

土木工程 专业专升本系列教材

TUMUGONGCHENGZHUANYE
ZHUANSHENGBENXILIEJIAOCAI

工程力学

本系列教材编委会

组织编写

刘燕 主编

GONGCHENGLIXUE

中国建筑工业出版社

土木工程专业专升本系列教材

工 程 力 学

本系列教材编委会组织编写

刘 燕 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程力学/刘燕主编. —北京: 中国建筑工业出版社,

2003

(土木工程专业专升本系列教材)

ISBN 7-112-05440-0

I. 工... II. 刘... III. 工程力学—高等学校—教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 043667 号

土木工程专业专升本系列教材

工程力学

本系列教材编委会组织编写

刘 燕 主编

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京市兴顺印刷厂印刷

*

开本: 787 × 960 毫米 1/16 印张: 28 $\frac{1}{2}$ 字数: 588 千字

2003 年 8 月第一版 2003 年 8 月第一次印刷

印数: 1—3,000 册 定价: 39.00 元

ISBN 7-112-05440-0

TU · 4764 (11054)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本书是土木工程专业专升本系列教材之一，是根据教育部高等教育司 1998 年 4 月颁布的《全国成人高等教育工学主要课程教学基本要求》而编写的。

本书以成人高等教育的培养目标为依据，在保证教育质量与普通高校大体一致的前提下，充分考虑成人教育的特点及专升本学生已具有的力学基础，以工程应用为目的，基本理论以“必需”、“够用”为度，强化力学概念，淡化科学体系。将原理论力学和材料力学中的内容相互贯通、融合与渗透，形成了工程力学的新体系。

全书共分三篇，第一篇刚体静力分析，第二篇弹性静力分析，第三篇动力分析。为便于自学，每章首有学习要点，指出各章的学习重点和关键内容，章末有学习小结，并配以适当的思考题，启发读者思考、分析、研究问题，且附有习题和答案。

本书作为土木专业专升本教材，也可供相近专业的各类成人教育、电视大学、职工大学和自学考试的学生及其他专业技术人员参考。

* * *

责任编辑 陈桦

土木工程专业专升本系列教材编委会

- 主 任：**邹定琪（重庆大学教授）
- 副主任：**高延伟（建设部人事教育司）
- 张丽霞（哈尔滨工业大学成人教育学院副院长）
- 刘凤菊（山东建筑工程学院成人教育学院院长、研究员）
- 秘书长：**王新平（山东建筑工程学院成人教育学院副院长、副教授）
- 成 员：**周亚范（吉林建筑工程学院成人教育学院院长、副教授）
- 殷鸣镝（沈阳建筑工程学院书记兼副院长）
- 牛惠兰（北京建筑工程学院继续教育学院常务副院长、副研究员）
- 乔锐军（河北建筑工程学院成人教育学院院长、高级讲师）
- 韩连生（南京工业大学成人教育学院常务副院长、副研究员）
- 陈建中（苏州科技学院成人教育学院院长、副研究员）
- 于贵林（华中科技大学成人教育学院副院长、副教授）
- 梁业超（广东工业大学继续教育学院副院长）
- 王中德（广州大学继续教育学院院长）
- 孔 黎（长安大学继续教育学院副院长、副教授）
- 李惠民（西安建筑科技大学成人教育学院院长、教授）
- 朱首明（中国建筑工业出版社编审）
- 王毅红（长安大学教授）
- 苏明周（西安建筑科技大学副教授）
- 刘 燕（北京建筑工程学院副教授）
- 张来仪（重庆大学教授）
- 李建峰（长安大学副教授）
- 刘 明（沈阳建筑工程学院教授）
- 王 杰（沈阳建筑工程学院教授）
- 王福川（西安建筑科技大学教授）
- 周孝清（广州大学副教授）

前 言

本教材以教育部高等教育司 1998 年 4 月颁布的《全国成人高等教育工科主要课程教学基本要求》为依据编写。

工程力学是工科类专业一门重要的技术基础课。本教材涵盖了原理论力学和材料力学两门课程的主要内容。

本教材体现了面向 21 世纪、具有中国成人教育特色的力学课程体系，主要表现在：

1. 以成人高等教育的培养目标为依据，在保证教育质量与普通高校大体一致的前提下，充分考虑成人教育的特点，以应用为目的，基本理论以“必需”、“够用”为度，强化力学概念，淡化科学体系，向工程应用型转变，以满足培养工程应用型人才的需要。

2. 精选教学内容，改革力学课程体系。本教材在教学内容的选取上，既保证了原理论力学和材料力学中最基本、最主要的经典内容，又避免了两门课程之间不必要的交叉和重叠，将全部内容分成了：刚体静力分析、弹性静力分析和动力分析三部分，实现了两门课程内容的相互贯通、融合与渗透，形成了工程力学的新体系。

3. 考虑到专升本学生已具有的力学基础，以巩固、加深静力平衡条件的应用，构件的几种基本变形的强度、刚度计算为前题，重点突出空间力系平衡条件的工程应用、重心的确定、工程运动力学理论在工程实际中的应用、应力状态的概念、组合变形的计算、能量方法的应用以及交变应力下的疲劳强度计算。

4. 为便于自学，每章首有学习指导，章末有学习小结，并配以适当的思考题，指出各章的学习重点和关键内容，启发读者思考、分析、研究问题。并附有习题和答案。

5. 教材在叙述上通俗易懂，深入浅出，对于各种基本概念与基本原理的阐述简明扼要，使读者在学习过程中能得到“举一反三、以简驭繁”的效果。

本书由刘燕主编并负责全书的统稿工作。全书共分为三篇，第一篇刚体静力分析，第二篇弹性静力分析，第三篇动力分析。其中：绪论、第一、二、三、四章由唐晓雯编写；第五、六、七章由刘德华编写；第八、十、十一章、附录 2 由张富强、刘燕编写；第九章由张富强、唐晓雯编写；第十二、十三、十四章由刘燕编写。

承蒙重庆大学邹定祺教授详细地审阅了本书的初稿，提出了宝贵的修改意见，编者谨向邹定祺教授表示诚挚的谢意。在本书的编写过程中，还得到了北京建筑工程学院李晓菊老师的大力支持，在此一并表示感谢。

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 刚体静力分析

第一章 静力学基础	5
-----------------	---

第一节 基本概念	5
第二节 静力学公理	7
第三节 约束与约束反力	10
第四节 物体的受力分析	14
思考题	19
习 题	20

第二章 汇交力系	22
----------------	----

第一节 力系的简化与平衡——几何法	22
第二节 力系的简化与平衡——解析法	24
第三节 应用举例	26
思考题	30
习 题	31

第三章 力矩和力偶理论	33
-------------------	----

第一节 力矩及其计算	33
第二节 力偶理论	38
思考题	44
习 题	44

第四章 一般力系	47
----------------	----

第一节 力线平移定理	47
第二节 一般力系的简化	48
第三节 简化结果分析	50
第四节 一般力系的平衡方程及其应用	54
第五节 物体系统的平衡	59
第六节 静力学应用专题	67

思考题	79
习 题	81

第二篇 弹性静力分析

第五章 基本变形及组合变形 93

第一节 杆件的内力分析	93
第二节 杆件横截面上的应力分析·强度条件	100
第三节 基本变形的变形分布	121
第四节 组合变形分析	133
思考题	144
习 题	145

第六章 应力状态及应变状态分析·强度理论 154

第一节 应力状态的概念	154
第二节 平面应力状态分析	156
第三节 三向应力状态的最大应力	166
第四节 广义胡克定律·体应变	167
第五节 复杂应力状态下的应变比能	173
第六节 平面应力状态下的应变分析	175
第七节 强度理论及应用	180
思考题	185
习 题	186

第七章 压杆稳定问题 191

第一节 概述	191
第二节 两端铰支细长压杆的欧拉临界力	194
第三节 杆端约束的影响	197
第四节 临界应力曲线	200
第五节 压杆稳定性的校核	204
第六节 有初弯曲的弹性压杆·佩里公式	210
思考题	213
习 题	213

第八章 能量方法 220

第一节 能量的基本概念及计算方法	220
第二节 卡氏定理	228

第三节	能量方法求解超静定问题	233
思考题	.....	238
习 题	.....	238
第九章	疲劳失效简介	242
第一节	引言	242
第二节	循环应力的特征与类型	244
第三节	疲劳极限与强度条件	246
思考题	.....	252
习 题	.....	252

第三篇 动力分析

第十章	运动学基础	257
第一节	点的运动学	257
第二节	刚体的基本运动	265
思考题	.....	272
习 题	.....	272
第十一章	复合运动	275
第一节	点的复合运动分析	275
第二节	刚体的平面运动	284
思考题	.....	296
习 题	.....	297
第十二章	动力学普遍定理	302
第一节	动量定理	302
第二节	动量矩定理	311
第三节	动能定理	325
第四节	动力学普遍定理综合应用	340
思考题	.....	349
习 题	.....	351
第十三章	动静法	361
第一节	惯性力 达朗贝尔原理	361
第二节	刚体惯性力系的简化	365
第三节	动静法应用	367

思考题	376
习 题	378
第十四章 虚位移原理	382
第一节 约束及其分类	382
第二节 自由度与广义坐标	385
第三节 虚位移与虚功	385
第四节 虚位移原理	388
第五节 虚位移原理的应用	390
思考题	397
习 题	398
附录 I 型钢表	402
附录 II 简单荷载作用下梁的转角和挠度	411
附录 III 弹性体静载基本实验指导	413
附录 IV 习题答案	434
参考文献	444

绪 论

一、力学的发展与作用

力学作为一门科学应该从牛顿时代算起，它和天文学一起是最早形成的两门自然科学。到 19 世纪末，力学理论已发展到很高的水平，同时也开始了与工程技术问题的结合。力学既属于自然科学也属于工程科学；既是工程科学的基础，又是人类改造自然、征服自然的工具。当代许多重要的工程技术，如“宇航工程、土木工程、机械工程、海洋工程等都是以力学为基础的，在这些工程中遇到的许多重大技术难题都是力学问题。力学已从一门基础科学发展成为以工程技术为背景的应用基础科学。当今几乎所有的工程技术领域都离不开力学，它已渗透到工程技术的各个领域并发挥着重要的作用。

二、工程力学的研究对象和内容

力学是研究物体机械运动规律的科学。机械运动是指物体的空间位置随时间的变化。固体的运动和变形，气体和液体的流动都属于机械运动。工程力学的研究对象是运动速度远远小于光速的宏观物体。所研究的内容是以牛顿运动定律、线弹性体的胡克定律、叠加原理为基础，密切联系工程实际，分析并研究物体的受力、平衡、运动、变形等方面的基本规律，为工程结构的力学设计提供理论依据和计算方法。工程力学成为工科学生接触工程计算的第一门课程。

工程力学课程的基本内容包括：刚体静力分析、弹性静力分析和动力分析等三部分。

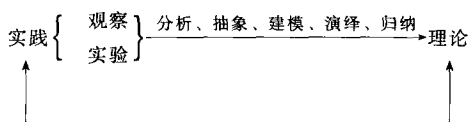
刚体静力分析——研究物体的平衡规律，同时也研究力的一般性质及其合成法则。

弹性静力分析——研究平衡状态下的弹性体，在外力作用下的受力、变形与失效规律，为工程构件的静力学设计提供有关强度、刚度与稳定性分析的基本理论和计算方法。

动力分析——研究物体的运动规律以及与所受力之间的关系，提供为工程结构进行动力设计的计算方法。

三、工程力学的研究方法

力学是最古老的科学之一，它的产生和发展的过程就是人类对物体运动认识的深化过程，而这种认识是通过长期的生产实践和无数次的科学实验而形成的。经过无数次的“实践——理论——实践”的反复循环，使认识不断提高和深化，逐步总结并归纳出物体机械运动的一般规律，即：



工程力学研究方法的特点：

1. 抽象化方法——分析问题特征，建立符合工程实际的力学模型（如力、刚体、质点、弹性固体等）。
2. 数学演绎法——采用数学演绎的方法，根据力学原理建立各力学量之间的数量关系（即建立方程），从而揭示各物理量之间的内在联系及机械运动的实质。

四、学习工程力学的目的

工程力学是一门理论性较强的技术基础课。通过本课程的学习，为后继课程（如结构力学、弹性力学、钢筋混凝土等）的学习打好必要的基础。通过学习，能应用工程力学的基本理论和研究方法，分析、解决一些较简单的工程实际问题；通过学习，培养正确分析问题和解决问题的能力，为今后解决工程实际问题，从事科学研究打下良好的基础。

第一篇 刚体静力分析

刚体静力分析，亦称刚体静力学，是以刚体作为讨论力学问题的模型，研究物体在力系作用下的平衡规律。这一任务包括以下三个方面：

1. 物体的受力分析

即分析结构或构件所受到的各个力的方向和作用线位置。

2. 力系的等效与简化

即研究如何将作用在物体上的一个复杂力系用简单力系来等效替换，并探求其力系的合成规律。通过力系的等效与简化了解力系对物体作用的总效应。

3. 力系的平衡条件与平衡方程

寻求物体处于平衡状态时，作用在其上的各种力系应满足的条件，即力系的平衡条件。利用平衡条件建立所对应力系的数学方程，称为平衡方程。

应该指出，刚体静力学的核心问题是利用平衡方程求解物体或物体系统的平衡问题，而研究力系的等效简化则是为了探求、建立力系的平衡条件。

工程上许多机器零件、构件以及工程结构物的设计，必须运用刚体静力学的知识进行受力分析，并根据平衡方程求解这些力。所得平衡问题的结果又是弹性静力分析、结构力学等后续内容及课程中构件强度、刚度的计算依据。此外，刚体静力学中力系简化的理论和物体的受力分析也为运动力学的研究提供了理论依据。所以，刚体静力学是工程设计与计算的基础，在工程技术中有着广泛的应用。

第一章 静力学基础

学 习 要 点

静力学基础概括了工程力学的基本概念、基本理论和基本分析方法，既是刚体静力学、弹性静力学的基础，也是运动力学中物体受力分析的基础。通过本章的学习，应达到下述基本要求：

- (1) 深入理解力、刚体、平衡和约束等重要的基本概念。
- (2) 正确领会静力学公理的含义和应用范围，熟练掌握静力学公理在工程力学中的作用以及它们之间的相互联系与补充。
- (3) 熟练掌握几种常见约束的类型、特点及其约束反力的确定原则。
- (4) 能正确对物体进行受力分析，熟练而准确地画出单个物体或物体系统的受力图，这是学好工程力学知识并应用于工程解决实际问题的关键。

第一节 基本概念

一、平衡

平衡是指物体相对惯性参考系静止或作匀速直线平行移动的状态。显然，平衡是机械运动的一种特殊运动形式。在实际工程中，若无特殊声明，平衡是相对地球而言的，因此，一般把固连于地球表面的参考系称为惯性参考系。

二、力

(一) 力的定义

力是物体间相互的机械作用，这种作用的结果使物体的运动状态发生改变（称为力的运动效应，也称力的外效应），或使物体的形状发生改变（称为力的变形效应，也称力的内效应）。刚体静力学的研究对象是刚体或刚体系统，只研究力对物体的外效应。而力对物体的变形效应即力的内效应将在弹性静力学中讨论。

(二) 力的表示

实践表明，力的效应取决于力的大小、方向和作用点，即力的三要素。通常用一带箭头的有向线段来表示，如图 1-1 所示。线段的长短表示力的大小，箭头指向表示力的方向，始端 A 表示力的作用点。力是一个有大小和方向的量，所

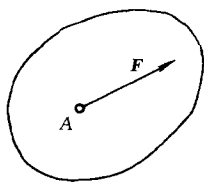


图 1-1 力的表示

以, 力是矢量, 服从矢量的运算规则。在本书中, 力矢量均用黑斜体字母表示, 力的大小用普通字母表示。例如, $\boldsymbol{F}$ 表示力矢量, 而 F 则表示力 $\boldsymbol{F}$ 的大小。

(三) 力的单位

本教材采用国家法定的计量单位, 力的单位是 N (牛), 或 kN (千牛), $1\text{kN} = 10^3\text{N}$ 。

(四) 力系

力系是指作用在同一物体上的一群力 (也称力的集合)。

(1) 平衡力系 使物体处于平衡状态的一群力。

(2) 等效力系 可以相互替换而不改变对物体作用效果的两群力, 互称为等效力系。

(3) 合力 与某力系作用效果相等的一个力, 称为该力系之合力。而力系中的各个力则称为此合力的分力。

(4) 分布力 物体间的相互机械作用分布在不能忽略其大小的一接触面积上。例如, 水对闸门的压力, 房梁的自重等 (图 1-2)。

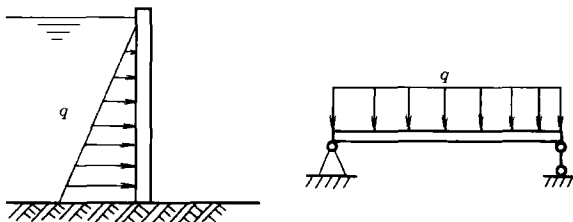


图 1-2 分布力

(5) 集中力 物体间的相互机械作用可简化为集中于一点。例如, 起吊重物的重力 $\boldsymbol{F}$ 对行车大梁的作用 (图 1-3)。

三、刚体

刚体是指在力的作用下不发生变形的物体。

实际上, 在力的作用下, 任何物体都会发生变形。但实际工程结构的变形一般非常微小, 如桥梁、行车大梁等, 按设计要求, 允许其工作变形限制在总长的 $1/500 \sim 1/200$ 以内, 电机传动轴的允许扭转角控制在 $(0.5^\circ \sim 1^\circ)/\text{m}$ 以内。实践证明, 如此微小的变形对研究物体机械运动的影响甚微。因此在讨论力对物体的运动效应时, 可将研究对象视为在力作用下不变形的物体, 即刚体。于是, 静力学又称为刚体静力

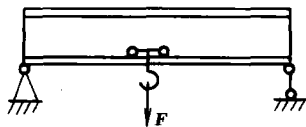


图 1-3 集中力