

新世纪土木工程高级应用型人才培养系列教材

建筑力学

JIANZHU LIXUE

邹 翔 编著

同济大学出版社

JIANZHU LIXUE JIANZHU LIXUE

TU311/82

2007

新世纪土木工程高级

才

建筑力学

邹 翀 编著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是根据教育部《高职高专教育土建类专业建筑力学课程教学基本要求》编写而成。

全书分三大部分,共 18 章。第一部分,刚体静力学:绪论,刚体静力学基础,平面力系;第二部分,材料力学:绪论,应力、应变与应力状态,轴向拉伸与压缩,圆杆的扭转,弯曲,强度理论,组合变形,压杆稳定;第三部分,结构力学:绪论,平面杆件体系的几何组成分析,静定结构的内力计算,静定结构位移计算,力法,位移法,力矩分配法。每章后有习题,附录中有习题答案及型钢表。

本书力求体现高职高专教学改革的特点,突出针对性、实用性;叙述由浅入深和理论联系实际;内容简明扼要、通俗易懂,图文配合紧密。

本书适用于建筑、水利、道路、桥梁、市政等专业作为高职、高专和应用型(本科)工科类学校及成人高校的教材,亦可作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学/邹翮编著. —上海:同济大学出版社,
2007.12

(新世纪土木工程高级应用型人才培养系列教材)

ISBN 978-7-5608-3705-5

I. 建… II. 邹… III. 建筑力学—教材 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 153482 号

新世纪土木工程高级应用型人才培养系列教材

建筑力学

邹 翮 编著

责任编辑 解明芳 责任校对 杨江淮 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 同济大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 15

印 数 1—3100

字 数 374000

版 次 2007 年 12 月第 1 版 2007 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-3705-5/TU·751

定 价 25.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

序

本系列教材是针对土木工程高级应用型人才培养的需要而编写的。作者由同济大学土木工程专业知名教授及有关兄弟院校的资深教师担任。

为了使本系列教材符合土木类应用型人才培养的要求,既有较高的质量,又有鲜明的特色,我们组织编写人员认真学习了国家教育部的有关文件,在对部分院校和用人单位进行长达一年调研的基础上,拟定了丛书的编写指导思想,讨论确定了各分册的主要编写内容及相互之间的知识点衔接问题。之后,又多次组织召开了研讨会,最后按照土木类应用型人才培养计划与课程设置要求,针对培养对象适应未来职业发展应具备的知识和能力结构等要求,确定了每本书的编写思路及编写提纲。

本系列教材具有以下特点:

1. 编写指导思想以培养技术应用能力为主

本系列教材改变了传统教材过于注重知识的传授及学科体系的严密性而忽视社会对应用型人才培养要求和学生的实际状况的做法,理论的阐述以“必需、够用”为原则,侧重结论的定性分析及其在实践中的应用。例如,专业基础课与工程实践密切结合,突出针对性;专业课教材内容满足工程实际的需要,主要介绍工程中必要的、重要的工艺、技术及相关的管理知识和现行规范。

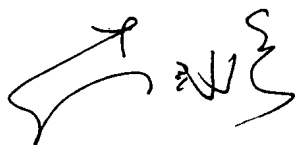
2. 精选培养对象终身发展所需的知识结构

除了介绍高级应用型人才应掌握的基础知识及现有成熟的、在实践中广泛应用的技术外,还适当介绍了土木工程领域的新知识、新材料、新技术、新设备及发展新趋势,给予学生一定的可持续学习和能力发展的基础,使学生能够适应未来技术进步的需要。另外,兼顾到学生今后职业生涯发展的需要,教材在内容上还增加了有关建造师、项目经理、技术员、监理工程师、预算员等注册考试及职业资格考试所需的基础知识。

3. 编写严谨规范,语言通俗易懂

本系列教材根据我国土木工程最新设计与施工规范、规程、标准等编写,体现了当前我国和国际上土木工程施工技术与管理水平,内容精炼、叙述严谨。另外,针对学生的群体水平,采取循序渐进的编写思路,深入浅出,图文并茂,文字表达通俗易懂。

本系列教材在编写中得到许多兄弟院校的大力支持与方方面面专家的悉心指导和帮助,在此表示衷心感谢。有不足之处,恳请广大读者提出宝贵的意见。



2005年5月

前 言

本书是根据教育部《高职高专教育土建类专业建筑力学课程教学基本要求》编写而成。

本书力求体现高职高专教学改革的特点,突出针对性、适用性、实用性,重视由浅入深和理论联系实际,内容简明扼要,通俗易懂,图文配合紧密。

全书共分三大部分,共 18 章。每章后有习题,并附有习题答案。附录中附型钢表。

本书适用于建筑、水利、道路、桥梁、市政等专业作为高职、高专和应用型(本科)工科类学校及成人高校的教材,亦可作为工程技术人员的参考书。

在本书的编写过程中,许多同行提出了很好的意见和建议,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请广大读者提出宝贵意见。

编者

2007 年 6 月

《新世纪土木工程高级应用型人才培养系列教材》

编 委 会

名誉主任 吴启迪

主 任 李国强

执行主任 应惠清

副 主 任 王国强 吕茫茫 俞国风
袁锦根 李建新

编 委 (以下按姓氏笔画排列)

刘昭如	刘 匀	刘正武	李 辉	汪小超
金瑞珺	高莲娣	袁斯涛	缪俊发	覃 辉
席永慧	张贵良	熊杭青		

总 策 划 郭 超

目 录

序
前言

第一篇 刚体静力学

1 概述	(1)
1.1 研究对象及任务	(1)
1.2 基本概念	(1)
2 刚体静力学基础	(4)
2.1 静力学公理	(4)
2.2 约束与约束反力	(5)
2.3 受力分析与受力图	(9)
习题	(12)
3 平面力系	(13)
3.1 平面汇交力系的合成与平衡	(13)
3.2 平面力偶的合成与平衡	(15)
3.3 平面任意力系的合成与简化	(17)
3.4 平面任意力系的平衡方程	(21)
3.5 平面平行力系的合成与平衡	(24)
3.6 物体系统的平衡及静定与超静定的概念	(26)
习题	(27)

第二篇 材料力学

4 概述	(30)
4.1 研究对象及任务	(30)
4.2 变形固体的基本假设	(30)
4.3 平面图形的几何性质	(31)
4.4 杆件的变形形式	(34)
习题	(35)
5 应力、应变与应力状态	(37)
5.1 内力与应力	(37)
5.2 变形与应变	(38)
5.3 一点的应力状态 切应力互等定律	(38)

5.4	平面应力状态分析	(39)
	习题	(44)
6	轴向拉伸与压缩	(46)
6.1	基本概念	(46)
6.2	拉压杆的内力与轴力图	(46)
6.3	拉压杆的应力与应力状态	(48)
6.4	拉压杆的强度计算	(50)
6.5	应力集中的概念	(51)
6.6	拉压杆的变形	(51)
6.7	剪切与挤压	(54)
	习题	(57)
7	圆杆的扭转	(60)
7.1	扭转的概念	(60)
7.2	外力偶矩、扭矩和扭矩图	(61)
7.3	圆杆扭转时的应力和变形	(63)
7.4	圆杆扭转时的强度和刚度计算	(65)
	习题	(67)
8	弯曲	(69)
8.1	梁和平面弯曲的概念	(69)
8.2	弯曲内力与内力图	(70)
8.3	梁的正应力和切应力	(74)
8.4	梁的应力状态及弯曲中心	(79)
8.5	梁的强度计算	(81)
8.6	梁的变形和刚度计算	(85)
	习题	(87)
9	强度理论	(89)
9.1	强度理论的概念	(89)
9.2	关于脆性断裂的强度理论	(89)
9.3	关于塑性屈服的强度理论	(90)
9.4	莫尔强度理论	(90)
9.5	强度理论的应用	(91)
	习题	(93)
10	组合变形	(94)
10.1	几类组合变形问题	(94)
10.2	斜弯曲	(95)
10.3	拉(压)与弯曲组合变形	(97)
	习题	(102)
11	压杆稳定	(104)
11.1	压杆稳定的概念	(104)
11.2	细长压杆的临界压力	(105)

11.3 压杆的稳定计算.....	(107)
11.4 提高压杆稳定性的措施.....	(109)
习题.....	(110)

第三篇 结构力学

12 概述	(112)
12.1 研究任务.....	(112)
12.2 基本概念.....	(112)
12.3 杆件结构的计算简图.....	(114)
12.4 平面杆件结构的分类.....	(115)
13 平面杆件体系的几何组成分析	(117)
13.1 几何组成分析的目的.....	(117)
13.2 平面体系的自由度.....	(117)
13.3 几何不变体系的组成规则.....	(119)
13.4 几何组成分析的应用.....	(121)
习题.....	(122)
14 静定结构的内力计算	(123)
14.1 用叠加法求单跨静定梁的内力.....	(123)
14.2 多跨静定梁的内力计算.....	(129)
14.3 静定平面刚架的内力计算.....	(132)
14.4 静定平面桁架的内力计算.....	(138)
14.5 拱的一般知识.....	(142)
14.6 静定结构的基本特性.....	(143)
习题.....	(144)
15 静定结构的位移计算	(147)
15.1 概述.....	(147)
15.2 虚功和虚功原理.....	(148)
15.3 图乘法求梁与刚架的位移.....	(154)
15.4 支座移动引起的位移计算.....	(159)
15.5 几个互等定理.....	(160)
习题.....	(162)
16 力法	(164)
16.1 几个概念.....	(164)
16.2 超静定次数的确定.....	(164)
16.3 力法原理及力法方程.....	(166)
16.4 力法的计算步骤及示例.....	(170)
16.5 利用对称性对结构计算进行简化.....	(173)
16.6 超静定结构的特征.....	(180)
习题.....	(181)

17 位移法	(183)
17.1 两个新概念.....	(183)
17.2 基本未知量的确定.....	(183)
17.3 单跨超静定梁的杆段内力和弯矩图.....	(184)
17.4 位移法的基本原理.....	(187)
17.5 位移法的典型方程.....	(189)
17.6 位移法的步骤及举例.....	(190)
17.7 对称结构的位移法计算.....	(194)
17.8 位移法与力法的比较.....	(195)
习题.....	(196)
18 力矩分配法	(198)
18.1 力矩分配法的解题思路.....	(198)
18.2 单结点力矩分配法的计算步骤及举例.....	(201)
18.3 多结点力矩分配法的计算方法及举例.....	(204)
习题.....	(206)
部分习题答案	(207)
附录 A 型钢规格表	(211)
参考文献	(227)

第一篇 刚体静力学

1 概述

学习重点及目的

本章的重点是刚体、力及平衡的概念。要求了解刚体是抽象的力学模型,掌握力的三要素以及平衡条件的概念。

1.1 研究对象及任务

刚体静力学研究的是刚体的平衡规律,同时也研究力的一般性质及其合成法则。学习静力学的任务,一方面是为学习一系列的后继课程,如材料力学、结构力学等提供重要的理论基础;另一方面是结合其他课程解决工程技术中的实际问题。

静力学主要研究两类问题:

(1) **力系的等效与简化**。即把作用在物体上的较复杂的力系,用一个更为简单的与其作用效果相同的力系来代替。这种简单力系称为原力系的**等效力系**。这个过程称为力系的简化过程。

(2) **力系的平衡条件**。即物体处于平衡状态时,作用于物体上的力系所应满足的条件。

1.2 基本概念

1.2.1 刚体的概念

由于实际物体的情况很复杂,很难看清其本质,因此,必须抓住起决定作用的主要因素,这是力学中普遍采用的抽象化方法。例如,忽略物体的变形就得到刚体的概念,忽略摩擦作用就得到理想约束的概念,等等。由于结构或构件在正常使用情况下产生的变形极微小,如桥梁在车辆、人群等荷载作用下的最大竖直变形一般在桥梁跨度的 $1/700 \sim 1/900$,因此,可以将物体视为不变形的理想物体来处理。

所谓刚体,是指物体在外力作用下,其内部任意两点之间的距离始终保持不变,即在任何情况下永远不变形的物体。宇宙中并不存在刚体,只是将实际物体抽象为理想的力学模型,它使问题的研究大为简化。这种由粗到精,由简单到复杂的研究方法在科学技术中得到广泛应用。实践证明,正确的抽象不但没有脱离实际,而且更深刻地接近了实际。在这一部分中,研究的结构或构件都将其抽象为刚体。

1.2.2 力的概念

力是物体间的相互机械作用。这种作用使物体的运动状态或形状发生变化。

人们对于力的认识,最初是与推、拉、举、掷时肌肉的紧张和疲劳的主观感觉相联系的。后来在长期的生产和生活中,通过反复的观察、实践和分析,逐步认识到,无论在自然界或工程实际中,物体机械运动状态的改变或变形,都是物体间相互机械作用的结果。例如,机床、汽车等在刹车后,速度很快减小,最后静止下来;吊车梁在吊车起吊重物时产生弯曲,等等。

物体间机械作用的形式是多种多样的,大体上可以分为两类:一类是通过物质的一种形式而起作用的,如重力、万有引力、电磁力等;另一类是由两个物体直接接触而发生的,如两物体间的压力、摩擦力等。这些力的物理本质各不相同。在力学中,我们不研究力的物理本质,而只研究力对物体的效应。一个力对物体作用的效应,一般可以分为两个方面:一是使物体的机械运动状态发生改变;二是使物体的形状发生改变。前者叫做力的运动效应或外效应,后者叫做力的变形效应或内效应。

就力对物体的外效应来说,又可以分为两种情况。例如,人沿直线轨道推小车使小车产生移动,这是力的移动效应;人作用于绞车手柄上的力使鼓轮转动,这是力的转动效应。而在一般情况下,一个力对物体作用时,既有移动效应,又有转动效应。如打乒乓球时,如果球拍作用于乒乓球的力不通过球心,则球不仅有移动效应(即向前飞),还有绕球心的转动效应(即产生旋转)。

实践表明,力对物体的效应决定于力的大小、方向和作用点,称为力的三要素。力的大小是指物体间相互作用的强度,可以用弹簧秤或测力计测定。在国际单位制(SI)中力的单位是牛顿或千牛顿,符号为牛(N)或千牛(kN);在工程单位制(LFT)中力的单位是公斤力(kgf)或吨力(tf),二者的换算关系为

$$1\text{kgf}=9.8\text{N}$$

$$1\text{tf}=9.8\text{kN}=9800\text{N}$$

力的方向用方位和指向共同来表明。例如,力的方向为“铅垂向下”,则其中“铅垂”说明的是力的方位,而“向下”说明的是力的指向。

力的作用点是力在物体上作用位置的抽象。作用于一点上的力称为集中力,过力的作用点代表力的方位的直线称为力的作用线。如果力作用的范围不能抽象为一点,则称为分布力,分布力的大小用力的集度表示。作用在一定面积上的分布力称为面分布力,其集度单位为 N/m^2 或 kN/m^2 ;作用在狭长面积上的分布力可看作线分布力,其集度单位为 N/m 或 kN/m 。

提示:

从广义上讲,力不但可以指集中力,也可以指分布力或力偶。在工程中,习惯把作用在结构上的各种广义力称为荷载或载荷。

既然力可由大小、方向和作用点来表示,可见力是矢量,且为定位矢量,可用带箭头的直线段表示(图 1-1)。线段的长度按一定比例尺表示力的大小,线段的方位和箭头指向表示力的方向,线段的起点(图 1-1(a))或终点(图 1-1(b))表示力的作用点,线段所沿的直线(图 1-1 中虚线)表示力的作用线。本书中,力矢量用黑体字母 $\boldsymbol{F}$ 表示,力的大小(即矢量的模)用普通字母 F 表示。

1.2.3 平衡的概念

物体的平衡,是指物体相对于周围物体保持其静止或作匀速直线运动的状态。

作用于一个物体上的若干个力称为力系。要使物体保持平衡状态,力系要满足一定的条件,称为力系的平衡条件。若力系中各力对于物体作用的效应彼此抵消而使物体保持平衡状态不变,则该力系称为平衡力系。若两力系分别作用于同一物体而效应相同时,则这两个力系称为等效力系。将力系简化为另一个与其等效的简单力系的方法称为力系的简化。若力系与一力等效,则此力称为该力系的合力,而力系中的各力称为此合力的分力。

根据平衡条件,由作用于物体上的已知力求出各未知力的过程称为静力分析。静力分析是进行其他力学计算的基础。在静力学中,将要解决以下两个基本问题:(1)力系的简化;(2)力系的平衡条件及结构的静力分析。

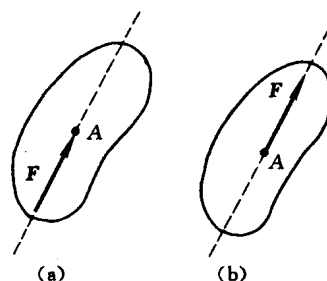


图 1-1

2 刚体静力学基础

学习重点及目的

本章的重点是约束种类及相应的约束反力,受力分析以及受力图的画法。要求了解静力学的五大公理,掌握约束的表示方法及约束反力的方向,熟悉物体受力图的正确画法。

2.1 静力学公理

静力学公理是人们关于力的基本性质的概括和总结。它们是静力学全部理论的基础,是研究力系简化和平衡条件的基本依据。

2.1.1 公理 1(二力平衡公理)

作用于同一刚体上的两个力,使刚体保持平衡的充要条件是这两个力的大小相等、方向相反、且作用在同一直线上。图 2-1 表示了满足公理 1 的两种情况。工程上常遇到只受两个力作用而平衡的构件,称为二力构件或二力杆。如桁架内的直杆、支撑内的撑杆,等等。

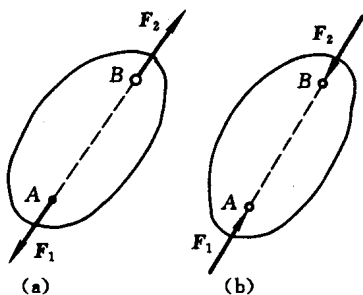


图 2-1

2.1.2 公理 2(加减平衡力系公理)

在作用于刚体上的任意力系中,增加或减少任一平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用效应。公理 2 是力系简化的重要理论依据。

推论(力的可传性原理):作用于刚体上的力可以沿其作用线移动到任意位置,而不改变力对刚体的作用效应。由此推理可见,在刚体上力的作用点可用力的作用线代替,即对于刚体来说,力是滑动矢量。

提示:

- (1) 公理 1 中的充要条件只对刚体才成立,且力系必须是作用在同一刚体上的;
- (2) 公理 2 及其推论只适用于刚体。

2.1.3 公理 3(力的平行四边形法则)

作用于物体上同一点的两个力可以合成一个合力,合力的作用点仍在该点,其大小和方向可由这两个力所构成的平行四边形的对角线来表示。设在物体的 A 点上作用有力 F_1 和 F_2 (图 2-2(a)), 则其合力 F_R 的矢量表达式为

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

公理 3 反映了力的方向性特征,矢量相加与数量相加不同,必须用平行四边形关系确定,公理 3 也是力系简化的重要基础。有时为了方便,可由 A 点作矢量 $\mathbf{F}_1$,再由 $\mathbf{F}_1$ 的末端作矢量 $\mathbf{F}_2$,则矢量 $\mathbf{AC}$ 即为合力 $\mathbf{F}_R$ (图 2-2(b),(c))。这种求合力的方法称为力的三角形法则。

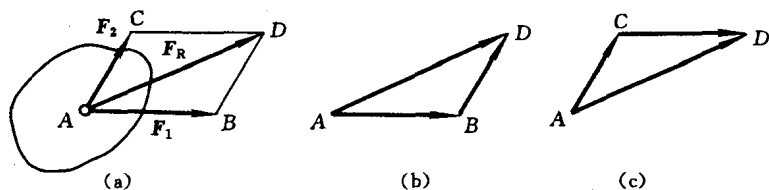


图 2-2

推论(三力平衡汇交定理):刚体在三个力作用下处于平衡状态,若其中两个力的作用线汇交于一点,则第三个力的作用线也通过该汇交点,且此三力的作用线在同一平面内。

2.1.4 公理 4(作用与反作用定律)

两物体之间的作用力和反作用力总是同时存在,而且两力的大小相等、方向相反、沿着同一直线分别作用于这两个物体上。

这个定律概括了物体间的相互作用关系,表明作用力和反作用力总是成对出现的。

提示:

- (1) 公理 4 中的两个力分别作用在两个物体上,不构成平衡力系,不要与公理 1 混淆;
- (2) 公理 3 和公理 4 不仅适用于刚体,也适用于变形体。

2.1.5 公理 5(刚化公理)

如果把在某一力系作用下处于平衡的变形体刚化为刚体,则该物体的平衡状态不会改变。这个公理建立了刚体力学与变形体力学间的联系,同时也说明了刚体平衡和运动规律的普遍意义。

2.2 约束与约束反力

可以在空间作任意运动的物体称为自由体。因受到某种限制而在某些方向不能作任意运动的物体称为非自由体。在力学中,把这种对于非自由体的运动所加的限制条件(或周围物体)称为约束。对于工程结构来说,如果不受到某种限制,便不可能结合成一个整体,更不可能承受任何荷载。

约束限制了物体某些方向的运动,因此,约束必然给予物体一定的力,同时承受物体等值反向的作用力,这种力称为约束反力。约束反力通过约束与物体间的接触来阻止物体的运动,因此,它的作用点在二者的接触处,方向与约束所能够限制物体运动的方向相反。根据这一准

则,在求解未知的约束反力时,我们可以先确定约束反力的方向和作用点,然后根据平衡条件求出它的大小。

提示:

约束与约束反力从力学的角度上看,对物体的作用是相同的,也就是说,在分析结构时,如果去除约束而用相应的约束反力代替,效果是不变的。

能主动使物体运动或有运动趋势的力,称为**主动力**或**荷载**。物体所受的主动力往往是已知的,而约束反力是由主动力作用而产生的,它是未知的。

针对建筑物中常见的约束,我们将其归纳为几种理想化的基本类型,并根据各种约束的特征给出其约束反力的表示方法。在受力图中,杆件简化为用其轴线表示。要指出的是,如果约束连接结构和支承面,则约束也称为**支座**,约束反力也称为**支座反力**。

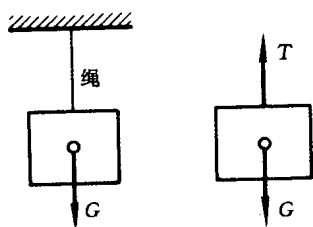


图 2-3

2.2.1 柔体约束

用柔软的皮带、绳索、链条阻碍物体运动而构成的约束叫**柔体约束**。这种约束只能限制物体沿着柔体中心线使柔体张紧方向的移动,且柔体约束只能受拉力,不能受压力,所以约束反力一定通过接触点,沿着柔体中心线背离被约束物体的方向,且恒为拉力,如图 2-3 中的力 T 。

2.2.2 光滑接触面约束

当两物体在接触处的摩擦力很小而略去不计时,就是光滑接触面约束。这种约束不论接触面的形状如何,都不能限制物体沿光滑接触面的公切线方向的运动或离开光滑面,只能限制物体沿着接触面的公法线向光滑面内的运动,所以光滑接触面约束反力是通过接触点,沿着接触面的公法线指向被约束的物体,只能是压力,如图 2-4 中的力 N 。

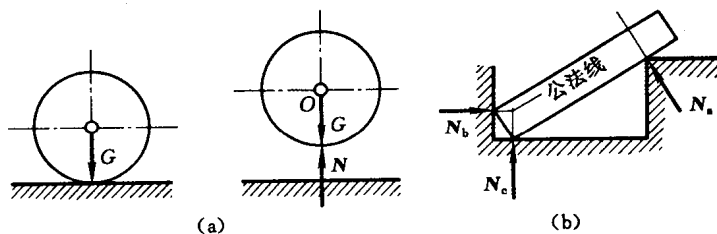


图 2-4

光滑接触面约束可分为 3 种情况:

- (1) 接触面为平面。则约束反力垂直于该平面并指向受限制的物体;
- (2) 接触面为曲面。则约束反力的作用线为曲面与物体公切线的垂线,即公法线;
- (3) 接触面为一个点。则约束反力的作用线为受限制物体的法线。

2.2.3 光滑铰链(铰结点)

用圆柱形销钉插入两个构件的圆柱孔,如图 2-5(a)所示,如果忽略摩擦和圆柱销钉与构件上圆柱孔的余隙,这样构成的约束就称为光滑铰链,简称铰。这类约束的特点是只限制构件垂直于销钉轴线的任意径向移动,而不限制构件绕销钉的转动。受力图中,铰用小圆圈表示(图 2-5(b))。

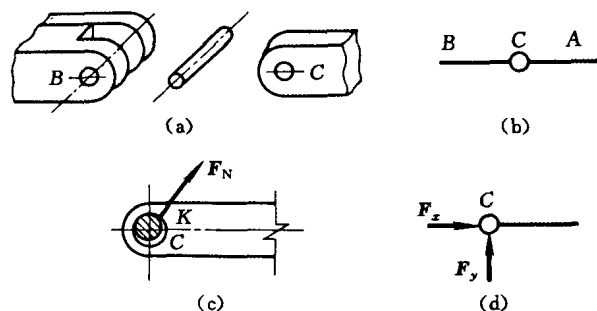


图 2-5

光滑铰链的约束反力 F_N ,作用线通过销钉中心,方向不能预先确定,在计算时,为了方便,通常表示为两个沿直角坐标轴正方向且作用于铰中心的两个正交分力 F_x 和 F_y ,如图 2-5(c)、(d)所示。

提示:

- (1) 两个正交分力 F_x 和 F_y 的指向是假定的;
- (2) 这两个构件互为对方的约束,约束反力为内力,即对两个构件组成的整体而言没有表现出任何力。

2.2.4 活动铰支座

支座是把结构或构件固定在支承物上,同时把荷载传予支承物的装置。活动铰支座(图 2-6(a)),只限制构件沿垂直于支承面方向的移动,而不限制其沿光滑支承面的移动及绕销钉轴线的转动。图 2-6 中的(b)~(d)是活动铰支座的几种简化表示图。

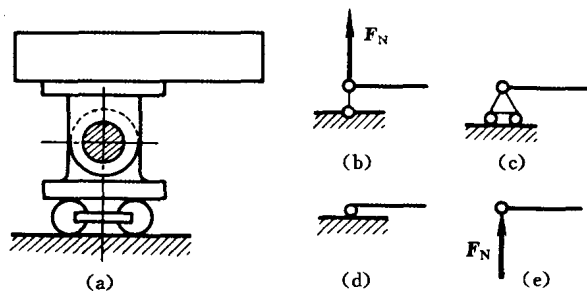


图 2-6