

# 建筑力学

主 编 夏健明



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

# 建筑力学

主 编 夏健明

参 编 刘 灿

## 内 容 提 要

本书精选静力学、材料力学和结构力学的有关内容形成简洁的教学体系,同时引入计算机技术在力学课程中的应用。本书共分23章,主要内容包括绪论、静力学基础、平面汇交力系、力矩与力偶、平面一般力系、空间力系、截面的几何性质、轴向拉伸与压缩、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态与强度理论、组合变形、压杆稳定、平面体系的几何组成分析、静定结构的内力计算、静定结构的位移计算、力法、位移法、力矩分配法、影响线、平面杆系结构分析程序(pmgx)的应用等。

本书可作为高等院校土建类相关专业建筑力学课程的教材,也可供其他相关专业的学生和工程技术人员参考使用。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

建筑力学 / 夏健明主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2019.1

ISBN 978-7-5682-6248-4

I. ①建… II. ①夏… III. ①建筑科学—力学—高等学校—教学参考资料 IV. ①TU311

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第198980号

---

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 河北鸿祥信彩印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 21

字 数 / 511千字

版 次 / 2019年1月第1版 2019年1月第1次印刷

定 价 / 75.00元

责任编辑 / 钟 博

文案编辑 / 钟 博

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

---

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换



# 前言

本书旨在培养学生应用建筑力学的基本概念和基本原理,分析、解决常见建筑结构和杆件的强度、刚度和稳定性问题的能力,是编者多年建筑力学课程教学实践的总结。本书可作为高等院校土建类相关专业建筑力学课程的教材,也可供其他相关专业的学生和工程技术人员参考使用。

本书从高等教育培养目标和学生的实际情况出发,以“必需,够用”为度,注重应用,精选静力学、材料力学和结构力学的有关内容形成简洁的教学体系,同时引入计算机技术在力学课程教学中的应用,包括编者自编的平面杆系结构分析程序(pmgx)的应用和应用Microsoft Excel表格计算三铰拱,并绘制内力图的方法。本书重点讲授杆件的四种基本变形和组合变形,杆件的内力计算和内力图绘制,截面应力计算,杆件的强度、刚度和稳定性计算,平面杆系结构的几何组成分析,静定结构的内力计算和位移计算,超静定结构计算的力法、位移法和力矩分配法,移动荷载作用在静定结构的响应,平面杆系结构分析程序(pmgx)的应用等内容,使学生掌握力学基本概念和基本原理,了解常见工程结构的力学模型、构件与结构的受力和变形特征,掌握构件与结构的应力和变形计算方法,掌握构件的强度、刚度和稳定性的概念和计算方法。

全书共分为23章,内容包括绪论、静力学基础、平面汇交力系、力矩与力偶、平面一般力系、空间力系、截面的几何性质、轴向拉伸与压缩、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态与强度理论、组合变形、压杆稳定、平面体系的几何组成分析、静定结构的内力计算、静定结构的位移计算、力法、位移法、力矩分配法、影响线、平面杆系结构分析程序(pmgx)的应用等。

本书配有编者自编的平面杆系结构分析程序(pmgx)、相关教学视频和三铰拱内力计算的Microsoft Excel表格,在正文中以二维码的方式提供。与本书配套使用的热轧型钢表,读者可通过扫描右侧的二维码进行下载获取。

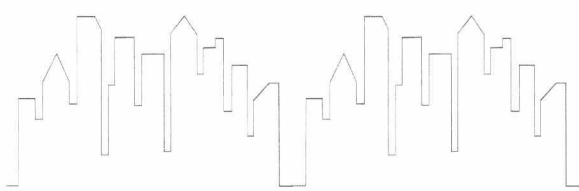


热轧型钢表

本书由夏健明担任主编，刘灿参与了本书部分章节的编写工作。具体编写分工为：夏健明编写第1章、第7章～第23章，刘灿编写第2章～第6章。

由于编者水平有限，书中难免有不妥和疏漏之处，敬请读者批评指正。

编 者



# 目录



|                     |    |                   |    |
|---------------------|----|-------------------|----|
| 第1章 绪论              | 1  | 第4章 力矩与力偶         | 27 |
| 1.1 建筑力学的研究对象和任务    | 1  | 4.1 力对点之矩与合力矩定理   | 27 |
| 1.2 建筑力学的基本概念       | 1  | 4.1.1 力对点之矩       | 27 |
| 1.3 结构的分类           | 2  | 4.1.2 合力矩定理       | 28 |
| 1.4 杆件变形的基本形式       | 4  | 4.2 力偶            | 29 |
| 1.5 变形固体的基本假设       | 5  | 4.2.1 力偶的概念       | 29 |
|                     |    | 4.2.2 力偶的基本性质     | 30 |
| 第2章 静力学基础           | 7  | 4.3 平面力偶系的合成与平衡   | 31 |
| 2.1 静力学公理           | 7  | 4.3.1 平面力偶系的合成    | 31 |
| 2.2 约束与约束反力         | 9  | 4.3.2 平面力偶系的平衡条件  | 32 |
| 2.3 受力分析与受力图        | 13 |                   |    |
| 2.4 结构的计算简图         | 16 | 第5章 平面一般力系        | 33 |
|                     |    | 5.1 平面一般力系的工程实例   | 33 |
| 第3章 平面汇交力系          | 19 | 5.2 力的平移定理        | 34 |
| 3.1 平面汇交力系的工程实例     | 19 | 5.3 平面一般力系的简化     | 35 |
| 3.2 平面汇交力系的合成       | 20 | 5.3.1 平面一般力系向一点简化 | 35 |
| 3.2.1 平面汇交力系合成的几何法  | 20 | 5.3.2 简化结果的讨论     | 36 |
| 3.2.2 力在坐标轴的投影      | 21 | 5.3.3 平面力系的合力矩定理  | 37 |
| 3.2.3 合力投影定理        | 22 | 5.4 平面一般力系的平衡     | 38 |
| 3.2.4 平面汇交力系合成的解析法  | 22 | 5.4.1 平衡方程的一般形式   | 38 |
| 3.3 平面汇交力系的平衡       | 23 | 5.4.2 平衡方程的其他形式   | 39 |
| 3.3.1 平面汇交力系平衡的几何条件 | 23 | 5.5 平面平行力系的平衡方程   | 42 |
| 3.3.2 平面汇交力系平衡的解析条件 | 23 | 5.6 物体系统的平衡       | 43 |

第6章 空间力系.....47

6.1 概述.....47

6.2 力对轴之矩.....48

6.3 空间汇交力系的合成与平衡.....49

6.3.1 力在空间直角坐标轴上的投影.....49

6.3.2 空间汇交力系的合成.....51

6.3.3 空间汇交力系的平衡.....51

6.4 空间一般力系的平衡.....54

第7章 截面的几何性质.....57

7.1 重心和形心.....57

7.1.1 重心的概念.....57

7.1.2 重心和形心的计算公式.....57

7.1.3 组合平面图形的形心计算公式.....59

7.2 面积矩.....60

7.2.1 面积矩的定义.....60

7.2.2 简单组合图形的面积矩计算.....61

7.3 惯性矩.....62

7.3.1 惯性矩的定义.....62

7.3.2 简单图形惯性矩的计算.....62

7.3.3 平行移轴公式.....64

7.3.4 惯性半径.....65

7.3.5 极惯性矩.....66

7.4 惯性积与主惯性矩.....67

7.4.1 惯性积.....67

7.4.2 主惯性矩.....67

第8章 轴向拉伸与压缩.....69

8.1 轴向拉伸与压缩构件的内力.....69

8.1.1 轴向拉伸与压缩的概念.....69

8.1.2 轴向拉（压）杆的内力.....69

8.1.3 轴向拉（压）杆的内力图.....70

8.2 轴向拉（压）杆横截面上的应力.....71

8.2.1 应力的概念.....71

8.2.2 轴向拉（压）杆横截面上的正应力.....72

8.3 轴向拉（压）杆斜截面上的应力.....73

8.4 轴向拉压杆的变形.....74

8.4.1 轴向变形.....74

8.4.2 横向变形.....75

8.5 材料在拉伸与压缩时的力学性能.....78

8.5.1 材料拉伸时的力学性能.....78

8.5.2 材料在压缩时的力学性能.....81

8.6 强度条件与强度计算.....82

8.6.1 极限应力.....82

8.6.2 许用应力和安全系数.....82

8.6.3 轴向拉压时的强度条件.....83

8.7 应力集中的概念.....85

8.8 剪切和挤压的实用计算.....86

8.8.1 剪切和挤压的概念.....86

8.8.2 剪切的实用计算.....87

8.8.3 挤压的实用计算.....87

第9章 扭转.....89

9.1 扭转的概念.....89

9.2 外力偶矩、扭矩和扭矩图.....90

9.2.1 外力偶矩的计算.....90

9.2.2 扭矩.....90

9.2.3 扭矩图.....91

9.3 剪切胡克定律.....91

9.3.1 剪应变.....91

9.3.2 剪切胡克定律.....92

9.4 圆轴扭转时横截面的剪应力.....92

9.4.1 几何关系.....92

9.4.2 物理关系.....93

9.4.3 静力学关系.....93

9.5 圆轴扭转时的强度计算.....94

9.6 圆轴扭转时的变形与刚度计算.....96



|                              |     |                                                            |     |
|------------------------------|-----|------------------------------------------------------------|-----|
| 9.6.1 圆轴扭转时的变形               | 96  | 11.4.1 降低梁的最大弯矩 $M_{\max}$ 的措施                             | 127 |
| 9.6.2 刚度计算                   | 97  | 11.4.2 增加抗弯截面模量 $W_z$ 的措施                                  | 128 |
| 9.7 剪应力互等定理                  | 98  | 11.4.3 采用变截面梁                                              | 128 |
| 9.8 矩形截面杆的扭转                 | 98  | 第12章 弯曲变形                                                  | 130 |
| 9.8.1 矩形截面杆扭转变形的特点           | 98  | 12.1 梁的挠度和转角                                               | 130 |
| 9.8.2 矩形截面杆自由扭转时的最大剪应力和扭转角计算 | 99  | 12.2 梁挠曲线近似微分方程                                            | 131 |
| 第10章 弯曲内力                    | 101 | 12.3 用积分法求梁的变形                                             | 132 |
| 10.1 弯曲的概念                   | 101 | 12.4 用叠加法求梁的变形                                             | 135 |
| 10.2 平面弯曲时梁的内力               | 102 | 12.5 梁的刚度校核、提高梁弯曲刚度的措施                                     | 138 |
| 10.2.1 梁的内力——剪力和弯矩           | 102 | 12.5.1 梁的刚度校核                                              | 138 |
| 10.2.2 剪力和弯矩的正负号规定           | 103 | 12.5.2 提高梁刚度的措施                                            | 139 |
| 10.2.3 梁任一截面的内力计算            | 103 | 第13章 应力状态与强度理论                                             | 140 |
| 10.3 剪力图和弯矩图                 | 105 | 13.1 应力状态的概念                                               | 140 |
| 10.3.1 剪力方程和弯矩方程             | 105 | 13.2 平面应力状态分析——解析法                                         | 141 |
| 10.3.2 剪力图和弯矩图               | 105 | 13.2.1 斜截面上的应力                                             | 142 |
| 10.4 弯矩、剪力和荷载集度的微分关系         | 108 | 13.2.2 主应力和主平面                                             | 143 |
| 10.4.1 概述                    | 108 | 13.2.3 最大剪应力和最大剪应力平面                                       | 144 |
| 10.4.2 剪力图和弯矩图的规律            | 108 | 13.3 平面应力的应力状态分析——图解法                                      | 146 |
| 10.5 用叠加法作梁的弯矩图              | 112 | 13.3.1 应力圆的作法                                              | 146 |
| 第11章 弯曲应力                    | 114 | 13.3.2 利用应力圆计算最大正应力 $\sigma_{\max}$ 和最小正应力 $\sigma_{\min}$ | 147 |
| 11.1 梁横截面上的正应力               | 114 | 13.3.3 利用应力圆计算最大剪应力 $\tau_{\max}$                          | 147 |
| 11.2 梁的正应力强度计算               | 117 | 13.3.4 计算单元体任意斜截面上的正应力与剪应力                                 | 148 |
| 11.3 梁横截面上的剪应力及其强度计算         | 121 | 13.4 广义胡克定律                                                | 149 |
| 11.3.1 矩形截面梁的剪应力             | 121 | 13.5 强度理论                                                  | 150 |
| 11.3.2 工字形截面梁的剪应力            | 123 |                                                            |     |
| 11.3.3 圆形截面上的最大剪应力           | 123 |                                                            |     |
| 11.3.4 圆环形截面梁的剪应力            | 124 |                                                            |     |
| 11.3.5 梁的剪应力强度计算             | 125 |                                                            |     |
| 11.4 提高梁承载能力的措施              | 126 |                                                            |     |



|                                    |     |                               |     |
|------------------------------------|-----|-------------------------------|-----|
| 13.5.1 强度理论的概念和材料的<br>两种破坏形式 ..... | 150 | 16.2.1 自由度的概念 .....           | 180 |
| 13.5.3 四个常用的强度理论 .....             | 150 | 16.2.2 约束的概念与类型 .....         | 181 |
| 13.5.4 四个强度理论的特点 .....             | 151 | 16.2.3 多余约束 .....             | 182 |
| 第14章 组合变形 .....                    | 154 | 16.2.4 计算自由度 .....            | 183 |
| 14.1 概述 .....                      | 154 | 16.2.5 对计算自由度的讨论 .....        | 183 |
| 14.2 斜弯曲 .....                     | 155 | 16.3 几何不变体系的组成规则 .....        | 184 |
| 14.2.1 内力计算 .....                  | 155 | 16.3.1 二刚片规则 .....            | 184 |
| 14.2.2 应力分析 .....                  | 155 | 16.3.2 三刚片规则 .....            | 184 |
| 14.2.3 强度计算 .....                  | 156 | 16.3.3 二元体规则 .....            | 185 |
| 14.2.4 变形分析 .....                  | 157 | 16.4 几何组成分析举例 .....           | 185 |
| 14.3 拉伸(压缩)与弯曲的组合 .....            | 159 | 16.5 体系的几何组成与静定性的<br>关系 ..... | 187 |
| 14.4 偏心压缩 .....                    | 160 | 第17章 静定结构的内力计算 .....          | 188 |
| 14.4.1 单向偏心压缩(拉伸) .....            | 160 | 17.1 静定梁 .....                | 188 |
| 14.4.2 双向偏心压缩(拉伸) .....            | 162 | 17.1.1 单跨静定梁 .....            | 188 |
| 14.4.3 截面核心 .....                  | 165 | 17.1.2 区段叠加法 .....            | 188 |
| 第15章 压杆稳定 .....                    | 166 | 17.1.3 斜梁 .....               | 189 |
| 15.1 压杆稳定的概念 .....                 | 166 | 17.1.4 多跨静定梁 .....            | 190 |
| 15.2 细长压杆临界力的欧拉公式 .....            | 167 | 17.2 静定平面刚架 .....             | 193 |
| 15.2.1 两端铰支细长压杆的临界力 .....          | 167 | 17.2.1 刚架的概念 .....            | 193 |
| 15.2.2 其他支承条件下细长压杆的<br>临界力 .....   | 168 | 17.2.2 静定平面刚架的内力 .....        | 193 |
| 15.3 欧拉公式的使用范围和临界应力<br>总图 .....    | 170 | 17.3 静定平面桁架 .....             | 197 |
| 15.4 压杆的稳定计算 .....                 | 173 | 17.3.1 桁架的概念 .....            | 197 |
| 15.5 提高压杆稳定性的措施 .....              | 177 | 17.3.2 理想桁架的内力计算 .....        | 199 |
| 15.5.1 选择合理的截面形状 .....             | 177 | 17.4 三铰拱 .....                | 202 |
| 15.5.2 改善压杆的支承条件 .....             | 178 | 17.4.1 拱的构造及特点 .....          | 202 |
| 15.5.3 选择合理的材料 .....               | 178 | 17.4.2 三铰拱的内力计算 .....         | 203 |
| 第16章 平面体系的几何组成分析 .....             | 179 | 17.5 组合结构 .....               | 207 |
| 16.1 概述 .....                      | 179 | 17.6 静定结构的特性 .....            | 208 |
| 16.2 体系的自由度与约束 .....               | 180 | 第18章 静定结构的位移计算 .....          | 210 |
|                                    |     | 18.1 概述 .....                 | 210 |
|                                    |     | 18.1.1 结构的位移 .....            | 210 |
|                                    |     | 18.1.2 计算结构位移的目的 .....        | 211 |



|                                 |     |                              |     |
|---------------------------------|-----|------------------------------|-----|
| 18.2 虚功原理.....                  | 211 | 19.6 温度改变和支座移动时超静定结构的计算..... | 248 |
| 18.2.2 实功与虚功.....               | 211 | 19.6.1 温度改变时超静定结构的计算.....    | 249 |
| 18.2.2 变形体的虚功原理.....            | 213 | 19.6.2 支座移动时超静定结构的计算.....    | 250 |
| 18.3 静定结构在荷载作用下的位移.....         | 213 | 19.7 超静定结构的位移计算.....         | 251 |
| 18.3.1 静定结构在荷载作用下的位移计算.....     | 213 | 19.8 超静定结构与静定结构的比较.....      | 253 |
| 18.3.2 几种典型静定结构在荷载作用下的位移计算..... | 216 |                              |     |
| 18.4 图乘法.....                   | 219 |                              |     |
| 18.5 静定结构由于支座移动、温度变化引起的位移.....  | 224 | <b>第20章 位移法</b> .....        | 254 |
| 18.5.1 静定结构由于支座移动引起的位移.....     | 224 | 20.1 位移法的基本概念.....           | 254 |
| 18.5.2 静定结构由于温度改变引起的位移.....     | 226 | 20.2 等截面直杆的转角位移方程.....       | 256 |
| 18.6 线弹性体系的互等定理.....            | 228 | 20.3 位移法的基本未知量与基本结构.....     | 260 |
| 18.6.1 功的互等定理.....              | 228 | 20.4 位移法的典型方程.....           | 262 |
| 18.6.2 位移互等定理.....              | 229 | 20.5 位移法应用举例.....            | 265 |
| 18.6.3 反力互等定理.....              | 229 | 20.6 应用结点和截面平衡条件建立位移法方程..... | 270 |
| <b>第19章 力法</b> .....            | 231 | 20.7 对称性的利用.....             | 271 |
| 19.1 超静定结构的概念和超静定次数的确定.....     | 231 | 20.7.1 对称荷载作用在对称结构上.....     | 272 |
| 19.1.1 超静定结构的概念.....            | 231 | 20.7.2 反对称荷载作用在对称结构上.....    | 273 |
| 19.1.2 超静定次数的确定.....            | 231 |                              |     |
| 19.2 力法原理和力法方程.....             | 234 | <b>第21章 力矩分配法</b> .....      | 276 |
| 19.2.1 力法的基本原理.....             | 234 | 21.1 力矩分配法的基本概念.....         | 276 |
| 19.2.2 力法一般方程.....              | 236 | 21.2 用力矩分配法计算连续梁的无侧移刚架.....  | 279 |
| 19.3 用力法计算超静定梁和刚架.....          | 237 | 21.2.1 只有一个结点角位移.....        | 279 |
| 19.4 用力法计算超静定桁架、排架和组合结构.....    | 240 | 21.2.2 有多个结点角位移.....         | 282 |
| 19.4.1 超静定桁架的计算.....            | 240 |                              |     |
| 19.4.2 排架的计算.....               | 241 | <b>第22章 影响线</b> .....        | 288 |
| 19.4.3 超静定组合结构的计算.....          | 242 | 22.1 影响线的概念.....             | 288 |
| 19.5 对称性的利用.....                | 244 | 22.2 用静力法作单跨静定梁的影响线.....     | 289 |



|                              |     |                                   |     |
|------------------------------|-----|-----------------------------------|-----|
| 22.2.1 反力影响线                 | 289 | 23.1.5 荷载的类型                      | 313 |
| 22.2.2 弯矩影响线                 | 290 | 23.1.6 数据输出                       | 314 |
| 22.2.3 剪力影响线                 | 291 | 23.1.7 是否考虑杆件的轴向变形                | 314 |
| 22.3 用机动法作单跨静定梁的影响线          | 293 | 23.2 平面杆系结构分析程序的使用                | 314 |
| 22.3.1 机动法的概念                | 293 | 23.2.1 数据输入                       | 314 |
| 22.3.2 机动法绘制简支梁的影响线          | 294 | 23.2.2 查看数据                       | 314 |
| 22.3.3 机动法绘制外伸梁的影响线          | 294 | 23.2.3 结构计算                       | 314 |
| 22.3.4 用机动法绘制多跨静定梁的影响线       | 296 | 23.2.4 计算结果                       | 314 |
| 22.4 间接荷载作用下的影响线             | 297 | 23.2.5 帮助                         | 315 |
| 22.5 影响线的应用                  | 298 | 23.2.6 退出                         | 315 |
| 22.5.1 当荷载位置固定时求某量值          | 298 | 23.3 原始输入数据说明                     | 315 |
| 22.5.2 确定最不利荷载位置             | 300 | 23.3.1 基本信息 (1 行)                 | 315 |
| 22.6 简支梁的内力包络图和绝对最大弯矩        | 303 | 23.3.2 结点约束信息 (NJ 行)              | 315 |
| 22.7 连续梁的影响线与内力包络图           | 305 | 23.3.3 单元信息 (NE 行)                | 315 |
| 22.7.1 连续梁的影响线               | 305 | 23.3.4 结点荷载信息 (NP 行, NP > 0 时输入)  | 316 |
| 22.7.2 连续梁的内力包络图             | 308 | 23.3.5 非结点荷载信息 (NF 行, NF > 0 时输入) | 316 |
|                              |     | 23.3.6 结点坐标信息 (NJ 行)              | 316 |
| 第23章 平面杆系结构分析程序 (pmgx) 的应用   | 312 | 23.4 输出格式说明                       | 316 |
| 23.1 平面杆系结构分析程序 (pmgx) 的基本概念 | 312 | 23.4.1 结点位移                       | 316 |
| 23.1.1 整体坐标系与局部坐标系           | 312 | 23.4.2 单元内力 (NE 行)                | 317 |
| 23.1.2 结点编号与单元编号             | 312 | 23.5 显示结构的弯矩图、剪力图和轴力图             | 317 |
| 23.1.3 结点位移                  | 313 | 23.5.1 操作                         | 317 |
| 23.1.4 结点的约束特征               | 313 | 23.5.2 退出                         | 317 |
|                              |     | 23.6 程序的文件说明                      | 318 |
|                              |     | 23.7 pmgx 程序的计算示例                 | 318 |
|                              |     | 参考文献                              | 326 |





### 1.1 建筑力学的研究对象和任务

建筑物和构筑物中支承荷载、传递荷载、起骨架作用的部分叫作结构,组成结构的单元称为构件。在框架结构房屋建筑中,框架是承受荷载、传递荷载的骨架部分,而构成框架结构的梁、柱、楼板等是结构的构件。建筑力学的研究对象是构件和结构。在各类建筑结构中,由杆件构成的杆系结构是应用最广泛的结构。杆系结构可分为平面杆系结构和空间杆系结构。本书主要研究平面杆系结构。



建筑力学概述

建筑力学是建筑工程技术专业的重要专业基础课,在学习建筑力学的过程中,需要使用高等数学等课程的知识,而建筑力学又为钢筋混凝土结构、钢结构、建筑施工等后续课程提供力学基础和计算方法。因此,建筑力学是一门起承上启下作用的专业基础课程。

建筑力学的任务包括以下几个方面:

- (1)对物体、物体系统作受力分析,研究各种力系的简化和平衡规律。
- (2)计算、分析杆件的强度、刚度和稳定性问题。
- (3)计算、分析静定结构的内力。
- (4)计算静定结构的位移。
- (5)计算、分析超静定结构的内力,包括力法、位移法和力矩分配法。
- (6)计算、分析结构在移动荷载作用下的响应。

### 1.2 建筑力学的基本概念

力学是研究物体机械运动的科学。机械运动是指物体的空间位置随时间的改变,机械运动是人们生活和生产实践中最常见的一种运动,平衡是机械运动的特殊情况。

力是物体之间相互的机械作用,这种作用使物体的运动状态发生改变,或使物体变形,称为力的效应。力使物体运动状态改变的效应称为外效应;使物体产生变形的效应称为内效应。力对物体作用的效应取决于力的三要素,即力的大小、方向和作用点。如图 1-1 所



示,力  $F$  的作用点是  $A$  点,通过作用点,沿力的作用方向的直线称为力的作用线。力既有大小,又有方向,是矢量。矢量  $F$  的模表示力的大小,力的作用线加上箭头表示力的方向,矢量  $F$  的始点表示力的作用点。

作用在物体上的若干个力称为力系,记作  $(F_1, F_2, \dots, F_n)$ ,如图 1-2 所示。作用于同一物体而效应相同的两个力系称为等效力系;作用于物体并使它保持平衡状态的力系称为平衡力系。若某力系与一个力等效,则此力称为该力系的合力,而该力系的各力称为此力的分力。将一个力系的合力代替该力系的过程称为力的合成;将力等效为若干个分力的过程称为力的分解。

建筑力学所研究的物体是现实物体抽象化(或理想化)的物理模型,或称为力学模型,包括质点、质点系、刚体和变形固体。质点是有质量而其尺寸可忽略不计的点;质点系是质点的集合;刚体是特殊的质点系,其上任意点之间的距离保持不变,即在力的作用下可忽略其变形的物体;变形固体是指在力的作用下产生变形的固体。

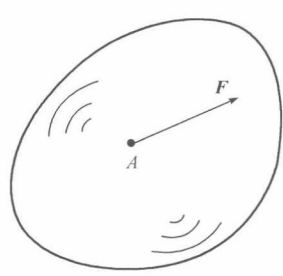


图 1-1

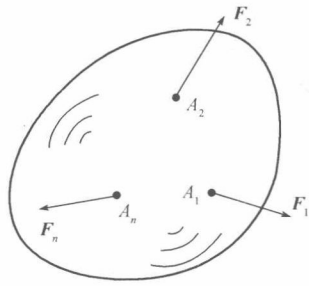


图 1-2

荷载是作用在物体上的外力。例如,建筑物的楼板、梁、柱的自重,风对建筑物的作用力,以及地震作用力等。长期作用在结构或构件上的不变荷载称为恒载,如楼板、梁、柱的自重。作用在结构或构件上的可变荷载称为活载,如风荷载、雪荷载、教室中的人群自重、行驶中的车辆对桥梁的作用等。

从零逐渐缓慢地连续均匀增加到终值后保持不变的荷载称为静力荷载,简称静载。静载的作用不引起结构明显的加速度。大小、作用位置、方向随时间迅速变化的荷载称为动力荷载,简称动载。动载的作用使结构或构件产生明显的加速度。例如,作用在高层建筑上的风荷载,地震作用、动力机械产生的振动荷载等。

### 1.3 结构的分类

从几何角度来看,结构可分为以下三类:

(1)杆件结构。杆件的几何特征是横截面尺寸比其长度小得多。由杆件组成的结构称为杆件结构,如图 1-3 所示的框架结构。

(2)板壳结构。薄板和薄壳的几何特征是其长度和宽度尺寸远大于其厚度。当对称面为平面时称为薄板[图 1-4(a)];当对称面为曲面时称为薄壳[图 1-4(b)]。由薄板或薄壳组成的结构称为板壳结构。由于板壳结构

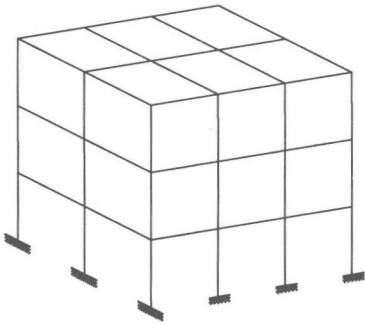


图 1-3

的厚度比其长度和宽度小得多,板壳结构也称为薄壁结构。图 1-4(c)、(d)所示的结构分别是折板结构和薄壳结构。

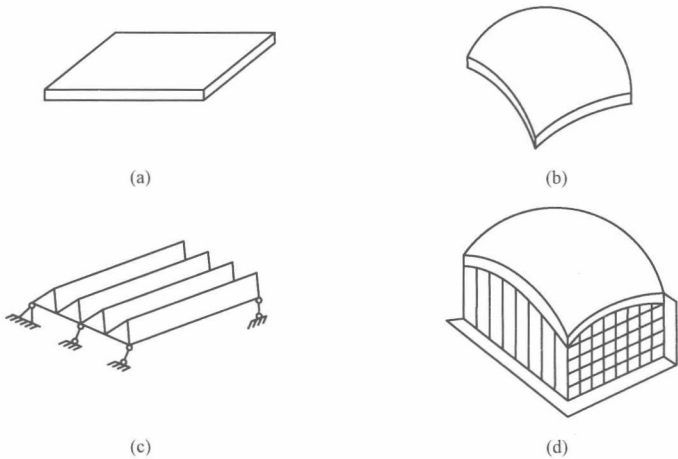


图 1-4

(3)实体结构。如果结构的长度、宽度和高度的尺寸相仿,这样的结构称为实体结构。挡土墙[图 1-5(a)]、水利工程中的水坝[图 1-5(b)]都是实体结构。

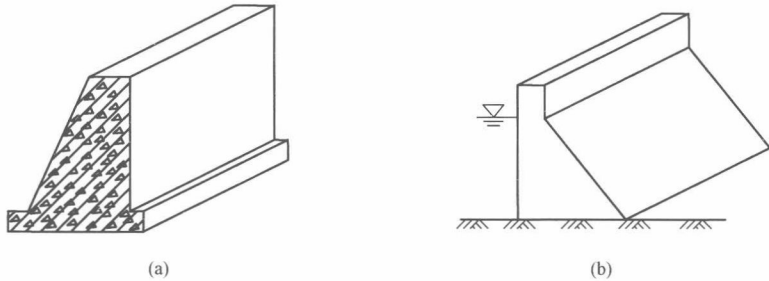


图 1-5

- 在建筑力学课程中,主要学习杆件结构。杆件结构通常可分为下列几类:
- (1)梁。梁是一种受弯构件,轴线是直线的梁称为直梁。梁可以是单跨或多跨,图 1-6(a)所示的梁是多跨静定梁。
  - (2)拱。拱的轴线是曲线,其特点是在竖向荷载作用下有水平方向的支座反力,如图 1-6(b)所示。
  - (3)桁架。理想桁架由直杆组成,结点是铰结点,荷载作用在结点上,桁架各杆的内力只有轴力,如图 1-6(c)所示。
  - (4)刚架。刚架由直杆组成,至少有一个结点是刚结点,如图 1-6(d)所示。
  - (5)组合结构。组合结构由受弯构件(梁式杆)和受拉(压)构件(桁式杆)组成,如图 1-6(e)所示。

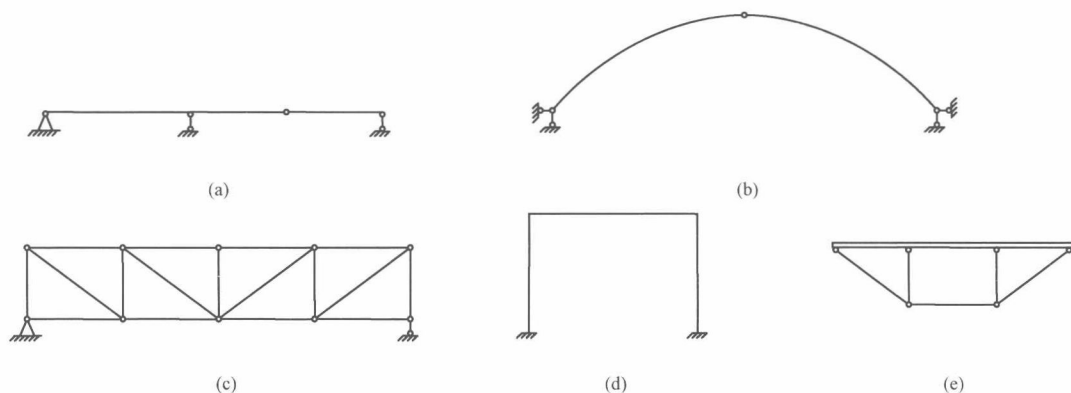


图 1-6

## 1.4 杆件变形的的基本形式

外力以不同的方式作用在杆件上，杆件的变形形式也各不相同。最基本的变形形式有以下四种：

(1) 轴向拉伸与压缩。杆件在一对大小相等、方向相反、作用线过杆件轴线的外力作用下发生轴向拉伸与压缩变形(图 1-7)。外力离开杆件时发生拉伸变形，指向杆件时发生轴向压缩变形。

桁架结构的杆件、吊起重物的钢索、斜拉桥的拉索的变形都属于轴向拉伸与压缩变形。



图 1-7

(2) 剪切变形。当杆件受到一对大小相等、方向相反、作用线距离很小且垂直于杆件轴线的外力作用时，杆件发生剪切变形，如图 1-8 所示。外力作用点处产生错动的杆件横截面，称为剪切面。

钢结构的螺栓连接、铆钉连接、钢筋混凝土楼盖中主梁和次梁的交接处都发生剪切变形。

(3) 扭转变形。杆件受到一对大小相等、方向相反、作用平面与杆件轴线垂直的力偶作用时，杆件发生扭转变形，如图 1-9 所示。杆件发生扭转变形时，任意两个横截面都发生相对转动。

机械中的传动轴、房屋建筑中的阳台梁都发生扭转变形。

(4) 弯曲变形。杆件受到一对大小相等、方向相反、作用面与杆件纵向对称面重合的力偶作用时，杆件发生弯曲变形，如图 1-10 所示。杆件的轴线由直线变为曲线。

弯曲变形是土木工程中最常见的变形，框架结构中的梁、楼板，工业厂房的吊车梁，火车轮轴等都发生弯曲变形。

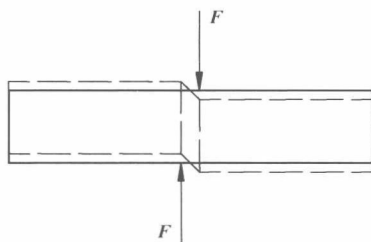


图 1-8



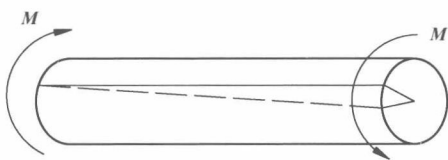


图 1-9

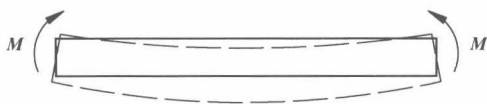


图 1-10

以上四种变形称为基本变形。在工程实践中,有些杆件的变形更复杂,可以看作以上四种基本变形的组合,称为组合变形。如图 1-11 所示的烟囱,在自身质量的作用下产生轴向压缩变形,受到侧向风压发生弯曲变形,因此,烟囱发生压缩变形与弯曲变形的组合变形。

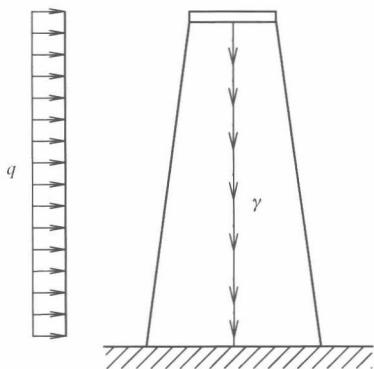


图 1-11

## 1.5 变形固体的基本假设

本课程引入变形固体的力学模型,实际的变形固体的性质是很复杂的,为了更清楚地获得研究对象的变形规律,通常抓住主要因素,而忽略与所研究问题无关的或次要的因素。对于变形固体,根据其主要性质作以下基本假设:

(1)连续性假设。认为物体在整个体积内部毫无空隙地充满了物质,根据这一假设,物体内部的应力、应变、位移等物理量可以用连续函数表示,可以方便地使用微积分的数学工具描述这些物理量。

(2)均匀性假设。认为物体各处的力学性能完全相同,根据这一假设,可以从物体中取出任何一微小部分进行分析,可将所得结论应用于整个物体。

(3)各向同性假设。认为物体在各个方向的力学性能相同。根据近代物理理论,认为一切物体均由分子、原子等微颗粒组成,各微颗粒之间存在空隙。如金属材料,从微观尺寸来看,是由微小晶粒组成的,但由于实际构件的尺寸远大于晶粒的尺寸,且晶粒的排列是无序的,所以从统计平均值的观点看,也就是宏观地看,认为金属材料是连续、均匀和各向同性的。工程实践中有一些材料,如木材、纤维增强复合材料等,在不同方向具有不同的力学性能,称为各向异性,这些材料称为各向异性材料。

在实际工程中,杆件在外力作用下产生的变形与其原始尺寸相比是微小的,这种变形



称为小变形。当杆件所受的外力不超过某一限值时，外力卸去后(或称卸载)，杆件的变形完全消失，能恢复原来的形状和尺寸，这种变形称为弹性变形；当外力超过某一限值时，外力卸去后，一部分变形消失，另一部分变形保留下来，称为塑性变形(或称残余变形、永久变形)。

在建筑力学中，研究对象被看作连续、均匀、各向同性的变形固体，主要研究弹性变形范围内的小变形情况。

思考题与习题



思考题与习题

