

G AODENG 高等学校工程力学基础教材
XUEXIAO GONGCHENG LIXUE JICHU JIAOCAI

材料力学

CAILIAO LIXUE

主编 白象忠

中国建材工业出版社

高等学校工程力学基础教材

材 料 力 学

主 编 白象忠

副主编 谭文锋 原洪海

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

材料力学/白象忠主编. —北京: 中国建材工业出版社, 2003.5

ISBN 7-80159-401-0

I. 材... II. 白... 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 (2003) 第 031688 号

内 容 提 要

本书根据教育部“高等工业院校材料力学教学基本要求”编写, 适合不同专业材料力学课程的教学使用。全书在编排上, 力求结构严谨、前后呼应、重点突出、难点明确, 并编入大量例题和习题供读者学习。

材 料 力 学

主编 白象忠

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市海淀区三里河路 11 号

邮 编: 100831

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 19.75

字 数: 510 千字

版 次: 2003 年 5 月第 1 版

印 次: 2003 年 5 月第 1 次

书 号: ISBN 7-80159-401-0/TU·189

定 价: 32.00 元

本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。联系电话: (010) 68345931

前 言

本书是根据教育部“高等工业院校材料力学教学基本要求”编写的，适合作为不同专业，教学为80~100学时的材料力学课程的教材。其基础内容可供80学时以下课程的学生学习时选用。

编者在多年教学实践的基础上，注意贯彻由浅入深、循序渐进、便于自学的原则。在编写过程中，主要参考了马世麟、傅仁本主编的《材料力学》（上、下册）的内容。全书在编排上，力求结构严谨、前后呼应、重点突出、难点明确。书中编入了一定数量的例题及习题供教学选用，以加强基础理论知识的应用和基本方法的训练。

参加本书编写工作的有：谭文锋（第2章、第5章、第6章、第7章、第8章），原洪海（第3章、第9章、第10章、第11章、第12章），白象忠（第1章、第4章、第13章、第14章、第15章、第16章），由白象忠统稿并担任主编，谭文锋、原洪海担任副主编。全书由燕山大学工程力学系材料力学教研室全体教师审查。

由于编者水平所限，书中难免存在一些问题，恳请读者批评指正，以期今后改进。

编 者

2003年1月16日

目 录

前言

第 1 章 绪论	(1)
§ 1-1 材料力学的基本任务	(1)
§ 1-2 材料力学与生产实践的关系	(2)
§ 1-3 变形固体的基本假设	(3)
§ 1-4 内力 截面法	(4)
§ 1-5 应力 应变 虎克定律	(5)
§ 1-6 杆件变形的基本形式	(7)
思考题	(8)
习题	(9)
第 2 章 轴向拉伸与压缩	(10)
§ 2-1 轴向拉伸与压缩的概念和实例	(10)
§ 2-2 横截面上的内力和应力	(10)
§ 2-3 材料在拉伸与压缩时的力学性能	(13)
§ 2-4 许用应力 强度条件	(19)
§ 2-5 拉伸或压缩时的变形	(21)
§ 2-6 拉伸和压缩时的静不定问题	(24)
§ 2-7 应力集中的概念	(29)
§ 2-8 小结	(30)
思考题	(30)
习题	(31)
第 3 章 剪切与挤压的实用计算	(40)
§ 3-1 剪切与剪切的实用计算	(40)
§ 3-2 挤压和挤压的实用计算	(41)
§ 3-3 小结	(43)
习题	(44)
第 4 章 扭转	(46)
§ 4-1 概述	(46)
§ 4-2 外力偶矩与扭矩的计算 扭矩图	(46)
§ 4-3 薄壁圆筒的扭转 纯剪切	(48)
§ 4-4 圆轴扭转时的应力	(50)
§ 4-5 圆轴扭转时的变形	(53)
§ 4-6 圆轴扭转时的强度和刚度计算	(55)
§ 4-7 圆柱形密圈螺旋弹簧的应力和变形计算	(58)
§ 4-8 非圆截面杆扭转的概念	(61)
§ 4-9 小结	(64)
思考题	(65)

习题	(65)
第 5 章 平面图形的几何性质	(69)
§ 5-1 静矩和形心	(69)
§ 5-2 惯性矩 惯性积 惯性半径	(72)
§ 5-3 平行移轴公式	(75)
§ 5-4 转轴公式	(77)
§ 5-5 主惯性轴 主惯性矩 形心主惯性轴及形心主惯性矩	(79)
§ 5-6 小结	(81)
思考题	(81)
习题	(82)
第 6 章 弯曲内力	(85)
§ 6-1 概述	(85)
§ 6-2 剪力与弯矩	(86)
§ 6-3 剪力与弯矩方程 剪力图与弯矩图	(88)
§ 6-4 载荷集度 剪力和弯矩间的微分关系	(93)
§ 6-5 叠加法作弯矩图	(96)
§ 6-6 平面曲杆的弯曲内力	(96)
§ 6-7 小结	(97)
思考题	(98)
习题	(98)
第 7 章 弯曲应力	(103)
§ 7-1 引言	(103)
§ 7-2 弯曲正应力	(103)
§ 7-3 弯曲切应力	(108)
§ 7-4 弯曲强度计算	(114)
§ 7-5 提高抗弯强度的一些措施	(117)
§ 7-6 开口薄壁杆件的弯曲中心	(121)
§ 7-7 小结	(125)
思考题	(125)
习题	(126)
第 8 章 弯曲变形	(132)
§ 8-1 挠度与转角 梁的刚度条件	(132)
§ 8-2 挠曲线的近似微分方程式	(133)
§ 8-3 用积分法求弯曲变形	(134)
§ 8-4 用叠加法求弯曲变形	(139)
§ 8-5 简单静不定梁	(143)
§ 8-6 提高弯曲刚度的一些措施	(144)
§ 8-7 小结	(146)
思考题	(146)
习题	(146)
第 9 章 应力状态理论	(151)
§ 9-1 一点应力状态的概念	(151)
§ 9-2 平面应力状态分析的解析法	(153)

§ 9-3	平面应力状态分析的图解法	(156)
§ 9-4	三向应力状态简介	(159)
§ 9-5	广义虎克定律	(161)
§ 9-6	平面应力状态的测定	(163)
§ 9-7	复杂应力状态下的变形比能	(166)
§ 9-8	小结	(168)
思考题		(170)
习题		(170)
第 10 章	强度理论	(175)
§ 10-1	强度理论的概念	(175)
§ 10-2	四个强度理论	(176)
§ 10-3	小结	(179)
思考题		(180)
习题		(180)
第 11 章	组合变形	(182)
§ 11-1	组合变形的概念	(182)
§ 11-2	斜弯曲	(183)
§ 11-3	拉伸或压缩与弯曲的组合	(187)
§ 11-4	弯扭组合变形的强度计算	(191)
§ 11-5	小结	(193)
思考题		(194)
习题		(194)
第 12 章	能量原理及其应用	(199)
§ 12-1	外力功 变形能	(199)
§ 12-2	外力功和变形能的计算	(199)
§ 12-3	单位载荷法	(202)
§ 12-4	图形互乘法	(207)
§ 12-5	互等定理	(209)
§ 12-6	卡氏第二定理	(211)
§ 12-7	小结	(213)
思考题		(214)
习题		(215)
第 13 章	静不定问题分析	(221)
§ 13-1	力法解静不定问题	(221)
§ 13-2	正则方程式的建立	(221)
§ 13-3	对称及反对称性质的应用	(226)
§ 13-4	连续梁及三弯矩方程	(229)
§ 13-5	小结	(231)
思考题		(232)
习题		(233)
第 14 章	动载荷	(238)
§ 14-1	动载荷的概念及其分类	(238)
§ 14-2	构件作加速运动时的应力计算	(238)

§ 14-3 构件受冲击时的应力与变形	(242)
§ 14-4 冲击韧度	(250)
§ 14-5 小结	(251)
思考题	(252)
习题	(252)
第 15 章 交变应力	(256)
§ 15-1 交变应力与疲劳失效	(256)
§ 15-2 循环特征 应力幅 平均应力	(256)
§ 15-3 持久极限	(258)
§ 15-4 影响构件持久极限的因素	(259)
§ 15-5 持久极限曲线	(263)
§ 15-6 构件的疲劳强度计算	(264)
§ 15-7 提高构件疲劳强度的措施	(269)
§ 15-8 小结	(270)
思考题	(271)
习题	(271)
第 16 章 压杆稳定	(275)
§ 16-1 压杆稳定性的概念	(275)
§ 16-2 两端铰支细长压杆的临界力	(276)
§ 16-3 不同杆端约束细长压杆的临界力	(278)
§ 16-4 欧拉公式的适用范围	(279)
§ 16-5 非细长压杆的临界应力	(280)
§ 16-6 临界应力总图	(282)
§ 16-7 压杆稳定性计算	(282)
§ 16-8 提高压杆稳定的措施	(286)
§ 16-9 小结	(288)
思考题	(290)
习题	(291)

第 1 章

绪 论

§ 1-1 材料力学的基本任务

各种机械和工程结构在使用时,组成它们的每个构件,都要与相邻构件发生相互作用或受到外力(即载荷)的作用。材料力学是一门研究各种构件抗力性能的科学,它的主要任务就是从保证所有构件能够正常工作的要求出发,帮助我们合理地选择构件的材料和形状,确定所需的尺寸;判断已有的构件是否合乎正常使用;并考虑如何改造它们,使其能适应新任务的要求。为了使构件在各种实际工作中不致丧失应有的效能,则构件必须具备下列三项基本条件:

1. 构件应有足够的强度。例如,冲床的曲轴,在工作冲压力作用下不应折断。又如,储气罐或氧气瓶,在规定压力下不应爆破。可见,所谓强度是指构件在载荷作用下抵抗破坏的能力。

2. 构件应有足够的刚度。在载荷作用下,构件的形状和尺寸必将发生变化,称为变形。但某些结构的变形,不能超过正常工作允许的限度。以机床的主轴为例,即使它有足够的强度,若变形过大时(图 1-1a),将使轴上的齿轮啮合不良,并引起轴承的不均匀磨损(图 1-1b)。因而,所谓刚度是指构件在外力作用下抵抗变形的能力。

3. 构件应有足够的稳定性。有些细长直杆,如内燃机中的挺杆、千斤顶中的螺杆等(图 1-2a、b),在压力作用下,有被压弯的可能。为了保证其正常工作,要求这类杆件始终保持直线形式,亦即要求原有的直线平衡形态保持不变。所以,所谓稳定性是指构件保持其原有平衡状态的能力。

若构件的截面尺寸过小,或截面形状不合理,或材料选用不当,在外力作用下将不能满足上述要求,从而影响机械或工程结构的正常工作。反之,如构件尺寸过大,材料质量太高,虽满足了上述要求,但构件的承载能力难以充分发挥。这样,既浪费了材料,又增加了成本和重量。材料力学的任务就是在满足强度、刚度和稳定性的要求下,以最经济的代价,为构件确定合理的形状和尺寸,选择适宜的材料,为构件设计提供必要的理论基础和计算方法。

实际工程问题中,构件都应有足够的强度、刚度和稳定性。但就一个具体构件而言,对

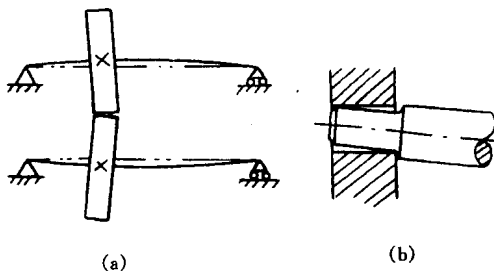


图 1-1

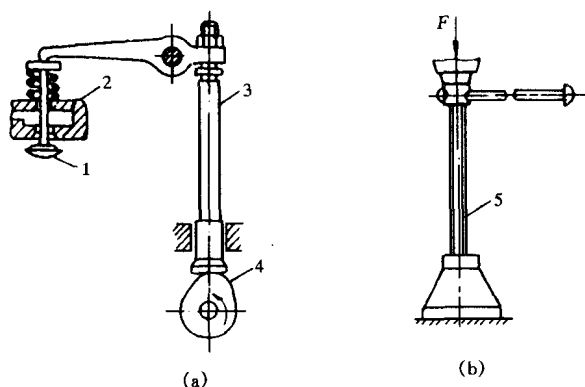


图 1-2

1—阀门；2—气缸头；3—挺杆；4—凸轮；5—螺杆

上述三项要求往往有所侧重。例如，氧气瓶以强度要求为主，车床主轴以刚度要求为主，而挺杆则以稳定性要求为主。此外，对某些特殊构件，还往往有相反的要求。例如，为了保证机器不致因超载而造成重大事故，当载荷到达某一限度时，要求安全销立即破坏。又如，用于缓冲设备的弹簧、钟表的发条等，力求这些构件具有较大的弹性变形。

构件的强度、刚度和稳定性，显然都与材料的力学性能（材料在外力作用下表现出来的变形和破坏等方面的特性）有关。材料的力学性能需要通过实验来

测定。材料力学中的一些理论分析方法，大多是在某些假设条件下得到的，是否可靠，还要通过实验检验其正确性。此外，有些问题尚无理论分析结果，也需借助实验的方法来解决。因此，材料力学是一门理论与实验相结合的学科。

§ 1-2 材料力学与生产实践的关系

材料力学这门学科和其他学科一样，是在人类劳动和生产的实践中发生的，由生产的发展推动的，同时它又反过来对生产实践起着指导作用。例如，从前的建筑物多以石料、木材以及冶炼粗糙的铸铁、铸铜等为主要材料，同时，这些建筑物的工作条件也较简单，在设计时大多凭经验或采用模仿的方法。但在古代建筑中也已体现出当时劳动人民根据生产实践所积累起来的经验，对构件受力特点及材料的力学性能有了初步认识，并能结合构件受力特点正确地使用材料。如，在我国古代就已将一些砖石结构做成拱形，以充分发挥材料的抗压强度；用竹索做成悬索桥，以充分利用竹材的抗拉强度。此外，在木结构中也积累了不少制造梁、柱的经验，如对于矩形截面的木梁采用了截面高宽比为 3:2，事实上这是符合材料力学基本原理的。十四世纪以后，生产力得到迅速发展，这一时期的意大利科学家伽利略（G·Galileo、1564~1642 年）为了解决造船和水闸所需梁的尺寸问题，进行了大量的实验研究，寻求梁的强度公式。1678 年英国科学家虎克（R·Hooke）总结了大量实验结果，提出了重要的物理定律——力与变形成正比，这为材料力学的发展奠定了基础。在前期所积累的丰富经验的基础上，逐步形成了用实验和按理论方法计算构件的新途径。一般认为，材料力学作为一门科学是从伽利略开始的。从此以后，材料力学在生产实践中，开始有了新的发展。

随着生产的发展，以及随着铁路车辆、船舶、飞机、新型建筑物和金属切削机床的发明和使用，提出了减轻构件自重、减少材料消耗量的要求。为此必须提高材料的强度，这就推动了冶金工业的发展，使高强度的金属例如钢、铝合金等材料逐渐成为主要的工程材料，从而使构件为了符合其强度要求所需要的截面尺寸有可能减小。然而，由于采用了细长的构件，荷载作用下的变形就显著地增大。因此，保证构件的刚度，即防止其变形超过工程上所能允许的范围，就成为在计算中必须加以考虑的另一个方面。此外，



由于细长杆件在受压时,又出现了丧失其原有平衡状态的稳定性问题,所以对构件进行稳定性计算,也随着这种构件的采用而成为理论计算中不可忽视的又一个方面。由此可见,对于在荷载作用下的构件需要进行强度、刚度和稳定性计算,是随着生产发展中不断出现的新问题而逐渐提出来的。

生产的进一步发展又出现了更多的新问题,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中工作等等。对于在这些情况下工作的构件进行强度、刚度和稳定性计算时,就得考虑更多的影响因素。此外,随着超高强度钢的应用,又出现了由于结构或构件中存在着漏检的初始裂纹而发生意外断裂的事故,为解决这类问题,近年来发展了断裂力学这一个分支。

由上述可知,材料力学所要解决问题的范围随着生产的发展而日益扩大。同时,生产实践也提供了大量成功的经验和失败的教训,在实验室内进行的大量科学实验也不断积累着有关材料力学方面丰富的实验资料,这些都有助于材料力学的发展。

从另一方面来说,材料力学的发展对生产实践也起着重要的指导作用,它为构件的计算提供了简便实用的方法,既保证了构件在各种情况下能够正常地工作,又能合理地使用材料。

§ 1-3 变形固体的基本假设

各种构件一般均由固体材料制成。在外力作用下,固体将发生变形,故称为变形固体或可变形固体。变形固体的性质是多方面的,从不同的角度研究问题,侧面也不一样。研究构件的强度、刚度和稳定性时,常根据与问题有关的一些主要因素,省略一些关系不大的次要因素,对变形固体作某些假设,把它抽象成理想模型。材料力学中对变形固体所采取的假设如下:

1-3-1 连续性假设

认为组成固体的物质毫无空隙地充满了固体的几何空间。从物质结构来说,组成固体的粒子之间实际上并不连续。但它们之间的空隙与构件的尺寸相比是极其微小的,可以忽略不计。由于这种连续性假设,就可以对连续介质采用无穷小量的分析方法。

1-3-2 均匀性假设

认为从构件内任取一部分,不论其体积大小如何,其力学性能完全相同。就工程上使用最多的金属来说,其各个晶粒的力学性能,并不完全相同。但因固体构件的尺寸远远大于晶粒尺寸。它所包含的晶粒为数极多,而且是无规则地排列着,其力学性能是所有晶粒力学性能的统计平均值,可以认为构件内各部分的力学性能是均匀的。

材料力学并不根据物质的粒子结构来研究物体内的受力和变形,而是把变形固体抽象为均匀连续的模型,从而得出满足工程要求的实用理论。但对于发生于晶粒或分子那样大小范围内的现象,再用均匀连续性假设就难以得到合理的结果。



1-3-3 各向同性假设

认为固体在各个方向上的力学性能完全相同。具备这种属性的材料称为**各向同性材料**。就金属的单一晶粒来说,在不同方向上,其力学性能并不一样。但金属物体包含着数量极多的晶粒,而且各晶粒又是杂乱无章地排列的,这样其在各个方向上的性质就接近相同了。铸钢、铸铜和玻璃等可认为是各向同性材料。在今后的讨论中,一般都把固体假设为各向同性的。

在各个方向上具有不同力学性能的材料,称为**各向异性材料**,如胶合板、纤维制品和木材等。

1-3-4 小变形条件

固体因外力作用而引起的变形,按不同情况,可能很小也可能相当大。但材料力学所研究的问题,局限于变形的大小远远小于构件原始尺寸的情况。这样,在研究构件的平衡和运动时,就可忽略构件的变形,而按变形前的原始尺寸进行分析计算。例如在图 1-3 中,简易吊车的各杆因受力而变形,引起支架几何形状和外力位置的变化,但由于 δ_1 和 δ_2 都远远小于吊车的其他尺寸,所以在计算各杆受力时,仍然可用吊车变形前的几何形状和尺寸。今后将经常使用小变形的概念以简化分析计算。至于构件变形过大,超出小变形条件,一般不在材料力学中讨论。

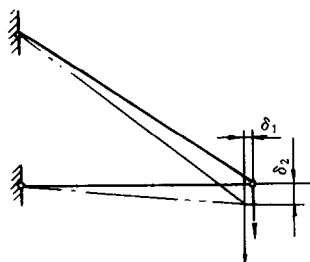


图 1-3

试验结果表明,如外力不超过一定限度,绝大多数材料在外力作用下发生变形,在外力解除后又可恢复原状。但如外力过大,超过一定限度,则外力解除后只能部分复原。而遗留下一部分不能消失的变形称为**塑性变形**,也称为**残余变形**或**永久变形**。随外力的解除而消失的变形称为**弹性变形**。一般情况

下,要求构件只发生弹性变形,而不希望发生塑性变形。

§ 1-4 内力 截面法

1-4-1 内力的概念

内力是指构件内部两相邻部分之间的相互作用力。构件在受外力之前,内部各相邻质点之间,已存在相互作用的内力。正是这种内力使各质点保持一定的相对位置,使构件具有一定的几何尺寸和形状。构件受外力作用后,在产生变形的同时,在其内部也因各部分之间相对位置的改变引起内力的改变。内力的变化量是由外力引起的**附加内力**。这种附加内力将随外力的增加而增大,当其达到某一限度时,就会引起构件的破坏。可见它与构件的强度、刚度和稳定性密切相关。在材料力学中所研究的内力,就是指这种附加内力。

1-4-2 截面法

现以两端受轴向拉力 F 作用的直杆为例说明求内力的方法。



欲求横截面 mm 上内力, 必须首先将内力暴露出来。为此, 假想地把杆件沿截面 mm 分成 I 和 II 两部分 (图 1-4a)。任取一部分, 例如取部分 I 为研究对象。部分 II 作用给部分 I 的内力, 根据连续性假设, 沿横截面连续分布 (图 1-4b)。为了维持保留部分 I 的平衡, 分布内力的合力应为沿杆轴线作用的力 F_N 。称内力 F_N 为轴力。根据作用与反作用定律可知, 部分 I 对部分 II 作用的内力, 必然大小相等、方向相反 (图 1-4b)。然后可取一部分 (如取部分 I) 的平衡条件求轴力 F_N 的大小, 即

$$F_N = F$$

上述求横截面上内力的方法称截面法。

可将截面法归纳为以下三个步骤:

1. 欲求某一截面上的内力时, 就沿该截面假想地把构件分成两部分, 弃去任一部分, 保留另一部分作为研究对象。
2. 用作用在横截面上的内力, 代替弃去部分对保留部分的作用。
3. 建立保留部分的平衡条件, 确定未知内力。

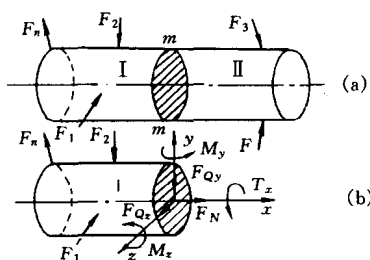


图 1-5

截面法是求截面上内力的一般方法。对图 1-5 (a) 所示的杆件, 受空间平衡力系作用。若求 mm 截面的内力, 则须沿 mm 截面假想地将杆件分成 I、II 两部分。弃去部分 II, 保留部分 I 为研究对象。可用六个内力素 F_N 、 F_{Qx} 、 F_{Qy} 、 T_x 、 M_y 、 M_z 代替部分 II 对部分 I 的作用 (图 1-5b)。其中 F_N 为轴力, 称与截面相切的内力素 F_{Qx} 、 F_{Qy} 为剪力, 称绕杆轴线 x 轴的力偶 T_x 为扭矩, 称绕横截面形心轴 y 、 z 的力偶 M_y 、 M_z 为弯矩。在给定

外力的条件下, 这六个内力素, 可由保留部分空间力系的六个独立平衡条件来确定。

§ 1-5 应力 应变 虎克定律

1-5-1 应力

截面法所确定的内力 (F_N 、 F_Q 、 M 等) 是图 1-6 (a) 所示截面上分布内力的合力。它不能说明截面上任一点内力的强弱程度。为了度量截面上任一点处内力的强弱程度, 引入应力的概念。

在截面上任一点 C 处取微面积 ΔA , ΔA 上的内力的合力为 ΔF (图 1-6b)。定义 ΔA 上内力的平均集度为

$$p_m = \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

p_m 称为 ΔA 上的平均应力。一般来说, 应力并不是均匀分布的, 它将随着 ΔA 的缩小趋向

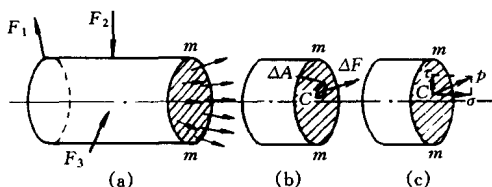


图 1-6

均匀分布。当 ΔA 趋于零时，其极限值

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

称 p 为 C 点的总应力。 p 是一个矢量，一般可将 p 分解成与截面垂直、相切的两个分量 σ 和 τ (图 1-6c)。称垂直于截面的分量 σ 为正应力，称与截面相切的应力分量 τ 为切应力。

在我国法定计量单位制中，应力的基本单位是牛顿/米² (N/m²)，称为帕斯卡，简称帕 (Pa)。工程中常用单位为 MPa (兆帕)、GPa (吉帕)，它们的关系如下

$$1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}, 1\text{GPa} = 10^9\text{Pa}$$

如果通过杆内指定 C 点，沿不同方位取截面， C 点的应力，一般随着截面的方位不同而变化。一点处各个截面上应力的集合，统称为该点的应力状态 (详见第 9 章)。

1-5-2 线应变与切应变

在研究构件的变形和其截面上内力的分布规律时，往往借助于截面上各点的变形分布规律。为了研究一点处的变形情况，设想将构件分割成无数个如图 1-7 (a) 所示的微小正六面体。在外力作用下产生变形，微小正六面体的棱边 ab 由原长 Δx 变为 $\Delta x + \Delta u$ ，如图 1-7 (b) 所示。 Δu 为 Δx 长度内的总变形量。为度量一点处变形强弱的程度，现引入应变的概念。若 ab 长度内各点处的变形程度相同，则比值

$$\epsilon = \frac{\Delta u}{\Delta x} \quad (1-2)$$

表示 ab 长度内每单位长度的伸长与缩短，称 ϵ 为线应变。若在 ab 长度内各点处的变形程度并不相同时，为了确定该点处的线应变，使微小正六面体的边长无限缩小，该点处的线应变定义为

$$\epsilon = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta x} = \frac{du}{dx} \quad (1-3)$$

线应变 ϵ 是无量纲的量。

上述微小正六面体的各边缩小为无穷小时，通称为单元体。在变形过程中，单元体除棱边长度变化外，相互垂直棱边的夹角也发生变化，如图 1-7 (c) 所示。称其夹角的改变量 γ 为切应变或称角应变。切应变用弧度来度量，它也是无量纲的量。

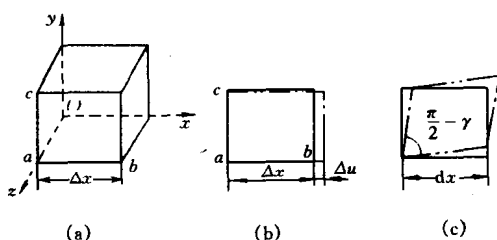


图 1-7

1-5-3 虎克定律

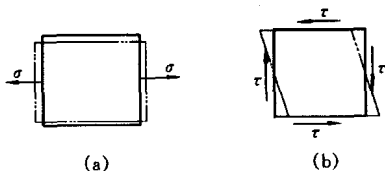


图 1-8

材料的力学性能实验表明，当应力不超过某一限度时，应力与应变之间存在正比关系，称这一关系为虎克定律。

图 1-8 (a) 表示单向应力状态的单向拉伸 (压缩)



情况下的虎克定律为

$$\sigma = E\varepsilon \quad (1-4)$$

其中 E 为比例系数, 称 E 为弹性模量, 其量纲与应力量纲相同, 它的数值可由实验测定。

图 1-8 (b) 表示纯剪切应力状态, 这种应力状态下的虎克定律为

$$\tau = G\gamma \quad (1-5)$$

G 为比例系数, 称 G 为切变模量, 其量纲与应力量纲相同, 它的数值可由实验测定。

§ 1-6 杆件变形的的基本形式

实际构件有各种不同的形状, 通常把构件的形状进行某些简化, 然后按构件的几何形状分类研究。材料力学中所研究的构件的长度远远大于横截面尺寸, 这类构件称为杆件, 或简称为杆。轴线(横截面形心连线)为直线的杆称为直杆。横截面大小和形状不变的直杆, 称为等直杆。轴线为曲线的杆称为曲杆。工程上常见的很多构件都可以简化为杆件, 如直杆、传动轴、立柱、丝杠、吊钩等等。某些实际构件, 如齿轮的轮齿、曲轴的轴颈等, 并不是典型的杆件, 但在近似计算或定性分析中也简化为杆, 所以杆是工程中最基本的构件。

除杆件外, 工程中常用的构件还有平板和壳体、块体等。

实际杆件的受力可以是各式各样的, 但都可以归纳为轴向拉伸(或压缩)、剪切、扭转和弯曲等基本受力和变形形式, 以及由两种或两种以上基本受力和变形形式叠加而成的组合受力与变形形式。

1-6-1 拉伸或压缩

图 1-9 (a) 表示一简易吊车。在载荷 F 作用下, AC 杆受到拉伸图 1-9 (b), 而 BC 杆受到压缩图 1-9 (c)。这类变形形式是由大小相等、方向相反、作用线与杆件轴线重合的一对力引起的, 表现为杆件的长度发生伸长或缩短。起吊重物的钢索, 桁架的杆件, 液压缸的活塞杆等的变形都属于拉伸或压缩变形。

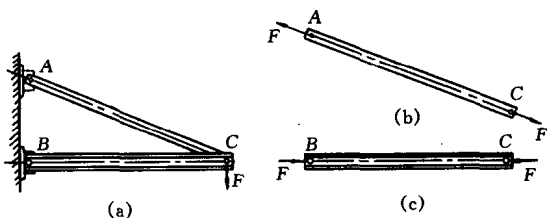


图 1-9

1-6-2 剪切

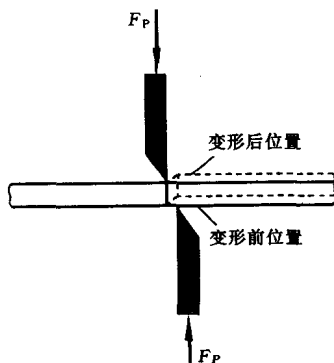


图 1-10

杆件受到垂直于轴线的大小相等、方向相反且相距很近的平行力作用时, 将引起两力作用线之间的横截面的相对错动。这种变形称为剪切, 如图 1-10 所示。

1-6-3 扭转

图 1-11 (a) 所示转向轴 AB , 在工作时发生扭转变形。这类变形形式是由大小相等、方向相反、作用面垂直于杆轴的两个



力偶矩引起的图 1-11 (b)，表现为杆件的任意两个横截面将发生绕轴线的相对转动。汽车的传动轴、电动机和水轮机的主轴等，都是受扭杆件。

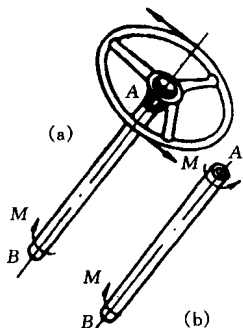


图 1-11

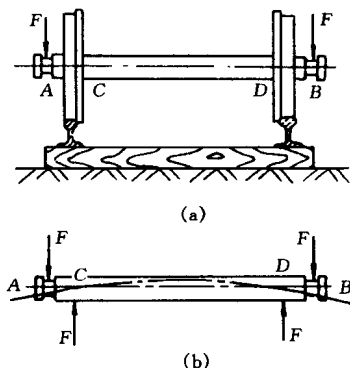


图 1-12

1-6-4 弯曲

图 1-12 (a) 所示火车轮轴的变形即为弯曲变形，这类变形形式是由垂直于杆件轴线的横向力，或由作用于包含杆轴的纵向平面内的一对大小相等、方向相反的力偶引起的，表现为杆件轴线由直线变为曲线图 1-12 (b)。在工程中，受弯杆件是最常遇到的情况之一。桥式起重机的大梁，各种心轴以及车刀等构件的变形都属于弯曲变形。

1-6-5 组合受力与变形

还有一些杆件同时承受几种基本变形，例如车床主轴工作时承受弯曲、扭转和压缩三种基本变形；钻床立柱同时承受拉伸和弯曲两种基本变形，这种情况称为组合变形。

由上述基本受力形式中的两种或两种以上所共同形成的受力形式即为组合受力。例如如图 1-13 中所示杆件的受力即为拉伸与弯曲的组合受力。在组合受力形式中，杆件将产生两种或两种以上的基本变形。

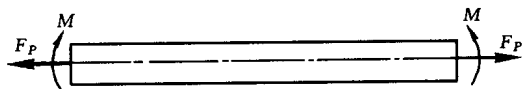


图 1-13

实际杆件受力不管多么复杂，在一定条件下，都可以简化为基本受力与变形形式的组合。在本书中，首先将依次讨论四种基本变形的强度及刚度计算，然后再讨论组合变形。

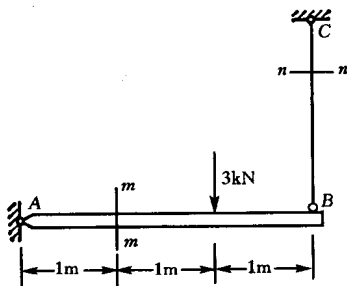
思考题

- 1-1 什么是变形？
- 1-2 材料力学的主要任务是什么？
- 1-3 什么是构件的强度、刚度和稳定性？
- 1-4 变形固体的基本假设是什么？为什么要作假设？
- 1-5 杆件变形的基本形式有几种？试各举一实例。

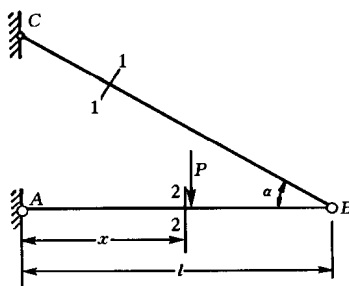


习 题

- 1-1 试求图示结构 $m-m$ 和 $n-n$ 两截面上的内力, 并指出 AB 和 BC 两杆件的变形属于何类基本变形。
 1-2 在图示简易吊车的横梁上, 力 P 可以左右移动。试求截面 1-1 和 2-2 上的内力及其最大值。

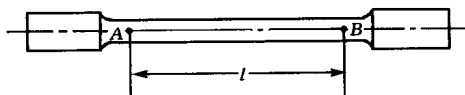


题 1-1 图



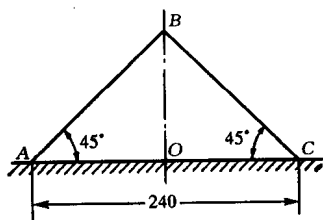
题 1-2 图

- 1-3 拉伸试样上 A 、 B 两点的距离 l 称为标距。受拉力作用后, 用变形仪量出两点距离的增量为 $\Delta l = 5 \times 10^{-2} \text{ mm}$ 。若 l 的原长为 $l = 100 \text{ mm}$, 试求 A 、 B 两点间的平均应变 ϵ_m 。

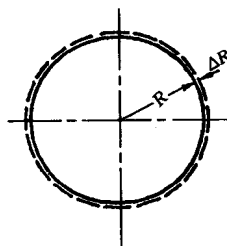


题 1-3 图

- 1-4 图示三角形薄板因受外力作用而变形, 角点 B 垂直向上的位移为 0.03 mm , 但 AB 和 BC 仍保持为直线。试求沿 OB 的平均应变, 并求 AB 、 BC 两边在 B 点的角度改变。



题 1-4 图



题 1-5 图

- 1-5 圆形薄板的半径为 R , 变形后 R 的增量为 ΔR 。若 $R = 80 \text{ mm}$, $\Delta R = 3 \times 10^{-3} \text{ mm}$, 试求沿半径方向和外圆圆周方向的平均应变。