



全国高等院校“十二五”规划教材

材料力学

肖念新 刘荣昌 主编



全国高等院校“十二五”规划教材

材料力学

肖念新 刘荣昌 主编

中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

材料力学/肖念新, 刘荣昌主编. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2012. 8
ISBN 978-7-5116-0949-6

I. ①材… II. ①肖…②刘… 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 (2012) 第 121951 号

责任编辑 闫庆健 元艳素
责任校对 贾晓红 郭苗苗

出版者 中国农业科学技术出版社
北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081
电 话 (010) 82106632 (编辑室) (010) 82109704 (发行部)
(010) 82109709 (读者服务部)
传 真 (010) 82106632
网 址 [http:// www. castp. cn](http://www.castp.cn)
经 销 者 各地新华书店
印 刷 者 秦皇岛市昌黎文苑印刷有限公司
开 本 787 mm × 1092 mm 1/16
印 张 14. 625
字 数 360 千字
版 次 2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷
定 价 22. 00 元

《材料力学》编委会

主 编 肖念新 刘荣昌
副主编 刘春霞 荣 誉 陈 芳 康维民
编 者 肖念新 刘荣昌 刘春霞
荣 誉 陈 芳 康维民
于玉真 李志红 文赫岩
李树珍
主 审 薛隆泉

前 言

本教材结合普通高等学校非力学类专业材料力学课程基本要求而编写。在编写过程中，既重视理论基础研究方法，又注重工程实践，加大实践教学内容，还特别重视概念更新与拓宽、工程应用加强及教学内容精选，力求使新编教材具有新内容。根据人才培养目标，明确教材的层次和定位，结合教师教学和学生学习的特点，做到结构体系编排科学合理，由浅入深，通俗易懂，方便学生学习。在编写过程中，吸收了有关院校的教学内容和课程体系改革的成果，又加入编者20年的教学经验和教学改革成果。在内容编排上，按照杆件基本变形后的简单应力和变形建立相应的强度条件以及刚度条件、复杂应力分析以及强度理论、组合变形，能量方法，压杆稳定的顺序，做到各章节知识点融会贯通，完整系统。为了增加本教材的适用性，选编了用能量方法计算结构位移以满足相关专业、不同学时的需要。全书适用于50~70学时的材料力学课程选用，也可根据各专业不同要求和学时对内容进行删减。

本教材由西安理工大学机械与精密仪器工程学院教授、陕西省机械工程学会理事薛隆泉主审。

参加本教材编写工作的有：河北科技师范学院肖念新（第5章、第6章、第7章、附录Ⅲ），刘荣昌（第8章、第9章、第10章、附录Ⅱ），刘春霞（第3章、附录Ⅰ），荣誉、陈芳、康维民、于玉真、李志红、文赫岩、李树珍（第1章、第2章、第4章）及其他辅助工作。

限于编者水平，书中难免有错误不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2012年6月

内容提要

本教材在妥善处理材料力学传统内容的继承和现代科学成果的引进以及知识的传承和能力、素质培养方面，进行了积极探索，是一套具有新内容、新体系，论述严谨，重视基础与工程应用，重视能力培养的新教材。

本教材包括：材料力学的基本概念、轴向拉伸与压缩、剪切、扭转的强度与刚度计算、弯曲的强度计算、梁的变形、应力状态理论和强度理论、组合变形的强度计算、用能量法计算结构位移和压杆的稳定计算10章及附录。第2~10章有小结、思考题、习题及答案。

本书可作为不同层次高等学校工科本科各专业的教材，也可供高等学校工科专科、高等职业学校和成人教育学院师生及有关工程技术人员参考使用。

目 录

第 1 章 材料力学的基本概念	(1)
1.1 材料力学的基本假设	(1)
1.2 杆件的基本变形	(2)
1.3 外力、内力、截面法	(3)
1.4 应力的概念	(4)
第 2 章 轴向拉伸与压缩	(6)
2.1 概 述	(6)
2.2 轴向拉伸或压缩时横截面上的内力及应力	(6)
2.3 拉(压)杆的变形	(9)
2.4 拉伸和压缩时材料的机械性质.....	(11)
2.5 许用应力及安全系数.....	(17)
2.6 拉(压)杆的强度计算	(18)
2.7 拉伸和压缩的超静定问题.....	(20)
小 结	(24)
思考题	(25)
习 题	(25)
第 3 章 剪 切	(30)
3.1 概 述.....	(30)
3.2 剪切和挤压的实用计算.....	(31)
小 结	(35)
思考题	(36)
习 题	(36)
第 4 章 扭转的强度与刚度计算	(38)
4.1 概 述.....	(38)
4.2 扭转时的内力.....	(39)
4.3 纯剪切.....	(41)
4.4 圆轴扭转时的应力与变形.....	(43)
4.5 圆轴扭转时的强度和刚度计算.....	(47)
4.6 密圈螺旋弹簧应力及变形的计算.....	(52)

4.7	非圆截面等直杆的纯扭转	(56)
	小 结	(58)
	思考题	(60)
	习 题	(60)
第 5 章	弯曲的强度计算	(64)
5.1	概 述	(64)
5.2	静定梁的基本形式	(65)
5.3	平面弯曲时梁横截面上的内力	(66)
5.4	剪力图和弯矩图	(69)
5.5	剪力、弯矩和分布载荷间的关系	(72)
5.6	用叠加法作剪力图和弯矩图	(75)
5.7	刚架的弯矩图、轴力图	(77)
5.8	弯曲时的正应力	(79)
5.9	弯曲正应力的强度条件及其应用	(83)
5.10	弯曲时的剪应力	(86)
5.11	提高弯曲强度的措施	(91)
	小 结	(96)
	思考题	(97)
	习 题	(98)
第 6 章	梁的变形	(102)
6.1	工程中的弯曲变形问题	(102)
6.2	挠曲线近似微分方程	(103)
6.3	积分法计算梁的变形	(104)
6.4	用叠加法计算梁的变形	(108)
6.5	弯曲刚度计算	(112)
6.6	简单静不定梁	(114)
6.7	提高弯曲刚度的措施	(116)
	小 结	(117)
	思考题	(118)
	习 题	(118)
第 7 章	应力状态理论和强度理论	(121)
7.1	应力状态理论	(121)
7.2	二向应力状态下斜截面上的应力	(123)
7.3	二向应力状态下的应力圆	(128)
7.4	三向应力概述	(133)
7.5	广义胡克定律	(135)
7.6	强度理论的概念	(139)

7.7	工程中常用的四种强度理论	(140)
7.8	强度理论的讨论	(142)
	小结	(144)
	思考题	(146)
	习题	(146)
第8章	组合变形的强度计算	(151)
8.1	工程中的组合变形问题	(151)
8.2	弯曲与拉伸(或压缩)的组合变形	(152)
8.3	斜弯曲	(153)
8.4	扭转与弯曲的组合变形	(156)
	小结	(159)
	思考题	(160)
	习题	(160)
第9章	用能量法计算结构位移	(163)
9.1	概述	(163)
9.2	变形能的计算公式及其特征	(163)
9.3	卡氏定理	(167)
9.4	单位载荷法	(170)
9.5	图形互乘法	(174)
9.6	互等定理	(179)
	小结	(181)
	思考题	(182)
	习题	(182)
第10章	压杆的稳定性计算	(185)
10.1	工程中压杆的稳定性问题	(185)
10.2	细长压杆的临界力	(186)
10.3	欧拉公式的适用范围、临界应力的经验公式	(189)
10.4	压杆的稳定性计算	(191)
10.5	提高压杆稳定性的措施	(194)
	小结	(195)
	思考题	(195)
	习题	(196)
附录 I	平面图形的几何性质	(198)
I.1	形心和静矩	(198)
I.2	惯性矩、惯性积、极惯性矩、惯性半径	(200)
I.3	平行移轴定理、组合图形的惯性矩与惯性积	(202)
I.4	转轴公式、主惯性矩	(203)

习 题	(206)
附录 II 型钢表	(209)
II.1 热轧等边角钢 (GB 700—79)	(209)
II.2 热轧不等边角钢 (GB 701—79)	(211)
II.3 热轧普通工字钢 (GB 706—65)	(213)
II.4 热轧普通槽钢 (GB 707—65)	(214)
附录 III 习题答案	(216)
主要参考文献	(222)

第1章 材料力学的基本概念

1.1 材料力学的基本假设

在材料力学中，为了研究计算的简化，对性质复杂的变形固体，常抓住与问题有关的一些主要因素，忽略一些关系不大的次要因素，对变形固体做某些假设，把它抽象成理想模型。材料力学中，变形固体所做的假设有下列几种。

1.1.1 连续性假设

认为组成固体的物质毫无空隙地充满了固体所占有的几何空间。从物质结构来说：组成固体的粒子之间实际上并不连续，但它们之间所存在的空隙与构件的尺寸相比，极其微小，可以忽略不计。这样就可以认为固体内部的物质，在其整个几何空间内是连续的。这样构件中的一些物理量（例如各点的位移），既可用坐标的连续函数表示，又可采用无限小的分析方法。

1.1.2 均匀性假设

认为在固体的体积内，其基本组成部分的机械性质完全相同。就工程上使用最多的金属来说，其各个晶粒的机械性质并不完全相同，但因在构件或构件的某一部分中，包含的晶粒数目极多，而且是无规则地排列着，其机械性质是所有各晶粒的性质的统计平均值。可以认为构件内各部分的性质是均匀的，与其所在位置无关。按此假设，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，通过试件所测得的材料性能，也可用于材料内部的任何部位。

1.1.3 各向同性假设

认为固体在各个方向上的机械性质完全相同。凡具备这种属性的材料称其为各向同性材料，例如玻璃就是典型的各向同性材料。至于工程中常用的金属，就其单个晶粒来说，属于各向异性体，但由于构件中所含晶粒极多，而且它们在构件中的排列又是极不规则的，所以，按统计学观点，仍可将金属看成是各向同性材料。在此后讨论中，一般都把固体假设为各向同性材料。

1.1.4 小变形假设

小变形假设是指：假定物体几何形状及尺寸的改变与其总体尺寸比较起来是很微小的，一般情况不予考虑。由于材料力学主要是研究固体在弹性阶段的问题，所以工程中的构件，在分析其强度、刚度时，一般变形都很小。因为变形很小，故在列静力平衡方程或进行其他分析时，可以不考虑外力作用点在物体变形时所产生的位移，这就大大简化了材料力学的实际计算问题。必须指出，在某些情况下，当外力作用后所产生的变形很大时，小变形的假设就不能采用。

试验结果表明：如外力不超过一定限度，绝大多数材料在外力作用下发生变形，在外力解除后又恢复原状。但外力过大，超过一定限度，则外力解除后部分变形消失，而遗留下一部分不能消失的变形。随外力解除后而消失的变形称为弹性变形，外力解除后不能消失的变形称为塑性变形，也称为残余变形或永久变形。一般情况下要求构件只发生弹性变形，而不希望发生塑性变形。

1.2 杆件的基本变形

材料力学研究的主要对象是指其截面尺寸远小于轴线长度的杆件的力学研究。外力的作用方式不同，杆件变形的形式也不同，按照变形的特点，可以把杆件的变形归纳为4种基本变形形式，即：拉伸与压缩、剪切、扭转和弯曲。

1.2.1 拉伸与压缩

这类变形形式是由大小相等，方向相反，作用线与杆件轴线重合的一对力引起的，表现为杆件的长度发生伸长或缩短 [图 1-1 (a、b)]。如起吊重物的钢索，桁架的杆件，液压油缸的活塞杆等的变形，都属于拉伸或压缩变形。

1.2.2 剪切

这类变形形式是由大小相等，方向相反，作用线相互平行的力引起的，表现为受剪杆件的两部分沿外力作用方向发生相对错动 [图 1-1 (e)]。机械中常用的联接件，如键、销钉、螺栓等都产生剪切变形。

1.2.3 扭转

这类变形形式是由大小相等，方向相反，作用面都垂直于杆轴的两个力偶引起的。表现为杆件的任意两个横截面发生绕轴线的相对转动 [图 1-1 (c)]。汽车的传动轴，电机和水轮机的主轴等都是受扭杆件。

1.2.4 弯曲

这类变形形式是由垂直于杆件轴线的横向力，或由作用于包含杆轴的纵向平面内的一对大小相等，方向相反的力偶引起的，表现为杆件轴线由直线变为曲线 [图 1-1 (d)]。

工程中，受弯杆件是最常遇到的情况之一。桥式起重机的大梁，各种心轴以及车刀等的变形，都属于弯曲变形。

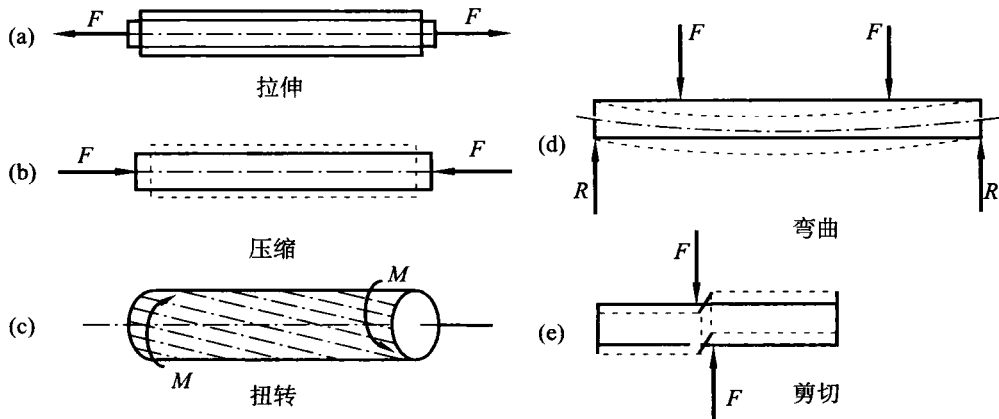


图 1-1

还有一些杆件同时发生几种基本变形，例如，车床主轴工作时发生弯曲、扭转和压缩 3 种基本变形；钻床立柱同时发生拉伸和弯曲两种基本变形。这种情况称为组合变形。我们首先讨论 4 种基本变形，然后再讨论组合变形。

1.3 外力、内力、截面法

1.3.1 外力

某一物体受到其他物体所作用的力，此力称为外力，包括载荷及支座反力。为了研究构件的强度、刚度和稳定性问题，首先须弄清外力。

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。表面力是作用于物体表面的力，又可分为分布力和集中力。连续作用于物体表面面积上的力即为分布力，例如作用于油缸内壁上的油压力，作用于船体上的水压力等。有些分布力是沿杆件的轴线作用的，如楼板对屋梁的作用力就是沿梁轴线分布的。若外力分布面积远小于物体的表面尺寸，或沿构件轴线分布范围远小于轴线长度，就可以看成是作用于一点的集中力。如火车轮对钢轨的压力，滚动轴承对轴的反作用力等。体积力是连续分布于物体内部各点上的力，例如物体的自重和惯性力等。体积力有时也可简化成分布力或集中力，例如，杆件的自重就可看作是沿轴线的分布力。

载荷按随时间变化的情况，又可分成静载荷和动载荷。载荷缓慢地由零增加到某一数值以后即保持不变或变动很不显著，即为静载荷。如把机器缓慢地放置在基础上时，机器的重量对基础的作用便是静载荷。若载荷随时间而变化，则为动载荷。随时间作周期性变化的动载荷称为交变载荷。例如当齿轮转动时，作用于每一个齿上的力都是随时间按周期性变化的。冲击载荷是动载荷的另一种形式，所谓冲击载荷是物体运动时在瞬时内发生突然变化所引起的载荷，例如，急刹车时飞轮的轮轴，锻造时汽锤的锤杆等都受到冲击载荷

的作用。

材料在静载荷下和在动载荷下的性能颇为不同，分析方法也颇有差异。因为静载荷问题相对来说比较简单，且在静载荷下建立的理论和分析方法，又可作为解决动载荷问题的基础，所以我们首先研究静载荷问题。

1.3.2 内力

为了分析构件的强度、刚度和稳定性问题，除了研究构件所受的外力外，更重要的是研究构件受力后其内部各质点间相互作用力的情况。物体在未受外力时，它的分子间本来就有相互作用力，正是由于存在这些力，物体才保持固定的形状。物体在外力作用下，它将发生变形，物体内部各质点间相互作用的力也发生了改变。这种力的改变量，就是材料力学所要研究的内力。严格地讲，它是由外力的作用而引起的附加内力，通常简称其为内力。

内力在研究构件的强度、刚度及稳定性问题时，是首先要计算的力。由于内力存在于构件内部，所以只有把它暴露出来才能做进一步分析。为了显示内力可以采用截面法。现取一个在若干个外力作用下处于平衡状态的杆件来进行研究 [图 1-2 (a)]。设以一个假想截面（通常都用横截面） $m-m$ 将物体截分为 I、II 两部分 [图 1-2 (b)]，弃去一部分，例如 II 段，并将 II 段对 I 的作用以截面上内力的总和来代替。我们往往把横截面上的内力总和简称为内力。它可以简化为一个力和一个力偶 [图 1-2 (b)]。有时它也可能只是一个力或一个力偶。这样截面上的内力就暴露出来，成为弃去部分 II 段作用在被研究部分 I 段上的外力。由于杆件原来处于平衡状态，所以 I 段这个局部也必然处于平衡状态。因此只要建立被研究部分 I 段的平衡方程式，就能求出内力。

若取 II 段为研究对象，则由作用反作用定律可知，II 段在截面上的内力与前述 I 段上的内力大小相等而方向相反 [图 1-2 (c)]。因此当我们分析物体的某个截面上的内力时，可以任选截面两侧的任一部分来研究。综上所述，运用截面法求内力，可以归纳为下列三个步骤：

第一，假想用一横截面将物体截为两部分，只研究其中一部分，弃去另一部分；

第二，用作用于截面上的内力代替弃去部分对研究部分的作用；

第三，建立研究部分的平衡条件，确定未知的内力。

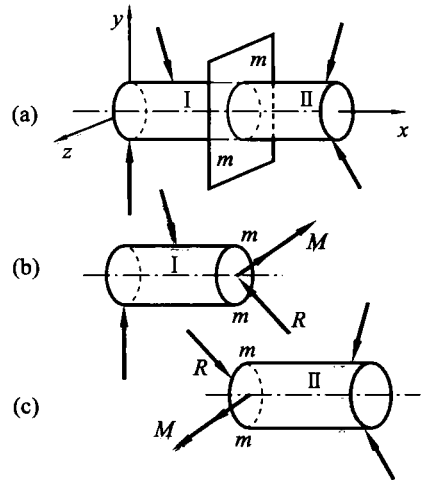


图 1-2

1.4 应力的概念

知道了内力，在研究强度，刚度和稳定性问题时，还是没有完全解决问题。因为在内力大小一定的情况下，截面的几何性质（包括截面的尺寸和形状）不同，构件的强度也就

不同。同时为了解决强度问题，不但要知道构件可能沿着哪一个截面被破坏，而且还要知道截面上哪些点最危险。这样，仅仅知道截面上内力的总和是不够的，还必须知道截面上各处内力的分布情况，为此，需引入应力的概念。

根据材料均匀连续性假设，可以认为，物体的内力是连续地作用在整个截面上的。今后把这种在截面上连续分布的内力称为分布内力，而将分布内力的合力称为内力。

现在假定在受力杆件中沿任意截面 $m-m$ 把杆件截开，取出左边部分进行分析（图 1-3），围绕截面上任意一点 M 划取一块微面积 ΔA ，如果作用在这一微面积上的内力为 ΔP ，那么 ΔP 对 ΔA 的比值，称为这块微面积上的平均应力，即：

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

一般说 $m-m$ 截面上的内力并不是均匀分布的，因此平均应力 p_m 随所取 ΔA 的大小而不同。所以它并不能真实的表明内力在 M 点的强弱程度。随着 ΔA 的逐渐缩小，分布于 ΔA 内的力也逐渐均匀。当 ΔA 趋近零时，极限值：

$$p = \lim \frac{\Delta P}{\Delta A} = \frac{dP}{dA}$$

称其为 M 点处的内力集度，也称 M 点处的总应力。 p 是一个矢量，一般说不与截面垂直，也不与截面相切。通常将 p 分解为垂直截面的分量 σ 和切于截面的分量 τ （图 1-3）。 σ 称为正应力。 τ 称为剪应力。

在国际单位制中，应力的单位是 N/m^2 ，称帕斯卡，简称帕（Pa）。由于这个单位太小，使用不便，通常使用 MN/m^2 ，兆帕（MPa）。

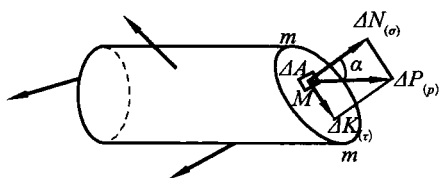


图 1-3

第 2 章 轴向拉伸与压缩

2.1 概述

在工程中经常见到承受拉伸或压缩的杆件。例如紧固螺钉 [图 2-1 (a)], 当拧紧螺帽时, 被压紧的工件对螺钉有反作用力, 螺钉承受拉伸; 千斤顶的螺杆 [图 2-1 (b)] 在顶起重物时, 则承受压缩。前者发生伸长变形, 后者发生缩短变形, 直杆沿轴线受大小相等、方向相反的外力作用, 发生伸长或缩短的变形时, 称为直杆的轴向拉伸或压缩。本章只讨论直杆的轴向拉伸与压缩。

若把承受轴向拉伸或压缩的杆件的形状和受力情况进行简化, 则可以简化成图 2-2 所示的受力简图。图中用实线表示受力前的外形, 虚线表示变形后的形状。

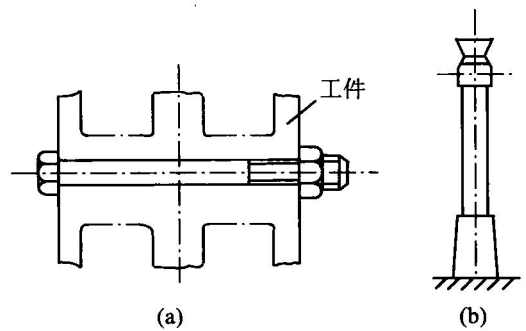


图 2-1

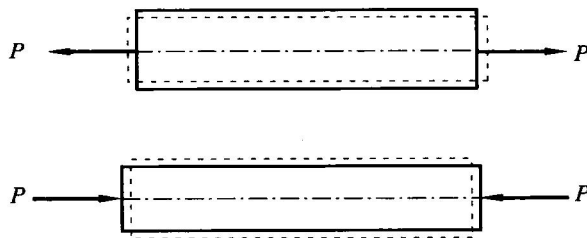


图 2-2

2.2 轴向拉伸或压缩时横截面上的内力及应力

为了求出拉(压)杆横截面上的应力, 先要研究拉(压)杆的内力。对直杆受轴向

拉力 P 的作用，我们应用截面法，求 $m-m$ 截面的内力（图 2-3）。

首先，为了把内力暴露出来，可在此截面处假想将杆切开，分为 I、II 两段。其次，假定保留 I 段，移去部分 II 段对保留部分 I 段的作用，用内力来代替，其合力为 N 。此时，已暴露出来的内力 N ，转化为外力的形式。最后，由于直杆原来处于平衡状态，切开后各部分仍应维持平衡。根据保留部分的平衡 [图 2-3 (b)] 可得：

$$N = P$$

如果再次应用截面法求 $m-m$ 截面的内力，但保留 II 段 [图 2-3 (c)]，这时 N' 代表 I 段对 II 段的作用力，同样可得：

$$N' = P$$

因为外力 P 的作用线与杆件的轴线重合，内力的合力 N' 的作用线也必然与杆件的轴线重合，所以 N 称为轴力，并且规定，当杆件受拉伸，即轴力 N （或 N' ）背离截面时为正号，反之，杆件受压缩，即 N 指向截面时为负号。

当沿杆件轴线作用的外力多于两个时，在杆件各部分的截面上，轴力不尽相同。为了表示轴力随截面位置的变化，往往画出轴力沿杆件轴线方向变化的图形，即轴力图。

例 2-1 试画出 [图 2-4 (a)] 所示直杆的轴力图。

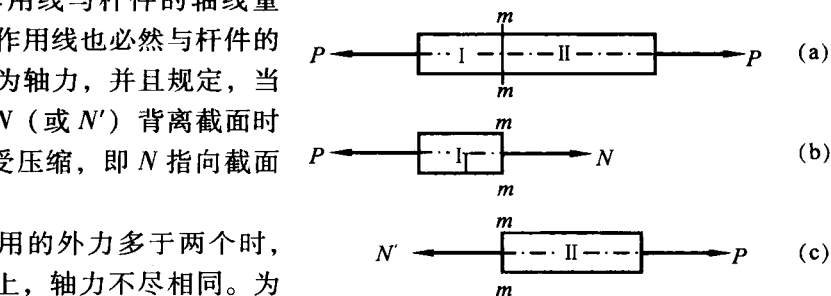


图 2-3

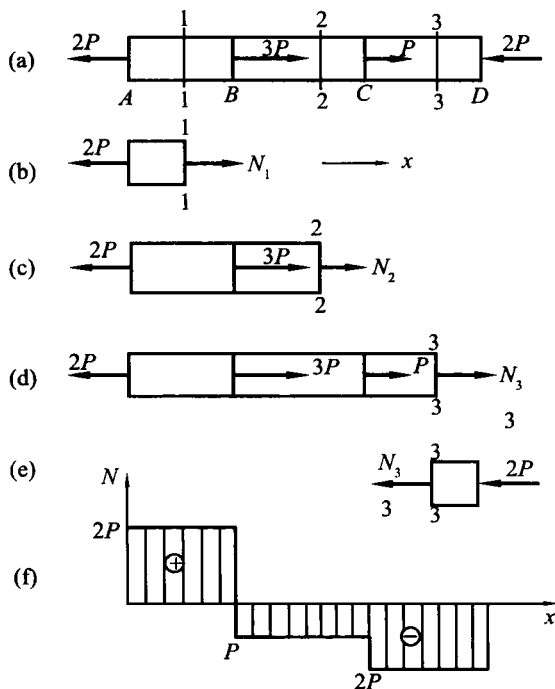


图 2-4