

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.210205

基于双层聚类和模糊等级评定的客户侧供电服务评价

林之岸¹, 罗欣², 魏骁雄², 朱蕊倩², 刘晟源¹, 林振智¹

(1. 浙江大学电气工程学院, 浙江 杭州 310027; 2. 国网浙江省电力有限公司营销服务中心, 浙江 杭州 311122)

摘要: 客观评价电网公司供电服务质量从而精确定位供电服务薄弱点, 对提升客户侧供电服务水平具有重要意义。在此背景下, 从客户诉求、责任归属、工单异动、服务处理方面构建了客户侧供电服务评价指标体系。接着, 提出了基于熵权法和修正因子的指标权重确定方法, 克服了熵权法的权重分配在指标值分布相似情况下不合理的情况。提出了基于改进理想点法和余弦相似度的供电服务质量综合评价方法, 满足了供电服务质量全面性的要求。然后, 提出了基于双层聚类和模糊理论的供电服务质量等级评定方法, 以聚类结果作为等级评价的依据, 克服了以往供电服务质量等级评价主观性较强的缺点。最后, 以浙江省各电网公司服务质量为研究对象进行算例分析。结果表明所提出的客户侧供电服务评价方法能有效评价各供电公司服务水平, 为服务整改方向提供参考。

关键词: 供电服务评价; 改进熵权法; 改进理想点法; 双层聚类; 模糊综合评价

Client-side power supply service evaluation based on two-level clustering and fuzzy comprehensive evaluation

LIN Zhi'an¹, LUO Xin², WEI Xiaoxiong², ZHU Ruiqian², LIU Shengyuan¹, LIN Zhenzhi¹

(1. School of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

2. State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd. Marketing Service Center, Hangzhou 311122, China)

Abstract: It is important to evaluate power supply service quality objectively and then to locate weak points accurately to improve the power supply service level for clients. Given this background, a client-side power supply service evaluation index system is constructed from the aspects of customer demand, responsibility attribution, work order irregular change and service processing. An index weight determination method based on an entropy weight method and a correction factor is proposed to overcome any unreasonable weight distribution in the case of similar distribution of index value; a comprehensive evaluation method of power supply service quality based on an improved Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) and cosine similarity degree is proposed. This comprehensively meets the requirements of power supply service quality. Then, a method of power supply service quality grade evaluation based on bi-level clustering and fuzzy theory is proposed, in which the clustering results are used as the basis of grade evaluation. This is to overcome the shortcomings of strong subjectivity of grade evaluation in power supply service. Finally, a case of the service quality of power companies in Zhejiang, China is studied. The results show that the client-side power supply service evaluation method proposed in this paper can effectively evaluate the service quality level of each power company, and provide references for service rectification.

This work is supported by the National Key Research and Development Program of China (No. 2016YFB0901100).

Key words: power supply service evaluation; improved entropy weight method; improved TOPSIS; bi-level clustering; fuzzy comprehensive evaluation

0 引言

电网公司是社会公用型的服务企业, 其目标是

基金项目: 国家重点研发计划项目资助(2016YFB0901100); 国网浙江电科院客服中心运营支撑平台供电服务立体透视评价等功能模块设计开发(6511YF20001S)

为广大的电力客户提供优质的供电服务。供电安全方面, 不少学者进行了研究^[1-7]。良好的供电服务质量是供电企业可持续发展的重要保障^[8], 因此, 有必要建立合适的供电服务评价体系, 客观评价供电公司的服务质量。

电力客户服务呼叫中心(即 95598 热线)作为供电企业与电力客户交流的窗口, 不仅能够为电力客

户提供优质便捷的服务, 而且能直接客观地反映客户用电诉求。2019年, 国家电网公司客户服务中心95598人工服务接听量高达5 000万通, 派发工单达1 200万张, 由此产生的海量数据资源为基于客户视角的供电服务质量评价提供可靠的数据支持。

在客户侧数据源丰富多样的背景下, 国内外专家充分利用客户侧数据, 提出了不同的客户侧供电质量评价模型与方法, 它们对智能电网的建设具有重要的实际意义与工程价值。对供电服务评价的研究主要有两部分内容。一部分是针对供电企业特点构建供电服务评价指标体系, 如文献[9-12]根据供电企业的特点, 分别从专业职能、服务绩效、服务承诺等不同角度建立供电服务评价指标体系, 实现对供电服务的综合评价。文献[13]基于三相电压、电流、功率、频率、电流谐波、电压闪变等测量数据构建评价体系, 进而确定电能质量是否达标。文献[14]提出了谐波风险、负序风险、电压偏差风险3个风险指标, 并引入严重度函数对其进行量化。文献[15]则从电能质量、可靠性、经济性、服务质量等多个角度制定了供电质量指标。另一部分是研究供电服务质量评价模型, 如文献[16]提出了基于层次分析法与模糊理论的供电服务质量评价模型, 将问卷调研的原始数据与专家评价结果结合, 解决了专家判断过程中的模糊性问题, 降低了评价过程的主观性。文献[17]将物元分析模型应用于供电服务质量的评价, 采用定量的方法描述各评价指标值, 具有一定客观性。文献[18]提出了基于理想点法(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS)与BP神经网络(Back Propagation Neural Network, BPNN)的供电服务质量评价方法, 该方法综合考虑客户质量感知和管理导向, 确定上层系统指标权重, 通过BPNN实现下层系统自适应评价, 再基于TOPSIS对目标供电服务质量进行综合评价。文献[19]提出基于偏离度最大原则的权重组合方法, 将通过层次分析法与熵权法得到的主客观权重组合, 并通过主成分分析法将不同评价参数转换成独立的电能质量指标, 从而实现供电质量的综合评价。综上所述, 现有的供电服务质量评价主要是基于问卷调查、专家估计等定性分析方法, 因此对不同供电公司的评价结果缺乏客观性, 且评价结果受到调查样本的影响较大。随着电力体制改革不断深化, 亟需持续提升客户服务水平^[20], 实现供电企业精细化管理, 进而改善客户体验; 此外, 随着电力客户服务中心的发展和95598热线的普及, 95598工单数据成为全面反映客户服务质量的重要数据源。在此背景下, 亟需研究更为完善的供电服

务评价模型与方法。

本文基于供电企业的服务业务, 从客户感知的角度构建了基于95598工单结构化数据的供电服务评价体系, 提出了基于改进熵权法的供电服务评价指标的权重确定方法以及基于改进理想点法的供电服务质量综合评价方法。在此基础上, 建立了基于双层聚类的供电服务质量模糊等级评定模型。最后, 以浙江省供电公司服务质量评价为例, 对所提出的模型与方法进行验证。

1 客户侧供电服务综合评价指标体系

为了全面评估供电服务质量, 本文基于供电服务业务体系构建供电服务质量综合评价指标体系。供电服务业务体系可以分为综合层、领域层、业务层3层, 共有12个服务领域及34项服务业务, 具体如图1所示。对于业务层, 本文基于电力客服中心数据, 从客户诉求、责任归属、工单异动、服务处理这四个角度提出了反映供电服务质量优劣的指标, 即客户诉求量指标、供电企业有责工单指标、工单异动指标、服务满意率与重复工单数指标。下面将介绍各指标的具体含义。

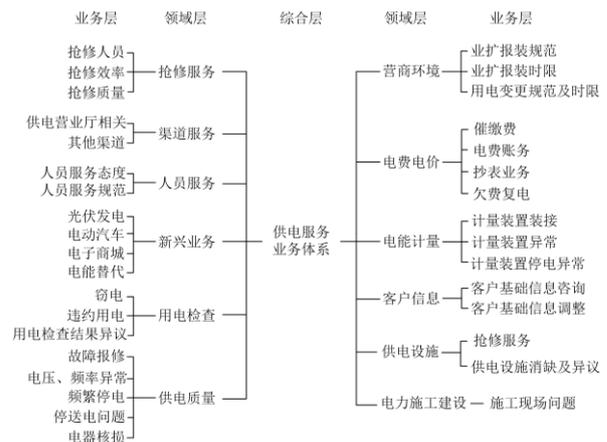


Fig. 1 Diagram of power supply service system

1.1 客户诉求量指标

95598工单是客户反映供电服务质量的重要途径, 属于供电质量评价的用户评价部分, 反映了供电服务企业的用户体验。在95598工单中, 客户对供电公司的服务诉求集中在投诉、意见、服务申请三类工单中, 其中投诉工单反映了由于工作人员服务态度差或业务差错、违规等造成客户利益受损的重要诉求, 意见工单反映了客户对业务受理手续、交费方式等业务有异议的服务问题, 服务申请工单反映了客户各类服务需求。因此本文考虑三类工单的数量, 定义客户诉求指标为

$$R_{m,1} = \sum_{i \in \{TS, YJ, FW\}} \alpha_{m,i} S_{m,i} \times 100\%$$

$$S_{m,i} = \begin{cases} 1 & N_{m,i} < N_{m,i}^{\text{ref}} \\ \frac{N_{m,i}^{\text{ref}}}{N_{m,i}} & N_{m,i} \geq N_{m,i}^{\text{ref}} \end{cases} \quad i \in \{TS, YJ, FW\} \quad (1)$$

$$N_{m,i}^{\text{ref}} = 0.4g(N_{m,i}^n, n=1,2,\dots,N)$$

式中： $S_{m,i}$ 为第 m 类业务中第 i 类工单得分； $N_{m,i}$ 为该供电公司第 m 类业务中第 i 类工单每百万户数量； $N_{m,i}^{\text{ref}}$ 为第 m 类业务中第 i 类工单数量参考值； $N_{m,i}^n$ 表示第 n 个供电公司第 m 类业务中第 i 类工单数量； $g(x)$ 表示若干数中最小值与次小值的加和； $\alpha_{m,i}$ 为第 m 类业务中第 i 类工单修正系数， $0 < \alpha_{m,i} \leq 1$ 且 $\sum_{i \in \{TS, YJ, FW\}} \alpha_{m,i} = 1$ ，其数值通过变异系数法求解。

1.2 供电企业有责工单指标

所有客户诉求发生的原因从责任归属角度可以区分为客户、供电企业、非直接人员责任三类。其中供电企业责任相对于其他两种责任原因会造成更为不良的用户体验，同时也是供电企业可以优化的方向。因此，所有工单中责任在供电企业的比重越小，则供电公司表现就越好，定义供电企业有责工单指标为

$$R_{m,2} = \begin{cases} 1, & N_{m,ZR} < N_{m,ZR}^{\text{ref}} \\ 1 - \frac{N_{m,ZR} - N_{m,ZR}^{\text{ref}}}{N_m}, & N_{m,ZR} \geq N_{m,ZR}^{\text{ref}} \end{cases} \quad (2)$$

$$N_{m,ZR}^{\text{ref}} = 0.4g(N_{m,ZR}^n, n=1,2,\dots,N)$$

式中： $N_{m,ZR}$ 为第 m 类业务供电公司中有责工单数量； $N_{m,ZR}^{\text{ref}}$ 为有责工单数量参考值； $N_{m,ZR}^n$ 表示第 n 个供电公司第 m 类业务的有责工单数量； N_m 为第 m 类业务工单总数。

1.3 工单异动指标

工单话务量是一种受用电负荷、气象和供电公司业务开展等外部主观因素影响的非线性时间序列数据。工单异动是指工单在正常波动量之外的不正常增多。工单异动数量过大表明供电公司在业务服务上出现了异常情况，导致了供电服务质量的下降。本文基于历史数据与趋势分析结果，判别工单数量正常区间，定义工单异动指标为

$$R_{m,3} = \begin{cases} 1, & N_m < N_{m,w} \\ \frac{N_{m,w}}{N_m}, & N_m \geq N_{m,w} \end{cases} \quad (3)$$

$$N_{m,w} = N_{m,p}(1+G)(1+\delta)$$

式中： $N_{m,w}$ 为异动数量阈值； $N_{m,p}$ 上月工单数量； G 为估计工单增长率； δ 为工单异动置信系数。

1.4 服务满意率与重复工单数指标

供电服务申请的处理能力是供电服务评价的重要组成部分，优秀的处理结果是良好客户体验的重要基础。其中客户诉求的服务满意率与重复工单数量是反映供电公司服务质量的重要指标。服务满意率是客户对于工单处理结果的反馈，其满意率高，表明客户对处理结果普遍满意；重复工单反映了诉求未得到及时解决的问题，其数量越多表明工单处理效率较低。因此，定义服务满意率与重复工单数指标为

$$R_{m,4} = \sigma_{m,1} C_m + \sigma_{m,2} \frac{N_{m,R}^{\text{ref}}}{N_{m,R}} \quad (4)$$

$$N_{m,R}^{\text{ref}} = 0.4g(N_{m,R}^n, n=1,2,\dots,N)$$

式中： C_m 为第 m 类业务服务满意率； $N_{m,R}$ 为重复工单数； $N_{m,R}^{\text{ref}}$ 为第 m 类业务重复工单数量参考值； $N_{m,R}^n$ 表示第 n 个供电公司第 m 类业务的重复工单数量； $\sigma_{m,1}$ 为第 m 类业务服务满意率修正系数， $\sigma_{m,2}$ 为第 m 类业务重复工单量修正系数，满足 $\sigma_{m,1} + \sigma_{m,2} = 1$ ，根据工程经验确定其值分别为 0.8 与 0.2。

2 基于改进理想点法和余弦相似度的供电服务质量评价

由于上节所述客户诉求量指标、供电企业有责工单指标、工单异动指标、服务满意率与重复工单数指标都是从某一个方面反映一项业务的供电服务质量，而单独的指标难以对供电公司的服务质量进行全面评价。本文为了客观评价供电公司各方面服务质量，需要将各指标结合，综合各业务评价结果。同时，由于各指标对供电服务质量的重要度不同，需要合理分配权重使得评价结果更符合实际。因此，本节提出基于改进熵权法的权重确定方法，并通过改进理想点法对供电服务进行综合评价。需要指出的是，供电服务质量评价为多层次评价问题，本节以业务层综合评价为例。

2.1 基于改进熵权法的供电服务指标权重确定方法

熵权法是多属性决策问题中一种指标权重的客观赋权方法^[21]，该方法采用信息熵来衡量信息中的有序化程度^[22]。在对 N 个供电公司及 M 项评价指标的供电服务评价中，其供电服务评价矩阵 \mathbf{R} 可以表示为

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & \cdots & r_{1,M} \\ r_{2,1} & r_{2,2} & \cdots & r_{2,M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{N,1} & r_{N,2} & \cdots & r_{N,M} \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中, $r_{n,m}$ 为第 n 个供电公司第 m 项指标值。

第 m 个评价指标的熵值可以定义为

$$H_m = -\beta \sum_{n=1}^N f_{n,m} \ln f_{n,m} \quad m=1,2,\dots,M \quad (6)$$

式中: $f_{n,m} = r_{n,m} / \sum_{n=1}^N r_{n,m}$; $\beta = 1 / \ln N$ 。并且规定当 $f_{n,m} = 0$ 时, $f_{n,m} \ln f_{n,m} = 0$ 。

由熵的定义可知, 熵反映了指标值分布的有序程度与差异程度, 当指标值分布较为均匀时, 其熵值较大, 当指标值分布较为离散时, 其熵值较小。由于部分指标多数供电公司指标值大致相同, 因此会出现熵值接近 1 的情况。此时, 传统熵权法计算得到的指标熵值, 会受微小差距如各供电公司用户数量的影响, 引起成倍的变化, 进而导致部分指标计算得到的权重与其实际重要度不相符^[23]。基于上述情况, 本文提出了基于改进熵权法的权重确定方法, 使供电服务评价指标权重不受个别极端情况影响, 从而得到相对合理的指标权重。因此, 采用改进熵权法确定的权重表达式为

$$\omega_m = \begin{cases} (1 - \bar{H}^\beta) \omega_m^T + \bar{H}^\beta \omega_m^R \\ 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$\omega_m^T = \frac{1 - H_m}{\sum_{i=1}^M 1 - H_i} \quad (8)$$

$$\omega_m^R = \frac{1 + \bar{H} - H_m}{\sum_{i=1, H_i \neq 1}^M 1 + \bar{H} - H_i} \quad (9)$$

式中: ω_m 为第 m 项指标权重; ω_m^T 为传统熵权法所求权重; ω_m^R 为修正权重; H_m 为第 m 项指标熵值; \bar{H} 为所有不为 1 的指标熵的平均值; β 为权值修正因子, 经工程检验^[24], β 取 35.35 时, 在典型情况下所求权值较为客观合理。

2.2 基于改进理想点法和余弦相似度的供电服务质量综合评价方法

理想点法^[25]是一种基于距离相似度的综合评价方法, 根据待评价目标与理想目标的接近程度进行排序和比较。供电公司服务质量评价可以看作是一个多属性决策问题, 所以可以应用理想点法进行综合评价。传统的理想点法基于欧式距离计算目标

与理想目标的相似度, 忽略了其整体分布的相似度, 不满足客户对全面优质服务的需求。余弦相似度考虑了目标与理想目标在方向上的相似性, 能有效全面地体现客户对供电服务质量的要求。因此, 本文提出了基于余弦相似度与改进理想点法的供电服务质量综合评价方法。

根据上节所求权重, 可得加权后供电服务评价矩阵 \mathbf{G} , 即:

$$\mathbf{G} = (g_{n,m})_{N \times M} \quad (10)$$

式中, $g_{n,m} = \omega_m r_{n,m}$ 。

本文取各指标的最高值为正理想解, 取各指标的最低值为负理想解, 由此可以得到理想解向量 $\mathbf{G}^+ = [G_1^+, G_2^+, \dots, G_M^+]$ 与 $\mathbf{G}^- = [G_1^-, G_2^-, \dots, G_M^-]$, 其中 $G_m^+ = \max G_{n,m}$, $G_m^- = \min G_{n,m}$, $n \in \{1, 2, \dots, N\}$, $m \in \{1, 2, \dots, M\}$ 。

由此可得第 n 供电公司指标值与正理想解和负理想解的距离相似度 $C_{n,1}$ 与余弦相似度 $C_{n,2}$, 表达式如式(11)~式(14)所示。

$$C_{n,1} = \frac{D_n^-}{D_n^+ + D_n^-} \quad (11)$$

$$C_{n,2} = \frac{\left(G_n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N G_i \right) \left(G^+ - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N G_i \right)}{G_n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N G_i G^+ - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N G_i} \quad (12)$$

$$D_n^+ = \sqrt{\sum_{m=1}^M (g_{n,m} - G_m^+)^2} \quad (13)$$

$$D_n^- = \sqrt{\sum_{m=1}^M (g_{n,m} - G_m^-)^2} \quad (14)$$

式中: D_n^+ 为第 n 个供电公司指标值与正理想解的欧式距离; D_n^- 为第 n 个供电公司指标值与负理想解的欧式距离; G_n 为第 n 个供电公司的指标得分向量。

结合距离相似度与余弦相似度, 可以得到最终第 n 个供电公司的相似度, 即

$$S_n = \gamma C_{n,1} + (1 - \gamma) C_{n,2} \quad (15)$$

$$\gamma = \eta W_{\text{subj}} + (1 - \eta) W_{\text{obj}} \quad (16)$$

式中: γ 为修正系数, 其由主观权值和客观权值组合而成; 主观权值 W_{subj} 为 0.5; 客观权值 W_{obj} 由熵权法确定; η 根据历史数据检验, 其值为 0.177。

求解出的相对相似度与供电公司服务质量呈正相关性, 相似度越高, 说明其供电服务质量越好, 反之, 相似度越低, 说明其供电服务质量越低。

3 基于双层聚类与模糊评价的供电服务等级评定

根据第 2 节综合评价结果可以得到各供电公司相对排名关系,但是还无法给出具体的服务质量等级,因此本文提出基于聚类与模糊评价的供电服务等级评定方法,对上节供电服务质量评价结果进行双层聚类,得到指标向量集分布类型和各评价等级对应分数,结合评价结果和模糊隶属度函数可得到该供电公司隶属于各评价等级的隶属度,进而确定供电公司的服务等级。

3.1 考虑 DBI 指标的供电服务质量双层聚类模型

本文所提评价系统具有双层结构,上层为指标向量层,由不同供电公司的指标值向量构成,下层为评价结果层,具体结构如图 2 所示。

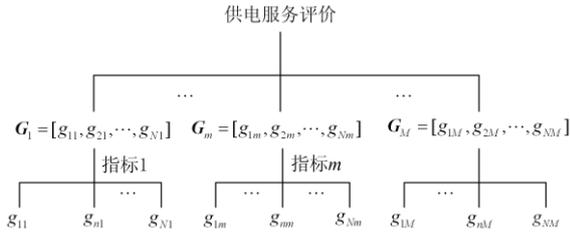


图 2 供电服务质量评价系统双层结构图

Fig. 2 Structure of bi-level evaluating system of power supply service quality

在实际应用中,由于输入的聚类数据为一定时期的供电服务评分数据,其数据样本相对较多,且分布较为稳定,因此异常数据出现较少。 K -means 算法^[26]对大容量样本具有比较好的适应能力,相对其他聚类算法,具有参数少、聚类效果稳定、时间复杂度低等优点,很好地适应了供电服务评价过程中样本多、聚类总数未知的特点。同时,由于异常数据的出现次数较少,能有效避免供电服务评价的聚类结果出现局部最优的情况^[27]。在此背景下,本文基于 K -Means 算法进行双层聚类,指标向量层根据 DBI(Davies-Bouldin)指标确定最优聚类数量,评价结果层根据评价等级数确定聚类数量。DBI 指标^[28]是一种应用广泛的聚类有效性指标,相较其他指标如误差平方和、Calinski-Harabasz(CH)指标具有计算简单、变化范围小等优点^[29]。因此本文采用 DBI 指标确定最佳聚类数目。

DBI 指标值的计算基于同类指标向量平均距离与不同类指标向量中心距离,具体计算公式为

$$I_{DBI} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \max_{j \neq i} R_{i,j} \quad (17)$$

$$R_{i,j} = \frac{\bar{r}_i + \bar{r}_j}{r_{i,j}} \quad (18)$$

式中: K 为聚类数目; \bar{r}_i 、 \bar{r}_j 表示第 i 类与第 j 类的类内距离,即该类内各点到其聚类中心的平均距离; $r_{i,j}$ 表示第 i 类与第 j 类聚类中心的距离。

DBI 指标越小,表明其聚类效果越好,该指标充分考虑了簇间相似度与簇内平均相似度,并限制了总聚类数,很好地适应了供电服务结果聚类类内高相似度、类间高区分度和聚类数目不宜过多的需求,本文选取 DBI 指标最小的 K 作为指标向量层聚类数目,为下节模糊评价的隶属度函数选取提供了依据。

3.2 供电服务质量模糊等级评定方法

模糊等级评定方法^[30-31]是一种基于模糊数学和隶属度原则的等级评定方法,其根据各因素对供电服务质量的影响程度确定权重,可以保证评价结果的可行性^[32],最终确定供电公司服务质量的综合评价等级。

首先,根据各供电公司的供电服务评价结果分布,与上节得到指标向量层聚类结果对照,根据欧氏距离判别其评价结果分布类型。然后,对于单一供电公司的评价结果,可将评价集 V 分为 4 个等级,即:

$$V = \{V_1, V_2, \dots, V_4\} = \{\text{优, 良, 中, 差}\} \quad (19)$$

权重集由评价因子中各个因素的权重组成,权重分配对供电服务质量评价的结果会造成一定影响,合理的权重分配能让结果更具科学性。本文根据 2.1 节改进熵权法得到各个业务的权重向量 $W_i = \{\omega_{i,1}, \omega_{i,2}, \dots, \omega_{i,m}\}$ 及各业务对应服务领域的权重向量 $W = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$ 。

最后,确定供电公司对应各评价等级的模糊隶属度。通过模糊隶属度函数可得到供电公司各服务领域所属模糊关系矩阵 A_i , 即

$$A_i = \begin{bmatrix} A_{i1} \\ A_{i2} \\ \vdots \\ A_{im} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{1V_1} & a_{1V_2} & a_{1V_3} & a_{1V_4} \\ a_{2V_1} & a_{2V_2} & a_{2V_3} & a_{2V_4} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{mV_1} & a_{mV_2} & a_{mV_3} & a_{mV_4} \end{bmatrix} \quad (20)$$

式中, $a_{pV_j} = f(r_{ip}, V_j), 0 \leq a_{pV_j} \leq 1$, 其表示指标值 r_{ip} 对于 V_j 评价等级的隶属度, f 表示模糊隶属度函数; 矩阵 A_i 中第 n 行表示第 n 个指标的单一因素评价结果,为 V 的模糊子集。本文取指标的模糊隶属函数为岭型函数,如图 3 所示。

本文所提出的供电服务质量评价模型共有 3 层,因此需要两级模糊综合评价实现供电服务质量

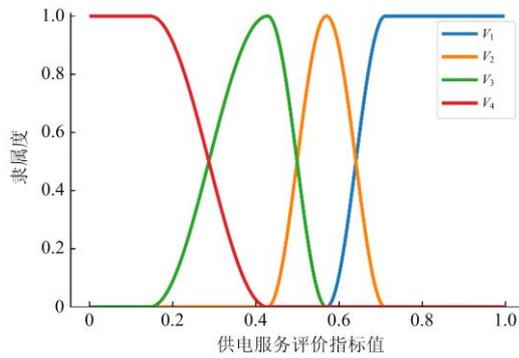


图3 供电服务质量等级确定隶属度函数

Fig. 3 Membership function of grade determination for power supply service quality

模糊等级评定, 其具体实现过程如下。

首先针对服务领域 i 下的不同业务, 计算各业务的模糊关系, 结合各业务所求权重 W_i , 可以得到服务领域 i 的模糊评价向量 B_i 为

$$B_i = W_i \cdot A_i = (b_{iV_1}, b_{iV_2}, b_{iV_3}, b_{iV_4}) \quad (21)$$

然后根据各服务领域的模糊评价向量, 结合各服务领域权重向量 W , 可得最终供电公司的模糊评价结果 C 为

$$C = W \cdot B = (c_{V_1}, c_{V_2}, c_{V_3}, c_{V_4}) \quad (22)$$

式中: $B = [B_1, B_2, \dots, B_l]^T$, l 为待评价服务领域; c_{V_l} 表示对应不同评价等级的隶属度。

最后, 根据最大隶属度原则, 选择 C 中隶属度最大者作为供电服务评价的最终结果。

4 算例分析

以浙江省 11 个供电公司服务质量为例, 采用历史工单数据 20 余万条进行聚类, 在此基础上, 选取了 2020 年 9 月份 66 249 条工单数据对本文所提方法进行验证。

4.1 基于改进理想点法的供电公司服务综合评价

本节业务层评价结果以欠费复电业务为例, 领域层评价结果以电费电价领域为例, 输出各地市最终评价结果。在改进理想点法对业务层、领域层进行评价时, 其修正系数 γ 分别为 0.324、0.372。应用本文第 2 节所提出的权重及综合评价方法, 得到欠费复电业务的各项指标得分及权重如表 1 所示。

根据表 1 数据可知, 供电公司 HU 在该项业务上得分为 0.097, 表现较为薄弱, 其主要的问题在于没有合理满足客户诉求, 工单数量较多。在责任归属方面, 大部分供电企业责任归属指标值均为 1, 因此该业务的工单责任大部分不应在供电公司, 但供电公司 HU 仍有较多服务责任。因此, 供电公司

HU 需要重点关注欠费复电业务, 从而提升服务质量, 减少工单数量; 同时需要对责任原因在供电公司的工单进行原因分析, 尽可能减少有责工单数量。供电公司 ZS 在欠费复电业务上整体表现较优, 但是工单异动指标表现不佳, 相对其他供电公司其工单数量存在不正常的波动, 可能存在服务隐患, 需要引起重视。

表 1 欠费复电业务指标得分

Table 1 Scores of indexes for arrears resumption of electricity

	R_1	R_2	R_3	R_4	总分
供电公司 QZ	0.863	1.000	1.000	0.993	0.292
供电公司 JH	0.944	1.000	0.936	0.993	0.882
供电公司 HU	0.831	0.973	1.000	0.993	0.097
供电公司 WZ	0.936	1.000	1.000	0.993	0.833
供电公司 HZ	0.864	1.000	1.000	0.993	0.296
供电公司 JX	0.959	1.000	1.000	0.993	0.981
供电公司 NB	0.938	1.000	0.956	0.993	0.846
供电公司 ZS	0.962	1.000	0.707	0.992	0.988
供电公司 TZ	0.950	1.000	1.000	0.993	0.922
供电公司 SX	0.907	0.950	1.000	0.992	0.512
供电公司 LS	0.957	1.000	1.000	0.993	0.970
指标权重	0.303	0.207	0.184	0.341	

对电费电价领域的包括欠费复电在内的 4 项业务通过改进熵权法计算权重, 通过 TOPSIS 方法计算其分数, 其熵值及权重计算结果如表 2 所示, 指标得分计算结果如表 3 所示。

表 2 电费电价领域下各业务熵值及权重

Table 2 Entropy and corresponding weight of each business in electricity tariff

业务	催缴费	抄表业务	欠费复电	电费账务
熵	0.862	0.923	0.919	0.750
权值	0.253	0.142	0.148	0.457

表 3 电费电价领域下各业务评价结果

Table 3 Result of evaluation for each business in the field of electricity tariffs

	催缴费	抄表业务	欠费复电	电费账务	总得分
供电公司 QZ	0.367	0.039	0.292	0.724	0.593
供电公司 JH	0.370	0.507	0.882	0.785	0.711
供电公司 HU	0.032	0.162	0.097	0.069	0.042
供电公司 WZ	0.564	0.834	0.833	0.261	0.390
供电公司 HZ	0.850	0.743	0.296	0.046	0.330
供电公司 JX	0.117	0.808	0.981	0.087	0.255
供电公司 NB	0.570	0.373	0.846	0.055	0.273
供电公司 ZS	0.771	0.906	0.988	0.963	0.950
供电公司 TZ	0.484	1.000	0.922	1.000	0.854
供电公司 SX	0.037	0.800	0.512	0.373	0.346
供电公司 LS	0.230	0.666	0.970	0.037	0.240

由表 2 可知：在电费电价业务中，电费账务的熵值最小为 0.750，说明该项指标给供电公司服务评价提供了最多信息，因此该指标在电费电价领域下具有最高的权重 0.457；同时抄表业务具有最高的信息熵 0.923，说明各供电公司在该业务服务质量的分布较为平均，因此其对电费电价领域评价影响较小，经计算其权重也较小，为 0.142。由表 3 数据可知：在电费电价领域，表现较好的供电公司分别为供电公司 ZS、供电公司 TZ、供电公司 JH；表现最劣的供电公司分别为供电公司 HU，其催缴费业务得分为 0.032，抄表业务得分为 0.162，欠费复电业务得分为 0.097，电费账务得分为 0.069，均为全省末位，需要引起重视；次劣的供电公司分别为供电公司 LS，催缴费业务得分为 0.230，电费账务业务得分为 0.037，需要在这两项业务上进行提升。

对共计 12 个供电服务领域计算各供电公司得分，形成供电服务评价二级指标矩阵，根据第二节所提改进熵权法计算各服务领域熵值、权重，其结果如表 4 所示。

表 4 各服务领域熵值及权重

Table 4 Entropy and weight of each service field

服务领域	熵值	权重
客户基础信息	0.867	0.089
人员服务	0.919	0.055
电费电价	0.900	0.068
电能计量	0.918	0.055
渠道服务	0.918	0.055
营商环境	0.946	0.037
用电检查	0.757	0.163
新兴业务	0.818	0.122
供电质量	0.830	0.114
抢修服务	0.896	0.070
电力施工建设	0.875	0.084
供电设施	0.867	0.089

由表 4 可知：各用电领域中，用电检查领域具有最小的熵值 0.757，说明各供电公司在该领域服务质量分布较无规律，即提供了最多的评价信息，因此其具有最高的权重 0.163；另一方面，在营商环境领域，大部分供电公司评价结果较为接近，其熵值也为所有服务领域中最大，为 0.946，因此在供电服务质量评价中其权重也最低，经计算该领域权重为 0.037。

最后，为验证本文所提方法的有效性，分别采用 TOPSIS+BPNN^[18]、PCA+组合赋权^[19]作为评价方法和本文评价方法对各供电公司供电服务质量进行综合评价，评价结果如表 5 所示。

表 5 基于不同方法的供电服务评价结果

Table 5 Evaluation results of power supply service based on different methods

评价结果	TOPSIS+BPNN0		PCA+组合赋权 0		本文方法	
	评价结果	排序	评价结果	排序	评价结果	排序
供电公司 QZ	0.471	4	0.439	5	0.320	7
供电公司 JH	0.442	5	0.627	2	0.427	4
供电公司 HU	0.398	9	0.054	7	0.382	6
供电公司 WZ	0.396	10	-1.120	10	0.301	9
供电公司 HZ	0.337	11	-1.485	11	0.230	11
供电公司 JX	0.405	8	-0.574	8	0.291	10
供电公司 NB	0.438	6	-0.715	9	0.514	3
供电公司 ZS	0.673	1	1.661	1	0.794	1
供电公司 TZ	0.503	3	0.460	3	0.404	5
供电公司 SX	0.437	7	0.204	6	0.310	8
供电公司 LS	0.547	2	0.449	4	0.581	2

由表 5 可知，根据文献[18]与文献[19]所提方法对供电服务质量进行评价时，供电公司 HZ、WZ、JX 的供电服务质量较低，而供电公司 ZS、LS、TZ 的供电服务质量较高。虽然排名结果并不完全相同，但是整体上具有较高的相似性，而这部分评价结果与本文所提方法基本保持一致，这表明了本文所提供电服务质量评价方法的准确性与可靠性。此外，从表 5 得到的结果中可以看出，供电公司 NB 供电服务质量通过不同方法评价得到的排名区别较大，采用文献[18]与文献[19]所提方法评价，供电公司 NB 排名分别为 6 和 9，处在待评价公司中的中下游，而采用本文所提方法，供电公司 NB 的排名为 3，为供电服务质量较高的供电公司。从整体评价结果来看，供电公司 NB 各项业务表现均良好，并未出现明显的服务弱项，因此在本文考虑余弦相似度的评价方法下表现较优，而文献[18]与文献[19]所提方法并未考虑整体分布，因此对部分较劣的业务评分仍然较为保守，导致了部分供电公司弱项业务没有体现，从而导致整体良好的供电公司 NB 排名处在中下游。综上所述，和其他评价方法相比，本文所提方法考虑了各供电服务得分的整体分布，在一定程度上更合理地对供电公司服务质量进行客观评价。

4.2 基于双层聚类与模糊综合评价的服务等级评定

将经 4.1 节计算得到的领域评价结果作为数据输入进行双层聚类，不同聚类数目下指标向量层中的 DBI 指标值如图 4 所示，由此可得到最优的聚类数目 K 为 3，此时的 DBI 指标值为 1.24。评价结果层按照评价等级可分为 4 类，经聚类后可得到各评

价等级中心如表 6 所示。

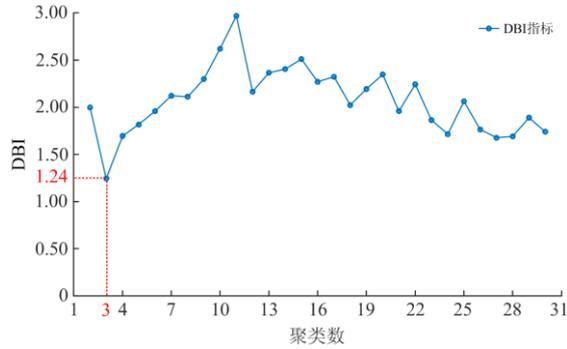


图 4 指标向量层中 DBI 指标值与聚类数的关系

Fig. 4 Relationship between DBI and cluster number of index vector layer

表 6 等级中心聚类分布表

Table 6 Distribution of grade center cluster

分数分布	1	2	3
优	0.948	0.958	0.844
良	0.699	0.817	0.598
中	0.385	0.607	0.368
差	0.102	0.220	0.143

根据各供电公司不同领域评价结果, 得到其相应评价等级的隶属度, 结合第三节所提改进熵权法所求权重进行计算, 最终可得到供电公司的供电服务等级, 如表 7 所示。

表 7 供电公司服务等级隶属度

Table 7 Membership of service level for power supply company

评价等级	优	良	中	差	结果
供电公司 QZ	0.179	0.148	0.534	0.141	中
供电公司 JH	0.021	0.520	0.376	0.084	良
供电公司 HU	0.149	0.209	0.483	0.159	中
供电公司 WZ	0.037	0.284	0.461	0.218	中
供电公司 HZ	0.102	0.119	0.413	0.367	中
供电公司 JX	0.021	0.368	0.426	0.186	中
供电公司 NB	0.291	0.225	0.222	0.263	优
供电公司 ZS	0.694	0.217	0.054	0.037	优
供电公司 TZ	0.241	0.256	0.343	0.161	中
供电公司 SX	0.081	0.215	0.620	0.084	中
供电公司 LS	0.417	0.174	0.288	0.123	优

由表 7 可知: 9 月份该省份共有 3 家供电公司评价等级为优, 分别为供电公司 NB、供电公司 ZS、供电公司 LS; 1 家供电公司评价等级为良, 为供电公司 JH; 其余供电公司评价等级为中, 未出现评价等级为差的供电公司。经过本文所提出的模糊综合评价方法, 可以实现对供电公司服务等级的等级评定, 对服务质量做出直观评价。

5 结论

本文提出了一种基于结构化工单数据的客户侧供电服务评价方法, 提出了基于客户诉求、责任归属、异动水平、服务处理四方面的底层评价指标, 在供电公司服务业务架构的基础上建立了完整的评价指标体系。提出了基于改进熵权法的权重确定方法, 通过引入修正权重, 克服了传统熵权法计算得到的指标权重在整体指标值较为平均的情况下与实际重要度不相符的问题。在理想点法的基础上, 引入了基于余弦相似度的相似度修正方法, 使得供电服务评价结果更接近实际要求。基于评价结果的双层结构, 通过双层聚类模型得到指标分布类型及确定不同类型下各评价等级中心分数, 通过模糊评价方法将评价指标分数转化为易理解的评价等级, 对供电公司的供电服务质量做出直观评价。

参考文献

- [1] 肖峻, 屈玉清, 张宝强, 等. N-0 安全的城市配电网安全域与供电能力[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(17): 12-19.
XIAO Jun, QU Yuqing, ZHANG Baoqiang, et al. Security region and supply capability of urban distribution network with N-0 security[J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(17): 12-19.
- [2] 葛少云, 孙昊, 刘洪, 等. 考虑可靠性与故障后负荷响应的主动配电网供电能力评估[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(6): 77-84.
GE Shaoyun, SUN Hao, LIU Hong, et al. Power supply capability evaluation of active distribution network considering reliability and post-fault load response[J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(6): 77-84.
- [3] 周博, 宋明刚, 黄佳伟, 等. 应对区域供电线路故障的多功能复合储能优化配置方法[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(8): 25-33.
ZHOU Bo, SONG Minggang, HUANG Jiawei, et al. Configuration optimization method of multifunctional hybrid energy storage for regional power line fault[J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(8): 25-33.
- [4] 韦永忠, 张宇, 朱孟周, 等. 考虑分布式电源贡献度的单元制主动配电网供电可靠性评估[J]. 智慧电力, 2019, 47(7): 84-90.
WEI Yongzhong, ZHANG Yu, ZHU Mengzhou, et al. Power supply reliability evaluation for active distribution unit considering DG contribution index[J]. Smart Power,

- 2019, 47(7): 84-90.
- [5] 应俊, 蔡月明, 刘明祥, 等. 基于分布智能控制的供电恢复方案研究[J]. 智慧电力, 2019, 47(7): 62-68, 110.
YING Jun, CAI Yueming, LIU Mingxiang, et al. Power supply recovery scheme based on distributed intelligence control[J]. Smart Power, 2019, 47(7): 62-68, 110.
- [6] 张卫国, 陈良亮, 成海生, 等. 基于电动汽车供电资源态势感知的台区负荷弹性调度策略[J]. 电力建设, 2020, 41(8): 48-56.
ZHANG Weiguo, CHEN Liangliang, CHENG Haisheng, et al. Elastic load scheduling based on awareness of electric vehicle power supply resources[J]. Electric Power Construction, 2020, 41(8): 48-56.
- [7] 沈宝兴, 林琳, 董倩, 等. MMC-HVDC 孤岛供电系统交流故障穿越协调控制策略[J]. 电力建设, 2020, 41(6): 93-99.
SHEN Baoxing, LIN Lin, DONG Qian, et al. Coordinated control strategy for AC fault ride-through of MMC-HVDC island power supply system[J]. Electric Power Construction, 2020, 41(6): 93-99.
- [8] 方静, 彭小圣, 刘泰蔚, 等. 电力设备状态监测大数据发展综述[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(23): 176-185.
FANG Jing, PENG Xiaosheng, LIU Taiwei, et al. Development trend and application prospects of big data-based condition monitoring of power apparatus[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(23): 176-185.
- [9] 何维民, 程雅梦, 李悦, 等. 供电企业供电服务质量评价体系研究[J]. 电力需求侧管理, 2017, 19(5): 41-44, 51.
HE Weimin, CHENG Yameng, LI Yue, et al. The research of index system of power supply service quality evaluation[J]. Power Demand Side Management, 2017, 19(5): 41-44, 51.
- [10] 曾鸣, 周文瑜, 韩英豪, 等. 供电服务质量综合评价体系及其软件系统设计[J]. 电网技术, 2007, 31(增刊 2): 179-184.
ZENG Ming, ZHOU Wenyu, HAN Yinghao, et al. The comprehensive evaluation of power supply service quality and the design of its software system[J]. Power System Technology, 2007, 31(S2): 179-184.
- [11] 李翔, 杨淑霞, 张红斌. 供电服务质量评价方法研究[J]. 电网技术, 2004, 28(12): 34-38.
LI Xiang, YANG Shuxia, ZHANG Hongbin. Research on assessment method for power supply service quality[J]. Power System Technology, 2004, 28(12): 34-38.
- [12] 曾鸣, 周文瑜, 张怡. 电力市场环境下供电服务质量内部评价体系研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(8): 42-46, 52.
ZENG Ming, ZHOU Wenyu, ZHANG Yi. Internal evaluation index systems of service quality of power supply in power market[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(8): 42-46, 52.
- [13] LU S Y, WANG L, KE S C, et al. Evaluation of measured power-quality results of a wind farm connected to Taiwan power system[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2016, 52(1): 42-49.
- [14] LIN S, FENG D, SUN X. Traction power-supply system risk assessment for high-speed railways considering train timetable effects[J]. IEEE Transactions on Reliability, 2019, 68(3): 810-818.
- [15] WU Z, NI X, WU G, et al. Comprehensive evaluation of power supply quality for power sale companies considering customized service[C] // 2018 International Conference on Power System Technology (POWERCON), November 6-8, 2018, Guangzhou, China: 734-739.
- [16] 王鹤, 曾鸣, 陈珊, 等. 基于模糊层次分析法的供电服务质量综合评价模型[J]. 电网技术, 2006, 30(17): 92-96.
WANG He, ZENG Ming, CHEN Shan, et al. Comprehensive evaluation model for power supply service quality based on fuzzy analytic hierarchy process[J]. Power System Technology, 2006, 30(17): 92-96.
- [17] 迟远英, 牛东晓, 李向阳, 等. 基于物元分析理论的供电服务质量评价方法[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(13): 33-37.
CHI Yuanying, NIU Dongxiao, LI Xiangyang, et al. Research on evaluation of power supply service quality based on element analysis theory[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(13): 33-37.
- [18] 曹阳, 徐尔丰, 何英静, 等. 基于 TOPSIS 和 BPNN 的售电公司供电服务质量评价[J]. 电力系统及其自动化学报, 2019, 31(6): 113-120.
CAO Yang, XU Erfeng, HE Yingjing, et al. Quality evaluation on electricity supply service by electricity retail companies based on TOPSIS and BPNN[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2019, 31(6): 113-120.
- [19] WANG J, PANG W, WANG L, et al. Synthetic evaluation of steady-state power quality based on combination weighting and principal component projection method[J]. CSEE Journal of Power & Energy Systems, 2017, 3(2): 160-166.
- [20] 赵腾, 张焰, 张东霞. 智能配电网大数据应用技术与前景分析[J]. 电网技术, 2014, 38(12): 3305-3312.
ZHAO Teng, ZHANG Yan, ZHANG Dongxia. Application technology of big data in smart distribution grid and its prospect analysis[J]. Power System Technology, 2014,

- 38(12): 3305-3312.
- [21] WANG S, GE L, CAI S, et al. Hybrid interval AHP-entropy method for electricity user evaluation in smart electricity utilization[J]. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 2018, 6(4): 701-711.
- [22] 马纪, 刘希喆. 基于序关系-熵权法的低压配网台区健康状态评估[J]. *电力系统保护与控制*, 2017, 45(6): 87-93.
- MA Ji, LIU Xizhe. Evaluation of health status of low-voltage distribution network based on order relation-entropy weight method[J]. *Power System Protection and Control*, 2017, 45(6): 87-93.
- [23] 李英海, 周建中. 基于改进熵权和 Vague 集的多目标防洪调度决策方法[J]. *水电能源科学*, 2010, 28(6): 32-35.
- LI Yinghai, ZHOU Jianzhong. Modified entropy method and vague set based multi-objective flood control decision making approach[J]. *Water Resources and Power*, 2010, 28(6): 32-35.
- [24] 欧阳森, 石怡理. 改进熵权法及其在电能质量评估中的应用[J]. *电力系统自动化*, 2013, 37(21): 156-159.
- OUYANG Sen, SHI Yili. A new improved method and its application in power quality evaluation[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2013, 37(21): 156-159.
- [25] LIU F, ZHANG W. TOPSIS-based consensus model for group decision-making with incomplete interval fuzzy preference relations[J]. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 2014, 44(8): 1283-1294.
- [26] 刘庆珍, 张晓燕, 蔡金锭. 基于降维技术与 K-means 聚类的油纸绝缘状态综合灰评估[J]. *电力系统保护与控制*, 2019, 47(8): 62-70.
- LIU Qingzhen, ZHANG Xiaoyan, CAI Jinding. Comprehensive grey evaluation for oil-paper insulation based on dimension reduction techniques and K-means cluster[J]. *Power System Protection and Control*, 2019, 47(8): 62-70.
- [27] XU T, CHIANG H, LIU G, et al. Hierarchical k-means method for clustering large-scale advanced metering infrastructure data[J]. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2017, 32(2): 609-616.
- [28] 何哲楠, 吴浩, 程祥, 等. 基于变电站-用户双层结构的变电站负荷聚类研究[J]. *电网技术*, 2019, 43(8): 2983-2991.
- HE Zhenan, WU Hao, CHENG Xiang, et al. Substation load clustering based on substation-consumer two-level structure[J]. *Power System Technology*, 2019, 43(8): 2983-2991.
- [29] 王瑞峰, 王庆荣. 基于改进双层聚类多目标优化的配电网动态重构[J]. *电力系统保护与控制*, 2019, 47(21): 92-99.
- WANG Ruifeng, WANG Qingrong. Multi-objective optimization of dynamic reconfiguration of distribution network based on improved Bilayer clustering[J]. *Power System Protection and Control*, 2019, 47(21): 92-99.
- [30] 肖运启, 王昆朋, 贺贯举, 等. 基于趋势预测的大型风电机组运行状态模糊综合评价[J]. *中国电机工程学报*, 2014, 34(13): 2132-2139.
- XIAO Yunqi, WANG Kunpeng, HE Guanju, et al. Fuzzy comprehensive evaluation for operating condition of large-scale wind turbines based on trend predication[J]. *Proceedings of the CSEE*, 2014, 34(13): 2132-2139.
- [31] 彭熹, 王佳文, 李振文, 等. 基于犹豫模糊矩阵的变电站自动化设备检修优先级决策[J]. *电力系统保护与控制*, 2020, 48(4): 104-109.
- PENG Xi, WANG Jiawen, LI Zhenwen, et al. Substation automation equipment maintenance priority decision based on hesitation fuzzy matrix[J]. *Power System Protection and Control*, 2020, 48(4): 104-109.
- [32] LI G, LI G, ZHOU M. Comprehensive evaluation model of wind power accommodation ability based on macroscopic and microscopic indicators[J]. *Protection and Control of Modern Power Systems*, 2019, 4(3): 215-226. DOI: 10.1186/s41601-019-0132-6.

收稿日期: 2021-02-28; 修回日期: 2021-06-22

作者简介:

林之岸(1997—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力大数据分析; E-mail: linzhian@zju.edu.cn

罗欣(1980—), 女, 技师, 主要研究方向为电力系统数据分析与客户服务分析; E-mail: 1187808@qq.com

魏骁雄(1980—), 男, 工程师, 主要从事电力系统数据分析与 95598 运营管理工作。E-mail: davidwei7@hotmail.com

(编辑 葛艳娜)