



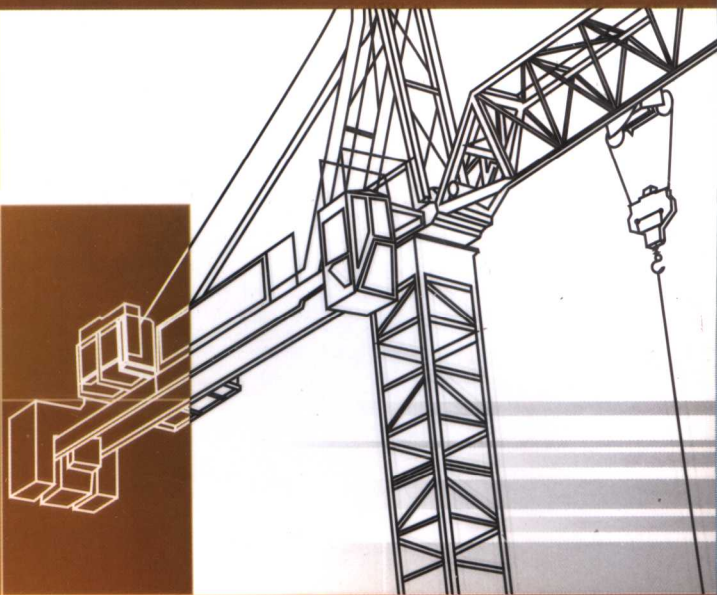
21st CENTURY

实用规划教材

21世纪全国应用型本科

土木建筑系列

实用规划教材



# 结构力学简明教程

主 编 张系斌

副主编 陈月顺 焦 箭



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

## 内 容 提 要

《结构力学简明教程》是中少学时教材,依据教育部非力学专业教学指导委员会结构力学和弹性力学课程指导小组 2004 年福州会议通过的“结构力学课程教学基本要求(B类)”的内容进行编写。全书共八章,内容包括:绪论,体系的几何组成分析,静定结构受力分析,静定结构位移计算,力法,位移法,力矩分配法,影响线及其应用。本书内容精练,思路清晰,说理透彻,联系实际,文字洗练,在注重基本概念、注重培养能力,希望能够既节省授课学时,又不降低课程的基本要求。可作为除四年制土建,水利,道桥等专业以外其他专业的教材,也可供其他有关专业和工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

结构力学简明教程/张系斌主编. —北京:北京大学出版社, 2006.1

(21 世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材)

ISBN 7-301-10520-7

I. 结… II. 张… III. 结构力学—高等学校—教材 IV. 0324

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 005881 号

书 名: 结构力学简明教程

著作责任者: 张系斌 主 编

策 划 编 辑: 吴 迪 李昱涛

责 任 编 辑: 徐 凡

标 准 书 号: ISBN 7-301-10520-7/TU · 0038

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://cbs.pku.edu.cn>, <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667

电 子 信 箱: [pup\\_6@163.com](mailto:pup_6@163.com)

排 版 者: 北京东方人华北大彩印中心 电话: 62754190

印 刷 者: 三河市新世纪印务有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13 印张 300 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 20.00 元

**《21 世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材》**

**专家编审委员会**

**主 任** 彭少民

**副主任** (按拼音顺序排名)

陈伯望 金康宁 李 忱 李 杰

罗迎社 彭 刚 许成祥 杨 勤

俞 晓 袁海庆 周先雁

**委 员** (按拼音顺序排名)

邓寿昌 付晓灵 何放龙 何培玲

李晓目 李学罡 刘 杰 刘建军

刘文生 罗 章 石建军 许 明

严 兵 张泽平 张仲先

# 丛书总序

我国高等教育发展迅速,全日制高等学校每年招生人数至 2004 年已达到 420 万人,毛入学率 19%,步入国际公认的高等教育“大众化”阶段。面临这大规模的扩招,教育事业的发展与改革坚持以人为本的两个主体:一是学生,一是教师。教学质量的提高是在这两个主体上的反映,教材则是两个主体的媒介,属于教学的载体。

教育部曾在第三次新建本科院校教学工作研讨会上指出:“一些高校办学定位不明,盲目追求上层次、上规格,导致人才培养规格盲目拔高,培养模式趋同。高校学生中‘升本热’、‘考硕热’、‘考博热’持续升温,应试学习倾向仍然比较普遍,导致各层次人才培养目标难于全面实现,大学生知识结构不够合理,动手能力弱,实际工作能力不强。”而作为知识传承载体的教材,在高等教育的发展过程中起着至关重要的作用,但目前教材建设却远远滞后于应用型人才培养的步伐,许多应用型本科院校一直沿用偏重于研究型的教材,缺乏针对性强的实用教材。

近年来,我国房地产行业已经成为国民经济的支柱产业之一,随着本世纪我国城市化的大趋势,土木建筑行业对实用型人才的需求还将持续增加。为了满足相关应用型本科院校培养应用型人才的教学需求,从 2004 年 10 月北京大学出版社第六事业部就开始策划本套丛书,并派出 10 多位编辑分赴全国近 30 个省份调研了二百多所院校的课程改革与教材建设的情况。在此基础上,规划出了涵盖“大土建”六个专业——土木工程、工程管理、建筑学、城市规划、给排水、建筑环境与设备工程的基础课程及专业主干课程的系列教材。通过 2005 年 1 月份在湖南大学的组稿会和 2005 年 4 月份在三峡大学的审纲会,在来自全国各地几十所高校的知名专家、教授共同努力下,不但成立了本丛书的编审委员会,还规划出了首批包括土木工程、工程管理及建筑环境与设备工程等专业方向的 40 多个选题,再经过各位主编老师和参编老师的艰苦努力,并在北京大学出版社各级领导的关心和第六事业部的各位编辑辛勤劳动下,首批教材终于 2006 年春季学期前夕陆续出版发行了。

在首批教材的编写出版过程中,得到了越来越多的来自全国各地相关兄弟院校的领导和专家的大力支持。于是,在顺利运作第一批土建教材的鼓舞下,北京大学出版社联合全国七十多家开设有土木建筑相关专业的高校,于 2005 年 11 月 26 日在长沙中南林学院召开了《21 世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材》(第二批)组稿会,规划了①建筑学专业;②城市规划专业;③建筑环境与设备工程专业;④给排水工程专业;⑤土木工程专业道路、桥梁、地下、岩土、矿山课群组近 60 多个选题。至此,北京大学出版社规划的“大土木建筑系列教材”已经涵盖了“大土建”的 6 个专业,是近年来全国高等教育出版界唯一一套完全覆盖“大土建”六个专业方向的系列教材,并将于 2007 年全部出版发行。

我国高等学校土木建筑专业的教育,在国家教育部和建设部的指导下,经土木建筑专业指导委员会六年来的研讨,已经形成了宽口径“大土建”的专业发展模式,明确了土木建筑专业教育的培养目标、培养方案和毕业生基本规格,从宽口径的视角,要求毕业生能从事土木工程的设计、施工与管理工作。业务范围涉及房屋建筑、隧道与地下建筑、公路

与城市道路、铁道工程与桥梁、矿山建筑等，并且制定一整套课程教学大纲。本系列教材就是根据最新的培养方案和课程教学大纲，由一批长期在教学第一线从事教学并有多年工程经验和丰富教学经验的教师担任主编，以定位“应用型人才培养”为目标而编撰，具有以下特点：

(1) 按照宽口径土木工程专业培养方案，注重提高学生综合素质和创新能力，注重加强学生专业基础知识和优化基本理论知识结构，不刻意追求理论研究型教材深度，内容取舍少而精，向培养土木工程师从事设计、施工与管理的应用方向拓展。

(2) 在理解土木工程相关学科的基础上，深入研究各课程之间的相互关系，各课程教材既要反映本学科发展水平，保证教材自身体系的完整性，又要尽量避免内容的重复。

(3) 培养学生，单靠专门的设计技巧训练和运用现成的方法，要取得专门实践的成功是不够的，因为这些方法随科学技术的发展经常在改变。为了了解并和这些迅速发展的方法同步，教材的编撰侧重培养学生透析理解教材中的基本理论、基本特性和性能，又同时熟悉现行设计方法的理论依据和工程背景，以不变应万变，这是本系列教材力图涵盖的两个方面。

(4) 我国颁发的现行有关土木工程类的规范及规程，系1999~2002年完成的修订，内容有较大的取舍和更新，反映了我国土木工程设计与施工技术的发展。作为应用型教材，为培养学生毕业后获得注册执业资格，在内容上涉及不少相关规范条文和算例。但并不是规范条文的释义。

(5) 当代土木工程设计，越来越多地使用计算机程序或采用通用性的商业软件，有些结构特殊要求，则由工程师自行编写程序。本系列的相关工程结构课程的教材中，在阐述真实结构、简化计算模型、数学表达式之间的关系的基础上，给出了设计方法的详细步骤，这些步骤均可容易地转换成工程结构的流程图，有助于培养学生编写计算机程序。

(6) 按照科学发展观，从可持续发展的观念，根据课程特点，反映学科现代新理论、新技术、新材料、新工艺，以社会发展和科技进步的新近成果充实、更新教材内容，尽最大可能在教材中增加了这方面的信息量。同时考虑开发音像、电子、网络等多媒体教学形式，以提高教学效果和效率。

衷心感谢本套系列教材的各位编著者，没有他们在教学第一线的教改和工程第一线的辛勤实践，要出版如此规模的系列实用教材是不可能的。同时感谢北京大学出版社为我们广大编著者提供了广阔的平台，为我们进一步提高本专业领域的教学质量和教学水平提供了很好的条件。

我们真诚希望使用本系列教材的教师和学生，不吝指正，随时给我们提出宝贵的意见，以期进一步对本系列教材进行修订、完善。

本系列教材配套的PPT电子教案在出版社相关网站上提供下载。

《21世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材》

专家编审委员会

2006年1月

# 前 言

本课程是除土木工程、水利工程等专业之外其他有关专业的一门专业基础课。在理论力学和材料力学等课程的基础上,通过本课程的学习,掌握较简单的平面杆件结构内力和位移的计算原理和方法,了解常用结构的受力性能,为学习工程结构方面专业课提供一定的力学基本知识,培养一定的分析和计算能力。

本教材《结构力学简明教程》是中少学时教材,依据教育部非力学专业教学指导委员会结构力学和弹性力学课程指导小组 2004 年福州会议通过的“结构力学课程教学基本要求(B类)”的内容进行编写,是配合除土木工程、水利工程等专业之外其他有关专业的结构力学课程教学的需要而编写的,在保证基本要求前提下,用较少的时间教授结构力学的基本内容,因此,尽量注重基本概念、注重培养能力,希望能够既节省授课学时,又不降低课程的基本要求。

本书为了与前修课程理论力学和材料力学的衔接,适当回顾了前修课程的相关内容,但对初学结构力学的读者,也许还嫌不够。这些安排至少可使读者了解前修内容与结构力学的学习关系密切,要切实掌握结构力学知识,就必须很好地掌握这些前修课程内容。

全书共分八章,包括:1、绪论,2、体系的几何组成分析,3、静定结构受力分析,4、静定结构位移计算,5、力法,6、位移法,7、力矩分配法,8、影响线及其应用。全书定位在中少学时的教学安排,内容大约按 50~60 学时左右选取。因此,对少于此学时的使用者,可酌情删减部分内容。例如可以不选第 7 章、第 8 章的内容,或不选第 7 章的内容等。本书可作为中少学时各专业学习结构力学的教材或参考书,也可作自学考试等的学习材料。

为便于读者学习,本书配有习题及参考答案等。

全书由张系斌主编并统稿。具体编写分工是:第 1 章、第 6 章、第 7 章由长江大学张系斌编写;第 2 章、第 3 章由武汉工业大学陈月顺编写,第 4 章由南华大学甘元初编写,第 5 章武汉理工大学于艳丽编写;第 8 章由贵州大学焦箭编写。

由于作者水平有限,书中疏漏和不妥之处在所难免,望读者不吝指正。

编 者

2005 年 12 月

# 目 录

|                                |    |                                |    |
|--------------------------------|----|--------------------------------|----|
| 第 1 章 绪论.....                  | 1  | 内力计算.....                      | 36 |
| 1.1 结构力学的研究对象和任务.....          | 1  | 3.4.4 合理拱轴线.....               | 39 |
| 1.1.1 结构和结构的分类.....            | 1  | 3.5 静定平面桁架.....                | 40 |
| 1.1.2 结构力学的任务和研究方法.....        | 1  | 3.5.1 桁架的基本概念与分类.....          | 40 |
| 1.2 计算简图.....                  | 2  | 3.5.2 结点法.....                 | 41 |
| 1.2.1 结构的简化原则.....             | 2  | 3.5.3 截面法.....                 | 44 |
| 1.2.2 结点和支座的简化.....            | 2  | 3.5.4 结点法和截面法的<br>联合应用.....    | 45 |
| 1.2.3 杆件结构的分类.....             | 3  | 3.6 组合结构.....                  | 47 |
| 1.2.4 荷载的分类.....               | 4  | 3.7 静定结构受力特性.....              | 48 |
| 第 2 章 几何组成分析.....              | 6  | 3.8 习题.....                    | 50 |
| 2.1 概述与名词解释.....               | 6  | 第 4 章 结构的位移计算.....             | 54 |
| 2.2 体系的计算自由度.....              | 12 | 4.1 材料力学变形公式回顾.....            | 54 |
| 2.3 平面几何不变体系的基本<br>组成规则.....   | 13 | 4.2 虚功原理.....                  | 55 |
| 2.4 平面体系几何组成分析示例.....          | 14 | 4.2.1 实功与虚功.....               | 55 |
| 2.5 体系的几何构造与静定性.....           | 16 | 4.2.2 广义位移与广义力.....            | 55 |
| 2.6 习题.....                    | 17 | 4.2.3 变形体的虚功原理.....            | 56 |
| 第 3 章 静定结构的内力计算.....           | 18 | 4.3 荷载下位移计算公式.....             | 56 |
| 3.1 单跨静定梁.....                 | 18 | 4.3.1 单位荷载法推导公式.....           | 56 |
| 3.1.1 截面法求指定截面的内力.....         | 18 | 4.3.2 积分法求位移.....              | 59 |
| 3.1.2 内力与荷载的关系.....            | 19 | 4.3.3 荷载下位移计算举例.....           | 60 |
| 3.1.3 分段叠加法作弯矩图.....           | 20 | 4.4 图乘法.....                   | 63 |
| 3.2 多跨静定梁.....                 | 21 | 4.5 温度变化和支座下沉情况下的<br>位移计算..... | 70 |
| 3.3 静定平面刚架.....                | 24 | 4.6 互等定理.....                  | 73 |
| 3.3.1 支座反力的计算.....             | 26 | 4.7 习题.....                    | 76 |
| 3.3.2 内力计算.....                | 27 | 第 5 章 力法.....                  | 85 |
| 3.3.3 内力图的绘制.....              | 32 | 5.1 超静定结构的概念和超静定次数.....        | 85 |
| 3.4 三铰拱.....                   | 34 | 5.1.1 超静定结构的概念.....            | 85 |
| 3.4.1 基本概念和类型.....             | 34 | 5.1.2 超静定次数.....               | 86 |
| 3.4.2 在竖向荷载作用下的<br>支座反力计算..... | 35 | 5.2 力法的基本方程.....               | 87 |
| 3.4.3 在竖向荷载作用下的                |    | 5.2.1 力法的基本方程.....             | 87 |

|                                  |     |                                |     |
|----------------------------------|-----|--------------------------------|-----|
| 5.2.2 典型方程 .....                 | 89  | 6.4.1 位移法典型方程 .....            | 124 |
| 5.3 荷载作用下超静定结构的<br>力法计算 .....    | 92  | 6.4.2 无侧移刚架的计算 .....           | 129 |
| 5.3.1 超静定梁 .....                 | 92  | 6.4.3 有侧移刚架的计算 .....           | 133 |
| 5.3.2 超静定刚架 .....                | 93  | 6.5 用平衡方程建立位移法方程 .....         | 136 |
| 5.3.3 超静定桁架 .....                | 95  | 6.6 习题 .....                   | 141 |
| 5.3.4 超静定组合结构 .....              | 96  | <b>第7章 力矩分配法</b> .....         | 150 |
| 5.4 对称性的利用 .....                 | 98  | 7.1 力矩分配法的基本概念 .....           | 150 |
| 5.5 非荷载因素作用下的力法计算 .....          | 100 | 7.2 单结点力矩分配法 .....             | 151 |
| 5.5.1 支座移动时的超静<br>定结构的力法计算 ..... | 100 | 7.3 多结点力矩分配法——渐进运算 .....       | 156 |
| 5.5.2 温度改变时的超静<br>定结构的力法计算 ..... | 101 | 7.4 习题 .....                   | 164 |
| 5.6 超静定结构的位移计算 .....             | 103 | <b>第8章 影响线及其运用</b> .....       | 168 |
| 5.7 超静定结构最后内力图의校核 .....          | 104 | 8.1 移动荷载和影响线的概念 .....          | 168 |
| 5.8 超静定拱的计算 .....                | 105 | 8.2 静力法作单跨静定梁的影响线 .....        | 169 |
| 5.8.1 二铰拱 .....                  | 105 | 8.2.1 反力影响线 .....              | 169 |
| 5.8.2 对称无铰拱 .....                | 107 | 8.2.2 弯矩影响线 .....              | 171 |
| 5.9 超静定结构的特性 .....               | 108 | 8.2.3 剪力影响线 .....              | 171 |
| 5.10 习题 .....                    | 109 | 8.3 结点荷载作用下梁的影响线 .....         | 173 |
| <b>第6章 位移法</b> .....             | 113 | 8.4 机动法作静定梁影响线 .....           | 175 |
| 6.1 位移法的基本概念 .....               | 113 | 8.4.1 静定梁影响线 .....             | 175 |
| 6.2 等截面直杆的转角位移方程 .....           | 115 | 8.4.2 桁架内力的影响线 .....           | 177 |
| 6.2.1 杆端力及杆端位移的<br>正、负号规定 .....  | 115 | 8.5 利用影响线计算量值 .....            | 179 |
| 6.2.2 各种情况下产生的杆端力 .....          | 117 | 8.6 最不利荷载位置 .....              | 181 |
| 6.2.3 等截面直杆的<br>转角位移方程 .....     | 122 | 8.7 简支梁的内力包络图和<br>绝对最大弯矩 ..... | 185 |
| 6.3 基本未知量数目的确定<br>和基本结构 .....    | 122 | 8.8 超静定结构影响线的概念 .....          | 188 |
| 6.4 位移法典型方程及刚架计算 .....           | 124 | 8.9 习题 .....                   | 191 |
|                                  |     | <b>参考文献</b> .....              | 194 |

# 第1章 绪 论

**教学提示：**本章学习的主要内容是结构力学的研究对象和任务、结构的分类和研究方法；讨论结构计算简图的简化原则、结点和支座的简化方法，给出了杆件结构的分类和荷载的分类。

**教学要求：**学生应熟悉结构力学的研究对象和任务。了解结构计算简图的简化原则及简化要点，能合理对支座和结点进行简化，并能针对具体情况进行具体分析，熟练地画出物体的计算简图。了解杆件结构的分类，荷载的分类。

## 1.1 结构力学的研究对象和任务

### 1.1.1 结构和结构的分类

在工程中，能承受荷载起到骨架作用的物体或体系称为结构。例如工业与民用建筑中的桥梁体系、工业厂房、公路桥梁、铁路上的桥梁、立交桥等。结构按几何尺度可分为杆件结构、板壳结构和实体结构等3类，按长度 $l$ 、宽度 $b$ 及厚度 $h$ 来考虑， $l \gg b$ ， $l \gg h$ 为杆件结构， $h \ll l$ ， $h \ll b$ 为板壳结构， $l \sim b \sim h$ 为实体结构。

### 1.1.2 结构力学的任务和研究方法

结构力学作为力学的一个分支，其研究对象甚广。本书仅限于由杆件所组成的平面体系，即平面结构。以此为对象的结构力学称为杆系结构力学，也称为经典结构力学。

结构力学讨论的问题有以下4方面：

- (1) 结构的计算简图的合理选择和杆件结构的组成规律。
- (2) 结构的受力性能和合理的结构形式。
- (3) 在各种因素作用下结构的静力分析和变形计算。
- (4) 结构的动力性能和稳定问题(本教材未涉及)。

结构力学有各种计算方法，但都必须满足以下3个基本条件：

(1) 力系的平衡条件。结构的整体或结构的一部分(如一部分杆件、杆件的一部分及杆件的结点等)都应满足力系的平衡条件。

(2) 变形连续条件。一方面是指结构的杆件发生各种变形后仍是连续的，没有重叠或缝隙；另一方面指结构发生变形和位移后，仍应满足结构的支座和结点的约束条件。

(3) 物理条件。即把结构的应力和应变通过物理方程联系起来，如轴向应力和轴向应变、剪切应力和剪切应变、弯曲应力和弯曲应变之间都应满足相应的物理方程。

## 1.2 计算简图

### 1.2.1 结构的简化原则

实际结构是很复杂的,在计算时不可能采用实际结构,在结构力学的计算中一般采用一个简化的计算图形代替实际结构。简化的计算图形称为计算简图,计算简图的选择原则如下。

(1) 反映结构的实际及主要性能。因此,选择计算简图以前,应搞清结构杆之间或杆件与基础之间实际连接构造,以保证计算的可靠性和必要的精确性。

(2) 略去细节、便于计算。结构的实际构造是很复杂的,必须分清主次,略去次要因素。

因此,选取计算简图是结构受力分析的基础,是非常重要的。初学者应对一般结构计算简图的选取有初步的了解;重点应对结构杆件之间连接的结点和杆件与基础连接的支座的主要计算简图有基本的了解。

### 1.2.2 结点和支座的简化

#### 1. 结点的简化

铰结点的机动特征是各杆之间不能相对移动,可以绕铰结点作自由转动。受力特征能承受和传递力,不能承受和传递力矩,如图 1.1(a)、图 1.1(b)所示。

刚结点的机动特征是各杆之间不能相对移动,也不能相对转动。受力特征是能承受和传递力,也能承受和传递力矩,如图 1.1(c)所示。

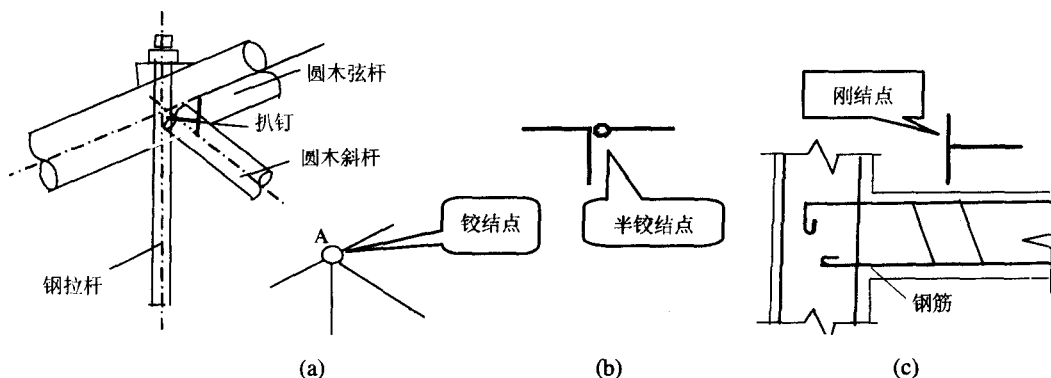


图 1.1 结点的简化

#### 2. 支座的计算简图

**辊轴支座** 机动特征是杆端可以绕  $A$  点转动,且可沿以  $B$  为圆心  $AB$  为半径圆弧微小移动,但不能有竖向移动。支座反力特征是没有反力矩,没有水平支座反力。有竖向支座反力。如图 1.2(a)所示。

**铰支座** 机动特征是杆端可以绕铰中心  $A$  转动,不能有水平方向和竖直方向移动。支座反力特征是没有反力矩,有水平方向和竖直方向支座反力。如图 1.2(b)所示。

**固定支座** 机动特征是杆端的水平方向移动、竖直方向移动和转动都受到限制。支座反力特征是有水平方向、竖直方向支座反力和反力偶。如图 1.2(c)所示。

定向支座 机动特征是杆端的竖直方向移动和转动都受到限制。支座反力特征是有竖直方向支座反力和反力偶。如图 1.2(d)所示。

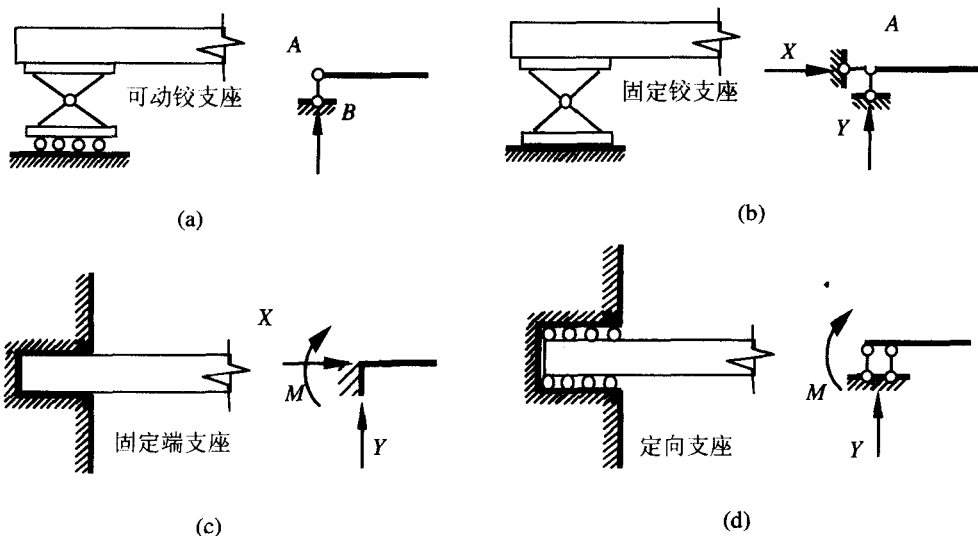


图 1.2 支座的简化

由以上结点和支座的机动特征和受力分析可以看出, 约束的机动特征和受力分析是紧密相应的。凡是结点或支座沿某一方向的位移或运动受到约束时, 则结点或支座具有该方向的约束力; 凡结点或支座沿某一方向可以自由位移或运动时, 则它们沿该方向的约束力为零。

### 1.2.3 杆件结构的分类

#### 1. 常用杆件结构的类型

(1) 梁的组成特点是轴线通常为直线。受力特点是在竖向荷载下无水平支座反力, 内力有弯矩、剪力, 如图 1.3(a)所示。

(2) 拱的组成特点是轴线为曲线。受力特点是在竖向荷载下有水平支座反力, 内力有弯矩及剪力及轴力, 如图 1.3(b)所示。

(3) 刚架的组成特点是由梁、柱直杆用刚结点组成。受力特点是内力有弯矩、剪力、轴力, 以弯矩为主, 如图 1.3(c)所示。

(4) 桁架的组成特点是由两端为铰的直链杆用铰结点组。受力特点是荷载作用于结点时, 各杆只受轴力, 如图 1.3(d)所示。

(5) 组合结构的组成特点是由梁式杆和链杆组成。受力特点是梁式杆有弯矩、剪力、轴力, 链杆只受轴力, 如图 1.3(e)所示。

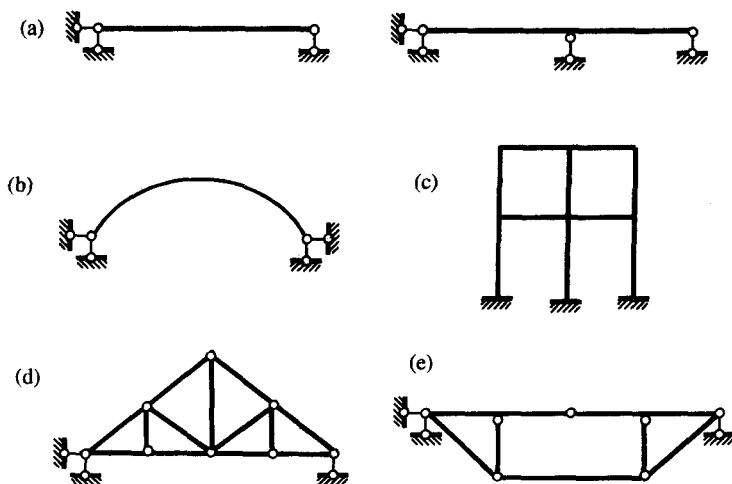


图 1.3 杆件结构的类型

## 2. 计算特点的分类

- (1) 静定结构: 用静力平衡条件可以唯一确定全部支座反力和内力。
- (2) 超静定结构: 不能由静力平衡条件确定全部支座反力和内力。

## 3. 根据杆件和荷载在空间位置的分类

- (1) 平面结构: 各杆件的轴线和荷载都在同一平面内。
- (2) 空间结构: 各杆件的轴线和荷载其中之一不在同一平面内。

### 1.2.4 荷载的分类

荷载是主动作用于结构的外力。

根据作用时间的久暂, 可分为以下几种。

- (1) 恒载(不变荷载): 永久作用于结构上, 如结构自重、固定设备重量。
- (2) 活载(可变荷载): 又分为可动荷载和移动荷载。可动荷载能作用于结构上的任意位置, 如人群、雪载、风载; 移动荷载互相平行、间距不变、能在结构上移动, 如列车荷载、吊车荷载。

根据荷载作用的性质, 可分为以下几种。

- (1) 静力荷载: 荷载的大小、方向和位置不随时间变化的荷载(包括只考虑位置改变、不考虑动力效应的荷载), 对结构不产生显著的振动。如恒载、活载。
- (2) 动力荷载: 荷载随时间迅速变化的荷载, 对结构产生显著的振动。如机械转动时的荷载、地震作用、冲击波。

如图 1.4(a)所示为一工业厂房结构图。该厂是钢筋混凝土厂房结构, 梁和柱都是预制的。柱子下端插入基础的杯口内, 然后用细石混凝土填实。梁与柱的连接是通过将梁端和柱顶的预埋钢板进行焊接而实现的。在横向平面内柱与梁组成排架, 如图 1.4(b)所示, 各个排架之间, 在梁上有屋面板连接, 在柱的牛腿上有吊车梁连接。计算上述的厂房结构时, 可采用图 1.4(c)所示的计算简图。

该厂房是由许多排架用屋面板和吊车梁连接起来的空间结构, 但各排架在纵向以一定

的间距有规律地排列着。作用于厂房上的荷载,如恒载、雪载和风载等一般是沿纵向均匀分布的,通常可把这些荷载分配给每个排架,而将每一排架看作一个独立的体系,于是该厂房结构就由纵向构件组成的空间结构简化为由一系列屋架、柱和基础组成的平面单元,如图 1.4(b)所示。另外,梁和柱都可用它们的几何轴线来代表,是因为梁和柱的截面尺寸比长度小得多,轴线都可近似地看作是直线。另外梁和柱的连接只依靠预埋钢板焊接,梁端和柱顶之间虽不能发生相对移动,但仍有发生微小相对转动的可能,因此可取为铰结点。柱底和基础之间可以认为不能发生相对移动和相对转动,因此柱底可取为固定端。如图 1.4(c)所示的结构称为铰结排架,是单层工业厂房常用的一种结构型式。

从以上分析可知,简化采用了以下的作法。

- (1) 屋架的杆件(梁和柱)用轴线表示。
- (2) 屋架杆件之间的结点简化为铰结点。
- (3) 屋面荷载通过屋面板的 4 个角点以集中力的形式作用在屋架弦上。
- (4) 屋架的两端通过钢板焊接在柱上,可将其端点分别简化为铰支座和滚轴支座。

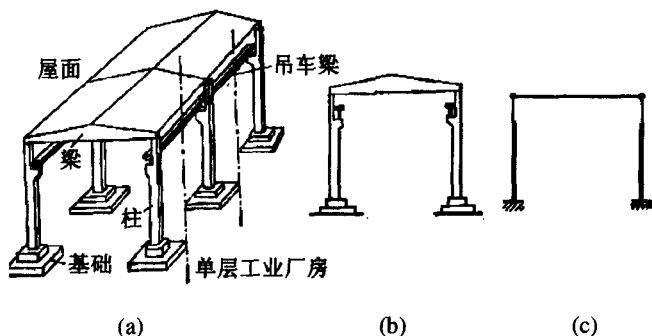


图 1.4 单层工业厂房结构型式

结构计算简图的选择十分重要,又很复杂;需要选择者有较多的实际经验,并善于判断各种不同因素的相对重要性。对一些新型结构,往往要通过多次的实验和实践,才能获得比较合理的计算简图;但对常用的结构形式,已有前人积累的经验,可以直接取其常用的计算简图。所以,选择结构计算简图的能力是在本课程、后继结构课程以及长期工程实践中逐步形成的。

## 第2章 几何组成分析

**教学提示：**本章研究的主要内容是体系的几何方面的问题。杆件体系是由若干杆件及地基用链杆、铰或刚结点连接而成的。本章对平面杆系的几何组成进行分析，以解决怎样组成的杆系才能承受荷载这个基本问题。同时，由于结构的组成方式不同将影响其力学性能和分析方法，因此，在分析结构受力、变形之前，也必须首先了解结构的组成。

**教学要求：**本章让学生了解几何组成分析的目的，重点掌握以下基本概念：几何不变体、几何可变体、自由度、约束、瞬铰、必要约束、多余约束、静定结构和超静定结构；理解几何不变无多余约束的平面杆件体系的基本组成规律。并能够熟练地运用组成规律分析各种复杂的杆件体系。

### 2.1 概述与名词解释

实际工程结构中，杆件结构一般是由若干根杆件通过结点间的连接及与支座的连接组成的。结构是用来承受荷载的，首先必须保证结构的几何构造是合理的，即它本身应该是稳固的，可以保持几何形状的稳定。一个几何不稳固的结构是不能承受荷载的。例如图 2.1(a) 所示结构由于内部的组成不健全，尽管只受到很小的扰动，结构也会引起很大的形状改变。

对结构的几何组成教学分析称为几何组成分析。其目的在于：判断结构有无保持自身形状和位置的能力；研究几何不变体系的组成规律；为区分静定结构和超静定结构及进行结构内力分析打下必要的基础。

在对结构进行几何组成分析之前，先介绍几个名词。

#### 1. 几何不变体系和几何可变体系

杆件结构在不计材料应变的条件下，杆系的形状和位置保持不变，称为几何不变体系(图 2.1(a))。反之，称为几何可变体系(图 2.1(b))。

显然只有几何不变体系可作为结构，而几何可变体系是不可以作为结构的。因此在选择或组成一个结构时必须掌握几何不变体系的组成规律。

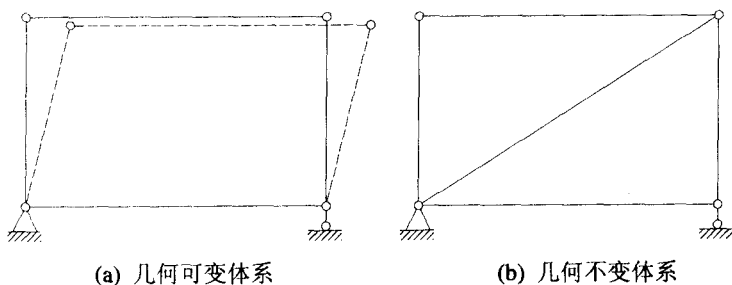


图 2.1

## 2. 自由度 $S$

判断一个体系是否可变, 涉及到体系运动的自由度问题。物体或体系运动时, 彼此可以独立改变的几何参数的个数, 称为该物体或体系的自由度。换句话说, 一个物体或体系的自由度就是它运动时可以独立改变的坐标个数。

### (1) 点的自由度。

点在平面内的自由度为  $S=2$ :  $(x, y)$ , 图 2.2 为点的自由度。

### (2) 刚片的自由度。

所谓刚片, 就是几何形状不变的部分。由于我们在讨论体系的几何构造时是不考虑材料变形, 因此可以把一根梁、一根柱、一根链杆甚至体系中已被确定为几何不变的部分看作是一个刚片, 图 2.3 所示为一平面内刚片。

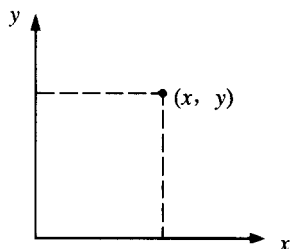


图 2.2 平面内点的自由度

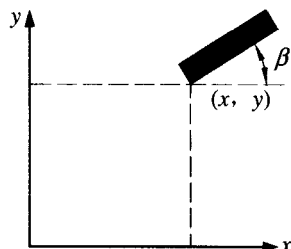


图 2.3 平面内刚片的自由度

刚片在平面内的自由度为  $S=3$ :  $(x, y, \beta)$ 。

## 3. 约束

约束是指限制物体或体系运动的各种装置, 分外部约束(体系与基础之间的联系, 即支座)和内部约束(体系内部各杆或结点之间的联系)两种。由于结构是由各种构件通过约束组合成不变体系的, 它的自由度应该等于或小于零, 所以约束也是能减少刚片自由度的装置。常见的约束装置的类型有下列几种。

### (1) 链杆。

链杆可减少一个自由度, 相当于一个约束, 如图 2.4 所示。

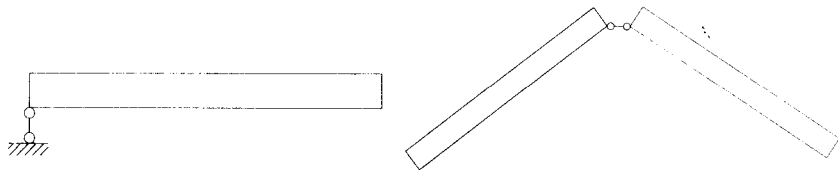


图 2.4 链杆约束

### (2) 单铰。

一个单铰可以减少两个自由度, 相当于两个约束, 如图 2.5 所示。

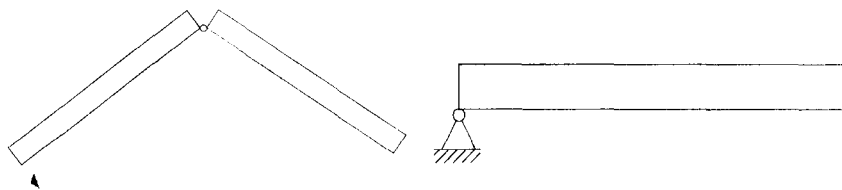


图 2.5 单铰约束

## (3) 复铰。

所谓复铰，是指连接两个以上刚片的铰，如图 2.6 所示。

连接  $n$  个刚片的复铰，相当于  $n-1$  个单铰。

## (4) 刚结点。

一个刚结点能减少 3 个自由度，相当于 3 个约束，如图 2.7 所示。

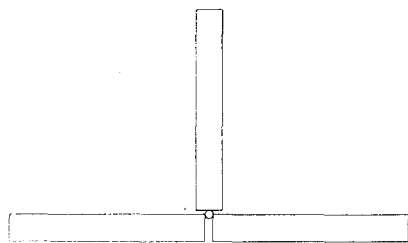


图 2.6 复铰约束

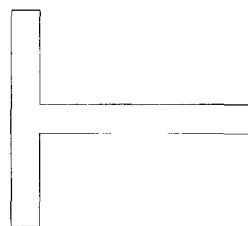


图 2.7 刚结点

## 4. 必要约束和多余约束

所谓必要约束，是指保证体系几何不变所需的最少的、合理约束；相反，必要约束以外的约束就称为多余约束。多余约束不改变体系的自由度。

## 5. 瞬变体系

瞬变体系指原来是几何可变，经微小位移后又成为几何不变的体系。图 2.8 所示两个刚片用 3 根互相平行但不等长的链杆联结，它是几何可变的。刚片 I 相对刚片 II 发生一个微小的位移  $\Delta$  后， $\beta_1 = \frac{\Delta}{L_1}$ ， $\beta_2 = \frac{\Delta}{L_2}$ ， $\beta_3 = \frac{\Delta}{L_3}$

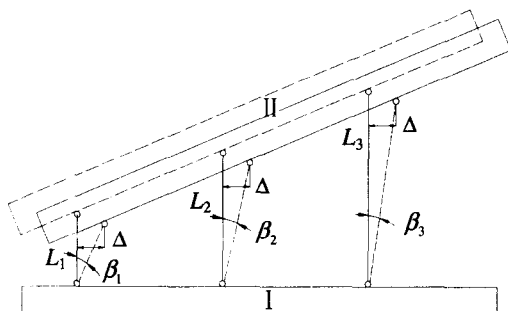


图 2.8 瞬变体系

由于  $\beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3$ ，也就是说当两刚片发生了微小的相对运动后，3 根链杆就不再平行

了，也不交于一点，故体系就变成了不可变体系。这种在短暂的瞬间是几何可变的体系称为瞬变体系。瞬变体系的几种情况如下。

(1) 两个刚片用 3 根互相平行但不等长的链杆联结，如图 2.8 所示。

如果 3 根链杆互相平行又等长，体系是可变的，如图 2.9 所示。

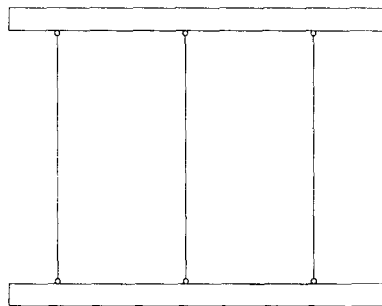


图 2.9 几何可变体系

(2) 两个刚片用 3 根其延长线交于一点的链杆联结。

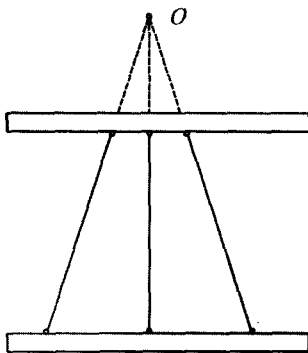


图 2.10 瞬铰(虚铰)

图 2.10 中 3 根链杆的延长线交于点“O”，两刚片在瞬间就会发生绕“O”点的相对转动，但是在短暂的运动发生以后，3 根链杆的延长线不再交于一点，体系就变成了不可变体系。“O”称为虚铰或瞬铰。如果 3 根链杆直接交于点“O”，则组成的是可变体系，如图 2.11 所示。此时“O”称为实铰。

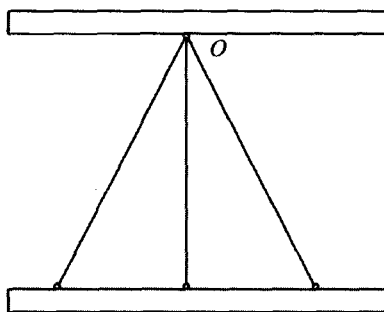


图 2.11 实铰