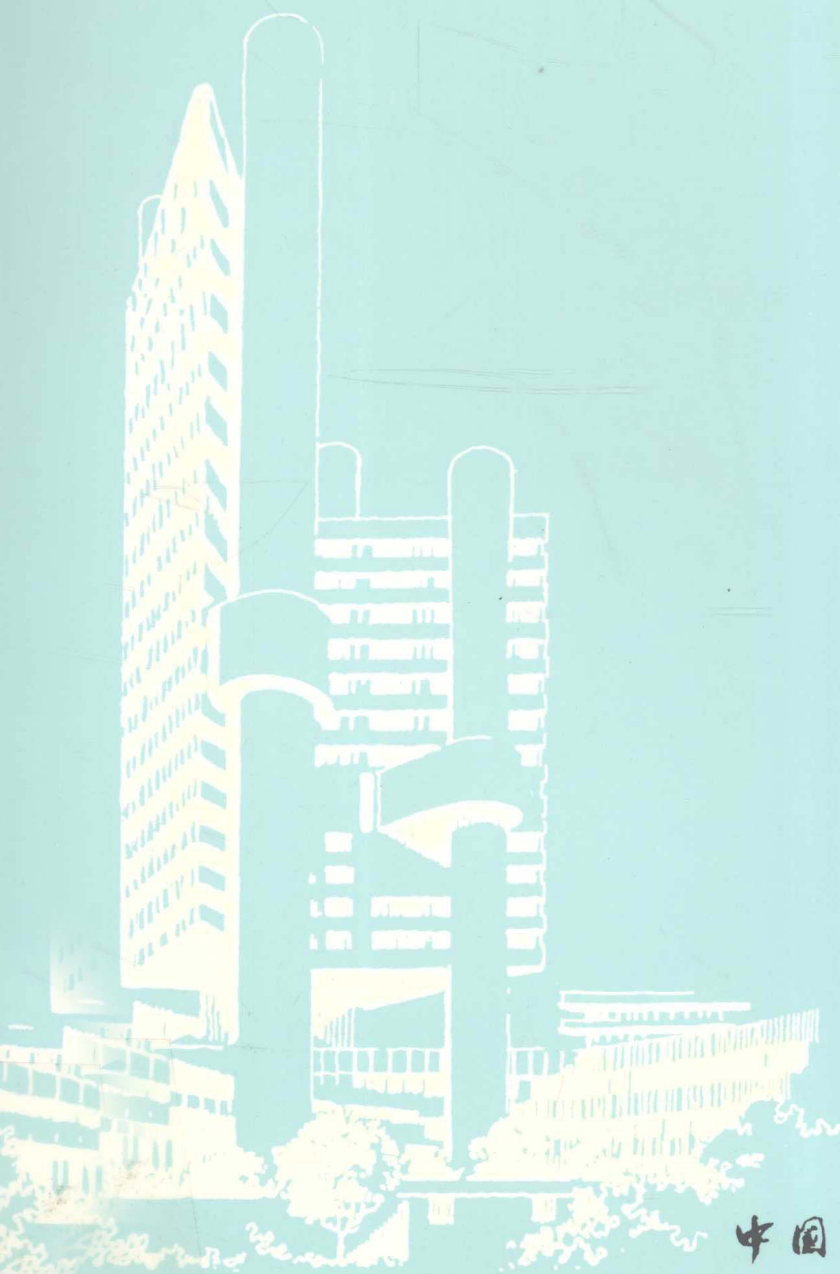


高职高专建筑工程专业系列教材

材料力学

(第二版)

翟振东 石 晶 主编



中国建筑工业出版社

高职高专建筑工程专业系列教材

材 料 力 学

(第 二 版)

翟振东 石 晶 主编

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

材料力学/翟振东, 石晶主编. —2 版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2004

(高职高专建筑工程专业系列教材)

ISBN 7-112-06664-6

I. 材... II. ①翟... ②石... III. 材料力学-高等学校: 技术学校-教材 IV. TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 101821 号

高职高专建筑工程专业系列教材

材 料 力 学

(第二版)

翟振东 石 晶 主编

*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 17½ 字数: 420 千字

2004 年 11 月第二版 2004 年 11 月第九次印刷

印数: 23,501—26,500 册 定价: 24.00 元

ISBN 7-112-06664-6

TU·5818(12618)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本书是在第一版的基础上修订而成的，主要是对第一版内容进行了重整，并对目前新出的一些规范，所使用的一些新的名词术语，一些新的符号等作出修改。

各章除基本教学内容外，还编入了小结、思考题、习题，书后附有习题答案。

本书可作为高职高专建筑工程专业教材，也适于土建类其他专业选用，还可作为有关工程技术人员自学的参考书。

* * *

责任编辑：吉万旺

责任设计：刘向阳

责任校对：刘 梅 刘玉英

第二版前言

这本教材自 1997 年 6 月出版以来，得到了全国很多学校的厚爱。应出版社和近年来曾使用过这本教材师生的要求，我们在保持原教材特色的基础上进行修订工作。

这次修订我们不仅重视教师的教学，更加重视学生的学习。对部分内容进行了调整、精简；对一些常用字符进行了修正；对于部分思考题、习题进行增减。这次修订工作由翟振东、石晶两位同志完成。

教材中注有“*”内容供不同专业选择取舍。

长安大学理学院尹冠生教授认真细致地审阅了这本教材，并提出了许多宝贵建议；长安大学理学院材料力学教研室的老师们给予了多方关心和帮助；不少使用过该教材第一版的教师也曾提出过许多宝贵意见，一并致以衷心谢意。

鉴于编者水平，这次修订工作还可能存在许多不妥之处，竭诚欢迎广大读者批评指正。

编者

2004 年 7 月 于长安大学

第一版前言

本书参照 1991 年国家教委制订的高等学校专科土建类专业“材料力学课程教学基本要求”，并根据建设部（1993）441 号文件“关于印发普通高等专科学校房屋建筑工程专业的培养目标、毕业生要求和培养方案、教学基本要求（试行）的通知”精神进行编写的。

本书在编写过程中，力求体现“以必需、够用为度，以掌握概念、强化应用为重点”的原则，努力做到精选内容、主次分明、详略得当、文笔流畅、便于教学。

本书共十三章，绪论、轴向拉伸和压缩、剪切、扭转、截面几何性质、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态和强度理论、组合变形时杆件的强度计算、计算弹性位移的能量法、压杆稳定、动荷载及交变应力。各章除基本教学内容外，还编入了小结、思考题、习题。书后还附有型钢表和习题答案。

本书可作为课内教学总时数为 80 学时的房屋建筑工程专业专科教材、同时也适用于课内教学总时数为 60~90 学时的土建类其他专业选用。

参加本书编写工作的有：翟振东（第一、二、四章）；刘真（第三、十、十二章）；周咏梅（第五、六、七、十三章）；吕继忠（第八、九、十一章）。全书由翟振东负责定稿。

在编写本书过程中，我们参阅了有关材料力学教材，从中汲取许多经验。同时，本书的编写还得到西北建筑工程学院基础科学系的领导和力学教研室的老师们大力支持。在此，一并致以衷心谢意。

鉴于编者水平所限，不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 材料力学的任务	1
第二节 变形固体的基本假设	2
第三节 内力·截面法和应力的概念	4
第四节 位移和应变的概念	6
第五节 杆件变形的基本形式	7
本章小结	8
思考题	9
第二章 轴向拉伸和压缩	10
第一节 轴向拉伸和压缩的概念及工程实例	10
第二节 轴力和轴力图	10
第三节 轴向拉(压)杆横截面上的应力	12
第四节 斜截面上的应力	15
第五节 轴向拉伸(压缩)时杆件的变形	16
第六节 材料拉伸、压缩时的力学性质	21
第七节 许用应力和安全系数·轴向拉伸和压缩时的强度计算	26
第八节 拉伸和压缩超静定问题	31
第九节 应力集中的概念	35
第十节 连接件的强度计算	36
本章小结	41
思考题	42
习题	43
第三章 扭转	49
第一节 概述	49
第二节 外力偶矩的计算·扭矩和扭矩图	50
第三节 薄壁圆筒的扭转	52
第四节 切应力互等定理和剪切胡克定律	54
第五节 圆轴扭转时的应力	55
第六节 圆轴扭转时的变形	59
第七节 圆轴扭转时的强度条件和刚度条件	60
第八节 矩形截面杆扭转的概念	63
本章小结	66
思考题	66

习题	67
第四章 弯曲内力	71
第一节 平面弯曲的概念及梁的计算简图	71
第二节 梁的内力——剪力和弯矩	72
第三节 剪力方程和弯矩方程·剪力图和弯矩图	77
第四节 荷载集度·剪力和弯矩间的微分关系及其应用	82
第五节 叠加法作剪力图和弯矩图	88
本章小结	89
思考题	90
习题	91
第五章 弯曲应力	96
第一节 梁的正应力	96
第二节 梁的正应力强度计算	100
第三节 梁横截面上的切应力	105
第四节 梁的切应力强度计算	110
第五节 提高梁弯曲强度的措施	113
第六节 弯曲中心的概念	116
本章小结	117
思考题	118
习题	119
第六章 弯曲变形	122
第一节 概述	122
第二节 梁挠曲线的近似微分方程	122
第三节 用积分法计算梁的变形	124
第四节 用叠加法计算梁的变形	130
第五节 梁的刚度校核及提高梁刚度的措施	132
第六节 简单超静定梁	134
本章小结	137
思考题	138
习题	139
第七章 应力状态和强度理论	143
第一节 应力状态的概念	143
第二节 二向应力状态分析	145
第三节 主应力迹线	155
第四节 三向应力状态分析简介	157
第五节 广义胡克定律	160
第六节 强度理论	162
* 第七节 莫尔强度理论	168
本章小结	169

思考题·····	171
习题·····	172
第八章 组合变形时杆件的强度计算 ·····	175
第一节 概述·····	175
第二节 斜弯曲·····	176
第三节 拉伸(压缩)与弯曲·····	181
第四节 偏心拉伸(压缩)·····	184
第五节 截面核心·····	188
第六节 扭转与弯曲·····	190
本章小结·····	193
思考题·····	194
习题·····	196
第九章 压杆稳定 ·····	200
第一节 压杆稳定的概念·····	200
第二节 细长压杆的临界力·····	202
第三节 欧拉公式的适用范围·临界应力总图·····	206
第四节 压杆的稳定计算·····	212
第五节 提高压杆稳定性的措施·····	220
本章小结·····	221
思考题·····	222
习题·····	223
第十章 动荷载及交变应力 ·····	227
第一节 构件在等加速直线运动时的应力和变形·····	227
第二节 构件作匀速转动时的应力·····	229
第三节 构件受冲击时的应力和变形·····	230
* 第四节 交变应力和疲劳破坏·····	234
本章小结·····	237
思考题·····	238
习题·····	238
附录 I 截面的几何性质 ·····	240
第一节 静矩和形心·····	240
第二节 惯性矩和惯性积·····	242
第三节 平行移轴公式·····	246
第四节 转轴公式·主惯性轴·····	248
本章小结·····	251
思考题·····	252
习题·····	253
附录 II 型钢表 ·····	255
习题参考答案 ·····	264

第一章 绪 论

第一节 材料力学的任务

作用在建筑物或机械上的外力通常称为荷载。例如，建筑物所承受的重力和地震力，水坝所承受的水压力，车床主轴所承受的切削力等等都称为荷载。在建筑物或机械中承受荷载而起骨架作用的部分称为结构。例如，由许多根杆件组成的屋架结构，由柱、吊车梁、屋架及基础组成的排架结构，如图 1-1 所示。组成结构的各个元件或组成机械的各个零件称为构件。例如，房屋结构中的梁、板、柱、墙和基础，机床中的轴等等都是构件。当建筑物或机械工作时，每个构件都将受到荷载的作用。为了确保建筑物或机械安全正常地工作，要求组成它们的每一个构件都必须安全可靠，即应具备足够的承受荷载的能力。构件承载能力主要由下述三个方面来衡量。

1. 强度要求

所谓强度是指构件在荷载作用下抵抗破坏的能力。构件必须具备足够的强度，即在一定荷载作用下不能发生破坏。例如，房屋的梁、楼板在荷载作用下不能断裂；提升重物的钢丝绳不允许被拉断；储气罐不应破裂。在一定荷载作用下，某种材料比较坚固，不易破坏，则认为这种材料的强度高；反之，如果某种材料不够坚固，易于破坏，则认为这种材料的强度低。例如，钢材的强度高于木材，可见强度有高低之分。

2. 刚度要求

所谓刚度是指构件在荷载作用下抵抗变形的能力。在荷载作用下，构件形状和尺寸发生的变化称为变形。构件在荷载作用下，都要发生一定的变形。对于某一构件，即使具有足够的强度，但若变形过大仍不能正常工作。例如，楼板梁在荷载作用下产生较大的变形，下面的抹灰层就容易开裂、剥落；吊车梁变形过大，吊车就难以平稳行驶；机床主轴变形过大，将影响零件的加工精度。因此，工程中对构件的变形要加以限制，要求构件的变形不应超过正常工作所允许的限度，即应满足一定的刚度要求。

在一定荷载作用下，某一构件不易变形，即抵抗变形的能力强，则认为这一构件的刚度大；反之，如果某一构件易于变形，即抵抗变形的能力弱，则认为这一构件的刚度小，可见刚度有大小之分。

3. 稳定性要求

某些构件在荷载作用下，还可能发生失去其原有平衡形式的现象。如图 1-2 所示，一

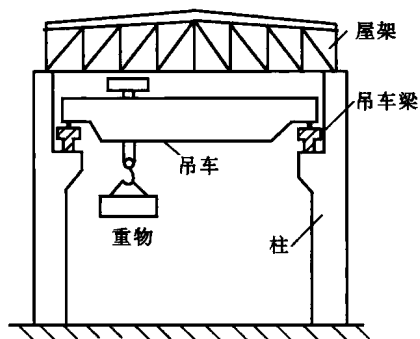


图 1-1

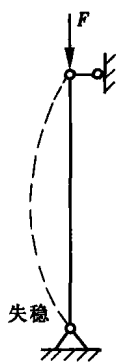


图 1-2

根细长杆承受压力作用，当压力 F 不太大时，压杆可以保持其原有的直线形状；当压力 F 增加并超过一定限度时，压杆不能继续保持其直线形状，而突然由直变弯，这种现象称为丧失稳定，简称失稳。构件失稳后将丧失继续承受原设计荷载的能力。例如，建筑物中承重的柱子，如果它过于细高，就可能由于柱子的失稳而导致整个建筑物的倒塌。可见，所谓稳定性是指构件保持其原有平衡形式的能力。构件必须具有足够的稳定性，即构件应有足够的保持原有平衡形式的能力。在荷载作用下，如果某压杆始终保持其原有直线平衡形式，则认为这一压杆稳定性好。

综上所述，为了保证结构物正常工作，则要求组成它的每一个构件都必须具有足够的强度、刚度和稳定性。当然，在工程中对于每一具体构件可能有所侧重。例如，起吊重物的吊索主要是要求保证足够的强度；车床主轴主要是要求具备一定的刚度；受压的细长杆则主要是要求必须具有较好的稳定性。

在设计构件时，不但要使构件满足强度、刚度和稳定性等三方面的要求。同时，还应尽可能地选用合适的材料并减少材料用量，以降低成本和减轻构件自重。也就是说构件除了满足安全性要求外，还应力求实现经济的目的。安全和经济是一对矛盾，正是这对矛盾促进了本门学科的产生与发展。因此，材料力学的任务就是在满足强度、刚度和稳定性要求的条件下，为设计既安全又经济的构件，提供必要的理论基础和计算方法。

为了完成上述任务，材料力学必须研究构件在荷载作用下的变形和破坏规律，即必须研究材料的力学性质。同时，还应研究构件的强度、刚度和稳定性与构件截面形状和尺寸之间的关系。这些研究都是建立在实验的基础上。此外，经简化得出的理论正确性，也需由实验来验证；工程中还有一些尚无理论分析结果的问题，也需借助实验来解决。因此，材料力学是一门理论与实验并重的学科。

材料力学研究问题的方法，通常采用的是实验观察、假设抽象、理论分析和试验验证等过程，这也是各门学科长期发展所形成的研究问题的基本方法。

材料力学所研究的问题，都是工程中的实际问题，必须通过实验来观察问题的具体现象，了解其实质，并将所研究的问题加以抽象、简化，作出一些能够表达其主要特征的假设。根据这些假设再进行理论分析，就可得到表达所研究问题本质关系的公式和结论。这些公式和结论的正确性还需通过试验和工程实践来验证。材料力学中一些重要公式和结论，都是通过反复检验和修正才形成今天这样的形式。可见材料力学研究问题的方法，符合实践——理论——再实践的认知规律，也起到了从纯抽象思维方式，向解决工程实际问题思维方式过渡的桥梁作用。

第二节 变形固体的基本假设

一、变形固体的概念

在理论力学中，把所研究的物体都当作刚体。即假设在外力作用下，物体的形状和体积都不发生变化。实际上，在自然界中所谓的刚体是不存在的。任何物体在外力作用下，都会产生或大或小的变形。这些变形，有些可直接观察到，有些则需要通过仪器才能测出。材料力学研究的对象是构件。构件都是由固体材料制成的。这些固体材料在外力作用

下会产生变形，故称之为变形固体。

材料力学研究的是构件的强度、刚度和稳定性问题，这些问题都与构件在荷载作用下的变形相联系。因此，构件的变形已成为材料力学所必须研究的重要内容。作为变形固体的构件，在荷载作用下的变形，按其性质可分为两种。一种是弹性变形，这是一种随着荷载解除而消失的变形；另一种是塑性变形或称为残余变形，这是一种荷载解除后而不能消失的变形。

荷载解除后能完全恢复其原状的变形固体称为理想弹性体。实际上，自然界并不存在理想弹性体。但由实验可知，常用的工程材料，如金属、木料和混凝土等，当荷载不超过某一限度时，荷载解除后的残余变形很小，它们很接近理想弹性体。因此，在材料力学中，通常将所研究的对象，即由变形固体制成的构件视为理想弹性体。本书所讨论的问题，也仅限于理想弹性体。

二、变形固体的基本假设

变形固体的性质是十分复杂的，各学科研究的角度、范围不同，其侧重面也不一样。为了简化计算，在材料力学中常略去一些与强度、刚度和稳定性等问题关系不大的因素，将具有多种复杂属性的变形固体模型化，从而建立材料力学所研究对象的理想化模型。为此，材料力学对变形固体作下列假设。

1. 连续性假设

该假设认为，固体在其整个体积内毫无空隙地充满了物质。实际上，组成固体的各粒子间并不连续，它们间存在着空隙。但是，这些空隙与构件尺寸相比极其微小，由于空隙存在而引起性质上的差异，在宏观讨论中可以忽略不计，故可认为固体在其整个体积内是连续的。根据这个假设，就可将表征固体内某些力学性质的物理量用点的坐标的连续函数来表示。这样，就可以利用高等数学的知识（微分、积分和微分方程等），来分析研究材料力学的问题。

2. 均匀性假设

该假设认为，固体内各点处的力学性质完全相同。就工程中使用较多的金属材料来说，组成金属的各个晶粒的力学性质并不完全相同。但是，在构件或构件内任一部分中，都包含着为数极多的晶粒，而且它们又是处于无规则的排列状态，其力学性质应是所有各晶粒性质的统计平均值，故可认为构件内各部分的力学性质是均匀的。根据这个假设，可以从构件内任意点处取出一微小部分加以分析研究，并将研究结果应用于整个构件。同时，也可以将那些用大尺寸试件在实验中所获取的材料的力学性质，应用于任一微小部分。

3. 各向同性假设

该假设认为，固体在各个不同方向具有相同的力学性质。具有这种性质的材料称为各向同性体。常用的工程材料，如钢材、塑料、玻璃和混凝土都可认为是各向同性材料。根据这个假设，在研究材料的力学性质时，不必考虑其方向性，即在研究材料某一方向的力学性质后，其结论就可以应用到其他任何方向。

如果材料在各个不同方向具有不同的力学性质，则这种材料称为各向异性体。例如，木材、胶合板、纤维织品和复合材料等。材料力学所研究的问题，主要限于各向同性体。

4. 小变形假设

该假设认为, 构件在荷载作用下产生的变形与其尺寸相比是极其微小的。材料力学所

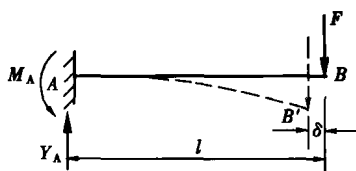


图 1-3

研究的问题限于构件的变形远小于其原始尺寸的“小变形”情况。这样, 在研究构件的平衡问题时, 就可以忽略构件的变形, 而按变形前的原始尺寸进行分析计算, 这种方法称为原始尺寸原理。利用这一原理可使计算大大得到简化。例如, 图 1-3 所示悬臂梁, 在荷载 F 作用下发生弯曲变形, 梁 B 端沿水平方向产生位移 δ 。在计算梁固定端 A 的支反力偶 M_A 时, 可由静力平衡方程 $\Sigma M_A = 0$, $M_A = Fl$, 而不用 $M_A = F(l - \delta)$ 。这是因为水平方向的位移 δ 远小于梁的原长 l , 根据小变形假设, 在研究平衡问题时, 可略去小变形 δ 的影响, 仍按梁的原长 l 计算, 使计算得以简化。

实验表明, 根据上述假设所得到的结论是正确的。这些结论充分反映材料的主要性质, 又使问题得到合理简化, 与构件的实际情况基本符合, 并能够完全满足工程上所要求的精度。

综上所述, 材料力学的研究对象——构件是连续、均匀、各向同性的变形固体, 并把它们看作完全弹性体, 其研究范围仅限于小变形的情况。

第三节 内力·截面法和应力的概念

一、内力的概念

材料力学研究对象是构件。对所研究的构件来说, 凡是构件以外的物体对构件的作用力均为外力, 例如, 构件所承受的荷载和约束反力都是外力。

在外力作用下, 构件内部各部分间因相对位置改变而引起的相互作用力, 称为内力。

其实, 即使不承受外力的作用, 构件内部各质点间本来就存在着相互作用的内力。这种内力使质点之间保持一定的相对位置, 构件维持其一定的形状。当构件受到外力作用时, 构件内部相邻各质点间的相对位置就要改变, 因而使构件的形状和尺寸发生变化, 即构件产生了变形。这时各质点间原有相互作用的内力就要发生改变。可以认为, 构件在原有内力的基础上, 又出现了一种新的附加的相互作用力, 其作用趋势力图使各质点恢复其原来的位置。材料力学中所讨论的内力, 就是指由于外力的作用而引起的上述相互作用力的改变量, 称为“附加内力”, 简称内力。

构件承受的外力越大, 变形就越大, 内力也就越大。当内力达到一定限度 (取决于构件的材料和尺寸等因素) 时就会引起构件的破坏, 所以内力与构件的强度是密切相关的。内力分析是解决构件强度、刚度和稳定性问题的基础。

二、截面法

内力是构件内部各部分间的相互作用力的改变量。为了显示内力, 可以假想地用一个截面 mn 将构件截分为两个部分 I 和 II, 如图 1-4 (a) 所示, 任意地取其中一部分。例如取部分 I, 弃去部分 II, 并将弃去部分 II 对部分 I 的作用, 以截开面的内力来代替, 如图 1-4 (b) 所示。

由于变形固体是连续的, 所以在截面上将有连续分布的内力, 称为分布内力。在分析

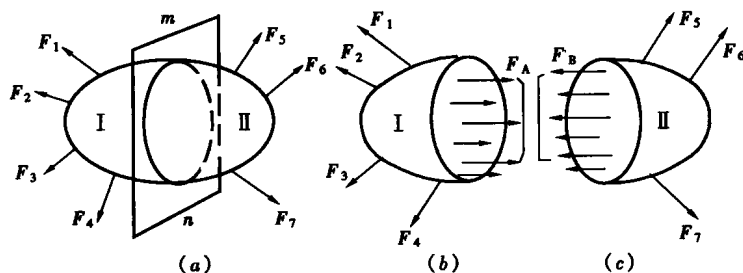


图 1-4

具体问题，总是先求得截面上分布内力的合力，所以通常就将分布内力的合力（一般为一个力和一个力偶）称为内力。

对部分 I 来讲，截开面 mn 上由于部分 II 对它作用的内力已成为外力。所以，若取部分 I 为脱离体建立平衡方程式，可根据作用在此部分上的已知荷载及支反力来计算截开面上的内力。若取部分 II 为研究对象，如图 1-4 (c) 所示，则由作用与反作用定律，可知 II 部分在截开面上的内力与部分 I 上的内力等值反向，同样也可从部分 II 上的荷载及支反力，利用平衡方程式来确定此内力。

综上所述，为了显示某一截面上的内力，假想地用一个截面将构件截分为二，取其中的一部分为研究对象，建立平衡方程以确定截面上的内力，这种求内力的方法称为截面法。其全部过程可归纳为下列三个步骤：

- (1) 在需求内力的截面处，将构件截分为两部分；
- (2) 留下任一部分，弃去另一部分，并以内力代替弃去部分对留下部分的作用；
- (3) 研究留下部分平衡，根据已知的荷载及支座反力，计算构件在截开面上的未知内力。

截面法是材料力学中求内力的基本方法，今后将经常用到，应熟练掌握。

三、应力的概念

在确定构件的内力后，还不能判断构件在外力的作用下是否会因强度不足而破坏。例如用同种材料制成粗细不同的两根杆，在相同的拉力作用下，两杆横截面上的内力相同，但当拉力逐渐增大时，细杆必定先被拉断。这说明拉杆的强度不仅与内力的大小有关，而且还与杆件的横截面面积有关。内力只是拉杆横截面上分布内力的合力；同时，截面法不能给出内力在横截面上的分布规律，也不能给出截面上各点处的分布内力集度。因此，要判断杆件是否会因强度不足而破坏，还必须知道用来度量分布内力大小的分布内力集度。

为了研究构件某一截面 mn 上任一点 K 处分布内力集度，可假想用截面 mn 将构件截开。在截面 mn 上 K 点的周围取一微小面积 ΔA 。设 ΔA 面积上分布内力的合力为 ΔF ，如图 1-5 (a) 所示。由于在一般情况下，分布内力并不是均匀分布的，所以将比值 $\frac{\Delta F}{\Delta A}$ 在微小面积 ΔA 趋近于零时的极限值

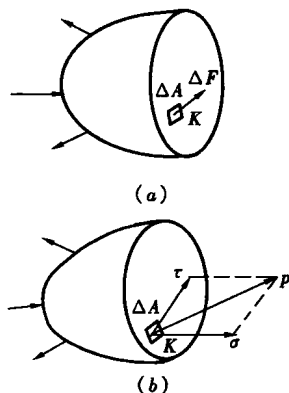


图 1-5

$$F = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

定义为 mn 截面上 K 点处分布内力集度，通常又称之为总应力。 F 是一个矢量。通常把总应力 F 分解成垂直于截面的分量 σ 和与截面相切的分量 τ ，如图 1-5 (b) 所示。 σ 称为正应力， τ 称为切应力。

应力的量纲是 [力] / [长度]²。在国际单位制中应力的单位是牛顿/米²，记为 N/m² 或 Pa，称为帕斯卡或简称为帕。由于这个单位太小，通常用兆牛顿/米² = 10⁶ 牛顿/米²，记为 MN/m² 或 MPa，称兆帕；或用千牛顿/米² = 10³ 牛顿/米²，记为 kN/m² 或 kPa，称千帕。

第四节 位移和应变的概念

当构件受外力作用后，整个构件的每个局部一般都要发生形状和尺寸的改变，如图 1-6，即产生了变形。研究变形除了是因为研究构件的刚度外，还因变形与构件分布内力在横截面上分布规律有关。变形的大小是用位移和应变这两个量来度量的。

一、线位移和角位移

位移是指构件发生变形后，构件内各质点及各截面空间位置的改变。位移可分线位移和角位移，线位移是指变形后构件内某点移动的距离。如图 1-6 所示，构件上的 A 点于变形后移到了 A' 点，其连线 AA' 就称为 A 点的线位移。角位移是指变形后构件内某一截面所转过的角度，右端面 mn 于变形后到达了 $m'm'$ 的位置，其转过的角度 θ 就是端面 mn 的角位移或称为转角。在研究构件的刚度时需进行位移计算。

二、线应变和角应变

要研究分布内力在截开面上的分布规律，首先必须研究构件内各点处的变形程度，为此还必须引入应变的概念。为了说明应变的概念，可以从图 1-6 所示的构件内，围绕某点 K 截取一微小的正六面体，如图 1-7 (a) 所示。

此微小正六面体的变形有以下两类：

(1) 沿棱边方向的伸长或缩短。设其沿 x 方向的 cb 边原长为 Δx ，在变形后其长度改变了 Δu ，如图 1-7 (b) 所示，则 Δu 称为线段 $\overline{cb}$ 的线变形或绝对伸长。伸长时 Δu 为正值，缩短时 Δu 为负值。如果沿线段 $\overline{cb}$ 上的各点处变形程度相同，则比值

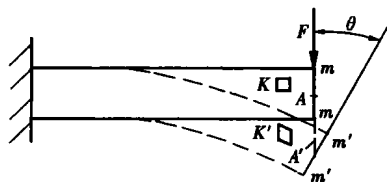


图 1-6

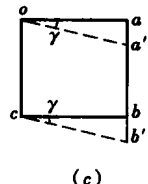
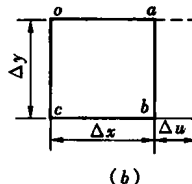
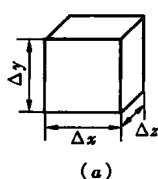


图 1-7

$$\overline{\epsilon}_x = \frac{\Delta u}{\Delta x}$$

即代表线段 $\overline{cb}$ 上每单位长度的伸长或缩短。正值的 $\overline{\epsilon}_x$ 代表伸长的线应变，负值的 $\overline{\epsilon}_x$ 代表缩

短的线应变。通常沿线段 $\overline{cb}$ 上各点处的变形程度不同，则比值 $\overline{\epsilon_x}$ 只能代表线段 $\overline{cb}$ 的平均线应变，而 K 点处沿 x 方向的线应变应定义为：

$$\epsilon_x = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta x}$$

(2) 棱边夹角的改变。若将上述正六面体的边长缩短至无穷小，并称之为单元体，则在此单元体范围内各点处的变形程度即可看作是相等的。在此情况下，单元体的任意两个边 oa 和 oc 之间所夹直角 aoc ，在变形后发生微小角度改变 γ ，如图 1-7 (c) 所示。这个直角的改变量 γ 即定义为切应变，用弧度来度量。

线应变和切应变均系相对变形，是度量构件内一点处变形程度的两个基本量，且均为无量纲的量。

任一构件都可设想它是由很多微小正六面体组成的。当构件受力后，各微小正六面体一般都要发生变形，整个构件的变形，可看成各微小正六面体变形的累积。

第五节 杆件变形的基本形式

一、杆件

材料力学所研究的主要构件多属于杆件。所谓杆件，是指一个方向（长度）尺寸远大于其他两个方向（宽度和高度）尺寸的构件。

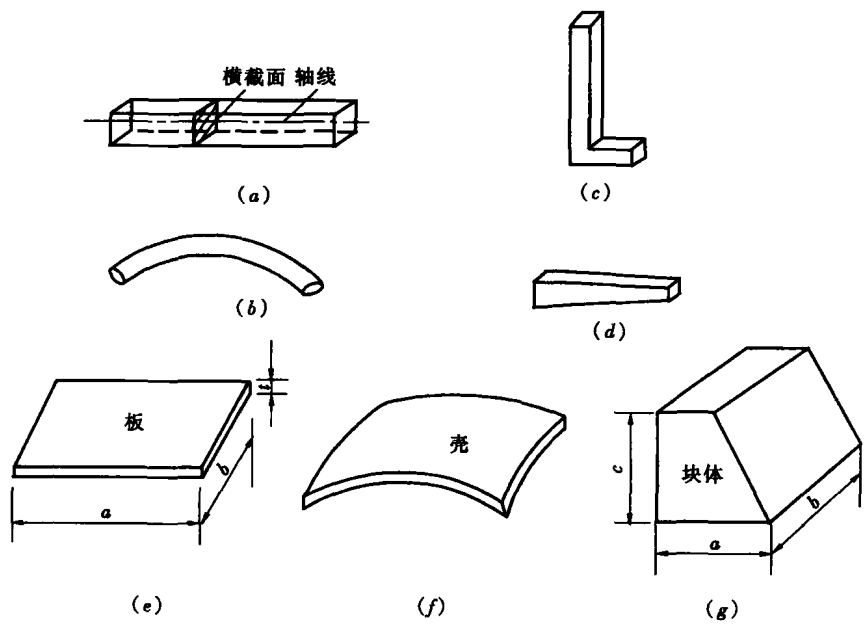


图 1-8

垂直于杆件长度方向的截面称为横截面，杆件中各横截面形心的连线称为杆件的轴线，如图 1-8 (a)。如果杆件的轴线是直线，则称它为直杆，如图 1-8 (a) 所示；轴线为曲线或折线的杆件，分别称为曲杆（图 1-8b）或折杆（图 1-8c）。各横截面尺寸相同的杆件称等截面杆；横截面尺寸不同的杆件称为变截面杆，如图 1-8 (d) 所示。工程中最

常见的是等截面直杆，简称等直杆。

除了杆件外，工程中的构件还有板、壳和块体等。长度和宽度远远大于厚度的构件，呈平面形状的称为板，如图 1-8 (e) 所示；呈曲面形状的称为壳，如图 1-8 (f) 所示。长度、宽度和厚度属同一量级尺寸的构件则称为块体，如图 1-8 (g) 所示。

二、四种基本变形形式

工程中的杆件会受到各种形式的外力作用，因而杆件变形的形式也就各不相同。但是这些变形总可归纳为下述四种基本变形的一种，或者是它们中几种的组合。

1. 轴向拉伸或压缩

杆件在大小相等、方向相反，作用线与轴线重合的一对力作用下，变形表现为长度的伸长或缩短，如图 1-9 (a)、(b) 所示。

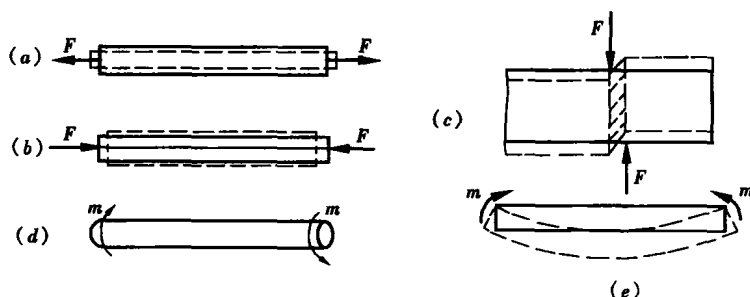


图 1-9

2. 剪切

杆件受大小相等、方向相反，且作用线靠近的一对力的作用，如图 1-9 (c) 所示，变形表现为杆件的两部分沿外力方向发生相对错动。

3. 扭转

在垂直于杆件轴线的两个平面内，作用大小相等、转向相反的两力偶，如图 1-9 (d) 所示，变形表现为任意两个横截面发生绕轴线的相对转动。

4. 弯曲

在包含杆件轴线的纵向平面内，作用转向相反的一对力偶（或作用与轴线垂直的横向力），如图 1-9 (e) 所示，变形表现为杆件的轴线由直线变为曲线。

本章小结

1. 学习本章要了解材料力学的主要任务，明确学习目的。材料力学为工程中使用的各类构件，提供了选择材料、确定截面形状和尺寸所必需的理论基础和计算方法。只有掌握了材料力学的知识，才能做到既安全又经济地设计构件。安全就是要使设计的构件满足强度、刚度和稳定性的要求。对什么是强度、刚度和稳定性的理解要准确，如强度是指构件的抵抗破坏的能力，这里所说的破坏不仅指断裂，而且还包括构件出现塑性变形的情况；刚度，主要指的是构件抵抗弹性变形的能力；稳定性是指构件保持原有平衡形式的能力。

2. 制造构件所用的材料都是变形固体，它在外力的作用下要发生或大或小的变形。变形固体的基本性质，就是基本假设所概括的连续性、均匀性和各向同性，并引用了小变