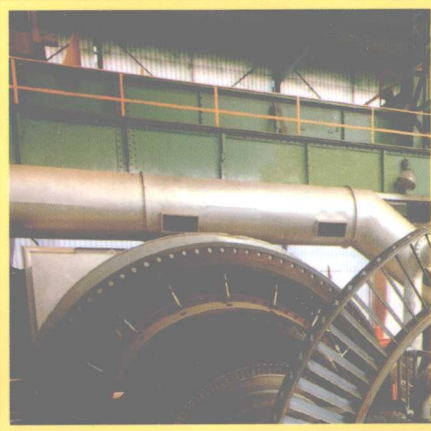
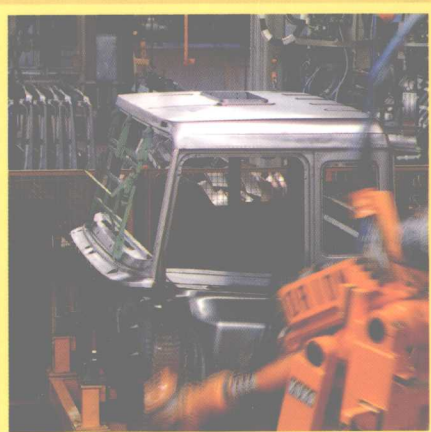




职业教育教学改革规划教材

机械设计基础

欧阳志红 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



职业教育教学改革规划教材

机械制图	蒋金云 陆浩刚
机械制图习题集	蒋金云 陆浩刚
公差配合与测量技术	端 俊
机械设计基础	端 俊
电工基础	马洪兴
自动化检测与转换技术	俞 红
程序设计基础 (机电类)	许成云
工程材料	周祥基
数控原理与系统	吴晓苏
数控车床编程	陈子银
数控车床编程与操作	周迅阳
数控铣床编程	陈子银
机械制造基础	薛国祥 李德庆
CAD/CAM实训—Mastercam X2	蒋洪平
数控机床故障诊断与维护	任国兴
AutoCAD机械图绘制教程	李 芮
机加工实习	薛国祥 李德庆
公差配合与测量技术应用	杨丽琴
机床电气控制 (项目式教学)	周建清
切削原理与刀具	芦福桢
机械制造技术与项目实训	马晓燕
钳工工艺与技能训练	汪哲能
机械设计基础	欧阳志红

ISBN 978-7-111-24987-0

地址: 北京市百万庄大街22号 邮政编码: 100037
联系电话: (010) 88326294 网址: <http://www.cmpedu.com> (机工教材网)
(010) 88993821 E-mail: cmp@cmpedu.com
购书热线: (010) 88379639 网址: <http://www.cmpbook.com> (机工门户网)
(010) 88379641 E-mail: cmp@cmpbook.com
(010) 88379643

定价: 28.00元

ISBN 978-7-111-24987-0



9 787111 249870 >

职业教育教学改革规划教材

机械设计基础

主 编 欧阳志红

副主编 胡瑶玫 杨学坤

参 编 郭 辉 赵江苏 张文兵

主 审 李雪梅



机械工业出版社

教材以能力培养为主,将工程力学、工程材料、机械原理、机械零件以及工程实际训练等部分有机地结合在一起。

全书共分14章,主要内容有:静力学基础、构件的变形分析、工程材料、典型机构、机械传动、机械零件以及工程实际训练等。着重讲解了静力学的基本分析方法,构件基本变形时强度和刚度的分析计算方法,典型工程材料的性能及选用方法,典型机构(平面连杆机构、凸轮机构间歇运动机构等)的性能及选用,机械传动(带、链、齿轮、蜗杆传动及轮系)的特性、用途及主要参数的选择与计算,常用机械零部件(键、销、轴、轴承等)的参数设计与选用,以及其他相关知识内容,同时设置了课程相关的各种技能训练,使教材的操作性、趣味性大大加强。

该教材主要作为高等职业教育机械类专业的课程教材,也可供相关技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础/欧阳志红主编. —北京:机械工业出版社,2008.8
职业教育教学改革规划教材
ISBN 978-7-111-24987-0

I. 机… II. 欧… III. 机械设计-职业教育-教材 IV. TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第133480号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:崔占军 责任编辑:崔占军 张祖凤 王佳伟

责任校对:李秋荣 封面设计:鞠 杨 责任印制:乔 宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2009年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·17.25印张·423千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-24987-0

定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379182

封面无防伪标均为盗版

前 言

本教材是根据高职高专教育机械类专业人才培养目标的精神,本着对相关课程的内容进行优化整合,课程内容服务于后续专业课,突出能力培养的原则,并参照有关行业的职业技能鉴定标准,对教材内容进行了系统的规划和设计。从培养学生掌握机械技术的基本知识和基本技能,具有分析机械功能和使用一般机械的能力,为今后解决生产实际问题的教学要求出发,突出了以下几个特点:

1. 遵循对专业基础课程进行合理整合和优化的原则,打破原有课程体系的界限,使工程力学、工程材料与机械设计之间更加紧密地结合起来,既避免了原有课程内容之间的重复,又考虑了内容的全面性,同时兼顾了高职学生及相关人员学习知识、掌握知识的特点。

2. 以“应用”为目的,“必需、够用”为尺度,教材内容简洁精炼。以机械在工程中的应用为主线,将工程力学部分、工程材料部分、工程机构部分以及工程实训部分的相关内容有机地融合起来。各部分内容既相对独立,又相互渗透。

3. 本书内容涉及面广,知识点较多,但深浅适度,结构紧凑,内容安排合理有序。在理论方面,考虑了使用对象和专业的特点,在引入一些定义和概念时,尽可能从常见的物理现象和工程实际出发,力求严谨、恰当。

4. 本书所涉及的标准均采用最新的国家标准,使用国家标准规定的名词术语和符号。

5. 本书欲使学生及相关读者在有限的时间内获取该课程的知识 and 技能,故在安排了课程的理论教学内容之后,为更好地体现高等职业教育的应用特色和能力培养的要求,安排了一章技能训练,除一些与该课程相关的试验之外,还安排了一些技能训练项目。

本书由北京劳动保障职业学院欧阳志红担任主编,负责教材的构思和全面统筹整体思路。绪论、第一、二、七、十四章由欧阳志红编写,第八、九、十、十一章由北京农业职业学院胡瑶玫编写,第四、五、六章由北京农业职业学院杨学坤编写,第十三章由北京农业职业学院郭辉编写,第三章由北京农业职业学院赵江苏编写,第十二章由北京工业职业技术学院张文兵编写。全书由北京电子科技职业学院李雪梅担任主审。编写过程中得到了许多院校的教师的帮助和支持,在此一并表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,错误与不妥之处在所难免,恳请有关专家和读者批评指正。

目 录

前言		本章练习	93
绪论	1	第六章 凸轮机构	95
第一章 静力学基础	3	第一节 凸轮机构的应用与分类	95
第一节 静力学基本知识	3	第二节 从动件的常用运动规律	97
第二节 力的投影、力对点之矩、力偶	9	第三节 图解法设计盘形凸轮的轮廓曲线	99
第三节 平面力系平衡方程及其应用	13	第四节 凸轮机构设计中应注意的问题	102
第四节 空间力系简介	16	本章小结	104
本章小结	20	本章练习	104
本章练习	21	第七章 间歇运动机构简介	106
第二章 构件变形分析	25	第一节 棘轮机构	106
第一节 变形分析的基础知识	25	第二节 槽轮机构	110
第二节 轴向拉伸和压缩	27	第三节 不完全齿轮机构	111
第三节 剪切和挤压	33	本章小结	112
第四节 圆轴扭转	36	本章练习	112
第五节 平面弯曲	40	第八章 带传动与链传动	113
第六节 组合变形	46	第一节 带传动的工作原理、类型、特点及应用	113
本章小结	49	第二节 V带的结构、标准及带轮的结构和材料	115
本章练习	50	第三节 带传动的工作能力分析	120
第三章 常用金属材料及热处理	54	第四节 普通V带传动的设计计算	121
第一节 金属材料的性能	54	第五节 V带传动的张紧、安装和维护	128
第二节 常用的金属材料	57	第六节 链传动的特点和类型	130
第三节 钢的热处理	64	第七节 滚子链和链轮	131
第四节 非铁金属材料	67	第八节 链传动的布置和润滑	135
本章小结	71	本章小结	136
本章练习	71	本章练习	136
第四章 非金属材料与新型材料简介	73	第九章 齿轮传动	138
第一节 常用非金属材料	73	第一节 齿轮传动的特点和类型	138
第二节 新型材料简介	77	第二节 渐开线齿轮	140
本章小结	78	第三节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸	142
本章练习	79	第四节 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	144
第五章 平面连杆机构	80		
第一节 平面机构的运动简图和自由度	80		
第二节 平面四杆机构的类型	86		
第三节 平面连杆机构的基本特性	90		
本章小结	93		

第五节 渐开线齿轮的切齿原理与根切现象	146	第五节 齿轮减速器简介	189
第六节 标准斜齿圆柱齿轮传动	149	本章小结	191
第七节 标准直齿锥齿轮传动简介	153	本章练习	191
第八节 轮齿的失效形式及齿轮传动的设计计算准则	157	第十二章 工程中的联接	193
第九节 齿轮的材料、热处理和齿轮传动精度	159	第一节 键联接	193
第十节 齿轮结构及齿轮传动的润滑	161	第二节 销联接	198
第十一节 圆柱齿轮传动强度计算	164	第三节 螺纹联接	199
本章小结	170	第四节 联轴器与离合器	209
本章练习	170	本章小结	215
第十章 蜗杆传动与螺旋传动	172	本章练习	215
第一节 蜗杆传动的组成与特点	172	第十三章 轴和轴承	217
第二节 蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算	173	第一节 轴的分类、材料及热处理	217
第三节 蜗杆传动的失效形式、材料及结构	176	第二节 轴的结构设计与强度计算	220
第四节 蜗杆传动的效率、润滑和热平衡计算	177	第三节 滑动摩擦、磨损及其润滑	228
第五节 螺旋传动简介	179	第四节 滑动轴承	231
本章小结	180	第五节 滚动轴承	235
本章练习	181	第六节 滚动轴承的代号及类型选择	238
第十一章 轮系与减速器	182	第七节 滚动轴承的组合设计	240
第一节 轮系的分类及功用	182	本章小结	245
第二节 定轴轮系及其传动比	184	本章练习	245
第三节 周转轮系及其传动比	185	第十四章 技能训练	248
第四节 混合轮系及其传动比	188	第一节 课内试验	248
		第二节 专项技能实训	257
		第三节 综合技能实训	263
		本章小结	265
		本章练习	266
		参考文献	268

绪 论

在人类改造客观世界的过程中,为了减轻劳动强度,提高生产效率,人们创造了各种各样的机械设备,机械工业在整个国民经济中有着举足轻重的地位。随着科学技术的发展,机械方面的知识日趋完善,对机械产品在质量、品种和规模上的要求也越来越高,这一切都对机械工业提出了更高的要求和挑战。作为新时期的高素质技术人员和操作人员,学习并掌握有关机械设计方面的知识和技能,是十分必要的。

在生产实践中,常用的机械设备和工程部件都是由许多构件组成的,当它们承受载荷或传递运动时,每个构件必须具有足够的承载能力以保证安全可靠地工作,这就要求构件必须有足够的强度、刚度和稳定性。在实际工作中,为了安全会要求选用较好的材料或采用较大的截面尺寸;为了经济则要求选用价廉的材料或采用较小的截面尺寸。显然,这两个要求是相互矛盾的。工程力学为此提供了基本理论与方法,为分析构件的强度、刚度和稳定性提供了必要的依据。

构件是由材料制成的。机械零件的质量好坏和使用寿命的长短都与它的材料直接相关,而机械工程材料的基本知识为我们合理地选择材料,充分发挥材料本身的性能潜力提供了理论基础。

人类通过长期的生产实践,发明和制造了机器。在日常生活中,常见的机器有自行车、缝纫机、洗衣机等;在工业生产中,常见的机器有汽车、拖拉机、各种机床和内燃机等。

机器的类型很多,用途也各不相同,但可以发现它们具有三个共同特征:

- 1) 它们都是人为的各个实物的组合。
- 2) 各个实物之间具有确定的相对运动。
- 3) 它们都能代替或减轻人类的劳动,去完成机械功(如卷扬机牵引重物)或转换机械能(如内燃机将热能转换为机械能)。

本课程就是在以上三大特征的基础上研究机械设计理论的。

一、本课程的性质及主要研究内容

本课程是一门综合性较强的重要的专业基础课程,是机械类专业必修的一门课程,它既使用到多门基础课程的相关知识,又是后续课程的,起着承上启下的作用。主要内容包括工程力学、工程材料以及机械设计基础等知识。

二、本课程的目的和任务

- 1) 掌握物体的受力分析与平衡条件,掌握杆件基本变形和应力分析计算的基本概念和方法。
- 2) 了解机械中常用的工程材料和热处理的基本知识。
- 3) 掌握机械传动中的常用机构和主要通用零部件的类型、工作原理、特点、应用和简

单计算，并具有运用和分析简单传动装置的能力。

三、本课程的学习方法

机械设计基础是关于机械设计的一门综合性课程，涉及知识面广，应用和实践性极强，其关键在于如何将诸多知识综合运用，提高分析问题、解决问题的能力。学习时要勤于观察各种机械和零件，结合课程内容多思考，主动地理论联系实际，对课程安排的相关实训内容要认真对待，增加感性认识，从而培养理性的理论知识，以助于本课程的学习。

第一章 静力学基础

在对工程实例（如汽车、飞机、船舶、桥梁、建筑、机床及各种机器零部件）进行力学分析时，首先要将它理想化，即合理地抽象为力学模型，只有这样，才能够方便地进行分析计算。随后，将所得的结果与相关的实验结果进行分析比较，如误差符合要求，则认为力学模型符合要求，否则，要修改力学模型再分析。因此，力学模型的建立直接影响着分析、计算结果的正确性，故它是力学分析的基础，非常重要。

静力学研究的是物体在力系作用下的平衡规律。同时作用于同一物体上的一群力称为力系。平衡是物体相对于地面静止或做匀速直线运动，是机械运动的一种特殊情况。能够使物体处于平衡状态的力系称为平衡力系，平衡力系所必须满足的条件称为平衡条件。静力学分析的常用力学模型为刚体。可近似认为“刚体”在受力时不产生变形，或变形很小。这样可使问题简单化。

【基本要求】

- (1) 掌握静力学的基本知识，并能熟练地应用；掌握工程中常见的约束类型；熟练绘制典型机构的受力图。
- (2) 掌握力系计算的基础知识——力的投影、力对点之矩以及力偶的计算方法。
- (3) 掌握平面力系平衡方程的应用，了解平面力系的特殊情况平衡方程的应用。
- (4) 了解空间力系问题的解法。

【重点和难点】

- (1) 静力学基本知识、受力图的绘制方法。
- (2) 力的投影、力对点之矩以及力偶的计算方法。
- (3) 平面力系的平衡方程。
- (4) 空间力系问题的平面解法，主要是力（主动力、约束力）向三个坐标平面的投影。

第一节 静力学基本知识

一、力的概念

力的概念是人们在生活和生产实践中，通过长期的观察和分析形成的。例如，抬物体的时候，物体压在肩上，由于肌肉紧张而感受到力的作用；用手推小车，小车由静止开始运动；受地球引力作用，自高空落下的物体速度越来越快；落锤锻压工件时，工件产生变形等。人们就是从这大量的实践中，从感性到理性，逐步建立起力的概念。可以将力定义为，力是物体间的相互作用，作用效应使物体的运动状态或形状发生改变，前者称为力的外效应，后者称为力的内效应。静力学部分仅研究力的外效应。

实践证明, 力对物体的作用效应取决于力的大小、方向和作用点 (力的三要素)。

在国际单位制中, 力的基本单位是牛顿 (N), 常用单位还有千牛顿 (kN) 等。

力是矢量, 常用有向线段表示, 如图 1-1 所示。线段的长度表示力的大小 (按一定的比例尺), 线段的方位和箭头指向表示力的方向, 线段的起点或终点表示力的作用点。通常用黑体字母表示力矢量 (手写时在字母上加箭头或短横线), 而与之对应的明体字母表示力的大小。

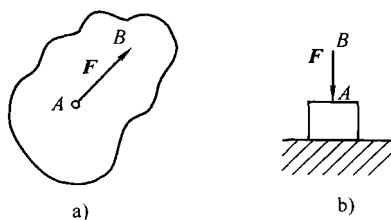


图 1-1 力的表示方法

a) 作用于 A 点的力 b) 作用于 B 点的力

二、刚体的概念

任何物体在力的作用下, 或多或少总要发生变形, 而工程实际中构件的变形通常都非常微小, 在很多情况下可以忽略不计。

刚体是指在任何情况下都不发生变形的物体。显然, 这是一个抽象化的模型, 实际上并不存在这样的物体。这种抽象化的方法, 在研究问题时是非常必要的。因为只有忽略一些次要的、非本质的因素, 才能充分揭示事物的本质。

在静力学中, 所研究的物体只限于刚体。在研究构件的变形时, 就不能再把物体看成是刚体, 而要看成是变形体。

三、静力学公理

公理是人类在长期实践中所积累的经验, 经过抽象和归纳出来的客观规律。静力学公理是关于力的基本性质的概括与总结, 是静力学的理论基础。

公理一 二力平衡公理

作用在同一刚体上的两个力使刚体平衡的必要与充分条件是两力大小相等、方向相反且作用于同一直线上。

该公理是关于平衡的最简单和最基本的性质, 是各种力系平衡的理论基础。

凡是只在两个点受力, 且不计自重的平衡物体称为二力构件或二力杆。由二力平衡公理可知, 无论二力杆是直的还是弯的, 其受力必沿两受力点的连线且等值反向。如图 1-2 所示的 AB 杆就是二力杆。

公理二 加减平衡力系公理

在作用于刚体上的已知力系中, 加上或减去任意一个平衡力系, 并不改变原力系对刚体的效应。

推论 1 力的可传性原理

作用于刚体上的力, 可沿其作用线移至刚体上的任一点, 而不改变对刚体的效应, 如图 1-3 所示小车的受力情况符合该原理。

公理二及其推论是力系等效变

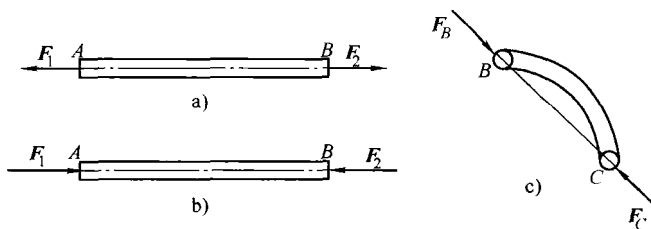


图 1-2 二力构件

a) 受拉的直杆二力构件 b) 受压的直杆二力构件 c) 曲杆二力构件

换的依据,由力的可传性原理可知,力的三要素对于刚体成为力的大小、方向和作用线。

应该注意,力的可传性原理只适用于刚体,而不适用于变形体,如图 1-4a 所示的变形杆 AB ,受到等值共线反向的拉力作用,杆被拉长。如果把这两个力沿作用线分别移到杆的另一端,如图 1-4b 所示,此时杆就被压缩。

公理三 力的平行四边形法则

作用于物体上同一点的两个力的合力仍作用于该点,其大小和方向由两力为邻边的平行四边形对角线来表示,如图 1-5 所示。

这种合成力的方法,称为矢量加法,合力称为这两个力的矢量和(或几何和)。可用公式表示为

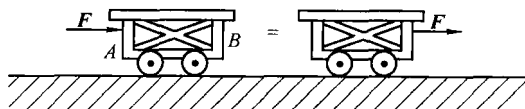


图 1-3 力的可传性原理

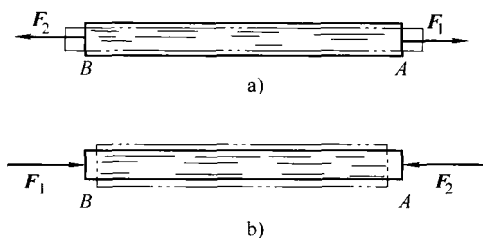


图 1-4 力的可传递性
a) 拉力作用 b) 压力作用

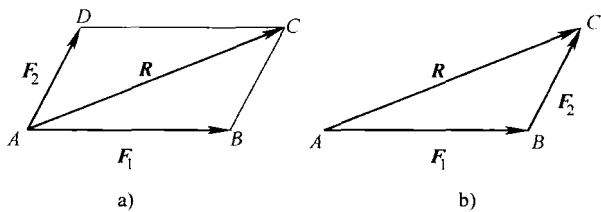


图 1-5 力的平行四边形法则
a) 力的平行四边形法则 b) 力的三角形法则

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

应当注意的是,式(1-1)是矢量等式,它与代数等式 $R = F_1 + F_2$ 的意义完全不同,不能混淆。

平行四边形法则又称为矢量加法法则,不仅适用于力的合成,对所有矢量(如速度等)合成均适用。

该公理是力系简化的基本依据。

推论 2 三力平衡汇交定理

刚体受三个共面但不平行的力作用而处于平衡时,三个力的作用线必然汇交于一点。

公理四 作用与反作用公理

两物体间的相互作用力总是大小相等、方向相反、沿同一直线且分别作用在两个物体上。

该公理说明,力总是成对出现的,有作用力就必有反作用力,二者同时存在同时消失。作用力和反作用力分别作用在两个物体上,与二力平衡有本质的区别。

四、约束和约束力

1. 约束和约束力的概念

能在空间作任意位移的物体称为自由体,例如飞行的飞机。位移受到某些限制的物体称为非自由体,例如悬挂的电灯等。

在工程实际中,每个构件都以一定的形式与周围物体相互连接,因而其运动受到一定的限制。凡是对构件运动起限制作用的物体称为该构件的约束。例如,放在地面上的物体,其

向下的运动受到地面的限制，地面就是物体的约束。

约束限制被约束物体运动的原因是因为约束对被约束物体有力的作用，称为约束力或约束反力。物体的受力分为两类：一类是使物体产生运动或运动趋势的力，称为主动力；另一类是限制物体运动的力，称为约束力。

约束力的作用点在被约束物体与约束的接触点处，其方向与其所限制的物体运动方向或运动趋势方向相反，这是分析约束力的基本原则。

2. 工程中常见的约束类型

(1) 柔性体约束 由绳索、传动带和链条等各种柔性物体所形成的约束，称为柔性体约束。

该约束的特点是只能受拉不能受压，只能限制物体沿柔性体中心线背离柔性体的运动，不能限制物体沿其他方向的运动，约束力通过接触点沿柔性体的中心线背离被约束物体，即物体受拉力，常用字母 T 表示。如图 1-6 所示，起吊重物时，绳子对重物的约束，带传动装置中传动带对轮的约束均是柔性体约束。

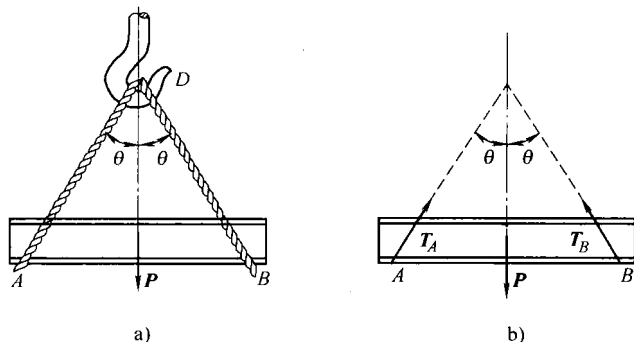


图 1-6 柔性体约束

a) 柔性体约束的实例 b) 柔性体约束的受力图

(2) 光滑面约束 由光滑面形成的约束称光滑面约束。

约束的特点是只能受压不能受拉，只能限制物体沿接触面公法线指向支承面的运动，即只限靠近不限背离，只限法向不限切向，光滑面约束力通过接触点沿接触面的公法线指向被约束物体，即物体受压力，常用字母 F_N 表示，如图 1-7 所示。

(3) 光滑的圆柱铰链约束 圆柱铰链是用圆柱销钉将两个构件联接在一起的约束，若不计接触处的摩擦，称为光滑圆柱铰链约束，简称铰链约束。由于其实质是光滑面约束，约束力一定通过接触点的公法线方向即通过销钉的中心。铰链约束只能限制物体间的相对移动，不能限制其相对转动，具体形式有以下几种。

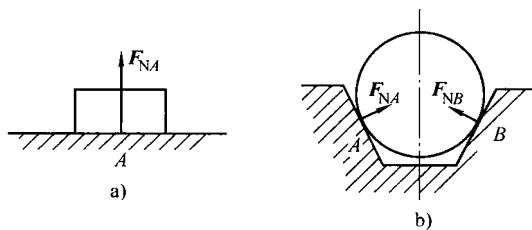


图 1-7 光滑面约束

a) 平面光滑面约束 b) V 形光滑面约束

1) 固定铰支座。若相联的两个构件有一个固定在地面或机架上，则称为固定铰支座或固定铰链，如图 1-8 所示，其简图如图 1-8f 所示。约束力通过接触点并通过销钉的中心，由于接触点的位置不能确定，反力的方向也不能确定，通常用两个正交分力 F_x 、 F_y 来表示，如图 1-8e 所示。

2) 中间铰链联接。若相连的两个构件均无固定，则称为中间铰链联接，简称中间铰，如图 1-9 所示，与固定铰支座相同，其约束力通常也用两个正交分力 F_x 、 F_y 来表示，如图 1-9c 所示。

3) 活动铰支座。若在固定铰支座的下面放置一排辊轴，支座可以沿支承面移动，称为

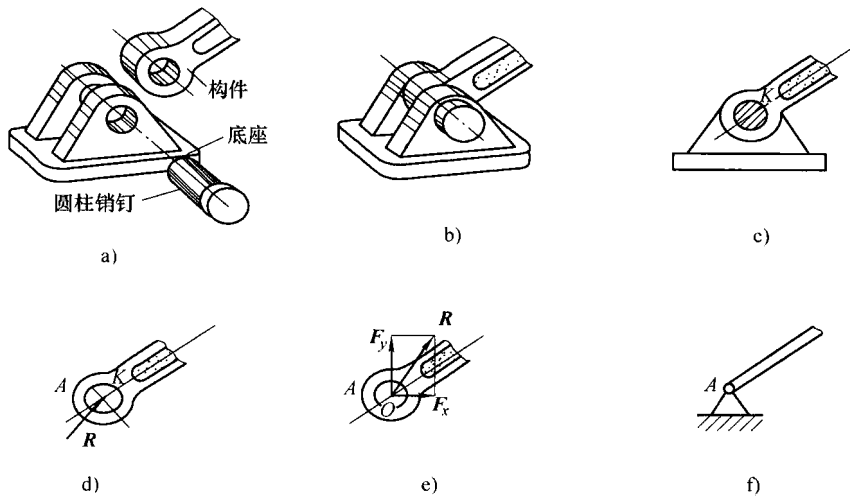


图 1-8 固定铰支座

a) 固定铰支座的各个零件 b) 固定铰支座的实物 c) 固定铰支座的平面图形 d) 固定铰支座的受力分析 e) 固定铰支座约束力的画法 f) 固定铰支座的表示方法

活动铰支座，如图 1-10 所示，其简图如图 1-10b 所示。活动铰支座只能限制物体沿垂直于支承面方向的运动，不能限制物体沿支承面的运动和绕销钉的转动，约束力通过铰链中心并垂直于支承面（既可压物体，也可拉物体），如图 1-10b 所示。

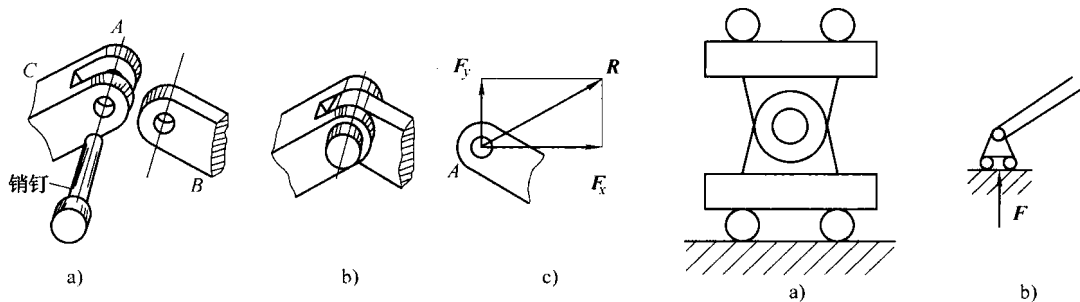


图 1-9 中间铰链联接

a) 中间铰链联接的各个零件 b) 中间铰链联接的实物 c) 中间铰链联接的受力分析

图 1-10 活动铰支座

a) 活动铰支座的实物 b) 活动铰支座约束力的画法

五、物体的受力分析和受力图

1. 受力图的概念

在工程实际中，受力分析是指研究某个物体受到的力，并分析这些力对物体的作用情况，即指出各个力的作用位置、大小和方向。为了清晰地表示物体的受力情况，常需要将被研究的物体从周围物体中取出来，然后把其他物体对研究对象施加的全部力用简图形式画出来，即将物体所受的全部主动力和约束力都表示出来的图形称为受力图。

受力图揭示了研究对象与周围物体间相互作用的关系，正确地画出受力图，是分析和计算力学问题的前提。

2. 画受力图的基本步骤

1) 明确研究对象, 解除约束, 画出分离体简图。分离体是人为解除所研究物体的约束, 从与其相联系的物体中分离出来的图形, 研究对象既可以是一个物体, 也可以是几个物体的组合。

2) 在分离体简图上画出全部主动力 (如重力)。

3) 分析并在分离体简图上画出全部的约束力。先找出研究对象与周围物体的约束类型, 再根据约束类型正确画出约束力。

下面举例说明受力图的画法。

例 1-1 重量为 G 的小球放置在光滑的斜面上, 并用一绳拉住, 如图 1-11a 所示。试画小球的受力图。

解 (1) 以小球为研究对象, 解除斜面和绳的约束, 画出分离体的简图。

(2) 画出主动力。小球受重力 G , 方向铅垂向下, 作用于球心 O 。

(3) 画出全部的约束力。小球受到的约束有绳和斜面。其中, 绳为柔性约束, 其约束力 T 作用在 C 点, 沿绳索背离小球; 小球与斜面为光滑面约束, 斜面对小球的约束力 F_{NB} 作用在 B 点, 垂直于斜面 (沿公法线方向), 并指向球心 O 点, 如图 1-11b 所示。

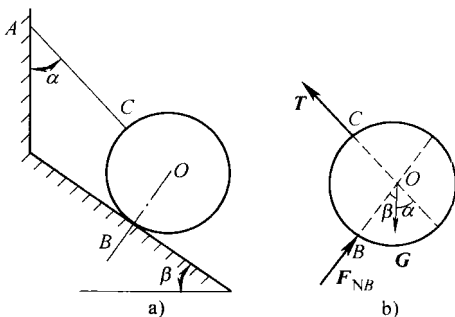


图 1-11 小球的受力分析

a) 小球的示意图 b) 小球的受力图

例 1-2 如图 1-12a 所示的三铰拱桥, 由左、右两拱铰接而成, 设拱的自重不计, 在左拱 AC 上作用载荷 F , 试分别画出拱 AC 和 CB 的受力图。

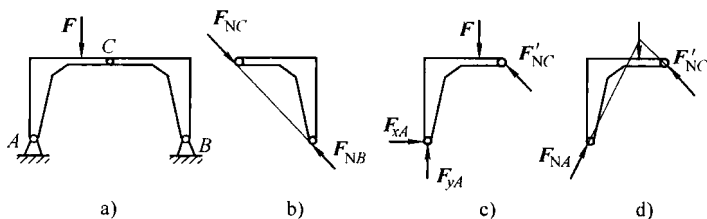


图 1-12 三铰拱桥的受力分析

a) 拱桥整体 b) 右拱受力图 c) 左拱受力图

d) 左拱三力汇交形式的受力图

解 (1) 分析右拱 CB 的受力。由于拱 CB 的自重不计, 且只在 C 、 B 两处受到铰链约束, 因此拱 CB 为二力杆, 在铰链中心 C 、 B 分别受到 F_{NC} 、 F_{NB} 两力作用, 且 $F_{NC} = -F_{NB}$ 。这两个力的方向如图 1-12b 所示。

(2) 取左拱 AC 为研究对象, 主动力为 F , 拱在铰链 C 处受拱 CB 产生的约束力 F'_{NC} 作用。根据公理四, $F'_{NC} = F_{NC}$ 。拱在 A 处的约束力由于方向未定, 可用 F_{xA} 、 F_{yA} 两个大小未知的正交分力代替, 如图 1-12c 所示。

进一步分析可知, 由于拱 AC 受三个力作用, 且处于平衡状态, 根据三力平衡汇交定理, 三力必汇交于一点 O , 如图 1-12d 所示, 即可确定 A 点的受力方向。

3. 画受力图的注意事项

- 1) 必须画出分离体图, 分离体的形状、方位应与原图保持一致。
- 2) 确定约束力时, 必须严格按约束类型的性质, 不能凭空想象。
- 3) 考虑施力物体和受力物体各是什么, 只画出研究对象受的力, 不画研究对象作用于其他物体的力。
- 4) 应准确地找出二力杆并从二力杆入手, 注意作用力与反作用力的关系。

第二节 力的投影、力对点之矩、力偶

一、力的投影概念及求法

力的作用效应取决于大小、方向和作用点 (对刚体而言是作用线), 其大小、方向对作用效应的影响, 可用力在坐标轴上的投影来描述。力在坐标轴上的投影不仅表达了力对物体的移动效应, 而且还是平面汇交力系合成的基础。

1. 力在直角坐标轴上的投影

在力的作用面内任选一坐标轴, 由力的作用线的始端和末端分别向该轴做垂线, 两垂足间的线段冠以适当的方向, 称为该力在该坐标轴上的投影, 具体说明如图 1-13 所示。

设力 F 作用于物体上的 A 点, 其作用线为 AB , 在力 F 的作用线所在的平面内建立直角坐标系 Oxy 。

从力 F 的两个端点 A 、 B 分别做 x 轴的垂线, 得垂足 a 、 b , 称为力 F 在 x 轴上的投影, 记做 F_x ; 同样可以得到力 F 在 y 轴上的投影, 记做 F_y 。

2. 力在直角坐标轴上投影的符号

力在坐标轴上的投影是代数量, 正负规定如下: 若从始端对应的垂足到末端对应的垂足的趋势 (指向) 与坐标轴的正向一致, 则力在坐标轴上的投影为正, 反之为负。图 1-13 中 F_x 取正值, F_y 取正值。

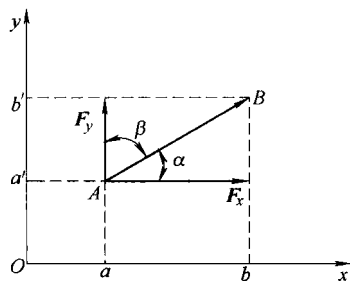


图 1-13 力在坐标轴上的投影

若力 F 的大小为 F , 与 x 和 y 轴所夹的锐角分别为 α 、 β , 则 F 在 x 、 y 轴上的投影分别为

$$\begin{cases} F_x = \pm F \cdot \cos\alpha = \pm F \cdot \sin\beta \\ F_y = \pm F \cdot \sin\alpha = \pm F \cdot \cos\beta \end{cases} \quad (1-2)$$

上式表明, 力在坐标轴上投影的大小等于力的大小和力与该轴所夹锐角的余弦的乘积。

前面讲述了已知力求投影的方法, 反过来若已知力 F 在坐标轴上的投影 F_x 和 F_y , 也可以求出力 F 的大小和方向。

$$\begin{cases} F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \\ \tan\alpha = \left| \frac{F_y}{F_x} \right| \end{cases} \quad (1-3)$$

F 表示力 F 的大小, α 表示 F 与 x 轴所夹的锐角, F 的具体指向可由 F_x 和 F_y 的正负确