



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

工程力学

(第四版)

● 全沅生 周家泽 主编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

GONGCHENG LIXUE

工 程 力 学

(第四版)

主编 全沅生 周家泽

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

本书根据高等职业技术学院机械类及近机械类专业工程力学教学改革的实际情况而编写。

本书内容包括静力学基础、平面力系(含摩擦)、空间力系、拉伸与压缩及压杆的稳定校核、剪切与挤压、扭转、弯曲、组合变形的强度计算以及构件的运动等。每章后附有丰富的习题和综合训练题,便于教师教学及学生自学。

本书适合作为机械类与近机械类高等职业技术学院、高等专科学校(包括成人高校、重点中等专业学校)工程力学课程的教学用书,也可供初、中级工程技术人员学习参考之用。

本书配有 ppt 教学课件,任课教师若需要,可与责任编辑联系(Tel:027-87548431, Email:xuzhengda@163.com)。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/全沅生,周家泽主编. —4 版. —武汉:华中科技大学出版社,2014. 10
ISBN 978-7-5680-0355-1

I. ①工… II. ①全… ②周… III. ①工程力学-高等职业教育-教材 IV. ①TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 191857 号

工程力学(第四版)

全沅生 周家泽 主编

责任编辑:徐正达

封面设计:刘 卉

责任校对:张 琳

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:武汉市洪山区佳年华文印部

印 刷:华中理工大学印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:12.25

字 数:314 千字

版 次:2009 年 5 月第 3 版 2015 年 1 月第 4 版第 1 次印刷

定 价:22.80 元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

再版前言

本教材自 2002 年出版以来,历时十余载,三次再版,多次印刷。本教材第一版问世时,中国科学院院士杨叔子为包括本教材在内的“实用机电工程系列教材”作序,对我们在高等职业教育及教材建设方面的探索研究和实践给予了充分肯定。经过多年的努力,第三版入选普通高等教育“十一五”国家级规划教材。这次出版的是第四版,第四版经全国职业教育教材审定委员会审定,又荣幸地被批准为“十二五”职业教育国家级规划教材。我们始终秉承以尽可能适应高职高专教育改革及教学实际需要为前提,力求内容上适合学生接受,给学生以最基本的力学知识,并为后继课程打下基础。

这些年来数控加工、工业机器人、遥控技术大量采用,编者长期在教学一线,深感教材面对以上变化必须跟进。因此本教材第四版有如下变化:精简弯曲一章中的部分内容及讲述方法,同时增加了第三篇构件的运动,但所增加的内容也力求易教、易学、易懂、有用。

所思所行是否符合当前高等职业教育的要求,还有待检验。我们仍然殷切希望听到广大师生及相关专业的工程技术人员的意见和建议,谨预致谢忱。

本教材由武汉职业技术学院全沅生、周家泽主编。这次修订的分工如下:全沅生负责绪论、第 2 章、第 7 章、第 9 章,周家泽负责第 1 章、第 5 章、第 6 章,广西机电职业技术学院李旭负责第 3 章、第 4 章、第 8 章,武汉职业技术学院奚旗文负责第 10 章、第 11 章、第 12 章;全沅生负责对全书进行统稿;李旭和奚旗文负责多媒体课件的制作。

编 者

2014 年 5 月

目 录

绪论	(1)
----------	-----

第 1 篇 构件的受力分析及静力平衡计算

第 1 章 静力学的基本概念与受力图	(2)
1.1 静力学的基本概念	(2)
1.2 力的基本性质	(3)
1.3 约束与约束反作用力	(5)
1.4 物体的受力分析及受力图	(8)
习题 1	(10)
综合训练 1	(12)
第 2 章 平面力系的平衡	(13)
2.1 平面汇交力系的合成与平衡	(13)
2.2 力矩、力偶及平面力偶系的平衡	(20)
2.3 平面任意力系的平衡	(26)
2.4 物体系统的平衡	(34)
2.5 考虑摩擦时的平衡问题	(36)
习题 2	(42)
综合训练 2	(49)
第 3 章 空间力系的平衡	(51)
3.1 力在空间直角坐标轴上的投影	(51)
3.2 力对轴的矩	(53)
3.3 空间力系的平衡条件及平衡计算	(54)
3.4 空间力系问题的平面解法	(57)
3.5 物体重心和平面图形形心	(59)
习题 3	(63)
综合训练 3	(66)

第 2 篇 杆件的基本变形及承载能力计算

第 4 章 拉伸与压缩	(68)
4.1 拉伸与压缩的概念	(68)

4.2 拉(压)杆的内力与截面法	(68)
4.3 拉(压)杆的应力	(70)
4.4 拉(压)杆的强度计算	(73)
4.5 拉(压)杆的变形计算	(76)
4.6 材料在拉伸或压缩时的力学性能	(78)
4.7 许用应力与安全系数	(83)
4.8 压杆的稳定	(84)
习题 4	(89)
综合训练 4	(93)
第 5 章 剪切和挤压	(94)
5.1 工程中的连接件	(94)
5.2 剪切和挤压的实用计算	(95)
5.3 计算实例	(97)
习题 5	(100)
综合训练 5	(102)
第 6 章 圆轴的扭转	(103)
6.1 扭转的概念	(103)
6.2 扭矩和扭矩图	(103)
6.3 扭转时的应力与强度计算	(106)
6.4 扭转变形与刚度条件	(110)
习题 6	(110)
综合训练 6	(112)
第 7 章 弯曲	(113)
7.1 弯曲的概念	(113)
7.2 梁的内力及内力图	(114)
7.3 弯曲正应力	(124)
7.4 弯曲正应力强度条件及应用	(128)
7.5 弯曲切应力	(132)
7.6 提高梁的抗弯能力的主要措施	(135)
7.7 梁的变形与刚度条件	(137)
习题 7	(142)
综合训练 7	(146)
第 8 章 组合变形	(147)
8.1 组合变形的概念	(147)
8.2 弯曲与拉伸(压缩)组合变形的强度计算	(147)
8.3 圆轴弯曲与扭转组合变形的强度计算	(150)
习题 8	(157)
综合训练 8	(158)

第 3 篇 构件的运动

第 9 章 点的运动	(159)
9.1 自然坐标法	(159)
9.2 直角坐标法	(163)
习题 9	(165)
第 10 章 构件的基本运动	(166)
10.1 构件的平行移动	(166)
10.2 构件的定轴转动	(167)
10.3 转动构件上各点的速度和加速度	(168)
习题 10	(170)
第 11 章 点的合成运动	(171)
11.1 相对运动、绝对运动和牵连运动	(171)
11.2 速度合成定理	(172)
习题 11	(173)
第 12 章 构件的平面运动	(175)
12.1 平面运动概念	(175)
12.2 平面运动分解为平动和转动	(176)
12.3 平面图形上各点的速度	(176)
习题 12	(180)
部分习题参考答案	(182)
参考文献	(185)
附录 型钢截面尺寸、截面面积、理论重量及截面特性(GB/T 706—2008)	
.....	(186)

绪 论

1. 工程力学的任务和内容

在工农业生产、国防装备、航空航天等领域中,广泛地使用着各种机器、机械与工程结构,如发动机、机床、交通工具、建筑机械、港口机械以及厂房、桥梁、火箭发射塔等。

组成这些机器、机械和工程结构的基本单元称为构件,如轴、杆、绳等。在实际工作中,构件都会受到力的作用。工程力学就是以构件为研究对象、运用力学的一般规律分析和求解构件的受力情况及平衡问题、建立构件安全工作的力学条件的一门学科。如起重机起吊重物时钢丝绳要承受多大的力,钢丝绳需要用什么材料制造,需要采用多大的直径等,都是需要用工程力学知识解决的问题。因此,本课程的任务是为工程中简单构件的设计计算提供力学的基本理论及计算方法。

本教材的主要内容包括构件(物体)平衡时的受力分析,未知力的求解以及构件安全可靠性的计算,构件的基本运动规律等。

2. 工程力学的学习方法

工程力学的理论性和应用性都很强,许多基本概念、基本原理都是在对工程实际进行抽象,再加上数学演绎的基础上建立的。学习工程力学,必须学会从形象思维到抽象思维的转变,并在这一过程中注意抓住问题的本质,即抓住对客观事物起决定作用的因素而撇开偶然或次要的因素。例如,忽略物体的形状及大小,建立“点”或“质点”的模型;忽略物体受力时的变形,建立“刚体”的模型;忽略物体表面的粗糙不平,建立无摩擦作用的光滑面的模型;等等。这样既能使所研究的问题大大简化,又能反映事物的本质,并达到足够的计算精度,满足工程实际的需要。

另一方面,由于工程力学的基本概念、基本原理对实践有指导作用,能解决工程实际问题,因此,在学习工程力学中还要特别注意联系实际,善于观察、思考各种力学现象,并认真对待工程计算问题,在解题过程中学会分析、判断、综合以及数据处理等,提高分析与解决实际问题的能力。

工程力学课程各部分内容之间有紧密的内在联系,在学习过程中要注意问题的提出、这些问题与已学过的知识的关系、解决这些问题的方法以及得出的结论及其适用情况等,尤其要学习基本的分析方法,掌握力学的基本理论和规律,以培养自己工程力学方面的素养,适应未来的工作。

3. 学习工程力学的目的

工程力学在工科类各专业的学习中起着重要作用。学习本课程的目的:

① 把工程力学的理论、规律及计算方法直接用于工程实际,解决工程中的力学问题,为社会、生产服务。

② 为有关的后继课程和工程实践打下必要的基础。

③ 培养学生的观察力、想象力及辩证思维能力,这对提高学生分析和解决问题的能力以及培养学生的创新能力具有重要作用。

第 1 篇 构件的受力分析及静力平衡计算

构件在工作时总会受到力的作用,研究构件静平衡(简称平衡)时的受力情况,称为静力分析。研究物体作用下的平衡规律的学科称为静力学。静力,指缓慢作用于物体并保持其大小不变的力。

本篇的主要内容是讨论物体上多个力的合成,即力系的简化,以及物体处于平衡时的条件,并求解未知力。

第 1 章 静力学的基本概念与受力图

本章主要讨论力、刚体及平衡的概念,力的基本性质——静力学公理,约束、约束分类及约束反作用力,物体的受力分析及受力图的画法等。

1.1 静力学的基本概念

1. 力

力的概念产生于人们的生产及生活实践。例如,推车前进时,人就要用“推力”;挑起重物时,人就会感到弯曲的扁担压在肩上的“压力”。

在力学中,用“力”来表示物体之间的相互机械作用。所谓力系,指的是作用于物体上的一群力。

力对物体的作用会产生两种效应:一种是外效应,指物体的运动状态发生变化,如由静止到运动、由快到慢、由直线运动到曲线运动等;一种是内效应,指物体的外形和尺寸发生改变。本章讨论的是力对物体的外效应的特殊情况——静止时的情况。

1) 力的三要素

由实践可知,当力的大小、方向和力作用于物体上的位置发生改变时,力对物体的外效应就会发生变化,即表现的效果不同。因此,称力的大小、方向和作用点为力的三要素。

2) 力的表示方法

力是一个既有大小又有方向的量,工程上称这种既有大小又有方向的量为矢量,如速度、加速度等都是矢量。只有大小而没有方向的量称为标量,如长度、时间、体积等都是标量。

力矢量可以用一个具有方向的线段——有向线段表示,如图 1-1 所示,有向线段 $\overrightarrow{AB}$ 是一个力矢量,其长度按一定比例表示力的大小,如图所示的力 $F=60\text{ N}$;其箭头所指的方向表示力的方向,图中力 F 的方向与水平线的夹角为 θ ; F 的始端 A 表示力的作用点。

本书用黑体字母表示矢量,用普通字母表示矢量的大小。矢量的大小称为矢量的模。

3) 力的单位

按照国际单位制的规定,力的单位为牛[顿],符号为 N。

2. 刚体

在自然界及工程结构中,任何物体(构件)受力后都会产生变形,如吊车的横梁,在载荷作用下,允许竖直向下的变形量不超过横梁跨度的 $1/700 \sim 1/400$ 。但在平衡计算时,微小的变形对平衡不起主要作用,为使问题简化,可把横梁看成不变形的构件。这种方法称为科学的抽象。这样便抓住了主要因素,并保证分析计算的结果达到足够的精确度。

在静力学中,称受力后不变形的物体为刚体。

3. 平衡

物体相对于地球静止或作匀速直线运动的状态称为平衡,如桌子放在地面上,电灯悬挂在天花板上,火车在平直的铁轨上匀速行驶等。平衡是相对的、有条件的、暂时的,是物体运动的一种特殊形式。

刚体在一个力系作用下处于平衡状态时,此力系就称为平衡力系。平衡力系中的各力互为平衡力。

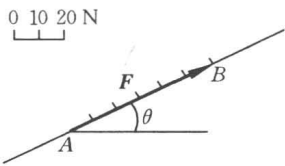


图 1-1

1.2 力的基本性质

性质 1(二力平衡公理) 作用于同一刚体上的两个力使刚体处于平衡状态的充分必要条件是,这两个力大小相等、方向相反,且作用在同一直线上(见图 1-2)。

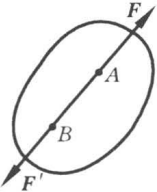


图 1-2

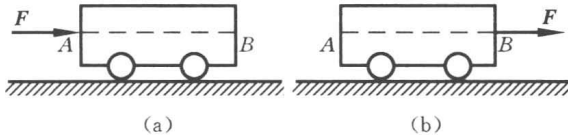


图 1-3

当一刚体仅受两个等值、反向、共线的力作用时,此刚体必然处于平衡状态。符合二力平衡条件的刚体称为二力构件或二力杆。

性质 2(加减平衡力系公理) 在已知力系上,加上或减去任一平衡力系,不会改变原力系对刚体的作用效果。

推论 1(力的可传性原理) 作用于刚体上的力,可沿其作用线在刚体内滑动而不改变此力对刚体的作用效果。图 1-3(a)、(b)所示分别为推车和拉车的情形,由实践可感受到,在 A 处以力 F 推车与在 B 处以等力 F 拉车,其效果相同。

通过力的作用点、按力的方向所画的直线称为力的作用线。因此,按力的可传性原理,在力的三要素中,力的作用点可以改成力的作用线。作用于刚体上的力的三要素是:力的大小、方向和作用线的位置。

必须注意,加上或减去平衡力系,或力沿其作用线滑移,都不会改变力对物体的外效应,但会改变力对物体的内效应。

性质 3(力的平行四边形公理) 作用于刚体上某点的两个力,可以用一个合力来代替。合力的作用点即在该点,合力的大小和方向由以这两个共点力为邻边所作的平行四边形的对角线来确定(见图 1-4(a))。

注意,合力 $\mathbf{F}_R$ 的终点是与这两力交点对应的顶点。

在图 1-4(a)中, $\overrightarrow{F_1} = \overrightarrow{AB}$, $\overrightarrow{F_2} = \overrightarrow{AD}$, 则 $\overrightarrow{F_R} = \overrightarrow{AC}$ 。

这种求合力的方法称为矢量加法,合力 $\mathbf{F}_R$ 等于原来两力矢量之和。矢量式为

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$$

称 $\square ABCD$ 为力的平行四边形,称 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 为合力 $\mathbf{F}_R$ 的分力。

也可以用力三角形法求合力。其方法是,先作其中一力(如 $\mathbf{F}_1$)矢量 $\overrightarrow{AB}$,过点 B 作与另一力(如 $\mathbf{F}_2$)矢量 $\overrightarrow{BC}$ ($\overrightarrow{BC}$ 与 $\mathbf{F}_2$ 大小相等,方向相同), $\overrightarrow{AC}$ 即是 $\overrightarrow{AB}$ 、 $\overrightarrow{BC}$ 的矢量和。此时,合力 $\mathbf{F}_R = \overrightarrow{AC}$,方向与 $\overrightarrow{AC}$ 相同,如图 1-4(b)所示。 $\triangle ABC$ 称为力的三角形。

利用 $\triangle ADC$ 也可以求得合力 $\mathbf{F}_R$, $\triangle ADC$ 也称为力的三角形。

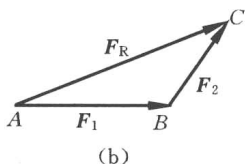
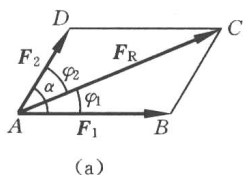


图 1-4

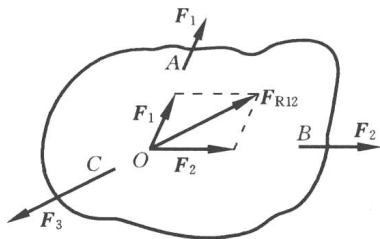


图 1-5

注意,力的三角形、力的平行四边形都是由矢量构成的。

推论 2(三力平衡汇交定理) 当刚体受同一平面内互相不平行的三个力作用而平衡时,此三力的作用线必交于一点。

证明 在图 1-5 中,设刚体上 A 、 B 、 C 三点处分别作用着三个力 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 、 $\mathbf{F}_3$ 。它们的作用线都在图示平面内,三个力互不平行,但三个力组成平衡力系(即刚体处于平衡状态)。

令 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 沿其作用线滑移,设两力的作用线交于点 O 。以滑移后的两力 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 为两邻边,以交点 O 为一顶点,作力的平行四边形,然后求出合力 $\mathbf{F}_{R12}$ 。此时,刚体在 $\mathbf{F}_{R12}$ 与 $\mathbf{F}_3$ 的作用下平衡。由二力平衡公理可知,此两力必在一直线上,故 $\mathbf{F}_3$ 的作用线必经过 $\mathbf{F}_{R12}$ 的作用点 O ,即三力交于一点。

性质 4(作用与反作用定律) 两个物体之间的作用力与反作用力,总是大小相等、方向相反、沿同一直线而分别作用在这两个物体上。

力是物体间的相互机械作用。当甲物体对乙物体施以作用力时,乙物体必然同时给甲物体以反作用力,它们必然同时出现、同时消失。如手拉弹簧秤时,手对弹簧秤有拉力,弹簧秤显示出力的大小,同时手也感到了弹簧秤的拉力,即弹簧秤给手以反作用力。

注意,作用力与反作用力不能互相抵消。它们不是一对平衡力,因为它们分别作用在两个物体上。

1.3 约束与约束反作用力

在机械及工程结构中,各构件都以一定的方式互相连接,形成一个承受外力的整体。如图1-6所示的悬臂吊车,横梁 AB 被铰链 A 和拉杆 BC 固定,拉杆 BC 由销钉 B 与铰链 C 固定,小车只能沿横梁 AB 运动。它们之间互相连接的方式不同,相互间的作用力也不同。

如果一个物体在空间不与任何其他物体接触,则这个物体可以在空间任意运动而不受限制,这个物体称为自由体,如飞行中的鸟等。但在自然界与工程中,大量的物体并不是孤立存在的,而总是和周围物体互相联系与相互制约的。对其中任一物体而言,它在某些方向的运动若受到周围物体的限制,就不能沿这些方向运动,这种阻碍物体运动的周围物体称为约束。

约束限制物体的某些运动,也改变了物体的运动状态,因此,必然对被约束的物体有作用力,这种力称为约束对物体的反作用力,简称约束反力或反力。约束反力的方向总与物体的运动趋势相反。

物体间的约束形式多种多样。在工程上,把一些常见的约束进行简化、分类,使之成为力学模型。下面介绍三种约束及其反力的确定。

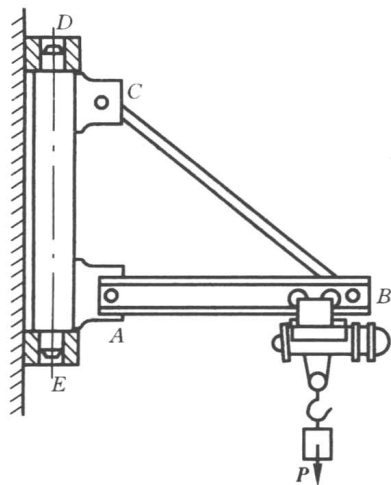


图 1-6

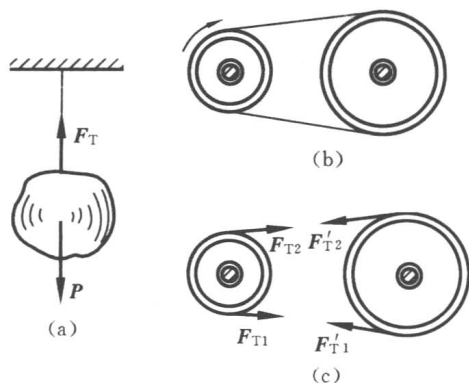


图 1-7

1. 柔性约束

属于柔性约束的有绳、带、链等,这类约束只能承受拉力。

由图1-7(a)可见,柔性约束对物体的反力只能是拉力,其作用点在约束与被约束物体的接触处,约束反力的方向沿约束中心线背离被约束物体。约束反力用 F_T 表示。图1-7(b)所示为带传动,带对两个带轮的约束反力都是拉力,沿带与轮缘的切线方向,背离带轮(见图1-7(c))。

2. 光滑接触面约束

光滑接触面约束常见于车轮与铁轨间的接触、齿轮间的啮合、轴承中滚珠与滚道间的接触等等。不计摩擦、接触表面光滑或润滑良好的约束,均属这类约束。图1-8(a)、(b)、(c)所示的是光滑接触面约束的几种力学模型。

以图1-8(a)所示的为例,当轮子在重力作用下有向下运动趋势时,支承面即有阻止其运动的反力 F_n ,此力沿支承面的公法线方向向上,指向物体的重心。

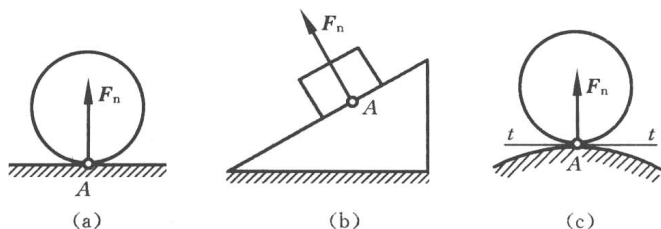


图 1-8

如支承面倾斜,重物会沿支承面向下滑动,但支承面仍然阻止车轮作垂直于支承面的运动,因此仍然有反力 F_n 作用,如图 1-8(b)所示。

因此,不论是平面还是曲面,这种约束都不能限制物体沿接触面的公切线(如图 1-8(c)中的 $t-t$)方向运动,而只能限制物体沿接触面的公法线方向向支承面运动。因此,光滑面的约束反力是沿接触处的法线方向并指向被约束物体的。这种反力通常称为法向反力,用 F_n 表示。约束反力也用字母 F 加上表示力的作用点和方向的下标字母表示,例如, F_{Ax} 表示在点 A 处 x 方向上的反力。

3. 光滑铰链约束

光滑铰链约束的实际应用如门窗上的活页、悬臂起重机的某些部位(如图 1-6(a)中的 A、B、C 等处)的连接、桥梁的支座等。

这类约束的力学模型由三部分组成(见图 1-9(a)):销钉、开有销钉孔的构件 1 和构件 2。销钉插入对接的构件 1 和构件 2 的孔中,形成这类约束(见图 1-9(b))。此时,两个构件间的相对运动只能是绕销钉轴线的转动,它们之间没有其他的相对运动。铰链连接的简图如图 1-9(c)所示。

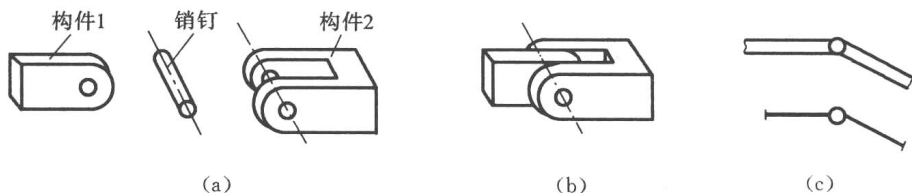


图 1-9

铰链连接的形式可以分成活动铰链支座和固定铰链支座两种。

1) 活动铰链支座

活动铰链支座约束多见于桥梁、屋架及某些轴承,如图 1-10(a)所示。这类约束支座有数个圆柱形或球形的滚动体,因此不能限制物体沿支承面的切线方向运动,故这类约束的约束反力 F_n 与支承面垂直,并指向销钉中心,如图 1-10(b)所示。

2) 固定铰链支座

固定铰链支座约束的支座是固定不动的,其构造如图 1-11(a)所示,图(b)所示的为其连接简图。销钉把支座和构件连接起来,构件可绕销钉转动,但不能在垂直于销钉轴线的平面内移动。由于圆孔与销钉是光滑接触,因此只要能确定接触点或接触线,就可以根据光滑面约束的性质,确定约束反力的方向。

随着构件受力情况的不同,接触点或接触线可以在圆周上的任何一处,因此,约束反力的方向不能预先确定。但不管接触点在何处,固定铰链支座的约束反力必垂直于销钉轴线,并通

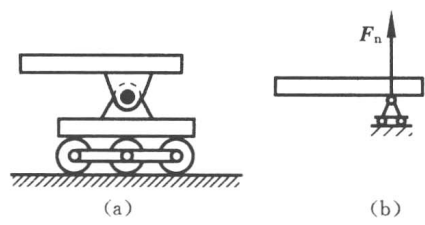


图 1-10

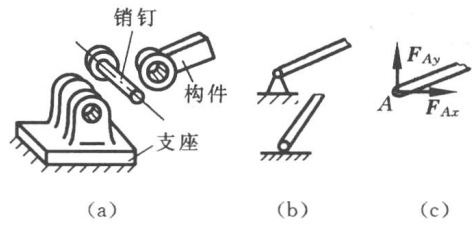


图 1-11

过铰链中心。对于大小和方向都不能预先确定的反力,常用两个互相垂直的分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 来表示。固定铰链支座约束的简图及约束反力的表示方法如图 1-11(c)所示。

常见的约束及约束反力如表 1-1 所示。

表 1-1 常见的约束及约束反力

约 束 类 型	简 图	约 束 反 力
柔性约束		
光滑接触面约束		
活动铰链支座、链杆		
圆柱铰链、固定铰链支座		
固定端约束		
向心轴承		

续表

约 束 类 型	简 图	约 束 反 力
推力轴承		
球形铰链		

1.4 物体的受力分析及受力图

要对工程构件进行受力平衡计算,首先要对所确定的构件——研究对象进行受力分析。进行受力分析时,必须分析研究对象所受的主动力及与周围物体的联系——约束,然后另外画出研究对象的基本轮廓(这个过程称为取分离体),再在分离体上画出主动力及相应部位上的约束反力。这种图形便称为受力图。

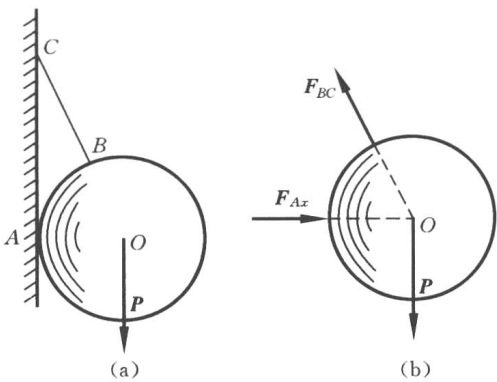


图 1-12

例 1-1 如图 1-12(a)所示,在墙上用绳 BC 连接一小球,小球靠在光滑的墙面上。画出球的受力图。

解 以球为研究对象。球所受的重力 P 竖直向下,使球有向下运动的趋势,这个力称为主动力。分析球所受的约束:绳 BC 为柔性约束、墙面对球为光滑面约束。取球为分离体,在球面上点 B 画出绳对球的约束反力 F_{BC} ,它沿绳索背离球心 O ;在球面上点 A 画出墙面对球的反力 F_{Ax} 。按照三力平衡汇交定理,此三力必交于球心 O (见图 1-12(b))。

例 1-2 如图 1-13(a)所示,水平梁 AB 在 C 处受力 F 的作用,A 处为固定铰链支座,B 处为活动铰链支座。画出梁 AB 的受力图。

解 以梁 AB 为研究对象。分析梁的受力情况:受主动力 F 作用,梁有向下运动的趋势;A 处为固定铰链支座,可假设有两个垂直相交的反力 F_{Ax} 、 F_{Ay} ;B 处为活动铰链支座,有一个反力 F_B ,垂直于支承面向上(见图 1-13(b))。

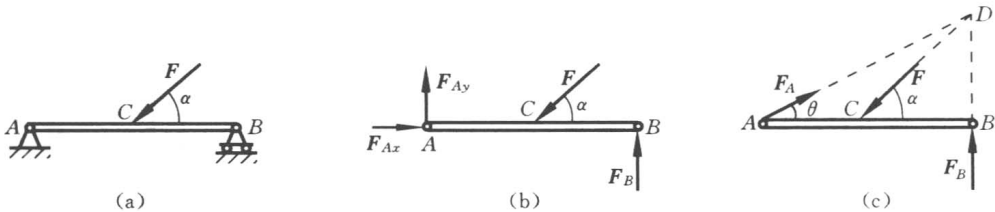


图 1-13

又因为 F_{Ax} 、 F_{Ay} 可以用合力表示, 梁 AB 即处在三力作用下而平衡。 F 与 F_B 两力的作用线已知, 分别延长后交于点 D , 则反力 F_A 的作用线必过点 D , 其方向为右上方(见图1-13(c))。

例 1-3 在图 1-14(a)所示的三角支架中, A 、 C 处为固定铰链, 销钉 B 上挂有重量为 P 的重物。画出销钉 B 的受力图。

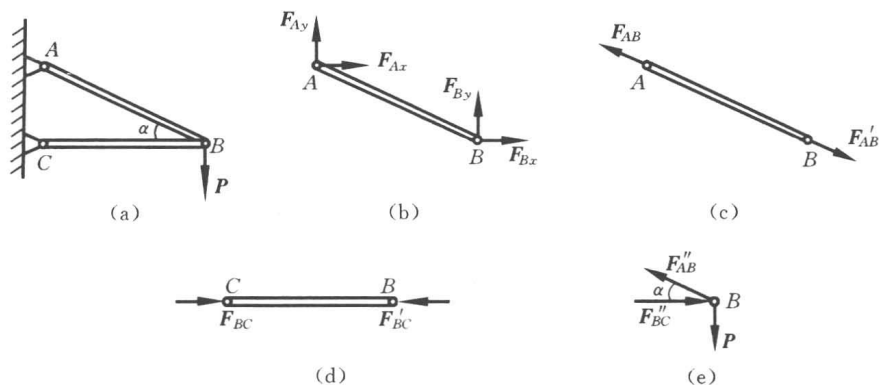


图 1-14

解 分析杆 AB 和杆 BC 。杆 AB 在 A 、 B 两处受铰链约束, 可假设在 A 、 B 处均分别有两个反力: F_{Ax} 、 F_{Ay} , F_{Bx} 、 F_{By} , 如图 1-14(b)所示。但杆 AB 处于平衡, 即 A 、 B 两点的反力应该大小相等、方向相反, 且处在同一条直线即杆的轴线上(见图 1-14(c))。由此分析, 杆 AB 为二力杆。同样, 杆 BC 也是二力杆(见图 1-14(d))。

考察销钉 B , 其上挂有重物, 再根据约束反力的方向应与物体运动趋势相反的规律, 可画出销钉 B 的受力图(见图 1-14(e))。

这种由约束将两个构件组成一个整体的工程结构称为物体系统, 简称物系。物系由两个以上的构件组成, 构件间由约束联系, 组成一个能承受外力的构件系统。

例 1-4 三铰拱桥如图 1-15(a)所示, 由左、右两半拱铰接而成。在半拱 AC 上作用有力 F 。画出半拱 AC 、 BC 的受力图(不计半拱自重)。

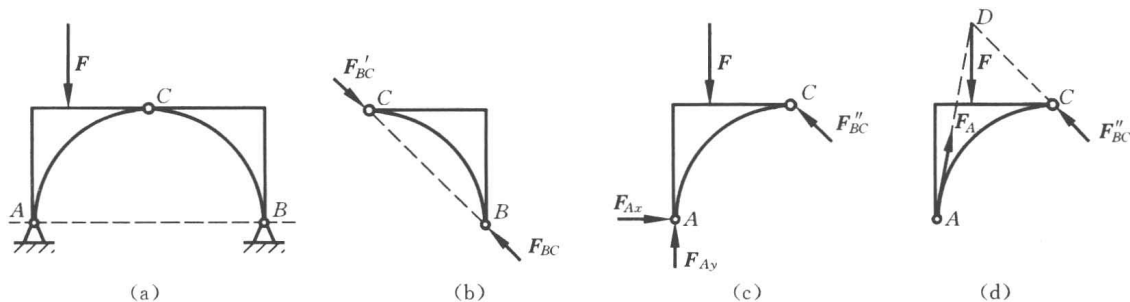


图 1-15

解 整体观察拱桥, 两半拱 AC 、 BC 由铰链 C 连接, 组成物系。支座 A 、 B 为外部约束。

先以右半拱 BC 为研究对象。半拱 BC 仅在 B 、 C 两处受到铰链的约束反力, 它为二力构件, 反力方向可以任意假设。其受力图如图 1-15(b)所示。

再以左半拱 AC 为研究对象, 画出其分离体及主动力 F 。 C 处有右半拱的反作用力 F''_{BC} , 它与 F'_{BC} 等值、反向、共线, A 处按约束性质可画出两正交反力 F_{Ax} 、 F_{Ay} , 如图 1-15(c)所示。

进一步分析,此时左半拱 AC 在 F''_{BC} 、 F 及支座 A 的反力 F_A 的共同作用下处于平衡,故三力应相交于一点。由 F 和 F''_{BC} 的作用线可确定交点 D ,故支座 A 的反力(即 F_{Ax} 、 F_{Ay} 的合力)的作用线必过点 D ,连接 AD ,即为支座 A 的反力的作用线。由左半拱在力 F 作用下的运动趋势,可画出反力 F_A 的方向,如图 1-15(d)所示。

例 1-5 图 1-16(a)所示为压榨机简图。它由杠杆 ABC 、连杆 CD 和滑块 D 组成。不计各构件的自重及各处摩擦,试画出各构件的受力图。

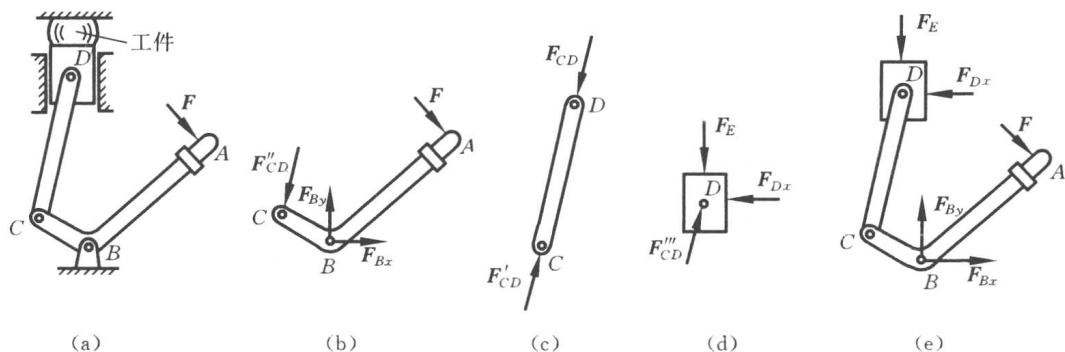


图 1-16

解 分析压榨机的工作原理:当杠杆的手柄 A 处受力 F 作用时,杠杆可绕点 B 转动,推动连杆 CD 压紧工件。该机构受主动力 F 作用; B 处为固定铰链支座; C 、 D 均为销钉,故连杆 CD 为二力杆;滑块 D 与滑槽、滑块 D 与工件之间均为光滑接触。

以杠杆 ABC 为研究对象,解除杆 CD 及支座 B 对它的约束,画上主动力 F 、约束反力 F_{Bx} 、 F_{By} 及杆 CD 的反力 F''_{CD} ,如图 1-16(b)所示(此杠杆在三力作用下平衡,请读者画出三力汇交情形)。

连杆 CD 为二力杆,可画出其受力情形,如图 1-16(c)所示。滑块 D 在连杆 CD 的作用力、滑槽及工件的反力作用下平衡,其受力图如图 1-16(d)所示。

在对物体系统进行受力分析时,系统以外的物体对物体系统的作用力称为外力,如图 1-16(e)中的力 F 、 F_{Bx} 、 F_{By} 、 F_E 、 F_{Dx} 等。系统内各物体间的相互作用力称为内力。画系统的受力图时,只画所受的外力,不画内力,如图 1-16(e)所示。但当研究对象不同时,外力与内力的含义会有所变化。如果把系统拆开分析,则对某一部分或某一物体来说,原来的内力就成为外力了,如图 1-16 所示的力 F''_{CD} 、 F'_{CD} 。

根据以上各例题,可归纳出对物体进行受力分析和画受力图的步骤及注意事项如下:

- ① 对研究对象所受的约束进行分析,确定其所受约束的性质。
- ② 去掉相应约束,画出研究对象,得到分离体。分离体的形状和方位应与研究对象一致。
- ③ 在分离体上,画上主动力,并按原来约束的位置及性质,画出约束反力。
- ④ 约束反力的方向应根据约束性质画出,不能凭主观想象画,不能多画,也不能漏画。
- ⑤ 画物系受力图时,物体系统内各物体的相互作用力(即内力)不必画出。画单个物体受力图时,注意各物体间的作用力与反作用力应等值、反向、共线,用相同力的符号再加上撇号表示。

习 题 1

在下列各题中,凡未标出自重的物体,自重不计。各接触处均为光滑接触。