



新世纪

高职高专建筑装饰技术类系列教材

工程力学与建筑结构

GONG CHENG LI XUE YU JIAN ZHU JIE GOU

张良成 主编

邱秀梅 副主编
袁益民



科学出版社



清华大学出版社

TSINGHUA UNIVERSITY PRESS

工程力学与建筑工程

工程力学与建筑工程

第三版



清华大学出版社

76311-43

233

新世纪高职高专建筑装饰技术类系列教材

工程力学与建筑结构

张良成 主 编

邱秀梅 副主编

袁益民

科 学 出 版 社

2002

内 容 简 介

本书是根据高职高专建筑装饰技术专业的教学需要和要求编写的。全书分两篇,共13章。第一篇为工程力学,主要内容包括:静力学基本知识、平面力系、拉压和受弯构件及压杆稳定。第二篇为建筑结构,主要内容包括:建筑结构材料、建筑结构设计方法、受弯和轴向受力构件的结构计算及构造要求、钢筋混凝土梁板结构、多高层钢筋混凝土结构、砌体结构和钢结构的选型、计算和设计等。

本书可作为大专院校建筑学、城市规划等相关专业及成人教育的教学用书,也可作为有关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学与建筑结构/张良成主编. —北京:科学出版社,2002

(新世纪高职高专建筑装饰技术类系列教材)

ISBN 7-03-010231-2

I. 工… I. 张… II. 建筑结构-结构力学-高等学校:技术学校-教材
N. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 033566 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002年9月第 一 版 开本:720×1000 B5

2002年9月第一次印刷 印张:25

印数:1—4 000 字数:485 000

定价:35.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

本书是高职高专面向 21 世纪教学内容和课程体系改革的成果。全书力求体现高职高专教育培养高等技术应用性人才的特点,着力贯彻“以应用为目的”、“以必需够用为度”的原则。编写过程中既注意学习、吸收有关院校近期教学内容和课程体系改革的成果,又尽量反映编者多年来教学所积累的经验与体会,精选内容、突出重点,公式推导从简,并对若干内容进行了适当的调整,既简练了内容,又保证了新体系的科学性和系统性。在每章之前予以概述,每章之后附有思考题和部分习题。

本书按照国家最新规范编写,各种量的符号采用《量和单位》(GB3100~3102-93)中的有关规定。

本书编写分工为:山东水利职业技术学院袁益民(第一至第三章);山东农业大学张良成(第四、五章),王平(第七章),邱秀梅(第八章);南阳理工学院张健文(第六、十三章),熊辉霞(第十章);山东日照职业技术学院胡明文(第九章);河北工程技术高等专科学校王国菊(第十一、十二章)。全书由山东农业大学崔千祥副教授主审。

本书的编写和出版,得到参编院校和科学出版社的大力支持和帮助,谨此,编者诚挚致谢。

因编者水平所限,且本书又是教学内容和课程体系改革的初步成果,难免有错误与缺憾,敬请读者批评指正。

目 录

序 前言

第一篇 工程力学

第一章 静力学基本知识	1
1.1 基本概念	1
1.2 静力学基本公理	3
1.3 约束与约束反力	7
1.4 物体的受力分析与受力图	12
第二章 平面力系	20
2.1 平面汇交力系	20
2.2 力的投影、力矩和力偶	23
2.3 平面一般力系	29
第三章 拉压构件	50
3.1 轴向拉伸与压缩概述	50
3.2 截面法、轴力、轴力图	51
3.3 拉压杆横截面上的应力	54
3.4 轴向拉伸与压缩的变形	58
3.5 材料的力学性质与拉压杆强度计算	61
第四章 受弯构件	76
4.1 截面的几何性质	76
4.2 受弯构件的内力	83
4.3 剪力图和弯矩图	89
4.4 梁的应力与强度计算	101
4.5 梁的变形与刚度计算	113
第五章 压杆稳定	127
5.1 压杆稳定的概念	127
5.2 压杆的临界力	129
5.3 压杆的临界应力	134
5.4 压杆的稳定计算	136

第二篇 建筑结构

第六章 建筑结构材料	141
6.1 钢材	141
6.2 混凝土	146
6.3 砌体材料	153
第七章 建筑结构设计方法	163
7.1 结构的功能要求和极限状态	163
7.2 概率极限状态的设计方法	164
7.3 混凝土结构的耐久性设计	171
第八章 钢筋混凝土受弯构件	173
8.1 受弯构件的基本概念及构造要求	173
8.2 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算	177
8.3 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算	198
第九章 钢筋混凝土轴向受力构件	212
9.1 基本概念及构造要求	212
9.2 钢筋混凝土受压构件的承载力计算	217
9.3 钢筋混凝土受拉构件的承载力计算	241
第十章 钢筋混凝土梁板结构	249
10.1 梁板结构的型式和内力计算方法	249
10.2 整体式梁板结构	251
10.3 装配式混凝土楼盖	265
10.4 楼梯和雨篷	270
第十一章 砌体结构	280
11.1 混合结构房屋的结构布置及静力计算方案	280
11.2 混合结构房屋的墙、柱设计	283
11.3 圈梁、过梁和挑梁	299
第十二章 钢筋混凝土多层和高层房屋结构	306
12.1 多层及高层房屋的结构体系	306
12.2 多层框架结构设计	313
第十三章 钢结构	324
13.1 钢结构的连接	324
13.2 钢梁	328
13.3 钢柱	333

附录	340
附录 1 型钢表	340
附录 2 钢材及钢筋强度设计指标和弹性模量	357
附录 3 混凝土强度标准值和设计值	358
附录 4 各类砌体的强度标准值和设计值	358
附录 5 各类砌体沿砌体灰缝截面破坏时的轴心抗拉强度标准值 f_{tk} 、弯曲抗拉强度标准值 f_{tmk} 和抗剪强度标准值 f_{vk}	361
附录 6 沿块体截面破坏时的烧结普通砖砌体的轴心抗拉强度标准值 f_{tk} 和弯曲抗拉强度标准值 f_{tmk}	362
附录 7 各类砌体沿砌体灰缝面破坏时的轴心抗拉强度设计值 f_t 、弯曲抗拉强度设计值 f_{tm} 和抗剪强度设计值 f_v	362
附录 8 沿块体截面破坏时的烧结普通砖砌体的轴心抗拉强度设计值 f_t 和弯曲抗拉强度设计值 f_{tm}	363
附录 9 受弯构件的挠度限值	363
附录 10 结构构件的裂缝控制等级和最大裂缝宽度限值	363
附录 11 耐久性规定	364
附录 12 混凝土保护层最小厚度	365
附录 13 钢筋表	366
附录 14 连续梁板的计算跨度 l_0	368
附录 15 等截面等跨连续梁在常用荷载作用下按弹性分析的内力系数表	369
附录 16 影响系数	373
附录 17 构件的强度与稳定	376
参考文献	385

第一篇 工程力学

第一章 静力学基本知识

工程中各种各样的建筑物、机械等都是由若干构件(或零件)按照一定规律组成的。工程中称其为结构。对这些结构进行设计建造之前,必须对其受力情况分析清楚,以便进行相应的力学计算。本章主要讨论物体之间的相互约束类型,对物体进行受力分析的方法及有关的基本概念和基本定理。

1.1 基本概念

1.1.1 平衡的概念

在讨论物体的运动时,一般将地球作为参照系,若物体相对地球静止或做匀速直线运动,则称物体处于平衡状态。

1.1.2 刚体的概念

任何物体在力的作用下,都将引起大小和形状的改变,即发生变形。但是,在正常情况下,工程实际中许多物体的变形都非常微小,例如,建筑物中的梁,它在中央处最大的下垂一般只有梁长度的三百分之一。这样微小的变形,对于讨论物体的平衡问题影响甚少,可以忽略不计,因而可将这种物体看成是不变形的。

在任何外力作用下,大小和形状保持不变的物体,称为刚体。在静力学部分,我们把所讨论的物体都看成是刚体。

然而,当讨论物体受到力的作用后会不会破坏时,变形就是一个主要的因素,这时就不能再把物体看成刚体,而应该看成变形体。但必须指出,以刚体为对象得出的力系的平衡条件,一般也可以推广应用于变形很小的变形体的平衡情况。

1.1.3 力、力系

1. 力的概念

(1) 力的涵义

人们在长期的生产实践和日常生活中逐渐形成并建立了力的概念。例如,人推

小车时,由于肌肉紧张,感到人对小车施加了力,使小车由静到动,或使小车的运动速度发生变化,同时感到小车也在推人;手用力拉弹簧,使弹簧发生伸长变形,同时感到弹簧也在拉手。这种力的作用,在物体与物体之间也会发生,例如,自空中落下的物体由于受到地球的引力作用而使运动速度加快,桥梁受到车辆的作用而产生弯曲变形等。综合无数事例,可以概括出力的涵义是:力是物体之间的相互机械作用,这种作用的效果会使物体的运动状态发生变化(外效应),或者使物体发生变形(内效应)。

既然力是物体与物体之间的相互作用,因此,力不可能脱离物体而单独存在。有受力体时必定有施力体。

在建筑力学中,力的作用方式一般有两种情况,一种是两物体相互接触时,它们之间相互产生的拉力或压力;一种是物体与地球之间相互产生的吸引力,对物体来说,这个吸引力就是重力。

(2) 力的三要素

实践证明,力对物体的作用效果,取决于 3 个要素:①力的大小;②力的方向;③力的作用点。这 3 个要素通常称为力的三要素。

力的大小表明物体间相互作用的强烈程度。为了量度力的大小,我们必须规定力的单位,在国际单位制中,力的单位为 N 或 kN。

$$1\text{kN}=1000\text{N}$$

力的方向通常包含方位和指向两个涵义。例如说重力的方向是“铅垂向下”。

力的作用点就是力对物体作用的位置。力的作用位置实际上有一定的范围,不过当作用范围与物体相比很小时,可近似地看成是一个点。作用于一点的力,称为集中力。

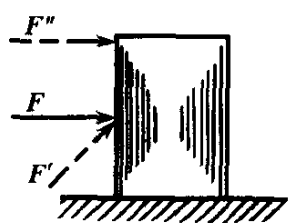


图 1.1

在力的三要素中,有任一要素改变时,都会对物体产生不同的作用效果。例如,沿水平地面推动一个木箱,如图 1.1 所示,作用在木箱上的力,或大小不同,或方向不同(如力 F 与 F'),或作用点位置不同(如力 F 或 F''),产生的效果就会不一样。因此,在描述一个力时,必须全面表明力的三要素。

(3) 力的图示法

力是一个有大小和方向的量,所以力是矢量。

通常可以用一段带箭头的线段来表示力的三要素。线段的长度(按选定的比例)表示力的大小;线段与某定直线的夹角表示力的方位,箭头表示力的指向;带箭头线段的起点或终点表示力的作用点。如图 1.2 所示,按比例量出力 F 的大小是 20kN,力的方向与水平线呈 45° 角,指向右上方,作用在物体的 A 点上。

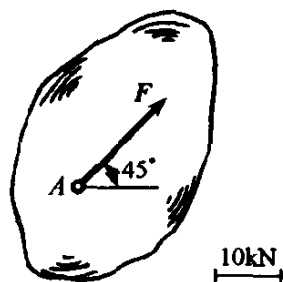


图 1.2

用字母符号表示力矢量时,常用黑体字如 F 、 F_P 等。而

F 、 F_P 等只表示力矢量的大小。

2. 力系与平衡力系

在一般情况下,一个物体总是同时受到若干个力的作用。我们把作用于同一物体上的一群力,称为力系。使物体保持平衡的力系,称为平衡力系。

1.2 静力学基本公理

静力学公理是人类在长期的生产和生活实践中,经过反复观察和实验总结出来的普遍规律。它阐述了力的一些基本性质,是静力学部分的基础。

1.2.1 作用与反作用公理

两个物体间的作用力和反作用力,总是大小相等,方向相反,沿同一直线,并分别作用在这两个物体上。

这个公理概括了两个物体间相互作用力的关系。如物体 A 对物体 B 施作用力 F ,同时物体 A 也受到物体 B 对它的反作用力 F' ,且这两个力大小相等、方向相反、沿同一直线作用,如图 1.3 所示。

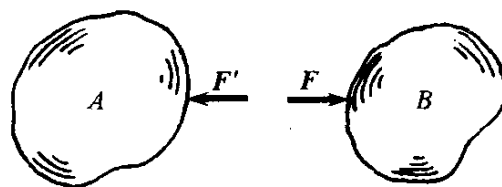


图 1.3

【例 1.1】 小球受重力 W 作用,用绳索悬挂于天花板如图 1.4(a)所示,绳重不计。试分析各物体间相互的作用力和反作用力。

【解】 小球与地球之间有一对作用力 W 和反作用力 W' ,它们分别作用于小球中心和地球中心,如图 1.4(b)、(c)所示,且 $W' = W$,其方向相反,并沿同一直线。

小球与绳索之间有一对作用力 F_{TB} 和反作用力 F'_{TB} ,分别作用于绳索的 B 点和小球的 B 点,如图 1.4(b)、(d)所示,且 $F'_{TB} = F_{TB}$,其方向相反,并沿着绳的中心线。

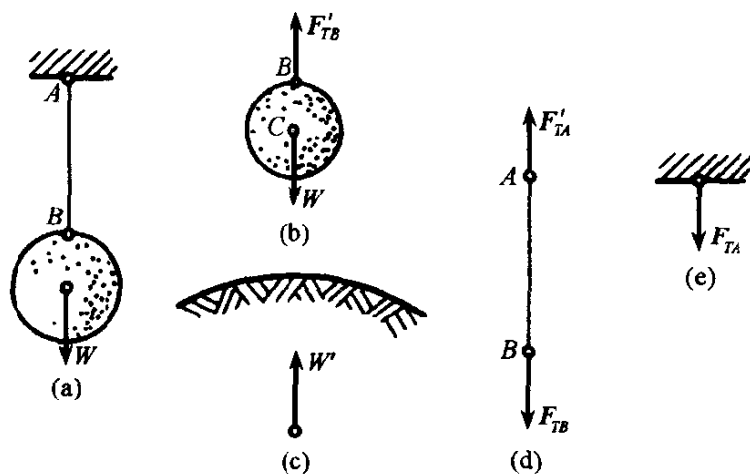


图 1.4

同样,绳索对天花板施作用力 F_{TA} ,作用在板的 A 点,其反作用力 F'_{TA} ,作用在绳的端点 A ,如图 1.4(d)、(e)所示。

1.2.2 二力平衡公理

作用在同一刚体上的两个力,使刚体平衡的必要和充分条件是:这两个力大小相等,方向相反,且作用在同一直线上,如图 1.5(a)、(b)所示。

这个公理说明了作用在物体上两个力的平衡条件,在一个物体上只受到两个力的作用而平衡时,这两个力一定要满足二力平衡公理。如把雨伞挂在桌边,如图 1.6 所示,雨伞摆动到其重心和挂点在同一铅垂线上时,雨伞才能平衡。因为这时雨伞的向下重力和桌面的向上支撑力在同一直线上。

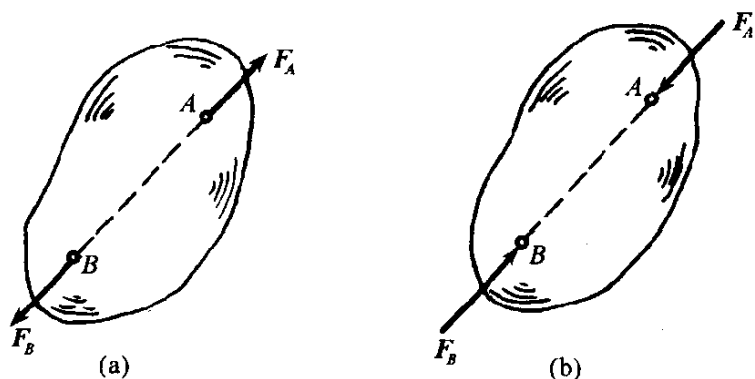


图 1.5

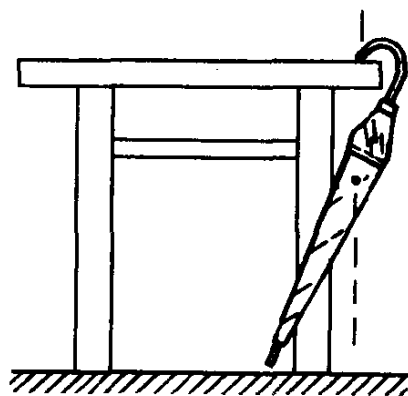


图 1.6

必须注意,不能把二力平衡问题和作用与反作用关系混淆起来。二力平衡公理中的两个力是作用在同一物体上的。作用与反作用公理中的两个力是分别作用在不同物体上,虽然是大小相等、方向相反、作用在一直线上,但不能平衡。

若一根直杆只在两点受力作用而处于平衡,则作用在此两点的二力的方向必在这两点的连线上。此直杆称为二力杆,如图 1.7(a)、(b)所示。对于只在两点受力作用而处于平衡的一般物体,称为二力构件。



图 1.7

1.2.3 加减平衡力系公理

在作用于刚体的任意力系中,加上或减去任何一个平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用效应。

因为平衡力系不会改变物体的运动状态,即平衡力系对物体的运动效果为零,所以在物体的原力系上加上或去掉一个平衡力系,是不会改变物体的运动效果的。

【推论】 力的可传性原理

作用在刚体上的力可沿其作用线移动到刚体内任意一点,而不改变原力对刚体的作用效应。

【证明】

1) 设力 F 作用在物体 A 点,如图 1.8(a)所示。

2) 根据加减平衡力系公理,可在力的作用线上任取一点 B ,加上一个平衡力系 F_1 和 F_2 ,并使 $F_1 = -F_2 = F$,如图 1.8(b)所示。

3) 由于力 F 和 F_2 是一个平衡力系,可以去掉,所以只剩下作用在 B 点的力 F_1 ,如图 1.8(c)所示。

4) 力 F_1 和原力 F 等效,就相当于把作用在 A 点的力 F 沿其作用线移到 B 点。

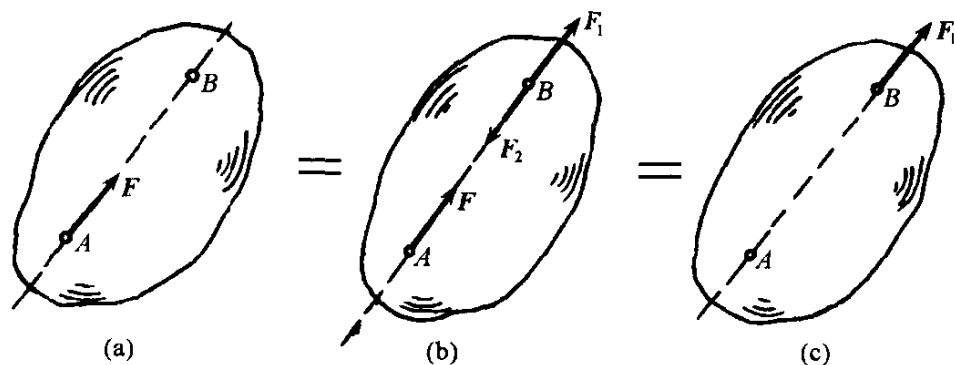


图 1.8

力的可传性原理,是我们日常生活中所常见的,例如,用绳拉车,或者沿同一直线、以同样大小的力用手推车,对车产生的运动效应相同。

根据力的可传性原理可知,力对刚体的作用效应与力的作用点在作用线上的位置无关。因此,力的三要素可改为:力的大小、方向和作用线。

应当指出,加减平衡力系公理和力的可传性原理都只适用于研究物体的运动效果(外效应),而不适用于研究物体的变形效应(内效应)。例如,直杆 AB 的两端受到等值、反向、共线的两个力 F_1 、 F_2 作用而处于平衡状态,如图 1.9(a)所示;如果将这两个力各沿其作用线移到杆的另一端,如图 1.9(b)所示,显然,直杆 AB 仍然处于平衡状态。但是直杆的变形不同了。图 1.9(a)直杆的变形是缩短,而图 1.9(b)直杆的变形却是伸长,这就说明当研究物体的变形效应时,力的可传性原理就不适用了。

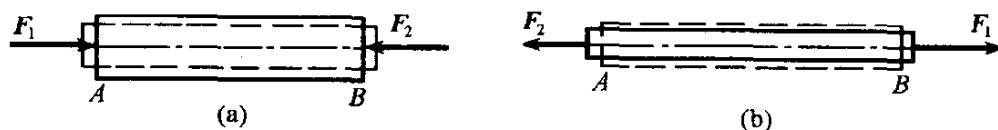


图 1.9

1.2.4 力的平行四边形公理

作用于物体上同一点的两个力,可以合成为一个合力,合力也作用于该点,合力的大小和方向由这两个力为边所构成的平行四边形的对角线来表示,如图 1.10 所示。

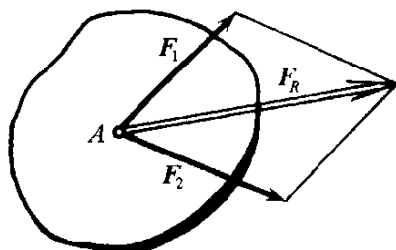


图 1.10

这个公理说明力的合成是遵循矢量加法的,只有当两个力共线时,才能用代数加法。

两个共点力可以合成为一个力,反之,一个已知力也可以分解为两个力。但是,将一个已知力分解为两个分力可得无数组解答。因为以一个力的矢量为对角线的平行四边形,可作无数个。如图 1.11(a)所示,力 F 既可以分解为力 F_1 和 F_2 ,也可以分解为力 F_3 和 F_4 等。要得出惟一的解答,必须给以限制条件。如给定两分力的方向求其大小,或给定一分力的大小和方向求另一分力等。

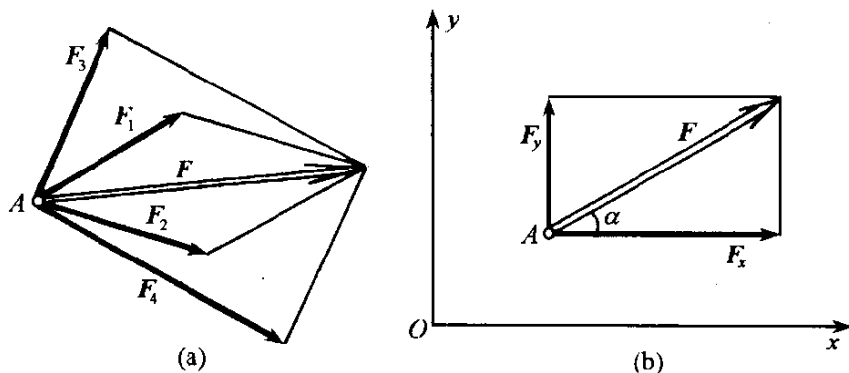


图 1.11

在工程实际问题中,常把一个力 F 沿直角坐标轴方向分解,可得出两个互相垂直的分力 F_x 和 F_y ,如图 1.11(b)所示。 F_x 和 F_y 的大小可由三角公式求得,式中 α 为力 F 与 x 轴间的夹角。

$$F_x = F \cos \alpha \quad (1.1)$$

$$F_y = F \sin \alpha$$

【推论】 三力平衡汇交定理

一刚体受共面不平行的 3 个力作用而平衡时,这 3 个力的作用线必汇交于一点。

【证明】

1) 设有共面不平行的 3 个力 F_1 、 F_2 、 F_3 分别作用在一刚体上的 A_1 、 A_2 、 A_3 三点而成平衡,如图 1.12 所示。

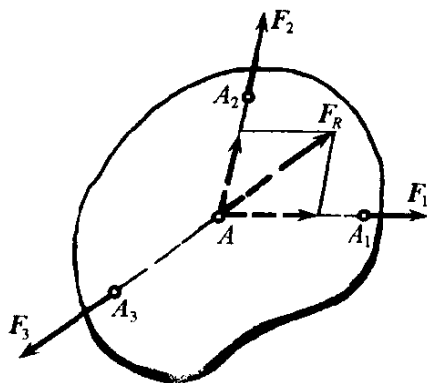


图 1.12

2)根据力的可传性原理,将力 F_1 、 F_2 移到该两力作用线的交点 A ,并按力的平行四边形公理合成为合力 F_R , F_R 也作用在 A 点。

3)因为 F_1 、 F_2 、 F_3 三力成平衡,所以力 F_R 应与力 F_3 成平衡,由二力平衡公理知,力 F_3 和 F_R 一定是大小相等、方向相反、且作用在同一直线上,就是说,力 F_3 必通过力 F_1 和 F_2 的交点 A ,即3个力 F_1 、 F_2 、 F_3 的作用线必汇交于一点。

三力平衡汇交定理也可从实践中得到验证。如图1.13(a)所示,小球搁置在光滑的斜面上,并用绳子拉住,这时小球受到重力 W 、绳子的拉力 F_T 和斜面的支撑力 F_N 的作用。如果这3个力的作用线不汇交于一点,如图1.13(b)所示,则此小球不会平衡,只有当小球滚动到如图1.14所示三力汇交于一点的情况下,小球才能处于平衡状态。

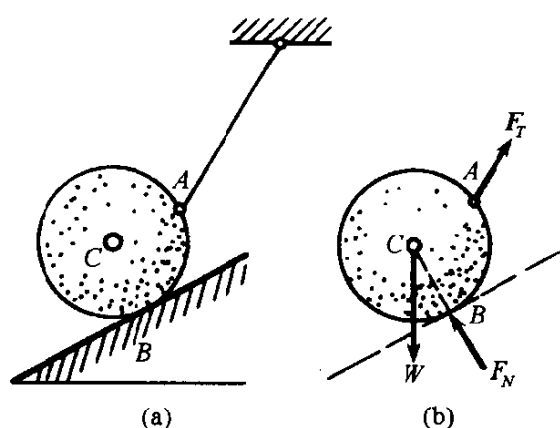


图 1.13

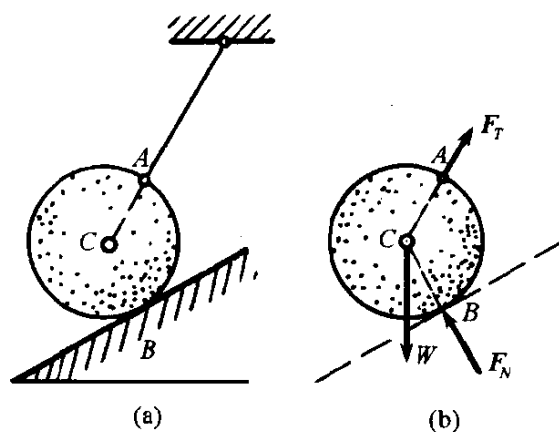


图 1.14

三力平衡汇交定理常常用来确定物体在共面不平行的3个力作用下平衡时其中未知力的方向。

1.3 约束与约束反力

在工程实际中,任何构件都受到与它相联系的其他构件的限制,而不能自由运动。例如,大梁受到柱子限制,柱子受到基础的限制,桥梁受到桥墩的限制等。

一个物体的运动受到周围物体的限制时,这些周围物体就称为该物体的约束。例如,上面所提到的柱子是大梁的约束,基础是柱子的约束,桥墩是桥梁的约束。

物体受到的力一般可以分为两类。一类是使物体运动或使物体有运动趋势的力,称为主动力,如重力、水压力、土压力等。主动力在工程上称为荷载;另一类是约束对物体的运动起限制作用的力,称为约束反力,简称反力。物体受到主动力作用时,如果物体沿着约束所能限制的方向有运动或运动趋势,则物体对约束产生作用力,约束就以等值、反向的反作用力作用于该物体。约束对物体的反作用力限制物体的运动,故这个反作用力就称为约束反力。约束反力的方向总是和该约束所能阻碍物体的运动方向相反。

通常主动力是已知的,约束反力的确定与约束类型及主动力有关,现就工程上常见的几种约束来讨论其约束反力的特征。

1.3.1 柔体约束

如柔绳、链条、胶带等用于限制物体的运动时,都是柔体约束。由于柔体约束只能限制物体沿着柔体约束的中心线离开柔体约束的运动,而不能限制物体沿其他方向的运动,所以柔体约束的约束反力通过接触点,其方向沿着约束的中心线且为拉力。这种约束的反力通常用 F_T 表示,如图 1.15 所示。

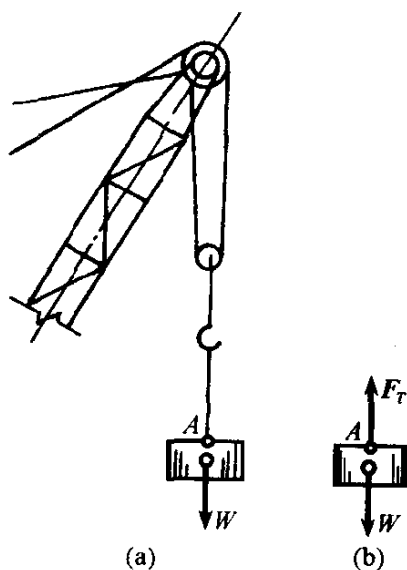


图 1.15

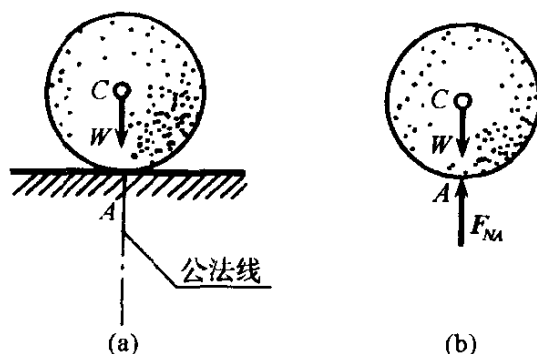


图 1.16

1.3.2 光滑接触面约束

物体与另一物体相互接触,当接触处的摩擦很小,可以略去不计时,两物体彼此的约束就是光滑接触面约束。这种约束只能限制物体沿着接触面的公法线而指向接触面的运动而不能限制物体沿着接触面的公切线或离开接触面的运动。所以,光滑接触面的约束反力通过接触点,其方向沿着接触面的公法线且为压力,如图 1.16 所示。这种约束反力通常用 F_N 表示。

【例 1.2】 重为 W 的杆 AB 置于半圆槽中,如图 1.17(a),画出杆 AB 所受到的约束反力。接触处摩擦不计。

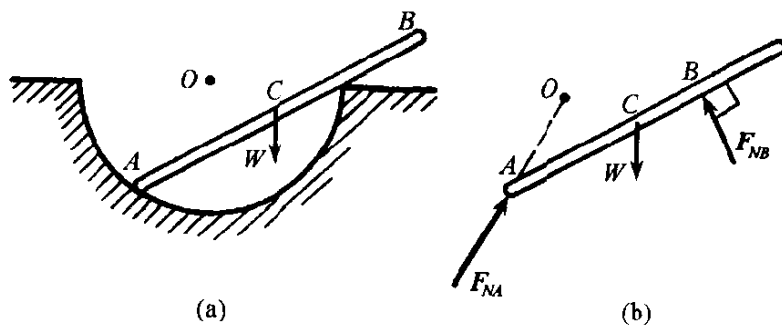


图 1.17

【解】 杆 AB 在 A 、 B 处受到光滑接触面约束。其约束反力应沿着接触面的公法线,所以, A 处的约束反力 F_{NA} 作用于 A 点,其方向沿着半径 AO 且为压力, B 处的约束反力 F_{NB} 作用于 B 点,其方向垂直于杆 AB ,也是压力[见图 1.17(b)]。

1.3.3 圆柱铰链约束

圆柱铰链简称铰链,门窗用的合页便是铰链的实例。圆柱铰链是由一个圆柱形销钉插入两个物体的圆孔中构成,如图 1.18(a)、(b)所示,且认为销钉与圆孔的表面都是完全光滑的。圆柱铰链的简图如图 1.18(d)所示。

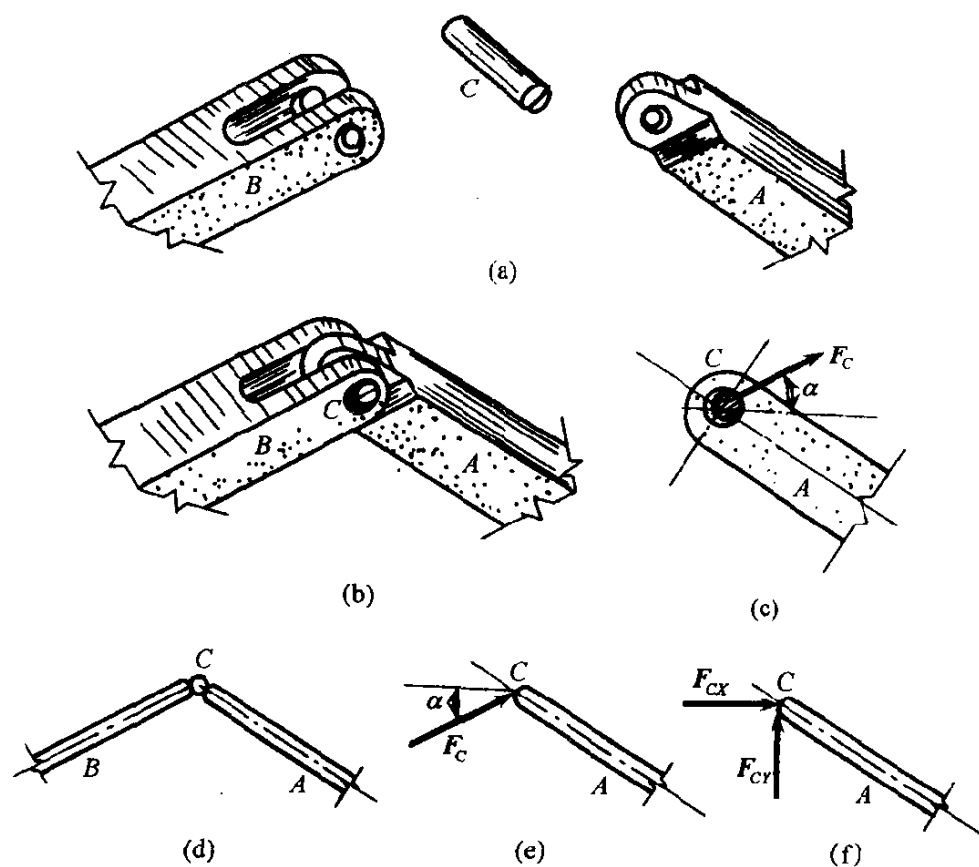


图 1.18

销钉不能限制物体绕销钉相互转动,而只有限制物体在垂直于销钉轴线的平面内沿任意方向的相对移动。当物体相对于另一物体有运动趋势时,销钉与孔壁便在某处接触。且接触处是光滑的,由光滑接触面的约束反力可知,销钉反力沿接触点与销钉中心的连线作用,如图 1.18(c),但由于接触处的位置一般是未知的,所以,圆柱铰链的约束反力在垂直于销钉轴线的平面内,通过销钉中心,而方向未定。这种约束反力有大小和方向两个未知量,可用一个大小和方向都是未知的力 F_C 来表示,如图 1.18(e)所示;也可用两个互相垂直的分力 F_{Cx} 和 F_{Cy} 来表示,如图 1.18(f)所示。

1.3.4 链杆约束

如图 1.19(a)所示的支架,水平杆 AB 在 A 端用铰链与墙壁连接,在 B 处由杆