

材 料 力 学

—理论、应用、学习指导

吴永端 金志刚 编著

南 京 航 空 学 院

1991.12.

内 容 简 介

本教材共分十章：绪论，承力杆件的内力分析，应力、应变及其相互间的关系，轴向受力杆件的应力和应变，受扭杆件的应力、应变和扭转角，受弯杆件的应力，受弯杆件的变形，组合变形杆件的应力，受压杆件的稳定性，杆件设计简介等，将材料的力学性能及其基本实验和平面图形的几何性质列入附录，每章都有学习指导、复习思考题和习题。带有“*”号的内容可供教师和读者根据需要取舍。编写的体系、内容及其深广度和思考性方面都与现在公开出版的国内同类教材有所不同。概念清晰、叙述深入浅出、前后章节紧密联系、反复巩固，便于读者学习与掌握。在原大纲规定的教学时数范围内，在保证满足国家教委材料力学课程指导小组1986年制订的60学时材料力学基本要求的前提下，达到深化和扩大教学内容、加强变形固体力学的概念、理论和方法、注重实际应用、加强基本功训练和学习指导等目的。

本书可作为高等工科院校50~60学时材料力学课程的教材，职大、夜大的材料力学教材，也可作为工程力学课程的教学参考书和材料力学课程的自学参考书。

前 言

本教材是根据国家教委材料力学课程指导小组 1986 年制订的 60 学时材料力学基本要求编写的。考虑到非机械类专业的工科学生,学习材料力学的主要目的是掌握变形固体力学的基本概念、基本理论和基本方法,从而能够分析判断一些与强度和失效有关的工程实际问题。同时也培养学生对自然现象中的力学问题、工程构件中简单的强度计算等有分析、思维、解决的初步能力。因此,在编写体系上、涉及的内容和方法上都与国内现有公开出版的材料力学教材有较大的更改。

编写体系着重于杆件的内力分析、应力分析和变形分析上,而将强度、刚度、稳定性的工程应用及其破坏失效准则集中安排在本教材的最后两章。这样既可减少原来分散在各种变形情况下的多次重复所占用的学时,又能突出和加强变形固体力学的基本概念和基本理论的建立和阐述。基于这样的指导思想,将共同的概念、理论和方法,不分变形情况如何,相对集中在一起。在分析不同受力杆件时,再突出内力、应力和变形的分析,并使前后章节相互呼应、前后联系、互相对比、反复巩固,既提出了共性,又突出了个性,使比较抽象、难以理解的内容,能逐步深化而便于巩固、掌握和思考。在最后两章,既提出了工程设计中的要求,引出稳定、强度与刚度等失效的准则,又使前面所累积的知识在此得到综合应用。

编写内容上,加强了概念、理论、分析方法和学习方法上的阐述,突出各向同性体和静载,但又引伸到高聚物、各向异性体和动载。注意综合应用和联系实际,使非机械类的工科学生具有必要的力学和机械方面的知识和思维方法与能力,培养未来工程师所应具备的知识面和素质。为了扩大读者的视野、思维能力和科学的学习方法,重视基本概念的建立,便于读者自学和复习,在每章末都留有一定量的复习思考题,编写了学习指导,与正文之间既能相互补充,又能突出重点;既巩固基本内容,又引伸出更深一层的概念和思维记忆的方法。

编写方法上,力求深入浅出、温故知新、留有思考余地。注意思维方法和学习方法的指导与引导。注意概念和理论的有机联系与对比。将材料的力学性能及其基本实验(包括常温静载和交变受载)、平面图形的几何性质编入附录中,某些加深的内容打有“*”号,可视教学的具体情况,由教师处理与取舍。例题分析相对集中在每章之后,有助于灵活地综合应用,扩大分析问题、解决问题的涉及面。习题注意选编了思考性强、综合性大的题。这样,对教与学两方面都有益处。

1989年编写的本教材，曾先后两届在南京航空学院非机械类专业经八人次的教师在六百多名本科学生中试用，效果良好。这次，编者又对小部分内容作了修改与补充，期望能更切合当前的教学实际。

本教材的一至五章和附录 I 由吴永端编写，六至十章和附录 II 由金志刚编写。全书计有例题 85 个，复习思考题 175 个，习题 232 个，全书约十八万字。请同行和读者多提批评和建议。

编 者

一九九一年十一月于

南京航空学院

材料力学教研室

续 表:

分 类	字 符	字 符 意 义	国 际 制 单 位
截 面 特 性	A	截面面积	mm^2, m^2
	S_y, S_z	静矩	mm^3, m^3
	I_y, I_z	惯性矩	mm^4, m^4
	I_p	极惯性矩	mm^4, m^4
	W_T	抗扭截面系数	mm^3, m^3
	W, W_y, W_z	抗弯截面系数	mm^3, m^3
	i_y, i_z	惯性半径	mm, m
材 料 特 性	σ_u	极限应力	Pa, MPa
	σ_p	比例极限	Pa, MPa
	σ_e	弹性极限	Pa, MPa
	σ_s	屈服极限	Pa, MPa
	$\sigma_{0.2}$	屈服强度	Pa, MPa
	$\sigma_b, (\sigma_{bc})$	抗拉(压)强度	Pa, MPa
	$[\sigma]$	许用应力	Pa, MPa
	τ_s	剪切屈服极限	Pa, MPa
	τ_b	抗剪强度	Pa, MPa
	$[\tau]$	剪切许用应力	Pa, MPa
	E	拉压弹性模量	GPa
	G	剪变模量	GPa
	μ	泊松比(横向变形系数)	
	δ	伸长率	
其 它	ψ	断面收缩率	
	γ	材料单位体积重量	$\text{N/mm}^3, \text{kN/m}^3$
	W	功	$\text{N} \cdot \text{m}$
	N	功率	KW, PS
	n	转速	rpm
		安全系数	
	P_{cr}	压杆临界力	N, kN
	σ_{cr}	压杆临界应力	Pa, MPa
	λ	压杆的柔度	
	μ	压杆长度系数	

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 材料力学的性质和任务	1
1.2 变形固体的基本假设	2
1.3 材料力学的研究对象和杆件的基本变形与组合变形	3
1.4 构件的计算简图	5
1.5 材料力学的基本研究方法	8
学习指导	9
复习思考题	10
习 题	11
第二章 杆件受力时的内力分析	13
2.1 内力的概念和确定内力的基本方法——截面法	13
2.2 杆件轴向受力时的内力——轴力	14
* 2.3 载荷集度与轴力的关系	17
2.4 杆件受扭时内力——扭矩	18
* 2.5 载荷集度与扭矩的关系	20
2.6 杆件受横向力时的内力——弯矩和剪力	21
2.7 载荷集度与剪力、弯矩的关系	28
2.8 力的独立作用和叠加原理	29
2.9 杆件组合变形时的内力	30
2.10 例题分析	35
学习指导	47
复习思考题	48
习 题	51
第三章 应力、应变及其相互间的关系	56
3.1 应力的概念	56
3.2 应力状态的概念	57
3.3 平面应力状态分析的解析法	59
3.4 平面应力状态分析的图解法——应力圆(莫尔圆)	60

3.5	平面应力状态下的主平面、主应力和最大剪应力	62
3.6	空间应力状态下的最大剪应力	64
3.7	变形和位移的概念	65
3.8	正应变和剪应变	65
3.9	应力应变关系	67
3.10	复杂应力状态下的应力应变关系	69
3.11	例题分析	72
	学习指导	80
	复习思考题	82
	习 题	85
第四章	轴向受力杆件的应力和应变	89
4.1	由轴力引起的应力	89
4.2	由轴力引起的变形和应变	90
4.3	轴向受力杆件的应力分析	91
4.4	轴向受力杆件的静不定问题	92
4.5	例题分析	92
	学习指导	102
	复习思考题	103
	习 题	105
第五章	受扭杆件的应力、应变和扭转角	110
5.1	圆轴扭转时的变形和应力	110
5.2	圆轴扭转时的应力分析	114
5.3	圆轴扭转时的扭转角	115
5.4	矩形截面杆扭转简介	116
5.5	扭转静不定问题	117
5.6	例题分析	118
	学习指导	126
	复习思考题	126
	习 题	128
第六章	受弯杆件的应力	134
6.1	纯弯曲杆件的正应力	134
6.2	横力弯曲杆件的正应力	138
6.3	横力弯曲杆件的剪应力	138

6.4 例题分析	143
学习指导	147
复习思考题	149
习 题	150
第七章 受弯杆件的变形	156
7.1 挠度和转角	156
7.2 挠曲线的近似微分方程	157
7.3 用积分法求梁的变形	158
7.4 用叠加法求梁的变形	159
7.5 弯曲静不定问题	160
7.6 例题分析	161
学习指导	169
复习思考题	171
习 题	173
第八章 组合变形杆件的应力	178
8.1 拉伸(压缩)与弯曲的组合	178
8.2 斜弯曲	179
8.3 扭转和弯曲的组合	182
8.4 例题分析	183
学习指导	189
复习思考题	190
习 题	191
第九章 受压杆件的稳定性	196
9.1 平衡稳定性的概念	196
9.2 细长压杆的临界压力——欧拉公式	198
9.3 压杆的临界应力——经验公式	203
9.4 例题分析	205
学习指导	211
复习思考题	212
习 题	213
第十章 杆件设计简介	218
10.1 设计的基本思想	218
10.2 强度条件与强度理论的概念	219

10.3	常用的四种强度理论	220
10.4	强度设计	223
10.5	刚度设计	230
10.6	压杆稳定设计	234
10.7	提高强度、刚度和稳定性的一些措施	238
学习指导		242
复习思考题		243
习 题		244
附录 I 材料的力学性能及其基本实验		251
I.1	拉伸时材料的力学性能	251
I.2	压缩时材料的力学性能	256
I.3	纯剪时材料的力学性能	257
I.4	交变载荷下材料的力学性能	260
复习思考题		263
习 题		263
附录 II 平面图形的几何性质		266
II.1	静矩和形心	266
II.2	惯性矩	268
II.3	惯性积	269
II.4	平行移轴公式	270
II.5	例题分析	271
复习思考题		280
习 题		283
附录 III 简单载荷作用下梁的变形		287
附录 IV 型钢表		290
附录 V 部分习题答案		305

主要符号表

分类	字 符	字 符 意 义	国 际 制 单 位
外 力	P	集中力	N, kN
	q	线分布力集度	$N/m, kN/m$
	p	压力、压强	Pa, MPa
	T	转矩、力偶矩	$N \cdot m, kN \cdot m$
	Me	弯曲外力偶矩	$N \cdot m, kN \cdot m$
	$R(H)$	支座约束反力	N, kN
	t, m	分布力偶矩	$N \cdot m/m, kN \cdot m/m$
内 力	N	轴力	N, kN
	$Q(Q_y, Q_z)$	剪力(沿 y, z 轴方向的剪力)	N, kN
	M_T	扭矩	$N \cdot m, kN \cdot m$
	M	弯矩	$N \cdot m, kN \cdot m$
	M_y, M_z	对 y 轴、 z 轴的弯矩	$N \cdot m, kN \cdot m$
应 力 、 应 变 、 位 移	σ	正应力	Pa, MPa
	σ_{max}	最大正应力	Pa, MPa
	σ_{min}	最小正应力	Pa, MPa
	σ_t	拉应力	Pa, MPa
	σ_c	压应力	Pa, MPa
	τ	剪应力	Pa, MPa
	τ_{max}	最大剪应力	Pa, MPa
	σ_{eq}	相当应力	Pa, MPa
	ε	正应变	
	γ	剪应变	
	φ	扭转角	rad
	θ	梁横截面转角	rad
		单位长度扭转角	rad/m
	f, δ	挠度, 位移	mm, m
	u, v, w	x, y, z 轴方向的位移	mm, m

第一章 绪 论

本章着重讨论材料力学课程的性质、任务、研究对象和研究方法。初步建立变形固体的一些概念。

1.1 材料力学的性质和任务

材料力学是固体力学的一部分。它是研究固体在外力作用下的变形规律和构件强度的一门学科。主要研究细长杆件或由几个杆件组成的较为简单的结构，有时也研究薄壁杆件、厚壁筒等构件。它与工程实践有密切的联系，所阐明的理论广泛应用于许多领域，从航空航天飞行器、船舶、车辆、房屋、桥梁、电机、机械，到枪炮、仪表、生产工具等等，从工程实践，到日常生活和自然界中的许多现象，都可用材料力学的基本知识加以解释。

例如，体操运动员进行单杠训练时，若将双手抓在单杠的中间部位，单杠的变形程度就比双手抓在人体两肩上方部位要大，同时，在做引体向上运动时，后者要比前者容易。

制造自行车的车架为什么要采用空心薄壁圆管而不用实心圆杆？为什么无缝管材要比有缝的管材抗力性能好些？在自然界中，我们也观察到很多有趣的现象，竹杆、麦杆，甚至人和动物的骨骼都是中空的，它们的截面形状都符合用料少、重量轻而抗力强的原理。人们设计飞机、船舶时，在结构上常布置了许多加强框和加强肋，它与人体和动物的背部存在着背脊骨和肋骨具有类似的功能等等；在学习了材料力学之后，就能对上述现象作出解释。

工程上对构件的强度要满足一定的要求。

为了承托重物，若用一块薄板按图 1-1,a 所示方式钉在墙上，当重物的重量超过一定限度后，薄板会在其根部破坏而折断，工程上称为强度不够；如果重量未超过限度，但薄板在重物作用下发生过大的弯曲变形而不能正常使用，工程上称这种情况为刚度不够。如果将原来矩形截面的薄板折成 U 字形（如图 1-1, b），那么上述情况就会大为改观。

又如，图 1-2 所示托架。当重物的重量 P 较大时，比较细长的实心斜支撑杆就会突然变弯（图中虚线所示）而使托架失去承载能力，这种现象称为稳定性不够，简称失稳。如果改用一根截面尺寸和长度均相同的钢管代替刚性较差的实心圆杆，则斜支撑杆就有可能不再变弯而保持原有的直杆平衡形式。上面所说的强度、刚度和稳定性，工程设计有时也统称为强度，将在第九、十两章再作较详细的阐述。

通过上面所举例子可以看出：改变构件的受力形式，加大抗变形能力，或选用优质

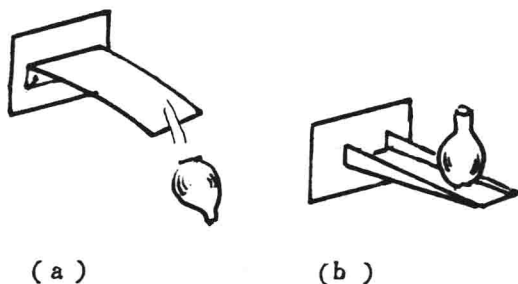


图 1-1

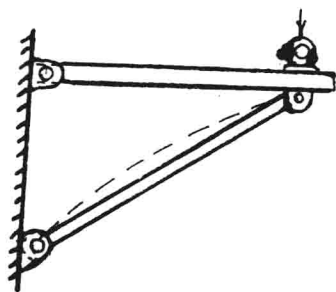


图 1-2

材料。一般虽然可以提高构件的强度、刚度和稳定性，但安全与经济是矛盾的，破坏与反破坏也是矛盾的。若片面追求构件的承载能力及其安全性，不适当地增大构件的尺寸和选用优质材料，将增加结构重量和制造成本，甚至影响结构的工作性能。

事物都有两面性，从强度要求出发。希望设计的构件不破坏、变形小。但破坏和变形有时又为生产发展提供必要的服务，例如，制造零件有时要靠冲床、剪床或钻床，要求冲力、剪力或切削力大于被加工材料的阻力；有些设备为能起到自动控制和保护作用，要有安全装置，遇到超载首先破坏安全装置，为了减少结构的振动和冲击，依靠能产生较大变形的缓冲装置来实现；多种机器人的运动和工作，要靠弹性元件的变形来输出电信号，等等。

合理解决上述矛盾，要靠多学科的共同努力。单从力学角度和材料抗力性能来看，则是材料力学的主要研究课题。因此，材料力学的任务可概括为：（1）研究构件在外力作用下的变形规律和相应的内力分布；（2）探讨构件的合理截面形式，研究材料的力学性质和破坏规律，建立破坏与反破坏的准则，达到满足强度、刚度、稳定性所需要的条件，为设计构件的形状和尺寸、确定承载能力和判断安全经济，提供必要的理论基础和简单适用的计算方法。前者是后者的理论基础，后者则是前者的工程应用。材料力学还在基本概念、基本理论和基本方法等方面为固体力学、机械零件、结构设计等课程奠定基础。是各专业工程技术人员必备的基础知识。

1.2 变形固体的基本假设

制造构件的材料都是固体，在载荷作用下会产生变形。因此，统称这类材料为变形固体。

在理论力学中，只研究物体在外力作用下产生的整体运动，不讨论其内部效应，因此，将物体看成是刚体。所以，刚体内部各质点之间将保持相对位置不变，物体在受力过程中，其形状和大小都不改变（即不变形）。材料力学则研究物体在外力作用下内部相互作用的变化——内力的变化和形状的变化。因此，即使物体总体上被约束，不能产生总体上的刚体位移，但其未被约束的质点将因物体变形而引起空间位置上的变化，这就是变形固体的特点。变形可分为两种：一种是当外力除去后能恢复原状的弹性变形；

另一种则是当外力除去后不能恢复原状的塑性变形，亦称不可逆的残余变形。多数构件在正常工作条件下只发生微小的弹性变形，相对于构件的原始尺寸来说，这些弹性变形量是很微小的（不超过原始尺寸的千分之一），不影响构件的静力平衡，从而使计算大为简化。但在分析构件的变形规律，进行强度、刚度和稳定性研究时，这种微小的变形就不能忽略。

为了解决材料力学所提出的任务，便于理论分析和简化计算，要将变形固体实际存在的复杂性质，突出其主要方面，略去次要因素。作出某些假设，将变形固体抽象为理想模型。材料力学对变形固体所作的假设有：

1. 连续性假设 认为物质毫无空隙地充满着固体的整个几何空间。实际的变形固体，是由许多晶粒结构所组成，具有不同程度的空隙（包括材料的缺陷和夹杂等），但当这些空隙的大小与构件尺寸相比极为微小时，可以忽略不计，即认为材料在整个几何空间内是密实的。这样，在研究问题时，构件内部力和位移等物理量即可用坐标的连续函数来表示。

2. 均匀性假设 认为从变形固体内取出的任一部分，不论其位置如何都具有完全相同的力学性质。实际上，各晶粒结构的力学性质不尽相同，晶粒交界处的晶界物质与晶粒本身的力学性质也不相同，但因为晶粒尺寸远远小于构件材料的尺寸，其排列是不规则的，所以，构件材料的力学性质是无数晶粒性质的统计平均值。因此，可认为变形固体各部分的性质是均匀的。这样，我们可从构件任意部位切取一个微小的单元体来分析研究，其变化规律即能应用于整个构件；也可通过试件所测得的材料力学性质，应用于构件的任何微小部分。

3. 各向同性假设 认为变形固体在各个方向上的力学性质完全相同。具备这种属性的材料称为各向同性材料。玻璃、工程塑料等即为典型的各向同性材料。但从金属的单个晶粒来说，是各向异性体。但组成一块材料，含有极多的晶粒，它们的排列又是杂乱无章的，这样，金属在各个方向上的性质就接近相同了，可假设为各向同性体。至于由增强纤维和基体制成的复合材料和木材等等，则属各向异性体，不在本书讨论的范围之内。

连续、均匀和各向同性的变形固体，是对实际材料的一种科学抽象。实践表明，在此假设基础上所建立的理论是正确的，由它们所得到的计算结果是符合工程要求的。

1.3 材料力学的研究对象和杆件的基本变形与组合变形

1. 研究对象 构件的形状是多种多样的，按其几何特征主要分为杆件和板件。当一个方向的尺寸远大于其它两个方向尺寸的构件称为杆件。这是材料力学研究的主要对象，也是工程实际中最常见、最基本的构件。例如前述的托架、支撑杆、车轮轴、电机轴、仪表中的弹性元件等等都可看成是杆件。杆件是由某一平面图形沿其法线方向按某一曲线移动而形成的轨迹所组成的几何空间。平面图形称为杆件的横截面。当横截面

的形心都位于上述曲线时，该曲线即称为杆件的轴线。所以，轴截面是互为正交的（图 1-3）。轴线可能是直线（称直杆），也可能是曲线（称曲杆）。各个横截面都相同的杆称为等截面杆，否则称为变截面杆，在工程实际中，最常见的是等截面直杆（等直杆）。图 1-4 示出几种常见的杆件。梁、柱、轴、拱都可归入杆件一类。当一个方



图 1-3

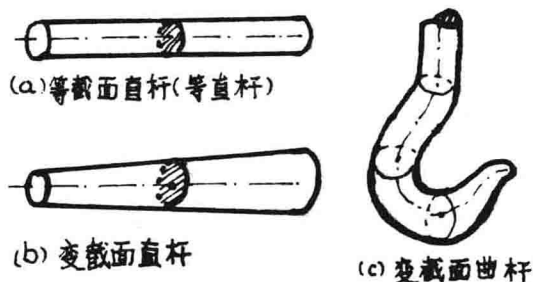


图 1-4

向的尺寸远小于其它两个方向的尺寸的构件，称为板件。平分板件厚度的几何面积称为中面。中面为平面的板件称为板，中面为曲面的板件称为壳（图 1-5）。当板件的厚度远小于中面尺寸时称为薄板（壳）。锅炉和化工设备中的压力容器，仪表中的膜片或弹性元件等都可看成是薄壳和薄板。

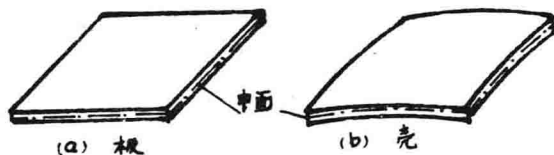


图 1-5

2. 杆件的基本变形和组合变形 杆件在外力作用下产生的变形是多种多样的。但总可归纳为以下三种基本变形和由两种或三种基本变形组成的组合变形。

（1）轴向拉伸或压缩 当作用在直杆上的外力可以简化为沿杆轴线方向的作用力时，此时，杆件将发生伸长或缩短变形（图 1-6，a 或 b）。

（2）扭转 当有一对大小相等方向相反的外力偶，作用在杆件相距一段距离的两个横截面上时，两横截面会绕轴线作相对转动（图 1-6，c），这样的变形称扭转变形，主要发生扭转变形的杆件称为轴。

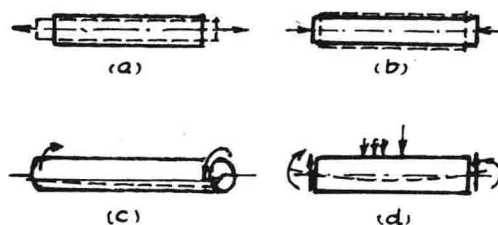


图 1-6

（3）弯曲 当作用在杆件上的外力（包括力偶）处于包含杆轴线的纵向平面内时，直杆轴线由直线变为曲线（图 1-6，d），这样的变形称为弯曲变形。主要发生弯曲变形的杆件称为梁。

1. 4 构件的计算简图

工程构件的受力和变形是与所受的载荷情况、构件的形状和尺寸、约束状况和构件材料的物性有关。不同材料的物性，祇影响变形的程度，对于各向同性材料，甚至不影响变形的变化规律。为了便于分析计算，把上述影响因素（暂不考虑物性）用一个简化图形来表示，称它为计算简图（或称力学计算模型）。构件的计算简图要考虑外力的简化、支承约束条件的简化。

（一）外力的种类及其简图 载荷按不同方式作用在构件上，依其随时间变化的情况可分为：

静载荷 载荷由零缓慢地逐渐增加到某一数值后即保持不变，或变动很小，加载过程中使构件运动的加速度趋于零，这样的载荷称为静载荷（图 1-7, a）。例如图 1-1, 所示托板上静止安放的花瓶即为静载荷。

动载荷 载荷随时间周期变化或随机变化的称为交变载荷（图 1-7, b、c）；若载荷在短时间内变化很大，有明显的加速度，则称为冲击载荷（图 1-7 d）例如，气缸内的活塞往复推动连杆，连杆所受的载荷即随时间作周期变化。冲床的冲压杆在冲剪零件时受到冲击载荷等等。交变载荷和冲击载荷统称为动载荷。动载荷对构件造成的破坏与静载荷有本质的区别，对材料的抗力性能也有明显的差异。

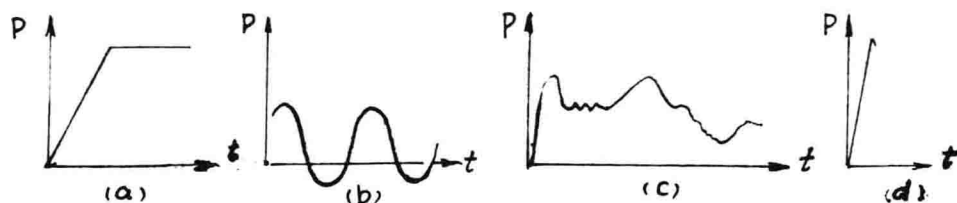


图 1-7

外力包括载荷和支反力。

依外力的作用方式又可分为：

分布载荷 连续地作用在构件上的载荷称为分布载荷。若分布在 Δx 长度内载荷的合力为 ΔP （图 1-8, a），当 Δx 趋近于零时，比值 $\Delta P / \Delta x$ 的极限就称为分布载荷的集度，用 $q(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta x}$ 表示，常用单位是 $\frac{kN}{m}$ 或 $\frac{N}{m}$ 。当 $q(x)$ 为常量，称为均布载荷，否则它是 x 的函数。如均质等直杆的自重、气压等均属均布载荷。

集中载荷 当外力分布的范围远小于构件的尺寸时，可认为它集中作用于一点，如图 1-8, a 中的支反力 R_A 和 R_B ，近似看成是集中力。实际上，真正作用在一点上的集中力并不存在。

分布力偶与集中力偶 连续地作用在构件轴线所在平面内或沿构件的轴线各横截

面上的力偶称为分布力偶 (图 1-8, b, c) 用 $m(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta M_e}{\Delta x}$ 或 $t(x) =$

$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta T}{\Delta x}$ 表示其集度, 常用单位是 $\frac{kN \cdot m}{m}$ 或 $\frac{N \cdot mm}{mm}$ 。当 $m(x)$ 或 $t(x)$

在长为 x 的范围内是常量时, 称均布力偶, 否则是 x 的函数。当分布力偶 m 和 t 的分布范围远小于构件的轴向尺寸时, 则成为集中力偶, 分别用 M_e 或 T 表示, 常用单位是 $N \cdot m$ 或 $N \cdot mm$ 。

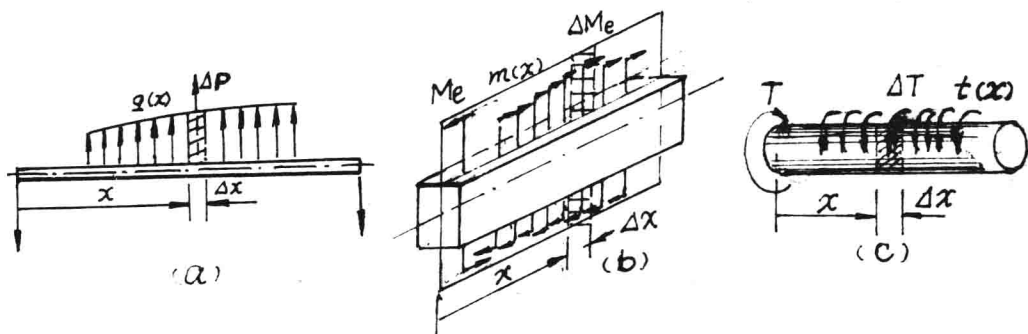


图 1-8

(二) 支座的类型及其简图 构件或结构受到其它结构部分的约束而限制了它的活动, 这种约束装置称为支座。任何构件 (结构) 要能成为承力的杆件, 必须具有阻止它自由活动 (限制刚性位移) 所需的必要约束。例如, 在空间需要有六个约束; 在平面仅需三个约束, 这些约束就是支座给予构件 (结构) 的支反力 (矩)。根据支座对构件 (结构) 所起的约束作用, 可概括为三种典型的支座: 活动铰支座、固定铰支座和固定端支座。以 $x \cdot y$ 平面内的情况为例, 构件的支座及其相应的支反力 (矩) 的计算简图分别如图 1-9, a、b、c 所示。

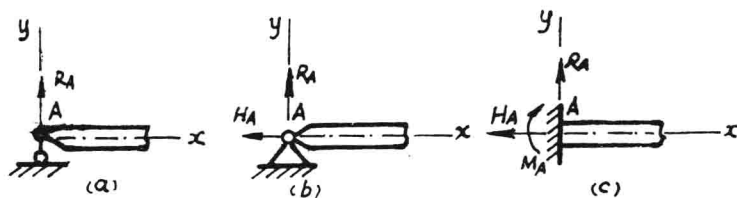


图 1-9

在实际工程结构中, 支座约束形式是多种多样的, 也很复杂。为了便于计算, 根据实际约束条件, 可将其简化成图 1-9 所示的典型支座形式。

以图 1-10, a 所示铲车结构为例, 作动筒 A 端耳片接头用螺杆与车架连接, C 处活塞杆可在作动筒内上下移动。AD 杆通过 CB 杆随 C 处铰接点的上、下移动而使 D 处沿铲臂支架滑动, 因此, C、H、D 均可简化为活动铰支座, B 处则可看成是固定铰

支座。铲臂与支架在E处相连，为了能承担铲臂上所受的载荷合力P而将物体铲起，支架与铲臂连接处E的夹角一般不允许随意改变，可看成刚接。

图1-11，a为拉压传感器的剖面示意图。图中A、B为弹性元件，其两端受到刚度较大的传感器机体的约束而限制它自由转动，故可将A、B端看成固定端支座。

至于一般传动机构中的轴承，有止推轴承和滑动轴承之分：前者常简化为能够传递转动力偶的固定铰支座；后者则为能传递转动力偶的活动铰支座。

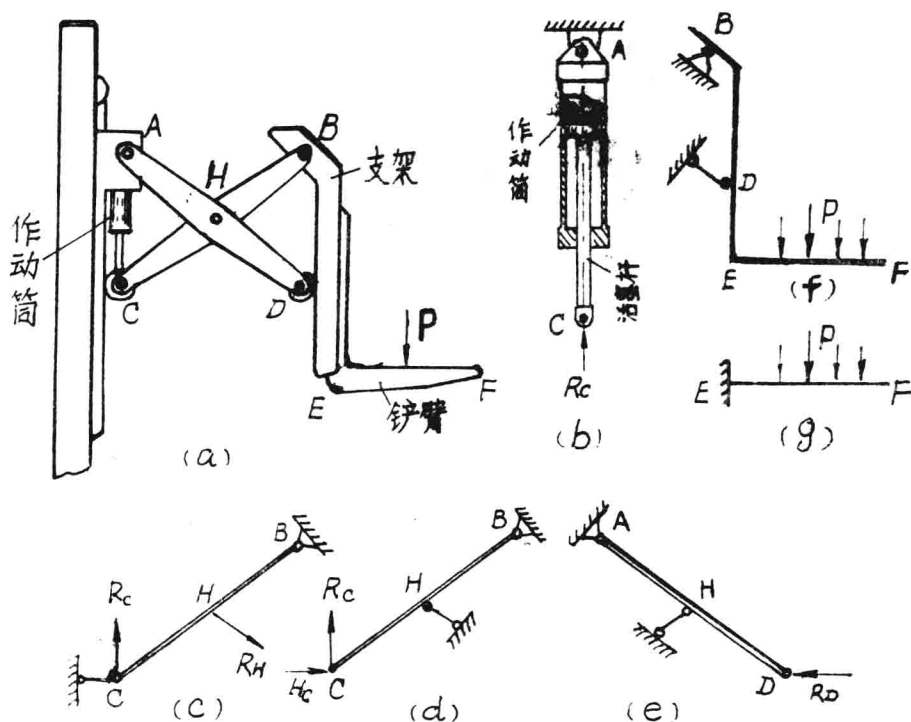


图 1-10

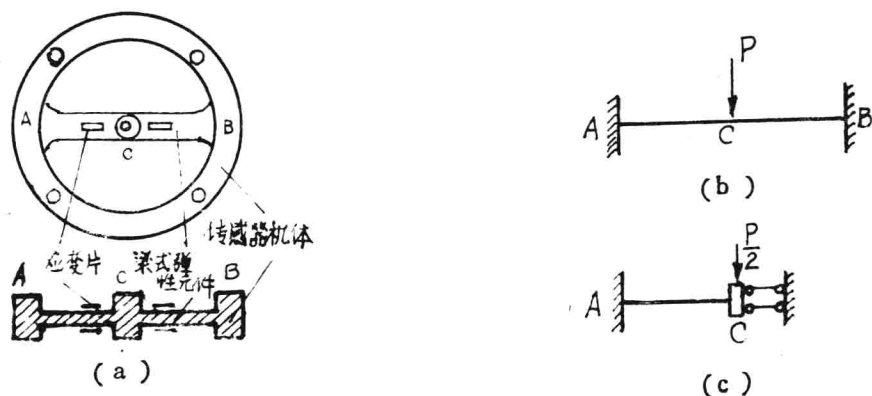


图 1-11