

材料力学教程

(第2版)

G F G Y G B S

单辉祖 主编



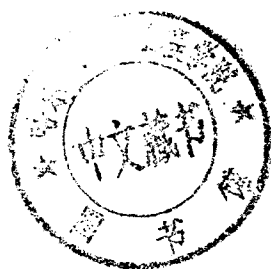
436391

TB301
S17-2
(2)

材料力学教程

(第2版)

单辉祖 主编



00436391

国防工业出版社

· 北京 ·



图书在版编目(CIP)数据

材料力学教程/单辉祖主编. —2版. —北京:国防工业出版社, 1997(1999.6重印)

ISBN 7-118-01679-9

I. 材… II. 单… III. 材料力学-教材 IV. TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 22465 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 13 $\frac{3}{4}$ 362 千字

1997 年 6 月第 2 版 1999 年 6 月北京第 18 次印刷

印数: 492101—497100 册 定价: 14.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

第 2 版前言

本书是单辉祖主编《材料力学教程》的第 2 版。是根据高等工业院校《材料力学教学基本要求》修订而成。可作为一般高等工业院校中、少学时类材料力学课程的教材,也可作为多学时类材料力学课程基本部分的教材,还可供有关工程技术人员参考。

本书包括绪论、轴向拉伸与压缩、扭转、梁的内力、梁的应力、梁的变形、应力状态分析与强度理论、组合变形、压杆稳定问题、疲劳强度问题、能量法及材料力学性能的进一步研究等十二章。其中带有 * 号的章节与用小字排印的部分为选学内容。为便于学习,每章后均附有复习题和习题,并在附录中给出了答案。

本书第 1 版于 1982 年 2 月出版,自出版以来,先后印刷 16 次,发行近 50 万册,受到广大教师与学生的普遍欢迎,并于 1986 年获国家教委首届优秀教材一等奖。第 2 版除仍保持原教材的特点外,在论述、表达、内容更新与应用等方面,又有明显提高。进一步加强了基本理论与基本概念의论述,增加了复合材料的拉伸力学性能、计算梁位移的麦考利法、温度与应变速率对材料力学性能的影响等内容,同时,为便于教学,将原书的第十一章线弹性断裂力学简介,改成为含裂纹体的断裂与材料的断裂韧度,即由一章缩减为一节。此外,为了加深学生对基本概念与基本公式的认识与理解,提高分析与解决问题的能力,在第 2 版中还增加了大量的例题与习题。

本书仍由单辉祖任主编,方汝溶、杨乃文、吴鹤华与郭明洁等参加了部分修订工作。

本书虽经修订,但疏漏与欠妥之处仍感难免,希望使用本书的教师和读者批评指正。

编 者

第 1 版前言

本书是根据高等工业院校《材料力学教学大纲》(90 学时类)编写的。可以作为中央电视大学材料力学课程的教材,也可作为一般高等院校中、少学时类材料力学课程的教材。

本书包括绪论、轴向拉伸与压缩、扭转、梁的内力、梁的应力、梁的变形、应力状态理论与强度理论、组合变形杆件的强度计算、压杆稳定问题、疲劳强度问题、线弹性断裂力学简介及能量法等十二章。其中第十二章和其它章节中带有 * 号的部分和用小字排印的部分为选学内容。为便于学习,每章后均附有复习题和习题,全部习题均给出答案。

参加本书编写和讨论的有阮孟光、高镇同、施振东、潘孝禄、张行、吴鹤华和单辉祖。本书由单辉祖主编,阮孟光、施振东审阅。本书习题的答案由韩耀新、崔德瑜、顾志芬和罗又华完成,李维伯审核。在编写过程中,还得到北京航空学院材料力学教研室很多同志的支持和帮助,谨此致谢。

由于教学急需,编写时间短促,在本书的编写中,参考了北航等三院校合编的《材料力学》* 的部分内容。限于编者水平,书中可能存在不少缺点和欠妥之处,希望广大教师和读者批评指正。

编 者

* 该书由北京航空学院、西北工业大学、南京航空学院合编,单辉祖主编,国防工业出版社出版。

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1-1 材料力学的任务	(1)
§ 1-2 材料力学的基本假设	(3)
§ 1-3 杆件变形的基本形式	(4)
复习题	(6)
第二章 轴向拉伸与压缩	(7)
§ 2-1 引言	(7)
§ 2-2 内力概念与拉(压)杆的内力	(8)
§ 2-3 应力概念与拉(压)杆横截面上的应力	(12)
§ 2-4 拉(压)杆斜截面上的应力	(16)
§ 2-5 材料在拉伸与压缩时的力学性能	(19)
§ 2-6 许用应力与强度条件	(28)
§ 2-7 虎克定律与拉(压)杆的变形	(33)
§ 2-8 简单拉、压静不定问题	(40)
§ 2-9 连接部分的强度计算	(47)
复习题	(55)
习题	(57)
第三章 扭转	(72)
§ 3-1 引言	(72)
§ 3-2 扭力矩与扭矩	(73)
§ 3-3 剪应力互等定理与剪切虎克定律	(76)
§ 3-4 圆轴扭转横截面上的应力	(80)
§ 3-5 极惯性矩与抗扭截面模量	(84)
§ 3-6 圆轴扭转斜截面上的应力	(87)

§ 3-7 圆轴扭转破坏与强度条件	(89)
§ 3-8 圆轴扭转变形与刚度条件	(93)
§ 3-9 简单静不定轴	(97)
* § 3-10 矩形截面轴的扭转应力与变形	(99)
* § 3-11 密圈螺旋弹簧的应力与变形	(103)
复习题	(107)
习题	(108)
第四章 剪力与弯矩	(117)
§ 4-1 引言	(117)
§ 4-2 梁的载荷与支反力	(118)
§ 4-3 剪力与弯矩	(121)
§ 4-4 剪力、弯矩方程与剪力、弯矩图	(124)
§ 4-5 剪力、弯矩与载荷集度间的微分关系	(131)
* § 4-6 非均布载荷梁的剪力与弯矩	(136)
复习题	(139)
习题	(140)
第五章 梁的应力	(145)
§ 5-1 引言	(145)
§ 5-2 对称弯曲正应力	(145)
§ 5-3 惯性矩与移轴公式	(151)
§ 5-4 对称弯曲剪应力	(157)
§ 5-5 梁的强度条件	(165)
§ 5-6 提高梁强度的主要措施	(171)
* § 5-7 非对称弯曲正应力	(176)
复习题	(182)
习题	(183)
第六章 梁的变形	(195)
§ 6-1 引言	(195)
§ 6-2 挠曲轴近似微分方程	(196)
§ 6-3 计算梁位移的积分法	(198)

§ 6-4 计算梁位移的麦考利法	(205)
§ 6-5 计算梁位移的叠加法	(212)
§ 6-6 简单静不定梁	(216)
§ 6-7 提高弯曲刚度的主要措施	(223)
复 习 题	(224)
习 题	(225)
第七章 应力状态分析与强度理论	(235)
§ 7-1 引言	(235)
§ 7-2 平面应力状态应力分析	(237)
§ 7-3 应力圆	(239)
§ 7-4 极值应力与主应力	(243)
§ 7-5 三向应力状态的最大应力	(246)
§ 7-6 广义虎克定律	(249)
§ 7-7 关于断裂的强度理论	(251)
§ 7-8 关于屈服的强度理论	(255)
§ 7-9 薄壁圆筒的强度计算	(260)
复 习 题	(263)
习 题	(264)
第八章 组合变形	(271)
§ 8-1 引言	(271)
§ 8-2 弯拉(压)组合强度计算	(272)
§ 8-3 偏心压缩(拉伸)强度计算	(275)
§ 8-4 弯扭组合与弯拉(压)扭组合的强度计算	(278)
复 习 题	(285)
习 题	(285)
第九章 压杆稳定问题	(294)
§ 9-1 稳定性概念	(294)
§ 9-2 临界载荷的欧拉公式	(296)
§ 9-3 中柔度杆的临界应力	(300)
§ 9-4 压杆的稳定条件	(306)

复习题	(311)
习题	(312)
第十章 疲劳强度问题	(320)
§ 10-1 引言	(320)
§ 10-2 交变应力及其类型	(321)
§ 10-3 S-N 曲线和材料的疲劳极限	(323)
§ 10-4 影响构件疲劳极限的主要因素	(325)
* § 10-5 构件的疲劳强度计算	(332)
复习题	(340)
习题	(340)
*第十一章 能量法	(344)
§ 11-1 引言	(344)
§ 11-2 外力功与应变能计算	(344)
§ 11-3 单位载荷法	(351)
§ 11-4 静不定问题分析	(359)
§ 11-5 冲击载荷与冲击应力	(363)
复习题	(369)
习题	(369)
第十二章 材料力学性能的进一步研究	(378)
§ 12-1 引言	(378)
§ 12-2 温度对材料力学性能的影响	(378)
§ 12-3 应变速率对材料力学性能的影响	(379)
§ 12-4 含裂纹体的断裂与材料的断裂韧性	(381)
复习题	(385)
附录	(386)
附录一 截面的几何性质	(386)
附录二 梁的挠度与转角	(389)
附录三 型钢规格表	(392)
附录四 中英名词对照	(408)
附录五 习题答案	(416)

第一章 绪 论

§ 1-1 材料力学的任务

在工程实际中,各种机械与结构得到广泛应用。组成机械与结构的零、构件,统称为**构件**。当机械与结构工作时,构件受到外力作用,同时,其尺寸与形状亦发生变化。构件尺寸与形状的变化称为**变形**。

实践表明:作用力愈大,构件的变形亦愈大;而当作用力过大时,构件则将发生破坏。显然,构件工作时发生意外破坏是不容许的。对于许多构件,工作时产生过大变形一般也是不容许的。例如,如果齿轮轴的变形过大(图 1-1),势必影响齿间的正常啮合。

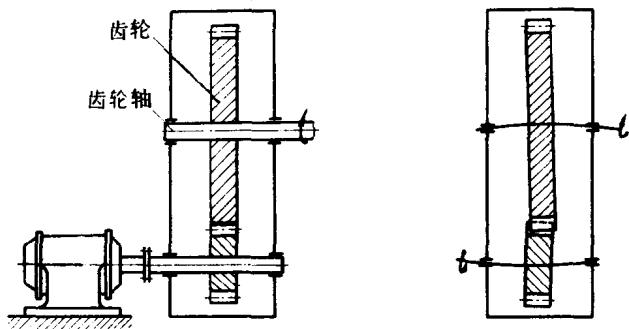


图 1-1

实践中还发现,有些构件在某种外力作用下,将发生不能保持其原有平衡形式的现象。例如轴向受压的细长杆件(图 1-2),当所加压力达到或超过一定数值时,杆件将从直线形状突然变弯,而且往往是显著的弯曲变形。在一定外力作用下,构件发生不能保持其



图 1-2

原有平衡形式的现象,称为**失稳**。显然,构件工作时产生失稳一般也是不容许的。例如图 1-3 所示桁架,在外力作用下杆 2 轴向受压,如果该杆失稳,桁架将不能正常工作。

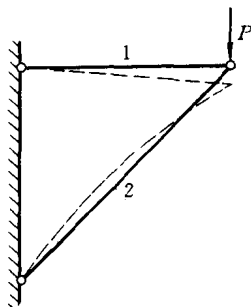


图 1-3

针对上述情况,对构件设计提出如下要求:

1. 构件应具备足够的**强度**(即抵抗破坏的能力),以保证在规定的使用条件下不发生破坏;
2. 构件应具备足够的**刚度**(即抵抗变形的能力),以保证在规定的使用条件下不产生过分的变形;
3. 构件应具备足够的**稳定性**(即保持原有平衡形式的能力),以保证在规定的使用条件下不产生失稳现象。

以上三项是保证构件安全工作的基本要求。一般而言,为构件选用较好的材料与较大的截面尺寸,上述要求通常是可以满足的,但是,由此又可能造成材料浪费与结构笨重。可见,安全与经济以及安全与重量之间存在矛盾。所以,如何合理地选用材料,如何恰当地确定构件的截面形状与尺寸,便成为构件设计中的一个十分重要的问题。

材料力学的主要任务是:研究构件在外力作用下的变形、受力

与破坏的规律,为合理设计构件提供有关强度、刚度与稳定性分析的基本理论与方法。

§ 1-2 材料力学的基本假设

制造构件所用的材料是多种多样的,其具体组成和微观结构则更是非常复杂。为了便于进行强度、刚度和稳定性分析,现根据材料的主要性质作如下假设。

1. 连续性假设

在材料力学中,通常假设构件的整个体积内均毫无空隙地充满了物质。实际上,在一般工程材料的内部均存在不同程度的空隙(包括材料的缺陷和夹杂等),然而,当空隙的大小和构件尺寸相比极为微小时,通常即可将它们忽略不计,而认为材料是密实的。这样,构件中的一些物理量(例如各点的位移)即可用坐标的连续函数表示,并可采用无限小的分析方法。至于空隙或缺陷的影响不能忽略的情况,将在第十二章中专门讨论。

2. 均匀性假设

材料在外力作用下所表现的性能,称为**力学性能**或**机械性能**。对于实际材料,其基本组成部分的力学性能往往存在不同程度的差异。例如,金属是由微小的晶粒所组成,各个晶粒的力学性能不完全相同,晶粒交界处的晶界物质与晶粒本身的力学性能也不相同。但是,由于构件的尺寸远大于其组成部分的尺寸(例如一立方毫米的钢材中包含了数万甚至数十万个晶粒),因此,按照统计学的观点,仍可将材料看成是均匀的,即认为材料的性能与其在构件中的位置无关。按此假设,从构件内部任何部位所切取的微小单元体(简称**微体**),都具有与构件完全相同的性质。同样,通过试件所测得的材料性能,也可用于构件内的任何部位。

3. 各向同性假设

沿各个方向均具有相同力学性能的材料,称为**各向同性材料**。例如玻璃即为典型的各向同性材料。至于工程中常用的金属,就其

单个晶粒来说,属于各向异性体,但由于构件中所含晶粒极多,而且它们在构件中的排列又极不规则,所以,按统计学的观点,仍可将金属看成是各向同性材料。至于由增强纤维(碳纤维、玻璃纤维等)与基体材料(环氧树脂、陶瓷等)制成的复合材料(图 1-4),则属于各向异性材料,应按各向异性问题处理。

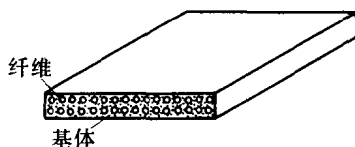


图 1-4

综上所述,在材料力学中,将实际材料一般均看作是连续、均匀和各向同性的可变形固体。实践表明,在此基础上所建立的理论及有关计算结果,是符合工程要求的。

§ 1-3 杆件变形的的基本形式

横向尺寸远小于纵向尺寸的构件,称为**杆件**(图 1-5)。杆件是工程中最常见、最基本的构件,也是材料力学的主要研究对象。

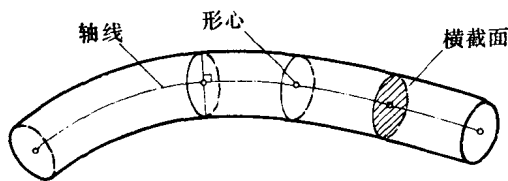


图 1-5

杆件的形状和尺寸由其轴线和横截面确定(图 1-5),轴线通过横截面的形心,横截面与轴线相正交。根据轴线与横截面的特征,杆件又可分为**等截面杆**与**变截面杆**(图 1-6, *a, b*)、**直杆**与**曲杆**(图 1-6, *c*)。等截面直杆通常简称为**等直杆**。等直杆的计算原理,一般也可近似地用于曲率较小的曲杆和截面无急剧变化的变截面

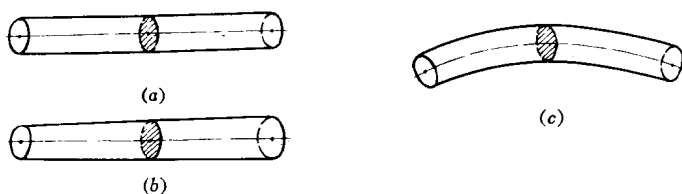


图 1-6

杆。

在不同形式的外力作用下,杆件的变形形式也相应不同。杆件变形的基本形式有三种:**轴向拉伸或压缩**(图 1-7, *a, b*)、**扭转**(图 1-7, *c*) 和 **弯曲**(图 1-7, *d*)。杆件的变形或属于基本变形形式,或属于几种基本变形形式的组合形式。例如图 1-8 所示杆,其变形形式即属于拉、扭组合变形。

本书将首先研究变形的基本形式,然后研究变形的组合形式。

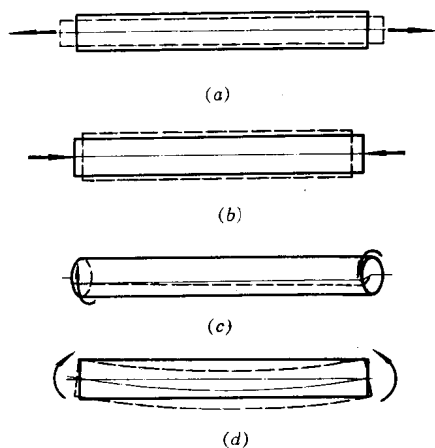


图 1-7

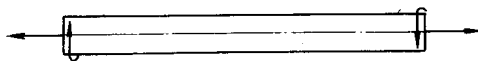


图 1-8

复 习 题

1. 何谓构件?何谓变形?
2. 何谓构件的强度、刚度与稳定性?
3. 构件设计的基本要求是什么?存在哪些矛盾?
4. 材料力学主要研究什么问题?
5. 材料力学的基本假设是什么?各有何依据?均匀性假设与各向同性假设的区别是什么?
6. 杆件的轴线与横截面之间有何关系?
7. 杆件的基本变形有几种?试各举一例。

第二章 轴向拉伸与压缩

§ 2-1 引言

在机械与工程结构中,许多构件受到拉伸或压缩的作用。例如图 2-1(a) 所示操纵杆,图 2-1(b) 所示连杆,即分别为杆件受拉伸与压缩的实例。

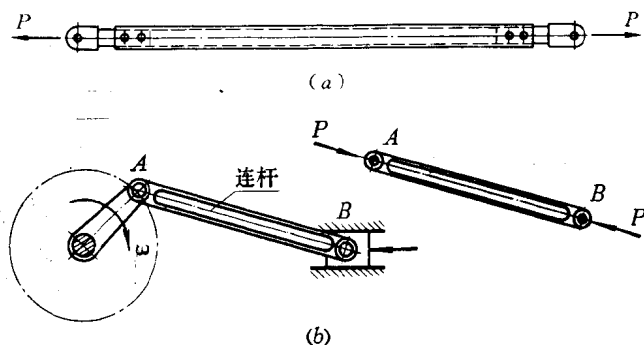


图 2-1

上述构件的共同特点是:杆件是直杆;外力或其合力的作用线沿杆件轴线。在这种情况下,杆件的主要变形为轴向伸长或缩短(图 2-2)。以轴向伸长或缩短为主要特征的变形形式,称为**轴向拉伸**或**轴向压缩**。以轴向伸长或缩短为主要变形的杆件,称为**拉(压)杆**。

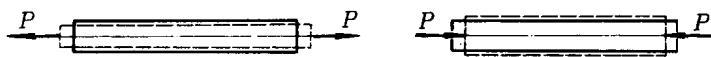


图 2-2

本章研究拉(压)杆的强度和刚度问题,并结合其受力与变形分析,介绍材料力学的基本概念和分析方法。

§ 2-2 内力概念与拉(压)杆的内力

一、内力与截面法

在外力作用下,构件发生变形,同时,构件内部相连各部分之间产生相互作用力。在外力作用下,构件内部相连两部分之间的相互作用力称为**内力**。构件的强度、刚度及稳定性,与内力的大小及其在构件内的分布方式密切相关。因此,内力分析是解决构件强度、刚度与稳定性问题的基础。

由理论力学可知,为了分析两物体之间的相互作用力,必须将该二物体分离。同样,要分析构件的内力,例如要分析图 2-3(a) 所示构件截面 $m-m$ 的内力,也必须假想地沿该截面将构件切开,于是,得切开截面上的内力如图 2-3(b) 所示。由连续性假设可知,内力是作用在切开截面上的连续分布力。

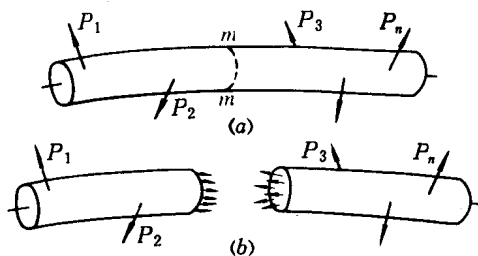


图 2-3

对于假想切开后的每一部分,在外力及切开面内力的作用下处于平衡状态,因此,根据任一部分的平衡条件,即可由已知外力确定切开面上的内力,或更确切地说,确定内力的合力或合力偶矩。内力的合力与合力偶亦简称为**内力**。

将构件假想地切开以显示内力,并由平衡条件确定其合力与