

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



CAILIAO LIXUE

材料力学

黄孟生 编著



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI

CAILIAO LIXUE

材料力学

黄孟生 编著
邱棣华 主审



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。本书的内容是根据教育部对力学基本要求而定的。为了使学生在有限的时间内掌握材料力学的基本概念,基本理论和基本方法,在内容编排上力求做到由浅入深,循序渐进,突出重点和难点,对教材内容的叙述力求达到精炼和严密。精选例题、思考题和习题,有利于启发式和互动式教学,以培养学生分析问题、解决实际问题及创新思维的能力。

本书内容包括绪论及基本概念,轴向拉伸和压缩,扭转,弯曲内力,弯曲应力,弯曲变形,应力状态和应变状态分析,强度理论,组合变形杆件的强度计算,连接件的强度计算,考虑材料塑性的极限分析,能量法,压杆稳定,动荷载及交变应力等共14章。附录包括截面的几何性质和型钢表。

本书可作为高等院校土建、水利类专业材料力学课程教材,也可作为教师、工程技术人员和考研人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/黄孟生主编. —北京:中国电力出版社,2007

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-5068-4

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(2006)第165216号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2007年2月第一版 2007年2月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 18印张 435千字

印数 0001—3000册 定价 27.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前言

本书是为普通高等院校工科 64~72 学时材料力学课程而编写的,可作为土建、水利等专业教材或参考书,同时也可作为同类专业师生、工程专业技术人员及考研人员的教材和参考书。

本书的内容是根据教育部关于高等院校材料力学 A 类课程的基本要求而定的。在编写过程中,选取了工程上实用和传统的内容,难易程度适当,并且有丰富的工程实例;在内容的编排上,我们力求做到由易到难,由浅入深循序渐进,并突出重点和难点;在内容的叙述上我们力求达到精炼与严密,语言通俗。精选例题、思考题和习题,有利于启发式和互动式教学,以培养学生分析、解决实际问题及创新思维的能力。

本书保留了传统的材料力学教材内容体系,先研究杆件在拉压、扭转和弯曲等基本变形下的内力、应力、变形和强度、刚度计算及超静定问题,然后讲述应力状态、强度理论、组合变形和连接件的强度计算,继而依次讲述考虑材料塑性的极限分析、能量法、压杆稳定和动荷载及交变应力等内容,截面的几何性质作为附录。在材料的力学性质中增加了几种新材料的力学性质的内容;在压杆的稳定计算和交变应力的疲劳计算中,加强了土建、水利类工程中采用的计算方法。

在本书编写过程中,参考了部分材料力学教材,并吸收了它们的许多长处。在本书编写过程中,征求并采纳了许多老师提出的有益意见。在此特向他们致谢。感谢由邱棣华教授对本书进行了认真细致的审阅。

限于编者水平,本书难免有不妥与疏漏之处,敬请广大师生和读者提出宝贵的意见和建议。

编者

2006 年 12 月

主 要 符 号 表

符号	含义	符号	含义
A	面积	W	外力功
$B、b$	宽度	$W_y、W_z$	弯曲截面系数
$D、d$	直径	W_P	扭转截面系数
E	弹性模量	w	挠度
F	集中力	θ	梁横截面转角, 单位长度
F_{bs}	挤压力		相对扭转角, 体积应变
F_{cr}	临界力	φ	相对扭转角, 折减因数
F_d	动荷载	α	应力集中系数, 角度
F_N	轴力	$\alpha、\beta、\gamma$	矩形截面杆扭转系数
F_S	剪力	γ	切应变
G	切变模量	Δ	位移
$I_y、I_z$	惯性矩	Δl	伸长(缩短)变形
I_P	极惯性矩	δ	延伸率, 厚度
I_{yx}	惯性积	ψ	截面收缩率
$i_y、i_z$	惯性半径	ϵ	线应变
k_d	动荷因素	ϵ_u	极限应变
l	长度	λ	柔度
$M、M_y、M_z$	弯矩	μ	长度系数
M_x	扭矩	ν	泊松比
M_e	外力偶矩	σ	正应力
N	循环次数	σ_b	强度极限
n	安全因素, 转速	σ_{bs}	挤压应力
n_r	疲劳安全因素	σ_{cr}	临界应力
n_{st}	稳定安全因素	σ_d	动应力
p	总应力, 压强	σ_e	弹性极限
P	功率, 重力	σ_p	比例极限
q	均布荷载集度	σ_r	相当应力, 疲劳极限
$R、r$	半径	σ_s	屈服极限
r	循环特征	σ_u	极限应力
$S_y、S_z$	面积矩, 静矩	σ_{-1}	对称循环疲劳极限
T	扭转外力偶矩	$[\sigma]$	容许正应力
t	时间	τ	切应力
v	速度	$[\tau]$	容许切应力
V_c	余应变能		
V_e	应变能		
v_d	形状改变能密度		
v_v	体积改变能密度		
v_e	应变能密度		

目 录

前言

第1章 绪论及基本概念	1
§1-1 材料力学的任务	1
§1-2 变形固体的概念及其基本假设	2
§1-3 构件的分类和杆件的基本变形	3
§1-4 内力、截面法和应力	4
§1-5 位移和应变	5
思考题	6
第2章 轴向拉伸和压缩	8
§2-1 概述	8
§2-2 轴力及轴力图	8
§2-3 拉伸和压缩杆件横截面上的正应力	10
§2-4 应力集中的概念	13
§2-5 拉伸和压缩杆件的变形	14
§2-6 拉伸和压缩时材料的力学性质	18
§2-7 几种新材料的力学性质简介	23
§2-8 拉伸和压缩杆件的强度计算	25
§2-9 拉伸和压缩超静定问题	28
思考题	33
习题	33
第3章 扭转	38
§3-1 概述	38
§3-2 扭矩及扭矩图	38
§3-3 圆杆扭转时横截面上的切应力	40
§3-4 圆杆扭转时的变形和超静定问题	45
§3-5 扭转时材料的力学性质	47
§3-6 圆杆扭转时的强度和刚度计算	48
§3-7 非圆截面杆的扭转	50
思考题	53
习题	54
第4章 弯曲内力	58
§4-1 概述	58
§4-2 弯曲内力——剪力和弯矩	59
§4-3 剪力方程和弯矩方程、剪力图和弯矩图	61

§ 4-4 剪力、弯矩与荷载集度之间的关系	65
§ 4-5 用叠加法画弯矩图	69
思考题	70
习题	71
第 5 章 弯曲应力	74
§ 5-1 概述	74
§ 5-2 梁弯曲时横截面上的正应力	74
§ 5-3 矩形截面梁的切应力	78
§ 5-4 其他形状截面梁的切应力	80
§ 5-5 梁的强度计算	86
§ 5-6 非对称截面梁的平面弯曲、开口薄壁截面梁的弯曲中心	90
思考题	93
习题	94
第 6 章 弯曲变形	99
§ 6-1 挠度和转角概念	99
§ 6-2 挠曲线近似微分方程	99
§ 6-3 积分法计算梁的变形	100
§ 6-4 奇异函数法计算梁的变形	103
§ 6-5 叠加法计算梁的变形	105
§ 6-6 梁的刚度计算	108
§ 6-7 简单超静定梁	110
思考题	113
习题	114
第 7 章 应力状态和应变状态分析	118
§ 7-1 应力状态的概念	118
§ 7-2 平面应力状态分析	118
§ 7-3 基本变形杆件的应力状态分析及主应力迹线的概念	124
§ 7-4 三向应力状态下的最大应力	127
§ 7-5 广义胡克定律、体积应变	128
§ 7-6 应变能与应变能密度	132
§ 7-7 平面应变状态分析	133
思考题	137
习题	138
第 8 章 强度理论	141
§ 8-1 强度理论的概念	141
§ 8-2 四种常用的强度理论	141
§ 8-3 莫尔强度理论	143
§ 8-4 强度理论的应用	145
思考题	149

习题	149
第 9 章 组合变形杆件的强度计算	152
§ 9-1 概述	152
§ 9-2 斜弯曲	152
§ 9-3 拉伸(压缩)与弯曲的组合	156
§ 9-4 偏心压缩(拉伸)	158
§ 9-5 截面核心	161
§ 9-6 弯曲与扭转的组合	163
思考题	166
习题	167
第 10 章 连接件的强度计算	171
§ 10-1 概述	171
§ 10-2 铆接强度计算	171
§ 10-3 其他连接件和连接的强度计算	176
思考题	180
习题	180
第 11 章 考虑材料塑性的极限分析	183
§ 11-1 概述	183
§ 11-2 超静定拉压杆系的极限分析	183
§ 11-3 圆杆扭转时的极限分析	185
§ 11-4 梁的极限分析	186
思考题	190
习题	190
第 12 章 能量法	193
§ 12-1 概述	193
§ 12-2 杆件的弹性应变能	193
§ 12-3 余应变能与卡氏第二定理	196
§ 12-4 莫尔定理	199
§ 12-5 功的互等和位移互等定理	201
§ 12-6 能量法求解简单超静定问题	203
思考题	206
习题	206
第 13 章 压杆稳定	211
§ 13-1 压杆稳定性的概念	211
§ 13-2 细长压杆的临界力	211
§ 13-3 欧拉公式的适用范围与压杆的非弹性失稳	216
§ 13-4 压杆的稳定计算	219
§ 13-5 提高压杆稳定性的措施	223
§ 13-6 纵横弯曲问题	224

§ 13-7 大柔度杆在小偏心距下的偏心压缩计算	226
思考题	227
习题	228
第 14 章 动荷载及交变应力	232
§ 14-1 概述	232
§ 14-2 构件作匀加速直线运动和匀速转动时的应力	232
§ 14-3 构件受冲击时的应力和变形	234
§ 14-4 交变应力与疲劳破坏	239
§ 14-5 交变应力的特性与疲劳极限	241
§ 14-6 钢结构构件的疲劳计算	242
思考题	244
习题	245
附录 I 截面的几何性质	249
习题	257
附录 II 型钢表	260
习题答案	268
参考文献	278

第1章 绪论及基本概念

§1-1 材料力学的任务

所有的建筑物和机器都是由许多部件组成的,例如建筑物中的梁、板、柱和机器中的轴、齿轮和连杆等。这些部件统称为构件(member)。为了使建筑物和机器能正常地工作,必须对构件进行设计,即选择合适的尺寸和材料,使之满足下列三方面的要求。

1. 强度(strength)要求

构件抵抗破坏的能力称为强度。构件在外力作用下必须具有足够的强度才不致发生破坏,即不发生强度失效(failure)。

2. 刚度(rigidity)要求

构件抵抗变形的能力称为刚度。在某些情况下,构件虽具有足够的强度,但若受力后产生过大的变形,也会影响构件的正常工作。例如吊车梁,若其弯曲变形过大,行车时会产生较大的振动,影响吊车的正常运行。因此,设计时必须使这类构件具有足够的刚度,使其变形限制在工程允许的范围内,即不发生刚度失效。

3. 稳定性(stability)要求

构件在外力作用下保持原有平衡形式的能力称为稳定性。例如某些受压构件,当所受压力过大时,压杆不能保持原有直线形式的平衡状态,发生变弯甚至折断。因此,设计时必须使这类构件具有足够的稳定性,即不发生稳定失效。

通常,强度要求是基本,刚度要求只是在某些情况下提出来,而稳定性要求只是在一定受力情况下的某些构件才会出现。

为了满足上述要求,一方面必须从理论上分析和计算构件受外力(external force)作用产生的内力(internal force)、应力(stress)和变形(deformation),建立强度、刚度和稳定性计算的方法和条件;另一方面,构件的强度、刚度和稳定性计算与材料的力学性质(mechanical properties)有关,而材料的力学性质需要通过试验确定。此外,理论分析要根据对实际现象的观察进行抽象简化,建立“力学模型”,而所得结果的可靠性也要用试验来检验;有些理论上无法解决的复杂问题,更需要借助于试验来进行分析。因此,理论分析和试验研究是材料力学中不可分割的内容。

总而言之,材料力学(mechanics of materials)的任务就是:通过理论和试验两方面,研究构件的内力、应力、变形及破坏规律,在此基础上进行强度、刚度和稳定性计算,以便合理地选择构件的尺寸和材料。

在选择构件的尺寸和材料时,首先要满足安全方面的条件,同时还要考虑经济方面的要求,即尽量降低材料的消耗和使用成本。因此,材料力学正是在不断解决安全与经济两个方面的问题中不断发展的。

“科学的发生与发展,一开始就是由生产决定的”。材料力学的发展与其他科学一样,也是由生产的发展所推动的,反过来,它又对生产实践起着重要的指导作用。

我们国家是个伟大的文明古国,对科学的发展有着重要的贡献,例如我国很早就能充分

利用材料的特性、使用合理的结构形式和截面形状等,所有这些都与今天的材料力学理论很吻合。材料力学作为一门科学,被认为是在 17 世纪开始建立的。此后,在工业生产不断发展的过程中,科学家们对有关的力学问题进行了深入广泛的研究,使材料力学这门学科得到了长足的发展。今天,材料力学的概念、理论和方法在生产、生活和科学的各个领域都已得到了深入的发展和广泛的应用。

§ 1-2 变形固体的概念及其基本假设

固体在外力作用下所产生的物理现象是多种多样的,不同的学科都是从自身的特定目的去研究某一方面的问题。为了研究方便,常常需要舍弃与所研究的问题无关或关系不大的特征,仅保留主要的特征,将研究对象抽象成一种理想的“模型”。例如理论力学主要研究物体机械运动的规律,将研究的物体作为刚体。材料力学研究的是构件的强度、刚度和稳定性问题,就必须考虑物体的变形,即受力后能变形的物体,这类物体称为变形固体,研究变形固体的力学称为固体力学。材料力学是固体力学的一个分支。

变形固体的组织结构及其物理性质十分复杂,为了抽象成理想的“模型”,通常对变形固体作下列基本假设:

1. 连续性假设 (assumption of continuity)

假设物体内部充满了物质,没有任何空隙。实际上,工程材料中均存在着不同程度的空隙,而且,随着外力或其他外部条件的变化,这些空隙的大小会发生变化。从宏观方面研究,只要这些空隙的大小比物体的尺寸小得多,就可不考虑空隙的存在,认为连续性假设是可以成立的。

2. 均匀性假设 (assumption of homogeneity)

假设物体内各处的力学性质是完全相同的。实际工程材料的力学性质都有一定程度的非均匀性。例如金属材料由晶粒组成,各晶粒的性质不尽相同,晶粒与晶粒交界处的性质与晶粒本身的性质也不同;又如混凝土材料由水泥、砂和碎石组成,它们的性质也各不相同。但由于这些组成物质的大小与物体尺寸相比很小,而且排列也是随机的。因此,从宏观上看,可以将物体的性质看作是各组成部分性质的统计平均量,而认为物体的性质是均匀的。

3. 各向同性假设 (assumption of isotropy)

假设材料在各个方向的力学性质均相同。从统计学的观点看,金属材料,如铸钢、铸铁、铸铜等均可认为是各向同性材料。同样,像玻璃、塑料、混凝土等非金属材料也可认为是各向同性材料。但是,有些材料,如经过辗压的钢材、纤维整齐的木材、冷扭的钢丝以及纤维复合材料等在不同方向具有不同的力学性质,这些材料是各向异性材料。在材料力学中主要研究各向同性的材料。

变形固体受外力作用后将产生变形,如果变形的大小与物体原始尺寸相比小得多,这种变形称为小变形 (small deformation)。在小变形情况下,研究构件在外力作用下的平衡问题时,均可忽略这种小变形,而按构件的原始尺寸计算。

变形固体在外力作用下产生变形,当外力不超过某一数值,且外力完全撤除以后,变形可以完全消失,并恢复原有的形状和尺寸的性质,这种变形称为弹性 (elasticity) 变形。若外力超过某一数值,且外力完全撤除以后,变形不能全部消失,其中能消失的部分即为弹性

变形,而不能消失的部分称为塑性(plasticity)变形,或称为残余变形、永久变形。对大多数工程材料,当外力在一定范围内时,其变形是完全弹性的。多数构件在正常工作条件下,均要求其材料只发生弹性变形。因此,在材料力学中所研究的大部分问题,仅局限于弹性范围内。对于考虑材料塑性时的计算,将在第十一章中讨论。

§ 1-3 构件的分类和杆件的基本变形

一、构件的分类和材料力学的研究对象

构件按几何形状可分为:杆(bar)、板和壳(plate and shell)、块体(solid block)三类。材料力学主要研究杆(或称杆件),杆件是指一个方向尺寸远远大于其他两个方向尺寸的构件,如图1-1所示。如房屋建筑中的梁、柱及机器中的轴、连杆等。其几何特征可由横截面和轴线两个几何量来描述。根据轴线的形状,杆件可分为直杆和曲杆;根据横截面沿轴线的变化情况,杆件可分为等截面杆和变截面杆。材料力学主要研究等截面直杆,简称等直杆。

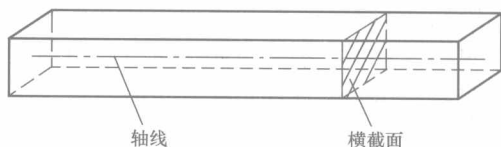


图 1-1 杆件

二、杆件的基本变形

杆在各种形式的外力作用下,其变形形式是多种多样的。但可概括为某一种基本变形(basic deformation)或几种基本变形的组合。杆的基本变形可分为:

1. 轴向拉伸和压缩(axial tension or compression)

直杆受到与轴线重合的外力作用时,杆的变形主要是轴线方向的伸长或缩短。这种变形称为轴向拉伸[图1-2(a)]和轴向压缩[图1-2(b)]。

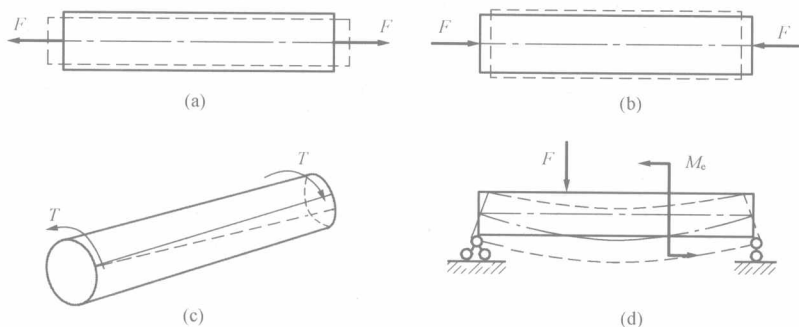


图 1-2 杆件的基本变形

2. 扭转(torsion)

直杆在垂直于轴线的平面内,受到平衡力偶系作用时,杆各横截面将产生相对转动。这种变形称为扭转,如图1-2(c)所示。

3. 弯曲(bending)

直杆受到垂直于轴线的外力或在包含轴线在内的平面内的力偶作用时,杆的轴线将弯成曲线,横截面也将发生转动。这种变形称为弯曲,如图1-2(d)所示。

杆在外力作用下,可能只产生上述一种基本变形,也可能是两种以上的基本变形的组合,称为组合变形 (complex deformation)。本书先介绍杆的基本变形问题,然后再介绍杆的组合变形问题。

§ 1-4 内力、截面法和应力

一、外力

作用在杆件上的外力包括荷载 (load) 和约束反力 (reaction of constraint)。外力按其作用方式可分为体积力和表面力。体积力是分布作用在杆件整个体积内各质点上的力,如杆的自重、杆件加速运动时的惯性力等。表面力是分布作用在杆件表面的力。若作用面积很小,则称为集中力;若作用面积较大,则称为面分布力。若分布集度均匀,则称为均布力;若分布集度变化,则称为非均布力,如大坝上游面的水压力等。对于杆件,有时可将自重及面分布力简化成沿杆件长度分布的力。

按外力作用的性质可将荷载分为静荷载和动荷载。静荷载是指由零缓慢地增加至最终值,以后不再变动的荷载;动荷载是指随时间作急剧变化的荷载。

二、内力

物体内部各质点间的相互作用的力称为内力。物体在外力作用下发生变形时,其内部各质点间的相对位置将发生变化,与此同时,各质点间相互作用力也发生了改变,这一改变量,称为附加内力。材料力学中研究的正是这种附加内力。简称为内力 (internal force)。变形体中的内力是因变形而产生的,而内力又使变形消失。

三、截面法

为了显示和计算杆件的内力,需用截面法 (method of section)。杆 [图 1-3 (a)] 在外力作用下处于平衡状态,用截面法求 $m-m$ 截面上的内力,主要有以下三个步骤:

1. 截开

在需要求内力的截面 $m-m$ 处,假想用一平面将杆件截为 B 、 C 两部分。

2. 代替

留取其中任一部分 (如 B 部分) 作为脱离体,除了保留作用在该部分上的外力 F_1 和 F_2 外,还有 C 部分对 B 部分的作用,这就是该截面上的内力,通常内力可合成为一个力 F_R 和一个力偶 M ,如图 1-3 (b) 所示。

3. 平衡

对留下部分建立平衡方程,根据该部分所受的已知外力来计算截开截面上的未知内力。

同样,求 $m-m$ 截面上的内力也可取 C 部分为脱离体。取不同的部分所求得同一截面的内力,必定大小相等,方向 (或转向) 相反。

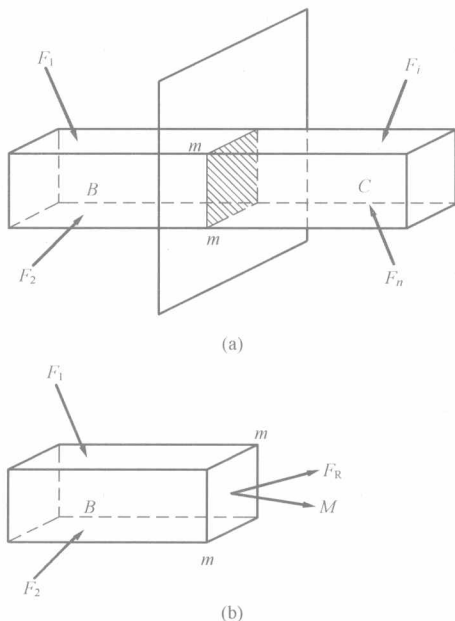


图 1-3 截面法

四、应力

实际的杆件总是从内力集度最大的点处开始破坏的,因此只求出截面上分布内力的合力(力和力偶)是不够的,必须进一步确定截面上各点处的分布内力的集度。为此,必须引入应力的概念。

研究图 1-4 (a) 中 B 部分某截面上任一点 i 的应力的方法是:在该点周围取一微面积 ΔA , 设 ΔA 上分布内力的合力为 ΔF 。 $\Delta F/\Delta A$ 称为面积 ΔA 上分布内力的平均集度,又称为平均应力。如令 $\Delta A \rightarrow 0$, 则比值 $\Delta F/\Delta A$ 的极限值为

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (1-1)$$

表示 i 点分布内力的集度,称为 i 点的总应力。可见,应力是分布内力的集度。一点的总应力 p 可以分解为两个分量:一个是垂直于截面的应力,称为正应力(normal stress),或称法向应力,用 σ 表示;另一个是平行于截面的应力,称为切应力(shear stress),或切向应力,用 τ 表示,如图 1-4 (b) 所示。物体的破坏现象表明,拉断破坏与正应力有关,剪切错动破坏与切应力有关。今后将只计算正应力和切应力而不计算总应力。

应力的量纲是 $L^{-1}MT^{-2}$ 。在国际单位制中,应力的单位为 Pa,也可以用 MPa 或 GPa 表示,其关系为: $1\text{MPa}=1 \times 10^6\text{Pa}$, $1\text{GPa}=1 \times 10^9\text{Pa}$ 。

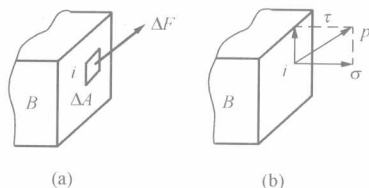


图 1-4 一点的应力

§1-5 位移和应变

物体受力后,其形状和尺寸都要发生变化,即发生变形。为了描述变形,现引入位移(deformation)和应变(strain)的概念。

一、位移

1. 线位移 (linear deformation)

物体中一点相对于原来位置所移动的直线距离称为线位移。例如图 1-5 所示的直杆,受外力作用弯曲后,杆的轴线上任一点 A 的线位移为 $\overline{AA'}$ 。

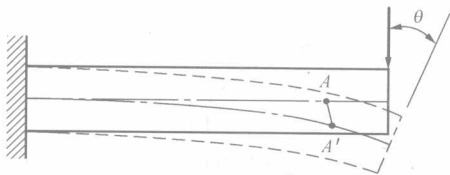


图 1-5 杆件的变形与位移

2. 角位移 (angular deformation)

物体中某一直线或平面相对于原来位置所转过的角度称为角位移。例如图 1-5 中,杆的右端截面的角位移为 θ 。

二、应变

一般来说,受力物体内各点处的变形是不均匀的。为了描述受力物体内各点处的变形程度还

须引入应变的概念。

设想在物体内一点 A 处取出一微小的长方体,它在 xAy 平面内的边长为 Δx 和 Δy ,如图 1-6 所示(图中未画出厚度)。物体受力后, A 点移至 A' 点,且长方体的尺寸和形状都发生了改变,如边长 Δx 和 Δy 变为 $\Delta x'$ 和 $\Delta y'$,直角变为锐角(或钝角),从而引出下面两种表示该长方体变形的量:

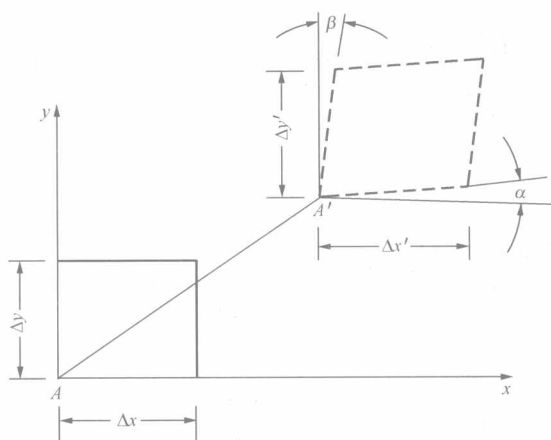


图 1-6 一点的应变

1. 线应变 (linear strain)

线段长度的改变称为线变形, 如图 1-6 中的 $\Delta x' - \Delta x$ 和 $\Delta y' - \Delta y$ 。但是, 线段长度的改变显然随线段原长的不同而变化。为了消除线段原长的影响, 现引入线应变 (即相对变形) 的概念。线应变定义为

$$\epsilon_x = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta x' - \Delta x}{\Delta x} \quad (1-2a)$$

$$\epsilon_y = \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \frac{\Delta y' - \Delta y}{\Delta y} \quad (1-2b)$$

式中 ϵ_x 和 ϵ_y 表示无限小长方体在 x 和 y 方向的线应变, 也就是 A 点 x 和 y 方向的线应变。线应变也称为正应变, 它是一个

量纲为 1 的量。

2. 切应变 (shear strain)

通过一点互相垂直的两线段之间所夹直角的改变量, 称为切应变, 用 γ 表示。例如在图 1-6 中, 当 $\Delta x \rightarrow 0$ 和 $\Delta y \rightarrow 0$ 时直角的改变量为

$$\gamma = \alpha + \beta \quad (1-3)$$

这就是 A 点的切应变。切应变通常用弧度表示, 也是量纲为 1 的量。

线 (正) 应变 ϵ 和切应变 γ 是描述物体内部一点变形的两个基本量, 它们分别与正应力和切应力有联系。

思考题

1-1 图 1-7 为一厂房结构的示意图, 试分析桥式吊车、吊车梁、屋架弦杆及柱会产生怎样的变形?

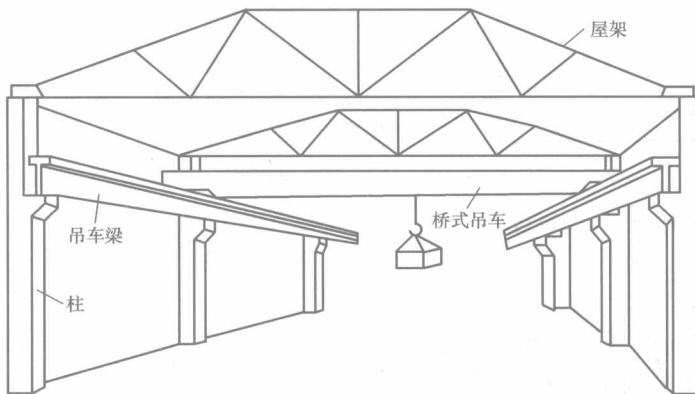


图 1-7 思考题 1-1 图

1-2 截面法求内力时, 能否将图 1-8 (a) 中的杆右端的力偶 M_e 搬移到图 1-8 (b) 中的位

置? 能否将图 1-8 (c) 中杆上的均布荷载用图 1-8 (d) 中作用在杆中点的等效集中力代替?

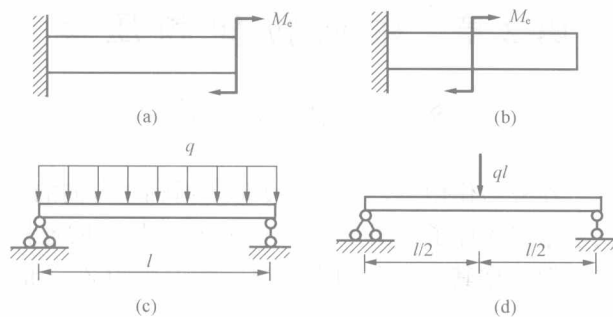


图 1-8 思考题 1-2 图

1-3 在构件内 A 点处取长为 Δx 的微小线段 AB, 受力变形后移至 $A'B'$, 如图 1-9 所示。试问该线段的变形及 A 点的线应变各是多少?

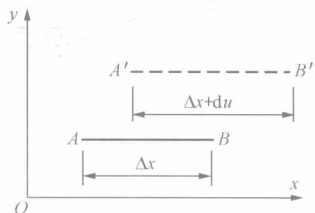


图 1-9 思考题 1-3 图

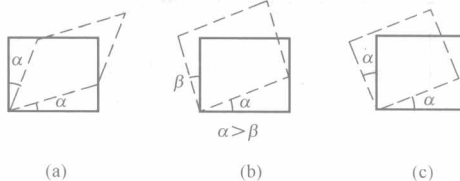


图 1-10 思考题 1-4 图

1-4 在构件内某点处取出一微小的物体, 受力变形后如图 1-10 中虚线所示。试问它们的切应变各是多少?

第2章 轴向拉伸和压缩

§2-1 概 述

工程上有一些直杆, 在外力作用下, 其主要变形是沿轴线方向的伸长或缩短。如图 2-1 (a) 中屋架各桁杆及支承屋架的柱子, 图 2-1 (b) 中连杆机构的连杆等。尽管这些杆件端部的连接方式各有差异, 但根据其受力和约束情况, 均可用图 2-2 的计算简图来表示。其外力和变形特点是:

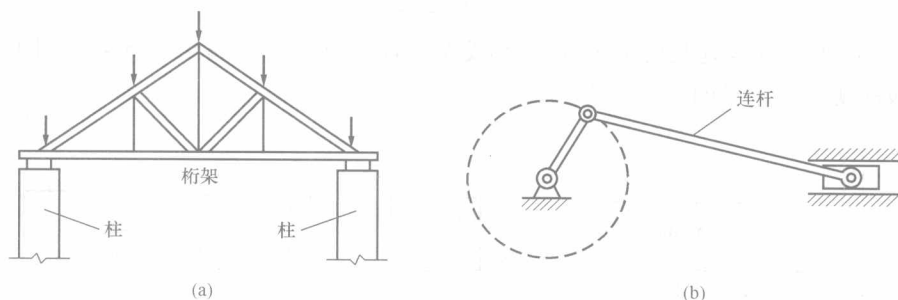


图 2-1 轴向受力杆件

外力特点: 外力的合力作用线与杆的轴线重合。图 2-2 (a) 为轴向拉伸, 图 2-2 (b) 为轴向压缩。

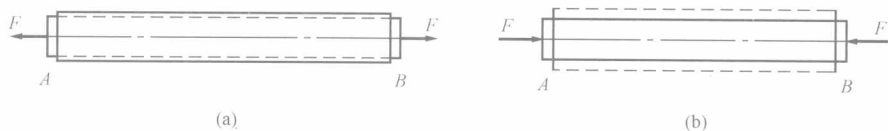


图 2-2 轴向受力特点和变形特点

变形特点: 杆的主要变形是轴线方向的伸长或缩短, 同时杆的横向 (垂直于轴线方向) 尺寸缩小或增大。图 2-2 (a) 为轴向拉伸的变形情况, 图 2-2 (b) 为轴向压缩的变形情况。

本章首先介绍轴向拉伸和压缩杆件的内力、应力和变形, 并导出胡克定律。然后介绍材料在拉伸和压缩时的力学性质, 拉伸和压缩杆件的强度计算和超静定问题。

§2-2 轴力及轴力图

为了计算拉伸和压缩杆件的应力和变形, 首先需要计算杆件的内力。现以图 2-3 (a) 所示拉杆为例说明其内力 (轴力) 的计算方法。

一、轴力的计算

设拉杆 AB 如图 2-3 (a) 所示, 求任意横截面 $m-m$ 上的内力。应用截面法, 假想在横