

STRUCTURAL MECHANICS

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

名校名家基础学科系列
Textbooks of Base Disciplines from Top Universities and Experts



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

结构力学 I 第3版

萧允徽 张来仪 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



“十三五”国家重点出版物出版规划项目

名校名家基础学科系列
Textbooks of Base Disciplines from Top Universities and Experts



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

结 构 力 学 (I)

第 3 版

主编 萧允徽 张来仪
参编 刘 纲 文国治 陈名弟 王达詮
主审 刘 铮



机械工业出版社

本书是在 2006 年第 1 版《结构力学 (I、II)》(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)和 2013 年第 2 版的基础上修订而成的升级版。

全书分 I、II 两册。第 I 册共 11 章,内容包括:绪论、平面体系的几何组成分析、静定梁和静定刚架的受力分析、三铰拱和悬索结构的受力分析、静定桁架和组合结构的受力分析、虚功原理和结构的位移计算、力法、位移法、渐近法和近似法、影响线及其应用、矩阵位移法,并附有用 C 语言编制的平面刚架静力分析程序;第 II 册共 3 章,内容包括:结构的动力计算、结构的稳定计算、结构的极限荷载。

本书采用“条理化”的论述方式和“板式”的排版方式,图文并茂,一目了然。本版修订又着重在新增数字资源在线支持,力求融图、文、声、像为一体方面做了新的探索,是一本适应新时代要求、内容更新、版式新颖、教师好用、学生易读的教学用书。

本书适用于普通高等学校宽口径的“大土木”专业(包括建筑工程、路桥、岩土工程、水利工程和建筑安装等),也可供有关工程技术人员参考。为便于教师讲授本教材,配套编制了电子教案,教师可通过 <http://www.cmpedu.com> (机工教育服务网)注册后免费下载使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

结构力学. I / 萧允徽, 张来仪主编. —3 版. —北京: 机械工业出版社, 2018.8
“十三五”国家重点出版物出版规划项目 名校名家基础学科系列 普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-60216-3

I. ①结… II. ①萧… ②张… 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 (2018) 第 128309 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 张金奎 责任编辑: 张金奎

责任校对: 陈越 封面设计: 萧力

责任印制: 孙炜

保定市中华美凯印刷有限公司印刷

2018 年 8 月第 3 版第 1 次印刷

297mm×210mm·28.25 印张·654 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-60216-3

定价: 79.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88379833

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-88379649

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

关于本书配套数字课程资源的使用说明

一、如何激活本书的书伴权限

1. 下载“书伴”

用手机浏览器打开 www.weixue.co, 按照提示下载对应版本的“书伴”APP。

或者用“微信”扫描右侧二维码, 并点击右上角“三个点”按钮, 在呼出的菜单中选择“在浏览器中打开”, 并按照提示下载对应版本的“书伴”APP。



2. 注册账号

首次打开“书伴”, 选择“注册”账号, 并按照提示注册账号。

3. 激活本书权限

注册账号后, 请刮尽封底正版验证码上的覆层, 保证二维码完全露出。然后, 用已注册的账号登录书伴, 点击书伴开始界面下方正中间的“扫一扫”, 扫描刮开的二维码, 即可激活本书。

特别注意, 激活时仅能绑定一个手机号码及对应的“书伴”账号。

二、如何使用本书的数字资源

本书于每章末, 设置“数字资源页”, 引入数字课程资源, 并列出具体的菜单。其内容由“基本内容”和“特色栏目”两个部分组成(详见“第3版前言”)。读者扫描二维码, 即可使用相应数字资源。

第3版前言

本书第1版于2006年8月出版,被遴选为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”。第2版于2013年2月出版,从八个方面对第1版进行了修订和完善。本书为第3版,是第1版和第2版的升级版。

本次修订的着眼点和着力点为“三个加强”——加强力学基础理论与土木工程应用相结合,加强自然科学教育与人文素质教育相结合,加强传统教学方式与现代教学手段相结合。

本书未对第2版的章节编排及其具体内容做大的变动和修改,而主要是在新增数字资源在线支持,力求融图、文、声、像为一体方面做了一些新的探索。其具体做法是:于每章末,设置“数字资源页”,引入数字资源,并列明菜单,方便读者扫描,讲求实效。

章末所附“数字资源页”内容,由“基本部分”和“特色栏目”两部分组成。

1. 基本部分

(1) 本章回顾:基本内容归纳与解题方法提示。

(2) 思辨试题:为加深基本概念理解,培养学生思辨能力,编写有思考题128个,判断题174个,单选题138个,填空题155个,均附有题目解析和答案。

(3) 自测试卷:为加强基本功训练和分阶段检测学习效果,给学生提供了“静定梁及静定刚架内力图的绘制自测题(含答案)3套,《结构力学》(I)期末自测题(含答案)3套和《结构力学》(II)期末自测题(含答案)3套。

(4) 动画演示:在“第12章 结构的动力计算”中,对每个例题所求出的体系主振型均给出相应的动画演示。

(5) 难题解析:选择有关基本分析方法和基本计算方法的部分难题,通过视频进行重点讲解。

2. 特色栏目

(1) 《专家论坛》:注重学术性、可读性和前瞻性。

紧密结合各章内容的学习,特别编辑了我国力学界、工程界8位专家、教授关于力学在土木工程中的重要作用、广泛应用及发展前景的深刻见解和精辟论述,奉献给读者,以期激励莘莘学子拓宽视野,启迪思维,开创未来。

(2) 《知识拓展》:注重启发性和应用性。

对第II分册(专题部分)所学有关基本知识作适当的拓展和延伸,向读者介绍我国相关科研成果在国家工程设计《规范》和《规程》编制中的

实际应用。

(3)《趣味力学》：注重知识性和趣味性。

从日常生活、艺术创作和工程实例中，揭示力学的知识性和趣味性，从而增强年轻读者联系实际学习和研究力学课题的兴趣和能力。

本书由萧允徽和张来仪担任主编。参加修订和编写工作的还有：刘纲、文国治、陈名弟、王达谕。具体分工（以“数字资源”内容分）为：“本章回顾”（文国治、刘纲）；“思辨试题”“自测试卷”“难题解析”（文国治、王达谕）；“动画演示”（陈名弟）；《专家论坛》《知识拓展》（萧允徽）；《趣味力学》（刘纲）。全书由萧允徽和张来仪负责统稿。本书封面和“数字资源页”版面由萧力设计。

本书再次承蒙西安建筑科技大学刘铮教授精心审阅，谨此致谢。

本书所设《专家论坛》，得到了重庆大学李开禧、张希黔、李英民、李正良、杨庆山、华建民、黄国庆等专家、教授的大力支持和热情参与，在此表示由衷感谢；同时，通过在《专家论坛》中选编和学习《谈计算力学》一文，表达对我国著名力学家、教育家钱令希院士的缅怀之情。

为便于教师讲授，本书配套编制有高质量的电子教案，教师可通过 <http://www.cmpedu.com>（机工教育服务网）注册后免费下载使用。

为帮助读者深入学习结构力学，还配套编写出版了《结构力学辅导》一书（主编文国治，副主编刘纲，机械工业出版社出版），供读者学习参考。

恳请专家、读者对本书不足之处给予批评和指正。

编 者

2018年5月

第2版前言

本书是在第1版《结构力学(I、II)》(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)的基础上,根据教育部2008年审定的《结构力学课程教学基本要求(A类)》以及全国土木工程专业指导委员会2011年10月制定的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》,并认真总结近七年来的教学实践经验修订而成的。

本次修订工作仍遵循第1版关于“四基”的编写原则,并保持第1版教材原有的鲜明特色,在以下几个方面进行了修订、完善和探索。

(1) 为了加强本课程与专业课程以及工程实际的紧密联系,改写和充实了第1章绪论的内容。

(2) 为了弥补第1版教材在培养学生对内力图绘制正误性判断能力上的不足,在第3章中强调了对静定结构内力图的校核。

(3) 为了加深对变形图的正确理解,凡绘制各插图中的变形曲线时,均力求更能符合变形规律和反映变形特征;同时,通过贯穿于第6章~第9章中相关的例题和习题,着重培养学生勾绘变形曲线的能力。

(4) 为了加强矩阵位移法基本原理的介绍,并与后续相关课程相衔接,改写了第11章;同时,考虑到目前程序编制的发展趋势,改用C语言编写了附录A中的平面刚架静力分析程序。

(5) 为了贯彻“少而精”的原则,更方便本科教学,对于第13章第3节,即“13.3 确定临界荷载的能量法”一节,进行了重新编写,精选其中一种解法,而删去对多种解法的介绍及综述。

(6) 为了论述更加严密和便于阅读理解,对一些文字和例题进行了修改和调整。

(7) 为了更好地体现各个插图对诠释文中内容的作用,对全书所有插图的名称和标注重新进行了规范和必要修改。

(8) 为了更好地发挥“板书式”排版方式其“图文并茂,一目了然”的优点,本次修订时,对教材版式也作了进一步的完善。

本书由萧允徽、张来仪担任主编。参加修订工作的有:文国治、王达诠(第I分册)和陈名弟(第II分册)。

本书再次承蒙西安建筑科技大学刘铮教授精心审阅,谨致谢意。

本书封面照片是编者自摄的重庆朝天门长江大桥(该桥为我国自行设计和建造的“世界第一钢桁架拱桥”)。

欢迎专家、读者继续批评和指正。

编者

2013年1月

第1版前言

本书是按照教育部审定的《结构力学课程教学基本要求》新编的教材,适用于普通高等学校宽口径的“大土木”专业(包括建筑工程、路桥、岩土工程、水利工程和建筑安装等),也可供有关工程技术人员参考。

为培养高素质创新型专门人才,本书在编写过程中,坚持“基本概念的阐述要准确,基本原理的论证要透彻,基本方法的分析要具体,基本能力的培养要加强”的编写原则,在学习、继承的基础上,结合编者多年来从事结构力学教学、科研的实践,力求为读者提供一本内容精炼、版式新颖、教师好用、学生易读的新教材。本书在以下几方面作了一些新的探索:

(1) 专门为教师上课,特别是采用多媒体教学,设计了“板书式”(书横排,强调文、图、公式紧密结合)的排版方式,图文并茂,一目了然,以利于教师使用和学生理解。

(2) 刻意依次编排推理层次,纲目清晰,采用多层次并对小节次也多冠以标题的“条理化”的论述方式,以突出结构变形行为的因果关系和逻辑环链。

(3) 精选措辞,务求准确覆盖力学概念的内涵。

(4) 丰富示例,用以验证理论的工程实用价值,为后续深化认识奠定坚实的基础。

(5) 适当引入新的科研成果,以充实和更新教材内容,使力学原理和计算更贴近和反映工程实际。

本书由萧允徽、张来仪主编,萧允徽、张来仪、陈名弟、王达诠共同编写完成。

本书书稿承蒙西安建筑科技大学刘铮教授和重庆大学张汝清教授精心审阅,提出了许多宝贵的意见,对提高本书的质量起了重要作用。

本书的编写得到重庆大学教材建设基金的资助,同时还得到了重庆大学土木工程学院及建筑力学教研室同仁的大力支持。赵更新、游渊、文国治为本书各章编写了思考题和习题,黎娟、刘纲为本书绘制了插图。

借本书出版之际,编者在此一并致以衷心的感谢。

限于编者水平,书中可能还存在不少问题,恳请广大读者批评指正。

编 者

2006年7月

目 录

第3版前言

第2版前言

第1版前言

第0章 绪论.....1

1.1 结构力学研究的对象和任务.....3

1.2 杆件结构的计算简图.....7

1.3 平面杆件结构的分类.....9

1.4 荷载的分类.....10

1.5 结构计算简图实例.....11

数字资源目录.....14

第1章 平面体系的几何组成分析.....15

2.1 几何不变体系和几何可变体系.....17

2.2 几何组成分析的几个概念.....18

2.3 平面体系的计算自由度.....20

2.4 平面几何不变体系的基本组成规则.....23

2.5 几何可变体系.....24

2.6 几何组成分析的方法及示例.....26

2.7 静定结构与超静定结构.....29

习 题.....29

数字资源目录.....34

第2章 静定梁和静定刚架的受力分析.....35

3.1 单跨静定梁.....37

3.2 多跨静定梁.....46

3.3 静定平面刚架.....48

*3.4 静定空间刚架.....58

习 题.....61

数字资源目录.....70

第3章 三铰拱和悬索结构的受力分析.....71

4.1 拱结构的形式和特性.....73

4.2 三铰拱的内力计算.....74

4.3 三铰拱的压力线和合理拱轴.....80

*4.4 悬索结构.....84

习 题.....88

数字资源目录.....92

第4章 静定桁架和组合结构的受力分析.....93

5.1 桁架的特点和组成.....95

5.2 静定平面桁架.....97

5.3 三种平面梁式桁架受力性能比较.....109

*5.4 静定空间桁架.....112

5.5 静定组合结构	115
5.6 静定结构的特性	118
习 题	121
数字资源目录	128
 第⑥章 虚功原理和结构的位移计算	129
6.1 概述	131
6.2 变形体系的虚功原理	133
6.3 结构位移计算的一般公式 单位荷载法	139
6.4 静定结构在荷载作用下的位移计算	141
6.5 图形相乘法	146
6.6 静定结构由于支座移动引起的位移计算	154
6.7 静定结构由于温度变化引起的位移计算	155
*6.8 具有弹性支座的静定结构的位移计算	158
6.9 线弹性体系的互等定理	160
习 题	164
数字资源目录	174
 第⑦章 力 法	175
7.1 超静定结构概述	177
7.2 力法的基本原理	180
7.3 力法的基本体系选择及典型方程	184

7.4 用力法计算超静定结构在荷载作用下的内力	188
7.5 用力法计算超静定结构在支座移动和温度变化时的内力	199
7.6 对称结构的简化计算	205
7.7 用弹性中心法计算对称无铰拱	211
7.8 超静定结构的位移计算	218
7.9 超静定结构内力图的校核	222
7.10 超静定结构的特性	225
习 题	226
数字资源目录	236
 第⑧章 位移法	237
8.1 位移法的基本概念	239
8.2 等截面直杆的转角位移方程	241
8.3 位移法的基本未知量	246
8.4 位移法的基本结构及位移法方程	250
8.5 用典型方程法计算超静定结构在荷载作用下的内力	254
*8.6 用典型方程法计算超静定结构在支座移动和温度变化时的内力	266
8.7 用直接平衡法计算超静定结构的内力	270
*8.8 混合法	273
习 题	275
数字资源目录	284

第 9 章 渐近法和近似法 285

9.1 概述 287

9.2 力矩分配法的基本概念 288

9.3 用力矩分配法计算连续梁和无侧移刚架 295

9.4 无剪力分配法 301

*9.5 多层多跨刚架的近似算法 304

习 题 308

数字资源目录 318

第 10 章 影响线及其应用 319

10.1 移动荷载及影响线概念 321

10.2 用静力法作静定梁的影响线 323

10.3 用静力法作间接荷载作用下梁的影响线 330

10.4 用静力法作静定桁架的影响线 333

10.5 用机动法作静定梁的影响线 337

10.6 利用影响线计算影响量值 342

10.7 利用影响线确定移动荷载最不利位置 344

10.8 铁路公路的标准荷载制 351

10.9 换算荷载 353

10.10 简支梁的内力包络图和绝对最大弯矩 356

10.11 用机动法作连续梁的影响线 360

10.12 连续梁的内力包络图 364

习 题 367

数字资源目录 376

第 11 章 矩阵位移法 377

11.1 概述 379

11.2 杆件结构的离散化 380

11.3 单元坐标系中的单元刚度矩阵 384

11.4 结构坐标系中的单元刚度矩阵 387

11.5 用先处理法形成结构刚度矩阵 388

11.6 结构的综合结点荷载列阵 397

11.7 求解结点位移和单元杆端力 400

11.8 矩阵位移法的计算步骤和算例 402

11.9 平面刚架程序设计 409

习 题 416

数字资源目录 424

附录 425

附录 A 平面刚架静力分析程序 (PFF 程序) 425

附录 B 部分分析计算题答案 433

参考文献 440

第 1 章 绪论

● 本章教学的基本要求：了解结构力学研究的对象和任务；初步了解计算机化的结构力学的发展趋势；了解选取结构计算简图的原则、要求及其主要内容；了解平面杆件结构的分类；了解各类结构的受力性能；了解荷载的分类。

● 本章教学内容的重点：结构力学研究的对象和任务；杆件结构的计算简图。

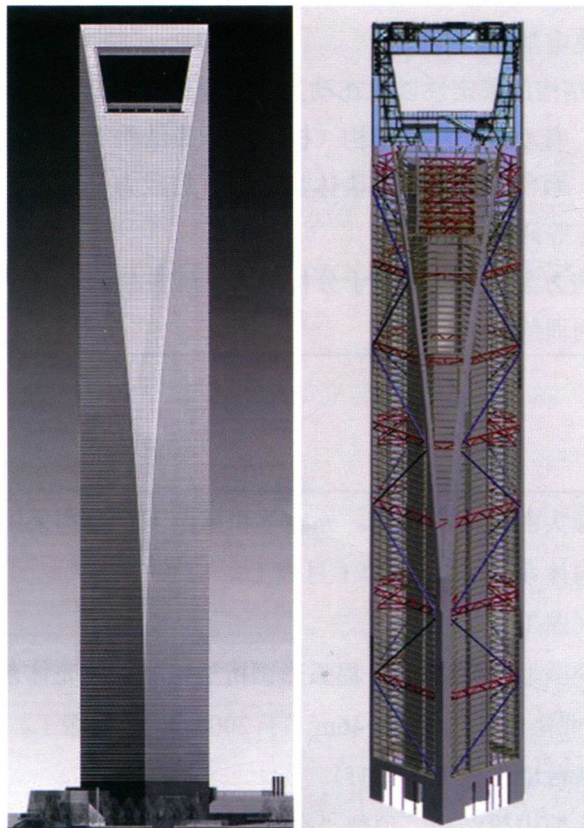
● 本章教学内容的难点：如何将实际结构简化为计算简图。

● 本章内容简介：

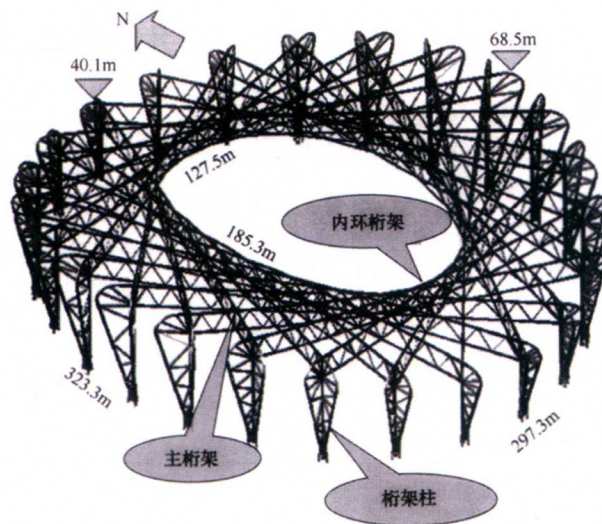
- 1.1 结构力学研究的对象和任务
- 1.2 杆件结构的计算简图
- 1.3 平面杆件结构的分类
- 1.4 荷载的分类
- 1.5 结构计算简图实例

1.1 结构力学的研究对象和任务			
1.1.1 结构	建筑物和构筑物中,用以支承、传递荷载并维持其使用功能形态的部分,称为工程结构,简称结构。例如,房屋中的梁柱体系,水工建筑物中的水坝和闸门,公路和铁路上的桥梁和隧道,以及电力通信系统中的输电塔和电视塔等。		
1.1.2 研究的对象和任务	以下工程力学课程之间既有密切的联系,又有明确的分工。		
(1)	理论力学:着重讨论刚体机械运动的基本规律。	(3)	结构力学:着重讨论杆件结构的强度、刚度、稳定性计算和动力反应,以及结构的组成规律。具体地说,包括以下几个方面: 1) 讨论结构的组成规律、合理形式及结构计算简图的合理选择。 2) 讨论结构内力和变形的计算方法,为结构设计的强度计算和刚度验算奠定基础。 3) 讨论结构的稳定性以及在动力荷载作用下的结构反应。
(2)	材料力学:着重讨论单个杆件的强度、刚度和稳定性的计算。	(4)	弹塑性力学:着重讨论薄壁结构(板、壳、膜结构等)和实体结构(挡土墙、墩台、重力坝、块体基础等)的应力、变形、稳定性和动力反应等问题。 学习结构力学,要注重对于分析能力、计算能力、自学能力和表达能力的训练。

1.1.3 土木工程结构实例	图 1-1 是土木工程结构的一些实例。		
(1)	上海环球金融中心(图 1-1a) 塔楼地上 101 层,高 492m。由三维巨型框架-核心筒及其间相互联系的伸臂钢桁架所组成的三重结构体系。于 2008 年 8 月竣工。	(5)	国家大剧院(图 1-1e) 巨大的椭圆形壳体由 148 榀弧形钢桁架组成。该壳体东西长轴 212m,南北短轴 143m,高 46m。于 2007 年 12 月竣工。
(2)	北京奥运会主体育馆(鸟巢)(图 1-1b) 骨架结构由 24 榀巨大的门式钢桁架围绕着内部碗状看台旋转而成。于 2008 年 4 月竣工。	(6)	中央电视台新台址工程(图 1-1f) 两塔楼为筒中筒结构,顶部“空中楼阁”悬挑臂长 75m。于 2012 年 5 月竣工。
(3)	重庆朝天门长江大桥(图 1-1c) 主跨为 552m 的“世界第一钢桁架拱桥”。于 2009 年 4 月通车。	(7)	长江三峡大坝(图 1-1g) 世界上规模最大的混凝土重力坝,坝顶总长 3035m,高 185m。主体工程于 2006 年 5 月建成。
(4)	国家游泳中心(水立方)(图 1-1d)		



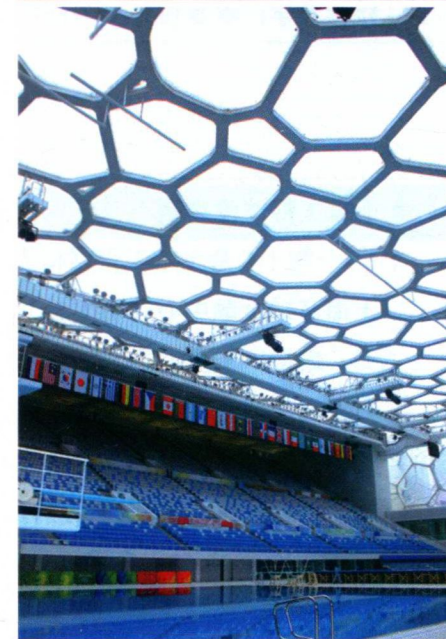
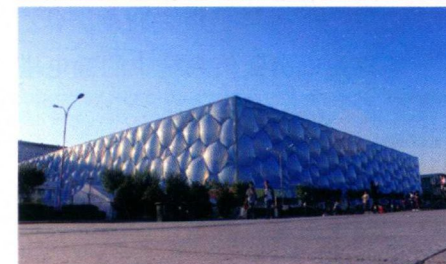
a) 上海环球金融中心
(选自本教材参考文献[24])



b) 北京奥运会主体育馆(鸟巢)结构布置图
(选自本教材参考文献[25])

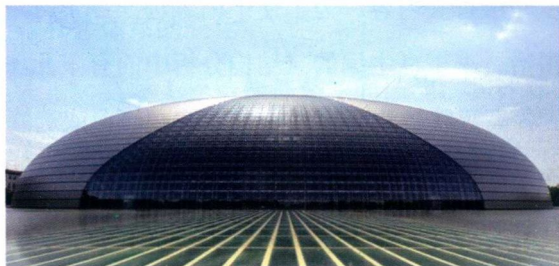
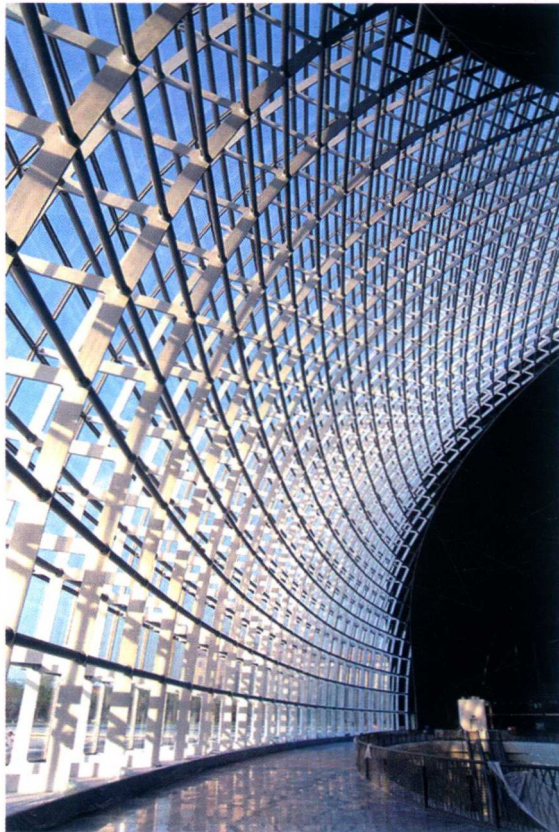


c) 重庆朝天门长江大桥
(选自《中国影像网》<http://www.imagecn.cn>)

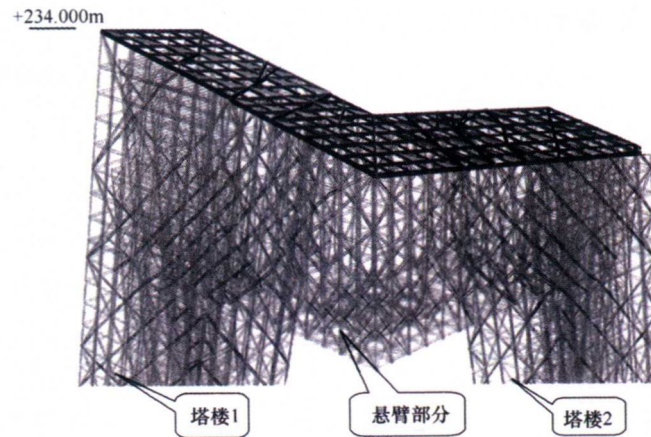


d) 国家游泳中心(水立方)
(选自《昵图网》<http://www.nipic.com>)

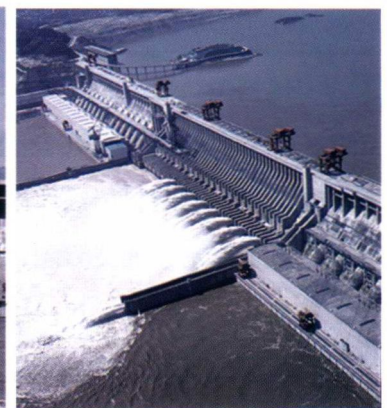
图 1-1 土木工程结构的一些实例



e) 国家大剧院
(选自《昵图网》<http://www.nipic.com>)



f) 中央电视台新台址工程
(左图选自本教材参考文献[24], 右图选自《百度网》<http://www.baidu.com>)



g) 长江三峡大坝
(选自《百度网》<http://www.baidu.com>)

图 1-1 土木工程结构的一些实例 (续)

1.1.4 计算机化的结构力学		2 任务
应当指出的是,自从电子计算机和有限元法问世以来,结构力学这门学科得到了进一步的发展,出现了计算机化的结构力学(即计算结构力学)这个新的分支,使结构力学研究的对象、任务、理论、计算模型和数学工具都发生了深刻的变化。		由原先仅仅是进行结构受力和反应的分析(被动地分析和说明结构在外因作用下的反应),发展为在一定的目标和约束下,主动从事结构优化设计(主动地设计和改造结构)。
1 对象		3 理论
结构力学研究的对象,原先主要是杆件结构;计算结构力学研究的对象,变成可以是各种不同类型构件(杆件、板、壳、膜结构和实体结构)的合体,即过去是一种一种地来处理,而现在则可以比较如实地按结构的本来面貌来研究。		过去各种特殊的计算方法层出不穷(由于来自计算工具方面的障碍,使基础理论的作用未能尽情发挥),现在已使计算方法趋于比较统一,以变分法为基础的有限元法成为普遍采用的方法,其相关软件已商业化。而各种公理化的变分原理又增添了新的活力,进一步发挥了它们的作用。

4 计算模型		这些由于计算手段带来的变化,使力学工作者为工程服务的能力有了量级上的提高,这是在计算机化以前难以想象的。
以往总是尽可能地把空间问题简化为平面问题,多维变少维;非线性问题简化为线性问题;不均匀简化为均匀;不连续的改为连续的;动态的改为静态的。改来改去,无非是如何使问题容易求解。计算机化以后,结构力学可以处理复杂得多的计算模型,从而更便于反映结构的真实情况。		为了反映这种变化和适应发展趋势,在本书中,专列第11章矩阵位移法,初步介绍有关内容。为了便于读者进一步学习,可参阅重庆大学文国治、李正良主编的《结构分析中的有限元法》,或其他相关教材。各高等院校均开设有这方面的必修课或选修课。
5 数学工具		有必要强调的是:在计算结构力学中,力学是它的主体,是研究的基础;而计算是手段,是为力学服务的。同时,力学还可以判断电子计算机计算结果的正确性。因此,我们应当十分重视经典结构力学理论与方法的学习。
以往杆件结构用线性代数计算,板、壳、实体结构用偏微分方程计算。现在是离散化的数值计算,矩阵数学成为最有效的数学工具。其他如循环迭代、逻辑判别等,都是结构力学的重要工具。		