


# 化工设备设计基础



《化工设备设计基础》编写组编

上海科学技术出版社

# 化工设备设计基础

《化工设备设计基础》编写组 编

上海科学技术出版社

## 内 容 提 要

---

全书共四篇十六章。

第一篇为工程力学基础,第二篇为化工设备常用材料,第三篇为机械传动,第四篇为化工设备设计及附录。在钢制容器、换热设备、塔设备及搅拌反应釜各章中都以一种结构较简单的设备为重点,从结构设计到强度设计,较全面系统地作了介绍,并附有计算实例。附录中通过设计实例,介绍了化工设备设计的全过程,并对化工容器的应力分类、脆性断裂的问题作了简略的介绍。

本书可供从事化工设备设计的技术人员,以及中专、技校有关专业的师生参考。

### 化 工 设 备 设 计 基 础

《化工设备设计基础》编写组 编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 祝桥新华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 30.75 字数 736,000

1987年6月第1版 1987年6月第1次印刷

印数: 1—7,000

统一书号: 15119·2480 定价: 6.25 元

## 前 言

---

为了满足培养化工设备设计人员的需要,适应化学工业的迅速发展,化学工业部设备设计技术中心站曾组织部分设计单位和高等院校编写了《炼油化工设备设计基础知识》,受到有关专业人员的欢迎,纷纷要求正式出版。上海化工专科学校在此基础上,并通过教学实践,作了适当的补充和修改后编写成本书。

本书第一篇由王启明、第二篇由王惠敏、第三篇由诸君鲁、第四篇由周建民、包复华、刁云霞、顾贤良编写。化学工业部设备设计技术中心站严德镛和方子风作了全面校核。华东化工学院琚定一、上海医药设计院竺基梅和化学工业部设备设计技术中心站金国森进行了审核。

由于我们的水平有限,书中可能存在不少缺点和错误,恳切希望广大读者批评指正。

《化工设备设计基础》编写组

1985年4月

## 说 明

国务院已经发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》，但由于本书编写的主要依据为我国石油工业部、化学工业部、机械工业部颁发的“钢制石油化工压力容器设计规定”，该规定是国内通行的标准，而所用的计算公式及计算图表均采用工程制，且到目前为止，尚无改用我国法定计量单位的打算，因此本书所列计算公式及计算图表仍采用工程制单位。为逐步过渡到法定计量单位，[便于读者比较、查阅，现将各例题的计算结果换算成法定计量单位，下面列出与本书有关的工程制单位与法定计量单位换算表，供读者参考。

工程制单位与法定计量单位换算表

物理量名称	工程制单位	相当于法定计量单位
力	1 公斤力(kgf)	9.8 牛[顿](N) $\approx$ 10 牛[顿](N)
力矩	1 公斤力·米(kgf·m)	9.8 牛[顿]米(N·m) $\approx$ 10 牛[顿]米(N·m)
压力 (压强)	1 公斤力/厘米 <sup>2</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )	9.8 $\times$ 10 <sup>4</sup> 帕[斯卡](Pa) $\approx$ 0.1 兆帕(MPa)
应力	毫米汞柱	133.3 帕[斯卡](Pa)
	毫米水柱	9.8 帕[斯卡](Pa)
功率	1 马力	735.5 瓦[特](W)

# 目 录

## 第一篇 工程力学基础

第一章 物体受力分析	2	三、拉压强度条件及其应用	24
第一节 力的性质	2	习题	25
一、力的本质和效应	2	第三章 剪切与扭转	27
二、力的三要素和图示	2	第一节 剪切	27
三、两条静力学公理	2	一、剪切变形	27
第二节 受力图	3	二、剪应力	27
一、主动力和约束反作用力	3	三、剪切虎克定律	28
二、受力图的绘制	5	四、剪切强度条件	28
第三节 平面汇交力系的平衡	8	五、挤压强度概念	29
一、两个相交力的合力	8	六、填角焊缝的剪切强度计算	29
二、力沿两个相互垂直方向的分解	9	第二节 扭转的产生、转矩和扭矩	31
三、力在坐标轴上的投影	9	一、扭转的产生	31
四、用解析法求平面汇交力系的合力	9	二、转矩	32
五、平面汇交力系平衡方程	10	三、扭矩	32
第四节 平面任意力系的平衡	11	第三节 圆轴扭转时横截面上的应力	33
一、力对点之矩	11	第四节 圆轴扭转时的强度和刚度计算	34
二、力偶	12	一、强度计算	34
三、力的平移	13	二、扭转变形和刚度计算	35
四、平面任意力系平衡方程	14	习题	36
习题	15	第四章 弯曲	38
第二章 拉伸与压缩	17	第一节 平面弯曲的概念	38
第一节 轴向拉压的应力	17	第二节 梁的内力——剪力和弯矩	39
一、轴向拉压的外力	17	第三节 弯矩方程与弯矩图	40
二、轴向拉压时横截面上的内力	17	一、弯矩方程	40
三、轴向拉压时横截面上的应力	18	二、弯矩图	40
四、应力集中的概念	19	第四节 弯曲时横截面上的正应力	44
第二节 轴向拉压的变形与虎克定律	19	一、纯弯曲试验	44
第三节 材料的机械性能	20	二、中性层与中性轴	44
一、低碳钢静载荷拉伸试验	20	三、横截面上的应力	45
二、低碳钢拉伸的应力应变图	21	第五节 弯曲强度计算	47
三、其它塑性材料的机械性能	22	第六节 梁横截面的合理形状	48
四、脆性材料的机械性能	23	一、材料的拉、压性能相同	48
第四节 轴向拉压的强度计算	23		
一、拉压危险应力	23		
二、拉压许用应力	23		

二、材料的拉、压性能不同.....48	第二节 弯曲与扭转的组合和强度理论.....56
第七节 弯曲变形和刚度计算.....49	一、弯扭组合应力情况.....56
一、弯曲变形.....49	二、复杂应力状态概念.....57
二、弯曲刚度计算.....49	三、强度理论.....57
习题.....51	四、弯扭组合强度条件.....58
第五章 组合强度和强度理论.....53	第三节 循环应力简介.....60
第一节 弯曲与拉伸(或压缩)的组合.....53	一、循环应力实例.....60
一、弯曲与拉伸的组合.....53	二、“疲劳”破坏和持久极限.....61
二、弯曲与压缩的组合.....54	三、提高构件疲劳强度的措施.....61
三、偏心拉、压的概念.....55	习题.....61
<b>第二篇 化工设备常用材料</b>	
第六章 金属材料及热处理基本知识.....64	第二节 非金属材料.....90
第一节 金属材料的主要性能.....64	一、塑料.....92
一、机械性能.....64	二、搪玻璃.....93
二、物理性能.....68	三、化工陶瓷.....94
三、化学性能.....69	四、砖板衬里.....94
四、制造工艺性能.....69	五、玻璃钢.....95
第二节 金属学和钢的热处理基础.....69	六、不透性石墨.....97
一、铁碳合金的组织结构.....69	第八章 化工设备的腐蚀及防腐蚀措施.....99
二、铁碳状态图.....71	第一节 金属腐蚀原理.....99
三、钢的热处理.....73	一、化学腐蚀.....99
第七章 化工设备常用材料.....76	二、电化学腐蚀.....99
第一节 金属材料.....76	三、腐蚀破坏的类型.....100
一、碳钢.....76	第二节 化工设备防腐蚀的方法.....101
二、合金钢.....79	一、覆盖保护层.....101
三、铸铁.....84	二、电化学保护.....102
四、有色金属.....87	三、处理介质保护法.....102
<b>第三篇 机械传动</b>	
第九章 三角皮带传动.....103	四、选定两轴中心距 $A$ 、计算皮带长度 $L$ 和小轮的包角 $\alpha_1$ .....109
第一节 三角皮带传动的特点和标准.....103	五、验算皮带的绕转次数.....109
一、工作原理、特点和应用.....103	六、计算皮带根数.....109
二、三角皮带传动的基本参数.....104	第三节 三角皮带轮结构.....110
三、三角皮带的标准.....105	一、轮缘.....110
第二节 三角皮带传动的计算.....106	二、轮毂和轮辐.....110
一、选取皮带剖面的型号.....106	第十章 齿轮传动.....113
二、确定皮带轮直径 $D_1$ 和 $D_2$ .....106	第一节 直齿圆柱齿轮传动.....113
三、核算皮带速度.....106	

一、渐开线和渐开线齿廓 .....	113	六、立式蜗轮减速机 .....	128
二、渐开线直齿齿轮各部分名称和主要参数 .....	115	七、摆线针轮行星传动减速机 .....	128
三、标准直齿圆柱齿轮传动几何尺寸的确定 .....	117	八、无级变速器 .....	130
四、齿轮常用材料和失效形式 .....	118	第二节 减速机的选用 .....	130
五、齿轮的强度计算 .....	120	第三节 计算实例 .....	131
六、齿轮的精度等级及其选择 .....	123	第十三章 轴及联轴器 .....	139
第二节 直齿圆锥齿轮传动 .....	123	第一节 概述 .....	139
第十一章 其它传动 .....	125	一、轴的分类 .....	139
第一节 蜗轮蜗杆传动 .....	125	二、轴的材料 .....	139
第二节 摆线针轮行星传动 .....	125	三、轴设计的主要问题 .....	140
第十二章 减速机 .....	127	第二节 轴的结构 .....	141
第一节 减速机类型、标准及应用 .....	127	一、零件在轴上的固定 .....	141
一、三角皮带传动减速机 .....	127	二、倒角、圆角、砂轮越程槽、螺纹退刀槽 .....	142
二、一级圆柱齿轮减速机 .....	127	第三节 轴的计算 .....	143
三、三角皮带——一级圆柱齿轮减速机 .....	127	一、按扭矩计算轴径 .....	143
四、二级圆柱齿轮减速机 .....	128	二、按弯曲和扭转的合成作用计算轴径 .....	143
五、三角皮带——蜗轮传动减速机 .....	128	第四节 联轴器 .....	144
		一、联轴器的类型、结构及其应用 .....	144
		二、联轴器的选择 .....	146

## 第四篇 化工设备设计

第十四章 钢制容器 .....	147	二、图算法计算步骤 .....	183
第一节 概述 .....	147	三、加强圈的设计 .....	190
一、容器的分类 .....	147	四、外压封头设计 .....	195
二、容器总体结构介绍 .....	148	第五节 法兰连接 .....	196
三、化工容器设计的基本要求 .....	148	一、法兰连接的设计 .....	196
四、材料的选择 .....	149	二、法兰的结构类型及其应用场合 .....	198
第二节 薄壳容器设计的理论基础 .....	151	三、法兰密封面的型式 .....	200
一、薄壁壳体的无力矩理论 .....	151	四、垫片的选择 .....	201
二、无力矩理论在几种常用壳体中的应用 .....	155	五、螺栓的计算 .....	206
三、边缘问题 .....	157	六、法兰的强度计算 .....	208
第三节 内压容器的设计计算 .....	158	第六节 容器的附件与开孔补强 .....	227
一、内压薄壁圆筒的强度计算公式 .....	158	一、接管、人孔、手孔 .....	227
二、设计公式的适用范围及设计参数 .....	160	二、视镜 .....	229
三、压力试验 .....	166	三、液面计 .....	231
四、内压球形容器的强度计算 .....	167	四、开孔补强 .....	233
五、内压容器的封头设计 .....	167	第七节 设备支座 .....	238
六、中低压化工容器设计举例 .....	175	一、立式设备支座 .....	238
第四节 外压容器的设计 .....	179	二、卧式设备支座 .....	239
一、外压容器的稳定性 .....	179	三、球形容器支座 .....	248
		第八节 钢制容器的焊接 .....	249



一、焊接的基本知识及焊接的工艺条件	249	二、整块式塔板结构	380
二、焊接结构设计原则	259	三、分块式塔板结构	385
第九节 图面技术要求	265	第四节 塔设备筒身及裙座的设计计算	391
第十五章 换热设备	267	一、塔体承受的各种载荷	391
第一节 概述	267	二、塔壁厚度的计算	398
一、传热机理	267	三、塔设备裙座的设计计算	401
二、换热设备的分类及一般适用场合	268	四、基础环、地脚螺栓和基础	403
第二节 列管式换热器的结构设计	281	五、裙座与筒体的搭接焊缝验算	407
一、工艺尺寸的设计与计算	281	第五节 计算实例	408
二、结构设计	281	一、材料选择	408
第三节 列管式换热器的强度计算	312	二、塔体计算	408
一、换热器的强度问题	312	三、裙座计算	414
二、温差应力的计算	312	四、基础环计算	416
三、管板厚度的计算	315	五、地脚螺栓计算	417
四、膨胀节的选用与计算	338	六、裙座和筒体的连接焊缝验算	417
第四节 列管式换热器的设计程序	343	第六节 塔设备图面技术要求	417
第五节 设计实例	343	第十七章 搅拌反应釜	419
一、判定是否需要膨胀节	344	第一节 概述	419
二、膨胀节的选用	345	一、搅拌反应釜的应用	419
三、管板厚度的确定	345	二、搅拌反应釜的典型结构	419
四、设计计算结果	349	第二节 搅拌器及附件	421
第六节 技术特性表和图面技术要求	349	一、搅拌器的作用	421
一、技术特性表	349	二、搅拌器的型式	421
二、技术要求	349	三、附件——挡板及导流筒	423
第十六章 塔设备	352	四、搅拌器型式的选择	424
第一节 概述	352	第三节 搅拌轴的设计	426
一、传质概述	352	一、搅拌轴的结构、材质及加工要求	426
二、塔设备分类	352	二、搅拌轴的计算	428
三、各类塔型的比较	355	第四节 搅拌轴的支承	434
第二节 填料塔的结构设计	356	一、轴承间距的确定	434
一、筒壳体体和封头	356	二、中间轴承和底轴承的设计	435
二、喷淋装置	361	第五节 搅拌轴的密封	436
三、填料及其支承	366	一、填料函密封	437
四、液体再分配装置	372	二、机械密封	443
五、管口结构	373	第六节 反应釜的辅助装置	450
六、裙座结构	374	一、传热结构	450
七、除沫装置	377	二、反应釜的顶盖	452
八、其它	379	三、各种接管	453
第三节 板式塔的结构设计	379	第七节 电动机的选择	454
一、概述	379	一、三相异步电动机	454
		二、电动机的选择	456

三、防爆、隔爆三相异步电动机 .....	457	一、反应釜壁厚计算 .....	464
四、化工防腐型电动机(JO <sub>2</sub> -F) .....	458	二、反应釜搅拌轴计算 .....	467
第八节 减速机的选用 .....	459	三、反应釜结构设计 .....	467
第九节 底部传动反应釜 .....	461	第十三节 图面技术要求 .....	469
一、底部传动搅拌器的优点 .....	461	一、搅拌反应釜总装配图 .....	469
二、底部传动搅拌器的结构 .....	461	二、搅拌轴 .....	469
第十节 高速透平搅拌器 .....	463	三、联轴节 .....	472
第十一节 搅拌卸料装置 .....	463	四、填料箱 .....	472
第十二节 计算实例 .....	464	五、搅拌器 .....	472
附录一 设计举例 .....	473	六、机械密封 .....	472
附录二 应力 .....	479		
一、应力分类 .....	479		
二、容器的脆性断裂问题简介 .....	480		

# 第一篇 工程力学基础

---

工程力学是设计化工设备所必须掌握的基础知识之一。

化工设备及其零部件(以下简称“构件”)的材料、形状和尺寸,是根据生产工艺要求来决定的。同时,必须保证安全和经济。

各种构件都要承受一定的外力作用。例如,设备的支架,要承受设备的重力;受压容器法兰连接的螺栓,要承受拉力作用;搅拌轴在工作时要承受物料阻力的作用等。在各种力的作用下,如果构件的尺寸过小或形状不当,就会出现以下三种情况:(1)构件遭到破坏(叫做“强度”不够);(2)构件因变形过大而无法正常工作(叫做“刚度”不够);(3)构件突然改变原有的平衡状态,如细长直杆受压时突然弯曲(叫做失去“稳定性”)。为了使构件安全而正常地工作,必须满足强度、刚度和稳定性的要求。

但是,如果片面强调安全,就可能导致浪费,所以,设计工作必须在确保适用、安全的前提下,力求经济。

# 第一章 物体受力分析

## 第一节 力的性质

### 一、力的本质和效应

人们从实践中透过力的各种现象,逐步认识了力的本质。即力是两个物体之间相互的机械作用,这种作用的效应是改变物体的运动状态(外效应)或改变物体的形状(内效应)。由此可见:(1)力是由物体产生的,没有物体就没有力。(2)力是两个物体相互作用产生的,所以力总是成对出现的。例如,手对弹簧作用一个力,弹簧也同时对手作用一个力。因此,在讨论一个力时,一定要明确它是哪个物体对哪个物体的作用。(3)力有两种效应,理论力学是研究其外效应的科学,本章是理论力学的部分内容;材料力学是研究其内效应的科学,本篇其余各章都是材料力学的内容。

### 二、力的三要素和图示

力对物体的效应,取决于力的三个要素:大小、方向和作用点。如图 1-1(a) 所示,用手使转盘绕其轴心  $O$  点转动,手对转盘作用的力为“ $P$ ”。设  $P$  力大小为 5 公斤力,方向自左向右,作用点为  $A$  点。在三个要素确定的情况下, $P$  力对转盘的外效应也就确定了:它促使转盘以一定的加速度按顺时针方向转动。如果改变其中任何一个要素,则力对转盘的外效应就要随之改变。例如,将  $P$  力作用点改为  $B$  点,如图 1-1(b) 所示,则转盘的转向就要改变。

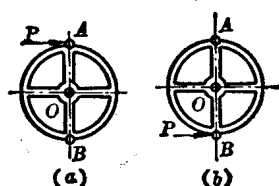


图 1-1 力的三要素

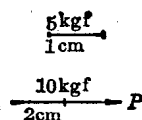


图 1-2 力的大小

由上可知,力这个物理量,有一定的方向。凡是有方向的量皆称矢量,力是矢量的一种。所以,在分析物体受力情况时,可用有箭头的线段表示物体所受的力,如图 1-4 所示。

必要时,可用有箭头的线段长度来表示力的大小,如图 1-2,假如我们规定 1 厘米长度代表 5 公斤力,那么,2 厘米长就代表 10 公斤力。

力矢量可用黑体字  $\mathbf{P}$ 、 $\mathbf{F}$  等表示,也可在白体字上加一箭头( $\vec{P}$ 、 $\vec{F}$ )表示。当白体字上不加横线时,只代表力的大小。如  $P=12$  公斤力,不可写成  $\vec{P}=12$  公斤力。

力的单位,工程上常用(公斤力)(0.01 千牛)或(吨力)(10 千牛)。

### 三、两条静力学公理

静力学各公理是分析物体受力的理论依据。本节介绍其中的两条。

#### (一)二力平衡公理

如果一个物体在两个力作用下处于平衡状态,则这两个力必定大小相等、方向相反、作用在同一直线上(图 1-3);反之,如果物体在大小相等、方向相反、作用在同一直线上的两个力作用下,则必定处于平衡状态。

图 1-3 表明,符合本公理的两个力,有箭头相背和箭头相指两种情况。

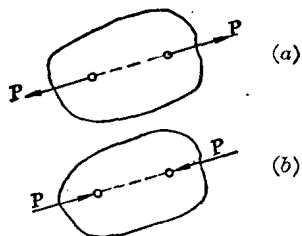


图 1-3 二力平衡

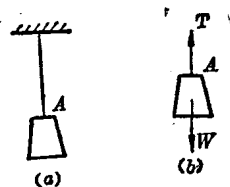


图 1-4 物体的平衡

例如有一物体重  $W$  公斤力,用一根绳子以拉力  $T$  将其吊起[图 1-4(a)]。这时,该物体受  $W$  和  $T$  两力作用而平衡[图 1-4(b)]。根据本公理, $T$  的大小与  $W$  的大小相等,方向垂直向上,并与  $W$  作用在同一直线上。

公理中所谓物体平衡状态,包括静止不动与匀速运动两种情况。

### (二) 作用与反作用公理

一物体以一个力作用于另一物体上时,另一物体必定以一个大小相等、方向相反、作用在同一直线上的力作用在此物体上。

本公理说明:力永远是成对出现的。如图 1-5 中,人的手对小车作用一个力  $P$ (作用力),小车同时对手作用一个力  $P'$ (反作用力)。

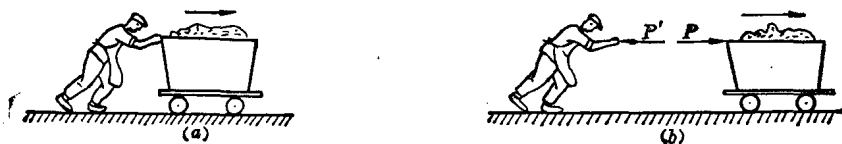


图 1-5 作用与反作用

作用力与反作用力之间的矢量关系与二力平衡公理中的矢量关系相同,即“大小相等、方向相反、作用在同一直线上”。但这两条公理之间存在着本质上的区别:前者,两力作用在同一物体上;后者,两力分别作用在两个物体上。所以,作用力与反作用力不能平衡。同时,作用力与反作用力的这种关系,只存在于相互作用的两个物体之间,与其它物体无关。所以在分析某一对作用力与反作用力关系时,首先必须判明它们是发生在哪两个物体之间。

## 第二节 受力图

### 一、主动力和约束反作用力

对某物体来说,其它物体对该物体作用的力,叫做该物体的外力。所有的外力,按其对外物的外效应,可分为两大类:主动力与约束反作用力。主动力的外效应是促使物体运动。如图 1-4 中,重力  $W$  促使物体向下运动,属于主动力。

物体受主动力作用时,往往由于受到其它物体的约束,实际上并不运动。例如图 1-4 中的重物,由于受到绳子的约束而不可能向下运动。约束物对物体作用的力称为约束反作用力,简称约束反力,其外效应是阻碍物体运动。图 1-4 中的力  $T$ ,就是绳子对重物的约束反力。

通常,主动力是已知的,约束反力是未知的。物体受力分析的主要目的,就是求约束反力。

在约束反力的三要素中,作用点就在物体受约束之处。由于约束反力对物体的运动起阻碍作用,所以不难理解:一切约束反力的方向,都与该约束所能阻碍的运动方向相反。这是决定约束反力方向的一般规律。

下面,分析几种工程上常见的约束及其约束反力方向。

### (一) 柔性约束

绳索、链条、皮带等对物体的约束都是柔性约束,它们只能以拉力拉住物体,不让物体受其约束的部分沿柔体中心线离去。因此,根据上述一般规律,柔性约束的约束反力方向必定是沿柔性中心线并背向物体,如图 1-4(b) 中的约束反力  $T$ 。

### (二) 光滑面约束

物体与约束物之间为表面直接接触,不计摩擦力。图 1-6(a) 中圆球在  $A$  点处所受约束就属于这一类。这一类约束,不能阻碍物体沿接触点处的公切线滑动,也不能阻碍物体离开约束物,而只能阻碍物体沿接触点处的公法线朝向约束物内的运动。因此,光滑面约束的约束反力方向只能是沿接触点处的公法线并指向物体,如图 1-6(b) 中的约束反力  $N$ 。

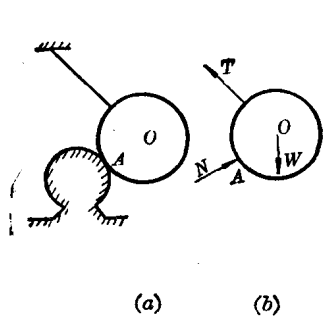


图 1-6 光滑面约束

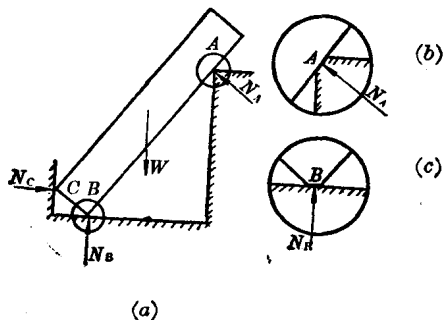


图 1-7 尖角光滑接触

如果物体与约束物接触处有一方为尖角,如图 1-7(a) 中物体在  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三点所受之约束。在确定约束反力方向时,可以把这个尖角看成是一段小圆弧,如图 1-7(b)、(c) 所示,从而按光滑面约束的特点来确定约束反力的方向。由此可知:尖角与直线或曲线接触的光滑约束,其约束反力方向必定沿接触点处直线或曲线的法线并指向物体,如图 1-7(a) 中的约束反力  $N_A$ 、 $N_B$  和  $N_C$ ,符号下标  $A$ 、 $B$ 、 $C$  表示它们的作用点。

### (三) 固定铰链约束

门窗铰链、压缩机的活塞销等都属这类约束。图 1-8 是这类约束的理想结构,图 1-8(a) 中,被约束物体  $AB$  一端开一圆孔,用一光滑销钉  $D$ ,将物体  $AB$  穿连在支座  $C$  上。图 1-8(b) 是穿连好的情况,图 1-8(c) 表示物体  $AB$  的孔壁与销钉之间的接触情况。图 1-9 是固定铰链约束的几种示意图。

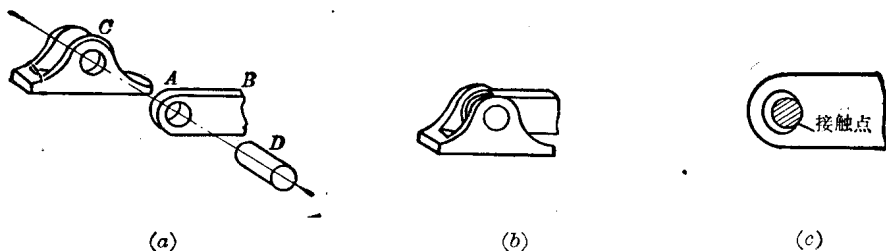


图 1-8 固定铰链的理想结构

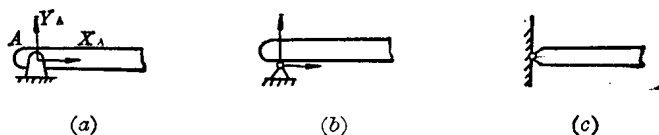


图 1-9 固定铰链约束

这类约束的特点是：它只允许物体在与销钉轴线垂直的平面内绕销钉转动，而不允许物体向任何方向移动。因此，根据约束反力方向的一般规律，它的约束反力方向存在着无数的可能性，须由整个物体的受力情况来确定。在画图时，可将这类约束反力分解成相互垂直的两个分力  $X_A$  和  $Y_A$ ，如图 1-9 所示。

至于这类约束反力的作用点，由于物体与销钉之间为光滑接触[图 1-8(c)]，不管其接触在哪里，约束反力作用线总要通过销钉中心(铰心)。因此，可将销钉中心当作这类约束反力的作用点。

(四)活动铰链约束

在固定铰链约束的支座与支承面之间安放滚轮(图 1-10)，就构成活动铰链约束。

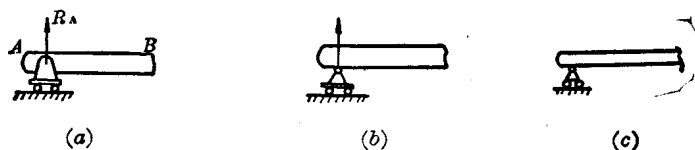


图 1-10 活动铰链约束

因为滚轮摩擦力不计，所以物体  $AB$  在支承面的切向不受约束，即上述的约束反力沿支承面切向的分力  $X_A$  为零。因此，活动铰链约束反力必定沿着支承面的法向，作用点仍然看成在销钉中心，如图 1-10 所示，以  $R_A$  表示。

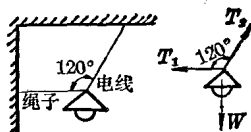
二、受力图的绘制

作用在物体上的每一个外力，都对物体的平衡产生一定的影响。在分析物体受力情况时，必须考虑物体所受的全部外力(包括主动力和约束反力)。表示受力物体(即研究对象)所受全部外力的图，叫做受力图。

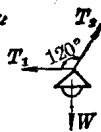
图 1-11 中，(a)表示一只电灯受约束的情况；(b)是该电灯的受力图，它表明被作为研究对象的电灯，共受三个外力作用，其中包括一个主动力  $W$ (灯重)和两个约束反力  $T_1$  和  $T_2$ 。

在图 1-12 中，(a)表示一只圆筒安放在支承物上的情况；(b)是圆筒的受力图。

物体的自重，如题中未指出，则一般不计。两物接触处，如未提出摩擦问题，则作为光滑接触；如遇某个约束情况不完全符合典型结构，则可根据其约束性能及整个题意，简化为某

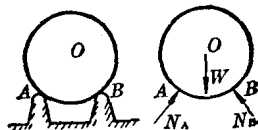


(a)

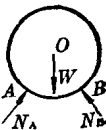


(b)

图 1-11 电灯受力图

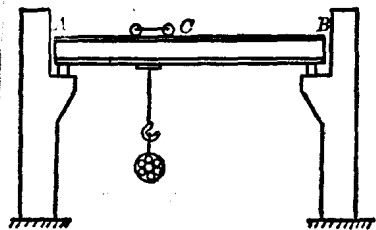


(a)

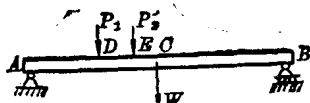


(b)

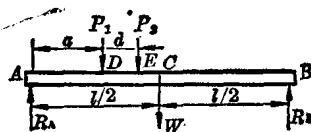
图 1-12 圆筒受力图



(a)



(b)



(c)

图 1-13 行车梁受力图

种典型约束，如图 1-13(a) 中的行车梁所受约束，通常将一端作为固定铰链约束，另一端作为活动铰链约束，如图 1-13(b) 所示。

绘制受力图是物体受力分析的关键性的第一步。绘制受力图的基本步骤是：

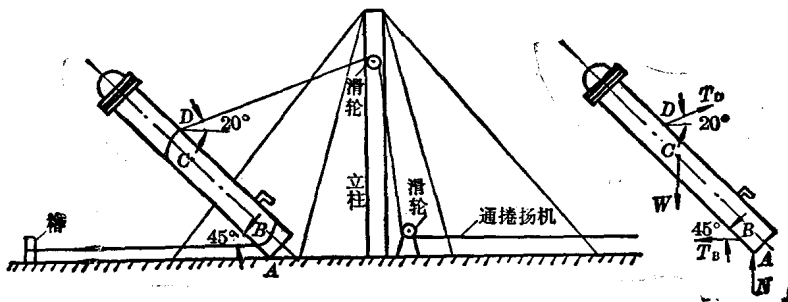
(一) 结构计算简图

画出结构的计算简图，包括各有关物体的轮廓、主动力和约束情况。图 1-13(b) 就是吊车梁 AB 的计算简图。

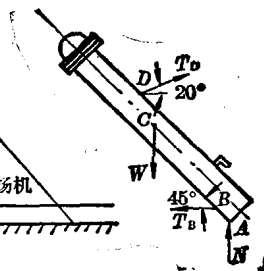
(二) 研究对象轮廓图

为使研究对象更突出，避免混淆，可将其它物体和约束全部去掉(称为解除约束)，单独画出研究对象的轮廓图，并在轮廓图上画上全部主动力和约束反力，注上各力的名称和有关的距离、角度。图 1-13(c) 是行车梁 AB 的受力图，其 A 端约束反力，本来应该分解为  $X_A$  和  $Y_A$  两个分力，但因该梁其它外力都沿垂直方向，所以 A 端约束反力也必定只沿垂直方向，可用  $R_A$  表示。

【例 1-1】 有一塔设备安装时起吊情况如图 1-14(a) 所示。试画塔设备被吊到图示位置时的受力图。已知塔设备重心为 O 点，重量为 W。



(a)



(b)

图 1-14 塔设备起吊情况及受力图



【解】 图 1-14(a)就是塔设备的计算简图。为了避免混淆,受力图要单独画出[图 1-14(b)]。在受力图中,研究对象的形状、大小和方位应保持原样。

研究对象为塔设备,共受四个外力作用:主动力一个,即设备自重 $W$ ;约束反力三个,其中 $A$ 点为尖角与水平表面相接触的光滑面约束,约束反力 $N$ 垂直于水平面并指向塔设备, $B$ 、 $D$ 两点是柔性约束,约束反力沿绳子中心线并背向塔设备。

【例 1-2】 在柱子上装一支架,如图 1-15(a)所示。 $A$ 、 $B$ 、 $C$  三点都是焊接。 $E$ 、 $B$  二点各放一段管道,其重量分别为 $P_1$ 、 $P_2$ 。试分别绘制杆 $AB$ 和杆 $CD$ 的受力图。

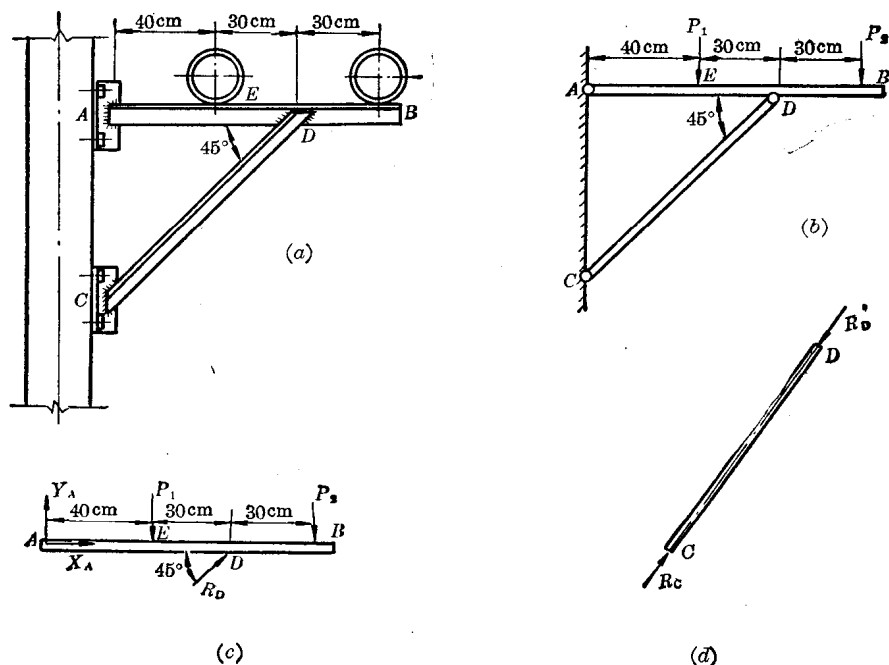


图 1-15 支架受力图

【解】 先画支架的计算简图,如图 1-15(b)所示。其中, $A$ 、 $B$ 、 $C$  三点原为焊接,但由于焊缝尺寸相对于各构件长度来说都很小,各连接处实际上都允许有一定的相对转动,所以可将 $A$ 、 $C$  两点近似地看成固定铰链约束,将 $D$ 点近似地看成是两杆通过铰链相互约束。

根据先易后难的原则,先画 $CD$ 杆的受力图,如图 1-15(d)所示。该杆自重不计,只在 $C$ 、 $D$  两点各受一力而保持平衡,根据两力平衡公理,这两个力必定都沿直杆的中心线而且大小相等、方向相反,这类杆件称为“二力杆件”。二力杆件有受拉和受压两种情况,本题的 $CD$ 杆是受压杆件,两力都指向杆身,以 $R_C$ 、 $R'_D$ 表示。

接下来画 $AB$ 杆的受力图,如图 1-15(c)所示。此杆 $E$ 、 $B$  两点分别受主动力 $P_1$ 、 $P_2$ 作用; $D$ 点处受 $CD$ 杆约束,其约束反力与 $CD$ 杆所受的 $R'_D$ 为作用与反作用关系,利用这一关系可以很容易地把它画出来,并以 $R_D$ 表示;至于 $A$ 点约束反力,则按一般的固定铰链约束处理, $X_A$ 与 $Y_A$ 的指向,如暂时不能肯定,则可以假设。

本题的两个受力图,一定要分别单独绘制,如果直接画在计算简图上,则 $D$ 点处的作用反作用关系将混淆不清。