

材料力学

上册

成都科技大学 昆明工学院
云南工学院 四川工业大学 合编



成都科技大学出版社

材 料 力 学

上 册

成都科技大学 昆明工学院
云南工学院 四川工业学院 合 编

成都科技大学出版社

一九八八年十二月

本书系参照国家教育委员会1985年10月颁发的高等工业学校材料力学课程教学基本要求，编写的适于70至100学时用的《材料力学》教材。全书分上、下两册，上册包括概论、轴向拉伸与压缩、材料的力学性质、扭转、梁的内力、梁的应力、梁的变形、平面图形的几何性质。下册包括应力状态理论和强度理论、组合变形、连接件的实用计算、能量法与超静定系统、压杆稳定、动载荷、交变应力。书中带•号的部分供选读。

本书除作为本科生教材外，还适于夜大和职工大学等选作教材，并可供工程技术人员参考。

材料力学(上)

成都科技大学 昆明工学院 合编
云南工学院 四川工业学院

成都科技大学出版社出版、发行
四川省新华书店经销
简阳县美术印制厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 10.375
1988年12月第1版 1988年12月第1次印刷
印数：1-9000 字数 233千字

ISBN7-5616-0271-5/TB·14(课)

定价：2.04元

前 言

根据国家教委关于加强本科生教学的指示精神，考虑到工科院校开设70至100学时材料力学课程的专业量大面广，为了使这些专业有较多选择教学用书的余地，成都科技大学、昆明工学院、云南工学院、四川工业学院四所院校商定合编这套教材。学生毕业后在实际工作中，将涉及广泛的力学问题，而在材料力学教学中，又只能提供解决问题的最基本的理论和方法，因此本教材编写的指导思想是：内容广泛、深度适当、深入浅出、联系实际、便于自学。它不但适于本科生，也适合夜大和职大作教材，并可供工程技术人员阅读参考。

根据材料力学学科近年的发展，本书对材料的力学性能、应力状态和能量法几部份作了适当加强，希望能对读者尽快适应工作需要和提高分析问题的能力有所裨益。

参加本书编写的同志都从事材料力学教学工作多年，书中融会了每个同志的教学经验和体会；同时，各章都编写了小结和思考题，为读者的自学提供便利。书中带*号的内容是选读章节。

编写的具体分工是：成都科技大学颜怀俊编写第五、十二、十三章，张训仁第六、十章，李使君第七章及附录I。昆明工学院李治恩编写第一章，苏璜第三章，杨桂生第八章应力状态部份，孙家诗第八章强度理论部份，杨立松第十四章。云南工学院罗志庆编写第二章，叶鹏第四章，朱明芳第九章。四川工业学院张传兴编写第十一章。全书插图由成都

科技大学陈宗碧绘制。

编写中分两片统稿：成都片由成都科技大学桑志钰副教授主持，冯广占、颜怀俊等同志参加；昆明片由昆明工学院毕谦教授主持，王之屏、杨立松、苏瓚等同志参加。分片统稿后，两片又交换互审，最后由冯广占教授对全书审定和统编。

本教材在编写过程中，得到上述各院校材料力学教研室同志们的大力支持，特此致谢。

限于编者水平，编写中难免有欠妥之处，欢迎批评指正。

编 者

一九八八年七月

上册目录

第一章 概论	(1)
§1-1 材料力学的基本任务.....	(1)
§1-2 变形固体及其基本假设.....	(5)
§1-3 内力、截面法及应力的概念.....	(8)
§1-4 线应变与角应变.....	(11)
§1-5 杆件变形的基本形式.....	(13)
小结.....	(16)
思考题.....	(16)
第二章 轴向拉伸与压缩	(17)
§2-1 概述.....	(17)
§2-2 轴向拉伸或压缩时横截面上的内力.....	(18)
§2-3 轴向拉伸或压缩时横截面上的应力.....	(21)
§2-4 轴向拉伸或压缩时斜截面上的应力.....	(24)
§2-5 轴向拉伸或压缩时的强度计算.....	(27)
§2-6 轴向拉伸或压缩时的变形.....	(33)
§2-7 拉、压超静定问题.....	(41)
§2-8 变形能的概念.....	(49)
小结.....	(51)
思考题.....	(52)
习题.....	(54)
第三章 材料的力学性能	(66)
§3-1 材料在拉伸时的力学性能.....	(66)
§3-2 材料在压缩时的力学性能.....	(73)

§3-3 工程材料的几种重要力学性能·····	(76)
§3-4 脆性材料和塑性材料力学性能的比较、应 力集中概念·····	(80)
§3-5 影响材料力学性能的主要因素·····	(82)
§3-6 提高和改善材料力学性能的方法·····	(87)
§3-7 安全系数和许用应力·····	(90)
小 结·····	(92)
思 考 题·····	(93)
习 题·····	(94)
第四章 扭 转 ·····	(96)
§4-1 概述·····	(96)
§4-2 转矩(外力偶矩)、扭矩和扭矩图·····	(98)
§4-3 薄壁圆筒的扭转·····	(102)
§4-4 圆轴扭转时的应力和强度计算·····	(105)
§4-5 圆轴扭转时的变形和刚度计算·····	(113)
§4-6 矩形截面杆的扭转简介·····	(117)
小 结·····	(120)
思 考 题·····	(121)
习 题·····	(124)
第五章 梁的内力 ·····	(129)
§5-1 概述·····	(129)
§5-2 梁的计算简图·····	(131)
§5-3 梁弯曲时的内力——剪力和弯矩·····	(134)
§5-4 剪力方程和弯矩方程、剪力图和弯矩图·····	(138)
*§5-5 奇异函数在求梁内力中的应用·····	(144)
§5-6 载荷集度、剪力和弯矩间的关系·····	(147)
§5-7 用叠加法作弯矩图·····	(155)

小结	(157)
思考题	(158)
习题	(160)
第六章 梁的应力	(166)
§6-1 概述	(166)
§6-2 平面弯曲时横截面上的正应力	(167)
§6-3 梁的剪应力	(179)
§6-4 开口薄壁杆件的弯曲中心	(186)
§6-5 弯曲正应力和剪应力的强度条件	(189)
§6-6 提高梁强度的措施	(197)
小结	(204)
思考题	(205)
习题	(206)
第七章 梁的变形及简单超静定梁	(217)
§7-1 弯曲变形——挠度和转角	(217)
§7-2 挠曲线的近似微分方程	(219)
§7-3 用积分法计算梁的变形	(221)
§7-4 用叠加法计算梁的变形	(231)
§7-5 梁的刚度条件和提高梁刚度的措施	(237)
§7-6 简单超静定梁的解法	(241)
小结	(249)
思考题	(250)
习题	(252)
附录 I 截面图形的几何性质	(260)
§ I-1 静矩和形心	(260)
§ I-2 惯性矩、惯性积和惯性半径	(267)
§ I-3 平行移轴公式	(276)

•§ I-4 转轴公式、主惯性轴、主惯性矩、

形心主惯性轴和形心主惯性矩简介……(279)

小结……(281)

思考题……(284)

习题……(285)

附录Ⅱ 型钢表……(290)

附录Ⅲ 单位换算……(311)

附录Ⅳ 上册习题答案……(313)

第一章 概 论

§1-1 材料力学的基本任务

材料力学是为工程设计提供基础理论和计算方法的一门学科。在我国四化建设中，各项工业的发展和生产技术的进步，一方面扩大了材料力学的应用范围；另一方面也不断给材料力学提出新的问题和要求。当代工程技术发展的一些特征是：向高温、高压、高速方面发展，如原子能和宇航工业的一些设备；向新结构方面发展，如薄壁构件、板、壳等结构；向新型材料方面发展，如应用高分子化合物、陶瓷、复合材料等。同时，随着材料力学理论分析所用数学工具和计算工具的进步，实验技术和设备的发展，复杂应力状态下材料的强度，材料的塑性、强度理论，高温下材料的性能，以及在重复应力、冲击载荷下材料和构件的强度等问题的深入研究并不断取得成就，推动着材料力学向纵深发展。

工程中有各种各样的机械、设备或结构，都由许多部件（如轴、连杆、梁、柱等）所组成。每个部件称为构件。对于每个构件必须要确定它的具体形状和尺寸，以承受或传递作用在它上面的外力。例如化工压力容器，必须有足够的强度，能经受住内压力的作用；建筑上桥梁，应该足够坚固，以承受作用在它上面的载荷；电机的轴，必须要有足够的尺寸，以传递承受的转矩等等。

为了保证每个构件在外力作用下，能够正常工作，需要

行分析和计算。进因此，必须学习材料掌握设力学，理的论计计算的基本方法。下面举例说明。

图1-1表示的起重机构（如工厂装配车间中的单臂起吊机）是由四部分的构件组成：即横梁 AB （25a号工字钢截面）斜杆 CD （10号槽钢截面）、立柱 AD 及吊车。

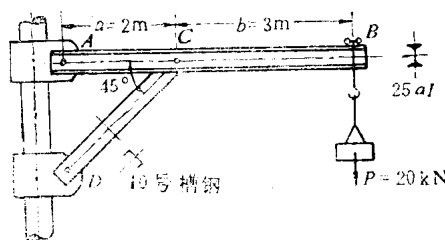


图 1-1

假设吊车在 B 点起吊的重量 $P=20\text{kN}$ 。现在要对这个起重机构进行受力和正常工作分析。

一、受力分析。将构件视为刚体，应用理论力学静力学知识进行分析研究

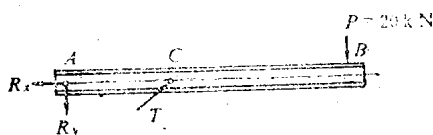


图 1-2

把 AB 横梁作为刚体，画出隔离体图如图1-2所示。横梁上铰链 A 处受到的约束反力分别为 R_x 和 R_y ，铰链

C 处受到作用力 T ， B 处受到起吊重量 $P=20\text{kN}$ 。整个横梁受力情况为平面任意力系，应用静力平衡方程式，即可求出约束反力分别为 $R_x=50\text{kN}$ ， $R_y=30\text{kN}$ ，作用力 $T=70.7\text{kN}$ 。

二、正常工作分析研究。将构件视为变形固体，应用材料力学知识进行分析研究

工程实际中，一切机械、设备或结构都不是绝对刚体，而是由变形固体组成。就是说，在外力作用下，构件都会发生变形或破坏。因此，要保证起重机构在起吊时能够正常工作，必须要满足以下三个条件。

1. 足够的强度

起重机构在起吊重物过程中，横梁 AB 在 R_x 、 R_y 、 T 、 P 诸力作用下不应断裂。斜杆 CD 受压力 $T=70.7\text{kN}$ 作用(图1-3)下不要被压坏。这种构件在外力作用下，抵抗破坏的能力，称为强度。工程构件的破坏包含两种含义，即断裂和显著的塑性变形。

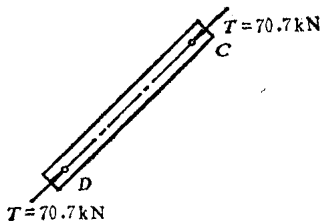


图 1-3

构件在外力作用下，它的几何形状和尺寸大小都要发生一定程度的改变。这种改变称为变形。由实验结果知道，绝大多数

固体，在外力不超过一定范围时，当外力除去后，将完全恢复原有形状和尺寸，这种性质称为弹性。而除去外力后能够消失的变形，称为弹性变形。但外力过大时，外力除去后，变形只能部分消失而残留一部分不能消失的变形，材料这种性质称为塑性。除去外力后不能消失而残留的变形，称为塑性变形(或称残余变形、永久变形)。构件在外力作用下，如果发生显著塑性变形，虽然构件没有断裂，但由于形状和尺寸发生了塑性变形，构件受到损伤，影响构件的正常工作，所以也称为强度不够。如果构件在外力作用下，不发生断裂和显著塑性变形时，就称为构件具有足够的强度。

2. 足够的刚度

为了方便分析研究，常常需要把工程中的实际问题，简

化为一个力学计算模型。即用一個简化图形表达出工程实际问题。这种简化图形，称为计算简图。起重机构的计算简图如图1-4所示。

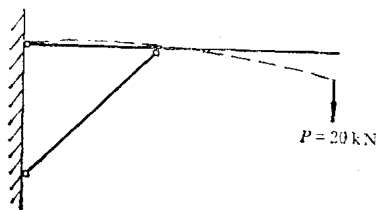


图 1-4

当吊车在B点起吊重物时，横梁发生弯曲变形，如图1-4中虚线所示（CD杆压缩变形较小略去不计）。如果这种变形过大，就会影响吊车行走和工作的平稳性。

所谓刚度是指构件在外力作用下，抵抗变形的能力。如果梁弯曲变形不过大，不影响吊车正常工作，则称梁具有足够的刚度。

3. 足够的稳定性

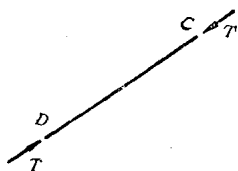


图 1-5

起重机构的斜杆CD受压力 $T=70.7\text{kN}$ 作用，计算简图如图1-5所示。压力 T 较小时，斜杆CD处于直线平衡状态。当压力 T 逐渐增大，超过

某一极限值后，斜杆会突然变弯，不再保持直线平衡状态，失去承受压力的能力，这种现象称为丧失稳定，简称失稳。

所谓稳定性是指构件在外力作用下，维持原有平衡状态的能力。足够的稳定性，是指构件在外力作用下，能够保持原有平衡状态而不丧失稳定。

以上三方面的问题就是材料力学课程研究的主要内容。简单地说，材料力学为常用构件（主要是指杆、梁、轴、柱

等)的强度、刚度和稳定性问题分析,提供基本概念、基本理论和基本计算方法。一般情况,在设计计算每个构件时都应满足以上三方面的要求。但对于每个具体构件,应根据它的使用要求进行具体分析,有的构件只要求满足其中一、二方面就可以。例如机械上的传动轴、皮带轮轴,强度是主要的。而另一些构件,刚度是主要的,例如精密车床轴、镗床主轴等。

如何能够使构件具有足够的强度、刚度和稳定性呢?怎样选择材料和构件的截面尺寸来满足这些要求?这就需要进行材料实验,了解材料的机械性能。所以材料机械性能实验也是材料力学的一个重要内容。一般增大构件的截面尺寸和选用优质材料,虽能增加强度,但却加大材料的消耗和增加成本而不经济。相反,为了节省,减小构件的截面尺寸,降低材料消耗,但又可能使强度不足而不安全。所以安全与经济之间存在矛盾,在设计时应尽量做到两方面兼顾。

因此,材料力学的基本任务是:在保证强度、刚度和稳定性要求的前提下,根据构件所承受外力情况和其工作要求,解决安全与经济的矛盾,为构件选择适当的材料,确定合理的截面形状和尺寸,提供必要的理论基础和计算方法。

理论分析正确与否,须通过实验和工程实践来验证;有些尚无理论结果的问题,也要用实验的方法来测定。这样理论与实验的结合促进材料力学的不断发展。

§1-2 变形固体及其基本假设

材料力学研究构件在外力作用下的变形和破坏。构件都是由变形固体所构成,而变形固体的性质是多方面的。为了

突出材料力学研究构件强度、刚度、稳定性有关的主要因素，略去次要因素，对变形固体提出下列假设，作为对主要问题进行理论分析的共同基础。

一、连续性假设 认为变形固体在整个体积内毫无空隙地充满物质，其结构是密实的

实际的变形固体，从其物质结构上来说，均具有不同程度大小的空隙，但这些空隙大小与构件的尺寸相比极其微小。因此，在宏观的研究中，可将空隙略去不计，而认为变形固体内部的物质是密实、连续的。因而，变形固体内一些力学量如单元体的应力、应变和位移等就可用坐标的连续函数表示。

二、均匀性假设 认为变形固体内部各处的机械性质完全相同

实际上变形固体的分子结构并不是均匀的。例如金属是具有多晶体的组织，就是由许许多多错综复杂的晶体所组成的，每个晶体性质都不均匀，但由无数多的晶体无规则地排列组成后，反映出多晶体的统计平均量，可以认为其性质是均匀的。因此，在变形固体内任取一部分，不论其体积大小如何，都视为性质是均匀的。

三、各向同性假设 认为变形固体在各个方向上的机械性质完全相同

就金属而言，单一的晶体在不同的方向上机械性质不同。但金属变形固体中包含着数量很多的晶体，而且各晶体的方位又杂乱无章地排列。在宏观的研究中，变形固体的性质并不显示出方向差别，因而可以看成是各向同性的。

例如铸钢、铸铜、玻璃及浇注好的混凝土，都可以看成各向同性材料，即在各个方向上的机械性质（如拉压弹性模量 E 和泊松比 μ ）都相同。

只在一定方向上具有相同机械性质的材料，称为单向同性材料，如辗铜、抽拉的钢丝、无节的木材等。

在各个方向上具有不同机械性质的材料，称为各向异性材料，如木层倾斜的木材，冷扭的钢丝，胶合板，复合材料层板等。

四、小变形假设

工程构件在外力作用下产生的变形与其原始尺寸比较通常是微小的，因而在构件各点处与变形相对应的位移也是微小的。如图1-6所示简支梁受 P 力作用后，产生弯曲变形 δ_1 和

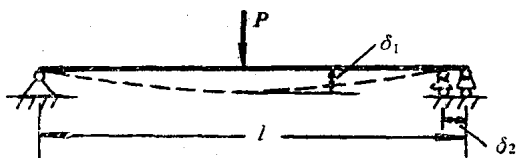


图 1-6

支座位移 δ_2 ，它们相对于梁的跨度 l 都是微少量，通称小变形。在小变形下，研究变形固体的受力和静力平衡时，略去梁的微小变形和位移，仍按构件的原始尺寸进行分析和计算；在小变形下，对微小变形的二次幂和乘积均可略去不计。这对工程实用并无影响，但可使计算大为简化。

综合上述，材料力学研究的对象是结构构件，主要是杆件，它们是由连续、均匀和各向同性的变形固体所制成；而

且只限于讨论杆件在弹性范围内小变形下的受力情况。

§1-3 内力、截面法及应力的概念

在外力作用下，杆件怎样产生内力，如何计算内力以及衡量其大小？这是我们需要研究的重要问题。

一、内力的概念

变形固体内各质点具有相对位置，存在着一定作用力，一般称为分子力，即固有内力。正是这些力的作用，才能维持固体一定的形状和尺寸。当变形固体受到外力作用发生变形时，其内部各质点间的相对位置将有变化，同时各质点间相互作用力也发生改变。这种由于外力作用而引起内力发生的改变量称为“附加内力”，在材料力学中将这种力简称为内力。每根杆件依据材料和粗细不同所能承受的内力有一定限度，超过限度就会引起杆件的破坏，所以研究杆件的强度必须先研究外力作用引起的杆件内力。

如何显示出杆件的内力和进行内力计算，这就要用截面法。

二、截面法

图1-7(a)表示一根杆件，在集中力 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 和 P_5 作用下处于平衡状态。

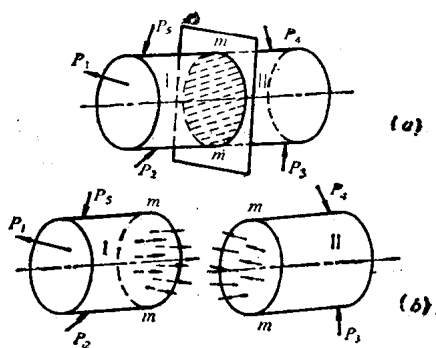


图 1-7