

建筑力学

ARCHITECTURAL MECHANICS

主 编 黄凤珠 刘 琳 朱卫东
副主编 张 建 鲁照文
主 审 余天堂



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

建筑力学

主 编 黄凤珠 刘 琳 朱卫东

副主编 张 建 鲁照文

主 审 余天堂



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内容提要

本书按照高等院校人才培养目标以及专业教学改革的需要,依据最新标准规范进行编写。全书共计11章,主要内容包括静力学基本知识、平面汇交力系、平面任意力系、轴向拉伸与压缩、截面的几何性质、剪切与扭转、弯曲、组合变形、压杆稳定、静定结构的内力分析、静定结构的位移计算。本书各章后面均附有练习题,使学生在课后可以及时巩固学过的知识,有利于提高学生对所学知识的掌握。

本书可作为高等院校土建类相关专业教学用书,也可作为工程技术人员的参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学 / 黄凤珠, 刘琳, 朱卫东主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2017.1
ISBN 978-7-5682-0215-2

I. ①建… II. ①黄… ②刘… ③朱… III. ①建筑科学—力学—高等学校—教材
IV. ①TU311

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第003812号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)

(010)82562903(教材售后服务热线)

(010)68948351(其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京紫瑞利印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 13.5

字 数 / 313千字

版 次 / 2017年1月第1版 2017年1月第1次印刷

定 价 / 46.00元

责任编辑 / 江 立

文案编辑 / 瞿义勇

责任校对 / 孟祥敬

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

江苏联合职业技术学院

院本教材审定委员会

(土建交通类专业)

主任委员

夏成满 江苏联合职业技术学院党委书记、研究员

副主任委员

金友鹏 江苏联合职业技术学院副院长、研究员

陶向东 江苏联合职业技术学院党委委员、教学科研处处长、副研究员

委 员

季 翔 江苏建筑职业技术学院副院长、教授

陆春其 无锡交通分院院长、教授

钦惠平 南京工程分院副院长、副教授

王 旭 南京分院副院长、副教授

刘 琳 南京工程分院系主任、副教授

前言

本书主要包括静力学基本知识、平面汇交力系、平面任意力系、轴向拉伸与压缩、截面的几何性质、剪切与扭转、弯曲、组合变形、压杆稳定、静定结构的内力分析和位移计算等。

建筑力学是一门较难掌握的学科。对初学者来说，经常会感到教材似乎看懂了，跟着老师解题觉得也不难，但当自己独立解题时往往找不准思路，甚至无从下手。针对这种现象，本书每章选择了大量例题进行详细解答，例题尽可能贴近工程实际，体现应用型教材的特色，着力帮助读者提高分析和解决问题的能力。本书每章后面都有思考题和习题，为了便于读者学习，本书配套有每章的习题解答。

本书由黄凤珠、刘琳、朱卫东担任主编，张建、鲁照文担任副主编。本书由余天堂主审。

由于作者水平有限，书中错漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

目录

第一章 静力学基本知识	1	思考题	13
第一节 静力学的基本概念	1	习题	13
一、力的概念	1		
二、平衡的概念	2		
三、刚体的概念	2		
第二节 静力学基本公理	3	第二章 平面汇交力系	16
一、二力平衡公理	3	第一节 力在直角坐标轴上的投影 ...	16
二、加减平衡力系公理	4	第二节 平面汇交力系的合成与平衡 ...	17
三、力的平行四边形法则	4	一、平面汇交力系合成的几何法	17
四、作用力与反作用力公理	5	二、平面汇交力系平衡的几何条件	18
第三节 约束和约束反力	6	三、平面汇交力系合成的解析法	19
一、柔性约束	6	四、平面汇交力系平衡的解析条件	
二、光滑面约束	6	(平衡方程)	20
三、光滑圆柱铰链约束	7	思考题	24
四、固定铰支座约束	7	习题	25
五、活动铰支座约束	8		
六、固定端约束	8	第三章 平面任意力系	27
第四节 物体的受力分析和受力图	9	第一节 力矩、合力矩定理	28
一、物体的受力分析	9	一、力对点的矩(力矩)	28
二、画物体受力图的注意事项	9	二、合力矩定理	29
三、工程中常见荷载的分类	9	第二节 力偶	32
		一、力偶和力偶矩	32
		二、力偶的性质	32

三、平面力偶系的合成与平衡	33	第七节 轴向拉(压)杆的强度条件 与计算	67
第三节 平面任意力系的简化与平衡	35	一、轴向拉(压)杆的强度条件	67
一、力的平移定理	35	二、轴向拉(压)杆的强度计算	68
二、平面任意力系向作用面内任一点简化	36	第八节 应力集中的概念	73
三、平面任意力系的平衡	38	思考题	73
第四节 物体系统的平衡	41	习题	74
思考题	47		
习题	48		
		第五章 截面的几何性质	78
第四章 轴向拉伸与压缩	52	第一节 形心和静矩	78
第一节 材料力学的基本概念	53	一、形心	78
一、变形固体及其基本假设	53	二、静矩	79
二、材料力学的研究内容	53	三、形心坐标公式	80
三、材料力学的基本变形形式	54	第二节 惯性矩	82
第二节 轴向拉伸和压缩的概念	54	一、惯性矩的概念	82
第三节 轴向拉伸和压缩时的内力	55	二、惯性矩的平行移轴公式	83
一、内力的概念	55	三、组合图形的惯性矩	83
二、轴向拉伸和压缩时的内力——轴力	55	思考题	85
第四节 轴向拉压杆横截面上的正应力	58	习题	85
一、应力的概念	58		
二、轴向拉压杆横截面上的正应力	58	第六章 剪切与扭转	87
第五节 轴向拉压杆的变形与胡克定律	60	第一节 剪切与挤压	88
一、轴向拉压杆的变形	60	一、剪切与挤压的概念	88
二、胡克定律	61	二、剪切与挤压的实用计算	88
第六节 材料在拉伸和压缩时的力学性能	63	第二节 圆轴扭转	91
一、材料拉伸时的力学性能	63	一、扭转的概念	91
二、材料压缩时的力学性能	66	二、圆轴扭转时的内力与应力	91
三、两类材料力学性能的比较	66	三、圆轴扭转时的强度计算	94
四、材料的极限应力和许用应力	66	四、圆轴扭转时的变形及刚度条件	95
		思考题	97
		习题	98

第七章 弯曲..... 101

第一节 梁的平面弯曲 102

一、平面弯曲的概念 102

二、单跨静定梁的基本形式 102

第二节 梁的弯曲内力 103

一、剪力和弯矩 103

二、剪力和弯矩正负号的规定 103

三、剪力和弯矩的计算 104

第三节 梁的剪力图和弯矩图 108

第四节 内力图的规律及其应用 111

第五节 梁弯曲时的应力及强度 115

一、梁的正应力分布 115

二、梁的正应力计算 116

三、梁的正应力强度条件 118

四、梁的剪应力计算及强度条件 120

第六节 梁的变形 123

一、梁的挠度和转角 123

二、用叠加法计算梁的变形 123

三、梁的刚度条件 124

四、提高梁刚度的措施 126

思考题 126

习题 127

第八章 组合变形..... 134

第一节 组合变形的概念 134

第二节 斜弯曲 135

一、外力分解 135

二、内力计算 136

三、应力计算 136

四、强度条件 136

第三节 轴向拉（压）和弯曲 138

第四节 偏心压缩（拉伸） 139

一、内力计算 139

二、应力计算和强度条件 139

三、截面核心 141

思考题 142

习题 142

第九章 压杆稳定..... 146

第一节 压杆稳定的概念 146

第二节 临界力和临界应力 147

一、临界力 147

二、临界应力 149

三、欧拉公式的适用范围 149

四、中长杆的临界应力计算——经验

公式 150

第三节 压杆的稳定条件和计算 152

一、压杆的稳定条件 152

二、压杆的稳定计算 152

第四节 提高压杆稳定性的措施 155

一、减小压杆的长度 156

二、改善杆端支承条件 156

三、选择合理的截面形状 156

四、合理选择材料 156

思考题 156

习题 157

第十章 静定结构的内力分析..... 161

第一节 多跨静定梁 162

第二节 静定平面刚架 166

一、刚架的概念	166	二、变形体的虚功原理	190
二、静定平面刚架的内力计算	166	第三节 结构在荷载作用下的位移	
第三节 静定平面桁架	171	计算	191
一、桁架的概念	171	一、梁和刚架	191
二、静定平面桁架的内力计算	172	二、桁架	191
第四节 三铰拱	176	三、组合结构	192
一、三铰拱的概念	176	第四节 图乘法	192
二、三铰拱的计算	176	一、图乘法的适用条件	192
第五节 静定组合结构	181	二、图乘法的基本公式	192
思考题	182	第五节 静定结构在支座移动时的	
习题	183	位移计算	197
第十一章 静定结构的位移计算..... 188		第六节 互等定理	198
第一节 位移的概念及位移计算的		一、功的互等定理	198
目的	189	二、位移的互等定理	199
一、位移的概念	189	思考题	200
二、位移计算的目的	189	习题	201
第二节 变形体的虚功原理	190	参考文献..... 206	
一、变形体的虚功	190		

第一章 静力学基本知识

学习目标

1. 掌握力和力的平衡的概念。
2. 掌握静力学基本公理。
3. 掌握工程中常见的约束和约束反力。
4. 了解集中力、集中力偶、均布力三种荷载。
5. 能熟练进行物体的受力分析。

技能目标

1. 学习力和刚体的概念时，要仔细领会这些概念是如何抽象化形成的，以便于准确理解其概念。
2. 对于静力学公理，要掌握它们的内容和适用条件，还需注意在后续章节中如何以这些公理为基础，建立或推导新的知识点。
3. 了解各类约束的构成，明确各类约束的约束性质，并根据约束的性质来分析约束反力。
4. 力的概念、静力学公理、各类约束反力是进行物体受力分析的依据，并通过受力分析加深对这些知识的理解。
5. 在进行物体的受力分析时，要特别注意区分内力和外力、作用与反作用力。

第一节 静力学的基本概念

一、力的概念

力的概念产生于人类长期的生活和生产劳动中。当人们用手握、拉、掷物体时，当人们进行推车、搬动重物、踢球、用锤子打铁等活动时，由于肌肉紧张而感受到力的作用，这种作用广泛存在于人与物及物与物之间。例如，推车或用锤子打铁，由于人对物体施加了力，使推车的运动状态发生了变化或使铁产生了变形，而同时也感受到车子、铁块对人

的手有作用力。

综上所述，力可定义为：力是物体之间相互的机械作用，力的作用效果是使物体的运动状态发生改变或使物体产生变形。

1. 力的三要素

由实践可知，力对物体的作用效果取决于三个要素，即大小、方向、作用点。这三个要素中只要有一个要素发生改变，力对物体的作用效果就会改变。例如，如图 1-1 所示，用扳手拧螺母时，作用在扳手上的力，因大小不同，或方向不同，或作用点不同，它们产生的效果就不一样。



图 1-1

2. 力的单位

目前，力的单位一般采用国际单位制(SI)计量单位，用 N(牛)或 kN(千牛)表示。

$$1\text{ kN}=1\,000\text{ N}$$

3. 力的矢量

如图 1-2 所示，力是矢量，通常用一个带箭头的线段表示，矢量的起点 A 表示力的作用点；矢量的长度 AB 按选定的比例尺表示力的大小；矢量的方向表示力的作用方向。用字母表示力，一般用黑体字，如 $\boldsymbol{F}$ 。

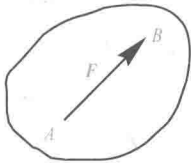


图 1-2

■ 二、平衡的概念

在一般工程问题中，平衡是指物体相对地球保持静止或作匀速直线运动的状态。平衡是机械运动的一种特殊情况。所有物体的平衡都是相对于某个参考系而言的，绝对平衡是不存在的。例如，公交车上的座椅，它相对于公交车是静止的，但相对于地面不是静止的。又例如，相对于地面静止的物体，它相对于太阳来说却是运动的，因为地球本身作自转并绕太阳公转。

■ 三、刚体的概念

任何物体受到力的作用都会产生变形，即使有的变形很微小，用肉眼观察不到，我们也能用各种测试手段测出变形是客观存在的。但是，在我们研究物体机械运动规律时，通常广泛遇到这种情况：物体受到力的作用时产生的变形很小，对所研究的问题影响甚微。为使研究的问题得到简化，可以略去这微小的变形，近似把所研究的物体看成是不变形的物体，即刚体。刚体是指在力的作用下不产生变形的物体。

刚体在自然界中是不存在的，只是在静力学部分，由于物体受力时微小变形对所研究的问题影响甚微，可以忽略不计，所以在静力学中，把所研究的物体看成是刚体。而在后续的力学课程中，将进一步研究物体的变形问题。

第二节 静力学基本公理

静力学公理是在无数次实践中得出又在实践中得到验证的有关力的一些基本规律，静力学公理是学习静力学的理论基础。

一、二力平衡公理

作用在同一刚体上的两个力，使刚体平衡的必要和充分条件是：这两个力大小相等，方向相反，作用在同一直线上(简称等值、反向、共线)。

如图 1-3 所示，物体平衡的必要和充分条件是：

$$F_1 = -F_2$$

二力构件：工程中，若某构件只受两个力作用而平衡，这类构件通常称为二力构件。二力构件必须同时满足以下三个条件：

- (1) 构件不计自重。
- (2) 构件两端均为光滑圆柱铰(本章第三节有述)。
- (3) 构件上不受任何力的作用(两端圆柱铰除外)。

图 1-4 中，杆件 AB、BC 均为二力杆。二力杆的受力特点是：杆件两端作用一对等值、反向、共线的平衡力，作用线是沿杆件两端的连线。

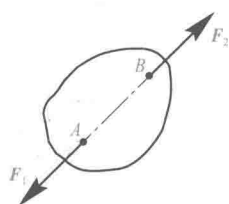


图 1-3

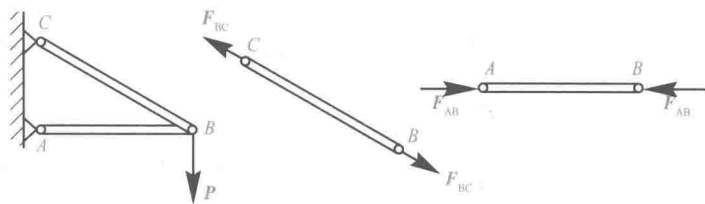


图 1-4

二力构件可以是直杆、折杆、曲杆或其他任意形状的构件，只要同时满足以上三个条件的构件均是二力杆。

图 1-5 中 CD 杆、图 1-6 中 AC 杆、图 1-7 CD 杆均为二力杆。

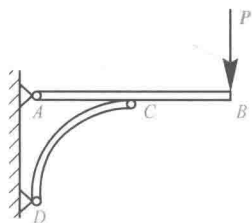


图 1-5

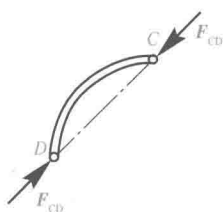
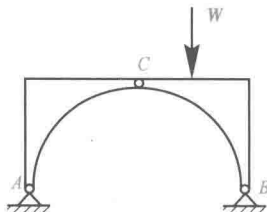


图 1-6



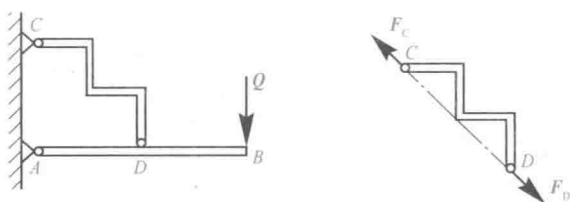


图 1-7

■ 二、加减平衡力系公理

在作用着已知力系的刚体上，加上或减去任意的平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效果。

由上述公理可导出如下推论。

力的可传性原理：作用于刚体上的力，可沿其作用线移到刚体上的任一点，而不改变该力对该刚体的作用效果。

此推论证明如下：

(1) 设力 F 作用于刚体上的 A 点[图 1-8(a)]。

(2) 在力 F 的作用线上任取一点 B ，在 B 点加一对沿 F 作用线的平衡力 F_1 和 F_2 ，且使 $F_2 = F = -F_1$ [图 1-8(b)]。

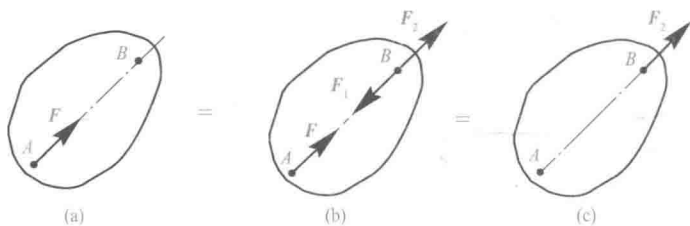


图 1-8

(3) 去掉 F 和 F_1 组成的一对平衡力，刚体上只剩力 F_2 ，这样，就把原来作用于 A 点的力 F 沿其作用线移到了 B 点，而没有改变力对刚体的作用效果。

此推论说明，力是滑移矢量，它可以沿其作用线滑移，但不能移至作用线以外的位置。

■ 三、力的平行四边形法则

作用于物体上同一点的两个力，可以合成为一个合力。合力的作用点仍在该点，合力的大小和方向是以这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线来确定的。其矢量表达式为

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

图 1-9(a)中，力 F_1 、 F_2 作用于物体上的同一点 A ，以 F_1 和 F_2 为邻边作平行四边形，对角线即为 F_1 和 F_2 的合力 F_R 。下面用几何关系求出合力 F_R 的大小和方向。

设力 F_1 、 F_2 的夹角为 α ，如图 1-9(a)所示，取图 1-9(a)中平行四边形的一半，得到图 1-9(b)所示的力的三角形。图 1-9(b)中，力 F_1 、 F_2 首尾连接，力 F_1 的起点和力 F_2 的终点

连线即为合力 F_R ，合力 F_R 的方向由起点指向终点。由余弦定理可求得 F_R 的大小

$$F_R^2 = F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2\cos(180^\circ - \alpha)$$

$$F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha}$$

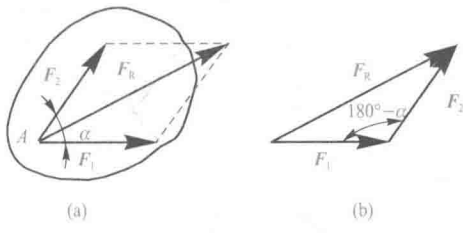


图 1-9

根据力的平行四边形法则，可以推导出三力平衡汇交定理：

若刚体只受三个共面力作用而处于平衡，且其中两个力的作用线汇交于一点，则第三个力的作用线必通过该点。

证明：如图 1-10 所示，刚体只受力 F_1 、 F_2 、 F_3 三个力的作用而处于平衡，且力 F_1 、 F_2 的作用线汇交于 O 点。由力的可传性原理，可将力 F_1 、 F_2 移到 O 点，再由力的平行四边形法则可得出合力 F_{12} 。此时刚体只受 F_{12} 、 F_3 两个力作用而处于平衡，则由二力平衡公理可知，力 F_3 和力 F_{12} 必共线，即力 F_3 的作用线必通过 O 点。

说明，三力平衡汇交定理是共面而不平行的三个力平衡的必要条件，但不是充分条件，也就是说该定理的逆定理不一定成立。

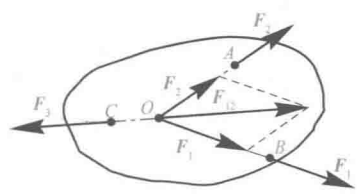


图 1-10

■ 四、作用力与反作用力公理

两个物体间的作用力与反作用力总是同时存在的，这两个力等值、反向、共线，但分别作用在两个物体上。

如图 1-11 所示，重力为 G 的物体放在桌面上处于静止，物体对桌面有一个作用力 N' 作用在桌面上，而同时桌面对物体有一个反作用力 N 作用在物体上，力 N 和 N' 的大小相等，方向相反，作用在同一直线上，但分别作用在物体和桌面上，故力 N 和 N' 是作用与反作用力。

图 1-11 中，物体上作用着两个力 G 和 N ，这两个力大小相等，方向相反，沿同一直线，且作用在同一物体上，故力 G 和 N 是一对平衡力。

注意，作用与反作用公理和二力平衡公理有着本质的区别：前者中的两个力分别作用在两个物体上，而后者中的两个力作用在同一物体上。

说明，作用与反作用公理不论对刚体还是变形体，也不论对静止物体还是运动物体，都是适用的。

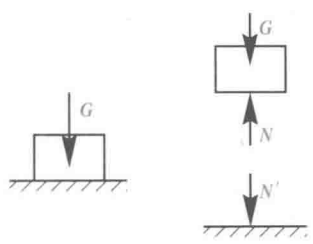


图 1-11

第三节 约束和约束反力

工程中的构件总是以一定的形式与周围其他构件相互连接,例如,用绳索悬挂的重物,用墙支撑的梁,在空间得到稳定的平衡;小车受到地面的限制,使其只能沿路面运动;转轴受到轴承的限制,使其只能绕轴心转动等。

一物体的运动受到周围物体的限制时,这种限制称为约束。约束限制了物体本来可能产生的某种运动,因此约束有力作用于物体,这种力称为约束反力,简称约束力。

约束反力总是作用在约束物体与被约束物体的接触处,约束反力的方向总是与约束所能限制的运动方向相反。约束反力的大小一般都是未知的。

下面介绍工程中常见的约束类型及其约束反力。

一、柔性约束

由柔索、链条、胶带等构成的约束为柔性约束。柔性约束只能承受拉力,即只能限制物体沿着柔索伸长方向的运动。柔性约束反力通过接触点,沿着柔索而背离物体,用 F_T 表示。

如图 1-12 所示,重力为 G 的物体用软绳挂在天花板上,软绳限制了物体向下运动,软绳所受的力 F_T 使软绳受拉,软绳作用在物体上的约束反力 F'_T 通过接触点 A ,沿着软绳而背离物体,即为拉力。

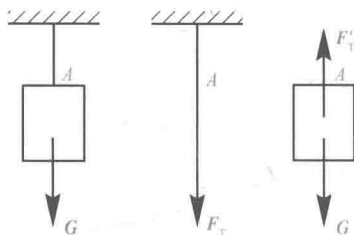


图 1-12

图 1-13(a)中,吊钩受到的柔性约束反力 F_T 与构件的重力 W 等值、反向、共线,是一对平衡力,作用在吊钩、钢索和构件组成的整体系统上;图 1-13(b)中吊钩的柔性约束反力为 F_T ,钢索的柔性约束反力为 F_{TA} 、 F_{TB} ;图 1-13(c)中构件受到的钢索的柔性约束反力 F'_{TA} 、 F'_{TB} 分别与 F_{TA} 、 F_{TB} 是作用力与反作用力。

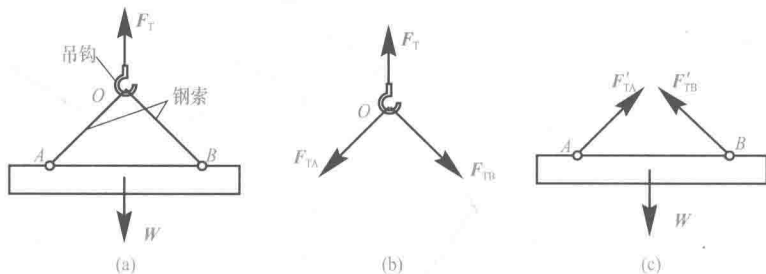


图 1-13

二、光滑面约束

当两物体直接接触且接触面光滑无摩擦时,约束只能限制物体在接触点沿接触面公

法线方向的运动，不能限制物体沿接触面切线方向的运动。因此，光滑面约束反力通过接触点，沿着接触面的法向而指向被约束物体，即为压力，也称为法向反力，用 F_N 表示。

图 1-14(a)、(b)中的 F_N ，图 1-14(c)中的 F_{NA} 、 F_{NB} 、 F_{NC} 等，均为光滑面约束反力，都是通过接触点，沿着接触面的法向而指向被约束物体。

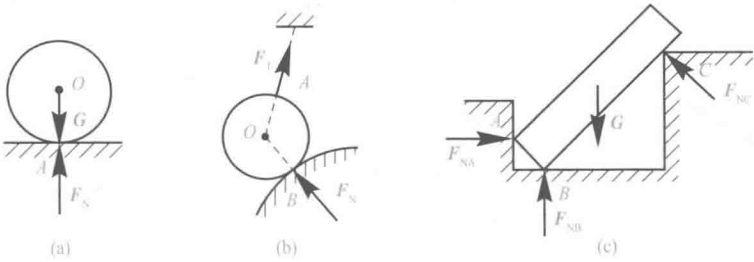


图 1-14

■ 三、光滑圆柱铰链约束

两个构件通过光滑圆柱销连接，这种约束称为光滑圆柱铰链约束。圆柱销只限制两构件的相对移动，而不限制两构件的相对转动。铰链简称为铰。

如图 1-15(a)所示的光滑圆柱铰链连接，可简化为图 1-15(b)所示。由于销钉与圆孔的接触点的位置因物体所受荷载的不同而发生改变，致使反力的方位无法预先确定，只能确定铰链的约束力为一个通过铰链中心的大小、方向均未定的力。此力通常用两个大小未知的正交分力表示[图 1-15(c)、(d)]。图 1-15(c)中 F_{Cx} 、 F_{Cy} 的指向是假定的，图 1-15(d)中 F'_{Cx} 、 F'_{Cy} 分别与图 1-15(c)中的 F_{Cx} 、 F_{Cy} 是作用力与反作用力关系。

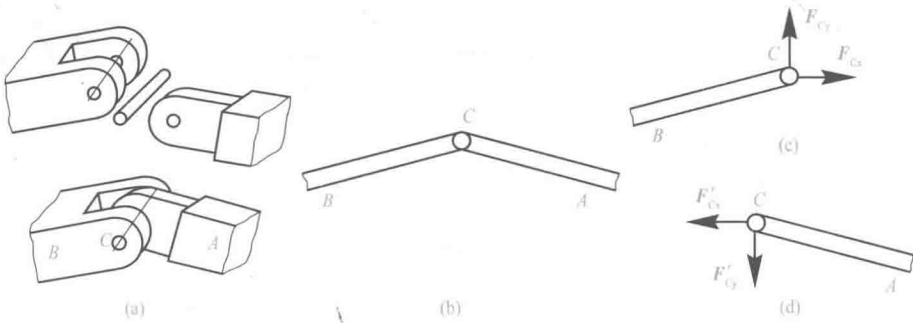


图 1-15

■ 四、固定铰支座约束

用铰链连接的两个构件中，若其中一个与地面或其他固定的物体连接，这种约束称为固定铰支座约束。

固定铰支座的约束反力与光滑圆柱铰链的情形相同，也是用两个互相垂直的分力来表示，指向是假定的[图 1-16(b)]。图 1-16(c)是固定铰支座的另外几种简化表示。

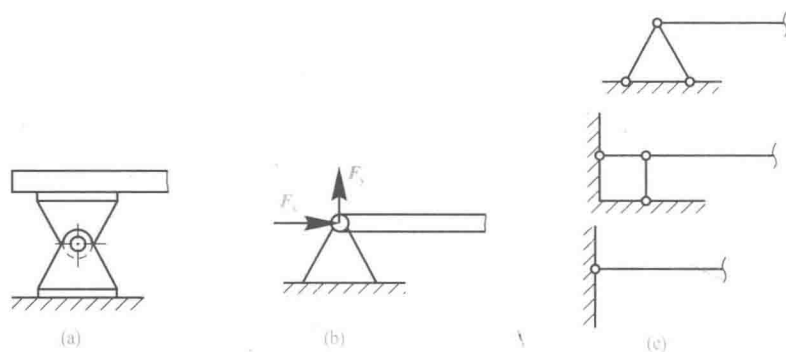


图 1-16

■ 五、活动铰支座约束

若在支座与支承面之间装上滚子，使支座可沿支承面移动，这种约束称为活动铰支座约束，也称为辊轴支座[图 1-17(a)]约束。活动铰支座只能限制构件沿支承面垂直方向的运动，故约束反力必定通过铰链中心，并垂直于支承面[图 1-17(b)]。图 1-17(c)是活动铰支座的另一种简化表示。

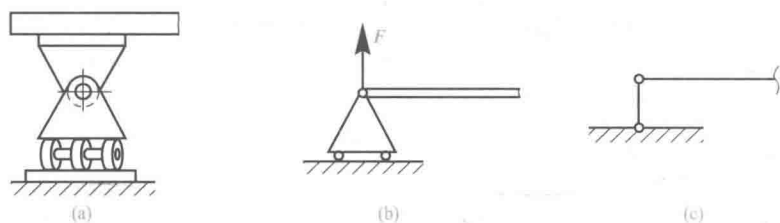


图 1-17

■ 六、固定端约束

若物体在被约束处完全被固定，既限制了物体的垂直与水平位移，又限制了物体的转动，这种约束称为固定端约束。

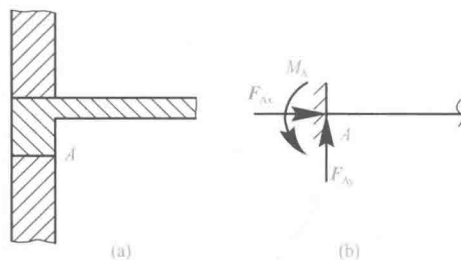


图 1-18

固定端约束的约束反力分布较复杂，在平面问题中可简化为两个互相垂直的、指向假定的分力和一个转向假定的力偶。