

21世纪高等学校土木工程专业规划教材

结 构 力 学

(精编本)

崔清洋 张大长 主编



武汉理工大学出版社
Wuhan University of Technology Press

21 世纪高等学校土木工程专业规划教材

结 构 力 学

(精编本)

主 编 崔清洋 张大长

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

【内容简介】

本书是根据原国家教委审定的《结构力学课程教学基本要求》(110 学时左右),并参照建设部全国高等学校土木工程专业指导委员会 2002 年制定的结构力学教学大纲,在充分考虑专业调整后土木工程专业学科领域的扩大并吸收了近十几年来土木工程专业及结构力学课程改革成果的基础上编写的。

全书分为 12 章,内容包括:绪论、结构的几何组成分析、静定结构受力分析、虚功原理和结构的位移计算、力法、位移法、渐近法和近似法、结构在移动荷载作用下的计算、矩阵位移法、结构的动力分析、结构的稳定分析和结构的极限荷载分析。每章均有本章提要、本章小结、思考题和习题,书后附有习题参考答案。

本书选材适当,叙述简明,思路清晰,符合认识规律。例题、习题突出专业特色、典型实用、难度适中。本书重视基本概念、基本原理的讲授和基本方法的训练,兼顾工程实际应用和本学科的教学改革研究成果。

本书可作为土木工程专业(包括建筑工程、桥梁工程等专业方向)以及水利工程等相近专业的教材,也可作为成人教育、自学考试教材,以及供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

结构力学/崔清洋,张大长主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2006

ISBN 7-5629-2447-3

I. 结…

II. ① 崔… ② 张…

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(2006)第 113649 号

出版发行:武汉理工大学出版社

武汉市武昌珞狮路 122 号 邮编:430070

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

E-mail: xuql@mail.whut.edu.cn

印刷者:武汉理工大印刷厂

经销者:各地新华书店

开 本:850×1168 1/16

印 张:30.75

字 数:800 千字

版 次:2006 年 9 月第 1 版

印 次:2006 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~5000 册

定 价:40.00 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。

前 言

本书是 21 世纪高等学校土木工程专业精编系列教材之一。编写依据是原国家教委审定的《结构力学课程教学基本要求》(110 学时左右),并参照建设部全国高等学校土木工程专业指导委员会 2002 年制定的结构力学教学大纲,在充分考虑专业调整后土木工程专业学科领域的扩大并吸收了近十几年来土木工程专业及结构力学课程改革成果的基础上编写的。

结构力学是土木工程专业必修的一门主要的专业基础课,在基础课和专业课之间起着承上启下的作用。本书在编写过程中作了以下考虑:

1. 力求选材适当,既为应用型土木工程专业的教学打好基础、精选内容,又考虑到因材施教的需要,还编写了一些加深和拓展性的内容(加“*”号的内容),供选学、提高之用。

2. 力求概念准确、说理透彻、论述简明,思路清晰,符合认识规律,既好教又易学,既能学会又能应用。

3. 突出理论联系实际。结构力学是一门理论和应用双强的学科,力求以实际结构为背景,深入浅出讲清力学原理和解题思路,辅之以例题去加深理解和掌握方法。例题、习题的选择,力求作到典型实用,有利于训练学生的思维能力、分析能力、计算能力和应用能力。

4. 在编写过程中,在继承这门课程传统的同时,在课程体系、课程内容、讲授论述等方面有新的创意。

结构力学课程的学时分配(参考)如下:

章节	学时数	其 中		备 注
		理论教学学时数	实践性教学学时数	
1	2	2		(1) 总学时数:按 96~110 学时安排; (2) 实践性教学环节指习题课、讨论课、实验课和现场参观课; (3) 根据专业方向的不同,相关章节的学时可作适当调整
2	4	3	1	
3	16	12	4	
4	8	6	2	
5	10	8	2	
6	6	5	1	
7	6	5	1	
8	8	6	2	
9	22	8	14	
10	14	12	2	
11	10	8	2	
12	4	3	1	
合计	110	78	32	

本书由崔清洋、张大长主编。崔清洋、张大长制定编写大纲。各章初稿撰写分工如下:崔清洋(盐城工学院),第1、3(3.1、3.6、3.8)、9章;张大长(南京工业大学),第3(3.7)、4、10、11章;韦斌凝(广西大学),第2、3(3.2、3.3、3.4、3.5)章;陈明(兰州理工大学),第5、6章;郭少春(宁夏大学),第7、8章;朱华(盐城工学院),第12章。全书由崔清洋统稿并定稿。

本书编写时,借鉴和参考了相关书籍,谨此表示诚挚的感谢。

由于编写时间和编者水平有限,本书的错误和不足之处在所难免,热忱欢迎广大读者批评指正。

编 者

2006年5月

本书符号表说明

本书在编写中,在保证贯彻国家技术监督局发布的国家标准(GB 3100—1993,GB 3101—1993,GB 3102—1993)《量和单位》实施的同时,又照顾到和现有惯例的衔接,本书在以下三方面作了认真的考虑,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和符号,按国家标准使用,注重量的物理属性。如,旧称剪应变 γ ,现改称为切应变;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;再如,应力的单位都用 Pa 作基本单位;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)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)、 Δ 和 δ (位移)、 c (支座位移)等广义物理量。至于上述物理量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,普通应用“单位量”的概念,如单位力 $X=1$ 和 $F_p=1$ 以及单位位移 $Z=1$ 和 $\Delta=1$ 等。现以 $X=1$ 为例说明其含义, $X=1$ 是指数值为 1 而其量纲为一的特定广义力 $\bar{X}=1$ (注意: $\bar{X}$ 和 X 数值上相等,但量纲不同, $\bar{X}$ 是一个量纲为一的量)。单位量的概念主要用于求比例系数(或称影响系数)。如:力 X 引起某量 M ,二者的比例系数为 $\bar{M} = \frac{M}{X}$,即由 $\bar{X}=1$ 引起的就是比例系数 $\bar{M}$ 。

主要符号表

A	面积、振幅
c	支座广义位移、粘滞阻尼系数
C	弯矩传递系数
c_g	临界阻尼系数
d	结间长度
D	侧移刚度
E	弹性模量
E_P	结构势能
E_P^*	荷载势能
f	拱高、工程频率
F_P	荷载、作用力
$\mathbf{F}_P$	结构荷载向量
F_H	水平推力
F_{Ax}, F_{Ay}	A 处支座(约束)反力
F_N	轴力
F_N^L, F_N^R	截面左、右轴力
F_Q	剪力
F_Q^L, F_Q^R	截面左、右剪力
F_Q^F	固端剪力
F_{Pe}	欧拉临界荷载
F_{Pcr}	临界荷载
F_{Pu}	极限荷载
F_P^+	可破坏荷载
F_P^-	可接受荷载
F_e	弹性力
F_I	惯性力
F_c	阻尼力
F_R	广义反力, 反力合力
$\bar{\mathbf{F}}^e$	单元(局部)坐标系下单元杆端力向量
$\mathbf{F}^e$	结构(整体)坐标系下单元杆端力向量
$\bar{\mathbf{F}}^F$	单元坐标系下单元固端力向量
$\mathbf{F}^F$	结构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、截面剪力分布不均匀系数
$\mathbf{K}$	结构刚度矩阵
$\bar{\mathbf{K}}^e$	单元(局部)坐标系下单元刚度矩阵
$\mathbf{K}^e$	结构(整体)坐标系下单元刚度矩阵
l	长度、跨度
m	质量
$\mathbf{M}$	质量矩阵
M	力矩、力偶矩、弯矩
M^F	固端弯矩
M_u	极限弯矩
M_e	弹性极限弯矩
P	广义力、广义荷载
$\mathbf{P}^e$	单元结点荷载向量
$\mathbf{P}$	结构结点荷载向量
q	均布荷载集度
R	半径
r	半径、反力影响系数
S	转动刚度
t	温度、时间
T	周期、动能
$\mathbf{T}$	坐标变(转)换矩阵
U	虚应变能
u	水平位移
v	竖向位移、挠度、速度
W	功、虚功、抗弯模量、计算自由度
X	广义未知力, 广义多余未知力
$\mathbf{Y}$	位移幅值向量、主振型向量、主振型矩阵
y	位移
Z	影响线量值
α	线膨胀系数、初相角
β	动力系数、频比
γ	切应变
γ_0	平均切应变
Δ	广义位移
δ	柔度系数、位移影响系数
$\bar{\Delta}^e$	单元(局部)坐标系下单元杆端位移向量
Δ^e	结构(整体)坐标系下单元杆端位移向量
Δ	结构位移向量

ε	线应变
θ	截面转角、角位移、干扰力频率
κ	曲率
φ	弦转角
λ	单元定位向量
μ	力矩分配系数
ν	剪力分配系数
ξ	阻尼比、等效集中质量系数
σ_b	强度极限
σ_s	屈服应力
σ_u	极限应力
ω	圆频率

目 录

1 绪论	(1)
1.1 结构和结构的分类	(1)
1.2 结构力学的研究对象和任务	(4)
1.2.1 研究对象和任务	(4)
1.2.2 结构力学在结构设计中的地位	(5)
1.3 结构的计算简图	(5)
1.3.1 结构的简化及简化原则	(5)
1.3.2 结构的简化内容	(5)
1.3.3 结构的计算简图示例	(9)
1.4 平面杆件结构分类	(12)
1.5 荷载分类	(14)
1.6 结构力学与其他课程的关系及学习方法	(15)
思考题	(16)
习题	(16)
2 结构的几何组成分析	(18)
2.1 几何组成分析概述	(18)
2.2 几何组成分析的几个概念	(19)
2.2.1 自由体和自由度	(19)
2.2.2 约束	(19)
2.2.3 平面杆件体系的计算自由度	(22)
2.3 平面几何不变体系的组成规则	(23)
2.3.1 二元体规则	(23)
2.3.2 二刚片规则	(23)
2.3.3 三刚片规则	(24)
2.4 瞬变体系	(24)
2.5 几何组成分析的步骤和示例	(26)
2.5.1 几何组成分析的步骤	(26)
2.5.2 几何组成分析示例	(27)
2.6 静定结构和超静定结构	(29)
思考题	(31)
习题	(31)

第 1 篇 静定结构

3 静定结构受力分析	(35)
3.1 静定结构受力分析概述	(35)

3.2 静定梁受力分析	(36)
3.2.1 简支梁内力分析回顾	(36)
3.2.2 多跨静定梁受力分析	(42)
3.3 静定平面刚架受力分析	(45)
3.3.1 刚架的特点和类型	(45)
3.3.2 刚架受力分析	(46)
3.4 三铰拱受力分析	(53)
3.4.1 三铰拱的几何组成和类型	(53)
3.4.2 三铰拱的支座反力和内力	(53)
3.4.3 三铰拱的合理拱轴线	(58)
3.5 静定平面桁架受力分析	(60)
3.5.1 桁架的特点和组成	(60)
3.5.2 静定桁架的几何组成分类	(61)
3.5.3 静定桁架的内力计算	(62)
3.6 组合结构受力分析	(70)
3.6.1 组合结构的特点	(70)
3.6.2 组合结构受力分析	(70)
3.7 悬索结构	(75)
3.7.1 悬索结构及其特点	(75)
3.7.2 单根悬索的受力分析	(75)
3.8 静定结构受力分析总述	(79)
3.8.1 基本分析方法	(79)
3.8.2 静定结构的基本性质	(83)
3.8.3 常用静定结构的受力特点	(85)
思考题	(87)
习题	(87)
4 虚功原理和结构的位移计算	(92)
4.1 位移计算概述	(92)
4.2 刚体虚功原理及应用	(92)
4.2.1 刚体虚功原理	(92)
4.2.2 刚体虚功原理的应用	(93)
4.3 变形体虚功原理及其应用	(98)
4.3.1 变形体虚功原理	(98)
4.3.2 变形体虚功原理的应用	(99)
4.4 荷载作用下静定结构的位移计算	(100)
4.4.1 荷载作用下位移计算的一般公式及计算步骤	(100)
4.4.2 各类结构位移计算的简化计算公式	(101)
4.4.3 荷载作用下的位移计算示例	(101)
4.5 图乘法计算位移	(106)
4.5.1 图乘公式及应用条件	(106)

4.5.2 常用内力图的面积公式和形心位置	(107)
4.5.3 复杂内力图形的分段、分解和叠加	(107)
4.5.4 图乘法计算位移举例	(109)
4.6 静定结构由于支座移动引起的位移计算	(113)
4.7 静定结构由于温度改变及制造误差引起的位移计算	(115)
4.7.1 温度变化的位移计算	(115)
4.7.2 制造误差引起的位移计算	(116)
4.8 互等定理	(117)
4.8.1 虚功互等定理	(117)
4.8.2 位移互等定理	(119)
4.8.3 反力互等定理	(119)
4.8.4 反力位移互等定理	(120)
思考题	(121)
习题	(122)

第 2 篇 超静定结构

5 力法	(129)
5.1 超静定结构的概念和超静定次数的确定	(129)
5.1.1 超静定结构的概念	(129)
5.1.2 超静定次数的确定	(130)
5.2 力法原理和力法方程	(132)
5.2.1 力法原理	(132)
5.2.2 力法方程	(134)
5.3 力法计算超静定结构示例	(136)
5.3.1 超静定梁	(137)
5.3.2 超静定刚架	(139)
5.3.3 超静定桁架	(141)
5.3.4 超静定组合结构	(142)
5.3.5 铰结排架	(144)
5.4 对称结构的计算	(146)
5.4.1 结构的对称性	(146)
5.4.2 荷载的对称性	(147)
5.4.3 对称结构承受一般荷载作用	(147)
5.4.4 半结构法	(150)
5.5 超静定拱	(154)
5.6 温度改变和支座移动时超静定结构的计算	(157)
5.6.1 温度改变时超静定结构的计算	(157)
5.6.2 支座移动时超静定结构的计算	(159)
5.7 超静定结构的位移计算	(159)
5.8 超静定结构的内力图的校核	(162)

5.8.1	平衡条件的校核	(162)
5.8.2	位移条件的校核	(163)
	思考题	(165)
	习题	(166)
6	位移法	(171)
6.1	位移法基本原理	(171)
6.2	等截面直杆的转角位移方程	(174)
6.2.1	杆端内力的正负号规定	(174)
6.2.2	等截面直杆的形常数	(174)
6.2.3	等截面直杆的载常数	(175)
6.2.4	等截面直杆的转角位移方程	(175)
6.3	位移法基本未知量的确定	(180)
6.3.1	结点角位移的确定	(180)
6.3.2	结点线位移的确定	(180)
6.4	位移法典型方程	(181)
6.4.1	位移法基本结构	(181)
6.4.2	位移法典型方程	(181)
6.5	位移法计算示例	(185)
6.5.1	连续梁	(185)
6.5.2	无侧移刚架	(187)
6.5.3	有侧移刚架	(188)
6.5.4	排架	(189)
6.6	位移法中对称性的利用	(190)
6.7	用位移法计算支座移动和温度改变引起的内力	(192)
6.7.1	支座移动时的计算	(192)
6.7.2	温度改变时的计算	(193)
6.8	直接按平衡条件建立位移法方程	(195)
	思考题	(197)
	习题	(197)
7	渐近法和近似法	(202)
7.1	渐近法和近似法概述	(202)
7.2	力矩分配法	(202)
7.2.1	力矩分配法的基本概念	(202)
7.2.2	单结点结构的力矩分配法	(205)
7.2.3	多结点结构的力矩分配法	(210)
7.3	对称结构的分析	(216)
7.4	剪力静定刚架的力矩分配法	(219)
7.4.1	剪力静定刚架和剪力静定分配法	(219)
7.4.2	剪力静定杆件的固端弯矩	(219)
7.4.3	剪力静定杆件的转动刚度和传递系数	(221)

7.4.4 剪力静定分配法计算示例	(222)
7.5 剪力分配法	(225)
7.5.1 剪力分配法基本概念	(225)
7.5.2 剪力分配法计算示例	(227)
7.6 力矩分配法与位移法联合应用	(231)
7.7 超静定结构分析总述	(234)
7.7.1 超静定结构基本解法比较和选用	(234)
7.7.2 超静定结构基本解法的延伸	(234)
7.7.3 超静定结构的基本特性	(239)
思考题	(244)
习题	(244)

第3篇 结构力学专题

8 结构在移动荷载作用下的计算	(249)
8.1 移动荷载与影响线的基本概念	(249)
8.2 静力法作静定梁影响线	(250)
8.2.1 简支梁影响线	(250)
8.2.2 静定多跨梁影响线	(252)
8.2.3 间接荷载作用时的影响线	(253)
8.3 静力法作静定桁架影响线	(255)
8.3.1 截面法	(256)
8.3.2 结点法	(258)
8.4 机动法作静定梁的影响线	(260)
8.4.1 机动法作影响线的力学原理——刚体虚位移原理	(260)
8.4.2 机动法作静定梁的影响线	(260)
8.5 机动法作连续梁的影响线	(263)
8.5.1 机动法作连续梁影响线的力学原理	(263)
8.5.2 机动法作连续梁影响线示例	(265)
8.6 影响线的应用	(266)
8.6.1 静定梁影响线的应用	(267)
8.6.2 连续梁影响线的应用	(273)
8.7 简支梁的内力包络图和绝对最大弯矩	(274)
8.7.1 简支梁的内力包络图	(274)
8.7.2 简支梁的绝对最大弯矩	(275)
8.8 连续梁内力包络图	(277)
8.8.1 连续梁弯矩包络图	(277)
8.8.2 连续梁剪力包络图	(279)
思考题	(280)
习题	(280)
9 矩阵位移法	(284)

9.1	矩阵位移法概述	(284)
9.2	结构的离散化及单元杆端位移与杆端力	(285)
9.2.1	结构离散化和编码	(285)
9.2.2	单元杆端位移与杆端力	(285)
9.3	局部坐标系中的单元刚度矩阵	(290)
9.3.1	平面刚架单元	(290)
9.3.2	特殊单元	(292)
9.4	整体坐标系中的单元刚度矩阵	(293)
9.4.1	平面刚架单元	(293)
9.4.2	特殊单元	(294)
9.5	单元刚度矩阵的性质	(295)
9.6	连续梁的整体刚度矩阵	(295)
9.6.1	编码和定位向量	(295)
9.6.2	连续梁的整体刚度矩阵	(297)
9.6.3	支承条件的处理(后处理法)	(300)
9.6.4	非结点荷载的处理	(301)
9.6.5	杆端弯矩的计算	(302)
9.6.6	矩阵位移法计算连续梁步骤和示例	(302)
9.7	平面刚架的整体刚度矩阵	(306)
9.7.1	结点位移分量统一编码(总码)	(306)
9.7.2	单元定位向量	(307)
9.7.3	整体刚度矩阵集成	(308)
9.8	组合结构的整体刚度矩阵	(310)
9.9	等效结点荷载	(314)
9.10	结构的内力计算	(319)
9.10.1	平面刚架的内力计算	(319)
9.10.2	平面刚架内力计算的步骤和示例	(319)
9.11	忽略轴向变形时的矩形刚架的整体分析	(330)
9.12	桁架的整体分析	(335)
9.13	支座移动的处理	(340)
9.14	连续梁 VisualBasic 源程序及算例	(343)
9.14.1	连续梁 VisualBasic 源程序	(343)
9.14.2	连续梁 VisualBasic 程序算例	(357)
	思考题	(359)
	习题	(359)
10	结构的动力分析	(362)
10.1	结构动力分析的基本概念	(362)
10.1.1	结构动力分析特点	(362)
10.1.2	动力荷载的分类	(362)
10.1.3	动力自由度	(363)

10.2 单自由度体系的自由振动	(365)
10.2.1 自由振动微分方程的建立	(365)
10.2.2 自由振动微分方程的解	(366)
10.2.3 结构的自振周期	(366)
10.3 单自由度体系的强迫振动	(368)
10.3.1 单自由度体系的强迫振动微分方程	(368)
10.3.2 简谐荷载	(368)
10.3.3 瞬时冲击荷载	(371)
10.3.4 一般动力荷载	(371)
10.4 阻尼对振动的影响	(374)
10.4.1 有阻尼自由振动	(374)
10.4.2 有阻尼强迫振动	(376)
10.5 多自由度体系的自由振动	(379)
10.5.1 刚度法	(379)
10.5.2 柔度法	(386)
10.5.3 刚度法与柔度法的比较及适用性	(390)
10.6 多自由度体系主振型的正交性和主振型矩阵	(391)
10.6.1 主振型的正交性	(391)
10.6.2 主振型矩阵	(394)
10.7 多自由度体系在简谐荷载作用下的强迫振动	(395)
10.7.1 柔度法	(395)
10.7.2 刚度法	(397)
10.8 多自由度体系在任意荷载作用下的强迫振动——振型分解法	(400)
10.9 频率计算的近似法	(403)
10.9.1 能量法	(403)
10.9.2 集中质量法	(407)
思考题	(409)
习题	(410)
11 结构的稳定分析	(415)
11.1 结构稳定的基本概念	(415)
11.1.1 分支点失稳	(415)
11.1.2 极值点失稳	(417)
11.2 稳定分析方法及两类稳定问题的分析	(417)
11.2.1 静力法和能量法	(418)
11.2.2 单自由度体系的分支点失稳分析	(420)
11.2.3 单自由度体系的极值点失稳分析	(421)
11.3 有限自由度体系的稳定分析	(422)
11.4 无限自由度体系的稳定分析计算——静力法	(427)
11.4.1 等截面压杆	(427)
11.4.2 变截面压杆	(428)

11.4.3	弹性支撑压杆.....	(429)
11.5	无限自由度体系的稳定分析计算——能量法.....	(431)
11.6	组合压杆的稳定分析.....	(435)
11.6.1	剪切变形对临界荷载的影响.....	(435)
11.6.2	缀条式组合压杆的稳定.....	(436)
11.6.3	缀板式组合压杆的稳定.....	(438)
11.7	拱和圆环的稳定分析.....	(440)
11.7.1	圆弧曲杆的弯曲平衡微分方程.....	(440)
11.7.2	均布径向荷载作用下圆拱的临界荷载.....	(441)
11.7.3	圆环在均布径向荷载作用下的稳定分析.....	(444)
11.7.4	抛物线拱在竖向均布荷载作用下的稳定分析.....	(445)
	思考题.....	(446)
	习题.....	(446)
12	结构的极限荷载分析.....	(449)
12.1	概述.....	(449)
12.2	极限弯矩、塑性铰和极限状态.....	(450)
12.3	梁的极限荷载.....	(452)
12.3.1	静定梁.....	(452)
12.3.2	单跨超静定梁.....	(454)
12.3.3	连续梁.....	(456)
12.4	比例加载的几个定理.....	(458)
12.4.1	极限状态必须满足的条件.....	(458)
12.4.2	可破坏荷载、可接受荷载、极限荷载.....	(458)
12.4.3	比例加载时求解极限荷载的定理.....	(458)
12.4.4	定理的应用.....	(459)
12.5	刚架的极限荷载.....	(462)
	思考题.....	(464)
	习题.....	(464)
	附录 习题参考答案.....	(466)
	参考文献.....	(476)