

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

材料力学

CAILIAO LIXUE

刘烈全 梁枢平 编

华中理工大学出版社



TB 301
107

高等学校教材

材料力学

刘烈全、梁枢平 编

华中理工大学出版社

(鄂)新登字第 10 号

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/刘烈全,梁枢平编

武汉:华中理工大学出版社,1996年7月

ISBN 7-5609-1312-1

I. 材…

II. ①刘… ②梁…

III. 材料力学-高等学校-教材

N. TB301

材料力学

刘烈全 梁枢平 编

责任编辑:郑兆昭

*

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山 邮编:430074)

新华书店北京发行所经销

华中理工大学出版社照排室照排

安徽新华印刷厂印刷

开本:850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张:16.875 字数:420 000

1996年7月第1版 1996年7月第1次印刷

印数:1-3000

ISBN 7-5609-1312-1/TB·38

定价:13.80元

(本书若有印装质量问题,请向承印厂调换)

内 容 提 要

本书是根据国家教委审订的高等工业学校“材料力学课程教学基本要求”(100~110学时),在华中理工大学材料力学教研室历年所用自编讲义的基础上修订而成。

全书内容分为十七章,计有:绪论、轴向拉伸和压缩、剪切、扭转、梁的内力、平面图形的几何性质、梁的应力、梁的变形、应力状态分析、强度理论、组合变形、能量法、静不定结构、交变应力与构件的疲劳强度、动载荷问题、压杆的稳定性和厚壁圆筒与旋转圆盘。各章末都附有习题,书末附有答案。

为了适应科技发展与教学改革的需要,书中适当编入了较“基本要求”稍深、稍广的内容。凡超出基本要求的部分,都用*号注出,供任课教师酌情取舍。

本书适用于高等工科院校机械、土建、水利、航空以及工程力学等专业,也可供其他专业及有关工程技术人员参考。

前 言

我教研室在1987年1月编写了一本《材料力学讲义》(主编章显庄,参加编写的有崔永涛、陈国章、刘肖莹、邱崇光、梁枢平、方巧媛、万西玲、张筱玲)。此讲义在教学中使用了5年,于1992年1月由崔永涛、梁枢平、刘烈全进行了修订。至1994年9月,又由梁枢平、刘烈全作了第二次修订。本书即在这本校内使用多年并多次修改的讲义的基础上,以国家教委审订的高等工业学校“材料力学课程教学基本要求”(100~110学时)为指导,考虑到适应科技发展与教学改革的需要,适当拓宽与加深了部分内容后编写而成,编写中也借鉴了其他院校有关教材的经验。

本书编写分工是,梁枢平编第一至第八章;刘烈全编第九至十七章。

书中凡超出基本要求的内容,都在目录和正文相应节次前面冠以*号,对个别习题也作如此标记。这样,便于任课教师根据实际教学需要加以取舍,也可供学有余力的学生选择阅读。

本书适用于高等工业学校机械、土建、水利、航空以及工程力学等专业,也可供其它专业及有关工程技术人员参考。

编者在此谨向教研室原讲义各位编者、向我们借鉴过的教材的作者,表示诚挚的谢意。

由于编者水平所限,书中难免还存在缺点和错误,切望批评指正。

编 者

1994年10月于

华中理工大学

主要符号表

符号	意 义	常用单位
P	集中力	N, kN
p	总应力, 压强	Pa, kPa, MPa
q	线分布力集度	N/m, kN/m
m	线分布力偶矩	N · m/m, kN · m/m
M	弯矩	N · m, kN · m
M_0	外力偶矩	N · m, kN · m
M_T	扭矩	N · m, kN · m
R	支座反力	N, kN
N	①轴力	N, kN
	②功率	W(J/s), kW
Q	①剪力; ②物体重量	N, kN
A	截面面积	mm ² , m ²
S	①静矩	mm ³ , m ³
	②周长	mm, m
I	惯性矩	mm ⁴ , m ⁴
I_P	极惯性矩	mm ⁴ , m ⁴
W	①抗弯截面模量	mm ³ , m ³
	②外力功	N · m
W_T	抗扭截面模量	mm ³ , m ³
i	惯性半径	mm, m
σ	正应力	Pa(N/m ²), kPa, MPa

续表

符号	意 义	常用单位
τ	剪应力	Pa, kPa, MPa
σ_B	挤压应力	Pa, kPa, MPa
$[\sigma]$	许用正应力	Pa, kPa, MPa
$[\tau]$	许用剪应力	Pa, kPa, MPa
$[\sigma_t]$	许用拉伸正应力	Pa, kPa, MPa
$[\sigma_c]$	许用压缩正应力	Pa, kPa, MPa
$[\sigma_B]$	许用挤压应力	Pa, kPa, MPa
σ_s	屈服极限	MPa
σ_b	强度极限	MPa
σ_r	持久极限	MPa
σ_{eq}	相当应力	Pa, kPa, MPa
ϵ	线应变(正应变)	无量纲
γ	剪应变(角应变)	无量纲
φ	扭转角	无量纲(rad)
θ	单位长度杆扭转角	rad/m, °/m
$[\theta]$	单位长度许用扭转角	rad/m, °/m
y	梁的挠度	mm, m
$[y]$	梁的许可挠度	mm
E	弹性模量	GPa, MPa
G	剪切弹性模量	GPa, MPa
μ	泊松比	无量纲
n	①安全系数	无量纲
	②轴的每分钟转数	r/min

续表

符号	意 义	常用单位
σ_0, σ_s	材料的极限应力	MPa, kPa
$[P]$	许可载荷	N, kN
P_{cr}	压杆临界载荷	N, kN
n_s	稳定性安全系数	无量纲
U	变形能	N · m
t	①温度	℃
	②时间	s
ω	角速度	rad/s

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1-1 材料力学的任务	(1)
§ 1-2 变形固体的概念及材料力学的基本假设	(3)
§ 1-3 外力、内力、截面法与应力	(5)
§ 1-4 变形、位移与应变	(8)
§ 1-5 材料力学的基本研究方法	(10)
第二章 轴向拉伸和压缩	(12)
§ 2-1 直杆的轴向拉伸和压缩概念及内力分析	(12)
§ 2-2 轴向加载直杆的应力	(15)
§ 2-3 拉伸和压缩时材料的力学性质	(18)
§ 2-4 轴向加载直杆的强度计算	(25)
§ 2-5 泊松效应 胡克定律 轴向加载直杆的 变形计算	(30)
§ 2-6 拉压静不定问题	(35)
§ 2-7 局部应力与应力集中	(48)
* § 2-8 轴向拉压的弹-塑性计算	(51)
习题	(56)
第三章 剪切	(70)
§ 3-1 剪切概念与实例	(70)
§ 3-2 工程联接件的实用计算	(71)
§ 3-3 纯剪切 剪应力互等定理 剪切胡克定律	(75)
习题	(77)
第四章 扭转	(81)
§ 4-1 扭转的概念和实例	(81)

§ 4-2	外力偶矩的计算 扭矩和扭矩图	(82)
§ 4-3	圆轴扭转时的应力和变形	(86)
§ 4-4	圆轴扭转时的强度条件和刚度条件	(92)
§ 4-5	圆轴扭转破坏试验及其分析	(96)
§ 4-6	矩形截面杆扭转简介	(98)
* § 4-7	薄壁截面杆的自由扭转	(101)
§ 4-8	扭转杆件的合理截面分析	(106)
* § 4-9	理想弹-塑性圆截面杆的扭转计算	(109)
习题		(113)
第五章	梁的内力	(122)
§ 5-1	梁及其计算简图	(122)
§ 5-2	梁的内力	(125)
§ 5-3	分布载荷、剪力和弯矩之间的微分关系	(131)
§ 5-4	利用 q 、 Q 、 M 间微分关系画剪力、弯矩图 的简便方法	(133)
§ 5-5	平面曲杆的内力	(137)
§ 5-6	平面刚架的内力	(139)
习题		(141)
第六章	平面图形的几何性质	(149)
§ 6-1	静面矩、惯性矩与惯性积	(149)
§ 6-2	平行移轴公式	(153)
§ 6-3	转轴公式 主惯性轴与主惯性矩	(156)
习题		(160)
第七章	梁的应力及强度计算	(164)
§ 7-1	平面弯曲梁的正应力公式	(164)
§ 7-2	梁中的剪应力	(174)
* § 7-3	关于纯弯曲正应力公式的注记	(185)
§ 7-4	开口薄壁截面的弯曲中心	(188)
§ 7-5	梁的强度计算	(192)

§ 7-6 梁的合理设计	(196)
* § 7-7 平面曲杆的应力	(203)
* § 7-8 梁的弹-塑性弯曲	(209)
习题	(215)
第八章 梁的变形	(226)
§ 8-1 梁的挠度和转角	(226)
§ 8-2 梁的挠曲线微分方程	(226)
§ 8-3 积分法求梁的变形	(230)
§ 8-4 叠加法求梁的变形	(234)
§ 8-5 梁的刚度计算	(241)
习题	(242)
第九章 应力状态分析	(248)
§ 9-1 应力状态概念与实例	(248)
§ 9-2 二向应力状态分析	(251)
* § 9-3 三向应力状态分析	(260)
* § 9-4 三向应力圆	(263)
§ 9-5 广义胡克定律与体积应变	(267)
§ 9-6 体积改变比能与形状改变比能	(270)
* § 9-7 平面应变分析	(272)
* § 9-8 复合材料及各向异性应力应变关系简介 ..	(275)
习题	(280)
第十章 强度理论	(289)
§ 10-1 概述	(289)
§ 10-2 关于脆性断裂的强度理论	(290)
§ 10-3 关于屈服的强度理论	(292)
§ 10-4 莫尔强度理论	(295)
* § 10-5 关于强度理论几个问题的讨论	(298)
* § 10-6 材料有裂纹时的断裂准则概念	(308)
习题	(310)

§ 14-3	构件的持久极限及影响因素	(411)
§ 14-4	非对称循环交变应力下材料的持久极限	(414)
§ 14-5	非对称循环交变应力下构件的安全 系数校核	(417)
第十五章	动载荷问题	(419)
§ 15-1	等线加速度和等角加速度运动构件 的动应力计算	(419)
§ 15-2	等角速度旋转构件中的动应力	(421)
§ 15-3	构件受冲击时的应力与变形	(423)
习题		(428)
第十六章	压杆的稳定性	(432)
§ 16-1	稳定性的概念	(432)
§ 16-2	细长压杆的临界力	(434)
* § 16-3	用能量法求临界载荷近似值	(439)
§ 16-4	欧拉公式的适用范围与临界应力总图	(442)
§ 16-5	压杆稳定性校核	(445)
* § 16-6	纵横弯曲概念	(448)
习题		(451)
第十七章	厚壁圆筒与旋转圆盘	(455)
§ 17-1	概述	(455)
§ 17-2	厚壁圆筒的应力和位移	(457)
§ 17-3	承受内压的厚壁圆筒	(463)
§ 17-4	组合厚壁圆筒	(464)
§ 17-5	等厚度旋转圆盘	(469)
§ 17-6	理想弹塑性厚壁圆筒的应力分析	(473)
习题		(476)
习题答案		(478)
附录	型钢表	(496)

第一章 绪 论

§ 1-1 材料力学的任务

一、材料力学的研究对象

工程实际中使用的各种机械及结构物都由许多构件组成。构件的形状是多种多样的,但按几何特征可分为杆、板、壳以及其它复杂的形状。轴、柱、梁等一类构件,其长度远大于横向尺寸,统称为杆(图 1-1(a))。构件的厚度远小于其它两个方向的尺寸,其中面(平分其厚度的面)是平面的叫板(图 1-1(b)),其中面是曲面的则叫壳(图 1-1(c))。材料力学的研究对象主要是杆类构件。

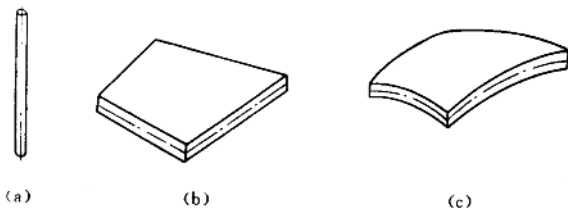


图 1-1

二、强度、刚度与稳定性概念

每一个工程构件都在机械或结构中起一定作用,具备一定的功能,在工作时受到各种载荷的作用。这就要求各个构件具有足够

的承受载荷的能力。构件的承载能力主要包括以下 3 个方面：

1. 强度

所谓强度，就是构件抵抗破坏的能力。构件承载时强度不够将会断裂，也不能有明显的不可恢复的残余变形。例如发动机气缸破裂、起重机钢缆绳断裂都要发生事故。

2. 刚度

构件抵抗变形的能力叫做刚度。构件承载时一般不允许有太大的变形。例如，机床的主轴和床身的刚度不够将影响其加工精度、导致构件的过分磨损、产生过大的噪声；房屋构件刚度不够会使居民失去安全感。

3. 稳定性

构件保持原有平衡状态的能力叫做稳定性。细长压杆承压时如失去原有的直线形态而变弯和薄壁构件承载时发生折皱都叫做失稳，或称屈曲。建筑物的立柱、桥梁结构内的受压杆如果失稳可能导致整个建筑物和桥梁倒塌的严重事故，所以这类构件设计要满足稳定性要求。

三、材料力学的任务

工程设计的基本要求可归结为两条：安全性和经济性。首先要要求构件满足强度、刚度和稳定性的要求，并有足够的强度储备。另一方面要求构件具有最佳的几何形状，材料消耗少，使整个设计达到精巧、重量轻，取得最好的经济效益。但安全性与经济性这两项要求往往是互相矛盾的。材料力学的任务，就是为科学地解决这一对矛盾，提供分析的理论基础和具体的计算方法。目前，生产力水平日新月异的进步，提出了层出不穷的新的实际问题，如要满足超高温、超低温、耐受超高压的要求，或要建立更大跨度的结构和更高层的建筑等等。但是，随着新的计算理论、新的计算手段（高性能的电子计算机）、新的工程材料、新的最优化设计方法的发展，一定可以在更高水平上解决好安全性和经济性这一对矛盾。学习材料力学也是为

今后掌握更先进的设计计算方法奠定必需的知识基础。

§ 1-2 变形固体的概念及材料力学的基本假设

一、变形固体的概念

在理论力学中对物体作出刚体假设。刚体模型认为,物体是有大小、形状和质量的,同时也是绝对刚性的,在载荷作用下不产生变形。这一模型反映了物体在平衡和运动问题中的主要属性,忽略了使问题复杂化的次要因素,能顺利地建立起实用的静力学和动力学理论。

但在研究构件的承载能力时,则必须考虑固体的几何形状在载荷作用下可以改变的属性,这就是变形固体的模型。在这一模型的基础上,才能建立材料力学的理论。

二、变形固体的基本假设

变形固体是材料力学的研究对象。为了便于进行理论分析,有必要忽略其次要性质,根据其主要属性作出合理的假设,将真实材料抽象为一种理想化的模型,作为理论分析的基础。变形固体的基本假设(或称材料力学的基本假设)有三条:

1. 材料的均匀连续性假设

现代物理学指出,从微观上说,物质是由许多不连续的粒子组成,其内部实际上存在很多空隙。从细观上说,物质内部还存在气泡、砂眼、微裂纹。如常用的工程材料——金属,其基本组成部分为晶粒,而不同晶粒的物理性质也有不同程度的差异。因此,不论从微观还是从细观上来观察,材料内部都并非均匀连续的。但是,如果从这种实际上的、各处不均匀连续的材料来研究材料力学,将使问题变得十分困难和不必要的复杂。由于工程构件的宏观尺寸比其中存在的微小空隙大得多,而且材料内部各组成部分的排列又

是不规则的,因而材料的宏观力学性质是微观性质的统计平均量,材料内部的空隙和非均匀性的影响可以忽略。因此,材料力学以宏观构件为研究对象,采用了材料的均匀连续性假设。这一假设认为,材料内任何一个微小空间内都均匀地充满了组成材料的物质,因而各处的物理性质都是相同的。根据这一假设所推导出的理论与实验结果符合得很好。

材料的均匀连续性假设排除了材料性质的次要方面,突出了决定问题的主要因素,使问题得到了简化;特别方便的是,我们在研究中可以广泛使用连续函数,并能运用微积分学的无穷小分析方法,从而使材料力学理论分析容易理解,使用方便。

2. 材料的各向同性假设

这一假设认为,材料在各方向上的力学性质相同。金属材料属于晶体材料,从细观上说,其内部每一个晶粒的力学性质有方向性,称为各向异性。但是对于一般金属材料来说,由于其内部晶粒是混乱排列的,按统计学观点,其宏观力学性质是各向同性的。至于均匀的非晶体材料,如塑料、玻璃、混凝土等,一般都是各向同性的。

有一些材料,如轧制钢材、木材等,并不是各向同性的。但根据材料的各向同性假设所得的结论,也可以近似地适用于这类具有方向性的材料。

3. 小变形条件

为满足工程结构的刚度要求,绝大多数构件都在微小的弹性变形下工作,其变形量与其本身尺寸相比是很小的。所以,材料力学的研究范围被限制在小变形情况。此研究范围的限制,通常称为小变形条件。

在图 1-2 中,简支梁 AB 在力 P 作用下的变形状态用虚线画出。在变形状态下,用静力平衡方程计算支座反力 R_B ,可得

$$R_B = \frac{Pa'}{l'}$$

式中的 a' 和 l' 都与 P 有关,具体计算是非常复杂的。在小变形条