

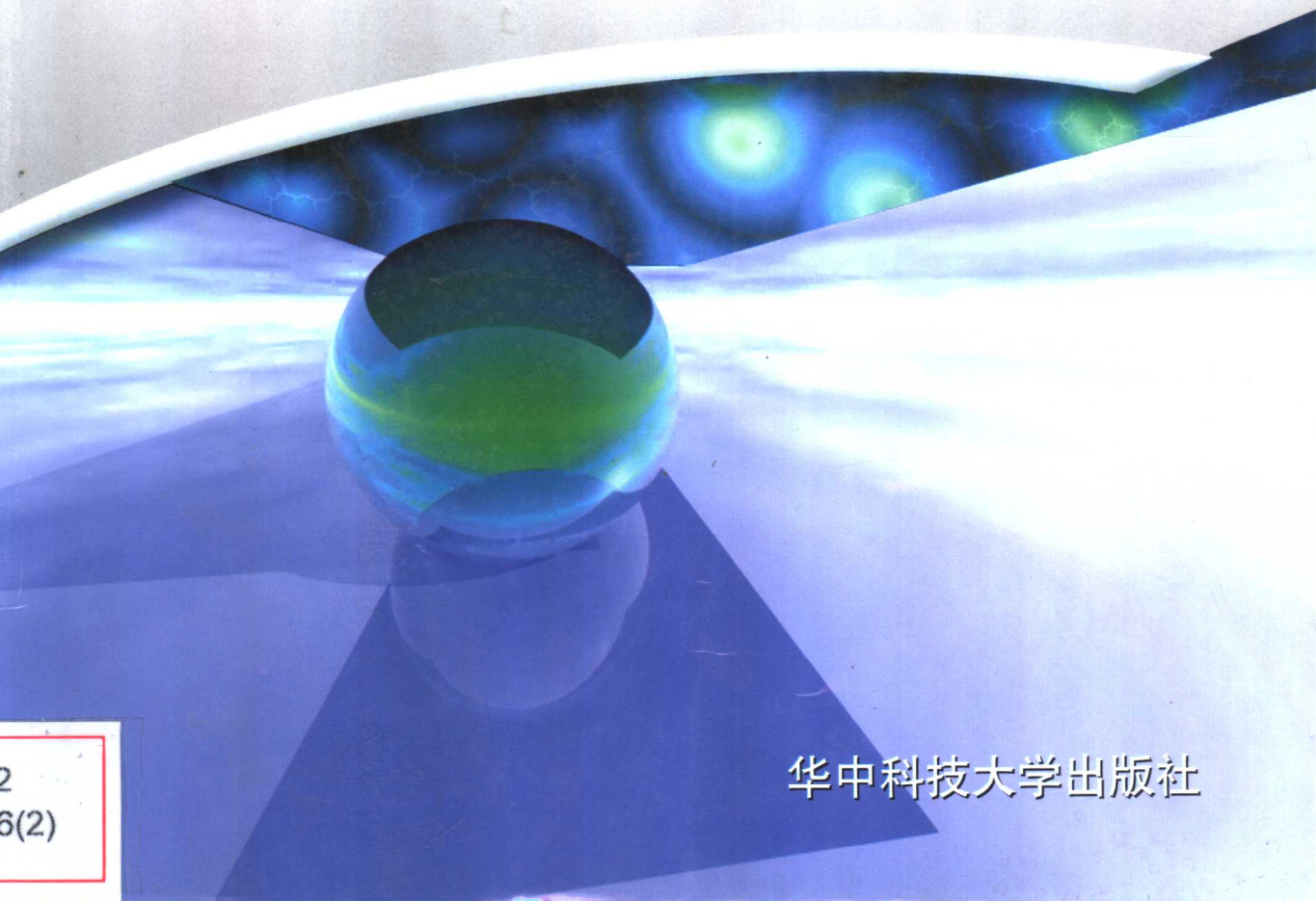
高职高专机电类系列教材



工程力学

(第二版)

● 全沅生 主编



华中科技大学出版社

高职高专机电类系列教材

GONGCHENG LIXUE

工 程 力 学

(第二版)

主 编	全沅生
副主编	胡学知
主 审	周家泽

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程力学(第二版)/全沅生 主编
武汉:华中科技大学出版社,2004年7月
ISBN 7-5609-2154-X

I.工…

II.①全… ②胡…

III.工程力学-高等学校-教材

IV.TB12

工程力学(第二版)

全沅生 主编

责任编辑:徐正达

封面设计:潘群

责任校对:朱霞

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山

邮编:430074

电话:(027)87557437

录排:华中科技大学出版社照排室

印刷:华中科技大学印刷厂

开本:787×1092 1/16

印张:11.25

字数:258 000

版次:2004年7月第2版

印次:2004年7月第3次印刷

定价:15.80元

ISBN 7-5609-2154-X/TB·51

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书根据近几年高等职业院校机械类及近机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等。每章后附有丰富的习题,便于教师教学及学生自学。

本书适合作为机械类与近机类高等职业院校、高等专科学校(包括成人高校、重点中等专科学校)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。

序 言

在千年钟声敲响、人类跨入新世纪之际,我们欣喜地看到,高等教育的模式正在从单一化向多样化、柔性化、社会化和现代化方向发展;正是这一发展,使得高等教育展现出蓬勃的生命力。真可谓“忽如一夜春风来,千树万树梨花开”。

以信息科技为重要标志的高新科技革命的飞速发展,正在改变着世界的面貌和人类的生活方式,推动着知识经济的到来。这就给高等教育改革的探索和研究提出了更高的要求。世界经济发展中最激烈的竞争,将不仅表现在经济和生产领域,而且更表现在培养人才的教育领域,特别是高等教育领域。因为在当今,经济的竞争,科技的竞争,一切的竞争,归根结底是教育的竞争,是人才的竞争,所以,江泽民同志指出:高等教育是教育的龙头。随着高新科技同机械行业的结合,现代机电产品不再是单纯的机械构件,而是由机械、电子、计算机等有机集成的所谓“机电信息一体化”产品。因此,现代机械制造越来越多地体现着知识经济的特征,“以人为本”的新观念正在取代“以技术为本”、“以先进设备为本”的传统观念。在这种情况下,社会对机械类高素质人才的需求也随之变化,人才的创新能力、实践能力需要大力加强,知识结构需要向通用、广泛、适应性强的方向转化。

现代机电工程就是机械工程技术与信息科技等现代科技的紧密结合,然而,既是机电专业而不是别的专业,自己专业的基础、自己专业的实践是丝毫不能忽视的。“九层之台,起于垒土”,“千里之行,始于足下”,离开了基础,离开了实践,一切将会成为空洞,机电专业就更是如此。

为顺应高等教育改革的潮流,华中科技大学出版社继推出“21世纪高等学校机械设计制造及其自动化专业系列教材”之后,又推出了这套“高职高专机电类系列教材”。两套教材各有侧重,相得益彰,不同的学校可以根据自己的特点和教学要求选择不同的教材。

这套系列教材的特色在于:体现了人才培养的层次性、知识结构的交融性和教学内容的实践性。它降低了专业重心,拓宽了学科基础,对传统的课程内容进行了整合,加强各方面知识的融会贯通。特别值得一提的是,它强调实践能力的培养和基本技能的训练,以培养综合型、实用型人才为主要目标。

这套教材是20多所高校长期从事教学和教学改革的教师用辛勤的汗水编写而成的,特别是一些高等职业技术学院、高等专科学校的参与,给这套教材增添

了更多的色彩。教材的作者认真贯彻了“教育要面向现代化,面向世界,面向未来”的战略思想,倾注了他们教学改革中的大量心血,反映了他们丰富的教学经验。“衷心藏之,何日忘之?”我们对参加这套教材编写的老师们和积极支持这套教材出版的学校表示衷心的感谢。我们相信,这套系列教材对各学校的教学改革、机电工程类高质量人才的培养能够起到积极的促进作用。

人非圣贤,孰能无过?书非白璧,孰能无瑕?由于编者经验不足,时间有限,形势的发展也在不断提出新的要求,因此,这套系列教材还需在使用中不断修改和完善。“嚶其鸣矣,求其友声。”我们期望广大读者不吝赐教。

江泽民同志指出:“创新是一个民族进步的灵魂,是国家兴旺发达的不竭动力。”高等教育的改革,也需要不断地创新,不断地前进。一声号角撼大地,千红万紫进军来。21世纪教育的春天,已经来临。

全国高校机械工程类专业教学指导委员会主任委员

中国科学院院士

华中科技大学教授

杨叔子

2001年3月10日

前 言

本教材适合高等职业技术学院和高等专科学校机电类专业学生使用,适用学时数为70。“必需”与“够用”是本教材编写的原则。

本教材的内容包括构件的受力分析及受力图、平面力系和空间力系的平衡计算、拉伸与压缩以及压杆的稳定校核、剪切与挤压、扭转、弯曲、组合变形、几种基本变形的计算方法简介等,目的是培养学生静力分析、平衡计算和简单工程构件的设计能力,以及辩证思维和处理问题的能力,并为后继课程的学习准备必要的知识。

本教材自2002年2月出版以来,已在多所学校使用。从所征求到的反馈意见看来,本教材的内容比较精练,在深度和广度的把握上基本符合当前高职高专教学的实际情况。对于本教材的不足之处,我们在适当拓宽适用范围又尽量控制篇幅的基础上做了如下改动:增加了压杆的稳定校核,拓展了有关摩擦的内容,调整了拉伸和压缩的内容和例题,对弯曲一章的内容和例题、习题做了较大变动(如把三角载荷改为均布载荷或集中载荷等)。同时,对各章的例题、习题的难易程度和编排顺序进行了审查和适当调整。教材中的各种符号也重新进行了规范和统一。通过本次修订,相信本教材能更方便学生循序渐进地学习,也更能满足教师教学的需要。但客观效果如何,还有待检验,我们期待着读者批评指正。

本教材这次修订的分工如下:武汉职业技术学院胡学知负责第2章、第4章、第5章,广西机电职业技术学院李旭负责第3章、第6章、第8章,武汉职业技术学院全沅生负责绪论、第1章、第7章并对全书进行统稿。主审为武汉职业技术学院周家泽副教授。

编 者

2004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 静力学基本概念与受力图	(2)
1.1 静力学基本概念	(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	(7)
习题	(9)
第2章 平面力系的平衡	(12)
2.1 平面汇交力系的合成与平衡	(12)
2.2 力矩及平面力偶系的平衡	(19)
2.3 平面任意力系的平衡	(25)
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	(42)
第3章 空间力系的平衡	(50)
3.1 力在空间直角坐标轴上的投影	(50)
3.2 力对轴的矩	(52)
3.3 空间力系的平衡条件及平衡计算	(53)
3.4 空间力系问题的平面解法	(56)
3.5 物体重心和平面图形形心	(58)
习题	(63)

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	(67)
4.1 拉伸与压缩概念	(67)
4.2 拉(压)杆的内力与截面法	(67)
4.3 拉(压)杆的应力	(69)
4.4 拉(压)杆的强度计算	(72)
4.5 拉(压)杆的变形计算	(75)

4.6 材料在拉伸或压缩时的力学性能	(77)
4.7 许用应力与安全系数	(82)
4.8 压杆稳定	(83)
习题	(88)
第5章 剪切和挤压	(93)
5.1 剪切的概念和实例	(93)
5.2 剪切和挤压的实用计算	(94)
5.3 计算实例	(96)
习题	(99)
第6章 圆轴的扭转	(102)
6.1 扭转的概念	(102)
6.2 扭矩和扭矩图	(103)
6.3 扭转时的应力与强度计算	(105)
6.4 扭转变形	(108)
习题	(109)
第7章 弯曲	(111)
7.1 弯曲的概念	(111)
7.2 梁的内力及内力图	(112)
7.3 剪力、弯矩与分布载荷集度之间的微分关系	(124)
7.4 用叠加法作梁的剪力图和弯矩图	(125)
7.5 弯曲正应力	(126)
7.6 弯曲正应力强度条件及应用	(132)
7.7 弯曲切应力	(136)
7.8 提高梁的弯曲强度的主要措施	(139)
7.9 梁的变形与刚度条件	(141)
习题	(146)
第8章 组合变形	(151)
8.1 组合变形的概念	(151)
8.2 弯曲与拉伸(压缩)组合变形的强度计算	(151)
8.3 圆轴弯曲与扭转组合变形的强度计算	(154)
习题	(160)
附录	(163)
习题答案	(168)
参考书目	(171)

绪 论

1. 工程力学的任务和内容

在国民经济的各个领域,如工农业生产、国防装备及航空航天技术中,广泛地使用着各种机器、机械与工程结构,如各种发动机、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,如转轴、杆、钢绳等。在实际工作中,各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绳要承受多大的力、需要什么材料、采用多大的直径等,都是工程力学要解决的问题。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,求解未知力以及构件的安全可靠性计算。

2. 工程力学的学习方法

工程力学的理论性和应用性很强,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而建立的。因此,学习工程力学,首先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,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。

本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,以适应未来工作的需要。

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。学习本课程的目的有:

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为有关的后继课程打下必要的基础。

③培养学生的观察力、想像力及辩证思维能力,这对于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,也称为静力学。静力,指缓慢作用于物体并保持其数值不变的力。

本篇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。

1.1 静力学基本概念

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“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

由实践知,当力的大小、方向和力作用于物体上的位置改变时,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

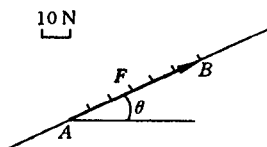


图 1-1

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, 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

在自然界及工程中, 任何物体(构件)受力后都会产生变形, 如吊车的横梁, 在最大载荷作用下, 允许竖直向下的变形不超过横梁跨度的 $1/400 \sim 1/700$ 。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, 电灯悬挂在天花板下, 火车在平直的铁轨上作匀速行驶等。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。

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)。

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。

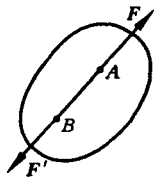


图 1-2

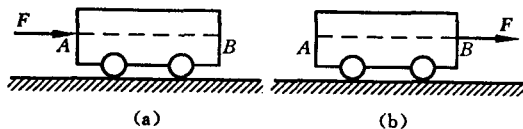


图 1-3

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。由实践可感受到, 如图1-3所示, 在 A 处以力 F 推车与在 B 处以等力拉车, 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 F_R 的终点是与这两力交点对应的顶点。

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

这种求合力的方法称为矢量加法,合力 F_R 等于原来两力矢量之和。矢量式为

$$F_R = F_1 + F_2$$

称 $\square ABCD$ 为力平行四边形,称 F_1 、 F_2 为合力 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 F_1)矢量 $\overrightarrow{AB}$,过B点作与另一力(如 F_2)的大小相等、方向相同且平行的矢量 $\overrightarrow{BC}$, $\overrightarrow{AC}$ 即是 $\overrightarrow{AB}$ 、 $\overrightarrow{BC}$ 的矢量和。此时,合力 $F_R = \overrightarrow{AC}$,方向与 $\overrightarrow{AC}$ 相同,如图1-4(b)所示, $\triangle ABC$ 或 $\triangle ADC$ 称为力三角形。

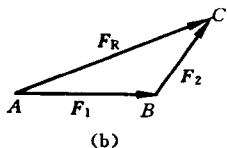
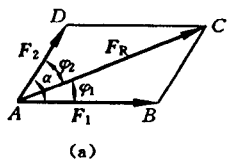


图 1-4

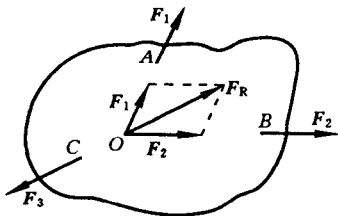


图 1-5

注意,力三角形、力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 F_1 、 F_2 、 F_3 。它们的作用线都在图示平面内,三个力互不平行,但三力组成平衡力系(即刚体处于平衡状态)。

令 F_1 、 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 F_1 、 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 F_R 。此时,刚体在 F_R 与 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 F_3 的作用线必经过 F_R 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中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,称这个物体为自由体,如飞行中的飞机等。但在自然界与工程中,大量的物体并不是孤立存在的,而总是和周围物体的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了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。下面先介绍3种约束及其反力的确定。

1. 柔性约束

属于柔性约束的有绳、带、链条等,这类约束只能承受拉力。

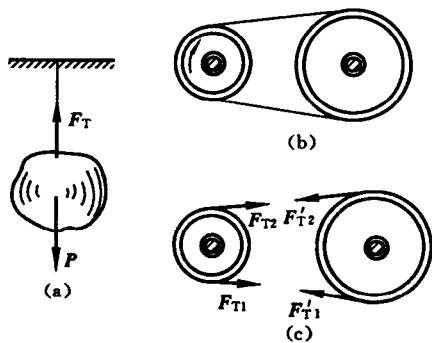


图1-7

由图1-7(a)可见,柔性约束对物体的反力也只能是拉力,其作用点在约束与被约束物体相接触处,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(b)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。

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(c)所示。

因此,不论是平面或曲面,这种约束都不能限制物体沿接触面的公切线(如图1-8(a)中为

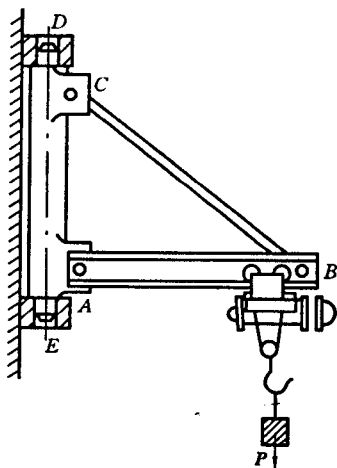


图1-6

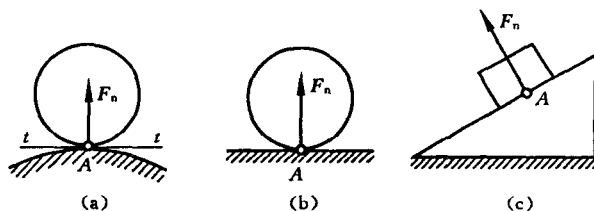


图 1-8

$t-t$ 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 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 C 、开有销钉孔的构件 A 、 B 。销钉 C 插入对接的 A 、 B 孔中,形成这类约束。此时,构件 A 、 B 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。

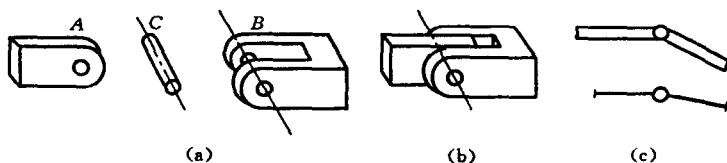


图 1-9

这类约束又可以分成两类形式。

(1) 活动铰链支座

活动铰链支座约束多见于桥梁、层架及某些轴承,如图 1-10(a)所示。这类约束支座有数个圆柱或球形的滚动物体,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。

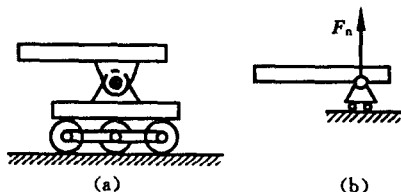


图 1-10

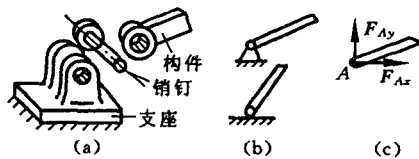


图 1-11

(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)所示的为其构造简图。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,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整个圆周上的任何一处,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。

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。

例1-1 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,在球的点B画出绳对球的约束反力 F_{BC} ,它沿绳索背离球心 O ;在点A画墙面对球的反力 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))。

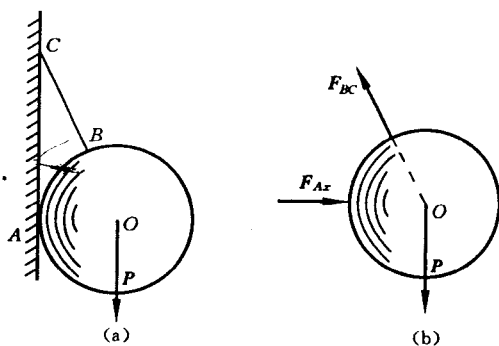


图1-12

例1-2 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))。

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。而 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))。

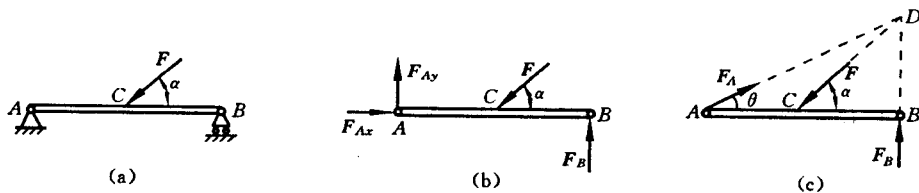


图1-13

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

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

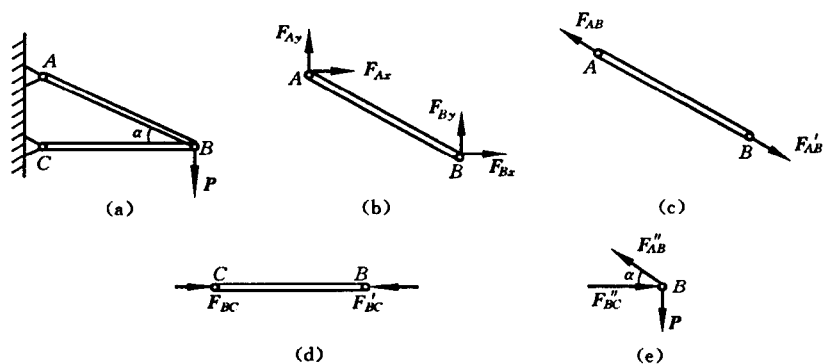


图 1-14

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 两点的反力应该数值相等、方向相反、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。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反向的规律，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。物系应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(不计半拱重量)。

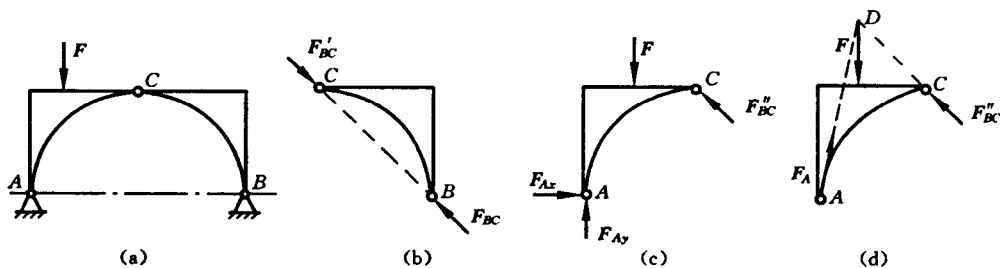


图 1-15

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 D 点，连 AD，即为 A 处反力的作用线。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。