



高等职业教育“十一五”规划教材
高职高专建筑工程技术专业教材系列

建筑力学

沈养中 荣国瑞/主 编



科学出版社
www.sciencep.com

● 高等职业教育“十一五”规划教材

高职高专建筑工程技术专业教材系列

建筑力学

沈养中 荣国瑞 主 编

杨 梅 孙 武 副主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书强调基本概念,重视宏观分析,突出工程应用,注重职业技能和素质的培养,叙述深入浅出、通俗易懂,并配有相应课件,便于教与学。

全书共分十章,内容包括:绪论,刚体静力分析基础,平面力系的平衡,杆件的强度与刚度,压杆稳定,平面杆件体系的几何组成分析,静定结构的内力,静定结构的位移,超静定结构的内力,影响线等。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校的建筑工程类各专业力学课程的教材,也可作为相关专业专升本考试用书,还可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学 / 沈养中, 荣国瑞主编. —北京: 科学出版社, 2007
高等职业教育“十一五”规划教材·高职高专建筑工程技术专业教材系列
ISBN 978-7-03-020671-8

I. 建… II. ①沈…②荣… III. 建筑力学-高等学校: 技术学校-教材 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 177349 号

责任编辑: 何舒民 张雪梅 张 斌 / 责任校对: 耿 耘
责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 12 月第 一 版

开本: B5 (720×1000)

2007 年 12 月第一次印刷

印张: 21

印数: 1—3 000

字数: 410 000

定价: 33.00 元 (含光盘)

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137154 (VZ03)

前 言

建筑力学是建筑工程类专业的一门重要技术基础课。它不仅为后续课程作准备,而且为学生今后从事工程技术工作打好基础。编者根据高职高专的特点和高等教育大众化的特点,遵循基础课“以应用为目的、以必须够用为度”的原则,对建筑力学课程的传统内容进行了大幅度的精简和重新编排,强调基本概念,重视宏观分析,降低计算难度,突出工程应用,注重职业技能和素质的培养,叙述深入浅出、通俗易懂,并配有相应课件,便于教与学。

参加本书编写工作的有:沈养中(编写第1~7章),荣国瑞(编写第8~10章)。杨梅制作了第1~5章课件,并对课件进行了统稿,孙武制作了第6~10章课件。全书由沈养中统稿。本书由张文教授担任主审。

在本书编写过程中,许多同行提出了很好的意见和建议,编者特在此表示感谢。

鉴于编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请广大读者批评指正。

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 建筑力学的研究对象	1
1.2 建筑力学的基本任务	3
1.3 变形固体的基本假设	4
1.3.1 刚体与变形固体	4
1.3.2 变形固体的基本假设	4
1.4 杆件的变形形式	6
1.4.1 基本变形	6
1.4.2 组合变形	7
思考题	7
第 2 章 刚体静力分析基础	9
2.1 力的概念及性质	9
2.1.1 力的概念	9
2.1.2 静力学公理	10
2.1.3 汇交力系的合成	12
2.2 力对点之矩	12
2.2.1 力矩的概念	12
2.2.2 合力矩定理	13
2.3 力偶的概念及性质	14
2.3.1 力偶的概念	14
2.3.2 力偶矩的计算	14
2.3.3 力偶的性质	15
2.3.4 平面力偶系的合成	15

2.4 约束与约束反力	16
2.4.1 约束与约束反力的概念	16
2.4.2 工程中常见的约束与约束反力	16
2.5 结构的计算简图	19
2.5.1 结构计算简图的概念	19
2.5.2 杆件结构的简化	19
2.6 受力分析与受力图	21
思考题	24
习题	26
第3章 平面力系的平衡	29
3.1 力的平移定理	29
3.2 平面力系向一点的简化	31
3.2.1 平面力系向一点的简化	31
3.2.2 力在坐标轴上的投影	31
3.2.3 主矢和主矩的计算	32
3.2.4 平面力系简化结果的讨论	33
3.3 平面力系的平衡方程及其应用	35
3.3.1 平面力系的平衡方程	35
3.3.2 平面力系平衡方程的应用	36
3.3.3 平面力系的几个特殊情况	39
3.3.4 物体系统的平衡问题	41
思考题	44
习题	44
第4章 杆件的强度与刚度	49
4.1 拉压杆	49
4.1.1 工程实例和计算简图	49
4.1.2 轴力和轴力图	50
4.1.3 拉压杆的应力	53
4.1.4 拉压杆的变形	55
4.1.5 材料在拉压时的力学性能	58
4.1.6 拉压杆的强度计算	64
4.2 受扭轴	70
4.2.1 工程实例和计算简图	70
4.2.2 扭矩和扭矩图	71
4.2.3 圆轴扭转时的应力和强度计算	73

4.2.4	圆轴扭转时的变形和刚度计算	77
4.3	单跨梁	79
4.3.1	工程实例和计算简图	79
4.3.2	梁的内力图	81
4.3.3	梁横截面上的应力	90
4.3.4	梁的强度计算	97
4.3.5	梁的变形	102
4.3.6	梁的刚度校核	105
4.4	组合变形	107
4.4.1	组合变形的工程实例与求解方法	107
4.4.2	斜弯曲梁的应力和强度计算	108
4.4.3	偏心压缩时的应力和强度计算	112
	思考题	115
	习题	117
第5章	压杆稳定	125
5.1	压杆稳定的概念	125
5.2	压杆的临界力与临界应力	127
5.2.1	细长压杆临界力的欧拉公式	127
5.2.2	欧拉公式的适用范围	129
5.2.3	抛物线公式	130
5.3	压杆的稳定计算	131
5.3.1	安全因数法	131
5.3.2	折减因数法	131
5.4	提高压杆稳定性的措施	136
	思考题	138
	习题	139
第6章	平面杆件体系的几何组成分析	142
6.1	概述	142
6.1.1	几何不变体系和几何可变体系	142
6.1.2	几何组成分析的目的	143
6.1.3	刚片、自由度和约束的概念	143
6.2	几何不变体系的基本组成规则	145
6.2.1	基本组成规则	145
6.2.2	对瞬变体系的进一步分析	147
6.3	几何组成分析举例	148

6.4	体系的几何组成与静定性的关系	150
6.5	平面杆件结构的分类	150
	思考题	152
	习题	153
第 7 章	静定结构的内力	155
7.1	多跨静定梁	155
7.1.1	多跨静定梁的几何组成	155
7.1.2	多跨静定梁的内力计算	156
7.1.3	多跨静定梁的受力特征	158
7.2	静定平面刚架	159
7.2.1	概述	159
7.2.2	静定平面刚架的内力计算	160
7.3	静定平面桁架	163
7.3.1	概述	163
7.3.2	静定平面桁架的内力计算	165
7.3.3	梁式桁架受力性能的比较	170
7.4	静定平面组合结构	171
7.4.1	组合结构的概念	171
7.4.2	静定平面组合结构的内力计算	172
7.5	三铰拱	174
7.5.1	概述	174
7.5.2	三铰拱的内力计算	176
7.5.3	合理拱轴的概念	180
	思考题	181
	习题	182
第 8 章	静定结构的位移	186
8.1	概述	186
8.1.1	位移的概念	186
8.1.2	计算位移的目的	187
8.2	静定结构在荷载作用下的位移计算公式	188
8.2.1	实功与虚功	188
8.2.2	变形体虚功原理	190
8.2.3	位移计算的一般公式	190
8.2.4	荷载作用下的位移计算公式	193
8.3	图乘法	198

8.3.1 图乘公式及适用条件	199
8.3.2 图乘技巧	200
8.4 支座移动引起的位移计算	205
8.5 互等定理	207
8.5.1 功的互等定理	207
8.5.2 位移互等定理	207
8.5.3 反力互等定理	208
思考题	209
习题	209
第9章 超静定结构的内力	212
9.1 概述	212
9.1.1 超静定结构的概念	212
9.1.2 超静定次数的确定	213
9.1.3 超静定结构的计算方法	215
9.2 力法	215
9.2.1 力法的基本原理	215
9.2.2 力法典型方程	217
9.2.3 力法的计算步骤和举例	219
9.2.4 超静定结构的位移计算	230
9.2.5 对称性的利用	231
9.3 位移法	236
9.3.1 位移法的基本概念	236
9.3.2 位移法基本未知量与基本结构	241
9.3.3 位移法典型方程	242
9.3.4 位移法计算步骤和举例	244
9.3.5 对称结构的计算	250
9.4 力矩分配法	253
9.4.1 力矩分配法的基本概念	254
9.4.2 多结点的力矩分配法	261
9.5 无剪力分配法	265
9.5.1 无剪力分配法的应用条件	265
9.5.2 剪力静定杆件的固端弯矩	266
9.5.3 转动刚度和传递系数	267
9.6 超静定结构计算方法分析	268
9.7 超静定结构的特性	270

思考题	270
习题	271
第 10 章 影响线	277
10.1 影响线的概念	277
10.2 静定梁的影响线	278
10.2.1 静力法	278
10.2.2 机动法	284
10.3 影响线的应用	287
10.3.1 利用影响线求反力和内力	288
10.3.2 用影响线确定最不利荷载位置	290
10.4 简支梁的内力包络图及绝对最大弯矩	293
10.4.1 简支梁的内力包络图	293
10.4.2 简支梁的绝对最大弯矩	295
10.5 连续梁的影响线和内力包络图	298
10.5.1 连续梁的影响线	298
10.5.2 连续梁的内力包络图	301
思考题	305
习题	305
附录一 型钢规格表	307
附录二 习题答案	318
参考文献	326

本章介绍结构的概念及其分类, 建筑力学的研究对象和基本任务, 刚体和变形固体的概念, 变形固体的基本假设以及杆件的变形形式。

1.1 建筑力学的研究对象

建筑工程中的各类建筑物例如房屋、桥梁、蓄水池、挡土墙(图 1.1~图 1.4)等, 在建造及使用过程中都要承受各种力的作用。工程中习惯把主动作用于建筑物上的外力称为荷载。例如自重、风压力、水压力、土压力及车辆对桥梁的作用力等都属于荷载。在建筑物中承受和传递荷载而起骨架作用的部分或体系称为结构。最简单的结构可以是一根梁或一根柱, 但往往一个结构是由多个结构元件所组成, 这些结构元件称为构件。图 1.1 中屋架、柱子、吊车梁、屋面板及基础等组成了工业厂房结构。图 1.2 所示桥梁、图 1.3 所示蓄水池和图 1.4 所示挡土墙等,

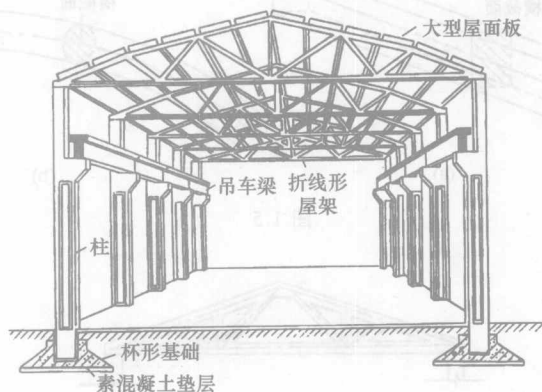


图 1.1

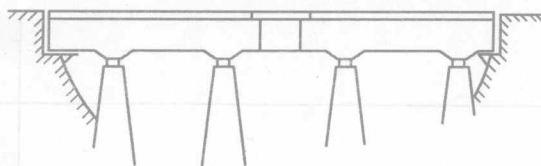


图 1.2

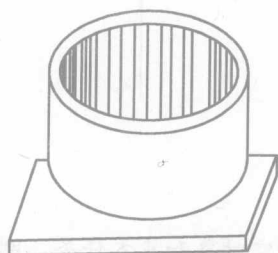


图 1.3

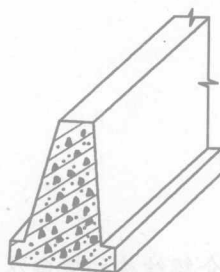


图 1.4

都是结构的典型例子。

工程中常见的结构按其几何特征可分为以下三类。

(1) 杆件结构

由杆件组成的结构称为杆件结构。杆件的几何特征是它的长度远大于其横截面的宽度和高度。横截面和轴线是杆件的两个主要几何因素，前者指的是垂直于杆件长度方向的截面，后者则为所有横截面形心的连线（图 1.5）。如果杆件的轴线为直线，则称为直杆 [图 1.5 (a)]；若为曲线，则称为曲杆 [图 1.5 (b)]。图 1.6 所示钢筋混凝土屋架就是一个杆件结构。

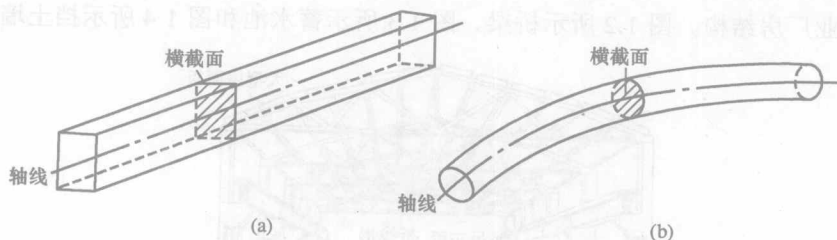


图 1.5

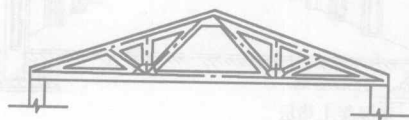


图 1.6

(2) 板壳结构

由薄板或薄壳组成的结构称为板壳结构。薄板和薄壳的几何特征是它们的长度和宽度远大于其厚度。当构件为平面状时称为薄板,当构件具有曲面状时称为薄壳。板壳结构也称为薄壁结构。图 1.3 所示蓄水池就是由平板和柱壳组成的板壳结构;图 1.7 (a, b) 所示屋顶分别是三角形折板结构和长筒壳结构。

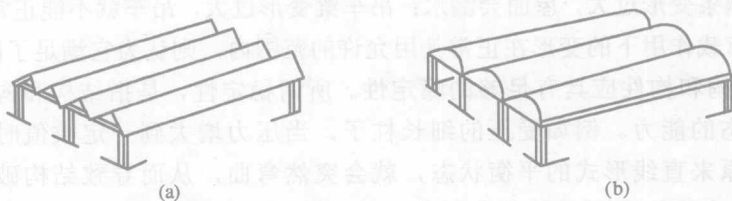


图 1.7

(3) 实体结构

如果结构的长、宽、高三个尺度为同一量级,则称为实体结构。例如挡土墙(图 1.4)、堤坝和块形基础等都是实体结构。

除了上面三类结构外,在工程中还会遇到悬索结构、充气结构等其他类型的结构。

在建筑工程中,杆件结构是应用最为广泛的结构形式。按照空间特征,杆件结构又可分为平面杆件结构和空间杆件结构两类。凡组成结构的所有杆件的轴线都位于同一平面内,并且荷载也作用于该平面内的结构,称为平面杆件结构。否则称为空间杆件结构。实际结构多属于空间的,但在计算时,根据其实际受力特点,有许多可简化为平面结构来处理(例如图 1.1 中的厂房结构)。

建筑力学的研究对象是杆件结构。本书只限于研究平面杆件结构。

1.2 建筑力学的基本任务

各种建筑物在正常工作时总是处于平衡状态。所谓平衡状态,是指物体相对于地球处于静止或作匀速直线运动的状态。处于平衡状态的物体上所受的力不止一个而是若干个,我们把这若干个力总称为力系。能使物体保持平衡状态的力系称为平衡力系。平衡力系所必须满足的条件称为力系的平衡条件。

结构在荷载作用下处于平衡状态,作用于结构及各构件上的外力构成了各种力系。建筑力学首先要研究各种力系的简化及平衡条件。根据这些平衡条件,可以由作用于物体上的已知力求出各未知力,这个过程称为静力分析。静力分析是对结构和构件进行其他力学计算的基础。

结构的主要作用是承受和传递荷载。在荷载作用下结构的各构件内部会产生

内力并伴有变形。要使建筑物按预期功能正常工作,必须满足以下基本要求:

1) 结构和构件应具有足够的强度。所谓强度,是指结构和构件抵抗破坏的能力。如果结构在预定荷载作用下能安全工作而不破坏,则认为它满足了强度要求。

2) 结构和构件应具有足够的刚度。所谓刚度,是指结构和构件抵抗变形的能力。一个结构受荷载作用,虽然有了足够的强度,但变形过大,也会影响正常使用。例如屋面檩条变形过大,屋面会漏水;吊车梁变形过大,吊车就不能正常行驶。如果结构在荷载作用下的变形在正常使用允许的范围内,则认为它满足了刚度要求。

3) 结构和构件应具有足够的稳定性。所谓稳定性,是指结构和构件保持原有平衡状态的能力。例如受压的细长柱子,当压力增大到一定数值时,柱子就不能维持原来直线形式的平衡状态,就会突然弯曲,从而导致结构破坏,这种现象称为“失稳”。如果结构的各构件在荷载作用下能够保持其原有的平衡状态,则认为它满足了稳定性要求。

4) 构件必须按一定几何组成规律组成结构,以确保在预定荷载作用下结构能维持其原有的几何形状。

综合上述,建筑力学的基本任务就是研究结构的强度、刚度和稳定性问题。为此提供相关的计算方法和实验技术。为构件选择合适的材料、合理的截面形式及尺寸,以及研究结构的几何组成规律和合理形式,以确保安全和经济两方面的要求。

建筑力学是建筑工程类专业的一门重要的技术基础课程,是研究建筑结体力学计算理论和方法的科学,也是从事建筑设计和施工的工程技术人员必不可少的基础理论。

1.3 变形固体的基本假设

1.3.1 刚体与变形固体

所谓刚体,是指在外力的作用下,其内部任意两点之间的距离始终保持不变的物体。这是一个理想化的力学模型。实际上物体在受到外力作用时,其内部各点间的相对距离都要发生改变,从而引起物体形状和尺寸的改变,即物体产生了变形。当物体的变形很小时,变形对研究物体的平衡和运动规律的影响很小,可以略去不计,这时可将物体抽象为刚体,从而使问题的研究大为简化。例如在对结构或构件进行静力分析时,就可以将它们看作刚体。但当研究的问题与物体的变形密切相关时,例如研究结构或构件的强度、刚度和稳定性问题,即使是极其微小的变形也必须加以考虑,这时就必须将结构或构件抽象为变形固体这一力学模型。

1.3.2 变形固体的基本假设

工程中使用的固体材料是多种多样的,而且其微观结构和力学性能也各不相同

同。为了使问题得到简化,通常对变形固体作如下基本假设。

1. 连续性

连续性,即认为在固体材料的整个体积内毫无空隙地充满了物质。

事实上,固体材料是由无数的微粒或晶粒组成的,各微粒或晶粒之间是有空隙的,是不可能完全紧密的,但这种空隙与构件的尺寸比起来极为微小,可以忽略不计。根据这个假设,在进行理论分析时,与构件性质相关的物理量可以用连续函数来表示。

2. 均匀性

均匀性,即认为构件内各点处的力学性能是完全相同的。

事实上,组成构件材料的各个微粒或晶粒,彼此的性质不尽相同。但是构件的尺寸远远大于微粒或晶粒的尺寸,构件所包含的微粒或晶粒的数目又极多,所以固体材料的力学性能并不反映其微粒的性能,而是反映所有微粒力学性能的统计平均量,因而可以认为固体的力学性能是均匀的。根据这个假设,在进行分析时,可以从构件内任何位置取出一小部分来研究材料的性质,其结果均可代表整个构件。

3. 各向同性

各向同性,即认为构件内的一点在各个方向上的力学性能是相同的。

事实上,组成构件材料的各个晶粒是各向异性的。但由于构件内所含晶粒的数目极多,在构件内的排列又是极不规则的,在宏观的研究中固体的性质并不显示方向的差别,因此可以认为某些材料是各向同性的,如金属材料、塑料以及浇注得很好的混凝土。根据这个假设,当获得了材料在任何一个方向的力学性能后,就可将其结果用于其他方向。但是此假设并不适用于所有材料,例如木材、竹材和纤维增强材料等,其力学性能是各向异性的。

4. 线弹性

变形固体在外力作用下发生的变形可分为弹性变形和塑性变形两类。在外力撤去后能消失的变形称为弹性变形,不能消失的变形称为塑性变形。当所受外力不超过一定限度时,绝大多数工程材料在外力撤去后,其变形可完全消失,具有这种变形性质的变形固体称为完全弹性体。本课程只研究完全弹性体,并且外力与变形之间符合线性关系,即线弹性假设。

5. 小变形

小变形,即认为变形量是很微小的。

工程中大多数构件的变形都很小，远小于构件的几何尺寸。这样，在研究构件的平衡和运动规律时仍可以直接利用构件的原始尺寸来计算。在研究和计算变形时，变形的高次幂项也可忽略，从而使计算得到简化。

以上是有关变形固体的几个基本假设。实践表明，在这些假设的基础上建立起来的理论都是符合工程实际要求的。

1.4 杆件的变形形式

建筑力学的研究对象是杆件结构。杆件在不同外力作用下，可以产生不同的变形，但根据外力性质及其作用线（或外力偶作用面）与杆轴线的相对位置的特点，通常归结为四种基本变形形式。工程实际中的杆件可能只发生某一种基本变形，也可能同时发生两种或两种以上基本变形形式的组合，称为组合变形。

1.4.1 基本变形

1. 轴向拉伸和压缩

如果在直杆的两端各受到一个外力 F 的作用，且二者的大小相等、方向相反，作用线与杆件的轴线重合，那么杆的变形主要是沿轴线方向的伸长或缩短。当外力 F 的方向沿杆件截面的外法线方向时，杆件因受拉而伸长，这种变形称为轴向拉伸；当外力 F 的方向沿杆件截面的内法线方向时，杆件因受压而缩短，这种变形称为轴向压缩，如图 1.8 (a, b) 所示。

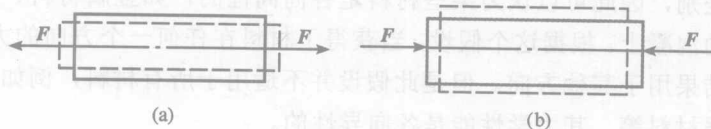


图 1.8

2. 剪切

如果直杆上受到一对大小相等、方向相反、作用线平行且相距很近的外力沿垂直于杆轴线方向作用时，杆件的横截面沿外力的方向发生相对错动，这种变形称为剪切，如图 1.9 所示。

3. 扭转

如果在直杆的两端各受到一个外力偶 M_0 的作用，且二者的大小相等、转向相反，作用面与杆件的轴线垂直，那么杆件的横截面绕轴线发生相对转动，这种

变形称为扭转，如图 1.10 所示。

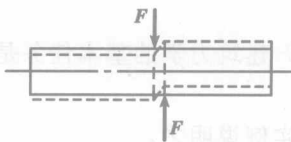


图 1.9

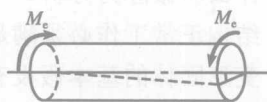


图 1.10

4. 弯曲

如果直杆在两端各受到一个外力偶 M_e 的作用，且二者的大小相等、转向相反，作用面都与包含杆轴的某一纵向平面重合，或者是受到在纵向平面内作用的垂直于杆轴线的外力作用时，杆件的轴线就要变弯，这种变形称为弯曲，如图 1.11 (a, b) 所示。

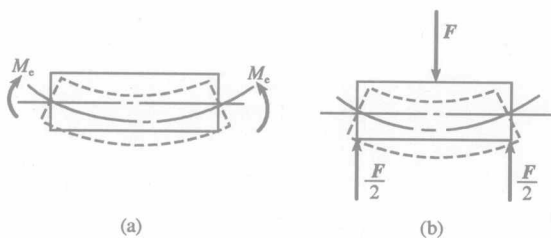


图 1.11

1.4.2 组合变形

工程实际中常见的组合变形形式有：斜弯曲（或称双向弯曲）、拉（压）与弯曲的组合、弯曲与扭转的组合等，如图 1.12 (a~c) 所示。

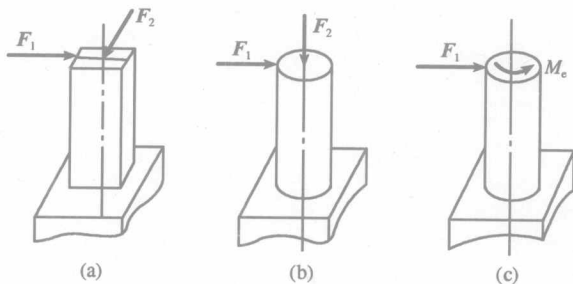


图 1.12

思 考 题

1.1 何为结构？按几何特征结构可分几类？建筑力学的研究对象是哪类