

高等学校工科力学系列教材

MECHANICS
OF MATERIALS

材料力学

秦世伦 主编



四川大学出版社

高等学校工科力学系列教材

MECHANICS OF MATERIALS

材料力学

主编 秦世伦

编委 石秋英 徐双武 李亚兰 秦世伦

四川大学出版社



责任编辑:周树琴 马 娜
责任校对:王 锋
封面设计:罗 光
责任印制:李 平

图书在版编目(CIP)数据

材料力学 / 秦世伦主编. —成都: 四川大学出版社,
2008.7

ISBN 978-7-5614-4058-2

I. 材… II. 秦… III. 材料力学 IV. TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 100659 号

书名 材料力学

主 编	秦世伦
出 版	四川大学出版社
地 址	成都市一环路南一段 24 号 (610065)
发 行	四川大学出版社
书 号	ISBN 978-7-5614-4058-2/TB·6
印 刷	四川锦祝印务有限公司
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	27.5
字 数	631 千字
版 次	2008 年 8 月第 1 版
印 次	2008 年 8 月第 1 次印刷
印 数	0 001~4 000 册
定 价	45.00 元

◆读者邮购本书,请与本社发行科
联系。电话:85408408/85401670/
85408023 邮政编码:610065

◆本社图书如有印装质量问题,请
寄回出版社调换。

版权所有◆侵权必究

◆网址:www.scupress.com.cn

前 言

这部教材是四川省精品课程“工程力学”的建设项目之一，也是适应于把四川大学建设成为研究型大学、把学生培养成高素质的复合型人才的目标而编写的。

“材料力学”课程的传统定位是“技术基础课”，为了适应学校的总体目标，我们倾向于把课程重新定位于“应用科学基础课”。在课程目标方面，把培养学生的创新精神和科学素质作为课程改革的出发点，并把“材料力学，我们身边的科学”作为课程的基本理念；在课程内容和体系方面，在强调课程的应用性的同时，把课程的基础性放到重要位置。

为了实现上述设想，这部教材在以下几方面做出了努力：

(1) 重视学生对知识的积累、发展和创新过程的体验和理解。对于基本概念、基本原理和基本方法的引入、证明和应用，不仅讲“怎么做”，而且讲“为什么要这么做”，还要引导学生思考“怎么会想到要这样做”，并且辅之以图形，引导学生的思维从形象到逻辑，从具体到抽象的转化。让学生从对知识的琢磨、讨论和研究的过程中领悟知识的发展和创新，从而培养学生的创新精神和能力。

(2) 重视方法论的启迪。教材中将力学分析、物理分析和几何分析贯穿始终，强化分析问题的总体思路，增加了对一些例题的结果的评估和延伸。努力提高学生在总体上把握力学问题的能力。

(3) 重视知识的综合应用，有意识地加大了对综合问题分析的力度和深度。

另外，这部教材在内容的编写方面也有较大的改进。在“固体力学基本概念的初步知识”、“梁的弯曲变形”、“应力与应变分析”、“压杆稳定”等章节与国内同类教材相比有明显的变化，出现了一些新的提法。这些变化一方面来源于对国外教材的借鉴，另一方面也来源于编者对于若干问题的研究体会。

这部教材重视对学生认知规律的研究、适应和利用。内容的安排方面力求深度适宜，难点分散，在循序渐进的同时适当增大梯度；语言叙述方面力求在准确的同时做到流畅通俗，易于理解和自学。这部教材的体系、内容和方法在近几年的教学实践中已经得到了体现，并已取得了较好的效果。因此，这部教材应该是近几年教学改革及实践的一个反映和总结。

本教材的另一个特点，就是提供了大量的思考题和习题，思考题和习题总量达 900 余道，是国内同类教材习题量的两倍以上。这一方面是给学生充分思考和练习的机会，另一方面也为老师因材施教提供了一个平台。对于部分较深入内容的拓展就是以习题的形式出现的，习题按难易程度分为 A、B 两组。习题和思考题充分注意了多样性与新颖

性。其中有许多非工业工程类的题目，这是为了强调本课程的基本理念而设置的。还有一些新型的研究型题目，供学有余力的学生进一步钻研。部分经典的题目广泛采集于已经出版的教材，在此向这些教材的作者们致谢，并因不可能逐一查找起源而请求作者们原谅。本书中许多新型的题目则是编者原创的。

本书的内容是根据教育部“工科基础力学教学指导委员会”所制定的“材料力学”教学大纲的要求安排的。根据我们教学经验，若不讲授带“*”的章节，约需64学时；若全部讲授（包括带“*”的章节），则约需96学时，因此本书广泛适用于各类学时要求。与本书配套的电子教案已在前两年由清华大学出版社出版。

除了主编之外，参加本书部分编写工作的还有石秋英、徐双武、李亚兰等老师，全书由主编定稿。由于我们的水平和经验的限制，也由于教学改革是一个不断探索和创新的过程，因此恳请有关专家、同行，以及使用本书的同学们提出批评、指正和建议。编者的电邮地址是qinshilun@tom.com。

编 者

2008年7月于四川大学

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 材料力学的主要内容	(1)
1.2 材料力学的基本假定	(3)
1.2.1 关于材料性质的假定	(3)
1.2.2 关于构件变形的假定	(4)
1.3 杆件及其基本变形形式	(4)
1.4 材料力学的研究方法	(6)
第 2 章 杆件的内力	(8)
2.1 内力的定义及其符号规定	(8)
2.2 内力方程与内力图	(10)
2.3 梁的平衡微分方程及其应用	(16)
2.3.1 梁的平衡微分方程	(16)
2.3.2 梁承受集中荷载的情况	(18)
2.3.3 根据外荷载画剪力弯矩图	(19)
2.3.4 弯矩的峰值	(21)
2.4 简单刚架的内力图	(24)
2.5 用奇异函数求弯矩方程*	(26)
思考题 2	(31)
习题 2(A)	(32)
习题 2(B)	(39)
第 3 章 固体力学基本概念的初步知识	(41)
3.1 应力	(41)
3.1.1 应力矢量的一般概念	(41)
3.1.2 切应力互等定理	(45)
3.2 应变的基本概念	(46)
3.3 材料的力学性能	(48)
3.3.1 材料的力学性能的方向性	(48)
3.3.2 材料的变形能力	(49)
3.3.3 材料力学性能中的时间效应	(51)
3.4 材料的简单本构模型	(53)

3.4.1 线弹性体	(53)
3.4.2 弹塑性体*	(54)
3.4.3 粘弹性体*	(55)
3.5 材料的破坏及构件的失效	(57)
3.5.1 构件的强度、刚度和稳定性条件	(57)
3.5.2 构件的疲劳简介	(58)
思考题 3	(59)
习题 3(A)	(61)
习题 3(B)	(64)
第 4 章 杆件的拉伸与压缩	(66)
4.1 杆件拉伸和压缩的应力	(66)
4.1.1 横截面上的应力	(66)
4.1.2 斜截面上的应力	(69)
4.2 拉伸和压缩的变形	(70)
4.2.1 拉压杆的变形	(70)
4.2.2 简单桁架的结点位移	(72)
4.3 拉压超静定问题	(74)
4.3.1 拉压超静定问题及其求解方法	(74)
4.3.2 装配应力	(78)
4.3.3 热应力	(80)
4.4 塑性结构的极限荷载*	(81)
4.5 连接件中应力的实用计算	(83)
思考题 4	(86)
习题 4(A)	(88)
习题 4(B)	(96)
第 5 章 轴的扭转	(99)
5.1 圆轴扭转的应力	(99)
5.2 圆轴扭转的变形	(104)
5.3 扭转超静定问题	(106)
5.4 圆轴扭转的极限荷载*	(107)
5.5 矩形截面轴的扭转	(109)
5.6 薄壁杆件的自由扭转*	(111)
5.6.1 开口薄壁杆件的扭转	(111)
5.6.2 闭口薄壁杆件的扭转	(112)
思考题 5	(114)
习题 5(A)	(115)
习题 5(B)	(121)
第 6 章 梁的弯曲应力	(123)

6.1 梁的弯曲正应力	(124)
6.1.1 梁横截面上的正应力公式	(124)
6.1.2 梁的最大正应力	(127)
6.2 梁的弯曲切应力	(131)
6.3 梁的强度及梁的设计	(136)
6.4 梁弯曲的极限荷载*	(139)
6.5 薄壁杆件的弯曲*	(141)
6.5.1 薄壁杆件的弯曲切应力	(141)
6.5.2 弯曲中心	(145)
6.6 组合变形的应力分析	(147)
6.6.1 拉(压)弯组合	(147)
6.6.2 斜弯曲	(151)
6.6.3 截面核心的概念	(154)
6.6.4 弯扭组合	(156)
6.6.5 梁弯曲的一般情况*	(158)
思考题 6	(159)
习题 6(A)	(163)
习题 6(B)	(176)
第 7 章 梁的弯曲变形	(182)
7.1 挠度曲线微分方程	(182)
7.2 积分法求梁的变形	(184)
7.2.1 原理和方法	(184)
7.2.2 用奇异函数求梁的挠度*	(186)
7.3 叠加法计算梁的挠度与转角	(188)
7.3.1 荷载的分解与重组	(189)
7.3.2 逐段刚化法	(190)
7.3.3 利用结构的对称性	(192)
7.4 简单超静定问题	(194)
7.5 提高梁的刚度的措施	(200)
思考题 7	(200)
习题 7(A)	(202)
习题 7(B)	(209)
第 8 章 应力与应变状态分析	(216)
8.1 应力分析	(217)
8.1.1 应力状态矩阵	(217)
8.1.2 斜截面上的应力	(220)
8.1.3 主应力和主方向	(224)
8.1.4 最大切应力	(227)

8.1.5	应力圆	(230)
8.1.6	简单实验中材料破坏的力学机理	(233)
8.1.7	三向应力状态简介	(234)
8.2	应变分析	(235)
8.2.1	应变状态	(235)
8.2.2	应变的测量	(236)
8.2.3	三向应变简介	(238)
8.2.4	斜方向上应变公式的证明*	(239)
8.3	广义胡克定律	(241)
8.4	应变比能	(244)
8.4.1	应变比能的概念	(244)
8.4.2	体积改变比能和形状改变比能	(245)
8.5	张量的初步概念*	(248)
	思考题 8	(252)
	习题 8(A)	(254)
	习题 8(B)	(258)
第 9 章	强度理论	(263)
9.1	经典的强度准则	(264)
9.1.1	常用强度准则	(264)
9.1.2	第三、第四强度准则的几何表示*	(265)
9.1.3	强度准则的应用	(266)
9.2	莫尔强度理论	(274)
9.3	薄壁容器中的应力	(277)
	思考题 9	(280)
	习题 9(A)	(281)
	习题 9(B)	(285)
第 10 章	弹性压杆稳定	(290)
10.1	压杆稳定的一般性概念	(290)
10.1.1	失稳与临界荷载	(290)
10.1.2	刚性杆的稳定	(291)
10.2	理想压杆	(292)
10.2.1	理想压杆的临界荷载	(292)
10.2.2	理想压杆的临界应力	(295)
10.2.3	稳定性设计	(302)
10.3	弹性失稳的一般性讨论*	(303)
10.3.1	弹性屈曲的微分方程	(303)
10.3.2	理想压杆的临界荷载	(304)
10.3.3	非理想压杆简介	(306)

思考题 10	(308)
习题 10(A)	(310)
习题 10(B)	(315)
第 11 章 能量法*	(319)
11.1 杆件的应变能	(319)
11.1.1 杆件中外力的功	(319)
11.1.2 杆件中的应变能	(320)
11.1.3 应变能和外力的功	(323)
11.1.4 互等定理	(324)
11.2 卡氏第二定理	(326)
11.3 莫尔定理	(329)
11.4 图形相乘法	(334)
11.5 动荷载问题	(337)
11.5.1 动荷载问题的分类	(337)
11.5.2 冲击问题的能量法分析	(339)
思考题 11	(343)
习题 11(A)	(345)
习题 11(B)	(358)
附录 I 截面图形的几何性质	(363)
I.1 几何图形的一次矩	(363)
I.2 几何图形的二次矩	(365)
I.3 平行移轴定理	(368)
I.4 转轴定理*	(370)
I.4.1 转轴定理	(370)
I.4.2 惯性主矩和惯性主轴	(372)
附录思考题	(375)
附录习题(A)	(376)
附录习题(B)	(379)
附录 II 简单梁的挠度与转角	(382)
附录 III 型钢表	(384)
附录 IV 习题参考答案	(402)
参考书目	(429)

第1章 绪论

1.1 材料力学的主要内容

材料力学是研究工程构件和机械元件承受荷载能力的基础性学科，也是固体力学中具有入门性质的分支。它以一维构件作为基本研究对象，定量地研究构件内部在各类变形形式下的力学规律，以便于选择适当的材料，确定恰当的形状尺寸，在保证能够承受预定荷载的前提下设计出安全而经济的构件。

工程构件要能够正常工作，应能满足强度、刚度和稳定性三个方面的要求。

所谓强度，是指构件抵抗破坏的能力。在一定的外荷载的作用下，某些构件可能会在局部产生裂纹。裂纹的扩展可能最终导致构件的断裂。还有些构件虽然没有裂纹产生，但可能会在局部产生较大的不可恢复的变形，导致整个构件失去承载能力。这些现象都是工程构件应该避免的。容易想到，将构件换用另一类更加结实耐用的材料，将能够提高构件的强度。这的确是问题的一个方面。正因为如此，这就需要对各类工程材料的力学性能加以研究、分析和比较，把一定的材料应用于最适合的场合。但是问题并非如此简单，因为更加结实耐用的材料往往意味着构件成本的提高。另外一方面，不换用材料，不增加材料用量，而采用更加合理的结构形式，也能提高结构的强度。例如图1.1所示的悬臂梁，仅仅将构件的放置方向改变一下，就提高了构件抵抗破坏的能力。因此，在材料力学中，将全面地考虑影响构件强度的因素，并予以定量分析，从而使人们能够采取更为合理而经济的措施提高构件的强度。

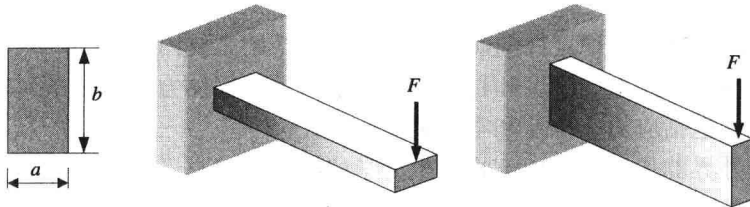


图 1.1 提高构件强度

所谓刚度，是指构件抵抗变形的能力。许多构件都需要满足一定的变形要求。例如在精密仪器中，结构的布置往往都十分紧凑。构件变形过大，会使构件之间产生摩擦而妨碍正常运转。如果摩天大楼在风荷载作用之下发生相当大的变形而摇晃，难免会使位于高层的人们惊惶失措。在这些情况下，人们都希望提高结构的刚度。另一方面，跳水运动员往往希望跳板有足够的弹性和适当的变形量，以便能发挥出更高的水平，这就要

求构件的刚度要与使用要求相适应。针对这些实际要求，材料力学将研究构件的变形的形式和机理，研究控制构件变形的措施。

一个容易让初学者混淆的问题就是把强度和刚度混为一谈，认为提高强度的同时也必然提高了刚度。的确，有些措施在提高强度的同时也提高了刚度。但即使是这样，它们在数量关系上也是不一样的。在今后的章节中读者会看到，当把图 1.1 中的梁由左图的形式变为右图的形式时，在同样的强度条件要求下，允许施加的荷载提高到 $\frac{b}{a}$ 倍；

而在同样的刚度条件要求下，允许施加的荷载提高到 $\left(\frac{b}{a}\right)^2$ 倍。此外，还存在着其他的情况。例如，在不改变其他条件的前提下，仅用高强度的合金钢材代替普通钢材，的确能够提高强度，却不能提高刚度。因此，强度和刚度是完全不同的两个概念。

从图 1.1 可看出，如果荷载沿竖直方向作用，提高构件截面的高宽比有助于提高强度和刚度。但是，过大的高宽比却可能产生如图 1.2 所示的另外一类情况。当外荷载不是很大时，梁保持着仅在竖直平面内发生弯曲的平衡状态，如图 1.2(a) 的左图。但是当荷载逐渐增大，原有的平衡状态变得很不稳定了，很容易转为右图的平衡状态。这种情况称作失稳。图 1.2(b) 的压杆也存在着类似的情况。工程结构应该有足够的保持原有平衡状态的能力，这就是结构的稳定性。材料力学将以图 1.2(b) 一类的压杆为例研究多大的荷载会使它失稳，研究哪些因素在影响压杆的稳定性。

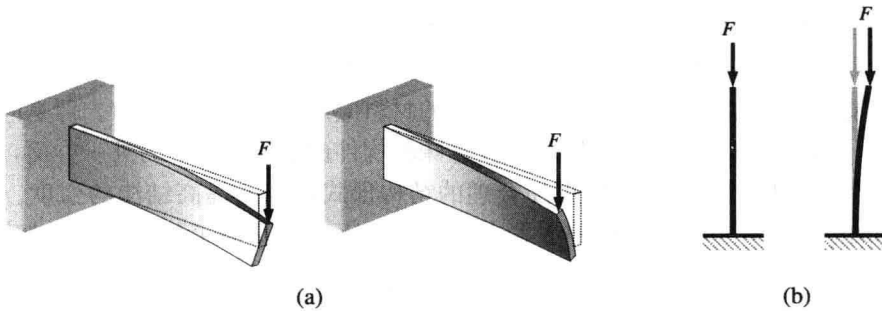


图 1.2 失去稳定性

构件的强度、刚度和稳定性的研究，是材料力学的主要内容。

为了研究构件的强度、刚度和稳定性，必须借助于固体力学的一系列基本概念。其中最重要的概念包括应力、应变和本构关系。

变形体在外界的作用下，内部将产生力学的响应。但是，这种内部的力将以什么样的形式出现？外力可以用矢量来描述，变形体中某点处的内力也可以用矢量来描述吗？这种内部的力如何与外荷载相联系？如何与构件的强度相联系？这些问题的回答需要使用应力这一概念。

变形体对外荷载的另一类响应是几何响应，这就是变形。当外荷载作用在物体上时，物体将发生怎样的变形？变形如何描述？如何度量？变形如何与刚度相联系？解决问题要用到应变的概念。

常识告诉我们，对于某个指定的物体，内部的力学响应越强烈，它的变形也越大。

因此,变形体的力学的和几何的两类响应应该是彼此相关的。另一方面,不同材料组成的构件,在相同的荷载作用之下其变形是不一样的,这就意味着力学和几何这两类响应之间的关系与材料特性有关。反映材料特性的关系泛称本构关系。

应力、应变、本构关系及其所衍生的一系列概念的研究,构成材料力学主要内容的又一个方面。

材料力学对构件的强度、刚度和稳定性的研究,为后续工程课程提供了技术支撑;固体力学的基本概念,则将为后续的力学课程和工程课程打下深入分析的基础。

1.2 材料力学的基本假定

材料力学作为一门基础性学科,将研究工程构件中普遍存在的力学问题。因此,有必要摒弃个别构件中存在的局部现象,而抓住各类构件普遍存在着的带有共性的本质特征,这就要求把这种共性特征作为研究的基本前提,从而形成这门学科的基本假定。材料力学的基本假定分为两类,一类是关于物质结构和材料性质的,另一类是关于变形特征的。下面分别予以叙述。

1.2.1 关于材料性质的假定

首先,对于所研究的对象,材料力学采用了**连续均匀**的基本假定。所谓连续性,是指在物体所占据的空间中,物质是无间隙地连续分布的。所谓均匀性,是指物体的各部分的力学性能是相同的。显然,连续均匀是一种理想化的模型。根据这一模型,连续体中的物理量(如密度、温度等),以及描述物体变形和运动的几何量(如位移、速度等),都假定为空间位置的连续函数。这样,便可以使用无穷小、极限等一系列数学概念。

近代物理学关于物质结构的理论指出,世间一切物体都是由基本粒子构成的。从这个意义上讲,物体构成的模型应该是分离的,物体各部分的组成也是有差异的。但是,如果所研究的对象不是少数粒子的微观的行为,而是大量物质微粒集合的宏观的行为,就可以采用连续均匀模型。

人们之所以能够把事实上分离的物质微粒的集合简化为连续体,其原因在于,单个物质微粒的具体运动对物体的宏观行为影响不大;同时,个体性质相差甚远的物质微粒所构成的物体,其宏观的力学性质却有可能是很相似的(例如铸铁和陶瓷)。另一方面,若从单个的物质微粒的运动规律出发去寻求大量物质微粒集合的宏观的运动规律,至少在目前还存在着巨大的数学和物理学的困难,因此,从连续体假定出发直接研究物体宏观的运动规律,在许多情况下仍然是十分必要的。

由于现代工业化生产流程的规范性,把研究对象的材料简化为均匀体也是符合客观实际的。当然,由于科学技术的发展,满足某些特殊要求的非均匀材料也逐渐进入人们的视野。关于非均匀材料的力学特性和机理的研究,是固体力学研究的前沿领域之一。

如果材料的力学性能与空间方向无关,这种材料就称为**各向同性**的,否则就称为**各向异性**的。钢材是一种典型的各向同性材料。如果在一块钢锭中沿不同方向取材制成相同规格的试件进行试验,那么各个试件将显示出相同的力学性能。这就是各向同性的含

义。一般的金属材料，如铝、铜等，许多非金属材料，如陶瓷、玻璃、混凝土等，都可以视为各向同性材料。在本书中，除了特别声明的个别情况外，总是假定所研究材料都是各向同性的。

1.2.2 关于构件变形的假定

材料力学假定，所研究的构件在外荷载作用下发生的变形都是微小的，在很多情况下都是需要用仪器才能观察到的。比如结构工程中的梁，它在荷载作用下整个跨度上所产生的最大位移，也比梁横截面的尺寸小很多。

绝大多数工程构件在实际工作状态所发生的变形，都是这样的小变形。这正是采用小变形假定的合理之处。

采用了小变形假定，可以使分析过程得以简化。

第一个简化之处，是使得分析和计算可以在未变形的形态（形状和尺寸）上进行。这可从图 1.3 加以说明。图 1.3 是一个简单桁架，其中一根杆件是竖直的，另一根是倾斜的。现在欲在下部结点作用一个竖直向下的作用力。按理论力学中静力学的分析，如图 1.3(a)，斜杆是零杆，即内部没有作用力存在。但是当作用力实际作用后，平衡的形态将如图 1.3(b) 所示。在严格的意义上，斜杆不再是零杆，因而两杆内部的力及变形都不再如图 1.3(a) 的分析那么简单。但是，严密的分析指出，由于杆件发生的是小变形，图 1.3(b) 计算的结果与图 1.3(a) 的计算结果的差别是比杆件内所发生的小变形还要小一阶的微量，因此完全可以忽略不计，斜杆仍然可认为是零杆。因此，除了特别需要并加以声明之处，材料力学总是在未变形的初始形态上进行分析研究的。

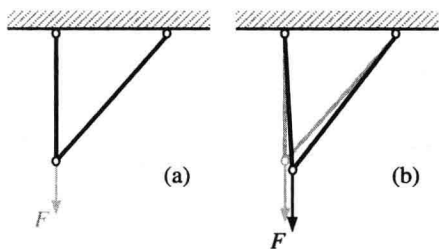


图 1.3 计算基于的形态

第二个简化之处，便是对高阶小量的处理。在许多分析过程中，如果能够确定某些量是高阶小量，本书都将适时地将其舍去，从而使分析的方程线性化。与此相联系的是常用函数的近似处理。例如，在已经确认 x 是微量的前提下， $\sin x$ 和 $\tan x$ 都可以简化为 x ，而 $\cos x$ 则可以简化为 1。诸如此类的处理可以使分析计算容易得多。

1.3 杆件及其基本变形形式

工程构件的形式千差万别，但主要可以划分为杆、板、壳、体四种类型，如图 1.4 所示。

在材料力学中，将以杆件作为研究的基本对象。杆件的特点，是一个方向上的尺寸显著地大于其他两个方向上的尺寸。

杆件的各截面的形心的连线形成轴线。根据轴线的形状，杆件可分为直杆和曲杆。垂直于轴线的截面称为横截面。根据横截面的变化情况，杆件可分为等截面杆（或分段等截面杆）和变截面杆。

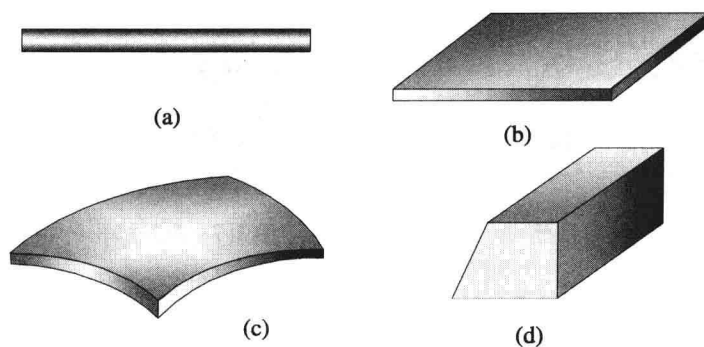


图 1.4 工程构件的基本类型

杆件在外荷载作用下将发生变形。其基本的变形形式分为四种。

如果外力作用在轴线上，杆件将会发生**拉伸**（tension）或**压缩**（compression）的变形，如图 1.5(a)。在拉压变形中，杆件的两个相邻的横截面的距离会增加或缩短。桁架的各部件、吊索、千斤顶螺杆等构件在受力时就将发生这种变形。拉压构件一般就直接称为**杆**（bar），有时候也把竖直方向上承受压缩荷载的构件叫**柱**（column）。

如果垂直于杆件轴线方向作用着一对反向的外力，且这一对反向力之间的距离相距很近，杆件就会产生**剪切**（shearing）变形，如图 1.5(b)。在剪切变形中，两个相邻的横截面将会发生平行错动。销钉、螺栓、键等连接件中在受力时就将发生这种剪切变形。

如果外力偶矩矢量方向与杆件轴线重合，则杆件会产生**扭转**（torsion）变形，如图 1.5(c)。通常把这种发生扭转变形的杆件称为**轴**（shaft）。在扭转中，两个相邻的横截面会绕着轴线发生相对转动。机械中的传动轴、汽车方向盘传动杆、钻杆等构件在工作状态就会发生扭转变形。

如果外力偶矩矢量方向与杆件轴线垂直，则杆件会产生**弯曲**（bending）变形，如图 1.5(d)。通常把这种发生弯曲变形的杆件称为**梁**（beam）。在弯曲变形中，两个相邻的横截面会绕着垂直于轴线的一条线发生相对转动。结构工程中的横梁、桥式起重机的大梁、火车的轮轴等所发生的变形就是弯曲的例子。

实际工程结构中的杆件，有的只发生一种基本变形，有的则会同时发生几种基本变形，这类变形称为**组合变形**。如图 1.6 的夹紧装置，当它被使用时，上方的弯臂部分就发生了拉伸和弯曲的组合变形。而图 1.7 中的直升机中联结螺旋桨与机体的主轴，在飞行过程中则发生了扭转、拉伸和弯曲的组合变形。

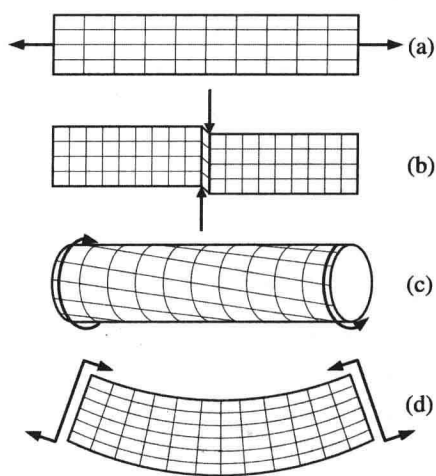


图 1.5 杆件的基本变形

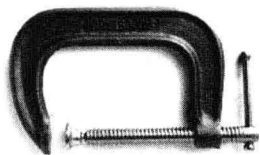


图 1.6 夹紧装置



图 1.7 直升机

1.4 材料力学的研究方法

材料力学整个研究领域都贯穿着对杆件及结构三个方面问题的研究，这就是力学分析、物理分析和几何分析。

(1) 力学分析

力学分析就是要研究构件中的各个力学要素（包括外力和内力、力和力偶矩）之间的关系。由于材料力学大部分内容属于静力学，因此，特别关注上述各类力学要素之间的平衡关系。

需要注意的一个事实是：当构件整体平衡时，它的任意一个局部也都是平衡的。在材料力学中，不仅关注构件的整体平衡，同时还关注构件的局部平衡。这样，在分析过程中，往往会截取平衡构件的一个部分，甚至截取其一个微元长度，或者截取其一个微元体来进行研究。由于这根杆件总体是平衡的，那么它的一个部分、一个微元长度、一个微元体自然也都是平衡的。从而人们就可以用平衡条件来研究内力和外力的关系，内力各要素之间的关系等等。

应该指出，材料力学的研究对象是变形体而不是刚体。因此，在理论力学中经常使用的关于力系的简化、刚体中力和力偶矩的平移定理等用到变形结构中时需要谨慎对待。

(2) 物理分析

由于材料的力学性能显著地影响构件的强度、刚度和稳定性，因此材料力学中必定要研究材料的力学性能，研究构件的力学要素（有时还包括热学要素）与几何要素之间的关系。其中包括荷载与变形量之间的关系、构件内部应力与应变之间的关系，以及温度变化与应力、变形量之间的关系等。

除了理论分析，实验是研究材料的力学性能的重要手段。实验可以提供最基本的物理事实，可以提供指定材料有关强度、刚度和稳定性的基本数据，从而为模型的提炼和抽象提供线索，同时也能为验证模型的正确性提供最直接的证据。

(3) 几何分析

几何分析研究构件和结构中各几何要素之间的关系，包括构件中应变和变形量之间的关系、结构中各构件变形量之间的关系等。

在几何分析中需要注意的是，材料力学只研究处于完好状态的构件和结构，而不研究它们在发生破坏以后的行为。这就要求几何变形具有协调性。

对于构件而言，例如图 1.8(a) 中的矩形，如果发生了如图 1.8(b) 那样的变形，

则是协调的；而图 1.8(c) 的变形，由于出现了裂纹，因而是协调的；图 1.8(d) 的变形，由于出现了物质的重叠，因而也是不协调的（在固体介质中，一部分物质与另一部分物质重叠起来在物理现实中很难实现，却有可能出现在不适当的计算中）。

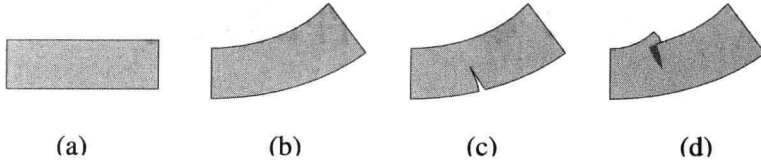


图 1.8 构件的协调

对于结构而言，例如图 1.9(a) 中的桁架，其下端结点有竖直向下的力作用。如果发生了如图 1.9(b) 那样的变形，则是协调的；而如果发生了图 1.9(c) 和图 1.9(d) 的变形，由于三杆的伸长量之间没有满足一定的关系，下端结点由此而解体，因而也都是不协调的。

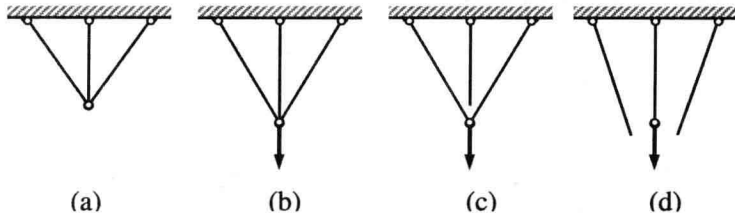


图 1.9 结构的协调

力学分析、物理分析和几何分析三种思路的综合，构成了材料力学研究方法的主体。

要学好材料力学，应该注意与工程实践的结合，这一点应该特别予以重视。由于现代生活已经离不开社会的现代化生产，工业化的产品已经包围了我们并渗透到人们生活的各个方面，而力学往往是各类工业产品设计和生产的技术基础，因此，在我们周围出现的许多事物都体现着各类力学概念、原理和方法。即使是纯天然的东西，例如我们常见的植物、动物，经过千百万年的自然淘汰，它们的许多方面都体现了力学的合理性，甚至某些方面还值得人们研究和借鉴。所以，在学习材料力学的过程中，应该更加细致地观察自己周围的事物，把课程知识与观察联系起来，并试着提出若干问题，努力地用课程的知识对它们进行分析。如果你真的这样做了，就会真正掌握课程的精髓，也会深切地体会到：材料力学，是我们身边的科学。