



高职高专规划教材

空调制冷机械工程基础

张恩祥 主编



高职高专规划教材

空调制冷机械工程基础

主 编 张恩祥
副主编 李春旺 陈福祥
参 编 付 力 楚文君
何 娟 田沛哲



机械工业出版社

本书从制冷空调机械设备的设计、生产加工和安装维护等职业技能要求出发,介绍了制冷空调专业技术人员所应具备的机械工程基础知识。这些基础知识包括:工程力学、工程材料、机械传动与轴系、压力容器与压力管道、公差与配合基础和常用标准件等内容。

本书各章内容阐述详细深入,重点突出,针对性强,同时兼顾了学科的系统性。各章备有实例、复习思考题和习题。

本书可作为高职高专院校制冷空调及其相关专业的教材,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

空调制冷机械工程基础/张恩祥主编. —北京:机械工业出版社, 2004.9

高职高专规划教材

ISBN 7-111-15209-3

I. 空… II. 张… III. 制冷-机械工程-高等学校:技术学校-教材 IV. TB65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 090425 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:宋学敏 版式设计:冉晓华 责任校对:姚培新
王世刚

封面设计:饶薇 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·17.75 印张·424 千字

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) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

制冷和空气调节过程都必须由相应的工艺系统来实现，而工艺系统又与相关的制冷空调机械设备息息相关的。因此，从事制冷空调机械设备的设计、生产、安装施工和维修的工程技术人员，必须掌握一定的机械基础知识。这些机械基础知识包括：工程力学、工程材料、机械零件与传动、压力容器与压力管道、公差与配合基础以及常用标准件等内容。通过工程力学部分的学习，可了解在承受不同的载荷时，设备的构件截面会产生不同类型的应力和不同形式的变形，由此引伸出强度、刚度和稳定性的概念。通过工程材料部分的学习，可掌握常见金属材料的种类、性能、代号、代号含义以及非金属材料的种类及性能等内容，为正确使用符合工艺要求的材料打下基础。通过机械传动部分的学习，可了解一些常见机械传动的形式及构成，以及这些机械传动所需要的零部件，掌握这些基础知识有利于在工艺设计时选用正确的机械传动方法。通过对压力容器知识的学习，可掌握保证压力容器安全使用的方法。管道是设备间连接必不可少的一类部件，也是工艺设计时一项非常重要的内容，编者将其专列一章介绍。通过学习管道的受力特点、管配件的种类、管道防腐和保温方法等知识，为正确设计、安装管道和选择管配件打下基础。

参加本书编写的大多为从事制冷空调和机械设计专业教学和科研的教师。其中第一章、第九章、第十章由李春旺编写，第二章、第三章、第五章由张恩祥编写，第四章、第八章、第十一章由陈福祥编写，第六章由楚文军编写，第七章由田沛哲编写，第十二章由付力编写，第十三章由何娟编写。全书由陈福祥负责统稿。

由于该书所涉及的面广，编写的时间比较紧，既要考虑从专业岗位出发，又要兼顾学科的系统性，书中难免有错误和遗漏之处，敬请读者提出宝贵意见。

编 者

目

录

前言

第一章

绪论 1

第一节 制冷空调设备概述 2

第二节 制冷空调设备机械基础知识 4

第二章

构件的受力和平衡 5

第一节 力、约束和约束力 6

第二节 受力分析和受力图 12

第三节 平面力系的合成 15

第四节 平面力系的平衡条件与平衡 方程 18

复习思考题 21

习题 22

第三章

拉伸与压缩 27

第一节 材料力学的基本知识 28

第二节 直杆拉伸或压缩时的内力与 应力 29

第三节 材料的力学性能及测试 32

第四节 直杆拉伸或压缩时的变形 36

第五节 直杆拉伸或压缩时的强度 条件 38

复习思考题 41

习题 41

第四章

平面弯曲 45

第一节 梁的弯曲剪切力和弯矩 46

第二节 剪切力图和弯矩图 48

第三节 平面弯曲时梁的正应力 52

第四节 常用截面的惯性矩和抗弯截面 系数计算 55

第五节 梁弯曲时正应力强度条件 58

第六节 提高梁弯曲强度的主要措施 60

第七节 平面弯曲梁的变形 63

第八节 梁变形的计算和刚度条件 64

复习思考题 69

习题 69

第五章

剪切、挤压与扭转 73

第一节 剪切和挤压 74

第二节 扭转时的转矩、应力和变形 78

第三节 圆轴扭转时的强度条件和刚度 条件 82

复习思考题 85

习题 86

第六章

压杆稳定和构件的疲劳 91

第一节 压杆稳定 92

第二节 构件的疲劳 99

复习思考题 101

习题 101

第七章

制冷空调设备常用材料 105

第一节 金属材料的性能 106

第二节 制冷空调设备常用金属材料 111

第三节 制冷空调设备常用非金属 材料 117

第四节 钢材的热处理 122

第五节 金属材料的腐蚀与防护 125

第六节 制冷空调设备材料的选择 131

复习思考题 133

第八章

压力容器 135

第一节 容器的结构与分类 136

第二节 薄壁容器的应力 137

第三节 内压薄壁容器 141

第四节 外压薄壁容器 146

第五节 压力容器的安全使用与管理 150

复习思考题	157
习题	157

第九章

制冷空调设备常用标准件	159
第一节 概述	160
第二节 筒体与封头	161
第三节 标准联接紧固件	165
第四节 设备的支座	174
第五节 阀门	177
第六节 安全保护装置	180
第七节 管道隔振部件	182
复习思考题	184

第十章

公差与配合基础	185
第一节 尺寸公差与配合	186
第二节 形位公差的一般知识	188
第三节 表面粗糙度	189
复习思考题	190

第十一章

压力管道	191
第一节 管道和管件	192
第二节 管道的支吊架	195

第三节 管道的应力	197
第四节 管道的防腐、保温与标志	199
复习思考题	203

第十二章

机械传动	205
第一节 机械传动的基本概念	206
第二节 平面连杆机构	212
第三节 带传动	220
第四节 齿轮传动	226
第五节 轮系及其传动比	236
习题	244

第十三章

轴系及其零部件联接	249
第一节 轴	250
第二节 轴承	257
第三节 轴系的密封	264
第四节 联轴器	266
复习思考题	269
习题	269

附录

附录 A 型钢表	270
附录 B 钢板许用应力	272

参考文献

参考文献	276
------------	-----

第 一 章

绪 论

1

第一节 制冷空调设备概述

第二节 制冷空调设备机械基础知识

第一节 制冷空调设备概述

制冷技术是为适应人们对低温条件的需要而产生和发展的,在食品储藏运输、空气调节、工业生产、国防工业、医疗卫生等方面都有广泛的应用,特别是随着经济的发展和科学技术的进步,中国已经成为了制冷空调设备的生产和消费大国。

一、制冷循环

制冷,是指用人工的方法将物质冷却,使其温度降到环境温度以下并保持这个低温的一种技术。制冷机是实现制冷过程所必需的机器和设备的总称。制冷机有相变制冷、气体膨胀制冷、涡流管制冷和热电制冷几种。相变制冷又包括蒸汽压缩式、吸收式、蒸汽喷射式和吸附式制冷等,其中蒸汽压缩式制冷技术应用最为广泛。蒸汽压缩式制冷机主要由压缩机、冷凝器、节流机构和蒸发器通过管道连接而成,如图 1-1 所示。制冷机内的制冷剂,是被冷却物质与室外空气之间进行能量交换的媒介。它在压缩机驱动下不断地循环流动,在蒸发器内汽化吸热,来吸取被冷却物质内的热量;然后在冷凝器内冷凝放热,把在蒸发器内所吸收的热量又排放给室外空气。在冷凝器内冷凝的高压制冷剂液体,通过节流机构的降压,变成低压的液体,又进入蒸发器内沸腾吸热。制冷机循环往复地把低温环境中的热量排放到高温环境,必须消耗一定的能量,该能量的直接表现形式是压缩机的机械能,而机械能是由电能、热能、太阳能等能量转换而来。

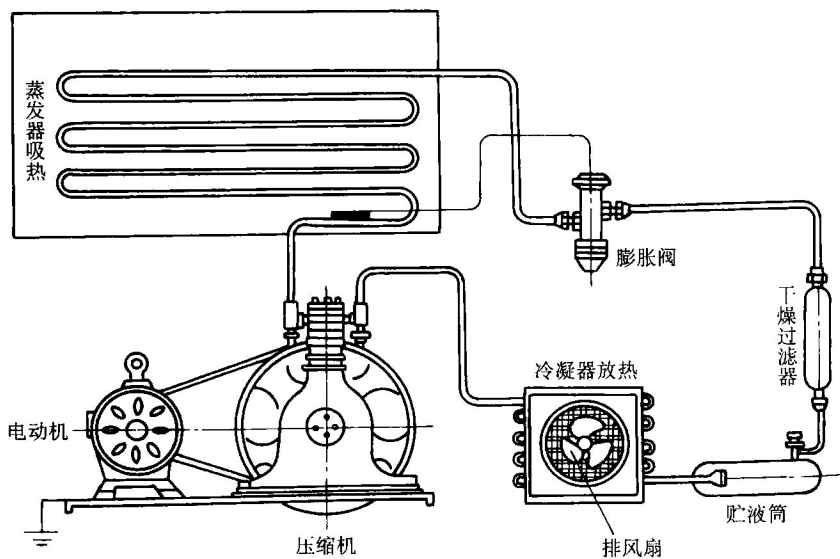


图 1-1 制冷循环

二、空气调节

空气调节的主要任务就是把室内空气的温度、湿度、空气流动速度和清洁度,保持在一定的范围内,以满足人们舒适性和生产工艺的要求。在夏季,空调房间内空气温度高,相对湿度大,室内回风和室外新风通过空气处理设备(如制冷机等)进行降温、除湿处理,由通风系统送入房间;在冬季,室内空气温度较低,空气干燥,室内回风和室外新风通过热源

(如采暖锅炉等) 加热和加湿设备的加湿处理, 再由通风系统送入房间。中央空调水系统的组成如图 1-2 所示。

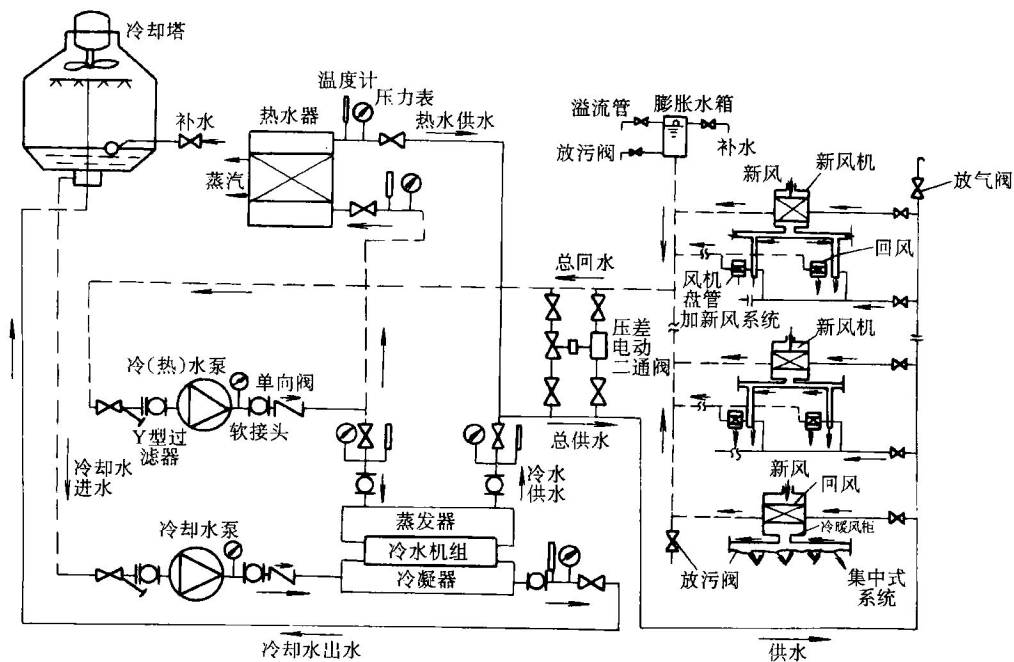


图 1-2 中央空调水系统示意图

三、制冷空调设备

制冷机、供热装置、热交换器、风机和风道、水泵和水管路等是制冷空调设备的主要组成部分, 由它们组成了制冷设备中的制冷系统、供热系统、通风系统、冷媒水系统和冷却水系统等。

制冷压缩机是制冷空调设备的核心机械装置。常用的制冷压缩机主要有往复式、旋转式、螺杆式、离心式和涡旋式等。根据压缩机工作原理, 制冷压缩机可分为容积型和速度型两类, 如图 1-3 所示。

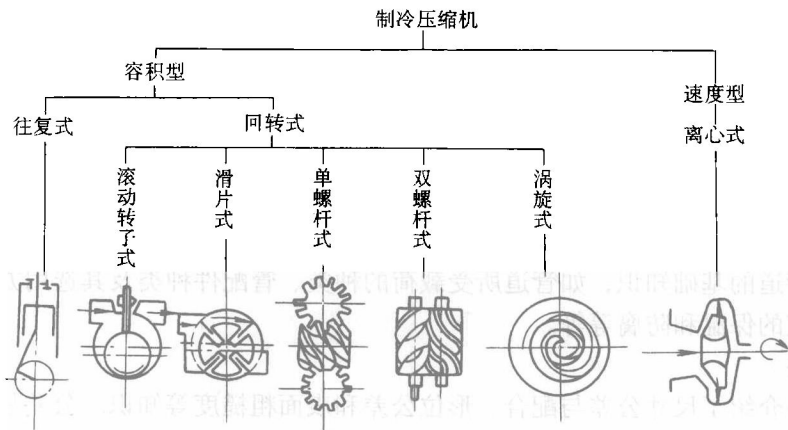


图 1-3 制冷压缩机的分类

容积型压缩机是通过可变的工作容积来完成对制冷剂气体的压缩和输送,它分为往复式活塞式和回转式两大类。往复式活塞式压缩机应用最广泛,它是靠在气缸内作往复运动的活塞形成的可变工作容积来完成制冷剂的吸入、压缩和排出的。回转式压缩机的转子在气缸内作旋转运动,主要有螺杆式、旋转式和涡旋式。

速度型压缩机是靠高速旋转的工作叶轮对气体做功,使其流速和压力增高,再通过扩压装置降低气体的流速,使动能转变为压力能,进一步增加气体的压力,从而完成气体的压缩和输送过程,最常见的是离心式压缩机。

第二节 制冷空调设备机械基础知识

本书重点阐述制冷空调设备的机械基础知识,主要包括工程力学、工程材料、机械传动、压力容器、压力管道、公差等方面的基础知识。

一、工程力学

机械就是运用力学原理由构件组成的装置。力学是机械的基础。工程力学所要研究的是构件受力后的变形和破坏规律,以解决强度、刚度和稳定性等问题。制冷空调设备中的构件大致可分为三类:杆(指长度远大于垂直于长度方向的尺寸),板(厚度远小于长度或宽度),壳(厚度远小于长度或宽度,但几何形状不是平面而是曲面)。

二、工程材料

在制冷空调设备中,所用的材料主要包括钢材、铸铁、有色金属(铜、铝)及其合金和非金属材料。本书主要涉及材料的力学性能,包括材料的强度、硬度、塑性和韧性等指标,以及常见的失效形式,如腐蚀等。

三、机械传动

制冷空调设备的运行是依靠机械传动装置。本书将机械传动部分内容分为机械传动和轴系两大部分内容。在机械传动中主要介绍常见传动方法及其工作原理,如带传动、齿轮传动、蜗杆传动。轴系主要有轴的设计方法、联轴器和轴承的种类、工作原理和选用方法。

四、压力容器

压力容器在制冷空调设备中使用广泛,如制冷剂钢瓶、储液器、换热器外壳等。本书根据相关的国家安全规范,介绍不同类别的容器的设计计算、材料的选用、制造加工工艺、检验和使用等方面的要求。

五、压力管道

压力管道本身并不属于设备,但是与压力容器相比,压力管道的受力情况更为复杂。压力管道除承受内压外,还承受由于热胀冷缩而引起的弯曲和扭转载荷、管道内部和外部冲击而产生的冲击载荷、由于管道振动而产生的振动载荷、管道本身及附件的质量载荷等等。本书主要介绍管道的基础知识,如管道所受载荷的种类、管配件种类及其选用方法、管道系统的布置、管道的保温和防腐等等。

六、公差

本书主要介绍了尺寸公差与配合、形位公差和表面粗糙度等知识。公差是机械图样中基础性技术标准,掌握公差知识,在机械设备及其零件的设计、加工、装配、维修等方面有着重要作用。

第 二 章

构件的受力和平衡

2

- 第一节 力、约束和约束力
- 第二节 受力分析和受力图
- 第三节 平面力系的合成
- 第四节 平面力系的平衡条件与平衡方程

所有机械和结构都是由若干构件组成的,工作时要受到不同的外力作用。物体受到力的作用后,其机械运动状态会发生变化,称为力的外效应或运动效应;物体的原来形状也要改变,称为力的内效应或变形效应。要确保机械或结构安全地工作,首先要使其中的构件始终满足所需的力学条件,包括保持平衡状态(即相对于地面处于静止或作匀速直线运动的状态)和在其承载能力以下工作。因此,必须研究构件的受力和平衡规律,研究构件的变形与破坏规律,这两方面分别是静力学和材料力学的研究内容。掌握了这些基本理论和技能,才能合理设计、正确使用机械或工程结构。

本章主要讨论构件的受力分析和力系平衡应满足的条件。为方便问题的研究,本章中把物体视作刚体,即指在力的作用下不发生变形的物体。表现为受力后,其中任意两点的距离永远保持不变。物体所受的力往往不只一个,一般将作用于同一物体上的一组力称为力系,通常按照平面力系或空间力系进行分析。由于平面力系更加直观、易于分析,研究方法也与空间力系很类似,而且许多实际工程的力学问题本身是平面力系问题或者可以转化为平面力系问题。因此,本章的研究对象是刚体平面力系的合成与平衡问题。

第一节 力、约束和约束力

一、力的基本概念

通过长期的实践和观察,人们认识到:力是物体间相互的机械作用。在一般情况下,力对物体的作用可以产生移动和转动两种效应,如图 2-1 所示。

力的作用效果取决于力的大小、方向和作用点,通常将它们称为力的三要素。其中任何一个发生改变,力对物体的作用效果也就改变了。

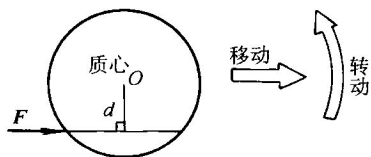


图 2-1 力的一般效果

1) 力的大小是指物体相互间机械作用的强度,可以用测力计或弹簧秤来测定。国际单位制中,度量力的单位是牛顿(记作 N);在工程单位制中,则采用千克力(kgf)。两者的换算关系为:1kgf = 9.80665N,常取作 1kgf = 9.8N。

2) 力的方向要用方位与指向合起来表明。

3) 力的作用点。当力在物体上的作用面积或体积很小时,可将力的作用位置抽象为点,称为力的作用点。而过力的作用点、代表力的作用方位的直线称为力的作用线。

力是由三要素来决定的,所以它就是定位矢量,可以用一条具有方向的线段来表示。在图示时,常用一带箭头的线段表示。此线段的长度按一定的比例表示力的大小,其箭头所指的直线方向代表力的方向,其起点或终点表示力的作用点。书写时,用黑体字母(如 $\mathbf{F}$ 、 $\mathbf{F}_P$ 、 $\mathbf{F}_T$)表示该矢量;用普通字母(如 F 、 F_P 、 F_T)表示该矢量的模(即力的大小)。

作用在有固定支点的物体上的力则会引起物体绕支点转动,如图 2-2 所示。常用的扳手、杠杆等工具就是利用力的转动效果。力学上以乘积 Fd 作为度量力 $\mathbf{F}$ 使物体绕 O 点转动效果的物理量,称为力 $\mathbf{F}$ 对点 O 的力

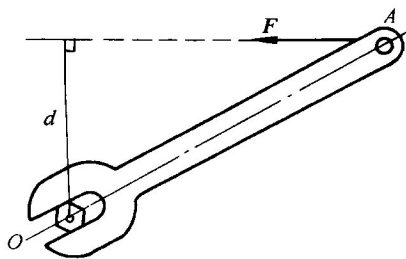


图 2-2 力矩的定义

矩, 简称力矩, 以符号 $M_O(F)$ 表示, 即

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

式中, M_O 为力矩 ($\text{N}\cdot\text{m}$); 下角“O”表示矩心; d 为力臂 (m); F 为力 (N); 正负号表明平面力对点的力矩 $M_O(F)$ 是一个代数量, 可以用它来表示物体的转向。通常规定: 力使物体绕矩心逆时针转动的力矩为正, 反之为负。按照上述规定, 图 2-2 所示的力 F 对 O 点的力矩就为正值。应该注意, 讨论、计算力矩时必须指明矩心。这是因为力对点的力矩与矩心有关, 同平面上的同一个力对不同点的力矩是不同的。但力沿作用线移动, 并不会改变力对点的力矩数值及正负号。只有力的作用线通过矩心时, 力矩才为零。

作用在刚体上的力有三种基本形式:

1) 力的作用面面积很小时, 可以表示为作用于一点上的力, 称为集中力。以一条有向线段表示, 如图 2-3a 所示。

2) 如果力的作用范围比较大, 不能被抽象为点时, 称为分布力。它又可以进一步分为线分布力和面分布力, 分别如图 2-3b、c (为均布力)、d 和 e 所示。按表面力和体积力方式作用于物体上的力都可以化为分布力, 如重力、闸门受到的流体压力、齿轮啮合力等。

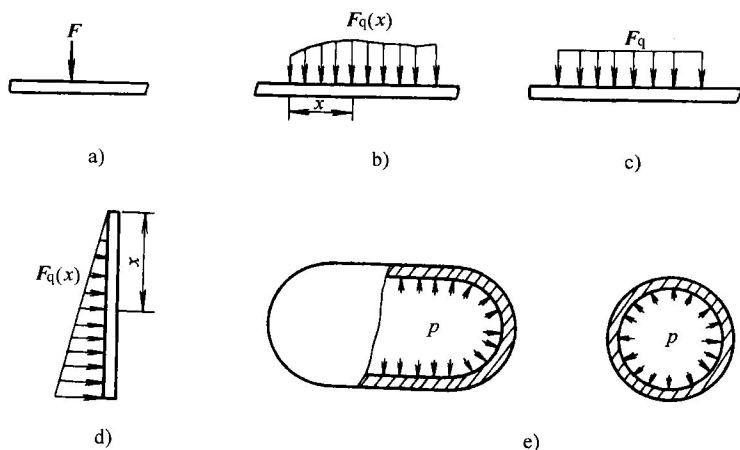


图 2-3 力的两类基本形式

3) 作用在同一个物体上, 而且大小相等、方向相反、不共作用线的一对平行力称为力偶, 通常用一对力 (F , F') 表示。将两个力所在平面称为力偶作用面, 两力作用线之间的垂直距离称为力臂。开关管道闸门、两手指拧动水龙头、钳工用丝锥攻螺纹等都可视为力偶作用。

力偶只是使物体转动或改变物体的转动状态, 这不同于一个力单独的作用效果; 力偶也不存在合力, 其中两力在任意轴上的投影的代数和都为零。所以, 力偶不能与一个力等效, 也不能被一个力平衡。力偶对物体的作用效果与力 F 的大小和力偶臂 d 的长短都成正比, 但力偶在其作用平面内任意移动, 并不会改变力偶矩对刚体的转动效应。因此, 要想衡量力偶对物体的转动效果, 可以使用力的大小 F 与力臂的数值 d 的乘积, 这个乘积也就称为力偶矩。力偶矩与矩心的位置无关, 由此写力偶矩时不必写出矩心, 只需用符号 $M(F, F')$ 表示, 记作

$$M(\mathbf{F}, \mathbf{F}') = \pm Fd \quad (2-2)$$

式中, 正负号说明力偶矩的转动方向。其正负号的规定与力矩相同: 平面力偶使物体逆时针转动时, 力偶矩取为正; 反之取为负。实质上, 力偶矩是力偶中两个力分别对平面上任意点力矩的代数和。力偶矩是代数量, 单位与力矩单位相同。由力偶的作用效果可知, 其效应取决于力偶矩的大小、力偶的转向和作用平面, 这三点称为力偶的三要素。同平面内的两个力偶, 如果大小相等、转向相同, 则此二力偶被称为等效力偶, 也称力偶的等效性。由此可知, 只要力偶矩的大小和转向不变, 力偶的位置可在其作用面内任意移动或转动, 也可同时任意改变力的大小和力臂的长短, 而不影响该力偶对物体的转动效应。力偶的表示形式可有两种:

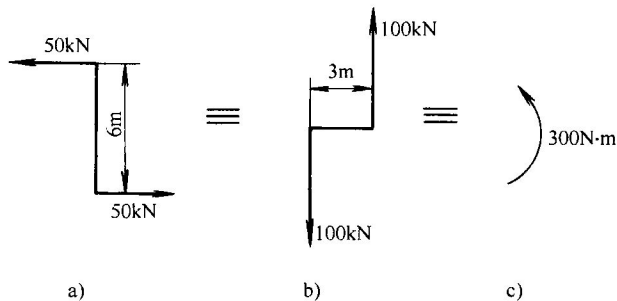


图 2-4 力偶的表示方法

1) 用力和力臂表示, 见图 2-4a、b。

2) 在力偶的作用平面上任意位置用一端带箭头的弧线表示, 并标出力偶矩的值, 见图 2-4c。图 2-4 中的力偶矩都是 $300\text{N}\cdot\text{m}$, 并为等效力偶。

二、约束与约束力

机械和工程结构中的各构件都是按照适当的方式, 相互联系而又相互制约的, 它们的运动总要受到一定的限制。这才能恰当地传递运动以实现所需要的动作, 或者承受载荷以满足各种要求。例如电动机转子受到轴承的限制, 只能绕轴线转动。这些对于某一物体的活动起着限制作用的其他物体就称为约束或约束体。比如管道安在管架上, 管架又固定于建筑物上, 管架和建筑物都成为了管道的约束。

约束改变了物体的运动状态, 限制着物体的任意运动, 就必然要承受物体的作用力, 同时也要给予受限物体以大小相等、方向相反的反作用力。这种约束对被约束物体所施加的力称为约束作用力, 简称为约束力。约束力的特征与约束的结构形式及接触面的物理性质有关。实际约束是用于固定物体的某种结构, 其形式多种多样, 接触面的物理性质也各不相同。为了便于确定各种实际约束所产生的约束力, 可将它们归纳成如下几种典型的约束, 并介绍其约束力的特点和相应的表示方法。

1. 柔性约束

把不计自重的绳索、胶带、平带、链条等柔性物体构成的约束称为柔性约束。柔性约束的物理性质决定了约束只能承受拉力, 不能承受压力和抗拒弯曲, 且只能限制物体沿柔性体伸长方向的运动。柔性体的约束力只能是拉力, 作用于连接点或假想的截割处, 其方向是沿着柔性体的中心线而背离被约束的物体。通常用 $\mathbf{F}$ 表示。如图 2-5 所示实例, 起

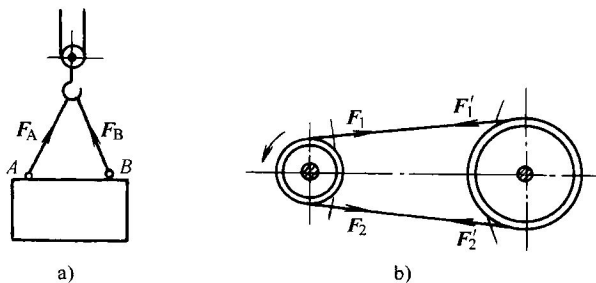


图 2-5 绳索和平带的约束力

吊重物和带轮传动, 绳索的约束力沿着绳的中心向上, 平带的约束力沿着轮缘的切线方向背离轮子。以下各约束本身都是一个刚体, 被约束物与它也是刚性接触, 所以都属于刚性约束。在此情况下, 约束力的特征与接触面的几何形状及接触面的物理性质 (即光滑程度) 有关。

2. 光滑面约束

光滑面约束在工程上比较常见。当两个物体直接接触, 接触面比较光滑或有良好的润滑, 摩擦力很小、可忽略不计时, 约束就称为光滑接触面约束, 简称为光滑面约束。这类约束只能限制物体沿接触面的公法线方向且指向支承面的运动, 对于物体沿接触面切线方向的运动却不能限制。其约束力应作用于接触点, 沿接触面的公法线且指向被约束物, 也称为法向压力, 通常用 F_N 表示。

如图 2-6 所示, 凸轮曲面对顶杆的约束力 F_N , 它沿接触点的公法线方向指向顶杆。

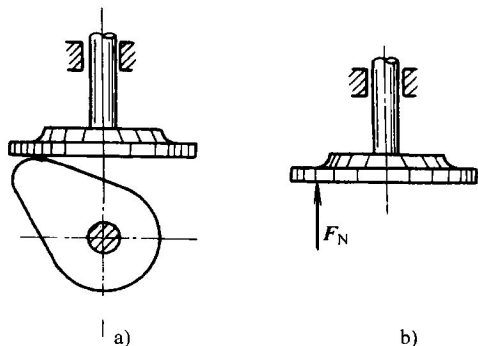


图 2-6 凸轮曲面的约束力

3. 光滑圆柱形铰链约束

圆柱形铰链是连接两个构件的圆柱形零件, 通常称为销钉。例如机器上的轴承、门窗上的合页等。这类约束可视为由圆柱销插入两构件的圆柱孔而构成的, 且不计摩擦、忽略构件上圆柱孔与圆柱销的余隙。其共性是只能限制被约束物的径向移动, 不能限制被约束物绕圆柱销轴线的转动和平行于圆柱销轴线的移动。因此, 这种铰链限制构件在垂直于销钉的平面内的相对移动, 又称为平面铰链。它在工程中广泛应用, 有多种具体形式, 现分述如下:

(1) 以圆柱铰链约束构成的支座 支座是把构件或结构物支承在墙、柱、机身等固定支承物上的装置。其作用在于将构件或结构物固定于支承物上的同时, 能把它们所受的载荷传给支承物。平面问题中常用的如下两种支座就是以圆柱铰链构成的。

1) 固定铰链支座 (简称铰支座) 是用光滑的圆柱销钉将构件或结构物与底座连接在一起, 并把底座固定在支承物上而构成的。这种约束的特点是被约束物只能绕铰链轴线转动而不能发生垂直于铰轴的任何移动。所以, 铰支座约束力的作用线必是通过销钉的中心, 并沿圆柱面接触点的公法线方向。但在构件作用外力未定因而接触点位置未定的情况下, 只能是大小、方向均不定的力。通常用 F_R 表示。为了便于分析, 用互相垂直、大小未知的两个正交分力 F_{Rx} 、 F_{Ry} 来表示。如图 2-7 所示, 固定铰链由固定底座 1、杆件 2、圆柱销钉 3 连接而成。约束力 F_R 随着杆与销钉接触位置的不同而变动, 在图中以 F_{Rx} 、 F_{Ry} 来代替。

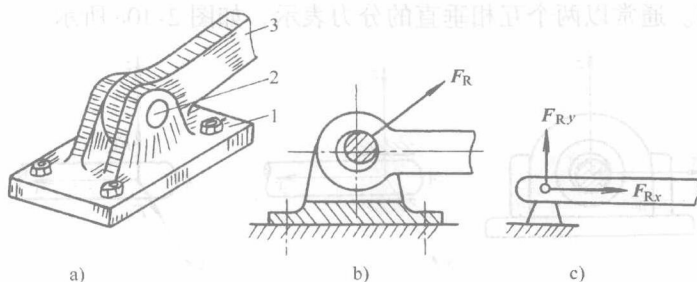


图 2-7 固定铰链支座

1—固定底座 2—杆件 3—圆柱销钉

2) 活动铰链支座是将构件或结构件的铰支座用几个圆柱形的滚子(辊轴)支承在光滑的支座面上而构成的。如图 2-8a 所示。它通常与固定铰支座配对,用于桥梁、屋架、某些管道或卧式容器等构件。当构件在温度变化和载荷作用下变形时,保证其既能发生微小的移动,又能绕支座有微小的转动。这种约束只能限制物体与圆柱铰连接处沿垂直于支承面方向的运动。如果不计摩擦,其约束力必定通过铰链中心,且垂直于支承面,指向或背离约束物体。图 2-8b 是其简化表示法,图 2-8c 是其约束力的表示法。

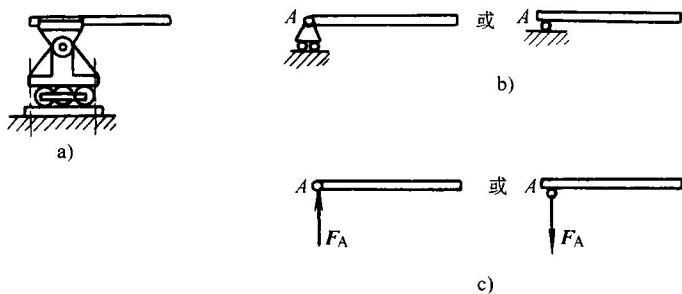


图 2-8 活动铰链支座

(2) 连接铰链约束 它用来连接两个可以相对转动但不能相对移动的构件,称为中间铰,如图 2-9a、b 所示。如将其中任一构件作为被约束物体,则约束力同样可用两个互相垂直的分力表示,如图 2-9c 所示。中间铰通常用图 2-9d 所示的简化符号表示。

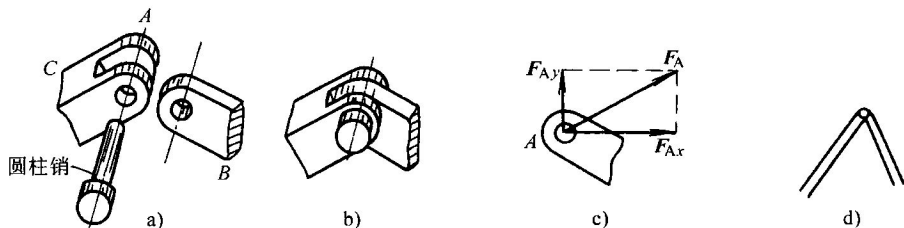


图 2-9 中间铰

(3) 轴承约束 它是工程中常见的支承形式,轴是被约束物体。这类约束的约束力的分析方法与铰链约束相同,但一般属于空间力系。转轴的轴颈常用滑动轴承或滚动轴承支承。图 2-10a 是一种滑动轴承的示意图,图 2-10b 是其简化表示。滑动轴承限制了轴在垂直于轴线的平面内的径向运动,却不限制轴沿轴线方向的运动。故不计摩擦时,其约束力在垂直于轴线的径向平面内。通常以两个互相垂直的分力表示,如图 2-10c 所示。

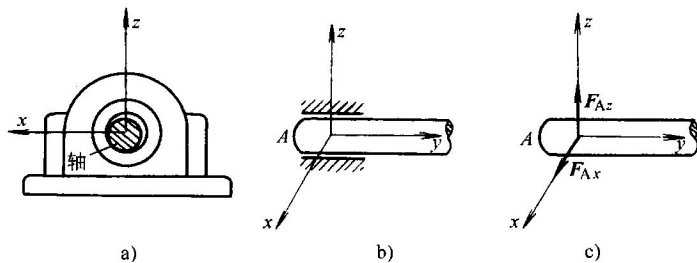


图 2-10 滑动轴承示意图和约束力图

图 2-11a 是滚动轴承的两种最常见形式，其简化表示如图 2-11b 所示。 A 端为向心轴承，因与滑动轴承一样，不起止推作用，所以其约束力也只有两个互相垂直的分力。 B 端是向心推力轴承，不仅限制轴在垂直于轴线的平面内的径向运动，而且能限制单方面的轴向运动（即起到轴向推力作用）。因此，通常用互相垂直的三个分力表示，如图 2-11c 所示。

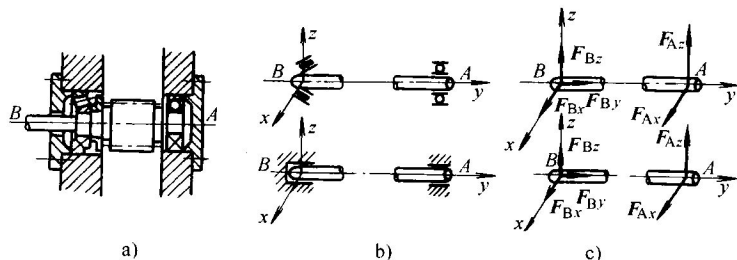


图 2-11 滚动轴承示意图和约束力图

4. 固定端约束

也常见于工程结构中。构件的一端嵌入夹持基础或建筑物内部，完全固定着，构件既不能有任意方向上的移动，也不能有所转动，这种约束称为固定端约束。例如，大家熟悉的阳台、电线杆就属于这种约束。在一般情况下，要达到该约束效应，固定端必存在着约束力 F_A （用 F_{Ax} 、 F_{Ay} 表示）和约束力偶 M_A 。图 2-12 为一悬臂梁的约束力情况。 F_{Ax} 限制了悬臂梁沿水平方向的移动趋势， F_{Ay} 限制了它向下运动的趋势， M_A 限制了它由于弯曲载荷引起倾覆的趋势（即限制转动的趋势）。需要明确的是，上述约束都是所谓“理想约束”。实际分析工程构件或结构时，应根据约束对被约束物运动的限制，作适当的简化，使之成为相对接近的理想约束。

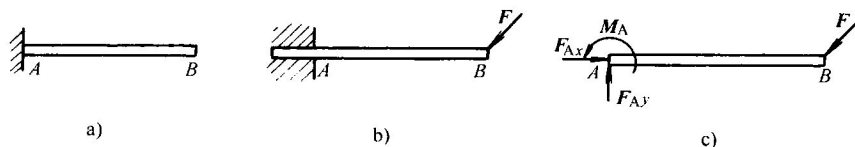


图 2-12 悬臂梁的约束力情况

三、静力学公理及其推论

人们从长期的观察与经验中概括出一些最基本的规律，不需证明而被公认，称为静力学公理。这些公理既总结了力的基本性质，又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，使刚体保持平衡的充要条件是：此二力大小相等、方向相反，而且作用于同一直线上。这一原理被称为二力平衡公理。此公理揭示了作用于物体上的最简单的力系平衡时所必须满足的条件。工程上，常遇到只受两个力作用而平衡的构件，不管其是何形状，都称为二力杆件。如图 2-13 中的直杆、弯杆、圆盘、三角拱的 BC 链杆等。在分析物体受力时，要明确二力平衡公理是两个力作用在同一物体上，而作用力与反作用力定律则是两个力分别作用在不同物体上。