

全国高等院校**土木工程类**应用型系列规划教材

材料力学

田玉梅 吕书青 主编



科学出版社
www.sciencep.com

全国高等院校土木工程类应用型系列规划教材



材料力学

田玉梅 吕书青 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书依据教学大纲编写而成,适合普通高等学校 70~90 学时材料力学课程的教学。

本书共十五章,内容包括绪论、轴向拉伸与压缩、剪切的实用计算、扭转、截面几何性质、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力及应变状态、强度理论、组合变形的强度计算、压杆稳定、能量法、动荷载、疲劳强度计算。各章均附有小结、思考题、习题,书后附有部分习题的参考答案;并在附录中附有材料力学自测题,便于学生的学习及自我检测。

本书主要用作普通高等院校土建类专业的材料力学教材,也可作为机械、水利、冶金等专业的教材及相关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学 / 田玉梅,吕书青主编. —北京:科学出版社,2009
(全国高等院校土木工程类应用型系列规划教材)
ISBN 978-7-03-025002-5

I. 材… II. ①田…②吕… III. 材料力学 IV. TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 118043 号

责任编辑:童安齐 陈 迅 / 责任校对:柏连海 王万红

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 8 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2009 年 8 月第一次印刷 印张:19 1/2

印数:1—3 000 字数:444 000

定价:29.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(路通))

销售部电话:010-62134988 编辑部电话:010-62137154(BA08)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229;010-64034315;13501151303

前 言

本书适合普通高等学校 70~90 学时材料力学课程的教学。

为了适应人才培养的需要,作者根据材料力学教学大纲,准确把握材料力学课程的教学基本要求,参考、吸收了近年来一些优秀材料力学教材的长处,并结合普通高等院校学生的特点及编者多年教学经验,编写了这本基础知识与实际应用并重的应用型教材。在编写中,作者还注意与各相关课程之间的衔接,既保证了内容的系统性与完整性,又避免脱节和不必要的重复。本教材力求结构严谨,前后呼应,在内容阐述上重点突出、难点明确、详略得当。书中例题的选取具有典型性及启发性。

本书由田玉梅、吕书清任主编,王青春、于玲任副主编。全书由田玉梅统稿。

参加本书编写工作的有:东北林业大学孙增林(第一章);哈尔滨商业大学吕书清(第二章);东北林业大学贾杰(第三章、第十四章);北华大学郑新亮(第四章、第五章、附录 B);华北科技学院王青春(第六章、第七章);东北林业大学于玲(第八章、附录 C);东北林业大学田玉梅(第九章、第十三章、附录 A、附录 E);黑龙江科技学院闫龙海(第十章、第十二章、附录 D),东北林业大学马旭东(第十一章、第十五章)。

本书在编写过程中,参考了国内外一些优秀材料力学教材,在此谨向这些教材的作者表示由衷的感谢。

本书由哈尔滨工业大学赵树山教授主审,他提出了许多精辟而中肯的意见,在此向他致以衷心的感谢。

附录 E 中自测题的答案由东北林业大学的蒋震同学校核,在此一并感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2009 年 4 月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 材料力学的任务与研究对象	1
1.1.1 材料力学的任务	1
1.1.2 材料力学的研究对象	3
1.2 材料力学的基本假设	4
1.3 外力及其分类	5
1.4 内力与应力	5
1.4.1 内力及截面法	5
1.4.2 应力	6
1.5 位移、变形与应变	7
1.5.1 位移与变形	7
1.5.2 应变	7
1.6 杆件变形的基本形式	8
小结	9
思考题	10
习题	10
第二章 轴向拉伸与压缩	11
2.1 概述	11
2.2 轴力与轴力图	11
2.2.1 轴力	11
2.2.2 轴力图	12
2.3 拉压杆的应力	13
2.3.1 拉压杆横截面上的应力	13
2.3.2 拉压杆斜截面上的应力	14
2.3.3 圣维南原理	15
2.4 材料在拉伸与压缩时的力学性能	16
2.4.1 拉伸试验与应力-应变图	16
2.4.2 低碳钢拉伸的力学性能	17
2.4.3 冷作硬化	18
2.4.4 材料的塑性指标	18
2.4.5 其他材料拉伸时的力学性能	19
2.4.6 材料压缩时的力学性能	19
2.4.7 塑性材料与脆性材料力学性能的比较	20

2.5 拉压杆的强度计算	21
2.5.1 失效与许用应力	21
2.5.2 强度条件	21
2.6 拉压杆的变形及刚度计算	23
2.6.1 拉压杆的纵向变形与胡克定律	23
2.6.2 拉压杆的横向变形与泊松比	24
2.7 应力集中的概念	26
2.7.1 应力集中	26
2.7.2 应力集中对构件强度的影响	27
2.8 简单拉压超静定问题	27
2.8.1 超静定问题的提出及其解决方法	27
2.8.2 温度应力	30
2.8.3 装配应力	31
小结	33
思考题	33
习题	34
第三章 剪切的实用计算	38
3.1 概述	38
3.2 剪切的实用计算	39
3.2.1 内力计算	39
3.2.2 切应力计算	39
3.2.3 剪切强度条件	40
3.3 挤压的实用计算	41
3.3.1 挤压应力	41
3.3.2 挤压强度条件	42
小结	44
思考题	44
习题	44
第四章 扭转	47
4.1 概述	47
4.2 外力偶矩及扭矩	48
4.2.1 外力偶矩的计算	48
4.2.2 扭矩与扭矩图	48
4.3 薄壁圆筒的扭转	50
4.3.1 薄壁圆筒扭转时横截面上的应力	50
4.3.2 切应力互等定理	51
4.3.3 剪切胡克定律	51

4.4 圆轴扭转应力及强度计算	52
4.4.1 圆轴扭转时横截面上的应力	52
4.4.2 圆轴扭转强度条件	54
4.5 圆轴扭转变形及刚度计算	55
4.5.1 圆轴扭转变形	55
4.5.2 圆轴扭转刚度条件	57
4.6 简单超静定轴	57
4.7 矩形截面轴自由扭转	59
4.8 薄壁截面杆自由扭转	61
4.8.1 开口薄壁杆件	61
4.8.2 闭口薄壁杆件	62
小结	64
思考题	64
习题	65
第五章 截面几何性质	69
5.1 概述	69
5.2 静矩与形心	69
5.2.1 截面的静矩	69
5.2.2 截面的形心	69
5.3 极惯性矩	71
5.3.1 截面的极惯性矩	71
5.3.2 圆截面的极惯性矩	71
5.4 惯性矩及其平移公式	72
5.4.1 截面的惯性矩	72
5.4.2 矩形及圆截面的惯性矩	73
5.4.3 惯性半径	73
5.4.4 惯性矩平行移轴公式	74
5.5 惯性积及其平移公式	75
5.5.1 惯性积	75
5.5.2 惯性积平行移轴公式	76
5.6 转轴公式与主惯性矩	76
5.6.1 转轴公式	76
5.6.2 主轴与主惯性矩	77
小结	79
思考题	80
习题	80
第六章 弯曲内力	83
6.1 概述	83

6.1.1 问题的提出与工程实例	83
6.1.2 梁的支座类型及支座反力	84
6.1.3 梁的分类	85
6.2 剪力与弯矩	85
6.2.1 剪力与弯矩的概念	85
6.2.2 剪力、弯矩的正负号规定	86
6.3 剪力、弯矩方程与剪力、弯矩图	88
6.3.1 剪力方程与弯矩方程	88
6.3.2 剪力图与弯矩图	88
6.4 剪力、弯矩与荷载集度之间的关系	91
6.4.1 剪力、弯矩与荷载集度之间的微分关系	91
6.4.2 用微分关系画剪力图、弯矩图	92
6.4.3 剪力、弯矩与荷载集度之间的积分关系	93
6.5 平面刚架与曲梁内力	94
6.5.1 刚架内力	94
6.5.2 曲梁内力	95
小结	96
思考题	96
习题	97
第七章 弯曲应力	103
7.1 概述	103
7.2 弯曲正应力	103
7.2.1 纯弯曲正应力	103
7.2.2 横力弯曲正应力	106
7.2.3 最大弯曲正应力	106
7.3 弯曲切应力	107
7.3.1 矩形截面梁的弯曲切应力	107
7.3.2 工字形截面梁的弯曲切应力	109
7.3.3 圆形截面与圆环形截面梁的弯曲切应力	110
7.4 梁的强度计算	111
7.4.1 弯曲正应力强度条件	111
7.4.2 弯曲切应力强度条件	113
7.5 梁的合理强度设计	113
7.6 非对称截面梁的平面弯曲与弯曲中心概念	117
7.6.1 非对称截面梁的平面弯曲	117
7.6.2 开口薄壁杆件的弯曲中心	117
7.7 两种材料的组合梁	119
小结	121

思考题	121
习题	122
第八章 弯曲变形	128
8.1 概述	128
8.1.1 工程中的弯曲变形问题	128
8.1.2 挠度与转角	128
8.2 挠曲线的近似微分方程	129
8.3 计算梁位移的积分法	130
8.3.1 转角方程与挠度方程	130
8.3.2 边界条件与连续条件	130
8.4 计算梁位移的叠加法	132
8.5 梁的刚度计算及合理刚度设计	134
8.5.1 梁的刚度条件	134
8.5.2 梁的合理刚度设计	136
8.6 简单超静定梁	137
小结	139
思考题	140
习题	140
第九章 应力及应变状态	143
9.1 概述	143
9.1.1 应力状态的概念	143
9.1.2 一点应力状态的描述	143
9.2 平面应力状态应力分析的解析法	145
9.2.1 平面应力状态有关约定	145
9.2.2 平面应力状态下任意斜截面的应力	146
9.2.3 平面应力状态的极值应力	146
9.2.4 主平面及主应力	148
9.3 平面应力状态应力分析的图解法	150
9.3.1 应力圆	151
9.3.2 应力圆的绘制	151
9.3.3 应力圆的应用	151
9.4 复杂应力状态的最大应力	153
9.4.1 三向应力圆	153
9.4.2 三向应力状态的最大应力	154
9.5 广义胡克定律	155
9.6 平面应变状态应变分析	158
9.6.1 任意方位的应变	158
9.6.2 主应变及其方向	160

9.6.3 应变的实测	160
小结	161
思考题	163
习题	163
第十章 强度理论	168
10.1 概述	168
10.2 四个常用的强度理论	169
10.2.1 最大拉应力理论(第一强度理论)	169
10.2.2 最大拉应变理论(第二强度理论)	169
10.2.3 最大切应力理论(第三强度理论)	170
10.2.4 畸变能理论(第四强度理论)	170
10.3 莫尔强度理论	171
10.4 强度理论的应用	172
10.4.1 相当应力	172
10.4.2 强度理论的选取	173
小结	176
思考题	176
习题	177
第十一章 组合变形的强度计算	179
11.1 概述	179
11.1.1 组合变形的概念	179
11.1.2 求解组合变形的一般方法	179
11.2 斜弯曲	180
11.2.1 斜弯曲的内力与位移	181
11.2.2 弯曲正应力分析	181
11.2.3 中性轴与最大弯曲正应力	182
11.3 拉伸(或压缩)与弯曲的组合变形	183
11.4 偏心压缩与截面核心	186
11.4.1 偏心压缩	186
11.4.2 截面核心的概念	187
11.5 弯曲与扭转的组合变形	189
11.5.1 弯曲与扭转组合变形的概念	189
11.5.2 弯曲与扭转组合变形的强度计算	189
11.5.3 拉伸(压缩)、扭转与弯曲的组合变形	192
小结	192
思考题	192
习题	193

第十二章 压杆稳定	197
12.1 概述.....	197
12.2 压杆临界荷载的欧拉公式.....	198
12.2.1 两端铰支细长压杆的临界荷载	198
12.2.2 其他支承形式下细长压杆的临界荷载	200
12.3 临界应力与临界应力总图.....	201
12.3.1 临界应力与柔度	201
12.3.2 欧拉公式的适用范围	202
12.3.3 临界应力的经验公式	202
12.3.4 临界应力总图	203
12.4 压杆稳定计算与合理设计.....	205
12.4.1 压杆稳定计算	205
12.4.2 压杆合理设计	210
小结.....	211
思考题.....	211
习题.....	212
第十三章 能量法	215
13.1 概述.....	215
13.2 外力功的计算.....	215
13.3 应变能的计算.....	216
13.3.1 杆件的应变能	216
13.3.2 应变能密度	218
13.3.3 复杂应力状态下的应变能密度	219
13.4 卡氏定理.....	220
13.4.1 卡氏定理的一般表达式	220
13.4.2 卡氏定理的应用	222
13.5 单位荷载法.....	226
小结.....	230
思考题.....	231
习题.....	232
第十四章 动荷载	236
14.1 概述.....	236
14.2 等加速运动杆件的应力分析.....	236
14.2.1 动静法.....	236
14.2.2 构件作等加速直线运动时的动应力计算	237
14.2.3 构件作等角速度转动时的动应力计算	238
14.3 冲击应力分析.....	239
14.3.1 用能量法分析冲击问题	240

14.3.2 自由落体对线性弹性体的冲击	241
14.3.3 等速水平运动物体对线性弹性体的冲击	242
14.3.4 其他形式的冲击问题	242
小结	243
思考题	244
习题	244
第十五章 疲劳强度计算	247
15.1 概述	247
15.1.1 交变应力的概念与实例	247
15.1.2 疲劳破坏的概念及特点	248
15.2 交变应力类型	249
15.2.1 交变应力的描述	249
15.2.2 交变应力的类型	250
15.3 材料的疲劳极限	250
15.3.1 疲劳极限的概念	250
15.3.2 疲劳试验与 S-N 曲线	251
15.4 影响构件疲劳极限的主要因素	252
15.5 对称循环应力下构件的疲劳强度计算	256
15.5.1 构件疲劳极限的确定	256
15.5.2 对称循环应力下构件的疲劳强度条件	257
15.6 非对称循环应力下构件的疲劳强度计算	258
15.6.1 非对称循环应力下构件的疲劳强度条件	258
15.6.2 弯扭组合交变应力下构件的疲劳强度条件	260
15.7 提高构件疲劳强度的措施	262
小结	263
思考题	264
习题	264
附录 A 常用材料的力学性能	266
附录 B 常见截面几何性质	267
附录 C 简单荷载作用下梁的挠度与转角	268
附录 D 型钢表	270
附录 E 材料力学自测题	281
习题答案	287
主要参考文献	298

第一章 绪 论

学习要点 本章主要介绍材料力学的任务及研究对象、材料力学的基本假设、基本概念和基本方法,这些内容对学习材料力学这门课程具有指导意义。

1.1 材料力学的任务与研究对象

1.1.1 材料力学的任务

力学是研究力对物体效应的学科。它和其他自然科学一样,是从生活、生产实践中总结出来,又去指导生活和生产实践。20 世纪以前,推动近代科学技术与社会进步的蒸汽机、内燃机、船舶、桥梁等,都是在力学知识的积累、应用和完善的基础上逐渐形成和发展起来的。20 世纪后,许多高科技产物,如大跨度桥梁(图 1.1)、新型建筑(图 1.2)、大型水利工程(图 1.3)、火箭(图 1.4)等更是与力学的指导密不可分。

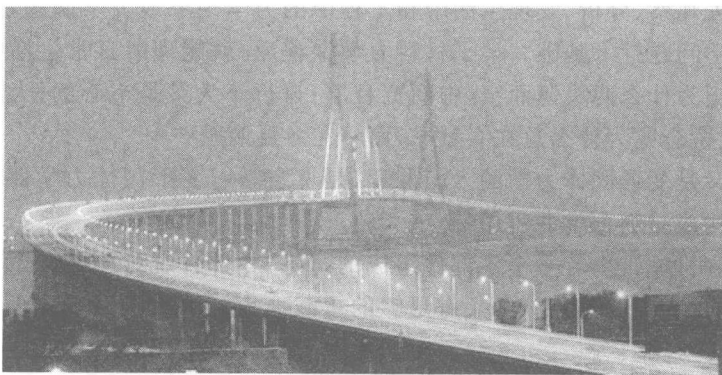


图 1.1

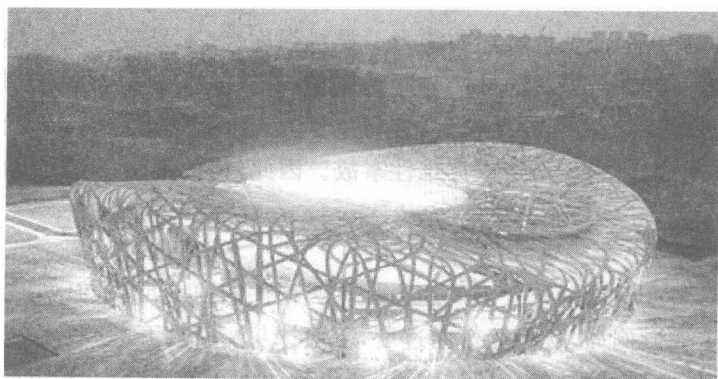


图 1.2

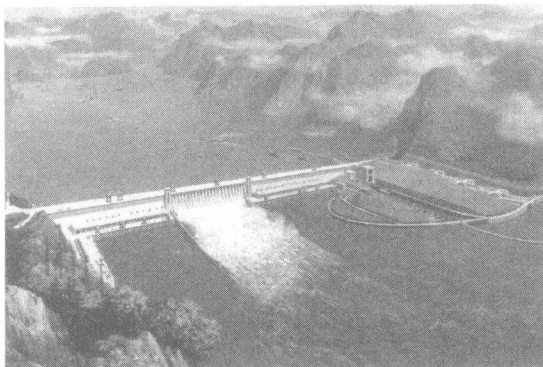


图 1.3

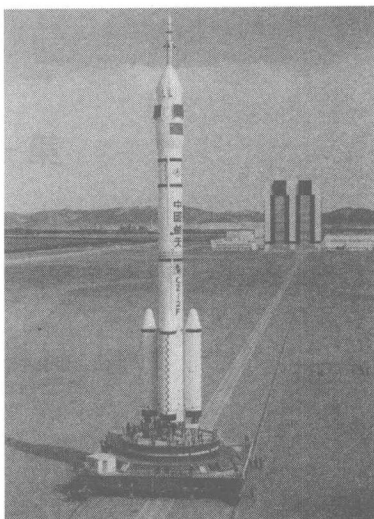


图 1.4

在自然界里,一切固体在力的作用下都会发生变形,甚至破坏,材料力学就是研究力对固体的变形、破坏的效应。通过材料力学课程的学习,可使学生逐步学会以力学的观点、原理、方法去观察、分析、发现生活中和工程中的力学现象或力学问题,为最终解决工程实际中的力学问题打下基础。学了材料力学课程后,就能理解日常生活中经常见到的现象,比如,扁担为什么两头薄而窄,中间宽且厚;自行车大梁是空心的;大型火箭为什么是捆绑式的;大桥合龙为什么总在春秋季节,而不在冬夏两季……

材料力学又是变形固体力学的入门课程,是奠定学习变形固体力学课程的基础。应用性和基础性构成材料力学课程的特点。

工程结构和机械是由若干个零部件组成的,这些零部件统称构件。工程结构或机械正常工作时,构件在力的作用下必须有足够的承载能力。承载能力具体表现在以下三个方面。

1. 具有足够的强度

强度是指材料或构件抵抗破坏的能力。材料强度高,不易破坏;材料强度低,较易破坏。对于构件,若其尺寸、材料的性能与所受荷载不相适应,如机器的传动轴的直径太小,起吊货物的绳索太细,当传递功率较大、货物过重时,传动轴和绳索就可能因强度不够而发生断裂,无法正常工作,甚至造成灾难性事故。因此,构件必须具有足够的强度。

2. 具有足够的刚度

刚度是指材料或构件抵抗变形的能力。有时构件的强度足够,但变形如果过大,仍不能保证其正常工作。例如,楼板梁弯曲过度,下面抹灰层就会开裂、脱落;机床主轴变形过大,则影响加工精度;齿轮轴的变形过大,破坏齿轮间的正常啮合,会引起轴承的不均匀磨损,从而造成机器不能正常工作。因此,在工程中,根据不同的用途,应保证构件在荷载作

用下产生的变形不超过一定的范围,即要求构件具有一定的刚度。

3. 具有足够的稳定性

稳定性是指构件保持原有平衡状态的能力。细长直杆受压,当压力超过某值时,直杆会突然变弯,由直线的平衡状态转为曲线的平衡状态,这种现象称为**失稳**。构件失稳往往会造成灾难性事故,例如桥梁结构的受压杆件失稳,可导致桥梁结构局部或整体塌毁。因此,工程上要求构件在规定的荷载下,不能发生失稳现象,即具有足够的稳定性。

足够的强度、足够的刚度和足够的稳定性是保证构件安全、正常工作的基本要求。一般来说,增大构件的截面尺寸,选用优质材料有利于提高构件的强度、刚度和稳定性,但同时也增加了材料的用量,提高了造价,违背了经济原则。显然,过分强调安全会造成浪费,而片面的追求经济也可能造成设计不符合安全要求。可见,安全与经济是一对矛盾,材料力学的任务就是解决这对矛盾。具体地说,材料力学主要任务是研究构件在外力作用下的受力、变形与破坏规律,为合理设计构件提供有关强度、刚度和稳定性分析的基本理论与计算方法。

1.1.2 材料力学的研究对象

工程实际中的构件,形状多种多样,按照其几何特征,可分为杆、板、壳、块体四种,如图 1.5 所示。

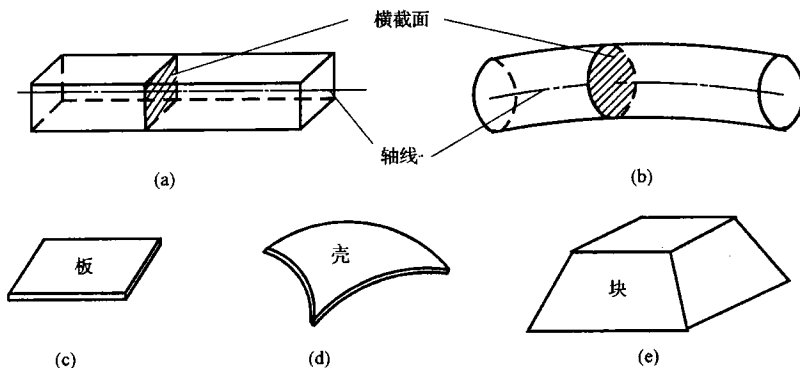


图 1.5

一个方向的尺寸远大于其他两个方向尺寸的构件,称为**杆件**。杆件有两个主要几何要素,轴线与横截面,轴线通过横截面的形心,横截面与轴线垂直。若杆轴线为直线,此杆称为**直杆**[图 1.5(a)];轴线为曲线时,则称为**曲杆**[图 1.5(b)]。各横截面尺寸相同的杆件称为**等截面杆**;横截面尺寸不同的杆,称为**变截面杆**。杆件是工程中最常见、最基本的构件,一般来说,梁、柱、传动轴、支撑杆等都可以抽象为杆件。杆件是材料力学研究的主要对象。

一个方向的尺寸远小于其他两个方向的尺寸的构件,称为**板件**。平分板件厚度的几何面,称为**中面**。中面为平面的板件称为**板**[图 1.5(c)];中面为曲面的板件称为**壳**[图 1.5(d)]。三个方向的尺寸都在同一个数量级上的构件,称为**块**[图 1.5(e)]。板件与块一般在弹性力学中讨论。

1.2 材料力学的基本假设

材料力学是以变形体的宏观力学性质为基础,并不涉及其微观结构。为了研究的方便,必须忽略与所研究问题无关的或次要的因素,才能达到研究目的。为此在材料力学的研究中,对变形固体物性和变形提出如下基本假设。

1. 连续性假设

假设在构件所占有的空间内毫无空隙地充满了物质,即认为是密实的。根据这一假设,一些力学量(例如各点的位移、应力等)即可用坐标的连续函数表示。而且,无论取多么小的一个体积研究都是可能的,可以采用无限小的数学分析方法。

2. 均匀性假设

材料在外力作用下所表现的性能,称为材料的力学性能或机械性能。在材料力学中,假设构件内各处材料的力学性能都相同,即认为是均匀的。根据这一假设,材料的力学性能与其在构件中的位置无关。因此,从构件内部任何部位所切取的微小单元体,都具有与构件完全相同的性质。同样,通过试样所测得的材料性能,也可用于构件内的任何部位。

3. 各向同性假设

假设构件内材料沿各个方向具有相同的力学性能,即材料的性能与方向无关。沿各个方向具有相同力学性能的材料,称为各向同性材料。

实际上,任何材料在微观上都是不连续的、不均匀的和各向异性的。例如,金属材料是由晶粒组成的,各晶粒的性质是有差异和具有方向性的,并且各晶粒内部及晶粒之间是有空隙的。再例如混凝土材料是由水泥、砂和碎石混合而成的,直观视觉就能观察到它的不均匀性。但是,一个构件尺寸要比金属的晶粒或混凝土的骨架尺寸大得多,按照统计学的观点,对于晶粒无序排列的金属和搅拌很好的混凝土,宏观视为连续、均匀和各向同性的材料是完全合理的。

但应注意,有些材料只在某一方向上才有相同的性质,称为单向同性材料,例如各种轧制的钢筋、冷拉的钢丝以及纤维整齐的木材等都是单向同性材料。而胶合板、纺织品等则是各向异性材料。

4. 小变形假设

假设构件因外力作用而产生的变形远远小于其原始尺寸。根据这个假设,在研究平衡问题时,就可以忽略构件的变形的影响,按其原始尺寸进行分析,使问题得以简化。另外,我们在考察构件的变形和位移时,还会出现一些变形量的高次方项,根据小变形假设可以把它们略去不计,使问题得以简化,而由此引起的误差却是极微小的。

综上所述,我们可以将实际构件看作是连续、均匀和各向同性的变形体,并且构件发生的变形属于小变形范畴。实践表明,在此基础上所建立的理论与分析计算结果,符合工程要求。

1.3 外力及其分类

材料力学的研究对象是构件,对于所研究的对象来说,其他构件与物体作用于其上的力均为外力。外力包括荷载与约束力。一般地说,荷载属于主动力,约束力属于被动力,约束力是约束为了阻止物体因荷载作用产生的运动趋势所起的反作用,其性质、方向由约束的形式决定,其大小则与荷载的大小和作用方式有关。

作用于构件上的外力,按其作用方式可分为表面力和体积力。作用在构件表面上的外力,称为**表面力**;例如,作用于船体上的水压力和作用于桥墩上的风压力等。连续分布在构件内部各点的外力,称为**体积力**;例如,构件的自重和惯性力等。作用于构件上的表面力,按其作用范围可分为分布力与集中力。连续分布在构件表面某一范围的力,称为**分布力**。如果分布力作用面积远小于构件表面面积,或沿杆件轴线的分布范围远小于杆件的长度,可将分布力简化为作用于一点的力,称为**集中力**。

作用于构件上的荷载,按其随时间变化的情况,可分为静荷载与动荷载。大小、位置和方向不随时间变化或变化极为缓慢的荷载,称为**静荷载**。例如,作用在土建、水利工程建筑物上的土压力和水压力等。大小、位置和方向随时间变化显著,使结构产生明显加速度的荷载,称为**动荷载**。例如,火车车轮对桥梁的冲击力、锻造气锤对杆件的冲击力及地震引起的冲击波的压力等。

1.4 内力与应力

1.4.1 内力及截面法

在外力作用下,构件发生变形,同时,构件内部相连各部分之间产生相互作用力。由于外力作用,构件相连两部分之间的相互作用力,称为**内力**。构件的强度、刚度及稳定性,与内力的大小及其在构件内的分布情况密切相关。因此,内力分析是解决构件强度、刚度与稳定性问题的基础。

如图 1.6(a) 所示杆件,在外力作用下处于平衡。欲求横截面 $m-m$ 上的内力,可假想地沿该截面将杆件切开,取其中的任一部分作为研究对象,在截面处用内力代替另一部分对它的作用。由材料的连续性假设可知,内力是作用在切开截面上的连续分布力系[图 1.6(b)]。

应用力系简化理论,将上述分布内力向横截面的形心 C 简化,得主矢 F_R 与主矩 M [图 1.7(a)]。为了分析内力,沿截面轴线建立 x 轴,在所切截面建立 y 轴与

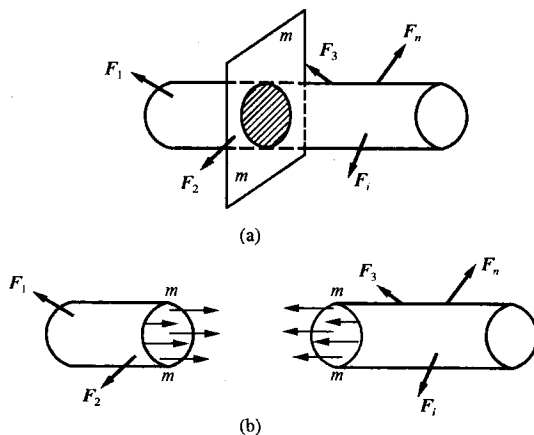


图 1.6