

增量配电背景下考虑不确定性修正的规划负荷预测方法

胡文博¹,王 宣¹,陈 艳²

(1. 国网武汉东西湖区供电公司,武汉 430000;2. 国网武汉供电公司,武汉 430000)

Uncertainty correction method for planned load forecasting under the background of incremental distribution

HU Wenbo¹, WANG Xuan¹, CHEN Yan²

(1. State Grid Wuhan Dongxihu Electric Power Supply Company, Wuhan 430000, China;

2. State Grid Wuhan Electric Power Supply Company, Wuhan 430000, China)

摘要:针对新一轮电改推进背景下的城市及园区级增量配电网市场,在分析该背景下电网规划中负荷预测问题与需求的基础上,对面向增量配网规划的负荷预测结论描述方式进行了改进,并进一步提出了考虑分布式能源、入住率等不确定性因素的负荷预测模型,根据预测需求设定不同的置信区间,对不同发展状态下的增量配电网园区进行负荷预测修正。实际算例表明,该方法可为园区增量配电网规划提供考虑不确定性因素的量化思路。

关键词:增量配电市场;负荷预测;电网规划;不确定性分析;分布式能源

Abstract: Aiming at the incremental distribution network market at park level under the background of the new round of electricity reform, the problems and demands of load forecasting in power network planning are analyzed, and the description of load forecasting conclusions for incremental distribution network planning is improved, and a load forecasting model considering uncertainties such as distributed energy and occupancy rate is further proposed. Different confidence intervals is set according to the forecasting demand, and the load forecasting of incremental distribution parks under different development conditions is revised. Practical examples show that the method can provide a quantitative idea for precise planning of park incremental distribution network considering uncertainties.

Key words: incremental distribution market; load forecasting; power network planning; uncertainty analysis; distributed energy

0 引言

随着新一轮电力体制改革的不断推进,增量配电业务改革成为最受关注的一个部分,国家发改委印发的《有序放开配电网业务管理办法》中,明确鼓励社会资本积极参与增量配电网业务,并在《关于规范开展增量配电业务改革试点的通知》中确定了第一批105个增量配电投资业务改革试点项目,明确试点项目向市场主体公平开放^[1-2]。通过梳理试点项目名录可以发现,增量配电以包括高新产业园区、循环经济园区、工业园区等负荷相对集中的园区型项目为主^[3-4],由此也可以看出负荷特性在当前增量配电市场中是相当重要的竞争因素。

增量供电市场竞争中,供电经济性与可靠性是决定性因素。可靠性方面,不同供电方式的供电可

靠性不同,花费的成本也有差别,但在当前政策下,电网成本用于提升可靠性的作用无法体现,因此在当前电价市场机制未完全成熟前,依托供电可靠性的竞争相对难以把握;经济性方面,需要通过精准措施,有针对性地满足园区供电需求,提高增量配网的投入产出比是现阶段市场中重要的影响因素,故对其进行负荷预测就显得尤为重要。

1 面向增量配网规划的负荷预测需求

面向规划的负荷预测是根据规划的内容与目标来确定的。要规划输配电系统所需的设备容量,就要预测供电区域的年负荷总量;要规划变电站设备分布的合理性,就要预测供电区域分块负荷。增量市场背景下,投资主体以及目标的变化,对项目经济性及负荷预测提出了新要求,具体体现为:

(1) 传统电网规划一般包含电源规划、网架规划与无功规划。对于增量配网而言,电源方面,考虑分布式电源但不涉及电源规划,即完全被动型的预测;网架规划方面,对于一个动态非线性多目标不确

收稿日期:2019-10-25;修回日期:2019-12-06

基金项目:国家武汉市供电公司科技项目(Z915A018C041)

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Wuhan Electric Power Supply Company (No.Z915A018C041)

定性混合整数问题,需要进行负荷有功预测;无功规划方面,由于无功功率使得电能输送的功率受到限制,而无功功率过补偿既会造成功率因数不达标,又会对电器设备构成安全隐患,所以对于负荷及存在的分布式电源也需要无功预测。

(2) 针对新建区域,可以通过多阶段规划逐步配合区域发展,故对项目前期投资压力有帮助,但也要求负荷预测结论能支撑多阶段规划的需求。

(3) 需要同时进行电力与电量预测,且准确度要求高,但原始数据来源也相对丰富、精确。

(4) 由于受到更多因素影响,需要掌握各类不确定性因素对预测结论的影响。

(5) 对分布式可再生能源(间歇性能源)的包容性与利用方面。增量市场需要考虑如何接纳并利用越来越多的分布式可再生能源(间歇性能源)。

(6) 增量配网电价方面,目前电价政策还不支持灵活电价,所以增量配网在盈利能力方面的优势还不能完全体现。

综合以上分析,可以得出面向增量配电网规划的负荷预测需要具备以下特点以适应新场景:

(1) 由于电价与利润问题,当前增量主要面向有电压等级差的区域。

(2) 由于经营及回收期问题,规划重点需要考虑5至10年远景预测,以及5年内的逐年预测,负荷预测参量以最大负荷与平均负荷为主,分别用于容量配置计算与经济性评估。

(3) 考虑多能互补资源以降低电网设备容量配置,因此,对于最大负荷的预测可以考虑不确定性因素带来的影响。

2 面向增量市场的负荷预测方法

与传统电网负荷预测相比,面向增量市场的负荷预测方法需要加入不确定因素影响的量化修正。首先选择基础预测方法并计算,然后收集与选择不确定性因素基础数据,最后计算不确定性因素影响并进行负荷预测结果修正。

2.1 基础负荷预测算法

电网规划中负荷预测有以下几类:① 经典预测方法,预测的精度往往较差,包括单耗法、弹性系数法、负荷密度法、人均电量指标换算法、分类负荷预测法。② 传统预测方法,包括趋势分析方法、回归分析法及时间序列分析法等。传统预测方法对于应用场景与基础数据有较高的要求,包括趋势分析方法、回归分析法及世界序列分析法等。③ 现代预测方法,主要是智能预测方法,适于存在多变量、非线性、时变、随机性的

电力负荷预测,但需要大量历史数据且准确率难以保证,包括人工神经网络法、专家系统法、灰色理论预测法、模糊预测法和数据挖掘技术。④ 组合预测模型法,综合利用多种预测方法的预测值,用适当的加权系数进行预测,包括等权平均、层次分析、最佳可信度模型等。实际规划中常用的方法有5种,分别为弹性系数法、产值单耗法、最小二乘法、网格法和负荷密度法。弹性系数法、产值单耗法适用于对城市整体的负荷预测,对于增量配网并不适用。最小二乘法是根据历史负荷情况,对于新建区域也不适用。

因此,本文对于基础负荷预测方法,可选择网格法与负荷密度法相结合的组合预测,也可根据实际情况采用适当的方法作为基础负荷预测方法。网格法针对目标区域,对不同功能区域内的负荷情况进行细分,对于细化网格,通过负荷密度法按照不同特性的负荷发展趋势分别量化,对网格区域逐个计算。这样虽然涉及因素较多,但单个区域预测过程较为简单,负荷特性清晰明了,能够较好地反映区域内不同区块的负荷特征,也能够方便地计入不确定性因素对负荷预测的影响,计算公式如下

$$P_{LS} = \sum_{i=1}^m D_i \times S_i \quad (1)$$

式中: P_{LS} 为园区充分发展状态下的负荷预测结果; m 为园区分块数目; D_i 为第 i 类分块的负荷密度指标; S_i 为第 i 类地块面积。

2.2 负荷不确定性影响因素

在增量配网环境下,负荷预测中有很多因素不同程度地直接或间接影响着负荷的预测值,其中几个主要不确定性因素如下:

(1) 入住率影响。假定园区建设规划预期的负荷入住是按一定计划进行,但具体入住时间节点可能出现不确定性偏差,导致园区负荷需求预测的波动。该因素的不确定性描述模型受政策、经济环境等各类其他因素影响,且机理较复杂,还没有准确成熟的模型,但其对负荷预测的影响较大,很难忽略。从另一方面看,入住率主要由人为决定,参考统计学常用模型,本文对其概率模型量化采用正态分布,对于有条件采用更为精确的不确定概率模型时,可以进行替换。

(2) 分布式能源影响。可再生能源与节能市场的放开与快速发展,以及风电、光伏等可再生能源自身的发电不确定性,均会对配电网造成一定影响,同样对负荷需求及预测结果的影响也是其中一项。对于该项影响的量化评估可分为2个维度:一是有效资源的不确定性,目前已有大量相关研究;二是特定条件下对有效资源的开发程度,目前还未发现深入的研究与验证。本文主要考虑规模较大较为常见的

3种分布式能源,分别是风电、光伏、燃气三联供。

(3) 电价浮动的影响。电价的不确定性影响包含电价变化与影响程度2个维度,同时电价影响与经济影响有一定的关联,经济的上升会带来用电量上升,同时也带来电价上升,但电价的上升会引起用电量的下降,形成一个负反馈。目前增量市场电价定价机制还不明确,但工业用户对电价的敏感度较高,直接影响到负荷总量变化,但具体机理相对复杂难以明确且缺乏足够数据采用现代智能预测算法,故采用修正参数形式进行。对于规划阶段,难以再建立合适准确的概率模型,且影响相对前两者较小,所以在本文的量化研究中暂不考虑。

(4) 其它影响因素。包括经济、自然、园区结构等因素,其中经济因素为收入增加、生活水平的提高与消费观念变动产生的影响。自然因素指由冷热负荷变化间接引起电负荷需求变化,而该类负荷变动一般情况下呈现出较强的刚性。园区结构与经济变化具备较强关联关系,一是由于新型产业及用电模式的出现,二是由于产业的比重结构变化。该类因素均难以准确量化,且影响相对较小,在本文研究中暂不考虑。

综上,增量配电市场环境下,传统的规划负荷预测已经难以满足增量市场竞争需求。一方面,需要更进一步提升负荷预测的精确度与准确度,为增量市场的规划建设、运营等环节提供数据支撑,提升精细化管理程度;另一方面,在实际推进增量配电网市场开放的过程中,涉及大量不确定性因素的影响,其中部分影响难以忽视,而其量化与规划负荷预测所要求的规范存在一定出入,所以需要通过一定概率模型的形式为规划提供数据支撑。

2.3 不确定因素修正计算

选择对应不确定因素的分布模型,并选择对应不确定性因素修正的置信度 α ,在置信区间 $[0, \alpha]$ 内,将不确定性因素转化为确定性量化修正参量,对基础负荷预测结论进行修正。对最大负荷 $L_m(x)$ 的预测修正进行量化,是通过选取置信度概率内出现的最大负荷变化进行修正量 $L'_m(x)$ 的计算;对于平均负荷预测 $L_a(x)$ 的修正计算,则是通过期望值进行修正量 $L'_a(x)$ 的计算。

2.3.1 入住率

假设根据园区建设规划负荷,以一定比例逐渐进驻园区,逐年入住负荷为 $R(X_i)$, X_i 为目标预测年。将用户入住节点年份的概率服从正态分布 $T(X_n) \sim N(\mu, \sigma^2)$,其中 μ 为用户入住的期望值, σ 可假定根据园区情况选定,整体则为多元正态分布模型,彼此间独立, $T(X_1) \sim N(a, \sigma^2)$, $T(X_2) \sim N(a+1, \sigma^2)$, $\dots$, $T(X_n) \sim N(a+n-1, \sigma^2)$, a 为建设完成年, b 为规划建设完成年。

多元正态分布的概率密度函数如下

$$g(x, \mu) = \frac{\exp\{-1/2(x-\mu)^T \Sigma^{-1}(x-\mu)\}}{(2\pi)^{n/2} |\Sigma|^{1/2}} \quad (2)$$

$$x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$$

$$\mu = \begin{pmatrix} a \\ a+1 \\ \vdots \\ b \end{pmatrix}$$

$$\Sigma = E\{(x-\mu)(x-\mu)^T\}$$

式中: x 为不同年份变量矩阵; μ 为期望值矩阵。

第 x 年入住负荷量为

$$f_i(x) = \sum_{i=1}^{b-a} R(X_i), \text{ if } T(X_i) \leq x \quad (3)$$

对于平均负荷 $L_a(x)$,正态分布的置信区间没有影响,所以修正量 $L'_a(x)$ 为0;对于最大负荷修正,需要根据下式进行计算

$$P\{x = n | \max(f_i(x))\} > 90\% \quad (4)$$

式中: P 为第 x 年置信度。

入住率对于基础负荷预测结论的影响为比例关系,故修正函数为

$$L'_m(x) = L_m(x) \times \max(f_i(x)) \quad (5)$$

2.3.2 分布式能源接入

由于风电、光伏、燃气三联供等分布式电源的接入,在负荷用能需求不变的情况下,负荷对于增量配电网用电需求会随着分布式电源发电量产量而变化。

分布式能源的最小出力为

$$L'_m(x) = -\min\{f_{2w}(x) + f_{2s}(x) + f_{2g}(x)\} \quad (6)$$

分布式能源的平均出力为

$$L'_a(x) = E\{f_{2w}(x) + f_{2s}(x) + f_{2g}(x)\} \quad (7)$$

式中: $f_{2w}(x)$ 、 $f_{2s}(x)$ 、 $f_{2g}(x)$ 分别为风、光、燃气三联供技术的修正量化参数。

该类因素的不确定性主要来源于自然资源与开发程度2个维度,以下分别对风电、光伏、燃气三联供等3类常见典型的分布式能源进行研究量化。3类均可分为资源潜力评估与开发程度概率模型2个步骤,其中资源评估目前已有相对成熟的数据与模型可以直接应用^[5-7],开发程度与自然资源、政策、能源经济等各方面因素均密切相关^[8-10],对于区域的可再生能源规划模型基本也是沿用国家规划模型。所以,在本文量化模型中可以认为园区分布式能源开发趋近于区域或省级可再生能源规划的开发程度及路径。

(1) 风电、光伏。

风电、光伏资源的修正量化模型基础计算公式为

$$\begin{cases} f_{2w}(x) = Pw(x) \times dw(x) \\ f_{2s}(x) = Ps(x) \times ds(x) \end{cases} \quad (8)$$

式中: x 为修正评价年份; $Pw(x)$ 、 $Ps(x)$ 分别为风电、光伏资源有效潜力,可采用基于气象数据的风资源潜力评估与风电经济接入潜力评估^[5]; $dw(x)$ 、 $ds(x)$ 分别为风电、光伏资源的开发程度函数,可认为趋近于为区域或省级风电、光伏开发的比例曲线,即当前装机容量与能源潜力比值。

(2) 燃气三联供。

区别于风电光伏可再生能源,其大多数情况下是为满足负荷的热需求而建,但同时也具备稳定的发电能力,从而影响实际的负荷购电需求。园区级燃气资源十分充足,其规模约束主要为负荷需求,一般情况下由冷热负荷决定燃气三联供机组的规模及电量产生。采用平均热负荷 $H(x)$ 作为建设规模容量 $G(x)$ 的设计依据,单个园区级三联供机组规模一般在数百千瓦至 15 MW 之间,将潜力容量按设定规模划分为若干个单元。单个机组建设时间 $Bg(x)$ 服从对应负荷点建成时间开始的 m 重伯努利分布(二项分布),即 $Bg(x) \sim B(m, p)$ 。潜在单元当年建设概率估计方法^[11]为

$$RMSE_n = \left\{ \int_0^1 (C_{m,p} - (1 - \alpha))^2 dp \right\}^{1/2} \quad (9)$$

式中: $RMSE$ 为均方根误差; n 为当前年份; p 为潜在单元当年建设概率; $C_{m,p}$ 为给定二项分布参数样本数 m 与成功概率真值 p 时的覆盖率; α 为置信空间。

选取 p 的步长,计算对应 $RMSE$ 的概率分布并排序 $P = \{p_0^s, p_1^s, \dots, p_n^s\}$, 确定满足的 k 值方法为

$$\begin{cases} \left| \sum_{i=0}^k p_i^s - (1 - \alpha) \right| \leq \left| \sum_{i=0}^{k-1} p_i^s - (1 - \alpha) \right| \\ \left| \sum_{i=0}^k p_i^s - (1 - \alpha) \right| \leq \left| \sum_{i=0}^{k+1} p_i^s - (1 - \alpha) \right| \end{cases} \quad (10)$$

对应求得的序号 k 的 p 值即为潜在燃气三联供建设概率,则对应第 x 年的建设规模容量计算为

$$G(x) = H(x) / \eta_h \quad (11)$$

式中: $H(x)$ 为平均热负荷; η_h 为燃气三联供机组热效率。

根据设定的平均单个机组规模容量决定第 x 年的潜力机组单元个数 n ,再通过 n 重伯努利分布 $Bg(x) \sim B(n, p)$ 计算第 x 年的燃气三联供发电量预测

$$f_{2g}(x) = G(x) \times Bg(x) \times \eta_e \quad (12)$$

式中: $Bg(x)$ 为 x 年燃气三联供机组建设个数; η_e 为燃气三联供机组热效率。

3 算例

以某新建园区作为基础算例,园区起始年为 2015 年,预计 2025 年达到顶峰,原始负荷预测数值见为表 1,其中 2017 年为实际值。

表 1 负荷预测基础参数

Table 1 Basic parameters of load forecasting

年份	2017		2020		2025	
	最大	平均	最大	平均	最大	平均
工商业	16.00	14.98	32.00	29.95	80.00	74.99
其他负荷	2.90	1.37	9.50	4.55	13.50	6.47
园区总和	18.90	16.35	41.50	34.50	93.50	81.46

分别对工商业负荷及其他负荷做逐年曲线拟合,逐年最大负荷曲线如图 1,逐年入住负荷 $R(X_i)$ 为图 1 中总体最大负荷的差值。

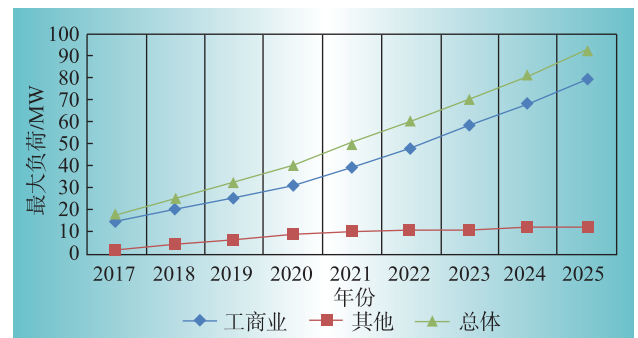


图 1 逐年最大负荷曲线预测

Fig. 1 Prediction of annual maximum load curve

对于入住率修正,概率计算起始年为 2018 年,正态分布参数 σ 为 1,为简化计算,将概率按年度进行离散化,由于最终结果含义问题,对正态分布量化时超出 $\pm 2\sigma$ 的区间近似取值为 0 与 1。最大负荷的最小值在不同置信区间的计算值见表 2,选取 40%、70%、90% 分别对应激进、普通与保守的投资策略。通过计算,我们还可以得出增量变化置信区间临界点为 49.9% 与 85.3%。

案例中,园区预测风电、光伏资源相对于电力负荷占比较小,且数据收集较困难,故本算例中暂不计入。燃气三联供等分布式能源数据见表 3,其中采用的燃气三联供估算参数为:单元规模为 1 MW;单元个数四舍五入;供热(冷)效率 η_h 为 0.6;发电效率 η_e 为 0.24;年度建设概率 p 在 40% 置信水平时为 0.1,在 70% 置信水平时为 0.05,在 90% 置信水平时为 0.02。其中,风电、光伏数据为平均值,不涉及不确定性概率模型计算,燃气三联供为新增潜力,需要在此参数基础上,燃气三联供机组单元按 1 MW 进

行不确定性概率模型计算。

表2 入住率不确定性在不同置信区间下的负荷增量预测

Table 2 Estimated annual increment value of occupancy uncertainty in different confidence intervals

年份	原始增量	不同置信区间下的负荷增量		
		[0,40%]	[0,70%]	[0,90%]
2018	7.4	14.7	7.4	0
2019	14.7	22.6	14.7	7.3
2020	22.6	32.1	22.6	14.7
2021	32.1	42.1	32.1	22.6
2022	42.1	52.6	42.1	32.1
2023	52.6	63.6	52.6	42.1
2024	63.6	74.6	63.6	52.6
2025	74.6	74.6	74.6	63.6

表3 燃气三联供潜力预测

Table 3 Potential Prediction of CCHP

年份	CCHP 潜力/ MW	新增单元 数量/个	不同置信区间下的 新增期望值/MW		
			[0,40%]	[0,70%]	[0,90%]
2017	35.7	36			
2018	14.0	14	5	3	1
2019	13.8	14	6	3	1
2020	14.9	15	7	4	2
2021	17.9	18	8	4	2
2022	18.9	19	9	5	2
2023	19.8	20	10	6	3
2024	20.8	21	12	7	3
2025	20.8	21	13	7	3

由表3可知,对于案例中影响较大的有入住率与燃气三联供机组建设,考虑不同置信水平下,对负荷预测结果影响修正结果如图2和表4。通过对比我们可以看出:① 在考虑分布式能源因素后,电网最大负荷需求容量在不同置信区间下均有一定下降。② 如果将投资风险置信区间与经济水平挂钩,激进的投资环境同时会让负荷入住与分布式能源建设均快速发展,会产生一定的抵消,40%与90%置信水平,在远期开发较充分情况下最大负荷水平类似。

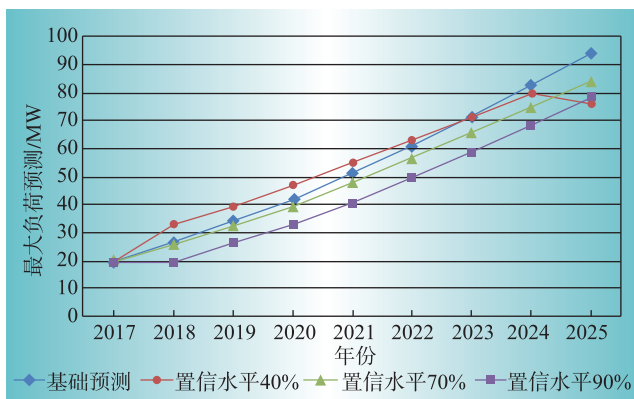


图2 不同情况下最大负荷预测修正与基础预测对比

Fig. 2 Comparison between the maximum load forecast correction and the basic forecast

表4 不同置信水平情况下最大负荷预测修正结果

Table 4 Modified conclusion of maximum load forecasting under different confidence levels

年份	基础 预测	不同置信区间的修正结果		
		[0,40%]	[0,70%]	[0,90%]
2017	18.9			
2018	26.3	32.40	25.58	18.66
2019	33.6	38.86	32.16	25.72
2020	41.5	46.68	39.10	32.64
2021	51.0	54.76	47.64	40.06
2022	61.0	62.62	56.44	49.08
2023	71.5	71.22	65.50	58.36
2024	82.5	79.34	74.82	68.14
2025	93.5	76.22	84.14	78.42

4 结束语

增量配电市场环境下重资产投资面临风险较大,电力负荷预测需要考虑更多因素以及不确定性,对于结论的描述方式也需要更为精确,包括逐年最大负荷变化预测、逐年平均负荷预测、置信区间内最大负荷等。本文提出了考虑用户入住、分布式能源接入等不确定性因素的量化计算模型,并选取了不确定性因素的近似量化概率模型进行案例计算,可以为决策提供更为与风险、决策等市场行为所对应的相关信息。

对于面向增量配网规划的负荷预测工作,下一步工作可以从以下两方面进行:

(1) 根据规划需求,对不同分布式能源接入的不确定性概率模型以及经济等其他因素的影响模型进行修正,并选取更多的园区案例进行验证与方法改进。

(2) 细化不同类型负荷的不确定性概率量化模型,如案例中的工商业负荷与其他负荷。D

参考文献:

- [1] 赵冬梅,宋原,王云龙,等.考虑柔性负荷响应不确定性的多时间尺度协调调度模型[J].电力系统自动化,2019,43(22):21-32.
ZHAO Dongmei, SONG Yuan, WANG Yunlong, et al. Co-ordinated scheduling model with multiple time scales considering response uncertainty of flexible load[J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(22):21-32.
- [2] 国家发展改革委,国家能源局.关于规范开展增量配电业务改革试点的通知:发改经体[2016]2480号[A].
- [3] 迟峰,黄民翔.基于可靠性电价赔偿机制的电网规划研究[J].电力系统及其自动化学报,2007,19(1):87-91.
CHI Feng, HUANG Minxiang. Power system planning model based on reliability price and compensation mechanism[J]. Proceedings of the CSU-EPSC, 2007, 19(1): 87-91.

- [4] 张钦,白建华,陈立斌. 电力市场下基于分层可靠性服务的可靠性电价体系研究[J]. 电网技术, 2011, 35(12):165-170.
ZHANG Qin, BAI Jianhua, CHEN Libin. Study on reliability pricing system in electricity market based on hierarchical reliability service[J]. Power System Technology, 2011, 35(12):165-170.
- [5] 廖诗武. 风电接入区域电力系统的潜力及环境效益评估方法[D]. 武汉:华中科技大学, 2017.
LIAO Shiwu. Evaluating the potential and environmental benefits for wind energy integration in regional power systems [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2017.
- [6] MCELROY M B, LU X, et al. Potential for wind-generated electricity in China. Science, 2009, 325(5 946):1 378-1 380.
- [7] 刘昌盛,谢云云,王晓丰,等. 基于IGDT的网架重构过程中风电出力调度[J]. 电力工程技术, 2019, 38(3):27-33.
LIU Changsheng, XIE Yunyun, WANG Xiaofeng, et al. IGDT based power dispatch for wind farms participating in power system restoration[J]. Electric Power Engineering Technology, 2019, 38(3):27-33.
- [8] 李璐. 可再生能源发展政策影响的分析模型及实证研究[D]. 北京:华北电力大学, 2015.

- LI lu. Empirical research and modeling analysis on the effect of renewable energy policy [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2015.
- [9] 郭剑,徐剑楠. 分布式光伏并网发电对配电网的影响以及应对调整策略[J]. 电力需求侧管理, 2014, 16(2):38-40.
GUO Jian, XU Jiannan. The effect of PV grid-connected on the distribution network and corresponding solutions [J]. Power Demand Side Management, 2014, 16(2):38-40.
- [10] 管霖,陈旭,等. 适用于电网规划的光伏发电概率模型及其应用[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(11):1-7.
GUAN Lin, CHEN Xu, et al. Probability model of PV generation for power system planning and its application [J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(11):1-7.
- [11] 刘镇瑜,王军,王凌艳,等. 二项分布参数p置信区间评估算法分析[J]. 无线电工程, 2013, 43(12):13-16.
LIU Zhenyu, WANG Jun, WANG Lingyan, et al. Analysis of a binomial parameter p confidence interval evaluation algorithm [J]. Radio Engineering, 2013, 43(12):13-16.

作者简介:

胡文博(1992),男,湖北武汉人,工程师,国网东西湖区供电公司发建部专责,主要从事配网规划工作。

(责任编辑 水 鹤)

(上接第55页)

- in Shanghai power load forecast[J]. Modern Electric Power, 2018, 35(2):38-42.
- [6] 何永秀,王跃锦,杨丽芳,等. 基于最小二乘支持向量机的居民用电预测研究[J]. 电力需求侧管理, 2010, 12(3):19-23.
HE Yongxiu, WANG Yuejin, YANG Lifang, et al. Research on residential electricity prediction based on the least squares support vector machine [J]. Power Demand Side Management, 2010, 12(3):19-23.
- [7] 程玉桂,黎明,林明玉. 基于遗传算法和BP神经网络的城区中长期电力负荷预测与分析[J]. 计算机应用, 2010, 30(1):224-226.
CHENG Yugui, LI Ming, LIN Mingyu. Forecasting and analysis on long-term/mid-term electric load of city by GA-BP neural networks [J]. Journal of Computer Applications, 2010, 30(1):224-226.
- [8] 陈锦涛,江哲恒. 基于蚁群算法的电力负荷预测方法研究[J]. 现代计算机(专业版), 2012(22):23-26, 33.
CHEN Jintao, JIANG Zheheng. Research on power load forecasting method based on ant colony algorithm [J]. Modern Computer, 2012(22):23-26, 33.
- [9] 王宝,叶彬,马静,等. 基于多维度与QGA-LSSVM算法的制造业用电量预测[J]. 电力需求侧管理, 2017, 19(1):17-21, 28.
WANG Bao, YE Bin, MA Jing, et al. Forecast on electricity consumption of manufacturing industry based on multi-dimension and QGA-LSSVM algorithm [J]. Power Demand Side Management, 2017, 19(1):17-21, 28.
- [10] 任芳玲,吴娜,乔克林. 基于反馈回归法的用电量预测模型研究[J]. 经济数学, 2016, 33(1):100-105.
REN Fangling, WU Na, QIAO Kelin. Study of electricity consumption forecast model based on feedback regression [J]. Journal of Quantitative Economics, 2016, 33

(1):100-105.

- [11] 曾鸣,陈春武,刘洋,等. 基于H-P滤波预测技术的年用电量预测模型研究[J]. 水电能源科学, 2012, 30(8):175-178.
ZENG Ming, CHEN Chunwu, LIU Yang, et al. Research on annual electricity consumption forecasting model based on H-P filter forecasting technology [J]. Water Resources and Power, 2012, 30(8):175-178.
- [12] 于世刚,王利,杜鹏. 大连市年用电量预测模型优化研究[J]. 资源开发与市场, 2014, 30(12):1 468-1 471.
YU Shigang, WANG Li, DU Peng. Study on Dalian's annual electricity demand forecasting model [J]. Resource Development & Market, 2014, 30(12):1 468-1 471.
- [13] 傅军栋,刘晶,喻勇. 基于果蝇优化灰色神经网络的年电力负荷预测[J]. 华东交通大学学报, 2015, 32(1):93-98, 104.
FU Jundong, LIU Jing, YU Yong. Annual electric load forecasting based on gray neural network with fruit fly optimization algorithm [J]. Journal of East China Jiaotong University, 2015, 32(1):93-98, 104.
- [14] 方陈,修晓青,周健,等. 基于神经网络的光储动态优化运行研究[J]. 电器与能效管理技术, 2019(1):69-74, 81.
FANG Chen, XIU Xiaoqing, ZHOU Jian, et al. Dynamic planning method for photovoltaic forecasting and energy storage system operation based on neural network algorithm [J]. Electrical & Energy Management Technology, 2019(1):69-74, 81.

作者简介:

王宝(1986),男,安徽安庆人,硕士,经济师,咨询工程师(投资),主要从事电力市场分析预测方面工作。

(责任编辑 水 鹤)