



面向 21 世纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

结构力学

第 3 版

王焕定 章梓茂 景 瑞 编著
张金生 王焕定 景 瑞 张永山 王 伟 修订



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



面向 2 1 世纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

结构力学

Jiegou Lixue

第 3 版

王焕定 章梓茂 景 瑞 编著
张金生 王焕定 景 瑞 张永山 王 伟 修订



高等教育出版社 · 北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是在第2版(普通高等教育“十五”国家级规划教材)基础上,根据教育部力学基础课程教学指导分委员会最新制订的“结构力学课程教学基本要求”修订而成。

全书共一册,包括结构力学的基本内容和专题共11章:绪论、杆系结构的组成分析、静定结构受力分析、结构的位移计算、力法、位移法、矩阵位移法、移动荷载作用下的结构分析、结构动力分析、结构的稳定计算和结构的极限荷载计算。

与本书配套的学习资料,如结构计算程序、附加例题、电子教案等,可以从网站(<http://jglx.gzhu.edu.cn>)免费下载。

本书可作为土木工程、交通工程、水利水电工程和力学等各专业的教材,也可作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

结构力学 / 王焕定,章梓茂,景瑞编著.—3版.—北京:高等教育出版社,2010.1

ISBN 978-7-04-027952-8

I. 结… II. ①王…②章…③景… III. 结构力学—高等学校—教材 IV. O342

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第221286号

策划编辑 水渊 责任编辑 赵向东 封面设计 李卫青 责任绘图 尹莉
版式设计 马敬茹 责任校对 杨凤玲 责任印制 陈伟光

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

总机 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司

印刷 北京未来科学技术研究所
有限责任公司印刷厂

开本 787×1092 1/16

印张 22.5

字数 540 000

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.landaco.com>

<http://www.landaco.com.cn>

畅想教育 <http://www.widedu.com>

版次 2000年2月第1版

2010年1月第3版

印次 2010年1月第1次印刷

定价 28.80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 27952-00

第3版序

本书的第1版是面向21世纪课程教材,第2版为普通高等教育“十五”国家级规划教材。本书在前两版教材的基础上,结合教育部力学基础课程教学指导分委员会最新制订的“结构力学课程教学基本要求”,并听取使用本书的教师的意见,做了较大修改而成。

本次修订主要做了以下工作:

1. 删除了在“结构力学课程教学基本要求”中没有要求的部分内容,如有限元分析、建筑结构抗震和振动控制等。
2. 将两册内容合编为一册,方便使用。
3. 取消了配书光盘。光盘中的内容由使用者免费下载(<http://jglx.gzhu.edu.cn>),降低了成本。
4. 增加了习题参考答案。前两版的习题参考答案是通过网站向教师提供的。
5. 增加了力矩分配法和反弯点法等。

本次修订是在王焕定教授主持下完成的。参加修订的人员有张金生(第1、2、9章),张永山(第3、8章),景瑞(第4、5章),王伟(第6、7章),王焕定(第10、11章),由张金生统稿。

本次修订稿承蒙东南大学单建教授审阅。

本书修订人员对多年来使用本教材的教师,对提出修改意见的读者和单建教授,以及为本书出版付出辛苦的编辑人员表示衷心感谢。

书中不足之处恳请读者指正。

编者

2009年4月于哈尔滨工业大学二区

第 2 版 序

本书第 1 版是面向 21 世纪课程教材。从 2000 年本书出版至今,我们听到一些学校教师和学生反映,归纳起来:本书过于“简练”,初学者(包括基础较差的学生)要自己看这套书,非常困难,基本看不懂。但是,学完结构力学之后,作为复习(特别是考研究生时的复习)本书简明扼要,非常好。基于这样的信息反馈,我们加强了相关课程间的内容贯通,删除了一些过于繁杂的手算内容,增加了计算机数值分析的应用,为读者的独立思维留有较大的空间,在注意因材施教等前提下,着重在以下方面进行了修改:

(1) 第 1 版由于考虑内容的贯通、减少重复,结果提高了对读者的“门槛”高度。例如求静定结构的支座反力,为了减少字数而以图形形式举个例子,图上只标出如何建立平衡方程,然后就给出反力的数值(方程及算式在图中当然不可能给出)。当时认为学生已“掌握”提示中属于理论力学、材料力学的知识,有了图中这样简明的提示,“应该”能够看懂。加之受字数的限制,在贯通和减少重复的指导思想上,特别是作为本课程最重要基础的静定结构受力分析,例题数量也较少。后续章节例题的处理也一样,认为学生已经学会前述内容,因此都只简略提一提,不再给出具体算式等。这种高“门槛”的写法,自然使初学者及基础较差的学生望而生畏。根据多方的上述反馈,降低“门槛”高度当然是这次修改的最主要工作。但考虑到原书《结构力学》(I)已经覆盖了除结构动力学外结构力学其他基本要求内容,加之许多学校结构动力学、有限单元法都单独设课,根据我们对改革的体会,在《结构力学》(II)中所新增的有限元、结构非线性动力响应分析、结构地震响应和结构振动控制等新概念、新理论、新内容和新方法,不同层次、不同院校可能不一定选学(也不属“保底”的基本要求),因此除文字内容像《结构力学》(I)一样尽我们的能力做到使学生能看得懂之外,下述的有些工作,修改时所下的工夫要比《结构力学》(I)少。

(2) 第 1 版没有安排思考题。为了使读者能更好地掌握结构力学的基本原理、基本概念、基本方法,这次修订增加了思考题。全部思考题都有参考答案,都放在光盘上,以供读者参考。

(3) 作为文字教材字数不宜太多,所举例题只能是最典型的。对于接受能力、基础较好的读者,通过这些例子帮助掌握相应基本知识应该是足够的。但是,对于不同接受能力的读者,有的可能希望能多提供更多一些的基本例子,如果一题有多种解法的话,希望能介绍多种解法;有的又可能希望能有一些更综合(更灵活、更难或拓宽知识)的例子。基于这种考虑,这次修改除适量在教材内容中增加必要例题外,在书后所附《结构力学教学实践和工程计算分析软件》光盘“附加例题”目录中对《结构力学》(I)的各章都增加了电子书格式(PDF)的供读者(或教师)选用的例题。这些例子之间有超链接,以便更好地适应不同层次读者学习时选择。

(4) 时代对土木工程技术人员应用计算程序解决工程问题能力培养的要求无疑越来越高。但同样,在文字教材中安排太多的计算机应用方面的内容,不仅会冲淡对结构力学“三基”内容

的理解和掌握,而且因增加许多篇幅将使书价提高,显然时代要求与教材取材存在矛盾。本书采取将相关内容放入书后所附《结构力学教学实践和工程计算分析软件》光盘的办法使这一矛盾得以解决。书中的大多数习题也在光盘上给出了习题所对应的计算数据文件,便利了教师和学生应用,有利于培养用计算程序解决工程问题的能力。

(5) 鉴于本教材所选习题有和多数教材相同的典型题(有的可能尺寸、荷载等参数也不相同),也有一些是别的教材上没有的。因此给教师布置与批改作业带来了一定的困难。为此,我们做好了全部习题的解答(PDF格式)选用本教材的教师请登录高等教育出版社高等理工教学资源网(www.hep_st.com.cn),期望能尽量为教师使用本教材提供方便。

(6) 自从面向21世纪教学改革的研究与实践课题开展以来,我们一直使用电子教案进行教学。实践表明,免费为学生提供讲课时电子教案至少有以下两大好处:学生可以不必忙于抄黑板,而“课后”又有非常完整的“课堂笔记”,这样就可以集中精力听讲,积极思考、参与课堂讨论,以便通过讨论加深对知识的理解。同时也使课堂启发式讨论能有时间保证;另一好处是在不增加学时的前提下,加大课堂讲授内容的信息量,使学生学到更多的知识。基于这一体会,在书后所附《结构力学教学实践和工程计算分析软件》光盘上给出了与本教材配套、已使用多年的电子教案(教案中的多数例题与书本上的不同,这就使学生有更多的例题可参考)。一方面可为学生提供如何“将书读薄”的范例和一份完整的笔记,另一方面也可为教师提供一个制作适合自己教学特点教案的基础(最低限度是一些图形、文字可以不用自己做,一些认为合适的内容甚至可以不修改就直接利用),可以减少教师备课的工作量。

(7) 第1版所附的光盘《结构力学教学实践和工程计算分析软件》,除第一篇平面杆系结构有不很理想的图形后处理功能之外,第二、三篇均没有图形后处理功能。有限元与动力学的计算结果,让用户去看输出的大量数据是不方便的。在这次修订过程中,我们对应用程序进行了较大的升级改造。除属于空间的问题以外,基本上计算结果都有图形的后处理,可以直观地看出计算结果的规律(可给出单元中任意点的应力,可给出线性和非线性的动力响应时程曲线等等)。

(8) 在以哈尔滨工业大学为主、六校合作开发的DOS版《结构力学练习及测试系统》(简称学生版)基础上,哈尔滨工业大学单独将其改造成了Windows版。Windows版和DOS版一样,学生做练习时,如果答对了,将受到鼓励。如果做错了,将给出正确的应该如何的推演,这相当于教师随时在边上给予辅导、答疑,无疑对学好本课程是有益的。用其做测试的话,可以知道自己目前对这一章内容的掌握程度。从尽可能为提高教学质量服务的角度,我们将此部分内容放在书后所附的光盘上,以供学生使用。

参加第2版修订工作的有王焕定(哈尔滨工业大学)、张金生(哈尔滨工业大学)、张永山(广州大学)和王伟(哈尔滨工业大学),并由王焕定主持修订。第I册第1、5章及第II册第6、7、8三章的大部分内容由张金生负责,第I册第2、4章由张永山负责,第I册第3章和光盘中的Windows版“结构力学练习及测试系统”由王伟负责,其他内容均由王焕定负责。光盘中《结构力学教学实践和工程计算分析软件》的升级由王焕定负责,哈尔滨工业大学土木学院本科生曾森同学负责图形后处理程序的编制。

本书文字内容及附加例题、习题答案,承蒙西安建筑科技大学刘铮教授审阅,刘铮教授的认真细致,所提的许多建设性意见和具体修改建议,为提高本书质量做出了重要贡献,藉本书出版

之际,编者谨向审阅书稿的刘铮教授和支持本书编写和出版的人们致以衷心的感谢。

本书第 2 版已建成了网络课程、电子教案、练习及测试系统、应用程序、思考题、习题解答课件等全方位、新型的立体化模式,有助于提高结构力学课程的教学效率与质量。

编 者

2004 年 1 月

第 1 版 序

本书是教育部“面向 21 世纪力学系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”项目的研究成果之一,是项目课题组总负责人范钦珊教授结合土木类专业提出的模块式改革方案中的一个模块。本书成书之前,相关的教学讲义经过哈尔滨建筑大学和北方交通大学三年试用。

本书的特点是:加强了相关课程,即理论力学、材料力学和结构力学内容的贯通,消除了一些不必要的重叠。在保证结构力学基本概念、基本原理和基本方法的基础上,根据少而精和推陈出新的原则,删除了一些过于繁杂的手算内容,将经典内容与计算机数值分析方法有机地结合起来,力求实现在经典的基础上更新,在更新的前提下加深对经典内容的理解;注意启发式教学,为读者的独立思维留有较大空间,以利于创新能力的培养;为适应因材施教的需要,在保证结构力学现有教材基本理论系统性的基础上,增加了有限单元法、结构非线性动力响应分析、结构地震响应和结构振动控制等新概念、新理论、新内容和新方法,以供不同院校、不同层次的学生选教选学。本书附有《结构力学教学实践和工程计算分析软件》光盘 1 张。

全书分为(Ⅰ)、(Ⅱ)两册,第(Ⅰ)册为结构静力分析篇,包括结构力学经典的内容共 7 章;第(Ⅱ)册为结构计算机分析篇和结构动力分析篇,共 10 章。第(Ⅱ)册除经典内容外,还引入了一些现代计算机分析的内容。

本书可作土木类等多学时专业的教材,第(Ⅰ)册也可作非结构类专业和各层次有关土木类专业的结构力学教材。书中带*的章节可按专业的要求和学生的层次加以取舍。

参加本书编写工作的有王焕定(绪论,结构静力分析篇的引言,第 2、6、7 章,结构计算机分析篇的第 1 章和结构动力分析篇第 8 章的部分内容、第 10 章及所有章节的结论与讨论)、章梓茂(结构动力分析篇的第 6、7 及第 8 章主要内容)、景瑞(结构静力分析篇的第 4 章)、张金生(结构静力分析篇的第 1、3、5 章)、王伟(结构计算机分析篇的第 2~5 章)、于桂兰(结构动力分析篇的第 9 章主要内容)。刘季编写了结构动力分析篇的改革试点讲义,并进行了一轮教学实践,该讲义是动力分析篇的基础。此外,耿淑伟参加了结构动力分析篇中单自由度非线性、子空间迭代和时程分析内容的编写和程序开发。本书插图由王璐绘画。全书由范钦珊和王焕定统稿。

本书承蒙西安建筑科技大学刘铮教授主审、东南大学单建教授和西安建筑科技大学吴敏哲教授审阅,三位教授提出了许多建设性意见和具体修改建议,为提高本书质量作出了重要贡献。

在本书的编写过程中得到教育部“面向 21 世纪力学系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”项目课题组总负责人范钦珊教授以及清华大学、哈尔滨建筑大学、北方交通大学和高等教育出版社的大力支持。

藉本书出版之际,编者谨向审阅书稿的三位教授、支持本书编写和出版的人们致以衷心的感谢。由于编者水平的局限,书中难免有疏漏和不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

1999 年教师节

主要符号表

A	面积	M_u	极限弯矩
c	支座广义位移、阻尼系数	M	质量矩阵
c_{cr}	临界阻尼系数	P	广义力
d	节间距离	P	结构原始综合结点荷载矩阵
E	弹性模量	P_D	结构原始直接结点荷载矩阵
f	矢高、工程频率	P_E	结构原始等效结点荷载矩阵
F_{Ax}, F_{Ay}	A 处沿 x 和 y 方向支座反力	q, p	横向和纵向分布荷载集度
F_D	阻尼力	r	单位位移引起的广义反力、半径
F_H	水平推力	R	广义反力、半径
F_I	惯性力	S	转动刚度、影响线量值
F_N	轴力	t	时间
F_P	荷载	T	周期、动能
F_P^+	可破坏荷载	T	坐标转换矩阵
F_P^-	可接受荷载	u	水平位移
F_{Per}	临界荷载	v	竖向位移、挠度
F_{Pu}	极限荷载	W	功、计算自由度、弯曲截面系数、重量
F_Q	剪力	X	广义未知力
F_Q^L, F_Q^R	某点左、右截面剪力	y	位移
F_S	恢复力	Z	广义未知位移
F^r	整体坐标系下的单元杆端力矩阵	α	线膨胀系数、相位角
F^{fc}	整体坐标系下的单元固端力矩阵	δ	虚位移、广义位移、厚度
F_E^c	整体坐标系下的单元等效结点荷载矩阵	δ	柔度矩阵
G	切变模量	δ^c	整体坐标系下的单元杆端位移矩阵
i	线刚度	Δ	广义位移
I	截面惯性矩	Δ	广义位移向量
I_p	截面抗扭极惯性矩	ε	线应变
I	单位矩阵	θ	干扰力频率
k	刚度系数, 切应变的截面形状系数	μ	动力放大因数
k^r	整体坐标系下的单元刚度矩阵	ξ	阻尼比
K_i^*	广义刚度系数	σ	正应力
K	结构刚度矩阵	σ_s	屈服应力
m	质量	σ_u	极限应力
M	力矩、力偶矩、弯矩	τ	切应力
M^f	固端弯矩	φ	初相角
M_e	弹性极限弯矩	Φ	振型矩阵
M_i^*	广义质量	ω	圆频率

主要符号表说明

为了深入贯彻落实国家技术监督局发布的国家标准(GB 3100 ~ 3102—1993)《量和单位》，本书对结构力学符号和单位的传统用法作了调整，既保证了对国家标准的认真实施，又考虑了教师和学生使用上的习惯与方便。

在实施国家标准的过程中，为保证国家标准和现有惯例的衔接，本书作了认真的考虑，现作如下说明，请读者注意。

1. 国家标准规范的物理量的名称及符号，按国家标准使用，注重量的物理属性。如，旧称剪应变(剪切角) γ ，现改称切应变；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. 在结构力学力法和位移法、位移和影响线计算中普遍应用的单位力 $\bar{X}=1$ 和 $F_p=1$ 等以及单位位移 $\bar{Z}=1$ 和 $\Delta=1$ 等，均应理解为“广义量的系数”，是广义量自身相比的比值。为了书写方便且考虑到习惯用法，均简记为 $\bar{X}=1$ 和 $F_p=1$ 等以及 $\bar{Z}=1$ 和 $\Delta=1$ 等，其余的单位量与此类同。

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

反盗版举报传真：(010) 82086060

E-mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

第 1 章 绪论	1	§ 3-2 静定结构的受力分析方法	22
§ 1-1 结构力学的研究对象和研究 内容	1	3-2-1 静定结构内力分析方法	22
1-1-1 研究对象	1	3-2-2 支座反力(或约束力)计算方法	23
1-1-2 课程所涉及的内容	1	3-2-3 受弯结构作内力图的顺序	25
1-1-3 结构力学与其他课程和结构设计 的关系	2	§ 3-3 桁架结构受力分析	26
§ 1-2 一些工程结构实例与计算 简图	2	3-3-1 桁架结构	26
§ 1-3 杆件结构分类	5	3-3-2 结点法	29
第 2 章 杆系结构的组成分析	6	3-3-3 截面法	30
§ 2-1 基本概念	6	3-3-4 联合法	35
2-1-1 几何不变体系、几何可变体系	6	§ 3-4 三铰拱受力分析	36
2-1-2 自由度	6	3-4-1 拱反力计算	36
2-1-3 约束	7	3-4-2 竖向荷载作用下等高拱指定截面 内力计算公式	38
2-1-4 必要约束、多余约束	8	3-4-3 合理拱轴	39
2-1-5 计算自由度	9	§ 3-5 梁、刚架及组合结构的受力 分析	40
2-1-6 静定结构、超静定结构	10	3-5-1 多跨静定梁	40
§ 2-2 静定结构的组成规则	11	3-5-2 静定刚架	42
2-2-1 静定结构组成规则	11	3-5-3 静力学中的反分析	47
2-2-2 组成分析举例	13	3-5-4 组合结构	47
§ 2-3 结论与讨论	15	§ 3-6 各类结构的受力特点	48
思考题	16	§ 3-7 静定结构的性质	50
习题	16	3-7-1 静定结构解答唯一性	50
参考答案	18	3-7-2 导出的性质	51
第 3 章 静定结构受力分析	19	§ 3-8 结论与讨论	52
§ 3-1 弹性杆内力分析回顾和补充	19	思考题	53
3-1-1 材料力学内容回顾	19	习题	53
3-1-2 曲杆平衡方程	20	参考答案	60
3-1-3 结构力学与材料力学内力规定的 异同	21	第 4 章 结构的位移计算	62
3-1-4 区段叠加法作弯矩图	21	§ 4-1 弹性杆件的变形与变形能 计算	62
		§ 4-2 变形体虚功原理	63

4-2-1 变形体虚功原理的表述与说明	63	6-1-1 转角位移方程	127
4-2-2 杆系结构的虚功方程	65	6-1-2 平衡方程法思想	130
§ 4-3 单位荷载法及位移计算公式	66	6-1-3 典型方程法思想	131
4-3-1 结构的位移	66	6-1-4 基本未知量及基本结构	134
4-3-2 单位荷载法	67	6-1-5 典型方程法解题步骤	134
4-3-3 各种外因下的位移计算公式	67	§ 6-2 位移法解超静定结构	136
§ 4-4 图乘法	70	6-2-1 无侧移结构	136
4-4-1 图乘法原理	71	6-2-2 有侧移结构	142
4-4-2 图乘法求位移时需注意的问题	71	§ 6-3 计算无侧移结构的弯矩分配法	150
§ 4-5 位移计算举例	72	6-3-1 单结点弯矩分配基本概念	151
§ 4-6 互等定理	82	6-3-2 单结点弯矩分配举例	154
4-6-1 功的互等定理	82	6-3-3 多结点弯矩分配	158
4-6-2 位移互等定理	82	§ 6-4 计算有侧移结构的反弯点法	161
4-6-3 反力互等定理	83	6-4-1 剪力分配系数及剪力分配法	161
4-6-4 位移-反力互等定理	84	6-4-2 反弯点法	163
§ 4-7 结论与讨论	85	§ 6-5 结论与讨论	165
思考题	86	思考题	166
习题	88	习题	166
参考答案	93	参考答案	170
第 5 章 力法	95	第 7 章 矩阵位移法	172
§ 5-1 求解超静定结构的一般方法	95	§ 7-1 概述	172
§ 5-2 力法的基本思想及解题步骤	96	§ 7-2 单元刚度方程	174
5-2-1 力法求解的基本思路	96	7-2-1 平面桁架单元刚度方程	174
5-2-2 超静定次数及力法基本体系和基本未知量的确定	99	7-2-2 连续梁单元刚度方程	175
5-2-3 力法的解题步骤	100	7-2-3 不考虑轴向变形的平面弯曲单元刚度方程	176
§ 5-3 力法举例	101	7-2-4 平面弯曲自由式单元刚度方程	177
§ 5-4 力法计算的简化	113	7-2-5 单元刚度矩阵性质	177
5-4-1 无弯矩状态的判别	113	7-2-6 单元分析举例	178
5-4-2 对称性利用	115	§ 7-3 单元分析子程序	179
5-4-3 其他简化措施	117	§ 7-4 坐标转换问题	184
§ 5-5 超静定结构特性	119	7-4-1 平面自由式单元位移、力的坐标转换	184
§ 5-6 结论与讨论	120	7-4-2 平面自由式单元整体坐标系下的单元刚度方程	185
思考题	121		
习题	121		
参考答案	125		
第 6 章 位移法	127		
§ 6-1 基本概念	127		

7-4-3 平面桁架单元的坐标转换	185	量值	230
7-4-4 坐标转换程序段	186	8-4-2 利用影响线确定定位荷载最不利荷载分布	231
7-4-5 坐标转换举例	188	8-4-3 利用影响线确定移动荷载最不利位置	231
§ 7-5 整体分析	190	8-4-4 简支梁的绝对最大弯矩	235
7-5-1 连续梁结构刚度方程	190	8-4-5 内力包络图	237
7-5-2 平面刚架结构刚度方程	193	§ 8-5 结论与讨论	238
7-5-3 结构刚度方程集成子程序段	197	思考题	239
7-5-4 结构刚度方程集成举例	200	习题	240
§ 7-6 结构刚度和综合结点荷载元素速算法及单元内力计算	202	参考答案	243
7-6-1 结构刚度矩阵元素速算确定方法	202	第 9 章 结构动力分析	244
7-6-2 综合结点荷载元素的速算确定方法	205	§ 9-1 动荷载及其分类	244
7-6-3 单元内力计算	207	9-1-1 动荷载的定义	244
§ 7-7 计算程序的主程序框图及算例	208	9-1-2 动荷载的分类	244
7-7-1 主程序框图	208	§ 9-2 结构动力分析中的计算简图与动力自由度	245
7-7-2 程序计算算例	209	9-2-1 动力分析中的计算简图	245
§ 7-8 结论与讨论	212	9-2-2 振动自由度	247
思考题	213	§ 9-3 体系的运动方程	248
习题	214	§ 9-4 单自由度体系的自由振动分析	254
参考答案	216	9-4-1 无阻尼自由振动分析	254
第 8 章 移动荷载作用下的结构分析	217	9-4-2 计阻尼自由振动	257
§ 8-1 移动荷载及影响线概念	217	§ 9-5 单自由度体系的受迫振动分析	261
8-1-1 活荷载	217	9-5-1 简谐荷载作用下的动力响应	262
8-1-2 影响线	217	9-5-2 单自由度体系受迫振动的一般解	266
§ 8-2 静力法作影响线	218	9-5-3 几种常见荷载作用下的动力响应分析	267
8-2-1 静定梁影响线	218	§ 9-6 多自由度体系的自由振动分析	269
8-2-2 经结点传荷的主梁影响线	219	9-6-1 两自由度体系运动方程的特解和通解	269
8-2-3 静定桁架影响线	220	9-6-2 两自由度体系的频率和振型	271
8-2-4 三铰拱影响线	222	9-6-3 多自由度体系的振型和频率	273
8-2-5 超静定结构影响线	224	§ 9-7 多自由度体系的受迫振动	
§ 8-3 虚功法作影响线	225		
8-3-1 虚功(机动)法基本原理	225		
8-3-2 虚功法作影响线举例	226		
§ 8-4 影响线的应用	230		
8-4-1 利用影响线求固定荷载作用的			

分析	280	10-3-2 简单弹性结构简化为弹性支	
9-7-1 简谐荷载作用下的无阻尼受迫		承的中心受压杆	314
振动分析	280	10-3-3 简单弹性结构稳定性方程的	
9-7-2 无阻尼体系在任意荷载作用下		建立	315
的受迫振动分析	282	10-3-4 简单弹性结构稳定性方程	
9-7-3 无阻尼结构的动内力计算	284	举例	316
9-7-4 有阻尼受迫振动分析	285	§ 10-4 结论与讨论	317
9-7-5 有关阻尼矩阵的补充说明	286	思考题	318
§ 9-8 频率和振型的实用计算		习题	318
方法	287	参考答案	320
9-8-1 能量法	287	第 11 章 结构的极限荷载计算	321
9-8-2 迭代法求频率和振型	292	§ 11-1 结构的极限荷载	321
§ 9-9 结论与讨论	296	11-1-1 基本假定	321
思考题	298	11-1-2 基本概念	322
习题	299	§ 11-2 极限平衡法及比例加载时	
参考答案	302	极限荷载的一些定理	323
第 10 章 结构的稳定计算	303	11-2-1 极限平衡法	323
§ 10-1 两类稳定问题概述	303	11-2-2 比例加载时判定极限荷载的若干	
10-1-1 工程结构的稳定问题	303	定理	326
10-1-2 稳定问题分类	303	* § 11-3 增量变刚度法分析刚架	
§ 10-2 两类稳定问题分析的方法		极限荷载	328
及简例	306	11-3-1 增量变刚度法	329
10-2-1 完善体系分支点失稳分析		11-3-2 单元刚度矩阵的修正	329
简例	306	11-3-3 增量变刚度法确定刚架极限荷载	
10-2-2 非完善体系极值点失稳分		的计算过程及算例	330
析简例	310	§ 11-4 结论与讨论	335
* § 10-3 简单弹性结构稳定问题		思考题	336
分析简介	312	习题	336
10-3-1 材料力学中心受压杆的 Euler		参考答案	338
临界荷载	312		

第 1 章 绪 论

§ 1-1 结构力学的研究对象和研究内容

1-1-1 研究对象

结构力学作为力学学科的一个分支,其研究对象涉及较广,根据所涉及范围,通常可将结构力学分为“狭义结构力学”、“广义结构力学”和“现代结构力学”。

- **狭义结构力学** 也称作经典结构力学或杆系结构力学。其研究对象为由杆件所组成的结构,即杆系结构。所谓结构是指建筑物中能承担外界荷载作用,并起传力骨架作用的部分。

- **广义结构力学** 其所研究的对象除杆系结构外,还包括由板、壳、块体等可变形连续体(图 1-1)组成的板壳结构、实体结构。

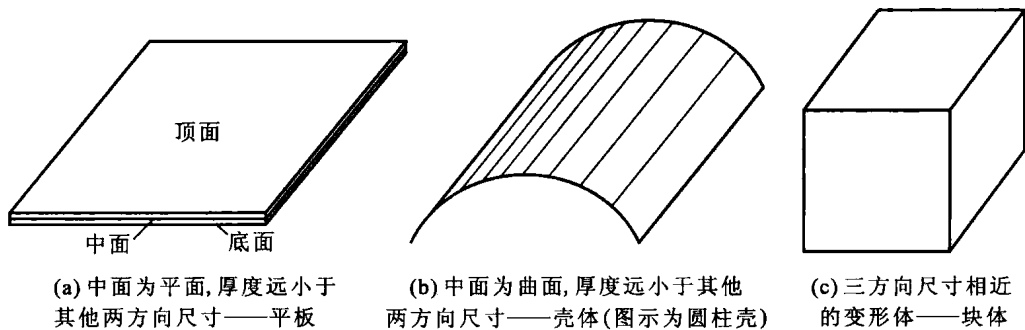


图 1-1 可变形连续体

- **现代结构力学** 将工程项目从论证到设计,从设计到施工,从施工到使用期内维护的整个过程作为大系统,研究大系统中的各种各样的力学问题。显然其研究对象范围更广。

根据本课程在土木工程、交通工程、水利工程等学科本科教育中的作用及特点,本书将只介绍狭义结构力学,即讨论杆系结构力学的内容。

1-1-2 课程所涉及的内容

当今结构力学的研究内容包括以下三方面:

- **分析** 在已知结构和荷载(也称已知系统和作用)的前提下,根据强度、刚度和稳定性等方面的要求,通过分析计算,使所设计的结构既经济合理,又安全可靠。强度、刚度和稳定性分析属于结构力学的经典内容。

• **识别** 和传统的分析不同,很多问题往往需要在已知系统外部作用结果(也称响应或反应)的情形下,根据结构信息反过来确定外界的作用信息。或者根据外界的作用信息,确定系统的有关信息。如果将外界作用下系统的反应(结果)分析称为正问题,则在已知反应情形下,确定外界作用或系统的信息则称为反问题,确定外界作用信息的反问题称为荷载识别,确定系统信息的反问题称为系统识别。

• **控制** 控制理论和控制在结构(建筑结构、桥梁结构和水工结构等)工程方面的应用,直到20世纪70年代才被提出,它是人们在抵御外界作用方面往智能化结构方向迈出的可喜一步,因此,立即引起广大学者和工程技术人员的关注,从而得到了迅速发展。这是结构工程领域的高科技课题之一。

以上三个方面,分析是基础。本书将以最基本的“分析”为主,介绍结构在实际工程常见的各种可能外界作用下的受力、变形和稳定性分析的基本概念、基本原理和基本方法。

1-1-3 结构力学与其他课程和结构设计的关系

理论力学、材料力学以及高等数学和计算机基础知识都是结构力学的基础,特别是理论力学中关于力系的平衡、约束的性质、质点系及刚体虚位移原理、运动及动力分析,材料力学中的内力、强度、刚度和稳定性分析等重要内容,不仅是结构力学的基础,而且在结构力学中将得到扩展和延伸。因此,学习结构力学时应当与理论力学和材料力学贯通起来,形成总体概念。

结构力学与理论力学、材料力学不同的是,结构力学与工程结构联系更为紧密,其基本概念、基本理论和基本方法将作为钢筋混凝土结构、钢结构、地基基础和结构抗震设计等工程结构课程的基础;结构力学的分析结果又是各类结构的设计依据。当前的计算机辅助设计软件,其核心计算部分的基本理论和方法也都以结构力学作为基础。

§ 1-2 一些工程结构实例与计算简图

实际工程是很复杂的,如图1-2~图1-8所表示的高层建筑、大型水利工程、桥梁结构、大跨结构、高耸结构、核电站结构和体育馆建筑等,如果不作任何简化,分析计算将十分困难。

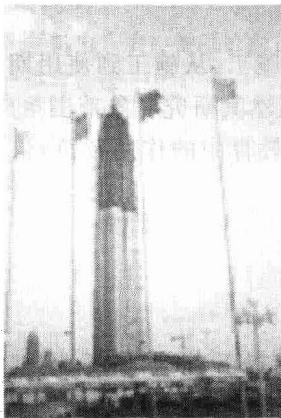


图 1-2 上海金茂大厦

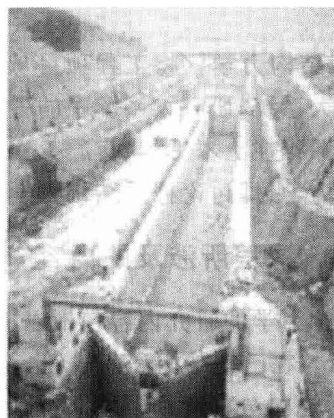


图 1-3 施工中的长江三峡五级船闸