

职业教育实用教材

ZHIYE JIAOYU SHIYONG JIAOCAI

工程力学

GONG CHENG LI XUE

王 强 主编



電子工業出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

职业教育实用教材

工程力学

王 强 主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要包括理论力学(静力学部分)和材料力学两部分,主要内容有:静力学基础知识、平面基本力系、材料力学基础、拉伸和压缩、剪切和挤压、圆轴扭转和直梁弯曲等。

本书的内容简洁,语言通俗易懂,具有较强的可读性。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/王强主编. —北京:电子工业出版社,2008.1

ISBN 978-7-121-05308-5

I. 工… II. 王… III. 工程力学 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 172466 号

责任编辑:李 影

印 刷:北京季峰印刷有限公司

装 订:三河市万和装订厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:9 字数:219 千字

印 次:2008 年 1 月第 1 次印刷

定 价:13.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店缺货,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

随着改革开放的不断深入和社会市场经济的迅速发展,社会及企业对技能人才的知识和技能结构提出了更新、更高的要求,职业教育的理念、模式也在不断地改革与创新。

本书从素质教育的要求出发,避免繁琐的理论推导,引入了大量涉及广泛领域的工程实例。为了让学生更快、更牢地掌握最基本的知识,在概念、原理叙述方面做了一些改进;另外通过较多的例题分析,加强学生对基本内容的了解和掌握。

本书是职业教育机械相关专业的一门课程,其任务是增强学生的实践经验和专业技能。全书共有8章,主要包括理论力学(静力学部分)和材料力学两部分,主要内容有:静力学基础知识、平面基本力系、材料力学基础、拉伸和压缩、剪切和挤压、圆轴扭转和直梁弯曲等。

本教材与以往教材相比,主要有以下几个特点:

(1)坚持以能力为本位,重视实践能力的培养,突出职业教育的特色。根据机械专业的职业实际需要,合理确定学生应具备的能力结构与知识结构,对教材的深度、难度作了较大程度的调整。同时,进一步加强实践性教学内容,以满足企业对技能型人才的需要。

(2)根据科学技术的发展,合理更新教材内容,在教材中充实新技术、新设备和新材料等方面的知识,力求使教材具有鲜明的时代特征。

(3)在编写模式上,尽可能使用图片、实物照片或表格形式将各个知识点生动地展示出来,力求给学生营造一个更加直观的认知环境。同时,针对相关知识点,设计了很多贴近生活的导入和互动性训练,进一步拓展学生的思维和知识面,引导学生自主学习。

(4)努力贯彻国家职业资格证书与学历证书并重、职业资格证书制度与国家就业制度相衔接的政策,力求使教材内容涵盖有关国家职业标准的知识和技能要求。

根据本课程教学基本要求,参考学时分配如下:

学时分配建议

章 次		课 程 内 容	学 时
理论力学	第1章	静力学基础知识	10
	第2章	平面基本力系	6
	第3章	静力学平衡问题	4
材料力学	第4章	材料力学基础	4
	第5章	轴向拉伸与压缩	6
	第6章	剪切与挤压	6
	第7章	圆轴扭转	4
	第8章	直梁弯曲	6
机动			8
合计			54

本书由王强编写。在编写过程中参考了大量的文献,在此向文献资料的作者致以诚挚的谢意。

由于编写时间及编者水平有限,书中难免存在错误和不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可,复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为;歪曲、篡改、剽窃本作品的行为,均违反《中华人民共和国著作权法》,其行为人应承担相应的民事责任和行政责任,构成犯罪的,将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序,保护权利人的合法权益,我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为,本社将奖励举报有功人员,并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话:(010) 88254396; (010) 88258888

传 真:(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址:北京市万寿路173信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编:100036

目 录

第一篇 静力学	1
第1章 静力学基础知识	3
第一节 静力学的基本概念	3
第二节 静力学公理	6
第三节 约束与约束反力	10
第四节 物体的受力分析与受力图	15
本章小结	18
本章习题	19
第2章 平面基本力系	22
第一节 平面汇交力系	22
第二节 平面力偶系	28
第三节 平面一般力系	32
本章小结	36
本章习题	37
第3章 静力学平衡问题	40
第一节 平面汇交力系的平衡问题	40
第二节 平面力偶系的平衡问题	43
第三节 平面一般力系的平衡问题	45
本章小结	49
本章习题	50
第二篇 材料力学	53
第4章 材料力学基础	55
第一节 材料力学的任务	55
第二节 工程构件	57
第三节 内力、应力与应变	59
第四节 杆件变形的基本形式	62
本章小结	64
本章习题	65
第5章 轴向拉伸与压缩	66
第一节 轴向拉伸与压缩的概念	66

第二节 轴力和轴力图	68
第三节 拉(压)杆横截面的应力	71
第四节 拉(压)杆的变形	73
第五节 材料在拉伸与压缩时的力学性能	75
第六节 拉伸与压缩时的强度计算	79
本章小结	84
本章习题	85
第6章 剪切与挤压	88
第一节 剪切	88
第二节 挤压	91
第三节 剪切与挤压的计算实例	94
本章小结	97
本章习题	98
第7章 圆轴扭转	100
第一节 扭转的概念	100
第二节 外力偶矩与扭矩	101
第三节 圆轴扭转时横截面上的应力	105
第四节 圆轴扭转时的强度计算	108
本章小结	112
本章习题	113
第8章 直梁弯曲	115
第一节 平面弯曲概述	115
第二节 梁的内力——剪力和弯矩	118
第三节 剪力图和弯矩图	120
第四节 弯曲正应力	125
第五节 梁的抗弯强度条件及应用	129
第六节 提高梁抗弯强度的措施	131
本章小结	134
本章习题	135

第一篇

静 力 学

静力学主要研究物体在力的作用下的平衡问题。平衡是机械运动的一种特殊情况,在一般工程问题中,指物体相对于地球静止或匀速直线运动的状态。通常,作用于物体的力都不是一个,而是若干个,同时作用于物体上的一组力称为一个力系。当物体处于平衡状态时,作用于物体上的力系必须满足一定的条件,这个条件称为力系的平衡条件。作用在物体上的力系往往比较复杂,在不改变力系对物体作用效果的前提下,用一个简单的力系代替复杂的力系,这一过程称为力系的简化,简化后就比较容易推出力系的平衡条件。

静力学主要研究的三个问题:

- (1) 物体或物体系统的受力分析及受力图。
- (2) 力系的简化。
- (3) 力系的平衡条件。

在工程技术中,静力学有着广泛的应用。例如,在建筑领域中,结构物的设计必须进行受力分析,并且首先要进行静力分析,即根据平衡条件求出各结构部件所受的力,合理选择材料、尺寸和形状,以确保安全性,并获得良好的经济效益(如图 I-1 所示的桥梁)。在机械工程中,进行机械设计时,也往往要应用静力学理论分析零部件的受力情况,作为强度计算的依据(如图 I-2 所示的机械零件)。

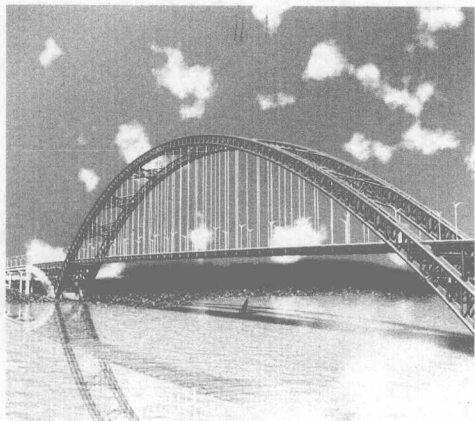


图 I-1 桥梁

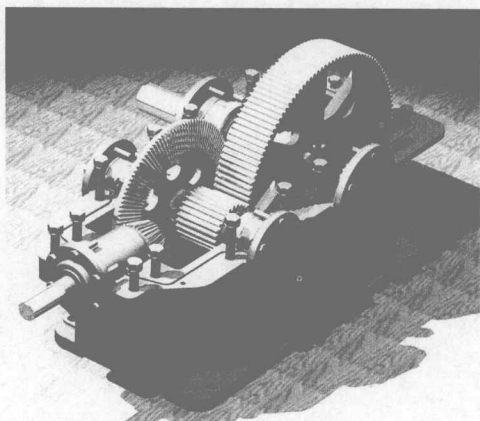


图 I-2 机械零件

第1章 静力学基础知识

本章首先介绍工程静力学的基本概念,包括力、刚体和平衡等概念。在阐述了静力学的几个基本公理和工程中常见的约束形式之后,重点介绍了受力分析的基本方法,包括隔离体的选取与受力图的画法。

【学习目标】

1. 理解力、刚体和平衡等概念。
2. 深刻理解静力学的几个重要公理。
3. 了解常见典型的约束形式,能够分析各种约束的约束反力。
4. 掌握对物体进行受力分析的基本方法,能够画出研究对象的受力图。

工程中的结构、构件如果在外力的作用下处于静止或保持匀速直线运动状态,那么我们称之为平衡状态。在静力学中,主要研究物体在力系作用下处于平衡状态时所遵循的基本规律,包括确定研究对象、进行受力分析、简化力系、建立平衡方程及求解未知量等内容。通过本章有关静力学基本公理、约束形式及受力分析等的学习,画出研究对象的受力图,能够为求解静力学问题提供前提保证。

第一节 静力学的基本概念

一、力的概念

力的概念源于长期的生活与生产实践。人们在推、拉物体时,肌肉有紧张感,逐渐产生了对力的感性认识,后来人们进一步观察到物体与物体之间也有相互作用。相互作用会引起物体运动状态的改变,如小车受推力作用,由静止开始运动;空中下落的物体受重力作用,下落的速度越来越快。相互作用还会引起物体的变形,如弹簧受到压力作用,发生压缩变形;梁受到冲击力作用,会发生弯曲变形。大量的感性认识经过科学的抽象,并加以概括形成了力的概念。

力是物体间相互的机械作用,这种作用的效果是使物体的机械运动状态发生改变,或使物体产生变形。足球撞击在墙上,会对墙产生一个作用力;撞墙后足球会反弹回去,这说明墙对足球也有一个作用力。这个例子中,如果把墙看做受力物体,那么足球就是施力物体;反之,如果把足球看做受力物体,那么墙就是施力物体。施力物体与受力物体是相对具体受力分析而言的。

1. 力的效应

物体间相互机械作用的作用形式可归纳为两类:一类是物体间直接接触的作用,如拉力、摩擦力等;另一类是通过场的作用,如万有引力、电磁力等。尽管物体间相互作用的形式和物理本质不同,但机械作用的效应是相同的。如图 1-1 所示,利用风能发电的装置,风车在风力的作用下旋转,并且随着风力的增大,风车旋转的速度增大,我们将力使物体运动状态发生变化的效应称为力的运动效应或外效应;如图 1-2 所示,杆件在压力的作用下发生弯曲,我们将力使物体产生变形的效应称为力的变形效应或内效应。



图 1-1 风能发电

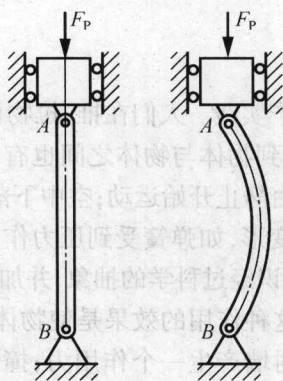


图 1-2 杆件受压变形

2. 力的三要素

实践证明,力对物体的作用效应取决于力的三要素,即力的大小、方向和作用点。力的三要素中的任何一个要素发生变化,力的作用效应将随之发生变化。

(1) 力的大小。力的大小是指物体间相互作用的强弱程度。在国际单位制中,力的单位为牛顿,简称牛(N),当力较大时,采用千牛(kN)。

(2) 力的方向。力的方向通常包括力的方位和指向两个含义。例如,某力的方向是水平向左,则水平是力的方位,向左是力的指向。

(3) 力的作用点。力的作用点是指力在物体上的作用位置。

力的三要素表明力是一个矢量,可用有向线段表示。如图 1-3 所示,线段的起点表示力的作用点,线段的箭头表示力的方向,线段的长度表示力的大小。本书中,力的矢量用黑斜体字母表示,如力 $\boldsymbol{F}_1$,而普通字母 F_1 表示 $\boldsymbol{F}_1$ 的大小。

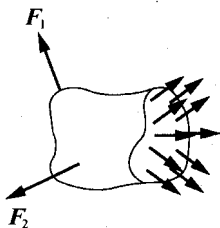


图 1-3 物体的受力图

3. 力的抽象与简化

两个物体的接触处总会有一定的面积,力总是作用于物体的一定面积上。如果接触面积很小,则可以将其抽象为一个点,这时的作用力称为集中力;如果接触面积比较大,力在整个接触面积上分布作用,这时的作用力称为分布力,通常用单位长度的力表示沿长度方向上分布力的强弱程度,称为荷载集度,用符号 q 表示,其单位为 N/m 。

例如,如图 1-4 所示,汽车停在桥面上,通过轮胎作用在桥面上的力,其作用面积很小,称为集中力;而如图 1-5 所示,桥面施加在梁上的力是沿着桥梁长度连续分布的,称为分布力。

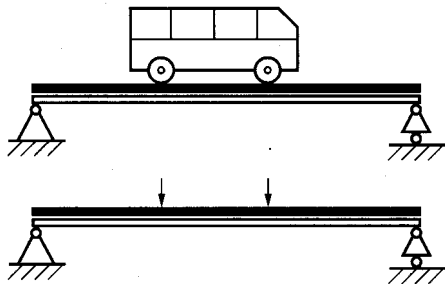


图 1-4 集中力

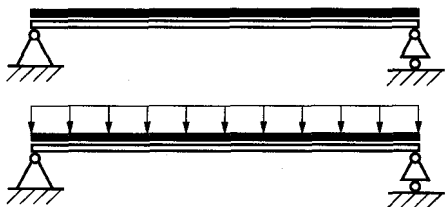


图 1-5 分布力

二、刚体的概念

静力学研究的对象是刚体,所谓刚体是指在任何情况下都不发生变形的物体。显然,这是一个理想化的力学模型。实际上任何物体受力后都会发生一定的变形,但在实际工程中许多物体变形都非常微小,这种微小的变形对研究力的外效应影响很小,可以忽略不计,因而可以把实际物体看成刚体。

能否把物体看成刚体,主要是看微小的变形是否成为主导因素。例如,研究飞机的平衡或飞行规律时,可以把飞机看成刚体;但是研究飞机的振动问题时,机翼等的微小变形就成为主导因素,不能把飞机看成刚体,这是材料力学的研究内容。

三、平衡的概念

平衡是指物体相对于地面静止或保持匀速直线运动的一种状态,是物体机械运动的特殊形式。例如,静止在地面上的建筑物,在空中沿直线匀速飞行的飞机等,都处于平衡状态。运动是物体的固有属性,物体的平衡总是相对的。相对于地面静止的物体,如果相对太阳而言,便是运动的。因此,平衡是相对于所选的参考系而言的,一般工程技术问题取固定于地球的坐标系作为参考系来进行研究,实践证明,所得到的结果具有足够的精度。

四、力系的概念

在工程上,往往由几个力同时作用在一个物体上的情况。作用在物体上的力是一组力,则称为一个力系。力系中各力的作用线位于同一平面,这样的力系称为平面力系,否则称为空间力系。如果物体在力系作用下处于平衡状态,这样的力系称为平衡力系。如果作用在物体上两个力系的作用效果相同,则这两个力系互称为等效力系。用一个简单力系等效地替换一个复杂力系的过程称为力系的简化,力系简化的目的是简化物体受力,以便于进一步分析。

第二节 静力学公理

一、二力平衡原理

作用在刚体上的两个力平衡的充分必要条件是:两个力大小相等、方向相反,且作用在同一直线上(简称等值、反向、共线)。

这个结论是显而易见的,例如,如图 1-6 所示,放在桌子上的物体,处于平衡状态,它受到的重力 G 和支持力 N 大小相等,方向相反,并且作用在一条直线上。

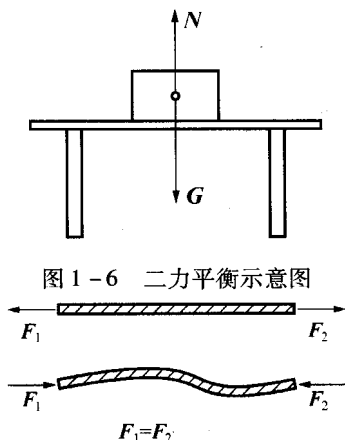


图 1-6 二力平衡示意图

图 1-7 二力平衡原理的使用范围

需要注意的是,对于刚体,上述二力平衡条件是充分必要的,但对于只能受拉、不能受压的柔性体,上述二力平衡条件只是必要的,而不是充分的。例如,如图 1-7 所示的绳索,当承受一对大小相等、方向相反的拉力作用时可以保持平衡,但是如果承受一对大小相等、方向相反的压力作用时,绳索是不能平衡的。

仅受两个力作用而处于平衡状态的构件称为二力构件,如果构件为杆件,则称为二力杆。二力杆可以是直杆,如图 1-8(a)所示;也可以是曲杆,如图 1-8(b)所示。根据二力平衡原理,二力杆所受的两个力必定沿着两个作用点的连线。

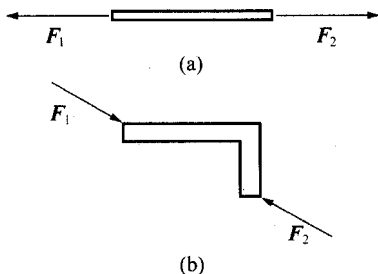


图 1-8 二力杆

二、作用与反作用定律

两个物体间的相互作用力总是同时存在,并且大小相等,方向相反,沿着同一条直线分别作用于两个物体上。这里需要强调的是,该定律中作用力与反作用力一定是分别作用于两个物体上,在研究其中任何一个物体的受力情况时,其上只有这两个力中的一个。

如图 1-9(a)所示,物块与水平杆件之间有一对相互作用的力,分析这对作用力与反作用力时,需要把物块和杆件隔离开。从图 1-9(b)中可以看出,杆件受到物块施加的向下的作用力,称为压力;从图 1-9(c)中可以看出,物块受到杆件施加的向上的作用力,称为支持力。可见压力和支持力分别作用在不同的物体上,并且由平衡条件可知它们大小相等、方向相反,且沿着同一条直线。

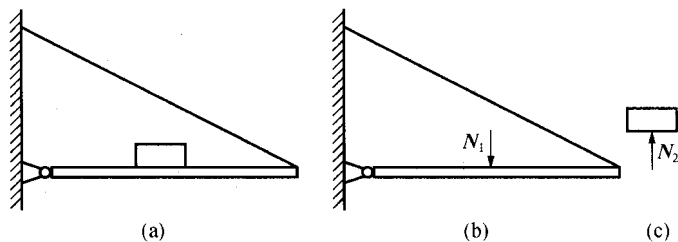


图 1-9 作用力与反作用力



小提示:

注意区分二力平衡中的两个力与作用力和反作用力之间的差别。满足二力平衡条件的两个力作用在同一个物体上,而作用力与反作用力是分别作用在不同物体上的力。

三、力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力可以合成为一个合力,合力也作用于该点,其大小和方向可由以这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示。

例如,如图 1-10 所示,设力 F_1 和 F_2 作用于物体的 O 点,根据平行四边形法则,做出合力 F_0 ,则有:

$$F_0 = F_1 + F_2$$

即合力矢等于两个分力矢的矢量和。

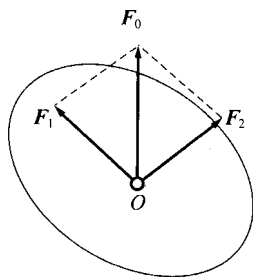


图 1-10 力的平行四边形法则示意图

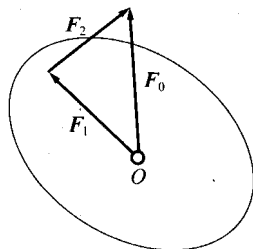


图 1-11 力的三角形法则

力的平行四边形作图过程可以简化,如图 1-11 所示,求合力 F_0 时,实际上不必作出整个平行四边形,只要以力 F_1 的末端作为力 F_2 的始端,画出 F_2 ,然后以力 F_1 的始端为始端,以力 F_2 的末端为末端作矢量,该矢量即为合力 F_0 。

利用力的平行四边形公理,也可以把作用在物体上的一个力分解为相交的多个力,分力与合力作用于同一点。由于用同一条对角线可以作出无数多个不同的平行四边形,所以一个力分解为相交的两个力可以有无穷多解,如图 1-12(a)所示。在工程问题中,常常把力分解为方向已知且相互垂直的两个分力,这种分解称为正交分解,所得的两个分力称为正交分力,如图 1-12(b)所示。

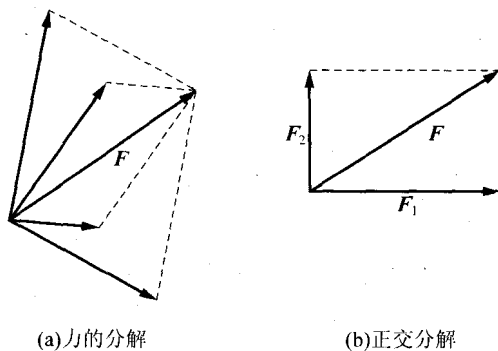


图 1-12 力的分解

三力平衡汇交定理:当刚体受三个力作用而平衡时,若其中任何两个力的作用线相交于一点,则此三个力必在同一平面内,且第三个力的作用线通过汇交点。

当物体受三个互不平行的共面力作用而平衡时,常常用三力平衡汇交定理来确定某个未知力的方向。

四、加减平衡力系原理

作用于刚体上的任何一个力系,加上或减去任意一个平衡力系,并不改变原力系对刚体的效应。因为平衡力系不会改变其平衡或运动状态,所以,在已知力系中加上一个平衡力系或者从中减去一个平衡力系,不会使刚体运动状态发生改变。

力的可传性原理:作用在刚体上某点的力,可沿着它的作用线移动到刚体内任意一点,并不改变它对刚体的作用效果。

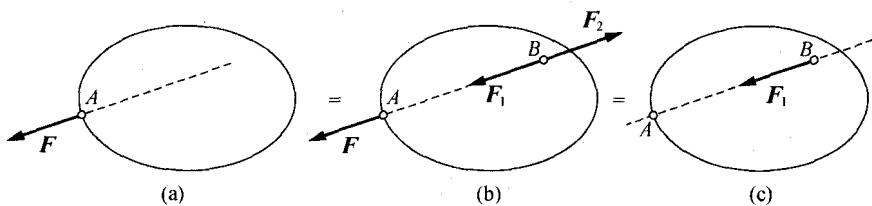


图 1-13 力的可传递性证明

证明:设力 F 作用在刚体的 A 点,如图 1-13(a)所示。在力的作用线上任取一点 B ,根据加减平衡力系原理,在 B 点加上一对平衡力 F_1 、 F_2 ,使得 $F = -F_2 = F_1$,则对刚体的作用效果不变,如图 1-13(b)所示。由于力 F 与 F_2 也构成一对平衡力,再根据加减平衡力系原理减去一对平衡力 F 、 F_2 ,同样不改变对刚体的作用效果,如图 1-13(c)所示。这样就相当于力 F 的作用点沿其作用线移动到了任意一点 B 。

**小提示:**

- (1) 加减平衡力系原理和力的可传性原理都只适用于刚体。
- (2) 力在移动过程中必须沿着作用线移动。
- (3) 力在移动后必须作用在原刚体上,不能移动到其他刚体上去。

第三节 约束与约束反力

一、约束与约束反力的概念

工程中的机器、设备以及结构物中的构件,一般是与其周围的其他构件相互连接或接触的。在互相连接或接触的构件间,必然存在着相互作用的力,把此种力分析清楚是对构件进行受力分析的关键。

在工程实际中,一些物体可以在空间自由运动,获得任何方向的位移,这些物体称为自由体,例如,在空中飞行的飞机、飞行的导弹等;另一些物体在空间中的运动受到限制,使其在某些方向上不能完全自由地运动,这些物体称为非自由体,例如,用电线悬挂的电灯、轨道上行驶的机车等。

工程中遇到的物体,大部分是非自由体,那些限制或阻碍非自由体运动的物体称为约束。如上述的电线是电灯的约束,轨道是机车的约束。约束限制非自由体的运动,能够改变物体的运动状态,从力学角度看,约束对非自由体有作用力。约束作用在非自由体上的力称为约束反力,简称反力。约束反力的方向总是和该约束所能限制的非自由体的运动方向相反,这是确定约束反力方向的基本原则。

除了约束反力外,作用在物体上的力还有主动力。凡能主动引起物体运动状态改变或使物体有运动状态改变趋势的力,均称为主动力。如物体所受的重力,人作用在物体上的拉力等,工程上常称为载荷。

**小提示:**

物体所受的主动力往往是给定的或可以测定的,所以是已知外力;而物体所受的约束反力,其方向需根据约束的性质确定,其大小一般也是未知的,要由力系的平衡条件来确定,所以约束反力通常是未知外力。

对物体进行受力分析是解决工程力学问题的第一步,也是关键的一步。受力分析时,要分析清楚物体上受哪些外力作用,其中哪些是已知的主动力,哪些是未知的约束反力,约束反力的方向如何。

二、常见的约束及其约束反力

工程实践中,物体间的连接方式是很复杂的,为了分析和解决实际力学问题,我们必须将物体间各种复杂的连接方式抽象化为几种典型的约束模型。下面介绍工程中常见的几种典型