



高等院校力学教材
Textbook in Mechanics for Higher Education

建筑力学

张维祥 主编

白 杨 王建伟 副主编

清华大学出版社

013071282

TU311
142



高等院校力学教材
Textbook in Mechanics for Higher Education

建筑力学

张维祥 主编

白 杨 王建伟 副主编



北航

C1680185

清华大学出版社
北京

TU311
142

585170310

内 容 简 介

本书是结合建筑工程管理、建筑学、城市规划等专业对力学知识的教学要求,将传统的理论力学、材料力学、结构力学的内容加以融合编写而成的。

全书共 13 章,主要内容有平面力系的合成与平衡、轴向拉伸与压缩、扭转、平面体系的几何构造分析、梁的弯曲、组合变形、压杆稳定、静定结构的内力计算、静定结构的位移计算、力法、位移法和力矩分配法等。

本书可作为高等学校工程管理、建筑学、城市规划等非结构专业的教材,也可供高职、高专院校及工程技术人员参考使用。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学/张维祥主编.--北京:清华大学出版社,2013

高等院校力学教材

ISBN 978-7-302-33101-8

I. ①建… II. ①张… III. ①建筑科学—力学—高等学校—教材 IV. ①TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 150340 号

责任编辑:秦 娜 赵从棉

封面设计:傅瑞学

责任校对:赵丽敏

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:三河市李旗庄少明印装厂

经 销:全国新华书店

开 本:170mm×230mm 印 张:23.5 字 数:404 千字

版 次:2013 年 8 月第 1 版 印 次:2013 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:45.00 元

产品编号:054139-01

前 言

建筑力学是建筑工程管理、城市规划、建筑学等非结构专业的技术基础课。近年来,随着我国高等院校教育教学改革的不断深入,如何在有限的学时内,使学生更好地掌握建筑力学的基本原理和分析方法成为建筑力学课程所面临的主要问题。

为适应建筑力学的教学需求,本教材对理论力学、材料力学和结构力学这三门课程的基本内容按照力学知识的内在联系进行了融合,并结合建筑结构设计的特点由浅入深地介绍了力学原理在建筑结构设计中的应用,同时也保持了力学思想应用于建筑结构设计中的连贯性与递进性,从而达到系统理解与掌握建筑力学的基本原理的目的,为后续课程的学习打下良好的力学基础。全书主要讲述了静力学基础,构件的强度、刚度、稳定性问题,静定和超静定结构的内力及位移计算等内容。在编写过程中,尽量做到从认识过程的连续性和统一性出发,淡化三大力学课程之间的分界,消除课程之间的一些重复内容,弱化一些原理和公式的推导过程,重点突出基本概念、基本原理和基本方法,从而使学生能够建立起一个完整的建筑力学知识框架。

本书由张维祥(第1、4、10、11章)、白杨(第5、6、9章)、王建伟(第12、13章、附录B)、崔伟华(第7、8章、附录A)、陈雁(第2、3章)编写,由张维祥担任主编,白杨、王建伟任副主编。本书由大连理工大学徐新生教授负责主审,徐新生教授为本书的编写提出了很多宝贵意见,在此表示感谢。

教材建设是一项长期的工作,由于编者的水平有限,不足之处在所难免,衷心希望广大读者和教师提出宝贵意见,使本书得到充实和完善。

编 者
2013 年

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 建筑力学的学科内容和任务	1
1.2 荷载的分类	2
1.3 平面结构的约束和约束力	4
1.4 结构的计算简图	9
1.5 杆系结构的分类	11
1.6 刚体 可变形固体 杆件变形的基本形式	13
第 2 章 静力学基础	16
2.1 力 力矩 力偶	16
2.2 静力学公理	21
2.3 物体的受力分析和受力图	26
思考与讨论	31
习题	31
第 3 章 平面力系的合成与平衡	33
3.1 平面汇交力系的合成与平衡	33
3.2 平面力偶系的合成与平衡	41
3.3 平面任意力系向作用面内一点的简化	42
3.4 平面任意力系的平衡条件和平衡方程	49
3.5 平面平行力系的合成与平衡	52
3.6 物体系统的平衡	54

思考与讨论	56
习题	57
第4章 平面体系的几何构造分析	60
4.1 几何构造分析的目的	60
4.2 几何构造分析的基本概念	61
4.3 平面几何不变体系的组成规律	62
4.4 静定结构和超静定结构	66
思考与讨论	67
习题	67
第5章 杆件的轴向拉伸、压缩与剪切	69
5.1 轴向拉伸和压缩的概念及实例	69
5.2 轴向拉压杆的内力	70
5.3 轴向拉(压)杆的应力	72
5.4 轴向拉(压)杆的变形	75
5.5 材料在拉伸和压缩时的力学性能	79
5.6 安全因数和强度计算	84
5.7 连接件的实用计算方法	87
思考与讨论	92
习题	93
第6章 圆轴的扭转	99
6.1 扭转的概念和实例	99
6.2 圆轴扭转时的内力	100
6.3 圆轴扭转时的应力 强度条件	102
6.4 圆杆扭转时的变形及刚度计算	106
思考与讨论	109
习题	110
第7章 梁的弯曲	113
7.1 平面弯曲的概念	113
7.2 梁的内力 内力图	115
7.3 梁横截面上的应力 强度条件	131

7.4 梁的弯曲变形 刚度条件	147
7.5 提高梁抗弯能力的措施	157
思考与讨论	161
习题	161
第 8 章 杆件的组合变形	172
8.1 组合变形的概念	172
8.2 两相互垂直平面内的弯曲组合	173
8.3 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	179
8.4 偏心拉伸(压缩)	182
8.5 弯曲与扭转的组合	190
思考与讨论	194
习题	195
第 9 章 压杆稳定	202
9.1 压杆稳定的概念	202
9.2 细长压杆临界压力的计算 欧拉公式	203
9.3 欧拉公式的适用范围 临界应力总图	207
9.4 压杆的稳定校核	209
9.5 提高压杆稳定性的措施	213
思考与讨论	214
习题	215
第 10 章 静定结构的内力计算	218
10.1 静定多跨梁的内力	218
10.2 静定平面刚架的内力	221
10.3 静定平面桁架的内力	227
10.4 三铰拱的内力	233
10.5 静定组合结构的内力	240
10.6 静定结构的基本特性	242
思考与讨论	243
习题	243

第 11 章 静定结构的位移计算	248
11.1 概述	248
11.2 静定结构由于支座移动所引起的位移计算	249
11.3 静定结构在荷载作用下的位移计算	254
11.4 图乘法计算梁和刚架的位移	259
11.5 线弹性体系的互等定理	264
思考与讨论	267
习题	268
第 12 章 力法	272
12.1 超静定结构的组成和超静定次数的确定	272
12.2 力法的基本原理	276
12.3 用力法计算超静定结构	282
12.4 对称结构的计算	290
12.5 支座移动时的计算	293
12.6 超静定结构的位移计算	294
12.7 超静定结构内力图的校核	296
思考与讨论	297
习题	298
第 13 章 位移法和力矩分配法	302
13.1 概述	302
13.2 等截面直杆的转角位移方程	303
13.3 连续梁和无侧移刚架的计算	307
13.4 有侧移刚架的计算	310
13.5 力矩分配法的基本概念	314
13.6 力矩分配法计算连续梁和无结点线位移的刚架	319
13.7 超静定结构的特性	324
思考与讨论	325
习题	325
附录 A 平面图形的几何性质	330
A.1 静矩和形心	330
A.2 惯性矩和惯性积	333

A.3 平行移轴公式	337
A.4 惯性矩和惯性积的转轴公式与主惯性轴	340
思考与讨论	344
习题	345
 附录 B 型钢表	 349
 参考文献	 364

第1章

绪论

1.1 建筑力学的学科内容和任务

1. 结构

在建筑物和工程设施中承受、传递荷载而起骨架作用的部分称为**结构**。如房屋中的梁柱体系、公路和铁路上的桥梁和隧道、水工建筑物中的水坝等都是工程结构的典型例子。而这些结构都是由若干**构件**按照一定的形式组成,如房屋结构中的梁和柱等。

从几何特征的角度来看,结构可分为3种类型:

(1) **杆系结构** 组成杆系结构的构件是杆件。杆件的几何特征是其长度远远大于横截面的宽度和高度。梁、刚架、桁架、拱都是典型的杆系结构。

(2) **板壳结构** 组成板壳结构的构件是薄板或薄壳,该结构又称为薄壁结构。薄板或薄壳的几何特征是其厚度远远小于长度和宽度。房屋中的楼板、水工结构中的拱坝都是板壳结构。

(3) **实体结构** 这类结构的长、宽、高3个方向的尺寸为同一量级。水工结构中的重力坝即为实体结构。

狭义的结构往往指的就是杆系结构,建筑力学以杆系结构为研究对象。

2. 建筑力学的研究内容和任务

在荷载作用下,上部结构与基础之间以及构件与构件之间会产生相互

的作用力与反作用力。构件在外力作用下则会产生内力和变形,当内力过大时会使杆件或结构发生破坏,当变形过大时则会影响构件的正常工作,甚至影响结构的安全。而构件承载能力的大小与构件材料的性质、截面的几何尺寸和形状、受力状态、工作条件以及构造情况等因素有关。在结构设计中,当其他条件一定时,如果构件的截面尺寸设计得过小,则会因变形过大而影响正常工作,或因强度不足而发生破坏;如果构件的截面尺寸设计得过大,则会因多用材料而造成浪费。因此,建筑力学的主要任务是研究建筑结构及构件在荷载或其他因素(支座移动、温度变化)作用下既能安全工作又符合经济要求的理论和计算方法。具体地说,包括以下几个方面:

(1) 力系的简化和平衡问题。对杆件和结构进行受力分析,研究力系的简化和平衡理论。

(2) 强度问题。研究构件抵抗破坏的能力。构件在荷载作用下不发生破坏,即为该构件具有抵抗破坏的能力,满足强度要求。

当结构中的各构件均已满足强度要求时,整个结构也就满足了强度要求。所以,在研究强度问题时,只需以构件为研究对象即可。

(3) 刚度问题。研究构件或结构抵抗变形的能力。构件或结构在荷载作用下的变形未超出工程允许的范围,即为该构件或结构具有抵抗变形的能力,满足刚度要求。所以,解决刚度问题的关键是计算出构件或结构的变形。

(4) 稳定性问题。研究构件或结构在荷载作用下,其原有形态下的平衡保持为稳定的平衡的能力。构件或结构在荷载作用下不会突然改变其原有的形态,以致发生过大的变形而导致破坏,即为该构件或结构满足稳定性的要求。

(5) 结构的几何构造分析。研究杆系的几何组成规律,保证杆系的几何形状和位置保持不变,能够承受各种可能的荷载。

1.2 荷载的分类

荷载是指作用于结构上的主动力,它能够使物体运动或使物体有运动的趋势,如结构的自重、水压力、风压力、雪压力等。确定结构所受的荷载,是对结构进行受力分析的前提,必须慎重对待。如果将荷载估计过大,则设计出的结构会过于笨重,造成浪费;如果将荷载估计过小,则设计出的结构会不够安全。

在实际工程中,结构受到的荷载是多种多样的,为了便于分析,将从不同的角度对荷载进行分类。

1. 根据荷载作用在结构上时间的长短,可分为以下几种类型。

(1) 恒载

恒载是指永久作用在结构上不变的荷载,即在结构建成以后,其大小和位置都不再发生变化。如结构的自重或土压力、固定于结构上的设备质量等。

(2) 活荷载

活荷载是指在施工和使用过程中可能作用在结构上的可变荷载。所谓可变荷载,是指这种荷载有时存在、有时不存在,它们的作用位置及范围可能是固定的(如风荷载、雪荷载、会议室的人群重力等),也可能是移动的(如吊车荷载、桥梁上行驶的车辆、会议室的人群等)。不同类型的房屋建筑,因其使用情况不同,活荷载的大小也不同。各种常用的活荷载,在《工业与民用建筑结构荷载规范》中都有详细规定。

2. 根据荷载作用在结构上的分布情况,可分为以下几种类型。

(1) 集中荷载

作用在结构上的荷载一般总是分布在一定的面积上,当分布面积远小于结构的尺寸时,则可认为此荷载是作用在结构的某一点上,称为集中荷载。例如,吊车的轮子对吊车梁的压力,可看做是吊车梁上的集中荷载;屋架传给柱子或砖墙的压力也可以看做是集中荷载。其单位一般用 N 或 kN 来表示。

(2) 分布荷载

分布荷载是指连续分布在结构上的荷载。图 1.1(a)所示为梁的自重,该荷载连续分布,大小各点相同,这种荷载称为均布荷载。梁的自重是以每米长度重力来表示,单位是 N/m 或 kN/m,又称为线均布荷载。图 1.1(b)所示为板的自重,也是均布荷载,它是以每平方米面积重力来表示,单位是

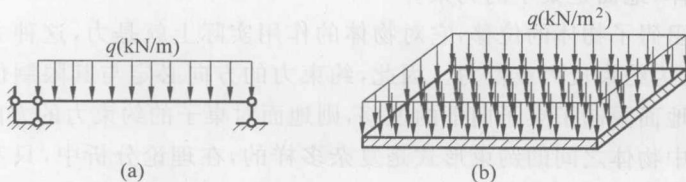


图 1.1

N/m^2 或 kN/m^2 , 又称为面均布荷载。另外, 对于储水池壁板受到的水压力, 由于该力的大小与水的深度成正比, 为三角形分布规律, 即荷载连续分布, 但大小各点不同, 这种荷载称为非均布荷载。

3. 根据荷载作用在结构上的性质, 可分为以下几种类型。

(1) 静力荷载

静力荷载是指荷载的大小、方向和位置不随时间发生变化或变化非常缓慢, 不使结构产生显著的加速度, 从而可以忽略惯性力的影响。如结构的自重、一般的活荷载等。

(2) 动力荷载

动力荷载是指荷载随时间迅速变化或在短时间内突然作用或消失, 使结构产生显著的加速度, 不能忽略惯性力的影响。如机械运动产生的荷载、爆炸引起的冲击荷载等。

荷载的确定通常是比较复杂的, 一般情况下按相关的荷载规范来确定, 但在荷载规范没有包含的某些特殊情况, 设计人员必须深入现场, 结合实际情况进行调研, 才能对荷载进行合理的确定。

1.3 平面结构的约束和约束力

1. 约束和约束力的概念

物体可以分为自由体和非自由体两类。位移不受任何限制的物体称为自由体, 如飞行的飞机和火箭等, 它们可以任意地移动和转动; 位移受到限制的物体称为非自由体, 其某些位移受到其他物体的限制而不能发生, 如结构中的各构件为非自由体, 它受到其他构件的制约而不能自由位移。对非自由体的位移起限制作用的其他物体称为约束。约束的作用是限制非自由体的某些位移。例如, 桌子放在地面上, 地面限制了桌子向下的位移, 桌子是非自由体, 地面是桌子的约束。

约束阻碍了物体的位移, 它对物体的作用实际上就是力, 这种力称为约束力, 又称为约束反力或反力。因此, 约束力的方向必定与其限制位移的方向相反。地面限制了桌子向下的位移, 则地面对桌子的约束力的方向向上。

工程中物体之间的约束形式是复杂多样的, 在理论分析中, 只考虑其主要的约束功能, 忽略次要的约束功能, 从而得到一些理想化的约束形式。本节所讨论的正是这种理想化的约束, 它们在力学分析和结构设计中被广泛

采用。

2. 约束的类型及约束力

下面介绍几种工程中常见的约束形式以及确定约束力方向的方法。

1) 柔索约束

柔索是指软绳、链条等。柔索只能承受拉力,即只能限制与它相连的物体沿柔索受拉方向的位移。因此,柔索对物体的约束力作用在接触点,方向沿着柔索而背离物体,通常用 F_T 来表示。图 1.2 中,物体 A 受到的约束力为柔索对它的拉力 F_T ,拉力 F_T 作用在接触点,方向沿着柔索而背离物体 A。

链条或胶带等柔索约束只能承受拉力。当它们绕在轮子上时,其对轮子的约束力沿轮缘的切线方向,为拉力。

2) 光滑接触面约束

光滑接触面约束是由两个物体光滑接触所构成。两个物体可以脱离开,也可以沿光滑面相对滑动,但沿接触面法线且指向接触面的位移受到限制。因此,光滑支撑面对物体的约束力作用在接触点,方向是沿接触面的法线方向并指向受力物体。

这种约束力称为法向约束力,通常用 F_N 表示。图 1.3 给出了接触面约束及约束力的例子。圆盘 O 为非自由体,光滑接触面的约束力 F_N 沿接触面法线方向且指向圆盘中心。

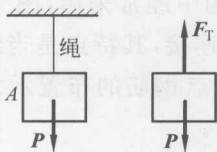


图 1.2

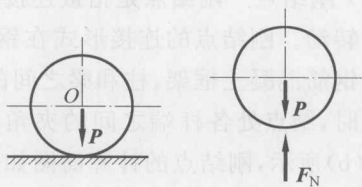


图 1.3

3) 结点约束

在结构中,杆件与杆件相连接处称为结点。尽管各杆件之间连接的形式多种多样,特别是在材料不同的情况下,连接的方式会有很大的差异,但在计算简图中,只简化为两种理想的连接方式,即铰结点和刚结点。

(1) 铰结点 铰结点是指被连接的杆件在连接处不能相对移动,但可以相对转动。用理想铰结点来连接杆件的例子在实际工程结构中是很少的,但从结点的构造来分析,把它们近似地看成铰结点所造成的误差并不显著。图 1.4(a)所示为一木屋架的结点构造图,由于各杆之间可以有微小的转动,则

杆与杆之间的连接可简化为铰结点,其计算简图如图 1.4(b)所示。图 1.5(a)所示为木结构或钢筋混凝土梁中经常采用的一种连接方式,计算时也可简化为铰结点,其计算简图如图 1.5(b)所示。

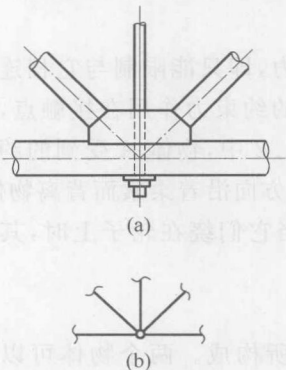


图 1.4

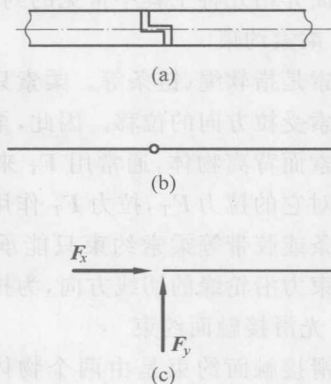


图 1.5

由于铰结点限制了杆件在连接处的相对移动,则杆件在连接处即受到约束力,约束力的方向即为被限制相对移动的方向,通常用两个垂直方向的分量 F_x 和 F_y 来表示。图 1.5(c)所示为铰结点对被连接杆件所产生的约束力。

(2) 刚结点 刚结点是指被连接的杆件在连接处既不能相对移动,也不能相对转动。刚结点的连接形式在钢筋混凝土结构中经常采用,图 1.6(a)所示为钢筋混凝土框架,柱和梁之间的连接是刚性连接,其特点是当结构发生变形时,结点处各杆端之间的夹角保持不变。结点钢筋的布置示意图如图 1.6(b)所示,刚结点的计算简图如图 1.6(c)所示。

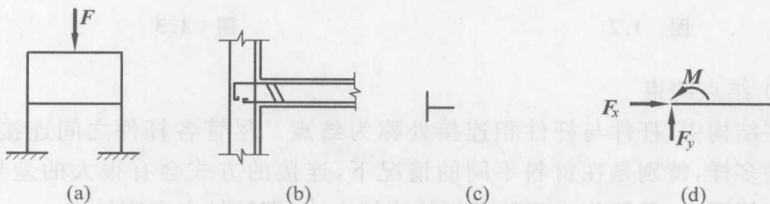


图 1.6

由于刚结点限制了被连接杆件之间的相对移动和相对转动,即被连接杆件之间没有任何的位移发生,因此,刚结点对被连接杆件所产生的约束力有限制相对移动方向的约束力 F_x 和 F_y 以及限制相对转动方向的约束力矩

M。图 1.6(d)所示为刚结点对被连接杆件所产生的约束力。

4) 支座约束

支座是指结构与基础相连接的装置。其作用是把结构与基础或地面连接起来,使上部结构能稳固在基础之上。对于实际的建筑物,其结构的支座形式是多种多样的,按其受力特征,一般简化为以下 4 种形式。

(1) 滚动铰支座 图 1.7(a)为桥梁中所采用的滚动铰支座示意图。这种滚动铰支座既允许结构绕铰 A 转动,又允许结构通过滚轴沿着支座垫板水平方向移动,但是限制了结构沿支撑面法线方向的移动。其计算简图如图 1.7(b)所示。根据该滚动铰支座约束的性质,上部结构受到的约束力为垂直于支撑面的法线方向,且通过铰的中心。图 1.7(c)所示为该支座对上部梁产生的约束反力。

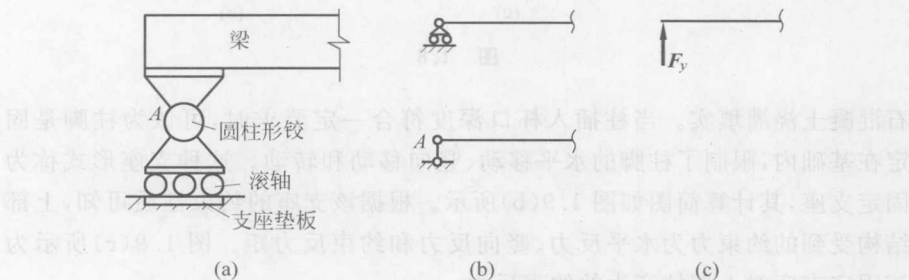


图 1.7

(2) 固定铰支座 图 1.8(a)为桥梁中采用的固定铰支座形式的示意图。其最下部没有滚轴而是固定在地面上,因而支座在垂直和水平方向均不会移动,只允许结构绕铰 A 转动。其计算简图如图 1.8(b)所示。根据该固定铰支座的约束性质可知,上部结构受到的约束力为水平反力和竖向反力,通过铰的中心。图 1.8(c)所示为该支座对上部梁产生的约束反力。

图 1.8(d)为一木梁端部的构造图,它与埋设在混凝土垫块中的锚栓相连接,梁端部的水平位移和竖向位移受到限制,但仍可做微小的转动,其计算简图可用图 1.8(b)来表示。图 1.8(e)所示为预制钢筋混凝土柱,将柱的下端插入杯形基础预留的杯口中后,用沥青麻丝填实,这样,柱脚的水平 and 竖向位移受到限制,但它仍可做微小的转动,其计算简图仍可用图 1.8(b)来表示。可见,在房屋建筑结构中,虽然构造要求不同,但当它具有只约束两个方向移动而不约束转动的性能时,即可视为固定铰支座。

(3) 固定支座 图 1.9(a)所示为预制钢筋混凝土柱,在基础杯口内用细

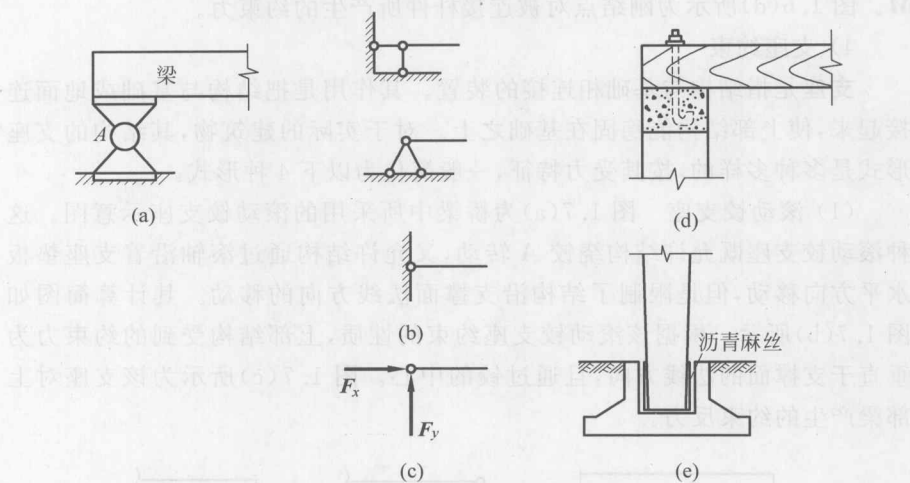


图 1.8

石混凝土浇灌填实。当柱插入杯口深度符合一定要求时,可认为柱脚是固定在基础内,限制了柱脚的水平移动、竖向移动和转动。这种支座形式称为固定支座,其计算简图如图 1.9(b)所示。根据该支座的约束性质可知,上部结构受到的约束力为水平反力、竖向反力和约束反力矩。图 1.9(c)所示为该固定支座对上部柱产生的约束反力。

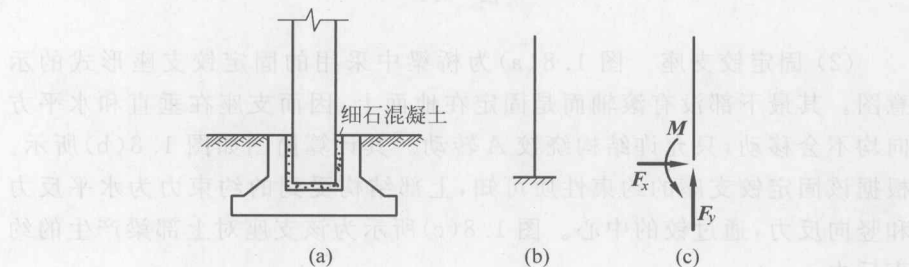


图 1.9

(4) 定向支座 图 1.10(a)所示的支座形式,只允许结构沿辊轴滚动的方向移动,而不能发生竖向移动和转动,该支座称为定向支座。其计算简图如图 1.10(b)所示。根据该支座的约束性质可知,上部结构受到的约束力为垂直于滚动方向的反力 F_y 和阻止转动的反力矩 M 。图 1.10(c)所示为该定向支座产生的约束反力。