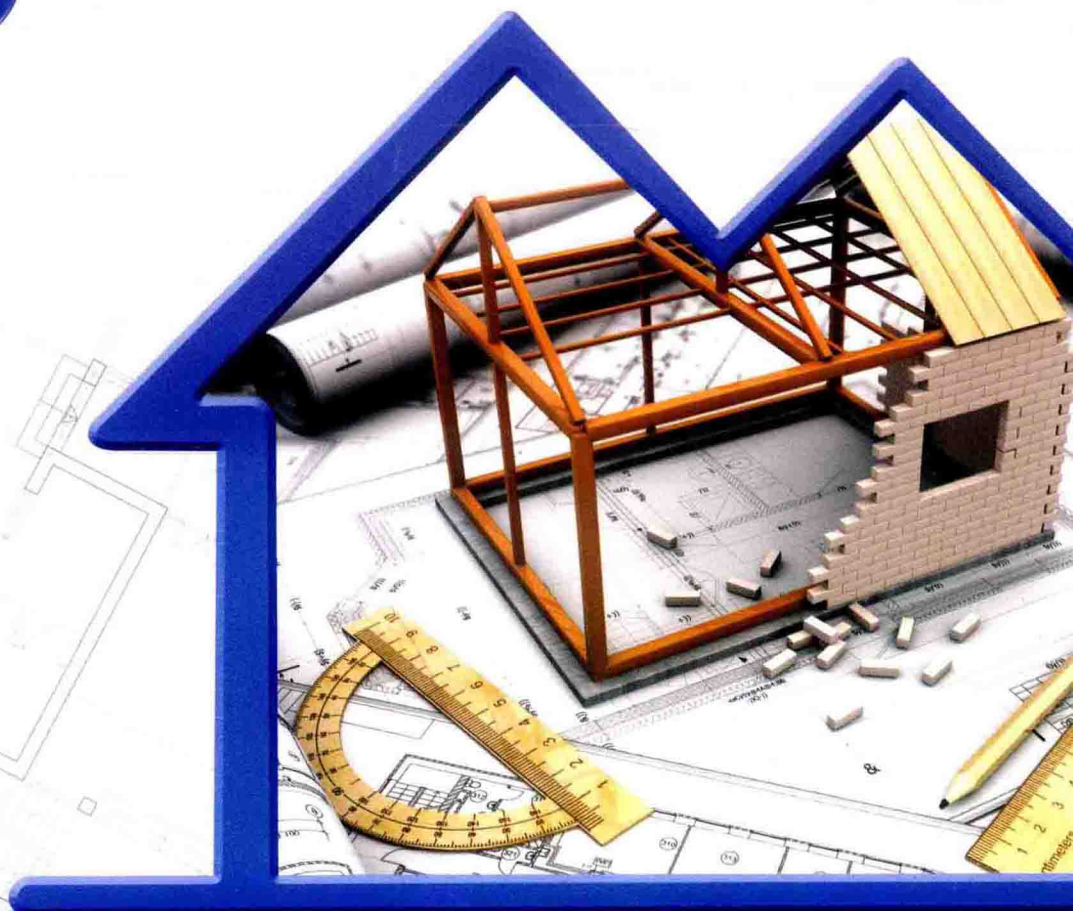




全国高等院校土木与建筑专业十二五创新规划教材



材料力学

(第2版)

赠送
电子课件

邹建奇 崔健 主编
周显波 蒋鑫 副主编

清华大学出版社

全国高等院校土木与建筑专业十二五创新规划教材

材 料 力 学

(第 2 版)

邹建奇 崔 健 主 编
周显波 蒋 鑫 副主编

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书根据高等学校土木工程专业材料力学课程的基本要求编写,注重基本理论和基本方法的讲授,并在此基础上注重能力的培养。可供教学学时为 60~96 课时的材料力学课程选用。

全书共分为 11 章,主要内容包括绪论、轴向拉伸和压缩、扭转与剪切、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态和强度理论、组合变形的强度计算、压杆稳定、能量法及动荷载与交变应力等。

本书适合于高等学校土建、机械工程、航空及水利等专业教学用,也可供其他专业及有关工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。
版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/邹建奇,崔健主编. —2 版. —北京:清华大学出版社,2015
全国高等院校土木与建筑专业十二五创新规划教材
ISBN 978-7-302-40587-0

I. ①材… II. ①邹… ②崔… 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(2014)第 144666 号

责任编辑:桑任松
装帧设计:刘孝琼
责任校对:周剑云
责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62791865

印 装 者:三河市吉祥印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:21 字 数:508 千字

版 次:2007 年 4 月第 1 版 2015 年 8 月第 2 版 印 次:2015 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:39.00 元

产品编号:062551-01

前 言

《材料力学》(第2版)是根据教育部高等学校力学指导委员会2014年4月最新颁布的《理工科非力学专业力学检查课程教学基本要求》，以及根据《过硬地方本科高校转型发展的指导意见》的文件要求，再版教材注重基本理论、基本方法和基本计算的掌握，注重工程应用，培养创新能力的基础上，对书中的部分内容进行了调整、修改和补充。比如，对例题的选择上更注重实际应用，在解题方法上更注重思路清晰、步骤简练，习题类型的覆盖面更广等。

全书共分为11章及5个附录，采用了最新的国家标准规定的符号。在内容结构上，前6章是基础部分，包括4种基本变形(拉伸和压缩变形、扭转变形、剪切变形、弯曲变形)的内力、应力、变形及超静定计算。后5章是扩展和深入讨论部分，包括应力状态和强度理论、压杆稳定、能量法及动荷载与交变应力。对于中等学时的材料力学课程，后5章的内容可适当选用。

本书由邹建奇、崔健主编，邹建奇负责全书统稿。其中第1~3、8章由崔健编写，第4~7、9、10章由邹建奇编写，第11章、附录、各章习题及答案由蒋鑫编写。长春建筑学院周显波副教授审阅了全书。

在本书的编写过程中，得到了长春建筑学院和吉林建筑大学领导及该院力学教研室全体老师的全力支持，在此一并表示感谢。

由于编者学识、水平有限，错误不妥之处在所难免，恳请教者、读者不吝赐教，以利于本书的进一步完善和提高。

编 者

目 录

第1章 绪论	1	2.8.1 超静定问题的提出及其 求解方法	33
1.1 材料力学的任务	1	2.8.2 装配应力	36
1.2 可变形固体的性质及其基本假设	2	2.8.3 温度应力	39
1.3 内力及应力的概念	3	2.9 习题	40
1.3.1 内力的概念	3	第3章 扭转与剪切	47
1.3.2 应力的概念	5	3.1 扭转的概念及实例	47
1.4 杆件的基本变形形式	6	3.2 扭矩的计算和扭矩图	48
第2章 轴向拉伸和压缩	9	3.2.1 外力偶矩的计算	48
2.1 轴向拉伸和压缩的概念	9	3.2.2 扭矩及扭矩图	49
2.2 轴力、轴力图	10	3.3 圆轴扭转时的应力与强度条件	52
2.3 拉(压)杆内的应力	12	3.3.1 薄壁圆筒的扭转应力	52
2.3.1 拉(压)杆横截面上的应力	12	3.3.2 圆截面轴扭转时横截面上的 应力	54
2.3.2 拉(压)杆斜截面上的应力	13	3.3.3 斜截面上的应力	57
2.4 拉(压)杆的变形	16	3.3.4 强度条件	59
2.4.1 绝对变形胡克定律	16	3.4 圆轴扭转时的变形与刚度条件	61
2.4.2 相对变形、泊松比	17	3.4.1 扭转变形公式	61
2.5 材料在拉伸和压缩时的力学性能	20	3.4.2 圆轴扭转刚度条件	61
2.5.1 材料的拉伸和压缩试验	20	3.5 扭转超静定问题	63
2.5.2 低碳钢拉伸时的力学性能	21	3.6 剪切的概念及实例	65
2.5.3 其他金属材料在拉伸时的 力学性能	24	3.7 连接件的强度计算	66
2.5.4 金属材料在压缩时的 力学性能	25	3.7.1 剪切实用计算	66
2.5.5 几种非金属材料的力学性能	26	3.7.2 挤压实用计算	67
2.5.6 塑性材料和脆性材料的 主要区别	27	3.8 习题	72
2.6 许用应力与强度条件	28	第4章 弯曲内力	81
2.6.1 许用应力	28	4.1 平面弯曲的概念及梁的计算简图	81
2.6.2 强度条件	29	4.1.1 平面弯曲的概念	82
2.7 应力集中	32	4.1.2 梁的计算简图	82
2.7.1 应力集中	32	4.2 梁的内力及内力图	84
2.7.2 应力集中对构件强度的影响	33	4.2.1 梁的内力——剪力和弯矩	84
2.8 拉(压)杆的超静定问题	33	4.2.2 梁的内力图——剪力图和 弯矩图	88

4.2.3 平面刚架与曲杆的内力图.....	97	7.3 空间应力状态下的应力分析.....	160
4.3 习题.....	99	7.3.1 空间应力状态的概念.....	160
第5章 弯曲应力	105	7.3.2 任意截面上的应力.....	161
5.1 纯弯曲时梁横截面上的正应力.....	105	7.3.3 最大切应力及其方位.....	162
5.1.1 试验分析及假设.....	105	7.4 广义胡克定律.....	163
5.1.2 正应力公式的推导.....	106	7.4.1 广义胡克定律.....	163
5.1.3 纯弯曲理论的推广.....	108	7.4.2 体积应变.....	165
5.1.4 正应力公式的适用条件.....	108	7.4.3 空间应力状态的比能.....	167
5.1.5 梁的正应力强度计算.....	110	7.5 强度理论.....	168
5.2 梁的横截面上的切应力.....	114	7.5.1 4个强度理论.....	169
5.2.1 矩形截面梁横截面上的切应力.....	114	7.5.2 相当应力及强度条件.....	173
5.2.2 其他截面梁的切应力.....	116	7.5.3 强度理论的应用.....	173
5.2.3 梁的切应力强度条件.....	118	7.6 习题.....	175
5.3 梁的合理设计.....	120	第8章 组合变形的强度计算	185
5.3.1 合理配置支座和荷载.....	120	8.1 组合变形的概念.....	185
5.3.2 合理设计截面形状.....	121	8.2 斜弯曲.....	186
5.3.3 合理设计梁的形状——变截面梁.....	122	8.3 拉伸(压缩)与弯曲的组合.....	189
5.4 习题.....	123	8.4 偏心拉伸(压缩).....	193
第6章 弯曲变形	129	8.4.1 偏心拉(压)的应力计算.....	194
6.1 弯曲变形的基本概念.....	129	8.4.2 截面核心.....	196
6.2 梁的挠曲线近似微分方程.....	130	8.5 扭转与弯曲.....	199
6.3 积分法求梁的变形.....	131	8.6 习题.....	202
6.3.1 两次积分.....	131	第9章 压杆稳定	209
6.3.2 积分常数的确定.....	131	9.1 压杆稳定的概念.....	209
6.4 叠加法求梁的变形.....	137	9.2 理想压杆临界力的计算.....	210
6.5 梁的刚度条件.....	140	9.2.1 两端铰支细长压杆的临界力.....	210
6.6 梁的合理刚度设计.....	141	9.2.2 一端固定、一端自由细长压杆的临界力.....	212
6.7 简单超静定梁的求解.....	143	9.2.3 两端固定的细长压杆的临界力.....	213
6.8 习题.....	145	9.2.4 细长压杆的临界力公式.....	215
第7章 应力状态和强度理论	149	9.3 欧拉公式的适用范围.....	216
7.1 概述.....	149	9.3.1 临界应力和柔度.....	216
7.2 平面应力状态下的应力分析.....	150	9.3.2 欧拉公式的适用范围.....	216
7.2.1 平面应力状态的概念.....	150	9.3.3 临界应力总图.....	217
7.2.2 解析法.....	151	9.4 压杆的稳定计算.....	218
7.2.3 几何法——应力圆法.....	155		

9.4.1 稳定安全因数法.....	218	11.4.1 交变应力及应力-时间 历程.....	257
9.4.2 稳定因数法.....	220	11.4.2 金属疲劳破坏的概念.....	258
9.4.3 稳定条件的应用.....	224	11.4.3 金属材料的 $S-N$ 曲线和 疲劳极限.....	259
9.5 压杆的合理截面设计.....	227	11.4.4 钢结构构件及其连接部位的 $S-N$ 曲线.....	260
9.6 习题.....	228	11.4.5 钢结构构件及其连接部位的 疲劳计算.....	262
第 10 章 能量法	233	11.5 习题.....	265
10.1 概述.....	233	附录 A 截面的几何性质	269
10.2 应变能和余能.....	233	附录 B 常用材料的力学性能	282
10.2.1 应变能.....	233	附录 C 型钢表	285
10.2.2 余能.....	237	附录 D 简单荷载作用下梁的挠度和 转角	298
10.3 卡氏定理.....	238	附录 E 常见截面的几何性质	301
10.3.1 卡氏第一定理.....	239	有关术语中英文对照表	303
10.3.2 卡氏第二定理.....	240	各章习题参考答案	311
10.4 用能量法求解超静定问题.....	242	主要符号表	322
10.5 习题.....	244	参考文献	325
第 11 章 动荷载与交变应力	247		
11.1 概述.....	247		
11.2 加速直线运动或等角速转动时的 动应力计算.....	247		
11.2.1 构件做等加速直线运动.....	247		
11.2.2 构件做等角速转动.....	250		
11.3 冲击荷载.....	251		
11.4 交变应力.....	257		





第1章 绪 论

1.1 材料力学的任务

任何建筑物或机器设备都是由若干构件或零件组成的。建筑物和机器设备在正常工作的情况下，组成它们的各个构件通常都受到各种外力的作用。例如，房屋中的梁要承受楼板传给它的重量，轧钢机受到钢坯变形时的阻力等，这些力统称为作用在构件上的**荷载**。

要想使建筑物和机器设备正常工作，就必须保证组成它们的每一个构件在荷载作用下都能正常工作，这样才能保证整个建筑物或机械的正常工作。为了保证构件正常安全地工作，对所设计的构件在力学上有一定的要求，这里归纳如下。

1. 强度要求

强度是指材料或构件抵抗破坏的能力。材料强度高，是指这种材料比较坚固，不易被破坏；材料强度低，则是指这种材料不够坚固，较易被破坏。在一定荷载作用下，如果构件的尺寸、材料的性能与所受的荷载不相适应，如机器中传动轴的直径太小、起吊货物的绳索过细，当传递的功率较大、货物过重时，就可能因强度不够而发生断裂，使机器无法正常工作，甚至造成灾难性的事故。显然这是工程上绝不允许的。

2. 刚度要求

刚度是指构件抵抗变形的能力。构件的刚度大，是指构件在荷载作用下不易变形，即抵抗变形的能力大；构件的刚度小，是指构件在荷载作用下，较易变形，即抵抗变形的能力小。任何物体在外力作用下，都要产生不同程度的变形。在工程中，即使构件强度足够，如果变形过大，也会影响其正常工作。例如，楼板梁在荷载作用下产生的变形过大，下面的抹灰层就会开裂、脱落；车床主轴变形过大，则影响加工精度，破坏齿轮的正常啮合，引起轴承的不均匀磨损，从而造成机器不能正常工作。因此，在工程中，根据不同的用途，使构件在荷载作用下产生的变形不能超过一定的范围，即要求构件具有一定的刚度。

3. 稳定性要求

受压的细长杆和薄壁构件，当荷载增加时，还可能出现突然失去初始平衡形态的现象，

称为**丧失稳定**,简称**失稳**。例如,房屋中受压柱如果是细长的,当压力超过一定限度后,就有可能显著地变弯,甚至弯曲折断,由此酿成严重事故。因此,细长的受压构件,必须保证其具有足够的稳定性。测量稳定性的目的就是要求这类受压构件不能丧失稳定。

满足了上述要求,才能保证构件安全地正常工作。

材料力学就是一门研究构件强度、刚度和稳定性计算的学科。

构件的强度、刚度和稳定性均与所用材料的**力学性能**(材料受外力作用后在强度和变形方面所表现出来的性能)有关,这些材料的力学性能均需通过试验来测定。工程中还有些单靠理论分析解决不了的问题也需要借助于试验来解决。因此,在材料力学中,试验研究与理论分析同等重要,都是完成材料力学的任务所必需的。

当设计的构件具有足够的强度、刚度和稳定性时,便能在荷载的作用下安全、可靠地工作,说明设计满足了安全性要求。但是,合理的设计还应很好地发挥材料的潜能,以减少材料的消耗。因此,既安全适用又经济节约是合理设计的标志。

综上所述,材料力学的研究对象是构件,材料力学的任务是在保证构件既安全又经济的前提下,为构件选择合适材料、确定合理截面形状和尺寸,提供必要的理论基础和计算方法。当然,在工程设计中解决安全适用和经济间的矛盾,仅仅从力学观点考虑是不够的,还需综合考虑其他方面的条件,如便于加工、拆装和使用等。

另外,随着生产的发展、新材料的使用、荷载情况以及工作条件的复杂化等,对构件的设计不断提出新的要求。例如,很多构件需要在随时间而交替变化的荷载作用下,或长期在高温环境下工作等,在这些情况下,对构件进行强度、刚度和稳定性的计算时,就得考虑更多的影响因素。又如,航天、航空事业的发展,出现了复合材料。为了解决这些新的问题,近年来产生了断裂力学和复合材料力学。这些学科的产生,既促进了生产的发展,又丰富了材料力学的内容。因此,生产的发展全面地推动着材料力学的发展。

1.2 可变形固体的性质及其基本假设

现实中事物往往是很复杂的。为了便于研究,每门学科均采用抓主要矛盾的科学抽象法——略去对所研究问题影响不大的次要因素,只保留事物的主要性质,将实际物体抽象、简化为理想模型作为研究对象。例如,在理论力学的静力学中,讨论力系作用下物体的平衡时,是把固体看成刚体,即不考虑固体形状和尺寸的改变。实际上,自然界中的任何物体在外力作用下,都要或大或小地产生变形。由于固体的可变形性质,所以又称为变形固体。严格地讲,自然界中的一切固体均属变形固体。

材料力学主要研究构件的强度、刚度、稳定性等方面的问题,这些问题的研究,都要与构件在荷载作用下产生的变形相联系,因此,材料力学的研究对象必须看成为可变形的固体。

变形固体在外力作用下产生的变形,就其变形性质可分为**弹性变形**和**塑性变形**。弹性是指变形固体在去掉其所受外力后能恢复原来形状和尺寸的性质。工程中所用的材料,当

所受荷载不超过一定的范围时,绝大多数的材料在撤去荷载后均可恢复原状,但当荷载过大时,则在荷载撤去后只能部分地复原而残留下一部分不能消失的变形。在撤去荷载后能完全消失的那一部分变形称为弹性变形,不能消失的那一部分变形则称为塑性变形。

在材料力学的研究中,对变形固体做了以下的基本假设。

1. 连续均匀假设

连续是指材料内部没有空隙,均匀是指材料的性质各处都一样。连续均匀假设认为变形固体内毫无间隙地充满了物质,而且各处力学性能都相同。

2. 各向同性假设

各向同性假设认为材料沿不同的方向具有相同的力学性质。常用的工程材料如钢、铸铁、玻璃以及浇筑很好的混凝土等,都可以认为是各向同性材料。有些材料如轧制钢材、竹、木材等,沿不同方向的力学性质是不同的,称为各向异性材料。本书主要研究各向同性材料。

按照连续均匀、各向同性假设而理想化了的变形固体称为理想变形固体。采用理想变形固体模型不但使理论分析和计算得到简化,而且计算所得的结果,在大多数情况下能满足工程精度要求。

工程中大多数构件在荷载作用下,其几何尺寸的改变量与构件本身的尺寸相比都很微小,称这类变形为“小变形”。由于变形很微小,所以在研究构件的平衡、运动等问题时,可忽略其变形,采用构件变形前的原始尺寸进行计算,从而使计算大为简化。但是,有些构件在荷载作用下其几何尺寸的改变量可能很大,称其为“大变形”。在材料力学中,将限于研究小变形问题。

综上所述,在材料力学中,是把实际材料看作均匀、连续、各向同性的可变形固体,且在大多数情况下局限在弹性变形范围内和小变形条件下进行研究。

1.3 内力及应力的概念

1.3.1 内力的概念

如前所述,材料力学的研究对象是构件,对于所研究的构件而言,其他物体作用于该构件上的力均为**外力**。

构件在受到外力作用而变形时,其内部各部分之间将产生相互作用力,这种由外力的作用而引起的物体内部的相互作用力,称为材料力学中所研究的**内力**。内力随着外力的变化而变化,外力增加,内力也增加,外力去掉后,内力也将随之消失。显然,作用在构件上的外力使其产生变形,而内力的作用则力图使受力构件恢复原状,内力对变形起抵抗和阻止作用。由于假设物体是连续均匀的,因此在物体内部相邻部分之间相互作用的内力,实际上是一个连续分布的内力系,而将分布内力系的合成结果(力或力偶),简称为内力。



在研究构件的强度、刚度、稳定性等问题时,经常需要知道构件在已知外力作用下某一截面上的内力值。与理论力学中计算物系内力的方法相仿,为了显示和计算某一截面上的内力,可在该截面处用一假想的平面将构件截为两部分,取其中任一部分为研究对象,弃去另一部分,将弃去部分对研究对象的作用以力的形式来表示,此力就是该截面上的内力。下面举例说明求解任一截面上内力值的方法。

【例题 1.1】 活塞在力 F_1 、 F_2 和 F_3 的作用下处于平衡状态,如图 1.1(a)所示。试求 1—1 截面上的内力。设 $F_1 = 80\text{kN}$, $F_2 = 45\text{kN}$, $F_3 = 35\text{kN}$ 。

解: (1) 取研究对象。假想沿 1—1 截面将活塞分为两部分,取其中任一部分为研究对象。现取左端为研究对象。

(2) 画受力图。内力系用其合力表示。由于研究对象处于平衡,所以 1—1 截面的内力应与 F_1 共线,如图 1.1(b)所示,并组成共线力系。

(3) 列平衡方程。由

$$\sum F = 0, F_1 - F_{N1} = 0$$

$$F_{N1} = F_1 = 80\text{kN}$$

得

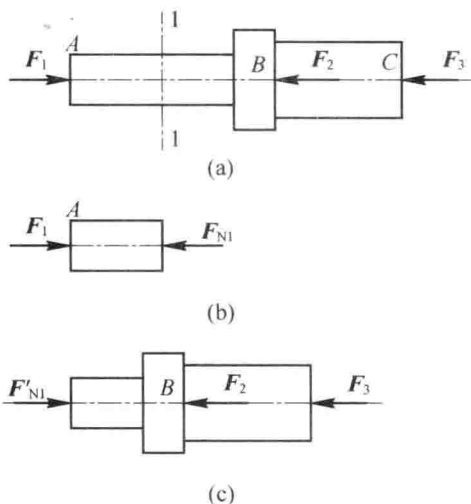


图 1.1 例题 1.1 图

1—1 截面的内力,也可通过取右端为研究对象(如图 1.1(c)所示)求解,由平衡方程

$$\sum F = 0, F'_{N1} - F_2 - F_3 = 0$$

得

$$F'_{N1} = F_2 + F_3 = 45 + 35 = 80(\text{kN}) = F_{N1}$$

F_N 与 F'_N 是互为作用与反作用关系,数值相等,同为 1—1 截面的内力。因此,为了方便,求内力时可取受力情况简单的一端为研究对象。

请读者思考,当 F_1 的作用点沿其作用线从 A 点移至 B 点时(力的可传性原理),1—1 截面的内力等于多少?说明了什么问题?

这里需指明一点:在研究内力与变形时,对“等效力系”的应用应该慎重,不能机械地不加分析地任意应用。一个力(或力系)用别的等效力系代替,虽然对整体平衡没有影响,

但对构件的内力与变形来说则有很大差别。

以上分析计算内力的方法，称为**截面法**。其步骤如下。

- (1) 假想沿所求内力的截面将构件分为两部分。
- (2) 取其中任一部分为研究对象，并画其受力图。
- (3) 列研究对象的平衡方程，并求解内力。

1.3.2 应力的概念

上面讨论了构件内力的概念及计算方法。但是，知道内力的大小还不能判断构件的强度是否足够。经验告诉我们，有两根材料相同的拉杆，一根较粗，一根较细，在相同的轴向拉力 F 作用下，内力相等，当力 F 增大时，细杆必先断。这是由于内力仅代表内力系的总和，而不能表明截面上各点受力的强弱程度。为了解决强度问题，不仅需要知道构件可能沿哪个截面破坏，而且还需要知道截面上哪个点处最危险。这样，就需要进一步研究内力在截面上各点处的分布情况，因而引入了**应力**的概念。

图 1.2(a)所示为任一受力构件，在 $m-m$ 截面上任一点 K 的周围取一微小面 ΔA ，并设作用在该面积上的内力为 ΔF ，那么 ΔF 与 ΔA 的比值，称为 ΔA 上的**平均应力**，并用 p_m 表示，即

$$p_m = \frac{\Delta F}{\Delta A} \tag{1-1}$$

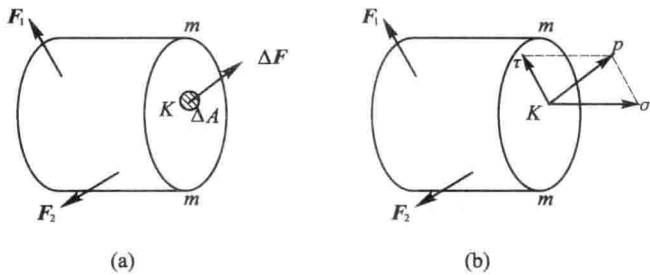


图 1.2 截面上任一点的应力

当内力沿截面分布不均匀时，平均应力 p_m 的值随 ΔA 的大小而变化，它不能确切表示 K 点受力强弱的程度，只有当 ΔA 趋于零时， p_m 的极限 p 才代表 K 点受力强弱的程度，即

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \tag{1-2}$$

p 称为截面 $m-m$ 上点 K 处的**总应力**。显然，应力 p 的方向即 ΔF 的极限方向。应力 p 是矢量，通常沿截面的法向与切向分解为两个分量。沿截面法向的应力分量 σ 称为**正应力**；沿截面切向的应力分量 τ 称为**切应力**。它们可以分别反映垂直于截面与切于截面作用的两种内力系的分布情况。

从应力的定义可见，应力具有以下特征。

- (1) 应力定义在受力物体的某一截面上的某一点处，因此，讨论应力时必须明确是哪一

个截面上的哪一个点处。

(2) 在某一截面上一点处的应力是矢量。对于应力分量, 通常规定, 正应力方向是离开截面的为正, 指向截面的为负; 切应力对截面内部(靠近截面)的一点产生顺时针方向的力矩为正, 反之为负, 图 1.2(b)所示的正应力为正, 切应力为负。

(3) 应力的量纲为 $ML^{-1}T^{-2}$ 。其国际单位是牛/米² (N/m^2), 称为帕斯卡(Pa), 即 $1Pa = 1N/m^2$ 。应力常用的单位为 MPa, $1MPa = 10^6 Pa$ 。

1.4 杆件的基本变形形式

实际工程中, 构件的几何形状是各种各样的, 简化后可大致归纳为 4 种: 杆、板、壳和块, 如图 1.3 所示。本书主要研究其中的杆件。凡是长度方向尺寸远大于其他两个方向尺寸的构件称为**杆件**, 如建筑工程中的梁、柱以及机器上的传动轴等均属于杆类。杆的几何形状可用其轴线(截面形心的连线)和垂直轴线的几何图形(横截面)表示。就轴线来分类, 杆可分为直杆、曲杆和折杆。轴线为曲线的杆称为曲杆(如图 1.3(a)所示), 轴线为直线的杆称为直杆(如图 1.3(b)所示), 轴线为折线的杆称为折杆。就横截面来分类, 杆件又可分为变截面(横截面是变化的)杆(如图 1.3(a)所示)和等截面(各横截面均相同)杆(如图 1.3(b)所示)。材料力学将着重讨论等截面的直杆(等直杆)。

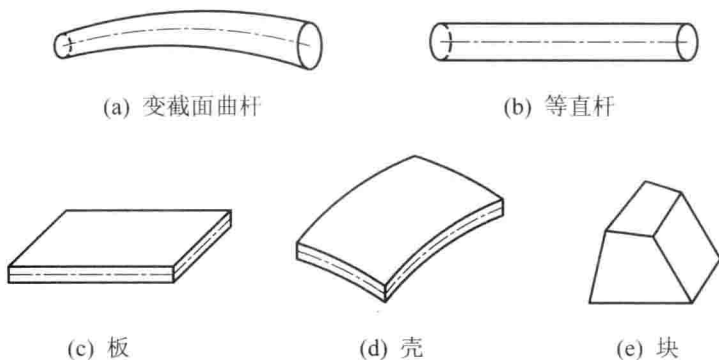


图 1.3 构件的几何形状

工程中的杆件所受的外力是多种多样的, 因此, 杆的变形也是各种各样的, 但杆件变形的形式总不外乎以下 4 种。

1. 轴向拉伸或压缩变形

在一对大小相等方向相反、作用线与杆轴线重合的外力作用下, 杆件的主要变形是长度的改变。这种变形形式称为轴向拉伸(如图 1.4(a)所示)或轴向压缩(如图 1.4(b)所示)。

2. 剪切变形

在一对相距很近、大小相等、方向相反的横向外力作用下, 杆件的横截面将沿外力作用方向发生错动(如图 1.4(c)所示), 这种变形形式称为剪切。

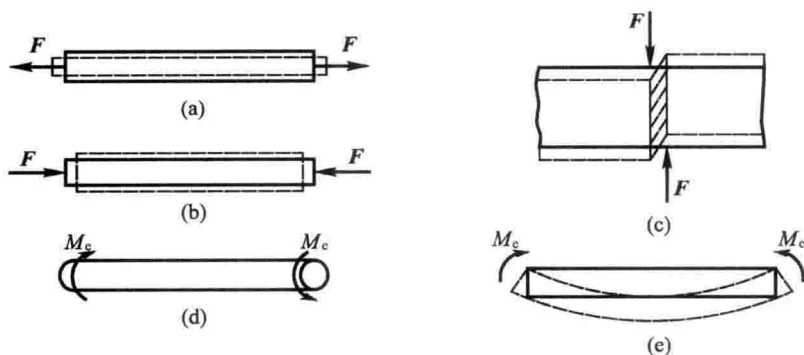


图 1.4 杆件的基本变形

3. 扭转变形

在一对转向相反、作用面垂直于杆轴线的外力偶作用下，杆的任意两横截面将发生相对转动，而轴线仍维持直线。这种变形形式称为扭转(如图 1.4(d)所示)。

4. 弯曲变形

在一对转向相反、作用面在杆件的纵向平面(即包含杆轴线在内的平面)内的外力偶作用下，杆件将在纵向平面内发生弯曲。这种变形形式称为弯曲(如图 1.4(e)所示)。

工程实际中的杆件可能同时承受不同形式的外力，常常同时发生两种或两种以上的基本变形，这种变形情况称为组合变形。本书首先分别讨论杆件的每一种基本变形，然后再分析比较复杂的组合变形问题。



第2章 轴向拉伸和压缩

2.1 轴向拉伸和压缩的概念

工程实际中,发生轴向拉伸或压缩变形的构件很多。例如,钢木组合桁架中的钢拉杆(见图 2.1)和三角支架 ABC (见图 2.2)中的杆,作用于杆上的外力(或外力合力)的作用线与杆的轴线重合。在这种轴向荷载作用下,杆件以轴向伸长或缩短为主要变形形式,称为**轴向拉伸或轴向压缩**。以轴向拉(压)为主要变形的杆件,称为**拉(压)杆**。

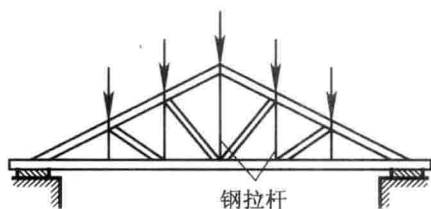


图 2.1 钢木组合桁架

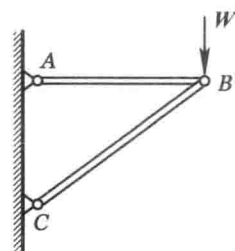


图 2.2 三角支架

实际拉(压)杆的端部连接情况和传力方式是各不相同的,但在讨论时可以将它们简化为一根等截面的直杆(等直杆),两端的力系用合力代替,其作用线与杆的轴线重合,则其计算简图如图 2.3 所示。

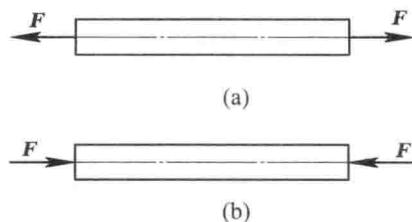


图 2.3 拉(压)杆计算简图

本章主要研究拉(压)杆的内力、应力及变形的计算,同时还将通过拉伸和压缩试验,来研究材料在拉伸与压缩时的力学性能。

2.2 轴力、轴力图

在研究杆件的强度、刚度等问题时,都需要首先求出杆件的内力。关于内力的概念及其计算方法,已在第1章中阐述。如图2.4(a)所示,等直杆在拉力的作用下处于平衡,欲求某横截面 $m-m$ 上的内力,按截面法,先假想将杆沿 $m-m$ 截面截开,留下任一部分作为脱离体进行分析,并将去掉部分对留下部分的作用以分布在截面 $m-m$ 上各点的内力来代替(如图2.4(b)所示)。对于留下部分而言,截面 $m-m$ 上的内力就成为外力。由于整个杆件处于平衡状态,杆件的任一部分均应保持平衡。于是,杆件横截面 $m-m$ 上内力系的合力(轴力) F_N 与其左端外力 F 形成共线力系,由平衡条件

$$\sum F_x = 0, F_N - F = 0$$

得

$$F_N = F$$

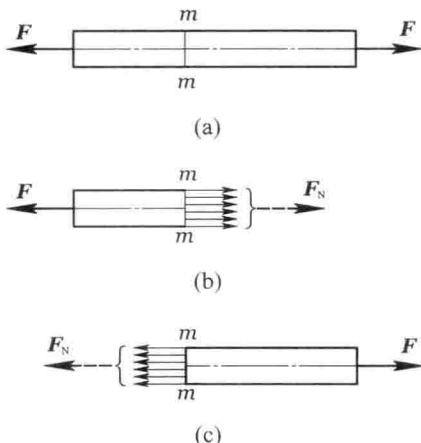


图 2.4 轴力

F_N 为杆件任一横截面上的内力,其作用线与杆的轴线重合,即垂直于横截面并通过其形心。这种内力称为轴力,用 F_N 表示。

若在分析时取右段为脱离体(如图2.4(c)所示),则由作用与反作用原理可知,右段在截面上的轴力与前述左段上的轴力数值相等而指向相反。当然,同样也可以从右段的平衡条件来确定轴力。

对于压杆,同样可以通过上述过程求得其任一横截面上的轴力 F_N 。为了研究方便,给轴力规定一个正负号:当轴力的方向与截面的外法线方向一致时,杆件受拉,规定轴力为正,称为**拉力**;反之,杆件受压,轴力为负,称为**压力**。

当杆受到多个轴向外力作用时,在杆不同位置的横截面上,轴力往往不同。为了形象而清晰地表示横截面上的轴力沿轴线变化的情况,可用平行于轴线的坐标表示横截面的位置,称为基线,用垂直于轴线的坐标表示横截面上轴力的数值,正的轴力(拉力)画在基线的

