

Φ 高等专科教育

# 材料力学

臧修亮 主编

国防工业出版社

## 内 容 简 介

本书是根据机电部《关于机制专业函授专科教育的培养目标和基本规格》的要求，并参照有关材料力学函授教学大纲编写的。

全书共十三章。内容包括绪论、拉伸与压缩、剪切与扭转、截面图形几何性质、弯曲内力、弯曲强度、弯曲变形、应力状态理论和强度理论、组合变形的强度计算、能量法、压杆稳定、交变应力等。每章后均附有学习指导、思考题和习题，每个阶段备有供学生自检的测验作业。

本书为工科机械类高等专科教学用书或函授教材；也可用作职工大学、夜大学有关专业以及普通高校近机械类材料力学（中、小学时）的通用教材；还可作为电大学生、工程技术人员及自学者的参考用书。

## 材 料 力 学

曲宴曾 刘善平 编  
赵学仁 臧彦亮

\*

国防工业出版社 出版发行

（北京市海淀区紫竹院南路23号）

国防工业出版社印刷厂印装

\*

787×1092 1/16 印张26 632千字

1990年10月第一版 1990年10月第一次印刷 印数：00,001—10,000册

ISBN 7-118-00765-X/TB·31 定价：9.45元

## 出版说明

在机械电子工业部教育司的组织和指导下,由二十二所高等院校的百余名专家、教授编写和审定的高等专科机械制造专业系列教材即将由国防工业出版社和机械工业出版社陆续出版。这套教材是根据机电部教育司领导制定的《高等专科机械制造专业人才培养规格》的总要求,按照相应的《教学计划和课程大纲》编写的。参加教材编写的人员都具有丰富的教学经验,并且经过申报和严格审批。各门课程的教材编写大纲,课程之间的衔接和配合,都经过专家、教授集体讨论和审议。在编写过程中,各课程编写组在主编负责下对书稿进行了反复讨论和修改,最后经具有高水平的专家教授审查定稿。这就保证了这套教材具有相当的水平 and 较高的质量。这套系列教材适用于高等专科教育机械制造专业,亦适合成人高等专科学校教育,体现出为生产第一线培养德、智、体全面发展的应用型高级技术人才的总要求。各教材在保证基本内容的系统性和科学性的同时,注意理论联系实际和能力的培养,适当反映现代科学技术的新成就。这套教材中的基础课和技术基础课教材,也适用于其他有关专业。

这套教材的编写和出版,在机电部教育司的关心和领导下,在机械工业出版社、国防工业出版社的大力支持下,依靠全体编审人员的辛勤工作和有关院校的协助,得以顺利完成。在此,谨向他们表示衷心的感谢。

我们奉献的这套教材,希望能够得到读者的欢迎。但是,由于组织这样的系列教材编写工作尚属首次,这套教材难免有不足之处,欢迎广大师生和其他读者批评指正。

机电部高等专科机制专业教材编委会

1989年9月

## 前 言

本书是根据机械电子工业部关于《高等专科机械专业人才培养规格》的要求,参照其材料力学函授教学大纲编写的。

本书力求体现如下特点:(1)针对读者基础和专业要求精选内容,起点、难度适当,注重理论联系实际,强调适用性和针对性;(2)文字简洁流畅、通俗易懂,叙述深入浅出,加强条理性、逻辑性;(3)为方便读者自学,在每章之前有内容提要,各节编有足够示范例题,章末附有学习指导、思考题和习题,以便使读者理解和掌握所学内容、加深概念、剖析难点。每个学习阶段附有测验作业,以检验读者学习效果、综合分析、解决问题的能力。

本书由北京理工大学赵学仁、臧修亮、沈阳工业学院曲宴曾和湖南大学刘善平等同志编写。其中第一至四章由曲宴曾编写;第五、六、七章由臧修亮编写;第八、九、十章由刘善平编写;第十一、十二、十三章由赵学仁编写。全书由臧修亮主编。

本书承上海机械学院蔡忠全副教授进行了仔细、认真地审阅,提出了许多宝贵的意见和建议;北京理工大学蒋维城教授在讨论定稿过程中也给予了热情支持和指导。在此一并致谢。

限于编者水平,书中缺点和错误在所难免,诚望广大读者批评指正。

编 者

1990年2月

# 主要符号表

| 字 符             | 字 符 意 义           | 国际制单位        | 字 符                                     | 字 符 意 义     | 国际制单位           |
|-----------------|-------------------|--------------|-----------------------------------------|-------------|-----------------|
| $x, y, z$       | 坐标轴( $x$ 轴代表杆件轴线) |              | $\gamma$                                | 剪应变         | 无量纲量            |
| $N$             | 轴力                | $m, cm$      |                                         | 材料单位体积重量    | $N/m^3, kN/m^3$ |
| $Q$             | 剪力                | $N, kN$      | $\delta$                                | 延伸率         | 无量纲量            |
| $M_T$           | 扭矩                | $kN \cdot m$ |                                         | 厚 度         | $m, mm$         |
| $M$             | 弯矩                | $kN \cdot m$ | $\psi$                                  | 截面收缩率       | 无量纲量            |
| $M_y, M_z$      | 对 $y$ 轴、 $z$ 轴的弯矩 | $kN \cdot m$ | $\alpha$                                | 应力集中系数      | 无量纲量            |
| $R$             | 支座反力              | $kN$         | $C$                                     | 角 度         | rad             |
| $M_0$           | 转矩(外力偶矩)          | $kN \cdot m$ |                                         | 弹簧常数        | $N/m, kN/m$     |
|                 | 弯曲外力矩             | $kN \cdot m$ | $\varphi$                               | 扭转角         | rad             |
| $q$             | 分布荷载集度            | $kN/m$       | $\theta$                                | 轴的单位长度扭转角   | rad/m           |
| $P$             | 集中力               | $kN$         |                                         | 梁的转角        | rad             |
| $l$             | 杆长                | $m, cm$      | $[\theta]$                              | 轴单位长度的许用扭转角 | $^{\circ}/m$    |
| $b, B$          | 截面宽度              | $m, cm$      | $y$                                     | 梁的挠度        | $m, cm$         |
| $h, H$          | 截面高度              | $m, cm$      | $[\gamma]$                              | 梁的许用挠度      | $m, cm$         |
| $d, D$          | 直径                | $m, cm$      | $\Delta l$                              | 杆的伸长(缩短)变形  | $m, cm$         |
| $A$             | 截面积               | $m^2, cm^2$  | $\Delta$                                | 位 移         | $m, cm$         |
| $S_y, S_z$      | 静矩                | $m^3, cm^3$  | $E$                                     | 拉压弹性模量      | GPa             |
| $I_y, I_z$      | 惯性矩               | $m^4, cm^4$  | $G$                                     | 剪切弹性模量      | GPa             |
| $I_p$           | 极惯性矩              | $m^4, cm^4$  | $\mu$                                   | 泊松比         | 无量纲量            |
| $I_{yz}$        | 惯性积               | $m^4, cm^4$  | $n$                                     | 强度工作安全系数    | 无量纲量            |
| $i_y, i_z$      | 惯性半径              | $m, cm$      | $\bar{N}$                               | 单位力引起的轴力    | $N, kN$         |
| $W_x, W_y$      | 抗弯截面模量            | $m^3, cm^3$  | $\bar{M}$                               | 单位力引起的弯矩    | $kN \cdot m$    |
| $W_T$           | 抗扭截面模量            | $m^3, cm^3$  | $\bar{M}_T$                             | 单位力引起的扭矩    | $kN \cdot m$    |
| $V$             | 体积                | $m^3, cm^3$  | $P_{cr}$                                | 压杆临界力       | $kN$            |
| $U$             | 变形能               | $J$          | $r$                                     | 循环特征        | 无量纲量            |
| $u$             | 比能                | $J/m^3$      | $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$          | 主应力         | MPa             |
| $\sigma$        | 正应力               | Pa, MPa      | $\sigma_{eq}$                           | 相当应力        | MPa             |
| $\sigma_{max}$  | 最大正应力             | Pa, MPa      | $\sigma_m$                              | 平均主应力       | MPa             |
| $\sigma_{min}$  | 最小正应力             | Pa, MPa      |                                         | 应力循环中的平均应力  | MPa             |
| $\sigma_{Tmax}$ | 最大拉应力             | Pa, MPa      | $\sigma_e$                              | 应力循环中的应力幅度  | MPa             |
| $\sigma_{Cmax}$ | 最大压应力             | Pa, MPa      | $\sigma_{cr}$                           | 压杆临界应力      | MPa             |
| $[\sigma]$      | 许用应力              | Pa, MPa      | $\sigma_r$                              | 材料持久极限      | MPa             |
| $\sigma_B$      | 挤压应力              | Pa, MPa      | $\sigma_{-1}, \sigma_{-2}, \sigma_{-3}$ | 对称循环下材料持久极限 | MPa             |
| $[\sigma_B]$    | 挤压许用应力            | Pa, MPa      | $\sigma_d$                              | 动荷应力        | MPa             |
| $\sigma_p$      | 比例极限              | Pa, MPa      | $\alpha_k$                              | 冲击韧度        | $J/mm^2$        |
| $\sigma_e$      | 弹性极限              | Pa, MPa      | $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$    | 主应变         | 无量纲量            |
| $\sigma_s$      | 屈服极限              | Pa, MPa      | $u_v$                                   | 体积改变比能      | $J/m^3$         |
| $\sigma_{0.2}$  | 名义屈服极限            | Pa, MPa      | $u_d$                                   | 形状改变比能      | $J/m^3$         |
| $\sigma_b$      | 强度极限              | Pa, MPa      | $\theta$                                | 体积应变        | 无量纲量            |
| $\sigma_u$      | 极限应力              | Pa, MPa      | $\lambda$                               | 压杆的柔度       | 无量纲量            |
| $\tau$          | 剪应力               | Pa, MPa      | $\mu$                                   | 压杆长度系数      | 无量纲量            |
| $\tau_{max}$    | 最大剪应力             | Pa, MPa      | $n_s$                                   | 稳定工作安全系数    | 无量纲量            |
| $[\tau]$        | 许用剪应力             | Pa, MPa      | $[n_s]$                                 | 规定稳定安全系数    | 无量纲量            |
| $\tau_f$        | 剪切屈服极限            | Pa, MPa      | $K_d$                                   | 动荷系数        | 无量纲量            |
| $\tau_b$        | 剪切强度极限            | Pa, MPa      | $K_{\sigma}, K_{\epsilon}$              | 有效应力集中系数    | 无量纲量            |
| $\epsilon$      | 线应变               | 无量纲量         | $\epsilon_0, \epsilon_1$                | 尺寸系数        | 无量纲量            |

# 目 录

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 主要符号表                 | IX |
| 第一章 绪论                | 1  |
| 内容提要                  | 1  |
| § 1-1 材料力学的任务         | 1  |
| § 1-2 变形固体的概念及其基本假设   | 2  |
| § 1-3 杆件的基本变形形式       | 4  |
| 本章学习指导                | 6  |
| 思考题                   | 6  |
| 第二章 轴向拉伸和压缩           | 7  |
| 内容提要                  | 7  |
| § 2-1 轴向拉伸与压缩的概念及受力特点 | 7  |
| § 2-2 拉压杆的内力——轴力·轴力图  | 8  |
| § 2-3 横截面和斜截面上的应力     | 11 |
| § 2-4 拉压杆的强度条件及其应用    | 18 |
| § 2-5 拉压杆的变形·虎克定律     | 29 |
| § 2-6 拉伸与压缩时材料的力学性质   | 34 |
| § 2-7 安全系数及其选取原则      | 31 |
| § 2-8 拉压杆的超静定问题       | 33 |
| § 2-9 应力集中的概念         | 42 |
| 本章学习指导                | 43 |
| 思考题                   | 48 |
| 习题                    | 49 |
| 第三章 剪切与扭转             | 55 |
| 内容提要                  | 55 |
| § 3-1 剪切和挤压           | 56 |
| § 3-2 扭转的概念和实例        | 61 |
| § 3-3 外力偶矩和扭矩         | 63 |
| § 3-4 薄壁圆管的扭转         | 67 |
| § 3-5 圆轴扭转时的应力·强度条件   | 70 |
| § 3-6 圆轴扭转时的变形·刚度条件   | 78 |
| § 3-7 圆轴扭转的应力分析       | 81 |
| § 3-8 矩形截面杆扭转的概念      | 83 |
| 本章学习指导                | 85 |
| 思考题                   | 90 |
| 习题                    | 92 |
| 测验作业 (I)              | 96 |
| 第四章 截面图形的几何性质         | 98 |

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| 内容提要 .....                             | 98  |
| § 4-1 静矩与形心 .....                      | 98  |
| § 4-2 惯性矩·惯性积 .....                    | 102 |
| § 4-3 惯性矩和惯性积的平行轴公式 .....              | 107 |
| * § 4-4 惯性矩和惯性积的旋转轴公式 .....            | 110 |
| 本章学习指导 .....                           | 113 |
| 思考题 .....                              | 115 |
| 习题 .....                               | 116 |
| 第五章 弯曲内力 .....                         | 119 |
| 内容提要 .....                             | 119 |
| § 5-1 概述 .....                         | 119 |
| § 5-2 剪力和弯矩·剪力方程和弯矩方程 .....            | 122 |
| § 5-3 剪力图和弯矩图 .....                    | 126 |
| § 5-4 $M$ 、 $Q$ 和 $q$ 间的微分关系及其应用 ..... | 133 |
| § 5-5 用叠加法画弯矩图 .....                   | 139 |
| § 5-6 刚架的内力图 .....                     | 141 |
| 本章学习指导 .....                           | 142 |
| 思考题 .....                              | 144 |
| 习题 .....                               | 147 |
| 第六章 弯曲强度 .....                         | 151 |
| 内容提要 .....                             | 151 |
| § 6-1 概述 .....                         | 151 |
| § 6-2 纯弯曲时梁横截面上的正应力 .....              | 151 |
| § 6-3 弯曲正应力的强度计算 .....                 | 155 |
| § 6-4 梁横截面上的弯曲剪应力 .....                | 162 |
| § 6-5 弯曲剪应力的强度校核 .....                 | 167 |
| § 6-6 提高梁弯曲强度的主要措施 .....               | 171 |
| 本章学习指导 .....                           | 174 |
| 思考题 .....                              | 176 |
| 习题 .....                               | 178 |
| 第七章 弯曲变形 .....                         | 180 |
| 内容提要 .....                             | 180 |
| § 7-1 梁的挠度和转角·挠曲线近似微分方程 .....          | 180 |
| § 7-2 用积分法求梁的变形 .....                  | 183 |
| § 7-3 用叠加法求梁的变形 .....                  | 188 |
| § 7-4 梁的刚度计算·提高刚度的主要措施 .....           | 195 |
| § 7-5 超静定梁 .....                       | 200 |
| 本章学习指导 .....                           | 204 |
| 思考题 .....                              | 208 |
| 习题 .....                               | 210 |
| 测验作业(Ⅰ) .....                          | 214 |
| 第八章 应力状态理论和强度理论 .....                  | 216 |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 内容提要 .....                         | 216 |
| § 8-1 点的应力状态概念 .....               | 216 |
| § 8-2 平面应力状态分析——解析法 .....          | 217 |
| § 8-3 平面应力状态的最大应力·主应力与主平面的概念 ..... | 221 |
| § 8-4 平面应力状态分析——图解法 .....          | 228 |
| § 8-5 三向应力圆简介与最大剪应力 .....          | 234 |
| § 8-6 广义虎克定律 .....                 | 236 |
| § 8-7 强度理论概述 .....                 | 239 |
| § 8-8 四种常用的强度理论及其强度条件 .....        | 240 |
| 本章学习指导 .....                       | 247 |
| 思考题 .....                          | 248 |
| 习题 .....                           | 250 |
| 第九章 构件在组合变形时的强度计算 .....            | 254 |
| 内容提要 .....                         | 254 |
| § 9-1 概述 .....                     | 254 |
| § 9-2 斜弯曲梁的强度计算 .....              | 258 |
| § 9-3 拉(压)弯组合构件的强度计算 .....         | 260 |
| § 9-4 弯扭组合构件的强度计算 .....            | 265 |
| 本章学习指导 .....                       | 271 |
| 思考题 .....                          | 272 |
| 习题 .....                           | 273 |
| 测验作业(Ⅱ) .....                      | 277 |
| 第十章 能量法 .....                      | 278 |
| 内容提要 .....                         | 278 |
| § 10-1 概述 .....                    | 278 |
| § 10-2 外力功和弹性变形能的计算 .....          | 278 |
| § 10-3 莫尔定理及其应用 .....              | 289 |
| § 10-4 图形互乘法 .....                 | 297 |
| 本章学习指导 .....                       | 299 |
| 思考题 .....                          | 304 |
| 习题 .....                           | 305 |
| 第十一章 压杆稳定 .....                    | 308 |
| 内容提要 .....                         | 308 |
| § 11-1 压杆稳定的概念 .....               | 308 |
| § 11-2 细长压杆的临界力 .....              | 311 |
| § 11-3 压杆的临界应力·临界应力总图 .....        | 316 |
| § 11-4 压杆的稳定计算 .....               | 323 |
| § 11-5 提高压杆稳定性的措施 .....            | 328 |
| 本章学习指导 .....                       | 331 |
| 思考题 .....                          | 335 |
| 习题 .....                           | 336 |
| 第十二章 交变应力 .....                    | 340 |
| 内容提要 .....                         | 340 |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| § 12-1 概述 .....                    | 340 |
| § 12-2 交变应力的表示法及其分类 .....          | 342 |
| § 12-3 材料的持久极限 .....               | 345 |
| § 12-4 影响构件持久极限的主要因素·构件的持久极限 ..... | 347 |
| § 12-5 构件在对称循环时的强度校核 .....         | 352 |
| § 12-6 提高构件疲劳强度的措施 .....           | 355 |
| 本章学习指导 .....                       | 357 |
| 思考题 .....                          | 358 |
| 习题 .....                           | 359 |
| 第十三章 动荷应力 .....                    | 361 |
| 内容提要 .....                         | 361 |
| § 13-1 概述 .....                    | 361 |
| § 13-2 考虑惯性力时构件的应力计算 .....         | 362 |
| § 13-3 冲击应力计算 .....                | 367 |
| § 13-4 提高构件抗冲击能力的措施 .....          | 373 |
| * § 13-5 冲击韧度 .....                | 374 |
| 本章学习指导 .....                       | 375 |
| 思考题 .....                          | 377 |
| 习题 .....                           | 378 |
| 测验作业 (N) .....                     | 381 |
| 附录 型钢表 .....                       | 383 |
| 习题答案 .....                         | 396 |

# 第一章 绪 论

**内容提要** 本章主要介绍材料力学的任务，明确学习材料力学的目的，确定材料力学研究的对象、范围和方法；建立变形固体的概念及其基本假设，并简述杆件变形的基本形式。

## § 1-1 材料力学的任务

### 一、材料力学应用的广泛性

材料力学是一门同工程实践有着密切联系的科学。它所阐明的理论广泛应用于许多领域。从人造卫星、飞机、舰船、火车、汽车、桥梁及水电站直到各种机械、小型生产工具的设计制造都用到了材料力学的理论。在日常生活以及自然界中的很多现象，都可以用材料力学的基本知识加以解释。

在我国，材料力学的知识不仅在当前的现代化中得到广泛应用，就是在古代，我们的祖先早已开始应用于实践，对人类文明作出了杰出的贡献。

举例说，河北省的赵州桥（图 1-1）是在 1300 年前修建的跨度为 37m、半径为 25m 的拱桥。它由我们勤劳智慧的祖先利用石头耐挤压的特点经过精心设计修建而成，直到今天该桥仍然完好。这要比欧洲拱桥早 1000 多年。在讲解材料力学拉伸时，国外教材总是用铁索桥为例，但是我国却在出现铁索桥之前 500 多年，根据竹子耐拉伸的特点，创造了竹索桥。这都说明我们中国在很久以前，就掌握了木、竹、铁、石的特性，并应用到实践生活中去。



图 1-1

应用材料力学的原理和概念的实例遍及生产的各个部门。这里举几个例子来说明。起重机吊运重物，钢索受到拉力作用，如果在起吊时钢索断裂，这种现象在材料力学中则称为钢索的强度不够。机床加工零件时如果受力很大，会使机床主轴产生过大的变形，从而影响零件加工的精度。这种现象在材料力学中称为刚度不够。一根沿轴向受压的细长钢质锯条，当压力达到某一限度后，该锯条将由直线形状突然变弯。这种现象称为失稳或称稳定性不够。

以上这些常见的现象，虽然很简单，但却包含着许多材料力学的概念和道理，当学了材料力学以后，这些问题就会迎刃而解了。

## 二、材料力学的三大问题

在材料力学中，把组成各种机械的零件（如轴、销、连杆等）和组成结构的杆件（如梁、柱等），统称为构件。构件在工程结构和各种机械中，都要承受一定的外力（载荷）。从上面谈到的几个实例可以联想到，所制作的任何构件，都必须在受力时不破坏、不产生过大的变形和不发生失稳，这样才能正常工作。也就是说，构件在载荷作用下，要保证安全正常的工作，必须满足下述三个方面的条件：

1. 构件应具有足够的强度。所谓强度即在载荷作用下，构件抵抗破坏的能力。
2. 构件应具有足够的刚度。所谓刚度即在载荷作用下，构件抵抗变形的能力。
3. 构件应具有足够的稳定性。即在载荷作用下，构件应具有保持原有平衡状态的能力。

综上所述，材料力学是研究构件强度、刚度和稳定性计算原理的一门科学。

## 三、材料力学的任务

从上述的讨论可以想象，在设计一个构件时，选用好的材料，或将构件的尺寸作得大一些，一般说来，会有助于提高构件的强度、刚度和稳定性，有利于构件安全工作。但是，这势必会多用材料，提高成本，造成浪费，违背经济原则。反过来说，选用价格低廉的材料，或者减小构件的截面尺寸，以节省材料，这样却使构件在工作时变得不安全。由此可见，安全与经济是相矛盾的。

设计构件时，必须兼顾二者要求，做到既保证构件具有必要的强度、刚度和稳定性，能够安全正常的工作，又能合理地使用材料和节约材料。利用材料力学的基本原理和方法，就能合理地解决这些问题。

综上所述，材料力学的任务是：根据构件的强度、刚度、稳定性的各项要求，为构件选择适当的材料，设计出既安全又经济的结构尺寸。要想达到这个目的，必须从实验研究和理论分析两方面做起。因此我们说，实验研究和理论分析是完成材料力学任务的重要手段。

## § 1-2 变形固体的概念及其基本假设

制造构件的材料是多种多样的，虽然它们的性质各有不同，但是有一个共同的特点，这些材料都是固体。任何固体在外力作用下都将发生变形，但是构件的微小变形对其机械运动影响很小。在理论力学中变形是一个次要的因素，可以不加考虑，把构件设为刚体。

而在材料力学中,研究构件强度、刚度和稳定性问题,是从微小变形入手,此时构件的微小变形必须考虑。因此在材料力学中,研究对象是变形固体。

构件在外力作用下产生的变形,就其性质来说,一般分为两种,即弹性变形和塑性变形。当构件所受外力不超过一定限度时,绝大多数材料在外力卸除后,变形可以完全消失,构件恢复原状。如外力过大,超过了某一限度,则在外力卸除后,构件的变形只能部分的消失。随外力卸除而消失的变形称为弹性变形;外力卸除后不能消失的变形称为塑性变形或永久变形。

变形固体的性质是很复杂的。没有必要对全部性质进行研究。为了研究构件的强度、刚度和稳定性,我们略去变形固体的某些次要性质,并根据其主要性质作出某些假设,将其抽象为一种理想的材料模型。采用这些假设,可以使问题的分析和计算得到简化。

在材料力学中,对变形固体所作的假设如下。

### 一、连续性假设

在材料力学中认为,组成固体的物质毫无空隙的充满了固体的几何空间,其结构是密实的。实际上变形固体,从其物质微观结构来看,均有不同程度的空隙;但这些空隙的大小与结构尺寸相比较,极为微小,从而可将它们忽略不计。根据这个假设,今后我们在研究问题时,可以认为固体内部的力及变形是连续的,可以用高等数学的连续函数来表达它们的有关规律。

### 二、均匀性假设

在材料力学中认为,在固体的体积内,各处的力学性质完全相同,不随点的位置而改变。根据这个假设,我们可以把任何微小部分材料性质的研究结论,应用于整体构件;也可以把由较大尺寸试件测得的材料力学性质,应用于构件的任何微小部分。

### 三、各向同性假设

在材料力学中认为,固体在各个方向上的力学性质完全相同,具备这种属性的材料称为各向同性材料。如钢、铸铁、玻璃等都是典型的各向同性材料。根据金属学研究表明,构成金属材料的晶粒,其自身是各向异性体。然而任何一个金属构件都包含着无数排列不规则的晶粒,所以从宏观上来看,各个方向的统计平均性质趋于相近,即在各个方向具有相同的力学性质。

根据此假设,可从构件任何方向截取微体进行材料力学性质的研究;在对微体进行分析时,即可认为在各个方向具有相同的性质,从而为分析研究材料力学问题带来方便。

在各方向具有不同力学性质的材料,称为各向异性材料,如胶合板、纤维制品和木材等。

总之,在材料力学研究范围内,我们认为材料是连续的、均匀的、各向同性的变形固体。这是对实际材料的一种科学抽象。实践证明,在此前提下建立的有关理论和由它们所得到的计算结果,是能令人满意的。

### 四、小变形条件

固体因受外力作用而引起的变形,按不同情况,可能很小也可能相当大。但材料力学所研究的问题,只限于构件变形的大小远小于其原始尺寸的情况。这样在研究构件的平衡和运动时,就可忽略构件的变形,而按变形前的原始尺寸进行分析计算。例如,在图 1-2 所示构件  $AB$  中,  $A$  端为固定端约束,原长为  $l$ ,在  $P$  力作用下,构件发生弯曲

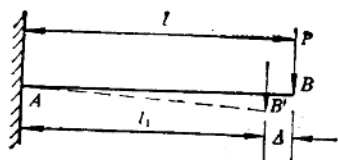


图 1-2

变形, 因而  $P$  力的作用线至固定端  $A$  的距离变为  $l_1$ 。由于  $P$  力作用点的位移  $\Delta$  比原长  $l$  小得多, 所以计算  $A$  点反力偶矩时, 无须考虑  $\Delta$  的影响, 仍按原来的长度  $l$  计算。这样仍可由平衡条件:

$$\sum M_A = 0 \quad M_A - Pl = 0$$

求得  $A$  端反力偶矩为

$$M_A = Pl$$

### § 1-3 杆件的基本变形形式

实际构件的类型是多种多样的, 通常把它们的形状进行某些简化, 然后按其几何形状分类研究。如果材料力学中所研究的构件, 其长度远大于横截面尺寸, 这类构件称为杆件, 或简称为杆。杆横截面形心的连线称为杆的轴线, 如图 1-3 所示。轴线是直线的杆称为直杆 (图 1-3(a)、(c))。轴线是曲线的杆称为曲杆 (图 1-3(b))。横截面的形状和大小沿杆长不变的杆称为等截面杆, 如图 1-3(a)、(b) 所示。横截面的形状和大小沿杆长度不同的称为变截面杆, 如图 1-3(c) 所示。

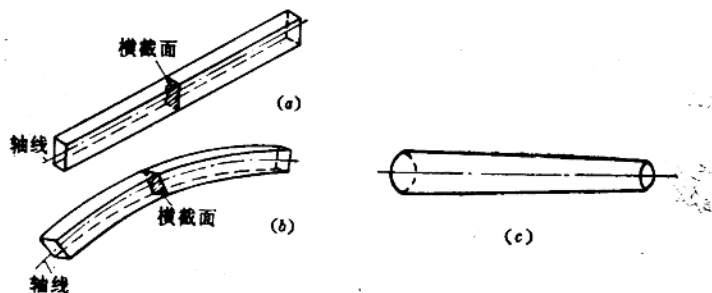


图 1-3

材料力学主要研究对象是等截面直杆, 简称等直杆。工程上常见的很多构件都可以简化为杆件, 如连杆、传动轴、立柱、丝杠、吊钩等等。

在实际结构中, 杆件在外力作用下, 产生变形的情况是很复杂的。作用在杆件上的外力不同, 产生的变形也不同。但是, 就变形的基本形式来说, 不外乎以下五种:

#### 一、拉伸与压缩

图 1-4(a) 所示为简易吊车。在外力  $P$  作用下,  $AC$  杆受轴向拉伸 (图 1-4(b)), 而  $BC$  杆受轴向压缩如图 1-4(c) 所示。这类杆变形形式是外力沿杆轴线作用, 使杆发生伸长和缩短变形。起吊重物的钢索、桁架的杆件、液压油缸中的活塞杆等的变形, 都属于此类情况。

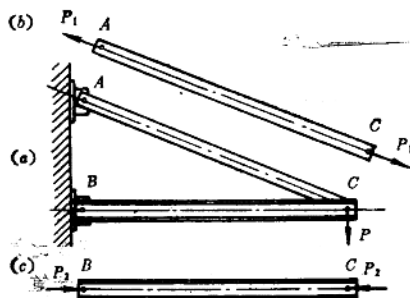


图 1-4

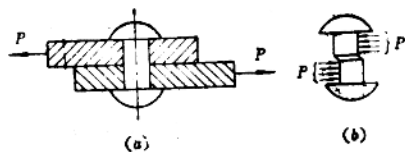


图 1-5

## 二、剪切

两块铁板由铆钉铆在一起 (图 1-5(a)), 在外力  $P$  作用下, 铆钉受到剪切。这类变形形式是由大小相等、方向相反、作用线垂直于铆钉轴且距离很近的一对力引起的, 其表现形式为受剪切杆件的两部分沿外力作用的方向发生相对的错动, 如图 1-5(b) 所示。在工程机械中常用的联接件, 如键、销钉、螺栓等多产生剪切变形。

## 三、扭转

汽车方向盘的转向轴  $AB$  如图 1-6(a) 所示。在工作时发生扭转变形。它的变形形式是由大小相等、方向相反、作用面都垂直于杆轴上的两个力偶矩引起的 (图 1-6(b)), 杆件任意两个横截面将发生绕轴线的相对转动, 如图 1-6(c) 所示。在实际工作中, 传动轴、电机主轴, 钻探用的钻杆, 钻孔用的钻头等都是受扭转杆件。

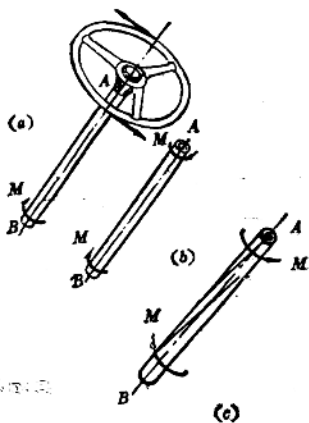


图 1-6

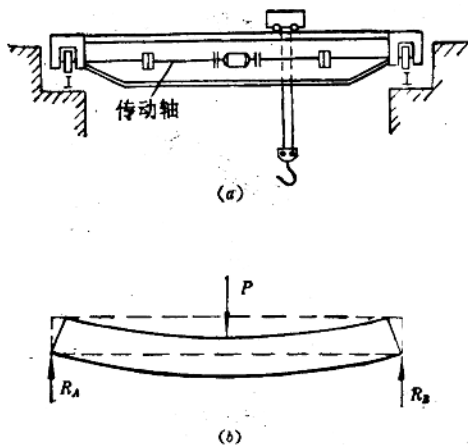


图 1-7

## 四、弯曲

工厂车间用的桥式起重机的横梁受力后即发生弯曲变形, 如图 1-7(a) 所示。变形形式是由垂直于杆件轴线的横向力, 或由作用于杆件轴线的纵向对称平面内的一对大小相等、方向相反的力偶引起的, 表现为杆件轴线由直线变为曲线, 如图 1-7(b) 所示。

在工程实际中, 有些杆件的变形比较简单, 只产生上述五种基本变形中的一种。有些情况, 杆件的变形比较复杂, 例如车床主轴工作时, 承受弯曲、扭转和压缩三种基本

变形, 钻床立柱同时受弯曲和拉伸两种基本变形。这种情况称为组合变形。

材料力学将按拉压、剪切、扭转、弯曲的顺序分别研究每种基本变形问题, 然后再研究组合变形问题。

## 本章学习指导

### 一、怎样掌握本章内容

1. 明确材料力学的主要任务, 它的任务是学习材料力学的主要目的, 概括如下: 研究构件在载荷作用下的破坏与变形规律和材料的力学性质, 从而建立构件满足强度、刚度和稳定性要求所需的条件, 为既安全又经济地设计构件截面尺寸和形状提供必要的理论基础和简单适用的计算方法。

2. 初步了解构件的强度、刚度和稳定性等基本概念。虽然在绪论中只能初步地建立这些概念, 但是必须搞清它们的区别。

3. 搞清材料力学的基本假设及其含义。根据连续性假设, 均匀性假设、各向同性假设, 以及小变形条件, 在工程实际中, 可以使问题的分析和计算得到简化, 其所得的结果与实验结果在相当程度上相符合。

4. 了解杆件的基本变形。材料力学研究的对象是变形固体所组成的构件。构件可根据几何特征, 归纳为杆、板、壳、块四大类。其中杆件, 特别是等截面直杆, 是材料力学主要研究的对象。实践表明, 杆件在载荷作用下所产生的变形是多种多样的, 但均可根据杆件的受力特点及变形特点, 归纳为五种基本变形。

### 二、如何学好材料力学

材料力学是以理论力学课程为基础的一门技术基础课, 为后续课程的学习提供了必要的技术理论基础。因此, 学习材料力学时, 应掌握其本身的特点和方法。

1. 掌握材料力学分析问题的基本方法, 是从几何、物理和力学等三个方面来分析问题的。这一方法贯穿于整个材料力学的始终。由于材料力学研究的内容限于小变形的范围, 因此理论力学中有关受力分析、静力平衡的方法在材料力学中仍然适用。

2. 学习材料力学时应注意力学模型是怎样从实际问题中抽象出来的, 如何进行简化和作出假定, 以及由此所得到的结论和计算公式的应用条件。

3. 学习材料力学时, 随时注意总结解题的经验和技巧, 不断提高运算能力。要重视数字计算和结果校核, 力求准确、迅速而又简练地得出结论。

4. 实验是材料力学课的重要教学环节, 是培养动手能力的重要手段。学习中应重视实验课的操作, 上好实验课。通过实验进一步验证理论。

## 思考题

- 1-1 材料力学是怎样一门科学? 其基本任务是什么?
- 1-2 何谓构件的强度? 刚度? 稳定性?
- 1-3 何谓变形固体? 在材料力学中对变形固体做了哪些基本假设? 这些基本假设有什么用途?
- 1-4 材料力学的主要研究对象是什么?
- 1-5 杆件的基本变形有几种?
- 1-6 小变形条件有何用途?

## 第二章 轴向拉伸和压缩

**内容提要** 本章主要讨论直杆的轴向拉伸与压缩问题。主要内容包括：拉压杆的内力及计算内力的截面法，应力、应变的概念，应力集中的概念；直杆受轴向拉伸和压缩时杆件的强度计算；拉压杆变形计算，虎克定律；拉伸和压缩时材料的力学性质；拉压杆的超静定问题。

### § 2-1 轴向拉伸与压缩的概念及受力特点

为了研究直杆受轴向拉伸与压缩时的强度计算和刚度计算，必须首先了解杆件上受到哪些外力（包括约束反力），这些外力怎样作用在杆上，从而画出杆件的受力简图，最后判定此杆属于何种变形问题。工程中经常见到的实例，例如紧固螺栓（图 2-1(a)），如果研究螺栓的强度问题，则可取螺栓  $AB$  为分离体，其两端受有与轴线重合的拉力  $P$ ，

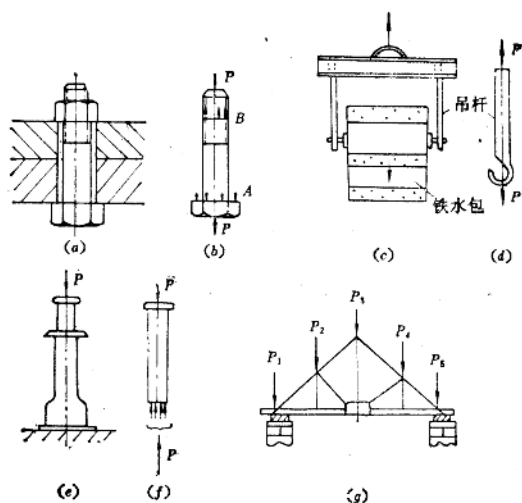


图 2-1

画出它的受力简图如图 2-1(b) 所示。用同样的方法可以画出铁水包吊杆(图 2-1(c)、(d))，液压千斤顶的活塞杆(图 2-1(e)、(f))，房屋桁架中的杆件等的分离体的分力简图。它们的几何形状各不相同，加力的方式由于端部连接不同而各有差异。如果不考虑杆件端部的具体连接情况，则这类构件都可抽象为图 2-2(a)、(b) 所示的计算简图。由图 2-2 可见，杆件受力特点是：作用于直杆两端的外力是一对大小相等、方向

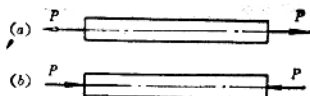


图 2-2

相反,其作用线与杆轴线重合的集中力。在这样的外力作用下,杆的主要变形特点是:沿轴线方向产生纵向伸长或缩短。杆件的这种变形形式称为轴向拉伸或轴向压缩。通常将轴向拉伸的杆称为拉杆,如图 2-2(a)所示,轴向压缩的杆称为压杆,如图 2-2(b)所示。

## § 2-2 拉压杆的内力——轴力·轴力图

为了分析拉(压)杆的强度和刚度,必须首先了解拉(压)杆内部受力情况。

### 一、内力的概念

内力是指物体内部各部分之间相互作用的力。物体在未受外力作用时,其内部各质点间本来就有力在相互作用。当物体受到外力作用而变形时,其内部各质点的相对位置将发生变化。与此同时,各质点之间相互作用的力也有所改变。这种原有内力的改变量,是物体在外力作用下产生的附加内力。由于在材料力学中讨论和计算的只是这种附加内力,故通常就简称它为内力。对于这种内力的计算,是分析构件强度、刚度和稳定性等问题的基础。

### 二、截面法

材料力学分析杆件内力的方法是截面法。现在,以轴向拉伸为例,具体说明如何用截面法求拉(压)杆的内力。

如图 2-3(a)所示的受力杆件,现欲求杆上某一横截面  $m-m$  上的内力。为此按如下步骤进行。

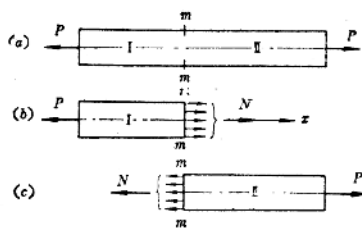


图 2-3

1. 假想沿截面  $m-m$  将杆切开,分为 I、II 两段。任意去掉一段(例如去掉 II 段),保留一段(例如保留 I 段)为研究对象,如图 2-3(b)所示。

2. 在保留段 I 的  $m-m$  截面上,作用着被去掉段 II 对保留段 I 作用的分布力。设分布内力的合力为  $N$ ,如图 2-3(c)所示。

3. 由于整个杆件原来处于平衡状态,所以切断后的任意一段杆件也应该保持平衡。即作用在保留段 I 上的外力  $P$  与内力  $N$  应该互相平衡。由于外力  $P$  与杆轴线重合,所以分布内力的合力  $N$  也只能是与杆轴线重合的力。由此,可以写出平衡方程式:

$$\sum X = 0 \quad N - P = 0$$

于是,求得截面  $m-m$  上的内力为

$$N = P \quad (a)$$