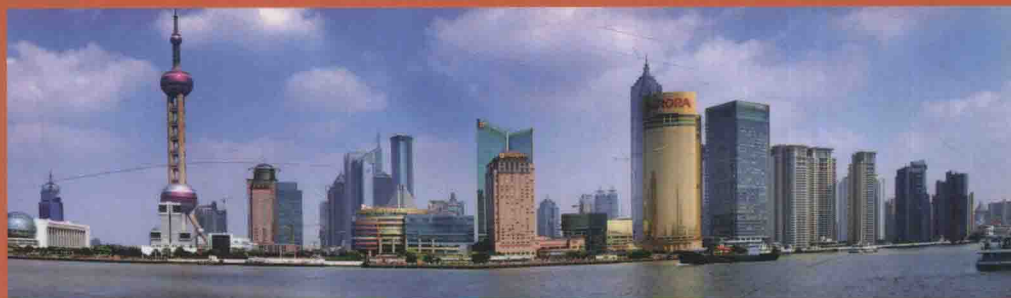




普通高等院校“十二五”规划教材

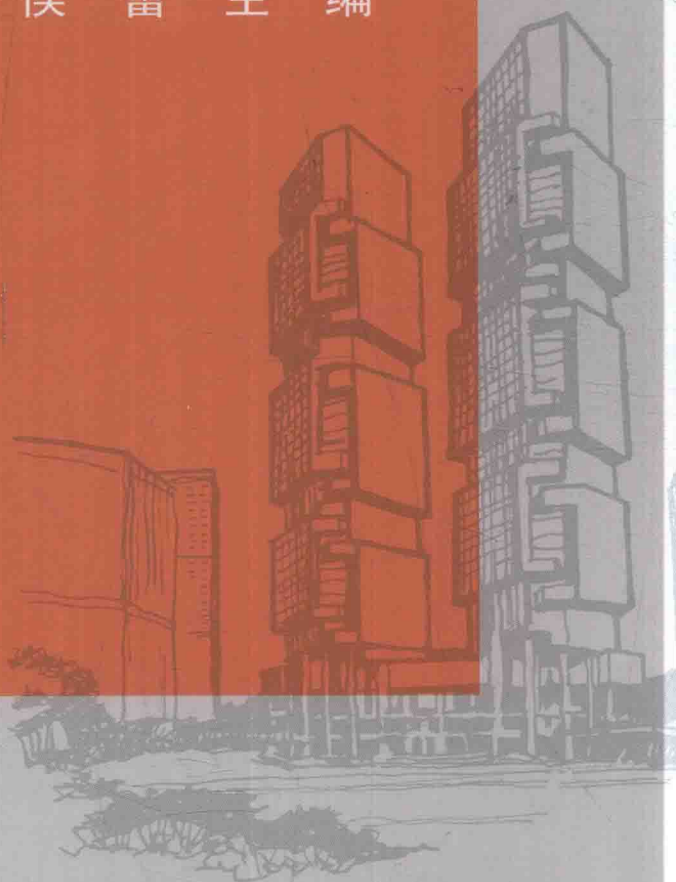
材料力学



(新1版)

李章政 陈妍如 侯 蕾 主 编

武汉理工大学出版社



材 料 力 学

主 编 李章政 陈妍如 侯 蕾

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/李章政,陈妍如,侯蕾主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2016. 1
ISBN 978-7-5629-5041-7

I. ①材… II. ①李… ②陈… ③侯… 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 023821 号

项目负责人:高 英 汪浪涛

责任编辑:高 英

责任校对:王 思

装帧设计:一 尘

出版发行:武汉理工大学出版社

社 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.wutp.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:武汉兴和彩色印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:15.75

字 数:403 千字

版 次:2016 年 1 月第 1 版

印 次:2016 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1—3000 册

定 价:31.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87664138 87785758 87165708(传真)

· 版权所有 盗版必究 ·

前 言

“材料力学”(Strength of Materials)主要讨论材料的力学性能(机械性能)和结构构件的强度、刚度和稳定性,是高等学校工科各专业的一门重要技术基础课程。材料力学是力学和工程结构之间的桥梁和纽带,可直接用于解决简单的工程实际问题,也是解决复杂工程问题的理论基础,对学生后续课程的学习、培养创新思维和解决实际问题的能力,都起着极为重要的作用。

本书依据高等学校土木工程学科专业指导委员会编制的指导性专业规范的基本要求编写,其知识单元和知识点可满足土木工程、工程管理、工程造价等土建专业教学所需。为和相应专业的后续课程接轨,书中所采用的符号、术语都和建筑结构设计规范相一致。作为新编教材,与现行同类教材相比,本书具有如下特点:

(1)引进较新成果。在构件的强度计算中,保留传统许用应力法的同时,介绍了近几十年在工程结构设计中广泛采用的以概率理论为基础的极限状态设计公式。

(2)淘汰过时提法。20世纪80年代在结构设计中就已经采用稳定系数法计算压杆的整体稳定性,故不再提及传统材料力学中所谓的“折减系数法”。

(3)扩大知识面。除介绍单一材料的强度计算外,还讲述了两种或两种以上材料组成的组合杆件的强度计算方法——换算面积法,不仅对后续课程的学习有帮助,还可开阅读者视野、拓展读者思维。

(4)例题、习题丰富。例题或解算范例是基本理论及其应用的体现,更是教材和非教材的区别之一。本书配有109道例题,可帮助初学者更好地学习和理解材料力学基本理论和工程应用情况。本书还配有习题323道(包括思考题110道、选择题100道、计算题113道),有利于初学者复习巩固相关知识点。通过编者的努力,期望使材料力学真正成为力学和工程之间的一座桥梁,从而避免力学与工程实际脱节的现象。

全书共分十章和三个附录,完成全部教学大约需要48~64学时。全书由四川大学李章政统稿、修改和定稿,具体编写分工如下:李章政编写第1章、第2章、第3章、第4章、第5章、第6章及附录;四川大学锦城学院陈妍如编写第8章、第9章;湖南工学院侯蕾编写第7章、第10章。

作为教科书,本书适用于土建类各专业(如土木工程、工程管理、工程造价、建筑环境与设备、市政工程等专业)的本科生;作为参考书,本书可供准备参加国家注册考试的有关工程技术人员参考;本书也可作为高等学校工科其他专业的参考书。

本书编写过程中参考了有关书籍,并从中引用了部分例题和习题,在此表示感谢。

世间学海无涯,编者知识有限,书中错误和疏漏难免,敬请读者提出指正,以便进一步修改,使该书尽可能完美。

李章政

2015年秋于川大江安校区

目 录

第 1 章 材料力学基本概念	(1)
1.1 材料力学的任务	(1)
1.1.1 变形固体分类	(1)
1.1.2 材料力学的任务	(3)
1.2 基本假定和研究方法	(4)
1.2.1 材料力学的基本假定	(4)
1.2.2 材料力学的研究方法	(5)
1.3 内力和应力的概念	(5)
1.3.1 外荷载及其分类	(5)
1.3.2 内力的定义和分量	(6)
1.3.3 应力的定义和分量	(7)
1.4 杆件的变形形式	(8)
1.4.1 杆件的变形参数	(8)
1.4.2 杆件的基本变形	(10)
1.4.3 杆件的组合变形	(10)
思考题	(11)
选择题	(11)
计算题	(12)
第 2 章 轴向拉伸与压缩	(13)
2.1 轴向拉伸与压缩的概念	(13)
2.1.1 拉伸与压缩的受力特点	(13)
2.1.2 拉压杆的变形特点	(13)
2.1.3 拉压杆的工程案例	(14)
2.2 轴力与轴力图	(14)
2.2.1 轴力计算方法	(15)
2.2.2 杆件的轴力图	(16)
2.3 轴向拉压应力计算	(17)
2.3.1 拉压杆件横截面上的正应力	(17)
2.3.2 拉压杆件斜截面上的应力	(18)
2.3.3 应力集中的概念	(19)
2.4 材料的力学性能	(21)
2.4.1 低碳钢拉伸力学性能	(21)
2.4.2 其他材料拉伸力学性能	(25)
2.4.3 材料的压缩力学性能	(26)

2.5 轴向拉压强度条件	(29)
2.5.1 材料强度指标设计取值	(29)
2.5.2 横截面上正应力强度条件	(31)
2.5.3 斜截面上强度条件	(33)
2.6 轴向拉压变形计算	(34)
2.6.1 拉伸压缩胡克定律	(34)
2.6.2 杆件纵向伸缩量计算	(35)
2.6.3 简单结构的位移计算	(35)
2.7 简单拉压超静定问题	(38)
2.7.1 超静定问题的解法	(38)
2.7.2 温度应力	(41)
2.7.3 装配应力	(41)
2.8 组合拉压杆的应力计算	(43)
2.8.1 组合拉压杆的工程背景	(43)
2.8.2 换算面积法计算应力	(43)
思考题	(46)
选择题	(46)
计算题	(47)
第3章 剪切与扭转	(50)
3.1 剪切与扭转的概念	(50)
3.1.1 杆件剪切变形的概念	(50)
3.1.2 杆件扭转变形的概念	(51)
3.1.3 剪切胡克定律	(52)
3.1.4 剪应力互等定理	(52)
3.2 剪切的实用计算	(53)
3.2.1 剪应力和承压应力实用计算	(53)
3.2.2 剪切和承压强度条件及应用	(55)
3.2.3 剪切破坏条件	(58)
3.3 扭矩与扭矩图	(58)
3.3.1 杆件外转矩计算	(58)
3.3.2 杆件截面扭矩计算	(59)
3.3.3 杆件的扭矩图	(59)
3.4 圆轴扭转时的应力和变形计算	(60)
3.4.1 圆轴扭转横截面上剪应力	(60)
3.4.2 圆轴扭转剪应力强度条件	(63)
3.4.3 圆轴扭转变形计算	(64)
3.4.4 圆轴扭转刚度条件	(64)
3.5 非圆截面杆件扭转简介	(66)
3.5.1 矩形截面杆件扭转	(66)

3.5.2 开口薄壁杆件扭转	(67)
3.5.3 闭口薄壁杆件扭转	(67)
思考题	(69)
选择题	(69)
计算题	(70)
第4章 弯曲内力	(72)
4.1 弯曲变形的概念	(72)
4.1.1 弯曲的特点	(72)
4.1.2 基本静定梁	(73)
4.2 梁的剪力与弯矩	(74)
4.2.1 任意截面上的内力计算	(74)
4.2.2 内力函数和内力图	(77)
4.2.3 剪力图和弯矩图的基本作法	(78)
4.3 弯曲内力与荷载集度之间的关系	(81)
4.3.1 内力与荷载之间的微分关系	(81)
4.3.2 内力与荷载之间的积分关系	(81)
4.3.3 荷载与内力图的曲线形式	(82)
思考题	(86)
选择题	(86)
计算题	(87)
第5章 弯曲应力	(90)
5.1 截面的几何性质	(90)
5.1.1 截面的形心和静矩	(90)
5.1.2 截面的惯性矩和惯性积	(91)
5.1.3 组合截面的惯性矩	(93)
5.2 弯曲正应力和正应力强度条件	(94)
5.2.1 弯曲正应力分布规律	(94)
5.2.2 弯曲正应力强度条件	(97)
5.2.3 梁的合理截面形式	(100)
5.3 弯曲剪应力和剪应力强度条件	(102)
5.3.1 弯曲剪应力计算	(102)
5.3.2 剪切中心的概念	(105)
5.3.3 弯曲剪应力强度条件	(106)
5.4 等强度梁介绍	(108)
5.4.1 等强度梁的设计思路	(108)
5.4.2 等强度梁的工程应用	(108)
5.5 组合梁的正应力计算	(111)
5.5.1 组合梁的工程背景	(111)
5.5.2 换算面积法计算梁的正应力	(111)

思考题	(114)
选择题	(115)
计算题	(116)
第 6 章 弯曲变形	(118)
6.1 弯曲变形参数	(118)
6.1.1 弯曲时的挠曲线	(118)
6.1.2 梁的挠度和转角	(119)
6.1.3 挠曲线近似微分方程	(119)
6.2 积分法计算弯曲变形	(120)
6.2.1 近似微分方程积分	(120)
6.2.2 确定积分常数的条件	(121)
6.2.3 积分法的计算步骤	(121)
6.3 叠加法计算弯曲变形	(125)
6.3.1 弯曲变形的基本结论	(125)
6.3.2 简单梁的挠度和转角	(125)
6.3.3 叠加法计算弯曲变形	(127)
6.4 挠度和转角的应用	(130)
6.4.1 受弯构件的刚度条件	(130)
6.4.2 施工中的预拱度介绍	(131)
6.4.3 简单超静定梁的解法	(131)
思考题	(132)
选择题	(133)
计算题	(134)
第 7 章 应力状态和强度理论	(136)
7.1 应力状态的概念	(136)
7.1.1 单元体及其应力分量	(136)
7.1.2 主单元和主应力	(137)
7.1.3 应力状态分类	(137)
7.2 平面应力状态下的应力分析	(138)
7.2.1 斜截面上的应力分量	(138)
7.2.2 正应力的极值	(139)
7.2.3 剪应力的极值	(141)
7.3 平面应力状态下的莫尔应力圆	(142)
7.3.1 应力圆的方程	(142)
7.3.2 应力圆的作法	(142)
7.3.3 应力圆的应用	(143)
7.4 空间应力状态下的应力分析	(144)
7.4.1 空间应力状态下单元体上的应力表示	(144)
7.4.2 空间应力状态下的主应力	(145)

7.4.3 正八面体上的应力	(146)
7.5 广义胡克定律	(147)
7.5.1 主坐标系下的广义胡克定律	(147)
7.5.2 普通坐标系下的广义胡克定律	(148)
7.5.3 广义胡克定律在应变测试中的应用	(149)
7.6 常用的强度理论	(151)
7.6.1 材料的强度失效形式和强度理论	(152)
7.6.2 常用强度理论介绍	(152)
7.6.3 强度条件及选用要求	(154)
7.7 强度理论的应用案例	(155)
7.7.1 工字形钢梁的折算应力	(155)
7.7.2 薄壁压力容器设计	(157)
思考题	(160)
选择题	(160)
计算题	(162)
第8章 组合变形强度计算	(164)
8.1 组合变形的概念	(164)
8.1.1 组合变形的实例	(164)
8.1.2 组合变形强度计算方法	(165)
8.2 拉伸(压缩)与弯曲组合	(166)
8.2.1 拉弯(压弯)组合变形应力分布	(166)
8.2.2 拉弯(压弯)组合变形强度条件	(169)
8.3 弯曲与弯曲组合(斜弯曲)	(170)
8.3.1 两向弯曲横截面上的正应力分布	(171)
8.3.2 两向弯曲横截面上的最大正应力	(171)
8.3.3 两向弯曲挠度计算	(172)
8.4 扭转与弯曲组合	(175)
8.4.1 扭弯组合变形圆轴危险点的应力分析	(176)
8.4.2 扭弯组合变形圆轴强度条件	(176)
思考题	(178)
选择题	(178)
计算题	(180)
第9章 压杆稳定	(183)
9.1 稳定的基本概念	(183)
9.1.1 刚体的稳定性	(183)
9.1.2 受压构件的稳定性	(184)
9.1.3 结构构件的失稳破坏	(185)
9.2 理想压杆欧拉临界压力	(186)
9.2.1 两端铰支压杆的临界压力	(186)

9.2.2 压杆临界压力的通用公式	(187)
9.2.3 提高压杆稳定性的措施	(190)
9.3 理想压杆临界应力	(190)
9.3.1 细长压杆的欧拉临界应力	(191)
9.3.2 非细长压杆的临界应力	(191)
9.4 实际压杆稳定计算	(194)
9.4.1 实际压杆的主要缺陷	(194)
9.4.2 实际压杆稳定计算公式	(194)
9.4.3 压杆稳定系数取值	(195)
9.5 拉杆与压杆的刚度条件	(199)
9.5.1 拉压杆件刚度验算的目的	(199)
9.5.2 拉压杆件的刚度条件	(199)
思考题	(201)
选择题	(202)
计算题	(202)
第 10 章 能量法介绍	(204)
10.1 杆件的弹性应变能	(204)
10.1.1 杆件基本变形时的应变能	(204)
10.1.2 杆件组合变形时的应变能	(205)
10.2 卡氏定理	(205)
10.2.1 卡氏第一定理	(205)
10.2.2 卡氏第二定理	(206)
10.2.3 最小功法解超静定问题	(207)
10.3 冲击应力与冲击韧性	(209)
10.3.1 杆件的冲击应力	(209)
10.3.2 材料的冲击韧性	(211)
思考题	(213)
选择题	(213)
计算题	(214)
附录	(216)
附录 1 材料的强度设计值	(216)
附录 2 型钢表(GB/T 706—2008)	(219)
附录 3 习题答案	(235)
参考文献	(241)

第1章 材料力学基本概念

内容提要

本章简要介绍了材料力学中的几个基本概念,包括材料力学的研究对象、任务,结构、结构构件的功能要求和强度、刚度、稳定性,并给出了材料力学的基本假定和研究方法,比较详细地叙述了内力、应力的概念和类型,构件的变形参数、基本变形形式和常见组合变形。

基本要求

通过本章的学习,要求了解变形固体的类型、结构和结构构件的关系及功能要求,熟悉强度、刚度和稳定性的概念,熟悉材料力学的基本假定和研究方法,掌握内力的概念和内力分量的意义,掌握应力的定义和应力分量的概念,掌握构(杆)件变形的度量参数的定义,熟悉杆件的基本变形形式。

1.1 材料力学的任务

力(force)是物体之间的相互机械作用,这种作用使物体产生两种效应:运动状态发生改变——外效应,物体变形(形状和尺寸变化)——内效应。外效应又称为运动效应,运动参数为位移、速度和加速度,物体可以抽象为质点或刚体,这是先修课程理论力学所研究的范畴;内效应又称为变形效应,物体只能是变形固体,而不能简化为质点或刚体。材料力学(strength of materials)从变形固体出发,研究物体的内效应,既是固体力学的分支,又是固体力学的基础,有时候被称为基础力学。

1.1.1 变形固体分类

虽然变形固体的形状和几何尺寸千差万别,但是可根据长、宽、高(厚)三个尺寸的相对大小关系,将其分为实体、平板、壳体和杆件四类。

(1) 实体

长、宽、高三个方向的尺寸属于同一数量级的变形固体称为实体或块体(body,图1.1)。实体或块体常应用于机械上的粗短铸件、大型设备的基座等。土木工程中的重力锚和重力坝等也采用实体。实体受力后的变形分析十分复杂,可归结为偏微分方程组的边值问题,属于弹性力学的研究范畴。

(2) 平板和壳体

如图1.2所示的物体,长、宽两个方向的尺寸较大,而厚度方向的尺寸相对较小。人们把平分厚度的面称为中面,中面是平面者称为平板或板(plate),而中面是曲面者称为壳体或壳(shell)。

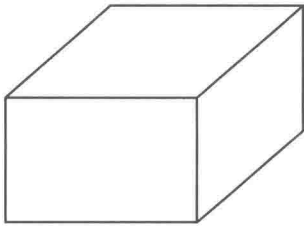
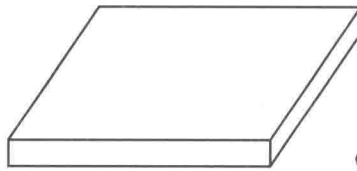
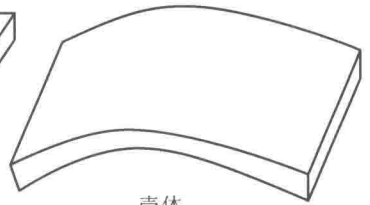


图 1.1 实体或块体



平板



壳体

图 1.2 平板和壳体

板和壳在工程上有不少应用,例如船舶的甲板、底板,飞机的机翼,化工容器,现浇楼板,穹顶屋盖等。板壳受力后的变形分析比较复杂,属于板壳理论或板壳力学的研究领域。

(3) 杆件

长度方向尺寸远远大于宽度和高度(或直径)方向尺寸的变形固体称为杆件(bar),如图 1.3 所示。轴线和横截面是杆件的两个几何特征。轴线是杆件截面形心的连线,而横截面则是与轴线正交的截面。轴线为直线的杆件称为直杆,轴线为曲线的杆件称为曲杆。横截面处处相同的杆件称为等截面杆,横截面大小不等的杆件称为变截面杆。

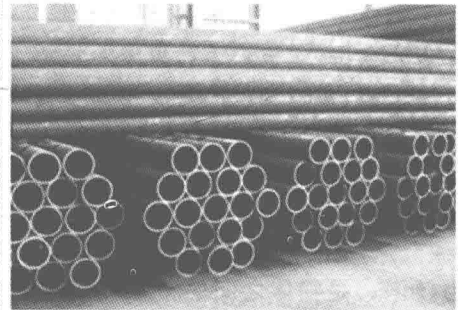
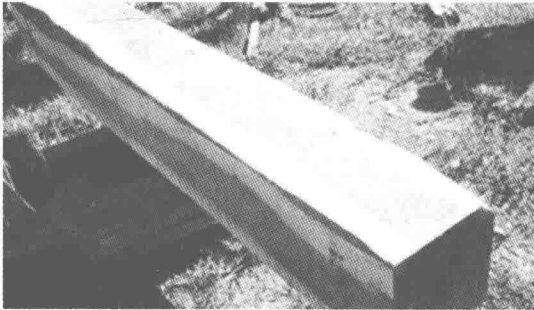


图 1.3 杆件

等截面直杆是最简单的变形固体,且在工程上应用广泛。房屋中的梁、柱、屋盖檩条、椽条等是典型的等截面直杆,如图 1.4 所示。



图 1.4 结构中的杆件

材料力学主要以等截面直杆为研究对象。复杂的杆件系统受力后的变形分析,则是后续课程结构力学的研究领域。

1.1.2 材料力学的任务

《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50153—2008)将能承受作用并具有适当刚度的、由各连接部件有机组合而成的系统定义为结构(structure),如建筑结构、桥梁结构、水工结构等;结构在物理上可以区分出的部件称为结构构件(structural member),如建筑结构中的梁、板、柱、基础,桥梁结构中的桥墩、桥台、拉索、拉杆、加劲梁等。

结构构件为满足相应的功能要求,需按计算进行设计和按构造进行设计。材料力学即可为构件设计计算提供理论基础。

1.1.2.1 结构的功能要求

工程结构在规定的设计使用年限内,应满足安全性、适用性和耐久性三项功能要求。

(1)安全性

安全性是指结构在正常施工和正常使用时,能承受可能出现的各种作用;当发生火灾时,在规定时间内可保持足够的承载能力;在设计规定的偶然事件(如罕遇地震或大震、爆炸、撞击等)发生后,仍能保持必须的整体稳定性。所谓整体稳定性,就是在偶然事件发生时和发生后,结构仅产生局部的损坏而不致发生连续倒塌。

(2)适用性

适用性是指结构在正常使用时具有良好的使用性能或工作性能。例如,受弯构件在使用时不出现过大的变形或挠度,混凝土构件、砌体墙和柱等构件不产生让使用者感到不安全的裂缝宽度等。

(3)耐久性

耐久性是指结构在正常使用和正常维护的情况下,应具有足够的耐久性能。所谓足够的耐久性能,就是要求结构规定的工作环境中、在预定时期内,其材料性能的劣化不致导致结构出现不可接受的失效概率,即在正常维护条件下,结构能够使用到规定的设计使用年限。

上述安全性、适用性和耐久性是结构可靠的标志,称为结构的可靠性。如果结构在规定的时间内、规定的条件下能完成预定功能,则称为结构可靠;反之,若结构在规定的时间内、规定的条件下不能完成预定功能,则称为结构失效。

1.1.2.2 构件的强度、刚度和稳定性

构件的耐久性,对不同材料的结构构件应采用不同的方法或措施来加以保证。对钢构件而言就是防锈蚀,可以喷涂油漆、电镀层;对木构件则是防腐、防虫蛀,常采用刷漆、浸泡药液等措施;对钢筋混凝土构件应防止钢筋锈蚀、混凝土碳化,其主要措施是采用一定的混凝土保护层厚度、限制最大裂缝宽度以及对混凝土材料提出要求;对砖石构件则应防止风化,通常选择较好的块材和砌筑砂浆。

构件的安全性和适用性则主要通过计算来保证,其次还应满足相应的构造要求。安全性和适用性在材料力学中可概括为强度、刚度和稳定性三个方面的问题。

(1)强度(strength)

构件的强度是指构件抵抗破坏的能力。对构件强度的要求,就是保证构件在使用期间不发生破坏(不断裂或永久变形不显著)。因为构件一旦断裂或永久变形过大,构件便会丧失继续承受外力的能力,不能满足安全性的功能要求。

(2)刚度(rigidity)

构件的刚度是指构件抵抗变形的能力。构件在外力作用下会产生变形,这种变形不能超过一定限度(限值)。变形超过限值,构件虽不一定破坏,但会影响正常使用,不能满足适用性的功能要求。例如桥梁变形过大,行车的平顺性会受到影响;楼盖梁、板变形过大,会造成顶棚开裂、门窗启闭困难;机床主轴工作时如变形过大,会影响到零件的加工精度。

(3) 稳定性(stability)

构件的稳定性是指构件保持其原有平衡形式的能力。有些构件在特定的外力作用下,有可能出现不能保持其原有平衡的形式,这种现象称为失稳。例如一根受压的细长直杆,当沿杆轴线方向的压力增大到一定数值时,若受到微小的横向干扰,杆就会由直线平衡状态突然转变为曲线平衡状态,压杆一旦失稳便会失去继续承受外力的能力。因为失稳是突然发生的,危害特别严重,所以工程中不允许构件失稳。

构件的强度和稳定性统称为构件的承载能力,属于安全性的功能要求;而构件的刚度对应于构件的正常使用,属于适用性的功能要求。

1.1.2.3 材料力学的任务

构件的强度、刚度和稳定性与构件的材料、截面形状和尺寸等因素密切相关。一般而言,加大构件尺寸、选用优质材料,可提高构件的强度、刚度和稳定性,但这样做会增加材料消耗和工程造价,是不经济的。而从经济的角度出发,应该减小构件截面尺寸,降低材料消耗。构件设计中安全适用和经济之间存在矛盾,材料力学是解决这一矛盾的理论基础。

材料力学的任务是研究构件的强度、刚度和稳定性的计算原理与方法,在既安全适用又经济的条件下,为构件选择适宜的材料、确定合理的截面形状和尺寸。

强度、刚度和稳定性这三方面的要求是各自独立的,但在具体的构件设计中,不同的构件要求不同,可能是以强度、刚度、稳定性中的一个方面来控制设计,也可能是以其中两个方面或三个方面来控制设计。

1.2 基本假定和研究方法

材料力学研究的是变形固体,而变形固体的性质是复杂的。为了突出研究问题的主要影响因素,略去次要影响因素,人们对变形固体的材料性质和变形提出了一些假定,并在此基础上建立了合理的分析理论。

1.2.1 材料力学的基本假定

为了分析方便,人们从宏观角度上对实际材料和变形做出如下几方面的假定:

(1) 连续性(continuity)假定

假定固体材料各质点之间不存在空隙,完全充满所占据的整个空间,一切物理量都是空间位置 (x, y, z) 的连续函数。材料的连续性不仅存在于变形前,也存在于变形后,即构件在断裂前材料不存在裂隙,也不会重叠。

(2) 均匀性(homogeneity)假定

假定整个物体是由同一种材料组成的,分布均匀,内部各部分具有相同的力学性质,即材料的力学性质和所处空间位置无关。

(3) 各向同性(isotropy)假定

假定物体内部每一点沿各个不同方向的力学性质都相同,即材料的力学性质和空间方位无关。具有这种性质的材料称为各向同性材料(isotropic material),否则为各向异性材料。金属材料是典型的各向同性材料(图 1.5),混凝土、天然石材等可以视为各向同性材料,而木材、竹材则是各向异性材料,工程中所使用的复合材料(纤维增强塑料)也是各向异性材料。



图 1.5 典型的各向同性材料——金属材料

材料力学虽然主要研究各向同性材料,但也会涉及工程中广泛应用的木材这种各向异性材料,此时应区分沿顺纹方向和沿横纹方向的力学性能(指标)。

(4)小变形(infinitesimal deformation)假定

假定物体在外力作用下几何形状和尺寸的改变与原始形状和尺寸相比是非常微小的。结构构件在正常工作状态下均满足此假定,在分析其变形后的平衡状态时,可以用变形前的原始尺寸来代替变形后的尺寸,这样可大大简化计算过程,计算精度也可满足工程需要。有些构件在外力作用下的变形过大,应按照变形后的形状和尺寸来考虑,这属于大变形问题。材料力学只研究小变形问题,不涉及大变形问题。

1.2.2 材料力学的研究方法

材料力学研究构件的强度、刚度和稳定性,采用的方法可以概括为静力分析、几何分析和物理分析三种。

(1)静力分析

取出构件相应部分作为脱离体,利用理论力学中的静力平衡条件求出支座反力、杆件内力和内力的变化规律、单位面积上的内力(应力)分布等。

(2)几何分析

根据杆件的变形和约束情况,寻求变形后的几何关系,分析杆件内部各点变形的协调性以及杆件结构系统中各杆变形的协调性。

(3)物理分析

采用材料力学试验得到的参数,分析外力和变形、内力和变形以及应力和应变之间的关系,也就是因果关系,外力是因、变形是果。

1.3 内力和应力的概念

材料力学在讨论强度、刚度和稳定性时,总是以某一构件(杆件)为研究对象,其他构件对该构件的作用力就是外力(external force),构件内质点之间的相互作用力就是内力(internal force),而内力的分布用应力(stress)表示。

1.3.1 外荷载及其分类

构件上受到的外力通常是分布力系,有体积力和表面力两类。力系按构件体积分布者为体积力(body force),简称体力,比如构件的自重;力系按构件表面积分布者为表面力(surface

force), 简称面力, 如积雪对屋面的压力、水坝受到的水压力、墙体受到的水平风压力等。

直接作用于结构或构件上的力, 在土木工程领域习惯上称为荷载(load), 而在机械、航空航天等领域则称为载荷(load)。结构上的荷载按随时间的变异, 可分为永久荷载(如结构自重)、可变荷载(如风荷载、雪荷载、汽车荷载、楼面活荷载等)和偶然荷载(如撞击力、爆炸力)三类; 荷载按空间位置的变异, 可分为固定荷载和自由荷载两类; 荷载按结构的反应特点, 可分为静态荷载(静载)和动态荷载(动载)两类。

构件上的分布力系通常是平行力系, 和自重有关的荷载沿铅垂方向, 风压力沿水平方向, 水压力可能沿水平方向也可能沿铅垂方向。对于材料力学所研究的杆件, 体力和面力都可以简化为沿杆件长度方向分布的荷载, 该荷载称为线荷载。

单位体积(面积、长度)上的荷载称为荷载集度(load intensity)。荷载集度有体积荷载集度(kN/m^3)、面积荷载集度(kN/m^2)和线荷载集度(kN/m)之分。其中线荷载集度本书用 q 表示, 它是结构构件上的一种常见荷载形式。各荷载集度之间存在如下关系:

$$\begin{aligned} \text{面积荷载集度} &= \text{体积荷载集度} \times \text{高或厚(深)} \\ \text{线荷载集度 } q &= \text{体积荷载集度} \times \text{构件横截面积} \\ \text{线荷载集度 } q &= \text{面积荷载集度} \times \text{受荷宽度} \end{aligned}$$

当面积荷载作用的面积很小时, 可以简化为作用于一点的集中力(集中荷载)。集中荷载本书用 F 、 P 等字母表示, 集中力偶的力偶矩用 m 表示, 杆件上的外加转矩(力偶矩)用 M_e 表示。

【例 1-1】 某钢筋混凝土房屋结构楼面自上至下的做法为: 硬木地板(自重面积荷载 $0.2\text{kN}/\text{m}^2$), 20mm 厚水泥砂浆找平层(自重体积荷载 $20.0\text{kN}/\text{m}^3$), 80mm 厚现浇钢筋混凝土楼板(自重体积荷载 $25.0\text{kN}/\text{m}^3$), 钢丝网抹灰吊顶(自重面积荷载 $0.45\text{kN}/\text{m}^2$)。试求楼层的自重面积荷载; 若梁间距(板宽)为 3.0m , 求传到梁上的线荷载。

【解】 (1) 板上的面积荷载

硬木地板	0.2
水泥砂浆找平层	$20.0 \times 0.02 = 0.4$
现浇钢筋混凝土楼板	$25.0 \times 0.08 = 2.0$
钢丝网抹灰吊顶	0.45
	$3.05\text{kN}/\text{m}^2$

(2) 板传到梁上的线荷载

$$q = \text{面积荷载} \times \text{板宽(梁间距)} = 3.05 \times 3.0 = 9.15\text{kN}/\text{m}$$

1.3.2 内力的定义和分量

由外力引起的物体内部质点之间的作用力称为内力(internal force)。引起内力的外因是外力, 内因是质点之间的距离有保持不变的趋势。这种内力有别于物体内部质点之间的万有引力、原子或分子之间的电场力, 故又称为附加内力。质点之间的相互作用力属于分布力系, 习惯上内力是指该分布力系简化或合成的结果。

内力的大小通常由截面法求取。如图 1.6(a)所示的杆件, 轴线为 x , 承受空间力系作用。现用一个垂直于杆件轴线的截面 m 将杆件一分为二, 取左半部分为脱离体[图 1.6(b)], 去掉

的右半部分构件对左半部分构件的作用就是内力,这是一个分布力系。将该分布力系向截面形心 O 简化,得主矢 R 和主矩 M_O 。主矢和主矩都可沿坐标轴分解[图 1.6(c)]。主矢沿坐标轴分解有三个分量:轴线 x (或截面法线)方向的分力,称为轴力(axial force)或法向力(normal force),用 N 表示,它使杆件产生沿轴线方向的伸长或缩短;沿 y, z 轴方向的分力位于横截面内(平行于横截面),称为剪力或切力(shear force),分别用 V_y, V_z 表示,它们使杆件的相邻横截面产生相对错动。主矩沿坐标轴分解也有三个分量:对轴线(x 轴)的矩称为扭矩(torque),用 T 表示,它使横截面绕杆轴线作相对转动;对 y, z 轴的矩称为弯矩(bending moment),分别用 M_y, M_z 表示,它们均可使杆件轴线变弯。由脱离体的受力图写出平衡方程,可解得轴力、剪力、扭矩和弯矩的大小。

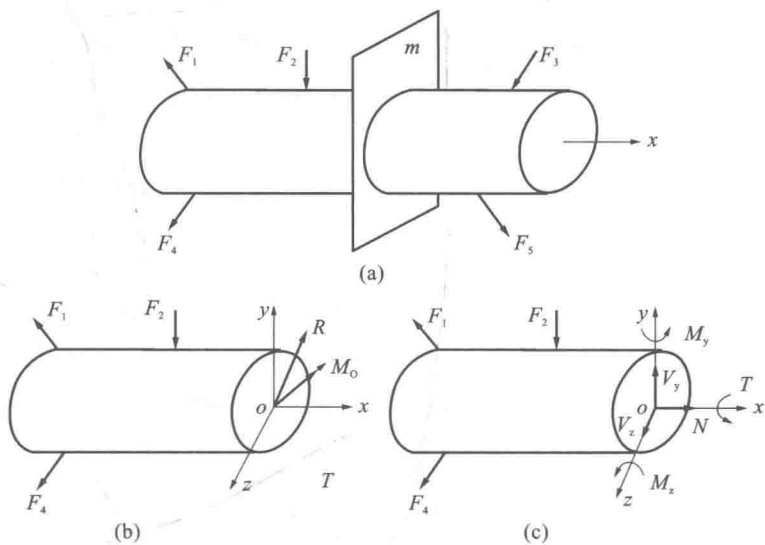


图 1.6 截面法求内力

1.3.3 应力的定义和分量

内力的集度(intensity)或单位面积上的内力定义为应力(stress)。应力的基本单位为 N/m^2 或 Pa(帕),常用单位为 kN/m^2 或 kPa(千帕)、 MN/m^2 或 MPa(兆帕)、GPa(吉帕),换算关系如下:

$$\begin{aligned} 1N/m^2 &= 1Pa \\ 1kN/m^2 &= 10^3 Pa = 1kPa \\ 1MN/m^2 &= 10^6 Pa = 1MPa = 1N/mm^2 \\ 1GPa &= 10^9 Pa = 10^3 MPa = 10^3 N/mm^2 \end{aligned}$$

结构工程中通常采用 MPa 为单位,即力用 N(牛)、尺寸用 mm 为单位,应力的单位自然为兆帕;地基应力计算时一般采用 kPa,即力用 kN(千牛)、尺寸用 m 为单位。

设横截面上任一点 P 由微小面积 ΔA 所包围,该面积上内力的合力为 ΔF [图 1.7(a)],容易得到微小面积上的平均应力(mean stress)大小 s_m 为

$$s_m = \frac{\Delta F}{\Delta A} \tag{1.1}$$