

市场环境下的可中断负荷的研究与实践评述(一)

李作锋¹,崔文琪²,陈振宇¹,惠红勋²,栾开宁¹,杨斌¹,丁一²

(1. 国网江苏省电力公司,南京 210024;2. 浙江大学 电气工程学院,杭州 310007)

Research and practice of interruptible load in the market environment (I)

LI Zuo-feng¹, CUI Wen-qi², CHEN Zhen-yu¹, HUI Hong-xun², LUAN Kai-ning¹, YANG Bin¹, DING Yi²

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China;

2. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310007, China)

摘要:针对市场环境下的可中断负荷,首先介绍了需求响应下可中断负荷范围的拓展和内涵的丰富,从宏观层面对可中断负荷进行了定义;然后在此宏观框架下从补偿方式、实施方式、中断方式3个层面对可中断负荷进行了分类和定义;接着分析了市场环境下的可中断负荷的实施方式,梳理了可中断负荷合同方式和需求侧竞价方式下的有关研究成果;最后,对现有研究进行了总结,并提出了相应的研究展望。

关键词:可中断负荷;市场环境;研究进展;实施方式

Abstract: In order to analyze the interruptible load (IL) in the market environment, this paper introduces the scope of IL from demand side management (DSM) to demand response (DR). Then, IL is classified and defined in three perspectives: the way of economical compensation, implementation and interruption. Moreover, several research results of IL implementation are discussed in the way of IL contract and demand side bidding (DSB). The research advances and problems of IL are also proposed. Several research proposals are also put forward in this paper.

Key words: interruptible load; market environment; research advance; implementation way

中图分类号:TM 71 文献标志码:B

近年来,随着我国经济的发展和产业结构的调整,居民用电量迅速增长,第三产业用电比例逐步上升,电力需求峰谷差逐渐拉大,造成发电机组启停次数增多、系统备用容量增大,极大的增加了发电成本^[1-2]。

我国正在进行新一轮的电力体制改革,明确指出要实施需求响应,通过市场机制来促进电力供给与电力需求的平衡^[3-4]。实施可中断负荷是实施电力需求侧主动响应的重要方式,因此,时下很有必要对可中断负荷已有的研究与实践进行剖析,对可中断负荷的发展历程进行梳理,为我国即将开展的需求响应提供借鉴。

收稿日期:2016-11-06

基金项目:国家自然科学基金项目(51537010);国家重点研发计划(2016YFB0901103);国网江苏省电力公司项目(客户需求响应的研究与应用)

作者简介:李作锋(1964),男,山东淄博人,高级经济师,从事电力营销管理及负荷响应研究工作;崔文琪(1994),女,江苏连云港人,硕士研究生,研究方向为电力市场及需求侧管理;陈振宇(1973),男,浙江宁波人,从事电力营销及电力需求侧管理等工作;惠红勋(1992),男,河北邯郸人,博士研究生,研究方向为电力市场及需求侧管理;栾开宁(1973),男,山东烟台人,高级工程师,从事电力营销、智能用电等工作;杨斌(1977),男,江苏常州人,高级工程师,从事电力营销及电力需求侧管理等工作;丁一(1978),男,浙江杭州人,工学博士,教授、博士生导师,国家第五批“青年千人计划”入选者,研究方向为智能电网、复杂多状态工程系统可靠性、电力系统规划与可靠性评估和电力经济等。

可中断负荷是指在特定时段有条件停电的负荷,在系统备用不足或发电成本过高时能够作为短时“虚拟电源”,起到削峰、填谷、负荷转移、战略性节电等作用^[5-7]。可中断负荷一般需要提前签订可中断负荷合同,是一种兼顾系统可靠性和用户意愿的负荷削减方式,已经在世界范围内得到广泛应用。现在市场环境下,可中断负荷的实践主要针对大型工业和商业用户^[8],当削减容量达到门槛值后,能够参与合同谈判或竞价。

目前对于可中断负荷的研究主要围绕定价、合同、运营优化和具体应用场景展开。价格作为市场的杠杆,是签订可中断负荷合同的核心^[9]。合同的合理性是实施可中断负荷的关键,合理的可中断负荷合同能够激励用户上报真实的成本信息,增强电力合同规避风险的能力^[10]。同时,在可中断负荷的运营中需要考虑可中断项目与直接负荷控制、需求侧竞价、可再生能源等项目之间的协同运行,促进系统的整体优化。在市场环境下,可中断负荷在提供备用、缓解输电阻塞和抑制发电商市场力方面都有广阔的应用前景^[11-15]。

本文首先介绍了需求响应背景下,可中断负荷范围的拓展和内涵的丰富,然后按补偿方式、实施方式以及中断方式对可中断负荷进行了定义和分类,接着详细介绍了签订可中断负荷合同和需求侧竞价2种方式下的可中断负荷的研究成果,最后提

出了市场环境下可中断负荷的发展建议。

1 市场环境下的可中断负荷

1.1 需求响应下的可中断负荷

可中断负荷(interruptible load, IL)最初是在需求侧管理(demand side management, DSM)的大框架下以可中断负荷管理(interruptible load management, ILM)的形式提出的。用户与电力公司签订合同,根据合同约定,用户在系统调度员发出中断信号的时候进行响应,并根据约定得到相应的补偿^[6]。一般说来,这些负荷本身对供电可靠性的要求不是太高,在一定的经济补偿下,对小概率的停电事件可以容忍^[16]。

随着世界各国电力市场化改革的推进,需求侧资源开始能够通过价格机制或激励机制参与市场竞争,电力需求响应(demand response, DR)的概念被提出。在激励方式下,用户可以调整用电量的负荷称为可中断负荷,电力公司或负荷聚合商可以通过控制装置削减的负荷称为直接负荷控制(direct load control, DLC)^[17]。

电力需求响应下的IL,是以电价为杠杆,通过签订合同或直接参与需求侧竞价(demand side bidding, DSB)的方式实施^[16-17];需求侧管理下的IL,一般只能通过签订合同且合同价格相对固定的方式实施。需求响应阶段下的IL能够更加灵活的参与到市场中来,用户意愿、供电成本、供电风险等都得到更加充分的反映,因此具有更加广阔的应用前景。

1.2 可中断负荷的宏观定义

在实践层面,可中断负荷特指在需求响应项目中,用户接到中断指令后进行中断操作的负荷。而在理论研究中,尤其是针对可中断负荷提供紧急备用的研究中,可中断负荷是指通过签订可中断运行合同,能够直接被系统运营商切除的负荷^{[12][18]},对应于需求侧管理实践中的DLC项目。研究层面的可中断负荷可以与实践层面的需求响应项目相对应,如图1所示。

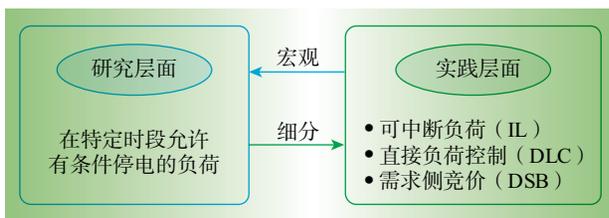


图1 可中断负荷在研究层面和实践层面的对应关系

因此,在理论研究层面,可以将可中断负荷进行宏观上的定义,即在特定时段允许有条件停电的负荷。

2 可中断负荷的定义和类型划分

可中断负荷在实践中主要针对大工业用户和

工商业用户^[8],分布广泛,类型多样。根据研究侧重和应用场景的不同,可中断负荷有不同的定义和分类方法,本文主要从补偿方式、实施方式、中断方式3个层面对可中断负荷进行了类型划分。

2.1 按补偿方式分类

按照对可中断负荷参与用户的补偿方式的不同,可以分为低电价补偿和高赔偿补偿2种^[12]。低电价补偿就是对参与可中断负荷的用户进行电价打折,而高赔偿补偿则是对实际执行中断负荷的用户进行经济赔偿。

不同的补偿方式下,对应不同的收益和成本计算方式。低电价可中断负荷在事故前通过电价打折进行补偿,这种补偿方式在具有较高中断频率并且中断损失不高的调用中较为经济。高赔偿可中断负荷在事故发生且实施中断后进行停电补偿,对于较低概率的事故有较好的经济特性^[19]。2种补偿方式各有优劣,相辅相成,适用的行业情况如表1所示^[20-21]。

表1 不同补偿方式的适用行业

	低电价补偿	高赔偿补偿
适用行业特征	生产用电较多,电费成本高,在合同期内的中断损失不高	电费成本相对较低,中断补偿能够完全弥补中断损失甚至扩大收益
典型适用行业	冶金、水泥、有色金属等	食品、纺织、橡胶、制鞋等

2.2 按实施方式分类

(1) 签订合同

可中断负荷合同内容包含:合同有效期限、提前通知时间、中断持续时间、负荷可中断容量及补偿费用等^[22-29]。停电有效期一般根据停电损失最大月份划分,提前通知时间及中断持续时间对用户的实际停电损失有较大的影响,以上3条内容共同决定着用户的可中断容量及期望的补偿费用。通常只有可中断容量大于规定值的大用户才能签订可中断负荷合同。

(2) DSB方式

通过竞价方式确定的可中断负荷通常作为DSB项目来研究^[30]。可中断负荷直接参与市场报价,并且联合电能/备用报价进行出清^[9]。竞价方式使得用户能够更加主动的参与电力市场的运行,从而获得更大的经济效益。与传统的用户只是价格接受者相比,竞价方式有助于维持电力市场更加健康有序地运行。

2.3 按中断方式分类

传统意义上可中断负荷的中断方式往往是在中断时间内直接切断全部或部分电力供应。在电动汽车逐渐普及的背景下,文献[6]针对电动汽车等移动式负荷,提出“负荷流中断”和“状态中断”2

种方式,通过“汽车到电网(vehicle to grid, V2G)”或“电池到电网(battery to grid, B2G)”技术,电动汽车能够与电网之间进行双向互动及能量交换。

负荷流中断指负荷流在空间上的转移^[16]。当一个区域中出现电力供应紧张的情况时,调高该区域电价或者同时适当降低其他区域电价,通过用户综合优化选择,将电动汽车负荷流引入电价较低的区域,实现电价较高区域负荷流的中断。

状态中断则与传统的中断方式相契合,在中断调用期间暂停充电,实现电动汽车充电负荷在时间上的转移。

值得说明的是,由于电动汽车电池可以视为移动式储能,当初始容量充足并且汽车使用时间允许的情况下,电池能够充当临时电源的角色,向电网反馈电能。在此种方式下,传统的合同签订方式需要做出相应的改变,比如:加入放电持续时间、放电功率及补偿方式等内容条款。

3 可中断负荷的实施方式研究

可中断负荷的实施主要有签订IL合同和参与市场竞价2种方式。由于合同方式对电力市场的开放程度要求不高,签订IL合同是现行电力市场中实施可中断负荷的主要方式^{[6][33]}。竞价方式能够充分体现用户成本信息并且使得用户更加主动的参与到市场的运行中来,从而使得IL具有更加灵活多样的应用方式,但是由于此种方式需要较为成熟且允许需求侧竞价的市场环境,仅在英国、挪威等少数电力市场中得到应用^[34-35]。表2比较了2种方式的具体实施模式及特点^{[8][9][12][36]}。

表2 签订IL合同和DSB方式的比较

	签订IL合同	参与市场竞价
实施模式	在合同期内提前发出中断信号,用户对此进行响应,在紧急备用合同下也可不提前通知用户	可中断负荷提供类似发电公司竞价曲线的需求侧竞价曲线,联合电能/备用报价进行出清
特点	根据电力系统定价机制和电力市场开放程度的区别,具有不同的可中断电价及补偿方式	适用于允许需求侧竞价的电力市场,能够发挥抑制市场力的作用,降低食品、纺织、橡胶、制鞋等供电成本

3.1 签订IL合同

3.1.1 IL合同设计

具有合理性的IL合同是实施可中断负荷的关键。目前,对于用户停电损失的研究有宏观经济方法、用户调查法等多种方式^[31]。但是由于运营商并不完全了解用户的缺点成本,用户在上报缺电成本方面仍具有策略性,这将造成系统的低效运行^[37]。因此,

IL的合同设计需要满足:当用户上报最真实的缺电损失时,可以获得最大的利润,从而引导用户披露真实的用电特性信息,即具有激励相容特性^[10]。

目前,较为普遍的IL合同设计方案是基于用户的缺电成本。用户缺电成本近似于负荷中断量的二次函数^[39],受到多方面因素的影响,包括用户类型、中断容量、提前通知时间、中断调用时间及中断持续时间等。根据用户缺电成本二次函数,文献[40]和[41]分别研究了将用户类型取为连续和离散下的IL合同。基于此,文献[39]进一步建立了考虑用户最大可中断负荷限制的可中断负荷管理合同模型,实现了适用于负荷中断分配的不同优化目标。

此外,可中断负荷远期合同是一种典型的电力期权,能够显著增强IL合同规避风险的能力。文献[42]和[43]计入负荷削减的提前通知时间后,在可中断负荷合同中引入双值看涨合同。以此为基础,文献[44]分析指出了可中断电力合同所结合的期权内包含多个数量不定的障碍期权,是一种新型的复合期权,从而设计了电力公司卖出一个电力合同则相当于买入复合电力期权、用户买入一个电力合同则相当于卖出复合期权的合同形式。

3.1.2 用户补偿方式

可中断电力合同涉及到2个价格,合同电价和中断电价。合同电价即合同正常交割时的电力价格;中断电价是由用户提出,当实时电价高于该价格时,电力公司可以中断该用户的部分或者全部用电^[44]。与之对应,目前的补偿方式主要有电价折扣和中断赔偿2种方式^[41]。电价折扣是在签订合同期间内给予用户日常电价的降低,而中断赔偿是在中断发生后对中断行为进行经济补偿。另外,在实际的电力市场中,根据市场结构和需求的不同,出现了更加灵活的补偿机制设计,比如:纽约ISO将可中断切除容量限制在1 MW和2 MW 2个整数倍^[6]。1 MW负荷按照旋转备用市场价格结算,2 MW负荷按照日前市场电能价格结算,并且都支付与中断次数无关的固定费用。

2种补偿方案分别对应着电费损失风险与赔偿风险,具有不同的经济特性和互补性,可以利用风险管理协调优化,达到可靠性与经济性的统一^[46]。由于可中断负荷的实施效果极大的依赖于用户的响应积极程度,不可靠的IL提供者使电网面临运行安全和经济损失的风险^[8]。文献[47]将保险机制引入可中断负荷合同设计中,设置负荷保险金和赔偿金,以此激励用户信誉度的提高,实现用户对可中断负荷资源的可靠提供。

3.2 DSB方式

目前对于DSB方式运营的可中断负荷研究相对较少,一般的DSB项目是指通过竞价方式确定的IL项目,把IL合同称为基本IL项目^[8]。

文献[1]针对我国现状,提出电网公司根据大用

户报价和电价预测做出优化调度的实施方式,在考虑负荷波动情况下,利用停运表得到系统缺额容量,采用DSB来反映用户可接受的停电补偿,证明了可中断负荷报价方式能够让用户得到合理的补偿费用,同时也能够给电力公司带来经济效益。文献[3]以离散型随机变量表示配电公司的可中断负荷类型,建立了包含分布式发电与不完全信息可中断负荷选择的电力市场模型,充分考虑了发配电公司的策略行为。文献[48]以最大化可中断综合指标来选择可中断负荷,证明了考虑可中断负荷和需求侧竞价能够起到抑制电价波动及减少供电公司购电成本的作用。

4 结论

可中断负荷是实现需求侧主动响应的重要终端,本文从研究层面对可中断负荷进行了探讨,主要结论如下:

(1) 需求响应下的可中断负荷能够更加灵活的参与到市场中来,用户意愿、供电成本、供电风险等都得到更加充分的反映,因此具有更加广阔的应用前景。

(2) 可中断负荷在实践中主要针对大工业用户和工商业用户,从补偿方式、实施方式、中断方式3个角度对可中断负荷进行定义和分类,以满足不同的研究侧重和应用场景。

(3) 可中断负荷的实施方式主要包含签订IL合同和需求侧竞价方式。为了应对用户和可中断运营商之间的信息不对称并满足不同市场参与者的利益,在IL实施中引入电力期权、保险机制等概念可以提高规避风险的能力。

(4) 当前的研究中对于可中断负荷参与需求侧竞价的研究比较缺乏,对于可中断负荷与常规备用、调频机组之间的协调优化的研究也相对较少,这些方面值得未来继续深化研究。D

参考文献:

[1] 关于印发《江苏省电力需求响应实施细则》的通知(苏经信电力[2015]368号)[Z/OL]. [2016-3-20]. http://www.jseic.gov.cn/xwzx/gwgg/gwfb/201506/t20150625_162408.html.

[2] 姜勇. 南京市电力需求现状分析与预测[J]. 中国能源, 2001(11):31-34.

[3] 中共中央、国务院关于进一步深化电力体制改革的若干意见(中发[2015]9号)[Z/OL]. [2016-3-20]. <http://www.ne21.com/news/show-64828.html>.

[4] 国家发展改革委、财政部关于完善电力应急机制做好电力需求侧管理城市综合试点工作的通知(发改运行[2015]703号)[Z/OL]. [2016-3-20]. http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201504/t20150409_677004.html.

[5] Gedra T W, Varaiya P P. Markets and pricing for interruptible electric power [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1993, 8(1):122-128.

[6] 王建学,王锡凡,王秀丽. 电力市场可中断负荷合同模型研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(9):11-16.

[7] Faranda R, Pievato A, Tironi E. Load Shedding: A New Proposal[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2007, 22(4):2086-2093.

[8] 张钦,王锡凡,王建学,等. 电力市场下需求响应研究综述[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(3):97-106.

[9] 王建学,王锡凡,张显,等. 电力市场和过渡期电力系统可中断负荷管理(二)——可中断负荷运营[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(6):1-5.

[10] 李海英,李渝曾,张少华. 一种激励相容的输电阻塞管理模型[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(19):36-40.

[11] 王蓉蓉. 可中断负荷管理的激励机制研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2008.

[12] 薛禹胜,罗运虎,李碧君,等. 关于可中断负荷参与系统备用的评述[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(10):1-6.

[13] 杨彦,陈皓勇,张尧,等. 计及分布式发电和不完全信息可中断负荷选择的电力市场模型[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(28):15-24.

[14] 毛伟明,周明,李庚银. 多时段下计及可中断负荷的电网输电阻塞管理[J]. 电网技术, 2008, 32(4):72-77.

[15] Gu C, Li F. Quantifying the long-term benefits of interruptible load scheme for distribution network investment [C]// Power and Energy Society General Meeting, 2011 IEEE. IEEE, 2011:1-5.

[16] 向月,刘俊勇,魏震波,等. 可再生能源接入下新型可中断负荷发展研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(5):148-155.

[17] 王珂,姚建国,姚良忠,等. 电力柔性负荷调度研究综述[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(20):127-135.

[18] 都亮,刘俊勇,田立峰,等. 电力市场环境下秒级可中断负荷研究[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(16):90-95.

[19] 李倩影. 市场条件下电网备用容量的分配[D]. 北京: 华北电力大学, 2011.

[20] 高有灯. 可中断负荷管理及其在广东电网的应用[J]. 电力科学与技术学报, 2007, 22(3):85-89.

[21] 裴志刚. 建立可中断负荷激励机制缓解用电高峰期电力紧张[J]. 浙江电力, 2011, 30(12):12-15.

[22] 王莹. 考虑风电的系统备用优化决策[D]. 南京: 东南大学, 2012.

[23] 张涛,宋家骅,程晓磊,等. 电力市场环境下可中断负荷综述[J]. 吉林电力, 2007, 35(2):25-28.

[24] 张涛,宋家骅,程晓磊. 可中断负荷研究综述[J]. 东北电力技术, 2007, 28(6):46-49.

[25] 于娜,芙蓉薇. 电力市场高峰时段可中断负荷优化购买模型[J]. 电力系统及其自动化学报, 2010, 22(4):89-93.

[26] 于娜,于继来. 电力市场初期高峰调度时段可中断负荷优化模型[J]. 电气应用, 2009, 28(7):52-55.

[27] 齐全. 基于一种新型合同的可中断负荷管理[D]. 上海: 上海大学, 2009.

[28] 周明. 电力需求侧市场运营的若干问题研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2005. (下转第21页)

型将用户参与需求响应受到自身及外界从众影响加以量化,得到数值化的影响模型。将熟识用户影响采用关系矩阵模型表示,陌生用户影响采用阈值统计模型表示,并介绍用户参与度的辨识方法。通过数据挖掘等手段识别用户参与度以及用户受到的外界影响,可用于指导实际需求响应推广工作。

仿真算例表明上文所建立的需求响应用户参与的从众影响模型可以有效反映在不同条件下用户的参与情况。仿真设置熟识用户、陌生用户以及信息通畅程度等变量,结果表明可以通过扩大熟识用户圈、提高熟识用户参与度、加大有利消息宣传并积极推广等手段促进需求响应用户参与,从而提高全社会需求响应参与率,促进更多的用户从众参与需求响应项目,推动需求响应项目的推广。D

参考文献:

[1] 张炳建,徐杰彦,宋杰,等.中国电力需求响应的发展动因与实施手段[J].电力需求侧管理,2013(4):1-5.
[2] 杨旭英,周明,李庚银.智能电网下需求响应机理分析与建模综述[J].电网技术,2016(1):220-226.
[3] 张婷,朱倩昕.关于从众行为的研究评述[J].东方企业文化,2007(5):83-84.
[4] 李朔.从众行为的心理分析及应用[J].辽宁行政学院

学报,2002(1):33-34.

[5] 李云捷,伍永亮,张同航.从众行为的心理探析[J].山东省青年管理干部学院学报,2008(1):75-76.
[6] 赖华佺.群体规模对从众行为影响研究[D].成都:西南财经大学,2013.
[7] 威海峰.中国人从众消费行为问题探究——基于控制的视角[J].经济与管理研究,2011(1):24-32.
[8] 柏芳平.群体决策中从众行为的原因及对策探析[J].河北北方学院学报:社会科学版,2010(6):34-37.
[9] 王建星,韩文花.我国电力需求侧管理的现状分析及政策建议[J].广东电力,2013(7):1-5.
[10] 曾鸣,孙昕,张启平,等.我国电力需求侧管理的激励机制及政策建议[J].电力需求侧管理,2003(2):3-6.
[11] 张婷,朱倩昕.关于从众行为的研究评述[J].东方企业文化,2007(5):83-84.
[12] 谈友胜.国外从众行为理论研究进展述评[J].生产力研究,2010(9):247-250.
[13] 代祺,胡培,周庭锐.参照群体压力下的不从众与反从众消费行为的实证研究[J].消费经济,2007(6):80-85.
[14] 张琼琼,刘泽文.信息性从众行为和规范性从众行为比较研究[J].社会心理科学,2010(3):57-60.
[15] 张钦.智能电网下需求响应热点问题探讨[J].中国电力,2013,46(6):85-90.
[16] 张璨,王蓓蓓,李扬.典型行业用户需求响应行为研究[J].华东电力,2012,40(10):1701-1705.

(上接第7页)

[29] 安学娜,张少华,王睨,等.考虑可中断负荷合同的电力市场古诺均衡分析[J].电力系统保护与控制,2012,40(16):49-53.
[30] 宋宏坤,汤玉东,唐国庆,等.考虑需求侧竞价的发电公司竞价策略分析[J].电力自动化设备,2007,27(6):43-47.
[31] 陈长胜.可中断负荷项目中的定价问题及实施机制[D].北京:华北电力大学,2008.
[32] 李强.电力需求侧管理中可中断负荷的研究[D].郑州:郑州大学,2007.
[33] 王建学,王锡凡,张显,等.电力市场和过渡期电力系统可中断负荷管理(一)——可中断负荷成本效益分析[J].电力自动化设备,2004,24(5):15-19.
[34] 潘小辉,王蓓蓓,李扬.国外需求响应技术及项目实践[J].电力需求侧管理,2013,15(1):58-62.
[35] 王晓文,毛煜杰.可中断负荷研究综述[J].沈阳工程学院学报:自然科学版,2015,11(3):193-198.
[36] 张颖.电力市场环境下可中断负荷的优化管理模型研究[D].杭州:浙江大学,2010.
[37] 李海英.需求侧参与输电阻塞管理的模型与算法研究[D].上海:上海大学,2007.
[38] US Department of Energy .Benefit s of demand response in electrici ty markets and recommendations for achieving them :a report to the United State Congress pursuant to section 1252 of the Energy Policy Act of 2005 [EB/ OL]. [2007-07-21]. http://www.oe.energy.gov/DocumentsandMedia/congress_1252d.pdf.
[39] 方勇,张少华,李渝曾.一种激励相容的电力市场可中

断负荷管理合同模型[J].电力系统自动化,2003,27(14):23-26.

[40] Fahrioglu M, Alvarado F L. Designing incentive compatible contracts for effective demand management [J]. Power Systems IEEE Transactions on, 2000, 15(4):1255-1260.
[41] Fahrioglu M, Alvarado F L. Using utility information to calibrate customer demand management behavior models [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1989, 16(2):317-322.
[42] Oren S S. Integrating real and financial options in demand-side electricity contracts [J]. Decision Support Systems, 2001, 30(3):279-288.
[43] Kamat R, Oren S S. Exotic Options for Interruptible Electricity Supply Contracts. [J]. Operations Research, 2002, 50(5):835-850.
[44] 张显,王锡凡,王建学,等.可中断电力合同中新型期权的定价[J].中国电机工程学报,2004(12):18-23.
[45] 杨栋.基于智能微网的需求侧响应技术研究[D].南京:东南大学,2012.
[46] 罗运虎,薛禹胜, Gerard LED WICH,等.低电价与高赔偿2种可中断负荷的协调[J].电力系统自动化,2007,31(11):17-21.
[47] 陈浩琿,程瑜,张粒子.引入保险机制的可中断负荷合同设计[J].电力系统自动化,2007,31(16):19-23.
[48] 陈星莺,陈璐,廖迎晨,等.考虑可中断负荷和需求侧竞价的供电电价模型研究[J].电力需求侧管理,2010,12(5):14-18.