

高等学校教材

材料力学

(I)

苟文选 主编

金保森 卫 丰 副主编

西北工业大学出版社

00007033

高等学校教材

材 料 力 学

(I)

苟文选 主 编

金保森 卫丰 副主编

编写组成员(以姓氏笔划为序)

卫 丰 王安强 王锋会 苟文选

金保森 高雅丽 耿小亮 楚康鸿

西北工业大学出版社

(陕)新登字 009 号

【内容摘要】 作为模块化教材的基础模块,本书包括绪论、拉伸与压缩、剪切、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态及应变状态分析、强度理论、组合变形时的强度计算、压杆稳定、平面图形的几何性质等内容。各章后均配有适量的思考题及习题,书后附有参考答案。

本书可作为高等工科院校力学、机械及建工类专业的教材,亦可作为上述各类专业函授、电大的教材及科技工作者的参考书。

高等学校教材

材料力学

苟文选 主编

金保森 卫 丰 副主编

责任编辑 冷国伟

责任校对 耿明丽

*

© 2000 西北工业大学出版社出版发行

(邮编: 710072 西安市友谊西路 127 号 电话: 8491147)

全国各地新华书店经销

西安市向阳印刷厂印装

ISBN 7 - 5612 - 1210 - 0/O · 160(课)

*

开本: 850 毫米×1 168 毫米 1/32 印张: 29 字数: 728 千字
2000 年 1 月第 1 版 2000 年 1 月第 1 次印刷
印数: 1~4 000 册 定价: 39.00 元(1 册 24.00 元, I 册 15.00 元)

购买本社出版的图书,如有缺页、错页的,本社发行部负责调换。

前 言



根据教育部“面向 21 世纪力学系列课程教学内容与体系改革的研究与实践”项目及《国家工科基础课程——力学教学基地》建设的要求,我们组织编写了这套《材料力学》教材。

教材是课程教学内容和课程体系改革的核心。多年来,老师们在材料力学教材建设方面付出了辛勤的劳动。1991 年,张剑英教授等编写了《材料力学》教材。几经试用后,在广泛征求教师和学生意见的基础上,于 1994 年由郑斯滔教授主持,对 1991 年版《材料力学》教材作了重大修改并再版,同时编写了《材料力学解题指导》。这些教材与《材料力学四选一题集》、《材料力学实验》组成了一套完整的多学时材料力学课程教材体系。1997 年,根据原国家教委“面向 21 世纪力学系列课程教学内容与体系改革与实践”立项研究的要求,为适应新形势,组织了模块化教材的编写和教学实践,并取得经验。这套教材就是在此基础上编写而成的。

新的模块化《材料力学》教材包括《材料力学》(Ⅰ)基础模块、《材料力学》(Ⅱ)拓展模块和《材料力学》(Ⅲ)研究模块。《材料力学》(Ⅲ)主要阐述材料力学中的新材料、新理论、新方法,适合采用讲座形式介绍。

在编写这套教材中,我们注重对学生分析问题和解决工程实际问题能力的培养;注意实验技能的训练,为此专列了“实验应力分析概况”一章;在实验方法及叙述中,尽可能与国标达到统一,使得设计及试验规范统一;为了加强学生计算能力的培养,编写了

“计算机技术在材料力学中的应用”一章;突破《材料力学》基本假设的限制,除引用一些非线性例题以拓展知识面外,还撰写了“超过弹性极限后材料的变形与强度”,并对非连续体及各向异性体的力学性质作了简要的阐述。为了便于学生掌握教材内容,各章后配有思考题和习题。

《材料力学》(I)的主要内容包括:绪论、拉伸与压缩、剪切、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态及应变状态分析、强度理论、组合变形时的强度条件、压杆稳定及附录等,可供 40~60 学时的工科院校各类专业选修。

本书第一、二章及附录由苟文选编写,第三、四章由楚康鸿编写,第五、六、七章由高雅丽、苟文选编写,第八、九、十章由金保森编写,第十一章由王锋会编写。王安强、耿小亮等同志用计算机绘制了全书的插图。

全书由苟文选任主编,金保森、卫丰任副主编。

郑斯滔教授在百忙中审阅了全部书稿,并提出宝贵意见。原国家教委工科课程指导委员会委员、博士生导师俞茂宏教授担任本书的主审工作,并提出精辟珍贵的指导修改意见。西北工业大学出版社的领导和编辑们给予许多关怀和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

面向 21 世纪力学系列课程教学内容和课程体系改革是一项重大课题,但限于编者的水平,教材中难免有疏漏和不妥之处,希望使用本教材的广大师生和读者提出批评意见,以利于教材质量的进一步提高。

编 者

1999 年 12 月

主要使用的量和单位

分类	符 号	名 称	国际单位	备 注
外 力	F	集中截荷	N, kN	1 kgf=9.81 N
	q	分布截荷集度	N/m, kN/m	1 kgf/m= 9.81N/m
	p	压力、压强、总应力	Pa, MPa	1 kgf/cm ² = 98 100 Pa
	M, M_e	外力偶矩	N·m, kN·m	1 kgf·m= 9.81 N·m
	F_{bs}	挤压力	N, kN	
	F_R	约束反力	N, kN	
	$F_A(F_{Ax}, F_{Ay})$	A 处的支座反力	N, kN	
内 力	F_N	轴力	N, kN	
	F_s, F_{sy}, F_{sz}	剪力	N, kN	
	M, M_y, M_z	弯矩	N·m, kN·m	
	T	扭矩	N·m, kN·m	
应 力 、 应 变 、 位 移	$\sigma, \sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	正应力	Pa, MPa	1 Pa=1N/m ²
	$\tau, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$	切应力	Pa, MPa	1 kPa=10 ³ Pa
	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	主应力	Pa, MPa	1 MPa=10 ⁶ Pa
	σ_{max}	最大正应力	Pa, MPa	1 GPa=10 ⁹ Pa
	σ_{min}	最小正应力	Pa, MPa	1 MPa= 1 N/mm ²
	σ_t, σ_c	拉、压应力	Pa, MPa	

续 表

分类	符 号	名 称	国际单位	备 注
应力	σ_{bs}	挤压应力	Pa,MPa	
	σ_{ri}	相当应力(计算应力)	Pa,MPa	
	$\sigma_{r,m}$	摩尔强度理论中的相当应力	Pa,MPa	
应变	σ_{cr}	压杆临界应力	Pa,MPa	
位移	$\epsilon, \epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$	线应变(相对变形)		
	ϵ_p, ϵ_e	塑性应变,弹性应变		
	γ	切应变	rad	
	θ	体应交,梁的转角	rad	
	ω	梁的挠度	mm	
	Δ	广义位移	mm,rad	
	φ	相对转角	rad	
	ϕ	单位长度转角	rad/m	
材料特性等	σ_u	极限应力	Pa,MPa	
	σ_p	比例极限	Pa,MPa	
	σ_e	弹性极限	Pa,MPa	
	σ_s	屈服极限(屈服点应力)	Pa,MPa	
	σ_b	强度极限	Pa,MPa	
	σ_{bt}	抗拉强度	Pa,MPa	
	σ_{bc}	抗压强度	Pa,MPa	
	$[\sigma]$	许用应力	Pa,MPa	

续 表

分类	符 号	名 称	国际单位	备 注
材 料 特 性 等	$[\sigma_t], [\sigma_c]$	许用拉、压应力	Pa, MPa	
	$[\sigma_{bs}]$	许用挤压应力	Pa, MPa	
	$[\sigma_{st}]$	稳定许用应力	Pa, MPa	
	$[\tau]$	许用切应力	Pa, MPa	
	$[\theta]$	弯曲许可转角	rad/m	
	$[\phi]$	单位长度许可 转角	rad/m	
	E	弹性模量(杨氏 模量)	GPa	
	E_t, E_c	拉伸(压缩)弹性 模量	GPa	
	G	切变模量(剪切弹 性模量)	GPa	
	μ	泊松比		
	δ	(断后)伸长率		
	ψ	断面收缩率		
	λ	压杆的柔度(长 细比)		
	μ	压杆的长度系数		
	α_t	线(膨)胀系数		
	γ	重量密度	N/m ³ , kN/m ³	
	ρ	密度	kg/m ³	
	K	体积模量	GPa	
	K_t	理论应力集中因数		
	k	曲率	mm ⁻¹ , m ⁻¹	
	n	安全因数		
	n_s, n_b	塑性、脆性材料的 安全因数		
	n_{st}	稳定安全因数		
	GI_p	圆轴的拉扭刚度	N · m ²	
	GI_t	非圆截面杆的抗 扭刚度	N · m ²	

续 表

分类	符 号	名 称	国际单位	备 注
截 面 特 性	A	截面面积	mm^2, m^2	$1 \text{ m}^2 = 10^6 \text{ mm}^2$
	A_{bs}	挤压面积	mm^2, m^2	$1 \text{ m}^3 = 10^9 \text{ mm}^3$
	V	体积	mm^3, m^3	
	ρ	曲率半径	mm, m	
	i, i_y, i_z	惯性半径	mm, m	
	S, S_y, S_z	(静矩)截面一次矩	mm^3, m^3	
	S^*, S_y^*, S_z^*	给定截面一次矩	mm^3, m^3	
	I, I_y, I_z	截面二次矩(惯性矩)	mm^4, m^4	
	I_{yz}	截面二次矩(惯性积)	mm^4, m^4	
	I_p	截面二次极矩(极惯性矩)	mm^4, m^4	
	W, W_y, W_z	弯曲截面系数	mm^3, m^3	
	W_p	扭转截面系数	mm^3, m^3	
	c	截面形心		
	b	截面宽度	mm, m	
	h	截面高度	mm, m	
	r, R	半径	mm, m	
	d, D	直径	mm, m	
	S	弧长	mm, m	
	l, L	长度	mm, m	
	δ	厚度	mm, m	

续 表

分类	符 号	名 称	国际单位	备 注
其 它	P	功率	W, kW	
	P_k	功率(千瓦)	W, kW	1 J=1 N·m 1 W=1 J/s
	P_{HP}	功率(马力)	HP	1 kW=1 000 W
	W	(外力)功	J	1 HP=735.5 W
	V, V_s	应变能	J	
	v_s	应变能密度	J/mm ³	
	n	转速	r/min	
	t	摄氏温度或时间	℃	
	$\alpha, \beta, \gamma, \theta, \varphi$	(平面)角	(°), rad	

注:① 国际单位中的空栏为“无量纲”。

② 主要使用的量和单位表的编写依据是“中华人民共和国国家标准 GB3100—93 国际单位制及其应用”,GB3101—93 中“有关量、单位和符号的一般原则”,GB3102.3—93 中“力学的量和单位”。对标准中无规定的符号,使用依据是高等教育出版社“材料力学主要符号表”。

目 录



第一章 绪论	1
§ 1-1 材料力学简史	1
§ 1-2 材料力学的任务	5
§ 1-3 变形固体的基本假设	7
§ 1-4 外力、内力及应力的概念	8
§ 1-5 位移、变形及应变的概念	13
§ 1-6 构件的分类 杆件的基本变形	18
思考题	19
习题	21
第二章 拉伸与压缩	24
§ 2-1 概述	24
§ 2-2 轴力和轴力图	25
§ 2-3 截面上的应力	27
§ 2-4 材料拉伸时的力学性质	31
§ 2-5 材料压缩时的力学性质	40
§ 2-6 拉(压)杆的强度条件	43
§ 2-7 拉(压)杆的变形 胡克定律	49
§ 2-8 拉、压超静定问题	58

§ 2-9 装配应力和温度应力	65
§ 2-10 拉伸(压缩)时的应变能	75
§ 2-11 应力集中的概念	77
思考题	80
习题	82
 第三章 剪切	 97
§ 3-1 连接件的强度计算	97
§ 3-2 纯剪切 切应力互等定理 剪切胡克定律	109
§ 3-3 剪切应变能	113
思考题	114
习题	116
 第四章 扭转	 121
§ 4-1 概述	121
§ 4-2 外力偶矩 扭矩和扭矩图	122
§ 4-3 圆轴扭转时截面上的应力计算	126
§ 4-4 圆轴扭转时的变形计算	137
§ 4-5 圆轴扭转时的强度条件 刚度条件 圆轴 的设计计算	139
§ 4-6 材料扭转时的力学性质	144
§ 4-7 圆柱形密圈螺旋弹簧的应力和变形	150
§ 4-8 矩形截面杆自由扭转理论的主要结果	155
§ 4-9 扭转超静定问题	160
思考题	163
习题	166

第五章 弯曲内力	177
§ 5-1 概述	177
§ 5-2 梁的载荷与支座	178
§ 5-3 剪力和弯矩及其方程	182
§ 5-4 剪力图和弯矩图的绘制	186
§ 5-5 载荷集度、剪力和弯矩间的关系	193
§ 5-6 用叠加法作弯矩图	202
§ 5-7 平面刚架和曲杆的内力	204
思考题	209
习题	210
第六章 弯曲应力	217
§ 6-1 纯弯曲时梁的正应力	217
§ 6-2 正应力公式的推广 强度条件	223
§ 6-3 矩形截面梁的切应力	233
§ 6-4 常见截面梁的最大切应力	239
§ 6-5 弯曲切应力的强度校核	243
§ 6-6 变截面梁 等强度梁组合梁的计算	246
§ 6-7 提高梁强度的主要措施	261
思考题	265
习题	266
第七章 弯曲变形	275
§ 7-1 概述	275
§ 7-2 挠曲线的近似微分方程	276
§ 7-3 用积分法求梁的变形	278
§ 7-4 用叠加法求梁的变形	292

§ 7-5 梁的刚度条件及提高梁刚度的措施	297
§ 7-6 用变形比较法解简单超静定梁	300
思考题	304
习题	306
第八章 应力状态及应变状态分析	313
§ 8-1 应力状态的概念	313
§ 8-2 用解析法分析二向应力状态	315
§ 8-3 用图解法分析二向应力状态	322
§ 8-4 主应力迹线	329
§ 8-5 三向应力状态	331
§ 8-6 平面应变状态分析	337
§ 8-7 广义胡克定律	341
§ 8-8 三向应力状态下的应变能密度	345
§ 8-9 弹性常数 E, G, μ 间的关系	350
思考题	351
习题	353
第九章 强度理论	359
§ 9-1 概述	359
§ 9-2 经典强度理论	361
§ 9-3 经典强度理论的试验研究	365
§ 9-4 近代强度理论	368
§ 9-5 强度理论的应用	373
思考题	382
习题	384

第十章 组合变形时的强度计算	387
§ 10-1 概述	387
§ 10-2 斜弯曲	388
§ 10-3 拉伸(压缩)与弯曲的组合	393
§ 10-4 弯曲与扭转的组合	403
§ 10-5 组合变形的普遍情形	411
思考题	419
习题	421
第十一章 压杆稳定	426
§ 11-1 基本概念	426
§ 11-2 细长压杆的临界力	428
§ 11-3 压杆的临界应力	436
§ 11-4 压杆的稳定计算	445
§ 11-5 稳定系数法	450
§ 11-6 提高压杆稳定性的措施	455
§ 11-7 纵横弯曲的概念	456
思考题	461
习题	462
附录	469
附录 I 平面图形的几何性质	469
§ I-1 静矩和形心	469
§ I-2 惯性矩 惯性积 惯性半径	474
§ I-3 平行移轴公式	477
§ I-4 转轴公式 主惯性矩	482
§ I-5 惯性矩的莫尔圆法	490

思考题	494
习题	495
附录Ⅱ 简单截面图形的几何性质	499
附录Ⅲ 简单载荷下梁的弯矩、剪力、挠度和转角	502
附录Ⅳ 型钢表	508
表Ⅳ-1 热轧等边角钢(GB9787—88)	508
表Ⅳ-2 热轧等边角钢(GB9788—88)	514
表Ⅳ-3 热轧普通工字钢(GB9706—88)	522
表Ⅳ-4 热轧普通槽钢(GB707—88)	525
附录Ⅴ 3号钢各类截面受压直杆的稳定系数 φ	528
表Ⅴ-1 3号钢 a 类截面中心受压直杆的稳定 系数 φ	528
表Ⅴ-2 3号钢 b 类截面中心受压直杆的稳定 系数 φ	529
表Ⅴ-3 3号钢 c 类截面中心受压直杆的稳定 系数 φ	530
附录Ⅵ 中英文名词对照	531
习题答案	541
参考文献	555

第一章 绪 论

§ 1-1 材料力学简史

在工程实际中,广泛地使用各种机械和结构物。组成这些机械和结构物的零件,统称为构件。为确保机械和工程结构的工作性能,一般不允许构件在工作时发生破坏。我国古代许多伟大的工程,饱经沧桑,至今仍巍然屹立,其中就包含有丰富的材料力学知识。

据考证,我国在殷商时代(公元前 14 世纪),房屋建筑就采用了柱、梁、檩、椽的屋架结构,逐渐知道了立柱和横梁应采用圆形和矩形截面,积累了合理运用木结构的经验。在以后的生产活动中,对各种材料,特别是木材的性能作了仔细的研究,木架结构也就随着发展得更加科学、更加完善,成为我国建筑体系的主要特征。所谓木结构,是指用木架作为骨干,下为立柱,上为梁、枋、檩子构成的骨架,其承载着房屋的全部重量。墙壁仅起隔离作用,可以随意开设门窗,这与现代的钢结构和钢混结构相类似。同时这种梁架结构为简单的静定梁,横梁一层比一层短,使载荷集中地加在靠近支点的地方,大大减小了梁在两荷重间的很大一段长度中的弯曲应力,使梁中切应力仅仅限制在两端很小的范围内,巧妙地运用了静力学和材料力学的原理。特别是用方形木块和前后左右挑出的臂形横木组成的斗拱,作为立柱和梁的过渡部分,将建筑物上面部分的分散重量集中到底部的柱头上,成功地解决了木架结构的横梁与立柱衔接处的切应力集中问题。斗拱结构发展成尺寸精密、制度