

高职高专
规划教材

Mechanical design

机械设计 基础

主编 / 陈完成 续永刚 赵晓平
主审 / 李衡燕

兵器工业出版社

高职高专规划教材

机械设计基础

主 编 陈完成 续永刚 赵晓平

副主编 王 俊 姚 杰

主 审 李衡燕

江苏工业学院图书馆
藏书章

兵器工业出版社

内 容 简 介

本书是为适应我国迅猛发展的高职教育而编写的改革教材。主要按照职业教育特点,侧重针对性与实用性,注重培养学生理论知识的应用与解决工程实际问题的技能而编写。全书共十五章,主要内容包括:绪论、工程力学基础、平面机构的运动简图及自由度、平面连杆机构、凸轮机构、齿轮传动、齿轮系、构件的强度分析、带传动、链传动、螺纹联接与螺旋传动、轴和轴毂联接、轴承、其他常用零部件等。书中配有一定数量的例题、习题,以帮助学生掌握相关的知识,适用学时数为80~120学时。

本书可作为高职、高专院校机械类、机电类和近机类专业的教学用书,也可供从事机械设计、制造和维修等工作的有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/陈完成,续永刚,赵晓平主编. —北京:
兵器工业出版社, 2008. 11

ISBN 978 - 7 - 80248 - 232 - 6

I. 机… II. ①陈…②续…③赵… III. 机械设计 IV.
TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 158633 号

出版发行: 兵器工业出版社

发行电话: 010 - 68962596, 68962591

邮 编: 100089

社 址: 北京市海淀区车道沟 10 号

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市登峰印刷厂

版 次: 2008 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

印 数: 1—2000

责任编辑: 陈红梅

封面设计: 李尘工作室

责任校对: 郭 芳

责任印制: 赵春云

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 20.75

字 数: 517 千字

定 价: 35.00 元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

前 言

本书是根据教育部关于高职高专教育机械设计基础课程教学的基本要求以及最新审定的人才培养方案,并结合编者多年教学、生产实践经验编写而成。

随着科学技术的飞速发展和社会产业结构的变化,对人才的设计、操作、管理等方面的知识、能力及素质结构都提出了更高的要求。本书从培养高级应用型人才应具备的基本技能出发,充分考虑学生实际需要和工业生产实际,力求简明、实用。主要特点如下:

1. 突出针对性和实用性

考虑学生特点和高职教学要求,简化有关基本理论和相关公式的分析推导;有机整合理论力学、材料力学、机械原理、机械零件四部分教学内容,避免重复交叉;围绕常用机构的分析和通用零件的选用,适当分散教学侧重点于各有关章节;完善凸轮、齿轮等零件的设计分析,突出实用计算。

2. 力求简明,够用

删简了连杆机构、弹簧等有关的设计内容,只对其结构类型特点和应用作分析介绍。

3. 练习题型新颖、方便

本书习题大部分以选择、判断、设计计算的形式出现,方便了学生练习和教师批阅。

参加本书编写的有石家庄职业技术学院的陈完成(第一、五、七章及第十四章一~六节),续永刚(第二、三、四、八章),赵晓平(第十、十一、十三章)和辽阳职业技术学院的姚杰(第六、十二、十五章),辽宁地质工程职业学院的王俊(第九章及第十四章七~八节)等同志。由陈完成负责全书的统稿、编定。

全书由石家庄职业技术学院李衡燕担任主审。

鉴于编者水平有限,虽经反复修改仍难免有疏漏和不妥之处,敬请各位教师 and 广大读者提出宝贵意见。

编 者

2008年8月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 本课程的性质和研究对象	1
第二节 本课程的内容和任务	2
第三节 本课程的学习方法	3
第四节 机械设计概述	3
第二章 工程力学基础	6
第一节 静力学基础	6
第二节 运动学基础	25
第三节 动力学基础	44
习题	48
第三章 平面机构的运动简图及自由度	55
第一节 运动副及其分类	55
第二节 平面机构运动简图	56
第三节 平面机构的自由度	58
习题	62
第四章 平面连杆机构	64
第一节 铰链四杆机构	64
第二节 铰链四杆机构中曲柄存在的条件及其基本类型的判别	67
第三节 铰链四杆机构的演化	68
第四节 平面连杆机构设计中的几个问题	71
习题	75
第五章 凸轮机构	77
第一节 概述	77
第二节 常用的从动件运动规律	79
第三节 凸轮轮廓设计	83
第四节 凸轮机构设计中的几个问题	85
习题	89

第六章 间歇运动机构	91
第一节 棘轮机构	91
第二节 槽轮机构	94
第三节 不完全齿轮机构	96
习题	97
第七章 齿轮传动	98
第一节 齿轮传动的特点与分类	98
第二节 齿廓啮合基本定律	99
第三节 渐开线齿廓及啮合特性	101
第四节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸	104
第五节 标准直齿圆柱齿轮的啮合传动	108
第六节 渐开线直齿圆柱齿轮的加工方法	111
第七节 齿轮传动的设计准则	114
第八节 齿轮的常用材料和许用应力	117
第九节 直齿圆柱齿轮传动	121
第十节 斜齿圆柱齿轮传动	124
第十一节 圆锥齿轮传动	131
第十二节 齿轮的结构和齿轮传动的润滑	136
第十三节 蜗杆蜗轮传动	140
习题	151
第八章 齿轮系	156
第一节 概述	156
第二节 定轴轮系传动比的计算	157
第三节 周转轮系及其传动比	159
第四节 混合轮系及其传动比	162
习题	163
第九章 构件的强度分析	166
第一节 基本变形构件的内力、应力和强度	166
第二节 应力状态和强度理论	183
第三节 组合变形构件的强度	186
第四节 动载荷和交变应力	190
习题	192
第十章 带传动	197
第一节 概述	197

第二节	V 带传动的基本参数和几何尺寸	198
第三节	V 带和 V 带轮	200
第四节	带传动的工作能力分析	205
第五节	普通 V 带的设计计算	213
习题		218
第十一章	链传动	220
第一节	概述	220
第二节	滚子链和链轮	221
第三节	链传动的运动特性	224
第四节	滚子链传动的设计计算	225
第五节	链传动的布置、张紧及润滑	230
习题		231
第十二章	螺纹联接与螺旋传动	233
第一节	螺纹联接的基本知识	233
第二节	螺纹联接的预紧与防松	239
第三节	单个螺栓联接的强度计算	240
第四节	螺栓组联接的结构设计和受力分析	244
第五节	螺纹联接件的材料和许用应力	250
第六节	滑动螺旋传动简介	253
第七节	滚动螺旋传动简介	255
习题		256
第十三章	轴和轴毂联接	258
第一节	轴的分类与功用	258
第二节	轴的结构设计	260
第三节	轴的强度计算	264
第四节	轴的材料及选择	266
第五节	轴的设计	267
第六节	轴毂联接	271
习题		275
第十四章	轴承	277
第一节	轴承的功用和类型	277
第二节	滚动轴承的结构、类型及特点	277
第三节	滚动轴承的代号	281
第四节	滚动轴承类型的选择	283
第五节	滚动轴承的工作情况分析 & 计算	285

第六节 滚动轴承的组合设计.....	292
第七节 滑动轴承概述.....	305
习题.....	309
第十五章 其他常用零、部件.....	311
第一节 联轴器.....	311
第二节 离合器.....	316
第三节 弹簧.....	318
习题.....	322
参考文献	324

第一章 绪 论

在日常生活和生产活动中,人们广泛使用着各种各样的机械。其主要目的是为了减轻和代替人的劳动,提高劳动生产率。在机械发展方面,我国人民有着光辉的成就,汉朝张衡的候风地动仪、西汉时期的指南车和记里鼓车、元朝黄道婆的织布机、秦始皇陵发掘出土的大型彩绘铜车马等都是我国劳动人民智慧的结晶,充分显示了我国劳动人民卓越的制造才能。机械工业的生产水平是一个国家现代化建设水平的主要标志之一。为了更好地运用、研究、发展机械,对于现代从事机械、机电类工作的应用型技术人员,学习和掌握一定的机械设计基础知识是非常必要的。

第一节 本课程的性质和研究对象

一、本课程的性质

机械设计基础是机械类专业重要的设计基础课程,本课程培养学生分析、选择常见机构和选择、设计一般工作条件下常用参数范围内的通用零、部件的能力,起着“从理论过渡到实际、从基础过渡到专业”的承前启后的桥梁作用。

二、本课程的研究对象

本课程研究的对象是机械。机械是机器与机构的总称。

机器是执行机械运动和信息转换的装置,机器的种类繁多,其用途和结构形式也不尽相同。机器的组成有三个共同的特征:①人为的实物组合体;②各运动单元间具有确定的相对运动;③能代替人类做有用的机械功或进行能量转换。现代机器的内涵还应包括进行信息处理、影像处理等功能。仅具备前两个特征的称为机构。图1-1所示为单缸内燃机,它由汽缸体1、活塞2、进气阀3、排气阀4、连杆5、曲轴6、凸轮7、顶杆8、齿轮9和10组成。通过燃气在汽缸内的进气—压缩—作功—排气过程,使其燃烧的热能转变为曲轴转动的机械能。图1-2所示为颚式破碎机,电动机1通过带传动装置(2、3、4)带动偏心轮5转动,使得动颚板6作往复摆动,与定颚板7共

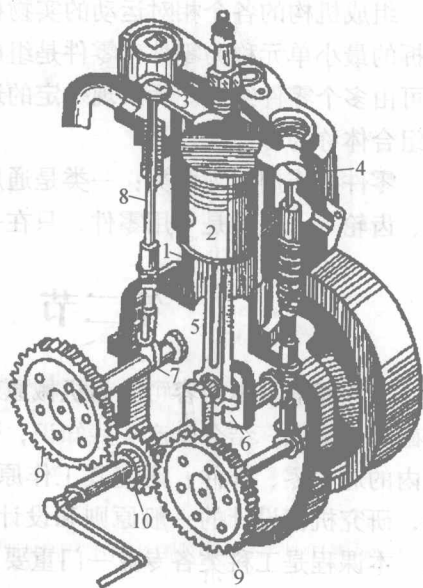


图1-1 单缸内燃机

同实现压碎物料的工作任务。

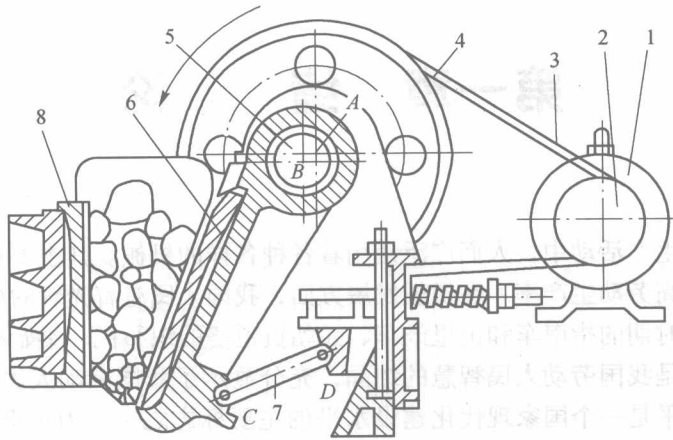


图 1-2 颞式破碎机

由上述两实例分析可知，机器一般由原动装置、传动装置、执行装置三大部分组成。一般机械中最常见的原动装置为电动机，它为机器提供动力；传动装置通常由一些机构（连杆机构、凸轮机构等）或传动（带传动、齿轮传动等）组成，实现运动形式或速度的改变及动力的传递；执行装置是机器完成工作任务的重要组成部分。

机构是具有确定的相对运动，能实现一定运动形式转换或动力传递的实物组合体。从功能上看，机构和机器的根本区别是机构只能传递运动或动力，一般不直接做有用的机械功或进行能量转换。因此，一般来说，机构是机器的重要组成部分，一般机器是由单个或多个机构再加辅助设备组成的。从构成和运动的角度看，机器和机构也无本质的区别，故工程实践中将机器和机构统称为“机器”。

组成机构的各个相对运动的实物称为构件，构件是机构运动的最小单元。机械制造中不可拆的最小单元称为零件，零件是组成构件的基本部分。一个构件可以只由一个零件组成，也可由多个零件组成。为实现一定的运动转换或完成某一工作要求，把若干构件组装到一起的合体称为部件。

零件按作用分为两类：一类是通用零件，是各种机器中经常使用的零件，如螺栓、传动带、齿轮等；一类是专用零件，只在一些特定的机器中使用，如曲轴、叶片等。

第二节 本课程的内容和任务

本课程的基本内容可分为机械原理和机械零件设计两大部分，是综合应用各先修课程的基础理论知识，结合生产实践知识，研究机械中的常见机构和一般工作条件下的常用参数范围内的通用零、部件，研究其工作原理、特点、应用、机构和基本设计理论、基本计算方法，研究机械设计的一般原则和设计步骤，研究常用零部件的选用和维护等共性问题。因此，本课程是工科类各专业一门重要的技术基础课。

本课程的任务为：

- (1) 了解使用、维护和管理常见机械设备的一些基础知识。

- (2) 初步掌握常用机构的性能、应用场合、使用维护等基础知识。
- (3) 具备正确选择常用机械零件的类型、代号等基础知识。
- (4) 初步具备设计机械传动和运用手册设计简单机械的能力。
- (5) 为学习有关专业机械设备和参与应用型技术工作奠定必要的基础。

第三节 本课程的学习方法

本课程是一门介于基础课和专业课之间的具有设计性的专业基础课,是从理论性、系统性较强的基础课向实践性较强的专业课的转折点。本课程的性质决定它与先修课程有许多不同的地方,体现在观念多、公式多、符号多、名词多、图表多和系统性差、逻辑性差等方面。因此,本课程的学习方法不同于先修课程,要想学好本课程就要多观察、多分析日常生活和工程实践中的机械实例,要理论联系实际。要深入到工厂了解和熟悉生产一线常用零部件的材料、加工方法、选择原则及设备的维护方法等生产实践知识。除传统的学习方法外,需要注意三个问题:

- (1) 转折——理论联系实际。
- (2) 明确——设计并非计算。
- (3) 认清——范例并非标准。

通过学习本课程有关机械设计的基础知识,提高分析能力和综合能力,特别要注重实践能力和创新能力的培养,加强技能训练,全面提高自身素质和综合职业技能。

第四节 机械设计概述

机械设计是根据社会需求所提出的机械设计任务,综合应用当代各种先进技术成果,运用各种适用的设计方法,设计出满足使用要求,技术先进、经济合理、外形美观、综合性能好,并能集中反映先进生产力的产品;也可能是在原有的机械设备基础上作局部改进,以优化结构,增大机械的工作能力,提高效率,降低能耗,减少污染等,这些都是机械设计范畴应考虑的问题。机械设计是一门综合的技术,是一项复杂、细致和科学性很强的工作,涉及许多方面,要设计出合格的产品,必须兼顾众多因素。下面简述几个与机械设计有关的基础问题。

一、机械设计应满足的基本要求

使用要求——具有可靠的稳定的工作性能,达到设计要求。使用要求包括功能要求和可靠性要求。

经济要求——要达到机器本身成本低,用该机器生产的产品成本也要低。

安全要求——保证人身安全,操作方便、省力。

外观要求——造型应美观、协调。

此外还有噪声、起重、运输、卫生、防腐蚀、防冻等方面的要求。

二、机械零件的失效形式和计算准则

(一) 零件的失效形式

失效——零件失去预设的效能称为零件失效。

失效和破坏并不是一回事，失效并不等于破坏，也就是有些零件理论上是失效了，如齿轮的齿面点蚀、胶合、磨损等失效形式出现后，零件还可以工作，只不过是工作的状况不如原来的好，可能会出现噪声等。一般情况下零件破坏后就不能再工作了，也可以说破坏是绝对的失效，如齿轮的轮齿折断是失效，也是破坏。

常见的零件失效形式大体上分为：①整体断裂；②过大的残余变形；③零件的表面破坏（腐蚀、磨损、接触疲劳）。失效尤其以腐蚀、磨损、疲劳破坏为主（有资料介绍在 1378 项机械零件的失效中，腐蚀、磨损、疲劳破坏占 73.88%，断裂仅占 4.79%）。

(二) 零件的设计准则

设计时，根据不同的失效原因建立起来的工作能力判定条件称为零件的设计计算准则。

1. 强度准则

强度是零件应满足的基本要求。强度是指零件在载荷作用下抵抗断裂、塑性变形及表面失效（磨粒磨损、腐蚀除外）的能力。强度可分为整体强度和表面强度（接触与挤压强度）两种。

整体强度的判定准则为：零件在危险截面处的最大应力（ σ , τ ）不应超过允许的限度（称为许用应力，用 $[\sigma]$ 或 $[\tau]$ 表示），即

$$\sigma \leq [\sigma]$$

或

$$\tau \leq [\tau]$$

另一种表达形式为：危险截面处的实际安全系数 S 应大于或等于许用安全系数 $[S]$ ，即

$$S \geq [S]$$

表面接触强度的判定准则为：在反复的接触应力作用下，零件在接触处的接触应力 σ_H 应该小于或等于许用接触应力值 $[\sigma_H]$ ，即

$$\sigma_H \leq [\sigma_H]$$

对于受挤压的表面，挤压应力不能过大，否则会发生表面塑性变形、表面压溃等。挤压强度的判定准则为：挤压应力 σ_p 应小于或等于许用挤压应力 $[\sigma_p]$ ，即

$$\sigma_p \leq [\sigma_p]$$

2. 刚度准则

刚度是指零件受载后抵抗弹性变形的能力，其设计计算准则为：零件在载荷作用下产生的弹性变形量 y 应小于或等于其工作性能允许的极限值 $[y]$ ，即

$$y \leq [y]$$

3. 耐磨性准则

设计时应使零件的磨损量在预定限度内不超过允许量。由于磨损机理比较复杂，通常采用条件性的计算准则，即零件的压强 p 应小于或等于零件的许用压强 $[p]$ ，即

$$p \leq [p]$$

4. 散热性准则

零件工作时如果温度过高将导致润滑剂失去作用, 材料的强度极限下降, 引起热变形及附加热应力等, 从而使零件不能正常工作。散热性准则为: 根据热平衡条件, 工作温度 t 应小于或等于许用工作温度 $[t]$, 即

$$t \leq [t]$$

5. 可靠性准则

可靠性用可靠度表示, 对那些大量生产而又无法逐件试验或检测的产品, 更应计算其可靠度。零件的可靠度用零件在规定的使用条件下、在规定的时间内能正常工作的概率来表示, 即用在规定的寿命时间内能连续工作的件数占总件数的百分比表示。如某系统由 N_T 个零件组成, 在预期寿命内只有 N_S 个零件能连续正常工作, 则该系统的可靠度为

$$R = N_S / N_T$$

(三) 设计步骤

机械设计方法很多, 既有传统的设计方法, 也有现代的设计方法, 这里不详细论述, 只简单介绍常用机械零件的设计方法:

(1) 根据使用要求, 选择零件的类型和结构。

(2) 根据工作要求, 计算零件上的载荷。

(3) 根据工作条件, 选择材料。

(4) 确定计算准则, 计算出零件的基本尺寸。

(5) 结构设计。

(6) 校核计算。

(7) 写说明书。

在机械设计和制造的过程中, 有些零件如螺栓、滚动轴承等应用范围广, 用量大, 为便于专业化制造, 这些零件都制成标准件, 由专门生产厂生产。对于同一产品, 为了符合不同的使用要求, 生产若干同类型不同尺寸或不同规格的产品, 作为系列产品生产以满足不同用户的需求。不同规格的产品使用相同类型的零件, 以使零件的互用更为方便, 也是机械设计应考虑的问题。因此, 在机械零件设计中, 还应注意标准化、系列化、通用化。

第二章 工程力学基础

实践中,有些工程问题可以直接应用工程力学的基本理论去解决,有些比较复杂的工程问题则需要用工程力学和其他专门知识共同来解决。学习工程力学是为解决工程问题打下一定的基础。其中,静力学主要研究受力物体平衡时作用力所应满足的条件,研究物体受力分析的方法以及力系的简化方法;运动学只从几何的角度来研究物体的运动,如运动轨迹、速度和加速度等,而不研究引起物体运动的物理原因;动力学研究受力物体的运动与作用力之间的关系。

物体在空间位置随时间的改变称为机械运动。机械运动是人们在工程中常见的一种运动。工程力学是研究物体机械运动一般规律的科学。

工程力学研究的内容是速度远远小于光速的宏观物体的机械运动,它以伽利略和牛顿总结的基本规律为基础,属于古典力学的范畴。宏观物体远小于光速的运动是日常生活及一般工程中最常遇到的,因此古典力学有着最广泛的应用。

第一节 静力学基础

实际上,工程中的大部分机器的零件和机构的构件是处于平衡状态的,如起重机的底座,桥梁的桁架,匀速转动的机床主轴等。由此可见,研究物体的平衡是有实际意义的。所谓物体的平衡,是指物体相对于地面保持静止或作匀速直线运动的状态。若物体处于平衡状态,则作用于物体上的一组力(称力系)必须满足一定的条件。这些条件称为平衡条件,满足平衡条件的力系称为平衡力系。

静力学主要研究受力物体平衡时的平衡条件,同时也研究力的基本性质,力系简化的规律及物体受力分析的方法。

一、力的性质和基本计算

(一) 力的概念

力是物体间相互的机械作用,这种作用使物体的机械运动状态发生变化,或者使物体发

生变形。力对物体的作用效应,取决于力的大小、方向和作用点,这些通常称为力的三要素。这三个要素中只要其中的一个发生变化,力的作用效应就发生变化。

力是一个既有大小又有方向的物理量,因此力是矢量,用具有方向的线段来表示,如图2-1所示。线段的起点A表示力的作

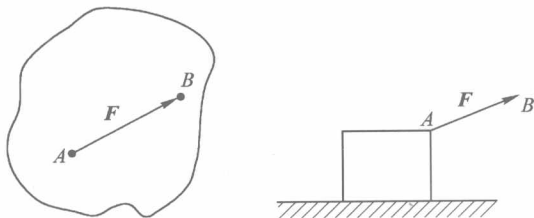


图2-1 力的表示

用点，用线段的方位和箭头表示力的方向，用线段的长度表示力的大小。本书中，力的矢量用黑体字母表示，如 $\mathbf{F}$ 。

力的单位是牛顿，用 N 表示（或千牛顿，用 kN 表示）。

（二）静力学公理

静力学公理是人们在长期的生活和生产实践中总结概括出来的。这些公理的正确性已为实践反复证明并被公认。它们是静力学的理论基础。

公理一：二力平衡公理

作用于刚体上的两个力平衡的必要和充分条件是：这两个力的大小相等，方向相反，并作用于一条直线上，如图 2-2 所示。

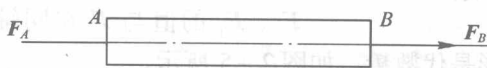


图 2-2 二力平衡

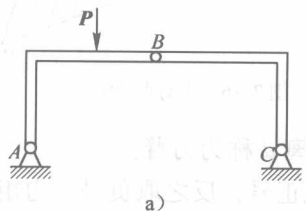
只在两个力作用下处于平衡状态的构件，称为二力杆，或称为二力构件。工程上存在许多二力杆。例如当不计构件自重时，图 2-3 所示的 BC 杆就称为二力杆。

公理二：加减平衡力系公理

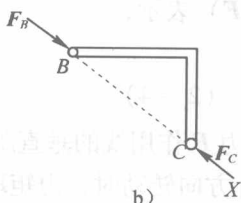
在作用于刚体上的任何一个力系上，加上或去掉任一平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效应。也就是说，如果两个力系只差一个或几个平衡力系，则它们的作用效果是相同的。

公理三：力的平行四边形法则

作用于物体同一点的两个力，可以合成为一个合力。合力的作用点仍在该点，合力的大小和方向以这两个力为邻边所作的平行四边形的对角线来表示，如图 2-4 所示。



a)



b)

图 2-3 二力杆

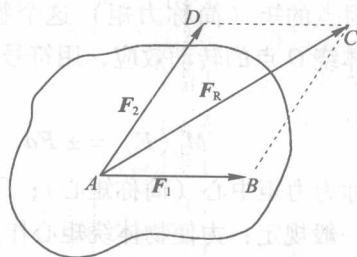


图 2-4 力的平行四边形法则

这一公理提供了力的合成与分解的方法，合力 $\mathbf{F}_R$ 称为 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 的矢量和，用公式表示为

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (2-1)$$

公理四：作用与反作用定律

两物体间相互作用的力，总是大小相等，方向相反，作用于一条直线上，并分别作用于这两个物体上。

这一公理表明，作用力与反作用力是成对出现的，分别作用在两个物体上，绝不能认为这两个力组成一个平衡力系。这与公理一有本质的区别，不能混淆。

（三）力在坐标轴上的投影和力的分解

力 $\mathbf{F}$ 在坐标轴上的投影定义为：过 $\mathbf{F}$ 两端向坐标轴引垂直线，垂足为 a 、 b 和 a' 、 b' ，

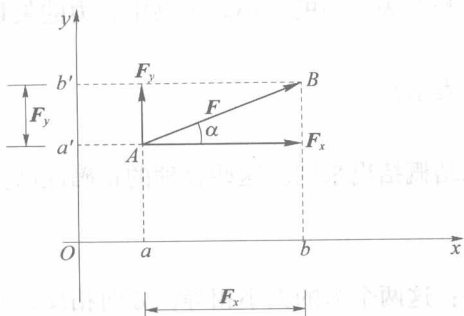


图 2-5 力在坐标轴上的投影

如图 2-5 所示。线段 ab , $a'b'$ 分别为 F 在 x 轴和 y 轴上投影的大小。投影的正负号规定为：从 a 到 b (或 a' 或 b') 的指向与坐标轴正向一致为正，反之为负。 F 在 x 轴和 y 轴上的投影分别记作 F_x 、 F_y 。

若已知 F 的大小及与 x 轴正向夹角 α ，则有

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F \cos \alpha \\ F_y &= F \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (2-2)$$

若将 F 的大小沿坐标轴方向分解，所得分力

F_x 、 F_y 的值与 F 在同轴上的投影 F_x 、 F_y 相等，

力的分量是矢量，力的投影是代数量，如图 2-5 所示。

如果已知 F_x 、 F_y 的值，则可求出 F 的大小和方向，即

$$\left. \begin{aligned} F &= \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \\ \tan \alpha &= \left| \frac{F_y}{F_x} \right| \end{aligned} \right\} \quad (2-3)$$

(四) 力矩的概念与计算

1. 力对点的矩

实践中，当我们用扳手拧动螺母时，如图 2-6 所示，作用于扳手一端的力 F 使扳手套 O 点转动，这是力对刚体的转动效应，它不仅与力 F 的大小和方向有关，且与力作用点的位置有关。在力学上以力对点的矩（简称力矩）这个物理量表示力 F 使物体绕 O 点的转动效应，用符号 $M_O(F)$ 表示，即

$$M_O(F) = \pm Fd \quad (2-4)$$

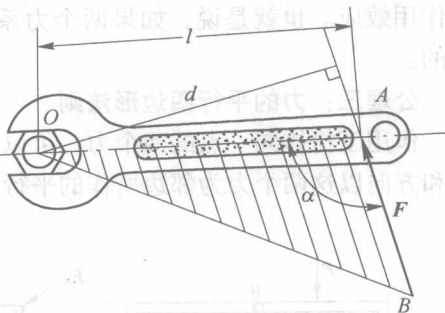


图 2-6 力对点的矩

O 点称为力矩中心（简称矩心）； O 点到力 F 作用线的垂直距离 d 称为力臂。

一般规定：力使物体绕矩心作逆时针方向转动时，力矩取正号，反之取负号。力矩具有大小和转动方向，因此平面内力矩是一个代数量。

力矩的单位是 Nm 或 kNm 。

2. 合力矩定理

定理 平面汇交力系的合力对于平面内任一点之矩等于所有各分力对于该点之矩的代数和。

如果 F_R 是 $F_1, F_2, \dots, F_n$ 的合力，即

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

则有

$$M_O(F_R) = M_O(F_1) + M_O(F_2) + \dots + M_O(F_n) \quad (2-5)$$

(五) 力偶及其性质

实践中，常看到物体同时受大小相等、方向相反、作用线相互平行的两个力的作用，如

汽车司机旋转方向盘时,两手作用在方向盘上的两个力,如图 2-7 所示。这两个力由于不满足二力平衡条件,显然不平衡。把大小相等、方向相反、作用线互相平行的一对力称为力偶,记为 (F, F') , 两力作用线间的垂直距离称为力偶臂,用 d 表示。



图 2-7 力偶

事实上,力偶只能使物体产生转动效应。如何度量力偶对刚体的转动效应呢?显然可用力偶中两个力对矩心的力矩之和来度量。力偶对矩心 O 的力矩只与力 F 和力偶臂 d 的大小有关,而与矩心的位置无关。因此,在力学上以乘积 Fd 作为度量力偶对物体的转动效应的物理量,这个量称为力偶矩,用符号 $m(F, F')$ 或 m 表示,即

$$m = \pm Fd \quad (2-6)$$

式 (2-6) 中正负号表示力偶的转动方向,逆时针方向转动为正,反之为负。可见在平面内,力偶矩是代数量。

如果在平面内作用有 n 个力偶,它们组成的力系称为平面力偶系。平面力偶系的合成结果为一合力偶。合力偶矩等于各已知力偶矩的代数和。

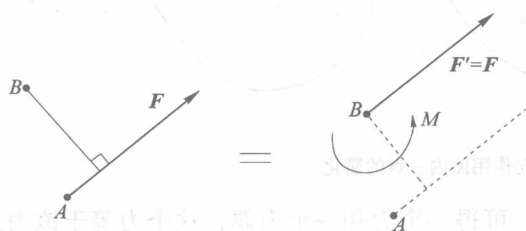


图 2-8 力的平移定理

(六) 力的平移定理

依据加减平衡力系公理,可以把作用在刚体上点 A 的力 F 平行移动到任一点 B ,但同时必须附加一个力偶,称这个力偶为附加力偶,这个附加力偶的矩等于原来的力 F 对新作用点 B 的矩,如图 2-8 所示。

$$M = M_B(F) \quad (2-7)$$

二、力系的简化

(一) 力系的分类和力系等效的概念

作用在物体上的力的作用线都分布在同一平面内的力系称为平面力系。物体所受各力的作用线不在一个平面内,而是呈空间分布的力系称为空间力系。在平面力系中,各力呈任意分布的力系称为平面任意力系;如果物体只受力的作用,各力的作用线汇交于一点的力系称为平面汇交力系;只受力偶作用的力系称为平面力偶系;若物体只受力的作用,各力相互平行的力系称为平面平行力系。同理,对于空间力系,可以分为空间汇交力系、空间力偶系和空间任意力系。

刚体在力系的作用下会产生一定的运动效应。在工程力学中,两个不同的力系,如果对同一物体产生相同的运动效应,则称该两个力系等效。两个等效的力系可以相互代替,力系对物体的运动效应保持不变。

(二) 平面任意力系的简化

1. 平面任意力系向作用面内一点的简化

为研究平面内任意力系的平衡条件,需对复杂的力系应用力的平移定理,把力系向平面内一点简化。图 2-9a 表示一平面任意力系 $F_1, F_2, \dots, F_n$ 作用在物体上,在力系平面内任选一点 O ,称为简化中心。根据力的平移定理,将各力平移到 O 点,于是得到作用于 O 点的 $F'_1, F'_2, \dots, F'_n$ 的力系,以及相应的附加力偶 $m_1, m_2, \dots, m_n$,如图 2-9b 所示。这