

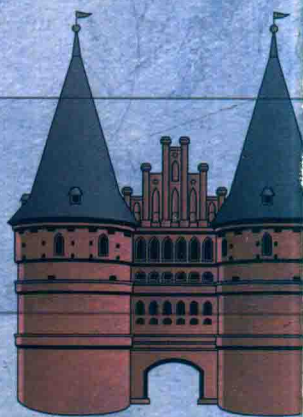


新世纪普通高等教育土木工程类课程规划教材

结构力学

JIEGOU LIXUE

主 编 张金生 唐克东
主 审 陈廷国



大连理工大学出版社

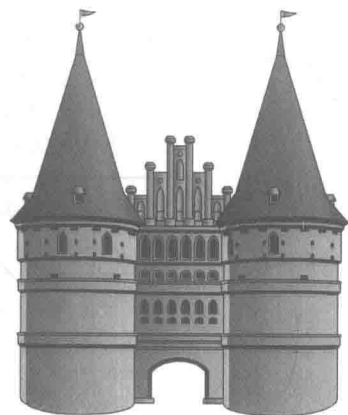


新世纪普通高等教育土木工程类课程规划教材

结构力学

JIEGOU LIXUE

主 编 张金生 唐克东
副主编 王洪枢 宋建华
任 丽 程 健
主 审 陈廷国



大连理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

结构力学 / 张金生, 唐克东主编. — 大连: 大连理工大学出版社, 2015. 5

新世纪普通高等教育土木工程类课程规划教材

ISBN 978-7-5611-9753-0

I. ①结… II. ①张… ②唐… III. ①结构力学—高等学校—教材 IV. ①O342

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 029338 号

大连理工大学出版社出版

地址: 大连市软件园路 80 号 邮政编码: 116023

发行: 0411-84708842 邮购: 0411-84708943 传真: 0411-84701466

E-mail: dutp@dutp.cn URL: <http://www.dutp.cn>

大连美跃彩色印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸: 185mm×260mm 印张: 20.25 字数: 490 千字
2015 年 5 月第 1 版 2015 年 5 月第 1 次印刷

责任编辑: 王晓历

责任校对: 狄源硕

封面设计: 张莹

ISBN 978-7-5611-9753-0

定 价: 43.00 元

新世纪普通高等教育土木工程类课程规划教材编审委员会

主任委员:

李宏男 大连理工大学

副主任委员(按姓氏笔画排序):

于德湖 青岛理工大学

牛狄涛 西安建筑科技大学

年廷凯 大连理工大学

范 峰 哈尔滨工业大学

赵顺波 华北水利水电大学

贾连光 沈阳建筑大学

韩林海 清华大学

熊海贝 同济大学

薛素铎 北京工业大学

委员(按姓氏笔画排序):

马海彬 安徽理工大学

王立成 大连理工大学

王海超 山东科技大学

王崇倡 辽宁工程技术大学

王照雯 大连海洋大学

卢文胜 同济大学

司晓文 青岛恒星学院

吕 平 青岛理工大学

朱伟刚 长春工程学院

朱 辉 山东协和学院

任晓菘 同济大学

刘 明 沈阳建筑大学

刘明泉 唐山学院

刘金龙 合肥学院

许成顺 北京工业大学

苏振超 厦门大学
李伙穆 闽南理工学院
李素贞 同济大学
李哲 西安理工大学
李晓克 华北水利水电大学
李帼昌 沈阳建筑大学
何芝仙 安徽工程大学
张玉敏 济南大学
张金生 哈尔滨工业大学
张鑫 山东建筑大学
陈长冰 合肥学院
陈善群 安徽工程大学
苗吉军 青岛理工大学
周广春 哈尔滨工业大学
周东明 青岛理工大学
赵少飞 华北科技学院
赵亚丁 哈尔滨工业大学
赵俭斌 沈阳建筑大学
郝冬雪 东北电力大学
胡晓军 合肥学院
秦力 东北电力大学
贾开武 唐山学院
钱江 同济大学
郭莹 大连理工大学
唐克东 华北水利水电大学
黄丽华 大连理工大学
康洪震 唐山学院
彭小云 天津武警后勤学院
董仕君 河北建筑工程学院
蒋欢军 同济大学
蒋济同 中国海洋大学

前 言

《结构力学》是新世纪普通高等教育教材编审委员会组编的土木工程类课程规划教材之一。

本教材是按照教育部审定的“结构力学课程教学基本要求(A类)”所规定的必修内容编写而成的。

本教材根据应用型人才的培养特点和对知识的需求,在保证满足本科教学基本要求的前提下,对结构力学教学内容做了较多删减,以够用为度但不降低对基本内容的掌握而编写的。例题和习题的难度降低,以容易理解掌握为目的来设置架构。讲解务求详细,在保证内容科学性的前提下,力求循序渐进、由浅入深、由简入繁。

本教材共12章:绪论;结构的几何组成分析;静定梁与静定刚架;三铰拱;静定平面桁架;静定结构的位移计算;力法;位移法;力矩分配法;移动荷载作用下的结构计算;矩阵位移法;结构动力计算。

单跨静定梁的受力分析尽管在学习结构力学前已在材料力学或工程力学中学习过,但由于其是分析其他结构的基础,而且是学好结构力学的关键,故本教材对其仍不吝笔墨,希望读者重视。

变形体虚功原理是单位荷载法求位移的理论基础,是结构力学中最重要的理论之一,本教材对其的讲解通俗易懂,可加深学生对单位荷载法的理解。

本教材根据应用型本科专业的需求及结构力学课程教学基本要求,增加了一些内容完成的。例题丰富、习题形式多样,既有注重方法过程的计算题也有反映概念、理论的客观型习题,并配备了较详细的参考答案。

为了将移动互联网技术应用于教学过程,建立了与本教材配套使用的在线练习和在线测试题库。使用本教材的教师可免费利用该题库用电脑或手机实现在线练习、在线测试、班级管理等工作。浏览网址:<http://www.examcoo.com>,注册后加入班级,班级编号104684。

本教材由哈尔滨工业大学张金生和华北水利水电大学



唐克东任主编,哈尔滨华德学院王洪枢、海口经济学院宋建华、山东协和学院任丽和青岛理工大学程健任副主编。具体编写分工如下:宋建华编写第1章和第2章,张金生编写第3章和第8章,程健编写第4章和第10章,任丽编写第5章和第6章,唐克东编写第7章和第9章,王洪枢编写第11章和第12章。全书由张金生绘图、统稿并定稿。大连理工大学陈廷国教授审阅了全书并提出了修改意见,在此谨致谢忱。

限于编者的水平,书中也许仍有疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2015年5月

所有意见和建议请发往:dutpbk@163.com

欢迎访问教材服务网站:<http://www.dutpbook.com>

联系电话:0411-84708462 84708445



第 1 章 绪 论	1
§ 1-1 为什么学习结构力学	1
§ 1-2 结构的计算简图	2
§ 1-3 常见杆件结构的类型	4
第 2 章 结构的几何组成分析	5
§ 2-1 基本概念	5
§ 2-2 静定结构的组成规则	9
§ 2-3 体系的几何组成分析	13
习 题	16
第 3 章 静定梁与静定刚架	18
§ 3-1 单跨静定梁	18
§ 3-2 多跨静定梁	25
§ 3-3 静定刚架	27
§ 3-4 静定结构的一般性质	33
习 题	34
第 4 章 三铰拱	39
§ 4-1 概 述	39
§ 4-2 三铰拱的计算	40
§ 4-3 三铰拱的合理拱轴	44
习 题	45

第 5 章 静定平面桁架	47
§ 5-1 桁架的计算简图与分类	47
§ 5-2 结点法	48
§ 5-3 截面法	52
§ 5-4 对称性的利用	54
§ 5-5 几种梁式桁架的受力特点	56
§ 5-6 组合结构	59
习 题	62
第 6 章 静定结构的位移计算	64
§ 6-1 概 述	64
§ 6-2 虚功原理	65
§ 6-3 单位荷载法	70
§ 6-4 荷载引起的位移计算	71
§ 6-5 图乘法	74
§ 6-6 支座位移引起的位移计算	83
§ 6-7 温度变化引起的位移计算	85
§ 6-8 线弹性体系的互等定理	87
习 题	89
阶段测试	93
第 7 章 力 法	96
§ 7-1 超静定结构的概念、特性及解法	96
§ 7-2 力法的基本概念	99
§ 7-3 力法基本结构和基本未知量的确定	102
§ 7-4 荷载作用下用力法计算超静定梁与刚架	105
§ 7-5 用力法计算超静定结构由支座位移引起的内力	114
§ 7-6 用力法计算超静定结构由温度变化引起的内力	117
§ 7-7 结构对称性的利用	118
§ 7-8 力法计算超静定桁架	125
§ 7-9 超静定结构的位移计算与力法计算结果的校核	126
习 题	128

第 8 章 位移法	133
§ 8-1 单跨超静定梁的杆端弯矩和杆端剪力	133
§ 8-2 位移法基本概念	139
§ 8-3 位移法基本结构与基本未知量的确定	145
§ 8-4 位移法典型方程	149
§ 8-5 根据弯矩图作剪力图及轴力图	157
§ 8-6 对称条件的利用	159
习 题	161
第 9 章 力矩分配法	165
§ 9-1 力矩分配法的基本概念	165
§ 9-2 力矩分配法计算单结点结构	170
§ 9-3 力矩分配法计算多结点结构	177
习 题	184
综合测试题	187
第 10 章 移动荷载作用下的结构计算	191
§ 10-1 移动荷载和影响线的概念	191
§ 10-2 静力法作静定梁影响线	193
§ 10-3 静力法作结点荷载作用下主梁影响线	197
§ 10-4 静力法作静定桁架影响线	198
§ 10-5 机动法作静定梁影响线	200
§ 10-6 机动法作连续梁影响线	204
§ 10-7 固定荷载作用下利用影响线求内力和支座反力	206
§ 10-8 确定最不利荷载位置	208
习 题	212
第 11 章 矩阵位移法	215
§ 11-1 矩阵位移法分析过程概述	215
§ 11-2 矩阵位移法分析连续梁	216
§ 11-3 矩阵位移法分析刚架	228
习 题	241

第 12 章 结构动力计算	246
§ 12-1 概 述	246
§ 12-2 单自由度体系的自由振动	252
§ 12-3 简谐荷载作用下单自由度体系的强迫振动	258
§ 12-4 多自由度体系自由振动分析	264
§ 12-5 多自由度体系在简谐荷载作用下的强迫振动	275
§ 12-6 用能量法计算结构的基本频率	279
习 题	283
参考答案	289
参考文献	312

第1章 绪论

§ 1-1 为什么学习结构力学

1. 为什么要学习结构力学

要回答这个问题,先要说明什么是结构。建造一幢住宅楼,先是建造由基础、柱、梁、墙和楼板等构件构成的骨架,然后再根据使用功能设置隔墙安装门窗等。其中的骨架部分起到承担重力(荷载)并把重力传递到地基的作用,称其为结构,图 1-1(a)所示即由基础、柱、梁等构成的工业厂房结构。

从几何角度,可把结构分为三类:

(1)板壳结构 也称为薄壁结构。厚度比长度和宽度小许多的结构,如油罐等。

(2)实体结构 长、宽、厚三方向尺寸相差不大的结构,如挡土墙、块式基础、坝体等。

(3)杆件结构 由杆件组成的结构。所谓杆件,是指细长的构件,如梁、柱等。墙、楼板不是杆件,但在建筑结构的计算简图中通常被简化为杆件。

其中,杆件结构是结构力学的研究对象,另两类结构由弹性力学研究。

要保证结构安全需要在设计时对其做力学分析,了解结构各部分的受力情况,而结构力学就是研究结构受力规律、受力分析方法的一门课程。因此,无论是大专还是本科的土木工程专业均将结构力学作为必修课,不掌握结构力学就不能作建筑结构设计。

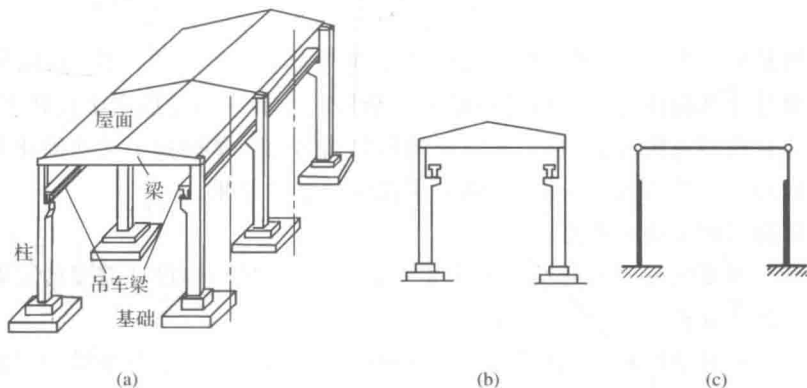


图 1-1 工业厂房及其计算简图

2. 结构力学的内容

无论设计任何结构都要保证结构的坚固性、经济性和功能性,这就要对结构作强度和刚度的校核。强度是指结构抵抗破坏的能力,强度小不安全,强度过大增加结构的建造成本;

刚度是结构抵抗变形的能力,结构刚度过小导致结构发生较大变形而影响使用功能。结构强度和刚度的校核需要计算结构的内力和位移,在材料力学课程中已经学习了单个构件的内力计算和位移计算,在结构力学中接着学习如何计算由若干构件组成的结构的内力和位移。结构的内力计算方法与结构的组成有关,因此还需了解结构的组成。另外,在结构的抗震设计、隔振设计中还要用到结构动力计算的知识,在设计中要用到结构分析软件,要掌握它的使用需要了解编制这些软件的方法。所以本教材所讲述的结构力学内容为:结构的几何组成分析、结构的内力计算方法、结构位移的计算方法和结构动力计算的方法及结构的矩阵分析方法。

3. 结构力学与其他课程的关系

数学为结构力学提供计算、分析工具,如代数方程组的解算、微分、积分、矩阵运算、微分方程的求解等。

理论力学和材料力学是结构力学的基础,理论力学讨论物体机械运动的基本规律,为结构力学提供力学原理,如牛顿定律、能量守恒定律等;材料力学所研究的单根构件的应力、内力、变形等是结构力学研究杆件结构的基础。

结构力学是后续课程的基础,为钢筋混凝土结构、钢结构、建筑结构抗震设计等课程提供结构分析方法。

4. 如何学习结构力学

本课程主要用到力系的平衡理论和梁的内力计算方法,要求熟练掌握。因为结构力学的核心是各种结构的受力分析方法,而方法的掌握主要靠使用它解决问题,这要求学习时要做一定量的习题。结构力学各部分之间关系紧密,学习顺序不能改变,只有掌握前面的内容才能顺利学习后面的内容。

§ 1-2 结构的计算简图

实际结构是很复杂的,要严格按照实际情况进行力学分析是不可能的,也是不必要的,结构力学是通过计算简图来对结构进行研究。结构的计算简图是指用于代替实际结构进行结构分析的计算模型或图形,是根据要解决的问题而对实际结构做了某些简化和理想化,保留了实际结构的主要受力和变形性能,略去了次要因素的结果。

确定计算简图的原则有两点:

- 一是计算简图要能反映实际结构的主要受力性能,满足结构设计需要的足够精度;
- 二是便于计算分析。

对于工程中常见的结构,已有成熟的计算简图可以利用。对于新型结构,确定其计算简图需要进行实验、实测和理论分析,并要经受多次实践的检验。下面简要说明从实际结构到计算简图的简化要点和结果。

1. 体系的简化

实际结构都是空间结构,多数情况下,为了简化计算可以将其简化为平面结构。如图 1-1(a)所示工业厂房,其主体结构排架(图 1-1(b))的计算简图如图 1-1(c)所示。

本教材只讲述平面结构的计算。当掌握了平面结构的分析方法不难将其扩展到空间结构中。

2. 杆件的简化

在计算简图中,杆件用其轴线表示。如在材料力学中计算单跨梁内力时,无论梁的截面如何均用梁的轴线表示。

3. 结点的简化

将杆件连接在一起的连接装置简化为结点,根据连接方式的不同通常可简化为铰结点、刚结点、组合结点等。

(1)铰结点 铰结点所连接的各杆杆端截面可以自由发生相对转动,如图 1-2(a)所示。

(2)刚结点 刚结点所连接的各杆杆端截面不能发生相对转动,如图 1-2(b)所示的 A 结点所连接的杆端,变形前夹角是 90° ,变形后仍为 90° 。

(3)组合结点 也称为半铰结点,有些杆端刚结有些杆端铰结的结点。如图 1-2(c)所示, AB 杆与 AC 杆在 A 点刚结, AD 杆与其他两杆在 A 点铰结。

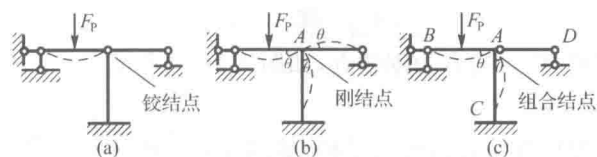


图 1-2 结点

需要注意:画计算简图时,千万不要将铰结点画成半铰结点,或将半铰结点画成全铰结点。若画错了,受力情况就完全变了。初学者常常画错,需引起注意。

4. 支座的简化

将结构与地面或支承物连接在一起的装置简化为支座。根据连接方式的不同有可动铰支座、固定铰支座、固定支座、定向支座等。如图 1-3 所示。

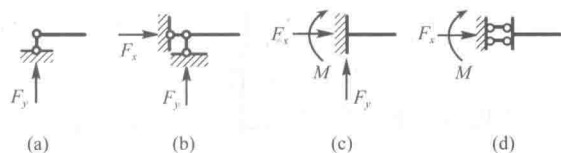


图 1-3 支座

(1)图 1-3(a)所示支座为可动铰支座,连接的杆端可沿水平方向自由移动,可自由转动,但不能竖向移动,可产生竖向支座反力。

(2)图 1-3(b)所示支座为固定铰支座,连接的杆端可自由转动,但不能发生移动,可产生水平和竖向支座反力。

(3)图 1-3(c)所示支座为固定支座,连接的杆端既不能移动也不能转动,可产生水平和竖向支座反力及支座反力矩。

(4)图 1-3(d)所示支座为定向支座,连接的杆端不能转动,不能发生水平移动,可发生竖向移动,可产生一个水平支座反力和支座反力矩。

§ 1-3 常见杆件结构的类型

根据结构计算简图的特征和受力特点,可将杆件结构分为 5 类:

1. 梁

在竖向荷载作用下不能产生水平反力的结构,杆轴通常为直线,如图 1-4(a)所示,该结构为连续梁。

2. 拱

在竖向荷载作用下能产生水平反力的结构,杆轴通常为曲线,如图 1-4(b)所示,该结构为两铰拱。

3. 桁架

结点均为铰结点,内力只有轴力的结构,如图 1-4(c)所示。

4. 刚架

由梁柱组成的结构,结点通常为刚结点,如图 1-4(d)所示。

5. 组合结构

由梁式构件和桁架构件组合而成的结构,如图 1-4(e)所示。

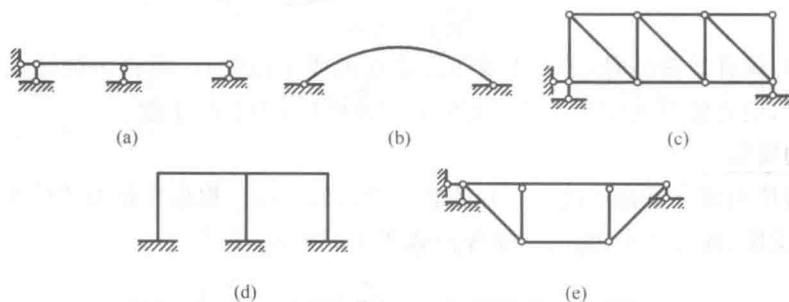


图 1-4 结构类型

以上结构在外力作用下的内力和位移的计算方法是后续章节的主要内容,故这里不做进一步的说明。

第 2 章 结构的几何组成分析

在学习结构内力和位移的计算方法之前,先介绍结构的几何组成。结构的几何组成不同,计算方法亦不同,掌握了结构的几何组成才能正确选择计算方法。另外,结构的受力分析过程也会用到结构组成的一些知识。

在结构的几何组成分析中不考虑杆件本身的变形,即假设所有杆件均为刚体。

§ 2-1 基本概念

1. 几何不变体系、几何可变体系

几何形状和位置不能发生变化的体系称为几何不变体系,如图 2-1(a)所示体系,其形状(三角形)不变,支座保证其不能上下、左右移动和转动,故为几何不变体系。几何形状或位置能发生变化的体系称为几何可变体系,如图 2-1(b)所示体系,虽形状不变但位置可变;如图 2-1(c)所示体系,位置不变但形状(四边形)可变,均为几何可变体系。

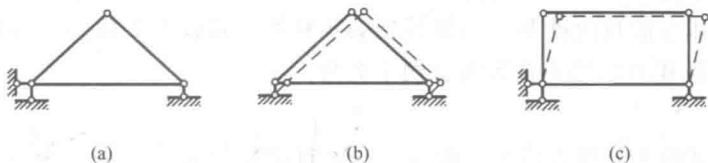


图 2-1 几何不变体系与几何可变体系

可直观地看出图 2-2 所示体系均为几何不变体系,图 2-3 所示体系均为几何可变体系。

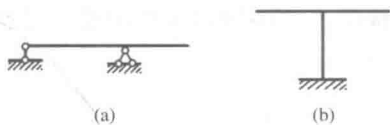


图 2-2 几何不变体系的例子

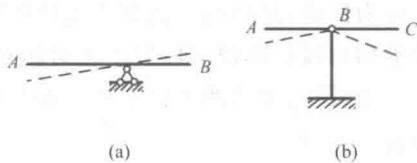


图 2-3 几何可变体系的例子

在荷载作用下,几何不变体系能平衡,能起到承担荷载、传递荷载的作用,故可作为结构;而几何可变体系在一般荷载作用下不能平衡,因此不能作为结构。

像图 2-2、图 2-3 那样的简单体系可以直观地看出能否作为结构,而较复杂体系就需要通过几何组成分析来确定。接下来给出几个几何组成分析用到的概念。

2. 自由度

体系运动时可以独立改变的几何参数的数目,即确定体系的位置所需要的独立坐标的个数称为体系的自由度。如平面上的一个点有两个自由度,因为确定点的位置需要两个坐标 x 、 y ,这两个坐标可以独立变化,如图 2-4(a)所示,若自由度用 W 表示,则平面上点的自由度 $W=2$;平面上一根杆件的自由度 $W=3$,因为确定其位置需三个独立坐标,如图 2-4(b)所示。

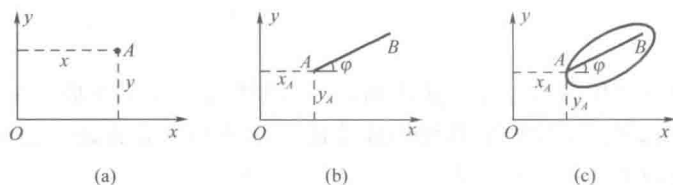


图 2-4 点、杆件、刚片的自由度

平面上的一根杆件可看作一个刚片。刚片是指形状不变的平面物体,即平面刚体,如图 2-5(a)、图 2-5(b)所示体系为刚片,而图 2-5(c)所示体系不是刚片(因为形状能变化),通常刚片用图 2-5(d)所示图形表示。平面上一个刚片与一根杆件的自由度相同, $W=3$,如图 2-4(c)所示,刚片上的直线段 AB 的位置确定了,刚片的位置就确定了。

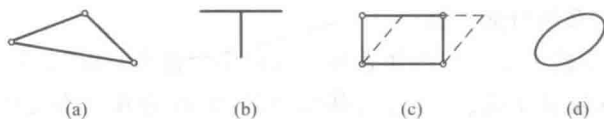


图 2-5 刚片与非刚片

根据自由度的定义可知几何不变体系的自由度等于零,几何可变体系的自由度大于零。如图 2-3(a)所示体系的自由度 $W=1$,既确定 AB 杆的位置仅需夹角一个参数;如图 2-3(b)所示体系的自由度 $W=2$,确定位置需要两个夹角。

3. 约束

能减少自由度的装置称为约束。能减少一个自由度的装置称为一个约束,能减少两个自由度的称为两个约束。常见的约束有铰、链杆等。

(1) 铰

铰也称为铰链,是将两个或多个物体连在一起的一种连接装置,如图 2-6(a)所示,连接后不能发生相对线位移但可以发生相对转动,通常按图 2-6(b)所示那样画铰。将连接两个刚片的铰称为单铰,连接两个以上刚片的铰称为复铰。

① 单铰

如图 2-6(b)所示体系是用一个单铰将两个刚片连在一起组成的。未加铰之前,两个刚片在平面上可自由移动和转动,有六个自由度;加铰后,两刚片不能发生相对水平移动和相对竖向移动,只能发生整体的水平、竖向移动和转动以及两刚片间相对转动,有四个自由度(x_A 、 y_A 、 φ_1 、 φ_2 确定了两个刚片在平面上的位置)。因此一个单铰能减少两个自由度,相当于两个约束。

② 复铰

如图 2-6(c)所示体系是三个刚片用一个铰连接而成的体系。该铰连接三个刚片,为复