



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

普通高等学校土木工程专业新编系列教材

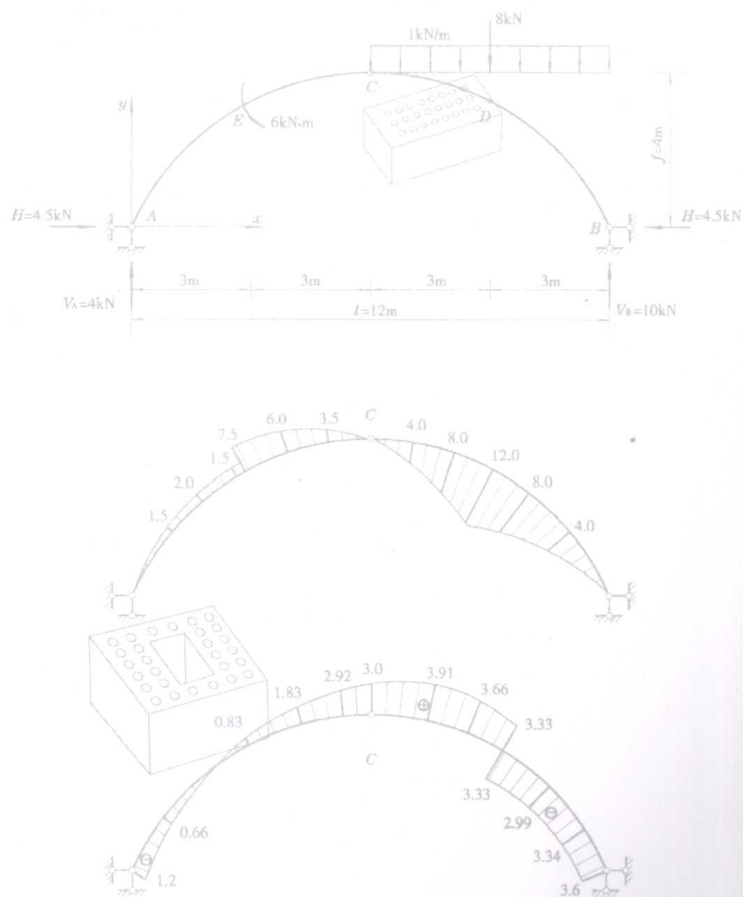
中国土木工程学会教育工作委员会 审订

# 结构力学 (上册)

(第3版)

J G L X

包世华 主编



WUTP

武汉理工大学出版社

普通高等学校土木工程专业新编系列教材  
中国土木工程学会教育工作委员会 审订

# 结构力学 (上册)

(第3版)

主 编 包世华  
主 审 龙驭球

武汉理工大学出版社

## 【内 容 提 要】

全书共 10 章,内容包括:绪论,结构的几何组成分析,静定梁,静定刚架,三铰拱;静定桁架和组合结构,静定结构总论,影响线,虚功原理和结构的位移计算,力法。

本书按照《结构力学课程教学基本要求(A类)》的要求,明确地将课程内容分为了两部分:基本部分为必修内容;专题、提高部分为选修内容,以便区分使用。本书与主编编写的英文版教材(参考文献 8)是完全对应的,便于双语教学时对照使用。

本书选材适当,内容精练,说理透彻,符合认识规律,注重联系实际,并反映了本学科的新内容。

本书可作为土木工程专业,即“大土木”的房建、路桥、水利等各类专门化方向的教材,也可作为成人教育、自学考试教材,以及供考研究生、参加注册结构工程师考试的人员和有关工程技术人员参考。

## 【主 编 简 介】

包世华 清华大学土木工程系教授,中国力学学会《工程力学》编委,中国建筑学会高层建筑结构委员会委员。1985~1986 年为美国伊里诺伊大学土木工程系访问学者,1991~1993 年为香港理工大学土木与结构系研究员。长期从事结构力学、弹性力学、能量原理及有限元、板壳结构、薄壁杆结构和高层建筑结构等领域的教学和研究工作。

出版教材和专著 30 本。教材有《高层建筑结构设计》、《结构力学》、《结构力学教程》等,分别于 1987 年获建设部优秀教材二等奖,1988 年、1992 年获国家教委优秀教材奖,1998 年获教育部科学技术进步奖一等奖,1999 年获国家级科学技术进步奖二等奖,2002 年获教育部全国优秀教材一等奖。专著有《薄壁杆件结构力学》、《高层建筑结构计算》、《新编高层建筑结构》、《高层建筑结构设计和计算》等。

在国内外刊物上发表学术论文 130 多篇。参加制定《薄壳结构设计规程》,壳体研究成果被收入该规程。提出和创建了高层建筑结构解析和半解析常微分方程求解器解法系列。1983 年获北京市科委技术成果奖,1986 年、1992 年、1994 年分别获国家教委科学技术进步奖一、二、三等奖。

E-mail: baosh@tsinghua. edu. cn

## 图书在版编目(CIP)数据

结构力学. 上/包世华主编. —3 版. —武汉:武汉理工大学出版社,2007. 12

ISBN 978-7-5629-2642-9

I. 结… II. 包… III. 结构力学-高等学校-教材 IV. 0342

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 203681 号

出版发行:武汉理工大学出版社(武汉市武昌珞狮路 122 号 邮政编码:430070)

<http://www.techbook.com.cn> 理工图书网

E-mail: wutpyyk@163.com

印刷者:武汉理工大印刷厂

经销者:各地新华书店

开 本:880×1230 1/16

印 张:14.75

字 数:477 千字

版 次:2000 年 8 月第 1 版 2003 年 7 月第 2 版 2007 年 12 月第 3 版

印 次:2007 年 12 月第 11 次印刷

印 数:64001—70000 册

定 价:26.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:(027)87394412 87397097 87383695

# 普通高等学校土木工程专业新编系列教材

## 编 审 委 员 会

(第3版)

顾 问:成文山 滕智明 罗福午 李少甫 甘绍熺

施楚贤 白绍良 彭少民 范令惠

主 任:江见鲸 吕西林 雷绍锋

副主任:朱宏亮 赵均海 刘伟庆 辛克贵 袁海庆 吴培明

刘立新 赵明华 朱彦鹏 徐礼华 戴国欣

委 员:(按姓氏笔画顺序排列)

毛鹤琴 王天稳 王社良 邓铁军 白晓红 包世华

田道全 叶献国 卢文胜 江见鲸 吕西林 刘立新

刘长滨 刘永坚 刘伟庆 朱宏亮 朱彦鹏 孙家齐

过静君 闵小莹 李世蓉 李必瑜 李启令 吴培明

吴炜煜 辛克贵 何铭新 汤康民 陈志源 汪梦甫

张立人 张建平 邵旭东 罗福午 周 云 赵明华

赵均海 尚守平 杨 平 杨志勇 柳炳康 胡敏良

俞 晓 桂国庆 袁海庆 徐 伟 徐礼华 秦建平

蒋沧如 彭少民 覃仁辉 雷俊卿 雷绍锋 蔡德明

廖 莎 燕柳斌 戴国欣

总责任编辑:刘永坚 田道全

秘 书 长:蔡德明

# 出版说明

(第3版)

1998年教育部颁布了新的高等学校本科专业目录,将“建筑工程专业”拓宽为“土木工程专业”。为了适应专业拓宽后教学的需要,解决教材缺乏的燃眉之急,我们于2000年率先组织编写并出版了“普通高等学校土木工程专业新编系列教材”。这套教材经中国土木工程学会教育工作委员会审订,并向全国高等学校推荐之后,已被众多高等学校选用,同时也得到了广大师生和社会的好评。其中多种教材荣获教育部全国高等学校优秀教材奖或优秀畅销书奖,多数被列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。截至2006年底,单本书销量最高的已达几十万册。这充分说明了教材编审委员会关于教材的定位、内容、特色和编写宗旨符合土木工程专业的教学要求,满足了专业建设的急需,但它仍然存在缺点和不足。随着我国土木工程建设领域国家标准、规范的修订和高等工程教育教学改革的新发展,教材编审委员会于2003年及时对本套教材进行了第2次修订,并根据高等学校土木工程专业本科教学的需要,增补出版了13种教材。

教材必须及时反映我国土木工程领域科学技术的最新发展,以及高等工程教育教学改革所取得的阶段性成果。根据这些要求,教材编审委员会决定2007年对本套教材进行第3次修订,教材编审委员会的成员也将进行相应的增补和调整。

(1)在教学过程中使用本套教材的各高等学校土木工程专业的师生,积极支持我社开展的教材审读活动,并根据教学实践提出了很多中肯的意见和建议,我们尽管在教材重印时及时做了局部修改,但仍感到存在一些问题,需要做较系统的修订。

(2)第3版教材的修订将及时反映当前土木工程建设领域发展的最新成果,尤其是新材料、新技术、新工艺和新设备,使教材内容与国家和行业最新颁布的标准、规范同步。

(3)第3版教材的修订将更准确地体现高等学校土木工程专业指导委员会为土木工程专业教学制定的《土木工程专业本科(四年制)培养目标和毕业生基本规格》、《专业基础课程教学大纲》、《专业课群组核心课程教学大纲》等文件精神。教材将在宽口径土木工程专业的建设方面进行认真探索,并为高等工程教育人才培养提供新的经验。

(4)第3版教材的修订将注重教材的立体化建设,充分利用多媒体教学手段以提高教学质量。我们配合中国土木工程学会教育工作委员会举办了“首届全国高等学校土木工程专业多媒体教学课件竞赛”活动,并将从获奖作品中遴选相关课程的优秀课件正式出版。

第3版教材的修订工作仍将秉承教材编审委员会既定的宗旨,把教材的内容质量放在第一位,并力求更好地满足教学需要。我们更希望广大师生能一如既往地关注本套教材,并及时反馈各校专业建设和教学改革的意见和建议,以便我们再次修订,将本套教材打造成名副其实的精品教材。

武汉理工大学出版社

2007.5

## 第3版前言

本书第3版作为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,重新进行了改编。

编写依据仍然是教育部颁布实施的《普通高等学校本科专业目录》中所规定的土木工程专业的业务培养目标、教育部高等学校非力学专业力学基础课程教学指导分委员会制定的《结构力学课程教学基本要求(A类)》和建设部高等学校土木工程专业指导委员会制定的《结构力学课程教学大纲》。适用对象为普通高等学校土木工程专业(即“大土木”)各类专门化方向的本科学生,也可供参加高等教育自学考试的学生、考研的学生和参加注册结构工程师考试的人员及有关工程技术人员阅读参考。

考虑到近年来各高校《结构力学》教学内容、体系改革等的实践结果和课时普遍调低的现状,第3版改动的地方主要有:

1. 为了与主编编写的结构力学双(英)语教材(Bao Shihua and Gong Yaoqing. *Structural Mechanics*, Wuhan University of Technology Press, 2006)完全一致,以便中、英文教学可以互相参考,将第2~6章全部进行了改写,这样,采用中文教学的师生,必要时可以参考上述英语教材;采用双(英)语教学的师生,在需要时也可以参考本书。

2. 教育部高等学校非力学专业力学基础课程教学指导分委员会2007年印发的《结构力学课程教学基本要求(A类)》(简称《基本要求》)中,将课程内容分为了两部分:基础部分和专题部分。基础部分为必修内容,专题部分中的“结构矩阵分析”和“结构的动力计算”(只要求到两个自由度体系)为必修内容,并去除了一些具体数字方面(如学时数、上机时数等)的硬性要求。

按照上述《基本要求》中是否为必修的要求,本书第3版将全书内容明确地划分为两部分:基本部分和专题、提高部分。前者为必修内容,后者为选修内容。

基本部分包括《基本要求》中的基础部分,即结构的几何组成分析、静定结构、超静定结构和影响线等;矩阵位移法和结构的动力计算(到两个自由度体系为止)。基本部分是为课程打好基础,落实课程基本要求的必修内容。第2版中没有打“\*”号的内容第3版中大都保留下来了,但按照《基本要求》中列为必修和选修的要求重新进行了划分,即第3版中作为必修的基本部分已按新《基本要求》确定,较第2版有所减少。专题、提高部分是《基本要求》中未列为必修的内容,包括:稳定、极限荷载、两个自由度以上体系的动力计算,以及各章中加“\*”号的内容。专题、提高部分一般不是课程教学基本要求的必修内容,个别学校或专业如有需要,可酌情选取其中某些材料作为教学内容。

有关学时数、理论教学时数、上机时数和实践性教学时数等规定,第3版中均去除了。

本版修订工作由包世华制定修改方案和大纲。撰稿分工如下:包世华,第1~9、12、15~17章;辛克贵,第10、11、13、14章。全书由包世华修改定稿。

本书由中国工程院院士、清华大学龙驭球教授和清华大学张铜生教授审阅,龙驭球为主审。郑州大学樊友景教授、南昌大学张爱萍教授和昆明理工大学孙俊教授对本书进行了审读。他们对编写大纲及书稿提出了许多宝贵意见,在此,对他们表示感谢。

本书难免存在不足之处,欢迎读者批评指正。

编者

2007年3月

## 第 2 版前言

本书是为普通高等学校土木工程专业新编系列教材新编的《结构力学》教材。编写依据是教育部颁布实施的《普通高等学校本科专业目录》中所规定的土木工程专业的业务培养目标、国家教委审定的《结构力学课程教学基本要求》(多学时)和建设部高等学校土木工程专业指导委员会制定的《结构力学课程教学大纲》。适用对象为普通高等学校土木工程专业(即“大土木”)各类专门化方向的本科学生,也可供参加高等教育自学考试的学生、考研的学生和有关工程技术人员阅读参考。

结构力学是土木工程专业各类专门化方向的一门重要的专业(技术)基础课,在基础课与专业课之间起着承上启下的作用,是“大土木”的一门重要的主干课程。本书在编写时,力求取材恰当,既要为打好基础精选内容,又要反映本学科的新发展;力求说理透彻、脉络清晰,符合认识规律,既方便教师教,也方便学生自学;力求理论联系实际。

与本教科书相应的“结构力学”课程的学时分配(参考)如下:

章次	学时数	其中		备注
		理论教学时数	实践性教学时数	
1	2	2		1. 总学时数:110 2. 考试类别:考试 3. 实践性教学指习题课、课堂讨论及上机实践;应保证学生有充分的上机实践时数(不少于16) 4. 道桥类专门化方向影响线学时数可适当增加
2	4	3	1	
3	3	2	1	
4	4	3	1	
5	2	2		
6	5	3	2	
7	2	2		
8	8	6	2	
9	8	6	2	
10	10	8	2	
11	8	6	2	
12	8	6	2	
13	24	8	16	
14	2	2		
15	16	13	3	
合计	106	72	34	

各校可根据自己的教学计划有选择地应用本书,不同专门化方向可以选用不同的内容。

为了对学有余力者、考研的学生等提供进一步提高的材料,书中加选了一些供选学、提高的内容,一律加“\*”号以示区别,不作为基本要求内容,也未计入课程学时分配表内。

本书由包世华制定编写大纲。撰稿分工如下:包世华,第1、7(部分)、8、9、12、15、16、17章;辛克贵,第10、11、13、14章;燕柳斌,第2、3、4、5、6、7(部分)章。全书由包世华修改定稿。

参加本书制图、程序调试及实验工作的人员有:龙玉珠、张琴、陈华、郝亮亮、段华、陈生钢、王华明。

本书由教育部高等工科力学课程指导委员会主任、结构力学课程指导组组长、中国工程院院士、清华大学龙驭球教授和清华大学张铜生教授审阅,龙驭球为主审。他们对编写大纲及书稿提出了许多宝贵意见,在此,对他们表示感谢。

由于时间仓促,本书难免存在不足之处,欢迎读者批评指正。

编者  
2003年6月

## 第 1 版前言

本书是为普通高等学校土木工程专业新编系列教材新编的《结构力学》教材。编写依据是教育部颁布实施的《普通高等学校本科专业目录》中所规定的土木工程专业的业务培养目标和国家教委审定的《结构力学课程教学基本要求》(多学时),并参照了建设部全国土木工程专业指导委员会制定的《结构力学课程教学大纲》。适用对象为普通高等学校土木工程专业(即“大土木”)各类专门化方向的本科学生,也可供参加高等教育自学考试的学生和有关工程技术人员阅读参考。

结构力学是土木工程专业各类专门化方向的一门重要的专业(技术)基础课,在基础课与专业课之间起着承上启下的作用,是“大土木”的一门重要的主干课程。本书在编写时,力求取材恰当,既要为打好基础精选内容,又要反映本学科的新发展;力求说理透彻、脉络清晰,符合认识规律,既方便教师教,也方便学生自学;力求理论联系实际。

与本教科书相应的“结构力学”课程的学时分配(参考)如下:

章 次	学时数	其 中		备 注
		理论教学时数	实践性教学时数	
1	2	2		1. 总学时数:110 2. 考试类别:考试 3. 实践性教学指习题课、课堂讨论及上机实践;应保证学生有充分的上机实践时数 4. 道桥类专门化方向影响线学时数可适当增加
2	4	3	1	
3	3	2	1	
4	4	3	1	
5	2	2		
6	5	3	2	
7	2	2		
8	8	6	2	
9	8	6	2	
10	10	8	2	
11	6	5	1	
12	6	4	2	
13	14	8	6	
14	2	2		
15	14	12	2	
16	12	10	2	
17	6	6		
合 计	108	84	24	

本书内容略多于以上学时分配。各校可根据自己的教学计划有选择地应用,不同专门化方向可以选用不同的内容。书中加“\*”号部分为选学、提高的内容。

本书由包世华制定编写大纲。撰稿分工如下:包世华,第1、7(部分)、8、9、12、15、16、17章;辛克贵,第10、11、13、14章;燕柳斌,第2、3、4、5、6、7(部分)章。全书由包世华修改定稿。

本书由教育部高等工科力学课程指导委员会主任、结构力学课程指导组组长、中国工程院院士、清华大学龙驭球教授和清华大学张铜生教授审阅,龙驭球为主审。他们对编写大纲及书稿提出了许多宝贵意见,在此,对他们表示感谢。

由于时间仓促,本书难免存在不足之处,欢迎读者批评指正。

编 者  
2000年7月



# 目 录

1 绪论 .....	(1)
1.1 结构和结构的分类 .....	(1)
1.2 结构力学的任务与方法 .....	(3)
1.2.1 结构力学课程与其他课程的关系 .....	(3)
1.2.2 结构力学的任务和学习方法 .....	(3)
1.3 结构的计算简图 .....	(4)
1.3.1 计算简图及其选择原则 .....	(4)
1.3.2 计算简图的简化要点 .....	(4)
1.3.3 结构计算简图示例 .....	(7)
1.4 杆件结构的分类 .....	(9)
1.5 荷载的分类 .....	(11)
本章小结 .....	(11)
思考题 .....	(11)
2 结构的几何组成分析 .....	(12)
2.1 几何组成分析的目的、几何不变体系和几何可变体系 .....	(12)
2.2 自由度和约束的概念 .....	(13)
2.2.1 自由度 .....	(13)
2.2.2 约束 .....	(13)
2.2.3 约束代换和瞬铰 .....	(14)
2.2.4 必要约束和多余约束 .....	(15)
2.3 几何不变无多余约束的平面杆件体系的几何组成规则 .....	(15)
2.3.1 一个点和一个刚片的连接 .....	(15)
2.3.2 平面内两个刚片的连接 .....	(16)
2.3.3 平面内三个刚片的连接 .....	(17)
2.3.4 瞬变体系 .....	(18)
2.4 几何组成分析举例 .....	(18)
2.5 体系的计算自由度数公式 .....	(20)
2.6 结构的几何组成和静定性的关系 .....	(20)
本章小结 .....	(21)
思考题 .....	(21)
习题 .....	(22)
3 静定梁 .....	(25)
3.1 静定单跨梁的计算 .....	(25)
3.1.1 杆件截面内力及正负号规定 .....	(25)
3.1.2 杆件截面内力计算的方法——截面法 .....	(25)
3.1.3 荷载与内力之间的微分关系 .....	(28)
3.1.4 内力图的绘制 .....	(29)
3.2 叠加法绘制直杆弯矩图 .....	(31)
3.2.1 简支梁弯矩图的叠加方法 .....	(31)
3.2.2 分段叠加法 .....	(32)

3.3	简支斜梁的计算	(33)
3.4	静定多跨梁约束力的计算与几何组成	(35)
3.5	静定多跨梁内力图的绘制	(36)
	本章小结	(38)
	思考题	(39)
	习题	(39)
<b>4</b>	<b>静定刚架</b>	(42)
4.1	静定平面刚架的几何组成及特点	(42)
4.2	静定刚架支座反力的计算	(44)
4.3	用截面法求静定刚架杆端截面内力	(45)
4.4	静定刚架内力图的绘制	(49)
4.4.1	静定刚架内力图绘制举例	(49)
4.4.2	静定刚架内力图的绘制要点	(50)
4.5	三铰刚架及多层多跨静定刚架的内力图	(51)
4.5.1	三铰刚架及多层多跨静定刚架内力图的绘制	(51)
4.5.2	刚架内力图的校核	(53)
*4.6	静定空间刚架的计算	(53)
	本章小结	(54)
	思考题	(55)
	习题	(55)
<b>5</b>	<b>三铰拱</b>	(59)
5.1	三铰拱的组成和类型	(59)
5.2	在竖向荷载作用下三铰拱的支座反力	(60)
5.3	在竖向荷载作用下三铰拱截面内力的计算公式	(61)
5.4	三铰拱的受力特性	(65)
5.5	三铰拱的合理轴线	(65)
5.5.1	在竖向荷载作用下三铰拱的合理拱轴	(65)
5.5.2	在沿径向均匀分布荷载作用下三铰拱的合理拱轴	(66)
*5.6	悬索	(67)
	本章小结	(69)
	思考题	(70)
	习题	(70)
<b>6</b>	<b>静定桁架和组合结构</b>	(72)
6.1	桁架的特点和组成分类	(72)
6.1.1	桁架计算简图的假设及内力特点	(72)
6.1.2	桁架按几何组成分类	(73)
6.1.3	桁架杆件轴力正负号规定及斜杆轴力的表示	(74)
6.2	结点法	(74)
6.3	截面法	(77)
6.4	结点法和截面法的联合应用	(80)
6.5	组合结构	(81)
6.5.1	组合结构的组成与型式	(81)
6.5.2	组合结构的计算	(81)
*6.6	静定空间桁架	(83)
6.6.1	空间桁架的应用	(83)

6.6.2	空间桁架的几何组成	(83)
6.6.3	空间桁架的计算方法	(84)
	本章小结	(87)
	思考题	(88)
	习题	(88)
<b>7</b>	<b>静定结构总论</b>	(93)
7.1	静定结构受力分析的方法	(93)
7.2	静定结构的一般性质	(95)
7.3	各种结构型式的受力特点	(97)
7.3.1	梁、拱、刚架和桁架的受力特点	(97)
7.3.2	梁式桁架的型式与受力特性	(99)
*7.4	用零载法分析体系的几何可变性	(101)
	本章小结	(103)
	思考题	(103)
	习题	(103)
<b>8</b>	<b>影响线</b>	(105)
8.1	影响线的概念	(105)
8.2	静力法作静定单跨梁影响线	(106)
8.2.1	简支梁的影响线	(106)
8.2.2	伸臂梁的影响线	(108)
8.3	结点荷载作用下梁的影响线	(110)
8.4	静力法作桁架的影响线	(111)
8.5	机动法作静定梁的影响线	(113)
8.5.1	刚体体系的虚功原理	(113)
8.5.2	机动法作影响线的原理和步骤	(113)
8.5.3	机动法作简支梁的影响线	(114)
8.5.4	机动法作静定多跨梁的影响线	(115)
8.6	影响线的应用	(117)
8.6.1	计算影响量值	(117)
8.6.2	可动均布荷载的最不利布置	(118)
8.6.3	移动荷载的最不利位置	(118)
*8.7	公路、铁路的标准荷载制及换算荷载	(123)
8.7.1	公路、铁路的标准荷载制	(123)
8.7.2	换算荷载	(123)
*8.8	简支梁的包络图和绝对最大弯矩	(126)
8.8.1	简支梁的包络图	(126)
8.8.2	简支梁的绝对最大弯矩	(126)
	本章小结	(128)
	思考题	(129)
	习题	(129)
<b>9</b>	<b>虚功原理和结构的位移计算</b>	(133)
9.1	位移计算概述	(133)
9.2	虚功和虚功原理	(134)
9.2.1	虚功	(134)
9.2.2	刚体体系虚功原理的两种应用	(135)

9.2.3	变形体体系的虚功原理 .....	(139)
9.3	单位荷载法计算位移和位移计算的一般公式 .....	(140)
9.4	荷载作用下的位移计算 .....	(141)
9.4.1	荷载作用下位移的计算公式及计算位移的步骤 .....	(141)
9.4.2	各类结构的位移计算公式 .....	(141)
9.4.3	荷载作用下位移计算举例 .....	(142)
9.5	图乘法 .....	(145)
9.5.1	图乘法的计算公式 .....	(145)
9.5.2	图乘的分段和叠加 .....	(147)
9.5.3	图乘法位移计算举例 .....	(148)
9.6	温度作用时的位移计算 .....	(153)
9.7	支座移动时的位移计算 .....	(154)
9.8	线性变形体系的互等定理 .....	(156)
9.8.1	功的互等定理 .....	(156)
9.8.2	位移互等定理 .....	(156)
9.8.3	反力互等定理 .....	(157)
*9.9	空间刚架的位移计算公式 .....	(157)
	本章小结 .....	(158)
	思考题 .....	(158)
	习题 .....	(160)
10	力法 .....	(164)
10.1	超静定结构和超静定次数 .....	(164)
10.1.1	超静定结构 .....	(164)
10.1.2	超静定次数的确定 .....	(164)
10.2	力法的基本概念 .....	(166)
10.2.1	力法的基本未知量和基本体系 .....	(166)
10.2.2	力法的基本方程 .....	(166)
10.3	力法方程的典型形式 .....	(168)
10.3.1	两次超静定结构的力法方程 .....	(168)
10.3.2	$n$ 次超静定结构的力法方程 .....	(170)
10.4	超静定梁、刚架和排架 .....	(170)
10.4.1	超静定梁和刚架 .....	(170)
10.4.2	铰接排架 .....	(175)
10.5	超静定桁架和组合结构 .....	(177)
10.5.1	超静定桁架 .....	(177)
10.5.2	超静定组合结构 .....	(178)
10.6	对称结构的计算 .....	(180)
10.6.1	结构和荷载的对称性 .....	(180)
10.6.2	取对称基本体系计算 .....	(181)
10.6.3	取半边结构计算 .....	(183)
10.7	超静定拱 .....	(188)
10.7.1	两铰拱计算 .....	(188)
10.7.2	对称无铰拱计算 .....	(193)
*10.8	交叉梁系和超静定空间刚架 .....	(196)
10.8.1	交叉梁系的计算 .....	(196)

10.8.2 超静定空间刚架的计算.....	(199)
10.9 温度变化和支座移动时超静定结构的内力.....	(200)
10.9.1 温度变化时的内力计算.....	(200)
10.9.2 支座移动和支座为弹性支座*时的内力计算.....	(202)
*10.10 超静定结构的位移计算.....	(206)
10.11 超静定结构计算的校核.....	(208)
本章小结.....	(210)
思考题.....	(211)
习题.....	(212)
附录 习题答案.....	(217)
参考文献.....	(222)

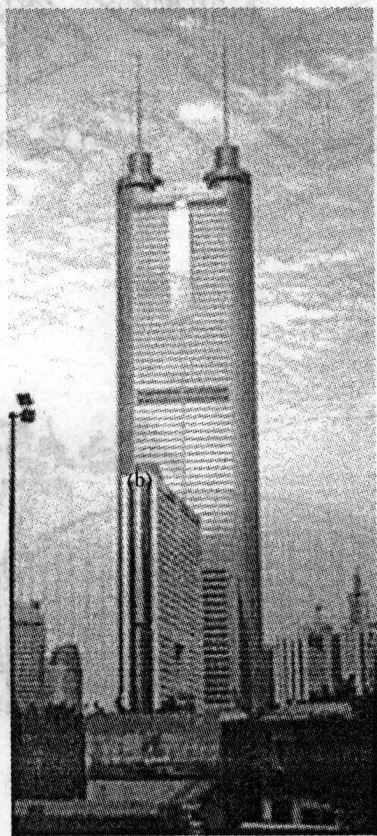
面... 绪论... 图 1.1 图成, 是... 大... 更宽

### 本章提要

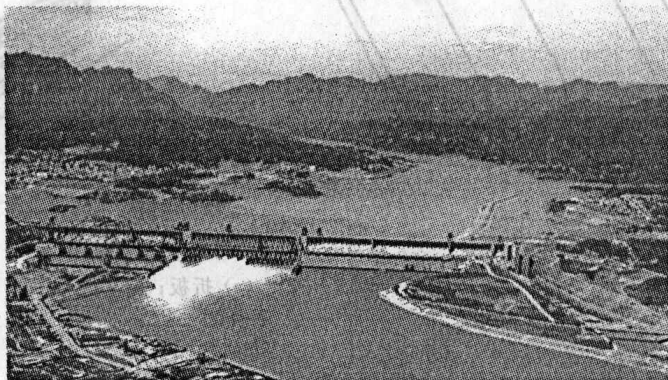
本章介绍结构力学的任务与方法、结构的计算简图、结构和杆件结构的分类、荷载的分类共四个问题, 其中结构的计算简图是重点, 是本书后续章节计算的依据。

### 1.1 结构和结构的分类

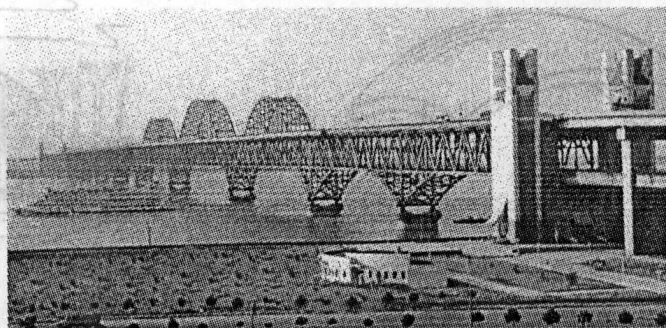
在土木工程中, 由建筑材料构成, 能承受荷载而起骨架作用的构筑物称为工程结构, 简称结构。图 1.1 是一些工程结构的例子<sup>①</sup>。图 1.1(a)为一高层建筑结构, 图 1.1(b)为一水利枢纽工程, 图 1.1(c)为一桥梁结构。再细一些, 如图 1.16 所示单层厂房结构中的屋面板、屋架、梁、柱、基础及其组成的体系, 也都是结构。



(b)



(a)



(c)

图 1.1 工程结构示例

(a) 深圳地王大厦; (b) 长江三峡水利工程; (c) 九江长江大桥

① 严格地说, 照片中看到的是这些结构的外形, 只有图 1.1(c) 的桥梁结构, 其受力骨架是展现在外的。

结构按其几何特征通常分为三类：

(1) 杆件结构

杆件结构是由杆件或若干根杆件相互连接组成。杆件的几何特征是：三个方向尺寸中，长度  $l$  比截面宽度  $b$  和厚度  $h$  大得多，如图 1.2 所示。各种结构中，杆件结构最多，本书讨论的也主要是杆件结构。

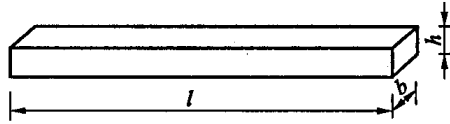


图 1.2 杆件

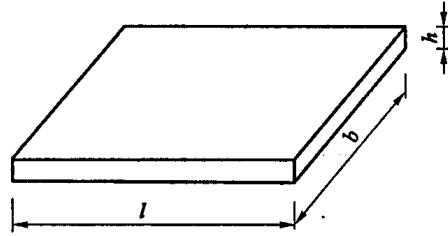


图 1.3 平板

(2) 板壳结构(又称薄壁结构)

它的几何特征是：三个方向尺寸中，厚度  $h$  比长度  $l$  和宽度  $b$  小得多，如图 1.3 所示的平板。由几块平板组合，可得折板，如图 1.4(a)所示；图 1.4(b)为折板屋面结构。当薄壁结构为曲面时，则为壳体，如图 1.5(a)所示；图 1.5(b)为一壳体屋面结构。

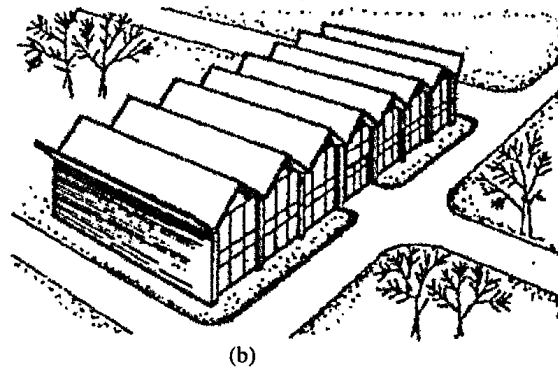
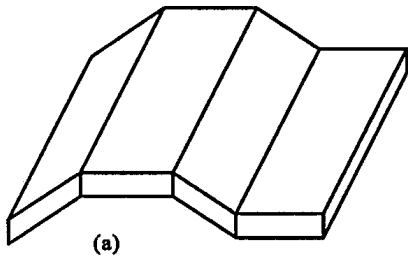


图 1.4 折板结构  
(a) 折板；(b) 折板屋面

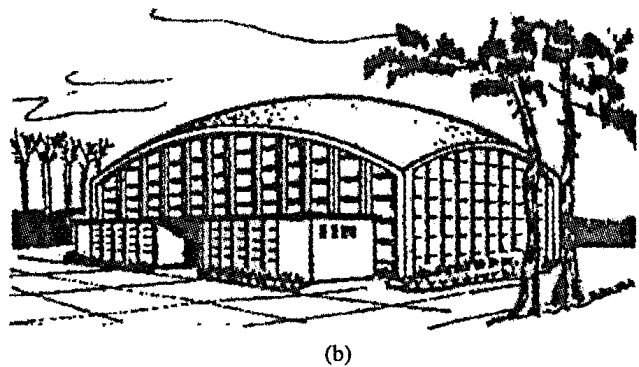
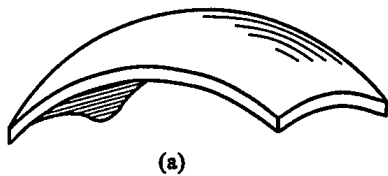


图 1.5 壳体结构

(a) 壳体；(b) 壳体屋面结构

(3) 实体结构

实体结构的几何特征是：三个方向尺寸中，长度  $l$ 、宽度  $b$  和厚度  $h$  大致相当，如挡土墙(图 1.6)、堤坝和块体基础(图 1.7)等。

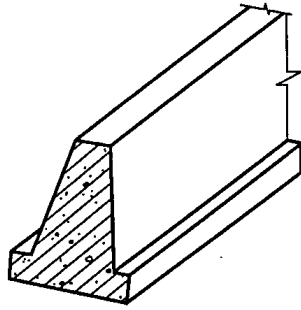


图 1.6 挡土墙

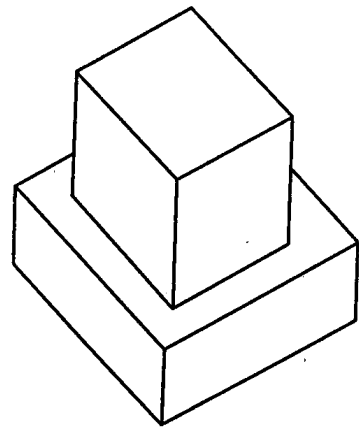


图 1.7 块体基础

## 1.2 结构力学的任务与方法

### 1.2.1 结构力学课程与其他课程的关系

本课程讨论的范围是杆件结构,因此,也可称为杆件结构力学,简称为结构力学。

结构力学是土木工程各专业的一门重要的技术基础课,在各门课程的学习中起着承上启下的作用。

结构力学是理论力学和材料力学的后续课程。理论力学研究的是刚体的机械运动(包括静止和平衡)的基本规律和刚体的力学分析。材料力学研究的是单根杆件的强度、刚度和稳定性问题。而结构力学则是研究杆件体系的强度、刚度和稳定性问题。因此,理论力学和材料力学是学习结构力学的重要的基础课程,为结构力学提供力学分析的基本原理和基础。

同时,结构力学又为后续的弹性力学(研究板壳结构和实体结构的强度、刚度和稳定性问题)以及混凝土结构、砌体结构和钢结构等专业课程提供了进一步的力学知识基础。因此,结构力学课程的学习在土木工程的房建、结构、道路、桥梁、水利及地下工程各专业的学习中均占有重要的地位。

### 1.2.2 结构力学的任务和学习方法

结构力学的任务包括以下几个方面:

- (1) 研究结构的组成规律、合理形式以及结构计算简图的合理选择;
- (2) 研究结构内力和变形的计算方法,以便进行结构强度和刚度的验算;
- (3) 研究结构的稳定性以及在动力荷载作用下结构的反应。

结构力学的计算问题分为两类:一类为静定性的问题,只需根据下面三个基本条件的第一个条件——平衡条件,即可求解;另一类为超静定性的问题,必须满足以下三个基本条件,方能求解。三个基本条件是:

- (1) 力系的平衡条件 在一组力系作用下,结构的整体及其中任何一部分都应满足力系的平衡条件。
- (2) 变形的连续条件(即几何条件) 连续的结构发生变形后,仍是连续的,材料没有重叠或缝隙;同时结构的变形和位移应满足支座和结点的约束条件。
- (3) 物理条件 把结构的应力和变形联系起来的物性条件,即物理方程或本构方程。

以上三个基本条件贯穿在本课程的全部计算方法中,只是满足的次序和方式不同而已。

学习时要注意结构力学与其他课程的联系。对理论力学和材料力学等先修课程的知识,应当根据情况进行必要的复习,并在运用中得到巩固和提高。

学习时要注意分析方法与解题思路。在本课程中讲述的各种具体的计算方法,均是前述三个基本条件的具体体现,要注意各种方法在其计算过程中是怎样实现三个基本条件的要求的。学习时要着重掌握各种方法的解题思路,特别是要从这些具体的算法中学习分析问题的一般方法,例如:如何由已知领域逐步过渡到未知新领域的方法,如何将整体分解成局部再由局部综合成整体的方法,如何把有关几个问题加



以对比的方法,等等。

学习时要注意多练。做题练习是学习结构力学的重要环节。不做一定数量的习题,是很难掌握其中的概念、原理和方法的。但是做题也要避免各种盲目性:不看书,不复习,只埋头做题,这是第一种;贪多求快,不求甚解,这是第二种;只会对答案,不会自己校核,这是第三种;错题不改正,不会从中吸取教训得以提高,这是第四种。

## 1.3 结构的计算简图

### 1.3.1 计算简图及其选择原则

实际结构是很复杂的,完全按照结构的实际工作状态进行力学分析是不可能的,也是不必要的。因此,对实际结构进行力学计算以前,必须加以简化,略去不重要的细节,用一个能反映其基本受力和变形性能的简化的计算图形来代替实际结构。这种代替实际结构的简化计算图形称为结构的计算简图。结构的受力分析都是在计算简图中进行。因此,计算简图的选择是结构受力分析的基础。选择不当,则计算结果不能反映结构的实际工作状态,严重的将会引起工程事故。所以,对计算简图的选择应该十分重视。

计算简图的选择原则是:

- (1) 计算简图应能反映实际结构的主要受力和变形性能;
- (2) 保留主要因素,略去次要因素,使计算简图便于计算。

应当指出,计算简图的选择在上述原则指导下,要根据当时当地的具体要求和条件来选用,并不是一成不变的。如对重要的结构应采用比较精确的计算简图;对不重要的结构可以使用较为简单的计算简图。如在初步设计的方案阶段,可使用较为粗糙的计算简图,而在技术设计阶段再使用比较精确的计算简图。如用手算,可采用较为简单的计算简图,而用电算,则可以采用较为复杂的计算简图。

### 1.3.2 计算简图的简化要点

#### (1) 结构体系的简化

一般结构实际上都是空间结构,各部分相互连接成为一个空间整体,以承受各个方向可能出现的荷载。但在多数情况下,常可以忽略一些次要的空间约束而将实际结构分解为平面结构,使计算得以简化。本书主要讨论平面结构的计算问题。当然也有一些结构具有明显的空间特征而不宜简化成平面结构,本书也将涉及这方面的内容。

#### (2) 杆件的简化

杆件的截面尺寸(宽度、厚度)通常比杆件长度小得多,截面变形符合平截面假设,截面上的应力可根据截面的内力(弯矩、剪力、轴力)来确定,截面上的变形也可根据轴线上的应变分量来确定。因此,在计算简图中,杆件可用其轴线表示,杆件之间的连接区用结点表示,杆长用结点间的距离表示,荷载的作用点也转移到轴线上。当截面尺寸增大时(例如超过杆长的 $1/4$ ),杆件用其轴线表示的简化,将引起较大的误差。

#### (3) 杆件间连接的简化

结构中杆件与杆件之间的相互连接处,简化为结点。木结构、钢结构和混凝土结构中杆件与杆件之间相互连接的构造方式虽然很多,但其结点通常简化为以下两种理想情形:

##### ① 铰结点

理想铰结点的特点是:被连接的杆件在结点处不能相对移动,但可绕铰自由转动;在铰结点处可以承受和传递力,但不能承受和传递力矩。这种理想情况,实际结构中是很难遇到的。图 1.8(a)所示的木屋架端结点,由于连接的作用,各杆之间不能相对移动,但有相互间微小转动,计算时简化为一铰结点,其计算简图如图 1.8(b)所示。木屋架的结点也只是比较接近铰结点。图 1.9(a)所示一钢桁架的结点,是通过节点板把各杆件焊接在一起的,实际上各杆端是不能相对转动的,但在桁架中各杆主要是承受轴力,因此计算时仍将这种结点简化为铰结点[图 1.9(b)]。