



高等教育土建类专业规划教材
卓越工程师系列

材料力学

CAILIAO LIXUE

主 编 韩志型 杨 震 彭 芸
副主编 李 朗 朱国权 罗小惠
主 审 陈国平



重庆大学出版社

高等教育土建类专业规划教材卓越工程师系列

材料力学

CAILIAO LIXUE

主 编	韩志型	杨 震	彭 芸
副主编	李 朗	朱国权	罗小惠
主 审	陈国平		

重庆大学出版社

内容提要

本书为高等教育土建类专业规划教材·卓越工程师系列之一。本书包括 11 章和附录I、附录II。内容主要包括:绪论,轴向拉伸与压缩,剪切、挤压和扭转,弯曲内力,弯曲应力,弯曲变形,简单超静定问题,应力状态与强度理论,组合变形,压杆稳定,能量法,平面图形的几何性质,型钢表。本书可作为高等学校土木工程、机械工程、交通工程等专业的教材和教学参考书,并可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学 / 韩志型,杨震,彭芸主编. -- 重庆 :
重庆大学出版社,2017.8

高等教育土建类专业规划教材·卓越工程师系列

ISBN 978-7-5689-0562-6

I.①材… II.①韩… ②杨… ③彭… 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(2017)第 120258 号

高等教育土建类专业规划教材·卓越工程师系列

材料力学

主 编 韩志型 杨 震 彭 芸

副主编 李 朗 朱国权 罗小惠

主 审 陈国平

策划编辑:王 婷

责任编辑:文 鹏 版式设计:王 婷

责任校对:郭小梅 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:易树平

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023)88617190 88617185(中小学)

传真:(023)88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆华林天美印务有限公司印刷

*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:17.75 字数:421 千

2017 年 8 月第 1 版 2017 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—2 000

ISBN 978-7-5689-0562-6 定价:36.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前 言

本书依据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制定的《高等学校理工科非力学专业力学基础课程教学基本要求》(2012 版)对材料力学课程教学的基本要求编写。书中对重要概念作了阐述,对重要公式进行了推导。为帮助学生理解和掌握各章的知识点,每章的开头附有本章导读,除第 1 章绪论外,其余各章都列举了一定数量的例题、思考题和习题。

本书共分 11 章和附录,内容主要包括:绪论,轴向拉伸与压缩,剪切、挤压和扭转,弯曲内力,弯曲应力,弯曲变形,简单超静定问题,应力状态与强度理论,组合变形,压杆稳定,能量法,平面图形的几何性质,型钢表。本书力求内容翔实,概念清晰,深入浅出,通俗易懂,注重理论联系实际。所选例题主要围绕土木工程和机械制造工程,通过典型例题分析,帮助学生理解和掌握材料力学的基本理论和分析方法,培养学生分析和解决实际工程中相关力学问题的能力。

本书由西南科技大学土木工程与建筑学院工程力学系材料力学教学团队的部分老师承担并完成编写工作。韩志型、杨震、彭芸担任主编,李朗、朱国权、罗小惠担任副主编。具体分工为:朱国权编写第 1 章、第 2 章;罗小惠编写第 3 章和附录 I;李朗编写第 4 章、第 5 章;彭芸编写第 6 章,杨震编写第 7 章、第 11 章;韩志型和富裕共同编写第 8 章、第 9 章、第 10 章和附录 II。全书由韩志型统稿,由力学系主任陈国平教授担任主审。本书在编写过程中得到了土建学院领导和力学系全体老师的大力支持,尤其是赵明波老师提出了许多宝贵的意见和建议,同时还参考了大量的国内同类优秀教材,选用了某些图表和习题,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不当和错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

2017 年 2 月

目 录

1 绪论	1
1.1 材料力学的任务	1
1.2 变形固体的基本假设	2
1.3 构件的分类及杆件变形的的基本形式	3
1.4 外力、内力和应力的概念	5
1.5 位移、变形和应变的概念	7
思考题	8
2 轴向拉伸与压缩	9
2.1 轴向拉伸与压缩的概念	9
2.2 轴力与轴力图	10
2.3 轴向拉(压)杆的应力	12
2.4 材料在轴向拉伸和压缩时的力学性能	14
2.5 轴向拉(压)杆的强度条件及其应用	19
2.6 轴向拉(压)杆的变形	23
2.7 应力集中现象	26
思考题	27
习题	28
3 剪切、挤压和扭转	32
3.1 剪切与挤压的概念	32

3.2	剪切和挤压的实用计算	34
3.3	扭转的概念	38
3.4	外力偶矩的计算、扭矩与扭矩图	39
3.5	纯剪切	42
3.6	等直圆轴扭转时的应力与强度计算	44
3.7	等直圆轴扭转时的变形与刚度计算	49
3.8	非圆截面杆自由扭转时的应力和变形	54
	思考题	56
	习题	57
4	弯曲内力	61
4.1	平面弯曲的概念和实例	61
4.2	梁的计算简图	62
4.3	梁的内力——剪力和弯矩	64
4.4	梁的内力方程及内力图	67
4.5	剪力、弯矩与载荷集度的关系及其应用	72
4.6	用叠加法绘制弯矩图	76
4.7	平面刚架的弯矩图	76
	思考题	78
	习题	79
5	弯曲应力	84
5.1	纯弯曲和横力弯曲的概念	84
5.2	梁横截面上的正应力	85
5.3	梁横截面上的切应力	91
5.4	梁的强度计算	96
5.5	提高梁弯曲强度的主要措施	100
5.6	弯曲中心的概念	106
	思考题	108
	习题	109
6	弯曲变形	114
6.1	梁的挠度和转角	114
6.2	梁的挠曲线近似微分方程	115
6.3	积分法求梁的弯曲变形	116
6.4	叠加法求梁的弯曲变形	123
6.5	梁的刚度条件	127
6.6	提高梁弯曲刚度的主要措施	128
	思考题	129

习题	129
7 简单超静定问题	134
7.1 超静定问题概念及其解法	134
7.2 拉压超静定问题	135
7.3 扭转超静定问题	139
7.4 简单超静定梁	141
思考题	144
习题	144
8 应力状态与强度理论	149
8.1 应力状态的概念	149
8.2 平面应力状态分析的解析法	152
8.3 平面应力状态分析的图解法	156
8.4 空间应力状态简述	161
8.5 广义胡克定律	163
8.6 复杂应力状态下的应变能密度	166
8.7 强度理论	168
思考题	177
习题	177
9 组合变形	181
9.1 组合变形概述	181
9.2 斜弯曲	182
9.3 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	187
9.4 弯曲与扭转的组合变形	195
思考题	198
习题	199
10 压杆稳定	204
10.1 工程中的稳定问题	204
10.2 压杆稳定性的概念	205
10.3 细长压杆临界压力的欧拉公式	206
10.4 压杆的临界应力	209
10.5 压杆的稳定性计算	213
10.6 提高压杆稳定性的措施	218
思考题	220
习题	221

11 能量法	225
11.1 杆件的应变能	225
11.2 卡氏定理	229
11.3 莫尔定理	234
11.4 互等定理	240
11.5 用能量法解超静定结构	242
思考题	244
习题	244
附录	248
附录 I 平面图形的几何性质	248
I.1 平面图形的静矩与形心	248
I.2 平面图形的极惯性矩、惯性矩和惯性积	251
I.3 平行移轴公式·组合平面图形的惯性矩和惯性积	254
I.4 转轴公式与主惯性轴	256
思考题	259
习题	260
附录 II 型钢表	262
参考文献	273

1

绪 论

[本章导读]

材料力学是研究构件承载能力的一门学科。构件要有足够的承载能力,必须满足强度、刚度和稳定性要求。本章介绍了强度、刚度、稳定性、内力、应力、应变等材料力学涉及的一些基本概念,重点阐述了材料力学的任务和研究对象、变形固体应满足的连续性、均匀性和各向同性基本假设条件以及小变形条件,较为详细地介绍了外力及其分类、内力、应力、应变以及杆件轴向拉压、剪切、扭转、弯曲4种基本变形形式,并对用截面法求内力的方法和步骤作了详细介绍。

1.1 材料力学的任务

土木工程和机械设备中,承受和传递载荷并起骨架作用的部分称为**结构**。结构的各个组成部分统称为**构件**。例如,建筑物结构由基础、柱子、梁、楼板、屋盖等构件组成;钻床结构由立柱和横臂等构件组成。结构能否正常工作取决于每一构件在载荷作用下是否能够正常地工作。

材料力学就是研究构件承载能力的一门学科。构件要有足够的承载能力,才能够正常工作,因此必须满足强度、刚度和稳定性要求。

1) 强度要求

强度要求是指构件在载荷的作用下具有足够的抵抗破坏的能力。所谓破坏,是指构件产生了断裂或产生了不可恢复的变形。例如起重机的钢索不可断裂,储气罐不可爆裂等。

2) 刚度要求

刚度要求是指构件在载荷的作用下具有足够的抵抗弹性变形的能力。例如,机床主轴如果变形过大,其加工精度和使用寿命都将受到影响。

3) 稳定性要求

稳定性要求是指构件在载荷的作用下应具有足够的保持其原有平衡状态的能力。细长的受压直杆在压力超过某一值时会突然弯曲,致使其丧失承载能力。这种从直线平衡状态变为曲线平衡状态的现象称为丧失稳定或简称失稳,这种失效形式即为稳定失效。例如千斤顶、活塞连杆、厂房的柱子等都不允许失稳。

工程中的构件若不能满足以上要求,则很容易出现工程事故,造成不可挽回的损失。如2007年8月13日,位于湖南省凤凰县在建的沱江大桥发生坍塌事故,造成64人遇难。坍塌原因之一可能是因砂浆或者混凝土龄期强度没达到规范要求就拆卸支架,从而导致砌体因强度不够而破坏,受连拱效应影响,整个大桥迅速坍塌。

再如2013年3月21日,安徽省桐城市盛源广场工程在浇筑主楼中庭5层屋面梁柱混凝土过程中,模板支撑系统失稳坍塌,造成8人死亡,6人受伤。

又如2013年4月27日,江苏省江阴市海港大道工程发生事故,原因是主墩之间在进行现浇箱梁支架的堆载预压作业时发生了坍塌,造成3人死亡,3人受伤。

材料力学的任务之一就是研究处于平衡状态的工程构件的内力、变形和失效规律,即研究构件的强度、刚度和稳定性的失效规律,从而提出保证构件具有足够的强度、刚度和稳定性的设计方法和设计准则。在研究的时候,需要了解构件在外力作用下表现出来的变形和破坏等方面的性能,即构件的力学性能。因此,材料力学的任务之二就是研究材料的力学性能。材料的力学性能需要由试验来测定,实验分析和理论研究是材料力学解决问题的基本方法。将材料力学的理论和方法应用于工程,即可对杆类构件或零件进行常规的强度、刚度和稳定性设计。

设计的构件不但要满足强度、刚度和稳定性要求,还必须选用合理的材料,并尽可能降低材料的消耗量,以节约资金和减轻构件自重。若构件横截面尺寸过小,或形状不合理,或材料选择不恰当,则满足不了强度、刚度和稳定性要求。如果一味追求优质材料,增加横截面的面积,虽然可以大大提高构件的强度、刚度和稳定性,但是必然会增加构件的成本,造成不必要的浪费。因此,材料力学的任务之三,就是要在满足强度、刚度和稳定性的前提下,以最小的成本,为构件确定合理的截面形状和尺寸,选择合适的材料,为设计构件提供必要的理论基础和计算方法。

1.2 变形固体的基本假设

材料力学研究的对象是构件,而构件都是由固体材料制成,并且在力的作用下都要产生变形。工程中的变形固体,其物质结构是各不相同的。例如,金属具有晶体结构,塑料由长链分子组成,玻璃、陶瓷由按某种规律排列的硅原子和氧原子组成。不同材料的物质结构具有不同程度的空隙,并存在气孔、裂纹、杂质等缺陷。但是这种空隙的大小和构件的尺寸相比显得极其微小,因此可以认为物质的结构是紧密的。

在研究构件的强度、刚度和稳定性时,为了抽象出力学模型,掌握与问题有关的主要属性,略去一些次要因素,对变形固体作下列假设:

1) 连续性假设

该假设认为组成变形固体的物质不留空隙地充满了固体的整个空间。根据这一假设,在对构件进行分析时,内部各点力学量,如内力、应力、应变和位移等可以考虑为连续函数,进而可以借助数学方法进行计算。并且在正常工作条件下,变形后的固体仍应满足连续性假设,即变形要协调一致,不产生空隙,也不产生重叠现象。

2) 均匀性假设

该假设认为在变形固体内任意两点都具有完全相同的力学性能。由于材料力学考察的物体几何尺寸都足够大,并且考察物体上的点都是宏观尺度上的点,所以可以假设物体内任意一点的力学性能都能代表整个物体的力学性能。

3) 各向同性假设

该假设认为变形固体内任意一点,无论沿何种方向,其力学性能都是相同的。就金属来说,其单一晶体,在不同方向上的力学性能并不一样。但金属构件内包含数量极多的晶体,且排列杂乱无章,这样从宏观上来看,表现出来的力学性能差别甚小,因此认为是各向同性材料,各个方向具有完全相同的力学性能。但对于木材、胶合板来说,其整体的力学性能具有明显的方向性,属于各向异性材料。

另外,在对构件进行分析时,还作了**小变形假设**,即假设构件在外力作用下所产生的变形与其本身的几何尺寸相比是极其微小的。根据这一假设,在考察构件的平衡问题时,一般可以略去变形的影响,直接用构件的原始尺寸和几何形状进行求解。小变形假设在今后分析变形几何关系等问题方面,将使问题大大简化。

变形固体在外力作用下,其形状或几何尺寸会发生变化,这种变化称为**变形**。物体在外力作用下发生变形,在外力去掉后若能够完全恢复为原来的尺寸和形状,这种变形称为**弹性变形**;若只能部分恢复而残留一部分变形,这种残留的变形称为**塑性变形**或**残余变形**。材料力学研究的变形固体,发生的变形在大多数场合下局限于弹性变形范围内。也就是说,假设变形固体在卸载后,能够完全恢复其原有形状和几何尺寸,没有残余变形,且力与变形成正比关系。该假设称为**完全弹性和线弹性假设**。

总之,材料力学是将实际材料看作连续、均匀、各向同性的可变形体,在线弹性、小变形条件下进行研究。

1.3 构件的分类及杆件变形的基本形式

► 1.3.1 构件的分类

工程或机械里实际使用的构件有不同的形状和尺寸,根据形状和尺寸的不同可以将构件分为块体、板壳和杆件三类。

三维(长、宽、高)尺寸相差不多的构件称为块体,如图 1.1(a)所示。某两个方向上的尺寸远

大于另一个方向上的尺寸的构件,中面为平面者称为板,中面为曲面者称为壳,如图 1.1(b)所示。某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,如图 1.1(c)所示。杆件的几何要素是横截面和轴线。横截面是指沿垂直于杆长度方向的截面。轴线是各横截面形心的连线。轴线是直线的杆件称为直杆;轴线为折线的杆件称为折杆;轴线为曲线的杆件称为曲杆。横截面不变的直杆称为等截面直杆,简称等直杆;横截面变化的直杆称为变截面直杆。

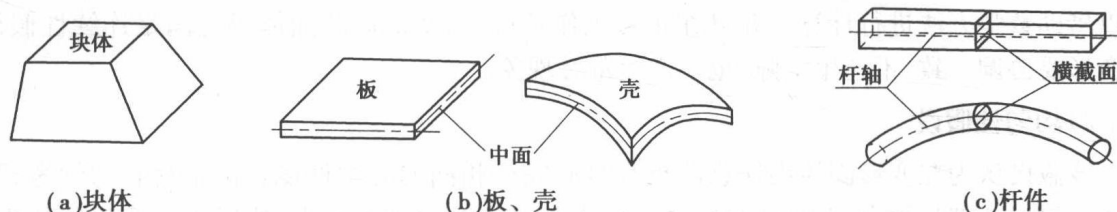


图 1.1 构件的分类

► 1.3.2 杆件变形的形式

材料力学研究的主要对象从几何上抽象为杆件,如连杆、传动轴、立柱、丝杆等。杆件在不同的外力作用下,其产生的变形形式各不相同。杆件变形的形式有以下 4 种。

1) 轴向拉伸(或压缩)

在一对大小相等、方向相反、作用线与杆件轴线相重合的轴向外力作用下,杆件在长度方向发生伸长变形的,称为**轴向拉伸**;长度方向发生缩短变形的,称为**轴向压缩**。如图 1.2 所示,托架的拉杆和压杆所产生的变形就是轴向拉伸和轴向压缩变形。

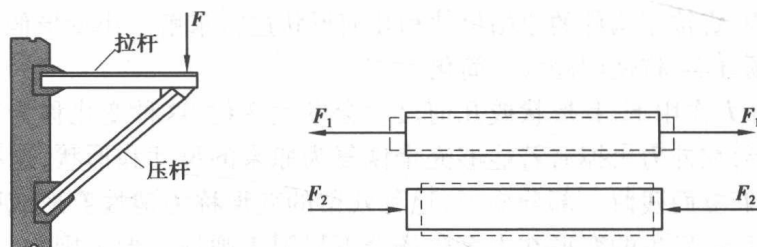


图 1.2 拉(压)杆的轴向变形

2) 剪切

在一对大小相等、方向相反、作用线相距很近的横向力作用下,杆件的横截面沿外力作用方向发生相对错动,这种变形称为**剪切变形**。如图 1.3 所示的连接件中的螺栓受力后发生的变形,就属于剪切变形。

3) 扭转

在一对大小相等、方向相反、位于垂直于杆件轴线的两平面内的力偶作用下,杆件的任意两横截面发生绕轴线的相对转动,杆件表面的纵向线将变成螺旋线,这种形式的变形称为**扭转**。如图 1.4 所示,机器的传动轴受力后发生扭转变形。

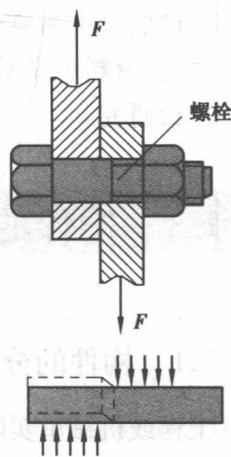


图 1.3 剪切变形

4) 弯曲

在一对大小相等、转向相反、位于杆件纵向平面内的力偶作用下,或者在垂直于杆件轴线的横向外力作用下,杆件的任意两横截面发生相对转动,此时杆件的轴线由直线变为曲线,这种形式的变形称为弯曲。如图 1.5 所示的吊车梁就主要发生弯曲变形。

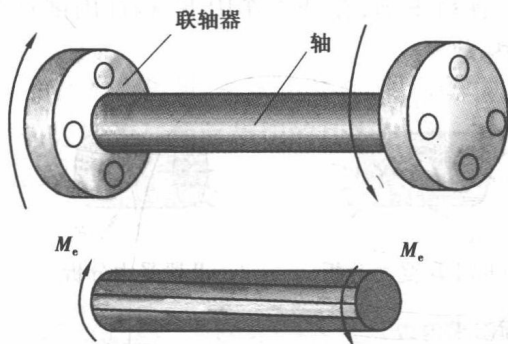


图 1.4 扭转变形

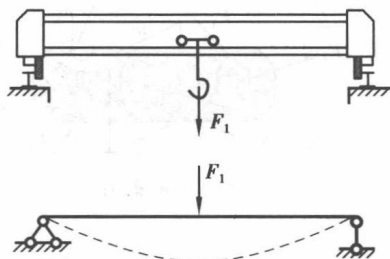


图 1.5 弯曲变形

工程中杆件在不同载荷作用下的变形情况比较复杂,但大多为上述 4 种基本变形形式的组合。如钻床立柱同时发生拉伸和弯曲组合变形;在啮合力作用下的传动轴发生扭转和弯曲组合变形。本书首先分别讨论各种基本变形形式,然后讨论组合变形。

1.4 外力、内力和应力的概念

► 1.4.1 外力

当研究某一物体时,常常取出该物体分析其受力情况。来自物体外部的力称为外力。外力包括主动力和约束力,主动力通常称为**载荷**。外力按作用区域的大小可分为**集中力**和**分布力**两类。集中力的分布面积远小于物体表面积,可视为作用在一个点上。分布力连续作用在物体的某个区域内,又可分为**体积力**和**表面力**。体积力作用于物体内部的各个质点上,如重力;表面力作用于物体表面,如风的压力。分布力的分布强度可以用单位体积内、单位面积或单位长度内所受力的大小来度量,称为**载荷集度**,常用单位为 kN/m^3 、 kN/m^2 和 kN/m 等。

按载荷随时间变化的情况,载荷可分为**静载荷**和**动载荷**。静载荷是缓慢地施加于物体上,由零缓慢增加至某一确定的值并不再改变的力。如将铁锤轻放于玻璃表面上,此时施加的力就是静载荷。若载荷随着时间发生显著的变化,则为动载荷。如钉锤钉钉子时,施加的力在短时间内从零快速增加至最大值,该力属于动载荷中的冲击载荷;又如内燃机中的连杆因活塞往复运动而受到的力,其大小和方向随时间作周期性改变,并多次重复地作用在物体上,这种力属于动载荷中的交变载荷。

► 1.4.2 内力和截面法

物体在外力作用下将发生变形,与此同时,杆件内部各部分之间因相对位置发生变化将产生附加的相互作用力,这种由于外力作用而引起的附加相互作用力称为**内力**。内力随着外

力的变化而变化。一般来说,外力消失之后,内力也跟着消失。

杆件的强度、刚度、稳定性等问题均与内力密切相关,当内力增加到一定程度时,杆件就会发生破坏或产生塑性变形。在分析这些问题时,常常需要知道杆件在外力作用下某一横截面上的内力值。求杆件任一横截面上的内力,通常采用截面法。

如图 1.6(a) 所示,设某一构件受外力作用而保持平衡,在外力作用下,构件内部将会产生内力。现采用截面法来计算 $m-m$ 横截面上的内力。

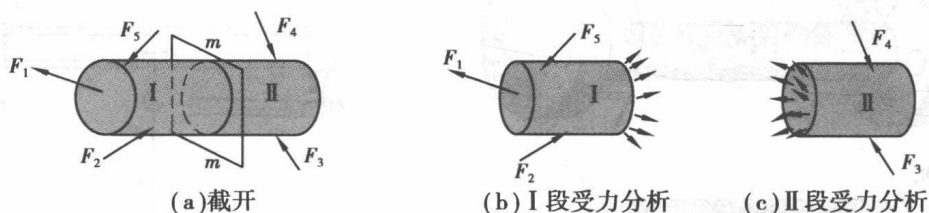


图 1.6 截面法求内力

截面法求解过程可归纳为截、留、代、平 4 个步骤。

①截:欲求某一横截面的内力,沿该截面将构件假想地截成两部分。如图 1.6(b)、(c) 所示,将构件沿 $m-m$ 横截面截成 I、II 两部分。

②留:对截开的两部分构件,留下其中任意一部分作为研究对象,而另一部分舍去。如保留图 1.6(b) 中的第 I 部分或图 1.6(c) 中的第 II 部分。

③代:舍去部分对留下部分的作用力,用作用于截面上相应的内力来代替,画出受力图。在图 1.6(b) 中,舍去的第 II 部分对第 I 部分的作用力用相应的内力表示出来。

④平:对留下部分建立平衡条件,通过静力平衡方程求解未知的内力。

需要说明的是,如果变形体在外力作用下保持平衡,则从其上截取的任一部分也是平衡的。这个任一部分可以是截开的两部分中的任一部分,也可以是无限接近的两个截面所截出的一微段,还可以是围绕某一点截取的微元或微元的局部等。截开后的两部分之间相互作用总是大小相等、方向相反的,因此留下其中任一部分进行分析即可。从平衡分析的角度来看,一般选择受力简单的部分。至于截面上的内力,是一个分布于截面上的分布力系,该分布力系可以向某一点(通常为形心)简化得到主矢和主矩,该主矢和主矩就是截面上的内力。

► 1.4.3 应力的概念

用截面法可以计算出横截面上内力的大小,但是不知道内力在横截面上的分布情况。为了解决构件的强度问题,不仅要知道当外力达到一定值时构件可能沿哪个截面破坏,而且还要知道该截面上哪个点首先开始破坏。因此仅仅知道构件截面上内力系的合力是不够的,还需要进一步研究截面上内力的分布情况,从而引入应力的概念。应力就是构件截面上分布内力的集度。

如图 1.7 所示,考察某受力杆截面 $m-m$ 上 M 点处的应力。

在 M 点周围取一微小面积 ΔA , 设 ΔA 面积上分布内力的合力为 ΔF , 则面积 ΔA 上内力 ΔF 的平均集度为

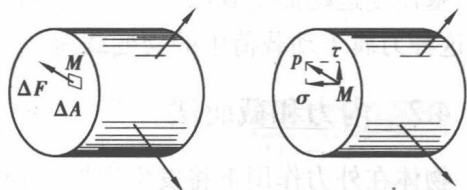


图 1.7 一点的应力

$$p_M = \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (1.1)$$

式中 p_M 称为面积 ΔA 上的平均应力。当微小面积 ΔA 趋近于零时,就得到截面上 M 点处的总应力,即

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} = \frac{dF}{dA} \quad (1.2)$$

由于力 F 是矢量,故 p 也是矢量,其方向一般不与截面垂直或平行,常常分解成与截面垂直的法向分量和与截面相切的切向分量。法向分量称为正应力,用 σ 表示;切向分量称为切应力,也称剪应力,用 τ 表示。应力的国际单位为 Pa(帕斯卡), $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ 。工程中常用 MPa、GPa 作为应力的单位,它们之间的关系为: $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$, $1 \text{ GPa} = 10^9 \text{ Pa} = 10^3 \text{ MPa}$ 。

1.5 位移、变形和应变的概念

研究变形,一方面是为了研究构件的刚度问题;另一方面还因为由外力引起的变形与内力的分布相关。

物体在外力作用下,其形状和大小要发生变化,即产生变形。变形前后物体内一点或一线段位置的变化称为位移。位移又分为线位移和角位移。线位移是指物体内一点位置移动的直线距离。角位移是指物体内一线段(或截面)方位改变的角度。在图 1.8 中,悬臂梁在集中力 F 的作用下,产生弯曲变形。

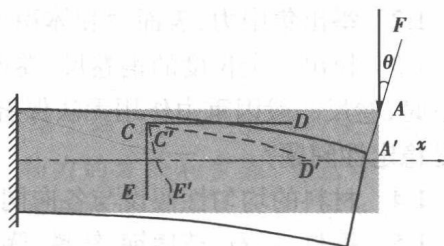


图 1.8 位移、变形与应变的概念

受力之前,在悬臂梁上过 C 点沿水平方向和竖直方向作相互垂直的线段 CD 和 CE 。集中力 F 作用在 A 点,产生弯曲变形后,点 C 、 D 、 E 的位置发生了变化,分别移动到 C' 、 D' 、 E' ,即产生线位移;直线段 CD 和 CE 均变成了相应的曲线 $C'D'$ 和 $C'E'$,并且它们在 C' 处不再垂直,产生了角位移;同时 A 点移动到 A' 的位置,自由端面转过了角度 θ ,也产生了角位移。

设变形前 CD 线段的长度为 Δx ,变形后曲线 $C'D'$ 的长度为 $\Delta x + \Delta s$ 。线段 CD 因变形改变为曲线 $C'D'$,其长度的变化量 $(\Delta x + \Delta s) - \Delta x$ 称为线变形。角度 CDE 变化为角度 $D'C'E'$,其角度的改变量 $\angle DCE - \angle D'C'E'$ 称为角变形。

比值

$$\varepsilon_{CD} = \frac{(\Delta x + \Delta s) - \Delta x}{\Delta x} = \frac{\Delta s}{\Delta x} \quad (1.3)$$

表示线段 CD 每单位长度的平均伸长或缩短,称为平均线应变。逐渐缩小 D 点和 C 点的距离,使 CD 的长度趋近于零,则 ε_{CD} 的极限为

$$\varepsilon = \lim_{D \rightarrow C} \frac{(\Delta x + \Delta s) - \Delta x}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta x} \quad (1.4)$$

ε 称为 C 点沿 x 方向的线应变,也称为正应变,简称应变。如线段 CD 内各点沿 x 方向的变形程度是均匀的,则平均应变就是 C 点的应变;若 CD 段内各点的变形程度并不相同,则只

有按式(1.4)定义的应变才能表示 C 点沿 x 方向变化的程度。

按式(1.3)、式(1.4)的定义可知,在应变的计算中,分子、分母的量纲都是长度,因此,线应变是无量纲的量。

$\angle DCE$ 变形前是直角,变形后为 $\angle D'C'E'$,则变形前后角度的变化量为 $\left(\frac{\pi}{2} - \angle D'C'E'\right)$ 。

当 D 和 E 都无限趋近于 C 点时,上述角度变化的极限值

$$\gamma = \lim_{\substack{D \rightarrow C \\ E \rightarrow C}} \left(\frac{\pi}{2} - \angle D'C'E' \right) \quad (1.5)$$

称为 C 点在平面内的切应变,也称为角应变。

切应变表示角度的变化量,是一个无量纲的量。

线应变 ε 和切应变 γ 是度量一点处变形程度的两个基本物理量。

思考题

1.1 材料力学与理论力学的研究对象有什么区别与联系?为什么?

1.2 举出集中力、表面力和体积力的工程实例。

1.3 拉出一定长度的钢卷尺,卷尺凹形向上时,能保持水平位置,若把卷尺倒过来,凹形向下时,卷尺一般因重力作用无法保持在水平位置而向下弯折,这主要是强度问题、刚度问题还是稳定性问题?

1.4 材料的均匀性假设与各向同性假设的区别在哪里?

1.5 钢材、岩石、玻璃钢、铸铁、陶瓷、木材中,哪些属于各向同性材料?哪些属于各向异性材料?

1.6 在外力作用下,构件会产生哪些基本变形,其各自的受力特点和变形特点是什么?

1.7 位移、变形和应变有什么区别与联系?

1.8 构件的内力与应力有什么区别和联系?

1.9 用截面法求内力时,有哪些基本步骤?需要注意哪些方面?

1.10 角位移、角变形和切应变的区别是什么?

2

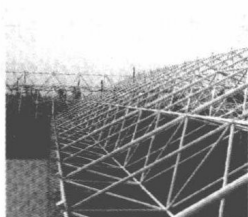
轴向拉伸与压缩

[本章导读]

轴向拉伸与压缩是杆件的基本变形形式之一。本章介绍了轴向拉伸与压缩的概念,拉压杆的受力特点和变形特点,截面法计算拉压杆的内力——轴力的方法和步骤;重点讨论了拉压杆横截面上应力的分布规律和计算公式、胡克定律和拉压杆的变形计算公式,以及拉压杆的强度设计准则;并通过低碳钢和铸铁试件的拉伸和压缩试验,分析了塑性材料和脆性材料的力学性能;最后简单介绍了应力集中现象。

2.1 轴向拉伸与压缩的概念

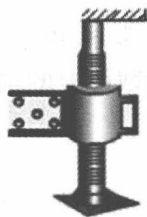
承受轴向拉伸和压缩的等直杆在实际工程中比较常见,如图 2.1(a) 所示房屋屋架桁架中的二力杆,图 2.1(b) 所示桥梁中的钢索,图 2.1(c) 所示汽车式起重机的支腿,图 2.1(d) 所示起重设备中的吊索等。



(a) 屋架桁架



(b) 桥梁钢索



(c) 汽车式起重机支腿



(d) 起重设备吊索

图 2.1 拉压杆实例