

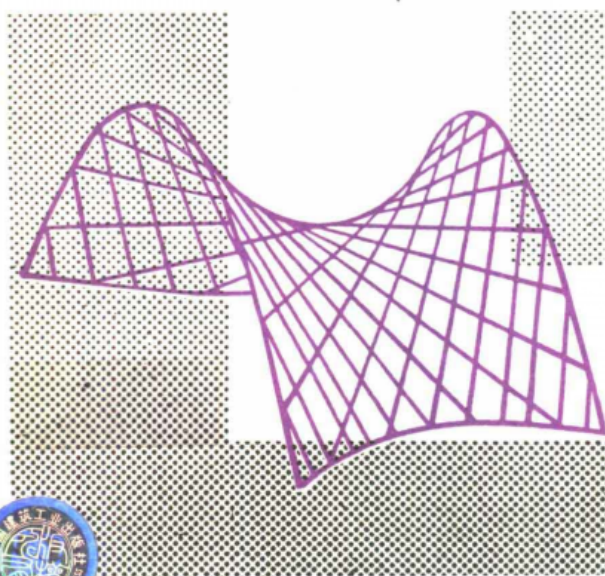
高等学校建筑工程专业系列教材

989814

材料力学

哈尔滨建筑大学	张如三	主编
重庆建筑大学	王天明	
西安建筑科技大学	陈君驹	主审

● 中国建筑工业出版社



高等学校建筑工程专业系列教材

材 料 力 学

哈尔滨建筑大学
重庆建筑大学
哈尔滨建筑大学
重庆建筑大学
沈阳建筑工程学院
西安建筑科技大学

张如三
王天明

张如三
王天明
哈 跃
徐建曼
王福临
陈君驹

祝恩淳
刘 东

主 编

编

主 审

中国建筑工业出版社

(京)新登字035号

本书根据国家教委审订的高等工业学校“材料力学课程教学基本要求”(土建类多学时)编写而成。

本书内容包括:绪论、轴向拉伸与压缩、扭转、弯曲内力、平面图形的几何性质、弯曲应力、弯曲变形、能量方法、应力状态与应变状态分析、强度理论、组合变形、压杆稳定、动荷载、循环应力和考虑材料塑性时杆件的承载能力等十五章。书中编入例题146个,习题318个。在附录中,除习题答案和型钢规格表外,还编入了结构设计方法简介和材料力学课程教学基本要求等。

本书可作为高等工业学校土建类专业的通用教材,也可供大专及成人高校选用。

高等学校建筑工程专业系列教材

材料力学

哈尔滨建筑大学	张如三	主编
重庆建筑大学	王天明	
哈尔滨建筑大学	张如三	哈跃 祝恩淳
重庆建筑大学	王天明	徐建曼 刘东 编
沈阳建筑工程学院	王福临	
西安建筑科技大学	陈君驹	主审

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京市顺义县板桥印刷厂印刷

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:23½ 字数:572千字

1997年6月第一版 1997年6月第一次印刷

印数:1—5000册 定价:23.90元

ISBN 7-112-02988-0

TU·2280(8103)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

高等学校建筑工程专业力学教材 编写委员会成员名单

主任委员：王光远 中国工程院院士，哈尔滨建筑大学教授

委 员 （以姓氏笔画为序）：

王天明 重庆建筑大学副教授
王焕定 哈尔滨建筑大学教授
王福临 沈阳建筑工程学院副教授
刘 净 西安建筑科技大学教授
乔宏洲 西安建筑科技大学副教授
朱象清 中国建筑工业出版社总编辑、编审
朱靖华 苏州城市建设环境保护学院讲师
吴德伦 重庆建筑大学教授
沈元勤 中国建筑工业出版社 编辑
张如三 哈尔滨建筑大学教授
张来仪 重庆建筑大学副教授
金康宁 武汉城市建设学院副教授
曹 峰 西北建筑工程学院副教授
蒋 桐 南京建筑工程学院教授
景 瑞 哈尔滨建筑大学教授

前 言

本书根据国家教委审订的高等工业学校“材料力学课程教学基本要求”(土建类多学时)编写而成。

为逐步适应面向 21 世纪改革高等教育的教学内容和课程体系的需要,本书编写内容符合材料力学课程基本要求、且采用材料力学目前通行的教学系统,同时,适当地拓宽课程内容,编入部分选修章节,对部分问题(如压杆稳定)参照国家新的工程结构设计规范做了必要的修改。本书既力求保持“少而精”和简明流畅的编写风格,又为教学提供了比较大的选择余地。

本书内容包括:绪论、轴向拉伸与压缩、扭转、弯曲内力、平面图形的几何性质、弯曲应力、弯曲变形、能量方法、应力状态与应变状态分析、强度理论、组合变形、压杆稳定、动荷载、循环应力和考虑材料塑性时杆件的承载能力等十五章。书中编入例题 146 个,习题 318 个。在附录中,除习题答案和型钢规格表外,还编入了结构设计方法简介和材料力学课程教学基本要求等。

本书可作为高等工业学校土建类专业的通用教材,也可供大专及成人高校选用。

本书由西安建筑科技大学陈君驹教授审阅,提出了许多宝贵的意见,编者对此深表谢意。

本书编写人员及其分工为:哈尔滨建筑大学张如三(第一、九、十二章)、哈跃(第二、十章)、祝愿淳(第三、八章),重庆建筑大学刘东(第四、十四章)、王天明(第五、六章)、徐建曼(第七、十五章),沈阳建筑工程学院王福临(第十一、十三章)。由张如三、王天明主编。

限于编者的水平,书中恐有疏漏和欠妥之处,深望教师和读者批评指正。

1996 年 10 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 材料力学的任务	1
第二节 材料力学的研究方法和与其他课程的关系	1
第三节 变形固体的概念及其理想模型	2
第四节 杆件的基本变形形式	3
第五节 构件的小变形与线弹性	4
第六节 内力与截面法	4
第七节 应力与应变	6
第二章 轴向拉伸与压缩	8
第一节 拉伸与压缩的概念	8
第二节 拉压杆的内力——轴力与轴力图	9
第三节 拉压杆横截面及斜截面上的应力	10
第四节 应力分布的实验验证及应力集中的概念	13
第五节 拉压杆的强度计算	14
第六节 拉压杆的变形 胡克定律	15
第七节 材料在拉伸与压缩时的力学性质	19
第八节 拉压杆的超静定问题	26
第九节 连接件的剪切与挤压强度计算	30
第十节 例题分析	32
习 题	38
第三章 扭转	44
第一节 扭转的概念	44
第二节 扭转内力——扭矩与扭矩图	44
第三节 薄壁圆筒的扭转	46
第四节 圆轴扭转时横截面上的应力	48
第五节 圆轴的扭转变形	51
第六节 圆轴扭转的强度计算与刚度计算	51
第七节 圆轴扭转的应力分析	53
第八节 矩形截面杆的自由扭转	54
第九节 薄壁杆件的自由扭转	57
第十节 例题分析	60
习 题	63
第四章 弯曲内力	66
第一节 梁的平面弯曲及其计算简图	66
第二节 梁的内力——剪力和弯矩	68
第三节 梁的内力图——剪力图与弯矩图	71

第四节	弯矩、剪力与荷载集度之间的微分关系	75
第五节	利用 M 、 V 与 q 间的微分关系绘剪力图和弯矩图	77
第六节	按叠加原理作内力图	80
第七节	其它静定结构的内力图	81
习 题		83
第五章	平面图形的几何性质	87
第一节	面积矩和形心	87
第二节	惯性矩和惯性积	89
第三节	惯性矩和惯性积移轴公式	92
第四节	惯性矩和惯性积转轴公式·主惯性轴	94
第五节	回转半径	97
习 题		98
第六章	弯曲应力	101
第一节	概述	101
第二节	弯曲正应力	101
第三节	弯曲剪应力	107
第四节	梁的强度计算	116
第五节	提高梁弯曲强度的主要措施	121
第六节	截面的弯心概念	125
*第七节	组合梁	129
习 题		135
第七章	弯曲变形	142
第一节	概述	142
第二节	梁的挠曲线近似微分方程	143
第三节	用积分法计算弯曲变形	144
*第四节	用共轭梁法计算弯曲变形	148
第五节	用叠加法计算弯曲变形	153
第六节	梁的刚度条件·提高梁的抗弯能力的主要途径	160
第七节	简单超静定梁的解法	161
习 题		167
第八章	能量方法	172
第一节	外力功与杆件的变形能	172
第二节	卡氏定理	178
第三节	莫尔定理	181
第四节	互等定理	183
第五节	余能与余能原理	185
第六节	虚功原理	186
第七节	用能量方法解超静定问题	189
第八节	例题分析	190
习 题		193
第九章	应力状态与应变状态分析	197
第一节	应力状态的概念	197

第二节	平面应力状态分析的解析法	197
第三节	平面应力状态分析的图解法	203
第四节	梁的主应力及主应力迹线	206
第五节	空间应力状态简介	207
第六节	广义胡克定律	208
第七节	复杂应力状态下的弹性变形能	211
第八节	弹性系数 E 、 ν 、 G 间的关系	213
第九节	平面应力状态下的应变分析	214
第十节	应变花	217
第十一节	例题分析	220
习 题		228
第十章	强度理论	232
第一节	强度理论的概念	232
第二节	断裂准则 (Criteria for Fracture) —— 第一、第二强度理论	233
第三节	屈服准则 (Criteria for Yield) —— 第三、第四强度理论	235
第四节	莫尔强度理论	237
第五节	例题分析	239
习 题		244
第十一章	组合变形	245
第一节	组合变形的概念	245
第二节	斜弯曲	245
第三节	拉伸 (压缩) 与弯曲的组合变形	248
第四节	偏心压缩	251
第五节	截面核心	253
第六节	弯扭组合变形	254
第七节	例题分析	257
习 题		261
第十二章	压杆稳定	265
第一节	压杆稳定性的概念	265
第二节	轴心受压直杆临界力的欧拉公式	267
第三节	欧拉公式的适用范围 切线模量公式与直线经验公式	271
第四节	初弯曲压杆临界应力的柏利公式	276
第五节	压杆的稳定计算	280
第六节	提高压杆稳定性的措施	286
第七节	大柔度小偏心压杆的极限压力	288
第八节	例题分析	289
习 题		293
第十三章	动荷载	297
第一节	动荷载的概念	297
第二节	等加速和等角速运动杆件的应力计算	297
第三节	冲击应力	300
第四节	例题分析	302

习 题	306
第十四章 循环应力	309
第一节 循环应力与疲劳破坏的概念	309
第二节 循环应力的类型	310
第三节 材料的疲劳极限 疲劳极限曲线	311
第四节 构件的疲劳极限	314
* 第五节 构件的疲劳强度计算	316
* 第六节 提高构件疲劳强度的措施	321
习 题	321
* 第十五章 考虑材料塑性时杆件的承载能力	324
第一节 概述	324
第二节 金属材料的塑性性质	324
第三节 截面的屈服和极限内力	325
第四节 静定结构的极限荷载	329
第五节 超静定结构的极限荷载	331
习 题	333
附录 I 关于习题的说明与习题答案	336
附录 II 关于结构设计方法的简要说明	346
附录 III 型钢规格表	348
附录 IV 主要符号表	364
附录 V 材料力学课程教学基本要求	366

第一章 绪 论

第一节 材料力学的任务

结构物与机械通常由若干部件组成,如房屋的梁、板、柱,机器的轴、连杆、齿轮等,这些部件统称为**构件**。

为了保证构件在荷载作用下能够正常使用,构件必须不破坏,不产生过大的变形,还必须保持构件原有的平衡状态。为此,需要解决三个问题:

(1) **强度问题** 所谓**强度** (Strength),是指构件抵抗破坏的能力。构件必须具有足够的强度。

(2) **刚度问题** 所谓**刚度** (Stiffness),是指构件抵抗变形的能力。如果变形过大,即使尚未破坏,构件也不能正常工作。构件必须具有足够的刚度。

(3) **稳定性问题** 所谓**稳定性** (Stability),是指构件保持原有状态平衡的能力。如直杆在轴向压力作用下保持其直线状态的平衡,若压力增大到一定程度之后,直杆会突然变弯,不再保持其原有的直线状态平衡,这种现象在材料力学中称为**失去稳定**,或稳定性不够。显然,构件必须具有足够的稳定性。

构件的强度、刚度和稳定性是材料力学 (Mechanics of Materials 或 Strength of Materials) 要研究的三大问题。

要合理地设计构件,不仅应该满足强度、刚度和稳定性的要求以保证构件的安全可靠,还应该符合经济的原则。前者要求构件具有较大的截面尺寸或选用较好的材料;而后者则要求减少材料用量或采用廉价材料,两者之间是存在矛盾的。材料力学的主要任务,是通过研究构件受力、变形的规律和材料的力学性质,建立构件满足强度、刚度和稳定性所需的条件,为既安全又经济地设计构件提供必要的理论基础和科学的计算方法。

第二节 材料力学的研究方法和与其他课程的关系

一、材料力学的研究方法

材料力学作为一门技术基础学科,其研究方法是采用理论分析与实验研究密切结合的科学方法。

理论分析的过程,是将从实验中观察到的现象加以抽象,提出反映问题实质的科学假设,经过推理与数学分析,得出便于应用的简单公式和结论。这些结论与公式的正确性,需经实验和工程实践的验证。

实验研究的主要目的是:(1) 研究材料受力的破坏现象,测定材料的力学性质;(2) 研究力与变形的物理关系;(3) 验证理论分析结果的正确性与精确程度;(4) 材料力学中许多理论的进一步发展,也要依赖于实验研究。当然,从更广的意义上讲,实验研究是对学

生培养能力和创新意识的一个不可或缺的重要手段。

二、材料力学与其他课程间的关系

材料力学作为一门专业基础课,与土建、机械等专业的许多课程有密切联系。它以先修课高等数学、物理、理论力学等为基础,并为弹性力学、结构力学、机械零件等其他专业基础课和工程结构等专业课程提供必要的理论基础和计算方法。

由于材料力学研究的构件多数处于平衡状态,因此,理论力学静力学中关于物体平衡的原理、平衡方程等,要经常用到。但是,材料力学研究的构件是变形固体,除了在建立平衡方程时可将构件视为刚体之外,不能以刚体作为变形固体的模型,因此,理论力学的某些原理又不能不加限制地用于材料力学。

第三节 变形固体的概念及其理想模型

一、变形固体的概念

构件均由固体材料(如钢、混凝土等)制成。这些固体材料在外力作用下会产生变形,称为**变形固体**。

变形固体在外力卸去后而消失的变形称为**弹性变形**(Elastic Deformation);不能消失的变形称为**塑性变形**(Plastic Deformation)。弹性变形和塑性变形是变形固体的两大宏观属性,它们在材料力学问题的研究具有重要意义。

二、变形固体的理想模型

鉴于材料力学是以变形固体的宏观力学性质为基础,并不涉及其微观结构,我们有必要将具有多种复杂属性的变形固体模型化,建立一个作为材料力学研究对象的理想化模型。为此,对变形固体提出如下假设:

(1) **连续性假设** 认为组成固体的物质毫无空隙地充满了固体的体积,即固体在其整个体积内是连续的。据此假设,当把某些力学量视为固体内点的坐标的函数时,对这些量就可以进行坐标增量为无限小的极限分析,并应用高等数学中如微分和积分等分析方法。

(2) **均匀性假设** 认为固体内各点处的材料性质都是一样的,即材料的性质与固体内点的位置无关。

(3) **各向同性假设** 认为在固体的任一点处,沿该点的各个方向都具有相同的材料性质,即材料的性质与方向无关。符合该假设的材料称为**各向同性材料**。

实际上,对任何材料的微观分析都是不连续的、不均匀的和各向异性的。例如,金属材料是由晶粒组成的,各晶粒的性质是有差异和具有方向性的,并且各晶粒内部及晶粒之间是有空隙的。再如混凝土材料是由水泥、砂和碎石混合而成的,直观视觉就能观察到它的不均匀性。但是,一个构件的尺寸要比金属的晶粒或混凝土的骨料尺寸大得多,对于晶体无序排列的金属和搅拌很好的混凝土,宏观视为均匀、连续和各向同性的材料是完全合理的。

至此,材料力学研究的变形固体,被抽象为均匀连续和各向同性的理想模型。该**理想模型任一点处的力学性质,就是由材料的宏观试验所测定的力学性质**。有人说“材料力学无材料”,此话不无道理。因为材料力学确实没有将具体的材料作为研究对象,而是将材料的理想化模型作为研究对象,这与建筑材料这门学科有根本区别;然而,正是因为理想模型集中反映了具体材料的主要力学性质,所以它更具有代表性。

第四节 杆件的基本变形形式

在工程中,构件的类型多种多样,就其几何形状,可分为杆、板、壳和块体等(图 1-1)。材料力学的研究对象主要是**杆件**。杆件的横截面和轴线是其两个主要几何特征,横截面是指垂直于杆件长度方向的截面,而轴线是各横截面形心的连线。轴线是直线的,称为**直杆**,轴线是曲线的,称为**曲杆**。横截面的大小或形状沿轴线不变的杆,称为**等截面杆**;而沿轴线变化的杆,称为**变截面杆**。材料力学的主要研究对象是等截面直杆,简称**等直杆**。

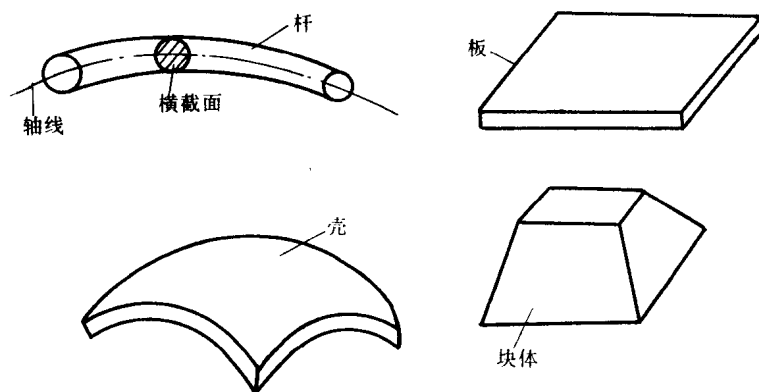


图 1-1

杆件的受力方式不同,其变形形式也是多种多样的,其中基本变形形式有下列四种:

(1) **拉伸或压缩** (Tension or Compression) 外力沿杆件轴线作用,使杆件发生伸长或缩短变形,称为**轴向拉伸或轴向压缩**,简称**拉伸或压缩**(图 1-2a、b)。

(2) **剪切** (Shear) 在一对相距很近、大小相等、方向相反垂直于杆轴的外力作用下,使两个力之间的各横截面发生相对错动(图 1-2c)。

(3) **扭转** (Torsion) 在一对大小相等方向相反,作用平面垂直于杆轴的力偶作用下,杆件的横截面发生绕轴线的相对转动(图 1-2d)。

(4) **弯曲** (Bending) 在一对大小相等方向相反,位于杆的纵向平面(即包含杆轴在

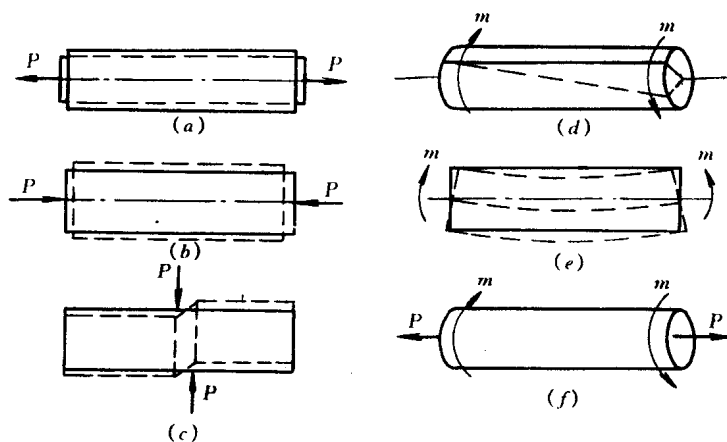


图 1-2

内的平面) 内的力偶作用下, 杆的轴线由直线弯曲成曲线 (图 1-2e)。

由两种或两种以上基本变形组成的复杂变形称为**组合变形** (Combined Deformation)。如图 1-2 (f) 所示杆件的变形即为拉伸与扭转的组合变形。

第五节 构件的小变形与线弹性

一、构件的小变形

小变形是指构件受力后所产生的变形与构件原始尺寸相比要小得多。如图 1-3 所示杆件 AB , 原长为 l , A 端为固定端, 在力 P 作用下杆件产生弯曲变形, 原轴线 AB 的变形曲线为 AB' , B 点的垂直位移为 f , 水平位移为 Δ 。在材料力学中, 习惯上将 f 与 Δ 称为杆件在 B 点处的变形, 实际上, f 与 Δ 是杆件因变形而在 B 点处产生的位移。在材料力学中, 构件的变形都是很小的。若 AB 杆为钢杆, 通常 f 不超过杆长 l 的几百分之一, 而 Δ 就更小, 不超过 l 的几万分之一。

根据小变形条件, 可使所研究的问题得到某些简化。例如, 在利用平衡条件计算图 1-3 所示杆 A 端的反力偶矩 M_A 时, 本来应为

$$\sum m_A = 0, \quad M_A - Pl_1 = 0$$

因为式中的 M_A 与 l_1 均为未知量, 所以从平衡方程中求不出 M_A 值。但是由于变形的微小性, 无须考虑变形 Δ 的影响, 仍可以按原长 l 计算, 即

$$M_A - Pl = 0 \quad \text{得} \quad M_A = Pl$$

这就是利用小变形条件建立的**初始尺寸原理**, 即在小变形情况下, 研究物体及其各部分的平衡时, 可把变形前物体的状态当作平衡状态, 利用初始尺寸建立平衡方程。

二、构件的线弹性

在工程中, 绝大多数构件受力后所产生的变形可以认为是完全弹性的, 并且力与变形呈线性关系, 即构件是线性弹性体, 简称**线弹性体**。如图 1-4 (a) 所示杆, 变形 f 随力 P 的增大而增加, 并且 P 与 f 之间具有图 1-4 (b) 所示的线性关系, 即变形 f 与力 P 成正比例关系。

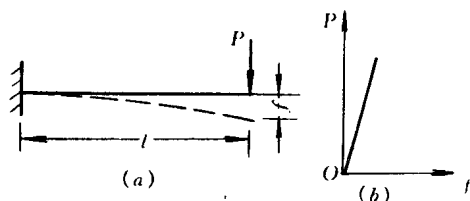


图 1-4

第六节 内力与截面法

一、内力的概念

一根两端受拉力而伸长的橡皮筋从中间剪断时, 断开的两段将各自向两端弹缩, 为了不使其弹缩, 就必须在断口处分别施以拉力, 使之对接到原拉长状态。作用于橡皮筋两端的拉力为外力, 而存在于断口处的拉力是受拉橡皮筋的内力, 它是由于橡皮筋在外力作用下产生拉伸变形所引起的。**内力** (Internal Force) 的概念可概括为: 当杆件受到外力作用而发生变形时, 杆件的任一部分与另一部分之间的相互作用力称为内力。例如, 图 1-5

(a) 所示受拉伸变形的杆件 AB ，其任一 C 截面处有内力 N ；图 1-5 (b) 所示受弯曲变形的杆件 AB ，其任一 C 截面处有内力 M 。

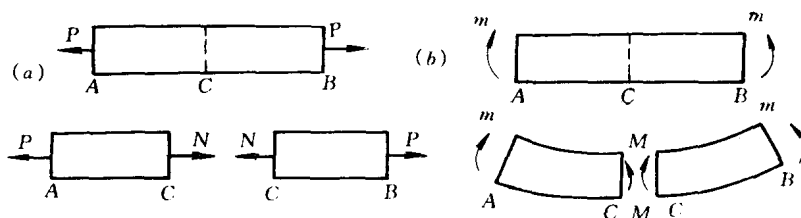


图 1-5

内力将随着外力的增加而增大，与此同时，杆件的变形也随之增大。当内力增大到一定限度时，杆件将发生破坏。这表明，内力与杆件的强度、刚度有着密切的关系。因此，研究杆件内力成为材料力学的主要内容之一。

应该指出，由于材料的连续性，截面上的内力也是连续分布的。于是，上述内力 N 和 M 实际上是截面上各点处分布内力的合力。同时，在不同的受力情况下，内力既可以是一个力，如内力 N ，也可以是一个力偶，如内力 M ，即内力是个广义力的概念。

一般情况下，在杆件的一个截面上，分布内力可以合成为一个合力（即主矢）和一个合力偶（即主矩）。若以杆的轴线为 x 轴，在横截面内取一对坐标轴 y 和 z ，则在直角坐标系 $Oxyz$ 内，内力可以分解为沿三个坐标轴方向的力和绕三个坐标轴的力偶。于是，内力可有六个分量（图 1-6），根据它们所对应的不同变形形式，六个内力分量可归纳成四种内力，即

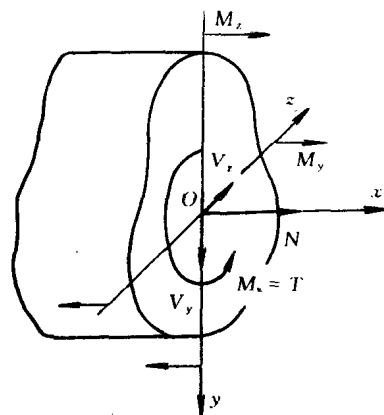


图 1-6

(1) 沿 x 轴的内力分量 N ，垂直于横截面作用，称为**轴力** (Normal Force)，对应拉伸或压缩变形。

(2) 沿 y 轴与 z 轴的内力分别为 V_y 和 V_z ，切于截面作用，称为**剪力** (Shearing Force)，对应剪切变形。

(3) 绕 x 轴的内力分量为 M_x ，其力偶作用面为 $yo z$ 面， M_x 称为**扭矩** (Torsional Moment)，用符号 T 表示，对应扭转变形。

(4) 绕 y 轴与 z 轴的内力分量分别为力偶 M_y 和 M_z ，其作用面分别为 xoz 面和 xoy 面， M_y 与 M_z 称为**弯矩** (Bending Moment)，对应弯曲变形。

二、内力的求法——截面法

欲求图 1-5 所示 AB 杆 C 截面上的内力，可用一假想平面将杆件沿 C 截面切分为左、右两段（图 1-5a、b），使内力 N 与 M 暴露出来。然后，以切断后的任一部分杆件为研究对象，即分离体（可以取 AC 段，也可以取 CB 段），利用其平衡条件，即可求得该截面上的内力。这种求内力的方法称为**截面法**，该方法的具体应用，将在以后各章中结合具体变形问题讨论。

第七节 应力与应变

一、应力 (Stress) 的概念

用截面法求得的内力只是整个截面上分布内力的合力。截面法并不能给出内力在截面上的分布规律,也不能给出截面上各点处内力的集度。这些问题显然是研究杆件强度所必须解决的。

为此,引入应力的概念,将截面上某一点处的分布内力集度称为该点处的应力。为了定义图 1-7 (a) 所示杆件某截面上 K 点处的应力,围绕 K 点取一微小面积 ΔA ,作用在 ΔA 上的微内力为 ΔP 。于是, ΔA 上内力的平均集度为

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

p_m 称为面积 ΔA 上的平均应力。在一般情况下,由于截面上的内力并非均匀分布,故平均应力 p_m 还不能真实地表示 K 点处的内力集度。为此,运用极限的概念,令 ΔA 无限地向 K 点缩小,使 ΔA 趋于零,从而得到比值 $\Delta P/\Delta A$ 的极限为

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A}$$

p 即为截面上 K 点处的应力。

通常,应力 p 的方向既不与截面垂直,也不与截面相切。将应力 p 分解为垂直于截面和与截面相切的两个分量(图 1-7b),垂直于截面的应力分量称为正应力 (Normal Stress),用 σ 表示;与截面相切的应力分量称为剪应力 (Shearing Stress),用 τ 表示。

应力的量纲和单位:应力的量纲为 [力] / [长度]²,其国际单位制单位是“帕斯卡”(Pascal),简称“帕”(Pa)。

$$1 \text{ 帕} = 1 \text{ 牛/米}^2 \quad (1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2)$$

$$1 \text{ 千帕} = 1 \text{ 千牛/米}^2 \quad (1 \text{ kPa} = 1 \text{ kN/m}^2 = 1 \times 10^3 \text{ Pa})$$

$$1 \text{ 兆帕} = 1 \times 10^6 \text{ 牛/米}^2 \quad (1 \text{ MPa} = 1 \times 10^3 \text{ kPa} = 1 \times 10^6 \text{ Pa})$$

$$1 \text{ 吉帕} = 1 \times 10^9 \text{ 牛/米}^2 \quad (1 \text{ GPa} = 1 \times 10^3 \text{ MPa} = 1 \times 10^9 \text{ Pa})$$

因为帕斯卡 (Pa) 表示的应力值太小,所以工程上常用兆帕 (MPa) 为应力单位。应力的工程单位制单位是千克力/厘米² (kgf/cm²)。

$$1 \text{ kgf/cm}^2 = \frac{9.81}{1 \times 10^{-4}} \text{ N/m}^2 = 98.1 \times 10^3 \text{ Pa} \approx 1 \times 10^5 \text{ Pa}$$

二、应变 (Strain) 的概念

为了研究整个杆件的变形,设想杆件由许多极微小的正六面体组成(图 1-8a)。杆件在外力作用下发生变形(图 1-8b),这些变形可以看成是各微小正六面体变形的宏观效果。一个微小正六面体的变形可以分解成边长的改变和各边夹角的改变两种形式。

在杆件内 K 点处取出一微小正六面体(图 1-8a),设其沿 x 轴方向的边原长为 Δx ,变

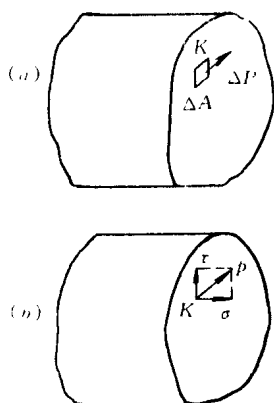


图 1-7

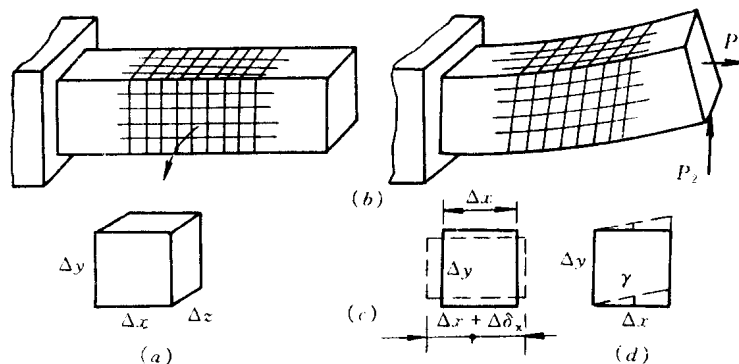


图 1-8

形后其长度改变了 $\Delta\delta_x$ (图 1-8c), 则 $\Delta\delta_x$ 称为线段 Δx 的线变形。 $\Delta\delta_x$ 与原长 Δx 的比值 ϵ_m 称为**线应变** (Linear Strain) 或**相对线变形**, 即

$$\epsilon_m = \frac{\Delta\delta_x}{\Delta x}$$

显然, ϵ_m 只是线段 Δx 的**平均线应变**。而 K 点处沿 x 方向的线应变, 应取比值 $\Delta\delta_x/\Delta x$ 的极限, 即

$$\epsilon = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta\delta_x}{\Delta x} = \frac{d\delta_x}{dx}$$

$\Delta\delta_x$ 是伸长量时的线应变为**拉应变**; $\Delta\delta_x$ 是缩短量时的线应变为**压应变**。

微小正六面体各边互成直角, 变形后直角的改变量 γ 称为**剪应变** (Shear Strain) (图 1-8d)。

线应变 ϵ 和剪应变 γ 都是无量纲量。

应力与应变之间存在着对应关系 (图 1-9)。正应力 σ 引起线应变 ϵ ; 剪应力 τ 引起剪应变 γ 。实验证明, 在弹性变形情况下, 应力与应变 (σ 与 ϵ , τ 与 γ) 之间成正比关系。

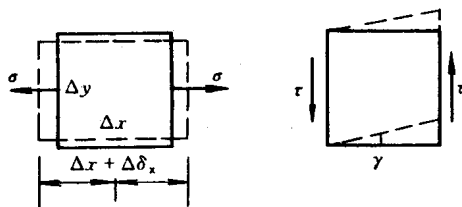


图 1-9

第二章 轴向拉伸与压缩

第一节 拉伸与压缩的概念

当杆件在两端各受一集中力 P 作用, 并且两个力的大小相等, 方向相反, 作用线与杆轴线重合时, 如果力 P 为拉力, 杆件将产生伸长变形, 称为**轴向拉伸**, 简称**拉伸** (图 2-1a); 如果力 P 为压力, 杆件将产生缩短变形, 称为**轴向压缩** (图 2-1b), 简称**压缩**。受轴向拉伸和压缩的杆件统称为**拉压杆**。

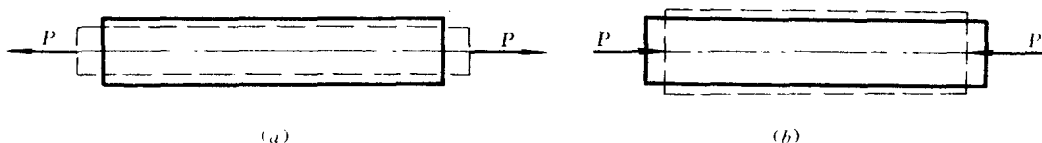


图 2-1

轴向拉伸或轴向压缩是杆件的基本变形之一。拉压杆在工程结构中经常见到, 如起吊重物 W 时 (图 2-2a), 吊索 AB 受拉力 W 的作用; 屋架中的竖杆、斜杆和上、下弦杆受拉力或压力作用 (图 2-2b)。吊索及屋架中各杆的计算简图均为图 2-1(a) 或图 2-1(b) 的形式。

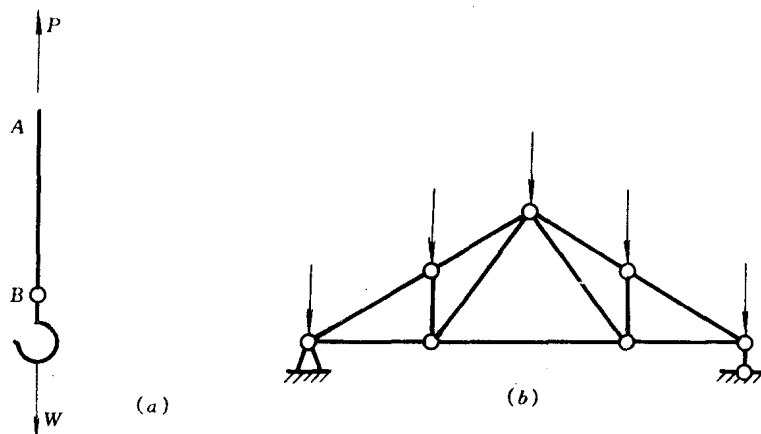


图 2-2

拉压杆的受力特征是外力的合力作用线与杆件的轴线重合, 其变形特征是沿轴向伸长或缩短。

第二节 拉压杆的内力——轴力与轴力图

一、轴力

以图 2-3 (a) 所示的拉杆为例, 运用截面法求横截面 $m-m$ 上内力的步骤为