



普通高等教育“十五”国家级规划教材

结构力学

(第4版)

上册

李廉锴 主编



高等教育出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材

结 构 力 学

(第 4 版)

上 册

李廉锴 主编



高等教育出版社

内容提要

本书(第4版)为普通高等教育“十五”国家级规划教材,是在第三版的基础上根据近年来教学改革的需要和有关国家标准修订而成的。本书内容符合教育部审定的“结构力学课程教学基本要求”,取材适宜,叙述精练,由浅入深,联系实际。

全书共15章,分上下两册。上册包括绪论、平面体系的机动分析、静定梁与静定刚架、静定拱、静定平面桁架、结构位移计算、力法、位移法、渐近法、矩阵位移法、影响线及其应用共11章及附录I平面刚架静力分析程序等;下册包括结构的极限荷载、结构弹性稳定、结构动力学、悬索共4章。全书各章附有复习思考题和习题及答案,上、下册各附有自测题两套,以供测试参考。

本书可作为土木工程类、水利工程类各专业及工程力学等专业的教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

结构力学. 上册 / 李廉锟主编. —4版. —北京: 高等教育出版社, 2004.7

ISBN 7-04-014478-6

I. 结... II. 李... 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(2004)第 029698 号

策划编辑 黄毅 责任编辑 余美茵 封面设计 李卫青 责任绘图 宗小梅
版式设计 张岚 责任校对 尤静 责任印制 杨明

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 100011
总机 010-82028899

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 国防工业出版社印刷厂

开 本 787×960 1/16
印 张 24.5
字 数 450 000

版 次 1979年5月第1版
2004年7月第4版
印 次 2004年7月第1次印刷
定 价 28.10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

第4版序

本书(第4版)为普通高等教育“十五”国家级教材,是在第三版的基础上根据近年来课程改革发展需要修订而成的。修订时保持了原书取材精练、简明流畅的风格,注意扩大专业适应面,内容符合教育部审定的“结构力学课程教学基本要求”。本书可作为土木工程类、水利工程类各专业及工程力学等专业的教材,也可供有关工程技术人员参考。

本次修订的内容主要有以下几个方面:

(1) 按照国家标准 GB 3100~3102—93《量和单位》修改了原书的符号,其中最主要的是集中荷载(反力和内力)用 F 作为主符号,其特性用下标(不够时再添上标)表示,例如剪力和轴力分别以 F_S 和 F_N 表示,而在不致引起混淆的前提下尽量不添下标;同时依据全国自然科学名词审定委员会 1993 年公布的《力学名词》统一了书中的名词术语。

(2) 在内容调整方面,将影响线及其应用一章挪到上册的最后,这使其前面的内容衔接更为顺当一些;考虑到力法的实际应用日渐减少,删去了力法应用一章,其中仍需保留的部分作如下处理:超静定拱并入力法一章并只简述其计算原理,超静定影响线则放到影响线及其应用一章中。

(3) 对少数章节作了不同程度的改写,在原来坡度略陡的地方补充了少量论述或例题,此外增添了一些适合建筑工程的内容和例子。在渐近法一章中,删去了冗繁的力矩分配法与位移法的联合应用一节,而增加了适合房屋刚架简便计算的剪力分配法。原平面刚架静力分析程序一章改作附录,增加了处理铰结点的功能,输入数据的项目和格式则保持不变;删去了用以解释源程序的大部篇幅,而只着重介绍程序的功能、结构和使用。书中带星号 * 的部分仍是供选学的内容。

第4版修订工作由主编李廉锴主持进行;参加修订的有廖加玉(第一至第六章,附录 I 平面刚架静力分析程序,自测题),陈玉骥(第七至十一章),杨仕德(第十二至十五章);钟桂岳、卢同立参加了修订方案的研讨并校阅了修订初稿。

本书第四版书稿承西安建筑科技大学刘铮教授审阅,审阅中对书稿提出了不少宝贵的意见。此外,多年来使用本书的许多院校的教师们,先后提出过许多建议。所有这些,使本次修订工作和最后定稿获益匪浅,在此向他们致以衷心的感谢。

限于编者水平,书中不足处,欢迎继续批评指正。

编者

2004年1月

第3版序

本书第二版曾获国家教委优秀教材二等奖,第三版是在其基础上,根据国家教委审定的《结构力学课程教学基本要求》和十余年来教学改革的情况修订而成的,本书可作为道桥类专业教材,亦可作土建、水利类专业教材。

在第三版中,删去了三铰拱和桁架内力的图解法、位移计算中的弹性荷载法以及用此法绘制超静定桁架和无铰拱的影响线等内容;将第二版中的超静定梁及超静定桁架和超静定拱两章,精简合并为一章——力法应用;新增了平面刚架静力分析程序、结构的极限荷载及悬索计算等三章;其余章节亦有不同程度的改写;各章(除第一章外)均增设了复习思考题;对习题也作了少量调整和补充;带*和**的章节属选学内容,可根据具体情况取舍;带*的习题则是配合选学内容的或是较难的。此外,上、下册各附有两组自测题(取材于编者历年自命试题),供教学参考。

第三版仍由李廉锟教授主编,参加修订工作的有繆加玉(第一至七章、十二、十三章、附录),钟桂岳(第八至十章),卢同立(第十四至十六章),杨仕德(第十一、十七章),陆铁坚(部分思考题及习题)。

本书第三版由清华大学包世华教授和北方交通大学赵如骥副教授审阅,并请同济大学李明昭教授和长沙铁道学院曾庆元教授审阅了悬索计算内容。审阅人对原稿提出了很多宝贵的意见;兰州铁道学院、北方交通大学等单位的教师们,对本书第二版及这次修订工作提出了不少中肯的建议。所有这些,对第三版的定稿起了重要作用,在此一并致以诚挚的感谢!

限于编者水平,书中难免有疏漏和不妥之处,恳望读者指正。

编者

一九九四年九月

本书第二版由清华大学包世华教授和北方交通大学赵如骥副教授审阅,并请同济大学李明昭教授和长沙铁道学院曾庆元教授审阅了悬索计算内容。审阅人对原稿提出了很多宝贵的意见;兰州铁道学院、北方交通大学等单位的教师们,对本书第二版及这次修订工作提出了不少中肯的建议。所有这些,对第三版的定稿起了重要作用,在此一并致以诚挚的感谢!

第2版序

本书是在湖南大学、西南交通大学、长沙铁道学院合编、李廉锺主编的第一版的基础上,根据一九八〇年五月教育部高等学校工科力学教材编审委员会结构力学编审小组审订的《结构力学教学大纲(草案)》修订的,适用于铁道工程、公路工程、桥梁及隧道等专业,亦可供土建、水利类专业参考。

本书与第一版比较,删去了矩阵力法原理及有限单元法基础两章,其他章节大部分作了增删或改写。书中带星号的部分是供选学的内容,可按不同专业和学时取舍。带星号的习题是配合选学内容的或是较难的。大部分习题附有答案,可供查对。

本次修订工作由长沙铁道学院担任,李廉锺任主编,执笔的有李廉锺(第十三、十五章)、缪加玉(第一至七章、第十二章)、钟桂岳(第八至十一章、第十四章),欧阳炎、卢同立分别参加了第十三、十四章的部分修订工作,杨仕德校阅了部分书稿及习题答案。

本书第二版由北方交通大学陈英俊、王道堂同志和同济大学李明昭同志担任主审,清华大学龙驭球同志复审,同济大学、西南交通大学、西安公路学院、长沙交通学院等院校的代表参加了审稿会,审阅者对第二版原稿提出了很多宝贵的意见,此外,兰州铁道学院等兄弟院校的教师亦提出了不少中肯的建议,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中一定还有许多不当之处,恳望读者指正。

编者

一九八三年十月

第1版序

本书是根据一九七七年十一月高等学校工科基础课力学教材会议上讨论的铁道工程、公路工程、桥梁与隧道等专业用结构力学教材编写大纲,由湖南大学、西南交通大学、长沙铁道学院联合编写的。

本书注意了吸取以往有关教材的长处和多年来的教学经验,力图保持结构力学基本理论的系统性和贯彻“少而精”、理论联系实际及由浅入深等原则;同时,考虑到现代科学技术的发展,适当介绍了一部分新内容。

书中带有星号的部分及小字排印的内容在教学过程中根据具体情况可以考虑删去。此外,使用本书的教师们还可按各专业的不同需要和情况的发展变化,删去和补充若干内容。

参加本书编写工作的有西南交通大学唐昌荣、杜正国、区锐容(第一~第六章),长沙铁道学院李廉锴、缪加玉(第七~十二章和第十四章),湖南大学刘光栋(第十五~十七章)、李存权(第十三章)等同志,由李廉锴同志担任主编。

编写过程是先分工执笔并经教研室讨论修改而写出初稿,然后经审稿会议审议,再由各编写单位共同讨论后分头修改,最后由主编定稿。

担任本书主审的北方交通大学陈英俊、西安公路学院何福照等同志,以及上海铁道学院、兰州铁道学院、同济大学、哈尔滨建筑工程学院、重庆建筑工程学院、南京工学院等兄弟院校的代表,参加了审稿会议,提出了许多宝贵意见,郑州工学院寿楠椿同志也寄来了很好的意见。对此,我们表示衷心的感谢!

限于编者水平,书中缺点错误必定不少,希望读者多加指正。

编 者

一九七九年二月

主要符号表

A	面积, 振幅
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
F	集中荷载
F	结点荷载向量, 综合结点荷载向量
E_p	结构总势能
F_D	直接结点荷载向量
F_E	间接结点荷载向量
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	欧拉临界荷载
F_e	弹性力
F_H	拱的水平推力, 悬索张力水平分量
F_I	惯性力
F_N	轴力
F_R	阻尼力, 支座反力, 力系合力
F_S	剪力
F_T	悬索张力
F_u	极限荷载
F_V	悬索张力竖直分量
$\bar{F}^e$	局部坐标系下的单元杆端力向量
F^e	整体坐标系下的单元杆端力向量
$\bar{F}^{Fe}$	局部坐标系下的单元固端力向量
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
$\bar{k}'$	局部坐标系下的单元刚度矩阵
k'	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	劲度系数(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
v	竖向位移
V	外力势能
V_e	应变能
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
Δ	结点位移向量
γ	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

主要符号表	I
第一章 绪论	1
§ 1-1 结构力学的研究对象和任务	1
§ 1-2 荷载的分类	1
§ 1-3 结构的计算简图	2
§ 1-4 支座和结点的类型	3
§ 1-5 结构的分类	6
第二章 平面体系的机动分析	9
§ 2-1 概述	9
§ 2-2 平面体系的计算自由度	9
§ 2-3 几何不变体系的基本组成规则	13
§ 2-4 瞬变体系	16
§ 2-5 机动分析示例	17
§ 2-6 三刚片体系中虚铰在无穷远处的情况	20
§ 2-7 几何构造与静定性的关系	21
复习思考题	23
习题	23
答案	25
第三章 静定梁与静定刚架	26
§ 3-1 单跨静定梁	26
§ 3-2 多跨静定梁	31
§ 3-3 静定平面刚架	37
§ 3-4 不求或不求反力绘制弯矩图	42
§ 3-5 静定结构的特性	44
* § 3-6 静定空间刚架	46
复习思考题	48
习题	48

答案	53
第四章 静定拱	55
§ 4-1 概述	55
§ 4-2 三铰拱的计算	56
§ 4-3 三铰拱的合理拱轴线	62
复习思考题	65
习题	65
答案	66
第五章 静定平面桁架	67
§ 5-1 平面桁架的计算简图	67
§ 5-2 结点法	70
§ 5-3 截面法	73
§ 5-4 截面法和结点法的联合应用	76
§ 5-5 各式桁架比较	78
§ 5-6 组合结构的计算	79
* § 5-7 用零载法分析体系的几何构造	81
复习思考题	83
习题	84
答案	88
第六章 结构位移计算	89
§ 6-1 概述	89
§ 6-2 变形体系的虚功原理	90
§ 6-3 位移计算的一般公式 单位荷载法	94
§ 6-4 静定结构在荷载作用下的位移计算	97
§ 6-5 图乘法	103
§ 6-6 静定结构温度变化时的位移计算	108
§ 6-7 静定结构支座移动时的位移计算	111
§ 6-8 线弹性结构的互等定理	112
* § 6-9 空间刚架的位移计算公式	115
复习思考题	116
习题	117

答案	123
第七章 力法	124
§7-1 概述	124
§7-2 超静定次数的确定	125
§7-3 力法的基本概念	127
§7-4 力法的典型方程	130
§7-5 力法的计算步骤和示例	132
§7-6 对称性的利用	141
§7-7 超静定结构的位移计算	148
§7-8 最后内力图的校核	150
§7-9 温度变化时超静定结构的计算	151
§7-10 支座位移时超静定结构的计算	154
§7-11 用弹性中心法计算无铰拱	159
§7-12 两铰拱及系杆拱	165
§7-13 超静定结构的特性	168
复习思考题	169
习题	170
答案	176
第八章 位移法	178
§8-1 概述	178
§8-2 等截面直杆的转角位移方程	179
§8-3 位移法的基本未知量和基本结构	184
§8-4 位移法的典型方程及计算步骤	186
§8-5 直接由平衡条件建立位移法基本方程	194
§8-6 对称性的利用	195
* §8-7 有侧移的斜柱刚架	198
* §8-8 温度变化时的计算	201
复习思考题	204
习题	204
答案	206
第九章 渐近法	208

§ 9-1 概述	208
§ 9-2 力矩分配法的基本原理	208
§ 9-3 用力矩分配法计算连续梁和无侧移刚架	212
§ 9-4 无剪力分配法	217
§ 9-5 剪力分配法	223
复习思考题	227
习题	227
答案	231
第十章 矩阵位移法	232
§ 10-1 概述	232
§ 10-2 单元刚度矩阵	232
§ 10-3 单元刚度矩阵的坐标转换	237
§ 10-4 结构的原始刚度矩阵	241
§ 10-5 支承条件的引入	249
§ 10-6 非结点荷载的处理	250
§ 10-7 矩阵位移法的计算步骤及示例	253
§ 10-8 几点补充说明	265
复习思考题	271
习题	271
答案	273
第十一章 影响线及其应用	274
§ 11-1 概述	274
§ 11-2 用静力法作单跨静定梁的影响线	275
§ 11-3 间接荷载作用下的影响线	280
§ 11-4 用机动法作单跨静定梁的影响线	282
§ 11-5 多跨静定梁的影响线	285
§ 11-6 桁架的影响线	287
§ 11-7 利用影响线求量值	293
§ 11-8 铁路和公路的标准荷载制	294
§ 11-9 最不利荷载位置	296
§ 11-10 换算荷载	302

§ 11-11 简支梁的绝对最大弯矩	306
§ 11-12 简支梁的包络图	309
§ 11-13 超静定结构影响线作法概述	312
§ 11-14 连续梁的均布活载最不利位置及包络图	316
复习思考题	319
习题	320
答案	325
附录 I 平面刚架静力分析程序	327
§ I-1 程序的功能和算法	327
§ I-2 程序的结构	328
§ I-3 变量及数组	331
§ I-4 程序的使用步骤	335
§ I-5 程序的扩大应用	340
§ I-6 源程序 PF.FOR	342
复习思考题	356
习题	357
答案	357
附录 II 上册自测题	358
附录 III 索引	365
主要参考文献	372
主编简介	373

第一章 绪 论

§ 1-1 结构力学的研究对象和任务

工程中的房屋、塔架、桥梁、隧道、挡土墙、水坝等用以担负预定任务、支承荷载的建筑物,都可称为结构。

为了使结构既能安全、正常地工作,又能符合经济的要求,就需对其进行强度、刚度和稳定性的计算。这一任务是由材料力学、结构力学、弹性力学等几门课程共同来承担的。在材料力学中主要研究单个杆件的计算;结构力学则在此基础上着重研究由杆件所组成的结构;弹性力学将对杆件作更精确的分析,并将研究板、壳、块体等非杆状结构。当然,这种分工不是绝对的,各课程间常存在互相渗透的情况。

如上所述,结构力学的研究对象主要是杆件结构,其具体任务是:

(1) 研究结构在荷载等因素作用下的内力和位移的计算。在求出内力和位移之后,即可利用材料力学的方法按强度条件和刚度条件来选择或验算各杆的截面尺寸,在结构力学中一般就不再叙述。

(2) 研究结构的稳定性计算,以及动力荷载作用下结构的反应。

(3) 研究结构的组成规则和合理形式等问题。

结构力学是一门技术基础课,它一方面要用到数学、理论力学和材料力学等课程的知识,另一方面又为学习建筑结构、桥梁、隧道等课程提供必要的基本理论和计算方法。

§ 1-2 荷载的分类

荷载是作用在结构上的主动力。

荷载按作用时间的久暂,可分为恒载和活载。恒载是长期作用在结构上的不变荷载,如结构的自重、土压力等。活载是暂时作用于结构上的可变荷载,如列车、人群、风、雪等。

按荷载的作用位置是否变化,可分为固定荷载和移动荷载。恒载及某些活载(如风、雪等)在结构上的作用位置可以认为是不变动的,称为固定荷载;而有

些活载如列车、汽车、吊车等是可以在结构上移动的,称为移动荷载。

根据荷载对结构所产生的动力效应大小,可分为静力荷载和动力荷载。静力荷载是指其大小、方向和位置不随时间变化或变化很缓慢的荷载,它不致使结构产生显著的加速度,因而可以略去惯性力的影响。结构的自重及其他恒载即属于静力荷载。动力荷载是指随时间迅速变化的荷载,它将引起结构振动,使结构产生不容忽视的加速度,因而必须考虑惯性力的影响。打桩机产生的冲击荷载,动力机械产生的振动荷载,风及地震产生的随机荷载等,都属于动力荷载。

除荷载外,还有其他一些因素也可以使结构产生内力或位移,例如温度变化、支座沉陷、制造误差、材料收缩以及松弛、徐变等。

§ 1-3 结构的计算简图

实际结构总是比较复杂的,要完全按照结构的实际情况来进行力学分析,将是很繁难的,也是不必要的。因此,在计算之前,往往需要对实际结构加以简化,表现其主要特点,略去次要因素,用一个简化图形来代替实际结构,这种图形就称为结构的计算简图。简化工作通常包括以下几个方面:

- (1) 杆件的简化:常以其轴线代表。
- (2) 支座和结点的简化(详见后述)。
- (3) 荷载的简化:常简化为集中荷载及线分布荷载。
- (4) 体系的简化:将空间结构简化为平面结构。

例如一根梁两端搁在墙上,上面放一重物(图 1-1a)。简化时,梁本身用其轴线来代表。重物近似看作集中荷载,梁

(a) 的自重则视为均布荷载。至于两端的反力,其分布规律是难以知道的,现假定为均匀分布,并以其作用于墙宽中点的合力来代替。考虑到支承面有摩擦,梁不能左右移动,但受热膨胀时仍可伸长,故可将其一端视为固定铰支座而另一端视为活动铰支座。这样,便得到图 1-1b 所示的计算简图。

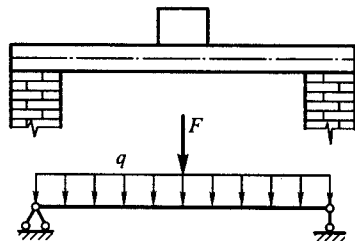


图 1-1

显然,只要梁的截面尺寸、墙宽及重物与梁的接触长度均比梁的长度小许多,则作上述简化在工程上一般是许可的。

又如图 1-2a 所示钢筋混凝土屋架,如果我们只反映桁架主要承受轴力这一特点,则计算时可采用图 1-2b 的计算简图,各杆之间的联结均假定为铰结。这虽然与实际情况不符,但可使计算大为简化,而计算结果的误差在工程上通常是容许的。如果将各杆联结处均视为刚结,则可得到较精确的计算简图(图 1-2c),