

江苏省中等职业教育试用教材

机械专业

工程力学



江苏教育出版社

江苏省中等职业教育试用教材

工 程 力 学

《工程力学》编写组

江苏教育出版社出版

江苏省新华书店发行 镇江前进印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/32 印张6.75 字数143,200

1985年10月第1版 1985年10月第1次印刷

印数1—5,250册

书号: K7351·061 定价: 1.06元

责任编辑 朱宝栋

内 容 简 介

本书是按照江苏省教育厅关于编写职业中学教材的指示精神编写的。总学时100~110小时。可供具有初中毕业程度进入机械类职业班的学生使用，也可供机械类技工学校学生参考。

本书包括理论力学和材料力学两篇。前者主要介绍静力学、运动学和动力学；后者包括轴向拉伸与压缩、扭转、弯曲和组合变形等内容。为了便于学习，每章附有一定数量的习题，其中少量打•记号的习题，难度较大，仅供选择。

前 言

职业技术教育是开发智力,培养人才的重要途径,是国民经济持续发展的可靠保证,它同现代化建设有密切的关系。要进一步提高职业技术教育的质量,必须加强专业课教材的建设。为此,我们根据江苏省教育厅一九八三年十二月在苏州召开的全省职业中学校长座谈会上提出的关于编写教材的指示精神,编写了这本书。编写工作是在镇江市教育局、机械局直接领导下进行的。

本书是机械制造专业职业中学教材。主要内容包括理论力学、材料力学两篇,共十三章。其中:一至四章由陈建生同志编写;五至七章由徐韞同志编写;八至十章由王曼青同志编写;十一至十三章由游旭辉同志编写。教授本书需要 110 课时。

这本教材从职业中学的实际出发,力求结合机械工业生产实际。在内容处理方面,注意少而精,讲求实效,并注意实际应用;在编写上力求由浅入深,循序渐近,通俗易懂,使之具有针对性、科学性和系统性。本书既可作为职业中学教材,也可作为普通中学开设劳动技术课的教材,还可作为成人技术教育的培训教材。

本教材编入的习题,供教学中选用。目前,由于各职业中学学制情况不同,授课时数多少不等,因此,教学时数和内容,可依实际情况适当增减。

全书请江苏工学院倪德耀副教授审阅,南京动力专科学

校童桂庆副教授审定。另外,本书从组稿到定稿还得到很多同志热情指导和支持,在此一并表示谢忱。

由于我们经验不足,水平有限,书中缺点和错误难免。希望同志们在试用中提出宝贵意见,以便修改。

《工程力学》编写组

1985年3月

目 录

第一篇 理论力学

引 言	1
第一章 静力学基础	2
§ 1—1 力的概念	2
§ 1—2 平衡和平衡力系的概念	4
§ 1—3 力的基本性质	4
§ 1—4 约束和约束反力	8
§ 1—5 物体的受力分析与受力图	12
习题	15
第二章 平面汇交力系	20
§ 2—1 平面汇交力系的概念	20
§ 2—2 力的合成与分解	20
§ 2—3 平面汇交力系合成的几何法	22
§ 2—4 平面汇交力系平衡的几何条件	25
§ 2—5 平面汇交力系合成的解析法	29
§ 2—6 平面汇交力系的平衡方程及其应用	32
习题	37
第三章 平面一般力系	41
§ 3—1 力矩	41
§ 3—2 杠杆平衡条件	44
§ 3—3 力偶和力偶矩	47

§ 3—4	力的平移定理	50
§ 3—5	平面一般力系的平衡方程及应用	52
§ 3—6	平面平行力系	56
§ 3—7	静不定概念和静定桁架	59
习题		63
第四章 空间力系		71
§ 4—1	空间力系的概念	71
§ 4—2	力在空间直角坐标轴上的投影	72
§ 4—3	力对轴之矩	74
§ 4—4	空间力系的平衡方程及其应用	75
习题		78
第五章 摩擦		81
§ 5—1	滑动摩擦	81
§ 5—2	摩擦角和自锁条件	84
§ 5—3	考虑摩擦时物体的平衡问题	86
§ 5—4	滚动摩擦	88
习题		89
第六章 点的运动		92
§ 6—1	点的直线运动	92
§ 6—2	点的平面曲线运动	96
习题		101
第七章 刚体的定轴转动		104
§ 7—1	转动方程	104
§ 7—2	转动刚体上各点的速度及加速度	107
§ 7—3	功率、转速与转矩间的关系	110
§ 7—4	转动惯量	111
§ 7—5	定轴轮系的传动比计算	112

习题.....	115
---------	-----

第二篇 材料力学

引 言.....	118
第八章 拉伸和压缩.....	121
§ 8—1 拉伸和压缩的概念及实例.....	121
§ 8—2 内力、截面法.....	122
§ 8—3 拉伸(压缩)时横截面上的正应力.....	123
§ 8—4 轴向变形和虎克定律.....	125
§ 8—5 拉伸(压缩)时材料的机械性质.....	128
§ 8—6 许用应力和安全系数.....	131
§ 8—7 拉伸(压缩)杆件的强度计算.....	132
习题.....	133
第九章 连接件的强度计算.....	136
§ 9—1 剪切.....	136
§ 9—2 挤压.....	140
§ 9—3 剪切挤压的实用计算.....	140
§ 9—4 剪应变的概念、剪切虎克定律.....	143
习题.....	143
第十章 圆轴扭转.....	145
§ 10—1 扭转的概念.....	145
§ 10—2 扭矩和扭矩图.....	146
§ 10—3 圆轴扭转时的应力.....	150
§ 10—4 圆轴扭转时的强度计算.....	152
§ 10—5 圆轴扭转时的变形.....	155
习题.....	156
第十一算 弯曲.....	158

§ 11—1	弯曲的概念	158
§ 11—2	剪力和弯矩	160
§ 11—3	弯曲强度	169
§ 11—4	提高梁的弯曲强度的一些措施	178
§ 11—5	弯曲变形的概念	181
	习题	183
第十二章	组合变形	187
§ 12—1	组合变形的概念	187
§ 12—2	拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	188
§ 12—3	扭转与弯曲的组合变形	191
	习题	193
第十三章	压杆稳定和动应力	196
§ 13—1	压杆稳定的概念	196
§ 13—2	动应力和交变应力的概念	198
	习题	204

第一篇 理论力学

引言

理论力学是研究物体机械运动一般规律的一门科学。

机械运动是指物体相互之间在空间的相对位置随时间的变化。它是宇宙间所有物质运动的一种最简单的形式。

物体的平衡（如物体相对于地面保持静止或作匀速直线运动）是机械运动的特殊情况，所以也属于理论力学的范畴。但必须指出：在宇宙间不存在绝对的永久的平衡，一切平衡都只是相对的和暂时的。

理论力学是现代工程技术的基础，它与其它有关专业知识结合在一起，可以帮助我们解决实际的工程问题。

理论力学一般分成三部分：静力学、运动学和动力学。本篇主要介绍静力学，而对运动学和动力学只作扼要的介绍。

本篇的第一章至第五章是静力学，主要研究物体受力分析的基本方法、力系的简化以及物体在力系作用下的平衡条件。第六章是运动学，它研究物体运动的几何性质（如：点的运动轨迹、运动规律、速度和加速度等），暂不考虑那些影响物体运动的物理因素（如：力和质量）。第七章包含了运动学和动力学的部分内容。动力学研究作用于物体上的力与运动之间的关系。

第一章 静力学基础

静力学是研究物体在力作用下平衡规律的科学，介绍物体受力分析的基本方法及力系的简化与平衡。

§ 1-1 力的概念

一、力的概念

力是物体之间的相互机械作用，这种作用使物体的运动状态发生改变或者使物体发生变形。

总的来说，物体受到力作用后，总要产生一定的变形。在机械工程中，一般构件在力的作用下，它们的变形都很小。如果这种微小的变形对研究结果的影响极小，通常情况下，这些微小的变形可以忽略不计。即认为在力的作用下，物体的大小、形状仍保持不变。这种**在力的作用下不变形的物体称为刚体**。

本篇研究对象是刚体，无需考虑物体变形问题。

二、力的三要素

力是有大小的。大小不同的力对物体作用的效果也不相同。

为了度量力的大小，首先必须确定力的单位。在国际单位制中力的单位是牛顿(N)，简称牛。目前工程上还采用公制，最常用的力的单位是千克力(kgf)，千克力又名公斤力。牛顿和千克力之间的关系：

$$1 \text{ kgf} = 9.8 \text{ N}$$

力不仅有大小,而且有方向。推车时车向前运行,如果把作用力的方向倒过来,那么,小车就会被拉向后退。作用力的方向改变了,物体运动的方向也将发生变化。

力的作用效果

还和力在物体上的作用点有关。图 1 -

1 中,当推力作用在车把中点 A 时,

小车沿直线前进,

如果把这个力作用

在 B 点,小车前进

方向就会发生改变。

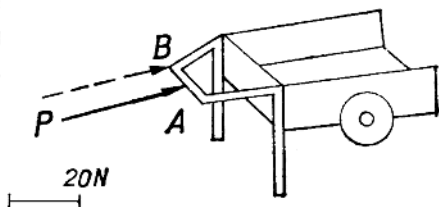


图 1 - 1

综上所述,力对物体的效应决定于三个因素:(1)力的大小;(2)力的方向;(3)力的作用点。

三、力的图示法

在力学中要区别两类量:标量和矢量。如果在确定某种量时,只要考虑它的大小,这类量称为标量。例如长度、温度、时间、质量都是标量;如果在确定某种量时,不但要考虑它的大小,而且要考虑它的方向,这类量称为矢量(或向量)。本篇中,用黑体字母代表矢量。力对物体的效应不仅决定于它的大小,而且还决定于它的方向,所以力是矢量。

力是矢量;可用有向线段(矢线)把力的三要素表示出来。矢线的始端(或末端)表示力的作用点,沿着力矢箭头的指向表示力的方向,力矢的长度(按比例尺)表示力的大小。通过力的作用点沿力的方向的直线,称为力的作用线。如图 1 - 1 中推小车的力按比例尺来量度,大小为 40 牛顿。

四、力系

作用在同一物体上的一组力,称为力系。

如果一个力系对物体的效应和另一个力系对该物体的效应相同,那么,这两个力系是等效力系。在理论力学中,等效力系可以互相替代。

§ 1-2 平衡和平衡力系的概念

若物体相对于地面保持静止或保持原来的运动状态(即物体运动的快慢和方向都不变),就说这个物体是处于平衡状态。例如地面上的建筑物就是处于平衡状态,在地面匀速直线前进的汽车也处于平衡状态。

作用于平衡物体上的力系叫做平衡力系。如前所述,作用于物体上的一个单独的力可以改变受力物体的运动状态。但是,物体在一个力系作用下,它的运动状态却不一定改变。因为某些力系中的各力,它们对物体在运动方面的作用互相抵消,不会改变它的运动状态,这样的力系就是平衡力系。

§ 1-3 力的基本性质

人类经过长期的实践、认识、再实践、再认识的过程,不仅建立了力的概念,而且还总结出力的各种性质,下面介绍力的四种基本性质。

一、力的可传性

在力的大小、方向不变的条件下,力的作用点的位置,可以在它的作用线上移动而不影响力对刚体的作用效果,这就

是力的可传性。在图 1-2 (a) 中, 直线 AB 就是力 F 的作用线, 当力 F 作用在 A 点时是推车, 当力 F 作用在 B 点时, 如图 1-2 (b) 所示, 则是拉车, 在这两种情况下, 只要力 F 的大小、方向不变, 其作用效果是完全相同的。

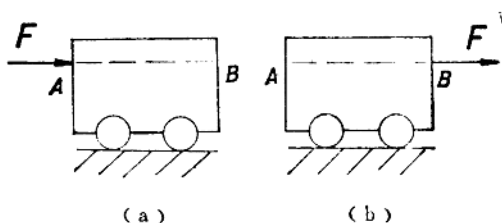


图 1-2

力的可传性, 只适用于刚体。而在材料力学中研究杆件变形时, 力的作用点就不能沿作用线任意移动了。

二、两力平衡条件

如图 1-3 所示的起重吊钩吊住一重物。该重物在重力 G 及绳子拉力 T 的作用下保持平衡。因此绳子拉力 G 与重力 T 必然是大小相等、方向相反、且作用在同一直线上。满足这个条件, 物体必然平衡。由此可得物体在两个力作用下保持平衡的条件是: 这两个力大小相等、方向相反、并沿同一作用线。

三、作用力和反作用力定律

物体间的机械作用是相互的, 因此力是成对出现的。当我们用手拉弹簧时, 手对弹簧有一个拉力, 而同时我们感到弹簧



图 1-3

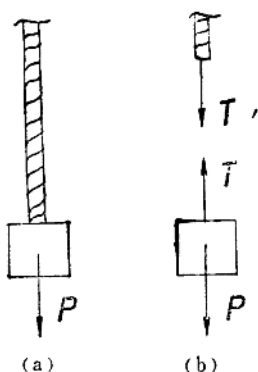


图 1-4

对手也有一个拉力作用；又如普通车床进行切削加工时，车刀对工件有一个切削力作用，同时工件对车刀也相应地有一个阻力作用；在图 1-4 (b) 中，当吊起重物时，钢丝绳给予重物的作用力为 T ，同时，重物必定会给钢丝绳一个反作用力 T' 。作用力和反作用力是同时存在的，它们大小相等，方向相反，沿同一作用线分别作用在两个物体上。这就是

作用力和反作用力定律。需要注意的是：作用力与反作用力虽然大小相等，方向相反，作用线相同，但它们是分别作用在两个不同物体上的一对力。这和物体的两力平衡条件有着本质的区别。

四、平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力，可以合成为一个力，其作用线也通过该点，其大小和方向用这两个已知力为边所构成的平行四边形的对角线表示，这称为力的平行四边形法则。

如图 1-5 (a) 所示，作用在物体 A 点上已知的两力 F_1 和

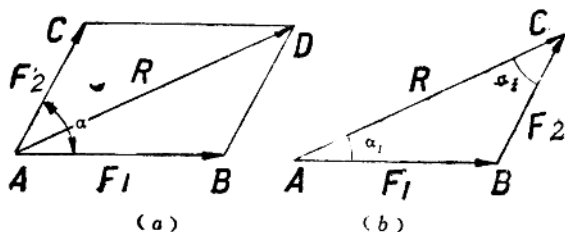


图 1-5

F_2 的合力为 R 。力的这种合成法则告诉我们：力的合成不能简单地采用算术相加的方法，而必须按矢量的运算法则几何相加。根据矢量加法的定义，上述力的平行四边形法则可用公式表示为：

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1-1)$$

为了求出合力 R 的大小和方向，可以用几何作图法，或利用几何关系计算。用几何作图法时，可选取适当的比例尺作成平行四边形，然后直接在图上量取对角线的长度，它按比例代表合力 R 的大小，对角线与分力间的夹角表示合力的方向，可用量角器量出。利用几何关系计算时，由于平行四边形对边相等，图 1-5 (a) 中上下两个三角形全等，因此在求合力 R 时，不必画出整个平行四边形，只画出其中的一个三角形就可以了。如图 1-5 (b)，先画任一已知力 $\mathbf{F}_1 = \overrightarrow{AB}$ ，再由 $\mathbf{F}_1$ 的矢量末端 B 为起点作出 $\overrightarrow{BC} = \mathbf{F}_2$ ，连接 $\mathbf{F}_1$ 的矢量起点 A 和 $\mathbf{F}_2$ 的矢量末端 C 得到的矢量 $\overrightarrow{AC}$ 就是合力 R 。这样画出的三角形叫力三角形。

根据余弦定理及正弦定理，合力 R 的大小和方向可用下式计算：

$$R^2 = F_1^2 + F_2^2 - 2 F_1 F_2 \cos(180^\circ - \alpha)$$

$$= F_1^2 + F_2^2 + 2 F_1 F_2 \cos \alpha$$

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2 F_1 F_2 \cos \alpha}$$

$$\frac{R}{\sin \alpha} = \frac{F_1}{\sin \alpha_2} = \frac{F_2}{\sin \alpha_1}$$

如果先画 $\mathbf{F}_2$ ，后画 $\mathbf{F}_1$ ，也能得到相同的合力矢量 R ，只不过此时画的力三角形是图 1-5 (a) 的上部分。可见，画分力的先后

次序不同,并不影响合力 R 的大小和方向。

利用力的平行四边形法则(或力三角形法则),同样可以把作用在物体上的一个力分解为相交的两个分力,分力与合力作用于同一点。因为用同一条对角线可以作出任意个不同的平行四边形,所以如果不附加其它条件,一个力分解为相交的两个分力可以有无穷多个解。在工程问题上,经常遇到的是把一个力分解为方向已知的两个分力,特别有用的是分解为方向互相垂直的两个分力。这种分解称为**正交分解**,所得到的两个分力称为**正交分力**。

§ 1-4 约束和约束反力

事物之间是互相联系、互相制约的。这种联系或制约关系在力学上以“力”的形式反映出来,这就是**作用**和**反作用**。

工程上,除了场力(重力,万有引力,电磁力等)可相距一定空间作用外,大量的零件或构件之间都是直接接触或配合的。由于配合及结构形式多样、复杂,分析受力时,必须把物体与周围的联系分析清楚。

任何一台机器都是由许多零件构成的,每一个零件都按照设计的要求完成预期的动作,或者被固定在某一位置上。因此,任何构件的运动都被与它相联系的其它构件所限制。在力学中,把限制其它物体运动的物体称为**约束**,约束对于被约束物体所作用的力叫做**约束反作用力**,简称**约束反力**。

约束既然阻碍着构件的运动,所以约束反力的方向就必然同约束限制构件运动的方向相反。这是约束的一个重要特性,根据这个性质,可以确定约束反力的方向。