



普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材

高等学校土木工程学科
专业指导委员会规划教材（按新专业规范编写）

材料力学

曲淑英 主编
隋允康 李舜酩 庄表中 审

中国建筑工业出版社

普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材
高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材
(按新专业规范编写)

土力学
理论力学
材料力学
结构力学
流体力学
工程地质
基础工程
土木工程概论
土木工程制图
土木工程试验
土木工程测量
土木工程材料
土木工程施工技术
土木工程施工组织
钢结构基本原理
混凝土结构基本原理
建设工程经济
建设工程法规
建设工程项目管理
工程荷载与可靠度设计原理



责任编辑:王跃 吉万旺
封面设计:冯舜涛

经销单位:各地新华书店、建筑书店

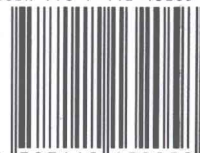
网络销售:本社网址 <http://www.cabp.com.cn>

网上书店 <http://www.china-building.com.cn>

博库书城 <http://www.bookuu.com>

图书销售分类:高校教材(V)

ISBN 978-7-112-13205-8



9 787112 132058 >

(20630) 定价:35.00 元
(赠送课件)

普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材
高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材
(按新专业规范编写)

材 料 力 学

曲淑英 主编
隋允康 李舜酩 庄表中 审

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/曲淑英主编. —北京:中国建筑工业出版社, 2011. 7
普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材. 高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材(按新专业规范编写)

ISBN 978-7-112-13205-8

I. ①材… II. ①曲… 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(2011)第 085308 号

本书是高等学校土木工程学科专业指导委员会制定的“土木工程指导性专业规范”配套教材之一。按照教材编审委员会的要求,结合土木工程专业特点,本书既保留了国内原材料力学教材从特殊到一般、由浅入深、循序渐进、易学易懂的特点,又增加了大量实验创新的内容;既注重了知识体系的完整性和实用性,又突出了工程实际的训练;同时针对大土木工程的特点,在对基础理论知识的理解和掌握的基础上,突出工程实践能力与创新意识的培养,体现时代特征。全书共分 11 章,主要内容包括绪论、轴向拉伸与压缩、剪切、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、平面应力状态分析及强度理论、组合变形、压杆稳定、能量法等。

本教材适用于普通高等工科院校各类专业,并可根据计划学时对书中内容进行选择。

为支持本课程教学,本书作者制作了精美的多媒体教学课件,有需要的读者请发送邮件至:jiangongkejian@163.com 免费索取。

* * *

责任编辑:王 跃 吉万旺

责任设计:陈 旭

责任校对:刘 钰 关 健

普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材
高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材(按新专业规范编写)

材 料 力 学

曲淑英 主编

隋允康 李舜酩 庄表中 审

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:18¼ 字数:453千字

2011年8月第一版 2011年8月第一次印刷

定价:35.00元(赠送课件)

ISBN 978-7-112-13205-8

(20630)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

出版说明

从 2007 年开始高校土木工程学科专业教学指导委员会对全国土木工程专业的教学现状的调研结果显示, 2000 年至今, 全国的土木工程教育情况发生了很大变化, 主要表现在: 一是教学规模不断扩大。据统计, 目前我国有超过 300 余所院校开设了土木工程专业, 但是约有一半是 2000 年以后才开设此专业的, 大众化教育面临许多新的形势和任务; 二是学生的就业岗位发生了很大变化, 土木工程专业本科毕业生中 90% 以上在施工、监理、管理等部门就业, 在高等院校、研究设计单位工作的大学生越来越少; 三是由于用人单位性质不同、规模不同、毕业生岗位不同, 多样化人才的需求愈加明显。《土木工程指导性专业规范》(以下简称《规范》)就是在这种背景下开展研究制定的。

《规范》按照规范性与多样性相结合的原则、拓宽专业口径的原则、规范内容最小化的原则和核心内容最低标准的原则, 对专业基础课提出了明确要求。2009 年 12 月高校土木工程学科专业教学指导委员会和中国建筑工业出版社在厦门召开了《规范》研究及配套教材规划会议, 会上成立了以参与《规范》编制的专家为主要成员的系列教材编审委员会。此后, 通过在全国范围内开展的主编征集工作, 确定了 20 门专业基础课教材的主编, 主编均参与了《规范》的研制, 他们都是各自学校的学科带头人和教学负责人, 都具有丰富的教学经验和教材编写经历。2010 年 4 月又在烟台召开了系列规划教材编写工作会议, 进一步明确了本系列规划教材的定位和编写原则: 规划教材的内容满足建筑工程、道路桥梁工程、地下工程和铁道工程四个主要方向的需要; 满足应用型人才培养要求, 注重工程背景和工程案例的引入; 编写方式具有时代特征, 以学生为主体, 注意 90 后学生的思维习惯、学习方式和特点; 注意系列教材之间尽量不出现不必要的重复等编写原则。为保证教材质量, 系列教材编审委员会还邀请了本领域知名教授对每本教材进行审稿, 对教材是否符合《规范》思想, 定位是否准确, 是否采用新规范、新技术、新材料, 以及内容安排、文字叙述等是否合理进行全方位审读。

本系列规划教材是贯彻《规范》精神、延续教学改革成果的最好实践, 具有很好的社会效益和影响, 住房和城乡建设部已经确定本系列规划教材为《普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材》。在本系列规划教材的编写过程中得到了住房和城乡建设部人事司及主编所在学校和学院的大力支持, 在此一并表示感谢。希望使用本系列规划教材的广大读者提出宝贵意见和建议, 以便我们在规划和出版专业课教材时得以改进和完善。

高等学校土木工程学科专业指导委员会
中国建筑工业出版社
2011 年 6 月

前 言

《材料力学》是土木、机械等工科专业的一门重要技术基础课，它与工程实际紧密联系，对学生诸多后续课程的学习，对培养学生的创新思维和解决实际工程问题的能力，都有着极为重要的作用。

本书是高等学校土木工程学科专业指导委员会编制的“土木工程指导性专业规范”的配套教材之一，按照教材编审委员会的要求，本教材具有以下特色。

1. 教材的精炼化。本书充分体现土木工程专业教育的特点，以应用为目的，基本理论以“必须”、“够用”为度，在适应规范的前提下达到内容最小化，相对于传统的课堂讲解，本书通过一些简单的模型演示说明结构分析，强化力学概念，体现工程应用，以满足培养工程应用型人才的要求。

2. 教材内容的现代化。教材的内容在全面覆盖专业规范的知识点、知识体系的基础上，精选、优化课程内容，与理论力学课程贯通、融合、提升，组成既独立又相互支撑的基础力学课程的新体系，便于读者把握所研究问题的内在联系，建立和形成整体的力学概念。

结合视听和计算机技术，将原来需要靠解析解和手工计算的复杂内容，辅以相应的计算程序。大量工程应用案例与配套的理论力学教材相呼应，以光盘附件形式随教材出版，供学生自学参考。

3. 教材重点突出，语言简练，图文并茂。全程贯穿基本概念、基本理论和基本方法的训练；基本要求中的内容讲解透彻，没有过多过繁的理论分析和证明推导，充分体现工程教育的特点；结合科研成果，加强学生的工程训练，培养学生分析、解决问题的能力。

4. 教材的通俗化。教材编写的方式适合 90 后大学生的特点，每章采用先切入生活、工程背景，再引入概念及相关知识，中间辅以恰当的例题分析，并插入工程案例等。书中有大量直观、生动和精美的插图，书后配以综合工程应用实例。

书中一律采用国家标准(GB 3100~3102—93)、(GB/T 706—2008) 中的名称和符号。

本书由曲淑英教授担任主编，并负责全书的统稿工作。同济大学陈洁、徐烈烜副教授负责第 2 章至第 9 章内容的编写，徐州工程学院马林副教授编写第 10 章、附录 I 内容，其余由曲淑英教授编写。

在本书的编写过程中，得到了同济大学韦林教授的大力支持与帮助，得到了烟台大学史文谱、孙仙山老师的帮助。得到了土木工程学科专业指导委

员会，土木工程指导性专业规范配套教材编审委员会的支持，他们对本教材的编写提出了许多指导意见。本书由北京工业大学博士生导师隋允康教授，南京航空航天大学博士生导师李舜酩教授，浙江大学庄表中教授审阅，他们对书稿提出了许多宝贵意见，编者向他们表示诚挚的谢意。由于编者水平所限，疏漏之处在所难免，希望读者和同行批评指正，并提出宝贵意见。

目 录

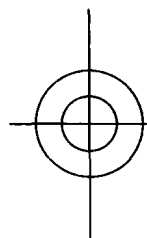
第1章 绪论	1	2.4 轴向拉伸与压缩时的变形及	
本章知识点	1	刚度条件	17
1.1 材料力学的任务	2	2.4.1 轴向变形——胡克定律	17
1.1.1 研究对象和研究内容	2	2.4.2 横向变形——泊松比	18
1.1.2 材料力学的研究方法	2	2.5 材料的力学性能 安全系数和	
1.1.3 材料力学的任务	3	许用应力	22
1.2 材料力学的基本假设	3	2.5.1 试件与试验装置	22
1.3 内力及截面法	4	2.5.2 低碳钢在拉伸时的力学性能	23
1.3.1 内力的概念	4	2.5.3 其他材料在拉伸时的	
1.3.2 截面法求内力	5	力学性能	26
1.4 内力的集度——应力	6	2.5.4 塑性材料和脆性材料在压缩	
1.5 杆件变形的基本形式	7	时的力学性能	27
小结及学习指导	8	2.5.5 两类材料的力学性能比较	28
思考题	8	2.5.6 材料的极限应力、许用应力与	
习题	8	安全系数	29
习题答案	9	2.6 简单拉压超静定问题	31
第2章 轴向拉伸与压缩	10	2.6.1 超静定问题的提出及	
本章知识点	10	求解方法	31
2.1 拉伸与压缩变形的概念及		2.6.2 装配应力	33
工程实例	10	2.6.3 温度应力	34
2.2 轴向拉伸与压缩时横截面		小结及学习指导	36
上的内力	11	思考题	36
2.2.1 截面法求横截面上的内力——		习题	37
轴力	11	习题答案	42
2.2.2 轴力图	11	第3章 剪切	44
2.3 轴向拉伸与压缩时的应力及		本章知识点	44
强度条件	12	3.1 剪切变形的概念及工程实例	44
2.3.1 轴向拉(压)杆横截面上		3.2 切应力的常用性质	45
的应力	12	3.2.1 剪力与切应力	45
2.3.2 轴向拉(压)杆斜截面上		3.2.2 切应力互等定律	45
的应力	13	3.2.3 切应变、剪切胡克定律	46
2.3.3 拉伸与压缩时的强度条件	15	3.2.4 三个材料常数 E 、 G 、 ν	
2.3.4 圆柱薄壁容器的应力	17	之间的关系	46

3.3 剪切与挤压的实用计算	46	5.3.1 剪力和弯矩	75
3.3.1 剪切的实用计算	47	5.3.2 剪力方程和弯矩方程, 剪力 图和弯矩图	76
3.3.2 挤压的实用计算	48	5.4 分布荷载、剪力及弯矩间 的关系	78
3.3.3 钢板的抗拉强度计算	48	5.5 按叠加原理作弯矩图	82
小结及学习指导	53	小结及学习指导	84
思考题	53	思考题	84
习题	53	习题	86
习题答案	56	习题答案	88
第4章 扭转	57	第6章 弯曲应力	90
本章知识点	57	本章知识点	90
4.1 扭转变形的概念与工程实例	57	6.1 弯曲正应力及强度条件	90
4.2 杆受扭转时的内力计算	58	6.1.1 纯弯曲时梁横截面上 的正应力	91
4.2.1 外力偶矩的计算	58	6.1.2 纯弯曲理论的推广、弯曲正 应力强度条件	94
4.2.2 内力——扭矩	58	6.1.3 梁的弯曲正应力强度条件	95
4.2.3 扭矩图	59	6.2 弯曲切应力及强度条件	98
4.3 圆轴扭转时横截面上的应力及 强度计算	60	6.2.1 矩形截面梁的切应力	98
4.3.1 圆轴扭转时横截面上的应力	60	6.2.2 工字形截面梁的切应力	100
4.3.2 极惯性矩及抗扭截面模量 的计算	62	6.2.3 圆截面梁的切应力	100
4.3.3 圆轴扭转时的强度条件	63	6.2.4 切应力强度条件	101
4.4 圆轴扭转时的变形及 刚度计算	64	6.3 弯曲中心和平面弯曲的 充要条件	103
4.4.1 变形计算	64	6.3.1 弯曲中心	103
4.4.2 刚度条件	64	6.3.2 平面弯曲充要条件	105
4.5 圆轴受扭转的破坏分析	67	6.4 提高弯曲强度的措施	105
4.6 矩形截面杆的自由扭转	67	6.4.1 减小弯矩 $M_{\max}$ 的措施	105
小结及学习指导	69	6.4.2 采用合理截面, 提高 W_z	106
思考题	69	6.4.3 使用变截面梁	106
习题	70	小结及学习指导	107
习题答案	72	思考题	107
第5章 弯曲内力	73	习题	108
本章知识点	73	习题答案	113
5.1 弯曲变形的概念和工程实例	73	第7章 弯曲变形	114
5.2 梁的计算简图及分类	74	本章知识点	114
5.2.1 梁的计算简图	74	7.1 梁弯曲变形时的挠度和转角	114
5.2.2 静定梁的分类	74	7.2 积分法计算梁的变形	115
5.3 剪力方程和弯矩方程、剪力图 和弯矩图	75		

7.2.1 梁的挠曲线近似微分方程	115
7.2.2 积分法计算梁的变形	116
7.3 叠加法计算梁的变形, 梁的 刚度条件	120
7.3.1 叠加法计算梁的变形	120
7.3.2 梁的刚度条件	124
7.4 简单超静定梁	125
7.4.1 超静定梁的概念	125
7.4.2 变形比较法解超静定梁	126
小结及学习指导	128
思考题	128
习题	129
习题答案	132
第8章 平面应力状态分析及 强度理论	135
本章知识点	135
8.1 应力状态的概念	135
8.1.1 一点的应力状态	135
8.1.2 单元体	136
8.1.3 主平面、主应力	137
8.1.4 应力状态的分类	137
8.2 平面应力状态分析的解析法 ...	139
8.2.1 斜截面上的应力	139
8.2.2 主应力与主平面	140
8.2.3 极值切应力及其方位	140
8.3 平面应力状态分析的图解法 ...	142
8.3.1 应力圆方程	142
8.3.2 应力圆的确定	143
8.3.3 利用应力圆确定主应力大小 和主平面方位	144
8.3.4 利用应力圆确定极值切应力 及其所在平面的方位	144
8.4 三向应力状态, 广义胡 克定律	146
8.4.1 三向应力状态的概 念与实例	146
8.4.2 一点的最大应力	146
8.4.3 广义胡克定律	147
8.5 强度理论	152

8.5.1 强度理论的概念	152
8.5.2 四个常用强度理论	153
8.5.3 强度理论的选用	154
小结及学习指导	156
思考题	157
习题	158
习题答案	160
第9章 组合变形	162
本章知识点	162
9.1 组合变形的概念和工程 实例	162
9.2 斜弯曲	163
9.2.1 斜弯曲梁的强度计算	164
9.2.2 斜弯曲梁的变形计算	166
9.3 拉伸(压缩)与弯曲组合	169
9.3.1 内力分析	169
9.3.2 应力分析	169
9.3.3 强度条件	169
9.4 偏心压缩(拉伸)	170
9.4.1 外力简化和内力分析	170
9.4.2 应力计算	171
9.4.3 中性轴	171
9.4.4 强度条件	171
9.5 扭转与弯曲组合	173
9.5.1 外力简化和内力分析	173
9.5.2 危险点的应力	174
9.5.3 强度条件	174
小结及学习指导	175
思考题	176
习题	177
习题答案	179
第10章 压杆稳定	180
本章知识点	180
10.1 压杆稳定的概念	181
10.2 细长压杆的临界压力	184
10.3 临界应力与临界应力总图	188
10.3.1 临界应力和柔度	188
10.3.2 欧拉公式的适用范围	188
10.3.3 临界应力总图	189

10.4 压杆的稳定计算	192	I.2 惯性矩、极惯性矩、惯性积 和惯性半径	232
10.4.1 安全系数法	192	I.2.1 惯性矩	232
10.4.2 折减系数法	193	I.2.2 极惯性矩	232
10.4.3 压杆的稳定计算	195	I.2.3 惯性积	233
10.5 提高压杆稳定性的措施	200	I.2.4 惯性半径	233
10.5.1 减小压杆杆长	200	I.3 平行移轴公式、组合截面 的惯性矩和惯性积	235
10.5.2 增强支承的刚性	200	I.3.1 平行移轴公式	235
10.5.3 合理选择截面形状	201	I.3.2 组合截面的惯性矩 和惯性积	236
10.5.4 合理选用材料	201	I.4 转轴公式、截面的主惯性 轴和主惯性矩	237
小结及学习指导	202	I.4.1 转轴公式	237
思考题	202	I.4.2 截面的主惯性轴和 主惯性矩	238
习题	203	I.4.3 组合截面的形心主惯性轴 与形心主惯性矩	239
习题答案	205	小结及学习指导	242
第11章 能量法	207	思考题	243
本章知识点	207	习题	245
11.1 概述	207	习题答案	247
11.2 杆件应变能的计算	208	附录Ⅱ 阶段测验	249
11.2.1 轴向拉伸和压缩	208	Ⅱ.1 阶段测验题一	249
11.2.2 纯剪切	209	Ⅱ.2 阶段测验题二	250
11.2.3 扭转	209	Ⅱ.3 阶段测验题三	251
11.2.4 弯曲	210	Ⅱ.4 阶段测验题四	252
11.3 应变能的一般关系	214	Ⅱ.5 阶段测验题五	253
11.4 功的互等定理和位移 互等定理	215	附录Ⅲ 工程应用题	255
11.5 卡氏定理	216	Ⅲ.1 非标制悬臂起重机的 可行性问题	255
11.6 能量法在动荷载问题中 的应用	219	Ⅲ.2 路边广告牌的结构安全 计算问题	257
小结及学习指导	222	Ⅲ.3 工业厂房的钢柱设计 问题	259
思考题	223	附录Ⅳ 型钢规格表	262
习题	224		
习题答案	227		
附录Ⅰ 截面图形的几何性质	229		
本章知识点	229		
I.1 静矩与形心	229		
I.1.1 静矩	229		
I.1.2 形心	230		



第1章

绪 论

本章知识点

【知识点】材料力学的主要研究对象、内容，材料力学的基本假定，材料力学的研究方法，工程构件的基本变形。

【重点】基本概念和假设的定义与理解，用截面法求构件截面上内力。

【难点】材料内一点受力和变形程度的度量方法——应力、应变的定义方法和物理含义，工程构件的力学分析方法。

众所周知，现实生活中，人们感知到的所有物体，都受到了力的作用，也就是所谓的物体的相互作用，物体在力的作用下，将处于静止状态、匀速直线运动状态或加速运动状态，其中静止和匀速直线运动状态称为平衡状态。

工程中所研究的物体，是如何在各种各样的力的作用下达到上述状态，有什么规律？我们研究这些规律，让它们为工程服务，这是理论力学的研究内容。也就是说：理论力学主要研究的是物体在外力作用下的平衡与运动的规律。

那么，物体受力了，处于某种状态，从单个构件本身看，它又会怎么样呢？显然：在外力作用下构件将发生形状和大小的改变，当构件所受的外力超过某一限度时，就要丧失承载能力而不能正常工作。这里有什么规律呢？这是材料力学的研究内容。也就是说：材料力学主要研究的是构件在外力作用下变形和失效的规律。

工程构件在外力作用下丧失正常工作能力的现象称为失效。工程构件的失效形式很多，材料力学范畴内的失效通常指：强度、刚度和稳定性失效。

强度失效是指构件发生显著的塑性变形或断裂，如钢缆承载过大变细变长甚至断裂，建筑物结构开裂导致雨水渗入，使钢筋锈蚀并影响美观等。刚度失效是指构件发生过大的变形，如建筑物结构变形过大会导致脆性装修层开裂，或使门窗产生过大变形后被卡住等，稳定性失效是指构件发生平衡形式的突变，如桁架结构中的压杆和液压缸中的活塞杆轴向受压过大突然变弯等。

另外，物体在力学研究上表现出的某些物理性质我们称之为物体的力学性质 (mechanical properties)，有时也称之为力学性能、机械性质或机械性能，其代表的含义是相同的。同样，外力、荷载也是相同含义的不同名称而已。

1.1 材料力学的任务

1.1.1 研究对象和研究内容

材料力学是研究工程构件(member)或机械零部件承受荷载能力的学科。它以一维构件为基本研究对象,定量地研究构件在各类变形形式下的力学规律,以便选择合适的材料,确定合理的截面形状和尺寸,满足工程设计在承受给定荷载的前提下,达到安全而又经济的目的。显然,工程中的构件或零部件应该满足以下三方面的要求:

(1) 强度要求

强度(strength):是指构件或零部件材料抵抗塑性变形或断裂破坏的能力。构件的破坏主要有两种:塑性屈服破坏和脆性断裂破坏,工程中的构件要求有足够的强度,就是能够安全地承担给定的荷载,不发生断裂或永久变形。

(2) 刚度要求

刚度(rigidity):是指构件或零部件抵抗变形的能力。受力构件或零部件都是要变形的,工程中要求设计出的构件或零部件受力后的变形,不超过工程上对它的变形范围要求,即要求构件有足够的刚度(这里的刚度与理论力学、结构动力学、振动学中的刚度在概念、定义和量纲上都是不同的)。

(3) 稳定性要求

稳定性(stability):是指构件或零部件维持其原有平衡形态不发生突变的能力。稳定在力学中是个内容丰富的概念,材料力学中的稳定性,仅指细长压杆在压力作用下保持其原有平衡状态的能力。

1.1.2 材料力学的研究方法

与物理学科的研究方法相同,材料力学的研究方法也需要观察和实验、假设和计算、理论分析和实践检验等。由于材料力学性能的多样性和复杂性,在材料的破坏机理及破坏过程没有完全解决之前,实验研究在材料力学的研究中占有非常重要的地位。材料力学实验的主要目的是:

(1) 研究材料在不同方式的作用力下的破坏现象,从而建立或验证安全的强度、刚度和稳定性的界限。

(2) 研究应力和应变之间的关系,从而建立或验证理论分析所必需的物理条件。

(3) 研究在不同方式的作用力下引起的应力、变形等,从而验证或修正理论分析的结果。

材料力学解决问题的一般步骤是:确定研究对象,建立力学模型、数学模型,数值求解及结论讨论、验证。其中建立力学模型和数学模型就是材料力学的理论分析,通常包括三方面的内容:

(1) 力的研究。包括系统整体的受力分析,构件的外力、内力及应力分

析。这是材料力学分析的静力学方面。

(2) 变形的研究。包括宏观变形(位移)及微观变形(应变)的研究,变形几何关系的建立以及单个构件变形与结构整体变形的协调条件等。这是材料力学分析的几何学方面。

(3) 力和变形的规律研究。包括力之间、变形之间、受力与变形之间的各种规律,这些基本的规律,有时也称为本构关系(constitutive relation)。这是材料力学分析的物理学方面。

上述三方面的研究贯串于材料力学教材的始终。

材料力学的研究方式,从逻辑上,基本分为从一般到特殊和从特殊到一般两种方式。本教材按变形分类,从特殊到一般,由浅入深,循序渐进,易懂易学。

1.1.3 材料力学的任务

综上所述,材料力学的任务就比较明确了:通过实验手段获得材料的特性参数;通过理论分析获得构件或零部件受力后的力、变形、失效方面的规律;为工程构件或机械零部件的设计,选择合适的材料、确定合理的截面形状与尺寸,使设计的构件既满足强度、刚度和稳定性方面的安全要求,同时又合理的节省材料,满足经济性好的要求;为后续专业课(结构力学、钢结构、设计、施工等课程)的学习打下坚实的基础。

1.2 材料力学的基本假设

实际上任何物体受力后总是要发生变形的,只是不同物体、受力大小不同其变形程度不同而已。当只从物体整体的运动层面来研究其运动规律时,可以不考虑材料本身的变形,这就是理论力学研究问题时的简化模型,把物体简化为不变形的刚体,从而使研究的问题大大简化,而不影响研究结果。而材料力学要研究构件的强度、刚度、稳定性问题,必然要考虑构件本身的变形以及与变形有关的失效问题,所以材料力学中的研究对象,必然是可变形固体,而不能再视作刚体了。

在材料力学的研究中,由于研究手段和研究方法的局限性等,常对变形固体作如下基本假设:

1. 连续性(continuous)假设

变形固体的物质内部,由于组成物体的晶粒间有空隙,微观下是不连续的,因而无法用高等数学的连续函数进行描述,但宏观上,可以认为组成物体的物质毫无空隙地充满了整个物体的几何空间,根据这个假设,可以把物体内的一些物理量看成是连续的,因而就可以用连续函数来描述它们的变化规律。即假设构成该变形固体的介质连续地、毫无空隙地充满其整个体积,是连续介质。

2. 均匀性(homogeneous)假设

组成变形固体的连续介质,尽管无法保证各晶粒间的力学性能完全相同,

但从宏观上,可以认为各晶粒间是混合均匀的,共同构成了这种物质,这样从宏观统计学的角度,可以假设物体的任意一部分(或称任一点)的性能都是相同的,譬如物理学中熟悉的材料的弹性模量,由于有了均匀性假设,因而它对变形固体内任一点具有相同的数值。

3. 各向同性(isotropic)假设

变形固体的物质内部,宏观上可假设晶粒的总体排列使得物体在各方向上具有相同的性质,这种性质称为各向同性(isotropy)。具有各向同性的物体称为各向同性体(isotropic body)。大多数金属材料都是各向同性体,而木材、玻璃钢等是各向异性体。

4. 小变形假设

工程中的构件,在外力不超过一定极限时,当外力撤除后,能够恢复到原始尺寸,这种性质称为弹性(elasticity),随外力解除消失的变形称为弹性变形(elastic deformation)。若外力解除后,物体只能恢复其中一部分变形,能恢复的变形仍称之为弹性变形,不能恢复的、残留下来的部分变形称之为塑性变形或残余变形(plastic deformation)。

构件在弹性范围内,它的变形量就远小于原始尺寸,材料力学假定,所研究的构件在外荷载作用下发生的变形都是微小的。比如工程中的梁,在荷载作用下,整个跨度上产生的变形比梁的横截面的尺寸小得多。实际上工程中的大多数构件在工作状态下都是这样的小变形,这是材料力学采用小变形假设的合理之处。材料力学的小变形假设体现在:①允许使用变形前的形状和尺寸代入相应的分析和计算中。②在分析过程中,对某些高阶小量可适时舍去,从而使计算过程简化,使方程线性化(包括数学中常用函数的近似处理)。

综上所述,材料力学的基本假设,构件被看做是连续、均匀、各向同性、小变形的可变形固体,公式中使用的尺寸量是构件变形前的原始尺寸。

1.3 内力及截面法

1.3.1 内力的概念

内力是指外力作用下构件内部各质点之间的相互作用力。实际上物体不受外力作用时,分子之间的作用力已经使体内任一部分处于平衡的内力状态,正是这种内力状态,使固体各部分紧密相连,保持一定的形状。维持固体质点之间相对位置的平衡力,也是一种内力。当物体受力变形后,各分子之间的距离就会改变,平衡力就会随之增加或减少,这部分增加或减小的内力,必定是与外力相联系,随着外力的增减而增减,称为附加内力(additional internal force)。显然,附加内力对于各种材料均具有一定的限度,超过这个极限物体便会破坏,所以与构件抗力性能紧密相连的是这些附加内力,材料力学讨论的内力是指这部分附加内力。

内力的分析和求解是材料力学的重要内容之一,是解决强度、刚度、稳

定性的基础。

1.3.2 截面法求内力

内力是外力作用的内部反应，内力随着外力的变化而变化，内力要通过与外力的平衡而求得，构件的内力可用截面法求出。

什么是截面法？如图 1-1(a)所示，构件受到了外力的作用，构件内部就有了附加内力，想求哪个截面处的内力，就可以假想地用一截面将它“截开”，将构件分成两部分，这样内力就暴露出来从而变成外力了，如图 1-1(b)所示。显然，截开的两个截面上的内力必定一一对应，互为作用与反作用力。截开构件的任一部分都处于平衡状态，如图 1-1(c)所示。用平衡方程可求解出任一部分截面上的内力，这就是截面法(method of section)。图 1-1 为拉伸、压缩杆件截面法求内力示意图。

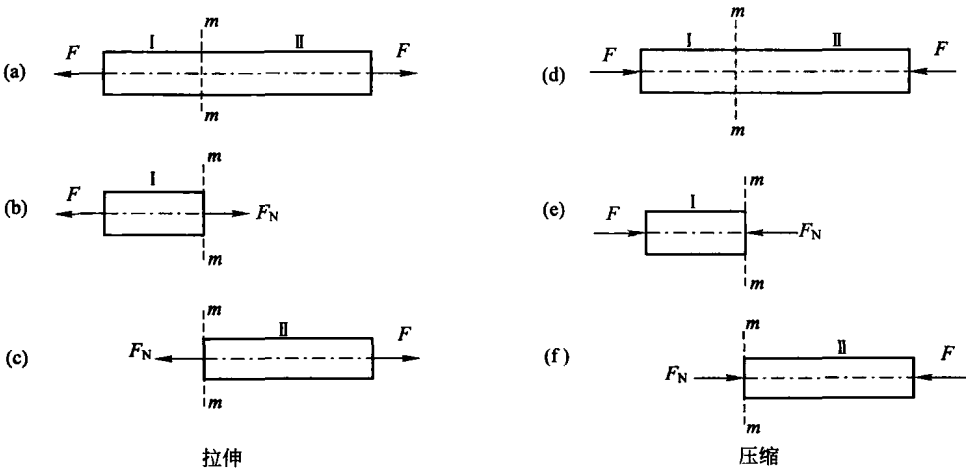


图 1-1 拉伸、压缩杆件截面法求内力

如图 1-2(a)所示构件，在截开截面上建立直角坐标系，如图 1-2(b)所示，坐标原点位于截面形心， x 轴垂直于截面向外， y 、 z 轴相切于截面，截面上的内力有，与三个坐标轴线重合的三个内力分量，即垂直于截面的内力 F_N ，相切于截面的两个内力 F_{Sy} 、 F_{Sz} ，绕 x 轴的力偶矩 M_x ，绕 y 、 z 轴的力偶矩 M_y 、 M_z ，在后面的章节中，它们被分别称之为： F_N ——轴力； F_{Sy} 、 F_{Sz} ——

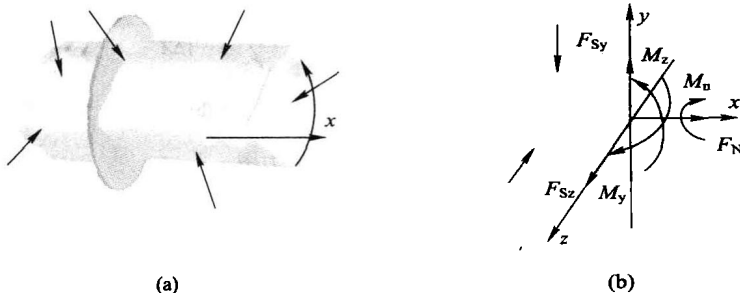


图 1-2 一般情况下截面法求内力

剪力； M_n ——扭矩； M_y 、 M_z ——弯矩。

截面法求内力的步骤：

- (1) 截开——在需要求内力的截面处，用一假想截面将构件一分为二(截)；
- (2) 留下——把截开的两部分，留下一部分，弃去另一部分，并用内力代替弃去部分对留下部分的作用(代)。
- (3) 平衡——建立留下部分的平衡方程，确定内力的大小和方向(平衡)。

显然这里对截面法的描述，是一个抽象的整体概念，后面各章节中将使截面法的运用分别具体化。

1.4 内力的集度——应力

众所周知，两根材料相同受力也相同的杆件，求解出的同一截面处的内力是相同的，但粗细不同，杆件的破坏程度不同，这说明仅根据内力的大小决定构件是否失效是不够的，还必须知道内力在截面上各点的分布情况，截面上各点内力的分布情况可以用单位面积上作用的内力来衡量，这就是一点的应力(stress)，也称为内力分布集度。

如图 1-3 所示，某截开截面上每一点处的力的大小是各不相同的，若想求出 M 点处的应力，方法是：围绕 M 点取一微小面积 ΔA 进行研究， ΔA 上每一点作用内力的合力为 ΔF ，如图 1-3(a)，合力 ΔF 的方向是未知的，用 $\frac{\Delta F}{\Delta A}$ 得到的是 ΔA 微面积上的平均总应力，把 ΔF 分解为垂直于截面的分力 ΔF_N 和平行于截面的分力 ΔF_S 。 $\frac{\Delta F_N}{\Delta A}$ 代表垂直于截面的 ΔA 微面积上的平均分应力， $\frac{\Delta F_S}{\Delta A}$ 代表平行于截面的 ΔA 微面积上的平均分应力，取微面积 ΔA 趋于零，可得到 M 点处的三个应力(图 1-3b)：

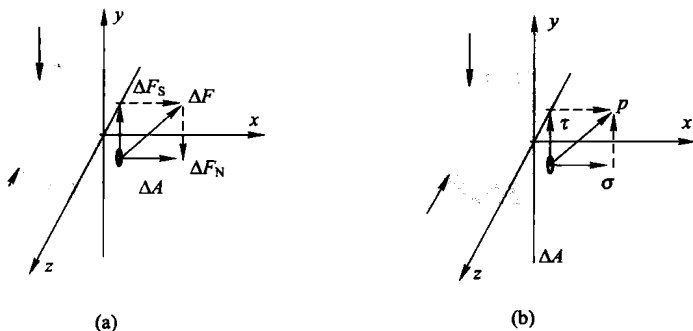


图 1-3 截面某点的应力图

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} = \frac{dF}{dA} \quad (1-1)$$

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_N}{\Delta A} = \frac{dF_N}{dA} \quad (1-2)$$