



世纪高等教育规划教材

材料力学

范钦珊 主编

范钦珊 李晨 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高等教育规划教材

材 料 力 学

范钦珊 主编

范钦珊 李 晨 编著



机 械 工 业 出 版 社

本书是根据教育部高等学校力学基础课程教学指导分委员会最新制订的《材料力学课程教学基本要求》(A类)编写的。

全书分为基础部分与专题部分共13章。基础部分反映材料力学的基本要求,包括:材料力学概述、内力与内力图、轴向拉伸与压缩、连接件强度的工程计算、圆轴扭转、弯曲强度、弯曲刚度、应力状态与强度理论、组合受力与变形杆件的强度计算、压杆稳定性等内容,共10章;专题部分包括:能量法、简单的超静定系统、动载荷与疲劳强度等内容共3章,供不同院校选用。根据不同院校的实际情况,基础部分所需学时为32~48学时;专题篇所需学时为16~24学时。

为了适应教学改革的需要和提高教学质量的要求,本书更加注重基本概念,而不追求冗长的理论推导与繁琐的数学运算。与同类教材相比,难度有所下降,工程概念有所加强,引入了大量涉及广泛领域的工程实例以及工程有关的例题和习题。

为了让学生更快地掌握最基本的知识,在保持传统的教学体系的同时,在概念、原理的叙述方面作了一些改进:一方面从提出问题、分析问题和解决问题等方面作了比较详尽的论述与讨论;另一方面提供了较多的例题分析,特别是新增加了关于一些重要概念的例题分析。

本书可作为高等学校工科各专业的材料力学课程教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/范钦珊主编. —北京:机械工业出版社,2011.1

21世纪高等教育规划教材

ISBN 978-7-111-32078-4

I. ①材… II. ①范… 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(2010)第191472号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:姜凤 责任编辑:任正一

版式设计:张世琴 责任校对:陈延翔

封面设计:路恩中 责任印制:乔宇

三河市国英印务有限公司印刷

2011年1月第1版第1次印刷

169mm×239mm·20印张·388千字

标准书号:ISBN 978-7-111-32078-4

定价:29.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
电话服务 网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

封面防伪标均为盗版

前 言

本书是根据教育部高等学校力学基础课程教学指导分委员会最新制订的《材料力学课程教学基本要求》(A类),在全国进行大量调研工作的基础上编写的。

编者最近两年在全国(东北的哈尔滨工业大学,西北的西北工业大学,华北的北京交通大学,中南的华中科技大学,西南的重庆大学,华南的华南理工大学,华东的南京航空航天大学)讲学期间,对我国高等学校“材料力学”课程的教学状况和“材料力学”教材的需求进行了大量调研,与500多名基础力学教师以及近2000名学生交换关于“材料力学”教材使用和修改的意见。

通过调研,我们认识到,编写新世纪“材料力学”教材的理念应该是:在面向21世纪课程教学内容与体系改革的基础上,进一步对教学内容加以精选,下大力气压缩教材篇幅,同时进行包括主教材、教学参考书——教师用书和学生用书,电子教材——电子教案与电子书等在内的教学资源一体化的设计,努力为教学第一线的教师和学生提供高水平、全方位的服务。

调研过程中,广大教学第一线的教师和学生普遍反映,根据新的培养计划,很需要一部少而精的“材料力学”教材,以适应课程学时大幅度减少的要求。不少学校的教师和学生反映:现行的“材料力学”教材大都是上、下两册,篇幅过大。上册的内容讲不完,下册的内容又要讲一点,不仅造成资源浪费,而且也造成学生不必要的经济负担。还有的学校教师认为,现行的“材料力学”教材,大部分成书时间较早,没有反映最近10年来“材料力学”课程教学改革的成果,大多数作者长期不在教学第一线从事教学工作,因而缺乏教学第一线的新鲜经验。

本书是在上述调研的基础上,根据新的培养计划和教学基本要求,从一般院校的实际情况出发,对于传统内容进一步加以精选,大大压缩教材篇幅,以满足60~80学时“材料力学”课程教学要求而

编写的。

在教学体系上,我们根据工程专业的特点,同时贯串两条主要线索:一条是用杆、轴、梁、柱以及连接件等基本构件贯串的线索,另一条是以构件的拉、压、剪、扭、弯等基本受力与变形形式的线索。这样的体系不仅保持了“材料力学”理论体系的完整性,而且具有很强的工程应用意义。

为了减小教材的篇幅、适应教学课时减少的实际情况,在内容的处理上,我们将轴力图、扭矩图、剪力图和弯矩图整合为一章。同时,为了突出重点,将截面的几何性质放在梁的弯曲问题中,强化应力分析、强度计算以及位移分析与刚度计算。这一部分不仅是课程的重点,而且也是课程的精华所在。

“材料力学”与很多领域的工程密切相关。材料力学教学不仅可以培养学生的力学素质,而且可以加强学生的工程概念。这对于他们向其他学科或其他工程领域扩展是很有利的。基于此,本书与以往的同类教材相比,难度有所下降,工程概念有所加强,引入了大量涉及广泛领域的工程实例以及与工程有关的例题和习题。

为了让学生更快地掌握最基本的知识,在概念、原理的叙述方面作了一些改进。一方面从提出问题、分析问题和解决问题等方面作了比较详尽的论述与讨论;另一方面提供了较多的例题分析,特别是新增加了关于一些重要概念的例题分析。

全书分为基础篇和专题篇两部分,共13章。基础篇反映材料力学的基本要求,包括:材料力学概述、内力与内力图、轴向拉伸与压缩、连接件强度的工程计算、圆轴扭转、弯曲强度、弯曲刚度、应力状态与强度理论、组合受力与变形杆件的强度计算、压杆的稳定性问题等内容,共10章;专题篇包括材料力学中的能量法、简单的超静定系统、动载荷与疲劳强度概述等内容,共3章,供不同院校选用。根据不同院校的实际情况,基础篇所需学时为48~60学时;专题篇所需学时为12~20学时。

本书由范钦珊主编,范钦珊、李晨编著。李晨博士是南京航空航天大学航空宇航学院副教授,她的加盟使本书能够反映青年教授的教学成果和教学经验,同时对于教材建设工作的可持续发展也是有益的。

本书是编者近年来在南京航空航天大学工作期间编写的，反映了材料力学课程教学改革方面的一些成果。对于南京航空航天大学各级领导和力学教学实验中心的同事们给予的支持和帮助，编者借本书出版之际谨表谢忱！

由于编者水平有限，书中的缺点和错误，恳请读者批评指正。

范钦珊

2008年10月初稿于南京

2009年10月定稿于美国硅谷

目 录

前言

第1章 材料力学概述	1
1.1 材料力学的研究内容	1
1.2 材料力学的基本假定	3
1.2.1 均匀连续性假定	3
1.2.2 各向同性假定	3
1.2.3 小变形假定	3
1.3 弹性杆件的外力与内力	4
1.3.1 外力	4
1.3.2 内力	4
1.4 弹性体受力与变形特点	4
1.5 应力与应变	5
1.5.1 正应力与切应力	5
1.5.2 正应变与切应变	6
1.6 线弹性材料的应力-应变关系	7
1.7 杆件受力与变形的基本形式	8
1.7.1 拉伸或压缩	8
1.7.2 剪切	8
1.7.3 扭转	8
1.7.4 平面弯曲	9
1.7.5 组合受力与变形	9
1.8 结论与讨论	9
1.8.1 关于静力学模型与材料力学模型	9
1.8.2 关于静力学概念与原理在材料力学中的可用性与限制性	9
习题	10

第2章 内力与内力图	13
2.1 内力与内力分量	13
2.1.1 内力与内力分量的概念	13
2.1.2 内力分量的正负号规则	14
2.1.3 截面法确定截面上的内力	14
2.2 轴力图	15
2.3 扭矩图	16
2.4 剪力图与弯矩图	17
2.4.1 剪力方程 弯矩方程	17
2.4.2 剪力图 弯矩图	20
2.4.3 载荷集度、剪力和弯矩的微分关系	23
* 2.5 刚架的内力图	29
2.6 结论与讨论	31
2.6.1 关于杆件内力分析的几点结论	31
2.6.2 力系简化在确定控制面上内力时的应用	32
2.6.3 重视对平衡微分方程的求解和应用	32
2.6.4 叠加原理的应用限制	33
习题	33
第3章 轴向拉伸与压缩	36
3.1 拉压杆件的应力	36
3.2 拉压杆件的强度计算	38
3.2.1 强度条件、安全因数与许用应力	39
3.2.2 三类强度问题	39
3.2.3 强度计算举例	39

3.3 拉压杆件的变形	42	注意的问题	66
3.4 拉伸与压缩时材料的力学性能	45	4.3.2 机械连接件的剪切强度计算	66
3.4.1 材料拉伸时的应力-应变曲线	45	习题	66
3.4.2 韧性材料拉伸时的力学性能	46	第5章 圆轴扭转	68
3.4.3 脆性材料拉伸时的力学性能	47	5.1 外加力偶矩与所传递功率的关系	68
3.4.4 强度失效概念与极限应力	47	5.2 纯剪切状态与切应力互等定理	69
3.4.5 压缩时材料的力学性能	48	5.2.1 薄壁圆筒扭转时的切应力与纯剪切状态	69
3.5 结论与讨论	49	5.2.2 切应力互等定理	70
3.5.1 本章的主要结论	49	5.2.3 剪切胡克定律	70
3.5.2 关于应力和变形公式的应用条件	50	5.3 圆轴扭转时的切应力分析	71
*3.5.3 加力点附近区域的应力分布	51	5.3.1 平面假定	71
*3.5.4 应力集中的概念	51	5.3.2 变形协调方程	72
*3.5.5 拉伸和压缩超静定问题概述	52	5.3.3 物理关系	72
习题	54	5.3.4 静力学方程	72
第4章 连接件的剪切与挤压强度工程计算	58	5.3.5 圆轴扭转时横截面上的切应力表达式	73
4.1 铆接件的强度失效形式及相应的强度计算方法	58	5.4 圆轴扭转时的强度与刚度计算	76
4.1.1 连接件剪切破坏及剪切假定计算	58	5.4.1 圆轴扭转实验与破坏现象	76
4.1.2 连接件的挤压破坏及挤压强度计算	60	5.4.2 圆轴扭转强度计算	77
4.1.3 连接板的拉断强度计算	60	5.4.3 圆轴扭转刚度计算	79
4.1.4 连接件后面的连接板的剪切计算	61	5.5 结论与讨论	80
4.2 焊缝强度的剪切假定计算	62	5.5.1 圆轴扭转强度与刚度计算及其他	80
4.3 结论与讨论	66	5.5.2 矩形截面杆扭转时的切应力	81
4.3.1 剪切强度计算中应当着重		*5.5.3 扭转超静定问题概述	82
		习题	83
		第6章 弯曲强度	86
		6.1 工程中的弯曲构件	86
		6.2 与应力分析相关的截面	

图形几何性质	88	第7章 弯曲刚度	123
6.2.1 静矩、形心及其相互 关系	88	7.1 弯曲变形与位移的基本 概念	123
6.2.2 惯性矩、极惯性矩、惯性积、 惯性半径	90	7.1.1 梁弯曲后的挠度曲线	123
6.2.3 惯性矩与惯性积的移轴 定理	92	7.1.2 梁的挠度与转角	124
*6.2.4 惯性矩与惯性积的转轴 定理	93	7.1.3 梁的位移与约束密切 相关	124
6.2.5 形心主惯性轴、形心主惯性 平面与形心主惯性矩	93	7.1.4 梁位移分析的工程 意义	125
6.3 平面弯曲时梁横截面上的正 应力	95	7.2 小挠度微分方程及其 积分	125
6.3.1 平面弯曲与纯弯曲的 概念	95	7.2.1 小挠度曲线微分方程	125
6.3.2 纯弯曲时梁横截面上的 正应力分析	97	7.2.2 积分常数的确定、约束 条件与连续条件	127
6.3.3 梁的弯曲正应力公式的 应用与推广	100	7.3 工程中的叠加法	129
6.4 平面弯曲正应力公式应用 举例	102	7.3.1 叠加法应用于多个载荷 作用的情形	132
6.5 梁的强度计算	105	7.3.2 叠加法应用于间断性分布 载荷作用的情形	133
6.5.1 梁的强度条件	105	7.3.3 逐段刚化叠加法	134
6.5.2 弯曲强度条件	105	7.4 简单的超静定梁	136
6.5.3 梁的弯曲强度计算过程及 举例	105	7.5 弯曲刚度计算	138
6.6 弯曲切应力	110	7.5.1 弯曲刚度条件	138
6.6.1 开口薄壁截面梁的弯曲切 应力计算	110	7.5.2 刚度计算举例	139
6.6.2 实心截面梁的弯曲切应力 计算	112	7.6 结论与讨论	141
6.7 结论与讨论	114	7.6.1 关于变形和位移的相依 关系	141
6.7.1 关于弯曲正应力公式的应用 条件	114	7.6.2 关于梁的连续光滑 曲线	142
6.7.2 提高梁强度的措施	114	7.6.3 关于求解超静定问题的 讨论	142
*6.7.3 弯曲中心的概念	117	7.6.4 提高弯曲刚度的途径	143
习题	118	习题	143
		第8章 应力状态与强度理论	147
		8.1 基本概念	147
		8.1.1 应力状态	147
		8.1.2 应力状态的描述	148

8.2 平面应力状态分析的解 析法	149	8.6.4 第三强度理论	165
8.2.1 方向角与应力分量的正负号 规则	149	8.6.5 第四强度理论	166
8.2.2 微元的局部平衡	150	8.7 薄壁容器强度设计简述	168
8.2.3 平面应力状态中任意方向面 上的正应力与切应力	150	8.8 结论与讨论	171
8.3 应力状态中的主应力与最 大切应力	151	8.8.1 关于应力状态的几点重要 结论	171
8.3.1 主平面、主应力与主 方向	151	8.8.2 平衡方法是分析应力状态 最重要、最基本的方法	171
8.3.2 平面应力状态的三个主 应力	152	*8.8.3 关于应力状态的不同的表示 方法	172
8.3.3 面内最大切应力与一点处的 最大切应力	152	8.8.4 正确应用广义胡克 定律	172
8.4 应力状态分析的图解解 析法	155	8.8.5 应用强度理论需要注意的 几个问题	172
8.4.1 应力圆方程	155	习题	173
8.4.2 应力圆的画法	156	第9章 组合受力与变形杆件的 强度计算	177
8.4.3 应力圆的应用	157	9.1 斜弯曲	177
8.5 一般应力状态下的应力-应变 关系 应变能密度	159	9.1.1 产生斜弯曲的加载 方式	177
8.5.1 广义胡克定律——一般应 力状态下的应力-应变 关系	159	9.1.2 叠加法确定横截面上的正 应力	178
8.5.2 各向同性材料各弹性常数 之间的关系	161	9.1.3 最大正应力与强度 条件	178
8.5.3 一般应力状态的总应变能 密度	161	9.2 拉伸(压缩)与弯曲的 组合	181
8.5.4 体积改变能密度与畸变能 密度	162	9.3 弯曲与扭转的组合	185
8.6 一般应力状态下的强度 条件	163	9.3.1 计算简图	185
8.6.1 建立一般应力状态下强度条 件的难点与解决方案	163	9.3.2 危险点及其应力状态	186
8.6.2 第一强度理论	164	9.3.3 强度条件与设计公式	186
*8.6.3 第二强度理论	165	9.4 结论与讨论	189
		9.4.1 关于中性轴的讨论	189
		9.4.2 关于强度计算的全过程	190
		习题	190
		第10章 压杆的稳定性问题	195
		10.1 压杆稳定性的基本 概念	195

10.1.1 平衡状态的稳定性和不稳定性	195	做的常力功和变力功	214
10.1.2 临界状态与临界载荷	196	11.1.2 杆件的弹性应变能	215
10.1.3 三种类型压杆的不同临界状态	196	11.2 互等定理	217
10.2 细长压杆的临界载荷——欧拉临界力	197	11.2.1 功的互等定理	217
10.2.1 两端铰支的细长压杆	197	11.2.2 位移互等定理	218
10.2.2 其他刚性支承细长压杆临界载荷的通用公式	199	11.3 虚位移原理、内力虚功	220
10.3 长细比的概念 三类不同压杆的判断	200	11.3.1 虚位移原理	220
10.3.1 长细比的定义与概念	200	11.3.2 各种受力形式下的内力虚功	221
10.3.2 三类不同压杆的区分	200	11.4 莫尔方法	223
10.3.3 三类压杆的临界应力公式	201	11.5 莫尔积分应用于直杆时的图乘法	225
10.3.4 临界应力总图与 λ_p 、 λ_s 的确定	202	11.6 卡氏定理	229
10.4 压杆稳定性计算	202	11.6.1 卡氏定理及其证明	229
10.4.1 压杆稳定性计算内容	202	11.6.2 卡氏定理的内力分量形式	231
10.4.2 安全因数法与稳定安全条件	202	11.7 结论与讨论	233
10.4.3 压杆稳定性计算过程	203	11.7.1 关于单位力的讨论	233
10.5 压杆稳定性计算示例	203	11.7.2 应用图乘法时弯矩图的另一种画法	233
10.6 结论与讨论	207	习题	234
10.6.1 稳定性计算的重要性	207	第12章 简单的超静定系统	236
10.6.2 影响压杆承载能力的因素	208	12.1 超静定系统的几个基本概念	236
10.6.3 提高压杆承载能力的主要途径	209	12.1.1 超静定结构的类型	236
10.6.4 稳定性计算中需要注意的几个重要问题	210	12.1.2 静定基本系统、相当系统与变形协调条件	237
习题	211	12.2 力法与正则方程	238
第11章 材料力学中的能量方法	214	12.3 对称性与反对称性在求解超静定问题中的应用	240
11.1 基本概念	214	12.3.1 对称结构的对称变形	240
11.1.1 作用在弹性杆件上的力所做的常力功和变力功	214	12.3.2 对称结构的反对称变形	241
		12.3.3 对称结构的一般变形及其简化	242
		12.4 空间超静定结构的特殊情形	242

12.5 图乘法在求解超静定问题中的应用	243	面质量因数	266
12.6 结论与讨论	247	13.7 基于有限寿命设计方法的疲劳强度	267
12.6.1 应用力法解超静定问题的步骤	247	13.7.1 构件寿命的概念	267
12.6.2 关于静定基本系统的不同选择	247	13.7.2 无限寿命设计方法——安全因数法	267
习题	248	13.7.3 等幅对称应力循环下的工作安全因数	268
第13章 动载荷与疲劳强度		13.7.4 等幅交变应力作用下的疲劳寿命估算	268
概述	251	13.8 线性累积损伤理论与变幅交变应力作用下的疲劳寿命估算	269
13.1 等加速度直线运动时构件上的惯性力与动应力	251	13.8.1 基本概念	269
13.2 旋转构件的受力分析与动应力计算	252	13.8.2 线性累积损伤理论——迈因纳准则	270
13.3 构件上的冲击载荷与冲击应力计算	256	13.8.3 周期性变幅交变应力时的疲劳寿命估算	271
13.3.1 计算冲击载荷所用的基本假定	256	13.9 结论与讨论	273
13.3.2 机械能守恒定律的应用	256	13.9.1 不同情形下动荷因数具有不同的形式	273
13.3.3 冲击时的动荷系数	258	13.9.2 运动物体突然制动或突然刹车时的动载荷与动应力	273
13.4 疲劳强度概述	259	13.9.3 提高构件疲劳强度的途径	274
13.4.1 与交变应力有关的名词和术语	259	习题	274
13.4.2 疲劳失效特征	261	附录	277
13.5 疲劳极限与应力-寿命曲线	264	附录 A 型钢表	277
13.6 影响疲劳寿命的因素	265	附录 B 习题答案	294
13.6.1 应力集中的影响——有效应力集中因数	265	附录 C 索引	301
13.6.2 零件尺寸的影响——尺寸因数	266	参考文献	308
13.6.3 表面加工质量的影响——表			

第 1 章 材料力学概述

理论力学的研究对象主要是质点、质点系以及刚体和刚体系统。材料力学的主要研究对象是变形固体。

材料力学的研究内容是变形固体受力后产生的变形、附加内力以及由此产生的失效以及控制失效的准则，其研究任务是在此基础上导出工程构件静力学设计的基本方法。

材料力学与理论力学的分析方法不完全相同。材料力学的分析方法是在实验基础上，对于问题作一些科学的假定，将复杂的问题加以简化，从而得到便于工程应用的理论成果与数学公式。

本章介绍材料力学的基础知识、研究方法以及材料力学对于工程设计的重要意义。

1.1 材料力学的研究内容

材料力学 (strength of materials) 的研究内容分属于两个学科。第一个学科是固体力学 (solid mechanics)，即研究物体在外力作用下的应力、变形和能量，统称为应力分析 (stress analysis)。第二个学科是材料科学 (materials science) 中的材料的力学行为 (behaviors of materials)，即研究材料在外力和温度作用下所表现出的力学性能 (mechanical properties) 和失效 (failure) 行为。

但是，材料力学所研究的仅限于杆、轴、梁等物体，其几何特征是纵向尺寸 (长度) 远大于横向 (横截面) 尺寸，这类物体统称为杆或杆件 (bars 或 rods)。大多数工程结构的构件或机器的零部件都可以简化为杆件。

实际上，任何固体受力后其内部质点之间均将产生相对运动，使其初始位置发生改变，称为位移 (displacement)，从而导致物体发生变形 (deformation)。工程上，绝大多数物体的变形均被限制在弹性范围内，即当外加载荷消除后，物体的变形随之消失，这种变形称为弹性变形 (elastic deformation)，相应的物体称为弹性体 (elastic body)。材料力学主要研究的对象就是弹性体。

材料力学所研究的仅限于材料的宏观力学行为，不涉及材料的微观机理。

以上两方面的结合使材料力学成为工程设计 (engineering design) 的重要组成部分，即设计出杆状构件或零部件的合理形状和尺寸，以保证它们具有足够的强度 (strength)、刚度 (stiffness) 和稳定性 (stability)。

强度 (strength) 是指构件或零部件具有的一种能力：在确定的外力作用下，不发生破裂或过量塑性变形的能力。

刚度 (rigidity) 是指构件或零部件具有的另一种能力：在确定的外力作用下，其弹性变形或位移不超过工程允许范围的能力。

稳定性 (stability) 是指构件或零部件在某些受力形式（例如轴向压力）下具有的能力：在这些受力形式下，构件或零部件的平衡形式不会发生突然转变的能力。

例如，桥梁（图 1-1）的桥面结构，采取何种形式才能保证不发生破坏，也不发生过大的弹性变形，即不仅保证桥梁具有足够的强度，而且具有足够的刚

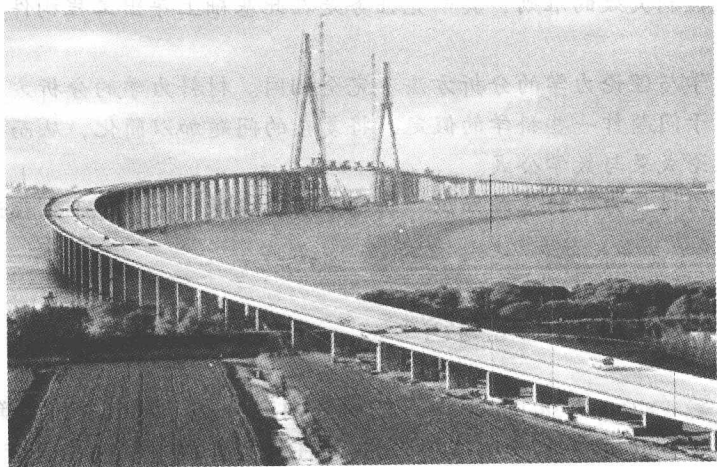


图 1-1 桥梁

度，同时还要具有重量轻、节省材料等优点。

又如，建筑施工中用的脚手架（图 1-2）不仅需要有足够的强度和刚度，而且还要保证有足够的稳定性，否则在施工过程中会由于局部杆件或整体结构的不稳定性而导致整个脚手架的倾覆或坍塌，危及施工人员的生命安全且造成财产的巨大损失。

此外，各种大型水利设施、核反应堆容器、计算机硬盘驱动器以及航空航天器及其发射装置等也都有大量的强度、刚度和稳定性问题。

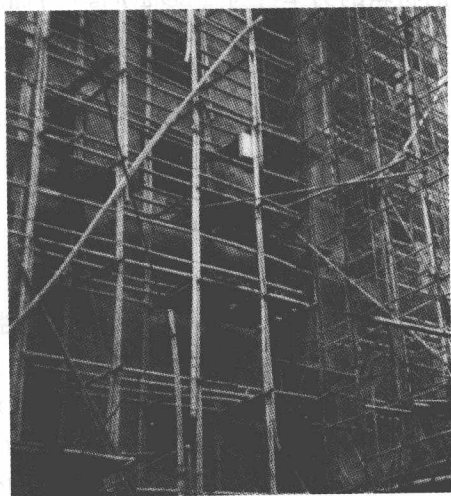


图 1-2 建筑施工中用的脚手架

1.2 材料力学的基本假定

组成构件的材料,其微观结构和性能一般都比较复杂。研究构件的应力和变形时,如果考虑这些微观结构上的差异,不仅在理论分析中会遇到极其复杂的数学和物理问题,而且在将理论应用于工程实际时也会带来极大的不便。为简单起见,在材料力学中,需要对材料作些合理的假定,如均匀连续假定和各向同性假定,还需要将研究范围加以限定,如小变形假定。

1.2.1 均匀连续性假定

均匀连续假定 (homogenization and continuity assumption) ——假定材料粒子无空隙、均匀地分布于物体所占的整个空间中。

从微观结构看,材料的粒子当然不是处处连续分布的。但是从统计学的角度看,只要所考察物体的几何尺寸足够大,而且所考察物体上的每一“点”都是宏观上的点,则可以认为物体的全部体积内材料是均匀、连续分布的。根据这一假定,物体内的应力、应变、位移等物理量可以表示为各点坐标的连续函数,从而有利于建立相应的力学模型。

1.2.2 各向同性假定

各向同性假定 (isotropy assumption) ——假定材料在所有方向上均具有相同的物理性能和力学性能。

大多数工程材料虽然微观上不是各向同性的,例如金属材料,其单个晶粒呈**结晶各向异性** (anisotropy of crystallographic),但当它们形成多晶聚集体的金属时,呈随机取向,因而在宏观上表现为各向同性。具有这种属性的材料称为**各向同性** (isotropy) 材料。材料力学中所涉及的金属材料都假定为各向同性材料。就总体的力学性能而言,这一假定也适用于混凝土材料。根据这一假定,可以用一个参数描写各点在各个方向上的某种力学性能。

如果材料在不同方向上具有不同的物理性能和力学性能,则称这种材料为**各向异性** (anisotropy) 材料。

1.2.3 小变形假定

小变形假定 (assumption of small deformation) ——假定物体在外力作用下所产生的变形与物体本身的几何尺寸相比是很小的。根据这一假定,当考察变形固体的平衡问题时,一般可以略去变形的影响,因而可以直接应用刚体静力学的分析方法。

读者不难发现,在理论力学中,实际上已经采用了上述关于小变形的假定。因为实际物体都是可变形物件,所谓“刚体”便是实际物体在变形很小时的理想化,即忽略了变形对平衡和运动规律的影响。从这个意义上讲,在材料力学中,当讨论大多数平衡问题时,仍将沿用刚体模型,而在其他场合,刚体模型则是绝对不能成立的,而必须代之以“变形体”的模型。此外,读者在以后的分析中会发现,小变形假定在分析变形几何关系等问题时将使问题大为简化。

1.3 弹性杆件的外力与内力

1.3.1 外力

作用在结构构件上的外力包括外加载荷和约束力,二者组成平衡力系。外力分为体积力和表面力,简称体力和面力。体力分布于整个物体内部,并作用在物体的每一个质点上。重力、磁力以及由于运动加速度在质点上产生的惯性力都是体力。面力是周围物体直接作用在研究对象表面上的力。

1.3.2 内力

图 1-3 所示为两根材料和尺寸都完全相同的直杆,它们所受的载荷(F_P)大小相等,但方向不同。图 1-3a 所示梁将远先于图 1-3b 所示拉杆发生破坏,而且两者的变形形式也是完全不同的。可见,在材料力学中不仅要分析外力,而且要分析内力。

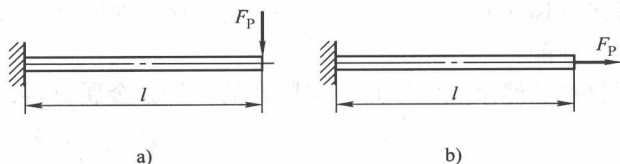


图 1-3 大小相等的外力产生不同的变形和内力

材料力学中的内力不同于工程静力学中物体系统中各个部分之间的相互作用力,也不同于物理学中基本粒子之间的相互作用力,而是指构件受力后发生变形,其内部各点(宏观上的点)的相对位置发生变化,由此而产生的附加内力,即变形体因变形而产生的内力。这种内力确实存在,例如受拉的弹簧,其内聚力使弹簧恢复原状;人用手提起重物时,手臂肌肉内便产生内力等。

1.4 弹性体受力与变形特点

在一般情形下,弹性体截面上的内力组成一非均匀分布力系。

由于整体平衡的要求,对于截开的每一部分也必须是平衡的。因此,作用在

每一部分上的外力必须与截面上分布内力相平衡，组成平衡力系。这是弹性体受力、变形的第一个特征。这表明，弹性体由变形引起的内力不是任意的。

在外力作用下，弹性体的变形应使弹性体各相邻部分既不能断开也不能相互重叠，图 1-4 所示为从一弹性体中取出的两相邻部分的三种变形状况，其中图 1-4a 中所示两部分在变形后发生相互重叠，这当然是不正确的；图 1-4b 中所示两部分在变形后断开了，显然这也是不正确的；图 1-4c 中所示两部分在变形后协调一致，所以是正确的。

上述分析表明，弹性体受力后发生的变形也不是任意的，必须满足变形协调 (deformation compatibility) 一致的要求。这是弹性体受力、变形的第二个特征。此外，弹性体受力后发生的变形还与材料的力学性能有关，这表明，受力与变形之间存在确定的关系，称为物性关系。

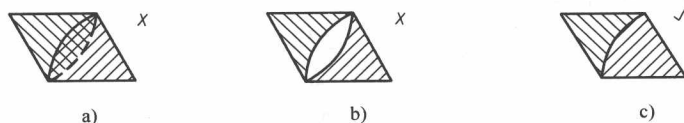


图 1-4 弹性体变形后各相邻部分之间的相互关系

a) 变形后两部分相互重叠 b) 变形后两部分相互分离 c) 变形后两部分协调一致

1.5 应力与应变

1.5.1 正应力与切应力

前面已经提到，在外力作用下，杆件横截面上的内力是一个连续分布的力系。一般情形下，这个分布的内力系在横截面上各点处的强弱程度是不相等的。材料力学不仅要研究和确定杆件横截面上分布内力系的合力及其分量，而且还要研究和确定横截面上的内力是怎样分布的，进而确定哪些点处内力最大。

例如，对于图 1-3a 中所示的一端固定、另一端自由的梁，读者不难分析出，在集中力 F_P 作用下，各个横截面上的弯矩 M 是不相等的：固定端处的横截面上弯矩 M 最大，但在这个横截面上，内力并非处处相等，而是截面上、下两边上的数值最大，故破坏首先从这些点处开始。

怎样度量一点处内力的强弱程度？这就需要引进一个新的概念——应力 (stress)。

考察图 1-5 所示杆件横截面上微小面积 ΔA ，设其上总内力为 ΔF_R ，于是在此微小面积上，内力的平均值为

$$\bar{\sigma} = \frac{\Delta F_R}{\Delta A} \quad (1-1)$$