

新世纪土木工程系列规划教材

结构力学 上册

王来 王彦明 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

新世纪土木工程系列规划教材

结 构 力 学

上 册

主 编 王 来 王彦明
副主编 王崇革 马世荣
参 编 郇筱林 都 浩



机 械 工 业 出 版 社

本书根据建设部高等学校土木工程专业指导委员会制定的“结构力学教学大纲”，结合教育部高等学校非力学专业力学基础课程教学指导分委员会制定的“结构力学课程教学基本要求”（A类）编写，重在介绍结构力学的基本概念、基本理论和基本方法，学习各类结构的受力性能，培养工科学生的结构受力分析能力。本书分上、下两册，结构力学上册内容包括：绪论、平面杆件体系的几何构造分析、静定梁和静定刚架、静定桁架、三铰拱与悬索结构、虚功原理和结构的位移计算、力法、位移法、渐近法和近似法、影响线及其应用。

本书可作为高等工科院校土木工程、水利工程及工程力学等专业的通用教材，也可用作自学考试和电大、函大的教学参考书，并可供土木工程类工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

结构力学.上册/王来,王彦刚主编. —北京:机械工业出版社,2010.8
(新世纪土木工程系列规划教材)

ISBN 978-7-111-31139-3

I. ①结… II. ①王… ②王… III. ①结构力学—高等学校—教材
IV. ①O342

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第124143号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:季顺利 责任编辑:马军平

版式设计:霍永明 责任校对:陈延翔

封面设计:张静 责任印制:杨曦

北京双青印刷厂印刷

2010年8月第1版第1次印刷

184mm×260mm·17.75印张·435千字

标准书号:ISBN 978-7-111-31139-3

定价:32.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面防伪标均为盗版

前言

本书是根据建设部高等学校土木工程专业指导委员会制定的“结构力学教学大纲”，结合教育部高等学校非力学专业力学基础课程教学指导分委员会制定的“结构力学课程教学基本要求”（A类），在总结编者多年教学实践经验的基础上编写的，包括结构力学上、下两册。本书重在介绍结构力学的基本概念、基本理论和基本方法，学习各类结构的受力性能，培养工科学生的结构受力分析能力。本书为上册，内容包括：绪论、平面杆件体系的几何构造分析、静定梁和静定刚架、静定桁架、三铰拱和悬索结构、虚功原理和杆件结构的位移计算、力法、位移法、渐近法和近似法、影响线及其应用。

本书在内容和语言上力求精练，重点突出结构力学基本概念、基本原理和基本方法的讲授，强化结构受力分析计算能力的基本训练，结合土木工程特点，以工程实践为背景，加强工程应用能力和专业能力的培养。

本书选材适当，叙述简明，思路清晰，精选例题和习题，突出专业特色，符合认识规律。

本书编写人员均为从事结构力学教学十几年的教师，编写内容融入了编者多年来结构力学教学研究的成果。

本书可以供高等工科院校土木工程、水利工程及工程力学等专业作为教材，也可供其他相关专业选用。

参加本书编写的人员有：第7章由山东科技大学王来编写；第5、6章由山东大学王彦明编写；第1、3、4章由山东科技大学王崇革编写；第2、9章由山东大学马世荣编写；第10章由山东科技大学邹筱林编写；第8章由山东科技大学都浩编写。全书由山东科技大学王来教授统稿。

在编写过程中，参考了许多专家、学者的一些书籍和文献资料，在此表示由衷的感谢。

限于编者水平，书中难免存在错误，恳请读者批评指正。

编者

主要符号表

A	图形面积, 振幅	I	惯性矩, 冲量
\mathbf{A}	振幅矢量	\mathbf{I}	单位矩阵
c	支座广义位移, 粘滞阻尼系数	k	刚度系数, 侧移刚度
C	弯矩传递系数	\mathbf{K}	结构的整体刚度矩阵
c_{cr}	临界阻尼系数	\bar{k}^e	局部坐标系下单元刚度矩阵
d	结间长度	k^e	整体坐标系下单元刚度矩阵
E	弹性模量	l	长度, 跨度
E_p	结构总势能	m	质量
f	拱高, 矢高, 工程频率	\mathbf{M}	质量矩阵
F	集中荷载	M	力矩, 力偶矩, 弯矩
F_H	水平推力	M^F	固端弯矩
F_{Ax}	A 支座沿 x 方向的反力	M_u	极限弯矩
F_{Ay}	A 支座沿 y 方向的反力	M_s	弹性极限弯矩
F_{AH}	A 支座沿水平方向的反力	P	广义力, 广义荷载
F_{AV}	A 支座沿垂直方向的反力	\bar{P}^e	局部坐标系下单元等效结点荷载矢量
F_N	轴力, 悬索张力	P^e	整体坐标系下单元等效结点荷载矢量
F_p	荷载, 作用力	P	结构的等效结点荷载矢量
\mathbf{F}_p	结构荷载矢量	q	均布荷载集度
F_e	欧拉临界荷载	r	半径, 反力影响系数, 单位位移引起的 广义反力
F_{cr}	临界荷载	R	半径, 广义反力
F_{pu}	极限荷载	S	转动刚度, 截面静矩, 影响线量值
F_p^+	可破坏荷载	t	温度, 时间
F_p^-	可接受荷载	T	周期, 动能
F_e	弹性力	\mathbf{T}	坐标转换矩阵
F_i	惯性力	U	弯曲应变能
F_R	阻尼力, 广义反力	u	水平位移
F_Q	剪力	v	竖向位移, 挠度, 速度
F_Q^F	固端剪力	V_F	外力势能
F_V	悬索张力垂直分量	V_e	应变能
\bar{F}^e	局部坐标系下单元杆端力矢量	W	功, 体系的外力虚功, 抗弯模量, 计算 自由度, 弯曲截面系数, 重量
F^e	整体坐标系下单元杆端力矢量	W_i	体系的内虚功
\bar{F}_p^e	局部坐标系下单元固端约束力矢量	X	广义未知力, 广义多余未知力
F_p^e	整体坐标系下单元固端约束力矢量	Y	位移幅值矢量, 主振型矢量, 主振型矩 阵
G	切变模量	y	位移
h	杆件截面高度		
i	线刚度		

Z	影响线量值, 广义未知位移	σ_b	强度极限
α	线膨胀系数, 初相角	σ_s	屈服应力
δ	柔度系数, 位移影响系数, 单位荷载引起的广义位移	σ_u	极限应力
β	动力系数, 杆件的旋转角	ϕ	振型矩阵
γ	切应变	ω	圆频率
γ_0	平均切应变	κ	曲率
ε	线应变	Δ	广义位移
ζ	阻尼比	$\underline{\Delta}^e$	结构结点位移矢量
θ	角位移, 干扰力频率	$\overline{\Delta}^e$	局部坐标系下单元杆端位移矢量
μ	力矩分配系数, 截面剪力分布不均匀系数	λ^e	整体坐标系下单元杆端位移矢量
ν	剪力分配系数	φ	单元定位矢量
			截面转角

目 录

前言

主要符号表

第 1 章 绪论	1
1.1 结构力学的任务和内容	1
1.2 荷载及其分类	2
1.3 结构的简化及计算简图	3
1.4 结构的分类	8
第 2 章 平面杆件体系的几何构造分析	11
2.1 几何构造分析的几个概念.....	11
2.2 平面杆件体系的计算自由度.....	15
2.3 平面几何不变体系的基本组成规则.....	16
2.4 几何构造分析的方法与举例.....	19
2.5 体系的几何构造与静力特性.....	23
习题	24
第 3 章 静定梁和静定刚架	27
3.1 梁式杆件的内力计算.....	27
3.2 分段叠加法作弯矩图.....	30
3.3 静定多跨梁.....	31
3.4 静定平面刚架.....	35
3.5 快速绘制刚架的弯矩图.....	43
习题	44
第 4 章 静定桁架	48
4.1 概述.....	48
4.2 结点法.....	49
4.3 截面法.....	52
4.4 结点法与截面法的联合应用.....	55
4.5 对称性的利用.....	57
4.6 各式桁架比较.....	58
习题	60
第 5 章 三铰拱与悬索结构	63
5.1 概述.....	63
5.2 三铰拱的数值解法.....	64
5.3 三铰拱的合理拱轴线.....	69

5.4	静定组合结构	72
*5.5	悬索结构	76
5.6	静定结构总论	81
	习题	86
第6章	虚功原理和结构的位移计算	89
6.1	概述	89
6.2	刚体体系的虚功原理	90
6.3	变形体体系的虚功原理	94
6.4	结构位移计算的一般公式	96
6.5	静定结构在荷载作用下的位移计算	98
6.6	图乘法	104
6.7	静定结构在温度改变和制造误差作用时的位移计算	110
6.8	静定结构在支座移动作用时的位移计算	112
*6.9	具有弹性支座的静定结构的位移计算	114
6.10	线弹性结构的互等定理	116
	习题	119
第7章	力法	124
7.1	超静定结构概述	124
7.2	力法原理和力法典型方程	127
7.3	超静定梁、刚架和排架的计算	132
7.4	超静定桁架和组合结构的计算	138
7.5	对称性的应用	140
7.6	超静定拱的计算	149
7.7	支座移动和温度变化时超静定结构的计算	154
7.8	超静定结构位移的计算	157
7.9	超静定结构计算结果的校核	161
7.10	超静定结构的特性	163
	习题	164
第8章	位移法	169
8.1	概述	169
8.2	等截面直杆的刚度方程	170
8.3	位移法的基本未知量和基本结构	174
8.4	位移法的典型方程	177
8.5	位移法的计算实例及步骤	180
8.6	对称性的应用	193
*8.7	支座位移与温度改变时的内力计算	196
8.8	直接利用平衡条件建立位移法方程	199
	习题	201
第9章	渐近法和近似法	205

9.1 概述	205
9.2 力矩分配法	205
9.3 无剪力分配法	218
*9.4 力矩分配法和位移法的联合应用	224
*9.5 近似法	227
习题	233
第10章 影响线及其应用	238
10.1 移动荷载和影响线的概念	238
10.2 静力法作静定梁的影响线	239
10.3 间接荷载作用时静定梁的影响线	242
10.4 静力法作静定桁架的影响线	243
10.5 机动法作静定梁的影响线	245
10.6 铁路和公路的标准荷载制	249
10.7 影响线的应用	250
10.8 简支梁的内力包络图和绝对最大弯矩	255
*10.9 超静定结构反力、内力影响线	258
*10.10 连续梁的最不利荷载分布及内力包络图	259
习题	262
习题参考答案	265
参考文献	273

第1章 绪论

1.1 结构力学的任务和内容

1.1.1 工程结构

工程结构是指工程中各种结构的总称，如房屋建筑中的梁柱体系、水工建筑物中的闸门和水坝、公路和铁路上的桥梁和隧洞等。在建筑物和工程设施中承受和传递荷载并起骨架作用的部分称为工程结构，简称结构。结构受荷载（如风力、屋面雪荷载、起重机荷载、构件自重等）作用时，其几何形状和尺寸均会发生一定程度的改变，称为变形。

结构的组成部分称为构件。建筑工程结构中的基础、梁、板、柱等均为构件（见图1-1）。狭义中的结构通常指杆件结构，结构力学指杆件结构力学。

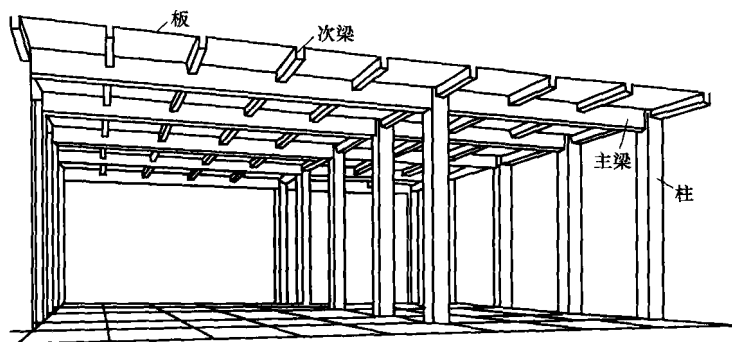


图 1-1

1.1.2 结构力学研究对象和内容

结构力学是一门专业基础课，它一方面要用到数学、理论力学和材料力学等课程知识，另一方面又为学习建筑结构、钢筋混凝土结构和钢结构等专业课程提供必要的基本理论和计算方法。结构力学与理论力学、材料力学、弹性力学和塑性力学有着密切的联系。结构力学重点讨论工程结构的受力及传力规律；理论力学重点讨论机械运动的一般规律；材料力学、弹性力学和塑性力学着重讨论结构和构件的强度、刚度、稳定性和动力反应等问题。结构力学以杆件结构为主要研究对象；理论力学主要以刚体系统为研究对象；材料力学以单根杆件为主要研究对象；弹、塑性力学主要以实体结构和板壳结构为主要研究对象。

结构力学的任务是根据力学原理，研究结构的几何组成规则，以及在荷载或其他因素（如支座移动、温度变化等）作用下工程结构的内力和变形、强度、刚度、稳定性和动力反应等问题，以保证工程结构按设计要求正常工作，并能充分发挥建筑材料的力学性能，使设计的结构既安全可靠，又经济合理。

结构力学的内容包括以下几方面:

- 1) 研究结构的几何构造和合理形式, 以及结构计算简图的合理选择。
- 2) 研究结构在荷载等因素作用下的内力和变形的计算方法。在求出内力和位移之后, 即可利用材料力学方法进行结构的强度条件和刚度条件计算来选择各杆的截面尺寸, 在结构力学中一般不再叙述。
- 3) 结构的稳定性以及在动力荷载作用下的结构反应问题。

结构力学问题的研究手段常包括理论分析、实验研究和数值计算三方面。结构力学课中主要讨论理论分析和数值计算方面的问题; 实验研究方法问题将在实验力学和结构试验课中进行讨论。

工程结构分析中, 先把实际结构简化为计算模型, 称为结构计算简图, 然后再对计算简图进行计算。在进行结构计算时, 要考虑以下三方面条件:

(1) 力系的平衡条件或运动条件 结构在荷载作用下, 如果处于静止的平衡状态, 则结构的整体或其中任何一部分都应满足力系的平衡条件。

(2) 变形几何连续条件 结构在荷载作用下会产生变形。结构在变形之前是连续的整体, 在变形之后仍是连续整体, 不能出现材料重叠或脱开现象。同时, 结构的变形应满足支座约束条件。

(3) 应力与应变之间的物理条件 (常称作本构方程) 物理条件是指通过力学实验建立的结构应力和变形之间的物理关系, 也称为本构方程。

应用以上三方面条件的结构力学解法称为“平衡—几何法”; 若采用虚功和能量的形式来表述的结构力学解法称为“虚功—能量法”。

随着现代计算机技术的飞速发展, 对结构力学学科产生了深远的影响, 工程结构逐步由“手算”向“电算”发展。过去许多应用“手算”无法解决的大型工程结构计算问题, 现在应用“电算”成了常规问题。与“电算”相关联的能量原理、结构矩阵分析、有限元法、半解析法、结构优化设计和结构分析软件等越来越占据重要的地位, 并在结构力学学科领域形成了一个新的科学分支——计算结构力学。

1.2 荷载及其分类

荷载是指工程结构所承受的外力, 如结构的自重、作用于结构的水压力和土压力。除外力以外, 还有其他因素可以使结构产生内力与变形, 如温度变化、基础沉降、材料收缩等, 从广义上讲, 这些因素也可以称为荷载。

对结构进行计算之前, 必须首先确定结构所受的荷载。荷载的确定也是结构设计中极为重要的一项工作。荷载估计过大, 则设计的结构会过于笨重, 造成材料浪费; 荷载估计过低, 则设计的结构将不够安全。因此, 确定结构的荷载应该经过周密的思考和谨慎的工作。在工程实际中, 结构和构件所承受的荷载多种多样, 为便于分析与计算, 可将荷载按不同的方式分为不同的类型。

1.2.1 恒荷载与活荷载

荷载按其作用在结构上的时间长短, 可分为恒荷载与活荷载。恒荷载是长期作用在结构

上的不变荷载，如结构的自重、固定在结构上的永久设备、土压力等。活荷载是在建筑物施工和使用期间暂时作用于结构上的可变荷载，如车辆荷载、起重机荷载、风荷载、雪荷载及人群荷载等。

1.2.2 固定荷载与移动荷载

对结构进行计算时，恒荷载和大部分活荷载（如风荷载、雪荷载等）在结构上作用位置可以认为是固定的，这种荷载称之为固定荷载。有些活荷载如起重机梁上的起重机荷载、公路桥梁上的汽车荷载，这些在结构的位置上是移动的，这种荷载称为移动荷载。

1.2.3 静力荷载与动力荷载

荷载按其作用在结构上的性质分为静力荷载与动力荷载。静力荷载是指由零逐渐缓慢增加至最终值的荷载，这样不致使结构产生显著的振动与冲击，可略去惯性力的影响。当增至最终值时，荷载的大小、作用位置及方向不再随时间变化。例如，将工程设备缓慢地放置在基础之上，工程设备对基础的作用力便是静力荷载。动力荷载是指大小或方向随时间而改变的荷载，如地震力、打桩机产生的冲击荷载等。动荷载是突然施加的或随时间迅速变化的荷载，它将使结构受到显著的冲击和振动，产生不容忽视的加速度。

1.2.4 分布荷载与集中荷载

荷载按其作用在结构上的范围分为分布荷载与集中荷载。分布作用在体积、面积和线段上的荷载称为分布荷载，亦可分别称为体荷载、面荷载和线荷载。连续分布于物体内部各点的重力属于体荷载，风、雪压力属于面荷载。结构力学研究的是杆件结构，可将杆件所受分布荷载视为作用于杆件的轴线上。这样，杆件所受分布荷载均为线荷载。

如果荷载作用的范围与物体的尺寸相比十分微小，这时可认为荷载集中作用于一点，并称为集中荷载。

当以刚体为研究对象时，作用于构件上的分布荷载可用其合力（集中荷载）来代替。例如，分布的重力荷载可用作用在重心上的集中合力来代替。当以变形固体为研究对象时，作用在构件上的分布荷载则不能任意地用其集中合力来代替。

荷载的确定往往是比较复杂的。荷载规范总结了设计经验和科学研究的成果，供设计时应用。但是在许多情况下，设计者需要深入现场，结合实际情况进行调查，才能对荷载作出科学合理的确定。

1.3 结构的简化及计算简图

一个实际工程结构，无论是本身构造，还是连接方式以及荷载的作用与传递方式都是非常复杂的。进行相关力学分析与计算时，必须将实际结构或构件抽象为理想化模型，简化为既能反映实际受力和变形状态，又便于理论分析与计算，并能保证计算精度的图形。这种代替实际结构的简化图形称为该结构的计算简图。

选择计算简图的原则：

- 1) 从实际出发，计算简图应反映实际工程结构的主要性能。

2) 分清主次, 略去细节, 计算简图应便于实际工程结构的计算。

对实际结构或构件的抽象、简化, 主要包括对其几何形状、荷载、支座以及对构件与构件之间的连接方式进行简化。计算简图的选择是结构力学计算的基础, 极为重要。选取计算简图时, 需要在多方面进行简化, 下面简要叙述杆件结构的计算简图的简化要点。

1.3.1 材料性质的简化

土木工程结构所选用的建筑材料通常有钢、混凝土、砖、石、木料等。在结构分析时必须建立材料的受力与变形之间的关系模型, 为了简化计算, 而且结构一般都是在小变形弹性范围内工作, 因此, 本课程一般都假定结构材料是理想的线性弹性材料。线性是指材料的应力与应变是线性关系, 结构的位移与所受的荷载成正比; 弹性是指材料在荷载作用下产生变形, 当荷载卸除之后变形能够完全恢复的特性, 没有残余变形。

1.3.2 荷载简化

结构承受的荷载常可分为体积力和表面力两大类。体积力是指结构的自重或惯性力在三维空间的作用力; 表面力则是指由其他物体通过接触面传给结构的二维空间里的作用力, 如土压力、车辆的轮压力等。在结构力学所讨论的杆件结构中, 通常把杆件简化为轴线。因此, 无论是体积力还是表面力均可以简化为作用在杆件轴线上的作用力, 譬如作用在结构杆轴线上的集中荷载和均布荷载等。

1.3.3 结构体系简化

一般的工程结构都是三维空间的, 各部分之间相互连接成一个空间整体, 承受各个方向可能出现的荷载。但是在多数情况下, 常常可以忽略一些次要空间约束, 考虑主要因素和计算方便等实际情况, 将空间结构简化为平面结构, 使计算得以简化。本课程主要讨论平面结构的计算问题。

1.3.4 杆件的简化

杆件的截面尺寸(宽度、厚度)通常比杆件长度小得多, 截面上的应力可根据截面的内力(弯矩、轴力、剪力)来确定。因此, 在计算简图中, 杆件用其轴线来表示, 杆件之间的连接用结点表示, 杆长用结点间的距离表示, 而荷载的作用点也转移到轴线上。当截面尺寸增大时(如超过长度的 $1/4$), 杆件用其轴线表示的简化, 将会引起较大的误差。

1.3.5 支座简化

为便于计算, 在确定结构的计算简图时, 应分析实际结构支座的主要约束功能与哪种理想约束相符合, 将真实支座简化为理想支座。结构与基础的连接装置称为支座。将所受的荷载通过支座传到基础与地基。支座对结构的反作用力称为支座反力。根据支座的构造和所起的作用不同, 平面结构的支座可以简化为以下五种:

(1) 活动铰支座 桥梁中的滚轴支座即属于活动铰支座(见图1-2a)。它允许结构绕铰链转动和沿支承面方向的移动, 但是却不能垂直于支承面方向移动。因此, 当不考虑支承面上的摩擦力时, 这种支座的反力将通过铰链中心并与支承平面相垂直, 即反力的作用点和方

向都是确定的，只有它的大小是一个未知量。根据以上特征，这种支座可以用一根垂直于支承面的链杆表示（见图 1-2b）。

(2) 固定铰支座 这种支座的构造如图 1-3a 所示，它允许结构在支承面处绕铰链转动，但是却不能作水平运动和竖向移动。支座反力将通过铰链中心，但其大小和方向都是未知的，通常可以用沿着两个确定方向的反力，如水平和竖向反力来表示。这种支座的计算简图可用交于铰链中心的两根支承链杆来表示，如图 1-3b、c 所示；也可以用一个三角形支座上面画一铰链的图 1-3d 来表示。

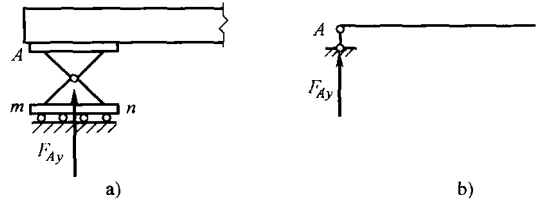


图 1-2

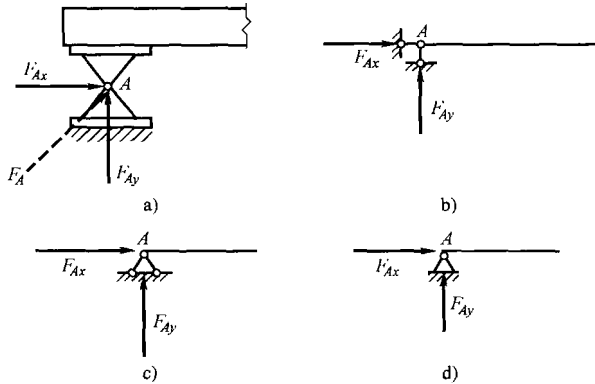


图 1-3

(3) 固定支座 这种支座不允许结构在支承处发生任何移动和转动（见图 1-4），它的反力大小、方向和作用点位置都是未知的，通常用水平反力、竖向反力和反力偶来表示。这种支座的计算简图如图 1-4 所示。

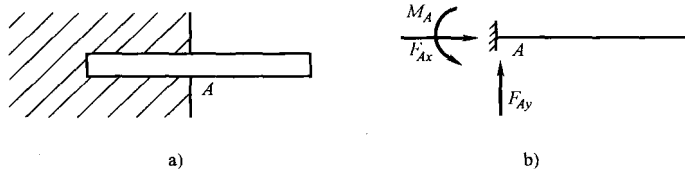


图 1-4

(4) 滑动支座 这种支座又称为定向支座。结构在支承处不能转动，不能沿垂直于支承面的方向运动，但是可以沿着支承面方向滑动。这种支座的计算简图可用垂直于支承面的两根平行链杆表示，其反力为一个垂直于支承面（通过支承中心）的力和力偶。图 1-5a 所

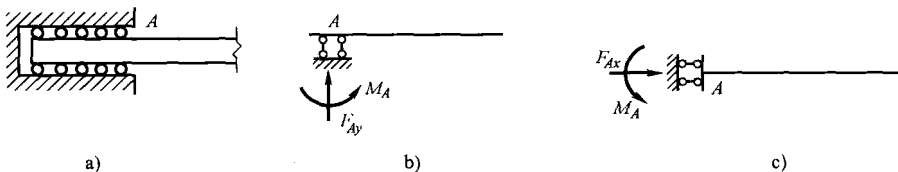


图 1-5

示为一个水平滑动支座，图 1-5b 所示为其计算简图；图 1-5c 所示为竖向滑动支座的计算简图（这种支座在实际结构中不常见，但在对称结构取一半的计算简图中，以及用机动法研究影响线时会用到）。

上述四种支座在荷载作用下都是假定本身不发生任何变形。计算简图中的支承杆件被认为是刚性链杆，这类支座称为刚性支座。

(5) 弹性支座 在荷载作用下，如果要考虑支座本身的弹性变形，则这类支座称为弹性支座。弹性支座允许结构在支承处发生某种位移，并对该位移有一定的约束作用。在计算简图中，弹性支座用弹簧来表示，一般有抗移动弹性支座和抗转动弹性支座两种类型，如图 1-6 所示。弹性支座的刚度为常数，反力与支座变形的大小成正比。

支座一般根据具体的约束情况，进行不同的简化。图 1-7 所示的预制钢筋混凝土柱置于杯形基础中，基础埋置于坚实地基土壤中。如杯口四周用细石混凝土填实（见图 1-7a），柱端被坚实的固定，则可简化为固定端支座。若杯口四周填入沥青麻丝（图 1-7b），柱端可发生微小转动，则简化为固定铰支座。

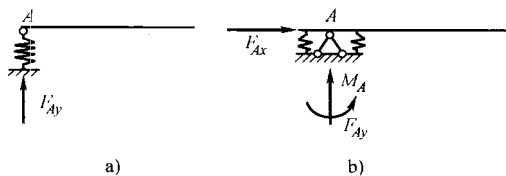


图 1-6

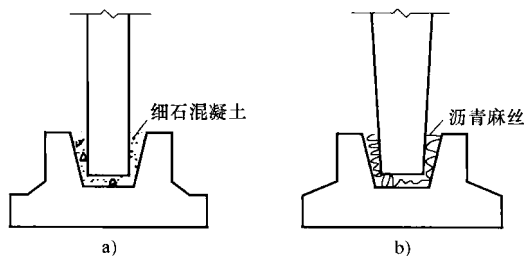


图 1-7

1.3.6 结点简化

在杆件结构的计算简图中，杆件均用其轴线来表示。杆件之间连接处称为结点。结构的结点通常可简化为铰结点或刚结点。

(1) 铰结点 铰结点的基本特点是它所连接的各杆件都可绕结点作自由转动（见图 1-8b）。被连接的杆件处不能相对移动，但是可以相对转动，即可以传递力，但不能传递力矩。这种理想情况，实际中经常遇到。木屋架的结点比较接近于铰结点（见图 1-8a）。

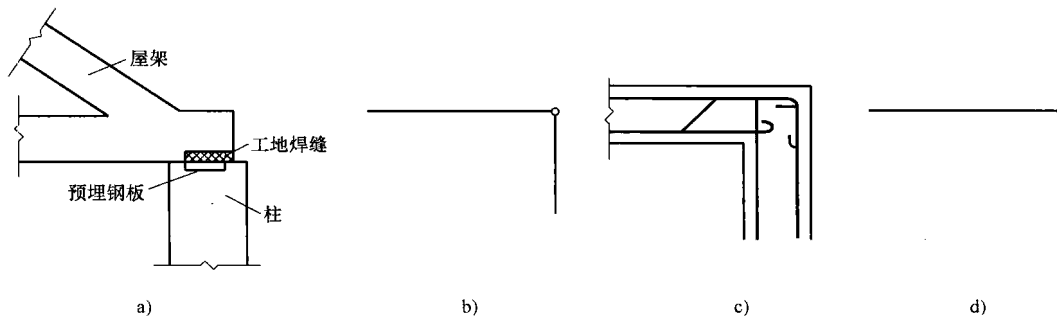


图 1-8

(2) 刚结点 刚结点的特点是它所连接的各杆不能绕结点作自由转动，即刚结点所连接各杆之间的夹角始终不变（见图 1-8d）。杆件的连接处既不能相对移动，又不能相对转

动；既可以传递力，也可以传递力矩。现浇混凝土梁柱结点通常属于这类情形（见图 1-8c）。

1.3.7 计算简图

怎样才能恰当的选取实际结构的计算简图，是结构设计中比较复杂的问题，也需要有较多的实际经验，并善于判断主次因素。

例如，一根梁的两端搁在墙体上，梁上放一重物（见图 1-9a）。如果要完全按照实际情况进行分析，就需要确定墙体对梁的支承反力沿墙的分布规律，而这是难以确定的。现假定反力沿墙宽均匀分布，并以作用于墙宽中点的合力来代替分布的支承反力。同时又考虑到支承面有摩擦，梁不能左右移动，但受热膨胀时仍可伸长，这样就可以分别用固定铰支座和活动铰支座代替墙对梁的支承。同时，梁本身用其轴线来代替，梁的自重为均布荷载，重物近似看做集中荷载，于是得到图 1-9b 所示的计算简图。显然，只要梁的截面尺寸、墙宽及重物与梁的接触长度均比梁的长度小很多，则作上述简化在工程上是完全许可的。

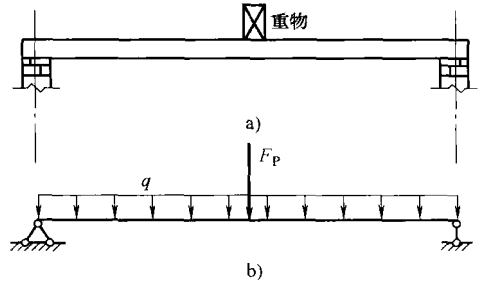


图 1-9

再如图 1-10a 所示的单层厂房结构是一个空间结构。厂房的横向是由柱子和屋架组成的若干横向单元。沿厂房的纵向，由屋面板、起重机梁等构件将各横向单元联系起来。由于各横向单元沿厂房纵向有规律地排列，且风、雪等荷载沿纵向均匀分布，因此，可通过纵向柱距的中线，取出图 1-10a 中阴影所示部分作为一个计算单元，从而将空间结构简化为平面结构来计算，如图 1-10b 所示。梁和柱都用它们的几何轴线来代表，且梁和柱的截面尺寸比其长度小得多，轴线都可以近似地看做直线。而且梁和柱的连接只依靠预埋钢板的焊接，梁端和柱顶之间虽不能发生相对移动，但是仍有可能发生微小的相对转动，因此可以简化为铰接点连接。柱底和基础之间可以认为不能发生相对移动和相对转动，因此柱底可以简化为固定支座。同时将屋面板单元的竖向荷载向梁上结点进行简化，并将起重机梁的竖向荷载和水平制动荷载简化为作用于柱上部的集中荷载。从而可得到单层厂房的结构计算简图，如图 1-10c 所示。

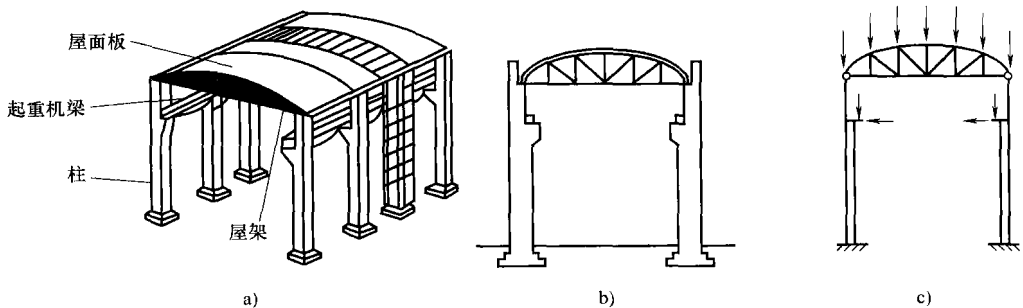


图 1-10

上述几个方面是选取结构计算简图的基本知识。要恰当地选取实际结构的计算简图，应对结构构造、施工等各方面有全面的掌握与了解，对结构各部分的受力情况能正确地作出分析，并善于判断各种因素的相对重要性。这种能力是在系统地学习本课程和后续的结构课程之后，以及长期工程实践中逐步积累形成的。对于一些新型结构，往往还要通过反复试验和实践才能获得比较合理的计算简图。不过，对于土木工程中常规的结构形式，可利用前人已积累的经验，直接采用其常用的计算简图。

1.4 结构的分类

结构的类型有很多可以从不同方面来分类。按照几何特征，结构可分为杆件结构、板壳结构和实体结构。

(1) 杆件结构 由细长杆件所组成的结构。杆件的几何特征是其长度远远大于横截面的尺寸。梁、拱、刚架、桁架是杆件结构的典型形式。

(2) 板壳结构 由薄板或薄壳等组成的结构。薄板、薄壳的几何特征是其厚度远远小于其他两个方向的尺寸。建筑物中的楼板（见图 1-11a）和壳体屋盖（见图 1-11b）、水工结构中的拱坝都是板壳结构。

(3) 实体结构 是指长、宽、厚三个方向的尺度大小为同量级的结构。水工结构中的重力坝为实体结构，如图 1-11c 所示。

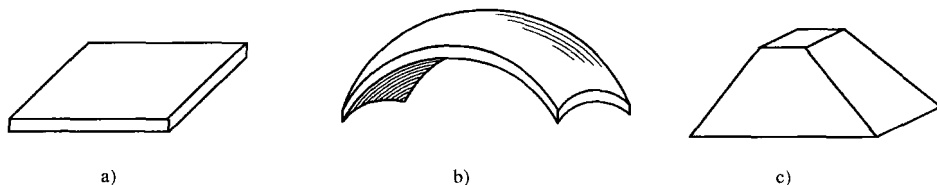


图 1-11

前面已经指出，结构力学的研究对象主要是平面杆件结构。根据受力特点，实际工程中常见的平面杆件结构计算简图有以下几种。

(1) 梁 梁由受弯杆件构成，杆件轴线一般为直线。图 1-12a、c 所示为单跨梁，图 1-12b、d 所示为多跨梁。

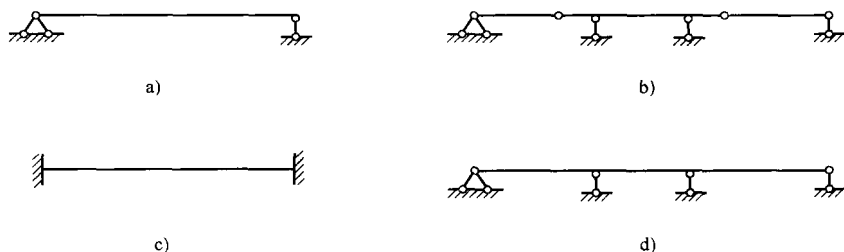


图 1-12

(2) 拱 拱一般由曲杆构成。在竖向荷载作用下，支座产生水平反力。图 1-13 所示的分别为三铰拱（见图 1-13a）和无铰拱（见图 1-13b）。