



高等学校教材

工程力学

王守新 等编



化学工业出版社

高等学校教材

工 程 力 学

王守新 关东媛 编
李 锋 王梅年

化学工业出版社

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/王守新等编. —北京:化学工业出版社,
1998.6 (2000.4 重印)
高等学校教材
ISBN 7-5025-2121-6

I. 工… II. 王… III. 工程力学-高等学校-教材
N. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 14535 号

高等学校教材
工 程 力 学
王守新 关东媛 编
李 锋 王梅年
责任编辑:程树珍
责任校对:凌亚男
封面设计:田彦文

*

化学工业出版社出版发行
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京市彩桥印刷厂印刷
北京市彩桥印刷厂装订
开本 850×1168 毫米 1/32 印张 10 $\frac{3}{8}$ 字数 284 千字
1998 年 11 月第 1 版 2000 年 4 月北京第 2 次印刷
印 数:5001—7000
ISBN 7-5025-2121-6/G·609
定 价:15.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前 言

本书是基础力学课程系列教材之一，是根据高等工业学校《理论力学课程教学基本要求（70~80学时）》和《材料力学课程教学基本要求（80~90学时）》编写的，内容包括静力学和材料力学，可供70学时左右的工程力学课程选用。本书的编写注重内容的系统性和概念的完整性，全书86个例题和242个习题基本上可满足各专业的教学需要。

参加本书编写工作的有：王守新（第三、四、八、十一、十三章），关东媛（引言、第一、二、十章），李锋（第六、七、十二章），王梅年（第五、九章、附录）。全书由王守新主编。

大连理工大学郑芳怀教授对本书的编写提供了宝贵的建议。北京化工大学赵军同志对本书也提出了宝贵意见，我们在此表示由衷感谢。

限于水平，本书缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

编者

1998年2月于大连理工大学

目 录

引言	1
第一章 静力平衡方程	3
第一节 力 力矩 力偶	3
第二节 约束 约束反力 受力图	6
第三节 力的投影	11
第四节 力线平移定理	13
第五节 力系的合成	14
第六节 静力平衡方程	21
第二章 材料力学基本概念	40
第一节 材料力学的基本假设	40
第二节 杆件的基本变形形式	41
第三节 内力 截面法	41
第四节 应力	43
第五节 位移 变形 应变	44
第三章 轴向拉伸和压缩	46
第一节 概述	46
第二节 轴力 轴力图	46
第三节 拉(压)杆横截面上的应力	48
第四节 材料在轴向拉伸(压缩)时的力学性质	49
第五节 许用应力 强度条件	55
第六节 拉(压)杆的变形 虎克定律	59
第七节 拉(压)静不定问题	62
第八节 应力集中	69
第九节 拉(压)杆连接部位的强度计算	70
第四章 扭转	84
第一节 概述	84
第二节 扭矩 扭矩图	85

第三节	薄壁圆筒的扭转 纯剪切	86
第四节	圆轴扭转时横截面上的应力	88
第五节	圆轴扭转强度条件	91
第六节	圆轴扭转变形 刚度条件	92
第七节	扭转静不定问题	96
第八节	非圆截面杆扭转简介	97
第五章	弯曲内力	103
第一节	概述	103
第二节	剪力和弯矩	104
第三节	剪力方程和弯矩方程 剪力图和弯矩图	107
第四节	弯矩、剪力与分布荷载集度之间的关系	111
第五节	平面刚架的内力图	116
第六章	弯曲应力	122
第一节	概述	122
第二节	弯曲正应力	122
第三节	弯曲剪应力	128
第四节	梁的正应力和剪应力强度条件	133
第五节	非对称截面梁的平面弯曲 弯曲中心的概念	136
第六节	提高弯曲强度的措施	139
第七章	弯曲变形	149
第一节	概述	149
第二节	挠曲线近似微分方程	150
第三节	积分法求梁的变形	151
第四节	叠加法求梁的变形	156
第五节	梁的刚度校核	163
第六节	提高弯曲刚度的措施	165
第七节	简单静不定梁	166
第八章	应力状态分析 强度理论	174
第一节	应力状态的概念	174
第二节	平面应力状态分析	175
第三节	三向应力状态的最大应力	182
第四节	广义虎克定律	183
第五节	常用的四个古典强度理论	186

第九章 组合变形	198
第一节 概述	198
第二节 斜弯曲	198
第三节 拉伸(压缩)与弯曲的组合	203
第四节 偏心拉伸(压缩)	206
第五节 弯曲与扭转的组合	208
第十章 能量法	217
第一节 概述	217
第二节 杆件的变形能	217
第三节 单位荷载法 莫尔积分	222
第四节 图乘法	230
第十一章 压杆稳定	239
第一节 概述	239
第二节 细长压杆的临界力	240
第三节 欧拉公式的适用范围	244
第四节 压杆的稳定校核	247
第五节 提高压杆稳定性的措施	249
第十二章 动荷问题	254
第一节 概述	254
第二节 等加速直线运动和等速转动构件的应力和变形	254
第三节 冲击应力和变形	258
第十三章 疲劳	266
第一节 交变应力	266
第二节 疲劳	268
第三节 持久极限	269
第四节 对称循环构件疲劳强度校核	271
第五节 提高构件疲劳强度的措施	271
附录 I 截面图形的几何性质	274
第一节 静矩和形心	274
第二节 惯性矩 惯性积	277
第三节 平行移轴公式	281
第四节 转轴公式 主惯性轴	285
第五节 组合截面图形的形心主惯性矩	288

附录 I 型钢表	293
习题答案	307

引 言

工程结构和机械是由若干构件组成的。在机械力（简称力）的作用下，只有每一个构件都正常工作，才能保证结构和机械整体正常工作。因此工程力学的研究对象是一个个的构件，主要是杆件。

作用在物体上的一组力称为一个力系。物体在力系的作用下相对惯性参考系（通常为地球）静止或匀速直线运动，称为处于平衡状态，力系称为平衡力系。工程力学主要研究平衡的工程结构和机械。

力系作用到物体上会引起两种效应：一种是引起物体机械运动状态改变，称为外效应，平衡是外效应中的特殊情况；另一种是引起物体变形，称为内效应。

工程力学包含两部分内容：静力学和材料力学。

静力学研究力的外效应中的平衡规律，其主要内容有力系的简化和平衡方程。力系的简化是用简单力系等效代替复杂力系，这需把研究对象视为刚体，即不变形的物体。当物体变形很小或变形对所研究问题无实质性影响时，可将其抽象为刚体。本书第一章为静力学的主要内容。

材料力学研究力的内效应，这时应把研究对象看成变形体。其主要内容为研究杆件正常工作所需满足的力学条件，这些条件包括强度、刚度和稳定性等条件。

强度是指构件抵抗破坏的能力。构件在力的作用下可能断裂或发生显著不可恢复的变形，这二者都属于破坏，构件应具有足够的强度以防止发生破坏。

刚度是指构件抵抗变形的能力，这里变形包括构件尺寸改变和形状改变。有些构件对变形有一定要求，如机床主轴变形过大会降低加工精度，车辆弹簧变形过小起不到缓冲作用。这类构件除了应满足强度要求外，还应具有适当的刚度，以把变形控制在设计范围之内。

稳定性是指构件维持原有平衡形式的能力，或平衡形式的抗干扰能力。轴向受压直杆压力过大时，任何微小干扰都会破坏它的平衡状态，这是不允许的。这类构件应具有足够的稳定性以防止干扰带来的损害。

材料力学的任务是研究杆件的强度条件、刚度条件和稳定性条件，为经济合理地设计杆件提供基本理论和方法。

材料力学中，实验方法占有重要地位。理论的建立和验证，材料性能的研究，以及理论尚未解决的问题等，都要通过实验方法解决。因此，研究材料力学问题，理论研究和实验分析二者不可缺一。

第一章 静力平衡方程

第一节 力 力矩 力偶

一、力的形式

作用在物体上的力按作用方式可分成两类：体积力和表面力。连续分布在物体内部各点的力是体积力，如重力、磁力等。作用在物体边界面上的力是表面力，如齿轮啮合力、水闸受到的水压力等。

当力的作用面面积很小时，可以简化为作用在一点上的一个力，称为集中力，用一条有向线段表示，如图 1-1 (a)，单位为牛顿 (N) 或千牛顿 (kN)。力的作用范围比较大时称为分布力。体积力和表面力都可以简化为分布力。均质长杆的自重可以简化为作用在轴线上的分布力，称为线分布力，其大小用分布力集度 $q(x)$ (单位长度上的力) 表示，如图 1-1(b)，单位为千牛/米 (kN/m)。 $q(x)$ 是常数时称为均布力，或均

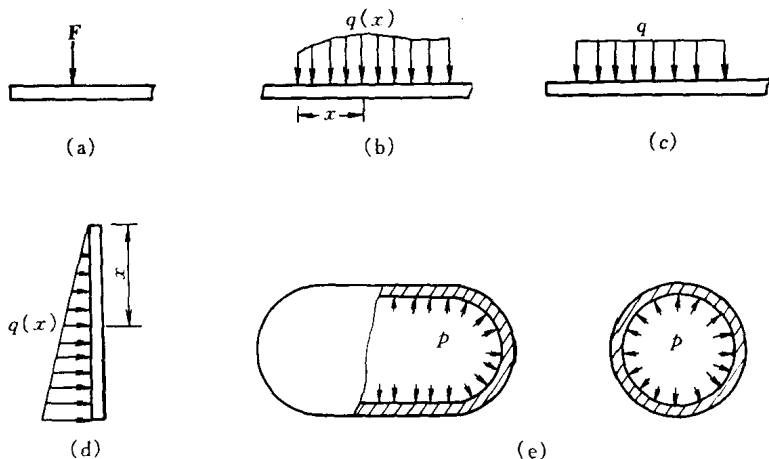


图 1-1

布荷载,如图 1-1(c)。图 1-1(d)是水闸受到静水压力作用时线分布力的简化图。容器受内压力作用,内压力可简化为面分布力,用 p 表示,如图 1-1(e),单位为牛顿/米²(N/m²)。

力是矢量,其运算符合矢量代数运算法则。本书中力的符号如 F , q 等只表示力的大小,力的方向和力的作用点则在图上表示。

二、力矩

作用在自由体上的一个力一般会引起物体移动和转动,如图 1-2。作用在有固定支点的物体上的力会引起物体绕支点转动,如图 1-3。平面问题中,力 F 对物体产生的绕某点 O 的转动效应的大小,与力 F 的

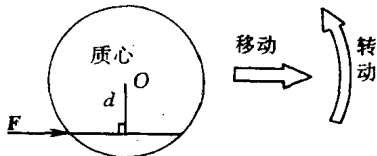


图 1-2

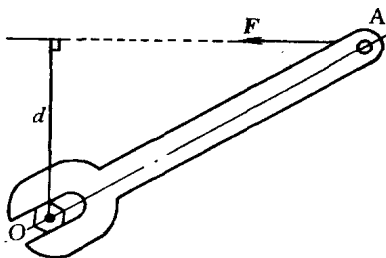


图 1-3

大小成正比,与 O 点到力 F 作用线的垂直距离 d 成正比(图 1-2, 图 1-3)。因此可用乘积 Fd 来度量力 F 使物体绕 O 点的转动效应,称为力 F 对 O 点之矩,简称力矩,记为 $m_o(F)$,即

$$m_o(F) = \pm Fd \quad (1.1-1)$$

O 点称为力矩中心,简称矩心; d 称为力臂,力 F 使物体绕矩心 O 逆时针转动时力矩为正,顺时针为负。力矩的单位是牛顿米 (N·m) 或千牛顿米 (kN·m)。

力的作用线通过矩心时,力矩为零。

空间问题中物体是绕着某个轴转动的,称为定轴转动。推门时作用在门上的力 F 可按平行四边形法则分解为两个力:平行于转动轴 z 的分力 F_z 和垂直于 z 轴的分力 F' ,如图 1-4(a)。其中 F_z 对门没有转动效应,因此,力 F 引起的门的转动效应,取决于其分力 F' 。将力 F' 对 O 点之矩定义为力 F 对 z 轴之矩以度量力 F 产生的绕 z 轴的转动

效应, 记为 $m_z(F)$, 即

$$m_z(F) = m_o(F') = \pm F' d \quad (1.1-2)$$

O 为通过力 F 的作用点垂直于 z 轴的平面与 z 轴的交点, d 为力 F' 对 O 点的力臂。正负号可用右手螺旋法则判定: 右手四指沿分力 F' 的指向握住 z 轴, 拇指与 z 轴正向一致时力矩取正号, 反之为负, 见图 1-4 (b)。

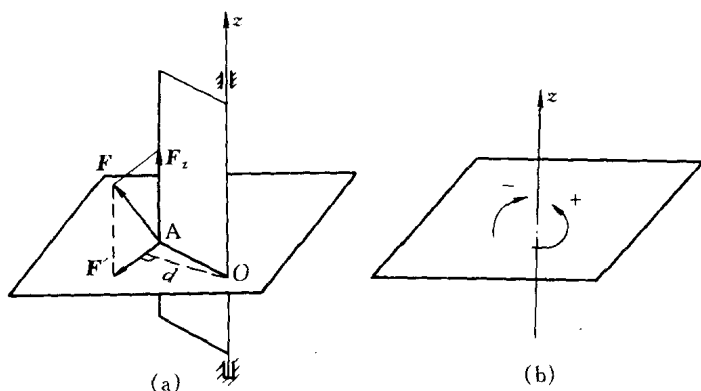


图 1-4

力 F 的作用线与 z 轴共面 (平行或相交) 时, 力对 z 轴的矩为零。

三、力偶

作用在同一物体上等值、反向、不共线的两个力称为力偶 (图 1-5), 记为 (F, F') 。两个力所在平面称为力偶作用面, 两力作用线的距离 d 称为力偶臂。双手操纵方向盘, 拧水龙头等, 都可以近似看作力偶作用。

力偶对刚体只产生转动效应, 没有移动效应, 这与一个力单独作用时是不同的。因此, 力偶不能与一个力等效, 也就不能与一个力平衡。

力偶的转动效应分别与力偶中力 F 的大小、力偶臂 d 的大小成正比, 与力偶的作用面也有关。因此可用乘积 Fd 来度量力偶的转动效应, 称为力偶矩, 记作 $m(F, F')$ 或简记为 m , 即

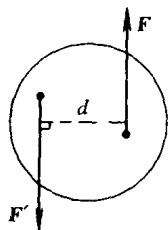


图 1-5

$$m = m(\mathbf{F}, \mathbf{F}') = \pm Fd \quad (1.1-3)$$

平面问题中, 力偶中两力逆时针转向取正号, 顺时针取负号。力偶矩的单位是牛顿米 ($\text{N} \cdot \text{m}$) 或千牛顿米 ($\text{kN} \cdot \text{m}$)。

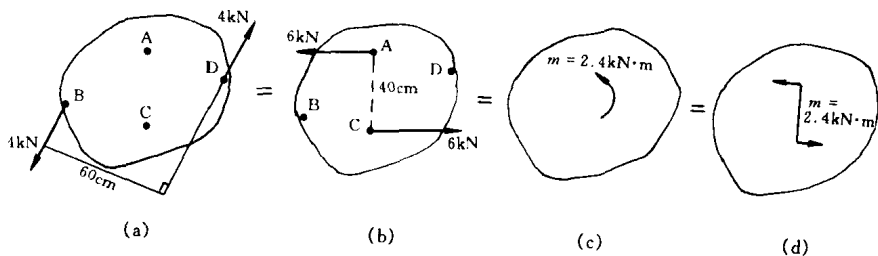


图 1-6

力偶的三要素为: 力偶矩的大小、转向和作用面。无论力偶中两力的大小、方向、作用点以及力偶臂 d 在力偶作用面内如何变动, 只要力偶矩的大小和转向保持不变, 力偶对刚体的转动效应就不变, 如图 1-6(a), (b)。因此在力偶作用面内可像图 1-6(c) 或图 1-6(d) 那样表示力偶, 其中 m 表示力偶矩的大小, 箭头表示力偶转向, 而不必再细究力和力偶臂的具体情况。

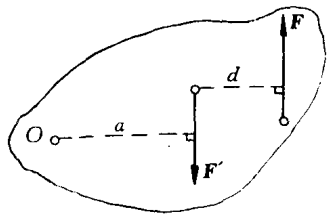


图 1-7

力偶对其作用面内任一点 O 的力矩, 为力偶中两力对该点力矩的代数和。从图 1-7

可求出此代数和为

$$m_o(\mathbf{F}) + m_o(\mathbf{F}') = F(a + d) - F'a = Fd = m(\mathbf{F}, \mathbf{F}')$$

因此, 力偶中两力对力偶作用面内任一点力矩的代数和是个常数, 这个常数就是该力偶的力偶矩。

综上所述, 描述作用在物体上的力有三种基本形式: 集中力、分布力和力偶。

第二节 约束 约束反力 受力图

工程中的物体一般都与其他物体相联系, 其运动 (包括平移和转

动)也自然受到其他物体的限制。当选定一部分物体作为研究对象以后,那些限制研究对象运动的物体就称为该研究对象的约束。例如支座是桥梁的约束,轴承是转动轴的约束,起重钢索是起重物的约束等。约束对物体的作用力称为约束反力,简称反力。约束反力的作用点是物体与约束的接触点,约束反力的方向则与它所能阻碍的物体运动方向相反。常见的典型平面约束有以下几种。

1. 柔索约束

柔索的特点是只能承受拉力,不能承受压力或抵抗弯曲,如绳子、链条等。柔索只能限制物体沿柔索伸长方向的运动,所以柔索约束反力为沿着其中心线而背离物体的拉力,如图 1-8 所示吊索对重物的反力 T_A 和 T_B 。

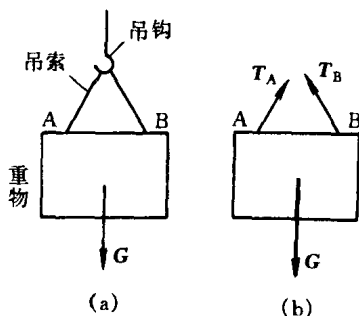


图 1-8

2. 光滑接触面约束

当忽略摩擦时,两物体之间的接触面就可视为光滑的。光滑接触面约束只能限制物体沿接触面公法线方向的运动,所以约束反力应通过接触点并沿着该点的公法线指向研究对象,如图 1-9 中的反力 N , N_A , N_B , N_C 等。

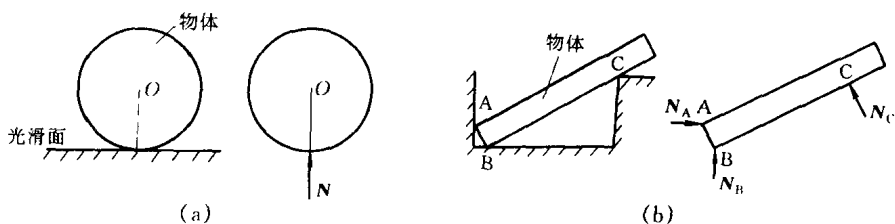


图 1-9

3. 光滑铰链约束、固定铰支座、可动铰支座

圆柱形铰链简称圆柱铰,或中间铰,它是用销钉 C 将 A, B 两个构件连接在一起而成,见图 1-10 (a)。当忽略摩擦时,销钉只限制两构件的相对移动,而不限限制相对转动。具有这样性质的约束称为光滑铰链约束。图 1-10 (b) 为其简图。

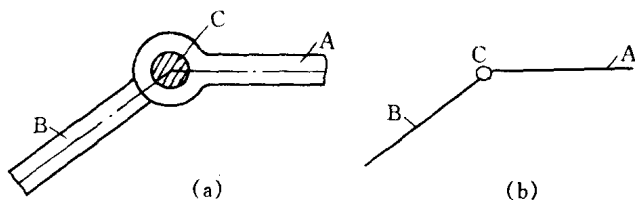


图 1-10

用圆柱铰把构件与底座连接起来，就构成铰支座。如果将铰支座固定在支承面上，则称为固定铰支座。这种支座的约束特点是构件只能绕销钉中心线转动而不能移动。销钉给予构件的约束反力 R 应沿二者接触面在接触点的公法线方向且通过销钉的中心，见图 1-11 (a)，由

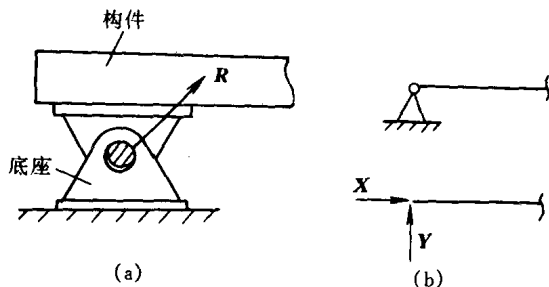


图 1-11

于接触点的位置尚不能确定，故反力 R 的方向不确定。一般可用 R 的两个正交的分量 X 和 Y 来表示。图 1-11 (b) 是固定铰支座及其反力的简图。

如果铰支座通过滚柱放置在支承面上，则称为可动铰支座，其约束特点是只能限制构件产生垂直于支承面的移动。所以约束反力 R 应垂直于支承面并通过销钉中心，如图 1-12 是可动铰支座及其反力的简图。

4. 固定端

约束把物体牢牢地固定，使其不能产生任何相对运动，这种约束称为固定端。固定端既限制物体任意方向的移动，又限制转动，因此

约束反力有三个分量：限制移动的反力 X 、 Y 与限制转动的反力偶 m (图 1-13)。

支座的约束反力简称为支反力。物体除受约束反力作用外，还受到像重力、推力、动力等力的作用，这些力可统称荷载。和约束反力不同的是，荷载能主动改变物体的运动状态，而约束反力则无此作用。荷载是主动作用在物体上的力，其大小和方向一般可预先给定，称为主动力。物体受到荷载作用后才会产生

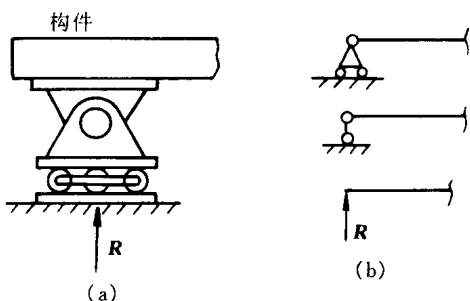


图 1-12

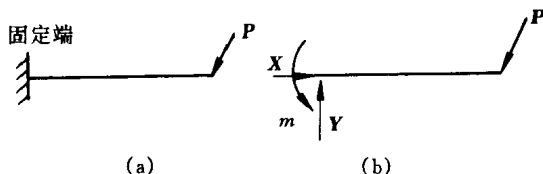


图 1-13

约束反力，因此约束反力是被动力，其大小一般是未知的，方向(或作用线)可根据约束的特点确定。

解决力学问题首先要求选取研究对象，把它从与其有联系的物体中分离出来(此过程称为取分离体)，然后逐个分析分离体所受的全部荷载与约束反力(此过程称为受力分析)，最后把这些荷载与约束反力画在分离体上，所得图形称受力图。画受力图是解决工程力学问题的一个重要步骤，对此应有足够的重视。

例 1-1 梁 AB 两端为铰支座，在 C 处受荷载 P 作用如图 1-14 (a)。不计梁的自重，试画出梁的受力图。

解 取 AB 梁为研究对象，画其受力图，见图 1-14 (b)。

例 1-2 试画出图 1-15 (a) 所示装置中下列物体的受力图：(1) 滑轮 B；(2) 斜杆 CD；(3) 横梁 AB (均不考虑自重)。

解 (1) 画滑轮 B 的受力图。