



普通高等学校机械基础课程规划教材

材料力学

◎ 主 编 黄世伟

◎ 副主编 安 军 仇 君



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

普通高等学校机械基础课程规划教材

材 料 力 学

主 编 黄世伟
副主编 安 军 仇 君
参 编 王昱潭 聂永芳

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

本书是根据教育部高等学校工科材料力学课程中少学时(60~80学时)课程要求和教育部高等学校力学教学指导委员会力学基础课程教学指导分委员会2009年颁布的“材料力学”课程教学基本要求(A类)编写的。

本书主要包括绪论、轴向拉伸与压缩、剪切实用计算、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态及强度理论、组合变形、压杆稳定、能量法、截面的几何性质等内容,并在附录中列出了常用材料的力学性能、简单载荷下梁的挠度和转角及型钢表等。为了便于读者自学,每章都有一定数量的思考题和习题,并在书后给出了习题的参考答案。书中物理量的名称和符号均采用国家标准。

本书可作为高等学校工程力学、机械、土建、航空航天、水利、交通运输、船舶、农业工程类专业中、少学时“材料力学”课程的教材。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/黄世伟 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2011.12
ISBN 978-7-5609-7072-1

I. 材… II. 黄… 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(2011)第 090793 号

材料力学

黄世伟 主编

责任编辑:姚同梅

封面设计:刘 卉

责任校对:张 琳

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:华中科技大学印刷厂

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:18

字 数:391千字

版 次:2011年12月第1版第1次印刷

定 价:30.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前 言

当前,科学技术日新月异,经济高速发展,对人才的要求越来越高,也越来越多样化。高等教育要适应这种要求,为社会输送大量合格的、能尽快适应社会发展的多方向人才,就需要不断改革教学方法、改革课程体系。材料力学作为工科教育的重要专业基础课,在增强学生基础知识,促进学生掌握良好学习方法,提高学生分析问题、解决问题的能力方面起着很重要的作用。本书根据教育部高等学校工科材料力学课程中、少学时(60~80学时)课程要求和教育部高等学校力学教学指导委员会力学基础课程教学指导分委员会2009年颁布的“材料力学”课程教学基本要求(A类),以及作者多年的教学经验,结合目前课程学时减少的需要和后续专业课对材料力学的要求编写。本书在内容安排上注意系统性、完整性,着重介绍材料力学的基本概念、基本理论和基本计算方法;在叙述方法上采用循序渐进、由浅入深、图文并茂、例题与习题结合的方法,使读者使用时更加方便。

本书主要包括绪论、轴向拉伸与压缩、剪切实用计算、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态及强度理论、组合变形、压杆稳定、能量法、截面的几何性质等内容,并在附录中列出了常用材料的力学性能、简单载荷下梁的挠度与转角及型钢表等。为了便于自学,每章都有一定数量的思考题和习题,书后给出了习题参考答案。书中物理量的名称和符号均采用国家标准。本书可作为高等学校工程力学、机械、土建、航空航天、水利、交通运输、船舶、农业工程类专业中少学时“材料力学”课程的教材。

本书具体编写分工为:绪论、第1、8、9、10、11章由黄世伟编写,第2、3章由聂永芳编写,第4、5章由王昱潭编写,第6、7章由安军编写。黄世伟负责全书统稿、修改和定稿,仇君对全书进行了仔细审阅。

在本书出版过程中参阅了不少相关教材和文献,华中科技大学出版社的有关同志为本书的出版付出了辛勤劳动,在此一并致谢。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏或不妥之处,竭诚欢迎读者批评指正。

编 者

2010年9月于广西大学

主要符号表

(括号内的符号为新标准符号,本书沿用旧标准符号)

$x、y、z$:坐标轴, x 轴代表杆件轴线	δ :线位移或角位移
F_N :轴力	φ :扭转角,稳定折减系数
P :功率	θ :杆的单位长度扭转角,梁的转角
T :扭矩	$[\theta]$:许用单位长度扭转角,梁的许用转角
M :弯矩	σ :正应力
F_S :剪力	$\sigma_{\max}$:横截面上最大正应力(拉或压),一点处正应力极大值,应力循环中的最大正应力
q :分布载荷的载荷集度	$\sigma_{\min}$:一点处正应力极小值,应力循环中的最小正应力
F_R :合力,支反力	$\sigma_1、\sigma_2、\sigma_3$:主应力
T :扭转力偶矩	σ_1 :拉伸正应力
M_e :弯曲外力偶矩	σ_{ya} :压缩正应力
F :集中力(载荷)	σ_w :弯曲正应力
$[F]$:许可载荷	σ_{xd} :相当正应力
F_{cr} :压杆的临界力	σ_{jx} :极限正应力
A :截面面积	$[\sigma]$:许用正应力
S :面积矩	$[\sigma_+]$:许用拉应力
I :惯性矩	$[\sigma_-]$:许用压应力
I_p :极惯性矩	σ_{jy} :挤压应力
i :惯性半径	$[\sigma_{jy}]$:许用挤压应力
W_p :抗扭截面模数	σ_p :比例极限
W_z :抗弯截面模数	σ_e :弹性极限
U :应变能	σ_s :屈服极限
u :比能	$\sigma_{0.2}$:名义屈服极限
u_f :形状改变比能	$\sigma_b(R_m)$:抗拉强度
n :安全因数,轴的转速	σ_{-b} :压缩强度
n_w :稳定工作安全因数	
$[n_w]$:许用稳定安全因数	
w :梁的挠度	
$[w]$:许用挠度	

σ_{cr} :临界应力	γ :切应变
τ :切应力	$\delta(A)$:断后伸长率
τ_{max} :最大切应力,一点处切应力极大值	$\varphi(Z)$:断面收缩率
$[\tau]$:许用切应力	E :弹性模量
τ_p :剪切比例极限	G :剪切弹性模量
τ_s :剪切屈服极限	μ :泊松比(横向变形系数),压杆的长度系数
ϵ :线应变	λ :压杆的柔度
ϵ_1 、 ϵ_2 、 ϵ_3 :主应变	K :有效应力集中系数

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 材料力学的任务	(1)
1.2 可变形固体的变形性质及其基本假设	(2)
1.3 材料力学研究的主要对象	(3)
1.4 外力及其分类	(4)
1.5 内力和截面法	(5)
1.6 应力与应变	(7)
思考题	(9)
第 2 章 轴向拉伸与压缩	(10)
2.1 拉伸与压缩的概念	(10)
2.2 轴力与轴力图	(10)
2.3 轴向拉伸(压缩)时截面上的应力	(13)
2.4 材料的力学性能	(16)
2.5 安全因数和强度条件	(23)
2.6 轴向拉伸(压缩)时的变形计算	(26)
2.7 简单拉压静不定问题	(29)
思考题	(33)
习题	(34)
第 3 章 剪切实用计算	(39)
3.1 剪切与挤压的概念	(39)
3.2 剪切的实用计算	(40)
3.3 挤压的实用计算	(43)
思考题	(45)
习题	(46)
第 4 章 扭转	(49)
4.1 扭转的概念	(49)
4.2 扭矩与扭矩图	(49)
4.3 薄壁圆筒的扭转	(52)
4.4 圆轴扭转时的应力和强度条件	(54)
4.5 圆轴扭转时的变形和刚度条件	(58)
4.6 非圆截面轴扭转	(60)
思考题	(61)

习题	(61)
第 5 章 弯曲内力	(65)
5.1 平面弯曲的概念	(65)
5.2 剪力与弯矩	(67)
5.3 剪力方程与弯矩方程 剪力图与弯矩图	(69)
5.4 剪力、弯矩与分布载荷集度间的微分关系	(74)
思考题	(78)
习题	(79)
第 6 章 弯曲应力	(84)
6.1 纯弯曲时梁的正应力	(84)
6.2 梁弯曲的切应力	(94)
6.3 梁的强度条件及其应用	(99)
6.4 梁的合理截面	(104)
思考题	(107)
习题	(108)
第 7 章 弯曲变形	(115)
7.1 弯曲变形的基本概念	(115)
7.2 挠曲线的近似微分方程	(116)
7.3 用积分法求梁的变形	(117)
7.4 用叠加法求梁的变形	(123)
7.5 简单静不定梁	(129)
7.6 弯曲刚度条件及提高梁刚度的措施	(134)
思考题	(137)
习题	(138)
第 8 章 应力状态及强度理论	(143)
8.1 关于应力状态的基本概念	(143)
8.2 平面应力状态下的应力分析	(146)
8.3 三向应力状态的应力圆	(152)
8.4 广义胡克定律	(154)
8.5 强度理论及其应用	(156)
思考题	(161)
习题	(162)
第 9 章 组合变形	(166)
9.1 组合变形的概念	(166)
9.2 斜弯曲	(167)
9.3 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	(170)

9.4 偏心拉伸(压缩)与截面核心	(173)
9.5 弯曲与扭转组合变形	(176)
思考题	(181)
习题	(183)
第 10 章 压杆稳定	(190)
10.1 压杆稳定性的概念	(190)
10.2 细长压杆的临界力——欧拉公式	(191)
10.3 中、小柔度杆的临界力 欧拉公式的应用范围	(195)
10.4 压杆稳定条件及合理设计	(200)
思考题	(204)
习题	(205)
第 11 章 能量法	(208)
11.1 概念	(208)
11.2 外力功的计算	(208)
11.3 变形能的计算	(211)
11.4 单位载荷法(莫尔积分法)	(215)
11.5 互等定理	(221)
11.6 虚功原理	(223)
11.7 卡氏定理	(226)
思考题	(228)
习题	(228)
第 12 章 截面的几何性质	(235)
12.1 静矩与形心	(235)
12.2 极惯性矩	(237)
12.3 惯性矩	(239)
12.4 惯性矩平行轴定理	(243)
思考题	(245)
习题	(245)
附录 A 常用材料的力学性能	(248)
附录 B 简单载荷下梁的挠度和转角	(249)
附录 C 型钢表	(252)
习题参考答案	(267)
参考文献	(276)

第 1 章 绪 论

1.1 材料力学的任务

各种机械和建筑物,如机床、起重机和桥梁等,都是由若干构件组成的。为了保证机械和建筑物能够正常地工作,要求其每个构件在载荷作用下均能正常地工作。为此,首先要求构件在载荷作用下不发生破坏。例如,起重机在吊运货物时,若吊索发生断裂,则整个起重机就将停止工作。其次,对某些构件,除要求它不发生破坏外,还要求它不发生过度的变形。例如机床主轴,若工作时变形过大,则将影响加工精度。因此,通常要求将某些构件的变形量限制在某一允许范围之内。此外,对某些构件,还要求它在载荷作用下,其原有形状下的平衡不发生突然改变。例如受压的细长直杆,当沿杆轴向作用的压力达到某一限度时,杆会从直线形状突然变弯。通常将类似于细长压杆出现的这种现象称为构件在原有形状下的平衡丧失了稳定性,简称失稳。构件一旦失稳,将不能正常地工作。

将上述内容归纳起来,对构件的正常工作有如下三个方面的要求。

(1) 构件应具有足够的抵抗破坏的能力,使其在载荷作用下不致破坏,即要求它具有足够的强度。

(2) 构件应具有足够的抵抗变形的能力,使其在载荷作用下所产生的变形不超过工程上所允许的范围,即要求它具有足够的刚度。

(3) 构件应具有足够的抵抗失稳的能力,使其在载荷作用下能保持其原有形状下的平衡,即要求它具有足够的稳定性。

在工程上,除要求构件具有足够的强度、刚度和稳定性外,一般还要求尽可能地节约材料。这就应该避免不适当地选用横向尺寸较大的构件或优质材料。

材料力学的任务就是为使构件满足上述要求而提供理论依据和计算方法。此外,它还在基本概念、基本理论和基本方法等方面,为机械零件、结构力学等后继课程奠定了基础。在材料力学中,有些理论分析要在实验的基础上进行,材料在力学方面的性能,要直接由实验来测定。此外,还有一些单凭现有理论尚不能解决的问题,也需借助于实验来解决。

1.2 可变形固体的变形性质及其基本假设

1. 可变形固体的变形性质

制造构件所用的材料是多种多样的,但它们有一个共同的特点,即都是固体,而且在载荷作用下会发生相应的变形,这类材料统称为可变形固体。材料的变形可分为两种:一种是当载荷除去后能自行消失的变形,称为弹性变形;另一种是当载荷除去后不能消失的变形,称为塑性变形或残余变形。多数构件在正常工作条件下只发生弹性变形。相对于构件的原始尺寸来说,弹性变形通常是极其微小的。

2. 关于可变形固体的基本假设

在材料力学中,常须对材料的物质结构和性质作一些假设,将它们抽象为一种理想模型,作为理论分析的对象,这样可使分析过程和所得结果大大简化。由此建立的理论和方法适用于绝大多数常用的工程材料。下面是对可变形固体所作的基本假设。

1) 连续性假设

认为物体在其整个体积内毫无空隙地充满了物质,其结构是密实的。实际的可变形固体,从其物质结构来说,均具有不同程度的空隙,因这些空隙的大小与构件的尺寸相比均极微小,对它们可忽略不计,从而认为物体的结构是密实的。

2) 均匀性假设

认为从物体内部取出的任一部分,不论其体积大小如何,其力学方面的性能都是完全一致的。实际的可变形固体,其基本组成部分(例如金属材料中的晶粒)的性能都有不同程度的差异。但由于基本组成部分的大小与构件的尺寸相比极其微小,而且在构件中的排列也是不规则的,所以物体的力学性能并不反映其基本组成部分的性能,而是反映所有组成部分力学性能的统计平均量,因而可认为物体的力学性能是均匀的。

3) 各向同性假设

认为材料沿各方向的力学性能均相同。实际上,某些材料,如工程中常用的金属材料,就其每一个晶粒来说,其力学性能是具有方向性的。但由于构件中包含的晶粒数量极多,而且晶粒的排列也完全没有规则,故从宏观的角度看,材料的力学性能并不显示出方向性的差异。因此,按统计平均的观点可将这类材料假设为各向同性的材料。

4) 小变形假设

工程构件在外力作用下所产生的变形,与构件原始尺寸相比一般是很微小的。因此,对构件进行静力平衡分析或运动分析时,可以不计其变形,而按变形前的原始尺寸来考虑,从而使计算大大简化。

连续、均匀和各向同性的可变形固体,是对实际材料的一种科学抽象。实践证明,在此前提下建立的有关理论和所得到的计算结果是能令人满意的。

1.3 材料力学研究的主要对象

1. 材料力学研究的主要对象

实际构件有各种不同的形状,根据形状的不同将构件主要分为杆件和板件两类。一个方向的尺寸远大于其他两个方向的尺寸的构件称为杆件,简称杆,如图 1-1 所示。杆件是工程中最常见、最基本的构件。杆件的形状和尺寸由其横截面和

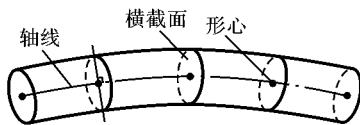


图 1-1

轴线确定。横截面是与轴线垂直的截面;轴线是横截面形心的连线。杆件按横截面沿轴线的变化情况可分为等截面杆和变截面杆,按轴线的形状可分为直杆、曲杆和折杆。

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,如图 1-2 所示。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,如图 1-2(a)所示;中面为曲面的板件称为壳,如图 1-2(b)所示。材料力学的主要研究对象是杆,以及由若干根杆组成的简单杆系,同时也研究一些形状与受力均比较简单的板与壳。至于一般较复杂的杆系与板壳问题,则属于结构力学与弹性力学等的研究范畴。

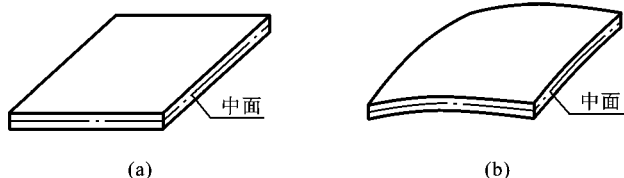


图 1-2

2. 杆件的基本变形形式

杆件在外力作用下产生的变形可归结为以下四种基本形式。

(1) 轴向拉伸或轴向压缩(见图 1-3(a)) 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。起吊重物的钢索、桁架的杆件、液压油缸的活塞杆等的变形,都属于轴向拉伸或压缩变形。

(2) 剪切(见图 1-3(b)) 这类变形形式是由大小相等、方向相反、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。机械中常用的连接件,如键、销钉、螺栓等都可产生剪切变形。

(3) 扭转(见图 1-3(c)) 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。汽车的传动轴、电动机和水轮机的主轴等都是受扭杆件。

(4) 弯曲(见图 1-3(d)) 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。在工程中,杆件弯曲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。

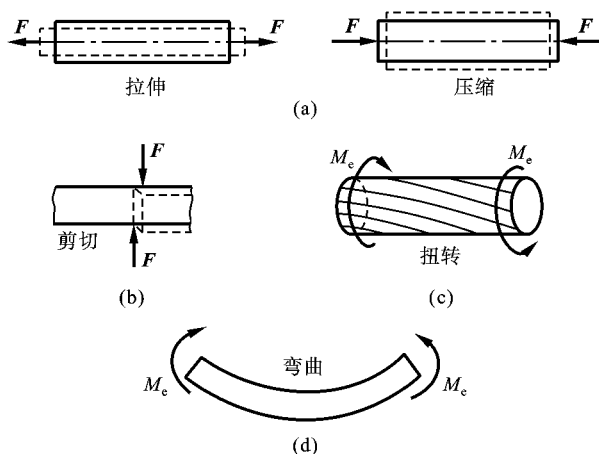


图 1-3

杆件的变形均以上四种基本变形形式之一,或者是几种基本变形的组合形式,后者称为组合变形。

以下各章将分别就上述几种基本变形形式进行详细的分析讨论,然后再进一步讨论组合变形问题。

1.4 外力及其分类

当研究某一构件时,可以设想把这一构件从周围物体中单独取出,并用力来代替周围各物体对构件的作用。这些来自构件外部的力就是外力。按作用方式外力可分为表面力和体积力两种。表面力是作用于物体表面的力,又可分为分布力和集中力两种。分布力是连续作用于物体表面的力,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。若外力分布面积远小于物体的表面尺寸,或沿杆件轴线分布范围远小于轴线长度,就可看做是作用于一点的集中力,如火车轮对钢轨的压力、滚珠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的力,例如物体的自重和惯性力等。

载荷分为静载荷和动载荷两种。若载荷缓慢地由零增加到某一定值以后保持不变,或变动很不显著,即为静载荷。例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。按其随时间变化的方式,动载荷又可分为交变载荷和冲击载荷两种。交变载荷是随时间发生周期性变

化的载荷,例如当齿轮转动时,作用于每一个齿上的力都是随时间发生周期性变化的。冲击载荷则是物体的运动在瞬间发生突然变化所引起的载荷,例如急刹车时飞轮的轮轴、锻造时气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不相同,分析方法也有差异。因为静载荷问题比较简单,所建立的理论和分析方法又可作为解决动载荷问题的基础,所以首先研究静载荷问题。

1.5 内力和截面法

1. 内力的概念

通常说来,物体的内力是指物体内部质点之间的相互作用力,在物体没有受到外力作用时它就存在着。正是这种内力,使物体各个部分紧密相连,并保持一定的几何形状。

材料力学中所讲的内力,则是指物体在外力作用下引起的内部相互作用力的变化量,称为“附加内力”。这种附加内力随着外力的增加而增大,并与外力保持平衡。当外力增大,使附加内力达到某一极限值时,构件便产生破坏。因此,这种附加内力是与构件的强度密切相关的。材料力学研究的就是这种附加内力,简称内力。

2. 内力的计算——截面法

为了显示内力并确定其大小,假想地沿欲求内力的截面将构件切开,这样相应的内力就得以显露,如图 1-4 所示。由连续性假设可知,内力是作用在切开截面上的连续分布力。

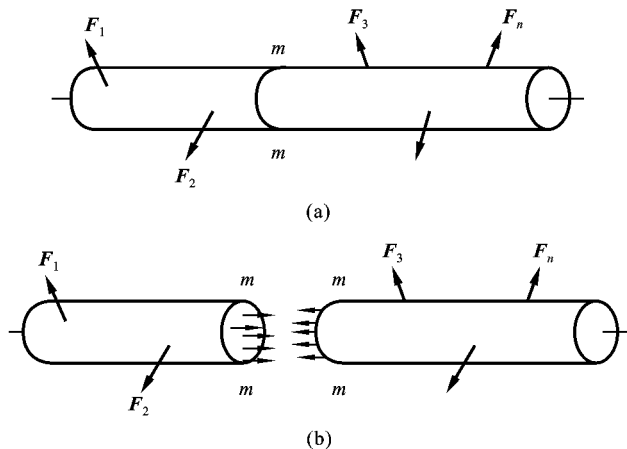


图 1-4

应用力系简化理论,将上述分布内力向截面的形心 C 简化,得到主矢 F_R 和主矩 M ,如图 1-5 所示。为了分析内力,沿截面轴线建立 x 轴,在所切截面内建立 y 轴和 z 轴,并将主矢 F_R 和主矩 M 分解,得内力分量 F_x 、 F_y 和 F_z ,以及内力偶矩分量 M_x 、 M_y

和 M_z 。沿轴线的内力分量 F_x 称为轴力, 用 F_N 表示; 作用线位于所切截面的内力分量 F_y 和 F_z 称为剪力, 用 F_S 表示; 矢量沿轴线的内力偶矩 M_x 称为扭矩, 用 T 表示; 矢量位于所切截面的内力偶矩 M_y 和 M_z 称为弯矩。上述内力及内力偶分量与作用在所截部分上的外力保持平衡, 因此, 由平衡方程

$$\begin{aligned} \sum F_x = 0, \quad \sum F_y = 0, \quad \sum F_z = 0 \\ \sum M_x = 0, \quad \sum M_y = 0, \quad \sum M_z = 0 \end{aligned}$$

即可建立内力与外力间的关系或由外力确定内力。

为叙述方便, 本书将内力分量及内力偶矩分量统称为内力分量。

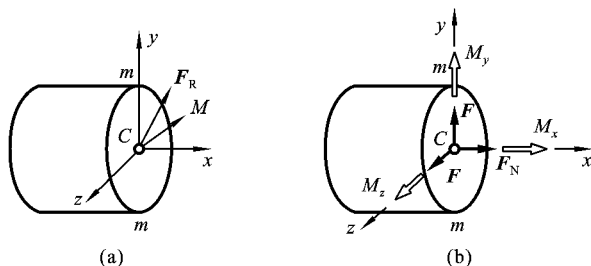


图 1-5

上述将构件假想地切开以显示内力, 并由平衡条件建立内力与外力间的关系或由外力确定内力的方法, 称为截面法, 可将其归纳为以下三个步骤。

(1) 截开 在欲求内力的截面处, 假想用一平面将截面分成两部分, 任意保留一部分, 弃去另一部分。

(2) 代替 用作用于截面上的内力代替弃去部分对留下部分的作用。

(3) 平衡 对留下部分建立平衡方程, 确定内力分量。

前述内力分量是一般情况, 在很多情况下, 构件截面上仅存在一种、两种或三种内力分量。

例 1-1 图 1-6(a) 所示为一台钻床。钻孔时, 钻头受到 $F=15 \text{ kN}$ 的压力, 力 F 作用线到立柱轴线的距离 $l=40 \text{ cm}$ 。试求钻床立柱横截面 $m-m$ 上的内力。

解 用假想截面将立柱从 $m-m$ 处截开, 取其上部 I 作为示力对象, 研究其平衡, 如图 1-6(b) 所示。在外力 F 作用下 I 部分保持平衡, 因此, 在截面 $m-m$ 处必然有内力 F_N 和内力矩 M 的作用, 其方向如图 1-6(b) 所示。列出平衡方程并求解:

$$\sum F_y = 0, \quad F_N = F = 15 \text{ kN}$$

$$\sum M_O = 0, \quad M = Fl = 15 \times 0.4 \text{ kN} \cdot \text{m} = 6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

必须指出, 在研究构件的内力或变形时, 不允许应用力的可传性原理, 如图 1-7(a) 所示的杆件, 在端点 A 作用一拉力 F , 由截面法可求得 $m-m$ 截面上的内力 $F_N=F$ 。若将力 F 沿作用线移至 B 点, 则 $m-m$ 截面上的内力为零, 如图 1-7(b) 所

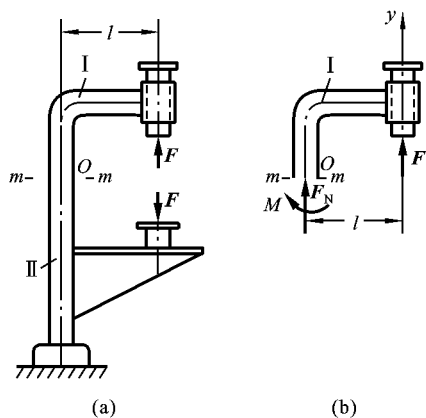


图 1-6

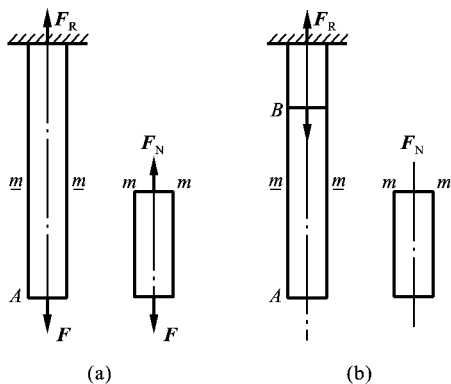


图 1-7

示。同理,在研究杆件内力时,也不允许力偶在其作用平面上移动。总之,由于材料力学的研究对象是可变形固体,因此在应用理论力学中根据刚体假设得到的有关结论时,要注意其适用条件。例如研究内力时,适用于刚体力学中的“一个力系可用另一个与它静力相当的等效力系来代替”的原理都不适用。

1.6 应力与应变

1. 应力

在确定了构件截面上的内力后,还不能判断该截面上的强度是否足够,为此,引入内力分布集度的概念,如图 1-8 所示。围绕任一点 K 取微小面积 ΔA , ΔA 上所分布内力的合力为 ΔF , ΔF 与 ΔA 的比值用 p_n 表示,即

$$p_n = \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (1-1)$$

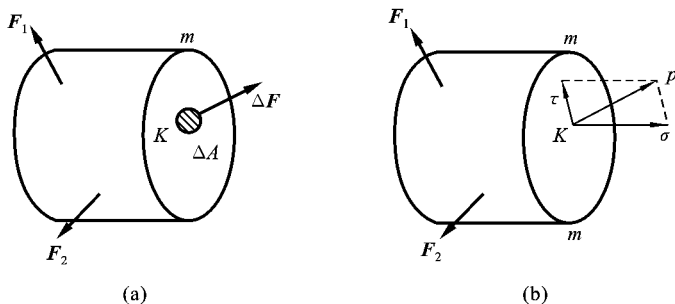


图 1-8

p_n 是一个矢量,代表在 ΔA 范围内,单位面积上的内力的平均集度,称为平均应力。当 ΔA 趋于零时, p_n 的大小和方向都将趋于一定极限,得到

$$\boldsymbol{p} = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \boldsymbol{p}_n = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta \boldsymbol{F}}{\Delta A} = \frac{d\boldsymbol{F}}{dA} \quad (1-2)$$

式中： $\boldsymbol{p}$ 称为点 K 处的应力。通常把应力 $\boldsymbol{p}$ 分解成垂直于截面的分量 σ 和与截面相切的分量 τ ，其中 σ 称为正应力， τ 称为切应力。显然

$$p^2 = \sigma^2 + \tau^2 \quad (1-3)$$

应力的国际单位为 N/m^2 ， $1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa}$ (帕)， $1 \text{ GPa} = 10^9 \text{ N/m}^2 = 10^9 \text{ Pa}$ ， $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ N/m}^2 = 10^6 \text{ Pa}$ 。

2. 应变

构件在外力作用下会发生变形，同时引起应力。为了研究构件的变形及其内部的应力分布，需要了解构件内部各点处的变形。对于构件内任一点，有线变形和角变形两种基本变形，它们分别用线应变和切应变来度量。

1) 线应变

设想将构件分割成许多细小的正六面体(称为单元体)，构件受力后，各单元体的位置发生变化，同时，单元体棱边的长度发生改变(见图 1-9)，相邻棱边所夹直角一般也发生改变(见图 1-10)。设棱边 AB 的边长为 Δs ，变形后的长度为 $\Delta s + \Delta u$ ，即改变量为 Δu ， Δu 与 Δs 的比值称为棱边 AB 的平均应变，用 ϵ_n 表示，即

$$\epsilon_n = \frac{\Delta u}{\Delta s} \quad (1-4)$$

一般情况下，棱边 AB 方向各点处的变形程度并不相同，平均应变的大小随着棱边的长度而改变。为了准确地描述点 A 沿棱边 AB 方向的变形情况，选取无限小的单元体，由此得到平均应变的极限值，即

$$\epsilon = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta s} \quad (1-5)$$

ϵ 称为点 A 沿 AB 方向的线应变，简称应变。

线应变无量纲，其物理意义是构件上一点沿某一方向变形量的大小，实际上就是单位长度上的变形量。

2) 切应变

当棱边长度发生改变时，相邻棱边的夹角一般也发生改变。如图 1-10 所示，相邻两棱边所夹直角的改变量称为切应变，用 γ 表示。

切应变实际上就是一单元体两棱边角的改变量，无量纲。

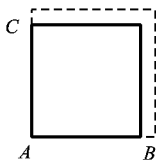


图 1-9

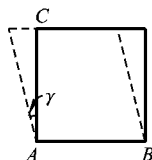


图 1-10