

建 筑 力 学

(下)

张福龙 主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

吉 林 大 学 出 版 社

编者的话

本书参照了1977年高校《建筑力学》编写大纲及有关教材,并考虑到广大具有高中以上文化水平而未受过专门高等教育的土木工程技术人员提高专业基础理论水平的需要编写而成。

本书具有如下特点:

1. 突出基本理论的阐述,加强基本知识和基本技能的训练。
2. 少而精,但又深化和更新了知识结构。
3. 理论紧密联系实际,并附以典型实例,使读者能学以致用。
4. 力求言简意明,由浅入深,循序渐进,便于自学。

5. 通用性强,既适用于土建专业工程技术人员参考使用,又可做为高校建筑专业和土木类非结构专业师生的教学用书,亦可做为土建类大专院校、成人教育大学、高等教育自学考试等有关专业参考用书。

本书由烟台大学张福龙主编,李少泉参编,一~十章由李少泉编写,其余各章由张福龙编写,全书由张福龙修改定稿。

由于编写水平所限,缺点错误在所难免,希望读者批评指正。

编者

1991年6月

建筑力学 (下)

张福龙 主编

责任编辑: 陈维钧

封面设计: 张沐沉

吉林大学出版社出版

吉林大学出版社发行

(长春市东中华路 29 号)

长春大学印刷厂印刷

开本: 787×1092 毫米 1/16

1992 年 8 月第 1 版

印张: 20.25

1992 年 8 月第 1 次印刷

字数: 512 千字

印数: 1—2050 册

ISBN 7-5601-1236-6/TU·3

定价: 10.00 元

目 录

第三篇 结构内力变形计算

第十一章 静定结构的内力计算	(1)
第一节 工程实际中常见的静定结构及其形式	(1)
第二节 结构计算简图	(2)
第三节 结构的几何组成分析	(16)
第四节 静定平面桁架的内力计算	(22)
第五节 静定平面刚架的内力计算	(29)
第六节 静定拱的内力计算	(38)
第七节 静定结构内力计算总结	(47)
习 题	(51)
第十二章 静定结构的位移计算	(58)
第一节 概述	(58)
第二节 刚体的虚功原理	(59)
第三节 变形体的虚功方程	(62)
第四节 利用虚功原理计算结构位移	(65)
第五节 荷载作用产生的位移	(67)
第六节 用图乘法计算结构位移	(73)
第七节 支座位移和温度改变产生的位移	(79)
习 题	(83)
第十三章 用力法计算超静定结构	(86)
第一节 超静定结构概述	(86)
第二节 超静定次数的确定	(87)
第三节 力法的基本概念	(88)
第四节 力法的典型方程	(90)
第五节 用力法计算超静定刚架	(93)
第六节 荷载作用下超静定结构的位移计算	(97)
第七节 结构对称性的利用	(99)
第八节 单跨超静定梁的杆端内力	(103)
第九节 超静定结构的特性	(111)
第十节 用力法计算超静定拱	(112)
习 题	(120)
第十四章 用位移法计算超静定结构	(125)
第一节 位移法的基本概念	(125)
第二节 基本假定和基本结构	(126)
第三节 用位移法计算超静定结构	(129)
第四节 结构对称性的利用	(136)

第五节	用转角位移方程计算超静定结构·····	(138)
第六节	力法与位移法的比较·····	(142)
习 题	·····	(142)
第十五章	用力矩分配法计算超静定结构·····	(145)
第一节	力矩分配法的基本概念·····	(145)
第二节	用力矩分配法计算超静定梁和刚架·····	(151)
第三节	对称性的利用·····	(155)
第四节	用力矩分配法计算有结点线位移的结构·····	(158)
习 题	·····	(161)
第十六章	活荷载作用下结构的计算·····	(163)
第一节	活荷载作用下结构的受力特点·····	(163)
第二节	静定梁的影响线·····	(164)
第三节	影响线的应用·····	(167)
第四节	简支梁的绝对最大弯矩和内力包络图·····	(170)
第五节	连续梁的内力包络图·····	(174)
习 题	·····	(177)
第十七章	结构矩阵分析·····	(179)
第一节	结构矩阵分析的基本概念·····	(179)
第二节	单元刚度矩阵·····	(183)
第三节	坐标转换·····	(189)
第四节	整体刚度矩阵·····	(194)
第五节	结点位移计算和边界条件处理·····	(204)
第六节	结构内力计算·····	(205)
第七节	用矩阵位移法解平面结构框图·····	(219)
习 题	·····	(219)
第十八章	结构型式选择·····	(222)
第一节	概述·····	(222)
第二节	混合结构·····	(222)
第三节	框架结构·····	(223)
第四节	升板结构·····	(231)
第五节	高层建筑结构·····	(235)
第六节	多层与高层房屋地下室设置和基础选择·····	(249)
第七节	网架结构·····	(254)
第八节	悬索结构·····	(281)
附录	平面刚架分析程序·····	(292)
一、	程序简略说明·····	(292)
二、	源程序·····	(294)
三、	数据卡·····	(306)
四、	输出数据·····	(309)
五、	算例·····	(310)

第三篇 结构内力变形计算

第十一章 静定结构的内力计算

前已述及有关杆件的设计计算问题。而在工程实际中常遇到的是由许多杆件组成的杆件体系(杆系结构)，因此我们需介绍杆系结构的设计计算及有关问题。

第一节 工程实际中常见的静定结构及其形式

凡在任意荷载作用下，其全部反力及内力只需用静力平衡条件即可求得的几何不变体系称为静定结构。工程实际中常见的静定结构，根据其构造特点、结构形式及受力状态，大致可分为下列五种类型。

1. 静定梁

静定梁包括简支梁、悬臂梁、外伸梁及多跨静定梁。它们的特点是以弯曲变形为主，内力主要是弯矩和剪力。

2. 静定桁架

静定桁架是用铰将若干直杆连接而成的，其特点是在结点荷载作用下，各杆中只产生轴力。其计算简图如图 11-1(a)所示。

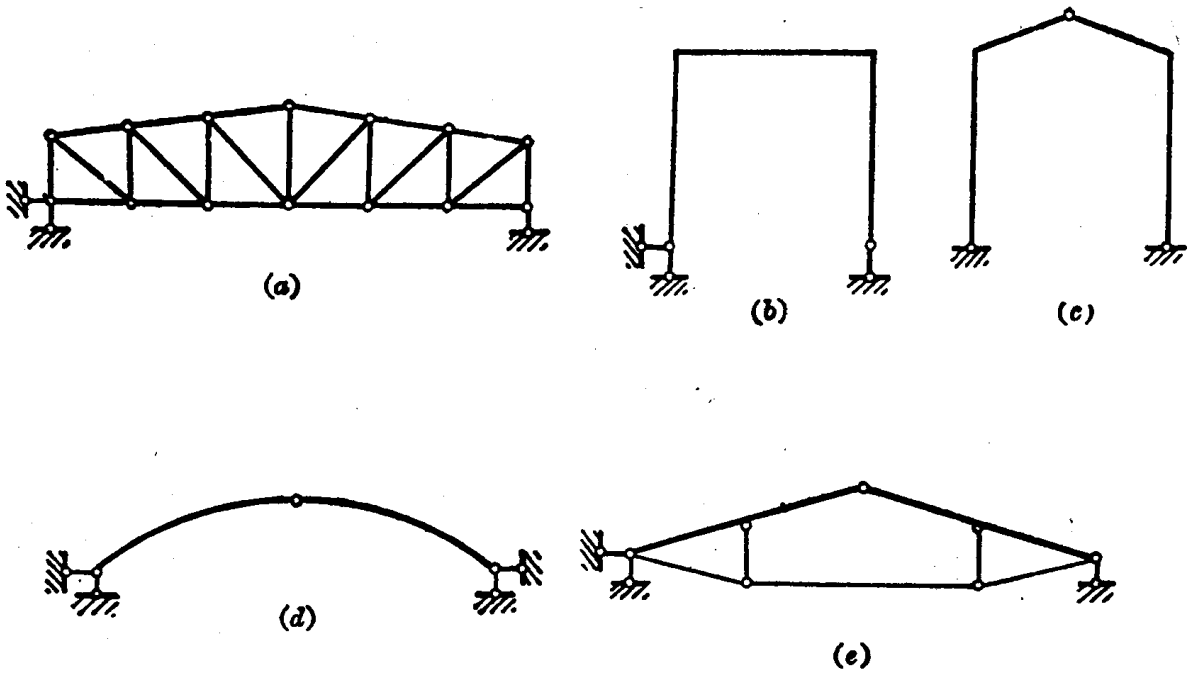


图 11-1

3. 静定刚架

静定刚架的特点是它的一些结点是刚结点，它的内力一般包括弯矩、剪力和轴力。其计算简图如图 11-1(b)、(c)所示。

4. 静定拱

这类结构的计算简图如图 11-1(d)所示，其轴线是曲线，其特点是在竖向荷载作用下，支座处除有竖向反力产生外，还产生水平反力(或推力)，其内力主要是轴向压力，随荷载不同有时也有弯矩和剪力。

5. 静定组合结构

这类结构一般是由轴心拉(压)杆件和受弯杆件组合而成。如图 11-1(e)所示。

下面各节将着重介绍静定桁架、静定刚架和静定拱的内力计算。为此需先了解结构的计算简图。

第二节 结构计算简图

确定结构的计算简图是结构设计中的重要步骤。对实际结构进行力学分析时，要想完全严格地考虑结构的全部特点及各部分之间的相互作用来建立理论和进行计算，那是不可能的，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。

在选取计算简图时，对于重要的结构应当选取比较精确的计算图；在初步设计阶段可以选取较粗略的计算简图，而在技术设计阶段则应选取比较精确的计算简图；对结构进行静力计算时，应选取比较复杂的计算简图，而对结构进行动力计算和稳定计算时，由于问题比较复杂，可以选取比较简单的计算简图；计算工具愈选进，选取的计算简图可更精确些。此外，在结构设计的过程中，还应当充分发挥主观能动性，与选取结构计算简图密切配合，对结构采取适当的构造措施，使结构的工作条件和受力情况更加合理、明确，并与选取的计算简图相一致。

在选取计算简图时，一般要从结构本身、支座和荷载三个方面进行简化。简化时应尽可能地反映出结构的真实受力情况，并尽可能地使计算简化。对于三个方面的简化，既要分别予以计算，又必须注意它们之间的联系，现分述如下。

一、结构的简化

在确定结构的计算简图时，对结构本身的简化工作主要包括对构件的简化，对结点的简化和对结构体系的简化等三个方面。

1. 构件的简化

在绪论中已述及，组成结构的基本构件可以抽象和概括为杆、板、壳、块体以及薄壁杆等。在取结构的计算简图时，杆和薄壁杆可以用它们的轴线表示，板和壳可以用它们的中面(即由构件各个厚度中点所连成的面)表示。当从块体中取出它的一片或一个单元进行计算时，其简图也可以用一片或一个单元的中面来表示。荷载的作用点就简化到这种“轴线”或“中面”上。现就构件简化的几个具体问题简述如下。

(1) 将微弯和微折的杆简化为直杆

图 11-2(a)所示为两铰门式刚架，一般情况下，其计算简图如图 11-2(b)所示。如刚架顶

部折线形横梁的倾斜度不大于 $1/8$ ，可以将它简化为水平横梁来计算，即改取为如图 11-2 (c) 所示的计算简图。由图还可看出，这类铰支刚架的竖柱，一般都是适应内力变化情况做成变截面的，因而具有倾斜的外表面或内表面，但在取计算简图时，可以把竖柱的轴线看作是竖直的。

图 11-3(a) 表示某厂房上部结构的一个排架，其计算简图如 11-3(b) 所示。由于排架柱的上下两段具有不同的截面尺寸，其截面形心的连线本是一条折线，但在荷载确定后计算内力时，为了简化计算，在计算简图上将上下柱用同一条直线表示。在计算应力时可按其实际截面如实计算。对于连接两个排架柱的带拉杆的两铰拱来说，由于在屋架与柱顶之间的构造情况，只能传递竖直力和水平力而不能可靠地传递弯矩。因此在计算排架柱内力的计算简图中，可以将它简化为一个刚度 $EA=\infty$ 的水平链杆来计算。

(2) 将变截面构件简化为等截面构件

在工程实际中，为了简化计算，常将变化不大的变截面构件简化为等截面构件，也就是将变刚度构件简化为等刚度构件。对于静定结

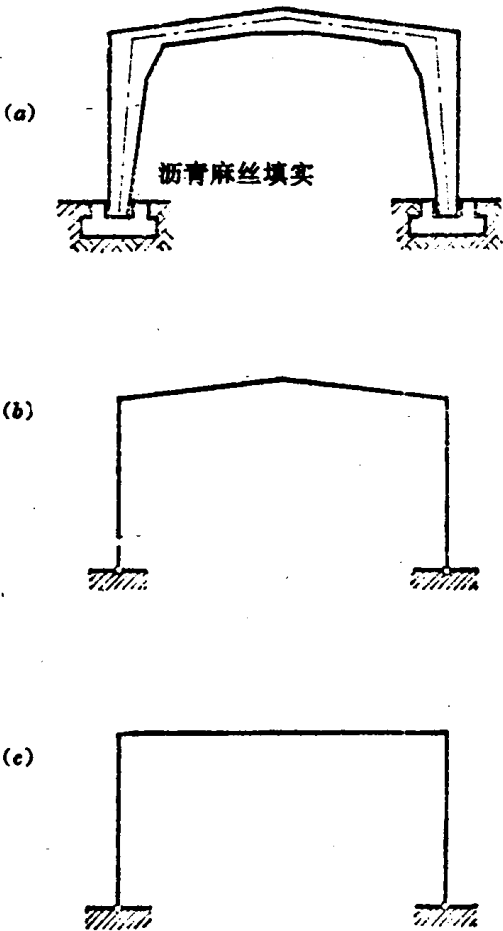


图 11-2

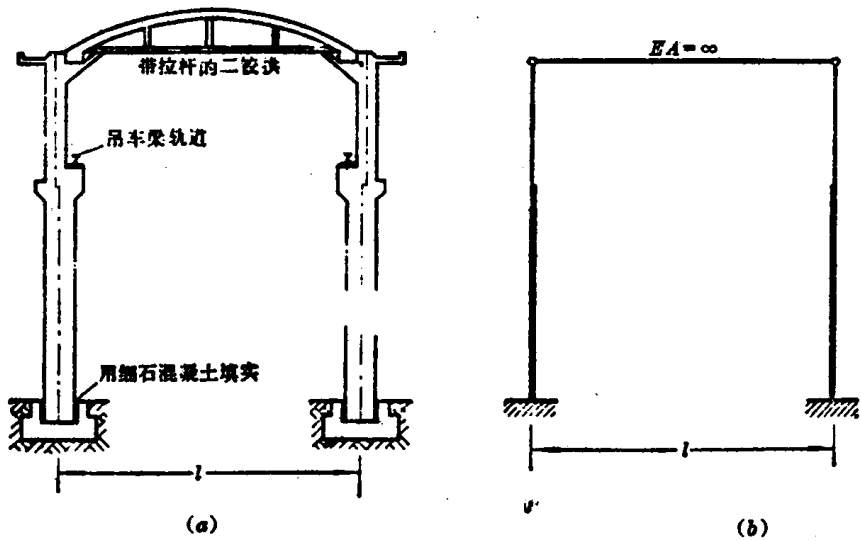


图 11-3

构，由于内力仅由静力平衡条件决定，而与构件的刚度无关，因此在荷载确定以后，将变截面简化为等截面对内力的计算没有影响，只影响应力、位移和配筋的计算。在构件截面变化

不大的情况下,所产生的微小误差一般是在允许范围之内的。对于超静定结构,由于它的内力与构件的刚度有关,因此将变截面简化为等截面对内力的计算将有所不同。但在实际工作中为了简化计算,对于截面变化不大的超静定结构,将它简化为等截面的超静定结构进行计算,在一般情况下也还是允许的。

图 11-4(a)表示一供水岔管,其 A-A 剖面如图 11-4(b)所示。显然是一变截面超静定结构。为了简化计算,可以先不考虑它中部突出的部分,使剖面成为画有阴影线部分的形式,其计算简图如图 11-4(d)所示。按等截面超静定结构求解其内力。按此求出内力只是作用在等截面结构轴线与变截面相交点处的内力,并非原变截面形心处的内力。如图 11-4(b)中的 K-K 截面,由计算简图求得的内力为作用在点 O' 处的弯矩 M 和轴力 N,如图 11-4(c)所示。由于点 O' 与 K-K 截面的形心 O 有偏心距 e,因此,作用在点 O 处的内力应该是轴力 N 和弯矩 $M' = M - N \cdot e$ 。严格讲,对 K-K 截面的配筋计算应以作用在 O 点处的内力 N 和 M' 为依据。但在实际工程中为了简化计算,对于截面变化不大的情况,也可不作上述的内力转化,而直接采用作用在点 O' 处的内力 N 和 M 进行配筋计算。

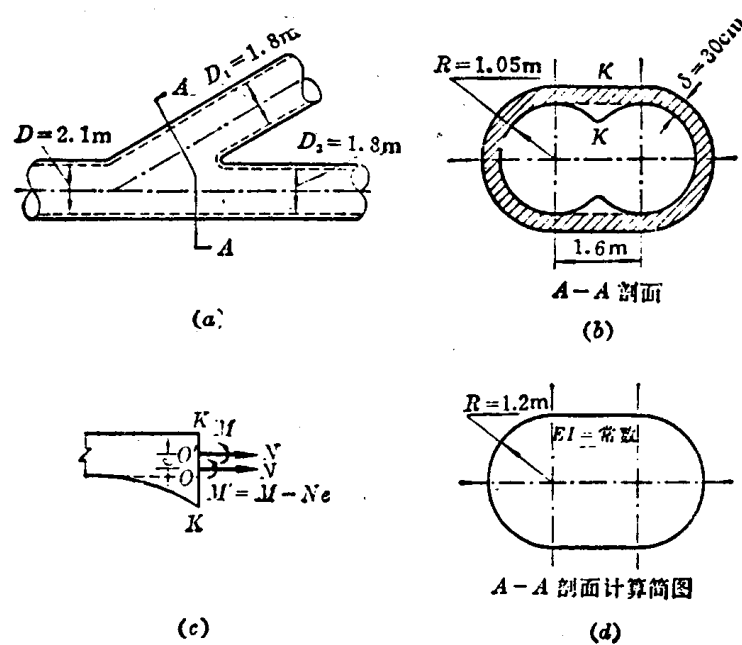


图 11-4

(3) 将杆系组合构件简化为实体构件

图 11-5(a)表示一桁架式双铰门架,其主梁和支柱都是桁架式的。对于这类结构,在计算时可先将其中的桁架部分转换为具有相等刚度的实腹杆,其计算简图可取为如图 11-5(b)所示的由实腹杆组成的两铰刚架。计算出结构的反力或内力,然后再进一步计算出桁架各杆的内力。至于刚架中主梁刚度的计算,可近似地取

$$I_1 \approx A_1 Z_1^2 + A_2 Z_2^2$$

式中: A_1, A_2 为主梁桁架上、下弦杆的截面面积; Z_1, Z_2 为 A_1 和 A_2 的形心分别到它们共同形心的距离。

同样,可将支柱惯性矩 I_1 ,近似地取为原桁架在离支座 $2h/3$ 处的弦杆对中性轴的惯性矩,即

$$I_1 \approx A_3 Z_3^2 + A_4 Z_4^2$$

式中： A_3, A_4 为支柱桁架上、下弦杆的截面面积； Z_3, Z_4 为 A_3 和 A_4 的形心分别到它们共同形心的距离。

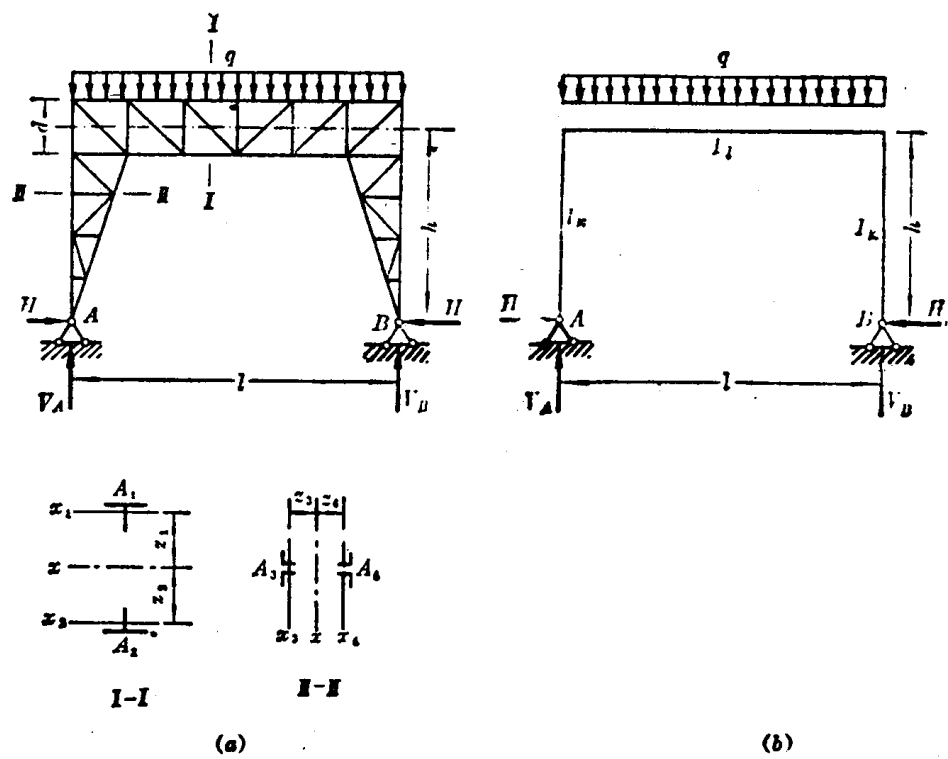


图 11-5

求解图 11-5(b)的水平反力 H 和竖向反力 V 是很容易的，求出反力后，即可直接用求解桁架内力的方法计算桁架各杆的内力。

2. 节点的简化

在杆系结构中，杆件相互联结的地方叫节点。根据结构的受力特点和节点的构造要求以及各杆的单位刚度 $i = \frac{EI}{l}$ (式中 l 为杆件长度， I 为杆件的惯性矩， E 为弹性模量) 等因素，在计算中一般得化为铰结点和刚结点。

(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。如图 11-6(a)所示木屋架的端结

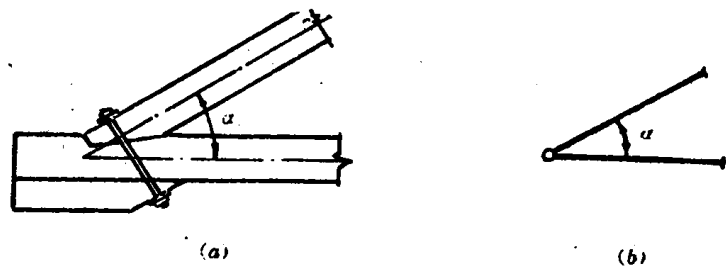


图 11-6

点，它的构造情况大致符合上述约束的要求，其计算简图如图 11-6(b) 所示，其中两杆之间的夹角 α 是可以改变的。又如如图 11-7(a) 所示三铰门式刚架，它的顶部结点 A 处的构造如图 11-7(b) 所示，它是将钢管先焊接在钢筋上，然后再将钢筋焊接在预埋在钢筋混凝土构件中的钢板上，并在安装时用螺栓穿过两边的钢管形成铰链。因此该结点应简化为铰结点，其计算简图如图 11-7(c) 所示。

(2) 刚结点

刚结点的特点是它所联结的各杆件不能绕结点各自自由转动，变形前后在结点处各杆端切线的夹角保持不变，即各杆端切线转动的角度应相等。如图 11-8(a) 所示钢筋混凝土刚架的某一结点，它的构造是三根杆件之间用钢筋联成整体并用混凝土浇注在一起，该结点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 11-8(b) 所示。又如如图 11-9 所示的钢筋混凝土二铰门式刚架，它在顶部结点 A 处的构造如图 11-9(b) 所示，由于在点 A 两侧的斜梁是整体浇注的，纵向受力钢筋又交叉地互相伸入到另一侧的斜梁中，并有足够的锚固长度，致使两侧斜梁在该处不能产生相对的移动和转动。故可视为刚结点，其计算简图如图 11-9(c) 所示。

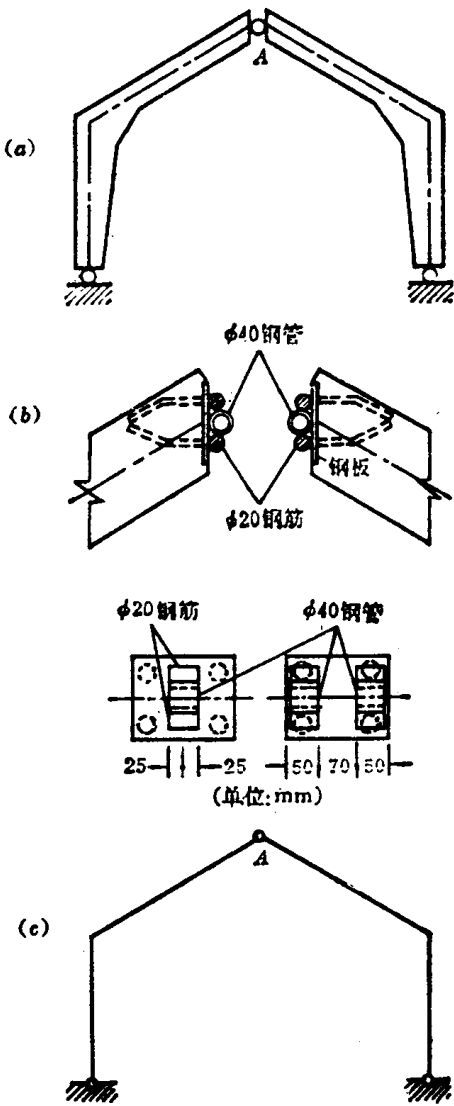


图 11-7

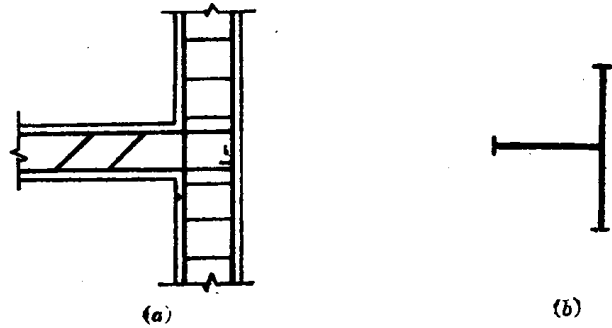


图 11-8

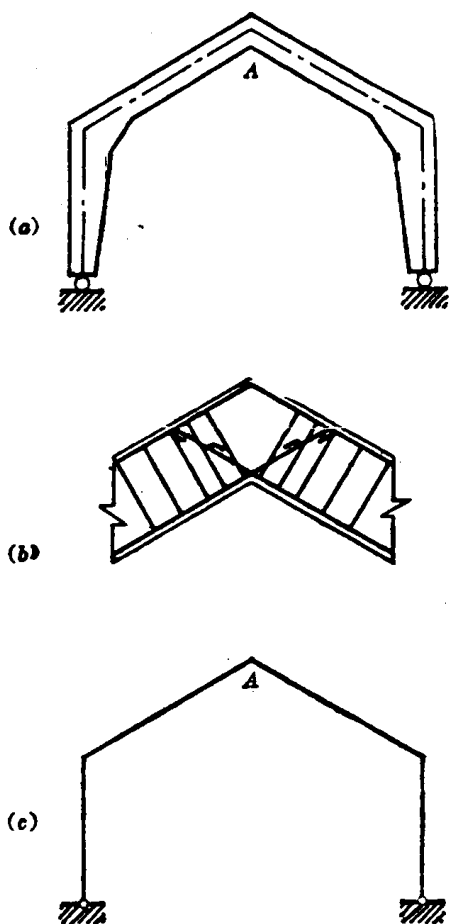


图 11-9

(1) 将空间结构简化为平面结构

空间结构常常可以看成是由许多平面结构所组成的。如图 11-10(a)所示厂房排架，就是略去厂房各排架间纵向连接系统的作用后而取得的计算简图。或者在结构的某一个方向的构造、尺寸、荷载都是基本相同的，因此可以将它分解成许多平面结构。如图 11-11(a)所示的钢筋混凝土地下管道，当考虑它所承受的荷载为土压力和地面荷载 P (可将它们化为均布荷载 q) 时，要分别从管道的纵向和横向两个方面取它的计算简图。在纵向可以按弹性地基梁进行计算，如图 11-11(b)所示；在横向则可以沿管长取一单位长的一段作为圆环进行计算，如图 11-11(c)所示。

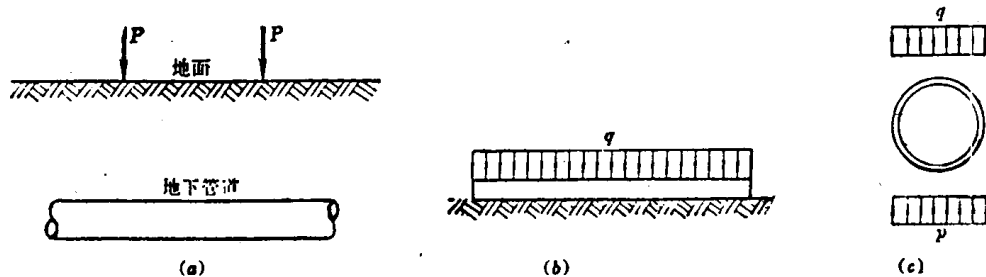


图 11-11

在工程实际中有时会遇到铰结点和刚结点在一起形成的组合结点。如图 11-10 中，A、B 为刚结点，C 为铰结点，D 则为组合结点。组合结点 D 应视为 BD、ED、CD 三根杆在此结点相联，其中 BD 与 ED 二杆是刚性联结，CD 杆则由铰联结。

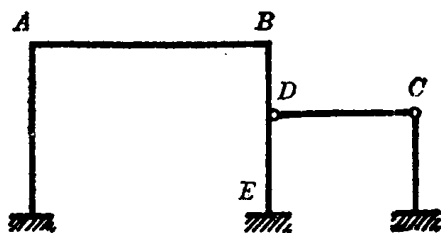


图 11-10

3. 结构体系的简化

前面分析了结构中某些局部的简化，下面介绍结构整个体系的简化。在对结构体系进行简化时，要注意分析结构体系由哪些部分所组成，各部分之间是如何联系的，力的传递途径是怎样的，各部分的受力情况和变形情况有何相同和不同之处等等。下面分几个方面来说明结构体系的简化。

(2) 将板、壳结构简化为交叉杆系

对于板、壳结构，为了简化计算，有时可以将它们简化为交叉杆系，按杆系结构进行计算。如图 11-12 所示的拱坝是一个变厚度变曲率的壳体结构，要对它进行精确的计算是比较复杂的，作为近似计算，可将它简化为交叉杆系。如图 11-13 所示，先用一些水平的和竖直的截面把拱坝划分为由一些水平拱圈和一些竖直悬臂梁形成的交叉杆系，然后认为作用在坝面上的水压力是由这些拱和梁共同承担的，根据拱、梁在交叉点(图 11-13(a)中黑点所示)处的位移必须相等的条件来进行荷载分配。知道了拱和梁上的荷载，就可以分别算出所有拱和梁中的内力，也就是拱坝中的内力。

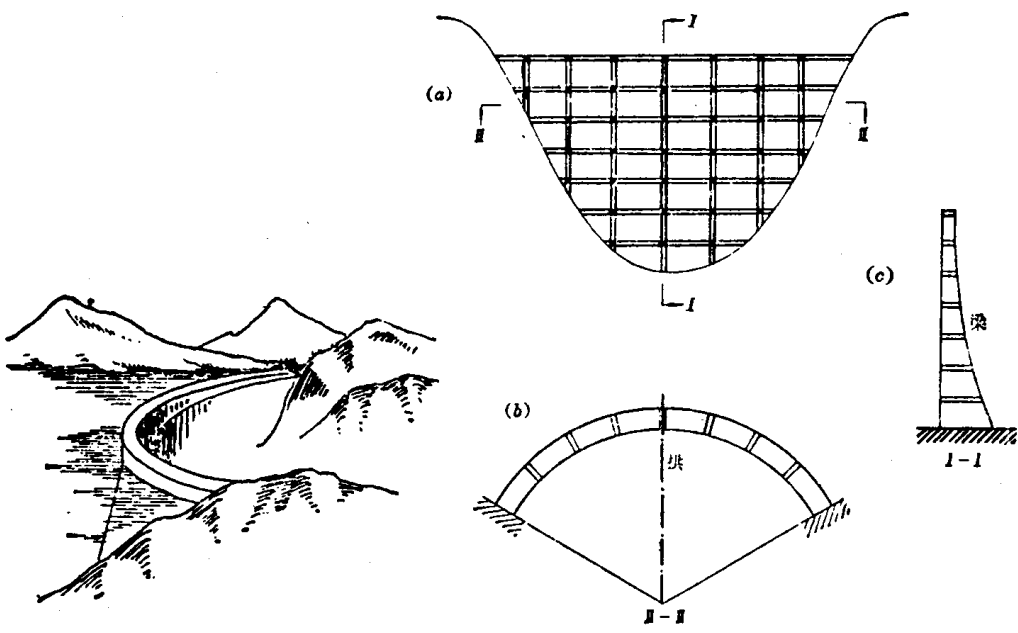


图 11-12

图 11-13

另外可将结构分解为几个互相联系的部分，如图 11-14 所示的桥梁，可以根据它的各个部分传递荷载的次序，把梁、立柱和拱分别作为几个独立的部分来进行计算，先计算梁，然后计算立柱，最后再计算拱。

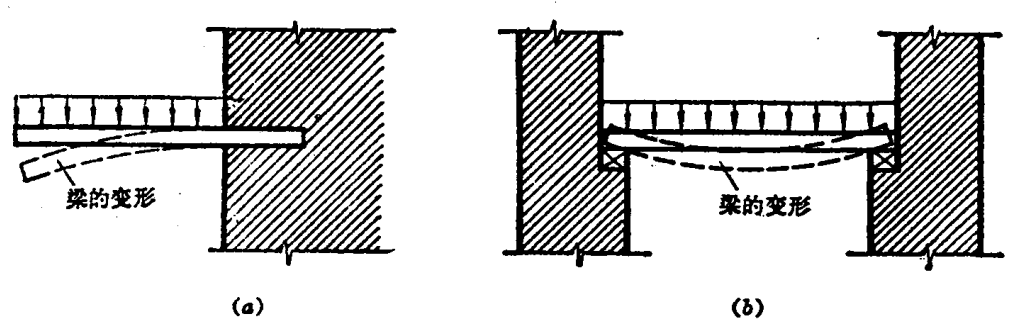


图 11-14

二、支座的简化

结构与基础或其他支承物联系起来以固定结构位置的装置叫做支座。此外，在工程实际中，当一构件支承于另一构件时，其连接处对前一构件来说也称为支座，一般认为支座本身

的变形是很小的，与被支承结构的变形比较起来可以忽略不计，因此常把支座假定为刚体，并把它叫做刚性支座。如支座（特别是以相邻结构作为支座时）在受力后的变形是不能忽略的，这些变形将影响到所支承结构的受力和变形情况，则必须予以考虑。这种支座叫做弹性支座。

不论刚性支座或弹性支座，其支座反力不但与作用在结构上的荷载有关，而且与结构同其他物体相互联系的约束（支座）形式有关。例如一根木梁，一端牢固地嵌入墙内（图 11-14（a））或简单地支承在墙上（图 11-14（b）），就受着明显不同的约束作用，从而梁中内力和变形状态也就不同。因此区分支座的性质对结构的内力和变形计算是极其重要的。工程上支承形式是很多的，但也不必要把各种各样的支座分成非常多的类型，只要其所受约束作用相近，加以概括简化，就可归纳为同类。现分述如下。

（一）刚性支座

在工程结构中，刚性支座常用的计算简图一般可分为四类。

1. 可动铰支座（辊轴支座）

一个理想化的可动铰支座，或称辊轴支座，在桥梁工程中常被采用，图 11-15（a）为其示意图。这种支座上下有均衡托，中间是一圆柱形枢轴（铰）；上均衡托与桥梁底部构件相连，下均衡托放在几个圆柱形辊轴上。它既容许结构绕铰轴转动，又容许结构沿着垫板水平方向移动。这种支座对结构只有竖向的约束，即不让结构在该处往下跌落，同时由于结构自重特大，也不可能使结构轻易地向上移动，因此，这种支座限制结构上下移动。

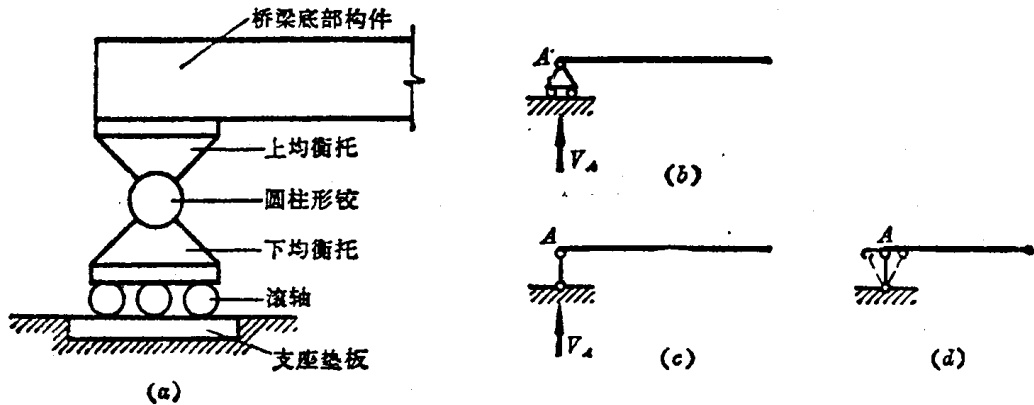


图 11-15

经简化，该支座的计算简图如图 11-15（b）所示。或用一链杆代替如图 11-15（c）所示。所谓链杆，是两端铰结，中间无荷载作用，杆身刚度可以认为是无穷大（即刚体）但又可忽略其本身自重的杆件。一根链杆代表一个约束作用。如图 11-15（d）所示链杆容许结构水平移动，也容许转动，但不能竖向移动。链杆的方向应与实际支座所能约束的方向一致，按图 11-15（c）所示情况，它应垂直于地面，即画在垂直方向。图 11-15（b）或（c）均可代表图 11-15（a）的计算简图。支座的约束作用也可用约束力来表示，即支座反力。图 11-15 所示情况，反力应垂直于地面，亦即沿着链杆方向，如图 11-15

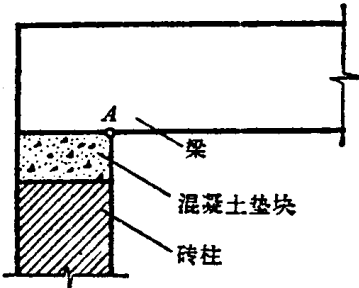


图 11-16

(b)、(c)中的反力 V_A 所示。至于反力大小，需要通过计算确定。

在房屋建筑中，很少采用上述的理想可动铰支座，但在一般情况下，常常采用本质与之相类似的支座。例如横梁支承在砖柱上(图 11-16)，一般只设置混凝土垫块，这样的支座对梁也只起竖向约束作用，不能阻止梁绕 A 点转动及水平移动(忽略接触面间的摩擦作用)，所以也可简化成可动铰支座，一样可用图 11-15(b)或(c)的计算简图表示。图 11-17 表示一钢筋混凝土屋架，它右端支座的构造(图 11-17(d),(f))是通过垫板压在柱顶上的。虽然垫板上有螺栓，拧紧螺帽可将垫板压紧，但毕竟这种压力相对其他作用力来说是很小的，提供不了多大的摩擦力，所以，这种支座是不起水平约束作用的，也可简化为可动铰支座，以一根链杆表示。由此可见，当简化成可动铰支座的计算简图时，就忽略因而不必再区别其中的具体构造了。这种简化概括在力学分析阶段是足以满足要求的，因为据此即可算出其主要的约束反力(支座反力)：但当进一步进行局部设计时，就需详细考虑支座的构造问题了。在施工图中，

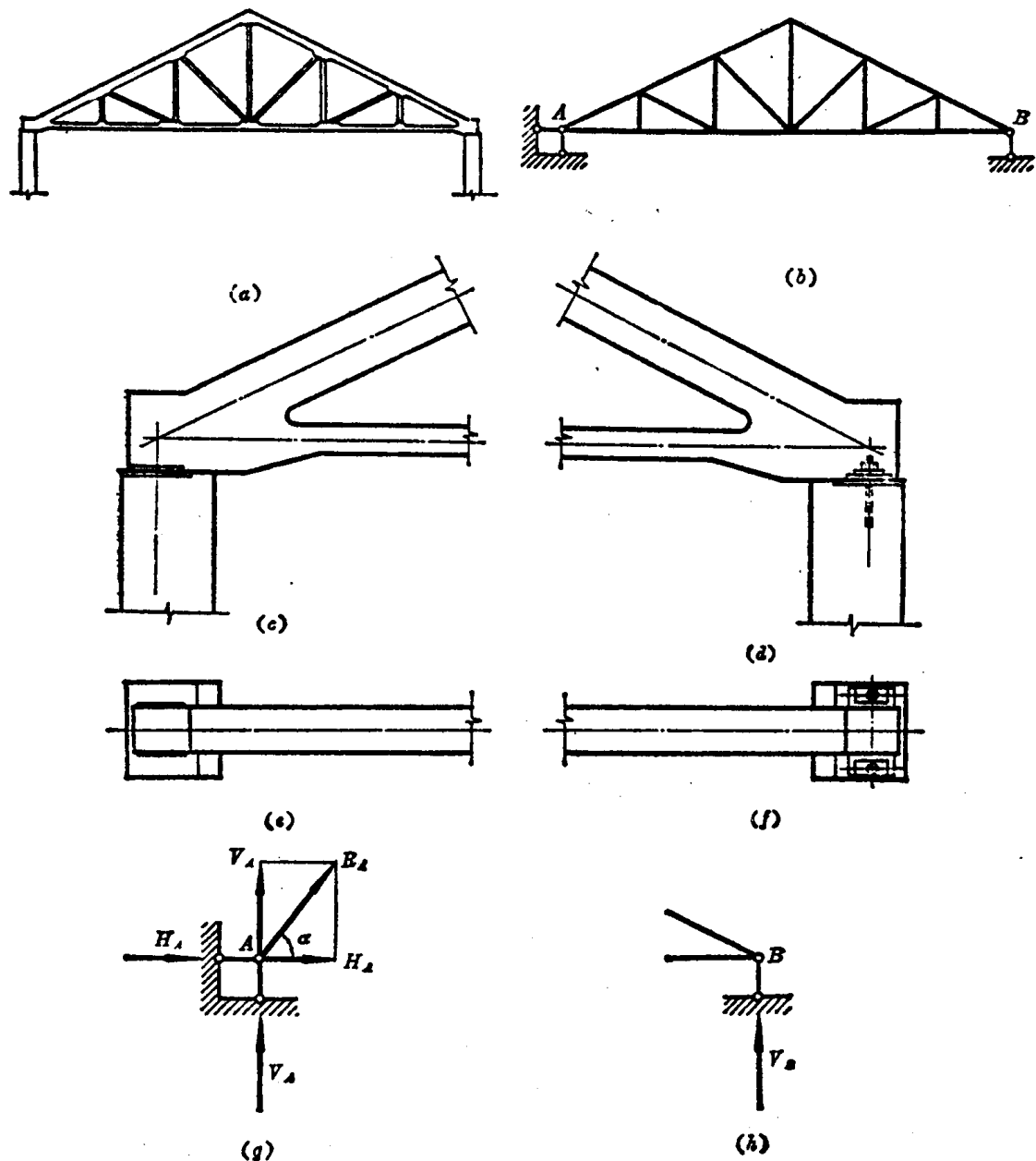


图 11-17

必须详细画出支座构造大样图，不能以计算简图来代替。

2. 固定铰支座

理想化的固定铰支座在桥梁中也多采用，其示意图如图 11-18(a)所示。它与可动铰支座不同之处主要是没有下部的辊轴，因而支座不容许结构水平移动，结构只能绕铰轴转动。由于支座不容许结构在该处上下、左右移动，即支座具有两个约束作用，其计算简图如图 11-18(b)或(c)所示。图 11-8(c)是用两根链杆表示的，这两根链杆可画成竖直和水平的，或可画成沿任意两个互不平行的方向的，因为无论如何表示，支座的约束反力 R_A (通过铰的中心) 总是一样的，而且总可以分解成竖直与水平两个反力 (V_A 与 H_A)。在实际计算中，我们总是计算这两个相互垂直的反力，因为它们能充分反映出支座的约束作用。

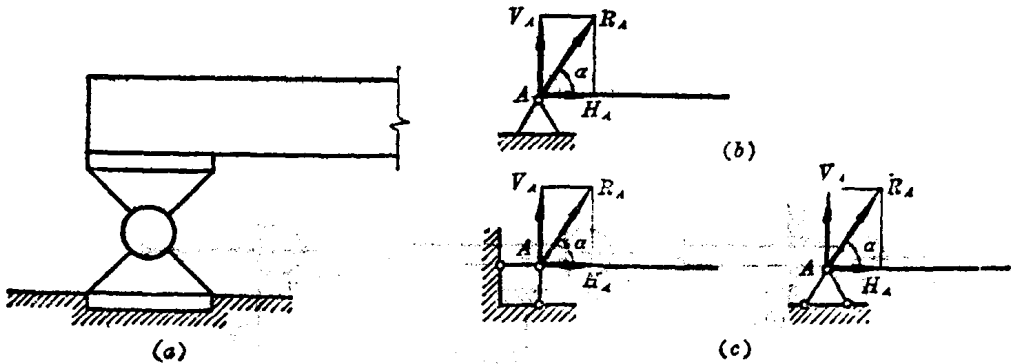


图 11-18

在房屋建筑中，由于构造要求不同，固定铰支座也不完全是上述的典型形式。但只要它能约束两个方向移动，而不约束转动，我们也就近似地把它当作固定铰支座。在计算简图中也用两根链杆表示之。如图 11-17 所示屋架，其左端支座如图 11-17(c)、(e)所示，与右端支座相比，这里的两块垫板是焊接起来的，它不但可以约束屋架上下移动，还可约束屋架水平移动；但因屋架跨度和重量较大，支座处的焊缝连接是不足以阻止屋架绕支座转动的，因此它具有两个约束作用，可属于固定铰支座。此外，如柱子放置在基础上时，也可造成各种构造不同的固定铰支座。图 11-19(a)是预制钢筋混凝土柱的固定铰支座构造图。由于插入杯形基础中的柱端较小，其周围又没有足够的固结联系，在浇 50 毫米高的 200 号细石混凝土后，就填入沥青麻丝。当柱子受荷载作用时，可认为柱端能发生微小的转动，但不能左右和上下移动，故可视为固定铰支座。又如图 11-19(b)为现浇钢筋混凝土柱固定铰支座的一种形式。

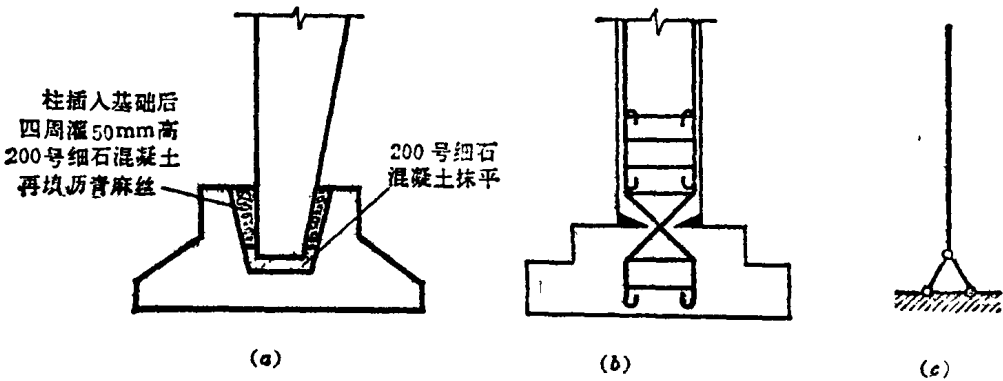


图 11-19