

高等学校教材

材料力学

上册

马世麟 傅仁本 主编

机械工业出版社

PDG

TB 301

M 22

1 高等学校教材

材 料 力 学

上 册

主 编	马世麟	傅仁本	
副主编	谭文锋	黄 美	陈英杰
主 审	高宝珍	刘家信	



机械工业出版社

本书是根据国家教委审定的高等工业学校“材料力学课程教学基本要求”(100~110学时),在多年教学实践的基础上编写的。

本书(上册)包括绪论、拉伸和弯压缩、剪切、扭转、平面图形几何性质、弯曲内力、抗弯强度、弯曲变形、应力状态理论、强度理论、组合变形等十一章,为便于学习,每章后都附有习题,并在书末附有习题参考答案。

本书适用于高等工业学校机械类专业,也可供其他专业使用及有关工程技术人员参考。

DV86/06
图书在版编目(CIP)数据

材料力学 上册/马世麟,傅仁本主编. —北京:机械工业出版社,1996.11

高等学校教材

ISBN 7-111-05234-X

I. 材… I. ①马… ②傅… 材料力学-高等学校-教材 IV. TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 08591 号

出版人: 马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码 100037)

责任编辑:张一萍 版式设计:杨丽华 责任校对:贾立萍

封面设计:郭景云 责任印制:侯新民

北京市建华印刷厂印刷 · 新华书店北京发行所发行

1996年10月第1版 · 1996年10月第1次印刷

787mm×1092mm $1/32$ · 12%印张 · 284千字

0 001-3 500册

定 价: 16.50元

前 言

本书是根据“高等工业院校材料力学教学基本要求”编写的材料力学教材，为适应不同专业、不同学时要求，除满足“基本要求”外，还编入了部分较深、较广的内容，供教学中选用，或供有关工程技术人员参考。多学时类型可以从带有“*”号的章节中选取部分内容讲授，本书基础内容亦可供中学时或少学时类型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、循序渐近、便于自学等原则，在全书的编排上，力求结构严谨、前后呼应、重点突出、难点明确，在概念叙述上力求理论严谨、深入浅出、层次清楚，语言通俗易懂。书中编入了一定数量的例题及习题供教学中选用，以加强基础理论知识及基本方法的应用。

本书上册共十一章，第一章为绪论；第二章至第八章叙述杆件的基本变形；第九、十章介绍应力状态、应变状态及强度理论；第十一章为组合变形。

在本书编写过程中，参考了国内外已经公开出版的许多书籍、资料，并从中引用了部分习题、例题及插图。在此特向有关作者表示敬意。

本书在写作过程中，白象忠教授对本书提出了许多宝贵意见，在此谨致深切的谢意。

由于编者水平所限，书中难免存在一些缺点甚至错误，恳

切希望读者予以批评指正，以期今后改进。

编者

1995年12月20日

目 录

前言

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	4
第三节 内力 截面法	6
第四节 应力 应变 虎克定律	8
第五节 杆件变形的基本形式	11
第二章 轴向拉伸与压缩	14
第一节 轴向拉伸与压缩的概念和实例	14
第二节 横截面上的内力和应力	15
第三节 材料在拉伸与压缩时的力学性能	20
第四节 许用应力 强度条件	31
第五节 拉伸或压缩时的变形	35
第六节 拉伸和压缩时的静不定问题	40
第七节 应力集中的概念	48
习题	50
第三章 剪切的实用计算	64
第一节 剪切的观念	64
第二节 剪切和挤压的强度计算	65
习题	73
第四章 扭转	76
第一节 概述	76
第二节 外力偶矩与扭矩的计算 扭矩图	77
第三节 薄壁圆筒的扭转 纯剪切	80

第四节	圆轴扭转时的应力和变形	84
第五节	圆轴扭转时的强度和刚度计算	92
第六节	圆柱形密圈螺旋弹簧的应力和变形计算	98
第七节	矩形截面杆的扭转	103
第八节	薄壁杆件的自由扭转	107
	习题	113
第五章	平面图形的几何性质	123
第一节	静矩和形心	123
第二节	惯性矩 惯性积 惯性半径	127
第三节	平行移轴公式	133
第四节	转轴公式	136
第五节	主惯性轴 主惯性矩 形心主惯性轴及形心主惯性矩	139
	习题	142
第六章	弯曲内力	147
第一节	概述	147
第二节	剪力与弯矩	150
第三节	剪力与弯矩方程 剪力图与弯矩图	153
第四节	载荷集度、剪力和弯矩间的微分关系	163
第五节	用叠加法作弯矩图	168
第六节	平面曲杆的弯曲内力	169
	习题	171
第七章	抗弯强度	179
第一节	引言	179
第二节	弯曲正应力	179
第三节	弯曲切应力	189
第四节	抗弯强度计算	199
第五节	提高抗弯强度的一些措施	206
第六节	开口薄壁杆件的弯曲中心	213

习题	220
第八章 弯曲变形	229
第一节 挠度与转角 梁的刚度条件	229
第二节 挠曲线的近似微分方程式	231
第三节 用积分法求弯曲变形	233
第四节 用叠加法求弯曲变形	241
*第五节 用虚梁法求梁的变形	250
第六节 简单静不定梁分析	253
第七节 提高抗弯刚度的一些措施	255
习题	257
第九章 应力状态理论	268
第一节 一点应力状态的概念	268
第二节 平面应力状态分析的解析法	274
第三节 平面应力状态分析的图解法	282
*第四节 梁的主应力与主应力迹线	286
第五节 三向应力状态简介	289
第六节 平面应变状态分析	291
第七节 广义虎克定律	296
*第八节 E 、 G 、 μ 间的关系	302
第九节 复杂应力状态下的变形比能	304
习题	308
第十章 强度理论	315
第一节 强度理论的概念	315
第二节 四种常用强度理论	317
第三节 莫尔强度理论	325
*第四节 构件含裂纹时的断裂准则简介	329
习题	330
第十一章 组合变形	333
第一节 组合变形的概念	333

第二节 斜弯曲	335
第三节 拉伸或压缩与弯曲的组合	342
第四节 偏心压缩与截面核心	346
第五节 扭转与弯曲的组合	351
习题	360
附录 A 型钢表	368
附录 B 单位换算	387
附录 C 习题答案	388

第一章 绪 论

第一节 材料力学的任务

机械或工程结构的每一组成部分称为构件。当工程结构或机械工作时,任一构件都将受到载荷的作用。例如,车床切削时,主轴受到齿轮啮合力、切削力等载荷的作用。为保证工程结构或机械的安全,每一构件都应有足够的承载能力,担负起所应承受的载荷。构件在外力作用下能正常工作的条件,需满足以下三方面的要求:

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。

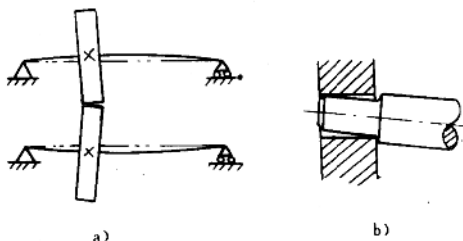


图 1-1

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。又如当齿轮轴的变形过大时(图 1-1b),将使轴上齿轮啮合不良,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形态的能力。

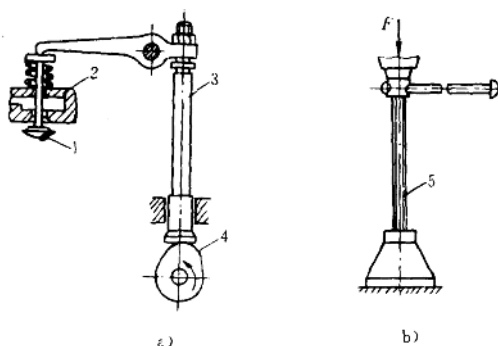


图 1-2

1—阀门 2—气缸头 3—挺杆

4—凸轮 5—螺杆

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。材料的力学性能须通过实验来测定。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。

材料力学的发展与其他学科一样,是由生产的发展所推动的,同时它又反过来对生产实践起着指导作用。在封建社会以前,建筑物多以石料、木材、铸铁、铸铜为主要建筑材料,凭着经验和模仿的方法进行建筑物的设计。但在古代建筑中,也已体现出当时劳动人民的智慧和在实践中所积累起来的经验。例如,在我国古代建筑中就已将一些砖石结构做成拱形,以充分发挥砖石的抗压性能;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。封建社会解体后,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,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。

第二节 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,侧重面也不一样。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。

一、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。

二、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性质是均匀的。

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,因此可以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。

三、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、纤维织品和木材等。

四、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,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。

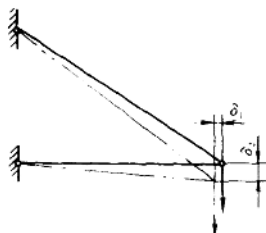


图 1-3

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。

第三节 内力 截面法

一、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。

二、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,

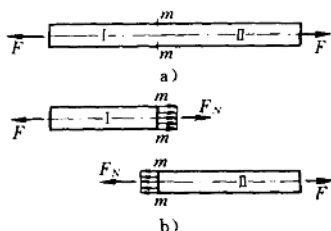


图 1-4

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。

截面法是求截面上内力的一般方法。对图 1-5a 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

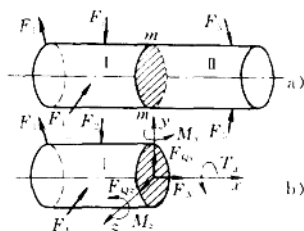


图 1-5

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。

第四节 应力 应变 虎克定律

一、应力

截面法所确定的内力(F_N 、 F_Q 、 M 等)是图 1-6a 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 处附近取微小面积 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

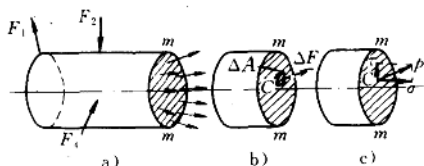


图 1-6