

高等职业教育建筑工程类规划教材

# 建筑力学

(结构力学部分) (第二版)

● 主 编 杨平均 罗达新

JIANZHU  
LIXUE

煤炭工业出版社

高等职业教育建筑工程类规划教材

# 建 筑 力 学

(结构力学部分)

(第二版)

主编 杨平均 罗达新

煤炭工业出版社

·北 京·

## 内 容 提 要

本书是高等职业教育建筑工程类规划教材之一。

全书共九章。主要内容有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,渐近法,影响线及其应用,矩阵位移法等。

本书是高等职业技术学院、高等专科学校建筑工程类各专业的教材,也可供中等专业学校、成人教育学院建筑工程类各专业教学使用,同时可供建筑企事业单位工程技术人员学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

建筑力学(结构力学部分)/杨平均,罗达新主编. -北京:  
煤炭工业出版社,2007

高等职业教育建筑工程类规划教材

ISBN 7-5020-2531-6

I. 建… II. ①杨…②罗… III. 建筑力学-高等学校:技  
术学校-教材 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 050950 号

煤炭工业出版社 出版  
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)  
网址:www.cciph.com.cn  
北京京科印刷有限公司 印刷  
新华书店北京发行所 发行

\*

开本 787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 16<sup>7</sup>/<sub>8</sub>  
字数 410 千字 印数 1-6,000  
2007 年 3 月第 2 版 2007 年 3 月第 1 次印刷  
社内编号 5302 定价 26.00 元

**版权所有 违者必究**

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

# 高等职业教育建筑工程类规划教材 编审委员会

主任：牛维麟

副主任：杜蜀宾 张乃新 王以功 陈连城 张德琦  
杨平均 王作兴

委员(按姓氏笔画排列)：

于锦伟	王 强	王长平	王社欣	王德利
方洪涛	马芝文	卢经扬	宁掌玄	吕志彬
仲兆金	刘伍诚	刘禄生	刘胜利	刘余强
祁振悦	孙世奎	孙荆波	李万江	李志忠
李淳敏	李永怀	纪奕君	张廷刚	张克俊
张志英	张贵良	陈晋中	吴文金	吴光林
宋 群	初明祥	冷冬兵	邹 波	邹绍明
杨 锐	武玉龙	罗达新	周文平	赵建民
郝临山	钟来星	侯印浩	郭清燕	徐 卓
黄国斌	梁珠擎	游普元	曹长春	常跃军
韩连顺	韩应军	题正义	翟永利	蔡建国
魏焕成				

# 前 言

本教材是根据高等职业技术教育建筑工程专业结构力学教学大纲编写的。

本教材以高等职业技术应用性人才培养目标为指导,以建筑工程结构的强度、刚度和稳定性分析为主线,系统地介绍了结构力学的基本原理和基本方法,可适应建筑工程专业学生和建筑工程技术人员对解决建筑结构问题的基本需要。

本教材力求做到内容系统简炼,结构体系完善,概念清晰明了,原理运用准确,公式简明扼要,方法经典实用,符合对结构力学的认识规律,适合于教学和自学。

本书共分四大部分:第一部分是结构的几何组成分析,研究结构的组成规律和合理形式;第二部分是静定结构的问题,研究静定结构在永久荷载、温度变化、支座移动等因素作用下内力和变形的分析与计算,是结构分析的基础;第三部分是超静定结构问题,介绍了几种超静定结构的内力与变形的分析原理和计算方法,为适应计算机对大型复杂结构进行分析与计算的需要,还介绍了结构矩阵位移法;第四部分是影响线,研究建筑结构在移动荷载作用下的内力变化规律。

本书在每章开篇均对本章的内容、问题的引出、解决问题的原理和方法进行了概述;在主要内容的讲述上力求层次分明,深入浅出,注重应用,对基本原理和公式均用典型例题加以佐证,引导读者深刻领会本章精髓;末尾用小结对本章内容进行概括性总结;各章均配有数量一定的思考题和习题,读者只有完成一定数量的习题,才能真正掌握解题的方法和技巧,提高分析问题和解决问题的能力,为以后的专业课学习打下扎实的基础。

本书由杨平均、罗达新任主编,梁珠擎、翟所业任副主编。第一版编写分工如下:第一、二章由杨平均编写,第三、五章由梁珠擎编写,第四、九章由罗达新编写,第六、七章由高雅茹编写,第八章由翟所业编写。第二版修订工作由主编杨平均、罗达新完成。

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2007年1月

# 目 录

<b>第一章 结构力学概论</b> .....	( 1 )
第一节 结构力学的研究对象及任务 .....	( 1 )
第二节 结构的计算简图 .....	( 2 )
第三节 平面杆系结构的分类 .....	( 7 )
第四节 荷载的分类 .....	( 9 )
第五节 结构力学的基本假设与基本方法 .....	(10)
思考题 .....	(11)
<b>第二章 平面体系的几何组成分析</b> .....	(12)
第一节 几何组成分析的基本概念 .....	(12)
第二节 平面体系的自由度 .....	(12)
第三节 几何不变体系的组成规则 .....	(16)
第四节 几何组成的分析方法 .....	(20)
第五节 几何组成在静力学解答方面的特性 .....	(23)
小结 .....	(24)
思考题 .....	(25)
习题 .....	(25)
<b>第三章 静定结构的内力分析</b> .....	(28)
第一节 静定梁 .....	(28)
第二节 静定平面刚架 .....	(36)
第三节 三铰拱及其合理拱轴 .....	(42)
第四节 静定平面桁架 .....	(48)
第五节 静定结构的特性 .....	(60)
小结 .....	(62)
思考题 .....	(63)
习题 .....	(64)
<b>第四章 静定结构的位移计算</b> .....	(70)
第一节 概述 .....	(70)
第二节 功能原理 .....	(71)
第三节 虚功原理 .....	(73)
第四节 结构位移计算的一般公式 .....	(75)
第五节 结构在荷载作用下的位移计算 .....	(78)
第六节 图乘法求位移 .....	(82)
第七节 静定结构由于温度改变和支座移动所引起的位移计算 .....	(89)
第八节 弹性体系的互等定理 .....	(92)
小结 .....	(95)
思考题 .....	(96)
习题 .....	(97)

<b>第五章 力法</b> .....	(100)
第一节 超静定结构的概念和超静定次数的确定 .....	(100)
第二节 力法原理和力法典型方程 .....	(102)
第三节 荷载作用下各种超静定结构的力法计算 .....	(106)
第四节 对称结构的计算 .....	(116)
第五节 温度变化和支座移动时超静定结构的内力计算 .....	(122)
第六节 超静定结构的位移计算 .....	(126)
第七节 超静定结构内力图的校核 .....	(128)
第八节 超静定结构的特性 .....	(130)
小结 .....	(131)
思考题 .....	(132)
习题 .....	(132)
<b>第六章 位移法</b> .....	(136)
第一节 位移法的基本概念 .....	(136)
第二节 位移法的基本未知量和基本结构 .....	(137)
第三节 等截面直杆的转角位移方程 .....	(139)
第四节 位移法的典型方程 .....	(147)
第五节 用直接平衡法建立位移法方程 .....	(156)
小结 .....	(157)
思考题 .....	(158)
习题 .....	(158)
<b>第七章 渐近法</b> .....	(161)
第一节 力矩分配法的基本原理 .....	(161)
第二节 用力矩分配法计算连续梁和无侧移刚架 .....	(164)
第三节 无剪力分配法 .....	(170)
第四节 迭代法 .....	(174)
小结 .....	(187)
思考题 .....	(188)
习题 .....	(188)
<b>第八章 影响线及其应用</b> .....	(191)
第一节 影响线的概念 .....	(191)
第二节 静力法作单跨静定梁的影响线 .....	(192)
第三节 机动法作单跨静定梁的影响线 .....	(196)
第四节 利用影响线求量值 .....	(197)
第五节 最不利荷载位置的确定及其极值的计算 .....	(199)
第六节 简支梁的绝对最大弯矩和包络图 .....	(203)
第七节 连续梁的影响线及其应用 .....	(207)
小结 .....	(214)
思考题 .....	(215)
习题 .....	(216)
<b>第九章 矩阵位移法</b> .....	(218)
第一节 单元刚度矩阵 .....	(218)

第二节 结构刚度矩阵 .....	(226)
第三节 等效结点荷载 .....	(231)
第四节 结构的内力计算 .....	(235)
小结 .....	(250)
思考题 .....	(251)
习题 .....	(251)
<b>习题参考答案</b> .....	<b>(253)</b>
<b>参考文献</b> .....	<b>(258)</b>



# 第一章 结构力学概论

建筑结构是建筑物或构筑物的主要承重骨架。建筑结构的多种形式是多种多样的,在建筑结构设计,要对建筑结构进行选型与分析,以确定建筑结构的强度和刚度、稳定性。结构力学系统地介绍了结构选型和结构分析与计算的基本原理和基本方法,是结构分析与计算的基础。本章对建筑结构研究的内容与学习方法进行了概括的阐述。

## 第一节 结构力学的研究对象及任务

### 一、结构及分类

土木工程中,由建筑材料按照一定方式组成的满足建筑功能要求的承重骨架,称为工程结构(简称结构)。如房屋中的屋架、梁、板、柱、基础等,它们是房屋中的骨架,起着承受和传递荷载的作用。

#### 1. 杆件结构

这类结构由杆件组成。杆件的几何特征是其长度远大于截面的宽度和高度。如图 1-1 所示单层工业厂房的结构体系,组成屋架的各杆件及吊车梁、柱的截面尺寸远小于其长度。

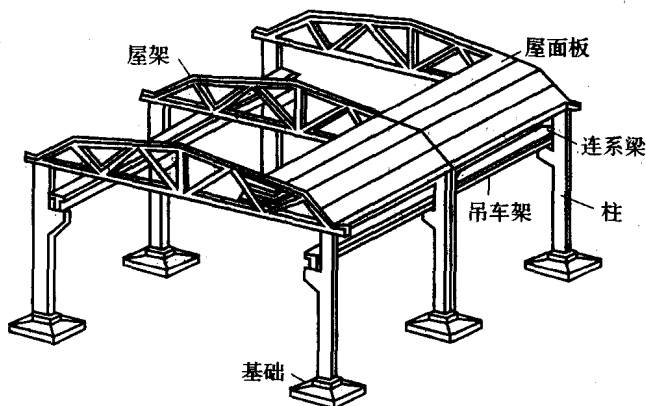


图 1-1

#### 2. 板壳结构

板壳结构也称为薄壁结构,它的几何特征是其厚度远小于它的长度和宽度。如图 1-2 所示薄壳屋面。

#### 3. 实体结构

实体结构的几何特征是长、宽、厚三个方向尺寸约为同一数量级。如挡土墙(图 1-3)、堤坝、基础等。

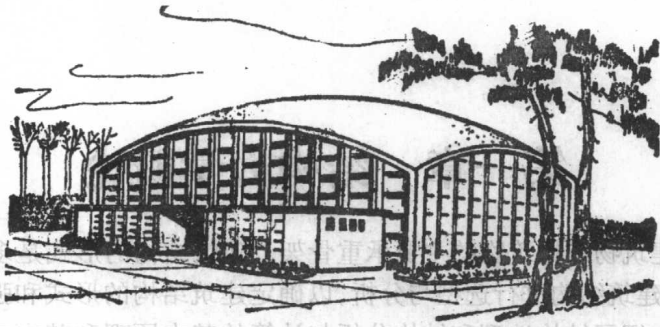


图 1-2

## 二、结构力学的研究对象

凡由杆件组成的结构体系,称为杆系结构,结构力学主要是研究杆系结构在荷载作用、温度变化、支座移动等因素作用下的强度、刚度和稳定性的原理和计算方法,以及结构的组成规律和结构的力学性能。理论力学主要是研究刚体的基本力学原理,如平衡方程和虚位移原理等。材料力学主要是研究单个杆件的强度、刚度和稳定性计算问题。弹性力学主要研究对象是极壳和实体结构。这是结构力学和其他三大力学的主要区别。

## 三、结构力学的任务

(1) 研究结构的组成规律和合理形式。即研究由单个杆件组成杆系结构的适当连接方式,目的在于保证结构各部分不致发生相对运动,使其能承担荷载并维持平衡;研究结构的合理形式是为了有效地利用材料,使其性能得到充分的发挥。

(2) 研究结构在外因(荷载、温度改变、支座移动、制造误差)作用下的强度、刚度和稳定性的计算原理和计算方法。满足强度要求,是结构在荷载作用下不致于破坏;满足刚度要求,是结构在荷载作用下所产生的变形应在工程上允许的范围以内;满足稳定性的要求,是结构在荷载作用下,在其原有形状下的平衡应保持为稳定的平衡。

结构力学在建筑工程专业中占有十分重要的地位。学习结构力学一定要深刻理解结构力学的基本原理和基本方法,为后续课程的学习打下扎实的基础;要掌握各种结构分析和计算方法之间的内在联系,做到融会贯通;要学会理论知识与工程实际相结合,做到理论联系实际;要增强分析问题和解决问题的能力,汲取新思想、新方法,总结学习经验,培养创新意识;要有刻苦攻关的精神,努力钻研,不可浅尝辄止;学习结构力学关键是要做一定数量的习题,做大量的训练,才能真正掌握结构力学的解题方法和做题技巧。

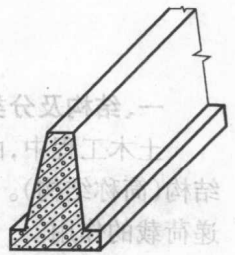


图 1-3

## 第二节 结构的计算简图

### 一、计算简图及简化原则

对实际结构进行力学分析时,若想完全严格地考虑结构的全部特点以及各部分之间的相互作用来建立理论模型进行计算是不可能的,也是不必要的。因此,在对结构进行力学分

析之前,必须将实际结构加以简化。抓住主要矛盾,忽略一些次要因素,并进行科学抽象,用一个简化了的理想模型来代替实际结构。这种在结构计算中用以代替实际结构的理想模型,称为结构的计算简图。

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,就会使计算结构的结果产生差错,甚至造成工程事故。所以必须慎重地选择计算简图。选择计算简图的原则为:

- (1) 抓住主要因素,略去次要因素,尽可能反映实际结构的主要受力状态。
- (2) 根据需要将可能,使结构便于分析和计算。

## 二、计算简图的简化方法

### (一) 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,主要是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。空间结构分解为平面结构的方法有二种:

- (1) 从结构中选择具有代表性的平面计算单元。
- (2) 沿纵向和横向分别按平面结构计算。如图 1-4 所示。

图 1-4a 为常见的简单空间刚架,其上承受纵向力  $P$  和横向力  $Q$  的作用。当考虑力  $P$  单独作用时,横梁  $AB$  和  $CD$  等基本不受力,此时可取纵向刚架作为计算简图,如图 1-4b 所示。同样,当考虑力  $Q$  单独作用时,纵梁  $AI$ 、 $BJ$  基本上不受力,此时可取横向平面刚架作为计算简图,如图 1-4c 所示。

需要说明的是把空间结构简化为平面结构是有条件的,即简化的结果必须能反映实际结构的主要受力状态。有些空间结构是不能简化为平面结构的,如空间网架结构。

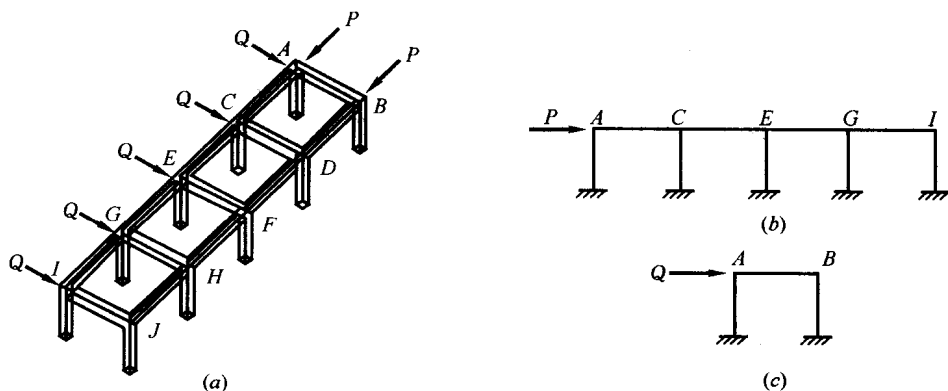


图 1-4

### (二) 杆件简化

由于杆件的截面尺寸比其长度小得多,因此在计算简图中,略去杆件的截面形状与尺寸等因素,用轴线表示杆件。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。

### (三) 支座的简化

把结构与基础或其他支承物联系起来的装置叫做支座。它的作用是将结构的位置固定,并将结构所受的荷载传递于支承物、基础和地基上。支座对结构的反力称为支座反力。在建筑结构中,支座的实际构造形式很多,但从其对结构的约束作用来看,常用的结构支座有可动铰支座、固定铰支座、固定支座和定向支座四类。

#### 1. 可动铰支座

可动铰支座又称辊轴支座,这种支座如图 1-5a 所示。它对结构的约束作用是只能阻止结构上的 A 点沿垂直于支承平面  $m-n$  方向的移动。这时,结构既可绕铰 A 作转动,又可沿着支承平面移动。因此,当不考虑支承平面上的摩擦力时,其支座反力将通过铰 A 的中心并与支承平面垂直,即反力的作用点和方向是确定的,只有大小是未知的,可用  $R_A$  来表示。根据上述特点,这种支座在计算简图中常用一根链杆来表示,如图 1-5b 所示。

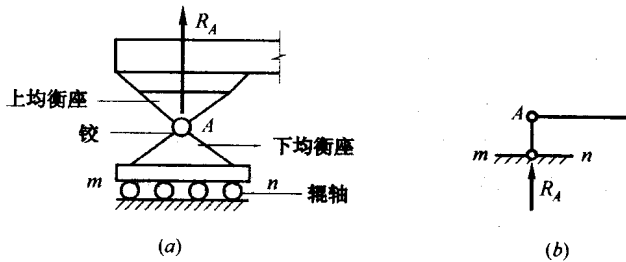


图 1-5

#### 2. 固定铰支座

固定铰支座如图 1-6a 所示。它对结构的约束作用是不允许结构上的 A 点发生任何方向的移动,而结构可以绕铰 A 转动。因此,固定铰支座的反力  $R_A$  通过铰结点 A 的中心,但其大小和方向均为未知。一般将其分解为相互垂直的二个方向的分力,即水平分力  $H_A$  和竖向分力  $V_A$ ,计算起来较为方便。固定铰支座在计算简图中常用交于一点的两根链杆来表示,如图 1-6b、c 所示。

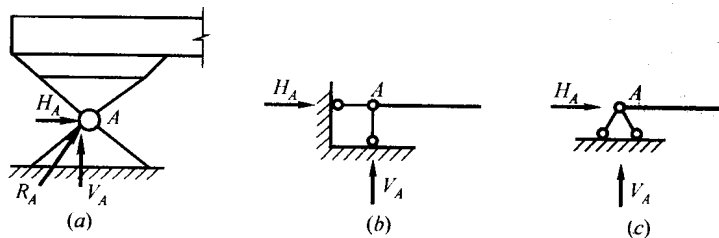


图 1-6

在实际结构中,凡属不能移动而可做微小转动的支承情况,都可视为固定铰支座。例如,插入钢筋混凝土杯形基础的柱子,当用沥青麻丝填缝时,则柱的下端可视为固定铰支承。

#### 3. 固定支座

这种支座不允许结构发生任何移动和转动,如图 1-7a 所示。它可以产生三个约束反

力,即水平和竖向的分反力  $H_A$  和  $V_A$  及反力矩  $M_A$ 。固定支座的计算简图如图 1-7b 所示。也可用三根既不全平行又不全交于一点的链杆表示,如图 1-7c 所示。

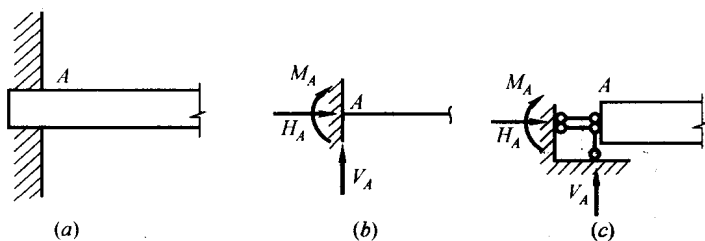


图 1-7

#### 4. 定向支座

定向支座也称滑动支座,如图 1-8a 所示。定向支座允许结构沿着一个方向即支承面方向平行滑动,但不允许结构转动,也不允许结构沿垂直于支承面方向移动。因此,它可以产生垂直于支承面的反力  $V_A$  和反力矩  $M_A$ 。定向支座的计算简图如图 1-8b、c 所示,即用两根平行的链杆表示。

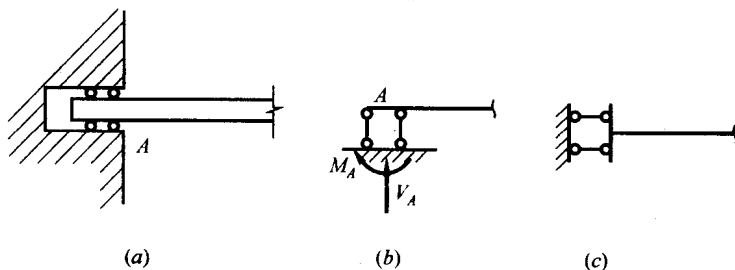


图 1-8

#### (四) 结点的简化

在杆件结构中,几根杆件相互联结的地方叫做结点。根据结构的受力特点和结点的构造所允许各杆绕结点转动的情况,在计算中常采用铰结点、刚结点、组合结点三种结点简图。

##### 1. 铰结点

铰结点的特点是:它所联结的各杆件可以绕铰自由转动,即在结点处各个杆件之间的夹角可以改变。它相应的受力状态是在铰结点的杆端不存在转动约束作用,即不引起杆端力矩,只能产生杆端轴力和剪力。实际工程中,如图 1-9a 所示的木屋架结点比较接近铰结点情况。显然屋架各杆件并不能自由转动,但由于联结不可能很严密牢固,杆件能作微小的转动(两杆之间的夹角  $\alpha$  是可以改变的),因此该结点可抽象为铰结点,其计算简图如图 1-9b 所示。

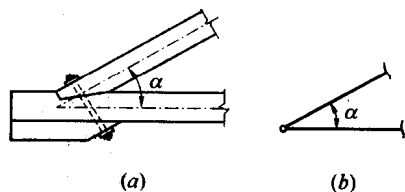


图 1-9

##### 2. 刚结点

刚结点的特点是:它所联结的各杆件既不能产生相对移动,又不能产生相对转动,汇交

于同一结点上的各杆之间的夹角在结构变形前后始终保持不变,如图 1-10a 所示刚架中的 A、B、C、D 各结点,即为刚结点。又如图 1-10b 所示钢筋混凝土结构的某一结点 A,它的构造是三根杆件之间用钢筋连成整体并用混凝土浇注在一起,这种结构的变形情况基本上符合上述特点,故可视为刚结点,其计算简图如图 1-10c 所示。

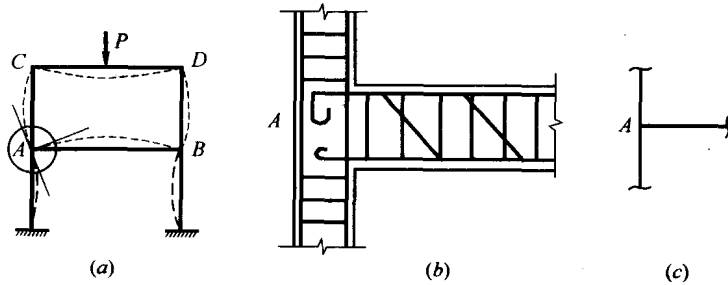


图 1-10

### 3. 组合结点

组合结点的特点是:汇交于某结点的杆件多于二根,杆件之间既有刚接又有铰接。以三杆结点为例,其中二杆为刚性连接,而与第三杆的连接则为铰接,如图 1-11a、b 和图 c 连续梁中的 A、B 结点所示。

需要说明的是,这种结点对连续杆件来讲,类似刚结点,但是其上的弯矩不向铰结点一侧的杆件(或支杆)传递。

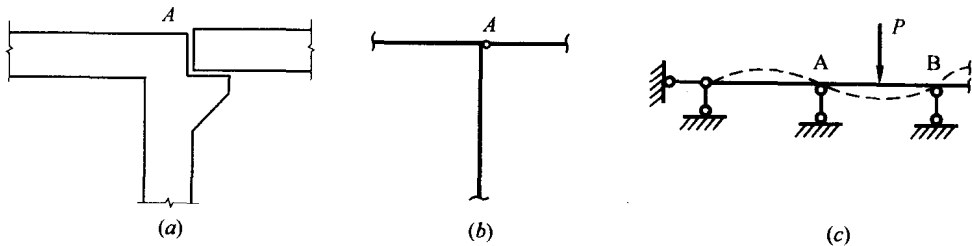


图 1-11

## 三、计算简图示例

现以图 1-12a 所示的单层工业厂房示意图为例,说明选取计算简图的方法和原则。

### 1. 结构体系的简化

如图 1-12a 所示是由多个横向排架借助屋面板、吊车梁、柱间支撑等纵向构件联结而成的空间结构体系。从荷载传递途径来看,屋面荷载和吊车轮压等,主要是通过屋面板和吊车梁等构件传递到一个横向排架上,且各横向排架几何尺寸相同。故在体系简化时,可略去各排架之间的纵向联系,而取图 1-12b 所示的其中一个平面排架进行分析。

### 2. 平面排架的简化

对于平面排架内的屋架,是否可以单独取出计算,取决于它与柱子的联结构造方式。当柱顶与屋架端部的联结构造采用预埋钢板,在吊装就位后焊接在一起的方法时,则屋架端部与柱顶不能发生相对线位移,但仍有微小转动的可能。这时,可把柱与屋架的联结看作铰结

点。而在计算屋架各杆的内力时,可将屋架两端用固定铰支座和可动铰支座与柱顶简支的方式相联结。对于组成屋架的各个杆件,可用其轴线表示,这些轴线的交点即为结点。当荷载只作用于结点时,屋架各杆的内力主要是轴力,而剪力和弯矩都很小,可忽略不计,因此可把屋架的各结点均假定为铰结点。屋架的计算简图如图 1-12c 所示。

平面排架在内力分析时,其计算简图如图 1-12d 所示。其中柱子用轴线表示,柱子与基础之间用固定支座联结;屋架用抗拉刚度为无穷大( $EA = \infty$ )的杆件表示,屋架与柱子之间用铰联结。

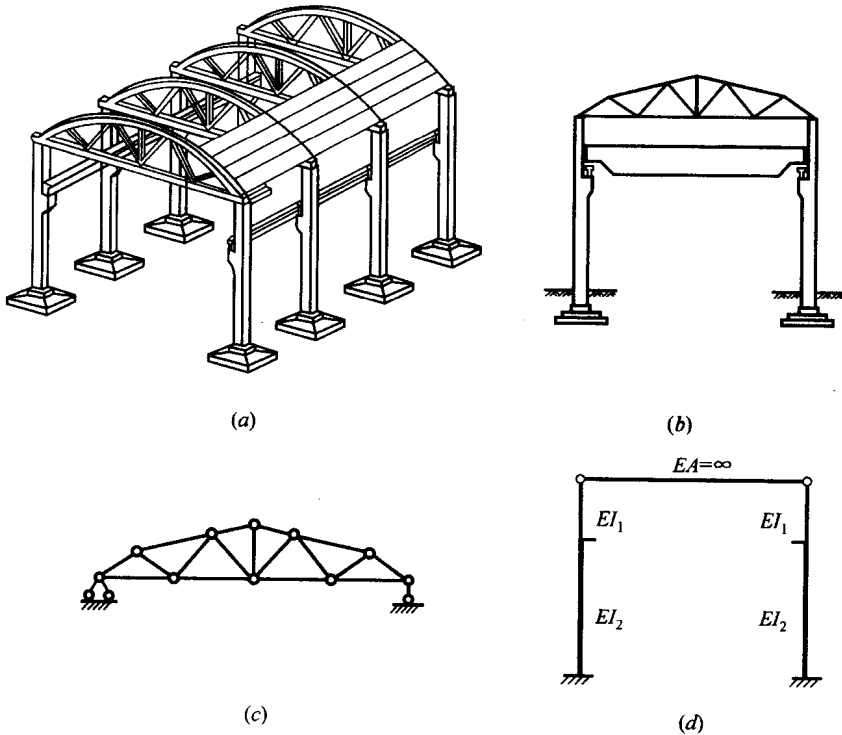


图 1-12

### 第三节 平面杆系结构的分类

所有杆件的轴线都在同一平面内,且荷载也作用在该平面内的结构称平面杆系结构。平面杆系的类型按结构形式分为梁、拱、刚架、桁架、组合结构;按计算方法的特点分为静定结构和超静定结构。

#### 一、梁

梁是一种受弯构件,可以是单跨梁(图 1-13a、c),也可以是多跨连续梁(图 1-13b、d)。

#### 二、拱

拱的杆轴一般为曲线,且在竖向荷载作用下支座处不仅产生竖向反力,而且还产生水平反力。这种水平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。常见的

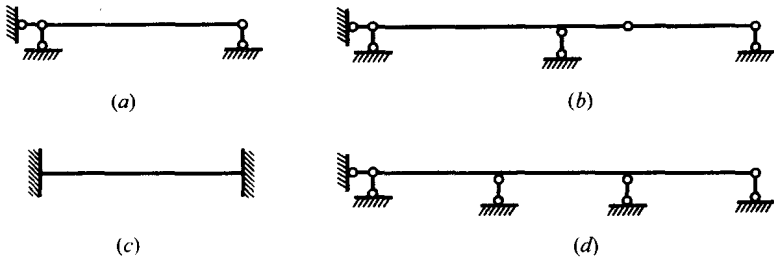


图 1-13

拱结构有无铰拱、二铰拱和三铰拱,如图 1-14a、b、c 所示。



图 1-14

### 三、刚架

刚架是由梁和柱用刚结点联接组成的整体结构,在荷载作用下刚架杆件截面上一般有弯矩、剪力和轴力等内力。刚架的结点主要是刚结点,也可以有部分铰结点或组合结点。它有单层单跨(图 1-15a、b)和多层多跨(图 1-15c、d)等结构形式。

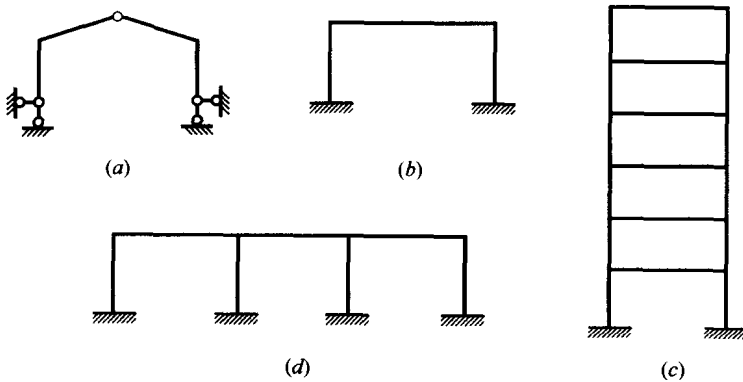


图 1-15

### 四、桁架

桁架是由若干直杆相互用理想铰联结组成的结构,如图 1-16 所示。在结点荷载作用下,桁架各杆只产生轴力。

### 五、组合结构

组合结构是桁架杆件和梁式杆件组合而成的结构,如图 1-17a、b 所示。桁架杆件只产生轴力,梁式杆件则同时产生弯矩、剪力和轴力。



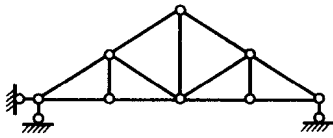


图 1-16

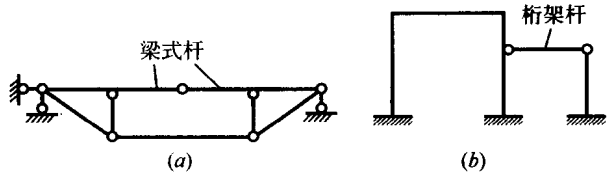


图 1-17

### 六、静定结构和超静定结构

平面杆件结构按计算特点可分为静定结构和超静定结构两种。凡利用静力平衡条件就能计算出结构的全部支座反力和杆件内力的结构称为静定结构,如图 1-18a 所示。若结构的全部支座反力和杆件内力,不能仅用静力平衡条件来确定,还必须同时考虑结构的变形协调条件才能求解的结构称为超静定结构,如图 1-18b 所示。

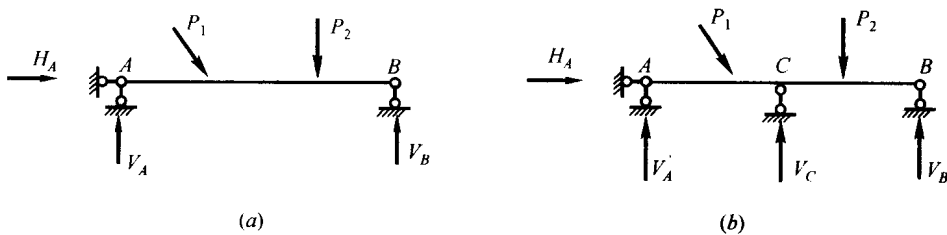


图 1-18

## 第四节 荷载的分类

结构上的作用是指使结构产生效应(结构或构件的内力、应力、位移、应变、裂缝等)的各种原因的总称。包括直接作用,如荷载(自重、人群、设备、风雪的压力等);间接作用,如温度、收缩、徐变、地基变形等。通常讲的荷载是指直接作用。

实际工程中,根据荷载的不同特征,可以分为下列几类:

(1) 根据荷载作用范围,分为分布荷载和集中荷载。分布荷载是指作用于一定面积或长度上的荷载;均布荷载是其特例,指沿结构均匀分布的荷载,如结构自重、风雪的压力等;集中荷载是指作用于一点或微小面积上的荷载,如吊车梁上的吊车轮压等。

(2) 根据荷载作用时间,分为永久荷载和可变荷载。永久荷载是指长期作用于结构上的不变荷载,这种荷载的大小、方向和作用位置不随时间发生变化,如结构的自重;可变荷载是指暂时作用于结构上的荷载,如结构上的人群荷载,风、雪的荷载等。

(3) 根据荷载作用性质,分为静力荷载和动力荷载。静力荷载是逐渐增加的荷载,其大小和位置的变化,不至引起结构的显著振动,因而可以略去惯性力的影响,如永久荷载及大部分可变荷载;动力荷载是指随时间迅速变化引起结构显著振动产生加速度的荷载,如爆破时的爆炸冲击波、动力机械的振动、地震荷载等。

(4) 按荷载位置的变化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、