

高职高专规划教材

工程力学

组 编 机械职业教育基础课教学指导委员会工程力学学科组

主 编 穆能伶

参 编 穆能伶 张 强 阳世龙 许文华 黄淑容

陈 栩 姚致国 李 旭 郝红娟

主 审 许峡峰



机械工业出版社

绪 论



力学是研究宏观物体机械运动规律的科学，它揭示了物体的相互作用以及和运动之间的关系。力学的发展，推动了科学技术和人类社会的进步。力学的发展，无时不与工业的发展密切相关。从蒸汽机、内燃机的发明，到火车、船舶、汽车、飞机的生产，以及到今天的单机功率达百万千瓦汽轮机、核反应堆、航天飞机、宇宙空间站的制造和建立，都是在应用了力学理论后而得以实现的。可以说，力学是众多学科和工程技术的基础。正是由于力学应用的广泛性，所以力学在解决一系列工程技术问题的时候，又向其他学科渗透，从而也大大丰富了力学科学本身。力学在发展以及在成为一门独立学科的过程中，又分流出许多分支学科，如理论力学、材料力学、结构力学、弹性力学、塑性力学、断裂力学、空气动力学、高速空气动力学、生物力学，等等。力学发展到近代，所显示出的一个重要特征，就是与其他学科的相互交叉。这种学科的相互交叉又为科学技术、工业和社会的发展产生了巨大的作用。其中最为突出的就是力学与工程的交叉。简单说来，工程力学是既与工程又与力学相关的学科。

本书所论及的是工程力学最基础的部分。它包含了静力学、运动学和动力学、材料力学的主要内容。工程力学的任务，第一是研究物体机械运动，以及作用于物体的力和物体机械运动的关系；第二是研究物体的变形，以及作用于物体的力和物体变形的关系。

任何科学研究的过程，都是认识事物客观规律的过程。认识事物的客观规律，必须基于对事物的观察和实验，然后忽略一些次要因素，进行合理的简化而抽象成力学模型，再通过一定的逻辑推理和数学演绎，建立起相应的理论体系。工程力学的传统研究方法有理论方法和实验方法。这些方法的使用，贯穿整个力学科学发展的始终。现在，由于近代计算机的超大规模化和广为普及，传统的理论研究方法可以借用计算机进行数学推导，并能得出复杂的解析解。而对于实验研究方法，也可借助计算机绘制出曲线、图形而取得最优的参数解。

本书的基本内容共分为以下三篇：

第一篇静力学，主要研究力系的简化和物体的平衡。

第二篇运动学和动力学，主要研究物体运动的物理量随时间变化的规律，以及物体运动的物理量和作用于物体的力的关系。

第三篇材料力学，主要研究构件承受外力作用的能力，为构件选取适当的材料与合理的截面形状、尺寸提供理论依据

机械运动的现象十分普遍。工程上的机械运动，往往都是以设备、机器或结构物的运动形式出现。结构物的组成部分即构件在参与机械运动时，首先必须在力的作用下完成某种功能，其次必须在力的作用下正常工作。因此，我们学习工程力学，是让我们认识与机械运动相关的力学现象，最终学会用机械运动的规律去解决工程技术问题。有的工程技术问题，可用工程力学的基本理论去解决，而有的则需要结合其他专业的知识才能解决。因此对于工程技术人员来说，学习工程力学是必不可少的，这不仅是为了将所学的知识应用于实践，而且还是为学习后继的一系列技术基础课和专业课打下基础。

在工程力学这门课程中，很多基本概念、原理和方法都是通过实际的形象物体经抽象化或再加数学演绎而建立的。要学好工程力学，必须调动形象思维到抽象思维，又由抽象思维到形象思维的反复转化。而在思维的转化过程中，要特别注意抓住所研究问题的适用条件或适应范围，同时抓住所研究问题的本质和起主导作用的因素，撇开偶然的、次要的因素，弄清楚所研究问题的内在联系，这样才有助于学好工程力学。另一方面，工程力学的许多基本理论都是经过实践而又被实践所验证的客观真理。因此，在学习这些基本理论时，不能把它看成是单纯的理论推导和数学演算，而要充分认识到它来源于实践和它对实践的指导作用。工程中有许多力学中常见的实际问题，在本书的大量的思考题和习题中都有所体现，在学习工程力学的每章内容时，一定要认真完成这些题目，从而使自己的记忆、判断、分析、想象、思维、综合、评价等多种能力得到锻炼与提高。

另外，在书中还摘录编撰了中外力学史知识，力学科学家介绍，工程实例的力学问题分析，现代力学或其前沿科学的发展概况，等等。这也就是把力学这一科学理论的实际应用特点展现给读者，通过对更多的力学知识的学习，不断开阔思路，强化自身的力学文化素质。

第 1 篇

静力学



静力学基础知识

物体的受力分析

平面任意力系

摩擦

空间任意力系和重心

第 1 章



静力学

基础知识

本章将介绍刚体和力的概念、力的基本规律、力矩、力偶及力的平移定理，这些知识都是研究静力学的基础。

第 1 节 刚体和力的概念

一、刚体

在工程上对实际物体的受力进行研究时，首先要把它理想化，亦即将其合理地抽象为力学模型，以便进行数学描述。静力学中对物体进行分析所用的力学模型就是刚体，所谓刚体，就是指这样的物体，即在力的作用下，其物体内部任意

两点之间的距离始终保持不变。简单来说,刚体就是在力作用下尺寸大小和形状都不改变的物体。而实际上,物体在力的作用下或多或少都会变形。如果物体产生微小的变形对所研究的问题不起主要作用,那么就可将物体视为刚体,这样可使问题的研究大为简化。如图 1-1 所示的桥式起重机的吊车梁,当起吊重物时,吊车梁显然要产生变形,而此变形引起的最大铅垂位移仅为梁跨度的千分之几,所以在研究吊车梁的平衡问题时可以将其忽略不计。由于静力学所研究的问题只限于刚体,故又称**刚体静力学**。

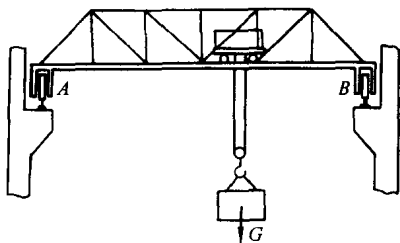


图 1-1

二、力

人们在长期大量的生活和生产实践中,逐步形成了对力的感性认识,这种感性认识再上升到理性,就建立起了抽象的力的概念。所谓**力**,就是**物体间的相互机械作用**。物体间的相互机械作用大致可分为两类:一类是物体直接接触的作用,如物体之间的挤压力或摩擦力、机车牵引车厢的拉力等;另一类是场的作用,如地球引力场中对物体的吸引力、电场中对电荷的吸引力。这种相互的机械作用尽管表现形式很多,但力对物体的作用效应通常就是两种:一种是使物体的运动状态发生改变,称力的运动效应或力的外效应;另一种是使物体的形状发生改变,称力的变形效应或力的内效应。对于刚体,则只需考虑力的运动效应;而对于变形体,则既需考虑力的运动效应又需考虑力的变形效应。

实践表明,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。

力的三要素可以用一个带箭头的线段来表示,如图 1-2 所示。图中线段 AB 的始端或末端表示力的作用点,线段 AB 的方位和箭头指向表示力的方向,沿力的方向画出的直线,称力的作用线,而线段 AB 的长度则按一定的比例表示了力的大小。力的大小反映物体间相互机械作用的强度。为了度量力的大小,在工程上必须选定力的单位。在国际单位制中,力的单位是牛[顿](N)或千牛[顿](kN)。

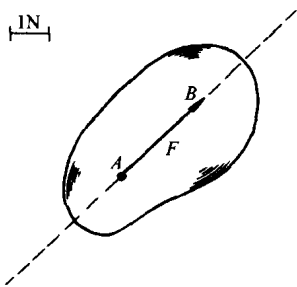


图 1-2

由于力是一个既有大小又有方向的物理量,所以力是矢量。本书中我们用黑体字母 $\boldsymbol{F}$ 表示力矢量,而用明体字母 F 表示力矢量的大小。

三、分布力和集中力

关于力的作用点，实际上就是力作用位置的抽象化。例如对接触力来说，因为物体间相互接触总有一定的面积，因此作用的力属于**面分布力**。分布力的分布规律一般比较复杂，在表示这些力时往往要将其简化。例如，置于地面的汽车轮胎（图 1-3），由于受到的地面支承力分布在一个很小的面积上，这时就把分布力用一作用于一点的集中力 F_N 来代替。如果物体间的接触面积比较大，那么力在整个接触面上的作用强度就用单位面积上的力的大小即**载荷集度**来表示。面分布力载荷集度的单位为 N/m^2 。若力是在整个体积内作用，则应是**体分布力**。体分布力载荷集度的单位为 N/m^3 。

在工程实际问题中常遇到一种沿狭长面积分布的力，往往将其简化为沿长度分布的力，又称为**线分布力**。线分布力载荷集度的单位为 N/m 。若线分布力是沿梁的长度均匀分布的，如图 1-4a 所示，在运算时往往将其等效地替换为一集中力 F_R ，亦即 $F_R = ql$ ，而作用点在梁的中点（图 1-4b）。

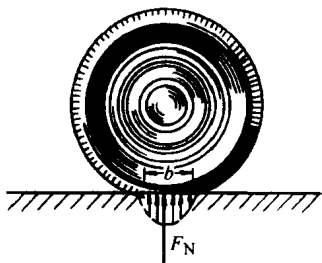


图 1-3

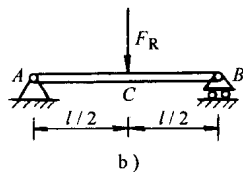
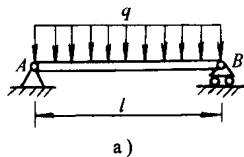


图 1-4

四、力系

作用在物体上的一群力称为**力系**。若一个力和一个力系等效，则这个力就称为这个力系的**合力**，而力系中的每个力就称为这个力系的**分力**。如上所述的分布力实际上就是一种力系，而将分布力等效地替换的一集中力即为原分布力的合力，原分布力中的每一个力即为分力。对于这种把一个较复杂的力系变成一个与其等效的简单力系的过程，称为**力系的简化**。

根据力系中各力作用线的分布情况，通常将力系予以分类：若各力作用线在同一平面内，则称为**平面力系**；若各力作用线不在同一平面内，则称为**空间力系**。另外，若各力作用线汇交于一点，则称为**汇交力系**，若各力作用线相互平行，则称为**平行力系**；若各力作用线既不相交于一点又不完全平行，则称为**任意力系**。显然，对于各力作用线在同一平面并汇交于一点的力系，即称为**平面汇交**

力系。还有一些其他类型的力系，可依此类推。

五、平衡

所谓平衡，就是指物体在力的作用下相对于惯性参考系保持静止或匀速直线运动状态。在一般工程技术问题中，把固连于地球上的参考系视为惯性参考系，也就是物体的平衡是相对地球而言的。例如，静止在地面上的机床、厂房、桥梁、水坝，以及在直线轨道上作匀速运动的火车等等，这些物体都是在各种力系的作用下处于平衡的。但是，物体并不是在任何力系作用下都能处于平衡。平衡是物体机械运动的一种特殊形式。作用在物体上的力系，只有当力系中各力满足一定的条件时，才会使物体处于平衡。作用于物体不同力系的平衡条件各有其不同的特点，满足平衡条件的力系即称为平衡力系。力系的平衡条件在工程中有着很重要的意义，它是设计结构构件或机械零件时进行静力计算的基础。

第2节 静力学公理

公理是一个已为反复实践所证实，而被确认为符合客观实际的最普遍的规律。静力学公理主要有以下五个：

公理一 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，合力的作用点仍在这一点，合力的大小和方向由这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线确定。这也就是求二汇交力合力的一个法则，如图 1-5a 所示。用矢量表示，也就是合力 F_R 等于两个分力 F_1 、 F_2 的矢量和，即

$$F_R = F_1 + F_2$$

须注意，上式若写成 $F_R = F_1 + F_2$ 则表示合力的大小 F_R 等于两个分力大小 F_1 、 F_2 的代数和。在此读者可认真思考一下这两个求和表达式在物理意义上的区别是什么。

为了简便起见，在求二汇交力合力时，往往不必画出二力为邻边所构成的整个平行四边形，而只画出此平行四边形中的一个三角形（图 1-5b、c）就可以了，即先过 A 点沿 AB（或 AD）作分力矢量 F_1 （或 F_2 ），再过 B（或

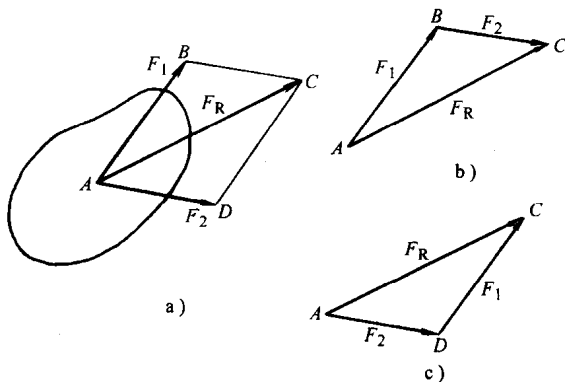


图 1-5

D) 点沿 BC (或 DC) 作分力矢量 F_2 (或 F_1)，最后过 A 点沿 AC 画出的矢量 F_R 即为合力。这种通过作三角形求合力的方法，称力三角形法则。

力的平行四边形法则是力合成的法则，也是力分解的法则。该法则表明了最简单力系简化的规律，它是复杂力系简化的基础。

公理二 二力平衡条件

作用于刚体上的两个力使刚体平衡的必要和充分条件是：这两个力的大小相等，方向相反，且作用在同一直线上（图 1-6），用矢量表示，即为

$$\mathbf{F}_1 = -\mathbf{F}_2$$

这一公理表明了作用于刚体上的最简单力系平衡时应满足的条件，它对刚体而言是必要和充分的，但对于变形体却只是必要而不充分。如 1-7 所示的绳索，在受到等值、反向、共线的拉力后可以平衡，但当其受到等值、反向、共线的压力后就无法平衡了。

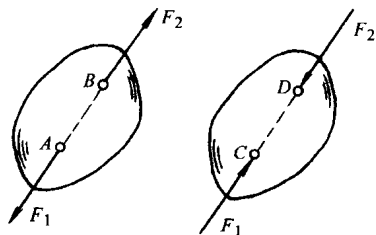


图 1-6



图 1-7

公理三 加减平衡力系原理

在作用于刚体的任意力系上，加上或减去任意一个平衡力系，都不会改变原力系对刚体的作用效应，这就是加减平衡力系原理。

根据加减平衡力系原理，我们可以推证得出力的另一个重要规律——力的可传性。所谓力的可传性，就是作用于刚体上的力可以沿其作用线移至该刚体的任意一点，而不改变力对刚体的作用效应。

在生产实际中，保持用力的大小和作用线不变，如图 1-8 所示，人们用力 F 在车后推车与在车前拉车的效果总是相同的。由此也可以看出，力的作用点对刚体来说已不是决定力作用效应的要素。这时，作用于刚体的力的三要素应是：力的大小、方向和作用线。可见，作用刚体上的力可沿着作用线移动，因此又称力这种矢量为滑移矢量。



图 1-8

值得强调的是, 加减平衡力系原理和力的可传性只适用于刚体而不适用于变形体。不妨给一变形杆两端施加等值、反向、共线的拉力, 这时杆的变形是伸长。倘若把这二力沿力的作用线分别移至另一端, 显然杆将受到压力而缩短。

这里, 我们根据以上的公理还可以推导出位于刚体同一平面上不平行三力的平衡条件。如图 1-9a 所示, 在二平衡力 F_3 和 F'_3 作用下的一刚体, 根据力的平行四边形法则, 将力 F'_3 分解为 F_1 和 F_2 , 然后

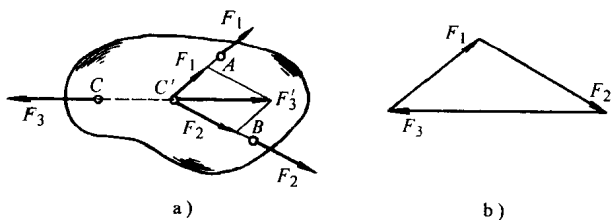


图 1-9

再根据力的可传性, 将分解后的二力 F_1 和 F_2 沿其作用线移至 A 点和 B 点。显然, 刚体在同一平面内不平行三力 F_1 、 F_2 和 F_3 作用下平衡。由此得出作用在刚体上同一平面内不平行三力平衡的条件是: 三力的作用线必须交于一点, 三力矢量首尾相连构成一自行封闭的三角形 (图 1-9b)。

公理四 作用和反作用定律

任何两个物体相互作用的作用力和反作用力总是大小相等, 方向相反, 沿着同一条直线, 并分别作用在这两个物体上。

这个公理概括了自然界中物体之间相互作用力的关系, 它表明一切作用力总是成对出现, 即只要有作用力就必有反作用力, 而且是同时存在, 又同时消失。

例如, 一电动机放在基座上 (图 1-10a), 电动机的重力 G 是来自地球对它的吸引力, 作用在电动机上。与此同时, 电动机对地球也有一吸引力 G' , 它们同为一对作用力与反作用力, 即有 $G = -G'$; 另外, 电动机对基座和基座对电动机还有两对作用力和反作用力, 即 $F_{N1} = -F'_{N1}$ 和 $F_{N2} = -F'_{N2}$, 如图 1-10b、c 所示。须指出, 作用力和反作用力虽然等值、反向、共线, 但它们却分别作用在不同的物体上, 切不可将其理解为一对平衡力。

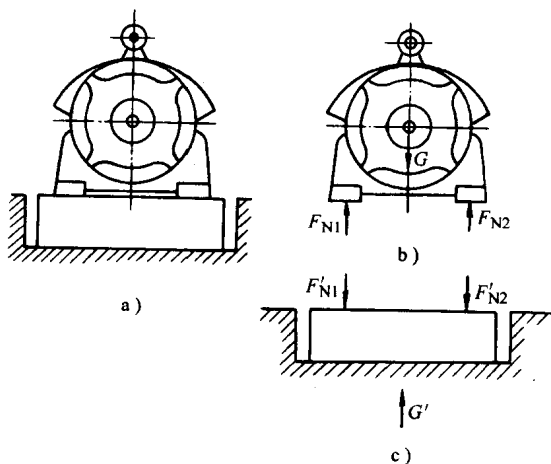


图 1-10

公理五 刚化原理

若变形体在某一力系作用下平衡, 则可将此受力的变形体视为刚体, 其平衡状态仍保持不变。

这个公理指出了变形体在平衡时，其上作用力所满足的平衡条件仍服从刚体的平衡条件。可见，作用刚体的力平衡条件完全可以用于处理变形体的平衡问题。不过前面已提到了，刚体的平衡条件只是变形体平衡的必要条件而不是充分条件，这一点应值得注意。

第3节 力 矩

力对物体的运动效应，包括力对物体的移动和转动效应，其中力对物体的转动效应用力矩来度量。

在生产劳动中，人们通过杠杆、滑轮、绞盘等简单机械来移动或提升重物时，就能够体会到力对物体的转动效应的存在。例如用扳手拧紧螺母（图 1-11），完全可以感受到，施于扳手的力 F 使扳手及螺母绕某一转动中心 O 点产生转动效应的强弱，它不仅与力 F 的大小成正比，而且与转动中心 O 点到力 F 作用线的垂直距离 d 成正比。因此，在力 F 作用线和转动中心 O 所在的同一平面内，我们将点 O 称为**矩心**，点 O 到力 F 作用线的垂直距离称为**力臂**，于是力 F 使物体绕转动中心 O 点旋转的转动效应，就用力的大小与力臂的乘积并冠以适当的正负号来度量，这个量称为**力对点的矩**，简称**力矩**，以符号 $M_O(F)$ 示之，即有

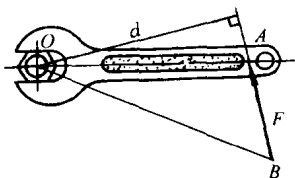


图 1-11

$$M_O(F) = \pm Fd$$

式中正负号的规定：**力使物体绕矩心作逆时针转动时力矩取正号，作顺时针转动时取负号**。由此式可以看出，平面内力对点的矩，只取决于力矩的大小及其正负号，说明力矩是代数量。力矩的国际单位为牛[顿]米 ($\text{N}\cdot\text{m}$) 或千牛[顿]米 ($\text{kN}\cdot\text{m}$)。

须指出，力矩的矩心不一定是物体上的某一固定点，它可以是物体上的一点，也可以是物体外的一点。换句话说，平面上的一个力可以对平面内任意一点取矩，而一个力对不同的点取矩，其力矩一般是不同的。

还有，一个力作用于物体并非一定是使之具有单纯的某一种运动效应，它可以是使物体产生的移动效应和转动效应同时存在。如排球运动员发上手飘球时，其打击力就是使排球既移动又转动。

由以上力对点的矩的概念，可得出如下结论：①力的作用线通过矩心时，其力矩为零；②力沿其作用线滑动时，不会改变力对指定点的力矩；③互成平衡的二力对同一点之矩的代数和为零；④平面汇交力系的合力 F_R 对平面内任意一点 O 的矩，等于所有各分力 F_i 对同一点之矩的代数和，即 $M_O(F_R) = \sum M_O$

(F_i)，此又称合力矩定理。

例 1-1 $F=100\text{N}$ 的力按图 1-12a 和 b 两种情形作用在锤柄上，柄长 $l=300\text{mm}$ 。试求力 F 对支点 O 的矩。

解 对于情形 a，支点 O 到力 F 作用线的垂直距离即力臂 h 为手柄长 l ，力使锤柄作逆时针转动，力 F 对支点 O 的矩为

$$\begin{aligned} M_O(F) &= Fh = 100 \times 300 \text{ N} \cdot \text{mm} \\ &= 30000 \text{ N} \cdot \text{mm} = 30 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

对于情形 b，力臂 $h = l \cos 30^\circ$ ，力使锤柄作顺时针转动，力 F 对支点 O 的矩

$$\begin{aligned} M_O(F) &= -Fh = -100 \times 300 \times \cos 30^\circ \\ &= -25980 \text{ N} \cdot \text{mm} = -25.98 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

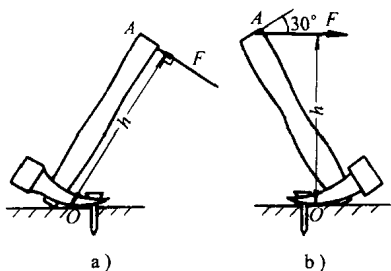


图 1-12

例 1-2 如图 1-13a 所示圆柱齿轮，受到啮合力 F_n 的作用，设 $F_n=1400\text{N}$ ，齿轮的压力角 $\alpha=20^\circ$ ，节圆（啮合圆）半径 $r=60\text{mm}$ ，试计算力 F_n 对轴心 O 的力矩。

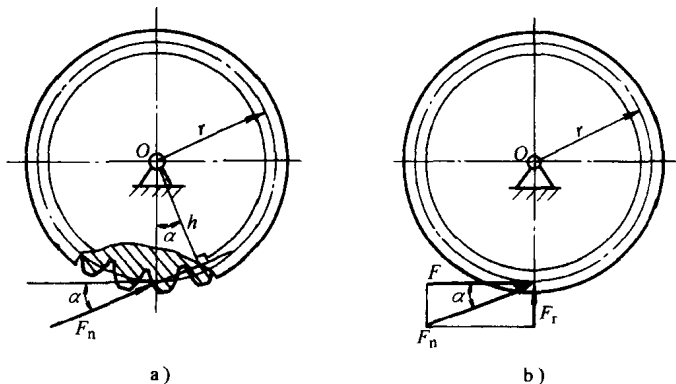


图 1-13

解 计算啮合力 F_n 对轴心 O 的矩，可直接按力矩的定义求，因力臂 $h = r \cos \alpha$ ，力使齿轮绕轴心 O 作逆时针转动，故

$$M_O(F_n) = F_n h = F_n r \cos \alpha = 1400 \times 60 \times \cos 20^\circ \text{ N} \cdot \text{mm} = 78.93 \text{ N} \cdot \text{m}$$

按合力矩定理计算啮合力 F_n 对轴心 O 的矩会简便些。这时，将力 F_n 分解为圆周力 F 和径向力 F_r (图 1-13b)，其中径向力 F_r 通过矩心，力矩为零；而 $F = F_n \cos \alpha$ ，于是

$$M_O(F_n) = M_O(F) + M_O(F_r) = M_O(F) = F_n r \cos \alpha$$

显然，用以上两种方法计算的结果是相同的。

第4节 力 偶

在实际中，我们常常会遇到由两个力使物体产生的转动效应，如人用手拧水龙头开关（图 1-14a）、司机用双手转动汽车方向盘（图 1-14b）、钳工用丝锥攻螺纹（图 1-14c），等等。可以看出，产生转动效应的这些物体受到的是一对等值、

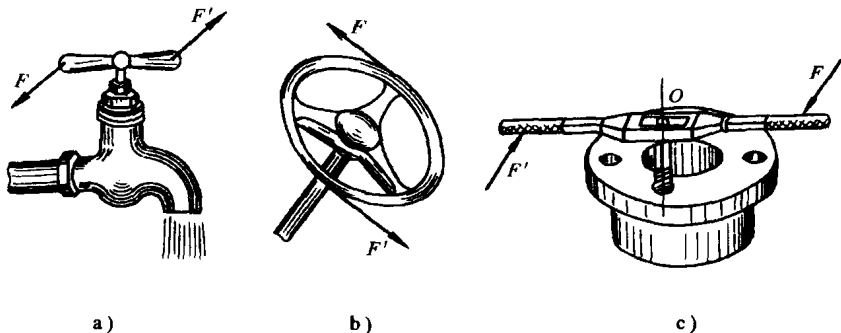


图 1-14

反向且不共线的平行力。显然，等值反向平行力的矢量和为零，但由于它们不共线而不平衡，却能使物体产生转动效应。这种由两个大小相等、方向相反，且不共线的平行力组成的力系称为力偶。力偶用符号 (F, F') 表示，力偶两力之间的垂直距离 d 称为力偶臂（图 1-15），力偶两力所在的作用面称为力偶作用面，力偶两力所形成的转动方向称为力偶转向。实践证明，力偶只能使物体产生转动效应，而不能使物体产生移动效应。力偶对物体的转动效应的强弱可用力偶矩来度量，即用力偶中两个力对其作用面内某点的矩的代数和来度量。如在图 1-15 中力偶 (F, F') 的二力作用点 A 、 B 连线上任意取一点 O 为矩心，并设矩心 O 到力 F 的距离为 x ，这时这一力偶的力偶矩即力 F 对点 O 的矩的代数和为

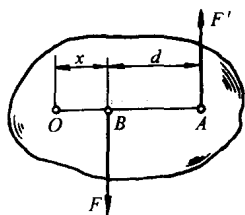


图 1-15

$$\begin{aligned} M_O(F) + M_O(F') &= -Fx + F'(x + d) \\ &= -Fx + Fx + F'd = F'd \end{aligned}$$

由于矩心是任意取的，由此可知，力偶对物体的转动效应只取决于力偶矩的大小，而与矩心的所在位置无关。还有，力偶在平面内的转向不同，其作用效应也不同，因此，以上定义的力偶矩可视为代数量，用符号 $M(F, F')$ 或简写为 M 表示，即

$$M(F, F') = M = \pm Fd$$

式中的正负号表示力偶的转向，即逆时针转动取正号，顺时针转动取负号。力偶矩的单位与力矩单位相同，也是牛〔顿〕米 ($N \cdot m$) 或千牛〔顿〕米 ($kN \cdot m$)。

由于力偶是由两个力按特定的关系组合而成的，在任意一轴上的投影代数和为零，因此它还具有以下性质：

性质一 力偶不能合成为一个力，也不能与一个力等效。力偶的这一性质也说明了力偶不能与一个力相平衡，只能与一个力偶相平衡。可见，力和力偶是静力学的两个基本要素。

性质二 只要保持力偶的转向和力偶矩的大小不变，力偶可以在其作用面内任意转动和移动，而不会改变它对刚体的作用效应。力偶的这一性质说明了力偶对物体的作用与力偶在作用面内的位置无关。须指出，这一性质只对刚体适用，而不适用于变形体。读者试举例说明其道理。

性质三 只要保持力偶的转向和力偶矩的大小不变，可以同时改变力偶中力的大小和力偶臂的长短，而不会改变力偶对刚体的作用效应。力偶的这一性质说明了力偶中的力或力偶臂都不是力偶的特征量，只有力偶矩才是力偶作用的量度。因此，力偶常用一段带箭头的弧线表示，其中弧线所在的平面代表力偶作用面，箭头指向表示力偶在作用面内的转向，图 1-16 所示的即为力偶矩为 M 的一个力偶图示。

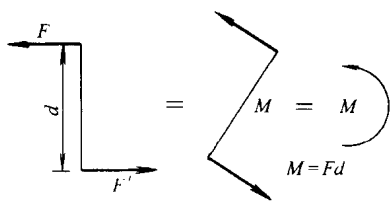


图 1-16

当物体作用有两个或两个以上的力偶时即组成力偶系。力偶系可以简化，其简化结果是一个力偶而不是一个力。力偶系简化所得到的结果称为力偶系的合力偶。按力偶作用面的分布情况，力偶系可分为平面力偶系和空间力偶系。若一刚体上作用的是平面力偶系，则此平面力偶系可合成为一个合力偶，合力偶矩等于各个分力偶矩的代数和，即

$$M = M_1 + M_2 + \cdots + M_n = \sum M_i$$

由平面力偶系的合成结果进一步可知，当力偶系平衡时，其合力偶矩等于零。因此，平面力偶系平衡的必要和充分条件是：各力偶的力偶矩代数和等于零，即

$$\sum M_i = 0$$

第 5 节 力的平移定理

力是滑移矢量，即作用于刚体上的力可沿其作用线移至任意一点，而不改变力对刚体的作用效应。但是力如果离开作用线，平移到任意一点，就会改变它对刚体的作用效应。

假设有一力 F 作用在刚体上点 A 处 (图 1-17a), 若要把它平移到刚体上的另一点 B 处, 则根据加减平衡力系原理, 在点 B 处加一对平衡力 F' 和 F'' , 并使它们与力 F 平行, 而且 $F' = -F'' = F$, 如图 1-17b 所示。在三个力 F 、 F' 和 F'' 中, 力 F 与 F'' 组成一力偶。显然, 它们对刚体的作用与原来的一个力 F 对刚体的作用等效。由此可以认为, 作用于点 A 的力 F 可以平行移动到另一点 B , 但同时还要附加一个力偶 (图 1-17c), 这个附加力偶的力偶矩为

$$M = M_B(F) = Fd$$

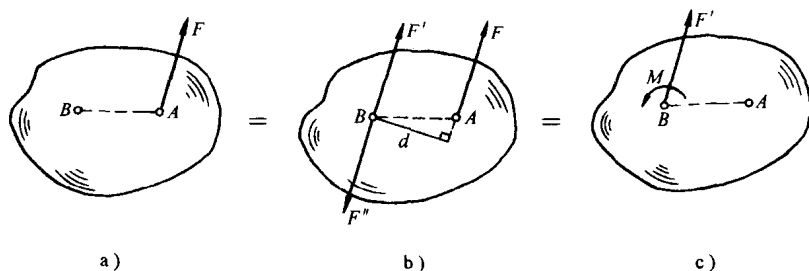


图 1-17

其中 d 为附加力偶的力偶臂, 也就是平移点 B 到力 F 作用线的垂直距离。推广到一般情形可以得出结论: 作用于刚体上某点的力可以平移到任意一点, 但同时必须附加一个力偶, 此附加力偶的力偶矩等于原力对新作用点的矩, 力偶转向决定于原力对新作用点的矩的转动方向。这一结论又称为力的平移定理。但须注意, 力的平移定理只适用于刚体, 而且只能在同一刚体上进行。

力向一点平移, 表明了平移前的一个力与平移后的一个力和一个力偶等效。换句话说, 平面内一个力可以分解为作用在同一平面内的一个力和一个力偶。反之, 同一平面内的一个力和一个力偶也可以合成为一个力。这说明, 应用力的平移定理可以将力系向一点简化, 也可以解释一些常见的力学现象。如打乒乓球时的击球力不通过球心, 而是用力擦击球面, 球的运动状态就与击球力直接通过球心时大不一样。根据力的平移定理, 若将擦击力平移到球心, 则要附加力偶, 从而又使球旋转, 于是乒乓球获得了具备移动和转动的运动特征。又如用丝锥攻螺纹 (图 1-14c) 时, 为什么不能只用一只手转动绞杠? 而只能用施力相等的双手转动绞杠? 请读者思考并作出解释。

思 考 题

1-1 指出以下表达式的涵义及其区别:

(1) $F_1 = F_2$ (2) $F_1 = F_2$ (3) 力 F_1 等效于力 F_2

1-2 二力平衡条件和作用与反作用定律中都说到二力等值、反向、共线, 请说明其差别。

1-3 在某物体的 A 、 B 两点分别作用有力 F_A 和 F_B , 如果这两个力大小相等、方向相反,

且作用线重合，试问该物体是否一定平衡？

1-4 已知图 1-18 中所示二力 F_1 和 F_2 的大小分别为 3N 和 4N，请画出这几种情况下的合力。

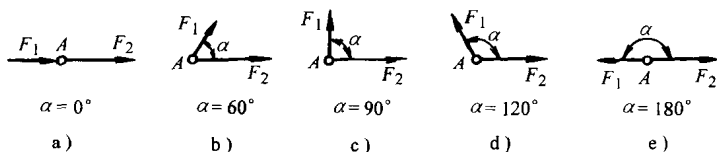


图 1-18

1-5 力偶不能单独和一个力相平衡，为什么图 1-19 中的均质轮能平衡呢？图中作用于均质轮上的力偶的力偶矩 $M = Fr$ 。

1-6 如图 1-20 所示，在刚体上的 A、B、C 三点分别作用有力 F ，试问该刚体是否平衡，为什么？

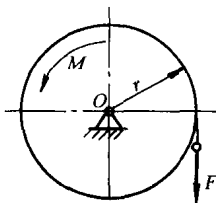


图 1-19

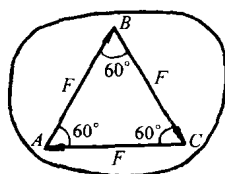


图 1-20

1-7 最佳选择题（将符合题意的一个答案填入题后的括号中）：

(1) 汇交二力，其大小相等且与其合力大小一样，这时此二力之间的夹角应为（ ）。

A. 0° B. 90° C. 120° D. 180°

(2) 一物受到两个共点力的作用，无论在什么情况下，它的合力（ ）。

A. 一定大于任意一个分力 B. 至少比一个分力大
C. 不大于两个分力大小的和，也不小于两个分力大小的差
D. 随两个分力夹角的增大而增大

(3) 已知滑轮与转轴的接触是光滑的，该滑轮在绳索拉力 F_1 、 F_2 和转轴支持力 F_R 的作用下平衡，如图 1-21 所示。今不计滑轮以及绳索的重量，这时绳索拉力大小应有（ ）。

A. $F_1 = F_2$ B. $F_1 > F_2$ C. $F_1 < F_2$

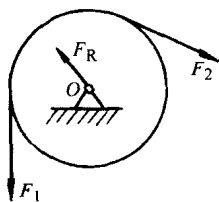


图 1-21