

高等工科院校教材

材料力学

主 编:杨伯源

副主编:白嘉楠 李和平



中国科学技术大学出版社

高等工科院校教材

材 料 力 学

主 编:杨伯源

副主编:白嘉楠 李和平

中国科学技术大学出版社

1998·合肥

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/杨伯源主编. —合肥:中国科学技术大学出版社,1998
年3月

ISBN 7-312-00978-6

I 材料力学

Ⅰ 杨伯源主编

Ⅲ ①材料力学 ②应用试验 ③教材

Ⅳ O

中国科学技术大学出版社出版发行

(安徽省合肥市金寨路96号 邮编:230026)

中国科学技术大学印刷厂印刷

全国新华书店经销

开本:850×1168/32 印张:10.75 字数:280千

1998年3月第1版 1998年3月第1次印刷

印数:1—10 000册

ISBN 7-312-00978-6/O·201

定价:12.50元

内 容 提 要

本书是根据高等工业学校少学时(60学时)“材料力学课程基本要求”编写而成的。

全书共有十三章,内容包括:绪论、拉伸与压缩、扭转、截面几何性质、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力分析与强度理论、组合变形、压杆稳定、交变应力、能量法和材料力学试验简介。

本书为高等工业学校教材,适用于少学时和中学时各专业。

前 言

本书是根据高等工业学校少学时“材料力学课程基本要求”编写而成的。教材内容以杨伯源、袁曾怀主编的“材料力学”为基础,参考并吸收了近年来国内材料力学教材中的长处,结合编者多年的实践经验,做了较大的增删和补充。

编写本书的意图是,对基本内容阐述尽量详尽,对较深入的部分则力求简明。近些年来,材料力学的教学学时日减,一些教师对使用较长教材颇感不便,编者希望,通过教师在教学中适当删减或补充,本书可作为中学时教材使用。本书重视基本概念、基本理论的论述;强调了力的简化和力学模型的建立;注意从工程实践中选择例题和习题;章节安排上尽量做到易教易学;各章后增列小结和思考题,以期帮助学生掌握基本概念、理论和方法。为便于教学,将材料力学实验内容精简成一章编入教材。

本书由合肥工业大学应用数学力学系杨伯源、白嘉楠、李和平编写,杨伯源任主编,白嘉楠、李和平任副主编。范家让教授主审了全书,提出了许多宝贵的修改意见。在编写出版过程中得到合

肥工业大学教材科郑象鹤同志和合肥工业大学材料力学教研室许多同志的支持和帮助,谨此致谢。

限于编者水平,错误与不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

一九九七年八月

目 次

前 言	(I)
第一章 绪 论	(1)
第一节 材料力学的任务	(1)
第二节 变形固体的性质及基本假设	(2)
第三节 内力、截面法、应力	(4)
第四节 位移、变形与应变的概念	(7)
第五节 杆件变形的基本形式	(9)
小结	(10)
习题	(10)
第二章 轴向拉伸与压缩变形	(12)
第一节 受力特点及计算简图	(12)
第二节 拉(压)杆横截面上的内力与应力	(14)
第三节 斜截面上的应力	(18)
第四节 拉(压)杆的强度条件	(19)
第五节 拉伸(压缩)变形、虎克定律	(23)
第六节 考虑杆自重时的应力与变形的计算	(28)
第七节 材料拉伸、压缩时的力学性能	(30)
第八节 许用应力及安全系数	(39)
第九节 拉伸(压缩)变形能	(40)
第十节 简单拉(压)静不定问题	(42)
第十一节 剪切和挤压的实用计算	(49)
小结	(55)
思考题	(56)
习题	(57)

第三章 扭转	(68)
第一节 概述	(68)
第二节 外力偶矩的计算、扭矩及扭矩图	(69)
第三节 纯剪切	(72)
第四节 圆轴扭转时横截面上的应力及变形	(74)
第五节 圆轴扭转时的强度与刚度计算	(80)
第六节 矩形截面杆扭转问题简介	(85)
第七节 圆柱形密圈螺旋弹簧的计算	(86)
小结	(90)
思考题	(91)
习题	(92)
第四章 截面的几何性质	(98)
第一节 概述	(98)
第二节 截面的面积矩和形心位置	(98)
第三节 截面的惯性矩、惯性积和惯性半径	(101)
第四节 惯性矩的平行移轴公式	(106)
第五节 转轴公式、形心主惯性矩	(110)
习题	(112)
第五章 弯曲内力	(115)
第一节 弯曲的概念及实例	(115)
第二节 梁的载荷和计算简图	(116)
第三节 弯曲时的内力—剪力与弯矩	(118)
第四节 剪力图与弯矩图	(121)
第五节 叠加法作弯矩图	(125)
第六节 剪力、弯矩和载荷集度间的微分关系	(126)
小结	(130)
习题	(131)
第六章 弯曲应力	(136)
第一节 概述	(136)

第二节	纯弯曲时梁横截面上的正应力	(137)
第三节	梁弯曲时的剪应力	(142)
第四节	梁弯曲时的强度计算	(148)
第五节	提高梁弯曲强度的措施	(152)
小结		(156)
思考题		(157)
习题		(157)
第七章	弯曲变形	(162)
第一节	引言	(162)
第二节	挠曲线近似微分方程	(164)
第三节	积分法求弯曲变形	(165)
第四节	叠加法求梁变形	(169)
第五节	静不定梁的解法	(172)
小结		(175)
思考题		(176)
习题		(178)
第八章	应力状态理论与强度理论	(185)
第一节	应力状态的概念	(185)
第二节	二向应力状态分析	(187)
第三节	三向应力状态的最大应力	(193)
第四节	广义虎克定律	(195)
第五节	强度理论	(198)
小结		(205)
思考题		(206)
习题		(206)
第九章	组合变形	(209)
第一节	概述	(209)
第二节	斜弯曲	(210)
第三节	拉伸(压缩)与弯曲的组合	(214)

第四节	弯曲与扭转的组合变形	(218)
小结		(222)
思考题		(223)
习题		(225)
第十章	压杆的稳定性	(230)
第一节	压杆稳定的概念	(230)
第二节	细长压杆的临界力	(232)
第三节	临界应力和中柔度杆的临界应力	(236)
第四节	压杆的稳定条件及其应用	(239)
第五节	提高压杆稳定性的措施	(245)
小结		(246)
思考题		(247)
习题		(247)
第十一章	交变应力	(251)
第一节	交变应力与疲劳失效	(251)
第二节	应力循环特征	(252)
第三节	持久极限及其测定	(254)
第四节	影响持久极限的因素	(256)
第五节	对称循环下疲劳强度的计算	(261)
第六节	非对称循环和弯扭组合下的疲劳强度计算	(263)
小结		(266)
思考题		(266)
习题		(267)
第十二章	能量法	(269)
第一节	引言	(269)
第二节	杆件变形能的计算	(269)
第三节	单位载荷法	(273)
第四节	冲击载荷与冲击应力	(278)
思考题		(282)

习题.....	(282)
第十三章 材料力学试验简介.....	(286)
第一节 概述.....	(286)
第二节 低碳钢的拉伸实验.....	(286)
第三节 电阻应变片和应变电桥.....	(291)
第四节 电阻应变仪及其使用方法.....	(294)
第五节 温度补偿.....	(296)
第六节 弯曲正应力实验.....	(296)
附录 A 习题答案	(299)
附录 B 型钢表	(306)
附录 C 单位换算	(327)

第一章 绪 论

第一节 材料力学的任务

机械及工程结构中的每一个基本组成部分,统称为构件。一切构件都是由固体形态的材料制成的。在载荷作用下,构件的形状和尺寸将发生一定的改变,称为变形。同时,在构件内部将产生一定的内力。随着载荷的增加,构件的变形程度与内力也逐渐增大,最后将导致构件的过度变形或破坏。为保持机械或结构的正常工作,要求任何一个构件都要有足够的承受载荷作用的能力,简称承载能力。构件的承载能力通常由以下几个方面来衡量:

(一) 强度

它表示构件抵抗破坏的能力。构件具有足够的强度是保证其正常工作最基本的要求。

(二) 刚度

它表示构件抵抗变形的能力。在某些情况下,构件承受一定外力后,虽不致发生断裂,但若变形过大,也会导致构件不能正常工作。例如机床主轴在工作时因承受载荷作用而产生弯曲变形如图1-1所示。若变形过大,将影响机床对工件的加工精度和造成主轴轴承的磨损等。因此对有些构件,要求有足够的抵抗变形的能力,即应有足够的刚度。

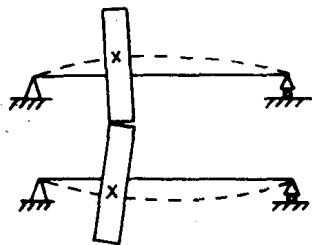


图 1-1

(三) 稳定性

工程上有些构件,在载荷作用下会出现不能保持其原有平衡

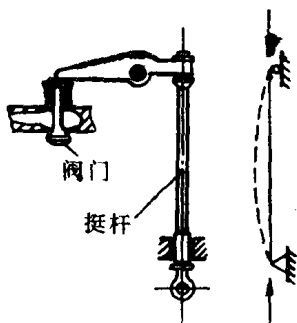


图 1-2

状态的现象。如细而长的杆件两端受到轴向压力作用,当压力增大到某一数值时,杆便不能保持原有的平衡状态,致使杆件或整个结构失去正常工作能力。这种突然改变原有平衡状态的现象,称之为丧失稳定,简称失稳。如桁架结构中的桥梁的上弦杆,内燃机中的挺杆都会发生这类问题,见图 1-2。工程上把这类问题称为稳定问题。稳定性就是

指构件抵抗失稳的能力。

工程中所用的构件,通常要求它具有足够的强度、刚度和稳定性。这是保证构件能安全工作的三个基本要求。

在对构件进行设计时,除要求构件能安全正常地工作外,同时也必须考虑到经济性。安全和经济两者往往是矛盾的。比如为了安全,需要用较好和较多的材料,但为了经济则要求用较廉价的材料,较小的尺寸。材料力学为合理地解决这一矛盾提供了计算的基本理论及方法。

总之,材料力学的主要任务是在保证构件安全工作的前提下,为合理地设计构件提供必要的基本理论和计算方法。

第二节 变形固体的性质及基本假设

在理论力学中,为简化问题的研究将物体抽象为不变形的刚体。这是因为物体的微小变形对其平衡和运动状态的影响极小。材料力学研究构件的强度和刚度问题,物体的变形是一个主要因素。因此,刚体的概念在这里不再适用,必须把一切构件都看作可变形

固体。变形固体的性质是多方面的,为了简化研究,可根据主要方面对变形固体作如下假设:

(一) 均质连续性假设

认为变形固体的机械性质在体内各处都是相同的;而且,构成变形固体的物质毫无间隙地均匀地充满它的整个几何容积。

(二) 各向同性假设

认为变形固体在各个方向上具有相同的力学性能。具有这种属性的材料称为各向同性材料。

就工程上使用的材料来说,组成金属的晶体之间是不连续的。从金属晶体的微观结构来看,每个单晶体的性质也具有明显的方向性。然而,我们研究的并非某个单晶体的力学性能,而是构件受力后所表现的宏观总体性能,即研究的是为数众多、且随机排列的晶体群所表现出来的统计学上的平均性能。因此可以认为物体的性质是均匀连续和各向同性的。实践证明,在上述假设的基础上建立的理论是符合工程要求的。

材料在外力作用下将产生变形。试验指出:当外力不超过一定范围时,绝大多数材料在除去外力后能恢复原有形状和尺寸,材料的这种性质称为弹性。除去外力后能消失的变形称为弹性变形。但当外力过大时,除去外力后,变形只能部分地消失,而残留一部分变形不能消失。材料的这种性质称为塑性。不能消失而残留下来的变形称为塑性变形。一般情况下,要求构件只发生弹性变形。

在弹性范围内,构件变形与其原始尺寸相比较甚为微小。因此在研究构件的平衡与运动时,可以不计其变形,而按变形前的原始尺寸考虑,从而使计算大大简化。例如图 1-3 所示的桁架,在 P 力作用下,结点 A 移动到 A' ,角 α 变成 α' 。此时 AB 杆的内力因 α' 未知而无法求解。当考虑结点 A 的位移远小于杆的原始尺寸而可以忽略时,便可用原来的夹角 α 代替 α' ,于是可用结点法求 AB 和 AC 杆的内力。从而简化了计算。

综上所述,在材料力学中,是把实际材料看作均匀连续和各向

同性的可变形固体,并只限于研究小变形的情况。

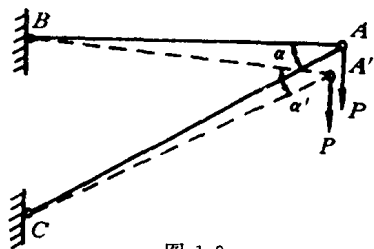


图 1-3

第三节 内力、截面法、应力

一、内力的概念

一般说来,物体的内力是指物体内部质点之间的相互作用力,在物体没有受到外力作用时它就存在着。而材料力学中所讲的内力,则是指物体在外力作用下所引起的内部作用力的变化量,称“附加内力”。这种附加内力随着外力的增加而增大,当其增加到某一极限值时,构件便会发生破坏。为方便计,以后我们将这种附加内力简称为内力。

二、截面法

显示并计算内力的方法是截面法。图 1-4(a)所示的是在外力作用下处于平衡的圆截面杆。为显示和确定 $m-m$ 截面上的内力,用平面假想地将杆分成 I、II 两部分,任取其中一部分(例如 I)作为研究对象。在 I 上作用有外力 P_1 和 P_2 。欲使 I 保持平衡,则 II 必然有力作用于 I 的 $m-m$ 截面上,并与 I 所受外力平衡,如图 1-4(b)所示。根据作用力与反作用力定律知, I 也必然以大小相等、方向相反的力作用于 II 上。上述 I、II 之间相互作用的力就是构件 $m-m$ 截面上的内力。根据连续性假设,在 $m-m$ 截面上各处都有内力作用,所以内力是一个分布力系。今后我们把这个分布力系

的合力和合力偶矩,称为截面上的内力。

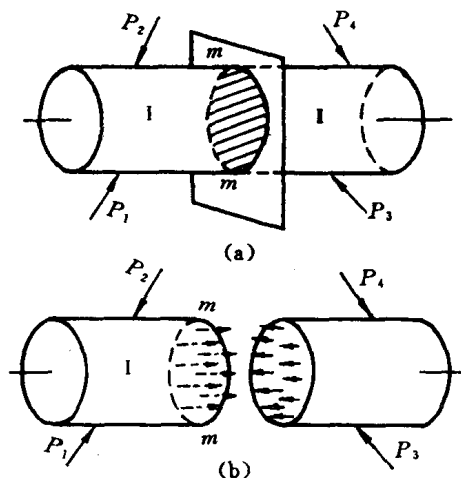


图 1-4

对所研究的部分 I 来说,根据外力和截面 $m-m$ 上的内力的平衡条件可确定内力的大小。综上所述,可归纳截面法求内力的方法如下:

- (1) 在杆件需求内力的截面处,假想地将此截面切开,任取一部分作为研究对象,画出作用在其上的外力。
- (2) 将另一部分对研究部分的作用用内力代替。
- (3) 对研究部分建立平衡方程式,从而确定内力的大小和方向。

例一 已知构件受力如图 1-5(a)所示,求 1 和 2 截面上的内力。

解: 1 截面:取 x 轴沿轴线方向,如图 1-5(b)所示。

$$\sum X = 0 \quad P - N_1 = 0 \quad N_1 = P$$

2 截面:取坐标 x, y 方向如图 1-5(c)所示。

$$\sum X = 0 \quad P - Q = 0 \quad Q = P$$

$$\sum M_0 = 0 \quad Pb - M = 0 \quad M = Pb$$

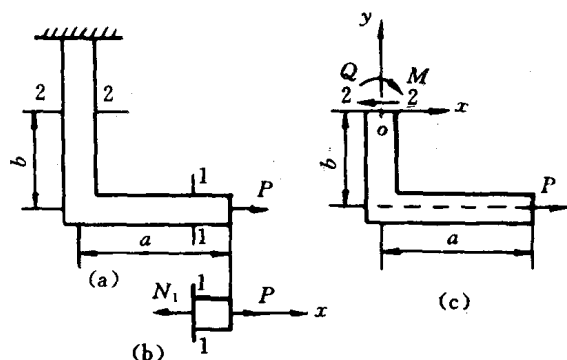


图 1-5

三、应 力

用截面法求得的内力是截面上分布力系的合力和合力偶矩。为进一步描述截面上各点承受内力的大小,以及内力在截面上的分布情况,我们引入应力的概念。

如图 1-6(a)所示,在受力物体的 $m-m$ 截面上的任一点 k 的周围取一微面积 ΔA ,若在 ΔA 上作用的内力为 ΔP ,则在 ΔA 上内力的平均集度为

$$p_m = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad (1-1)$$

p_m 称为作用在 ΔA 上的平均全应力。若 ΔA 越小,则 p_m 就越能准确地表示 k 点所受内力的强弱程度。当 ΔA 趋于零时,其极限值定义为 k 点的全应力,即

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A} = \frac{dP}{dA} \quad (1-2)$$

通常把全应力 p 分解为沿截面法向的分量 σ (读 sigma) 和位于截面内的分量 τ (读 tau), 见图 1-6(b)。 σ 称为正应力 (或法向应力), τ 称为切应力 (或剪应力)。