

国家重点基础研究发展计划资助
(2004CB217900)

大型互联电网运行可靠性研究系列图书



电力市场对 电力系统运行可靠性的影响 (二)

王锡凡 王秀丽 别朝红 王建学

清华大学出版社

国家重点基础研究发展计划资助

(2001CB30700)

内 容 简 介

电力工业的市场化改革产生了电网和多个发电厂商等市场主体,在提高系统竞争水平的同时,必须分析其对系统可靠性产生的影响。

本书分为理论研究和电力市场模拟仿真平台两部分。

为保证电力系统的安全运行和具有足够的充裕度,本书对市场环境下的系统备用问题、机组检修规划安排、发电投资、需求响应等问题进行研究,提出了新的模型和算法。研究了最优潮流、随机潮流、随机网流和改进蒙特卡洛模拟进行大系统可靠性评估等的模型理论,开发了相应的软件,为防止事故发生提供了工具。

为了对电力市场运营模式及其对电力系统的影响进行有效评估,本课题开发了综合性的电力市场运营模拟仿真平台。平台实现了分时竞价和分段竞价模式,并考虑了水电削峰、省间潮流断面约束和节能调度等因素。该平台能同时支持实验经济学和智能代理理论,可对各种模式市场进行分析。目前该模拟仿真系统已在西北电力交易中心运行。

本书可供高等院校电力系统专业的研究生以及从事电力系统运行、规划和科学研究的人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电力市场对电力系统运行可靠性的影响(二)/王锡凡,王秀丽,别朝红,王建学. —北京:清华大学出版社,2010.12

(大型互联电网运行可靠性研究系列图书/周孝信主编)

ISBN 978-7-302-24054-9

I. ①电… II. ①王… ②王… ③别… ④王… III. ①电力工业—市场—影响—电力系统运行—研究报告 IV. ①TM732 ②F416.61

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第200037号

责任编辑:张占奎

责任校对:刘玉霞

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:三河市春园印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:16.25

字 数:379千字

版 次:2010年12月第1版

印 次:2010年12月第1次印刷

印 数:1~1500

定 价:63.00元

大型互联电网运行可靠性研究系列图书

编辑委员会

主 编 周孝信

副 主 编 郭剑波 孙元章

编 委(按姓氏笔画排序)

王锡凡 白晓民 刘文华 孙元章

汤 涌 汤广福 张伯明 李亚楼

沈 沉 周孝信 周家启 郭剑波

曹一家 梁曦东 程时杰 薛禹胜

编委会办公室 刘应梅

序 言

20 世纪 90 年代以来,国内外相继发生了多次大规模的停电事故,造成了严重损失。这些事故大多是在大型互联电网内发生的。其显著特点是由单一故障引发多重故障,由局部地区小范围扩展到广大地区的大范围,并最终导致大面积停电甚至全网崩溃。造成电网大面积停电的原因已不再是单一的暂态稳定性、电压稳定性或小干扰稳定性破坏,而是在故障持续过程中电网内发生大范围电力负荷转移,发、输变电设备和线路过负荷或低电压效应跳闸、局部电网电压稳定性或暂态稳定性破坏、负阻尼低频振荡、电网解列、频率异常升高或降低等现象相互交织,呈现连锁反应的演化过程。

本世纪初期,国内外已有的电网调度和安全稳定技术还难以正确应对类似于这种连锁反应式的故障。继电保护装置作为电网安全稳定的第一道防线起着十分重要的作用,然而多起大停电事故表明,即使保护装置正确动作,对那种过负荷连锁反应式的故障的演化也无能为力;此外,保护装置可能存在的“隐性失效”又会起着推波助澜的作用,使连锁反应事故扩大;电网中装设的安全稳定控制装置也缺乏应对连锁故障的能力。当时的电网调度自动化系统,基本上只能实现基于稳态状态监测的调度功能;在电网在线安全监控方面,防止过负荷采用的是 $N-1$ 静态安全分析;对暂态稳定破坏的防范,则是采用基于典型运行方式的离线计算给出稳定极限在线应用的简单方式,也就是通过电网离线分析,针对预期出现的故障,检验电网能否承受,然后将分析结果用于实际运行的在线指导。几次大事故的教训表明,在连锁故障过程中的运行和故障模式是离线分析所未能预计到的,而实际故障发生后对系统的状况又缺乏全面掌握和分析的手段,未能作出正确的判断和处理,从而导致事故的扩大。

长期以来,为了解决电网运行的安全稳定性问题,国内外学术界和工业界进行了大量的研究和实践。尤其是国内,多年来在电网分析方法和软件、安全稳定控制理论、继电保护和安全稳定装置等领域做了大量研究、开发工作,并在实际系统中得到广泛应用。20 世纪 80 年代中期开始,我国电力主管部门针对国内电网实际相继制订和修订了《电力系统安全稳定导则》和《电力系统技术导则》,用以指导电网的规划设计和运行,大大提高了电网的安全运行水平,使电网稳定性破坏事故发生的频率大幅度降低。然而在针对上述互联电网的安全稳定运行新情况、新问题的解决方面,既无充分的理论基础,又无相应关键技术,也缺乏在线应用的平台和工具支持。

在此背景下,我们于 2004—2009 年承担了国家重点基础研究发展计划(“973”计划)“提高大型互联电网运行可靠性的基础研究”项目的研究工作。针对当时和未来我国电网大规模互联出现的问题,以及电网一次设备和二次系统技术进步的现状和前景,对电网的安全稳定性问题进行了新的基础性和前瞻性的研究,以便为解决新形势下电网的安全稳定性运行问题奠定理论和关键技术的基础。根据项目批准的计划,研究工作主要围绕四个方面的科学问题展开:①大规模电力网络特性和大面积停电机理;②大型互联电网的仿真计算方法;③大型互联电网在线运行可靠性评估、预警及决策理论;④提高电网的输电能力和输变电设备可靠性的关键技术基础。基于以上四方面的科学问题,立项时设置了七个课题。

项目中期评估时,根据专家意见将原来分散在多个课题中的关于运行可靠性理论的研究内容集中起来,调整为第8课题。其中第1课题“电力受端系统的动态特性及安全性评价的基础研究”,由中国电力科学研究院、华北电力大学、河海大学和四川大学共同完成;第2课题“大电网安全性评估的系统复杂性理论研究”,由浙江大学、中国电力科学研究院和清华港大深圳电力系统研究所共同完成;第3课题“大型互联电网分布式计算理论和方法研究”,由清华大学和中国电力科学研究院共同完成;第4课题“大型互联电网在线运行可靠性评估、预警和决策支持系统”,由中国电力科学研究院、清华大学和天津大学共同完成;第5课题“电力市场对电力系统运行可靠性的影响研究”,由国网电力科学研究院(原国网南京自动化研究院)和西安交通大学共同完成;第6课题“提高超高压交流输电线路输送能力的研究”,由清华大学、华中科技大学和上海电缆研究所共同完成;第7课题“提高电网可靠性的大功率电力电子技术基础理论研究”,由中国电力科学研究院和清华大学共同完成;第8课题“大型互联电网在线运行可靠性的基础理论研究”,由清华大学、重庆大学和合肥工业大学共同完成。

通过五年的研究,本项目在基础性理论研究、前瞻性关键技术研究 and 基础性应用平台建设三方面取得了较大的进展。

(1) 在基础性理论研究方面,提出并建立了电力系统运行可靠性理论和分析方法;发展完善了电力受端系统建模分析的理论和方法;将系统复杂性理论应用于大电网安全评估分析;提出了大功率电力电子装置的等效试验理论和方法;提出了研究电力市场与电网安全运行相互影响的理论方法。

(2) 在前瞻性关键技术研究方面,研究建立了大型互联电网分布式计算理论、方法和技术;大型互联电网在线运行可靠性评估、预警和决策支持系统的理论、方法和技术;提高电网运行可靠性的大功率电力电子技术;提高超特高压交流输电线路输送能力的柔性紧凑型输电技术。

(3) 在基础性应用平台建设方面,研究建立了互联电网分布式计算试验平台;互联电网在线运行可靠性评估、预警和决策支持系统平台;电力市场与电力系统安全运行仿真试验平台;大功率电力电子装置和系统仿真试验平台。

本项目的研究成果既能满足国家提高大型互联电网运行可靠性的重大需求,也为未来国家骨干电网建设、新能源电力接入、智能电网建设提供重要的技术储备。项目取得的部分成果已应用于实际工程。如在电力系统在线分析、预警及决策支持方面,解决了联网在线仿真计算面临的资源分散、数据异构的矛盾,实现了运行电网的在线安全分析从静态分析到动态分析的跨越;基于等效试验理论和方法所研制的大功率电力电子试验平台已成功地用于我国自主研发的特高压直流输电换流阀试验。部分成果还有待进一步完善后,在未来电网运行和发展中发挥作用,还有一部分前瞻性创新成果将为本领域技术的进一步发展奠定基础 and 提供支撑。

本系列图书是在项目各课题研究报告基础上对成果的进一步总结和深化。本系列图书共分十册,第1课题、第2课题、第3课题、第4课题、第7课题、第8课题各有一册,第5课题、第6课题分别有两册。第1册《电力受端系统的动态特性及安全性评价》由汤涌教授级高工主编,第2册《大电网安全性评估的系统复杂性理论》由曹一家教授和郭剑波教授级高工主编,第3册《大型互联电网分布式计算理论与方法》由沈沉教授和李亚楼博士主编,

第4册《大型互联电网在线运行可靠性评估、预警和决策支持系统》由白晓民教授级高工和张伯明教授主编,第5册《电力市场对电力系统运行可靠性的影响(一)》由薛禹胜院士主编,第6册《电力市场对电力系统运行可靠性的影响(二)》由王锡凡院士主编,第7册《提高超高压交流输电线路的输送能力(一)》由梁曦东教授主编,第8册《提高超高压交流输电线路的输送能力(二)》由程时杰院士主编,第9册《提高电网可靠性的大功率电力电子技术基础理论》由汤广福教授级高工和刘文华教授主编,第10册《大型互联电网在线运行可靠性的基础理论》由孙元章教授和周家启教授主编。周孝信院士作为本项目的首席科学家负责系列图书的总编和统稿。刘应梅博士在本项目的科学管理和系列图书的出版中做出很大贡献。在本系列图书出版之际,对本项目的首席科学家助理郭剑波教授级高工和孙元章教授,对项目专家组成员韩祯祥院士、孙才新院士、赵遵廉教授级高工、孙嘉平教授级高工,对参与项目的所有研究人员和工作人员做出的贡献表示衷心感谢!对科技部和电力科学研究院、清华大学等项目承担单位的大力支持表示衷心感谢!对清华大学出版社张占奎编辑为本系列图书的出版所做出的努力表示衷心感谢!

周孝信

2010年11月于北京

前 言

目前在世界范围内电力工业正经历一场结构改革。在这场电力工业重组的改革中,核心是实现以“厂网分开,电网开放”为基础的电力市场化,要求打破发电、输电、配电、售电一体化的传统结构和地区性垄断。这种变革必然会带来许多与过去的垄断经营不同的新问题,对电力工业的管理、经营、规划及调度等都将产生深层的影响和巨大的冲击,给系统安全带来诸多未知的和不确定的因素。

2003年8月以后,世界范围内连续发生了几次大停电。由于大面积停电除了在经济上造成巨大损失外,还给人民生活带来危害,甚至会影响社会稳定,因而引起了社会的广泛关注。造成大停电的原因未必和目前推进的电力市场直接有关,但我们应该从中汲取经验教训,使电力市场的设计和运营更有利于电网安全保障。

在计划经济或垄断环境下,电网安全完全由垄断的电力部门负责。在市场环境下,电力工业由不同实体的市场参与者组成。在这种情况下,如何保证电力工业的建设“适当超前”,使发电系统和输电系统有必要的充裕度;如何保证系统运行时组织发电厂商提供足够的有功和无功电源;如何使输电系统适应瞬息万变的运行情况,是我们从电力市场运营角度确保电网安全、防止大面积停电面临的重要研究课题。

应该指出,在市场经济条件下,解决电力系统可靠性问题不仅要考虑在安全和经济之间寻求适当的折中,而且还要协调各市场主体之间的利益。所有这些都给我们的研究工作带来新的挑战。电力市场的结构和规则不同,对电力系统可靠性的影响也不同。为此,应对各种模式电力市场进行模拟仿真研究。

本课题针对电力市场对电力系统可靠性影响进行了全面深入的研究,获得了丰硕的理论成果并建立了电力市场的模拟仿真平台。理论成果涉及电力市场条件下发电系统和输电系统的充裕度问题。

发电系统充裕度的核心问题是在经济性和可靠性之间进行协调。供电可靠性是有成本和效益的。当其成本低于效益时,应采取措施提高可靠性,例如可以增加系统的装机容量;否则,应满足当前的可靠性水平。基于这个基本思路,我们提出了系统有功弹性备用和发电机组状态检修的概念,并对电力市场条件下负荷管理和发电厂商的投资决策从效益和风险两方面进行了分析和建模。

电力市场中,各市场参与者片面追求经济效益而可能带来新的不稳定因素,备用的获取和定价遇到了许多新挑战。本项目对系统最优备用容量、分区备用等问题作了深入研究。对于前者,提出了通过分析购买备用的费用及其产生的效益来动态确定最优备用容量的弹性备用思想;对于后者,从事故预调度和网络流两个不同角度进行讨论,对网络约束和当地备用进行了分析,并进一步提出了备用费用的分摊方法。

市场环境下,机组检修规划模式应由以系统运行为中心转向在发电厂商经济效益和系统运行可靠性之间取得均衡。本项目系统地研究了机组突然故障、市场电价波动等不确定因素对发电厂商和系统机组检修安排的影响,讨论了不同充裕度水平下的检修模式,给出了基于迭代思想和基于市场竞争的机组检修规划模型。

发电投资风险决策问题是电力市场下的热点问题。本书提出了火电厂投资风险决策模型：①提出了全新的机会成本评价原则，使资金在全局意义下得到最合理利用。以投资商最关心的装机进度和规模以及融资结构作为决策变量，建立了电力市场环境下的火电厂项目投资决策问题的实用而新颖的数学模型，进而应用博弈论方法，分析了竞争对手投产策略对本项目的影响，形成了投资风险决策的整体框架。②结合一般项目投资风险分析的方法，对现有的火电厂投资风险决策模型进行了改进：一是对决策变量的精简，使之更具实用性；二是引入投资组合理论和期望效用理论，使决策过程更加理性化。在收益风险评估阶段，采用蒙特卡洛模拟进行分析；在风险决策阶段，结合投资者风险偏好，综合考虑期望收益和风险，对所有方案进行评价与选择。

需求响应是需求侧管理在电力市场下的发展。针对基于价格的需求响应项目特点，提出了不同应用背景下的决策模型。①利用电量电价弹性矩阵来描述用户响应，综合考虑丰枯季节用电量差异率、水火互济指数和电网公司实施丰枯季节电价的风险度，建立了一种有效的丰枯季节电价决策模型，用于制定合理的丰枯季节电价水平。②考虑用户对尖峰电价的响应与电价预测模型，建立了一种兼顾用户和供电公司利益的尖峰电价决策模型，用于制定合理的尖峰电价实施策略并选择合适的尖峰日。③采用无套利定价原理推导了实时电价套期保值合同的定价模型，并利用蒙特卡洛模拟法对合同进行定价。基于条件风险价值(CVaR)法，建立了综合考虑用户购电成本与购电风险的决策模型，用于不同风险喜好的用户制定合适的套期保值策略。

本项目还分析了电力市场环境下最优潮流的发展情况及其在电力市场中的应用，着重介绍了使用内点法求解最优潮流的方法。考虑电网离散约束变量的优化问题是最优潮流发展的一个重要方面。内点割平面方法集中了割平面法和内点法的优点，非常适合于求解大规模系统的离散优化问题，但是研究发现内点法在求解松弛的线性规划问题时，如果问题具有多重解，最优解会收敛到凸多面体的最优面的内部，此时内点割平面算法会由于无法得到正确的最优基信息来生成割平面而失效。在此基础上，提出了一种通用的最优基判别准则，解决了原算法失效的问题，提高了算法的鲁棒性。

为了解决应用最优潮流无解时遇到的困难，提出了一种最优潮流的扩展模型(Extended Optimal Power Flow, EOPF)来恢复最优潮流的可行性。在等式约束和不等式约束中加入松弛变量，并在目标函数中加入相应的惩罚项，采用改进的原对偶内点法来求解。当原问题可行时，该模型可以收敛到原问题的最优解；当前约束或者控制变量越界导致原问题无解时，可以自动到更大的可行域内寻优，快速地得到近似解，并且可以明确指出是导致原问题无解的关键约束，从计算结果中可以方便地得到调整的措施。改进的算法在各种情况下都有很好的收敛性。

电力市场运行中，随机因素的影响越来越受到重视，本书给出了一种考虑线路随机故障的随机潮流算法。将线路随机故障等效为线路端节点注入功率的扰动，将负荷波动和发电机故障都当做节点注入功率的变化，以线性化的潮流方程计算它们引起节点电压和支路功率的变化量。为减小线性化引起的误差，对系统影响较大的离散扰动以确定性潮流计算系统状态的变化。在求节点电压和支路功率分布的各阶半不变量时对连续正态分布和离散分布两部分分别计算。用 Von Mises 提出的方法由各阶矩求离散分布，与正态分布卷积后获得电压和支路功率的分布函数。

本书从理论上提出了电网可靠性评估的随机网流模型。采用随机网流可对电网结构进行系统的剖析,甄别引起连锁事故的元件,量化各元件在电网中的重要程度,并计算出满足给定负荷的概率。为区域网之间的联络线评估以及互联系统可靠性的评估提供了有力的工具。

大型电力系统可靠性评估是确保电力市场安全运行的必需环节,报告建立一种新的蒙特卡洛模拟方法——马尔可夫链蒙特卡洛方法(Markov Chain Monte Carlo, MCMC)。MCMC方法是一种特殊的蒙特卡洛方法,它将随机过程中的马尔可夫过程引入到蒙特卡洛模拟中,实现动态蒙特卡洛模拟。该方法通过重复抽样,建立一个平稳分布与系统概率分布相同的马尔可夫链,从而得到系统的状态样本。由于MCMC方法考虑了系统各个状态间的相互影响,相比于随机采样的蒙特卡洛方法所得到的独立样本序列,更准确地模拟了电力系统运行实际情况。

对电力市场运营模式及其对电力系统的影响有效评估,除了进行理论和算法的研究以外,还应对不同类型电力市场进行模拟仿真研究,需要开发一个高效的、综合性的电力市场运营模拟仿真平台。

本课题所建立的平台结合实际,不仅实现了分时竞价和分段竞价模式,并结合水电削峰、自动划分负荷段、考虑省间潮流断面约束和节能调度等,为模拟试验、制定规则和培训提供了有力工具。此外,该平台能同时支持实验经济学和智能代理理论,可灵活配置参数进行市场模拟,从而可对各种模式市场进行分析。同时,所开发的软件可对相应的电网安全性进行全面评估。目前该模拟仿真系统已在西北电力交易中心运行。

本研究报告将分为理论研究和平台的建立两部分对上述成果进行总结。

本书是根据作者承担的“973”项目“电力市场对电力系统运行可靠性的影响研究”报告整理编写的,由王锡凡教授负责,王秀丽教授、别朝红教授和王建学副教授共同完成。参加本项目研究和本书编写工作的还有华南理工大学陈皓勇教授、西安交通大学丁晓莺讲师以及刘林博士、张钦博士、冯长有博士等。很多研究生帮助完成了本书的绘图和输入、校对书稿等工作。西北电网有限公司交易中心的陈天恩、侯荆州、李焰等同志也在电力市场模拟仿真平台开发方面提出了大量有建设性的意见,为本项目的顺利完成做出了很大的贡献。在此谨对他们表示衷心的感谢。

目 录

第 1 篇 理论成果

第 1 章 电力市场下的备用问题研究	3
1.1 最优备用容量研究	3
1.1.1 弹性备用思想.....	4
1.1.2 顺序出清模式下的弹性备用.....	7
1.1.3 联合出清模式下的弹性备用.....	9
1.2 分区备用研究.....	12
1.2.1 区域备用电网的组织形式	13
1.2.2 分区备用的购买-预调度双层模型	14
1.2.3 基于网络流的分区备用模型	18
1.2.4 分区备用的费用分摊	23
第 2 章 电力市场下的机组检修规划问题研究	25
2.1 机组失效分析.....	25
2.1.1 机组失效模型	26
2.1.2 机组更新费用评估	28
2.2 基于系统运行成本的检修策略.....	28
2.2.1 系统运行成本分析	29
2.2.2 机组检修规划模型	30
2.2.3 模型求解流程	31
2.3 发电厂商的机组检修规划模型.....	32
2.3.1 考虑机组故障的发电厂商检修策略	32
2.3.2 考虑电价波动的发电厂商检修策略	35
2.4 基于迭代协调的检修规划策略.....	40
2.4.1 发电厂商及 ISO 的检修策略	40
2.4.2 迭代协调机制	43
2.5 基于市场竞争的机组检修规划策略.....	46
2.5.1 基本框架	47
2.5.2 机组经济效益评估及检修竞价费用确定	48
2.5.3 检修计划的调整机制	50
2.5.4 费用分摊机制	52
第 3 章 发电投资风险决策研究	53
3.1 火电厂投资风险决策.....	53
3.1.1 火电厂投资风险决策的整体框架	53
3.1.2 投资决策模型	54

3.1.3	博弈分析	59
3.1.4	投资优化模型的启发式算法	61
3.2	改进的发电投资风险决策问题的分析和建模	65
3.2.1	投资风险决策的整体框架	65
3.2.2	风险辨识与估计模块	67
3.2.3	收益风险评估模块	68
3.2.4	风险决策模块	69
3.2.5	模型的求解方法与步骤	72
3.3	小结	72
第 4 章	电力市场下需求响应研究	73
4.1	电力市场下需求响应概述	73
4.2	丰枯季节电价决策模型分析	75
4.2.1	用户价格响应模型	75
4.2.2	丰枯电价评估体系	76
4.2.3	丰枯电价模型	79
4.3	尖峰电价决策模型分析	79
4.3.1	尖峰电价实施机制	80
4.3.2	尖峰电价决策基础	81
4.3.3	尖峰电价模型	82
4.4	需求侧实时电价下用户购电风险决策	84
4.4.1	用户购电风险决策基础	85
4.4.2	用户购电风险决策模型	87
4.5	小结	89
第 5 章	最优潮流及在阻塞管理中的应用	91
5.1	电力系统最优潮流	91
5.1.1	最优潮流模型	91
5.1.2	最优潮流的算法	92
5.1.3	最优潮流问题的内点法	95
5.1.4	算例分析	98
5.2	基于最优潮流的阻塞管理方法	101
5.3	考虑电网离散变量约束的优化算法	106
5.4	考虑可靠性指标的最优潮流的研究	108
5.4.1	基于 z 变换法的可靠性建模	109
5.4.2	随机因素的处理	110
5.5	恢复最优潮流可行性的实用方法	112
第 6 章	随机潮流和随机网流分析	117
6.1	随机潮流	117
6.1.1	半不变量法	117
6.1.2	潮流方程的线性化	122

6.1.3	随机潮流计算流程	124
6.1.4	算例分析	125
6.1.5	考虑线路故障的随机潮流	131
6.2	随机网流	137
6.2.1	概述	137
6.2.2	网流模型	138
6.2.3	网流可行解的集聚及下界矢量	144
6.2.4	输电系统可靠性	145
6.2.5	算例分析	146
第7章	蒙特卡洛模拟	148
7.1	蒙特卡洛模拟法的基本理论	148
7.2	电力系统运行状态抽样	150
7.3	系统的状态评估模型	151
7.4	可靠性评估的指标	152
7.5	安全评估的计算流程	152
7.6	马尔可夫链蒙特卡洛模拟法	156
7.7	算例分析	158
参考文献		161

第2篇 电力市场模拟仿真平台

第8章	电力市场模拟平台概述	171
8.1	电力市场模拟平台的主要功能	171
8.2	平台的主要特点	172
8.2.1	核心算法的主要特点	172
8.2.2	平台界面的主要特点	173
8.3	平台的创新点	174
第9章	电力市场模拟的基本理论	175
9.1	电力市场仿真的目的和意义	175
9.1.1	市场规则研究	175
9.1.2	市场环境研究	175
9.1.3	报价策略研究	175
9.1.4	电力监管研究	176
9.1.5	电力市场培训	176
9.2	电力市场仿真的研究方法	176
9.2.1	基于代理的计算经济学	176
9.2.2	智能代理算法	178
9.2.3	实验经济学的基本原理	180
9.3	电力市场仿真模型	183
9.3.1	标准的古诺寡头模型	184

9.3.2	供给函数均衡模型	186
9.3.3	拍卖模型	188
9.4	小结	190
第 10 章	生产模拟基本理论	192
10.1	随机生产模拟基本理论	192
10.1.1	等效持续负荷曲线的概念	192
10.1.2	纯火电系统的随机生产模拟过程	193
10.1.3	包含多个水电机组的随机生产模拟	194
10.2	等效电量函数法	196
10.2.1	等效电量函数法的基本原理	196
10.2.2	多状态机组与分段机组的处理	199
10.3	水电削峰	202
10.3.1	水电削峰基本方法	202
10.3.2	区域内多地区的水电削峰	202
第 11 章	电力市场竞价基本理论	204
11.1	日前电力市场概述	204
11.1.1	报价格式	204
11.1.2	市场出清方式	205
11.1.3	机组约束处理	205
11.1.4	网络约束处理	205
11.2	分时竞价原理	205
11.3	分段竞价原理	207
11.3.1	负荷曲线的分段方法	207
11.3.2	分段竞价机制原理	208
11.3.3	分段竞价的出清过程	209
11.4	分段节能调度原理	210
11.5	基于 LR 算法的市场出清程序开发与性能研究	211
11.5.1	拉格朗日松弛法	211
11.5.2	形成可行的开停机方案	213
11.6	安全校核	218
第 12 章	电力市场模拟仿真有关算法及程序设计	220
12.1	日前市场分时竞价数学模型	220
12.1.1	本系统实现的分时竞价出清方法概述	220
12.1.2	算法 1——无约束排队法出清	221
12.1.3	算法 2——机组约束排队法出清	222
12.1.4	算法 3——机组约束拉格朗日法出清	224
12.1.5	算法 4——跨省/区竞价交易模式	225
12.1.6	出清时对输电断面约束的处理	225
12.2	出清时对物理合同和金融合同的处理	226

12.2.1 物理合同的处理·····	226
12.2.2 金融合同的处理·····	227
12.3 智能代理算法程序设计·····	228
12.3.1 代理即发电商(Agent)·····	228
12.3.2 R-E 算法模型及流程图·····	228
第 13 章 电力市场模拟仿真平台的设计与应用 ·····	231
13.1 电力市场模拟仿真平台设计·····	231
13.2 实验经济学方案设计与实验步骤·····	232
13.3 平台操作界面·····	233
参考文献 ·····	240

第 1 篇

理论成果

