

普通高等教育“十二五”规划教材

材料力学

主 编 何 青

副主编 刘静静

Mechanics of Materials



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

TB301
195

013025335

普通高等教育“十二五”规划教材
北京市教育委员会共建项目专项资助

材 料 力 学

主 编 何 青
副主编 刘静静
参 编 李 斌 毛雪平
张建军 张乃强



机 械 工 业 出 版 社



北航

C1632765

TB301
195

013052332

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。本书结合编者多年来从事材料力学教学与改革的经验和体会,以工程应用为背景,注重与理论力学课程的衔接,确保材料力学课程教学内容的系统性、逻辑性和完整性,在内容体系、力学概念和例题、习题选择等方面都作了新的探索和改革,以有效地帮助读者建立力学思维,强化力学建模能力和培养解决工程实际问题的能力。

全书共13章,包括绪论,构件的内力分析,轴向拉伸与压缩,平面图形的几何性质,扭转与剪切,弯曲,应力状态分析与强度理论,组合变形,压杆稳定,能量法,超静定结构,动载荷与动应力,交变应力与疲劳强度。本书在每章后安排了内容小结、思考题和习题。书后附录包括常见平面图形的几何性质,简单载荷作用下梁的变形、型钢规格表和习题答案。

本书可作为高等学校工科各专业材料力学课程的教材,也可供高职高专院校师生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/何青主编. —北京:机械工业出版社,2013.2
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-111-41313-4

I. ①材… II. ①何… III. ①材料力学-高等学校-教材
IV. ①TB301

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第020004号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:姜凤 责任编辑:姜凤 汤嘉

版式设计:霍永明 责任校对:张媛

封面设计:张静 责任印制:邓博

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2013年3月第1版第1次印刷

169mm×239mm·27.25印张·557千字

标准书号:ISBN 978-7-111-41313-4

定价:43.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

为了适应高等学校本科生教学改革的需要,在总结多年教学实践经验和教学改革体会的基础上,根据教育部最新制定的《材料力学课程教学基本要求(A类)》,参考国内外高校材料力学教材编写了本书。书中注重与理论力学课程的衔接,确保材料力学课程教学内容的系统性、逻辑性和完整性,在内容体系、力学概念和例题、习题选择等方面都作了新的探索和改革,以有效地帮助读者建立力学思维,强化力学建模能力和培养解决工程实际问题的能力。

本书的主要内容是教学大纲所要求的基本内容。为了适应不同专业的需要,本书增加了部分加深加宽的内容,可供不同专业选用。加深加宽内容的讲授务必在确保基本内容教学的基础上进行。为便于学习,本书为每章安排了学习指导性的内容小结、多种形式的思考题和大量的习题,以培养学生综合运用材料力学知识的能力。

本书由华北电力大学何青任主编,刘静静任副主编。参加编写的还有李斌、毛雪平、张建军和张乃强。全书由何青统稿。

本书得到了北京市教育委员会共建项目专项支持,得到了华北电力大学教育教学改革重大项目支持,在此一并致谢。

限于编者水平,书中难免存在不妥或错漏,恳请广大读者批评指正。

编 者
于北京

主要符号表

a	间距	n	安全因数, 转速
a_K	冲击韧度	n_{st}	压杆工作安全因数
A	面积	$n_\sigma, n_\tau, n_{\sigma\tau}$	工作安全因数
A_{bs}	挤压计算面积	N	循环次数, 疲劳寿命
b	宽度	N_0	循环基数
d	直径, 距离	P	全应力, 压力
D	直径	P_α	α 斜截面上的全应力
e	偏心距	P	重量, 功率
E	弹性模量, 能量	P_k	千瓦功率
E_k, E_p	动能, 势能	q	横向分布力, 剪力流
f	轴向分布力	r	循环特性, 应力比, 半径
F	力, 外载荷, 广义力	R	半径
F_{bs}	挤压力	S_y, S_z	对 y, z 轴的静矩
F_{cr}	临界压力	u	应变能密度, 应变比能
F_d	动载荷	u_d	形状改变应变能密度/比能
F_N	轴力	u_v	体积改变应变能密度/比能
F_R	合力	u^*	应变余能密度
F'_R	主矢	U	应变能
F_S	剪力	U^*	应变余能
g	重力加速度	v	挠度, 速度
G	切变模量	W	外力功, 重量
h	高度	W_p	抗扭截面系数
i	惯性半径	W_z	抗弯截面系数
I_p	极惯性矩	W^*	余功
I, I_y, I_z	惯性矩, 对 y, z 轴的惯性矩	X_i	多余约束力
I_{yz}	对 y, z 轴的惯性积	α	角, 线膨胀系数, 内、外直径比
k	弹簧刚度系数	β	角, 表面质量因数
k_d	动荷因数	γ	切应变
k_σ, k_τ	有效应力集中因数	δ	伸长率, 广义位移, 厚度
K	应力集中因数, 体积弹性模量	δ_{ij}	单位载荷引起的广义位移
l	长度, 跨度	Δ	增量, 广义位移
m	质量, 分布力偶	Δ_d	动变形/位移
M	力偶, 弯矩	Δ_{st}	静变形/位移
M_e	扭矩外力偶	φ	角, 相对扭转角, 折减因数
M_x, T	扭矩	ψ	断面收缩率
M_y, M_z	对 y, z 轴的弯矩	θ	单位长度扭转角, 横截面转角, 体积应变
M_0	主矩		

ω	角速度	σ_m	平均应力
ρ	密度, 半径, 曲率半径	σ_{\max}	最大正应力
ε	线应变, 正应变	σ_{\min}	最小正应力
ε_e	弹性应变	σ_p	材料比例极限
ε_p	塑性应变	σ_r	循环特征 r 的疲劳极限
ε_t	横向线应变	σ_{ri}	相当应力
$\varepsilon_\sigma, \varepsilon_\tau$	尺寸因数	σ_s	材料屈服极限
λ	柔度, 长细比	σ_{st}	静应力
λ_p	对应比例极限 σ_p 的柔度	σ_0	极限应力
λ_s	对应屈服极限 σ_s 的柔度	σ_{-1}, τ_{-1}	光滑试样对称循环持久极限
μ	泊松比, 长度因数	$\sigma_{-1}^0, \tau_{-1}^0$	构件持久极限
σ	正应力	σ_{-1k}, τ_{-1k}	有应力集中持久极限
τ	切应力	$\sigma_{0.2}$	名义屈服极限
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	主应力	$[\sigma]$	许用正应力
$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$	主应变	$[\sigma_{bs}]$	许用挤压压力
σ_α	α 斜截面上的正应力	$[\tau]$	许用切应力
τ_α	α 斜截面上的切应力	$[\sigma_{-1}]$	疲劳许用应力
σ_t, σ_c	拉伸、压缩正应力	$[\theta]$	许用单位长度扭转角, 许用转角
σ_a	应力幅值, 名义应力	$[F]$	许用载荷
σ_b	材料强度极限	$[n_{st}]$	许用稳定安全因数
σ_{bs}	挤压应力	$[\sigma_t], [\sigma_c]$	拉伸、压缩许用正应力
σ_{cr}	临界应力	$[v]$	许用挠度
σ_d	动应力		

目 录

前言	
主要符号表	
第 1 章 绪论	1
1.1 研究内容与方法	1
1.2 变形固体的基本假设	6
1.3 外力、内力与截面法	9
1.4 应力与应变	12
1.5 杆件的变形形式	14
小结	19
思考题	19
习题	21
第 2 章 构件的内力分析	22
2.1 构件横截面上的内力	22
2.2 内力方程与内力图	26
2.3 内力与载荷集度间的关系	33
2.4 刚架和曲杆的内力	41
2.5 奇异函数	44
小结	47
思考题	48
习题	50
第 3 章 轴向拉伸与压缩	57
3.1 轴向拉压杆的应力	57
3.2 轴向拉压杆的应变	61
3.3 材料在拉压时的力学性能	64
3.4 轴向拉压强度条件	70
3.5 应力集中	75
小结	76
思考题	77
习题	78
第 4 章 平面图形的几何性质	84
4.1 静矩和形心	84
4.2 惯性矩和惯性积	86
4.3 平行移轴公式和转轴公式	89
小结	95
思考题	96
习题	97
第 5 章 扭转与剪切	100
5.1 薄壁圆筒的扭转	100
5.2 圆轴扭转的应力	102
5.3 圆轴扭转的变形	107
5.4 非圆截面杆的自由扭转	110
5.5 联接的实用计算	116
小结	122
思考题	123
习题	125
第 6 章 弯曲	130
6.1 弯曲正应力	130
6.2 弯曲切应力	141
6.3 弯曲变形	153
6.4 提高梁的弯曲强度和刚度的措施	166
小结	172
思考题	173
习题	175
第 7 章 应力状态分析与强度理论	183
7.1 点的应力状态	183
7.2 应力状态分析	186
7.3 应力圆分析	193
7.4 广义胡克定律	200
7.5 强度理论	205
小结	215
思考题	216
习题	218
第 8 章 组合变形	224
8.1 拉压与弯曲组合变形	224
8.2 斜弯曲	232

8.3 弯曲与扭转组合变形	237	11.4 卡氏定理解超静定结构	342
小结	241	小结	344
思考题	242	思考题	345
习题	243	习题	346
第 9 章 压杆稳定	249	第 12 章 动载荷与动应力	352
9.1 压杆稳定的概念	249	12.1 惯性载荷作用下的动应力	352
9.2 细长压杆的临界压力	252	12.2 冲击应力	355
9.3 临界应力图	257	12.3 振动应力	364
9.4 压杆稳定条件与合理设计	263	小结	368
小结	270	思考题	369
思考题	270	习题	370
习题	272	第 13 章 交变应力与疲劳强度	374
第 10 章 能量法	275	13.1 交变应力及其循环特性	374
10.1 杆件的应变能	275	13.2 疲劳试验与持久极限	376
10.2 应变能密度	282	13.3 疲劳强度计算	384
10.3 互等定理	288	13.4 提高构件疲劳强度的措施	389
10.4 卡氏定理	291	小结	390
10.5 虚功原理	296	思考题	391
10.6 莫尔定理与图乘法	298	习题	393
小结	307	附录	394
思考题	310	附录 A 常见平面图形的几何性质	394
习题	311	附录 B 简单载荷作用下梁的变形	395
第 11 章 超静定结构	317	附录 C 型钢规格表	398
11.1 超静定结构及其分析方法	317	附录 D 习题答案	413
11.2 简单超静定结构	319	参考文献	425
11.3 力法解超静定结构	329		

第1章 绪 论

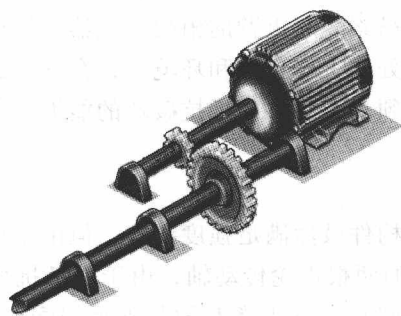
理论力学的主要研究对象——刚体是只考虑力的外效应的理想模型。材料力学的研究对象——构件，则不再是只考虑力的外效应的刚体，而是要考虑力的内效应的变形固体，即在外力作用下将发生形状和尺寸改变的物体。当构件所承受的外力超过某一限度时，可能会丧失承载能力而不能正常工作。因而，要求构件应具有一定的强度、刚度与稳定性。材料力学就是研究构件强度、刚度、稳定性的一门科学。本章介绍材料力学的研究内容和研究方法，包括内力、应力、应变等概念，截面法，以及杆件的基本变形。

1.1 研究内容与方法

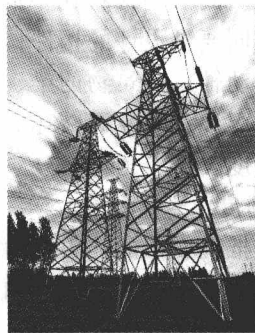
1.1.1 研究内容

材料力学是研究构件承载能力的基础性学科。

各种机械或工程结构都是由许多零部件或结构元件组成，这些零部件统称为构件，如图 1-1a 所示传动机械，图 1-1b 所示电力铁塔。在正常工作时，每一构件都会受到一定的外力作用，这些加载在构件上的外力称为载荷。



a)



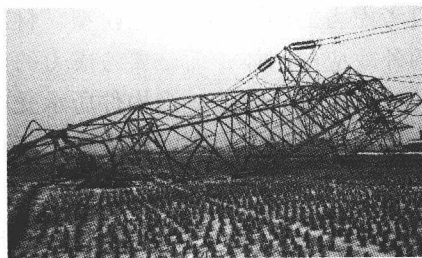
b)

图 1-1

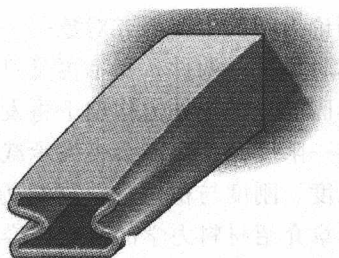
a) 传动机械 b) 电力铁塔

当机械或结构承受载荷或传递运动时，构件在载荷作用下发生形状和尺寸的变化，这种变化称为变形。当载荷较小时，变形能够随着载荷的撤去而消失，这样的

变形称为**弹性变形**，而当载荷超过一定限度后，会有一部分变形在外力撤去之后保留下来，这部分变形称为**塑性变形**。当载荷继续增大，构件就会发生断裂，称之为**破坏**，如图 1-2a 所示被暴雪压垮的电力铁塔，或者其几何形状不能保持原有的平衡状态，称之为**失稳**。如图 1-2b 所示失稳的管件。



a)



b)

图 1-2

a) 垮塌的电力铁塔 b) 失稳的管件

当构件的变形超过一定限度，或发生断裂破坏，或发生失稳，都会导致构件失去正常工作的能力，这种现象称为**失效**。因此，为了保证机械或结构安全可靠地工作而不失效，构件必须具有足够的承受载荷的能力，即应能满足强度、刚度和稳定性三个方面的要求。构件的强度、刚度和稳定性，统称为构件的**承载能力**。

1. 强度要求

构件抵抗破坏的能力称为**强度**。不同的材料有不同的抵抗破坏的能力及不同的破坏机理。同一种材料在不同环境、不同工作条件下的破坏机理和形式也不尽相同。按不同要求设计的构件，如起重机的吊索，起重臂的桁架，机器、运载车辆和船舶的传动轴，建筑物的梁、柱等，在所处的工作条件和环境下，在规定的使用寿命期间不应该发生断裂破坏。所以构件必须具有足够的抵抗破坏的能力，即必须有足够的强度。

2. 刚度要求

构件抵抗变形的能力称为**刚度**。有些构件虽然满足强度要求，但由于过大的变形也将使它不能正常工作。如图 1-3 所示的两根齿轮传动轴，由于轴抵抗变形的能力不足引起过大的弯曲变形，导致齿轮之间啮合不正常及轴与轴承间配合不正常，从而使机械不能正常运行，并加剧各构件间的磨损。所以还应要求构件的变形在一定的限度内，也就是构件应具有一定的抵抗变形的能力，即必须有足够的刚度。

3. 稳定性要求

构件保持原有平衡状态的能力称为**稳定性**。材料力学主要研究杆的稳定性。细长的杆件在轴向压力作用下的失效，往往是稳定性起控制作用，即该类构件会产生失稳。所谓**失稳**是指杆件在轴向压力增加到某一数值时，杆件的平衡状态发生突

变,使杆件从原来的稳定平衡状态,突变到不稳定平衡状态,从而使构件失去正常工作的能力。如图 1-4 所示桁架的横梁上有起吊重物的小车行走,支撑横梁的斜杆就是受压杆件,在轴向压力达到临界值时它会失稳,导致整个结构失去承重能力。设计中应使该类杆件具有抵抗失稳的能力,即必须有足够的稳定性。

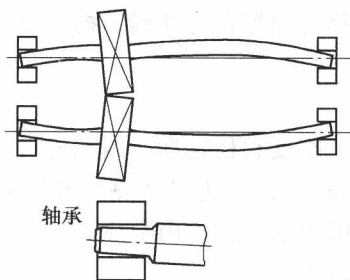


图 1-3

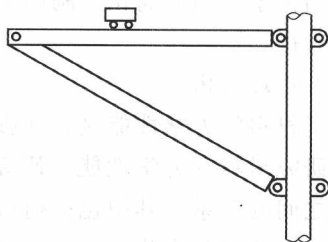


图 1-4

作为固体力学的入门课程,材料力学就是研究构件在外力作用下的受力、变形和破坏的规律,为合理设计构件提供强度、刚度和稳定性分析的基础理论和计算方法。强度、刚度和稳定性,是材料力学研究的主要内容。

1.1.2 研究方法

材料力学作为一门技术性较强的专业基础课,是固体力学的一个有机组成部分,是研究变形固体的第一门课程,也是许多专业课程的基础。在基本概念、基本理论和基本方法等方面为结构力学、弹性力学等奠定基础;同时也是机械设计、结构设计等课程的先导课程,是工程技术人员必备的基础知识,因此必须认真学习、深刻领会、融会贯通。

学习材料力学分析问题的基本方法,主要是利用力学原理来分析杆、梁、轴等这一类构件或简单结构的内力、变形等力学行为,建立失效准则,并据此对构件进行设计,使它们能满足强度、刚度和稳定性要求。

材料力学的主要研究方法包括:

1. 理论分析方法

在材料力学的研究过程中,贯穿着对杆件及结构的三个核心问题的分析,即力学分析、物理分析和几何分析。

(1) 力学分析

力学分析就是要研究构件中的各个力学要素(包括外力和内力、力和力偶)之间的关系。由于材料力学大部分内容属于静力学,因此,特别关注上述各类力学要素之间的平衡关系。

需要注意的是,当构件整体平衡时,它的任何局部也都是平衡的。在材料力学中,不仅关注构件的整体平衡,同时还要关注构件的局部平衡。这样,在分析过程中,往往会截取平衡构件的一个部分,甚至截取其中的一个微元长度或微元体来进

行研究。由于构件总体是平衡的，那么它的一个部分、一个微元长度、一个微元体自然也都是平衡的。从而可以用平衡条件来研究内力和外力的关系，以及内力各要素之间的关系等。

应该指出，材料力学的研究对象是变形体而不是刚体。因此，在理论力学中经常使用的关于力系的简化、刚体中力和力偶的平移定理等在对变形结构中使用时需要谨慎对待。

(2) 物理分析

由于材料的力学性能显著地影响构件的强度、刚度和稳定性，因此材料力学中必然要研究材料的力学性能，研究构件的力学要素（有时还包括热学要素）与几何要素之间的关系。其中包括荷载与变形量之间的关系、构件内部应力与应变之间的关系，以及温度变化与应力、变形量之间的关系等。

(3) 几何分析

几何分析研究构件和结构中各几何要素之间的关系，包括构件中应变和变形量之间的关系、结构中各构件变形量之间的关系等。

在几何分析中需要注意的是，材料力学只研究处于完好状态的构件和结构，而不研究它们发生破坏以后的行为。这就要求几何变形具有协调性。

对于构件而言，如图 1-5a 所示的矩形构件，如果发生了图 1-5b 那样的变形，则构件是协调的；而图 1-5c 的变形，由于出现了裂纹，因而是协调的；图 1-5d 的变形，由于出现了物质的重叠，因而也是不协调的（在固体介质中，一部分物质与另一部分物质重叠起来在物理现实中很难实现，但却有可能出现在不适当的计算中）。

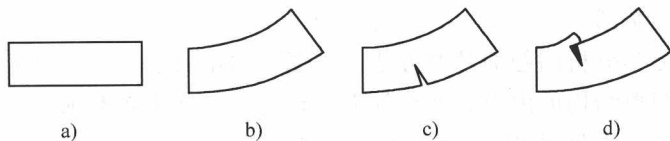


图 1-5

对于结构而言，如图 1-6a 所示的桁架，其下端结点有竖直向下的力作用。如果发生了如图 1-6b 那样的变形，则结构是协调的；而如果发生了图 1-6c 和 1-6d 的变形，由于三根杆的伸长量之间不满足一定的关系，下端节点由此而解体，因而是协调的。

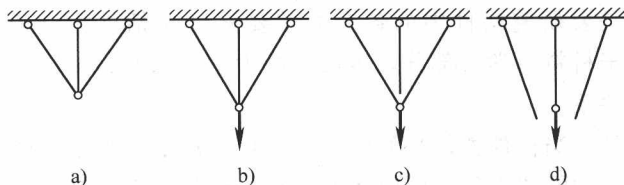


图 1-6

力学分析、物理分析和几何分析的综合,形成了材料力学的基本的和主要的理论分析方法。

2. 实验方法

除了理论分析方法外,实验也是研究材料的力学性能的重要手段。实验可以提供最基本的物理事实,可以提供指定材料有关强度、刚度和稳定性的基本数据,从而为模型的提炼和抽象提供线索,同时也为验证模型的正确性提供最直接的证据。

实验分析是一项针对所研究问题进行力学分析的基础性工作。通过具体实验,采集数据、整理分析数据,为工程实际提供必要的模型参数,并验证理论分析的可靠性。如图 1-7 是伽利略进行木梁弯曲实验的装置,图 1-8 是进行飞机静载实验的场景。



图 1-7

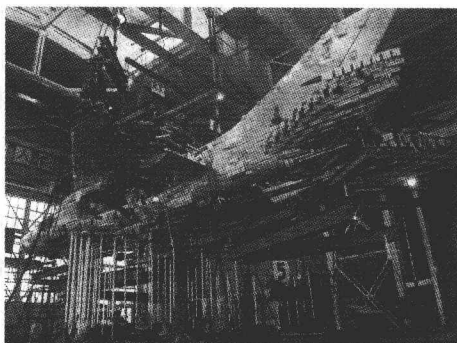


图 1-8

研究构件的强度、刚度和稳定性时,应了解材料在外力作用下表现出的变形和破坏等方面的性能,即材料的力学性能,而力学性能主要由实验来测定。此外,材料力学中的理论推导过程,都是根据实验观测来做出变形情况的假设,再运用数学和力学方法进行推导,最后,还必须通过实验验证这些结果的正确性。因此,没有材料力学实验,不仅不能进行理论推导,也无从验证所得结果的正确性,更不敢应用它们。显然,没有材料力学实验,材料力学作为一门重要的工程学科就失去了基础和依据。另外,还有一些尚无理论结果的问题,必须借助实验方法来解决,由此可见,材料力学实验在材料力学中占有重要的地位。所以,实验分析和理论研究同是材料力学解决问题的方法。

3. 计算机数值模拟方法

现代计算技术与计算机技术的飞速发展,为数字化模拟客观现实提供了可操作平台。目前,有限元、离散元、界面元等数值计算方法在工程设计中所起的作用日益重要。例如,大型数值模拟计算分析软件可用来分析实际工程的变形量、应力应变分布、塑性区分布等,为工程决策提供支持。如图 1-9 所示为钢结构接头应力有限元数值计算结果,图 1-10 为泵转子振动模态的计算机模拟结果。

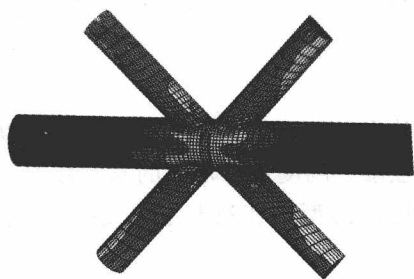


图 1-9

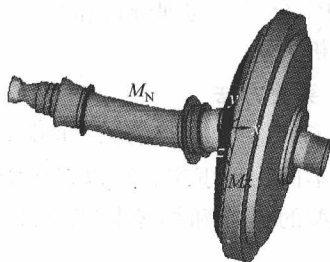


图 1-10

容易想到, 选用较好的材料, 或者把构件的尺寸做得粗大些, 可以提高构件的强度、刚度和稳定性, 有利于保证构件安全正常工作。但是, 这将会多用材料, 提高造价, 造成浪费, 违背经济性的原则。反过来说, 选用价廉质低的材料, 或者减小构件尺寸以减少用料, 虽然比较经济, 但却可能使构件工作时不安全。可见, 安全性与经济性经常是矛盾的。因此, 学习材料力学的目的就是要在满足强度、刚度和稳定性的要求下, 为设计既经济又安全的构件, 提供必要的理论基础和计算方法。

要学好材料力学, 还应该特别重视理论与工程实践的结合。由于现代生活已经离不开现代化的生产, 工业化的产品已经包围并渗透到人们生活的各个方面, 而力学往往是各类工业产品设计和生产的技术基础, 因此, 在我们周围出现的许多事物都体现着各类力学概念、原理和方法。即使是纯天然的东西, 例如我们常见的植物、动物, 经过千百万年的自然淘汰, 它们的许多方面都体现了力学的合理性, 甚至某些方面还值得人们研究和借鉴。所以, 在学习材料力学的过程中, 应该细致地观察自己周围的事物, 把课程知识与实际联系起来, 并试着提出若干问题, 努力地用课程的知识对它们进行分析。如果你真地这样做了, 就会真正掌握本课程的精髓, 也就会深切地体会到: 材料力学, 是我们身边的科学。

1.2 变形固体的基本假设

理论力学由于研究的是物体的平衡和运动规律, 因此将研究对象抽象为刚体。而实际上, 任何物体受载荷作用后其内部质点都将产生相对运动, 从而导致物体的形状和尺寸发生变化, 即变形。例如, 橡皮筋在两端受拉后发生伸长变形; 工厂车间内吊车梁在吊车[⊖]工作时, 梁轴线由直变弯, 发生弯曲变形。可变形的物体统称为变形固体。

物体的变形可分为两种: 一种是当载荷去除后能恢复原状的弹性变形; 另一种

⊖ 起重机俗称吊车, 这里的吊车指桥式起重机。——编者注

是当载荷去除后不能恢复原状的**塑性变形**。工程中绝大多数物体的变形是弹性变形，相应的物体称为**弹性体**。如果物体的弹性变形大小与载荷成线性关系，则称为**线弹性变形**，相应物体的材料称为**线弹性材料**。大多数金属材料当载荷在一定范围内时产生的是线弹性变形。

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发生形状和尺寸的改变，即产生变形。研究构件的强度、刚度和稳定性等问题时，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或变形固体。变形固体的组织构造及其物理性质是十分复杂的，在载荷作用下产生的物理现象也是各式各样的，每门课程根据自身特定的目的，研究的也仅仅是某一方面的问题。为了突出问题的主要方面，必须对研究对象进行抽象，忽略某些次要因素，保留其主要属性，即将研究对象抽象成一种理想的**力学模型**，如在理论力学中将物体看成刚体，而在材料力学中则对变形固体作如下基本假设：

1. 连续性假设

即认为组成固体的物质毫无空隙地充满了整个固体的体积。实际上，组成固体的粒子之间存在着不同程度的空隙，并不连续，而且随着载荷或其他外部条件的变化，这些空隙的大小也会发生变化。例如，金属材料由许多称为**晶粒**的微单元构成，晶粒之间存在有界面、间隙和夹杂等，如图 1-11 所示为球墨铸铁、普通碳钢和优质碳钢的显微组织图。但这种空隙的大小与构件的尺寸相比极其微小，研究固体的宏观性能时可以忽略不计。于是认为固体材料在其整个体积内连续分布。这样就可以把某些力学量用坐标的连续函数来表示。

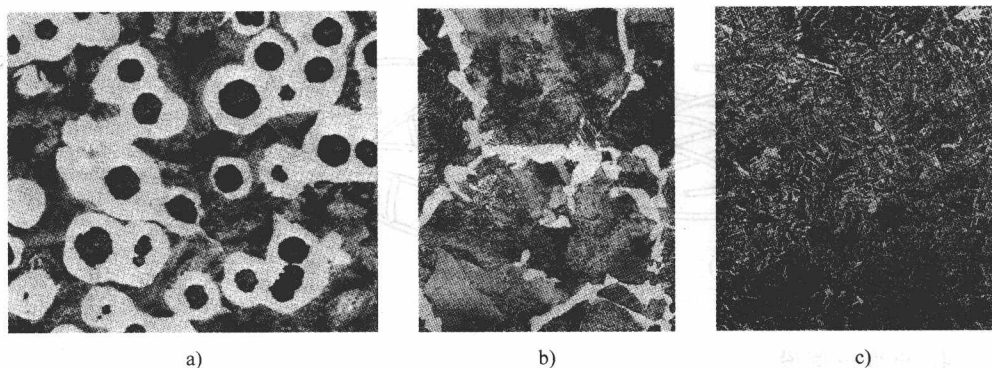


图 1-11

a) 球墨铸铁 b) 普通碳素钢 c) 优质碳素钢

根据这个假设，某些力学量（如应力、应变和变形等）就可以看做是固体内点的坐标的连续函数，从而可以用高等数学等工具（如微分、积分等）对其进行分析计算。

2. 均匀性假设

即认为在固体内各点处具有相同的力学性能。实际上,工程材料的力学性能都有一定程度的非均匀性。例如,组成金属的各晶粒的力学性能并不完全相同(图 1-11),组成混凝土材料的水泥、砂和碎石等组分的力学性能也各不相同。但是,由于这些组分的大小与物体的尺寸相比很小,物体的任一部分都包含大量组分,而且是随机排列在整个体积之内。因此,从宏观上看,物体的力学性能是各组成部分性能的统一平均量,所以可以认为固体内各点处具有相同的力学性能,即认为物体的力学性能是均匀的。这样,物体的任一部分的力学性能就可代表整体的力学性能。

根据这个假设,可以从构件中取出无限小的部分进行研究,然后将研究结果应用于整个构件;也可以将由小尺寸试件测得的材料力学性能应用于尺寸不同的构件或无限小的部分。

3. 各向同性假设

即认为在固体材料内沿各个不同方向的力学性能完全相同。这个假设符合许多材料的实际性能,如玻璃就是典型的各向同性材料。对金属等这类由晶粒组成的材料,虽然每个晶粒的力学性能有方向性,但从统计学观点看,在宏观层面,沿各个方向的力学性能接近相同。这种沿各个方向力学性能相同的材料称为**各向同性材料**,如铸钢、铸铁、玻璃、塑料等,混凝土材料也经常看作各向同性材料。而沿不同方向力学性能不同的材料,称为**各向异性材料**,如木材、胶合板和某些纤维复合材料等。这些材料在顺纤维方向和垂直于纤维方向,材料的力学性质有很大差别,如图 1-12 所示高分子材料的微观结构。有些材料既不是完全各向同性,也非完全各向异性,而是在相互正交的方向具有相同的力学性能,称为**正交各向异性材料**,如胶合板等。材料力学中主要讨论各向同性材料,同时为拓宽知识面,在某些章节涉及一些各向异性材料。

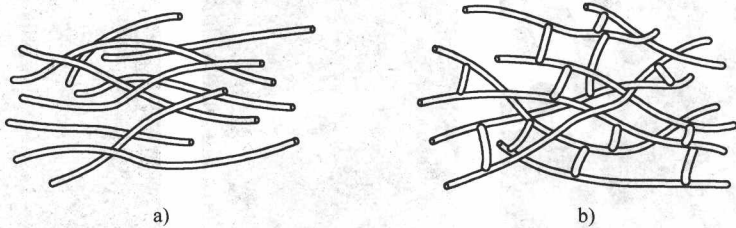


图 1-12

4. 小变形假设

即认为固体受力后的变形比固体的原始尺寸小得多。工程实际中,多数构件在受力后只发生弹性变形,这些弹性变形一般都是很微小的,它相对于构件的原始尺寸小得多,因此在分析构件上力的平衡关系时,变形的影响可以忽略不计,仍按构件的原始尺寸进行计算,从而使计算大为简化。如果构件受力后的变形很大,其影响不可忽略时,则必须按构件变形后的尺寸进行计算。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。但是,需要注意的是,在分析

物体的变形规律时，构件的微小变形是不能忽略的。

关于变形固体的上述基本假设可以分为两类：连续性假设、均匀性假设和各向同性假设是关于物质结构和材料性质的假设，而小变形假设则是关于构件变形特征的假设。

1.3 外力、内力与截面法

1.3.1 外力

在研究某一构件时，可以设想把这一构件从周围物体中单独取出，并用力来代替周围物体对该构件的作用。这些来自构件外部的力就是**外力或载荷**。按作用方式，外力分为表面力和体积力；按是否随时间变化情况，载荷分为静载荷和动载荷。

表面力是作用于物体表面的力，又可分为分布力和集中力。**集中力**是作用于物体上一点的力。当外力作用的面积远小于物体的表面尺寸，就可看做是作用于一点的集中力，如火车轮对钢轨的压力，滚珠轴承对轴的反作用力等。**分布力**是连续作用于物体表面的力，如作用于油缸内壁上的油压力、作用于船体上的水压力等。有些分布力是沿杆件轴线作用的，如楼板对屋梁的作用力。又如，一根基础梁上砌筑着一堵墙，如图 1-13 所示，墙体对梁的作用可以用梁的上表面上的分布力 q 来表示。 q 是一种表面力，一般情况下 q 是梁的轴向坐标 x 的函数 $q = q(x)$ ， $q(x)$ 称为**分布载荷**。如果 q 在其分布长度内为常数，则称为**均布载荷**。压力容器内部的气体或液体对容器壁的作用力也是表面力。**体积力**是连续分布于物体内部各点的力，如重力、电磁力、惯性力等。载荷还可以力偶的形式施加在构件上。

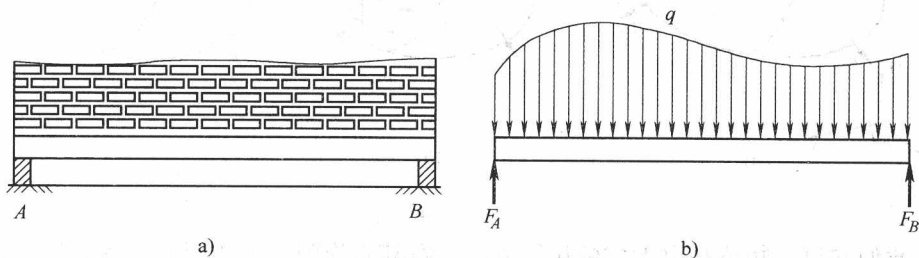


图 1-13

不随时间变化或缓慢变化的载荷，称为**静载荷**。大小或方向随时间变化的载荷，称为**动载荷**。汽车在高低不平的路面上行驶时，车的轮轴上经受的载荷，气流作用在飞机机翼上的载荷，建筑物经受的风载荷和地震载荷，物体撞击构件时的作用力等都是动载荷。按随时间变化的方式，动载荷又可分为冲击载荷和交变载荷。**冲击载荷**是瞬间内施加于物体上的载荷，如急刹车时飞轮的轮轴、锻造时汽锤的锤