

配电市场购售电优化模型研究综述

雷霞¹, 刘俊勇², 党晓强²

(1. 西华大学电气信息学院, 四川 成都 610039; 2. 四川大学, 四川 成都 610065)

摘要: 购售电的优化是配电市场中的重要决策。围绕配电市场购售电优化模型的问题, 对购电风险决策、电力需求弹性的应用、大用户、分时电价决策、实时电价决策和随机规划在配电市场中的应用等方面的研究现状和关键问题进行了综述。提出了配电市场购售电优化问题中还未得到解决并值得研究的内容。

关键词: 配电市场; 购售电优化; 风险; 电价; 需求侧

Review of optimal models of purchase and sale in distribution electricity market

LEI Xia¹, LIU Jun-yong², DANG Xiao-qiang²

(1. School of Electrical Information, Xihua University, Chengdu 610039, China; 2. Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: The optimization of purchase and sale is an important strategy in the distribution electricity market. About optimal models of purchase and sale in the market, the present research situation and key problems of purchase risk strategy, application of power demand elasticity, large consumers, time-of-use price decision, spot price decision and application of the stochastic programming in the distribution market, are summarized. Several issues on optimal purchase and sale methods which have been unsettled and worth studying are proposed.

This work is supported by Special Fund of the National Basic Research Program of China(No.2004CB217905).

Key words: distribution electricity market; optimization of purchase and sale; risk; price; demand side

中图分类号: TM73; F123.9 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)02-0136-10

0 引言

电力市场的发展通常经历四个阶段, 配售分离的零售型竞争市场是电力市场的最终形式^[1-2]。在配电市场中, 允许成立独立经营的专门负责向最终用户供电的供电公司, 并且允许所有的用户可自由选择供电公司。发达国家已经纷纷打破配电网的垄断, 比如英国^[3]、北欧四国^[4-6]、美国加州^[7]、澳大利亚^[8]、新加坡^[9]等国家, 都采用从大用户逐步到小用户、最后直至所有用户选择供电商的方法来实现配电市场的彻底开放。

配电市场的开放使供电公司和用户处于一个自由选择的环境中, 同时也使他们暴露于市场波动的风险之下, 为市场交易双方提供交易优化决策的理论依据显然非常重要。供电公司和用户的交易以购售电为主, 所以购售电的优化模型是研究的重点之一。

配电市场的购售电离不开电价这个核心问题,

基金项目: 国家 973 计划资助项目 (2004CB217905); 西华大学 2009 人才培养项目 (R0920906)

引入竞争性市场的根本原因是促使电价降低^[10], 用户的选择权使电价形式的多样化成为必然, 供电公司和用户的效益和成本是决定电价水平的主要因素。同时, 波动的市场因素导致了交易双方必须面临风险。本文围绕购售电优化的问题, 对配电市场的风险决策、电力需求侧、电价制定模型等问题的研究现状和关键问题进行了总结, 并展望了配电市场购售电优化进一步研究的内容。

1 配电市场的购电风险决策研究

由于配电市场对用户的完全开放, 用户可以根据自己的意愿选择供电商, 还可以选择供电商提供的不同质量的电能, 因此供电公司面临购售的双边市场。由于用户的选择权扩大, 因此市场的供需状况随时都在发生变化, 需求量大小的变化、市场价格的波动都会增加供电公司和用户自身的风险。

在配电市场中, 供电公司相当于一个期望获取利润同时还需规避风险的“投资商”, 它的投资运作是在多个市场中优化购买电能, 再以合理形式的电价卖给用户。用户也可以选择从合同市场、现货市

场或自发电的方式购电。投资的定义包括了两个基本内涵:收益和风险。随着市场和投资学理论的发展,投资者都认识到只追求收益的最大化,而忽视风险存在的盲目乐观是非常危险的。收益与风险的紧密关系使风险管理成为一个重要课题。

目前对于购电优化模型主要从投资组合的风险度量方法着手研究,无论是供电公司、发电公司、电网公司或用户的购电优化方案都采用类似的方法。

风险的定义包含了两层含义:一层表示未来结果的不确定性,二层表示损失的不确定性。配电侧电力市场的风险来源主要有三类:价格的不确定性^[11]、需求量的不确定性^[12]和电网运行状况的不确定性。目前的研究主要集中在前两种。对风险度量的方法一般有三种:均值-方差法、VaR(Value at Risk)法和 CVaR(Conditional Value at Risk)法。均值-方差法是对考察对象的期望值与波动的描述, VaR 和 CVaR 是对损失的概率描述^[13]。配电是整个电力系统中的一个环节,配电侧电力市场的风险也与其他环节的市场风险具有共性,所以对配电侧电力市场风险的研究可以借鉴其他环节风险研究的方法。

文献[14]指出风险会影响电力市场成员对收益的判断,从而难以进行有效的经济决策,认为电力市场的风险主要源于人的有限理性、机会主义行为和未来的不确定性等,并提出了控制电力市场风险的对策。文献[15]对电力市场的风险管理做了综述,介绍了针对价格波动的几种风险管理办法,包括:套期保值、投资组合优化、风险评价和自产评估等,前两种方法属于风险控制范畴,后两种方法属于风险评估。可见,电力市场中风险的分析、评估、管理与控制对市场的发展是必要的。本文根据不同的风险度量方法在配电市场应用的研究现状进行总结和分析。

1.1 均值-方差理论

根据 Markowitz 著名的最优资产组合理论,以预期收益率来衡量实际收益率的总体水平,而风险的度量则是未来实际收益率与期望收益率的偏差。

文献[16-23]对配电侧电力市场中供电公司的风险进行了分析,并运用均值-方差法对市场的风险进行了评估。电力市场中均值-方差法的典型用法包括:

① 将方差作为风险成本乘以一个风险项系数计入供电公司的成本中^[21,24]。

② 用确定性等价回报方法将方差计入供电公司的效用函数中^[25]:

$$U = E(r) - \frac{1}{2} A \sigma^2(r) \quad (1)$$

式中: A 表示供电公司对风险规避的程度。

③ 引入最优风险资产组合中的最小方差证券组合方法计算多个市场的电量比例^[19,26]:

$$\min \sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j \text{Cov}(r_i - r_j) \quad (2)$$

式中: σ_p^2 是投资组合的方差; x_i 和 x_j 分别代表第 i 和第 j 个市场的电量比例; $\text{Cov}(r_i - r_j)$ 表示协方差。

用方差来表示风险是一种简单易行的方法,曾经在金融领域得到广泛应用,但这种方法也有明显的缺陷,方差关于期望收益是对称的,它将高于和低于期望收益的值都认为是风险。如果将风险的范畴缩小到损失的可能性,均值-方差法则无法体现。

1.2 VaR 价值风险

VaR 表示在正常的市场波动和给定的置信水平下,在持有期间内,某一资产组合预期可能发生的最大价值损失,即该资产组合发生不超过 VaR 值损失的概率为置信度概率水平。具体表示为

$$\text{Prob}(\Delta P > \text{VaR}) = 1 - c \quad (3)$$

式中: Prob 为括号内表达式成立的概率; ΔP 为资产组合在持有期 Δt 内的损失; VaR 为置信度 c 下处于风险中的价值。

在文献[27-31]中电力市场的风险采用 VaR 来度量。文献中或讨论电力市场的 VaR 值大小的求取,或将 VaR 值作为风险成本进行决策。

VaR 因为其具有概念简单、易于沟通和理解的特点,为不同金融工具构成的复杂的投资组合提供了一个统一的综合性的测量框架,而成为国际上主流的金融风险计量方法。但同时 VaR 也有很大的不足:用 VaR 度量组合风险时,可能出现组合投资比分散投资的风险还大;随机量必须满足正态分布的前提限制了 VaR 在资产组合中的应用范围;无法考察超过分位点的下方风险信息。

1.3 CVaR 条件风险价值

CVaR 指投资组合的损失大于某个给定 VaR 值的条件下,该组合投资损失的平均值^[32]。CVaR 法在发电侧^[32-36]市场研究较多,运用到配电侧^[37-39]的研究相对较少,但方法近似,运用蒙特卡罗法或情景分析法近似表达积分值,建立置信度 $\beta \in (0,1]$ 下基于 CVaR 风险最小化的最优投资组合模型如下:

$$\min F_\beta(x, \alpha) = \alpha + \frac{1}{J(1-\beta)} \sum_{k=1}^J z_k \quad (4)$$

$$\text{s.t.} \quad E(R(x, y)) \geq b \quad (5)$$

$$z_k \geq f(x, y^k) - \alpha \quad (6)$$

$$z_k \geq 0 \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1 \quad (8)$$

$$0 < x_i < 1 \quad (9)$$

式中: $E(R(x, y))$ 是期望收益; b 是最低期望收益率, 虚拟变量 $z_k = [f(x, y^k) - \alpha]^+$; α 是 VaR 值; n 是市场的个数。

CVaR 不是单一的分位点, 这与 VaR 有着根本的区别, CVaR 是尾部损失的平均值, 因此它对尾部的测量是充分的。此外, 无论投资组合的回报是否满足正态分布, CVaR 都是一致性风险度量。CVaR 的计算可以通过构造一个功能函数而化为一个凸性优化问题, 在数学上用样本均值逼近总体均值, 凸规划可以转化为线性规划问题如式(4)~(9), 使计算更加简单。计算 CVaR 的同时可以获得 VaR 值, 实现对风险的双重监管。所以 CVaR 适合于投资组合的优化计算。

1.4 动态风险

以上三种风险度量方法都只考虑了单期资产的变化, 是基于固定投资期限的一种风险度量, 通常称之为静态风险度量。但由于实际的资产组合往往是多期投资, 影响风险的因素在每个时期应该是变化的, 就产生了动态风险度量的问题。风险的动态性必须体现风险随时间的变化而变化的特征, 当前时段的风险度量值与历史时间相关, 而且对未来风险的波动产生持续的影响。

与前面几种风险度量方法不一样的是, 到目前为止动态风险值还没有一个确切的表达式来表示, 在已有的研究成果中, 大多将动态风险定义在多阶段决策过程的基础上, 将已发生投资时段的状态量传递到当前时段中^[40-41], 从而影响当前时段风险的计算。电力市场的动态风险研究主要集中在发电市场, 文献[42]将基于分位数的 CVaR 值作为多期风险的度量值, 文献[43]建立了发电商加权多时段 CVaR 组合市场投标策略优化模型, 配电市场中还没有应用。动态风险的度量弥补了静态风险分析法对风险的时间持续性描述不足的缺陷, 是多期风险度量的主要方法, 但目前还没有统一的框架, 并且定义和计算都比较困难。

2 配电市场的售电决策研究

2.1 电力需求侧

由于完全竞争的配电侧电力市场应该是对用户

彻底开放的市场, 供电公司的售电决策必须考虑用户参与的动态过程, 所以用户作为需求侧对市场的反应是配电市场改革是否能顺利进行的关键。

2.1.1 需求价格弹性

需求侧弹性是配电市场研究的主要参数之一, 微观经济学中定义为需求变化率对价格变化率的比例。早期对需求侧弹性的研究主要集中在需求函数上, 文献[44]建立了居民用户对动态电价的响应模型, 运用二次函数描述了用户的用电方式。文献[45]分析了大工业用户对分时电价的响应情况, 运用先验对数成本函数估计了五个大工业用户的电价弹性。文献[46]以经济学的定义为基础研究了电力需求的弹性, 分析了市场结构对需求弹性的影响, 描述了如何用自弹性系数和交叉弹性系数矩阵对用户的用电行为建模, 并指出对电力市场中制定发电计划和电力库定价时如何将弹性系数作为一种因素来考虑。文献[47]给出了电量电价弹性矩阵的建立过程, 分析了由于用户分类和电价分类不同所引起的弹性矩阵的不同, 并提出了一种电量电价弹性矩阵求取的简化方法。文献[48]基于需求价格弹性矩阵, 对丰枯一峰谷电价中的用户反应度进行了计算。文献[49]运用生产经济学的要素派生需求理论, 论证了电力需求对峰谷电价短期价格弹性的特性, 揭示了自弹性和交叉弹性的关联性, 得到各时段电价等幅变化在短期内不改变用户的日用电量分布的结论。由于用户对周期变化的电价具有更大的响应, 大量的文献将需求价格弹性用于分时电价的研究中^[50-54]。此外, 需求弹性对市场运行机制^[55-56]、发电侧运行^[57-59]、系统阻塞^[60-62]、安全性定价^[63]、辅助服务^[64-66]等方面的影响也得到深入研究。

2.1.2 大用户

大用户是需求侧中比较特殊的一个群体, 世界各国对零售市场的开放都是从大用户开始的。分析其中原因有以下几点: 一是大用户是电力的主要用户, 大用户对电力的生产和销售有着重要影响; 二是大用户可以拥有各种具有电力市场运行相关知识的专业人员进行市场分析和预测; 三是大用户有能力和资本进行与电力市场发展相适应的设备改造; 四是由于电力成本是大用户的主要成本之一, 电力市场各种电价和激励机制更容易引起大用户的关注并得到积极响应; 五是大用户更容易采取负荷转移等措施来参与需求响应。

大用户的研究主要集中在直购电模式、交易机制、大用户获取电能策略和定价机制等方面。文献[67-71]研究了大用户和发电公司的直购电模型, 分析了直购电的现状, 主要运用博弈论对直购电的模

式和合同等进行了探讨。文献[72]结合中国区域电力市场化改革的实际情况,提出一种大用户进入市场购电的方案。文献[73-75]以大用户成本最小为目标,在不考虑或加入风险成本的情况下,分别用确定性规划和随机规划模型确定了大用户分别从双边合同、电力库和自产电三个来源获取电能的最优比例。文献[76-79]研究了大用户的需求价格弹性,分析了大用户如何根据电价变化来调整自己的负荷曲线。由于大用户在电力市场中的重要作用,对大用户的定价成为了大用户研究的一个重点,文献[80-83]对大用户的定价提出了一些方法,从TOU(Time-of-Use)、PAB(Pay as Bid)、合同与实时电价和基于特征价格模型等各种方法讨论了大用户的电价机制。

2.2 电价决策模型

配电市场中,合理的电价具有以下职能:体现交易双方的利益关系;正确反应市场的供需状况;保证市场的稳定运行;促进配电网的建设和发展;推进需求侧管理的实施。制定电价遵循三个原则:成本为主、合理利润、公平负担。

供电公司和用户是配电市场交易的两个主体,电价对电力这个商品价值的体现是通过供需双方的利益体现而实现的。因此在配电市场的售电电价决策中,往往采用最大化供电公司利润、最小化用户购电成本或最小化风险为目标函数。根据定价机制的不同,对电价影响因素作不同的假设,采用的数学规划方法通常有两大类:以确定数值表示各种参数的确定性规划法和以概率分布表示参数和目标值的随机规划法。

2.2.1 分时电价

电力需求侧管理(DSM)利用各种激励机制鼓励用户优化用电方式和提高用电效率,达到节约能源的目的。分时电价(TOU)指不同时段采用不同电价的机制,是需求侧管理的重要手段之一,也是国内外有着众多成功经验的较早实施的DSM措施。文献[84]对英国私有化供电公司实施的TOU制度进行了讨论,得出其能推进负荷管理实施的结论。文献[85]根据边际成本定价原理,针对简化的配电网条件,建立了分时电价优化模型,再利用Kuhn-Tucker条件得到了供电公司分时售电电价的表达式。我国主要着重于对峰谷分时电价的研究,这是一个实施多年的DSM措施,而且实践证明它对平缓负荷曲线,特别是削峰填谷起到了重要作用,对峰谷分时电价的持续研究是希望能将更多更全面的影响因素考虑进电价的制定中。文献[86]基于负荷曲线分布分析,利用模糊半梯度隶属函数方法进行了峰谷时

段的划分,并提出含有用户对分时电价反应度分析的分时电价模型。文献[25,26]将风险考虑进分时零售电价的制定中。文献[50-52,87]将用户满意度和需求价格弹性进行考虑,建立了峰谷分时电价的决策模型。文献[54]在用户电量电价弹性矩阵的基础上,探讨了对用户进行分类确定峰谷分时电价的方法。文献[88-90]以多目标或分级优化的模型将销售侧与发电侧的峰谷分时电价实现了联动。

2.2.2 实时电价

实时电价(Spot Price)的概念最早由美国的F. C. Schweppe教授在20世纪80年代提出,是在给定的极短的时段(如1h、30min、15min等)内向用户提供电能的边际成本。实时电价是配电市场中最理想的电价机制之一。文献[91]在总结实时电价理论的基础上,推导出最优实时电价的形式,并对实时电价理论付诸于实践的问题进行了讨论和给出了建议。文献[92]讨论了确定实时电价的各种因素和美国以及其他OECD组织国家实施费率与这些因素的关系。文献[93]根据潮流等系统量得到了放射状配电系统实时电价的表达式,采用的电价算法是强调分布式处理方案的分散学问题,主要计算节点电价。文献[94-95]运用短期边际成本的原理确定售电电价。电价建立的原则主要是供电公司的成本回收和利润保证,但同样需要给用户提供一个合理的电价才能反应市场的竞争性。文献[96]讨论一个电力公司面对多个发电商的竞价,如何给其用户一个合理的批发或零售电价的问题。文献[53,97-98]在确定实时电价时,将用户对电价的响应作为了一个主要因素。

2.2.3 随机规划的应用

电力市场中存在大量的不确定性因素,用户对实时电价的响应也远不如想象中快速。在电力市场的各种不确定性条件下如何进行决策已成为近年来研究的热点,是2006年IEEE电力工程学会的学术年会讨论的主题之一^[99]。不确定因素给市场带来了风险,也需要更适当的模型去描述,随机规划是目前采用的主要方法。文献[100]认为用户消耗电能、市场参与者的决策行为和系统可靠性指标都是随机过程,因此电价的模型也应该是随机模型,该文的电价建模分析是建立在用户的小时耗电、日前或实时电价、发电和输电计划、旋转备用需求、需求弹性和市场参与者的决策等基础上。文献[101]将市场中不确定因素用概率分布表示,并建立了期望值优化模型。文献[102]是通过历史数据得到了实时电价的混合数学模型。文献[103-104]都是站在零售商的角度,考虑交易风险的基础上建立随机规划模型,

以确定最优的电量分配和销售电价。随机规划还应用于描述大用户的购电策略^[37]和市场的博弈过程^[105]。

3 配电市场购售电决策模型研究的展望

随着电力体制改革的深入, 电力市场的发展, 配电网中的购售电决策领域还有很多方面值得进一步探讨:

1) 配电市场的动态风险度量方法, 以及基于动态风险的最优电量分配模型有待研究。

2) 在以往分时电价的研究中, 需求价格弹性系数作为一个已知量参与计算, 但实际中需求价格弹性系数却是一个获取非常困难的量。作为一个已经执行稳定的分时电价, 用户的需求价格弹性系数可通过历史数据用统计方法求得, 但对于即将要执行的新的分时电价, 各用户的需求价格弹性系数如何预测; 在根据需求价格弹性系数进行分类的分时电价中, 应该如何确定分类级别, 都是值得研究的崭新的课题。

3) 在分时电价研究中, 目前基本都是将分时电价执行前后总电量不变作为一个假设条件, 但需求价格弹性系数并不能完全满足这个假定, 供电公司在关心电量转移比例的同时, 更关心执行后总需求的增减, 而实际上这也可以通过需求价格弹性进行一定的反映, 因此还需要进一步的研究。

4) 如果供电公司的购电和售电市场由多个市场构成, 比如合同、现货、备用、期权市场等, 在多个市场中如何进行优化决策, 以及多个市场的优化决策如何统一协调还有待研究。

5) 对于供电公司的购售联动及供电公司与用户的统一优化等整合优化问题, 可以从大系统理论的角度进行更深入的研究。

6) 随着配电市场对用户的开放, 各种有条件的用户都将参与到市场中购电甚至售电, 市场中各成员的角色和交易过程以及每个成员的交易行为都变得更复杂, 对各个成员的购售电辅助决策和整个市场的优化决策都是值得研究的课题。

4 结论

本文总结了配电市场中与购售电优化模型相关内容的研究现状, 包括购电风险分析法、电力需求价格弹性、大用户、分时电价、实时电价和随机规划在配电市场中的应用等。通过研究现状的总结和分析, 提出了对配电市场购售电决策模型研究方向的展望。

参考文献

- [1] 赵豫, 于尔铿. 电力零售市场研究(一)充满竞争的电力零售市场[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(9):20-23,40. ZHAO Yu, YU Er-keng. Study on Retail Electricity Market Part one Competitive Retail Electricity Market[J]. Automation of Electricity Power Systems, 2003, 27(9):20-23,40.
- [2] 刘俊勇, 段登伟, 吴集光. 国外配电侧电力市场的模式、运行及对我国配电侧电力市场化改革的启示[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(7):7-14. LIU Jun-yong, DUAN Deng-wei, WU Ji-guang. Models and Operation of Distribution Market in Several Countries and Suggestions for Distribution Side Deregulation in China[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(7):7-14.
- [3] 王秀丽, 宋永华, 王锡凡. 英国电力市场新模式——结构、成效及问题[J]. 中国电力, 2003, 36(6):1-5. WANG Xiu-li, SONG Yong-hua, WANG Xi-fan. Operation Experiences of the UK New Electricity Trading Arrangement[J]. Electric Power, 2003, 36(6):1-5.
- [4] Hadjilambros C. Restructuring the Electricity Industry in Britain and Norway[J]. IEEE Technology and Society Magazine, 2005, 24(4):27-35.
- [5] Nilsson H. Traceability Issues in a Deregulated Electricity Market in Sweden[A].in: Power Engineering Society General Meeting [C]. IEEE.
- [6] Karkkainen S, Lakervi E. Liberalisation of Electricity Market in Finland as a Part of Nordic Market[J]. IEE Proc-Gener, Transm and Distrib, 2001, 148(2):194-199.
- [7] Kenneth Rose. The State of Retail Electricity Markets in U.S.[J]. The Electricity Journal, 2004, 17(1):26-36.
- [8] Stephen Kelly. Australia Electricity Market[J]. IEEE Power Engineering Review, 2002, 22(5):4-15.
- [9] Soh S C, Kerk S G. The Electricity and Metering Trends in Singapore[A].in: The 7th International Power Engineering Conference, IPEC[C]. 2005.
- [10] Kirschen S D. Demand-side View of Electricity Markets[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2003, 18(2):520-527.
- [11] Dahlgren R W, Liu C C, Lawarree J. Volatility in the California Power Market: Source, Methodology and Recommendations[J]. IEE Proc-Gener, Transm, and Distrib, 2001, 145(2): 189-193.
- [12] 康重庆, 杨高峰, 夏清. 电力需求的不确定性分析[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(17):14-19,39. KANG Chong-qing, YANG Gao-feng, XIA Qing. Analysis of Electric Power Demand[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(17):14-19,39.
- [13] 刘俊山. 基于风险测度理论的 VaR 和 CVaR 的比较研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2007, (3):125-133.

- LIU Jun-shan. Comparative Studies of VaR and CVaR Based on the Extreme Value Theory[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2007,(3):125-133.
- [14] 朱治中, 谢开, 于尔铿. 电力市场制度研究(三) 电力市场风险及其对策[J]. *电力系统自动化*, 2006, 30(7):37-41.
- ZHU Zhi-zhong, XIE Kai, YU Er-keng. Research on Electricity Market Institutions Part Three Risk of Electricity Market and Ints Countermeasures[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2006,30(7):37-41.
- [15] L M, WU F F, NI Yi-xin A Survey on Risk Management in Electricity Market[A].in:IEEE Power Engineering Society General Meeting[C].2006.
- [16] Curcic S, Creighton A. Emerging Aspects of Risk Management Within Distribution Businesses[A].in:16th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, Contributions. CIRED[C].2001.
- [17] Billinton R, PAN Zhao-ming. Historic Performance-based Distribution System Risk Assessment[J]. *IEEE Trans on Power Systems*, 2004, 19(4):1759-1765.
- [18] Lo K L, Wu Y K. Analysis of Relationships Between Hourly Electricity Price and Load in Deregulated Real-time Power Markets[J]. *IEE Proc Gener, Transm, and Distrib*, 2004, 151(4):441-452.
- [19] 韩金山, 张世英, 张文泉, 等. 零售市场单一卖方的最优风险管理策略[J]. *电网技术*, 2004, 28(13):54-59.
- HAN Jin-shan, ZHANG Shi-ying, ZHANG Wen-quan, et al. Optimal Risk Management Strategies for Single Seller in Retail Market[J].*Power System Technology*, 2004, 28(13):54-59.
- [20] 王剑辉. 电力市场中购电风险模型分析[J]. *电网技术*, 2005, 29(9):46-49.
- WANG Jian-hui. Analysis on Risk Model of Power Purchasing in Electricity Markets[J]. *Power System Technology*, 2005,29(9):46-49.
- [21] CHEN Xing-ying, XIE Jun. Risk-constrained Optimal Bidding Strategies for Load Server Entities in Transmission and Distribution Separated Electricity Markets[A].in: IEEE Power Engineering Society General Meeting[C]. 2006.
- [22] 朱兆霞, 邹斌. 市场环境下配电公司的风险模型及负荷率的影响分析[J]. *继电器*, 2007, 35(12):56-60.
- ZHU Zhao-xiao, ZOU Bin. Risk Model of Distribution Utilities and Analyzing Infection on the Load Factor in Electricity Market[J]. *Relay*, 2007,35(12):56-60.
- [23] Ruibal C M, Mazumdar M. Forecasting the Mean and Variance of Electricity Prices in Deregulated Markets[J].*IEEE Trans on Power Systems*, 2008, 23(1): 25-32.
- [24] Conejo J, Carrion M. Risk-constrained Electricity Procurement for a Large Customer[J]. *IEE Proc Gener, Transm, and Distrib*, 2006, 153(4):407-413.
- [25] 段登伟, 刘俊勇, 吴集光. 计及风险的配电公司最优分时零售电价模型[J]. *电力系统自动化*, 2005, 29(3):8-12.
- DUAN Deng-wei, LIU Jun-yong, WU Ji-guang. Optimal TOU Retail Pricing Models for Distribution Utility with Risk Management[J].*Automation of Electric Power Systems*,2005,29(3):8-12.
- [26] 雷霞, 刘俊勇, 都亮. 电力零售市场中分时零售电价的确定[J]. *电力系统及其自动化学报*, 2008, 20(1):28-32.
- LEI Xia, LIU Jun-yong, DU Liang. Determination of Time-of-Use Retail Price in the Retail Market[J]. *Proceedings of CSU-EPSA*, 2008, 20(1):28-32.
- [27] Mausser H, Rosen D. Beyond VaR: Parametric and Simulation-based Risk Management Tools[A].in: IEEE/IAFE 1999 Conference on Computational Intelligence for Financial Engineering[C].1999.159-162.
- [28] Lo K L, Wu Y K. Risk Assessment due to Local Demand Forecast Uncertainty in the Competitive Supply Industry[J].*IEE Proc Gener, Transm, and Distrib*, 2003, 150(5): 573-582.
- [29] ZENG Ming, LI Geng-yin, NIE Yan-li, et al. Risk Management on Long-term Electricity Purchase Allocation in China Power Markets[A].in: International Conference on Power Electronics and Drives Systems(PEDS 2005)[C].2005. 909-914.
- [30] 方泉, 陈霄. 基于预测负荷不确定性的电价分析[J]. *电力需求侧管理*, 2006, 8(1):20-22.
- FANG Quan, CHEN Xiao. Analysis of Tariff Based on Uncertainty of Forecasting Load[J].*Power DSM*, 2006, 8(1):20-22.
- [31] WANG Qin, LI Chun-hua, WEN Fu-shuan, et al. Risk Assessment and Control for Distribution Companies in Electricity Market Environment[A].in:Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies(DRPT 2008)[C].2008.335-339.
- [32] WANG R, SHANG J C, ZHOU X Y, et al. Risk Assessment and Management of Portfolio Optimization for Power Plants[A].in: Transmission and Distribution Conference and Exhibition[C].Asia and Pacific(IEEE/PES):2005.1-5.
- [33] 王壬, 尚金成, 冯旸, 等. 基于 CVaR 风险计量指标的发电商投标组合策略及模型[J]. *电力系统自动化*, 2005, 29(14):5-9.
- WANG Ren, SHANG Jin-cheng, FENG Yang, et al. Combined Bidding Strategy and Model for Power

- Suppliers Based on CVaR Risk Measurement Techniques[J].Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(14):5-9.
- [34] 刘嘉佳, 刘俊勇. CVaR 风险度量模型在单期发电权交易中的应用[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2007, 39(1):160-165.
LIU Jia-jia, LIU Jun-yong. Application of CVaR Models in the Single-period Generation Rights Trade[J]. Journal of Sichuan University(Engineering Science Edition), 2007, 39(1):160-165.
- [35] 廖菁, 江辉, 彭建春, 等. 基于 VaR 和 CVaR 风险度量的发电商竞价策略[J]. 继电器, 2007, 35(11):30-34,43.
LIAO Jing, JIANG Hui, PENG Jian-chun, et al. Risk Assessment on Bidding Strategy of Power Generation Companies Based on VaR and CVaR Method[J]. Relay, 2007, 35(11):30-34,43.
- [36] Menniti D, Musmanno R, Scordino N, et al. Managing Price Risk while Bidding in a Multimarket Environment[A].in: IEEE Power Engineering Society General Meeting[C]. 2007.1-10.
- [37] Carrion M, Philpott A B, Conejo A J, et al. A Stochastic Programming Approach to Electric Energy Procurement for Large Consumers[J].IEEE Trans on Power Systems, 2007, 22(2):744-754.
- [38] 王壬, 尚金成, 周晓昉, 等. 基于条件风险价值的购电组合优化及风险管理[J]. 电网技术, 2006, 30(20):72-76.
WANG Ren, SHANG Jin-cheng, ZHOU Xiao-yang, et al. Conditional Risk at Value Based on Optimization of Power Purchasing Portfolio in Multiple Electricity Markets and Risk Management[J].Power System Technology, 2006, 30(20):72-76.
- [39] Caruso E, Dicorato M, Minoia A, et al. Supplier Risk Analysis in the Day-ahead Electricity Market[J]. IEE Proc Gener, Transm, and Distrib, 2006, 153(3):335-342.
- [40] 孟志青, 虞晓芬, 蒋敏, 等. 基于动态 CVaR 模型的房地产组合投资的风险度量与控制策略[J]. 系统工程理论与实践, 2007, (9):69-76.
MENG Zhi-qing, YU Xiao-fen, JIANG Min, et al. Risk Measure and Control Strategy of Real Estate Portfolio Investment Based on the Dynamic CVaR Model[J]. System Engineering Theory & Practice, 2007,(9):69-76.
- [41] 安实, 孙健, 王岩. 基于时间持续性的动态风险度量模型[J]. 系统管理学报, 2007, 16(5):518-523.
AN Shi, SUN Jian, WANG Yan. Research on Risk Measurement Model based on Dynamic Consistency[J]. Journal of Systems & Management, 2007, 16(5):518-523.
- [42] 刘嘉佳, 刘俊勇, 田立峰, 等. 基于分位数的 CVaR 方法在水电多风险分析中的应用[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(21):20-25.
LIU Jia-jia, LIU Jun-yong, TIAN Li-feng, et al. Application of CVaR based on the Quantile to Multi-risk Analysis of Hydropower[J].Automation of Electric Power Systems, 2007,31(21):20-25.
- [43] 张兴平, 陈玲, 武润莲. 加权 CVaR 下的发电商多时段投标组合模型[J]. 中国电机工程学报, 2008,28(16):79-83.
ZHANG Xing-ping, CHEN Ling, WU Run-lian. Analysis of Multi-period Combined Bidding of Power Supplies Based on Weighted CVaR[J].Proceedings of the CSEE, 2008,28(16):79-83.
- [44] Rasanen M, Ruusunen J, Hamalainen R P. Identification of Consumers' Price Responses in the Dynamic Pricing of Electricity[A].in: IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics[C].1995.1182-1187.
- [45] Sheen J N, Chen C S, Wang T Y. Response of Large Industrial Customers to Electricity Pricing by Voluntary Time-of-use in Taiwan[J]. IEE Proc Gener, Transm, and Distrib,1995, 142(2):157-166.
- [46] Kirschen D S, Strbac G, Cumperayot P, et al. Factoring the Elasticity of Demand in Electricity Prices[J].IEEE Trans on Power Systems, 2000, 15(2):612-617.
- [47] 秦祯芳, 岳顺民, 余贻鑫, 等. 零售端电力市场中的电量电价弹性矩阵[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(5):16-19,24.
QIN Zhen-fang, YUE Shun-min, YU Yi-xin, et al. Price Elasticity Matrix of Demand in Current Retail Power Market[J].Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(5):16-19,24.
- [48] 雷霞, 刘俊勇. 丰枯-峰谷电价中用户反应度模型的研究[J]. 电力需求侧管理, 2007, 9(2):11-13.
LEI Xia, LIU Jun-yong. Research on Customer Response Index Model in Abundant-dry Water & Peak-valley Price[J]. Power DSM, 2007, 9(2):11-13.
- [49] 辛洁晴, 程浩忠. 电力需求短期分时价格弹性的特性及其应用[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(10):32-35,70.
XIN Jie-qing, CHENG Hao-zhong. Properties of Short-term TOU Price Elasticities of Electricity Demand and Their Application[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(10):32-35,70.
- [50] 李晖, 康重庆, 夏清. 考虑用户满意度的需求侧管理价格决策模型[J]. 电网技术, 2004, 28(23):1-6.
LI Hui, KANG Chong-qing, XIA Qing. Price based Decision Making for Demand Side Management Considering Customer Satisfaction Index[J].Power System Technology, 2004, 28(23):1-6.
- [51] 唐捷, 任震, 胡秀珍. 一种可操作的需求侧管理峰谷分时电价定价方法[J]. 电网技术, 2005, 29(22):71-75.
TANG Jie, REN Zhen, HU Xiu-zhen. An Operable

- Peak-valley Time-of-use Tariff Setting Method for Demand Side Management[J].Power System Technology, 2005, 29(22):71-75.
- [52] 丁伟, 袁家海, 胡兆光. 基于用户价格响应和满意度的峰谷分时电价决策模型[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(20):10-14.
DING Wei, YUAN Jia-hai, HU Zhao-guang. Time-of-use Price Decision Model Considering Users Reaction and Satisfaction Index[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(20):10-14.
- [53] 潘敬东, 谢开, 华科. 计及用户响应的实时电价模型及其内点法实现[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(23):8-14.
PAN Jing-dong, XIE Kai, HUA Ke. Supplier-customer Interaction Modeling in an Integrated Optimal Spot Pricing Framework by Nonlinear Interior Point Methods[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(23):8-14.
- [54] 束洪春, 董俊, 吴水军, 等. 销售侧分行业实行丰枯峰谷分时电价初探[J]. 电力系统自动化, 2007, 30(14):36-40.
SHU Hong-chun, DONG Jun, WU Shui-jun, et al. A Preliminary Discussion on Implementing of Peak-valley and Time-of-use and Season-of-use price for Different Industries at Demand Side[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 30(14):36-40.
- [55] 吉兴全, 王成山. 计入需求弹性的输电网动态规划方法[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(11):23-27.
JI Xing-quan, WANG Cheng-shan. Transmission Dynamic Expansion Considering Demand Elasticity[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(11):23-27.
- [56] Bompard E, MA Yu-chao, Napoli R, et al. The Demand Elasticity Impact on the Strategic Bidding Behavior of the Electricity Producers[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2007, 22(1):188-197.
- [57] Rutz W L, Becker M, Wicks F E. Treatment of Elastic Demand in Generation Planning[J]. IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, 1985, 104(11):3092-3097.
- [58] 周宇, 韩如月, 陈可科. 需求弹性对发电系统可靠性的影响[J]. 电力需求侧管理, 2006, 8(3):19-21.
ZHOU Yu, HAN Ru-yue, CHEN Ke-ke. Effect of Demand Elasticity on Generation System Reliability[J]. Power DSM, 2006, 8(3):19-21.
- [59] 胡军峰, 李春杰, 赵会茹, 等. 基于博弈论的电力需求价格弹性与发电市场均衡关系[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(1):89-94.
HU Jun-feng, LI Chun-jie, ZHAO Hui-ru, et al. The Relationship between Price Elasticity of Demand and Generation Market Equilibrium Analysis Based on Game Theory[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(1):89-94.
- [60] Fang R S, David A K. An Integrated Congestion Management Strategy for Real-time System Operation[J]. IEEE Power Engineering Review, 1999, 19(5):52-54.
- [61] Bompard E, Carpaneto E, Chicco, G et al. The Role of Load Demand Elasticity in Congestion Management and Pricing[A]. in: IEEE Power Engineering Society Summer Meeting[C]. 2000.2229-2234.
- [62] 鲁丽娟, 侯云鹤, 吴耀武, 等. 计及用户需求弹性影响的输电阻塞解决方案研究[J]. 电网技术, 2004, 28(5):46-49.
LU Li-juan, HOU Yun-he, WU Yao-wu, et al. A Research on Transmission Congestion Management Considering Influence of Customer's Demand Elasticity[J]. Power System Technology, 2004, 28(5):46-49.
- [63] Rajaraman R, Sarlashkar J V, Alvarado F L. The Effect of Demand Elasticity on Security Prices for the Poolco and Multi-lateral Contract Models[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1997, 12(3):1177-1183.
- [64] 王蓓蓓, 李扬, 万秋兰. 需求弹性对系统最优备用投入的影响[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(11):13-17.
WANG Bei-bei, LI Yang, WAN Qiu-lan. Influence of Demand Elasticity on Optimal System Spinning Reserve[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(11):13-17.
- [65] Havel P, Filas P, Fantik J. Simulation-based Optimization of Ancillary Services[A]. in: EEM 2008 5th International Conference on European Electricity Market[C]. 2008.1-5.
- [66] 罗运虎, 邢丽冬, 王勤, 等. 需求价格弹性对发电侧备用容量配置的影响[J]. 继电器, 2008, 36(2):31-34.
LUO Yun-hu, XING Li-dong, WANG Win, et al. Influence of Price Elasticity of Demand to Configuration for the Reverse Capacity of Generation Side[J]. Relay, 2008, 36(2):31-34.
- [67] 方德先, 王先甲. 电力市场下发电公司和大用户间电力交易的双方叫价拍卖模型[J]. 电网技术, 2005, 29(6):32-36.
FANG De-xian, WANG Xian-jia. A Double Auction Model for Transaction between Generation Company and Large Customer in Electricity Market[J]. Power System Technology, 2005, 29(6):32-36.
- [68] 邹小燕, 任玉珑. 发电公司与大用户的直购电力合同谈判模型[J]. 系统工程学报, 2007, 23(1):1-4.
ZOU Xiao-yan, REN Yu-long. Bargain Model of Bilateral Electricity Contract between Generation Company and Power Consumer[J]. Journal of System Engineering, 2007, 23(1):1-4.
- [69] 林国庆, 黄民翔. 大用户直购电试点现行转运定价机制[J]. 电力系统及其自动化学报, 2007, 19(4):32-36, 40.
LIN Guo-qing, HUANG Min-xiang. Present Wheeling Cost Mechanism of Direct Power-purchase Pilot for

- Large Consumers[J].Proceedings of the CSU-EPSA, 2007, 19(4):32-36,40.
- [70] 胡江溢, 陈西颖. 对大用户直购电交易的探讨[J]. 电网技术, 2007, 31(24):40-45.
HU Jiang-yi, CHEN Xi-ying.Preliminary Discussion of Direct Electricity Purchasing[J].Power System Technology, 2007, 31(24):40-45.
- [71] LI Hong-dong, FENG Yi, LI Bao-zhu, et al.Research on Direct Trade between Large Consumer and Generator in China[A].in: Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies(DRPT 2008)[C].2008.355-359.
- [72] 曾鸣, 于静冉. 大用户进入电力市场购电模式研究[J]. 电力科学与工程, 2007, 23(1):1-4.
ZENG Ming, YU Jing-ran.New Model of Large Electricity Customer Access Regional Power Market[J]. Electric Power Science and Engineering, 2007, 23(1):1-4.
- [73] Conejo J, Fernandez-Gonzalez J J, Alguaci I N.Energy Procurement for Large Consumers in Electricity Markets[J].IEE Proc Gener, Transm,and Distrib,2005, 152(3):357-364.
- [74] Conejo J, Carrion M.Risk-constrained Electricity Procurement for a Large Customer[J].IEE Proc Gener, Transm, and Distrib, 2006, 153(4):407-413.
- [75] Carrion M, Philpot A B, Conejo A J, et al.A Stochastic Programming Approach to Electric Energy Procurement for Large Consumers[J].IEEE Trans on Power Systems, 2007, 22(2):744-754.
- [76] Roos J S, Lane I. E. Industrial Power Demand Response Analysis for One-part Real-time Pricing[J].IEEE Trans on Power Systems, 1998, 13(1):159-164.
- [77] YUAN Jia-hai, WANG Jing, HU Zhao-guang. Simulation of Large Consumer Price Response Under Time-of-use Electricity Pricing Based on Multi-agent System[A].in: International Conference on Power System Technology(PowerCon 2006)[C].2006.1-5.
- [78] Zare K, Parsa Moghaddam M, Sheikh M K AL.Large Consumer's Decision Making to Cost Reduction in Real Time Power Market[A].in:42nd International Universities Power Engineering Conference(UPEC 2007)[C].2007.89-92.
- [79] Zarnikau J, Landreth G, Hallett I, et al.Industrial Customer Response to Wholesale Prices in the Restructured Texas Electricity Market[J]. Energy, 2007, 32(9):1715-1723.
- [80] Reynolds S P, Creighton T E.Time-of-use Rates for Very Large Customers on the Pacific Gas and Electric Company System[J].IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, 1980, 99(1):147-151.
- [81] WEI Ping, CHEN Luo-lan, Chiang Hsiao-Dong.Analysis of Bidding Price in the Pay-as-bid Market[A].in:IEEE Power Engineering Society General Meeting[C]. 2003.997-1001.
- [82] LEI Xia, LIU Jun-yong, DU Liang, et al. Analysis on Large Consumer Price Model in Electricity Market[A].In: Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies(DRPT 2008)[C].2008.426-430.
- [83] ZHOU Ming, LI Xiang-xin, LI Geng-yin. Approach on Pricing Electricity for Large Consumers Based on Hedonic Price Model[A].in:Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies(DRPT 2008)[C]. 2008.348-354.
- [84] Ram B. Tariffs and Load Management: a Post Privatisation Study of the UK Electricity Supply Industry[J].IEEE Trans on Power Systems, 1995, 10(2):1111-1117.
- [85] 马金明, 秦雷鸣, 朱振青. 供电公司分时售电电价研究[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(5):9-12,59.
MA Jin-ming, QIN Lei-ming, ZHU Zhen-qing.Studies on Spot Sale Pricing for Regional Energy Utility[J]. Automation of Electric Power Systems,2002, 26(5):9-12,59.
- [86] 丁宁, 吴军基, 邹云. 基于 DSM 的峰谷时段划分及分时电价研究[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(23):9-12,16.
DING Ning, WU Jun-ji, ZOU Yun. Research of Peak and Valley Time Period Partition Approach and TOU Price on DSM[J].Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(5):9-12,16.
- [87] 郭联哲, 谭忠富, 李晓军. 基于用户响应下的分时电价优化设计模型与方法[J]. 电网技术, 2006, 30(5):24-28.
GUO Lian-zhe, TAN Zhong-fu, LI Xiao-jun.Demand Response Based Model and Method for Optimal Design of Time-of-use Electricity Price[J].Power System Technology, 2006, 30(5):24-28.
- [88] 胡福年, 汤玉东, 邹云. 考虑双边价格联动的峰谷分时电价机理研究[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(25):61-66.
HU Fu-nian, TANG Yu-dong, ZOU yun. The Mechanism of the TOU Price Based on the Bi-linkage of Purchase and Sale Prices[J].Proceedings of the CSEE, 2007,27(25):61-66.

- [89] 谭忠富, 王绵斌, 张蓉, 等. 发电侧与供电侧峰谷分时电价联动的分级优化模型[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(21):26-29,34.
TAN Zhong-fu, WANG Mian-bin, ZHANG Rong, et al. Classification Linkage Optimization Model of Time of Use Power Price Between Generation Side and Retail Side[J].Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(21):26-29,34.
- [90] 雷霞, 刘俊勇, 杨可, 等. 基于 2 层规划并计及风险的配电网最优购售电模型[J]. 电力自动化设备, 2008, 28(12):64-67.
LEI Xia, LIU Jun-yong, YANG Ke, et al. Optimal Purchase and Sale Models of Distribution Network Based on Bilevel Programming and Risk consideration[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008, 28(12):6-67.
- [91] Caramanis M C, Bohn R E, Schweppe F C. Optimal Spot Pricing: Practice and Theory[J]. IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, 1982, 101(9):3234-3245.
- [92] Tabors R D, Schweppe F C, Caramanis M C. Utility Experience with Real Time Rates[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1989, 4(2):463-471.
- [93] Murphy L, Kaye R J, Wu F F. Distributed Spot Pricing in Radial Distribution System[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1994, 9(1):311-317.
- [94] Farmer E D, Cory B J, Perera B L P P. Optimal Pricing of Transmission and Distribution Services in Electricity Supply[J]. IEE Proc Gener, Transm, and Distrib, 1995, 142(1):1-8.
- [95] Tamaschke R, Docwra G, Stillman R. Modelling Regional End User Price/cost Relationships in a Widespread Interconnected Power System[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1995, 10(4):1870-1878.
- [96] Li R, Chen L, Yokoyama R. A Methodology for Evaluating the Wholesale/retail Prices in Deregulation Market[A]. in: IEEE Bologna PowerTech Conference[C]. 2003.
- [97] De Oliveira-De Jesus P M, de Leao P M T, Yusta J M, et al. Uniform Marginal Pricing for the Remuneration of Distribution Networks[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2005, 20(3):1302-1310.
- [98] 段登伟, 刘俊勇, 薛禹胜. 配电市场初期的零售电价建模分析[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(13):11-15,42.
DUAN Deng-wei, LIU Jun-yong, XUE Yu-sheng. Modeling and Analysis of Retail Price in Early Stages of Distribution Electricity Market[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(13):11-15,42.
- [99] Barroso L A, Conejo A J. Decision Making Under Uncertainty in Electricity Markets[A]. in: Power Engineering Society General Meeting[C]. 2006.4132-4134.
- [100] Kian A, Keyhani A. Stochastic Price Modeling of Electricity in Deregulated Energy Markets[A]. in: Proceedings of the 34th Annual Hawaii International Conference on System Sciences[C]. 2001.
- [101] David Jamison K, Lodwick W A, Newman F R. Optimization under Uncertainty Using Possibility and Necessity Distributions Consistent with Probability Distributions[A]. in: IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference[C]. 2001.1671-1676.
- [102] Davison M, Lindsay A C, Markus B, et al. Development of a Hybrid Model for Electrical Power Spot Prices[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2002, 17(2):257-264.
- [103] Gabriel S A, Conejo A J, Plazas M A, et al. Optimal Price and Quantity Determination for Retail Electric Power Contracts[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2006, 21(1):180-187.
- [104] Carrion M, Conejo A J, Arroyo J M. Forward Contract and Selling Price Determination for a Retailer[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2007, 22(4):2105-2114.
- [105] Conchman P, Kouvaritakis B, Cannon M, et al. Gaming Strategy for Electric Power with Random Demand[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2005, 20(3):1283-1292.

收稿日期: 2009-02-17

作者简介:

雷霞(1973-), 女, 副教授, 博士, 主要从事电力市场的研究; Email: Snow_lei246@sina.com

刘俊勇(1963-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事电力市场、分布式发电等方面的研究;

党晓强(1976-), 男, 博士, 讲师, 主要从事电力系统自动化的研究。