



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

工程力学

(第三版)

主编 谢刚 沈冰 闫晓媛

3



NEUPRESS
东北大学出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

工 程 力 学

(第三版)

主 编 谢 刚 沈 冰 闫晓媛
副主编 陈祖坤 吕海鸥 张 斌
朱劲松 王世强

东北大学出版社

· 沈 阳 ·

© 谢 刚 沈 冰 闫晓璠 2007

图书在版编目 (CIP) 数据

工程力学/谢刚, 沈冰, 闫晓璠主编. —3 版. —沈阳: 东北大学出版社, 2007.3

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-81102-371-8

I. 工… II. ①谢… ②沈… ③闫… 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 (2007) 第 026390 号

内 容 提 要

本书 2006 年被教育部评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。全书共 26 章, 内容包括: 静力学基础、平面汇交力系、力矩与力偶、平面任意力系、摩擦、空间力系、点的运动、刚体的基本运动、点的合成运动、刚体的平面运动、动力学基本方程、动静法、动力学定理、机械振动基础、拉伸和压缩、剪切与挤压的实用计算、扭转、直梁的弯曲、应力状态和强度理论、组合变形时构件的强度、压杆稳定、动载荷、静定平面刚架、桁架、多跨梁的计算、结构位移的计算、用力法计算超静定结构。每章后均有思考题、习题, 书后附有答案。

本书为教育部推荐使用教材, 2005 年获辽宁省优秀畅销书奖, 全国高校教材书目征订, 全国各地新华书店经销。本书可作为高职高专近机类教材, 也可作为本科非机类各专业工程力学 (少学时) 的教学用书。高等学校本科各专业, 可选用本书第四版。

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress.com

http: // www. neupress. com

印 刷 者: 沈阳市第六印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所发行

幅面尺寸: 184mm × 260mm

印 张: 20.625

字 数: 508 千字

印 数: 16281 ~ 20281

出版时间: 2007 年 3 月第 3 版

印刷时间: 2007 年 3 月第 11 次印刷

责任编辑: 任彦斌

责任校对: 刘 锋

封面设计: 唐敏智

责任出版: 秦 力

ISBN 978-7-81102-371-8

定 价: 25.00 元

普通高等教育“十一五”国家级规划教材《工程力学》编委会

主任委员：谢刚

副主任委员：(以下按姓氏笔画排序)

闫晓媛 任彦斌 沈冰 陈祖坤

常务副主任委员：任彦斌

编委：王世强 吕海鸥 金长虹 张斌

祝瑛 祝晓燕 陈丽华

第三版前言

本书第一版由原电力部组织沈阳、西安、太原、山东、郑州、长春、北京等全国八所电力高等专科学校联合编写。作者阵容强大,教材使用覆盖面宽,读者群体稳定。经过多年教学实践检验和修订,受到了用书院校广大师生及社会读者的好评,普遍反映:本书教学特色突出,体系结构合理,内容系统翔实,理论联系实际,语言简洁,实用性强,适于教学。在2005年辽宁省优秀图书评选中,该书被评为辽宁省优秀畅销书。

2006年,本书被教育部列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。2006年9月,普通高等教育“十一五”国家级规划教材《工程力学》修订研讨会在沈阳召开。沈阳工程学院、东北大学、北京交通大学、山西大学、山东电力高等专科学校、郑州电力高等专科学校、西安电力高等专科学校、华北电力大学、重庆电力高等专科学校的与会代表对《工程力学》教材的修订进行了深入的研讨,并选举产生了普通高等教育“十一五”国家级规划教材《工程力学》编委会。

近几年,经过院校调整,部分执笔学校或合并为普通高校,或新建为普通本科院校,现高等专科学校中的一些专业也提升为本科专业,原《工程力学》教材已经不能满足这些院校的现实教学需求,其教材内容也必须作相应的修订、调整和提升。鉴于上述情况,根据学科发展的需要,编委会分别组织了《工程力学》第三版(高职高专及本科非机类少学时教材)的修订工作和《工程力学》第四版(普通高校本科教材)的研讨与编写工作。

参加普通高等教育“十一五”国家级规划教材《工程力学》第三版修订的人员有:沈阳工程学院谢刚、沈冰和吕海鸥,山东电力高等专科学校陈祖坤,西安电力高等专科学校张斌,重庆电力高等专科学校王世强,郑州电力高等专科学校朱劲松和金长虹。

本书第三版更新了部分内容,增加了典型例题、习题和机械振动等内容。此外,为适应高等教育大众化的要求,本教材突出了习题和例题选材上的实用化和工程化。

在第三版修订过程中,马伟民教授、赵民教授审阅了全部书稿并提出了宝贵的意见,在此表示衷心的感谢。同时感谢东北大学出版社有关领导在教材申报、研讨及出版过程中给予的大力支持。

《工程力学》第四版是普通高等教育“十一五”国家级规划教材《工程力学》(第三版)的修订版,是高等学校本科教材。组织和参加第四版研讨、修订或编写的有:沈阳工程学院谢刚、沈冰,东北大学任彦斌,北京交通大学祝瑛,山西大学闫晓瑗,华北电力大学祝晓燕等。本书第四版将于2007年秋季出版,欢迎兄弟高等院校参编或提出宝贵的意见。

**普通高等教育“十一五”国家级
规划教材《工程力学》编委会**

2007年2月

第二版前言

本书第一版于 1998 年出版,由沈阳电力高等专科学校等 8 所专科学校的师生使用。自面世以来,受到了各学校的好评,认为是一本适用性强、实用性好、可以满足教学要求的好教材。

随着高等教育管理体制改革的深入和高等教育规模的扩大,高等职业教育蓬勃发展。本书是根据高等职业技术教育发展的要求及读者使用本教材后提出的建议而进行修订的。修订后仍保持了第一版教材内容精练简明、突出应用、联系实际、方便教学、实用性强等特点。本次修订新增加了结构力学的部分内容,主要包括:静定平面刚架、桁架和多跨梁、结构位移的计算、用力法计算超静定结构。

本教材可作为高职高专近机类各专业的教学用书,也可作为本科非机类各专业(少学时)工程力学的教学用书。

参加本书修订的同志有:沈阳电力高等专科学校沈冰、吕海鸥、尹立明、陈丽华,山东电力高等专科学校陈祖坤、王德洲,太原电力高等专科学校闫晓瑗。参加本书第一版编写的教师有:西安电力高等专科学校全婉莹、赵兴洲,长春水利电力高等专科学校姚敏,郑州电力高等专科学校孙小芳、朱劲松,北京电力高等专科学校祝瑛、刘之汀,山东电力高等专科学校陈祖坤、宋云京,太原电力高等专科学校闫晓瑗、刘宏,沈阳电力高等专科学校谢刚、张陈、尹立明;全书由于向军、沈冰主审。

由于编者水平所限,如有不当之处,敬请读者指正。

编 者

2001 年 7 月

前 言

本书是根据国家教委制定的高等工程专科学校工程力学课程教学基本要求和电力部专科教学委员会力学课程协作组制定的电力专科工程力学教学大纲组织编写的。本书适合作为电力专科学校各专业、高等工程专科学校及职工大学各专业工程力学课程的教学用书。

本书在编写过程中充分吸取了各电力专科学校近几年力学教学改革的经验,力争体现电力专科力学课程教学的特点。在内容选取上以必需够用为度,理论推导从简,加强与工程实际的联系,以利于提高读者分析问题和解决问题的能力。本书尽力做到文字简明、内容精练,方便教学,以适应当前力学课程教学时数减少的现实,充分体现专科力学教学的特点。

参加本书编写的有:西安电力高等专科学校全婉莹、赵兴洲,长春水利电力高等专科学校姚敏,郑州电力高等专科学校孙小芳、朱劲松,山东电力高等专科学校陈祖坤、宋云京,北京电力高等专科学校祝瑛、刘之汀,太原电力高等专科学校闫晓瑗、刘宏,沈阳电力高等专科学校谢刚、张陈、尹立明。全书由谢刚、闫晓瑗任主编,全婉莹、姚敏、陈祖坤、祝瑛、孙小芳任副主编,并由长春水利电力高等专科学校于向军、沈阳电力高等专科学校沈冰主审。

囿于编者水平,书中难免有错误之处,敬请读者指正。

编 者

1998年8月

目 录

绪 论	1
-----	---

第一篇 静力学

第一章 静力学基础	3
第一节 静力学基本概念	3
第二节 静力学公理	4
第三节 约束与约束反力	6
第四节 受力分析与受力图	8
思考题	11
习 题	11
第二章 平面汇交力系	13
第一节 平面汇交力系合成与平衡的几何法	13
第二节 平面汇交力系合成与平衡的解析法	15
思考题	19
习 题	19
第三章 力矩与力偶	22
第一节 力 矩	22
第二节 力 偶	24
思考题	27
习 题	27
第四章 平面任意力系	29
第一节 力的平移定理	29
第二节 平面任意力系向已知点简化	30
第三节 平面任意力系的平衡方程	32
第四节 物体系统的平衡	36
思考题	38
习 题	39
第五章 摩 擦	42
第一节 滑动摩擦	42
第二节 摩擦角和自锁	44

第三节	考虑摩擦时的平衡问题	45
思考题	.....	47
习 题	.....	48
第六章	空间力系	50
第一节	力在空间坐标轴上的投影	50
第二节	力对轴之矩	50
第三节	空间力系的平衡方程	52
第四节	重心和形心	54
思考题	.....	58
习 题	.....	58

第二篇 运动学

第七章	点的运动	60
第一节	用矢径法表示点的运动	60
第二节	用自然法研究点的运动	62
第三节	用直角坐标法研究点的运动	66
思考题	.....	69
习 题	.....	69
第八章	刚体的基本运动	71
第一节	刚体的平行移动	71
第二节	刚体的定轴转动	72
第三节	定轴转动刚体上各点的速度和加速度	74
思考题	.....	75
习 题	.....	75
第九章	点的合成运动	77
第一节	绝对运动、相对运动和牵连运动	77
第二节	速度合成定理	78
思考题	.....	81
习 题	.....	81
第十章	刚体的平面运动	83
第一节	平面运动的概念	83
第二节	平面运动分解为平动和转动	83
第三节	平面图形内各点的速度分析	85
思考题	.....	89
习 题	.....	89

第三篇 动力学

第十一章 动力学基本方程	91
第一节 质点的运动微分方程	92
第二节 刚体定轴转动微分方程及其应用	95
思考题	101
习 题	101
第十二章 动静法	103
第一节 质点的惯性力与动静法	103
第二节 质点系达朗伯原理	104
第三节 刚体惯性力系的简化	107
思考题	109
习 题	109
第十三章 动力学定理	111
第一节 动量定理	111
第二节 动量矩定理	116
第三节 动能定理	120
思考题	128
习 题	129
第十四章 机械振动基础	131
第一节 质点的自由振动	131
第二节 阻尼对自由振动的影响——衰减振动	136
第三节 强迫振动	137
第四节 隔振与减振概念	140
思考题	141
习 题	141

第四篇 材料力学

第十五章 拉伸和压缩	144
第一节 内力及拉(压)杆的内力	144
第二节 横截面上的应力	146
第三节 拉(压)杆的变形 胡克定律	148
第四节 拉压杆斜截面上的应力	150
第五节 应力集中的概念	151
第六节 材料在拉伸和压缩时的力学性能	152

第七节	拉伸和压缩的强度计算	156
第八节	拉伸和压缩的超静定问题	159
	思考题	161
	习 题	161
第十六章	剪切与挤压的实用计算	164
第一节	剪切与挤压的概念	164
第二节	剪切与挤压的应力计算	164
第三节	剪切和挤压的强度计算	165
	思考题	167
	习 题	167
第十七章	扭 转	169
第一节	扭转的概念	169
第二节	扭矩和扭矩图	169
第三节	圆轴扭转时横截面上的应力	171
第四节	圆轴扭转时的强度计算	174
第五节	圆轴扭转时的变形及刚度计算	176
	思考题	177
	习 题	177
第十八章	直梁的弯曲	179
第一节	弯曲的概念	179
第二节	梁的内力——剪力和弯矩	180
第三节	剪力图和弯矩图	181
第四节	载荷集度、剪力和弯矩间的微分关系	184
第五节	梁纯弯曲时的正应力	187
第六节	惯性矩 抗弯截面系数	190
第七节	弯曲正应力的强度条件	193
第八节	提高梁弯曲强度的措施	195
第九节	梁的变形 挠度和转角	197
第十节	挠曲线的近似微分方程及其积分	198
第十一节	用叠加法计算梁的变形	200
第十二节	超静定梁	203
	思考题	204
	习 题	204
第十九章	应力状态和强度理论	207
第一节	点的应力状态	207
第二节	二向应力状态下的应力分析	208

第三节	广义胡克定律·····	212
第四节	强度理论·····	213
第五节	压力容器·····	215
	思考题·····	218
	习题·····	218
第二十章	组合变形时构件的强度·····	220
第一节	弯曲与拉伸(压缩)的组合·····	220
第二节	弯曲与扭转的组合·····	223
	思考题·····	227
	习题·····	227
第二十一章	压杆稳定·····	229
第一节	压杆稳定的概念·····	229
第二节	确定临界力的欧拉公式·····	230
第三节	中柔度杆的临界应力·····	232
第四节	压杆的稳定计算·····	233
第五节	提高压杆稳定性的措施·····	235
	思考题·····	236
	习题·····	236
第二十二章	动载荷·····	238
第一节	构件作匀加速运动时的动应力·····	238
第二节	冲击载荷·····	240
第三节	交变应力·····	242
第四节	材料的持久极限·····	244
	思考题·····	245
	习题·····	246

第五篇 结构力学

第二十三章	静定平面刚架·····	250
第一节	概 述·····	250
第二节	静定平面刚架的计算·····	250
	思考题·····	255
	习题·····	255
第二十四章	结构位移的计算·····	256
第一节	位移计算的概念·····	256
第二节	虚功原理·····	256

第三节	平面杆件结构位移计算的单位载荷法·····	257
第四节	计算结构位移的图乘法·····	260
第五节	弹性结构的几个互等定理·····	263
	思考题·····	265
	习题·····	265
第二十五章	力法及其应用·····	266
第一节	超静定结构概述·····	266
第二节	力法的基本原理·····	268
第三节	用力法计算超静定平面刚架·····	270
	思考题·····	276
	习题·····	276
第二十六章	平面桁架和梁·····	278
第一节	静定平面桁架的计算·····	278
第二节	用力法计算超静定平面桁架·····	283
第三节	多跨静定梁的计算·····	286
第四节	用力法计算超静定梁·····	288
	思考题·····	289
	习题·····	290
	附录 1 习题答案·····	292
	附录 2 型钢表·····	300
	附录 3 工程力学名词术语中英文对照表·····	308
	参考文献·····	313

绪 论

一、工程力学的研究对象和内容

工程力学是研究物体机械运动一般规律及构件承载能力的一门学科。

物体的机械运动是指物体在空间的位置随时间的变化,它包括移动、转动和流动等,同时还包括平衡。例如流体的运动、汽轮机主轴的转动、桥式起重机跑车的移动、人造卫星的发射等,都是机械运动的例子。

本课程研究的是速度远小于光速的宏观物体的机械运动,属于古典力学的范畴。现代工程技术中遇到的力学问题,一般都属于这种情况。当物体运动的速度接近光速时,其运动规律应用相对论力学定律描述,而基本粒子的运动应用量子力学定律描述。

构件的承载能力分析,是分析构件在外力作用下的变形及其破坏规律,在确保构件既安全又经济的前提下,合理设计构件,为构件选择适宜的材料,同时提供有关强度、刚度及稳定性计算的基本理论和方法。

工程力学的内容分为 5 部分:静力学、运动学、动力学、材料力学和结构力学。

二、工程力学的研究方法

工程力学的研究方法同样离不开认识过程的客观规律。其方法为:从实践或观察实验现象开始,通过抽象、归纳、建立公理或提出基本假设,用数学演绎法推导或逻辑推理而得到有关定理及结论,再回到实践中解决实际问题,从而验证有关理论的正确性。

三、学习工程力学的目的

工程力学是一门集理论性与实践性为一体的技术基础课,是现代工程技术的重要理论基础之一,已被广泛地应用于工程技术中,例如汽轮机及发电机的设计与制造、电站建筑、电器设备的制造与安装、航空与航天技术等均涉及大量的力学问题。因此,作为一名工程技术人员,掌握工程力学的有关知识是必须的,以便直接或结合有关专业知识去解决工程技术中出现的新问题;另外,工程力学也是学习有关后续课程的基础。例如流体力学、汽轮机和机械设计基础等课程,都需要工程力学的有关理论与计算方法,而且工程力学的研究方法还有助于培养辩证唯物主义的观点以及分析问题和解决问题的能力。

四、工程力学发展简史

力学是一门历史悠久的学科,自产生以来就与生产实践密不可分,并随生产的发展而发展。

在古代,勤劳、智慧、勇敢的中国人民,应用劳动中所积累的经验开始创造了斜面、杠杆、滑轮等简单的工具或机械,用于农田灌溉、建筑、运输等方面,从而逐渐积累了一些初步的力学知识。例如,在我国的墨翟(约前 468—前 376 年)及其学派的著作《墨经》里,关于力、重心等概

念以及杠杆(秤)平衡原理的叙述,是世界上最早的有关力学的论述。经历了汉、隋、唐、宋和明代,我国力学及机械学得到了发展。汉代大科学家张衡(78—139)创造了天文仪器“浑天仪”和测量地震的“候风地动仪”。三国时代的马钧创造了利用差动齿轮传动的指南车。隋代工匠李春于581年—618年主持建造的赵州桥是世界上第一座最大的石拱桥,桥的设计完全符合力学原理,虽经多次地震,但至今仍保持完好。东汉郑玄比胡克早1500年就有了力和变形成正比的记载;宋代李诫(明仲,1060—1110)的《营造法式》规定梁高宽比为3:2介于 $\sqrt{2}:1$ 和 $\sqrt{3}:1$ 之间,比伽利略的研究还早500年。上述部分事实足以证明我国的劳动人民在力学与其他自然科学方面具有伟大的聪明才智和创造精神,遗憾的是由于长期的封建统治,科学家及劳动人民的创造成果得不到重视,因此都未形成系统的理论。

古希腊自然科学家阿基米得(前287—前212)在他的著作《论比重》中,总结了前人积累起来的静力学知识,建立了有关杠杆平衡、重心、液体中浮体的平衡理论,奠定了静力学的基础。

自15世纪以后,随着西方科学技术的迅速发展,力学也同样得到了迅速发展,意大利著名画家、物理学家和工程师达·芬奇(1452—1519)曾研究过物体沿斜面的运动和滑动摩擦,通过实验得出了滑动摩擦力与物体间接触面大小无关的结论。在研究秤杆的平衡时,他提出了力矩的概念。荷兰物理学家斯蒂文(1548—1620)得出了平行四边形原理;法国科学家伐里农(1654—1722)提出力矩定理;布安索(1777—1859)提出力偶的概念及有关的理论,使静力学理论渐趋完善。

波兰科学家尼古拉·哥白尼(1473—1543)创立了宇宙“日心说”,引起科学界宇宙观的革命。在此基础上,德国学者约翰·开普勒(1571—1630)提出行星运动三定律,为牛顿发现万有引力定律打下了基础。

意大利著名科学家伽利略(1564—1642)首先在力学中进行了有计划的科学实验,并开创了科学的研究方法。通过实验确定了自由落体的运动规律,并明确提出了加速度的概念,还建立了动力学基本定律之一的惯性定律。

由伽利略开始的动力学奠基工作,经过法国学者笛卡儿(1596—1650)、荷兰学者惠更斯(1629—1695)等人的努力,后来由英国物理学家、数学家艾萨克·牛顿(1642—1727)集其大成,提出了动力学的三个基本定律,并在1687年出版了名著《自然哲学的数学原理》,将动力学的理论作了系统的论述。此外,他还发现了万有引力定律,推动了天体力学的发展。牛顿解决了许多新的数学和力学问题,创立了物体在阻尼介质中运动的理论。德国学者莱布尼茨(1646—1716)和牛顿彼此独立地发明的微分原理,对18世纪分析力学的发展奠定了基础。瑞士数学家约翰·伯努利(1667—1748)最先提出了虚位移原理(1717年)。瑞士数学家、力学家列奥纳多·欧勒(1707—1783)在他的名著《力学》中给出了用微分方程表示的分析方法来解决质点运动的问题,发展了摩擦、刚体运动等方面的研究。1743年法国科学家达兰贝尔(1717—1783)在他的著作《动力学专论》中提出了一个重要的原理——达兰贝尔原理。力学逐步发展成为理论严密、体系完善的学科。

20世纪,特别是近四五十年以来,我国也和世界各国一样,科学技术的发展更为迅猛。工程力学也和其他各门学科一样,知识不断充实和更新。

第一篇 静力学

静力学是关于物体平衡的科学,研究物体在力系作用下的平衡规律。主要包括:物体受力分析的方法;力系的简化;建立力系的平衡条件及介绍平衡条件的应用。

静力学在工程技术中有着广泛的应用。例如,为了合理设计水轮机和汽轮机的主轴、桥式起重机的横梁等零部件,首先需对其进行静力分析,应用有关平衡条件确定其所受的全部外力,然后通过强度、刚度条件计算确定有关构件的截面形状和几何尺寸,选用合适的材料;塔式起重机的平衡重块的配置也是通过静力学有关知识解决的。

力系的简化理论和物体受力分析的方法是动力学和材料力学部分的理论基础,同时也是部分后续课的重要基础。

第一章 静力学基础

第一节 静力学基本概念

一、平衡的概念

对于一般的工程问题,平衡是指物体相对于地球处于静止或作匀速直线运动的状态,是物体机械运动的一种特殊形式。物体的平衡总是暂时的、相对的、有条件的,绝对的平衡是不存在的;工程问题中所遇到的平衡问题,绝大部分相对于地球是静止的。

二、刚体的概念

实际的研究对象往往是相当复杂的,为了使复杂的分析简化,一般是抓住问题的主要因素,而撇开一些影响不大的次要因素,从而抽象出理想的力学模型作为研究的对象。例如,在研究物体的平衡规律及其运动特征时,将物体视为刚体。所谓刚体,是指受力时不变形的物体。实际的物体在受力时总是要变形的。但是,若所研究的物体变形很小,而不影响所研究问题的实质,就可忽略其变形,视其为刚体。对于一个具体的物体是否视为刚体,主要取决于所研究问题的性质。同一物体在理论力学部分被视为刚体,而在材料力学部分,为研究其受力和变形之间的关系,却被视为变形固体。静力学部分所研究的物体只限于刚体,所以称之为刚体静力学。

三、力的概念

人们经过长期的生产实践,通过科学的抽象,建立了力的概念:力是物体间相互的机械作用,这种作用使物体的运动状态和形状发生改变。力使物体的运动状态发生改变的效应称为