



结构力学

(上册)

编 著 徐新济
李恒增

21世纪网络版系列教材

同济大学出版社

21 世纪网络版系列教材

结 构 力 学

(上册)

徐新济 李恒增 编著

同济大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

结构力学.上册/徐新济,李恒增编著. —上海:同济大学出版社,2004.2

(21 世纪网络版系列教材)

ISBN 7-5608-2752-7

I. 结… II. ①徐…②李… III. 结构力学—高等学校—教材 IV. 0342

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 001236 号

结构力学(上册)

徐新济 李恒增 编著

责任编辑 陈全明 策划编辑 孙一风 责任校对 徐 栩 封面设计 陈益平

出 版 行 同济大学出版社

(上海四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 崇明裕安印刷厂印刷

开 本 787mm×960mm 1/16

印 张 15

字 数 300000

印 数 1—3100

版 次 2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5608-2752-7/O · 251

定 价 20.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换

《21 世纪网络版系列教材》编委会

主 任 李国强

副主任 薛喜民 张大也 周 箴 凌培亮

编 委 孙其明 肖蕴诗 周 俭 顾 牡

崔子钧 童学峰 郑惠强 徐鸣谦

吴泗宗 郭 超 王有文

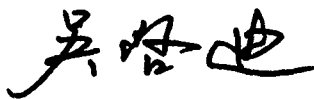
序

21世纪,将是中华民族复兴的世纪。肩负着这一空前历史重任的人民,要求必须具有与之相适应的素质。这也将是新世纪对教育提出的新任务和新要求,也就是说,教育必须适应大众化和终身化的要求。所谓“大众化”,是指人们有着更多的机会接受教育,包括高等教育在内;所谓“终身化”,是指人生过程都伴随着接受教育的机会。

在某种意义上说,网络教育正是为适应教育大众化和教育终身化的要求而产生的。信息技术和网络技术的空前发展,为网络教育的实施提供了切实可行的手段和方式,也可以说,信息和网络技术催生了网络教育。它可不受人力、地域、场地和时空的限制。网络教育方式的出现,在提升教育使命、丰富教育理念、扩大教育规模、革新教育手段、优化教育资源和提高教育质量等方面起着重要的作用。

网络教育采用的是借助现代信息技术的一种全新的教学形式,这就为网络教育的教材编写工作提出了新的要求。它更需要以其视听性、自学性、选择性、层次性、灵活性的特点去满足读者的需要,让每一个学习者都可以寻求到适应自己层次的知识。我高兴地看到,参加这套网络系列教材编写工作的教师,都具有深厚的专业学识、丰富的教学经验,以及对现代教育技术的理解,这是整套教材的质量水平的可靠保证。

我期望,这套教材的出版,将会有助于推动教育大众化和教育终身化的进程,有利于促进网络教学的发展,有助于满足人们日益追求知识的愿望,有助于创造一个学习型社会的氛围,为中华民族的复兴作一点贡献。



2002年8月8日写于同济园

前 言

21 世纪是以网络信息为主导的新教育时代,互联网的飞速发展和网络教学的特点,将逐步改变教师课堂讲授为主的教学方式,而代之以学生自学为主的学习方式。网络版《结构力学》正是为适应已经到来并逐步发展的这一新的教学模式,根据结构力学教学基本要求而编写的。

本书的编写以便于自学为宗旨,力求符合内容翔实、系统、简明、清晰的特点。在教学内容的阐述方式和例题分析等方面作了探索和尝试。

全书分为上、下两册。上册包括六章:绪论、平面体系的几何组成分析、静定结构的内力分析、静定结构的影响线、静定结构的位移计算、力法。下册包括四章:位移法、力矩分配法、矩阵位移法、结构的动力计算。书中附有讨论内容和思考题,其中,讨论以提问方式来引出一些概念、疑难和应该注意的问题。书中冠有 * 号的内容可按不同专业、不同层次的学生选用。本书的作业题《〈结构力学〉作业》按上、下两册单独编制,内容符合教学大纲要求,题量适中,利于学习和复习巩固。

书中每章的导读,给出学习提示,介绍本章节的内容概要和实质性问题,提出基本要求、重点和难点。通过认真研读导读,带着问题学习,可以引导读者深入理解每章的基本原理、计算方法、特点和关键问题;了解前、后章、节的关系,做到融会贯通。

本书为 21 世纪网络版系列教材之一,可作为高等学校土木工程、水利工程、交通工程等专业的结构力学教材,亦可供其他专业的师生和工程技术人员参考。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏之处,恳请读者及时批评指正,不胜感激。

编 者

2003.10

目 录

序

前 言

第一章 绪论..... (1)

导读..... (1)

第一节 结构力学的研究对象和任务..... (2)

第二节 结构的计算简图..... (3)

第三节 平面杆件结构的分类..... (9)

第四节 荷载的分类 (10)

小 结 (12)

思考题 (12)

第二章 平面体系的几何组成分析 (13)

导读 (13)

第一节 概述 (14)

第二节 平面体系的计算自由度 (18)

第三节 几何不变体系的组成分析 (21)

第四节 几何组成分析示例 (26)

第五节 体系的几何特性与静力特性之间的关系 (34)

小结 (36)

思考题 (37)

第三章 静定平面结构的内力分析 (38)

导读 (38)

第一节 内力分析概述 (39)

第二节 单跨梁 (44)

第三节 多跨静定梁	(51)
第四节 静定平面刚架	(55)
第五节 三铰拱	(67)
第六节 静定平面桁架和组合结构	(75)
第七节 静定结构的特性	(91)
小结	(94)
思考题	(97)
 第四章 静定结构的影响线	(98)
导读	(98)
第一节 影响线的概念	(100)
第二节 用静力法作梁的影响线	(101)
第三节 间接荷载作用下的影响线	(110)
第四节 机动法作梁的影响线	(113)
* 第五节 桁架的影响线	(117)
第六节 应用影响线计算影响量	(123)
* 第七节 公路和铁路标准荷载制	(126)
第八节 最不利荷载位置的确定	(128)
* 第九节 换算荷载	(136)
第十节 简支梁的绝对最大弯矩	(142)
第十一节 简支梁的内力包络图	(144)
小结	(146)
思考题	(148)
 第五章 静定结构的位移计算	(149)
导读	(149)
第一节 一般概念	(150)
第二节 实功和虚功	(152)
第三节 变形体系的虚功原理	(154)
第四节 位移计算的一般公式——单位荷载法	(157)
第五节 静定结构在荷载作用下的位移计算	(159)
第六节 图乘法求位移	(165)

目 录

第七节 温度改变、制造误差、支座移动引起的位移计算·····	(172)
第八节 线性变形体系的互等定理·····	(177)
小结·····	(181)
思考题·····	(182)
 第六章 力 法·····	 (184)
导读·····	(184)
第一节 超静定结构概述·····	(185)
第二节 超静定次数与力法基本结构·····	(186)
第三节 力法的基本原理与力法典型方程·····	(191)
第四节 力法的计算步骤与示例·····	(195)
第五节 对称性利用·····	(202)
第六节 温度改变和支座移动时超静定结构的内力计算·····	(212)
第七节 超静定结构的位移计算·····	(216)
第八节 超静定结构最后内力图的校核·····	(219)
第九节 超静定结构的特性·····	(221)
小结·····	(223)
思考题·····	(225)
 参考文献·····	 (226)

第一章 绪 论

导读

结构力学是在人类文明和生产发展的基础上逐步形成和不断开拓的力学分支学科。结构力学与高等数学、理论力学、材料力学、弹性力学有着密切的关系,在土建、水利、道路及桥梁等专业或专业培养中占有重要的地位。

结构分析是结构设计中的一个关键环节。学好结构力学,掌握杆件结构的计算原理和方法,将为后续专业课程打下一个良好的基础,也为今后解决工程技术问题提供必要的基础知识和计算技能。

结构力学有两个基本特点:理论概念性强、题型多样;解题基本功和技巧要求高。学好结构力学的重要环节是学透弄懂基本理论和概念,勤做习题。用发展的眼光来学习结构力学,努力培养分析、计算、自学和独立思考的能力,应是广大网络、函授和全日制学生的共识。这有益于形成良好的思想方法,也必将为今后开拓新领域、研究新问题奠定坚实的理论基础。

一、基本要求

1. 了解结构力学的研究对象和任务;
2. 了解杆件、结点、支座和体系的简化方法;
3. 熟悉计算简图的概念,掌握简单结构计算简图的分析 and 选取;
4. 了解荷载的分类;
5. 了解杆件结构的分类。

二、重点、难点

1. 结点和支座的简化、体系的简化;
2. 杆件结构的分类。

三、学习提示

第一节 1. 结构的概念; 2. 结构力学的研究对象和任务。

第二节 1. 计算简图的概念; 2. 选择计算简图的原则; 3. 选择计算简图的工作内容和方法。

第三节 1. 杆件结构按不同原则的分类; 2. 杆件结构的力学特性。

第四节 1. 荷载的分类方法; 2. 荷载的种类。

第一节 结构力学的研究对象和任务

一、结构及其分类

结构是建筑物或构造物中承受荷载而起骨架作用的物体或体系,以一定的方式组成。土建工程中的桥梁、房屋、剧院、电视塔、隧道、水坝等承受外荷载的建筑物或构造物,都称之为结构。

结构是一种静态的和永久的工程形式。凡是已建的结构都得到了社会的某种认同,所以,结构应具有耐久、经济和美观的特点。如历史悠久的河北赵县赵洲桥、闻名世界的巴黎埃菲尔铁塔,就是结构的典型例子。

从几何角度分析,结构可分为杆件结构、薄壁结构和实体结构等。杆件结构由若干杆件联结而成。杆件的基本特征是它的长度远大于截面的宽度和高度(图 1-1(a))。薄壁结构的特征是其厚度远小于长度和宽度,当它为一平板状物体时,称为薄板(图 1-1(b));当它具有曲面外形时,称为薄壳(图 1-1(c))。由若干薄板或薄壳可组成各种薄壁结构。实体结构的长度、宽度和厚度均为同一量级(图 1-1(d))。

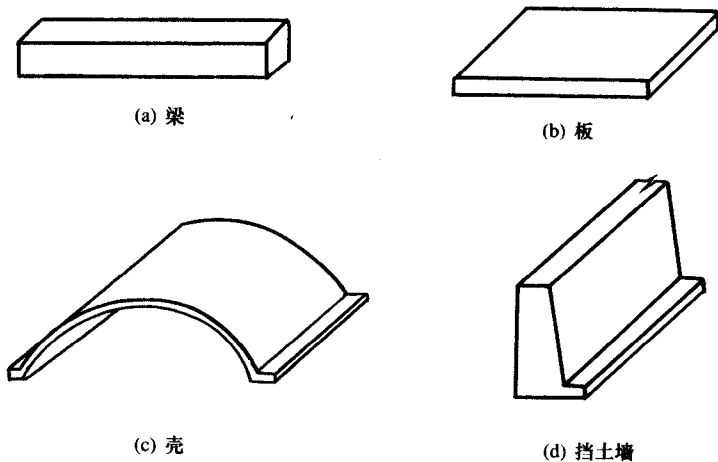


图 1-1

二、结构力学的研究对象

结构力学以杆件结构为研究对象。而材料力学是以单根杆件为主要研究对象,理论力学重点讨论机械运动的基本规律,弹性力学以实体结构为主要研究对象。

三、结构力学的任务

1. 研究结构的组成规律和合理形式、结构计算简图的合理选择;
2. 讨论在外因作用下内力和位移的计算原理和计算方法,以便进行强度和刚度校核;
3. 分析杆件结构的稳定性,讨论动力荷载作用下的结构反应。

第二节 结构的计算简图

一、计算简图的概念

结构的受力情况往往非常复杂,若要完全按照实际情况进行力学分析,会遇到一定的困难,而且也不经济。因此在结构的设计计算之前,必须对实际结构进行抽象和简化,反映其主要力学特征,略去次要因素,用一个简化图形来代替实际结构。这个图形称为结构的计算简图。

在选择计算简图时,应遵循下列原则:

1. 尽量反映实际结构的主要力学特性,不改变结构构件的受力性质,使计算结果精确可靠;
2. 略去次要因素,使计算简图便于计算;
3. 根据不同的计算目的,选用相应的计算简图。例如在设计的不同阶段,可选用精细程度不同的计算简图。

二、杆件结构的简化

对实际结构的简化途径主要有杆件和结点、支座、结构体系简化等多个方面。

1. 杆件和结点

杆件结构由若干单个杆件组成。由于杆件的截面尺寸通常比其长度小得多,因此,在计算简图中,可以用杆件的轴线来表示杆件。杆件的长度用其轴线交点之间的距离来进行计算。可用直线表示梁和柱等杆件,用曲线表示曲杆和拱。

杆件之间的联结区用杆件轴线的交点表示,称为结点。结点的受力和构造比较复杂,通常简化为以下三种模型。

(1) 刚结点 刚结点的特征是汇交于结点的各杆端不能发生相对移动和相对转动,可以传递力和弯矩。图 1-2(a)所示为一钢筋混凝土框架中的结点构造图,柱和梁用钢筋联成整体并用混凝土浇筑在一起,基本符合上述特点,故可视为刚结点。图 1-2(b)为其计算简图。

(2) 铰结点 铰结点的特征是汇交于结点的各杆端可以绕结点自由转动,不能

相对移动,只能传递轴力和剪力,不能传递弯矩,因此可用理想铰表示。在工程实际中,这种理想情况是很难遇到的。当结构的构造符合一定条件时,可以近似地简化为铰结点。图 1-3(a)所示为一钢桁架的结点,杆件用铆钉连接在结点板上,使杆端不能发生相对转动,但桁架主要承受轴力。因此,在计算时,可把这类结点简化为铰结点,如图 1-3(b)所示。

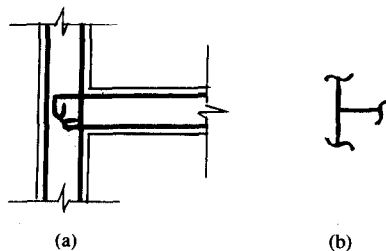


图 1-2

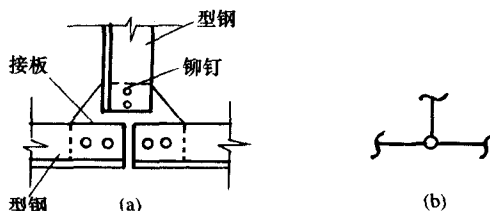


图 1-3

(3)混合结点 混合结点是铰结点和刚结点的组合形式,也称为半铰结点。它的特征是汇交于结点的各杆端不能相对移动,但其中一部分杆件为刚性连接,各杆端不能相对转动;其余杆件为铰结,允许绕结点转动。如图 1-4(a)为钢屋架斜梁和竖杆之间的结点构造图,可简化为混合结点,如图 1-4(b)所示。

2. 支座

把结构与基础或其他支承联结在一起以固定结构位置的装置称为支座。常见的平面结构的支座有四种类型:

(1)活动铰支座 活动铰支座的机动特征是结构可以绕活动铰自由转动,同时,允许结构沿支承面作微小移动,限制与支承面垂直方向的运动,在限制运动的方向产生一个反力。桥梁结构中所用的辊轴支座(图 1-5(a))和摇摆支座(图 1-5(b))都是活动铰支座的例子。图 1-5(c)为其计算简图。

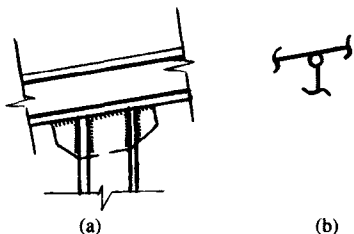


图 1-4

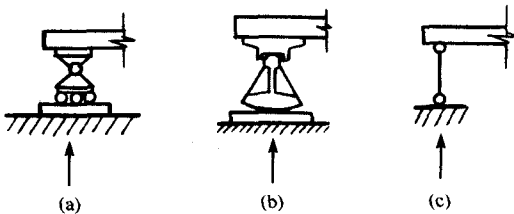


图 1-5

(2)固定铰支座 固定铰支座的机动特征是结构可以绕固定铰作自由转动,但不能沿任何方向移动。支座反力 F_R 通过铰的中心,为了便于计算,通常把反力 F_R 分解为沿 x 和 y 方向的分力 F_{Rx} 和 F_{Ry} ,图 1-6(a)为固定铰支座的构造简图。在实际结

第一章 绪 论

构中,凡是不能移动而可作微小转动的支承情况,都可视为固定铰支座。图 1-6(b)所示为现浇混凝土柱,在柱与基础的连接处,用沥青麻丝和水泥砂浆填实,在荷载作用下,柱下端的水平和竖向位移被限制,但仍可作微小的转动,相当于固定铰支座,计算简图为图 1-6(c)或图 1-6(d)。

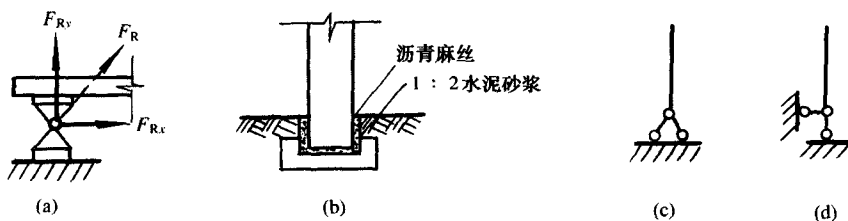


图 1-6

(3) 固定支座 固定支座的机动特征是结构不能沿任何方向移动和转动,如图 1-7(a)所示的固定支座对结构产生的反力可用水平反力 F_{Ax} 、竖向反力 F_{Ay} 以及力矩 M_A 表示。在实际结构中,凡嵌入墙身的杆件,当嵌入足够长度时,杆端不能有任何移动和转动,则视为固定端,如图 1-7(a)所示。图 1-7(b)为其计算简图。图 1-8(a)为一现浇钢筋混凝土基础,当土质很硬,地基的变形很小时,柱的底部可视为固定于基础的顶面,柱的支座为固定支座,计算简图如图 1-8(b)所示。

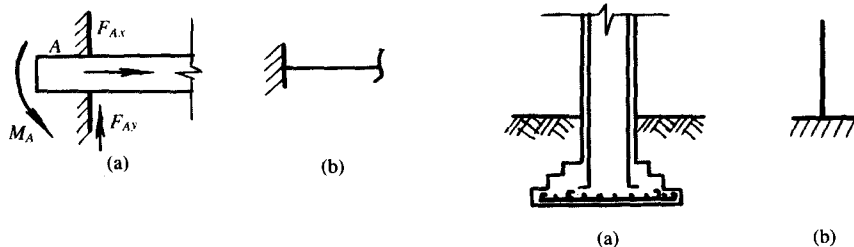
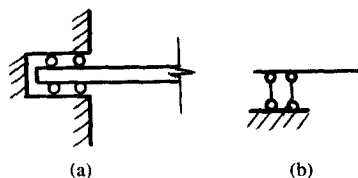


图 1-7

图 1-8

(4) 定向支座 定向支座也称为滑动支座,它的机动特征是允许结构沿支承面作微小(量)移动,限制与支承面垂直方向的移动和转动。定向支座的反力可用垂直支承面方向的反力以及反力矩表示。图 1-9 所示为定向支座及其计算简图。



3. 结构体系

当结构各杆件的轴线和作用荷载均位于同一平

图 1-9

面时,称为平面杆件结构。一般的工程结构都是空间结构,在很多情况下,可以忽略次要的空间约束,按平面结构分析计算。如图 1-10(a)所示的桁架桥梁,原为一空间体系,当仅作用竖向荷载时,如果不考虑两片主桁架之间系杆的空间受力作用,则主桁架就可以分离为独立的一片平面桁架(图 1-10(b))来分析。对于具有明显空间特征和工作状态是空间性质的结构,则必须按空间结构的特点来分析。

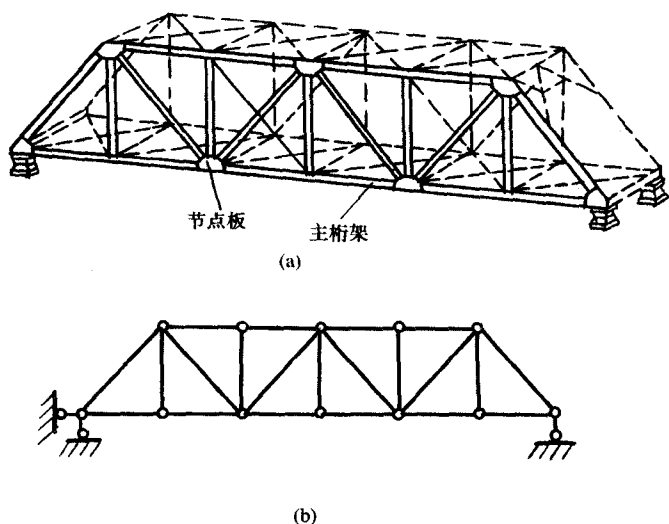


图 1-10

三、计算简图示例

1. 吊车梁

图 1-11(a)所示为一工业厂房中的钢筋混凝土吊车梁,梁上铺设钢轨,梁的两端搁置在柱上。吊车的最大轮压为 F_{P1} 和 F_{P2} ,在设计该吊车梁时,应做三个方面的简化:

(1) 杆件的简化

以梁的轴线代替实际的吊车梁,由于吊车梁两端与柱的接触面长度很小,所以可取梁两端与柱接触面中心的间距作为梁的计算跨度。

(2) 支座的简化

梁的两端搁置在柱上,整个梁不能沿水平和竖直方向移动。但是,梁受到荷载作用时将发生微弯变形,两端截面可作微小转动。当温度变化时,梁自由伸长或缩短,柱对梁的约束作用相当于一端为固定铰支座,另一端为活动铰支座。

(3) 荷载的简化

作用在吊车梁上的荷载分为恒载和活载。恒载是梁和钢轨的自重,沿梁长为均匀分布,化为线均布荷载 q ,活载是轮压 F_{P1} 和 F_{P2} ,它们和钢轨的接触面很小,可视为集中荷载。

按上述简化,选择吊车梁的计算简图如图 1-11(c)所示。

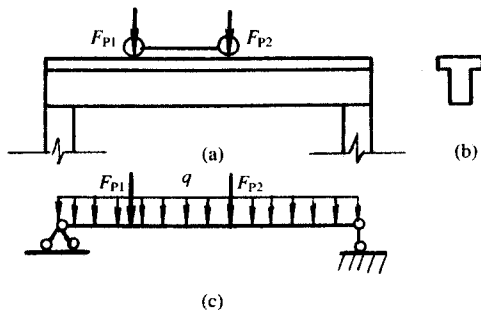


图 1-11

2. 单层工业厂房

图 1-12(a)为一单层工业厂房的示意图,从整体考虑,该厂房是一个空间结构,选择计算简图时,应做两方面的简化:

(1) 结构体系的简化

该厂房结构由许多横向的平面单元组成,各单元之间的纵向连接构件为屋面板和吊车梁等。由于各平面单元沿纵向排列规则,荷载(自重、风、雪等)沿纵向也为均匀分布,所以,可由纵向柱距的中线取出一部分作为一个计算单元按平面结构计算(图 1-12(b))。作用在结构上的荷载,通过纵向构件按传力特点分配到各横向平面结构上。

(2) 计算单元的简化

图 1-12(b)的计算单元为一平面排架,当排架的屋顶桁架与柱的联结方式可视为铰结点时,则可把它单独取出,并用铰支座代替相互联结的作用。屋架的各杆均用其轴线表示,轴线的交点为桁架的结点,如果这些交点的构造和受力情况与铰结点的特征相符,则可把屋架的各个结点均假定为理想铰,其计算简图如图 1-12(c)所示。在分析排架柱的内力时,可以实体杆代替,如图 1-12(d)所示。

选择一个合适的计算简图,取决于多方面的因素。为了能够判断各个不同因素的相对重要性以决定取舍,需要一定的专业知识,有时还需要通过模型试验或现场实测才能确定。

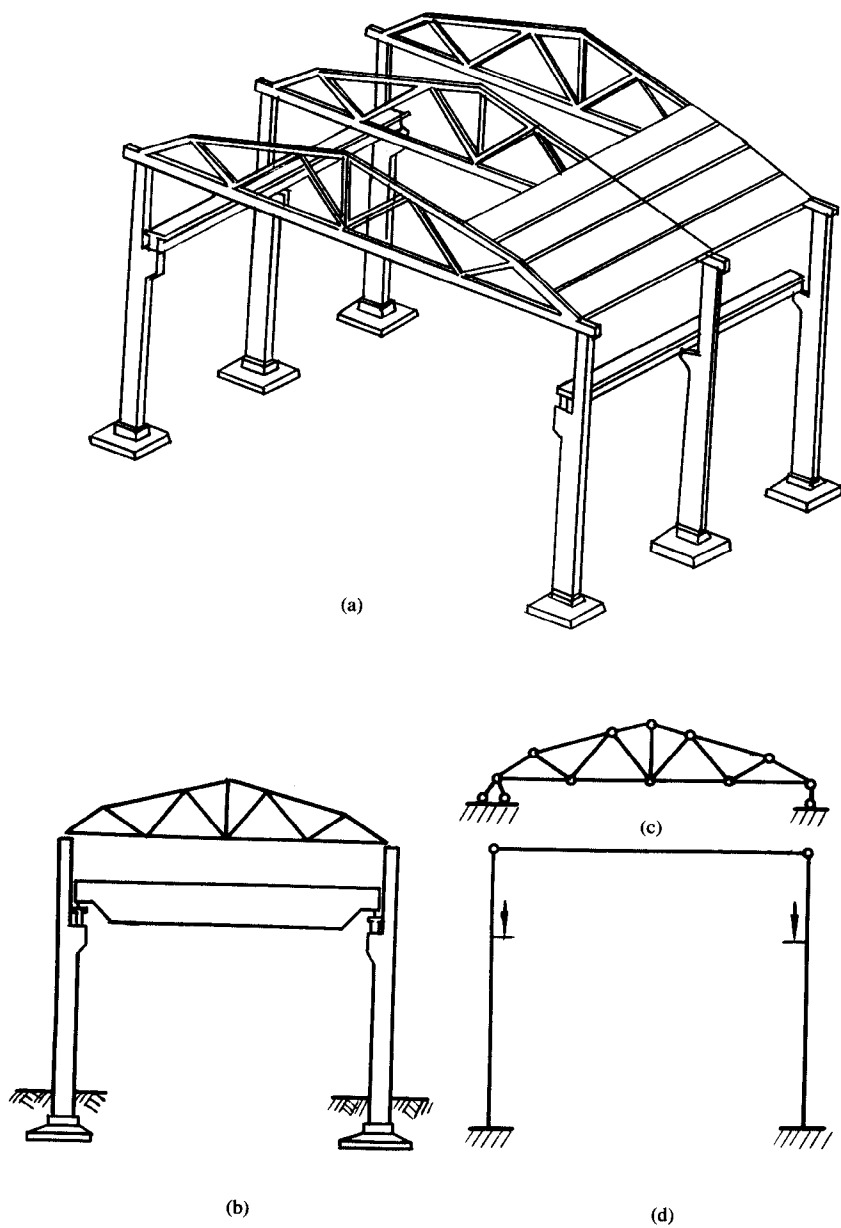


图 1-12