

材料力学

简明教程

景荣春 主 编

刘建华 郑建国 宋向荣 黄海燕 副主编



清华大学出版社

材料力学简明教程

景荣春 主编

刘建华 郑建国 宋向荣 黄海燕 副主编

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书共分 11 章和 4 个附录,涵盖了教育部非力学专业课程指导分委员会最新制订的多学时“材料力学”课程基本要求的内容,包括:拉伸和压缩、剪切和挤压、扭转、弯曲(内力、应力和变形)、应力状态和强度理论、组合变形、压杆稳定、疲劳强度、能量法和截面几何性质等。

全书以工程实际为背景,注重材料力学概念、力学解题能力和力学建模能力的培养,通过课程内容和体系的改革,力求理论与应用并重、知识传授与能力培养并重。本书力求论述简明扼要,例题分析透彻,并通过较多的例题,寻求解题规律,以便使学生达到熟练掌握基本概念、基本理论、基本方法和计算技能的教学要求并注意与相关课程的贯通和融合。

本书可作为一般高等院校应用型工科本科各专业材料力学课程的教材,也可作为夜大、函授大学及职工大学相应专业的教材,还可供有关工程技术人员参考。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学简明教程/景荣春主编;刘建华,郑建国,宋向荣,黄海燕副主编. —北京:清华大学出版社, 2006.11

ISBN 7-302-13847-8

I. 材… II. ①景… ②刘… ③郑… ④宋… ⑤黄… III. 材料力学—高等学校—教材 IV. TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 113970 号

出 版 者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 客户服务:010-62776969

组稿编辑:张 瑜

文稿编辑:张文弘

排版人员:房书萍 阙道燕

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:18 字数:429 千字

版 次:2006 年 11 月第 1 版 2006 年 11 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-13847-8/O · 575

印 数:1~4000

定 价:25.00 元



景荣春，男，1947年出生。
1964—1970年就读于清华大学，
1979—1980年清华大学2年制
进修班学习，1982年获得江苏
工学院工学硕士学位，1986—
1987年教育部公派美国威斯康
辛大学（Madison）访问学者。
现任江苏科技大学教授，省级
一类优秀课程“理论力学”组
长兼省级二类优秀课程“工程
力学”组长。一直从事各门力
学课程的教学和工程应用研究，
获省级一、二等奖各1次；主
持完成国家级重大攻关设备研
究1项，填补了国内空白；主
持完成部级国防科研项目2项；
主编“理论力学”教材2本，
合编“工程力学”教材2本，
合编“基础力学”电子教材光
盘6张，参编“基础力学”教
辅教材4本；以第1作者发表论
文30余篇。

推荐相关教材用书

《理论力学简明教程》

《材料力学简明教程》

前 言

材料力学是高等工科院校中开设的一门重要的技术基础课程,材料力学知识不仅对后续课程影响深远,而且在工程中有很广泛的应用。许多高校将其列为招收硕士研究生的入学考试科目。

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要,满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校各类应用型人才培养的要求,在清华大学出版社的积极支持下,编者根据所在高校多年来以培养应用型人才为主所讲授的“材料力学”教学内容、课程体系等方面的改革实践和体会,编写了本书。

本书面向一般高等工科院校本科土建、机械、交通、水利、动力和化工等专业,重点面向近几年由大专升格为本科的培养应用型人才的高等院校。综合考虑到一般院校学生的数理基础、目前材料力学课程课内学时普遍减少和应用型人才培养目标等诸多因素,本书内容的编写在满足工科多学时材料力学课程基本要求的框架下,全部采用 GB 3100~3102—93《量和单位》中规定的有关通用符号(其中“不变量”用正体,“可变量”用斜体,“专有量”用大写;一般表示“整体量”用大写,“局部量”、“普通量”用小写),书写格式规范,内容难度尽量浅一些,讲述通俗、具体一些,容易理解一些。全书通过较多的由浅入深的各种类型的例题、分析、求解、讨论和解题技巧说明,使读者更容易掌握材料力学的基本概念、基本理论、基本方法及要点和难点。

本书突出工程概念,每章大都从工程实例引出问题,章末的小结归纳其要点。第1章论述的概念是要求在学习后续各章内容时不断加深理解;第2,3,4,5,6章,按基本变形(拉伸、压缩、剪切、挤压、扭转及弯曲)由浅入深地分析由内力引起的应力、变形和由此产生的强度、刚度问题,比较适合于一般院校学生的学习;第7,8章讲授应力状态和强度理论、组合变形,对强度问题作较深入的讨论;第9章对压杆稳定问题作必要的分析;第10章介绍疲劳强度;第11章介绍能量法和动应力概念,这些都是解决工程实际问题时很实用的知识。

本书,第1,4,11章由景荣春编写;第2,3章和附录A由郑建国编写;第5,6章由宋向荣编写;第7,8章由刘建华编写;第9,10章由黄海燕编写。全书由景荣春教授任主编并统稿。

本书部分内容标有*号,属于加深和拓宽内容,非基本要求,可根据需要选用。课内学时少的,疲劳、动应力只需介绍概念,组合变形强度和能量法则可不讲,其他部分有的也可略讲。

本书也可供其他专业选用,或作为自学教材。

本书在编写过程中参考了国内外一些优秀教材,吸取了它们的许多长处,并选用了其中的部分例题和习题,在此也向这些教材的编者一并致谢。

限于编者水平,缺点和错误在所难免,衷心希望读者批评和指正,以便重印或再版时不断提高和完善。

编 者

2006年6月于江苏科技大学

主要符号表

A	面积	l	长度, 跨度
a	间距, 加速度	M	弯矩
b	宽度, 间距	$\overline{M}$	单位力引起的弯矩
c	质心, 重心, 积分常数	M_e	外力偶矩
c	间距	M_O	对点 O 的矩
D	直径, 积分常数	M_y, M_z	弯矩
d	直径, 距离, 力偶臂	m	质量, 分布力偶
E	弹性模量, 杨氏模量	N	循环次数
e_k	动能	N_0	循环基数, 疲劳寿命
E_p	势能	n	转速, 安全因数
e	偏心距	n_f	疲劳安全因数
F	力, 集中载荷	$[n]_{st}$	稳定安全因数
F_{Ax}, F_{Ay}	A 处约束力分量	P	功率, 重量
F_{bs}	挤压力	p	压力, 总应力, 单位长度轴向力
F_{cr}	临界力	q	分布载荷, 敏感因数
F_I	惯性力	R	半径
F_N	轴力, 法向约束力	r	半径, 应力比
$\overline{F_N}$	单位力引起的轴力	S	静矩
F_R	合力, 主矢	s	路程
F_S	剪力	T	扭矩, 周期
$\overline{F_S}$	单位力引起的剪力	$\overline{T}$	单位力引起的扭矩
F_s	屈服载荷	t	时间, 温度
F_T	张力	u	水平位移, 轴向位移
G	切变模量, 重量	$[u]$	许用轴向位移
g	重力加速度	V	体积
h	高度	V_e	应变能
I	惯性矩	v	速度
I_p	极惯性矩	v_e	应变能密度
I_t	相当极惯性矩	v_d	畸变能密度
I_{xy}	惯性积	v_V	体积改变能密度
i	惯性半径	W	功, 弯曲截面系数, 重量
J	转动惯量	W_p, W_t	扭转截面系数
K_σ, K_τ	有效应力集中因数	w	挠度
$K_{t\sigma}, K_{t\tau}$	理论应力集中因数	x, y, z	坐标
k	刚度系数	α	线膨胀系数, 角
k_d	动荷因数	α_i	等效因数

β	角, 表面质量因数
γ	切应变
Δ	变形, 位移
$\Delta\sigma$	应力幅
$\Delta\sigma \Delta\sigma_e$	等效应力幅
δ	变形, 位移, 厚度, 延伸率
ε	线应变
ε'	横向应变
ε_e	弹性应变
ε_v	体积应变
θ	梁截面转角, 单位长度扭转角
λ	柔度, 长细比
μ	长度因数, 泊松比
ρ	曲率半径, 回转半径, 密度
σ	正应力
σ^+	拉应力
σ^-	压应力
$[\sigma]$	许用应力
$[\sigma]^+$	许用拉应力
$[\sigma]^-$	许用压应力
σ_b	强度极限
σ_{bs}	挤压应力
σ_{cr}	临界应力
σ_d	动应力
σ_e	弹性极限
σ_{eq}	相当应力
σ_m	平均应力
σ_p	比例极限
σ_r	疲劳极限

σ_s	屈服应力
σ_u	极限应力
$\sigma_{0.2}$	条件屈服应力
σ_{-1}	对称循环应力
τ	切应力
$[\tau]$	许用切应力
τ_u	极限应力
φ	扭转角, 折减因数
ω	角速度, 角频率
ω_n	固有频率
ψ	断面收缩率

以下符号正体

d	微分
e	自然对数底 2.71828
J	焦耳
kg	千克
kN	千牛
MPa	兆帕
m	米
N	牛顿
rad	弧度
s	秒
δ	变分符号
π	数 3.1416
Δ	有限增量符号
∂	偏微分
Σ	求和
$\int$	积分



读者回执卡

欢迎您立即填写回函

您好！感谢您购买本书，请您抽出宝贵的时间填写这份回执卡，并将此页剪下寄回我公司读者服务部。我们会在以后的工作中充分考虑您的意见和建议，并将您的信息加入公司的客户档案中，以便向您提供全程的一体化服务。您享有的权益：

- ★ 免费获得我公司的新书资料；
- ★ 寻求解答阅读中遇到的问题；

- ★ 免费参加我公司组织的技术交流会及讲座；
- ★ 可参加不定期的促销活动，免费获取赠品；

读者基本资料

姓 名 _____ 性 别 ☐男 ☐女 年 龄 _____
电 话 _____ 职 业 _____ 文化程度 _____
E-mail _____ 邮 编 _____
通讯地址 _____

请在您认可处打√ (6至10题可多选)

- 您购买的图书名称是什么：_____
- 您在何处购买的此书：_____
- 您对电脑的掌握程度：
☐不懂 ☐基本掌握 ☐熟练应用 ☐精通某一领域
- 您学习此书的主要目的是：
☐工作需要 ☐个人爱好 ☐获得证书
- 您希望通过学习达到何种程度：
☐基本掌握 ☐熟练应用 ☐专业水平
- 您想学习的其他电脑知识有：
☐电脑入门 ☐操作系统 ☐办公软件 ☐多媒体设计
☐编程知识 ☐图像设计 ☐网页设计 ☐互联网知识
- 影响您购买图书的因素：
☐书名 ☐作者 ☐出版机构 ☐印刷、装帧质量
☐内容简介 ☐网络宣传 ☐图书定价 ☐书店宣传
☐封面、插图及版式 ☐知名作家（学者）的推荐或书评 ☐其他
- 您比较喜欢哪些形式的学习方式：
☐看图书 ☐上网学习 ☐用教学光盘 ☐参加培训班
- 您可以接受的图书的价格是：
☐20元以内 ☐30元以内 ☐50元以内 ☐100元以内
- 您从何处获知本公司产品信息：
☐报纸、杂志 ☐广播、电视 ☐同事或朋友推荐 ☐网站
- 您对本书的满意度：
☐很满意 ☐较满意 ☐一般 ☐不满意
- 您对我们的建议：_____

请剪下本页填写清楚，放入信封寄回，谢谢！

1 0 0 0 8 4

北京100084—157信箱

读者服务部

收

贴 票 邮 处

邮政编码：□□□□□□

目 录

第 1 章 绪论.....1

1.1 材料力学的任务.....1	1
1.2 变形固体及其理想化.....2	2
1.3 内力、截面法和应力的概念.....3	3
1.3.1 内力.....3	3
1.3.2 截面法.....3	3
1.3.3 应力.....5	5
1.4 变形与应变.....5	5
1.5 杆件变形的的基本形式.....6	6
小结.....7	7
思考题.....7	7

第 2 章 轴向拉伸和压缩及连接件的强度计算.....9

2.1 轴向拉伸与压缩的概念与实例.....9	9
2.2 拉压杆截面上的内力和应力.....10	10
2.2.1 拉压杆横截面上的内力.....10	10
2.2.2 拉压杆斜截面上的应力.....11	11
2.3 材料在拉伸或压缩时的力学性能.....15	15
2.3.1 低碳钢拉伸时的力学性能.....16	16
2.3.2 铸铁及其他塑性材料拉伸时的力学性能.....18	18
2.3.3 材料在压缩时的力学性能.....19	19
2.4 圣维南原理 应力集中.....20	20
2.4.1 圣维南原理.....21	21
2.4.2 应力集中.....21	21
2.5 失效、许用应力与强度条件.....22	22
2.5.1 失效与许用应力.....22	22
2.5.2 强度条件.....23	23
2.6 胡克定律与拉压杆的变形.....25	25
2.6.1 拉压杆的轴向变形与胡克定律.....25	25
2.6.2 拉压杆的横向变形与泊松比.....26	26

2.6.3 变截面杆的轴向变形.....27	27
------------------------	----

2.7 简单拉压超静定问题.....29

2.7.1 超静定问题及其解法.....29	29
*2.7.2 预应力与温度应力的概念.....31	31

*2.8 连接件的强度计算.....33

2.8.1 剪切强度计算.....33	33
2.8.2 挤压强度计算.....34	34
2.8.3 焊缝强度计算.....36	36

小结.....37

思考题.....37

习题.....38

第 3 章 扭转.....45

3.1 扭转的概念和实例.....45

3.2 外力偶矩的计算 扭矩和扭矩图.....46

3.2.1 外力偶矩的计算.....46	46
3.2.2 扭矩与扭矩图.....46	46

3.3 纯剪切.....48

3.3.1 薄壁圆筒扭转时的切应力.....48	48
3.3.2 切应力互等定理.....49	49
3.3.3 剪切胡克定律.....50	50

3.4 圆轴扭转时横截面上的应力.....50

3.4.1 圆轴扭转切应力的计算公式.....50	50
3.4.2 最大扭转切应力和强度条件.....52	52

3.5 圆轴扭转时的变形.....55

3.5.1 圆轴扭转变形计算公式.....55	55
3.5.2 圆轴扭转刚度条件.....56	56

3.6 非圆截面杆扭转.....59

3.6.1 自由扭转与约束扭转.....59	59
3.6.2 矩形截面杆的扭转.....60	60

小结.....61

思考题.....62

习题.....63

第4章 弯曲内力67	思考题.....124
4.1 弯曲的概念与实例.....67	习题.....125
4.2 剪力和弯矩.....67	第7章 应力状态分析与强度理论131
4.2.1 剪力和弯矩.....67	7.1 一点的应力状态的概念.....131
4.2.2 剪力和弯矩的正负约定.....68	7.2 平面应力状态分析 主应力.....132
4.3 剪力方程和弯矩方程 剪力图和弯矩图.....70	7.2.1 关于应力的正负约定.....132
4.4 载荷、剪力和弯矩之间的关系.....74	7.2.2 任意斜截面上的应力.....133
4.4.1 分布载荷、剪力、弯矩的微积分关系.....74	7.2.3 主平面的方位及极值正应力.....133
4.4.2 集中力、集中力偶作用处内力变化情况.....75	7.2.4 极值切应力.....134
4.5 平面刚架和曲杆的内力分析.....79	7.2.5 应力圆.....134
小结.....81	7.3 特殊三向应力状态下的极值应力.....139
思考题.....81	7.3.1 三组特殊截面的应力状态.....139
习题.....82	7.3.2 三向应力状态的应力圆及极值应力.....140
第5章 弯曲应力85	7.4 广义胡克定律.....141
5.1 纯弯曲的概念.....85	7.4.1 一般应力状态下的线应变和切应变.....141
5.2 弯曲正应力.....85	7.4.2 主应力状态下的线应变.....142
5.2.1 纯弯梁横截面上的正应力.....85	7.4.3 总应变能密度.....143
5.2.2 横力弯曲时的正应力.....89	7.4.4 体积改变能密度与畸变能密度.....144
5.2.3 提高弯曲强度的措施.....92	7.5 强度理论.....146
5.3 弯曲切应力.....94	7.5.1 断裂强度理论.....146
5.3.1 矩形截面梁.....95	7.5.2 屈服强度理论.....147
5.3.2 工字形截面梁.....97	7.5.3 莫尔强度理论.....148
5.3.3 梁的切应力强度条件.....97	小结.....152
小结.....100	思考题.....152
思考题.....100	习题.....153
习题.....102	第8章 组合变形157
第6章 弯曲变形107	8.1 组合变形与叠加原理的概念.....157
6.1 弯曲变形的实例.....107	8.2 斜弯曲.....157
6.2 挠曲线的微分方程.....108	8.2.1 斜弯曲时的变形.....158
6.3 积分法求梁的位移.....109	8.2.2 斜弯曲时的应力.....159
*6.4 奇异函数法求梁的位移.....111	8.3 弯拉(压)组合.....161
6.5 叠加法求梁的位移.....114	8.4 弯扭组合.....163
6.6 简单超静定梁.....118	小结.....166
6.7 提高弯曲刚度的一些措施.....121	思考题.....166
小结.....123	

习题	167	思考题	204
第 9 章 压杆稳定	171	习题	204
9.1 压杆稳定的概念	171	第 11 章 能量法	206
9.2 两端铰支细长压杆的临界载荷	172	11.1 外力功与应变能	206
9.3 其他支座条件下细长压杆的 临界载荷	174	11.1.1 外力功	206
9.4 欧拉公式的适用范围与经验公式	176	11.1.2 互等定理	207
9.4.1 欧拉公式的适用范围	176	11.1.3 克拉贝依隆原理	208
9.4.2 经验公式	178	11.1.4 杆件的应变能	208
9.4.3 临界应力总图	179	11.2 莫尔定理及其应用	209
9.5 压杆稳定条件与合理设计	179	11.3 能量法解超静定问题	215
9.5.1 稳定安全因数法	180	11.3.1 超静定问题的基本解法	215
9.5.2 折减因数法	181	11.3.2 对称与反对称的利用	216
9.5.3 构件计算的综合分析	186	11.4 动应力与冲击应力	219
9.5.4 压杆的合理设计	189	11.4.1 动应力	219
小结	190	11.4.2 冲击应力	220
思考题	191	11.4.3 提高构件抗冲击能力的 措施	223
习题	192	小结	224
第 10 章 疲劳强度的概念	195	思考题	224
10.1 交变应力与疲劳失效	195	习题	224
10.1.1 交变应力	195	附录 A 平面图形的几何性质	229
10.1.2 疲劳失效	197	附录 B 常用金属材料的 主要力学性能	245
10.2 疲劳极限及影响疲劳极限的 主要因素	198	附录 C 梁的挠度与转角	246
10.2.1 疲劳极限	198	附录 D 型钢表	248
10.2.2 影响构件疲劳极限的 主要因素	199	习题答案	261
10.3 对称循环下的疲劳强度计算	201	索 引	270
10.4 提高构件疲劳强度的措施	203	参考文献	275
小结	204		

第1章 绪 论

1.1 材料力学的任务

机械、土木及其他工程结构等都是由零、部件组装而成，这些零、部件统称为**构件**。结构工作时，任一构件通常均受到**载荷**的作用。例如机床加工零件时，主轴受到齿轮啮合力和切削力的作用；建筑物的梁、柱要承担建筑物和使用者的重力作用等。为使这些结构能正常工作，必须保证每个构件均能正常工作，设计时就应使其具备必要的承载能力，通常表现为以下3个方面。

(1) 必要的强度

为了保证构件正常工作，首先必须保证在工作载荷作用下不发生破坏。此处所说的破坏，通常是指断裂或产生过大的永久变形而失效，例如机床主轴在工作时不应断裂，高压容器在内部压力的作用下不能破裂等。构件抵抗破坏的能力称为**强度**，不满足强度要求发生的失效，通常称为**强度失效**。

(2) 必要的刚度

构件受载荷作用时，通常会产生变形。当载荷完全除去后可完全消失的变形称为**弹性变形**，而当载荷完全除去后不能消失的那部分变形称为**塑性变形**或**残余变形**。构件受载荷作用时产生过大的弹性变形必然会影响结构的正常工作，如机床的主轴变形过大，如图1.1所示会影响齿轮的正常啮合或引起轴承的非正常磨损，同时还会降低加工精度等。建筑物的构件变形过大时，会引起建筑物的振动及其他各种不良的影响等。这些情况在工程中都是不允许的，因而在设计时，应使其具有必要的抵抗弹性变形的能力，即**刚度**。不满足刚度要求发生的失效，称为**刚度失效**。

(3) 必要的稳定性

除上述的强度、刚度要求外，对于承受压缩载荷作用的柔韧构件，当该载荷超过某个数值之后，若受到微小扰动，构件会突然偏离原有的平衡构形。因而还要求构件有保持原有平衡构形的能力，工程中将这种能力称为**稳定性**。构件承受轴向压缩而突然侧弯偏离原有的平衡构形，称为**丧失稳定**或**稳定失效**，如图1.2所示。历史上曾发生多起因构件失稳引起的灾难性事故，因而这是一种非常危险的失效行为，在设计此类构件时，必须使其具有必要的稳定性。

强度、刚度和稳定性是构件设计时必须考虑的三个问题，但对于不同的构件及不同的工况，又会有所侧重和区别。

上面讲的是安全性要求，设计时还得考虑经济性要求，这是一对矛盾。在满足“必要的强度、刚度和稳定性”的前提下，应尽可能降低构件的成本，这是构件设计必须遵从的原则之一。

构件都是由某种工程材料制成的,为使构件具有“必要的强度、刚度和稳定性”,除研究有关的计算理论之外,还需研究工程材料的力学性能,以指导设计时正确选用材料。

综上所述,材料力学的任务是研究工程材料的力学性能及构件强度、刚度和稳定性的计算理论,从而为构件选用适宜的材料,设计科学、合理的截面形状和尺寸,达到既安全又经济的设计要求。

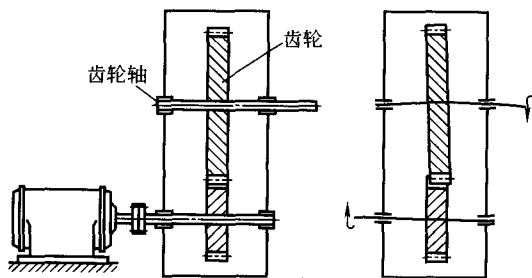


图 1.1 机床主轴变形过大影响齿轮正常啮合

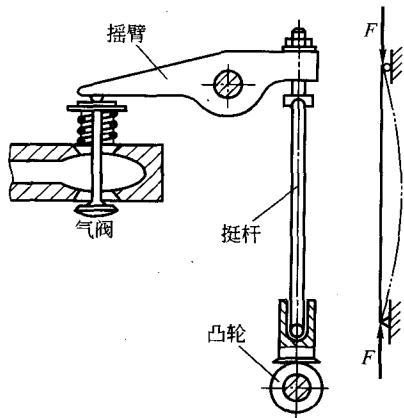


图 1.2 内燃机配气结构中挺杆的失稳

1.2 变形固体及其理想化

实际上,任何物体受力后,一般都要发生变形。在理论力学中,从其研究任务出发,忽略了物体的变形,将研究对象视为刚体。而在材料力学中要研究构件的强度、刚度和稳定性,不能忽略物体的变形,需将构件视为**变形固体**。

变形固体的性质是多方面的,材料力学既不研究其物质结构及制备方法,也不研究其物理、化学性质及工艺性能等。材料力学只关心与强度、刚度和稳定性有关的力学性能,为了研究方便和实用,对其他无关的性质忽略不计,即将变形固体作理想化处理,特作如下假设。

(1) 连续性假设

假设变形固体的材料在变形前后均毫无空隙地充满它所占据的空间。按此假设,构件中的一些力学量即可用坐标的连续函数表示,并可采用无限小的数学分析方法。按物质的微观结构观点,组成变形固体的粒子之间并不连续,但它们之间的空隙与构件的尺寸相比极其微小,将其忽略不计不会影响问题的本质及研究结果。

(2) 均匀性假设

实际工程材料,其基本组成部分的力学性能往往存在不同差异。例如,金属是由无数微小晶粒所组成,各个晶粒的力学性能不完全相同,晶粒交界处的晶界物质与晶粒本身的力学性能也不完全相同。但在构件或被研究部分的体积中,晶粒数目极其巨大且排列杂乱,材料所表现出来的实际上是无数晶粒行为的统计平均值,将材料各处的力学性能看作均匀的,研究结果可满足工程需要。因此假设组成变形固体的同一种材料的力学性能与其在构

件中的位置无关,即认为是均匀的。

(3) 各向同性假设

假设材料沿各个方向具有相同的力学性能。各向同性材料多为金属材料,金属的各个晶粒均属于各向异性体,但由于金属构件所含晶粒极多,而且在构件内的排列又是随机的,因此宏观上仍可将金属看成是各向同性材料,其研究结果可满足工程需要。不过像木材、毛竹和增强纤维板等诸多材料各向性能差别很大,各向异性问题由其他课程处理。

(4) 小变形假设

材料在载荷作用下产生变形。材料力学主要研究材料的弹性变形。由于这种变形与构件的原始尺寸相比常常很微小(一般在 10^{-3} 数量级以下),因此在研究构件的平衡和运动时,可以仍按变形前的原始尺寸考虑,从而使计算大大简化,且计算结果的精度满足工程要求。例如,图 1.3 所示的简易吊车的各杆因受力而变形,引起支架几何形状和外力位置的变化。由于位移 δ_1 和 δ_2 都远小于吊车最短杆的尺寸,故 $\varphi \approx \theta$,所以在计算各杆受力时,仍然可用吊车变形前的几何形状和尺寸。今后将经常使用小变形的概念以简化分析计算,若遇变形过大情况,超出小变形条件,一般不在材料力学中讨论。

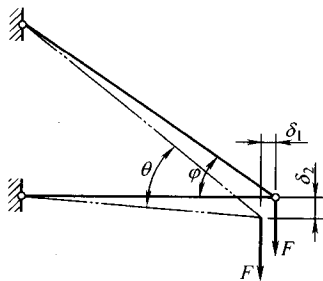


图 1.3 小变形

1.3 内力、截面法和应力的概念

1.3.1 内力

变形固体在受到外力作用时,变形固体内部各相邻部分之间的相互作用力发生了改变,其改变量,就是材料力学要研究的内力。由于假设变形固体是均匀连续的,因此变形固体内部相邻部分之间相互作用的内力,实际上是一个连续分布的内力系,而将分布内力系的合成(力或力偶),简称为内力。注意此内力不同于受外力前固有的内力,而是由外力引起变形时所产生的附加内力。

1.3.2 截面法

要分析构件的内力,例如要分析图 1.4(a)所示平衡杆件横截面 $m-m$ 上的内力,须用平面假想地沿该截面将杆件切开,得切开截面的内力如图 1.4(b), (c)所示,截面左右内力分

布相同, 指向相反。

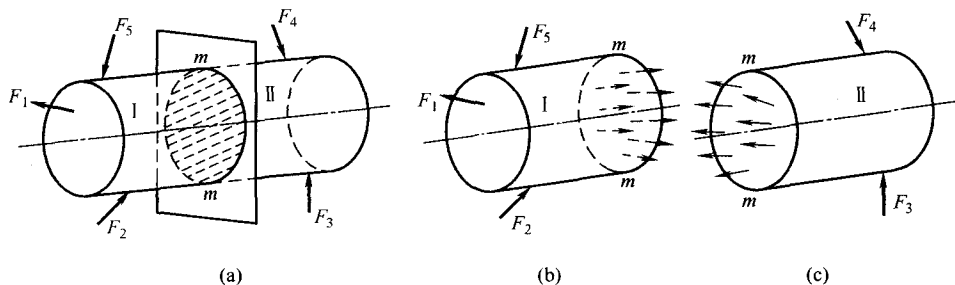


图 1.4 外力与内力分布

按照连续性假设可知, 内力是分布于横截面上的一个连续分布力系。把这个分布内力系向横截面的形心 C 简化, 得主矢 F_R ^① 和主矩 M , 如图 1.5(a)所示。为了分析内力, 沿轴线方向(与横截面垂直)建立坐标轴 x , 在所切的横截面内建立坐标轴 y 与 z , 并将主矢 F_R 与主矩 M 沿上述三个轴分解, 如图 1.5(b)所示, 得内力分量 F_N , F_{Sy} 和 F_{Sz} , 以及内力偶矩分量 T , M_y 和 M_z , 这是最一般的情况。至于具体杆件横截面上有几个内力分量, 要以保证研究对象平衡为准。

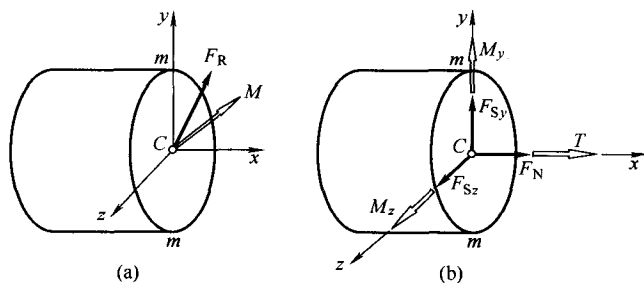


图 1.5 内力分量

沿轴线 x 方向的内力分量 F_N 称为轴力; 作用线位于所切横截面的内力分量 F_{Sy} 和 F_{Sz} 称为剪力; 矢量沿轴线 x 的内力偶矩分量 T 称为扭矩; 矢量位于所切横截面的内力偶矩分量 M_y 和 M_z 称为弯矩。上述内力及内力偶矩分量与作用在切开后杆段上的外力保持平衡, 因此, 由静力学平衡方程可根据外力确定内力。为了叙述简单, 以后将内力分量及内力偶矩分量统称为内力分量。

以上将杆件假想的切开以显示内力, 并由平衡方程建立内力与外力间的关系以确定内力值的方法, 称为求内力的截面法。它是分析杆件内力的一般方法, 一定要熟练掌握。此法可简记为四句话:

- (1) 切一刀(在欲求内力的截面处将杆件假想地切成两部分)。
- (2) 取一部(一般取外载荷较简单的那部分作为研究对象, 舍弃另一部分)。
- (3) 加内力(在所取部分的截面形心处加不为零的内力分量, 它是舍弃部分对保留部分

① 材料力学习惯上对矢量用未加粗的斜体字母表示, 图中用箭头表示其方向。

的作用力)。

(4) 求平衡(将所取部分的全部外力和内力代入静力学平衡方程求解)。

此法的训练在后面各章介绍。

1.3.3 应力

如上所述, 截面上的内力为连续分布力系。为了描述内力的分布情况, 先引入内力分布集度即应力的概念。如图 1.6(a)所示, 在截面 $m-m$ 上取含任意一点 k 的微面积 dA , 并设作用在该微面积上的内力为 dF (因是含点 k 的微面积上分布力向点 k 简化, 只有主矢, 没有主矩), 则 dF 与 dA 的比值, 称为截面 $m-m$ 上点 k 处的应力或总应力, 并用 p 表示, 即

$$p = \frac{dF}{dA} \quad (1-1)$$

显然, 应力 p 的方向即 dF 的方向。为了分析方便, 通常将应力 p 沿截面法向与切向分解为两个分量, 如图 1.6(b)。沿截面法向的应力分量称为正应力, 用 σ 表示; 沿截面切向的应力分量称为切应力, 用 τ 表示。显然,

$$p^2 = \sigma^2 + \tau^2 \quad (1-2)$$

应力单位为 Pa , $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ 。由于此单位太小, 通常用 MPa , 其换算关系为 $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$ 。

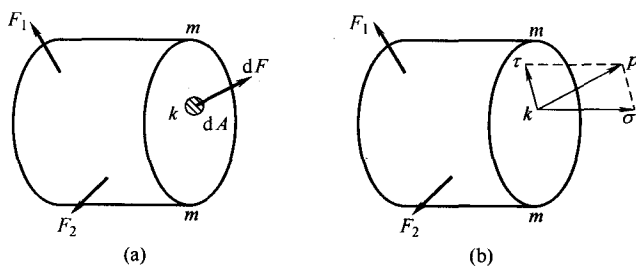


图 1.6 应力

1.4 变形与应变

构件在外力作用下尺寸和形状一般都将发生改变, 称为变形。构件在变形的同时, 其上的点、面相对于初始位置也要发生变化, 这种位置的变化称为位移。

为了研究构件的变形及其内部的应力分布, 需要了解构件内部各点处的变形。为此, 假想把杆件分割成无数微小的正六面体, 当正六面体的各边边长为无限小时, 称为单元体, 如图 1.7(a)所示。构件变形后, 其任一单元体棱边的长度及两棱边间的夹角都将发生变化, 把这些变形后的单元体组合起来, 就形成变形后的构件形状, 反映出构件的整体变形。

图 1.7(a)表示从受力构件中取出的包含某点 C 的单元体, 与轴 x 平行的棱边 ab 的长度 dx 变化 du , 如图 1.7(b)所示, 绝对变形, 其比值