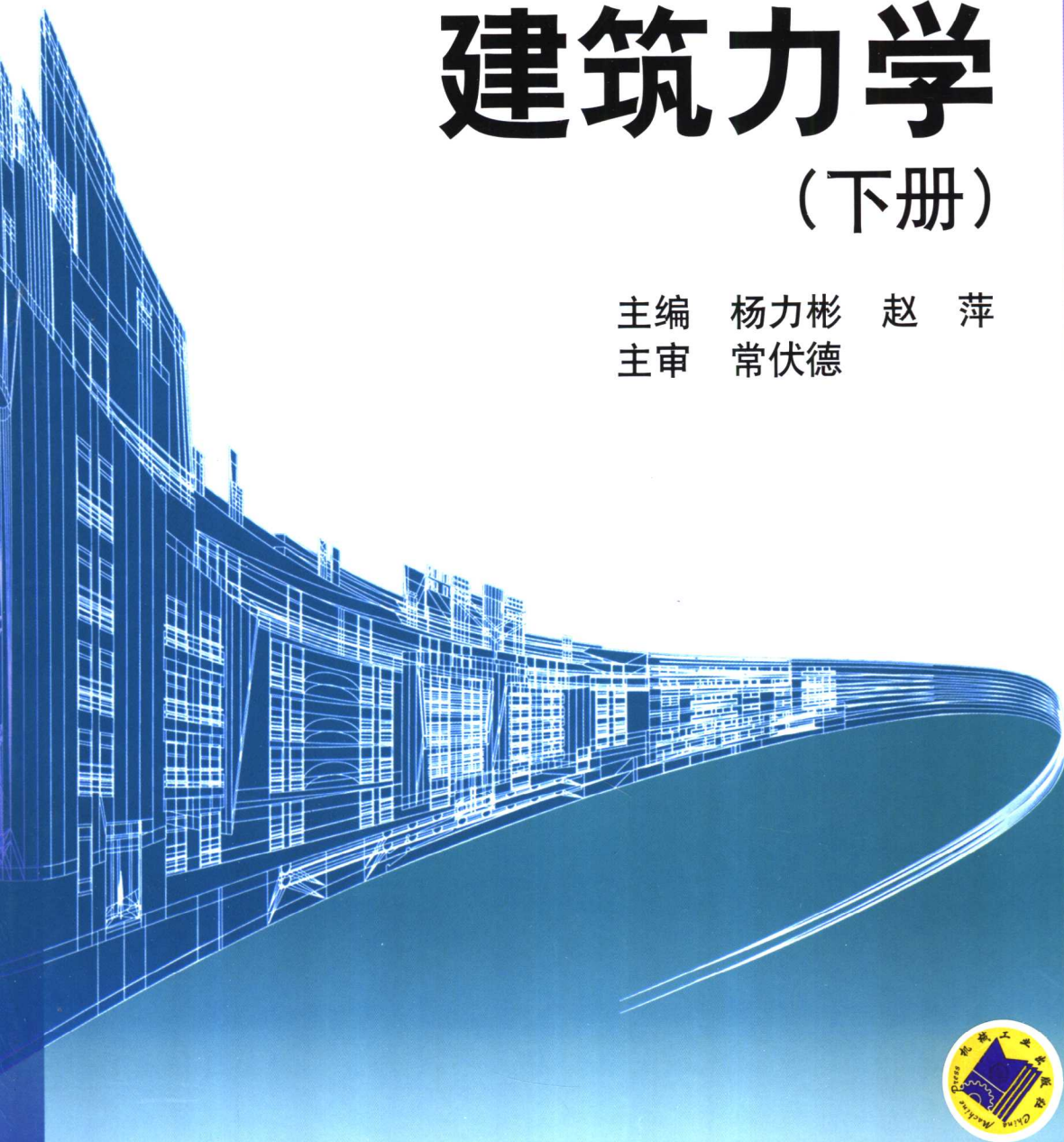


 21世纪建筑工程系列规划教材

建筑力学

(下册)

主编 杨力彬 赵 萍
主审 常伏德



21 世纪建筑工程系列规划教材

建 筑 力 学

下 册

主 编	杨力彬	赵 萍		
副主编	闫海琴	孙长青		
参 编	段贵明	梁宝英	马晓健	赵素兰
主 审	常伏德			



机 械 工 业 出 版 社

本书是根据教育部对高等职业教育的最新要求编写的。

全书共三篇，分上、下两册。下册包括第三篇结构的内力和位移计算，其主要内容有：平面杆件结构的计算简图，平面体系的几何组成分析，静定结构的内力分析，静定结构的位移计算，力法，位移法，力矩分配法，影响线等。各章均有小结、思考题和习题。书末附有部分习题参考答案。

本书可作为高职高专、成人高校的建筑工程、道路与桥梁、水利工程等土木工程类专业的教材，也可作为广大自学者及相关专业工程技术人员参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑力学. 下册/杨力彬, 赵萍主编. —北京: 机械工业出版社, 2004.7

(21 世纪建筑工程系列规划教材)

ISBN 7-111-14775-8

I. 建... II. ①杨... ②赵... III. 建筑力学—教材 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 060286 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 李俊玲 季顺利 版式设计: 冉晓华 责任校对: 李秋荣

封面设计: 姚毅 责任印制: 李妍

北京机工印刷厂印刷 · 新华书店北京发行所发行

2004 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

1000mm × 1400mm B5 · 6.5 印张 · 250 千字

定价: 18.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书按照高职高专人才的培养目标及教育特点,结合编者多年从事教学的经验编写而成。本书的特点是:以必要和够用为准则,强化应用为重点。书中简化了对一些理论的推导和证明,对土木工程较实用的内容列举了较多的例题,并在各章后提供了思考题和习题,同时在附录中附有部分习题答案,供读者巩固及校核。

本书可作为高职高专、成人高校等建筑工程、道路与桥梁、水利工程等土木工程类专业的教材。也可作为广大自学者及相关专业工程技术人员参考用书。

本书分上、下两册,由杨力彬、赵萍任主编,闫海琴、孙长青任副主编。参加本书编写工作的有:山西建筑职业技术学院段贵明(第一、二、三、五章及绪论);山西建筑职业技术学院杨力彬(第四、六、七、八章);山西工业职业技术学院梁宝英(第九、十章);山西建筑职业技术学院闫海琴(第十一、十二、十三章);山西建筑职业技术学院马晓健(第十四、十五、二十三章);内蒙古建筑职业技术学院孙长青(第十六、二十二章);石家庄职业技术学院赵萍(第十七、十八、二十一、二十四章);山西建筑职业技术学院赵素兰(第十九、二十章)。长春工程学院常伏德教授任主审。

在本书的编写过程中,参考了部分相同学科教材等文献(见书后的“参考文献”),在此向文献的作者表示感谢。

主审常伏德教授对本书进行了严谨、认真的审稿,并提出了许多宝贵意见,在此谨向他表示衷心感谢!

由于编者水平有限,书中难免有欠妥和不足之处,恳请广大读者及同仁批评指正,以便再版时修订。

编 者
2004年4月

目 录

前言

第三篇 结构的内力和位移计算

引言	1
第十七章 平面杆件结构的计算简图	1
第一节 结构的计算简图	1
第二节 平面杆件结构的分类	4
思考题	7
第十八章 平面体系的几何组成分析	8
第一节 几何组成分析的目的	8
第二节 平面体系的自由度和约束	8
第三节 几何不变体系的组成规则	10
第四节 静定结构和超静定结构	16
小结	16
思考题	17
习题	18
第十九章 静定结构的内力分析	20
第一节 静定梁	20
第二节 静定平面刚架	30
第三节 静定平面桁架	42
第四节 三铰拱	53
第五节 静定组合结构	62
第六节 静定结构的特性	64
小结	67
思考题	67
习题	68
第二十章 静定结构的位移计算	75
第一节 概述	75
第二节 变形体的虚功原理	76
第三节 结构位移计算的一般公式	78
第四节 静定结构在荷载作用下的位移计算	81
第五节 图乘法	85

第六节 静定结构在支座移动时的位移计算	92
第七节 线弹性体系的互等定理	95
小结	97
思考题	98
习题	99
第二十一章 力法	103
第一节 超静定结构的概念	103
第二节 力法的基本概念	104
第三节 超静定次数的确定与基本结构	106
第四节 力法典型方程	107
第五节 力法的计算步骤及计算示例	109
第六节 超静定结构的位移计算和最后内力图的校核	118
第七节 对称性的利用	121
第八节 支座移动时超静定结构计算	127
第九节 超静定结构的特性	128
小结	129
思考题	130
习题	131
第二十二章 位移法	134
第一节 位移法的基本概念	134
第二节 位移法基本未知量和基本结构	135
第三节 单跨超静定梁的杆端力	138
第四节 位移法的典型方程和计算实例	143
第五节 对称性的利用	153
小结	155
思考题	155
习题	156
第二十三章 力矩分配法	160
第一节 力矩分配法的基本原理	160
第二节 力矩分配法计算连续梁及无侧移刚架	167
小结	172
思考题	173
习题	173
第二十四章 影响线	175
第一节 影响线的概念	175
第二节 用静力法作静定梁的影响线	176
第三节 用机动法作静定梁的影响线	180
第四节 影响线的应用	182

VI

第五节 简支梁的内力包络图	186
第六节 连续梁的影响线和内力包络图	187
小结	191
思考题	192
习题	192
附录 部分习题参考答案	195
参考文献	200

第三篇 结构的内力和位移计算

引言

上册第一篇研究了力系的合成与平衡；第二篇研究了杆件在各种变形时的强度和刚度以及压杆的稳定性问题；在上册基础上，第三篇将研究杆件结构的几何组成规律和合理形式以及结构在外界因素作用下的内力和位移计算。

研究结构的几何组成规律的目的在于保证结构在承担荷载后，各部分之间能维持平衡；研究结构合理形式是为了有效地利用材料，使其性能得到充分发挥；进行结构的内力和位移计算是为了解决结构的设计与校验问题奠定基础。

在结构分析中，首先把实际的结构简化成计算模型，称为结构计算简图；然后再对计算简图进行计算。本篇中介绍的计算方法很多，但都要考虑以下三方面的条件：

- 1) 力系的平衡条件。
- 2) 变形的几何连续条件。
- 3) 力与变形间的物理条件。

本篇所研究的结构主要是线性结构，即叠加原理普遍适用。

第十七章 平面杆件结构的计算简图

第一节 结构的计算简图

工程中结构是很复杂的，完全按照结构的实际情况进行力学分析是不可能的，也是不必要的。因此，在对实际结构进行力学分析以前，必须对结构加以简化，略去不重要的细节，显示其基本特点，用一个简化的图形来代替实际结构，这种简化了的图形称为结构的计算简图。选取计算简图的原则是：

- 1) 尽可能反映实际结构的主要受力特征。
- 2) 略去次要因素，尽量使分析计算过程简单。

计算简图的选取是力学计算的基础，是十分重要的。在遵循上述两个原则的前提下，对实际结构需要从以下几个方面进行简化。

一、杆件的简化

由于杆件的截面尺寸通常比杆件长度小得多，在计算简图中，杆件用其轴线来表示，杆件的长度用结点间的距离来计算，而荷载的作用点也转移到轴线上。

二、结点的简化

在杆件结构中杆件与杆件相连接处称为结点。结点通常简化为以下两种理想情形：

(1) 铰结点 其特征是被连接的杆件在连接处不能相对移动，但可相对转动。铰结点能传递力，但不能传递力矩。这种理想情况，实际上很难遇到。如图 17-1 所示木屋架的结点比较接近于铰结点。

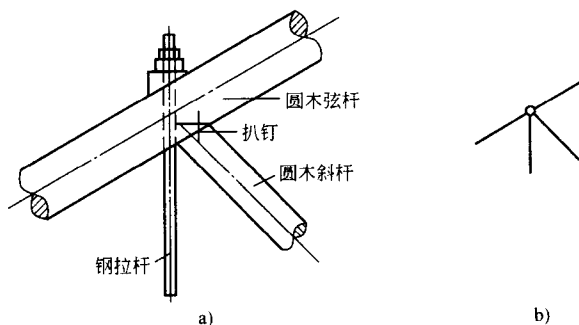


图 17-1

(2) 刚结点 其特征是被连接的杆件在连接处既不能相对移动，又不能相对转动。刚结点能传递力，也能传递力矩。如图 17-2 所示现浇钢筋混凝土刚架中的结点通常属于这类情形。

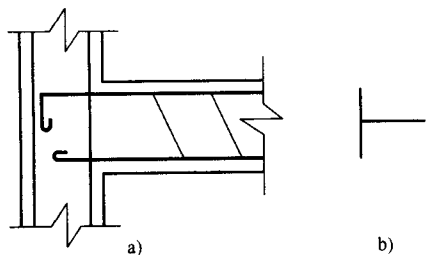


图 17-2

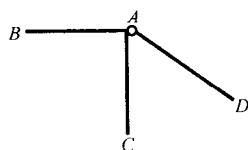


图 17-3

有时还会遇到铰结点和刚结点在一起形成的组合结点，如在图 17-3 中的结

点 A ，其中 BA 杆与 CA 杆以刚结点相连， DA 杆与其他两杆以铰结点相连。组合结点处的铰又称为不完全铰。

三、支座的简化

将结构与基础或其他支承物体连接的装置称为支座。平面杆件结构的支座通常有以下四种形式：

(1) 可动铰支座 如图 17-4a 所示，在支座处结构可以转动和沿支承面方向移动，不能在垂直于支承面方向移动，所产生的支座反力只有垂直于支承面的支座反力 F_y 。在计算简图中用一根链杆表示（图 17-4b）。

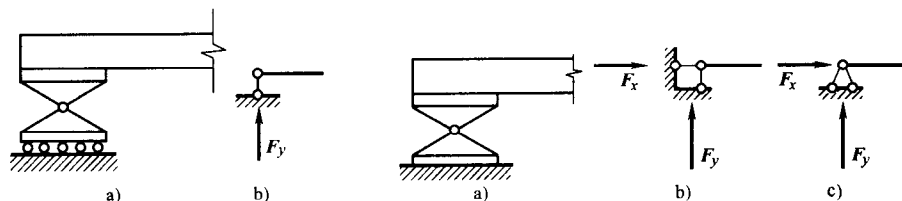


图 17-4

(2) 固定铰支座 如图 17-5a 所示，在支座处结构可以转动，不能移动，能产生两个支座反力 F_x 、 F_y ，在计算简图中用两根相交链杆表示（图 17-5b）。

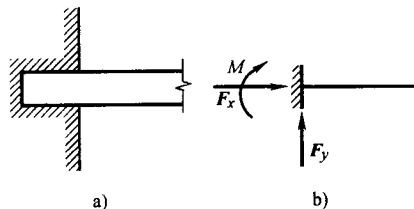


图 17-5

(3) 固定支座 如图 17-6a 所示，在支座处结构既不能转动，又不能移动，能产生约束反力偶 M 和两个支座反力 F_x 、 F_y ，在计算简图如图 17-6b 所示。

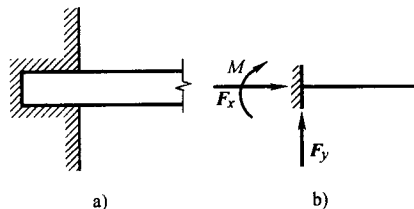


图 17-6

(4) 定向支座 如图 17-7a 所示，其支座处结构不能转动，但可沿一个方向平行滑动，能产生约束反力偶 M 和一个支座反力 F_y ，在计算简图中用两根平行链杆表示（图 17-7b）。图 17-7c 所示为定向支座的另一种情况。

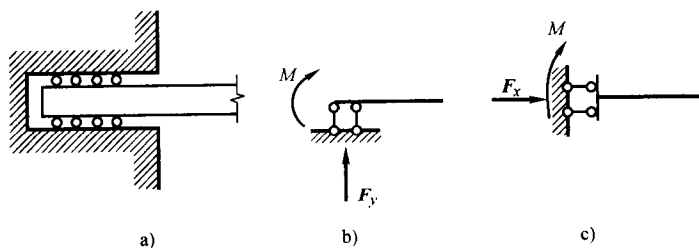


图 17-7

四、计算简图示例

图 17-8a 所示为工业建筑中采用的一种组合式吊车梁，横梁 AB 和竖杆 CD 由钢筋混凝土做成，但 CD 杆的截面面积比 AB 梁的截面面积小很多，斜杆 AD 、 BD 则为 16Mn 圆钢。吊车梁两端由柱子上的牛腿支承。

杆件及结点的简化：各杆件由其轴线来代替，因 AB 是一根整体的钢筋混凝土梁，截面抗弯刚度较大，故在计算简图中， AB 取为连续杆，而竖杆 CD 和钢拉杆 AD 、 BD 与横梁 AB 相比截面抗弯刚度小很多，它们基本上只承受轴力，所以杆件 CD 、 AD 、 BD 的两端可简化为铰结点，其中铰 C 连在横梁 AB 的下方。

支座的简化：由于吊车梁两端的预埋钢板仅通过较短的焊缝与柱子牛腿上的预埋钢板相连，这种构造对吊车梁支承端的转动不能起多大的约束作用，又考虑到梁的受力情况和计算的简便，所以梁的一端可简化为固定铰支座而另一端可简化为可动铰支座。

综合以上所述，组合式吊车梁的计算简图如图 17-8b 所示。

如何选取合适的计算简图是一个比较复杂的问题。不仅要掌握选取的原则，而且还要有较多的实践经验，足够的施工知识、构造知识及设计概念。不过，对于工程中常用的结构，已经有了成熟的计算简图，大家可以直接采用。对于一些新型结构，往往需要反复试验和实践才能确定其计算简图。

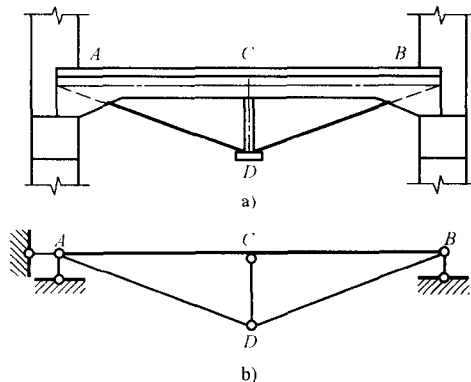


图 17-8

第二节 平面杆件结构的分类

一、结构的分类

建筑物或构筑物中，能承受、传递荷载而起骨架作用的部分称为结构。房屋建筑中的屋架、梁、板、柱、基础及其组成的体系，公路与铁路桥梁，挡土墙和水坝等，都是结构的例子。

结构按其几何特征可分为以下三种：

(1) 杆件结构 这类结构是由杆件所组成。杆件的几何特征是横截面尺寸要比长度小得多。如图 17-9 所示的单层工业厂房的结构即为杆件结构。

(2) 薄壁结构 这类结构是由薄壁构件组成，如薄壳屋面（图 17-10）、折板屋面（图 17-11）、水池等。薄壁构件的厚度远小于其长度和宽度。

(3) 实体结构 这类结构的长、宽和厚三个尺寸大小相仿，如挡土墙（图

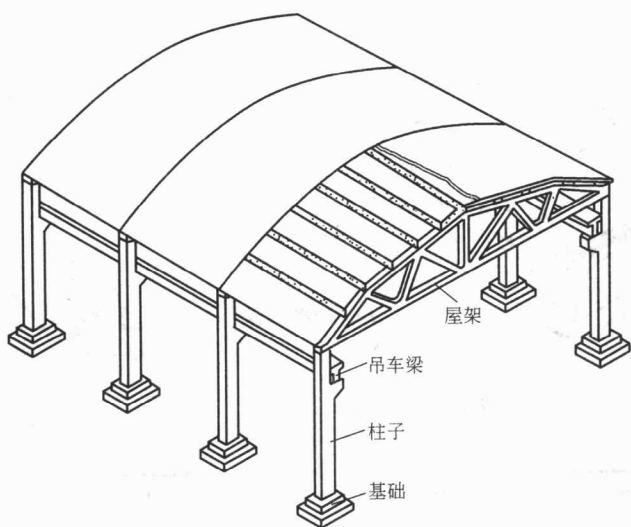


图 17-9

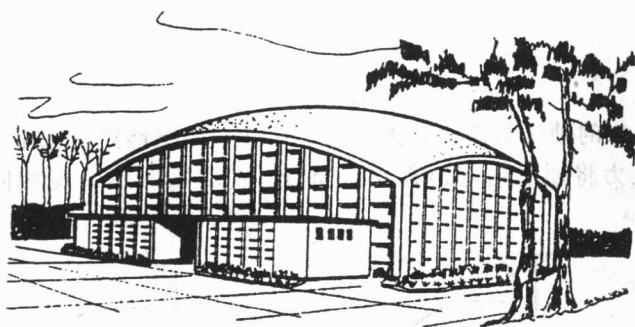


图 17-10

17-12)、水坝等。

杆件结构是以下各章的主要研究对象。

二、平面杆件结构的分类

凡组成结构的所有杆件的轴线都位于某一平面内，并且荷载也作用于该平面内的结构，称为平面杆件结构。否则，就是空间结构。严格说来，实际的结构都是空间结构，但在多数情况下，常可根据其实际受力情况的特点，将它分解为若干平面结构来分析，以使计算简化。

常见的平面杆件结构有以下几种类型：

(1) 梁 梁是一种受弯构件，其轴线一般为直线，梁可以是单跨的（图 17-13a、c），也可以是多跨的（图 17-13b、d）。

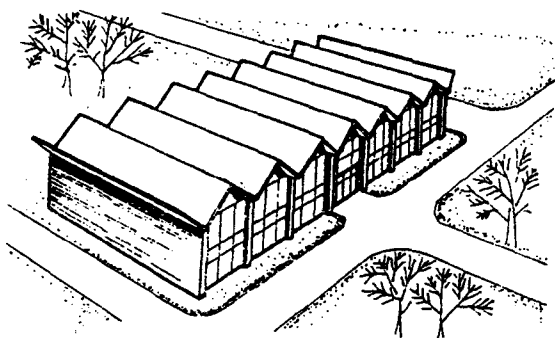


图 17-11

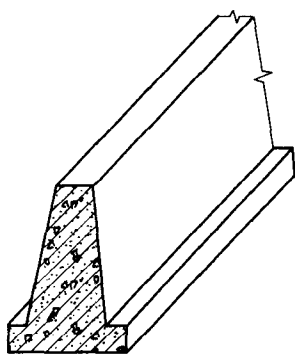


图 17-12

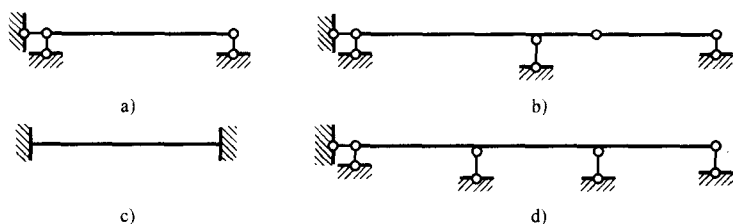


图 17-13

(2) 拱 拱的轴线为曲线。拱在竖向荷载作用下能产生水平约束反力，这种水平约束反力将使拱内弯矩远小于跨度、荷载及支承情况相同的梁的弯矩（图 17-14）。

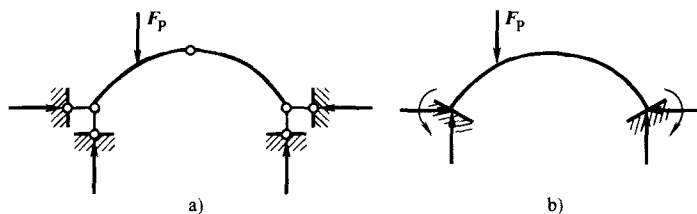


图 17-14

(3) 刚架 刚架是由直杆组成，具有刚结点的结构，各杆主要受弯（图 17-15）。

(4) 桁架 桁架也是由直杆组成，所有结点都为铰结点（图 17-16），荷载作用在结点上，各杆只产生轴力。

(5) 组合结构 组合结构是桁架和梁或刚架组合在一起形成的结构，其中含有组合结点（图 17-17）。

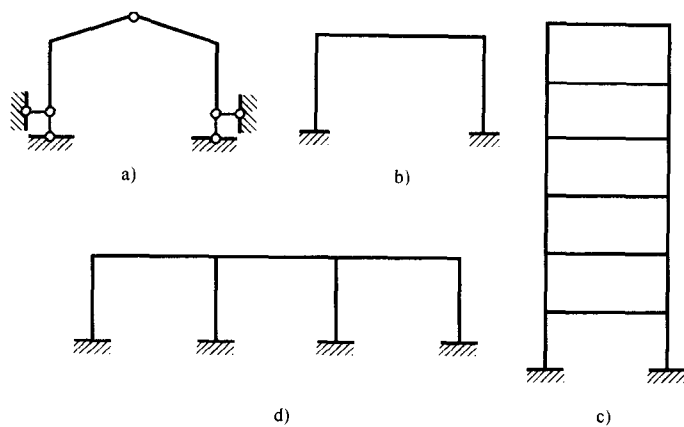


图 17-15

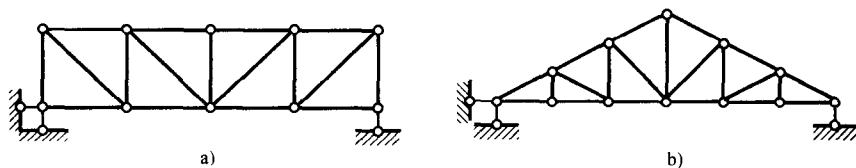


图 17-16

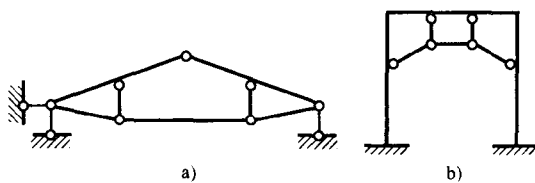


图 17-17

思考题

- 17-1 什么是结构的计算简图？为什么要将实际结构简化为计算简图？
- 17-2 计算简图的选取原则是什么？
- 17-3 刚结点、铰结点的特征是什么？
- 17-4 常见的平面杆件结构有哪些类型？

第十八章 平面体系的几何组成分析

第一节 几何组成分析的目的

杆件结构是由若干杆件互相连接所组成的体系，并与基础连接成整体，用来承受荷载的作用。当结构受荷载作用时，截面上产生应力，材料因而产生应变，结构发生变形。这种变形一般是微小的，不影响结构的正常使用。因此，在几何组成分析中，不考虑这种由于材料的应变所产生的变形。这样，杆件体系就可以分为以下两类：

(1) 几何不变体系 体系受任意荷载作用后，其几何形状和位置都不改变，如图 18-1a 所示。

(2) 几何可变体系 体系受任意荷载作用后，其形状和位置是可以改变的，如图 18-1b 所示。

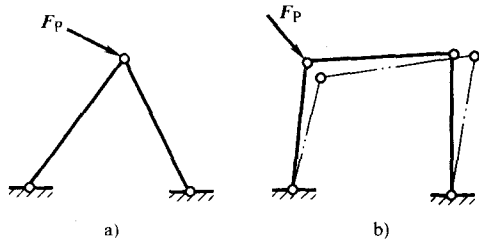


图 18-1

结构必须是几何不变体系，而不能采用几何可变体系。分析体系是属于几何不变体系还是几何可变体系的过程，称为**体系的几何组成分析**。

对体系进行几何组成分析的目的在于：判别某一体系是否几何不变，从而决定它能否作为结构；研究几何不变体系的组成规则，以保证所设计的结构能承受荷载并维持平衡；区分静定结构和超静定结构，以指导结构的内力计算。

在几何组成分析中，由于不考虑杆件的变形，因此可把体系中的每一杆件或几何不变的某一部分看作一个刚体。平面内的刚体称为刚片。

第二节 平面体系的自由度和约束

一、自由度

所谓平面体系的自由度是指确定体系的位置所需的独立坐标的数目。

在平面内，一个点的位置要由两个坐标 x 和 y 来确定（图 18-2a），所以，平面内一个点的自由度是 2。至于一个刚片的位置将由它上面的任一点 A 的坐标

x 、 y 和过 A 点的任一直线 AB 的倾角 φ 来确定 (图 18-2b), 所以一个刚片在平面内的自由度是 3。

二、约束

凡是能够减少体系自由度的装置都可称为约束。能减少一个自由度, 就说它相当于一个约束。

1. 链杆

链杆是两端以铰与别的物体相连的刚性杆。

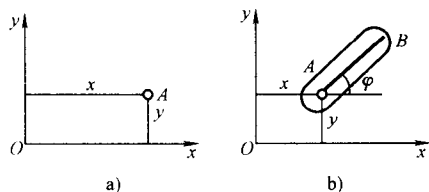


图 18-2

如图 18-3a 所示, 用一链杆将一刚片与基础相连, 刚片将不能沿链杆方向移动, 因而减少了一个自由度, 所以一根链杆相当于一个约束。

2. 单铰

单铰是连接两个刚片的铰。

如图 18-3b 所示, 用一单铰将刚片 I、II 在 A 点连接起来, 对于刚片 I, 其位置可由三个坐标来确定; 对于刚片 II, 因为它与刚片 I 连接, 所以除了能保存独立的转角外, 只能随着刚片 I 移动, 也就是说, 已经丧失了自由移动的可能, 因而减少了两个自由度。所以一个单铰相当于两个约束。

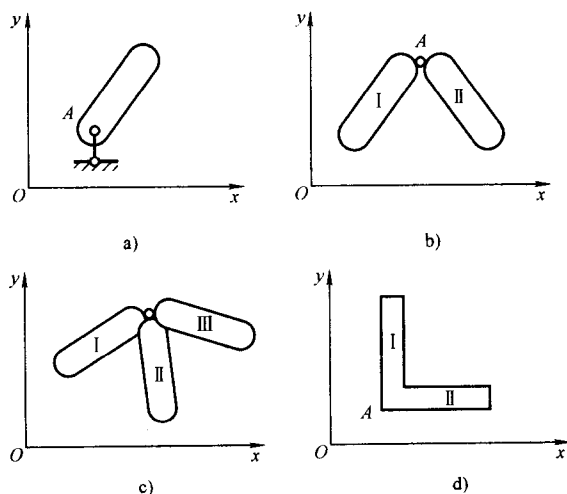


图 18-3

3. 复铰

复铰是连接三个或三个以上刚片的铰。

复铰的作用可以通过单铰来分析。图 18-3c 所示的复铰连接三个刚片, 它的连接过程可想像为: 先有刚片 I, 然后用单铰将刚片 II 连接于刚片 I, 再以单

铰将刚片Ⅲ连接于刚片Ⅰ。这样, 连接三个刚片的复铰相当于两个单铰。同理, 连接 n 个刚片的复铰相当于 $n-1$ 个单铰, 也相当于 $2(n-1)$ 个约束。

4. 刚性连接

如图 18-3d 所示, 刚片Ⅰ、Ⅱ在 A 处刚性连接成一个整体, 原来两个刚片在平面内具有 6 个自由度, 现刚性连接成整体后减少了 3 个自由度, 所以, 一个刚性连接相当于三个约束。

三、虚铰

如图 18-4a 所示, 两刚片用两根不共线的链杆连接, 两链杆的延长线相交于 O 点。现对其运动特点加以分析。把刚片Ⅱ固定不动, 则刚片Ⅰ上的 A 、 B 两点只能沿链杆的垂直方向运动, 即绕两根链杆轴线的交点 O 转动, O 点称为**瞬时转动中心**。这时刚片Ⅰ的运动情况与刚片Ⅰ在 O 点用铰与刚片Ⅱ相连时的运动情况完全相同。由此可见, 两根链杆的约束作用相当于一个单铰, 不过, 这个铰的位置是在链杆轴线的延长线上, 且其位置随链杆的转动而变化, 与一般的铰不同, 称为**虚铰**。

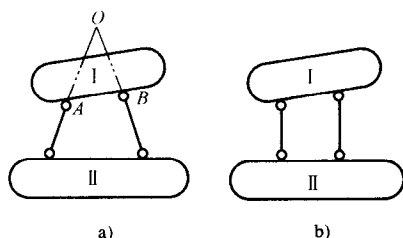


图 18-4

当连接两个刚片的两根链杆平行时 (图 18-4b), 则认为虚铰位置在沿链杆方向的无穷远处。

四、多余约束

如果在一个体系中增加一个约束, 而体系的自由度并不因此而减少, 则此约束称为**多余约束**。

如平面内一个自由点 A 原来有两个自由度, 如果用两根不共线的链杆 1 和 2 把 A 点与基础相连 (图 18-5a), 则 A 点即被固定, 因此减少了两个自由度。

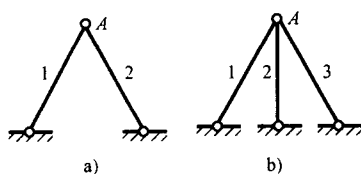


图 18-5

如果用三根不共线的链杆把 A 点与基础相连 (图 18-5b), 实际上仍只是减少了两个自由度, 有一根是多余约束 (可把三根链杆中的任何一根视为多余约束)。

第三节 几何不变体系的组成规则

一、几何不变体系的组成规则

1. 三刚片规则