

高等学校教材

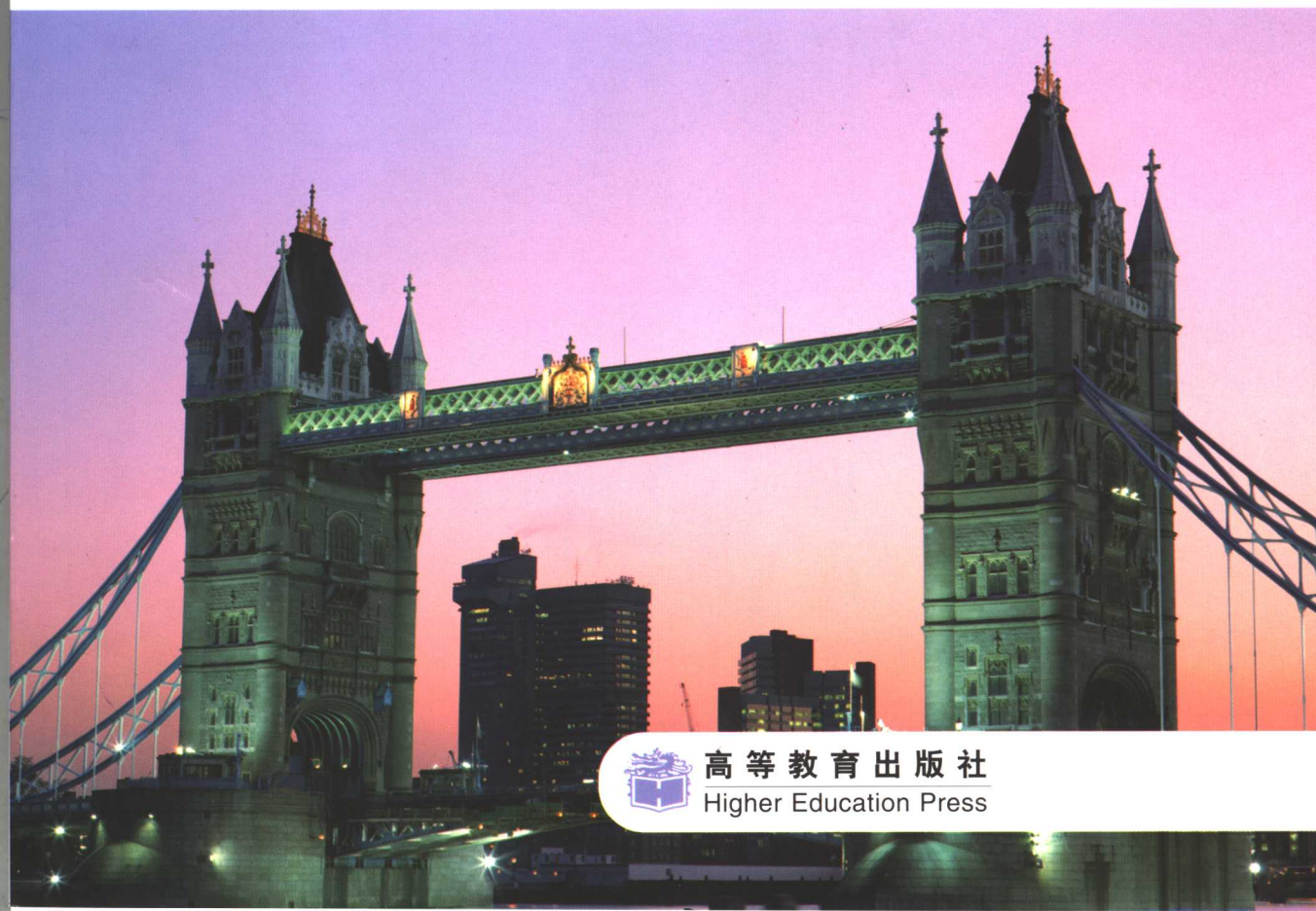
建筑力学 第二分册

材料力学 第4版

Mechanics of Materials

干光瑜 秦惠民 编

秦惠民 王秋生 刘 钊 修订



高等教育出版社

Higher Education Press

高等学校教材

建筑力学 第二分册

材料力学

(第4版)

干光瑜 秦惠民 编
秦惠民 王秋生 刘 钊 修订

高等教育出版社

内容简介

本书为《建筑力学》第二分册《材料力学》第三版的修订版。第四版是根据教育部高教司 2004 年颁发的“材料力学 B 类(中学时)和 C 类(少学时)课程教学基本要求”并考虑目前国内的教学情况修订的。

全书共 11 章,内容包括绪论和基本概念、轴向拉伸压缩、剪切和扭转、梁的内力、截面几何性质、梁的应力、梁的变形、应力状态和强度理论、组合变形、压杆稳定和动应力。章后均附有习题和答案。

本教材适用于土建类中、少学时各专业及其他类中、少学时的有关专业,也可供成人教育师生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学. 第二分册. 材料力学/干光瑜,秦惠民编.

4 版. -北京:高等教育出版社,2006.6

ISBN 7-04-019384-1

I. 建... II. ①干... ②秦... III. ①建筑力学
-高等学校-教材②材料力学-高等学校-教材
IV. TU311②O31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 043038 号

策划编辑 黄毅 责任编辑 葛心 封面设计 张楠 责任绘图 朱静
版式设计 马静如 责任校对 张颖 责任印制 陈伟光

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总机 010-58581000
经销 蓝色畅想图书发行有限公司
印刷 北京市白帆印务有限公司

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开本 787×1092 1/16
印张 16
字数 380 000

版次 1980 年 9 月第 1 版
2006 年 6 月第 4 版
印次 2006 年 6 月第 1 次印刷
定价 18.70 元

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 19384-00

第四版前言

本教材为《建筑力学》第二分册《材料力学》第三版的修订版。第四版是根据教育部高教司2004年颁发的“材料力学B类(中学时)和C类(少学时)课程教学基本要求”并考虑目前国内的教学情况进行修订的。修订时,注意了内容的精选和阐述的简明,力图更好地适应中、少学时各专业的教学要求。

本版教材与第三版教材相比:

(1) 删去第三版教材中的第9章(计算弹性位移的能量法)和第14章(交变应力);将第三版教材中的第3章(剪切)与第4章(扭转)合并为一章。本版教材共11章(第三版教材共14章)。

(2) 在删去的两章中,少量需保留的内容安排在其他有关的章节中。

(3) 本版教材中的第2、4、5、6、7章和第10章是对第三版教材进行了局部修订;第3章是将第三版教材中的第3章与第4章合并为一章,并在原基础上进行了适当的精简与修订;第8、9和第11章为重新编写。

(4) 本版教材的篇幅明显小于第三版。

本教材适用于土建类中、少学时各专业及其他类中、少学时的有关专业。教材中包括课程要求的基本内容和扩展内容(带*号),不同专业可根据不同要求,灵活选用。

第四版教材修订的指导思想和修订大纲由秦惠民教授确定,具体修订工作由秦惠民、王秋生、刘钊共同完成。

本版教材承北京航空航天大学单辉祖教授审阅,并提出许多宝贵意见,在此深表谢意。

编者水平有限,书中不妥之处,敬请广大教师和读者批评指正。

编者

2006年1月

第三版前言

本教材是干光瑜、秦惠民编建筑力学第二分册《材料力学》(第二版)的修订版,是根据国家教委 1995 年颁发的“高等学校工科本科材料力学课程教学基本要求”编写的。

第二版教材自 1989 年出版以来,使用的院校较多,编者根据使用者的建议,对第二版教材进行了部分修订。本版与第二版相比:

(1) 局部内容有所增、减。例如,删去第三章中的焊接计算、第十四章中的非对称循环下的疲劳强度计算等;在第七章中增加了考虑材料塑性时梁的强度计算,在第十章中增加了莫尔强度理论等。

(2) 对某些内容的叙述作了一些修订。

(3) 书中有关量的名称和符号按国家标准规定采用,国家标准中没有规定的则按目前通用的使用。

本教材适用于土建类中、少学时各专业及其他有关专业。新增的和原有的带 * 号章节均相对独立,各专业可根据需要灵活选用。

本版教材由原编者修订,即由哈尔滨建筑大学干光瑜(第二、三、四、十、十一、十三、十四章)和秦惠民(第一、五、六、七、八、九、十二章)修订。

限于编者水平,教材中可能存在缺点和不妥之处,敬请广大教师和读者批评指正。

编者

1998 年 6 月

第二版前言

本教材是哈尔滨建筑工程学院与重庆建筑工程学院合编的建筑力学第二分册《材料力学》的修订版。

在修订前我们曾专程访问了十余所高等院校,同数十位教师进行了座谈,征求了他们对本书第一版的意见,在此基础上完成了本书第二版的修订。

本版与第一版相比:

(1) 对全书作了普遍的修订,有些章节作了较大的变动;

(2) 普遍增加了例题和习题的数量及深广度;

(3) 考虑到土建类选用少学时材料力学课程的专业比较广,各专业的要求又不尽相同,所以本书补充了一些内容,以便各专业根据需要灵活选用;

(4) 基本内容按1980年原教育部审订的建筑力学大纲(草案)中材料力学(60学时)的要求编写。补充的内容注上“*”号,对“*”号内容的编写尽量做到相对独立。这样,本书可供学时数在60~80范围(不包括实验)的专业使用。

本版由哈尔滨建筑工程学院干光瑜(第二、三、四、十、十一、十三、十四章)和秦惠民(第一、五、六、七、八、九、十二章)修订。其中部分习题答案由陈维奖、哈跃和祝恩淳同志完成。

天津大学苏翼林和清华大学黄晓梅两位同志认真细致地审阅了原稿,提出了许多宝贵的意见,对本书的定稿工作起了很大的作用,在此谨向两位同志表示衷心的感谢。

自第一版出版以来,不少使用过该教材的教师曾提出过各种宝贵意见,在此一并致谢。

限于编者的水平,可能存在许多缺点和不妥之处,敬请广大教师和读者予以批评指正。

编者

1986年12月

第一版编者的话

根据 1977 年 11 月教育部委托召开的高等学校工科基础课力学教材会议讨论的《建筑力学》教材编写大纲,湖南大学、哈尔滨建筑工程学院、重庆建筑工程学院三院校为土建类的建筑学、给水排水、采暖通风、建筑材料等专业编写了这套中学时的《建筑力学》教材。全书共分三个分册:第一分册为理论力学,第二分册为材料力学,第三分册为结构力学。为了便于选用,在编写时我们既注意了这三部分内容的相互联系和配合,又保持了各自相对的独立性和理论的系统性。

本书为《建筑力学》的第二分册——材料力学。在编写过程中,注意贯彻辩证唯物主义观点和理论联系实际的原则,力求做到内容精简,由浅入深,叙述上便于自学。为了既保持理论的系统性和完整性,又使学生在不多的学时内能很好地掌握基本概念、基本理论和基本方法,本教材突出了基本内容,对非基本内容作了较多的删减。

讲授本教材的内容约需 70~80 学时(不包括实验)。

本书由天津大学、北京工业大学和同济大学主审,参加审稿会的还有西安冶金建筑工程学院、武汉建筑材料工业学院等院校。

参加本书编写工作的有:哈尔滨建筑工程学院干光瑜(第二、三、八章),秦惠民(绪论及第四、五、六、七章),汪成杰(第九章),重庆建筑工程学院肖明心(第一、十、十一章)。由于编者水平所限,缺点和错误必定不少,希望使用本书的同志批评指正。

编者

1979 年 7 月

目 录

第 1 章 绪论和基本概念 1	* § 3-9 矩形截面杆的扭转..... 61
§ 1-1 材料力学的任务..... 1	* § 3-10 圆杆扭转时的应变能..... 63
§ 1-2 关于变形固体的概念..... 2	习题..... 64
§ 1-3 材料力学采用的基本假设..... 3	第 4 章 梁的内力 68
§ 1-4 内力的概念 截面法..... 4	§ 4-1 工程中的弯曲问题..... 68
§ 1-5 应力的概念..... 5	§ 4-2 梁的荷载和支座反力..... 69
§ 1-6 位移和应变的概念..... 7	§ 4-3 梁的内力及其求法..... 73
§ 1-7 构件变形的基本形式..... 8	§ 4-4 内力图——剪力图和弯矩图..... 77
第 2 章 轴向拉伸和压缩 10	§ 4-5 弯矩、剪力与荷载集度间的 关系..... 81
§ 2-1 轴向拉伸、压缩及工程实例..... 10	习题..... 86
§ 2-2 轴力和轴力图..... 11	第 5 章 截面的几何性质 91
§ 2-3 横截面上的应力..... 13	§ 5-1 静矩和形心..... 91
§ 2-4 斜截面上的应力..... 16	§ 5-2 惯性矩和惯性积..... 93
§ 2-5 拉、压杆的变形..... 17	§ 5-3 惯性矩的平行移轴公式 主轴 和主惯性矩..... 95
§ 2-6 材料在拉伸、压缩时的力学 性质..... 20	§ 5-4 组合截面惯性矩的计算..... 96
§ 2-7 强度计算、许用应力和安全 因数..... 28	习题..... 97
§ 2-8 拉伸和压缩超静定问题..... 31	第 6 章 梁的应力 100
* § 2-9 温度应力与装配应力..... 35	§ 6-1 梁的正应力..... 100
* § 2-10 应力集中的概念..... 37	§ 6-2 梁的正应力强度条件及其应用... 105
* § 2-11 薄壁容器的应力计算..... 38	§ 6-3 梁的合理截面形状及变截面梁... 108
* § 2-12 轴向拉、压杆的应变能..... 40	§ 6-4 矩形截面梁的切应力..... 111
习题..... 41	* § 6-5 工字形截面及其他形状 截面的切应力..... 114
第 3 章 剪切和扭转 46	§ 6-6 梁的切应力强度条件..... 115
§ 3-1 剪切及剪切的实用计算..... 46	* § 6-7 考虑材料塑性时梁的强度 计算..... 117
§ 3-2 拉(压)杆连接部分的强度计算..... 47	习题..... 120
§ 3-3 扭转、扭矩和扭矩图..... 49	第 7 章 梁的变形 124
§ 3-4 薄壁圆杆的扭转..... 51	§ 7-1 概述..... 124
§ 3-5 切应力互等定理和剪切胡克 定律..... 53	§ 7-2 梁的挠曲线的近似微分方程..... 125
§ 3-6 圆杆扭转时的应力..... 54	§ 7-3 积分法计算梁的位移..... 126
§ 3-7 圆杆扭转时的变形..... 58	§ 7-4 叠加法计算梁的位移..... 132
* § 3-8 超静定问题..... 59	

§ 7-5 梁的刚度校核	135	§ 10-1 压杆稳定的概念	196
§ 7-6 超静定梁	136	§ 10-2 铰支细长压杆的临界力	197
* § 7-7 弯曲时梁内的应变能	139	§ 10-3 其他支承情况下细长压杆 的临界力	199
* § 7-8 莫尔积分法计算位移	141	§ 10-4 临界应力 欧拉公式的适用 范围	200
习题	146	§ 10-5 压杆的稳定计算	204
第 8 章 应力状态和强度理论	152	§ 10-6 提高压杆稳定性的措施	206
§ 8-1 应力状态的概念	152	* § 10-7 大柔度杆在小偏心距下 的偏心压缩	207
§ 8-2 平面应力状态下任意斜截面上 的应力	154	* § 10-8 其他弹性稳定问题简介	209
§ 8-3 主应力和极值切应力	156	习题	210
§ 8-4 平面应力状态下的几种特殊 情况	159	第 11 章 动应力	213
* § 8-5 应力圆	162	§ 11-1 概述	213
§ 8-6 空间应力状态下任一点的主应力 和最大切应力	167	§ 11-2 杆件作匀加速直线运动时 的应力计算	213
§ 8-7 广义胡克定律	168	§ 11-3 杆件受自由落体冲击时的 应力计算	217
§ 8-8 强度理论	171	§ 11-4 交变应力与疲劳破坏的概念	221
习题	177	习题	222
第 9 章 组合变形	181	附录 A 型钢表	225
§ 9-1 组合变形的概念	181	附录 B 索引	234
§ 9-2 斜弯曲	181	参考文献	238
§ 9-3 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	184	Synopsis	239
§ 9-4 偏心拉伸(压缩)	187	Contents	240
* § 9-5 截面核心的概念	190	作者简介	244
§ 9-6 弯曲与扭转的组合变形	190		
习题	193		
第 10 章 压杆稳定	196		

第 1 章

绪论和基本概念

§ 1-1 材料力学的任务

任何结构物或机械都是由一些零部件组成的,这些零部件统称为构件(member)。

结构物或机械在正常工作的情况下,组成它们的各个构件一般都承受一定的力。例如,房屋中的梁要承受楼板传给它的重量;机器中的螺钉被拧紧后也要受力。这些重量和力统称为作用在构件上的荷载(load)。

要想使结构物或机械正常地工作,就必须保证组成它们的每个构件在荷载作用下能安全、正常地工作。因此,工程上对所设计的构件,在力学上有一定的要求,这些要求是:

1. 强度要求

强度(strength),是指材料或构件抵抗破坏的能力。强度有高低之分。在一定荷载的作用下,说某种材料的强度高,是指这种材料比较坚固,不易破坏;说某种材料的强度低,则是指这种材料不够坚固,较易破坏。例如,钢材与木材相比,钢材的强度高于木材。

任何构件都不允许在正常工作情况下破坏,这就要求构件必须具有足够的强度。如果构件的强度不足,它在荷载作用下就要破坏。例如,房屋中的楼板梁,当其强度不足时,在楼板荷载作用下就可能断裂,显然,这是工程上绝不允许的。

2. 刚度要求

任何物体在外力作用下,都要或大或小地产生变形(deformation),即形状和尺寸的改变。在工程中,对一构件来说,只满足强度要求是不够的,如果变形过大,也会影响其正常使用。例如,楼板梁在荷载作用下产生的变形过大时,下面的抹灰层就会开裂、脱落;屋面上的檩条变形过大时,就会引起屋面漏水;机床上的轴变形过大时,将影响机床的加工精度等等。因此,在工程中,根据不同的工程用途,对某些构件的变形给予一定的限制,使构件在荷载作用下产生的变形不能超过一定的范围。这就要求构件具有一定的刚度。

刚度(stiffness),是指构件抵抗变形的能力。刚度有大小之分,说某个构件的刚度大,是指这个构件在荷载作用下不易变形,即抵抗变形的能力强;说某个构件的刚度小,是指这个构件在荷载作用下,较易变形,即抵抗变形的能力弱。例如,材料、长度均相同而粗细不同的两根杆,在相同荷载作用下,细杆比粗杆容易变形,即表明细杆比粗杆的刚度小。

3. 稳定性要求

有些构件在荷载作用下,其原有形状的平衡可能丧失稳定性。例如,受压的细长杆(图1-1),当压力 F 不太大时,杆可以保持原来直线形状的平衡;当压力增加到超过一定限度时,杆就不能继续保持直线形状,而突然从原来的直线形状变成弯曲形状,这种现象称为丧失稳定或简称失稳(lost stability)。稳定性(stability)要求就是要求这类受压构件不能丧失稳定。

由于构件失稳后将丧失继续承受原设计荷载的能力,所以其后果往往是很严重的。例如,房屋中承重的柱子,如果它过细、过高,就可能由于柱子的失稳而导致整个房屋的倒塌。因此,细长的受压构件,必须保证其具有足够的稳定性。

满足了上述要求,才能保证构件安全地正常工作。

构件的强度、刚度和稳定性将是材料力学(mechanics of materials)所要研究的主要内容。

构件的强度、刚度和稳定性都与所用的材料有关。例如,尺寸和荷载均相同的木杆与钢杆相比,木杆就比钢杆容易变形,也容易破坏,因此,材料力学还要研究材料在荷载作用下表现的力学性质。

材料的力学性质需通过实验来测定。工程中还有些单靠理论分析解决不了的问题,也需借助于实验来解决。因而,在材料力学中,实验研究与理论分析同等重要,都是完成材料力学任务所必需的手段。

综上所述,材料力学研究的对象是构件,研究的主要内容是构件的强度、刚度和稳定性及材料的力学性质;在材料力学的研究中,既包括理论分析又包括实验。通过材料力学的研究,将为工程中设计安全可靠的构件提供理论基础。

对工程技术人员来说,设计构件时,既要保证构件能安全正常地工作,还应使设计的构件能很好地发挥材料的潜力,以减少材料的消耗。因此,工程技术人员必须掌握一定的材料力学知识,在设计时,运用这些知识去合理地选用材料、选择截面尺寸,使设计的构件既安全可靠又经济合理。

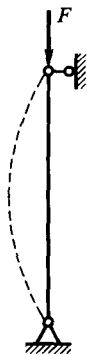


图 1-1

§ 1-2 关于变形固体的概念

在理论力学的静力学中,讨论力系作用下的固体(物体)平衡时,是把固体看成刚体,即不考虑固体形状和尺寸的改变。实际上,自然界中的任何固体在外力作用下,都要或大或小地产生变形,也就是它的形状和尺寸总会有些改变。这些改变,有些可直接观察到,有些则需通过仪器才能测出。

由于固体具有可变形性质,所以又称为变形固体(deformation solid)。严格地讲,自然界中的一切固体均属变形固体。

材料力学是研究构件的强度、刚度、稳定等方面问题的,这些问题的研究,都要与构件在荷载作用下产生的变形相联系。因此,固体的可变形性质就成为重要的基本性质之一而不容忽略。也就是说,在材料力学中,研究对象不能再看成是刚体,必须看成为可变形的固体。

变形固体在外力作用下产生的变形,就其变形性质可分为弹性变形(elastic deformation)与塑性变形(plastic deformation)

弹性是指变形固体在外力去掉后能恢复原来形状和尺寸的性质。例如,一个弹簧在拉力作

用下要伸长,当拉力不太大时,去掉外力后它仍能恢复原状,这表明弹簧具有弹性。弹性变形是指变形体上的外力去掉后可消失的变形。如果去掉外力后,变形不能全部消失而留有残余,此残余部分就称为塑性变形,也称为残余变形(residual deformation)。

去掉外力后能完全恢复原状的物体称为理想弹性体(ideal elastic body)。

实际上,自然界中并不存在理想弹性体,但由实验得知,常用的工程材料如金属、木材等,当外力不超过某一限度时(称弹性阶段),很接近于理想弹性体,这时可将它们看成为理想弹性体;如果外力超过了这一限度,就要产生明显的塑性变形(称弹塑性阶段)。

本书讨论的问题,将限于材料的弹性阶段,即把研究对象——构件看成为理想弹性体。

工程中大多数构件在荷载作用下,其几何尺寸的改变量与构件本身的尺寸相比,常是很微小的,我们称这类变形为“小变形”。与此相反,有些构件在荷载作用下其几何尺寸的改变量可能很大,这类变形称为“大变形”。我们研究的内容将限于小变形范围。由于变形很微小,我们在研究构件的平衡、运动等问题时,就可采用构件变形前的原始尺寸进行计算;在计算中,变形的高次方项也可忽略不计。

§ 1-3 材料力学采用的基本假设

自然界中物体的性质是多种多样十分复杂的。每门科学只是从某个角度去研究物体性质的某一方面或某几方面。在研究中,常把对所研究问题影响不大的一些次要因素加以忽略,只保留物体的主要性质,这样就可以将复杂的真实物体看成只具有某些主要性质的理想物体。经过这样的抽象简化,将使研究工作大为简便。在材料力学的研究中,对变形固体作了如下的基本假设(primary assumption):

1. 连续、均匀假设

连续是指材料内部没有空隙,均匀是指材料的性质各处都一样。连续、均匀假设即认为物体在其整个体积内毫无空隙地充满了物质,且物体的性质各处都一样。

实践证明,在工程中将构件抽象为连续、均匀的变形体,所得到的计算结果是令人满意的。

由于采用了连续、均匀假设,我们就可以从物体中截取任意微小部分进行研究,并将其结果推广到整个物体;同时,也可以将那些用大尺寸试样在实验中获得的材料性质,用到任何微小部分上去。

2. 各向同性假设

各向同性假设(isotropy assumption)即认为材料沿不同方向具有相同的力学性质。常用的工程材料如钢、玻璃以及浇注得很好的混凝土等,都可认为是各向同性材料。如果材料沿不同方向具有不同的力学性质,则称为各向异性材料。我们这里所研究的,将主要限于各向同性材料。

由于采用了上述假设,大大便利了理论的研究和计算方法的推导。尽管材料力学所得出的计算方法只具有近似的准确性,但对工程来说,它的精确程度可满足一般的要求。

应该指出:实践是检验真理的标准,任何假设都不应该是主观臆想的,它必须建立在实践的基础上。同时,在假设基础上得出的理论结果,也必须经过实践来验证。

综上所述,在材料力学中,是把研究对象——构件视为连续、均匀、各向同性的可变形固体,

而我们所研究的范围,主要限于材料处于弹性阶段,且构件的变形是微小的。

§ 1-4 内力的概念 截面法

如前所述,材料力学研究的对象是构件,对于所研究的构件来说,其他构件(及其他物体)作用于该构件上的力均为外力。

构件在外力作用下,将发生变形,与此同时,构件内部各部分间将产生相互作用力,此相互作用力称为内力(internal force)。也就是说,材料力学所研究的内力是由外力^①引起的,内力将随外力的变化而变化,外力增大,内力也增大,外力去掉后,内力将随之消失。

显然,构件中的内力是与构件的变形相联系的,内力总是与变形同时产生的。内力作用的趋势则是力图使受力构件恢复原状,内力对变形起抵抗和阻止作用。

在研究构件的强度、刚度等问题时,均与内力这个因素有关,经常需要知道构件在已知外力作用下某一截面(通常是横截面)上的内力值。任一截面上内力值的确定,通常是采用下述的截面法(method of section)。

图 1-2a 所示受力体代表任一受力构件。为了显示和计算某一截面上的内力,可在该截面处用一假想的平面将构件截为两部分并弃掉一部分。将弃掉部分对保留部分的作用以力的形式表示,此力就是该截面上的内力。由于在基本假设中已假设物体是连续、均匀的变形体,所以内力在截面上也是连续分布的。通常是将截面上的分布内力用位于该截面形心处的合力(简化为主矢和主矩)来代替,尽管内力的合力是未知的,但总可用六个内力分量(视为空间任意力系) F_{N_x} 、 F_{S_y} 、 F_{S_z} 与 M_x 、 M_y 、 M_z 来表示(图 1-2b)。

因构件在外力作用下处于平衡状态,所以截开后的保留部分也应该是平衡的,这样,根据下列两组平衡方程:

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \\ \sum F_z = 0 \end{cases}, \quad \begin{cases} \sum M_x = 0 \\ \sum M_y = 0 \\ \sum M_z = 0 \end{cases}$$

便可求出 F_{N_x} 、 F_{S_y} 、 F_{S_z} 与 M_x 、 M_y 、 M_z 各内力分量(此时对保留的平衡体来说, F_{N_x} 、 F_{S_y} 、 F_{S_z} 、 M_x 、 M_y 、 M_z 均相当于外力)。

后面我们讨论的内力就是讨论 F_N 、 F_S 、 M 等内力分量的计算。

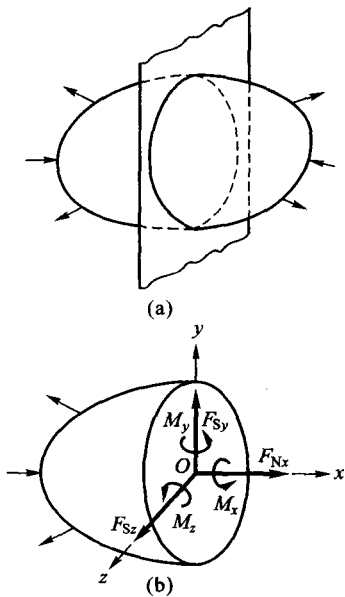


图 1-2

^① 确切地说,应该是“外界因素”,因为外界因素既包括外力,也包括诸如温度、支座沉陷(对超静定问题来说)等其他因素。

截面上的内力并不一定都同时存在上述六个分量,可能只存在其中的一个或几个。例如,图 1-3a 所示中心受拉杆,其横截面 $m-m$ 上就只存在内力 F_N (因 $m-m$ 截面上内力是均匀分布的,故其合力为 F_N)。这样,依 $\sum F_x = 0$ 便可求得 $F_N = F$ 。这是最简单的情况。一般随着外载与变形形式的不同,截面上存在的内力分量也不同,这些将在后面的有关章节中进一步详细讨论。

用截面法求内力可归纳为如下步骤:

(1) 在求内力的截面处,用一假想的平面将构件截为两部分。

(2) 弃掉一部分,留下一部分,并将弃掉部分对保留部分的作用以内力代替(即暴露出内力)。

(3) 考虑保留部分的平衡,由平衡方程来确定内力值。

在第二步进行弃留时,保留哪一部分都可以,因为内力总是成对出现的。位于不同部分上的内力总是等值反向,二者为作用与反作用的关系。

这里需指明一点:在研究内力与变形时,对等效力系(equivalent force system)(如力和力偶沿其作用线和作用面的移动,力的合成、分解及平移等)的应用应该慎重,不能机械地不加分析地任意应用。一个力(或力系)用别的等效力系来代替,虽然对整体平衡没有影响,但对构件的内力与变形来说,则有很大差别。例如,图 1-4 所示的受拉杆,当力 F 作用于杆端时(图 1-4a),整个杆件均受拉,杆的各部分均产生内力与变形。而图 1-4b 的情况则只是力作用点以上部分受拉,二者的内力与变形显然不同。又如,图 1-5a 中的外力 F 用图 1-5b 所示的等效力系代替时,杆件变形的不同则更加明显。

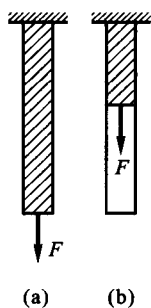


图 1-4

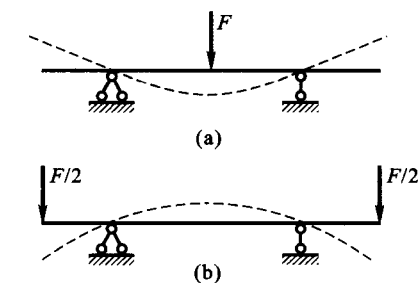


图 1-5

这里只是强调慎重,并非在研究变形体的内力(或变形)时一律不能运用等效力系,而是有时可以应用,有时则不行,应根据研究部位(或对象)、荷载情况及等效力系的形式等具体分析。

§ 1-5 应力的概念

由前节已知,内力是由外力(或外界因素)引起的,且随外力的改变而改变。对一定尺寸的构件来说,从强度角度看,内力愈大愈危险,当内力达到一定数值时,构件就要破坏。但内力的大小

还不能确切地反映一个构件的危险程度,特别是对于不同尺寸的构件,其危险程度更难以通过内力的数值来进行比较。例如,图 1-6 所示的两个材料相同而截面面积不同的受拉杆,在相同的拉力 F 的作用下,二杆横截面上的内力相同,但二杆的危险程度却不同,显然细杆比粗杆危险,易于被拉断。因此,研究构件的强度问题只知道截面上的内力是不够的。为了解决强度问题,不仅需要知道构件可能沿哪个截面破坏,而且还需知道截面上哪个点处最危险。这样,就需进一步研究内力在截面上各点处的分布情况,因而引入了应力的概念。



图 1-6

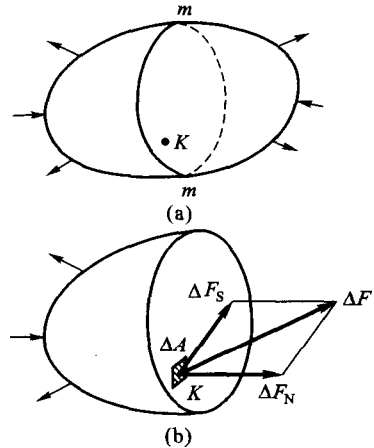


图 1-7

图 1-7a 所示的受力体代表任一受力构件,现研究 $m-m$ 截面上 K 点附近的内力。围绕 K 点在截面上取一小面积 ΔA , 设小面积 ΔA 上的分布内力的合力为 ΔF , $\frac{\Delta F}{\Delta A}$ 则为在 ΔA 范围内单位面积上的内力。将 $\frac{\Delta F}{\Delta A}$ 称为小面积 ΔA 上的平均应力,并用 p_m 表示,即

$$p_m = \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

将 ΔF 沿截面的法向与切向分解,得法向与切向分量 ΔF_N 与 ΔF_s 。同理有

$$\sigma_m = \frac{\Delta F_N}{\Delta A}$$

$$\tau_m = \frac{\Delta F_s}{\Delta A}$$

σ_m 和 τ_m 分别称为小面积 ΔA 上的平均正应力(mean normal stress)和平均切应力(mean shearing stress)。

由于截面上内力的分布一般是不均匀的,所以平均应力 p_m 、 σ_m 、 τ_m 等均与所取小面积 ΔA 的大小有关, ΔA 愈小,平均应力就愈接近于实际。为了消除面积 ΔA 大小的影响,取下列极限:

$$\left. \begin{aligned} p &= \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \\ \sigma &= \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_N}{\Delta A} \\ \tau &= \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_S}{\Delta A} \end{aligned} \right\} \quad (a)$$

式中 p 为 K 点处的总应力, σ 为 K 点处的正应力 (normal stress), τ 为 K 点处的切应力 (shearing stress)。由式 (a) 可知, 应力 (stress) 就是内力的集度。

式 (a) 定义的应力是指 $m-m$ 截面上 K 点处的应力, 也就是说, 应力是与“截面”和“点”这两个因素分不开的。一般地说, 构件在外力作用下, 任一截面上不同点处的应力值是不同的; 而同一点处位于不同截面上的应力值也不相同。因此, 在分析应力时, 必须指明应力所在的截面和所在点的位置。

有了应力的概念, 就可以进一步分析构件的强度。在知道构件中各点处的应力后, 就可以比较不同点处的危险程度, 应力愈大的点处就愈危险, 构件的破坏总是从应力最大的点处开始的。不仅如此, 有了应力的尺度, 还可以比较不同构件的强度。例如, 图 1-6 中的粗细二杆, 细杆之所以比粗杆容易被拉断 (在材料相同的条件下), 就是因为相同荷载作用下, 细杆横截面上的应力大于粗杆横截面上的应力。

在国际单位制 (SI) 中, 力与面积的单位分别为 N 与 m^2 , 应力的单位为 Pa , $1 Pa = 1 N/m^2$ 。由于 Pa 的单位很小, 通常用 MPa , $1 MPa = 10^6 Pa$ 。

§ 1-6 位移和应变的概念

由第二节已知, 材料力学是研究变形体的, 在构件受外力作用后, 整个构件及构件的每个局部一般都要发生形状与尺寸的改变 (图 1-8), 即产生了变形。变形的大小是用位移和应变这两个量来度量的。

位移是指位置的改变, 即构件发生变形后, 构件中各质点及各截面在空间位置上的改变。位移可分为线位移和角位移。在图 1-8 中, 构件上的 A 点变形后移到了 A' 点, A 与 A' 的连线 AA' 就称为 A 点的线位移。而构件上的平面变形后所转过的角度则称为角位移。例如, 图 1-8 中的右端面 $m-m$ 变形后移到了 $m'-m'$ 的位置, 其转过的角度 θ 就是 $m-m$ 面的角位移 (或称为转角)。

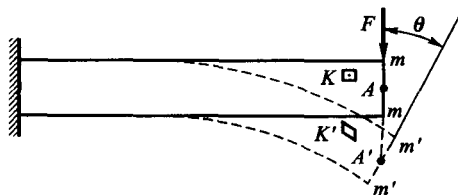


图 1-8

不同点的线位移及不同截面的角位移一般都是各不相同的, 它们都是位置的函数。

为了说明什么是应变, 从图 1-8 所示的构件中, 围绕某点 K 截取一微小的直角六面体 (图 1-9a) 来研究。就此微小六面体来说, 其变形不外下列两类:

(1) 沿棱边方向的伸长或缩短 如沿 x 方向原长为 Δx , 变形后变为 $\Delta x + \Delta u$ (图 1-9b), Δu 就是沿 x 方向的伸长量 (因六面体非常微小, 可认为其沿 x 方向的伸长是均匀的), 称为绝对伸长。但

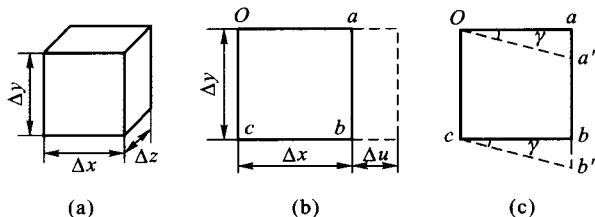


图 1-9

Δu 还不足以说明沿 x 方向的伸缩程度, 因为 Δu 还与边长 Δx 的大小有关, 因而取相对伸长 $\frac{\Delta u}{\Delta x}$ 来度量沿 x 方向的变形。 $\frac{\Delta u}{\Delta x}$ 实际上是在 Δx 范围内单位长度上的平均伸长量, 仍与所取的 Δx 的长短有关, 为了消除尺寸的影响, 取下列极限:

$$\epsilon_x = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta x}$$

ϵ_x 称为 K 点处沿 x 方向的线应变。

(2) 棱边间夹角的改变 如棱边 Oa 和 Oc 间的夹角变形前为直角, 变形后该直角减小 γ , 角度的改变量 γ 则称为切应变。

构件中不同点处的线应变及切应变一般也是各不相同的, 它们也都是位置的函数。有了线应变与切应变, 就可度量构件中任何微小局部的变形。

任一构件都可设想它是由许许多多的微小的直角六面体组成的, 在构件受力后, 各微小六面体一般都要发生变形, 因而使整个构件的形状和尺寸发生改变。由此可知, 构件在外力作用下产生的位移正是由于其各有关微小局部产生应变的结果。

应变是与应力相对应的, 且其间存在着一定的关系。线应变与正应力相对应, 切应变与切应力相对应, 应力与应变之间的具体关系, 将在后面有关章节中讨论。

§ 1-7 构件变形的基本形式

工程中构件的种类很多, 如杆、板、壳、块体等, 材料力学所研究的主要是其中的杆件。杆件是指其长度相对于其两个横向尺寸大得多的构件。例如, 图 1-10a 所示的梁, 其长度 l 远大于横截面的高度 h 和宽度 b , 它就是杆件。一般, 建筑工程中的梁、柱及机器上的轴等均属杆件。杆件又简称为杆。

就杆件外形来分, 可分为直杆、曲杆和折杆。杆件的轴线是直线时为直杆(图 1-10a), 轴线为曲线与折线时, 分别为曲杆与折杆(图 1-10b、c)。就横截面(垂直于轴线的截面)来分, 杆件又可分为等截面(各截面均相同)杆和变截面(横截面是变化的)杆(图 1-10d)。本书中将着重讨论等截面的直杆(简称等直杆)。

在不同形式的外力作用下, 杆件产生的变形形式也各不相同, 但构件变形的基本形式总不外下列几类: