

MECHANICS OF MATERIALS

材料力学

胡益平 主编



四川大学出版社

MECHANICS OF MATERIALS

材料力学

胡益平 主编



四川大学出版社

责任编辑:毕 潜
责任校对:傅 奕
封面设计:墨创文化
责任印制:李 平

图书在版编目(CIP)数据

材料力学 / 胡益平主编. —成都:四川大学出版社, 2010.12

ISBN 978-7-5614-5127-4

I. ①材… II. ①胡… 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 (2010) 第 252044 号

书名 材料力学

主 编	胡益平
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 978-7-5614-5127-4
印 刷	郫县犀浦印刷厂
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	33
字 数	840 千字
版 次	2011 年 1 月第 1 版
印 次	2011 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0 001~2 000 册
定 价	52.00 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。

◆网址:www.scupress.com.cn

版权所有◆侵权必究

前 言

材料力学是工程力学中的一门重要的分支课程，是工科各专业的主要技术基础课程之一，也是后续各专业课的先行课程。因此，掌握这门课程的主要内容和分析方法对于各工科专业的学生来说是至关重要的。材料力学主要研究杆件和杆件结构系统在外力作用下的安全性问题，即其强度、刚度以及稳定性等问题，在既经济又安全的条件下进行合理的结构设计，其理论分析的出发点是杆件的内力。材料力学课程具有下述特点：

(1) 内容和公式较多。由于材料力学要研究杆件在各种变形情况下的安全性问题，因此，其内容显得很庞杂。由于各种变形相应的计算公式是完全不同的，所以材料力学中的理论计算公式显得比较多。

(2) 理论分析较难。尽管材料力学也是在一些基本的假设前提下进行理论分析的，但其理论逻辑进程往往在某处被打断，从而需要实验或假说来补充和完善，因此，其理论分析总是和实验紧密联系，这对低年级的大学生来说常常不能很快适应，所以，掌握材料力学的理论分析方法对学生来说有较大的难度。

(3) 概念多而且较难理解。材料力学中有很多概念，例如强度、刚度、稳定性、应力、应变、变形以及单元体、应力和应变状态、强度理论等，其中有些概念超出了人们一般的常识，因此理解起来比较困难，例如一点应力和应变状态概念就是这种概念。

(4) 计算比较繁琐。材料力学一般处理的是和工程相关的很实际的问题，其计算难免有时很琐碎，因此，学生在学习的过程中，特别在习题训练中，必须耐心和仔细。

针对材料力学课程的上述特点，编者编写本教材的最基本的目的在于：一是让学生在较高层次上把握材料力学课程的内容，二是让学生在较深层次上理解材料力学课程的理论分析方法。

本教材具有如下的特点：

(1) 系统性。编者在长期的教学实践中，总结归纳了材料力学课程的主线，即杆件各种变形的内力、应力、强度、变形、刚度、超静定六个方面的问题，这构成了材料力学课程的基本理论部分。材料力学课程还有三个重要的专题，即压杆稳定、能量法和动应力问题。本教材就是严格按照这一主线来编写的，因此，本教材的内容具有很强的系统性，杆件各种变形的相应内容和计算公式完全可类比，这样学生在掌握了杆件简单变形（例如拉伸压缩和扭转）的分析方法后，就能通过类比掌握和理解杆件复杂变形（例如弯曲和组合变形）的相应内容，这种系统的归纳和类比能使学生在较高层次上把握材料力学课程的内容。

(2) 严密性。在材料力学基本理论部分，本教材采用了较为严密的数学分析过程，注重杆件变形各部分内容之间的理论逻辑过程，使学生知道各部分内容间的前因后果，特别在理论逻辑进程被打断时材料力学如何根据实验或假说来进行补充和完善。这种严密的分析过程能使学生在较深层次上理解材料力学课程的理论分析方法。另外，本教材所得到的各种计算

公式具有较大的普适性，不仅可以处理各种等截面杆件的问题，而且可以在不考虑应力集中效应的情况下处理各种变截面杆件的问题。

(3) 创新性。本教材是编者在十几年的教学实践中，通过对材料力学课程内容和理论的深入理解和研究的情况下编写的，也是针对广大学生在学习这门课程时普遍存在的一些困难而编写的。教材中融会了编者某些独创的方法和新讲法，例如作梁内力图的“连续曲线法”就是编者之原创，而在应力应变状态分析和强度理论部分，编者采用了一种全新的讲法，这些创新的目的就是使学生对相应的问题便于深入理解或易于操作。总之，本教材相对于同类教材来说，具有一些新颖和独到之处；而且以电子课件形式已在实际教学中使用了8年，得到了广大学生的普遍认同，也得到了一些专家们的肯定。

本教材符合教育部“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，适用于中学时（64学时）和多学时（80~96学时）的教学需要，可用于力学、航天航空、土木、机械、交通和水利等工科专业的“材料力学”教学，也适宜作为工科专业研究生入学考试或大学生力学竞赛的参考书。全书共12章和3个附录，严格按材料力学课程的主线编写，基本理论部分为前9章，绪论为第1章，拉伸压缩以及扭转为第2章和第4章，材料的力学性能和连接件的实用计算为第3章，梁的弯曲为第5章、第6章和第7章，组合变形为第8章和第9章，三个专题分别为第10章、第11章和第12章。教材中有若干带“*”的内容，中学时可不选用，多学时可适当选用。

本教材每章均有小结和若干思考题，小结是对每章主要内容的回顾，思考题则是检测对每章基本概念、理论和方法是否切实掌握。本教材还附有大量的习题，分为选择题、填空题、计算题A和计算题B四类，前两类习题部分为编者原创，后两类习题除编者少量的创作外，基本选自四川大学秦世伦教授所主编的《材料力学》（四川大学出版社，2008年），在此谨向秦世伦老师表示感谢和敬意，也感谢他多年以来的关怀和帮助。需要注意的是，计算题A是基础和中等难度的习题，而计算题B则是难度较大的习题，有的习题甚至很难，属于研究型的题目。因此，教师和学生选用和练习时要适度选择。

编者还要特别感谢博士生期间的导师、中国著名的力学家和教育家、哈尔滨工业大学之王铎教授，正是他老人家当年的谆谆教诲、严谨的教学科研态度以及崇高的人品师品影响了编者的教学生涯，今年正值他老人家九十华诞，谨以此书恭祝他老人家福如东海，寿比南山！

另外，曾祥国教授、魏泳涛教授以及陈丽女士等在本书的编写过程中做了大量的工作，没有他们的努力，本书是难以如期付印的。

学无止境，教亦无涯。限于编者的水平，本教材难免有疏漏和不周之处，所以恳请相关专家、同行以及使用或自学本教材的学生们以及工程技术人员们提出批评或建议，以求在今后的再版中得以改正。

胡益平 (huyiping999@163.com)

2010年12月22日于四川大学

目 录

第1章 绪 论	(1)
1.1 工程构件及其分类	(1)
1.2 材料力学的研究对象和任务	(2)
1.3 材料力学的基本假设	(3)
1.4 杆件的基本变形形式	(5)
1.5 材料力学的基本概念	(6)
1.5.1 内力概念	(6)
1.5.2 应力概念	(8)
1.5.3 应变概念	(10)
1.5.4 单元体概念	(11)
1.5.5 简单虎克定律	(12)
1.6 材料力学的研究方法	(13)
1.7 材料力学的主要研究内容	(15)
小结	(16)
思考题一	(17)
习题一	(18)
第2章 拉伸与压缩	(21)
2.1 拉压杆的内力——轴力	(22)
2.1.1 轴力函数	(22)
2.1.2 轴力的正负号规定	(23)
2.1.3 轴力图	(23)
2.1.4* 拉压杆的平衡微分方程和积分方程	(24)
2.2 拉压杆的应力	(26)
2.2.1 杆件横截面上的正应力	(26)
2.2.2 杆件斜截面上的应力	(29)
2.3 拉压杆的强度	(30)
2.3.1 强度条件	(30)
2.3.2 强度条件的应用	(30)
2.4 拉压杆的变形	(33)
2.4.1 杆件的轴向变形	(33)
2.4.2 杆件的横向变形	(34)
2.5 拉压杆的刚度	(34)
2.5.1 刚度条件	(34)
2.5.2 刚度条件的应用	(35)

2.5.3 简单桁架结构节点位移的计算	(39)
2.6 拉压杆的超静定问题	(40)
2.6.1 静定和超静定概念	(40)
2.6.2 超静定问题的解法	(40)
2.6.3 初应力问题	(44)
小结	(46)
思考题二	(47)
习题二	(48)
第3章 材料的力学性能和连接件的实用计算	(62)
3.1 材料的力学性能	(62)
3.1.1 材料力学性能概念	(62)
3.1.2 塑性材料的力学性能	(63)
3.1.3 脆性材料的力学性能	(67)
3.1.4 影响材料力学性能的其他因素	(68)
3.1.5* 弹塑性材料的本构关系	(69)
3.1.6* 材料的粘弹性性能	(69)
3.1.7 许用应力和安全系数	(71)
3.2 连接件的实用计算	(72)
小结	(75)
思考题三	(75)
习题三	(76)
第4章 轴的扭转	(81)
4.1 圆轴扭转时的内力——扭矩	(82)
4.1.1 扭矩函数	(82)
4.1.2 扭矩的正负号规定	(83)
4.1.3 扭矩图	(83)
4.1.4* 扭转杆件的平衡微分方程和积分方程	(84)
4.2 圆轴扭转时的应力	(87)
4.3 圆轴扭转时的强度	(91)
4.3.1 强度条件	(91)
4.3.2 强度条件的应用	(91)
4.3.3 圆轴扭转时的破坏现象	(92)
4.4 圆轴扭转时的变形	(95)
4.5 圆轴扭转时的刚度	(96)
4.5.1 刚度条件	(96)
4.5.2 刚度条件的应用	(97)
4.6 圆轴扭转的超静定问题	(99)
4.7* 非圆形截面杆件的扭转	(103)
4.7.1 矩形截面杆件的扭转	(103)
4.7.2 薄壁杆件的扭转	(105)
小结	(108)

思考题四	(109)
习题四	(109)
第5章 梁的弯曲内力	(117)
5.1 梁弯曲的基本概念	(118)
5.1.1 梁的计算简图	(118)
5.1.2 梁上载荷及其正负号规定	(119)
5.1.3 梁的约束及支反力	(120)
5.1.4 梁的纯弯曲及中性层	(121)
5.1.5 梁的分类	(122)
5.2 梁弯曲的内力	(124)
5.2.1 内力函数	(124)
5.2.2 内力的正负号规定	(125)
5.2.3 内力图	(126)
5.3 截面法求梁的内力函数并作内力图	(127)
5.4 梁的平衡方程和积分方程	(129)
5.4.1 梁的平衡方程	(129)
5.4.2 梁的积分方程	(132)
5.5 连续曲线法作梁的内力图	(133)
5.5.1 方法介绍	(133)
5.5.2 梁中内力的物理性质	(136)
5.5.3 中间铰梁的内力图	(138)
5.5.4 常见梁的内力图	(140)
5.6 曲梁的内力和内力图	(140)
5.6.1 弧形梁的内力	(141)
5.6.2 刚架的内力	(142)
5.7* 求梁内力函数的奇异函数法	(143)
5.7.1 奇异函数的定义	(143)
5.7.2 奇异函数的性质	(144)
5.7.3 奇异函数法求梁的内力	(145)
小结	(146)
思考题五	(147)
习题五	(147)
第6章 梁的弯曲应力与强度	(157)
6.1 梁弯曲的正应力	(157)
6.1.1 纯弯曲梁的正应力	(157)
6.1.2 一般横力弯曲梁的正应力	(161)
6.2 梁弯曲的危险应力	(162)
6.2.1 梁中的最大正应力	(162)
6.2.2 等截面梁的最大拉应力和最大压应力	(163)
6.3 梁弯曲的切应力	(167)
6.3.1 矩形截面梁	(168)

6.3.2 其他截面梁	(170)
6.4* 组合梁弯曲的正应力	(172)
6.5 梁弯曲的强度	(176)
6.5.1 梁的强度条件	(176)
6.5.2 梁强度条件的应用	(177)
6.6 提高梁强度的方法	(180)
6.6.1 降低梁的最大弯矩	(180)
6.6.2 增大梁的抗弯截面系数	(182)
6.6.3 等强度梁	(184)
6.7* 薄壁杆件的弯曲	(188)
6.7.1 薄壁杆件弯曲的切应力	(188)
6.7.2 弯曲中心	(191)
小结	(192)
思考题六	(193)
习题六	(194)
第7章 梁的弯曲变形与刚度	(207)
7.1 梁弯曲变形的基本概念	(207)
7.1.1 挠度	(207)
7.1.2 转角	(208)
7.1.3 梁的变形	(208)
7.2 挠曲线的近似微分方程	(209)
7.3 积分法计算梁的变形	(210)
7.3.1 函数 $\frac{M(x)}{EI}$ 在梁中为单一函数	(210)
7.3.2 函数 $\frac{M(x)}{EI}$ 在梁中为分段函数	(211)
7.4 梁弯曲变形的一些重要特性	(214)
7.4.1 影响梁内力、应力及变形的因素	(214)
7.4.2 载荷与梁的内力及变形的关系	(214)
7.4.3 梁与刚性地基或平台的接触问题	(214)
7.4.4 对称梁与反对称梁问题	(215)
7.5 叠加法计算梁的变形	(220)
7.5.1 常见情况叠加法的应用	(221)
7.5.2 叠加法的常用技巧	(227)
7.6* 奇异函数法计算梁的变形	(230)
7.7 梁的刚度	(232)
7.7.1 梁的刚度条件	(232)
7.7.2 刚度条件的应用	(232)
7.7.3 提高梁刚度的方法	(233)
7.8 梁的简单超静定问题	(234)
7.8.1 简单超静定梁问题的解法	(234)
7.8.2* 高次超静定梁问题	(243)

小结	(244)
思考题七	(245)
习题七	(246)
第 8 章 应力与应变状态分析	(262)
8.1 应力状态分析	(263)
8.1.1 一点应力状态概念	(263)
8.1.2 主单元体与主应力概念	(265)
8.1.3 应力状态的分类	(266)
8.1.4 平面应力状态分析	(268)
8.1.5 最大切应力	(274)
8.1.6* 应力圆	(276)
8.1.7* 三向(空间)应力状态简介	(279)
8.2 应变状态分析	(281)
8.2.1 一点应变状态概念	(281)
8.2.2 主应变概念	(283)
8.2.3 应变状态的分类	(283)
8.2.4 平面应变状态分析	(284)
8.2.5* 三向(空间)应变状态简介	(288)
8.2.6 应变测量	(289)
8.3 广义虎克定律	(291)
小结	(295)
思考题八	(298)
习题八	(298)
第 9 章 强度理论及组合变形	(308)
9.1 强度理论概念	(308)
9.2 四个常用的强度理论	(310)
9.2.1 脆性断裂理论	(311)
9.2.2 塑性屈服理论	(312)
9.2.3 四个常用强度理论的简要评述	(313)
9.2.4 工程中强度理论的选择	(314)
9.3 强度理论的应用	(314)
9.3.1 单向应力状态	(315)
9.3.2 纯剪应力状态	(315)
9.3.3 $\sigma_y = 0$ 的平面应力状态	(316)
9.4 组合变形的强度计算	(317)
9.4.1 组合变形杆件强度计算步骤	(317)
9.4.2 各种组合变形杆件的强度	(317)
9.5 组合变形的超静定问题	(331)
9.6 梁弯曲的一般情况	(334)
9.7 薄壁容器的应力与强度	(335)
小结	(338)

思考题九	(339)
习题九	(340)
第 10 章 压杆稳定	(353)
10.1 稳定与失稳的一般概念	(353)
10.2* 压杆弹性屈曲的平衡微分方程	(355)
10.3 理想压杆的临界载荷	(356)
10.4 理想压杆的临界应力	(362)
10.5 压杆的稳定性计算	(364)
10.6* 刚性压杆的稳定问题	(368)
10.7* 非理想压杆简介	(369)
小结	(372)
思考题十	(372)
习题十	(373)
第 11 章 能量法	(384)
11.1 应变能概念	(384)
11.2 应变比能	(386)
11.3 杆件的应变能	(389)
11.4 互等定理	(395)
11.5 能量法 1——卡氏(Castigliano)定理	(397)
11.6 能量法 2——单位载荷法	(401)
11.7 能量法 3——图形互乘法	(409)
11.8 能量法在超静定结构中的应用	(415)
11.9 能量法在对称、反对称以及中心对称结构中的应用	(419)
小结	(425)
思考题十一	(428)
习题十一	(429)
第 12 章 动载荷问题	(443)
12.1 惯性载荷问题	(443)
12.2 冲击载荷问题	(446)
12.3 交变载荷问题	(455)
小结	(458)
思考题十二	(459)
习题十二	(460)
附录 A 截面图形的几何性质	(470)
附录 B 简单梁的挠度与转角	(490)
附录 C 型钢表	(492)
部分习题参考答案	(498)
参考文献	(516)

第1章 绪论

1.1 工程构件及其分类

组成工程结构的独立的零部件通称**工程构件**。构件在外力作用下其尺寸和形状都将产生变化,这种变化称为构件的变形,任何工程构件都是可变形体。如果构件的尺寸和形状在外力解除后能恢复原有的形态,则构件的变形称为**弹性变形**;如果不能恢复原有的形态,则称为**塑性变形**或**残余变形**。

工程中的实际构件形状多种多样,根据其几何特征可分为如下几类:

(1) 杆件

一个方向的尺寸远远大于另外两个方向的尺寸的构件称为杆件(如图1-1所示)。

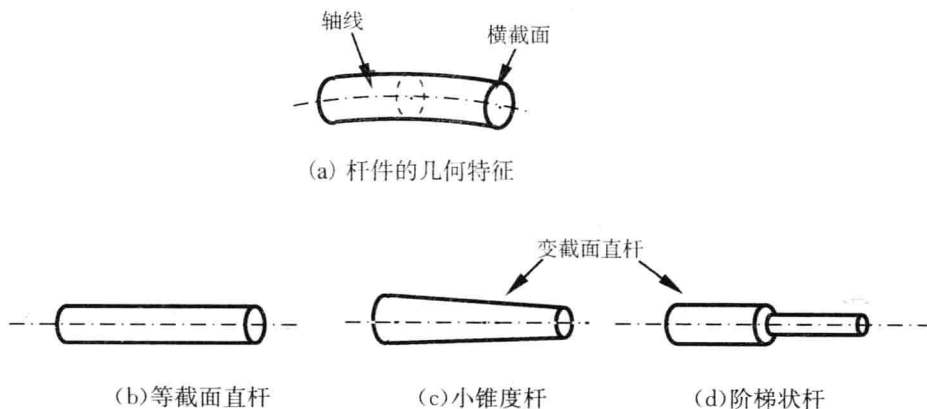


图1-1 杆件

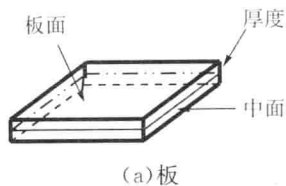
横截面处处相同的杆件称为等截面杆,而各处横截面不全部相同的杆件称为变截面杆(如图1-1(c)、(d)所示)。轴线为直线的杆件称为直杆(如图1-1(b)、(c)、(d)所示),轴线为曲线的杆件称为曲杆(如图1-1(a)所示)。

(2) 板壳

一个方向的尺寸远远比另外两个方向的尺寸小的构件称为板(如图1-2(a)所示)。板的上下两个表面称为板面,两板面间的距离称为板的厚度,平分厚度的几何面称为板的中面。中面为平面的板称为平板(如图1-2(a)所示),中面为曲面的板称为壳(如图1-2(b)所示)。厚度处处相等的板称为等厚度板或壳,厚度有的地方不相同的板称为变厚度板或壳。

(3) 实体

三个方向的尺寸都差不多的构件称为实体(如图1-3所示)。



(a) 板



(b) 壳

图 1-2 板与壳

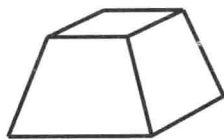
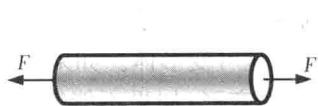


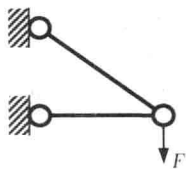
图 1-3 实体

1.2 材料力学的研究对象和任务

材料力学的研究对象是杆件或杆件结构系统(如图 1-4(a)、(b)所示)。



(a) 杆件



(b) 杆件系统

图 1-4 杆件与杆件结构系统

材料力学的任务是研究杆件或杆件结构系统在外力作用下的安全性问题。而安全性问题包含三个方面的内容。

(1) 强度概念

材料抵抗外力破坏的能力称为材料的强度。

任何杆件均由某种材料制成,如果没有外力作用,则杆件将不会被破坏。要使杆件被破坏,必须施加一定的外力,即任何材料均具有某种抵抗外力破坏的能力,这种能力就称为**材料的强度**。将不同材料做成标准试件在拉力机上进行破坏试验,可以发现有些材料需要较大的外力才被破坏,而有些材料只需要较小的外力就被破坏,所以,材料的强度有高低或者说有好有差。

另外,即使是同一种材料做成的杆件,若横截面不相同,则具有较大横截面的杆件需要更大的外力才被破坏,而具有较小横截面的杆件只需要较小的外力就被破坏。所以,强度概念必须从两个层面上理解:一是材料的强度,二是杆件的强度。杆件抵抗外力破坏的能力称为**杆件的强度**,它不仅跟杆件材料的强度有关,而且跟杆件的几何尺寸有关。

安全性的第一个要求是:任何工程构件必须具备足够的强度,以保证在规定的使用条件下不产生破坏或发生显著的塑性变形。

(2) 刚度概念

材料抵抗外力变形的能力称为材料的刚度。

刚度概念与强度概念是平行的概念。任何材料做成的杆件如果没有外力作用,则不会产生变形。要使杆件变形,必须施加一定的外力,即任何材料均具有某种抵抗外力变形的能力,这种能力就称为**材料的刚度**。同样,可以把不同材料做成标准试件在拉力机上进行变形试验,在相同外力的作用下,某些材料变形比较大,而某些材料变形比较小,则变形较大的材料其刚度较差,而变形较小的材料其刚度较好。

同样,即使是同一种材料做成的杆件,当其截面和长度不相同,在相同外力作用下,其变

形也是不相同的,所以,刚度概念也要从两个层面上理解:一是材料的刚度,二是杆件的刚度。杆件抵抗外力变形的能力称为**杆件的刚度**,它不仅与杆件材料的刚度有关,而且与杆件的几何尺寸有关。

安全性的第二个要求是:任何工程构件必须具备足够的刚度,以保证在规定的使用条件下不产生过分的变形。

(3) 稳定性概念

工程构件保持其原有平衡形态的能力称为构件的**稳定性**。

工程构件在外力作用下处于平衡状态或动态平衡状态,但这种平衡状态有可能是**不稳定的**。例如受压的细长压杆(如图1-5(a)所示),当压力 F 较小时,杆件保持直线平衡状态,但当 F 达到某一数值时,即使是非常微小的一个扰动,杆件就会突然弯曲(如图1-5(b)所示),很多时候还会随之断裂,这种现象称为构件的**失稳**。构件失稳是将其原有平衡形态改变为另一种平衡形态,使得构件失去正常工作的能力,而且由于失稳具有突然性,其危害十分严重,所以工程构件必须考虑其稳定性问题。

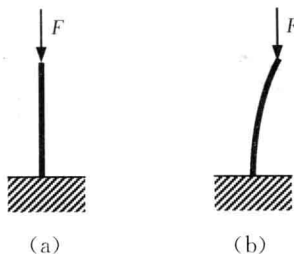


图1-5 压杆失稳

安全性的第三个要求是:工程构件必须具备足够的稳定性,以保证在规定的使用条件下不产生失稳现象。

构件的强度、刚度和稳定性与构件材料的力学性质、几何形状以及尺寸密切相关。一般来说,加大构件的尺寸和选用优质材料可以提高构件的强度、刚度和稳定性,但这样又增加了构件的用料和成本,是不经济的。因此,安全性和经济性是一对矛盾,如何解决这一矛盾是结构设计的基本任务。

综上所述,材料力学的具体任务就是研究杆件或杆件结构系统在外力作用下的强度、刚度及稳定性的计算原理和方法,在既安全又经济的条件下,为构件选择适宜的材料或确定合理的截面形状和尺寸。

值得注意的是,强度、刚度和稳定性的要求对工程构件来说是各自独立的,在具体的结构设计中,三者有时并不是同时要求,而是根据实际情况,分清主次,以一个或两个方面作为计算基础进行结构设计。

1.3 材料力学的基本假设

材料力学研究的是宏观尺度下的可变形固体,而可变形固体的性质是多方面且十分复杂的,为了突出材料力学研究构件强度、刚度和稳定性等有关的主要因素,略去其他次要因素,以便进行理论分析,对变形固体可作如下假设。

(1) 连续性假设

在材料力学中,假设材料在所占空间域内均毫无空隙地充满了物质,结构是密实的。因而变形固体内的一些力学量可以用空间坐标的连续函数表示,数学分析中的所有分析方法均可使用。至于构件中存在宏观的孔洞等缺陷的情况,在有关章节中将专门讨论。

必须指出,连续性不仅存在于构件变形之前,而且在构件的整个变形过程中都存在。即构

件变形过程中尽管其形状大小均产生了改变,但它仍然是连续的,也就是说,在构件变形过程中不会产生新的空隙或孔洞,这种要求称为构件内部变形的协调性(如图 1-6 所示)。另外,对于外力作用下的杆件结构系统,尽管系统中的每根杆件均在变形,但它们的连接不会因此散开,即各杆件的变形之间具有某种协调性,这种要求称为构件之间变形的协调性(如图 1-7 所示)。

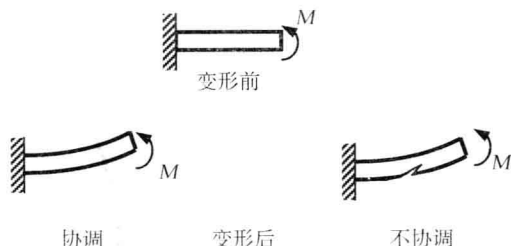


图 1-6 杆件内部变形的协调性

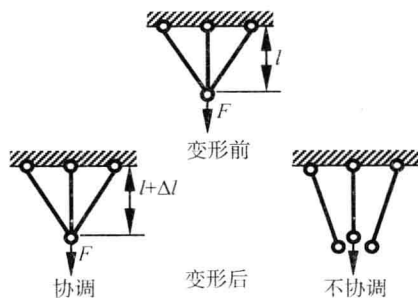


图 1-7 杆件之间变形的协调性

(2) 均匀性假设

材料在外力作用下所表现的性质称为材料的力学性能或机械性质。材料力学假设同种材料制成的构件中任何地方材料的力学性能都一样,即认为材料的机械性质是均匀的,这样通过试样测得的材料的力学性能适用于相同材料制成的任何构件。

必须指出,在微观或细观尺度上,实际材料的力学性能是存在差异的。例如,金属材料从细观上看是由许许多多复杂排列的晶体组成的,每个晶体的性质不完全相同,但宏观尺度的构件是由无数的晶体无规则的排列所组成的,从统计平均角度来看,可以认为其力学性能是均匀的。

(3) 各向同性假设

沿各个方向力学性能完全相同的材料称为**各向同性材料**。例如大部分的金属材料、玻璃或浇筑很好的混凝土都可看成是各向同性材料。

沿各个方向力学性能不完全相同的材料称为**各向异性材料**。例如木材、竹子等有机材料,复合材料层板,钢筋混凝土等均为各向异性材料。

材料力学原则上只研究各向同性材料,不得已要研究各向异性材料时,必须指明该材料在不同方向的力学性能。例如木材,沿顺纹方向和沿横纹方向的力学性能差别是非常大的,沿这两个方向制成的杆件,其强度和刚度是完全不相同的。

(4) 小变形假设

材料力学假设工程构件在外力作用下所产生的变形与其特征尺寸比较是微小的,因而在构件各点处与变形相对应的位移也是微小的。例如,一梁在外载荷 F 作用下所产生的最大变形 δ_1 以及支座的位移 δ_2 ,相对于梁的特征尺寸 l 来说都是微小的量,构件的这种变形称为小变形(如图 1-8 所示)。

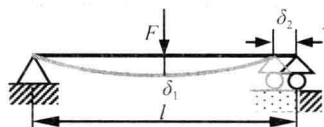


图 1-8 小变形杆件

材料力学只研究小变形的构件,构件大变形的不属于材料力学的研究范畴。

在小变形情况下,研究构件的受力和静力平衡时可不考虑由构件的微小变形和位移所引起的影响,仍按构件的原始尺寸进行分析和计算。另外,在小变形情况下,微小变形和位移的高次幂或乘积均可忽略不计,这对工程实际并无显著的影响,但可使计算大为简化。

必须指出,材料力学只研究小变形问题的另一个重要原因是许多材料的力学性能在小变形和大变形情况下差异巨大,作为初等力学,材料力学所建立起来的分析方法只适用于小变形,而对大变形问题材料力学是无能为力的。

综上所述,材料力学所研究的构件是由连续、均匀、各向同性的变形固体所制成,而且只限于小变形问题。这实际上将材料力学的应用范围局限在一个十分狭小的材料范畴和工程范畴之内。另外,材料力学所研究的构件还假设是无初应力的。

1.4 杆件的基本变形形式

杆件上作用的载荷是多种多样的,其变形形式也是多种多样的。但杆件的复杂变形总是可以分解成下面几种基本的变形形式。

(1) 拉伸与压缩

杆件在轴向载荷作用下将产生伸长或缩短,这种变形称为**拉伸与压缩变形**。最简单的杆件的拉伸与压缩如图 1-9 所示。



图 1-9 杆件的拉伸与压缩

(2) 扭转

杆件受绕杆轴线的外力矩作用时,杆件横截面之间将产生绕杆轴线的相对转动,这种变形称为**扭转变形**。习惯上称产生扭转变形的杆件为**轴**。最简单的轴的扭转如图 1-10 所示。

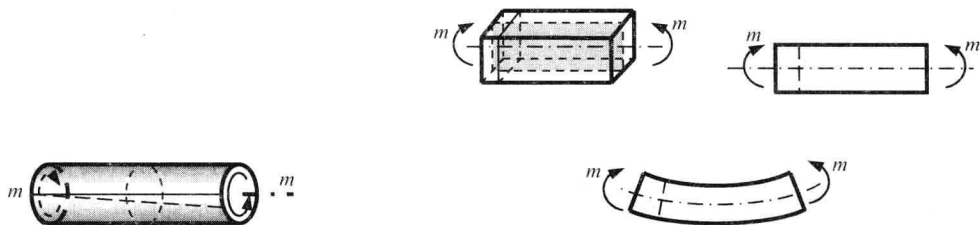


图 1-10 轴的扭转

图 1-11 梁的弯曲

(3) 弯曲

在杆件轴线所在的纵向对称平面内,杆件受外力矩的作用时,杆件的横截面之间在纵向平面内产生相对转动,而杆件的轴线在纵向对称平面内变成曲线,这种变形称为**弯曲变形**。习惯上称产生弯曲变形的杆件为**梁**。最简单的梁的弯曲如图 1-11 所示。

(4) 剪切

垂直于杆件轴线方向的外载荷作用在杆件上时,杆件的横截面之间产生沿载荷方向的相对错动,这种变形称为**剪切变形**。剪切变形相对于其他几种基本变形来说是比较小的,因此在材料力学中很多问题忽略了其影响。最简单的杆件剪切变形如图 1-12 所示。

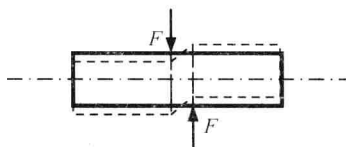


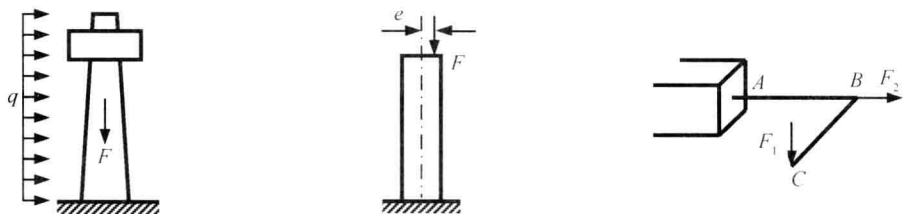
图 1-12 杆件的剪切



图 1-13 杆件的组合变形

实际工程结构中的杆件,有些只发生一种基本变形,或以一种基本变形为主,其他属于次要变形,可以忽略不计,称为简单变形问题。若杆件中同时发生几种基本变形,则称为组合变形(如图 1-13 所示)。

例如,受风力作用的水塔,自重使塔体产生压缩变形而风力使塔体产生弯曲变形(如图 1-14(a)所示)。又如,受偏心压缩的立柱,柱体产生压缩与弯曲的组合变形(如图 1-14(b)所示)。再如,受载荷 F_1 和 F_2 作用时,曲拐中杆件 AB 产生拉伸、扭转和弯曲的组合变形(如图 1-14(c)所示)。



(a) 水塔受风载荷作用

(b) 柱体偏心压缩

(c) 曲拐受不同方向载荷作用

图 1-14 工程中实际的组合变形杆件

材料力学首先要研究的是杆件在各种基本变形以及组合变形情况下的强度和刚度问题。

另外必须注意,在小变形条件下,杆件各种基本变形之间不存在耦合效应,例如拉伸压缩不会引起杆件的扭转、剪切或弯曲等。

1.5 材料力学的基本概念

1.5.1 内力概念

(1) 外力

材料力学研究的对象是杆件或杆件结构系统,因此,对所研究的对象来说,其他构件和物体作用于其上的力均称为外力,外力包括载荷和约束反力(或称支反力)(如图 1-15 所示)。

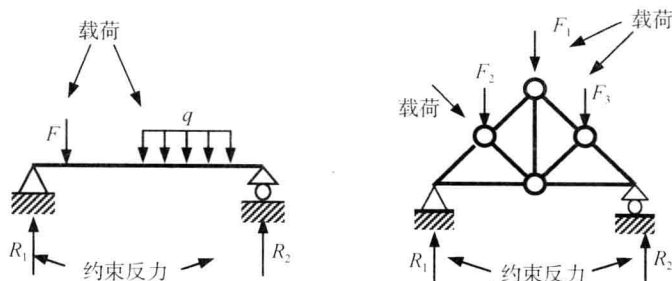


图 1-15 作用于杆件上的外力

外力按其作用方式可分为表面力和体积力。作用在构件表面上的力称为表面力,例如两物体之间的接触压力以及作用在水塔上的风力等。作用在构件各质点上的外力称为体积力,例如构件的重力与惯性力或作用于金属构件上的磁力等。

表面力又可分为分布力和集中力。连续分布于构件表面某一区域的力称为分布力或分布载荷。如果分布力的作用面积远小于构件的表面面积,或沿杆件的轴线的分布范围远远小于杆件的长度,则可将分布力简化为作用于一点的力,称为集中力。