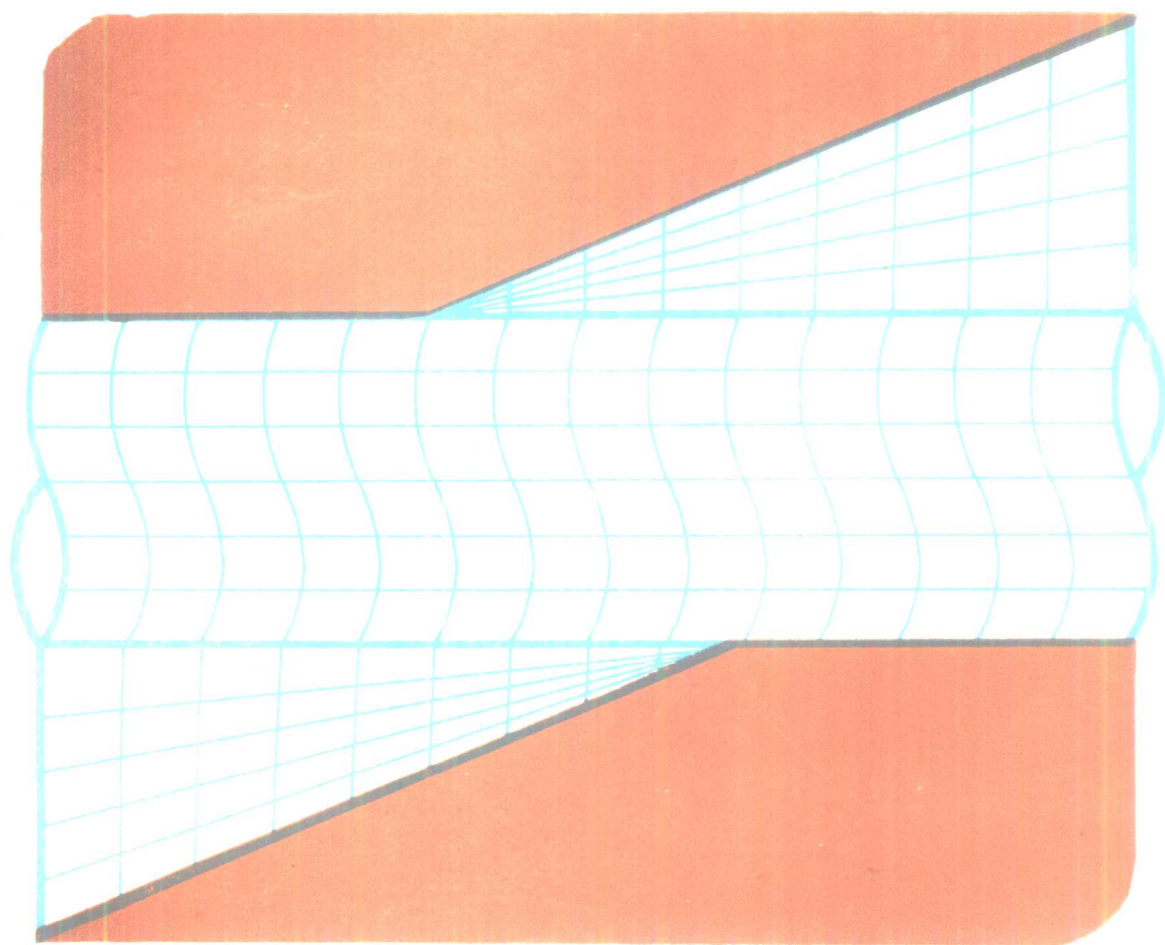


高等院校教材

材料力学教程 (上)

● 刘济庆 杨存厚 臧修亮 编

● 北京工业学院出版社



01

1

材料力学教程

(上册)

刘济庆 杨存厚 臧修亮 编

北京工业学院出版社

内 容 简 介

本书的特点是突破了原有的材料力学课程体系,提出了将相同性质的问题相对集中,按问题划分篇章的新系统。每篇、章的主题鲜明,重点明确,注意突出基本概念和分析方法。各篇、章内容之间编排合理、紧密相连。并且编有若干基本要求以外的内容,以便于读者进一步学习和提高。

全书分上、下两册,共六篇,计二十二章。上册包括,第一篇:基本理论和基本实验(包括绪论、内力分析、应力状态理论、应变分析和应力应变关系、材料的力学性质及其基本实验、强度理论);第二篇:构件的强度研究(包括基本变形时构件的应力计算、强度计算、组合变形构件的强度计算);第三篇:构件的刚度研究(包括计算构件位移的基本方法和叠加法。本篇中的能量法、能量法的进一步研究列入下册)。

本书是高等工业学校机械类专业的适用教材,也可供土建、道桥、航空、水力等专业或电大、函授大学学员及工程技术人员参考。

材 料 力 学 教 程

(上 册)

刘济庆 杨存厚 臧修亮 编

北京工业学院出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

一二〇二印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 19.5印张 483千字

1988年6月第一版 1988年6月第一次印刷

ISBN 7-81013-025-0/TH·7

印数: 1—10,000册 定价: 3.25元

前 言

本书突破了原有的材料力学课程体系，改变了沿袭五十年代苏联教材以各种基本变形为纵向系统的旧体系，提出了将相同性质的问题相对集中，按问题划分篇章横向排列的新体系。这样做是基于以下考虑：

1. 当前课程改革的发展已经提出改革教材的问题。这是一项需要长期努力的巨大工程。但是，作为教材的初步改革，研究和改革教材体系则是立即可办的事。

2. 在材料力学旧体系中，虽然在每种基本变形问题中保持着完整性和系统性，但是，对初学材料力学的学生来说，要在一章中学习有关一种变形的强度、刚度问题的全部概念和方法，常常使学生感到内容拥挤、琐碎，概念集中，应接不暇，抓不住重点。同时，许多性质相同的问题又在各种变形问题中到处重复，而无一处能够讲深讲透，结果影响学生对课程内容的深入理解和掌握。

3. 按旧体系组织教学时，常常感到教学内容同缩减教学学时数有很大矛盾。当然更无法增拓新的教学内容。

为了解决上述问题，本书在教材体系、教材内容和写法上都作了新的尝试。其基本思想是突出材料力学基本概念，突出材料力学的分析方法，培养学生的思维能力和自学能力。为此，编者希望本书达到以下目的：

1. 每篇、每章都有一个明确的中心主题，并且突出基本概念和分析方法，便于学生集中精力，抓住重点，深入理解基本概念和基本思路。

2. 尽可能提高教材内容的理论高度。例如，应力状态理论、应变状态分析、强度理论等，本来是理论性很强的具有全局意义的内容，是整个材料力学甚至弹性理论的基础理论，而绝不是仅仅为了解决组合变形强度计算。因此，本书将这些内容列入第一篇基本理论，加强了它们在材料力学中的地位和理论高度。同时，这样安排也提高了教材起点，有利于培养学生的抽象思维能力。

3. 在不致削弱教学内容的条件下，能够比较自然地缩减讲课时数。

4. 在紧密结合材料力学基础知识的前提下，合理地增拓新内容，扩大知识面。为此，本书编入了位移法解超静定问题、矩阵位移法、塑性状态下构件的强度计算和能量原理进一步研究等章节。为分层次进行教学和因材施教创造条件。

5. 符合认识规律，激发学生兴趣，文字通俗，便于自学。

近年来，编者按照新体系进行了教学实践，初步证明上述的予期目的是可以达到的。

参加本书编写工作的有刘济庆（第一、二、三、四、五、六、七、十六和十七章）、杨存厚（第八、九、十、十四、十九、二十和二十一章）和臧修亮（第十一、十二、十三、十五、十八、二十二章和附录 I）。

本书承王崇宇教授认真仔细地审阅了书稿，提出许多卓有见地的宝贵意见。最后又经樊大钧教授进行了认真审阅。他们的工作对本书的编写给予很大支持和帮助，在此深表感谢。

编写这种改革体系的教材，尚属初次实践。再加上编者水平有限，书中难免有缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

1986年10月于北京工业学院

目 录

主要字符表

第一篇 基础理论及基本实验

第一章 绪论	(2)
§ 1-1 材料力学的任务	(2)
§ 1-2 关于变形固体的基本假设	(3)
§ 1-3 材料力学的研究对象和研究范围	(4)
§ 1-4 构件的基本变形形式及计算简图	(6)
第二章 基本变形时构件的内力分析	(12)
§ 2-1 概述	(12)
§ 2-2 求内力的方法——截面法	(13)
§ 2-3 内力分析及内力方程	(14)
§ 2-4 内力图	(23)
§ 2-5 用叠加原理求内力及作内力图	(34)
§ 2-6 剪切时构件的内力分析	(36)
习 题	(37)
第三章 组合变形构件及杆系结构的内力分析	(45)
§ 3-1 组合变形时构件的内力分析	(45)
§ 3-2 曲杆的内力分析	(46)
§ 3-3 桁架和刚架的内力分析	(47)
习 题	(51)
第四章 应力状态理论	(55)
§ 4-1 应力的概念	(55)
§ 4-2 一点的应力状态	(56)
§ 4-3 平面应力状态分析的解析法	(58)
§ 4-4 平面应力状态分析的图解法	(59)
§ 4-5 主平面·主应力	(62)
§ 4-6 应力状态的种类及典型原始单元体分析	(65)
§ 4-7 三向应力状态分析简述	(68)
习 题	(72)
第五章 应变分析和应力应变关系	(76)
§ 5-1 变形和位移的概念	(76)
§ 5-2 衡量变形程度的两个基本度量——线应变与剪应变	(76)
§ 5-3 应力与应变的关系	(78)
§ 5-4 复杂应力状态下应力与应变的关系——广义虎克定律	(79)
§ 5-5 一点的应变状态分析	(83)

§ 5-6 体积应变.....	(88)
习 题	(89)
第六章 材料的力学性质及其基本实验	(92)
§ 6-1 概述.....	(92)
§ 6-2 拉伸时材料的力学性质.....	(92)
§ 6-3 压缩时材料的力学性质.....	(98)
§ 6-4 纯剪切时材料的力学性质	(100)
§ 6-5 温度和时间对材料力学性质的影响	(101)
第七章 强度理论	(103)
§ 7-1 概述	(103)
§ 7-2 几种基本的强度理论	(104)
§ 7-3 强度条件	(108)
§ 7-4 强度条件的应用	(109)
习 题.....	(115)

第二篇 构件的强度研究

第八章 基本变形时构件的应力计算	(117)
§ 8-1 分析横截面应力的方法——“三关系法”.....	(117)
§ 8-2 轴向拉伸(压缩)时构件横截面上的应力	(117)
§ 8-3 圆轴扭转时横截面上的剪应力	(120)
§ 8-4 纯弯曲时梁横截面上的正应力	(124)
§ 8-5 弯曲时梁横截面上的剪应力	(128)
习 题.....	(135)
第九章 基本变形时构件的强度计算	(143)
§ 9-1 概述	(143)
§ 9-2 轴向拉伸(压缩)时构件的强度计算	(143)
§ 9-3 圆轴扭转时的强度计算	(146)
§ 9-4 弯曲构件的强度计算	(149)
§ 9-5 受剪构件的强度计算	(156)
§ 9-6 提高构件强度的主要措施	(160)
习 题.....	(162)
第十章 组合变形构件的强度计算	(170)
§ 10-1 概述.....	(170)
§ 10-2 两面弯曲(斜弯曲)	(171)
§ 10-3 拉伸(压缩)与弯曲的组合·偏心拉伸(压缩)	(176)
§ 10-4 弯曲与扭转组合.....	(180)
§ 10-5 组合变形的普遍情况.....	(184)
§ 10-6 圆柱形螺旋弹簧的应力计算.....	(185)
习 题	(187)

第三篇 构件的刚度研究

第十一章 计算构件位移的基本方法	(195)
§ 11-1 概述	(195)
§ 11-2 杆系结构的位移计算	(195)
§ 11-3 圆轴扭转时的位移计算	(202)
§ 11-4 梁弯曲时的位移计算	(208)
习 题	(222)
第十二章 用叠加法计算构件的位移	(231)
§ 12-1 概述	(231)
§ 12-2 用载荷叠加法计算构件的位移	(231)
§ 12-3 用位移叠加法计算构件的位移	(235)
§ 12-4 用综合叠加法计算构件的位移	(239)
习 题	(246)
附录 I 截面图形的几何性质	(254)
§ I-1 形心与静矩	(254)
§ I-2 惯性矩·极惯性矩·惯性积	(259)
§ I-3 惯性矩和惯性积的平行轴公式	(265)
§ I-4 惯性矩和惯性积的旋转轴公式	(271)
习 题	(275)
附录 II 型钢表	(279)
习题答案	(294)

主要字符表

字符	字符意义	国际制单位	字符	字符意义	国际制单位
x, y, z	坐标轴 (x轴代表杆件轴线)		γ	剪应变	无量纲量
	坐标	m, cm		材料单位体积重量	N/m ³ , kN/m ³
N	轴 力	N, kN	δ	延伸率	无量纲量
Q	剪 力	N, kN		厚 度	m, mm
M_x	扭 矩	kN · m	ϕ	截面收缩率	无量纲量
M	弯 矩	kN · m	α	应力集中系数	无量纲量
M_y, M_z	对y轴、z轴的弯矩	kN · m		角 度	rad
R	支座反力	kN	C	弹簧常数	N/m, KN/m
M_O	转矩 (外力偶矩)	kN · m	φ	扭转角	rad
	弯曲外偶矩	kN · m	θ	轴的单位长度扭转角	rad/m
q	分布荷载集度	kN/m		梁的转角	rad
P	集中力	kN	$[\theta]$	轴单位长度的许用扭转角	°/m
l	杆 长	m, cm	γ	梁的挠度	m, cm
b, B	截面宽度	m, cm	$[\gamma]$	梁的许用挠度	m, cm
h, H	截面高度	m, cm	Δl	杆的伸长 (缩短) 变形	m, cm
d, D	直 径	m, cm	Δ	位 移	m, cm
A	截面面积	m ² , cm ²	E	拉压弹性模量	GPa
S_y, S_z	静 矩	m ³ , cm ³	G	剪切弹性模量	GPa
I_y, I_z	惯性矩	m ⁴ , cm ⁴	μ	泊松比	无量纲量
I_y	极惯性矩	m ⁴ , cm ⁴	μ	强度工作安全系数	无量纲量
I_{yz}	惯性积	m ⁴ , cm ⁴	$\bar{N}$	单位力引起的轴力	N, kN
i_y, i_z	惯性半径	m, cm	$\bar{M}$	单位力引起的弯矩	kN · m
W_x, W_y	抗弯截面模量	m ³ , cm ³	$\bar{M}_T$	单位力引起的扭矩	kN · m
W_T	抗扭截面模量	m ³ , cm ³	P_{cr}	压杆临界力	kN
V	体 积	m ³ , cm ³	γ	循环特征	无量纲量
U	变形能	J	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	主应力	MPa
u	比 能	J/m ³	σ_{eq}	相当应力	MPa
σ	正应力	Pa, MPa	σ_m	平均主应力	MPa
σ_{max}	最大正应力	Pa, MPa		应力循环中的平均应力	MPa
σ_{min}	最小正应力	Pa, MPa	σ_s	强力循环中的应力幅度	MPa
σ_{Tmax}	最大拉应力	Pa, MPa	σ_{cr}	压杆临界应力	MPa
σ_{Cmax}	最大压应力	Pa, MPa	σ_r	材料持久极限	MPa
$[\sigma]$	许用应力	Pa, MPa	σ_{-1}^r	对称循环下材料持久极限	MPa
σ_H	挤压应力	Pa, MPa	σ_d	动荷应力	MPa
$[\sigma_H]$	挤压许用应力	Pa, MPa	α_k	冲击韧度	J/mm ²
σ_f	比例极限	Pa, MPa	$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$	主应变	无量纲量
σ_e	弹性极限	Pa, MPa	u_v	体积改变比能	J/m ³
σ_s	屈服极限	Pa, MPa	u_d	形状改变比能	J/m ³
$\sigma_{0.2}$	名义屈服极限	Pa, MPa	θ	体积应变	无量纲量
σ_b	强度极限	Pa, MPa	λ	压杆的柔度	无量纲量
σ_r	极限应力	Pa, MPa	μ	压杆长度系数	无量纲量
τ	剪应力	Pa, MPa	n_s	稳定工作安全系数	无量纲量
τ_{max}	最大剪应力	Pa, MPa	$[n_s]$	规定稳定安全系数	无量纲量
$[\tau]$	许用剪应力	Pa, MPa	K_d	动荷系数	无量纲量
τ_s	剪切屈服极限	Pa, MPa	K_σ, K_τ	有效应力集中系数	无量纲量
τ_b	剪切强度极限	Pa, MPa	$\varepsilon_\sigma, \varepsilon_\tau$	尺寸系数	无量纲量
ε	线应变	无量纲量			

第一篇 基础理论及基本实验

第一章 绪 论

§1-1 材料力学的任务

(一) 材料力学问题的广泛性 材料力学是一门同工程实践有着密切联系的学科。它所阐明的理论广泛应用于许多领域。从宇宙飞船、人造卫星、飞机、舰船、火车、汽车、房屋建筑、桥梁、水电站，到枪炮武器、各种机械、小型生产工具等等，都要用到材料力学的理论。就是在我们日常生活以及自然界中的许多现象，也都可以用材料力学的基本知识加以解释。

举一个例子，如果把一块薄板按图1-1 (a) 所示那样钉在墙上，用来承托重物。大家都会想到要考虑两个问题：其一，假如所托物体的重量过大，薄板可能沿其根部折断（破坏），这叫做强度不够；其二，即使薄板不破坏，也可能弯得太厉害（变形过大），这叫做刚度不够。出现这两种情况之一，托架就不能正常工作。可是，若把薄板折成U字形，象图1-1 (b) 那样，这时的托架将比前者承托更重的重物，而且没有破坏，也没有产生太大的变形。这一现象就包含着材料力学的道理。

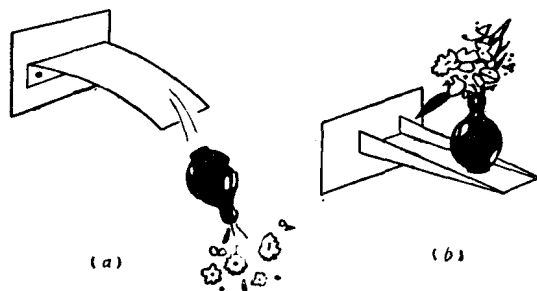


图1-1

又例如，在图1-2所示的支架中， AB 是用钢材制成的实心圆截面杆，比较细长。当重物 Q 的重量不大时，我们看到，杆 AB 仍保持为直杆，很安全地起着支承作用。但是，当重物 Q 的重量太大时，杆 AB 就突然变弯(如图1-2中的虚线)，使整个支架丧失了承载能力。在材料力学中，把受压直杆突然变弯的现象称为丧失稳定(简称失稳)，或叫做稳定性不够。可是，如果用一根截面面积和长度均与前者相同的钢管代替实心杆时，杆 AB 就可能不再变弯而保持直杆平衡形式。也就是说，改变截面的形状，提高了杆 AB 的稳定性。

在工程实际和日常生活中，存在着许多与上述两例相类似的现象和问题。例如，薄的屋面板不用平板，而用波纹板(图1-3)；钢筋混凝土梁中的钢筋，要摆放在梁弯曲后外凸的一侧(图1-4)，等等。甚至在自然界中，我们也会观察到竹杆、麦杆都是中空的，人和动物

的骨骼也是中空的，它们的截面形状都很“巧妙”地符合用料少而抗力强的力学原理。至于为什么表现出这些现象，在学习了材料力学之后，自然就明白了其中的道理。

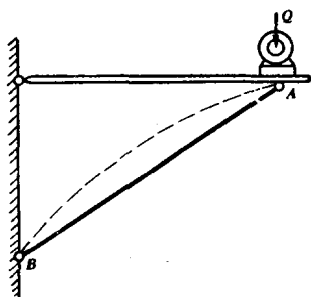


图1-2

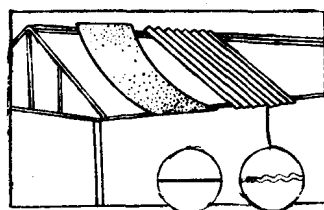


图1-3

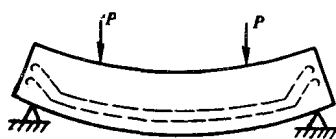


图1-4



(二) 材料力学的三大问题 在工程实际中，任一结构中的构件都要承受一定的外力（载荷）。从上面谈到的几个实例可以联想到，在载荷作用下，要保证构件能正常、安全地工作，必须解决下述三个问题：

1. **强度问题** 所谓强度，是指构件抵抗破坏（断裂或产生永久性变形）的能力。构件必须具有足够的强度。

2. **刚度问题** 所谓刚度，是指构件抵抗变形的能力，如果发生过大的变形，即使构件尚未破坏，也不能正常工作。所以，构件必须具有足够的刚度。

3. **稳定性问题** 所谓稳定性，是指构件保持原有平衡形式的能力。构件失稳，就将丧失承载能力，故构件必须具有足够的稳定性。

(三) 材料力学的任务 可以想到，加大构件的截面尺寸，或者选用优质材料，一般来说可以提高构件的强度、刚度或稳定性，有利于构件安全。但是，如果截面尺寸过大，材料质量太高，就会浪费材料，增加构件的重量和成本。反过来说，单纯追求经济、省料，无根据地减小截面尺寸，截面形状设计不合理，或者材料选用不当，都将无法保证构件安全工作。合理地解决上述矛盾，是材料力学的主要研究课题。据此，材料力学的任务可概括为：研究构件在载荷作用下的破坏与变形规律和材料的力学性质，从而建立构件满足强度、刚度和稳定性要求所需的条件，为既安全又经济地设计构件截面尺寸和形状提供必要的理论基础和简单适用的计算方法。

§1-2 关于变形固体的基本假设

制造结构构件所用的材料都是固体。它们在载荷作用下，都要产生或大或小的变形（包括构件尺寸的改变和形状的改变）。因此，统称它们为可变形固体。

固体的性质是多种多样的，但对材料力学来说，主要研究它们的力学性质（又叫机械性质）。既使在研究与这些性质有关的问题时，也不是面面俱到，而是突出其主要方面，略去次要因素，以使对问题的分析和计算得到简化。为此，就要作出某些假设，将材料抽象为一种理想模型。材料力学对变形固体所作的假设是：

1. 连续性假设 认为物体的整个体积内毫无空隙地充满了构成该物体的物质。根据这个假设，今后我们研究问题时，即可认为构件内部的力及变形是连续的，可以用连续函数来表达它们的有关规律。

2. 均匀性假设 认为物体各点处的力学性质是一样的，不随点的位置而改变。根据这个假设，我们便可以把任何微小部分的研究结论应用于整个构件；也可以把大尺寸试件测得的材料性质应用于构件的任何微小部分。

3. 各向同性假设 认为受力后材料在各个方向上具有相同的力学性质。具有这种属性的材料称为各向同性材料。工程中常用的各种金属材料、玻璃、塑料等，都可以看作是各向同性材料。

实际上，工程材料与上面所讲的“理想”材料并不完全相符合。但是，材料力学并不关心其微观上的差异，而只着眼于材料的宏观性能。实验表明，按这种理想化的材料模型研究问题，所得结论能够很好地符合实际情况。既使对于某些均匀性较差的材料（如铸铁、混凝土等），在工程上也可以得到比较满意的结果。

4. 小变形条件 “小变形”是指构件受力后所产生的变形同构件的原始尺寸相比小得多。利用小变形条件，可将所研究的问题进行某些简化。

按照这种条件，在研究构件平衡时可以忽略构件的变形，仍按原始尺寸进行计算。例如，在图 1-5 所示杆件 AB 中，其 A 端为固定端约束，原长为 l ，在 P 力作用下杆件发生弯曲变形，因而 P 力的作用线至固定端 A 的距离变为 l_1 。由于 P 力作用点的位移 Δ 比原长 l 小得多，所以，计算 A 端反力矩时，无需考虑 Δ 的影响，仍按原长 l 计算，即可由平衡条件

$$\sum M_A = 0, \quad M_A - Pl = 0$$

求得 A 端反力偶矩为

$$M_A = Pl$$

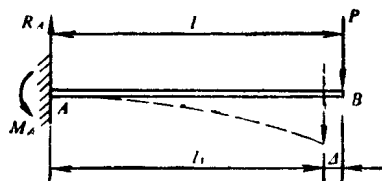


图 1-5

§1-3 材料力学的研究对象和研究范围

（一）研究对象 在工程实际中，构件的类型是多种多样的，按其几何形状特征，可分为杆、板、壳、块体等。

凡长度方向（纵向）尺寸远大于横向（垂直于长度方向）尺寸的构件，称为杆件。杆件的横截面和轴线是杆件特征的两个主要几何因素。横截面是指垂直于杆件长度方向的截面，而各横截面形心的连线，即为杆件的轴线（图 1-6）。轴线是直线的称为直杆〔图 1-6(a)、(b)〕，

轴线是曲线的称为曲杆〔图1-6(c)〕。横截面的形状及尺寸沿杆长不变的,称为等截面杆〔图1-6(a)〕,横截面沿杆长变化的,称为变截面杆〔图1-6(b)、(c)〕。

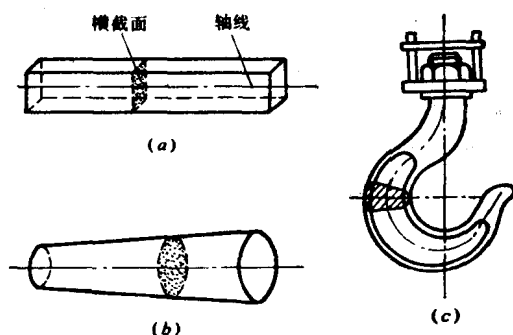


图1-6

材料力学主要研究杆的强度、刚度和稳定性问题。

(二) 研究范围 任何一门学科都是随着生产的发展而产生和发展的。在学科发展过程中,其研究内容和范围也在不断丰富和扩大,并不断演变和派生出新的学科分支。材料力学这门学科也不例外。

在漫长的封建社会里,生产水平很低,人类所使用的房屋、桥梁、车船等,主要是凭经验或模仿以前的式样进行设计和建造的,力学知识还未形成一门完整系统的学科。直到1683年意大利科学家伽利略(G·Galileo)发表《关于两种新科学的叙述及其证明》一书,才标志着材料力学这门学科的诞生。此后一百余年间,由于生产水平、材料工业的发展、新结构物的不断出现,促使各国学者和科学家们在材料实验的基础上,对结构的强度、刚度和稳定性进行了大量研究,逐渐形成了材料力学的经典内容。

随着生产和科学技术的不断进步,对于工程中的许多力学问题,按专题进行了深入探讨和研究。从而相继形成了许多有关强度科学的分支,诸如弹性力学、塑性力学、板壳理论、岩石力学、实验力学,以及近年发展起来的断裂力学、计算力学(以有限元法为基础),乃至生物力学等等。由它们形成了包括材料力学在内的,研究范围更为广阔的固体力学学科。这些具体学科分支虽然都以材料力学为基础,但在研究的深广度方面都远远超出了材料力学的范围。

从工程材料的发展来看,在材料力学发展的年代里,工程实际中主要是使用金属材料,其中钢及其合金占据着主要地位,并且在理论分析时,对材料采用了各向同性假设。所以,材料力学限于研究各向同性材料的范围。近年来,非金属材料和各向异性材料——复合材料发展很快,这无疑将促进材料力学的进一步发展。

在力学理论分析中使用的材料本构关系(即力与变形间的基本关系)主要有两类。一类是当载荷不超过一定范围时,产生的变形很小,且是可恢复的弹性变形。这时力与变形成正比,即所谓“线弹性”问题;另一类是当载荷超过一定范围后,力与变形之间呈现非线性关系,材料也将产生不可恢复的塑性变形,即所谓“非线性”问题。材料力学主要研究线弹性范围内的问题。

§1-4 构件的基本变形形式及计算简图

(一) 构件的计算简图 研究构件的强度、刚度、稳定性问题时, 首先必须弄清构件所受的外力情况、构件的形状和尺寸情况以及构件的约束状况。把这些情况用一个简化图形表示出来, 以便于分析和计算。这种简化后的图形, 称为计算简图(或称力学模型)。

1. 外力的种类及其简图 载荷可以按不同方式作用在构件上, 依其随时间变化的情况分为:

静载荷 载荷的大小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, 这种载荷称为静载荷。

动载荷 大小随时间作周期变化的载荷称为**交变载荷**; 若载荷的大小在短时间内变化很大, 以致使构件各部分产生明显的加速度, 这种载荷称为**冲击载荷**。

依外力的作用方式, 可分为:

分布载荷(分布力) 连续地作用在构件上的载荷, 称为分布载荷。构件的自重、风力、气压或水压等, 均属此类载荷。通常分布载荷可用沿其作用面或者沿杆轴线的分布规律来表示, 它们的简图如图 1-7 (a)、(b)、(c) 所示。作用在单位长度上的载荷称为**分布集度**, 用 $q(x)$ 表示, 其常用单位为 N/mm , N/m 等。

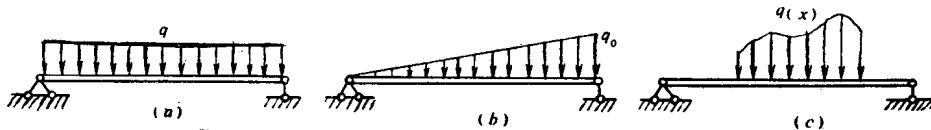


图 1-7

集中载荷 当载荷所分布的范围远小于构件的尺寸〔图 1-8 (a)〕时, 可认为它集中作用在一点, 即是集中载荷〔图 1-8 (b)〕, 火车轮对于钢轨的压力、起吊的重物对于吊车的作用力等, 都属于集中载荷。这种载荷通常用字母 P 、 R 等表示, 其常用单位为 N 或 kN , 其简图如图 1-8 (b) 所示。

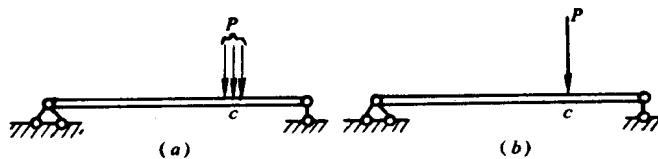


图 1-8

集中力偶 作用在构件上的载荷可以简化为作用于某一位置的力偶, 即称为集中力偶, 用 M_0 表示, 其常用单位为 $\text{N}\cdot\text{cm}$ 、 $\text{kN}\cdot\text{m}$ 等, 其简图如图 1-9, (a)、(b) 所示。

最后需要指出, 支座反力或反力矩都是属于作用在构件上的外载荷。

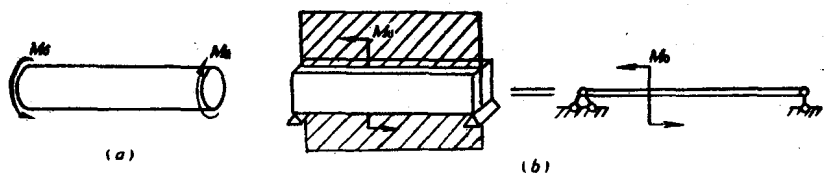


图1-9

2. 支座的类型及其简图 把构件或结构与基础或其他部分联系起来的装置称为支座。根据支座对构件或结构所起的约束（限制）作用，可概括为三种典型支座，即活动铰支座、固定铰支座及固定端支座。以 oxy 平面内的情况为例，它们的结构及所受支反力的简图分别如图 1-10(a)、(b)、(c) 所示。

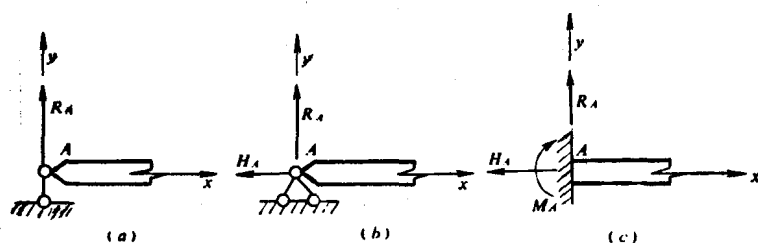


图1-10

在工程实际中，支座的实际形式很多，也很复杂。为了便于计算，必须根据实际支座所起的约束作用，将其简化成相应的典型支座。例如，桥式起重机的主梁通过两端滚轮支承在钢轨上〔图 1-11, (a)〕，两边的钢轨不限制梁两端面的转角，但都限制主梁两端沿铅垂方向的移动。另外当主梁受水平方向力的作用时，只有一端（例如 A 端）的滚轮侧缘与钢轨接触，起水平方向约束作用，此时，另一端（ B 端）则没有水平约束作用〔图 1-11(b)〕。根据实际约束作用情况， A 端相当于固定铰支座，而 B 端相当于活动铰支座。〔图 1-11(c)〕与此相类

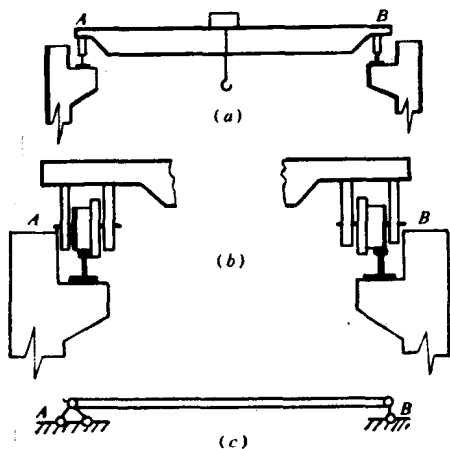


图1-11

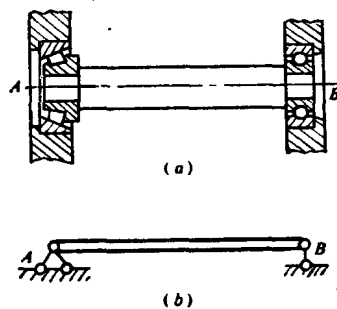


图1-12

似，一般传动轴中的径向止推轴承对轴的约束作用相当于固定铰支座〔图1-12(a)、(b)中的左端〕，而径向轴承的作用相当于活动铰支座〔图1-12(a)、(b)中的右端〕。

3. 杆件的计算简图 综合应用关于构件、载荷及支座简图的知识，便可对实际构件画出它的计算简图。绘制计算简图的原则是：

- (1) 忽略构件的具体结构外形，以其轴线代表该构件。
- (2) 将实际载荷简化成前面所说的某种载荷。
- (3) 将杆件的实际约束简化成相应的典型支座（但弹性支座例外）。

(二) 构件基本变形形式 在实际结构中，作用在构件上的外力情况不同，产生的变形也不同。但是，就变形的形式来说，不外乎以下四种，即拉伸（或压缩）、剪切、扭转、弯曲，现在分别叙述如下。

1. 轴向拉伸或压缩 如果作用在直杆上的外力可以简化为沿杆轴线方向作用，此时，杆件将只发生伸长或缩短变形。吊起重物的钢索〔图1-13(a)〕、固紧螺栓〔图1-13(c)〕、厂房中间的立柱〔图1-13(e)〕等等，都是产生轴向拉伸或压缩变形的实例。它们的计算简图分别如图1-13(b)、(d)、(f)所示。

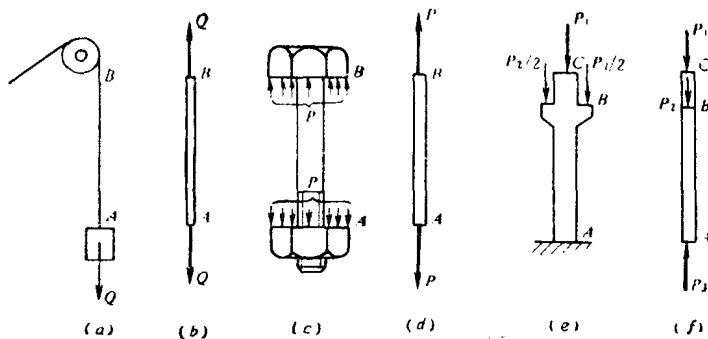


图1-13

2. 剪切 剪切变形最直观的实例，是剪床剪断钢板的情况〔图1-14(a)〕。剪床的上、下刀刃以大小相等、方向相反、作用线相距很近的两个力分别作用在钢板的两侧面上〔图1-14(a)〕，使 $m-m$ 截面两侧的两部分材料沿 $m-m$ 截面相对错动。其计算简图如图1-14(b)所示。两力之间发生错动的 $m-m$ 截面称为剪切面。钢板最终沿剪切面被剪断。图1-15所示的起联

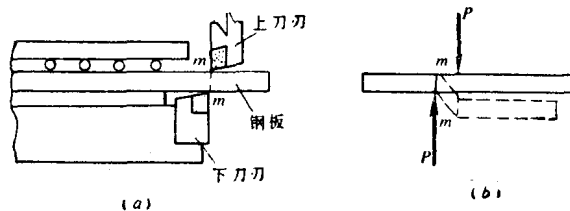


图1-14

接作用的螺栓、销钉、键、铆钉等联接件，都是受剪切的构件实例。它们的受力情况分别如图 1-15 (b)、(e)、(h) 所示，其计算简图分别如图 1-15 (c)、(f)、(i) 所示。

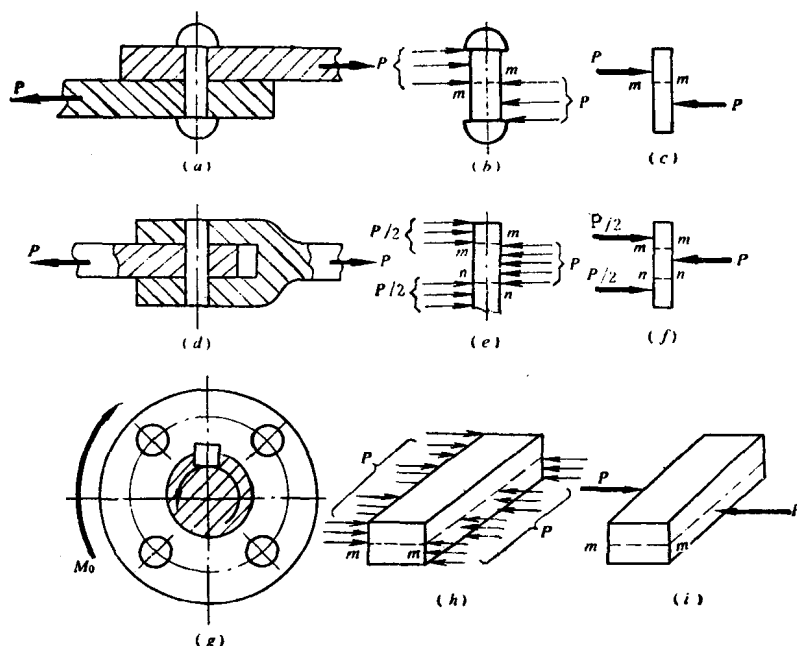


图 1-15

3. 扭转 如果作用在杆件上的是绕杆轴线旋转的几个互相平衡的外力偶，使杆的各横截面之间发生绕轴线的相对转动，杆件表面上原来平行轴线的母线，在杆件变形后变成螺旋线〔图 1-16 (b) 中的虚线〕，则称这种变形为扭转变形。产生扭转变形的杆件通常称为轴。汽车的传动轴〔图 1-16 (a)〕、桥式起重机中的传动轴〔图 1-17 (a)〕等，都是受扭杆件的实例，其计算简图分别如图 1-16 (b) 及图 1-17 (b) 所示。

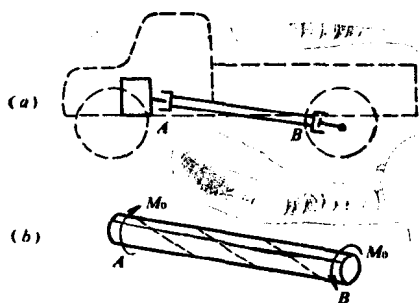


图 1-16

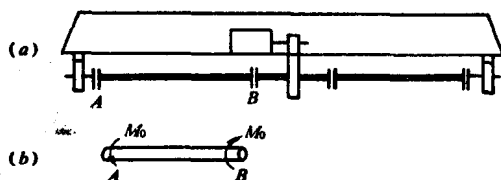


图 1-17

有时并不直接给出作用在轴上的外力偶矩，而给出轴所传送的功率和轴的转速。这时需要根据功率、转速和外力偶矩的关系，换算出每个轮子传给轴的外力偶矩。设某轮传送的功率为 N 千瓦(kw)，轴的转速为 n 转/分，则相应的力偶矩 M_0 为

$$M_0 = 9550 \frac{N}{n} (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1-1)$$