

普通高等教育“十三五”规划教材

土木工程类系列教材



材料力学

樊友景 杜云海 主编

清华大学出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

土木工程类系列教材

材料力学

樊友景 杜云海 主编



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书为适应应用型本科院校水土类专业的材料力学课程教学需要而专门编写,根据专业特点精选内容,并力图做到内容更精练、方法更明确,以利于实现学生在今后课程学习或实际工作中够用、会用的培养目标。内容共10章,包括绪论、拉伸与压缩、平面图形的几何性质、扭转、弯曲内力、弯曲应力及强度计算、弯曲变形、应力状态与强度理论、组合变形和压杆稳定等。每章均附有适量思考题与习题及习题参考答案,书末附有型钢数据表,并配有多媒体教学课件。

本书可作为应用型高校水土类各本科专业的课程教材,也可作为工程技术人员的参考用书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/樊友景,杜云海主编. —北京:清华大学出版社,2017
(普通高等教育“十三五”规划教材.土木工程类系列教材)
ISBN 978-7-302-45999-6

I. ①材… II. ①樊… ②杜… 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(2016)第316430号

责任编辑:秦娜 赵从棉

封面设计:陈国熙

责任校对:赵丽敏

责任印制:杨艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

社总机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:三河市中晟雅豪印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:13.25

字 数:318千字

版 次:2017年2月第1版

印 次:2017年2月第1次印刷

印 数:1~2500

定 价:36.00元

产品编号:072227-01

在我国当前的高等教育改革大潮中,应用型人才培养问题成为广大高教工作者的热点讨论问题。应用型本科院校的教学改革如何改,首先需弄清两个关键词,即“应用型”和“本科”。所谓应用型,就是应用型院校培养的人才出去以后要上手快,这样才能够受到用人单位欢迎。因此,要适当加大实践、实训教学的时数,而压缩理论课的教学时数。所谓本科,意味着它不同于高职高专的技能性训练,学生要具有扎实的理论基础和专业素养,对自己所从事的专业技术,不仅知其然,还要知其所以然,这样才能后劲大,接受新知识、新技术、新工艺的能力强,并有所创新。

本教材就是针对水土类应用型本科材料力学课程教学的需要而编写的。教材内容以后续课程和工程应用所需的材料力学内容为主,编写风格力图适应应用型本科学生的知识基础、理解能力和学习特点,着重阐述对知识的理解和应用,公式和方法的用途、适用范围、解题步骤等。本书编写时对课程教学内容的系统性进行了改革,突出工程应用和其与相关课程的联系,淡化复杂的公式推导。如杆件内力计算和内力图的绘制、超静定问题的求解等内容,改变了传统的材料力学讲授方式,按照结构力学和工程应用中的处理方法讲授;在讲横截面应力计算公式时,突出由横截面上的内力(轴力、弯矩、扭矩、剪力)推导应力(正应力、切应力)的分析思路、应力计算公式的应用,具体推导过程作为带星号内容,不作必需的教学内容。精讲多练,例题紧扣教学内容和实际应用,解题思路清晰,解题步骤明确。习题也紧扣教学内容,与例题相仿或略有拓展,尽可能避免难题、怪题和需要绕圈子求解的问题,以适应应用型高校学生的学习能力和实际需求。

本书内容由10章组成:第1章为绪论,介绍材料力学的研究对象、任务、基本假设和基本概念;第2章为拉伸与压缩,主要介绍拉压杆轴力计算、轴力图画法、拉压杆强度与刚度的计算,以及拉压杆连接件的剪切与挤压实用强度计算;第3章为平面图形的几何性质,为后继章节所涉及的截面几何性质作知识准备;第4章为扭转,介绍扭转轴的扭矩计算、扭矩图画法、扭转强度与刚度的计算;第5章为弯曲内力,介绍梁的剪力弯矩计算、剪力图与弯矩图画法;第6章为弯曲应力及强度计算,介绍平面弯曲梁的弯曲应力与强度计算;第7章为弯曲变形,介绍梁变形与刚度计算;第8章为应力状态与强度理论,介绍应力状态与常用强度理论;第9章为组合变形,介绍常见的组合变形强度计算;第10章为压杆稳定,介绍压杆的临界力、临界应力与稳定性计算。

本书由郑州工业应用技术学院樊友景、杜云海主编,郑州工业应用技术学院的谢晓杰与郑州科技学院路晓明参编。其中第1~3章由樊友景编写,第4、5章由谢晓杰编写,第6~8

章由杜云海编写,第 9、10 章由路晓明编写。全书由樊友景、杜云海全面通审通订。

本书的出版得到清华大学出版社、郑州工业应用技术学院和郑州科技学院的大力支持,在此表示诚挚的感谢!由于作者水平有限和时间仓促,全书成稿后难免存在一些不足与瑕疵,望读者阅后能及时给予批评指正。

编 者

2016.11

CONTENTS

第 1 章 绪论	1
1.1 材料力学的研究对象	1
1.2 变形固体的基本假设	2
1.2.1 连续性假设.....	2
1.2.2 均匀性假设.....	2
1.2.3 各向同性假设.....	2
1.2.4 小变形假设.....	2
1.3 材料力学的任务	3
1.3.1 构件的强度、刚度和稳定性要求	3
1.3.2 材料力学的任务.....	3
1.4 材料力学的基本概念	3
1.4.1 外力.....	3
1.4.2 内力.....	4
1.4.3 应力.....	5
1.4.4 位移与应变.....	6
1.5 杆件的基本变形和组合变形	7
小结.....	7
思考题.....	8
第 2 章 拉伸与压缩	9
2.1 拉伸与压缩的概念	9
2.2 轴力及轴力图.....	10
2.3 拉(压)杆的应力.....	12
2.3.1 拉(压)杆横截面上的应力	12
2.3.2 拉(压)杆斜截面上的应力	14
2.4 拉(压)杆的变形——胡克定律.....	15
2.5 材料在拉(压)时的力学性能.....	18
2.5.1 材料在拉伸时的力学性能	19

2.5.2 材料在压缩时的力学性能	22
2.6 拉(压)杆的强度计算	23
2.6.1 材料的强度指标	23
2.6.2 拉压杆的强度计算	24
2.7 轴向拉压时的超静定问题	28
2.8 应力集中的概念	30
2.9 连接件的实用强度计算	31
2.9.1 剪切与剪切实用计算	31
2.9.2 挤压实用计算	32
小结	35
思考题	36
习题	37
参考答案	41
第3章 平面图形的几何性质	42
3.1 平面图形的面积、静矩与形心	42
3.1.1 平面图形的面积	42
3.1.2 平面图形的静矩与形心	42
3.2 极惯性矩、惯性矩与惯性积	45
3.3 惯性矩的平行移轴公式及其应用	47
3.3.1 惯性矩的平行移轴公式	47
3.3.2 组合截面的惯性矩计算	48
3.3.3 截面的主轴和主惯性矩	49
小结	50
思考题	52
习题	53
参考答案	54
第4章 扭转	55
4.1 扭转的概念及外力偶矩的计算	55
4.1.1 扭转变形的概念	55
4.1.2 外力偶矩的计算	55
4.2 扭矩及扭矩图	56
4.3 圆轴扭转时的应力及其强度条件	59
4.3.1 圆轴受扭时横截面上的切应力公式	59
4.3.2 圆轴扭转时横截面上的切应力公式的推导	60
4.3.3 切应力互等定理	62
4.3.4 圆轴受扭时的强度计算	62
4.4 圆轴扭转时的变形及其刚度条件	63

4.5 矩形截面杆的自由扭转	65
小结	66
思考题	67
习题	68
参考答案	69
第5章 弯曲内力	70
5.1 梁的工程实例与计算简图	70
5.1.1 梁的工程实例	70
5.1.2 平面弯曲的概念	70
5.1.3 梁的计算简图	71
5.2 梁的内力——弯矩和剪力	73
5.3 梁的内力图	76
5.3.1 内力方程	76
5.3.2 内力图	76
5.4 作梁内力图的简易法	79
5.4.1 荷载与内力间的关系	79
5.4.2 内力图的形状特征	80
5.4.3 绘制内力图的简易法	81
5.5 作梁内力图的叠加法	83
5.5.1 简支梁的内力图叠加	83
5.5.2 任意直杆段的内力图叠加	84
5.5.3 利用叠加法作梁的内力图	84
小结	86
思考题	87
习题	88
参考答案	90
第6章 弯曲应力及强度计算	92
6.1 弯曲正应力公式	92
6.1.1 纯弯曲的概念	92
6.1.2 纯弯曲正应力公式	92
6.1.3 横力弯曲正应力公式	94
6.2 正应力强度计算	95
6.2.1 梁横截面中的最大正应力	95
6.2.2 正应力强度条件及其应用	96
6.3 梁的切应力及其强度计算	100
6.3.1 矩形截面梁的切应力	100
6.3.2 其他截面梁的切应力	103

6.3.3 梁的切应力强度条件·····	105
6.4 梁的合理设计·····	107
小结·····	109
思考题·····	110
习题·····	111
参考答案·····	113
第7章 弯曲变形 ·····	114
7.1 梁的变形·····	114
7.2 求梁位移的积分法·····	115
7.3 求梁位移的叠加法·····	119
7.4 梁的刚度校核及提高刚度的措施·····	122
7.4.1 梁的刚度校核·····	122
7.4.2 提高梁的刚度的措施·····	123
7.5 简单超静定梁·····	124
小结·····	125
思考题·····	126
习题·····	127
参考答案·····	128
第8章 应力状态与强度理论 ·····	130
8.1 应力状态的概念·····	130
8.2 平面应力状态分析的解析法·····	131
8.3 平面应力状态分析的几何法·····	135
8.4 空间应力状态简介·····	139
8.5 广义胡克定律·····	140
*8.6 复杂应力状态的应变能密度·····	143
8.7 强度理论·····	144
小结·····	149
思考题·····	151
习题·····	151
参考答案·····	153
第9章 组合变形 ·····	154
9.1 概述·····	154
9.2 斜弯曲·····	155
9.3 拉(压)弯组合·····	158
9.4 偏心拉压·····	161
9.4.1 偏心拉压的强度计算·····	161

9.4.2 截面核心.....	163
9.5 扭弯组合	165
小结.....	167
思考题.....	168
习题.....	169
参考答案.....	171
第 10 章 压杆稳定	172
10.1 压杆的稳定性概念	172
10.2 细长压杆的临界力	173
10.2.1 两端铰支细长压杆的临界力	173
10.2.2 其他支承条件下压杆的临界力	174
10.3 中小柔度杆的临界应力	177
10.4 压杆的稳定性计算	182
10.4.1 安全系数法	182
10.4.2 折减系数法	184
10.5 提高压杆稳定性的措施	184
小结	185
思考题	186
习题	187
参考答案	188
附录 型钢规格表	189
参考文献	200

绪 论

本章介绍材料力学的研究对象和研究任务,材料力学研究时对材料所作的基本假定,以及外力、内力、应力、位移、应变、基本变形和组合变形等概念。

1.1 材料力学的研究对象

工程结构和机械都是由一个个构件组成的,例如建筑物的梁、板、柱和机械中的传动轴和连杆等,统称为构件。实际工程中的构件按几何形状可归纳为图 1-1 所示的三种——板和壳、块体、杆件。

(1) 板和壳是指厚度远远小于表面尺寸的构件,若表面是平面称为板(见图 1-1(a)),表面是曲面称为壳(见图 1-1(b)),如建筑工程中的现浇楼板、屋面壳体结构等。

(2) 块体是指三个方向的尺寸大小相当的构件,如图 1-1(c)所示,如建筑工程中的独立基础、挡土墙等。

(3) 杆件是指长度方向的尺寸远大于其他两个方向的尺寸(一般 5 倍以上)的构件,如建筑工程中的梁、柱和机械中的传动轴等。与杆件的纵向垂直的截面称为横截面,各个横截面形心的连线称为轴线。若轴线为直线称为直杆(见图 1-1(d)),为曲线称为曲杆(见图 1-1(e))。若各个横截面均相同称为等截面杆,若横截面是变化的称为变截面杆。材料力学的研究对象主要是等截面直杆(等直杆)。

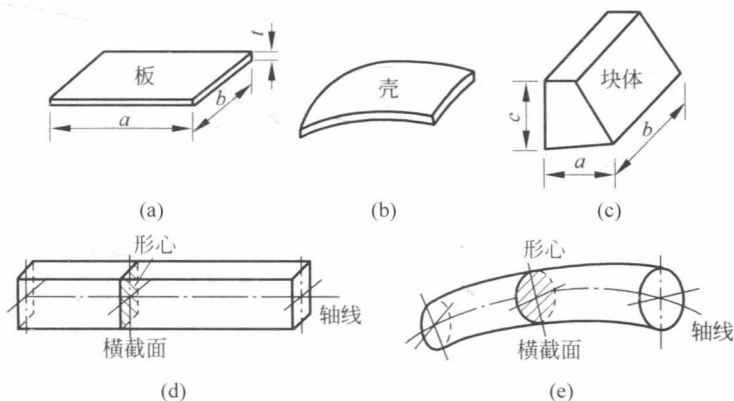


图 1-1

1.2 变形固体的基本假设

在外力作用下,一切固体材料都会发生变形,故称为**变形固体**。

变形固体的微观结构和性态是很复杂的,在分析工程结构的构件变形问题时,必须抓住主要的变形特征,略去次要的因素,将材料抽象为一种理想的模型。在材料力学中对变形固体做出如下基本假设。

1.2.1 连续性假设

连续性假设认为,变形固体内部是密实的,物质毫无空隙地充满其全部空间。实际上,从物质结构上看,材料的微小粒子之间存在着空隙,并不连续。但是,这些空隙与变形固体的尺寸相比已小到不可比较的程度,在宏观的研究中完全可以忽略不计。

有了连续性假设,物体的很多力学量可用位置坐标的连续函数表示,可以用微积分的处理方法进行分析。

1.2.2 均匀性假设

均匀性假设认为,变形固体的力学性能与材料的空间位置无关,即固体内各点具有相同的力学性能。以金属材料为例,组成金属的晶粒在力学性能上有所不同,但是金属材料是由许许多多的微小晶粒在空间内毫无规则地排列而成,材料所表现的性质是各种不同晶粒在各个方向力学性能的统计平均值。所以,作为整体而言,金属的力学性能在其分布的空间内可看作是均匀的。

根据均匀性假设,物体的力学性能可用物体内部切出的微小单元体来研究。

1.2.3 各向同性假设

各向同性假设认为,变形固体沿任何方向都有相同的力学性能。以金属材料为例,就单一的晶粒而言,沿各个方向的力学性能不尽相同,但组成金属材料的晶粒极多,又杂乱无章地排列着,在宏观研究中,并不显示出方向的差异。因此,可视为各向同性材料。常见的各向同性材料主要包括钢材、玻璃、混凝土等。

而木材顺纹方向和横纹方向的力学性能差别很大;三合板及纤维增强叠层复合材料,由于具有明显的层状结构而各方向力学性能很不相同。对于此类材料,各向同性假设明显不再适用,必须作为**各向异性材料**加以讨论。

1.2.4 小变形假设

小变形假设认为,构件受力变形后所产生的变形与构件尺寸相比是极其微小的。这样,在计算中,我们就能用变形前的构件尺寸和位置来代替变形后的尺寸和位置。

变形固体在承受荷载时会发生变形,随着荷载撤除而消失的那一部分变形称为**弹性变形**,而不能够消失,永远保留下来的变形称为**塑性变形**。

多数材料(金属、木材、混凝土)当受力不超过某一限值时,其塑性变形远小于弹性变形,可忽略塑性变形,认为材料是理想弹性体。工程结构中的构件在正常的工作条件下,一般都

可作为理想弹性体研究。

综上所述,在材料力学中,把组成构件的材料视为连续、均匀、各向同性的变形固体,并且在大多数情况下,局限在小变形和弹性范围内进行研究。这使得我们的分析与计算既简便实用,又满足工程计算的精度要求。

1.3 材料力学的任务

1.3.1 构件的强度、刚度和稳定性要求

为了保证工程结构和机械正常的工作,必须保证组成它们的每个构件都能安全正常的工作。这就需要所设计的构件在力学方面满足以下三方面的要求。

(1) 要求构件具有足够的**强度**。强度是指构件抵抗破坏的能力。强度要求是指构件在规定荷载作用下不应该破坏(塑性屈服和脆性断裂)。例如起吊货物的绳索过细,且货物过重时,绳索就可能因强度不足而发生断裂。

(2) 要求构件具有足够的**刚度**。刚度是指构件抵抗变形的能力。刚度要求是指构件在正常工作时产生的变形不应超过规定的范围,以免影响正常使用。如楼板梁变形过大,下面的抹灰层就会开裂、脱落;厂房的柱子或行车梁产生过大的变形都会影响吊车的正常行驶;机床主轴工作时若变形过大会引起齿轮啮合不良,产生噪声与振动,影响工件加工精度和机床寿命。

(3) 要求构件具有足够的**稳定性**。稳定性是指构件在荷载作用下能维持原有平衡形态的能力。如细长直杆受压时,当压力达到某一限值,直杆会突然变弯(失去原有的直线平衡形态)甚至弯曲折断而丧失工作能力。建筑结构中的柱、千斤顶的顶杆等,在压力作用下都有被压弯的可能,为了保证其正常工作,要求它们能始终保持直线平衡形态不变。

1.3.2 材料力学的任务

设计构件时,除了要求其满足强度、刚度和稳定性的要求,还需要考虑经济方面的问题。前者往往需要加大构件的横截面尺寸,多用材料、用强度高的材料,这就会导致建造成本的提高。而后者却要求节省材料,尽量降低材料成本。因此,安全与经济之间存在着矛盾。材料力学的任务就是为合理解决工程构件设计中安全与经济之间的矛盾,而提供必要的理论基础和计算方法。

构件的强度、刚度和稳定性问题与其所选用的材料的力学性能有关。而了解材料力学性能的基本途径就是材料试验。另外,还有些单靠理论分析解决不了的实际问题,也需要通过试验来解决问题。因此,材料力学是一门理论分析与试验研究相辅相成的学科,要学好材料力学,对理论和试验都应加以足够的重视。

1.4 材料力学的基本概念

1.4.1 外力

构件以外其他物体对构件的作用力称为构件所受的外力(包括荷载和支反力)。按其作用方式不同可简化为分布力和集中力。例如图 1-2 中桥梁的自重和桥面的重量可简化为桥

梁沿纵向的分布荷载,单位是 N/m 或 kN/m 。汽车的轮压可简化为作用在桥梁的集中力,单位是 N 或 kN 。

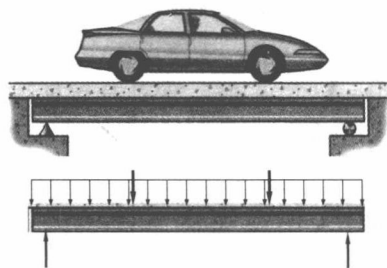


图 1-2

1.4.2 内力

我们知道,即使不受外力,物体内的各质点之间,依然存在着相互作用的力。材料力学中所说的内力是指,物体因受外力作用而变形,其内部各部分之间因相对位置改变而引起的相互作用力的变化量,称为附加内力,简称内力。这样的内力随外力的增加而加大,到达某一定程度时就会引起构件破坏。因而内力的分析计算与构件的强度、刚度和稳定性问题密切相关。

为了显示和求解构件(物体)在外力作用下(见图 1-3(a))某截面上的内力,假想用平面把构件截开分成两部分,任取其中一部分作为研究对象(见图 1-3(b)),舍去另一部分(见图 1-3(c))。为了使留下部分仍然保持平衡,用内力代替舍去部分对留下部分的作用,利用平衡条件即可求出内力的大小和方向。这种显示和求解构件内力的方法称为截面法。截面法是力学中研究受力构件内力的最基本方法,其求解步骤可概括为四个字:截、取、代、平:

- (1) **截**: 在欲求内力的截面处,假想地将杆件截开分为两部分;
- (2) **取**: 取一部分作为研究对象,舍去另一部分;
- (3) **代**: 用内力代替舍去部分对留下部分的作用;
- (4) **平**: 根据留下部分的平衡方程,求解截面的内力。

一般情况下,把截面上分布内力系向截面形心简化的结果(主矢和主矩)称为截面内力。

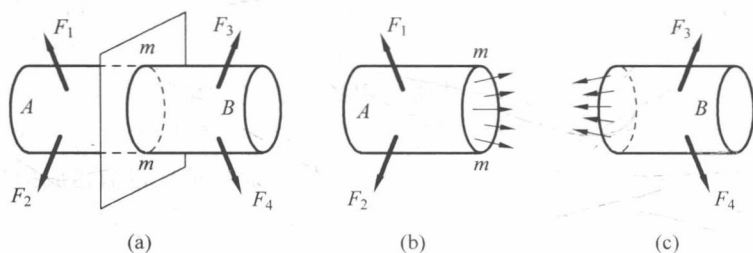


图 1-3

【例 1-1】 求例 1-1 图(a)所示拉杆中 1—1、2—2 截面的内力。

解: (1) 取分离体。假想沿 1—1 截面将杆件截为两部分,取一部分(现取左部分)为研究对象。

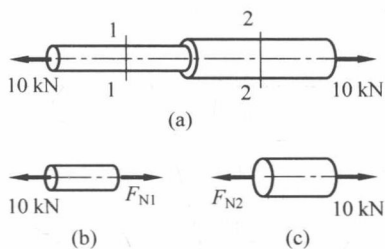
(2) 画受力图。外力照原样画,舍去部分对留下部分的作用,用内力合力代替。考虑到

分离体的平衡,1—1截面的内力应与外力共线。受力图如图例1-1图(b)所示。

(3) 列平衡方程。由 $\sum F_x = 0$, $F_{N1} - 10 = 0$, 得 $F_{N1} = 10 \text{ kN}$ 。

(4) 同样取2—2截面以右为分离体,画出受力图,如图例1-1图(c)所示。由 $\sum F_x = 0$, $10 - F_{N2} = 0$, 得 $F_{N2} = 10 \text{ kN}$ 。

注意: 求截面内力,既可以取截面以左为分离体,也可以取截面以右为分离体。为了方便,常取受力简单的一侧为分离体。



例 1-1 图

1.4.3 应力

例1-1中的拉杆的左右两段材料相同,当外力增大时,尽管两段内力一样,一定是较细的那一段先断。这是因为,截面内力是截面上分布内力系的合力,并不能表明截面上各点受力的强弱程度,所以仅仅知道内力的大小还不能判断构件的强度是否足够。为了解决构件的强度问题,不仅需要知道截面内力,还需要进一步研究内力在截面上的分布情况。截面各点处内力的分布集度,即为应力。

在受力构件的任意截面上的任一点 P 处取一微小面积 ΔA ,设在 ΔA 上受到的分布力的合力为 ΔF ,如图1-4所示。定义 ΔA 上的平均应力 p_m 为

$$p_m = \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

一般情况下,内力在截面上的分布是不均匀的。为了确切地描述 P 点内力分布集度,应使 ΔA 缩小并趋于零,平均应力 p_m 的极限值即为 P 点的应力 p ,有

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

应力 p 是矢量,通常把它分解成垂直于截面和相切于截面的两个分量 σ 和 τ 来表示,如图1-5所示,其中 σ 称为正应力, τ 称为切应力(或剪应力)。在国际单位制中,应力的单位是 Pa(帕), $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$,工程中常用 MPa(兆帕)或 GPa(吉帕)为单位, $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$, $1 \text{ GPa} = 10^9 \text{ Pa}$ 。

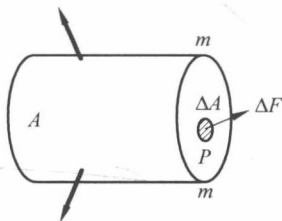


图 1-4

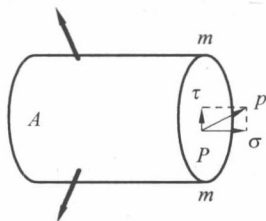


图 1-5

$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa} = 10^6 \text{ N/m}^2 = 10^6 \text{ N}/10^6 \text{ mm}^2 = 1 \text{ N/mm}^2$,在涉及应力的计算公式中,若力的单位用 N,长度的单位用 m,则应力的单位就是 Pa;若力的单位用 N,长度的单位用 mm,则应力的单位就是 MPa;若力的单位用 kN,长度的单位用 mm,则应力的单位就是

GPa, 如表 1-1 所示。

表 1-1 单位对应表

力的单位	长度单位	应力单位
N	m	Pa
N	mm	MPa
kN	mm	GPa

1.4.4 位移与应变

构件在外力作用下的变形程度用位移和应变来度量。

1. 位移

构件受力发生变形后, 构件内的点和截面的空间位置发生的改变称为位移。构件变形后, 点的位置移动叫作线位移, 截面转过的角度叫作角位移。例如图 1-6(a) 所示构件中 A 点的线位移为 Δ , $m-m$ 截面的转角为 θ 。

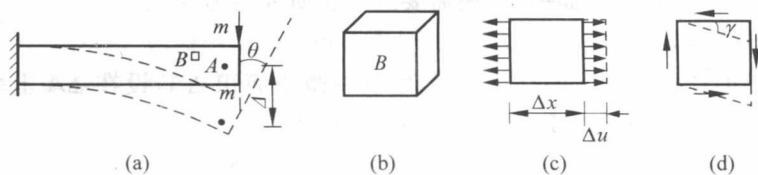


图 1-6

2. 应变

构件在外力作用下的变形分为尺寸的改变和形状的改变。在图 1-6(a) 所示构件中 B 点取出微小的正六面体, 如图 1-6(b) 所示, 在外力作用下其边长将发生变化(见图 1-6(c))。与 x 轴平行的棱边原长为 Δx , 变形后变为 $\Delta x + \Delta u$, Δu 是沿 x 方向原长为 Δx 的线段的总伸长量。由于 Δu 的大小与原长度 Δx 有关, 不能完全表明 x 方向线段的变形程度。则用比值 $\epsilon_m = \Delta u / \Delta x$ 表示 x 方向线段单位长度的平均伸长量, 称为平均应变。一般情况下各点的变形并非均匀的, 因而平均应变与所取线段的长度有关。为了消除这种影响, 取在线段长度 Δx 趋于零时平均应变的极限, 有

$$\epsilon = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \epsilon_m = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta x} \quad (1-2)$$

用 ϵ 表示 B 点沿 x 方向变形的程度, 称为沿 x 方向的线应变(简称应变)。伸长时线应变为正, 缩短时线应变为负。

构件中 B 点取出的微小正六面体, 其形状也会发生变化(见图 1-6(d))。变形后, 棱边与棱边间所夹的直角的角度改变量称为切应变 γ 。直角减小时, 切应变 γ 取正, 直角变大时, 切应变 γ 取负。 γ 用弧度(rad)来度量。

线应变和切应变是度量构件内一点处变形程度的两个基本量。它们都是无量纲的量, 或说其量纲为 1。

1.5 杆件的基本变形和组合变形

杆件的受力情况是多种多样的,变形形式也随之不同。但是杆件的变形总可以归纳为轴向拉伸与压缩、剪切、扭转、弯曲四种基本变形,和同时发生两种或两种以上基本变形的组合变形。

(1) 轴向拉伸与压缩变形

若直杆在其两端承受一对大小相等、方向相反的集中力 F 作用,则直杆的变形主要是轴线长度的增大或缩小,这种变形称为轴向拉伸或压缩变形,如图 1-7(a)、(b)所示。

(2) 剪切变形

若杆件上作用有一对作用线相距很近,且大小相等、方向相反的横向外力,则杆件发生的变形主要是剪切变形,如图 1-7(c)所示。剪切变形的主要形式是相邻横截面发生垂直于轴线方向的相对错动,剪切常常与其他形式的变形同时发生。

(3) 扭转变形

若杆件上作用有一对转向相反、作用在与杆轴线垂直的平面内的外力偶,则杆件的变形主要为扭转变形,如图 1-7(d)所示。此时,杆件的相邻横截面发生绕各自形心的相对转动,即绕轴线转动。杆件表面上与轴线平行的纵向线变形为螺旋曲线,而轴线保持直线不变。机械中传动轴的变形就是以扭转变形为主的。

(4) 弯曲变形

杆件中包含轴线在内的平面称为纵向平面,若一对转向相反的外力偶作用在杆件的纵向平面之内,则杆件的变形称为弯曲变形。此时,杆件的轴线由直线变为曲线,相邻的横截面不再保持相互平行,而是绕着与轴线垂直的轴发生相对转动。在一对弯曲外力偶作用下,杆件将只发生弯曲,不发生剪切,称为纯弯曲,如图 1-7(e)所示。在横向力的作用下,梁的变形是弯曲和剪切的组合,称为横力弯曲。

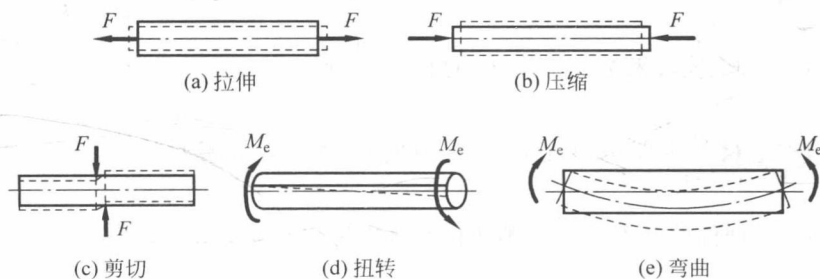


图 1-7

一般来说,工程中的构件在荷载作用下常常发生两种或两种以上的基本变形,这种变形情况称为组合变形。在下面各章中先讨论每一种基本变形,然后再分析组合变形问题。

小结

1. 变形固体的基本假设

连续性假设;均匀性假定;各向同性假设;完全弹性假设。