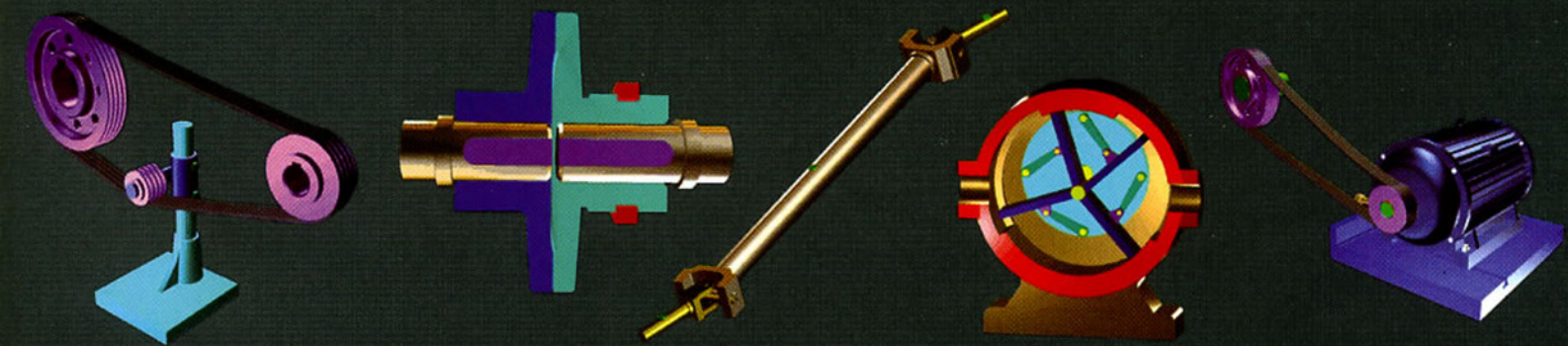




复旦卓越·普通高等学校 21 世纪规划教材·机类、近机类

# 机械设计

钱袁萍 陆峰 | 主编



复旦大学出版社

复旦卓越·普通高等学校 21 世纪规划教材·机械类、近机械类 任务引领

# 机 械 设 计

主 编 钱袁萍 陆 峰  
副主编 肖丽萍 王 强 张 方  
主 审 陆 峰  
编 委(按姓名笔划为序)  
王 强 张 方 肖丽萍  
张俊凤 陆 峰 钱袁萍

出版社

## 内 容 提 要

本书对传统的理论力学、材料力学、机械原理、机械零件等内容进行了整合,共安排了4个学习情境(项目),主要包括机械设计概论、机构设计、联结、传动装置设计。每个项目又包含若干个任务,每个任务后面都有相应的学生操作题。而且,每个项目后面还设了思考题与习题,方便学生对所学知识的实践与巩固。本书附有课件光盘供老师和学生参考。

本书可作为普通高等学校本科以及高职、高专工科各专业的通用教材。

# 前 言

高等职业教育的根本任务是培养和造就适应生产、建设等方面第一线的高等技术应用型人才。近年来,我国高等职业教育发展迅速,教学模式、教学方法不断改革,本书就是依据教育部制定的高职、高专“机械设计课程教学基本要求”的精神,结合当前高职教育的实际情况而编写的。本书遵循“以应用为目的”、“必须、够用为度”的原则,突出教学内容的实用性,在教学内容的安排和取舍上,删去了一些不必要的理论推导,既缩减了篇幅,又使教材内容更具实用性,更便于教学。

本书对传统的理论力学、材料力学、机械原理、机械零件内容进行了整合和渗透,共安排了4个学习情境(项目),主要包括机械设计概论、机构设计、联结、传动装置设计。每个项目又包含若干个任务,每个任务后面都有相应的学生操作题。而且,每个项目后面还设了思考题与习题,方便学生对所学知识的实践与巩固。

本书由沙洲职业工学院钱袁萍、淮北职业技术学院陆峰任主编,天津滨海职业学院肖丽萍、沙洲职业工学院王强、张方任副主编。各项目的编写分工为:肖丽萍(项目1)、钱袁萍(任务2-3~2-5)、沙洲职业工学院张俊凤(项目3)、陆峰(任务2-1~2-2)、张方(任务4-2)、沙洲职业工学院王强(任务4-1、4-3~4-5)。本书由钱袁萍老师负责统稿,陆峰担任本书的主审并提出了许多宝贵的意见。

由于编者的能力水平有限和时间仓促,本书难免存在不妥及错误之处,欢迎广大读者批评指正。

编 者

2010.9





## 目 录

<b>情境(项目)1 机械设计概论</b> ..... 1	
<b>任务 1-1 本课程的性质和研究对象、主要内容与任务</b> ..... 1	
1.1.1 本课程的性质..... 1	
1.1.2 本课程的研究对象..... 2	
1.1.3 本课程的内容与任务..... 2	
<b>任务 1-2 构件的静力学分析</b> ..... 3	
1.2.1 静力分析基本概念..... 3	
1.2.2 平面力系..... 15	
1.2.3 空间力系..... 24	
<b>任务 1-3 机械设计概述</b> ..... 31	
1.3.1 机械概述..... 31	
1.3.2 机械设计的基本内容与要求..... 33	
1.3.3 零件的失效形式及设计准则..... 34	
<b>思考题与习题</b> ..... 36	
<b>情境(项目)2 机构设计</b> ..... 41	
<b>任务 2-1 机构设计概述</b> ..... 41	
2.1.1 平面机构运动简图..... 42	
2.1.2 机构具有确定运动的条件..... 45	
<b>任务 2-2 平面连杆机构的设计</b> ... 48	
2.2.1 平面连杆机构类型..... 48	
2.2.2 牛头刨床横向自动进给机构的设计..... 53	
2.2.3 缝纫机踏板机构的设计..... 56	
2.2.4 加热炉炉门启闭机构的设计..... 57	
<b>任务 2-3 凸轮机构的设计</b> ..... 59	
2.3.1 凸轮机构设计概述..... 59	
2.3.2 绕线机构凸轮设计..... 65	
2.3.3 内燃机配气机构凸轮设计..... 67	
2.3.4 自动送料机构凸轮设计..... 68	
2.3.5 自动车床控制刀架移动的摆动从动件凸轮设计..... 69	
<b>任务 2-4 间歇运动机构的设计</b> ..... 71	
2.4.1 棘轮机构的设计..... 71	
2.4.2 槽轮机构的设计..... 75	
<b>任务 2-5 平面机构设计与组装综合训练</b> ..... 78	
2.5.1 实训目的..... 78	
2.5.2 实训设备..... 78	
2.5.3 实训步骤..... 78	
2.5.4 实训内容..... 78	
<b>思考题与习题</b> ..... 81	



<b>情境(项目)3 联结</b> .....	83	设计 .....	202
<b>任务 3-1 联结</b> .....	83	4.1.4 一级圆锥齿轮传动设计 .....	209
3.1.1 螺纹联结 .....	84	4.1.5 蜗杆蜗轮传动设计 .....	214
3.1.2 键、销联结 .....	99	4.1.6 齿轮系传动比计算 .....	220
<b>任务 3-2 轴</b> .....	104	<b>任务 4-2 带传动</b> .....	230
3.2.1 杆件的拉、压变形与强度 计算 .....	104	4.2.1 带传动概述 .....	230
3.2.2 汽车传动轴设计 .....	114	4.2.2 输送机用带传动设计 .....	239
3.2.3 火车轮轴设计 .....	118	4.2.3 同步带传动 .....	244
3.2.4 单级减速器从动轴设计 .....	127	<b>任务 4-3 链传动</b> .....	246
<b>任务 3-3 轴承</b> .....	139	4.3.1 链传动概述 .....	246
3.3.1 滚动轴承 .....	139	4.3.2 输送机用链传动设计 .....	253
3.3.2 滑动轴承 .....	154	<b>任务 4-4 螺旋传动</b> .....	257
<b>任务 3-4 联轴器和离合器</b> .....	163	4.4.1 滑动螺旋传动的设计计算 .....	259
3.4.1 联轴器 .....	163	4.4.2 滚动螺旋传动简介 .....	261
3.4.2 离合器 .....	168	<b>任务 4-5 二级减速器综合         训练</b> .....	262
<b>思考题与习题</b> .....	170	4.5.1 设计要求与数据 .....	262
<b>情境(项目)4 传动装置设计</b> .....	175	4.5.2 设计内容 .....	263
<b>任务 4-1 齿轮及齿轮系传动</b> .....	176	4.5.3 设计步骤 .....	263
4.1.1 齿轮传动概述 .....	176	<b>思考题与习题</b> .....	274
4.1.2 一级直齿圆柱齿轮传动 设计 .....	200	<b>参考文献</b> .....	277
4.1.3 一级斜齿圆柱齿轮传动			



## 情境(项目) 1

— [ 机 械 设 计 ] —

# 机械设计概论

能力目标	专业能力目标	能正确进行构件的静力学分析； 熟悉机械设计的一般程序
	方法能力目标	具有较好的学习新知识、新技能的能力； 具有解决问题和制定工作计划的能力； 具有获取现代机械设计各方面信息的能力
	社会能力目标	具有较强的职业道德； 具有较强的计划组织能力和团队协作能力； 具有较强的人与人沟通和交流的能力
教学要点	1. 了解本课程的研究对象、学习内容和学习任务； 2. 掌握静力学公理及基本概念，熟练运用合力矩定理，熟练掌握平面力偶系的合成与平衡； 3. 掌握工程中常见的约束特征和约束反力的画法，能正确画出物体及物体系统的受力图； 4. 掌握平面力系平衡条件及平衡方程的应用； 5. 掌握空间力系平衡条件及平衡方程的应用； 6. 掌握机器、机构和机械的概念； 7. 了解机械设计的基本要求及一般步骤	

### 任务 1-1 本课程的性质和研究对象、 主要内容与任务

#### 1.1.1 本课程的性质

机械设计课程是机械类、机电类，以及近机类专业必修的技术基础课程。该课程是理论力学、材料力学、机械原理与机械零件 4 门课程的有机整合，机械零件的设计和计算是本课



程的基本教学内容。但本课程的最终目的在于综合运用各种机械零件、机构的知识及其他先修课程的知识,使学生具备设计机械传动装置和一般机械的能力,使学生掌握高素质劳动者和高级应用型人才所必需的机械设计基本知识和基本技术,从而具备机械设备的维护、改进和设计能力,为专业知识和职业技能的进一步学习打下必要的基础。

### 1.1.2 本课程的研究对象

机械设计研究的对象是机械,本课程主要介绍常用机构和通用机械零部件的工作原理、结构特点、运动和动力性能、基本设计理论及设计方法。具体研究对象如下:

- (1) 构件静力分析 研究对象为刚体或刚体系统。即忽略构件的变形,将构件视为在力作用下大小和形状不变的物体。
- (2) 构件承载能力计算 研究对象为变形固体。主要指经过力学模型化处理的杆状构件。
- (3) 常用机构 研究对象为常见于各种机器中的机构,如平面连杆机构、凸轮机构、间歇机构等。
- (4) 用机械传动 研究对象为常见于各种机器中的机械传动,如齿轮传动、带传动、链传动等。
- (5) 通用机械零部件 研究对象是在各种机器中普遍使用的零部件,如轴、轴承、联轴器及离合器等。

### 1.1.3 本课程的内容与任务

#### 1. 本课程的内容

本课程主要采用项目(任务)教学方法,将所有教学内容分为4个项目,每个项目又具体划分为若干个任务,每个任务完成一个零件的设计,以完成二级减速器设计为最终目的。课程具体内容如下:

- (1) 机械设计概论 机械设计概述、构件的静力学分析。
- (2) 机构设计 机构的运动简图和自由度计算,平面连杆机构、凸轮机构、间歇机构的组成原理、运动分析及轮廓设计。
- (3) 零部件设计 各种联结零件(螺纹联结件、键、销、联轴器、离合器等)的设计方法和标准选择,轴系零件(如轴、轴承等)的设计计算及结构类型选择。
- (4) 传动装置设计 齿轮传动、带传动、链传动等的设计计算和参数选择。

#### 2. 本课程的任务

- (1) 培养学生运用基础理论解决简单机构和零件的设计问题,掌握通用机械零件的工作原理、特点、选用及计算方法,初步具备分析失效原因和提高改进措施的能力。
- (2) 培养学生建立初步的工程概念,树立正确的设计思想,具备设计简单机械传动部件和简单机械的能力。
- (3) 培养学生具备运用标准、规范、手册等设计资料,以及查阅相关技术资料的能力。



(4) 培养学生的创新意识及创新能力,为将来就业上岗打下坚实的基础。

## 任务 1-2 构件的静力学分析

静力学是研究物体在力系作用下的平衡规律的科学。力系是指作用于同一物体上的一组力。物体的平衡状态是指物体相对于地球处于静止或作匀速直线运动。工程中大部分机器的零件和构件是处于平衡状态的,如机床中匀速转动的主轴、悬臂吊车的横梁、铣床中夹紧工件的工作台等。因此,研究物体的平衡是有实际意义的。

构件的静力学分析主要研究构件的受力分析、力系简化、构件平衡的平衡条件等。

### 1.2.1 静力分析基本概念

#### 1. 刚体的概念

静力学研究的物体主要是刚体。所谓刚体,是指在力的作用下不变形的物体。

事实上,任何物体在力的作用下总要产生一定程度的变形。但在一般情况下,工程上的构件或零件的变形都是很小的,这种微小的变形对构件或零件的受力平衡没有实质性的影响。这样,就可以忽略这种微小的变形,而将构件或零件抽象简化为刚体,使我们研究的问题大大简化。刚体是对物体进行抽象简化后得到的一种理想化的力学模型,静力学中所研究的对象都假设为刚体。

#### 2. 力的概念

力是物体间的相互机械作用。它具有两种效应:一是使物体的运动状态发生改变,如奔腾的水流能推动水轮机旋转;一是使物体产生变形,如锻锤击打坯料使之产生变形,获得所需的形状。力对物体的作用效应,取决于力的三要素:力的大小、力的方向、力的作用点。

力是矢量,常用一个带箭头的线段来表示力的三要素,如图 1-1 所示。线段的起点或终点表示力的作用点,用线段的方位和箭头表示力的方向,用线段的长度按一定的比例尺表示力的大小。本书中力的矢量用黑斜体字母表示,如图 1-1 中的力  $\boldsymbol{F}$ ,而用普通字母  $F$  表示力  $\boldsymbol{F}$  的大小。

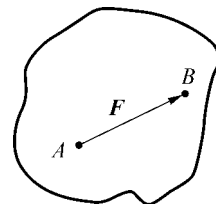


图 1-1 力的表示

#### 3. 静力学公理

静力学公理是对力的基本性质的概括和总结,是静力学全部理论的基础。

(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与充分条件是:这两个力大小相等、方向相反,且作用在一条直线上,如图 1-2 所示。本公理只适用于刚体,对于变形体,这个条件是不充分的。例如,软绳受两个等值、反向的拉力作用下可以平衡,而受两个等

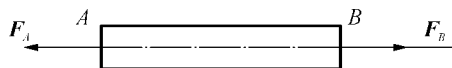


图 1-2 二力平衡

值、反向压力作用时就不能平衡。

工程上常遇到只受两个力作用而处于平衡的构件,这种构件称为二力构件或二力杆。

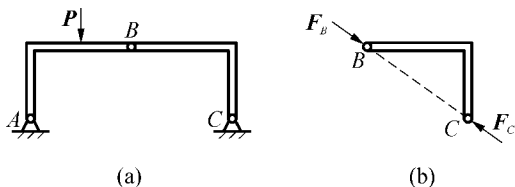


图 1-3 二力杆

二力杆所受的两个力必然沿着两作用点的连线。据此,可以很方便地判定结构中某些直杆或弯杆的受力方向。如图 1-3(a)所示,三铰拱中 BC 部分,当不计其自重时,它只可能通过 B, C 两点受力,是一个二力构件,故 B, C 两点的作用力必沿 BC 连线的方向,如图 1-3(b)所示。

(2) 加减平衡力系公理 在作用于刚体的任何一个力系上,加上或减去一个任意的平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用效应。

**推论 1** 力的可传性原理 作用于刚体上的力,可沿其作用线任意移动,而不改变其对刚体的作用效应。

必须注意,力的可传性原理只适用于刚体,而且力只能在刚体自身上沿其作用线移动,不能移到其他刚体上。

(3) 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,该合力也作用于该点,其大小和方向由以这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线所确定,即合力矢等于这两个分力矢的矢量和。如图 1-4 所示,其矢量表达式为

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

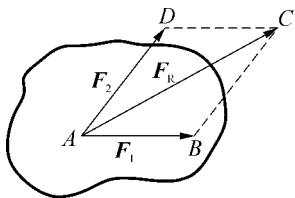


图 1-4 力的平行四边形法则

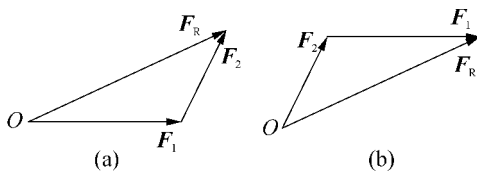


图 1-5 力的三角形法则

为方便,在利用矢量加法求合力时,可不必画出整个平行四边形,而是在物体之外的任意 O 点作力矢  $\mathbf{F}_1$ ,再由  $\mathbf{F}_1$  的末端作力矢  $\mathbf{F}_2$ ,最后由 O 点至力矢  $\mathbf{F}_2$  的终点作一矢量  $\mathbf{F}_R$ ,它就代表  $\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2$  的合力。这种求合力的方法称为力的三角形法则,如图 1-5(a)所示。在使用三角形法则时,必须遵循这样一个原则,即分力力矢首尾相接,但次序可变,其结果不变,如图 1-5(b)所示。力的三角形法则可推广成力的多边形法则。即在刚体某平面上作用一汇交力系  $\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \dots, \mathbf{F}_n$ ,力系作用线汇交于 O 点,为求合力  $\mathbf{F}_R$ ,只需将各力  $\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \dots, \mathbf{F}_n$  首尾相接,形成一条折线,最后连接封闭边,从首力的始端 O 点向末力的终端所形成的矢量,即为合力的大小和方向,此法称为力的多边形法则,如图 1-6 所示。

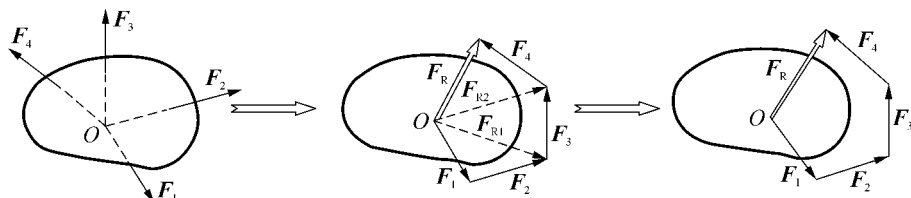


图 1-6 力的多边形法则

力的平行四边形既可以进行力的合成,也可以进行力的分解。显然,由已知力为对角线可作无穷多个平行四边形,要想得到唯一的结果,必须附加一定的条件。附加条件可能为:

- ① 规定两个分力的方向;
- ② 规定其中一个分力的大小和方向等。

在工程实际中,通常是分解为方向互相垂直的两个分力。

**推论 2 三力平衡定理** 刚体受 3 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。

(4) 作用力与反作用力定律 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。

力是物体间的相互作用,作用与反作用的称呼是相对的,力总是以作用与反作用的形式存在,且以作用与反作用的方式传递。

特别要注意的是,必须把作用力与反作用力定律与二力平衡公理严格地区分开来。作用力与反作用力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。

有时我们考察的对象是物系,物系外的物体与物系间的作用力称为外力,而物系内部物体间的相互作用力称为内力。内力与外力的划分与所取物系的范围有关,随着所取对象范围的不同,内力与外力是可以互相转化的。

#### 4. 力对点之矩

(1) 力对点之矩的概念 人们从生产实践中获知,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,如图 1-7 所示,施于扳手的力  $F$  使扳手与螺母一起绕转动中心  $O$  转动。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  $d$  有关。因此,力对物体的转动效应可用力对点之矩这样一个物理量来描述,简称力矩。

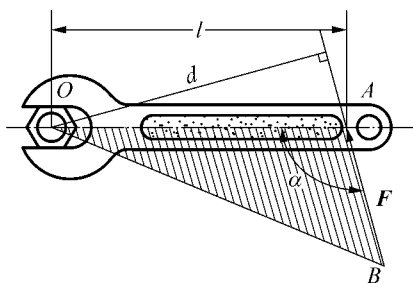


图 1-7 力对点之矩

力  $F$  对某点  $O$  的矩等于力的大小与点  $O$  到力的作用线距离  $d$  的乘积。记作

$$M_O(F) = \pm Fd, \quad (1-2)$$

$M_O(\mathbf{F})$ 是一个代数量,可以用它来描述物体的转动方向。通常规定,使物体逆时针方向转动的力矩为正;反之,为负。

由力矩的定义和(1-2)式,可得到以下结论:

- ① 力沿其作用线移动时,不会改变力对矩心的矩;
- ② 力的大小为零或力的作用线通过矩心时,其力矩为零。

在国际制单位中,力矩的单位为牛顿·米(N·m)或千牛·米(kN·m)。

(2) 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。

假设物体上作用有一个平面汇交力系  $\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \dots, \mathbf{F}_n$ , 其合力为  $\mathbf{F}_R$ , 则有

$$M_O(\mathbf{F}_R) = M_O(\mathbf{F}_1) + M_O(\mathbf{F}_2) + \dots + M_O(\mathbf{F}_n) = \sum M_O(\mathbf{F}_i)。 \quad (1-3)$$

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。

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更加方便。

**例 1-1** 一齿轮受到与它相啮合的另一齿轮的法向压力  $F_n = 980 \text{ N}$  的作用,如图 1-8(a) 所示,已知齿轮压力角(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  $D = 0.16 \text{ m}$ , 求法向压力  $\mathbf{F}_n$  对齿轮轴心  $O$  之矩。

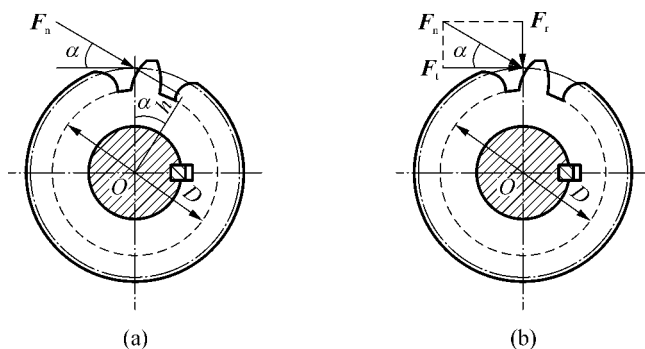


图 1-8 力对点之矩

解: 用合力矩定理求解,如图 1-8(b) 所示。将力  $\mathbf{F}_n$  在啮合点处分解为圆周力  $\mathbf{F}_t$  和径向力  $\mathbf{F}_r$ 。由合力矩定理,得

$$M_O(\mathbf{F}_n) = M_O(\mathbf{F}_t) + M_O(\mathbf{F}_r)。$$

因为径向力  $\mathbf{F}_r$  过矩心  $O$ , 故  $M_O(\mathbf{F}_r) = 0$ , 于是

$$M_O(\mathbf{F}_n) = M_O(\mathbf{F}_t) = -F_t \frac{D}{2} = -F_n \cos \alpha \frac{D}{2} = -73.7 \text{ N} \cdot \text{m}。$$



### 5. 约束与约束反力

工程中的机器或者机构,总是由许多零部件组成的。这些零部件总是以一定的形式相互联结,它的运动会因此受到一定的限制。例如,机床工作台受到床身导轨的限制,只能沿导轨移动;转轴受到轴承的限制,只能产生绕轴心的转动。

凡是限制某一物体运动的周围物体称为约束。上面所说的导轨、轴承等分别是工作台、转轴的约束。约束限制了物体本来可能产生的某种运动,故约束有力作用于被约束体,这种力称为约束力。于是,就可将物体所受的力分为两类:一类是使物体产生可能运动的力,称为主动力;另一类则是约束限制某种可能运动的力,称为约束力,又因它是由主动力引起的反作用力,故其全称应是约束反作用力,简称约束反力。

约束反力总是作用在被约束物体与约束物体的接触处,其方向也总是与该约束所能限制的运动或运动趋势的方向相反。据此可以确定约束反力的作用点和方向,而大小一般是未知的,需根据物体的受力情况和运动情况来计算。

(1) 柔性约束 绳索、链条、皮带、胶带等柔性物体所形成的约束称为柔性约束。这种柔性体只能承受拉力。其约束特征是,只能限制被约束物体沿其中心线伸长方向的运动,而无法阻止物体沿其他方向的运动。因此柔性约束产生的约束反力总是通过接触点,沿着柔性体中心线而背离被约束的物体(即使被约束物体承受拉力作用),常用符号为  $F_T$  表示。如图 1-9(a)所示,用绳索悬挂一重物,绳索对重物的约束反力如图 1-9(b)所示。

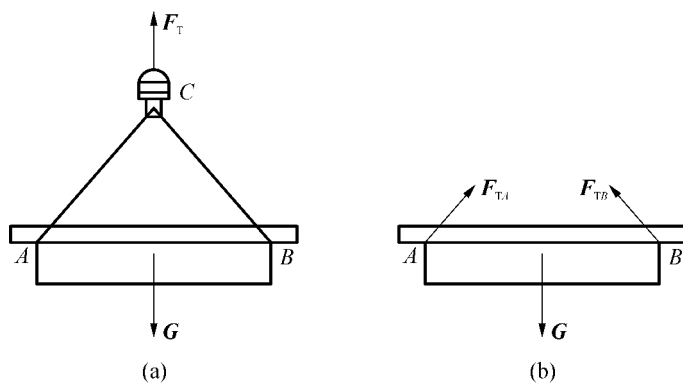


图 1-9 柔性约束

(2) 光滑面约束 两物体相互接触,如果接触面非常光滑,摩擦力可以忽略不计,则这种约束称为光滑面约束。其约束特征为:约束限制被约束物体沿着接触处公法线,向约束体内部运动。故约束反力方向总是通过接触点,沿着接触点处公法线,而指向被约束物体,常用符号为  $F_N$  表示。如图 1-10(a)所示,直杆在接触点 A, B, C 等 3 处所受的约束反力分别为  $F_{NA}$ ,  $F_{NB}$ ,  $F_{NC}$ ,如图 1-10(b)所示。

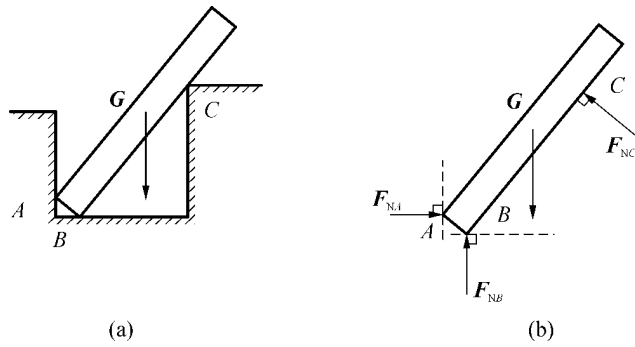


图 1-10 光滑接触面约束

工程中,常见的光滑接触表面约束很多。例如,啮合齿轮的齿面约束,如图 1-11 所示;凸轮曲面对顶杆的约束,如图 1-12 所示。

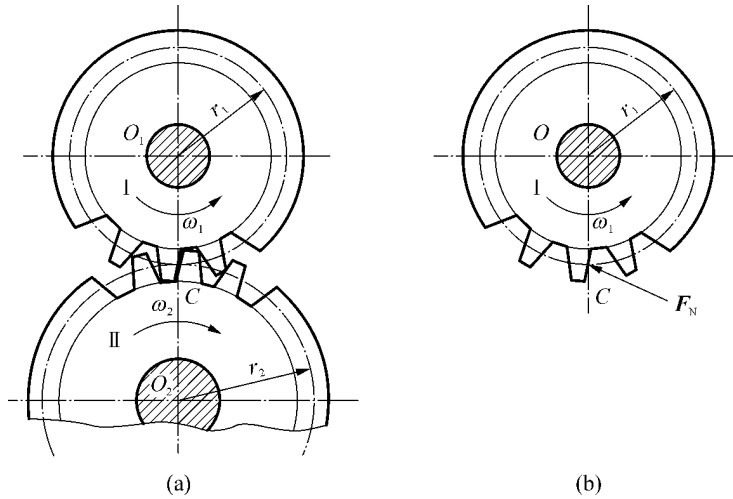


图 1-11 啮合齿轮的齿面约束

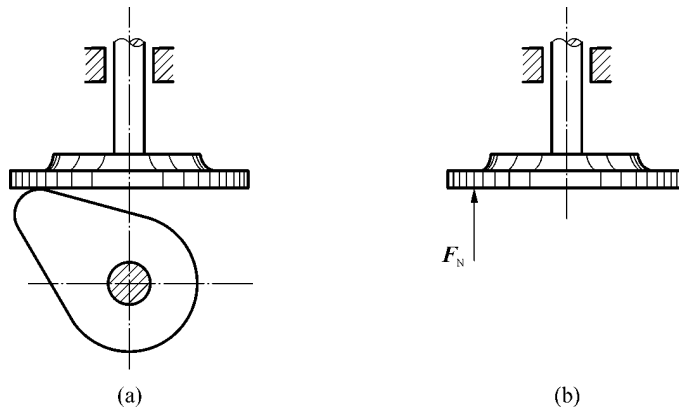


图 1-12 凸轮曲面对顶杆约束

(3) 光滑圆柱铰链约束 光滑圆柱形铰链(简称铰链)是将两个物体各钻圆柱孔,中间用圆柱形销钉联结起来所形成的结构。这种铰链应用比较广泛,如门、窗用的合页,起重机悬臂与机座之间的联结等。

这类约束的本质即为光滑面约束,因其接触点位置未定,故只能确定铰链的约束反力为一通过圆柱销中心的大小、方向均未定的力。通常,此约束反力用两个大小未知的正交分力来表示。下面是其在工程实际中的几种应用形式。

① 固定铰链支座。当用圆柱销联结的两构件中有一个构件固定时,则称为固定铰链支座,其结构如图 1-13 所示。通常,在两个构件联结处用一个小圆圈表示铰链,约束反力用过铰链中心的两个正交分力  $F_x$ ,  $F_y$  来表示,如图 1-14(a)所示。常用图 1-14(b)所示的简图表示固定铰链支座。支承传动轴的向心轴承,就是一种固定铰链约束,如图 1-15 所示。

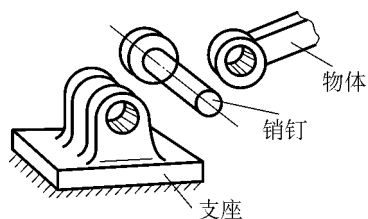


图 1-13 固定铰

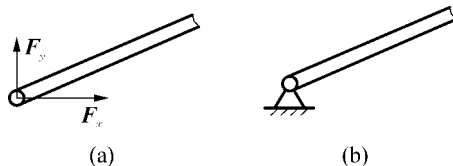


图 1-14 固定铰约束反力

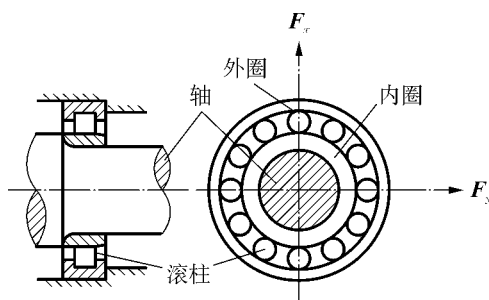


图 1-15 向心轴承

② 中间铰。当用圆柱销联结的两构件均不固定时,称为中间铰,如图 1-16 所示。与固定铰链支座一样,其约束反力也用两个互相垂直的分力  $F_x$ ,  $F_y$  表示,中间铰的简图如图 1-17 所示。曲柄连杆机构中,曲柄与连杆、连杆与滑块的联结就是中间铰。

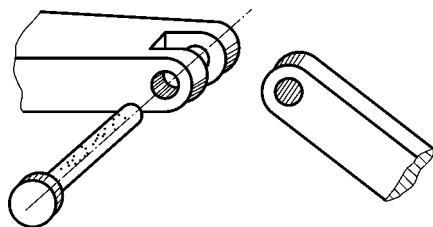


图 1-16 中间铰

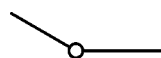


图 1-17 中间铰简图

③ 活动铰链支座(辊轴铰链支座)。在固定铰支座的底部安放若干滚子,并与支承联结,则构成活动铰链支座约束,又称辊轴支座,如图 1-18 所示。用图 1-19(a)表示简图。支座只能限制构件沿支撑面垂直方向的运动,故活动铰链支座的约束反力必定通过铰链中心,并垂直于支撑面,常用  $F$  表示,如图 1-19(b)所示。

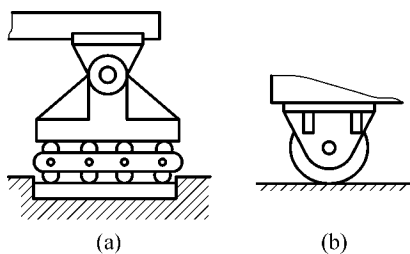


图 1-18 活动铰

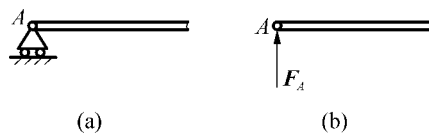


图 1-19 活动铰约束反力

(4) 固定端约束 工程中还有一种常见的基本约束,如建筑物上的阳台、固定在刀架上的车刀等,可归结为一杆插入固定面的力学模型,这些约束称为固定端约束。固定端约束既限制被约束构件的垂直与水平位移,又限制了被约束构件的转动。一般情况下,固定端约束用一组正交反力和一个约束力偶表示,如图 1-20 所示。

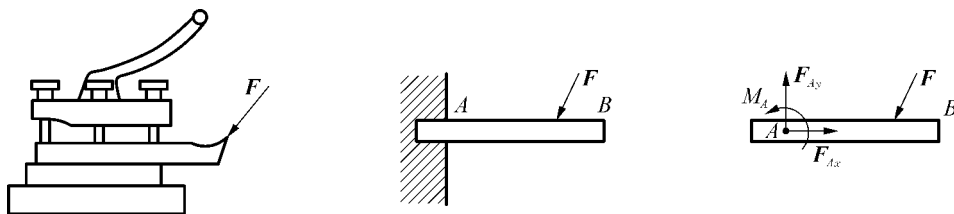


图 1-20 固定端约束

以上介绍了几种常见的约束类型,但在工程实际中联结部位的联结方式是复杂的,必须根据问题的性质将实际约束抽象为上述相应的典型约束。

### 6. 受力分析与受力图

在解决力学问题时,首先要根据问题的已知条件和待求量,从有关物体中选择某一物体(或有几个物体组成的系统)作为研究对象,并分析研究对象的受力情况,即进行受力分析。画研究对象时,只需显示出力的作用位置与约束类型,构件可用简单线条组成的简图来表示。

在简图上解除约束,使对象成为自由体,添上代表约束作用的约束反力,称为解除约束。解除约束后的自由体,称为分离体。在分离体上画出它所受的全部主动力和约束反力,就称为该物体的受力图。

(1) 画受力图的一般步骤为:

- ① 画出研究对象的分离体简图;
- ② 在简图上画出已知的主动力;

③ 在简图上解除约束处画上约束反力。

画受力图是解决力学问题的第一步骤,正确地画出受力图是分析、解决力学问题的前提。如果没有特别说明,则物体的重力一般不计,并认为接触面都是光滑的。

**例 1-2** 重量为  $G$  的梯子  $AB$ ,放在水平地面和铅直墙壁上。在  $D$  点用水平绳索  $DE$  与墙相连,如图 1-21(a)所示。若不计摩擦,画出梯子的受力图。

解:取梯子为研究对象,解除约束分离出来,作出简图。梯子受到的主动力为重力  $G$ ,作用于重心,方向铅直向下。使梯子成为分离体时,需将  $A, B, D$  处墙壁、地面、绳索构成的约束解除,因此在此 3 处需表示出相应的约束反力。根据光滑接触面约束的特点,墙壁和地面的约束反力  $F_{NA}$  和  $F_{NB}$  应分别作用在  $A, B$  点,并分别为垂直于墙壁和地面的压力。绳索  $DE$  作用于梯子的反力  $F_{TD}$  是沿着  $DE$  方向的拉力,力作用点在  $D$  点。梯子受力图如图 1-21(b)所示。

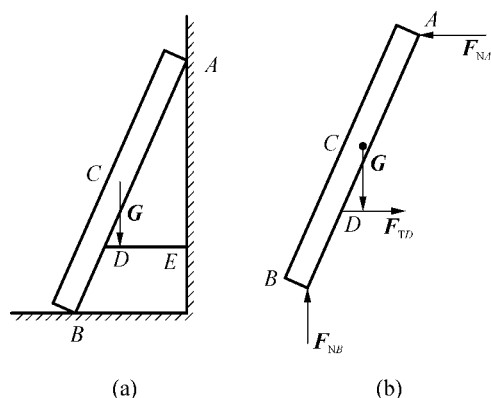


图 1-21 梯子的受力分析

**例 1-3** 如图 1-22(a)所示的支架,由杆  $AC, CD$  与滑轮  $B$  铰接而成。物体的重量为  $G$ ,用绳索挂在滑轮上。如杆、滑轮及绳索的自重不计,并忽略各处的摩擦,试分别画出滑轮  $B$ (包括绳索)、杆  $AC, CD$  及整个体系的受力图。

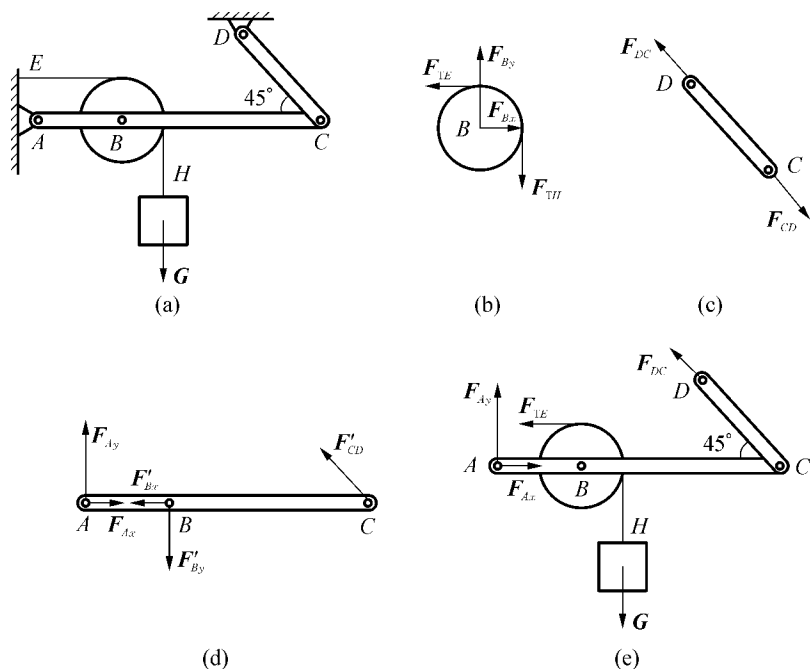


图 1-22 支架的受力分析