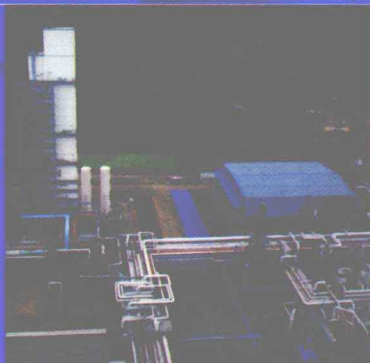




全国高职高专教育“十一五”规划教材



王志斌 高朝祥 主 编
蒋广平 杨丽云 副主编

化工设备基础



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

全国高职高专教育“十一五”规划教材

化工设备基础

Huagong Shebei Jichu

王志斌 高朝祥 主 编
蒋广平 杨丽云 副主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是在研究高等职业教育化工技术专业特征,吸收相关教材优点,总结教学改革经验的基础上编写而成的。全书紧紧围绕提高学生职业能力和综合素质的教学目标构建课程体系和教学内容,在结构和编写层次上淡化了理论性强的学科内容和比较复杂的设计计算,重点突出实用性内容,引导学生认识和理解相关标准、规范,并通过学生最易掌握的方式予以体现。本书主要内容包括力学基础知识、工程材料、常用机构、常用传动装置、常用机械零部件、压力容器基础、常用化工设备、常用化工机械、干燥设备、化工管路等。

本书主要适用于高职高专院校应用化工技术、高分子材料加工、化工设备维修技术等专业的相关课程教学,也可作为企业技师培训、技术工人转岗的培训教材,还可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工设备基础 / 王志斌,高朝祥主编. —北京:高等教育出版社,2011.3

ISBN 978-7-04-031179-2

I. 化… II. ①王…②高… III. 化工设备 — 高等学校:技术学校 — 教材 IV. TQ05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 006793 号

策划编辑 周先海 责任编辑 杜惠萍 封面设计 于涛 责任绘图 尹莉
版式设计 王艳红 责任校对 陈旭颖 责任印制 张福涛

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市西城区德外大街 4 号

邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司

印 刷 北京天来印务有限公司

开 本 787 × 1092 1/16

印 张 24.5

字 数 590 000

购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

网上订购 <http://www.landaco.com>

<http://www.landaco.com.cn>

畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2011 年 3 月第 1 版

印 次 2011 年 3 月第 1 次印刷

定 价 34.40 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 31179-00

前 言

近年来,在国家大力推进职业技术教育改革和加强教育结构调整的基础上,高等职业教育得到了较快发展,特别是“国务院关于大力发展职业教育的决定”、教育部提出的“关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见”以及“国家中长期教育改革和发展规划纲要”,进一步明确了职业教育在经济建设中的地位和作用,使广大教育工作者明确了高等职业教育实施人才培养的目标与任务。为了适应高等职业教育发展的需要,编者将工学结合作为高等职业教育人才培养模式,带动专业调整与建设,以引导课程设置、教学内容和教学方法的改革。

本书是在研究应用化工技术专业特征,吸收相关教材优点,总结教学改革经验的基础上,经过一定时间的努力编写而成的。本书以针对性、实用性和先进性为指导思想,以培养面向生产、建设、服务和管理第一线需要的高技能应用型技术人才为目标,紧紧围绕提高学生职业能力和综合素质的教学目标构建课程体系和教学内容。本书在结构和编写层次上淡化了理论性强的学科内容和比较复杂的设计计算,重点突出实用性内容,引导学生认识和理解相关标准、规范,并通过学生最易掌握的方式予以解决。在教材的编写中,结合专业特点,以“必需、够用”为原则,并注重了与其他课程的衔接。

本书的绪论、第一章、第四章、第五章由高朝祥编写,第二章由杨兴权编写,第三章由屈超编写,第六章、附录由申静编写,第七章由蒋广平编写,第八章、第十章由王志斌编写,第九章由杨丽云编写,全书由王志斌、高朝祥担任主编并统稿,由蒋广平、杨丽云担任副主编。

徐州工业职业技术学院叶明生审阅了本书,并提出了一些宝贵的意见和建议,在此,编者表示衷心的感谢。

受编者水平所限,书中不足之处敬请同行和读者予以批评指正。

编者

2010年12月

目 录

绪论	1	三、钢的表面热处理	48
一、化工生产概述	1	第四节 低合金钢与合金钢	49
二、本课程的任务、性质	2	一、低合金钢与合金钢的特点	49
第一章 力学基础知识	3	二、低合金钢	49
第一节 静力分析基础	4	三、合金钢	50
一、力的概念与基本性质	4	第五节 铸铁	52
二、力在坐标轴上的投影	6	一、白口铸铁	52
三、力矩与力偶	7	二、灰铸铁	52
四、物体的受力分析	8	三、可锻铸铁	53
五、平面力系的平衡	11	四、球墨铸铁	53
第二节 构件的基本变形	15	五、蠕墨铸铁	54
一、轴向拉伸与压缩	16	第六节 有色金属及其合金	54
二、剪切与挤压	24	一、铜及其铜合金	54
三、圆轴扭转	26	二、铝及其铝合金	56
四、直梁弯曲	29	三、轴承合金	57
本章小结	35	第七节 非金属材料	58
同步练习	35	一、塑料	58
第二章 工程材料	39	二、橡胶	58
第一节 金属材料的性能	39	三、粘接剂	59
一、金属材料的物理性能	39	四、陶瓷	59
二、金属材料的化学性能	40	五、石棉	59
三、金属材料的力学性能	40	六、石墨	59
四、金属材料的工艺性能	42	第八节 金属材料的腐蚀与防护	60
第二节 非合金钢的种类和牌号	43	一、腐蚀的基本概念及其危害	60
一、碳的质量分数对非合金钢力学性能的影响	43	二、腐蚀的类型	61
二、非合金钢的分类	43	三、防腐措施	62
三、常用非合金钢的牌号、性能及用途	44	本章小结	64
第三节 钢的热处理	46	同步练习	65
一、热处理概述	46	第三章 常用机构	67
二、钢的整体热处理	46	第一节 平面机构的组成	68
		一、机构及构件	68
		二、运动副	69

三、平面机构的组成	70	九、齿轮传动的润滑与维护	105
四、机构的运动简图	71	第五节 蜗杆传动	106
第二节 平面连杆机构	72	一、蜗杆传动的组成与传动比	106
一、平面四杆机构的类型及应用	72	二、蜗杆传动的特点	106
二、平面四杆机构的基本性质	76	三、蜗杆传动的失效形式及常用 材料	107
第三节 凸轮机构	78	四、蜗杆与蜗轮结构	108
一、凸轮机构的组成、应用和特点	78	五、蜗杆传动的润滑与维护	109
二、凸轮机构的分类	79	第六节 轮系	110
三、凸轮机构的运动过程及运动参数	80	一、轮系的分类	111
四、凸轮和滚子的材料	81	二、定轴轮系的传动比计算	112
五、凸轮和滚子的结构	81	三、轮系的功用	114
本章小结	82	第七节 液压传动	115
同步练习	83	一、液压传动的工作原理	115
第四章 常用传动装置	86	二、液压传动的特点及应用	116
第一节 传动的分类和功用	87	三、液压传动系统的组成	116
一、传动的概念	87	本章小结	125
二、传动的功用及形式	87	同步练习	126
第二节 带传动	88	第五章 常用机械零部件	129
一、啮合带传动	88	第一节 螺纹连接与螺旋传动	130
二、摩擦带传动	89	一、连接用螺纹	130
三、普通 V 带和 V 带轮	91	二、螺纹连接的类型	131
四、V 带传动的安装与维护	93	三、常用螺纹连接件	132
第三节 链传动	94	四、螺纹连接的预紧与防松	134
一、链传动的组成和传动比	94	五、螺旋传动	137
二、链传动的类型	94	第二节 键连接	139
三、链传动的特点及应用	95	一、键连接的类型、特点及应用	139
四、链传动的张紧、布置及润滑	96	二、平键连接的失效形式及尺寸 选择	142
第四节 齿轮传动	98	三、键连接的装配	144
一、齿轮传动的组成和传动比	98	第三节 销连接	144
二、齿轮传动的基本要求	98	第四节 联轴器和离合器	145
三、齿轮传动的特点	98	一、联轴器	145
四、齿轮传动的类型	99	二、离合器	149
五、直齿圆柱齿轮传动各部分名称 及其基本参数	100	第五节 轴	150
六、标准直齿圆柱齿轮的主要几何 尺寸	101	一、轴的类型	150
七、齿轮传动的失效形式	102	二、轴的材料	151
八、齿轮的常用材料	104	三、轴的结构	152

第六节 轴承	154	第一节 塔设备	205
一、滑动轴承	154	一、塔设备的分类及结构	205
二、滚动轴承	159	二、板式塔的结构	206
第七节 轮毂在轴上的装配方法	165	三、填料塔的结构	220
一、轮毂装配方法	165	四、塔设备的常见故障及排除	227
二、轮毂装配后的检查	165	第二节 换热器	230
本章小结	166	一、换热器的类型	230
同步练习	166	二、管壳式换热器的基本结构及 选用	230
第六章 压力容器基础	168	三、换热器技术的发展	245
第一节 概述	169	四、换热器的常见故障及其排除 方法	246
一、压力容器的组成结构	169	第三节 反应釜	248
二、压力容器标准规范	170	一、反应釜的结构	248
三、压力容器分类	170	二、釜体及传热装置	248
第二节 内压薄壁容器	172	三、反应釜的搅拌装置	251
一、内压薄壁容器的受力	172	四、反应釜的传动与支承装置	257
二、内压球形容器	174	五、反应釜的密封装置	262
三、圆筒和球壳的强度计算	175	本章小结	262
四、压力容器参数的确定方法	175	同步练习	263
五、压力试验和气密性试验	178	第八章 常用化工机械	265
第三节 内压容器封头	179	第一节 泵	265
一、凸形封头	180	一、离心泵	265
二、锥形封头	182	二、其他类型泵	278
三、平盖	182	第二节 活塞式压缩机	282
第四节 外压容器	182	一、活塞式压缩机的类型和编号	282
一、外压容器的失稳与失稳形式	182	二、活塞式压缩机的结构特点	283
二、临界压力及其确定方法	183	三、活塞式压缩机的常见故障及其 产生原因和消除方法	297
三、临界长度与计算长度	184	第三节 离心式压缩机	298
四、外压容器的加强圈	185	一、类型及型号编制	298
第五节 容器附件	187	二、离心式压缩机的结构特点	299
一、法兰	188	三、主要零部件	301
二、人孔与手孔	191	四、离心式压缩机的常见故障及其 产生原因和消除方法	313
三、支座	192	第四节 离心机	314
四、压力容器的开孔与补强	198	一、离心机的类型及编号	314
五、安全装置	200	二、典型离心机的结构特点	315
六、其他附件	201		
本章小结	202		
同步练习	202		
第七章 常用化工设备	205		

三、离心机的常见故障及其消除方法	321	第一节 管子的常用材料	339
本章小结	322	一、金属管	339
同步练习	323	二、非金属管	340
第九章 干燥设备	325	三、衬里管	341
第一节 厢式干燥器	325	第二节 管径的选择与壁厚的确定	341
一、种类	325	一、管径的计算及选用	341
二、结构与工作原理	326	二、管子壁厚的确定与选用	342
第二节 气流干燥器	328	第三节 管件与阀门	344
一、种类	328	一、常用管件	344
二、结构与工作原理	328	二、常用阀门	346
第三节 喷雾干燥器	331	第四节 管路的连接	359
一、种类	331	一、管路的连接形式	359
二、结构与工作原理	331	二、管路的安装	362
第四节 转筒干燥器	334	三、管路的常见故障及其产生原因和排除方法	368
一、转筒干燥器的结构与工作原理	334	本章小结	369
二、类型	334	同步练习	369
本章小结	337	附录	371
同步练习	337	参考文献	380
第十章 化工管路	339		

绪 论

一、化工生产概述

化工生产是以天然物质或其他工业产品为原料,通过物理和化学手段将其加工成产品的生产过程。化工生产有别于其他工业生产,具有其自身的特点。

1. 生产的连续性

为提高生产效率,节约成本,化工生产过程一般都采用连续的工艺流程。其连续性主要体现在两个方面:第一,空间的连续性,生产流程是一条连锁式的生产线,各工序紧密衔接,首尾串通,无论哪个工序失调都会导致整个生产线不能正常进行;第二,时间的连续性,生产长期运转,昼夜不停,各班次紧密衔接,不论哪个班次出现故障,都将影响整个生产过程的正常运行。

2. 原料、产品和工艺的多样性

用同一种原料可以制造多种不同的产品;同一种产品可以采用不同的原料、方法和工艺路线来生产;即使是同一种原料制造同一种产品,也可采用不同的生产方法和技术路线;化工产品品种很多,全世界约有5万种以上。

3. 生产技术的复杂性和严密性

多数化工产品的生产过程是多步骤的,有的步骤及其影响很复杂,生产装备和过程控制技术也很复杂,而且发展趋势是复杂程度越来越高。由于化学反应对生产技术具备的条件要求非常严格,每种产品都有一套严密的工艺规程,必须严格执行,否则不仅制造不出合格的产品,还会造成事故。

4. 安全生产要求严格

有些化学反应或物理变化是在高温、高压、真空、深冷等条件下进行的,介质大多易燃、易爆、有毒以及具有较强的腐蚀性,这些特点决定了化工生产中的安全生产极其重要,生产中必须严格按工艺规程进行,严格执行规章制度。

化工生产是通过一定的工艺流程来实现的。工艺流程是指以反应设备为骨干,由系列单元设备通过管路串联组成的系统装置。不同的原料、不同的产品具有不同的工艺流程。

图0-1所示为管式炉乙烷裂解制乙烯生产流程图。原料乙烷和循环乙烷经热水预热后到裂解炉对流层,与加入一定比例的稀释蒸气进一步预热后,进入裂解炉的辐射段裂解,裂解气经废热锅炉迅速冷却后进入骤冷塔进一步冷却,其中水和重质成分冷凝成液体从塔底分出,冷却后的裂解气经压缩机一、二、三段压缩,送至碱洗塔去除酸性气体后,再进入乙炔转换塔除去乙炔,然后至压缩机四段增压后到干燥塔除去水分,再进入乙烯/丙烯冷冻系统降温冷凝,分离出氢气,冷凝液分离出甲烷,再在二分馏塔得到乙烯产品,乙烷再循环使用。

从上述生产流程分析可知,化工生产广泛使用各种机械设备。通常将其工作时不运动的机

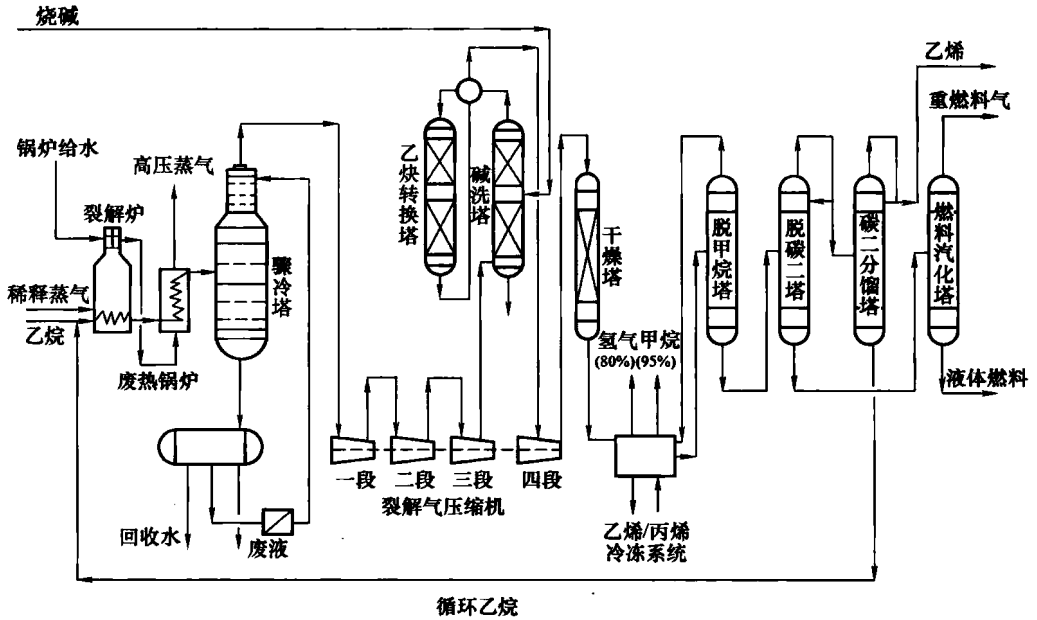


图 0-1 管式炉乙烷裂解制乙烯流

械称为化工设备(静设备),如上述的废热锅炉、碱洗塔等;依靠自身的运动进行工作的机械称为化工机器(动设备),如上述的压缩机和输送物料的各种泵等。这些机器和设备是化工生产的重要技术装备,通常将其总称为化工机械。

化工生产离不开化工机械,化工机械一方面直接服务于化工生产,另一方面又促进和发展新的工艺过程。化工生产的正常进行必须依赖于化工机械的正常工作,因此对于化工工艺人员,除了掌握生产工艺技术外,还必须懂得一定的机械知识,才能搞好生产。

二、本课程的任务、性质

化工工艺人员在工作中需要了解机器和设备的构造和原理,分析受力情况和工作能力,以便正确使用和维护这些机器和设备;或在技术改造中,为机器和设备选择适宜的材料,按照标准正确地选择机器和设备的通用零部件等问题。本课程将提供这些方面的必要知识,主要讨论力学基础、工程材料、常用机构、机械传动装置、连接与支承零部件、常用化工设备和机器等方面的基础知识。

本课程是一门技术基础课。学好这门课程,对于学习专业课程以及在工作中正确地使用各种化工机器和设备具有重要意义。

第一章 力学基础知识

知识目标

了解力、刚体、平衡、力矩、力偶等基本概念,掌握平面力系平衡的条件及其平衡方程。了解构件内力、应力、许用应力及应变等概念,了解低碳钢、铸铁被拉压时的力学性质,掌握轴向拉伸和压缩、剪切、扭转、弯曲变形的内力、应力及强度计算。

能力目标

能分析简单物体的受力,能利用平面力系的平衡方程求解力的大小,能利用强度条件解决简单工程结构的强度问题。

观察与思考

- 观察图 1-1 所示的一重物悬挂在弹簧下端,请思考:重物为什么不落下?当将弹簧剪断后,重物为什么要落下?弹簧在重物作用下发生怎样的变形?
- 观察图 1-2 所示的在细绳牵引下旋转的小球,请思考小球的运动状态是否发生改变,为什么?
- 观察图 1-3 所示的钢架挂一重物,你能否确定点 A 是否受力?如何计算水平梁 AB 及杆 BC 的受力,以便确定其尺寸?
- 远在三千多年前,对于木结构,我们的祖先就提出柱(受压杆)以圆截面为宜,而梁以高宽比为 3:2 的矩形截面为好,请思考为什么?
- 某工厂临时需要用额定起重量为 500 kg 的吊车,吊起近 1 t 的箱体,请思考是否有可能?

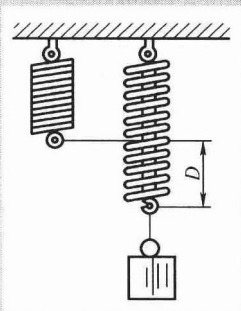


图 1-1 用弹簧悬挂重物

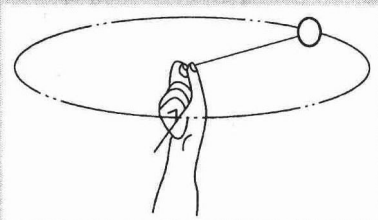


图 1-2 细绳牵引下旋转的小球

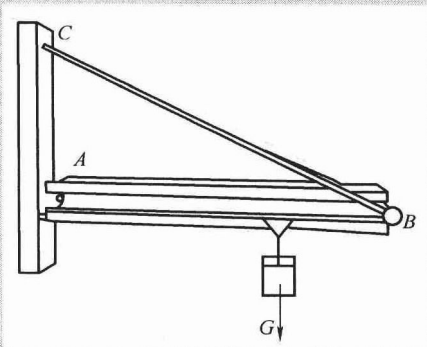


图 1-3 钢架

化工机器、设备及管路等在工作时都要受到力的作用。为了保证它们在工作时具有足够的承载能力,必须对其组成构件及零件进行静力分析和变形分析。

第一节 静力分析基础

一、力的概念与基本性质

1. 力的概念

力是物体间的相互作用,这种作用会使物体的运动状态发生改变(外效应),或使物体产生变形(内效应)。

力对物体的作用效应取决于力的大小、方向和作用点,力的大小、方向和作用点称为力的三要素。

力是矢量,通常用一个带箭头的线段表示,如图 1-4 所示。线段 AB 的长度按一定比例表示力的大小,线段的方位和箭头所指的方向表示力的方向,线段的起点 A 或终点 B 表示力的作用点。

力的单位为“N”(牛)或“kN”(千牛)。

作用在物体上的一组力称为力系。如果两个力系对同一个物体的作用效果相同,则这两个力系彼此互称为等效力系。如果一个力 F_R 对物体的作用效果和一个力系对该物体的作用效果相同,则力 F_R 称为该力系的合力,力系中的每个力都称为合力 F_R 的分力。

作用在物体上的力常以以下两种形式出现。

(1) 集中力 如果力的作用面积很小,可把它近似看成集中作用在某一点上,这种力称为集中力,如图 1-5a 所示,重力 G 、拉力 F_T 都可视为集中力。

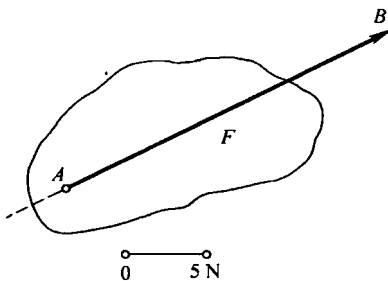


图 1-4 力的图示

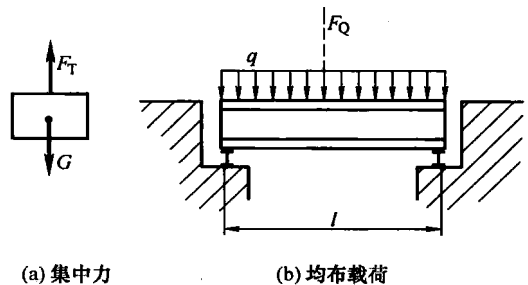


图 1-5 力的作用形式

(2) 分布载荷 连续分布在较大面积或较大体积上的力称为分布载荷。如果载荷的分布是大小均匀的,则称为均布载荷。例如匀质等截面杆的自重就是均布载荷,如图 1-5b 所示。均布载荷的大小用载荷集度 q 表示,即单位长度上承受的力,其单位是 N/m (牛/米)。均布载荷的合力作用点在受载部分中点(图中的虚线表示合力 F_Q),方向与载荷集度 q 的方向一致,大小等于

载荷集度 q 与受载部分长度 l 的乘积, 即 $F_Q = ql$ 。

2. 刚体与平衡的概念

任何物体在力的作用下都会产生变形, 但在一般的工程问题中, 物体的变形是极其微小的, 对研究物体平衡的影响很小, 可以忽略不计。这种在力的作用下不发生变形的物体称为刚体。当然, 刚体实际上是不存在的, 但它是对实际物体经过科学抽象和简化的一种理想模型, 它抓住了问题的本质, 是实际所许可的。

平衡是指物体相对于地球处于静止或作匀速直线运动的状态。作用在刚体上使刚体处于平衡状态的力系称为平衡力系, 平衡力系所满足的条件称为平衡条件。

3. 力的基本性质

人类经过长期实践, 不仅建立了力的概念, 而且还概括出力的基本性质, 即静力学公理。

公理一 二力平衡公理 两个力作用的刚体, 处于平衡的充分和必要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 1-6 所示。

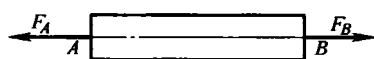


图 1-6 二力平衡

在两个力的作用下处于平衡的物体称为二力构件。由二力平衡公理可知, 作用在二力构件上的两个力, 它们必定通过两个力作用点的连线, 且大小相等、方向相反, 而与其形状无关。

二力平衡公理只适用于刚体, 不适用于变形体。如一段绳索, 在两端受到一对等值、反向、共线的压力作用时, 并不能保持平衡。

公理二 加减平衡力系公理 在作用于刚体的一个力系上, 加上或减去任何的平衡力系, 并不会改变原力系对刚体的作用效果。

由公理一和公理二, 可以推出一个重要推论: 作用在刚体上某点的力, 可沿着它的作用线在刚体内任意移动, 并不会改变此力对刚体的作用效果, 这个推论称为力的可移性原理。如图 1-7 所示, 用水平力 F 在 A 点推车, 和用同样大小的水平力 F 在 B 点拉车, 可以产生相同的效果。

由此可见, 作用于刚体上的力, 其三要素可引申为: 力的大小、方向和作用线。

公理三 力的平行四边形公理 作用在物体上某点的两个力, 其合力也作用在该点上, 合力的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决定, 如图 1-8 所示。用矢量等式表示为

$$F_R = F_1 + F_2$$

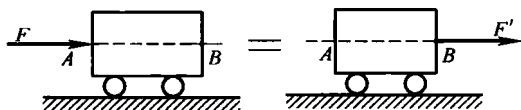


图 1-7 力的可移性

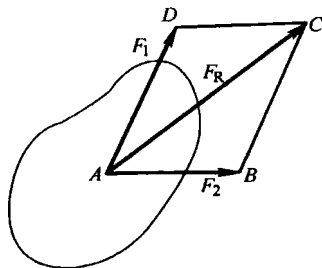


图 1-8 力的合成

利用力的平行四边形法则,也可以将一个力分解成相互垂直的两个分力,这种分解称为力的正交分解。

公理四 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、作用线共线,分别作用在两个不同的物体上。

应当注意,作用力与反作用力和二力平衡公理中的一对力是有区别的。作用力与反作用力是分别作用在两个不同的物体上,而二力平衡公理中的一对力是作用在同一物体上的。

二、力在坐标轴上的投影

1. 基本原理

如图 1-9 所示,设力 F 作用于 A 点,在力 F 所在的平面内取直角坐标系 Oxy ,过力 F 的两端点 A 和 B 分别向坐标轴 x 作垂线,得垂足 a 和 b 。线段 ab 称为力 F 在 x 轴上的投影,用 F_x 表示。力在坐标轴上的投影是代数量,其正负号规定如下:由投影的起点 a 到终点 b 的方向与 x 轴的正方向一致时,则力在坐标轴上的投影为正;反之为负。同理,过力 F 的两端点 A 和 B 分别向坐标轴 y 作垂线,可求得力 F 在 y 轴上的投影 F_y ,即线段 $a'b'$,显然

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F \cos \alpha \\ F_y &= F \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

2. 合力投影定理

可以论证,合力在坐标轴上的投影等于力系中各个分力在同一坐标轴上投影的代数和,这个关系称为合力投影定理,即

$$\left. \begin{aligned} F_{Rx} &= F_{1x} + F_{2x} + \cdots + F_{nx} = \sum F_x \\ F_{Ry} &= F_{1y} + F_{2y} + \cdots + F_{ny} = \sum F_y \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

式中,“ \sum ”是个缩写记号,表示“代数和”。

3. 平面汇交力系的合力

如果作用在物体上的各力作用线都在同一平面内,这样的力系称为平面力系。在平面力系中,如果各力作用线都汇交于一点,则这种力系称为平面汇交力系,如图 1-10 所示。平面汇交力系合成结果为一个过汇交点的合力。

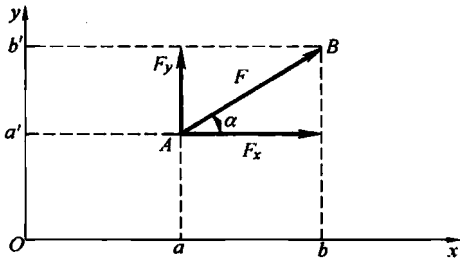


图 1-9 力在坐标轴上的投影

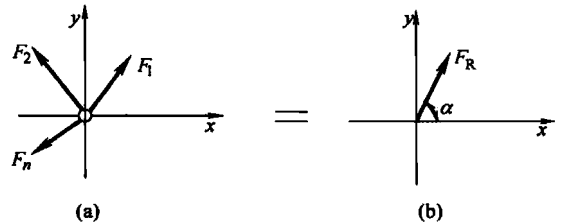


图 1-10 平面汇交力系的合力

设有一平面汇交力系 F_1, F_2, \cdots, F_n , 由合力投影定理,合力 F_R 在坐标轴上的投影为

$$F_{Rx} = F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx} = \sum F_x$$

$$F_{Ry} = F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny} = \sum F_y$$

根据合力在 x, y 轴上的两个投影, 就可以计算出合力 F_R 的大小与方向。

合力 F_R 的大小:
$$F_R = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2} \quad (1-3)$$

合力 F_R 的方向:
$$\tan \alpha = \left| \frac{\sum F_y}{\sum F_x} \right| \quad (1-4)$$

式中: α ——合力 F_R 与 x 轴所夹的锐角, 合力 F_R 的具体指向由 $\sum F_x, \sum F_y$ 的正负决定。

三、力矩与力偶

1. 力矩

(1) 力对点之矩 如图 1-11 所示, 用扳手拧螺母时, 力 F 使扳手和螺母绕 O 点转动, 由经验知道, 使螺母转动力矩的大小, 不仅与力 F 的大小有关, 还与 O 点到力 F 作用线的垂直距离 d 有关, 点 O 称为矩心 (即物体的转动中心), 点 O 到力 F 作用线的垂直距离 d 称为力臂, 力 F 的大小与力臂 d 的乘积称为力矩, 记为

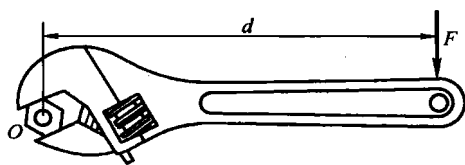


图 1-11 力对点之矩

$$M_o(F) = \pm Fd \quad (1-5)$$

力矩是用来描述力对物体的转动效应的。在平面内, 力使物体转动时, 有两种不同的转向, 为了区分这两种转向, 用正负号表示。力矩的正负号规定如下: 力使物体逆时针转动时, 力矩为正, 反之为负。

力矩的单位取决于力和力臂的单位, 常用的单位为 $N \cdot m$ (牛·米) 或 $kN \cdot m$ (千牛·米)。

(2) 合力矩定理 设一平面力系由 F_1, F_2, \dots, F_n 组成, 其合力为 F_R , 根据合力的定义, 合力对物体的作用效果等于力系中各分力对物体作用效果的总和, 因此力对物体的转动效果亦等于力系中各分力对物体转动效果的总和。而力对物体的转动效应是用力矩来度量的, 所以合力对平面内某点的力矩, 等于力系中各分力对该点力矩的代数和。这一结论称为合力矩定理, 写成表达式为

$$M_o(F_R) = M_o(F_1) + M_o(F_2) + \dots + M_o(F_n) = \sum M_o(F) \quad (1-6)$$

2. 力偶

(1) 力偶的概念 如图 1-12 所示, 由大小相等、方向相反、作用线平行但不重合的两个力组成的力系, 称为力偶, 常用 (F, F') 表示。力偶中两个力所在的平面称为力偶作用面, 力偶中两力作用线之间的垂直距离 d 称为力偶臂。

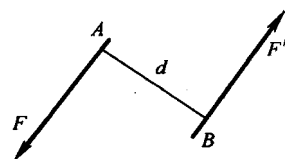


图 1-12 力偶

力偶对物体只产生转动效应。力偶对物体的转动效应, 可用力偶矩来度量。将力偶中一个力的大小与力偶臂的乘积定义为力偶矩, 记作 $M(F, F')$ 或简单地用 M 表示, 即

$$M = M(F, F') = \pm Fd \quad (1-7)$$

上式中的正负号规定如下:力偶使物体逆时针转动时,力偶矩为正,反之为负。力偶矩的单位与力矩的单位相同,也是 $\text{N} \cdot \text{m}$ (牛·米) 或 $\text{kN} \cdot \text{m}$ (千牛·米)。

力偶对物体的转动效应,由力偶矩的大小、力偶的转向、力偶的作用面这三个要素决定,称为力偶三要素。力偶的表示方法如图 1-13 所示。

(2) 力偶的性质 根据力偶的概念,可以论证力偶具有如下性质:

- ① 力偶无合力,力偶只能与力偶平衡。
- ② 力偶在任何坐标轴上的投影都为零,因此力偶对物体不会产生移动效应,只能产生转动效应。
- ③ 力偶对其作用面内任一点的力矩都为常数,恒等于力偶矩的大小,与矩心的位置无关。

(3) 平面力偶系的合成 作用在同一物体上的几个力偶组成一个力偶系。作用在同一平面内的力偶系称为平面力偶系。平面力偶系可以合成为一个合力偶,合力偶的力偶矩等于各分力偶矩的代数和,即

$$M_R = M_1 + M_2 + \dots + M_n = \sum M \quad (1-8)$$

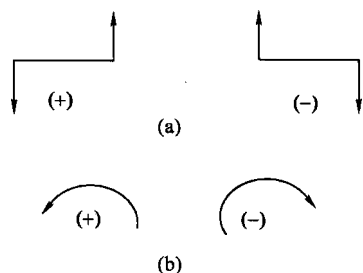


图 1-13 力偶的图示

四、物体的受力分析

1. 约束及约束反力

在日常生活和工程实际中,经常可以看到,一些物体由于受到周围其他物体的限制,因而不能向某些方向运动。这种运动受到限制的物体称为非自由体,限制非自由体运动的周围其他物体,称为非自由体的约束。例如悬挂着的电灯由于受到绳的限制,因而不能向下运动,电灯就是非自由体,绳就是电灯的约束。

由于约束限制了非自由体在某些方向的运动,因而它对非自由体就有力的作用。约束作用在非自由体上的力,称为约束反力。

物体受到的力一般可分为两类:一类是能使物体产生运动或有运动趋势的力,称为主动力,例如重力、水压力、风压力和某些作用在物体上的载荷等,主动力通常是已知的;另一类是限制物体运动的力,称为约束反力,约束反力通常是未知的。由于约束反力起着限制非自由体运动的作用,所以约束反力的方向总是与约束所限制的非自由体的运动方向相反,这是确定约束反力方向的基本原则。

在工程实际中,物体的形状是各种各样的,它们接触的形式也是各种各样的,因此实际约束的形式很多,但有些是具有共同特征的,可以归纳为一类。下面介绍几种工程中常见的约束类型。

(1) 柔体约束 由柔软的绳索、链条、胶带等构成的约束称为柔体约束。柔体约束的特点是柔性约束只能限制非自由体沿约束伸长方向的运动而不能限制其他方向的运动,即只能承受拉力,不能承受压力。所以,柔体约束反力作用在与非自由体的接触点处,作用线沿柔索背离非自由体。如图 1-14 所示,用起重机起吊重物时,钢丝绳对重物构成的约束就是柔体约束,重物受到

钢丝绳拉力 F_{T1} 、 F_{T2} 作用。

(2) 光滑面约束 由完全光滑的表面构成的约束称为光滑面约束。在工程实际中,完全光滑的表面是没有的,但如两物体间的摩擦力很小,或两物体间的摩擦力对所研究的问题影响很小时,可将摩擦力忽略不计,认为两物体的接触面是完全光滑的,如导轨、气缸等就可看成是光滑面约束。光滑面约束只能限制非自由体向着接触面公法线方向的运动,而不能限制物体沿接触面切线方向的运动,因此光滑面约束反力的方向是通过接触点,沿着接触处的公法线方向并且指向非自由体,常用 F_N 表示,如图 1-15 所示。

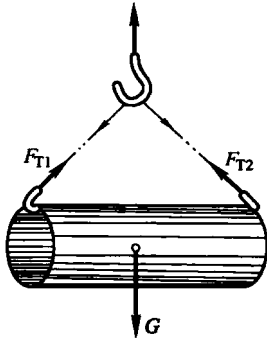


图 1-14 柔体约束反力

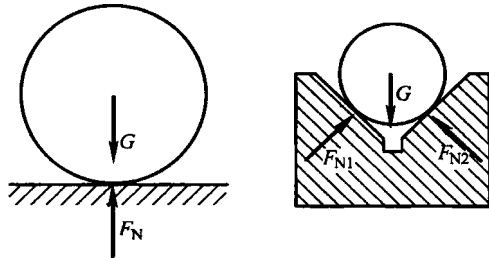


图 1-15 光滑面约束

(3) 固定铰链约束 铰链支座的典型构造如图 1-16a 所示, A 、 B 两物体有相同的圆孔,中间用圆柱销钉连接起来,销钉限制了两物体的相对移动,但不限制两物体的相对转动,这种约束称为铰链约束。在铰链连接的两个物体中,如将其中一个物体固定,称为固定铰链,其简化画法如图 1-16b 或 c 所示。

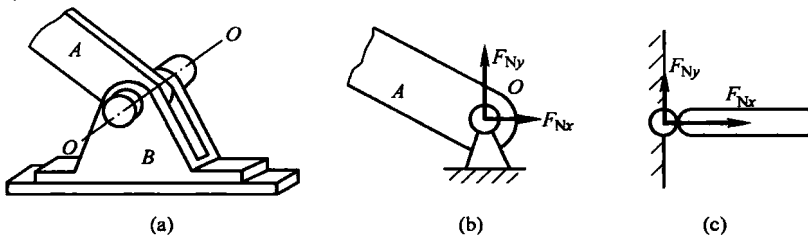


图 1-16 固定铰链

对于固定铰链约束,其约束反力的作用线一定通过铰链中心,但方向是未知的,通常用一对正交的分力 F_{Nx} 和 F_{Ny} 表示,如图 1-16b 或 c 所示。但二力构件上的铰链支座,其约束反力的作用线沿着两个铰链中心的连线,如图 1-17 所示。

(4) 活动铰链约束 如图 1-18a 所示,在铰链支座的下面安装几个滚子,再搁置在支承平面上,称为活动铰链。这种支座只能限制物体垂直于支承面的运动,不能限制物体沿支承面切线方向的运动和绕销钉的转动。因此,活动铰链支座的约束反力通过铰链中心并且与支承面垂直,图 1-18b 所示为活动铰链支座的简图。