



21世纪高职系列教材
SHIJI GAOZHI XILIE JIAOCAI

工程机械基础(上)

主编 / 瞿 芳 主审 / 谢 荣

哈尔滨工程大学出版社

参考文献

参考文献



21世纪高职系列教材
SHIJI GAOZHI XILIE JIAOCAI

工程机械基础(上)

主编 / 瞿 芳 主审 / 谢 荣

ISBN 7-5661-1000-0 定价: 28.00元

本书可作为高职高专工程类、机械类、材料类、能源类、环境类、化工类、轻工类、医药类、农林类、海洋类、交通运输类、工商管理类、法学类、文学类、艺术类的教材。

本书可作为高职高专工程类、机械类、材料类、能源类、环境类、化工类、轻工类、医药类、农林类、海洋类、交通运输类、工商管理类、法学类、文学类、艺术类的教材。

本书可作为高职高专工程类、机械类、材料类、能源类、环境类、化工类、轻工类、医药类、农林类、海洋类、交通运输类、工商管理类、法学类、文学类、艺术类的教材。

本书可作为高职高专工程类、机械类、材料类、能源类、环境类、化工类、轻工类、医药类、农林类、海洋类、交通运输类、工商管理类、法学类、文学类、艺术类的教材。

本书可作为高职高专工程类、机械类、材料类、能源类、环境类、化工类、轻工类、医药类、农林类、海洋类、交通运输类、工商管理类、法学类、文学类、艺术类的教材。

本书可作为高职高专工程类、机械类、材料类、能源类、环境类、化工类、轻工类、医药类、农林类、海洋类、交通运输类、工商管理类、法学类、文学类、艺术类的教材。

本书可作为高职高专工程类、机械类、材料类、能源类、环境类、化工类、轻工类、医药类、农林类、海洋类、交通运输类、工商管理类、法学类、文学类、艺术类的教材。

本书可作为高职高专工程类、机械类、材料类、能源类、环境类、化工类、轻工类、医药类、农林类、海洋类、交通运输类、工商管理类、法学类、文学类、艺术类的教材。

本书可作为高职高专工程类、机械类、材料类、能源类、环境类、化工类、轻工类、医药类、农林类、海洋类、交通运输类、工商管理类、法学类、文学类、艺术类的教材。

本书可作为高职高专工程类、机械类、材料类、能源类、环境类、化工类、轻工类、医药类、农林类、海洋类、交通运输类、工商管理类、法学类、文学类、艺术类的教材。

本书可作为高职高专工程类、机械类、材料类、能源类、环境类、化工类、轻工类、医药类、农林类、海洋类、交通运输类、工商管理类、法学类、文学类、艺术类的教材。

本书可作为高职高专工程类、机械类、材料类、能源类、环境类、化工类、轻工类、医药类、农林类、海洋类、交通运输类、工商管理类、法学类、文学类、艺术类的教材。

本书可作为高职高专工程类、机械类、材料类、能源类、环境类、化工类、轻工类、医药类、农林类、海洋类、交通运输类、工商管理类、法学类、文学类、艺术类的教材。

本书可作为高职高专工程类、机械类、材料类、能源类、环境类、化工类、轻工类、医药类、农林类、海洋类、交通运输类、工商管理类、法学类、文学类、艺术类的教材。

本书可作为高职高专工程类、机械类、材料类、能源类、环境类、化工类、轻工类、医药类、农林类、海洋类、交通运输类、工商管理类、法学类、文学类、艺术类的教材。

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书是以高职高专机械类专业培养目标为基础,突出船舶工程、港口机械专业特点,由多年从事职业教育工作、具有丰富职业教育经验的教师编写的。

全书分为上、下两册,共四编。上册包括第一编力学基础和第二编机械原理与机械零件,主要内容有静力学基本概念,平面力系,空间力系,构件的轴向拉伸与压缩,剪切,圆轴的扭转,直梁的弯曲,平面机构的运动简图和自由度,平面连杆机构,凸轮机构,间歇运动机构,齿轮传动,带传动和链传动,连接,轴系零部件。

下册包括第三编材料工艺学和第四编热工基础,主要内容有金属材料的性能指标,金属的晶体结构与结晶,合金的构造与合金相图,钢的热处理,工业用钢,铸铁,非铁金属及其合金,非金属材料,典型零件的材料及热处理,热力学基本概念,理想气体,热力学第一定律,热力学第二定律,气体的流动,气体的压缩,气体动力循环,水蒸气的性质和热力过程,蒸汽压缩制冷循环,湿空气,传热过程,强化传热与削弱传热。

本书可作为高职高专院校工程机械类各专业的综合技术基础课程,也可作为学时较少的《工程力学》、《机械原理与机械零件》、《材料工艺学》和《热工基础》各课程的参考教材,同时也适用于自学或作为相关工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程机械基础(上)/瞿芳主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2007.8

ISBN 978-7-81073-687-9

I.工… II.瞿… III.工程机械-高等学校:技术学校-教材 IV.TU6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 128593 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号

邮政编码 150001

发行电话 0451-82519328

传 真 0451-82519699

经 销 新华书店

印 刷 黑龙江省教育厅印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 13

字 数 300 千字

版 次 2007 年 8 月第 1 版

印 次 2007 年 8 月第 1 次印刷

定 价 24.00 元

<http://press.hrbeu.edu.cn>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

21 世纪高职系列教材编委会

(按姓氏笔画排序)

主任委员	王景代	丛培亭	刘 义	刘 勇
	李长禄	张亦丁	张学库	杨永明
委 员	季永青	罗东明	施祝斌	唐汝元
	曹志平	蒋耀伟	熊仕涛	
	王景代	丛培亭	刘 义	刘 勇
	刘义菊	刘国范	闫世杰	李长禄
	杨永明	张亦丁	张学库	陈良政
	肖锦清	林文华	季永青	罗东明
	胡启祥	施祝斌	钟继雷	唐永刚
	唐汝元	郭江平	晏初宏	曹志平
	蒋耀伟	熊仕涛	潘汝良	

前言

近年来,随着高等职业技术教育教学改革的不断深入,社会与行业对技术应用型人才培养周期越来越短。为使高等职业技术教育紧跟社会与科学技术发展的步伐,及时服务于社会和行业经济建设,有必要对课程进行整合和改革。“工程机械基础”就是在这样的前提下,将“工程力学”、“机械原理与机械零件”、“机械材料工艺学”、“热工基础”等课程的内容进行优化和整合而成的一门综合性的技术基础课程。它的任务在于使学生获得工程机械方面的基础知识、基本理论和基本技能,为进一步学习各专业课程打下基础。

本书按照高职高专教育的培养目标要求安排课程内容,以实际应用为目的,以实用、够用、必需为原则,注重知识的综合性和实效性,简化了繁琐的理论推导。对涉及到的概念、术语、定义,力求描述准确、清楚、易懂,详略得当,按最新标准给出,并突出相互间的区别与联系。例题和习题大都选用生产中的实例,或与生产实际紧密结合。

本书由江苏海事职业技术学院瞿芳任主编,张国成、赵小戎任副主编,参与编写的还有金铮、吴大忠、韦伟、刘馨潞、潘铭、李媛。本书共四编,其中第一编第一、二、三章由张国成编写,第四、五、六、七章由金铮编写;第二编第一、二、三章由瞿芳编写,第四、五、六、八(部分)章由张国成编写,第七、八(部分)章由潘铭编写;第三篇第一、三、七、九章由瞿芳编写,第二、四、八章由刘馨潞编写,第五、六章由吴大忠编写;第四编第一、二、三、四章由韦伟编写,第五、六、七、八、九、十章由赵小戎编写,第十一、十二章由李媛编写。全书由瞿芳统稿并定稿,由谢荣主审。

本书在编写过程中,得到了周涛的指导和帮助,孙建新提出了许多好的意见,在此一并表示感谢。由于编者水平有限,且时间仓促,书中难免有疏漏与欠妥之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2007年5月

目 录

第一编 力学基础

第一章 静力学的基本概念	2
第一节 力的概念	2
第二节 力对点之矩	5
第三节 力偶	7
第四节 约束与约束反力	8
第五节 受力图	10
习题	13
第二章 平面力系	17
第一节 平面任意力系向一点简化	17
第二节 平面任意力系的平衡方程及应用	19
第三节 物体系统的平衡、静定与静不定的问题	25
第四节 考虑摩擦时的平衡问题	28
习题	32
第三章 空间力系	37
第一节 力在空间直角坐标轴上的投影	37
第二节 力对轴之矩	38
第三节 空间力系的平衡	39
第四节 重心	42
习题	46
第四章 构件的轴向拉伸与压缩	50
第一节 轴向拉伸与压缩的概念	50
第二节 轴向拉伸与压缩时横截面上的内力	50
第三节 轴向拉伸与压缩时横截面上的应力	53
第四节 轴向拉伸与压缩时的变形	55
第五节 材料在拉伸与压缩时的力学性能	58
第六节 轴向拉伸与压缩时杆件的强度计算	62
习题	64
第五章 剪切	67
第一节 剪切与挤压的概念	67
第二节 剪切与挤压的实用计算	68
第三节 剪切虎克定律	70

习题	71
第六章 圆轴的扭转	74
第一节 圆轴扭转的概念	74
第二节 圆轴扭转时横截面上的内力	74
第三节 圆轴扭转时横截面上的应力和变形	77
第四节 圆轴扭转时的强度和刚度计算	81
习题	84
第七章 直梁的弯曲	86
第一节 直梁弯曲的概念	86
第二节 梁弯曲时横截面的内力——剪力和弯矩	87
第三节 剪力图和弯矩图	89
第四节 梁弯曲时横截面上的正应力	95
第五节 提高梁的抗弯能力的措施	98
习题	101

第二编 机械原理与机械零件

第一章 平面机构的运动简图和自由度	105
第一节 平面运动副	105
第二节 平面机构运动简图	107
第三节 平面机构的自由度	110
习题	112
第二章 平面连杆机构	114
第一节 铰链四杆机构的基本型式	114
第二节 铰链四杆机构的特性	117
第三节 铰链四杆机构的演化机构	119
第四节 平面四杆机构的设计	122
习题	124
第三章 凸轮机构	125
第一节 凸轮机构的应用和分类	125
第二节 从动件与凸轮的运动关系、压力角和基圆半径	127
习题	129
第四章 间歇运动机构	130
第一节 棘轮机构	130

第二节 槽轮机构	133
习题	134
第五章 齿轮传动	135
第一节 齿轮传动的特点和类型	135
第二节 渐开线及渐开线齿廓的啮合特性	137
第三节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的主要参数和几何尺寸	139
第四节 渐开线齿轮的正确啮合和连续传动条件	143
第五节 轮齿的主要失效形式	146
第六节 蜗轮蜗杆传动	147
习题	150
第六章 带传动和链传动	151
第一节 带传动的特点和类型	151
第二节 带传动的工作情况分析	152
第三节 带传动的张紧、安装和维护	155
第四节 链传动	156
习题	161
第七章 连接	163
第一节 螺纹概述	163
第二节 螺纹连接的类型及螺纹连接件	166
第三节 螺纹连接的预紧和防松	169
第四节 螺旋传动	171
第五节 键、花键、销连接	173
习题	177
第八章 轴系零、部件	178
第一节 轴	178
第二节 滚动轴承	183
第三节 滑动轴承	188
第四节 联轴器、离合器和制动器	190
习题	196
参考文献	197

第一编 力学基础

本编分静力学和材料力学两部分。静力学主要研究物体的平衡规律及其在工程中的实际应用。材料力学主要研究构件在外力作用下的变形规律以及建立构件强度、刚度和稳定性计算的理论基础。

通过本编的学习,学员应掌握静力学受力分析的基本原理和方法,掌握构件平衡问题的分析和计算,掌握构件在四种基本变形情况下内力、应力、强度、刚度等问题的分析和计算,初步具有受力分析和解决工程实际问题的能力,为机械零部件的结构设计、材料选择、截面形状和几何尺寸的确定提供理论依据。

第一章 静力学的基本概念

第一节 力的概念

一、力的定义及表示方法

力的概念来自于人们的生产实践。在日常劳动或生活中推、拉、提、举物体时,会产生肌肉的紧张之感,渐渐产生了对力的感性认识,大量的感性认识经过科学的抽象概括,形成了力的概念。力是物体之间的相互机械作用。这种作用对物体产生两种效应,其一是使物体的空间位置和运动状态发生变化,称为外效应;其二是使物体的形状发生改变,称为内效应。

在理解力的概念时,特别要强调“机械作用”。如果物体之间的作用不是由机械作用产生的就不是力,而是其他形式的热或能。如果物体之间只有相互接触而没有机械作用,则也不会产生力。同时,谈到力时,必须指明相互作用的两个物体。

力对物体的作用效应,决定于力的三要素:(1)力的大小;(2)力的方向;(3)力的作用点。这三要素中,任何一个要素的改变都会改变对物体的作用效应。

按照国际单位制的规定,力的单位是牛顿(N)或千牛顿(kN)。

力是一种既有大小又有方向的矢量。通常力用有向线段来表示。如图 1-1-1 所示,线段长度 AB 按照一定的比例表示力的大小;线段的箭头表示力的方向;线段的起始点(或终点)表示力的作用点。本书中,矢量用黑体字母表示,如 F, N, P, S 等常用来表示一个矢量力;在力的表达式中,也用带箭头的字母来表示,如 $\vec{F}, \vec{N}$ 等。

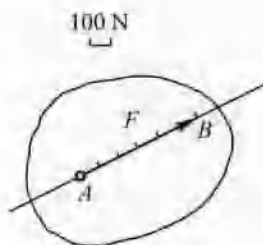


图 1-1-1

所谓刚体,就是在任何外力作用下,大小和形状始终保持不变的物体。这是一个理想化的力学模型,实际是不存在的。实际物体在力的作用下,都会产生程度不同的变形,但微小变形对所研究物体的平衡问题不起作用,通常忽略不计,从而使问题的研究大大简化。静力学中研究的物体均可视为刚体。

三、力的公理

人们经过长期生产实践的积累,总结出以下几条力的公理。所谓公理就是指不需理论证明但符合客观现实的真理。

公理一 二力平衡公理

作用于刚体上的两个力使刚体处于平衡状态的充要条件是这两个力大小相等、方向相反,且作用在同一条直线上,如图 1-1-2 所示。

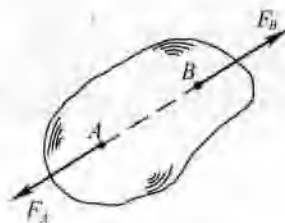


图 1-1-2

对于变形体,这个条件是必要的,但不是充分的。例如,软绳受两个等值、反向的拉力作

用时可以平衡,但受两个等值、反向的压力作用时就不能平衡了,如图 1-1-3 所示。

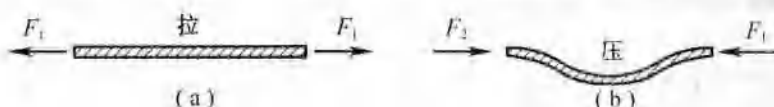


图 1-1-3

公理二 加减平衡力系公理

在作用于刚体的任意力系上,加上或者减去一个平衡力系,都不会改变原力系对刚体的作用效果。由此可得如下推论。

推论一 力的可传性原理

刚体上的力可沿其作用线移到该刚体上的任意位置,并不改变该力对该刚体的作用效应。如图 1-1-4 所示,作用于小车 A 点的推力 F 沿其作用线移到 B 点,得拉力 F' (力的大小不变),虽然推力变为拉力,但对小车的作用效应是相同的。由此可见,力的作用点对刚体来说已不是决定力作用效应的要素。因此,作用于刚体上的力的三要素是力的大小、方向和作用线。

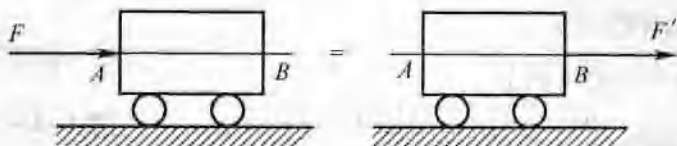


图 1-1-4

公理三 力的平行四边形法则

作用于物体上同一点的两个力可以合成为一个合力,合力的作用点仍在该点,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来确定,如图 1-1-5(a) 所示。其矢量表达式为:

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

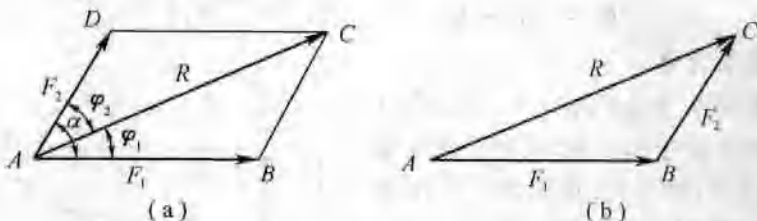


图 1-1-5

为方便起见,在利用矢量加法求合力时,可不必画出整个平行四边形,而是从 A 点作矢量 $\mathbf{F}_1$,再由 $\mathbf{F}_1$ 的末端 B 作矢量 $\mathbf{F}_2$,则矢量 $\overrightarrow{AC}$ 即为合力 $\mathbf{R}$ 。这种求合力的方法称为力的三角形法则,如图 1-1-5(b) 所示。显然,若改变 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 的顺序,其结果不变。

力的平行四边形法则是力系合成的法则,也是力系分解的法则。该法则表明了最简单力系简化的规律,它也是复杂力系简化的基础。但由于直接利用力的平行四边形法则计算合力比较麻烦,下面介绍解析法求合力。

(一)力在平面直角坐标轴上的投影

若力 F 在平面 Oxy 内,其矢量表达式为:

$$F = F_x + F_y = F_x i + F_y j \quad (1-1-2)$$

式中 F_x, F_y ——分别表示力 F 沿平面直角坐标系 x 轴、 y 轴方向上的两个分量;

F_x 和 F_y ——分别为力 F 在平面直角坐标系 x 轴、 y 轴上的投影;

i, j ——分别为直角坐标系 x 轴、 y 轴上的单位矢量。

投影的正负号规定如下:若 F_x 方向与 x 轴正向一致,则取正号;反之则取负号。若 F_y 方向与 y 轴正向一致,则取正号;反之则取负号。

如图 1-1-6 所示,力 F 在 x 轴和 y 轴的投影分别为:

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F \cos \alpha \\ F_y &= -F \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (1-1-3)$$

若已知力 F 在平面直角坐标轴上的投影 F_x 和 F_y ,则该力的大小和方向为:

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

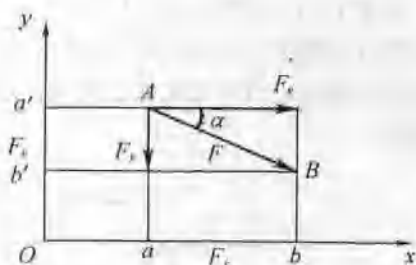


图 1-1-6

式中 α 表示力 F 与 x 轴所夹的锐角, F 的指向由 F_x 和 F_y 的正负来确定。

应当注意,力在轴上的投影是代数量,而分力是矢量,不可把它们混同起来。

(二)合力投影定理

力系的合力在某一直角坐标轴上的投影等于力系中各分力在同一轴上投影的代数和,此即为合力投影定理。(证明略)

合力投影定理的数学表达式:

$$\left. \begin{aligned} R_x &= F_{1x} + F_{2x} + \cdots + F_{nx} = \sum F_x \\ R_y &= F_{1y} + F_{2y} + \cdots + F_{ny} = \sum F_y \end{aligned} \right\} \quad (1-1-5)$$

(三)解析法求合力

若刚体上作用 n 个力 $F_1, F_2, \cdots, F_n$, 各力的作用线共面且汇交于同一点(称为平面汇交力系), 为求出它们的合力, 首先选定坐标系 Oxy , 求出力系中各力在 x, y 轴上的投影 $F_{1x}, F_{1y}, F_{2x}, F_{2y}, \cdots, F_{nx}, F_{ny}$, 如图 1-1-7 所示, 再由下面公式求得:

$$\left. \begin{aligned} R_x &= \sum F_x \\ R_y &= \sum F_y \end{aligned} \right\} \quad (1-1-6)$$

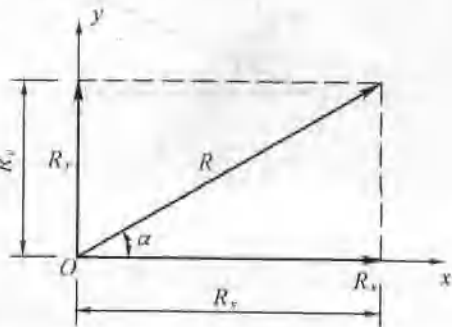


图 1-1-7

$$\left. \begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \\ \tan \alpha &= \left| \frac{R_y}{R_x} \right| \end{aligned} \right\} \quad (1-1-7)$$

式中, α 表示力 R 与 x 轴所夹的锐角, R 的指向由 R_x 和 R_y 的正负来确定。

推论二 三力平衡汇交定理

刚体受三个共面但互不平行的力作用而平衡时, 此三力必汇交于一点。

此定理说明了不平行的三力平衡的必要条件, 而且, 当两个力的作用线相交时, 可用来确定第三个力的作用线方位。同时, 如果刚体受三个力作用而平衡且已知有两个力平行时, 则可肯定第三个力也与它们平行。

公理四 作用与反作用公理

两物体间的作用力与反作用力, 总是大小相等, 方向相反, 沿同一条直线, 分别作用在这两个物体上。

此定律概括了自然界中物体间相互作用关系, 表明一切力总是成对出现的, 揭示了力的存在形式和力在物体间的传递方式。

特别要注意的是, 必须把作用与反作用定律与二力平衡公理严格地区分开来。作用与反作用定律是表明两个物体相互作用的力学性质, 而二力平衡公理则说明一个刚体在两个力作用下处于平衡时两力满足的条件。

第二节 力对点之矩

一、力矩的概念

人们从生产实践活动中得知, 力不仅能够使物体沿某方向移动, 还能够使物体绕某点产生转动。例如人用扳手拧紧螺母时, 施于扳手的力 F 使扳手与螺母一起绕转动中心 O 转动, 由经验可知, 螺母转动效应的大小不仅与 F 的大小和方向有关, 而且与转动中心点 O 到 F 作用线的垂直距离有关。因此, 在 F 作用线和转动中心点 O 所在的同一平面内 (如图 1-1-8 所示) 我们将点 O 称为矩心, 点 O 到 F 作用线的垂直距离 d 称为力臂, 力使物体绕转动中心的转动效应, 就用力 F 的大小与力臂 d 的乘积并冠以适当的正负号来度量, 该量称为力对 O 点之矩, 简称力矩, 记作 $m_o(F)$, 即

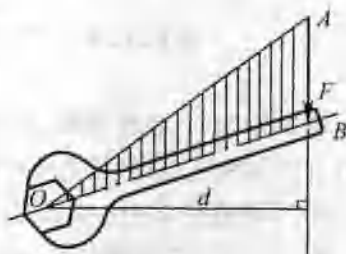
$$m_o(F) = \pm Fd \quad (1-1-8)$$

图 1-1-8

式中正负号规定为: 若力使物体绕矩心逆时针方向转动时, 则力矩为正; 反之, 力矩为负。力矩的常用单位为 $N \cdot m$ 或 $kN \cdot m$ 。

由力矩的定义可知:

- (1) 力对点之矩的大小, 不仅取决于力的大小, 还与矩心的位置有关;
- (2) 力对任意点之矩的大小, 不因该力的作用点沿其作用线移动而改变;
- (3) 力的作用线通过矩心时, 力矩为零。



二、合力矩定理

设物体上作用有一个平面汇交力系 $F_1, F_2, \dots, F_n$ 其合力为 R 。由于合力与力系等效, 因此合力对平面内任意点之矩等于力系中所有分力对同一点之矩的代数和, 即

$$m_o(R) = m_o(F_1) + m_o(F_2) + \dots + m_o(F_n) = \sum m_o(F) \quad (1-1-9)$$

这就是合力矩定理。对于有合力的其他力系, 合力矩定理同样成立。

当力矩的力臂不易求出时, 常将力正交分解为两个易确定力臂的分力, 然后应用合力矩定理计算力矩。

例 1.1.1 如图 1-1-9 所示, 力 $F = 120 \text{ N}$, 作用在锤柄上, 柄长 $l = 350 \text{ mm}$, 试求 (a)、(b) 两种情况下力 F 对支点 O 的力矩。

解 在 (a) 种情况下, 矩心 O 到力 F 作用线的垂直距离 $h = l$, 力 F 使锤柄绕 O 点逆时针转动, 则力 F 对 O 点的力矩为:

$$m_o(F) = Fh = 120 \times 350 = 42\,000 \text{ N} \cdot \text{mm} = 42 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

在 (b) 种情况下, 矩心 O 到力 F 作用线的垂直距离 $h = l \cos 30^\circ$, 力 F 使锤柄绕 O 点顺时针转动, 则力 F 对 O 点的力矩为:

$$m_o(F) = -Fh = -120 \times 350 \times \cos 30^\circ = -36\,400 \text{ N} \cdot \text{mm} = -36.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

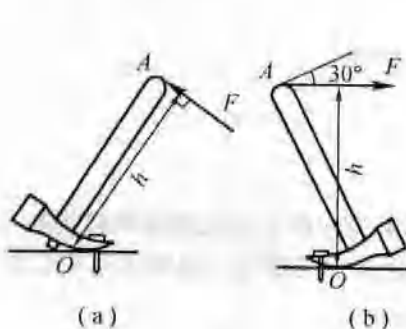


图 1-1-9

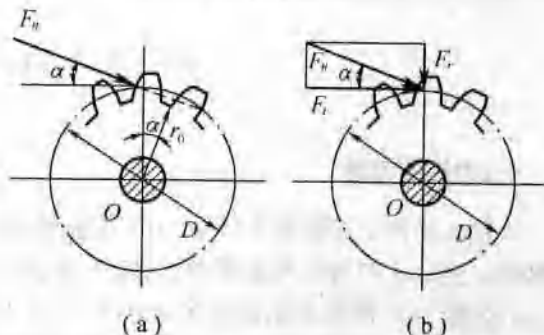


图 1-1-10

例 1.1.2 一齿轮受到与它相啮合的另一齿轮的法向压力 $F_n = 1\,400 \text{ N}$ 的作用, 如图 1-1-10(a) 所示, 已知压力角 (作用在啮合点的力与啮合点的绝对速度之间所夹的锐角) $\alpha = 20^\circ$, 节圆直径 $d = 0.12 \text{ m}$, 求法向压力 F_n 对齿轮轴心 O 之矩。

解 用合力矩定理求解, 如图 1-1-10(b) 所示。

将力 F_n 在啮合点处分解为圆周力 $F_t = F_n \cos \alpha$ 和径向力 $F_r = F_n \sin \alpha$, 由合力矩定理, 得

$$m_o(F_n) = m_o(F_t) + m_o(F_r) = F_t \times \frac{d}{2} + 0 = 2\,000 \times \cos 20^\circ \times \frac{0.12}{2} = 112.74 \text{ N} \cdot \text{m}$$

第三节 力 偶

一、力偶与力偶矩

在人们的生活和实践中,经常会见到两个大小相等、方向相反、作用线相互平行但不共线的两个力作用在同一个物体上。例如,司机用两手驾驶汽车时作用在方向盘上的力,如图 1-1-11(a)所示;工人使用丝锥用双手攻丝时加在丝锥把手上的力,如图 1-1-11(b)所示。力学上把这一对等值、反向、不共线的两个平行力称为力偶,用符号 (F, F') 表示。力偶两力作用线之间的垂直距离 d 称为力偶臂,如图 1-1-12 所示,力偶的两力作用线所决定的作用面称为力偶作用面,力偶使物体转动的方向称为力偶的转向。实践证明,力偶只能使

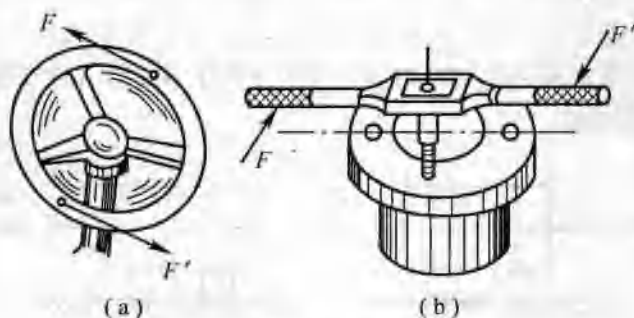


图 1-1-11

物体转动,力偶对物体的转动效应可用力偶中的力与力偶臂的乘积再冠以适当的正负号来确定,称为力偶矩,记作 $m(F, F')$ 或简写为 m ,即

$$m(F, F') = m = \pm Fd \quad (1-1-10)$$

力偶矩与力矩一样是一个代数量。式中的正负号表示力偶的转向,通常规定,力偶的转向为逆时针时取正,反之取负。力偶矩的单位是 $\text{N}\cdot\text{m}$ 或 $\text{kN}\cdot\text{m}$ 。

二、力偶的性质

(1)力偶只能使物体转动而不能使物体平动,而力可以使物体产生平动,也可以使物体产生转动。

(2)力偶无合力,力偶不能用一个力来代替。力偶在任意轴上投影的代数和为零,故不能合成为一个力,也不能与一个力等效。力偶的这一性质说明了力偶不能与一个力相互平衡,只能与一个力偶平衡。可见,力与力偶是静力学的两个基本要素。

(3)力偶对其作用面上任意点之矩,恒等于力偶矩,而与矩心无关。力偶对其作用面内任意点之矩,恒等于其力偶矩,而与矩心的位置无关。如图 1-1-13 所示,已知力偶 (F, F') 的力偶矩为 $m(F, F') = Fd$,在力偶作用平面内任取一点 O 为矩心,设 O 点到力 F 的垂直距离为 x ,则 (F, F') 对 O 之矩的代数和为:



图 1-1-12

$$m_o(F) + m_o(F') = -Fx + F'(x+d) = m(F, F')$$

显然,力偶矩 $m(F, F')$ 与 x 无关,即与矩心无关。

(4)力偶的等效性。同一平面内的两个力偶,如果它们的转向相同、力偶矩的大小相等,则两个力偶等效。

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,而不改变它对刚体的作用效应。这一性质说明力偶对物体的作用与力偶在作用面内的位置无关。

推论 在保持力偶矩大小和转向不变的情况下,可以任意改变力偶中力的大小和力偶臂的长短,而不会改变对物体的转动效应。

根据力偶的等效性,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度量参数。因此,力偶常用一带箭头的折线或弧线来表示,其中折线、弧线所在的平面代表力偶的作用面,箭头的指向表示力偶的转向,再标注力偶矩的大小,如图 1-1-13 所示。因此,我们可以把力偶矩的大小、力偶转向和力偶作用面归结为力偶的三要素,凡此三要素相同的力偶彼此等效。

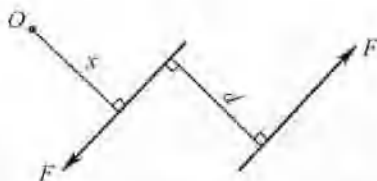


图 1-1-13

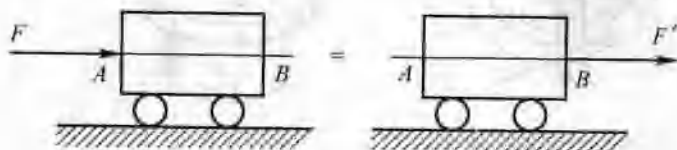


图 1-1-14

三、力偶系的合成

当物体在某平面内作用有两个或两个以上的力偶时即组成平面力偶系,从上面的力偶性质可知,力偶对刚体只产生转动效应,且转动效应的大小完全取决于力偶矩的大小和转向,那么,力偶系可以简化,其简化结果也应是一个力偶。力偶系简化所得到的结果称为力偶系的合力偶。可以证明,合力偶矩的大小等于各个分力偶矩的代数和,即

$$M = m_1 + m_2 + \cdots + m_n = \sum m \quad (1-1-12)$$

第四节 约束与约束反力

在实际工程中,我们所遇到的物体通常分为两种。不受任何限制,可向一切方向运动的物体,称为自由体,例如飞行的飞机、炮弹、飞鸟等;受其他物体的限制,沿着某些方向不能运动的物体,称为非自由体。

限制非自由体运动的周围物体,称为该非自由体的约束。如图 1-1-15 中,灯的向下运动受到绳子的限制,灯是非自由体,绳子是灯的约束。

在实际中,我们把能使物体产生运动或运动趋势的力称为主动力,例如重力、载荷、牵引力等。把约束对物体的作用力称为约束反力。显然,主动力使物体将产生运动或运动趋势,

而约束反力则限制物体的运动。

约束反力的方向与物体被限制的运动方向或运动趋势方向相反。下面介绍工程中常见的几种约束及确定约束反力方向的方法。

一、柔索约束

由绳索、链条、胶带等柔性物体所构成的约束称为柔索约束。柔索约束只能限制物体沿柔索伸长方向的运动,而不能限制其他方向的运动,所以柔索约束反力的方向总是沿柔索中心线且背离被约束物体,即为拉力,通常用符号 T 表示,如图 1-1-16 所示。

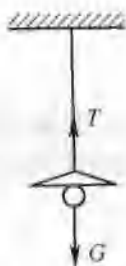


图 1-1-15

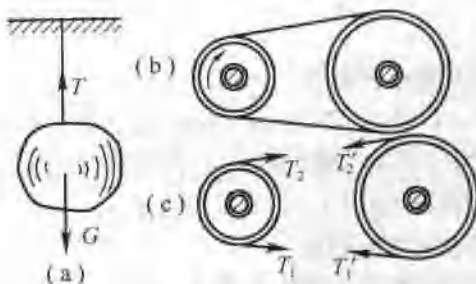


图 1-1-16

二、光滑面约束

当物体之间以点、线、面形式接触且认为两物体接触面之间的摩擦很小,可以忽略不计时,则构成光滑面约束。光滑面约束的接触方式有多种(如平面与平面;曲面与曲面等),但光滑面对被约束物体在过接触点处的公切面内任意方向的运动不加限制,同时也不限制物体沿接触面处的公法线脱离接触面,但限制物体沿该公法线方向进入约束内部,因此,光滑接触面约束的约束反力必沿接触面处的公法线指向被约束物体,常用符号 N 表示,如图 1-1-17 所示。

三、光滑圆柱铰链约束

工程中,将两个物体用圆柱形销钉连接起来,接触处的摩擦忽略不计,受约束的两个物体都只能绕销钉轴线转动,销钉对被约束的物体沿垂直于销钉轴线的方向的移动形成约束。这类约束,根据连接的物体形状、位置及作用,可以分为以下几种形式。

1. 中间铰链约束

如图 1-1-18(a)所示,1,2 分别是带圆孔的两个物体,用销钉将 1,2 两个物体连接起来,便构成了中间铰链约束,如图 1-1-18(b)所示,简图通常用图 1-1-18(c)表示。

由于销与物体之间的接触面是光滑的,在主动力的作用下,销与物体产生局部接触,本质上是属于光滑面约束。但由于主动力的方向不能预先确定,所以约束反力的方向也不能

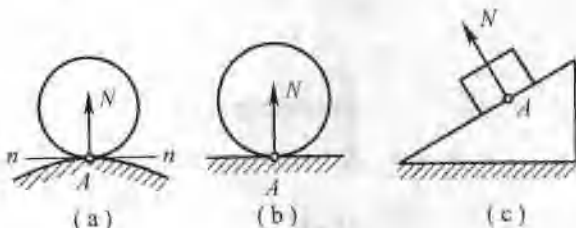


图 1-1-17