲击能力的措施·····	355

*§10-5 冲击韧度·····	358
小结·····	362
思考题·····	363
习题·····	365
第十一章 交变应力 ·····	370
§11-1 概述·····	370
§11-2 交变应力的循环特征和类型·····	373
§11-3 材料的疲劳极限·····	375
§11-4 影响疲劳极限的主要因素·构件的疲劳极限·····	378
§11-5 提高构件疲劳强度的措施·····	385
§11-6 对称循环下构件的疲劳强度计算·····	388
*§11-7 其它疲劳问题·····	390
小结·····	392
思考题·····	393
习题·····	394
第十二章 压杆稳定 ·····	397
§12-1 压杆稳定的概念·····	397
§12-2 细长压杆的临界力·····	402
§12-3 压杆的临界应力·····	409
§12-4 压杆的稳定计算·····	414
§12-5 提高压杆稳定性的措施·····	419
§12-6 其他弹性稳定问题简介·····	421
小结·····	423
思考题·····	425
习题·····	426
*第十三章 专题简介 ·····	431
§13-1 高温下材料的机械性质·····	431
§13-2 线弹性断裂力学·····	436
§13-3 残余应力·····	447
小结·····	451
思考题·····	452
附录一 型钢表 ·····	454
附录二 习题答案 ·····	472

第一章 绪 论

§ 1-1 材料力学的任务

在生产实践中,广泛使用各种机械、仪表和结构物。组成机械或仪表的零件及结构物的部件,统称为构件。构件在工作时要受到外力的作用。在外力作用下,构件的几何形状和尺寸将发生改变,即产生变形;同时,构件内各部分之间因相对位置的改变会产生相互作用的内力;当外力增大到某一限度时,构件还会发生破坏。

构件的破坏,会使机械或结构物失去工作能力;构件产生过大的变形,也会影响机械或结构物的正常工作。例如机械中的齿轮轴,受力后若发生断裂,将使机械停止运转;若产生的变形过大,则会影响齿轮间的正常啮合。这些情况在工程实际中都是不允许的。因此,为了保证机械或结构物安全正常地工作,要求每个构件都有足够的抵抗破坏的能力,即要求它们有足够的强度;同时也要求构件有足够的抵抗变形的能力,即要求它们有足够的刚度。此外,有时还会遇到这样的问题,例如一根受压的细长直杆,当沿杆轴线方向的压力增大到一定数值时,杆就会由原来的直线状态突然变弯。这种不能保持其原来平衡状态的现象,称为丧失稳定,或简称失稳。构件失稳会丧失其承载能力,这也是工程实际中所不允许的。对这一类构件,还应要求其工作时能保持原有的平衡状态,即要求构件有足够的稳定性。强度、刚度和稳定性,是设计构件时必须考虑的几个问题。

设计一个构件,除要求其安全正常地工作外,同时还应考虑合理地使用和节约材料,即还要考虑经济方面的要求或减轻构件的

自身重量。一般来说,前者要求用较多或较好的材料,后者则要求用较少或价廉的材料,二者往往是矛盾的。材料力学则为合理地解决这一矛盾提供了理论基础及计算方法,从而为受力构件选用适当的材料,确定合理的形状和尺寸。

材料力学的任务就是:

(1) 研究构件在外力作用下的内力、变形和破坏的有关规律;

(2) 为设计构件提供有关强度、刚度和稳定性计算的基本原理和方法。

前者是后者的理论基础,后者则是前者在工程中的应用。

破坏和变形,虽然会影响构件安全正常地工作,但也有其可以利用的一面。例如,为保护主要构件而设置的安全装置,可令其在超载时首先破坏,从而避免主要构件受到损坏;为减轻冲击作用而安装的缓冲弹簧,则要求其有较大的变形;在一些仪表中的弹簧或弹性元件,则是利用其变形来起到控制或指示作用。这类问题,也需根据材料力学所提供的理论来计算。此外,在某些专业所研究的问题中,亦需用到内力、变形和破坏的有关理论。

§ 1-2 可变形固体及其基本假设

制造各种构件所采用的材料,虽然品种繁多,性质各异,但它们都有一个共同的特性,就是在外力作用下会产生变形。在研究构件的强度、刚度等问题时,物体的变形是一个不可忽略的因素。因此,在材料力学中,将构成构件的材料皆视为可变形固体。

材料的物质结构和性质是比较复杂的,为研究方便,必须忽略某些次要性质,只保留它们的主要属性,将其简化为一个理想化的模型。为此,在材料力学中,对可变形固体作以下的基本假设:

一、均匀连续假设

这一假设认为,在物体的整个体积内都毫无空隙地充满着物

质,而且物体内部任何部分的性质都完全相同。实际上,从物质结构上看,材料内部是存在着不同程度的空隙的,而且各基本组成部分(如金属中的晶粒)的性质也不尽一致。但由于材料力学是从宏观的角度去研究问题的,这些空隙远小于构件的尺寸,而且各组成部分的排列是错综复杂的,因此,由统计平均的观点看,这些空隙和非均匀性的影响可不加考虑。按此假设,可将物体中的一些物理量作为位置的连续函数来处理;并可从构件中取出无限小的部分来研究,然后将研究结果推广于整个构件;也可将小尺寸试样测得的材料性质,用于构件的任何部位。

二、各向同性假设

这一假设认为,材料沿不同方向的力学性质均相同。各方向力学性质相同的材料,称为各向同性材料。对许多材料来说,这个假设是符合的。均匀的非晶体材料一般都是各向同性的。对金属等由晶体组成的材料,虽然每个晶粒的力学性质具有方向性,但由于它们的大小远小于构件的尺寸,且其排列也不规则,因此它们的统计平均性质在各个方向是相同的。而木材、拉拔过的钢丝和经轧制而成的钢材等,则为非各向同性材料。但在材料力学中,研究各向同性材料所得到的结论,也可近似地用于某些具有方向性的材料。

还须指出,在工程实际中,构件的变形相对于构件的原有尺寸来说,一般都很小,因此,在分析构件上力的平衡关系时,变形的影响可忽略不计,仍按构件的原有尺寸来进行计算。相反地,如果构件的变形很大,其影响不可忽略时,则须按构件变形后的尺寸来计算。前者称为小变形问题,后者称为大变形问题。材料力学一般只研究小变形问题。

§ 1-3 杆件变形的基本形式

在机械和结构物中,构件的几何形状是多种多样的,但最常

见、最基本的构件是杆件。所谓杆件，就是纵向（长度方向）尺寸远大于横向（垂直于长度方向）尺寸的构件。例如机械中的连杆和齿轮轴，建筑物中的立柱和横梁等，都是较典型的杆件。

杆件的主要几何特征有两个，即横截面和轴线。垂直于长度方向的截面称为横截面，横截面形心的连线则构成杆的轴线，二者是相互垂直的（图 1-1）。根据轴线和横截面的特点，杆件又可分为直杆和曲杆、等截面杆和变截面杆，如图 1-1 所示。等截面直杆通常又简称为等直杆。

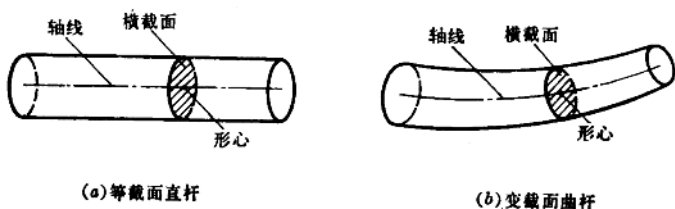


图 1-1

等直杆在工程实际中的应用最广，它是材料力学研究的主要对象。等直杆的问题解决了，不仅解决了工程实际中大部分构件的问题，也为解决其他形状构件的问题提供了基础。例如，齿轮上的轮齿、轧钢机的机架等，都可以简化为一根杆件或杆件的组合体来处理。等直杆的计算原理也可近似地用于曲率较小的曲杆或横截面无急剧变化的变截面杆。

随着外力作用方式的不同，杆件受力后所产生的变形也有差异。归纳起来，有以下几种基本形式：

- (1) 轴向拉伸和压缩 例如托架的拉杆和压杆受力后的变形（图 1-2）；
- (2) 扭转 例如机械中传动轴受力后的变形（图 1-3）；
- (3) 弯曲 例如轮轴受力后的变形（图 1-4）。

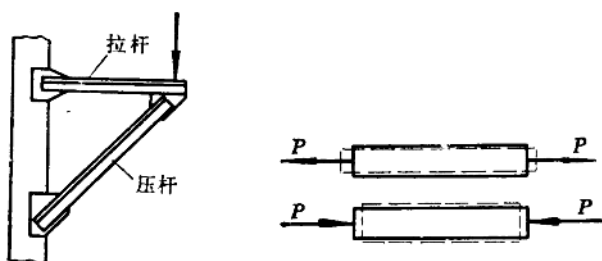


图 1-2

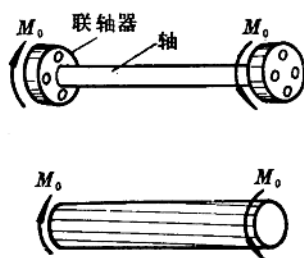


图 1-3

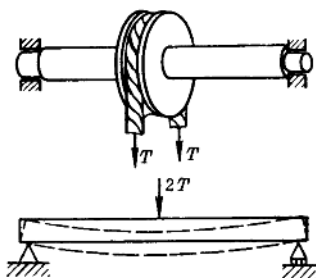


图 1-4

对于变形比较复杂的杆件，其变形也不外乎是这几种基本变形的组合。

综上所述，材料力学所研究的问题是构件受力后的内力、变形和破坏的规律，以及构件的强度、刚度和稳定性；构成构件的材料是可变形固体；对材料所作的基本假设是均匀连续和各向同性假设；材料力学所研究的构件主要是等直杆；杆件的几种基本变形形式是：轴向拉伸（或压缩）、扭转和弯曲。明确这些问题，对材料力学的内容就有了一个概要的了解。