



国家精品课程主干教材
普通高等教育“十二五”规划教材

材料力学

秦飞 编著



科学出版社

内 容 简 介

本书是国家精品课程“材料力学”的主干教材,也是教育部“卓越工程师教育培养计划”试点院校教材改革的最新成果。

全书共 16 章,包括绪论、轴向拉压应力与材料的力学性能、轴向拉压变形、连接件强度的实用计算、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态分析与广义胡克定律、强度理论、组合变形、压杆的稳定性、疲劳强度、能量原理、惯性载荷问题和简单弹塑性问题。每章例题经过精心挑选,注意理论与实际问题结合,并配有解题分析和题后讨论;每章均安排思考题和习题,部分章节还安排了计算机作业。

本书基本概念论述简洁、清晰、准确,注重基本概念和基本分析方法,注重培养学生针对实际工程问题建立力学模型的能力和解决问题的能力。内容安排上兼顾传统内容并适当扩展,专业适用面宽,适合教学和自学。

本书可作为普通高等学校和成人高等教育机械工程、土木工程和工程力学等工程类专业的材料力学教材,也可作为各类自考人员、研究生入学备考人员和工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/秦飞编著. —北京:科学出版社,2012
国家精品课程主干教材·普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-03-033804-4

I. ①材… II. ①秦… 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 041561 号

责任编辑:朱晓颖 匡 敏 / 责任校对:钟 洋
责任印制:闫 磊 / 封面设计:速底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2012 年 6 月第一次印刷 印张:24 1/2

字数:610 000

定价:49.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书是国家精品课程“材料力学”的主干教材,也是教育部“卓越工程师教育培养计划”试点院校教材改革的最新成果。

力学作为工程科学与技术的先导和基础,可以为新的工程领域提供概念和理论,为越来越复杂的工程设计与分析提供有效的方法。材料力学是固体力学的入门课,也是工程类各专业的技术基础课。材料力学对于培养学生的工程设计能力和工程创新能力,对于培养学生分析和解决实际工程中力学问题的能力,均有不可替代的作用。

基于上述认识和指导思想,本书在内容安排、表述方法以及例题习题选取上的主要特点如下:

(1) 强化基本概念。应力、应变、应力应变关系和变形协调的概念是变形体力学最基本的内容,牢固掌握和深刻理解这些基本概念是材料力学课程教学的首要目标,也是解决工程中强度设计、刚度计算等问题的基础。本书在绪论部分即引入应力、应变和变形协调的概念,并在后续章节通过其在拉压变形、扭转变形和弯曲变形问题中的应用,不断强化这些概念。

(2) 注重基本分析方法和知识的灵活运用。材料力学来自人类的工程实践活动,并在服务于工程实践中不断发展和完善。在这个过程中,材料力学形成了自身独特的分析和解决问题的方法,掌握了这些方法也就掌握了变形体力学的基本方法。材料力学分析解决问题的方法可以归纳为“一个基础、三大关系”,即:以实验观察为基础,提出变形假设;然后通过建立问题的静力平衡关系、变形协调关系和物性关系,联立求解解决问题。本书在讨论拉压杆问题、扭转问题和弯曲问题时,均采用上述方法建立拉压杆应力、扭转应力和弯曲应力的计算公式,以期在传授知识的同时让学生领会材料力学的方法论,从而提高分析和解决问题的能力。

(3) 注重培养学生针对实际工程问题建立力学模型的能力。材料力学是直接面向工程应用的技术基础课,在工程设计、工程问题分析和工程创新中发挥着重要作用。目前的教材和教学中多采用极其简化的力学模型,学生缺乏从实际工程问题抽象出力学模型的训练。然而,在实际工程中,通过合理简化得到能反映问题实质的力学模型十分重要。因此,本书在较多的例题中采用工程实图,从分析问题、建立力学模型到完成计算分析,一步步展示材料力学解决问题的全过程,以培养学生解决实际工程问题的能力。

(4) 精选例题与习题。作为教材,例题和习题必不可少,也十分重要。本书各章的例题经过精心挑选,注重通过例题将所学内容灵活应用于解决实际问题。绝大多数例题配有解题分析,以训练学生分析问题的能力;例题后配有讨论,起到将所学知识融汇贯通、举一反三的作用。每章均安排有概念性、趣味性较强的四选一思考题,帮助学生掌握本章的基本内容。每章均配备了难易程度不同的习题,且习题按章节编排,以方便布置作业。例如习题编号“3.4-2”表示该习题与第3章第4节的内容对应。在习题选取上,也注意尽可能采用工程实例,锻炼学生建立力学模型的能力。

(5) 部分章节安排了计算机作业。在现代条件下,训练学生掌握计算机工具解决工程问题的能力显得更为重要。为此,本书在第2章、第3章、第5章、第9章和第12章习题后面各安排一道应用计算机编程求解的题目。学生需采用数值计算方法和计算机编程完成计算和分

析,还需要撰写计算分析报告。该环节促进学生对所学内容的掌握和理解,训练其使用计算机解决问题的能力,同时训练学生撰写分析报告的能力。计算机作业带有研究性质,有一定难度,且比较耗时,教师可根据本校学生情况选择性布置,例如,可作为课程小论文的题目。

本书在兼顾传统讲授内容的基础上进行了适当扩展。全书共 16 章,依次为绪论、轴向拉压应力与材料的力学性能、轴向拉压变形、连接件强度的实用计算、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态分析与广义胡克定律、强度理论、组合变形、压杆的稳定性、疲劳强度、能量原理、惯性载荷问题和简单弹塑性问题。第 1 章“绪论”到第 13 章“疲劳强度”是基本教学内容,需要 64 学时;第 14 章“能量原理”到第 16 章“简单弹塑性问题”是专题部分,属于提高性教学内容,需要 24 学时。带“*”号的章节为扩展教学内容,教师可根据需要选讲。全书插图采用双色印刷,图中外力、内力和应力均采用红色,以便读者阅读。

本书可作为普通高等学校和成人高等教育机械工程、土木工程和工程力学等工程类专业的材料力学教材,也可作为各类自考人员、研究生入学备考人员和工程技术人员的参考书。

在本书编写过程中,得到隋允康教授等许多人的鼓励和帮助,在此向他们表示衷心感谢。特别要感谢西北工业大学苟文选教授,他对全书进行了认真细致的审阅,并提出宝贵意见和建议。

限于作者水平,书中难免会有错误和遗漏之处,希望读者批评指正。

作者

2012 年 3 月

主要符号表

A	面积	N_0	疲劳寿命
A_s	剪切面面积	p	压强
A_{bs}	挤压面面积	P	功率, 集中力
a	间距	q	分布载荷集度
b	宽度	R, r	半径
D, d	直径	S_y, S_z	平面图形对 y 轴、 z 轴的静矩 (一次矩)
E	弹性模量, 杨氏模量	s	路程, 弧长
E_k	动能	T	扭矩, 周期, 温度
E_p	势能	$\bar{T}$	单位载荷引起的扭矩
F	集中力	u	位移
F_{Ax}, F_{Ay}	A 点 x 、 y 方向约束反力	$[u]$	许用位移
$F_N, F_{N, AB}$	轴力, AB 杆的轴力	ν_d	畸变能密度
$\bar{F}_N$	单位载荷引起的轴力	ν_v	体积改变能密度
F_{cr}	临界载荷	ν_e	应变能密度
F_s	剪力	V_e	应变能
$\bar{F}_s$	单位载荷引起的剪力	V	剪力
F_R	合力, 主矢	W	功, 重量
F_e	弹性极限载荷	w	挠度
F_p	塑性极限载荷, 极限载荷	W_i	内力功
$[F]$	许用载荷	W_e	外力功
F_x, F_y, F_z	x 、 y 、 z 方向力分量	W_z	抗弯截面模量
G	剪切弹性模量, 切变模量	W_p	抗扭截面模量
h	高度	α	倾角, 热膨胀系数
I_y, I_z	平面图形对 y 轴、 z 轴的惯性矩	β	角度
I_p	平面图形的极惯性矩	θ	梁截面转角, 单位长度相对扭 转角, 体积应变
I_{xy}	平面图形的惯性积	φ	相对扭转角
i	平面图形的惯性半径	γ	切应变
k	弹簧常量, 刚度系数	Δ	增量符号
l, L	长度, 跨度	Δ	位移
M_y, M_z	对 y 轴、 z 轴的弯矩	δ	厚度, 位移
$\bar{M}$	单位载荷引起的弯矩	ϵ	正应变
M_e	外力偶矩	ϵ_e	弹性应变
n	转速, 个数, 安全因数	ϵ_p	塑性应变
n_{st}	稳定安全因数		
N	循环次数		

λ	柔度,长细比,压杆轴向位移	$[\sigma_t]$	许用拉应力
μ	长度因数	$[\sigma_c]$	许用压应力
ν	泊松比	$[\sigma_{bs}]$	许用挤压应力
ρ	曲率半径,材料密度	σ_{cr}	临界应力
g	重力加速度($=9.8\text{m/s}^2$)	σ_p	比例极限
σ	正应力	$\sigma_{0.2}$	名义屈服强度
σ_a	应力幅值	σ_s	屈服强度,屈服应力
σ_t	拉应力	σ_r	疲劳极限,持久极限
σ_c	压应力	σ_{nom}	名义应力
σ_m	平均应力	τ	切应力
σ_b	抗拉强度	τ_u	极限切应力
σ_{bs}	挤压应力	$[\tau]$	许用切应力
$[\sigma]$	许用应力		

目 录

前言

主要符号表

第 1 章 绪论	1
1.1 材料力学的研究对象、内容和方法	1
1.1.1 构件与杆件	1
1.1.2 杆件的基本变形形式	2
1.1.3 强度、刚度与稳定性	3
1.1.4 材料力学的研究方法	3
1.2 材料力学的基本假设	4
1.2.1 连续性假设	4
1.2.2 均匀性假设	5
1.2.3 各向同性假设	5
1.3 外力和内力	5
1.3.1 外力	5
1.3.2 内力与截面法	6
1.4 应力	7
1.4.1 应力的概念	7
1.4.2 应力状态	8
1.5 应变	9
1.5.1 位移与变形	9
1.5.2 应变	9
1.6 胡克定律	11
思考题	12
习题	14
第 2 章 轴向拉压应力与材料的力学性能	16
2.1 拉压杆的内力	16
2.1.1 拉压杆的内力——轴力	16
2.1.2 轴力图	17
2.2 拉压杆的应力	19
2.2.1 拉压杆横截面上的应力	19
2.2.2 拉压杆斜截面上的应力	21
2.2.3 圣维南原理	22
2.3 材料在拉伸与压缩时的力学性能	23
2.3.1 材料拉伸试验的基本要求	23
2.3.2 低碳钢拉伸时的力学性能	24
2.3.3 其他材料拉伸时的力学性能	26
2.3.4 材料压缩时的力学性能	27

* 2.3.5 温度和时间对材料力学性能的影响	28
2.4 安全因数、许用应力和强度条件	30
2.4.1 安全因数与许用应力	30
2.4.2 拉压杆的强度条件	30
* 2.5 应力集中的概念	35
思考题	37
习题	38
计算机作业一	43
第3章 轴向拉压变形	44
3.1 拉压杆的轴向变形与横向变形	44
3.1.1 轴向变形	44
3.1.2 横向变形与泊松比	45
3.2 变形计算的叠加原理	46
3.3 桁架的节点位移	47
3.4 拉压杆静不定问题	49
* 3.5 热应力与预应力	54
3.5.1 热应力	54
3.5.2 预应力	59
思考题	62
习题	63
计算机作业二	70
第4章 连接件强度的实用计算	71
4.1 连接件的形式	71
4.2 剪切强度实用计算	73
4.3 挤压强度实用计算	75
思考题	78
习题	79
第5章 扭转	84
5.1 轴的动力传递、扭矩与扭矩图	84
5.1.1 传动轴和外力偶矩	84
5.1.2 轴的内力——扭矩与扭矩图	85
5.2 扭转圆轴的应力与强度条件	86
5.2.1 圆轴横截面上的应力	86
5.2.2 圆轴扭转强度条件	88
5.2.3 薄壁圆筒横截面上的切应力	90
5.2.4 扭转圆轴斜截面上的应力	91
5.3 扭转圆轴的变形与刚度条件	92
5.3.1 扭转圆轴的变形	92
5.3.2 扭转圆轴的刚度条件	93
5.4 非圆截面杆的扭转	97
5.4.1 矩形截面杆的自由扭转	97
5.4.2 开口薄壁截面杆的自由扭转	98
5.4.3 闭口薄壁截面杆的扭转	99

* 5.5 扭转应力集中	101
思考题	102
习题	103
计算机作业三	109
第 6 章 弯曲内力	110
6.1 梁的内力——剪力和弯矩	111
6.2 剪力图和弯矩图	113
6.3 剪力、弯矩与载荷集度之间的微分关系	115
6.3.1 剪力、弯矩与载荷集度之间的微分关系	115
6.3.2 剪力图、弯矩图的形状特征与载荷的关系	116
6.4 静定平面刚架和曲杆的内力图	121
思考题	123
习题	124
第 7 章 弯曲应力	128
7.1 梁的弯曲正应力与强度条件	128
7.1.1 纯弯曲与横力弯曲	128
7.1.2 纯弯曲时梁横截面上的正应力	128
7.1.3 弯曲正应力公式在横力弯曲中的推广	133
7.1.4 弯曲正应力强度条件	133
7.2 梁的弯曲切应力与强度条件	138
7.2.1 矩形截面梁的切应力	138
7.2.2 工字形截面梁与组合梁的切应力	140
7.2.3 圆形及薄壁圆环截面梁的切应力	143
7.2.4 梁的切应力强度条件	144
7.3 提高梁弯曲强度的措施	145
7.3.1 降低梁的最大弯矩	145
7.3.2 选择合理的截面形状	146
7.3.3 合理设计梁的形状——变截面梁	147
7.4 弯曲中心	148
* 7.5 弯曲应力集中	149
思考题	150
习题	152
第 8 章 弯曲变形	159
8.1 梁变形的基本方程	159
8.1.1 挠度和转角间的关系	159
8.1.2 挠曲轴近似微分方程	159
8.2 计算梁变形的积分法	160
8.3 计算梁变形的叠加法	164
8.4 梁的刚度条件与合理刚度设计	167
8.4.1 梁的刚度条件	167
8.4.2 梁的合理刚度设计	168
8.5 简单静不定梁	168
* 8.6 温度引起的梁变形	172

思考题	173
习题	174
第9章 应力状态分析与广义胡克定律	179
9.1 应力状态	179
9.1.1 单元体与应力状态	179
9.1.2 主应力与应力状态的分类	182
9.2 二向应力状态分析	183
9.2.1 解析法	183
9.2.2 应力圆法	186
9.3 三向应力状态分析简介	190
9.3.1 三向应力圆	190
9.3.2 最大应力	191
9.4 广义胡克定律	192
9.4.1 二向应力状态的广义胡克定律	192
9.4.2 三向应力状态的广义胡克定律	192
9.4.3 体积应变	193
* 9.5 由测点处的正应变确定应力状态	195
* 9.6 应变能	196
9.6.1 应变能的概念	196
9.6.2 空间应力状态下的应变能密度	196
思考题	198
习题	199
计算机作业四	205
第10章 强度理论	206
10.1 强度理论概述	206
10.2 适用于脆性断裂的强度理论	207
10.3 适用于塑性屈服的强度理论	207
* 10.4 莫尔强度理论	209
10.5 强度理论的选用	210
思考题	214
习题	214
第11章 组合变形	217
11.1 轴向拉压与弯曲的组合变形	217
11.1.1 轴向拉压与弯曲的组合变形	217
11.1.2 偏心拉伸与偏心压缩	218
* 11.1.3 截面核心的概念	221
11.2 轴向拉压与扭转的组合变形	223
11.3 斜弯曲	224
11.3.1 斜弯曲的正应力与强度条件	224
11.3.2 斜弯曲的变形计算	226
11.4 扭转与弯曲的组合变形	226
11.5 薄壁压力容器的组合变形	232
思考题	233

习题	235
第 12 章 压杆的稳定性	240
12.1 稳定性的基本概念	240
12.2 两端铰支细长压杆的临界载荷	241
12.3 不同杆端约束下细长压杆的临界载荷	242
12.4 欧拉公式的适用范围与临界应力总图	245
12.4.1 临界应力和柔度	245
12.4.2 欧拉公式的适用范围	246
12.4.3 临界应力总图	246
12.5 压杆的稳定性校核	247
12.6 提高压杆稳定性的措施	250
思考题	251
习题	252
计算机作业五	254
第 13 章 疲劳强度	255
13.1 疲劳破坏与循环应力	255
13.1.1 疲劳破坏的特点	255
13.1.2 应力谱	257
13.2 材料的 S-N 曲线和疲劳极限	259
13.2.1 S-N 曲线和疲劳极限	259
13.2.2 S-N 曲线的数学描述	260
13.3 影响构件疲劳极限的主要因素	260
13.3.1 构件形状的影响	261
13.3.2 构件截面尺寸的影响	264
13.3.3 构件表面质量的影响	264
13.4 构件的疲劳强度计算	265
13.4.1 对称循环应力下构件的疲劳强度条件	265
13.4.2 非对称循环应力下构件的疲劳强度条件	266
13.4.3 弯扭组合变形下构件的疲劳强度条件	266
* 13.5 变幅循环应力与累积损伤理论	267
思考题	269
习题	269
第 14 章 能量原理	272
14.1 杆件的应变能	272
14.2 莫尔定理与单位载荷法	275
14.3 卡氏第二定理	279
14.4 互等定理	282
* 14.5 虚功原理	284
* 14.6 用单位载荷法求解静不定问题	287
思考题	291
习题	293
第 15 章 惯性载荷问题	296
15.1 等加速度运动构件的惯性载荷问题	296

15.1.1 等加速直线运动构件的惯性载荷问题	296
15.1.2 等角速度旋转构件的惯性载荷问题	297
15.2 构件受冲击时应力和变形的计算	299
15.3 提高构件抗冲击能力的措施	305
思考题	307
习题	308
第 16 章 简单弹塑性问题	312
16.1 材料的弹塑性应力应变关系	312
16.2 简单桁架的弹塑性分析	314
16.3 圆轴的弹塑性扭转	317
16.4 梁的弹塑性弯曲	318
16.4.1 矩形截面梁的弹塑性分析、塑性铰	318
16.4.2 形状系数和塑性极限状态时中性轴位置	320
16.4.3 梁的极限载荷	321
* 16.5 残余应力的概念	324
思考题	325
习题	326
参考文献	329
附录 A 平面图形的几何性质	330
A.1 静矩和形心	330
A.2 极惯性矩	332
A.3 惯性矩与惯性积	333
A.4 平行移轴定理	334
A.5 转轴公式与主惯性矩	336
思考题	339
习题	341
附录 B 常见截面形状的几何性质	344
附录 C 常用材料的力学性能	346
附录 D 简单载荷下梁的挠度与转角	348
附录 E 型钢表	350
附录 F 量度单位换算表	363
附录 G 材料力学名词中英文对照	366
思考题与习题答案	370

第 1 章 绪 论

材料力学是变形体力学的入门课程,是固体力学的基础。与理论力学研究质点和刚体运动不同,材料力学研究变形固体的力学行为。与刚体相比,变形固体是人类在生产实践活动中最早、最大量遇到的物体。在经典力学的奠基人牛顿(Isaac Newton, 1642~1729)诞生之前,伽利略(Galileo Galilei, 1564~1642)就已经在他的著作《关于两门新科学的对话》中讨论悬臂梁的变形和破坏问题了。材料力学从一开始就来自并服务于人类的生产实践。时至今日,材料力学的基本概念、基本理论和分析方法仍然在航空航天、机械工程、土木工程以及许多新兴技术领域得到广泛应用,甚至我们日常生活中遇到的许多现象都可以用材料力学的基本概念和理论来解释。正因为这些原因,材料力学成为工程类各专业的技术基础课程,在工程技术人才培养方面起着不可替代的作用。

本章明确材料力学的研究对象、研究内容和研究方法,介绍材料力学的基本假设,建立变形体力学应力、应变等基本概念,最后介绍简单应力状态下的应力应变关系——胡克定律。

1.1 材料力学的研究对象、内容和方法

1.1.1 构件与杆件

与牛顿时代相比,人类在科学技术领域有了飞跃进步,各种各样的技术和产品使得人类正在享受前所未有的物质文明。无论是探索宇宙的航天器,蓄水发电的三峡大坝,还是汽车、电脑、手机等消费产品,从力学角度看,它们首先都是一个结构。一个结构由许许多多形状、尺寸、材料各异的部分组成,这些组成结构的各个部分统称为构件。构件通常是由一种或多种材料制造的固体,具有一定形状和尺寸,在外力作用下会发生变形。按照形状和尺寸的特点可以把构件简化为杆件和板件。

(1) 杆件:一个方向上的尺寸远大于另外两个方向上尺寸的构件。杆件的形状与尺寸由其轴线和横截面确定。轴线与横截面垂直,并通过横截面形心。轴线为直线的杆件称为直杆,轴线为曲线的称为曲杆。杆件的横截面可以是任意形状,而且可以沿轴线变化。图 1-1(a)和(b)分别给出了一个矩形截面直杆和一个曲杆的示意图。

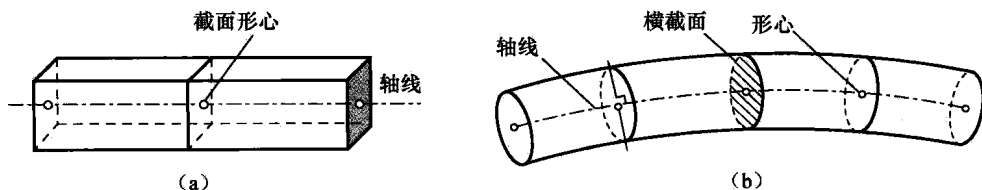


图 1-1

(2) 板件:一个方向上的尺寸远小于另外两个方向上尺寸的构件。中面为平面的板件称为板(图 1-2(a)),中面为曲面的板件称为壳(图 1-2(b))。

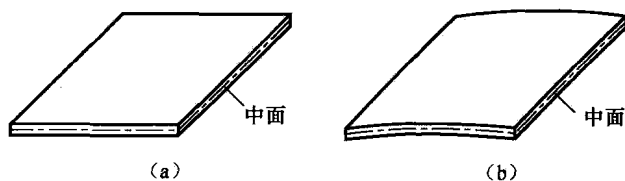


图 1-2

除了杆件和板件,三个方向上尺寸相差不大的构件称为**块体**。

杆件是工程中最常见、最基本的构件,也是材料力学的主要研究对象。

1.1.2 杆件的基本变形形式

杆件在外力作用下,其形状和尺寸的变化称为**变形**。变形分为两类:一类是在外力撤除后能消失的变形,称为**弹性变形**;另一类是在外力撤除后不能消失的变形,称为**塑性变形**或**残余变形**。

外力的作用方式不同,杆件的变形形式也不同,归纳起来,主要有四种基本变形形式:**轴向拉伸或压缩**、**剪切**、**扭转**和**弯曲**。

1) 轴向拉伸或压缩变形

如图 1-3(a)、(b)所示,当外力或外力合力作用线与杆件轴线重合,杆件在轴向产生伸长或缩短的变形方式,称为**轴向拉伸**或**轴向压缩变形**。

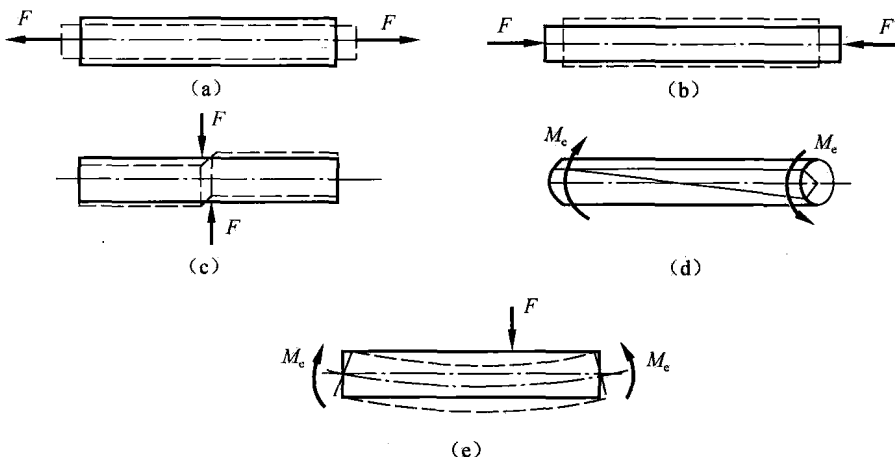


图 1-3

2) 剪切变形

如图 1-3(c)所示,当一对大小相等、方向相反的力 F 作用在与杆件轴线垂直并相距很近的平面内,杆件沿着受剪面发生错动的变形方式,称为**剪切变形**。

3) 扭转变形

如图 1-3(d)所示,按照右手法则,当力偶矩 M_e 的矢量方向与杆件轴线平行时,杆件横截面绕其轴线发生相对转动的变形方式,称为**扭转变形**。

4) 弯曲变形

如图 1-3(e)所示,当力偶矩 M_e 的矢量方向与杆件轴线垂直或者力 F 的作用方向与杆件轴线垂直,杆件的轴线变为曲线的变形方式,称为**弯曲变形**。

如果杆件受到几种不同形式力的共同作用,则杆件的变形是上述基本变形的组合,称为组合变形。

1.1.3 强度、刚度与稳定性

无论哪种变形方式,当外力足够大时,构件会发生破坏或者产生大的变形而失效,使得整个结构丧失其设计的功能。失效是指构件失去了其正常工作的能力。失效的形式包括构件破裂或断裂、发生大的变形以及发生了显著的塑性变形等。例如,起吊重物的绳索发生的是轴向拉伸变形,当起吊超出设计值的重物时,绳索可能发生断裂破坏;车床的车轴发生弯曲变形,当变形过大时影响加工精度;建筑物的柱子当载荷不太大时发生压缩变形,当载荷过大时会突然弯曲,发生垮塌。因此,工程师在设计时,为保证工程结构能安全、正常工作,对构件的设计要考虑以下三个方面:

(1) 具备足够的强度(即抵抗破坏的能力),以保证在设计的使用条件下不发生断裂或显著塑性变形。

(2) 具备足够的刚度(即抵抗变形的能力),以保证在设计的使用条件下不发生过分的变形。

(3) 具备足够的稳定性(即保持原有平衡形式的能力),以保证在设计的使用条件下不发生失稳。

构件的强度、刚度和稳定性与构件的尺寸、形状以及材料的力学性能有关。同时,不同的受力方式,构件变形形式不同,破坏方式也不同。因此,设计时需要首先分析构件的受力状态和可能的破坏方式,然后有针对性地合理选择材料、设计形状和尺寸,这样才能保证安全性和经济性之间的平衡。材料力学为工程师完成上述工作提供了最基本的理论和方法。

构件在各种载荷下的强度、刚度和稳定性问题是材料力学的主要研究内容。

1.1.4 材料力学的研究方法

材料力学具有独特的研究方法,可以归纳为“一个基础、三大关系”。

1) “一个基础”:以实验观察为基础

材料力学是以实验为基础的学科。材料的主要力学性能参数是通过实验手段得到,这些参数是构件强度和变形计算的基础;通过实验观察材料的破坏方式特点,提出了适用于不同材料的强度理论;材料力学对杆件的轴向拉压变形、扭转变形和弯曲变形问题研究中,均是通过实验观察变形特点进而提出变形假设,然后建立强度和刚度计算的基本公式。

2) “三大关系”之一:静力平衡关系

在外力作用下,处于平衡状态的构件,其整体、其任意部分必然也是静力平衡的,均可以建立相应的静力平衡方程。例如,一个处于平衡状态的桁架,不仅可以列出整个桁架的静力平衡方程,而且可以列出每个节点的静力平衡方程。

静力平衡关系适用于刚体和变形体。

3) “三大关系”之二:变形协调关系

构件的变形是协调的。协调是指构件上所有的点在变形过程中不发生分离和重叠,原来相邻的点在变形过程中始终保持相邻,而且各点的变形量之间满足一定的数量关系。

如图 1-4 所示的构件,变形前在其表面画两条相邻的线 AB 、 CD (图 1-4(a)),变形后线段 AB 、 CD 分别为 $A'B'$ 、 $C'D'$ 。图 1-4(b)所示的变形是满足变形协调关系的;而在图 1-4(c)和

图 1-4(d) 中, 两个线段分别发生了重叠和分离, 不满足变形协调关系。

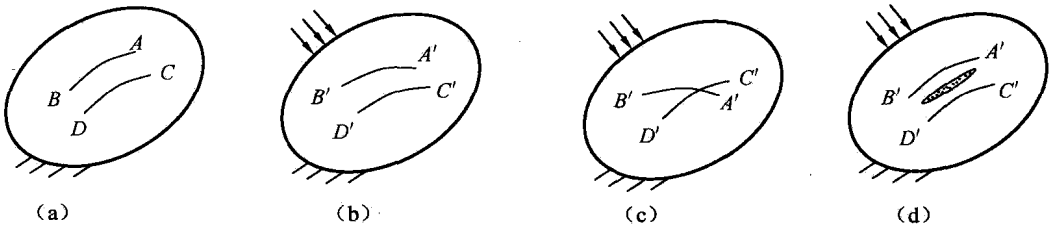


图 1-4

图 1-5 中, 拉杆 A、B、C、D 用于悬挂刚性重物 W。在 W 作用下, 拉杆伸长, 设它们伸长量分别为 Δl_A 、 Δl_B 、 Δl_C 和 Δl_D , 显然它们之间满足一定比例关系。

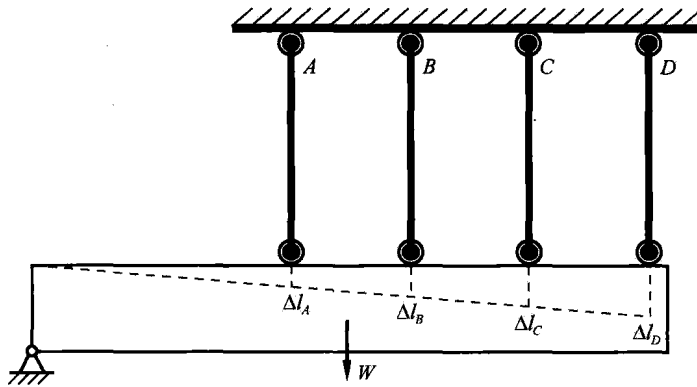


图 1-5

真实的变形必然满足变形协调关系。变形协调关系是变形体力学独有的重要关系。

4) “三大关系”之三: 物性关系

静力平衡关系和变形协调关系均不涉及构件的材料性质, 而构件的强度、刚度和稳定性与构件的材料性能又是密切相关的, 因此, 必须在分析过程引入描述材料力学性能的关系式, 即材料的物性关系(物理关系)或应力应变关系。

上述四方面构成了材料力学研究问题的独特方法, 在对构件的强度、刚度问题的研究中离不开这四方面; 在学习材料力学过程中, 重点关注这四方面能收到事半功倍的效果。

1.2 材料力学的基本假设

科学离不开假设, 材料力学也一样。科学里的假设不是随意的, 而是基于实验观察结果对真实世界的概念性升华和对复杂事物的合理简化, 而且这种合理性是经过工程实践检验的。材料力学的基本假设包括连续性假设、均匀性假设和各向同性假设。

1.2.1 连续性假设

连续性假设认为构件所占居的空间被物质连续无间隙地充满, 即认为构件是密实的。虽然真实材料的微观结构并非密实无空隙, 但考虑到工程结构的构件都具有宏观尺寸, 这些微观

空隙的大小与构件尺寸相比极其微小,忽略其影响是合理的。基于连续性假设,构件内部的物理量如位移、应力、变形等均可以采用可微的连续函数表示,从而简化了对构件进行力学分析时所采用的数学描述方法。

连续性假设适用于构件变形前和变形后,是构件满足变形协调关系的前提条件。

1.2.2 均匀性假设

材料在外力作用下所表现的性能,称为材料的**力学性能**。均匀性假设认为材料的力学性能与其在构件中的位置无关。根据均匀性假设,从构件内任意位置取出的微小体积单元(简称**单元体**),其力学性能都能代表构件材料的力学性能。

从微观上看,实际的材料在不同位置的力学性能有所差异,但在研究具有宏观尺寸的构件时,均匀性假设是合理的。例如,多数金属材料为多晶材料,即由众多微观尺度的晶粒组成,各个晶粒之间的力学性能虽有差异,但整体平均后在宏观尺度上其力学性能仍然是均匀的。

1.2.3 各向同性假设

任意方向上的力学性能都相同的材料称为**各向同性材料**。不同方向上力学性能也不同的材料称为**各向异性材料**。严格地讲,所有真实材料均表现出不同程度的各向异性。例如,组成金属材料的各个晶粒,其力学性能是有方向性的,但由于宏观尺寸的构件包含数量巨大的、无规则排列的晶粒,整体平均后宏观上表现为各向同性。针对类似于金属材料的情况,提出了各向同性假设,即认为各个方向上的力学性能均相同,这样就可以把大多数金属归为各向同性材料。对于木材、复合材料等具有明显各向异性的材料,不适用各向同性假设。

材料力学主要研究各向同性材料。

1.3 外力和内力

1.3.1 外力

外力主要指作用在杆件上的**载荷**和**约束反力**。载荷包括机械载荷如力、力偶矩等,还包括温度载荷、电磁力等,材料力学主要考虑机械载荷。外力按其作用的方式可分为**体积力**和**表面力**。体积力作用在构件内部的每一个点上,一般用单位体积上力的大小来表示,所以其量度单位为 N/m^3 或 kN/m^3 。重力和惯性力都是体积力。表面力是作用在构件表面一个区域内连续分布的力,如作用在建筑物外墙上的风压、下雪后作用在屋顶上的雪的重力等。表面力的量度单位是 N/m^2 或 kN/m^2 。对于杆件,通常把体积力和表面力换算为沿杆件轴线分布的力,用单位长度上分布力的大小——**载荷集度** q 来表示,量度单位为 N/m 或 kN/m 。

当分布力的作用面积与构件尺寸相比足够小时,可认为分布力作用在构件的一个点上,将分布力简化为**集中力**,量度单位为 N 或 kN 。

按照是否随时间发生显著变化,载荷又分为**静载荷**和**动载荷**。静载荷是指缓慢地由零增加到一定数值后,保持不变或变动不明显的载荷。例如,水库中的水对坝体的压力、重物对匀速起吊的起重机绳索的作用力等,都是静载荷。动载荷是指随着时间变化使得构件受力状态发生明显变化的载荷。例如,行进中的火车作用在车轴上的力,因碰撞作用在汽车上的力等,都是动载荷。