



新世纪高职高专土建类系列教材

材 料 力 学

C A I L I A O L I X U E

沈养中 董 平 主编

苏垂汉 李维安 高淑荣 副主编



科 学 出 版 社

内 容 简 介

新世纪高职高专土建类系列教材

材 料 力 学

沈养中 董 平 主 编

苏垂汉 李维安 高淑荣 副主编

图例表 (附后)

科 学 出 版 社

2001

内 容 简 介

本书是《新世纪高职高专土建类系列教材》之一,是依据教育部制定的高职高专土建类专业力学课程教学基本要求编写的。

本书着力体现当前高职高专教学改革的特点,突出针对性、适用性和实用性。编写时精选内容,简化公式推导,理论联系实际,注重工程应用;文字简洁,叙述深入浅出,通俗易懂,图文配合紧密。

全书共分十四章,内容包括:绪论、轴向拉伸和压缩、材料的力学性能、截面的几何性质、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态分析、强度理论、组合变形、压杆稳定、动荷载与交变应力、实验应力分析。每章后有思考题、习题,并附习题答案。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校的土建类专业力学课程的教材,也可作为有关工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/沈养中等主编. —北京:科学出版社,2001
(新世纪高职高专土建类系列教材)
ISBN 7-03-009499-9

I. 材… II. 沈… III. 材料力学-高等学校:技术学校-教材
IV. TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 061710 号

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

*

2001 年 11 月 第 一 版 开本:720×1000 B5
2001 年 11 月 第一次印刷 印张:18 1/2
印数:1—5 000 字数:362 000

定价:23.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

《新世纪高职高专土建类系列教材》 编 委 会

主任委员 沈养中

副主任委员 (以姓氏笔画为序)

王志军 邓庆阳 司马玉洲 李继业

李维安 董 平 童安齐

委 员 (以姓氏笔画为序)

王长永 王振武 石 静 史书阁

付玉辉 田云阁 刘正保 刘念华

李洪岐 李树枫 肖 翥 陈守兰

张力庭 张丽华 张献奇 孟胜国

郝延锦 郭玉起 袁雪峰

出版说明

当前,高职高专教育中土建类及其相关专业已成为各高职高专学校的主要专业之一,专业人数不断扩大,教学要求越来越高,以往出版的教材已难以满足教学需要。为了促进高职高专教学改革,加强高职高专教材建设,我们组织了《新世纪高职高专土建类系列教材》。与同类教材相比,本套教材有以下几个显著特点:

1. 针对性强,适合高职高专的培养目标;
2. 吸收了我国近10年来教学改革的阶段性成果,并以我国现行建筑行业的最新政策、法规为依据;
3. 内容更新,重点突出,注意整体的逻辑性、连贯性,具有适用性、实用性。

参加本套教材编写的主要单位有:邢台职业技术学院、河北工程技术高等专科学校、山东农业大学土木工程学院、华北矿业高等专科学校、华北航天工业学院、山西阳泉煤炭专科学校、南阳理工学院。

由于时间仓促,错漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

《新世纪高职高专土建类
系列教材》编委会
2001年8月

前 言

本书是《新世纪高职高专土建类专业系列教材》之一,依据教育部制定的高职高专土建类专业力学课程教学基本要求编写。

本书为建筑力学之二,它与本套教材中的《理论力学》(建筑力学之一)、《结构力学》(建筑力学之三)、《工程结构有限元计算》(建筑力学之四)在内容上融合、贯通,有机地连成一体,构成高职高专土建类专业配套的力学课程教材。本教材重点体现当前高职高专教学改革的特点,突出针对性、适用性和实用性。编写时精选内容,简化公式推导,理论联系实际,注重工程应用;文字简洁,叙述深入浅出、通俗易懂,图文配合紧密。

参加本书编写工作的有:沈养中(第十二章)、高淑荣(第十一、十三章)、骆素培(第三章)、董平(第一、六章)、苏垂汉(第七、八章)、高迎伏(第二章)、韩金亮(第五章)、李维安(第四、九章)、钱双斌(第四章)、郑笑红(第十章)、赵冰(第十四章)。全书由沈养中、董平统稿。本书由教育部高工专力学课程教学委员会陈贵龄主任和上海应用技术学院陈位宫教授担任主审。

在本书的编写过程中,许多同行提出了很好的意见和建议,在此表示感谢。

鉴于编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请同行和广大读者批评指正。

目 录

出版说明

前言

第一章 绪论	1
1.1 材料力学的研究对象、任务和研究方法	1
1.2 变形固体及其基本假设	2
1.3 杆件的变形形式	4
思考题	6
第二章 轴向拉伸和压缩	7
2.1 轴向拉(压)的实例和计算简图	7
2.2 内力 截面法 轴力图	8
2.3 轴向拉(压)杆的应力和强度条件	11
2.4 轴向拉(压)杆的变形	17
2.5 应力集中的概念	20
2.6 拉、压超静定问题	21
2.7 剪切和挤压的实用计算	27
思考题	29
习题	30
第三章 材料的力学性能	35
3.1 概述	35
3.2 塑性材料在拉压时的力学性能	36
3.3 脆性材料在拉压时的力学性能	40
3.4 安全因数 许用应力	42
思考题	43
第四章 截面的几何性质	44
4.1 静矩和形心	44
4.2 惯性矩和极惯性矩	47
4.3 平行移轴公式	51
4.4 转轴公式	55
4.5 形心主惯性轴和形心主惯性矩	56
思考题	57

习题	58
第五章 扭转	62
5.1 扭转的实例和计算简图.....	62
5.2 扭矩和扭矩图.....	63
5.3 圆轴扭转时的应力和强度条件.....	65
5.4 圆轴扭转时的变形和刚度条件.....	71
5.5 矩形截面杆自由扭转时的应力和变形.....	74
思考题	75
习题	76
第六章 弯曲内力	78
6.1 梁的平面弯曲的概念和计算简图.....	78
6.2 梁的内力——剪力和弯矩.....	80
6.3 用内力方程法绘制剪力图和弯矩图.....	83
6.4 用微分关系法绘制剪力图和弯矩图.....	87
6.5 用区段叠加法绘制弯矩图.....	90
思考题	94
习题	95
第七章 弯曲应力	98
7.1 概述.....	98
7.2 梁横截面上的正应力.....	98
7.3 梁横截面上的切应力	105
7.4 梁的强度计算	111
7.5 梁的极限弯矩	116
思考题.....	118
习题.....	119
第八章 弯曲变形.....	124
8.1 挠度和转角	124
8.2 挠曲线的近似微分方程	125
8.3 用积分法求梁的变形	125
8.4 用叠加法求梁的变形	130
8.5 梁的刚度校核	134
思考题.....	135
习题.....	135
第九章 应力状态分析.....	137
9.1 应力状态的概念	137

9.2	平面应力状态分析	139
9.3	梁的主应力迹线	148
9.4	空间应力状态分析简介	150
9.5	广义胡克定律	152
	思考题	154
	习题	154
第十章	强度理论	158
10.1	强度理论的概念	158
10.2	四个基本的强度理论	159
10.3	莫尔强度理论	161
10.4	强度理论的简单应用	164
	思考题	171
	习题	172
第十一章	组合变形	175
11.1	概述	175
11.2	斜弯曲	176
11.3	拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	183
11.4	偏心压缩(拉伸)	187
11.5	扭转与弯曲的组合变形	194
	思考题	198
	习题	200
第十二章	压杆稳定	205
12.1	压杆稳定的概念	205
12.2	细长压杆临界力的欧拉公式	207
12.3	欧拉公式的适用范围及经验公式	211
12.4	压杆的稳定计算	214
12.5	提高压杆稳定性的措施	220
	思考题	221
	习题	223
第十三章	动荷载与交变应力	226
13.1	动荷载的概念	226
13.2	构件作匀加速直线运动或匀速转动时的动应力计算	226
13.3	构件受冲击时的动应力计算	231
*13.4	疲劳强度简介	236
	思考题	242
	习题	242

第十四章 实验应力分析	246
14.1 概述	246
14.2 电阻应变测量法的原理和应用	246
14.3 光测弹性力学法的原理与应用	253
思考题	263
附录 I 型钢表	264
附录 II 部分习题答案	280
参考文献	287

第一章 绪 论

本章主要介绍材料力学的研究对象、研究任务和研究方法,变形固体的基本概念及其基本假设,杆件在荷载作用下的变形形式。

1.1 材料力学的研究对象、任务和研究方法

1.1.1 材料力学的研究对象

在土木工程中,“结构”这一概念使用得十分广泛。所谓结构,就是建筑物中承受力而起骨架作用的部分。结构是由单个的部件按照一定的规则组合而成的,组成结构的部件称为构件。一般来讲,构件都是由固体形态的工程材料制成的,并具有一定的外部形状和几何尺寸。在使用的过程中,所有的构件都要受到相邻构件或其他物体的作用,也就是说要受到外力。例如房屋的外墙壁要受到风的压力、建筑物要受到地震的冲击力、公路桥梁要受到过往车辆的压力等等,此外它们都还要受到自身重力的作用。这些主动地作用于建筑物或结构上的外力称为荷载。

结构是由构件组成的,作用于结构上的荷载,也要由组成结构的构件来共同承担,因而构件是承受荷载的基本单元。材料力学的研究对象就是这种由工程材料制成的、在荷载作用下的构件。但由于构件和结构的密切联系,材料力学有时也会涉及到一些比较简单的结构。

1.1.2 材料力学的研究任务

在荷载的作用下,构件的几何形状和尺寸大小都要发生一定程度的改变,这种改变称为变形。一般来讲,变形随着荷载的增大而增大,当荷载达到某一数值时,构件会因为变形过大或被破坏而失去效用,通常称为失效。

构件的失效形式通常有以下三种:一是构件在使用中因承受的荷载过大而发生破坏,如起重吊车的绳索被拉断、建筑物的基础被压坏等;二是构件的变形超出了工程上所允许的范围,如工业厂房中吊车的横梁或建筑物的房梁在受载时发生过大的变形等;三是构件在荷载的作用下其几何形状无法保持原有的状态而失去平衡,通常也称为失稳,如细长的支柱在受压时突然变弯等。

构件本身对各种失效具有抵抗的能力,称为抗力。在材料力学中,把构件抵抗破坏的能力称为强度,构件抵抗变形的能力称为刚度,构件抵抗失稳、维持原有平衡状态的能力称为稳定性。研究表明:构件的强度、刚度和稳定性,与其本身的几何

形状、尺寸大小、所用材料、荷载情况以及工作环境等都有着非常密切的关系。

在工程结构的设计过程中,必须根据荷载的情况对结构本身和组成结构的每一个构件进行力学分析。构件的力学分析,首先要保证的就是构件要有足够的强度、刚度和稳定性,以使构件能够安全工作而不至于发生失效。一般说来,为构件选用较好的材料和较大的截面尺寸,上述的三项基本要求是可以满足的,但是这样有可能造成材料的浪费和结构的笨重。由此可见,结构的安全性与经济性之间是存在矛盾的。所以,如何合理地选用构件材料,恰当地确定构件的截面形状和几何尺寸,是构件设计中的一个十分重要的问题,也是材料力学所要完成的主要研究任务。

综合以上分析,可以把材料力学的主要研究任务归纳为:研究各种构件在荷载的作用下所表现出来的变形和破坏的规律,为合理设计构件提供有关强度、刚度和稳定性分析的理论基础和计算方法,从而为构件选择适当的材料、确定合理的形状和足够的尺寸,以保证建筑物或工程结构在满足安全、可靠、适用的前提下,符合最经济的要求。

1.1.3 材料力学的研究方法

材料力学采用的是实验—假设—理论分析—实验验证的研究方法。

材料力学研究的是工程中的实际问题,实际问题往往是非常复杂的,有些问题很难找到精确的理论解答,而只能得出符合工程实际要求的近似解。因而,在研究工作中,首先要通过实验来观察事物的具体现象,以求通过具体现象来探求事物的本质。在大量实验的基础上,略去那些与所研究的问题无关或影响不大的次要因素,保留与所研究的问题有密切关系的主要因素,从而建立假设,把问题抽象化,用理想的力学模型来代替实际的问题。

实际问题经过简化、建立了力学模型后,就可以借助数学和力学等工具进行理论上的分析。理论分析所得出的结论以及由这些结论所推导出来的计算方法、计算公式是否正确,还需要经过大量的实验验证和生产实践的考验。确实正确的才能作为理论公式或经验公式,应用到工程实际的设计和计算中来。

1.2 变形固体及其基本假设

1.2.1 刚体与变形固体

理论力学研究的是物体的运动和平衡问题的一般规律。在这类问题中,物体的微小变形对问题的影响很小,是可以忽略的次要因素。因而,在理论力学中,把物体看作是刚体,即在外力的作用下,大小和形状都绝对不变的物体。用绝对刚体这个抽象的力学模型代替真实的物体,这是理论力学的特点之一。

材料力学所研究的是构件的强度、刚度和稳定性问题。在这类问题中,物体的

变形虽然很小,但却是主要影响因素之一,必须要予以考虑而不能忽略。因而,在材料力学中,把物体(构件)看作是变形固体,即在外力的作用下都要发生变形——包括尺寸的改变和形状的改变。

1.2.2 变形固体的基本假设

材料力学研究的是变形固体。工程上使用的固体材料是多种多样的,而且其微观结构和力学性能更是非常复杂的。为了便于构件的强度、刚度和稳定性的分析,对变形固体常作如下几个基本假设。

1. 连续性假设

假设构成变形固体的物质毫无空隙地完全充满了固体所占的几何空间。

事实上,构件的材料是由微粒或晶粒组成的,各微粒或晶粒之间是有空隙的,但这种空隙和构件的尺寸比起来极为微小,可以忽略不计。根据这个假设,在进行理论分析时,与构件性质相关的物理量可以用连续函数来表示。

2. 均匀性假设

假设构件中各点处的力学性能是完全相同的。

事实上,组成构件材料的各个微粒或晶粒,彼此的性质不一定完全相同。但是构件的尺寸远远大于微粒或晶粒的尺寸,构件所包含的微粒或晶粒的数目极多,按照统计学的观点,材料的性质与其所在的位置无关,即材料是均匀的。按照这个假设,在进行分析时,可以从物体内任何位置取出一小部分来研究材料的性质,其结果均可代表整个物体。

3. 各向同性假设

假设构件中的一点在各个方向上的力学性能是相同的。

事实上,组成构件材料的各个晶粒是各向异性的。但由于构件中所含晶粒的数目极多,在构件中的排列又是极不规则的,因而,按统计学的观点,可以认为某些材料是各向同性的,如金属材料。根据这个假设,当获得了材料在任何一个方向的力学性能后,就可将其结果用于其它方向。

以上三个假设对金属材料是符合的,对砖、石、混凝土等材料的吻合性稍差,但仍可近似地采用。木材可以认为是均匀连续的材料,但木材的顺纹和横纹两个方向的力学性能不同,是具有方向性的材料。实践表明,材料力学的研究结果可近似的用于木材。根据上述三个假设,可以从构件中任何位置、沿任何方向取出任意微小的部分,来进行分析,采用微分或积分等数学方法对构件进行受力、变形和破坏的分析。

4. 线弹性假设

固体材料在外力作用下所发生的变形可分为弹性变形和塑性变形。外力卸除后能完全消失的变形,称为弹性变形;不能消失而永久地保留下来的变形,称为塑性变形。在材料力学中假设外力的大小没有超过一定的限度,构件只产生了弹性变形,并且外力与变形之间符合线性关系,能够直接利用胡克定律。

5. 小变形假设

假设变形量远小于构件的几何尺寸。这样,在研究构件的平衡和运动规律时仍可以直接利用构件的原始尺寸而忽略变形的影响。在研究和计算变形时,变形的高次幂项也可忽略,从而使计算得到简化。

以上是有关变形固体的几个基本假设。实践表明,在这些假设的基础上建立起来的理论都是符合工程实际的要求的。同时,大大地简化了某些工程实际问题的分析与计算过程。

1.3 杆件的变形形式

工程实际中构件的形状是多种多样的,根据几何形状和尺寸的不同,通常分为杆、板(如楼板)、壳(如薄壳)、块体(如水坝)。材料力学研究工程实际中应用最为广泛的构件——杆件。所谓杆件是指横向尺寸远小于纵向尺寸的构件,如图 1.1 所示。杆件的形状和尺寸是由其轴线和横截面来决定的。轴线和横截面之间存在着一定的关系:轴线通过横截面的形心,横截面与轴线相正交。根据轴线和横截面的特征,杆件可以分为直杆和曲杆、等截面杆和变截面杆

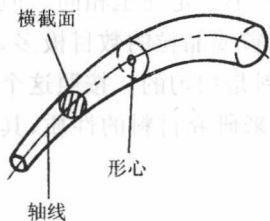


图 1.1

等,如图 1.2 所示。其中图(a)为等截面直杆,简称等直杆,图(b)为变截面直杆,图(c)为等截面曲杆,图(d)为阶梯直杆。

材料力学的主要研究对象是等直杆。等直杆的计算理论可近似地用于曲率不大的曲杆和横截面变化不剧烈的变截面杆。

杆件在不同外力作用下,可以产生不同的变形,但根据外力性质及其作用线(或外力偶作用面)与杆轴线的相对位置的特点,变形可分为四种基本变形。杆的复杂变形则是几种基本变形同时发生的组合变形。

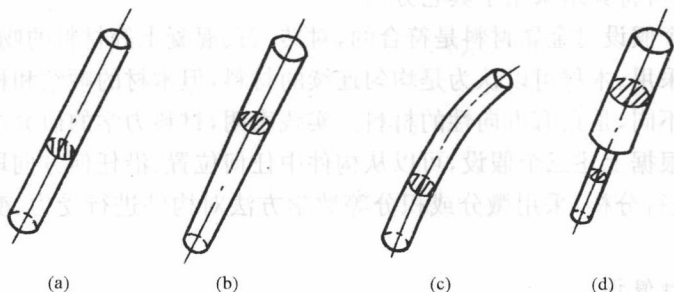


图 1.2

1.3.1 基本变形

杆件的基本变形有以下四种形式:

1. 轴向拉伸和压缩

如果在直杆的两端各受到一个外力 F 的作用,且二者的大小相等、方向相反,作用线与杆件的轴线重合,那么杆的变形主要是沿轴线方向的伸长或缩短。当外力 F 的方向沿杆件端面的外法线方向时,杆件因受拉而变长,这种变形称为轴向拉伸;当外力 F 的方向沿杆件端面的内法线方向时,杆件因受压而变短,这种变形称为轴向压缩,分别如图 1.3(a)、(b)所示。

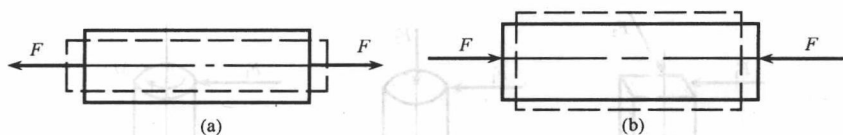


图 1.3

2. 剪切

如果直杆上受到一对大小相等、方向相反、作用线平行且相距很近的外力沿垂直于杆轴线方向作用时,杆件的横截面沿外力的方向发生相对错动,这种变形称为剪切,如图 1.4 所示。

3. 扭转变形

如果在直杆的两端各受到一个外力偶 M_e 的作用,且二者的大小相等、转向相反,作用面与杆件的轴线垂直,那么杆件的横截面绕轴线发生相对转动,这种变形称为扭转,如图 1.5 所示。

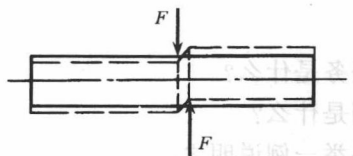


图 1.4

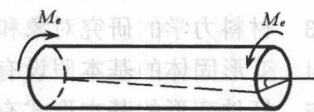


图 1.5

4. 弯曲变形

如果直杆在两端各受到一个外力偶 M_e 的作用,且二者的大小相等、转向相反,作用面都与包含杆轴的某一纵向平面重合,或者是受到在纵向平面内作用的垂直于杆轴线的外力 F 作用时,杆件的轴线就要变弯,这种变形称为弯曲变形,如图

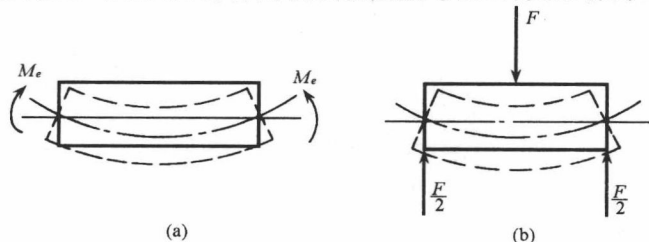


图 1.6

1.6(a)、(b)所示。

1.3.2 组合变形

工程实际中杆件的变形,可能只是某一种基本变形,也可能是两种或两种以上基本变形的组合,称为组合变形。常见的组合变形形式有:斜弯曲(或称双向弯曲)、拉(压)与弯曲的组合、弯曲与扭转的组合等等,如图 1.7(a)、(b)、(c)所示。

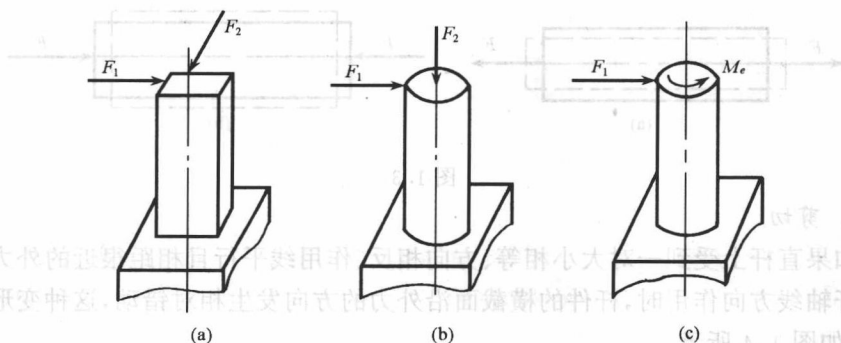


图 1.7

思考题

- 1.1 何谓变形?
- 1.2 何谓构件的强度、刚度和稳定性?
- 1.3 材料力学的研究对象和主要的研究任务是什么?
- 1.4 变形固体的基本假设有哪些?都分别是什么?
- 1.5 杆件变形的形式有哪些?分别各举一例说明之。

第二章 轴向拉伸和压缩

本章主要介绍杆件在轴向拉(压)时的内力、应力和变形,轴向拉压杆的强度计算以及联接件的强度计算。本章所涉及到的概念、理论和方法是材料力学的基础。

2.1 轴向拉(压)的实例和计算简图

在工程中,经常会遇到承受轴向拉伸或压缩的杆件,例如图 2.1(a)、(b)所示的混凝土柱及桁架中的杆。这类直杆的端部尽管联接方式各异,但是所有杆件端部外力合力的作用线与杆件的轴线相重合。其变形的特点是:杆件主要是沿轴线方向的伸长或缩短,同时横向尺寸也发生变化。

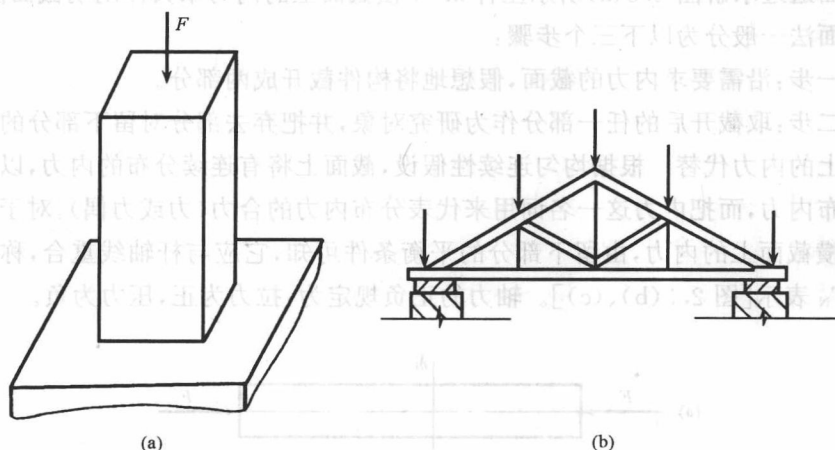


图 2.1

轴向拉、压杆的计算简图如图 2.2 所示。如果杆件两端作用一对沿杆轴线、大小相等、方向相反,且分别与两端截面的外法线方向重合的力,将使杆件伸长而变细[图 2.2(a)],这样的力称为轴向拉力;如果该对力分别与端截面内法线方向重合,将使杆件缩短而变粗[图 2.2(b)],这样的力称为轴向压力。



图 2.2