



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
21世纪建筑工程系列规划教材

第3版

# 建筑力学与结构

李永光 牛少儒 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



配电子课件

普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
21 世纪建筑工程系列规划教材

# 建筑力学与结构

第 3 版

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
| 主 编 | 李永光 | 牛少儒 |
| 副主编 | 白秀英 | 飞 虹 |
| 参 编 | 李 婕 | 杨晓敏 |
|     | 睢万俊 | 修 昱 |
| 主 审 | 宗 兰 | 李 清 |



机械工业出版社

本书结合专业特点,依照建筑结构对建筑力学的要求,精选了理论力学、材料力学和结构力学中的相关内容,与建筑结构中的钢筋混凝土结构、砌体结构相配套,形成简练而相对完整的教学体系。

本书主要内容为:建筑力学概述,静力学基本概念,物体的受力分析及结构计算简图,平面一般力系的简化及平衡方程,平面杆件体系的几何组成分析,静定结构的内力计算,截面的几何性质,杆件的应力和强度计算,杆件变形和结构的位移计算,压杆稳定,混凝土结构的基本设计原理,钢筋混凝土材料的力学性能,受弯构件承载力计算,受压构件承载力计算,预应力混凝土结构的一般知识,钢筋混凝土平面楼盖概述,钢筋混凝土高层建筑结构简介,砌体结构等。

本书是依据高职高专建筑力学与建筑结构课程教学基本要求而编写的,适用于土建类各专业使用。

本书配有电子教案,凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教材服务网 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com) 下载。咨询邮箱: [cmpgaozhi@sina.com](mailto:cmpgaozhi@sina.com)。咨询电话: 010-88379375。

## 图书在版编目(CIP)数据

建筑力学与结构/李永光,牛少儒主编. —3版. —北京:机械工业出版社, 2014.5

21世纪建筑工程系列规划教材

ISBN 978-7-111-45321-5

I. ①建… II. ①李… ②牛… III. ①建筑科学—力学—高等职业教育—教材②建筑结构—高等职业教育—教材 IV. ①TU3

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第315559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:王靖辉 责任编辑:王靖辉

版式设计:常天培 责任校对:申春香

封面设计:路恩中 责任印制:李洋

北京振兴源印务有限公司印刷

2014年3月第3版·第1次印刷

184mm×260mm·20.75印张·565千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-45321-5

定价:39.80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

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

## 第3版前言

本书自2003年出版第1版以来,受到广大读者的好评,并于2009年修订后再版。许多读者反映本书“编写内容严谨、文字表达深入浅出、职业教育特色鲜明、实践性和可操作性强”“许多概念能从实际例子中自然引出,使学生容易学、易懂”。在此,我们向支持本书的广大读者表示衷心感谢。

本书2006年被教育部列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,2007年获机械工业出版社“2004~2007年畅销教材”荣誉称号,这些荣誉的取得是广大读者对我们全体编者的支持与鼓励,也是对本书是否符合高等职业教育改革方向的肯定。

随着经济建设的高速发展,高等职业教育也取得了新的成就,建筑结构可靠度设计得以提高,建筑结构相关规范进行了调整,基于上述情况,我们结合本书使用过程中发现的问题对其进行修订,以进一步提高其质量。本次修订的主要原则为:

- 1) 保持原书优点,对应人才培养方案,适当加强相关内容的实践性训练环节,使教材内容更具备对实际问题进行分析和解决的指导作用。
- 2) 内容上去旧更新,包括国家标准、规范的调整,新材料、新技术、新工艺的引入等。

本书第3版编写人员做了适当调整,由李永光、牛少儒任主编,白秀英、飞虹任副主编,具体编写人员及编写分工为:内蒙古建筑职业技术学院李永光(第十章)、飞虹(第十三章、第十六章)、李婕(第十一章、第十五章)、牛少儒(第十七章、第十八章)、杨晓敏(第十二章、第十四章),山西大同大学白秀英(第四章、第六章)、睢万俊(第一章、第二章、第三章、第七章),鸡西大学修昱(第五章、第八章、第九章)。宗兰、李清对全书进行了审阅,对此我们表示衷心的感谢。

本书配有电子教案,凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教材服务网 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com) 下载。咨询邮箱: [cmpgaozhi@sina.com](mailto:cmpgaozhi@sina.com)。咨询电话: 010-88379375。

由于编者水平有限,书中错误及不当之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

编者

# 目 录

## 第3版前言

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第一章 建筑力学概述 .....           | 1  |
| 第一节 建筑力学的任务 .....          | 1  |
| 第二节 刚体、变形固体及基本假设 .....     | 2  |
| 第三节 杆件及其变形的基本形式 .....      | 3  |
| 第四节 荷载的形式 .....            | 5  |
| 小结 .....                   | 5  |
| 思考题 .....                  | 5  |
| 第二章 静力学基本概念 .....          | 6  |
| 第一节 力与平衡的概念 .....          | 6  |
| 第二节 静力学基本公理 .....          | 7  |
| 第三节 力在坐标轴上的投影·合力投影定理 ..... | 9  |
| 第四节 力矩、力偶的概念和力的等效平移 .....  | 11 |
| 小结 .....                   | 15 |
| 思考题 .....                  | 16 |
| 习题 .....                   | 17 |
| 第三章 物体的受力分析及结构计算简图 .....   | 19 |
| 第一节 约束和约束力 .....           | 19 |
| 第二节 结构计算简图 .....           | 22 |
| 第三节 物体的受力分析与受力图 .....      | 25 |
| 小结 .....                   | 30 |
| 思考题 .....                  | 30 |
| 习题 .....                   | 31 |
| 第四章 平面一般力系的简化及平衡方程 .....   | 33 |
| 第一节 平面一般力系的简化 .....        | 33 |
| 第二节 平面一般力系的平衡方程及其应用 .....  | 37 |
| 第三节 物体系的平衡问题 .....         | 46 |
| 小结 .....                   | 50 |
| 思考题 .....                  | 51 |
| 习题 .....                   | 52 |
| 第五章 平面杆件体系的几何组成分析 .....    | 56 |
| 第一节 平面杆件体系的几何组成分析的目的 ..... | 56 |
| 第二节 平面杆系的几个重要概念 .....      | 57 |
| 第三节 几何不变体系的组成规则 .....      | 58 |
| 第四节 几何组成分析举例 .....         | 59 |
| 第五节 静定结构和超静定结构 .....       | 59 |
| 小结 .....                   | 60 |
| 思考题 .....                  | 60 |
| 习题 .....                   | 61 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| <b>第六章 静定结构的内力计算</b>     | 62  |
| 第一节 内力·截面法               | 62  |
| 第二节 轴向拉压杆的内力             | 62  |
| 第三节 梁的内力——剪力和弯矩          | 65  |
| 第四节 剪力图和弯矩图              | 69  |
| 第五节 用叠加法作弯矩图             | 74  |
| 第六节 静定平面桁架内力             | 77  |
| 小结                       | 82  |
| 思考题                      | 83  |
| 习题                       | 84  |
| <b>第七章 截面的几何性质</b>       | 88  |
| 第一节 截面的面积矩和形心位置          | 88  |
| 第二节 惯性矩、惯性积与极惯性矩         | 89  |
| 第三节 主惯性轴和主惯性矩            | 91  |
| 第四节 组合截面的惯性矩计算           | 92  |
| 小结                       | 94  |
| 思考题                      | 95  |
| 习题                       | 96  |
| <b>第八章 杆件的应力和强度计算</b>    | 98  |
| 第一节 应力的概念                | 98  |
| 第二节 轴向拉压杆的应力和强度计算        | 99  |
| 第三节 材料的力学性质              | 101 |
| 第四节 平面弯曲梁的应力与强度计算        | 104 |
| 第五节 组合变形构件的强度计算          | 111 |
| 小结                       | 117 |
| 思考题                      | 118 |
| 习题                       | 119 |
| <b>第九章 构件变形和结构的位移计算</b>  | 122 |
| 第一节 轴向拉压变形计算             | 122 |
| 第二节 平面弯曲梁的变形计算           | 123 |
| 第三节 梁的刚度校核               | 128 |
| 小结                       | 129 |
| 思考题                      | 129 |
| 习题                       | 130 |
| <b>第十章 压杆稳定</b>          | 132 |
| 第一节 压杆稳定的概念              | 132 |
| 第二节 细长压杆的临界力及临界应力        | 133 |
| 第三节 提高压杆稳定性的措施           | 136 |
| 小结                       | 137 |
| 思考题                      | 138 |
| 习题                       | 139 |
| <b>第十一章 混凝土结构的基本设计原理</b> | 140 |
| 第一节 结构设计的要求              | 140 |
| 第二节 结构上的荷载和荷载代表值         | 144 |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 第三节 荷载效应和结构抗力 .....             | 150        |
| 第四节 概率极限状态设计法 .....             | 151        |
| 第五节 概率极限状态设计法的实用设计表达式 .....     | 152        |
| 小结 .....                        | 156        |
| 思考题 .....                       | 156        |
| 习题 .....                        | 157        |
| <b>第十二章 钢筋混凝土材料的力学性能 .....</b>  | <b>158</b> |
| 第一节 钢筋 .....                    | 158        |
| 第二节 混凝土 .....                   | 160        |
| 第三节 钢筋和混凝土的粘结 .....             | 164        |
| 小结 .....                        | 166        |
| 思考题 .....                       | 166        |
| <b>第十三章 受弯构件承载力计算 .....</b>     | <b>167</b> |
| 第一节 受弯构件的一般构造要求 .....           | 167        |
| 第二节 受弯构件正截面破坏形态及破坏特征 .....      | 175        |
| 第三节 单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算 .....    | 177        |
| 第四节 受弯构件斜截面的破坏形态和破坏特征 .....     | 184        |
| 第五节 受弯构件斜截面承载力计算 .....          | 186        |
| 第六节 受弯构件的变形验算 .....             | 194        |
| 第七节 受弯构件裂缝宽度验算 .....            | 197        |
| 第八节 楼梯的设计 .....                 | 199        |
| 第九节 雨篷的设计 .....                 | 202        |
| 小结 .....                        | 204        |
| 思考题 .....                       | 205        |
| <b>第十四章 受压构件承载力计算 .....</b>     | <b>207</b> |
| 第一节 受压构件的构造 .....               | 207        |
| 第二节 轴心受压构件正截面承载力计算 .....        | 209        |
| 第三节 偏心受压构件正截面承载力计算 .....        | 213        |
| 小结 .....                        | 220        |
| 思考题 .....                       | 221        |
| <b>第十五章 预应力混凝土结构的一般知识 .....</b> | <b>222</b> |
| 第一节 预应力混凝土的基本概念 .....           | 222        |
| 第二节 预应力混凝土结构的施工工艺 .....         | 223        |
| 第三节 预应力混凝土结构的预应力损失 .....        | 225        |
| 第四节 预应力混凝土结构的材料 .....           | 226        |
| 第五节 预应力混凝土构件的基本构造要求 .....       | 227        |
| 小结 .....                        | 229        |
| 思考题 .....                       | 230        |
| <b>第十六章 钢筋混凝土平面楼盖概述 .....</b>   | <b>231</b> |
| 第一节 现浇钢筋混凝土平面楼盖概述 .....         | 231        |
| 第二节 现浇单向板肋梁楼盖设计 .....           | 233        |
| 第三节 现浇双向板肋梁楼盖设计 .....           | 244        |
| 小结 .....                        | 247        |
| 思考题 .....                       | 247        |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| <b>第十七章 钢筋混凝土高层建筑结构简介</b> ..... | 249 |
| 第一节 高层建筑结构综述 .....              | 249 |
| 第二节 高层建筑结构设计的一般规定 .....         | 251 |
| 第三节 高层建筑框架结构 .....              | 254 |
| 第四节 钢筋混凝土柱施工图识读 .....           | 257 |
| 小结 .....                        | 261 |
| 思考题 .....                       | 261 |
| <b>第十八章 砌体结构</b> .....          | 262 |
| 第一节 砌体结构材料选择 .....              | 262 |
| 第二节 砌体结构力学性能 .....              | 268 |
| 第三节 砌体结构构件的设计方法 .....           | 274 |
| 第四节 砌体结构房屋的平面布置及墙体设计 .....      | 280 |
| 第五节 砌体结构构件的高厚比验算 .....          | 286 |
| 第六节 砌体结构构造措施 .....              | 290 |
| 第七节 无筋砌体结构构件的受压承载力计算 .....      | 299 |
| 第八节 无筋砌体结构构件的局部受压承载力计算 .....    | 306 |
| 第九节 砌体结构中的过梁、挑梁和雨篷 .....        | 310 |
| 小结 .....                        | 315 |
| 思考题 .....                       | 315 |
| 习题 .....                        | 316 |
| <b>附录</b> .....                 | 319 |
| 附录 A 钢筋和混凝土强度 .....             | 319 |
| 附录 B 钢筋面积表 .....                | 320 |
| 附录 C 等截面三等跨连续梁常用荷载作用下内力系数 ..... | 321 |
| <b>参考文献</b> .....               | 323 |

# 第一章 建筑力学概述

本章将介绍建筑力学的任务、刚体及变形固体的概念、变形固体的基本假设，简单介绍杆件的基本变形形式以及工程中常见荷载的形式。

## 第一节 建筑力学的任务

建筑力学是一门技术基础课程，它为土木工程等的结构设计以及解决施工现场中许多受力问题提供基本的力学知识和计算方法，为进一步学习相关的专业课程打下必要的基础。

从远古时代起，人类就开始进行房屋、桥梁的建造。例如，早在 3500 年以前，我国就已经采用柱、梁、檩、椽的木结构，建造不承重的房屋，如图 1-1 所示，立柱宜采用圆截面，木梁应采用矩形截面。再如由隋朝（公元 518 ~ 618 年）工匠李春主持建造的赵州桥，跨长 37m，是由石块砌成的拱结构，拱半径 25m，主拱的左、右两侧各有两个小拱，既利用了石料耐压的特性，又减轻了重量，还能增大泄洪能力。如今，新型建筑物更是随处可见。它们既记载了我们祖先光辉灿烂的文化历史，更标志着当代科技发展的成果。这些建筑物是繁荣经济所必需的，也是人们生活学习、居住娱乐所必需的。总之，凡是有人类活动的地方就有建筑物的存在。

建筑物中支承荷载而起骨架作用的部分称为结构，结构中的每一个基本部分称为构件。工程上把作用于建筑物上的力称为荷载。

我们只要注意建筑物的施工过程，便可以看到这些建筑物是由许许多多的构件组合起来的。建造一个庞大的建筑物之前，设计人员将对它的所有构件都一一进行受力分析，构件的尺寸大小、所用的材料、排列的位置都要通过计算来确定。这样才能保证建筑物的牢固和安全。这种繁复而细致的计算工作，必须要有科学的计算理论作为依据才有可能进行。建筑力学便是提供这些建筑结构受力分析和理论计算依据的一门学科。本书将研究这些理论的最基本部分，讨论用途广泛的受力分析问题。

全部构件由杆件组成的结构称为杆系结构。除了杆系结构，实际工程结构中还有薄壁结构、实体结构等。建筑力学的研究对象主要是杆系结构，其他类型的结构是弹性力学等课程研究的内容。

建筑力学首先要研究结构中各构件及构件之间作用力的问题。因为建筑物几乎都是相对地球处于静止不动的平衡状态，因此构件上所受到的各种力都要符合使物体保持平衡状态的条件。

对于承受和传递荷载的建筑结构构件，要求其在规定的荷载作用下能安全工作而不会破坏。关于结构及构件的安全（或破坏）问题称为强度问题。

在荷载的作用下，结构及构件的形状和尺寸均会发生改变，这称为变形。一个结构在荷载作用下，尽管有足够的强度，但如果变形过大，也会影响正常使用。如厂房中的吊车梁，变形过大将会影响吊车的正常行驶；又如屋架檩条变形过大，会引起屋面漏水。为保证结构的正常工作，研究结构及构件的变形，通常称为刚度问题。

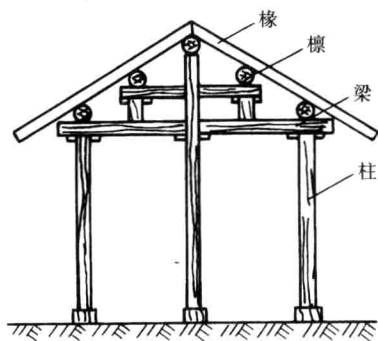


图 1-1

结构中某些受压的细长杆件,如屋架中的压杆,在压力较小时能维持其直线平衡状态。当压力超过某一值时(这个值比按强度计算的值小得多),压杆的直线平衡状态已不稳定,稍有扰动它很容易突然变弯,从而导致结构的破坏,这种现象称为失稳。在工程结构中是不允许发生失稳的。研究结构平衡形式的稳定性,称为结构的稳定问题。

结构或构件抵抗破坏的能力通常称为强度;抵抗变形的能力称为刚度;保持其原有平衡形式的能力称为稳定性。总之,受一定荷载作用的构件,要求其能正常工作,一般须满足以下三方面的要求:足够的强度、必要的刚度和足够的稳定性。工程上要求结构或构件有足够的承载能力,就是指上述强度、刚度、稳定性三方面性能的综合。

从上面的简介中,可归结出建筑力学的任务是研究各种建筑结构或构件在荷载作用下的平衡条件以及承载能力。

## 第二节 刚体、变形固体及基本假设

### 一、刚体与变形固体的概念

刚体是指在力的作用下,其内部任意两点之间的距离始终保持不变的物体。这是一个理想化的力学模型。实际物体在力的作用下,都会产生程度不同的变形。工程中的构件都由一些固体材料制成,如钢、铸铁、木材、混凝土等。这些固体材料在力的作用下会产生变形,称为变形固体。

任何物体在力的作用下,都将引起大小和形状的改变,即发生变形。但是,当这些微小的变形对研究物体的平衡问题影响甚少时,可将物体看成是刚体。

然而当讨论物体受到力的作用后会不会破坏时,变形就是一个主要的因素,这时就不能再把物体看作刚体,而应看作变形固体。但须指出,以刚体为对象得出的力系的平衡条件,一般也可以推广应用于变形很小的变形固体的平衡情况。

### 二、变形固体的基本假设

任何学科都是建立在一定的假设基础上的,建筑力学也不例外,它的基本假设有两个:

#### 1. 变形固体的连续、均匀、各向同性假设

变形固体的微观结构既不连续又不均匀,且各向异性(各个方向具有不同的性质),但本课程所讨论的结构构件,其宏观尺寸比构件材料的微观物质的尺寸大得多,所研究的强度、刚度和稳定性等问题只与材料的宏观性质有关。因此可以假设所研究的变形固体是密实、无空隙的,各部分都有相同的物理特性,而且在不同的方向上这些物理特性也相同,这样的变形固体,通常称为连续、均匀、各向同性变形固体。

据此假设,可以从变形固体任何部位取单元体来研究变形固体的性质,也可以把大尺寸的试件通过试验得到的性质运用到单元体。

实践证明,对于大多数常用的结构材料,如钢铁、混凝土、砖石等,上述假设是合理的,符合工程实际情况。但也有一些材料,如轧制钢材、木材等,其性质是有方向性的,称为各向异性材料。根据以上假设所得的理论,用于各向异性材料时,只能得到近似的结果,不过还是能够满足工程上所要求的精度。

#### 2. 结构及构件的微小变形假设

变形固体在荷载作用下会产生两种不同性质的变形:一种是当外力消除时,变形也会随着消失,这种变形称为弹性变形;另一种是外力消除后,变形不会全部消失而留有残余,这残余部分的变形称为塑性变形(或称残余变形)。一般情况下,物体受力后,既有弹性变形又有塑性变形。但工程中常用的材料,在荷载不超过一定范围时,塑性变形很小,可以把其看作只有弹性变

形而没有塑性变形。这种只有弹性变形的物体称为理想弹性体。

理想弹性体材料制成的构件，在荷载作用下都会发生弹性变形。在建筑力学所讨论的问题中，假设结构及构件的变形都是微小的，限于变形与构件原尺寸相比极为微小的范围，一般称为小变形范围。由于变形很微小，在考虑变形后结构的平衡时，可以忽略这些变形值，按变形前结构及构件的原始尺寸来进行计算，并且荷载的作用位置也不改变。这样，使计算大为简化，又不致于引起显著的误差。

例如计算图 1-2a 所示悬臂梁固定端  $A$  的反力偶矩时，虽然因梁的弯曲引起了力作用点水平移动  $\Delta$  值，如图 1-2b 所示，但力  $F$  到  $A$  点的力臂仍可用原长  $l$  表示。

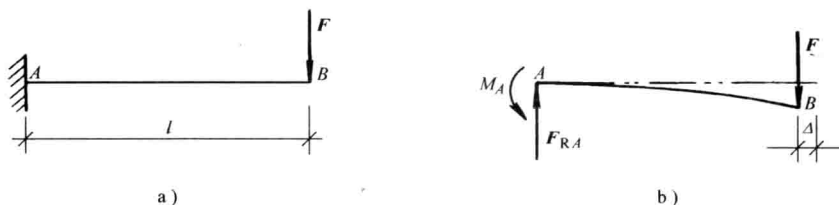


图 1-2

在工程实际中，大多数结构是小变形的，只有一些特殊的柔性结构才必须考虑其大变形的情况。

总之，建筑力学所研究的构件是均匀连续的、各向同性的理想弹性体，且限于小变形范围。

### 第三节 杆件及其变形的的基本形式

#### 一、杆件

各类结构中构件的形状多种多样，其中大量的构件如梁、柱等，它们的长度比其他两个方向的尺寸大得多（5 倍以上），这类构件统称为杆件，如图 1-3a 所示。

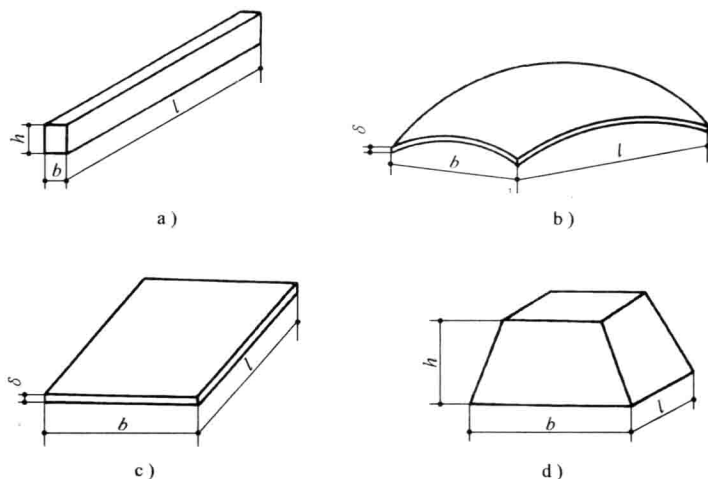


图 1-3

当构件两个方向（长和宽）的尺寸远大于另一个方向（厚度）的尺寸时，称为薄壳或薄板，如图 1-3b、c 所示。当构件三个方向（长、宽、高）的尺寸均接近时，称为实体构件，如图 1-3d

所示。

建筑力学主要研究对象是杆件,杆件的形状和尺寸可以由杆件的横截面和轴线两个主要几何因素来描述。横截面是指与杆长方向垂直的截面,而轴线是各横截面形心的连线。横截面与杆件轴线是互相垂直的,如图1-4所示。

轴线为直线、横截面相同的杆称为等直杆。本课程主要研究这种等直杆。

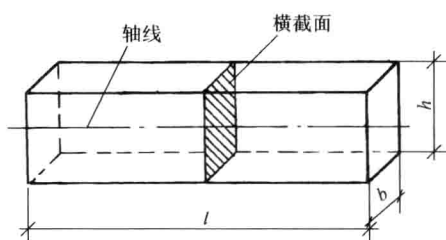


图 1-4

## 二、杆件变形的形式

杆件在不同形式的荷载作用下,将发生不同形式的变形。杆件的变形有下列四种基本形式:

### 1. 轴向拉伸或压缩

当一直杆在两端承受轴向的拉力或压力时,其发生的变形是沿杆轴线方向上的伸长或缩短,称此变形为轴向拉伸或压缩,如图1-5a、b所示。

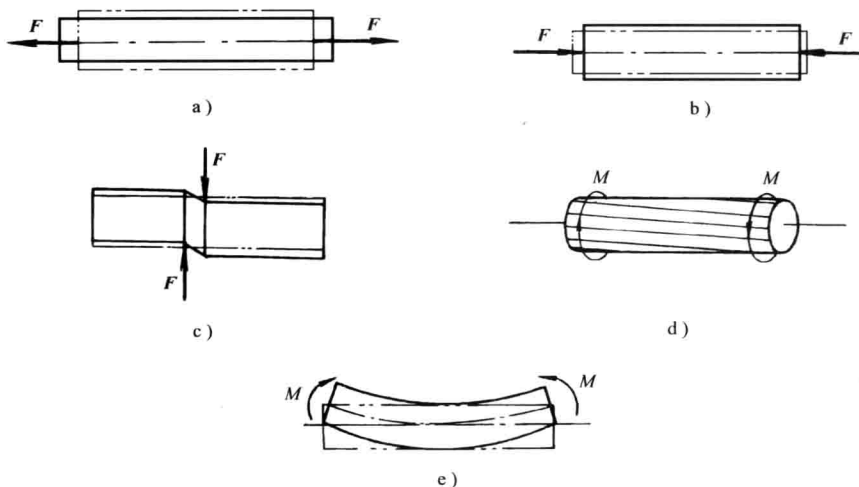


图 1-5

### 2. 剪切

当杆件在两相邻的横截面处有一对垂直于杆轴,但方向相反的横向力作用时,其发生的变形为该两截面沿横向力方向发生相对的错动,此变形称为剪切变形,简称剪切,如图1-5c所示。

### 3. 扭转

当杆件在两端承受一对作用面垂直于杆轴的外力偶作用时,杆件任意两横截面间将发生绕轴线的相对转动,此变形称为扭转变形,简称扭转,如图1-5d所示。

### 4. 弯曲

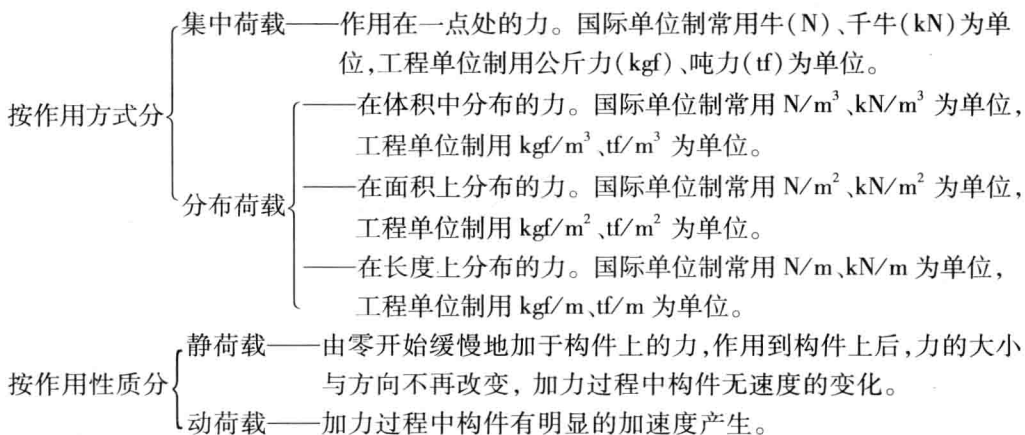
当杆件在两端承受一对外力偶,且力偶的作用面与杆件的横截面垂直时,杆件轴线由直线变为曲线,杆件的这种变形称为弯曲,如图1-5e所示。有时,当杆件在一组垂直于杆件轴线方向的横向力作用下,发生弯曲变形时,还伴有剪切变形,称为剪切弯曲(或横向弯曲)。

工程实际中的杆件,可能同时承受各种荷载作用而发生复杂的变形,但都可以看作是上述基本变形的组合。

## 第四节 荷载的形式

作用于构件上的外力又可称为荷载,是一物体对另一物体的作用力。

工程中常见的荷载分类如下:



本教材主要讨论各种作用方式作用下的静荷载。

## 小 结

这一章的内容是对建筑力学课程作一个扼要的综合说明。讨论了建筑力学的任务,介绍了刚体及变形固体的概念,介绍了建筑力学的基本假设、杆件变形的形式、荷载的形式。

### 一、建筑力学的基本概念

- 1) 荷载——作用于建筑物上的力称为荷载。
- 2) 强度——构件抵抗破坏的能力称为强度。
- 3) 刚度——构件抵抗变形的能力称为刚度。
- 4) 稳定性——构件保持其原有平衡形式的能力称为稳定性。
- 5) 刚体——在任何荷载作用下,其大小和形状保持不变的物体。
- 6) 变形固体——在荷载作用下会产生变形的固体材料。

### 二、变形固体的基本假设

- 1) 假设变形固体是均匀、连续和各向同性的固体材料。
- 2) 假设结构或构件是小变形的理想弹性体。

### 三、杆件的变形

杆件变形的形式有:轴向拉伸或压缩、剪切、扭转和弯曲。

### 四、荷载的形式

本教材主要讨论的是集中或分布的静荷载。

## 思 考 题

- 1-1 什么是构件的承载能力?
- 1-2 什么是刚体?什么是变形固体?
- 1-3 杆件的基本变形形式有哪些?

## 第二章 静力学基本概念

静力学是研究物体在力系作用下的平衡条件的科学。在静力学中具体讨论物体的受力分析、力系的简化和各种力系的平衡条件及其应用。本章是静力学部分的基础，介绍静力学的基本概念及基本公理，这些基本概念及公理是静力分析的基础，而力在坐标轴上的投影以及力的等效平移是力系简化的基础。

### 第一节 力与平衡的概念

#### 一、力的概念

力是物体间相互的机械作用，这种作用的效果会使物体的运动状态发生变化（外效应），或者使物体发生变形（内效应）。力是物体与物体之间的相互作用，不可能脱离物体而单独存在。有受力物体时必定有施力物体。

在建筑力学中，力的作用方式一般有两种情况，一种是两物体相互接触时，它们之间相互产生的拉力或压力；一种是物体与地球之间相互产生的吸引力，对物体来说，这吸引力就是重力。

实践证明，力对物体的作用效果取决于力的大小、方向和作用点，即力的三要素。力的大小表示力对物体作用的强弱。力的单位是牛（N）或千牛（kN）。力的方向包括力作用线在空间的方位以及力的指向。力的作用点表示力对物体的作用位置。力的作用位置实际上有一定的范围，不过当作用范围与物体相比很小时，可近似地看作是一个点。作用于一点的力，称为集中力。

在力的三要素中，有任一要素改变时，都会对物体产生不同的效果。

力是一个有大小和方向的量，所以力是矢量。通常可以用一段带箭头的线段来表示力的三要素，如图 2-1 所示。线段的长度（按选定的比例）表示力的大小；线段与某定直线的夹角表示力的方位，箭头表示力的指向；带箭头线段的起点或终点表示力的作用点。按比例量出图 2-1 中力  $F$  的大小是 20kN，力的方向与水平线成  $45^\circ$  角，指向右上方，作用在物体的  $A$  点上。

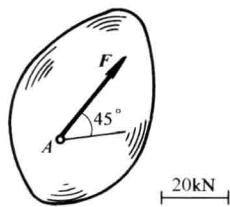


图 2-1

用字母符号表示力矢量时，常用黑体字如  $\mathbf{F}$  表示，而  $F$  只表示力矢量的大小。

#### 二、平衡的概念

静力学中的平衡是指相对于地面保持静止或作匀速直线运动。如桥梁、机床的床身、房屋、作匀速直线飞行的飞机等，都是处于平衡状态。平衡是物体运动的一种特殊形式。

静力学是研究物体在力系作用下的平衡条件的科学。

物体平衡时，作用在物体上的各种力系所需满足的条件，称为力系的平衡条件。力系是指作用于物体上的一群力。

力系的平衡条件，在工程实际中有着十分重要的意义。在设计建筑物的构件、工程结构时，需要先分析构件的受力情况，再应用平衡条件计算所受的未知力，最后按照材料的性能确定几何尺寸或选择适当的材料品种。有时当机械零件的运动虽非匀速，但速度较低或加速度较小时，也可近似地应用平衡条件进行计算。因此，力系的平衡条件是设计构件、结构和机械零件时进行静力计算的基础。由此可知，静力学在工程实际中有着广泛的应用。

满足平衡条件的力系称为平衡力系。

## 第二节 静力学基本公理

为研究力系的简化和平衡条件,以及物体的受力分析等问题,先研究两个力的合成和平衡,以及两个物体间相互作用的最基本的力学规律。这些规律是人们在生活和生产活动中长期积累的经验总结,又经过实践的反复检验,证明是符合客观实际的普遍规律,称为静力学公理。

### 公理 1 力的平行四边形公理

作用在物体上同一点的两个力,可以合成为一个合力,合力的作用点也在该点,合力的大小和方向,由这两个力为邻边构成的平行四边形的对角线确定,如图 2-2 所示。

这个公理说明力的合成是遵循矢量加法的,只有当两个力共线时才能用代数加法,即

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$$

$\mathbf{F}_R$  称为  $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$  的合力,  $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$  称为合力  $\mathbf{F}_R$  的分力。

在工程实际问题中,常把一个力  $\mathbf{F}$  沿直角坐标轴方向分解,可得出两个互相垂直的分力  $\mathbf{F}_x$  和  $\mathbf{F}_y$ ,如图 2-3 所示。 $\mathbf{F}_x$  和  $\mathbf{F}_y$  的大小可由三角公式求得:

$$\begin{cases} F_x = F \cos \alpha \\ F_y = F \sin \alpha \end{cases}$$

式中,  $\alpha$  为力  $\mathbf{F}$  与  $x$  轴所夹的锐角。

这个公理总结了最简单力系简化的规律,它是复杂力系简化的基础。

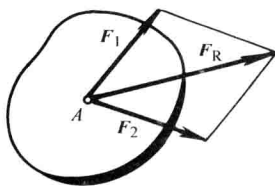


图 2-2

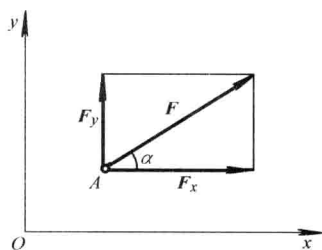


图 2-3

### 公理 2 二力平衡公理

作用在同一刚体上的两个力,使刚体处于平衡的必要和充分条件是:这两个力的大小相等,方向相反,且作用在同一条直线上。如图 2-4 所示,即  $\mathbf{F}_A = -\mathbf{F}_B$ 。

这个公理总结了作用于刚体上最简单的力系平衡时所必须满足的条件。对于刚体这个条件是既必要又充分的;但对于变形体,这个条件是必要但不充分的。例如,软绳受两个等值反向的拉力作用可以平衡,而受两个等值反向的压力作用就不能平衡。

在两个力作用下处于平衡的构件称为二力构件,也称为二力杆件。二力构件所受二力的作用线一定是沿着此二力作用点的连线、大小相等、方向相反,如图 2-5 所示,  $\mathbf{F}_A = -\mathbf{F}_B$ 。

### 公理 3 加减平衡力系公理

在作用于刚体的已知力系中,加上或减去任意的平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用效应。就是说,如果两个力系只相差一个或几个平衡力系,则它们对刚体的作用效果是相同的,因此可以等效替换。

这个公理对于研究力系的简化问题很重要。根据上述公理可以导出下述推论:

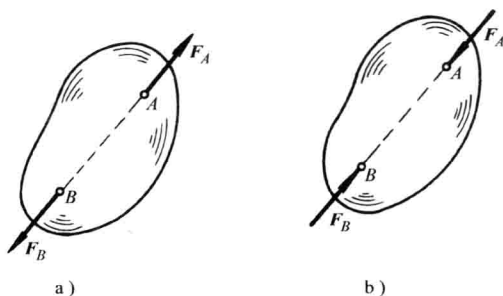


图 2-4

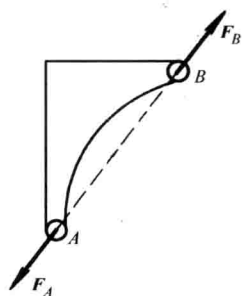


图 2-5

### 推论 1 力的可传性

作用于刚体上某点的力，可以沿其作用线移到刚体内任意一点，而不改变该力对刚体的作用效应。

证明：1) 有力  $F$  作用在刚体上的  $A$  点，如图 2-6a 所示。

2) 根据加减平衡力系公理，可以在力的作用线上任取一点  $B$ ，在  $B$  点加上一个平衡力系  $F_1$  和  $F_2$ ，并使  $F_1 = -F_2 = F$  (图 2-6b)。

3) 由于力  $F$  和  $F_2$  也是一个平衡力系，根据加减平衡力系公理可以去掉，这样只剩下一个力  $F_1$ ，如图 2-6c 所示。

4) 力  $F_1$  和原力  $F$  等效，就相当于把作用在刚体上  $A$  点的力  $F$  沿其作用线移到  $B$  点。

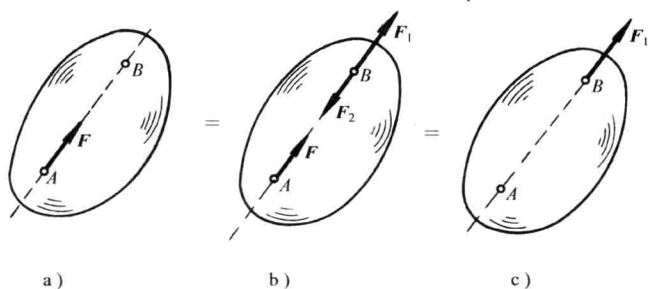


图 2-6

由此可见，对于刚体来说，力的作用点已不是决定力的作用效果的要素，它已被作用线所代替。因此，作用于刚体上的力的三要素是：力的大小、方向和作用线。

作用于刚体上的力矢可以沿着作用线移动，这种矢量称为滑动矢量。

应当指出，加减平衡力系公理和力的可传性原理只适用于刚体而不适用于变形体，即只适用于研究力的外效应（运动效果），而不适用于研究力的内效应（变形效应）。例如，直杆  $AB$  的两端受到等值、反向、共线的两个力  $F_1$ 、 $F_2$  作用而处于平衡状态，如图 2-7a 所示；如果将这两个力各沿其作用线移到杆的另一端，如图 2-7b 所示。显然，直杆  $AB$  仍然处于平衡状态，但是直杆的变形不同了；图 2-7a 的直杆变形是拉伸，图 2-7b 的直杆变形是压缩。这就说明当研究物体的变形效应时，力的可传性原理就不适用了。

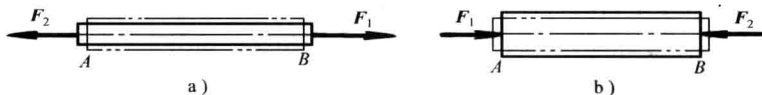


图 2-7

### 推论 2 三力平衡汇交定理

一刚体受共面不平行的三个力作用而平衡时，则此三力的作用线必汇交于一点。

证明: 1) 设有共面不平行的三个力  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ , 分别作用在一刚体上的  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  三点而处于平衡状态, 如图 2-8 所示。

2) 根据力的可传性原理, 将力  $F_1$ 、 $F_2$  沿其作用线移到两力作用线的交点  $A$ , 并按力的平行四边形公理合成为合力  $F_R$ , 合力  $F_R$  也作用在  $A$  点。

3) 因为  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  三力成平衡状态, 所以力  $F_R$  应与力  $F_3$  平衡, 由二力平衡公理可知, 力  $F_3$  和  $F_R$  一定是大小相等、方向相反且作用在同一直线上, 就是说, 力  $F_3$  的作用线必通过力  $F_1$  和  $F_2$  的交点  $A$ , 即三力  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  的作用线必汇交于一点。于是定理得证。

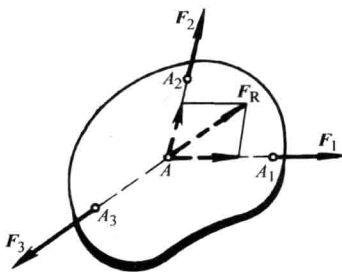


图 2-8

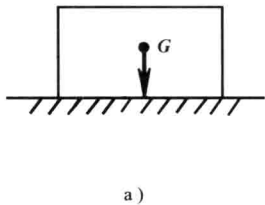
三力平衡汇交定理常用来确定物体在共面不平行的三个力作用下平衡时其中未知力的方向。

#### 公理 4 作用和反作用公理

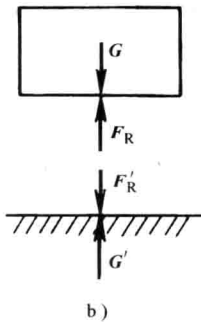
作用力和反作用力总是同时存在, 两力的大小相等、方向相反、沿着同一直线, 分别作用在两个相互作用的物体上。

这个公理概括了两个物体间相互作用力的关系, 物体间的作用总是相互的, 有作用力就有反作用力, 两者总是同时存在又同时消失。

如图 2-9a 所示为一放置在光滑水平面上的物块。该物块受重力  $G$  和支承平面给予的反力  $F_R$  的作用而平衡。如图 2-9b 所示, 其中  $G = -G'$ , 互为作用与反作用力,



a)



b)

图 2-9

同理  $F_R$  与  $F'_R$  也是作用与反作用力。而  $F_R$  和  $G$  是作用于同一物体上的一对平衡力, 且满足二力平衡公理。另外值得指出的是, 不论物体静止或运动, 作用与反作用公理都成立。

必须注意, 不能把作用与反作用的关系与二力平衡问题混淆起来。二力平衡公理中的两个力是作用在同一物体上的; 作用与反作用公理中的两个力是分别作用在两个物体上, 虽然是大小相等、方向相反、作用在同一直线上, 但不能平衡。

### 第三节 力在坐标轴上的投影 · 合力投影定理

#### 一、力在坐标轴上的投影

设在刚体上的点  $A$  作用一力  $F$ , 如图 2-10 所示, 在力  $F$  作用线所在平面内任取坐标系  $xOy$ , 过力  $F$  的两端点  $A$  和  $B$  分别向  $x$ 、 $y$  轴作垂线, 则所得两垂足之间的直线就称为力  $F$  在  $x$ 、 $y$  轴上的投影, 记作  $F_x$ 、 $F_y$ 。

力在轴上的投影是代数量, 有大小和正负, 其正负号的规定为: 从力的始端  $A$  的投影  $a(a')$  到末端  $B$  的投影  $b(b')$  的方向与投影轴正向一致时, 力的投影取正值; 反之, 取负值。

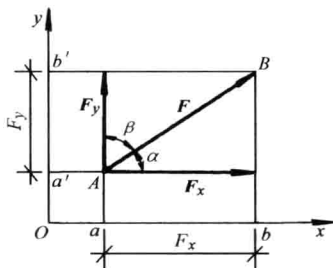


图 2-10