



全国高职高专教育“十一五”规划教材

建筑力学

沈养中 主编



NLIC2970738366



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



全国高职高专教育“十一五”规划教材

建筑力学

Jianzhu Lixue

沈养中 主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是在沈养中主编的普通高等教育“十一五”国家级规划教材——《工程力学》(第一、二分册)(第三版)的基础上,根据土建类专业的教学需要,增删了部分内容,合为一册而成。

全书共分12章,内容包括:绪论、刚体静力分析基础、力系的平衡、弹性变形体静力分析基础、杆件的内力、杆件的应力与强度、杆件的变形与刚度、压杆稳定、几何组成分析、静定结构的内力与位移、超静定结构的内力与位移、影响线。每章前有内容提要,每章后有学习要求、思考题和习题,书后附有习题参考答案。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校和本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校的建筑工程类专业以及道桥、市政和水利等专业建筑力学课程的教材、专升本考试用书,也可作为有关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学/沈养中主编. —北京:高等教育出版社,
2011.1

ISBN 978-7-04-031148-8

I. ①建… II. ①沈… III. ①建筑力学-高等
学校:技术学校-教材 IV. ①TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 232825 号

策划编辑	张骁军	责任编辑	张玉海	封面设计	张志奇	责任绘图	尹莉
版式设计	范晓红	责任校对	杨健艺	责任印制	张泽业		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京市联华印刷厂

开 本 787×1 092 1/16
印 张 18
字 数 440 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2011年1月第1版
印 次 2011年1月第1次印刷
定 价 26.50元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究
物料号 31148-00

前 言

本书是在沈养中主编的普通高等教育“十一五”国家级规划教材——《工程力学》(第一、二分册)(第三版)的基础上,根据土建类专业的教学需要,增删了部分内容,合为一册而成。增加部分主要有适合土建类专业的内容、例题和习题;删去部分主要有运动力学基础、动载荷与交变应力、矩阵位移法、结构动力分析、结构选型、机械类专业的例题、习题,以及一些可精简的内容等。

本书依旧保持按内力——应力和强度——变形和刚度这样常规的工程设计思路,从杆件到杆件结构、从静定到超静定这样传统的认知过程进行内容的编排。

本书依旧保持少而精的编写风格,力求做到:精选传统内容,强调基本概念、理论推导从简或略去,重视宏观分析、降低计算难度、突出工程应用,注重职业技能和素质的培养,注意内容的深入浅出、通俗易懂。

本书的宗旨是使学生在较少的学时内,掌握建筑力学的基本原理和基本方法,具有分析和解决基本的建筑力学问题的能力,为今后的学习和工作打下坚实的基础。

为方便教与学,本书配备了相应的教学软件包,内容有电子教案、学生复习自测系统、试题库、素材库。

参加本书编写工作的有徐州建筑职业技术学院沈养中(第1至7章,第9、10、12章)、河北工程技术高等专科学校石静(第11章)、李桐栋(第8章)。教学软件包由李桐栋、石静、闰礼平、高淑荣、王国菊、张翠英、骆素培研制。全书由沈养中统稿。

本书承同济大学张若京教授审阅。他对书稿提出了许多宝贵意见,对此,编者表示衷心的感谢。在本书的编写过程中,许多同行提出了很好的意见和建议,在此一并表示感谢。

鉴于编者水平有限,书中难免会有不妥之处,敬请同行和广大读者批评指正。

编者

2010年10月

目 录

第1章 绪论	1	学习要求	42
§ 1-1 结构的概念、分类及建筑力学的研究对象	1	思考题	42
1-1-1 结构的概念	1	习题	42
1-1-2 结构的分类	1	第4章 弹性变形体静力分析基础	48
1-1-3 建筑力学的研究对象	4	§ 4-1 变形固体的基本假设	48
§ 1-2 建筑力学的基本任务	4	§ 4-2 内力与应力	49
学习要求	5	4-2-1 内力的概念	49
思考题	5	4-2-2 截面法	49
第2章 刚体静力分析基础	6	4-2-3 应力	50
§ 2-1 刚体与变形体	6	§ 4-3 变形与应变	51
§ 2-2 力与力偶	6	§ 4-4 杆件的变形形式	52
2-2-1 力的概念和性质	6	§ 4-5 材料拉(压)时的力学性能	54
2-2-2 力对点之矩	9	4-5-1 低碳钢在拉伸时的力学性能	54
2-2-3 力偶的概念和性质	10	4-5-2 其他塑性材料在拉伸时的力学性能	56
§ 2-3 约束与约束力	12	4-5-3 铸铁在拉伸时的力学性能	56
2-3-1 约束与约束力的概念	12	4-5-4 材料在压缩时的力学性能	56
2-3-2 工程中常见的约束与约束力	12	4-5-5 极限应力、许用应力和安全因数	57
§ 2-4 结构的计算简图	15	学习要求	58
2-4-1 结构计算简图的概念	15	思考题	58
2-4-2 杆件结构的简化	15	习题	59
§ 2-5 受力分析与受力图	19	第5章 杆件的内力	60
学习要求	21	§ 5-1 杆件拉(压)时的内力	60
思考题	22	§ 5-2 杆件扭转时的内力	62
习题	23	5-2-1 外力偶矩的计算	62
第3章 力系的平衡	28	5-2-2 扭矩与扭矩图	63
§ 3-1 平面力系向一点的简化	28	§ 5-3 杆件弯曲时的内力	65
3-1-1 力的平移定理	28	5-3-1 平面弯曲的概念	65
3-1-2 平面力系向一点简化的结果	30	5-3-2 剪力与弯矩	67
3-1-3 力在坐标轴上的投影	30	5-3-3 剪力图和弯矩图	70
3-1-4 主矢和主矩的计算	31	§ 5-4 斜梁的内力图	78
3-1-5 简化结果的讨论	32	学习要求	79
§ 3-2 平衡方程及其应用	32	思考题	79
3-2-1 平衡条件和平衡方程	32	习题	81
3-2-2 平面力系的几个特殊情形	35	第6章 杆件的应力与强度	85
3-2-3 物体系的平衡问题	38	§ 6-1 杆件拉(压)时的应力与强度	85

6-1-1 拉(压)杆横截面上的正应力	85	8-2-2 压杆的临界应力	141
6-1-2 拉(压)杆的强度计算	86	§ 8-3 压杆的稳定校核	142
§ 6-2 圆轴扭转时的应力与强度	88	8-3-1 安全因数法和折减因数法	142
6-2-1 圆轴扭转时横截面上的切应力	88	8-3-2 提高压杆稳定性的主要措施	145
6-2-2 圆轴扭转的强度计算	89	学习要求	146
6-2-3 切应力互等定理	90	思考题	147
§ 6-3 梁弯曲时的应力与强度	91	习题	148
6-3-1 梁弯曲时横截面上的正应力	91	第 9 章 几何组成分析	150
6-3-2 梁弯曲时横截面上的切应力	94	§ 9-1 概述	150
6-3-3 梁的弯曲强度计算	95	9-1-1 几何不变体系和几何可变体系	150
6-3-4 提高梁弯曲强度的主要措施	99	9-1-2 几何组成分析的目的	150
§ 6-4 杆件在组合变形时的应力与强度	101	9-1-3 刚片、自由度和约束的概念	151
6-4-1 组合变形的分析方法	102	§ 9-2 几何不变体系的组成规则	152
6-4-2 斜弯曲	102	9-2-1 基本组成规则	153
6-4-3 压缩(拉伸)与弯曲	103	9-2-2 对瞬变体系的进一步分析	155
6-4-4 偏心压缩(拉伸)	105	§ 9-3 几何组成分析举例	155
§ 6-5 连接件的剪切与挤压强度	107	§ 9-4 体系的几何组成与静定性的关系	157
6-5-1 剪切强度的实用计算	107	§ 9-5 平面杆件结构的分类	157
6-5-2 挤压强度的实用计算	108	学习要求	159
§ 6-6 应力状态分析	110	思考题	159
6-6-1 应力状态的概念	110	习题	160
6-6-2 二向应力状态分析	111	第 10 章 静定结构的内力与位移	162
学习要求	116	§ 10-1 静定结构的内力	162
思考题	116	10-1-1 多跨静定梁	162
习题	118	10-1-2 静定平面刚架	165
第 7 章 杆件的变形与刚度	126	10-1-3 静定平面桁架	169
§ 7-1 杆件拉(压)时的变形	126	10-1-4 静定平面组合结构	174
§ 7-2 圆轴扭转时的变形与刚度	128	10-1-5 三铰拱	177
7-2-1 变形计算	128	§ 10-2 静定结构的位移	182
7-2-2 刚度计算	129	10-2-1 概述	182
§ 7-3 梁弯曲时的变形与刚度	130	10-2-2 静定结构在荷载作用下的位移	
7-3-1 用积分法求梁的变形	130	计算公式	183
7-3-2 用叠加法求梁的变形	133	10-2-3 图乘法	187
7-3-3 梁的刚度计算	133	10-2-4 静定结构由于支座移动引起的	
学习要求	135	位移计算	193
思考题	135	学习要求	196
习题	135	思考题	196
第 8 章 压杆稳定	138	习题	198
§ 8-1 压杆稳定的概念	138	第 11 章 超静定结构的内力与位移	205
§ 8-2 压杆的临界力与临界应力	139	§ 11-1 概述	205
8-2-1 细长压杆的临界力	139	11-1-1 超静定结构的概念	205

11-1-2 超静定次数的确定	206
§ 11-2 力法	208
11-2-1 力法的基本原理	208
11-2-2 力法典型方程	210
11-2-3 力法计算步骤	212
11-2-4 超静定结构的位移计算	215
11-2-5 超静定结构的性质	217
§ 11-3 位移法	217
11-3-1 位移法的基本原理	217
11-3-2 位移法典型方程	222
11-3-3 位移法计算步骤	224
11-3-4 位移法与力法的比较	228
§ 11-4 力矩分配法	228
11-4-1 力矩分配法的基本原理	228
11-4-2 单结点的力矩分配法	231
11-4-3 多结点的力矩分配法	234
学习要求	237
思考题	238

习题	238
第 12 章 影响线	243
§ 12-1 影响线的概念	243
§ 12-2 静定梁的影响线	244
12-2-1 反力的影响线	244
12-2-2 内力的影响线	245
12-2-3 影响线与内力图的区别	247
§ 12-3 影响线的应用	248
12-3-1 利用影响线求影响量	248
12-3-2 确定最不利荷载位置	250
§ 12-4 简支梁的内力包络图	252
学习要求	253
思考题	254
习题	254
附录一 型钢规格表	256
附录二 习题参考答案	270
参考文献	279

第1章 绪 论

本章介绍结构的概念及分类,阐述建筑力学的研究对象和基本任务。

§ 1-1 结构的概念、分类及建筑力学的研究对象

1-1-1 结构的概念

建筑工程中的各类建筑物,在建造及使用过程中都要承受各种力的作用。工程中习惯把主动作用于建筑物上的外力称为**荷载**。例如,重力、风压力、水压力、土压力、车辆对桥梁的作用力和地震对建筑物的作用力等都属于荷载。在建筑物中承受和传递荷载而起骨架作用的部分或体系称为**建筑结构**,简称**结构**。最简单的结构可以是一根梁或一根柱,例如图 1-1 中的吊车梁、柱等。但往往一个结构是由多个结构元件所组成,这些结构元件称为**构件**。图 1-1 所示工业厂房结构由屋架、柱、吊车梁、屋面板及基础等构件组成。

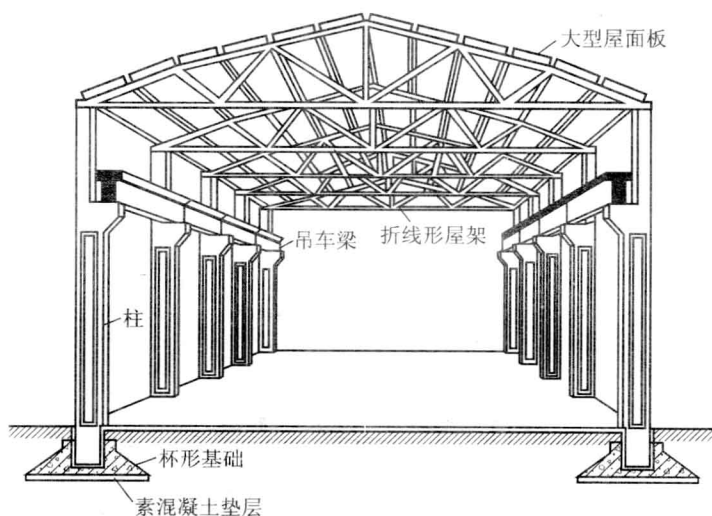


图 1-1

1-1-2 结构的分类

工程中结构的类型是多种多样的,可按不同的观点进行分类。

1. 按几何特征分类

(1) 杆件结构。由杆件组成的结构称为杆件结构。杆件的几何特征是它的长度 l 远大于其横截面的宽度 b 和高度 h (图 1-2a)。横截面和轴线是杆件的两个主要几何因素,前者指的是垂直于杆件长度方向的截面,后者则为所有横截面形心的连线(图 1-3)。如果杆件的轴线为直线,则称为直杆(图 1-3a);若为曲线,则称为曲杆(图 1-3b)。图 1-1 所示工业厂房、图 1-4 所示房屋框架、图 1-5 所示楼盖中主次梁、图 1-6 所示桥梁和图 1-7 所示钢筋混凝土屋架等都是杆件结构。

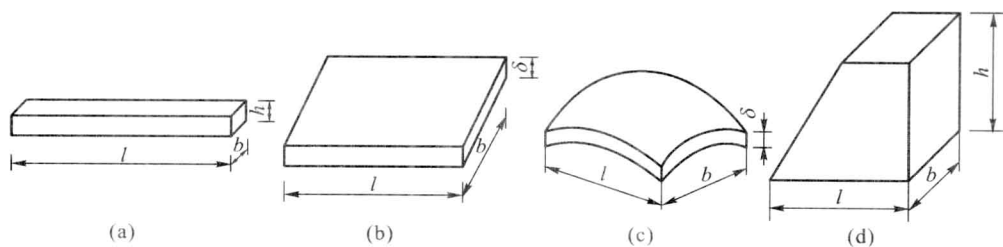


图 1-2

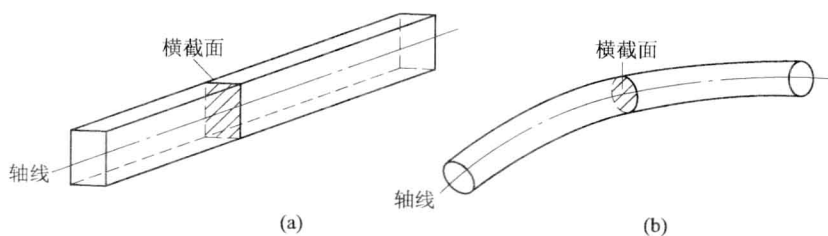


图 1-3

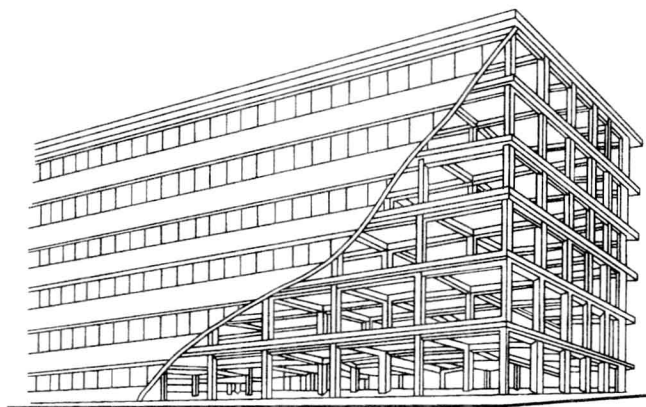


图 1-4

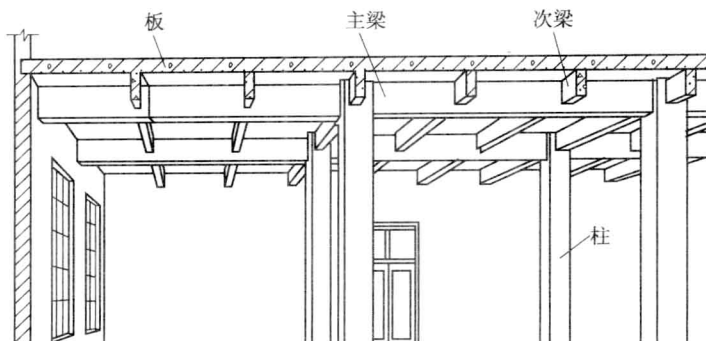


图 1-5

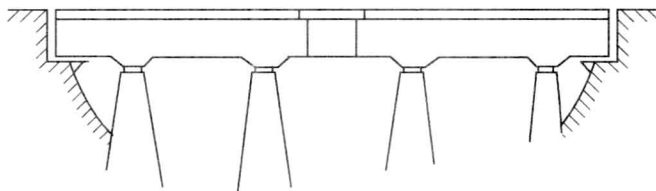


图 1-6

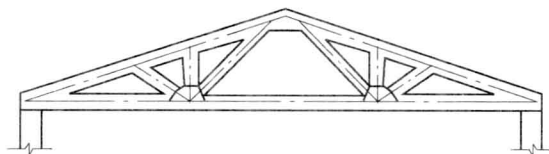


图 1-7

(2) 板壳结构。由薄板或薄壳组成的结构称为**板壳结构**。薄板和薄壳的几何特征是它们的长度 l 和宽度 b 远大于其厚度 δ (图 1-2b、c)。当构件为平面状时称为薄板 (图 1-2b)；当构件为曲面状时称为薄壳 (图 1-2c)。板壳结构也称为**薄壁结构**。图 1-5 所示楼盖中的平板就是薄板,图 1-8 所示蓄水池是由平板和柱壳组成的板壳结构,图 1-9 和图 1-10 所示屋顶分别是三角形折板结构和长筒壳结构,图 1-11 所示体育馆屋顶是薄壳结构。

(3) 实体结构。如果结构的长 l 、宽 b 、高 h 三个尺度为同一量级,则称为**实体结构** (图 1-2d)。例如挡土墙 (图 1-12)、水坝和块形基础等都是实体结构。

除了上面三类结构外,在工程中还会遇到悬索结构、充气结构等其他类型的结构。

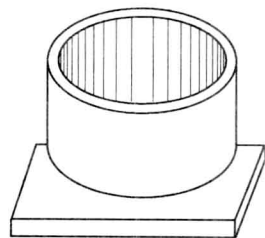


图 1-8

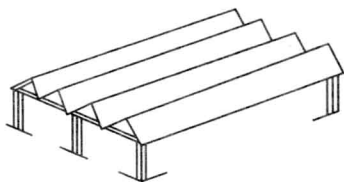


图 1-9

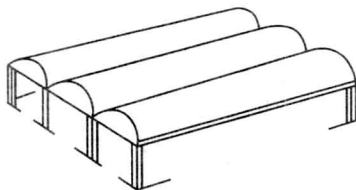


图 1-10

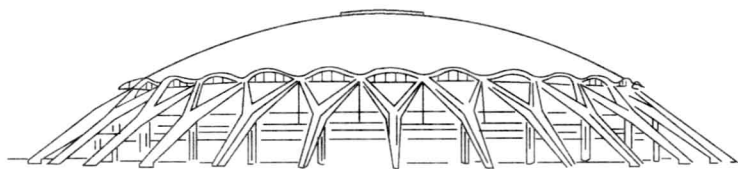


图 1-11

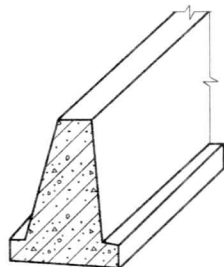


图 1-12

2. 按空间特征分类

(1) 平面结构。凡组成结构的所有构件的轴线及外力都在同一平面内,这种结构称为平面结构(图 1-6,图 1-7)。

(2) 空间结构。凡组成结构的所有构件的轴线及外力不在同一平面内,这种结构称为空间结构(图 1-1,图 1-4,图 1-5,图 1-8 ~ 图 1-12)。

实际结构都是空间的,但在计算时,根据其实际受力特点,有许多可简化为平面结构来处理,例如如图 1-1 所示厂房结构(参看 § 2-4)。但有些空间结构不能简化为平面结构,必须按空间结构来分析。

1-1-3 建筑力学的研究对象

在建筑工程中,杆件结构是应用最为广泛的结构形式。杆件结构可分为平面杆件结构和空间杆件结构两类。建筑力学的主要研究对象是杆件结构。本书主要研究平面杆件结构。

§ 1-2 建筑力学的基本任务

各种建筑物在正常工作时总是处于平衡状态。所谓平衡状态是指物体相对于地球处于静止或作匀速直线运动的状态。一般地,处于平衡状态的物体上所受的力不止一个而是若干个,我们把这若干个力总称为力系。能使物体保持平衡状态的力系称为平衡力系。平衡力系所必须满足的条件称为力系的平衡条件。

结构在荷载作用下处于平衡状态,作用于结构及各构件上的外力构成了各种力系。建筑力

学首先要研究各种力系的简化及平衡条件。根据这些平衡条件,可以由作用于结构上的已知力求出各未知力,这个过程称为**静力分析**。静力分析是对结构和构件进行其他力学计算的基础。

结构的主要作用是承受和传递荷载。在荷载作用下结构的各构件内部会产生内力并伴有变形。要使建筑物按预期功能正常工作,必须满足以下基本要求:

(1) 结构和构件应具有**足够的强度**。所谓**强度**是指结构和构件抵抗破坏的能力。如果结构在预定荷载作用下能安全工作而不破坏,则认为它满足了强度要求。

(2) 结构和构件应具有**足够的刚度**。所谓**刚度**是指结构和构件抵抗变形的能力。一个结构受荷载作用,虽然有了足够的强度,但变形过大,也会影响正常使用。例如:屋面檩条变形过大,屋面会漏水;吊车梁变形过大,吊车就不能正常行驶。如果结构在荷载作用下的变形在正常使用允许的范围内,则认为它满足了刚度要求。

(3) 结构和构件应具有**足够的稳定性**。所谓**稳定性**是指结构和构件保持原有平衡状态的能力。例如受压的细长柱,当压力增大到一定数值时,柱就不能维持原来直线形式的平衡状态,就会突然弯曲,从而导致结构破坏,这种现象称为**丧失稳定性**。如果结构的各构件在荷载作用下能够保持其原有的平衡状态,则认为它满足了稳定性要求。

(4) 构件必须按一定几何组成规律组成结构,以确保在预定荷载作用下,结构能维持其原有的几何形状。

综合上述,建筑力学的基本任务就是研究结构的强度、刚度和稳定性问题,为此提供相关的计算方法和实验技术,为构件选择合适的材料、合理的截面形式及尺寸,以及研究结构的几何组成规律和合理形式,以确保安全和经济两方面的要求。

建筑力学是建筑工程类专业的一门重要的技术基础课程,是研究建筑结构力学计算理论和方法的科学,也是从事建筑设计和施工的工程技术人员应具备的必不可少的基础理论。

学 习 要 求

1. 了解结构的概念和结构的分类,了解建筑力学的主要研究对象。
2. 了解平衡状态和平衡力系等概念。
3. 了解结构的静力分析,强度、刚度、稳定性和几何组成的含义,了解建筑力学的基本任务。

思 考 题

- 1-1 何谓结构?结构按其几何特征可分为几类?结构按其空间特征可分为几类?建筑力学的主要研究对象是哪类结构?
- 1-2 试举出几个结构的实例。
- 1-3 什么叫做静力分析?
- 1-4 结构正常工作必须满足哪些基本要求?
- 1-5 建筑力学的基本任务是什么?

第2章 刚体静力分析基础

本章介绍刚体与变形体的概念,力的概念和性质,力矩的概念和计算,力偶的概念和性质,约束与约束力的概念,工程中常见的约束与约束力,结构的计算简图,物体的受力分析与受力图。这些内容构成了刚体静力分析的基础。

§ 2-1 刚体与变形体

所谓刚体是指在外力的作用下,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。实际上物体在受到外力作用时,其内部各点间的相对距离都要发生改变,从而引起物体形状和尺寸的改变,即物体产生了变形。当物体的变形很小时,变形对研究物体的平衡和运动规律的影响很小,可以略去不计,这时可把物体抽象为刚体,从而使问题的研究大为简化。但当研究的问题与物体的变形密切相关时,即使是极其微小的变形也必须加以考虑,这时就必须把物体抽象为**变形体**这一力学模型。例如,在研究结构或构件的平衡问题时,可以把它们视为刚体;而在研究结构或构件的强度、刚度和稳定性问题时,虽然结构或构件的变形非常微小,但必须把它们看成变形体。

§ 2-2 力与力偶

2-2-1 力的概念和性质

1. 力的概念

力是物体间相互的机械作用,这种作用使物体的运动状态或形状发生改变。

力对物体的作用结果称为力的效应。力使物体运动状态(即速度)发生改变的效应称为**运动效应**或**外效应**;而力使物体的形状发生改变的效应称为**变形效应**或**内效应**。

力的运动效应分为**移动效应**和**转动效应**两种。例如,球拍作用于乒乓球上的力如果不通过球心,则球在向前运动的同时还绕球心旋转。前者为移动效应,后者为转动效应。

实践表明,力对物体的效应取决于力的大小、方向和作用点,称之为力的三要素。

在国际单位制(SI)中,力的单位为N或kN。

力的方向包含方位和指向。例如,力的方向是“铅直向下”,“铅直”是力的方位,“向下”则是力的指向。

力的作用点是指力在物体上的作用位置。实际上,力总是作用在一定的面积或体积范围内,是**分布力**。但当力作用的范围与物体相比很小以至可以忽略其大小时,这个范围就可近似地看成一个点。作用于一点上的力称为**集中力**。

当力分布在一定的体积内时,称为**体分布力**,例如物体自身的重力;当力分布在一定面积上时,称为**面分布力**;当力沿狭长面积或体积分布时,称为**线分布力**。分布力的大小用力的**集度**表示。体分布力集度的单位为 N/m^3 或 kN/m^3 ,面分布力集度的单位为 N/m^2 或 kN/m^2 ,线分布力集度的单位为 N/m 或 kN/m 。

作用于一个物体上的若干个力称为**力系**。如果两个力系对物体的运动效应完全相同,则这两个力系称为**等效力系**。如果一个力与一个力系等效,则此力称为该力系的**合力**,而该力系中的各力称为合力的**分力**。

2. 力的表示

力既有大小又有方向,因而力是**矢量**。集中力可用带箭头的直线段表示(图 2-1)。规定用黑体字母 $\boldsymbol{F}$ 表示力,而用普通字母 F 表示力的大小。通过力的作用点 A 并沿着力的方位的直线 KL ,称为力的**作用线**。

分布力的集度通常用 q 表示。若 q 为常量,则该分布力称为**均布力**;否则,就称为**非均布力**。图 2-2a 表示作用于楼板上的向下的面分布力;图 2-2b 表示搁置在墙上的梁沿其长度方向作用着向下的线分布力,其集度 $q=2\text{ kN}/\text{m}$;它们都是均布力。图 2-2c 表示作用于挡土墙单位长度墙段上的土压力,图 2-2d 表示作用于地下室外墙单位长度墙段上的土压力和地下水压力,它

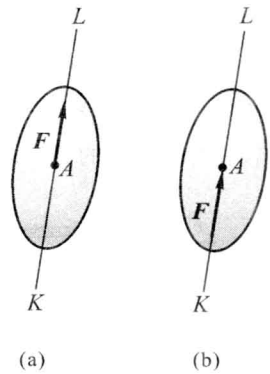


图 2-1

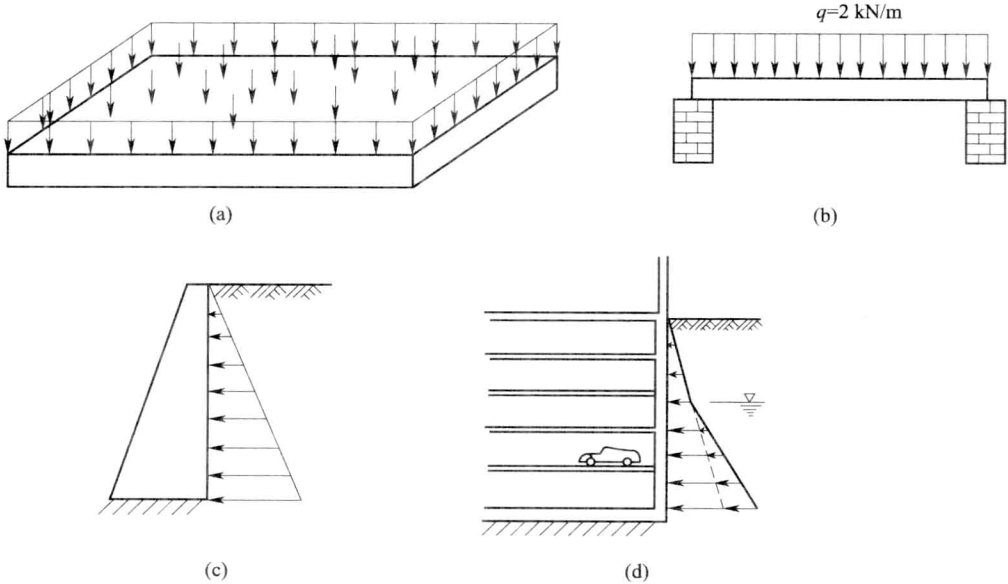


图 2-2

们都是非均布的线分布力。

3. 力的性质

实践表明,力有如下一些性质:

(1) 作用于同一刚体上的两个力使刚体保持平衡的充分必要条件是:这两个力大小相等,方向相反,作用在同一直线上。这一性质也称为**二力平衡公理**。受两个力作用处于平衡的构件称为**二力构件**。

(2) 在作用于刚体上的任一已知力系中,加上或减去任一平衡力系,并不改变原力系对刚体的效应。这一性质也称为**加减平衡力系公理**。

由上可得如下推论:作用于刚体上的力可沿其作用线移动到该刚体上任一点,而不改变此力对刚体的效应。这一推论称为**力的可传性原理**。

必须指出,上面的性质只适用于刚体,不适用于变形体。例如,绳索的两端若受到大小相等、方向相反、沿同一直线的两个压力的作用,则其不会平衡(图 2-3a);变形杆在平衡力系 F_1 、 F_2 作用下产生拉伸变形(图 2-3b),若除去这一对平衡力,则杆就不会发生变形;若将力 F_1 、 F_2 分别沿作用线移到杆的另一端,则杆将产生压缩变形(图 2-3c)。

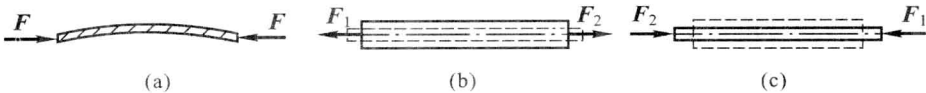


图 2-3

(3) 如果把在某一力系作用下处于平衡的变形体刚化为刚体,则该物体的平衡状态不会改变。这一性质也称为**刚化原理**。由此可知,作用于刚体上的力系所必须满足的平衡条件,在变形体平衡时也同样必须遵守。

(4) 作用于物体上同一点的两个力的合力,等于这两个力的矢量和(图 2-4a),即

$$F = F_1 + F_2$$

这一性质也称为**力的平行四边形法则**。有时为了方便,可由 A 点作矢量 F_1 ,再由 F_1 的末端 B 作矢量 F_2 ,则矢量 $\overrightarrow{AC}$ 即为合力 F (图 2-4b)。这种求合力的方法称为**力的三角形法则**。

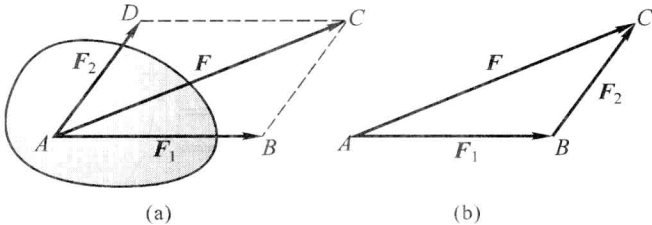


图 2-4

(5) 两物体间相互作用的力,总是大小相等、方向相反、沿同一直线,分别作用于该两物体上。这一性质也称为**作用与反作用定律**。

4. 三力平衡汇交定理

由力的性质(1)和(4)容易证明:当刚体受三个力作用而平衡时,若其中两个力的作用线相交于一点,则第三个力的作用线也通过该交点,且此三个力的作用线在同一平面内(图 2-5)。

5. 汇交力系的合成

作用于物体上同一点的 n 个力 $F_1, F_2, \dots, F_n$ 组成的力系,称为汇交力系。由性质(4),采用两两合成的方法(图 2-6),最终可合成为一个合力 F_R ,合力等于力系中各力的矢量和,即

$$F_R = F_1 + F_2 + \dots + F_n = \sum F_i \quad (2-1)$$

合力的作用线通过汇交点。

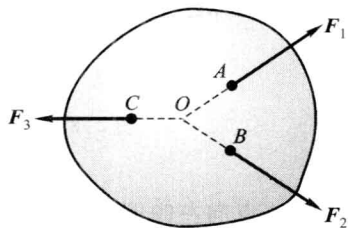


图 2-5

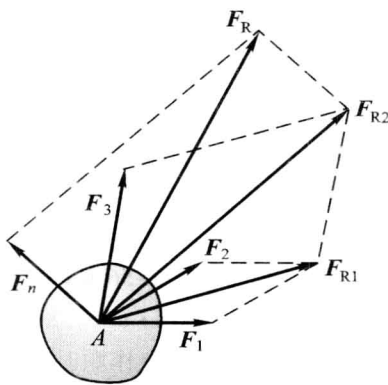


图 2-6

2-2-2 力对点之矩

1. 力矩的概念

用扳手拧紧螺母时,作用于扳手上的力 F 使扳手绕 O 点转动(图 2-7),其转动效应不仅与力的大小和方向有关,而且与 O 点到力作用线的距离 d 有关。因此,将乘积 Fd 冠以适当的正负号,称为力 F 对 O 点之矩,简称力矩,它是力 F 使物体绕 O 点转动效应的度量,用 $M_O(F)$ (或在不致产生误解的情况下简写成 M_O) 表示,即

$$M_O(F) = \pm Fd \quad (2-2)$$

O 点称为矩心, d 称为力臂。式中的正负号用来区别力 F 使物体绕 O 点转动的方向,并规定:力 F 使物体绕 O 点逆时针转动时为正,反之为负。

力矩在下列两种情况下等于零:力等于零或力的作用线通过矩心。

力矩的单位为 $N \cdot m$ 或 $kN \cdot m$ 。

2. 合力矩定理

对于有合力的力系,可以证明:合力对平面内任一点之矩等于各分力对同一点之矩的代数和。即

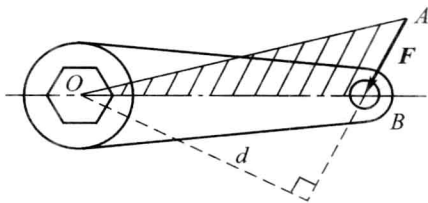


图 2-7

$$M_o(F_R) = M_o(F_1) + M_o(F_2) + \cdots + M_o(F_n) = \sum M_o(F_i) \quad (2-3)$$

这就是合力矩定理。

在许多情况下应用合力矩定理计算力对点之矩较为简便。

例 2-1 挡土墙(图 2-8)重 $W_1 = 30 \text{ kN}$ 、 $W_2 = 60 \text{ kN}$, 所受土压力的合力 $F = 40 \text{ kN}$ 。试问该挡土墙是否会绕 A 点向左倾倒?

解 计算各力对 A 点的力矩:

$$M_A(W_1) = -W_1 \times 0.2 \text{ m} = -30 \text{ kN} \times 0.2 \text{ m} = -6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_A(W_2) = -W_2 \times (0.4 + 0.533) \text{ m} = -60 \text{ kN} \times 0.933 \text{ m} = -56 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_A(F) = M_A(F_x) + M_A(F_y)$$

$$= F \cos 45^\circ \times 1.5 \text{ m} - F \sin 45^\circ \times (2 - 1.5 \cot 70^\circ) \text{ m}$$

$$= 40 \text{ kN} \times 0.707 \times 1.5 \text{ m} - 40 \text{ kN} \times 0.707 \times 1.454 \text{ m}$$

$$= 42.42 \text{ kN} \cdot \text{m} - 41.12 \text{ kN} \cdot \text{m} = 1.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

其中力 F 对 A 点的力矩是根据合力矩定理计算的。各力对 A 点力矩的代数和为

$$M_A = M_A(W_1) + M_A(W_2) + M_A(F)$$

$$= -6 \text{ kN} \cdot \text{m} - 56 \text{ kN} \cdot \text{m} + 1.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$= -60.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

负号表示各力使挡土墙绕 A 点作顺时针转动, 即挡土墙不会绕 A 点向左倾倒。

挡土墙的重力以及土压力的竖向分力对 A 点的力矩是使墙体稳定的力矩, 而土压力的水平分力对 A 点的力矩是使墙体倾覆的力矩。

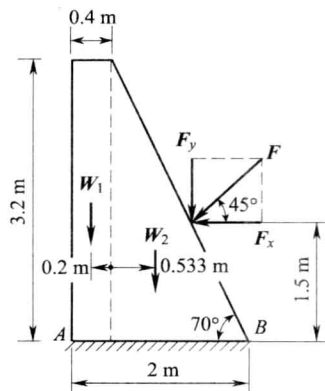


图 2-8

2-2-3 力偶的概念和性质

1. 力偶的概念

在日常生活和工程中, 经常会遇到物体受大小相等、方向相反、作用线互相平行的两个力作用的情形。例如, 汽车司机用双手转动方向盘(图 2-9a), 钳工用丝锥攻螺纹(图 2-9b)等。实践证明, 这样的两个力 F 、 F' 对物体只产生转动效应, 而不产生移动效应, 把它称为力偶, 用符号 (F, F') 表示。

力偶所在的平面称为力偶的作用面, 力偶的两个力作用线间的距离称为力偶臂。

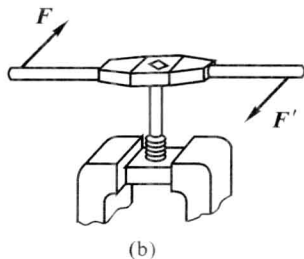
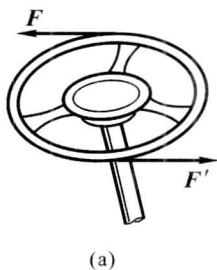


图 2-9

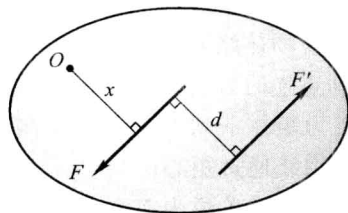


图 2-10

在力偶作用面内任取一点 O 为矩心(图 2-10), 设 O 点与力 F 的距离为 x , 力偶臂为 d , 则力