

21 世纪高等学校
规划教材

(应用型本科、高职通用)



结 构 力 学

于仁财 刘文顺 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

21 世纪高等学校规划教材

结 构 力 学

于仁财 刘文顺 主编

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书共 11 章,主要内容包括:绪论、平面体系的几何组成分析、静定梁和静定平面刚架、三铰拱、静定平面桁架、影响线及其应用、静定结构的位移计算、力法、位移法、力矩分配法、矩阵位移法。

本书可作为普通高等学校、高等职业院校道路桥梁工程专业、工业与民用建筑等专业的教材,也可作为相关专业工程技术人员的学习资料或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

结构力学/于仁财,刘文顺主编. —北京:国防工业出版社,2007.6

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978-7-118-05109-4

I. 结… II. ①于…②刘… III. 结构力学—高等学校—教材 IV. 0342

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 045140 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 13½ 字数 300 千字

2007 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 23.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

本书编委会

主 编 于仁财 刘文顺

副主编 王 颀

编 委 于仁财 刘文顺 王 颀 王秀杰

张春玲 付明春

主 审 赵凤婷

前 言

本书根据高等学校应用型本科、高等职业院校的培养目标、学生的特点,以及多数学校对结构力学课程教学的要求,在总结多年来教学经验的基础上编写而成。本书的最大特点是用通俗的语言来表达结构力学中繁杂的理论概念。

为培养出适应“工程一线”的实用新型人才,需要在理论教学中把工程实际最需要掌握的理念和科学知识以最容易接受的办法传授给学生。基于这种指导思想,本书在吸取国内同类教材优点的前提下,在重点了解工程一线技术人员对结构力学教学的意见基础之上编写而成。在编写过程中,依照应用型本科和高等职业院校道路桥梁类专业、建筑工程类专业教学计划和相关教学大纲的要求,特别考虑了高等职业院校教学和学生目前的学习特点,结合教学改革的实践经验进行编写;同时,按照实用、够用的原则,结合工程实际编写例题、习题和思考题,突出基本概念和结论的应用,重视培养学生的工程意识和独立解决问题的能力。

本书由于仁财、刘文顺任主编,王颀任副主编,赵凤婷任主审。本书编写内容分工:于仁财编写第2章、第3章、第5章、第7章、第10章;刘文顺编写第8章、第9章、第11章;王颀编写第1章、第6章;王秀杰编写第4章;张春玲、付明春参加了部分习题的编写工作。

在本书编写过程中,得到了北京信息科技大学、辽宁省交通高等专科学校、大连水产学院职业技术学院的大力支持,在此表示衷心感谢。

限于作者水平与经验,书中定有不足之处,恳请读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 结构力学研究的对象及任务	1
1.2 荷载的分类	2
1.3 结构的计算简图	2
1.4 平面杆件结构的分类	5
思考题	6
第 2 章 平面体系的几何组成分析	7
2.1 几何组成分析的概念	7
2.2 自由度和约束	7
2.3 几何不变体系的基本组成规则	9
2.4 几何组成分析的示例	11
2.5 几何组成与静定性的关系	13
小结	14
思考题	15
习题	15
第 3 章 静定梁和静定平面刚架	17
3.1 单跨静定梁	17
3.2 多跨静定梁	23
3.3 静定平面刚架的内力计算	25
3.4 静定平面刚架的内力图	27
小结	31
思考题	32
习题	32
第 4 章 三铰拱	34
4.1 概述	34

4.2 三铰拱支座反力和内力的计算	35
4.3 三铰拱压力线与合理拱轴	39
小结	41
思考题	41
习题	42
第5章 静定平面桁架	43
5.1 概述	43
5.2 静定平面桁架内力计算	44
5.3 各类平面桁架的比较	50
5.4 组合结构的计算	52
5.5 静定结构的一般特性	54
小结	55
思考题	55
习题	56
第6章 影响线及其应用	57
6.1 影响线的基本概念	57
6.2 用静力法作静定梁的影响线	57
6.3 用机动法作静定梁的影响线	61
6.4 间接荷载作用下的影响线	63
6.5 影响线的应用	65
6.6 简支梁的内力包络图和绝对最大弯矩	70
6.7 连续梁的内力包络图	74
6.8 我国公路和铁路的标准荷载制	76
小结	78
思考题	78
习题	78
第7章 静定结构的位移计算	81
7.1 概述	81
7.2 虚功原理	82
7.3 荷载作用下结构位移计算公式	84
7.4 荷载作用下结构位移计算实际应用	87
7.5 图乘法	90

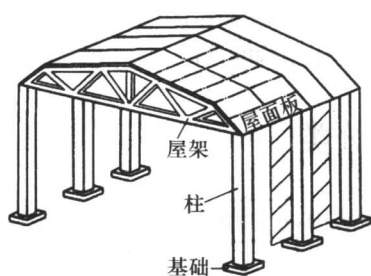
7.6 温度变化、支座移动引起的位移计算·····	95
7.7 线弹性体系的互等定理·····	98
小结·····	101
思考题·····	102
习题·····	102
第8章 力法 ·····	105
8.1 概述·····	105
8.2 力法的基本原理·····	107
8.3 力法的典型方程·····	109
8.4 力法计算示例·····	112
8.5 力法计算的简化·····	123
8.6 超静定结构在温度变化和支座移动情况下的计算·····	129
小结·····	132
思考题·····	132
习题·····	133
第9章 位移法 ·····	136
9.1 概述·····	136
9.2 等截面直杆的转角位移方程·····	139
9.3 直接利用平衡条件建立位移法方程及应用·····	143
9.4 位移法的基本结构和典型方程·····	152
小结·····	159
思考题·····	160
习题·····	160
第10章 力矩分配法 ·····	162
10.1 概述·····	162
10.2 力矩分配法基本原理·····	164
10.3 用力矩分配法计算连续梁和无侧移刚架·····	167
10.4 无剪力分配法·····	170
小结·····	172
思考题·····	173
习题·····	173

第 11 章 矩阵位移法	175
11.1 概述	175
11.2 局部坐标系下的单元刚度矩阵	175
11.3 整体坐标系下的单元刚度矩阵	179
11.4 矩阵位移法的先处理法	184
11.5 非结点荷载的处理、等效结点荷载	192
思考题	197
习题	197
习题答案	199
参考文献	203

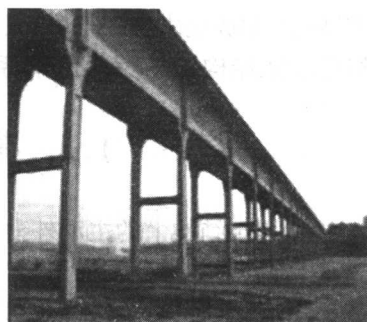
第 1 章 绪 论

1.1 结构力学研究的对象及任务

建筑物中能承受或传递荷载并起骨架作用的物体及体系叫做结构。结构的各个组成部分称为构件。单层厂房中的梁、柱、屋架、基础等构件,以及由这些构件组成的体系称为厂房结构,如图 1-1(a)所示;又如桥梁结构,如图 1-1(b)所示。根据结构几何形状可分:



(a)



(b)

图 1-1

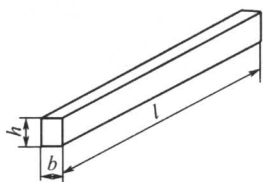
1) 杆件结构

这类结构由杆件组成。组成结构的杆件其几何特征是横截面尺寸比长度小得多,见图 1-2(a)。

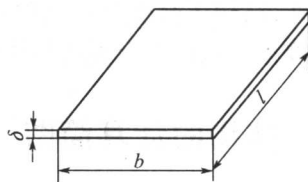
2) 薄壁结构

它是厚度远比长度和宽度小得多的结构,见图 1-2(b)。

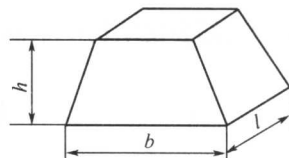
3) 实体结构



(a)



(b)



(c)

图 1-2

它是三个方向的尺寸相近的结构,见图 1-2(c)。

材料力学以单个杆件为研究对象;结构力学以杆件体系为研究对象;弹性力学以实体结构和薄壁结构为研究对象。

结构力学的具体任务是:

(1) 研究结构在荷载(或其他因素)作用下内力的计算方法,以保证结构有足够强度。当结构在过大的荷载作用下可能发生破坏,进行强度计算的目的是为了**满足结构的安全性**。

(2) 研究结构在荷载(或其他因素)作用下变形的计算方法,以保证结构有**足够的刚度**。一个结构在荷载作用下,有了足够的强度还应当考虑其刚度,由于变形过大,也会影响其正常使用。进行刚度计算的目的在于**保证结构不致发生影响正常使用的变形**。

(3) 研究结构的稳定性,以保证结构不会发生失稳破坏。结构中有些受压构件长细比大,当压力超过一定限度时,构件不能保持原来的平衡状态,突然侧向弯曲,从而导致结构破坏,这种现象叫结构失稳。

(4) 研究结构的组成规律及其合理形式。结构是由许多构件组成的几何不变体系。若构件之间产生相对运动,结构成为几何可变体系,就不能发挥结构的性能和承担荷载作用。

1.2 荷载的分类

荷载是直接作用于结构上的主动外力,是引起结构内力和变形的重要原因。作用于结构上的荷载类型很多,具体分类如下:

(1) 按荷载作用的时间长短,分为恒载和活载。恒载是作用于结构上大小方向与时间无关,不发生变化的荷载,如自重等。活载是作用于结构上的位置和大小数值均为可变的荷载,如流动的人群,桥面上行驶的汽车,可移动的设备。

(2) 按荷载作用的区域大小,分为集中荷载和分布荷载。当荷载作用于结构面积很小时,可以认为荷载集中作用在结构上的一点,称为集中荷载或集中力。连续分布在结构上的荷载,称为分布荷载,如线荷载、面荷载。

(3) 按荷载作用是否产生动力效应可分为静力荷载和动力荷载。当荷载作用在结构上变化速度缓慢,不会引起结构产生明显加速度时,这种荷载叫静力荷载。当荷载作用在结构上其大小和作用方向均随时间而变,引起结构产生明显加速度,且不能忽略其惯性力时,这种荷载叫动力荷载。

(4) 除了上述外力的直接作用外,结构还会受到一些间接作用,如温度变化,支座移动,地震等,都会使结构产生内力和变形。从广义上说这些作用都可视为荷载。

1.3 结构的计算简图

工程结构的组成是很复杂的,不可能完全按照结构的实际情况进行力学分析,事实证明也是没有必要的。因此,对实际结构进行力学分析之前,需将实际结构加以简化,略去次要的因素,显示其基本特征,用一个简化的图形来代替实际结构,这个图形叫结构的计算简图。

一、结构的计算简图

计算简图的简化原则是：

- (1) 要反映结构主要受力、几何及变形特征,使计算结果接近实际情况。
- (2) 力求便于结构的力学计算,即达到简化。

计算简图是结构计算的依据,若所有的因素都考虑,则计算工作量太大;若考虑的因素过于简略,则可能不满足工程的精度要求。

对结构进行简化,有如下几方面的内容。

1. 结构的简化

杆件一般用其轴线表示,杆件两端结点之间的距离称为杆件长度,荷载作用点也移到轴线上,见图 1-3(a)、(b)所示。

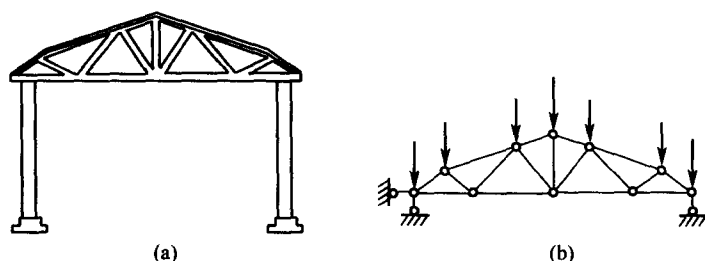


图 1-3

2. 结点的简化

杆件连接汇交点叫结点。实际结构结点是复杂的,一般简化为铰结点和刚结点两类。如图 1-4(a)、(b)所示。

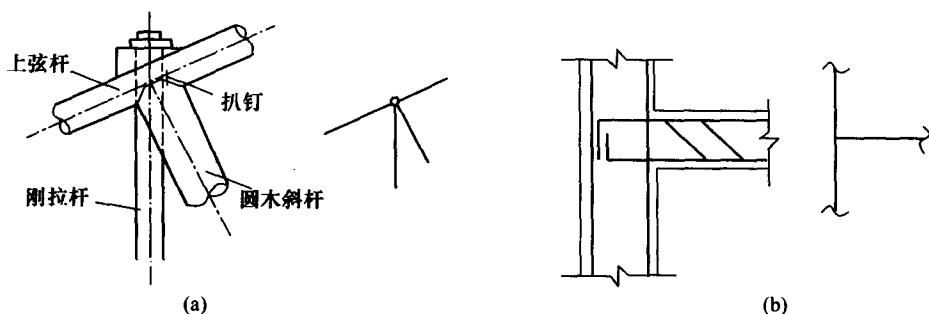


图 1-4

1) 铰结点

图 1-4(a)所示结点的简图常用于桁架中。铰结点的几何特征是各杆可以绕该结点自由转动。

2) 刚结点

图 1-4(b)所示结点常见于刚架中。刚结点的几何特征是各杆不能绕该结点作相对转动,即各轴线之间的夹角在受力变形前后保持不变,有杆端弯矩和剪力。

3. 支座的简化

把结构与基础联结起来的装置称为支座。支座的作用是把结构固定于基础上,同时结构所受的荷载通过支座传于基础和地基。平面结构的支座常简化以下三种。

1) 可动铰支座

如图 1-5(a)、(b)所示,几何特征是构件可绕铰 A 转动及沿水平方向移动,但竖直方向不能移动。由于限制了竖向的移动,因此产生竖向约束反力 Y_A 。

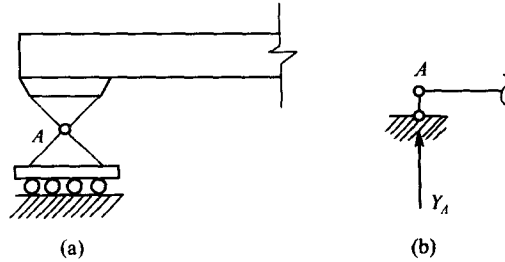


图 1-5

2) 固定铰支座

如图 1-6(a)、(b)、(c)所示,约束特征是结构可绕铰 A 转动,但不能作水平和竖向移动。因此约束反力方向不定,可用水平反力 X_A 和竖向反力 Y_A 来表示合力的大小和方向,该两力的作用线通过铰 A 的中心。

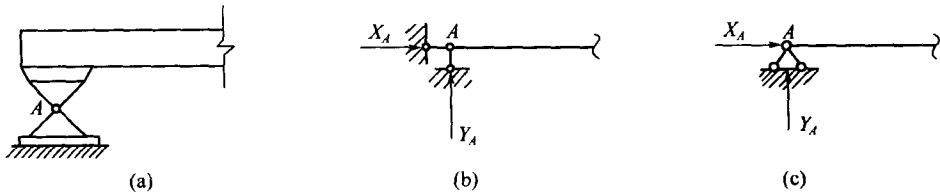


图 1-6

3) 固定支座

如图 1-7 所示。几何特征是结构绕 A 点转动和水平、竖向移动均受到限制。由于存在三个约束,所以支座反力有三个,即水平反力 X_A 、竖向反力 Y_A 和反力偶 M_A 。

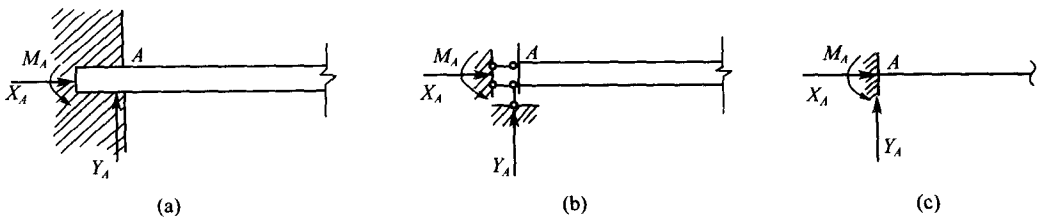


图 1-7

下面用一个示例说明结构的简化过程。

如图 1-8(a)所示,桥梁支承于桥墩上,其上有车辆荷载,桥墩中心距离为 l 。

- (1) 结构的简化。以梁的轴线取代实际构件,取桥墩中心距离 l 为计算跨度。
- (2) 结点的简化。只有一个构件,无结点。
- (3) 支座的简化。梁在竖向不能移动,水平方向也不能移动(梁与桥墩之间有摩擦力),温度变化时梁可伸缩。因此 A 处可简化为固定铰支座, B 处可简化为可动铰支座,符合梁的实际受力变形特征。如果把 B 处简化为固定铰支座,则 A 处可简化为可动铰支座,也符合梁的实际受力变形特征。
- (4) 荷载的简化。将梁 AB 自重取为均布线荷载 q ,车辆重量以 F_1 、 F_2 表示,该结构简化后的计算简图如图 1-8(b)所示。

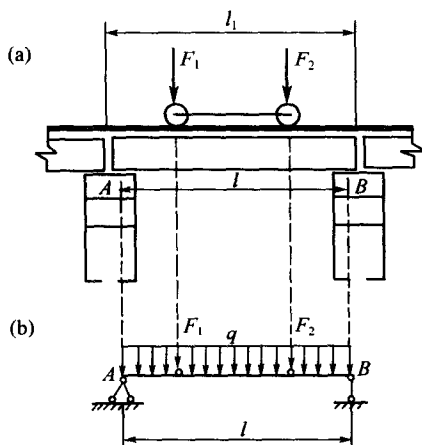


图 1-8

1.4 平面杆件结构的分类

结构的分类是按结构的计算简图来分类的,有平面结构和空间结构之分。如果力系作用的平面与杆件轴线所在的平面是同一平面的结构,称为平面杆件结构,按其受力特性可分以下几类。

1) 梁

如图 1-9 所示,梁是一种以弯曲变形为主的结构,水平梁在竖向荷载作用下,其截面内力有剪力和弯矩。

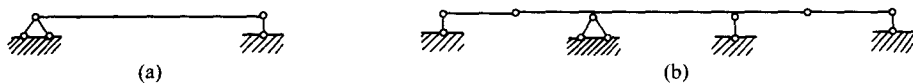


图 1-9

2) 刚架

如图 1-10 所示,刚架由梁、柱组成,多为刚结点的结构,其受力特征是杆件内有弯矩、剪力和轴向力。

3) 拱

如图 1-11 所示,拱是由曲杆组成、在竖向荷载作用下产生水平推力的结构。其截面内力有弯矩、剪力和轴力,且主要承担轴力。

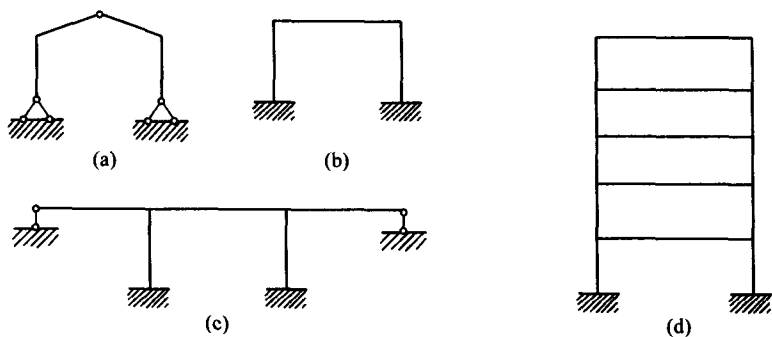


图 1-10

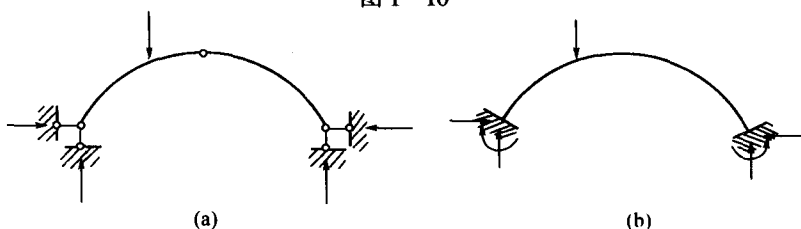


图 1-11

4) 桁架

如图 1-12 所示,桁架是由直杆用理想铰联结而成的结构。其特征是结点均为铰结,杆件只受轴力。

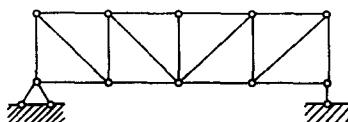


图 1-12

5) 组合结构

如图 1-13 所示,组合结构是由桁架和梁或刚架组合在一起的结构。

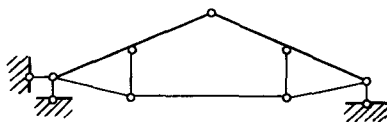


图 1-13

思考题

1. 结构力学研究的对象是什么?
2. 结构力学的研究任务有哪些?
3. 结构荷载有哪些分类?
4. 为什么要对实际结构进行简化? 如何进行简化?
5. 平面结构的分类有哪些?

第2章 平面体系的几何组成分析

2.1 几何组成分析的概念

能承受荷载起骨架作用的几何组成体系为结构,所以说几何体系的组成必须是合理的,使几何保持不变。因此在进行内力分析之前,我们首先进行几何组成分析。

体系受到任意荷载作用后,若不考虑由于材料的应变所产生的变形,而保持其形状和位置不变的,则称为几何不变体系,如图2-1(a)所示体系。另外有一类体系如图2-1(b)所示,尽管只受到很小的荷载作用,也会引起几何形状的改变,这类体系称为几何可变体系。显然,几何可变体系是不能作为结构的。几何可变体系可称之为“机构”,而结构必须是几何不变的。

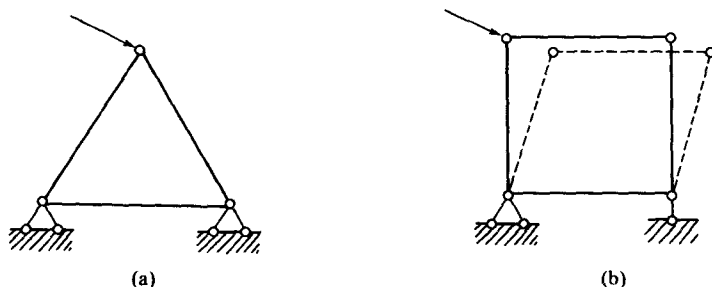


图 2-1

结构必须是几何不变体系,在设计结构和选取其计算简图时,首先必须判断它是否是几何不变体系。因此,对体系进行几何组成分析的目的有:

- (1) 判别某一体系是否几何不变。
- (2) 研究几何不变体系的组成规律,以决定是否可以作为结构。
- (3) 根据结构的组成规则确定它是静定的或是超静定的,以指导结构的内力计算。

体系中任何几何不变的部分都可看作一个刚体,它在平面体系中简称为刚片。因此,一根梁、一根链杆或者在体系中已经肯定为几何不变的某个部分,以及支承结构的地基,都可看作一个刚片。本章所讨论的体系只限于平面杆件体系。

2.2 自由度和约束

1. 自由度

确定体系的位置所必须的独立坐标的数目,称为自由度,即该体系运动时,可以独立的运动方式或独立的几何参变数。

在平面内一个点的位置由两个坐标 x 和 y 来确定,见图 2-2(a),所以在平面上一个点的自由度有两个。在平面内一个刚片的位置由其任一点 A 的坐标 x 、 y 和过 A 点的任一直线 AB 的倾角 φ 来确定,见图 2-2(b),因此一个刚片的自由度有三个。

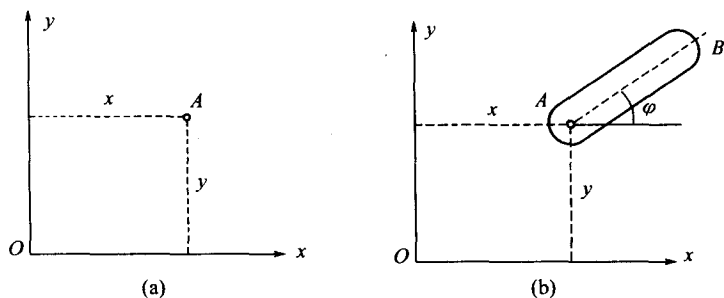


图 2-2

2. 约束

实际结构体系中各杆件之间及体系与基础之间,是通过一些装置互相联系在一起的。这些装置使体系内各构件(刚片)之间相对运动受到了限制,能使体系减少自由度的装置称为约束。能使体系减少一个自由度的装置称为一个约束。如果一个装置能使体系减少 N 个自由度,则称它为 N 个约束。

1) 链杆

如图 2-3(a)所示,用一根链杆将一刚片与基础相联,刚片将不能沿链杆方向移动,因而减少了一个自由度,故一根链杆为一个约束。

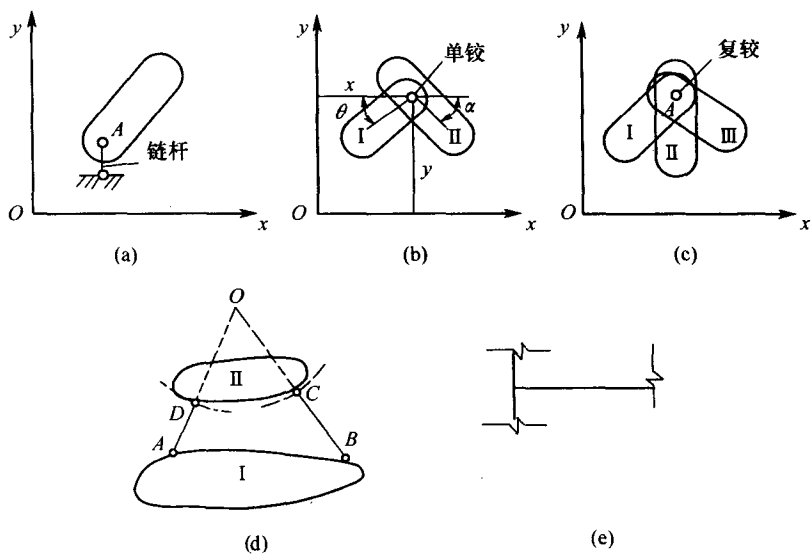


图 2-3