



普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

材料力学

主编 何芝仙 崔建华
主审 苗张木



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

材 料 力 学

主 编 何芝仙 崔建华
副主编 谢华刚 张 岩 吴坤铭
主 审 苗张木



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/何芝仙,崔建华主编. —武汉:武汉大学出版社,2013.7
普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材
ISBN 978-7-307-10781-6

I. 材… II. ①何… ②崔… III. 材料力学—高等学校—教材 IV. TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 100418 号

责任编辑:希 文 责任校对:余 梦 装帧设计:吴 极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:武汉鑫泰和印务有限责任公司

开本:850×1168 1/16 印张:17 字数:465 千字

版次:2013 年 7 月第 1 版 2013 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-10781-6 定价:32.00 元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材 编审委员会

(按姓氏笔画排名)

顾问:干 洪 朱大勇 任伟新 张伟林 程 桦 颜事龙

主任委员:丁克伟 徐 颖 高 飞

副主任委员:戈海玉 方达宪 孙 强 杨智良 陆 峰 胡晓军

殷和平 黄 伟

委员:马芹永 王 睿 王长柏 王佐才 韦 璐 方诗圣

白立华 刘运林 关 群 苏少卿 李长花 李栋伟

杨兴荣 杨树萍 肖峻峰 何夕平 何芝仙 沈小璞

张 洵 张 速 张广锋 陈 燕 邵 艳 林 雨

周 安 赵 青 荣传新 姚传勤 姚直书 袁文华

钱德玲 倪修全 郭建营 黄云峰 彭曙光 雷庆关

总责任编辑:曲生伟

秘 书 长:蔡 巍

特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导的模式而成为一次建设性、发现性的学习,从被动学习而成为主动学习,由教师传播知识而到学生自己重新创造知识。这无疑是锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。

本系列教材在相关编写人员的配合下,将逐步配备基本数字教学资源,其主要内容包括:

课程教学指导文件

- (1)课程教学大纲;
- (2)课程理论与实践教学时数;
- (3)课程教学日历:授课内容、授课时间、作业布置;
- (4)课程教学讲义、PowerPoint 电子教案。

课程教学延伸学习资源

- (1)课程教学参考案例集:计算例题、设计例题、工程实例等;
- (2)课程教学参考图片集:原理图、外观图、设计图等;
- (3)课程教学试题库:思考题、练习题、模拟试卷及参考解答;
- (4)课程实践教学(实习、实验、试验)指导文件;
- (5)课程设计(大作业)教学指导文件,以及典型设计范例;
- (6)专业培养方向毕业设计教学指导文件,以及典型设计范例;
- (7)相关参考文献:产业政策、技术标准、专利文献、学术论文、研究报告等。

基本数字教学资源网站链接:<http://www.stmpress.cn>

前言

根据高等学校土木工程学科专业指导委员会制定的《土木工程卓越工程师教育培养计划行业专业标准》(试行)和教育部高教司理工处制定的《卓越工程师教育培养计划通用标准》对本科土木工程专业“材料力学”课程的要求,结合安徽省土木工程“卓越工程师教育培养计划”教学改革的需要,编写了这部《材料力学》教材,适合总学时为 90 学时的土木工程专业使用,土建类相近专业也可使用。

本教材编写过程中以“必需、够用为度”的原则选择内容,注重土木工程专业“卓越工程师教育培养计划”对“材料力学”课程的教学需要,尽量从土木工程实例入手,阐述材料力学的基本概念和基本方法。在本教材编写过程中也注重及时吸收安徽省各高校“材料力学”课程的教学改革成果。本书共分正文 12 章和 5 个附录,包括绪论,轴向拉伸与压缩、剪切与挤压、扭转、弯曲等基本变形、应力状态与强度理论,组合变形,压杆稳定,能量方法,动荷载与交变应力,电阻应变测量等内容。

本教材由安徽工程大学何芝仙、安徽建筑大学崔建华担任主编;铜陵学院谢华刚、合肥学院张岩、皖西学院吴坤铭担任副主编;安徽新华学院叶中豹、皖西学院杨富莲、安徽建筑大学葛大丽担任参编。

具体编写分工为:

安徽工程大学,何芝仙(前言、第 12 章);

皖西学院,吴坤铭(第 1 章、第 8 章);

安徽建筑大学,葛大丽(第 2 章、第 9 章);

铜陵学院,谢华刚(第 3 章、第 5 章);

皖西学院,杨富莲(第 4 章、附录Ⅲ);

合肥学院,张岩(第 6 章、第 7 章、附录Ⅳ、附录Ⅴ);

安徽新华学院,叶中豹(第 10 章、附录Ⅰ、附录Ⅱ);

安徽建筑大学,崔建华(第 11 章)。

武汉理工大学博士生导师苗张木教授担任本书主审,并对本书的编写提出了许多宝贵的建议,特致谢意。

在本书的编写过程中参考了有关书籍,并从中引用了部分例题和习题,在此对这些书籍的作者表示感谢。

书中如有不妥之处,敬请读者提出指正。

编 者

2013 年 2 月

目录

1 绪论	(1)
1.1 材料力学的研究对象与任务	(2)
1.2 可变形固体的性质及其基本假设	(2)
1.3 杆件变形的形式	(3)
2 轴向拉伸与压缩	(6)
2.1 轴向拉伸与压缩的概念	(7)
2.2 轴向拉伸与压缩时横截面上的内力	(7)
2.3 轴向拉(压)杆截面上的应力	(9)
2.4 材料在拉伸与压缩时的力学性能	(13)
2.5 轴向拉伸与压缩时的强度条件	(17)
2.6 拉伸(压缩)杆件的变形与胡克定律	(19)
2.7 拉伸(压缩)杆件的应变能	(24)
2.8 拉伸与压缩的超静定问题	(25)
2.9 应力集中现象	(31)
知识归纳	(32)
独立思考	(32)
习题	(33)
参考文献	(40)
3 剪切与挤压	(41)
3.1 剪切与挤压的概念	(42)
3.2 剪切与挤压的实用计算	(43)
知识归纳	(46)
独立思考	(46)
习题	(46)
参考文献	(47)
4 扭转	(48)
4.1 扭转的概念	(49)
4.2 传动轴的外力偶矩、扭矩及扭矩图	(50)
4.3 薄壁圆筒的扭转	(53)
4.4 等直圆杆扭转时的应力和强度条件	(55)
4.5 等直圆杆扭转时的变形与刚度条件	(61)
4.6 扭转超静定问题	(65)
4.7 矩形截面杆自由扭转时的应力和变形	(67)
知识归纳	(70)

独立思考	(70)
习题	(72)
参考文献	(75)
5 弯曲内力	(76)
5.1 对称弯曲的概念、梁的分类与计算简图	(77)
5.2 梁的内力计算	(79)
5.3 剪力方程和弯矩方程、剪力图和弯矩图	(82)
5.4 荷载、剪力和弯矩间的关系	(84)
5.5 叠加法作弯矩图	(89)
知识归纳	(90)
独立思考	(91)
习题	(92)
参考文献	(94)
6 弯曲应力	(95)
6.1 梁横截面上的正应力、弯曲正应力强度条件	(96)
6.2 梁横截面上的切应力、弯曲切应力强度条件	(103)
6.3 梁的合理设计	(109)
知识归纳	(111)
独立思考	(112)
习题	(113)
参考文献	(115)
7 弯曲变形	(116)
7.1 梁的弯曲变形概念	(117)
7.2 梁的挠曲线近似微分方程及其积分法求解	(117)
7.3 用叠加法计算梁的变形	(121)
7.4 梁的刚度条件及合理刚度设计	(123)
7.5 简单超静定梁的求解	(125)
知识归纳	(127)
独立思考	(127)
习题	(128)
参考文献	(129)
8 应力状态与强度理论	(130)
8.1 应力状态的概念	(131)
8.2 平面应力状态分析	(131)
8.3 广义胡克定律与应变能	(138)
8.4 强度理论及其相当应力	(144)
8.5 各种强度理论的应用	(146)
知识归纳	(148)
独立思考	(148)
习题	(149)

参考文献	(151)
9 组合变形	(152)
9.1 组合变形的概念	(153)
9.2 斜弯曲	(153)
9.3 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	(158)
9.4 弯曲与扭转的组合变形	(165)
知识归纳	(168)
独立思考	(169)
习题	(170)
参考文献	(174)
10 压杆稳定	(175)
10.1 压杆稳定的概念和工程实例	(176)
10.2 两端铰支细长中心受压压杆的临界力、欧拉公式	(177)
10.3 其他支承情况下细长压杆的临界力	(178)
10.4 临界应力和欧拉公式的适用范围、临界应力总图	(181)
10.5 压杆稳定性条件	(186)
10.6 提高压杆稳定性的措施	(189)
知识归纳	(190)
独立思考	(190)
习题	(191)
参考文献	(192)
11 能量方法	(193)
11.1 能量法的基本概念	(194)
11.2 应变能	(194)
11.3 卡氏定理	(202)
11.4 用能量法解超静定问题	(206)
11.5 虚位移原理与单位力法	(209)
知识归纳	(213)
独立思考	(213)
习题	(214)
参考文献	(216)
12 动荷载与交变应力	(217)
12.1 动荷载的概念	(218)
12.2 构件做匀加速直线运动或匀速转动时的动应力计算	(218)
12.3 构件受冲击荷载作用时的动应力计算	(221)
12.4 交变应力与疲劳破坏	(225)
12.5 对称循环变应力下构件的疲劳强度计算	(227)
知识归纳	(229)
独立思考	(230)
习题	(231)

参考文献	(233)
附录 I 截面的几何性质	(234)
I.1 截面的静矩与形心	(234)
I.2 极惯性矩、惯性矩、惯性积	(235)
I.3 平行移轴公式、组合截面的惯性矩与惯性积	(237)
I.4 转轴公式、截面的主惯性轴和主惯性矩	(238)
知识归纳	(240)
独立思考	(240)
习题	(241)
参考文献	(242)
附录 II 常见截面的几何性质	(243)
附录 III 电阻应变测量技术基础	(244)
III.1 电阻应变片	(244)
III.2 静态电阻应变仪	(245)
III.3 静态电阻应变测量	(247)
参考文献	(249)
附录 IV 常用型钢规格表	(250)
附录 V 简单荷载作用下梁的挠度和转角	(259)



绪 论

课前导读

□ 内容提要

本章主要内容为材料力学的研究对象与任务、可变形固体的性质及其基本假设。本章的教学重点为材料力学的基本假设和杆件的基本变形形式。本章的教学难点为杆件的基本变形形式。

□ 能力要求

通过本章的学习，学生应明确材料力学的任务，掌握可变形固体的基本假设、杆件变形的基本形式。

1.1 材料力学的研究对象与任务

建筑物或构筑物承受荷载并起骨架作用的部分称为结构,结构由若干个构件组成。各种建筑结构、设备等在使用时,组成它们的每个构件都要受到相邻构件或其他构件传递来的荷载作用。保证结构正常工作,就必须要求组成结构的每一个构件均能正常工作,即满足正常使用要求。构件不能正常工作称为失效,如构件因承受的荷载过大而导致的断裂,细长受压杆件在一定的轴向受压荷载作用下发生的失稳等。为保证各种构件在实际使用时能正常工作,构件须具备下列三项基本要求。

(1) 满足强度要求

构件在荷载作用下不发生脆性断裂或塑性屈服,即构件应具有足够的抵抗破坏的能力。所谓强度,是指构件具有的抵抗破坏的能力。

(2) 满足刚度要求

构件在荷载作用下的变形不超过工程允许的范围,即构件应具有足够的抵抗变形的能力。所谓刚度,是指构件具有的抵抗变形的能力。

(3) 满足稳定性要求

承受荷载作用时,构件在其原有形态下的平衡应保持为稳定平衡。承受荷载作用时,构件不能保持在其原有形态下的稳定平衡称为失稳。所谓稳定性,是指构件具有的抵抗失稳的能力。

实际工程中,由于构件的承受荷载和工作环境的多样性与复杂性,导致构件的失效形式也是多种多样的,但主要失效形式就是上述三种形式。

构件除了应满足强度、刚度和稳定性要求,即满足安全的要求外,还要满足一定的经济性要求。工程中安全与经济是一对矛盾,而要解决构件设计安全与经济这对矛盾,就必须研究构件的承载能力。材料力学是一门研究构件承载能力的科学,它以构件为研究对象,其主要任务是在保证构件正常工作的前提下,以最经济的代价,为构件确定合理的形状和尺寸,选择适宜的材料,而提供必要的理论基础和计算方法。材料力学的主要内容是研究构件的强度、刚度和稳定性问题,目的是保证构件能正常工作,解决构件设计安全与经济这对矛盾。理论分析和试验研究为材料力学两个重要的研究手段。

通过对材料力学的学习,应掌握构件设计的基本力学原理和方法,学会合理选择构件的材料、构件截面形状和尺寸,在构件设计时做到既安全可靠又经济合理。

1.2 可变形固体的性质及其基本假设

理论力学所研究的固体视为刚体,是对研究对象的抽象,使问题得以简化;而自然界中所有的构件均为变形体,在材料力学中,构件的强度、刚度和稳定性与构件的变形有着直接关系,因此不能把构件视为刚体,应视为可变形体来研究,称之为可变形固体。

对于可变形固体组成的构件,在进行强度、刚度和稳定性分析时,通常抓住其主要因素,把它们抽象为理想化的力学模型,然后进行理论和试验分析。对可变形固体可作以下几个基本假设。

(1) 连续性假设

该假设认为构件在其整个体积内毫无孔隙地充满了物质。

根据这一假设,可以在受力构件内任意一点处截取一个单元体进行分析,使问题得以抽象和

简化。

(2) 均匀性假设

认为构件内任意一点的力学性质是相同的,从构件内任意一点处取的体积单元,其力学性质都能代表整个构件的力学性质。一般情况下,以上假设是合理的。如金属由许多小晶粒组成,晶粒边长约为 10^{-7} cm,不论构件尺寸如何,都可认为其含有无数个晶粒。因为这里研究无数个晶粒的组成体在荷载作用时所表现的平均性能,并非单个晶粒的性能,所以,可认为材料是连续、均匀的。

(3) 各向同性假设

认为材料沿各个方向的力学性能是相同的。各种金属、塑料以及充分搅拌的混凝土,通常情况下可视为各向同性材料。对于木材和纤维增强叠层复合材料等,其整体力学性能具有明显的方向性,应按各向异性来进行分析。

因此,材料力学中将研究对象视为可变形固体,满足连续性、均匀性和各向同性假设。这种理想化的力学模型抓住了材料的基本属性,使理论分析成为可能。用这种力学模型的计算精度,其结果满足工程允许范围。

可变形固体在荷载作用下所引起的变形,可能为大变形,也可能为小变形。但材料力学所研究的问题为线弹性小变形问题。所谓小变形是指构件的变形与其原始尺寸相比是很小的,可以忽略不计。在研究构件的平衡和变形等问题时,可按构件原始形状和尺寸进行分析计算。试验研究表明,构件在荷载作用下会产生变形,如荷载不超过一定限度,荷载解除后能恢复原状的变形为弹性变形;若荷载过大至超过一定限度,荷载解除后只能部分复原,残留一部分不能恢复原状的变形为塑性变形。通常情况,在正常工作条件下,均要求构件只发生弹性变形。

1.3 杆件变形的形式

实际构件有各种不同的几何形状,根据构件几何形状大致归为四类:杆、板、块、壳。其中板、块、壳这三类构件属于弹性力学研究的范围。材料力学主要以杆件为研究对象。所谓杆件,是指纵向尺寸远大于横向尺寸的构件。按横截面是否变化可将杆件分为等截面杆和变截面杆,等截面杆如图 1-1(a)、(b)所示,变截面杆如图 1-1(c)所示;按轴线的曲直可将杆件分为直杆和曲杆,曲杆如图 1-1(d)所示。材料力学所研究的杆件多数为等截面直杆。

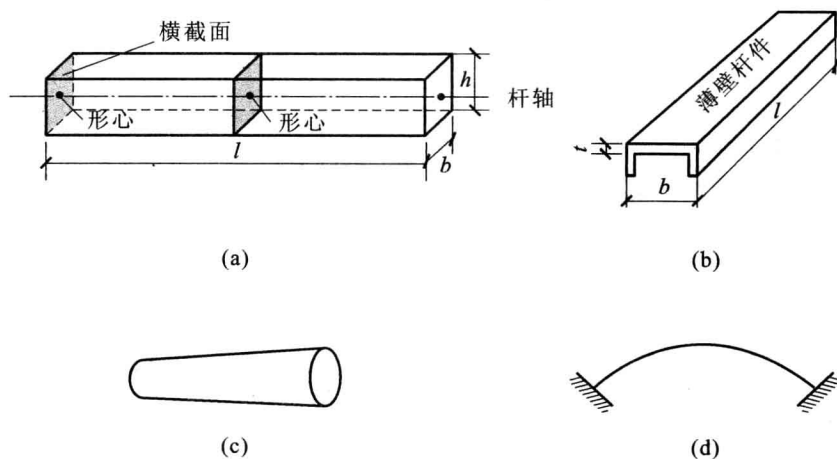


图 1-1

作用在杆件上的外力是复杂多样的,因此杆件的变形也是多种多样的,但可以归纳为基本变形和组合变形两类。杆件的基本变形可分为以下四种。

(1) 轴向拉伸或轴向压缩

在一对作用线与直杆轴线重合的外力作用下,直杆的主要变形是杆件长度的改变。简单三角支架在荷载作用下,支架中的杆件发生轴向拉伸或轴向压缩,如图 1-2 所示。

(2) 剪切

在一对相距很近的大小相等、方向相反、相互平行的力作用下,直杆的主要变形是横截面沿外力作用方向发生相对错动,如图 1-3 所示。

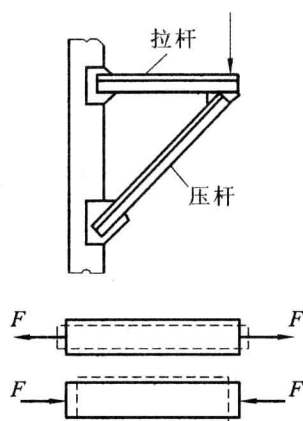


图 1-2

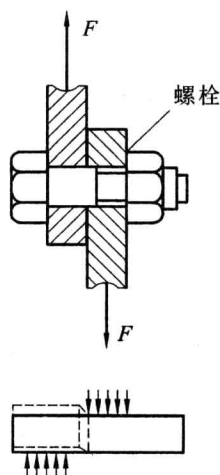


图 1-3

(3) 扭转

在一对转向相反、作用面都垂直于直杆轴线的外力偶作用下,直杆的两个相邻横截面将发生绕轴线的相对转动,杆件表面纵向线将变为螺旋线,而轴线仍保持为直线,如图 1-4 所示。

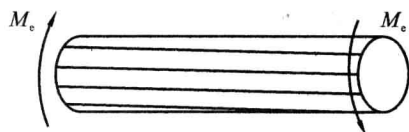


图 1-4

(4) 弯曲

在一对大小相等、方向相反、作用面在杆件的纵向对称平面内的力偶作用下,直杆的相邻横截面将绕垂直于杆轴线的轴发生相对转动,变形后的杆件轴线将变为曲线。这种变形形式称为纯弯曲,如图 1-5 所示。杆件在垂直于轴线的横向力作用下的变形是弯曲与剪切的组合,通常称为横力弯曲,如图 1-6 所示。



图 1-5

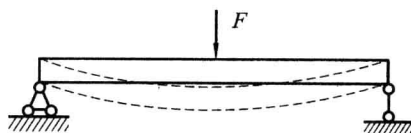


图 1-6

在工程结构中,杆件在荷载作用下的变形大多为上述几种基本变形形式的组合——组合变形。本书将先分别讨论构件的每一种基本变形,然后再分析组合变形问题。

综上所述,材料力学是研究构件承载能力的一门科学;主要内容是在小变形条件下研究构件的强度、刚度和稳定性问题。构成构件的材料是可变形固体,满足连续、均匀和各向同性假设。材料力学所研究的构件主要是杆件,杆件的变形有基本变形和组合变形两类,杆件的基本变形形式有:轴向拉伸(压缩)、剪切、扭转和弯曲。材料力学的任务是在满足强度、刚度、稳定性的要求下,以最经济的代价,为构件确定合理的形状和尺寸,选择适宜的材料,而提供必要的理论基础和计算方法。

轴向拉伸与压缩

课前导读

□ 内容提要

本章主要介绍轴向拉伸与压缩的基本概念，轴向拉(压)杆的内力、应力、变形、应变能和简单超静定问题的计算。本章还研究了材料在拉伸(压缩)时的力学性能以及应力集中的概念。本章的教学重点为轴力的计算和作轴力图，拉(压)杆横截面和斜截面上的应力计算，材料在拉伸、压缩时的力学性能，拉(压)杆的强度计算，拉(压)杆的变形，胡克定律，简单拉(压)杆件结构位移的计算，拉(压)杆应变能的概念及计算，求解简单拉(压)杆的超静定问题。

□ 能力要求

通过本章的学习，学生应掌握轴向拉伸、压缩的概念，轴力的计算和作轴力图，材料在拉伸、压缩时的力学性能，拉(压)杆截面上的应力计算，拉(压)杆的强度计算，拉(压)杆的变形计算及胡克定律，简单拉压杆件结构位移的计算，拉(压)杆应变能的概念及计算，拉(压)杆的超静定问题，了解应力集中的概念。

2.1 轴向拉伸与压缩的概念

轴向拉伸和压缩的杆件在工程实际中经常遇到,如图 2-1 所示的平面桁架中的各根杆件,以及如图 2-2 所示的悬臂式起重机支架中的杆件。虽然杆件的外形各有差异,加载方式也不同,但通过简化,其受到的外力(外力的合力)的作用线与杆件的轴线相重合,这些杆件称为轴向拉(压)杆。

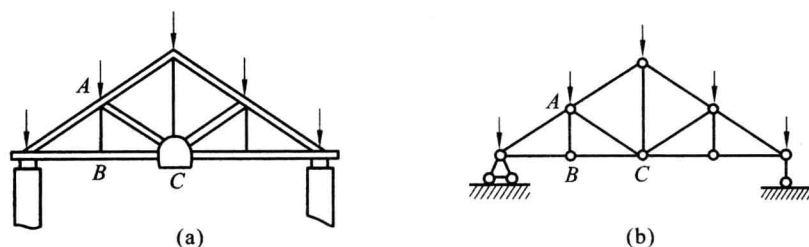


图 2-1

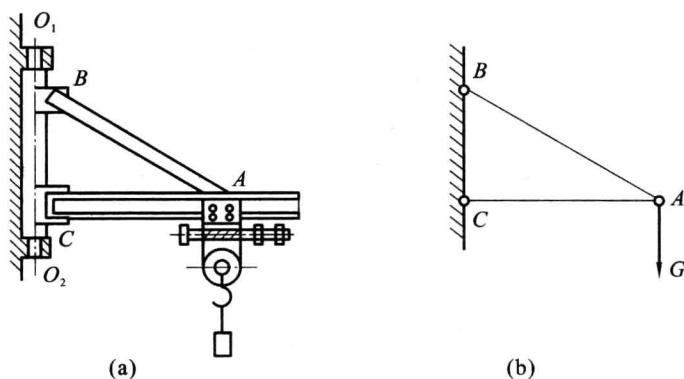


图 2-2

轴向拉伸(压缩)杆的受力特点是:受到大小相等、方向相反、作用线与杆件轴线重合的一对力。在这样的外力作用下,杆件主要的变形特点是:杆件沿着轴线方向伸长或缩短,如图 2-3 所示。

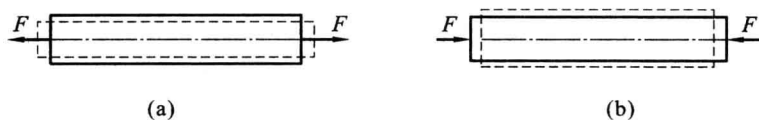


图 2-3

2.2 轴向拉伸与压缩时横截面上的内力

2.2.1 内力

物体受到外力作用时将产生变形,其内部各质点间的相对位置将发生改变,各质点间的相互作用力也将发生改变。把这种因外力作用而引起的物体内部质点间相互作用力的改变量,称为附加内力。由于假设物体是均匀、连续的可变形固体,因此物体内部相连部分之间相互作用的内力是一