

建筑力学 (下册)

主 编 刘 军 张明朗 邱琴忠

主 审 郭兰中 马 江

JIANZHU LIXUE



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

建筑力学

(下册)

主 编 刘 军 张明朗 邱琴忠

主 审 郭兰中 马 江

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书是根据教育部高职高专土建类专业力学课程教学基本要求以及高职高专人才培养目标及规格的主要精神,并兼顾到学生继续学习和深造的需要而编写的教材。全书分上、下两册,共计四篇19章。

本书可作为高等专科学校、高等职业技术学院、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土建类力学课程的教材,也可供相关的工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学/刘军,张明朗,邱琴忠主编. —北京:北京理工大学出版社,
2009.2

ISBN 978 - 7 - 5640 - 1817 - 7

I. 建… II. ①刘…②张…③邱… III. 建筑力学 - 高等学校 - 教材
IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第208098号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京地质印刷厂

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/10.75

字 数/253千字

版 次/2009年2月第1版 2009年2月第1次印刷

印 数/1~4000册

总 定 价/45.00元(上、下册)

责任校对/陈玉梅

责任印制/周瑞红

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

建筑力学是土建类专业的一门重要的技术基础课程。本教材依据教育部高职高专教育土建类专业力学课程的教学基本要求编写,重点体现当前教学改革的特点,突出针对性、实用性和适用性,编写时以技术应用能力为主线,精心选择教学内容,努力探索编写体系,力求理论联系实际,内容简明扼要,并兼顾学生继续学习和深造的需要。

全书分为上下两册,共四篇19章。上册由第一、第二及第三篇构成。第一篇“静力学基础”部分共包括4章:静力学基本概念和受力分析、力系的等效与简化、重心、质心及形心、刚体和刚体系统的平衡。第二篇“变形固体杆件的静力响应分析”部分共包括7章:变形固体的平衡和杆件内力分析、应力与应变基本概念、工程材料的力学性能、弹性杆件横截面应力分析、应力状态分析、弹性杆件的变形和横截面的位移分析、压杆的平衡稳定性分析。第三篇“可变形固体杆件的静力设计”部分共包括2章:构件的功能及杆件的静力学设计准则、杆形构件的静力学设计。下册由第四篇构成,为“建筑工程结构的力学响应分析”部分共包括6章:工程结构的概念及类型、杆件结构的组成规律、静定结构受力分析、结构位移计算、超静定结构受力分析、移动荷载作用下的结构分析。

本书可作为高等专科学校、高等职业技术学院、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土建类力学课程的教材,也可供相关的工程技术人员参考。

本书上册由刘军、张明朗担任主编,郭兰中担任主审,参加编写的有刘军(绪论、第1、2章)、张明朗(第4、5、8章)、贾淑明(第6、9、10、11章)、袁尚科(第7、12、13章)、李志刚(第3章、附录);下册内容(第14、15、16、17、18、19章)由邱琴忠编写,李社生对部分习题进行了校核,并由马江担任主审。

在本书的编写过程中,自始至终得到编者所在学校同行的鼓励和支持,在此一并表示感谢!并衷心希望大家对书中的不当欠妥之处提出批评和指正。

编 者

目 录

第四篇 建筑工程结构的力学响应分析

第 14 章 工程结构的概念及类型	(3)
§ 14-1 工程结构的概念	(3)
§ 14-2 工程结构的功能	(4)
§ 14-3 工程结构的类型	(6)
§ 14-4 工程结构的计算简图	(8)
§ 14-5 工程结构分析的内容及假定	(9)
习题	(9)
第 15 章 杆件结构的组成规律	(10)
§ 15-1 基本概念	(10)
§ 15-2 静定结构组成规律	(13)
总结与讨论	(19)
习题	(20)
第 16 章 静定结构受力分析	(21)
§ 16-1 多跨静定梁	(21)
§ 16-2 静定平面刚架	(27)
§ 16-3 静定平面桁架	(31)
§ 16-4 静定三铰拱	(39)
§ 16-5 组合结构	(45)
总结与讨论	(45)
习题	(49)
第 17 章 结构位移计算	(60)
§ 17-1 弹性杆件的变形与应变能密度计算	(60)
§ 17-2 变形体的虚功原理	(60)
§ 17-3 结构位移计算的一般公式	(63)
§ 17-4 荷载作用下的位移计算	(65)
§ 17-5 图乘法	(69)
§ 17-6 温度作用时的位移计算	(75)
§ 17-7 互等定理	(78)
总结与讨论	(81)



习题	(82)
第 18 章 超静定结构受力分析	(87)
§ 18-1 分析超静定结构内力的思路	(87)
§ 18-2 力法	(90)
§ 18-3 位移法	(113)
§ 18-4 力矩分配法	(130)
总结与讨论	(133)
习题	(136)
第 19 章 移动荷载作用下的结构分析	(145)
§ 19-1 移动荷载及其影响线概念	(145)
§ 19-2 静力法作影响线	(147)
§ 19-3 机动法作影响线	(153)
§ 19-4 影响线的应用	(155)
总结与讨论	(156)
习题	(162)
参考文献	(164)



第四篇 建筑工程结构的力学响应分析

本篇主要对建筑工程结构中平面结构的静力学响应进行了分析。

工程结构的概念及类型

§ 14-1 工程结构的概念

土木工程中，根据人们的生活习惯，将住宅、厂房、城镇范围内的公共建筑称为建筑物，而把城镇范围以外具有防御自然灾害、抵抗外敌入侵等作用的各类建筑物，如截水坝、炮台等，一般称为构筑物。建筑物和构筑物统称为建筑，它们在使用过程中都要受到荷载的作用，其中承受和传递荷载，抵御温度变化、支座移动等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道梁或一根柱，常见的一个结构往往是由多个简单结构所组成，这些组成结构的基本单元被称为构件。如图 14-1 所示为由梁、柱、填充墙等组成的框架结构房屋平面布置图，再如蓄水池、挡土墙和屋架等，都是结构的典型例子，如图 14-2 所示。

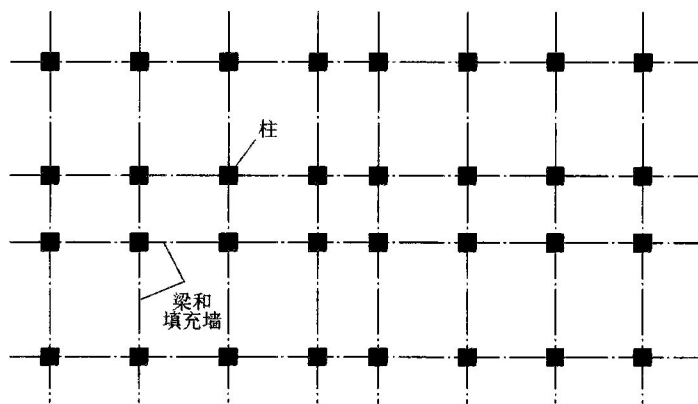


图 14-1 房屋平面布置图

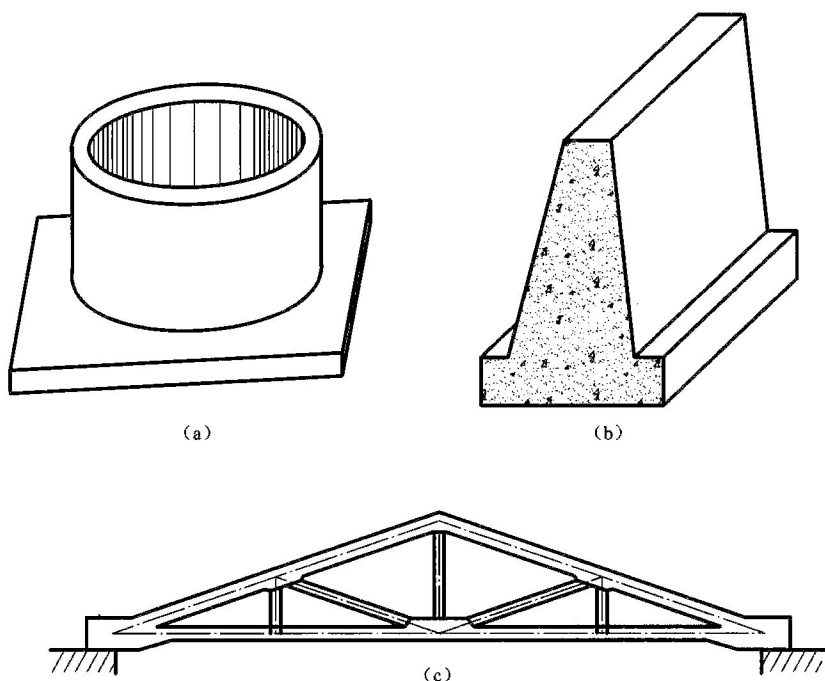


图 14-2 蓄水池、挡土墙、屋架

(a) 蓄水池; (b) 挡土墙; (c) 屋架

§ 14-2 工程结构的功能

建筑一方面要满足人类社会不断增长的物质文化生活的功能要求, 另一方面又要满足人们精神文明的要求。建筑结构设计总方针“适用、经济、在可能的条件下注意美观”全面指出了建筑作为一个物质产品在功能、技术、经济和美观方面的统一。

14-2-1 工程结构的功能要求

建筑结构必须适用, 是工程结构的第一要素。工厂、学校、住宅、科研、文化、体育建筑各有不同的功能要求。根据不同的功能要求, 组织不同的建筑空间, 选用不同的建筑材料和结构形式, 以及不同的施工技术。但建筑功能并不是构成建筑的唯一要素, 建筑物不能仅仅满足于功能要求而不顾建筑的物质技术条件和建筑形象的要求。

14-2-2 建筑材料和建筑结构的物质技术条件

建筑材料是构成建筑的物质基础, 不同材料构成不同的结构, 并形成不同的建筑体型。各种新材料和新技术的出现, 不但充实了建筑物的使用功能, 而且促进建筑向新的功能方向发展。建筑结构是建筑物的骨架, 离开骨架就形不成建筑物。所以建筑材料、建筑结构及施工技术物质技术条件也是构成建筑的重要因素。

14-2-3 建筑物的形象

建筑物的形象包括建筑物的体型, 各部位的主从、对比、韵律、比例、尺度、色调、质



感等符合美的要求。而且还要考虑建筑的局部与整体的关系；内部空间与外部空间的关系；建筑个体与周围环境的关系（即个体与群体的关系）；形式与内容的关系；民族传统与推陈出新的关系，等等。总之，对建筑形象的要求是多样统一的。

上述三个方面是辩证统一、不可分割的，但又有主次之分。功能是主导，对结构技术和建筑形象起着决定性的作用。但不能忽视它要受到结构、技术等方面的制约。如澳大利亚的悉尼歌剧院，其屋顶结构方案为九个悬臂薄壳组成，如同天际归帆，既轻巧又别致。但在绘制施工图时发现原方案无法实现，只能将悬臂薄壳改为预制带肋的拱，拱的悬臂长度在缩小。由于反复修改设计，使工期延续了17年时间，到1973年才竣工。工程造价为原预算的10倍。由此可见，结构方案、结构选型是建筑设计的重要环节。

建筑结构方案是综合性、技术性很强的工作，其影响因素很多。没有建筑结构就没有建筑，没有好的结构方案构思，就不可能有好的建筑设计。没有好的结构选型，也不可能出现合理、美观的建筑形象。至于建筑是否经济，更在很大程度上看结构方案及其他建筑技术条件的选用是否恰当。在古代建筑设计中，由于结构和材料都比较简单，结构方案和结构选型也比较简单，许多优秀的建筑设计可较容易地由建筑师同时解决建筑设计、结构方案和施工技术。但在现代建筑中，建筑结构和建筑材料日益复杂，结构方案的构思需要较深厚的技术功底，一个较大型的建筑设计必须由建筑师、结构工程师和其他技术人员通力合作、共同工作才能取得较好的效果。一个建筑师必须具备结构方案和结构选型的基本知识及其他科学技术知识，才能在进行建筑设计时综合考虑各种问题并和各类技术人员有共同语言。那种建筑师画方案、结构工程师配计算的旧的工作方式，已经远远不能适应现代建筑设计工作的需要。

结构方案和结构选型首先要考虑建筑功能这个因素。任何建筑都有对空间环境的要求，它决定着建筑的尺度、规模和相互关系。不但要把建筑物的主要功能要求分析清楚，一些相应的特殊功能要求，如防火、防振、防爆、抗震等也应统一考虑进去。

建筑材料是形成结构的物质基础。不同的材料构成不同的结构，而又形成各自的建筑造型。随着工业的发展，建筑材料也在不断发展。旧的材料有的在改进产品性能，有的逐渐被抛弃；新的建筑材料将不断出现并被陆续地应用到建筑上。新的建筑材料将产生新的结构形式和新的施工技术，从而促进建筑造型的巨大变革。

施工技术水平的高低影响着结构选型，各种新的施工技术不断出现，促使结构形式发生变革，所以在构思结构方案时必须先考虑材料、施工技术条件。同时在一一定的条件下，新的结构方案在施工部门的支持下，也往往会反过来促进施工技术生产水平的提高。

随着新的结构与新的材料不断应用与实践，人们逐渐更深入地认识了客观物质世界的内存矛盾和规律，并将其上升为理论认识，从而发展了结构理论，提高了结构的设计水平。电子计算机可以解决复杂的平面和空间结构的静力、动力计算。过去由于计算手段跟不上，只能凭经验订出一两个可行的结构方案做简单的分析比较。电子计算机的广泛应用，就可以做多种结构方案和结构形式的比较，使结构方案和结构选型的质量得到有力的保证。

结构方案是否经济，其衡量的指标是结构方案在满足建筑功能与造型要求的条件下做到既安全坚固，又节约材料，同时又能便于施工，缩短施工周期，减少能源消耗，提高生产效率和降低维修费用。结构方案经济与否是一个综合的优化设计问题，也是国家对基本建设要求的多、快、好、省的统一。

制订结构方案除了要考虑以上几个方面的主要影响因素外，还要考虑地震、台风、地质、

防火、防爆、能源等因素的影响。

§ 14-3 工程结构的类型

结构的类型很多,可以从不同的观点来分类。

按照几何特征,结构可分为杆件结构、薄壁结构和实体结构。杆件的几何特征是其长度远大于其他两个尺度(即截面的高度和宽度),由杆件组成的结构便称为杆件结构或杆系结构。薄壁结构是指其厚度远小于其他两个尺度(即长度和宽度)的结构,如板(如图 14-3 所示)和壳(如图 14-4 所示)。实体结构则三个方向的尺度相近,例如水坝(如图 14-5 所示)、地基、钢球等。

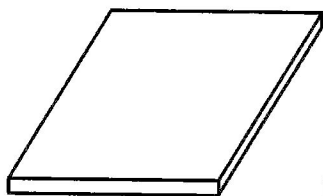


图 14-3 板



图 14-4 壳

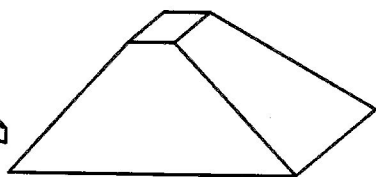


图 14-5 水坝

前已指出,结构力学研究的对象主要是杆件结构。杆件结构按其受力特性不同又可分为以下几种。

(1) 梁 梁是一种受弯杆件,其轴线通常为直线。梁有单跨的和多跨的(如图 14-6 所示)。

(2) 拱 拱的轴线为曲线且在竖向荷载作用下会产生水平反力(如图 14-7 所示),这使得拱内弯矩比跨度、荷载相同的梁的弯矩要小。

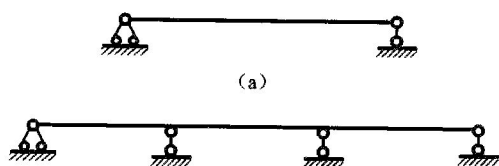


图 14-6 梁

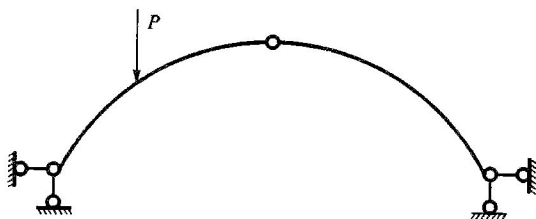


图 14-7 拱

(3) 刚架 刚架由直杆组成并具有刚节点(如图 14-8 所示)。

(4) 桁架 桁架也由直杆组成,但所有节点均为铰接点(如图 14-9 所示),当只受到作用于节点的集中荷载时,各杆只产生轴力。

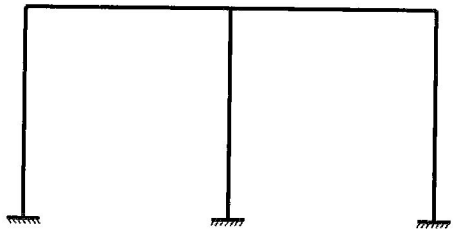


图 14-8 刚架

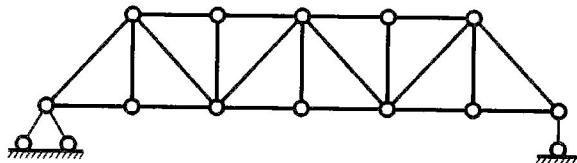


图 14-9 桁架

(5) 组合结构 组合结构是指由桁架和梁或桁架与刚架组合在一起的结构, 其中有些杆件只承受轴力, 另一些杆件则同时还承受弯矩和剪力 (如图 14-10 所示)。

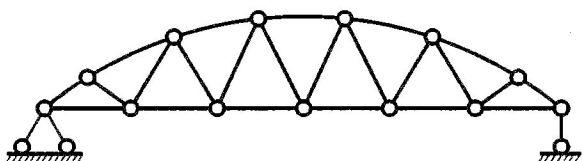


图 14-10 组合结构

按照杆轴线和外力的空间位置, 结构可分为平面结构和空间结构。如果结构的各杆轴线及外力 (包括荷载和反力) 均在同一平面内, 则称为平面结构, 否则便是空间结构。实际上工程中的结构都是空间结构, 不过在很多情况下可以简化为平面结构或近似分解为几个平面结构来计算。当然, 不是所有情况都能这样处理, 有些必须作为空间结构来计算, 如图 14-11 所示塔架。

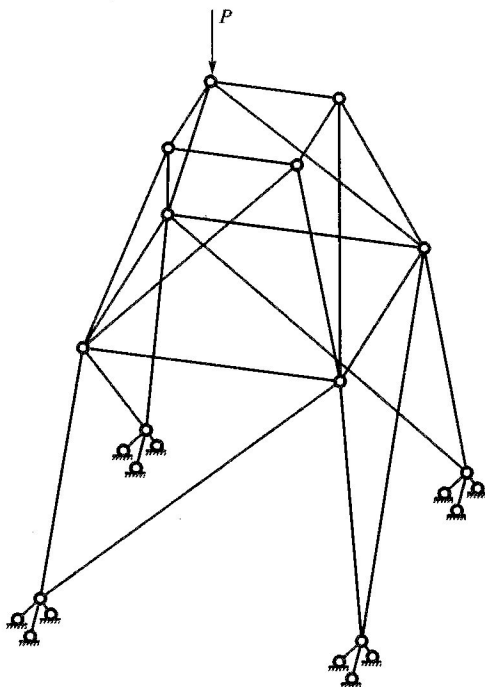


图 14-11 塔架

按照内力是否静定, 结构可分为静定结构和超静定结构。这一分类在理论上具有重要意义。若在任意荷载作用下, 结构的全部反力和内力都可以由静力平衡条件确定, 这样的结构便称为静定结构; 若只靠平衡条件还不能确定全部反力和内力, 还必须考虑变形条件才能确定, 这样的结构便称为超静定结构。

工程结构按其几何特征可分为三类, 即实体结构、板壳结构和杆件结构。如图 14-2 所示蓄水池为板壳结构, 挡土墙为实体结构, 而屋架为杆件结构。

§ 14-4 工程结构的计算简图

实际结构总是比较复杂的,要完全按照结构的实际情况进行力学分析,将是很烦很难的,也是不必要的。因此,在计算之前,往往对实体结构加以简化,表现其主要特点,略去次要因素,用一个简化图形来代替实体结构。这种图形就称为结构的计算简图。简化工作通常包括三个方面,荷载的简化;杆件的简化;支座和节点的简化。

例如一道梁两端搁在墙上,上面放一重物[如图 14-12 (a) 所示]。简化时,梁本身用其轴线来代表。至于两端的反力,其分布规律是难以知道的,现假定为均匀分布,并以其作用于墙宽中点的合力来代替。考虑到支撑面有摩擦,梁不能左右移动,但受热膨胀时仍可伸长,考虑可将其一端视为固定铰支座而另一端视为活动铰支座。这样便得到图示的计算简图[如图 14-12 (b) 所示]。

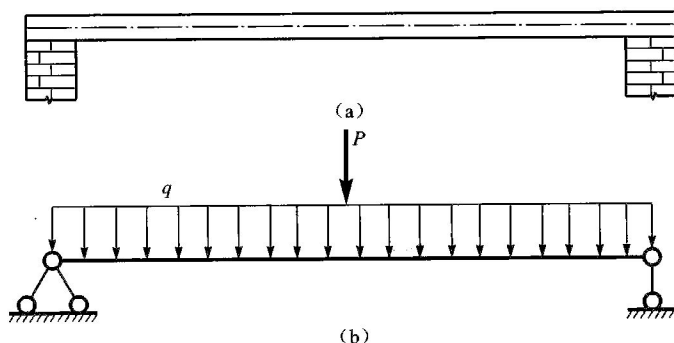


图 14-12 梁

又如图 14-13 所示钢筋混凝土屋架,如果我们只反映桁梁主要承受轴力这一特点,则计算时可采用图示的计算简图,各杆之间的联结均假定为铰接。这虽然与实际情况不符,但可使计算大为简化,而计算结果的误差在工程上通常是容许的。如果将各杆联结处均视为刚结,则可得到较精确的简图,但这样计算就很复杂。

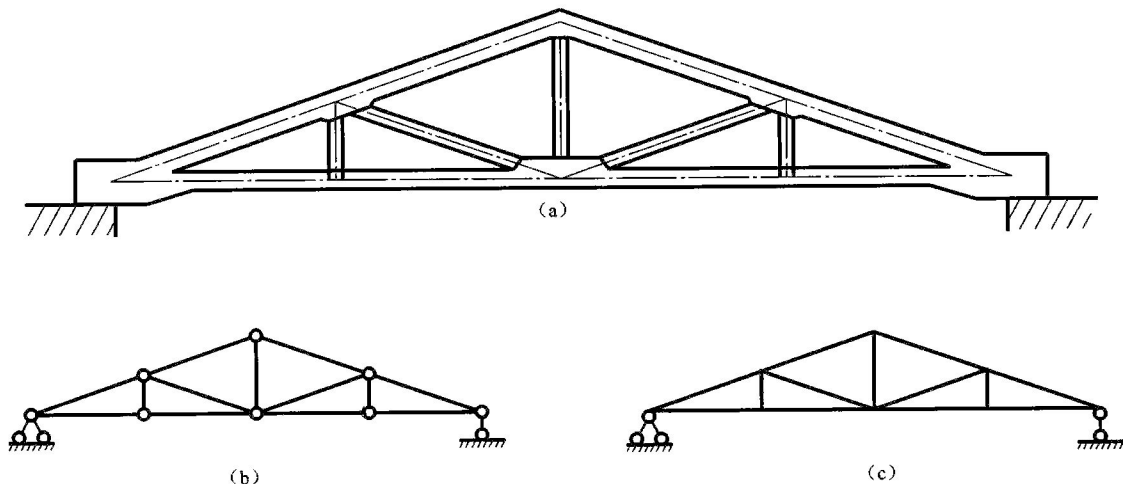


图 14-13 屋架



一般来说,选取计算简图应遵循的原则是:尽可能反映实际情况,使计算结果精确可靠;略去次要因素,以便简化计算。

有时,在初步设计中采用计算较简单但精确度不高的图形,而在最后设计中改用计算较繁但精确度较高的图形。电子计算机的应用为采用较精确的计算简图提供了更多的可能性。

应该指出,确定一个结构的计算简图,特别是对于比较复杂的结构,不是一件容易的事情。它需要有一定的专业知识和实际经验,并对结构各部分的构造,相互作用和受力情况有正确的判断能力。有时还需借助于模型试验或现场实测才能确定合理的计算简图。

§ 14-5 工程结构分析的内容及假定

工程结构分析的基本内容包括以下两个方面。

(1) 研究结构的几何组成规律和合理形式,以确保在预定荷载作用下,结构能维持其原有的形状。

(2) 研究结构的内力和位移计算,以便对结构进行强度、刚度和稳定性计算。

工程结构分析的基本假定中,除了荷载的简化、杆件的简化和支座和节点的简化等内容外,还包括小变形假定和内力正负号的规定。所谓小变形假定,是假定物体受力以后,整个物体所有各处的位移都远远小于物体原来的尺寸,因而物体的平动和转动都很小。这样,在建立物体变形以后的各种计算公式时,可以用变形以前的尺寸来代替变形以后的尺寸,而不致引起显著的误差。而对于大变形情况,如梁的纵横弯曲问题,横向荷载引起的弯曲变形将使轴向荷载产生弯曲效应。

在建筑力学中,结构内力的正负号通常规定如下。

(1) 剪力,数值等于截面任一边所有外力在与梁轴线垂直方向投影的代数和。剪力以使截面逆时针转动为正,顺时针转动为负。

(2) 弯矩,数值等于截面任一边所有外力对该截面形心之矩的代数和。弯矩以使梁下侧受拉为正,上侧受拉为负。

(3) 轴力,数值等于截面任一边所有外力在梁轴线方向投影的代数和。轴力以使截面受拉为正,受压为负。

习 题

- 14-1 何为结构? 结构可分为哪几类? 结构力学的研究对象是哪类结构?
- 14-2 结构力学的基本任务是什么?
- 14-3 为什么要选取结构的计算简图? 选取计算简图应遵循什么原则?
- 14-4 平面杆件结构从哪几个方面进行简化?
- 14-5 从受力和变形方面考虑,刚节点和铰结点各具有什么特点?
- 14-6 支座有几种形式? 分别存在何种约束反力?
- 14-7 平面杆件结构可分为哪几种类型?
- 14-8 结构上的荷载分为哪几类? 怎样理解非荷载的外界因素对结构的影响?

杆件结构的组成规律

§ 15-1 基本概念

杆件结构的组成规律分析是研究杆系结构的几何组成,也称为几何构造分析或机动分析,以几何不变体系的简单组成规则为根据,确定体系的几何形状和空间位置是否稳定的一种分析方法。在工程实际中,不稳定的体系是不能用以承受和传递荷载的。几何形状和空间位置稳定,就是几何不变。这里研究几何形状的变化不考虑材料的应变,因为结构由材料应变引起的形变一般是很小的。

如图 15-1 所示体系,若忽略材料应变,则成为刚性杆的铰接体系。显然,在很小的水平干扰力的作用下,体系将发生侧移倾倒,原有的几何形状不能维持。虚线表示可能发生的形状改变。如图 15-1 (b) 所示,若在体系中增设一根链杆,则体系的形状再也不会改变。施加荷载,将立即受到弹性抵抗,体系具有抵抗变形的能力。如图 15-1 (c) 所示,虽增设链杆,但增设的位置不适当,其几何形状仍是可变的。于是,将杆件体系的几何稳定性分为两类。

(1) 在不考虑材料应变的条件下,几何形状和空间位置维持不变的体系称为几何不变体系或简称不变体系。

(2) 在不考虑材料应变的条件下,几何形状或空间位置可以改变的体系称为几何可变体系或简称可变体系。

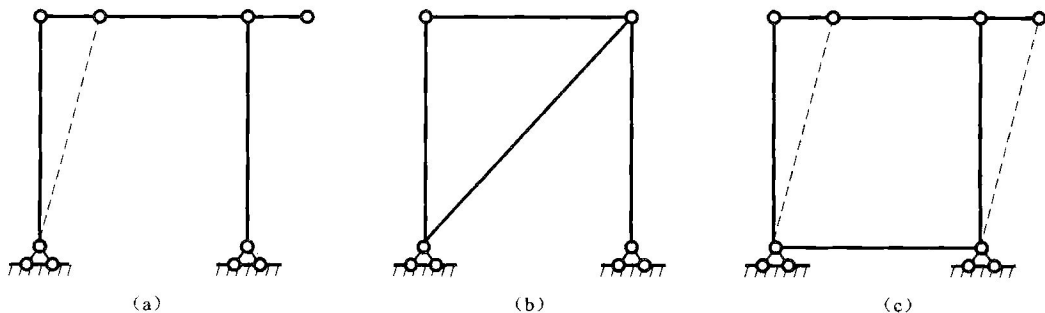


图 15-1 刚性杆铰接体系

由于不考虑材料的应变,一个几何不变部分,无论大小、局部或整体,分析中均可视为一个刚片。所谓刚片,就是几何不变的平面刚体。

体系的自由度，就是体系运动时可以独立改变的几何参数的数目，也就是确定体系位置所需的独立坐标的数目。

平面上一个点由 A 点移到 A' 点，有两个独立坐标 x 和 y 可以改变 [如图 15-2 (a) 所示]，即有两种独立的运动方式，所以说，平面上一个点有两个自由度。如图 15-2 (b) 所示，平面内一刚片上有左右、上下、转动三种独立的运动方式，所以说平面上一个刚片有三个自由度。

刚片在平面上的位置，可由刚片上任一条直线（如 AB ）的位置来确定。直线的位置又可由其上任一点 A 的两个坐标 x 、 y 及直线的转角 θ 来确定。当 x 、 y 及 θ 一定时，直线的位置确定，刚片的位置也得以确定。可见，平面上一刚片和一刚杆具有相同的运动方式，在作几何构造分析时，可相互等效替换。

减少体系自由度的装置称为约束或联系。各种支座、刚片间的各种联结都是约束装置。常见的约束形式有滚动铰支座、链杆、固定铰支座、单铰、固定支座和刚结。

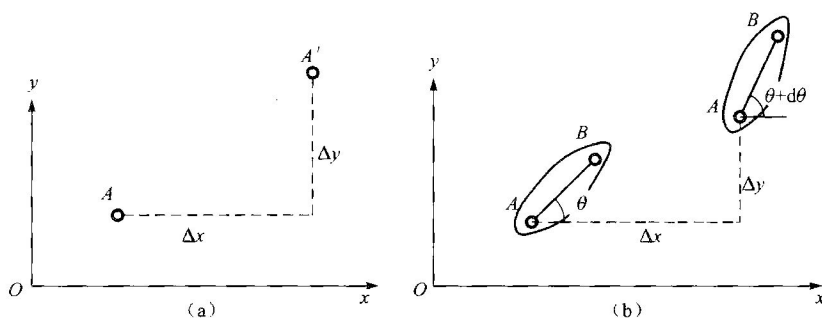


图 15-2 自由度

对于滚动铰支座或链杆的约束作用，如图 15-3 (a) 所示，平面上一自由刚片 AB ，本应有三个自由度，但由于滚动支座的约束，只能左右移动和绕 A 点转动，上下移动的自由度被限制了。所以一个滚动铰支座（即一个支杆）等于一个约束。

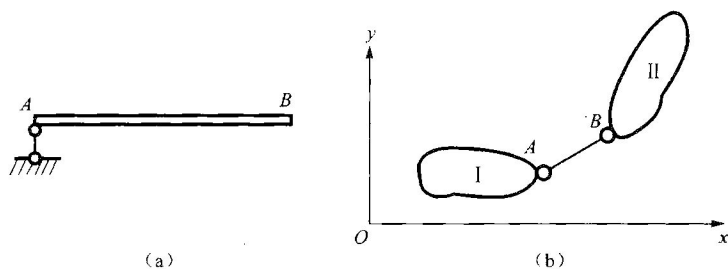


图 15-3 自由度

如图 15-3 (b) 所示，平面上有两个自由刚片（刚片 I 和刚片 II），本应共有六个自由度，但用链杆 AB 联结后，只有五个自由度了。这五个自由度是两刚片视为整体在平面上有三个自由度，两刚片之间相对运动有两个自由度。显然链杆 AB 限制了一个自由度。

由上可知，一根支杆或一根链杆限制一个自由度，我们说一支杆或一链杆相当于一个约束。

对于固定铰支座或单铰的约束作用。如图 15-4 (a) 所示平面上一刚片，自由状态时有三个自由度，但由于固定铰支座的作用，只有一个绕 A 点转动的自由度。可见，一个固定铰