

中等专业学校试用教材

# 工 程 力 学

上 册

(理论力学部分)

鸡西煤矿学校 苏忠孝主编

人 民 教 育 出 版 社

中等专业学校试用教材

**工程力学**

上册

(理论力学部分)

鸡西煤矿学校 苏忠孝主编

·  
人民教育出版社出版

北京香厂路上海发行所发行

上海群众印刷厂印装

·  
开本 787×1092 1/32 印张 10 字数 240,000

1978年10月第1版 1979年3月第1次印刷

印数 1—110,000

书号 15012·090 定价 0.83元

本书是根据中等专业学校地质、矿冶类大多数专业对《工程力学》课程的基本要求编写的。

全书分上、下两册，上册为理论力学部分，其中包括静力学、运动学、动力学三篇共十五章。下册为材料力学部分，包括杆件的基本变形、组合变形、压杆稳定、交变应力、断裂力学简介等十章。每章末附有小结和习题。

本书由鸡西煤矿学校苏忠孝主编，参加编写工作的有鸡西煤矿学校郭文铸、刘振芬、卢士钦、叶元平和阜新煤矿学校刘连久。

本书可作为教学大纲规定学时为120—160的工科中等专业学校地质、矿冶类各专业《工程力学》课程的教材，也可供其他专业或有关工程技术人员参考。

## 序

在英明领袖华主席为首的党中央领导下，我国社会主义革命和社会主义建设进入了新的历史时期，科学、教育战线形势一派大好，中等专业教育面临着光荣而艰巨的任务。为适应当前教学的需要，我们根据中等专业学校地质、矿冶类专业对《工程力学》课程的基本要求编写了本教材。

我们在编写中力求用辩证唯物主义观点阐述教材内容，贯彻少而精原则，突出重点。在加强基础理论的同时，注意密切联系工程实际以培养学生分析问题和解决问题的能力。并努力反映先进科学技术，以适应我国实现四个现代化的需要。

为了满足不同专业的需要，编写时将上册的桁架、点的复合运动、刚体的平面运动、机械振动基础，下册的温差应力、圆柱形薄壁容器应力的计算等内容，基本上独立成章成节，以便教学时取舍。某些少学时专业不讲授的内容，采用小字排印。为了帮助学生总结复习，每章后附有小结和习题。

本书的编写大纲，由北京钢铁学校、沈阳冶金机械学校、胜利油田技术学校、长春地质学校、黑龙江省机械制造学校、抚顺煤矿学校、淮南煤矿学校、阜新煤矿学校、鸡西煤矿学校等校力学教研组的同志讨论、制定。

本书由鸡西煤矿学校苏忠孝主编，参加编写工作的有鸡西煤矿学校郭文铸、刘振芬、卢士钦、叶元平和阜新煤矿学校刘连久。

本书由淮南煤矿学校童本庆、李正伦、王晓曼和陕西煤矿学校刘文阁、牛新民审阅。

由于编者水平所限，加之时间仓促，书中谬误之处在所难免，  
热诚希望本书的读者提出批评指正。

编 者

一九七八年八月

## 本书的主要符号表

符 号	符 号 意 义	单 位	
		名 称	代 号
$F, Q, P, \dots$	作用力, 惯性力	牛 顿	N
$R$	法向反力, 合力		
$T$	柔性约束反力		
$G, W$	重 力		
$f$	摩 擦 力		
$F_x, F_y$	力 $F$ 沿 $x, y$ 轴的分力	千 牛 顿	kN
$F_x, F_y$	力 $F$ 在 $x, y$ 轴上的投影		
$q$	载荷集度	牛顿每米	N/m
$m_o(F)$	力 $F$ 对 $O$ 点之矩	牛 顿 米 牛 顿 毫 米	N·m N·mm
$M$	合力矩, 转矩		
$m_x(F)$ $m_y(F)$	力 $F$ 对 $x, y$ 轴之矩		
$m$	力 偶 矩	公 斤	kg
	质 量		
$\mu$	滑动摩擦系数		
$\varphi_m$	摩 擦 角	弧度、度	rad
$C$	平行力中心, 重心, 形心		
	弹簧刚度	牛顿每毫米	N/mm

符 号	符 号 意 义	单 位	
		名 称	代 号
A	面 积	平方米, 平方毫米	m <sup>2</sup> , mm <sup>2</sup>
	自由振动的振幅	毫米	mm
S	弧坐标, 路程	米, 毫米	m, mm
t	时 间	小时, 分, 秒	h, min, s
<b>v, u</b>	速 度		
$v_x, v_y$	速度 <b>v</b> 在 <i>x, y</i> 轴上的投影	千米每小时	km/h
$v_a$	动点的绝对速度	米每分	m/min
$v_r$	动点的相对速度	米每秒	m/s
$v_e$	动点的牵连速度		
<b>a</b>	加 速 度		
$a_x, a_y$	<b>a</b> 在 <i>x, y</i> 轴上的投影		
$a_\tau, a_n$	切向加速度, 法向加速度	米每秒二次方	m/s <sup>2</sup>
<i>g</i>	重力加速度		
$\omega$	角 速 度	弧度每秒	rad/s
	干扰力频率		
<i>n</i>	转 速	转 每 分	r/min
$\varepsilon$	角加速度	弧度每秒二次方	rad/s <sup>2</sup>
<i>I</i>	转动惯量	公斤米二次方	kg·m <sup>2</sup>
		公斤毫米二次方	kg·mm <sup>2</sup>
<i>W</i>	功	焦耳	J
<i>P</i>	功率	千瓦, 瓦特	kW, W
$\eta$	效率		
$E_k$	动能	焦耳	J
<b>p</b>	动量		
<b>s</b>	冲量	牛顿秒	N·s

# 上册目录

序 .....	v
本书的主要符号表 .....	vii
绪论 .....	1

## 第一篇 静力学

第一章 静力学的基本概念和公理 .....	3
§ 1-1 静力学的内容与基本概念 .....	3
§ 1-2 静力学基本公理 .....	5
§ 1-3 约束和约束反力 .....	8
§ 1-4 受力图 .....	15
小结 .....	19
习题 .....	20
第二章 平面汇交力系 .....	24
§ 2-1 平面汇交力系合成的几何法 .....	25
§ 2-2 力的分解 .....	27
§ 2-3 平面汇交力系平衡的几何条件 .....	28
§ 2-4 平面汇交力系合成的解析法 .....	30
§ 2-5 平面汇交力系平衡的解析条件 .....	34
小结 .....	37
习题 .....	37
第三章 平面力偶系 .....	40
§ 3-1 力对点之矩 合力矩定理 .....	40
§ 3-2 两个平行力的合成 .....	44
§ 3-3 力偶 力偶矩 .....	47
§ 3-4 同平面内力偶的等效定理 .....	49
§ 3-5 平面力偶系的合成与平衡条件 .....	51
§ 3-6 力的平移定理 .....	53



小结 .....	56
习题 .....	57
<b>第四章 平面任意力系</b> .....	<b>60</b>
§ 4-1 平面任意力系的简化 .....	61
§ 4-2 简化结果的分析 合力矩定理 .....	64
§ 4-3 平面任意力系的平衡条件 .....	65
§ 4-4 平面任意力系平衡方程的其它形式 .....	70
§ 4-5 平面平行力系的平衡方程 .....	73
§ 4-6 静不定问题的概念 .....	76
§ 4-7 物体系统的平衡 .....	76
§ 4-8 平面桁架杆件内力的计算 .....	78
小结 .....	83
习题 .....	84
<b>第五章 摩擦</b> .....	<b>91</b>
§ 5-1 滑动摩擦 .....	91
§ 5-2 考虑摩擦时的平衡问题 .....	96
§ 5-3 滚动摩擦 .....	100
小结 .....	103
习题 .....	104
<b>第六章 空间力系 重心</b> .....	<b>108</b>
§ 6-1 力沿空间直角坐标轴的分解 .....	108
§ 6-2 力对轴之矩 .....	111
§ 6-3 空间任意力系的平衡方程式 .....	113
§ 6-4 空间平行力系与空间汇交力系的平衡方程式 .....	116
§ 6-5 空间力系的平衡问题转化为平面问题的解法 .....	118
§ 6-6 平行力系中心与重心 .....	122
§ 6-7 几种求重心位置的方法 .....	127
小结 .....	133
习题 .....	134

## 第二篇 运 动 学

<b>第七章 点的运动</b> .....	<b>137</b>
-----------------------	------------

§ 7-1 运动学的研究对象	137
§ 7-2 点的运动规律	139
§ 7-3 点在直线运动中的速度和加速度	142
§ 7-4 点在曲线运动中的速度和加速度	148
§ 7-5 坐标法求点的速度和加速度	155
小结	160
习题	162
<b>第八章 刚体的简单运动</b>	<b>165</b>
§ 8-1 刚体的平动	165
§ 8-2 刚体绕定轴转动	166
§ 8-3 转动刚体上各点的速度和加速度	172
小结	175
习题	176
<b>第九章 点的复合运动</b>	<b>179</b>
§ 9-1 绝对运动、相对运动和牵连运动	179
§ 9-2 速度合成定理	181
小结	185
习题	186
<b>第十章 刚体的平面运动</b>	<b>188</b>
§ 10-1 平面运动的概念	188
§ 10-2 平面运动分解为平动和转动	189
§ 10-3 用速度合成法求刚体上各点的速度	192
§ 10-4 用瞬心法求刚体上各点的速度	195
小结	199
习题	200

### 第三篇 动力学

<b>第十一章 质点动力学基础</b>	<b>204</b>
§ 11-1 动力学的内容与基本定律	204
§ 11-2 力学单位制 质量和重量	208
§ 11-3 质点运动微分方程	209

§ 11-4	惯性力的概念 .....	217
§ 11-5	动静法及其应用 .....	219
§ 11-6	转动零件惯性力的平衡 .....	222
	小结 .....	226
	习题 .....	227
<b>第十二章</b>	<b>刚体动力学基础 .....</b>	<b>231</b>
§ 12-1	刚体转动动力学基本方程 .....	231
§ 12-2	转动惯量 .....	233
§ 12-3	刚体转动动力学基本方程的应用 .....	230
	小结 .....	243
	习题 .....	244
<b>第十三章</b>	<b>功与功率 .....</b>	<b>246</b>
§ 13-1	功 .....	246
§ 13-2	功率 .....	254
§ 13-3	机械效率 .....	258
	小结 .....	260
	习题 .....	261
<b>第十四章</b>	<b>动力学定理 .....</b>	<b>265</b>
§ 14-1	质点的动能与动能定理 .....	265
§ 14-2	刚体绕定轴转动的动能与动能定理 .....	269
§ 14-3	质点的动量与动量定理 .....	273
§ 14-4	不变力矩作用下转动刚体的角动量定理 .....	277
§ 14-5	物体的碰撞 .....	279
	小结 .....	284
	习题 .....	286
<b>第十五章</b>	<b>机械振动基础 .....</b>	<b>290</b>
§ 15-1	引言 .....	290
§ 15-2	自由振动 .....	292
§ 15-3	强迫振动 .....	297
§ 15-4	隔振与减振的概念 .....	304
	小结 .....	305
	习题 .....	306

# 绪 论

## 一、理论力学的内容

宇宙中的一切物质都是处在不断的运动中，物质运动的形式是多种多样的。在物质运动的各种形式之间，不仅存在着量的差别，而且还存在着巨大的质的差别，各有自己特有的规律性，对于这些特有的规律性的研究，就形成了各门不同的自然科学。

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。

所谓机械运动是指一物体相对于另一物体，或者是一物体的某些部分相对于另一些部分在空间的位置随时间的变化（包括任一物体对于其他物体的相对静止），例如机器的运转，飞机的航行，以及房屋、桥梁等相对于地球的静止等等。机械运动是自然界和工程实际中最常见、最简单的一种物质运动形式。但是，任何较复杂较高级的物质运动形式（如物理现象、化学变化以至人们的大脑思维活动等）也伴随有位置的变动，亦即与机械运动有一定的联系，而且在一定的条件下，可以互相转化。因此，理论力学的规律及其研究方法也在一定程度上渗透到其他自然科学的领域中。但是，理论力学远不能包罗或代替其他科学，较高级的运动并不能归结为较低级的运动。

理论力学研究的内容既然是机械运动，而平衡则是机械运动的一个特例，所以在理论力学中也研究物体平衡的规律。理论力学包括以下三部分：

静力学——主要研究受力物体平衡时这些力所应满足的条件——平衡条件。同时也研究力的基本性质和力系简化的规律。

运动学——撇开运动的物理原因（如力和质量），只从几何的

角度来研究物体的运动(如轨迹、速度和加速度等)。

动力学——研究物体的运动与它受的力之间的关系。

## 二、刚体与质点的概念

在工程实际中,当物体受到了力的作用以后,多少会产生一些微小的变形。如果在研究物体的机械运动时,考虑这些变形,那么就会使问题的解决变得非常复杂。为了使问题便于解决,我们在研究过程中暂时忽略这些变形,而把物体看成是刚体。所谓刚体,就是指在任何力的作用下,物体内任何两点间的距离永不改变的物体,也就是不会变形的物体。刚体是在理论力学中被抽象化了的模型,实际上,绝对的刚体是不存在的。但对工程中的固体材料而言,在大多数的情况下,它们的变形很小,因此在理论力学中把物体视为刚体所得出的结果与实际出入不大。但应注意刚体的概念不应绝对化,例如在材料力学中,物体受力后的变形是所研究问题的主要方面,虽然其变形很小,但也不能忽略,因此,刚体这一概念在材料力学的范畴内就不适用了。

在理论力学中,把物体看成刚体之后,问题就被简化了。但为了进一步地简化,有时还须把物体当作质点来处理。所谓质点,就是不计任何方向的尺寸而具有一定质量的物体。有时物体虽具有一定大小,但其大小对所研究的问题不起显著作用时,这个物体就可以视为质点。例如在研究地球绕太阳的运动时,因地球的大小比起它与太阳的距离来说,显得极为微小,在这种情况下,就可以略去地球体积的大小,而把它当作质点。

同一物体有时可以看作刚体,有时可以看作为质点,这要根据具体情况来决定。

所有物体都可以看作是由无数质点所组成的。刚体便是各个质点间的距离不变的质点系。在理论力学中,所说的“物体”一般都指刚体而言。

# 第一篇 静力学

## 第一章 静力学的基本概念和公理

### § 1-1 静力学的内容与基本概念

#### 一、静力学的内容

在工程实际中，有些物体在几个力的同时作用下处于平衡状态。静力学的任务就是研究物体在许多力作用下处于平衡状态时，这些力应满足的条件。因此，静力学各章中研究的主要问题是：

1. 力系的合成与分解；
2. 力系的平衡条件。

讨论力系的合成与分解既可以推导出力系的平衡条件，又为以后研究动力学作准备。

掌握力系的平衡条件，就可以求解作用于物体上的某些未知力，这是许多工程设计计算的基础，也是静力学中所要解决的主要问题。

#### 二、平衡的概念

所谓物体处于平衡状态，是指物体相对于周围物体保持静止或作匀速直线运动。例如建筑物相对于地面的静止，匀速直线前进的矿车等等。物体机械运动的这种特殊情况简称平衡。平衡是相对的，某物体平衡，必须指明它是相对于周围哪一物体而言。在静力学中所讨论的平衡一般都是指物体相对于地球(或机架)的平衡。

### 三、力的概念

在长期的生产实践中,人们逐渐认识到:物体的机械运动状态的改变,都是由于其他物体对该物体施加作用的结果。例如,自由下落的物体,其速度之所以愈来愈快,是由于地球吸引的缘故;在平地上滑动的物体,其速度所以逐渐减慢,是由于空气和地面作用的结果。我们把引起物体运动状态改变的这种作用叫做力。另外,力对物体的作用还可以改变物体的形状,因此,对力可作如下的定义:力是物体之间相互的机械作用,这种作用所产生的效应是使物体的运动状态发生改变和形状发生改变(即变形)。力使物体运动状态改变的效应,叫做力的外效应。而力使物体发生变形的效应,叫做力的内效应。理论力学只研究力的外效应,力的内效应将在材料力学中研究。

就力对物体的外效应来说,又可分为移动效应和转动效应两种。在一般情况下,力既使物体产生移动效应,又能使物体产生转动效应。

力对物体的效应,决定于下面三个因素:力的大小;力的方向;力的作用点。这三个因素叫做力的三要素。

为了表示力的大小,我们必须选择一个标准单位,本书中采用国际单位制,以牛顿(N)或千牛顿(kN)作为力的单位。

力是具有大小和方向的量,我们常用一个带箭头的线段来表示(图 1-1)。

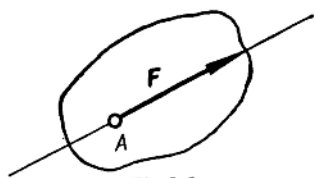


图 1-1

表示(图 1-1)。线段的长短按比例尺(即每单位长度代表多少牛顿)表示力的大小,箭头的指向表示力的方向,线段的起点(或终点)表示力的

作用点,通过力的作用点沿力方向的直线称为力的作用线。

在力学中有一些量,不仅要说明其大小,而且要指出其在空间

的方向,这样的量叫做矢量(向量)。例如,力、速度和加速度等。也有一些量,只有大小,并无方向,这样的量叫做标量。例如质量和时间等。

本书中矢量都用一个黑体字母代表,并以同一字母的普通字母来代表这个矢量的大小(模)。例如设用  $F$  表示某个力,则  $F$  只表示这个力的模。

#### 四、基本定义

为了便于以后的研究和叙述,首先明确下面一些定义:

1. 力系 同时作用在物体上的一群力称为力系。

2. 平衡力系 如果某一个力系作用在物体上,使物体处于平衡状态,则这个力系称为平衡力系。

3. 等效力系 若一力系对物体的作用,能以另一力系代替而不改变原力系对该物体的作用效果,则这两个力系互为等效力系。

4. 合力 如果一个力系和一个力等效,则这个力叫做这个力系的合力。力系中的其他各力叫做这个合力的分力。由已知力系求其合力称为力的合成。相反地,用一力系来代替一力,即由合力求分力称为力的分解。

### § 1-2 静力学基本公理

静力学的公理,是人类从长期的生活和生产实践中所积累起来的经验,加以抽象、归纳、总结而建立的。它揭示了关于力的最根本的规律,是静力学的基础。现分述如下:

公理一 (作用与反作用公理)一物体对另一物体有一作用力时,另一物体对此物体必有一反作用力。这两个力大小相等,方向相反,且作用在同一直线上。

这个公理概括了作用力和反作用力所服从的规律,表明一切



的力都是成对地出现的,而且分别作用在两个物体上,熟练地掌握这一公理,对于我们正确地分析物体的受力情况,画出准确无误的受力图有着重要的作用。

公理二 (二力平衡公理)作用在一个刚体上的两个力,若使刚体处于平衡,其必要和充分的条件是:两力大小相等,方向相反,且作用在同一直线上。此公理说明了一个刚体受两个力而平衡时,此二力所应满足的条件(图 1-2b、c)。

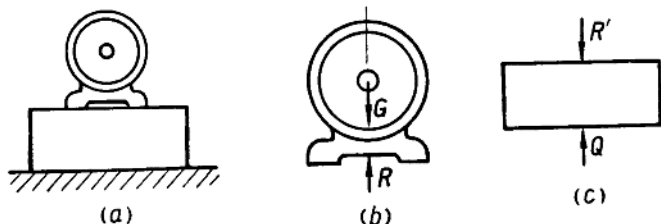


图 1-2

图 1-2a 是表示放置在基础上的一台电动机,而图 1-2b、c 则分别表示电动机和基础的受力情况。图中  $G$  和  $R$  同时作用在电动机上,由于电机平衡,因此  $G$  与  $R$  是一对平衡力。同理  $R'$  与  $Q$  也是一对平衡力。而  $R$  与  $R'$  则是反作用力与作用力,虽然它们等值、反向、共线,但是分别作用在电机和基础上,并不是本公理中所说的两个作用在同一物体上的力。因此,不能认为作用力与反作用力互相平衡或作用力与反作用力组成一个平衡力系。

公理三 (加减平衡力系公理)在已知力系上再加上或从其中减去任意一个平衡力系,并不改变原来的力系对物体作用的效果。

推论 (力的可传性原理)可以将作用在刚体上某点的力沿其作用线移到刚体内任意一点,并不改变此力对物体的作用。

证明如下: