



高等学校工程专科教材

材料力学

霍 焱 习宝林 编

霍 焱 主编

高等教育出版社

高等学校工程专科教材

材 料 力 学

霍 焱 习宝林 编

霍 焱 主编

高等教育出版社

(京) 112 号

内 容 简 介

本书是根据 1990 年 8 月国家教育委员会审订的高等学校工程专科机械类专业(72~81 学时)材料力学课程教学基本要求编写的。

本书内容包括:绪论、轴向拉伸和压缩、剪切的实用计算、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态和强度理论、组合变形、能量法、动载荷、交变应力、压杆稳定等十三章。每章之后附有思考题和习题。习题的答案附在书末。

本书采用现行国家标准、规范和国际单位制。

本书用作高等工程专科学校机械类各专业多学时材料力学课程教材,删减部分内容后也可作高等工程专科学校有关专业教学用书,以及可供工程技术人员参考。

高等学校工程专科教材

材料力学

霍 焱 习宝林 编

霍 焱 主编

*

高等教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

中国科学院印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 11.75 字数 283 000

1994 年 5 月第 1 版 1994 年 5 月第 1 次印刷

印数 00 001--12 125

ISBN 7-04-004685-7/TU·57

定价 5.50 元

前 言

本书是根据1990年8月国家教育委员会审订的《材料力学课程教学基本要求》(参考学时范围72~81学时)编写的。全书力图贯彻“以应用为目的,以必须够用为度”和“掌握概念、强化应用”的编写原则。

本书共分十三章,着重讨论了杆件在静载荷作用下的强度和刚度的计算原理与方法,对动载荷、交变应力和压杆稳定也作了必要的讲述。书中列举了较多的典型例题,每章后附有类型较多的思考题与习题,某些习题可供分析讨论课用。书内全部插图的大小,凡未注明单位的均以毫米计。

参加本书编写和工作的有:长沙工业高等专科学校霍焱(第一章至第九章),哈尔滨机电专科学校习宝林(第十章至第十三章),全书由霍焱主编,上海纺织专科学校陈贵龄和上海科技专科学校刘兴东审阅。

1992年10月在扬州工学院由高等工程专科学校力学课程教材编审组和高等教育出版社主持召开审稿会议,扬州工学院程中易参加了审稿会,与会同志对本书初稿进行了认真的讨论,提出不少修改意见,对本书的定稿工作起了很大的作用,特此致谢。

由于编者水平有限,本书难免存在欠妥之处,恳请使用本书的广大教师和读者提出批评和指正。

编者

1993年6月

目 录

主要字符表	1
第一章 绪论	1
§ 1-1 材料力学的任务	1
§ 1-2 变形固体的概念及其基本假设	3
§ 1-3 外力及其分类	5
§ 1-4 杆件变形的基本形式	6
思考题	9
第二章 轴向拉伸和压缩	10
§ 2-1 轴向拉伸和压缩的概念及实例	10
§ 2-2 拉(压)杆的内力、轴力图	11
§ 2-3 拉(压)杆的应力	16
§ 2-4 拉(压)杆的变形	22
§ 2-5 材料在拉伸和压缩时的机械性质	26
§ 2-6 拉(压)杆的强度计算	37
§ 2-7 拉、压超静定问题	43
§ 2-8 应力集中的概念	50
思考题	53
习题	54
第三章 剪切的实用计算	61
§ 3-1 剪切的观念及实例	61
§ 3-2 剪切和挤压的实用计算	63
§ 3-3 计算实例	65
思考题	73
习题	73
第四章 扭转	78
§ 4-1 扭转的概念及实例	78

§ 4-2 圆轴扭转时的内力——扭矩、扭矩图	79
§ 4-3 圆轴扭转时的应力和强度条件	82
§ 4-4 圆轴扭转时的变形和刚度条件	91
§ 4-5 非圆截面杆的扭转简介	95
思考题	97
习题	99
第五章 弯曲内力	105
§ 5-1 平面弯曲的概念及实例	105
§ 5-2 梁的剪力和弯矩	107
§ 5-3 剪力图和弯矩图	111
§ 5-4 剪力、弯矩和载荷集度之间的关系	121
§ 5-5 平面刚架的内力图	126
思考题	128
习题	129
第六章 弯曲应力	135
§ 6-1 纯弯曲时梁横截面上的正应力	135
§ 6-2 惯性矩的计算	142
§ 6-3 横力弯曲时的正应力和强度条件	149
§ 6-4 弯曲时的剪应力简介	154
§ 6-5 提高梁抗弯强度的途径	162
思考题	169
习题	170
第七章 弯曲变形	178
§ 7-1 梁的挠度和转角	178
§ 7-2 梁的挠曲线近似微分方程	181
§ 7-3 用积分法求梁的变形	182
§ 7-4 用叠加法求梁的变形	193
§ 7-5 梁的刚度条件和提高梁刚度的途径	198
§ 7-6 用变形比较法解简单超静定梁	202
思考题	207
习题	208
第八章 应力状态和强度理论	214

§ 8-1 应力状态的基本概念	214
§ 8-2 二向应力状态分析	217
§ 8-3 三向应力状态简介	231
§ 8-4 广义胡克定律	232
§ 8-5 强度理论	237
思考题	244
习题	245
第九章 组合变形	251
§ 9-1 组合变形的概念和计算方法	251
§ 9-2 拉伸(压缩)与弯曲的组合	253
§ 9-3 弯曲与扭转的组合	259
思考题	269
习题	269
第十章 能量法	275
§ 10-1 概述	275
§ 10-2 杆件变形能的计算	275
§ 10-3 莫尔定理	281
§ 10-4 用莫尔定理解超静定问题	287
思考题	292
习题	292
第十一章 动载荷	295
§ 11-1 动载荷和动应力的概念	295
§ 11-2 动应力计算	295
§ 11-3 提高构件抗冲击能力的措施	302
思考题	303
习题	304
第十二章 交变应力	307
§ 12-1 交变应力与疲劳破坏的概念	307
§ 12-2 材料的持久极限及其测定	310
§ 12-3 构件的持久极限	312
§ 12-4 对称循环下构件的疲劳强度计算	316
§ 12-5 提高构件疲劳强度的措施	317

思考题	319
习题	319
第十三章 压杆稳定	321
§ 13-1 压杆稳定的概念	321
§ 13-2 细长杆的临界力	322
§ 13-3 压杆的临界应力	326
§ 13-4 压杆的稳定校核	330
§ 13-5 提高压杆稳定性的措施	334
思考题	335
习题	336
附录 型钢表	338
习题答案	356

第一章 绪 论

§ 1-1 材料力学的任务

工程中有各种各样的结构或机器,例如桥梁、房屋、机床、起重机等,不管其结构复杂程度如何,它们都是由一个个元件(或零件)组成的。组成结构的元件或机器的零件统称为构件。结构或机器工作时,构件将承受一定的载荷,为了保证结构和机器在载荷作用下能够正常的工作,显然必须保证组成它们的每一个构件都能正常工作。为此在设计构件时,必须选择适当的材料,确定构件的形状和尺寸,以承受和传递所受的载荷,保证每个构件都具有足够的承受载荷的能力(简称承载能力)。

构件的承载能力应满足下列三方面的要求。

1. 具有足够的强度

构件在使用期间不能发生破坏。例如化工容器在规定压力作用下不允许破裂;机轴在传递载荷时不能被扭断;起重机在起吊重物时,起重机的各个构件都不能发生断裂等。我们把构件抵抗破坏的能力称为构件的强度。为了保证构件不致破坏,构件必须具有足够的强度。

2. 具有足够的刚度

构件在外力作用下产生变形,工程上对构件变形的大小要控制在构件正常工作许可的范围内。例如车床的主轴工作时,即使具有足够的强度不发生破坏,但如果产生过大的变形,也势必影响工件的加工精度;再如厂房中桥式吊车梁在起吊载荷作用下,若变形过大就会影响吊车的平稳运行等。我们把构件在载荷作用下抵

抗变形的能力称为构件的刚度。因此，为了保证构件在载荷作用下所产生的变形不超过许可的限度，就必须要求构件具有足够的刚度。

3. 具有足够的稳定性

构件在规定使用条件下保持原有平衡形式的能力称为构件的

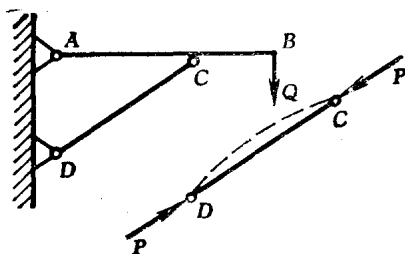


图 1-1

稳定性。例如图1-1所示的托架中的 CD 杆是一根细长的受压构件，常称为压杆或柱。当压力 P 较小时，它能始终保持直线形式的平衡状态。但当压力不断增大而达到某一数值时，压杆将从原来的

直线形式平衡状态突然变成弯曲形式的平衡状态(图中的虚线)，从而丧失其工作能力。这种突然改变其原有平衡形式的现象称为压杆丧失稳定性(简称失稳)。这既不是因构件强度不够，也不是因构件刚度不够，而是另外一种必须考虑的问题，即稳定性问题。因此，为了保证构件在外力作用下不发生失稳而丧失承载能力，则要求构件必须具有足够的稳定性。

由此可知，构件具有足够的强度、刚度和稳定性是保证其安全工作的基本要求。一般说来，只要增大构件的截面尺寸或选用优质的材料是能够满足安全要求的，但势必会增加材料消耗量和提高构件的成本，从而不符合经济的原则。因此，材料力学的任务就是在满足强度、刚度和稳定性的条件下，为设计既安全又经济的构件，提供必要的理论基础、计算方法和实验技术。

构件的强度、刚度和稳定性都与所用材料的机械性质密切相关，而材料的机械性质必须通过试验才能测得。同时，材料力学理论分析的结果和某些形状复杂的构件的设计，也需要依靠实验来

解决。因此，理论分析和试验研究是材料力学解决问题的两种方法。

§ 1-2 变形固体的概念及其基本假设

所有构件都是由固体材料制成的，例如钢铁、有色金属等，它在外力作用下会产生变形，故称为**可变形固体**或**变形固体**。在理论力学中，由于构件的变形对研究物体在外力作用下的平衡和运动分析影响很小，可不加考虑，因而把所有的物体都视为刚体是合理的。但是，材料力学研究的是构件的强度、刚度和稳定性问题，这些问题均与变形有关，构件的变形虽然很小，却是研究问题的主要因素，不能忽略。所以，在材料力学中认为一切固体材料都是可变形固体。试验证实，当外力不超过某个限度时，变形固体所产生的变形在卸除外力后能够完全消失，这种变形称为**弹性变形**。变形固体在外力卸除后又能立刻恢复其原有形状和尺寸大小，我们把变形固体的这种性质，称为材料的**弹性**。当外力超过某个限度时，卸除外力后，仅有部分变形能够消失，部分变形不能消失而残留下来，不能消失的变形称为**塑性变形**（永久变形或残余变形）。我们把变形固体具有塑性变形的性质称为材料的**塑性**。

可变形固体的组成是复杂的，性质也是多方面的，不同的学科对它进行研究，都各有所侧重。在材料力学中，为了便于理论分析和实验研究，在满足工程所需精度的前提下，将变形固体予以理想化，提出以下几个基本假设。

1. 连续性假设

这个假设认为固体的整个体积内充满着物质，且呈连续分布，其中没有任何空隙。根据现代物理学研究证实，变形固体的各微粒之间都存在着空隙，但是这种空隙与构件尺寸相比较是很小的，在宏观力学中可以忽略不计。因而，可以把固体视为连续体。根据

这个假设对变形固体进行理论分析和实验研究所得的结果与实际相符,这个假设为利用微分学来研究材料力学的问题提供了基础。

2. 均匀性和各向同性假设

此假设认为变形固体内各处的材料的机械性质(又称力学性质)不但完全相同,而且沿各个方向也是相同的。例如金属材料,它是由许多微小晶体所组成,晶体的尺寸和晶体交界间的空隙与构件尺寸相比均极其微小,各晶体的性质、排列也不尽相同,但宏观上从统计平均值的观点来看,材料在任意点处和任意方向上的机械性质就接近相同了。这个假设与试验结果相符。

根据均匀、各向同性假设,可以认为材料的机械性质不随位置 and 方向而变化。这样就可从物体中任何部位、任何方向截取微小的立方体进行分析研究,也可以将采用小试样进行试验测定的材料的机械性质,应用到与试样材料相同的大构件上。这是材料力学中常用的理论分析和实验研究的方法。

还必须指出,在工程实际中构件受力后所发生的变形一般是很小的,构件的变形量与构件原有尺寸相比极其微小。因而在根据构件平衡条件计算约束反力时,变形的影响可以忽略不计,仍采用变形前的几何尺寸来计算,这种问题称为小变形问题。例如图

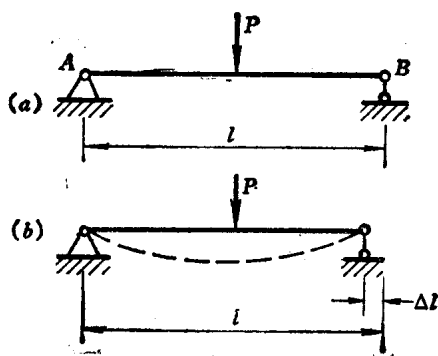


图 1-2

1-2a 所示的梁,变形后其跨度较原来减少 Δl (图 1-2b),但因 Δl 极小,计算时可以忽略不计,即认为 $\Delta l=0$,而载荷的作用位置及方向均不改变,仍采用梁 AB (图 1-2a)变形前的几何尺寸来计算支座 A 、 B 的约束反力。

在以后的材料力学研究中,将材料视为连续、均匀和各向同性的可变形固体,而且只研究构件在弹性范围内的小变形问题。

§ 1-3 外力及其分类

作用在构件上的载荷和约束反力统称为外力。外力可以按以下两种方式分类:

一、按外力分布规律可分为分布力和集中力

分布力是指连续作用在构件上的外力。如图 1-3 所示的工字钢梁的自重,可视为连续作用在梁轴线上的线分布力 q ,其大小用每单位长度上作用多少力来度量(N/m);封闭

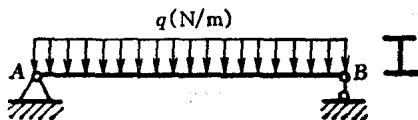


图 1-3

压力容器内壁受到液体或气体压力为面积分布力,其大小用每单位面积上受多少力来度量(N/m^2);体分布力是指连续分布作用在物体内部各质点上的力,如重力等。若分布力作用的面积或长度远远小于构件的尺寸,则可将分布力看作是作用在构件上一点处的集中力。例如车轮对桥面的压力,轴承对轴的约束反力等。重力有时可视为作用在物体重心的集中力。

二、按外力作用性质可分为静载荷和动载荷

静载荷是指在加载过程中,构件不产生加速度或产生的加速度极小,可以忽略不计。例如机床床身自重对基础的压力。若引起构件的加速度比较显著,则作用于构件上的载荷称为动载荷。动载荷又可分为脉冲载荷、交变载荷、冲击载荷和移动载荷。

脉冲载荷是指载荷的方向不变,而其大小随时间作周期性变化。例如齿轮传动时,作用在每个齿上的啮合力。

交变载荷是指载荷的大小和方向随时间作周期性变化。例如液压往复机构中的活塞杆，就是受到轴向拉伸和压缩交变载荷的作用。

冲击载荷是指物体的速度发生急剧变化所引起的载荷。例如锻造时，蒸汽锤的锤杆受到冲击力。

移动载荷是指作用在构件上的载荷作用点随时间而变化，例如行驶的列车车轮对钢轨的压力。

材料在静载荷和动载荷作用下，其力学性质有很大的差异，分析方法也不相同。但静载荷问题比较简单，且在静载荷作用下建立的计算理论又是解决动载荷的基础。所以，材料力学先从静载荷开始研究构件承载能力问题。

力的单位制有国际单位制和工程单位制等，本书采用国际单位制。力的单位用牛顿，即使1千克质量的物体产生1米/秒²的加速度时作用的力称为1牛顿。一般简称1牛(N)。由于其单位太小，工程中常用千牛(kN)。

§ 1-4 杆件变形的基本形式

工程实际中构件的形状和大小各不相同，构件按其几何特征，大致可以简化为杆、板、壳和块体等(图 1-4)。其中杆件是材料力学研究的主要对象。板、壳和块体是弹性力学的研究对象。所谓杆件是指长度尺寸(又称纵向尺寸)远大于横向尺寸的构件，如图 1-4a、b 所示。垂直于杆件轴线的截面称为横截面。横截面形心的连线称为轴线。轴线为直线的杆件称为直杆(图 1-4a)。轴线为曲线的杆件称为曲杆(图 1-4b)。各个横截面相同的直杆称为等直杆。横截面大小不等的杆称为变截面杆。材料力学着重讨论等截面直杆。

工程结构和机械中许多构件都可以简化为杆件。例如机械工

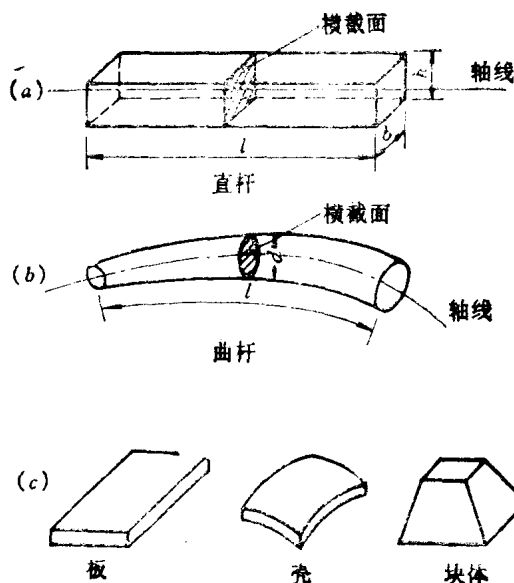


图 1-4

程中的传动轴、连杆、建筑工程中的柱子、吊车梁等。有些构件如齿轮的轮齿、曲轴的轴颈等,在分析计算时也可以近似地简化为杆件。杆件是工程中最常见、最基本的构件。

构件在外力作用下将产生变形,如果外力的作用方式不同,杆件将产生不同的变形形式,但通常可以归纳为以下四种基本变形。

1. 轴向拉伸或压缩

这种基本变形是外力沿杆轴线作用产生的,杆件发生沿轴向

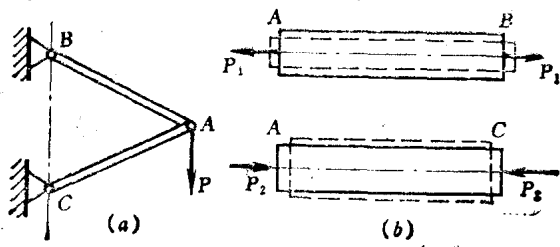


图 1-5

伸长或缩短的变形,如图 1-5a 所示支架中的 AB 和 AC 杆受力后的变形(图 1-5b)。

2. 剪切

这种基本变形是由一对相距很近, 等值反向横向外力作用所产生的, 两力之间的杆件各横截面发生相对错动。例如在剪床上剪断钢板(图 1-6a), 钢板受力后的变形如图 1-6b 所示。

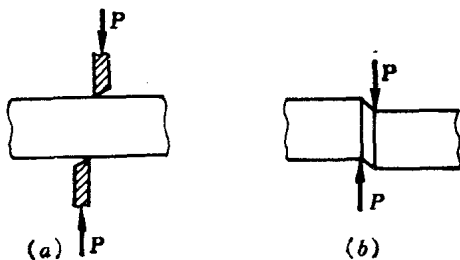


图 1-6

3. 扭转

这种基本变形是由一对大小相等, 转向相反, 作用面垂直于杆轴线的力偶作用所产生的, 杆的各横截面绕轴线发生相对转动, 如图 1-7a 所示汽车转向轴的受力后的变形(图 1-7b)。

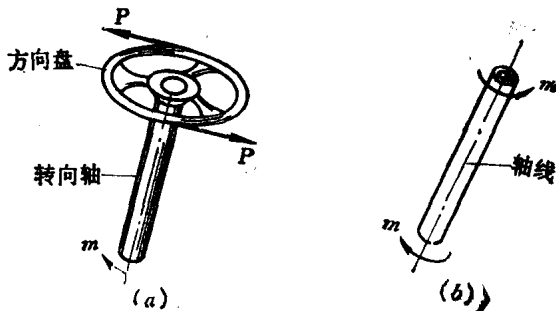


图 1-7

4. 弯曲

这种基本变形是在垂直于杆轴线的横向力作用下产生的, 杆

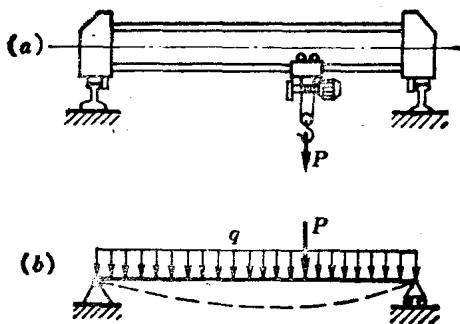


图 1-8

件轴线由直线变成曲线,如图 1-8a 所示的桥式吊车梁,梁受力后轴线的变形如图 1-8b 所示。

本书首先研究在静载荷作用下,杆件四种基本变形的强度和刚度问题,然后再研究组合变形、动载荷问题。最后讨论压杆的稳定性问题。

思 考 题

- 1-1 材料力学的任务是什么?
- 1-2 材料力学的研究对象是什么? 它与理论力学研究对象有什么不同,其原因何在?
- 1-3 试说明下列三个名词的含意: (1) 强度; (2) 刚度; (3) 稳定性。
- 1-4 材料力学对构件的材料作了那些基本假设? 它们的根据是什么?
- 1-5 什么是小变形问题? 有何应用?
- 1-6 弹性变形和塑性变形二者有何区别?
- 1-7 杆件的基本变形形式有哪几种? 结合工程实例或日常生活中遇到的情况加以说明。