



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国高职高专土木工程专业系列规划教材

JIEGOU LIXUE

©沈养中 孟胜国 主编

结构力学

(第三版)



科学出版社
www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

全国高职高专土木工程专业系列规划教材

结 构 力 学

(第三版)

沈养中 孟胜国 主编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材、全国高职高专土木工程专业系列规划教材之一。本书着力体现当前高职高专教学改革的特点,突出针对性、适用性和实用性,突出职业技能和素质的培养。编写时精选内容、简化公式推导、理论联系实际、注重工程应用;文字简洁、叙述深入浅出、通俗易懂、图文配合紧密;研制了相应课件,与纸质教材配套使用,方便了教与学。全书共分九章,内容包括绪论、平面杆件体系的几何组成分析、静定结构的内力、静定结构的位移、力法、位移法、渐近法与近似法、用 ANSYS 软件计算平面杆件结构、影响线。章后有思考题、习题,书后附部分习题答案。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校的土建类各专业力学课程的教材,专升本考试用书以及有关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

结构力学/沈养中,孟胜国主编. —3 版. —北京:科学出版社,2009
(普通高等教育“十一五”国家级规划教材·全国高职高专土木工程专业系列规划教材)

ISBN 978-7-03-025984-4

I. 结… II. ①沈…②孟… III. 结构力学-高等学校:技术学校-教材
IV. O342

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 202050 号

责任编辑:彭明兰 / 责任校对:赵 燕
责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2001年8月第 一 版	开本: B5(720×1000)
2007年1月第 二 版	印张: 19
2009年12月第 三 版	字数: 380 000
2009年12月第十一次印刷	印数: 35 501—38 500

定价: 36.00 元(含光盘)

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新蕾〉)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62132124(VA03)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

第三版前言

本书是在第二版的基础上,根据高职高专的特点和高等教育大众化的特点,遵循基础课程“以应用为目的、以必须够用为度”的原则进行修订的。本次修订除继续保持第二版教材的特色外,对部分内容进行了调整:删去了超静定拱的计算,增加了用近似法计算多层多跨刚架、用 ANSYS 软件计算平面杆件结构等内容,使教材更具有针对性、适用性和实用性。本次修订研制了相应课件,与纸质教材配套使用,方便了教与学。参加本书修订工作的有:徐州建筑职业技术学院沈养中(第一至第四章、第九章),山西阳泉职业技术学院孟胜国(第五章和第六章)、邓庆阳(第七章)、张永生(第八章)、赵广臣(课件制作)。全书由沈养中统稿。本书由青岛科技大学张文教授担任主审。

在本书的修订过程中,许多同行提出了很好的意见和建议,在此表示感谢。

鉴于编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请广大读者批评指正。

第二版前言

本书第一版获得中国科学院教材建设专家委员会全国高职高专土木工程专业系列规划教材优秀奖。本书是在第一版的基础上,根据当前高职高专教育教学改革的新特点进行修订的。本次修订继续保持第一版教材的特色,进一步精选内容,突出工程应用,突出职业技能、素质的培养,更加注意内容的深入浅出、通俗易懂。参加本次修订工作的有徐州建筑职业技术学院沈养中(第一、二、三、四、八章),太原理工大学阳泉学院孟胜国(第五、六、七章)。全书由沈养中统稿。

在本书的修订过程中,许多同行提出了很好的意见和建议,在此表示感谢。

鉴于编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请同行和广大读者批评指正。

第一版前言

本书是《新世纪高职高专土建类专业系列教材》之一,依据教育部制定的高职高专土建类专业力学课程教学基本要求编写。

本书为建筑力学之三,它与理论力学(建筑力学之一)、材料力学(建筑力学之二)及工程结构有限元计算(建筑力学之四)在内容上融合、贯通,有机地连成一体,构成高职高专土建类专业配套的力学课程教材。本教材着力体现当前高职高专教学改革的特点,突出针对性、适用性和实用性。编写时精选内容,简化公式推导,理论联系实际,注重工程应用,注意文字简洁、叙述深入浅出,通俗易懂,图文配合紧密。

参加本书编写工作的有河北工程技术高等专科学校沈养中(第二章)、石静(第七、九章)、闫礼平(第一、六章),山西阳泉煤炭专科学校孟胜国(第五章),华北航天工业学院董平(第三章)、高迎伏(第八章),山东农业大学范庆忠、邱秀梅(第四章)。全书由沈养中、石静统稿。长春工程学院薛光瑾教授主审全稿。

在本书的编写过程中,许多同行提出了很好的意见和建议,在此表示感谢。

鉴于编者水平有限,书中难免存在不妥之处,敬请同行和广大读者批评指正。

目 录

第三版前言

第二版前言

第一版前言

第一章 绪论	1
1.1 结构力学的研究对象和任务	1
1.2 杆件结构的计算简图	3
1.3 平面杆件结构的分类	8
1.4 结构上的荷载及其分类	9
思考题	11
第二章 平面杆件体系的几何组成分析	12
2.1 概述	12
2.2 几何不变体系的基本组成规则	17
2.3 几何组成分析举例	20
2.4 体系的几何组成与静定性的关系	23
思考题	24
习题	24
第三章 静定结构的内力	27
3.1 静定梁	27
3.2 静定平面刚架	35
3.3 静定平面桁架	41
3.4 静定平面组合结构	51
3.5 三铰拱	53
3.6 静定结构的特性	61
思考题	63
习题	64
第四章 静定结构的位移	70
4.1 概述	70
4.2 变形体的虚功原理	72
4.3 结构位移计算的一般公式	78

4.4	静定结构在荷载作用下的位移计算	80
4.5	图乘法	86
4.6	静定结构由于支座移动、温度改变引起的位移	93
4.7	互等定理	97
	思考题	100
	习题	101
第五章	力法	105
5.1	超静定结构的概念和超静定次数的确定	105
5.2	力法的基本原理和典型方程	108
5.3	力法的计算步骤和举例	114
5.4	结构对称性的利用	128
5.5	超静定结构的位移计算与最后内力图的校核	138
5.6	支座移动与温度改变时超静定结构的内力计算	143
5.7	超静定结构的特性	148
	思考题	149
	习题	150
第六章	位移法	155
6.1	位移法的基本概念	155
6.2	位移法基本未知量与基本结构	160
6.3	位移法典型方程与计算步骤	163
6.4	位移法计算举例	165
6.5	对称结构的计算	171
6.6	直接利用平衡条件建立位移法方程	174
	思考题	179
	习题	180
第七章	渐近法与近似法	183
7.1	力矩分配法的基本概念	183
7.2	多结点力矩分配法	191
7.3	无剪力分配法	201
7.4	用近似法计算多层多跨刚架	206
	思考题	215
	习题	216
第八章	用 ANSYS 软件计算平面杆件结构	221
8.1	ANSYS 软件简介	221
8.2	用 ANSYS 软件计算举例	227

思考题·····	252
习题·····	252
第九章 影响线 ·····	254
9.1 影响线的概念 ·····	254
9.2 用静力法绘制静定梁的影响线 ·····	255
9.3 间接荷载作用下的影响线 ·····	260
9.4 用机动法绘制静定梁的影响线 ·····	262
9.5 影响线的应用 ·····	265
9.6 简支梁的内力包络图及绝对最大弯矩 ·····	271
9.7 连续梁的影响线及内力包络图 ·····	276
思考题·····	283
习题·····	283
部分习题答案 ·····	286
参考文献 ·····	291

第一章 绪 论

本章介绍结构的概念及其分类,结构力学的研究对象和任务,结构计算简图的概念,平面杆件结构的简化与分类,荷载的简化与分类。

1.1 结构力学的研究对象和任务

1.1.1 结构力学的研究对象

1. 结构的概念

土木工程中的各类建筑物在使用过程中都要受到荷载的作用,在建筑物中承受和传递荷载而起骨架作用的部分或体系称为结构。最简单的结构可以是一根梁或一根柱。但往往一个结构是由多个简单结构所组成,这些简单结构又称为构件。图 1.1 所示由屋架、柱子、吊车梁、屋面板及基础等组成了工业厂房结构。图 1.2 所示为桥梁、图 1.3 所示为蓄水池和图 1.4 所示为挡土墙等,都是结构的典型例子。

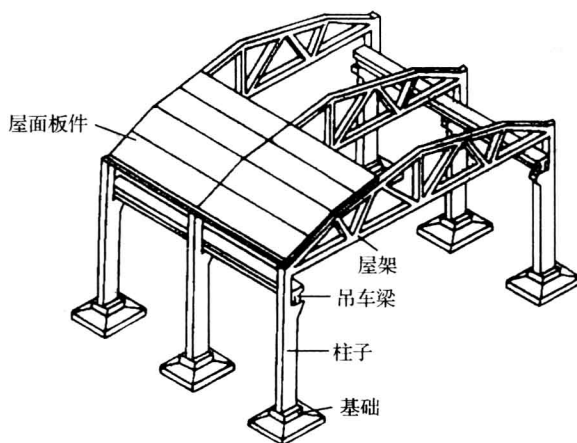


图 1.1

2. 结构的分类

工程中常见的结构按其几何特征可分为以下三类:

(1) 杆件结构

由杆件组成的结构称为**杆件结构**。杆件的几何特征是它的长度远大于其横截面的宽度和高度。图 1.5 所示钢筋混凝土屋架就是一个杆件结构。

(2) 板壳结构

由薄板或薄壳组成的结构称为**板壳结构**。薄板和薄壳的几何特征是它们的长度和宽度远大于其厚度。当构件为平面状时称为薄板；当构件具有曲面状时称为薄壳。板壳结构也称为**薄壁结构**。图 1.3 所示蓄水池就是由平板和柱壳组成的板壳结构；图 1.6(a)、(b)所示屋顶分别是三角形折板结构和长筒壳结构。

(3) 实体结构

如果结构的长、宽、高三个尺度为同一量级，则称为**实体结构**，例如挡土墙（图 1.4）、堤坝和块形基础等都是实体结构。

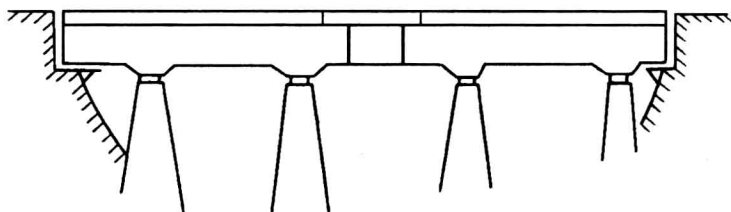


图 1.2

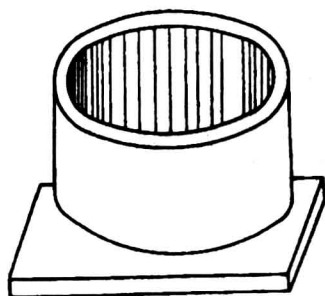


图 1.3

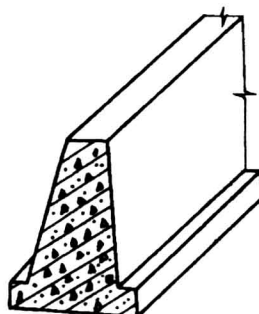


图 1.4

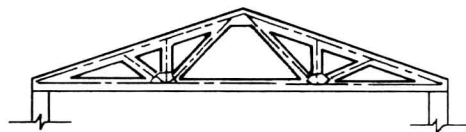


图 1.5

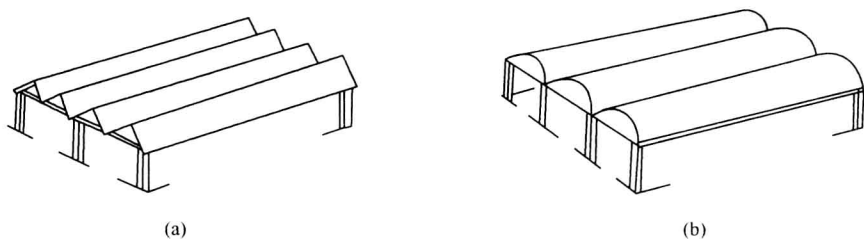


图 1.6

除了上面三类结构外,在工程中还会遇到悬索结构、充气结构等其他类型的结构。

在土木工程中,杆件结构是应用最为广泛的结构形式。按照空间特征,杆件结构又可分为平面杆件结构和空间杆件结构两类。凡组成结构的所有杆件的轴线都位于同一平面内,并且荷载也作用于该平面内的结构,称为平面杆件结构。否则称为空间杆件结构。实际结构多属于空间的,但在计算时,根据其实际受力特点,有许多可简化为平面结构来处理(例如,图 1.1 中的厂房结构)。

结构力学的主要研究对象是杆件结构。本书只限于研究平面杆件结构。

1.1.2 结构力学的基本任务

结构力学的基本任务包括以下两个方面:

- 1) 研究结构的几何组成规律和合理形式,以确保在预定荷载作用下,结构能维持其原有的几何形状。
- 2) 研究结构的内力和位移计算,以便对结构进行强度、刚度和稳定性计算。

1.2 杆件结构的计算简图

1.2.1 结构的计算简图

工程中结构的实际构造比较复杂,其受力及变形情况也比较复杂,完全按照结构的实际工作状态进行分析往往是困难的。因此在进行力学计算前,必须先将实际结构加以简化,分清结构受力、变形的主次,抓住主要因素,忽略一些次要因素,将实际结构抽象为既能反映结构的实际受力和变形特点又便于计算的理想模型,称为结构的计算简图。

本书今后所称的结构都是指其计算简图。

1.2.2 杆件结构的简化

在选取杆件结构的计算简图时,通常对实际结构从以下几个方面进行简化。

1. 结构体系的简化

结构体系的简化就是把有些实际空间整体的结构,简化或分解为若干个平面结构。

2. 杆件的简化

杆件用其轴线表示。直杆简化为直线,曲杆简化为曲线。

3. 结点的简化

结构中各杆件间的相互连接处称为**结点**。结点可简化为以下两种基本类型:

(1) 铰结点

铰结点的特征是所连各杆都可以绕结点自由转动,即在结点处各杆之间的夹角可以改变。例如,在图 1.7(a)所示木结构的结点构造中,是用钢板和螺栓将各杆端连接起来的,各杆之间不能有相对移动,但允许有微小的相对转动,故可作为铰结点处理,其简图如图 1.7(b)所示。

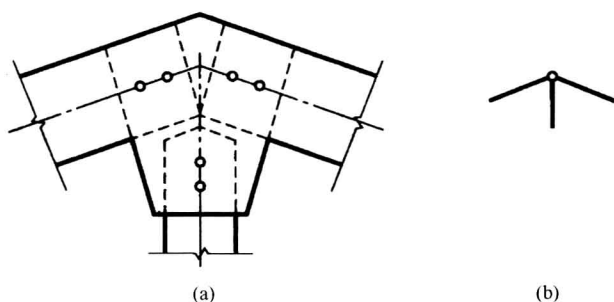


图 1.7

(2) 刚结点

刚结点的特征是所连各杆不能绕结点作相对转动,即各杆之间的夹角在变形前后保持不变。例如图 1.8(a)为钢筋混凝土结构的结点构造图,其简图如图 1.8(b)所示。

当一个结点同时具有以上两种结点的特征时,称为**组合结点**,即在结点处有些杆件为铰接,同时也有些杆件为刚性连接[图 1.9(a、b)]。

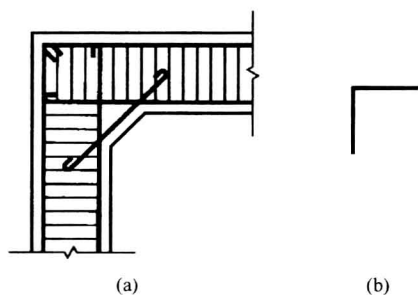


图 1.8

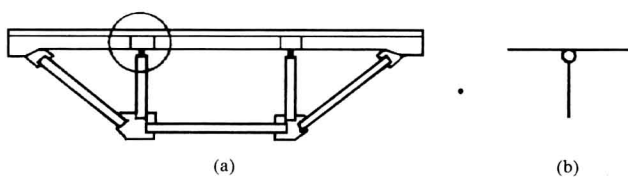


图 1.9

4. 支座的简化

把结构与基础或支承部分连接起来的装置称为支座。平面结构的支座根据其支承情况的不同可简化为活动铰支座、固定铰支座、固定端支座[图 1.10(a~c)]和定向支座[图 1.11(a)]。前三种支座在理论力学中已介绍过,此处不再赘述。

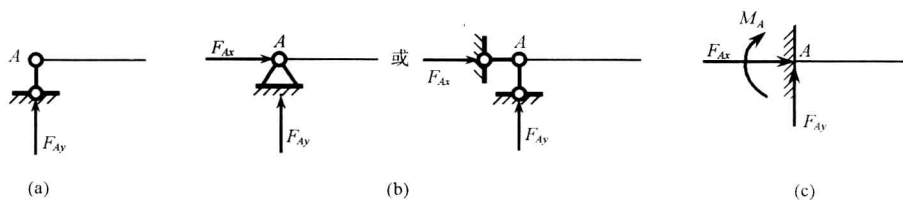


图 1.10

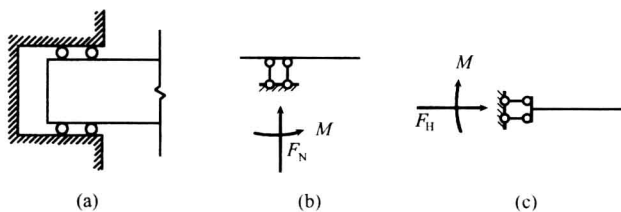


图 1.11

定向支座能限制杆件的转动和垂直于支承面方向的移动,但允许杆件沿平行于支承面的方向移动。其支座反力为垂直于支承面的反力 F_N 和反力偶矩 M [图 1.11(b)]。当支承面与杆轴线垂直时,定向支座的反力为水平方向[图 1.11(c)]。

5. 荷载的简化

作用于结构上的荷载通常简化为集中荷载和分布荷载。

下面举例说明结构的简化过程和如何选取其计算简图。

【例 1.1】 试选取图 1.12(a)所示单层工业厂房的计算简图。

【解】 1) 结构体系的简化。该单层工业厂房是由许多横向平面单元[图 1.12(b)],通过屋面板和吊车梁等纵向构件联系起来的空間结构。由于各个横向平面

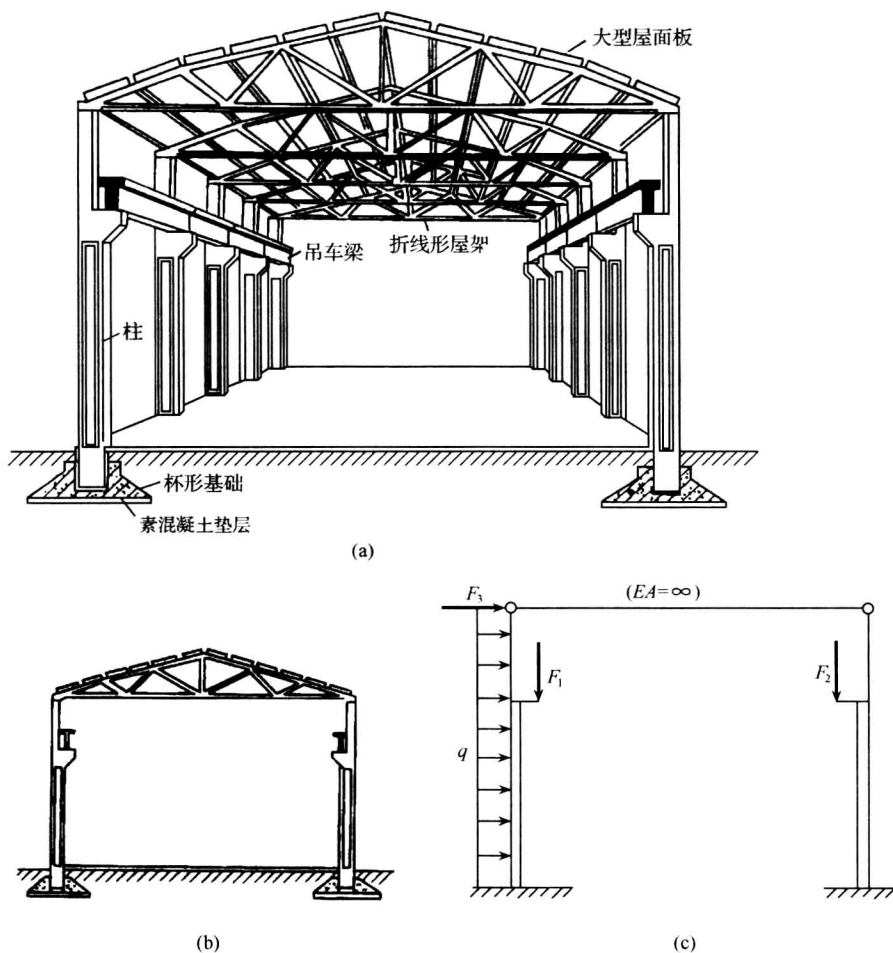


图 1.12

单元相同,且作用于结构上的荷载一般又是沿厂房纵向均匀分布的,因此作用于结构上的荷载可通过纵向构件分配到各个横向平面单元上。这样就可不考虑结构整体的空间作用,把一个空间结构简化为若干个彼此独立的平面结构来进行分析、计算。

2) 构件的简化。立柱因上下截面不同,可用粗细不同的两段轴线表示。屋架因其平面内刚度很大,可简化为一刚度为无限大的直杆。

3) 结点与支座的简化。屋架与柱顶通常采用螺栓连接或焊接,可视为铰结点。立柱下端与基础连接牢固,嵌入较深,可简化为固定端支座。

4) 荷载的简化。由吊车梁传到柱子上的压力,因吊车梁与牛腿接触面积较小,可用集中力 F_1 、 F_2 表示;屋面上的风荷载简化为作用于柱顶的一水平集中力 F_3 ;而柱子所受水平风力,可按平面单元负荷宽度简化为均布线荷载 q 。

经过上述简化,即可得到厂房横向平面单元的计算简图,如图 1.12(c) 所示。

【例 1.2】 图 1.13(a) 为一水利工程钢筋混凝土渡槽,试选取其计算简图。

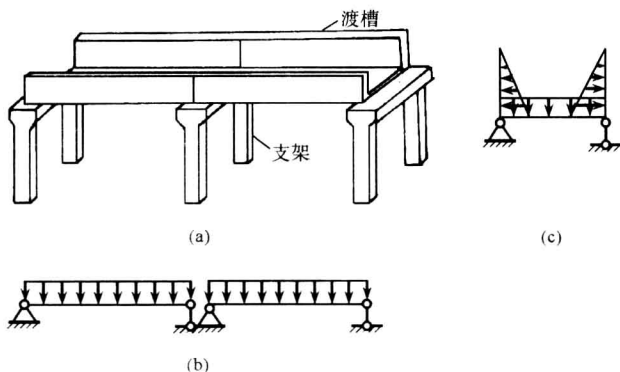


图 1.13

【解】 在进行纵向计算时,可把槽身视为支承在支架上的简支梁,所受的荷载为均布的水重和自重,梁的截面为 U 形,计算简图如图 1.13(b) 所示。在进行横向计算时,则用两个垂直于纵向轴线的平面从槽身中截出单位长度的一段,计算简图为 U 形刚架,如图 1.13(c) 所示。所受荷载为水压力,底部的水压力为均匀分布,两侧则为三角形分布。由于每段槽身都是整个槽身的一部分,所以每段槽身上的竖向荷载靠整个槽身截面上的竖向剪力来支承,也就是靠该段渡槽的两侧截面内的竖向剪力来支承,图 1.13(c) 中的支座实际上代表两侧壁板的竖向剪力所起的支承作用。

选取较合理的结构计算简图,不仅需要有丰富的实践经验,还需要有较完备的力学知识,才能分析主、次要因素的相互关系,对于一些新型结构往往还需要借助

模型试验和现场实测才能确定出较合理的计算简图。对于工程中一些常用的结构型式,其计算简图经实践证明都比较合理,因此可以直接采用。

1.3 平面杆件结构的分类

平面杆件结构按其受力特征可分为以下几种类型。

(1) 梁

梁是一种以弯曲变形为主的构件,其轴线通常为直线。梁可以是单跨的或多跨的(图 1.14)。

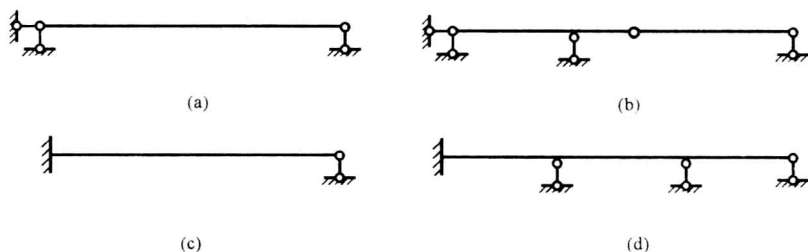


图 1.14

(2) 刚架

刚架是由直杆组成,其结点全部或部分为刚结点的结构(图 1.15)。刚架各杆主要承受弯矩,也承受剪力和轴力。

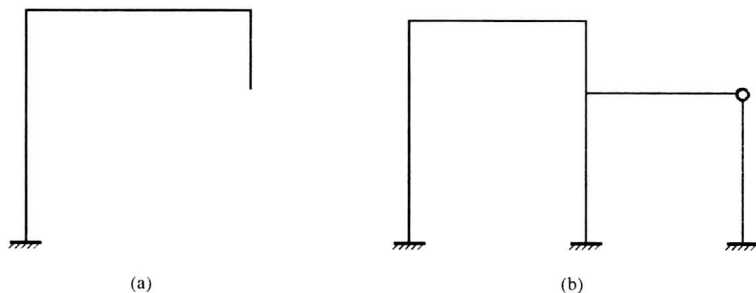


图 1.15

(3) 拱

拱的轴线多为曲线,其特点是在竖向荷载作用下能产生水平支座反力(图 1.16)。这种水平支座反力可减少拱横截面上的弯矩。