

基于 β 系数的发电商投标组合决策模型

谭忠富, 谢品杰, 侯建朝, 陈广娟

(华北电力大学电力经济研究所, 北京 102206)

摘要: 电力市场环境下, 发电商面临着各种不确定性, 因此, 需要在各市场合理分配参与竞价的电量, 以实现收益最大化的同时有效的规避风险。为此, 借鉴金融学中的资本资产定价模型和单指数模型, 区分了系统风险和非系统风险, 引入市场灵敏度指数作为风险选择参数, 对经典均值-方差模型进行简化, 建立了发电商基于 β 系数的投标组合决策模型, 并讨论了模型解存在的充要条件。算例仿真验证了所提出的模型的有效性和适用性, 表明本模型对发电商的投标组合决策具有一定的参考价值和指导作用。

关键词: 电力市场; 投标组合; 资本资产定价模型; 单指数模型

Combined bidding decision-making model for power suppliers based on β -coefficient

TAN Zhong-fu, XIE Pin-jie, HOU Jian-chao, CHEN Guang-juan

(North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: In the electricity market, power suppliers are faced with all kind of uncertainty, therefore, need allocate the binding electricity in various markets reasonably to achieve maximum profits at the same time effectively avoid risks. Using capital asset pricing model (CAPM) and single index model in financial research field for reference, the system risk and the non-system risk is distinguish, the index of market sensitivity is introduced to take the risk choice parameter, a novel combined bidding decision-making model for power suppliers based on β -coefficient is built by simplifying the classic mean-variance model, and the sufficient and necessary conditions of the model solution existence is discussed. Finally, the simulation example has confirmed the validity and availability of the model, and shows that the proposed model provides some reference value and guiding role for power suppliers.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China(No.7037301 and No.70571023).

Key words: electricity market; combined bidding; capital asset pricing model (CAPM); single index model

中图分类号: TM73; F123.9 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)01-0014-05

0 引言

电力市场环境下, 由于电力能源不能有效存储, 发电、输电、用电的实时平衡的特性, 以及许多不确定因素, 例如燃料价格波动、季节、气候条件、自然灾害、经济发展和各种突发事件等都将直接影响电力能源的需求量和价格, 这些因素使得发电商置身于电价频繁、巨幅波动的市场之中, 并因此面临着巨大的经济风险, 在此同时, 也蕴涵着可能的高回报。于是, 如何规避、控制那些带来损失或负面影响的市场风险, 实现企业收益的最大化是发电商急需解决的一个问题^[1-9]。

实际上, 尽管目前存在各种各样不同模式的电力市场, 但一般都有一个类似于期货交易的合约市场和类似于现货交易的日前市场(包括实时电能市

场和辅助市场), 除此之外, 发电商还可以参与电力能源金融市场。由于合约规定了交割时的价格, 从而较好地规避了因为价格波动所带来的风险。而日前市场可以获得较高的期望收益, 但风险较大。因此, 发电商可以通过这些市场的组合优化分配发电量, 以实现效用最大化的同时能够有效规避市场风险。因此, 如何在合约市场、日前时市场及电力能源金融市场分配电量, 使得在实现利润同时有效的规避风险, 即建立发电商的投标组合决策模型是一个非常值得研究的问题^[2-7]。

文献[2]研究了如何通过购买一定量的期货合约, 使得发电商在实时市场售电与发电投标时总收益的风险最小; 文献[3,4]讨论了发电商如何在2市场进行电量分配, 以实现收益最大化; 文献[5]借鉴了证券投资组合的管理框架, 建立了发电商资产组合模型。上述文献均采用金融学中的均值-方差模型, 即分别利用均值和方差描述购电商的期望收益

和风险,但并没有区分系统风险与非系统风险。鉴于均值—方差模型存在的缺陷,文献[6]以条件风险价值为风险计量指标,综合考虑风险和期望的收益率,建立了发电商投标组合模型;文献[7]借鉴经济学中的资本资产定价模型,以风险效用的概念衡量风险和收益,给出了多市场发电交易策略,但亦没有区分系统风险与非系统风险。

事实上,根据投资组合理论,发电商在电力市场上面临的风险可以分为系统性风险和非系统性风险。系统风险是与整个经济运行相关的风险,它是由一定的政治、经济因素引起,因而它是无法消除的;而非系统风险则与资产自身特性相关的风险,投资者可以通过多样化减低乃至消除非系统性风险,因此,人们对待系统风险与非系统风险的态度是有所区别的,我们认为有必要将两者区别对待。

为此,本文将借鉴金融领域中广泛应用资本资产定价模型和单指数模型^[10,11],建立了购电商最优购电决策的“ β 系数模型”,此模型区分了发电商投标组合时面临的系统风险和非系统风险,以非系统风险最小化为目标,并以投标组合的市场灵敏度指数作为发电商风险选择参数,从而更好地表达了风险和收益的涵义,并更具有可操作性。在以下部分,我们首先简单介绍资本资产定价模型和单指数模型;然后对发电商面临的收益率风险进行分析、分解,并在此基础上建立了基于 β 系数的投标组合模型,以及讨论了模型解存在的充要条件;最后给出了算例仿真。

1 资本资产定价模型和单指数模型简介

1.1 资本资产定价模型

资本资产定价模型(CAPM)是现代投资组合理论的一个重要组成部分,是1964年威廉·夏普(William Sharpe)等人在Markowitz均值-方差模型基础上提出的一种基于风险资产的期望收益均衡基础上的预测模型,可以用证券市场线来表示:

$$E(r_i) = r_f + \beta_i [E(r_m) - r_f] \quad (1)$$

其中: $E(r_i)$ 是证券 i 的期望收益率, r_f 为无风险资产收益率, $E(r_m)$ 为平均证券的期望收益率,且 $Cov(r_i, r_m) = 0$, β_i 为证券 i 的贝它系数,用以表示证券 i 面临的系统风险,投资者可以根据其值的大小来判断该证券相对于整个证券市场的风险程度。当 β 大于1表明该资产的系统风险大于市场的平均风险,从而投资者的期望收益率要比市场投资收益率高,小于1则正好相反,而等于1则说明其风险

和市场平均水平相等。

1.2 单指数模型

单指数模型是在CAPM的基础上发展起来的,作为一种对证券市场线合理的替代物。与CAPM不同的是,单指数模型是描述回报率的生成过程的一个统计模型。若假设证券价格的变化唯一是由市场的作用引起,则单指数模型可表示如下:

$$r_i = \alpha_i + \beta_i r_m + e_i \quad (2)$$

其中: α_i 是独立于市场因数的收益部分, r_m 是市场证券的收益率, β_i 为证券 i 的收益率对于市场作用的敏感系数,和CAPM中的含义完全一样, e_i 为残差项。一般设定 e_i 与 r_m 不相关,即 $Cov(e_i, r_m) = 0$ 且 $E(e_i) = 0$,并据此可以得到:

$$\beta_i = \frac{Cov(r_i, r_m)}{Var(r_m)} = \frac{\rho_m \sigma_i \sigma_m}{\sigma_m^2} = \frac{\rho_m \sigma_i}{\sigma_m} \quad (3)$$

其中: $Cov(r_i, r_m)$ 为证券 i 收益率和市场组合收益率的协方差, σ_i 和 σ_m 分别为证券 i 收益率和市场组合收益率的标准差, ρ_m 为两者的相关系数。

2 发电商投标组合决策模型

2.1 各市场收益率分析

不失一般性,我们假设发电商可以在实时市场、日前市场、合约市场、辅助市场及电力金融市场等市场中选择投标交易。实际上,发电商参与的合约交易,往往包括两种,一种是无风险的长期合约,例如发电商与购电商签订的双向差价合约,由于不存在竞价风险,故可将其视为无风险投资,其收益率记为 r_f ;除此之外,还存在有风险的合约交易。为方便起见,我们把无风险合约市场作为第0市场,其他参与投标的风险市场分别记为第1,2,...,n市场。

假设第 i ($i=1,2,\dots,n$)市场的电价为 p_i 元/MWh,发电商在第 i 市场的成本为 c_i 元/MWh,则发电商在第 i 市场的收益率为: $r_i = \frac{p_i - c_i}{c_i}$,为一随机变量,根据单指数模型,第 i 市场的收益率 r_i 可以用如(4)的数学模型来表示:

$$r_i = \alpha_i + \beta_i r_m + e_i \quad (4)$$

对式(4)两边同时取方差,有:

$$\text{Var}(r_i) = \text{Var}(\alpha_i + \beta_i r_m + e_i) = \beta_i^2 \text{Var}(r_m) + \text{Var}(e_i) \quad (5)$$

式(5)表明,第*i*市场收益率的不确定性,即收益率风险,由两个因素决定:电力市场波动因素 $\beta_i^2 \text{Var}(r_m)$ (系统风险)和第*i*市场自身波动因素 $\text{Var}(e_i)$ (非系统风险)。若我们分别用符号 $(\sigma_i^s)^2$ 、 $(\sigma_i^e)^2$ 表示第*i*市场的系统风险和非系统风险,则有

$$\sigma_i^2 = (\sigma_i^s)^2 + (\sigma_i^e)^2 \quad (6)$$

2.2 投标组合决策模型

设 $x^T = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 为发电商在风险市场一种投标组合,其中 x_i 为第*i*风险市场的分配比率,则在无风险市场即第0市场的比例为: $1 - \sum_{i=0}^n x_i$,其中 $x_i \geq 0$ 。

则发电商多市场投标组合的收益率为各市场收益率的加权平均:

$$r_p = (1 - \sum_{i=1}^n x_i) r_f + \sum_{i=1}^n x_i r_i \quad (7)$$

利用式(4),可将式(7)表示为:

$$r_p = (1 - \sum_{i=1}^n x_i) r_f + \sum_{i=1}^n x_i \alpha_i + \sum_{i=1}^n x_i \beta_i r_m + \sum_{i=1}^n x_i e_i = (1 - \sum_{i=1}^n x_i) r_f + \alpha_p + \beta_p r_m + e_p \quad (8)$$

其中: $\beta_p = \sum_{i=1}^n x_i \beta_i$ 为发电商在风险市场交易组合的贝它系数。由于非系统风险是指仅与市场自身特性相关的风险,因此,在这里我们不妨假设这*n*个市场的非系统风险是互不相关的^[9],即 $\text{Cov}(e_i, e_j) = 0 (i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, n)$,由式(8)并利用 $\text{Cov}(r_f, r_m) = 0$,可得投标组合收益率的方差为:

$$\sigma_p^2 = \text{Var}(\beta_p r_m) + \text{Var}(e_p) = \beta_p^2 \text{Var}(r_m) + \sum_{i=1}^n x_i^2 \text{Var}(e_i) \quad (9)$$

由此可知,发电商组合交易时面临的收益率风险亦由系统风险 $(\sigma_p^s)^2 = \beta_p^2 \text{Var}(r_m)$ 和非系统风险 $(\sigma_p^e)^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 \text{Var}(e_i)$ 两部分组成。前者与电力市场平

均收益率方差相关,后者是随机误差 e_i 产生的,可以通过资产组合的选择予以分散。

根据(7)式和CAPM,可知发电商多市场组合交易的期望收益率为:

$$E(r_p) = (1 - \sum_{i=1}^n x_i) r_f + \sum_{i=1}^n x_i E(r_i) = r_f + \sum_{i=1}^n x_i \beta_i (E(r_m) - r_f) = r_f + \beta_p (E(r_m) - r_f) \quad (10)$$

于是,根据Markowitz均值-方差模型,理性的发电商应根据下列模型来确定在各市场的比例:

$$\text{模型 A } \text{Min } \sigma_p^2 = \beta_p^2 \text{Var}(r_m) + \text{Var}(e_p)$$

$$\text{s.t. } \begin{cases} E(r_p) = (1 - \sum_{i=1}^n x_i) r_f + \sum_{i=1}^n x_i E(r_i) = m_0 \\ \sum_{i=0}^n x_i = 1, x_i \geq 0 \end{cases}$$

其中: m_0 是由发电商选择的多市场投标组合的预期收益率。由式(10)可知:

$$\beta_p = \frac{E(r_p) - r_f}{E(r_m) - r_f} \quad (11)$$

从中可以看出,只要发电商的预期收益率 $E(r_p) = m_0$ 给定,则多市场投标组合的贝它系数 β_p 值亦随之而定,从而也就确定了投标组合的系统风险 $\sigma_p^s = \beta_p^2 \text{Var}(R_m)$ 。因此,在预期收益率确定的前提下,发电商只能通过选择在不同市场的投标比例使得组合的非系统风险最小化,因此,我们可以将上述发电商投标组合决策模型A修改为:

$$\text{模型 B } \text{Min } (\sigma_p^e)^2 = \text{Var}(e_p) = \sum_{i=1}^n x_i^2 \text{Var}(e_i)$$

$$\text{s.t. } \begin{cases} \sum_{i=1}^n x_i \beta_i = \beta_0 \\ \sum_{i=1}^n x_i \leq 1, x_i \geq 0 \end{cases}$$

模型B就是基于 β 系数的发电商多市场投标组合决策模型,其含义为发电商在多市场组合的预期收益率确定,亦即其在多市场组合的贝他值 $\beta_p = \beta_0$ 的前提下,使得投标组合的非系统风险最小,其中,我们称 β_0 为市场灵敏度指数,用来作为发电商的风险选择参数。模型B较之模型A有以下特点:(1)

风险计量指标的选取更为合理。在投标中, 通过多市场组合所分散的只是非系统风险, 而系统风险是无法消除的, 因此我们以最小非系统风险为目标更具有合理性; (2) 风险选择参数更具有合理性。一方面, 如前所述, β 系数能更充分的体现了风险和收益之间的关系; 另一方面, 由于电力市场的多变性和周期性, 发电商难以科学地确定投标组合的未来预期收益率, 而只能根据自己的风险承受能力选择投标组合的市场灵敏度指数 β_0 , 从而更具有可操作性。

2.3 模型求解

模型 B 是二次规划问题, 只要其可行解集非空, 就一定有最优解, 下面的结论给出了模型 B 有最优解的充分必要条件。

定理 1: 记 $0 \leq \beta_{\min} = \min(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$, $\beta_{\max} = \max(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$, 则模型 B 有最优解 $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ 的充要条件是: $\beta_0 \leq \beta_{\max}$ 。

证明: (1) 首先证明必要性。假设模型 B 有最优解 X^* 。

由 β_{\max} 的定义及 $X^* \geq 0, \sum_{i=1}^n x_i^* \leq 1$, 有

$$\beta_0 = \sum_{i=1}^n x_i^* \beta_i \leq \sum_{i=1}^n x_i^* \beta_{\max} \leq \beta_{\max}$$

(2) 再证明充分性。为方便起见, 不妨设 $\beta_1 = \beta_{\min}, \beta_n = \beta_{\max}$ 。下面分情况讨论:

I) 若 $\beta_0 \leq \beta_{\min} \leq \beta_{\max}$, 则 $X = (\frac{\beta_0}{\beta_1}, 0, \dots, 0)$ 一定为模型 B 的可行解, 从而模型 B 的可行解集非空, 故有最优解。

II) 若 $\beta_{\min} < \beta_0 \leq \beta_{\max}$, 则取 $y_1 = \frac{\beta_0 - \beta_1}{\beta_n - \beta_1}, y_n = \frac{\beta_n - \beta_0}{\beta_n - \beta_1}$, 显然成立:

$$y_1 \beta_n + y_n \beta_1 = 1, y_1 + y_n = 1,$$

故 $X = (y_n, 0, \dots, 0, y_1)$ 一定为模型 B 的可行解, 从而模型 B 的可行解集非空, 故有最优解。

由定理 1, 可以知道, 若发电商选择投标组合的 β 值超过所有参与投标的单个市场的 β 值, 则利用模型 B 进行投标组合决策将不会成功。在实际计算时, 可以利用现成的计算机软件求解模型 B。需要注意的是, 由于 $diag[Var(e_1), Var(e_2), \dots, Var(e_n)]$

半正定, 因此模型 B 可能有多个最优解, 此时, 由于现实中交易存在费用, 而模型 B 并没有将此考虑进去, 所以发电商应该从中选择一个交易费用最低的最优解。

3 算例分析

在本节, 针对目前电力市场实际, 我们考虑发电商在实时市场、日前市场、月度合约市场和年度合约市场之间进行投标, 其中合约市场电价波动小, 风险亦相对小, 对应收益偏低; 而日前市场和实时市场价格波动较大, 其风险相对较大, 期望收益也相对较高。我们模拟市场历史数据具体的数值进行仿真。表 1 给出了个市场的收益率 r_i 的均值 μ_i 和标准差 σ_i [5]。

表 1 各市场的收益率分布数据

Tab.1 Revenue rate distribution in four power markets

	实时市场	日前市场	月度 合约市场	年度 合约市场
均值	0.4333	0.3333	0.1333	0.0667
标准差	0.7000	0.5000	0.320	0.0867

利用上述数据按正态分布随机产生若干序列作为模拟的市场历史数据, 同时, 对于平均市场, 我们将利用 $r_m = z_1 r_1 + z_2 r_2 + z_3 r_3 + z_4 r_4$ 来模拟产生历史数据, 其中 $z_i (i=1,2,3,4)$ 为 [0,1] 之间的随机数, 并有 $\sum_i z_i = 1$, 可得

$$E(r_m) = 0.2504, Var(r_m) = 0.2796^2$$

于是, 根据式 (3), 可算得各市场的贝它系数 $\beta_i (i=1,2,3,4)$, 进而根据式 (6) 将各市场收益率风险分解为系统风险与非系统风险之和, 如表 2 所示。

表 2 各市场的 β 值、系统风险和非系统风险

Table 2 β -value, system risk and non-system risk in four power markets

	实时市场	日前市场	月度 合约市场	年度 合约市场
β 值	1.7682	0.8453	0.2938	0.0291
系统风险	0.2444	0.0559	0.0067	0.0001
非系统风险	0.2456	0.1941	0.0957	0.0074

根据定理 1 可知, 当 $\beta_0 \leq 1.7682$ 时, 模型 B 有解, 因此发电商在制定投标策略的同时, 其组合贝它值不能超过 1.7628, 否则将不存在最优解。根据模型 B, 我们可以得到发电商在不同 β_0 值下的投标

组合, 如表 3 所示。

表 3 投标竞价发电量分配及风险值

Tab.3 Allocation of bidding generation and the value of risk

β_0	x_1	x_2	x_3	x_4	组合非系统风险 $(\sigma_p^e)^2$	组合总风险 σ_p^2
0.1199	0.0263	0.0333	0.0675	0.8729	0.00646	0.00758
0.2208	0.0709	0.0581	0.0796	0.7915	0.00712	0.01093
0.5177	0.2019	0.1311	0.1151	0.5519	0.01687	0.03782
0.8525	0.3497	0.2134	0.1551	0.2819	0.04178	0.09859
1.0356	0.4305	0.2584	0.1770	0.1341	0.06160	0.14544
1.4150	0.6420	0.3166	0.0414	0	0.12083	0.27736

改变 β_0 值, 重复上述计算, 可以得到投标组合的有效前沿, 即组合的 β_p 值与组合的非系统风险 σ_p^e 及总风险 σ_p^2 之间的关系, 如图 1 所示。

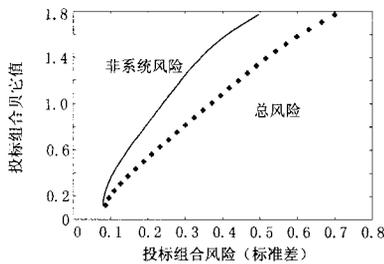


图 1 β -风险的有效前沿

Fig 1 Efficient frontier of β -risk

根据表 3 和图 1, 可以得出下述结论:

(1) 由表 3 可知, 随着发电商风险承受指标 β_0 的减少, 即发电商趋于保守, 他们将为了提高收益的可靠性而放弃较高的风险, 即增大在合约市场的投标比例, 从而通过控制合约市场的比例来适应市场的变化, 以保证实现收益的最大化。

(2) 根据表 3 和图 1 可以发现, 当 $\beta_0 = 0.1199$ 时, 发电商投标组合的非系统风险及总风险最小, 比较年度合约市场, 可以充分说明投标组合对非系统风险进而对总风险分散化的有效性。当然, 这点亦可以从 β_0 的其他取值上看出来。

(3) 由图 1 可以观察到, 有效前沿曲线是单调递增的, 说明增加风险水平必然导致投标组合的 β 值变大, 从而发电商相应的期望收益率亦随之增大, 反之亦然, 这是符合市场行为的真实情况的。

4 结论

本文在资本资产定价模型和单指数模型的基础上, 建立了发电商投标组合决策模型。一方面, 本模型以市场灵敏度指数 β_0 作为风险选择参数, 发电

商根据自身的风险喜好程度选择不同的 β_0 值, 充分地体现了风险和收益之间的关系, 同时亦更具有可操作性, 而且算例表明, 随着 β_0 值的减少, 即发电商趋于风险厌恶, 他们将增加在合约市场的投标比例, 以控制风险、实现收益的最大化。另一方面, 发电商在电力市场中既面临着由于宏观环境引起的系统风险, 也面临着仅与本市场自身特性相关的非系统风险, 其中非系统风险可以通过资产组合减少或者消除, 而系统风险无法通过分散消除, 本模型以投标组合的非系统风险最小化为目标, 区分了系统风险和非系统风险两者之间的不同性质, 更有利于发电商做出科学的决策。

参考文献

- [1] Vehvilainen I, Keppo J. Managing Electricity Market Price Risk[J]. European Journal of Operational Research, 2003, 145(1): 136-147.
- [2] Bjorgan R, Liu C C, Lawarree J. Financial Risk Management in a Competitive Electricity Market[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1999, 14(4):1285-1291.
- [3] 任震, 黄福全, 黄雯莹, 等. 电力市场中的发电厂投标组合策略[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(2): 14-17. REN Zhen, HUANG Fu-quan, HUANG Wen-ying, et al. Bidding Strategy for Power Plant in Multi-electricity Markets[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(2): 14-17.
- [4] 刘亚安, 薛晓胜, 管晓宏. Price-taker 在两个电力市场中的交易策略: (二) 发电商的策略[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(17): 12-15. LIU Ya-an, XUE Yu-sheng, GUAN Xiao-hong. Optimal Allocation in Dual Electric Power Markets for Price-taker: Part Two for Generator[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(17): 12-15.
- [5] 冯冬涵, 甘德强. 发电商资产组合研究[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(24): 14-20.

(下转第 49 页 continued on page 49)

护装置及时发令退出 APF 的保护方案能够有效保护 APF, 同时亦能够满足同相供电对 APF 的要求。此外, 采用本文提出的保护方案后, IGBT 的驱动芯片可以启用过流自锁功能, 以利于 APF 发生内部过流时的保护。

参考文献

- [1] 陈玮, 王彤, 曾继伦. 电网短路故障时并联型电力有源滤波器的过流保护[J]. 电力系统自动化, 2002, 9: 59-62.
CHEN Wei, WANG Tong, ZENG Ji-lun. Research On The Over Current Protection Circuit of Shunt APF[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 9: 59-62.
- [2] 商少峰, 朱东柏, 刘骥. 并联型有源电力滤波器的故障仿真及过流保护[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2005, 10 (1): 58-62.
SHANG Shao-feng, ZHU Dong-bai, Li Ji. Simulation of APF In Short-circuit Faults and Its Over-current Protection[J]. Journal Harbin Univ. Sci. &Tech, 2005, 10 (1): 58-62.
- [3] 张秀峰, 李群湛, 吕晓琴. 基于有源滤波器的 V-V 接同相供电系统[J]. 中国铁道科学, 2006, 27 (2): 98-102.
ZHANG Xiu-feng, LI Qun-zhan, Lü Xiao-qin. V, v Connection Cophase Power Supply System Based on Active Power Filter[J]. China Railway Science, 2006, 27 (2): 98-102.
- [4] 张鹏鹰, 王向军. 并联型电力有源滤波器直流侧电容

电压控制的研究[J]. 船电技术, 2000, 4: 25-30.

ZHANG Peng-ying, WANG Xiang-jun. DC Capacitor Voltage Control of Shunt Active Power Filter[J]. Marine Electric Equipment and Technology, 2000, 4: 25-30.

- [5] 刘云峰, 陈国平. IGBT 的过流保护策略[J]. 电子器件, 1999, 22 (1): 31-39.
LIU Yun-feng, CHEN Guo-ping. Study on the Design of Overcurrent Protection of IGBT [J]. Journal of Electron Devices, 1999, 22 (1): 31-39.
- [6] 交大许继电气有限责任公司(成都). WKH-891 型电铁馈线保护装置说明书[Z].
SWJTU-XJ Electric CO., LTD(Chengdu). The Manual of WKH-891 Type Traction Feeder Line Protection Device[Z].
- [7] 韩正庆. 变压器仿真计算模型与保护原理研究[D]. 成都, 西南交通大学, 2006.
HAN Zheng-qing. Study On Simulation Model and Protective Schemes for Transformer [D]. Chengdu, Southwest Jiaotong University, 2006.

收稿日期: 2008-03-05; 修回日期: 2008-04-15

作者简介:

袁明旭(1974-), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为微机保护及变电站综合自动化; E-mail: ymingxu@sina.com

陈小川(1967-), 男, 教授, 研究方向为微机保护及变电站综合自动化。

(上接第 18 页 continued from page 18)

- FENG Dong-han, GAN De-qiang. Research on Capital Allocation of Power Producer[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(24): 14-20.
- [6] 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.
- [7] 赵楠, 何光宇, 刘敦楠, 等. 考虑风险效用的多市场发电交易策略[J]. 电力系统自动化. 2006, 30(11): 4-27.
ZHAO Nan, HE Guang-yu, LIU Dun-nan, et al. Multi-markets Trading Strategy of Generators Using Risk Utility[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(11): 24-27.
- [8] 张新松, 王胜锋, 郭晓丽. 基于蒙特卡洛模拟的电力市场风险评估研究[J]. 继电器, 2007, 35(18): 30-33.
ZHANG Xin-song, WANG Sheng-feng, GUO Xiao-li. Research on Evaluating Risk of Power Market

Based on Monte Carlo Simulation[J]. Relay, 35(18): 30-33.

- [9] Prokopczuk M, Rachev S T, Schindlmayr G, et al. Quantifying Risk in the Electricity Business: a RAROC-based Approach[J]. Energy Economics, 2007, 29(5): 1033-1049.
- [10] 马永开, 唐小我. 不允许卖空的多因素证券组合投资决策模型[J]. 系统工程理论与实践, 2002, 2: 37-43.
MA Yong-kai, TANG Xiao-wo. Multi-factor Model for Portfolio Investment Decision Under the Condition of no Short Sale[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2002, 2: 37-43.
- [11] HUANG Chi-fu, LITZENBERGER R H. 金融经济学基础[J]. 北京: 清华大学出版社, 2003.

收稿日期: 2008-02-27; 修回日期: 2008-04-14

作者简介:

谭忠富(1964-), 男, 博士后, 博士生导师, 研究方向为电力经济、风险管理理论; E-mail: tanzhongfu@sina.com

谢品杰(1976-), 男, 博士研究生, 研究方向为电力市场风险管理。