



高等学校土建类专业应用型本科“十二五”规划教材

材料力学(第2版) ■■■■■■

CAI LIAO LI XUE ▶

主编 邓 训 赵元勤



武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

高等学校土建类专业应用型本科“十二五”规划教材
2011年吉林省高等学校优秀教材三等奖

材料力学

(第2版)

主 编 邓 训 赵元勤
副主编 张青梅

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

内 容 提 要

本书根据土木工程专业本科教学基本要求编写,内容包括:绪论、轴向拉伸和压缩、扭转、梁的内力——剪力和弯矩、梁的应力、梁的变形、应力状态及应力状态分析、强度理论、组合变形、压杆稳定、动荷载、能量原理及其应用,以及附录,附录包括平面图形的几何性质和型钢表。每章均有内容提要、小结与学习指导、思考题、习题,书末附有习题参考答案。

本书除作为独立学院、民办高校土建类专业教材外,也可供其他有关专业师生或工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/邓训,赵元勤主编.—2版.—武汉:武汉理工大学出版社,2012.3

ISBN 978-7-5629-3703-6

I. ① 材… II. ① 邓… ② 赵… III. ① 材料力学-高等学校-教材 IV. ① TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 041043 号

项目负责人:王利永 责 任 编 辑:王利永

责 任 校 对:段争鸣 夏冬琴 装 帧 设 计:许伶俐

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.techbook.com.cn>

经 销 者:各地新华书店

印 刷 者:湖北睿智印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:19

字 数:474 千字

版 次:2009 年 1 月第 1 版 2012 年 5 月第 2 版

印 次:2012 年 5 月第 1 次印刷 总第 5 次印刷

印 数:11001—14000 册

定 价:35.00 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)87394412 87383695

版权所有,盗版必究。

出版说明

近年来,随着我国高等教育事业的快速发展,独立学院和民办高校已经成为高等教育的一个重要组成部分,其发展速度与办学规模呈现出前所未有的发展势头。与此同时,独立学院和民办高校的办学方向、专业设置、人才培养目标、人才培养途径和方式、教学管理制度等进一步明确与规范,以及市场需求赋予独立学院和民办高校一些新的发展思路与特点,独立学院和民办高校改革教学内容,探索新的教学方法,整合各校教师资源,编写优质、适用的教材就成了刻不容缓的任务。

武汉理工大学出版社一贯坚持为学校的教学、科研工作服务的办社宗旨,以组织、出版反映我国高等教育教学改革阶段性成果的精品教材、教学参考书为己任。通过广泛调查研究,在武汉地区独立学院和民办高校的积极倡导与支持下,得到了全国 30 余所独立学院和民办高校的热情参与,我们决定组织编写出版一套代表当前独立学院和民办高校教学水平,反映阶段性教学改革成果并适合独立学院和民办高校教学需要的土建类专业应用型本科系列教材。

本系列教材编写的指导思想是:

1. 依据独立学院和民办高校土建类本科各专业的培养目标和培养方案,系列教材应立足于面向市场培养高级应用型专门人才的要求。
2. 教材结构体系要合理。要善于学习和借鉴优秀教材,特别是国内外精品教材的写作思路、写作方法和章节安排,使教材结构合理,重点突出,通俗易懂,便于自学。
3. 教材内容要有创新,要注意相关课程的关联性。对于知识更新较快的学科,要将最新的学科知识和教学改革成果体现在教材中,既要兼顾学科的系统性,又要强调学科的先进性。
4. 知识体系要实用。以学生就业所需的专业知识和操作技能为着眼点,在适度的基础知识与理论体系覆盖下,着重讲解应用型人才所需的内容和关键点,突出知识的实用性和可操作性。
5. 重视实践环节,强化案例式教学和实际操作的训练。教材中要融入最新的实例及操作性较强的案例,通过实际训练加深对理论知识的理解。实用性和技巧性强的章节要设计相关的实践操作案例。同时,习题设计要多样化、具备启发性,题型要丰富。
6. 相关内容要力争配套。即理论课教材与实验课教材要配套;理论课教材与习题解疑要配套;理论课教材与多媒体课件要配套;教材与案例化素材要配套。
7. 坚持质量第一。

为了实现以上指导思想,我们组建了由具有丰富的独立学院(民办高校)教学经验和较高学术水平的院(系)领导、教授、骨干教师组成的编委会,由编委会研究提出本系列教材的编写指导思想,并推荐作者。

新形势下的高等教育正在经历前所未有的变革和发展,我社将秉承为高校教学、科研服务的宗旨,以服务于学校师资队伍建设和教材建设为特色。我们愿与各位教师真诚合作,共同努力,为新世纪的高等教育事业作出更大的贡献。

武汉理工大学出版社

2012 年 3 月

高等学校土建类专业应用型本科系列教材

编 审 委 员 会

主 任:李新福 雷绍锋

副 主 任:(按姓氏笔画排列)

孙 艳 江义声 陈俊杰 陈素红 陈升平

张淑华 孟高头 郑 毅 姚金星 荀 勇

胡铁明 袁海庆 蒋沧如 熊丹安

委 员:(按姓氏笔画排列)

马成松 邓 训 牛秀艳 王有凯 史兆琼

孙 艳 江义声 许汉明 许程洁 刘 江

刘 伟 刘 斌 张朝新 张志国 陈金洪

沈中友 杜春海 李武生 杨双全 杨学忠

杨子江 孟高头 郑 毅 赵 亮 赵元勤

赵永东 胡铁明 胡忠君 柳立生 施鲁莎

姚金星 葛文生 熊丹安

秘 书:王利永

总责任编辑:于应魁

前 言

(第 2 版)

本教材于 2009 年 1 月正式出版,到目前为止,已发行了 1 万多册。在使用过程中发现本教材存在一些不足及印刷中的问题,需要作进一步的修订。修改后决定发行第 2 版。

第 2 版中除保留原教材的说理清楚、概念准确、文字通顺、便于自学、理论联系实际、选材尽量符合土建类专业特点以及教材的绝大部分内容和风格外,做了如下方面的工作:

(1) 根据国家出版部门对教材中的符号要统一的规定,将原教材中的符号修改成国家统一的符号。例如,教材中的外荷载(或外力)用 P 表示,现改成国家统一的符号 F ; A 点的垂直方向的反力用 Y_A 表示,修改成 F_{Ay} (水平反力 X_A ,修改成 F_{Ax});杆件的轴向力用 N 表示,修改成 F_N ;剪力 Q 修改成 F_S ;剪应力修改成切应力;平面图形修改成截面图形,等等。

(2) 扭转一章除将扭矩符号 M_n 修改成 T 之外,增加了“非圆形截面杆在自由扭转下的应力与变形简介”一节。因为圆形截面杆的扭转,主要是机械工程中常见的。对于土建类专业除遇到圆形截面杆的扭转之外,也会遇到非圆形截面杆(如矩形、T 字形、工字形等)的扭转。虽然非圆形截面的扭转将来在“混凝土原理”课程中有介绍(主要是配筋问题),这里也对非圆形截面杆的扭转作一简单介绍。

(3) 能量原理及应用一章删去了“单位荷载法及莫尔积分”一节,因为该内容将在土建类专业的“结构力学”课程中有比较详细且重点的讲解,学时数、例题及习题都比较多,读者可以更深入地学习和理解。但是对本章中的“卡氏定理及附加力法”作了加强,特别是附加零值力法在材料力学中是重点之一。增加了例题,使附加力法更全面。例题 12.4 是在求位移的点上没有相应的集中力,因此在该点要附加集中力 $F' (=0)$ 。而例题 12.5 是在求转角的截面上没有力偶矩,因此在该截面上要附加力偶矩 $M' (=0)$ 。这样可以使读者更好地掌握这一方法。

(4) 对思考题及习题作了少量的调整及补充。

(5) 对原书中的错误及印刷中的问题进行了勘误。

另外,为强化实践性环节的教学,本教材此次配套出版了《材料力学实验指导》,以方便教学使用。

希望使用该教材的教师及广大读者能继续给我们提出宝贵意见和建议,以便今后再修订时加以改进,尽量做到更完善。

编者

2011. 12

前 言

(第 1 版)

改革开放 30 年来,我国在各方面都取得了突飞猛进的发展,高等教育也不例外。高校招生规模的不断扩大和各地独立学院及民办高校的兴起,使得要求编写出适用于独立学院及民办高校的教材势在必行。本书就是在这种情况下,经过几年的教学实践,根据教育部两届高等学校非力学专业基础课程教学指导分委员会历时 5 年制订的《理工科非力学专业力学基础课程教学基本要求》(试行)和教育部有关培养应用型人才培养目标的要求,并结合独立学院学生的具体情况而编写的。

材料力学是一门为设计工程实际构件提供必要的理论基础的重要技术基础课,也是一门理论与实验相结合的课程。为了更好地掌握将工程实际构件抽象为力学模型的方法,研究杆件的内力、应力和变形分布规律的基本原理,掌握分析杆的强度、刚度和稳定性问题的理论与计算,具有较熟练的计算能力和初步的实验能力,培养在构件内力与应力分析、变形分析、相关计算和实验等方面的能力,并为后续相关课程的学习以及进行构件设计和科学研究打好基础,在编写过程中,我们除力图做到说理清楚、概念准确、文字通顺、便于自学、理论联系实际、选材尽量符合土木工程专业的特点外,还做了以下几方面工作:

1. 根据独立学院及民办高校学生的具体情况,本书尽量做到“三用”(会用、够用、适用)的原则,调整编写内容,重点突出概念,强调理论及公式的运用,而对于理论和公式的推导过程,教师可以根据学生的实际情况选学或不学。

2. 每一章都安排了“内容提要”、“小结与学习指导”、“思考题”、“习题”等环节,并在书末附有各章习题的“参考答案”,为学生指出了学习的关键问题以及如何学习等。经验证明,它们能帮助学生进一步巩固学习成果,灵活地运用理论知识,做到举一反三。

3. 对杆件四种基本变形之一的剪切变形的介绍主要集中在土木工程的拉(压)杆件的连接上,因此,剪切不单独列为一章,而是放在轴向拉伸和压缩一章中作为拉(压)连接的实用计算来处理。

本书由邓训、赵元勤任主编,张青梅任副主编。参加本书编写工作的教师有:武汉科技大学中南分校邓训、张青梅、鲁晓俊,吉林建筑工程学院建筑装饰学院赵元勤、陈岩、冯永,陕西理工学院刘喜平,武汉理工大学华夏学院潘桔桦。

武汉科技大学中南分校李乾南担任本书的审稿工作,并提出了许多宝贵意见和建议,对保证和提高本书的质量起了很大的作用,在此表示衷心的感谢。

限于编者的水平,本书难免存在疏漏和不妥之处,望广大教师及读者提出宝贵意见,以便加以改进。

注:本书是武汉科技大学中南分校精品课程建设内容之一,并受到该校的资助,在此特表示感谢。

编者

2008. 12

目 录

1 绪论	(1)
1.1 材料力学的任务	(1)
1.2 变形固体及其基本假定	(2)
1.2.1 连续均匀假定	(3)
1.2.2 各向同性假定	(3)
1.3 变形和位移	(4)
1.4 外力、内力、截面法	(5)
1.5 应力	(6)
1.6 杆变形的基本形式	(7)
小结与学习指导	(8)
思考题	(9)
2 轴向拉伸和压缩	(10)
2.1 轴向拉(压)杆的内力	(10)
2.1.1 轴向受拉杆和轴向受压杆	(10)
2.1.2 轴向拉(压)杆的内力——轴力	(11)
2.1.3 轴力图	(11)
2.2 轴向拉(压)杆的应力	(14)
2.2.1 横截面上的应力	(14)
2.2.2 斜截面上的应力	(16)
2.3 轴向拉(压)杆的变形与胡克定律	(18)
2.3.1 轴向拉(压)杆的变形	(18)
2.3.2 胡克定律	(19)
2.3.3 横向变形系数	(19)
2.4 材料在拉伸和压缩时的力学性质	(22)
2.4.1 概述	(22)
2.4.2 钢材的拉伸试验	(23)
2.4.3 钢材的冷作硬化和钢筋的冷拉加工	(26)
2.4.4 其他材料在拉伸时的力学性质	(27)
2.4.5 材料在压缩时的力学性质	(28)
2.4.6 工程中常用材料的力学性质的比较	(29)
2.4.7 材料强度的许用应力和安全系数	(30)
2.5 轴向拉(压)杆的强度计算	(31)

2.6 拉伸和压缩的超静定问题	(33)
2.6.1 超静定问题的解法	(33)
2.6.2 装配应力和温度应力	(36)
2.7 受拉(压)杆连接的实用计算	(38)
2.7.1 工程实际中的连接与连接件及其破坏形式	(38)
2.7.2 剪切的实用计算	(40)
2.7.3 挤压的实用计算	(41)
小结与学习指导	(43)
思考题	(45)
习题	(45)
3 扭转	(52)
3.1 工程实际中的受扭杆	(52)
3.2 受扭杆的内力——扭矩及扭矩图	(53)
3.2.1 扭矩	(53)
3.2.2 扭矩图	(54)
3.3 薄壁圆筒的扭转	(55)
3.3.1 切应力互等定理	(55)
3.3.2 剪切胡克定律	(56)
3.4 圆轴扭转时的应力与变形	(57)
3.4.1 横截面上的应力	(57)
3.4.2 扭转变形	(59)
3.5 圆轴扭转时的破坏现象	(60)
3.6 圆轴扭转时的强度与刚度计算	(60)
3.6.1 强度条件	(60)
3.6.2 刚度条件	(61)
3.7 非圆截面杆在自由扭转时的应力和变形简介	(63)
3.7.1 矩形截面杆	(63)
3.7.2 开口薄壁截面杆	(64)
小结与学习指导	(66)
思考题	(67)
习题	(68)
4 梁的内力——剪力和弯矩	(71)
4.1 工程实际中的受弯杆	(71)
4.1.1 梁的受力与变形特点	(72)
4.1.2 平面弯曲的概念	(72)
4.1.3 梁的简化——计算简图的选取	(72)
4.1.4 梁的基本形式	(72)

4.2 梁的内力——剪力和弯矩	(74)
4.2.1 截面法求梁的内力	(74)
4.2.2 直接由外力求截面内力的法则	(76)
4.3 剪力图与弯矩图	(77)
4.4 荷载、剪力和弯矩间的关系	(81)
4.4.1 微分关系	(81)
4.4.2 积分关系	(84)
4.5 按叠加原理作剪力图和弯矩图	(88)
小结与学习指导	(89)
思考题	(90)
习题	(91)
5 梁的应力	(96)
5.1 梁横截面上的正应力	(96)
5.1.1 纯弯曲与横力弯曲	(96)
5.1.2 纯弯曲梁段横截面上的正应力	(96)
5.1.3 横力弯曲梁段横截面上的正应力	(101)
5.2 梁横截面上的切应力	(102)
5.2.1 矩形截面梁的切应力	(102)
5.2.2 工字形截面梁的切应力	(104)
5.2.3 圆形截面梁的切应力	(105)
5.2.4 薄壁圆环形截面梁的切应力	(106)
5.3 梁的强度条件	(107)
5.3.1 梁的正应力强度条件	(107)
5.3.2 梁的切应力强度条件	(109)
5.3.3 梁的正应力强度条件和切应力强度条件的主次关系	(109)
5.4 梁的合理截面及变截面梁	(110)
5.4.1 梁的合理截面形状	(110)
5.4.2 变截面梁	(112)
小结与学习指导	(114)
思考题	(116)
习题	(117)
6 梁的变形	(121)
6.1 梁的挠度和转角	(121)
6.1.1 研究梁变形的目的	(121)
6.1.2 挠度和转角	(121)
6.2 直梁挠曲线近似微分方程	(122)
6.3 用积分法求梁的变形	(123)

6.4	用叠加方法求梁的变形	(128)
6.5	梁的刚度条件	(131)
	小结与学习指导	(132)
	思考题	(134)
	习题	(134)
7	应力状态分析	(137)
7.1	概述	(137)
7.2	二向应力状态下的应力分析——解析法	(138)
7.2.1	α 斜截面上的应力	(138)
7.2.2	主应力 $\sigma_{\max}$ 、 $\sigma_{\min}$ 及作用平面方向	(139)
7.2.3	$\tau_{\max}$ 、 $\tau_{\min}$ 及作用平面的方向	(140)
7.2.4	二向应力状态的两个特例	(143)
7.3	二向应力状态下的应力分析——图解法	(143)
7.4	梁的应力状态分析及主应力轨迹线	(146)
7.4.1	梁的应力状态分析	(146)
7.4.2	主应力轨迹线	(150)
7.5	三向应力状态下应力分析简介	(151)
7.6	应力与应变的关系	(152)
7.6.1	单向应力状态下应力与应变的关系	(152)
7.6.2	纯剪切应力状态下应力与应变的关系	(153)
7.6.3	复杂应力状态下应力与应变的关系	(153)
7.6.4	体积应变	(155)
	小结与学习指导	(157)
	思考题	(160)
	习题	(161)
8	强度理论	(163)
8.1	强度理论的概念	(163)
8.2	四个常用强度理论及其相当应力	(164)
8.2.1	关于脆性断裂的强度理论	(164)
8.2.2	关于塑性屈服的强度理论	(165)
8.3	各种强度理论的适用范围及其应用	(167)
	小结与学习指导	(174)
	思考题	(175)
	习题	(175)
9	组合变形	(178)
9.1	组合变形的概念	(178)

9.2	两个互相垂直方向的平面弯曲的组合	(180)
9.2.1	梁在斜弯曲情况下的应力	(181)
9.2.2	梁在斜弯曲情况下的强度条件	(182)
9.2.3	梁在斜弯曲情况下的变形	(183)
9.3	拉伸(压缩)与弯曲的组合	(185)
9.4	偏心压缩(拉伸)截面核心	(187)
9.4.1	单向偏心受压	(188)
9.4.2	双向偏心受压	(189)
9.4.3	截面核心	(192)
9.5	弯曲与扭转的组合	(195)
9.5.1	内力分析	(195)
9.5.2	应力分析	(195)
9.5.3	危险截面、危险点分析	(196)
9.5.4	应力状态及强度计算分析	(196)
	小结与学习指导	(198)
	思考题	(202)
	习题	(203)
10	压杆稳定	(205)
10.1	压杆稳定性的概念	(205)
10.2	细长压杆的临界荷载	(207)
10.3	临界应力及临界应力总图	(210)
10.3.1	细长压杆的临界应力	(210)
10.3.2	中长杆和短杆的临界应力计算	(212)
10.3.3	临界应力总图	(213)
10.4	压杆的稳定计算	(213)
10.4.1	压杆稳定许用应力的确定	(213)
10.4.2	压杆的稳定条件	(215)
10.5	提高压杆稳定性的措施	(218)
10.5.1	选择合理的截面形状	(219)
10.5.2	设法改变压杆的约束条件	(220)
10.5.3	合理选择压杆的材料	(220)
	小结与学习指导	(220)
	思考题	(222)
	习题	(222)
11	动荷载	(225)
11.1	动荷载的一般介绍	(225)
11.2	杆件做等加速运动时的应力计算	(225)

11.3	圆环做等速转动时的应力计算	(227)
11.4	杆件受简单冲击时的应力计算	(229)
	小结与学习指导	(233)
	思考题	(235)
	习题	(235)
12	能量原理及其应用	(238)
12.1	外力功与变形能	(238)
12.1.1	外力功与变形能	(238)
12.1.2	能量原理	(239)
12.2	杆件不同受力情况下的变形能	(239)
12.2.1	轴向拉伸(或压缩)线弹性杆	(239)
12.2.2	自由扭转线弹性杆	(239)
12.2.3	线弹性弯曲梁	(240)
12.2.4	广义力与广义位移	(241)
12.3	变形能的普遍表达式	(242)
12.4	卡氏定理及附加力法	(243)
12.4.1	卡氏定理	(243)
12.4.2	附加力法	(244)
	小结与学习指导	(246)
	思考题	(247)
	习题	(247)
附录 A	截面图形的几何性质	(250)
A.1	概述	(250)
A.1.1	研究截面图形几何性质的意义	(250)
A.1.2	定义	(250)
A.2	面积矩和形心位置	(251)
A.3	惯性矩、惯性积和极惯性矩	(254)
A.4	平行移轴公式	(257)
A.5	转轴公式	(258)
A.6	形心主轴和形心主惯性矩	(259)
	思考题	(264)
	习题	(265)
附录 B	型钢表	(267)
	习题参考答案	(282)
	参考文献	(290)

1 绪 论

内 容 提 要

- (1) 材料力学的任务及研究对象。
- (2) 研究材料力学的一些基本概念,如变形固体的基本假设、内力、应力、变形、应变和截面法等,在全书及工程中具有普遍意义。

1.1 材料力学的任务

人们在生活和生产的实践中,经常要建造和使用各种各样的建筑物。任何建筑物(水工建筑、工业与民用建筑、桥梁隧道等)都是由很多的零部件组合而成的,这些零部件统称为构件。根据构件的主要几何特征,常将其分成杆、板、块等类型,材料力学以杆件类型构件为主要研究对象。

杆件的几何特征是长度(l)远大于横向尺寸(高 h 、宽 b 或直径 d)。其中,轴线(横截面形心的连线)为直线的称为直杆,轴线为曲线的称为曲杆;截面大小或形状变化的杆称为变截面杆,截面不变化的直杆简称为等直杆。等直杆是最简单也是最常见的杆件,如图 1.1 (a)所示。而曲杆如图 1.1 (b)所示。工程中的梁(弯曲构件)、轴(扭转构件)、柱(受压构件)均属于杆件。

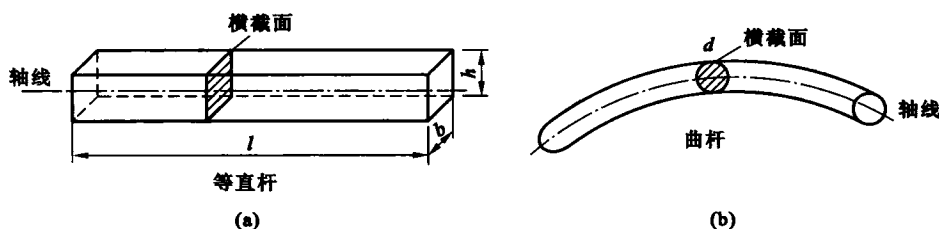


图 1.1 杆件

当建筑物承受外力的作用(或其他外在因素的影响)时,组成该建筑物的各杆件都必须能够安全正常工作,这样才能保证整个建筑物的正常使用。为此,要求杆件不发生破坏。如建筑物的大梁断裂时,势必会造成财产损失甚至人员伤亡。但不破坏并不一定表示能正常使用,如果杆件在外力作用下发生过大的变形,也不能正常工作。如吊车梁若因荷载过大而发生过度变形,吊车就不能正常行驶;机床主轴若发生过大的变形,则会增大传动误差,影响工件的加工质量。此外,有些杆件在荷载作用下,原有的平衡可能会丧失。如受压柱如果是细长型的,则在压力超过一定限度后,就有可能明显变弯,进而丧失正常工作能力。直柱受压突然变弯的现象称为丧失稳定性。总而言之,杆件要能正常工作,必须同时满足以下三方面的要求:

(1) 不发生破坏,即杆件必须具有足够的强度;

(2) 不产生过大变形,发生的变形可限制在许可的范围以内,即杆件必须具有足够的刚度;

(3) 不失稳,杆件在其原有的形状下可保持稳定的平衡,即杆件必须具有足够的稳定性。

这三方面的要求统称为构件的承载能力。一般来说,在设计每一个杆件时,应同时考虑以上三方面的要求,但对某些具体的杆件来说,有时往往只需考虑其中的某一主要方面的要求(有的以强度为主,有的以刚度为主,有的则以稳定性为主),当主要方面的要求满足了,其他两个次要方面的要求也会得到满足。当设计的杆件能满足上述三方面的要求时,就可认为设计是安全的,杆件能够正常工作。

一般来说,只要为杆件选用较好的材料和较大的几何尺寸,安全总是可以得到保证的,但这样可能会造成财力、人力和物力的浪费。显然,过分地强调安全可能会造成浪费,而片面地追求经济可能会使设计不安全,安全和经济之间就会产生矛盾。材料力学正是解决这种矛盾的一门课程。根据材料力学的知识,就能知道怎样在保证安全的条件下尽量使所设计的杆件消耗最少的材料。也正是由于这种矛盾的不断出现和不断解决,才促使材料力学不断地向前发展。

为了能既安全又经济地设计杆件,除了要有合理的理论计算方法外,还要了解杆件所使用材料的力学性能。大多数材料的力学性能可以从有关手册中得到,但是有的情况下还必须掌握材料力学的试验技术。通过杆件的材料力学试验,可以直接测定各种材料的基本力学性质。另外,对于现有的理论不足以解决的某些形式复杂的杆件设计问题,可以通过试验的方法得到解决。故试验工作在材料力学中也占有相当重要的地位。

综上所述,材料力学是研究杆件的强度、刚度和稳定性的学科,它提供了有关的基本理论、计算方法和试验技术,使我们能合理地确定杆件的材料和形状尺寸,以达到既安全又经济的目的。

1.2 变形固体及其基本假定

理论力学中研究物体的平衡或运动问题时,物体变形对问题的解决影响甚小,可以忽略物体的变形而把物体视为刚体。材料力学研究杆件的强度、刚度和稳定性问题时,不可再忽略其变形而必须把构件视为变形固体。构件的变形是杆件材料的基本属性。例如,在土建、水利工程中,组成水闸闸门或桥梁的杆件变形会影响到整个闸门或桥梁的稳固,基础的刚度会影响到大型坝体内的应力分布;在机电设备中,机床主轴的变形过大就不能保证机床对工件的加工精度,电机轴变形过大就会使电机的转子与定子相撞,使电机不能正常运转,甚至损坏等。因此,在材料力学中我们必须把各种构件看做是变形固体。

固体之所以发生变形,是由于在外力作用下,组成固体的各微粒的相对位置会发生改变的缘故。在材料力学中,我们要着重研究这种外力和变形之间的关系。

在一定范围内,变形固体具有在外力作用下发生变形,但在外力除去后又能立刻恢复其原有形状和尺寸大小的特性,我们把变形固体的这种性质称为弹性,把具有这种弹性性质的变形固体称为完全弹性体。若变形固体的变形在外力除去后只能恢复其中一部分,这样的固体称为部分弹性体。部分弹性体的变形可分为两部分:一部分是随着外力除去而消失的变形,称为弹性

变形;另一部分是在外力除去后仍不能消失的变形,称为**塑性变形**(残余变形或永久变形)。

严格地说,自然界中并没有完全弹性体,一般的变形固体在外力作用下,总会是既有弹性变形也有塑性变形。不过,由实验指出,像金属、木材等常用建筑材料,当所受的外力不超过某一度时,可看成是完全弹性体。

为了能采用理论的方法对变形固体进行分析和研究,从而得到比较通用的结论,在材料力学中,有必要根据固体材料的实际性质进行科学的抽象假设,正如在理论力学中可以把固体当作绝对刚体一样。这是因为真实固体的性质非常复杂,每一门科学都只能从某一角度来研究它,即只研究其性质的某一方面。为了研究上的方便,就有必要将那些和问题无关或影响不大的次要因素加以忽略,保留与问题有关的主要性质。为此提出如下有关变形固体的基本假设。

1.2.1 连续均匀假定

根据近代物理学的知识,组成固体的各微粒之间都存在着空隙,并不是绝对密实、连续的;同时,真实固体的结构和性质也不是各处均匀一致的。例如,金属都是结晶体物质,具有晶体的结构,若在同一金属物体中取出几个小块,其大小和晶粒的大小差不多,则在几个晶粒内交接处所取出的小块(如图 1.2 中 B)的性质,显然与在一个晶粒内所取出的小块(如图 1.2 中 A)的性质不相同。不过在材料力学中所研究物体的大小比晶体要大得多,从同一金属物体不同部分所取的任何试件里,都会包含非常多的、排列错综复杂的晶粒。故在这些试件之间,由于个别晶粒性质不同所引起的差别,就可忽略不计了。混凝土构件也有类似情况,在混凝土构件中,石块、砂子和水泥是混杂地固结在一起的,若只考虑个别的石块、砂子和水泥微粒,它们的性质是完全不同的,但由于一般混凝土建筑物的体积都比较大,石子、砂子体积很小,故可认为混凝土也是均匀材料。

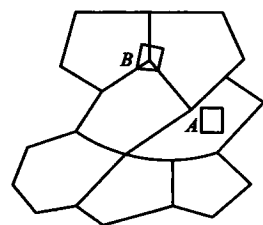


图 1.2 结晶体物质中的小块

另外,对比受力的物体来讲,物体各微粒间空隙对强度、刚度的影响甚微。故可认为,材料毫无空隙地充满在物体的整个几何容积中,且物体的物质在各处都均匀一致。因而可以从物体中的任何部分取出微小的立方体来研究物体的性质,同时也可把用那些大尺寸试件在试验中所获得的材料性质应用到微小的立方体上。实验和工程实践证明,以上假设是可信的、科学的。而对于有明显裂纹的材料,就不能看成是连续的,这种材料制成的杆件将由断裂力学来研究。

1.2.2 各向同性假定

在结晶物质中,每个晶粒在不同的方向有不同的性质,故单晶体的性质是有方向性的。但由于物体的体积远大于单个晶粒的体积,无数微小晶粒在物体内部错综交叠地排列着,材料在各个方向的力学性质必然趋向一致。故可将钢铁等多晶体金属材料认为是**各向同性材料**。至于均匀的非晶体材料,一般都是各向同性的,故塑胶、玻璃和浇筑得较好的混凝土等都是各向同性材料。因此就可在物体的同一处沿不同方向截取出性质相同的微小立方体研究。

但有些材料只在某一方向上才有相同的性质,称之为**单向同性材料**。例如各种冷拉的钢丝、轧制板以及纤维整齐的木材等都是单向同性材料。单向同性材料在相同方向可以应用各向同性理论。至于完全不具备各向同性或单向同性的材料,例如纤维排列杂乱无章的木材、经

过冷扭的钢丝、胶合板、纺织品等都是各向异性材料,将在复合材料力学中予以研究。

1.3 变形和位移

由变形固体构成的物体,在外力作用下会改变自己的形状和尺寸,称为变形。物体发生变形后,物体上的各个点、各条线和各个面都可能发生空间位置的改变,称为位移(或变位)。从物体的某一点的原位置到新位置所连直线的距离,称为该点的线位移。物体上的某一直线段或某一平面在物体变形时所旋转的角度,称为该线或该面的角位移。如图 1.3 中所示的左端固定、右端自由的杆,受到集中荷载 F 作用后,变形成为图中虚线所示形状。这时,杆端点 A 的线位移为 $\overline{AA_1}$,杆端平面的角位移为 θ 。

若在物体变形以前,先在物体沿某一方向描绘一长为 s 的线段 AB ,如图 1.4 所示,则在物体受力变形以后,该线段的长度将有所改变,通常把其改变量 Δs 称为线段 AB 的线变形。若变形后线段 AB 的长度增加了,则称 Δs 为伸长变形;若线段 AB 的长度减少了,则称 Δs 为缩短变形。线段长度的改变量 Δs 与初始长度 s 的比值,称为线段 s 的平均变形,即

$$\epsilon_{\text{平均}} = \frac{\Delta s}{s} \quad (1.1)$$

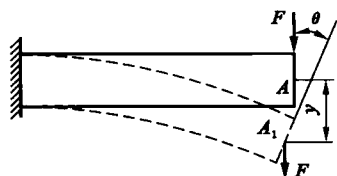


图 1.3 线位移和角位移图

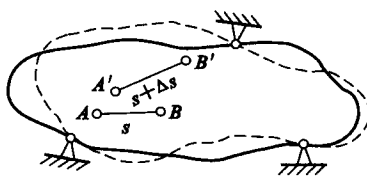


图 1.4 线位移

若将线段 AB 的长度 s 取得更短,使点 B 向点 A 趋近,取极限,即得

$$\epsilon_{AB} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{s} \quad (1.2)$$

通常将 ϵ_{AB} 称为在点 A 沿 AB 方向的线应变。一般来说,在变形物体上同一点的不同方向,其线应变也不同。例如,沿 x 、 y 、 z 各轴方向的线应变可分别用 ϵ_x 、 ϵ_y 和 ϵ_z 表示。又若在物体变形以前,先在物体上描绘由两直线 OC 和 OD 所构成的直角 $\angle COD$,如图 1.5 所示,则在物体受力变形以后,此直角的大小将有所改变,例如改变成 $\angle C'O'D'$,通常把这种改变称为角变形。若使线段 OC 、 OD 缩短,使 C 、 D 两点都向点 O 趋近,并仍保持 $\angle COD$ 为直角,则取极限时,直角 $\angle COD$ 与 $\angle C'O'D'$ 之差为:

$$\gamma_{COD} = \lim_{\substack{OC \rightarrow 0 \\ OD \rightarrow 0}} (\angle COD - \angle C'O'D') \quad (1.3)$$

式中 γ_{COD} ——在 COD 平面上点 O 的切应变。

在坐标平面中,切应变用 γ_{yz} 、 γ_{xz} 和 γ_{xy} 表示。物体的变形是几何性质的问题。为了研究整个物体的变形,可设想将整个物体划分为许多微小的正六面体或单元体,如图 1.6 所示。显然,当整个物体变形时,它所包含的所有微小单元体也将随之变形,而每一单元体的变形不外乎是各棱边长度的改变和各棱边处各平面间角度的改变两种。故不论实际物体的变形多么复杂,都是两种基本变形——线变形和角变形的组合。