

高等学校教材

建筑力学 第三分册

结构力学

(第三版)

湖南大学结构力学教研室 编 李家宝 主编

李家宝 洪范文 主订



高等教育出版社

高等学校教材

建筑力学 第三分册

结构力学

(第三版)

ND40/14

湖南大学结构力学教研室 编

李家宝 主编

李家宝 洪范文 主订

高等教育出版社

· 北京 ·

(京)112号

内 容 提 要

本书是在建筑力学第三分册《结构力学》(第二版)的基础上,按1995年国家教委颁发的高等工业学校土建、水利类非结构专业“结构力学课程教学基本要求”(少学时)进行修订的。

本书主要内容有:体系的几何组成分析、静定结构的内力分析和位移计算、力法、位移法、力矩分配法、影响线和内力包络图、矩阵位移法、结构的计算简图和简化分析。在保持原版教材特色的基础上侧重介绍结构力学的基本原理和基本方法,突出结构受力特性和定性分析,加强学生能力的训练,并附有平面刚架分析的计算机程序和复习思考题。本书使用了国家标准(GB 3100~3102—93)《量和单位》。

本书第二版曾获国家教委第二届高等学校优秀教材二等奖。全书内容少而精,论述严谨,文字简炼,联系实际,便于教学。本书适用于高等学校给水排水、城镇建设、建筑管理、建筑学、城市规划等非结构专业教学,也可作为土建类各层次有关专业的教材,以及供各类工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学 第3分册:结构力学/李家宝主编. -3版.

—北京:高等教育出版社,1999

高等学校教材

ISBN 7-04-007270-X

I. 建… II. 李… III. 建筑结构—结构力学—高等学校—教材 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 04934 号

建筑力学 第三分册 结构力学(第三版)

李家宝 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷 中国科学院印刷厂

版 次 1980年3月第1版

开 本 787×1092 1/16

1999年6月第3版

印 张 15.5

印 次 1999年6月第1次印刷

字 数 370 000

定 价 16.30 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

第三版前言

本书是在建筑力学第三分册《结构力学》(第二版)的基础上,根据1995年国家教委审定的高等工业学校土建、水利类非结构专业“结构力学课程教学基本要求”(少学时)进行修订的。

这次修订在保持前版教材特色的基础上注意进一步加强对结构力学基本原理和基本方法的论述和训练,在个别章节删去了少量内容,适当增补了加强基本训练的思考题和习题;突出常用结构的受力分析和受力特性,注意静定结构和超静定结构的综合论述和小结。本书使用了国家标准(GB 3100~3102—93)《量和单位》。书中以“*”号注明的章节,仍为适应不同专业需要的选学内容。

本次修订工作是在李家宝、洪范文主持下进行的,参加修订工作的有李家宝(第一、十章)、汪梦甫(第六、七、八、九章)、童桦(第二、三、四、五章),最后由李家宝、洪范文定稿。衷心感谢湖南大学结构力学教研室王兰生教授、李存权教授对这次修订工作的关心与支持,他们提供了非常宝贵的具体修改意见,还参与了一些修订工作。

由于编者水平所限,书中不足之处,望读者多加指正。

编 者

1998年3月

第一版前言

按 1977 年 11 月高等学校工科力学教材会议制定的教材建设规划,湖南大学、哈尔滨建筑工程学院、重庆建筑工程学院三院校为土建类的建筑学、给水排水、建筑材料、采暖通风等专业编写了这套中学时的建筑力学教材。本教材共分三个分册:第一分册——理论力学,第二分册——材料力学,第三分册——结构力学。为了便于选用本教材,在编写时我们既注意了这三部分内容的相互联系和配合,又保持了各自相对的独立性和理论的系统性。

本书是建筑力学的第三分册——结构力学。在编写过程中注意贯彻辩证唯物主义观点和理论联系实际的原则,力求做到内容精炼,由浅入深,便于自学。在介绍结构力学的基本计算原理和计算方法的基础上,适当写了一部分与现代结构力学发展相适应的新内容,为读者今后继续学习和掌握新方法、新技术提供必要的结构力学基础知识。

全部讲授完本书的内容约需 80~90 学时。采用本教材时,可根据各专业的不同要求和学时数对内容酌情取舍。第九章的内容如果没有时间讲授,可留作自学,或根据实际情况另作专题讲授。在每章书后均附有一定数量的习题,可根据需要全作或选作。

本书由天津大学(主审)、北京工业大学(主审)、西安冶金建筑学院、武汉建筑材料工业学院、清华大学、重庆建筑工程学院、北京建筑工程学院、同济大学等院校的部分结构力学教师审阅。

本书由湖南大学主编,参加编写工作的有:湖南大学李家宝(第一、四、五、六、七章)、王兰生(第二、三、八章)、哈尔滨建筑工程学院范乃文(第九章)。由于编者水平有限,希望使用本书的教师和读者对书中的缺点和错误予以批评指正。

编 者

1978 年 12 月

第二版前言

本书是在第一版的基础上,参照1986年10月高等学校工科结构力学课程教学指导小组制订的给水排水、建筑学、建筑材料等非结构专业的结构力学课程教学基本要求进行修订的。

修订时,注意到下列几点:

1. 本书第一版的主要内容基本符合本课程教学基本要求(50~60学时),故修订时保持不变。

2. 为了便于教与学,对静定结构的内力计算、力法和位移法三章,在教学方法方面作了一些修改和补充。在结构的位移计算中,对虚功原理不作严格论证,只在讲清虚功的基础上,说明虚功原理的意义,然后着重介绍单位荷载法及其应用。

3. 结构力学课程教学基本要求指出,各校可根据专业需要增加“结构矩阵分析”或其他有关内容。这次修订,对第九章在保持第一版特点的基础上进行了改写,并附有平面刚架分析程序。此外,为了适应不同专业、不同要求和不同学时的需要,对第一版中有关影响线和内力包络图等内容仍然保留。这些选学内容均在标题前以“*”号注明。

4. 从培养学生自学能力和分析能力的要求出发,以及为了贯彻理论联系实际的原则,这次修订增加了第十章“结构的计算简图和简化分析”。

5. 各章的习题作了适当调整,并增加了思考题,习题后附有答案,以便于自学参考。

这次修订由湖南大学李家宝担任主编,参加编写工作的有:李家宝(第一、四、十章)、王兰生(第六、七、八、九章)、李存权(第二、三、五章)。

本书由西安冶金建筑学院王荫长教授、南京工学院单炳梓教授审阅。

由于编者水平所限,恳请读者对书中存在的问题和不足之处多加批评指正。

编 者

1988年1月

本书符号表说明

为了深入贯彻国家技术监督局发布的国家标准(GB 3100~3102—93)《量和单位》，本书对结构力学符号和单位的传统用法作了较大幅度的调整，既保证了对国家标准的认真实施，又考虑了教师和学生使用上的习惯与方便。本书是一次全面执行国家标准的初步尝试，可能有不足之处请专家和读者指正。

在实施国家标准的过程中，为保证国家标准和现有惯例的衔接，本书在以下四方面作了认真的考虑，现作如下说明，请读者注意。

1. 国家标准规范的物理量的名称和符号，按国家标准使用，注重量的物理属性。如，旧称剪应变(剪切角) γ ，现改称切应变；又如，各种力(包括荷载、反力和内力)都用 F 作为主符号，而将其特性以下标(上标)表示；再如，应力的单位都用 Pa 作基本单位；等等。

2. 对于在结构力学中广泛使用的广义力(包括力与力偶矩、力矩)和广义位移(包括线位移与角位移)，为了体现其广义性(有时还有未知性)，考虑到全书叙述的统一和表达的简洁、完整，本书仍沿用 X (多余力)、 R 和 r (约束反力)、 Δ 和 δ (位移)、 c (支座位移)等广义物理量。至于它们在具体问题中对应的量和相应单位，则视具体问题而定。

3. 在结构力学力法和位移法、位移和影响线计算中普遍应用的单位力 $\bar{X}=1$ 和 $F_p=1$ 等以及单位位移 $\bar{Z}=1$ 和 $\Delta=1$ 等，按照国家标准，这些物理量应由数值和单位符号的乘积组成，其表达式为 $A = \{A\} \cdot [A]$ ，式中 A 为该物理量的符号， $[A]$ 为其某一种单位的符号， $\{A\}$ 是以 $[A]$ 为单位时该量的数值。据此，如单位广义力的规定写法应为 $\{\bar{X}\}=1$ ，即采用某一力的单位时该力的数值为 1。为了书写方便，均简记为 $\bar{X}=1$ ，其余的单位量与此类同。

4. 在量和单位的数字运算中，经国家技术监督局许可，运算的中间步骤，在使用基本单位的情况下，可将单位符号省略，而只在运算最后结果标明物理量的单位。

主要符号表

A	面积
c	支座广义位移
C	弯矩传递系数
d	节间长度
D	侧移刚度
E	弹性模量
f	拱高
F_P	荷载、作用力
\mathbf{F}_P	结构荷载列向量
F_H	水平推力
$F_{Ax}、F_{Ay}$	A 处支座(约束)反力
F_N	轴力
$F_N^L、F_N^R$	截面左、右的轴力
F_Q	剪力
$F_Q^L、F_Q^R$	截面左、右的剪力
F_Q^F	固端剪力
$\bar{\mathbf{F}}^{(e)}$	单元(局部)坐标系下单元杆端力列向量
$\mathbf{F}^{(e)}$	结构(整体)坐标系下单元杆端力列向量
$\bar{\mathbf{F}}^F$	单元坐标系下单元固端力列向量
\mathbf{F}^F	结构坐标系下单元固端力列向量
G	切变模量
i	线刚度
I	惯性矩
k	刚度系数、截面剪力分布不均匀系数
\mathbf{K}	结构刚度矩阵
$\bar{\mathbf{K}}^{(e)}$	单元(局部)坐标系下单元刚度矩阵
$\mathbf{K}^{(e)}$	结构(整体)坐标系下单元刚度矩阵
l	长度、跨度
M	力矩、力偶矩、弯矩
M^F	固端弯矩
q	均布荷载集度
$r、R$	广义反力
S	转动刚度、影响线量值
t	温度
T	坐标变(转)换矩阵

u	水平位移
v	竖向位移、挠度
V	虚应变能
W	功、虚功
X	广义多余未知力
Z	广义未知位移
α	线膨胀系数
β	弦转角
γ	切应变
δ, Δ	广义位移
$\bar{\delta}^{(e)}$	单元(局部)坐标系下单元杆端位移列向量
$\delta^{(e)}$	结构(整体)坐标系下单元杆端位移列向量
Δ	结构位移列向量
ε	线应变
θ	转角、角位移
κ	曲率
λ^e	单元定位向量
μ	力矩分配系数
ν	剪力分配系数
φ	转角、角位移

责任编辑 余美茵
封面设计 王凌波
责任绘图 朱 静
版式设计 马静如
责任校对 王 巍
责任印制 宋克学

目 录

第一章 绪论	1	§ 5-3 超静定次数的确定	89
§ 1-1 杆件结构力学的研究对象和任务	1	§ 5-4 力法的典型方程	92
§ 1-2 杆件结构的计算简图	4	§ 5-5 用力法计算超静定刚架	94
§ 1-3 平面杆件结构的分类	8	§ 5-6 对称性的利用	97
§ 1-4 荷载的分类	9	§ 5-7 用力法计算铰接排架	103
第二章 平面体系的几何组成分析	11	§ 5-8 等截面单跨超静定梁的杆端内力	106
§ 2-1 几何组成分析的目的	11	思考题	115
§ 2-2 平面体系自由度的概念	11	习题	116
§ 2-3 几何不变体系的简单组成规则	13	第六章 位移法	120
§ 2-4 几何组成分析举例	16	§ 6-1 位移法的基本概念	120
§ 2-5 静定结构和超静定结构	17	§ 6-2 位移法基本未知量数目的确定	124
思考题	18	§ 6-3 用位移法计算刚架的步骤和示例	126
习题	18	§ 6-4 位移法的典型方程	131
第三章 静定结构的内力分析	21	思考题	136
§ 3-1 静定梁	21	习题	137
§ 3-2 静定平面刚架	27	第七章 力矩分配法	140
§ 3-3 三铰拱	35	§ 7-1 概述	140
§ 3-4 静定平面桁架	43	§ 7-2 力矩分配法的基本概念	140
§ 3-5 静定结构的内力分析和受力特点	48	§ 7-3 用力矩分配法计算连续梁和无结点 线位移的刚架	147
思考题	50	§ 7-4 超静定结构的受力分析和变形特点	153
习题	51	思考题	156
第四章 静定结构的位移计算	57	习题	156
§ 4-1 计算结构位移的目的	57	* 第八章 影响线和内力包络图	158
§ 4-2 功 广义力和广义位移	58	§ 8-1 影响线的概念	158
§ 4-3 计算结构位移的一般公式	60	§ 8-2 用静力法作简支梁的影响线	159
§ 4-4 静定结构由于荷载所引起的位移	64	§ 8-3 利用影响线求量值	162
§ 4-5 图乘法	70	§ 8-4 最不利荷载位置	163
§ 4-6 静定结构由于支座位移、温度改 变所引起的位移	76	§ 8-5 简支梁的内力包络图	165
§ 4-7 互等定理	78	§ 8-6 连续梁的内力包络图	167
思考题	81	思考题	170
习题	83	习题	170
第五章 力法	86	* 第九章 矩阵位移法	172
§ 5-1 超静定结构概述	86	§ 9-1 概述	172
§ 5-2 力法的基本概念	88		

§ 9-2 单元刚度矩阵	172	§ 10-1 概述	201
§ 9-3 结构刚度矩阵	176	§ 10-2 将空间结构分解为平面结构	201
§ 9-4 单元刚度矩阵的坐标变换	181	§ 10-3 将板壳结构简化为交叉体系	204
§ 9-5 非结点荷载处理	184	§ 10-4 将结构分解为基本部分和附属部分	207
§ 9-6 用直接刚度法计算平面刚架	186	§ 10-5 忽略次要变形	210
§ 9-7 几个问题的简单说明	198	习题	214
思考题	199	* 附录 平面刚架分析程序	215
习题	199	主要参考书目	236
* 第十章 结构的计算简图和简化分析 ..	201		

第一章 绪 论

§ 1-1 杆件结构力学的研究对象和任务

土木工程中的各类建筑物和构筑物,例如房屋、桥梁、水池、水塔、挡土墙(图 1-1 至图 1-7)等,在使用过程中,都要承受各种荷载的作用。这种承受荷载的建筑物和构筑物或其中的某些承重构件,都可称为结构。图 1-1 所示由屋架、柱子、吊车梁、屋面构件以及基础等组成的工业厂房空间骨架,图 1-6 所示的水池和图 1-7 所示的挡土墙都是结构的例子。

结构的类型是多种多样的,就几何特征区分,有杆件结构(图 1-1)、薄壁结构(图 1-3、1-4 中的屋面和图 1-6)和实体结构(图 1-7)三类。杆件的基本特征是它的长度远大于其他两个尺度——截面的宽度和高度,杆件结构便是由若干这种杆件所组成的。薄壁结构是厚度远小于其他两个尺度的结构。平板状的薄壁结构,称为薄板;由若干块薄板可组成各种薄壁结构(图 1-4、1-6b)。具有曲面外形的薄壁结构,称为薄壳结构(图 1-3、1-6a)。实体结构是指三个方向的尺度大约为同一量级的结构,例如挡土墙(图 1-7)、堤坝、块式基础等。

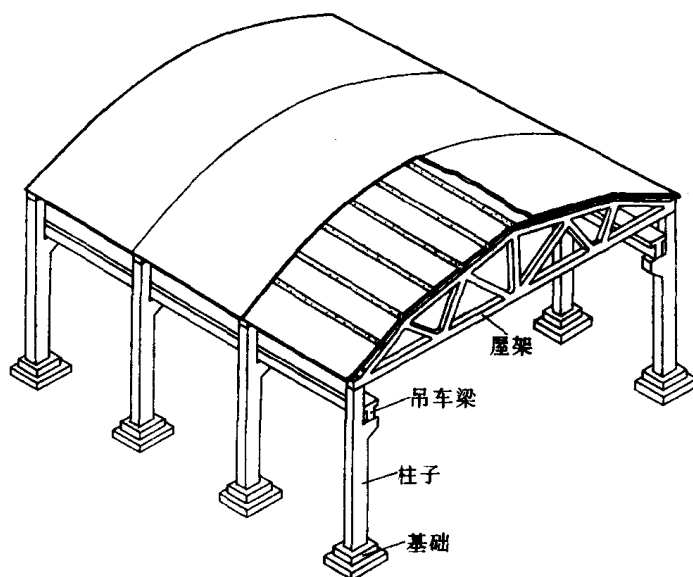


图 1-1

依照空间特征区分,杆件结构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某一平面内,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,便是空间结构。严格说来,实际的结构都是空间结构,不过在进行计算时,常可根据其实际受力情况的特点,将它分解为若干平面结构来分析,以使计算简化。但需注意,并非所有情况都能

这样处理,有些是必须作为空间结构来研究的。本书的研究对象只限于平面杆件结构。

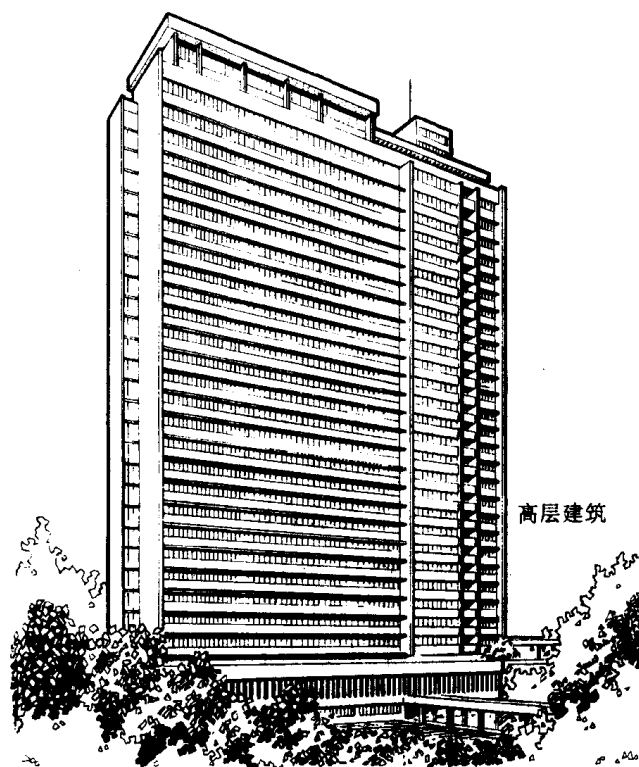


图 1-2

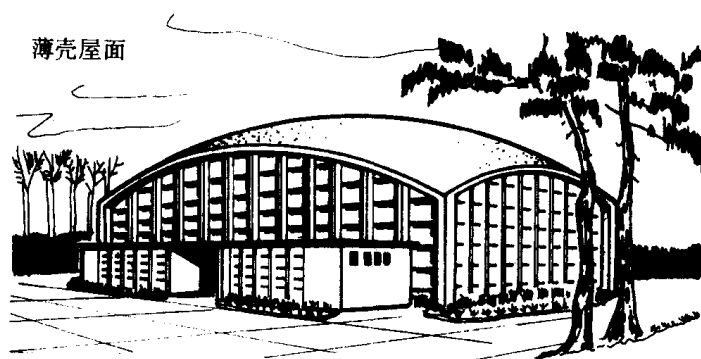


图 1-3

杆件结构力学的任务是研究结构的组成规律和合理形式以及结构在外因作用下的强度、刚度和稳定性的计算原理和计算方法。研究组成规律的目的在于保证结构各部分不致发生相对运动,使它能承受荷载并维持平衡。进行强度和稳定性计算的目的在于保证结构的安全并使之符合经济的要求。计算刚度的目的在于保证结构不致发生过大的、在实用上不能容许的位移。研究结构的合理形式是为了有效地利用材料,使其受力性能得到充分的发挥。上述强度、刚度和稳定性的计算,不仅在设计结构时需要进行,而且当已有结构所承受的荷载情况改变时,也应加以核算,以判明是否需要采取加固措施。

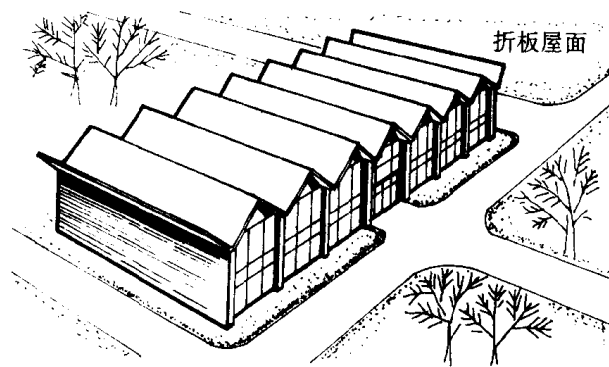
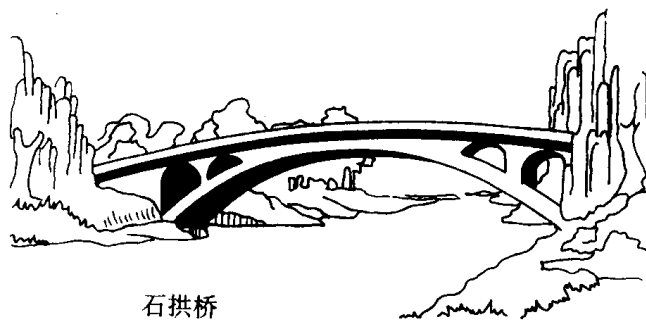
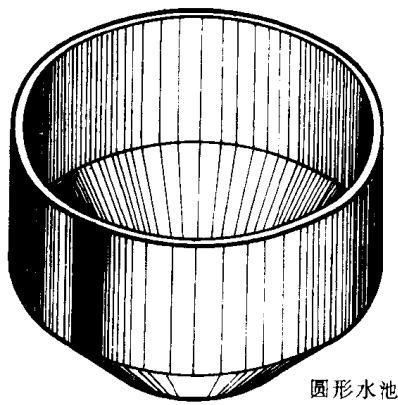


图 1-4



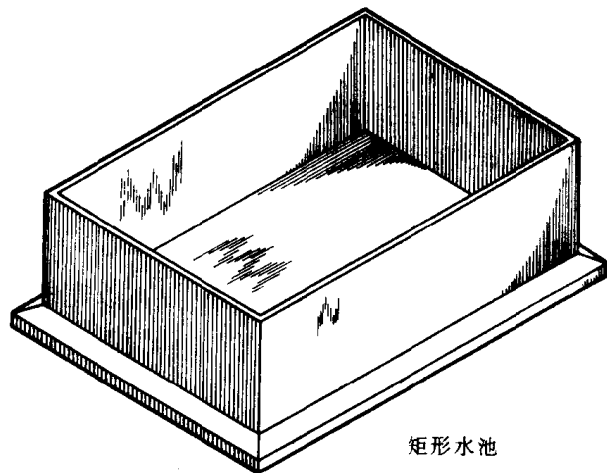
石拱桥

图 1-5



圆形水池

(a)



矩形水池

(b)

图 1-6

结构力学与材料力学的基本区别在于:后者主要是研究材料的强度和单根杆件的强度、刚度和稳定性的计算,而结构力学的研究对象是由杆件所组成的体系。根据非结构专业对本课程的教学要求,本书对结构的稳定性问题未作讨论。

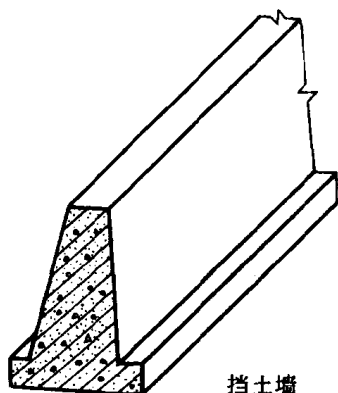


图 1-7

本书主要介绍结构力学中最基本的计算原理和计算方法,这些内容是解决一般常用结构的静力计算问题所必需的,也是进一步学习和掌握其他现代结构分析方法的基础。为了与当前结构力学的发展相适应,在第九章中扼要地介绍了结构矩阵分析的基本内容。

§ 1-2 杆件结构的计算简图

对结构进行力学分析之前,必须先将实际结构加以简化,分清结构受力、变形的主次,抓住主要矛盾,忽略一些次要因素,进行科学抽象,用一个简化了的理想模型来代替实际结构。这种在结构计算中用以代替实际结构并能反映结构主要受力和变形特点的理想模型,称为结构的计算简图。

确定结构的计算简图时,通常包括杆件的简化、支座的简化和结点的简化等方面的内容。

一、杆件的简化

根据杆件受力后的变形特点,由材料力学可知,各种杆件在计算简图中均用其轴线来代替。等截面直杆的轴线是一直线,曲杆是一曲线。一根变截面杆件也都近似地以一条直线或曲线来代替。

二、支座的简化和分类

将结构与基础或其他支承物联系,并用以固定结构位置的装置称为支座。在建筑结构中,从支座对结构的约束作用来看,常用的计算简图可分为三类:

1. 活动铰支座(图 1-8)

这种支座常用图 1-8a 所示方式表示,它对结构的约束作用是只能阻止结构上的 A 点沿垂直于支承平面方向的移动,这时,结构既可绕铰 A 作转动,又可沿着与支承平面平行的方向移动。因此,当不考虑支承平面上的摩擦力时,活动铰支座的反力将通过铰 A 的中心并与支承平面垂直,其作用点和方向是确定的,只是大小是未知的,可用 F_{Ay} 来表示。根据上述特点,这种支座在计算简图中又常用一根

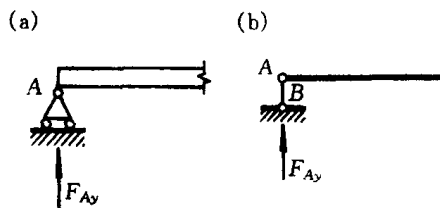


图 1-8

链杆来表示(图 1-8b), 因为与该链杆相联的结构不仅可绕铰 A 转动, 而且当链杆绕铰 B 作微小转动时, 结构也可在垂直于链杆的方向作微小移动。显然, 链杆 AB 的内力即代表该支座的反力。

在实际结构中, 凡符合或近似地符合上述约束条件的支承装置, 都可取成活动铰支座。

2. 固定铰支座(图 1-9)

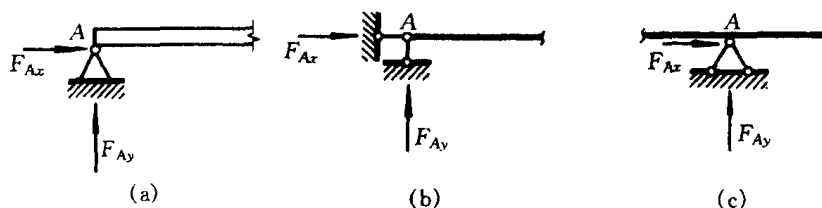


图 1-9

这种支座常用图 1-9a 所示方式表示, 它对结构的约束作用是不允许结构上的 A 点发生任何移动, 而结构只能绕铰 A 转动。因此, 固定铰支座的反力将通过铰 A 的中心, 但其方向和大小都是未知的, 可以用两个沿确定方向的未知分反力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 来表示。这种支座在计算简图中又常用交于一点 A 的两根链杆来表示(图 1-9b、c)。

在实际结构中, 凡属不能移动而可作微小转动的支承情况, 都可视为固定铰支座。例如插入钢筋混凝土杯形基础中的柱子, 当用沥青麻丝填缝时, 则柱的下端便可视为固定铰支座。

3. 固定支座(图 1-10)

这种支座不允许结构发生任何移动和转动, 它的反力的大小、方向和作用点都是未知的。因此, 可以用水平和竖向的分反力 F_x 和 F_y 以及反力矩 M 来表示(图 1-10a)。固定支座也可用三根既不全平行又不全交于一点的链杆表示(图 1-10b)。显然, 这时三根链杆的内力是与这种支座的三个反力等效的, 因为若将两根水平链杆的内力均向杆件截面的中心平移后, 便可合成为一个沿杆轴作用的水平反力 F_x 和一个反力矩 M 。在计算简图中这种支座常采用图 1-10c 所示的图形。

在实际结构中, 凡嵌入墙身的杆件, 其嵌入部分有足够的长度, 以致使杆端不能有任何移动和转动时, 该端就可视为固定支座。又如插入杯形基础中的柱子, 如果用细石混凝土填缝, 则柱的下端一般也看作是固定支座。

此外, 在结构分析中, 我们有时还会用到图 1-11 所示的支座, 它由两根平行的链杆表示, 其支座反力为沿杆轴作用的水平力 F_x 和一个反力矩 M 。这种支座称为定向支座。

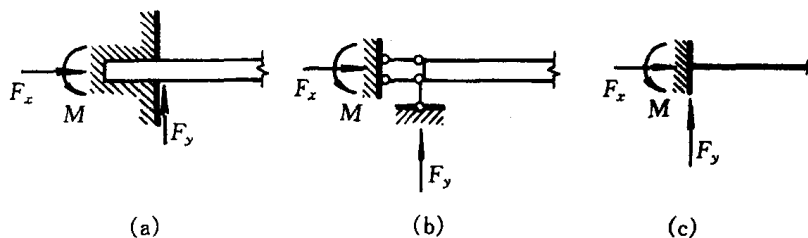


图 1-10

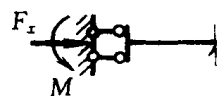


图 1-11