

JIANZHU LIXUE

高等学校省级规划教材
——土木工程专业系列教材

建筑力学(I)

J I A N Z H U L I X U E

◎ 刘安中 主 编

张 速 副主编
崔建华

干 洪 主 审

合肥工业大学出版社

高等学校省级规划教材

——土木工程专业系列教材

建筑力学(I)

刘安中 主 编

张 速 副主编
崔建华

干 洪 主 审

合肥工业大学出版社

内 容 提 要

本书是参照原国家教委编写的高等工科学校理论力学和材料力学课程的教学基本要求编写而成的。

本书分为两篇,共 19 章。上篇为刚体静力学,包含了理论力学的静力学部分;下篇为材料力学,包含了材料力学的全部基本内容。本书根据 21 世纪高等学校工科教育发展的新形势和各相关专业发展的需要,结合建筑类院校的教学特点,对理论力学和材料力学的内容进行了适当整合,形成了内容紧凑,层次清晰,重点突出的教材体系。

本书主要作为高等工科学校各类建筑力学、工程力学课程的教材。也可用于各类成人教育的教材以及工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学. 1/刘安中主编. —合肥:合肥工业大学出版社,2006.12

ISBN 7-81093-530-5

I. 建… II. 刘… III. 建筑力学—高等学校—教材 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 162170 号

建 筑 力 学(I)

主编:刘安中 责任编辑:陈淮民 特约编辑:吴咏梅

出 版 合肥工业大学出版社
地 址 合肥市屯溪路 193 号
邮 编 230009
电 话 总编室:0551-2903038
发行部:0551-2903198
网 址 www.hfutpress.com.cn
E-mail press@hfutpress.com.cn
版 次 2006 年 11 月第 1 版
印 次 2006 年 11 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 23
字 数 566 千字
发 行 全国新华书店
印 刷 安徽江淮印务有限责任公司

ISBN 7-81093-530-5/TU·27 定价:35.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换

安徽省高校土木工程系列规划教材

编 委 会

主 任：千 洪

副主任：王建国 汪仁和 沈小璞

委 员：（按姓氏笔画排列）

丁克伟	马芹永	戈海玉	卢 平
刘安中	孙 强	吴 约	完海鹰
邵 艳	柳炳康	夏 勇	殷和平
高荣誉	黄 伟		

前 言

建筑力学是建筑类高等工科学校的一门重要的专业基础课。建筑力学的内容主要包括理论力学、材料力学和结构力学。《建筑力学（I）》包含理论力学和材料力学的内容。《建筑力学（II）》包含结构力学的内容。

《建筑力学（I）》分为两篇。上篇为刚体静力学部分，共有6章。主要内容包括理论力学基本概念、物体的受力分析以及各种力系的合成与平衡条件。下篇为材料力学部分，共有13章。主要内容包括材料力学基本概念、杆件的内力、应力和变形以及杆件的强度、刚度和稳定性计算。

本书是按照原国家教委编写的高等工科学校理论力学和材料力学课程教学基本要求，根据新形势下教育改革趋势和建筑类院校的教学特点，结合编写组教师的长期教学经验编写而成的。本书对理论力学中的静力学内容和材料力学的内容进行了整合与凝炼，合并为一本书。本书在内容上注意和后续课程的衔接，将对后续课程影响不大的内容或重复的内容进行了适当的压缩和精简，突出重点内容。在理论上力求简明，强调对学生的工程计算能力和分析问题能力的培养。

本书适用于建筑类高等学校各专业建筑力学课程的教学，教学课时建议为70~80学时。也适用于工科非机械类、非土建类专业的学生对建筑力学（工程力学）课程的学习。也可供工程技术人员参考。

本书由安徽建筑工业学院刘安中教授任主编，张速副教授和崔建华副教授任副主编，参加编写的教师有安徽建筑工业学院刘安中（前言、第5章、第7章、第8章、第13章）、张速（第1章、第2章、第3章、附录2）、崔建华（第10章、第14章、第15章）、苏少卿（第6章、第16章、附录1）、晏燕（第17章、第18章、第19章）、杨文（第9章、第11章、第12章）和铜陵学院孟令运（第4章）。

安徽建筑工业学院干洪教授主审了本书，并对本书的编写提出了许多宝贵的建议，特致谢意。并对周道祥教授、沈小璞教授、孙强教授、吴约副教授在本书的编写过程中给予的关心和帮助表示谢意。

在本书的编写过程中参考了有关书籍，并从中引用了部分例题和习题。在此表示感谢。书中如有不妥之处，敬请读者提出指正。

编 者

2006年10月

目 录

[上篇] 刚体静力学

第 1 章 静力学基本概念与公理	3
1. 1 静力学基本概念	3
1. 2 静力学公理	3
1. 3 约束和约束反力	6
1. 4 物体的受力分析和受力图	9
第 2 章 平面汇交力系与平面力偶系	14
2. 1 平面汇交力系合成与平衡的几何法	14
2. 2 平面汇交力系合成与平衡的解析法	16
2. 3 平面力对点之矩的概念与计算	19
2. 4 平面力偶	21
第 3 章 平面任意力系	28
3. 1 平面任意力系向作用面内任一点的简化	28
3. 2 平面任意力系的平衡条件和平衡方程	34
3. 3 平面平行力系的平衡	37
3. 4 物体系统的平衡 · 静定与超静定的概念	39
第 4 章 空间汇交力系与空间力偶系	48
4. 1 空间汇交力系	48
4. 2 力对点的矩和力对轴的矩	52
4. 3 空间力偶	56
第 5 章 空间任意力系	63
5. 1 空间任意力系向一点的简化	63

5. 2 空间任意力系的平衡条件	66
5. 3 物体的重心	70
第 6 章 摩 擦	80
6. 1 滑动摩擦	80
6. 2 考虑摩擦时物体的平衡问题	83

[下 篇] 材 料 力 学

第 7 章 变形固体的基本概念与杆件变形的基本形式	93
7. 1 变形固体的基本概念	93
7. 2 杆件变形的基本形式	94
第 8 章 轴向拉伸与压缩	96
8. 1 轴向拉伸与压缩的概念	96
8. 2 轴向拉伸与压缩时横截面上的内力	97
8. 3 轴向拉（压）杆截面上的应力	99
8. 4 轴向拉（压）杆的变形	102
8. 5 材料在拉伸与压缩时的力学性质	106
8. 6 安全系数·许用应力和强度条件	111
8. 7 拉伸与压缩时的超静定问题	114
8. 8 应力集中现象	120
第 9 章 剪切与挤压	125
9. 1 剪切与挤压的概念	125
9. 2 剪切的实用计算	126
9. 3 挤压的实用计算	127
第 10 章 截面的几何性质	135
10. 1 静矩与形心	135
10. 2 惯性矩·极惯性矩·惯性积	137
10. 3 平行移轴公式	139
10. 4 转轴公式·主惯性轴和主惯性矩	140

第 11 章 扭 转	148
11. 1 扭转的概念	148
11. 2 外力偶矩的计算·扭矩及扭矩图	149
11. 3 薄壁圆管的扭转	152
11. 4 圆轴扭转时截面上的应力	155
11. 5 圆轴扭转的变形·刚度条件	162
11. 6 扭转的超静定问题	164
11. 7 矩形截面杆的自由扭转	165
第 12 章 弯曲内力	173
12. 1 平面弯曲的概念及梁的简化	173
12. 2 梁的内力	175
12. 3 剪力方程和弯矩方程·剪力图和弯矩图	179
12. 4 弯矩·剪力和分布荷载集度的微分关系	183
12. 5 叠加法作剪力图和弯矩图	187
第 13 章 弯曲应力	194
13. 1 梁横截面上的正应力	194
13. 2 梁横截面上的切应力	202
13. 3 提高梁抗弯强度的途径	210
第 14 章 弯曲变形	218
14. 1 梁的挠曲线近似微分方程	218
14. 2 积分法求弯曲变形	220
14. 3 叠加法求弯曲变形	225
14. 4 梁的刚度校核	227
14. 5 简单超静定梁	228
第 15 章 应力状态分析和强度理论	235
15. 1 应力状态的概念	235
15. 2 平面应力状态分析的解析法	237
15. 3 平面应力状态分析的几何法	242
15. 4 空间应力状态	245
15. 5 广义胡克定律	247

15. 6	复杂应力状态的应变能	251
15. 7	强度理论	253
15. 8	强度理论的应用	256
第 16 章 组合变形		263
16. 1	组合变形的概念	263
16. 2	斜弯曲	263
16. 3	拉伸（压缩）与弯曲	269
16. 4	偏心拉伸（压缩）	272
16. 5	弯曲与扭转	277
第 17 章 压杆稳定		284
17. 1	压杆稳定的概念	284
17. 2	细长压杆的临界力	286
17. 3	临界应力和欧拉公式的适用范围	290
17. 4	压杆的稳定计算	293
17. 5	提高压杆稳定性的措施	298
第 18 章 能量法		302
18. 1	外力功和应变能	302
18. 2	卡氏定理	307
18. 3	虚位移原理与单位力法	314
18. 4	图乘法	317
第 19 章 动荷载		326
19. 1	动荷载的概念	326
19. 2	构件作匀加速直线运动和匀速转动时的动应力计算	326
19. 3	冲击荷载作用下的应力和变形计算	330
附录		336
1.	习题答案	336
2.	型钢表	344
参考文献		358

[上 篇] 刚 体 静 力 学

引 言

本篇的内容是研究物体在力系作用下的平衡规律。

所谓平衡,是指物体相对于地面保持静止或匀速直线运动状态,它是机械运动的特殊情形,而机械运动是指物体在空间的位置随时间的变化。作用在物体上的一群力,称为力系。工程中常见的力系,按其作用线的位置分为平面力系和空间力系两大类,而这两大类又可分为汇交力系、力偶系、平行力系和任意力系。平面力系是指作用在物体上各个力作用线全部在同一平面的力系,空间力系是指作用在物体上各个力作用线不全部在同一平面的力系。若一个力系作用在物体上使物体保持平衡,则此力系称为平衡力系。

本篇主要研究三个问题:

1. 物体的受力分析

即分析物体受几个力的作用,这几个力的方向和作用位置。

2. 力系的简化(或合成)

就是将作用在物体上的较复杂的力系用一个与其作用效果相同的简单力系来代替。这种简单力系称为原力系的等效力系。若某力系与一个力等效,则称此力为该力系的合力,而该力系中的各力称为此力的分力。

3. 建立力系的平衡条件

所谓力系的平衡条件是指物体处于平衡时,作用在物体上的力系所应满足的条件。通过建立和应用平衡条件可求力系中的未知力,并推广应用于第二篇的变形固体。

静力学在工程中有着广泛的应用,在设计结构、构件和机械零件时的静力计算必须要用到静力学的知识。静力学是学习材料力学、结构力学以及专业课的基础。

第 1 章 静力学基本概念与公理

本章介绍力、刚体的基本概念、几个公理以及约束基本类型、物体受力分析和受力图。这一章将与以后各章联系非常密切。

1.1 静力学基本概念

1.1.1 力的概念

力是物体间的相互机械作用,这种作用使物体产生运动状态发生变化和物体发生变形的两种效应。例如人推车子使车子由静止进入运动,锻锤对工件的冲击力使工件发生变形。前者称为力的外效应,后者称为力的内效应。静力学只讨论力的外效应,至于力的内效应在材料力学、结构力学等篇中讨论。

力对物体作用的效应取决于力的三要素,即:(1)力的大小;(2)力的方向;(3)力的作用点。因此,力是具有大小和方向的量,它是矢量,力矢量可以用一带箭头的直线段表示,如图 1-1,其中线段 AB 的长度(按一定的比例尺)表示力的大小,线段的方位(例如与水平线成 θ 角)和箭头的指向表示力的方向,线段的起点 A 或终点 B 表示力的作用点。过力的作用点沿力的矢量方位画出的直线(如图 1-1 中 KL),称为力的作用线。此外,在本书中,凡是矢量都用粗斜字母表示,如力 F ,而矢量大小(亦称矢量的模)则用细斜体字母表示,如 F 。手写时,为了方便,矢量往往在细斜体字上加一带箭头横线表示,如 $\vec{F}$ 。在国际单位制中,以“N”作为力的单位符号,称作牛[顿],有时也以“kN”作为力的单位称号,称作千牛[顿]。

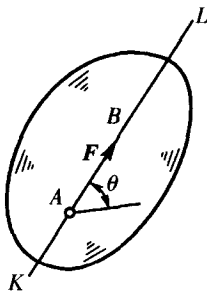


图 1-1

1.1.2 刚体的概念

在静力学中,所研究的物体都是刚体。所谓刚体,就是在任何外力作用下,物体的大小和形状始终保持不变,或者说,物体在任何外力作用下,其内部任意两点之间的距离始终保持不变。刚体是一个理想的模型,在自然界中是不存在的,因为任何物体受到力的作用都要发生变形,只不过变形有的大,有的小,当物体发生变形非常小,可以忽略不计时,则可把该物体视为刚体。实际物体经过这样的抽象以后,将使静力学(亦称刚体静力学)所研究的问题大为简化。

1.2 静力学公理

公理是人们在长期的生活和实践中积累的经验总结,又经过实践反复检验,正确反映客观实践的最普遍、最一般的规律。静力学中所有的定理和结论都是由几个公理推演出来的。

公理 1 力的平行四边形法则

作用于物体上同一点的两个力,可以合成为作用于该点的一个合力,它的大小和方向,由以

这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线确定(图 1-2(a)),或者说,合力等于这两个力的矢量和。即

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1-1)$$

也可以另作一力三角形,求这两汇交力合力的大小和方向,如图(1-2(b)),即将力 $\mathbf{F}_2$ 平移连在力 $\mathbf{F}_1$ 的末端 B ,连接 A 和 C 两点,则矢量 $\overrightarrow{AC}$ 即表示合力 $\mathbf{F}_R$,这样的作图方法,称为力三角形法则。

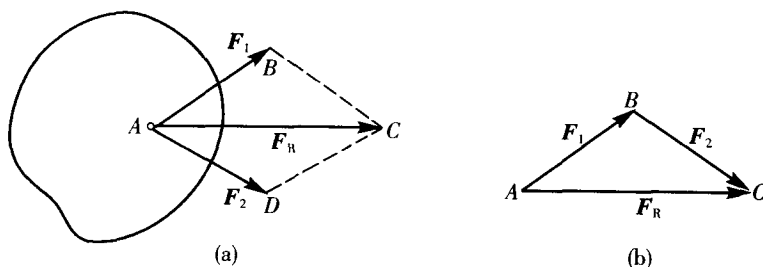


图 1-2

力的平行四边形法则是力系简化的基础;同时,它也是力分解的法则。同一点的两个分力可以合成一个合力,而以一个力为对角线可以作出无穷多个不同的平行四边形,因此,解答不确定,只有附加条件(如将力向 x 轴 y 轴分解),才能得到确定的解答。

公理 2 二力平衡条件

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:这两个力的大小相等、方向相反,且作用线沿同一直线上(图 1-3)。即

$$\mathbf{F}_1 = \mathbf{F}_2 \quad (1-2)$$

这个公理所指出的条件,对于刚体是必要和充分的,但对于变形体就不是充分的。例如绳子的两端分别受到大小相等、方向相反且共线的两个拉力作用时,绳子可以平衡;但如果受到大小相等、方向相反且共线的两个压力作用时,绳子就不能平衡。

仅在两点受力作用而处于平衡的构件称为二力构件,简称二力体。二力体所受的二力沿此二力作用点的连线,且等值、反向。如图 1-4 所示。

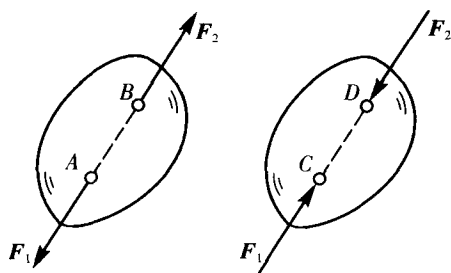


图 1-3

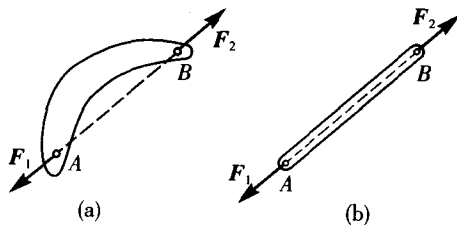


图 1-4

公理 3 加减平衡力系公理

在作用于刚体上的任意力系上,加上或去掉任何一个平衡力系,并不改变原力系对刚体的

作用。

这个公理是研究力系等效变换的重要依据。

根据上述公理可以导出下列推论：

推论 1 力的可传性原理

作用于刚体上某点的力，可以沿着它的作用线移到刚体内任意一点，并不改变该力对刚体的作用。

证明：在刚体上的点 A 作用力 F ，如图 1-5(a) 所示。今在力 F 的作用上任选一点 B ，根据加减平衡力系公理，在 B 点加上两个相互平衡力 F_1 和 F_2 ，使 $F = F_1 = -F_2$ ，如图 1-5(b) 所示。因为力 F 和 F_2 也是一个平衡力系，所以可以除去，这样就剩下一个力 F_1 ，如图 1-5(c) 所示，即把作用在 A 点的力 F 沿其作用线移动至 B 点。推论证毕。

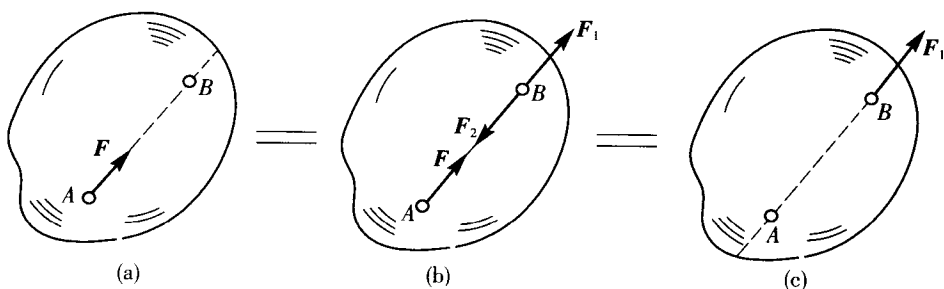


图 1-5

由上述推论可知，对刚体来说，力的作用点已不是决定力的作用效应的要素，它已被力的作用线所代替。因此，作用于刚体上的力的三要素是：力的大小、方向和作用线。由此可见，作用于刚体上的力，可以沿着其作用线移动，这种矢量称为滑动矢量。此外，力的可传性原理不适用于变形体，而且只适用于同一刚体，不能将力沿其作用线由一个刚体移到另一个刚体上去。

推论 2 三力汇交定理

刚体在不平行的三力作用下平衡时，此三力的作用线必共面且汇交于一点。

证明：设在刚体 A, B, C 三点上，分别作用不平行的三个相互平衡的力 F_1, F_2, F_3 ，如图 1-6 所示，根据力的可传性，将力 F_1, F_2 移到其汇交点 O ，然后根据力的平行四边形法则，得合力 F_{R12} 。则力 F_3 应与 F_{R12} 平衡。由于两个力平衡必须共线，所以 F_3 必定与力 F_1 和 F_2 共面，且通过力 F_1 与 F_2 的交点 O ，于是定理得到证明。

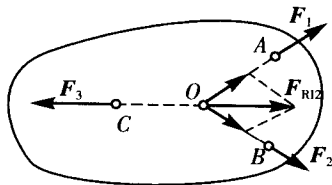


图 1-6

公理 4 作用和反作用定律

两物体间相互作用的一对力，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。若用 F 表示作用力，又用 F' 表示反作用力，则 $F = -F'$ 。

这个公理概括了物体间相互作用的关系，表明作用力和反作用力总是成对出现的。由于作用力与反作用力分别作用在两个物体上，因此，不能视作平衡力系。

公理 5 刚化原理

当变形体在某一力系作用下处于平衡时，若将此变形体转化为刚体（刚化），则平衡状态不变。

此公理表明,若某力系能保证变形体平衡,则该变形体刚化为刚体后,该力系仍能保证其平衡。换句话说,对已经处于平衡状态的变形体,可以应用刚体静力学的平衡条件。但是,刚体静力学中得到的平衡条件,对刚体而言是充分和必要的,而对变形体的平衡来说,却只是必要的而不一定是充分的。例如,绳索在等值、反向、共线的两个拉力作用下处于平衡,如将绳索刚化成刚体,其平衡状态保持不变;反之就不一定成立。

1.3 约束和约束反力

通常把物体分为两类:一类为自由体,它们的位移不受任何限制,例如,在空中飞行的飞机,发射的火箭、炮弹均为自由体。相反,另一类物体,它们的位移受到了预先给定的条件的限制,使它沿某些方向的运动成为不可能,这类物体称为非自由体。例如用绳子悬挂重物,使重物不能沿绳子中心线离开绳子运动;柱子的大梁受到柱子的限制不能向下运动。重物、大梁均是非自由体。对非自由体的某些位移起限制作用的周围物体称为约束。例如,用绳子悬挂重物,绳子对于重物就是约束;柱子上的大梁,柱子对于大梁也是约束。

既然约束限制着物体的运动,那么,当物体沿着约束所能限制的方向有运动或有运动趋势时,约束对该物体必然有力的作用,以阻碍物体的运动,这种力称为约束反力或约束力,简称反力。约束反力的方向总是与约束所能阻碍的物体的运动趋势的方向相反,约束反力的作用点就是约束与被约束物体的接触点。

与约束反力相对应,能主动地引起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、风压力等。工程中把作用在结构上的主动力称为荷载。通常主动力是已知的,约束反力是未知的,在静力学中,往往由已知荷载根据静力平衡方程来算约束反力。

下面介绍在工程的常见的几种约束类型及其约束反力的特性。

1.3.1 柔体约束

由柔软的绳索、链条、胶带等所构成的约束统称为柔体约束。由于柔体约束只能限制物体沿着柔体的中心线伸长方向的运动,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必定是沿着柔体约束的中心线且背离被约束的物体,即是拉力,用 F_T 表示,例如,图 1-7 所示,用绳子悬挂重物使重物不下落,绳子就是柔体约束,其反力用 F_T 表示。

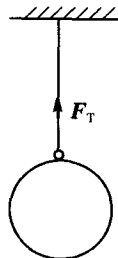


图 1-7

1.3.2 光滑接触面

当两物体接触面上的摩擦力很小并可忽略不计时,即可认为光滑接触。

如图 1-8 所示,物体放置在光滑支承面上,那么支承面对物体的约束就是光滑接触面约束。不论支承面的形状如何,这种约束只能限制物体沿着接触面的公法线而指向支承面运动,但不能限制物体沿着切面或离开支承面运动。因此,光滑接触面的约束反力通过接触点,方向沿接触面的公法线并指向被约束的物体(即为压力),用符号 F_N 表示。

1.3.3 光滑圆柱铰链

圆柱铰链(简称铰链)是工程结构和机器中经常用来连接构件或零部件的一种结构形式。它的构造是将两个构件(或零件)钻上同样大小的光滑销钉圆孔,并用光滑的圆柱销钉插入圆孔而

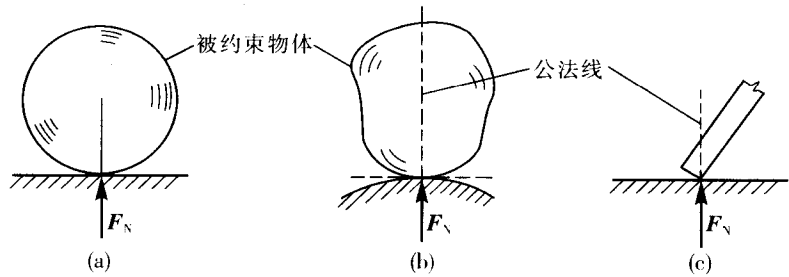


图 1-8

将两个构件(或零件)连接起来,其结构如图 1-9(a)所示,图 1-9(b)是图 1-9(a)的简图。

这类约束的特点是只限制物体在垂直销钉轴线的平面内沿任意方向的相对移动,但不能限制物体绕销钉轴线的相对转动和沿其轴线方向的相对滑动。因此,铰链的约束反力作用在垂直于销钉轴线的平面内,通过销钉中心,而方向待定(如图 1-9(c)中的 F_A)。在实际应用中,通常把它分解为两个互相垂直且通过销钉中心的分力,用 F_{Ax} , F_{Ay} 表示(图 1-9(d)),其指向可以任意假定,再根据计算结果来判定其正确性。只要确定了这两个分力,约束反力 F_A 也就确定了。

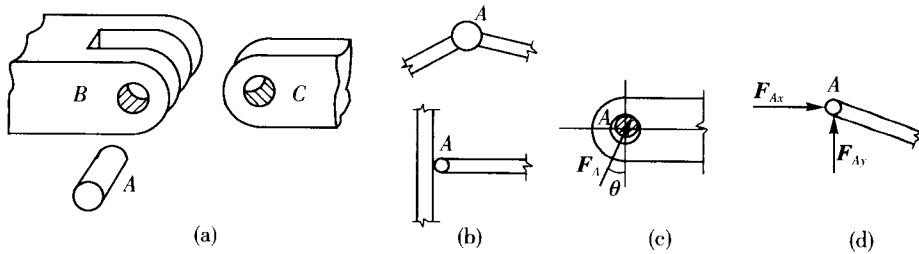


图 1-9

1.3.4 固定铰支座

工程上常将一支座用螺栓与基础或静止的结构物固定起来,并将构件用圆柱形光滑销钉与该支座连接,就构成所谓的固定铰支座,简称铰链支座,如图 1-10 所示。

这种支座约束特点与铰链约束完全相同。固定铰支座的简图及其约束反力的表示法如图 1-11(a)、(b)所示。

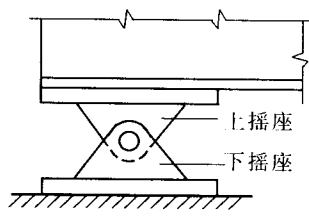


图 1-10

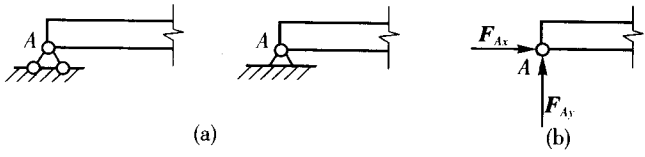


图 1-11

1.3.5 可动铰支座(辊轴支座)

在固定铰支座下面用几个辊轴支承在支承面上,就构成可动铰支座,又称为辊轴支座,如图 1-12 所示。这种支座不能限制物体绕销钉的转动和沿支承面的运动,只能限制物体与支承面垂直方向(指向或背离支承面)的运动,因此,可动铰支座的约束反力垂直于支承面,且通过销钉中心,指向待定。图 1-13(a)、(b)分别为这种支座的简图及反力表示。

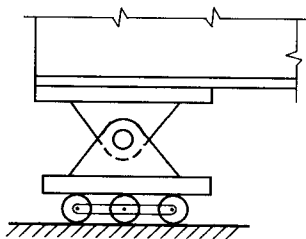


图 1-12

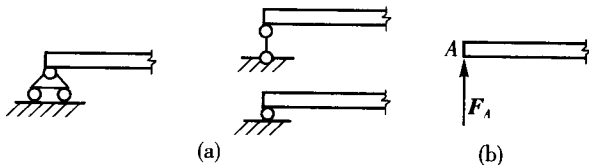


图 1-13

1.3.6 链杆约束

所谓链杆就是两端用光滑的圆柱形销钉与其他两物体连接起来且中间不受力(包括自重忽略不计)的直杆。如图 1-14(a)。

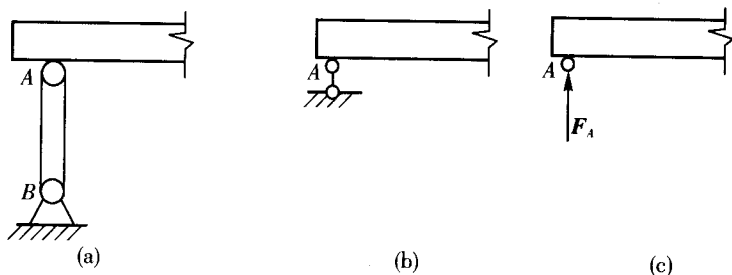


图 1-14

这种约束只能限制物体沿其中心线方向的运动,而不能限制其他方向的运动。由于链杆为二力杆,既能受拉又能受压,所以链杆约束的约束反力沿着链杆的中心线,指向待定,用 F_A 表示,图 1-14(b)、(c)分别为链杆的简图及其反力表示。

1.3.7 轴承

1. 向心轴承(径向轴承)

如图 1-15(a)所示为向心轴承装置,由带有光滑圆柱形轴孔构成。其特点是轴承可以让轴绕轴孔轴线转动或沿轴线移动,但不能在垂直于轴孔轴线的平面内任意移动。故向心轴承对轴的约束反力应在与轴垂直的平面上,通过圆轴中心,但方向不能预先确定。通常以其互相垂直的两个分力 F_x, F_y 来表示。图 1-15(b)、(c)分别为向心轴承的简图及其反力表示。

2. 止推轴承

止推轴承可视为由一光滑面将向心轴承圆孔的一端封闭而成,如图 1-16(a)所示,图