

高等学校试用教材

工程力学

中 册

第一分册

北京钢铁学院 东北工学院编

人民教育出版社

内 容 提 要

本教材是根据一九七七年十一月教育部委托召开的高等学校工科力学教材会议的建议,按照120学时的教学要求编写的,本教材主要适用于地质、采矿、冶金、热加工、材料等类专业;作适当增删后,也可适用于100~130学时的有关专业,本教材除作为高等学校的试用教材外,也可供有关工程技术人员参考。

本教材分上、中、下三册出版。上册为静力学,中册为材料力学,下册为运动学和动力学。

参加本教材编写的有:北京钢铁学院纪炳炎(上册第一、二、三、四章)、屈革(上册第五、六章,中册第二、三章)、马安禧(中册第一、四、五、六章);东北工学院于绶章(中册第七、八、九章)、周康年(中册第十章)、刘思汉(下册第一、二、五、六、七、九章)、殷汝珍(下册第三、四、八、十章);由刘思汉(上、下册)、马安禧(中册)主编。

高等学校试用教材

工 程 力 学

中 册

第一分册

材料力学

北京钢铁学院、东北工学院编

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

沈阳市第一印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/32 印张 7.75 字数 180,000

1979年5月第1版 1979年10月第1次印刷

印数 00001—33,000

书号 15012·0112 定价 0.65 元

序

本教材是根据一九七七年十一月教育部委托召开的高等学校工科力学教材会议的建议,按照120学时的教学要求编写的。本教材主要适用于地质、采矿、冶金、热加工、材料等类专业;作适当增删后,也可适用于100~130学时的有关专业。

为适应各类专业的不同要求,本教材还编写了一些带有“*”号的选学内容。各章之后附有小结、思考题和习题,以期帮助读者总结收获,澄清概念和加强基本训练。习题的数量和类型已考虑了一定的选择范围和专业需要,不足之处可另作补充。

本教材采用国际单位制,同时也介绍了工程单位制及二者的换算关系。

为使用上的方便及适应不同专业的需要,本教材分三册出版:上册为静力学,中册为材料力学,下册为运动学和动力学,并分别独立编章。各册之间有一定的配合,也有相对的独立性。根据不同的教学要求及安排,可采用本教材的全部或其中的某一册或两册;作少量内容调整后,也可先讲授上、下册,然后再讲授中册。

本教材在编写过程中,得到许多兄弟院校的帮助和支持。初稿完成后,于一九七八年十月由教育部委托召开了审稿会议。参加会议的有中南矿冶学院、重庆大学、昆明工学院、中国矿业学院、西安交通大学、西安冶金建筑学院、武汉地质学院、河北矿冶学院、鞍山钢铁学院和上海工业大学等十个院校,由中南矿冶学院和重庆大学主审。在此一并表示谢意。

参加本教材编写的同志有:北京钢铁学院纪炳炎(上册第一、二、三、四章)、屈革(上册第五、六章,中册第二、三章)、马安禧(中

册第一、四、五、六章);东北工学院于绶章(中册第七、八、九章)、周康年(中册第十章)、刘思汉(下册第一、二、五、六、七、九章)、殷汝珍(下册第三、四、八、十章);由刘思汉(上、下册)、马安禧(中册)主编。限于编者水平,同时由于编写时间匆促,本教材必然存在不少缺点和错误,殷切希望读者批评指正。

编 者

一九七九年四月

主要字符表

字符	字符意义	常用国际制单位	常用工程制单位	主要换算关系
P	集中力	N, kN	kgf, tf	1 kgf = 9.81 N
q	线分布力集度	N/m, kN/m	kgf/m, tf/m	1 kgf/m = 9.81 N/m
M_0	外力偶矩	N·cm, N·m, kN·m	kgf·cm, kgf·m, tf·m	
T_0	扭转外力偶矩	N·cm, N·m, kN·m	kgf·cm, kgf·m, tf·m	
X, Y, Z	支反力沿 x, y, z 轴的分力	N, kN	kgf, tf	
R	支反力, 合力	N, kN	kgf, tf	
S	轴力	N, kN	kgf, tf	
Q	剪力	N, kN	kgf, tf	
T	扭矩	N·cm, N·m, kN·m	kgf·cm, kgf·m, tf·m	
M	弯矩	N·cm, N·m, kN·m	kgf·cm, kgf·m, tf·m	
A	截面面积	m ² , cm ² , mm ²	cm ² , mm ²	
S_y, S_z	静矩	m ³ , cm ³ , mm ³	cm ³ , mm ³	
I_p	极惯性矩	m ⁴ , cm ⁴ , mm ⁴	cm ⁴ , mm ⁴	
I_y, I_z	惯性矩	m ⁴ , cm ⁴ , mm ⁴	cm ⁴ , mm ⁴	
W_T	抗扭截面模量	m ³ , cm ³ , mm ³	cm ³ , mm ³	
W	抗弯截面模量	m ³ , cm ³ , mm ³	cm ³ , mm ³	
r_y, r_z	惯性半径	m, cm, mm	cm, mm	
U	变形能	J(N·m)	kgf·m	1 kgf·m = 9.81 J
W	外力功	J(N·m)	kgf·m	
N, N_K	功率	W(J/S), kW	马力, W, kW	1 马力 = 0.7355 kW,
σ	正应力	Pa(N/m), kPa, MPa	kgf/cm ² , kgf/mm ²	1 kgf/cm ² = 98.1 kPa 1 kgf/mm ² = 9.81 MPa
τ	剪应力	Pa, kPa, MPa	kgf/cm ² , kgf/mm ²	
$[\sigma]$	许用正应力	Pa, kPa, MPa	kgf/cm ² , kgf/mm ²	
$[\tau]$	许用剪应力	Pa, kPa, MPa	kgf/cm ² , kgf/mm ²	
ϵ	线应变	无量纲量	无量纲量	

(续前表)

字符	字符意义	常用国际制单位	常用工程制单位	主要换算关系
γ	角应变	无量纲量	无量纲量	
φ	扭转角	rad	rad, °	
θ	单位长度扭转角	rad/m	rad/m, °/m	
	梁的转角	rad	rad	
[θ]	单位长度许用扭转角	rad/m	rad/m, °/m	
	梁的许用转角	rad	rad	
y	梁的挠度	m, cm, mm	cm, mm	
[y]	梁的许用挠度	m, cm, mm	cm, mm	
E	弹性模量	MPa, GPa	kgf/cm ² , kgf/mm ²	
G	剪切弹性模量	MPa, GPa	kgf/cm ² , kgf/mm ²	
ν	波松比	无量纲量	无量纲量	
n	安全系数	无量纲量	无量纲量	
	轴的转速	r/min	r/min	

目 录

序	1
主要字符表	1
引言	1
第一章 轴向拉伸和压缩	5
§ 1-1 工程实际中的轴向拉伸和压缩问题	5
§ 1-2 轴向拉伸和压缩时的内力	7
§ 1-3 横截面上的内力	12
§ 1-4 轴向拉伸和压缩时的变形	16
§ 1-5 拉伸和压缩时材料的机械性质	19
§ 1-6 轴向拉伸和压缩时的强度计算	33
*§ 1-7 拉伸和压缩静不定问题	41
§ 1-8 应力集中的概念	49
§ 1-9 变形能的概念	52
小结	55
思考题	57
习题	58
第二章 剪切	65
§ 2-1 工程实际中的剪切问题	65
§ 2-2 剪切的实用计算	66
小结	75
思考题	76
习题	76
第三章 扭转	79
§ 3-1 工程实际中的扭转问题	79
§ 3-2 扭转时的内力	80
§ 3-3 薄壁圆筒的扭转	85
§ 3-4 圆轴扭转时的应力和变形	88
§ 3-5 圆轴扭转时的强度和刚度计算	95

小结	101
思考题	102
习题	103
第四章 弯曲内力	108
§ 4-1 工程实际中的弯曲问题	108
§ 4-2 剪力和弯矩	111
§ 4-3 剪力图和弯矩图	115
*§ 4-4 剪力、弯矩和分布载荷集度间的关系	125
小结	129
思考题	130
习题	132
第五章 弯曲应力	136
§ 5-1 梁弯曲时的正应力	136
§ 5-2 惯性矩的计算	144
§ 5-3 梁弯曲时的强度计算	150
§ 5-4 提高梁抗弯能力的措施	156
*§ 5-5 塑性弯曲的概念	162
*§ 5-6 梁弯曲时的剪应力	166
小结	172
思考题	173
习题	176
第六章 弯曲变形 静不定梁	181
§ 6-1 工程实际中的弯曲变形问题	181
§ 6-2 梁的挠曲线近似微分方程	182
§ 6-3 用积分法求梁的变形	185
§ 6-4 用叠加法求梁的变形	194
§ 6-5 梁的刚度校核	196
§ 6-6 静不定梁	199
小结	207
思考题	208
习题	209
附录	附 1
附录一 型钢规格表	附 2

表 I-1	等边角钢(YB 166—65).....	附 2
表 I-2	不等边角钢(YB 167—65).....	附 8
表 I-3	普通槽钢(GB 707—65).....	附 14
表 I-4	普通工字钢(GB 706—65).....	附 17

附录二 习题答案.....附 20

第一章	轴向拉伸和压缩	附 20
第二章	剪 切	附 21
第三章	扭 转	附 21
第四章	弯曲内力	附 22
第五章	弯曲应力	附 24
第六章	弯曲变形 静不定梁	附 25

引 言

机器或结构物都是由若干构件组成的。在静力学中,通过力的平衡关系,已经解决了构件外力的计算问题。然而,在外力作用下,如何保证构件正常地工作,还是个有待进一步解决的问题。

在工程实际中,常常遇到这样的情况,当构件受力过大时,会发生破坏而造成事故;或者在受力后产生过大的变形而影响机器或结构物的正常工作。例如机器中常用的齿轮轴,有时会因载荷过大而断裂,造成机器停止运转;或者在受力后变形过大而影响齿轮间的正常啮合。这些情况在工程实际中都是不允许的。因此,为了保证机器或结构物正常地工作,要求每个构件都有足够的抵抗破坏的能力,也就是说,要求它们有足够的强度;同时也要求构件有足够的抵抗变形的能力,即要求它们有足够的刚度。除此以外,有时还会遇到这样的问题:例如一根受压的细长直杆,当沿杆轴方向的压力增大到一定数值时,若受到微小的干扰,杆就会由原来的直线状态突然变弯,这种突然改变其平衡状态的现象,称为丧失稳定,这也是工程实际中所不允许的。因此对这一类构件,还要求它们工作时能保持原有的平衡状态,即要求其有足够的稳定性。强度、刚度和稳定性,这是设计构件时所必须考虑的几个问题。

在设计一个构件时,除了要求构件能正常地工作外,同时还应考虑合理地使用和节约材料,即还要考虑经济方面的要求。一般来说,前者要求用较多或较好的材料;后者则要求少用材料或以贱代贵。二者常常是矛盾的。材料力学的主要任务就是为受力构件提供强度、刚度和稳定性计算的理论基础,从而为构件选用适当的材料,确定合理的形状和尺寸,以达到既经济又安全的要求。

事物总是一分为二的,有时对某些构件也会提出相反的要求。例如,为保护主要部件而设置的安全装置,在超载时应首先破坏,从而避免主要部件受到损坏。又如为减轻冲击作用而安装的缓冲弹簧,则要求有较大的变形。这类问题,也需用材料力学所提供的理论基础来计算。

制造各种构件所采用的材料,虽然品种繁多,性质各异,但它们都有一个共同的特性,就是在外力作用下会发生形状和尺寸的改变,即产生变形。在研究构件的强度、刚度等问题时,物体的变形是一个不可忽略的因素。因此,在材料力学中,将构成构件的材料皆视为可变形固体。

材料的物质结构和性质是比较复杂的,为了研究上的方便,必须忽略某些次要性质,只保留它们的主要属性,将其简化为一个理想化的模型。因此,对可变形固体又作了以下的基本假设:

1. 均匀连续假设 即认为在整个体积内都毫无空隙地充满着物质,而且物体内部任何部分的性质都是完全一样的。实际上,由物质结构上看,各种材料都是由无数颗粒(如金属中的晶粒)组成的,物质内部存在着不同程度的空隙,而且各颗粒的性质也不尽一致;但由于材料力学是由宏观的角度去研究构件的强度等问题,这些空隙远远小于构件的尺寸,而且各颗粒是错综复杂地排列于整个体积之内,因此,由统计平均的观点看,这些空隙和非均匀性对材料所表现出的性质和分析计算都没有什么影响。采用这个假设,便可以从构件中取出无限小的部分来进行研究,然后将研究结果推广于整个构件;也可将由小尺寸试样在实验中测得的材料性质,一定程度地移用于尺寸不同的构件或无限小的部分中去。

2. 各向同性假设 即认为材料沿各个不同方向的力学性质均相同。这个假设对许多材料来说是符合的,均匀的非晶体材料,一般都是各向同性的。对金属等这类由晶体组成的材料,虽然每

个晶粒的力学性质是有方向性的，但由于它的大小远小于构件的尺寸，而且其排列也是不规则的，因此它们的统计平均性质在各个方向就趋于一致了。而木材、拉拔过的钢丝和轧制过的钢材等，则为非各向同性的材料。但在材料力学中，研究各向同性材料所得的结论，也可近似地用于具有方向性的材料。

还须指出，工程实际中构件受力后的变形一般都很小，它相对于构件的原有尺寸来说要小得多，因此在分析构件上力的平衡关系时，变形的影响可忽略不计，仍按构件的原有尺寸来进行计算。相反地，如果构件受力后的变形很大，其影响不可忽略时，则须按构件变形后的尺寸来计算。前者称为小变形问题；后者称为大变形问题。材料力学一般只研究小变形的问题。

在机器或结构物中，构件的形式是多种多样的，但最常见最基本的形式是杆件。所谓杆件，就是纵向(长度方向)尺寸远大于横向(垂直于长度方向)尺寸的构件。例如悬臂吊中的拉杆和横梁，机器中的齿轮轴，巷道支护中的立柱和顶梁、连接件中的销钉等，这些都是较典型的杆件。杆件是材料力学研究的主要对象。杆件的问题解决了，不仅解决了工程实际中大部分构件的问题，也为解决其他形式构件的问题提供了基础。例如，起重用的钢丝绳、桥式吊车的大梁、齿轮上的轮齿、以及轧钢机机架等构件和设备，都可以将其简化为一根杆件或杆件的组合物来处理。

构件在工作时的受力情况是各不相同的，受力后所产生的变形也随之而异。对于杆件来说，其受力后所产生的变形，有以下几种基本形式：

(1) 拉伸和压缩 例如托架的拉杆和压杆受力后的变形(图0-1)；

(2) 剪切 例如连接件中的螺栓和销钉受力后的变形(图0-2)；

(3) 扭转 例如机器中的传动轴受力后的变形(图 0-3);

(4) 弯曲 例如单梁吊车的横梁受力后的变形(图 0-4)。

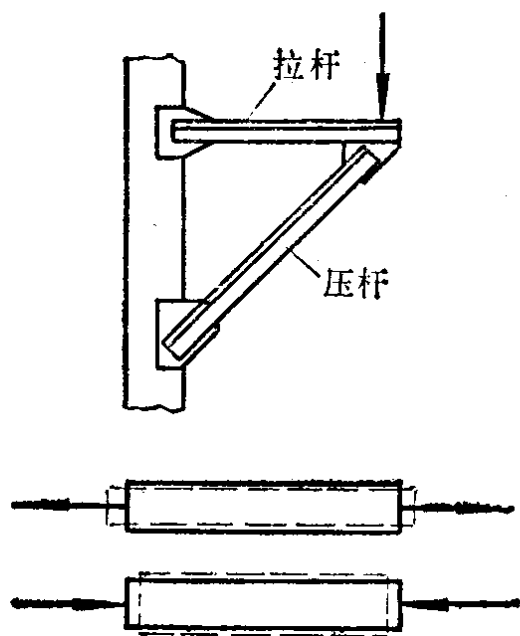


图 0-1

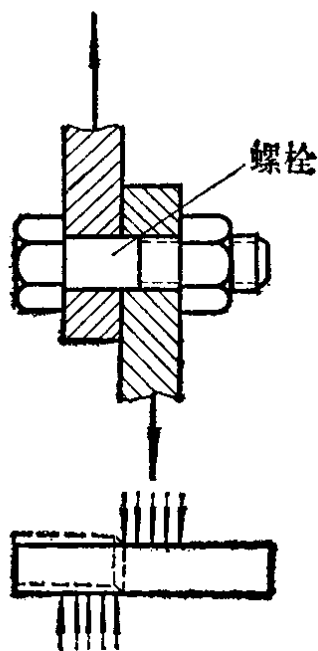


图 0-2

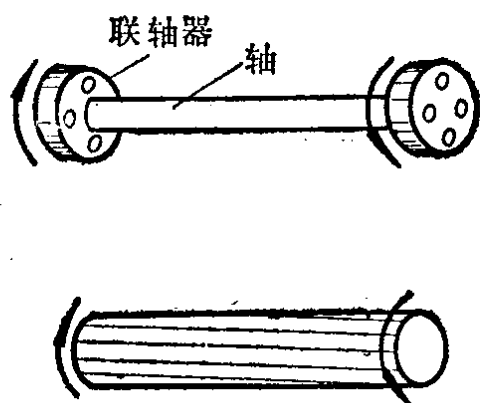


图 0-3

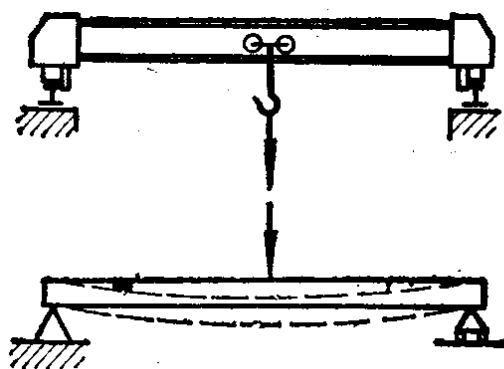


图 0-4

对于变形比较复杂的杆件,也不外于这几种基本变形的组合。

综上所述,材料力学所研究的问题是构件的强度、刚度和稳定性;构成构件的材料是可变形固体;对材料所作的基本假设是均匀连续性和各向同性假设;材料力学所研究的构件主要是杆件;杆件的几种基本变形形式是:拉伸(或压缩)、剪切、扭转和弯曲。明确这些问题,对材料力学的内容就有了一个概要的了解。

第一章 轴向拉伸和压缩

§ 1-1 工程实际中的轴向拉伸和压缩问题

在工程实际中, 有很多轴向拉伸和压缩的构件。下面通过几个实例, 说明这些构件的受力和变形特点。

厂矿中常用的悬臂吊车, 由拉杆和横梁等组成, 各构件间用铰链连接, 如图 1-1a。其中, 拉杆工作时受到 B 、 C 两端的拉力作用, 这个拉力是通过销钉作用在销钉孔上的, 如图 1-1b。拉力在销钉孔处的分布情况如何, 仅影响销钉孔附近的局部区域, 对拉杆的主体来说, 没有什么影响, 可不加考虑; 而其合力 P 则是影响拉杆强度的主要因素。因此可以将拉杆简化为如图 1-1c 所示的受力情况, 杆受到一对拉力的作用, 拉力 P 的作用线与杆的轴线重合。

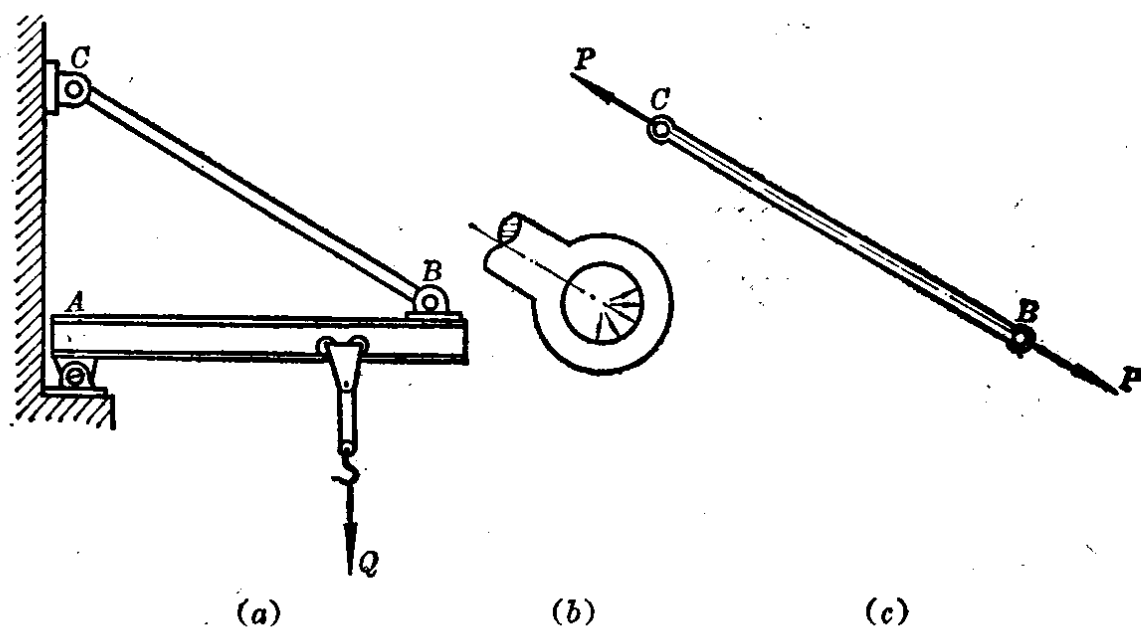


图 1-1

同样, 吊运重物的钢丝绳, 用于连接的螺钉 (图 1-2)。桁架中的拉杆 (图 1-3) 等。它们都可以简化为这样的受力情况。这一类

构件称为轴向拉伸构件。

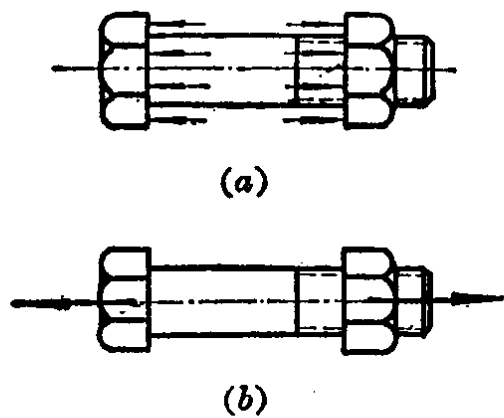


图 1-2

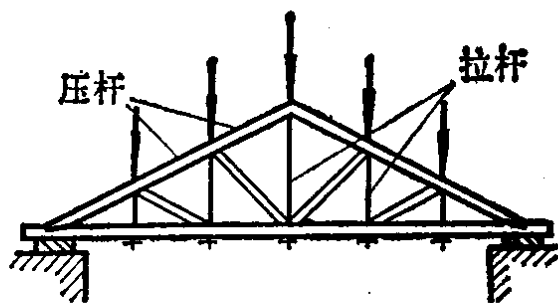
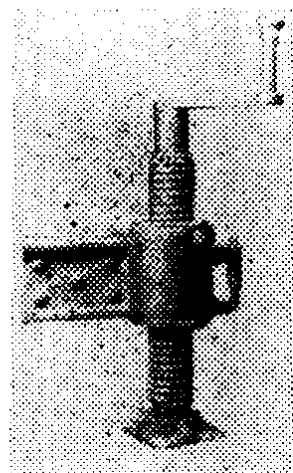


图 1-3

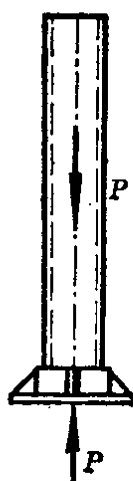
再看图 1-4a 中的汽车式起重机的支腿。支架给支腿的压力分布于支腿的螺纹上(图 1-4b), 但由于其合力的作用线与支腿的轴线重合, 因而在考虑支腿整体的强度时, 可以将它简化为一个沿轴线方向的压力 P 。在支腿的下端, 地面给支腿底座反作用力的合力, 亦可视为与支腿的轴线相重合。因此可以将支腿简化为图 1-4c 所示的受力情况, 其上受到一对沿轴线方向的压力作用。



(a)



(b)



(c)

图 1-4

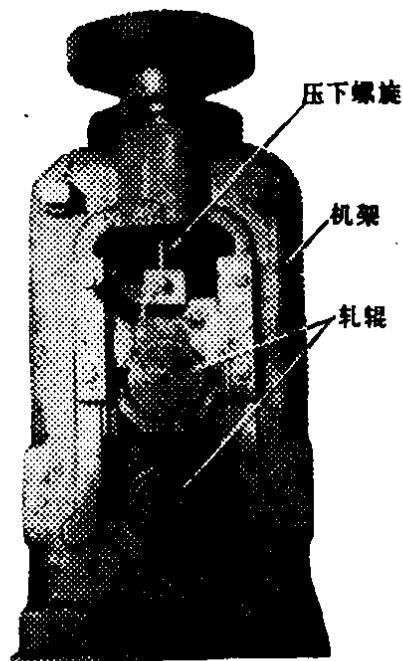


图 1-5

此外如轧钢机的压下螺旋(图 1-5), 巷道支护的立柱(图 1-6)、桁架中的压杆(图 1-3) 等, 它们的受力情况也都是这样。这一

类构件称为轴向压缩构件。

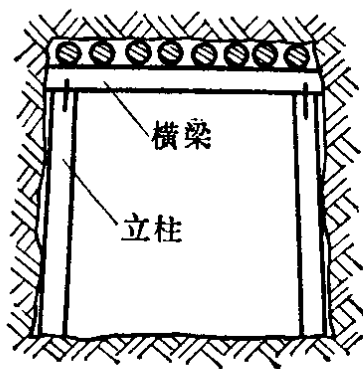
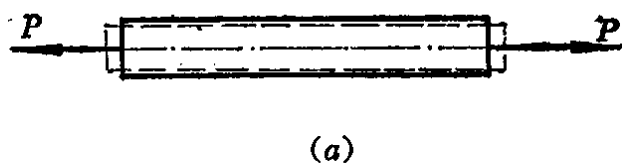
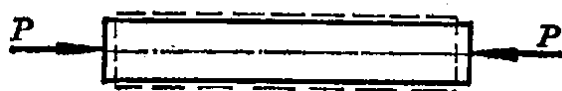


图 1-6



(a)



(b)

图 1-7

综上各例,可以看出,工程实际中许多轴向拉伸或压缩的构件多为等截面直杆,它们受力的共同特点是:作用在杆上外力合力的作用线与杆的轴线相重合。如果撇开杆件的具体形式和外力作用的具体方式,把杆件及其受力情况加以简化,则可以概括出其典型的受力简图如图 1-7 所示。在这样的外力作用下,其主要的变形特点是:杆产生沿轴线方向的伸长或缩短,这种变形形式,称为轴向拉伸或压缩。当外力为拉力时,为轴向拉伸(图 1-7a);当外力为压力时,为轴向压缩(图 1-7b)。

为了保证杆件安全地工作,对许多轴向拉伸和压缩的杆件,需要进行强度计算。有些杆件还须考虑刚度方面的要求。由于在工程实际中提出的问题大量是强度问题,故本章主要讨论拉伸和压缩杆件的强度计算。

§ 1-2 轴向拉伸和压缩时的内力

构件工作时,总要受到其他物体所施加的力的作用,例如作用在构件上的载荷、自重和支反力等,这些力相对于整个构件来说,都属于外力。在静力学中,已经讨论了外力的计算。但仅仅知道构件上的外力,仍不能解决构件的强度和刚度等问题,还需进一步了解构件的内力。为此,本节首先介绍内力的概念,然后讨论内力的

求法。

1. 内力的概念

物体内部某一部分与另一部分间相互作用的力称为内力。构件在受到外力作用的同时,其内部将产生相应的内力。

我们知道,物体是由无数颗粒组成的,在其未受外力作用时,各颗粒间就存在着相互作用的内力,以维持它们之间的联系及物体的原有形状。当物体受到外力作用而变形时,各颗粒间的相对位置将发生改变;与此同时,颗粒间的内力也发生变化。这个因外力作用而引起的内力改变量,就是材料力学中所要研究的内力。今后所讨论的,就是这种内力。

在这里必须注意,材料力学中所指的内力与静力学曾经介绍的内力有所不同。前者是物体内部各部分之间的相互作用力;后者则是在讨论物体系统的平衡时,各个物体之间的相互作用力,它相对于物体系统这个整体来说,是内力,但对于一个物体来说,就属于外力了。

2. 截面法 轴力

为了揭示在外力作用下构件所产生的内力,确定内力的大小和方向,通常采用下述的截面法。

设有一根如图 1-8a 的拉杆,为求某一横截面 $m-m$ 上的内力;可假想地用一个横截面在 $m-m$ 处把杆截开,分为左右两段,任取

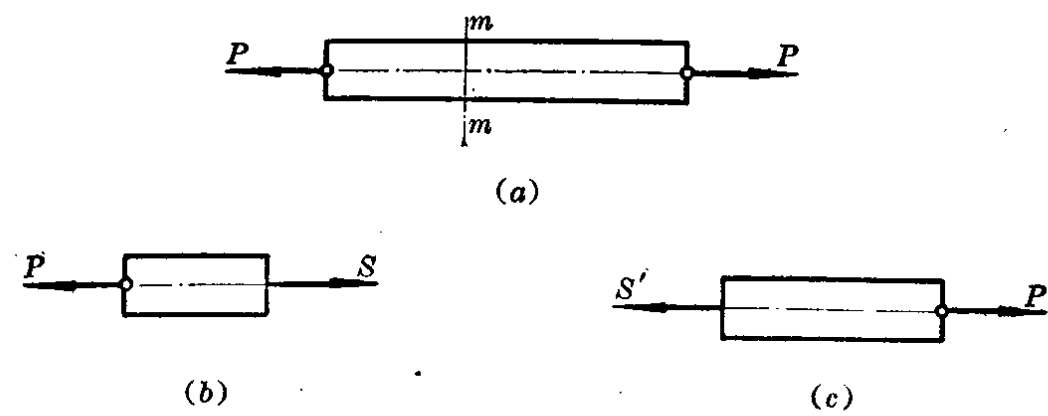


图 1-8