



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

工程力学教程

第3版

奚绍中 邱秉权 主编
邱秉权 沈火明 修订

高等教育出版社



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

工程力学教程

GONGCHENG LIXUE JIAOCHENG

第3版

奚绍中 邱秉权 主编
邱秉权 沈火明 修订

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。第1版于2004年出版,是教育科学“十五”国家规划课题研究成果;第2版于2009年出版,是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本教材按高等学校工科本科工程力学课程中、少学时(48~96学时)的要求编写,涵盖了理论力学和材料力学的主要内容。

全书共18章,包括静力学基础、平面基本力系、平面任意力系、摩擦、空间力系和重心、拉伸和压缩、扭转、弯曲、应力状态分析和强度理论、组合变形、压杆的稳定性、点的运动、刚体的基本运动、点的复合运动、刚体的平面运动、质点的运动微分方程、动力学普遍定理、动静法。本书在叙述某些概念和方法的同时,给出了相关的思考题,可供课堂讨论之用。本书具有很强的教学适用性,有助于培养工程应用型人才。

本书可作为高等学校工科本科非机类及相关专业中、少学时工程力学课程的教材,也可供高职高专与成人高校师生、网络教育及有关工程技术人员参考。

本书配有电子教案。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学教程 / 奚绍中, 邱秉权主编. --3版. --
北京: 高等教育出版社, 2016.3
ISBN 978-7-04-044768-2

I. ①工… II. ①奚… ②邱… III. ①工程力学-高等学校-教材 IV. ①TB12

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第019685号

策划编辑 黄强 责任编辑 赵向东 封面设计 李卫青 版式设计 马敬茹
插图绘制 杜晓丹 责任校对 王雨 责任印制 田甜

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
印刷 固安县铭成印刷有限公司
开本 787 mm×960 mm 1/16
印张 30.5
字数 560千字
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.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>
版 次 2004年7月第1版
2016年3月第3版
印 次 2016年3月第1次印刷
定 价 44.00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 44768-00

第3版前言

本教程2004年初版问世，于2009年进行了第2版修订，此两版均以“西南交通大学应用力学与工程系”名义署名。本次修订为第3版。现作者借本书修订再版之际，首先对曾使用或阅读过本书的老师、同学及所有读者对本书的厚爱，表示诚挚的谢意。

本次修订力图体现对高等学校工科专业学生三种能力的培养，即对工程对象正确建立力学模型的能力，进行力学分析的能力，以及利用力学的基本概念判断分析结果正确与否的能力。

根据教育部高等学校力学基础课程教学指导分委员会制定的《高等学校理工科非力学专业力学基础课程教学基本要求》(2012年由高等教育出版社出版)，以及在教学实践中发现的问题和广大读者的意见，本书第3版修订中做了如下工作：

(1) 基于当前力学课程教学学时日渐减少的情况，编写和修订中在保证系统的完整性、严密性的基础上，始终保持内容简洁。理论推导重点在平面问题，有些空间问题以类推处置。但也应该注意到，在工程各类事故中，除了因设计和施工原因外，不少事故与运动力学原因有关(如侧翻)，本书保留必要的运动力学最基本的原理。因此，本书分为三篇，即第一篇静力学、第二篇材料力学、第三篇运动学和动力学，根据课程学时的设置，可灵活进行内容组合。

(2) 增加了工程力学课程概论，简要介绍了力学在我国的发展情况；将“平面汇交力系”和“力矩与平面力偶系”两者合为“平面基本力系”；增加了“组合变形”一章。

(3) 为了提高学生的工程意识，增补或更换了部分例题、习题和思考题。突出从“工程结构”到“力学模型”的建模能力训练。期望在提高读者学习工程力学兴趣的同时，提高其工程意识、工程建模能力和应用力学知识解决工程实际问题的能力。

作为国家级精品课程、国家精品资源共享课程和中国大学MOOC的核心教材，与本书配套的大量教学资源可以在爱课程网上进行查阅。

本次修订由西南交通大学沈火明教授(第1章至第11章)、邱秉权教授

(第12章至第18章)负责,并由邱秉权教授统稿。修订工作得到了西南交通大学工程力学国家级教学团队建设项目、工程力学国家精品资源共享课程建设项目和教务处教材建设项目的资助,在此表示衷心的感谢。

本书承蒙南京航空航天大学邓宗白教授认真审阅,他提出了一些很好的修改意见,在此谨致诚挚谢意。

限于作者的水平,书中不足及错漏之处,恳请读者批评指正。

编者

2015年10月

第2版前言

本教材第1版自2004年出版以来,得到了广大教师和学生的真诚关心和大力支持。现根据我们几年来的教学实践和听取了部分老师的意见作了局部修订,主要有:

1. 加强了“摩擦”这一部分内容,单独列为一章;增加了“空间力系和重心”这一章。
2. 将原书“内力和内力图”这一章内的“轴力及轴力图”、“扭矩和扭矩图”和“剪力和弯矩”、“剪力图和弯矩图”分别归入“拉伸和压缩”、“扭转”和“弯曲”等各章,以利讲解。
3. 在习题选取中,力争结合实际。
4. 正文中对重点部分加注重点符号。
5. 对第1版作了全面、认真的校核,并将疏漏之处更正。

本次修订工作由葛玉梅(第1~11章)、邱秉权(第12~18章)执笔完成,电子教案由葛玉梅主持完成。

本次修订承蒙大连理工大学郑芳怀教授、清华大学贾书惠教授审阅。对他们认真审阅和仔细指点深表谢意。使用该教材第1版的教师和学生也对本书提出了许多宝贵意见。在此谨向他们表示衷心的感谢。

虽然经过我们的努力,但限于执笔者的水平,书中难免仍存在不足之处,衷心希望广大读者和使用者提出批评和指正。

西南交通大学 力学与工程学院
2008年10月

第 1 版前言

本教材按 70~90 课内学时编写,适用于大学本科“工程力学”课程安排为中、少学时的各专业以及大专院校的专科教学之用,亦可供成人教育及网络教育使用。

本教材涵盖了理论力学和材料力学的主要内容。在内容的安排上,先讲授静力学基本理论、内力和内力图,然后是构件的强度、刚度和稳定性计算,最后讲授运动学和动力学基本理论。

教材中结合理论分析和例题,列有一定数量的思考题,以启发读者深入思考,其中包括初学者易于误会之处以及需要灵活掌握的方法。编者在选择这些问题时力戒呆板,以防学生死记硬背。在教学中,这些思考题也可供课堂讨论使用。

本教材由西南交通大学应用力学与工程系编,奚绍中、邱秉权执笔,葛玉梅参加了编写工作。本教材是在奚绍中、邱秉权主编的《工程力学》(西南交通大学出版社,1987)的基础上改编而成的,曾参加该书编写的有陈均衡(泸州化工专科学校)、李志君、周坤如、万长珠、罗无量、毛文义、张茂修以及奚绍中、邱秉权。

本教材收录了一些工程设计中曾经出现过问题的、与计算简图相关的内容,如简支梁桥的约束条件以及长千斤顶油缸弯曲刚度对临界力的影响等。在强度理论部分还介绍了我国学者俞茂宏于 1961 年提出的“双剪应力屈服准则”。本教材充分吸纳了执笔人过去 40 余年从事工科力学教学和编写多种力学教材的经验,具有很强的教学适用性,并有利于培养工程应用型人才。

本教材承蒙大连理工大学郑芳怀教授审阅,谨此致谢。

由于执笔人能力有限,书中难免存在不足之处,衷心希望读者批评指正。意见请寄:西南交通大学应用力学与工程系(四川省成都市,邮编:610031)。

西南交通大学应用力学与工程系
2004 年 2 月

目 录

绪论	1
----	---

第一篇 静力学 7

第 1 章 静力学基础	9
§ 1-1 静力学的基本概念	9
§ 1-2 静力学公理	12
§ 1-3 约束和约束力	16
§ 1-4 物体受力分析和受力图	23
习题	26
第 2 章 平面基本力系	31
§ 2-1 平面汇交力系合成与平衡的几何法	31
§ 2-2 平面汇交力系合成与平衡的解析法	36
§ 2-3 平面力对点之矩的概念及其计算	43
§ 2-4 平面力偶系的合成与平衡	45
习题	52
第 3 章 平面任意力系	57
§ 3-1 力线平移定理	58
§ 3-2 平面任意力系向一点简化	59
§ 3-3 分布荷载	63
§ 3-4 平面任意力系的平衡	65
§ 3-5 平面平行力系的平衡	68
§ 3-6 物体系的平衡问题·静定与超静定的概念	69
§ 3-7 平面静定桁架的内力分析	73
习题	76
第 4 章 摩擦	81
§ 4-1 滑动摩擦	81

§ 4-2 考虑摩擦时的物体平衡问题	84
§ 4-3 滚动摩擦阻的概念	90
习题	93
第 5 章 空间力系和重心	96
§ 5-1 空间汇交力系的合成与平衡	96
§ 5-2 力对点之矩与力对轴之矩	101
§ 5-3 空间力偶系的合成与平衡	104
§ 5-4 空间任意力系的简化·主矢与主矩	108
§ 5-5 空间任意力系的平衡	113
§ 5-6 重心和形心的坐标公式	117
§ 5-7 确定重心和形心位置的具体方法	120
习题	122

第二篇
材 料
力 学 127

第 6 章 拉伸和压缩	129
§ 6-1 轴力及轴力图	129
§ 6-2 横截面上的应力	131
§ 6-3 拉压杆的强度计算	135
§ 6-4 斜截面上的应力	138
§ 6-5 拉(压)杆的变形与位移	141
§ 6-6 拉(压)杆内的应变能	145
§ 6-7 低碳钢和铸铁受拉伸和压缩时的力学性能	149
§ 6-8 简单的拉、压超静定问题	155
§ 6-9 拉(压)杆接头的计算	160
习题	163
第 7 章 扭转	168
§ 7-1 扭矩和扭矩图	168
§ 7-2 薄壁圆筒扭转时的应力和变形	170
§ 7-3 圆杆扭转时的应力和变形	172
§ 7-4 受扭圆杆的强度条件及刚度条件	182
§ 7-5 等圆截面直杆在扭转时的应变能	187

§ 7-6 矩形截面杆的扭转·····	190
习题·····	194
第 8 章 弯曲 ·····	198
§ 8-1 剪力和弯矩·剪力图和弯矩图·····	198
§ 8-2 剪力图和弯矩图的进一步研究·····	204
§ 8-3 弯曲正应力·····	207
§ 8-4 惯性矩的平行移轴公式·····	217
§ 8-5 弯曲切应力·····	219
§ 8-6 梁的强度条件·····	225
§ 8-7 挠度和转角·····	228
§ 8-8 弯曲应变能·····	234
§ 8-9 超静定梁·····	238
习题·····	242
第 9 章 应力状态分析和强度理论 ·····	248
§ 9-1 概述·····	248
§ 9-2 平面应力状态分析·····	249
§ 9-3 平面应力状态下的胡克定律·····	253
§ 9-4 三向应力状态·····	255
§ 9-5 强度理论及其应用·····	259
习题·····	265
第 10 章 组合变形 ·····	267
§ 10-1 弯曲与拉伸(压缩)的组合变形·····	268
§ 10-2 弯曲与扭转的组合变形·····	272
§ 10-3 斜弯曲·····	276
习题·····	278
第 11 章 压杆的稳定性 ·····	281
§ 11-1 关于稳定性的概念·····	281
§ 11-2 细长中心压杆的临界荷载·····	283
§ 11-3 欧拉公式的适用范围·临界应力总图·····	288
§ 11-4 压杆的稳定条件和稳定性校核·····	290
习题·····	293

第三篇
运动学
与
动力学 297

第 12 章 点的运动	299
§ 12-1 运动学的基本内容·参考系	299
§ 12-2 点的运动的矢量表示法	300
§ 12-3 点的运动的直角坐标表示法	301
§ 12-4 点的运动的自然表示法(弧坐标表示法)	305
习题	312
第 13 章 刚体的基本运动	314
§ 13-1 刚体的移动	314
§ 13-2 刚体的定轴转动	315
§ 13-3 转动刚体上点的速度和加速度	319
习题	323
第 14 章 点的复合运动	327
§ 14-1 绝对运动、相对运动和牵连运动	327
§ 14-2 点的速度合成定理	329
§ 14-3 牵连运动为移动时点的加速度合成定理	332
习题	335
第 15 章 刚体的平面运动	339
§ 15-1 刚体平面运动分解为移动和转动	339
§ 15-2 平面图形上点的速度·速度瞬心	341
§ 15-3 平面图形上点的加速度	349
习题	352
第 16 章 质点的运动微分方程	355
§ 16-1 动力学的基本定律	355
§ 16-2 质点的运动微分方程	358
习题	364
第 17 章 动力学普遍定理	367
§ 17-1 动量定理	367

§ 17-2 动量矩定理	377
§ 17-3 动能定理	391
§ 17-4 动力学普遍定理的综合应用	405
习题	411
第 18 章 动静法	417
§ 18-1 关于惯性力的概念	417
§ 18-2 质点的动静法	419
§ 18-3 质点系的动静法	422
§ 18-4 刚体惯性力系的简化	423
习题	431
附录 I 型钢表	434
附录 II 简单荷载作用下梁的挠度和转角	447
参考文献	450
习题答案	451
索引	463
Synopsis	467
Contents	468
执笔者简介	

绪 论

工程力学涉及众多的力学学科分支与广泛的工程技术领域。作为高等工科院校的一门技术基础课程,工程力学主要涵盖了原有“理论力学”和“材料力学”中的大部分内容,同时也适当增加了现代力学计算分析的一些新内容。

力学是研究宏观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,它是物体运动最基本的形式。固体的位移和变形、气体和液体的流动都属于机械运动。力是物体之间的一种相互作用,机械运动状态的变化是由力引起的。

力学涉及工程的各个领域,如土木工程、机械工程、交通工程、航空航天工程等。力学的发展始终和人类的生产活动紧密结合,而各种工程技术问题的解决也有很多需要依靠力学知识的积累和理论的发展。

一、力学在我国的发展

我国历史悠久,很早就发明和利用了杠杆、斜面和滑轮等简单机械。《墨经》中就有关于力学的论述,如力的定义、重心和力矩的概念、柔索不能抵抗弯曲等。公元前 250 年,在秦国蜀郡太守李冰领导下建成了至今仍闻名中外的都江堰。公元 31 年,东汉时的杜诗创造了水排,这是世界上最早的水力机械。公元 132 年,东汉的张衡发明了精密度很高的候风地动仪(图 1),这是世界上最早的地震仪。在建筑方面,隋代工匠李春建造的赵州桥(在河北赵县,图 2),拱券净跨度达 37.4 m,券高只有 7 m,拱极平缓。桥两端还做了小券拱,既节省材料,减轻自重,增加美观,还可宣泄洪水,增加桥的安全。桥宽从两端向中间逐渐减小,使两旁各券拱向内倾斜,大大加强了桥的稳定性。公元 3 世纪,我国已出现了铁索桥;大渡河上的泸定铁索桥,建于 17 世纪末,净长百米,至今完好无损(图 3)。建筑技术方面的重要著作有北宋初年木工喻皓的

《木经》，以及李诫于 1100 年主编写成的《营造法式》，这是世界上最早最完备的建筑学专著，它总结了结构的力学分析和计算，统一了建筑规范。斗拱(图 4)是我国木工创造的，它可以增大支点接触面积，并减小木梁的跨度。山西应县至今保存完好的木塔(图 5)，高 67 m，建于 1056 年，塔中有五十多种形式的斗拱。



图 1

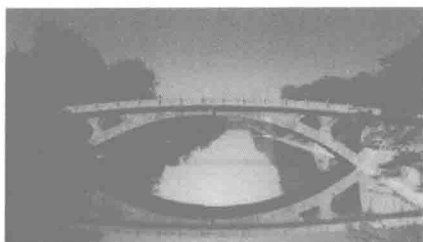


图 2



图 3

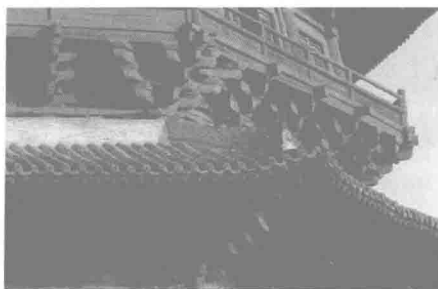


图 4



图 5

新中国成立以来，我国各项建设与力学相互促进，取得了许多杰出的成就。铁路工程技术方面，如著名的南京长江大桥和世界最长的行车铁路两用吊桥香港青马大桥(图 6)，以及青藏铁路(图 7)、京沪高铁(图 8)等，说明我国铁路工程技术已达到相当高的水平。在公路建设方面，建成了川藏、青藏、新藏公路，著名的上海杨浦大桥(主跨 602 m,图 9)及江阴长江公路大桥(主跨 1 385 m)等。在航天建设方面，1970 年成功地发射了第一颗人造地球卫星，后又多次实现了卫星的回收；2003 年第一次成功发射了神舟五号载人飞船(图 10)；2007 年发射了嫦娥一号月球探测卫星(图 11)。在房屋建筑方面，如上海金茂大厦(图 12)等。在水利水电建设方面，有荆江分洪工程及遍布在黄河、长江等大小河流上的水电站，如长江葛洲坝水电站、长江三峡水电站(图 13)等。此外，我国的现代机械机电工业、汽车工业、造船工业、航空工业等也都从无到有地逐步建立起来。

当前，各种新型结构不断涌现，地震、冲击波、风压力、水压力和机器振动等对结构的影响，都对力学工作者提出了许多新的问题。许多力学课题的解决，表明了我国力学科学水平的提高。在实现科学现代化的进程中，还会有更多的力学课题等待我们去解决。同时应看到，与世界先进水平相比，我们还有不小的差距，应坚持不懈，努力促进我国力学的更大发展。

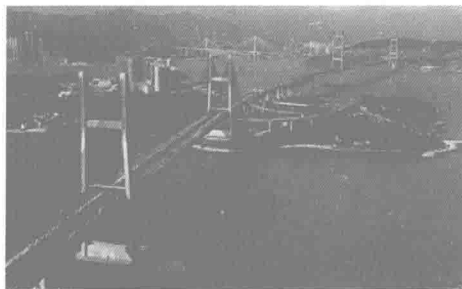


图 6

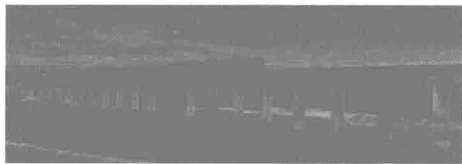


图 7

二、工程力学的研究内容

为了便于解决工程实际问题及遵从循序渐进的认识规律，本书分为三篇，即第一篇静力学、第二篇材料力学、第三篇运动学与动力学。

在第一篇静力学中，主要研究力的基本性质、物体受力分析的基本方法及物体在力系的作用下处于平衡的条件。

在结构的设计与施工中，一定要用到静力学的知识。如在设计厂房时，就要先分析屋架、吊车梁、柱、基础等构件受到哪些力的作用，需对它们分别进行受力分析。这些力中的大部分力是未知的，但是，这些构件是在所有这些力



图 8



图 9



图 10

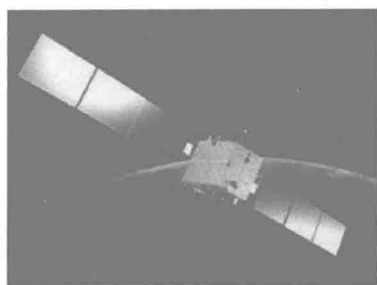


图 11

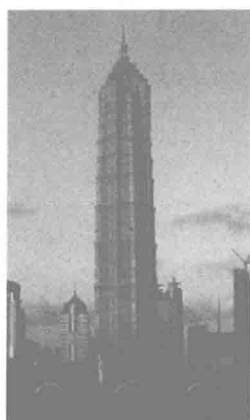


图 12



图 13

的作用下处于平衡的,应用力系的平衡条件,就可求出未知的那部分力。而要掌握力系的平衡条件,就要研究力的基本性质,研究力系的合成规律。只有应用静力学原理对构件进行受力分析并算出这些力,才能进一步设计这些构件的断面尺寸及钢筋配置情况等。

在第二篇材料力学中,主要以杆、轴、梁等物体(统称为构件)为研究对象,这些构件的原材料被看作由均匀、连续且具有各向同性的线性弹性物质所构成。在此假设下,主要研究构件在外力作用下的应力、变形和能量,以及材料在外力和温度共同作用下所表现出的力学性能和失效行为。材料力学是工程设计的重要组成部分,即设计出杆状构件或零、部件的合理形状和尺寸,以保证它们具有足够的强度、刚度和稳定性。

在本篇研究中,仅限于材料的宏观力学行为,不涉及材料的微观机理。

在第三篇运动学与动力学中,将首先从几何学的观点来研究物体的运动规律,而不考虑影响物体运动的物理因素(如力和质量等),然后研究物体的运动变化与它所受的力及它的质量等因素之间的关系。

在设计传动机构或操作机器时,要分析各部分之间运动的传递与转变,研究某些点的轨迹、速度和加速度,看能否符合要求。如卷扬机作业时,电机启动后,通过减速机构使卷筒转动,钢丝绳便将重物提升;已知电机的转速,求重物的提升速度,这就属于运动学的问题。若已知重物的质量及提升速度,要考虑选用多大功率的电机,这就属于动力学的问题。

三、工程力学的学习方法

工程力学系统性比较强,各部分有比较紧密的联系,学习时要循序渐进,并及时解决不清楚的问题。

要注意深入体会和掌握一些基本概念,不仅掌握公式的推导,还应理解其物理意义。

要注意各个章节的主要内容和重点;注意有关概念的来源、含义和用途;要注意各个章节之间在内容和分析问题的方法上有什么不同,又有什么联系。要学会思考,善于发现问题,并加以解决。

做习题是运用基本理论解决实际问题的一种基本训练。要注意例题的分析方法和解题步骤,从中得到启发。通过做题,可以较深入地理解和掌握一些基本概念和基本理论,既要足够数量的习题,更要重视做题的质量。

要学会从一般实际问题中抽象出力学问题,进行理论分析。在分析中,要力求做到既能做定性的分析,又能做定量的计算。