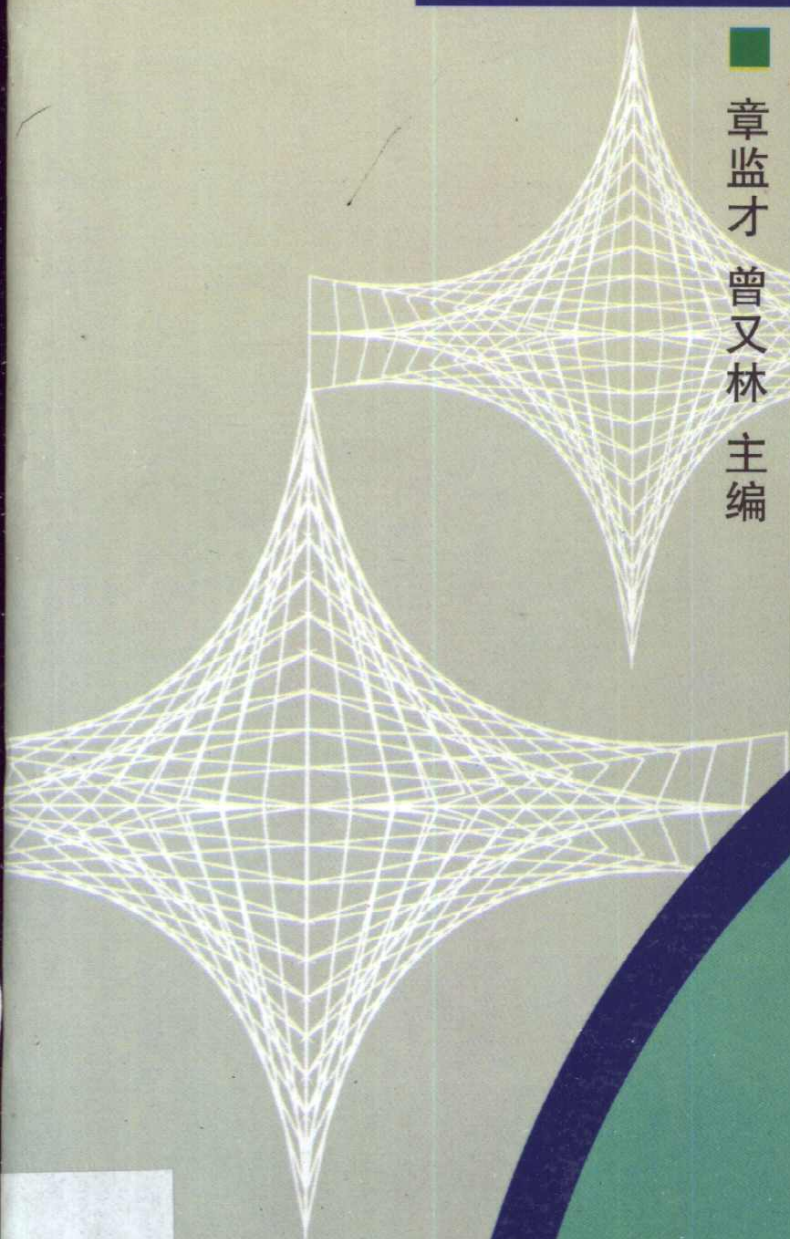


力学系列课程教材之三

结构力学

章监才 曾又林 主编



力学系列课程教材之三

结 构 力 学

武汉大学土木建筑工程学院
力学系列课程教材编写组

编

章监才 曾又林 主 编

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

结构力学/章监才,曾又林主编. —武汉:武汉大学出版社,
2001.8

力学系列课程教材之三

ISBN 7-307-03239-2

I. 结… II. ①章… ②曾… III. 结构力学—高等学校—教材 IV. O31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 00989 号

责任编辑:李汉保 责任校对:刘欣 版式设计:支笛

出版:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.whu.edu.cn)

发行:新华书店湖北发行所

印刷:湖北省通山县印刷厂

开本:850×1168 1/32 印张:14 字数:360千字

版次:2001年8月第1版 2001年8月第1次印刷

ISBN 7-307-03239-2/O·234 定价:19.50元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题者,请与当地图书销售部门联系调换。

序

教材建设是一项长期艰巨而且意义重大的工作。要编写出合格的好教材，编写者一定要对本门课程同时具备比较深广的理论和丰富的实际教学经验，并且能够注意在继承的基础上不断创新。武汉大学(原武汉水利电力大学)土木建筑工程学院的工程力学(现应用力学)、材料力学(现计算力学与材料强度)、结构力学等教研室的同志们，从1958年开始一直非常重视这项工作，四十多年以来，虽然人员更新多批，但对教材改革始终坚持不懈，除公开出版过《材料力学》、《结构力学》、《工程力学》等多种版本外，还出版过《建筑力学》、《工程力学与工程结构》等多套综合性教材，为我国高等学校工科力学教材的建设作出了贡献。

本系列课程教材是在进入21世纪的新形势下，编写者吸取了历次教材改革的经验和教训，立足于土木水利类各专业的力学基本要求，按系列课程考虑，从体系到内容都作了必要的调整和扬弃，并且特别注意了克服重复脱节、淘汰陈旧内容、适当增加新的内容及增强计算机的应用等问题，因而较大地压缩了篇幅，提高了质量。全书是在经历了两轮教学试点使用之后定稿的，现在仍暂按过去通用的名称：理论力学、材料力学、结构力学，按力学系列课程三个分册出版。

进入21世纪以后，我国高等学校的各项改革正方兴未艾，继续全面地展开教材改革任重而道远。希望编写者们展望未来，联系实际，不断实践，再接再厉地在这一战线上取得更为丰硕的成果。

栗一凡

2000年9月

前 言

随着科学技术的飞速发展和新材料、新结构、新方法及新工艺的不断问世,以及我国高等学校专业结构的重大调整,面向信息时代,工科力学系列课程的改革已势在必行。

从 1995 年湖北省《工科力学系列课程教学内容和体系改革研究》立项以来,我们针对土木水利类四门主要专业基础课:理论力学、材料力学、结构力学和弹性力学进行了综合调研。总结历次教材改革的经验和教训,按专业的力学要求,从体系到内容进行了调整和充实,克服重复脱节,淘汰陈旧内容,在确保国家教育部批准执行的基本要求的基础上,增加新的内容和计算机应用,配合 CAI (计算机辅助教学) 等现代化教学手段和方法,按照循序渐进的认识规律,将教材内容优化组合,组建工科力学课程的三个模块:作为必修的基础教材模块,供不同专业选修的专题教材模块,供个人选修的选修教材模块,编出后在校内水利水电建筑工程专业 96 级和 97 级两个年级试用,取得了可贵的经验和预期的效果。

这次出版的本系列教材,考虑到现实状况,仍称理论力学、材料力学、结构力学等当前通用名称。它们是在试用教材基础上,参照近年新的教学计划,按照提高起点、保证基础、压缩篇幅、精选内容、系列考虑和增强后劲的精神,作了必要的修改。随着教学改革的逐步深入,我们今后还将不断进行充实和提高。

本系列课程教材编写者:

《理论力学》:徐昭光(第一、二、三章),欧珠光(第七、八章),边翠英(第四、五、六章),韩立朝(第九、十、十一、十二章和附录);

《材料力学》：邓训 (第二、十、十三章)，徐远杰 (第六、十一章和附录 II)，张青梅 (第一、五章和附录 I)，彭华 (第四、八章)，乐运国 (第三、七、九、十二章)；

《结构力学》：章监才 (第六、七、八章)，何文娟 (第一、九章)，曾又林 (第二、四章)，刘礼华 (第三章)，周剑波 (第五章)，袁文阳 (第十章)。

本书得到我校工程力学 (现应用力学)、材料力学 (现计算力学与材料强度) 和结构力学等教研室全体教师的支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

本书中不妥之处，热忱欢迎批评指正。

章监才 邓 训 徐昭光
2000 年 9 月

目 录

序

前 言

第一章 绪 论	1
第一节 结构力学的对象和任务	1
第二节 结构的计算简图	3
第三节 荷载的分类	8
第四节 结构力学的发展	9
第二章 平面杆系结构的几何组成分析	11
第一节 概 述	11
第二节 几何不变体系的组成规则	13
第三节 杆件体系几何组成与静力特性的关系	18
第四节 平面体系的计算自由度	22
习 题	25
第三章 静定结构的内力计算	27
第一节 静定结构的一般概念	27
第二节 多跨静定梁	33
第三节 静定平面刚架	38
第四节 静定平面桁架	54
第五节 三铰拱	65
第六节 静定组合结构	77

第七节 静定结构的特性	79
习 题	82
习题答案	88
第四章 虚功原理与结构位移计算	90
第一节 概 述	90
第二节 虚功原理	91
第三节 结构位移计算的一般公式	95
第四节 荷载作用下结构位移计算	97
第五节 支座移动温度变化时结构位移计算	111
第六节 互等定理	116
习 题	120
习题答案	123
第五章 力 法	124
第一节 超静定结构及超静定次数	124
第二节 力法的基本原理	128
第三节 力法计算举例	133
第四节 超静定结构的位移计算	152
第五节 超静定拱的计算	156
第六节 超静定结构的特性	162
习 题	163
习题答案	167
第六章 位移法	168
第一节 位移法概念	168
第二节 位移法基本原理	175
第三节 结构对称性的利用	181
第四节 位移法解某些侧移刚架	187

习 题	197
习题答案	200
第七章 矩阵位移法	201
第一节 平面桁架计算	201
第二节 平面桁架程序	218
第三节 平面刚架计算	229
第四节 平面刚架程序	244
第五节 程序的扩展	260
习 题	266
习题答案	268
第八章 力矩分配法和近似法	269
第一节 力矩分配法基本原理	269
第二节 力矩分配法计算无侧移结构	279
第三节 无剪力分配法	287
第四节 近似法的基本概念	290
第五节 多跨多层刚架在竖向荷载作用下的近似计算	299
第六节 多跨多层刚架在水平荷载作用下的近似计算	301
习 题	311
习题答案	313
第九章 影响线	315
第一节 移动荷载和影响线的概念	315
第二节 静力法作静定梁的影响线	317
第三节 静力法作桁架影响线	329
第四节 机动法作静定梁的影响线	332
第五节 机动法作连续梁影响线的轮廓	336
第六节 影响线的应用	338

第七节 简支梁的内力包络图和绝对最大弯矩	350
第八节 连续梁的内力包络图	356
习 题	359
习题答案	363
第十章 结构的动力计算	365
第一节 概 述	365
第二节 单自由度体系的自由振动	370
第三节 单自由度体系的强迫振动	376
第四节 阻尼对振动的影响	391
第五节 多自由度体系的自由振动	397
第六节 多自由度体系在简谐荷载下的强迫振动	410
第七节 无限自由度体系的自由振动 (近似法)	417
第八节 地震与结构抗震概念	423
习 题	430
习题答案	434

第一章 绪 论

第一节 结构力学研究的对象和任务

土木工程中的各类建筑物，例如房屋、桥梁、隧洞、闸门、水坝等在使用过程中都要承受各种荷载的作用。这些建筑物中承受荷载的骨架部分叫做结构。图1-1 (a) 所示单层工业厂房的构架就是由梁、柱等构件组成的结构，称为杆系结构。建筑物中的结构除杆系结构外还有薄壁结构（如板、壳）和块体结构（如水坝）等。图1-1 (b) 所示的水闸（一孔）它是由杆系结构、块体等结构构成的。

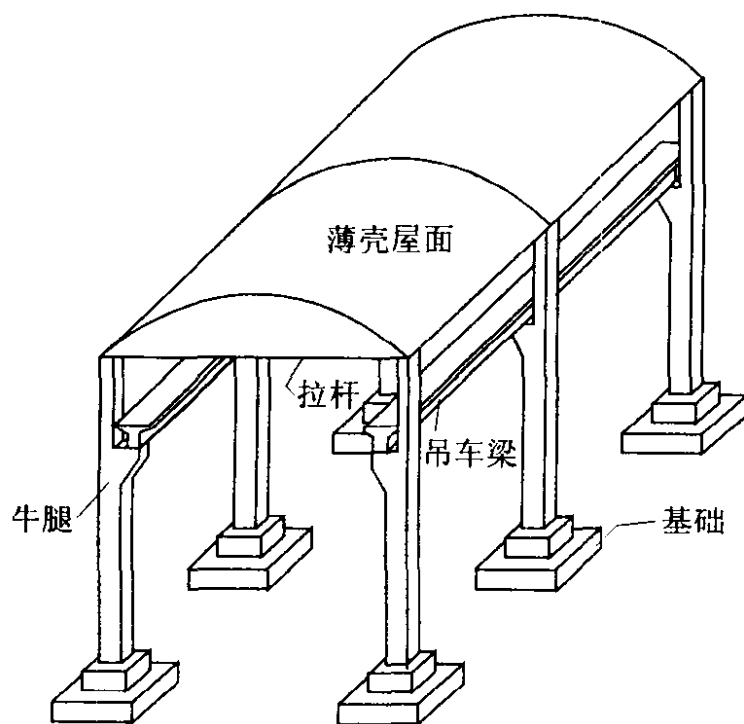


图1-1(a)

本课程只研究杆系结构的力学问题。

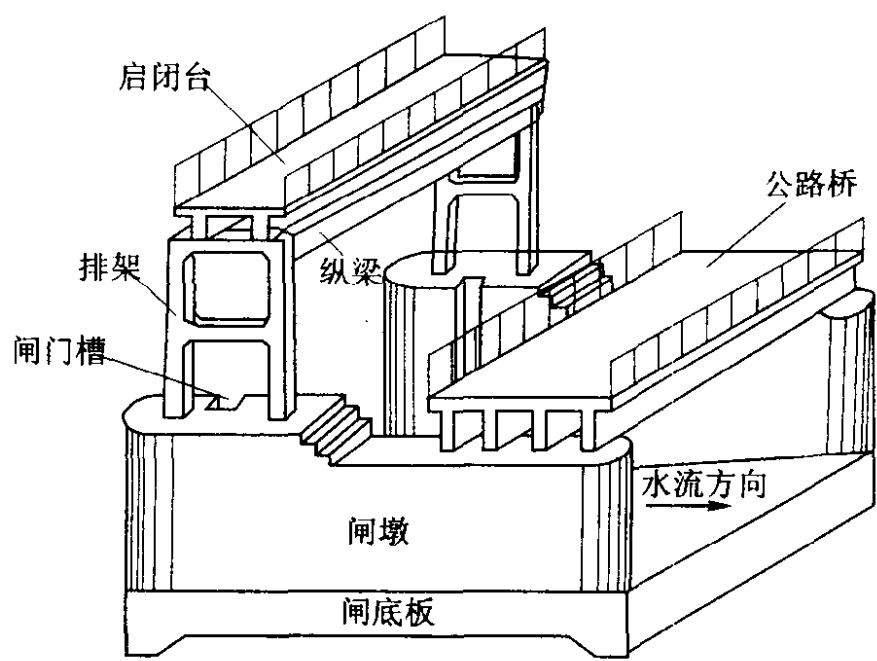


图1-1(b)

结构力学是一门重要的专业基础课，它是理论力学和材料力学的后续课程。理论力学着重研究刚体的机械运动规律；材料力学主要研究材料的强度理论和单根杆件的计算理论；在此基础上结构力学的主要任务是杆系结构分析，包括研究杆系结构在荷载等因素作用下的内力和变形计算以及结构的组成规律等问题。在结构内力、变形计算的基础上可以对结构的强度、刚度、稳定及动力问题进行深入地分析研究。掌握了结构力学的基本原理和计算方法后，就为后续力学课程和专业课程的学习以及将来从事结构设计提供了力学基础。

学习结构力学要循序渐进、注意掌握教材中各章节内容的概念、思路和相互联系；要多做习题、注意熟悉求解各类问题时的细节和技巧。结构力学是实践性很强的学科，学习时要注意理论联系实际，逐步提高分析能力、计算能力、自学能力和表达能力。

第二节 结构的计算简图

实际结构和荷载往往是很复杂的，完全按照结构的实际情况去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分析以前要进行科学的抽象，即抓住原结构的主要受力特征，略去次要因素。这种把实际结构按抓主弃次简化出的力学模型，称为结构的计算简图。结构力学的计算对象，主要是各种各样的计算简图而不是错综复杂的各种结构本身。

1.2.1 选取计算简图的方法

选取计算简图的原则是：既要正确反映实际结构的受力特征，又要简单、明确、便于计算。

计算简图的选取与众多因素有关：如建筑物的等级、设计阶段、计算问题的性质，所具有的计算工具等。对于常用的结构型式，可以利用前人已积累的经验，采用为实践验证过的计算简图。对于新型的结构，往往还需要通过反复试验和实践才能获得比较合理的计算简图。

选取平面杆系结构的计算简图时，一般应从以下几方面对结构进行简化：

1.2.1.1 结构的简化

工程中的杆系结构都是空间结构，在多数情况下，常可以忽略一些次要的空间约束，而将空间杆系结构分解为平面杆系结构。杆系结构是由细而长的杆件所组成，因此可以采用各杆轴线所组成的几何轮廓来代替实际结构。本教材主要讨论平面杆系结构。

1.2.1.2 结点的简化

杆系结构是由若干杆件按一定的联结方式组成的。杆件和杆件

的联结点称为结点。根据结点处联结的方式不同，在计算简图中一般把它简化为某种理想的约束型式即铰结点和刚结点。铰结点的特征是汇交于结点的各杆端可以自由的绕结点转动。图1-2 (a)、(b) 是木结构中铰结点的构造和计算简图。

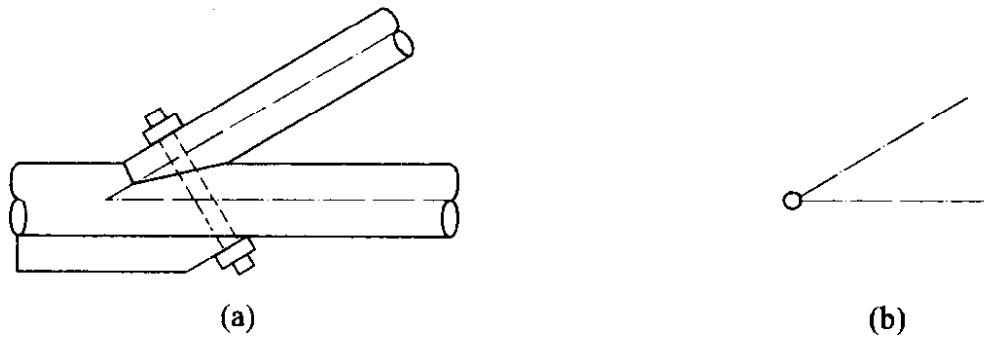


图1-2

刚结点的特征是汇交于结点的各杆端相互牢固地联结为整体，被联结的各杆端截面具有相同的线位移和角位移。即结点处被联结的各杆端之间既不能相对移动，又不能相对转动。图1-3 (a) 为钢筋混凝土结构中刚结点的构造示意图，图1-3 (b) 为其计算简图。

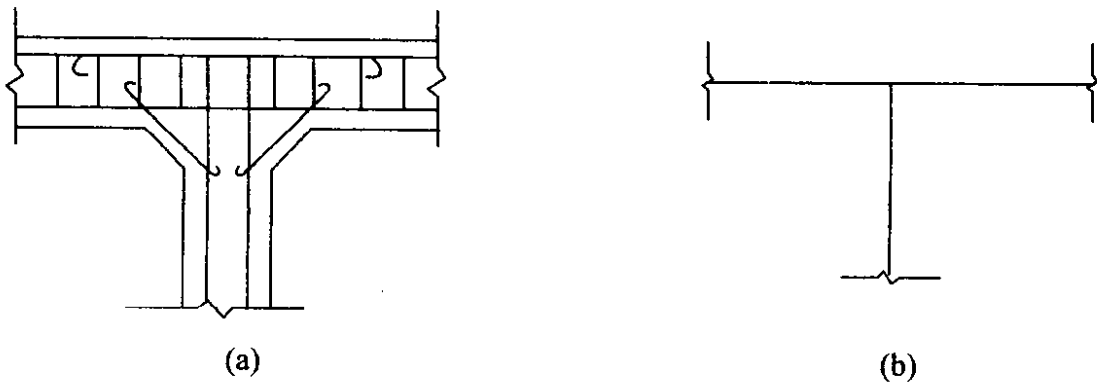


图1-3

实际工程中，有些结点是刚结点和铰结点的混合。如图1-4 (a)，两杆端刚性联结后又和另一杆端用铰联结起来。常称这种结点为不完全铰结点，而图1-4 (b) 所示为完全铰结点。

1.2.1.3 支座简化

结构和周边结构或地基基础的联结称为支座。一般简单结构并

不设置正规的支座，重要的而且负荷大的结构，为了受力明确，常需设置正规的支座装置。按支座对结构的约束作用和因此而产生的约束反力，在计算简图中一般简化为以下四种类型：活动铰支座如图1-5 (a)，固定铰支座如图1-5 (b)，固定支座如图1-5 (c)，定向支座如图1-5 (d) 等。

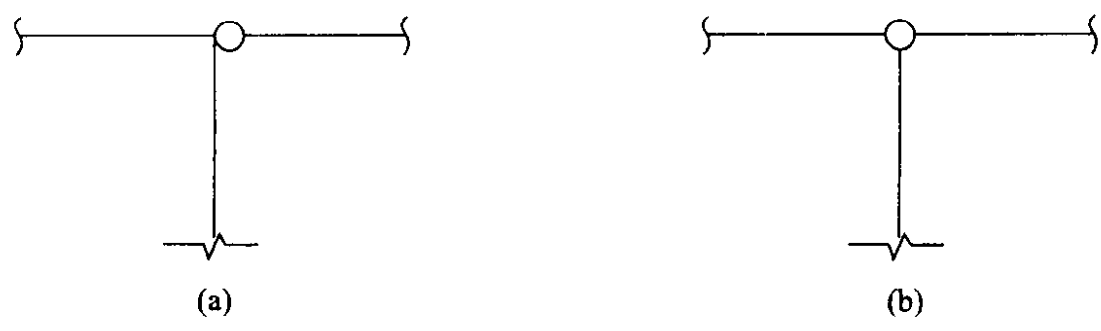


图1-4

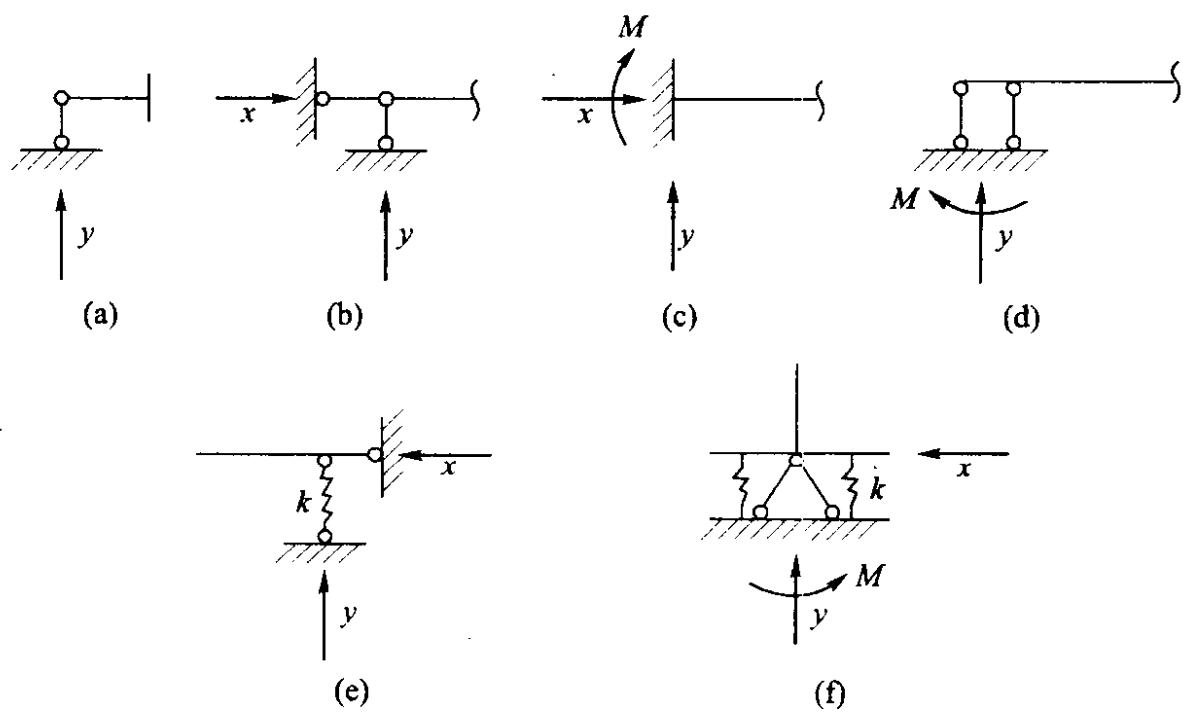


图1-5

应当指出，上述支座没有考虑支座本身的变形，因此总称为刚性支座。当需要考虑支座变形时，这种支座称为弹性支座。图1-5

(e)、(f) 均为弹性支座计算简图。图中 k 为弹簧的刚度系数，分别表示弹性支座产生单位位移或单位转角时所产生的反力或反力矩，其大小由实验确定。

1.2.1.4 材料性质的简化

建筑工程中常用的材料有钢、铁、混凝土、砖、石、木材等。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。

1.2.1.5 荷载简化

实际工程中复杂而又多种多样的荷载，在计算简图中也需要进行科学的抽象。因为结构简化时杆件均用其轴线代替，因此不管结构上的荷载是表面力（如水压力）还是体积力（如自重），首先都应该简化为作用在杆件轴线上的力。其次，当荷载作用的范围与结构尺寸相比很小时，可以理想化为集中荷载，当荷载集度变化不大时则可以作为均布荷载。另外，当加载的动力效应不明显时，按静力荷载处理。荷载的简化和分类比较复杂，下面还要专门讨论。

1.2.2 杆系结构的分类及其计算简图

杆系结构的计算简图是由杆件轴线、理想结点以及支座简图所组成的。通常可分为下列几类：

1.2.2.1 梁

梁是一种受弯构件。其轴线有直线、也有曲线，有单跨也有多跨（见图1-6）。

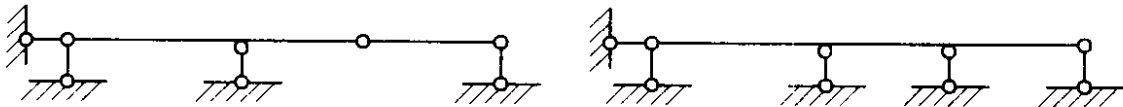


图1-6

1.2.2.2 拱

拱的轴线为曲线，其力学特点是在竖向荷载作用下有水平支座

反力，即推力（见图1-7）。

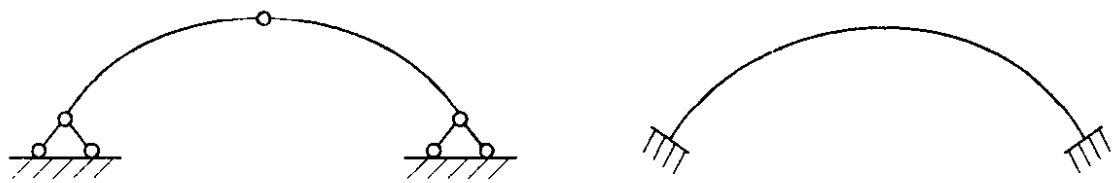


图1-7

1.2.2.3 桁架

桁架由直杆组成，所有结点均当做铰结点。当荷载只作用于结点时，各杆只受轴向力作用（见图1-8）。

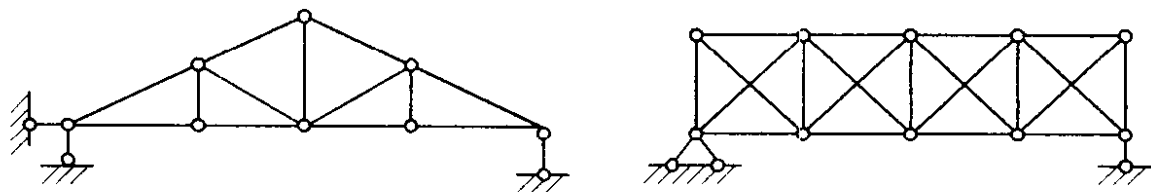


图1-8

1.2.2.4 刚架

刚架由直杆组成，其结点一般为刚结点，也可以有铰结点。荷载作用下各杆件会产生轴力、剪力和弯矩，但变形以弯曲变形为主（见图1-9）。

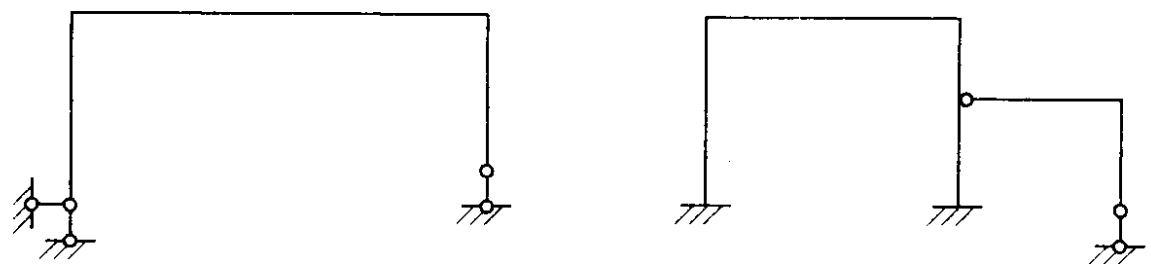


图1-9

1.2.2.5 组合结构

组合结构是梁式杆和链杆的组合体，其中梁式杆以弯曲为主，链杆承受轴力（见图1-10）。