

21世纪普通高等院校规划教材——基础力学

JIANMING
GONGCHENG LIXUE

简明工程力学

主 编 胡文绩
副主编 邱清水 彭俊文 袁前胜 唐学彬



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

21 世纪普通高等院校规划教材——基础力学

简明工程力学

主 编 胡文绩

副主编 邱清水 彭俊文

袁前胜 唐学彬

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容简介

本书是按照 64 学时的教学要求编写的。全书分为 2 篇,共 15 章。第一篇(共 5 章)为静力学,包括静力学基本概念与物体的受力分析、平面汇交力系、力矩与平面力偶理论、平面一般力系及空间力系;第二篇(共 10 章)为材料力学,包括材料力学概述、拉伸与压缩、连接件的实用计算、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态分析与强度理论、压杆稳定及动载荷。本书注重基本概念의阐述,尽量避免过多的理论推导和烦琐的数学运算,适当降低难度。另外,本书注重了工程概念并增加了工程实例。书末附有附录及习题参考答案。

本书可供普通高等院校本、专科等各专业的中、少学时工程力学课程使用。

图书在版编目(CIP)数据

简明工程力学 / 胡文绩主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2009.8

21 世纪普通高等院校规划教材. 基础力学
ISBN 978-7-5643-0417-1

I. 简… II. 胡… III. 工程力学—高等学校—教材
IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 154509 号

21 世纪普通高等院校规划教材——基础力学

简明工程力学

主编 胡文绩

*

责任编辑 张波

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都市二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话:
028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 170 mm × 230 mm 印张: 19

字数: 341 千字 印数: 1—3 000 册

2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-0417-1

定价: 32.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书是专门为普通高等院校本、专科等各专业的中、少学时工程力学课程教学需要而编写的，其内容包括理论力学的静力学部分和材料力学的基本内容。

目前多学时的理论力学、材料力学教材较多，适合重点大学的工程力学教材也有不少，但是，适合普通院校的中、少学时工程力学教材不多，选择余地不大。由此，我们编写了这本教材。本书以进一步推动高等教育教学改革、不断提高人才培养质量为前提，以教育部颁布的《工程力学教学基本要求》以及教育部高等学校力学教学指导委员会力学基础课程教学指导分委员会编制的理工科非力学专业《力学基础课程教学基本要求（试行）》（2008年版）为依据，再结合普通高等院校的特点，对只需中、少学时工程力学课程学习的各专业，采用够用为主，不求大而全，内容精简，并适当降低难度，同时，工程概念有所加强。

本书例题较多，方便读者参考。各章附有小结、思考题和习题，带有“*”的部分习题读者可以选作。带有“*”的部分章节按各专业需求可自己取舍。教材附有习题参考答案。

参加本书编写的有：西华大学胡文绩（第一、七、十五章），西华大学邱清水（第四、五、六、九章），西昌学院袁前胜（第二、三、八章），西华大学彭俊文（第十、十一章），西华大学唐学彬（第十二、十四章），四川理工学院罗云蓉（第十三章），西华大学高红霞（附录及习题参考答案）。全书由胡文绩统稿并任主编，邱清水、彭俊文、袁前胜、唐学彬任副主编。

限于编者的水平，本书恐仍有不少疏漏和欠妥之处，恳请读者指正。

编 者

2009年7月

目 录

静 力 学

第一章 静力学基本概念和物体的受力分析	1
第一节 静力学基本概念	1
第二节 静力学公理	2
第三节 约束和约束力	5
第四节 物体的受力分析及受力图	9
小 结	14
思考题	14
习 题	15
第二章 平面汇交力系	17
第一节 平面汇交力系合成与平衡的几何法	17
第二节 力的分解与力在坐标轴上的投影	20
第三节 平面汇交力系合成及平衡的解析法	22
小 结	24
思考题	25
习 题	25
第三章 力矩与平面力偶理论	29
第一节 平面力对点之矩	29
第二节 力偶和力偶矩·平面力偶系的合成与平衡	30
小 结	34
思考题	34
习 题	35
第四章 平面一般力系	38
第一节 平面一般力系向已知点的简化·主矢与主矩	38
第二节 平面一般力系的平衡条件和平衡方程	45
第三节 物体系的平衡·静定和静不定问题	50
第四节 考虑摩擦的平衡问题	55
小 结	59

思考题	60
习 题	62
第五章 空间力系	69
第一节 力对点之矩与力对轴之矩	69
第二节 空间一般力系的简化及结果分析	73
第三节 空间力系的平衡条件及平衡方程	75
第四节 重 心	79
小 结	82
思考题	84
习 题	84

材料力学

第六章 材料力学概述	87
第一节 材料力学的任务	87
第二节 变形固体的基本假设	88
第三节 杆件变形的基本形式	89
第七章 拉伸与压缩	91
第一节 内力·截面法·轴力及轴力图	91
第二节 应力·拉(压)杆内的应力	94
第三节 拉(压)杆的变形·胡克定律	99
第四节 材料在拉伸和压缩时的力学性能	102
第五节 失效、安全因素和强度计算	108
第六节 应力集中的概念	111
小 结	111
思考题	113
习 题	113
第八章 连接件的实用计算	116
第一节 剪切的实用计算	116
第二节 挤压的实用计算	118
小 结	121
思考题	122
习 题	122

第九章 扭 转	124
第一节 外力偶矩的计算·扭矩和扭矩图	124
第二节 纯剪切	127
第三节 圆轴扭转时的应力及强度计算	129
第四节 圆轴扭转时的变形及刚度计算	134
小 结	137
思考题	138
习 题	138
第十章 弯曲内力	141
第一节 弯曲的概念	141
第二节 梁的计算简图	142
第三节 平面弯曲时梁横截面上的内力	144
第四节 剪力方程和弯矩方程·剪力图和弯矩图	147
第五节 载荷集度、剪力和弯矩间的关系及其应用	151
小 结	154
思考题	155
习 题	155
第十一章 弯曲应力	159
第一节 梁的纯弯曲	159
第二节 纯弯曲时梁横截面上的正应力	160
第三节 惯性矩的计算·平行移轴公式	165
第四节 梁的切应力	170
第五节 弯曲正应力的强度计算	172
第六节 提高梁弯曲强度的措施	176
小 结	180
思考题	180
习 题	181
第十二章 弯曲变形	187
第一节 梁的变形	187
第二节 用积分法求梁的变形	190
第三节 用叠加法求梁的变形	195
第四节 梁的刚度计算及提高弯曲刚度的措施	199
*第五节 简单静不定梁	203

小 结	205
思考题	206
习 题	206
第十三章 应力状态分析与强度理论	211
第一节 应力状态的基本概念	211
第二节 平面应力状态分析	214
第三节 三向应力状态简介	221
第四节 广义胡克定律	222
第五节 强度理论及其应用	224
小 结	230
思考题	231
习 题	232
第十四章 压杆稳定	236
第一节 压杆稳定的概念	236
第二节 理想压杆临界载荷的欧拉公式	237
第三节 临界应力	240
第四节 压杆的稳定性计算	243
第五节 提高压杆稳定的措施	247
小 结	247
思考题	248
习 题	248
第十五章 动载荷	253
第一节 构件有加速度时的应力计算	253
第二节 构件受冲击时的应力和变形	257
小 结	262
思考题	264
习 题	264
附录 型钢表	268
习题参考答案	286
参考文献	296

静力学

第一章 静力学基本概念和物体的受力分析

本章包括静力学基本概念、公理及物体的受力分析等基本内容，是研究静力学的基础。首先介绍刚体、力、平衡的概念，并介绍作为静力学基础的几个公理，然后阐述工程中常见的约束和约束力，最后介绍物体的受力分析及如何作受力图。

第一节 静力学基本概念

一、刚体的概念

所谓刚体，就是在任何情况下永远不变形的物体。这一点表现为在力的作用下刚体内任意两点的距离始终保持不变。永远不变形的物体是不存在的，刚体只是一个为了研究方便而把实际物体抽象化后得到的理想化力学模型。当物体在受力后变形很小，对研究物体的平衡问题不起主要作用时，其变形可忽略不计，这样可使问题的研究大为简化。

在静力学中研究的对象主要是刚体，因此有时静力学又称为刚体静力学。

二、力的概念

力的概念是人们在长期的生活和生产实践中从感性到理性逐步形成的。力是物体间相互的机械作用，其作用效应是使物体的机械运动状态发生改变或形状发生改变。物体间相互的机械作用可以分为两类：一类是物体间的直接接触的相互作用；另一类是场和物体间的相互作用。不论是第一类还是第二类，它们所产生的作用效应都是一样的。把力使物体的机械运动状态发生改变的效应称为力的外效应或运动效应；把力使物体的形状发生改变的效应称为力的内效应或变形效应。

实践表明,力对物体的作用效应取决于三方面:大小、方向和作用点。通常称为力的三要素。由此可见,力是矢量,且为定位矢量。用一个矢量来表示力的三要素的图示如图 1.1 所示。矢量的长度表示力的大小(按一定的比例尺),矢量的方位和箭头的指向表示力的方向,矢量的起点或终点表示力的作用点,而与矢量重合的直线表示力的作用线。我们通常用黑体字母 $\boldsymbol{F}$ 表示力的矢量,而用普通字母 F 表示力的大小。

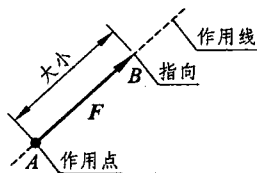


图 1.1

两个物体间相互接触时总占有一定的面积,力总是分布于接触面上各点的,当接触面面积很小时,可以近似将微小面积抽象为一个点,这个点称为力的作用点,该作用力称为集中力;反之,当接触面面积不可忽略时,力在整个作用面上分布作用,此时的作用力称为分布力。

力的单位在国际单位制(SI)中是牛顿(N),常用千牛(kN), $1\text{ kN} = 1\,000\text{ N}$ 。

作用于物体上的一群力称为力系。力系可分为平面力系和空间力系,各包括汇交力系、力偶系、平行力系和任意力系。

若力系的作用结果是使物体保持平衡或运动状态不变,则这种力系称为平衡力系。

当一个力与一个力系等效时,则称该力为该力系的合力,而该力系中每一个力称为分力。把各分力代换成合力的过程,称为力系的合成;反之,则为力的分解。

三、平衡的概念

平衡是物体机械运动的一种特殊形式。所谓物体的平衡,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。需要注意,运动是绝对的,平衡只是暂时的或相对的。在工程问题中,房屋、桥梁、作匀速直线运动的汽车车厢等,都处于平衡状态。

第二节 静力学公理

公理是人们经过长期观察和经验积累而得到的结论,又经过实践反复验证,无需证明而被大家公认。

公理 1 二力平衡公理

作用于刚体上的两个力，使刚体保持平衡的必要和充分条件是：这两个力大小相等、方向相反且作用于同一直线上，如图 1.2 所示。

$$\mathbf{F}_A = -\mathbf{F}_B$$

公理 1 揭示了作用于物体上最简单的力系平衡时所必须满足的条件。对刚体，这个条件是必要而充分的；若是变形体，仅为必要条件。

由公理 1 可知，力系中的任何力的作用线均与其他力的合力的作用线在同一直线上。

工程上常遇到只受两个力作用而平衡的构件，称二力构件或二力杆，如图 1.3 所示。

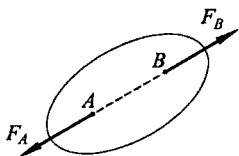


图 1.2

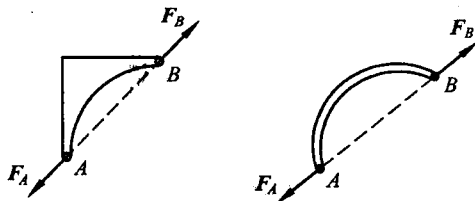


图 1.3

公理 2 加减平衡力系公理

在作用于刚体的任意力系上添加或取去任意平衡力系，不改变原力系对刚体的效应。即平衡力系可变大也可变小，这有利于力系的简化，是研究力系等效替换的重要依据。

推论 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至刚体内任意一点，不会改变该力对刚体的作用。

证明：设力 $\mathbf{F}$ 作用于刚体上的 A 点，如图 1.4 (a) 所示。沿其作用线任选一点 B ，欲使力 $\mathbf{F}$ 从 A 点移至 B 点，根据加减平衡力系公理，可在 B 点添加上一对平衡力 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ ，使 $\mathbf{F}_2 = -\mathbf{F}_1 = \mathbf{F}$ ，如图 1.4 (b) 所示。由于力 $\mathbf{F}$ 和 $\mathbf{F}_1$ 也是一个平衡力系，故可除去。这样只剩下一个力 $\mathbf{F}_2$ 作用于 B 点，如图 1.4 (c) 所示，显然它与原来作用于 A 点的力等效，即原来的力 $\mathbf{F}$ 从刚体上的 A 点沿着它的作用线移至 B 点。

力的这种性质称为力的可传性，由此可见，力是滑动矢量。

应该注意，力不能从一个刚体沿其作用线移至另一个刚体上。

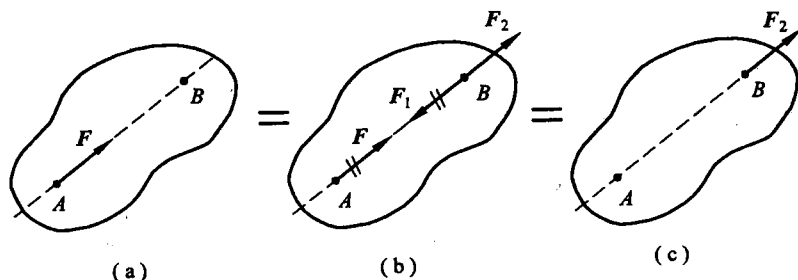


图 1.4

公理 3 力的平行四边形法则

作用于物体某一点的两个力的合力，也作用于同一点上，其大小和方向可由这两个力所组成的平行四边形的对角线来表示。

设有力 F_1 和 F_2 作用于刚体上的 A 点，如图 1.5 (a) 所示，则其合力用矢量式表示为

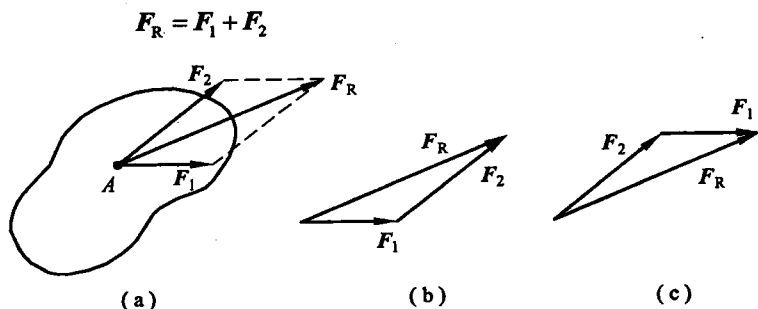


图 1.5

即合力等于两个分力的矢量和（或几何和）。此式反映了力的方向性特征，应区别矢量相加与数量相加的不同，合力必须用平行四边形法则确定。

合力也可用作力三角形的方法确定，如图 1.5 (b)、(c) 所示。力三角形的两个边分别为力 F_1 和 F_2 ，第三边即代表合力 F_R ，而合力的作用点仍在 A 点。

公理 3 是复杂力系简化的重要基础。

推论 三力平衡汇交定理

作用于刚体上三个相互平衡的力，若其中两个力的作用线汇交于一点，则此三个力必在同一平面内，且第三个力的作用线通过汇交点。

证明：如图 1.6 所示，在刚体 A 、 B 、 C 三点上作用有互相平衡的力 F_A 、 F_B 、 F_C 。按刚体上力的可传性，将 F_A 和 F_B 移至汇交点 O ，由力的平行四边

形法则求得其合力 F_R ，则力 F_C 必与 F_R 平衡。再由二力平衡条件可知，力 F_C 的作用线必与合力 F_R 的作用线重合。因此，力 F_C 的作用线也在力 F_A 和 F_B 所组成的平行四边形平面里。于是定理得证。

有时用此定理来确定第三个力作用线的方位较为方便。

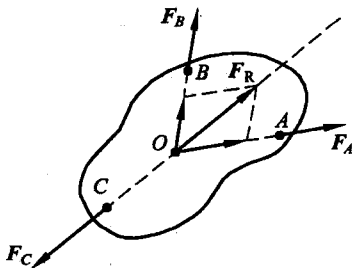


图 1.6

公理 4 作用和反作用定律

两物体间相互作用的力总是同时存在，大小相等、方向相反、沿同一直线，分别作用于两个物体上。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。已知作用力就可知反作用力。

公理 4 是分析物体和物体系统时必须遵循的原则。需要强调的是，作用力和反作用力不是一对平衡力。

公理 5 刚化原理

变形体在某一力系作用下平衡，若将它刚化成刚体，其平衡状态保持不变。

这个公理提供了把变形体看作刚体模型的必要条件。也就是说，处于平衡状态的变形体，我们总可以把它视为刚体来研究；而处于平衡的刚体，变成变形体后就不一定能平衡。

当我们的研究对象里有变形体时（如柔性体约束），常常用到公理 5。

第三节 约束和约束力

当物体的位移在空间不受任何限制时，这个物体称为**自由体**，如飞行器。而有些物体的位移在空间受到一定限制，则称为**非自由体**。例如沿钢轨行驶的火车、转动的钟的指针、吊起的货物、机床上直线运动的车刀等。对**非自由体的位移起某些限制作用的周围物体称为约束（或约束体）**。例如钢轨对于火车、钟轴对于指针、吊车对于货物、机床对于车刀等，都是约束。

约束阻碍物体的运动，改变了物体的运动状态，因此约束必然承受物体的作用力，同时给予物体以反作用力，这种阻碍物体运动的反作用力称为**约束力**。约束力的方向必与该约束所能够阻碍的位移方向相反。应用这个准则，可以确定约束力的方位或作用线的位置。约束力属于被动力，而一些促使物体运动或有运动趋势的力称为**主动力**，如物体上受到的各种载荷（重力、风力、切削力、顶板压力等）。在静力学中，主动力一般已知，主动力和约束力组成平衡力系，然后利用平衡条件求约束力。

下面介绍几种工程上常用的简单的约束类型和确定约束力方向的方法。

一、柔性体约束

将绳束、胶带、链条等物体忽略刚性,不计重量,视为绝对柔软,便可归类为柔性体约束。柔性体约束的特点是只能承受拉力,不能承受压力和抗弯,故它给物体的约束力也是拉力,作用在接触点,方向沿着柔软体轴线背离物体,如图 1.7 所示。符号通常用 F 或 F_T 表示。

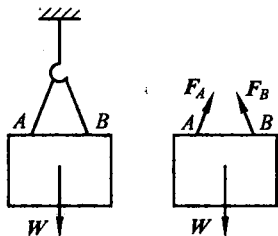


图 1.7

二、光滑接触面约束

当物体间表面的摩擦对问题的研究不起主要作用时,可认为接触表面为理想光滑,约束为光滑接触面约束。限制滑块运动的滑槽、机床中的导轨对工作台、相互啮合的一个齿轮对另一个齿轮等,当忽略摩擦时,都属于这种约束。

这类约束的特点是只能承受压力,即限制物体沿接触面公法线并向约束体内部的位移,故它给物体的约束力是压力,作用在接触点,方向沿着公法线而指向物体。约束力的符号一般用 F 或 F_N 表示,如图 1.8 中 F_{NA} 或 F_{NB} 等。

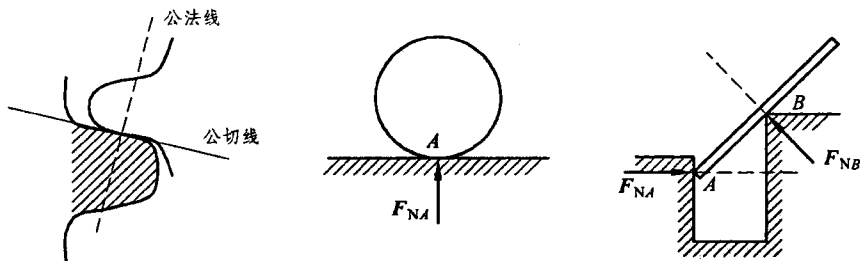


图 1.8

三、光滑铰链约束

主要介绍圆柱铰链、固定铰支座、辊轴支座、向心轴承、止推轴承及球铰链。

1. 光滑圆柱铰链

光滑圆柱铰链简称铰链,由一个圆柱形销钉插入两个物体的圆孔中构成,如图 1.9 (a) 所示。其特点是可使具有同样孔径的两个构件绕销钉轴线相互转动,也可以一起移动,但不可相互脱离。在图 1.9 (b) 中,构件 A、B 绕销钉 C 轴线相互转动,共同移动;图 (c) 为曲柄连杆机构, C 处为铰链。考虑铰

孔内光滑，并忽略空隙，则约束力为压力，作用在垂直于圆柱销的平面内，过销中心，指向不定，为了方便计算，常将其分解，如图 1.9 (d) 所示。

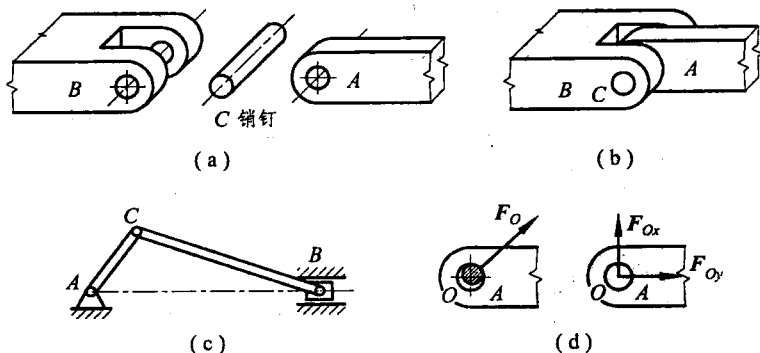


图 1.9

2. 固定铰支座

如果光滑圆柱铰链与底座连接，固定在地面或支架上，则称为固定铰链支座，简称铰支座，如图 1.10 (a)、(c) 所示。其特点是物体只能绕铰链轴线转动，不能在垂直于铰链轴线的平面内任意移动，故约束力在垂直于铰链轴线的平面内，过销钉中心，方向不定。一般情况下，可假设为正交的两个力 F_{Ax} 、 F_{Ay} ，如图 1.10 (d) 所示。

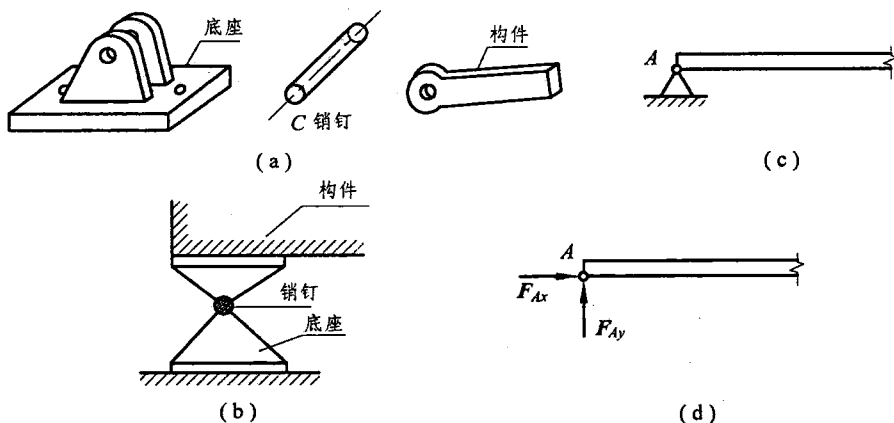


图 1.10

3. 滚动支座

在桥梁、屋架等结构中经常采用滚动支座约束。这种支座是在支座与光滑支承面之间，装了几个辊轴（滚柱），故又称辊轴支座，如图 1.11 (a) 所

示, 简图如图 1.11 (b) 所示。滚动支座的特点是与固定铰链支座相比, 可以让构件沿支承面有微小移动, 以满足构件由于温度变化而产生的热胀冷缩, 故约束力在垂直于铰链轴线的平面内, 过销钉中心, 方位垂直于支承面, 指向不定, 受力图如图 1.11 (c) 所示。

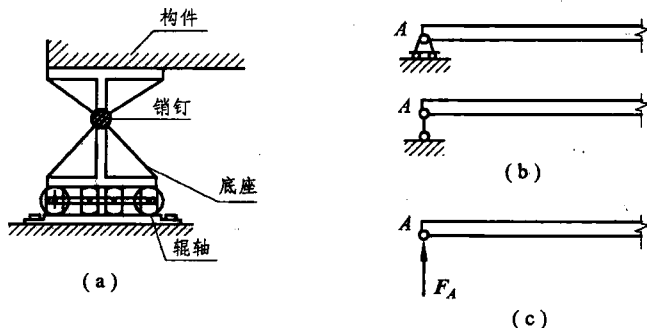


图 1.11

4. 链杆约束

链杆是指两端用光滑铰链与其他构件连接且不考虑自重的刚杆, 如图 1.12 (a) 所示。链杆常用来作为拉杆或撑杆。由于只在两端受力, 故为二力杆, 既能受拉又能受压。约束力的作用点在铰链孔处, 方位沿两端连线, 指向不定, 如图 1.12 (b) 所示。

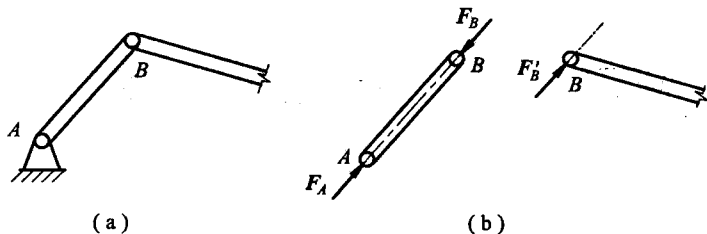


图 1.12

有时, 固定铰链支座和辊轴支座用几根链杆来表示: 固定铰链支座用两根不平行的链杆来表示, 如图 1.13 (a) 所示; 辊轴支座用一根垂直于支承面的链杆来表示, 如图 1.13 (b) 所示。

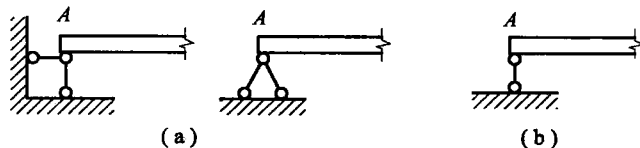


图 1.13

第四节 物体的受力分析及受力图

静力学的主要研究任务之一是求约束力,这就需要对物体进行受力分析,然后根据平衡条件求解。物体的受力分析就是确定物体受了几给力,每个力的作用位置、方向的整个分析过程。

前面已经提到,作用于物体上的力分为主动力和约束力两类,主动力一般已知。为了便于求出约束力,应隔离物体画受力图,即把需研究的对象与周围的约束体分离开来,单独画出它的简图(取研究对象或分离体),然后再画上所有的力(主动力和约束力),这种表示物体受力的简明图示,称为受力图。

作受力图时,有时要根据二力平衡公理、三力平衡汇交定理等平衡条件确定某些约束力的指向或作用线的方位。作受力图应先画主动力,后画约束力。如果研究对象是物体系统,应该注意到内力总是成对出现,其效应和为零,故内力不画。

画受力图是一项基本功的训练,不仅事关约束力是否能正确求解,而且关系到整个平衡问题的分析、动力学问题的分析,应引起足够的重视。

【例 1.1】水平梁 AB 两端用铰支座和辊轴支座支承,如图 1.14 (a) 所示,在 C 处作用一集中载荷 P ,梁重不计,画出 AB 的受力图。

解:

- (1) 取梁 AB 为研究对象,除去 A 、 B 处约束并画出其简图 1.14 (b)。
- (2) 画主动力 P 。

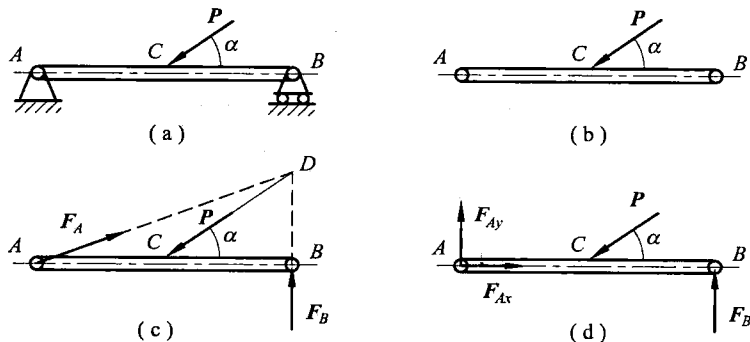


图 1.14

(3) 画约束力。 B 端辊轴支座的约束力垂直于支承面向上,用 F_B 表示, A 端是固定铰链支座,约束力在这里可有两种表示:一种是根据三力平衡汇交定理,将 F_A 作用线汇交于另二力的汇交点 D ,得图 1.14 (c);一种是分解