



21世纪高等教育规划教材

材料力学 简明教程

(中、少学时)

◎ 孟庆东 主编

CAILIAO LIXUE JIANMING JIAOCHENG



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪高等教育规划教材

材料力学简明教程

(中、少学时)

主 编 孟庆东
副主编 傅 进 刘 会
参 编 高晓芳 夏培伟 姚俊青 高存平
主 审 王长连 钟云晴



机 械 工 业 出 版 社

本教材是根据国家教育部审订的《材料力学教学基本要求》，总结长期教学实践经验，结合当前教学实际而编写的。

全书共 12 章，包括：绪论，拉伸与压缩，剪切和挤压，扭转，弯曲内力，弯曲应力，弯曲变形，应力状态分析和强度理论，组合变形，压杆稳定，交变应力及疲劳破坏和能量法基础。书后附有平面图形的几何性质、常用的截面几何量、型钢规格表。

本书注重工程实际应用，在各章中精选了大量的易于学生理解的工程和生活实例，在各章后均有思考题和习题，以方便学生学习总结。

与本书配套的、亦由机械工业出版社出版的《材料力学辅导与习题解》，也可供使用本教材的学生复习、解题及教师备课时使用。

另外，为方便教与学，还制作了配套使用的电子课件，内容包括电子教案、动画演示、实例分析、问题讨论等。

本书可作为机械类、近机类专业本、专科学生学习“材料力学”课程（中、少学时）的教学用书，还可供考研学生入学考试以及有关工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

材料力学简明教程：中、少学时/孟庆东主编. —北京：机械工业出版社，2011.8

21 世纪高等教育规划教材

ISBN 978-7-111-35194-8

I. ①材… II. ①孟… III. ①材料力学 - 高等学校 - 教材 IV. ①TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 129887 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：张金奎 责任编辑：张金奎

版式设计：霍永明 责任校对：李秋荣

封面设计：张 静 责任印制：乔 宇

北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）

2011 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 13.5 印张 · 334 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-35194-8

定价：25.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010)88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销 售 一 部：(010)68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销 售 二 部：(010)88379649

读者购书热线：(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

“材料力学”是高等理工院校普遍开设的一门技术基础课，是后续力学课程和相关专业课程的基础。在中国高等教育的改革与发展中，学校的层次和类型不断增加，不同学校和专业对“材料力学”课程提出了不同的要求，课程的学时一般有所减少。同时，随着高等教育的普及化，学生的情况也发生了变化。为满足这些变化所产生的对教材的新的需求，我们特编写了这本可作为高校的机械、土建、水利、动力等专业学生的中、少学时（52~62学时左右）的《材料力学简明教程》。略去带星号*章节后，本书也可用作其他专业少学时“材料力学”课程的教材，亦可作成人高校、高职高专的“材料力学”课程教材，同时可供有关工程技术人员参考。

在本书的编写过程中，紧密结合了当前力学教学改革的需要，既注意学习、吸收有关院校力学课程改革的成果，又尽量反映作者长期教学积累的经验与体会，严格把握读者定位，力求概念清晰，论证严谨，叙述简要。在阐明基本概念和基本理论的基础上，为突出工程实际，书中列举了较多实例。

学生在学习“材料力学”中普遍感到困惑的问题在于如何独立地解题。针对这一问题，本书在各章节中选用了较多的有代表性的例题，例题安排由易到难；并适度增加了综合性练习，在习题中体现基本理论和方法的应用。本书各章后均有思考题及习题，便于学生对知识的回顾与总结。

总之，归纳起来讲，本书具有下列特点：

1. 定位明确。本教材的基本使用对象为高校中上述专业的本、专科学生。而对于不同专业的需要，以及学有余力的学生和部分学生的考研需要，也编写标有“*”的加深、加宽内容，备选学。

2. 篇幅紧凑，内容精简。教材内容以课程基本要求为主，基本概念、原理的叙述简明准确，便于掌握，在理论体系上不过分追求严谨。例如简化公式推导，贯彻“以应用为目的”的原则等。

3. 针对本课程是在大学一年级开设的一门基础课，学生尚缺乏工程实际问题的知识的特点，在课文阐述中提供了众多日常生活和工程实际中常见的立体图例及其相关图片，以激发学习兴趣，提高想象力。

4. 在例题和习题选材中，也尽量选自生活中和工程实际中常见到的、易理解的题目，有利于学生解题能力的培养。例题的分析和解题过程叙述详尽，思路清晰，对每类问题一般都有归纳性的解题方法小结。

5. 对于“材料力学”与其他课程重叠的部分，进行了弱化处理，删去或者简要叙述，尽量避免低层次的重复。

6. 除重视基本理论分析外，特别注重理论的应用，如题型的归纳和分析、难点的剖析等。

7. 为方便教与学，还编写出版了与本书配套的《材料力学辅导与习题解》。特别方便于

自学、函授及远程教育学员学习，也可供教师备课，尤其在扩展教学内容时参考。

8. 针对高校对学生掌握外语的要求日益提高，本书对遇到的常用力学、机械工程中的名词术语标注了英语。这样不仅可以帮助学生更准确地理解名词术语含义，同时也使他们得到专业英语的实践锻炼，利于他们今后阅读力学、机械类专业英语资料。

另外，为方便教学，本书还配套了电子课件，供选用本教材的教师免费下载（www.cmpedu.com），内容包括了电子教案、动画演示、实例分析和问题讨论等。

本书由孟庆东任主编，傅进、刘会任副主编。全书由孟庆东教授统稿。

参加编写的还有高晓芳、夏培伟、姚俊青、高存平。

本书由王长连、钟云晴两位教授审核。

本书的出版得到了机械工业出版社和有关院校的大力支持与协助。在编写过程中借鉴、引用了许多同类教材中的资料、图表或题例，谨此一并表示衷心感谢。

限于作者的水平，书中难免存在疏漏、缺点和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 绪论 1

第一节 材料力学的任务与研究对象 1

第二节 变形固体的基本假设 3

第三节 构件的外力与杆件变形的基本形式 4

第四节 材料力学的内力及截面法 5

第五节 应力 7

第六节 应变 8

思考题 9

习题 9

第二章 拉伸与压缩 10

第一节 轴向拉伸与压缩的概念与实例 10

第二节 轴向拉伸或压缩时横截面上的内力 11

第三节 轴向拉伸或压缩时截面上的应力 13

第四节 轴向拉伸或压缩时的变形 17

第五节 材料在拉伸和压缩时的力学性能 21

第六节 拉伸和压缩的强度计算 27

第七节 拉伸和压缩超静定问题 30

思考题 35

习题 36

第三章 剪切和挤压 41

第一节 剪切的观念及剪切强度条件 41

第二节 挤压的观念及挤压强度条件 44

第三节 剪切和挤压计算的应用举例 45

第四节 综合强度计算举例及其他剪切计算 47

思考题 49

习题 49

第四章 扭转 53

第一节 扭转概念和工程实例 53

第二节 外力偶矩和扭矩的计算 54

第三节 切应力互等定理与剪切胡克定律 56

第四节 圆轴扭转时横截面上的应力 58

第五节 圆轴扭转时的强度计算 61

第六节 扭转变形和刚度条件 63

* 第七节 圆柱形密圈螺旋弹簧 65

* 第八节 矩形截面杆扭转理论简介 67

思考题 68

习题 69

第五章 弯曲内力 72

第一节 弯曲和平面弯曲的概念与实例 72

第二节 梁的计算简图及分类 73

第三节 梁的内力——剪力和弯矩 74

第四节 剪力图和弯矩图 78

第五节 载荷集度、剪力和弯矩的微分关系 80

第六节 弯矩图的叠加法 83

* 第七节 平面刚架与曲杆的内力 85

思考题 86

习题 86

第六章 弯曲应力 89

第一节 梁弯曲横截面上的正应力 89

第二节 梁弯曲横截面上的切应力 96

第三节 梁的强度计算 98

第四节 提高梁的弯曲强度的措施 104

思考题 106

习题 106

第七章 弯曲变形 111

第一节 弯曲变形的计算 111

第二节 梁的刚度计算 118

第三节 简单超静定梁的解法 118

第四节 提高梁刚度的措施 121

思考题 122

习题 123

第八章 应力状态分析和强度

理论 126

第一节 应力状态概述 126

第二节 平面应力状态分析 127

第三节 利用应力圆确定主应力大小和主平面方位 132

第四节 用应力圆确定极值切应力及其所在平面的方位 133

* 第五节 三向应力圆及最大切应力	134	第十一章 交变应力及疲劳破坏	174
第六节 广义胡克定律	136	第一节 交变载荷和交变应力的概念	174
第七节 强度理论	138	第二节 疲劳破坏和持久极限	175
思考题	142	第三节 影响构件持久极限的因素及强度 计算简介	177
习题	142	思考题	179
第九章 组合变形	145	第十二章 能量法基础	180
第一节 概述	145	第一节 概述	180
第二节 第一类组合变形——组合后为单向 应力状态	146	第二节 外力功和应变能的计算	180
第三节 第二类组合变形——组合后为复杂 应力状态	151	第三节 卡氏定理	183
思考题	154	第四节 单位载荷法·莫尔定理	186
习题	155	* 第五节 运用能量法解超静定问题	189
第十章 压杆稳定	158	* 第六节 动载荷应力	190
第一节 压杆稳定的概念及失稳分析	158	思考题	194
第二节 临界力和临界应力	160	习题	195
第三节 欧拉公式的适用范围 中、小柔度 杆的临界应力	163	附录	198
第四节 压杆的稳定性计算	167	附录 A 常用的平面图形几何性质	198
第五节 提高压杆稳定性的措施	170	附录 B 常用的截面几何量	203
思考题	171	附录 C 型钢规格表	205
习题	171	附录 D 关于习题参考答案的说明	209
		参考文献	210

第一章 绪 论

本章主要介绍材料力学的任务与研究对象，材料力学的基本假设、基本概念和基本方法，这些内容对学习材料力学者具有指导意义。

第一节 材料力学的任务与研究对象

一、材料力学的任务

1. 研究构件的强度、刚度和稳定性

工程中广泛使用的各种机械和结构物，都是由若干零件或结构元件组成的。这些零件或结构元件统称为构件 (element)。机械和结构物在正常工作中，每一构件都受到一定的外力作用，由理论力学的分析知，物体所受到的外力有主动外力，通常称为载荷 (load)；还有被动外力，通常称为约束力 (constraint reaction)。例如，起重机通过吊钩提升重物时，起吊重物的钢丝绳承受到已知重物(载荷)的拉力，还受到吊钩的拉力(约束力)。又如桥梁的大梁，既承受桥上物体的重力(载荷)的作用，又受到桥墩的支撑力(约束力)等。实践表明：构件在这些外力作用下要产生变形。当作用力过大时构件将产生显著塑性变形或发生断裂，这在工程中是不允许的。为了保证机械或工程结构能够安全、正常地工作，构件应有足够的能力承担相应的外力。为此，构件一般需要满足如下三方面的要求：

(1) 强度 (strength) 要求：在规定外力作用下构件不应发生破坏。这里所指的破坏，不仅是指构件在外力作用下的断裂，如储气罐在工作时不应发生爆裂。强度是指构件抵抗破坏的能力。

(2) 刚度 (stiffness) 要求：在规定外力作用下构件不应发生过大的弹性变形，如机床主轴若产生过大弹性变形会影响加工精度。刚度是指构件抵抗变形的能力。

(3) 稳定性 (stability) 要求：在规定外力作用下构件应保持其原有的平衡状态。受压的细长杆件，如千斤顶的螺杆，当压力增大到一定值时会突然变弯。稳定性是指构件保持其原有平衡状态的能力。

在工程中，一般构件都应满足上述三个要求，但对某一个具体构件往往又有所侧重。如储气罐主要要求保证强度，车床主轴主要要求具备足够的刚度，受压的细长杆则要求足够的稳定性。此外，对某些特殊构件可能还有相反的要求，例如为了防止机器设备超载，当载荷超出某一范围时，机器设备中的安全销应立即破坏。又如为了降低振动冲击，车辆的缓冲弹簧应有较大的弹性变形等。

在设计构件时，不仅要满足上述三方面的安全性要求，还应尽可能选用合适的材料，减少材料的用量，以降低成本或减轻重量。也就是说，设计构件时既要考虑安全性，又要考虑经济性。安全性要求选用优质材料或增大横截面尺寸，经济性要求尽可能使用廉价材料或减小横截面尺寸，这两个要求是彼此矛盾的。材料力学的任务是在满足强度、刚度和稳定性要求的前提下，以最经济的代价，为构件确定合理的截面形状和尺寸，选择合适的材料，为设

计构件提供必要的理论基础和计算方法。

为所设计的构件提供有关强度、刚度和稳定性计算的基本原理和方法，是材料力学所要完成的主要任务。

2. 研究材料的力学性能

由不同材料所制成的构件，尽管几何形状和尺寸一样，在承受相同的荷载作用时产生的变形大小和破坏程度是不同的。这是由于构件的强度、刚度和稳定性与所用材料的力学性能有关。材料的力学性能是材料本身固有的特性，可以通过实验测定出来。在此基础上才能恰当地为构件选择适宜的材料。此外，也有些单靠现有理论解决不了的问题，需借助于实验来解决。因此，实验研究和理论分析同样重要，都是完成材料力学的任务所必需的。

总之，材料力学的任务是：研究构件的强度、刚度、稳定性理论，为设计安全、经济的构件及结构提供相应的理论指导；检测构件的力学性能，确保其安全运行，研究新型的构件、结构和鉴定新材料。

二、材料力学的研究对象

根据几何形状以及各个方向上尺寸的差异，弹性体大致可分为杆、板、壳、体四大类。如图 1-1 所示。

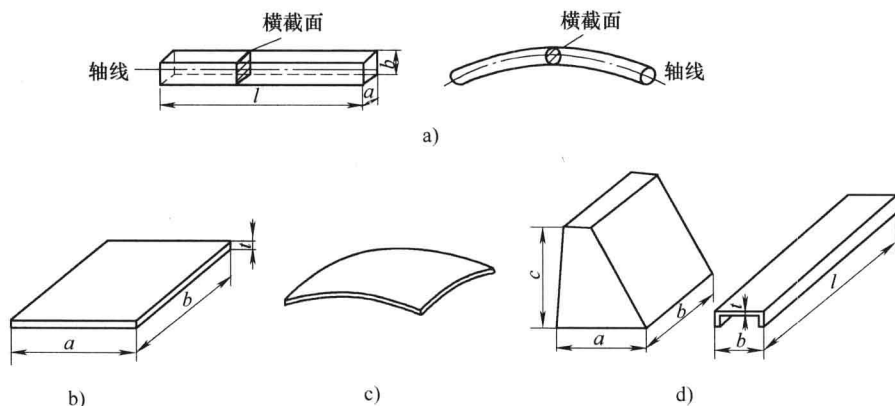


图 1-1

杆：如图 1-1a 所示，一个方向的尺寸远大于其他两个方向的尺寸，这种弹性体称为杆 (Bar)。杆的各横截面形心的连线称为杆的轴线 (axis)；轴线为直线的杆称为直杆 (straight bar)；轴线为曲线的杆称为曲杆 (curves bar)。按各截面相等与否，杆又分为等截面杆 (non-equal stem) 和变截面杆 (cross-section bar)。工程上最常见的是等截面直杆，简称等直杆 (etc method. natural)。

板：如图 1-1b 所示，一个方向的尺寸远小于其他两个方向的尺寸，且各处曲率均为零，这种弹性体称为板 (plate)。

壳：如图 1-1c 所示，一个方向的尺寸远小于其他两个方向的尺寸，且至少有一个方向的曲率不为零，这种结构称为壳 (shell)。

注意：板与壳的区别就在于“平、曲”二字，平的为板，曲的为壳。

体：如图 1-1d 所示，三个方向具有相同量级的尺寸，这种弹性体称为体 (body)。

材料力学的主要研究对象是杆，以及由若干杆组成的简单杆系，同时也研究一些形状与受力均比较简单的板、壳、块。至于一般较复杂的杆系与板壳问题，则属于结构力学与弹性力学的研究范畴。工程中的大部分构件属于杆件，杆件分析的原理与方法是分析其他形式构件的基础。

第二节 变形固体的基本假设

一、变形固体的变形

材料力学研究的构件在外力作用下会产生变形，制造构件的材料称为变形固体 (deformation solid)。所谓变形，是指在外力作用下构件几何形状和尺寸的改变。这些变形与构件的强度、刚度、稳定性等方面密切相关，为了突出组成构件的固体特性，通常把构件称为变形固体。

变形固体在外力作用下会产生变形，就其变形的性质可分为弹性变形和塑性变形。

弹性变形 (elastic deformation)：作用在变形固体上的外力去掉后可以消失的变形。

塑性变形 (plastic deformation)：作用在变形固体上的外力去掉后不能消失的变形，也称残余变形 (residual deformation)。

二、基本假设

材料力学在研究变形固体时，为了建立简化模型，忽略了对研究主体影响不大的次要因素，保留了主体的基本性质，对变形固体作了如下假设。

1. 连续均匀性假设

认为物体在其整个体积内毫无空隙地充满了物质，各点处的力学性质是完全相同的。由于构件的尺寸远远大于物质的基本粒子及粒子之间的间隙，这些间隙的存在以及由此而引起的性质上的差异，在宏观讨论中完全可以略去。根据这一假设，可将物体内部的物理量用数学函数来表示。

2. 各向同性假设

认为物体沿各个方向的力学性质是相同的。实际物体，例如金属，是由晶粒组成的，沿不同方向晶粒的性质并不相同。但由于构件中包含的晶粒极多，晶粒排列又无规则，在宏观研究中，物体的性质并不显示出方向的差别，因此可以看成是各向同性的。当然，某些情况，如含有碳素纤维的复合材料等，就需要按各向异性来考虑。

连续均匀、各向同性的可变形固体，是对实际物体的一种科学抽象。实践表明，在此假设下建立的材料力学理论，基本上符合真实构件在外力作用下的表现，因此假设得以成立。

3. 小变形假设

认为研究的构件几何形状和尺寸的改变量与原始尺寸相比是非常小的。工程中的大多数构件正常工作中均满足此假设，构件的小变形假设，可使研究的问题得到简化。例如图 1-2 所示结构，杆 AB 与杆 AC 受到拉力，杆 AB 长度由 $\overline{AB}$ 伸长为 $\overline{A'B}$ ，而杆 AC 长度由 $\overline{AC}$ 缩短为 $\overline{A'C}$ 。结点由 A 变为 A' 。杆 AB 与杆 AC 间的夹角由 α 变为 α' 。然而，由于作小变形假设，因

而在考察这些构件的平衡问题时,可将变形略去,仍按变形前的原始尺寸和角度来考虑,这样可极大地简化计算过程,而计算精度足可以满足工程要求。工程中也有些构件变形过大,须按变形后的形状和尺寸来考虑,这属于大变形问题,不在本书讨论范围之内。

综上所述,在材料力学研究中的基本假设有两类:一类是将实际研究的材料看做是连续均匀和各向同性的可变形固体;一类是小变形假设。前者是对材料本身性质的假设,而后者则是对构件产生变形大小的假设。

实践表明,在这些假设基础上所建立的理论与分析计算结果,符合工程要求。

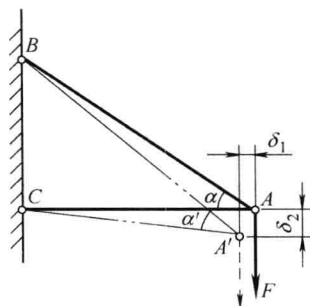


图 1-2

第三节 构件的外力与杆件变形的基本形式

一、构件的外力及其分类

材料力学的研究对象是构件,构件工作时,总要受到其他物体所施加的力的作用,包括作用在构件上的载荷和约束力等。

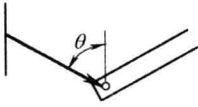
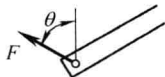
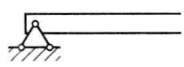
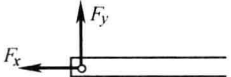
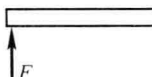
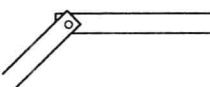
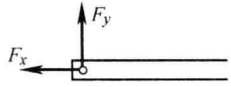
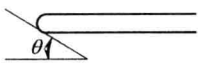
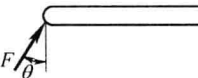
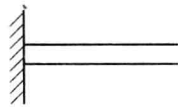
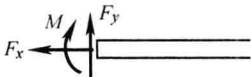
按照外力在构件表面的分布情况,若连续分布在构件表面某一范围的力,称为分布力 (distributed force),用 q 表示;如果分布力的作用范围远小于构件的表面面积,或沿杆件轴线的分布范围远小于杆件长度,则可将分布力简化为作用于一点的力,称为集中力 (concentrated force)。有时外力以力偶的形式集中作用于构件上,称为集中力偶 (concentrated couple)用 m 表示。

按载荷随时间变化的情况又可将外力分为静载荷 (static load)与动载荷 (dynamic load)。载荷缓慢地由零增加到某一定值,以后即保持不变,或变动不显著,这种载荷称为静载荷。如机器缓慢地放置在机器设备的基础上,机器的重量对基础的作用便是静载荷。若载荷随时间的变更而变化,这种载荷称为动载荷。随时间交替变化的载荷称为交变载荷 (alternating load)。物体的运动在短时内突然改变所引起的载荷称为冲击载荷 (impact load)。

材料在静载荷和动载荷作用下的性能颇不相同,分析方法也迥异。因为静载荷问题比较简单,所建立的理论和方法又可作为解决动载荷问题的基础,所以,先研究静载荷问题,后研究动载荷问题。

关于约束力的计算,在理论力学中已经讨论了,不再详述。在此仅就常见的平面约束及约束力列于表 1-1 中。要特别注意表示每种支座的符号以及支座对与之接触构件的约束力类型。一般情况下,可以通过考察与支座相接触的构件在某个特定方向的移动或转动趋势来确定支座约束力的类型。若支座限制了构件在某一给定方向的移动,则构件在这个方向上一定受到一个力的作用。同理,若构件的转动被限制,则它一定受到一个力偶的作用。例如滚动铰支座只能限制垂直于接触面方向的移动,因此滚动铰支座对构件作用一个通过接触点的法向力 F 。由于构件可绕滚动铰支座自由转动,所以构件不受力偶作用。

表 1-1 常见的平面约束及约束力

连接类型	约束力	连接类型	约束力
 柔索	 一个未知力: F	 固定铰支座	 两个未知力: F_x, F_y
 滚动铰支座	 一个未知力: F	 铰链连接	 两个未知力: F_x, F_y
 光滑接触	 一个未知力: F	 固定端	 三个未知力: F_x, F_y, M

二、杆件变形的的基本形式

杆件在各种不同的外力作用方式下将发生各种各样的变形，但基本变形有四种形式：轴向拉伸或压缩 (axial tensile or compression) (图 1-3a、b)；剪切 (shear) (图 1-3c)；扭转 (reverse) (图 1-3d) 和 弯曲 (bending) (图 1-3e)。

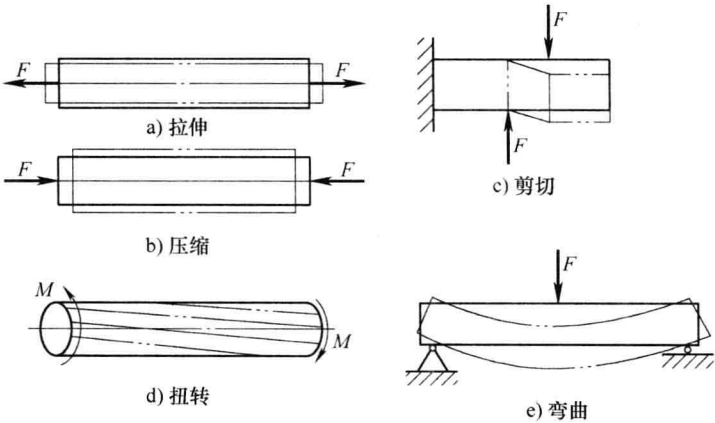


图 1-3

第四节 材料力学的内力及截面法

一、材料力学的内力

我们知道，物体是由无数颗粒组成的，在其未受外力作用时，各颗粒间就存在着相互作

用的内力,以维持它们之间的联系及物体的原有形状。物理学中,把物体(构件)内部相连各部分之间产生的相互作用力,称为分子结合的内力。正是依靠这种分子之间的结合内力,才使物体保持一定的形状和尺寸。

当构件受到外力作用时,构件要发生变形。同时,构件内部原有的分子结合内力要发生变化,即产生了内力变化量,称为附加内力(additional internal)。构件的强度、刚度及稳定性,与“附加内力”的大小及其在这构件内的分布情况密切相关。在材料力学中我们就是研究这种“附加内力”,或简称为内力(internal force)。简言之,材料力学中所谓的内力是指构件在外力作用下所引起的内力变化量。内力分析是解决构件强度、刚度与稳定性问题的基础。

二、求内力的截面法

为了显示和计算构件的内力,必须假想地用截面把构件切开成两部分,这样内力就转化为外力而显示出来,并可用静力平衡条件将它求出。

例如,图 1-4a 所示构件受多个外力作用,处于平衡状态。若求任一截面 $m-m$ 的内力,可以将构件假想地用 $m-m$ 平面截分为 I、II 两部分。任取其中一部分作为研究对象(如 I),将 II 对 I 的作用用截面上的内力来代替。由均匀连续性假设可知,内力在横截面上是连续分布的。这些分布力构成一空间任意力系(图 1-4b),将其向截面形心 C 简化后可得一主矢 F 和一主矩 M ,称其为该截面上的内力。

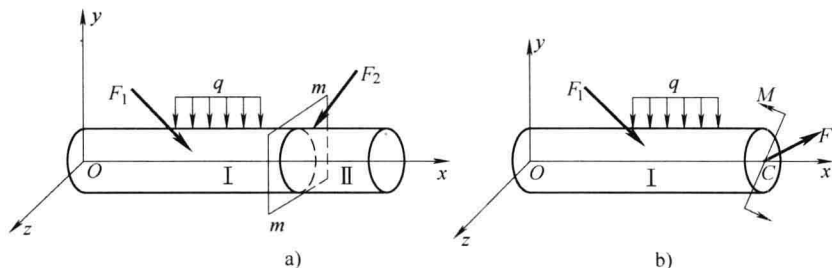


图 1-4

上述求构件某一截面处内力的方法,称为截面法(method of sections)。其一般步骤是:

(1)假想截开:在需要求内力的截面处,假想用一平面将杆件截开成两部分。

(2)保留代换:将两部分中的任一部分假想“留下”,而将另一部分“移去”,并以作用在截面上的内力代替“移去部分”对“留下部分”的作用。

(3)平衡求解:对“留下部分”写出静力学平衡方程,即可确定作用在截面上的内力大小和方向。

截面法是材料力学中研究内力的一个基本方法。关键是截开杆件取脱离体,这样就使杆件的截面内力转化为脱离体上的外力。

当受更复杂的载荷作用时,内力计算按同样的过程进行,此时内力分量会多一些,平衡方程也相应增多。各种变形情况下杆件内力的具体计算和图示,将在相应的章节中作进一步的研究。

第五节 应 力

一、应力的概念

上节中求出的内力是在一个截面上连续分布的内力系的总和。要了解杆件的承载能力,仅知道内力是不够的。如图 1-5 所示的杆件在承受轴向拉力时,截面 $a-a$ 和截面 $b-b$ 上的内力是一样大的,但我们知道 $b-b$ 截面比 $a-a$ 截面更容易发生破坏。这是因为 $b-b$ 截面的面积比 $a-a$ 截面小,因此 $b-b$ 截面上的内力集度即单位面积上的内力比 $a-a$ 截面上的大。由此可见,材料的破坏或变形是与内力集度直接相关的。截面上内力的分布集度称为应力(Stress)。

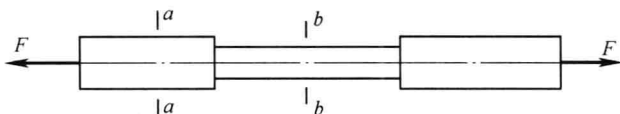


图 1-5

如图 1-6a 所示,考察构件的截面 $m-m$ 上某一点 K 处的内力集度,可在该截面上围绕 K 点取一微小面积 ΔA ,设作用在该微小面积上的内力合力为 ΔF ,如图 1-6a 所示,则 ΔA 上的平均内力集度为

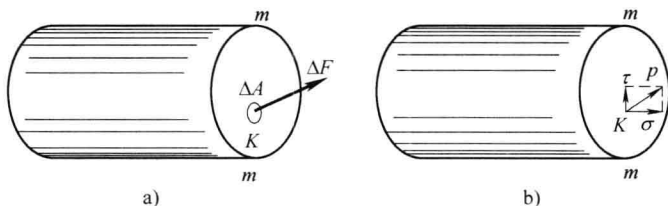


图 1-6

$$p_m = \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

p_m 称为 ΔA 上的平均应力。一般地说,截面 $m-m$ 上的内力并不是均匀的,所以 ΔA 上的平均内力集度还不能代表 K 点处的真实内力集度。为精确表示 K 点处的真实内力集度,应令 ΔA 趋近于零,此时平均应力 p_m 将趋向于一极限值

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (1-1)$$

其中, p 代表截面上 K 点处的真实内力集度,称为 K 点的总应力。

二、正应力和切应力

总应力 p 是矢量,一般情况下它既不与截面垂直也不与截面相切。为便于研究,通常把它分解成垂直于截面的分量 σ 和相切于截面的分量 τ ,如图 1-6b 所示。其中,垂直于截面的分量 σ 称为正应力(Normal stress),并规定以受拉为正,受压为负;相切于截面的分量 τ 称为切应力(Shear stress),并规定以产生绕所研究的截面顺时针转的力矩为正,反之为负。显然

$$p^2 = \sigma^2 + \tau^2 \quad (1-2)$$

将总应力用正应力和切应力两个分量来表示,其物理意义和材料的两类断裂现象(拉断

和剪切错动)相对应。今后在强度计算中只计算正应力和切应力,而不用计算总应力。

应力的大小反映了内力在截面上的集聚程度,应力的基本单位为帕斯卡(Pa), $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$, $1 \text{ GPa} = 10^9 \text{ Pa}$ 。

第六节 应 变

在外力作用下,构件发生变形,同时引起应力。为了研究构件的变形及其内部的应力分布,需要了解构件内部各点处的变形。为此,假想地将构件分割成许多细小的单元体。构件受力后,各单元体的位置发生变化,同时,单元体棱边的长度发生改变(图 1-7a),相邻棱边之夹角一般也发生改变(图 1-7b)。

设棱边 ka 原长为 Δs , 变形后的长度为 $\Delta s + \Delta u$, 即长度改变量为 Δu , 则 Δu 与 Δs 的比值称为棱边 ka 的平均应变, 即

$$\varepsilon_m = \frac{\Delta u}{\Delta s}$$

一般情况下,棱边 ka 各点处的变形程度并不相同。为了精确地描述 k 点沿棱边 ka 方向的变形情况,应选取无限小的单元体进行研究,由此可得平均线应变的极限值

$$\varepsilon = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta s} \quad (1-3)$$

称其为 k 点处沿棱边 ka 方向的线应变(linear strain)。采用同样方法,还可确定 k 点处沿其他方向的线应变。

当单元体变形时,相邻棱边间的夹角一般也会发生改变。微体相邻棱边所夹直角的改变量(图 1-7b)称为切应变(shear strain),用 γ 表示。切应变的单位为弧度(rad)。

由定义可以看出线应变与切应变均是量纲为 1 的量。

构件的整体变形是构成构件的微体局部变形组合的结果,而微体的局部变形则可用线应变与切应变来度量。

【例 1-1】 两边固定的矩形薄板如图 1-8 所示。变形后 ab 和 ad 两边保持为直线。 a 点沿垂直方向向下移动 0.025 mm。试求 ab 边的平均线应变和 ab 、 ad 两边夹角的变化量。

【解】 ab 边的平均线应变为

$$\varepsilon_m = \frac{a'b - ab}{ab} = \frac{0.025}{200} = 1.25 \times 10^{-4}$$

变形后 ab 和 ad 两边的夹角变化量为

$$\angle ba'd - \frac{\pi}{2} = \gamma$$

由于 α 非常微小,显然有

$$\gamma = -\alpha \approx -\tan \alpha = -\frac{0.025}{250} \text{ rad} = -1 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

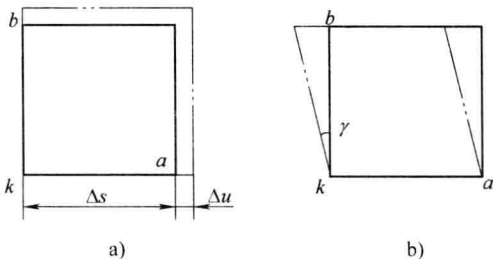


图 1-7

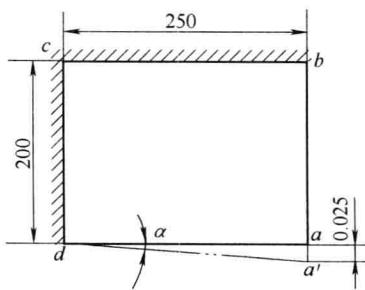


图 1-8

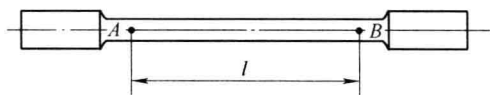
思 考 题

1. 何谓变形？弹性变形与塑性变形有何区别？
2. 材料力学的强度、刚度、稳定性是如何定义的？强度与刚度有何区别？强度、刚度、稳定性在工程实际中有何意义？
3. 杆件的轴线与横截面之间有何关系？
4. 材料力学的基本假设是什么？均匀性假设与各向同性假设有何区别？能否说均匀性材料一定是各向同性材料？
5. 杆件有几种基本变形形式？
6. 构件在外力作用下作等速直线运动，能否说“该构件处于动载荷作用下”？
7. 何谓内力？何谓截面法？截面法一般步骤是什么？
8. 何谓应力？何谓正应力与切应力？应力的量纲与单位是什么？
9. 内力与应力有何区别？能否说“内力是应力的合力”？
10. 何谓正应变与切应变？它们的量纲是什么？切应变的单位是什么？

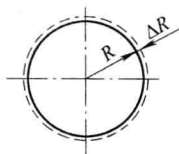
习 题

1-1 如题 1-1 图所示拉伸试样上 A 、 B 两点间的距离 l 称为标距。受拉力作用后，用变形仪量出 l 的增量为 $10 \times 10^{-2} \text{ mm}$ 。若 l 的原长度为 100 mm ，试求 A 、 B 两点间的平均线应变 ε 。

1-2 如题 1-2 图所示，圆形薄板的半径为 R ，变形后 R 的增量为 ΔR ，若 $R = 80 \text{ mm}$ ， $\Delta R = 3 \times 10^{-3} \text{ mm}$ ，试求沿半径方向和外圆圆周方向的平均应变。

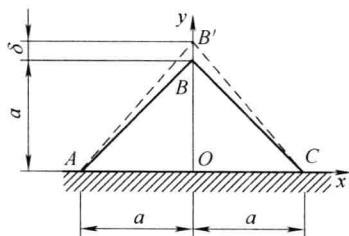


题 1-1 图



题 1-2 图

1-3 题 1-3 图所示的三角形薄板， $a = 120 \text{ mm}$ ，因受外力作用而变形，角点 B 垂直向上位移为 $\delta = 0.03 \text{ mm}$ ，但 AB 和 BC 仍保持为直线。试求 OB 的平均应变和 AB 与 BC 两边在 B 点的角度改变。



题 1-3 图

第二章 拉伸与压缩

本章主要讨论拉(压)构件的强度和变形计算问题,通过拉伸或压缩变形的应力和变形计算及材料在拉伸和压缩时的力学性能的研究,提出了杆件拉伸和压缩时的强度条件。初步研究超静定问题的解法。本章所涉及的概念和研究方法,是材料力学的学习基础,因此,阐述分析较详细。本章复习思考题也较多,目的都是为了打好基础。

第一节 轴向拉伸与压缩的概念与实例

一、工程实际中的轴向拉伸和压缩问题

工程实际中,经常遇到因外力作用产生拉伸或压缩变形的杆件。例如简易起重机(图 2-1),由拉杆 BC 和横梁 AB 等组成,各构件间用铰链连接,如图 2-1a 所示。经过受力分析,工作时 BC 杆受到 B 、 C 两端的拉力作用,这个拉力是通过销钉作用在销钉孔上的,如图 2-1b 所示。拉力在销钉孔处的分布情况,仅影响销钉孔附近的局部区域,对拉杆的主体来说,没有什么影响,可不加考虑;而其合力 F 则是影响拉杆强度的主要因素。因此可以将拉杆 BC 简化为如图 2-1c 所示的受力情况,杆受到一对拉力的作用,拉力 F 的作用线与杆的轴线重合。显然,吊运重物 P 的钢丝绳,也是受到轴向拉伸的构件。

又如内燃机的连杆在燃气爆炸冲程中受压(图 2-2)。再如紧固的螺栓受拉(图 2-3)等,它们都可以简化为轴向拉伸或压缩的构件。

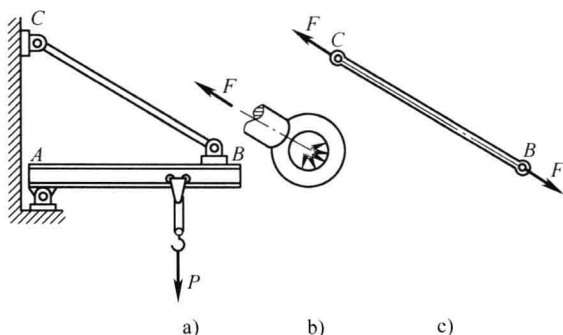


图 2-1

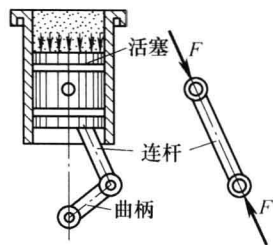


图 2-2

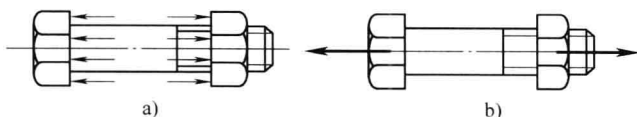


图 2-3

二、轴向拉伸或压缩的概念

综观各例,可以看出,工程实际中许多轴向拉伸或压缩的构件多为等截面直杆。这些受