



全国铁道职业教育教学指导委员会规划教材
高等职业教育铁道工程技术专业“十二五”规划教材

工程力学

(下)

■ 杨树宇 王秀丽 主 编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

全国铁道职业教育教学指导委员会规划教材
高等职业教育铁道工程技术专业“十二五”规划教材

工程力学(下)

杨树宇 王秀丽 主 编
马晓倩 主 审

中国铁道出版社

2014年·北京

内 容 简 介

全书分上下两册,共三篇。上册为第一篇静力学和第二篇材料力学,下册为第三篇结构力学,内容包括平面体系的几何组成、静定结构内力计算、静定结构位移计算、力法、位移法及力矩分配法、影响线及其应用等内容。为便于学习,每章附有教学目标及例题,章末有小结,并配有复习思考题以启发读者分析、思考和研究问题,便于课后复习。

本教材适用于土建类专业及相近专业的高职高专教学,也可作为中等专业学校的辅助教材。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学.下/杨树宇,王秀丽主编. —北京:

中国铁道出版社,2014.7

全国铁道职业教育教学指导委员会规划教材

高等职业教育铁道工程技术专业“十二五”规划教材

ISBN 978-7-113-18202-1

I. ①工… II. ①杨…②王… III. ①工程力学—高等职业教育—教材 IV. ①TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 054150

书 名:工程力学(下)

作 者:杨树宇 王秀丽 主编

责任编辑:李丽娟

编辑部电话:(010)51873135

电子信箱:LLJ704@163.com

封面设计:崔 欣

责任校对:龚长江

责任印制:李 佳

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.51eds.com>

印 刷:北京市昌平百善印刷厂

版 次:2014年7月第1版 2014年7月第1次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:9.0 字数:218 千

书 号:ISBN 978-7-113-18202-1

定 价:20.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社教材图书营销部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480



前言

工程力学是土建、交通运输等专业的一门重要专业基础课。本教材涵盖了静力学、材料力学和结构力学的主要内容。

本教材在编写中,充分考虑高职职业教育的特点,以应用为目的,基本理论以“必需”、“够用”为度,强化力学概念,向实用性靠拢,以满足培养职业技术工程人才的需要。

为方便读者学习,每一章节均安排有相关案例,以工程实际问题引导和启发读者的求知欲;概念学习配合相关例题进行解析;章末有小结,并配有复习思考题以启发读者分析、思考和研究问题,方便课后复习,最终增强实践技能的培养。

本教材精选教学内容,改革力学课程体系,既保证原静力学、材料力学和结构力学中主要的经典内容,又侧重基础理论和工程实用的需要。对原本科教学内容进行必要的删减和拆分,加强概念的理解、基本计算的掌握和工程中力学的实际应用。

本书分上下两册,上册内容讲述静力学和材料力学两部分,下册内容讲述结构力学。本书下册由包头铁道职业技术学院杨树宇、西安铁路职业技术学院王秀丽主编,天津铁道职业技术学院马晓倩主审。第一章由王秀丽编写;第二、三章由杨树宇编写;第四、五、六、七章由包头铁道职业技术学院白春海编写。杨树宇负责全书的统稿工作。

本书在编写过程中得到包头铁道职业技术学院、天津铁道职业技术学院等相关院校领导及老师的大力支持,在此一并表示感谢。

编 者

2014 年 1 月



目录

第三篇 结构力学

1 结构力学概述	1
1.1 结构力学的研究对象和任务	2
1.2 荷载的分类	3
1.3 结点和支座的类型	3
1.4 结构的计算简图	5
本章小结	9
复习思考题	9
2 平面体系的几何组成	11
2.1 几何组成分析的目的	12
2.2 平面体系的自由度	12
2.3 几何不变体系的简单组成规则	16
2.4 瞬变体系、静定与超静定结构	18
2.5 几何组成分析举例	20
本章小结	23
复习思考题	23
3 静定结构内力计算	26
3.1 多跨静定梁	27
3.2 静定平面刚架	30
3.3 静定平面桁架	36
3.4 三铰拱	43
本章小结	48
复习思考题	49
4 静定结构位移计算	53
4.1 结构位移概述	54
4.2 外力在变形体上的实功、虚功与虚功原理	55

4.3 结构位移公式及应用·····	56
4.4 静定梁与静定刚架位移计算的图乘法·····	60
4.5 互等定理·····	65
本章小结·····	66
复习思考题·····	67
5 力 法 ·····	71
5.1 超静定结构概述·····	72
5.2 力法原理·····	74
5.3 力法应用举例·····	77
5.4 利用结构对称性简化计算·····	84
本章小结·····	89
复习思考题·····	90
6 位移法及力矩分配法 ·····	93
6.1 位移法概念·····	94
6.2 位移法基本结构与基本未知量·····	98
6.3 位移法典型方程·····	99
6.4 位移法应用举例·····	102
6.5 力矩分配法的基本概念及基本原理·····	107
6.6 力矩分配法应用举例·····	110
本章小结·····	115
复习思考题·····	116
7 影响线及其应用 ·····	120
7.1 影响线概述·····	121
7.2 用静力法绘单跨梁的影响线·····	122
7.3 利用影响线确定荷载最不利位置·····	125
7.4 简支梁的绝对最大弯矩、包络图·····	132
本章小结·····	135
复习思考题·····	136
参考文献 ·····	138

第三篇 结 构 力 学

1 结构力学概述



本章描述

本章讲述结构力学的概况,包括结构力学的研究对象和任务、结构的计算简图、结构和荷载的分类。



教学目标

1. 知识目标

明确结构力学的研究对象和任务,掌握结构计算简图的简化方法,了解结构和荷载的分类。

2. 能力目标

能够分析实际工程结构的计算简图。

3. 素质目标

培养学生科学严谨的学习态度,并把所学理论知识与实践结合起来。



相关案例——建筑物的搭建

在图 1.1 所示的建筑结构中,会遇到基础、立柱、横梁、顶板等构件的建造与连接,经过一系列复杂的施工,最终才能搭建起整个建筑结构。在搭建此结构时会用到哪些构件?各构件选用何种材料(如图中为何用钢材而不是砖混搭建)?各构件之间是如何连接的?它们是否足够结实,能够抵抗各种荷载的作用而不至发生破坏?它是否经济合理?复杂的建筑物如何进行相应的简化计算?这些问题都将在后续的章节中进行探讨。

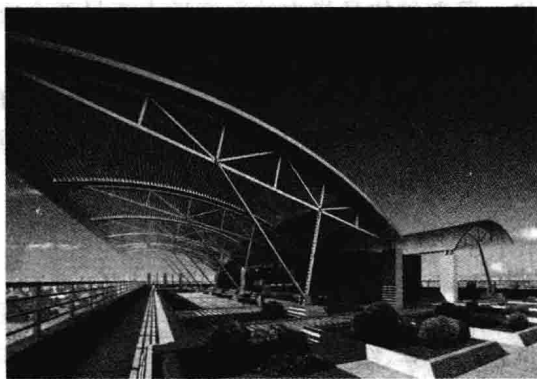


图 1.1

1.1 结构力学的研究对象和任务

1.1.1 结构的概念

工程中的各类构筑物,如房屋、桥梁水塔、挡土墙、车辆机架等,都要承受一些荷载的作用,如人群、设备、车辆、水压力、土压力、货物荷载等。在构筑物中,承担荷载并起着骨架作用的部分,称为结构。如图 1.2 所示的房屋骨架图,最上层的荷载由一块块屋面板承担,屋面板再把荷载依次传递给弓形横梁、柱子、基础,这个骨架也就是此房屋的结构。

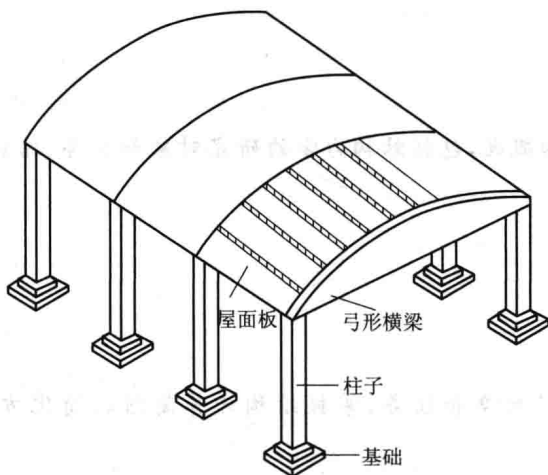


图 1.2

1.1.2 结构力学的研究对象

通常可以从几何观点把结构的类型分为三种,即杆系结构、薄壁结构和实体结构。由杆件组成的结构称为杆系结构。杆件的特点是它的长度远大于另两个方向的尺寸,如矩形截面杆的长远大于截面的宽和高。如果,杆系及其上的荷载都处于同一个平面内,就称为平面杆系结构。薄壁结构是指它的厚度远小于另两个方向尺寸的结构。结构的三个方向的尺寸为同一量级时,称为实体结构。

在材料力学中,我们已学习过单个杆件的强度、刚度及稳定性的计算问题,为学习结构力学打下了基础。结构力学则在此基础上着重拓展研究由杆件组合而成的结构的力学问题。

结构力学的研究对象主要是杆系结构。

1.1.3 结构力学的任务

结构力学的任务包括研究结构的组成规则和合理形式,研究结构在外因作用下的内力和位移的计算、结构的稳定性计算、动力荷载和移动荷载作用下结构的反应。

本书的主要任务是讨论结构的组成规则和合理形式;结构在外因作用下的内力和位移的计算原理和方法;移动荷载作用下支座反力及内力的变化规律,为后续课程结构的计算和设计准备必要的基础知识。

1.2 荷载的分类

对于平面结构,通常可以按荷载作用范围进行分类,如把荷载分为**集中荷载**和**线分布荷载**两种。线分布荷载多简称为**分布荷载**。除此以外,对荷载还有如下不同的分类法。

1. 按荷载作用时间的长短分类

(1)**恒载**:在结构的使用期内,长期不变或变化值可以忽略的荷载称为恒载。如结构的自重、结构上不动的附属装置、设备的自重等,这些都是恒载。

(2)**活载**:施加在结构上的可以变化的荷载称为活载。常见的活载有只改变大小的荷载和只改变位置的荷载。只改变位置的荷载也称为移动荷载。

2. 按荷载作用的性质分类

(1)**静载**:指由零缓慢地增加(加速度可忽略)到某一定值的荷载,最后的定值即为静载值。

(2)**动载**:指随着时间变化,必须考虑加速度影响的荷载。

3. 按荷载与构件的接触情况分类

(1)**直接荷载**:荷载直接与构件相接触。如人站在楼板上,则人对楼板的作用属于直接荷载。

(2)**间接荷载**:荷载不直接与构件相接触。如人站在楼板上,楼板搭在墙体上,则人对墙体的作用属于间接荷载。

1.3 结点和支座的类型

与静力学、材料力学一样,结构力学的知识也主要以平面内的结构分析和计算为主。在这里我们先讨论一下平面结构构件之间相互联系的结点和支座。

1.3.1 结构的结点

结构中杆件相互的连接处称为**结点**。

两根实际结构的杆件,通常有两种连接形式,如图 1.3(a)和图 1.4(a)所示。在图 1.3(a)中两个杆件之间用钢筋联成整体,再由混凝土浇注定位,两杆件之间没有相对的运动,可以简化为刚结点,刚结点的计算简图如图 1.3(b)所示。在图 1.4(a)中两个杆件之间虽然仍用钢筋和混凝土浇筑成整体,但所用钢筋形式不同,抵抗弯矩的能力较差,两杆件之间的相对运动没有受到约束,所以,可以简化为理想铰结点,计算简图如图 1.4(b)所示。

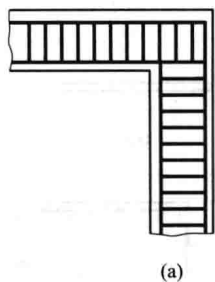


图 1.3

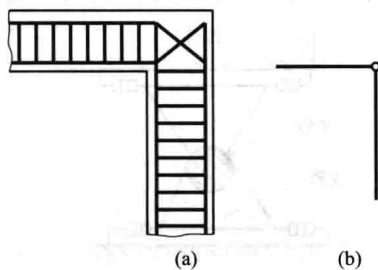


图 1.4

在结构的计算简图中,常见的结点有:铰结点、刚结点及组合结点三种,如图 1.5 所示。

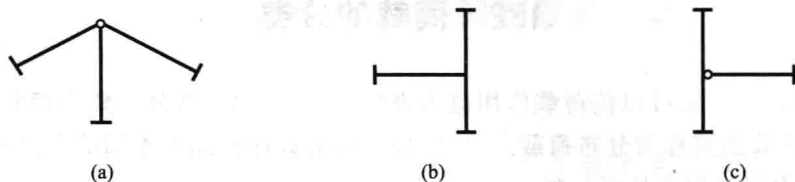


图 1.5

(1)铰结点:凡被连接的各杆件,都可以绕着铰中心自由转动,如图 1.5(a)所示。

(2)刚结点:各杆件都不能绕着它的结点作杆件之间的相对运动,也就是各杆件之间在结点处位置保持不变,夹角保持不变,如图 1.5(b)所示。

(3)组合结点:在同一结点处,有的杆件之间用刚结点连接,而有的又用铰结点连接,如图 1.5(c)所示。此类结点在工程中也比较常见。

1.3.2 结构的支座

支座是指将结构与基础联系在一起的装置。支座的构造形式有很多,依据实际支座的约束特点,在理论力学和材料力学中都提炼出了支座的计算简图。现再次归纳如下。

(1)可动铰支座:这种支座的构造如图 1.6(a)、(b)所示,桥梁中的辊轴支座和摇轴支座都属于此种类型。计算简图如图 1.6(c)所示,最常用的是用一根链杆表示的方式。此类支座只能阻止结构沿支承链杆方向移动,如图 1.6(d)所示,反力的方向沿链杆轴向,指向未定,常用符号“ F ”或“ F_R ”表示。

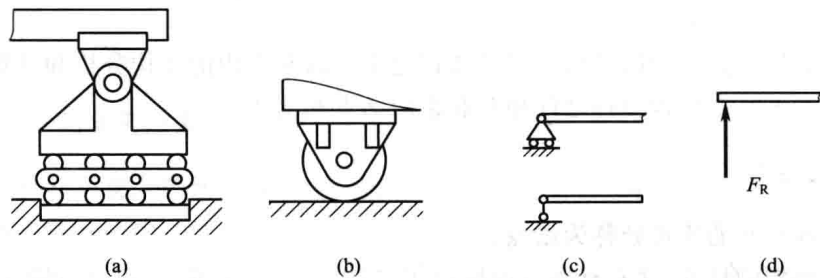


图 1.6

(2)固定铰支座:这种支座的构造如图 1.7(a)所示,计算简图如图 1.7(b)~(e)所示,用两根相交的链杆表示。这种支座只允许结构绕铰中心转动,不可以作任何方向的移动,如图 1.7(f)所示,反力可用两个相互垂直的分反力表示,两反力的指向未定。在结构力学中竖直方向的反力常用“ F_y ”表示;水平方向反力常用“ F_x ”表示。

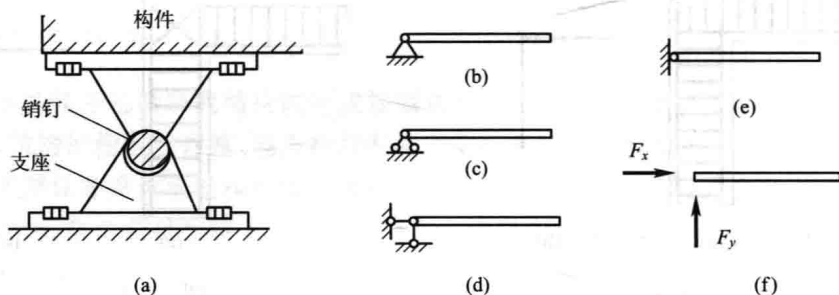


图 1.7

(3) **固定端支座**:这种支座的构造如图 1.8(a)中的阳台挑梁及图 1.8(b)中的车刀,计算简图如图 1.8(c)所示。固定端支座不允许结构对支座作任何移动和转动,其反力有三个,包括任意两个互相垂直的分反力和一个力偶,反力指向和力偶转向未定,如图 1.8(d)所示。

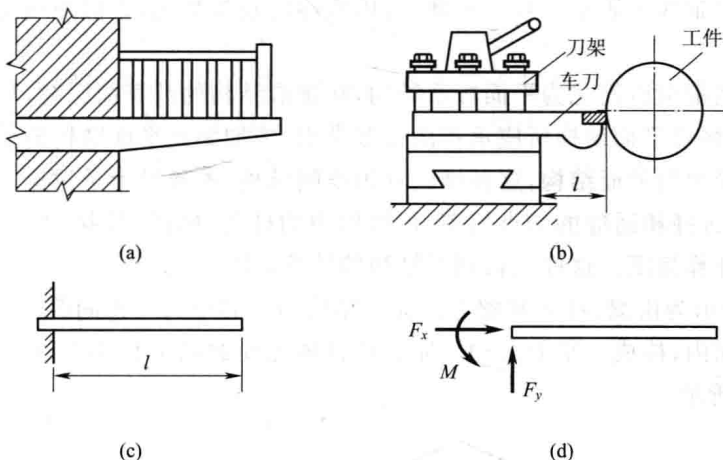


图 1.8

(4) **定向支座**:这种支座的构造如图 1.9(a)所示。推拉门上与滑轨相连的滑块,就可视为定向支座,也称为滑动支座。机械工程中气缸对活塞的作用类似于定向支座,计算简图如图 1.9(b)所示。它只允许杆件沿与支承面平行的方向产生移动,限制构件在垂直于支承面方向的移动以及绕支座的转动。其约束反力有两个,一个是沿链杆轴向的反力,另一个是抵抗转动的力偶,指向和转向未定,如图 1.9(c)所示。

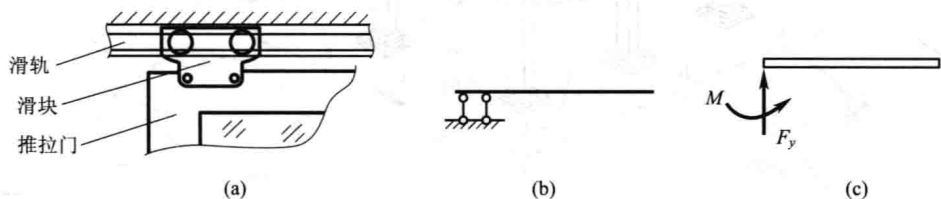


图 1.9

此处只是给出了理想状态的支座形式及计算简图,要想由结构的实际支座简化为合理的计算简图,仅仅依靠如上所述的介绍还远远不够,还必须坚持理论联系实际的原则,特别是要积累丰富的实践经验,以便能正确地分析出结构中支座的连接形式。

1.4 结构的计算简图

1.4.1 结构的计算简图

实际构筑物的结构一般都比较复杂,完全按照实际结构进行分析计算,往往是不可能的,同时也是不必要的。因此,必须抓住它的主要特征,略去次要的因素,采用经过简化的模型来代替。这种能够代表实际结构的简化力学模型,就称为此实际结构的**计算简图**。

计算简图是对结构进行力学分析的依据,必须慎重选取。如果各种因素都予以考虑,则计算简图的计算工作量很大,不能被接受;相反如果一个计算简图过于简单,不能反映结构实际

受力情况,则计算简图不仅失去了结构计算的意义,而且可能造成工程事故。因此结构的计算简图,应既能够正确地反映实际结构的变形情况和受力特点,又能使结构的计算得到简化。

绝大部分工程结构都可以简化为杆系结构。在杆系结构的计算简图中,同材料力学一样,杆件也都采用它的轴线来表示。对于荷载,考虑实际的施加情况,近似地用集中荷载或分布荷载来表示。

一般杆系结构都可以简化为平面杆系结构,在选取结构的计算简图时,可先将结构体系简化为平面体系,并将该平面结构所应承担的荷载求出,施加到此平面结构的受力处所。当然也有不少结构不能简化为平面结构,这种结构称为空间结构,本教材不予讨论。然后判明结构杆件之间的连接,并选择相适应的结点简图,将结构中的杆件(轴线)连接起来。最后审定支座,选取适当的支座计算简图。这样就得到了结构的计算简图。

图 1.10(a)所示为由梁、柱和基础等组成的结构图。其中每一排间距为 l_1 的横向梁、柱和基础处在一个平面内,构成一平面结构。屋面板将屋面荷载向下传递到这些横向的平面结构上,如图 1.10(c)所示。

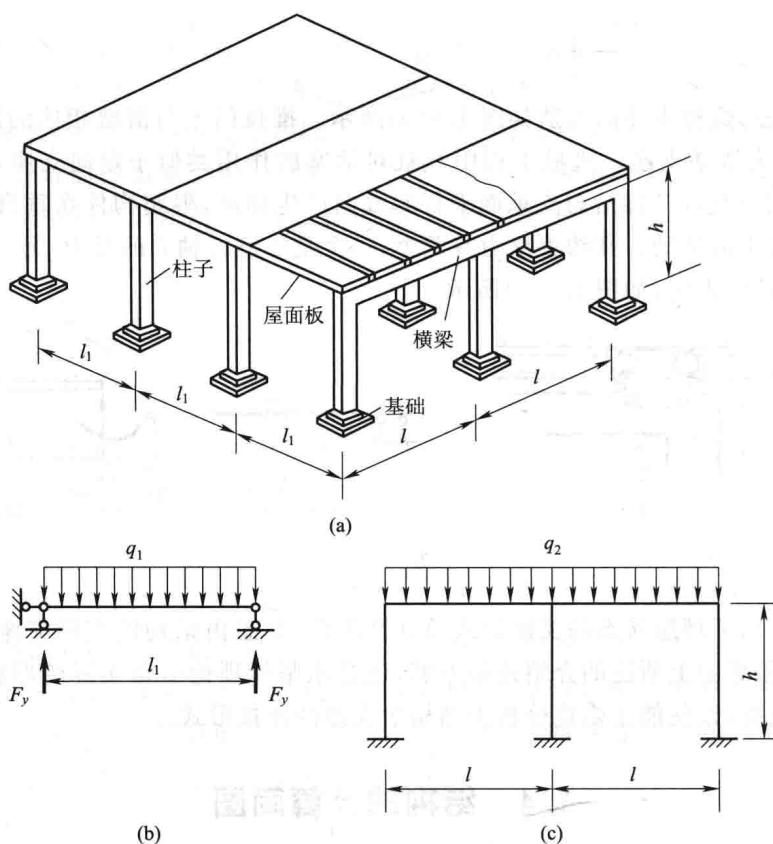


图 1.10

图 1.10(a)所示结构的计算简图,可以分解为两个部分讨论。一是屋面板,它简支在横向平面结构之上,屋面板的计算简图如图 1.10(b)所示,为简支梁。设屋面板的自重荷载为 p , 单位为 kN/m^2 。通常对板可取 1 m 宽计算,于是屋面板的荷载 q_1 为

$$q_1 = 1 \times p = p \quad (\text{kN/m})$$

另外一部分就是横向平面结构[图 1.10(c)],也就是支承屋面板的结构,对中间二排平面

结构,受两侧屋面板的作用,反力为 $2F_y$ (不计横梁自重),横向结构的荷载 q_2 与 $2F_y$ 两者互为反作用,有:

$$q_2 = 2F_y = 2\left(\frac{q_1 l_1}{2}\right) = q_1 l_1 = p l_1 \quad (\text{kN/m})$$

横向结构的杆件连接,取图 1.3 的刚性连接形式,钢筋混凝土结构一般多用此种连接。对于支座,要看柱子、基础和地基的实际情况而定。如果柱子与基础连接为一体可抵抗弯矩,而且地基又良好,变形很小,此时支座可视为固定端支座,如图 1.10(c)所示。图 1.10(b)和图 1.10(c)就是图 1.10(a)所示结构的计算简图。如以图 1.10(c)为主体,也可说图 1.10(c)就是图 1.10(a)结构的计算简图。

结构力学将只对结构的计算简图进行分析和讨论。

1.4.2 结构的分类

平面杆系结构是本书分析的对象,按照它的构造和力学特征,可分为五类:

(1)梁:以受弯为主的直杆称为直梁。本书主要讨论直梁,较少涉及曲梁,更不考虑曲率对曲杆的影响。梁有静定梁和超静定梁两大类,如图 1.11 所示。

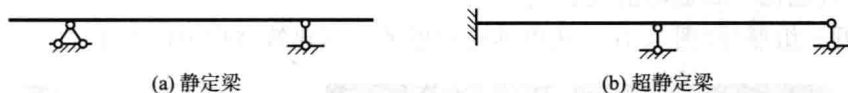


图 1.11

(2)拱:拱多为曲线外形,它的力学特征在以后讨论拱时再说明。常用的拱有静定三铰拱和超静定的无铰拱及两铰拱三种,分别如图 1.12 所示。

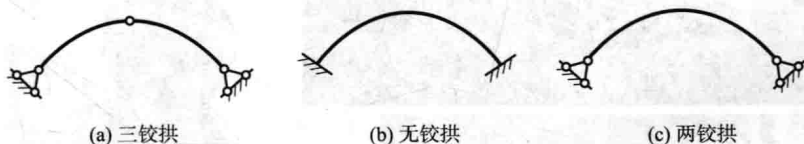


图 1.12

(3)刚架:刚架由梁和柱等杆件构成,杆件之间的连接多采用刚结点。通常分为静定刚架和超静定刚架两类,如图 1.13 所示。

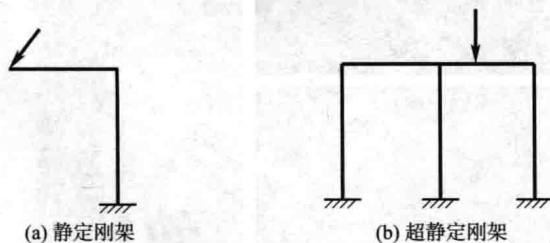


图 1.13

(4)桁架:桁架由端部都是铰结的直杆构成,理想桁架的荷载必须施加在结点上,如图 1.14 所示,通常分为静定桁架和超静定桁架两种。

(5)组合结构:它是由桁架式直杆和梁式杆件组合而构成的结构,如图 1.15 所示。图中,

AB 杆具有多个结点,属梁式杆件,杆件 $AD, CD \cdots$ 是端部为铰结的桁架式直杆。组合结构也有静定和超静定之分。

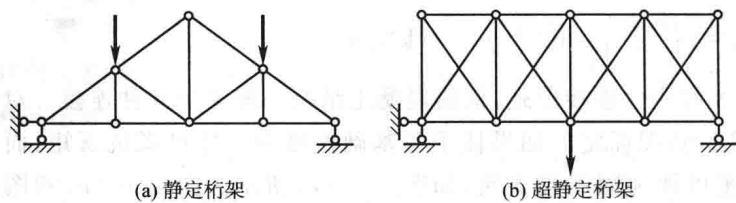


图 1.14

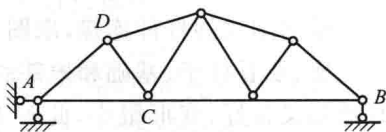


图 1.15

知识拓展

当今工程技术发展日新月异,建筑中各种新型结构大量出现,这给工程力学提出了许多课题,也为工程力学的发展提供了广阔的空间。近年来还出现了许多力学的边缘学科,如生物力学、地质力学等,但这些边缘学科的发展都离不开基础的力学知识,经典力学仍然体现出极强的生命力,而且也在不断地向前发展。

给大家看一组照片(图 1.16),从中感受和思考一下建筑结构中的力学美。

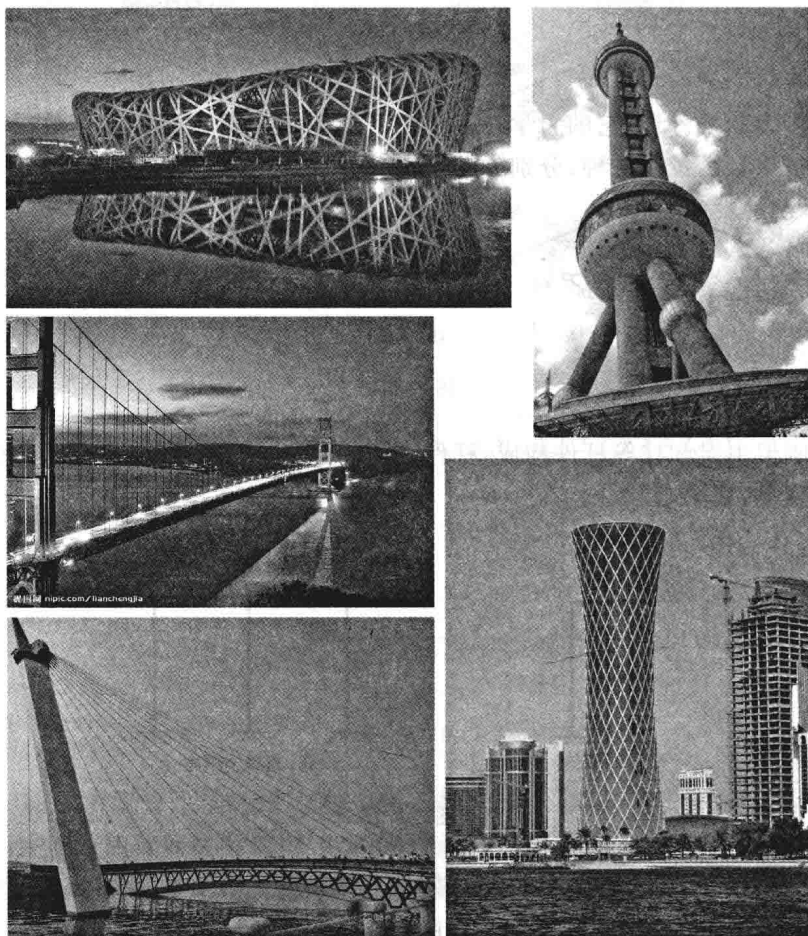


图 1.16



本章小结

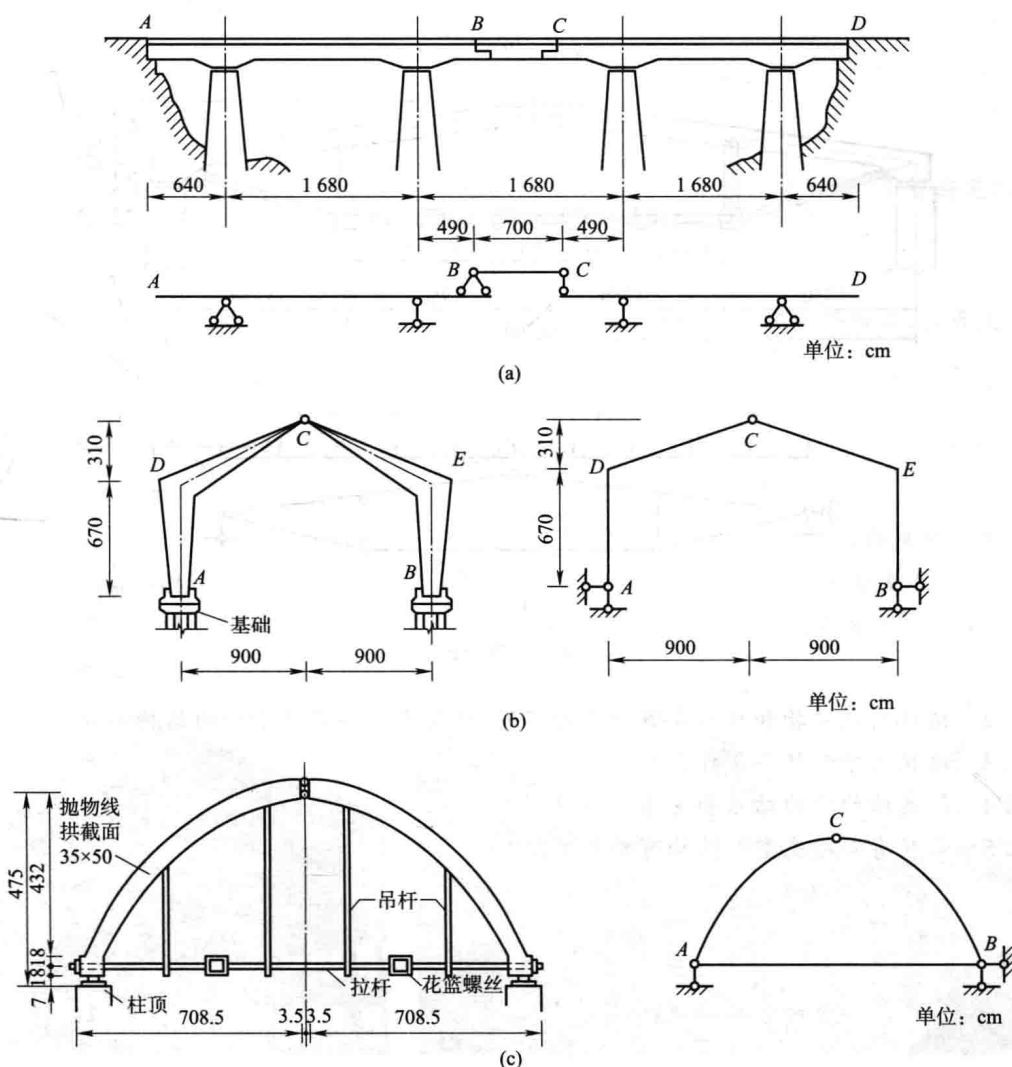
1.1 结构力学的研究对象主要是杆系结构;结构力学的主要任务是研究结构的内力和位移的计算。

1.2 平面杆系结构是本书分析的对象,按照它的构造和力学特征,可分为梁、拱、刚架、桁架和组合结构五类。结构中有刚结点、铰结点和组合结点等不同的结点。结构中的支座可分为固定铰支座、可动铰支座、固定端支座及定向支座等不同的支座。结构承受的荷载可分为恒载、活载、静载、动载、直接荷载和间接荷载等不同的荷载。

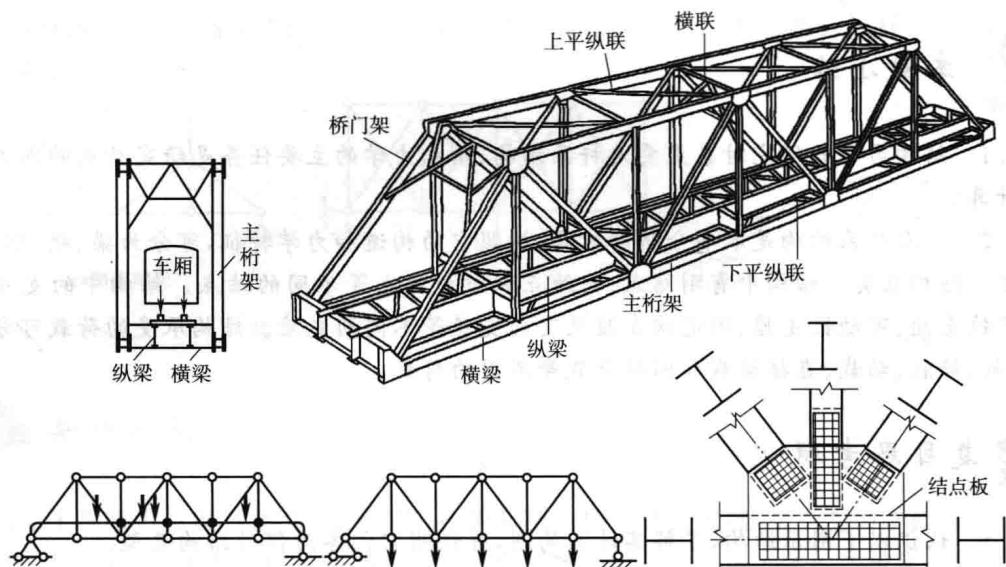


复习思考题

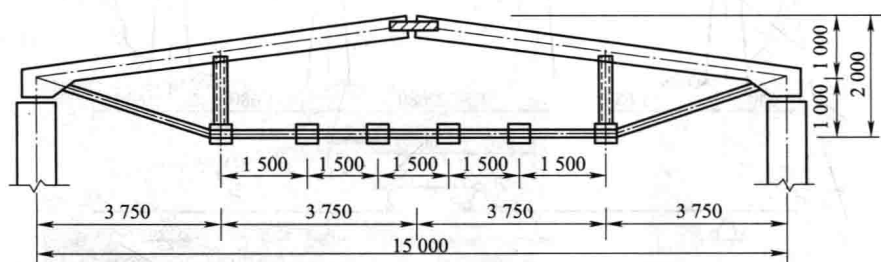
1.1 认识以下图示结构,了解其计算简图,并说明它们各为何种结构类型。



题 1.1 图



(d)



(e)

单位: mm

题 1.1 图(续)

1.2 请说明建筑物和结构在概念上的不同,试例举一些建筑物中的结构部分。

1.3 结构力学的任务是什么?

1.4 简述结构中的结点和支座。

1.5 荷载有哪些类型? 结构有哪些类型?

2 平面体系的几何组成



本章描述

本章讲述平面体系自由度的计算;平面体系的几何组成规则;用平面体系的几何组成规则分析体系的几何组成;确定结构的静定及超静定性;掌握结构的构造特征。



教学目标

1. 知识目标

掌握结构的构造特征。

2. 能力目标

能对平面体系的自由度进行计算;能用简单组成规则进行体系组成分析;了解静定及超静定结构的概念。

3. 素质目标

培养学生科学严谨的学习态度,并把所学理论与实践结合起来,拓展思维方式,开发智力,为后续课程打下基础。



相关案例——结构的组成形式

在图 2.1 所示厂房中,有基础、立柱、横梁、顶板等构件,这些构件是如何连接的?又如,在如图 2.1 中部两立柱之间,为何有两个交叉的连接杆件,而在其他部分之间却没有?

图 2.2 所示桥梁是何种结构形式,其简化的计算简图是静定结构还是超静定结构?为什么?本章将对这些问题进行分析。



图 2.1



图 2.2