



普通高等教育“十四五”力学规划系列教材

# 工程力学

主编◎蔡路军 张国强

E  
ngineering Mechanics



华中科技大学出版社  
<http://www.hustp.com>

# 普通高等教育“十四五”力学规划系列教材

主 编 蔡路军 张国强

副主编 韩 芳 杨 琳 吉德三 磨季云

中国·武汉

## 内 容 介 绍

本书主要介绍工程力学的基本概念、基本原理与基本方法。全书分2篇,共15章,主要包括物体或物体系统的受力分析和平衡问题分析,构件的受力变形基本规律及简单的强度、刚度和稳定性问题分析。各章节附有相应的思考题和习题。为便于查阅,书后还附有最新国家标准的型钢表。

本书是编者在多年讲授工程力学相关课程的基础上精心编写而成的,内容既包括力学课程的经典理论和方法,又包括在一定程度上体现现代工程技术发展的力学实际应用。本书可供高等院校相关专业的教师、学生及自学者使用或参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

/蔡路军,张国强主编. —武汉: ,2021.1  
ISBN 978-7-5680-6701-0

I. ①工… II. ①蔡… ②张… III. ①-高等学校-教材-学校-学 IV. ①TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2020)第 228809 号

Gongcheng Lixue

蔡路军 张国强 主编

策划编辑:余伯仲

责任编辑:邓 薇

封面设计:廖亚萍

责任监印:周治超

出版发行: (中国·武汉) 电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园 邮编:430223

录 排:武汉市洪山区佳年华文印部

印 刷:武汉科源印刷设计有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:23.75

字 数:479千字

版 次:2021年1月第1版第1次印刷

定 价:40.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换  
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务  
版权所有 侵权必究

# 前 言

工程力学是大学本科相关专业的专业基础课,是培养学生工程应用分析能力和科学研究素养的重要课程。

全书分静力学篇和材料力学篇两大部分。静力学篇从力学基本概念和基本公理出发,通过应用力学模型和矢量分析方法,建立了解决基本的平衡与受力关系问题的理论体系。材料力学篇则从介绍材料力学的基本概念出发,通过杆件的几种基本变形形式,展开分析了变形体受力、变形和破坏的基本规律,进而又讨论了复杂受力变形情况下的强度问题和压杆的稳定性失效问题。

本书在阐明基础理论、基本概念和方法前提下,力求突出以下两点。

(1) 强调矢量概念、矢量分析和建立理论模型在工程力学方法中的基础作用,引导学生掌握从实际工程结构或构件中建立合理力学模型并进一步分析的方法,从而培养学生掌握科学的方法论。

(2) 全书内容力求体现工科特色,旨在培养学生的工程意识与分析解决工程实际问题的能力,因此书中更多地强调对一些工程问题的解决步骤和方法,编选的例题和习题也多来自工程实际或具有工程背景。

本书配套有实验课程教材《工程力学实验》(武汉科技大学工程力学系编)。建议将理论课程设置为 64~72 学时,另安排 6~8 学时实验课程。也可不讲授第 13 章至第 15 章内容,并相应减少实验课程学时,满足一些专业 48 学时力学通识教育的需求。

本书是武汉科技大学工程力学系的教师在多年讲授工程力学相关课程的基础上精心编写而成的。第 1 章由蔡路军编写,第 2 章和第 3 章由胡百鸣、杨琳编写,第 4 章和第 6 章由陈桂娟、吉德三编写,第 5 章由磨季云、吉德三编写,第 7 章至第 9 章由蔡路军、韩芳编写,第 10 章由黄照平、陈上仿编写,第 11 章由胡卫华编写,第 12 章及附录由张国强编写,第 13 章由蔡路军、牛清勇编写,第 14 章由吴亮编写,第 15 章由龚相超编写。全书由蔡路军、张国强任主编,韩芳、杨琳、吉德三、磨季云任副主编。蔡路军、张国强完成了全书的统稿工作。

在本书的编写、出版过程中,有许多同志为我们提供了支持和方便,在此谨致谢意。受编者水平所限,书中难免有疏漏与不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2020 年 9 月于武汉科技大学

## 主要符号表

$A$	面积	$\alpha_0$	主方向角
$b$	宽度	$\alpha_1$	极值切应力对应的方向角
$D(d)$	直径	$\gamma$	切应变(角应变)
$E$	弹性模量	$\delta$	伸长率
$F$	力	$\varepsilon$	正应变(线应变)
$F_R$	合力	$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$	主应变
$F'_R$	主矢	$\theta$	转角、体积应变
$F_{cr}$	临界力	$K$	体积弹性模量
$F_N$	轴力	$\lambda$	柔度
$F_S$	剪力	$\mu$	泊松比、压杆长度系数
$G$	切变模量	$u_e$	应变能密度
$H(h)$	高度	$u_V$	体积改变能密度
$I$	惯性矩	$u_d$	畸变能密度
$I_p$	极惯性矩	$\frac{1}{\rho}$	曲率
$i$	惯性半径	$\sigma$	正应力
$L(l)$	长度	$\sigma_b$	强度极限
$M$	力偶矩矢	$\sigma_{cr}$	临界应力
$M$	弯矩	$\sigma_e$	弹性极限
$M_e$	外力偶	$\sigma_m$	平均应力
$n$	安全系数	$\sigma_p$	比例极限
$S$	静矩	$\sigma_s$	屈服极限
$T$	扭矩	$\sigma_r$	相当应力
$V_e$	应变能	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	主应力
$W$	抗弯截面系数	$\tau$	切应力(剪应力)
$W_t$	抗扭截面系数	$\varphi$	扭转角
$w$	挠度	$\psi$	断面收缩率
$\alpha$	方向角		

# 目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 力与力学概述	(1)
1.2 力学基本概念	(1)
1.3 工程力学研究方法	(2)

## 第一篇 静 力 学

第 2 章 静力学基本概念与受力分析	(5)
2.1 静力学基本概念	(5)
2.1.1 力与力系	(5)
2.1.2 刚体	(6)
2.2 静力学基本公理	(7)
2.3 约束与约束力	(9)
2.3.1 约束与约束力概念	(9)
2.3.2 常见约束类型及约束力	(9)
2.4 物体受力分析	(15)
思考题	(23)
习题	(23)
拓展阅读	(26)
第 3 章 力系的合成与平衡	(28)
3.1 力系概述	(28)
3.2 汇交力系的合成与平衡	(28)
3.2.1 力在坐标系中的投影	(28)
3.2.2 空间汇交力系的合成	(31)
3.2.3 空间汇交力系平衡方程	(33)
3.2.4 平面汇交力系的合成	(35)
3.2.5 平面汇交力系平衡方程	(35)
3.3 力矩与力偶	(39)
3.3.1 力对点的矩	(39)
3.3.2 力对轴的矩	(42)

3.3.3	力偶及其性质	(44)
3.3.4	空间力偶系的合成与平衡	(46)
3.3.5	平面力偶系的合成与平衡	(48)
3.4	任意力系的简化与平衡	(49)
3.4.1	力的平移定理	(49)
3.4.2	空间任意力系的简化	(50)
3.4.3	平面任意力系的简化	(56)
3.4.4	空间任意力系的平衡	(61)
3.4.5	平面任意力系的平衡	(69)
3.5	物体系统的平衡	(74)
3.5.1	静定与静不定问题	(74)
3.5.2	物体系统的平衡问题	(75)
	思考题	(80)
	习题	(81)
	拓展阅读	(86)
<b>第4章</b>	<b>静力学其他问题</b>	(88)
4.1	平面桁架的内力计算	(88)
4.1.1	平面桁架	(88)
4.1.2	节点法	(89)
4.1.3	截面法	(90)
4.2	物体重心计算	(92)
	思考题	(98)
	习题	(98)
	拓展阅读	(100)

## 第二篇 材料力学

<b>第5章</b>	<b>材料力学基本概念</b>	(105)
5.1	材料力学的任务	(105)
5.2	变形固体的概念及其基本假设	(106)
5.3	杆件及其变形形式	(107)
5.4	外力及其分类	(108)
5.5	内力与截面法	(109)
5.6	应力	(110)
5.7	位移和应变	(111)

---

5.7.1 位移 .....	(111)
5.7.2 应变 .....	(112)
5.8 材料力学的特点 .....	(112)
思考题 .....	(113)
拓展阅读 .....	(114)
<b>第 6 章 轴向拉伸与压缩</b> .....	<b>(116)</b>
6.1 轴向拉伸与压缩概述 .....	(116)
6.2 轴向拉伸与压缩时的内力 .....	(117)
6.3 轴向拉伸与压缩时的应力 .....	(121)
6.3.1 拉压杆横截面上的应力分布 .....	(121)
6.3.2 拉压杆斜截面上的应力 .....	(124)
6.4 材料在拉伸和压缩时的力学性能 .....	(125)
6.4.1 概述 .....	(125)
6.4.2 低碳钢拉伸时的力学性能 .....	(126)
6.4.3 其他塑性材料在拉伸时的力学性能 .....	(130)
6.4.4 铸铁拉伸时的力学性能 .....	(130)
6.4.5 材料在压缩时的力学性能 .....	(131)
6.4.6 许用应力及安全系数 .....	(132)
6.5 轴向拉伸与压缩时的强度条件及其应用 .....	(134)
6.5.1 轴向拉伸与压缩时的强度条件 .....	(134)
6.5.2 轴向拉伸与压缩强度条件的应用 .....	(135)
6.6 轴向拉伸与压缩时的变形 .....	(137)
6.6.1 轴向绝对变形量与相对变形量 .....	(137)
6.6.2 横向绝对变形量与相对变形量 .....	(138)
6.6.3 胡克定律 .....	(139)
6.6.4 轴向拉伸或压缩时杆的应变能 .....	(141)
思考题 .....	(143)
习题 .....	(143)
拓展阅读 .....	(147)
<b>第 7 章 剪切与挤压</b> .....	<b>(149)</b>
7.1 剪切与挤压概述 .....	(149)
7.2 剪切和挤压的实用计算 .....	(150)
7.2.1 剪切强度计算 .....	(150)
7.2.2 挤压强度计算 .....	(152)

---

思考题 .....	(155)
习题 .....	(157)
拓展阅读 .....	(159)
<b>第 8 章 平面图形的几何性质</b> .....	(161)
8.1 静矩和形心 .....	(161)
8.2 惯性矩和惯性积 .....	(164)
8.3 平行移轴公式 .....	(169)
8.4 转轴公式与主惯性轴 .....	(172)
思考题 .....	(176)
习题 .....	(177)
拓展阅读 .....	(178)
<b>第 9 章 扭转</b> .....	(181)
9.1 概述 .....	(181)
9.2 扭转时的内力 .....	(182)
9.3 纯剪切 .....	(185)
9.3.1 薄壁圆筒扭转时的切应力 .....	(185)
9.3.2 切应力互等定律 .....	(186)
9.3.3 切应变、剪切胡克定律 .....	(186)
9.4 圆轴扭转时的应力 .....	(187)
9.5 圆轴扭转时的变形 .....	(192)
9.6 圆轴扭转时的强度和刚度计算 .....	(194)
9.6.1 圆轴扭转时的强度条件 .....	(194)
9.6.2 圆轴扭转时的刚度条件 .....	(195)
思考题 .....	(200)
习题 .....	(200)
拓展阅读 .....	(203)
<b>第 10 章 弯曲内力</b> .....	(206)
10.1 弯曲的概念 .....	(206)
10.2 静定梁的基本形式 .....	(206)
10.3 剪力和弯矩 .....	(207)
10.4 弯曲内力方程与内力图 .....	(209)
10.5 载荷集度与剪力和弯矩三者之间的关系 .....	(215)
10.6 平面曲杆的弯曲内力 .....	(218)
思考题 .....	(219)

---

习题 .....	(220)
拓展阅读 .....	(225)
<b>第 11 章 弯曲应力</b> .....	(227)
11.1 梁弯曲时的正应力 .....	(227)
11.2 梁弯曲时的正应力强度计算 .....	(231)
11.3 梁弯曲时的切应力及强度计算 .....	(234)
11.4 提高梁弯曲强度的措施 .....	(239)
思考题 .....	(243)
习题 .....	(243)
拓展阅读 .....	(247)
<b>第 12 章 弯曲变形</b> .....	(249)
12.1 弯曲变形概述 .....	(249)
12.2 挠曲线近似微分方程及其求解 .....	(250)
12.3 用叠加法求梁的弯曲变形 .....	(260)
12.4 梁的刚度校核 .....	(264)
12.5 简单超静定梁 .....	(266)
12.6 提高梁弯曲刚度的措施 .....	(269)
思考题 .....	(272)
习题 .....	(273)
拓展阅读 .....	(277)
<b>第 13 章 应力状态和强度理论</b> .....	(279)
13.1 应力状态基本概念 .....	(279)
13.2 平面应力状态分析——解析法 .....	(282)
13.3 平面应力状态分析——图解法 .....	(287)
13.4 三向应力状态 .....	(292)
13.5 平面应变状态分析 .....	(294)
13.6 广义胡克定律 .....	(296)
13.7 复杂应力状态下的应变能密度 .....	(299)
13.8 强度理论概述 .....	(301)
13.9 四种常用的强度理论 .....	(301)
13.10 莫尔强度理论 .....	(306)
思考题 .....	(307)
习题 .....	(307)
拓展阅读 .....	(311)

---

<b>第 14 章 组合变形</b> .....	(314)
14.1 组合变形的概念 .....	(314)
14.2 斜弯曲 .....	(315)
14.3 拉伸或压缩与弯曲的组合 .....	(319)
14.4 偏心压缩与截面核心 .....	(320)
14.4.1 偏心压缩 .....	(320)
14.4.2 截面核心 .....	(321)
14.5 弯曲与扭转的组合 .....	(323)
思考题 .....	(326)
习题 .....	(327)
拓展阅读 .....	(330)
<b>第 15 章 压杆稳定</b> .....	(332)
15.1 压杆稳定概述 .....	(332)
15.2 两端铰支细长压杆的临界压力 .....	(334)
15.3 其他约束条件下细长压杆的临界压力 .....	(337)
15.4 欧拉公式的适用范围及经验公式 .....	(339)
15.5 压杆的稳定校核 .....	(344)
15.6 提高压杆稳定性的措施 .....	(346)
思考题 .....	(349)
习题 .....	(350)
拓展阅读 .....	(354)
<b>附录 A 型钢表</b> .....	(356)
<b>参考文献</b> .....	(370)

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 力与力学概述

力的概念是人们在生活和生产实践中,通过长期的观察和分析而建立起来的。力是物体间的相互作用,这种相互作用使物体的机械运动状态发生变化,或者使物体发生变形。机械运动是指物体在空间中的位置随时间的变化;变形是指物体自身尺寸或形状发生变化。

力不能脱离物体而存在,力虽然看不见,但它的作用效应可以直接观察或用仪器测量出来。人们正是通过力的作用效应来认识力本身的。

力学是研究物质机械运动规律的科学。它研究介质运动、变形、流动和宏观、微观乃至微观行为,揭示力学过程与物理、化学、生物学等过程的相互作用规律。

力学是工程科学的先导和基础,为开辟新的工程领域提供概念和理论,为工程设计提供有效的方法,是科学技术创新和发展的重要推动力。

工程力学是研究工程中的力学问题,并将力学原理应用于工程技术领域的科学。它的内容极其广泛,本书只讨论其中静力学和材料力学这两部分的基本内容。

静力学主要研究刚性物体在平衡状态时的受力问题。

材料力学主要研究变形固体在外力的作用下变形和破坏的问题。

## 1.2 力学基本概念

工程力学研究的情况是一种物体机械运动的特殊状态:平衡。物体的平衡,是指物体相对于地面保持静止或匀速直线运动的状态。但实际上宇宙中没有绝对的平衡,一切平衡都只是相对的和暂时的。

静力学的研究对象是刚体。刚体是形状和大小不变,且内部各点的相对位置不改变的物体。但实际上绝对刚体是不存在的,在力的作用下,任何物体都会发生变形,只是变形量的大小不同而已。因此,刚体是一种理想化概念,对于变形很小的固体,在暂时不研究物体变形的时候,这一简化模型为作用于物体上力系的研究提供了很大的方便。

材料力学的研究对象是变形体,一般是构件,为工程结构和机械的组成部分,如建筑物的梁和柱、机械的轴等。构件在外力作用下可能丧失正常功能,失效或者破坏,因此,为保证构件安全,使用时应满足其强度、刚度和稳定性要求。强度是指构件抵抗破坏的能力;刚度是指构件抵抗变形的能力;稳定性是指构件保持其原有

平衡状态的能力。

### 1.3 工程力学研究方法

工程力学解决问题的一般方法及步骤如下。

- (1) 选择有关的研究系统。
- (2) 对系统进行抽象简化,建立力学模型,其中包括几何形状、材料性能、载荷和约束等真实情况的抽象简化。
- (3) 将力学原理应用于抽象模型,进行分析、推理,得出结论。
- (4) 进行尽可能真实的实验验证,或将问题退化至简单情况与已知结论相比较。
- (5) 验证比较后,若得出的结论不满意,则需要重新考虑关于系统特性的假设,建立修正模型并进行分析,依次往复,直至取得问题的最优解。

# 第一篇 静力学

物体相对于地球静止或做匀速直线运动的状态称为平衡。它是物体机械运动的一种特殊形式。

静力学研究物体在一组力作用下的平衡规律。在实际工程中,物体静止是平衡中最常见的状态,所以,静力学主要研究物体处于静止状态的力学问题,很少研究物体处于匀速直线运动状态的力学问题。

静力学从引入刚体、力、力系等基本概念开始,在五个公理的基础上,主要研究如下两个基本问题。

(1) 力系的合成与简化 将作用于物体上较为复杂的力系,用一个最简单且与其力系作用效应相同的力系替代。

(2) 建立并应用平衡条件 确定物体处于平衡状态时,作用于其上的力系应满足的条件,称为平衡条件。

其中,第一个基本问题主要是力系的理论分析,并为解决第二个基本问题做准备。只有在简单力系上,才能清晰地表示建立平衡条件的原因。第二个基本问题是静力学的核心,静力学主要是围绕着建立平衡条件及应用平衡条件而展开的。建立平衡条件后,可以用平衡条件求出作用在平衡物体上的某些未知力。

静力学中力系的简化理论和物体受力分析的方法也是研究动力学的基础。



## 第 2 章 静力学基本概念与受力分析

### 2.1 静力学基本概念

#### 2.1.1 力与力系

力是物体之间相互的机械作用,使物体的运动状态及物体的形状发生改变。

力的定义说明,物体之间的相互机械作用是力产生的本质。而物体的运动状态及形状的改变,是力的作用现象。其中,使物体的运动状态发生改变,称为力对物体作用的外效应(或运动效应);使物体的形状发生改变,称为力对物体作用的内效应(或变形效应)。

力对物体的作用效应由力的大小、方向、作用点的位置决定,这三者称为力对物体作用效应的三要素。

力的大小是物体间相互机械作用的强度。在国际单位制(SI)中,力的单位是牛顿(N)或千牛(kN)。在工程单位制中,力的单位是千克力(kgf)或吨力(tf)。两者的换算关系为

$$1 \text{ kgf} = 9.807 \text{ N}$$

本书采用国际单位制。

因为力是既有大小又有方向的量,所以力是矢量。为了区别,本书中用黑斜体字母  $\boldsymbol{F}$  表示力矢量,用普通斜体字母  $F$  表示力矢量  $\boldsymbol{F}$  的大小。

力矢量用一个有向线段表示, 2-1。有向线段的起点(或终点)表示力的作用点,线段的长度表示力的大小,线段的方位和指向表示力的方向。其中,线段所在的直线  $mn$  称为力的作用线。习惯上,当物体受拉时,将力矢量的起点取为力的作用点;当物体受压时,将力矢量的终点取为力的作用点, 2-2

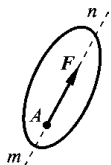


图 2-1

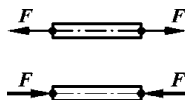


图 2-2

根据力的定义,力是物体间相互的机械作用。两个物体必定是在一定的面积(或体积)上相互作用,只是这块面积(或体积)有或大或小的区别。力的作用点即是这些作用位置的抽象。

(1) 当力的作用点分布于相对很小的面积时,作用力可简化为集中作用在一个点上,这样的力称为集中力。图 2-1 所示的力即为集中力。

(2) 当力的作用点连续分布于相对较大的面积(或体积)上时,这样的力称为分布力。分布力作用的强度用  $q$  表示,称为分布载荷集度。

**力系:**同时作用在物体上力的集合。

在实际工程中,由于工程构件受力都比较复杂,因此理论力学必须引入力系的概念,才能有效地进行力学分析。

为了叙述相关的力学问题,需要引入两个与力系相关的概念。

**平衡力系:**若在某力系作用下,物体处于平衡状态,则称该力系为平衡力系。平衡力系是力学重点研究的一类力系。

显然,并不是任何一个力系都能成为平衡力系,要成为平衡力系须满足一定的条件或限制。平衡力系应当满足的因素称为**平衡条件**。

**等效力系:**对同一物体,若两个不同的力系的作用外效应相同,则称这两个力系互为等效力系。

物体不受外力作用(或合外力为零)称为受零力系作用。基于等效力系的概念,平衡力系可表述为:若一个力系与零力系等效,则该力系称为**平衡力系**。

由平衡力系及等效力系的定义可知,任意两个平衡力系都是等效力系。

将作用在物体上的一个力系用另一个等效的力系来替换,称为**力系的等效替换**。

在各种力系的等效替换中,用一个简单的力系等效替换一个复杂力系,称为**力系的简化**。

若一个力系与一个力等效,则称此力为该力系的合力,而该力系中的各力称为合力的分力。由分力求合力的过程,称为**力系的合成**;而由合力求分力的过程,称为**合力的分解**。

一般情况下,最简单力系并不是只有一个力(或者一个力加上一个力偶)所以,力系的简化与力系的合成是完全不同的。

## 2.1.2 刚体

静力学的研究对象有质点和刚体。

**质点:**不计体积形状,只计质量的理想物体。

**刚体:**在力的作用下,内部任意两点的距离保持不变的理想物体。

客观世界中并不存在受力而不变形的物体,刚体只是一种理想化的力学模型。但由于一般工程构件的变形很小,因此在研究力对物体的运动效应时,这种变形可以忽略不计,物体可抽象为刚体。

由于刚体不变形,作用于刚体上的力作用的内效应(变形效应)自然失效,因此,在静力学中,若非特别说明,力作用的效应一般仅指外效应(运动效应)。