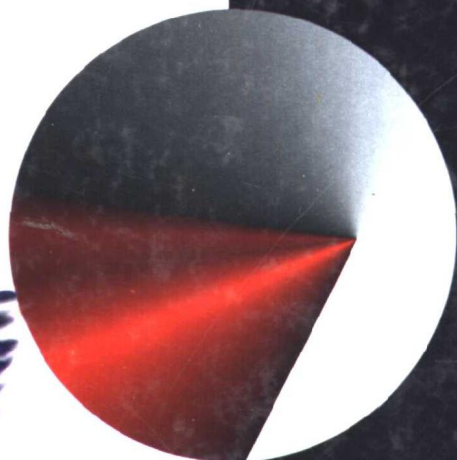


计算结构
非线性

力学

秦荣著
广西科学技术出版社



**Computational
Structural
Nonlinear
Mechanics**
Qin Rong
**Guangxi Science
and Technology
Publishing House**

计算结构非线性力学

Computational Structural Nonlinear Mechanics

秦荣著

Qin Rong

广西科学技术出版社
Guangxi Science and Technology Publishing House

计算结构非线性力学

秦 荣 著

*

广西科学技术出版社出版

(南宁市东葛路66号 邮政编码 530022)

广西新华书店发行

广西民族语文印刷厂印刷

(南宁市望州路251号 邮政编码 530001)

*

开本 850×1168 1/32 印张 23.25 字数 538 000

1999年7月第1版 1999年7月第1次印刷

ISBN 7-80619-714-1
TB·9

定价：86.00元

该书如有倒装缺页的,请与工厂调换。

内容简介

本书阐述计算结构非线性力学的新理论新方法，共二十一章，内容包括材料本构关系、非线性变分原理、非线性样条函数方法、结构弹塑性分析方法、热弹塑性分析方法、结构几何非线性分析方法、结构双重非线性分析方法、结构非线性稳定问题、结构非线性动力问题、钢筋混凝土非线性问题、岩土非线性问题、桥梁结构非线性问题、水工结构非线性问题、结构塑性极限及安定性、结构随机模糊弹塑性力学及其在工程中的应用。本书内容丰富、新颖、富有创造性，突破了传统方法。书中既有理论，又有实际应用，并附有例题。

本书不仅可用于建筑结构、桥梁结构、水工结构、地下结构、岩土工程、海洋工程、海岸工程、港口工程、矿山工程、道路工程，而且对机械、化工、航空航天、造船及国防工程也适用，可作为固体力学、结构力学、计算力学、工程力学、土木、水利、桥梁、航空、船舶、化工、矿山、地下结构、岩土、国防工程及机械等有关专业的研究生和本科生的教材或教学参考书，也可供上述各领域的教学、科研人员及工程技术人员使用。

Brief Introduction

This book expounded new theories and new methods of computational structural nonlinear mechanics. This book consists of 21 chapters and its contents are: the constitutive relations of materials, nonlinear variational principle, nonlinear spline function methods, methods for elasto - plastic analysis of structures, methods for thermal elasto - plastic analysis, methods for geometric nonlinear analysis of structures, methods for double nonlinear analysis of structures, nonlinear stability problems of structures, nonlinear dynamic problems of structures, nonlinear problems of reinforced concrete structures, nonlinear problems of geotechnical engineering, nonlinear problems of bridge structures, nonlinear problems of hydraulic structures, plastic limit analysis and shakedown analysis of structures, chane - fuzzy mechanics of structures and its applications.

This book has substantial contents and original in choice of subject, it is possessed of originality. In this book, spline finite point method, QR - method, spline subdomain method, spline weighted residual method, spline boundary element method and spline infinite - QR method are originated, new theories and new methods for nonlinear analysis of structures are founded, a new domain of nonlinear mechanics is opened. This is a new breakthrough of nonlinear mechanics.

This book is available for analysis of diverse engineerings, it has not only fertile theories but also practical applications.

This book is intended as a professional reference book for postgraduates, engineers, researchers and teachers of above engineering science and mechanics.

前言

工程中的力学问题,从本质上来讲是非线性的,线性假设只是实际问题的一种简化。如果工程结构按线性理论设计,不仅会浪费,而且还会造成灾难。在结构工程设计中,如果考虑弹塑性问题,则可以挖掘材料潜力,提高工程结构承载能力,节约材料,正确估计工程安全度,使工程经济合理及安全可靠;如果按线弹性理论设计,则会显得过于保守。由此可知,在各种工程设计中,只假设它为线性问题是不够的,必须进一步考虑非线性问题才能保证工程既经济合理又安全可靠。近几年来,在现代化建设中,人们面临着越来越多的非线性力学问题,结构非线性分析已成为工程设计不可缺少的工作。因此,结构非线性力学已成为工程设计不可缺少的一个重要学科。

结构非线性力学与工程的经济及安全有密切关系。在结构工程中,非线性问题有三类:(1)材料非线性问题;(2)几何非线性问题;(3)双重非线性问题,即既含材料非线性又含几何非线性问题。目前,国内外分析工程中的非线性问题,主要采用几何非线性理论、塑性流动理论及有限元法。这种计算方法为结构非线性分析开创了一个新局面,贡献很大,但需要用到复杂的非线性几何方程及非线性本构方程,不仅计算极为困难,而且逼真度也有问题,甚至难以实现。由上述可知,利用经典理论及有限元法分析结构非线性问题,不是一个经济有效的方法。显然,需要另外创立一些经济有效的新理论新方法。

1986年以来,作者致力于研究结构非线性力学及其应用,在前人研究工作的基础上,创立了结构非线性分析的新理论新方法

法,开拓了非线性力学新领域——《计算结构非线性力学》,为结构非线性分析开拓了一个新途径。同行专家鉴定认为,本成果为国内外首创,达到国际先进水平,1996年荣获广西自然科学优秀成果一等奖,1997年荣获省部级科技进步二等奖。

本书是在上述基础上写成的,取材主要是作者自己的研究成果。这些成果大多数在国内外已经公开发表,被引用很多,影响很好,有些论文被世界著名权威索引文献 EI(美国)、PKJ(原苏联)及 ISTP(美国)引载,有些成果还获得省部级的科技进步奖。总之,本书是作者十二年来科研成果的科学总结,是一部科研成果专著。

本书共二十一章,内容包括材料本构关系、非线性变分原理、结构弹塑性分析方法、结构几何非线性分析方法、结构双重非线性分析方法、结构非线性稳定问题、结构非线性动力问题、钢筋混凝土非线性问题、岩土非线性问题、桥梁结构非线性问题、水工结构非线性问题、热弹塑性分析方法、结构塑性极限及安定性、随机模糊弹塑性力学及其在工程中的应用。本书内容丰富、新颖、富有创造性,突破了传统方法。书中既有理论,又有应用。本书不仅可用于建筑结构、桥梁结构、水工结构、地下结构、岩土工程、矿山工程、海洋工程、海岸工程、道路工程、港口工程,而且对机械、化工、航空航天、造船及国防工程也适用。因此,本书适用范围很广,适用性及通用性强。

1986年以来,作者在结构非线性方面做过许多研究项目。这些项目分别获得国家自然科学基金委员会、广西科委、广西教委及广西大学资助,本书包括这些资助项目的许多研究成果,现借此机会表示衷心的感谢!

在本书的写作出版过程中,得到国内许多同行老前辈和同志的热情关怀和大力支持,得到广西科技出版社的热情帮助及大力

支持，我的许多研究生用这些新理论新方法验算过许多例题，特此也表示衷心的感谢！

由于作者水平有限，时间仓促，错误和缺点在所难免，请指正。

秦 荣

1998年9月于广西大学

目录

1

前 言

第一章 基本概念

- 1.1 材料特性(1)
- 1.2 应力状态(5)
- 1.3 应变状态(10)
- 1.4 基本假设(12)
- 1.5 简化模型(13)
- 1.6 塑性力学基本方程(15)
- 1.7 张量记号(16)
- 参考文献(18)

第二章 屈服条件

- 2.1 屈服条件(19)
- 2.2 常用的几种屈服条件(20)
- 2.3 加载条件(26)
- 参考文献(32)

第三章 本构关系

- 3.1 一般原理(33)
- 3.2 流动法则(34)
- 3.3 弹塑性本构关系(42)
- 3.4 弹粘塑性本构关系(63)
- 3.5 内时理论(69)
- 3.6 弹塑性应变理论(77)
- 参考文献(81)

第四章 变分原理

- 4.1 虚功原理(82)
- 4.2 弹塑性变分原理(86)
- 4.3 弹塑性广义变分原理(91)
- 4.4 弹粘塑性变分原理(99)
- 参考文献(105)

第五章 结构弹塑性分析的样条函数方法

- 5.1 B 样条函数(107)
- 5.2 多维样条函数(114)
- 5.3 样条基函数(117)
- 5.4 样条有限点法(122)
- 5.5 样条加权残数法(128)
- 5.6 QR 法(133)
- 5.7 样条子域法(141)
- 5.8 附录(151)
- 参考文献(169)

第六章 结构弹塑性分析的新理论新方法

- 6.1 弹塑性应变理论(171)
- 6.2 变分原理(173)
- 6.3 弹塑性分析的新方法(175)
- 6.4 增量迭代法(180)
- 6.5 计算例题(185)
- 参考文献(186)

第七章 杆系结构弹塑性问题

- 7.1 样条梁子域(188)
- 7.2 样条拱子域(204)
- 7.3 拱弹塑性分析的样条有限点法(208)

7.4	高层框架弹塑性分析的 QR 法	(213)
7.5	样条厚梁子域	(222)
7.6	计算例题	(228)
7.7	附录	(233)
	参考文献	(237)
第八章 弹塑性二维及三维问题		
8.1	弹塑性二维问题	(239)
8.2	样条矩形子域	(250)
8.3	样条扇形子域	(256)
8.4	样条三角形子域	(262)
8.5	弹塑性轴对称问题	(263)
8.6	弹塑性三维问题	(269)
8.7	样条三维子域	(272)
8.8	映射样条子域	(281)
8.9	计算例题	(287)
	参考文献	(289)
第九章 板壳弹塑性问题		
9.1	薄板弹塑性问题	(291)
9.2	厚板弹塑性问题	(304)
9.3	样条薄板子域	(309)
9.4	样条任意四边形子域	(320)
9.5	样条厚板子域	(324)
9.6	薄壳弹塑性问题	(333)
9.7	厚壳弹塑性问题	(342)
9.8	样条厚壳子域	(346)
9.9	计算例题	(351)
	参考文献	(352)

第十章 结构几何非线性问题

- 10.1 有限变形弹性理论 (354)
- 10.2 变分原理 (362)
- 10.3 梁的几何非线性 (369)
- 10.4 高层框架几何非线性 (388)
- 10.5 薄板几何非线性 (395)
- 10.6 薄壳几何非线性 (413)
- 10.7 三维弹性体几何非线性 (424)
- 10.8 摄动样条函数方法 (428)
- 10.9 计算例题 (429)
- 参考文献 (432)

第十一章 结构双重非线性问题

- 11.1 变分原理 (434)
- 11.2 梁的双重非线性 (439)
- 11.3 高层框架双重非线性 (444)
- 11.4 板壳双重非线性 (449)
- 11.5 薄壳双重非线性 (457)
- 11.6 考虑剪切变形的框架双重非线性 (461)
- 11.7 计算例题 (473)
- 参考文献 (476)

第十二章 结构非线性稳定问题

- 12.1 基本概念 (477)
- 12.2 结构几何非线性稳定问题 (485)
- 12.3 结构双重非线性稳定问题 (494)
- 12.4 结构弹塑性稳定问题 (501)
- 12.5 计算例题 (503)
- 参考文献 (504)

第十三章 结构非线性动力问题	
13.1 瞬时变分原理	(506)
13.2 结构几何非线性动力问题	(510)
13.3 结构双重非线性动力问题	(518)
13.4 结构材料非线性动力问题	(523)
13.5 非线性动力响应的解法	(524)
13.6 计算例题	(533)
参考文献	(536)
第十四章 结构随机模糊弹塑性力学	
14.1 力学中的模糊因素	(539)
14.2 随机力学	(541)
14.3 模糊力学	(544)
14.4 随机模糊力学	(547)
14.5 随机塑性力学	(549)
14.6 模糊塑性力学	(550)
14.7 随机模糊塑性力学	(556)
14.8 灰色力学	(557)
参考文献	(566)
第十五章 热弹塑性分析方法	
15.1 热弹塑性本构关系	(568)
15.2 变分原理	(572)
15.3 样条函数方法	(573)
15.4 计算残余应力	(582)
15.5 计算例题	(585)
参考文献	(587)
第十六章 钢筋混凝土结构非线性问题	
16.1 混凝土破坏准则	(588)

16.2	混凝土本构关系	(595)
16.3	钢筋本构关系	(604)
16.4	钢筋与混凝土的粘结关系	(606)
16.5	钢筋混凝土结构非线性分析的 QR 法	(612)
16.6	计算例题	(616)
	参考文献	(617)
第十七章 岩土工程非线性问题		
17.1	破坏条件	(619)
17.2	本构关系	(620)
17.3	层状地基非线性分析方法	(620)
17.4	岩土弹粘塑性分析方法	(626)
17.5	岩土弹塑性分析方法	(631)
17.6	岩土非线性分析方法	(638)
17.7	结构与地基耦合体系	(641)
17.8	桩与土相互作用	(643)
17.9	地下结构非线性分析方法	(643)
17.10	计算例题	(644)
	参考文献	(646)
第十八章 桥梁结构非线性问题		
18.1	拱的几何非线性	(648)
18.2	钢筋混凝土拱非线性	(655)
18.3	箱型桥梁结构非线性	(657)
18.4	薄壳桥梁结构非线性	(659)
18.5	计算例题	(660)
	参考文献	(661)
第十九章 水工结构非线性问题		
19.1	拱坝几何非线性分析方法	(663)

19.2	混凝土拱坝非线性分析方法	(666)
19.3	坝内埋管非线性分析方法	(672)
19.4	计算例题	(673)
	参考文献	(675)
第二十章 结构塑性极限及安定性		
20.1	结构塑性极限概念	(677)
20.2	高层框架塑性极限分析的 QR 法	(678)
20.3	薄壳塑性极限分析方法	(683)
20.4	结构安定性概念	(687)
20.5	高层框架安定性分析方法	(689)
20.6	计算例题	(691)
	参考文献	(693)
第二十一章 结构非线性分析的多变量样条函数方法		
21.1	结构弹塑性分析方法	(694)
21.2	结构几何非线性分析方法	(705)
21.3	结构双重非线性分析方法	(709)
21.4	结构弹塑性分析的样条状态空间法	(711)
21.5	附录	(716)
	参考文献	(718)

Contents

8

Preface

1. Basic Concepts

1.1	Material Properties	(1)
1.2	Stress state	(5)
1.3	Strain state	(10)
1.4	Fundamental assumptions	(12)
1.5	Simplified models	(13)
1.6	Basic equations of plasticity	(15)
1.7	Tensor notations	(16)
	<i>References</i>	(18)

2. Yield Conditions

2.1	Yield conditions	(19)
2.2	Several common yield conditons	(20)
2.3	Loading conditions	(26)
	<i>References</i>	(32)

3. Constitutive Relations

3.1	General principle	(33)
3.2	Flow rules	(34)
3.3	Elasto-plastic constitutive relations	(42)
3.4	Elasto-viscoplastic constitutive relations	(63)
3.5	Endochronic theory	(69)
3.6	Elasto-plastic strain theory	(77)
	<i>References</i>	(81)

4. Variational Principle

- 4.1 Principle of virtual work (82)
- 4.2 Elasto-plastic Variational principle (86)
- 4.3 Elasto-plastic generalized Variational principle (91)
- 4.4 Elasto-Viscoplastic Variational principle (99)
- References* (105)

5. Spline Function Methods for Elasto-plastic Analysis of Structures

- 5.1 B-spline functions (107)
- 5.2 Multidimensional Spline functions (114)
- 5.3 Spline basic functions (117)
- 5.4 Spline finite point method (122)
- 5.7 Spline weighted residual method (128)
- 5.6 QR-method (133)
- 5.7 Spline subdomain method (141)
- 5.8 Addendices (151)
- References* (169)

6. New Theories and New Methods for Elasto-plastic Analysis of Structures

- 6.1 Theory of elasto-plastic strains (171)
- 6.2 Variational principle (173)
- 6.3 New methods for elasto-plastic analysis (175)
- 6.4 Incremental iterative methods (180)
- 6.5 Numerical examples (185)
- References* (186)

7. Elasto-plastic Problems of Frame Structures

- 7.1 Spline beam subdomains (188)
- 7.2 Spline arch subdomains (204)