



高等教育精品课程“十二五”规划教材·力学类

材料力学

CAILIAO LIXUE



古滨 主编 ■

郭春华 赵明波 田云德等 副主编 ■

高等教育精品课程“十二五”规划教材·力学类

材料力学

(中学时)

——机械类、土建类通用教材

主 编 古 滨
副主编 郭春华 赵明波 田云德
邱清水 唐学彬 彭俊文
参 编 高红霞 江俊松

内 容 简 介

本书是根据教育部“高等学校工科本科课程教学基本要求”和教育部高等学校力学教育委员会力学基础课程教学分委员会“(2009年版)材料力学课程教学基本要求(B类)”编写而成的,也包含了2009年版(A类)要求的部分内容。

全书共13章:绪论、轴向拉压、剪切与扭转、平面图形几何性质、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力分析与强度理论、组合变形、压杆稳定性、能量法基础、动载荷与交变应力、材料塑性变形极限分析和附录型钢表。各章均配有适量的思考题、分类习题及参考答案。本书所涉及的专业符号习惯规定均以机制类为主,凡与土建类有差异处,均给出了“专业差异提示”。

本书的基本内容(未标注*部分)适用于交通、材料、热能、环境、电气、测控、精密仪器、工业设计、建筑学、经济管理、电子科学等专业理论课、学时为36~54的本科生、专科生、高职生使用。

本书的全部内容(含标注*部分)则适用于机械、交通运输、土建、水利、航空航天、船舶、农业工程类专业理论课学时为56~72的本科生、专科生使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

材料力学 / 古滨主编. —北京:北京理工大学出版社, 2012. 2

ISBN 978 - 7 - 5640 - 5549 - 3

I. ①材… II. ①古… 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(2012)第008820号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市中华美凯印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 20

字 数 / 460千字

版 次 / 2012年2月第1版 2012年2月第1次印刷

印 数 / 1~4000册

定 价 / 38.00元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 吴皓云

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

为了适应新世纪课程分级教学的需要和对学生能力培养的要求，我们在总结多年来教学实践的基础上，按照教育部工科力学教学指导委员会“面向二十一世纪工科力学课程教学改革的基本要求”和教育部高等学校力学教育委员会力学基础课程教学分委员会2009年版“材料力学课程教学基本要求（B类）”编写而成的，并采纳部分（A类）的内容。

本书内容安排的结构体系采用当前国内已较成熟的体系。全书共13章：绪论、轴向拉压、剪切与扭转、平面图形几何性质、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力分析与强度理论、组合变形、压杆稳定性、能量法基础、动载荷与交变应力、材料塑性变形极限分析和附录型钢表。各章均配有适量的思考题、分类习题及参考答案。

本书的主要特点如下：

① 本书强调对象，包括读者对象和各章节的主体研究对象，这在各章节的标题上有所体现，以改变当前材料力学教材的章节标题过于专业精练、普遍与工程实际对象脱节的问题，以增强学生的工程意识。

② 本书所涉及的符号习惯规定均以机制类为主，凡与土建类有差异处，均给出了“专业差异提示”。

③ 各章均设置了“分类习题”，对本书所有习题进行了分类和分级处理（文字说明和※、☆标注），便于实现分级教学，便于教师布置作业、利于学生形成知识结构体系，同时针对每个计算题目中的部分关键参数预留了空格，便于教师根据需要重新给定参数，可避免学生盲目抄袭作业或答案。

④ 本书可与北京理工大学出版社出版的《材料力学基本训练》配套使用。

本书的基本内容（未标注*部分）稍作适量删减则适用于交通、材料、热能、环境、电气、测控、精密仪器、工业设计、建筑学、经济管理、电子科学等专业理论课学时为36~54的本科生、专科生、高职生使用。

本书的全部内容（含标注*部分）则适用于机械、交通运输、土建、水利、航空航天、船舶、农业工程类专业理论课学时为56~72的本科生、专科生使用。

本书由古滨担任主编，郭春华、赵明波、田云德、彭俊文、唐学彬、邱清水担任副主编。本书编写人员及分工：西华大学古滨编写第1、4、12、13章、成都理工大学的郭春华编写第2章、西南科技大学的赵明波编写第6、7章、西华大学的田云德编写第9、11章、彭俊文编写第5、10章、唐学彬编写第3章、邱清水编写第8章、高红霞编写第4章部分内容、江俊松编写附录型钢表和全书大部分插图。全书由古滨统稿，并编写了各章中的大部分习题和其余插图，同时对各章节作了较大范围的修改和补充。

在本书的策划和编写过程中，得到了西华大学力学教学部、力学实验中心各位老师的关心和支持；得到了西南科技大学陈国平老师的热情支持；得到了西南交通大学沈火明老师和龚辉老师的指导和帮助；接纳了西华大学胡文绩等老师许多好的建议，在此一并表示衷心感谢。

本书提供给广大教师、学生和其他读者朋友，希望能对你们的教与学有所帮助。限于编者水平和时间，疏漏和贻误在所难免，恳请批评指正。

编者

目 录

第 1 章 绪论·初始概念	1
1.1 材料力学的任务	1
1.2 材料力学的力学模型·变形固体·基本假设	2
1.3 材料力学的研究对象·构件分类·基本变形	4
1.4 外力、内力和应力的概念	5
1.5 位移、变形和应变的概念	7
1.6 材料力学的主要问题及主要方法	9
思考题	9
分类习题	10
第 2 章 直杆·轴向拉压	12
2.1 轴向拉伸(压缩)的受力特点与变形特征	12
2.2 轴向拉压时横截面上的内力与内力图·轴力与轴力图	13
2.3 轴向拉压时截面上的应力	15
2.4 材料在轴向拉伸和压缩时的力学性能	18
2.5 许用应力·安全因数·强度条件与强度计算	23
2.6 轴向拉压时的变形·胡克定律	25
* 2.7 轴向拉压时的应变能(变形能)	29
2.8 用变形比较法求解简单杆系超静定问题	31
2.9 应力集中的概念	34
思考题	35
分类习题	36
第 3 章 连接件·剪切 圆轴·扭转	41
3.1 剪切和挤压的概念和实例	41
3.2 剪切和挤压的强度实用计算	42
3.3 扭转的概念·外力偶矩的换算	45
3.4 圆轴扭转时横截面上的内力与内力图·扭矩与扭矩图	46
3.5 薄壁圆筒的扭转·几个基本概念的引出	48
3.6 圆轴扭转时横截面上的切应力·强度条件与强度计算	50
3.7 圆轴扭转时的变形·刚度条件与刚度计算	54
* 3.8 扭转时的应变能(变形能)	56
* 3.9 非圆截面直杆扭转的概念	57
* 3.10 开口和闭口薄壁截面直杆自由扭转的概念	59

思考题	63
分类习题	64
第4章 截面·平面图形几何性质	70
4.1 截面图形·形心和静矩	70
4.2 截面图形·惯性矩和惯性积	72
4.3 惯性矩和惯性积·平行移轴公式	75
* 4.4 惯性矩和惯性积·转轴公式	78
思考题	82
分类习题	84
第5章 直梁·弯曲内力	88
5.1 平面弯曲和对称弯曲的概念及实例	88
5.2 支座与载荷的简化·梁的分类·计算简图	89
5.3 平面弯曲时梁横截面上的内力·剪力和弯矩	90
5.4 写内力方程绘制内力图·剪力图和弯矩图	93
5.5 用分布载荷集度、剪力、弯矩之间微积分关系绘制内力图	98
5.6 用叠加法绘制弯矩图	100
* 5.7 平面刚架的内力图(轴力图、剪力图和弯矩图)	102
思考题	103
分类习题	104
第6章 直梁·弯曲应力	108
6.1 纯弯曲和横力弯曲的概念	108
6.2 纯弯曲时梁横截面上的正应力	108
6.3 横力弯曲时梁横截面上的正应力·正应力强度条件与计算	112
* 6.4 横力弯曲时梁横截面上的切应力·切应力强度条件与计算	117
* 6.5 开口薄壁截面梁的弯曲切应力·弯曲中心的概念	123
6.6 提高梁弯曲强度的主要措施	124
思考题	128
分类习题	129
第7章 直梁·弯曲变形	134
7.1 梁的挠度和转角	134
7.2 梁的挠曲线近似微分方程	135
7.3 用积分法求梁的弯曲变形	136
7.4 用叠加法求梁的弯曲变形	141
7.5 梁的刚度条件与刚度校核	144
7.6 用变形比较法求解简单超静定梁	145
* 7.7 梁的弯曲应变能(变形能)	149
7.8 提高梁弯曲刚度的主要措施	151
思考题	152
分类习题	153

第 8 章 应力状态·强度理论	158
8.1 概述	158
8.2 一点处的应力状态·应力状态分类	158
8.3 二向应力状态·应力分析的解析法	160
8.4 二向应力状态·应力分析的图解法	163
* 8.5 三向应力状态简介	166
8.6 广义胡克定律	167
* 8.7 复杂应力状态的应变能密度	169
8.8 强度理论	170
思考题	175
分类习题	175
第 9 章 构件·组合变形	183
9.1 组合变形与叠加原理	183
9.2 拉伸(压缩)与弯曲的组合	184
9.3 弯曲与扭转的组合	188
* 9.4 斜弯曲	191
思考题	194
分类习题	195
第 10 章 压杆·稳定性	200
10.1 压杆稳定性的概念	200
10.2 细长压杆的临界压力、临界应力·欧拉公式	201
10.3 欧拉公式的适用范围·临界应力总图·直线公式	204
10.4 稳定性计算·安全因数法	206
* 10.5 稳定性计算·折减系数法	208
10.6 提高压杆稳定性的主要措施	210
思考题	210
分类习题	211
* 第 11 章 能量法·超静定	216
11.1 杆件变形能的计算	216
11.2 卡氏第二定理·位移计算	218
11.3 单位载荷法·位移计算	222
11.4 互等定理·位移计算	225
11.5 用能量法解超静定结构	226
思考题	227
分类习题	228
* 第 12 章 动载荷·交变应力	234
12.1 概述	234
12.2 惯性载荷	235
12.3 冲击载荷	240

12.4	周期性载荷	248
12.5	交变应力·材料与构件的疲劳极限	251
12.6	对称循环下构件的疲劳强度	254
12.7	提高疲劳强度的措施	256
	思考题	256
	分类习题	258
*	第13章 塑性变形·极限分析	265
13.1	概述	265
13.2	杆系·拉压极限分析	266
13.3	圆轴·扭转极限分析	269
13.4	直梁·弯曲极限分析	271
	思考题	279
	分类习题	279
	附录 型钢表	283
	分类习题答案	294
	参考文献	308

主要符号表

1. 英文符号	量的含义		
A	横截面面积、振幅	H, h	高度
A_α	α 斜截面面积	I, I_y, I_z	惯性矩
A_S	剪切面面积	I_p	极惯性矩
A_{bs}	挤压面投影面积	I_{yz}	截面对正交 y, z 轴的惯性积
a	间距、宽度、加速度	i	惯性半径
b	宽度、距离	K	体积模量
C	质心、重心	K_d	动荷因数
D	直径	K_f	理论应力集中系数
d	直径、距离、力偶臂	k	弹簧常量, 弹簧刚度, 应变计灵敏因数
E	弹性模量、杨氏模量	L, l	长度、跨度
E_k	动能	M_x	扭矩
E_p	势能	M, M_y, M_z	外力偶矩、弯矩
e	偏心距	\overline{M}	单位载荷引起的弯矩
F	力	M_e	外力偶矩
F_{Ax}, F_{Ay}	A 铰处沿 x, y 方向约束反力	M_O	对 O 点的矩
F_{cr}	临界载荷	m	质量、外力偶矩
F_d	动载荷	N	循环次数、疲劳寿命
F_l	惯性力	n	转速、螺栓个数
F_u	极限载荷	n_s	对应于塑性材料 σ_s 的安全因数
F_N	轴力、法向约束反力	n_b	对应于脆性材料 σ_b 的安全因数
$\overline{F_N}$	单位载荷引起的轴力	$n_{st}, [n]_{st}$	稳定安全因数
$[F_u]$	许用载荷	P	(输入、输出) 功率、重量、外力
F_p	集中载荷	p	全应力、压强、内压力
F_R	合力、主矢	q	载荷集度、广义坐标
F_S, F_Q	剪力、静滑动摩擦力	r, R	半径、电阻
$\overline{F_S}$	单位载荷引起的剪力	S, S_y, S_z	静矩、一次矩
F_T	拉力	s	路程、弧长
F_x, F_y, F_z	力 F 在 x, y, z 轴上的分量	T	扭矩、周期、摄氏温度
f	动摩擦因数、频率		
f_s	静摩擦因数		
G	切变模量、剪切弹性模量		

\bar{T}	单位载荷引起的扭矩	λ	柔度、长细比、压杆轴向位移
t	时间	μ	长度系数、长度因数
u	轴向位移、水平位移	μ, ν	泊松比、横向变形系数
$[u]$	许用轴向位移	ρ	材料密度、曲率半径
V	体积	ρg	重度
U, V_ε	应变能、变形能	σ	正应力
v	速度	σ_a	应力幅
v_d	畸变能密度	σ_t, σ^+	拉应力
v_V	体积改变能密度	σ_c, σ^-	压应力
v_ε	应变能密度	$\sigma_m, \bar{\sigma}$	平均应力
W	力的功、重量、抗弯截面模量	σ^0	极限应力、危险应力
W_i	内力功	σ_b	强度极限、抗拉强度
W_e	外力功	σ_{bs}, σ_c	挤压应力
W_z	抗弯截面系数、抗弯截面模量	$[\sigma]$	许用应力、许可应力
W_p	抗扭截面系数、抗扭截面模量	$[\sigma_t], [\sigma]^+$	许用拉应力
		$[\sigma_c], [\sigma]^-$	许用压应力
		σ_{cr}	临界应力
		σ_d	动应力
		σ_e	弹性极限
		σ_p	比例极限
		σ_{-1}	对称循环时的疲劳极限
		$\sigma_{0.2}$	名义屈服极限、条件屈服极限
		σ_s	屈服极限、屈服强度、极限应力
		σ_r	相当应力、残余应力、疲劳极限
		σ_n	名义应力
		τ	切应力、剪应力
		τ_u	极限切应力
		$[\tau]$	许用切应力、许用剪应力
		φ	稳定折减系数
		$\phi, \Delta\phi$	扭转变形的扭转角
		ω	挠度、角速度
		ω_0	固有角频率
2. 希腊文符号 量的含义			
α	倾角、角加速度、线膨胀系数		
β	角度、表面加工质量系数		
γ	角度、切应变、剪应力		
δ	厚度、变形、位移、滚阻系数、单位力引起的位移、阻尼系数		
δ_x, δ_y	水平位移、铅垂位移		
Δ	增量符号、有限增量		
Δ	位移、变形		
ε	正应变、线应变、尺寸系数		
ε_e	弹性应变		
ε_p	塑性应变		
ε_V	体积应变		
$\dot{\varepsilon}$	应变速率		
ζ	阻尼比		
η	黏度		
θ	单位长度扭转角、转角、体积应变		

第 1 章 绪论 · 初始概念

1.1 材料力学的任务

力对物体的作用效应分为两种，一是引起外效应，它使物体的位置及运动状态发生改变；二是产生内效应，它使物体产生变形或破坏。理论力学研究外效应，而材料力学研究内效应。

理论力学的研究对象主要是不变形的刚体，因此，理论力学是一门研究刚体在各种主动力作用下所引起的外效应的学科。而材料力学的研究对象则是变形很小的固体，所以，材料力学 (mechanics of materials) 是一门研究变形固体在外力或温度作用下产生的内效应的学科。

材料力学是现代工程技术的重要基础，也是所有工科高校学生必修的课程。在工程实际中，常见的高层建筑、桥梁、航天飞机、舰船、高铁、车辆、海洋平台、海底隧道、各类型机械设备等（图 1.1）都蕴涵了无数的力学理念，正是力学理论支撑着它们今天的存在和未来的发展。

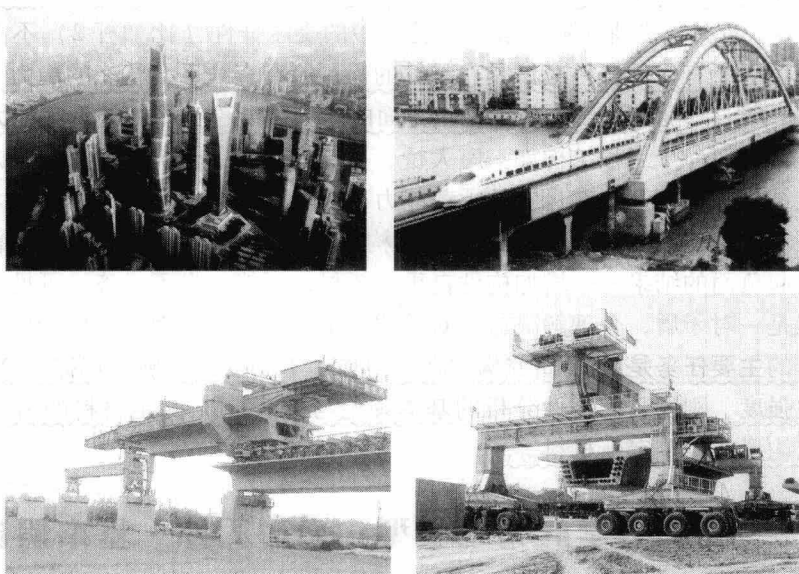


图 1.1 高层建筑、桥梁、高铁、大型机械设备图例

材料力学问题与理论力学问题的主要区别与联系可通过图 1.2 所示的两个托架来简单加以说明。

对于图 1.2 中两个托架而言, 都可能存在在以下几方面的工程实际问题:

- (1) 求各支座的约束反力。
- (2) 求各杆的内力。
- (3) 验证托架是否安全(是否破坏? 变形是否过大? 受压杆②是否被压弯?)。
- (4) 在保证托架安全的情况下, 选择各杆的材料、确定各杆截面形状及尺寸大小。
- (5) 在保证托架安全的情况下, 确定托架节点 A 允许的最大载荷 F 。

(6) 求各杆的变形和节点 A 的位移, 等等。

对于静定结构托架如图 1.2 (a) 所示, 上述所有 6 个问题中的前两个问题属于理论力学静定问题, 它们的求解与杆的材料种类、截面形状大小、杆长等因素无关; 而后 4 个问题则属于材料力学所关心的问题, 这些问题的求解通常与杆的材料种类、截面形状大小、杆长等因素有关。

对于静不定结构托架如图 1.2 (b) 所示, 则上述所有 6 个问题都属于材料力学所关心的问题, 这些问题的求解通常都与杆的材料种类、截面形状大小、杆长等因素有关。也就是说, 理论力学只能识别但不能求解静不定问题, 而只能通过材料力学才能求解静不定问题。

要保证托架安全, 所有的杆件不能破坏, 则要求在载荷作用下所有的构件应该具有足够的抵抗破坏的能力, 即有足够的强度 (strength); 要保证托架正常工作, 所有的杆件不能有过的变形, 则要求在载荷作用下所有的构件应该具有足够的抵抗变形的能力, 即有足够的刚度 (stiffness); 此外, 要保证托架安全, 托架中的受压杆件(比如杆 2)不能被压弯, 则要求在载荷作用下所有受压杆件应该具有足够的保持原有直线平衡状态的能力, 即有足够的稳定性 (stability)。刚度、强度、稳定性三方面的能力被统称为构件的承载能力。

工程师设计任何一个工程结构如一座大桥、一栋大楼、一台机器, 首先考虑该工程结构的每一个组成结构的构件都要有足够的承载能力, 由这样的构件所组成的结构才能安全、可靠、持续、正常地工作。当然, 要单纯地提高构件的承载能力, 只需片面地增大构件的尺寸, 但往往引起负面的结果——增加构件自重, 耗材, 耗能, 且不经济。可见, 安全可靠与经济合理显然是一对矛盾, 合理解决这一对矛盾就是材料力学所面临的任务。

材料力学的主要任务是: ① 研究构件在外力作用下的变形、破坏规律; ② 为合理设计构件提供有关强度、刚度、稳定性分析的基本理论与方法; ③ 测定材料的力学性能、研究新型构件和结构形式、鉴定新材料等。

1.2 材料力学的力学模型·变形固体·基本假设

实际构件在外力作用下都会引起其几何形状和尺寸大小的改变, 即产生变形。为了突出工程构件变形不大的固体特性, 通常把变形构件称为变形固体。

实际构件所用的材料存在各种瑕疵, 从物质结构到力学性能, 随不同位置、不同方向都是有差异的。在对其进行强度、刚度和稳定性分析前, 由于问题的复杂性, 需要将变形

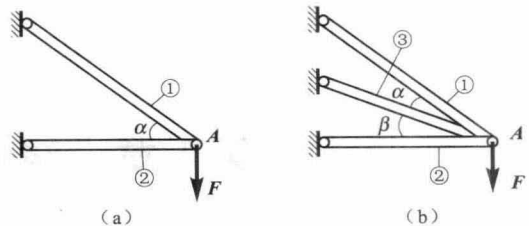


图 1.2 静定与静不定托架结构
(a) 静定结构托架; (b) 静不定结构托架

固体抽象为一种理想的模型。为此需作出一些假设。材料力学中对变形固体作了如下基本假设。

1. 连续性假设

连续性假设认为构件内部的材料是密实的，没有空隙，即材料是连续分布的。

实际材料的微观结构并不处处都是连续的，都存在不同程度的微小空隙，因极其微小，可以忽略不计，这是对工程材料的宏观性质所作的抽象和概括。根据这一假设，描述构件受力和变形的一些物理量（如各点的位移），都可以表示为各点坐标的连续函数，便于利用高等数学中的微积分方法。

2. 均匀性假设

均匀性假设认为材料质量的分布是均匀的，各点处材料的力学性能完全相同，构件内的任一位置的力学性能都能代表整个构件的力学性能。根据这一假设，可在构件中截取任意微小部分进行研究，然后将所得的结论推广到整个构件。

材料的力学性能是指材料在外力作用下所表现的机械性能。

3. 各向同性假设

各向同性假设认为变形固体内同一点在所有方向上均具有相同的物理性能和力学性能。

从微观上讲，大多数工程材料不是各向同性的。例如金属材料，其中每个单晶粒的力学性能是有方向性的，呈各向异性，但由数量极多的晶粒聚集形成金属块体时，因排列无序，从统计平均值的观点，可以将金属假设为各向同性材料。

这个假设并不是适用于所有的材料，如木材、胶合板、纤维增强复合材料等，这些材料属于各向异性的材料。本书主要研究各向同性材料。

4. 小变形假设

工程中大多数构件在载荷作用下，所引起的几何形状和尺寸大小的改变量与构件本身的原始尺寸相比是一个很微小的量，这种变形称小变形。在研究构件的平衡和运动等外效应问题时，均可忽略这种小变形量，按构件的原始尺寸进行计算。

材料力学课程在大部分情况下都将研究限于小变形范围之内。这是缘于下列三方面的考虑：

- (1) 大部分承力的工程构件在工作条件下产生的变形，与构件的原始尺寸相比很小。
- (2) 在小变形条件下，变形与载荷呈线性关系。
- (3) 在小变形条件下，很多材料的物性呈线性弹性关系。

综上所述，材料力学的力学模型为连续、均匀、各向同性且限于小变形的变形固体，而非刚体。

材料力学所研究的构件，其变形均属于小变形范围。所谓小变形，即构件在载荷作用下，所引起的几何形状和尺寸大小的改变量与构件本身的原始尺寸相比是一个很微小的量。例如，国家规范要求，土木工程中一般简支梁在受力后中点的垂直位移不超过简支梁全长的千分之几。尽管变形固体的变形很小，但它与构件的强度、刚度、稳定性等问题密切相关，因此必须考虑变形固体。但在研究构件的平衡和运动等外效应问题时，均可忽略这种小变形量，且按构件的原始尺寸进行计算，使计算大为简化。

1.3 材料力学的研究对象·构件分类·基本变形

实际构件按其几何特征可分为杆件、板、壳和块体。材料力学的研究对象主要是各类杆件。板、壳和块体通常归为弹性力学的研究领域。

所谓杆件是指一个方向的尺度远大于其他两个方向的尺度。杆件内与杆长方向垂直的截面称为横截面，各横截面形心的连线称为轴线。杆件轴线为直线的称为直杆，横截面相同的直杆称为等截面直杆，简称等直杆。杆件轴线为曲线、折线的分别称为曲杆和折杆。横截面不同的称为变截面杆（包括截面突变和渐变两类），如图 1.3 所示。材料力学的基本理论主要建立在等直杆（等截面直杆）的基础上。

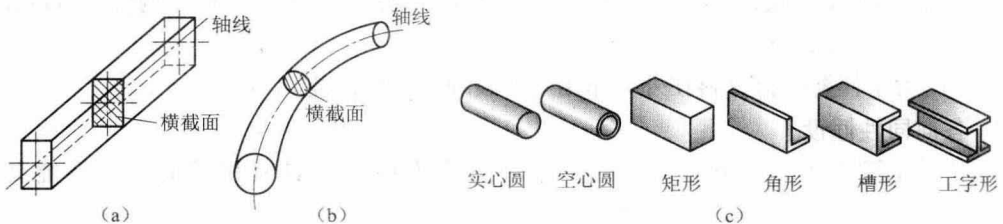


图 1.3 杆件的特征与工程上常见的等直杆

(a) 等截面直杆；(b) 变截面曲杆；(c) 工程上常见的等直杆

杆件在不同外力的作用下产生的变形形式是不同的，但可归纳为轴向拉伸或压缩、剪切、扭转和弯曲四种基本变形形式或是它们的组合变形。四种基本变形分别如下。

1. 轴向拉伸或压缩

当杆件受到的所有外力其作用线（包括局部外力的合力作用线）与杆件轴线重合时，杆件将产生沿轴向伸长或缩短变形。最简单的情形是：当杆件两端承受一对大小相等、方向相反的轴向外力作用时，杆件将产生轴向伸长或缩短变形，如图 1.4 (a)、(b) 所示。

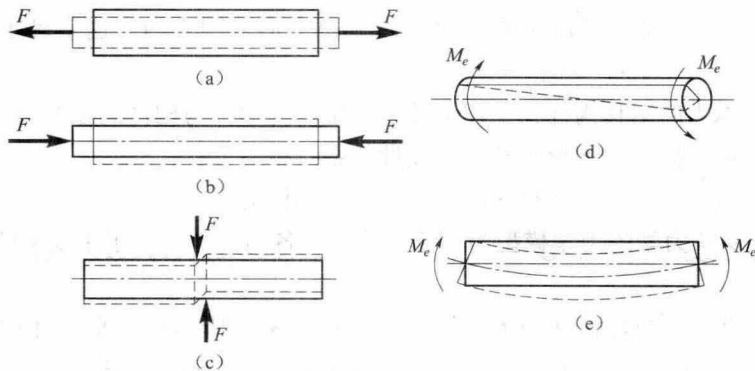


图 1.4 四种基本变形的受力特点与变形特征

(a) 轴向拉伸；(b) 轴向压缩；(c) 剪切；(d) 扭转；(e) 弯曲

2. 剪切

当杆件受到与轴线垂直的横向外力时，杆件的相邻横截面将发生相互错动。最简单的情形

是：当杆件受到一对等值、反向、相距很近的横向外力作用时，力所作用的两个横截面（受剪面）将分别沿力的方向产生位移，使杆件左右两部分产生相互错动，如图 1.4 (c) 所示。

3. 扭转

当杆件在其横截面内受到的外力偶作用时，杆件所有横截面将绕其轴线发生转动。最简单的情形是：当杆件受到一对力偶矩相等、转向相反且位于横截面内的力偶作用时，杆件内任意两个横截面将绕轴线发生相对转动，如图 1.4 (d) 所示。

4. 弯曲

当杆件在其纵向平面内受到的外力偶作用时，杆件所有横截面将绕垂直于杆件轴线的轴发生转动，同时其轴线将变成曲线。最简单的情形是：当杆件的两端受到一对位于纵向平面内的转向相反、其矩相等的力偶作用时，所有横截面将绕垂直于杆件轴线的轴发生转动，如图 1.4 (e) 所示。

1.4 外力、内力和应力的概念

1. 外力

杆件的外力主要指作用在杆件上的载荷 (load) 和约束反力 (reaction)。可以利用理论力学中静力平衡方程求约束反力。

外力按其作用的方式可分为体积力和表面力。体积力包括构件的自重和惯性力，在计算时常用到材料的重度 ρg ，其单位为 N/m^3 或 kN/m^3 ；表面力是指在接触面连续分布的力，例如雪荷、风荷和水压力等，工程上常用的单位为 N/m^2 或 kN/m^2 。

由于材料力学主要研究的是杆件，其横向尺寸远小于纵向尺寸，体积力和表面力可以简化为线分布力，用分布力集度 q 来表达，其单位为 N/m 或 kN/m 。

分布力作用的面积与构件面积相比非常小时，可将此分布力简化为作用在一点上，称为集中力，其单位用 N 或 kN 表示。

载荷按是否随时间变化的情况，可分为静载荷和动载荷。动载荷集中在第 12 章中讨论，而其余章节只涉及静载荷。静载荷是指缓慢地由零增加到一定数值后，保持不变或变动不大的载荷。例如，水库中静水对坝体的压力、挡土墙承受的土压力、建筑物上的雪载荷等。做实验时，按国家标准规定的速率加在试样上的载荷，可视为静载荷。动载荷是指随时间的改变有明显数值变化的载荷，又可分为惯性载荷、冲击载荷、交变载荷。例如，人在电梯中因电梯加速上升产生的载荷属于惯性载荷；汽车在行进中因碰撞而产生的载荷属于冲击载荷；火车在快速行进中，车厢加在车轴上的载荷属于交变载荷。

2. 内力

材料力学中的内力是指在外力作用下，引起构件内部相互作用的力，而非分子之间的凝聚力。内力与构件的强度、刚度、稳定性密切相关，所以在研究构件各种基本变形时，应当首先研究内力。

图 1.5 (a) 为一般情形下的杆件。若 $m-m$ 截面上内力为空间分布力系 [如图 1.5 (b)]，将其向截面形心 O 点简化的结果为一个力 F'_R 、一个力偶 M_O [如图 1.5 (c)]，分别将其沿三个坐标轴分解，就得到最一般的情形下 $m-m$ 截面上的 6 项内力分量，如图 1.5 (d) 所示。

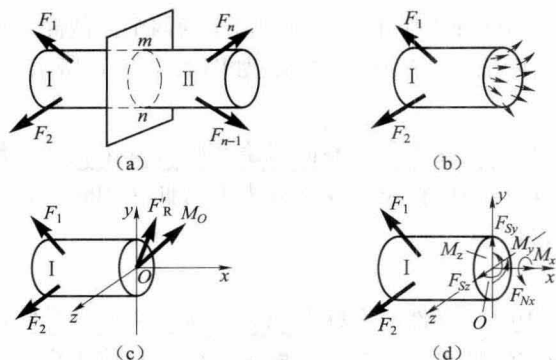


图 1.5 一般情形下的杆件横截面上的内力分量

- (a) 一般情形下的杆件；(b) 空间分布力系；
- (c) 向截面形心 O 点简化；(d) 最一般的情形下的 6 项内力分量

最一般情形下杆件横截面上的 6 项内力分量分别为： F_{N_x} 、 F_{S_y} 、 F_{S_z} 、 M_x 、 M_y 、 M_z 。 F_{N_x} 是与轴线重合的内力分量，称为轴力（简写为 F_N ），使杆件产生轴向变形； F_{S_y} 或 F_{S_z} 是与横截面相切的两个内力分量，称为剪力（简写为 F_S ），使杆件产生剪切变形； M_x 是横截面上的力偶内力分量，称为扭矩（简写为 T ），使杆件产生扭转变形； M_y 或 M_z 是纵向平面上的两个力偶内力分量，称为弯矩（简写为 M ），使杆件产生弯曲变形。

以上各项内力分量在材料力学中的正、负号规定及符号等将在后续章节中逐步论述。

求内力的常用方法为截面法，截面法求内力的三个步骤如下。

(1) 截开：用假想平面将物体从需要求内力的 $m-m$ 截面处截开，分为 I、II 两个部分，如图 1.5 (a) 所示。

(2) 代替：任取其中一部分（例如取第 I 部分）作为研究对象，画上所有的外力，并在 $m-m$ 截面上用相应的内力分量来代替弃去的第 II 部分对它的作用，如图 1.5 (d) 所示。

(3) 平衡：由已知载荷和已求得约束反力，建立第 I 部分的平衡方程，求出相应内力分量。

【例 1.1】用截面法求图 1.6 (a) 所示折杆在 D 截面的内力，已知 $F_{P1} = F_{P2} = F_{P3} = F$ 。

解：用假想的平面在 D 处截开，取第 II 部分为研究对象，画上所有外力 F_{P2} 、 F_{P3} ， D 截面上有三个内力分量，这类似于固定端约束，暂按理论力学的习惯假设画出 F_{N_x} 、 F_{S_y} 、 M_z ，如图 1.6 (b) 所示。注意：在图 1.6 (b) 中的虚框内的三个内力分量是用材料力学的正向规定的表达方式，这将在后续章节中逐一介绍。

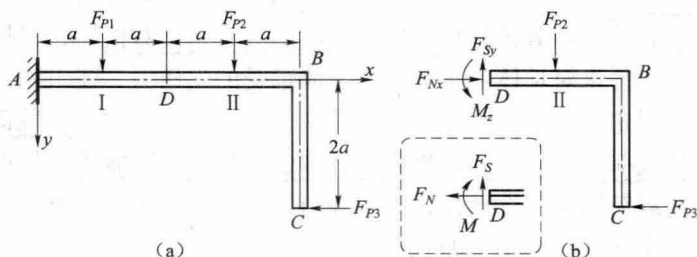


图 1.6 【例 1.1】图

列出第 II 部分的静力平衡方程并求解：

$$\begin{aligned} \sum F_x = 0, & & F_{N_x} - F_{P3} = 0, & & F_{N_x} = F_{P3} = F \\ \sum F_y = 0, & & F_{P2} - F_{S_y} = 0, & & F_{S_y} = F_{P2} = F \\ \sum M_D(F) = 0, & & M_z - aF_{P2} - 2aF_{P3} = 0, & & M_z = 3aF \end{aligned}$$

本题也可通过取第 I 部分来求内力，但需先取整体为对象并求出 A 端的约束反力。