



《中国工程物理研究院科技丛书》第064号

快中子临界装置 和脉冲堆实验物理

Experiments and Physics on Fast-Neutron Critical Facilities and Pulsed Reactors

贺仁辅 邓门才 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

《中国工程物理研究院科技丛书》第 064 号

快中子临界装置和 脉冲堆实验物理

**Experiments and Physics on Fast-Neutron
Critical Facilities and Pulsed Reactors**

贺仁辅 邓门才 编著

国防工业出版社

099^{北京}1621

图书在版编目 (CIP) 数据

快中子临界装置和脉冲堆实验物理 / 贺仁辅, 邓门才编著. —北京: 国防工业出版社, 2012. 8
(中国工程物理研究院科技丛书)
ISBN 978-7-118-08118-3

I. ①快... II. ①贺... ②邓... III. ①快中子-临界实验②脉冲堆-实验 IV. ①TL352②TL4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 128965 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 33½ 字数 752 千字

2012 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 73.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

**国防科技图书出版基金
评审委员会**

国防科技图书出版基金 第六届评审委员会组成人员

主任委员 王 峰

副主任委员 宋家树 蔡 镭 程洪彬

秘 书 长 程洪彬

副 秘 书 长 邢海鹰 贺 明

委 员 (按姓氏笔画排序)

于景元 才鸿年 马伟明 王小谟

甘茂治 甘晓华 卢秉恒 邬江兴

刘世参 芮筱亭 李言荣 李德仁

李德毅 杨 伟 肖志力 吴有生

吴宏鑫 何新贵 张信威 陈良惠

陈冀胜 周一宇 赵万生 赵凤起

崔尔杰 韩祖南 傅惠民 魏炳波

《中国工程物理研究院科技丛书》

出版说明

中国工程物理研究院建院 50 年来,坚持理论研究、科学实验和工程设计密切结合的科研方向,完成了国家下达的各项国防科研任务。通过完成任务,在许多专业领域里,不论是在基础理论方面,还是在实验测试技术和工程应用技术方面,都有重要发展和创新,积累了丰富的知识经验,造就了一大批优秀科技人才。

为了扩大科技交流与合作,促进我院事业的继承与发展,系统地总结我院 50 年来在各个专业领域里集体积累起来的经验,吸收国内外最新科技成果,形成一套系列科技丛书,无疑是一件十分有意义的事情。

这套丛书将部分地反映中国工程物理研究院科技工作的成果,内容涉及本院过去开设过的 20 几个主要学科。现在和今后开设的新学科,也将编著出书,续入本丛书中。

这套丛书自 1989 年开始出版,在今后一段时期还将继续编辑出版。我院早些年零散编著出版的专业书籍,经编委会审定后,也纳入本丛书系列。

谨以这套丛书献给 50 年来为我国国防现代化而献身的人们!

《中国工程物理研究院科技丛书》

编审委员会

2008 年 5 月 8 日修改

《中国工程物理研究院科技丛书》

第六届编审委员会

学术顾问 俞大光

编委会主任 杜祥琬

副主任 彭先觉 汪小琳 李志民

委员 (以姓氏笔划为序)

帅茂兵 田 勇 冯建农 华欣生 汤业朋

刘柯钊 苏 伟 李 凡 李正宏 李泽仁

吴志杰 何建国 陈贤林 张 凯 张 健

张文平 张方晓 张保汉 孟凡宝 赵 峰

顾 援 袁光伟 莫 军 唐永建 彭述明

傅思祖 谢 平

科技丛书编辑部负责人 李天惠

本册编辑 李天惠

《中国工程物理研究院科技丛书》

公开出版书目

- | | | |
|-----|--------------------------|---------------------|
| 001 | 高能炸药及相关物性能
董海山 周芬芬 主编 | 科学出版社 1989 年 11 月 |
| 002 | 光学高速摄影测试技术
谭显祥 编著 | 科学出版社 1990 年 02 月 |
| 003 | 凝聚炸药起爆动力学
章冠人 陈大年 编著 | 国防工业出版社 1991 年 09 月 |
| 004 | 线性代数方程组的迭代解法
胡家贛 著 | 科学出版社 1991 年 12 月 |
| 005 | 映象与混沌
陈式刚 编著 | 国防工业出版社 1992 年 06 月 |
| 006 | 再入遥测技术(上册)
谢铭勋 编著 | 国防工业出版社 1992 年 06 月 |
| 007 | 再入遥测技术(下册)
谢铭勋 编著 | 国防工业出版社 1992 年 12 月 |
| 008 | 高温辐射物理与量子辐射理论
李世昌 著 | 国防工业出版社 1992 年 10 月 |
| 009 | 粘性消去法和差分格式的粘性
郭柏灵 著 | 科学出版社 1993 年 03 月 |
| 010 | 无损检测技术及其应用
张俊哲 等著 | 科学出版社 1993 年 05 月 |
| 011 | 半导体材料的辐射效应
曹建中 等著 | 科学出版社 1993 年 05 月 |
| 012 | 炸药热分析
楚士晋 著 | 科学出版社 1993 年 12 月 |
| 013 | 脉冲辐射场诊断技术
刘庆兆 等著 | 科学出版社 1994 年 12 月 |
| 014 | 放射性核素活度测量的方法和技术
古当长 著 | 科学出版社 1994 年 12 月 |
| 015 | 二维非定常流和激波
王继海 著 | 科学出版社 1994 年 12 月 |
| 016 | 抛物型方程差分方法引论
李德元 陈光南 著 | 科学出版社 1995 年 12 月 |

- 017 特种结构分析
刘新民 韦日演 编著
国防工业出版社 1995 年 12 月
- 018 理论爆轰物理
孙锦山 朱建士 著
国防工业出版社 1995 年 12 月
- 019 可靠性维修性可用性评估手册
潘吉安 编著
国防工业出版社 1995 年 12 月
- 020 脉冲辐射场测量数据处理与误差分析
陈元金 编著
国防工业出版社 1997 年 01 月
- 021 近代成像技术与图象处理
吴世法 编著
国防工业出版社 1997 年 03 月
- 022 一维流体力学差分方法
水鸿寿 著
国防工业出版社 1998 年 02 月
- 023 抗辐射电子学——辐射效应及加固原理
赖祖武 等编著
国防工业出版社 1998 年 07 月
- 024 金属的环境氢脆及其试验技术
周德惠 谭云 编著
国防工业出版社 1998 年 12 月
- 025 实验核物理测量中的粒子分辨
段绍节 编著
国防工业出版社 1999 年 06 月
- 026 实验物态方程导引(第二版)
经福谦 著
科学出版社 1999 年 09 月
- 027 无穷维动力系统
郭柏灵 著
国防工业出版社 2000 年 01 月
- 028 真空吸取器设计及应用技术
单景德 编著
国防工业出版社 2000 年 01 月
- 029 再入飞行器天线
金显盛 著
国防工业出版社 2000 年 03 月
- 030 应用爆轰物理
孙承纬 卫玉章 周之奎 著
国防工业出版社 2000 年 12 月
- 031 混沌的控制、同步与利用
王光瑞 于熙龄 陈式刚 编著
国防工业出版社 2000 年 12 月
- 032 激光干涉测速技术
胡绍楼 著
国防工业出版社 2000 年 12 月
- 033 气体炮原理及技术
王金贵 编著
国防工业出版社 2000 年 12 月
- 034 一维不定常流与冲击波
李维新 编著
国防工业出版社 2001 年 05 月
- 035 X 射线与真空紫外辐射源及其计量技术
孙景文 编著
国防工业出版社 2001 年 08 月
- 036 含能材料热谱集
董海山 胡荣祖 姚朴 等编著
国防工业出版社 2001 年 10 月

- 037 材料中的氦及氚渗透**
王佩璇 宋家树 编著
国防工业出版社 2002 年 04 月
- 038 高温等离子体 X 射线谱学**
孙景文 编著
国防工业出版社 2003 年 01 月
- 039 激光核聚变靶物理基础**
张钧 常铁强 著
国防工业出版社 2004 年 06 月
- 040 系统可靠性工程**
金碧辉 主编
国防工业出版社 2004 年 06 月
- 041 核材料 γ 特征谱的测量和分析技术**
田东风 龚健 伍钧 等编著
国防工业出版社 2004 年 06 月
- 042 高能激光系统**
苏毅 万敏 编著
国防工业出版社 2004 年 06 月
- 043 近可积无穷维动力系统**
郭柏灵 高平 陈瀚林 著
国防工业出版社 2004 年 06 月
- 044 半导体器件和集成电路的辐射效应**
陈盘训 著
国防工业出版社 2004 年 06 月
- 045 高功率脉冲技术**
刘锡三 编著
国防工业出版社 2004 年 08 月
- 046 热电池**
陆瑞生 刘效疆 编著
国防工业出版社 2004 年 08 月
- 047 原子结构、碰撞与光谱理论**
方泉玉 颜君 著
国防工业出版社 2006 年 01 月
- 048 非牛顿流动力系统**
郭柏灵 林国广 尚亚东 著
国防工业出版社 2006 年 02 月
- 049 动高压原理与技术**
经福谦 陈俊祥 主编
国防工业出版社 2006 年 03 月
- 050 直线感应电子加速器**
邓建军 主编
国防工业出版社 2006 年 10 月
- 051 中子核反应激发函数**
田东风 孙伟力 编著
国防工业出版社 2006 年 11 月
- 052 实验冲击波物理导引**
谭华 著
国防工业出版社 2007 年 03 月
- 053 核军备控制核查技术概论**
刘成安 伍钧 编著
国防工业出版社 2007 年 03 月
- 054 强流粒子束及其应用**
刘锡三 著
国防工业出版社 2007 年 05 月
- 055 氚和氦的工程技术**
蒋国强 罗德礼 陆光达 等编著
国防工业出版社 2007 年 11 月
- 056 中子学宏观实验**

	段绍节 编著	国防工业出版社	2008 年 05 月
057	高功率微波发生器原理		
	丁武 著	国防工业出版社	2008 年 05 月
058	等离子体中辐射输运和辐射流体力学		
	彭惠民 编著	国防工业出版社	2008 年 08 月
059	非平衡统计力学		
	陈式刚 编著	科学出版社	2010 年 02 月
060	高能硝胺炸药的热分解		
	舒远杰 著	国防工业出版社	2010 年 06 月
061	电磁脉冲导论		
	王泰春 贺云汉 王玉芝 著	国防工业出版社	2011 年 03 月
062	高功率超宽带电磁脉冲技术		
	孟凡宝 主编	国防工业出版社	2011 年 11 月
063	分数阶偏微分方程及其数值解		
	郭柏灵 蒲学科 黄凤辉 著	科学出版社	2012 年 01 月
064	快中子临界装置和脉冲堆实验物理		
	贺仁辅 邓门才 编著	国防工业出版社	2012 年 08 月

序

快中子临界装置和脉冲堆实验物理的研究对象是快中子在核材料中引发的裂变过程。它是核反应堆物理和实验的一个重要分支和研究领域。

20 世纪 60 年代初,为了独立自主地发展我国的核武器,其中关键问题之一就是准确测定核材料在相关状态下的临界质量,用来检验核装置理论设计的正确性,确保核材料在加工、操作、运输、储存过程中的临界安全。中国工程物理研究院在彭桓武、朱光亚等老一辈科学家的直接指导下,由赖祖武、吴当时等组织理论、实验和相关其他专业的科技人员着手筹建快中子次临界实验室。1964 年建成我国第一台次临界装置和配套的实验设备、仪器,并于 1964 年 8 月完成了带 ^{235}U 材料的次临界实验,准确测定了特定状态下 ^{235}U 的临界质量。同时也完成了为第一次原子弹试验所必需的各项次临界安全任务,其中包括制定为确保所有环节临界安全的规定与具体操作细节。

随着中国工程物理研究院事业不断向纵深发展,实际任务向这个领域提出愈来愈多的问题,希望给予准确回答,促使我们从理论、实验多个方面不断拓宽和深化这个领域的研究,相继建立了多个次临界、临界装置和快中子脉冲堆,理论与实验相结合,在这些装置上开展了大量研究工作,测量了大量参数,从理论上建立更精确的快中子在多元系统中(包括核材料)输运计算方法,通过标准实验,检验了计算方法和所用的参数,陆续解决了任务提出的各种问题。

最近由两位在这领域中有长期工作经验的专家贺仁辅、邓门才编写了本书,比较系统地全面地阐述了快中子临界、次临界装置和脉冲堆的物理基础和实验方法。其中也包含了中国工程物理研究院近 50 年来在这领域研究成果的总结。我希望这本书的出版,对刚进入这个领域的年轻科技工作者有所帮助,使他们能较快地了解从事这个领域研究所需要的理论基础和实验方法。这样,对中国工程物理研究院今后事业的持续发展和年轻科研人才的培养都将是一件很有意义的事情。

古月才

二〇〇八年四月
(中国科学院院士)

前 言

快中子临界、次临界装置及脉冲堆的物理和实验是核反应堆物理和实验的一个重要分支及研究领域,在我国,它是在彭桓武和朱光亚等老一辈科学家指导下,由胡仁宇院士、赖祖武研究员和吴当时研究员等的具体领导下,随着国防核事业发展的需求而发展起来。1964年在中国工程物理研究院建起了国内第一座实验室高富集铀金属实验装置,为第一枚原子弹装配的临界安全提供了实验依据。以后又陆续建起了若干快中子次临界实验装置、临界实验装置和脉冲堆,在这些装置上开展了大量实验,研究了快中子裂变链式反应的物理规律。这些研究结果可以用于快中子裂变链式反应核装置的设计及其性能计算,获取的积分参数可以用于检验快中子裂变链式反应的理论计算程序以及配套的核数据的可信性,也可用于检验裂变材料和部件操作、运输和储存的临界安全性。

次临界实验装置运行于次缓发临界状态。次临界实验装置上的实验,一般来说,以用外推方法获取临界数据为目的,或者以获取实验系统的瞬发中子衰减常数等积分参数为目的。临界实验装置运行于缓发临界状态附近。临界实验装置上的实验以直接获取临界数据为目的,也以获取实验系统的瞬发中子衰减常数等积分参数为目的,也以获取实验系统的中子动态学参数或者微扰数据为目的。脉冲堆靠快速使堆从次瞬发临界状态达到超瞬发临界来爆发裂变链式反应脉冲,可以作为脉冲核辐射源用于核辐射脉冲的生物效应研究,用于核辐射对电子元器件的损伤效应的研究,或者用作引起激光泵浦的强脉冲中子源。快中子次临界实验装置、临界实验装置和脉冲堆还可用于裂变链发展过程的随机性质的研究。裂变链式反应物理中裂变链发展过程的随机性质的研究与反应堆和核武器系统安全以及事故规模的研究有密切关系。

本书总结了在该领域中的研究成果,系统全面地阐述了快中子临界、次临界装置和脉冲堆的物理及实验,重点在物理基础和实验方法,而不是具体的装置及建造技术。旨在为刚进入这一领域的科技工作者较快地了解该领域概貌,掌握相应的理论基础和实验方法提供帮助。本书可以作为从事快中子临界、次临界装置和脉冲堆的设计及实验研究的工程技术人员参考书,以及有关专业教师和研究生的教材。

全书共分七章。第1章叙述中子输运理论基础,包括中子输运方程推导、中子输运方程的本征值问题、中子输运伴随方程的导出及伴随函数的物理意义、基础的微扰理论等。它是全书物理内容的基础。第2章介绍中子裂变链式反应系统动力学基础,包括“点堆”模型下中子动态学方程的推导、逆动态学方程讨论、无反应性反馈的中子动态学方程的常

用近似求解技术、中子动态学方程的数值求解方法。本章专门讨论了反应性阶跃加入情形下无反应性反馈的中子动态学方程的准确解以及倒时数方程的根的性质,其内容在后面一些章节比较多地引用。第3章介绍裂变链式反应系统的相似性理论。在引入相似系统和全相似系统的定义后,讨论了关于全相似系统的基本相似性原理及其推论,引入了正则量的概念,讨论了相似系统集合中系统反应性随系统相似性参量的变化。本章还讨论了系统固有反应性系数的内在关系式,以及在推导球对称系统临界质量密度指数的关系式过程中的应用。裂变链式反应系统的相似性原理虽然隐含于中子输运方程的性质中,但并不是就能够明显看出的。裂变链式反应系统的相似性理论是从事裂变链式反应物理研究尤其是从事核临界安全研究的高级技术人员应该掌握的。第4章介绍次临界倍增实验物理及技术。在介绍了次临界倍增实验的基本概念与基础理论后,讨论了作为实验观测量的中子倍增与系统反应性的关系,以及利用实验测得的中子倍增倒数数据进行外推,使核系统从次临界状态向临界状态逐步逼近的过程。在次临界实验系统逐步逼近临界状态过程中,获得准确性逐步改进的临界数据。第5章介绍快中子临界实验装置及实验技术。首先简略地介绍了国外临界装置概况,随后讨论了以周期法为主的若干反应性测量技术、反应性微扰系数测量技术及其应用,以及有效缓发中子份额测量技术,最后介绍了控制棒等调节部件的反应性价值刻度技术、临界装置功率刻度技术,以及临界装置中子能谱测量技术和 γ 能谱测量技术。第6章介绍瞬发中子衰减常数实验测量技术。讨论了周期性脉冲中子源法和单次脉冲中子源法技术、Rossi- α 法技术、方差均值比法技术、计数概率分布法技术、计数间隔分布法技术、 ^{252}Cf 随机脉冲中子源法技术和计数时间序列相关分析技术。第7章介绍快中子脉冲堆物理及实验技术。介绍了脉冲堆应用以及国内外快中子脉冲堆概况,叙述了快中子脉冲堆物理,讨论了基础的脉冲堆动力学,讨论了无惯性效应的Fuchs-Hansen模型下脉冲堆的动态特性以及惯性效应的影响,讨论了脉冲堆在热冲击下的应力分析。本章也讨论了脉冲堆实验中所使用的若干测量技术,包括脉冲裂变产额测量、脉冲波形及特征参数测量、热冲击应力监测、剂量监测等技术。本章最后介绍了脉冲堆的裂变产额控制等问题。

本书由贺仁辅(第1章、第2章、第3章和第4章)和邓门才(第5章、第6章和第7章)编著,贺仁辅承担全书的编定和统稿。

在本书的成稿过程中,郑春博士做了大量辛勤的工作,除了将第5章、第6章和第7章的书写稿转成计算机文本稿外,对全书文字和全书编排都提出了修改建议,并完成具体的修改。没有核物理与化学研究所快堆研究室郑春博士等科研人员的大力帮助,本书后期的完稿没有那样快。核物理与化学研究所前所长和总工程师陈涵德研究员对本书做了初审,并提出了具体修改稿意见。

本书的编写得到了中国工程物理研究院核物理与化学研究所领导、所技术监督处相关同志的支持和帮助,得到了快堆研究室主任杨成德研究员及其他负责同志的大力支持,得到了中国工程物理研究院科技丛书编委会的支持,在此,对所有为编写本书以鼓励、支

持和帮助的同志,致以衷心感谢。

编者提请读者注意,随着核电子技术及信息处理、计算机技术的快速发展和更新换代,本领域的一些实验技术自 20 世纪 90 年代以来,在数据采集、仪器控制、过程监控和自动测试诸方面已广泛采用虚拟仪器技术。但虚拟仪器技术的采用并未改变实验原理、方法和技术的本质,为使本书引用文献资料具有可追溯性,凡涉及与数据采集、仪器控制、过程监控和自动测试诸内容仍完整地引用相关文献资料。

限于作者水平,本书的编写难免有不尽如人意甚至错误,诚恳欢迎读者和同行予以批评和指正。

编者

二〇〇八年四月四日

目 录

第1章 中子输运理论基础	1
1.1 引言	1
1.2 中子输运方程的推导	3
1.3 稳态情形下的中子输运方程的若干本征值问题	9
1.3.1 稳态情形下的中子输运方程	9
1.3.2 有效增殖因子本征值问题	11
1.3.3 瞬发中子增殖率本征值问题	13
1.3.4 周期本征值问题	17
1.3.5 密度因子本征值问题	18
1.4 中子输运伴随方程	19
1.4.1 伴随算符与伴随函数	19
1.4.2 稳态情形下的中子输运算符与其伴随算符	21
1.4.3 稳态情形下的中子输运伴随方程,伴随函数的物理意义	22
1.4.4 稳态情形下非齐次问题的格林函数与伴随格林函数	28
1.4.5 常截面近似下的稳态中子输运方程和伴随方程	29
1.4.6 中子输运伴随本征值问题	35
1.4.7 与时间有关的中子输运伴随方程	41
1.5 联系同一个系统的不同本征值的关系式	47
1.5.1 广义的系统子增殖因子、瞬发中子增殖因子及它们之间的关系	47
1.5.2 联系系统瞬发中子增殖率常数与中子有效增殖因子、瞬发中子有效增殖因子及广义中子增殖因子的关系式	51
1.5.3 系统有效增殖因子和瞬发中子有效增殖因子的关系	55
1.5.4 联系系统有效增殖因子和系统渐近周期的关系式,倒时数关系式	57
1.5.5 联系系统有效增殖因子和密度因子本征值的关系式	62
1.6 系统性质扰动对系统特征量的影响	63
1.6.1 系统性质扰动对系统反应性的影响	63
1.6.2 系统性质扰动对系统瞬发中子增殖率常数的影响	74
参考文献	79

第2章 中子链式反应动力学基础 81

2.1 引言 81

2.2 “点堆”模型下的中子链式反应系统中子动态学方程 81

2.3 绝热近似下的中子动态学方程 88

2.4 积分微分方程形式的点动态学方程 94

2.5 “点堆”模型下的逆动态学方程 96

2.6 反应性阶跃加入情形下无反应性反馈的点堆模型中子动态学方程的
准确解,倒时数方程的根的性质 103

2.6.1 反应性阶跃加入情形下中子动态学方程的准确解 103

2.6.2 倒时数方程的根的性质 111

2.7 点堆模型中子动态学方程的数值求解 122

2.7.1 积分方程形式的点堆模型中子动态学方程 123

2.7.2 积分方程形式的点堆模型中子动态学方程的数值处理 126

2.7.3 Fuchs-Hansen 模型下对反馈反应性的近似处理 130

2.7.4 反应堆动态学逆问题的数值求解 132

参考文献 133

第3章 中子裂变链式反应系统的相似性理论 135

3.1 引言 135

3.2 全相似系统之间的相似性原理 135

3.2.1 相似系统和全相似系统的定义 135

3.2.2 基本相似性原理 136

3.2.3 基本相似性原理的推论之一 140

3.2.4 基本相似性原理的推论之二 141

3.2.5 含独立源的全相似系统的相似性原理 145

3.2.6 含随时间变化的中子角通量或伴随函数的全相似系统的相似性
原理 147

3.2.7 随时间变化的全相似系统的相似性原理 150

3.2.8 中子链式反应系统中的正则量 155

3.3 相似系统集合中系统反应性随系统相似性参量的变化 159

3.4 系统固有反应性系数的内在关系式 170

3.4.1 系统固有反应性系数的内在关系式的一般形式 170

3.4.2 球对称系统的固有反应性系数的内在关系式 173

3.4.3 嵌套介质逐区均匀系统的固有反应性系数的内在关系式 175

3.4.4 球对称系统临界质量密度指数 180

参考文献 190

第4章 次临界倍增实验物理及技术 191

4.1 引言 191