

高等学校教材

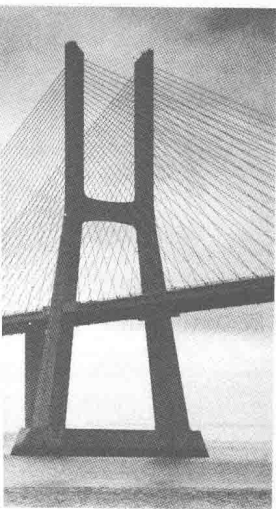


# 材料力学

秦世伦 李晋川 编著

高等教育出版社

高等学校教材



CAILIAO LIXUE

# 材料力学

秦世伦 李晋川 编著

高等教育出版社·北京

## 内容简介

本教材是根据教育部高等学校教学指导委员会力学基础课程教学指导分委员会制定的《高等学校理工科非力学专业力学基础课程教学基本要求》而编写的。

本教材内容包括绪论、杆件的内力、固体力学中的基本概念、杆件的拉伸与压缩、轴的扭转、梁的弯曲应力、梁的弯曲变形、应力与应变状态分析、强度理论、弹性压杆稳定、能量法十一章。教材中带“\*”的章节,其内容超过了教学基本要求,可以根据需要选讲,跳过这些章节不会影响后续的内容。若不讲带“\*”的章节,约需64学时;若讲授全部内容,则约需96学时。

本教材适用于高等学校理工科机械、土建、航空、航天等专业多学时材料力学课程的教学,亦可供参加力学考研、竞赛的师生,以及相关工程人员参考。

本教材配有教学课件、教学视频、习题解答等数字资源,可登录高教社易课程网观看或下载。

## 图书在版编目(CIP)数据

材料力学/秦世伦,李晋川编著.--北京:高等教育出版社,2016.9

ISBN 978-7-04-045983-8

I.①材… II.①秦…②李… 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(2016)第170580号

策划编辑 黄强      责任编辑 黄强      封面设计 张申申      版式设计 杜微言  
插图绘制 杜晓丹      责任校对 刁丽丽      责任印制 刘思涵

---

出版发行	高等教育出版社	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
社 址	北京市西城区德外大街4号		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
邮政编码	100120	网上订购	<a href="http://www.hepmall.com.cn">http://www.hepmall.com.cn</a>
印 刷	山东省高唐印刷有限责任公司		<a href="http://www.hepmall.com">http://www.hepmall.com</a>
开 本	787 mm × 960 mm 1/16		<a href="http://www.hepmall.cn">http://www.hepmall.cn</a>
印 张	35.5	版 次	2016年9月第1版
字 数	650千字	印 次	2016年9月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	56.00元
咨询电话	400-810-0598		

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 45983-00

# 与本书配套的数字课程资源使用说明

与本书配套的数字课程资源发布在高等教育出版社易课程网站,请登录网站后开始课程学习。数字课程资源按照章、节知识树的形式构成,配有电子教案、教学视频、习题解答等资源。

## 网站登录

1. 访问 <http://abook.hep.com.cn/125171>, 点击“注册”, 在注册页面输入用户名、密码及常用的邮箱进行注册。已注册的用户直接输入用户名和密码登录即可进入“我的课程”界面。

2. 点击“我的课程”页面右上方“绑定课程”, 按网站提示输入教材封底防伪标签上的数字, 点击“确定”完成课程绑定。

3. 在“正在学习”列表中选择已绑定的课程, 点击“进入课程”即可浏览或下载与本书配套的课程资源。刚绑定的课程请在“申请学习”列表中选择相应课程并点击“进入课程”。

账号自登录之日起一年内有效, 过期作废。

# 前 言

这部教材是国家级精品课程“工程力学”(静力学 + 材料力学)及四川省教改项目“材料力学教学资源库建设”的研究成果之一。

“材料力学”课程的传统定位是“技术基础课”。为了顺应高校培养高素质创新人才的要求,适应当代科学技术的发展趋势,同时也考虑到力学学科自身的特点,我们把课程重新定位于“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) 把本教材打造为学生探究型学习的文本。教材中提供了丰富的资料和多维度的思考,努力构筑学生主动学习的宽阔平台。重视学生对知识的积累、发展和创新过程的体验和研究,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”。利用图形,引导学生的思维从形象到逻辑,从具体到抽象的转化。让学生从知识的琢磨、讨论和研究的过程中领悟知识的发展和 innovation,培养学生的思辨能力。

(2) 把本教材打造为开放型教材。编者认为,“材料力学”课程的特点,是重视构件在外荷载作用下所表现出来的主要特征,抓住主要矛盾,建立简化模型;综合利用几何分析、物理分析和力学分析的手段,得出符合主要物理事实并满足工程需要的结论。因此,本教材没有把课程内容固化为自我封闭的知识体系,而是将其作为正在发展、不断完善的科学技术的一个环节。既重视其基础性的地位和作用,也重视其与当代科技发展的联系;既重视其在解决许多工程技术问题的有效性,同时也要使学生看到它在应用中所受到的限制,从而培养学生的批判性思维和独立思考的能力。

(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,目的在于培养学生从总体上把握力学问题的能力。本教材加强了实验方面的内容,尤其加强了实验方案设计方面的训练,使之成为课程的有机组成部分。

在内容的编写方面也有较大的改进。在“固体力学中的基本概念”“梁的弯

曲变形”“应力与应变分析”“弹性压杆稳定”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,一方面也来源于编者对于若干问题的研究体会。

本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,便于自学。尽管这部教材是新的,但其体系、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,本教材应该说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 1 000 余道,大大超过目前国内同类教材。这一方面是让学生有充分思考和练习的机会,另一方面也为教师因材施教和学生自主学习提供素材;某些对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。部分经典性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谅解。本教材中许多新型的题目则是编者原创的。

本教材是根据教育部高等学校教学指导委员会力学基础课程教学指导分委员会制定的《高等学校理工科非力学专业力学基础课程教学基本要求》而编写的。教材中带“\*”的章节,其内容超过了教学基本要求,可以根据需要选讲,跳过这些章节不会影响后续的内容。根据我们的教学经验,若不讲带“\*”的章节,约需 64 学时;若讲授全部内容,则约需 96 学时;因此本教材广泛适用于各类学时要求。

本教材的出版得到了北京工业大学隋允康教授和北京航空航天大学蒋持平教授的热情鼓励。两位教授仔细地审阅了全教材并提出了详尽的修改意见。在此,编者对两位教授表示诚挚的感谢。

中国矿业大学已故教授董正筑先生生前曾对本教材初稿提出很好的建议,编者感谢他的指教并对董先生的不幸故去表示深深的哀悼。

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,以及使用本教材的同学们提出批评、指正和建议。编者的电邮地址是 [qinshilun@sina.com](mailto:qinshilun@sina.com)。

编者  
2016 年 1 月

# 目 录

<b>第 1 章</b>	<b>绪论</b> .....	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
1.3	杆件及其基本变形形式 .....	5
1.4	材料力学的研究方法和特点 .....	7
<b>第 2 章</b>	<b>杆件的内力</b> .....	11
2.1	内力的定义及其符号规定 .....	11
2.2	内力方程与内力图 .....	14
2.3	梁的平衡微分方程及其应用 .....	19
2.4	简单刚架的内力图 .....	29
2.5	用奇异函数求弯矩方程 .....	32
	思考题 2 .....	37
	习题 2(A) .....	39
	习题 2(B) .....	47
<b>第 3 章</b>	<b>固体力学中的基本概念</b> .....	51
3.1	应力的基本概念 .....	51
3.2	应变的基本概念 .....	56
3.3	材料的力学性能 .....	61
3.4	材料的简单本构模型 .....	67
3.5	材料的破坏及构件的失效 .....	71
	思考题 3 .....	75
	习题 3(A) .....	78
	习题 3(B) .....	81
<b>第 4 章</b>	<b>杆件的拉伸与压缩</b> .....	83
4.1	杆件拉伸和压缩的应力 .....	83
4.2	拉伸和压缩的变形 .....	90
4.3	拉压超静定问题 .....	94

* 4.4	塑性结构的极限荷载 .....	104
4.5	连接件中应力的实用计算 .....	106
思考题 4	.....	110
习题 4(A)	.....	113
习题 4(B)	.....	123
<b>第 5 章</b>	<b>轴的扭转</b> .....	129
5.1	圆轴扭转的应力 .....	129
5.2	圆轴扭转的变形 .....	135
5.3	扭转超静定问题 .....	138
* 5.4	圆轴扭转的极限荷载 .....	139
5.5	矩形截面轴的扭转 .....	142
* 5.6	薄壁件的自由扭转 .....	145
思考题 5	.....	149
习题 5(A)	.....	150
习题 5(B)	.....	158
<b>第 6 章</b>	<b>梁的弯曲应力</b> .....	162
6.1	梁的弯曲正应力 .....	163
6.2	梁的弯曲切应力 .....	172
6.3	梁的强度设计 .....	179
* 6.4	梁弯曲的极限荷载 .....	183
* 6.5	薄壁杆件的弯曲 .....	186
6.6	组合变形的应力分析 .....	193
思考题 6	.....	208
习题 6(A)	.....	212
习题 6(B)	.....	226
<b>第 7 章</b>	<b>梁的弯曲变形</b> .....	238
7.1	挠度曲线微分方程 .....	238
7.2	积分法求梁的变形 .....	240
7.3	叠加法计算梁的挠度与转角 .....	245
7.4	简单超静定问题 .....	252
7.5	梁的刚度设计 .....	259
7.6	梁理论的形成和发展 .....	260



思考题 7	262
习题 7(A)	264
习题 7(B)	274
<b>第 8 章 应力与应变状态分析</b>	<b>283</b>
8.1 应力状态分析	284
8.2 应变状态分析	307
8.3 广义胡克定律	312
8.4 电测法的应用	316
8.5 应变比能	323
* 8.6 张量的初步概念	327
思考题 8	331
习题 8(A)	333
习题 8(B)	339
<b>第 9 章 强度理论</b>	<b>347</b>
9.1 经典的强度准则	348
* 9.2 莫尔强度理论	362
9.3 薄壁容器中的应力	365
思考题 9	367
习题 9(A)	369
习题 9(B)	375
<b>第 10 章 弹性压杆稳定</b>	<b>381</b>
10.1 压杆稳定的一般性概念	381
10.2 理想压杆	383
* 10.3 非理想压杆简介	397
* 10.4 关于失稳问题研究方法的一些讨论	400
思考题 10	405
习题 10(A)	407
习题 10(B)	414
<b>* 第 11 章 能量法</b>	<b>421</b>
11.1 杆件的应变能	421
11.2 虚位移原理	430
11.3 莫尔定理	433

11.4	图形相乘法	438
11.5	动荷载问题	445
	思考题 11	452
	习题 11(A)	454
	习题 11(B)	469
附录 I	截面图形的几何性质	477
I.1	几何图形的一次矩	477
I.2	几何图形的二次矩	480
I.3	平行移轴定理	483
I.4	转轴定理	485
	附录 I 思考题	491
	附录 I 习题(A)	493
	附录 I 习题(B)	497
附录 II	简单梁的挠度与转角	501
附录 III	常用工程材料的力学性能	503
附录 IV	型钢表	504
附录 V	习题参考答案	516
	参考书目	553

# 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的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(strength),是指构件抵抗破坏的能力。在一定的荷载的作用下,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,但是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,就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 的矩形截面悬臂梁,很容易看出来,仅仅将构件的放置方向从图 1.1(b)改变为图 1.1(c),就可以提高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可靠的措施提高构件的强度。

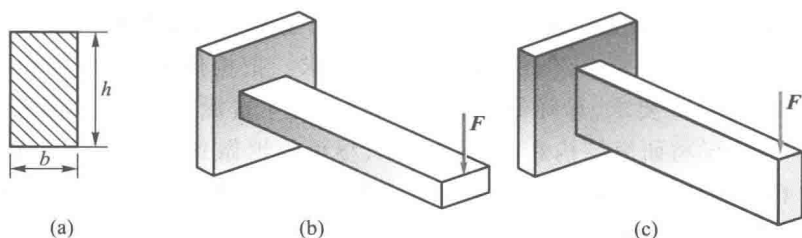


图 1.1 提高强度

所谓刚度(stiffness),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。例如在飞行器及许多精密仪器中,结构的布置往往都十分紧凑。构件变形过大,会使构件之间产生擦挂而妨碍正常运转。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慌失措。这些情况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,材料力学中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,当把梁由图 1.1(b)的形式变为图 1.1(c)的形式时,若截面宽度为  $b$ ,高度为  $h$ ,则在同样的强度条件要求下,允许施加的荷载提高到  $\frac{h}{b}$  倍;而在同样的刚度条件要求下,允许施加的荷载提高到  $\left(\frac{h}{b}\right)^2$  倍。而且,还存在着另外的情况。例如,在以后的学习中我们可以获知,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 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,很容易转为图 1.2(a)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(stability)。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。

构件必须满足强度、刚度和稳定性的要求,是出于对工程构件安全性的考虑。这是构件首要的要求,但绝不是唯一的要求。把构件做得“傻大粗笨”,固然可以满足安全性要求,却降低了经济效益,浪费了资源,不符合节能和低碳的要求。材料力学将研究结构和材料的特点,尽可能地做到物尽其用。读者可以看到,材料力学中的一些有效的,甚至是巧妙的措施,可以在不增加成本的前提下大幅度地提高结构和构件的安全性。

为了研究构件的强度、刚度和稳定性,必须借助于固体力学中所使用的一系

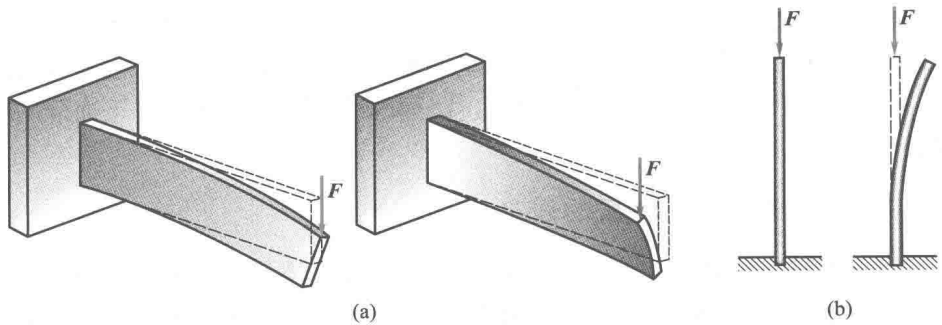


图 1.2 失去稳定性

列基本概念;其中最重要的概念是应力、应变和本构关系。

变形体在外荷载的作用下,内部将产生力学的响应。当外荷载作用在物体上时,物体内部一定也有力学效应产生。但是,这种内部的力将以什么样的形式出现?某些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?回答这些问题需要使用应力(stress)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?变形有哪些基本形式?它们该如何描述?如何度量?又如何与刚度相联系?解决这些问题要用到应变(strain)的概念。

一般地讲(尤其是弹性构件),只要约束允许,变形体内部的力学响应越强烈,它的变形也越大。因此,变形体的力学和几何两类响应应该是彼此相关的。另一方面,由不同材料制成的构件,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(constitutive relation)。

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关于构件安全性的基本思路;固体力学的基本概念,则将为后续的力学课程和工程课程分析更为复杂的结构和更为复杂的力学现象打下基础。

## 1.2 材料力学的基本假定

材料力学研究工程构件中普遍存在的力学问题,有必要摒弃个别构件中存

在的特殊现象,而抓住各类构件带有共性的本质特征,同时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

对于所研究的对象,材料力学采用了连续、均匀和各向同性的基本假定。

所谓连续性(continuity),是指在物体所占据的空间中,物质是无间隙地连续地分布的。所谓均匀性(uniformity),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。从这个意义上来讲,物体构成的模型应该是分离的。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(例如铸铁和陶瓷),其宏观的力学性质却有可能是很相似的。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(isotropy)的,否则就称为各向异性(anisotropy)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,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构形(configuration,指形状和尺寸)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向作用力  $F$ 。按理论力学中静力学的分析,如图 1.3(a),斜杆是所谓零杆,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,两种构型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。一般地,在材料力学课程中,除了少数几处特别需要并加以声明的情况之外,总是在未变形的构形上进行平衡分析,并以这种构形作为计算的基准。

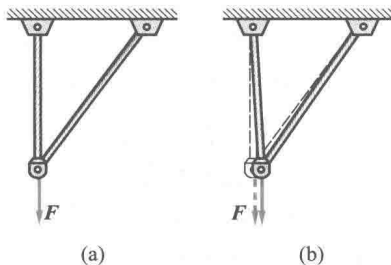


图 1.3 两种计算构型

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纲一的量是高阶小量,本书都将适时地将其舍去,从而使分析的方程线性化,其求解大为简化。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,但仍然可以根据其形状尺寸划分为杆、板、壳、体四种类型,分别如图 1.4(a)、(b)、(c)、(d)所示。

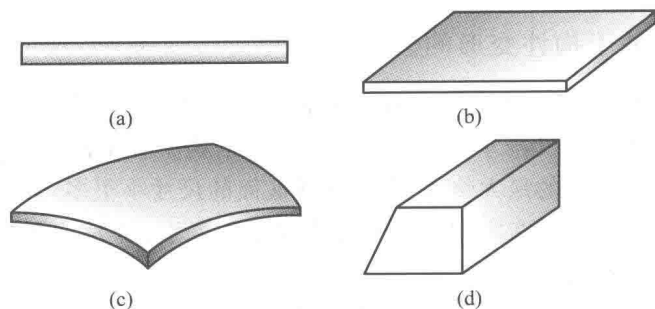


图 1.4 工程构件的基本类型

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。根据横截面沿长度方向的变化情况,杆件可分为等截面杆(或分段等截面杆)和变截面杆。

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,直杆将会发生拉伸(tension)或压缩(compression)的变形,如图 1.5(a)。在拉压变形中,直杆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)。在剪切区域中,两个相邻的横截面将会发生平行错动。销钉、螺栓、键等连接件通常都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

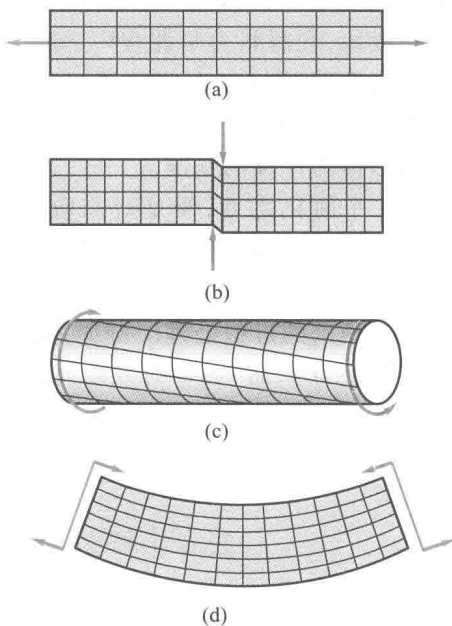


图 1.5 杆件的基本变形



转中,两个相邻的横截面会绕着轴线发生相对的转动。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的转动。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。例如图 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 的直升机中连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。

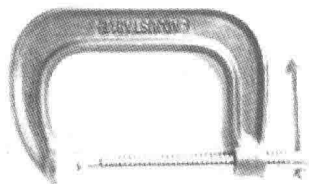


图 1.6 夹紧装置



图 1.7 直升机

## 1.4 材料力学的研究方法和特点

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,力和力偶矩等)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,它的任意的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,来研究内力各要素之间的关系等。