



普通高等教育“十三五”住建部规划教材

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

普通高等教育“十二五”住建部规划教材

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

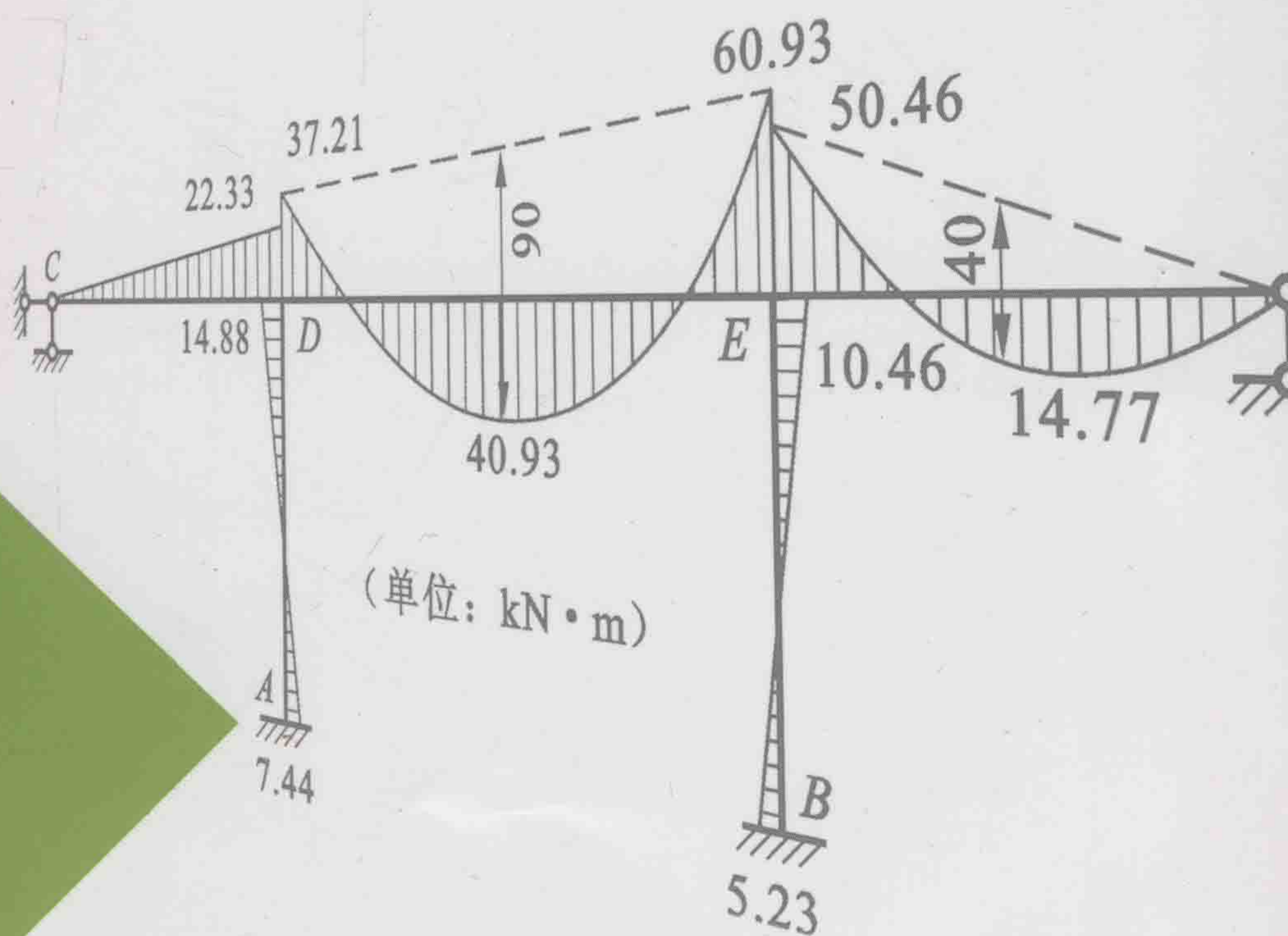
普通高等学校土木工程专业新编系列教材

中国土木工程学会教育工作委员会 审订

结构力学教程

J G L X J C

包世华 熊峰 范小春 主编



内容精简 体裁新颖

体融合 好学易懂

WUTP



武汉理工大学出版社

普通高等教育“十三五”住建部规划教材
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
普通高等教育“十二五”住建部规划教材
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等学校土木工程专业新编系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会 审订

结构力学教程

包世华 熊 峰 范小春 主 编

全书的重要知识点视频讲解和 PPT 请扫描封四上的二维码或登录网站进入学习平台绑定学习。



本书特点介绍

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

图书在版编目(CIP)数据

结构力学教程/包世华,熊峰,范小春主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2017.1

ISBN 978-7-5629-5169-8

I. ①结… II. ①包… ②熊… ③范… III. ①结构力学-高等学校-教材 IV. ①0342

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 230860 号

项目负责人:高 英 汪浪涛

责任校对:王一维

出版发行:武汉理工大学出版社

邮 编:430070

经 销:各地新华书店

开 本:889×1194 1/16

字 数:703 千字

印 次:2017 年 1 月第 1 次印刷

定 价:46.00 元

责任编辑:高 英

装帧设计:橙子工作室

社 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

网 址:<http://www.wutp.com.cn>

印 刷:武汉兴和彩色印务有限公司

印 张:23.25

版 次:2017 年 1 月第 1 版

印 数:1—3000 册

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87785758 87384729 87165708(传真)

• 版权所有 盗版必究 •

前 言

本书是依据教育部颁布实施的《普通高等学校本科专业目录》中所规定的土木工程专业的业务培养目标,教育部高等学校非力学专业力学基础课教学指导分委员会制定的《结构力学课程教学基本要求(A类)》(以下简称《基本要求》),住房和城乡建设部高等学校土木工程专业指导委员会制定的《结构力学课程教学大纲》和《高等学校土木工程本科指导性专业规范》等文件的要求编写的。本书的适用对象主要为普通高等学校土木工程专业(即“大土木”)各类专门化方向的本科学生,也可供相应专业专门化的大专学生使用。

本书有两大特点:一为“少而精”,二为创新。

一、少而精

贯彻少而精的原则,基本上只收入了《基本要求》中要求的内容。根据调查及一些学校的反映,近年来结构力学课程的教学课时逐渐减少,通行的普通本《结构力学》内容均超出《基本要求》过多,成为学生学习上和经济上的负担。

本书中我们采用了分流和“保底”的做法。即基本上只收入《基本要求》中要求的内容,即通常的“必修”内容。它们传承于古典力学,其中的基本原理是前人积累下来的,已成为经典,自应传承。教育部、住建部颁布的《基本要求》,是学生学习结构力学的“底”线,应当满足,所以要“保底”。此外,增加了例题。本书是普通本的一个精缩本,它主要供大学本科生使用,大专生也可使用。

原普通本《结构力学》(第4版),包世华、辛克贵主编,武汉理工大学出版社出版,是普通高等教育“十一五”国家级和“十二五”住建部规划教材,是经过多年锤炼、反复修订过的教材,仍照常出版发行,供大学本科生使用,并作为对结构力学有较高要求的高年级学生、考研生、参加注册结构工程师考试人员和有关工程技术人员阅读参考。

通过内容多的普通本和内容少的精缩本的分流,使有不同要求的读者可以各取所需。

二、创新

第14章超静定结构总论和结构力学定性分析中的主体部分是全新的,是由编者(清华大学)在结构力学教材中首创的内容,它们在以前的结构力学教材中是没有的。这里指的主要是两项内容:结构力学计算简图的深入讨论;结构力学的定性(概念)分析。

结构力学计算简图讨论的是结构力学的建模理论。过去的结构力学教材只讲抽象的计算简图(线条图)的计算,很少从实际结构选取计算简图的原则、简化的方法等方面进行系统的论述。我们在建模理论上进行了详细、深入的讨论,加强了力学与工程实际的联系,得到同行普遍的认可与赞誉。

对结构力学定性(或概念)分析的重要性,工程界和广大教师已经有充分的认识。结构设计大师林同炎早就在《结构概念与体系》的专著中论述了概念设计的重要性。因此,结构力学应该涵盖经典结构力学、程序(或计算)结构力学和定性(或概念)结构力学三个方面。经典结构力学已经成熟,程序(计算)结构力学正在日趋完善,定性(或概念)结构力学刚刚起步。

从结构力学对能力的培养来说也有三个方面:经典方法的分析能力、计算机分析能力和定性分析能力。在结构的概念设计、结构的合理形式、结构计算模型的建立、结构受力和变形性能的估计和判断,以及计算结果正误的分析等方面都需要结构力学定性分析能力的培养。从这个角度看,定性分析能力的培养可能是上述三个能力培养中要求最高,也是最难的一个方面。应该指出,定性分析能力的培养并不只是结构力学一门课程的任务,也不能要求结构力学一门课程来完成,但是结构力学课程应该承担此任务。高层次的能力培养需要从简单的训练开始,需要一个入门的向导。编者认为,在讲授经典结构力学分析方法的同时或稍后,就

应该教学生做简单结构内力和变形的大致形状的估计、判断等的训练,以之作为结构力学定性分析的入门。20 世纪 80 年代,编者在清华大学上结构力学习题课时就曾进行过这方面的尝试,收到了一定的效果。

《基本要求》的最后一版中,在能力培养的要求一栏增加了“判断能力:具有对计算结果进行校核、对内力分布的合理性作出定性判断的能力。”并在说明中说:“这就突出了近几年来引起普遍重视的这一方面的能力”。这里提出了定性分析能力的重要性,有待于教材、教学中去充实、完善。

总之,定性分析是一个新的内容,在教材中怎么写好这个入门的材料,尚无一定之规。这次只是在传统的经典分析方法的基础上,增加了一些仅靠脑和手对结构内力和变形进行定性分析的入门方法,希望能起到抛砖引玉的作用。这里要指出,计算机在定性分析中也是大有可为的,在计算机和各种应用软件高速发展的今天,期待着有更好的结构力学定性分析教材问世。

结构力学定性分析的内容首次在结构力学教材中系统讨论是在编者主编的、武汉理工大学出版的《结构力学》(第 4 版),即前述的普通本中。在收入本书时,又经过了补充与修订。

把这些创新的内容收入本书的第 14 章,是因为编者认为它们重要,各学校及读者可自行选用。另外,把这些内容都集中在一章中是因为写书的方便,教学中可以分散在合适的相关章节,或在不同的教学环节中运用。

本书编写和制作工作由包世华、熊峰、范小春共同完成。具体分工是:包世华提出编写方案和大纲并负责第 1、2、7、11、14、15 等章,以及全书习题及习题答案的编写;熊峰负责第 4、5、6、8、9、10、13 等章的编写;第 3 章由熊峰、范小春共同编写,第 12 章由包世华、范小春共同编写;书中重要知识点视频讲解及全书 PPT 的制作由范小春完成;全书由包世华修改定稿。

本书难免存在不足之处,欢迎读者批评指正。

包世华

2016 年 1 月于清华园

目 录

1	绪论	(1)
1.1	结构和结构的分类	(1)
1.2	结构力学的任务与方法	(3)
1.3	结构的计算简图	(3)
1.4	杆件结构的分类	(9)
1.5	荷载	(11)
	本章小结	(12)
2	体系的几何组成分析	(13)
2.1	几何不变体系和几何可变体系	(13)
2.2	自由度和约束	(14)
2.3	几何不变无多余约束的平面杆件体系的几何组成规则	(16)
2.4	几何组成分析	(19)
2.5	结构的几何组成和静定性的关系	(21)
	本章小结	(22)
	习题	(22)
3	静定梁	(25)
3.1	静定单跨梁	(25)
3.2	叠加法绘制直杆弯矩图	(30)
3.3	简支斜梁	(32)
3.4	静定多跨梁	(34)
	本章小结	(37)
	习题	(37)
4	静定刚架	(41)
4.1	静定刚架的特征与支座反力	(41)
4.2	静定刚架内力	(44)
4.3	带铰刚架的内力	(48)
	本章小结	(50)
	习题	(51)
5	三铰拱	(54)
5.1	三铰拱的组成与类型	(54)
5.2	竖向荷载作用下三铰拱的支座反力	(55)
5.3	竖向荷载作用下三铰拱的截面内力	(56)
5.4	三铰拱的合理拱轴线	(60)
	本章小结	(62)
	习题	(62)

6 静定桁架和组合结构	(64)
6.1 桁架的特点和组成分类.....	(64)
6.2 结点法.....	(66)
6.3 截面法.....	(69)
6.4 结点法和截面法的联合应用.....	(71)
6.5 组合结构.....	(73)
本章小结	(75)
习题	(76)
7 静定结构总论	(80)
7.1 静定结构受力分析的方法.....	(80)
7.2 静定结构的一般性质.....	(82)
7.3 各种结构形式的受力特点.....	(84)
本章小结	(88)
习题	(88)
8 影响线	(90)
8.1 影响线的概念.....	(90)
8.2 静力法作静定单跨梁影响线.....	(91)
8.3 结点荷载作用下梁的影响线.....	(94)
8.4 静力法作桁架影响线.....	(96)
8.5 机动法作静定梁的影响线.....	(98)
8.6 影响线的应用	(101)
本章小结.....	(107)
习题.....	(107)
9 虚功原理和结构的位移计算	(111)
9.1 位移计算概述	(111)
9.2 虚功和虚功原理	(111)
9.3 结构位移计算的一般公式	(117)
9.4 荷载作用下的位移计算	(118)
9.5 图乘法	(123)
9.6 温度作用时的位移计算	(130)
9.7 支座移动时的位移计算	(132)
9.8 线性变形体系的互等定理	(133)
本章小结.....	(135)
习题.....	(136)
10 力法	(140)
10.1 超静定结构概念和超静定次数的确定.....	(140)
10.2 力法原理和基本方程.....	(142)
10.3 超静定梁、刚架和排架	(146)
10.4 超静定桁架和组合结构.....	(152)
10.5 对称结构的计算.....	(156)

10.6	超静定拱	(163)
10.7	温度变化和支座移动时超静定结构的内力	(170)
10.8	超静定结构位移计算和最后内力图的校核	(174)
	本章小结	(176)
	习题	(178)
11	位 移 法	(183)
11.1	位移法的基本概念	(183)
11.2	等截面直杆的形常数和载常数	(184)
11.3	位移法的基本理论	(189)
11.4	位移法计算连续梁和无侧移刚架	(194)
11.5	位移法计算有侧移刚架	(199)
11.6	位移法计算对称结构	(204)
11.7	用直接平衡法建立位移法方程	(207)
	本章小结	(209)
	习题	(210)
12	渐近法和超静定结构的影响线	(214)
12.1	力矩分配法的概念	(214)
12.2	单结点的力矩分配——基本运算	(218)
12.3	多结点的力矩分配——渐近运算	(221)
12.4	无剪力分配法	(230)
12.5	剪力分配法	(235)
12.6	用机动法绘制连续梁的影响线	(240)
	本章小结	(242)
	习题	(242)
13	矩阵位移法	(246)
13.1	概述	(246)
13.2	单元分析(一)——局部坐标系中的单元刚度矩阵	(247)
13.3	单元分析(二)——整体坐标系中的单元刚度矩阵	(250)
13.4	连续梁的整体刚度矩阵	(253)
13.5	刚架的整体刚度矩阵	(259)
13.6	等效结点荷载	(263)
13.7	矩阵位移法计算步骤和算例	(266)
13.8	忽略轴向变形的矩形刚架的整体分析	(271)
	本章小结	(275)
	习题	(275)
14	超静定结构总论和结构定性分析	(277)
14.1	超静定结构基本解法的分类和比较	(277)
14.2	超静定结构的特性	(278)
14.3	关于计算简图的补充讨论	(280)
14.4	静定结构内力和位移的定性分析	(284)

14.5	刚度和力、变形、计算简图的关系.....	(290)
14.6	结构的变形简图.....	(298)
14.7	超静定结构内力和位移的定性分析.....	(304)
14.8	多层多跨刚架的近似法.....	(310)
	本章小结.....	(315)
	习题.....	(315)
15	结构的动力计算.....	(320)
15.1	动力计算概述.....	(320)
15.2	单自由度体系的自由振动.....	(322)
15.3	单自由度体系的受迫振动.....	(331)
15.4	两个自由度体系的自由振动.....	(338)
15.5	两个自由度体系在简谐荷载下的受迫振动.....	(346)
	本章小结.....	(352)
	习题.....	(353)
	习题参考答案.....	(356)
	参考文献.....	(364)

1 绪 论

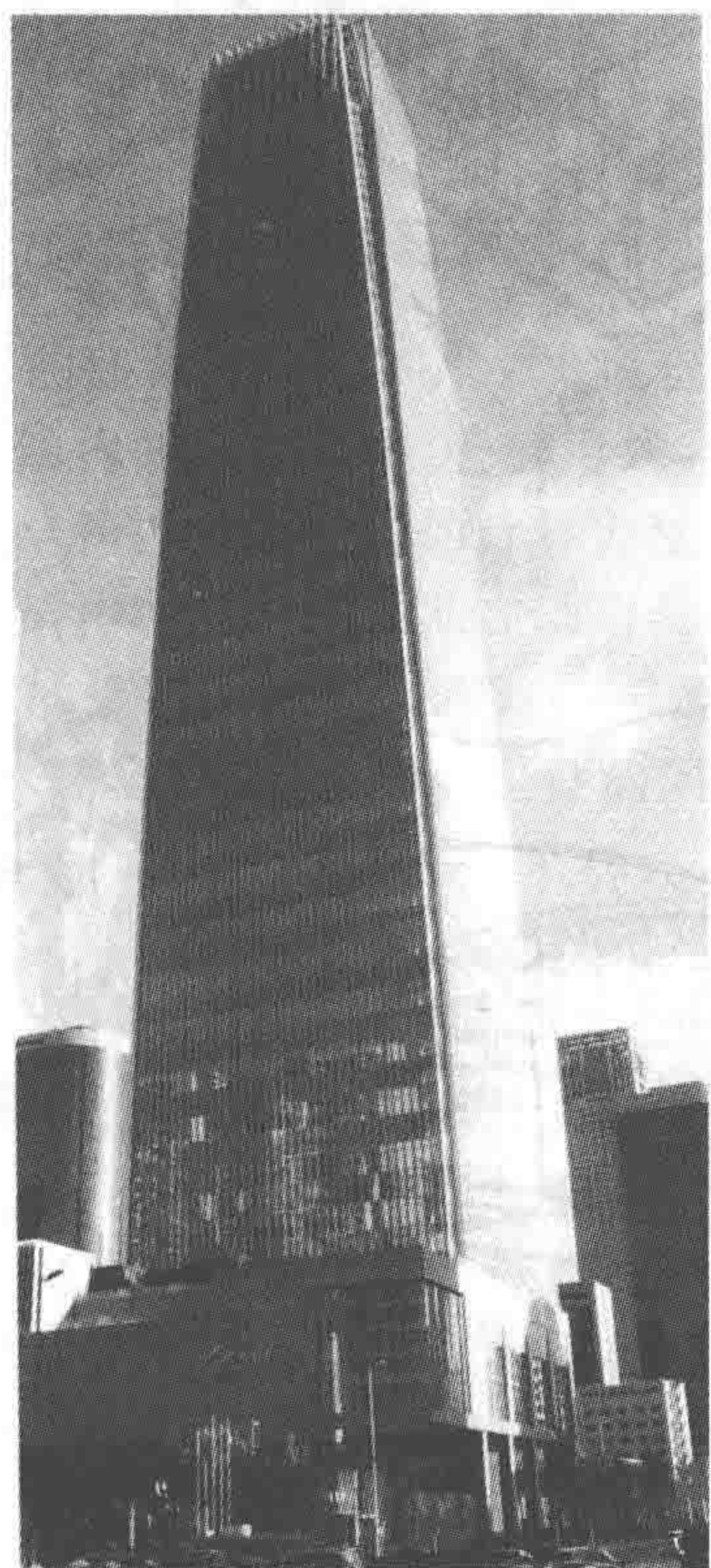
1.1 结构和结构的分类

在土木工程中,由建筑材料构成,能承受荷载而起骨架作用的构筑物称为工程结构,简称结构。图 1.1 是一些工程结构的例子^①。图 1.1(a)为目前北京最高的建筑——北京国际贸易中心大厦,图 1.1(b)为一水利枢纽工程,图 1.1(c)为一桥梁结构。再细一些,单层厂房结构中的屋面板、屋架、梁、柱、基础及其组成的体系,也都是结构。



知识点视频讲解(1)

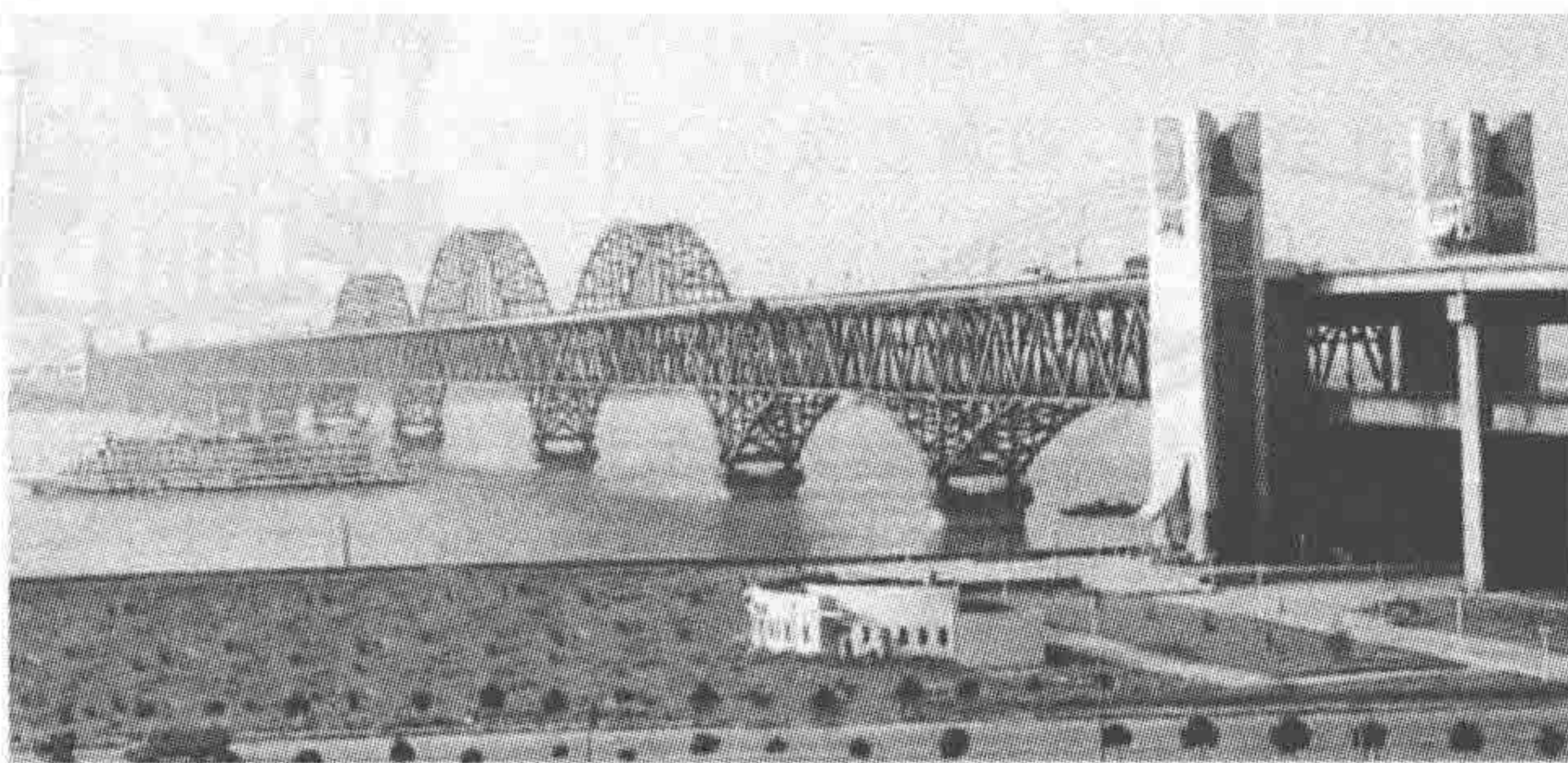
结构和结构的分类



(a)



(b)



(c)

图 1.1 工程结构示例

(a) 北京国际贸易中心大厦;(b) 长江三峡水利工程;(c) 九江长江大桥

结构按其几何特征通常分为三类:

(1) 杆件结构

杆件结构是由杆件或若干根杆件相互连接组成。杆件的几何特征是:三个方向尺寸中,长度 l 比截面宽度 b 和厚度 h 大得多,如图 1.2 所示。各种结构中,杆件结构最多,本书讨论的也主要是杆件结构。

(2) 板壳结构(又称薄壁结构)

它的几何特征是:三个方向尺寸中,厚度 h 比长度 l 和宽度 b 小得多,如图 1.3 所示的平板。由几块平板组合,可得折板,如图 1.4(a)所示。图 1.4(b)为折板屋面结构。当薄壁结构为曲面时,则为壳体,如图 1.5(a)所示;图 1.5(b)为一壳体屋面结构。

^① 严格地说,照片中看到的是这些结构的外形,只有图 1.1(c)的桥梁结构,其受力骨架是展现在外的。

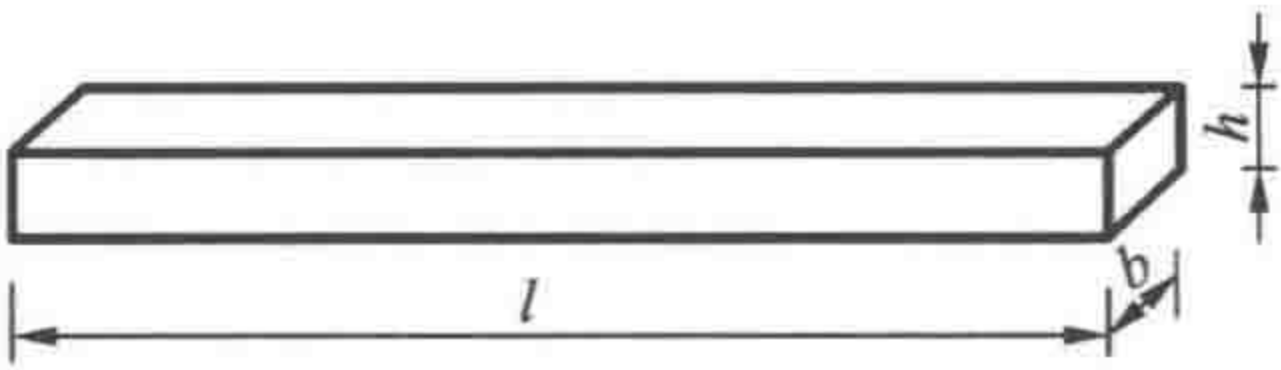


图 1.2 杆件

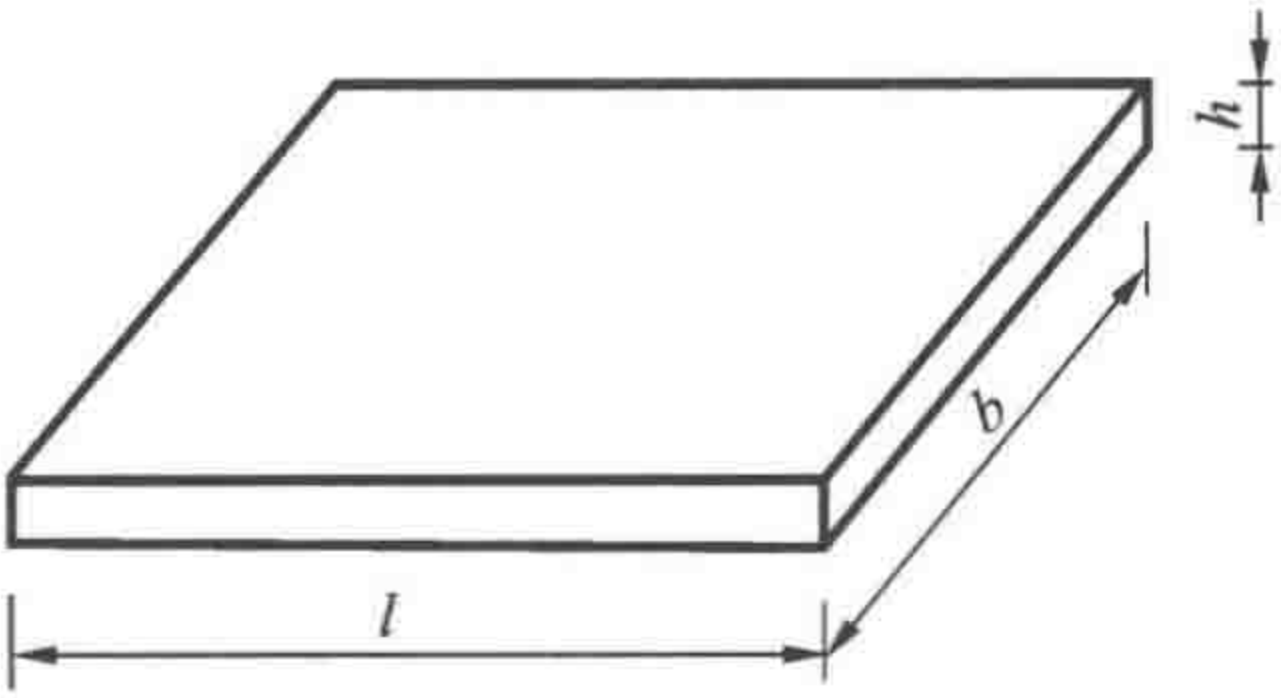
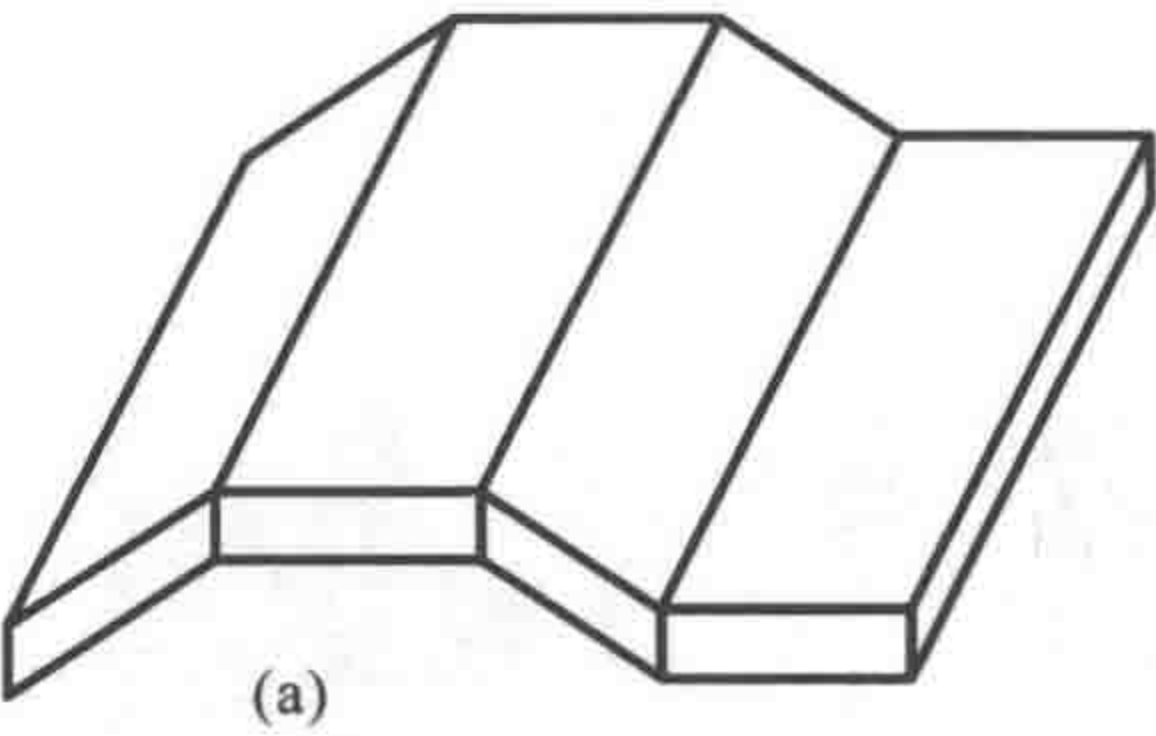
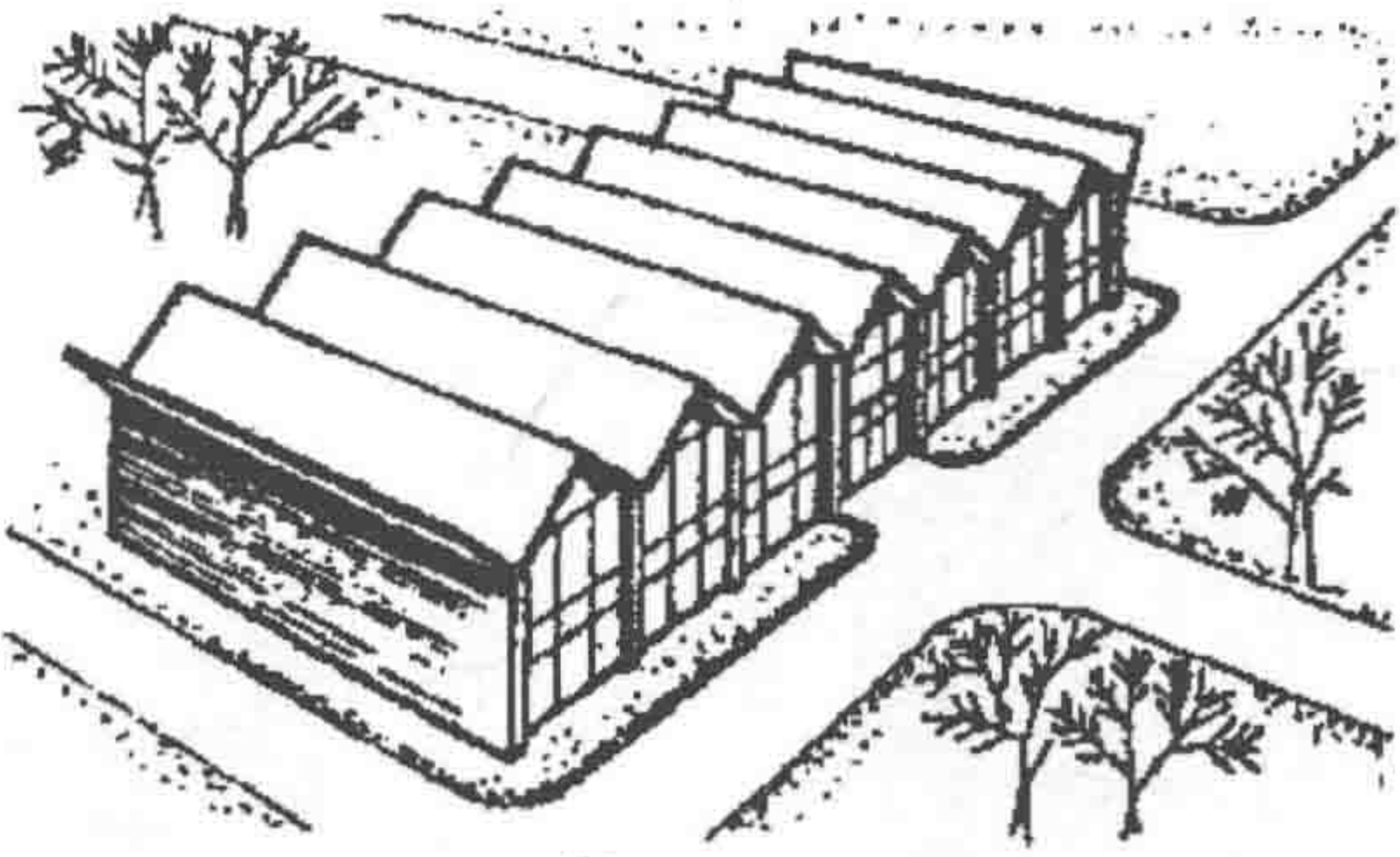


图 1.3 平板

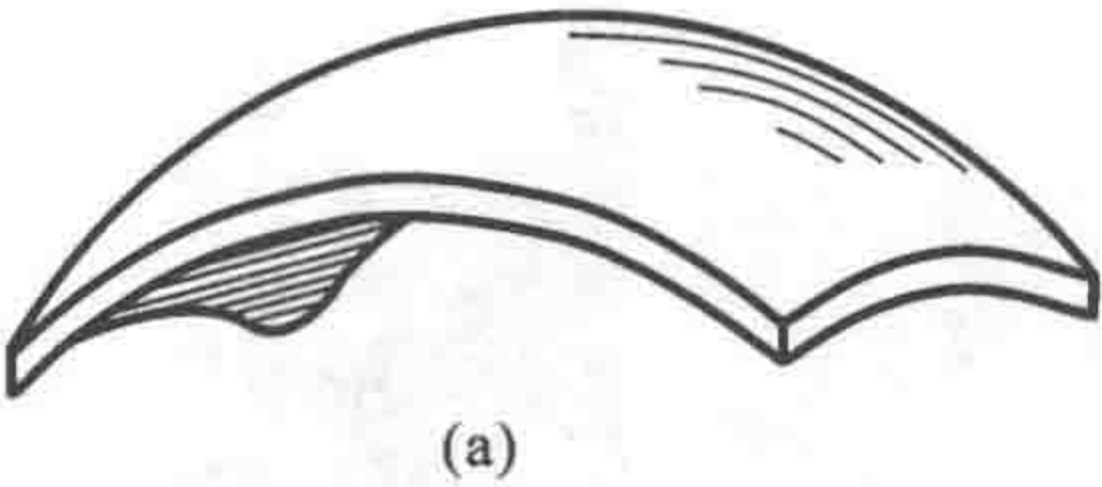


(a)

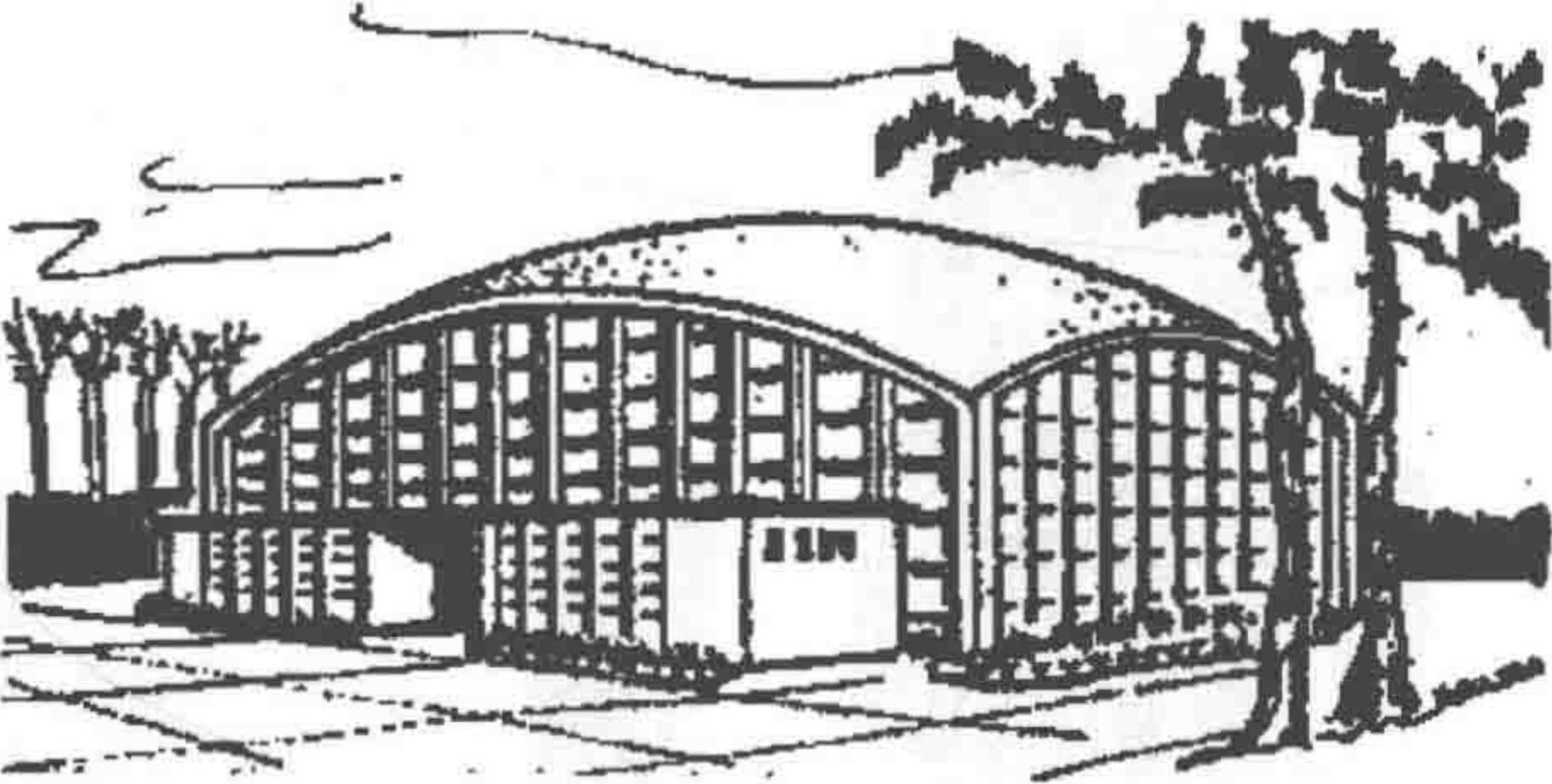


(b)

图 1.4 折板结构
(a) 折板;(b) 折板屋面



(a)



(b)

图 1.5 壳体结构
(a) 壳体;(b) 壳体屋面结构

(3) 实体结构

实体结构的几何特征是:三个方向尺寸中,长度 l 、宽度 b 和厚度 h 大致相当,如挡土墙(图 1.6)、堤坝和块体基础(图 1.7)等。

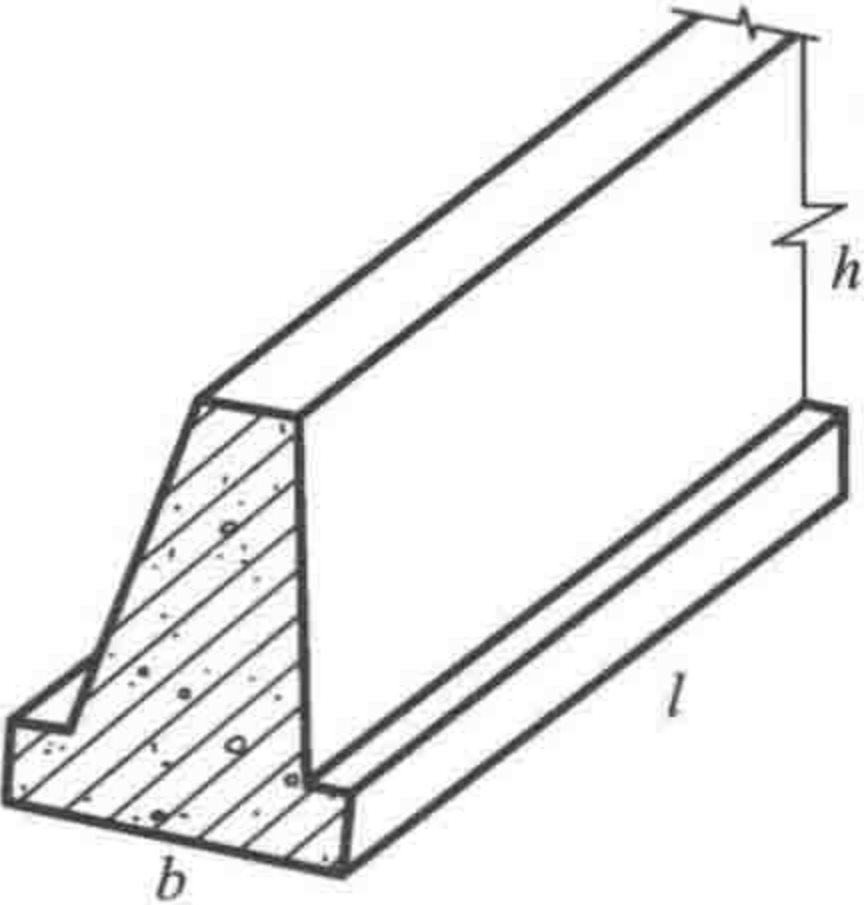


图 1.6 挡土墙

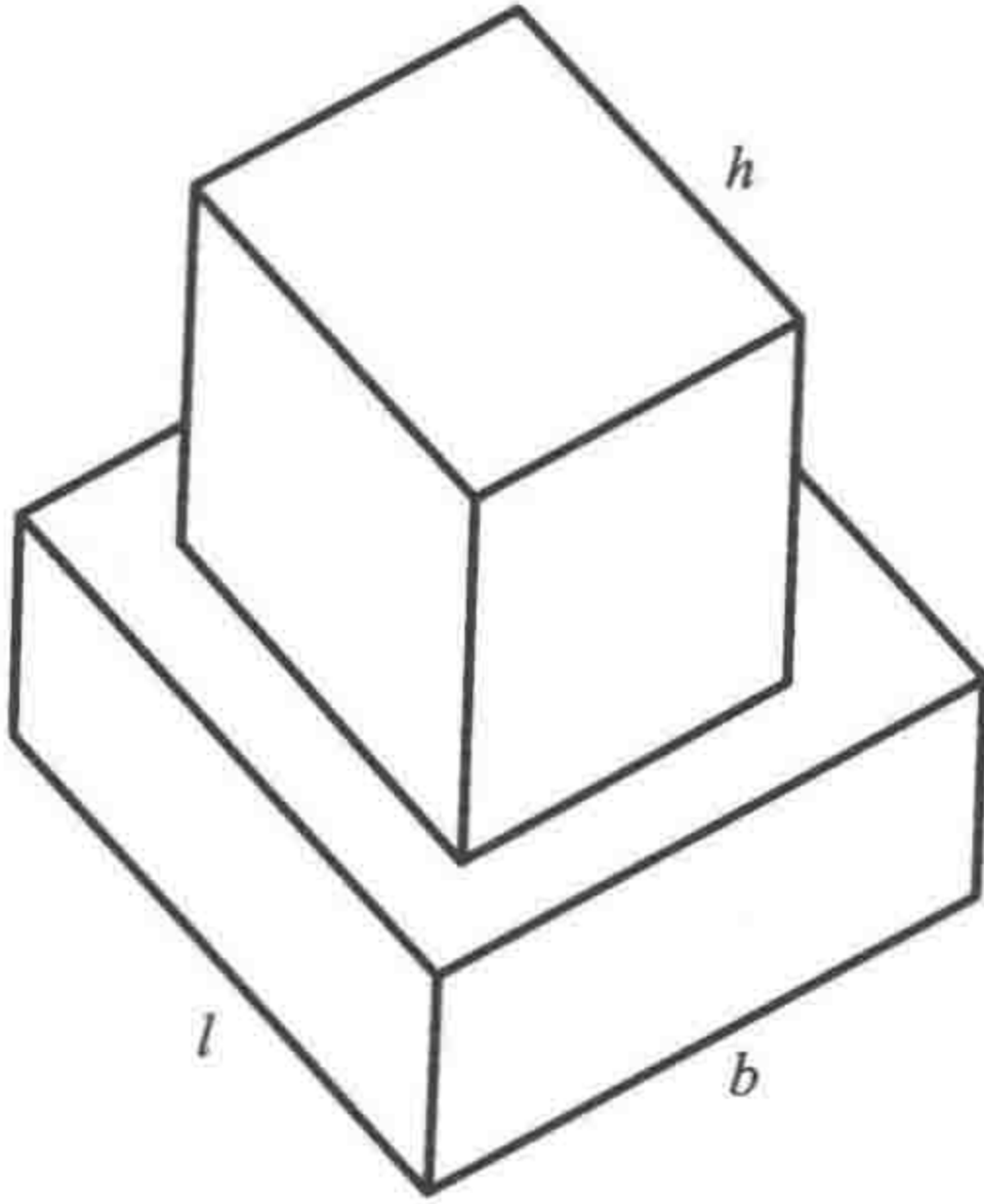


图 1.7 块体基础

1.2 结构力学的任务与方法

1. 结构力学课程与其他课程的关系

本课程讨论的范围是杆件结构,因此,也可称为杆件结构力学,简称为结构力学。

结构力学是土木工程各专业的一门重要的技术基础课,在各门课程的学习中起着承上启下的作用。

结构力学是理论力学和材料力学的后续课程。理论力学研究的是刚体的机械运动(包括静止和平衡)的基本规律和刚体的力学分析。材料力学研究的是单根杆件的强度、刚度和稳定性问题。而结构力学则是研究杆件体系的强度、刚度和稳定性问题。因此,理论力学和材料力学是学习结构力学的重要的基础课程,为结构力学提供力学分析的基本原理和基础。

同时,结构力学又为后续的弹性力学(研究板壳结构和实体结构的强度、刚度和稳定性问题)以及混凝土结构、砌体结构和钢结构等专业课程提供了进一步的力学知识基础。因此,结构力学课程的学习在土木工程的房建、结构、道路、桥梁、水利及地下工程各专业的学习中均占有重要地位。

2. 结构力学的任务和学习方法

结构力学的任务包括以下几个方面:

- (1) 研究结构的组成规律、合理形式,对结构计算简图进行合理的选择;
- (2) 研究结构内力和变形的计算方法,以便进行结构强度和刚度的验算;
- (3) 研究结构的稳定性以及在动力荷载作用下结构的反应。

结构力学的计算问题分为两类:一类为静定性的问题,只需根据下面三个基本条件的第一个条件——平衡条件,即可求解;另一类为超静定性的问题,必须满足以下三个基本条件,方能求解。

三个基本条件是:

- (1) 力系的平衡条件 在一组力系作用下,结构的整体及其中任何一部分都应满足力系的平衡条件。
- (2) 变形的连续条件(即几何条件) 连续的结构发生变形后,仍是连续的,材料没有重叠或缝隙;同时结构的变形和位移应满足支座和结点的约束条件。
- (3) 物理条件 把结构的应力和变形联系起来的物性条件,即物理方程或本构方程。

以上三个基本条件贯穿在本课程的全部计算方法中,只是满足的次序和方式不同而已。

学习时要注意结构力学与其他课程的联系。对理论力学和材料力学等先修课程的知识,应当根据情况进行必要的复习,并在运用中得到巩固和提高。

学习时要注意分析方法与解题思路。在本课程中讲述的各种具体的计算方法,均是前述三个基本条件的具体体现,要注意各种方法在其计算过程中是怎样实现三个基本条件的要求的。学习时要着重掌握各种方法的解题思路,特别是要从这些具体的算法中学习分析问题的一般方法,例如:如何由已知领域逐步过渡到未知新领域的方法,如何将整体分解成局部再由局部综合成整体的方法,如何把有关几个问题加以对比的方法,等等。

学习时要注意多练。做题练习是学习结构力学的重要环节。不做一定数量的习题,是很难掌握其中的概念、原理和方法的。但是做题也要避免各种盲目性:不看书,不复习,只埋头做题,这是第一种;贪多求快,不求甚解,这是第二种;只会对答案,不会自己校核,这是第三种;错题不改正,不会从中吸取教训得以提高,这是第四种。

1.3 结构的计算简图

1. 计算简图及其选择原则

实际结构是很复杂的,完全按照结构的实际工作状态进行力学分析是不可能的,也是不必要的。因此,对实际结构进行力学计算以前,必须加以简化,略去不重要的细节,用一个能反映其基本受力和变形性能的

简化的计算图形来代替实际结构。这种代替实际结构的简化计算图形称为结构的计算简图。结构的受力分析都是在计算简图中进行的。因此,计算简图的选择是结构受力分析的基础。选择不当,则计算结果不能反映结构的实际工作状态,严重的将会引起工程事故。所以,对计算简图的选择应该十分重视。

计算简图的选择原则是:

- (1) 计算简图应能反映实际结构的主要受力和变形性能;
- (2) 保留主要因素,略去次要因素,使计算简图便于计算。

应当指出,计算简图的选择在上述原则指导下,要根据当时当地的具体要求和条件来选用,并不是一成不变的。如对重要的结构应采用比较精确的计算简图;对不重要的结构可以使用较为简单的计算简图。如在初步设计的方案阶段,可使用较为粗糙的计算简图,而在技术设计阶段再使用比较精确的计算简图。如用手算,可采用较为简单的计算简图,而用电算,则可以采用较为复杂的计算简图。

2. 计算简图的简化要点

(1) 结构体系的简化

一般结构实际上都是空间结构,各部分相互连接成为一个空间整体,以承受各个方向可能出现的荷载。但在多数情况下,常可以忽略一些次要的空间约束而将实际结构分解为平面结构,使计算得以简化。本书主要讨论平面结构的计算问题。当然也有一些结构具有明显的空间特征而不宜简化成平面结构,本书也将涉及这方面的内容。

(2) 杆件的简化

杆件的截面尺寸(宽度、厚度)通常比杆件长度小得多,截面变形符合平截面假设,截面上的应力可根据截面的内力(弯矩、剪力、轴力)来确定,截面上的变形也可根据轴线上的应变分量来确定。因此,在计算简图中,杆件可用其轴线表示,杆件之间的连接区用结点表示,杆长用结点间的距离表示,荷载的作用点也转移到轴线上。当截面尺寸增大时(例如超过杆长的 $1/4$),杆件用其轴线表示简化,将引起较大的误差。

(3) 杆件间连接的简化

结构中杆件与杆件之间的相互连接处,简化为结点。木结构、钢结构和混凝土结构中杆件与杆件之间相互连接的构造方式虽然很多,但其结点通常简化为铰结点、刚结点两种理想情形:

① 铰结点

理想铰结点的特点是:被连接的杆件在结点处不能相对移动,但可绕铰自由转动;在铰结点处可以承受和传递力,但不能承受和传递力矩。这种理想情况,实际结构中是很难遇到的。图 1.8(a)所示的木屋架端结点,由于连接的作用,各杆之间不能相对移动,但有相互间微小转动,计算时简化为一铰结点,其计算简图如图 1.8(b)所示。木屋架的结点也只是比较接近铰结点。图 1.9(a)所示一钢桁架的结点,是通过节点板把各杆件焊接在一起的,实际上各杆端是不能相对转动的,但在桁架中各杆主要是承受轴力,因此计算时仍将这种结点简化为铰结点[图 1.9(b)]。

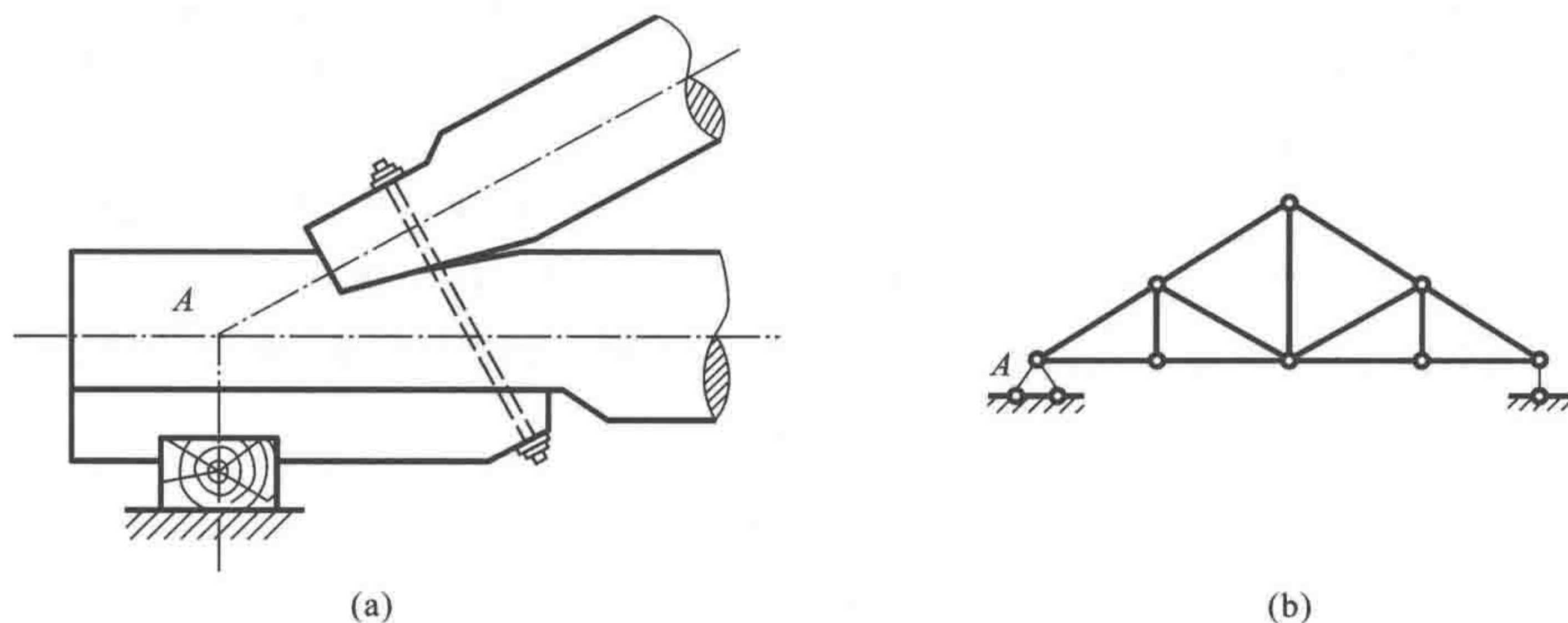


图 1.8 木屋架结点——铰结点

(a) 木屋架端结点构造;(b) 铰结点计算简图

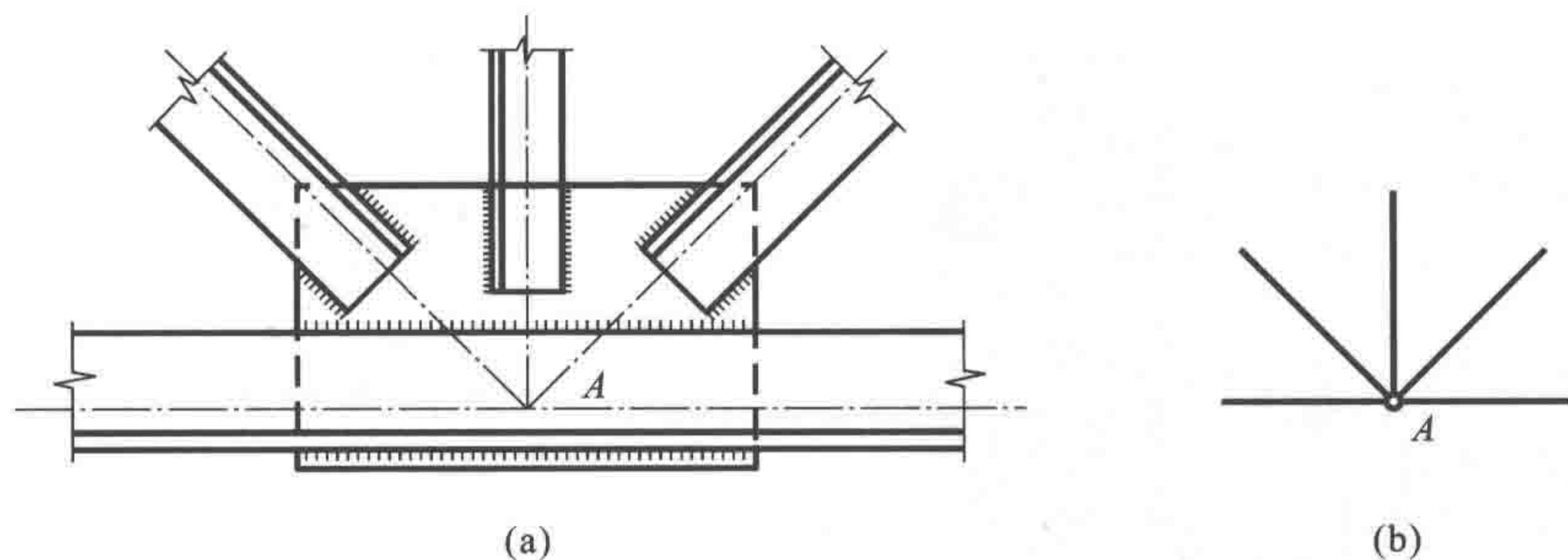


图 1.9 钢桁架结点——铰结点

(a) 钢桁架结点做法; (b) 铰结点计算简图

② 刚结点

刚结点的特点是:被连接的杆件在结点处不能相对移动,也不能相对转动;在刚结点处不但能承受和传递力,而且能承受和传递力矩。图 1.10(a)所示是一钢筋混凝土框架边柱和梁的结点,由于梁和柱之间的钢筋布置以及混凝土将它们浇筑成整体,使梁和柱不能产生相对移动和转动,计算时简化为一刚结点,其计算简图如图 1.10(b)所示。

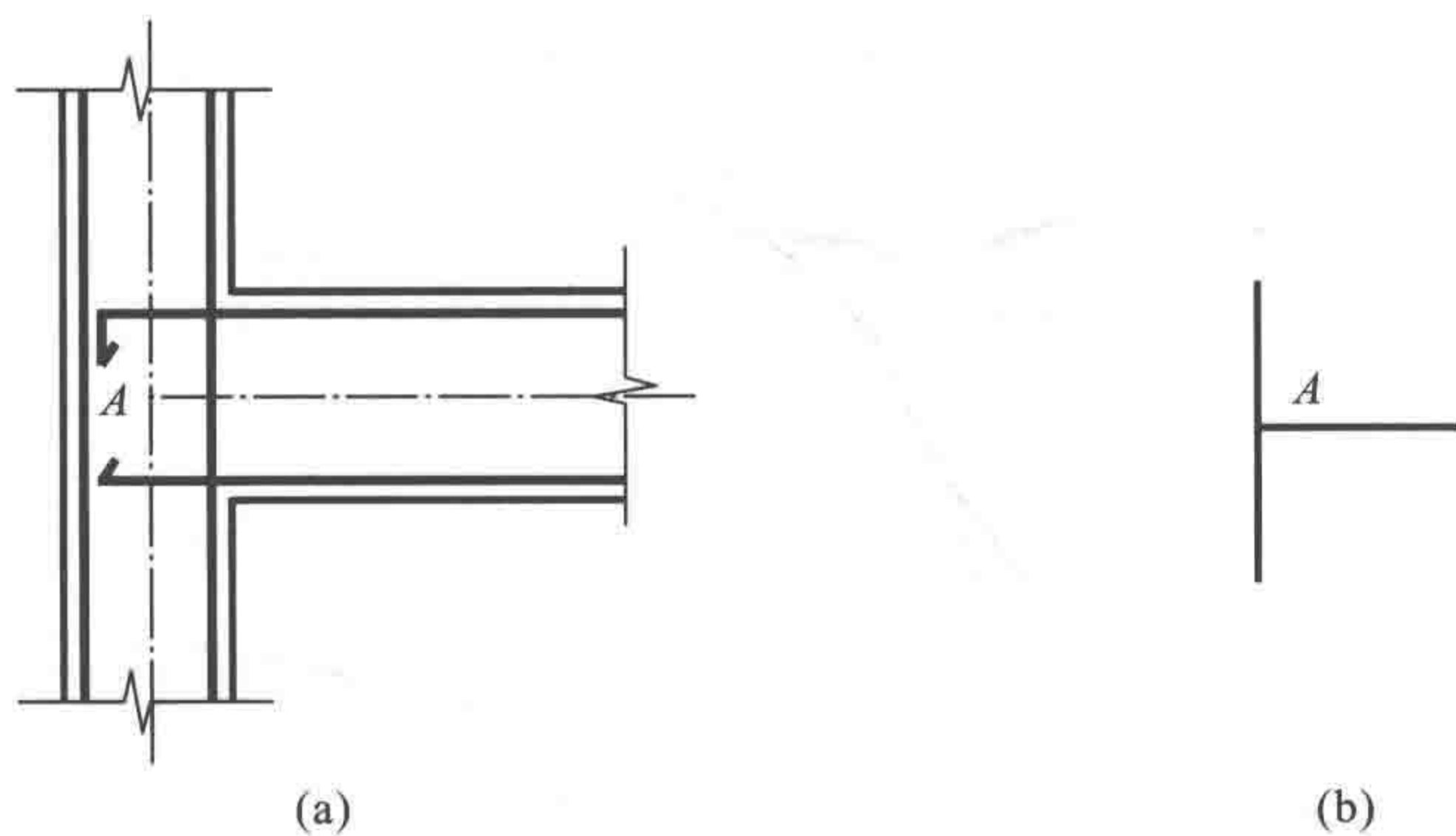


图 1.10 钢筋混凝土梁柱结点——刚结点

(a) 钢筋混凝土梁柱结点做法; (b) 刚结点计算简图

(4) 结构与基础间连接的简化

结构与基础的连接装置称为支座。支座的作用是把结构固定于基础上,同时,结构所受的荷载通过支座传到基础和地基。支座对结构的反作用力称为支座反力。平面结构的支座一般简化为下面四种情形:

① 活动铰支座

图 1.11(a)为一桥梁结构活动铰支座的照片;图 1.11(b)、图 1.11(c)所示为桥梁结构中所用辊轴支座和摇轴支座的简化图形。它容许结构在支承处绕圆柱铰 A 转动和沿平行于支承平面 $m-n$ 的方向移动,但 A 点不能沿垂直于支承面的方向移动。当不考虑摩擦力时,这种支座的反力 R_A 将通过铰 A 的中心并与支承平面 $m-n$ 垂直,即反力的作用点和方向都是确定的,只有它的大小是一个未知量。根据活动铰支座的位移和受力特点,在计算简图中可以用一根垂直于支承面的链杆 AB 来表示,如图 1.11(d)所示。此时结构可绕铰 A 转动;链杆又可绕 B 转动,当转动很微小时, A 点的移动方向可看成是平行于支承面的。

② 固定铰支座

这种支座的构造如图 1.12(a)、图 1.12(b)所示,常简称为铰支座,它容许结构在支承处绕圆柱铰 A 转动,但 A 点不能做水平和竖向移动。支座反力 R_A 将通过铰 A 中心,但大小和方向都是未知的,通常可用沿两个确定方向的分反力,如水平反力 X_A 和竖向反力 Y_A 来表示。这种支座的计算简图可用交于 A 点的两根支承链杆来表示,如图 1.12(c)或图 1.12(d)所示。

图 1.13(a)所示的预制混凝土柱插入杯形基础,杯口的空隙用沥青麻丝填充,柱子可以有微小的转动,但在水平方向和竖直方向的移动受限制,可以简化为一个固定铰支座。图 1.13(b)中 A 处所示为一水工结构弧形闸门铰支座。闸门开启时,可绕固定圆轴 A 旋转。

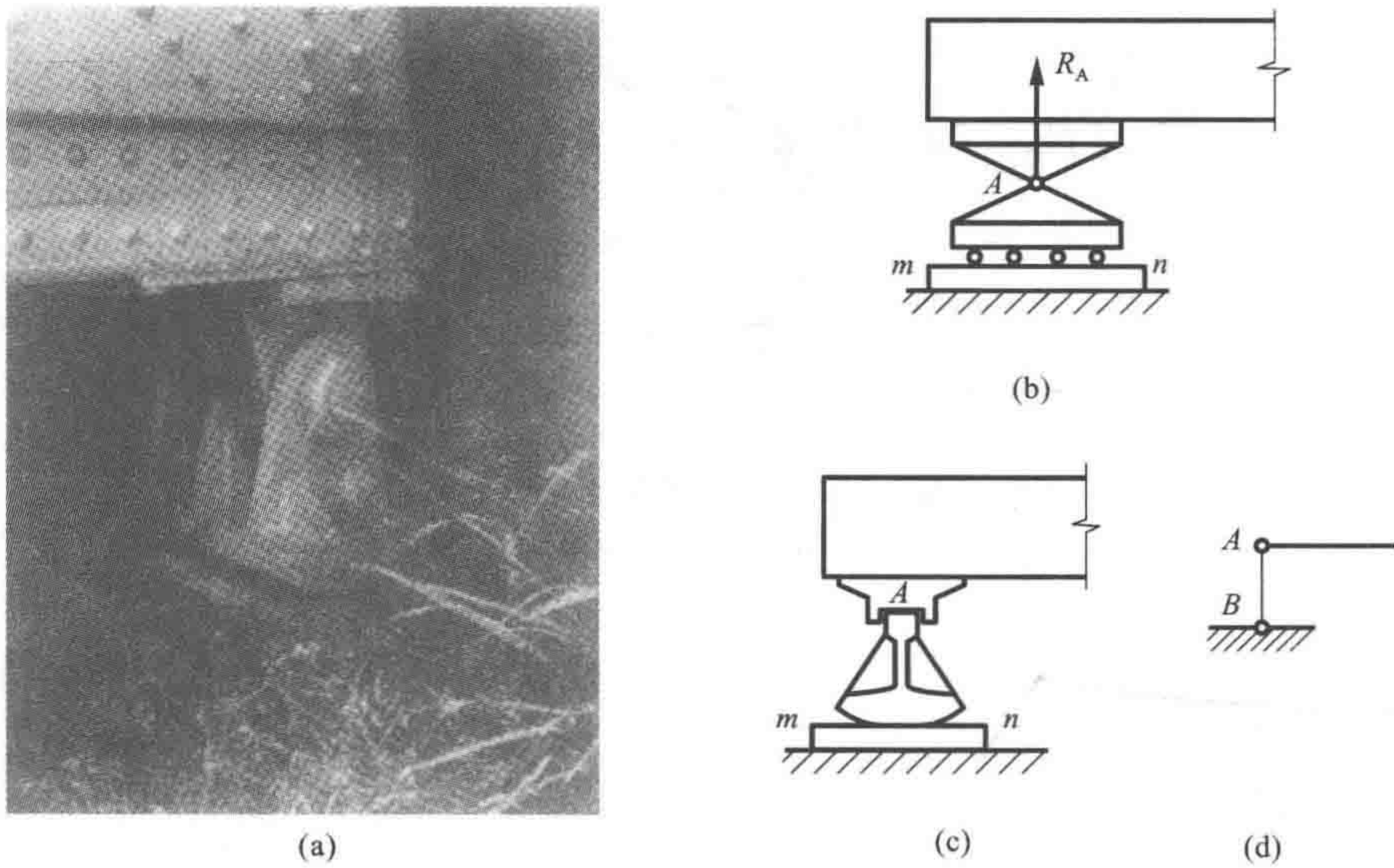


图 1.11 活动铰支座

(a) 桥梁活动铰支座；(b) 辊轴支座；(c) 摇轴支座；(d) 活动铰支座计算简图

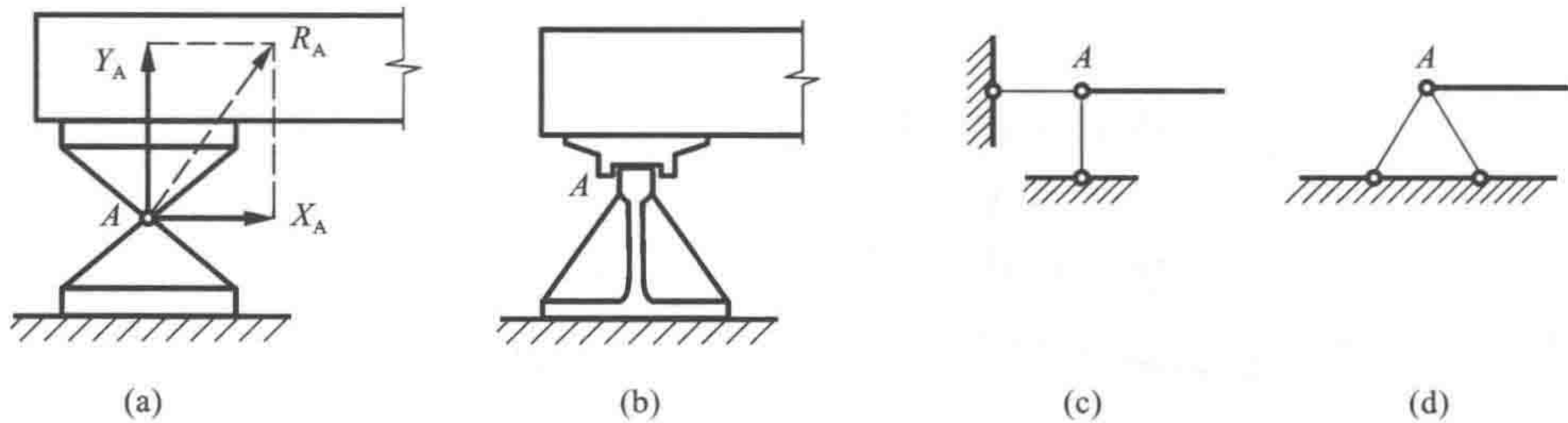


图 1.12 固定铰支座

(a), (b) 固定铰构造；(c), (d) 固定铰支座计算简图

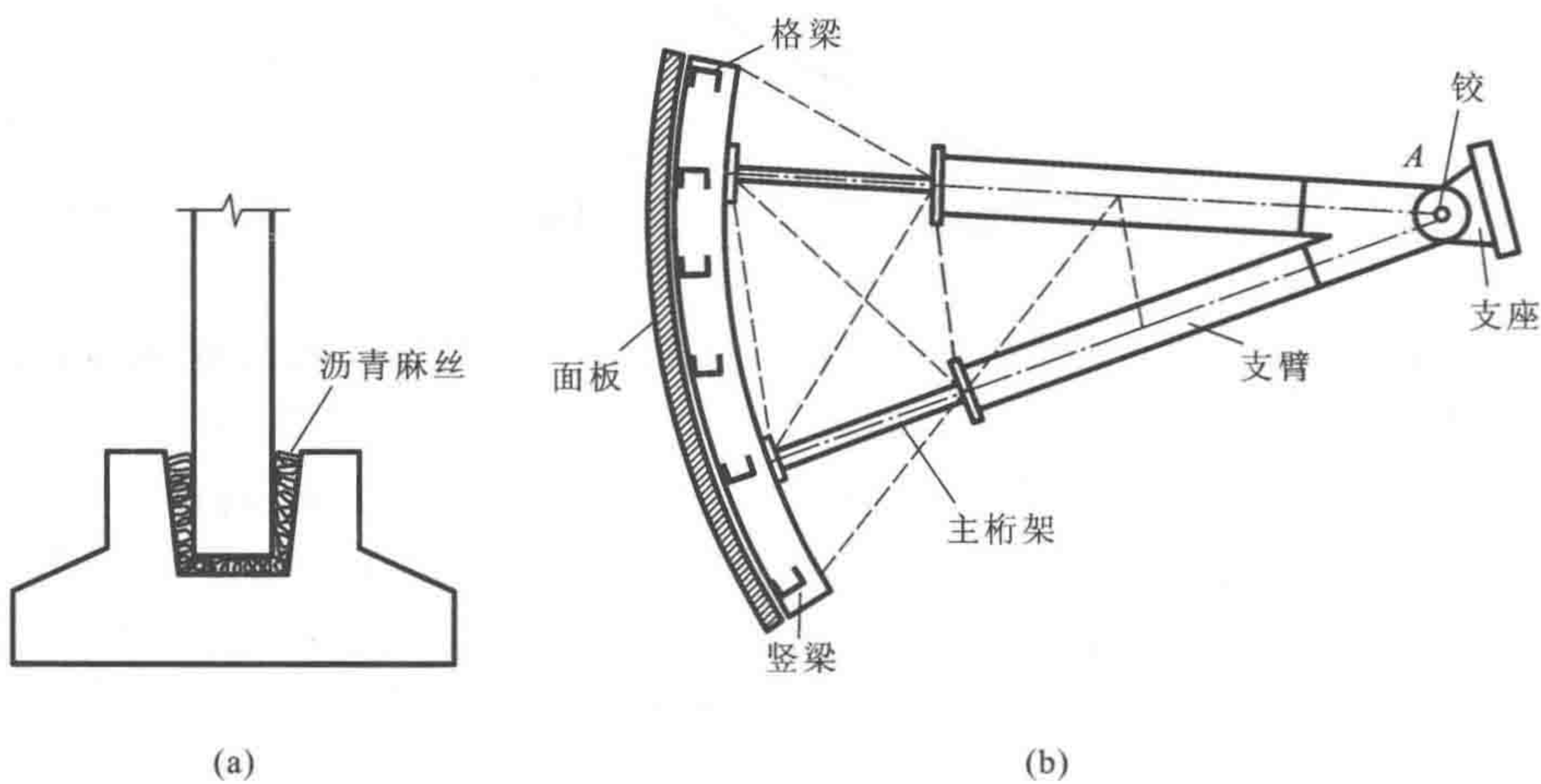


图 1.13 工程中的固定铰支座

(a) 预制混凝土柱插入杯形基础；(b) 弧形闸门铰支座

③ 固定支座

这种支座不容许结构在支承处发生任何移动和转动[图 1.14(a)], 它的反力大小、方向和作用点位置都是未知的, 通常用水平反力 X_A 、竖向反力 Y_A 和反力矩 M_A 来表示, 计算简图如图 1.14(b)所示。

图 1.14(a)所示悬臂梁, 当梁端插入墙身有相当深度, 且与四周有相当好的密实性时, 梁端被完全固定,

可以视为固定支座。

图 1.14(c)所示为一预制钢筋混凝土柱插入杯形基础,杯口的空隙用细石混凝土填实。当预制柱插入基础有一定深度时,柱在基础内的移动和转动均被限制,可以简化为固定支座。

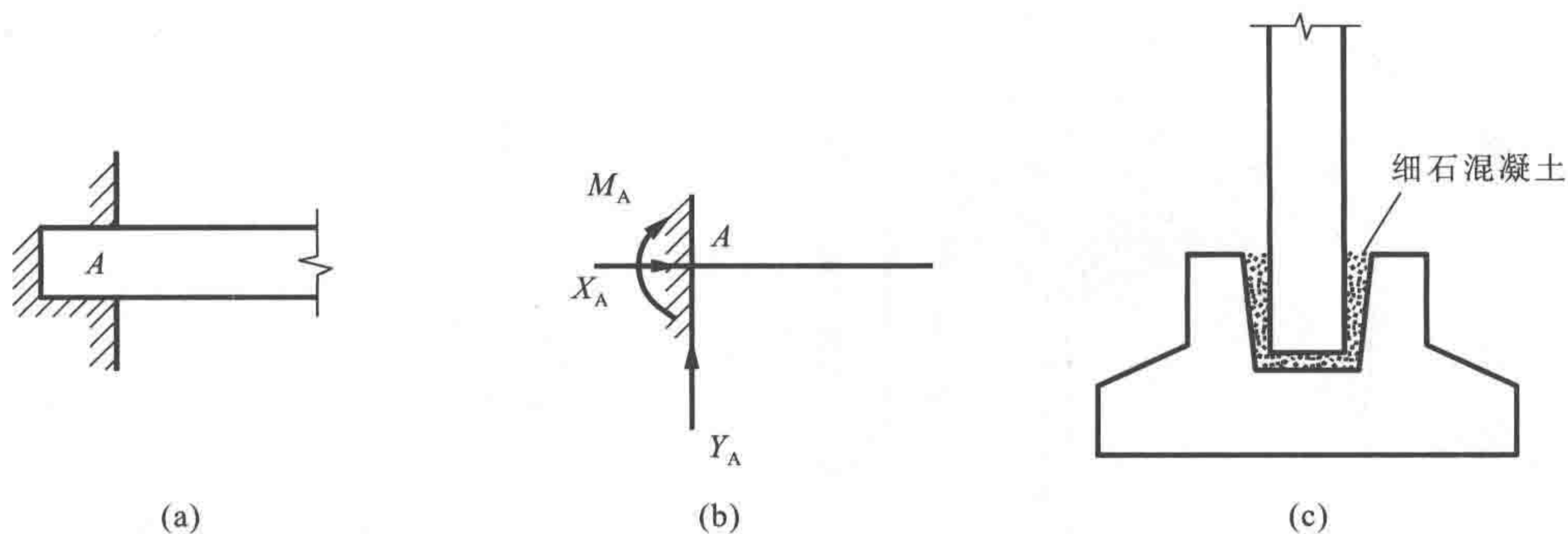


图 1.14 固定支座

(a) 悬臂梁;(b) 固定支座计算简图;(c) 预制柱杯口基础

④ 定向支座

结构在支承处不能转动,不能沿垂直于支承面的方向移动,但可以沿支承面方向滑动,其反力为一个垂直于支承面的力 Y_A 和一个反力矩 M_A ,计算简图可用垂直于支承面的两根平行链杆表示(图 1.15)。

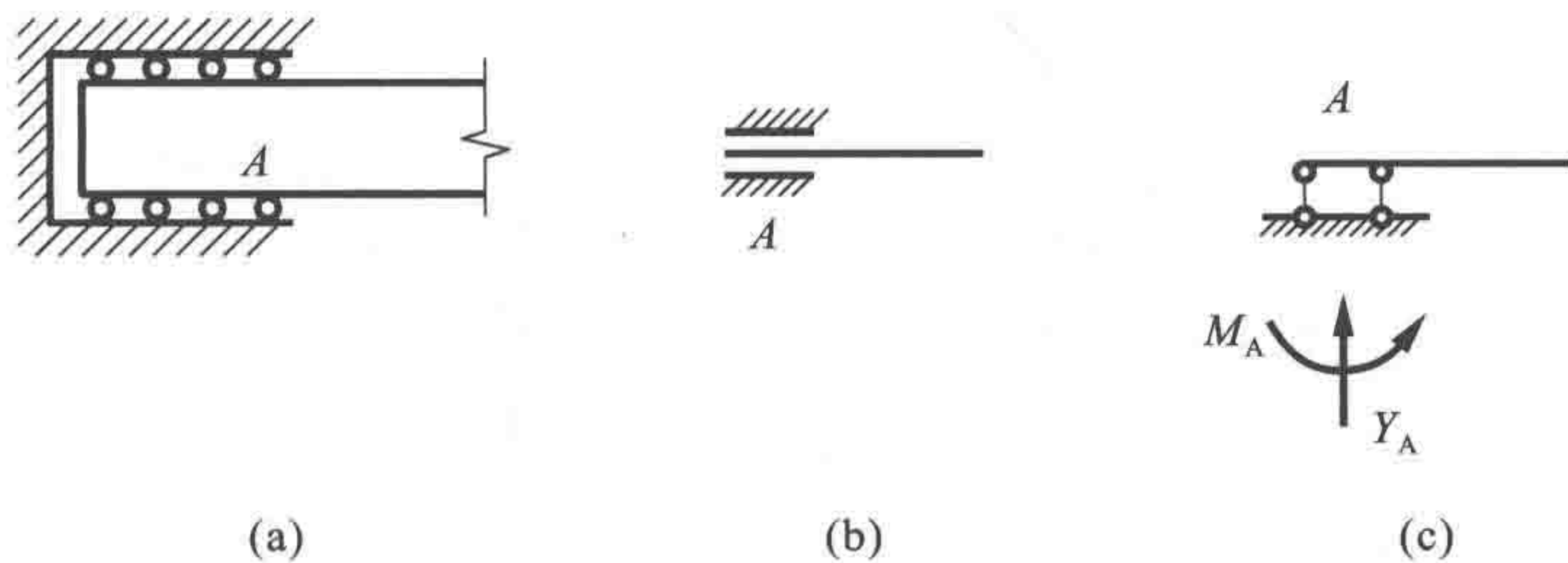


图 1.15 定向支座

(a) 定向支座做法;(b) 定向支座示意图;(c) 定向支座计算简图

(5) 材料性质的简化

在土木工程中结构所用的建筑材料通常为钢、混凝土、砖、石、木料等。在结构计算中,为了简化,对组成各构件的材料一般都假设为连续的、均匀的、各向同性的、完全弹性或弹塑性的。

上述假设对于金属材料在一定受力范围内是符合实际情况的。对于混凝土、钢筋混凝土、砖、石等材料则带有一定程度的近似性。至于木材,因其顺纹与横纹方向的物理性质不同,故应用这些假设时应予以注意。

(6) 荷载的简化

结构承受的荷载可分为体积力和表面力两大类。体积力指的是结构的重力或惯性力等;表面力则是由于其他物体通过接触面传给结构的作用力,如土压力、车辆的轮压力等。在杆件结构中把杆件简化为轴线,因此,不管是体积力还是表面力都可以简化为作用在杆件轴线上的力。荷载按其分布情况可简化为集中荷载和分布荷载。荷载的简化与确定比较复杂,下面还要讨论。

结构计算简图的选择十分重要,又很复杂;需要选择者有较多的实际经验,并善于判断各种不同因素的相对重要性。对一些新型结构,往往要通过多次的试验和实践,才能获得比较合理的计算简图,但对常用的结构形式,已有前人积累的经验,可以直接取其常用的计算简图。所以,选择结构计算简图的能力是在本课程、后续相关课程的学习以及长期工程实践中逐步形成的。

【例 1.1】 图 1.16(a)为一工业厂房结构示意图,讨论其计算简图。

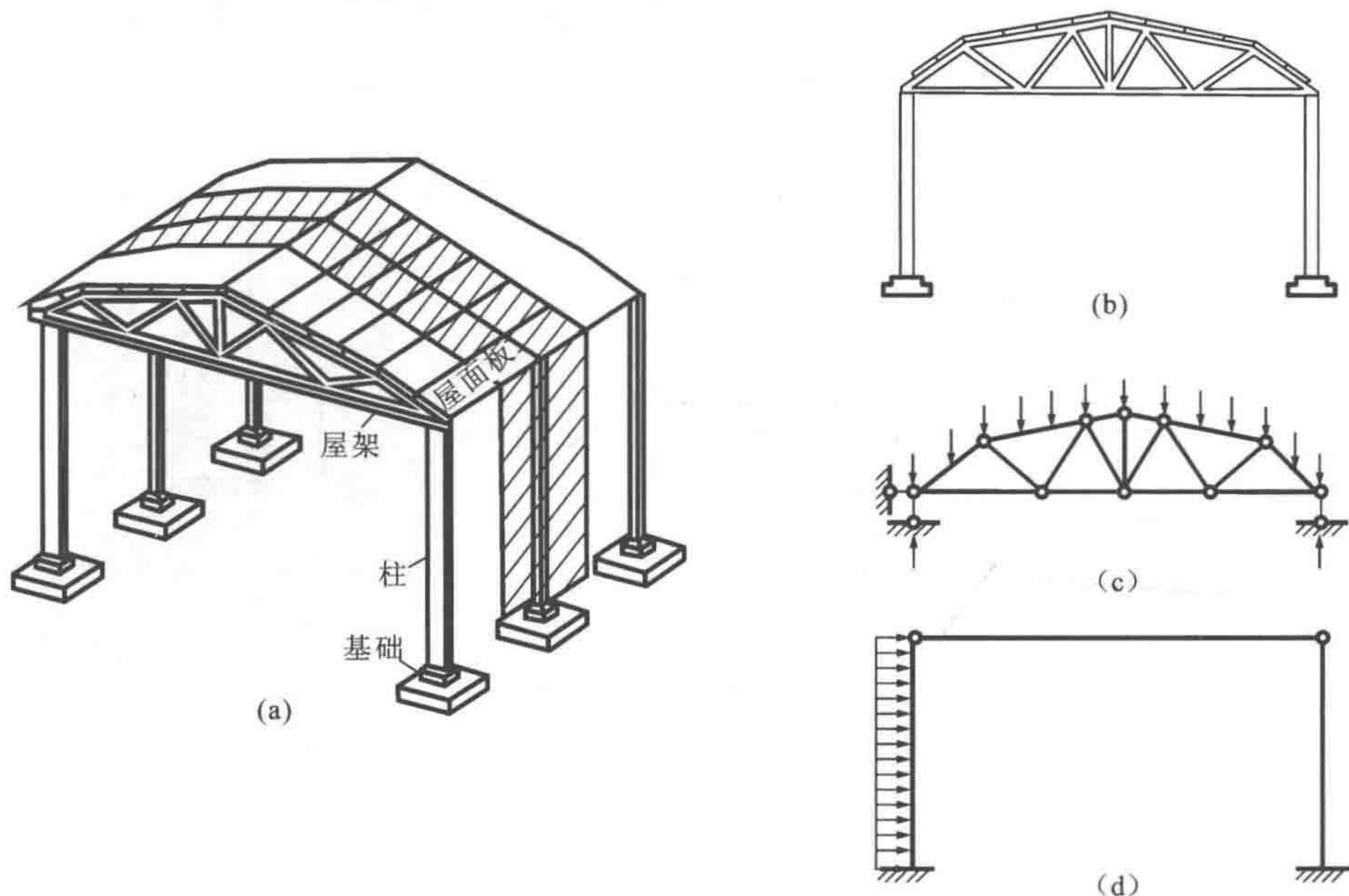


图 1.16 例 1.1 单层厂房结构的计算简图

(a) 单层厂房结构;(b) 平面结构;(c) 竖向荷载下屋架计算简图;(d) 横向水平荷载下排架计算简图

【解】

(1) 厂房体系的简化

该厂房结构是一系列由屋架、柱和基础组成的结构[图 1.16(a)中的阴影部分或图 1.16(b)]沿厂房的纵向有规律地排列起来,再由屋面板等纵向构件连接组成的空间结构。作用在厂房上的荷载,通常沿纵向是均匀分布的。因此,可以从这个空间结构中,取出柱间距中线之间的部分作为计算单元;作用在结构上的荷载,则通过纵向构件分配到各计算单元平面内。在计算单元中,荷载和杆件都在同一平面内,这样,就把一个空间结构分解成为平面结构[图 1.16(b)]了。

下面对图 1.16(b)所示平面结构,分别讨论其屋架和厂房柱的计算简图。

(2) 竖向荷载作用下屋架的计算简图

在竖向荷载作用下,屋架的计算简图如图 1.16(c)所示。这里,采用了以下简化:

- ① 屋架的杆件用其轴线表示;
- ② 屋架杆件之间的连接简化为铰结点;
- ③ 屋架的两端通过钢板焊接在柱顶,可将其端点分别简化为固定铰支座和活动铰支座;
- ④ 屋面荷载通过屋面板的四个角点以集中力的形式作用在屋架的上弦上。

(3) 横向水平荷载作用下厂房柱的计算简图

在横向水平荷载(如侧向风荷载)作用下,厂房柱的计算简图如图 1.16(d)所示。这里,采用了以下简化:

- ① 柱用其轴线表示;
- ② 屋架在两端均以铰与柱顶连接,计算柱时,屋架的作用如同一个两端为铰的链杆,将两柱的顶部连在一起;
- ③ 柱插入基础后,用细石混凝土填实,柱基础较大,地基条件较好,视为固定支座。

图 1.16(b)和图 1.16(d)所示的结构,称为铰结排架,是单层工业厂房常用的一种结构形式。

【例 1.2】 图 1.17(a)所示为一水电站的高压水管,讨论其计算简图。