



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家级精品课程主干教材

基础材料力学

王春香 主 编

王春香 张少实 哈 跃 编



科学出版社
www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家级精品课程主干教材

基础材料力学

王春香 主编

王春香 张少实 哈 跃 编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是第一届国家精品课程建设成果之一,是国家“十一五”规划教材建设项目,是哈尔滨工业大学材料力学教研室全体教师多年教学经验与教学实践的总结。本教材的特点是:采用以应力、应变分析为主线的教材体系,使教材结构更加严谨,系统性更强。采用此教材体系目的在于加强力学基础,强化应力、应变分析,重点阐述力学分析的一般方法;贯彻少而精的原则,减少重复罗列;突出共性,将问题性质、分析方法相同的内容归在同一章讨论,使各部分内容融会贯通,重点突出;注重启发式教学,为学生留有充分的学习思维空间。

全书共包括绪论、杆件的内力分析、应力状态分析、应变状态分析、材料的力学性能、杆件横截面上的应力分析、杆件的变形计算、强度理论、杆件的强度与刚度设计,以及压杆的稳定 10 章内容。

本书可以作为高等院校工科各专业(学习中、少学时材料力学)的教科书,也可作为有关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

基础材料力学/王春香主编;王春香,张少实,哈跃编. —北京:科学出版社,2007

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-03-019136-6

I. 基… II. ①王…②王…③张…④哈… 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(2007)第 108723 号

责任编辑:马长芳 杨 然/责任校对:包志虹

责任印制:张克忠/封面设计:陈 敬

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>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 8 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2007 年 8 月第一次印刷 印张: 15 1/4

印数: 1—3 500 字数: 300 000

定价: 22.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈长虹〉)

序

哈尔滨工业大学材料力学教研室建于1952年,是国内最早成立的材料力学教研室之一。当时首先翻译了前苏联的材料力学教材(别辽耶夫著)作为全国统一教材,时至今日国内大部分材料力学教材还延续着这一体系。这本教材的翻译出版,对我国的力学教育的发展具有深远影响,老一代力学工作者为我国力学事业的发展做出了不可磨灭的贡献。

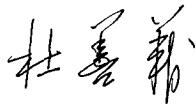
在我国教育事业蓬勃发展、教育改革不断深化的今天,包括材料力学在内的课程,也在不断改革、更新与发展。经过多年的努力,哈尔滨工业大学材料力学课程取得了多项教学成果与教学改革成果,2002年被评为首批国家精品课程,课程负责人张少实教授获首批国家教学名师奖。

王春香教授任哈尔滨工业大学材料力学教研室副主任、航天科学与力学系副主任多年,一直负责教学工作,并始终在本科教学第一线,教学效果优秀,深受学生的欢迎,获省、校各类教学奖多项,积累了丰富的教学经验。该书是以讲义的形式,在多位教师几年试用、修改与经验积累的基础上编写形成的,因此,该书也是哈尔滨工业大学材料力学教研室全体教师多年教学改革、教学经验与教学实践的总结。

该书是针对中、少学时课程而编写的。其特点是:力学基础与力学工程概念相结合,培养学生的创新精神,可为学生跨学科、跨领域发展打下坚实的力学基础。

该书采用以应力、应变分析为主线的体系,注意突出共性,按问题性质、分析方法相同而归类分章,各部分内容融会贯通,且重点突出,教材结构严谨,系统性强,重点阐述了力学分析的一般方法,为学生进一步学习其他力学知识开辟出接口。对学习少学时材料力学的学生,不是只要求其知道结果、公式和应用,还要巩固与加深对基本理论与概念的理解,进行有必要的推导,以保证国家课程指导委员会对基础力学课程教学的基本要求。

该书采用统一坐标系,避免了坐标系正负方向经常变更的弊端,同时,为便于使用计算机分析软件求解,且兼顾了其他课程选取坐标系的习惯,其中大部分图形用计算机绘制,图形立体感强,更形象、直观、逼真,更接近于工程实际。我看后,觉得该教材有特色、有新意,确有使用与推广价值。



2007年5月28日
于哈尔滨工业大学

前 言

哈尔滨工业大学材料力学课程,经过多年的建设,在许多方面取得了有意义的成果,被评为第一届国家精品课程。本书是国家精品课程建设成果之一,是国家“十一五”规划教材建设项目,是哈尔滨工业大学材料力学教研室全体教师多年教学改革、教学经验与教学实践的总结。

课程建设的首要工作是对课程教学内容和课程体系的改革,根据我国高等教育和教学改革的发展趋势,以及社会对人才所具有能力和潜质的要求,结合工程中的设计理念、分析计算手段及后续课程的变革,在对课程体系及课程内容进行了相应改革及实践的基础上,形成了本书。本书是针对中、少学时课程而编写的,根据基础力学与工程中各个领域密切相关,以及目前毕业生就业面宽,跨学科、跨专业就业比例增大的特点,加强基础力学的学习,增强力学工程概念,有利于毕业生跨学科、跨领域发展。编写本书的主导思想是,改变过去对少学时力学课程的认识,认为开少学时课的专业只对力学知识有一定了解即可,因此,许多内容都是只给出结果而没有必要推导,只介绍概念而缺少加深巩固基本理论概念的措施,只注意公式介绍与应用而忽视学生创新能力必备素质的培养。在编写本书的过程中,从培养学生的创新精神出发,加强必要的理论推导,使学生掌握力学基本分析方法,引入更多的工程实际问题,通过解决实际问题,巩固力学基本概念,培养学生自主学习能力,去逐渐达到创新的目的。具体体现在以下几个方面。

采用以应力、应变分析为主线的教材体系,使结构更加严谨,系统性更强。采用此教材体系的目的在于加强力学基础,强化应力应变分析,重点阐述力学分析的一般方法。

改变以基本变形分章,各章都要讨论内力、应力、变形和强度、刚度计算的传统体系,贯彻少而精的原则,减少重复罗列,突出共性,将问题性质、分析方法相同的内容归在同一章讨论,使各部分内容融会贯通,且重点突出。例如,杆件的内力分析其共性就是使学生熟练掌握“截面法”、内力分量的正负号规定及内力图的绘制,因此,内力分析单独归为一章,并从一般的复杂内力分析到简单内力分析,重点强化“截面法”;将构件的强度、刚度计算内容合并,一并归入杆件失效与设计内容之中,重点突出工程设计中常规的静力学设计方法。其他内容同样按这一理念进行组织介绍。

书中为学生留有充分的学习空间,在讲述完必要的理论基础后,提出一些问题,留给学生去思考,用已学过的知识去解决这些问题,为培养学生的综合能力、创

新能力提供相应的条件。另外,书中还编入了部分带“*”号内容,供教师根据不同专业、不同学时选讲,或作为学生的自学内容,以便于扩充他们的知识面,培养他们独立获取知识的能力。

全书统一了坐标系,避免了坐标系正负方向经常变更的弊端。根据坐标方向引入正面、负面概念,内力与应力正负符号规定完全根据选定的坐标来定义,这样兼顾了其他课程(理论力学、弹性力学、数学、物理等)选取坐标系的习惯,有利于使用计算机进行分析计算。

书中大部分图形是用计算机绘制的立体感强、透明性好的二维或三维图形,这些图形形象、直观、逼真,更接近于工程实际,扩充了对材料力学知识的表述方式,增强了学生对理论知识的理解力。

本书包括绪论、杆件的内力分析、应力状态分析、应变状态分析、材料的力学性能、杆件横截面上的应力分析、杆件的变形计算、强度理论、杆件的强度与刚度设计及压杆的稳定共 10 章内容。

本书由王春香教授、张少实教授、哈跃副教授编写,书中大部分图形由哈跃老师在计算机上绘制。

哈尔滨工业大学杜善义院士多年在材料力学教研室任教,始终关心教学改革,详细审阅了本书初稿,提出了宝贵的修改意见,编者表示诚挚的谢意。本书编写过程中,得到哈尔滨工业大学材料力学课程许多同志的支持和帮助,谨此致谢。

书中不足之处,敬请同行及读者指正。

此教材由“哈尔滨工业大学优秀团队支持计划资助”。

编 者

2007 年 5 月 4 日

于哈尔滨工业大学

主要符号表

A	截面面积, 弯曲中心	p	压力(压强), 全应力
a	间距	P	功率
b	截面宽度	q	分布载荷集度
C	截面形心	r, R	半径
d, D	直径	S	静矩
e	偏心距	T	扭矩
E	弹性模量	u	比能(应变比能), 位移
F	集中力	u_f	形状应变比能
F_{Ax}, F_{Ay}, F_{Az}	A 处的约束力分量	u_v	体积应变比能
F_{bs}	挤压力	U	应变能(变形能)
F_{cr}	临界力	v	挠度
F_N	轴力	$[v]$	许用挠度
F_S, F_{S_y}, F_{S_z}	剪力、剪力分量	V	体积
F_u	极限载荷	W_z	抗弯截面模量
F_x, F_y, F_z	力在 x, y, z 方向上的分量	W_t	抗扭截面模量
$[F]$	许用载荷	γ	切应变
G	切变模量	δ	伸长率(延伸率)、厚度
GI	杆的抗扭刚度	ϵ	线应变
h	截面高度	ϵ_e	弹性应变
i	惯性半径	ϵ_p	塑性应变
I	惯性矩	ϵ_u	极限线应变
I_p	极惯性矩	θ	体积应变、梁的弯曲转角
I_{xy}	惯性积	$[\theta]$	许用转角
K	弹簧刚度	λ	压杆的柔度(长细比)
l, L	长度、跨度	μ	压杆的长度系数
m	分布力偶	ν	泊松比
M, M_y, M_z	弯矩、弯矩分量	ρ	曲率半径
M_e	外力偶矩	σ	正应力
n	安全系数, 转速(r/min)	$\sigma_{0.2}$	名义屈服极限
n_{st}	稳定安全系数	σ_b	抗拉强度极限

σ_{bc}	抗压强度极限	$[\tau]$	许用切应力
σ_{bs}	挤压应力	ϕ	扭转角
σ_c	压应力	φ	单位扭转角
σ_{cr}	临界应力	ψ	截面收缩率
σ_e	弹性极限		
σ_m	平均应力	常用角标	
σ_p	比例极限		
σ_r	相当应力, 径向应力	bs	挤压
σ_s	屈服点(屈服极限)	c	压缩
σ_t	拉应力	cr	临界
σ_u	极限正应力	e	外, 弹性
σ_θ	环向应力	m	平均
$[\sigma]$	许用正应力	max	最大
$[\sigma_{bs}]$	许用挤压应力	min	最小
$[\sigma_c]$	许用压应力	p	塑性
$[\sigma_{st}]$	稳定许用应力	r	相当, 径向
$[\sigma_t]$	许用拉应力	s	屈服
τ	切应力	st	稳定
τ_b	剪切强度极限	t	拉伸
τ_s	剪切屈服点	u	极限
τ_u	极限切应力	θ	环向

目 录

序

前言

主要符号表

第 1 章 绪论	1
1.1 变形固体及其基本假设	1
1.2 弹性变形 塑性变形 小变形	3
1.3 强度 刚度 稳定性	3
第 2 章 杆件的内力分析	5
2.1 内力 截面法	5
2.2 轴向拉压杆的轴力 轴力图	6
2.3 轴的扭矩 扭矩图	8
2.4 弯曲内力 剪力图与弯矩图	9
习题	17
第 3 章 应力状态分析	21
3.1 应力的概念	21
3.2 轴向拉压杆的应力	22
3.3 一点的应力状态 切应力互等定理	24
3.4 平面应力状态分析的解析法	26
3.5 平面应力状态分析的图解法	33
* 3.6 空间应力状态	36
3.7 特例分析	41
习题	43
第 4 章 应变状态分析	46
4.1 应变的概念 一点的应变状态	46
4.2 平面变形 应变分量与位移之间的关系	48
* 4.3 平面应变分析的解析法	50
4.4 应变的测量	53
习题	54
第 5 章 材料的力学性能	56
5.1 轴向载荷下材料的力学性能	56

5.2 简单胡克定律	66
5.3 广义胡克定律	67
5.4 体积应变与形状应变	71
5.5 应变能	73
* 5.6 各向同性材料弹性常数间的关系	75
习题	76
第6章 杆件横截面上的应力分析	79
6.1 圆轴扭转横截面上的切应力	79
6.2 矩形截面杆扭转结果简介	84
6.3 平面弯曲梁横截面上的正应力	87
* 6.4 弯曲切应力	94
* 6.5 开口薄壁非对称截面梁的弯曲 弯曲中心	101
习题	103
第7章 杆件的变形计算	108
7.1 轴向拉压杆的变形	108
7.2 扭转变形	110
7.3 求弯曲变形的直接积分法	111
7.4 叠加原理与叠加法求弯曲变形	116
* 7.5 有限差分法求弯曲变形	120
7.6 简单静不定问题	123
习题	126
第8章 强度理论	131
8.1 单轴应力状态下材料的失效准则与构件的强度条件	131
8.2 强度理论的概念	132
8.3 断裂强度准则	133
8.4 屈服强度准则	134
* 8.5 莫尔准则	135
习题	139
第9章 杆件的强度与刚度设计	142
9.1 强度设计条件(准则)与刚度设计条件(准则)	142
9.2 拉、压杆的强度计算	144
9.3 联接件的工程实用计算	147
9.4 梁的强度与刚度计算	154
9.5 传动轴的设计	161
习题	167

第 10 章 压杆的稳定	178
10.1 压杆稳定的概念	178
10.2 两端铰支细长压杆的临界力	179
10.3 不同杆端约束细长压杆的临界力	182
10.4 欧拉公式的应用范围 经验公式	183
10.5 压杆稳定性计算	186
10.6 提高压杆稳定性的措施	192
习题	193
习题参考答案	197
参考文献	202
附录 A 截面的几何性质	203
A.1 静矩与形心	203
A.2 惯性矩 极惯性矩 惯性积 惯性半径	205
A.3 平行移轴公式	208
A.4 转轴公式	210
A.5 主轴 主惯性矩 形心主轴 形心主惯性矩	212
习题	215
附录 B 型钢表	218

第1章 绪 论

材料力学的研究对象和分析问题的方法与理论力学是不完全相同的,理论力学主要研究质点和质点系以及刚体和刚体系,而材料力学主要研究变形体。材料力学除理论分析外,往往需要在实验的基础上做出假设,进行简化计算。材料力学主要是对构件进行力学方面的设计,使其达到预期的使用功能,即研究构件的强度、刚度和稳定性。

1.1 变形固体及其基本假设

1.1.1 变形固体

各种工程结构(机械结构、土木结构、航空航天结构等)都由若干零件、部件、元件组成。例如,机床是由主轴、齿轮、传动轴、床身等零件、部件组成,房屋由梁、柱、板等组成。工程结构的各个组成部分统称为结构构件,简称**构件**。

构件根据其几何形状及各个方向的尺寸大小,大致分为如下四类:

杆——一个方向的尺寸远大于另外两个方向的尺寸。轴线是直线为直杆(图 1-1(a)),轴线是曲线为曲杆(图 1-1(b))。

板——一个方向的尺寸远小于另外两个方向的尺寸,且中面为平面(图 1-1(c))。

壳——一个方向的尺寸远小于另外两个方向的尺寸,且中面为曲面(图 1-1(d))。

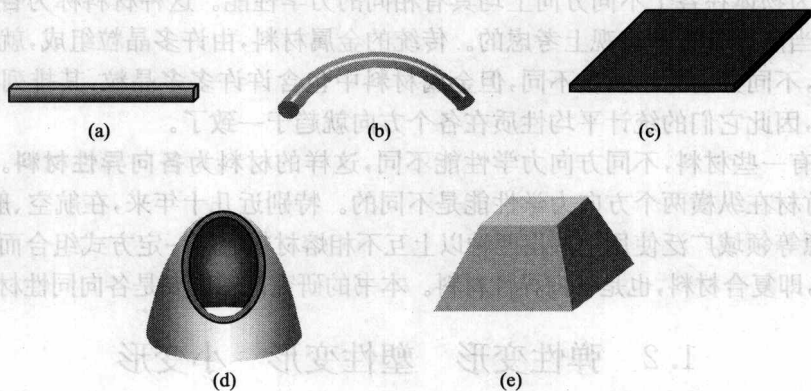


图 1-1

块——三个方向的尺寸基本相同(图 1-1(e))。

材料力学主要研究杆状构件(杆件),且以直杆为主,或由直杆组成的折杆。

工程中制作构件的材料种类繁多,但都为固体。任何固体受力后其内部各个质点均产生相对运动,各个质点位置相对其初始位置都有一个改变,称为位移。由于各点的位移,使固体的形状、尺寸发生改变,这种改变称为变形。因此,所有的固体材料统称为变形固体。

1.1.2 变形固体的基本假设

固体材料的结构组成一般是复杂的,不同材料其微观结构不同,而材料力学研究问题的范畴属于宏观研究,因此,根据变形固体的主要性质作出某些假设,使得分析更加简单。

1. 连续性假设

认为物体整个体积内毫无空隙地充满了物质。实际上,工程材料的内部都有不同程度的空隙,如粒子之间的空隙、材料中的微观缺陷和杂质,但这些空隙、缺陷和杂质与构件的尺寸相比非常微小,可以忽略。由于这种连续性假设,构件内因受力而产生的内力和变形都将是连续的,这有利于建立数学模型和用数学方法进行分析。

2. 均匀性假设

认为从物体内任意位置取出一部分,不论体积大小,其力学性质完全相同。实际上,一般的工程材料都有不同程度的非均匀性。例如,金属材料,多为两种或两种以上元素组成,不同元素晶粒的力学性质并不完全相同。但构件的尺寸远大于晶粒的尺寸,且为数极多的晶粒又无序排列,所以从统计平均值的观点考虑,可假设材料是均匀的。

3. 各向同性假设

认为物体在各个不同方向上均具有相同的力学性能。这种材料称为各向同性材料。当然这也是从宏观上考虑的。传统的金属材料,由许多晶粒组成,就单一晶粒来说,不同方向力学性质不同,但金属材料中包含许许多多晶粒,其排列也是不规则的,因此它们的统计平均性质在各个方向就趋于一致了。

另有一些材料,不同方向力学性能不同,这样的材料为各向异性材料。例如,木材、竹材在纵横两个方向力学性能是不同的。特别近几十年来,在航空、航天、通信、能源等领域广泛使用一些由两种以上互不相熔材料通过一定方式组合而成的新型材料,即复合材料,也是各向异性材料。本书的研究范围主要是各向同性材料。

1.2 弹性变形 塑性变形 小变形

在载荷作用下,物体发生变形。当载荷除去时变形随之消失,这种变形称为弹

性变形。当载荷除去时,有一部分变形随之消失(弹性变形),但仍有一部分是不能消失的变形,这部分变形称为**塑性变形**或**永久变形**。

当载荷去掉后能完全恢复原状的物体称为**理想弹性体**。实际上,并不存在这种物体,但由实验可知,常用工程材料,如金属、木材等,当外力不超过某一限度时,很接近于理想弹性体,且力和变形成正比(线性)关系,这样的弹性体称为**线性弹性体**,简称**线弹性体**。

工程中大多数构件,在载荷作用下,其变形与构件本身的尺寸相比是很微小的,我们称之为**小变形**,本书的研究范围仅限于小变形。这样我们在研究构件或构件任一部分的平衡时,可用构件变形前的原始尺寸进行计算。例如,图 1-2 为一端固支的直梁,梁长为 l ,在 B 端受载荷 F 作用后,梁变形为曲线 AB' 小变形量为 Δ 。若符合小变形条件,则 Δ 必然远远小于 l ,在求其约束力偶时可忽略 Δ 的影响,仍按梁原始长度 l 建立平衡条件,求得 $M_{eA} = Fl$ 。若 Δ 不很小时,则为大变形问题, Δ 的影响不可忽略,这时的固端约束力偶应为 $M_{eA} = F(l - \Delta)$ 。在材料力学中主要研究小变形问题。

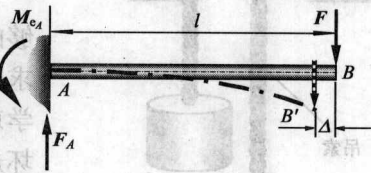


图 1-2

1.3 强度 刚度 稳定性

任何机械或建筑物都是由许多构件组成的。要想使机械或建筑物按预期的目标正常工作,对它的每一个构件都要有一定的要求,力学上的最基本要求如下:

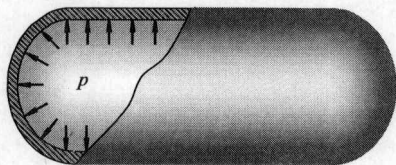


图 1-3

1. 强度要求

要求构件受力后不发生破坏,既不能断裂也不能发生明显的塑性变形。例如,图 1-3 所示受内压的薄壁容器,工作时不能允许因容器的破坏而爆炸。图 1-4 所示简易起吊装置,工作时吊索不能断裂,滑轮轴不能有

明显的塑性变形。因此,所谓强度是指构件抵抗破坏的能力。

2. 刚度要求

要求构件受力后的变形不能太大。例如,图 1-5 所示齿轮轴,齿轮正常啮合情况如图 1-5(a)所示。如果轴的变形过大,将导致齿轮产生局部啮合不良的情况,如图 1-5(b)所示,不能正常工作。因此要求构件具有足够的抵抗变形的能力,即要有足够的刚度。

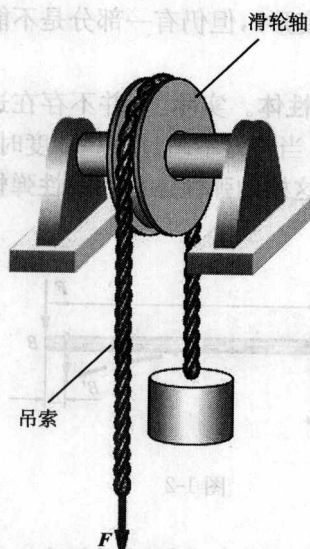


图 1-4

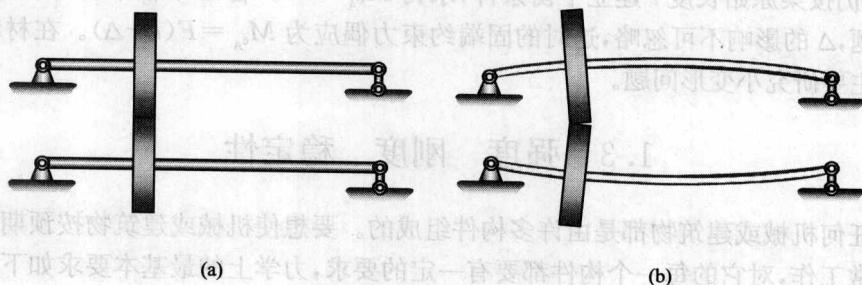


图 1-5

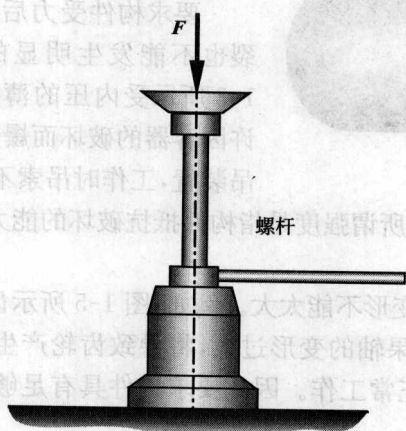


图 1-6

3. 稳定性要求

要求构件具有保持原有平衡形式的能力,即具有稳定性。例如,图 1-6 所示千斤顶的螺杆,在轴向压力作用下,必须始终保持直线形式的平衡状态,才能保证正常工作。一旦从直线的形式突然弯曲,我们说螺杆丧失了稳定性,简称失稳。

综上所述,要保证构件正常工作,必须具有足够的强度、刚度与稳定性。当然不同的受力构件要求也是不同的,有些只需满足其一或其二。材料力学就是在充分研究构件在外力作用下的变形及破坏规律的基础上,为达到构件预期的使用目的,而提供最经济、合理的设计方案(这包括选择合适的材料、合理的截面形状和构件的尺寸)。

第2章 杆件的内力分析

构件工作时受到外力作用,其内部相邻各部分之间便产生相互作用力,这就是内力。某一截面上的内力连续分布在该截面的各个点上,杆件横截面上的内力,是横截面上各点的分布力向截面形心简化后的合力与合力矩。任意横截面上的内力,都可用截面法求得。

2.1 内力 截面法

2.1.1 内力的概念

构件工作时,总要受到力的作用,例如,相邻的其他构件施加给该构件的作用力、作用在构件上的载荷、构件自重和支座约束力等,这些力都属于外力。由于外力的作用,构件发生变形,其内部各点发生相对运动,从而产生相互作用的附加力,这种附加力反映出材料对外力有抗力,并能将外力进行传递。由外力引起的构件内相邻两部分之间的相互作用力称为内力。截面上的内力是连续分布在截面上的,一般情况下是非均匀分布的。构件横截面上的内力,是指横截面上的分布力向截面形心简化而得到的主矢与主矩,或者是主矢、主矩的分量。

2.1.2 截面法

图 2-1 所示的构件,在任意载荷作用下,确定横截面 $m-m$ 上的内力。根据平衡原理,构件在外力作用下若保持平衡,则从构件上截取出任意部分(截成两部分中的任一部分、截出的一微段、绕某点截出的微元等)也必须是平衡的。因此,可沿截面 $m-m$ 将构件截开为 I 和 II 两部分,见图 2-1(a),任取一部分,例如,取部分 I 为研究对象。部分 II 作用于部分 I 的内力,连续分布在截面 $m-m$ 上,见图 2-1(b),其向截面形心简化为主矢 F_R 和主矩 M (图 2-1(b))。主矢和主矩沿坐标轴 x 、 y 、 z 方向的分量称为内力分量。图 2-1(c)中,主矢分量为 F_N 、 F_{S_y} 和 F_{S_z} ,主矩分量为 T 、 M_y 和 M_z 。六个内力分量,由保留部分的六个独立平衡方程,可以求解出全部的内力分量,这就是求内力的截面法。截面法也可用于其他的力学分析中。

内力分量 F_N 称为轴力, F_{S_y} 和 F_{S_z} 称为剪力, T 称为扭矩, M_y 和 M_z 称为弯矩。构件在某些特定外力作用下,或某些特殊横截面上,六个内力分量中可能有某些为零。根据内力分量的性质,杆件变形可分为如下四种基本形式:

1) 轴向拉伸或压缩。在轴力 F_N 的作用下,杆件将产生轴向伸长或缩短。

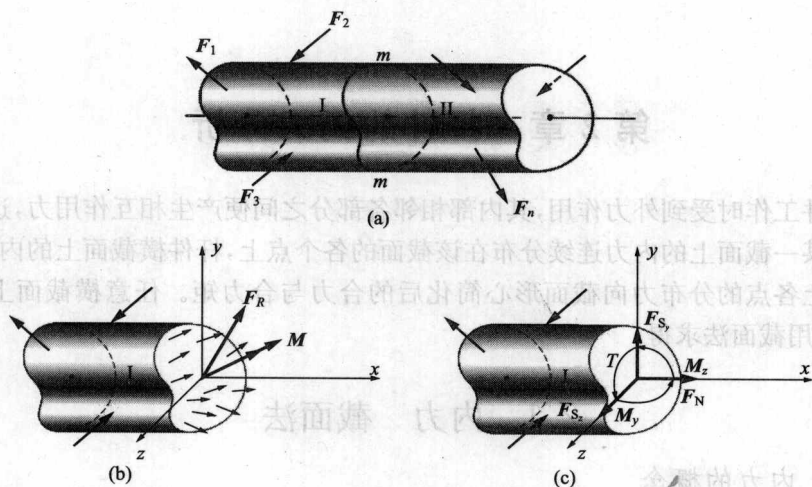


图 2-1

- 2) 剪切变形。在剪力 F_{S_y} 或 F_{S_z} 的作用下, 杆件各截面发生相对错动。
- 3) 扭转变形。在扭矩 T 的作用下, 杆件各截面绕轴线发生相对转动。
- 4) 弯曲变形。在弯矩 M_y 或 M_z 的作用下, 使杆件的曲率发生变化, 例如, 由直杆变成曲杆。

2.1.3 内力正负号规定

用截面法求内力时, 沿待求内力的截面将杆分为两部分, 可取任意一部分为研究对象, 例如, 图 2-1 中, 可取左边为研究对象, 也可取右边第 II 部分为研究对象。根据作用反作用定律, I、II 两部分在 $m-m$ 截面上的内力, 必然大小相等、方向相反。而无论以哪部分为研究对象, 所求得的都是截面 $m-m$ 上的内力, 所以内力的大小和符号都应该相同。为此, 今后规定: 外法线沿着坐标正方向的截面为正面 (图 2-1(c) 所示的 $m-m$ 截面为正 x 面), 反之为负面。正面上与坐标正方向相同的内力分量为正, 反之为负; 负面上与坐标正方向相反的内力分量为正, 反之为负。图 2-1(c) 所示的内力分量均为正。

2.2 轴向拉压杆的轴力 轴力图

当外力合力的作用线沿着杆的轴线时, 杆件将沿轴线方向发生伸长或缩短, 这样的变形称为轴向拉伸或压缩。例如, 图 2-2(a) 中所示的汽缸活塞杆、图 2-2(b) 所示支架中的杆①均发生轴向拉伸变形, 图 2-2(b) 中的杆②发生轴向压缩变形。