



普通高等院校土木工程类
实用创新型系列规划教材



北京高等教育精品教材

BEIJING GAODENG JIAOYUJINGPIN JIAOCAI

结构力学

(上册)

(第三版)

张延庆

主 编

樊友景 刘曙光

副主编

包世华

主 审



科学出版社

普通高等院校土木工程类**实用创新型**系列规划教材
北京高等教育精品教材



结 构 力 学 (上册)

(第三版)

张 延 庆	主 编
樊友景 刘曙光	副主编
包世华	主 审

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书分上、下两册。上册主要内容包括绪论、平面体系的几何构成分析、静定结构内力分析、虚功原理和静定结构位移计算、力法、位移法、渐近法与近似法、结构的影响线及其应用等；下册主要内容包括矩阵位移法、结构的动力计算、结构的稳定计算与结构的极限荷载。

本书可作为高等院校土木工程专业教学用书，亦可供相关专业的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

结构力学. 上册/张延庆主编.—3版.—北京:科学出版社,2017
(普通高等院校土木工程类实用创新型系列规划教材·北京高等教育精品教材)

ISBN 978-7-03-052866-7

I. ①结… II. ①张… III. ①结构力学-高等学校-教材 IV. ①0342

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 110677 号

责任编辑:任加林 / 责任校对:马英菊

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 2 月第 一 版 2018 年 3 月第八次印刷

2011 年 3 月第 二 版 开本:787×1092 1/16

2017 年 5 月第 三 版 印张:19

字数:419 000

定价:48.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新科〉)

销售部电话 010-62136230 编辑部电话 010-62135517-2028(HA18)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229;010-64034315;13501151303

普通高等院校土木工程类实用创新型 系列规划教材编委会

主 任 霍 达

副主任 (按姓氏笔画排序)

周 云 阎兴华 童安齐

秘书长 张志清

委 员 (按姓氏笔画排序)

石振武	白晓红	刘继明	何浙浙	何舒民
张文福	张延庆	张志清	周 云	周亦唐
宗 兰	徐向荣	翁维素	阎兴华	韩建平
程赫明	傅传国	童安齐	雷宏刚	霍 达

第三版前言

普通高等院校土木工程类实用创新型系列规划教材之《结构力学》分别于2006年、2011年出版、再版，两版均获北京高等教育精品教材。我们秉承创新在于实用的理念，在教学过程中按精品要求审视教材，经10年使用，教材中部分内容需要调整更新。

《结构力学》（第三版）坚持实用创新型系列教材的统一要求，根据结构力学在土木工程学科中的基础作用和教学大纲要求，进行修订：首先调整了以下内容：①强调内力分析重要性，加强弯矩图画法训练，将不求与少求支座反力画弯矩图独立成节；②明确影响线的特殊性，将影响线一章调整到上册最后，将力法中超静定结构影响线移入该章；③突出2个自由度体系振动的示范作用，结构动力计算中将2个自由度体系振动单独成节。其次修改以下内容：①将各章概述统一形式，尽量简洁说明本章要点；②结构稳定分析中按小变形理论讲述具有弹性支撑压杆的稳定。同时根据结构力学理论的系统性，在影响线中增设位移影响线内容，应学生学习需求在附录中增设课程考试试卷。

根据精耕细作、与时俱进的原则，《结构力学》（第三版）版面亦有更新：版面增设页眉，规范插图形式，并用不同颜色表示结构、荷载、内力和变形等。

我们按精品教材的要求，以导师龙驭球先生的精品教材为目标努力进取，编写过程中，全体人员团结协作，科学出版社亦给予大力支持，在此一并表示感谢。

限于编者水平，书中如有疏漏之处，还望读者和同行批评指正。

张延庆

2016年12月

第二版前言

普通高等院校土木工程类实用创新型系列规划教材之《结构力学》(上、下册)于2006年初出版,其间于2008年被评为北京高等教育精品教材。《结构力学》(上、下册)教材秉承创新在于实用的理念,在使用中按精品要求审视教材。经过5年多的使用,教材中部分内容需要调整更新。

2010年夏,本教材编者集聚北京工业大学,商讨修订原则与计划:本次修订工作坚持实用创新型系列教材的统一要求,既注意教材本身的系统性,更考虑便于教学使用;既考虑培养学生的分析能力,更注意学生工程素质的培养。

各章开篇增加本章内容概要,更便于自学;上、下册独立成册,适应不同层次的学生;各章各类习题尽量均衡;给出部分典型习题答案。内容上更加注意主次分明,充实基本内容,例题以基本结构形式讲解;精减选修内容,如精简了选修内容三弯矩方程,删减了结构的非线性稳定分析。

为培养学生的分析能力,强调了计算自由度的概念、位移法的解题思路、对称性的利用。为培养学生的工程素养,增加了工程实例图,充实工程结构的简化过程,特别是支座的简化,对反映实际结构性能的弹性支座,在各部分均有交代,在动力计算中分析了单自由度体系强迫振动荷载不作用在质点上的情况。

参加本次修订工作的有北京工业大学的张延庆(第一、二、七、九章)和陈长安(第五、八、十二章和习题答案)、郑州大学的樊友景(第三、四章及第三章习题答案)、东北林业大学的刘晚成(第十、十一章)、内蒙古工业大学的刘曙光(第六章)。

修订过程使我们懂得了追求精品的艰难,幸有导师龙驭球先生的鼓励、科学出版社的支持,让我们按照精品的要求尽力去做。限于现有水平,书中疏漏之处,还望读者和同行批评指正。

张延庆

2011年1月

第一版前言

本书作为普通高等院校土木工程类实用创新型系列规划教材之一，根据教育部结构力学教学指导委员会 2004 年年会通过的土木工程专业结构力学教学基本要求、实用创新型系列教材的创意和结构力学在土木工程专业中的位置，由东北林业大学、兰州理工大学、内蒙古工业大学、郑州大学和北京工业大学联合编写完成。

本书注意了实用创新型系列教材的基本原则，吸取以往教学经验和有关教材的长处，保持结构力学基本理论的系统性，内容满足土木工程专业中的各个方向的教学要求；注重教材的实用性，便于学生自学，深入浅出，反映作者在工程结构分析中的新成果；注重对学生能力的培养，理论联系实际，教材内容满足课堂教学精讲精练，课后保证一定的作业量；关注现代科技和市场设计技术的发展，教材内容尽量与相关课程和工程实际相联系。

参加本书编写工作的有东北林业大学的刘晚成（第十、十二章），兰州理工大学的程选生（第八、十二章），内蒙古工业大学的刘曙光、王猛、郝负洪、吴安利（第二、六、七章），郑州大学的樊友景、李乐（第三、四章），北京工业大学的陈长安（第五章）、张延庆（第一、九章）等。全书由张延庆任主编，樊友景、刘曙光任上册副主编，刘晚成任下册副主编。

担任本书主审的清华大学包世华教授仔细审阅了全书初稿，提出了许多宝贵意见，清华大学龙驭球教授也提出了很好的建议，对此，我们表示衷心感谢。

限于编者水平，书中必定存在缺点错误，希望读者批评指正。

张延庆
2006 年 1 月

主要符号

A	面积、振幅
$\mathbf{A}$	振幅向量
c	支座广义位移
C	弯矩传递系数
D	侧移刚度
E	弹性模量
E_P	结构总势能
$\mathbf{F}$	结点荷载向量, 综合结点荷载向量
$\mathbf{F}^E$	等效结点荷载向量
F_{Ax} 、 F_{Ay}	A 支座沿 x 、 y 方向的反力
F_{AH} 、 F_{AV}	A 支座沿水平、竖直方向的反力
F_{cr}	临界荷载
F_e	弹性力
F_H	拱的水平推力
F_I	惯性力
F_N	轴力
F_P	集中荷载
F_R	阻尼力、支座反力、力系合力
F_Q	剪力
F_u	极限荷载
$\overline{\mathbf{F}}^e$	局部坐标系下的单元杆端力向量
$\mathbf{F}^e$	整体坐标系下的单元杆端力向量
$\overline{\mathbf{F}}^{Fe}$	局部坐标系下的单元固端力向量
$\mathbf{F}^{Fe}$	整体坐标系下的单元固端力向量
G	切变模量
i	线刚度
I	截面二次矩 (惯性矩)、冲量
$\mathbf{I}$	单位矩阵
k	刚度系数
$\overline{\mathbf{k}}^e$	局部坐标系下的单元刚度矩阵
$\mathbf{k}^e$	整体坐标系下的单元刚度矩阵
$\mathbf{K}$	结构刚度矩阵



m	质量
M	力矩, 力偶矩, 弯矩
$\mathbf{M}$	质量矩阵
M^F	固端弯矩
M_u	极限弯矩
p	均布荷载集度
q	均布荷载集度
r	单位位移引起的广义反力
R	广义反力
S	转动刚度, 截面静矩, 影响线量值
t	时间
T	周期, 动能
$\mathbf{T}$	坐标转换矩阵
u	水平位移
U	应变能
v	竖向位移
V	外力势能
W	平面体系自由度、功、弯曲截面系数
X	广义未知力
Z	广义未知位移
α	线(膨)胀系数
Δ	广义位移
$\mathbf{\Delta}$	结点位移向量
ν	剪力分配系数
δ	单位力引起的广义位移
ζ	阻尼比
θ	干扰力频率
μ	力矩分配系数
σ_b	强度极限
σ_s	屈服应力
σ_u	极限应力
φ	角位移, 初相角
Φ	振型矩阵
ω	角频率

目 录

第三版前言

第二版前言

第一版前言

主要符号

上 册

第一章 绪论	1
1.1 结构力学的研究对象与任务	1
1.2 结构的计算简图	2
1.3 结构力学的学习要求与学习方法	7
思考题	9
第二章 平面体系的几何构成分析	10
2.1 几何构成分析的几个概念	10
2.2 几何不变体系构成规律	14
2.3 计算自由度	16
2.4 几何构成分析示例	18
思考题	21
习题	21
第三章 静定结构内力分析	25
3.1 截面内力计算及内力图特征	25
3.2 多跨静定梁	32
3.3 静定平面刚架	35
3.4 绘制弯矩图的简捷方法	45
* 3.5 静定空间刚架的计算	53
3.6 桁架结构的内力计算	55
3.7 组合结构的内力计算	63
3.8 三铰拱的受力分析	65

3.9 拱的合理轴线	71
3.10 静定结构的特性	74
* 3.11 用零载法分析体系的几何构成性质	76
思考题	78
习题	79
第四章 虚功原理和静定结构位移计算	86
4.1 有关结构位移计算的几个概念	86
4.2 虚功原理	88
4.3 单位荷载法——位移计算一般公式	93
4.4 荷载作用下的位移计算	94
4.5 图乘法	98
4.6 静定结构由于温度改变引起的位移计算	106
4.7 静定结构由于支座移动引起的位移计算	108
4.8 线弹性体系的互等定理	110
思考题	113
习题	114
第五章 力法	119
5.1 超静定结构的概念	119
5.2 力法的基本概念与力法的典型方程	123
5.3 力法的计算步骤和示例	127
5.4 对称性的利用	138
5.5 超静定结构的位移计算	145
5.6 超静定结构支座移动的内力计算	147
5.7 超静定结构温度变化时的计算	152
5.8 内力图的校核	155
5.9 力法计算超静定拱	157
* 5.10 交叉梁结构的计算	169
5.11 超静定结构的特性	170
思考题	171
习题	172
第六章 位移法	178
6.1 位移法基本概念	178
6.2 超静定杆件的杆端力	182
6.3 位移法基本方程	186

6.4 连续梁 无侧移刚架	189
6.5 有侧移刚架	193
6.6 对称性的利用	199
6.7 支座移动时的计算	200
6.8 温度变化时的计算	202
思考题	204
习题	204
第七章 渐近法与近似法	208
7.1 力矩分配法的概念	208
7.2 力矩分配法计算连续梁和无侧移刚架	211
7.3 力矩分配法和位移法的联合应用	218
7.4 无剪力分配法	220
* 7.5 分层法	225
* 7.6 反弯点法	229
思考题	232
习题	233
第八章 结构的影响线及其应用	236
8.1 影响线的定义、静力法作简支梁的影响线	236
8.2 静力法作伸臂梁和多跨静定梁的影响线	239
8.3 用机动法作影响线	242
8.4 间接荷载作用下的影响线	245
8.5 桁架的影响线	247
8.6 利用影响线求量值和最不利荷载位置	250
8.7 铁路和公路的标准荷载制、换算荷载	257
* 8.8 简支梁的包络图和绝对最大弯矩	261
* 8.9 超静定结构的影响线作法	264
* 8.10 位移影响线的概念	266
思考题	268
习题	268
附录 A 结构力学 (上册) 测试卷	272
附录 B 结构力学 (上册) 部分习题答案	275
索引	281
主要参考文献	283

下 册

第九章 矩阵位移法	285
9.1 矩阵位移法解题思路	285
9.2 单元分析——局部坐标系	286
9.3 单元分析——整体坐标系	292
9.4 整体分析——刚度矩阵的组集	295
9.5 整体分析——边界条件的处理	301
9.6 等效结点荷载	304
9.7 计算步骤和算例	308
9.8 几点补充说明	317
思考题	319
习题	320
第十章 结构的动力计算	323
10.1 结构动力计算特点	323
10.2 单自由度体系的自由振动	327
10.3 单自由度结构在简谐荷载下的强迫振动	335
10.4 单自由度结构在任意荷载下的强迫振动	343
10.5 两个自由度体系的自由振动	346
10.6 多自由度结构的自由振动	354
* 10.7 多自由度结构在简谐荷载作用下的强迫振动	361
10.8 振型分解法	368
10.9 无限自由度体系的自由振动	373
10.10 自振频率和振型的近似计算方法	376
思考题	382
习题	383
第十一章 结构的稳定计算	386
11.1 结构的稳定性及分析特点	386
11.2 用静力法确定临界荷载	390
11.3 用能量法确定临界荷载	394
11.4 弹性支撑压杆的稳定分析	399
11.5 剪力对临界荷载的影响	407
11.6 组合压杆的稳定	409
* 11.7 圆环及拱的稳定	412

* 11.8 窄条梁的稳定	415
思考题	417
习题	418
第十二章 结构的极限荷载	420
12.1 弹性设计与塑性设计	420
12.2 静定梁的极限荷载	421
12.3 单跨超静定梁的极限荷载	423
12.4 比例加载时有关极限荷载的几个定理	425
12.5 计算极限荷载的穷举法和试算法	428
12.6 连续梁的极限荷载	429
* 12.7 刚架的极限荷载	431
思考题	439
习题	439
附录 C 结构力学 (下册) 测试卷	441
附录 D 结构力学 (下册) 部分习题答案	443
索引	446
主要参考文献	448

第一章 绪 论

结构力学是一门技术基础课,是研究土木工程结构的力学性能的学问,是结构设计的基础。如何将复杂的实际工程结构简化为既能分析又符合工程实际特征的计算简图至关重要。

本章主要介绍结构力学的研究对象、研究内容、结构的计算简图等。

1.1 结构力学的研究对象与任务

1.1.1 结构

所谓结构,是指工程建筑物及设施中承受荷载起骨架作用的部分,如房屋建筑中的梁柱体系(图 1.1),道路工程中的桥梁(图 1.2)和隧洞,水利工程中的水坝和渡槽(图 1.3)等。

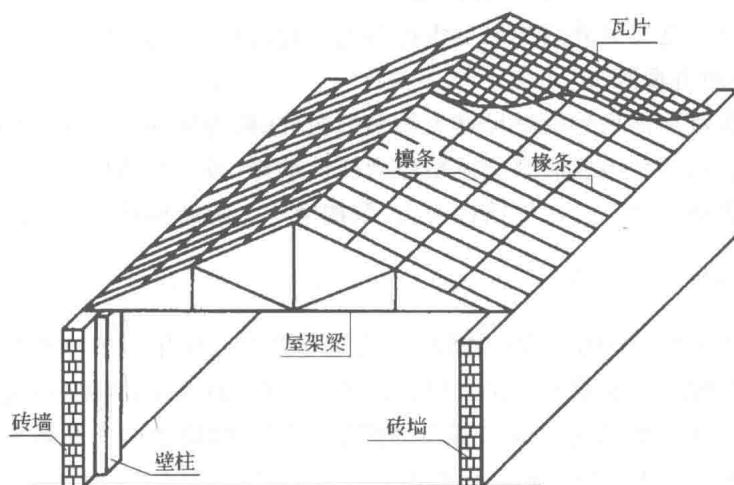


图 1.1

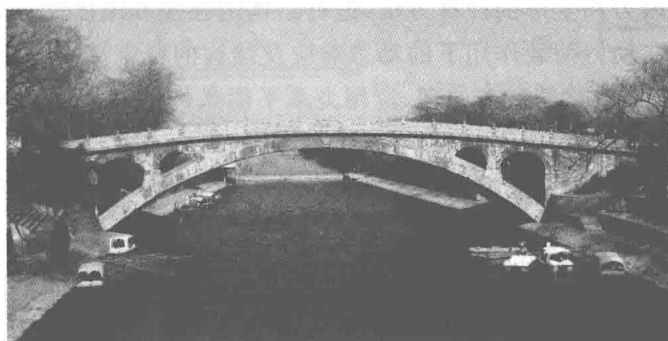


图 1.2



图 1.3

根据结构在空间的几何形状,结构可分为实体结构、板壳结构和杆件结构三类。

结构的三维尺度大小相仿,这样的结构称为实体结构,如建筑工程中的基础等。

结构的一维尺度比另外两维尺度小得多的结构,称为板壳结构,如房屋中的楼板和屋盖、水工建筑中的拱坝等。

构件的一维尺度比另外两维尺度大得多的构件,称为杆件,如房屋中的梁、柱,桥梁和隧洞中的拱等。由杆件组成的结构体系称为杆件结构(或杆系结构)。

结构力学的研究对象以杆件结构为主,结构力学中的结构通常指的是杆件结构。

1.1.2 结构力学的研究内容

力学的任务是根据力学原理研究在荷载等外界因素作用下物体的力学性能,如理论力学讨论物体机械运动的基本规律,材料力学讨论构件的强度、刚度、稳定性等问题。

结构力学的任务是研究在荷载等外界因素作用下结构的内力和变形,讨论结构的强度、刚度、稳定性和动力反应,以及结构的组成规律,具体有以下三个方面:

- 1) 讨论结构的组成规律和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,进行结构的强度和刚度验算。
- 3) 讨论结构在动力荷载作用下的动力响应及结构的稳定性。

结构力学将根据力学的基本原理,应用力系平衡条件(平衡方程)、运动和变形连续条件(几何方程)、应力与变形间的物理条件(本构方程)三个方面的内容,主要在理论上分析结构的上述力学性能。应力与变形间的物理条件(本构方程)由结构实验获得。

1.2 结构的计算简图

实际工程中的结构很复杂,不可能也不必要完全按照结构的真实情况进行力学分析。

在对实际结构进行力学计算以前应对结构加以分析,抓住主要特征,略去次要因素,用一个简化的图形来代替实际结构,这种简化了的图形称为结构的计算简图。对实际工程结构进行简化,使计算简图能反映实际结构的主要性能,同时便于计算,是力学分析的基础、工程应用的关键。

在结构计算中,一般假设构件的材料为连续的、均匀的、各向同性的、完全弹性的或弹塑性的。上述假设在小变形条件下,对于金属材料是符合实际情况的,对于混凝土、砖石等材料近似满足,对于木材等具有纹理性质的材料,有较大误差。

选取计算简图除要在材料方面进行上述简化外,还需要在结构和荷载两个方面进行简化。

1.2.1 结构的简化

一般结构都是空间结构,各部分相互连接成为一个空间体系,以承受各个方向的荷载。在多数情况下,常忽略一些次要的空间约束而将实际结构分解为平面结构,或将结构简化到特征面上讨论,使计算得以简化。本教材主要讨论平面结构的计算问题,对空间结构进行简略介绍。

1. 杆件的简化

杆件的截面尺寸(宽度、高度)一般比杆件长度小得多,截面上的应力可以根据截面的内力(弯矩、轴力、剪力)来确定。因此,在计算简图中杆件用其轴线表示,杆件之间的连接区用结点表示,杆长用结点间的距离表示,而荷载的作用点也平移到轴线上。当截面尺寸较大时(超过长度的 $1/4$),这种简化存在有较大误差。

2. 杆件间连接的简化

杆件间的连接区简化为结点。结点通常简化为以下两种形式:

1) 刚结点。如图 1.4(a)所示现浇钢筋混凝土梁柱连接点,被连接的杆件在连接处既不能产生相对移动,也不能相对转动,即杆件间不仅可以传递力,也可以传递力矩。这种情况可简化为图 1.4(b)所示的刚结点。

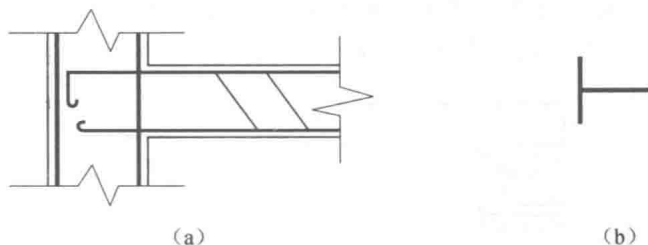


图 1.4

2) 铰结点。如图 1.5(a)所示的木屋架的连接点,被连接的杆件在连接处不能产生相对移动,可以发生微小的相对转动,即杆件间只能传递力,不能传递力矩。这种情况可简化为图 1.5(b)所示的铰结点。此外预制钢筋混凝土构件的连接及钢结构的栓结一般也