



高等学校工程专科教材

工程力学

(材料力学)

余家琪 编

高等教育出版社

高等学校工程专科教材

工 程 力 学

(材料力学)

余家琪 编

高等教育出版社

1.
2000

(京) 112 号

内 容 提 要

高等学校工程专科非机、非土类各专业用的《工程力学》教材是根据1990年8月国家教育委员会颁发的“高等学校工程专科工程力学课程教学基本要求”编写的。全书分三册出版：静力学、运动学与动力学、材料力学，供不同专业的需要选用。本册为材料力学部分。

本册内容包括：导论、轴向拉伸和压缩、剪切和扭转、弯曲内力、弯曲杆件的强度计算、弯曲变形和简单超静定梁、应力状态和强度理论、组合变形构件的强度、压杆稳定、动载荷和交变应力等。

高等学校工程专科教材

工 程 力 学

(材料力学)

余家琪 编

高等教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

中国科学院印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 8.5 字数 220 000

1994年5月第1版 1994年5月第1次印刷

印数 0001—7 115

ISBN 7-04-004687-3/TU·59

定价 4.10 元

前 言

高等学校工程专科教育的培养目标是高级工程技术应用型人才。为了适应专科层次,突出专科特色,1991年国家教委颁发了“高等学校工程专科工程力学课程教学基本要求”,这是高等工程专科学校工程力学教学的指导性文件。本书就是依据上述课程教学基本要求而编写的少学时材料力学教材。

使用少学时材料力学教材的专业很多,专业的差异大,因此,本教材编写时,在基本要求所规定的内容方面,仍要求达到必要的深度。本书不仅完整地阐述了杆件在拉、压、扭、弯情况下的内力、应力分析、刚度和稳定性计算及应力状态和强度理论等基本概念和基本理论,而且尽可能使教材有较大的适用范围和一定的知识面。本书对部分内容作了删减并简化了数学推导,着重介绍材料力学的基本概念和实际应用。通过本课程的学习,读者应能正确地运用材料力学的有关知识对工程实际中综合性的技术问题进行定性的分析和处理。

本教材适用于非机非土类各专业。书中注有“*”号的章节,是供读者根据不同专业的需要选学的内容。例如动载荷和交变应力适用于近机类专业读者,而弯曲中心问题、截面核心的概念、梁的主应力迹线、莫尔强度理论等则适用于近土类专业读者。本书按一般近机类教材的习惯,将弯矩图中的正值弯矩画在梁的受压侧,若近土类专业读者需学习后继课结构力学时,请注意将弯矩图中的正值弯矩改画在杆的受拉侧。

本书承南京机械专科学校梁怀祖老师审阅,他对书稿提出了许多宝贵的建设性建议。华南建筑学院谢秀松老师、河北水利专科学校沈养中老师、扬州工学院袁培老师等也对书稿提出了许多

中肯的修改意见,在此一并表示衷心的感谢。

限于编者的水平,加之时间仓促,书中难免存在疏漏和不足,敬请广大读者批评指正。

编者

1993年9月

主要符号表

字符	字符意义	国际单位制单位
A	截面面积 弯曲中心	m^2
a	加速度	m/s^2
b	截面宽度	m
C	截面形心	
d	直径	m
E	弹性模量	Pa
e	偏心距	m
G	剪变模量	Pa
h	截面高度	m
I_x, I_y	截面惯性矩	m^4
i_x, i_y	惯性半径	m
k_d	动荷系数	
k_σ, k_r	有效应力集中系数	
l	长度, 跨度	m
M	弯矩	$N \cdot m$
m	外力偶矩	$N \cdot m$
N	轴力 应力循环次数, 疲劳寿命	N
n	安全系数 转速	r/min
n_s	稳定安全系数	
$[n_s]$	规定的稳定安全系数	
P	集中载荷 功率	N W
P_{cr}	压杆的临界力	N

字符	字符意义	国际单位制单位
p	压强, 全应力	Pa
Q	剪力	N
q	分布载荷	N/m
R	合力, 反力	N
r	半径	m
	循环特征	
S	静矩	m^3
T	扭矩	N · m
	温度	°C
t	时间	s
	厚度	m
U	应变能	J
u_1	形状改变比能	J/m^3
v	梁的挠度	m
$[v]$	梁的许用挠度	m
W_x, W_y	抗弯截面系数	m^3
W_t	抗扭截面系数	m^3
X, Y, Z	约束反力	N
α	线膨胀系数	$^{\circ}C^{-1}$
	理论应力集中系数	
α_k	冲击韧性	J/m^2
β	表面质量系数	
γ	剪应变	
δ	断后伸长率	
ε	线应变	
$\varepsilon_x, \varepsilon_z$	尺寸系数	
θ	梁的转角	rad
$[\theta]$	梁的许用转角	rad
λ	压杆的柔度	
μ	压杆的长度系数	
ν	泊松比	

字符	字符意义	国际单位制单位
ρ	曲率半径	m
σ	正应力	Pa
σ_s	应力幅	Pa
σ_b	抗拉强度	Pa
σ_{bc}	抗压强度	Pa
σ_{bs}	挤压应力	Pa
σ_c	压应力	Pa
σ_{cr}	临界应力	Pa
σ_d	动应力	Pa
σ_e	弹性极限	Pa
σ_M	莫尔强度理论中的相当应力	Pa
σ_m	平均应力	Pa
σ_{max}	最大应力	Pa
σ_{min}	最小应力	Pa
σ_p	比例极限	Pa
σ_r	相当应力	Pa
σ_r	循环特征为 r 的持久极限	Pa
σ_s	屈服极限	Pa
σ_{st}	静应力	Pa
σ_t	拉应力	Pa
σ_u	极限应力	Pa
$[\sigma]$	许用应力	Pa
$[\sigma_t]$	许用拉应力	Pa
$[\sigma_c]$	许用压应力	Pa
$\sigma_{0.2}$	屈服强度	Pa
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	主应力	Pa
σ_{-1}	对称循环弯曲交变应力下材料的持久极限	Pa
τ	剪应力	Pa
τ_{max}	最大剪应力	Pa
τ_{min}	最小剪应力	Pa

字符	字符意义	国际单位制单位
τ_s	抗剪强度	Pa
$[\tau]$	许用剪应力	Pa
ϕ	扭转角	rad
φ	单位长度扭转角	rad/m
	稳定系数	
$[\varphi]$	许用单位长度扭转角	rad/m
ψ	断面收缩率	

目 录

主要符号表.....	i
第一章 导论	1
§ 1-1 材料力学的任务	1
§ 1-2 变形固体及其基本假设	2
§ 1-3 材料力学的基本概念	4
§ 1-4 杆件变形的基本形式	8
§ 1-5 材料力学课程的研究方法	9
习题	10
第二章 轴向拉伸和压缩	11
§ 2-1 概述	11
§ 2-2 轴向受拉(压)杆横截面上的内力和应力	12
§ 2-3 拉(压)杆的变形计算	15
§ 2-4 材料的力学性质	20
* § 2-5 轴向拉(压)杆斜截面上的应力	28
§ 2-6 拉(压)杆的强度计算	29
§ 2-7 应力集中的概念.....	34
§ 2-8 拉、压超静定问题	35
习题	41
第三章 剪切和扭转	45
§ 3-1 剪切	45
§ 3-2 受扭杆件的内力	53
§ 3-3 圆轴扭转时的应力和强度计算	58
§ 3-4 圆轴扭转时的变形和刚度计算	66
* § 3-5 矩形截面杆扭转的主要结果	69
习题	71
第四章 弯曲内力	74

§ 4-1	平面弯曲的概念 梁的计算简图	74
§ 4-2	剪力和弯矩	76
§ 4-3	剪力方程和弯矩方程 剪力图和弯矩图	81
§ 4-4	利用微分关系作剪力图和弯矩图	85
	习题	91
第五章	弯曲杆件的强度计算	93
§ 5-1	梁横截面上的正应力	93
§ 5-2	惯性矩 平行移轴公式	99
* § 5-3	弯曲剪应力简介	108
§ 5-4	梁的强度计算	111
§ 5-5	减小梁的工作应力的途径	117
* § 5-6	弯曲中心的 概念	120
	习题	122
第六章	弯曲变形和简单超静定梁	125
§ 6-1	梁的变形	125
§ 6-2	梁的挠曲线近似微分方程	127
§ 6-3	用积分法求梁的变形	128
§ 6-4	用叠加法求弯曲变形	133
§ 6-5	梁的刚度校核 提高梁的刚度的措施	137
§ 6-6	简单超静定梁	140
	习题	144
第七章	应力状态和强度理论	146
§ 7-1	应力状态的概念	146
§ 7-2	二向应力状态分析	151
* § 7-3	梁的主应力迹线	158
§ 7-4	强度理论的概念	161
§ 7-5	常用的几种强度理论	162
	习题	167
第八章	组合变形构件的强度	169
§ 8-1	概述	169
§ 8-2	拉伸(压缩)与弯曲的组合	172

* § 8-3 截面核心的概念	177
§ 8-4 弯曲与扭转的组合	186
习题	188
第九章 压杆稳定	191
§ 9-1 压杆稳定的概念	191
§ 9-2 两端铰支细长压杆的临界力	193
§ 9-3 其他约束条件下细长压杆的临界力	195
§ 9-4 欧拉公式的应用范围	197
§ 9-5 压杆的实用计算	202
* § 9-6 用稳定系数法计算压杆稳定性	205
§ 9-7 提高压杆稳定性的措施	208
习题	211
*第十章 动载荷和交变应力	214
§ 10-1 动载荷的概念	214
§ 10-2 惯性力问题	214
§ 10-3 冲击载荷	220
§ 10-4 交变应力	223
习题	230
附录 I 型钢表	232
附录 II 习题答案	254

第一章 导 论

§ 1-1 材料力学的任务

机械和结构物的每一组成部分，称为构件。如图 1-1 所示厂房内的桥式起重机，就是由大梁、小车、吊索、吊钩和行车轮等构件组成的。

当结构物或机械工作时，构件要承受外力（包括载荷和约束反力）的作用。在外力作用下，构件的形状尺寸将发生改变，称为变形。当外力很大而构件的截面尺

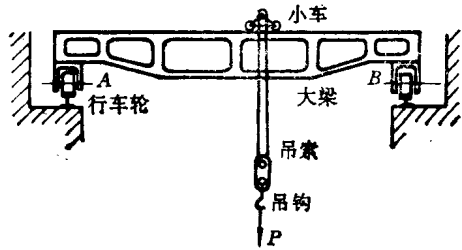


图 1-1

寸偏小或材料的质量较差时，构件可能发生比较大的变形以致破损，使结构物或机械失去承载的能力。反之，如载荷不大而构件截面尺寸设计得偏大，或不适当地选用优质材料，则将造成浪费。可见，在工程设计中必须研究构件能承受多大载荷的问题，这就是材料力学研究的课题。

为了保证结构物或机械的正常工作，构件应具有足够的承载能力，为此，它应满足以下三个方面的要求。

一、强度

构件在规定的载荷作用下是不允许发生破坏的。例如图 1-1 所示的桥式起重机，在规定的起重量范围内起吊重物时，起重机的吊钩、吊索、传动轴、齿轮、大梁等所有构件都不允许破坏。因此，为了保证构件安全工作，要求构件有足够的抵抗破坏的能力，即具有足够的强度。

二、刚度

若构件在外力作用下发生过大的变形,也将影响其正常工作。

如图 1-2 所示水电站进水口的平面闸门,若闸门主梁在水压力作用下的变形过大(见图 1-2 中虚线所示),会使闸门卡在门槽中无法继续启闭升

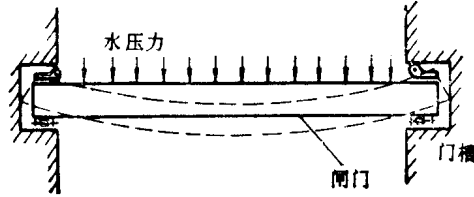


图 1-2

降。因此,必须对构件的变形作一定的限制,保证构件有足够的抵抗变形的能力,即具有足够的刚度。

三、稳定性

构件在承载过程中,应保持原有的静力平衡的形态。如图 1-3 所示的细长直杆受轴向压力作用,若压力 P 较小,杆件受力后仍保持原有的直线平衡状态;但当压力超过某极限值达 P' 时,杆件失去原有的直线平衡而被压弯。这种突然改变原有平衡形态的现象称为丧失稳定。因此,构件在外力作用下,要求不丧失原有的平衡状态,即要求构件具有足够的稳定性。



图 1-3

材料力学的任务,就是在满足强度、刚度和稳定性的要求下,以最经济的代价为构件确定合理的形状尺寸、选择适宜的材料而提供必要的理论基础和计算方法。

§ 1-2 变形固体及其基本假设

制成构件的固体是多种多样的,有着各种物理属性。材料力学主要研究构件的强度、刚度和稳定性问题,它们都和变形密切相关,因此,固体的变形是必须考虑的重要因素。在材料力学中,将因外力作用而变形的固体称为变形固体。变形固体是从宏观的角

度出发,对客观真实固体作出以下一些基本假设,从而抽象成为供研究的理想模型。

一、均匀连续性假设

均匀性假设认为变形固体体积内任一部分的力学性质是完全相同的。用某种材料制成的试样在实验室所测得的有关材料的力学性质的数据,经整理就可代表该材料制成的其它构件的力学性质。

连续性假设认为在变形固体的整个体积中都毫无空隙地充满了物质,其结构是密实的。根据这种假设,变形固体内质点的位移可用各点坐标的连续函数来表示,因此可利用高等数学方法来分析研究材料力学中的问题。

二、各向同性假设

该假设认为变形固体在各个方向上的力学性质完全相同。这种力学性质和方向无关的材料,称为各向同性材料。常用的金属材料,都可假设为各向同性材料。

工程中也有材料在不同的方向其力学性质有明显差异,称为各向异性材料,如木材、胶合板等。

三、弹性变形范围和小变形条件

材料在外力作用下发生的变形可分为两种: 1. 当外力不超过一定范围时,材料在外力撤去后变形自行消失,完全恢复原有的形状尺寸,这种变形称为弹性变形; 2. 当外力过大时,撤除外力后材料不能恢复原形,或只恢复部分原形而留下一部分不能消失的变形,这种变形称为塑性变形或残余变形。工程中多数构件在一般工作情况下,只发生弹性变形。在弹性变形阶段,变形的大小和构件原始尺寸相比是很微小的,因此在研究构件的平衡或运动时,仍可按变形前的原始尺寸进行分析计算,这就是小变形条件。材料力学所研究的问题限于在弹性变形和小变形范围内。

§ 1-3 材料力学的基本概念

一、内力和截面法

内力是指在外力作用下，构件内部各部分之间的相互机械作用，即构件内部各质点之间相互作用力的改变量。实际上，在受外力作用前，构件内部就已存在内力，正是这种内力使构件保持了一定的形状。构件在外力作用下发生变形时，内部各质点间的相对位置变了，引起了分子间相互作用力的改变，这种改变量可看作是“附加内力”。材料力学只研究这种由外力引起的附加内力，并把它简称为内力。

截面法是研究和计算内力的最有用的工具。

设图 1-4a 所示构件在外力 P_1, P_2, P_3, P_4 的作用下处于平衡状态。欲求构件任一截面 $s-s$ 上的内力，可用一个

假想的平面在 $s-s$ 处将构件截成 I、II 两部分，任取其中一部分（例如 I）作为研究对象，弃去另一部分（例如 II）。外力 P_1, P_2 仍作用在 I 部分上，为了维持 I 的平衡，在 $s-s$ 截面上必然存在着 II 部分对 I 部分的作用力，它们连续分布在 $s-s$ 截面上，如图 1-4b 所示。 $s-s$ 截面上的内力可由对 I 部分列静力平衡方程而求得。I

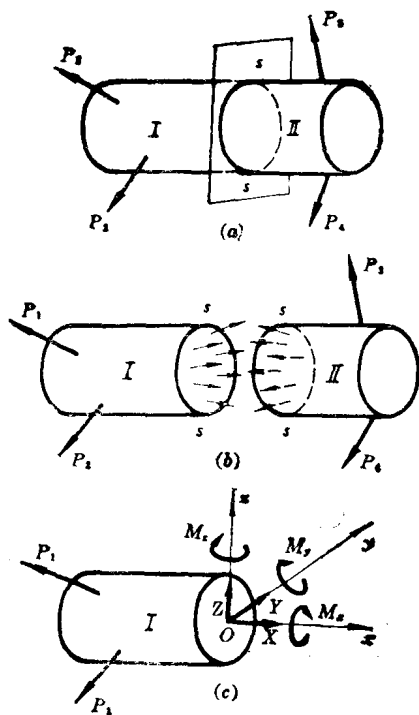


图 1-4

部分上作用的外力和 $s-s$ 截面上分布的内力组成一个空间平衡力系，根据平衡条件可求得 $s-s$ 截面上的六个内力分量： X, Y, Z, M_x, M_y, M_z ，如图 1-4c 所示。这六个内力分量即为截面 $s-s$ 上的内力。

这种用假想平面将构件截开以求内力的方法就称为截面法。

例 1-1 图 1-5 表示一起重机梁，起重量为 P ，自重不计，求 $s-s$ 截面上的内力。

解：先求支反力。

用静力平衡条件求

$$\text{得： } R_A = \frac{b}{l} P, \quad R_B = \frac{a}{l} P。$$

再求 $s-s$ 截面的内力。

在 $s-s$ 处用假想平面截开后弃去 II 段，保留 I 段，并建立 I 段的平衡方程：

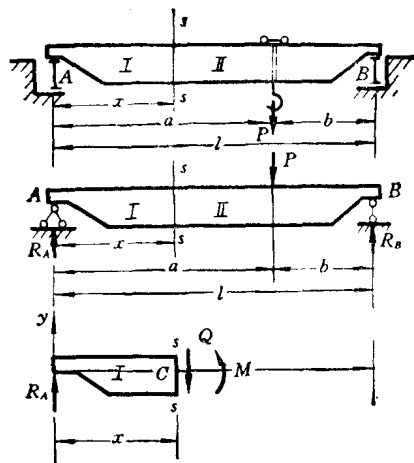


图 1-5

$$\sum Y = 0 \quad Q = R_A = \frac{b}{l} P$$

$$\sum M_C = 0 \quad M = R_A x = \frac{Pb}{l} x$$

上式中 Q 和 M 分别代表 $s-s$ 截面的内力和内力偶， C 为 $s-s$ 截面的形心。

二、应力

内力只能表示截面上内力系的总和，而不能反映出截面上各点受力的密集程度。为了研究构件的强度，不仅要找出构件的最大内力及其所在的截面，还应进一步求出截面上内力的分布情况和密集程度。因此，需要建立内力在截面上某一点处的集度——