

21

世纪高职高专机电系列规划教材

J I X I E J I S H U J I C H U

机械技术基础

◎ 主 编 王雪艳 成 聪 庞 红



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

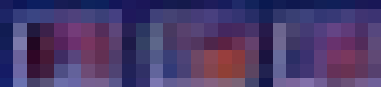


机械技术基础

机械技术基础

机械技术基础

机械技术基础



机械技术基础

21 世纪高职高专机电系列规划教材

机械技术基础

主 编 王雪艳 成 聪 庞 红

副主编 陆长永 刘启林

参 编 韩 萌 李福伟 陈向东

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械技术基础/王雪艳 成 聪 庞 红 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2007 年7 月
ISBN 978-7-5609-4097-7

I. 机… II. ①王… ②成… ③庞… III. 机械设计-高等学校-教材
IV. TH122

中国版本图书馆CIP 数据核字(2007)第105610 号

机械技术基础

王雪艳 成 聪 庞 红 主编

策划编辑:张 毅

责任编辑:刘 勤

责任校对:朱 霞

封面设计:刘 卉

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉众心设计室

印 刷:武汉大学出版社印刷总厂

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:20.5

字数:425 000

版次:2007 年7 月第1 版

印次:2007 年7 月第1 次印刷

定价:32.80 元

ISBN 978-7-5609-4097-7/TH·157

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

前 言

本书是按照 21 世纪高职高专机电系列规划教材编委会的统一安排和要求编写的,适合作为高职高专机电专业及相关专业 120 学时左右的专业技术基础教材。

本教材从认知规律和满足工程应用各主要环节训练的需要出发,以创新能力的培养和对机械系统综合分析及应用为主线,对传统“工程力学”、“机械设计基础”课程的教学内容进行了有机整合、精简、充实和提高,并辅以创新思维及法则等内容,教学内容更新幅度较大,具有较强的示范性和广泛的推广价值。

本书在编写时作了一些新的探索与尝试,力图使教材符合当前高等职业教育的总趋势,努力体现“以掌握概念为基础,以强化应用为重点,以计算分析为手段”的思想,在理论阐述上着重讲清基本概念,简化理论推导,加强与工程实际的联系,同时注意对学生自我获取知识及创新能力的培养与训练。

全书共分 17 章,参加编写的老师有:淄博职业学院王雪艳(第 6、7、8 章及全书构架与统稿)、庞红(第 11、12、16、17 章)、韩萌(第 1、2 章)、李福伟(第 14、15 章);黄石机电职业技术学院陆长永(第 3、4、5 章);湖北三峡职业技术学院成聪(第 9、10 章);青岛飞洋职业技术学院刘启林(第 13 章);武汉钢铁(集团)矿业有限责任公司设备处陈向东参与了部分章节的编写。

本书在编写过程中,参考了国内外公开出版的有关书籍和资料,并借鉴和引用了部分习题、例题及图表,在此谨向有关作者表示谢意。

鉴于作者水平有限,书中难免有不妥和疏漏之处,欢迎读者批评指正。

编 者
2007 年 4 月

目 录

第 1 篇 静 力 学

第 1 章 静力学分析基础	(3)
1.1 力的概念及性质	(3)
1.2 力矩和力偶	(6)
1.3 力的平移定理	(10)
1.4 约束与约束反力	(11)
1.5 受力图	(14)
思考题和习题	(17)
第 2 章 平面力系	(21)
2.1 平面任意力系的简化	(21)
2.2 平面力系的平衡方程及其应用	(23)
2.3 考虑摩擦时的平衡问题的求解	(31)
思考题和习题	(35)
第 3 章 空间力系	(37)
3.1 力在空间直角坐标轴上的投影	(37)
3.2 力对轴之矩及合力矩定理	(38)
3.3 空间力系的平衡方程及其应用	(39)
思考题和习题	(41)

第 2 篇 材 料 力 学

第 4 章 拉伸和压缩	(45)
4.1 拉伸和压缩的概念	(45)
4.2 截面法、轴力与轴力图	(45)
4.3 横截面上的应力	(48)
4.4 拉压杆的变形和虎克定律	(49)
4.5 拉伸和压缩时材料的力学性能	(52)
4.6 拉伸和压缩时的强度计算	(57)

4.7 拉压超静定问题简介	(59)
思考题和习题	(60)
第5章 剪切与挤压	(62)
5.1 剪切与挤压的概念	(62)
5.2 剪切与挤压的实用计算	(63)
思考题和习题	(66)
第6章 圆轴扭转	(68)
6.1 扭转的概念	(68)
6.2 扭矩和扭矩图	(69)
6.3 圆轴扭转时的应力与强度计算	(70)
6.4 圆轴扭转时的变形与刚度计算	(73)
思考题和习题	(75)
第7章 直梁弯曲	(78)
7.1 平面弯曲的概念与实例	(78)
7.2 梁弯曲时的内力——剪力与弯矩	(80)
7.3 剪力图和弯矩图	(83)
7.4 弯曲正应力强度计算	(87)
7.5 梁的弯曲变形	(92)
7.6 提高梁的强度和刚度的措施	(96)
思考题和习题	(98)
第8章 组合变形的强度计算	(102)
8.1 拉伸(压缩)与弯曲组合变形的强度计算	(102)
8.2 弯曲与扭转组合变形的强度计算	(104)
8.3 交变应力与疲劳失效	(106)
8.4 轴的强度与刚度计算	(110)
思考题和习题	(114)
第9章 压杆稳定	(117)
9.1 压杆稳定的概念	(117)
9.2 细长压杆的临界应力	(118)
9.3 压杆稳定性校核	(121)
思考题和习题	(122)

第 3 篇 机械原理与机械零件

第 10 章 平面连杆机构	(125)
10.1 平面机构的组成	(125)
10.2 平面机构运动简图	(126)
10.3 平面四杆机构	(133)
10.4 平面四杆机构的设计	(140)
思考题和习题	(143)
第 11 章 简单机构	(146)
11.1 凸轮机构	(146)
11.2 棘轮机构	(154)
11.3 槽轮机构	(157)
11.4 不完全齿轮机构及凸轮式间歇运动机构简介	(159)
思考题和习题	(161)
第 12 章 带传动	(163)
12.1 传动概述	(163)
12.2 带传动的组成、特点与类型	(164)
12.3 V 带与 V 带轮	(166)
12.4 带传动的受力和运动特性	(169)
12.5 普通 V 带传动的设计	(172)
12.6 带传动的张紧、安装与维护	(181)
思考题和习题	(183)
第 13 章 圆柱齿轮传动	(184)
13.1 概述	(184)
13.2 直齿圆柱齿轮传动	(188)
13.3 齿轮齿形加工	(209)
13.4 平行轴斜齿圆柱齿轮传动	(213)
13.5 直齿圆锥齿轮传动简介	(218)
13.6 蜗轮蜗杆传动简介	(221)
思考题和习题	(227)
第 14 章 轮系	(229)
14.1 轮系的分类	(229)
14.2 定轴轮系传动比计算	(229)
14.3 行星轮系传动比计算	(231)

14.4 混合轮系传动比计算	(233)
14.5 轮系的应用	(234)
思考题和习题	(235)
 第15章 联接	(238)
15.1 螺纹联接	(238)
15.2 螺旋传动	(246)
15.3 键、销联接	(249)
思考题和习题	(256)
 第16章 支承零部件	(257)
16.1 轴	(257)
16.2 滑动轴承	(268)
16.3 滚动轴承	(273)
思考题和习题	(294)
 第17章 联轴器、离合器和制动器	(298)
17.1 联轴器	(299)
17.2 离合器	(306)
17.3 制动器	(309)
17.4 联轴器、离合器及制动器的使用与维护	(310)
思考题和习题	(310)
 附录 型钢规格表	(312)
 参考文献	(319)

第 1 篇 静 力 学

静力学是研究物体在力系作用下平衡规律的一门科学。静力学的研究对象是刚体,因此,静力学又称为**刚体静力学**。所谓**刚体**,是指在力的作用下不变形的物体。

静力学研究以下三个问题。

1. 物体的受力分析

将所研究的物体从周围物体中分离出来,作为受力体,进而分析它所受的力,一类是主动力,另一类是约束力,关键在于对约束力的分析。

2. 力系的等效替换和简化

力系是指作用在物体上的一组力。如果两个力系使刚体产生相同的运动状态变化,则这两个力系互为**等效力系**。一个力系用其等效力系来代替,称为该力系的**等效替换**。用一个简单力系等效替换一个复杂力系,称为**力系的简化**。若一个力和一个力系等效,称这个力是该力系的**合力**,而该力系中的各力则称为该合力的**分力**。

3. 刚体在各种力系作用下的平衡条件及其应用

平衡是指物体相对于惯性参考系处于静止或匀速直线运动状态。通常选取地球(地面)作为惯性参考系来研究物体的运动状态。

物体受到力系作用时,一般情况下,其运动状态将发生改变。如果作用在物体上的力系满足一定条件,即可使物体保持平衡,这种条件称为**力系的平衡条件**。满足平衡条件的力系称为**平衡力系**。对刚体而言,力系的平衡等同于物体的平衡。

第 1 章 静力学分析基础

本章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。

1.1 力的概念及性质

一、力的概念

力的概念产生于人类从事的生产劳动之中。当人们用手握、拉、掷及举起物体时,由于肌肉紧张而感受到力的作用,这种作用广泛地存在于人与物及物与物之间。例如,奔腾的水流推动水轮机旋转,锤子的敲打使烧红的铁块变形,等等。因此,力是物体间的相互作用,这种作用使物体的运动状态和形状发生改变。

物体间作用的形式很多,因而我们会遇到各种各样的力。力大体上可以分为两类:一类是两个物体直接接触作用,如两物体间的压力、摩擦力;另一类是“场”对物体的作用,如地球的引力场对于物体的引力。

力使物体运动状态发生改变的效应称为外效应,使物体形状发生改变的效应则称为内效应。由于静力学以刚体为研究对象,故本篇只讨论力的外效应。

1. 力的三要素

实践证明,力对物体的作用效应,是由力的大小、方向、作用点的位置所决定的,这三个因素称为力的三要素。例如,用扳手拧螺母时,作用在扳手上的力,因大小不同,或方向不同,或作用点不同,它们产生的效果就不一样,如图 1-1 所示。

力的大小表示物体之间机械作用的强度,它可通过力的运动效应或变形效应来度量,在静力学中常用测力器的弹性变形来测量。力的单位用 N 或 kN 表示。

力的方向即物体之间机械作用的方向。力的方向包括力作用的方位和指向。

力的作用点是物体之间作用位置的抽象化。通过力的作用点沿力的方向的直线,称为力的作用线。

2. 力的矢量表示

力是矢量,常用一个带箭头的线段表示,线段长度 AB 按一定比例代表力的大小,线段

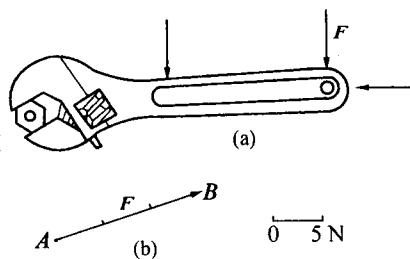


图 1-1

的方位和箭头表示力的方向,其起点或终点表示力的作用点,此线段的延伸称为力的作用线。通常用黑体字母如 $\mathbf{F}$ 代表力矢量,对应的白体字母 F 代表力矢量的大小。

3. 投影的概念

力在直角坐标系上的投影定义:过 $\mathbf{F}$ 两端向坐标轴引垂线(见图 1-2)得垂足 a, b 及 a', b' , 线段 $ab, a'b'$ 分别为 $\mathbf{F}$ 在 x 轴和 y 轴上投影的大小。投影的正负号规定:从 a 到 b (或 a' 到 b') 的指向与坐标轴正向相同为正,相反为负。 $\mathbf{F}$ 在 x 轴和 y 轴上的投影分别记作 F_x, F_y 。

若已知 $\mathbf{F}$ 的大小及其与轴所夹的锐角 α , 则有

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F \cos \alpha \\ F_y &= -F \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

若将 $\mathbf{F}$ 沿坐标轴方向分解,所得分力 $\mathbf{F}_x, \mathbf{F}_y$ 的值与 $\mathbf{F}$ 在同轴上的投影 F_x, F_y 相等;但力的分力是矢量,力的投影是代数量。

若已知投影 F_x, F_y 的值,可反求 $\mathbf{F}$ 的大小及方向,即

$$\left. \begin{aligned} F &= \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \\ \tan \alpha &= \left| \frac{F_y}{F_x} \right| \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

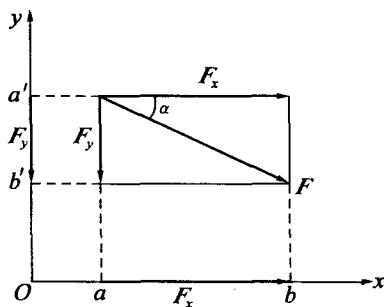


图 1-2

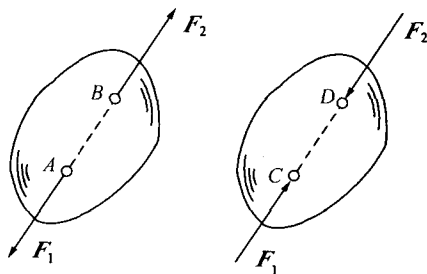


图 1-3

二、力的性质

性质 1(二力平衡公理)

作用于同一刚体的两个力,使刚体处于平衡状态的充分必要条件是这两个力的大小相等、方向相反、作用在同一直线上,如图 1-3 所示。

这一公理表明了作用于刚体上的最简单的力系平衡时所必须满足的条件。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的。如图 1-4 所示的绳索,在受到等值、反向、共线的拉力后可以平衡,但当受到等值、反向、共线的压力后就无法平衡了。



图 1-4

二力平衡公理是刚体受最简单的力系作用时的平衡条件,如一物体仅受到两个力的作用而平衡,则二力的作用线必定沿此二力作用点的连线。在这两个力作用下处于平衡的构件,称为二力构件。

性质 2(加减平衡力系公理)

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。

就是说,如果两个力系只相差一个或者几个平衡力系,则它们对刚体的作用是相同的,因此可以等效替换。这个公理是研究力系等效变换的重要依据。根据上述公理可以导出如下推理。

推论 1(力的可传性原理)

作用在刚体上的力,可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,比如,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果的要素。这时,作用于刚体上的力的三要素应是:力的大小、方向和作用线。可见,作用在刚体上的力可以沿着作用线移动,因此又称力这种矢量为**滑移矢量**。

此推论可以证明如下。

(1) 设力 F 作用于刚体上点 A 。(见图 1-5(a))。

(2) 在力 F 的作用线上任选一点 B ,并在点 B 加一组沿 AB 线的平衡力 F_1 和 F_2 ,且使 $F_2 = F = -F_1$ (见图 1-5(b))。

(3) 除去 F 与 F_1 所组成的一对平衡力,刚体上只剩 F_2 ,可见 $F_2 = F$ (见图 1-5(c))。

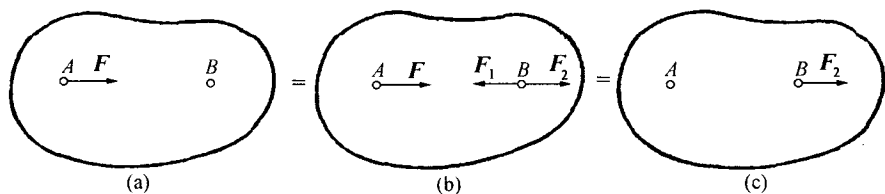


图 1-5

性质 3(力的平行四边形法则)

作用于物体上某点两个力的合力也作用于该点,其大小和方向可用此二力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示。

这也就是求二力汇交合力的一个法则,其矢量式为

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$$

反之,一个力也可以分解为两个分力,分解也按照力的平行四边形法则来进行。

为简便起见,在求二汇交力的合力时,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(见图 1-6(b)、(c))就可以了。即先过点 A 沿 AB (或 AD)作分力矢量 F_1 (或 F_2),再过点 B (或 C)沿 BC (或 DC)作分力矢量 F_2 (或 F_1),最后过点 A 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,称为**三角形法则**。

这个公理表明了最简单力系的简化规律,它是复杂力系简化的基础。

推论 2(三力平衡定理)

若刚体在三个共面又互不平行的力作用下处于平衡状态,则此三力必汇交于一点。

证明:设刚体上三点 A_1 、 A_2 、 A_3 有共面力 F_1 、 F_2 、 F_3 的作用(见图 1.6(d)),按力的可传性原理将 F_1 、 F_2 移至其作用线交点 B ,并根据性质 3 将其合成为 F_R 。现在刚体上只有两力 F_3 与 F_R 作用,根据性质 1, F_R 与 F_3 一定在同一直线上,所以 F_3 必通过点 B ,于是 F_1 、 F_2 、 F_3 均通过点 B 。

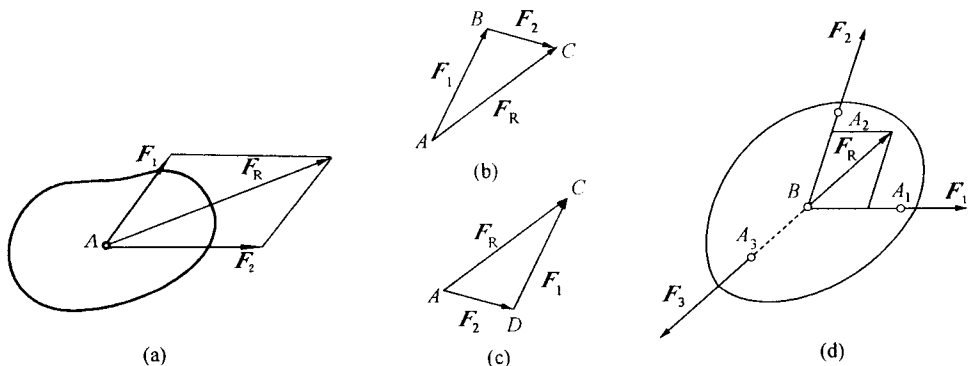


图 1-6

性质 4(作用与反作用公理)

作用力与反作用力总是同时存在的,两力的大小相等、方向相反,沿着同一条直线,并分别作用在两个相互作用的物体上。

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的,即只要有作用力就必有反作用力,而且同时存在,又同时消失。注意二力平衡公理同作用与反作用公理之间的区别,前者叙述了作用在同一物体上两个力的平衡条件,后者则是描述了两物体之间相互作用的关系,不能认为作用力与反作用力相互平衡。

三、合力投影定理

设在刚体上点 A 有平面汇交力系 $F_1, F_2, \dots, F_n$ 的作用,则有

$$F_R = F_1 + F_2 + \dots + F_n = \sum F$$

将上式两边分别向 x 轴及 y 轴投影,即有

$$\left. \begin{aligned} F_{Rx} &= F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx} = \sum F_x \\ F_{Ry} &= F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny} = \sum F_y \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

式(1-3)即为合力投影定理:力系的合力在某轴上的投影,等于力系中各力在同一轴上投影的代数和。

若进一步按式(1-2)运算,即可求得合力 F_R 的大小及方向,即

$$\left. \begin{aligned} F_R &= \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2} \\ \tan \alpha &= \left| \frac{\sum F_y}{\sum F_x} \right| \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

1.2 力矩与力偶

一、力对点之矩

力对点之矩是力使物体绕某点转动效应的度量。当用扳手拧紧螺母时(见图 1-7),若作

用力为 F , 转动中心 O (称为矩心) 到力作用线的垂直距离为 s , s 称为力臂, 由经验可知, 扳动螺母的转动效应不仅与 F 的大小和方向有关, 且与力臂 s 的大小有关, 故力 F 对物体转动效应的大小可用两者的乘积 Fs 来度量。此外, 扳手的转向可能是逆时针方向, 也可能是顺时针方向。因此, 可以用力的大小与力臂的乘积 Fs 再冠以相应的正负号来表示力 F 使物体绕 O 点转动的效应, 称为力 F 对 O 点的矩, 简称为力矩, 用 $M_O(F)$ 表示。一般规定, 力使物体绕矩心逆时针方向旋转时, 力矩为正, 反之为负。所以力对点之矩为一代数量, 即

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

由力矩的定义和上式可知:

- (1) 当力的作用线通过矩心时, 力臂为零, 力矩值也必定为零;
- (2) 力沿其作用线滑移时, 不会改变力对点之矩的值, 因为此时并未改变力、力臂的大小及力矩的转向。

力矩的单位为 $\text{N} \cdot \text{m}$ 。

例 1-1 丁字杆与顶面铰接, 受力情况如图 1-8 所示, 图上所注之力、距离、角度等均为已知。试求各力对转动中心之矩。

解

$$M_O(F_1) = 0$$

$$M_O(G) = -Gc \sin \alpha$$

$$M_O(F_2) = F_2 \sqrt{a^2 + b^2}$$

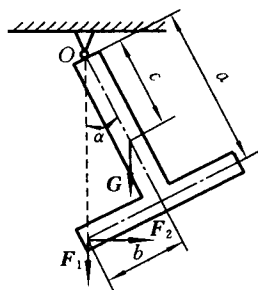


图 1-8

二、合力矩定理

平面汇交力系的合力对平面上任一点之矩, 等于所有各分力对同一点力矩的代数和, 这就是合力矩定理。

由于合力与原力系对物体的作用等效, 故有

$$M_O(F_R) = \sum M_O(F)$$

上述合力矩定理不仅适用于平面汇交力系, 对于其他力系, 如平面任意力系、空间力系等, 也都同样成立。

在计算力矩时, 若力臂不易求出, 此时便可应用这个定理, 将力分解为两个易确定力臂的分力 (通常是正交分解), 分别计算各分力的力矩, 然后相加得出原力对该点之矩。

例 1-2 图 1-9 所示圆柱直齿轮的齿面受一啮合角 $\alpha = 20^\circ$ 的法向压力 $F_n = 1 \text{ kN}$ 的作用, 齿面分度圆直径 $d = 60 \text{ mm}$ 。试计算该力对轴心的力矩。

解 1 按力对点之矩的定义, 按图 1-9(a) 有

$$M_O(F_n) = F_n h = F_n \frac{d}{2} \cos \alpha = 28.2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

解 2 将 F_n 沿半径和垂直于半径的方向分解成正交的圆周力 $F_t = F_n \cos \alpha$ 与径向力 $F_r = F_n \sin \alpha$, 按合力矩定理, 有

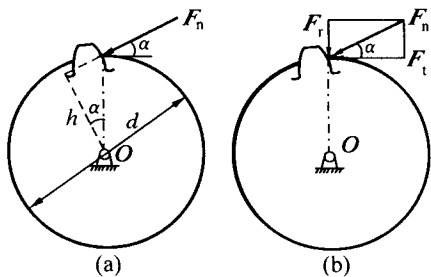


图 1-9

$$M_O(F_n) = M_O(F_t) + M_O(F_r) = F_t \frac{d}{2} + 0 = F_n \frac{d}{2} \cos \alpha = 28.2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

例 1-3 一轮在轮轴处受一切向力的作用,如图 1-10 所示。已知 F 、 R 、 r 和 α 。试求此力对轮与地面接触点 A 的力矩。

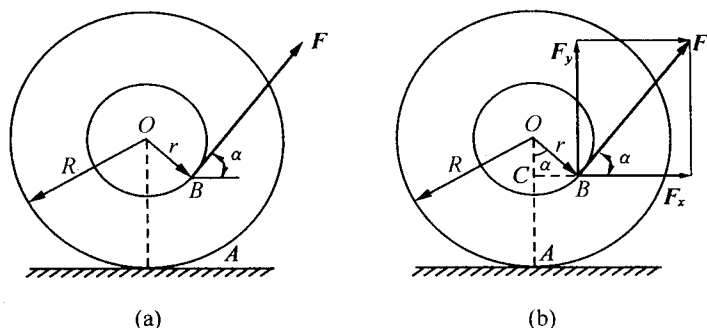


图 1-10

解 由于力 F 对矩心 A 的力臂未标明且不易求出,故将 F 在点 B 分解为正交的 F_x 和 F_y ,再应用合力矩定理,有

$$M_A(F) = M_A(F_x) + M_A(F_y)$$

$$M_A(F_x) = -F_x CA = -F_x(OA - OC) = -F \cos \alpha (R - r \cos \alpha)$$

$$M_A(F_y) = F_y CB = (F \sin \alpha) r \sin \alpha = Fr \sin^2 \alpha$$

$$M_A(F) = -F \cos \alpha (R - r \cos \alpha) + Fr \sin^2 \alpha = F(r - R \cos \alpha)$$

三、力偶及其性质

1. 力偶的概念

在日常生活及生产实践中,常常会遇到由两个力使物体产生的转动效应,如用手拧水龙头开关(见图 1-11(a))、司机用双手转动汽车方向盘(见图 1-11(b))、钳工用丝锥攻螺纹(见图 1-11(c)),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、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(见图 1-11(d)),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可用力偶矩

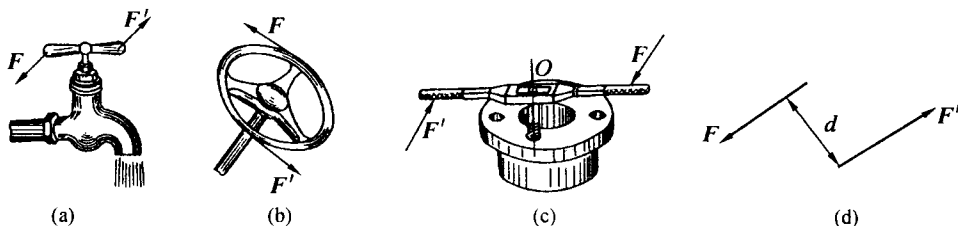


图 1-11