



国家教委中等专业学校规划教材

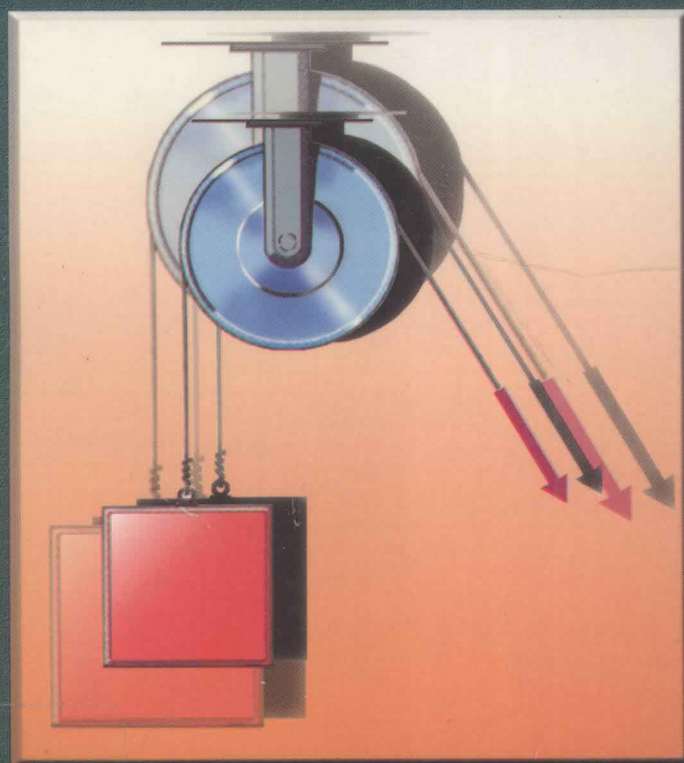
土建类(多学时)专业通用

建筑力学

(下 册)

——结构力学

陈大堃 沈伦序 宋美君
沈伦序 主编



高等教育出版社

国家教委中等专业学校规划教材

建筑力学

(下册)

——结构力学

陈大堃 沈伦序 宋美君

沈伦序 主编

高等教育出版社

本书共三篇,分上、下两册。

下册为第三篇结构力学,内容有结构的计算简图,平面体系的几何组成,静定结构的受力分析,静定结构的位移计算,力法,位移法,力矩分配法,影响线及矩阵位移法等章。各章均有小结、思考题及习题。书末附有习题答案。

本书供中等专业学校用作教材,亦可供成人中专、中专自学考试以及工程技术人员使用。

本教材是按照国家教育委员会审定的中等专业学校招收初中毕业生、学制为四年工科土建类专业“建筑力学教学大纲”(230学时)编写的。经全国中等专业学校力学课程组审定推荐为全国通用教材。

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学 下册:结构力学/沈伦序主编;陈大堃等编.

北京:高等教育出版社,1990.4(2005年重印)

中等专业学校教材

ISBN 7-04-002959-6

I. 建… II. ①沈… ②陈… III. ①建筑结构:结构力学-
专业学校-教材 ②结构力学-专业学校-教材 IV. ① TU311
② 0342

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 19451 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

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>

经 销 新华书店上海发行所

印 刷 上海师范大学印刷厂

开 本 787×1092 1/16

印 张 15.75

字 数 354 000

版 次 1990 年 4 月第 1 版

印 次 2005 年 2 月第 18 次印刷

定 价 20.00 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

本教材是按照国家教委 1987 年审定的“建筑力学教学大纲”及 1989 年修订意见稿编写的。在编写中,正值召开全国中专首届力学教学经验交流大会,编者汲取了大会的交流经验。

教材一方面照顾到传统性,将全书分为静力学、材料力学、结构力学三个部分,另一方面又按建筑力学的统一性,对内容作了调整与选择。在内容取舍与安排上,尽量考虑使教材符合工程实际的需要。

在编写本教材前,由全国中等专业学校力学课程组召开了“编写提纲讨论会”;初稿写出后,几位编者对初稿进行了互阅,主编对全稿作了修改。在审稿会上,审者和编者又共同对照“大纲修订意见稿”对书稿提出了一些建议,编者又对全书进行了修改。最后,由主编对全书再次作了统稿与定稿。

本教材绪论由沈伦序编写,静力学篇由陈大堃编写,材料力学篇由陈大堃与沈伦序编写,结构力学篇由宋美君编写。全书由沈伦序担任主编。

本教材承李黄宜、吕学谟两位同志担任主审,陈幼山、关荣策同志协审,沈青青、何涛同志参加了审稿会。在审稿中主、协审对书稿提出了不少改进意见,为本书质量的提高,起了很大作用。

汪木其同志帮助完成了结构力学篇中的力矩分配法和影响线两章的初稿。黄潭生、黄明、宋蕙芬、沈君、谢哲澜等同志分别为本书绘制了静力学、材料力学、结构力学插图。唐瑞霖、汪冬分别为本书材料力学、结构力学习题作了解答。

编者对审者及以上为本书作了各方面工作的各位同志,表示衷心感谢。

由于编者水平所限,书中不妥之处,敬请读者提出宝贵意见。

编者 谨识

1989 年 6 月

目 录

第三篇 结 构 力 学

引 言	1	§ 5-5 利用对称性简化计算	86
第一章 结构的计算简图	3	§ 5-6 支座移动时超静定结构的计算	94
§ 1-1 结构的计算简图及其分类	3	§ 5-7 单跨超静定梁的杆端弯矩和杆端剪力	95
§ 1-2 荷载的分类	5	§ 5-8 两铰拱	98
第二章 平面体系的几何组成	7	* § 5-9 用弹性中心法计算无铰拱	102
§ 2-1 分析几何组成的目的	7	* § 5-10 用总和法计算无铰拱	106
§ 2-2 平面体系的自由度	8	小结	109
§ 2-3 几何不变体系的简单组成规则	9	思考题	110
§ 2-4 几何组成分析举例	11	习题	110
§ 2-5 静定结构与超静定结构	14	第六章 位移法	115
小结	15	§ 6-1 位移法的基本未知量	116
思考题	16	§ 6-2 等截面直杆的转角位移方程	118
习题	16	§ 6-3 无结点线位移刚架的计算	120
第三章 静定结构的受力分析	19	§ 6-4 有结点线位移刚架的计算	125
§ 3-1 多跨静定梁	19	小结	129
§ 3-2 静定平面刚架	21	思考题	130
§ 3-3 静定平面桁架	30	习题	130
§ 3-4 三铰拱	38	第七章 力矩分配法	132
小结	45	§ 7-1 力矩分配法的基本要素	132
思考题	45	§ 7-2 力矩分配法的基本原理	135
习题	46	§ 7-3 用力矩分配法计算连续梁和结点无侧移刚架	139
第四章 静定结构的位移计算	50	小结	146
§ 4-1 结构位移计算的目的	50	思考题	147
§ 4-2 变形体的虚功原理	50	习题	147
§ 4-3 荷载作用下位移计算的一般公式	52	第八章 影响线	150
§ 4-4 静定结构在荷载作用下的位移计算	54	§ 8-1 影响线的概念	150
§ 4-5 图乘法	58	§ 8-2 单跨静定梁的影响线	150
§ 4-6 静定结构在支座移动时的位移计算	65	* § 8-3 结点荷载作用下主梁的影响线	156
§ 4-7 功的互等定理	67	§ 8-4 影响线的应用	159
小结	69	§ 8-5 简支梁的内力包络图和绝对最大弯矩	165
思考题	70	* § 8-6 标准荷载与换算荷载	170
习题	71	§ 8-7 用机动法作连续梁影响线简介	178
第五章 力法	73	§ 8-8 连续梁的内力包络图	182
§ 5-1 超静定结构概述	73	小结	184
§ 5-2 力法原理	75	思考题	186
§ 5-3 力法的典型方程	77	习题	187
§ 5-4 力法的应用举例	79		

* 第九章 矩阵位移法	190
§ 9-1 概述	190
§ 9-2 直接刚度法的基本概念	190
§ 9-3 单元刚度矩阵	202
§ 9-4 单元刚度矩阵的坐标变换	206
§ 9-5 用直接刚度法计算平面刚架	213
§ 9-6 用直接刚度法计算平面桁架	225

小结	231
思考题	231
习题	232
附录 人字屋架杆件长度系数及内力 系数表 (I — V)	235
习题答案	240

第三篇 结构力学

引言

支承荷载起骨架作用的构件或由其组成的整体都称为**结构**。房屋中的梁、柱、屋架、基础等构件,以及由这些构件所组成的体系都是结构的具体例子。图 0-1a 就是由吊车梁、柱、屋架以及基础等构件组成的工业厂房结构示意图。

由杆件组成的结构称为**杆系结构**。当组成结构的各杆轴线都在同一平面时,称为**平面杆系结构**。

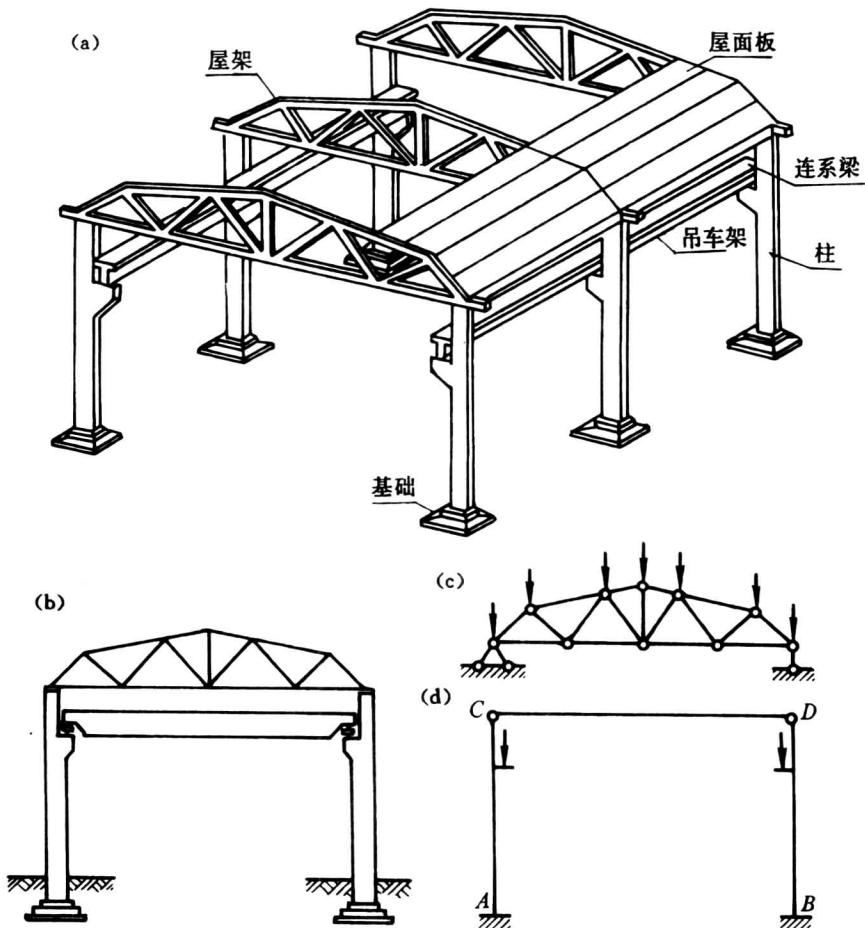


图 0-1

结构力学的任务包括以下几个方面：

1. 讨论结构各部分内力与变形的计算方法,以便进行强度与刚度的验算。
2. 讨论结构的组成规律、受力特征、合理形式以及结构计算简图的合理选择。
3. 讨论结构的稳定性以及在动力荷载作用下的结构反映。

本书主要讨论平面杆系结构的内力和变形计算与结构的组成规律。为了与计算结构力学的发展相适应,还简单介绍了平面杆系结构的矩阵位移法。

第一章 结构的计算简图

§ 1-1 结构的计算简图及其分类

一、结构的计算简图

(一) 计算简图的简化原则

实际工程结构是很复杂的,想完全按照结构的实际情况进行力学分析计算是不可能的,也是没有必要的。因此,对实际结构进行力学计算以前,必须用简化的图形代替实际结构,这种简化图形称结构的**计算简图**。对结构的力学分析都是在计算简图上进行的。计算简图的选择,直接影响计算的工作量和精确度。如果所选择的计算简图不能反映结构的实际受力情况,就会使计算结果产生差错,甚至造成工程事故。所以,必须慎重地选择计算简图。

选择计算简图应注意下列原则:

1. 从实际出发。计算简图应正确的反映结构的实际受力情况,使计算成果接近实际情况。
2. 分清主次。略去次要因素,使计算简化。

为了使计算简图在尽量反映实际结构的受力情况的同时又尽可能地简化计算,在不同的情况下,可分别选取恰当的计算简图。如初步设计时,可以采用粗略的计算简图,而在技术设计阶段,则应改用较复杂但更精确的计算简图。对较重要的结构,设计标准相应较高,需采用比较精确的计算简图,以提高计算成果的可靠性;反之,则可采用较粗略的计算简图。对结构作静力计算时,采用的计算简图一般比较精确;作动力计算或稳定性分析时,由于计算较复杂,则可采用较简单的计算简图。另外,当使用的计算工具较为先进时,就可选用较为精确的计算简图。

(二) 计算简图的简化方法

对实际结构进行简化时,通常需要经过以下三个方面的工作:

1. 结构体系的简化

结构体系的简化包括平面简化、杆件的简化及结点的简化等内容。

(1) 平面简化

一般的结构都是空间结构。如果空间结构在某平面内的杆系结构主要承担该平面内的荷载时,可以把空间结构分解为几个平面结构进行计算。这种简化称结构的**平面简化**。

(2) 杆件简化

在计算简图中,结构的杆件总可用其纵向轴线代替。如梁、柱等构件的纵轴线为直线,就用相应的直线表示;而曲杆、拱等构件的纵轴线为曲线,则用相应的曲线表示。

(3) 结点的简化

结构中杆件相互连接的部分称为**结点**。根据结点的实际构造,通常简化为**铰结点**和**刚结点**两种类型。凡以铰相连的各杆,可以绕其自由转动的结点称为**铰结点**。凡在荷载作用下,汇交于同一结点上的各杆之间的夹角在结构变形前后保持不变的结点称为**刚结点**。

2. 支座的简化

根据支座的实际构造和约束特点,通常可简化为固定铰支座、可动铰支座和固定端支座等三种基本类型。

3. 荷载的简化

作用在结构上的实际荷载比较复杂,根据实际受力情况,常可将荷载简化为集中荷载或分布荷载等。

下面以图 0-1a 所示厂房结构的屋架为例,说明计算简图的简化方法。由图 0-1a 可见,该厂房是一个空间结构。但由屋架与柱组成的各个排架的轴线均位于各自的同一平面内,而且由屋面板和吊车梁传来的荷载,主要作用在各横向排架上,因而可以把空间结构分解为几个如图 0-1b 所示的平面结构进行分析。

由图 0-1b 可见,由于屋架与立柱的连接,使屋架不能左右移动,但在温度变化时,仍可以自由伸缩。因此,可将其一端简化为固定铰支座,另一端简化为可动铰支座。当计算桁架各杆内力时,桁架各杆均以轴线表示,同时,将屋面板传来的荷载及构件自重均简化为作用在结点上的集中荷载,如图 0-1c 所示。

在分析排架立柱的内力时,为简化计算,可以用实体杆代替桁架,并且将立柱及代替桁架的实际杆均以轴线表示,得如图 0-1d 所示的计算简图。

二、平面杆系结构的分类

结构所有杆件的轴线都在同一平面内,且荷载也作用在此平面内的结构称**平面杆系结构**。平面杆系结构通常可分为下列几种:

1. 梁

梁是一种受弯构件,可以是单跨的(图 1-1a、b),也可以是多跨的(图 1-1c、d)。

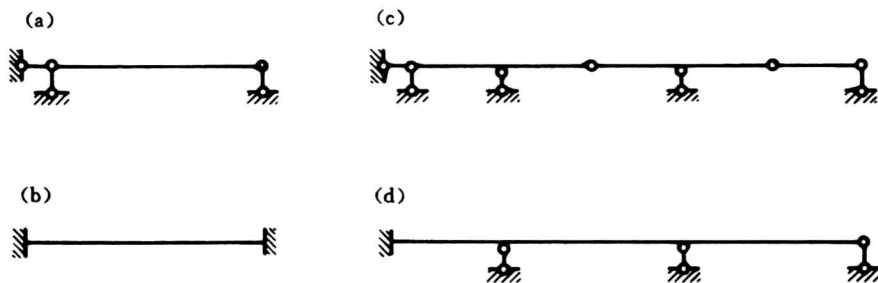


图 1-1

2. 拱

拱是一种杆轴为曲线且在竖向荷载作用下,会产生水平反力的结构(图 1-2a、b)。

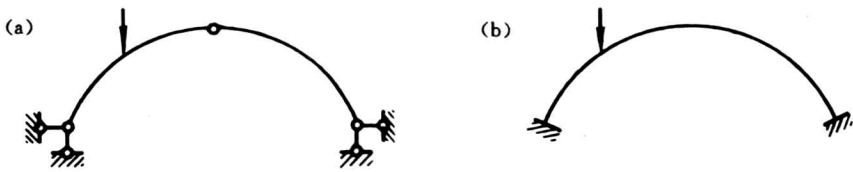


图 1-2

3. 桁架

桁架由若干直杆组成,各杆相连接处的结点均为铰结点。如图 1-3 所示,在结点荷载作用下,各杆只受轴力。

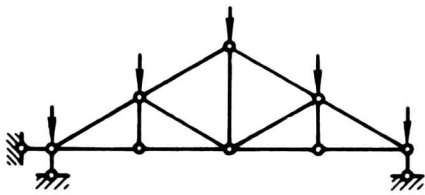


图 1-3

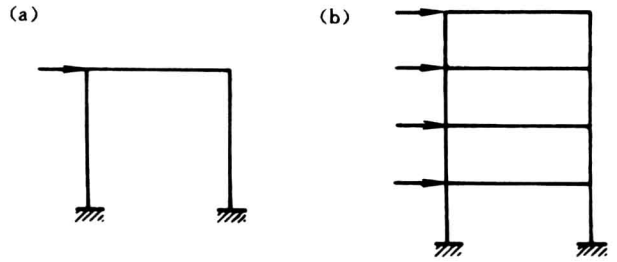


图 1-4

4. 刚架

刚架通常由若干直杆组成,各杆相连接处的结点为刚结点。如图 1-4a、b 所示,组成刚架的各杆主要承受弯矩。

5. 组合结构

组合结构是桁架杆件和梁等组合而成的结构。一些杆件只承受轴力,而另一些杆件主要承受弯矩和剪力,如图 1-5a、b 所示。

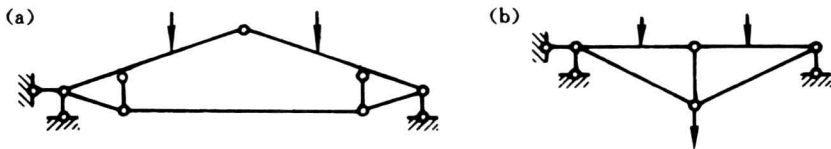


图 1-5

§ 1-2 荷载的分类

结构所承受的荷载,可以根据不同的特点加以分类:

一、按作用时间的久暂

荷载可分为**恒载**和**活载**。恒载是长期作用于结构上的不变荷载,如结构的自重、安装在结构上的设备的重量等,这种荷载的大小、方向和作用位置是不变的。活载是结构所承受的可变荷载,如吊车荷载、结构上的人群、风、雪等荷载。

二、按荷载作用的范围

荷载可分为**集中荷载**和**分布荷载**。凡荷载作用的面积相对于总面积是微小的,作用在这个面积上的荷载,可以简化为集中荷载,如车轮的轮压等。凡分布在一定面积或长度上的荷载,可简化为分布荷载,如风、雪、结构的自重等。分布荷载又可分为**均布荷载**和**非均布荷载**两种。

三、按荷载作用的性质

荷载可分为**静力荷载**和**动力荷载**。凡缓慢地施加不引起结构振动,因而可忽略惯性力影响的荷载是静力荷载。凡能引起显著振动或冲击,因而必须考虑惯性力影响的荷载是动力荷载。本书只讨论静力荷载对结构的影响。

四、按荷载位置的变化

荷载可分为**固定荷载**和**移动荷载**。凡荷载的作用位置固定不变的荷载是固定荷载。如风、雪、结构自重等。凡可以在结构上自由移动的荷载是移动荷载。如吊车、汽车、火车等的轮压。

第二章 平面体系的几何组成

§ 2-1 分析几何组成的目的

一、几何不变体系和几何可变体系

杆系结构是由杆件相互连接而组成用来支承荷载的。设计时必须保持结构自己的几何形状和位置。因此,由杆件组成体系时,并不是无论怎样组成都能作为工程结构使用。例如图2-1a是一个由两根链杆与基础组成的铰接三角形,在荷载的作用下,可以保持其几何形状和位置不变,可以作为工程结构使用。图2-1b是一个铰接四边形,受荷载作用后容易倾斜如图中虚线所示,则不能作为工程结构使用。但如果在铰接四边形中加一根斜杆,构成如图2-1c所示的铰接三角形体系,就可以保持其几何形状和位置,从而可以作为工程结构使用。

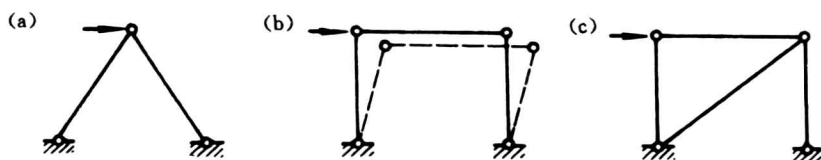


图 2-1

由杆件组成的体系可以分为两类:

1. 几何不变体系

在不考虑材料的应变条件下,几何形状和位置保持不变的体系称几何不变体系,如图2-1a、c所示。

2. 几何可变体系

在不考虑材料的应变条件下,几何形状与位置可以改变的体系称几何可变体系,如图2-1b所示。

二、几何组成分析的目的

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,首先必须判别它是否是几何不变的。这种判别工作称为体系的几何组成分析。对体系进行几何组成分析可达如下目的:

1. 保证结构的几何不变性,以确保结构能承受荷载并维持平衡。
2. 根据体系的几何组成,以确定结构是静定的还是超静定的,从而选择反力与内力的计算方法。
3. 通过几何组成分析,明确结构的构成特点,从而选择结构受力分析的顺序。

在进行几何组成分析时,由于不考虑材料的应变,因而组成结构的某一杆件或者已经判定是几何不变的部分,均可视为**刚体**。平面的刚体又称**刚片**。

§ 2-2 平面体系的自由度

一、自由度

确定体系位置所必须的独立坐标的个数,称**自由度**。自由度也可以说是一个体系运动时,可以独立改变其位置的坐标的个数。

如图 2-2a 所示平面内一点 $A(x, y)$,运动至 $A'(x+\Delta x, y+\Delta y)$ 时,是在平面内沿水平方向移动 Δx ,又沿垂直方向移动 Δy 的结果。所以,一个点在平面内可以独立改变位置的坐标有两个,因而有两个自由度。如图 2-2b 所示的一个刚片,在平面内除了可以沿水平方向和垂直方向移动外,还可以自由转动。它的位置通常是用其上任一点 A 的坐标 x, y 和通过 A 的任一直线 AB 的倾角 φ 三个坐标确定^①。所以,一个刚片在平面内有三个自由度。地基也可以看作是一个刚片,但这种刚片是不动刚片,它的自由度为零。

由以上分析可见,凡是自由度大于零的体系表示是可发生运动的,位置可改变的,即都是几何可变体系。

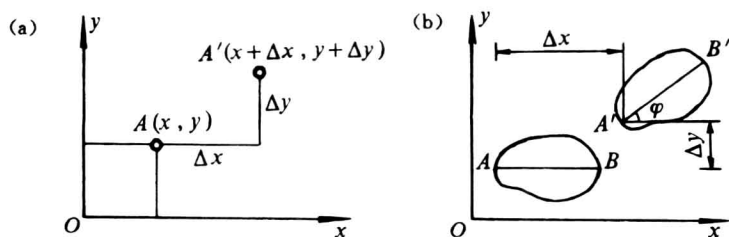


图 2-2

二、约束

能使体系减少自由度的装置称为**约束**。减少一个自由度的装置称为一个约束,减少若干个自由度的装置,就相当于若干个约束。工程中常见的约束有以下几种:

1. 链杆

如图 2-3a 所示,刚片 AB 上增加一根链杆 AC 的约束后,刚片只能绕 A 转动和绕 A 绕

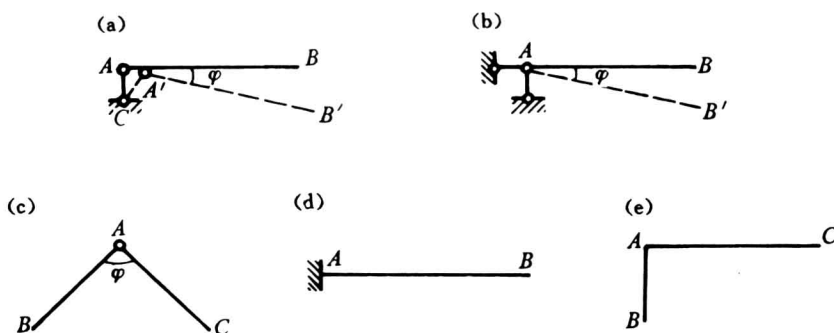


图 2-3

^① 直角坐标系 Oxy 中,轴 x 向右为正向,轴 y 向上为正向,倾角 φ 正负按右手螺旋规则决定。

C 点转动。原来刚片有三个自由度,现在只有两个。因此,一根链杆可使刚片减少一个自由度,相当于一个约束。

2. 铰支座

如图 2-3b 所示铰支座 A,可阻止刚片 AB 上、下和左、右的移动,只能产生转角 φ 。因此,铰支座可使刚片减少两个自由度,相当于两个约束,亦即相当于两根链杆。

3. 简单铰

凡连接两个刚片的铰称**简单铰**,简称**单铰**。如图 2-3c 所示,连接刚片 AB 和 AC 的铰 A。原来刚片 AB 和 AC 各有三个自由度,共计是六个自由度。用铰连接后,如果认为 AB 仍为三个自由度,AC 则只能绕 AB 转动,亦即 AC 只有一个自由度,所以自由度减少为四个。可见,简单铰可使自由度减少两个,也就是说,一个简单铰相当于两个约束,或者说相当于两根链杆。

4. 固定端支座

如图 2-3d 所示固定端,不仅阻止刚片 AB 上、下和左、右的移动,也阻止其转动。因此,固定端支座可使刚片减少三个自由度,相当于三个约束。

5. 刚性连接

如图 2-3e 所示,AB 和 AC 之间为刚性连接。原来刚片 AB 和 AC 各有三个自由度,共计为六个自由度。刚性连接后,如果认为 AB 仍有三个自由度,AC 则既不能上、下和左、右移动,亦不能转动,可见,刚性连接可使自由度减少三个。因此,刚性连接相当于三个约束。

§ 2-3 几何不变体系的简单组成规则

规则一：二元体规则

一个点和一个刚片用两根不共线的链杆相连,组成几何不变体系(图 2-4a)。这种几何不变体系称**二元体**。

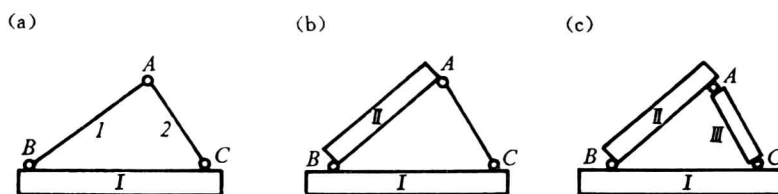


图 2-4

规则二：两刚片规则

两刚片用一个铰和一根链杆相连,且铰和链杆不在同一直线上,组成几何不变体系(图2-4b)。

规则三：三刚片规则

三刚片用三个不共线的铰两两相连,组成几何不变体系(图 2-4c),这种几何不变体系称**铰接三角形**。

现证明为什么图 2-4a 所示的二元体是几何不变体系。

1. 先证明二元体中 A 点为什么要用两根链杆相连方可组成几何不变体系。

将刚片 I 看成是基础,它是固定不动的,则点 A 相对于刚片 I 有两个自由度,先用链杆 1 连接 A ,这时 A 可以在以 B 为圆心,链杆 1 的长为半径的圆弧上移动,因而 A 点还有一个自由度,如图 2-5a 所示。如果是先加链杆 2 , A 点又只能在以 C 为圆心、链杆 2 的长为半径的圆弧上移动。链杆 1 与 2 同时加于 A 点时,则 A 点只可能在沿 1 杆转动的弧线和沿 2 杆转动的弧线交点上,如图 2-5b 所示, A 点完全被固定,因此组成几何不变体系,且无多余约束。如果再加一根链杆 3 ,如图 2-5c 所示,这时体系仍为几何不变的,但有一个多余约束。

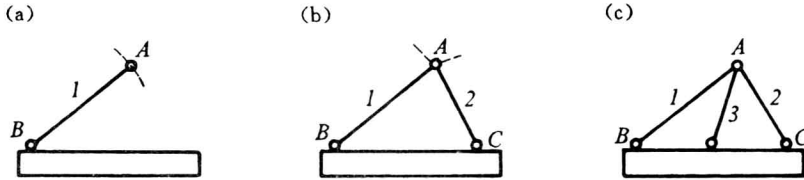


图 2-5

2. 再证明二元体中为什么要强调用不共线的两根链杆相连方可组成几何不变体系。

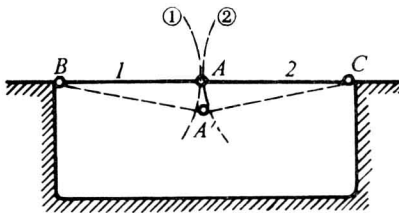


图 2-6

在图 2-6 中,两链杆在一条直线上。从约束的布置上就可以看出是不恰当的,因为链杆 1 和链杆 2 都是水平的。因此,对限制 A 点的水平位移来说具有多余约束,而在竖向没有约束, A 点可沿竖向移动,体系是可变的。另外,从几何关系方面亦可证明上述结论,设想去掉铰 A 将链杆 1 、 2 分开,则链杆 1 上的 A 点将沿以 B 点为中心, BA 为半径的圆弧①转动;同理,链杆 2 上的 A 点将沿以 C 点为中心, CA 为半径的圆弧②转动。因圆弧①和圆弧②在 A 点有公切线,铰 A 可沿此公切线方向运动,亦说明体系是可变的。不过当铰 A 发生微小移动至 A' 时,两根链杆将不再共线,运动亦将不继续发生。这种在某一瞬间可以发生微小位移的体系称为**瞬变体系**。瞬变体系是可变体系的一种特殊情况,不能用做结构使用。

关于两刚片规则和三刚片规则,可以用相同的方法加以证明。

由图 2-4 可见,若将图 2-4a 中二元体中的链杆 1 看作刚片 II ,则是图 2-4b 所示的两刚片连接问题。同样若继续将图 2-4a 中的链杆 2 再看成刚片 III ,则是图 2-4c 所示的三刚片连接问题。所以,三条规则的区别仅仅在于把体系的哪些部分看作具有自由度的刚片,哪些部分看作限制刚片运动的约束。这在分析具体问题的几何组成时,应灵活运用。由图 2-4a、b、c 可进一步看出,三条规则的限制条件就是 A 、 B 、 C 三点不能在一条直线上,亦即不能是瞬变体系。也可以说三条规则的共同点是图 2-4a、b、c 中 A 、 B 、 C 三点连线应构成一个三角形,这种三角形是组成几何不变体系的基本部分。

在约束的种类中曾经讲过,一个铰相当于两根链杆。这就是说图 2-7a 所示,用铰 C 连接的刚片 I 和 II 与图 2-7b 所示用两根链杆 AC 、 BC 连接两刚片效果一样,两链杆的交点 C 称为**实铰**。对于图 2-8a 所示刚片 I 和 II 用两根链杆 AD 、 BE 相连。如果把刚片 II 看成固定不动的基础,那么,刚片 I 的 A 、 B 两点只能分别沿所在链杆的垂直方向运动。以 C 表示两链杆延长线

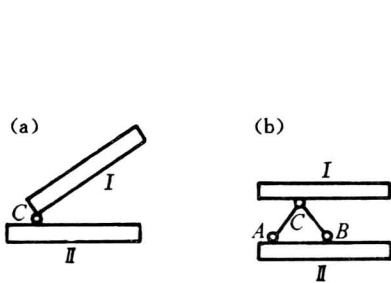


图 2-7

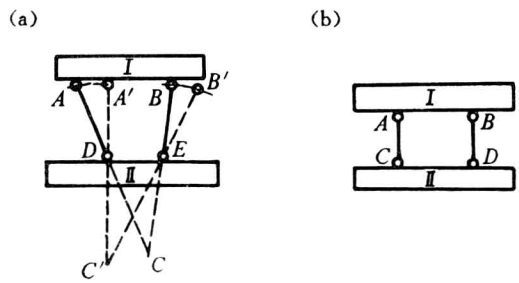


图 2-8

的交点,则刚片 I 可以作绕 C 点为转动中心的转动。 C 点称为**瞬时转动中心**。刚片 I 、 II 可以看成是在点 C 处用铰相连接,也就是说,两根链杆所起的约束作用,相当于在链杆延长线交点处的一个铰所起的约束作用,这个铰称为**虚铰**。应当注意的是,当刚体作微小运动后,相应的虚铰位置将随之改变,例如图 2-8a 中由 C 改变到 C' 。图 2-8b 两刚片 I 、 II 用两根平行链杆 AC 和 BD 相连,其虚铰 C 将在无穷远处。

利用虚铰的概念,规则二(两刚片规则)还可表述为:两刚片用三根不交于一点且不互相平行的链杆相连,组成几何不变体系,如图 2-9a 所示。

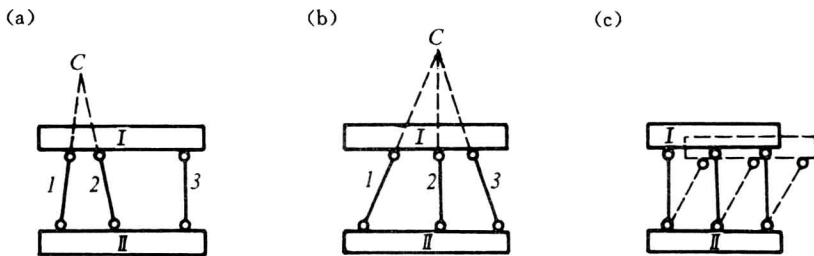


图 2-9

图 2-9b 为用相交于同一点 C 的三根链杆连接刚片 I 、 II ,这时刚片 II 仍可绕虚铰 C 转动,是几何可变体系。图 2-9c 为三链杆相互平行情况,三链杆相交于无穷远的虚铰处,这时刚片 I 相对于刚片 II 可作相对平移,也是几何可变体系。

§ 2-4 几何组成分析举例

几何组成分析的依据是上节所述的几个简单组成规则。只要能正确和灵活地运用它们,便可分析各种各样的体系。分析时,一般先从能直接观察出的几何不变部分开始,应用体系组成规律,逐步扩大不变部分直至整体。对于较复杂的体系,为了便于分析,可先拆除不影响几何不变性的部分(如二元体);对于折线形链杆或曲杆,可用直杆等效代换。下面分别举几个例子说明。

一、能直接观察出的几何不变部分有如下几种

1. 与基础相连的二元体