



国家数控技能型紧缺人才培养培训工程系列教材
高职高专数控专业规划教材

机械设计基础

Jixie Sheji Jichu

任成高 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

国家数控技能型紧缺人才培养培训工程系列教材

高职高专数控专业规划教材

机械 设计 基础

主 编 任成高

副主编 李 旭

参 编 沈锦 胡建辉 程志彦 程 利 吉子轩

主 审 金潇明



机械工业出版社

本书对理论力学、材料力学、机械原理与机械零件等课程进行了整合。全书共十章,内容包括:物体的受力分析与平衡,构件受力变形及其强度计算,常用机构的工作原理、运动特点及应用,常用的传动零件、通用的支承类和联接类零部件的工作原理、结构特点、失效形式、设计准则以及结构设计等基本内容。每章最前面有学习目的,每章后都附有小结和思考练习题。

本书主要作为高等职业技术教育、高等专科学校及成人高等专科学校机械类及近机类专业“机械设计基础”课程的教材,也可供有关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/任成高主编. —北京:机械工业出版社, 2006.1

(国家数控技能型紧缺人才培养培训工程系列教材)

高职高专数控专业规划教材

ISBN 7-111-18373-8

I. 机... II. 任... III. 机械设计 - 高等学校: 技术学校 - 教材
IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 003090 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 汪光灿 责任编辑: 汪光灿 版式设计: 冉晓华

责任校对: 张 媛 封面设计: 张 静 责任印制: 杨 曦

北京机工印刷厂印刷

2006 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

787mm × 1092mm¹/₁₆ · 17 印张 · 399 千字

0 001—4 000 册

定价: 25.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

封面防伪标均为盗版

前言

本书是根据教育部数控技能型紧缺人才培养培训方案和最新数控专业教学计划编写的。

本书广泛吸取了各高职院校近年来数控专业教学改革的成功经验和好的做法，围绕高职高专培养技术应用型人才的目标，本着内容够用为度、理论推导从简、突出工程实用的原则，对课程内容和课程体系进行了精心编排。在理论方面，既注重各部分基本知识点讲到、讲够，又尽量避免繁琐的推演，简单而定性或定量地给出基本公式、结论。在应用方面，突出常用机构和机械传动的特点、应用及工作能力的分析，突出零部件的失效形式、设计准则、结构设计和强度计算。在例题、思考练习题方面，注重密切联系工程实际。书中各章相对独立，方便教学时取舍。

本书采用了最新的国家标准，并使用国家标准规定的名词术语和符号。

参加本书编写的有湖南工业职业技术学院任成高（绪论、第一章）、程利（第二章的第一节、第二节、第三节），广西机电职业技术学院李旭（第五章），湖南交通职业技术学院沈锦（第三章、第六章），陕西工业职业技术学院胡建辉（第七章、第八章、第九章、第十章）、山西工程职业技术学院程志彦（第四章）、吉子轩（第二章的第四节、第五节、第六节）。由任成高担任主编，李旭担任副主编。

本书由湖南工业职业技术学院金潇明教授担任主审。

在本书编写过程中，得到了许多兄弟院校老师的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限和时间仓促，书中的缺点和错误在所难免，恳请各位读者批评指正。

编者

2005年5月

目 录

前言	111
概述	1
第一章 物体的受力分析与平衡	4
第一节 静力学基础	4
第二节 平面力系的平衡	12
第三节 物系的平衡	20
第四节 考虑摩擦时物体的平衡问题	22
第五节 空间力系	26
本章小结	31
思考与练习	31
第二章 构件受力变形及其强度计算	36
第一节 轴向拉伸与压缩	36
第二节 剪切与挤压	48
第三节 扭转	50
第四节 弯曲	55
第五节 组合变形的强度计算	70
第六节 交变应力	73
本章小结	75
思考与练习	75
第三章 常用机构	82
第一节 平面机构及其自由度	82
第二节 平面连杆机构	88
第三节 凸轮机构	95
第四节 其他常用机构	102
本章小结	108
思考与练习	108
第四章 带传动和链传动	111
第一节 带传动概述	111
第二节 带传动工作情况分析	115
第三节 带传动的设计计算	118
第四节 V带传动的张紧、安装和维护	123
第五节 链传动	125
本章小结	132
思考与练习	132
第五章 齿轮传动	134
第一节 齿轮传动的特点、应用与分类	134
第二节 渐开线齿廓	135
第三节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的几何尺寸计算	137
第四节 渐开线标准齿轮的啮合传动	142
第五节 渐开线齿轮的切齿原理与根切现象	145
第六节 平行轴斜齿圆柱齿轮传动	149
第七节 渐开线圆柱齿轮传动的设计	153
第八节 直齿锥齿轮传动	164
第九节 齿轮的结构设计	167
第十节 蜗杆传动	170
第十一节 齿轮系与齿轮减速器简介	175
本章小结	187
思考与练习	187
第六章 常用联接	191
第一节 概述	191
第二节 螺纹联接	191
第三节 键联接和销联接	197
本章小结	203
思考与练习	203
第七章 轴	205

第一节 轴的功用、分类与材料	205	第一节 联轴器	241
第二节 轴设计的基本要求	207	第二节 离合器	246
第三节 轴的结构设计	208	第三节 制动器	249
第四节 轴的强度计算	212	本章小结	250
本章小结	215	思考与练习	250
思考与练习	215		
第八章 轴承	216	第十章 弹簧	251
第一节 滑动轴承	216	第一节 弹簧的功用和类型	251
第二节 滚动轴承	223	第二节 圆柱螺旋弹簧简介	252
本章小结	240	本章小结	255
思考与练习	240	思考与练习	255
第九章 联轴器、离合器和制动		附录 型钢规格表	256
器	241	参考文献	266

概述

一、本课程的研究对象

本课程的研究对象是机械，它是机器和机构的统称。

人们在日常生活和工程实际当中接触到的缝纫机、洗衣机、自行车、汽车、内燃机、机床、起重机和机器人等，都是机器。为了加深对机器概念的理解，下面来分析两个机器的实例。

如图 0-1 所示为单缸内燃机，它是由气缸体 1、活塞 2、连杆 3、曲轴 4、进气阀 5、排气阀 6、推杆 7、凸轮 8、齿轮 9 和 10 等组成。燃气推动活塞 2 作往复移动，经连杆 3 转变为曲轴 4 的连续转动，为了保证曲轴每转两周进、排气阀各启闭一次，曲轴与凸轮轴之间安装了齿数比为 1:2 的齿轮。这样，当燃气推动活塞运动时，各构件协调地动作，进、排气阀有规律地启闭，加上汽化、点火等装置的配合，就把燃气的热能转换为曲轴转动的机械能。

如图 0-2 所示为一工业机器人，它是由铰接臂机械手 1、计算机控制器 2、液压装置 3 和电力装置 4 等组成。当机械手按指令有规律地运动时，手端夹持器（图中未画出）便将物料搬运到预定的位置。

从上述实例可看出，尽管机器的种类繁多，其结构、用途和功能也各异。但从组成和作用上来分析，却发现机器有着以下共同特征：一是都是人为的实物组合；二是各实物之间具有确定的相对运动；三是能够代替或减轻人类劳动，有效地完成机械功或转换能量。我们把同时具备这三个特征的实物组合称为机器。如果仅具备前两个特征用来传递运动和力的，则称之为机构。机器的主体部分一般是由机构组成的。一部机器可以包含一个或若干个机构。例如内燃机主要包含有由活塞、连杆、曲轴和气缸体组成的曲柄滑块机构；凸轮、推杆和气缸体组成的凸轮机构；齿轮和气缸体组成的齿轮机构等。但从结构和运动观点来分析，机器与机构并无区别，

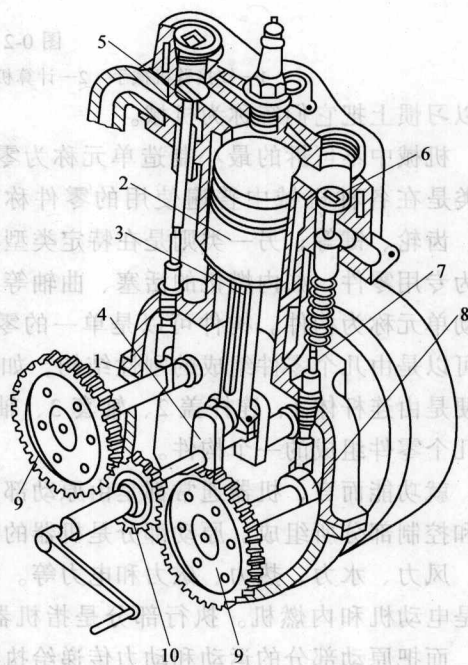


图 0-1 单缸内燃机

- 1—气缸体 2—活塞 3—连杆 4—曲轴
5—进气阀 6—排气阀 7—推杆
8—凸轮 9、10—齿轮

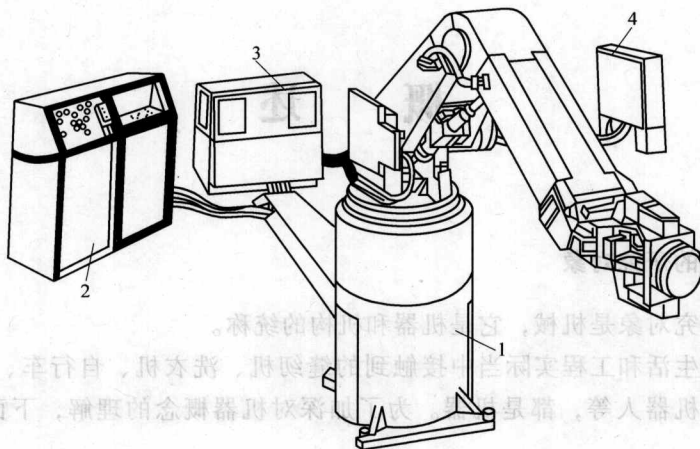


图 0-2 工业机器人

1—铰接臂机械手 2—计算机控制器 3—液压装置 4—电力装置

所以习惯上把它们统称为机械。

机械中不可拆的最小制造单元称为零件。零件可分为两类，一类是在各种机械中普遍使用的零件称为通用零件，如螺栓、轴、齿轮、键等；另一类则是在特定类型机械中才能使用的零件称为专用零件，如内燃机的活塞、曲轴等。组成机械的各个相对运动单元称为构件。构件可以是单一的零件，如内燃机的曲轴，也可以是由几个零件组成的刚性结构，如图 0-3 所示的内燃机连杆便是由连杆体 1、连杆盖 2、轴套 3、轴瓦 4、螺栓 5 和螺母 6 等几个零件组成的一个构件。

就功能而言，机器通常都是由原动部分、传动部分、执行部分和控制部分所组成。原动部分是机器的动力来源，可以采用人力、风力、水力、热力、磁力和电力等。机械中最常见的原动部分是电动机和内燃机。执行部分是指机器中直接完成任务的部分。而把原动部分的运动和动力传递给执行部分的中间装置就是传动部分。传动部分和执行部分通常是由一些传动或机构组成。常用传动有带传动、链传动、齿轮传动等；常用机构有连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、轮系、间歇运动机构等。控制机器的其他部分则为机器的控制部分，使操作者能随时实现或终止机器的各种预定功能。控制部分一般由操纵系统、控制系统和信息处理与信息传递系统等组成，如数控机床等。

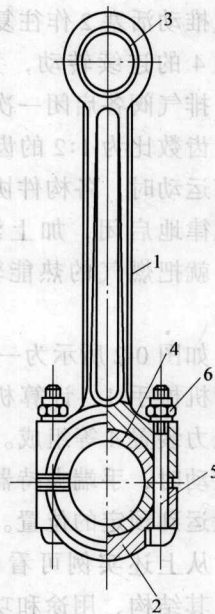


图 0-3 连杆

1—连杆体 2—连杆盖 3—轴套 4—轴瓦 5—螺栓 6—螺母

二、本课程的性质、任务和主要内容

本课程是一门综合性较强的技术基础课，它在培养工程技术人员掌握机械的基本知

第一章 物体的受力分析与平衡

学习目的：

深刻理解静力学的基本概念。熟练掌握常见约束的类型、性质及约束反力的特点，能正确地对物体进行受力分析，画出相应的受力图。理解平面汇交力系、平面力偶系、平面平行力系和平面任意力系的平衡条件，并能熟练地利用平衡方程求解物体的平衡问题。能求解物系的平衡问题。理解摩擦角和自锁的概念，能求解考虑摩擦时物体的平衡问题。能利用平面解法求解空间力系的平衡问题。

第一节 静力学基础

一、基本概念

1. 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。比如，当人们用手握、举、推、拉物体时，由于肌肉的紧张而感到力的作用，这种感性认识上升到理性，就建立起了抽象的力的概念。力是物体间相互的机械作用。物体间相互的机械作用大致可分为两类：一类是物体直接接触的作用，另一类是不直接接触的场作用。这种作用使物体的运动状态或形状尺寸发生改变，前者称为力的外效应或运动效应，后者称为力的内效应或变形效应。

实践证明，力对物体的效应取决于力的三要素，即力的大小、方向和作用点。

力是一个既有大小又有方向的量，称为矢量。矢量可用一具有方向的线段来表示，如图 1-1 所示。线段 AB 的起点（或终点）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，称为力的作用线，而线段长度 AB 则按一定的比例表示力的大小。本书中用黑体字母表示矢量，如 $\mathbf{F}$ ，用普通字母表示力的大小，如 F 。

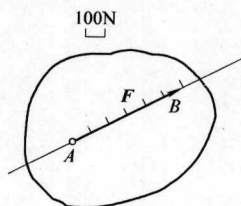


图 1-1 力的表示法

在国际单位制中，力的单位为 N 或 kN 。

作用在同一个物体上的一群力称为一个力系。如果两个力系对物体的作用效应完全相同，则这两个力系称为等效力系。若一个力与一个力系等效，则此力称为该力系的合力，而该力系中的每个力称为合力的分力。把各分力等效代换成合力的过程称为力系的合成，把合力等效代换成分力的过程称为力的分解。

2. 平衡

平衡是指物体相对于地球处于静止或匀速直线运动状态。当物体在力系作用下处于平衡状态时,该力系必须满足一定的条件,这个条件称为力系的平衡条件,此力系称为平衡力系。

3. 刚体和变形体

任何物体在受力后或多或少都将产生变形,这些变形一般都很小,在对构件进行外力分析与运动分析时,这些微小变形对所研究的问题没有实质的影响(可忽略不计),可把构件当作刚体。刚体是指受力时保持形状、大小不变的理想物体。

在研究构件的承载能力时,构件发生的变形是不可忽视的,因而即使是极其微小的变形也必须加以考虑,这时的研究对象就是受力后要发生变形的物体,即为变形体。

4. 力的基本公理

(1) 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必要和充分条件是:这两个力大小相等、方向相反,且作用在同一直线上,如图 1-2 所示。用矢量表示,即为

$$\mathbf{F}_A = -\mathbf{F}_B \quad (1-1)$$

对于变形体,这个条件是必要的,但是不充分的。

工程上常遇到只受两个力作用而平衡的构件,称为二力构件或称二力杆。根据上述性质,二力构件上的两个力必沿两力作用点的连线,且等值、反向,如图 1-3 所示。

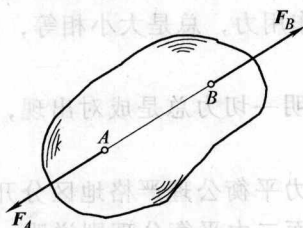


图 1-2 二力平衡条件

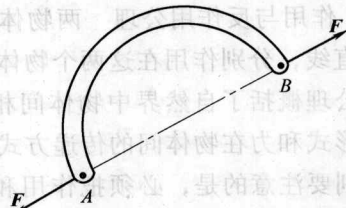


图 1-3 二力构件

(2) 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。

推论 1: 力的可传性

刚体上的力可沿其作用线移到该刚体上的任意位置,并不改变该力对刚体的效应。

如图 1-4 所示,在小车上 A 点作用力 $\mathbf{F}$ 和在车上 B 点作用力 $\mathbf{F}'$ 对小车的的作用效应是相同的。由此可见,力对刚体的效应与力的作用点在作用线上的位置无关,因此,对于刚体,力的三要素可改为力的大小、方向和作用线。

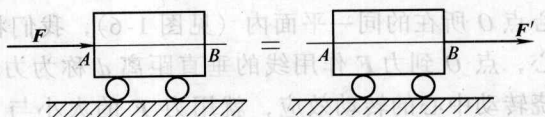


图 1-4 力的可传性

(3) 力的平行四边形公理 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 1-5a 所示。

力的平行四边形公理符合矢量加法法则, 即

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

为了方便起见, 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 $\mathbf{F}_R$ 。这种求合力的方法称为力的三角形法则, 如图 1-5b 所示。显然, 若改变 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 合成的顺序, 其结果不变, 如图 1-5c 所示。

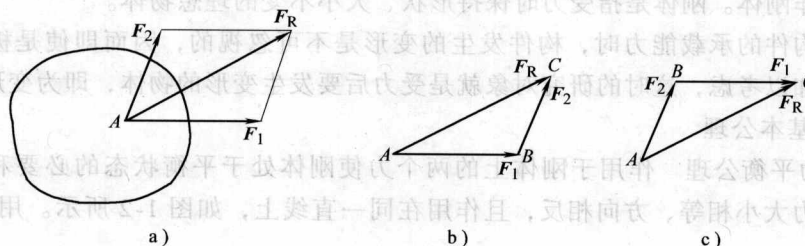


图 1-5 两力的合成

力的平行四边形公理是力系合成的法则, 也是力系分解的法则。

推论 1: 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, 三力作用线必汇交于一点。

(4) 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, 沿同一直线, 分别作用在这两个物体上。

此公理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, 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, 必须把作用和反作用公理与二力平衡公理严格地区分开来。作用和反作用公理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。

5. 力对点之矩

当人用扳手拧紧螺母时, 施于扳手的力 $\mathbf{F}$ 使扳手与螺母一起绕转动中心 O 转动。由经验可知, 转动效应的大小不仅与力 $\mathbf{F}$ 的大小和方向有关, 而且与转动中心点 O 到力 $\mathbf{F}$ 作用线的垂直距离有关。因此, 在力 $\mathbf{F}$ 作用线和转动中心点 O 所在的同一平面内 (见图 1-6), 我们将点 O 称为矩心, 点 O 到力 $\mathbf{F}$ 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 $\mathbf{F}$ 的大小与力臂 d 的乘积并冠以适当的正负号来度量。这个量称为力对点之矩, 简称力矩, 计作 $M_o(\mathbf{F})$, 即

$$M_o(\mathbf{F}) = \pm Fd \quad (1-3)$$

平面内的力对点之矩是一个代数量, 其正负号规定为: 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 $\text{N}\cdot\text{m}$ 或 $\text{kN}\cdot\text{m}$ 。

由力矩的定义可知, 力矩有以下性质:

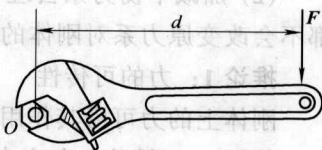


图 1-6 力对点之矩

- 1) 力对点之矩的大小, 不仅取决于力的大小, 还与力到矩心的垂直距离即力臂有关。
- 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) 力的大小为零或力的作用线通过矩心时, 力矩为零。
- 4) 互成平衡的二力对同一点之矩的代数和为零。

6. 力偶

力学上把一对等值、反向、不共线的平行力组成的特殊力系称为力偶, 用符号 (F, F') 表示。力偶在生产和生活中会经常遇到, 如人用手拧水龙头开关 (如图 1-7a 所示); 司机用双手转动转向盘 (见图 1-7b); 钳工用丝锥攻螺纹 (如图 1-7c 所示) 等。力偶中两力作用线之间的垂直距离 d , 称为力偶臂, 如图 1-7d 所示。力偶的两力作用线所决定的平面称为力偶作用面, 力偶使物体转动的方向称为力偶的转向。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, 计作 $M(F, F')$ 或简写为 M , 即

$$M(F, F') = M = \pm Fd \quad (1-4)$$

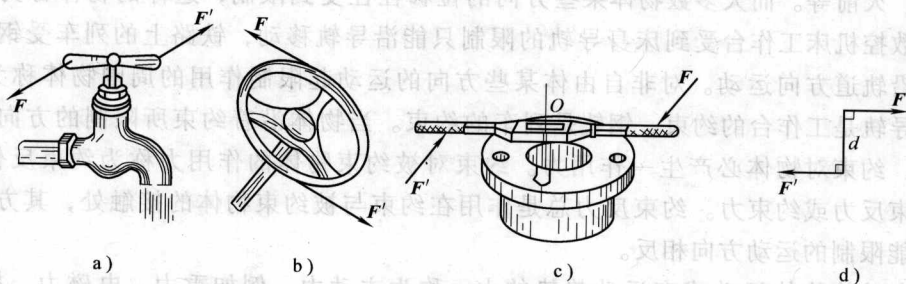


图 1-7 力偶

力偶矩是一个代数量。通常规定, 力偶使物体逆时针转动时为正, 反之为负。力偶矩的单位是 $\text{N}\cdot\text{m}$ 或 $\text{kN}\cdot\text{m}$ 。力偶矩的大小、力偶转向和力偶作用面称为力偶的三要素, 凡三要素相同的力偶彼此等效。

力偶具有以下基本性质:

- 1) 力偶不能合成为一个力, 也不能与一个力等效。力偶的这一性质说明了力偶不能与一个力相平衡, 只能与力偶平衡。可见, 力与力偶是静力学的两个基本要素。
- 2) 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 1-8 所示, 在力偶 (F, F') 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

$$M_O(F) + M_O(F') = -Fx + F'(x + d) = Fd = M(F, F') \quad (1-5)$$

与 x 无关, 即与矩心无关。

- 3) 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。

- 4) 只要保持力偶矩的大小和力偶矩的转向不变, 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。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度量参数。因此,力偶常用一带箭头的弧线来表示,其中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。力偶常用的几种表示方法如图 1-9 所示。

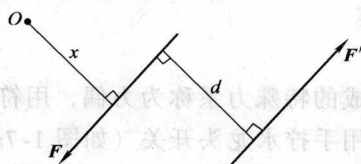


图 1-8 力偶的性质

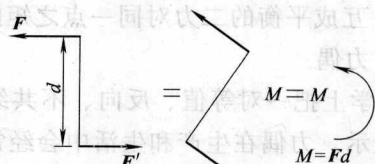


图 1-9 力偶的几种表示方法

二、约束与约束反力

在空间可以自由运动,其位移不受任何限制的物体称为自由体,如空中飞行的飞机、热气球、火箭等。而大多数物体某些方向的位移往往受到限制,这样的物体称为非自由体。如数控机床工作台受到床身导轨的限制只能沿导轨移动,铁路上的列车受钢轨的限制只能沿轨道方向运动。对非自由体某些方向的运动起限制作用的周围物体称为约束,例如,导轨是工作台的约束,钢轨是列车的约束。当物体沿着约束所限制的方向有运动趋势时,约束对物体必产生一作用力。约束对被约束物体的作用力称为约束反作用力,简称约束反力或约束力。约束反力总是作用在约束与被约束物体的接触处,其方向与该约束所能限制的运动方向相反。

能主动使物体运动或有运动趋势的力,称为主动力,例如重力、电磁力、推力等。物体所受的主动力一般是已知的。而约束反力是由主动力的作用而引起的,它是未知的。因此,对约束反力的分析就成为十分重要的问题。

下面介绍几种工程实际中常遇到的典型约束类型及其约束反力的确定方法。

1. 柔索约束

由绳索、链条、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的方向运动,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 F_T 表示,如图 1-10 所示。

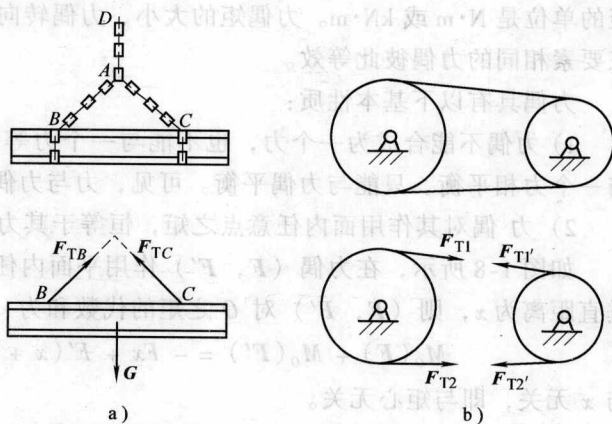


图 1-10 柔索约束

2. 光滑接触面约束

光滑平面或曲面对物体所构成的约束,称为光滑接触面约束,如图 1-11 所示。所谓光滑面,即摩擦力可忽略不计的表面。光滑接触面约束只阻碍物体沿接触面公法线方向

进入约束内部,因此,光滑接触面约束的约束反力必通过接触点,沿接触点处的公法线,并指向被约束物体,它对物体的作用只能是压力。通常这种约束反力称为法向反力,用符号 F_N 表示。

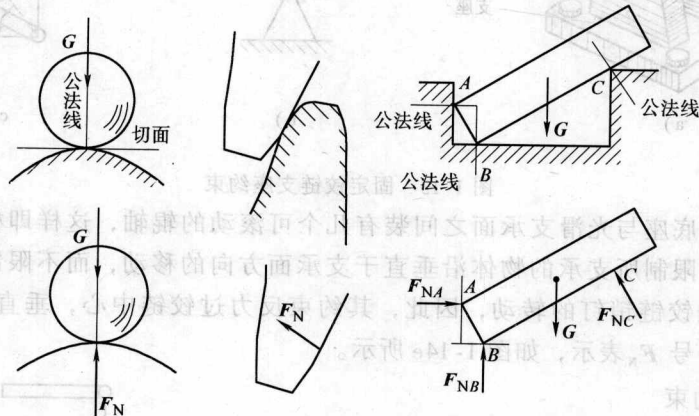


图 1-11 光滑接触面约束

3. 光滑圆柱铰链约束

由两个带有圆孔的构件用光滑圆柱销钉联接而成,如图 1-12 所示。如果销钉和圆孔是光滑的,那么销钉只限制两构件在垂直于销钉轴线的平面内相对移动,而不限制两构件绕销钉轴线的相对转动。这样的约束称为光滑圆柱铰链约束。它在机械工程中许多具体应用形式。

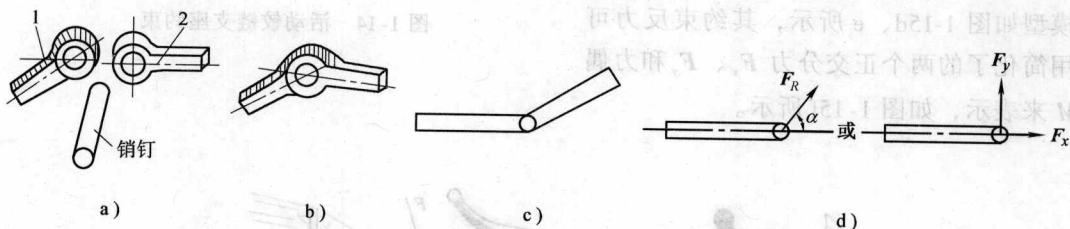


图 1-12 中间铰约束
1、2—构件

(1) 中间铰约束 如图 1-12 所示,用圆柱销钉穿入两个带有圆孔的构件 1 和 2 的圆孔中,即构成中间铰。中间铰所联接的两构件互为其中一个的约束。当两个构件有沿销钉径向相对移动的趋势时,销钉与构件以光滑圆柱面接触,本质上相当于光滑接触面接触,但接触点不能确定,所以中间铰约束反力的特点是在垂直销钉轴线的平面内,通过销钉中心,方向待定。通常用力 F_R 和未知角 α 或两个正交分力 F_x 和 F_y 来表示,两分力的指向是假定的; F_R 与 F_x 、 F_y 为合力与分力的关系,如图 1-12d 所示。

(2) 固定铰链支座约束 若构成光滑圆柱铰链约束中的一个构件固定在地面或机架上作为支座时,则构成固定铰链支座,约束反力特点与中间铰相同,如图 1-13 所示。

(3) 活动铰链支座约束 如图 1-14 所示,这种约束的支座没有固定在地、墙或机架

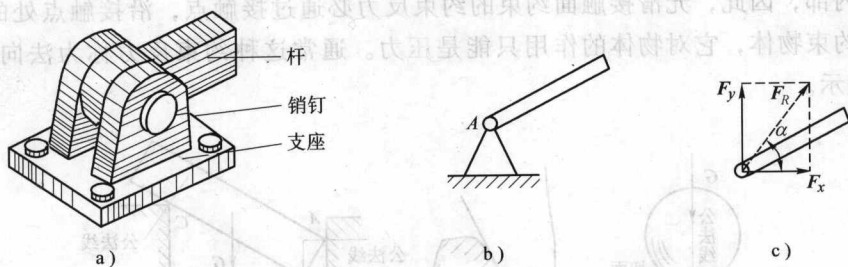


图 1-13 固定铰链支座约束

上,而是在支座底座与光滑支承面之间装有几个可滚动的辊轴,这样即构成活动铰链支座。这种约束只限制所支承的物体沿垂直于支承面方向的移动,而不限制物体沿支承面方向的移动和绕铰链销钉的转动,因此,其约束反力过铰链中心,垂直于光滑支承面,指向待定,用符号 F_N 表示,如图 1-14e 所示。

4. 固定端约束

固定端约束又称为插入端约束,如插入墙体的外伸凉台、固定在车床卡盘上的车刀、立于路边的电线杆所受的约束,如图 1-15a、b、c 所示。这种约束的特点是不允许构件与约束之间发生任意移动和随意转动,或者说构件的约束端是完全固定的。固定端约束平面简化模型如图 1-15d、e 所示,其约束反力可用简化了的两个正交分力 F_x 、 F_y 和力偶 M 来表示,如图 1-15f 所示。

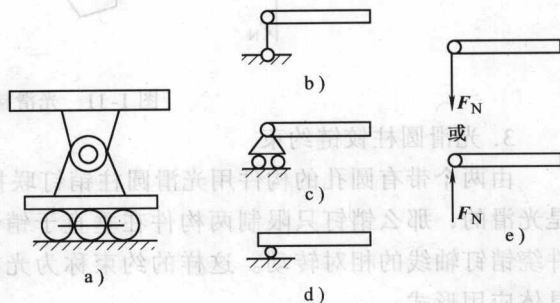


图 1-14 活动铰链支座约束

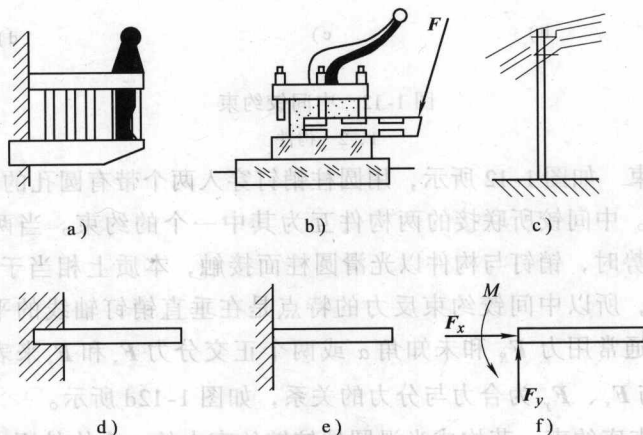


图 1-15 固定端约束

三、受力分析与受力图

构件运动状态的变化和承载能力都与其上所受的外力密切相关,因此有必要对其进行受力分析。为了比较清晰地表达出每个构件的受力情况,就必须把它从与它有联系的周围物体中分离出来,即解除其所受的约束而代之以相应的约束反力,这一过程称为解除约束。被解除约束的物体称为分离体。在分离体上画出所受的全部主动力和全部约束反力的简图,称为物体的受力图。画受力图的步骤一般为:

- 1) 明确研究对象,取分离体。
- 2) 在分离体上画出全部主动力。
- 3) 在每一个解除约束的位置,根据约束的类型和约束的性质,画出相应的约束反力。

例 1-1 如图 1-16a 所示,重量为 G 的球,用绳 AB 挂靠在光滑的铅垂墙上,试画出球 C 的受力图。

解 1) 选取球 C 为研究对象,画出其分离体图。

2) 画主动力:在球心点 C 处画上重力 G 。

3) 画约束反力:球在 B 点受到柔索约束,在 D 点受到光滑接触面约束。在解除约束的 B 点画上沿绳索中心线背离球的拉力 F_{TB} ,在 D 点画上沿接触面公法线并指向球的压力 F_{ND} 。

球受同一平面内的三个不平行之力作用而平衡,这三个力的作用线必汇交于一点即 C 点,如图 1-16b 所示。

例 1-2 梁 AB 的 A 端为固定端, B 端为活动铰链支座,梁上 C 、 D 处分别受到力 F 与力偶 M 的作用,如图 1-17a 所示,梁的自重不计,试画出梁 AB 的受力图。

解 1) 选取梁 AB 为研究对象,画出其分离体图。

2) 画梁上的主动力:作用在 C 点的力 F 和 D 处的力偶 M 。

3) 画约束反力:梁 AB 在 A 处受到固定端约束,在 B 处受到活动铰链支座约束。在解除约束的 A 处约束反力可用两个正交力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 和力偶 M_A 来表示,指向和转向是假定的。在解除约束的 B 处约束反力为垂直于支承面的 F_{NB} ,指向为假定的。梁 AB 的受力图如图 1-17b 所示。

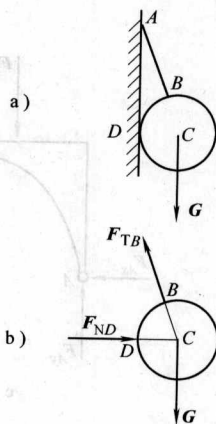


图 1-16 小球的受力图

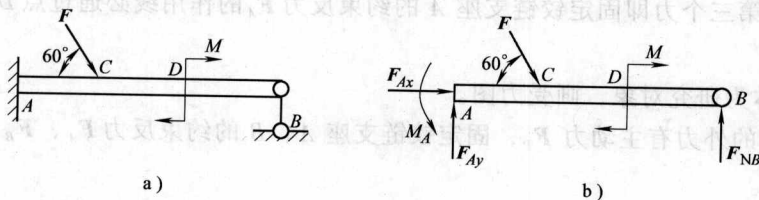


图 1-17 梁的受力图

例 1-3 如图 1-18a 所示的三铰拱结构,由左右两半拱铰接而成,设各拱的自重不计,在左半拱 AC 上作用有载荷 F_p ,试画出左半拱 AC 、右半拱 BC 和整体的受力图。

解 1) 选取右半拱 BC 为研究对象,画受力图。