

多维电力市场风险综合评价研究

高政南,周飞航,葛根塔娜,金耀杰,王海利

(内蒙古电力交易中心有限公司,呼和浩特 010020)

Research on comprehensive evaluation of multi dimensional power market's risks

GAO Zhengnan, ZHOU Feihang, GEGEN Tana, JIN Yaojie, WANG Haili

(Inner Mongolia Electric Power Trading Center Co., Ltd., Hohhot 010020, China)

摘要:随着我国电力市场化改革的不断深入,市场交易类别与主体行为的不断丰富在完善市场体制建设的同时也为市场运行带来了一定风险,需要一套全面、客观的电力市场风险评估体系对现阶段电力市场存在或潜在的风险隐患进行量化体现。通过对市场结构、市场主体、市场效率及市场运行机制等4个方面进行风险因素的挖掘分析,提炼出相应指标,采用结合改进的层次分析法与熵权法的组合赋权方法,对所提的各项指标进行权重计算,并结合实例对电力市场风险进行了多维评价,验证了所提指标体系的适用性和有效性。

关键词:电力市场;风险评估;改进的层次分析法;熵权法

Abstract: China's power market reform has brought certain risks to the market operation. A comprehensive and objective risk assessment system is needed to quantify the existing risks and potential risks of the current power market operation. By mining and analyzing the risk factors from four aspects, such as market structure, market subject, market efficiency and market operation mechanism, the corresponding indicators are extracted. The weighting of each index is calculated by combining the improved analytic hierarchy process and the entropy weight method. The multi-dimensional evaluation of power market risk is carried out with an example to verify the proposed applicability and validity of the evaluation model.

Key words: power market; risk evaluation; improved analytic hierarchy process; entropy weight method

0 引言

《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》(中发[2015]9号)的发布标志着新一轮电力体制改革的开始,意见及其配套文件中提出构建有效竞争的电力市场。2019年3月8日,《关于征求进一步推进电力现货市场建设试点工作的意见的函》明确了现阶段电力市场建设的重心落在电力现货市场的建设与运营,电力市场建设中长期交易和现货交易并举^[1-3],逐步建立以中长期交易规避风险、以现货交易集中优化配置电力资源、发现真实价格信号的电力市场体系^[4]。

受市场制度、市场结构、市场成员行为及市场效率等多因素影响,电力市场表现出风险种类多、影响范围广及监管难度大的特点,面临着由于风险认知不清而导致的电力短缺、价格机制不完善而带来的市场运行紊乱等情形^[5]。因此,为了深入推进电力市场化改革,市场风险的分析梳理显得尤为重要^[6]。

在电力市场风险评估方面,文献[7]对电力市场的运行管理中存在的风险进行了梳理,并采用基于语言的犹豫模糊层次分析法,对各风险指标的重要程度进行识别

和排序。文献[8]从售电市场的发展阶段入手,提出了市场风险评估指标体系。文献[9]利用概率区间优化模型评估了调度可再生能源的风险和效益。文献[10]从发电侧和售电侧两方面,结合外部环境、企业内部条件及市场交易机制,分析电力市场的风险因素。

以上研究对电力市场的风险分析提供了一定借鉴,然而当前研究对于电力市场风险的研究还欠缺全面性,在市场效率、交易机构规范运行等方面的研究较为不足。此外,极少有对电力市场的风险进行整体的分析研究。针对当前研究存在的问题,本文结合电力市场建设现状,构建可表征电力市场组织结构、成员行为、运作效率、安全运行及公平有序等属性的多维风险评估体系,旨在提高市场应对风险的能力,推动电力市场高效稳定发展。

1 电力市场风险因素分析

1.1 电力市场结构风险分析

电力市场结构风险方面,电力的供需关系及供需形势的对比是影响市场成员行为、从而决定市场价格的关键因素。市场供需可通过发电侧装机容量与需求侧最大负荷之比表示,若该比值小于1或者趋于1,表明市场中电能供给小于需求,市场趋于垄断,不易于电价降低。此外,将可再生能源占比纳入考虑范围,为市场营造较好的交易环境与良性的价格竞争。

收稿日期:2021-07-08;修回日期:2021-09-07

基金项目:2018年教育部哲学社会科学研究重大课题攻关基金资助项目(18JZD032)

1.2 市场成员行为风险分析

在市场成员行为风险方面,报价成员的市场集中度、联合报价等是体现市场存在不规范交易行为的重要指标。高价中标率越高,表明发电企业控制市场价格的能力越强,具有的市场力越大。集中度指标主要取决于市场参与者个数及各参与者市场份额的大小,市场成员越少,市场资源分配越集中,针对某些容量较大的发电企业,考虑剩余供应率及必须运行率,判断其市场力大小。

1.3 市场效率风险分析

电力市场的运行效率主要受宏观政策、市场自身机制及物理因素3方面影响。政策规则影响电力市场运行的总体调控与及时修正,市场机制主要受供需机制和价格机制影响。价格机制包涵价格形成机制与调节机制,直接影响市场成员对价格的反应程度,影响市场的均衡状态及社会福利。风险机制主要包括风险的可见性、可控性与风险规模,直接影响市场成员的决策行为。市场体系包括市场层级的构成、交易品种及方式。最后,影响市场效率的物理因素主要考虑电网结构因素。电网的规模越大,越应注意市场力的形成。

1.4 市场运行风险分析

当前我国的电力市场试点单位正在制定或试运行各类中长期或现货市场交易规则,需要提前考虑电力市场运行可能存在的各种风险因素。考虑电力市场运行的事前、事中及事后风险。电力市场运行的事前风险是保证市场交易平稳运行的前提条件,包括市场准入规则的设计及市场环境的评估。事中风险主要针对市场交易运行过程可能存在的管理风险及突发风险情况。事后风险主要针对市场交易完成后的相关指标,发现市场交易中可能存在的风险问题,如通过出清价格、成交比例、中标率等,对规避潜在风险提出优化建议,完善市场规则,提高市场效率。

2 多维市场风险评价指标体系

根据现阶段我国电力市场的建设现状与趋势,结合当前试点市场中的成员行为、规则制定、运行机制及市场效率等方面,形成一套全面反映电力市场风险的多维评价指标体系,如表1所示。

3 电力市场风险评估模型

3.1 指标规范性处理

由表1可见,多维市场风险分析下评价指标较为

丰富,其中有些指标的量化值与高效益成正比,称为正向指标;相反地,有些指标的量化值与效益成反比,称为逆向指标;还有些是指标值越接近某个值越好,称为适度指标或居中型指标。在进行评价时,首先需要对指标进行同趋势化处理,一般是将逆向指标和适度指标转化为正向指标,所以也称为指标的正向化。

逆向指标正向化公式为

$$y_{ij} = \max\{x_{ij}\} - x_{ij} \text{ 或 } y_{ij} = -x_{ij} \quad (1)$$

适度指标正向化公式为

$$y_{ij} = \max|x_{ij} - k| - |x_{ij} - k| \text{ 或 } y_{ij} = -|x_{ij} - k| \quad (2)$$

这种线性变换不会改变指标值的分布规律。

3.2 权重设定方法

在对电力市场风险进行综合评价时,采用组合权重法,对电力市场各项风险指标进行权重确定。

3.2.1 改进的层次分析法

传统层次分析法在多维评价问题上适用性较强。但评价主观性太强,且在涉及过多的指标后,无法保证分析结果的准确性和客观性。改进的层次分析法通过采用三标度法对影响因素的重要性进行相互比较,即用0,0.5和1进行重要程度评价,增强比较矩阵的客观性和全面性,其步骤如下:

(1) 构建层次结构模型

将影响电力市场风险的各指标分成目标层、准则层及指标层,并就各层因素进行重要度区分。

(2) 构建比较矩阵

以各评分均值作为最后的评分结果,得

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mm} \end{bmatrix} \quad a_{ij} = \begin{cases} 0 \\ 0.5 \\ 1 \end{cases} \quad (3)$$

式中: a_{ij} 为指标 i 对比指标 j 因素所得到的评分结果均值; $a_{ij}=0$ 为指标 j 比指标 i 重要; $a_{ij}=0.5$ 为指标 j 和指标 i 同样重要; $a_{ij}=1$ 为指标 i 比指标 j 重要。

(3) 构建判断矩阵

通过比较矩阵 A 构建判断矩阵 $U_{ij}=(u_{ij})_{n \times n}$ 并进行逐行求和, s 代表求和值。约束条件为

$$\begin{cases} s_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} & i=1,2,3,\dots,n \\ s_{\min} = \min\{s_i\} \\ s_{\max} = \max\{s_i\} \end{cases} \quad (4)$$

$$u_{ij} = \begin{cases} \frac{s_i - s_j}{s_{\max} - s_{\min}}(c-1) + 1 & s_i \geq s_j \\ \left[\frac{s_i - s_j}{s_{\max} - s_{\min}}(c-1) + 1 \right]^{-1} & s_i < s_j \end{cases} \quad (5)$$

表1 电力市场风险评估指标体系

Table 1 Risk assessment index system of power market

一级指标	二级指标	三级指标	含义
电力市场风险综合评价	市场结构风险 B_1	电力供需比 C_1	市场中供应电量与需求电量的比值(适度指标)
		火电机组容量占比 C_2	火电机组容量与总发电资源容量之比(适度指标)
		可再生能源机组容量占比 C_3	可再生机组容量与总发电资源容量之比(适度指标)
		负荷峰谷比 C_4	一定时间内负荷曲线中的最大峰值与最低谷值之比(逆向指标)
		负荷波动百分比 C_5	一定时间内负荷波动与最大负荷波动的比例(逆向指标)
	市场成员行为风险 B_2	发电侧市场集中度 C_6	反映市场发电侧主体的市场力水平(逆向指标)
		售电侧市场集中度 C_7	反映市场售电侧主体的市场力水平(逆向指标)
		用户市场参与度 C_8	参与市场的用户数与总用户数之比,反映用户的市场参与率(正向指标)
		高报价中标比率 C_9	单位时间内中标的高报价总申报高价次数的比,反映发电企业期望获利的竞标策略与自身实力匹配情况(逆向指标)
		最大报价差值 C_{10}	反映单轮报价行为中的极端行为(逆向指标)
		报价一致性 C_{11}	反映出报价主体的共谋行为(逆向指标)
		持留比率 C_{12}	反映发电企业对供应量的控制程度,进而体现出抬价意图(逆向指标)
	市场效率风险 B_3	火电机组竞争电量占比 C_{13}	反映火电机组的市场竞争能力(适度指标)
		可再生机组竞争电量占比 C_{14}	反映可再生机组的市场竞争能力(适度指标)
		市场合同电量率 C_{15}	市场合同电量与总电量之比,反映电力市场的整体放开规模(逆向指标)
		度电收益-成本指数 C_{16}	发电商每度电的收益与成本的比值,反映发电商市场竞争力度(适度指标)
		边际电价达限率 C_{17}	边际价接近最高限价的时段数占竞价时段总数的比例,反映市场中发电商联盟抬价行为(逆向指标)
	市场运行风险 B_4	需求弹性系数 C_{18}	电价的变化率与需求变化率的比值,反映价格对市场供需情况的有效体现(逆向指标)
		勒纳指数 C_{19}	电价与发电边际成本的比值,反映市场势力(逆向指标)
		电价变化率/煤价变化率 C_{20}	反映电价与煤价变化的关联性(适度指标)
		备用容量率 C_{21}	备用容量与尖峰负载的比值(正向指标)
		等效可用系数 C_{22}	机组可用小时减去机组降低出力的等效停运小时与机组的统计出力小时的比例,反映市场安全运行能力(正向指标)

比较因子 $c = \frac{s_{\max}}{s_{\min}}$, 判断矩阵 U_{ij} 中的 u_{ij} 满足

$$u_{ii} = u_{jj} = 1, u_{ij} = \frac{1}{u_{ji}}.$$

(4) 计算权重

引入特征向量 ω 为

$$\omega = [\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_n]^T \quad (6)$$

$$\omega_i = \frac{\sqrt[n]{\prod_{m=1}^n u_{im}}}{\sum_{m=1}^n \sqrt[n]{\prod_{m=1}^n u_{im}}} \quad (7)$$

3.2.2 熵权法

熵权法是通过各指标的信息载量来确定指标权重的方法,计算步骤如下:

假设评估指标为 m 个,评价方案数量为 n ,原始指标评价矩阵为 $R^* = (r_{ij}^*)_{m \times n}$,标准化后得 $R = (r_{ij})_{m \times n}$,其中,第 i 个评价指标的熵定义为

$$H_i = -k \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

$$f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}} \quad (9)$$

$$k = \frac{1}{\ln n} \quad (10)$$

则指标 i 的熵权 ω_i 可表达为

$$\omega_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (11)$$

$$0 \leq \omega_i \leq 1 \quad \sum_{i=1}^m \omega_i = 1 \quad (12)$$

如果多个被评价对象在指标 j 上的值完全相同时,熵值达到最大值1,熵权为0,即此指标可取消;当各被评价对象在指标 j 上的值相差较大、熵值较小、熵权较大时,说明该指标是重要指标,需要重点研究。

3.2.3 综合权重法

“组合评价法”通过寻求不同赋权法所得权重间的均衡点,实现组合权重与各个权重间离差极小化,进而得到最优组合权重,计算步骤如下:

(1) 假设评价指标的赋权方法为 n 种,则权重向量的任意一种组合为 $\omega = \sum_{i=1}^n u_i \omega_i^T$,其中, $u_i > 0$ 为线性组合系数。

(2) 求组合系数 u_i ,实现 ω 和 ω_i 离差极小化。构造目标模型

$$\min \left\| \sum_{j=1}^n u_j \omega_j^T - \omega_i^T \right\|_2 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

其最优化一阶导数条件为

$$\sum_{j=1}^n u_j \omega_j \omega_j^T = \omega_i \omega_i^T \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (14)$$

(3) 对组合系数 u_i 进行归一化处理,即

$$u_i^* = u_i / \sum_{i=1}^n u_i, \text{ 则组合权向量为}$$

$$\omega^* = \sum_{i=1}^n u_i^* \omega_i^T \quad (15)$$

4 实例分析

文章选取我国A、B、C地区的电力市场建设现状与交易情况,展开评价。当前市场中,A市场具有售电公司286家,发电商125家,年成交电量约为35 TWh,结算平均价差6.054分/kWh,售电公司的平均偏差率约为6%。B市场有售电公司122家,发电商397家,结算平均价差4.582分/kWh。C市场有售电公司144家,发电商461家,结算平均价差为6.265分/kWh。此外,结合调研、资料查找及文献整理等,所取市场地区的市场电源类型组成、买卖双方的历史成交信息、参与市场的发电商与售电商数量、市场力测试等,得到相关指标数值如表2所示。

表2 指标原始数值表

Table 2 Basic data

准则层	指标层	数值		
		M_A	M_B	M_C
B_1	C_1	1.24	1.31	1.18
	C_2	0.86	0.94	0.46
	C_3	0.14	0.06	0.54
	C_4	3 436	2 784	2 573
	C_5	0.32	0.27	0.29
B_2	C_6	1 772.45	2 301.56	2 198.85
	C_7	873	563	469
	C_8	0.647	0.742	0.786
	C_9	0.011	0.007	0.024
	C_{10}	110	80	90
	C_{11}	0.876	0.892	0.882
	C_{12}	0.762	0.623	0.735
	C_{13}	0.964	1.000	0.892
B_3	C_{14}	0.036	0	0.108
	C_{15}	0.252	0.241	0.269
	C_{16}	1.18	1.21	1.07
	C_{17}	0.267	0.33	0.25
	C_{18}	1.23	0.92	1.63
B_4	C_{19}	0.212	0.348	0.187
	C_{20}	0.891	0.972	0.735
	C_{21}	1.25	1.40	1.21
	C_{22}	0.452	0.387	0.428

将各级指标形成比较矩阵,并进行计算,得到比较标度和间接矩阵分别为

$$\begin{cases} s_{\max} = 3.5 \\ s_{\min} = 0.5 \\ c_m = 7 \end{cases}$$

$$V = \begin{bmatrix} 1 & 1/7 & 1/5 & 1/3 \\ 7 & 1 & 3 & 5 \\ 5 & 1/3 & 1 & 3 \\ 3 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

求解间接矩阵可得特征向量如下

$$W = [0.1, 0.224, 0.035, 0.641]^T$$

同理进一步可得各指标层的权重向量为

$$\omega_1 = [0.24, 0.22, 0.18, 0.15, 0.21]^T$$

$$\omega_2 = [0.186, 0.173, 0.163, 0.161, 0.136, 0.095, 0.086]^T$$

$$\omega_3 = [0.195, 0.209, 0.31, 0.145, 0.141]^T$$

$$\omega_4 = [0.233, 0.313, 0.238, 0.107, 0.109]^T$$

在传统9标度层次分析法的计算中,出现部分指标过大的情况,比如 C_6 指标权重为0.214 0, C_7 指标为0.161 1,显然与实际了解情况不符。运用改进的层次分析法后, C_6 指标权重为0.078 1, C_7 指标为0.069 2,这2项指标仍是最重要的,且权重占比恰当,与实际市场运行情况相符。结合所提的主观与客观评价方法,各指标的权重计算结果如表3所示。

表3 权重计算结果

Table 3 Weighted calculation results

准则层	指标层	主观	客观	综合
B_1	C_1	0.040 3	0.045 2	0.042 75
	C_2	0.039 8	0.038 2	0.039 00
	C_3	0.032 7	0.029 7	0.031 20
	C_4	0.023 1	0.030 9	0.02700
	C_5	0.036 1	0.040 1	0.038 10
B_2	C_6	0.078 1	0.075 5	0.076 80
	C_7	0.069 2	0.074 2	0.071 70
	C_8	0.066 3	0.068 3	0.067 30
	C_9	0.062 3	0.070 3	0.066 30
	C_{10}	0.050 2	0.062 2	0.056 20
	C_{11}	0.042 5	0.036 2	0.039 35
	C_{12}	0.031 3	0.040 2	0.035 75
	C_{13}	0.046 2	0.037 9	0.042 05
B_3	C_{14}	0.047 5	0.042 7	0.045 10
	C_{15}	0.068 7	0.065 2	0.066 95
	C_{16}	0.029 6	0.032 9	0.031 25
	C_{17}	0.033 7	0.027 6	0.030 65
B_4	C_{18}	0.046 6	0.043 1	0.044 85
	C_{19}	0.058 2	0.062 3	0.060 25
	C_{20}	0.041 4	0.050 2	0.045 80
	C_{21}	0.031 0	0.010 3	0.020 65
	C_{22}	0.025 2	0.016 8	0.021 00

A、B、C三地电力市场风险综合评价结果如表4所示。

表4 综合评价结果

Table 4 Comprehensive evaluation results

综合评价结果	M_A	M_B	M_C
B_1	1.000 0	0.716 9	0.376 8
B_2	0.695 4	0.693 8	1.000 0
B_3	0.896 2	0.927 7	1.000 0
B_4	0.666 3	1.000 0	0.353 9
总评估结果	0.978 9	1.000 0	0.926 3

由计算结果可知,C的市场结构优于A市场和B市场,其参与市场的电源种类丰富,负荷的波动较为平缓,但其供需比指标较A、B市场较低,应加大电力供给,增加发电侧参与市场的容量。在市场成员行为风险方面,市场A和市场B的成员风险相对优于市场C,市场C的发电侧市场集中度较高且可再生能源参与度较高,因此,市场C的主体风险要较高于其他两市场,且3个市场的价格一致性指数均较高,说明各级交易市场的各级衔接程度较好,价格波动程度较为平稳。在市场效率方面,市场A的效率风险低于市场B、C,而发电商的集中度较低,在市场运行方面,从勒纳指数来看,市场C的勒纳指数最低,说明市场C的竞争较为充分,电价处于合理的波动水平,可以较好地控制成员的市场力影响。市场C的备用容量率较大,市场运行风险水平较低。市场A与市场B的市场运行风险相对较高,而市场B单一的发电侧电源结构也为市场运行带来了垄断隐患,所以3者中,市场B的运行风险最大。

综上所述,市场C在所提维度的市场风险表现中稍优于市场A与市场B,市场A的电力市场风险属于中等,在市场效率风险防控方面做的较为完善;市场B在市场运行与效率方面存在一定的潜在风险问题,应及时监控,并根据市场B的实际情况进行灵活处理。

5 结论

本文结合电力市场结构、主体表现、效率问题及运行机制等维度,提出了电力市场风险综合评价指标体系及相关评价模型,并通过组合赋权法进行了实例分析,具体结论如下:

(1) 本文结合电力市场的市场结构、主体行为、效率问题及运行机制等方面,提出了相关维度的市场风险评价模型,指标所涉范围较为全面,且均可通过实际市场运行数据进行转化体现,具有较好的操作性。

(2) 通过3地市场的风险分析,可直观发现各市场在各类指标横向对比时的差距,从而对市场风险行为进行准确定位,实现信息的及时反馈。本文所提的市场风险评价指标体系及评价模型有利于优化对电力市场的管控方法,具有一定推广价值。D

参考文献:

- [1] 王明富,吴华华,杨林华,等. 电力市场环境下的能源互联网发展现状与展望[J]. 电力需求侧管理, 2020, 22(2):1-7.
WANG Mingfu, WU Huahua, YANG Linhua, et al. Development status and prospects of the energy Internet in elec-

- tricity markets [J]. Power Demand Side Management, 2020, 22(2):1-7.
- [2] 邹薇,徐文辉. 电网企业视角下的电力市场交易主体利益模型分析[J]. 电力需求侧管理, 2018, 20(4):49-52.
ZOU Wei, XU Wenhui. Analysis of transaction participants' profit model in electricity market under the perspective of the power grid enterprises [J]. Power Demand Side Management, 2018, 20(4):49-52.
- [3] 王一,马子明,谭跃凯,等. 广东日前电力市场方案设计与市场仿真[J]. 电力需求侧管理, 2018, 20(1):10-14.
WANG Yi, MA Ziming, TAN Yuekai, et al. Day-ahead power market design and market simulation in Guangdong province [J]. Power Demand Side Management, 2018, 20(1):10-14.
- [4] 王悦,李源,刘丽娟,等. 日本和新加坡电力零售市场对我国电力市场建设的启示[J]. 电力工程技术, 2021, 40(3):193-199.
WANG Yue, LI Yuan, LIU Lijuan, et al. Enlightenment of power retail market in Japan and Singapore to the construction of power market in China [J]. Electric Power Engineering Technology, 2021, 40(3):193-199.
- [5] 陈艺华,张炜,张成刚,等. 促进新能源消纳的省间、省内两级电力现货市场运行机制[J]. 电力系统自动化, 2021, 45(14):104-113.
CHEN Yihua, ZHANG Wei, ZHANG Chenggang, et al. Research on inter and intra provincial spot market operation mechanism considering new energy consumption [J]. Automation of Electric Power Systems, 2021, 45(14):104-113.
- [6] 张晨. 售电放开政策下电力交易多方主体利益分析模型研究[D]. 北京:华北电力大学, 2016.
ZHANG Chen. Benefit equilibrium model of multi-stakeholders in an open retail market [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2016.
- [7] 李陟锋,施航,吴晶莹,等. 基于HFLTS-AHP的电力市场运行管理风险识别[J]. 控制工程, 2019, 26(5):1 003-1 010.
LI Zhifeng, SHI Hang, WU Jingying, et al. Risk identification of electricity market operation management based on HFLTS-AHP methods [J]. Control Engineering of China, 2019, 26(5):1 003-1 010.
- [8] 余德钊,裴华东,刘卫东,等. 实现指标相关性解耦的售电市场过渡期风险指标评估及权重确定[J]. 现代电力, 2018, 35(2):1-7.
YU Dezha, QIU Huadong, LIU Weidong, et al. Method for determining the index evaluation and weighting for the transition period of electricity retail market by considering the correlation of indexes [J]. Modern Electric Power, 2018, 35(2):1-7.
- [9] 陈佳佳,赵艳雷,亓宝霞,等. 计及风电预测误差的电力系统风险规避评估模型[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(3):163-169.
CHEN Jiajia, ZHAO Yanlei, QI Baoxia, et al. Assessment model of risk aversion for power system considering wind power forecasting error [J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(3):163-169.
- [10] 唐天琦. 售电侧放开后电力市场交易面临的风险及对策研究[D]. 北京:华北电力大学, 2017.
TANG Tianqi. Research on risk and strategy of electricity market transaction after the liberalization of retail side [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2017.

(责任编辑 张紫涛)