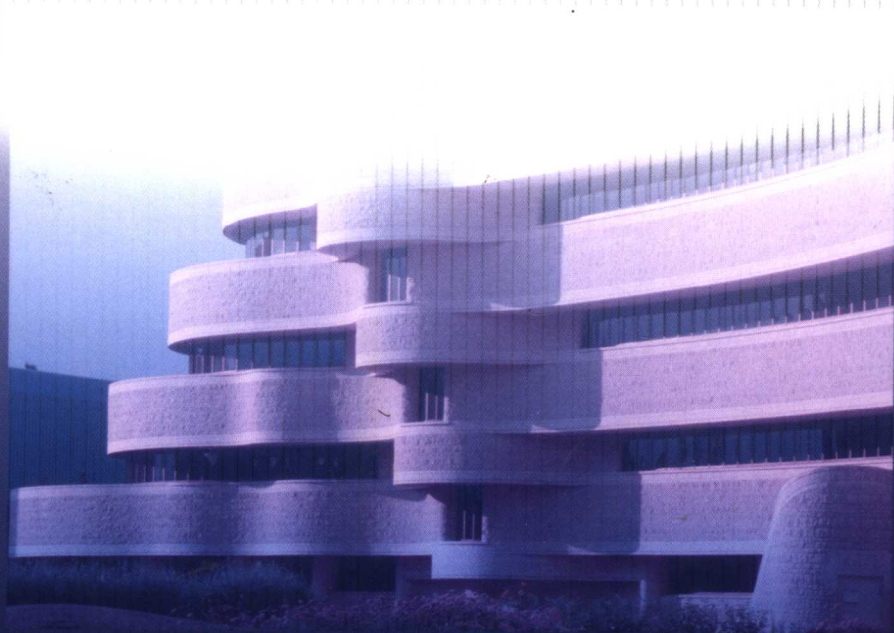




普通高等教育“十五”国家级规划教材

# 建筑力学

李前程 安学敏 赵 彤 编著



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

普通高等教育“十五”国家级规划教材

# 建筑力学

李前程 安学敏 赵彤 编著



高等教育出版社

## 内容简介

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材。本书在确保建筑学、城市规划等专业对建筑力学知识的基本需要及教学内容的深度、广度的基础上,将三门力学(理论力学、材料力学、结构力学)的主要内容融为一体,即保留了三门力学的理论严谨性、系统性,注意了其连贯性,融入了反映当代科技进步与发展成果的内容,并增大信息量,注重对学生能力方面的培养。

全书内容包括静力学基础,静定及超静定结构的内力计算,构件的强度、刚度、稳定性,静定结构的位移计算等。

本书可作为高等学校工科本科建筑学、城市规划等专业的课程教材,也可供本科其他专业、高职高专、成人高校师生及有关工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

建筑力学/李前程,安学敏,赵彤编著. —北京:高等教育出版社,2004.1

ISBN 7-04-013087-4

I. 建... II. ①李...②安...③赵... III. 建筑力学-高等教育-教材 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 101992 号

---

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街 4 号  
邮政编码 100011  
总 机 010-82028899

经 销 新华书店北京发行所  
印 刷 北京机工印刷厂

开 本 787×960 1/16  
印 张 22.75  
字 数 420 000

---

购书热线 010-64054588  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>

版 次 2004 年 1 月第 1 版  
印 次 2004 年 9 月第 2 次印刷  
定 价 26.20 元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

**版权所有 侵权必究**

物料号: 13087-00

# 前 言

本书是根据普通高等学校建筑学、城市规划等专业的特点而编写的。根据力学知识自身的内在联系,将理论力学、材料力学、结构力学三门课程融会贯通形成新的建筑力学体系。全书讲述了静力学基础,静定、超静定结构的内力计算,构件的强度、刚度、稳定性问题,超静定结构的位移计算等内容。注重三门力学的理论严谨性、逻辑推理的清晰性以及与相关学科知识的连贯性。

本书于15年前形成初稿,由刘明威教授担任主编,刘明威、李前程、安学敏编著,1991年由中国建筑工业出版社出版。经过几年的使用后,为适应教学改革的需求,又于1998年进行了修订,此次修订由李前程、安学敏编著,修订过程中得到了刘明威的指导,修订后被指定为高等学校建筑专业系列教材。在教育部制定“十五”教材规划时,本书经申报被列为普通高等教育“十五”国家级规划教材,经专家评审并按评审意见修改后由高等教育出版社出版。

本书由李前程(第一、三、四、五、六、十二、十三章)、安学敏(七、八、九、十、十一、十五章)、赵彤(第二、十一、十四章)编著。大连理工大学郑芳怀教授认真审阅了全书,并提出了很多宝贵意见。在编写过程中,始终得到刘明威教授的热心关注。谨此一并致谢。

教材的改革是一项长期的工作,由于编者的水平和时间所限,本书不足之处在所难免,衷心希望使用本书的广大读者和教师提出宝贵意见,使本书得到完善和充实。

编者

2003年10月于哈尔滨工业大学

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
§ 1-1 建筑力学的任务和内容 .....	1
§ 1-2 刚体、变形固体及其基本假设 .....	3
§ 1-3 杆件变形的基本形式 .....	4
§ 1-4 荷载的分类 .....	5
<b>第二章 结构计算简图·物体受力分析</b> .....	7
§ 2-1 约束与约束力 .....	7
§ 2-2 结构计算简图 .....	10
§ 2-3 物体受力分析 .....	14
小结 .....	17
习题 .....	18
<b>第三章 力系简化的基础知识</b> .....	21
§ 3-1 平面汇交力系的合成与平衡条件 .....	21
§ 3-2 力对点的矩 .....	28
§ 3-3 力偶·力偶矩 .....	30
§ 3-4 平面力偶系的合成与平衡条件 .....	32
§ 3-5 力的等效平移 .....	33
小结 .....	34
思考题 .....	35
习题 .....	36
<b>第四章 平面力系的简化与平衡方程</b> .....	39
§ 4-1 平面任意力系向一点的简化·主矢和主矩 .....	39
§ 4-2 平面任意力系简化结果的讨论 .....	42
§ 4-3 平面任意力系的平衡条件·平衡方程 .....	44
§ 4-4 平面平行力系的平衡方程 .....	48
§ 4-5 物体系的平衡问题 .....	50
§ 4-6 考虑摩擦的平衡问题 .....	54
小结 .....	60
思考题 .....	61
习题 .....	62
<b>第五章 平面体系的几何组成分析</b> .....	68
§ 5-1 几何不变与几何可变体系的概念 .....	68

§ 5-2 刚片·自由度·联系的概念·····	69
§ 5-3 几何不变体系的组成规则·····	71
§ 5-4 静定结构和超静定结构·常见的结构形式·····	75
小结·····	79
习题·····	79
<b>第六章 静定结构的内力计算</b> ·····	<b>81</b>
§ 6-1 杆件的内力·截面法·····	81
§ 6-2 内力方程·内力图·····	85
§ 6-3 用叠加法作剪力图和弯矩图·····	91
§ 6-4 静定平面刚架·····	94
§ 6-5 静定多跨梁·····	102
§ 6-6 三铰拱·····	104
§ 6-7 静定平面桁架·····	110
§ 6-8 各种结构形式及悬索的受力特点·····	117
小结·····	119
思考题·····	120
习题·····	120
<b>第七章 轴向拉伸与压缩</b> ·····	<b>126</b>
§ 7-1 轴向拉伸与压缩的概念及实例·····	126
§ 7-2 直杆轴向拉伸(压缩)时横截面上的正应力·····	126
§ 7-3 许用应力、强度条件·····	128
§ 7-4 轴向拉伸或压缩时的变形·····	131
§ 7-5 材料拉伸、压缩时的力学性质·····	134
小结·····	138
思考题·····	139
习题·····	139
<b>第八章 剪切和扭转</b> ·····	<b>141</b>
§ 8-1 剪切的观念及实例·····	141
§ 8-2 连接接头的强度计算·····	142
§ 8-3 扭转的概念及实例·····	148
§ 8-4 扭矩的计算·扭矩图·····	149
§ 8-5 圆轴扭转时的应力和变形·····	151
§ 8-6 圆轴扭转时的强度条件和刚度条件·····	155
小结·····	156
思考题·····	157
习题·····	158
<b>第九章 梁的应力</b> ·····	<b>161</b>
§ 9-1 平面弯曲的概念及实例·····	161

§ 9-2 梁的正应力 .....	162
§ 9-3 常用截面的惯性矩、平行移轴公式 .....	166
§ 9-4 梁的切应力 .....	169
§ 9-5 梁的强度条件 .....	172
§ 9-6 提高梁弯曲强度的主要途径 .....	177
小结 .....	181
思考题 .....	181
习题 .....	182
<b>第十章 组合变形</b> .....	<b>185</b>
§ 10-1 组合变形的概念 .....	185
§ 10-2 斜弯曲 .....	185
§ 10-3 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形 .....	190
§ 10-4 偏心拉伸(压缩) .....	192
小结 .....	195
思考题 .....	196
习题 .....	196
<b>第十一章 梁和结构的位移</b> .....	<b>199</b>
§ 11-1 概述 .....	199
§ 11-2 梁的挠曲线近似微分方程及其积分 .....	200
§ 11-3 叠加法 .....	206
§ 11-4 单位荷载法 .....	209
§ 11-5 图乘法 .....	217
§ 11-6 线弹性体的互等定理 .....	222
§ 11-7 结构的刚度校核 .....	227
小结 .....	228
思考题 .....	229
习题 .....	230
<b>第十二章 力法</b> .....	<b>234</b>
§ 12-1 超静定结构的概念和超静定次数的确定 .....	234
§ 12-2 力法的典型方程 .....	237
§ 12-3 用力法计算超静定结构 .....	242
§ 12-4 结构对称性的利用 .....	250
§ 12-5 多跨连续梁、排架、刚架、桁架的受力特点 .....	255
小结 .....	257
思考题 .....	258
习题 .....	258
<b>第十三章 位移法</b> .....	<b>262</b>
§ 13-1 等截面单跨超静定梁的杆端内力 .....	262

§ 13-2 位移法的基本概念	266
§ 13-3 位移法基本未知量数目的确定	270
§ 13-4 位移法典型方程	272
§ 13-5 用位移法计算超静定结构	277
§ 13-6 超静定结构的特性	283
小结	285
思考题	285
习题	285
<b>第十四章 力矩分配法</b>	<b>288</b>
§ 14-1 力矩分配法的基本概念	288
§ 14-2 用力矩分配法解连续梁	298
小结	305
思考题	305
习题	306
<b>第十五章 压杆稳定</b>	<b>308</b>
§ 15-1 压杆稳定的概念	308
§ 15-2 细长压杆的临界力	309
§ 15-3 压杆的临界应力	312
§ 15-4 压杆的稳定计算	315
§ 15-5 提高压杆稳定性的措施	322
小结	323
思考题	324
习题	324
<b>附录 型钢表</b>	<b>326</b>
<b>部分习题答案</b>	<b>343</b>
<b>参考文献</b>	<b>353</b>



# 第一章 绪 论

## § 1-1 建筑力学的任务和内容

建筑力学是将理论力学中的静力学、材料力学、结构力学等课程中的主要内容,依据知识自身的内在连续性和相关性,重新组织形成的建筑力学知识体系。这一知识体系适应建筑学、建筑管理、房地产等专业培养目标的需要,满足相关专业对力学知识的基本要求,并为了解建筑结构和构件的设计与计算提供基础知识。

### 1-1-1 结构与构件

建筑物中承受荷载而起骨架作用的部分称为结构。图 1-1 中所示的即为单层厂房结构。结构受荷载作用时,如不考虑建筑材料的变形,其几何形状和位置不发生改变。

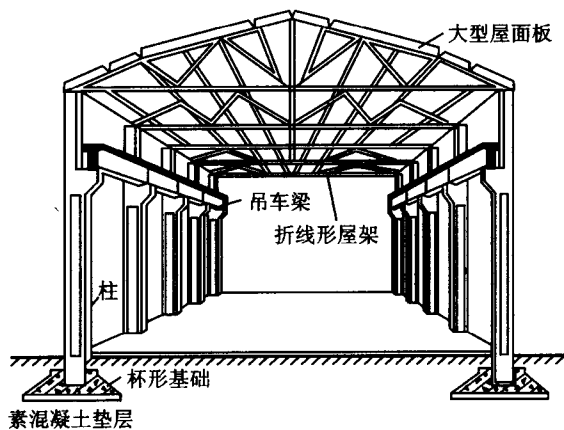


图 1-1

组成结构的各单独部分称为构件。图 1-1 中的基础、柱、吊车梁、屋面板等均为构件。

结构一般可按其几何特征分为三种类型:

(1) 杆系结构 组成杆系结构的构件是杆件。杆件的几何特征是其长度远

远大于横截面的宽度和高度。

(2) 薄壁结构 组成薄壁结构的构件是薄板或薄壳。薄板、薄壳的几何特征是其厚度远远小于它的另两个方向的尺寸。

(3) 实体结构 它是三个方向的尺寸基本为同量级的结构。

建筑力学以杆系结构作为研究对象。

### 1-1-2 建筑力学的任务和内容

建筑力学的任务是研究能使建筑结构安全、正常地工作且符合经济要求的理论和计算方法。

建筑力学的内容包含以下几部分：

(1) 静力学基础 研究物体的受力分析、力系简化与平衡的理论以及杆系结构的组成规律等。

(2) 内力分析 研究静定结构和构件的内力的计算方法及其分布规律。

(3) 强度、刚度和稳定性问题 主要内容如下：

**强度是指抵抗破坏的能力。**构件在工作条件下不发生破坏,即是该构件具有抵抗破坏的能力,满足了强度要求。

**强度问题是研究构件满足强度要求的计算理论和方法。**解决强度问题的关键是作构件的应力分析。

当结构中的各构件均已满足强度要求时,整个结构也就满足了强度要求。因此,研究强度问题时,只需以构件为研究对象即可。

**刚度是指抵抗变形的能力。**结构或构件在工作条件下所发生的变形未超过工程允许的范围,即是该结构或构件具有抵抗变形的能力,满足了刚度要求。

**刚度问题是研究结构或构件满足刚度要求的计算理论和方法。**解决刚度问题的关键是求结构或构件的变形。

**稳定性是指结构或构件的原有的形状保持稳定的平衡状态。**结构或构件在工作条件下不会突然改变原有的形状,以致发生过大的变形而导致破坏,即是满足了稳定性要求。

本教材中只着重介绍压杆稳定的概念,局限于研究不同支承条件下的压杆的稳定性问题。

(4) 超静定结构问题 超静定结构在工程中广泛采用。只应用静力学平衡不能完全确定超静定结构的支座反力和内力,必须考虑结构的变形条件,从而获得补充方程方能求解。因此,求静定结构的变形是研究超静定结构问题的基础。

本书中着重介绍求解超静定结构内力的基本概念和基本方法。在确定超静定结构的内力后,超静定结构的强度问题和刚度问题也就随之而解决了。

## § 1-2 刚体、变形固体及其基本假设

结构和构件可统称为物体。在建筑力学中将物体抽象化为两种计算模型：刚体模型、理想变形固体模型。

### 1-2-1 刚体

**刚体是受力作用而不变形的物体。**实际上,任何物体受力作用都发生或大或小的变形,但在一些力学问题中,物体变形这一因素与所研究的问题无关,或对所研究的问题影响甚微,这时,就可以不考虑物体的变形,将物体视为刚体,从而使所研究的问题得到简化。

在微小变形情况下,变形因素对求解平衡问题和求解内力问题的影响甚微。因此,研究平衡问题和求解内力问题时,可将物体视为刚体,即研究这些问题时,应用刚体模型。

### 1-2-2 变形固体及其基本假设

在另一些力学问题中,物体变形这一因素是不可忽略的主要因素,如不予考虑就得不到问题的正确解答。这时,将物体视为理想变形固体。所谓理想变形固体,是将一般变形固体的材料性质加以理想化,作出以下假设:

(1) 连续性假设 认为物体的材料结构是密实的,物体材料是无空隙地连续分布。

(2) 均匀性假设 认为材料的力学性质是均匀的,从物体上任取或大或小的一部分,材料的力学性质均相同。

(3) 各向同性假设 认为材料的力学性质是各向同性的,材料沿不同的方向具有相同的力学性质。有些材料沿不同方向的力学性质是不同的,称为各向异性材料。本教材中仅研究各向同性材料。

按照连续、均匀、各向同性假设而理想化了的一般变形固体称为理想变形固体。采用理想变形固体模型不但使理论分析和计算得到简化,且在大多数情况下,其所得结果的精度能满足工程的要求。

在研究强度、刚度、稳定性问题以及超静定结构问题时,即使在小变形情况下,变形因素也是不可忽略的重要因素。因此,研究这些问题时,需将物体视为理想变形固体,应用理想变形固体模型。

无论是刚体还是理想变形固体,都是针对所研究的问题的性质,略去一些次要因素,保留对问题起决定性作用的主要因素,而抽象化形成的理想物体,它们在生活和生产实践中并不存在,但解决力学问题时,它们是必不可少的理想化的

力学模型。

变形固体受荷载作用时将产生变形。当荷载值不超过一定范围时,荷载撤去后,变形随之消失,物体恢复原有形状。撤去荷载即可消失的变形称为弹性变形。当荷载值超过一定范围时,荷载撤去后,一部分变形随之消失,另一部分变形仍然残留下来,物体不能恢复原有形状。撤去荷载仍残留的变形称为塑性变形。在多数工程问题中,要求构件只发生弹性变形。也有些工程问题允许构件发生塑性变形。本教材中局限于研究弹性变形范围内的问题。

### § 1-3 杆件变形的的基本形式

杆系结构中的杆件其轴线多为直线,也有轴线为曲线和折线的杆件。它们分别称为直杆、曲杆和折杆,分别如图 1-2a、b、c 所示。

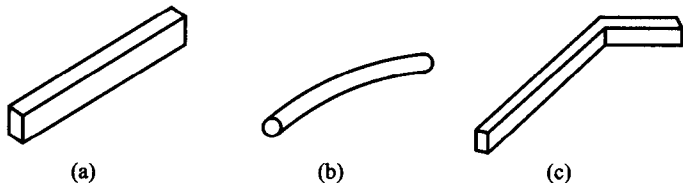


图 1-2

横截面相同的杆件称为等截面杆(图 1-2);横截面不同的杆件称为变截面杆(图 1-3a、b)。

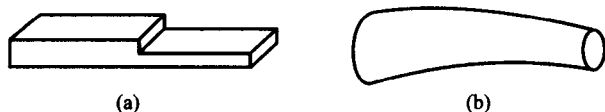


图 1-3

杆件受外力作用将产生变形。变形形式是复杂多样的,它与外力施加的方式有关。无论何种形式的变形,都可归结为下面四种基本变形形式之一,或者是基本变形形式的组合。直杆的这四种基本变形形式是:

(1) 轴向拉伸或压缩 一对方向相反的外力沿轴线作用于杆件,杆件的变形主要表现为长度发生伸长或缩短的改变。这种变形形式称为**轴向拉伸**或**轴向压缩**(图 1-4a)。

(2) 剪切 一对相距很近的方向相反的平行力沿横向(垂直于轴线)作用于杆件,杆件的变形主要表现为横截面沿力作用方向发生错动。这种变形形式称为**剪切**(图 1-4b)。

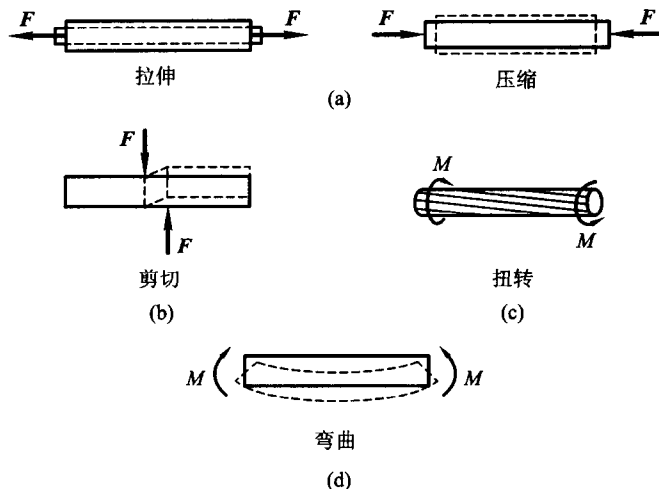


图 1-4

(3) 扭转 一对方向相反的力偶作用于杆件的两个横截面,杆件的相邻横截面绕轴线发生相对转动。这种变形形式称为**扭转**(图 1-4c)。

(4) 弯曲 一对方向相反的力偶作用于杆件的纵向平面(通过杆件轴线的平面)内,杆件的轴线由直线变为曲线。这种变形形式称为**弯曲**(图 1-4d)。

各种基本变形形式都是在上述特定的受力状态下发生的。杆件正常工作时的实际受力状态往往比上述特定的受力状态复杂,所以,杆件的变形多为各种基本变形形式的组合。当某一种基本变形形式起主要作用时,可按这种基本变形形式计算,否则,即属于组合变形的问题(见第十章)。

## § 1-4 荷载的分类

结构工作时所承受的外力称为荷载。荷载可分为不同的类型。

### 1. 按荷载作用的范围可分为分布荷载和集中荷载

分布作用在体积、面积和线段上的荷载分别称为体荷载、面荷载和线荷载,并统称为**分布荷载**。重力属于体荷载,风、雪的压力等属于面荷载。本教材局限于研究由杆件组成的结构,可将杆件所受的分布荷载视为作用在杆件的轴线上。这样,杆件所受的分布荷载均为线荷载。

如果荷载作用的范围与构件的尺寸相比十分微小,这时可认为**荷载集中**作用于一点,并称为**集中荷载**。

当以刚体为研究对象时,作用在构件上的分布荷载可用其合力(集中荷载)来代替。例如,分布的重力荷载可用作用在重心上的集中合力来代替。当以变

形固体为研究对象时,作用在构件上的分布荷载则不能任意地用其集中合力来代替。

## 2. 按荷载作用时间的久暂可分为恒荷载和活荷载

永久作用在结构上的荷载称为恒荷载。结构的自重、固定在结构上的永久性设备等属于恒荷载。

暂时作用在结构上的荷载称为活荷载。风、雪荷载等属于活荷载。

## 3. 按荷载作用的性质可分为静荷载和动荷载

由零逐渐增加到最后值的荷载称为静荷载。静荷载作用的基本特点是:荷载施加过程中,结构上各点产生的加速度不明显;荷载达到最后值以后,结构处于静止平衡状态。

大小或方向随时间而改变的荷载称为动荷载。机器设备的运动部分所产生的扰力荷载属于动荷载;地震时由于地面运动在结构上产生的惯性力荷载也属于动荷载。动荷载作用的基本特点是:由于荷载的作用,结构上各点产生明显的加速度,结构的内力和变形都随时间而发生变化。

## 第二章 结构计算简图·物体受力分析

### § 2-1 约束与约束力

物体可分为自由体和非自由体两类。自由体可以自由位移,不受任何其他物体的限制。飞行的飞机是自由体,它可以任意的移动和旋转。非自由体不能自由位移,其某些位移受其他物体的限制而不能发生。结构的各构件是非自由体,它受其他构件的制约,不能自由移动。限制非自由体位移的其他物体称作非自由体的约束。约束的功能是限制非自由体的某些位移。例如,桌子放在地面上,地面具有限制桌子向下位移的功能,桌子是非自由体,地面是桌子的约束。约束对非自由体的作用力称为约束力。显然,约束力的方向总是与它所限制的位移方向相反。地面限制桌子向下位移,地面作用给桌子的约束力指向上。

工程中物体之间的约束形式是复杂多样的,为了便于理论分析和计算,只考虑其主要的约束功能,忽略其次要的约束功能,便可得到一些理想化的约束形式。本节中所讨论的正是这些理想化的约束,它们在力学分析和结构设计中被广泛采用。

#### 1. 柔索约束

柔索约束由软绳、链条等构成。柔索只能承受拉力,即只能限制物体在柔索受拉方向的位移。这就是柔索的约束功能。所以,柔索的约束力  $F_T$  通过接触点,沿柔索而背离物体。

图 2-1 给出一受柔索约束的物体 A。物体 A 所受的约束力  $F_T$  如图中所示,拉力  $F_T$  的方向是沿柔索背离物体 A。约束力  $F_T$  的反作用力  $F'_T$  作用在柔索上,使柔索受拉。作用力与反作用力  $F_T$  和  $F'_T$  共线、反向、等值地分别用在物体 A 和柔索上。

#### 2. 光滑面约束

光滑面约束是由两个物体光滑接触所构成。两物体可以脱离开,也可以沿光滑面相对滑动,但沿接触面法线且指向接触面的位移受到限制。这是光滑面约束的约束功能。光滑面的约束力作用于接触点,沿接触面的法线且指向物体。

图 2-2a、b 中给出了光滑面约束及其约束力的例子。圆盘 O 为非自由体,各光滑接触面的约束力均沿接触面法线,指向圆盘中心 O。

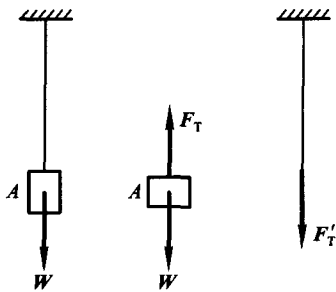


图 2-1

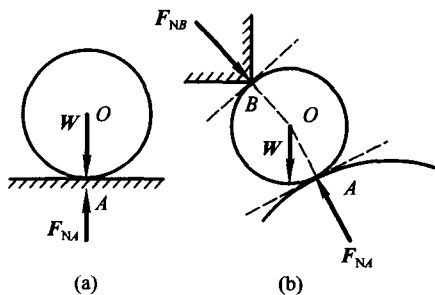


图 2-2

### 3. 光滑铰链约束

铰链约束是连接两个构件的常见的约束形式。铰链约束可以这样构成：在  $A$  和  $B$  两个物体上各作一大小相同的光滑圆孔，用光滑圆柱销钉  $C$  插入两物体的圆孔中，如图 2-3a 所示。这种约束可用简化图形图 2-3b 表示。根据构造情况可知其约束功能是：两物体的铰接处允许有相对转动（角位移）发生，不允许有相对移动（线位移）发生。相对线位移可分解为两个相互垂直的分量，与之对应，铰链约束有两个相互垂直的约束力。它们的指向是未知的，可假定一个物体所受约束力  $F_x$ 、 $F_y$  的指向，另一物体所受的约束力  $F'_x$ 、 $F'_y$  的指向按作用与反作用定律确定，如图 2-3c 所示。

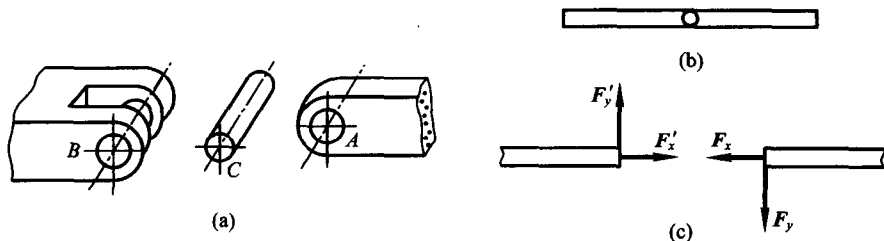


图 2-3

### 4. 铰支座

铰支座有固定铰支座和滚动铰支座两种。

将构件用铰链约束与地面相连接，这样的约束称为固定铰支座，其构造如图 2-4a 所示。将构件用铰链约束连接在支座上，支座用滚轴支持在光滑面上，这样的约束称为滚动铰支座，其构造如图 2-4b 所示。这两种支座的简化图形分别如图 2-4c、d 所示。

固定铰支座的约束功能与铰链约束相同，所以，其约束力也用两个相互垂直分力表示。滚动铰支座的约束功能与光滑面约束相同，所以，其约束力也是沿光滑面法线方向且指向构件。



图 2-4e 中的简支梁  $AB$  就是用这两种支座固定在地面上, 支座的约束力示于该图中, 其中约束力  $F_{Ax}$  和  $F_{Ay}$  的指向是假定的。

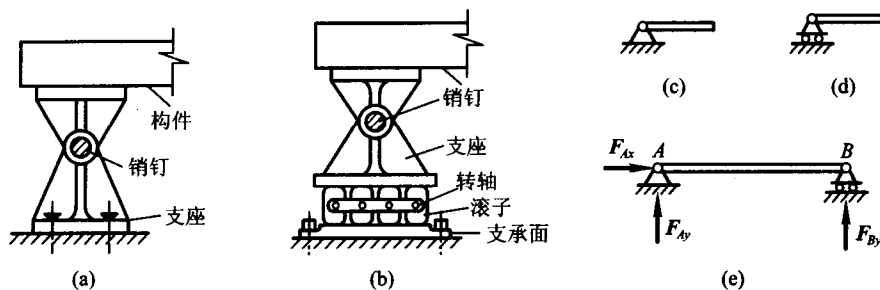


图 2-4

### 5. 链杆约束

链杆是两端用光滑铰链与其他物体连接, 不计自重且中间不受力作用的杆件。链杆只在两铰链处受力作用, 因此又称二力杆。

处于平衡状态时, 链杆所受的两个力, 应是大小相等、方向相反地作用在两个铰链中心的连线上, 其指向一般不能确定。按作用和反作用定律, 链杆对它所约束的物体的约束力必定沿着两铰链中心的连线作用在物体上。

图 2-5a 中, 当不计构件自重时, 构件  $BC$  即为二力杆。它的一端用铰链  $C$  与构件  $AD$  连接, 另一端用固定铰支座  $B$  与地面连接。  $BC$  杆件所受的两个力  $F_{NC}$  和  $F_{NB}$  如图 2-5c 所示。杆件  $BC$  作用给杆件  $AD$  的约束力  $F'_{NC}$  是  $F_{NC}$  的反作用力, 如图 2-5b 所示。图中  $F_{NB}$ 、 $F_{NC}$ 、 $F'_{NC}$  三个力中, 只需假定一个力的指向, 另外两个力的指向可由二力平衡条件和作用与反作用定律确定。对这三个力的指向都作随意的假定是错误的。

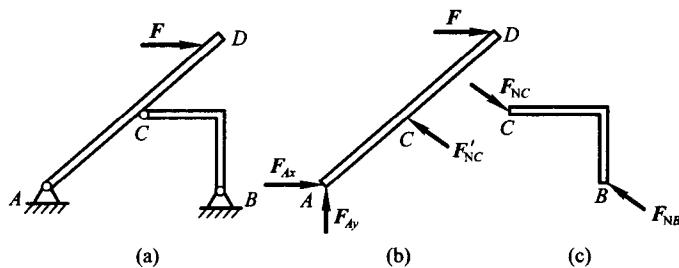


图 2-5

应该注意, 一般情况下铰链约束的约束力是用两个相互垂直分力来表示, 但对连接二力杆的铰链来说, 铰链约束的约束力作用线是确定的, 不用两个相互垂直分力表示。在上述的例子中, 如将  $AD$  上  $C$  点的反力用两个垂直分力表示,