



“十二五”普通高等教育
本科国家级规划教材



面向21世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

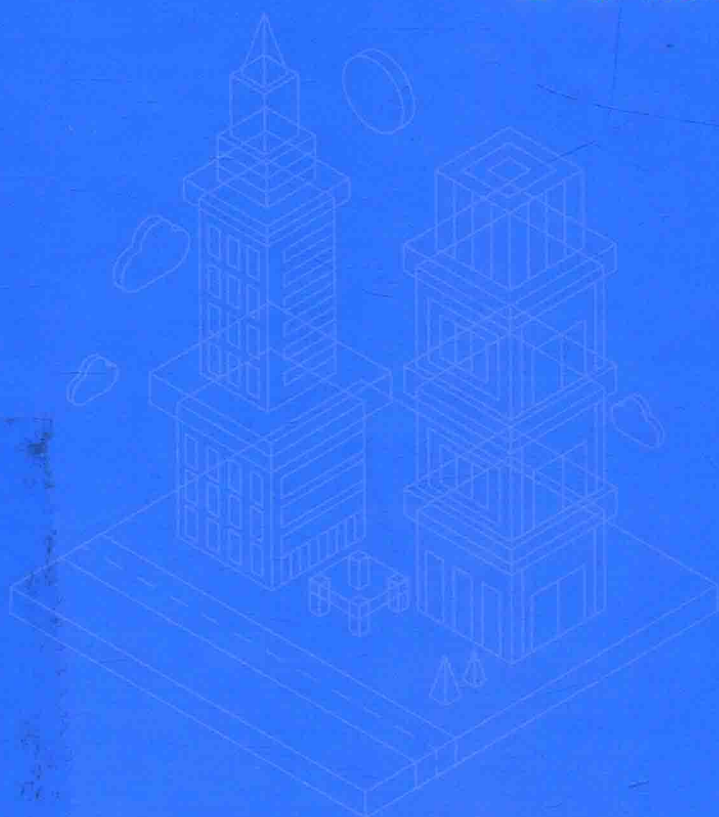
Structural
Mechanics I

结构力学 I

——基础教程

第4版 全本

主 编 龙驭球 包世华 袁 驷



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



面向21世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

Structural Mechanics I

结构力学 I ——基础教程

第4版 全本

主 编 龙驭球 包世华 袁 驷

常州大学图书馆
藏书章

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是《结构力学Ⅰ——基础教程》(第4版)和《结构力学Ⅱ——专题教程》(第4版)的精装全本,是在原本基础上的增订本。第4版(原本和全本)保留了前三版的风格,是在第1版(面向21世纪课程教材,2002年全国普通高等学校优秀教材一等奖)、第2版(普通高等教育“十一五”国家级规划教材,2007年度普通高等教育精品教材)和第3版(“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材)的基础上修订而成的;以本教材为基础的教学实践获2001年国家级教学成果一等奖,清华大学“结构力学”课程被评为2003年度国家精品课程。

本次修订字斟句酌,力求准确,反映学科新发展。修订内容共19章,编为《结构力学Ⅰ——基础教程》和《结构力学Ⅱ——专题教程》。基础教程着眼于为课程打好基础,落实课程的基本要求;专题教程着眼于扩大和提高,各校可根据实际情况选择其中不同层次的增选和专题内容,不拘一格地提升教学水平。全书采用四色印刷。

本册为《结构力学Ⅰ——基础教程》(第4版,全本),共10章,主要内容包括静定结构分析、超静定结构分析、静定结构总论、超静定结构总论等。

本书配有Abook数字课程网站,内容包括结构力学求解器,电子教案等。另外,与本书配套的还有《结构力学学习指导》和《结构力学网络课程》。配套的数字化教学资源充分发挥多媒体先进的表现手段,营造一种良好的学习环境,既可供工科学生在网络环境下自主、完整、系统地学习结构力学课程,也可作为从事土建、水利等领域工程技术人员知识更新的自学环境。

本书可作为高等学校土建、水利、力学等专业结构力学课程的教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

结构力学.Ⅰ,基础教程:全本 / 龙驭球,包世华,
袁驷主编. —4版. —北京:高等教育出版社,2019.7
ISBN 978-7-04-052007-1

I. ①结… II. ①龙… ②包… ③袁… III. ①结构力
学-高等学校-教材 IV. ①O342

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第097607号

策划编辑 水 渊	责任编辑 赵湘慧	封面设计 张雨微	版式设计 于 婕
插图绘制 于 博	责任校对 王 雨	责任印制 尤 静	

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 涿州市星河印刷有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 30.25
字 数 720千字
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	2001年1月第1版 2019年7月第4版
印 次	2019年7月第1次印刷
定 价	158.00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

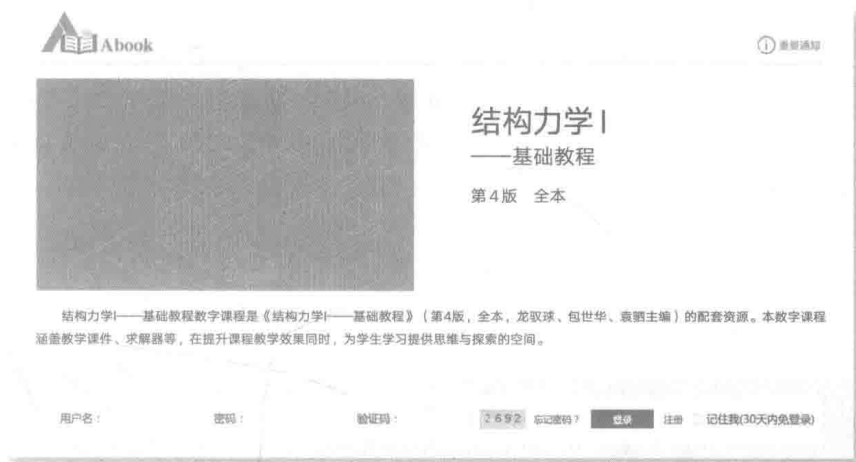
物 料 号 52007-00

结构力学I

——基础教程

第4版 全本

- 1 计算机访问<http://abook.hep.com.cn/12202429>, 或手机扫描二维码、下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号(20位密码, 刮开涂层可见), 或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮, 开始本数字课程的学习。



课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制, 部分内容无法在
手机端显示, 请按提示通过计算机访问学习。

如有使用问题, 请发邮件至abook@hep.com.cn。



扫描二维码
下载 Abook 应用

<http://abook.hep.com.cn/12202429>

第 4 版全本序

本书是《结构力学 I——基础教程》(第 4 版)和《结构力学 II——专题教程》(第 4 版)的精装全本。

“全本”和“原本”的区别有下列两点:

1. 在“全本”中新增加一章,即第 19 章后记——结构力学方法论的哲学回望。这是作者多年来通过编写结构力学教材在哲学层面所获得的“新”的体会,在此与读者共享。

2. 把第 4 版“原本”中被转移到电子版的章节(在“原本”中加了“*”号标注的章节),全部重新纳入“全本”中,用以充实“全本”的内容。这些章节包含 A、B 两类:

A 类是有关结构力学求解器的内容,在“原本”中是收入电子版的,现全部收入“全本”,并仍保留“*”号标注。这是本书中唯一用“*”号标注的内容,本书中的“*”号与前几版中“*”号表达的意思已不同。

B 类是被“原本”精简而收入电子版的其他章节,在“全本”中不再保留“*”号标注。

本精装全本适合各类读者,特别是对结构力学有较高要求的读者阅读,并且适合图书馆和个人收藏。

作 者

2019 年 1 月于清华园

第 4 版 序

本书第 3 版是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。本版属第 4 版,是根据“结构力学课程教学基本要求(A类)”(教育部高等学校力学教学指导委员会力学基础课程教学指导分委员会制订,见本书后附录 C),在第 3 版基础上修订而成。修订时有以下一些考虑:

1. 基本要求中将课程内容分为两类:基础部分和专题部分。此次修订按照这个分类法,对全书的章次进行了调整。将原在卷 I 的矩阵位移法、结构动力计算基础纳入卷 II,将原在卷 II 的静定结构总论、超静定结构总论纳入卷 I。

2. 将纸质教材与电子教材综合考虑,线上线下相互配合,各自发挥所长,以便构建一个彼此呼应、立体交叉的教材模式。这是一个新的尝试,有待以后完善、提高。

3. 在纸质教材方面,对力学中的传统解法和虚功能量解法作了一些比较和呼应,对力学方法论和对偶互伴现象作了一些阐述。由于有些较深内容由纸质教材转移到电子教材,因此纸质教材的篇幅较第 3 版有所减少。

4. 在电子教材方面,除上面提到的由纸质版移入电子版的内容外,重要的章节有《结构力学求解器》的内容。卷 I 附录 A 为《结构力学求解器》2D 版和 3D 版使用说明,可登录本书配套的 Abook 数字课程网站下载软件,3D 版是此次修订新增的。卷 II 附录 B 为平面刚架程序的框图设计和源程序。

全书中凡收入电子版的内容均在前面加了“*”号。

作为立体交叉新形态教材的一部分,本书配套了电子课件。课件由邢沁妍等同志进行编制。此次修订工作得到了清华大学结构力学教研室多位老师的帮助,叶康生教授还提供了书面意见,在此表示感谢。

以书会友,恳请批评指正。

作 者

2018 年春于清华园

第 3 版 序

本书第 1 版是面向 21 世纪课程教材。本版属第 3 版,是根据“结构力学课程教学基本要求”(教育部高等学校力学教学指导委员会力学基础课程教学指导分委员会制订),在第 2 版(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)的基础上修订而成。值得一提的是以下几点(两老三新):

1. “卷 I 保底,卷 II 开花”,在保底的基础上,各校可根据各自情况自行选用,沿用第 2 版老格局。
2. 字斟句酌,力求准确,保持过去老作风。
3. 增写新章(第 14 章),反映学科新发展。
4. 《结构力学求解器》升级,增加包络图新内容。
5. 采用四色印刷,让新书换上新衣裳。

书稿得到东南大学单建教授的审阅和指点,谨致谢意,并无端想起东坡诗句:人间有味是清欢。

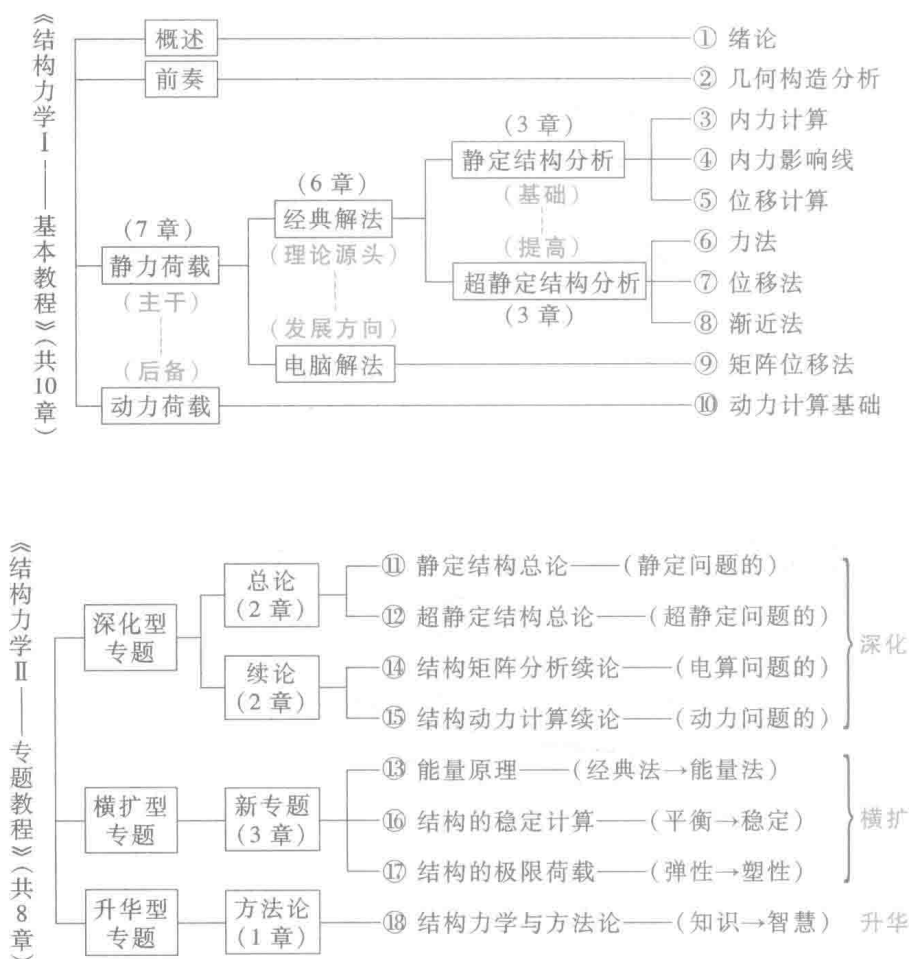
以书会友,倾听老师和同学们的批评、议论和争鸣,这是作者的真情。

阅读也是悦读,学习更需游赏。下面绘出两帧《结构力学 I——基本教程》《结构力学 II——专题教程》游赏图,与读者一同游赏。边游边赏,边赏边游。

作 者

2012 年春于清华园

《结构力学 I —— 基本教程》《结构力学 II —— 专题教程》游赏图



第 2 版 序

本书第 2 版是第 1 版的传承和发展。具有以下特点:

一、传承原有编写风格

继续保持“打好基础,脉络清晰,理论联系实际,符合认识规律”的编写方针。继续发扬纸质教材与电子教材的互补作用,以《结构力学求解器》为工具,提高学生利用计算机分析结构的能力。继续加强能量原理与方法论等方面的教学内容,提高学生的理论水平和科学素质。

二、采用新的编排方针

第 2 版采用新的编排方针:首先把全书内容明确地分为基本内容与增选、专题内容两部分,然后将基本内容编成结构力学 I——基本教程;将增选、专题内容编成结构力学 II——专题教程。

在第 2 版里,卷 I 与卷 II 的分工是非常明确的。卷 I 只包括课程教学的基本要求。对全国各校来说,课程教学的基本要求应当是统一的,是“死”的。其目的是保证课程的基本教学质量,或者说是“保底”。卷 II 包含一些各具特色的增选、专题内容,在“保底”的基础上,各校可根据各自情况自行选用。对全国高校来说,这些增选、专题内容应当是不拘一格的,是“活”的。这种在“保底”基础上不拘一格地增选和提升,可以比喻为“开花”。概括地说,“卷 I 保底,卷 II 开花”,这就是新版采用的新的编排方针。

要“开花”,必先“保底”。“保底”是硬任务,“开花”是活功夫。一硬一活,才会形成既有扎实功底而又充满活力的学习景象。我们希望,体现“保底—开花”精神的第 2 版教材将会更好地适应我国技术基础课程教学发展的需求,适应不同高校对教材类型的多样性需求。

继第 1 版之后,第 2 版书稿又得到西安建筑科技大学刘铮教授的审阅和指点,谨致谢意。

欣逢青藏铁路全线通车,特以拉萨河特大铁路桥的倩影作为封面,以志喜庆。

本书封面照片由拉萨指挥部宣传部干章林先生提供,在此表示感谢。

恳请批评和指正。

作 者

2006 年夏于清华园

第 1 版 序

教材建设是一项需要长期积累而又不断翻新的工作,既要锲而不舍、精益求精,又要善于探索、有所创新。本书是在清华大学四十多年结构力学教材建设和近几年教学改革实践的基础上编写的,主要想在以下几个方面作些新的尝试和安排:

一、由一本书扩充为三书鼎立。由于结构力学计算机化的进程日新月异,以及在计算机化的形势下结构定性分析的能力培养日益显得更为重要,因此除编写一本《结构力学教程》侧重于经典结构力学的基本理论和基本方法外,还拟编写两本配套教材,即《程序结构力学》及《定性结构力学》,分别侧重于计算机方法和定性分析方法。三书鼎立,相互呼应,以期适应新世纪、新形势的新要求。

二、为计算机化提供新的基础知识和新工具。在为矩阵位移法配置的计算机程序方面,有 FORTRAN 77 程序, Fortran 90 程序。此外,还引入作者教学和科研成果《结构力学求解器》作为新工具,提高解算大型结构、复杂结构的例题、习题的能力,开拓教学内容的广度和深度,利用动画显示,提高对结构性能的感性认识。

三、将虚功-能量方法贯通全书,提高理论水平。以前的结构力学教材也讲一点虚功-能量方法,但讲得太晚,太集中,学与用离得太远。针对这种情况,本书改为“提前讲、分段讲、就近用”的作法,以便收到“由浅入深、分散难点、学了就用、便于生根”的效果,从而进一步提高理论水平。计算机化不仅不排斥力学理论,而且更加需要力学理论的指导,呼唤力学理论的深化。

四、注意培养思维能力和科学素质。为了把力学方法上升到方法论的高度,在书中专门写了四节:

- 方法论(1)——学习方法(第 1 章)。
- 方法论(2)——静定结构部分(第 6 章)。
- 方法论(3)——超静定结构部分(第 12 章)。
- 方法论(4)——结构力学之道(最后一章)。

为了指导学习和启发思考,专门写了两章“总论”,分别对静定结构和超静定结构两大部分内容进行融会贯通的梳理和开阔视野的指点;几乎每一章都专门写了“小结”和“思考与讨论”两节,引导读者跨进更广的思考空间。

五、适当更新内容。除了删去和压缩比较陈旧的内容外,还注意扩大专业覆盖面,新加悬索、空间结构等内容,适当介绍一些科研成果,包括作者新近的部分学术成果。

总的来说,“守本翻新”是本书的编写方针。守本,是指继续保持“打好基础,脉络清晰,理论联系实际,符合认识规律”的编写风格。翻新,是指进行一些经过初步实践的新尝试,包括上面提到的五点。

本书内容各校可根据具体教学要求选用,带*号者为选学、提高内容。

本书稿请西安建筑科技大学刘铮教授和东南大学单建教授审阅,在审阅中提了不少宝贵意

见。清华大学雷钟和教授提供了本书部分思考题及习题,张玉良副教授提供了 FORTRAN 77 程序的初稿。作者谨向他们表示衷心的感谢。

欢迎批评,恳请指正。

作 者

1999 年冬于清华园

主要符号表说明

在实施国家标准《量和单位》(GB 3100~3102—93)的过程中,为保证国家标准和现有惯例的衔接,本书作如下说明,请读者注意。

1. 国家标准规范的物理量、名称和符号,按国家标准使用,注重量的物理属性。如,以前称剪应力 τ 、剪应变(剪切角) γ ,现改称切应力 τ 、切应变 γ ;又如,各种力(包括荷载、反力和内力)都用 F 作为主符号,而将其特性以下标(上标)表示;等等。

2. 对于在结构力学中广泛使用的广义力(包括力与力偶矩、力矩)和广义位移(包括线位移与角位移),为了体现其广义性(有时还有未知性),考虑到全书叙述的统一和表达的简洁、完整,本书仍沿用 X (多余力未知力)、 Δ 和 δ (位移)、 c (支座位移)等广义物理量。至于它们在具体问题中对应的量和相应单位,则视具体问题而定。

3. 在结构力学中经常应用“单位量”的概念,如单位力 $X=1$,单位荷载 $F_p=1$,单位位移 $\Delta=1$ 等。现以单位力 $X=1$ 为例加以说明。单位力 $X=1$ 是一种简称,详细地说,是指数值为1而其量纲指数都为零(量纲并不为零,量纲为一)的特定广义力 $\bar{X}=1$ (这里, $\bar{X}$ 与 X 在数值上相等,但量纲不同。 $\bar{X}$ 是一个量纲一的量,以前称为无量纲量)。单位量的概念主要用于求比例系数(或称影响系数)。仍以力 X 引起某量 M 的情况为例,二者的比例系数为 $\bar{M}=\frac{M}{X}$ 。在线性问题中,比例系数是一个重要的概念。

4. 本教材中某些符号及有关公式运算中的单位表示,考虑以往教材的习惯和结合工程实际运算的方便,作了必要的处理。具体情况在本教材的相应处已有说明。

主要符号表

a	振幅
A	面积
c	支座广义位移、粘滞阻尼系数
c_{cr}	临界阻尼系数
C	弯矩传递系数
d	结间距离
E	弹性模量
E_G	余能
E_p	势能
f	拱高、矢高、工程频率
F_c	阻尼力
F_e	弹性力
F_H	水平推力、水平反力、水平约束力
F_I	惯性力
F_N	轴力
F_{N_x}, F_{N_y}	轴力在水平(x)、垂直(y)方向的分力
F_P	集中荷载
$\mathbf{F}_P$	荷载向量
F_P^+	可破坏荷载
F_P^-	可接受荷载
F_{Per}	临界荷载
F_{Pe}	欧拉临界荷载
F_{Pu}	极限荷载
F_Q	剪力
F_Q^F	固端剪力
F_Q^L, F_Q^R	截面左、右的剪力
F_R	广义反力、反力合力、约束力
F_V	竖向反力、竖向约束力
F_x, F_y	水平(x)、垂直(y)方向的分力
$\mathbf{F}^e$	整体坐标系下单元杆端力向量
$\overline{\mathbf{F}}^e$	局部坐标系下单元杆端力向量

$\mathbf{F}^{\text{Fe}}$	整体坐标系下单元固端力向量
$\overline{\mathbf{F}}^{\text{Fe}}$	局部坐标系下单元固端力向量
G	切变模量
i	线刚度
I	惯性矩
$\mathbf{I}$	单位矩阵
k	刚度系数、切应力分布不均匀系数
$\mathbf{k}^e$	整体坐标系下单元刚度矩阵
$\bar{\mathbf{k}}^e$	局部坐标系下单元刚度矩阵
$\mathbf{K}$	结构刚度矩阵
m	质量、分布弯矩
$\bar{m}$	线分布质量
M	力矩、力偶矩、弯矩
$\mathbf{M}$	质量矩阵
M_e	弹性极限弯矩
M_u	极限弯矩
M^{F}	固端弯矩
N	形函数矩阵
p	均布荷载集度
P	广义荷载、广义力
$\mathbf{P}$	结构结点荷载向量
$\mathbf{P}^e$	单元结点荷载向量
q	均布荷载集度
r	半径、反力影响系数
R	半径
S	转动刚度
t	时间
T	周期、动能
$\mathbf{T}$	坐标转换矩阵
u	水平位移
v	竖向位移、挠度、速度
v_c	应变余能密度
v_s	应变能密度
V_c	应变余能
V_p	荷载势能
V_e	应变能
W	功、计算自由度、弯曲截面系数
X	广义未知力、广义多余未知力

y	位移
$\dot{y} = \frac{dy}{dt}$	速度
$\ddot{y} = \frac{d^2y}{dt^2}$	加速度
Y	位移幅值向量、主振型向量、主振型矩阵
Z	影响线量值
α	线膨胀系数、初相角
β	动力系数
γ_0	平均切应变
δ	柔度系数、位移影响系数
Δ	广义未知位移
Δ	位移向量
Δ^e	单元杆端位移向量
ε	线应变
θ	截面的转角、干扰力频率
κ	曲率
μ	力矩分配系数
φ	弦转角
ξ	阻尼比
σ_b	强度极限
σ_s	屈服应力
σ_u	极限应力
ω	圆频率

目 录

第1章 绪论 1

- § 1-1 结构力学的学科内容和教学要求 1
- § 1-2 结构的计算简图及简化要点 3
- § 1-3 杆件结构的分类 7
- § 1-4 荷载的分类 8
- § 1-5 学习方法 8
- * § 1-6 结构力学求解器简介 14

第2章 结构的几何构造分析 16

- § 2-1 几何构造分析的几个概念 16
- § 2-2 平面杆件体系的基本组成规律——铰结三角形规律 21
- § 2-3 平面杆件体系的计算自由度 27
- * § 2-4 在求解器中输入平面结构体系 30
- * § 2-5 用求解器进行几何构造分析 34
- § 2-6 小结 37
- § 2-7 思考与讨论 39
- 习题 41

第3章 静定结构的受力分析 45

- § 3-1 静定平面桁架 46
- § 3-2 梁的内力计算的回顾 56
- § 3-3 静定多跨梁 60
- § 3-4 静定平面刚架 63
- § 3-5 组合结构 72
- § 3-6 三铰拱 76
- § 3-7 隔离体方法及其截取顺序的优选 87
- § 3-8 静定结构内力计算的虚位移法 90
- * § 3-9 用求解器确定截面单杆 97
- * § 3-10 用求解器求解组合结构 100

- * § 3-11 用求解器求解一般静定结构 103
- § 3-12 小结 105
- § 3-13 思考与讨论 106
- 习题 108

第4章 影响线 121

- § 4-1 移动荷载和影响线的概念 121
- § 4-2 静力法作简支梁内力影响线 122
- § 4-3 结点承载方式下梁的内力影响线 125
- § 4-4 静力法作桁架轴力影响线 127
- § 4-5 机动法作静定内力影响线 130
- § 4-6 影响线的应用 134
- * § 4-7 用求解器计算结构的影响线 142
- § 4-8 小结 144
- § 4-9 思考与讨论 145
- 习题 146

第5章 静定结构位移计算的虚力法 150

- § 5-1 虚力法求刚体体系的位移 150
- § 5-2 虚力法求静定结构的位移 153
- § 5-3 两个对偶解法——虚力法求位移、虚位移法求内力 159
- § 5-4 荷载作用时静定结构的弹性位移计算 161
- § 5-5 图乘法 169
- § 5-6 温度改变时静定结构位移计算 174
- * § 5-7 用求解器进行位移计算 175
- § 5-8 变形体的虚功原理 177
- § 5-9 互等定理 182
- § 5-10 小结 184
- § 5-11 思考与讨论 186

习题	189
第6章 力法	194
§ 6-1 力法的基本概念	195
§ 6-2 超静定次数的确定——力法 的前期工作	200
§ 6-3 力法解超静定刚架和排架	202
§ 6-4 力法解超静定桁架和组合 结构	207
§ 6-5 力法解对称结构	210
§ 6-6 力法解两铰拱	215
§ 6-7 力法解无铰拱	221
§ 6-8 支座移动和温度改变时的 力法分析	229
§ 6-9 超静定结构位移的计算	236
§ 6-10 超静定结构计算的校核	239
* § 6-11 用求解器进行力法计算	241
§ 6-12 小结	243
§ 6-13 思考与讨论	243
习题	246
第7章 位移法	252
§ 7-1 位移法的基本概念	252
§ 7-2 杆件单元的形常数和载常数 ——位移法的前期工作	255
§ 7-3 位移法解无侧移刚架	260
§ 7-4 位移法解有侧移刚架	263
§ 7-5 位移法的基本体系	271
§ 7-6 位移法解对称结构	275
§ 7-7 支座位移和温度改变时的 位移法分析	279
§ 7-8 小结	282
§ 7-9 思考与讨论	283
习题	285
第8章 渐近法及其他算法简述	291
§ 8-1 力矩分配法的基本概念	291
§ 8-2 多结点的力矩分配	296
§ 8-3 力矩分配法解对称结构	302
§ 8-4 无剪力分配法	304
§ 8-5 力矩分配法与位移法的 联合应用	310

§ 8-6 近似法	313
§ 8-7 超静定结构各类解法的比较 和合理选用	317
* § 8-8 用求解器求解一般的超静定 结构	319
§ 8-9 小结	321
§ 8-10 思考与讨论	322
习题	324
第9章 静定结构总论	329
§ 9-1 几何构造分析与受力分析之 间的对偶关系	329
§ 9-2 零载法	332
§ 9-3 空间杆件体系的几何构造 分析	335
§ 9-4 静定空间刚架	337
§ 9-5 静定空间桁架	341
§ 9-6 悬索结构	347
§ 9-7 静定结构的受力特性	351
§ 9-8 各种结构形式的受力特点	353
§ 9-9 简支梁的内力包络图和绝对 最大弯矩	356
§ 9-10 位移影响线	358
* § 9-11 用求解器计算结构的内力包 络图	360
§ 9-12 小结	361
§ 9-13 思考与讨论	362
习题	362
第10章 超静定结构总论	366
§ 10-1 广义基本结构、广义单元和 子结构的应用	366
§ 10-2 分区混合法	371
§ 10-3 超静定结构的受力特性	377
§ 10-4 结构计算简图续论	380
§ 10-5 支座简图与弹性支承概念	393
§ 10-6 结点简图与次内力概念	395
§ 10-7 剪切变形对超静定结构的 影响	397
§ 10-8 超静定力的影响线	400
§ 10-9 连续梁的最不利荷载分布及 内力包络图	404