



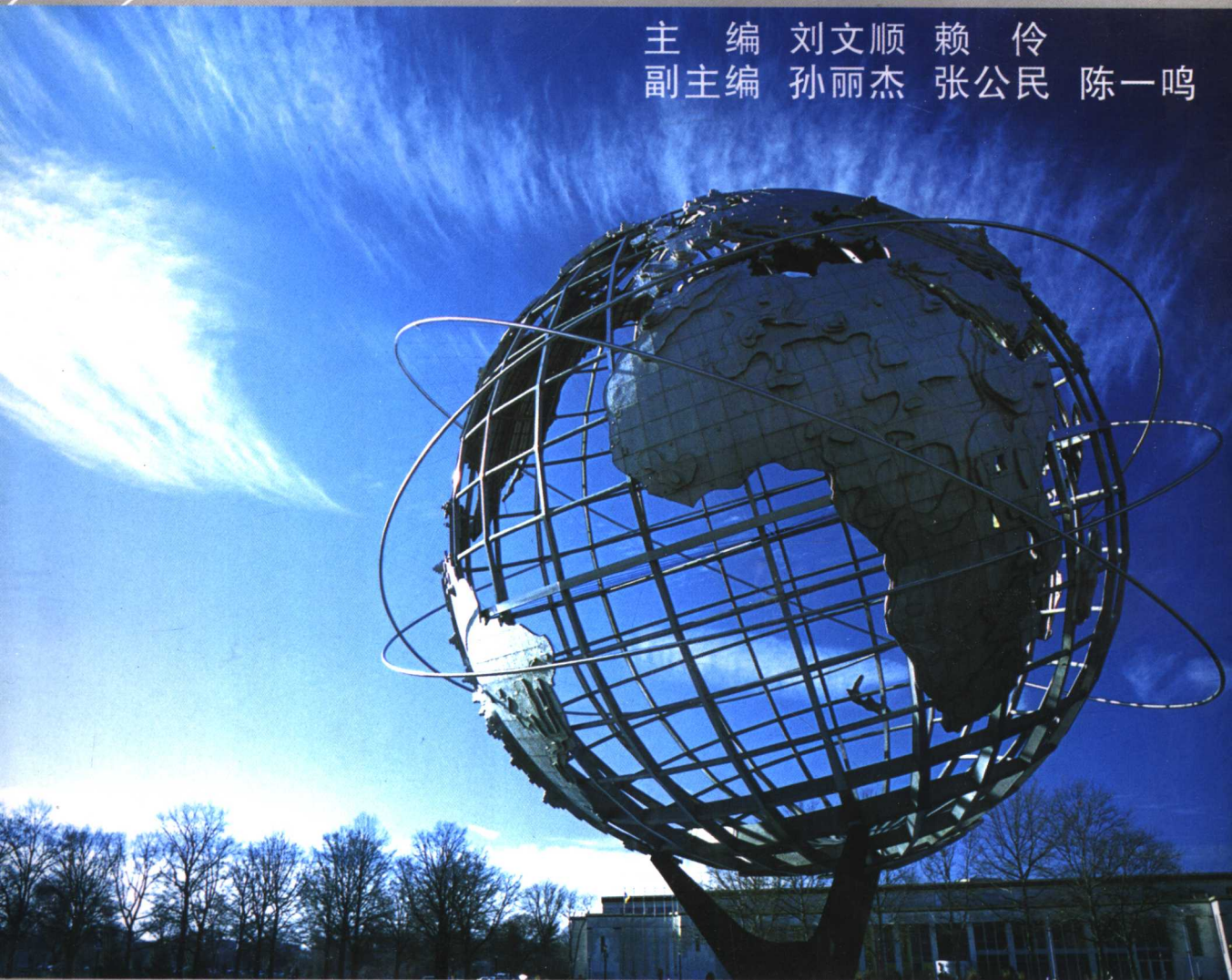
高职高专通用教材

建筑力学

上册

Jianzhu Lixue

主 编 刘文顺 赖 伶
副主编 孙丽杰 张公民 陈一鸣



哈尔滨地图出版社

高职高专通用教材

建筑力学

(上)

主 编 刘文顺 赖 伶

副主编 孙丽杰 张公民 陈一鸣

主 审 王德章

哈尔滨地图出版社

· 哈尔滨 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑力学. 上册/刘文顺, 赖伶主编. —哈尔滨:
哈尔滨地图出版社, 2007. 7

ISBN 978-7-80717-670-1

I. 建… II. ①刘… ②赖… III. 建筑力学
IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 103034 号

哈尔滨地图出版社出版、发行

(地址: 哈尔滨市南岗区测绘路 2 号 邮编: 150086)

黑龙江神龙联合制版印务有限责任公司印刷

开本: 787mm×1 092mm 1/16 总印张: 30.875 总字数: 703 千字

2007 年 7 月第 1 版 2007 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-80717-670-1

印数: 1~3 000 总定价: 48.00 元

本书编委会

主 编 刘文顺 赖 伶

副主编 孙丽杰 张公民 陈一鸣

主 审 王德章

编 委 刘文顺 赖 伶 孙丽杰 张公民 陈一鸣 宫险峰
贺晓文 赵丽颖 张春玲 付明春 孙春华

前 言

在我国高等职业教育快速发展的今天，为了适应社会主义现代化建设对高素质专门人才的培养，一定要把最新理念的科学知识传授给学生，必须要有体现高职课程教学特色的教材。

本教材是在吸取国内高职院校同类教材优点的前提下编写而成，具体是依照高职、高专建筑工程类教学计划和有关课程教学基本要求编制的。本教材针对高职高专教育特点，结合教学改革的实践经验，在编写过程中，按照实用、够用的原则，注重能力素质的培养。本教材结合工程实际编写例题和习题，突出基本概念和结论的应用，重视培养学生的工程意识和独立解决问题的能力。

本教材由刘文顺、赖伶担任主编，负责对全书的策划及编写工作，由孙丽杰、张公民、陈一鸣担任副主编。

本书编写内容分工：刘文顺（大连水产学院职业技术学院）编写第一章、第九章、附录 II；赖伶（营口职业技术学院）编写第五章、第十一章、第十五章；孙丽杰（黑龙江建筑职业技术学院）编写第八章；贺晓文（营口职业技术学院）编写第十二章、第十四章（§ 14-1、§ 14-2）；赵丽颖（营口职业技术学院）编写第十三章、第十四章（§ 14-3、§ 14-4）；张春玲（大连水产学院职业技术学院）编写第十章；付明春（大连水产学院职业技术学院）编写第六章；张公民（平顶山教育学院）编写第二章、第四章；陈一鸣（江门市广播电视大学）编写第三章、第七章（§ 7-2、§ 7-3、§ 7-4、§ 7-5）；孙春华编写第七章（§ 7-1）、附录 I。

因编辑水平有限及时间紧迫等原因，书中定有不足之处，敬请读者批评指正！

编 者

2007 年 7 月

内容提要

本书上册共分十五章。内容有：绪论；静力学基础；力系的简化；力系的平衡；构件的内力及内力图；构件的应力和变形；构件的承载能力；构件的强度、刚度、稳定性；平面体系的几何组成分析；静定结构的受力分析；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。

本教材适用于高职高专和职大的建筑工程技术专业、道路桥梁工程技术专业等建筑力学教学，也可作为有关专业工程技术人员的学习资料或参考书。

目 录

第一章 绪论	1
§1-1 建筑力学研究的对象及任务	1
§1-2 变形固体及其基本假设	2
§1-3 荷载的分类	3
§1-4 杆件变形的基本形式	3

第一篇 构件的外力分析——力系的简化与平衡

引言	6
第二章 静力学基础	7
§2-1 静力学公理	7
§2-2 力、力矩、力偶	9
§2-3 约束反力及受力图	16
第三章 力系的简化	25
§3-1 力系的分类及力的平移定理	25
§3-2 力系的简化	26
§3-3 重心	30
第四章 力系的平衡	39
§4-1 平面汇交力系的平衡方程及应用	39
§4-2 平面任意力系的平衡方程及应用	41
§4-3 空间力系的平衡方程及应用	48
§4-4 考虑摩擦的平衡问题	50

第二篇 构件的内力分析——强度、刚度、稳定性

引言	60
第五章 构件的内力及内力图	61
§5-1 构件的内力	61
§5-2 轴力图和扭矩图	69
§5-3 剪力图和弯矩图	71
第六章 构件的应力和变形	87

§6-1 轴向拉(压)杆件横截面上的应力和变形	87
§6-2 扭转轴横截面上的应力和变形	92
§6-3 平面弯曲梁横截面上的应力	99
§6-4 梁弯曲时的变形	110
§6-5 复杂应力状态	115
第七章 构件的承载能力	126
§7-1 材料在拉压时的力学性能	126
§7-2 许用应力与安全系数	131
§7-3 压杆稳定的临界力、临界应力	133
§7-4 提高构件承载能力的措施	136
§7-5 构件的静不定问题	139
第八章 构件的强度、刚度、稳定性	145
§8-1 拉压杆件的强度、稳定条件及计算	145
§8-2 剪切、挤压构件的实用计算	149
§8-3 圆轴扭转强度条件和刚度条件及应用	152
§8-4 梁弯曲强度条件和刚度条件及应用	154
§8-5 复杂应力状态的强度条件及应用	159
§8-6 组合变形的强度计算	162

第三篇 杆系结构的内力与位移分析

引言	179
第九章 平面体系的几何组成分析	180
§9-1 几何组成分析的概念	180
§9-2 自由度和约束	181
§9-3 几何不变体系的基本组成规则	182
§9-4 几何组成分析的示例	184
§9-5 几何组成与静定性的关系	187
第十章 静定结构的受力分析	192
§10-1 概述	192
§10-2 多跨静定梁	196
§10-3 静定平面刚架	199
§10-4 三铰拱	207
§10-5 静定平面桁架	213
§10-6 组合结构的计算	222
§10-7 静定结构的一般特性	225
第十一章 静定结构位移计算	231
§11-1 概述	231

§ 11-2 虚功原理	232
§ 11-3 荷载作用下结构位移计算公式	235
§ 11-4 荷载作用下结构位移计算实际应用	238
§ 11-5 图乘法	242
§ 11-6 温度变化、支座移动引起的位移计算	248
§ 11-7 线弹性体系的互等定理	251
第十二章 力法	258
§ 12-1 概述	258
§ 12-2 力法的基本原理	260
§ 12-3 力法的典型方程	262
§ 12-4 力法计算示例	266
§ 12-5 对称性利用	277
§ 12-6 超静定结构在温度变化和支座移动情况下的计算	280
第十三章 位移法	288
§ 13-1 概述	288
§ 13-2 等截面直杆的转角位移方程	291
§ 13-3 直接利用平衡条件建立位移法方程及应用	296
§ 13-4 位移法的基本结构和典型方程	307
第十四章 力矩分配法	318
§ 14-1 概述	318
§ 14-2 力矩分配法基本原理	321
§ 14-3 用力矩分配法计算连续梁和无侧移刚架	325
§ 14-4 无剪力分配法	327
第十五章 影响线及其应用	333
§ 15-1 影响线的基本概念	333
§ 15-2 用静力法作静定梁的影响线	334
§ 15-3 用机动法作静定梁的影响线	338
§ 15-4 影响线的应用	341
§ 15-5 简支梁的内力包络图和绝对最大弯矩	348
§ 15-6 连续梁的内力包络图	351
附录 I 型钢规格表	358
附录 II 部分习题答案	369
参考文献	376

第一章 绪 论

§ 1-1 建筑力学的研究对象及任务

建筑物中能承受或传递荷载并起骨架作用的物体及体系叫做结构，结构的各个组成部分称为构件。如图 1-1 所示，单层厂房中的梁、柱、屋架、基础等构件以及由这些构件组成的体系称为厂房结构。又如桥梁、房屋建筑等结构都承受着各种荷载作用。

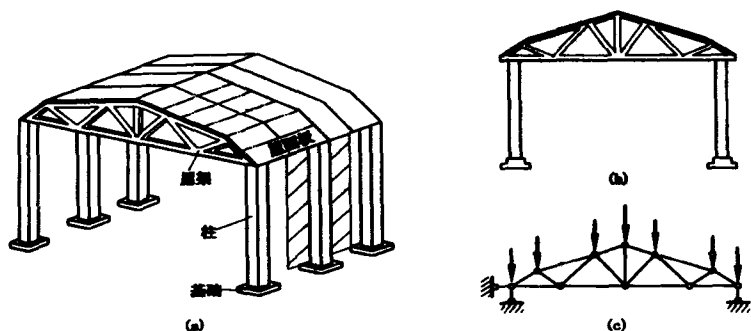


图 1-1

物体在力的作用下将产生运动和变形，而建筑力学主要是研究结构或构件在外力作用下的平衡规律和变形规律的学科。在研究物体受力平衡的规律时，常把物体看成**不变形的物体——即刚体**；在研究力的变形规律时，则把物体看成是**变形固体**。

根据结构几何形状可分：

- (1) 杆件结构——这类结构由杆件组成。组成结构的杆件其几何特征是横截面尺寸比长度小得多，如图 1-2 (a) 所示。
- (2) 薄壁结构——它是厚度远比长度和宽度小得多的结构，如图 1-2 (b) 所示。
- (3) 实体结构——它是三个方向的尺寸相近的结构，如图 1-2 (c) 所示。

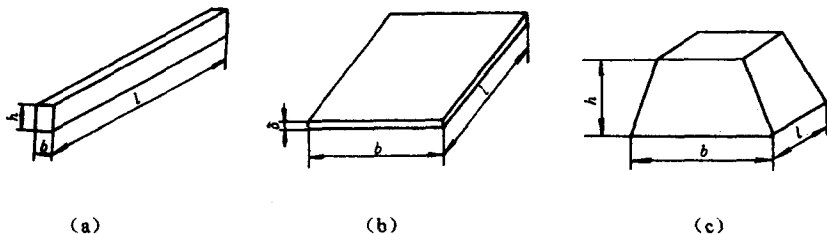


图 1-2

建筑力学以单个杆件或杆件体系为研究对象，弹性力学以实体结构和薄壁结构为研究对象。工程结构体和构件在荷载作用下为了确保安全可靠的工作，须满足如下要

求：

(1) 具有足够的**强度**：即保证构件在外力作用下不发生破坏。把**构件在外力作用下具有抵抗破坏能力称为构件的强度**。

(2) 具有足够的**刚度**：即保证构件在外力作用下不产生影响正常工作的变形。把**构件在外力作用下具有抵抗变形的能力称为构件的刚度**。

(3) 具有可靠的**稳定性**：有些细长杆或薄壁构件在压力作用下，不是因强度、刚度不够而丧失工作能力，而是因失去原有平衡状态所导致构件不能正常工作。即**构件在外力作用下具有保持原有平衡状态的能力，称为构件的稳定性**。

构件在满足安全性要求的前提下，同时应满足经济性的要求。组成建筑结构的构件受力复杂、形状不一，但是选择什么材料，确定什么样的截面形状都与安全性、经济性有着密切的联系。

综上所述，建筑力学的具体任务是：

(1) 研究构件及其结构在荷载（或其他因素）作用下的强度问题。当结构在过大的荷载作用下可能发生破坏，因此，进行强度计算的目的是为了满足结构的安全性。

(2) 研究构件及其结构在荷载（或其他因素）作用下的刚度问题。一个结构在荷载作用下，有了足够的强度还应当考虑其刚度，由于变形过大，也会影响其正常使用。进行刚度计算的目的在于保证结构不致发生影响正常使用的变形。

(3) 研究构件的稳定性问题。结构中有些受压构件长细比较大，当压力超过一定限度时，构件不能保持原来的平衡状态，突然侧向弯曲，从而导致结构破坏，这种现象称为构件失稳。

(4) 研究结构的组成规律及其合理形式。结构是由许多构件组成的几何不变体系。若构件之间产生相对运动，结构成为几何可变体系，就不能发挥结构的性能和承担荷载作用。

§ 1-2 变形固体及其基本假设

结构的构件可以采用各种各样的材料，它们性质各异。但在外力作用下，将发生形状和尺寸的改变，这是共同的特性，也是一个不可忽略的根本因素。因此，在工程力学中，将构件的材料当做可变形固体来处理，并抓住材料的主要特性，忽略一些次要因素，抽象出一个理想化的模型。为此，对变形固体提出下面的假设。

(1) 均匀连续性假设。在变形固体内部，假设各处的机械性质完全相同。实际上变形固体的分子结构并不均匀。例如，金属是多晶体的组织，由无数个晶体无规则的排列而组成。虽然每个晶体性质都不均匀，但多晶体的统计平均量，呈现出一种宏观的均匀性。因此，在变形固体内任取一部分材料都可视为性质均匀。在变形固体内部假设没有任何空隙，即材料连续分布于整个体积，其结构是密实的。这与固体物质的微观结构是有差异的，固体物质的内部实际上存在着程度不同的缩孔与缩松，尺寸极其微小。但材料力学只从统计平均的宏观方面去考查变形固体，忽略这些微小因素的影响，从而认为变形固体的内部材料是密实和连续的。因而在研究变形固体内一些力

学量和变形等的关系时，就可以应用连续函数来表示。

(2) 各向同性假设。在变形固体内部假设各个方向上的力学性质都相同。对于均匀的非金属材料而言（如混凝土），一般都是各向同性的。对于由晶体组成的固体材料（如金属），每个单一的晶体在不同方向上有不同的机械性质。当有无数个晶体杂乱无章地排列时，这样，在宏观上并不显示出方向上的差异。因此，可用统计平均的观点将它们看成各向同性体。

也有各向异性材料，它们在各个方向上具有不同的机械性质。如木材、冷拔的钢丝、胶合板、复合材料层板等。

(3) 小变形条件。构件受力作用而产生的变形，按不同情况可能很小，也可能相当大。但材料力学所研究的，只限于构件在弹性范围内发生的小变形问题。如图 1-3 所示的悬臂梁受 P 力作用后，产生了弯曲变形 δ_1 和轴向位移 δ_2 。它们相对于梁的跨度尺寸都是小量，通称为小变形。在小变形下，当处理结构或构件上力的外效应时，可以忽略这种变形，仍按原有的尺寸计算，这对工程实用计算并无影响。

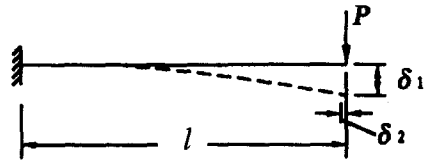


图 1-3

§ 1-3 荷载的分类

荷载是直接作用于结构上的主动外力，是引起结构内力和变形的重要原因。作用于结构或构件上的荷载类型很多，具体分类如下：

(1) 按荷载作用的时间长短，分为恒载和活载。恒载是作用于结构上大小方向与时间无关，不发生变化的荷载如自重等。活载是作用于结构上的位置和大小数值均为可变的荷载。如流动的人群，桥面上跑动的汽车，可移动的设备。

(2) 按荷载作用的区域大小，分为集中荷载和分布荷载。当荷载作用于结构面积很小时，可以认为荷载集中作用在结构上的一点，称为集中荷载或集中力。连续分布在结构上的荷载，称为分布荷载，如线荷载、面荷载。

(3) 按荷载作用是否产生动力效应可分为静力荷载和动力荷载。当荷载作用在结构上变化速度缓慢不会引起结构产生明显加速度时，这种荷载叫静力荷载。当荷载作用在结构上其大小和作用方向均随时间而变，引起结构产生明显加速度，且不能忽略其惯性力时，这种荷载叫动力荷载。

(4) 除了上述外力的直接作用外，结构还会受到一些间接作用，如温度变化，支座移动，地震等，都会使结构产生内力和变形。从广义上说这些作用都可视为荷载。

§ 1-4 杆件变形的基本形式

在建筑力学中，对同一个物体，当进行外力分析时把研究对象视为刚体；当进行

内力分析时把研究对象视为变形体。这是对同一个物体在相同力的作用下，在不同研究范畴内所建立不同的力学模型。把长度方向的尺寸远大于横截面尺寸的一类构件称为杆件，杆件中各横截面形心的连线称为轴线。轴线为直线的杆称为直杆。各横截面尺寸和形状相同的直杆，称为**等直杆**。轴线为曲线的杆件称为**曲杆**。

杆件是结构系统中最基本的构件，它在工程实际中大量存在，很多其他形式的构件，也可以简化为一根杆件或杆件的组合结构来处理。例如，桥梁、机器连杆、传动轴等，都可以简化为杆件来进行受力分析。

各种荷载施加于杆件后也将产生各式各样的变形，但可以把杆件的变形归纳为下列四种基本变形形式中的一种，或者是某几种基本变形的组合变形。

(1) 拉伸或压缩变形。图 1-4 的结构，在 B 点受到力作用后，应用工程力学知识可以分析得知 AB 杆产生轴向拉伸变形，而 BC 杆则产生轴向压缩变形。总之，当杆在两端受到大小相等、方向相反、合力作用线与轴线重合的一对作用力时，杆就产生轴向拉伸或压缩变形。

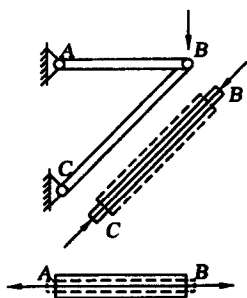


图 1-4

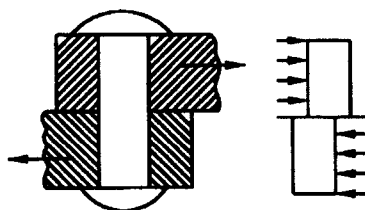


图 1-5

(2) 剪切变形。如图 1-5 所示为连接铆钉产生剪切变形。此外，如平键和销钉等也承受剪切变形。其受力特点是作用在构件两侧面上的横向外力的合力大小相等、方向相反、作用线相距很近。在这种外力作用下，其变形特点是两力间的横截面发生相对错动，这就是剪切变形。

(3) 扭转变形。如图 1-6 (a) 所示，为齿轮轴传动装置，其圆轴主要为扭转变形。这种变形是由大小相等、转向相反、作用面垂直于轴线的两个力偶作用产生的（见图 1-6 (b)）。它使杆轴上任意两个横截面绕轴线作相对转动，产生相对扭转角。在工程上，承受扭转变形的构件还很多，如汽车的转向轴、机械传动轴等。

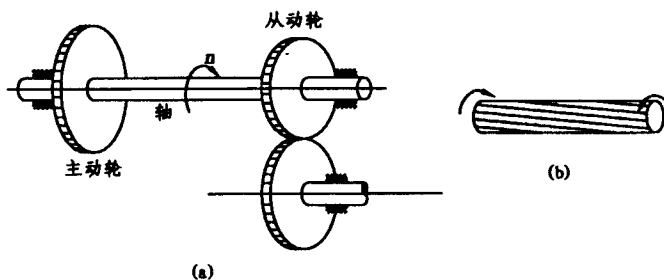


图 1-6

(4) 弯曲变形。如图 1-7 (a) 所示的梁，当受到与杆轴垂直的横向力作用后，就使它产生弯曲变形。这种变形在工程实际中较常见，如火车车轴和桥式吊车梁等，主要就是产生弯曲变形（图 1-7 (b), (c)）。如图 1-8 所示当荷载作用在梁的纵向对称面内为平面弯曲，工程力学所研究的弯曲主要是平面弯曲。

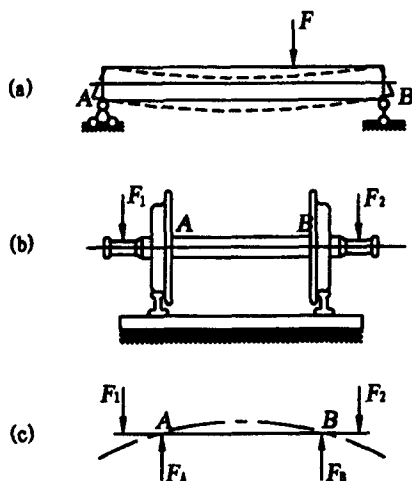


图 1-7

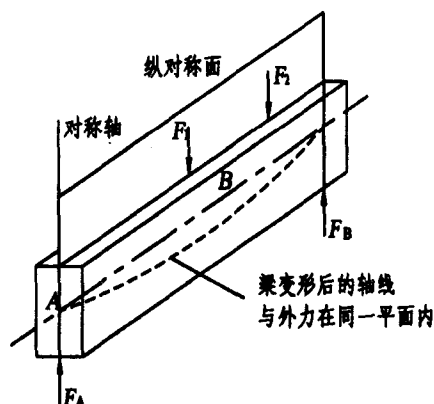


图 1-8

杆件的复杂变形，则必然是上述基本变形的组合形式。例如机械齿轮轴，常常受到扭转与弯曲的联合作用，两种变形同时发生。又如，房屋结构中的框架柱主要是压弯组合变形等。这些内容将在本书相关章节中详述。

思考题

- 1-1 建筑力学的研究对象和基本任务是什么？
- 1-2 举例说明强度、刚度和稳定性的概念。
- 1-3 建筑力学对变形固体作了哪些基本假设？
- 1-4 杆件的基本变形形式有几种？

第一篇 构件的外力分析

——力系的简化与平衡

引 言

对构件进行外力分析，主要是研究构件在外力的作用下处于平衡状态的规律。平衡状态是物体机械运动的一种特殊形式，是指构件相对于空间惯性参考系处于静止或匀速直线运动的状态。在一般的工程实际问题中，通常把固连于地球的参考系视为**惯性参考系**。

实际构件在受力后都会发生不同程度的变形，但由于工程实际中的这种变形非常微小，对我们所研究的平衡问题几乎不产生影响，因此，在本篇所研究的问题中，忽略构件所发生的变形，即把构件简化为**刚体**，从而使问题的研究得到简化。

本篇着重研究如下几个问题：

（1）静力学基础。主要研究静力学公理及应用；讨论力、力矩、力偶的物理概念及计算；讨论构件的各种约束特点及约束反力画法。

（2）力系的简化。主要讨论力系的分类、简化过程及结果，研究物体重心的确定方法。

（3）力系的平衡。主要讨论各种不同力系的平衡方程的物理意义及应用。

第二章 静力学基础

§ 2-1 静力学公理

力这一现象在自然界中是普遍存在的，人们在长期的生产实践和科学实验中，概括总结了力在作用时所遵循的一些客观规律，并将其归纳为静力学公理，它们是静力学的理论基础。

一、二力平衡公理

刚体只在两个力(如 F_1 与 F_2)的作用下而处于平衡的充要条件是：此二力等值、反向、共线。上述条件对于刚体既是必要条件，又是充分条件，但是对于变形体却只是平衡的必要条件，而不是充分条件。例如，当一条绳子受到沿轴线方向的一对等值反向的压力作用时是不能平衡的。

工程上，把受两个力作用而平衡的物体叫做二力体或二力构件，根据二力平衡公理可知：二力构件与物体的形状无关，其所受的两个力的作用线必沿两力的作用点的连线。我们可根据二力构件的这一受力特点，进行受力分析，确定构件的受力方向。如图 2-1 所示的起重支架中的 CD 杆，在不计自重的情况下，它只在 C 、 D 两点受力，是二力体，两力必沿作用点的连线且等值、反向。

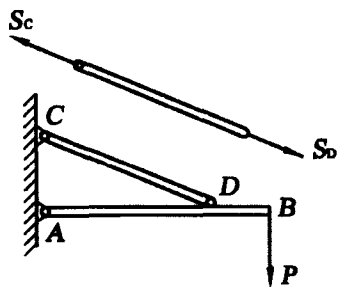


图 2-1

二、加减平衡力系公理

在刚体上可以任意增加或去掉任意平衡力系，而不会改变刚体原来的作用效果。这一公理可以用来对力系进行简化。但应当注意，该公理只适用于刚体，对变形体无论是增加还是减去平衡力系，都将改变其变形状态。

三、力的可传性原理

作用在刚体内任一点的力，可在刚体内沿其作用线任意移动而不会改变它对刚体的作用效果。如图 2-2 的刚体，在 A 点受到一个力 F 的作用，根据加减平衡力系公理，可在其作用线上任取一点 B，并加一对平衡力系 F_1, F_2 ，且使 $F = -F_1 = F_2$ ，从另一角度看，则 F 与 F_1 又可看成一平衡力系，将此力系去掉后就会得到作用于 B 点的力 F_2 ，而对刚体的作用效果并未改变。显然，对于刚体而言，力的作用效果与作用点的位置无关，而取决于作用线的方位。

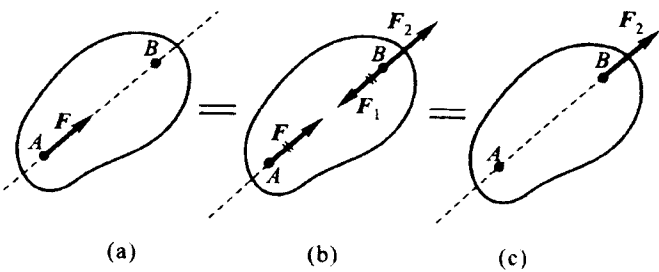


图 2-2

四、力的平行四边形公理

作用在物体上同一点的两个力，其合力的作用点仍在该点，合力的大小和方向由以此二力为邻边所作的平行四边形的对角线确定。

如图 2-3 (a) 所示，矢量等式为：

$$F_R = F_1 + F_2$$

这一公理是力系简化与合成的基本法则，所画出的平行四边形叫做力的平行四边形。力的平行四边形也可简化成力的三角形，由它可更简便地确定合力的大小和方向，如图 2-3 (b) 所示，这一法则称为力的三角形法则，所画的三角形叫做力的三角形。如图 2-3 (c) 所示，画力的三角形时，对力的先后次序没有要求。

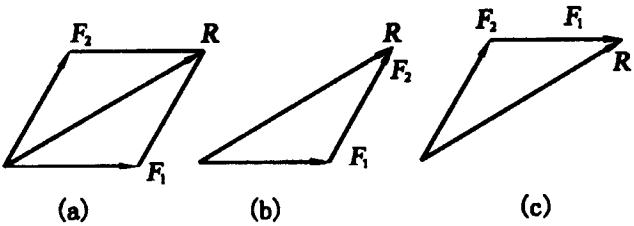


图 2-3

五、作用和反作用公理

两物体间的相互作用力总是：等值、反向、沿同一直线分别作用在相互作用的两物体上。这一公理概括了物体间相互作用力的关系，表明物体间的作用力和反作用力总是成对出现，相互依存，互为因果。它是分析物体受力时必须遵循的法则。