



结构分析

经典方法与矩阵方法的统一

A.格哈利, A.M.内维尔, T.G.布朗 著

郭向荣 等 译



0342/75

2008

铁路科技图书出版基金资助出版

结 构 分 析

——经典方法与矩阵方法的统一

A. 格哈利, A. M. 内维尔, T. G. 布朗 著
郭向荣 等 译

中国铁道出版社

2008·北 京

版权登记号:01-2007-1003

内 容 简 介

本书将结构理想化为梁、平面与空间框架、空间平面或桁架,与平面梁格的组合,分析了结构的经典方法与矩阵方法,分别介绍了结构建模、静定与超静定结构、力法与位移法、刚度矩阵、应变能力虚功、框架影响线、梁格模框架影响线、弯曲刚度效应、剪力墙结构等经典力学理论,并在此基础上介绍了有限差分法、有限单元法、结构动力学、计算机程序的分析与实现等内容。

本书可供大专院校本科生、研究生使用,也可供工程科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

结构分析——经典方法与矩阵方法的统一/格哈利,内维尔,布朗著;
郭向荣等译. —北京:中国铁道出版社,2007. 11
ISBN 978-7-113-08229-1

I. 结… II. ①布… ②郭… III. 结构分析 IV. 0342

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 171143 号

书 名:结构分析——经典方法与矩阵方法的统一

作 者:格哈利 内维尔 布朗 著

译 者:郭向荣 等

责任编辑:许士杰 徐 艳 电话:(010)51873065 电子信箱:syxu99@163.com

封面设计:冯龙彬

责任校对:张玉华

责任印制:李 佳

出版发行:中国铁道出版社

地 址:北京市宣武区右安门西街 8 号

邮 编:100054

网 址:www.tdpress.com

电子信箱:发行部:ywk@tdpress.com

印 刷:北京盛通印刷股份有限公司

总编办:zbb@tdpress.com

版 次:2008 年 2 月第 1 版 2008 年 2 月第 1 次印刷

开 本:787 mm × 1 092 mm 1/16 印张:40.25 字数:1002 千

印 数:1 ~ 2 000 册

书 号:ISBN 978 - 7 - 113 - 08229 - 1/TU · 902

定 价:100.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电 话:市电(010)51873170,路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504,路电(021)73187

前 言

本书主要介绍了构架结构分析的现代方法,这类结构是由长度比横截面大得多的杆件组成,典型的结构形式为梁、格栅、平面的和空间的框架或桁架,其重点放在对结构分析的整个领域的统一介绍上,把静不定结构分析的经典方法和现代方法进行了有机的结合。

矩阵代数在结构分析中特别有用,因为它可以按一系列矩阵运算使求解公式化,有利于计算机的运用,更重要的原因是应用矩阵可以使所有类型的结构通过一种一般性方法得到分析。由于矩阵的组织特性,矩阵代数的应用对手算也是有利的,因此本书广泛应用矩阵表示方法。

本书作为加拿大卡尔加里(Calgary)大学课程和研究生课程讲授了多年。前十四章包括初级课程所应涉及的基本内容,书中其余部分可以根据需要加以选用,作为高等课程。采取这样的编排结构是为了使本书不仅适用于在校学生,还能适用于那些从事实际工作、希望通过自学提高以及想得到各种类型结构分析的最便利方法的工程人员。

本书为第五版,与前四版相比,此次修订参考了各国使用者的大量评语和意见,增加和修改了部分章节、例题与习题。本书的第一作者,也是主要作者根据其在加拿大卡尔加里大学多年从事本科生与研究生教学的经验,对本书进行了不断的完善;第二作者系英国敦提大学前校长,现为土木工程顾问;编写本版次时加入的第三作者,同样是在卡尔加里大学从事本科生的教学工作。他们具有丰富的教学实践,深知学生的专业需求,因此对本书内容的把握更为合理与实用,并且不断吸收和采纳先进的方法和理论,使本书成为结构分析方面的经典著作。正是基于这种价值,我们翔实、认真地翻译了本书,希望对我国的教学与科研有所帮助。

各章介绍的分析方法,均以详细求解的例题加以说明。每一章的末尾精选了一些具有启发性与代表性的习题供读者使用,并在书后附有答案。有关的常用资料分别列于附录内,其中提供了矩阵代数的详细介绍,以便于对矩阵代数不熟悉的读者使用。

本书由中国铁道出版社组织翻译,中南大学郭向荣负责总体审校工作。参加翻译的人员有:中南大学罗晓媛(第1、2、17、18章),袁世平(第3、4章),周涛(第5、6、19、20章),王正军(第7、8章),唐志(第9、10章),汪金辉(第11、12、16章),罗浩(第13、14章);中铁工程总公司李海明(第15章);铁道出版社许士杰(第21

章及附录 A ~ 附录 J), 李丽娟(第 22 章); 兰州交通大学陈权(第 23 章); 中铁通号公司邓强(第 24 章及习题答案); 北京交通大学钟铭(附录 K 和附录 L)。

由于本书篇幅较多, 时间较紧, 翻译水平有限, 因此不足之处在所难免, 敬请读者不吝赐教, 以利改正。

译 者

第五版序言

此版本内容的修订参考了各国曾使用过以前版本的教师、学生和工程师的大量评语和意见。目前本书已被译成五种语言,并在最近被译为日语。在第五版中包括了一些增加和修改的章节,以及更多的例子和习题,尤其是在前面几章中。新增部分的习题的答案,也在本书的后面给出。

本书以关于结构分析建模的新增章节作为开始。结构建模是通过将其理想化为梁、平面或空间框架、平面或空间桁架、平面梁格或者是若干有限单元的组合来实现。在新增的这一章中讨论了这些模型的适宜性、力和变形、变形图和弯矩图的描绘,并对梁、拱和桁架的内力与变形进行了比较。

之后一章是关于静定结构的分析,以便为学生后面的学习提供更好的准备。为了便于计算机的初步使用,附录 L 中给出了第一章中提到的五个网页上获得的计算机程序。它们分别用于平面和空间桁架、平面和空间框架以及平面梁格的线性分析。一些简单的可以用来进行常规矩阵运算的矩阵代数运算程序也可以由此网页下载得到,该网页的地址为:

www.sponpress.com/supportmaterial

本书最后有一个重要章节是关于结构的非线性分析,考虑了由大位移或材料特性引起的非线性问题。总览全书,三维空间结构问题是分析的重点。

部分在实际工作中运用并不广泛的结构分析方法,在第五版中被删节,以留下空间增加一些新的内容。因此,新版与前四版相比,章数相同但是在内容上有一定的增加。

在附录 L 中简单地描述了一些计算机程序,包括上面提到的网页提供的程序和四个非线性分析的程序。通过本书后面所附的订货单可以得到非线性分析的程序。这些程序可在结构工程实践中采用,也可作为结构分析学习的辅助。不过,对本书的理解并不依赖于这些程序的实用性。

文中所介绍的内容既有初等的,也有高等的,包含了结构分析的全部领域。书中把结构分析的经典方法与现代方法结合在一起进行了阐述。

本书的第一也是主要作者根据其多年在加拿大卡尔加里大学从事的本科生和研究生教学,对此书进行了不断的完善。在编写第五版时加入的第三作者,也在卡尔加里大学从事本学科的教学工作。教学实践和对学生需求的了解对本书的修订有很好的帮助,相信本书将更加易于学习。

在第 1 章到第 14 章,以及第 19 章和第 20 章中,包含了在前面两课中所应涉及的基本内容,可以通过对本书其余部分作恰当的选择来进行更深入的学习。本书在内容选择上不仅适用于学生,同时也适用于那些从事实际工作、希望得到有关各种类型结构分析的最便利方法和指导的工程人员。

在本文中所介绍的分析技巧,均通过大量的例题求解和章节后的习题加以说明,这些习题的答案,则在本书的最后给出。在例题和大部分的习题中并没有用到明确的单位制,不过,在小部分例题和习题中,采用实际的结构尺寸并明确指出作用力的大小会比较方便,对于这些问题,同时使用英制单位(在美国仍普遍使用)和国际单位。在每一个使用英制单位的问题的后面都有一个同样的使用国际单位制的问题,这样读者可以自由选择合适的单位制。

在附录中列出了相关的常用资料,其中一个提供了矩阵代数的详细介绍。矩阵符号广泛用于本书中,原因在于它可以用一种简洁的方式表示方程,以帮助读者专心于全面的运算而不至于因代数或算术细节而分散精力。

在第3章到第6章中,我们介绍了两种不同的一般性的分析方法:力法和位移法。这两种方法都包含对联系力和位移的线性联立方程组的求解。这四章的重点在于两种方法的基本概念,同时通过对构成方程所需要的系数的推导,来避免忽视分析的步骤。附录B、C和D,分别给出了施加单位力所引起的位移,相应于单位位移的力,以及各种荷载作用在直杆上时产生的固端力。对于位移法计算的详细方法的讨论推迟到第7章到第10章进行,此时,静定结构分析中这些内容的必要性就很清楚了。当读者对一些计算梁的挠度的方法有一定的认识的时候,这种介绍内容的顺序特别合适。但是,如果认为先研究位移的计算方法比较合适,则应该在第4至第6章之前学习第7至第10章,这样才不会打乱其连续性。

作为力法和位移法的应用,在第11章中提出了经典的柱比法和力矩分配法。这两种方法适用于手算,在进行初步计算及对计算机的计算结果进行复核的时候也很有效。第12章和第13章介绍的是求解梁、框架、梁格以及桁架的影响线的方法。在第14章中,讨论了框架结构中杆件刚度特性的轴向力效应,并将其用于确定连续框架结构的临界屈曲荷载。

第15章的内容主要是关于剪力墙的分析,这种剪力墙常常用于现代建筑中。本章对所介绍的知识进行了概括总结,说明了通常所采用的简化假定,并介绍了一种可以用于大多数实际情况的分析方法。

在很大程度上,有限差分法和有限单元法都是包含很大的计算量的有利工具。第16章讨论了有限差分法在对由梁单元所组成的结构进行分析时的应用,并将其过程推广到轴对称旋转壳。此外,有限差分法也可以用于板的分析。第17和18章中集中介绍了二维和三维的有限单元。第22、23、17和18这四章在以此顺序时,可以用于有限单元法基本原理的研究生课程。

现代的结构设计是建立在弹性分析和塑性分析共同考虑的基础上。塑性分析不能代替弹性分析,但是可以通过提供关于极限荷载和破坏模式的有用信息对弹性分析进行补充。第19章和第20章分别介绍了框架结构和板的塑性分析。

在第21章中介绍了结构动力学的初步知识。这是关于由机械、阵风、冲击波和地震等因素所产生的动力荷载在结构上的响应的研究。首先,讨论了单自由度体系的自由振动和强迫振动,然后利用矩阵方法的优点将问题扩展到多自由度体系。

对某些结构,比如 cable nets and fabrics,由细长杆件组成的桁架和框架,可能会具有较大的变形,因此必须考虑其实际变形后结构的平衡。这就要求用到第24章中谈到的几何非线性分析,在此将用到牛顿-拉斐逊迭代法。在这一章中还介绍了材料非线性的分析,即结构中所使用的材料的应力-应变关系为非线性时的情况。

卡尔加里大学的博士研究生 S. Youakim 和硕士生 R. Gayed 已经对各个例题的解进行了校核,并提供了图形和部分习题的答案,在此对他们以及那些对第五版的内容修订提供参考意见的读者表示感谢。

格哈利于加拿大阿尔伯特卡尔加里

内维尔于英格兰伦敦

布朗于加拿大阿尔伯特卡尔加里

2002年6月

目 录

1 结构分析建模	1
1.1 引 言	1
1.2 结构形式	2
1.3 荷载传递路径	8
1.4 变 形	11
1.5 结构理想化	12
1.6 框架结构	12
1.7 非框架式或连续结构	15
1.8 加接和支承条件	15
1.9 荷载与荷载的理想化	17
1.10 应力和变形	19
1.11 正 应 力	19
1.11.1 挠度曲线和弯矩图实例	22
1.11.2 温度变化时的挠度曲线和弯矩图	22
1.12 梁、拱和桁架之间的比较	23
1.13 小 结	29
习 题	29
2 静定结构	32
2.1 引 言	32
2.2 物体的平衡	33
2.3 内力的符号规定和内力图	37
2.4 内力的校核	40
2.5 移动荷载作用	45
2.5.1 单个荷载	45
2.5.2 均布荷载	46
2.5.3 两个集中荷载作用	47
2.5.4 一组集中力作用	48
2.5.5 最大绝对值效应	49
2.6 简支梁和桁架的影响线	51
2.7 小 结	53
习 题	53

3 超静定结构分析介绍	58
3.1 引 言	58
3.2 超静定性	58
3.3 超静定次数的表达式	61
3.4 超静定结构分析的一般方法	64
3.5 动不定性	65
3.6 叠加原理	67
3.7 小 结	69
习 题	70
4 力法分析	73
4.1 引 言	73
4.2 方法说明	73
4.3 基本结构和坐标系统	76
4.4 关于环境影响的分析	77
4.5 各种不同加载情况的分析	78
4.6 力法分析的五个步骤	78
4.7 三力矩方程	86
4.8 连续梁和框架上的移动荷载	90
4.9 小 结	94
习 题	94
5 位移法分析	98
5.1 引 言	98
5.2 方法说明	98
5.3 自由度和坐标系	101
5.4 各种不同加载的分析	105
5.5 外界效应的分析	105
5.6 位移法的 5 个步骤	105
5.7 坐标处位移的效应	111
5.8 小 结	113
习 题	113
6 柔度矩阵和刚度矩阵	117
6.1 引 言	117
6.2 柔度矩阵与刚度矩阵的关系	117
6.3 力法或位移法的选择	119
6.4 空间和平面框架的等截面杆件的刚度矩阵	121

6.5	刚度矩阵的缩聚	123
6.6	柔度矩阵和刚度矩阵的特性	125
6.7	用力法对对称结构进行分析	127
6.8	运用位移法对对称结构进行分析	129
6.9	非线性温度变化的效应	133
6.10	收缩和徐变效应	140
6.11	预应力效应	140
6.12	小 结	143
	习 题	144
7	应变能和虚功	148
7.1	引 言	148
7.2	位移的几何形状	148
7.3	应 变 能	150
7.3.1	轴向力产生的应变能	153
7.3.2	弯矩产生的应变能	154
7.3.3	剪力产生的应变能	154
7.3.4	扭矩产生的应变能	155
7.3.5	总应变能	155
7.4	余能和余功	156
7.5	虚功原理	158
7.6	单位荷载定理和单位位移定理	159
7.7	虚功变换	160
7.8	卡氏定理	162
7.8.1	卡氏第一定理	162
7.8.2	卡氏第二定理	164
7.9	小 结	165
8	虚功法确定位移	166
8.1	引 言	166
8.2	利用虚功进行位移计算	166
8.3	力法计算位移	168
8.4	超静定结构的位移	168
8.5	用虚功法求解位移时积分的计算	170
8.5.1	两个函数乘积的定积分	172
8.5.2	杆端力矩引起平面框架的位移	172
8.6	桁架挠度	173
8.7	等效节点荷载	176
8.8	梁和框架的挠度	176

8.9 小 结	187
习 题	187
9 更多的能量定理	193
9.1 引 言	193
9.2 毕特和马克斯维尔定理	193
9.3 毕特定理对于力和位移变换的应用	194
9.4 刚度矩阵和柔度矩阵的变换	198
9.5 装配结构的刚度矩阵	200
9.6 势 能	202
9.7 小 结	203
习 题	203
10 用特殊方法求弹性结构的位移	207
10.1 引 言	207
10.2 梁弯曲时的挠度微分方程	207
10.3 力矩—面积定理	208
10.4 弹性荷重法	211
10.5 有限差分法	219
10.6 以傅里叶级数表示挠度	221
10.7 以带不定参数的级数表示挠度	222
10.8 小 结	226
习 题	226
11 力法和位移法的应用:柱比法和力矩分配法	230
11.1 引 言	230
11.2 柱横截面上的正应力	230
11.3 柱比法的定义	231
11.4 变截面杆件的刚度矩阵	231
11.5 端部转角刚度及传递力矩	233
11.6 直杆与单跨框架的弯矩	234
11.7 力矩分配的过程	238
11.8 对于无节点平动的平面框架的力矩分配过程	241
11.9 修正的端旋转刚度	243
11.10 修正的固端力矩	245
11.11 关于有节点平动的平面框架一般力矩分配过程	249
11.12 无剪力力矩分配	255
11.13 小 结	258
习 题	259

12 梁和框架的影响线	263
12.1 引 言	263
12.2 影响线的概念和应用	263
12.3 牟勒尔—贝里斯劳 (Muller - Breslau) 原理	264
12.3.1 求影响线的过程	267
12.4 间接加载的修正	268
12.5 固端梁的影响线	269
12.6 平面框架的影响线	271
12.7 小 结	274
13 梁格、拱、桁架的影响线	275
13.1 引 言	275
13.2 梁格的影响线	275
13.3 一般叠加方程	281
13.4 拱的影响线	281
13.5 桁架的影响线	283
13.6 小 结	286
习 题	286
14 轴向力对抗弯刚度的效应	289
14.1 引 言	289
14.2 轴向力作用下等截面杆的刚度	289
14.3 轴向压力的效应	289
14.4 轴向拉力的效应	294
14.5 轴向力的结合论述	295
14.6 轴向力作用下等截面杆的修正杆端转角刚度	296
14.7 受轴向力作用的等截面杆的固端力矩	296
14.7.1 均布荷载	297
14.7.2 集中荷载	298
14.8 轴向力作用下等截面杆的修正固端力矩	299
14.9 框架的弹性稳定性	302
14.10 用力矩分配法计算框架的屈曲荷载	306
14.11 小 结	308
习 题	309
15 剪力墙结构分析	311
15.1 引 言	311
15.2 剪力墙单元的刚度	312

15.3	端部带有刚臂的梁的刚度矩阵	313
15.4	带有剪力墙的平面框架的分析	315
15.5	建筑物按平面结构的简化近似分析	318
15.6	带孔的剪力墙	323
15.7	三维分析	324
15.8	小 结	334
	习 题	334
16	有限差分法	337
16.1	引 言	337
16.2	有限差分形式的导数表示法	337
16.3	静定梁中的弯矩和挠度	340
16.4	梁挠度与作用荷载之间的有限差分关系式	341
16.4.1	截面突变的梁	343
16.4.2	边界条件	344
16.5	梁的挠度与应力合力或与反力之间的有限差分关系	345
16.6	弹性地基上的梁	346
16.7	轴对称的圆柱壳	348
16.8	偏导数的有限差分表示方法	351
16.9	受面内力作用板的控制微分方程	352
16.10	受弯板的控制微分方程	353
16.11	弯曲平面内部节点的有限差分方程	356
16.12	受弯板的边界条件	357
16.13	受弯板的分析	360
16.13.1	加劲板	362
16.14	等效刚度矩阵	364
16.15	等效刚度矩阵与刚度矩阵之间的比较	364
16.16	小 结	366
	习 题	366
17	有限单元法	371
17.1	引 言	371
17.2	位移法五个步骤的应用	372
17.3	弹性体基本方程	374
17.3.1	平面应力和平面应变	374
17.3.2	薄板弯曲	375
17.3.3	三维实体	376
17.4	位移插值法	376
17.4.1	直杆单元	376

17.4.2 受面内力作用的四边形单元	377
17.4.3 矩形薄板弯曲单元	378
17.5 位移法有限元的刚度矩阵和应变矩阵	379
17.6 单元荷载向量	380
17.7 利用最小总势能对单元矩阵的推导	381
17.8 形函数推导	382
17.9 收敛条件	385
17.10 收敛性的分片试验	386
17.11 常应变三角单元	388
17.12 节点力的分析	390
17.13 小 结	391
习 题	391
18 有限单元法的进展	394
18.1 引 言	394
18.2 等参单元	394
18.3 等参单元的收敛	397
18.4 拉格朗日内插法	397
18.5 二维和三维等参单元的形函数	398
18.6 矩形平面单元的相容荷载向量	400
18.7 三角形平面应力和平面应变单元	401
18.8 三角形弯曲板单元	403
18.9 数值积分	405
18.10 壳体作为平面单元的组合	409
18.10.1 矩形壳体单元	409
18.10.2 虚拟刚度系数	410
18.11 旋 转 体	410
18.12 有限条带法和有限棱柱法	412
18.12.1 刚度矩阵	414
18.12.2 相容荷载向量	415
18.12.3 结点连线上位移的变化	416
18.12.4 受弯板的有限条带	416
18.13 混合有限元	419
18.13.1 应变场和应力场	420
18.13.2 混合应力公式	420
18.13.3 混合应变公式	423
18.14 小 结	423
习 题	423

19 连续梁和框架的塑性分析	427
19.1 引 言	427
19.2 极限力矩	427
19.3 简支梁的塑性状态	428
19.4 固端梁和连续梁的极限强度	430
19.5 矩形门架	431
19.6 基本机构的组合	434
19.7 带有斜杆的框架	436
19.8 轴向力对塑性承载力矩的影响	437
19.9 剪力对塑性承载力矩的影响	439
19.10 小 结	439
习 题	439
20 板的屈服线法和条带法	441
20.1 引 言	441
20.2 屈服线理论的基础	441
20.2.1 表示方法	442
20.2.2 沿两个垂直方向相同配筋板的极限力矩	443
20.3 能 量 法	443
20.4 正交各向异性板	445
20.5 板各部分的平衡	448
20.6 平 衡 法	450
20.7 不规则板	453
20.8 条 带 法	455
20.9 分带布筋的应用	456
20.10 小 结	458
习 题	459
21 结构动力学	462
21.1 引 言	462
21.2 坐标和集中的质量	462
21.3 相容质量矩阵	464
21.4 单自由度系统的无阻尼自由振动	465
21.5 单自由度系统的无阻尼强迫振动	467
21.6 单自由度系统的黏滞阻尼振动	469
21.6.1 自由、黏滞阻尼振动	469
21.6.2 简谐强迫、黏滞阻尼振动	471
21.6.3 对任意扰动力的反应	471

21.7	多自由度系统的无阻尼自由振动	472
21.8	固有振型的正交性	474
21.9	正则坐标	475
21.10	结构对地震的反应	477
21.11	小 结	479
	习 题	479
22	杆系结构的计算机分析	482
22.1	引 言	482
22.2	单元局部坐标系	483
22.3	带 宽	484
22.4	输入数据	485
22.5	单元局部坐标轴的方向余弦	488
22.6	单元刚度矩阵	489
22.7	转换矩阵	489
22.8	整体坐标系下的单元刚度矩阵	491
22.9	组集刚度矩阵和荷载矢量	492
22.10	位移支撑条件和支反力	496
22.11	求解带状方程	498
22.12	杆 端 力	500
22.13	小 结	503
23	计算机分析的实现	505
23.1	引 言	505
23.2	斜坐标系下的位移边界条件	505
23.3	结构的对称性	508
23.3.1	结构对称,荷载对称	508
23.3.2	结构对称,荷载不对称	509
23.4	位移约束	510
23.5	旋转对称	513
23.6	子 结 构	515
23.7	平面框架的塑性分析	516
23.8	弯截面单元或者弯曲轴线单元的刚度矩阵	521
23.9	小 结	523
	习 题	523
24	非线性分析	527
24.1	介 绍	527
24.2	几何刚度矩阵	528

24.3	几何非线性的简单案例	528
24.4	Newton – Raphson 法:非线性方程的解法	529
24.5	Newton – Raphson 法在桁架的应用	532
24.5.1	一次迭代循环中的计算	533
24.5.2	收敛标准	533
24.6	平面或空间桁架的构件的切线刚度矩阵	534
24.7	非线性折曲	537
24.8	平面框架构件的切线刚度矩阵	538
24.9	Newton – Raphson 法应用于平面框架	540
24.10	三角膜单元的切线刚度矩阵	547
24.11	非线性材料构成的结构的分析	551
24.12	材料非线性分析的迭代法	551
24.13	小 结	555
	习 题	555
附录 A	矩阵代数	558
	习 题	571
附录 B	棱柱形体的位移	575
附录 C	棱柱形杆的固端力	578
附录 D	棱柱形杆由于端点位移引起的端点力	580
附录 E	由于支承处单位位移所引起连续梁各支承处的反力和弯矩	581
附录 F	几何图形的特性	585
附录 G	扭转常数 J	587
附录 H	积分 $\int M_u M dl$ 的值	589
附录 I	EI 为常数的简支梁承受单位端力矩时的挠度	590
附录 J	柱比法中一些常用的平面面积的几何特性	591
附录 K	混凝土构件中的预应力效应	592
附录 L	结构计算程序介绍	593
	习题答案	597
	符号说明	624
	国际单位制	626