

材料力学

CAILIAOLIXUE
ZHONGXUESHI (中学时)

主 编 © 古 滨

副主编 © 邱清水 唐学彬 彭俊文



Wuhan University Press
武汉大学出版社

《材料力学》(中学时)

——机械类、土建类通用教材

主 编 古 滨

副主编 邱清水 唐学彬 彭俊文



Wuhan University Press
武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

材料力学：中学时/古滨主编. —武汉：武汉大学出版社，2014.7
ISBN 978-7-307-13875-9

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 167667 号

责任编辑：袁 侠 责任校对：杨 芸 版式设计：三山科普

出版发行：武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件：cbs22@whu.edu.cn 网址：www.wdp.com.cn)

印刷：四川森林印务有限责任公司

开本：787×1092 1/16 印张：22.75 字数：568 千字

版次：2014 年 7 月第 1 版 印次：2014 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-13875-9 定价：45.00 元

版权所有，不得翻印：凡购我社的图书，如有质量问题，请与当地图书销售部门联系调换。

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经验的基础上,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 2011 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(A类)要求的部分内容。

本书内容安排采用当前国内已较成熟的结论体系。全书共 13 章,包括: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、能量法与超静定、动载荷与动应力、塑性变形与极限分析。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:①本书强调对象,包括读者对象和各章节的主体研究对象,并在各章节的标题上有所体现,改变了当前材料力学教材章节标题过于专业精炼、普遍与工程实际对象脱节的现状,以增强学生工程意识。②本书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,对所有习题进行了分类和分级处理(文字说明和※、☆号标注),便于实现分级教学,教师布置作业、利于学生形成知识结构体系,同时计算题目中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。

本书的基本内容(未标注*号部分)适用于交通、材料、热能、环境、工业设计、建筑学等专业理论课学时为 48~56 的本科生、专科生、高职生。全书则适用于机械、交通运输、土建、水利、航空航天、船舶工程等专业理论课学时为 56~72 的本科生、专科生。

本书基于 2012 年北京理工大学出版社的《材料力学》,并在近年使用的基础上,经过全面更正、全方位的更新和补充而成。本书可与武汉大学出版社、北京理工大学出版社出版的《材料力学基本训练》、《材料力学实验指导与实验基本训练》配套使用。

本书由西华大学古滨担任主编,副主编为西华大学邱清水、唐学彬、彭俊文。本书编写人员有:西华大学古滨(第 1 章、第 12 章、第 13 章,第 4 章、第 9 章、第 11 章部分内容,全书大部分习题的编写与修订)、唐学彬(第 2 章、第 3 章、第 4 章部分内容的编写与修订)、彭俊文(第 5 章、第 6 章、第 7 章部分内容的编写与修订)、邱清水(第 8 章、第 9 章、第 10 章部分内容的编写与修订)、田云德(第 9 章、第 11 章部分内容的编写)、高红霞(第 4 章部分内容的编写)、江俊松(附录型钢表和全书大部分插图的绘制与修订)。成都理工大学郭春华(第 2 章部分内容的编写);西南科技大学赵明波(第 6 章、第 7 章的部分内容的编写)。此外,西华大学的曹吉星、袁权、王亦恩也参与了本书部分章节的编写或修订工作。全书由古滨统稿。

在本书的策划和编写过程中,得到了西华大学力学教学部、西华大学力学实验中心各位老师以及西南科技大学陈国平老师的支持;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,在此一并表示衷心感谢。

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

编 者

2014 年 3 月

主要符号表

1. 英文符号 量的含义

A	横截面面积、振幅
A_α	α 斜截面面积
A_s	剪切面面积
A_{bs}	挤压面投影面积
a	间距、宽度、加速度
b	宽度、距离
C	质心、重心
D	直径
d	直径、距离、力偶臂
E	弹性模量、杨氏模量
E_k	动能
E_p	势能
e	偏心距
F	力
F_{Ax}, F_{Ay}	A 铰处沿 x, y 方向约束反力
F_{cr}	临界载荷
F_d, F_{st}	动载荷, 静载荷
F_I	惯性力
F_u	极限载荷
F_N	轴力、法向约束反力
$\overline{F_N}$	单位载荷引起的轴力
$[F_u]$	许用载荷
F_p	集中载荷
F_R	合力、主矢
F_S, F_Q	剪力、静滑动摩擦力
$\overline{F_S}$	单位载荷引起的剪力
F_T	拉力
F_x, F_y, F_z	力 F 在 x, y, z 轴上的分量
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
H, h	高度
I, I_y, I_z	惯性矩
I_p	极惯性矩
I_{yz}	截面对正交 y, z 轴的惯性积

i	惯性半径
K	体积模量、应力集中系数
K_d	动荷因数
K_f	理论应力集中系数
k	弹簧常量, 弹簧刚度, 应变计灵敏因数
L, l	长度、跨度
M_x	扭矩
M, M_y, M_z	外力偶矩、弯矩
$M_{\max}^+, M_{\max}^-$	最大正、负弯矩
$\overline{M}$	单位载荷引起的弯矩
M_e	外力偶矩
M_O	对 O 点的矩
m	质量、外力偶矩
N	循环次数、疲劳寿命
n	转速、螺栓个数
n_s	对应于塑性材料 σ_s 的安全因数
n_b	对应于脆性材料 σ_b 的安全因数
$n_{st}, [n]_{st}$	稳定安全因数
P	(输入、输出) 功率、重量、外力
p	全应力、压强、内压力
q	载荷集度、广义坐标
r, R	半径、电阻
S, S_y, S_z	静矩、一次矩
s	路程、弧长
T	扭矩、周期、摄氏温度
$\overline{T}$	单位载荷引起的扭矩
t	时间
u	轴向位移、水平位移
$[u]$	许用轴向位移
V	体积
$V_{\varepsilon, U}$	应变能
v	速度
v_d	畸变能密度
v_v	体积改变能密度
v_ε	应变能密度

W	力的功、重量、抗弯截面模量
W_i	内力功
W_e	外力功
W_z	抗弯截面系数、抗弯截面模量
W_T, W_P	抗扭截面系数、抗扭截面模量

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	粘度
θ	单位长度扭转角、转角、体积应变
λ	柔度、长细比、压杆轴向位移
μ	长度系数、长度因数
μ, ν	泊松比、横向变形系数
ρ	材料密度、曲率半径
ρg	重度
σ	正应力

σ_a	应力幅
σ_t, σ^+	拉应力
σ_c, σ^-	压应力
σ_m, σ^-	平均应力
σ^o, σ_u	极限应力、危险应力
σ_b	强度极限、抗拉强度
σ_{bs}, σ_c	挤压应力
$[\sigma]$	许用应力、许可应力
$[\sigma_t], [\sigma]^+$	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
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, φ	稳定折减系数
$\varphi, \Delta\varphi$	扭转变形的扭转角、稳定折减系数
ω	挠度、角速度
ω_0	固有角频率

目 录

前 言

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、应力概念·单位换算	5
1.5 位移、变形、应变概念	8
1.6 材料力学的主要问题·主要方法	9
思考题	10
分类习题	10
第 2 章 直杆·轴向拉压	12
2.1 轴向拉压的受力特点·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
2.2.1 内力·轴力	13
2.2.2 内力图·轴力图	14
2.3 轴向拉压时截面上的应力	15
2.3.1 横截面上的应力	15
2.3.2 斜截面上的应力	17
2.4 材料在轴向拉伸和压缩时的力学性能	20
2.4.1 材料拉伸时的力学性能	21
2.4.2 材料压缩时的力学性能	24
2.5 许用应力·安全因数·强度条件与强度计算	26
2.6 轴向拉压时的变形·胡克定律	29
2.6.1 绝对变形	29
2.6.2 相对变形	30
2.6.3 胡克定律	31
*2.7 轴向拉压时的应变能	34
2.8 用变形比较法求解简单杆系超静定问题	37
2.9 应力集中的概念	42
思考题	42
分类习题	43

第3章 连接件·剪切 圆轴·扭转	48
3.1 剪切和挤压的概念及实例	48
3.2 剪切和挤压的强度实用计算	49
3.2.1 剪切强度的实用计算	49
3.2.2 挤压强度的实用计算	49
3.3 圆轴扭转的受力特点·变形特征·外力偶矩的换算	53
3.3.1 圆轴扭转的受力特点·变形特征	53
3.3.2 外力偶矩的换算	54
3.4 圆轴扭转时横截面上的内力和内力图·扭矩和扭矩图	55
3.5 薄壁圆筒的扭转	57
3.5.1 薄壁圆筒扭转时横截面上的切应力	57
3.5.2 切应力互等定理	58
3.5.3 剪切胡克定律	58
3.6 圆轴扭转时横截面上的切应力·强度条件与强度计算	59
3.6.1 横截面上的应力	59
3.6.2 扭转强度条件	62
3.7 圆轴扭转时的变形·刚度条件与刚度计算	64
3.7.1 圆轴扭转时的变形	64
3.7.2 扭转刚度条件	64
*3.8 扭转时的应变能(变形能)	66
*3.9 非圆截面直杆扭转的概念	67
*3.10 开口和闭口薄壁截面直杆自由扭转的概念	69
3.10.1 开口薄壁杆件的自由扭转	70
3.10.2 闭口薄壁杆件的自由扭转	71
思考题	74
分类习题	74
第4章 截面·平面图形几何性质	80
4.1 截面图形·形心和静矩	80
4.1.1 形心和静矩	80
4.1.2 组合图形的形心和静矩	82
4.2 截面图形·惯性矩和惯性积	83
4.2.1 极惯性矩	83
4.2.2 惯性矩和惯性积	83
4.3 惯性矩和惯性积·平行移轴公式	86
4.3.1 平行移轴公式	86
4.3.2 组合截面图形的惯性矩	88
*4.4 惯性矩和惯性积·转轴公式	89

4.4.1 转轴公式	89
4.4.2 主惯性轴与主惯性矩	90
思考题	93
分类习题	95
第5章 直梁·弯曲内力	98
5.1 平面弯曲和对称弯曲的受力特点·变形特征	98
5.2 支座及载荷的简化·梁的分类·计算简图	98
5.2.1 支座的简化	99
5.2.2 载荷的简化	99
5.2.3 静定梁的基本形式	100
5.3 平面弯曲时梁横截面上的内力·剪力和弯矩	100
5.4 写内力方程绘制内力图·剪力图和弯矩图	103
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	107
5.5.1 利用分布载荷集度、剪力和弯矩间的微分关系绘制剪力图和弯矩图	107
5.5.2 利用分布载荷集度、剪力和弯矩间的积分关系绘制剪力图和弯矩图	108
5.6 叠加法绘制弯矩图	111
*5.7 平面刚架的内力图·轴力图、剪力图和弯矩图	112
思考题	113
分类习题	114
第6章 直梁·弯曲应力	119
6.1 纯弯曲和横力弯曲的概念	119
6.2 纯弯曲时梁横截面上的正应力	119
6.2.1 纯弯曲时的正应力	119
6.2.2 弯曲正应力公式的适用范围	123
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	124
6.3.1 最大正应力	124
6.3.2 正应力强度条件与强度计算	125
*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	129
6.4.1 矩形截面梁	129
6.4.2 工字形截面	132
6.4.3 圆形截面梁	133
6.4.4 圆环形截面梁	133
6.4.5 切应力强度条件与强度计算	134
*6.5 开口薄壁截面梁的弯曲切应力·弯曲中心的概念	136
6.6 提高梁弯曲强度的主要措施	137
思考题	141
分类习题	141

第 7 章 直梁·弯曲变形	147
7.1 梁的挠度和转角	147
7.1.1 梁的挠曲线	147
7.1.2 横截面的位移	147
7.1.3 挠度和转角的关系	147
7.1.4 挠度与转角的正负号规定	148
7.2 梁的挠曲线近似微分方程	148
7.3 用积分法求梁的弯曲变形	149
7.4 用叠加法求梁的弯曲变形	152
7.5 梁的刚度条件与刚度校核	155
7.6 用变形比较法求解简单超静定梁	156
7.6.1 超静定梁的概念	156
7.6.2 变形比较法求解超静定梁	157
7.6.3 积分法求解超静定梁	158
7.6.4 讨论	159
*7.7 梁的弯曲应变能(变形能)	161
7.7.1 弯曲变形能	161
7.7.2 外力功	162
7.8 提高梁弯曲刚度的主要措施	163
7.8.1 增大梁的抗弯刚度	163
7.8.2 减小跨度或增加支座	163
7.8.3 合理安排载荷作用点位置	164
思考题	164
分类习题	164
第 8 章 应力分析·强度理论	170
8.1 概述	170
8.2 一点的应力状态·应力状态分类	170
8.3 平面应力状态·应力分析的解析法	172
8.3.1 任意斜截面上的应力	173
8.3.2 主应力和主平面	174
8.3.3 切应力极值及其所在平面	174
8.4 平面应力状态·应力分析的几何法	177
*8.5 空间应力状态简介	180
8.6 广义胡克定律	181
8.6.1 广义胡克定律	181
8.6.2 体积应变	182
*8.7 复杂应力状态的应变能密度	183

8.8 强度理论	184
8.8.1 强度理论概述	184
8.8.2 4 种常用的强度理论	185
思考题	190
分类习题	191
第 9 章 构件·组合变形	198
9.1 概述	198
9.2 轴向拉伸(压缩)与弯曲的组合	199
9.3 弯曲与扭转的组合	203
*9.4 弯弯组合(斜弯曲)	207
思考题	210
分类习题	211
第 10 章 压杆·稳定性	216
10.1 压杆稳定性的概念	216
10.2 细长压杆的临界压力、临界应力·欧拉公式	217
10.2.1 两端铰支细长压杆的临界压力	217
10.2.2 临界应力	219
10.3 欧拉公式的适用范围·临界应力总图·直线公式	220
10.3.1 欧拉公式的适用范围	220
10.3.2 临界应力经验公式与临界应力总图	220
10.4 稳定性计算·安全系数法	223
*10.5 稳定性计算·折减系数法	225
10.6 提高压杆稳定性的主要措施	228
思考题	228
分类习题	229
*第 11 章 能量法·超静定	234
11.1 杆件变形能的计算	234
11.1.1 外力功	234
11.1.2 变形能(应变能)	234
11.1.3 功能原理	235
11.2 卡氏第二定理·位移计算	236
11.3 单位载荷法·位移计算	240
11.4 互等定理·位移计算	244
11.5 用能量法解超静定结构	246
思考题	247
分类习题	248

*第 12 章 动载荷 • 动应力	254
12.1 概述	254
12.2 惯性载荷	254
12.2.1 构件作匀加速直线平动	255
12.2.2 构件作匀角速转动	258
12.3 冲击载荷	260
12.3.1 垂直冲击	261
12.3.2 水平冲击	266
12.3.3 冲击载荷作用下的强度条件	269
12.3.4 提高构件抗冲击能力的措施	269
12.4 周期性载荷	270
思考题	274
分类习题	275
*第 13 章 塑性变形 • 极限分析	280
13.1 概述	280
13.2 杆系 • 拉压极限分析	281
13.3 圆轴 • 扭转极限分析	285
13.4 直梁 • 弯曲极限分析	286
思考题	294
分类习题	294
附录 型钢表	298
分类习题答案	312
参考文献	326

第 1 章 绪论 · 初始概念

1.1 材料力学的任务

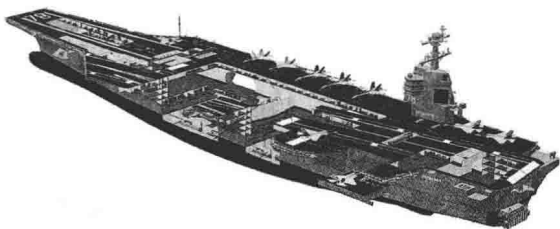
力对物体的作用效应分为 2 种：一种是产生外效应，即使物体的位置及运动状态发生改变；另一种是引起内效应，即使物体产生变形或破坏。理论力学研究其外效应，而材料力学研究其内效应。

理论力学的研究对象是不变形的刚体，因此，理论力学是一门研究刚体在各种主动力作用下所产生的外效应的学科。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所产生的内效应的学科。

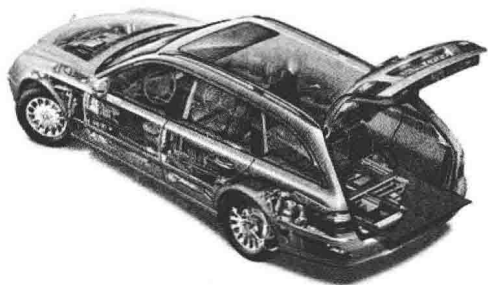
材料力学是现代工程技术的重要基础，也是所有工科高校学生的必修课程。在工程实际中，常见的建筑、桥梁、飞机、舰船、铁路、车辆、海洋平台、海底隧道、各类型机械设备等工程结构（图 1.1）都蕴含了无数的力学理论，正是力学理论支撑着它们今天的存在和未来的发展。



(a) 建筑结构



(b) 船舶结构



(c) 车辆结构



(d) 飞机结构

图 1.1 建筑、船舶、车辆、飞机结构图例

材料力学问题与理论力学问题的主要联系与区别可通过图 1.2 所示的 2 个支架来简单

【注】：本书各章分类习题中凡标“※”的题目为相对于少、中学时有一定难度的基本部分或专题部分内容；凡标“☆”的题目为专题部分内容，主要供多、中学时选用。

说明。

图 1.2 中的 2 个支架，都可能面临以下几个工程实际问题：

1. 求各支座的约束反力。
2. 求各杆的内力。
3. 验证支架是否安全。(是否破坏?是否变形过大?受压的杆是否被压弯?)

4. 在保证支架安全的情况下，如何选择各杆的材料?如何确定各杆截面形状及尺寸大小?

5. 在保证支架安全的情况下，如何确定支架节点 A 处允许的最大载荷 F ?

6. 求支架中各杆的变形以及节点 A 的位移。

对于图 1.2 (a) 所示的静定支架结构，上述 6 个问题中的前 2 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、长度等因素无关；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、长度等因素有关。

对于如图 1.2 (b) 所示的静不定支架结构，则上述所有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、长度等因素有关。也就是说，理论力学可以识别静不定问题，但不能求解，只能通过材料力学才能求解。

要保证支架安全，所有的杆件不破坏，要求在载荷作用下所有的构件具有足够的抵抗破坏的能力，即应有足够的强度 (strength)；要保证支架正常工作，所有的杆件不能有过大的变形，则要求在载荷作用下所有的构件具有足够的抵抗变形的能力，即应有足够的刚度 (stiffness)；此外，要保证支架安全，支架中的受压杆件（比如杆②）不能被压弯，则要求在载荷作用下所有受压杆件具有足够的保持原有直线平衡状态的能力，即应有足够的稳定性 (stability)。工程上，常把刚度、强度、稳定性这 3 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结构（一座大桥、一栋大楼、一台机器），首先考虑该工程结构中每一个组成构件都要有足够的承载能力，只有这样的构件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，只需增大构件的尺寸、选用好材料等。但这往往引起负面的结果：增加构件自重、耗材耗能、不经济。可见，安全可靠与经济合理是一对矛盾，合理地解决这对矛盾就是材料力学的具体工作。

材料力学的主要任务是：①研究构件在外力作用下的内力、变形、破坏等规律；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。

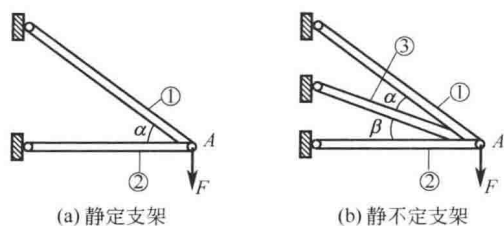


图 1.2 静定与静不定支架结构

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产生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,不同位置、不同方向都是有差异的。鉴于问题的复杂性,在对其进行强度、刚度和稳定性分析前,需要将变形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是处处连续的,存在不同程度的微小空隙,因其极微小,可以忽略不计。这是对工程材料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),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

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。

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。

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。例如金属材料中每个单晶粒的力学性能都有方向性,呈各向异性,但数量极多的晶粒聚集形成金属块体时,因其排列无序,从统计平均值的角度,可以将金属假设为各向同性材料。

该假设并不适用于所有材料,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产生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,而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3方面的考虑:(1)大部分承力的工程构件在工作时下产生的变形与构件原始尺寸相比很小。(2)在小变形条件下,变形与载荷成线性关系。(3)在小变形条件下,很多材料的物理性质呈线弹性关系。

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。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,此时必须考虑。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,而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、壳和块体通常属于弹性力学的研究领域。

所谓杆件是指一个方向尺度远大于其他两个方向尺度的构件。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。轴线为直线的杆件称为直杆，横截面相同的直杆称为等截面直杆，简称等直杆。轴线为曲线、折线的杆件分别称为曲杆和折杆。横截面不同的杆件称为变截面杆（包括截面突变和渐变两类），见图 1.3。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。

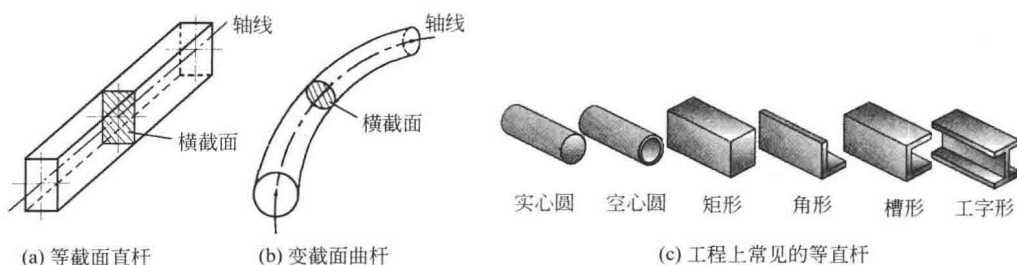


图 1.3 杆件的特征与工程上常见的等直杆

杆件在不同外力的作用下产生的变形形式是不同的，但可归纳为以下 4 种基本变形形式或是它们的组合。

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：当杆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，见图 1.4 (a)、图 1.4 (b)。

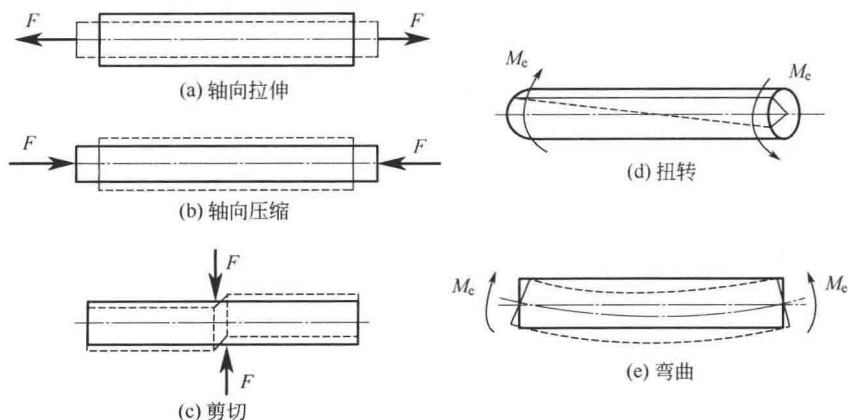


图 1.4 4 种基本变形的受力特点与变形特征

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：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，见图 1.4（c）。

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：当杆件受到一对大小相等、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，见图 1.4（d）。

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：当杆件的两端受到一对转向相反、大小相等且位于纵向平面内的力偶作用时，所有横截面将绕垂直于杆件轴线的轴发生转动，见图 1.4（e）。

1.4 外力、内力、应力概念·单位换算

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）。其中约束反力可以利用理论力学中静力平衡方程求解。

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 。表面力是在接触面连续分布的力，例如雪载荷、风载荷和水压力等，工程上常用单位为 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 。

当分布力作用的区域面积与构件面积相比非常小时，可将其简化为作用在一点上的力，称为集中力，其单位用 N 或 kN 表示。

外力按随时间变化的情况，可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。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，振动的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）为一般的情形下的构件。若 $m-m$ 截面上内力为空间分布力系，见图 1.5（b），将其向截面形心 O 点简化为力 F'_R 和力偶 M_O ，见图 1.5（c）。分别将其沿 3 个坐标轴