

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 (一)

薛禹胜 许剑冰

清华大学出版社

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 (一)

薛禹胜 许剑冰

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书研究电力市场对电力系统运行可靠性的影响,内容分为3篇。第1篇为电力市场环境下发电充裕度评估,研究了不确定因素对发电投资决策和系统机组检修安排的影响,提出了动态确定最优备用容量的弹性备用思想,阐述了可中断负荷的补偿机制与补偿费计算方法,发展了两部制无功定价新方法和无功等值定价方法,并针对不同需求响应特点提出了有效的电价决策模型。第2篇为电力市场环境下输电充裕度评估和阻塞管理,研究了电力市场环境下的电网规划、阻塞管理、ATC计算、输电系统充裕性指标,以及电力市场环境下输电系统安全评价方法和安全稳定措施控制效果评价方法。第3篇为电力市场与电力系统的交互稳定性,提出了电力市场动力学的框架模型以及电力市场电力系统交互动态仿真的方法,研究电力市场稳定性的定性定量分析以及危机防御、电力系统长期动态仿真、电力市场动态阻塞管理以及排放权市场对电力市场的影响。

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、规划设计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(一)/薛禹胜,许剑冰著. —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 978-7-302-24053-2

I. ①电… II. ①薛… ②许… 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 200038 号

责任编辑:张占奎

责任校对:赵丽敏

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:11

字 数:251 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:45.00 元

产品编号:037671-01

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!对科技部和中国电力科学研究院、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

电力工业不但依赖于遵循物理规律的能量传输过程,还与遵循经济规律的市场交易过程、参与者的博弈及监管框架密切相关。电力市场以电力系统为物理基础,其竞争充分性受到发电容量和输电阻塞的限制。反过来,电力市场不但通过交易而影响电力系统的潮流,进而影响系统的可靠性,还通过价格信号影响到电力系统的投资和远期的发输电容量及布置,从而影响电力工业的长远可靠性。此外,监管的组织和措施也影响到电力市场和电力系统的可靠性。

电力工业的安全可靠性不但包括电力系统在物理扰动下的稳定程度,也包括电力市场在经济扰动下的稳定程度。但是,电力市场稳定性和电力系统可靠性一直被割裂开研究。研究电力市场稳定性时,并不考虑输电对可用发电容量的约束。研究电力系统可靠性时,也仅是认识到电力市场使电力系统的运行条件更趋近于极限和更不确定,强调了稳定性的在线、定量、概率分析,但并未理解电力市场的运营情况会对电力系统的长期可靠性产生巨大的影响。

电力生产和消费必须随时平衡,但其流通环节具有自然垄断性,而生产规模的扩大却需要时间,故没有适度监管的电力市场是极不稳定的。在不稳定的电力市场中,电力系统不可能可靠供电。在不安全的电力系统中,电力市场的稳定性也难以得到保证。因此,必须同时考虑物理稳定性和经济稳定性,正确地反映利润积累、投资行为、可用发电容量和可用输电容量的动态行为。

电力市场稳定性是能源安全战略中的重要问题之一,但至今研究还不多见。并且,这些研究都局限于:①电价在均衡点附近的小扰动;②线性化模型;③特征值分析;④定性研究;⑤不考虑投资市场对交易市场的影响;⑥不考虑可用发电容量的变化;⑦不考虑电网阻塞;⑧不考虑参与者的博弈策略;⑨不考虑扰动强度和扰动持续时间的影响。加州电力市场危机说明现有的经济动态模型和分析方法都不适用,迫切需要新的思路和算法。

国网电力科学研究院于2003年获得国家自然科学基金资助(项目50377007),研究电力市场稳定性与电力系统可靠性的相互影响,完成了交易市场和投资市场的经济稳定性与电力系统物理可靠性之间的关系研究,初步建立了数学模型。在此基础上,研究了竞争充分性对电力市场经济稳定性的影响,以及计及风险的电力市场稳定量化分析。用仿真手段再现了加州电力危机的动态过程,研究了防御对策。通过引入电力市场的稳定裕度和稳定域概念,用灵敏度技术直接估计各种稳定措施的临界控制量,定量研究了预防控制、紧急控制和协调控制的效果。同时,在涉及市场力、网络阻塞的管理及其对发电报价策略的影响、备用容量、可中断负荷管理、区域间互供和系统的优化运行等方面,也做了大量研究工作。

2004年,国网电力科学研究院和西安交通大学组成联合研究体,合作承担国家“973”项目“提高大型互联电网运行可靠性的基础研究”中“电力市场对电力系统运行可靠性的影响研究”课题(课题编号:2004CB217905),主要研究电力市场环境下发电充裕度评估、电力市场环境下输电充裕度评估和阻塞管理、电力市场模拟仿真平台、电力市场与电力系统的交互稳定性4方面的内容。

本书是国网电力科学研究院 5 年来(2004—2009 年)研究成果的总结,研究人员包括薛禹胜、许剑冰、文福拴、刘俊勇、万秋兰。本书按照“电力市场环境发电充裕度评估”、“电力市场环境下输电充裕度评估和阻塞管理”、“电力市场与电力系统的交互稳定性”3 篇,分别进行系统阐述。其中第 1 篇由浙江大学文福拴教授、四川大学刘俊勇教授编写,第 2 篇由东南大学万秋兰教授编写,第 3 篇由国网电力科学研究院薛禹胜院士和许剑冰教授编写。

目 录

第 1 篇 电力市场环境下发电充裕度评估

第 1 章	引言	3
第 2 章	电力市场下发电容量充裕性问题的研究	4
2.1	关于单一能量市场模式引导发电投资的理论和实践分析	4
2.1.1	对完全竞争的单一能量市场模式的理论分析	5
2.1.2	单一能量市场引导发电投资的困境分析	8
2.1.3	小结	10
2.2	对确保发电容量充裕性的主要方法的比较分析	10
2.2.1	近似传统规划方法	11
2.2.2	容量的商品机制	11
2.2.3	对能量市场的重新设计	12
2.2.4	对确保我国发电容量充裕性的启示	13
2.3	基于马尔可夫链蒙特卡洛方法的可靠性评估	13
2.3.1	马尔可夫链蒙特卡洛模拟法	13
2.3.2	算例分析	15
第 3 章	电力市场下发电投资决策问题的研究	18
3.1	基于实物期权理论的发电投资决策和容量充裕性评估	18
3.1.1	实物期权理论	19
3.1.2	基于期权博弈理论的发电投资决策	20
3.1.3	发电投资年收益分析	22
3.1.4	算例	25
3.2	基于期权博弈理论的发电投资决策	27
3.2.1	期权博弈方法简介	28
3.2.2	电厂投资进入时机的期权博弈决策方法框架	28
3.3	温室气体排放政策对发电公司投资策略的影响	31
3.4	基于效用函数的发电投资风险决策问题的分析和建模	33
3.4.1	投资风险决策的整体框架	33
3.4.2	风险辨识与估计模块	34
3.4.3	收益风险评估模块	36
3.4.4	风险决策模块	37
3.4.5	模型的求解方法与步骤	38
第 4 章	电力市场下的辅助服务问题研究	40
4.1	最优备用容量研究	40
4.1.1	弹性备用思想	41

4.1.2	顺序出清模式下的弹性备用	44
4.1.3	联合出清模式下的弹性备用	46
4.2	分区备用研究	48
4.2.1	区域备用电网的组织形式	49
4.2.2	分区备用的购买-预调度双层模型	49
4.3	电力市场下实用可中断负荷补偿机制研究	53
4.3.1	引言	53
4.3.2	负荷需求的价格弹性概念	54
4.3.3	引入用户停电阈值价格	54
4.3.4	补偿机制及交易模式	56
4.3.5	数学模型	56
4.4	两部制无功定价方法	58
4.4.1	引言	58
4.4.2	有功和无功解耦优化的两部制无功定价方法	59
4.4.3	有功和无功联合优化的两部制无功定价方法	62
4.5	无功等值定价方法	65
4.5.1	引言	65
4.5.2	无功优化建模	66
4.5.3	无功等值电价法	68
4.5.4	计及经济因子的无功等值电价法	70
第5章	结论	73
参考文献		74

第2篇 电力市场环境下的输电充裕度评估和阻塞管理

第6章	引言	81
第7章	电力市场中输电充裕性研究	82
7.1	电力市场环境下的电网规划	82
7.1.1	市场环境下基于阻塞指标约束的输电网规划	82
7.1.2	输电网扩展规划的随机规划方法	84
7.1.3	市场环境下多阶段输电网扩展规划	85
7.2	电力系统的阻塞管理	86
7.2.1	基于电气剖分的阻塞管理	86
7.2.2	含 FACTS 装置的分步优化阻塞管理方法	91
7.3	电力系统最大可传输容量 ATC 计算	93
7.3.1	计及风险的 ATC 计算	93
7.3.2	计及负荷不确定因素的拓展盲数方法 ATC 计算	97
7.3.3	计及静态电压稳定的 ATC 计算	98
7.4	市场环境下电网充裕度评价指标	100

7.4.1	线路削减阻塞电量指标	100
7.4.2	线路阻塞风险	101
7.4.3	电力市场环境下电网充裕度评价	102
7.4.4	市场环境下电网充裕度评价指标算例	103
第8章	电力市场中输电安全性研究	105
8.1	基于熵权的灰色关联法的安全评估	105
8.1.1	基于熵权的灰色关联方法	105
8.1.2	基于熵权的灰色关联法在低电压风险评估中的应用	106
8.2	安全稳定措施的实施及控制效果评价	109
8.2.1	预防控制代价的获取	109
8.2.2	后继风险	110
8.3	规避不安全的风险管理	111
第9章	结论	113
	参考文献	115

第3篇 电力市场与电力系统的交互稳定性

第10章	引言	119
10.1	电力市场稳定性及电力系统稳定性的研究现状	119
10.1.1	电力系统稳定性	119
10.1.2	电力市场稳定性	120
10.2	交互动态仿真的必要性和现状	120
10.2.1	交互动态仿真的必要性	120
10.2.2	交互动态仿真的现状	121
第11章	电力市场动力学模型和稳定性	123
11.1	电力市场动力学的框架模型	123
11.2	电力市场稳定性及其风险管理	125
11.2.1	电力市场稳定性的特点与本质	125
11.2.2	风险管理在电力市场稳定性研究中的应用	125
11.3	加州电力市场动态仿真设计与危机仿真再现	126
11.3.1	模型的建立和定性分析	126
11.3.2	定量分析	127
11.3.3	电力市场的稳定控制与综合防御	128
11.4	短期及长期交易策略对电力市场稳定性的影响	129
第12章	电力市场与电力系统交互动态仿真	130
12.1	经济系统稳定性与物理系统稳定性仿真的交互	130
12.2	市场参与者的博弈行为与数学模型的交互	131
12.3	交互流程和仿真过程	132
12.4	仿真曲线的稳定性分析	134

第 13 章 电力市场与电力系统交互动态仿真平台	135
13.1 概念的提出	135
13.2 总体设计	135
13.2.1 设计要求	135
13.2.2 架构设计	136
13.3 支撑层设计	137
13.3.1 模块化设计	137
13.3.2 组态化设计	139
13.4 应用层设计	141
13.4.1 模块实现	141
13.4.2 仿真建模	143
13.4.3 不确定性处理方法	144
13.4.4 控制支持	145
第 14 章 仿真平台在电力市场和电力系统交互稳定性研究中的应用	146
14.1 输电动态阻塞管理	146
14.1.1 问题描述	146
14.1.2 仿真模型	147
14.1.3 仿真参数	148
14.1.4 数据收集	148
14.1.5 结果分析	148
14.2 发电投资的交互仿真实验	150
14.3 输电投资对电力市场稳定性的影响	153
14.4 使用静态博弈代理进行发电投资仿真	154
第 15 章 结论	158
参考文献	159

第 1 篇

电力市场环境下发 电充裕度评估

第1章 引言

世界范围内的电力工业市场化改革产生了电网、发电厂商、用户等市场主体,也改变了电力系统管理、规划和运行的本质,电力市场环境下发电充裕度评估因而也具有了新的特点和面临新的挑战。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,确保发电容量充裕性成为电力市场建设需要解决的重要基础问题之一。

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。当其成本低于其效益时,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,为保证电力市场环境下的发电充裕度,本课题对市场环境下的容量充裕度、发电投资决策、辅助服务等问题进行了全面研究。

(1) 首先,对能否依靠单一能量市场来确保长期发电容量充裕性这一重要而基本的问题进行了理论模型分析和实践应用方面的讨论。结果表明,无论在理想的完全竞争市场环境下,还是在实际运营的电力市场中,单一能量市场模式都难以确保发电容量的充裕性。然后,重点总结和分析比较了近似传统规划法、容量费用模式、容量责任和装机容量模式、区域装机容量市场法、期权法、运行备用支付法和用户侧容量定购法等用于解决长期发电容量充裕性问题的方法。提出马尔可夫链蒙特卡洛方法以实现动态蒙特卡洛模拟,该方法考虑了各个状态间的相互影响,比随机采样的蒙特卡洛方法更准确地模拟了系统运行实际情况。

(2) 在假定在投资者制定发电投资决策时所面对的不确定性因素主要来自于负荷增长的前提下,基于实物期权理论,构造了适用于电力市场环境下发电投资决策的新的方法框架。在假定发电投资者进行投资决策时所面对的不确定性因素主要来自于负荷增长,同时考虑了其他发电投资者的投资行为的情况下,发展了基于期权博弈理论的发电投资数学模型和求解方法。此外,全球气温变暖已成为很多国家,尤其是发达国家所关注的重要问题。因此,分析了温室气体排放政策对发电公司投资策略的影响。基于投资组合理论和期望效用理论,建立了考虑投资者风险偏好的发电投资风险决策模型。

(3) 在辅助服务研究方面,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,并从事故预调度的角度对分区备用问题进行讨论,对网络约束和当地备用进行了分析;从有功备用对电网充裕度的影响研究目的出发,讨论了负荷需求价格弹性问题,提出了可中断负荷的停电阈值价格概念,阐述了可中断负荷的补偿机制与补偿费计算方法;针对无功的特点从最优经济性的角度分两种方案提出两部制无功电价模型,将无功的价值与其技术及经济贡献相适应;综合考虑电网运行的连续性,建立了多种运行方式下的无功定价理论模型。

第2章 电力市场下发电容量充裕性问题的研究

2.1 关于单一能量市场模式引导发电投资的理论和实践分析

确保发电容量充裕是保证电力系统稳定和电力市场稳定的必要条件,是电力工业发展中需要解决的最重要的问题之一。电力短缺不但会造成巨大的经济损失,甚至可能引起社会问题和政治问题;相反,过多的发电投资也会造成巨大的浪费。在过去的10年间,我国电力建设和电力供需形势发生着周期性的变化。

在传统的电力工业中,一般采用基于投资回报率的方法来消除发电投资风险,以确保获得所需的投资。采用这种方法,总可以获得预期的装机容量水平。电力工业市场化改革后,电源建设与否由各发电公司根据投资的价值评估而独立决定,即由统一集中决策转变为分散决策,而系统的发电装机容量状况则实际变成了这些分散投资决策的结果,这使确保发电容量充裕性问题变得更加复杂。

在电力市场环境下,如何确保发电容量充裕性成为一个极具挑战性的问题。因此,在我国开展电力工业市场化运营的改革之初,必须要适当解决如何确保发电容量充裕性的问题^[1]。

能否完全依靠单一能量市场来确保发电容量的充裕性是一个存在广泛争论的重要问题。单一能量市场模式是指仅依靠现货市场(一般是日前市场)竞争所产生的波动的现货电力价格来引导发电投资和维持长期发电容量充裕性。对此问题研究的关注点是市场竞争所产生的短期经济信号在确保长期发电容量充裕性方面的作用,而简化考虑现货市场所涉及的短期备用的充裕性问题。

文献[2,3]分析了能量市场完全竞争情况下的发电容量充裕性问题,得到如下4个结论:

(1) 若要完全满足负荷需求,则峰、腰、基三种类型机组均不能完全回收成本,且每单位容量的回收每年都少 F_3 , F_3 表示峰荷机组分配到每年的单位容量固定成本。

(2) 若不完全满足负荷需求,则需切除部分负荷,并在容量稀缺期内设定市场清算价为失负荷价值 V_{OLL} (value of lost load), 则各技术类型机组可以通过稀缺租金 (scarcity rent), 即 V_{OLL} 与机组发电边际成本之差, 实现成本完全回收。

(3) 系统最优装机容量水平为增加单位容量的边际成本等于切单位负荷的边际价值 $V_{OLL} L_{OLP}$, L_{OLP} (loss of load probability) 是电力不足概率。

(4) 进行成本补偿时,可采用对各类型机组补偿 F_3 或 $V_{OLL} L_{OLP}$ 的方式。

实际上,上述结论并不是普遍适用的。