

高层与 超高层建筑结构

秦 荣 著



科学出版社

www.sciencep.com

高层与超高层建筑结构

秦 荣 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要介绍高层与超高层建筑结构分析的新理论、新方法,重点介绍作者的新成果。主要内容包括:高层与超高层建筑结构体系,结构非线性分析,结构不确定性分析,结构损伤分析,结构可靠度分析,结构振动控制分析,结构非线性稳定性分析,结构抗风分析、抗震分析、抗火分析的新理论、新方法及其在高层与超高层建筑结构中的应用。本书内容丰富、新颖、富有创造性,不仅有理论意义,而且有广泛的应用前景。

本书可供建筑工程设计人员、科研人员及有关专业的高校师生及硕士生、博士生参考。

图书在版编目(CIP)数据

高层与超高层建筑结构/秦荣著. —北京:科学出版社, 2007
ISBN 978-7-03-019101-4

I. 高… II. 秦… III. 高层建筑-建筑结构 IV. TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 085605 号

责任编辑:杨家福/责任校对:赵燕

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>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年7月第一版 开本: B5 (720×1000)

2007年7月第一次印刷 印张: 50 1/4

印数: 1—3 000 字数: 980 000

定价: 110.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137026 (BA08)

前 言

近十多年来,国内外高层建筑发展很快,层数日益增多,高度日益增高,体形越来越复杂,结构体系越来越新颖,新材料的应用日益增多。高层建筑的这种发展趋势,对高层建筑结构提出了新的要求和挑战,在结构工程最核心的结构分析与设计理论方面正在孕育着新的突破。结构工程遇到的挑战首先是实现基于性能的结构设计,提高工程结构使用性能及抗灾性能。要实现基于性能的结构设计,必须精确掌握结构性能,必须精确分析结构性能。为此,必须有考虑到结构非线性、结构不确定性、荷载不确定性及结构损伤等复杂因素的精细化分析方法,这是结构性能设计理论的客观要求。目前对于结构性能及其可靠度尚无精细化分析方法。因此,发展结构性能的精细化分析方法及结构性能的控制方法是创立结构性能设计理论的关键问题。由此可见,结构非线性、结构不确定性、结构损伤力学是发展结构性能精细化分析方法的重要基础。因此,致力于创立结构非线性、结构不确定性及结构损伤分析的新理论新方法是当务之急,也是长远之计。

结构设计应遵守规范。规范中提供的设计方法是基于大量实验数据及大量实践经验基础上的经验公式,能基本上反映结构构件的实际情况,对常规设计是行之有效的简便易行的设计方法,但有局限性。例如:①规范提供的设计公式主要是对杆件结构的构件,对于复杂结构未提出计算公式。如果遇到复杂结构,则需要另想办法。②规范提供的设计方法不能清晰地给出结构受力全过程,不能正确地了解结构的性态及发展规律,不能揭示结构内力及变形重分布的过程,因此不能准确地评估整个结构地可靠度。③规范中的计算公式只是保证安全及适用的一种算法,不能算出结构正常使用荷载下结构任意一点的应力或应变状态。④随着工程结构发展的趋势,结构超规范的越来越多,现有规范不能适用,需要另想办法。由此可见,工程技术人员及科技人员不仅应遵守规范,按规范办事,而且也要具备对付超规范的设计能力。因此加强培养工程技术人员及科技人员在这方面的设计能力非常重要。

1982年以来,作者致力于研究高层建筑结构分析的新理论新方法,创立了高层与超高层建筑结构分析的新理论新方法。这些新成果已用于高层建筑结构的线性分析及非线性分析,显示出它们的优越性,比有限元法及有限条法优越,不仅计算简便,而且精度较高。这些新成果已在国内外公开发表,被很多学者引用,在国内外学术界产生了广泛的影响。有关成果获省部级科技进步二等奖6项,经同行专家鉴定认为国内外首创,达到国际先进水平。

本书是在上述的成果基础上撰写成的,是作者 25 年来科研成果的总结,是一部科研成果专著。全书共二十五章,内容包括高层建筑结构体系、结构非线性分析、结构不确定性分析、结构损伤分析、结构振动控制分析、结构可靠度分析、结构抗风抗震抗火分析的新理论新方法及其在高层与超高层建筑结构中的应用等。本书内容丰富、新颖、富有创造性,突破了传统方法,既有理论,又有应用。本书创立的新理论新方法,不仅为高层与超高层建筑结构分析提出了一些经济有效的新方法,而且也为大跨度桥梁结构、大跨度网壳结构及各种工程结构分析开拓了新途径;不仅克服了有限元法、有限条法及边界元法的缺点,而且也有限元法、有限条法、边界元法及样条函数的广泛应用开拓了新途径。因此,本书的出版对促进工程结构的发展有重要意义。

目前,国内外出版的高层建筑结构书籍主要介绍结构体系、构造及简化计算方法,对高层建筑结构的构造及简化计算方法已有详细介绍,本书不再重复。本书主要介绍高层与超高层建筑结构分析的新理论新方法,重点介绍作者的新成果。

第一章主要介绍高层与超高层建筑结构的一些基本概念,指出了高层建筑结构理论的发展现状与发展趋势,介绍了作者建立的样条基函数。

第二章主要介绍高层建筑常用结构体系分析的新方法,重点介绍作者的 QR 法及其应用。

第三章主要介绍高层建筑筒体结构体系分析的 QR 法及其应用,还介绍了作者建立的样条子域。

第四章主要介绍高层建筑复杂结构体系分析的新方法,重点介绍作者的 QR 法、样条子域法及其应用,还重点介绍了作者建立的样条子域及板条函数。

第五章主要介绍高层建筑结构动力分析的新方法,在简介基本概念的基础上重点介绍作者的新成果,先用 QR 法建立新模型,然后用样条加权残数法建立新算法,包括条件稳定算法及无条件稳定算法,然后利用新算法分析结构动力反应。

第六章主要介绍高层建筑结构材料非线性分析的新方法,在简介基本概念的基础上重点介绍作者的新成果,先介绍作者建立的弹塑性应变增量理论,这是一种新本构模型,然后用 QR 法或样条子域法建立新模型,最后利用迭代增量法分析结构弹塑性问题。

第七章主要介绍高层建筑结构几何非线性分析的新方法,重点介绍作者的新成果,先利用 QR 法或样条子域法建立新模型,建立了新样条子域/新样条单元,然后利用增量迭代法分析结构几何非线性问题。

第八章主要介绍高层与超高层建筑结构双重非线性分析的新方法,重点介绍作者的新成果,先介绍大变形本构关系,然后利用 QR 法建立新模型,建立了新样条子域/新样条单元,然后利用增量迭代法分析结构双重非线性问题。

第九章主要介绍高层与超高层建筑结构非线性动力分析的新方法,重点介绍

作者的新成果,先利用 QR 法建立新模型,然后利用样条加权残数法建立新算法,包括条件稳定算法及无条件稳定算法,最后利用新算法分析结构非线性动力反应。

第十章主要介绍高层与超高层建筑结构非线性稳定分析的新方法,在简介基本概念的基础上重点介绍作者的新成果,先利用 QR 法建立新模型,然后介绍结构静力稳定性及动力稳定性分析的新算法及其实用算法。

第十一章主要介绍高层建筑钢筋混凝土结构分析的新方法,在简介混凝土基本概念的基础上重点介绍作者的新成果,先介绍作者建立的混凝土弹塑性应变增量理论,然后利用 QR 法建立新模型,最后利用增量迭代法分析混凝土非线性问题。

第十二章主要介绍高层建筑结构不确定性分析的新方法,重点介绍作者的新成果:不确定性本构关系,结构不确定性非线性变分原理,结构不确定性样条函数方法。

第十三章主要介绍高层建筑结构损伤分析的新方法,在简介基本概念的基础上重点介绍作者的新成果:钢材损伤本构关系,混凝土损伤本构关系,损伤变分原理,结构损伤分析的 QR 法及其应用。

第十四章主要介绍高层建筑结构可靠度分析的新方法,在简介基本概念的基础上重点介绍作者的新成果:结构不确定性静力可靠度分析的 QR 法,结构不确定性动力可靠度分析的 QR 法,复杂结构体系可靠度分析的 QR 法,失效树-QR 法,概率网络估算-QR 法,蒙特卡罗-QR 法。

第十五章主要介绍高层建筑结构抗震分析的新方法,在简介基本概念的基础上重点介绍作者的新成果:结构不确定性地震反应分析的新方法,结构不确定性抗震可靠度分析的新方法,结构抗震性能设计理论。

第十六章主要介绍高层建筑结构抗风分析的新方法,在简介基本概念的基础上重点介绍作者的新成果:结构不确定性风振反应分析的 QR 法,结构不确定性抗风可靠度分析的新方法。

第十七章主要介绍高层建筑结构抗火分析的新方法,在简介基本概念的基础上重点介绍作者的新成果:温度场分析的 QR 法,高层建筑结构抗火分析的 QR 法,钢结构高温反应分析的 QR 法,结构抗火性能设计理论。

第十八章主要介绍高层建筑结构现代控制理论及其应用,在简介基本概念的基础上重点介绍作者的成果:样条状态空间法及其应用,状态方程的算法,现代最优控制的算法。

第十九章主要介绍带转换层高层建筑结构分析的新方法,在简介基本概念的基础上重点介绍作者的新成果:带转换层高层建筑结构分析的 QR 法,样条子域法,先整体后局部分析法及其应用。

第二十章主要介绍高层建筑结构巨型结构分析的新方法,在简介基本概念

基础上重点介绍作者的新成果：巨型结构分析的 QR 法及其应用。

第二十一章主要介绍高层建筑混合结构分析的新方法，在简介基本概念的基础上重点介绍作者的新成果：高层混合结构分析的 QR 法，高层混合结构非线性分析的 QR 法，高层混合结构可靠度分析的 QR 法，高层建筑结构静力弹塑性分析的 Pushover-QR 法及其应用。

第二十二章主要介绍高层建筑—基础—地基耦合体系分析的新方法，在简介基本概念的基础上重点介绍作者的新成果：高层结构耦合体系分析的样条子域法及 QR 法，高层结构与高层结构相互作用分析的样条子域法及 QR 法，地下结构分析的样条无限元-QR 法及其应用。

第二十三章主要介绍智能高层与超高层建筑结构分析的新方法，重点介绍作者的新成果：智能梁单元，智能板壳单元，智能高层建筑结构分析的 QR 法，智能结构双重非线性分析的 QR 法，智能高层结构稳定性分析的 QR 法，智能高层结构振动主动控制的新算法。

第二十四章主要介绍高层建筑连体结构分析的新方法，在简介基本概念的基础上重点介绍作者的新成果：连体结构非线性分析的 QR 法及其应用。

第二十五章主要介绍高层建筑结构施工过程模拟分析的新方法，在简介基本概念的基础上重点介绍作者的新成果：结构施工过程模拟分析的 QR 法及其应用，徐变、收缩对高层建筑结构的受力影响分析的 QR 法及其应用。

对上述内容，作者自 1982 年以来，逐年对作者的硕士生及博士生讲授过，反应很好。1978 年以来，作者研究过许多项目。这些项目分别获得国家自然科学基金委员会、广西自然科学基金委员会及广西科学研究与技术开发项目的资助，本书包括这些项目的许多研究成果，现借此机会向他们表示衷心的感谢！

本书在编写过程中，得到了国内许多同行的热情关怀和帮助，我的许多博士生及硕士生利用这些新理论新方法算过许多例题，分析过不少工程。特此对他们的支持表示感谢！

由于作者水平有限，不妥之处在所难免，敬请批评指正。

目 录

前言

第一章 基本概念	1
1.1 高层建筑	1
1.2 高层建筑的受力特点	2
1.3 高层建筑的结构体系	3
1.3.1 框架结构体系	3
1.3.2 剪力墙结构体系	4
1.3.3 框架-剪力墙结构体系	5
1.3.4 筒体结构体系	5
1.3.5 巨型框架结构体系	6
1.3.6 悬挂结构体系	6
1.3.7 带转换层高层建筑结构体系	7
1.3.8 钢与混凝土混合结构体系	8
1.4 高层建筑结构设计的基本原则.....	10
1.4.1 抗震设计的基本原则	11
1.4.2 抗风设计的基本原则	12
1.4.3 结构布置的基本原则	13
1.5 高层建筑结构的荷载.....	17
1.5.1 竖向荷载.....	17
1.5.2 风荷载	17
1.5.3 地震荷载.....	18
1.6 高层建筑结构理论发展现状与趋势.....	21
1.6.1 高层建筑结构理论研究的现状	21
1.6.2 高层建筑结构理论研究的发展趋势	23
1.7 样条函数.....	24
1.7.1 B样条函数构造的方法.....	24
1.7.2 B样条函数的性质	25
1.7.3 B样条函数的数值方法.....	26
1.7.4 样条基函数	26

1.8 附录	29
1.8.1 风荷载有关系数	30
1.8.2 地震荷载有关系数	31
1.8.3 样条函数值	33
1.8.4 样条离散化	34
1.8.5 薄梁的小挠度问题	35
1.8.6 薄板的小挠度问题	37
1.8.7 求 $[Q] = [S]^{-1}$ 值	40
1.8.8 式 (1.40) 所示样条基函数的具体形式	42
参考文献	45
第二章 高层建筑常规结构体系分析的新方法	50
2.1 QR 法	50
2.2 框架结构体系	53
2.3 剪力墙结构体系	56
2.4 框-剪结构体系	59
2.5 框支剪力墙结构体系	62
2.6 样条子域	63
2.6.1 样条平面梁子域	63
2.6.2 样条空间梁子域	69
2.7 计算例题	71
2.8 附录	75
2.8.1 梁单元	75
2.8.2 弹性力学平面单元	79
2.8.3 薄板单元	81
2.8.4 平板壳单元	82
2.8.5 开洞单元	83
2.8.6 弹性力学平面单元刚度矩阵	88
2.8.7 薄板矩形单元刚度矩阵	89
2.8.8 薄板内力向量	90
2.8.9 非结点荷载作用下的梁单元	91
2.8.10 图 2.38 所示单元的刚度矩阵	93
参考文献	93
第三章 高层建筑筒体结构分析的新方法	95
3.1 筒体结构体系	95
3.2 筒体结构受力性能	98

3.3	筒体结构分析的 QR 法	98
3.4	结构参数对筒体结构性能的影响	101
3.5	样条子域	103
3.5.1	样条平面梁子域	103
3.5.2	样条空间梁子域	109
3.5.3	样条厚梁子域	111
3.6	计算例题	116
3.7	附录	121
3.7.1	B 样条内积的积分法	121
3.7.2	几个重要矩阵	123
3.7.3	[Q] 矩阵	132
3.7.4	板条函数/梁函数	134
3.7.5	筒体结构平面布置实例	134
3.7.6	还应注意的一些问题	136
	参考文献	137
第四章	高层建筑复杂结构体系分析的新方法	138
4.1	复杂结构体系	138
4.1.1	平面形状复杂的高层建筑结构体系	138
4.1.2	竖向体形复杂的高层建筑结构体系	140
4.1.3	错层建筑结构体系	140
4.1.4	连体结构体系	142
4.1.5	多塔楼结构体系	145
4.2	高层建筑复杂结构体系分析的 QR 法	147
4.3	高层建筑复杂结构体系分析的样条子域法	148
4.3.1	样条子域法	148
4.3.2	高层建筑复杂结构体系分析的样条子域法	152
4.4	样条子域	154
4.4.1	样条子域类型	154
4.4.2	样条弹性平面子域	155
4.4.3	样条剪力墙子域	160
4.4.4	样条框架子域	168
4.5	计算例题	171
4.6	附录	171
4.6.1	非均匀分划问题	171
4.6.2	样条基函数	173

4.6.3	样条厚板壳/薄板壳矩形子域	175
4.6.4	样条厚板壳/薄板壳三角形子域	177
4.6.5	梁的振型函数	177
4.6.6	压杆稳定函数	180
4.6.7	板条函数	184
4.6.8	正交多项式	186
	参考文献	188
第五章	高层建筑结构动力分析的新方法	189
5.1	建立高层建筑结构动力分析的新模型	189
5.2	结构动力特性的算法	192
5.2.1	结构动力特性	192
5.2.2	特征值问题	192
5.2.3	特征值问题解法	194
5.2.4	滤频迭代法	194
5.2.5	建立结构的质量矩阵	197
5.3	结构动力反应的新算法	198
5.3.1	基本方程	199
5.3.2	建立递推格式	199
5.3.3	建立无条件稳定算法	201
5.3.4	建立条件稳定算法	203
5.4	计算例题	204
	参考文献	211
第六章	高层建筑结构材料非线性分析的新方法	212
6.1	弹塑性本构关系	212
6.1.1	屈服准则	212
6.1.2	强化(软化)准则	214
6.1.3	流动法则	218
6.1.4	增量理论	220
6.1.5	Mises 等向强化弹塑性矩阵	222
6.1.6	广义等向强化弹塑性矩阵	226
6.2	弹粘塑性本构关系	229
6.2.1	弹粘塑性模型	229
6.2.2	本构关系	230
6.3	材料非线性应变理论	233
6.3.1	单向应力状态	234

6.3.2	复杂应力状态	236
6.3.3	统一的本构理论	238
6.4	建立结构材料非线性分析的新模型	239
6.4.1	平面框架弹塑性分析的 QR 法	239
6.4.2	高层复杂结构材料非线性分析的 QR 法	244
6.5	结构材料非线性分析的算法	246
6.5.1	增量初应力迭代法	246
6.5.2	增量变刚度迭代法	247
6.6	弹塑性梁单元	248
6.7	计算例题	251
	参考文献	252
第七章	高层建筑结构几何非线性分析的新方法	253
7.1	结构几何非线性理论	253
7.1.1	梁的小变形几何非线性理论	253
7.1.2	薄板的小变形几何非线性理论	255
7.1.3	两个重要性质	257
7.2	建立结构几何非线性分析的新模型	258
7.2.1	高层框架几何非线性分析的 QR 法	258
7.2.2	高层复杂结构几何非线性分析的 QR 法	263
7.3	结构几何非线性分析的算法	266
7.3.1	Newton-Raphson 法	266
7.3.2	修正的 Newton-Raphson 法	267
7.3.3	增量法	268
7.3.4	增量迭代法	268
7.4	计算例题	269
7.5	几何非线性单元	271
7.5.1	平面梁单元	271
7.5.2	平面样条梁单元	273
7.5.3	空间梁单元	274
7.5.4	空间样条梁单元	275
7.5.5	弹性力学平面单元	275
7.5.6	大挠度薄板单元	280
7.5.7	大挠度薄壳样条子域/样条单元	282
7.5.8	板壳几何非线性样条子域/样条单元	285
7.5.9	单元刚度矩阵的三种格式	288

7.5.10 小结	289
参考文献	289
第八章 高层建筑结构双重非线性分析的新方法	291
8.1 大变形本构关系	291
8.1.1 一般原理	291
8.1.2 大变形弹塑性本构关系	292
8.2 建立结构双重非线性分析的新模型	293
8.2.1 高层框架双重非线性分析的 QR 法	293
8.2.2 高层复杂结构双重非线性分析的 QR 法	298
8.3 结构双重非线性分析的算法	299
8.3.1 增量迭代法	299
8.3.2 有关迭代公式	301
8.4 计算例题	302
8.5 附录	304
8.5.1 单元三种格式的刚度矩阵	304
8.5.2 双重非线性单元刚度矩阵的具体形式	305
8.5.3 大变形弹塑性问题	306
参考文献	307
第九章 高层建筑结构非线性动力分析的新方法	308
9.1 动力本构关系	308
9.2 建立结构非线性动力分析的新模型	308
9.2.1 结构几何非线性动力问题	308
9.2.2 结构双重非线性动力问题	311
9.2.3 结构材料非线性动力问题	313
9.3 结构非线性动力分析的新算法	313
9.3.1 非线性动力方程	313
9.3.2 求解非线性增量动力方程的新算法	314
9.3.3 求解非线性动力方程的几种新算法	317
9.3.4 无条件稳定算法	320
9.4 计算例题	320
参考文献	323
第十章 高层建筑结构非线性稳定性分析的新方法	325
10.1 基本概念	325
10.1.1 结构失稳特性	325
10.1.2 判断结构稳定性的能量准则	326

10.1.3	结构动力稳定性	327
10.2	结构非线性静力稳定性问题	327
10.2.1	建模	327
10.2.2	算法	329
10.2.3	迭代收敛准则	333
10.3	结构非线性平衡路径跟踪算法	334
10.3.1	切线刚度法	335
10.3.2	特征刚度法	336
10.3.3	位移收敛控制增量迭代法	338
10.4	结构非线性静力稳定性简化算法	340
10.4.1	基本原理	340
10.4.2	计算步骤	341
10.4.3	算例	341
10.5	结构非线性动力稳定性问题	342
10.5.1	建模	342
10.5.2	算法	343
10.5.3	计算步骤	345
10.5.4	求解结构动力失稳临界荷载的方法	345
10.5.5	几点注意	346
10.6	计算例题	347
	参考文献	352
第十一章	高层建筑钢筋混凝土结构分析的新方法	353
11.1	混凝土破坏准则	356
11.1.1	单轴受力下的应力应变关系	356
11.1.2	双轴受力下的破坏准则	359
11.1.3	混凝土破坏准则	361
11.2	混凝土本构关系	363
11.2.1	弹塑性理论	363
11.2.2	弹粘塑性理论	367
11.2.3	弹塑性应变理论	369
11.3	钢筋本构关系	370
11.3.1	分布模式	370
11.3.2	离散模式	372
11.4	钢筋与混凝土的粘结关系	372
11.4.1	τ - s 关系	372

11.4.2	粘结性的模拟方法	372
11.5	混凝土裂缝模拟及处理	375
11.5.1	混凝土宏观裂缝产生的原理	375
11.5.2	混凝土裂缝模拟	376
11.5.3	混凝土开裂后的处理方法	377
11.5.4	混凝土开裂后的抗拉效应	379
11.5.5	单元受压破坏后的处理	381
11.5.6	钢筋单元屈服后的处理	381
11.5.7	联结单元破坏后的处理	382
11.5.8	释放力分配原则	383
11.6	钢筋混凝土结构非线性分析的 QR 法	384
11.7	算法	386
11.7.1	增量初应力迭代法	386
11.7.2	增量变刚度迭代法	388
11.8	计算例题	389
	参考文献	391
第十二章	高层建筑结构不确定性分析的新方法	393
12.1	不确定性变量	395
12.2	不确定性本构关系	396
12.3	结构不确定性非线性变分原理	397
12.4	结构不确定性样条函数方法	398
12.4.1	样条离散化	398
12.4.2	建立样条刚度方程	399
12.4.3	计算不确定量	400
12.5	小结	400
	参考文献	400
第十三章	高层建筑结构损伤分析的新方法	401
13.1	基本概念	403
13.1.1	结构损伤	403
13.1.2	基本方程	404
13.1.3	损伤变量	405
13.1.4	应力应变关系	405
13.1.5	演化方程	406
13.1.6	应力等效原理	406
13.2	钢材损伤理论	406

13.2.1	弹性各向同性损伤本构关系	406
13.2.2	弹塑性各向同性损伤本构关系	407
13.2.3	各向同性损伤的弹塑性应变理论	410
13.2.4	各向同性损伤的弹粘塑性理论	411
13.2.5	弹性各向异性损伤本构关系	411
13.2.6	弹塑性各向异性损伤本构关系	413
13.2.7	损伤演化模型	415
13.3	混凝土损伤本构关系	416
13.3.1	混凝土弹性各向同性损伤本构关系	416
13.3.2	混凝土弹塑性各向同性本构关系	417
13.3.3	混凝土粘弹塑性各向同性本构关系	419
13.3.4	各向同性损伤的弹塑性应变理论	419
13.3.5	损伤演化方程	420
13.4	损伤变分原理	420
13.4.1	损伤变分原理	421
13.4.2	三类变量损伤广义变分原理	421
13.4.3	二类变量损伤广义变分原理	421
13.5	结构损伤分析的新方法	422
13.5.1	建模	422
13.5.2	算法	422
	参考文献	423
第十四章	高层建筑结构可靠度分析的新方法	424
14.1	基本概念	426
14.1.1	结构可靠度	426
14.1.2	结构生命全过程可靠度	426
14.1.3	结构功能函数	426
14.1.4	结构失效概率	427
14.1.5	结构可靠指标	427
14.1.6	求可靠度指标 β 的方法	428
14.1.7	结构可靠度理论研究的方向	429
14.2	结构不确定性静力可靠度分析的新方法	430
14.2.1	基本原理	430
14.2.2	随机 QR 法	432
14.2.3	随机非线性 QR 法	435
14.2.4	随机模糊非线性 QR 法	438

14.2.5	结构时变可靠度分析的随机样条函数方法	440
14.3	结构不确定性动力可靠度分析的新方法	441
14.3.1	基本原理	441
14.3.2	结构动力可靠度分析的样条函数方法	441
14.3.3	确定结构动力可靠度	443
14.4	复杂结构体系可靠度的 QR 法	445
14.4.1	基本概念	445
14.4.2	复杂结构体系可靠度分析的 QR 法	448
14.4.3	复杂结构体系可靠度分析的失效树-QR 法	450
14.4.4	复杂结构体系可靠度分析的概率网络估算-QR 法	453
14.4.5	复杂结构体系可靠度分析的蒙特卡罗-QR 法	454
14.5	复杂结构体系不确定性可靠度分析的新方法	455
14.5.1	模糊机构-QR 法	455
14.5.2	几种方法	456
14.5.3	简化方法	456
14.6	计算例题	456
14.7	附录	459
14.7.1	可靠指标的几何意义	459
14.7.2	计算可靠指标 β 的两个常用公式	460
14.7.3	改进一次二阶矩法	463
14.7.4	结构体系中功能函数的相关性	467
14.7.5	随机变量的抽样	468
14.7.6	结构不确定性可靠度	481
14.7.7	结构体系模糊可靠度	484
	参考文献	485
第十五章	高层建筑结构抗震分析的新方法	487
15.1	结构抗震性能设计理论	490
15.1.1	结构抗震性能水准	490
15.1.2	结构抗震性能目标	491
15.1.3	结构抗震性能概念设计	492
15.1.4	结构抗震性能计算设计	492
15.1.5	结构抗震性能评估	492
15.1.6	结构抗震性能控制	494
15.1.7	结构抗震性能的社会经济评估	494
15.1.8	结构抗震性能设计总框图	494