

普通高等教育“十一五”国家级规划教材《工程力学》修订版

# 工程力学

(第四版)

主 编 谢 刚 沈 冰



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》修订版

# 工 程 力 学

(第四版)

主 编 谢 刚 沈 冰  
副主编 陈丽华 闫晓媛  
祝 瑛 祝晓燕

东北大学出版社

• 沈 阳 •

© 谢 刚 沈 冰 2008

图书在版编目 (CIP) 数据

工程力学 / 谢刚, 沈冰主编. —4 版. —沈阳: 东北大学出版社, 2008.8  
ISBN 978-7-81102-569-9

I. 工… II. ①谢… ②沈… III. 工程力学 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 104474 号

---

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: 沈阳中科印刷有限责任公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所发行

幅面尺寸: 185mm × 230mm

印 张: 26.125

字 数: 528 千字

出版时间: 2008 年 8 月第 4 版

印刷时间: 2008 年 8 月第 13 次印刷

策划编辑: 任彦斌

责任编辑: 任彦斌

封面设计: 唐敏智

责任校对: 石玉玲

责任出版: 杨华宁

---

ISBN 978-7-81102-569-9

定 价: 29.00 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

常务副主任委员：任彦斌

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

编委：王世强 吕海鸥 刘宏 陈丽华

金长虹 祝瑛 祝晓燕 张斌

## 第四版前言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材《工程力学》(谢刚等主编,第三版)的修订版,是根据2007年7月贵阳会议——教育部高等学校力学基础课程教学指导分委员会召开的基础力学课程第二次工作会议,暨全国基础力学教学负责人联席会议提出的力学基础课程教学基本要求编写的高等学校本科教材。本书内容翔实、语言简洁、特色突出、适于教学。自第一版出版发行以来,深受沈阳、西安、北京、太原、郑州、山东等地院校师生的欢迎和好评。

2007年8月,普通高等教育“十一五”国家级规划教材《工程力学》编委会在北京交通大学组织召开了“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材《工程力学》(谢刚等主编)修订版(第四版)编写研讨会”。沈阳工程学院、东北大学、北京交通大学、山西大学、华北电力大学的与会老师对教学内容、课程结构、教材修订进行了深入地研讨,并根据学科发展需要和普通高校力学课程最新的教学基本要求,对原教材各章节内容进行了修改、整合。本书注重基本概念、基本理论、基本方法及应用,选取了大量典型工程实例和习题,以培养学生分析问题和解决问题的能力,适应应用型本科的教学需要,体现素质教育、创新教育的理念。

《工程力学》(第四版)由编委会主任委员、沈阳工程学院谢刚教授任主编,沈冰教授任第二主编。受编委会委托,常务副主任委员、东北大学副编审任彦斌负责会议的组织及《工程力学》的修订策划、编辑出版。本书第1章至第6章由沈阳工程学院陈丽华副教授编写;第7章至第9章由沈冰教授编写;第10章、第11章由谢刚教授编写;第12章至第16章由山西大学闫晓瑗、刘宏副教授编写;第17章至第20章由华北电力大学祝晓燕副教授编写;第21章至第23章由北京交通大学祝瑛副教授编写。全书由谢刚、沈冰教授统稿。

沈阳工程学院刘学梅教授、北京交通大学力学研究所副所长蒋永莉副教授参加研讨。

**普通高等教育“十一五”国家级  
规划教材《工程力学》编委会**

2008年7月

## 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、陈丽华，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。本书第四版于2008年出版，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，供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专业（少学时）工程力学的教学用书。

参加本书修订的人员有：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

## 第一篇 静力学

<b>第 1 章 静力学基础</b> .....	<b>2</b>
1.1 静力学基本概念 .....	2
1.1.1 力的概念 .....	2
1.1.2 刚体的概念 .....	3
1.2 静力学公理 .....	3
1.3 约束与约束力 .....	5
1.3.1 柔性约束 .....	6
1.3.2 光滑接触面约束 .....	6
1.3.3 光滑圆柱铰链约束 .....	7
1.3.4 链杆约束 .....	8
1.4 受力分析与受力图 .....	9
小 结 .....	11
思 考 题 .....	12
习 题 .....	13
<b>第 2 章 平面汇交力系</b> .....	<b>15</b>
2.1 平面汇交力系合成与平衡的几何法 .....	15
2.1.1 平面汇交力系的合成 .....	15
2.1.2 平面汇交力系的平衡 .....	16
2.2 平面汇交力系合成与平衡的解析法 .....	17
2.2.1 力在直角坐标轴上的投影 .....	18
2.2.2 合力投影定理 .....	19
2.2.3 平面汇交力系合成的解析法 .....	19
2.2.4 平面汇交力系平衡的解析条件 .....	20

小 结 .....	22
思考题 .....	23
习 题 .....	23
<b>第 3 章 平面力偶系 .....</b>	<b>26</b>
3.1 力 矩 .....	26
3.1.1 力矩的概念 .....	26
3.1.2 合力矩定理 .....	27
3.2 力 偶 .....	28
3.2.1 力偶的概念 .....	28
3.2.2 力偶的性质 .....	29
3.2.3 平面力偶系的合成与平衡 .....	30
小 结 .....	31
思考题 .....	32
习 题 .....	33
<b>第 4 章 平面一般力系 .....</b>	<b>35</b>
4.1 力的平移定理 .....	35
4.2 平面一般力系的简化 .....	37
4.2.1 简化过程 .....	37
4.2.2 主矢和主矩 .....	38
4.2.3 固定端约束 .....	38
4.2.4 平面一般力系简化结果分析 .....	39
4.3 平面一般力系的平衡方程 .....	41
4.3.1 平面一般力系的平衡条件与平衡方程 .....	41
4.3.2 平衡方程的其他形式 .....	43
4.3.3 平面平行力系的平衡方程 .....	44
4.4 物体系统的平衡 .....	45
4.5 平面静定桁架的内力计算 .....	49
4.5.1 节点法 .....	50
4.5.2 截面法 .....	51
小 结 .....	52
思考题 .....	53
习 题 .....	54

---

<b>第 5 章 摩 擦</b> .....	<b>59</b>
5.1 滑动摩擦 .....	59
5.1.1 静滑动摩擦力 .....	59
5.1.2 静摩擦定律 .....	60
5.1.3 动滑动摩擦力 .....	60
5.2 摩擦角和自锁 .....	61
5.2.1 摩擦角 .....	61
5.2.2 自 锁 .....	62
5.2.3 静摩擦系数的测定 .....	62
5.3 考虑摩擦时的平衡问题 .....	63
5.4 滚动摩擦简介 .....	67
小 结 .....	68
思 考 题 .....	69
习 题 .....	69
<b>第 6 章 空间力系</b> .....	<b>72</b>
6.1 力在空间直角坐标轴上的投影 .....	72
6.1.1 直接投影法 .....	72
6.1.2 二次投影法 .....	73
6.2 力对于点之矩与力对轴之矩 .....	74
6.2.1 力对于点之矩的矢量表示 .....	74
6.2.2 力对轴之矩 .....	74
6.2.3 力对轴之矩的计算 .....	75
6.3 空间力系的平衡方程 .....	76
6.3.1 空间一般力系的简化 .....	76
6.3.2 空间力系的平衡方程 .....	77
6.3.3 空间常见约束 .....	78
6.4 重心与形心 .....	81
6.4.1 重心的概念 .....	81
6.4.2 重心和形心的坐标公式 .....	82
6.4.3 确定重心位置的方法 .....	82
小 结 .....	85
思 考 题 .....	86
习 题 .....	86

## 第二篇 材料力学

<b>第 7 章 轴向拉伸与压缩</b> .....	<b>92</b>
7.1 内力 截面法 轴力图 .....	92
7.1.1 内力 截面法 .....	92
7.1.2 轴力图 .....	94
7.2 拉压杆的应力 .....	95
7.2.1 应力的概念 .....	95
7.2.2 拉压杆横截面上的应力 .....	96
7.2.3 拉压杆斜截面上的应力 .....	97
7.3 轴向拉伸与压缩时的变形 .....	98
7.3.1 线应变 .....	98
7.3.2 胡克定律 .....	99
7.3.3 横向变形系数 .....	100
7.4 应力集中 .....	101
7.5 材料在拉伸与压缩时的力学性能 .....	102
7.5.1 拉伸时材料的力学性能 .....	103
7.5.2 压缩时材料的力学性质 .....	106
7.5.3 材料的塑性和脆性性能讨论 .....	106
7.6 轴向拉伸与压缩时的强度计算 .....	107
7.6.1 极限应力 许用应力 安全因数 .....	107
7.6.2 强度计算 .....	108
7.7 简单拉压静不定问题 .....	111
7.7.1 静不定问题解法及装配应力 .....	111
7.7.2 温度变化引起的应力 .....	113
小 结 .....	115
思 考 题 .....	115
习 题 .....	116
<b>第 8 章 剪切与挤压的实用计算</b> .....	<b>120</b>
8.1 剪切与挤压的概念 .....	120
8.2 剪切的实用计算 .....	121
8.2.1 剪切应力 .....	121

8.2.2 剪切强度条件 .....	122
8.3 挤压实用计算 .....	122
8.3.1 挤压面 挤压应力 .....	122
8.3.2 挤压强度条件 .....	123
小 结 .....	126
思 考 题 .....	126
习 题 .....	127
<b>第 9 章 扭 转 .....</b>	<b>129</b>
9.1 扭转的概念 .....	129
9.2 扭矩 扭矩图 .....	130
9.2.1 外力偶矩的计算 .....	130
9.2.2 扭矩 扭矩图 .....	130
9.3 切应力互等定理 剪切胡克定律 .....	133
9.3.1 薄壁圆筒扭转时的切应力 .....	133
9.3.2 切应力互等定理 .....	134
9.3.3 切应变 剪切胡克定律 .....	134
9.4 圆轴扭转时横截面上的应力 .....	135
9.4.1 圆轴扭转时横截面上的应力 .....	135
9.4.2 极惯性矩和抗扭截面模量的计算 .....	138
9.5 圆轴扭转时的强度计算 .....	138
9.6 圆轴扭转时的变形及刚度计算 .....	140
9.6.1 圆轴扭转时的变形 .....	140
9.6.2 圆轴的刚度计算 .....	141
小 结 .....	143
思 考 题 .....	144
习 题 .....	145
<b>第 10 章 弯曲内力 .....</b>	<b>149</b>
10.1 平面弯曲的概念 .....	149
10.1.1 弯曲变形与平面弯曲 .....	149
10.1.2 计算简图与梁的种类 .....	150
10.2 梁的内力——剪力和弯矩 .....	150
10.2.1 截面法求内力 .....	150
10.2.2 剪力、弯矩的符号规定 .....	151

10.3	剪力图和弯矩图 .....	153
10.4	载荷集度、剪力和弯矩间的微分关系及其应用 .....	156
10.4.1	载荷集度、剪力和弯矩间的微分关系 .....	156
10.4.2	用载荷集度、剪力和弯矩间的微分关系绘制剪力图和弯矩图 .....	157
小 结	.....	159
思 考 题	.....	160
习 题	.....	161
<b>第 11 章</b>	<b>弯曲强度计算 .....</b>	<b>163</b>
11.1	梁纯弯曲时的正应力 .....	163
11.1.1	纯弯曲梁横截面上的正应力 .....	163
11.1.2	横力弯曲时梁截面上的正应力 .....	166
11.2	梁的正应力强度计算 .....	168
11.3	梁的切应力及强度计算 .....	171
11.3.1	梁的切应力计算公式 .....	171
11.3.2	切应力的强度计算 .....	174
11.4	提高梁承载能力的措施 .....	175
11.4.1	选择合理的截面形状 .....	175
11.4.2	采用变截面梁 .....	175
11.4.3	改善梁的受力状况 .....	176
小 结	.....	178
思 考 题	.....	179
习 题	.....	180
<b>第 12 章</b>	<b>弯曲变形 .....</b>	<b>184</b>
12.1	弯曲变形的概念 .....	184
12.1.1	挠曲线 .....	184
12.1.2	挠度和转角 .....	184
12.1.3	挠度与转角之间的关系 .....	184
12.2	梁变形的基本方程 .....	185
12.2.1	梁的挠曲线近似微分方程 .....	185
12.2.2	用积分法求梁的变形 .....	186
12.3	用叠加法计算梁的变形 .....	188
12.3.1	叠加法 .....	188
12.3.2	广义叠加法 .....	190

12.4	梁的刚度条件与合理刚度设计 .....	191
12.4.1	梁的刚度条件 .....	191
12.4.2	梁的合理刚度设计 .....	193
12.5	简单静不定梁 .....	193
12.5.1	静不定梁的概念 .....	193
12.5.2	简单静不定梁的解法 .....	194
小 结	.....	195
思 考 题	.....	196
习 题	.....	197
<b>第 13 章</b>	<b>应力状态和强度理论 .....</b>	<b>199</b>
13.1	点的应力状态 .....	200
13.1.1	点的应力状态的概念及研究方法 .....	200
13.1.2	点的主应力和应力状态的分类 .....	200
13.2	平面应力状态分析 .....	200
13.2.1	平面应力状态分析的解析法 .....	200
13.2.2	平面应力状态分析的图解法——应力圆 .....	204
13.3	广义胡克定律 .....	206
13.4	强度理论 .....	207
13.4.1	最大拉应力理论(第一强度理论) .....	208
13.4.2	最大拉应变理论(第二强度理论) .....	208
13.4.3	最大切应力理论(第三强度理论) .....	209
13.4.4	畸变能密度理论(第四强度理论) .....	209
小 结	.....	211
思 考 题	.....	213
习 题	.....	213
<b>第 14 章</b>	<b>组合变形的强度计算 .....</b>	<b>216</b>
14.1	弯曲与拉伸(压缩)组合变形 .....	216
14.2	弯曲与扭转组合变形 .....	220
小 结	.....	224
思 考 题	.....	224
习 题	.....	225
<b>第 15 章</b>	<b>压杆稳定 .....</b>	<b>228</b>
15.1	压杆稳定的概念 .....	228



15.2	确定临界力的欧拉公式 .....	229
15.2.1	两端铰支细长压杆的临界压力 .....	229
15.2.2	其他支座条件下压杆的临界压力 .....	231
15.3	三类压杆的临界应力 .....	234
15.3.1	临界应力的概念 .....	234
15.3.2	三类压杆的临界应力 .....	234
15.4	压杆的稳定性计算 .....	237
15.5	提高压杆稳定性的措施 .....	240
15.5.1	合理地选用材料 .....	240
15.5.2	减小压杆的柔度 .....	240
小 结	.....	241
思 考 题	.....	242
习 题	.....	242
<b>第 16 章 动 载 荷</b>	.....	<b>245</b>
16.1	构件作匀加速运动时的动应力 .....	245
16.2	冲击载荷 .....	249
16.3	交变应力 .....	253
16.3.1	交变应力和疲劳破坏 .....	253
16.3.2	交变应力的循环特征 .....	255
16.4	构件的疲劳强度计算 .....	256
16.4.1	材料的持久极限 .....	256
16.4.2	影响构件持久极限的主要因素 .....	257
16.4.3	对称循环下构件的疲劳强度计算 .....	258
小 结	.....	259
思 考 题	.....	260
习 题	.....	260

### 第三篇 运动学和动力学

<b>第 17 章 点的运动</b>	.....	<b>263</b>
17.1	用矢量法表示点的运动 .....	263
17.1.1	点的运动方程 .....	263
17.1.2	点的速度 .....	263