

高等学校试用教材

材料力学

徐彭年 杨兴和 张小溪 谢织子 黄燕 编
黄燕 主编



武汉工业大学出版社

高等学校试用教材

材料力学

徐彭年 杨兴和 张小溪 谢织子 黄燕 编

黄燕 主编

BW37/22

武汉工业大学出版社



B

6574

本书是根据“高等工业学校材料力学（多学时类）课程的基本要求”编写的。

全书包括绪论、轴向拉伸与压缩、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力及应变状态分析与强度理论、组合变形、能量法、超静定系统、动载荷、疲劳强度、压杆稳定、厚壁圆筒，以及附录等内容。对某些章节打有“•”号，以便选用。

本书可作机械类专业材料力学课程的教材。删去带“•”号的内容后，可作中学材料力学课程的教材。也可供有关工程技术人员和自学者参考。

材 料 力 学

主 编 黄 燕

责任编辑 朱 毅

武汉工业大学出版社出版发行

新华书店湖北发行所经销

湖北省孝感地区印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 23 字数 540千字

1989年8月第1版 1989年8月第1次印刷

印数 1—8000册

ISBN 7—5629—0256—9 / TH·0004

定价：5.40元

序

本书是根据工科力学课程教学指导委员会材料力学课程教学指导小组于1986年制订的“高等工业学校材料力学（多学时类）课程的基本要求”编写的，可用作机械类各专业材料力学课程的教材。

为了适用不同学时和专业的需要，对某些章节打有“•”号和“••”号，以便选用。删去带有“•”和“••”号的内容后，其余章节仍为一个完整的系统，可用作中学时材料力学课程的教材。凡带有“••”号的章节，均为多学时类材力课程选讲的内容。

全书包括绪论、轴向拉伸与压缩、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力及应变状态分析与强度理论、组合变形、能量法、超静定系统、动载荷、疲劳强度、压杆稳定、厚壁圆筒等共十四章，以及两个附录。附录Ⅰ的奇异函数法求解梁的弯曲问题，是为满足材料力学教学中结合计算机应用而选入的，供教学中参考使用。为了便于教和学，每章后均附有习题，全部习题均给出答案。

本书由黄燕主编，参加编写工作的有：武汉工学院杨兴和（第一章、第二章、第三章、第十三章），黄燕（第四章、第五章、第六章、附录Ⅰ），谢织子（第十一章、第十二章、附录Ⅰ），武汉钢铁学院徐彭年（第七章、第八章、第十四章），和张小溪（第九章、第十章）。由武汉工学院赵诗贵、任林同志主审，武汉钢铁学院徐彭年同志也参加审稿工作。武汉工学院吴永桥、董北川和王以云同志协助绘制部分插图。在编写过程中得到了武汉钢铁学院和武汉工学院领导和力学教研室很多同志的支持和协助，谨此致谢。

由于时间仓促，并限于编者水平，书中一定存在不少缺点、错误和不足之处，希望广大教师和读者批评指正。

编 者

1988年11月

目 录

第一章 绪论	1
§ 1—1 材料力学的任务	1
§ 1—2 可变形固体的基本假设	2
§ 1—3 外力及其分类	3
§ 1—4 内力、截面法和应力的概念	3
§ 1—5 应变	5
§ 1—6 杆件变形的基本形式	6
第二章 轴向拉伸与压缩	8
§ 2—1 轴向拉伸与压缩的概念及实例	8
§ 2—2 轴向拉伸或压缩时的应力	8
§ 2—3 材料在拉伸时的力学性质	12
§ 2—4 材料在压缩时的力学性质	17
§ 2—5 轴向拉伸或压缩时的强度计算	19
§ 2—6 轴向拉伸或压缩时的变形	22
§ 2—7 直杆在轴向拉伸或压缩时的变形能	25
§ 2—8 拉压超静定问题	26
§ 2—9 应力集中的概念	21
§ 2—10 联接件的实用计算	32
习 题	35
第三章 扭转	41
§ 3—1 扭转的概念及实例	41
§ 3—2 外力偶矩的计算	41
§ 3—3 扭矩、扭矩图	42
§ 3—4 薄壁圆筒的扭转、剪应力互等定理和剪切虎克定律	44
§ 3—5 圆轴扭转时的应力与变形	46
§ 3—6 圆轴扭转时的强度、刚度条件	50
• § 3—7 密圈螺旋弹簧的应力和变形	53
• § 3—8 非圆截面杆扭转的概念	56
习 题	57
第四章 弯曲内力	62
§ 4—1 平面弯曲的概念	62
§ 4—2 梁的计算简图	63
§ 4—3 弯曲内力—剪力和弯矩	65

§ 4—4	剪力、弯矩方程和剪力、弯矩图	68
§ 4—5	载荷集度、剪力和弯矩间的微分关系及其应用	75
§ 4—6	用叠加法作弯矩图	78
习 题		80
第五章	弯曲应力	87
§ 5—1	概述	87
§ 5—2	梁在平面弯曲时横截面上的正应力	87
§ 5—3	梁的正应力强度条件	92
• § 5—4	弯曲剪应力	96
§ 5—5	梁的剪应力强度校核	102
• § 5—6	非对称截面梁的平面弯曲 弯曲中心	105
§ 5—7	提高弯曲强度的措施	107
习 题		111
第六章	弯曲变形	118
§ 6—1	概 述	118
§ 6—2	挠曲线近似微分方程	119
§ 6—3	用积分法求挠度和转角	120
§ 6—4	用叠加法求挠度和转角	129
§ 6—5	梁的刚度计算	132
§ 6—6	提高弯曲刚度的措施	133
§ 6—7	变形比较法解简单超静定梁	136
§ 6—8	梁的弯曲变形能	139
习 题		140
第七章	应力状态及应变状态分析 强度理论	148
§ 7—1	应力状态的概念	148
§ 7—2	二向应力状态分析	150
§ 7—3	三向应力状态的最大应力	156
• • § 7—4	平面应力状态下的应变分析	157
§ 7—5	广义虎克定律	161
§ 7—6	三向应力状态下的弹性比能	163
§ 7—7	强度理论	165
习 题		172
第八章	组合变形	178
§ 8—1	组合变形的概念	178
§ 8—2	斜弯曲	179
§ 8—3	拉伸(压缩)与弯曲的组合	182
§ 8—4	弯曲与扭转的组合	185
习 题		191

• 第九章 能量法.....	196
§ 9—1 杆件的变形能计算.....	196
§ 9—2 莫尔定理.....	199
§ 9—3 计算莫尔积分的图乘法.....	204
• • § 9—4 卡氏定理.....	209
§ 9—5 功的互等定理和位移互等定理.....	212
• • § 9—6 虚功原理.....	213
习 题.....	216
• 第十章 超静定系统.....	221
§ 10—1 超静定次数的判断.....	221
§ 10—2 力法及其正则方程.....	222
习 题.....	234
第十一章 动载荷.....	238
§ 11—1 概述.....	238
§ 11—2 构件作匀加速运动时的应力和变形计算.....	238
§ 11—3 构件受冲击时的应力和变形计算.....	242
习 题.....	247
第十二章 疲劳强度.....	251
§ 12—1 交变应力及疲劳破坏.....	251
§ 12—2 材料的持久极限.....	253
§ 12—3 构件的持久极限及其影响因素.....	255
§ 12—4 构件的疲劳强度计算.....	259
§ 12—5 提高构件疲劳强度的措施.....	264
习 题.....	265
第十三章 压杆稳定.....	267
§ 13—1 压杆稳定的概念.....	267
§ 13—2 两端铰支细长压杆的临界力.....	268
§ 13—3 其它约束条件下细长压杆的临界力.....	270
§ 13—4 压杆的临界应力总图.....	273
§ 13—5 压杆的稳定计算.....	277
§ 13—6 提高压杆稳定性的措施.....	279
• • § 13—7 纵横弯曲的概念.....	281
习 题.....	282
• • 第十四章 厚壁圆筒.....	287
§ 14—1 概述.....	287
§ 14—2 厚壁圆筒的应力和位移.....	287
§ 14—3 组合厚壁筒的计算.....	291
习 题.....	294

附录 I 截面图形的几何性质.....	295
§ I-1 静矩和形心.....	295
§ I-2 惯性矩、惯性积和惯性半径.....	298
§ I-3 惯性矩、惯性积的平行移轴公式.....	299
• § I-4 惯性矩、惯性积的转轴公式.....	303
习 题.....	305
• • 附录 I 奇异函数法求解梁的弯曲问题.....	307
附录 II 型钢表.....	333
附录 IV 计量单位表	342
习题答案.....	345

第一章 绪 论

§ 1—1 材料力学的任务

工程结构或机械的每一组成部份——杆件或零件统称为构件。在工作过程中，每一构件都要受到外力（包括载荷和约束反力）的作用。如果构件所受到的力超过了某一限度，构件就会丧失承载能力，使工程结构或机械不能正常工作。为了保证工程结构或机械的安全，每一构件都必须有足够的承载能力。构件的承载能力主要包括以下三个方面：

1. 构件应有足够的强度，即要求构件在一定的外力作用下不发生破坏。例如，图1—1所示的锅炉气包，必须保证在额定的压力下不发生爆破，否则将造成严重的后果。可见，所谓强度是指构件在外力作用下抵抗破坏的能力。

2. 构件应有足够的刚度，即要求构件在一定的外力作用下所产生的变形（形状和尺寸的变化）不超过正常工作允许的限度。例如，图1—2和图1—3所示的车床主轴和变速箱中的齿轮轴，即使它们有足够的强度，若在外力作用下产生的变形过大，将影响工件的加工精度及轴上齿轮的正常啮合，并引起轴承的不均匀磨损。因此，要求构件在一定的外力作用下不产生过大的变形，即要求有足够的刚度。因而，所谓刚度是指构件在外力作用下抵抗变形的能力

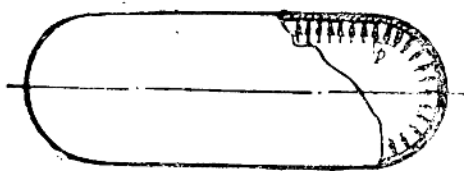


图1—1

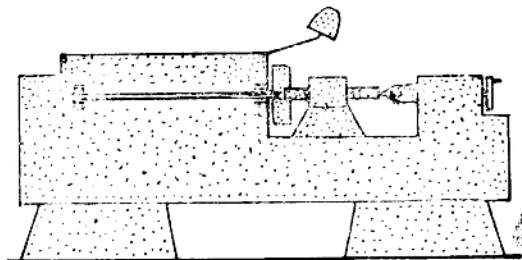


图1—2

3. 构件应有足够的稳定性，即要求构件在一定的外力作用下，保持原有的平衡形式。例如，图1—4所示的内燃机的汽门挺杆，当它受到的压力超过某限度时，就会有压弯的可能，从而丧失工作能力。因此，为了保证它能正常工作，要求它一直保持直线形式（即保

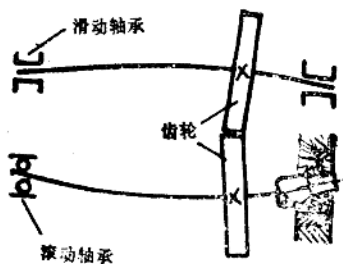


图1—3

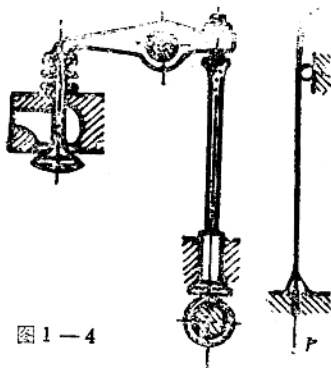


图1—4

持原有的平衡形式)。所以,所谓稳定性是指构件保持其原有平衡形式的能力。

综上所述,对于受一定外力作用的构件,一般应有足够的强度、刚度和稳定性。然而,就一具体构件而言,据其工作情况,对上述三方面要求则有所侧重。例如,锅炉汽包主要是强度要求,而车床主轴主要是刚度要求,对于内燃机的汽门挺杆则是以稳定性要求为主。另外,对于某些特殊构件,往往有相反的要求。例如,机器上的安全销,必须保证它在一定载荷下断裂,以避免机器主体因超载而受损。又如汽车的叠板弹簧,则要求有较大的变形来减轻冲击的作用。

为了使构件有足够的强度、刚度和稳定性,而将其截面尺寸设计得过大,或选用优质材料,这样会增加原材料的消耗并增加构件的自重,或使成本过高,不符合经济节约原则。若片面强调经济性,将构件的尺寸设计得过小,或选用较廉价材料,则有可能不满足上述强度、刚度和稳定性方面的要求,不符合安全原则。因此,材料力学的任务就是在满足强度、刚度和稳定性的条件下,以最大限度的经济为准则,为构件确定合理的形状、尺寸,选择合适的材料,并为构件设计提供必要的理论基础和计算方法。

在工程中,有些构件的几何形状或受力情况比较复杂,其强度、刚度和稳定性问题,靠现有理论解决不了,必须借助于试验分析的方法加以解决。此外,构件的强度、刚度和稳定性与材料的力学性质(机械性质)有关,而材料的力学性质是由试验测定的。所以,试验分析是完成材料力学任务的重要手段之一,它与理论分析具有同等重要的地位,应当给予重视。

§ 1—2 可变形固体的基本假设

制造各种构件的材料一般均为固体,虽然材料各不相同,但它们有一共同属性,即在外力作用下会发生变形。由于材料力学是研究构件强度、刚度及稳定性计算的一门学科,物体的变形是所研究的主要问题之一,因此,必须将固体材料看成是可变形固体。在研究构件的强度、刚度和稳定性时,常略去一些无关的次要因素,并根据与问题有关的主要因素,对可变形固体做某些假设,将它抽象为理想模型,然后进行理论分析。

由于材料力学所研究的强度、刚度等计算是以材料的宏观性质为基础的,不考虑材料的微观与亚微观组织的特点。因此,在材料力学中,对可变形固体作如下基本假设:

1. 均匀连续性假设 该假设认为,固体的整个体积内部毫无空隙地充满着物质,而且固体内任何部分的力学性质完全相同。从物质结构来说,组成固体的粒子之间并不连续,而且各个晶粒的力学性质也并不完全相同。但由于材料力学是从宏观角度去研究问题,晶粒之间的空隙与构件的尺寸相比极其微小。而且,晶粒的排列错综复杂,从统计学的观点来看,这些空隙和非均匀性可不考虑。根据该假设可将物体中的某一些物理量当作位置的连续函数,从而在理论分析中可应用极限、微分和积分等数学工具;并可从物体中切取一无限小的部分来进行研究,然后将所得结果引用到物体的各个部分。

2. 各向同性假设 该假设认为,固体在各个方向上的力学性质完全相同。具有这种属性的材料称为各向同性材料。就金属而言,每个晶粒在不同的方向上力学性质不同,即具有方向性。但金属物体包含许多晶粒,而且其排列很不规则,从统计学的观点来看,它们在各向上的性质就接近相同了。铸钢、铸铜等都可以认为是各向同性的材料。

工程中还有各向异性的材料,即材料在各方向上的力学性质不同。例如,木材、拔拉过

的钢丝等，其力学性质就具有方向性。

3. 小变形假设 构件在外力作用下所引起的变形，可以是小变形也可以是大变形。所谓小变形，是指变形的大小远小于构件原始尺寸的情况，相反则为大变形。材料力学所研究的问题限于小变形。这样，在研究构件的平衡和运动时，就可忽略变形的影响，而按构件变形前的尺寸来计算。

§ 1—3 外力及其分类

所谓外力，是指其他物体对所研究构件的作用。外力包括载荷和约束反力。

外力按其作用方式可分为体积力和表面力。体积力是分布在物体体积内的力，例如惯性和重力。表面力是分布在物体表面上的力，例如流体压力和接触力，它又可分为集中力和分布力。

载荷按其作用性质可分为静载荷和动载荷，前者是指载荷缓慢地由零增加到一定值，以后保持不变或变动极不显著。后者是指大小或方向随时间而变化的载荷。例如物体在静止状态所受的重力，建筑物中的支柱、房梁，在正常情况下所承受的载荷，均属静载荷。而汽锤对工件的打击，物体振动时各部分所承受的载荷均属动载荷。由于材料在动载荷与在静载荷下的力学性质大不相同，因此，在以后所讨论的问题中，应当十分重视载荷的性质。

§ 1—4 内力、截面法和应力的概念

一、内力的概念

所谓内力，是指物体内部各相邻部分之间的相互作用力。当物体没有受到外力时，这种内力也是存在的，它用来维持物体各部分之间的联系和保持其原有的形状，但这不属于材料力学研究的范畴。材料力学中所要讨论的内力是指物体受到外力作用而变形时，其内部各部分之间因相对位置改变而引起的相互作用力的改变量。这样的内力，随外力的增长而增大，达到某一限度时就会引起构件破坏。所以，构件的强度与内力是密切相关的。

二、截面法

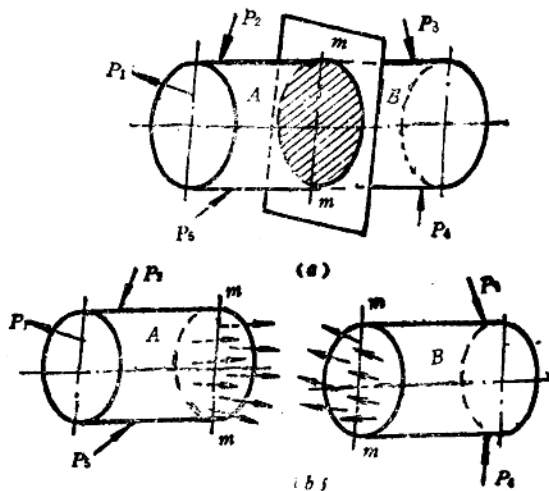


图 1—5

为了显示构件在外力作用下所产生的内力，并确定内力的大小和方向，通常采用截面法。下面举例说明该方法的基本内容。

图1—5a所示构件，在外力作用下处于平衡状态。为了显示m—m截面上的内力，可沿截面m—m处假想地将构件分成A、B两部分。任取其中一部分，例如A部分，作为研究对象，弃去B部分。在A部分上作用的外力有 P_1 、 P_2 、 P_3 ，要使A部分保持平衡，则B部分上必有力作用于A部分的m—m截面上，用以和作用在A部分上的外力平衡，如图1—5b所示。根据作用与反作用定律，A部分也有大小相等，而方向相反的力作用于B部分。A、B两部分之间的相互作用力，就是构件在m—m截面上的内力。根据连续性假设，内力在截面m—m上各点处都存在，故为分布力系。将这个分布力系向截面上的某点简化后所得到的主矢和主矩，就称为这个截面上的内力。

根据A部分的平衡条件，可求得m—m截面上的内力值。上述用截面假想地将构件分成两部分，以显示并确定内力的方法，称为截面法。可将其归纳为以下三个步骤：

1. 在要求内力的截面处，沿该截面假想地把构件分成两部分，保留其中任一部分作为研究对象，弃去另一部分。

2. 将弃去部分对保留部分的作用以内力代替。

3. 建立保留部分的平衡方程，确定未知内力。

例1—1 一杆受到沿轴线作用的力，如图1—6所示。若 $P_1 = 10\text{kN}$ ， $P_2 = 13\text{kN}$ ， $P_3 = 3\text{kN}$ ，求杆件I—I，II—II截面上的内力。

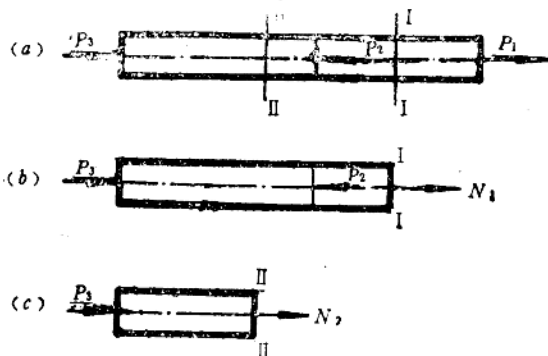


图1—6

解：(1) 求I—I截面上的内力 N_1 在截面I—I处，假想地将杆分成两部分，保留左边部分作研究对象，弃去部分对保留部分的作用以内力 N_1 代替，假设其方向如图1—6b所示。由平衡条件可知， N_1 必与杆件轴线相重合。由平衡方程 $\sum X = 0$ 得

$$N_1 - P_2 + P_3 = 0$$

$$N_1 = P_2 - P_3 = 13 - 3 = 10\text{kN}$$

内力 N_1 的符号为正，表示假设的内力方向是正确的。

(2) 计算II—II截面上的内力 在II—II处假想地切开将杆分成两部分，取左部份为研究对象。II—II截面上的内力用 N_2 表示，如图1—6c所示。由平衡方程 $\sum X = 0$ 得

$$N_2 + P_3 = 0$$

$$N_2 = -P_3 = -3\text{kN}$$

结果中的“-”号说明,该截面上内力的方向与假设的方向相反。

以上的计算均选择左部分为研究对象,如果选用右部分为研究对象,仍可得到相同的结果。

三、应力的概念

仅仅知道横截面上的内力值,并不能解决构件的强度问题。因为构件的强度不仅与截面上内力的大小有关,而且还取决于截面上内力分布的强弱程度。为此,我们引入内力集度的概念。

为了求得某一受力构件的横截面上任一点C处的内力集度,围绕C点取一微面积 ΔA ,如图1—7a所示。假设其微面积上的合力为 ΔP ,则 ΔP 与 ΔA 的比值

$$p_m = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad (1-1)$$

称为 ΔA 上的平均应力。

一般情况下,内力并不是均匀分布的,平均应力 p_m 随所取 ΔA 的大小而异,所以它并不能真实地表明内力在C点的强弱程度。为了确切地描述C点处的内力集度,应令 ΔA 趋近于零,其极限值

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A} = \frac{dP}{dA} \quad (1-2)$$

即为C点处的内力集度,称为C点处的总应力。 p 是一个矢量,一般情况下,既不与截面垂直,也不与截面相切。通常把总应力 p 分解成垂直于截面的分量 σ 和切于截面的分量 τ ,如图1—7b所示。 σ 称为正应力, τ 称为剪应力。

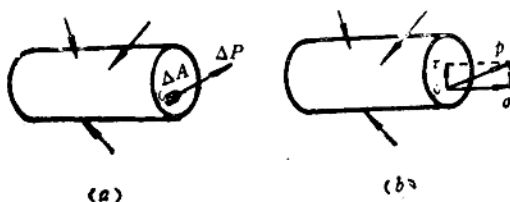


图1—7

在国际单位制中,应力的单位是帕斯卡,简称为帕(Pa),1帕等于1牛顿/米²(1Pa = 1N/m²)。由于这个单位太小,不便使用,通常采用兆牛/米²(=10⁶牛/米²)。记为MN/m²或MPa。还可用吉帕(1GPa = 10⁹N/m² = 10⁹Pa)、千帕(1kPa = 10³Pa)为单位。在公制单位中,应力的单位为公斤力/厘米²(kgf/cm²)或公斤力/毫米²(kgf/mm²)。公制单位与国际制单位之间的换算关系,已列入附录IV中。

§ 1—5 应变

构件受到外力作用时,其中任意相邻两点间的距离和任意两直线或两平面间所夹的角度一般都会发生变化。它们反映了尺寸和几何形状的改变,统称为变形。这种变形对研究构件截面上内力的分布规律起决定性作用。因此,它是材料力学中的一个重要方面。

一般情况下,受力构件的变形是不均匀的。为了研究某一点附近的变形情况,可把构件分成无数很小的正六面体,研究它们的相对变形。例如,从一受力构件的某一点C的周围取

出一微小六面体，如图 1—8a 所示。设棱边 ab 原长为 Δx ，变形后 ab 的长度为 $\Delta x + \Delta u$ ，则 Δu 称为 ab 的绝对变形（图 1—8b）。由于 Δu 的大小与原长度 Δx 的长短有关，因而它不能完全表明 ab 的变形程度。 Δu 与 Δx 的比值

$$\varepsilon = \frac{\Delta u}{\Delta x} \quad (1-3)$$

表示 ab 上每单位长度的伸长或缩短，称为平均应变或相对变形。当 Δx 趋近于零时，极限值

$$\varepsilon = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta x} = \frac{du}{dx} \quad (1-4)$$

称为 C 点处沿 x 方向的线应变。在小变形的物体中， ε 是一极其微小的量。

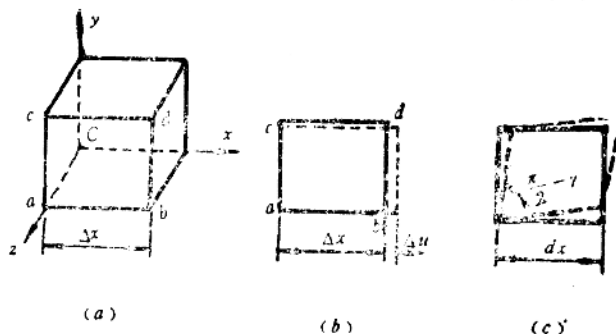


图 1—8

上述的微小六面体，当各边趋近于无限小时，称为单元体。在单元体的同一棱边上，各点的线应变可认为是相同的。

构件受力后，其单元体原来的两棱边所夹直角的改变量，称为剪应变或角应变，用 γ 表示，用弧度来度量，如图 1—8c 所示。它也是一个极其微小的量。 ε 和 γ 是度量构件内一点处变形程度的两个基本量，它们均为无量纲的量。从以后各章的讨论还将知道， ε 和 γ 分别与正应力 σ 和剪应力 τ 相联系，因此在确定构件的应力分布规律时，一般要研究线应变和角应变的变化规律。

§ 1—6 杆件变形的形式

在工程结构或机械中，构件的几何形状是多种多样的。通常将构件的形状进行某些简化，然后按构件的几何形状分类研究。那些长度远大于其横向尺寸的构件，称之为杆件，或简称为杆。工程中常见的许多构件都可简化为杆。例如机械中的连杆和齿轮轴，建筑物中的立柱和横梁，都是典型的杆件，是材料力学研究的主要对象。

杆件的主要几何特征有两个，即横截面和轴线。横截面为垂直于长度方向的截面。各横截面形心的连线称为杆件的轴线。横截面与轴线是相互垂直的。根据轴线为直线或曲线可将杆件分成直杆或曲杆，分别如图 1—9a、b 所示。若杆件横截面大小相等，则称为等截面杆，否则称为变截面杆。

如果构件一个方向的尺寸远小于另外两个方向的尺寸，可简化为板。板的几何特征有两个，即中面（各厚度中点所形成的面）和厚度（垂直中面方向的尺度）。中面为平面的板称

为平板（或板），如图 1—9c 所示。中面为曲面的板称为壳，如图 1—9d 所示。这些构件承载能力的计算，一般在高等材料力学和弹性力学中讨论，本书不作研究。

作用于杆件上的外力有各种情况，杆件受力所产生的变形也各不相同。但对杆件的变形进行分析归纳可知，杆件的变形不外乎三种基本变形中的一种，或某几种基本变形的组合。这三种基本形式是：

1. 轴向拉伸与压缩 例如如图 1—10a 所示悬臂吊车的拉杆 AB 和图 1—4 所示的汽门挺杆，其变形表现为杆件伸长或缩短。这类变形是由大小相等、方向相反、作用线与轴线重合的一对力所引起的。

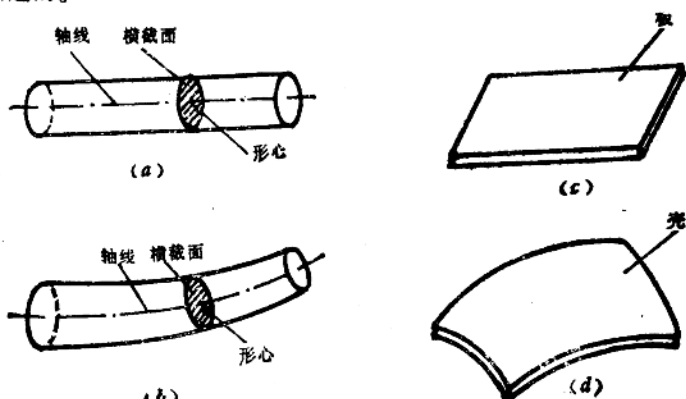


图 1—9

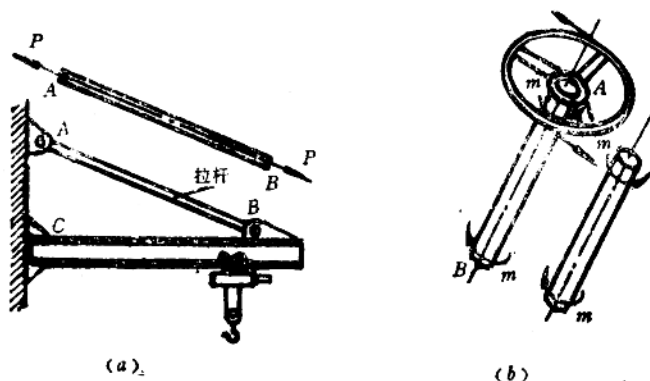


图 1—10

2. 扭转 例如如图 1—10b 所示的汽车转向轴 AB，其变形表现为杆件的任意两个横截面绕轴线作相对转动。这类变形是由大小相等、方向相反、作用面都垂直于杆轴的两个力偶所引起的。

3. 弯曲变形 如图 1—10a 中所示悬臂吊车的悬臂 BC，其变形表现为杆件的轴线由直线变为曲线。这类变形是由垂直于杆件轴线的横向力，或作用于包含杆轴的纵向平面内的一对大小相等、方向相反的力偶所引起的。

第二章 轴向拉伸与压缩

§ 2-1 轴向拉伸与压缩的概念及实例

工程实际中,承受轴向拉伸或压缩的构件是相当多的。例如:图2-1所示的联结螺钉,当拧紧螺帽时,被拧紧的工件对螺钉有反作用力,其合力将通过螺钉横截面的形心,并且沿螺钉轴线的方向使螺钉受拉。图2-2所示的内燃机连杆,在燃气爆发冲程中受压。这类杆件的受力特点是:外力合力的作用线与杆的轴线相重合。其变形特点是:杆件产生沿杆轴线的伸长与缩短。本章只研究直杆的拉伸与压缩,因此可将这类杆件的形状和受力情况进行简化,得到如图2-3所示的受力简图。图中的实线为受力前的形状,虚线则表示变形后的形状。

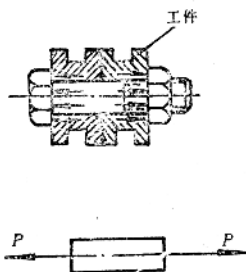
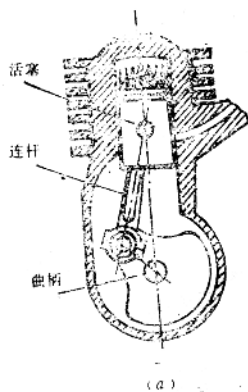


图 2-1



(a)



(b)

图 2-2

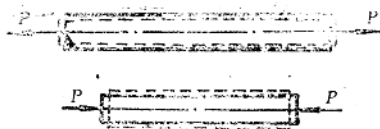


图 2-3

§ 2-2 轴向拉伸或压缩时的应力

为了进行拉(压)杆的强度计算,必须首先研究杆件横截面上的内力,然后分析横截面上的应力。下面讨论杆件横截面上内力的计算。

一、横截面上的内力

取一直杆，在它两端施加一对大小相等、方向相反作用线与直杆轴线相重合的外力，使其产生轴向拉伸变形，如图 2-4 a 所示。为了显示拉杆横截面上的内力，沿横截面 $m-m$ 假想地把拉杆分成两部分。杆件横截面上的内力是一个分布力系，其合力为 N ，如图 2-4 b 和 2-4 c 所示。由左段的静力平衡条件 $\sum X = 0$ 得

$$N - P = 0$$

$$N = P$$

因为外力 P 的作用线与杆轴线相重合，所以内力合力 N 的作用线也一定与杆轴线相重合，故称 N 为轴力。为了使左右两段同一截面上的轴力，不仅大小相等而且正负符号也相同，必须联系变形，对轴力的符号作如下规定：使杆产生拉伸变形的轴力为正，产生压缩变形的轴力为负。

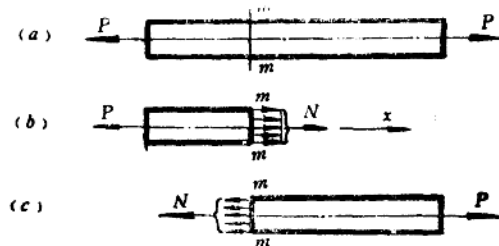


图 2-4

二、横截面上的应力

仅知道杆件横截面上的轴力，并不能解决杆的强度问题。例如，两根材料相同而横截面面积不同的直杆，受到同样大小的轴向拉力的作用，因而杆横截面上的轴力也相同。当轴向拉力逐渐增大时，横截面面积小的直杆，必定先被拉断。这说明杆件强度不仅与轴力大小有关，而且与横截面积有关。所以必须用横截面上的应力来度量杆件的强度。

在拉（压）杆横截面上，与轴力 N 相对应的只能是正应力 σ 。要确定该应力的大小，必须了解 σ 在横截面上的分布规律。由于内力与变形之间存在一定的关系，因此可通过实验的方法观察其变形规律，从而确定正应力 σ 的分布规律。

取一等直杆，在其侧面上画两条垂直于轴线的横线 ab 和 cd ，如图 2-5 a 所示。然后在杆两端施加轴向拉力，使杆产生拉伸变形。这时可以发现， ab 和 cd 仍为直线，且仍然垂直于轴线，只是分别平移到了 $a'b'$ 和 $c'd'$ 。这一现象是杆件变形在表面的反映。由此推测，杆内部的变形情况也是如此。因此可作如下假设：变形前原为平面的横截面，变形后仍保持为平面，且垂直于轴线。这个假设称为平面假设。由这一假设可以推断，拉杆所有纵向纤维的伸长相等。根据材料均匀性假设，每根纵向纤维受力相同，所以横截面上的内力是均匀分布的，即横截面上各点处正应力 σ 相等，如图 2-5 b 所示。

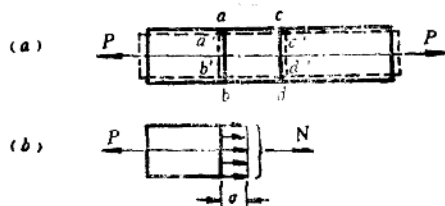


图 2-5