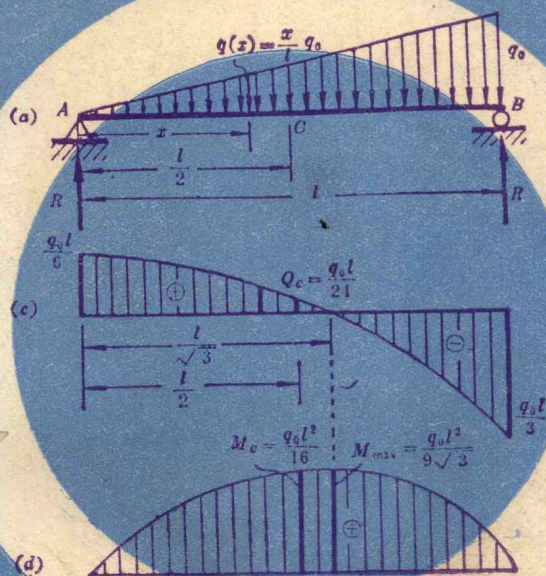


材料力学

顾志荣 吴永生 编



大学出版社

材 料 力 学

顾志荣 吴永生 编

同济大学出版社

责任编辑 许纪森

封面设计 王肖生

材·料·力·学

顾志荣 吴永生编

同济大学出版社出版

(上海四平路 1239 号)

浙江上虞科技外文印刷厂排版

新华书店上海发行所发行

吴县人民印刷二厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 15.875 字数 460千字

1990 年 10 月第 1 版 1990 年 10 月 第 1 次印刷

印数 1—3,700

定价 7.50 元

ISBN 7-5608-0643-0/○·68

内 容 提 要

本书是根据高等工业学校材料力学教学大纲的要求,为建筑学、给排水、暖通、自动化等专业而编写的材料力学课程的教材。

全书由绪论、平面图形的几何性质、轴向拉伸和压缩、剪切、扭转、弯曲、应力状态理论基础和强度理论、组合变形时杆件的强度计算、压杆稳定、动荷载及附录组成。

本书的特点是:将教学内容、例题与习题、学习方法指导、复习与思考、阶段测验作业等融于一体,故本书也适用于作为函授、夜大、电大、职大等同类专业的教材。

前 言

本书是为建筑学、给排水、暖通、自动化等专业而编写的材料力学课程的教材。由于在编写时考虑了成人教育的特点，将教学内容、例题与习题、学习方法指导、复习与思考、阶段测验作业等融合在一起，因此本书也适用于作为函授、夜大学、电视大学、职工大学等同类专业的材料力学课程的教材。

本书对教材内容的安排，力求由浅入深、循序渐进、标题醒目、层次分明；对教材内容的叙述，力求详尽、通顺、讲透重点、突破难点；对教材内容的归纳，力求抓住关键、总结规律。

本书根据高等工业学校材料力学教学大纲(中学时类型)的要求，以吴永生、王魏甄所编写的由高等教育出版社出版的《材料力学》为基础，结合编者近几年的教学经验，作了某些删改。书中的测验作业选自郭明华、顾志荣编的《材料力学测验作业》。

限于编者的水平，书中难免有错误或不当之处，恳请读者批评指正。

在本书编写过程中，同济大学函授学院和工程力学系的领导给予了大力支持和帮助，基础力学函授教研室主任伍云青副教授也极其关心本书的出版，同济大学出版社许纪森编辑为本书的出版做了大量的工作，对此一并表示感谢！

编 者

1990 年国庆节

于同济大学

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 变形固体的概念	(1)
第二节 杆件变形的基本形式	(2)
第三节 材料力学的任务	(4)
第四节 材料力学的基本假设	(6)
第二章 平面图形的几何性质	(9)
第一节 静矩 形心	(10)
第二节 极惯性矩 惯性矩 惯性积	(18)
第三节 形心主惯性轴 形心主惯性矩	(24)
第四节 平行移轴定理 组合图形的形心主惯性矩 计算	(25)
第五节 学习方法指导	(38)
复习思考题	(39)
第三章 轴向拉伸和压缩	(41)
第一节 概述	(41)
第二节 拉(压)杆的内力	(42)
第三节 拉(压)杆横截面上的应力	(46)
第四节 拉(压)杆的变形	(50)
第五节 材料在拉伸和压缩时的力学性质	(59)
第六节 拉(压)杆斜截面上的应力	(71)
第七节 拉(压)杆的强度计算	(76)
第八节 拉、压超静定问题	(83)
第九节 应力集中的概念	(103)
第十节 学习方法指导	(104)
复习思考题	(107)
第一次测验作业(轴向拉伸和压缩)	(108)
第四章 剪切	(110)

第一节	概述	(110)
第二节	剪切的实用计算	(111)
第三节	挤压的实用计算	(113)
第四节	联接件强度计算的实例	(115)
第五节	学习方法指导	(123)
	复习思考题	(125)
第五章	扭转	(127)
第一节	概述	(127)
第二节	扭转时的内力计算	(128)
第三节	薄壁圆筒的扭转	(134)
第四节	圆轴扭转时的应力与变形	(139)
第五节	圆轴扭转时的强度与刚度计算	(150)
第六节	矩形截面杆的自由扭转	(158)
第七节	学习方法指导	(160)
	复习思考题	(164)
	第二次测验作业(剪切与扭转)	(165)
第六章	弯曲内力	(168)
第一节	梁的平面弯曲	(168)
第二节	梁的内力——剪力和弯矩	(172)
第三节	剪力图和弯矩图	(183)
第四节	分布荷载集度 $q(x)$ 、剪力 $Q(x)$ 和弯矩 $M(x)$ 之间的微分关系与积分关系	(198)
第五节	用叠加法绘制梁的剪力图和弯矩图	(204)
第六节	学习方法指导	(207)
	复习思考题	(211)
第七章	弯曲应力	(214)
第一节	纯弯曲时梁横截面上的正应力	(214)
第二节	梁的正应力强度条件	(223)
第三节	梁横截面上的剪应力	(235)
第四节	梁的强度计算	(247)

第五节 学习方法指导	(253)
复习思考题	(257)
第八章 弯曲变形	(260)
第一节 弯曲变形的概念	(260)
第二节 梁的挠曲线近似微分方程及其积分	(262)
第三节 积分法求梁的变形	(266)
第四节 叠加法求梁的变形	(280)
第五节 梁的刚度校核	(290)
第六节 简单超静定梁的解法	(293)
第七节 学习方法指导	(302)
复习思考题	(303)
第三次测验作业(弯曲)	(304)
第九章 应力状态理论基础 强度理论	(307)
第一节 应力状态的概念	(307)
第二节 平面应力状态分析	(313)
第三节 主应力 主剪应力	(328)
第四节 三向应力状态的概念	(337)
第五节 广义虎克定律	(340)
第六节 强度理论	(348)
第七节 学习方法指导	(366)
复习思考题	(372)
第四次测验作业(应力状态 强度理论)	(373)
第十章 组合变形时杆件的强度计算	(376)
第一节 斜弯曲	(377)
第二节 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	(389)
第三节 偏心压缩(拉伸)	(396)
第四节 弯曲与扭转的组合变形	(405)
第五节 学习方法指导	(412)
复习思考题	(413)
第十一章 压杆稳定	(415)

第一节	压杆稳定的概念	(415)
第二节	两端铰支细长压杆的临界力	(417)
第三节	杆端约束的影响	(419)
第四节	临界应力总图	(420)
第五节	压杆的稳定计算(一)——稳定安全系数法	(433)
第六节	压杆的稳定计算(二)——折减系数法	(440)
第七节	学习方法指导	(445)
	复习思考题	(448)
	第五次测验作业(组合变形 压杆稳定)	(448)
第十二章	动荷载 交变应力	(451)
第一节	等加速度运动构件的应力计算	(451)
第二节	杆件受到冲击荷载作用时的应力和变形计算	(458)
第三节	交变应力的概念	(467)
第四节	学习方法指导	(469)
	复习思考题	(470)
附录		(471)
附录一	主要字符表	(471)
附录二	主要常用量的公制单位与国际制单位换算表	(474)
附录三	型钢表	(475)

第一章 绪 论

第一节 变形固体的概念

(一) 变形固体

制成各种工程结构的构件一般均为固体。在自然界中,任何固体在外力作用下,其形状和尺寸总会有些变化,也就是说,在外力作用下固体将要发生变形。材料力学是一门研究物体在外力作用下的变形和破坏规律的学科。物体的变形成为材料力学研究的主要对象。因此,在材料力学中,就不能再像理论力学那样,把被研究的物体视为绝对不变形的刚体,而必须如实地将它看作为变形固体。

(二) 弹性体 弹性变形和塑性变形

我们把“物体在引起变形的**外力被除去以后能即刻恢复它的原有形状和尺寸”的这种性质,称为弹性。若物体在外力除去后能完全恢复原状,就称它为完全弹性体;不能完全恢复原状的物体,则称为部分弹性体。

部分弹性体的变形有两部分:一部分是随着外力被除去后而完全消失的变形,称为弹性变形;另一部分是外力被除去后不能消失而残留下来的变形,称为塑性变形(也称残余变形)。物体具有塑性变形的性质,称为塑性。

自然界中并没有所谓的完全弹性体,一般的变形固体在受外力作用后既具有弹性,也具有塑性。不过,实验指出,象金属、木材等建筑材料,当外力不超过某一限度时,可以看成是完全弹性的。例如,用两手将一段直的钢丝弯成弧形,若加力不大,则在放松双手后钢丝可即刻恢复它原有的形状和尺寸,这时,该钢丝就可看作为完全弹性体。但如果加力过大,那么,在放松双手后,钢丝的弧形曲率虽然会减小些,但却不能再变直了,即产生了残余变形。这

时,该钢丝就可看作为部分弹性体。

材料力学主要是研究构件及其材料的弹性变形问题。

第二节 杆件变形的基本形式

(一) 杆件

机械或结构物的每一组成部分,一般可称之为构件,例如房屋中的柱、梁、楼板等均可称为构件。工程中构件的形式是多种多样的,但材料力学所研究的对象主要是杆件。所谓杆件,就是一个方向的尺寸(长度)远大于其它两个方向(宽度和高度)尺寸的构件(图 1-1)。垂直于杆件长度方向的截面,称为横截面。横截面形心的连线,叫做杆件的轴线(简称杆轴)。如果杆件的轴线是直线,则称它为直杆;轴线为曲线的,称为曲杆。各横截面尺寸不变的杆,叫作等截面杆,横截面尺寸大小不同的杆称为变截面杆。工程中常见的是等截面直杆,简称等直杆。

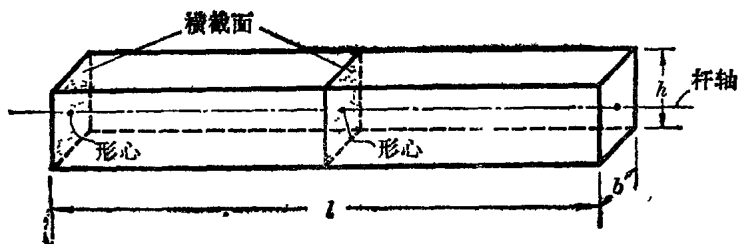


图 1-1

(二) 基本变形

在工程结构中,由于外力常以各种不同的方式作用在杆件上,因此杆件的变形也是各种各样的。但是,这些变形总不外乎是以下四种基本变形中的一种,或者是它们中几种基本变形的组合。

(1) 拉伸或压缩 这种变形是由作用线与杆轴重合的外力所引起的(图1-2,a),表现为杆件的长度发生伸长或缩短。例如;起吊

重物的钢索、桁架中的杆件、某些房屋中的柱子、有些桥墩和基础等,在受力过程中就往往发生拉伸或压缩变形。

(2) 剪切 这类变形是由大小相等、方向相反、作用线垂直于杆轴且相距很近的一对外力所引起的,受剪杆件的两部分沿外力作用方向发生相对的错动(图 1-2, *b*)。例如,键、销钉、螺栓等联接件受力时常发生剪切变形。

(3) 扭转 这种变形是由一对大小相等、转向相反、作用面都垂直于杆轴的力偶所引起的,表现为杆件的任意两个横截面间发生绕轴线的相对转动(图 1-2, *c*)。例如机械中的一些传动轴就是受扭杆件。

(4) 弯曲 这种变形是由于垂直于杆件轴线的横向力作用,或作用于杆轴平面内的力偶所引起的,表现为杆件的轴线由直线变为曲线(图 1-2, *d*)。工程中受弯杆件是最常见的一类构件。例如,各种梁在受力时大多要发生弯曲变形。

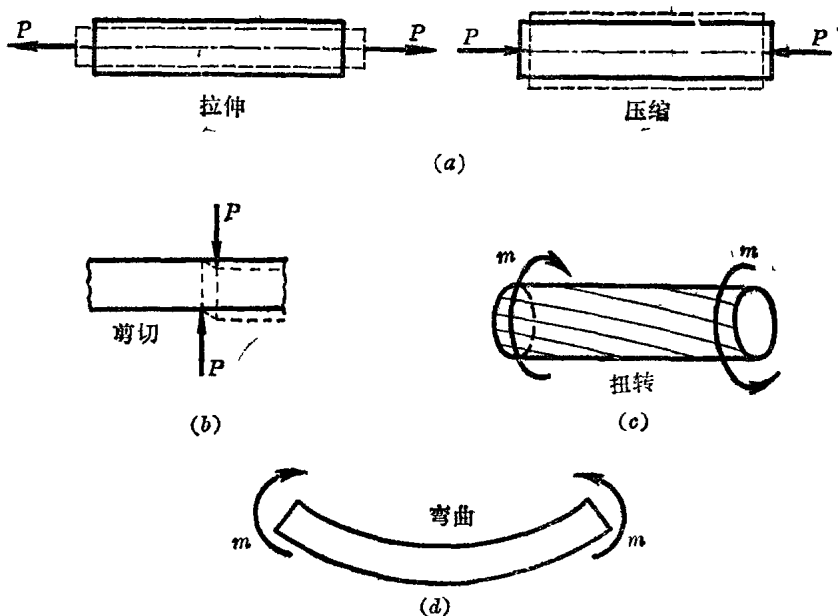


图 1-2

还有一些杆件同时承受几种基本变形，这种情况称为组合变形。本书将首先依次分析上述四种基本变形，然后再在此基础上，进一步讨论组合变形的问题。

第三节 材料力学的任务

（一）研究构件的强度、刚度和稳定

如上所说，任何结构物都是由一些构件所组成的。显然，要使结构物能正常地工作，就必须要求组成它的每个构件在荷载作用下都能正常工作。为此，在工程中对所设计的构件都有一定的要求。这些要求是：

（1）强度要求 所谓强度是指构件或材料抵抗破坏的能力。强度有高低之分，在一定的荷载作用下，说某个构件或某种材料的强度高，就是指这个构件或这种材料不容易破坏。所谓破坏，在材料力学中是指构件断裂或产生了过大的塑性变形。为了保证构件的正常工作，就要求构件具有足够的强度，能在荷载作用下不发生破坏。

（2）刚度要求 所谓刚度，是指构件抵抗变形的能力。刚度有大小之分，说某个构件的刚度大，是指这个构件在荷载作用下不容易变形，即抵抗变形的能力强。我们知道，构件在外力作用下，即使不出现塑性变形，也总是要产生弹性变形的。工程中对于某些构件的弹性变形有时也要加以限制，也就是说，构件在荷载作用下产生的弹性变形也不得超过一定的范围，这就要求构件具有足够的刚度。

（3）稳定要求 所谓稳定的要求，就是指承受荷载作用时构件在其原有形状下的平衡应保持为稳定的平衡。实践告诉我们，有些构件在荷载作用下，可能出现不能保持它原有形状下的平衡的现象。例如，对于细长的受压直杆，当压力逐渐增大而达到一定数值时，压杆就会突然从原来的直线形状变成为曲线形状（图1-3）。这种现象称为丧失稳定。由于某个受压杆丧失稳定而导致整个结

构筑物破坏的事故还是很多的,所以对于受压杆件,必须要求它在压力作用下不丧失稳定,而具有足够的稳定性。

构件的强度、刚度和稳定问题是材料力学所要研究的主要内容。

(二) 研究材料的力学性质

构件都是由一定的材料制成的。两个承受相同荷载、具有相同尺寸、而用不同材料制成的构件,它们产生变形的大小和破坏的难易是不同的。这说明构件的强度、刚度、稳定性与制作构件的材料有关。因此,材料力学还要通过试验来研究材料在荷载作用下表现的力学性质,并在此基础上为构件选择合适的材料,设计出合理的截面形状和尺寸。

(三) 合理解决构件设计中的安全与经济之间的矛盾

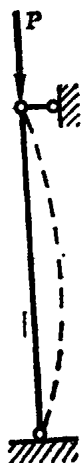


图 1-3

我们知道,为了提高构件的强度、刚度和稳定性,往往需要选用优质材料来制造,或者是加大构件的截面尺寸。但是如果设计的截面尺寸过大或所用的材料质量太好,则在一定的荷载作用下,构件虽然不会发生过度的变形或破坏,但构件承担荷载的能力却没有充分发挥,浪费了材料和资金。对于工程技术人员来说,在设计构件时,既要保证构件能正常地工作,还要考虑尽可能地降低成本,节约材料和资金。这就要求工程技术人员必须掌握一定的材料力学知识,在设计时运用材料力学的理论和方法,在保证构件既安全适用又最大限度经济的前提下,为构件恰当地选用合适的材料,设计出合理的截面形状和尺寸。

综上所述,材料力学要研究构件在外力作用下的变形和破坏的规律,它是研究构件承担荷载能力(简称为承载能力)的一门科学。材料力学要在研究材料的力学性质的基础上,根据构件受到的荷载情况及其工作要求,为结构构件选择合适的材料,设计出合理的截面形状和尺寸,使之既满足强度、刚度、稳定的要求又达到经济合理的目的。这就是材料力学的任务。

第四节 材料力学的基本假设

自然界中的物体,其性质既多种多样,又十分复杂,而每门学科只是从某个角度去研究物体性质的某一方面。为此,任何一门学科都需要建立一个理想化的模型。在研究中,常常把一些对研究问题影响不大的次要性质加以忽略,而只保留其主要性质,这样就可以将复杂的真实物体看成为只具有某种主要性质的理想物体。经过这样的抽象简化,将使研究工作大为简便,为此,材料力学提出如下基本假设:

(一) 材料的连续性假设

材料力学认为,在整个物体的体积内连续地、毫无空隙地被组成该物体的物质所充满。根据这个假设就可以把物体内的一些物理量(例如应力、变形、位移等)也看成是连续的。由于这种连续性,使得材料力学可以应用极限、微分、积分等数学工具进行研究,以反映这些物理量的变化规律。应该说明的是,从物质的微观结构来说,组成固体的粒子之间实际上是不连续的。但它们之间所存在的空隙与材料力学所研究的构件尺寸相比则极其微小,可以略去不计,这样就可以认为物体在其整个几何容积内是连续的。

(二) 材料的均匀性假设

材料力学认为,物体内任何部分的材料其力学性质完全相同,从物体内切取任何一部分的材料其力学性质与所切取的部位、与切取部分的尺寸大小无关。根据这个假设,就可以取出物体内的任意一小部分来加以分析研究,然后把分析的结果用于整个物体。同时也可以将那些由较大尺寸的试件通过实验获得的材料性质用到物体的任何微小的部分上去。

(三) 材料的各向同性假设

材料力学认为,材料在各个不同方向都具有相同的力学性质,

如果从物体内切取一部分，则其力学性质不因这部分材料在该物体内的方位不同而异。一般将具有这种力学性质的物体称为各向同性体。材料力学只研究各向同性体的力学问题。

根据这个假设，当研究了材料在任一方向的力学性质后，就可以将其结论用于其它任何方向，亦即不必考虑材料性质的方向性问题。

(四)小变形假设

在外力作用下，物体就要发生变形，其数值可能很小，也可能较大，但材料力学所研究的问题是**小变形问题**。所谓小变形，就是指物体产生的变形及由于变形而使其产生的几何尺寸的改变与整个物体的原始尺寸比较起来是极其微小的。根据这个假设，我们在建立静力平衡方程或在分析其它一些问题时，就可以不考虑外力作用点在物体发生变形后所产生的微小的位置改变，就可以不考虑物体尺寸的改变而按其变形前的原始尺寸进行计算。例如，图 1-4 所示的梁在变形后，外力 P 的作用点将有水平位移 δ ，但是其值远远小于梁的原长 l ，即 $l \gg \delta$ 。因此，我们在对此梁进行受力分析时，就可不计 δ 的影响。若要计算外力 P 对固端的力矩，则可用 $M = Pl$ 计算，而不必用 $M = P(l - \delta)$ 来计算。另外，我们在考察物体的变形和位移时，还会出现一些变形量的二次或高次幂，根据小变形假设，可以将它们略去不计，从而使分析的问题大为简化，由此而引起的误差是极其微小的。

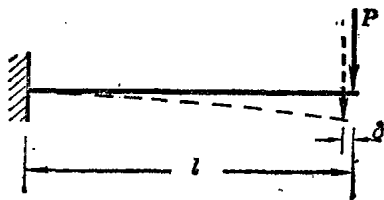


图 1-4

综上所述，材料力学认为，一般的工程材料是连续、均匀、各向同性的变形固体，材料力学主要是研究弹性体在弹性变形范围内

的小变形问题。实践证明，上述的基本假设，既能充分地反映出问题的主要实质，又能使十分复杂的现象得到合理的简化。这不仅便于理论推导，而且由这些基本假设为前提所导出的公式用于一般的工程计算，也已足够精确。