

569835

332
2824

力学基础知识

徐集榆

青海人民出版社

力学基础知识

徐集榆

青海人民出版社

内 容 提 要

本书分静力学、运动学、动力学和材料力学四章。静力学讲物体的受力分析和平衡条件；运动学讲刚体运动的基本规律，动力学讲力和运动的关系；材料力学讲力和变形的关系及简单构件的强度计算。叙述中避开了高等数学的应用，内容浅显易懂，联系实际。

本书可供具有中等文化程度的职工自学亦可作为业余技术教学参考。

力 学 基 础 知 识

徐 集 榆

青海人民出版社出版

（西宁市西关大街76号）

青海省新华书店发行 青海新华印刷厂印刷

787×1092毫米 1/32 6.5印张 142,000字

1979年2月第1版 1979年2月第1次印刷

印数 1—50,000

书号 13097·32 定价 0.46元

目 录

第一章 静力学	1
第一节 物体的受力分析	1
一、力的概念	1
二、作用力和反作用力	4
三、约束和约束反力	5
四、构件受力分析和受力图	8
第二节 力的合成和分解	13
一、平行四边形法则	15
二、力在坐标轴上的投影	18
第三节 力矩和力偶矩	25
一、力矩	25
二、力偶和力偶矩	30
三、力的平移	35
第四节 物体的平衡条件	38
一、平面汇交力系的平衡条件	38
二、力矩和力偶矩的平衡条件	39
三、平面任意力系的平衡条件	40
四、物体的重心	43
第五节 摩擦	51
一、滑动摩擦	52
二、滚动摩擦	56
第二章 运动学	63

第一节 匀速直线运动	64
一、速度	64
二、路程时间图	66
第二节 匀加速直线运动	69
一、瞬时速度和加速度	69
二、匀加速直线运动的规律	70
三、自由落体运动	74
四、垂直上抛运动	75
第三节 匀速圆周运动	77
一、线速度	78
二、角速度	79
三、向心加速度	80
第四节 匀加速圆周运动	82
第五节 复合运动	86
一、速度的分解与合成	86
二、抛物运动	88
第三章 动力学	94
第一节 动力学基本定律	94
一、动力学基本定律	94
二、动力学基本定律应用举例	98
第二节 惯性力	106
一、惯性力的概念	106
二、离心力	107
三、机器的平衡	108
四、离心力问题计算举例	113
第三节 转动动力学	117
一、转动惯量	117

二、转矩和惯性矩	119
第四节 动量和冲量	124
一、动量和冲量	124
二、动量守恒定律	126
三、动量和冲量计算举例	127
第五节 功和能	130
一、功	130
二、动能	131
三、动能守恒定律	135
四、重力势能	137
第六节 功率和效率	143
一、功率	143
二、机器的效率	145
三、功能原理	146
第四章 材料力学	150
第一节 材料力学基本概念	150
一、力和变形	150
二、应力和应变	150
三、虎克定律	153
四、材料力学的基本内容	154
第二节 金属材料的力学性能	155
一、强度	155
二、塑性	156
三、硬度	157
四、韧性	157
五、弹性模量	158
六、材料的许用应力	159

第三节 拉伸与压缩	160
一、拉伸和压缩的应力	160
二、拉伸和压缩的强度核算	160
三、拉伸和压缩的应变	162
四、应力与应变的关系	162
第四节 剪切	166
一、剪切的应力和应变	166
二、剪切的强度核算	167
第五节 扭转	169
一、扭转的应力与应变	169
二、抗扭惯性矩和抗扭截面系数	171
三、扭转的强度核算	174
四、扭转的角度	177
第六节 弯曲	179
一、弯曲的应力和变形	179
二、抗弯截面系数	180
三、弯矩的计算	183
四、弯曲的强度核算	185
五、梁的弯曲挠度计算	194
附录 1 符号及其所代表的意义	197
附录 2 习题答案	198

第一章 静 力 学

物体受到力的作用后,可能发生以下三种情况:(1)保持平衡,(2)改变运动状态,即改变运动的速度和方向,(3)发生变形和破坏。这些,我们叫做力的作用效果。静力学是研究物体平衡问题的一门学问。

什么叫平衡?我们知道世界上一切物质都是运动的,但运动的形式各种各样,最简单的运动形式是物体只有位置变化的机械运动。物体的平衡是机械运动的一种特殊形式,它是指物体相对于周围物体保持静止或作匀速直线运动的状态。

静力学所研究的物体有个假定,也即这种物体在力的作用下是绝对不变形的所谓刚体。其实严格的讲,绝对不变形的刚体客观上不存在,即使是坚硬的钢铁,在力的作用下也总要或多或少发生不同程度的变形。譬如起重机大梁,工作中巍然挺立,其实也有微小的变形。因为这种微小的变形对平衡问题的研究影响不大,所以可以忽略不计。我们把受力物体假定为不变形的刚体,就能使静力学所研究的平衡问题大为简化。本章中所讲的物体都是指的刚体。

至于物体在力的作用下,运动状态的改变,我们将在第三章动力学中讨论。物体在力的作用下的变形问题,将在第四章材料力学中讨论。

第一节 物体的受力分析

一、力的概念

人们在生活中积累了丰富的力的感性认识,人拉车子,

起重机吊东西，拖拉机犁地等等，随时随地都可感到力的作用和力的存在。力就是物体之间的相互机械作用。

自然界中物体之间的相互机械作用形式是多种多样的，因此力也就有很多种。如地球吸引物体所产生的重力，分子之间的引力，弹簧的弹力，运动物体接触面上的摩擦力以及电力、磁力等等。

物体之间力的作用总是相互存在的，在分析物体的受力情况时，要注意谁作用于谁的问题，也即分清哪个是施力物体，哪个是受力物体，哪个是作用力，哪个是反作用力。

力对物体的作用效果，与力的大小、力的方向以及力的作用点有关。例如同样大小的力，若方向不同或作用在物体上的位置不同，作用效果将显著不同。这样的例子很多。总之，改变力的大小、方向和作用点这三者中任何一个因素，作用效果都将随之变化，因此把这叫作力的三要素。

力的大小是用测力器测定的。最常见的测力器就是弹簧秤，它是利用力和弹簧的变形成比例的原理做成的。为了比较力的大小，规定了力的单位。我们生活上常用的力的单位是〔斤〕和〔两〕。工业上我国规定力的单位是〔克〕、〔公斤〕和〔吨〕。英美则大多采用〔磅〕和〔盎司〕。此外，物理学上力的单位常用〔牛顿〕和〔达因〕。这些都是力的单位。在进行运算时，要注意单位的统一。上述力的单位可以换算，关系如下：

$$1\text{公斤} = \begin{cases} 0.001\text{吨} \\ 1000\text{克} \\ 2\text{市斤} \\ 9.8\text{牛顿} \\ 2.2\text{磅} \end{cases}$$

力是既有大小又有方向的量，可用带箭头的线段来表示，所以也叫作矢量。取适当的力的比例尺画一线段（如一厘米长代表多少公斤等），线段的长短就表示力的大小。线段的一端画上箭头，箭头的指向就表示力的方向。线段未带箭头的一端表示力的作用点。如图1—1就表示有大小、方向和作用点不同的三个力—— $\overline{P_1}$ 、 $\overline{P_2}$ 、 $\overline{P_3}$ 同时作用在物体A、B、C上。

矢量在书写时要在它所代表的符号上方划一横线，如图1—1中的 $\overline{P_1}$ 、 $\overline{P_2}$ 、 $\overline{P_3}$ 。若未划横线，则只表示力的大小不表示方向。

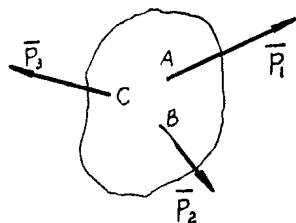


图 1—1

当一个物体同时受到几个力的作用时，我们把这一组力称为力系。如这一组力作用在同一平面上，称为平面力系。在平面力系中，如各力的作用点汇交于一点时，图1—2(a)，又进一步称为平面汇交力系。如为几个互相平行的力作用在同一平面上，如图1—2(b)，它称为平面平行力系。如为几个既不汇交又不平行的力作用在同一平面上，如图1—2(c)，它称

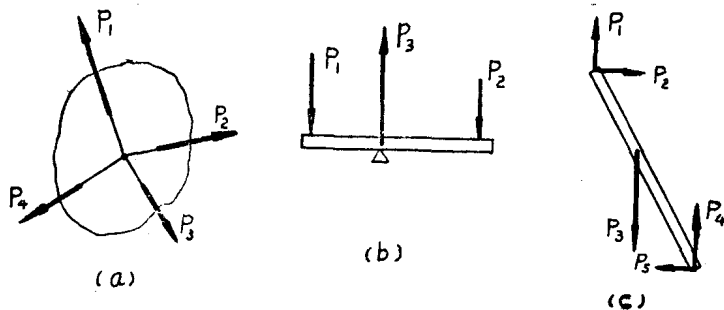


图 1—2

为平面任意力系。除了平面力系，还有空间力系，例如三角架受的力就是属于空间力系。在本书中。我们只分析平面力系的物体平衡问题。

二、作用力和反作用力

力是物体间的相互作用。甲物体对乙物体有力的作用，那末乙物体对甲物体也必有力的作用。把甲对乙的力叫作用力，则乙对甲的力就叫反作用力。反之，乙对甲的力叫作用力，则甲对乙的力就叫反作用力。至于哪个叫作用力哪个叫反作用力，视所分析的对象而定，它们是相对而言的。

作用力和反作用力是一对矛盾的两个方面，同时发生，互为依存。关于作用力和反作用力的完整概念是：“作用力和反作用力是分别作用在两个不同物体上的、大小相等、方向相反、作用在一条直线上、属于同一类性质的一对力。”

为了进一步弄清楚什么是作用力和反作用力，下面我们以前以电灯挂在天花板上为例（图1—3）进行分析。这个问题看来简单，其实存在三对作用力和反作用力。第一对是地球吸引电灯的作用力 G （即电灯的重力）和电灯吸引地球的反作用力 G' 。 G 作用在灯上， G' 作用在地球上。 G 和 G' 等值共线反向并作用在不同物体上，力的性质都是相互吸引力。第二对是电线和电灯之间的相互作用，电灯对电线的作用力 T' 和电线对电灯的反作用力 T 。

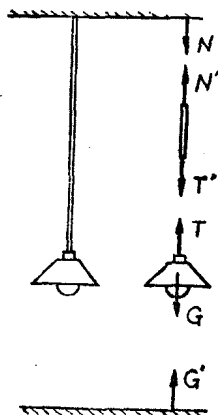


图 1—3

第三对是电线和天花板之间的相互作用，电线对天花板的作用力 N 和天花板对电线的反作用力 N' 。 T' 和 T 以及 N 和 N' 都是等值共线反向并作用在不同物体上的性质相同的作用力和反作用力的关系。

现在我们再来看作用在某一物体上的力，例如电灯上的 G 和 T ，它们是等值共线反向的，那末 T 和 G 是不是作用力和反作用力呢？我们说不是。因为 T 是电线对电灯的拉力， G 是地球对电灯的吸引力（电灯的重力），力的性质不同，对电灯来说， G 和 T 都是受到的作用力。这种作用在同一物体上的等值共线反向的一对作用力叫作平衡力。图1—3上的 G 和 T ， T' 和 N' ，都是平衡力。同样道理，图1—4上三个物体受到的 P_1 和 P_2 力也是平衡力。

我们切不可把某一物体受到的等值共线反向的平衡力误认为作用力和反作用力。

平衡力可以相加，其合力等于零。而作用力和反作用力是分别作用在两个物体上的力，无法平衡也无法相加，更不能认为合力等于零。

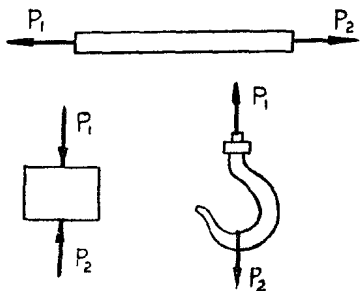


图 1—4

三、约束和约束反力

一个物体的受力情况和该物体受到的约束形式有关。例如轴在轴承中转动，受到轴承的约束；轮子在轨道上运动，受到轨道的约束；起重机吊钩的运动受到钢丝绳约束；桥梁的平衡受到桥墩的约束；放在地面上的物体受到地面的约束等等。在分析轴的受力情况时，轴承这个约束对轴的作用力

叫作约束反力。同理，在分析轮子的受力情况时，轨道对轮子的作用力也叫作约束反力。其余类推。

常见的约束和约束反力有如下几种：

(1) 柔性构件约束和约束反力

柔性构件是指皮带、钢丝绳、链条等传动零件。被这种柔性构件约束的分别是皮带轮、滑轮、链轮等零件。大家知道，柔性构件是只能承受拉力的。当我们分析柔性约束的受力情况时，这种柔性构件的约束反力则总是拉力，如图1—5中的 T 力。力的方向与柔性构件的方向相同。

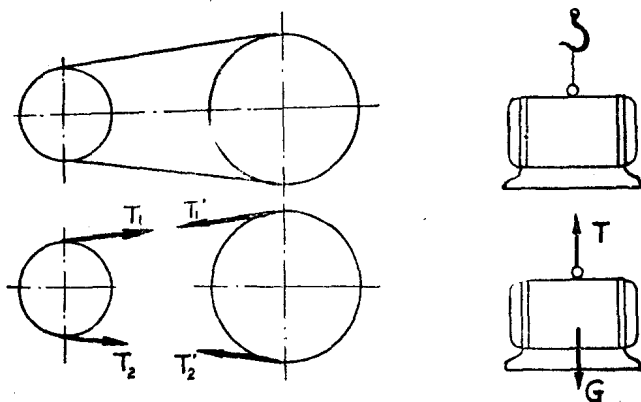


图 1—5

(2) 光滑表面约束和约束反力

光滑表面是指假定不存在摩擦力的表面。光滑表面对物体的约束也就是对物体的支承，约束反力即支承力。在假定不存在摩擦的情况下，支承力总是垂直指向支承面的压力，如图1—6中的 N_1 、 N_2 、 N_3 都是光滑表面的约束反力（支承力）。

(3) 铰链约束及约束反力

把用销钉连接的构件叫作铰链约束。铰链约束的反力与其支座的形式有关。

图1—7的梁两端铰链支座形式不同，左端 A 为固定铰链支座，右

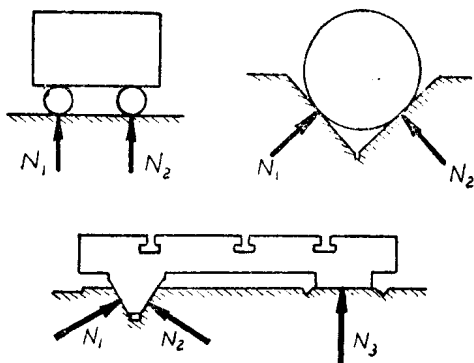


图 1—6

端 B 为滑动铰链支座。这两种铰链支座对杆（或梁）的约束反力不同。 A 端固定支座的约束反力 N_A 通常是倾斜的，倾斜的方向视具体情况而定，一般可用互相垂直的 N_{xA} 和 N_{yA} 两个反力表示之。 B 端滑动支座的约束反力和光滑表面的约束反力相同，只有一个向上的 N_B ，方向与接触面相垂直，并指向销孔的圆心。

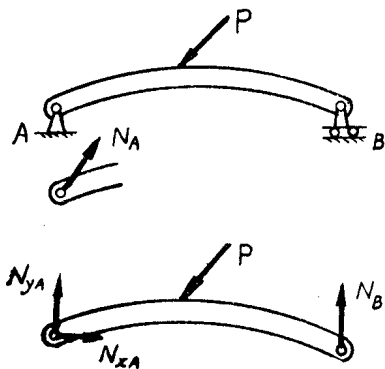


图 1—7

(4) 轴承对轴的约束及约束反力

轴承对轴的约束反力视轴承的类型而定。对于如图1—8所示的滑动轴承和滚动轴承，对轴的约束反力和固定铰链支座的情况相似，倾斜的指向轴心线，也可用互相垂直的两个反

力 N_x 和 N_y 表示之。

四、构件受力分析和受力图

以上讨论了各种约束及约束反力，下面我们来分析几个构件的受力情况，并学会如何画构件的受力图。

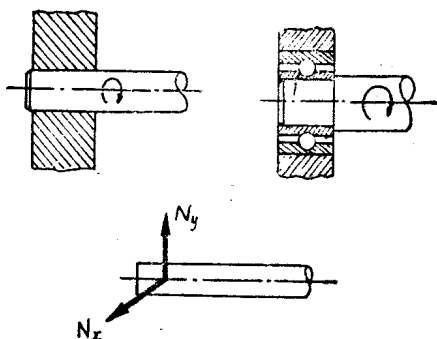
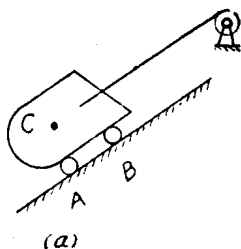


图 1—8

在分析构件受力情况时，首先要明确

分析的对象。譬如钢丝绳拉着吊钩，吊钩吊着物体，我们是分析钢丝绳的受力情况，还是分析吊钩或被吊物体的受力情况，一定要明确。

明确分析对象之后，为了画出它的受力图，要把该物体从约束中分离出来，然后根据约束的形式画上约束反力。



取分离体和画受力图是静力学处理物体平衡问题的基本方法。下面我们举几个例子来学会这一方法。

【例1】图1—9为一料车，设料车的自重和料重为 G ，重心在 C 点，今由

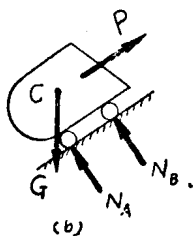


图 1—9

钢丝绳牵引料车沿着倾斜的轨道上升，若轮子和轨道间的摩擦不计，试分析料车的受力情况，并画出它的受力图。

我们说过，首先要明确分析对象，本题的分析对象是料车而不是其它。其次要把分析对象——料车从其受到的约束中分离出来，然后分析料车受到的约束反力，也即料车受到的作用力。

料车受到柔性构件钢丝绳的约束，钢丝绳给料车的约束反力一定是拉力，方向沿着钢丝绳，此力在料车的分离体图上以 P 表示之。料车的重力 G 是地球对料车的约束反力，方向总是垂直向下，重力的作用点在料车的重心 C 上，因此可通过 C 点作重力 G 。料车轮子受倾斜轨道的约束，因为假定是光滑表面接触，不计摩擦，所以轨道对轮子的约束反力 N_1 和 N_2 垂直接触面并指向轮心。这样，料车的受力图就如 图 1—9 (b) 所示。

【例2】 用压板和螺钉将轴固定在 V 形铁上，如图 1—10(a)，试分析各零件的受力情况，并画出它们的受力图。

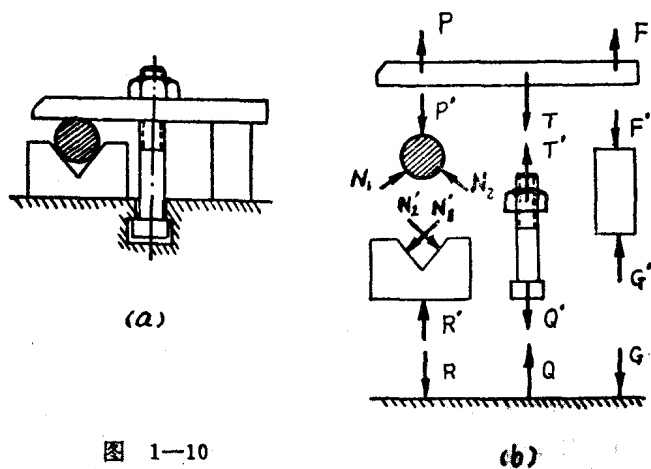


图 1—10

这个装置有螺钉、压板等好几个零件，各个零件之间互相约束，要一个一个地分别取分离体，然后画出它们的受力图。

图1—10(b)中， P 和 P' ， N 和 N' ， R 和 R' ， Q 和 Q' ， T 和 T' ， F 和 F' ， G 和 G' 都是成对的互相约束的反力，也即它们是作用力和反作用力的关系，等值共线反向，并作用在不同的物体上。

对于每一个物体来说，受力图上所表示的各力都是受到的作用力，如螺钉上的 T' 和 Q' ，压板上的 P 、 T 、 F ……等等。

【例3】 图1—11为一悬臂吊。设吊车自重 G 作用在重心 C 点，载荷为 Q ，位于横梁的 D 点；立柱的上端 A 为向心球轴承，下端 B 为止推轴承。试分析整台吊车的受力图和横梁 DE 及拉杆 DF 的受力图。

(1) 以整台吊车作为分析对象时(图1—11)，首先可在 C 点及 D 点画出重力 G 和载荷 Q ，然后分析上下轴承对立柱的约束。因为立柱上端 A 为向心球轴承，给立柱的约束反力可以 N_{xA} 和 N_{yA} 表示之。立柱下端为止推轴承，它对立柱的约束反力除 N_{xB} 和 N_{yB} 以外，还有一个 N_{zB} 。整台吊车的受力图如图1—11。当我们以

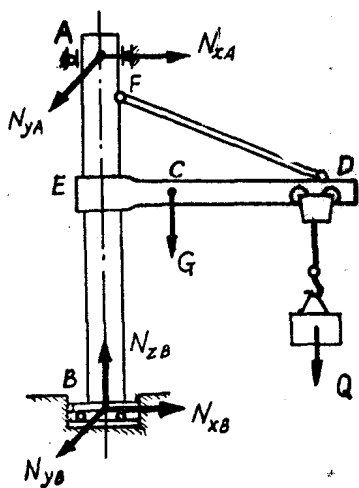


图 1—11