

化工设备机械基础

第 二 册

《化工设备机械基础》编写组编

石油化学工业出版社

81.18
152.5
2:2

化工设备机械基础

第二册

工程力学、化工设备材料、机械传动

《化工设备机械基础》编写组编

石油化学工业出版社

内 容 提 要

本书叙述化工设备设计中有关的机械基础知识，分为五篇，共二十五章，是根据理论联系实际的原则和由浅入深的安排，将化工设备设计时必需的机械基础知识分为制图、工程力学、化工设备材料、机械传动和化工设备机械设计几个方面加以阐述。全书分三册出版。第一册为制图；第二册包括工程力学、化工设备材料和机械传动等内容；第三册为化工设备的机械设计。另附制图习题集一本。

本册包括：第二篇——工程力学、第三篇——化工设备材料、第四篇——机械传动。工程力学部分讲解力学的基本概念，物体的受力分析，材料的机械性质，杆件拉、压、弯、扭时的强度与刚度条件。化工设备材料篇叙述常用化工设备材料的性质、分类及牌号，选材原则，并根据化学工业的特点介绍了腐蚀与防腐的基本知识。机械传动部分叙述化工设备上常见的各种机械传动型式的优缺点、应用范围和维修注意事项，介绍了传动零件的结构与设计方法，减速器的结构与选用等内容。各章并有例题和习题。

本书可供石油化学工业部门厂矿、设计单位的工人、技术人员以及高等院校和“七·二一”工人大学化工工艺专业及化机专业师生参考。

参加本书编写工作的单位有：北京化工学院、天津大学化工系、太原工学院化工系、河北工学院化工系、大连工学院化工系、成都工学院化工系、上海染化十厂、上海化工学院、广东化工学院、河北化工学院和内蒙古工学院化工系。北京石油化工总厂机修厂、天津化工石油设备厂、天津碱厂、南京化工学院也参与了本书的编审工作。

化工设备机械基础

第 二 册

工程力学、化工设备材料、机械传动
《化工设备机械基础》编写组编

石油化学工业出版社出版

（北京和平里七区十六号楼）

石油化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本787×1092¹/₁₆印张16¹/₂字数387千字印数1—78,500

1978年4月北京第1版 1978年4月北京第1次印刷

书号15063·化243 定价1.70元

目 录

第二篇 工 程 力 学

第九章 物体的受力分析及其平衡条件	1
第一节 力的概念和基本性质.....	1
一、力的概念.....	1
二、力的基本性质.....	2
第二节 力矩与力偶.....	5
一、力矩的实例与概念.....	5
二、力偶的实例与概念.....	5
三、力的平移.....	6
第三节 物体的受力分析 受力图.....	6
一、约束和约束反力.....	7
二、受力图.....	10
第四节 平面力系的平衡方程式.....	12
第十章 直杆的拉伸和压缩	20
第一节 直杆的拉伸和压缩.....	20
一、工程实例.....	20
二、拉伸和压缩时横截面上的内力.....	21
三、拉伸和压缩时横截面上的应力.....	21
四、应变的概念.....	22
第二节 拉伸和压缩时材料的机械性质.....	23
一、拉伸和压缩实验.....	23
二、拉伸和压缩实验结果的分析.....	24
第三节 拉伸和压缩的强度条件.....	27
一、极限应力、许用应力与安全系数.....	27
二、拉伸和压缩的强度条件.....	29
三、强度条件的应用.....	29
第十一章 直梁的弯曲	33
第一节 梁的弯曲实例与概念.....	33
第二节 梁横截面上的内力——剪力与弯矩.....	34
一、截面法求内力 剪力 Q 与弯矩 M	34
二、弯矩正负号的规定.....	35
第三节 弯矩方程与弯矩图.....	36
一、弯矩方程式.....	36
二、弯矩图.....	36

第四节	弯曲时横截面上的正应力	39
一、	纯弯曲的实例 弯曲变形的特征	40
二、	梁弯曲时横截面上的正应力 正应力的分布规律	41
第五节	梁弯曲时的强度条件	43
第六节	梁截面合理形状的选择	45
第七节	梁的弯曲变形	46
一、	梁的挠度和转角的概念	46
二、	弯曲的刚度条件	48
第十二章	剪切与圆轴的扭转	52
第一节	剪切	52
一、	剪切变形的实例与概念	52
二、	剪力、剪应力与剪切强度条件	52
三、	挤压的概念和强度条件	54
四、	剪切变形 剪切虎克定律	55
第二节	圆轴扭转的实例与概念	55
第三节	扭转时的外力和内力	56
一、	扭转时外力矩的计算	56
二、	扭转时横截面上的内力	57
第四节	扭转时横截面上的应力	59
一、	应力分布规律	59
二、	横截面上剪应力计算公式与最大剪应力	60
三、	极惯性矩 J_p 与抗扭截面模量 W_{tp} 的计算	61
第五节	扭转的强度条件	62
第六节	圆轴的扭转变形与刚度条件	62
一、	扭转角 φ 与抗扭刚度 $G \cdot J_p$	62
二、	扭转刚度条件	63

第三篇 化工设备材料

第十三章	化工设备材料	66
第一节	材料的一般性能	66
一、	机械性能	66
二、	物理性能	67
三、	化学性能	67
四、	工艺性能	68
第二节	碳钢与铸铁	68
一、	铁碳合金的组织结构	68
二、	钢的热处理	69
三、	碳钢	70
四、	铸铁	73

第三节	合金钢	75
一、	合金元素对钢的影响	75
二、	合金钢的分类与编号	75
三、	普通低合金钢	76
四、	渗碳钢	77
五、	调质钢	77
六、	特殊性能钢	78
第四节	有色金属	81
一、	铝及其合金	81
二、	铜及其合金	82
三、	铅及其合金	83
第五节	非金属材料	84
一、	无机非金属材料	84
二、	有机非金属材料	84
第六节	化工设备的腐蚀及防腐措施	87
一、	腐蚀概述	87
二、	金属设备的防腐措施	88
第七节	材料的选用	89
一、	选用材料的一般原则	89
二、	选材举例	90

第四篇 机械传动

第十四章	机械传动概述	96
第一节	机械传动的基本知识	96
第二节	机械传动系统示意图	98
第三节	设计化工机械传动常用零件的基本要求	101
第十五章	皮带传动	103
第一节	概述	103
一、	皮带传动的工作原理	103
二、	皮带传动的传动比	103
三、	皮带传动的特点	104
四、	皮带传动的类型和结构	104
第二节	三角皮带传动的设计计算	107
一、	皮带传动的失效形式	107
二、	三角皮带传动的设计计算	108
三、	皮带轮	112
第三节	皮带传动的张紧方法、使用和维护	117
一、	三角皮带传动的张紧方法	117
二、	皮带传动的使用和维护	117

第十六章 链传动	120
第一节 概述.....	120
第二节 链条和链轮.....	121
一、链条.....	121
二、链轮.....	122
第三节 套筒滚子链传动的设计计算.....	124
一、链传动的失效形式.....	124
二、链传动的设计计算.....	124
第四节 链传动的安装和维护.....	130
一、链传动的安装.....	130
二、张紧方法.....	130
三、维护.....	132
第十七章 齿轮传动	133
第一节 概述.....	133
第二节 直齿圆柱齿轮传动的原理和几何尺寸计算.....	134
一、渐开线齿廓啮合的基本原理.....	134
二、齿轮各部的名称和主要参数.....	137
三、标准渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动.....	139
四、标准渐开线直齿圆柱齿轮传动的几何尺寸计算.....	140
五、渐开线齿轮的测量尺寸.....	141
第三节 齿轮的材料.....	144
第四节 直齿圆柱齿轮传动的受力分析和强度计算.....	145
一、齿上作用力分析.....	145
二、强度计算.....	146
第五节 圆柱齿轮的精度.....	150
一、圆柱齿轮的精度等级及其选择.....	150
二、齿轮的齿厚公差及齿坯公差.....	151
第六节 齿轮的结构和零件工作图.....	154
一、齿轮的结构.....	154
二、齿轮零件工作图.....	154
第七节 斜齿圆柱齿轮传动.....	159
一、斜齿圆柱齿轮的形成及其传动特点.....	159
二、斜齿圆柱齿轮的几何关系.....	160
三、斜齿圆柱齿轮传动的齿上作用力分析和强度计算.....	161
四、斜齿圆柱齿轮零件工作图示例.....	162
第八节 直齿圆锥齿轮传动.....	164
附录 一、圆柱齿轮的画法.....	166
二、圆锥齿轮的画法.....	167
第十八章 蜗杆传动	169

第一节	概述	169
第二节	蜗杆传动的主要参数与几何尺寸计算	169
一、	蜗杆的主要参数	169
二、	蜗轮的主要参数	171
三、	蜗杆传动的正确啮合条件	172
四、	蜗杆传动的几何尺寸计算	172
第三节	蜗杆传动的受力分析	173
一、	蜗轮迴转方向的判别	173
二、	传动中力的分析与计算	174
第四节	蜗杆蜗轮的材料和零件工作图	174
一、	蜗杆蜗轮的材料	174
二、	蜗杆与蜗轮的零件工作图	175
第十九章	轴和联轴器	178
第一节	轴	178
一、	概述	178
二、	轴的结构设计	178
三、	轴的尺寸设计	181
第二节	联轴器	184
一、	联轴器的类型、结构及应用	184
二、	联轴器的选择	188
第二十章	轴承	190
第一节	滑动轴承	190
一、	滑动轴承的结构类型	190
二、	轴瓦的结构和材料	192
三、	滑动轴承的选择计算	195
第二节	滚动轴承	197
一、	滚动轴承的构造和材料	197
二、	滚动轴承的主要类型和代号	197
三、	滚动轴承的选择计算	201
四、	滚动轴承组件的设计	208
五、	滚动轴承的装拆	214
六、	滑动轴承和滚动轴承的比较	215
第三节	轴承的润滑和密封	215
一、	轴承的润滑	215
二、	轴承的密封	220
第二十一章	轮系和减速机	222
第一节	轮系	222
一、	轮系的作用	222
二、	轮系的类型	223

三、定轴轮系的传动比·····	224
第二节 齿轮、蜗轮减速机·····	226
一、减速机的类型·····	226
二、减速机的构造·····	226
三、减速机的代号·····	229
四、减速机的选择·····	230
五、减速机的润滑·····	233
第三节 行星减速机·····	234
一、动轴轮系的传动比·····	234
二、行星齿轮减速机简介·····	236
三、行星摆线针轮减速机简介·····	238
机械传动的总体设计示例·····	247

第二篇 工 程 力 学

第九章 物体的受力分析及其平衡条件

生产中使用的任何机器或设备的构件，应该是既适用又安全，而且要经济。适用、安全和经济是对任何机器或设备的三个基本要求。

经验和实验表明，任何机器或设备在工作时，都要受到各种各样的外力的作用，而机器或设备的构件在外力作用下都要产生一定程度的变形。如果构件材料选择不适当或尺寸设计不合理，则在外力的作用下是不安全的：构件可能产生过大的变形，使设备不能正常工作；也可能使构件发生破坏，从而使整个设备毁坏；有的构件当外力达到某一定值时，也可能突然失去原来的形状，而使设备毁坏。因此，为了使机器或设备能安全而正常地工作，在设计时必须使构件满足以下几方面的要求：要有足够的强度，以保证构件在外力作用下不致破坏；要有足够的刚度，以保证构件在外力作用下不致发生过大的变形；要有足够的稳定性，以保证构件在外力作用下不致突然失去原形。

工程力学的任务就是研究构件在外力作用下变形和破坏的规律，为设计构件时选择适当材料和尺寸，以保证能够达到强度、刚度和稳定性的要求，为使设备能够满足适用、安全和经济的要求，提供基础理论知识。这一篇的主要内容，可以归纳为两个方面：

- 一、研究构件受力的情况，进行受力大小的计算；
- 二、研究材料的机械性质和构件受力变形与破坏的规律，进行构件强度、刚度或稳定性的计算。

第一节 力的概念和基本性质

一、力的概念

“社会实践的继续，使人们在实践中引起感觉和印象的东西反复了多次，于是在人们的脑子里生起了一个认识过程中的突变（即飞跃）、产生了概念。”力的概念正是劳动人民在长期生活和生产实践中，经过反复的观察和实践而逐步建立起来的。

人们对于力的感性认识最初是从推、拉、举、掷等肌肉活动中得来的。例如在推小车时，手臂上的肌肉紧张，有用力的感觉，同时还观察到小车由静止变为运动，运动的速度由慢变快，或者使运动的方向有了改变。又如用手拉一根弹簧时，手臂的肌肉也有同样的感觉，还会看到弹簧伸长，产生了变形。进一步的实践又观察到不仅人对物体能有这样的作用，物体对物体也能产生这种作用，如在弹簧上挂一重锤，同样会使弹簧伸长。随着生产的发展，劳动人民创造了各种机械，逐步在生产中利用畜力、水力、风力以至蒸汽压力等等，人们对力的认识也就逐步深化和完善，建立了力的概念。

力是物体之间相互的机械作用，这种作用的效果使物体的运动状态发生改变或者使物体产生变形。

对力的概念的理解应注意两点：1. 力是物体之间的相互作用，离开了物体，力是不能存在的；2. 力既然是物体之间的相互作用，可见，力总是成对地出现于物体之间。相互作用的方式可以是直接接触，如人推小车；也可以不直接接触而相互吸引或排斥，如地球对物体的引力(即重力)。因此，在分析力时，必须明确以哪一个物体为研究对象，分析其它物体对该物体的作用。

实践证明，力对物体作用的效果取决于以下三个要素：(1) 力的大小；(2) 力的方向；(3) 力的作用点。其中任何一个有了改变，力的作用效果也必然改变。力的大小表明物体间机械作用的强烈程度，它的工程单位是公斤或吨，可用弹簧测力计来测定。

力是具有大小和方向的物理量，这种量叫做矢量，与常见的仅仅用数量大小就可表达的物理量如体积、温度、时间等不同。只有大小而无方向的量叫做标量。力是矢量，用黑体字或字上加一横表示，例如 \mathbf{F} 或 \bar{F} 。在图示中，通常用带箭头的线段来表示力。线段的长度表示力的大小，箭头所指的方向表示力的方向，线段的起点或终点画在力的作用点上，如图 9-1 中作用在小车上的重力 P 与拉力 T 。

二、力的基本性质

人们在长期生产劳动中，不仅建立了力的概念，而且认识了力的基本性质。

(一) 作用与反作用定律 物体间的作用是相互的。作用与反作用定律，反映了两个物体之间相互作用力的客观规律。如图 9-2 所示，起吊重物时，重物对钢丝绳的作用力 T 与绳对重物的反作用力 T 是同时产生的，并且大小相等、方向相反、作用在同一条直线上。作用力与反作用力是一对矛盾的两个方面。毛主席指出：“原来矛盾着的各方面，不能孤立地存在。假如没有和它作对的矛盾的一方，它自己这一方就失去了存在的条件。”作用力与反作用力这两个方面，也是同时存在，离开了任何一方，另一方也就不能存在。

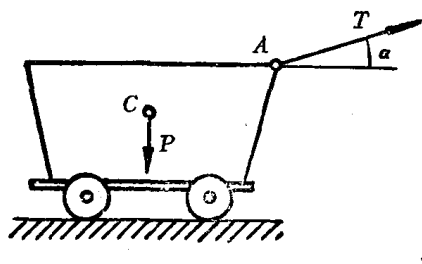


图 9-1

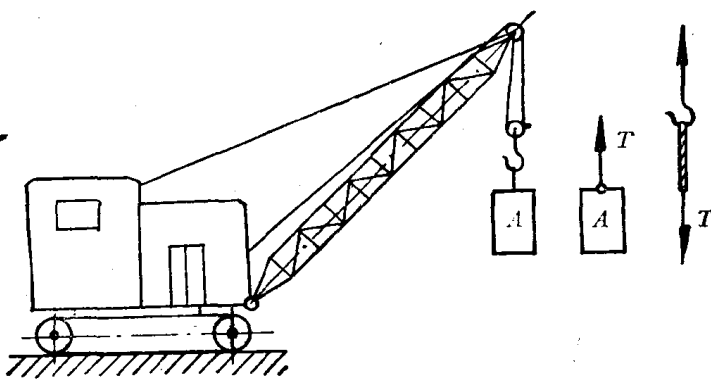


图 9-2

作用力与反作用力总是同时存在，并且大小相等、方向相反、沿同一直线。这一基本性质叫做作用与反作用定律。

(二) 二力平衡条件 二力平衡条件反映了受两个力作用的同一物体处于平衡状态时，这两个力应满足的条件。

什么叫平衡状态？毛主席指出：“无论什么事物的运动都采取两种状态，相对地静止的状态和显著地变动的状态。”“所谓平衡，就是矛盾的暂时的相对的统一。”所以，任何事物的运动是绝对的，静止是相对的、暂时的、有条件的。在力学中，把物体相对于地球表

面处于静止或匀速直线运动称为平衡状态。

仍以起吊重物为例，重物 A 受两个力作用：向下的重力 P 和向上的拉力 T ，它们的方向相反，沿同一直线，如图 9-3 所示。当重物上升的过程中，开始 $T > P$ ，物体向上加速运动；最后 $T < P$ ，物体减速运动；当 $T = P$ 时，物体则停止在半空中或作匀速直线运动，这时物体处于平衡。

由此可以知道，作用于同一物体上的两个力处于平衡时，这两个力总是大小相等、方向相反，并且作用在同一直线上。这就是二力平衡的条件。对于理想的“不变形物体”（刚体），这个条件是平衡的充分与必要条件；对于变形体（非刚体），这个条件只是平衡的必要条件，但不充分，即仅仅满足以上条件，还不能保证该物体是处于平衡状态。

应当注意，在分析物体受力时，不要把二力平衡与作用反作用混淆起来，前者是同一物体上的两个力的作用；后者是分别作用在两个物体上的两个力，它们的效果不能互相抵消。

（三）力的平行四边形规则 力的平行四边形规则反映同一物体上力的合成与分解的基本规则。作用在同一物体上的相交的两个力，可以合成为一个合力，合力的大小和方向由以这两个力为边所构成的平行四边形的对角线来表示，作用线通过交点，这个规则叫做力的平行四边形规则。

如图 9-4 所示，作用于物体上 A 点的两个力 F_1 与 F_2 的合力为 R 。按照平行四边形规则进行合成的方法叫做矢量加法，写作：

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \quad (9-1)$$

从力的平行四边形规则中不难看出，一般情况下，合力的大小不等于这两个分力大小的代数和，它可以大于分力，也可以小于分力，有时合力还可以等于零。



图 9-3

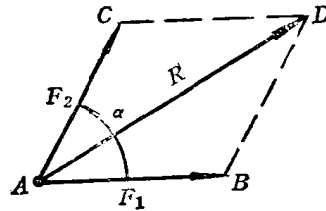


图 9-4

作用于同一物体上的若干个力叫做力系。力系中各个力的作用线汇交于一点的叫做汇交力系。对于汇交力系求合力，平行四边形规则依然能够适用，只要依次两两合成就可以求得最后的合力 R 。现假设作用于某物体 A 点上有三个力 F_1 、 F_2 与 F_3 ，可以先求得 F_1 与 F_2 的合力 R_1 ，然后再将 R_1 与 F_3 合成为合力 R ，如图 9-5。

力不但可以合成，根据实际问题的需要还可以把一个力分解为两个分力。分解的方法仍是应用力的平行四边形规则。例如搁置在斜面上的重物，它的重力 P 就可以分解为与斜面平行的下滑力 P_x 与垂直于斜面的正压力 P_y ，如图 9-6。正是这个下滑力 P_x 使得物体有向下滑动的趋势。

对于多个力的合成，用矢量加法作图求解不很方便，如果应用力在直角坐标轴上投影的方法，将矢量运算转化为代数运算，则可较方便地求出合成的结果。下面介绍力在直角坐标轴上的投影。

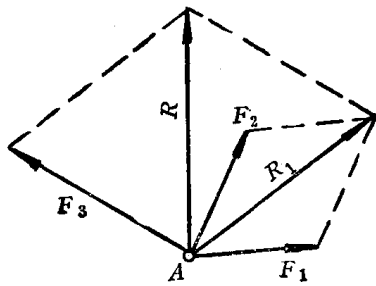


图 9-5

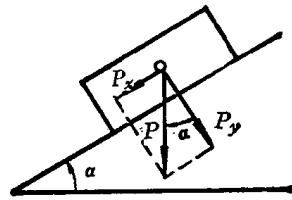


图 9-6

图 9-7 表示物体上 A 点受 F 力的作用, oxy 是任意选取的直角坐标系。设力 F 与 x 轴的正向夹角为 α 。由图可以看出, 力 F 在 x 轴与 y 轴上的投影分别为,

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F \cos \alpha \\ F_y &= F \sin \alpha \\ &= F \cos \beta \end{aligned} \right\} \quad (9-2)$$

力在坐标轴上的投影等于力的大小乘以力与投影轴所夹锐角的余弦, 如果投影的方向与坐标轴的正向相同, 投影为正; 反之为负。力的投影是代数量。显然, 当 $\alpha=0^\circ$ 或 180° 时, 力 F 与 x 轴平行, 则力 F 在 x 轴上的投影 $F_x = F$ 或 $-F$; 当 $\alpha=90^\circ$ 时, 力 F 与 x 轴垂直, $F_x=0$ 。

设物体上某点 A 受两个力 F_1 、 F_2 作用, 如图 9-8。为了求它的合力, 可以先分别求出它们在某一坐标轴上的投影, 然后代数相加, 就可以得到合力在同一坐标轴上的投影:

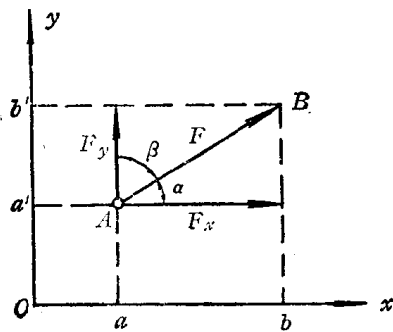


图 9-7

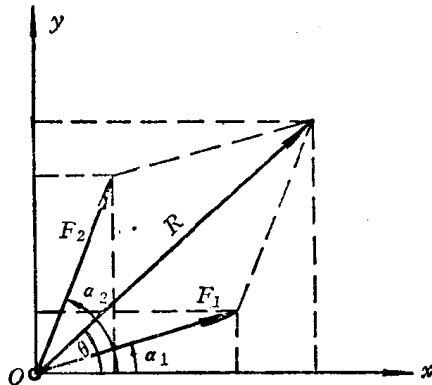


图 9-8

$$\left. \begin{aligned} R_x &= F_{1x} + F_{2x} \\ &= F_1 \cos \alpha_1 + F_2 \cos \alpha_2 \\ &= \sum F_x \\ R_y &= F_{1y} + F_{2y} \\ &= F_1 \sin \alpha_1 + F_2 \sin \alpha_2 \\ &= \sum F_y \end{aligned} \right\} \quad (9-3)$$

合力在某一坐标轴上的投影等于所有分力在同一坐标轴上投影的代数和。这个规律叫做合力的投影定理, 对于多个力的合成仍然是适用的。有了合力在坐标轴上的投影, 就不难求出合力的大小和方向:

$$\left. \begin{aligned} R &= \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \\ &= \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2} \\ \operatorname{tg} \theta &= \frac{|\sum F_y|}{|\sum F_x|} \end{aligned} \right\} \quad (9-4)$$

第二节 力矩与力偶

在力的作用下，原来静止的物体就要运动。物体运动的基本形式有移动和转动。如何度量力使物体转动的效果，需要讨论力矩和力偶的概念。

一、力矩的实例与概念

在生产实践中，人们利用了各式各样的杠杆，如撬动重物的撬杠、称东西的秤等，这些不同的杠杆都利用了力矩的作用。由实践经验知道，用扳手拧螺母时，扳手和螺母一起绕螺栓的中心轴线转动。作用在扳手上的力越大，或者力的作用线离转轴中心 O 越远，则螺母就越易转动。因此，力使物体转动的效果，不仅取决于力的大小，而且与力的作用线到 O 点的距离 d 有关，如图 9-9 所示。在力学中， O 点叫做力矩中心，力的作用线到 O 点的垂直距离 d 叫做力臂，力臂和力的乘积叫做力对 O 点的力矩，可以用下式表示：

$$m_o(F) = \pm F \cdot d \quad (9-5)$$

式中正负号表示力矩转动的方向，一般规定：逆时针转动的力矩取正号，顺时针转动的力矩取负号。

力矩的单位为公斤·厘米或公斤·米。

显然，如果力的大小等于零，或力的作用线通过力矩中心（力臂等于零），则力矩为零，这时不能使物体绕 O 点转动。如果物体上有若干个力，当这些力对力矩中心的力矩的代数和等于零即 $\sum m_o(F) = 0$ 时，原来静止的物体，就不会绕力矩中心转动。

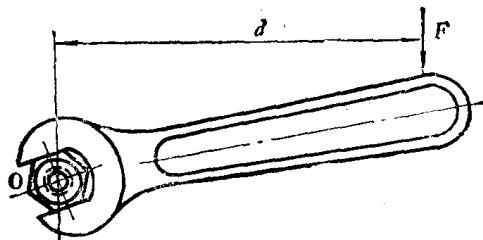


图 9-9

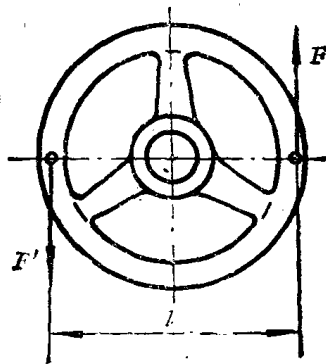


图 9-10

二、力偶的实例与概念

在生产实践中，除了力矩使物体产生转动以外，还会遇到在同一物体上受到大小相等、方向相反、不在同一作用线上的两个力作用的情况，它们同样会使物体产生转动。例如用两只手旋阀门的手轮或汽车的方向盘（图 9-10）；用丝锥和铰杠攻螺纹（图 9-11）；等等。在手轮、方向盘和铰杠上都受到大小相等、方向相反、互相平行的两个力的作用，这样的两个平行力，叫做力偶，用 (F, F') 表示。力偶所在的平面叫做力偶的作用面，两力间的垂直距离 L 叫做力偶臂，力 F 的大小和力偶臂 L 的乘积叫做力偶矩，用下式表示：

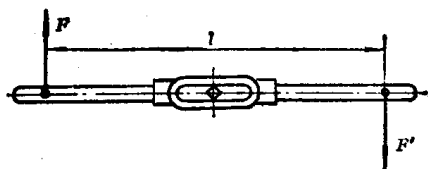


图 9-11

$$m = \pm F \cdot L \quad (9-6)$$

式中的 m 表示力偶矩，正负号表示力偶的转向，与力矩正负号的规定相同，单位也相同。

在平面问题中，力偶对物体的作用效果，可以由以下两个因素决定：(1) 力偶矩的大小；(2) 力

偶在作用面内的转向。在力偶的作用下，物体将绕垂直于力偶作用面的轴转动。

应当指出，力偶具有以下主要特性：

1. 组成力偶的两个力既不平衡，也不能合成为一个合力。因此，力偶的作用不能用一个力来代替，只能用力偶矩相同的力偶来代替；力偶只能用力偶来平衡；

2. 组成力偶的两个力对作用面内任意点的力矩之和等于力偶矩本身。

力偶也可以合成。在同一平面内有两个以上力偶同时作用时，合力偶矩等于各分力偶矩的代数和，即 $M = \sum m$ 。如力偶矩的代数和为零，即 $\sum m = 0$ ，原来静止的物体将不会产生转动。

三、力的平移

力的平移的方法可以应用来分析力对物体作用的效果。图 9-12(a) 为一侧面附有悬挂件的蒸馏塔，悬挂件的总重量为 Q ，与主塔中心线间有一偏心距 e 。 Q 力对主塔支座所起的作用效果，可以应用力的平移方法来分析。为此在主塔中心线上加上二个力 Q' 与 Q'' ，使它们大小相等，并令 $Q' = Q'' = Q$ ， Q' 与 Q'' 方向相反与 Q 互相平行。不难看出 Q' 与 Q'' 是符合二力平衡条件的。从整体而言，加上这两个力以后，由 Q 、 Q' 与 Q'' 三个力组成的力系的作用与 Q 力单独作用效果是相等的。但从另一角度来分析，可以看成是把 Q 力平

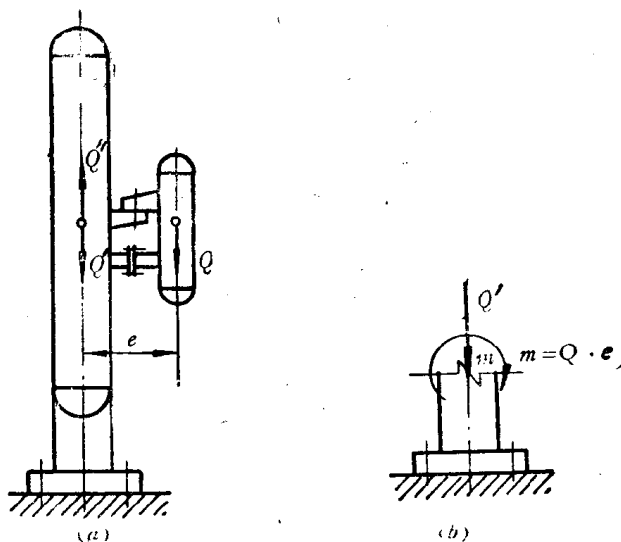


图 9-12

移了一个偏心距 e 成为 Q' ，与此同时附加了一个力偶 (Q, Q'')，其力偶矩 m 的大小等于 $Q \cdot e$ 。因此，有偏心距的力 Q 对支座的作用，相当一个力 Q' 和一个力偶 m 的共同作用，力 Q' 压向支座，力偶 m 使塔体弯转，支座承受了压缩和弯曲的联合作用。

第三节 物体的受力分析 受力图

物体的受力分析，就是具体分析某一物体上受到哪些力的作用，这些力的大小、方向、

位置如何？只有在对物体进行正确的受力分析之后，才有可能根据平衡条件由已知外力求出未知外力，从而为进行设备零部件的强度、刚度等校核设计打下基础。

已知外力主要指作用在物体上的主动力，按其作用方式有体积力和表面力两种。体积力是连续分布在物体内部各点处的力，如均质物体的重力，单位是吨/米³或公斤/厘米³；表面力通常是在接触面上连续分布的力，如内压容器的压力和塔器表面承受的风压等，单位是吨/米²或公斤/厘米²；如果被研究物体的横向尺寸远较长度为小，则度量其体积力和表面力的大小均用线分布力表示，单位是公斤/米或公斤/厘米。两个直接接触的物体在很小的接触面上互相作用的分布力，可以简化为作用在一点上的集中力，如化工管道对托架的作用力，单位是吨或公斤。

未知外力主要指约束反力。约束反力如何分析是本节讨论的重点。

一、约束和约束反力

在生产实际中，任何一个物体都不是孤立存在的，而是和它周围的物体相互联系、相互制约。这种联系和制约就使物体的运动受到一定的限制。例如转动轴受轴承的限制，只能绕轴线转动；塔设备被地脚螺钉固定在基础上，任何方向都不能移动；电灯被电线限制使电灯不能掉下来等等。可以看到，无论是轴承、基础，还是电线，它们的共同特点是：直接和物体接触，并限制物体在某些方向的运动。在力学中把限制物体运动的周围物体叫做约束；约束作用于物体上的力叫做约束反力。

约束是通过约束反力的作用来实现限制物体运动的作用的。所以约束反力的方向，必定与该约束限制的运动方向相反。应用这个原则，可以确定约束反力的方向或作用线的位置。至于约束反力的大小，则需要用平衡条件求出。

工程中的各种约束，可以归纳为几种基本形式。下面讨论约束的基本形式和约束反力的性质。

(一) 柔性约束 这类约束是由柔性物体如绳索、链条、皮带、钢丝绳等所构成。这

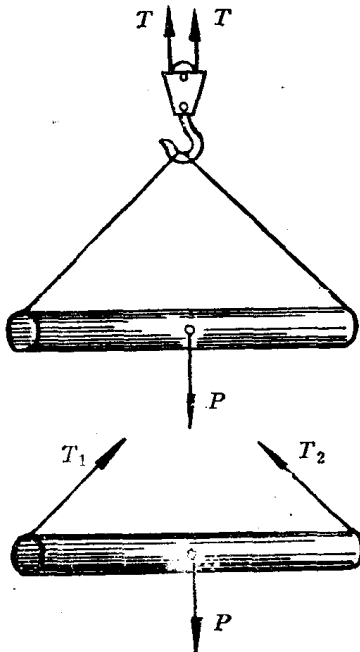


图 9-13

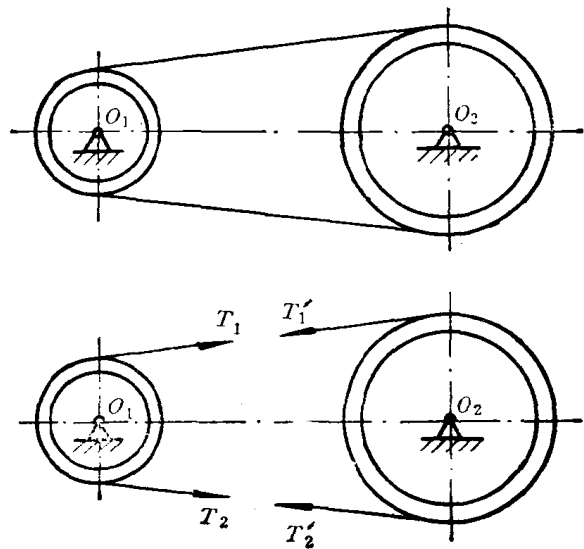


图 9-14

类约束的特点是不能承受压力，只能承受拉力。因此约束反力的方向总是沿着柔性物体伸直的方向，背离被约束物体。如图 9-13 中起吊钢管时钢丝绳对钢管的约束反力 T_1 与 T_2 ；图 9-14 中皮带给皮带轮的约束反力 T_1, T_2, T'_1 与 T'_2 。

(二) 光滑面约束 这类约束是由光滑支承面如滑槽、导轨等所构成。支承面与被约束物体之间的摩擦力很小，可以略去不计。它的特点是只能限制被约束物体沿接触面公法线方向向着支承面内的运动。因此这种约束的约束反力方向是沿着接触面的公法线方向，指向被约束物体。如图 9-15，托轮对滚筒的约束反力 N_1 ；图 9-16 划线平台 B 对工件 A 的反力 N 。

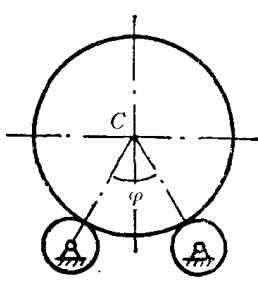


图 9-15

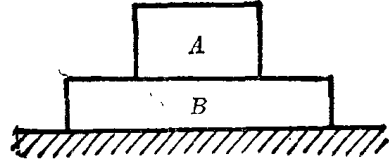
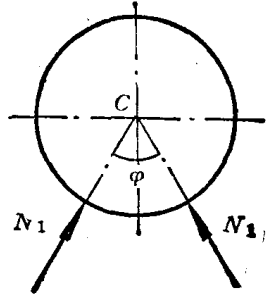


图 9-16

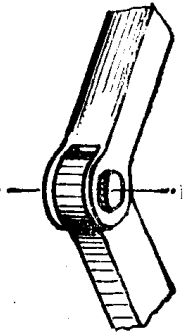
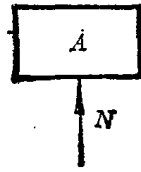
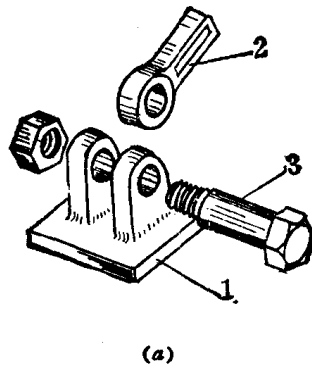
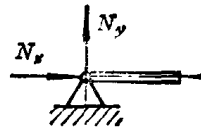


图 9-17



(a)



(b)

图 9-18

(三) 铰链约束 圆柱形铰链约束是由两个端部带有圆孔的构件用一销钉联接而成的，如图 9-17。常见的有：

1. 固定铰链支座约束。如图 9-18(a)，由固定支座 1 和杆 2 并用销钉 3 联接而成。它的特点是被约束物体只能绕销钉的轴线转动，而不能上下左右移动。约束反力的方向随着主动力的变化而变化，通过铰链中心，可以用它的两个分力 N_x 与 N_y 表示，如简图 9-18(b)。

在机械传动中，轴承对轴的约束作用。也可以简化为固定铰链约束。如图 9-19(a) 滑动轴承简图，轴在轴承中可以转动，摩擦力不计，轴承对轴的约束反力 N ，应通过转轴中心，但方向不定，也用它的两个分力 N_x 与 N_y 表示图 9-19(b)。只能承受径向载荷的向心球轴承和向心滚子轴承的约束反力，可以用垂直于转轴的平面内的两个分力 N_x 与 N_y 。