

基于 AHP 和 BP-Adaboost 的低压电力用户价值评价方法

朱吉然¹, 张帝¹, 张志丹¹, 彭涛¹, 游金梁¹, 唐小伟², 马瑞²

(1. 国网湖南省电力有限公司电力科学研究院, 湖南长沙 410007; 2. 长沙理工大学电气与信息工程学院, 湖南长沙 410114)

摘要:传统的电力用户价值评价一般不区分高、低压电压等级, 高压和低压用户适用指标各异且目前低压电力用户价值评价未见对应指标体系, 为此, 提出一种基于 AHP 和 BP-Adaboost 算法的低压电力用户价值评价方法。首先建立一套低压电力用户价值评价指标体系, 并定义评分规则和等级划分规则; 然后利用层次分析法(AHP)获取低压电力用户价值评价综合得分和等级; 最后提出利用 AHP 和 BP-Adaboost 相结合的算法进行低压电力用户价值评价, 得到低压电力用户综合得分和等级, 并利用决定系数和准确度 2 个参数进行验证。算例仿真及其结果表明方法正确有效。

关键词: 低压电力用户价值评价体系; 评分规则; 等级划分规则; 综合得分; BP-Adaboost

DOI:10.19781/j.issn.1673-9140.2022.05.017 中图分类号: TM73 文章编号: 1673-9140(2022)05-0155-09

A value evaluation method of power user based on AHP and BP-Adaboost algorithms

ZHU Jiran¹, ZHANG Di¹, ZHANG Zhidan¹, PENG Tao¹,
YOU Jinliang¹, TANG Xiaowei², MA Rui²

(1. Electric Power Research Institute of State Grid Hunan Electric Power Co., Ltd., Changsha 410007, China; 2. School of Electrical & Information Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China)

Abstract: The traditional value evaluation of power users does not consider the high and low voltage levels generally. In fact, the applicable indicators of high voltage and low voltage users are different, especially, there is no corresponding indicator system for the current low voltage power user value evaluation. Therefore, this paper proposes a low voltage power user value evaluation method based on the AHP and BP Adaboost algorithms. Firstly, a set of low-voltage power user value evaluation index systems are established, and the scoring rules and grading rules are defined. Then the comprehensive scores and grades of low-voltage power user value evaluation are obtained by AHP. Finally, the calculation method combining AHP and BP Adaboost is proposed to evaluate the low-voltage power user value, and the comprehensive scores and grades of low-voltage power users are obtained after that. In addition, the two parameters of determination coefficient and accuracy are used for verification. The simulation results show that the method is correct and effective.

Key words: low-voltage power user value evaluation index system; grading rules; definition of classification; comprehensive scores; BP-Adaboost

收稿日期: 2019-12-04; 修回日期: 2020-03-29

基金项目: 国家自然科学基金(5127715); 国家电网湖南省电力有限公司项目(5216A5180014)

通信作者: 唐小伟(1996—), 男, 硕士, 主要从事面向客户需求的电力客户用户画像研究; E-mail: q5566897@126.com

售电侧市场放开是在售电环节引入市场竞争,赋予电力客户购电自主选择权和构建多元化售电主体,旨在创新服务内容、服务方式,满足客户差异化服务需求^[1-3]。电网企业不再处于垄断企业,要想提升市场竞争力和增大企业生存空间,必须从多方面满足电力用户多元化需求,对电力用户价值进行评价是首要任务,并提供相应的增值服务。

电力用户价值评价指标体系的构建必须从多个维度进行综合考量。文献[4]从当前价值、潜在价值和信用价值 3 个维度建立电力客户细分指标体系,指标内容包含用电特征、发展潜力、经济信用等 6 个方面,并制定相应的增值服务;文献[5]从电力用户当前价值、潜在价值和区域价值 3 个维度进行电力用户指标体系的构建,包含用户信用、安全水平、客户社会影响力、用户忠诚度等 10 个三级指标;文献[6]从用电特征、基本行为、用电贡献、发展潜力和信用行为 5 个维度进行指标体系的建设,包含电压等级、运行容量、负载率、低谷用电率等 12 个三级指标;文献[7]从当前经济贡献、用电管理水平、客户信用情况、客户社会影响力和客户发展潜力进行电力用户细分。以上研究均适用于高压电力用户,现阶段并未展开低压电力用户指标体系构建的相关研究,且部分指标只适用于高压电力用户,如负载率、安全水平等指标。为此,构建低压电力用户评价指标体系,并针对其制定相应的增值服务,对提高供电企业市场竞争和客户个性化需求具有十分重要的意义。

电力及其他行业用户价值评价的方法主要有德菲尔法、层次分析法、分定级法、特殊定级法、大数据挖掘算法等,且层次分析法应用最为广泛。文献[8]利用层次分析法对电力施工企业安全质量信用进行评价,将层次分析和其他算法相结合能简化数学模型;文献[9]采用 AHP 和 BP 算法对高校研究生综合素质进行评价,BP 神经网络不需要复杂的算法模型,极大地提高了评价的速度。但是 BP 算法容易陷入局部最小值,而基于 Adaboost 算法改进的 BP 算法能够极大克服这种缺陷。

本文提出一种基于 AHP 和 BP-Adaboost 算法的低压电力用户价值评价方法。建立一套低压电力用户价值评价指标体系,并定义评分规则和等级

划分规则;然后利用层次分析法(analytic hierarchy process,AHP)获取低压电力用户价值评价综合得分和等级;最后提出利用 AHP 和 BP-Adaboost 相结合的算法进行低压电力用户价值评价,得到低压电力用户综合得分和等级。算例仿真验证方法的有效性。

1 基于 AHP 和 BP-Adaboost 算法的低压电力用户价值评价构架

利用 AHP 和 BP-Adaboost 算法来实现对低压电力用户价值进行评价,由低压电力用户价值评价指标体系的设计、低压电力用户价值评价综合得分、低压电力用户价值评价模型的构建三部分组成。基于 AHP 和 BP-Adaboost 算法的低压电力用户价值评级实施架构如图 1 所示。

1)低压电力用户价值评价指标体系的设计。从用电特征、经济价值、客户信用和客户互动 4 个维度进行指标体系的构建,设计评价指标体系的评分规则,并对评价指标体系进行等级的划分。

2)低压电力用户价值评价综合得分。综合分析专家经验和电力行业特性,确定各个层次的判断矩阵,基于层次分析法得到低压电力用户评价综合得分。

3)低压电力用户价值评价模型的构建。将电力用户价值评价综合得分和各指标分值进行归一

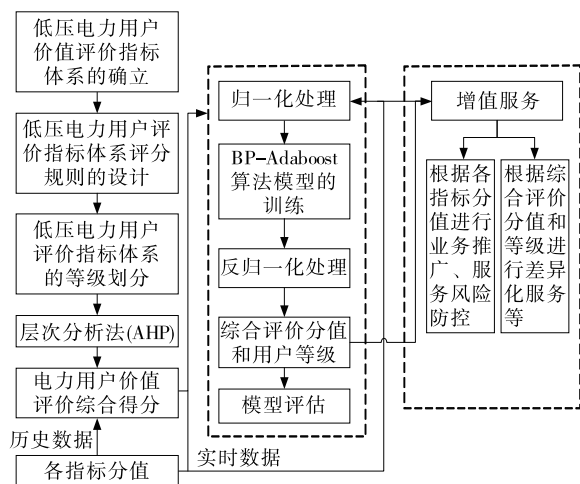


图 1 低压电力用户价值综合评价实施架构

Figure 1 Implementation framework for comprehensive evaluation of low voltage power user value

化处理,输入到模型中训练。只需将各指标分值输入到训练完成的模型即可得到相应的预测综合得分,根据等级划分定义即可确定客户等级。

4)增值服务。根据各指标的分数和等级能够进行产品推广和服务风险防控等方面的业务,根据综合评价分值和等级进行差异化的服务。

2 低压电力用户价值评价指标体系

2.1 低压电力用户价值评价指标体系的构建

随着互联网时代不断发展,电网企业增加与用户之间的互动,深度挖掘电力用户价值和满足电力用户多样化需求。因此,本文从网上国网应用情况、微信公众号应用情况等指标出发,增加客户互动这个二级指标。

参照已有相关研究建立的电力用户价值评价指标体系^[4-7],其三级指标大致从用电特征、经济价值和客户信用 3 个方面进行囊括,本文剔除掉只适用于高压用户的指标,在以上基础并增加其他电力服务消费情况、是否新能源用户、网上国网应用情况、个人信息变更通知、服务评价和微信公众号应用情况 6 个三级指标,具体的指标体系如图 2 所示。

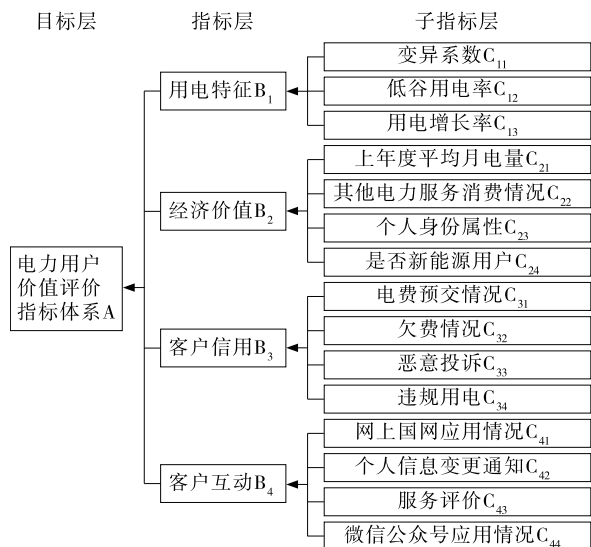


图 2 低压电力用户价值评价指标体系

Figure 2 Evaluation index system of low voltage power users' value

2.2 电力用户价值评价指标体系的描述

用电特征可以分为变异系数、低谷用电率和用电增长率 3 个指标。变异系数主要反映低压电力用

户用电量的波动性,波动越小,低压电力用户的价值越高;低谷用电率指年低谷用电量与年总用电量的比值,低谷用电率越高用户价值越高;用电增长率能够衡量用户在电量消耗的增长空间。

经济价值分为上年度平均月电量、其他电力服务消费情况、个人身份属性和是否新能源用户 4 个指标。上年度平均用电量用来衡量低压电力用户的用电能力;其他电力服务消费情况指低压电力用户每年从电力公司渠道购买电器、电动汽车、充电桩等业务产生的消费额,反映低压电力用户的消费能力;个人身份属性从电力用户的社会影响力和特殊职业进行综合分析;是否新能源用户反映用户是否为光伏等新能源用户,从新能源方向衡量低压电力用户的价值。

客户信用反映低压电力用户交费意愿、个人品行和用电规范,客户信用度越高代表电网对电力用户投资产生的风险也越小,客户信用分为电费预交情况、欠费情况、恶意投诉和违规用电 4 个指标。电费预交情况从低压电力用户预交金额进行分析;欠费情况指用户的欠费历史记录;恶意投诉根据低压电力用户的不属实的投诉历史记录进行衡量;违规用电是指低压电力用户是否存在违规用电和窃电历史记录。

客户互动主要衡量用户的忠诚度,互动越频繁和响应越迅速的低压电力用户的价值越高,主要分为网上国网应用情况、个人信息变更通知、服务评价和微信公众号应用情况 5 个指标。网上国网应用情况和微信公众号应用情况从低压电力用户是否绑定网上国网 App 或注册湖南电力微信公众号和是否使用用来对低压电力用户价值进行评分;个人信息变更通知从个人联系方式、地址等信息变更是否主动通知电网公司来对低压电力用户价值进行衡量;服务评价是反映低压电力用户和电网公司之间的信任度,利用属实评价的次数来衡量用户价值。

2.3 低压电力用户价值评价指标体系评分规则的设置

低压电力用户价值评价指标体系评分规则是在电网对低压电力用户价值进行评价的时候,根据评分规则对各个指标进行打分。根据图 2 所示的指标体系将各个指标的最高分数均设定为 100 分,根

据指标的特性进行评分规则的设定。在评价体系中,指标分为定性指标和定量指标两类^[10]定性指标的评分规则如表 1 所示,定量指标的评分规则如表 2 所示。

表 1 低压电力用户价值定性指标评分规则

Table 1 Grading rules for qualitative indexes of low voltage power users' value

序号	指标	评分规则
C ₂₃	个人身份属性	按照个人身份影响力程度分为 100 分、80 分、60 分、40 分 20 分和 0 分
C ₂₄	是否新能源用户	光伏用电客户客户得 100 分,非光伏用电客户得 0 分
C ₄₁	网上国网应用情况	未绑定网上国网得 0 分,绑定未使用得 50 分,绑定且经常使用得 100 分
C ₄₂	个人信息变更通知	个人联系方式、地址变更主动告知得 100 分,变更未告知得 0 分
C ₄₄	微信公众号应用情况	未绑定微信公众号得 0 分,绑定未使用得 50 分,绑定且经常使用得 100 分

表 2 低压电力用户价值定量指标评分规则

Table 2 Grading rules for quantitative index of low voltage power user value

序号	指标	评分规则
C ₁₁	变异系数	变异系数按升序排列,前 10%为 100 分,每降低 10%扣 0.1 分,最低分 0 分
C ₁₂	低谷用电率	低谷用电率在前 1%的为 100 分,每下降 0.5%得分降低 0.5 分,最低分 0 分
C ₁₃	用电增长率	用电增长率前 0.1%得 100 分,每下降 0.1%得分降低 0.1 分,最低分 0 分
C ₂₁	上年度平均月电量	上年度平均月电量前 0.1%的 100 分,每下降 0.1%得分降低 0.1 分,最低分 0 分
C ₂₂	其他电力服务消费情况	消费情况前 0.1%的 100 分,每下降 0.1%得分降低 0.1 分,最低分 0 分
C ₃₁	电费预交情况	年预交金额前 0.1%得 100 分,每下降 0.1%得分降低 0.1 分,最低分 0 分
C ₃₂	欠费情况	欠费一次扣 25 分,最低分 0 分
C ₃₃	恶意投诉	不属实投诉一次扣 20 分,最低分 0 分
C ₃₄	违规用电	违规用电 1 次扣 50 分,最低分 0 分
C ₄₃	服务评价	服务评价全部属实得 100 分,不属实一次扣 20 分,最低分为 0 分

2.4 低压电力用户价值评价指标体系等级的划分

根据专家经验和电力行业的特殊性,将电力用户的价值等级划分为四星级用户、三星级用户、二

星级用户、一星级用户和无星级用户 5 个等级。5 个等级的划分定义如表 3 所示。

表 3 等级划分定义

Table 3 Classification definition

等级	等级划分的定义
四星级用户	综合评价分值在 90 分以上
三星级用户	综合评价分值在 80 到 90 分之间
二星级用户	综合评价分值在 70 到 80 分之间
一星级用户	综合评价分值在 60 到 70 分之间
无星级用户	综合评价分值在 60 分以下的

3 基于层次分析法的低压电力用户价值的综合评价

AHP 最开始由 Saaty 提出来的,AHP 将定量分析和定性分析有机的结合起来,将目标分成多个影响因素,形成一个多层次的模型,从第底层向上确定因素间的相对重要性,并对权重进行量化,从而实现定量化决策^[11]。AHP 的具体的步骤如下。

1)根据电力用户价值评价指标体系建立层次结构模型。模型分为 3 层,最上面一层为目标层(电力用户价值评价),中间一层为准则层或指标层,最下面一层为方案层(电力用户等级),具体的层次结构模型如图 2 所示^[12]。

2)构造判断矩阵。判断矩阵即同一层次的指标在上一层次中的相对重要性,将同一层次的任意两个指标进行对比,并将重要的程度量化成具体的数值,从而构造判断矩阵。

假定 B 层次因素中 B_i与下一层次 X_i(i=1, 2, ..., n)有关联,则构造判断矩阵,采用如下的形式:

$$\begin{bmatrix} B_i & X_1 & X_2 & \cdots & X_n \\ X_1 & b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ X_2 & b_{21} & b_{21} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_n & b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix}$$

且任何判断矩阵都应该满足如下的性质:

$$\{b_{ij} > 0, b_{ij} = \frac{1}{b_{ji}}, b_{ii} = 1\}$$

专家依据低压电力用户电量、电力信用等指标的电力行业特性和结合现有评价标准,确定各层电力用户指标的相对重要性,从而确定各层判断矩

阵,且各个指标的相对重要性的评价标准^[13]如表 4 所示。

表 4 评价标准

Table 4 Evaluation criterion

判断尺度	定义	判断尺度	定义
1	X_i 和 X_j 同等重要	7	X_i 比 X_j 重要的多
3	X_i 比 X_j 稍微重要	9	X_i 比 X_j 绝对重要
5	X_i 比 X_j 重要	2,4,6,8	介于上述之间

3)计算指标权重向量,并做一致性校验。

指标权重向量是指每个判断矩阵中的各指标与上层指标的相对权重,计算每个判断矩阵的最大特征根及其相应的特征向量。

首先,计算指标一致性 C_1 的大小, C_1 越小,说明一致性越大,反之,非一致性程度越严重^[14]。

$$C_1 = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (1)$$

式中 n 为判断矩阵对角线元素个数; λ 为最大特征根。

其次,为了衡量 C_1 ,引入平均随机一致性指标 R_1 ^[15],一致性指标数值如表 5 所示。

表 5 平均随机一致性指标

Table 5 The average random consistency index

n	R_1	n	R_1
1	0.00	6	1.24
2	0.00	7	1.32
3	0.58	8	1.41
4	0.90	9	1.45
5	1.12		

最后,计算一致性比率为

$$C_R = \frac{C_1}{R_1} \quad (2)$$

当 $C_R \leq 0.1$,则认定判断矩阵具有的一致性在可以接受的范围内,反之,则对判断矩阵进行修正。

4)计算指标的组权向量并做组合一致性校验。指标的组权向量是指每一个判断矩阵中各指标对最上层目标的相对权重,组权重可作为决策的定量依据。组合权重的确定是采用自顶相下的方法,合成计算出来的。

在进行一致性校验时,如果校验结果在允许范围内,则可使用表示出来的组权向量进行问题的求解和决策;反之,对模型进行完善或者对判断矩

阵进行修正。

5)计算电力用户价值综合评价分值。电力用户价值综合评价分值通过组权向量乘以各指标分值即可得到。

4 基于 BP-Adaboost 的低压电力用户价值评价模型

4.1 算法原理

BP 神经网络是一种有监督预测算法,即一组输入数据对应一组输出样本,但 BP 神经网络在进行训练的时候容易陷入局部最小值,降低了预测的精准性^[16]。而基于 BP-Adaboost 算法是进行多个预测器的训练,增加预测精度低的样本权重,降低预测精度高的权重,从而达到提高预测精度的目的^[17]。基于此,本文采用 BP-Adaboost 算法对低压电力用户价值进行评价得分。BP-Adaboost 算法的具体步骤如下。

1)利用电力用户价值评价指标分值样本组成训练集 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$,利用层次分析法得到的电力用户的综合评价分值,归一化之后的综合评价分值作为期望输出。为训练集 X 中每个分值样本赋权重,初始化的权重相同。

$$D_1 = \{d_{11}, d_{12}, \dots, d_{1m}\} \quad (3)$$

式中 $d_{1i} = 1/m$ 为样本的初始化权重, $i = 1, 2, \dots, m$; m 为训练集中电力用户价值评价指标分值样本的个数。

2)利用训练样本训练第 t 个 BP 弱预测器 I_t 。并根据 I_t 的预测结果 $G_t = \{y'_1, y'_2, \dots, y'_m\}$ 与期望输出 Y 得到预测错误样本,并由预测错误样本的权重计算第 t 个预测器的预测误差。

$$e_t = \sum D_t(l), l = 1, 2, \dots, m (G_t(l) \neq Y(l)) \quad (4)$$

3)根据 I_t 的预测误差计算该预测器的权重系数 W_t ,同时根据预测器 I_t 的分类误差调整下一个预测器 I_{t+1} 的训练集样本权重 D_{t+1} 。

$$W_t = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1 - e_t}{e_t} \right) \quad (5)$$

$$D_{t+1}(i+1) = \frac{D_t(i)}{B_t} e^{[-W_t Y(i) G_t(i)]} \quad (6)$$

$$B_i = \sum_{i=1}^m D_i(i) e^{-W_i Y(i) G_i(i)} \quad (7)$$

式中 B_i 为样本权重归一化因子。

4) 继续执行步骤 2)、3) 直到 T 个弱预测器训练完成。利用训练完成的 T 个 BP 弱预测器对待测低压电力用户价值评价指标分值样本进行识别, 综合 T 个预测器的预测结果并将结果反归一化, 得到预测的低压电力用户价值综合得分 f 。

4.2 模型评价性能评估

为全面评价模型的整体性能, 本文选取决定系数 R^2 ^[18] 和准确度^[19-20] 这 2 个参数作为评价模型的指标。准确度用于评估预测等级和实际等级的匹配程度, 决定系数 R^2 用于评估预测综合得分和实际综合得分的符合程度, 其具体计算方法如下所示:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (y_i - f_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2} \quad (8)$$

$$P_{RE} = \frac{T_P}{T_P + F_P} \quad (9)$$

式中 y 为层次分析法得到的实际综合得分; f 为 BP-Adaboost 预测的综合得分; \bar{y} 为实际综合得分的平均值; P_{RE} 为准确度; T_P 为预测等级和实际等级相同的总数; F_P 为预测等级和实际等级不相同的总数。

5 算例仿真及其结果分析

5.1 实验环境

所设计的 AHP 和 BP-Adaboost 算法使用 Matlab 2018a 编程实现, 硬件平台使用 Intel(R) Core(TM) i5-4200H 2.8 HZ 的笔记本电脑。获得 10 000 名某省低压电力用户各指标关联基础数据, 本文根据表 1、2 的评分规则, 通过 Matlab 软件内嵌的函数自动生成 10 000 名低压电力用各指标分数组成的数据集。

5.2 基于层次分析法的电力用户价值评价综合评分

根据 3 名电力专家经验和电力行业特性, 采用 1~9 标度法综合确定各层判断矩阵, 具体见表 6~10。利用 Matlab 编程分别求出各层判断矩阵的最大特征根 λ_{max} 以及其对应的特征向量, 对各层判断矩阵进行一致性校验, 保证判断矩阵中 2 个指标相

对重要性比值设定的合理性和科学性, 如果一致比率 $C_R \leq 0.1$, 即检验成功, 然后归一化得到我们的最大特征根向量, 即各个指标的权重, 具体如表 6~10 所示, 低压电力用户价值评价各指标组合权重如表 11 所示, 各等级人数分布如表 12 所示。

表 6 准则层判断矩阵

Table 6 Criterion level judgment matrix

A	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	权重
B ₁	1	1/2	1/4	1	0.125 6
B ₂	2	1	2	2	0.381 0
B ₃	4	1/2	1	4	0.367 8
B ₄	1	1/2	1/4	1	0.125 6

注: $\lambda_{max} = 4.249$, $C_1 = 0.083$, $C_R = 0.074$ $2 < 0.10$

表 7 判断矩阵 B₁-C

Table 7 Judgment matrix B₁-C

B ₁	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	权重
C ₁₁	1	1/2	1	0.240 2
C ₁₂	2	1	2	0.549 9
C ₁₃	1	1/3	1	0.209 8

注: $\lambda_{max} = 3.018$, $C_1 = 0.091$, $C_R = 0.015$ $8 < 0.10$

表 8 判断矩阵 B₂-C

Table 8 Judgment matrix B₂-C

B ₂	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₂₄	权重
C ₂₁	1	1/2	1	1	0.185 5
C ₂₂	2	1	2	2	0.371 0
C ₂₃	1	1/2	1	1/2	0.152 4
C ₂₄	1/2	2	1	1	0.291 1

注: $\lambda_{max} = 4.390$, $C_1 = 0.130$, $C_R = 0.144$ $7 < 0.10$

表 9 判断矩阵 B₃-C

Table 9 Judgment matrix B₃-C

B ₃	C ₃₁	C ₃₂	C ₃₃	C ₃₄	权重
C ₃₁	1	1	2	2	0.326 1
C ₃₂	1	1	2	3	0.362 9
C ₃₃	1/2	1/2	1	1	0.163 0
C ₃₄	1/2	1/3	1	1	0.148 0

注: $\lambda_{max} = 4.020$, $C_1 = 0.006$, $C_R = 0.007$ $6 < 0.10$

表 10 判断矩阵 B₄-C

Table 10 Judgment matrix B₄-C

B ₄	C ₄₁	C ₄₂	C ₄₃	C ₄₄	权重
C ₄₁	1	5	3	7	0.565 0
C ₄₂	1/5	1	1/3	3	0.117 5
C ₄₃	1/3	3	1	5	0.262 2
C ₄₄	1/7	1/3	1/5	1	0.055 3

注: $\lambda_{max} = 4.117$, $C_1 = 0.039$, $C_R = 0.043$ $3 < 0.10$

表 11 电力用户价值评价各指标组合权重

Table 11 Combined weight of each index of power user value evaluation

指标	组合权重	指标	组合权重
C ₁₁	0.030 0	C ₃₂	0.181 4
C ₁₂	0.068 7	C ₃₃	0.081 5
C ₁₃	0.026 2	C ₃₄	0.074 0
C ₂₁	0.046 4	C ₄₁	0.070 6
C ₂₂	0.092 8	C ₄₂	0.014 7
C ₂₃	0.038 1	C ₄₃	0.032 8
C ₂₄	0.072 8	C ₄₂	0.006 9
C ₃₁	0.163 0		

表 12 各等级人数

Table 12 Number of people at all levels

无星级	一星级	二星级	三星级	四星级
5 410	2 602	1 403	485	100

根据各等级人数分布情况,人数分布是呈下降趋势,高等级的用户人数最少,低等级的人数最多,算例结果符合实际情况。

5.3 基于 BP-Adaboost 算法的电力用户价值评价性能分析

将 9 000 名电力用户的综合评价分值和各指标分数进行归一化处理,归一化之后的综合评价分作为 BP-Adaboost 算法的训练输出样本,归一化之后的各指标分值样本作为训练输入样本,进行模型的训练;将 1 000 名低压电力用户归一化之后的各个指标分值作为实时测试样本,并将输出的测试结果进行反归一化处理,得到低压电力用户价值评价的综合得分,并进行 BP-Adaboost 算法性能分析。

选取通过 BP-Adaboost 算法预测出来的 100 名低压电力用户价值评价综合得分与实际综合得分进行对比分析,实际值和预测值对比分析如图 3 所示。

由图 3 可知,通过 BP-Adaboost 算法训练得到的综合得分和实际综合得分的结果非常的相似,其非线性的逼近效果非常的明显。

同时,从决定系数 R^2 和准确度这 2 个指标对本文模型的性能进行全面衡量,并将本文算法模型和 BP 算法进行对比分析,算法模型对比分析如表 12 所示。

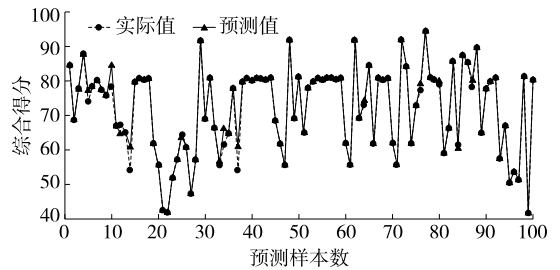


图 3 实际值和预测值对比分析

Figure 3 The actual value is compared with the predicted value

表 12 算法模型对比分析

Table 12 Comparative analysis of algorithm models

算法	准确度/%	决定系数 R^2 /%
BP-Adaboost	97.22	98.19
BP	88.94	89.16

基于以上分析,本文模型的准确度高于 BP 算法,且决定系数体现的拟合程度也优于 BP 算法。

5.4 增值服务

根据各指标分值进行业务推广和服务风险防控,业务推广主要从客户经济价值入手,若客户影响力高,但其他电力服务消费指标分数低,则可对该类客户进行适当的产品推广。服务风险防控主要从客户信用进行分析,将违规用电、恶意投诉和欠费指标分数低的客户推送到营销系统内,从而提高服务风险防控的能力。

根据综合评价分值和等级进行差异化的服务,为等级高的用户提供超出标准化服务范围的服务,且提供的服务都具有增值性,从而实现客户和电网公司的双赢局面。

6 结语

本文为应对放售电市场分开和满足电力用户的多元化需求,提出了一种基于 AHP 和 BP-Adaboost 算法的低压电力用户价值评价方法,得到如下结论:

- 1)针对目前低压电力用户价值评价缺乏指标体系实际,提出了一套低压电力用户价值评价指标体系,并定义了相应的评分规则和等级划分;
- 2)给出了基于层次分析法得到电力用户价值评价综合评分方法。

3)基于 AHP 和 BP-Adaboost 相结合模型可有效实现低压电力用户价值评价,通过各指标分值和综合得分为客户差异化增值服务提供了决策支持信息,算例仿真验证了本文方法的有效性。

参考文献:

- [1] 孙可,兰洲,林振智,等.国际典型电力市场阻塞管理机制及其对中国的启示研究[J].电力系统保护与控制,2020,48(12):170-178.
SUN Ke, LAN Zhou, LIN Zhenzhi, et al. Transmission congestion management mechanism of typical international power markets and possible guidance for China's power market[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(12): 170-178.
- [2] 喻小宝,谭忠富,屈高强.基于电力客户评估的差异化电价套餐研究[J].中国电力,2020,53(2):9-19.
YU Xiaobao, TAN Zhongfu, QU Gaoqiang. Research on differentiated price package based on power customer evaluation[J]. Electric Power, 2020, 53(2): 9-19.
- [3] 李晶,李永波,钱寒晗,等.考虑售电公司最优经营策略的曲线交易机制设计[J].电力系统保护与控制,2021,49(24):69-77.
LI Jing, LI Yongbo, QIAN Hanhan, et al. Curve trading mechanism design considering the optimal management strategy of electricity retailers[J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(24): 69-77.
- [4] 卢海明,刘向东.电力客户细分及增值服务系统研究与应用[J].华北电力技术,2016(10):8-13.
LU Haiming, LIU Xiangdong. Study on value-added service for power customer segmentation[J]. North China Electric Power, 2016(10): 8-13.
- [5] 裘华东,张云雷,段光,等.基于理想模糊物元的电力用户价值评价[J].技术经济,2018,37(7):107-113.
QIU Huadong, ZHANG Yunlei, DUAN Guang, et al. Evaluation on value of power user based on idea fuzzy matter element[J]. Technical Economics, 2018, 37(7): 107-113.
- [6] 陈新崛,吴飞,孔月萍,等.售电侧放开背景下电力大客户需求识别研究[J].电力需求侧管理,2019,21(2):66-70.
CHEN Xinjue, WU Fei, KONG Yueping, et al. Research on demand analysis of electric power customers based on market competition[J]. Power Demand Side Management, 2019, 21(2): 66-70.
- [7] 王松涛.市场条件下的电力客户价值分析体系[J].电网技术,2010,34(2):155-158.
WANG Songtao. Value analysis system of electricity customers under market condition[J]. Power System Technology, 2010, 34(2): 155-158.
- [8] 钱梦迪,赵雪骞,穆克彬,等.层次分析法在电力施工企业安全质量信用评价体系中的应用[J].经营与管理,2018(9):101-103.
Qian Mengdi, ZHAO Xueqian, MU Kebin, et al. Application of analytic hierarchy process(ahp)in safety quality credit evaluation system of power construction enterprises [J]. Management & Management, 2018(9): 101-103.
- [9] 蔡会娟.基于 AHP 和 BP 神经网络的高校研究生综合素质评价研究[D].新乡:河南师范大学,2014.
- [10] 朱晔,刘欣,慕小斌,等.基于层次分析和风险熵权的多站融合综合能源系统多指标综合评估[J].电测与仪表,2022,59(4):128-136+143.
ZHU Ye, LIU Xin, MU Xiaobin, et al. Multi-index comprehensive evaluation of multi-station integrated energy system based on analytic hierarchy process and risk entropy weight[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2022, 59(4): 128-136+143.
- [11] 邓嘉明,李俊杰,姜世公,等.考虑配电网规划长期增量成本的可靠性定价方法[J].电网与清洁能源,2021,37(3):17-23+30.
DENG Jiaming, LI Junjie, JIANG Shigong, et al. A reliability pricing method considering long-term incremental cost of distribution network planning [J]. Power System and Clean Energy, 2021, 37(3): 17-23+30.
- [12] 刘亚丽,王旭东,赵迎春,等.基于 TOPSIS 法的充电机运行性能组合赋权评价方法[J].电力工程技术,2019,38(5):130-137.
LIU Yali, WANG Xudong, ZHAO Yingchun, et al. Evaluation method for the combination weighting of charging machine operating performance based on TOPSIS method[J]. Electric Power Engineering Technology, 2019, 38(5): 130-137.
- [13] 陈仲伟,黄来,王逸超,等.基于全寿命周期理论的电网技术经济评价体系[J].电力科学与技术学报,2017,32(4):120-124.
CHEN Zhongwei, HUANG Lai, WANG Yichao, et al. Technical economic evaluation system of power grid based on the whole-life-cycle theory[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2017, 32(4):

- 120-124.
- [14] 李国庆,翟晓娟.基于层次分析法的孤立微电网多目标优化运行[J].电力系统保护与控制,2018,46(10):17-23.
LI Guoqing, ZHAI Xiaojuan. Multi-objective optimal operation of island micro-grid based on analytic hierarchy process[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(10): 17-23.
- [15] 郭艳飞,任雪桂,鞠力,等.基于层次分析法的综合能源系统能效评估方法研究及应用[J].电力科学与技术学报,2018,33(4):121-128.
GUO Yanfei, REN Xuegua, JU Li, et al. The comprehensive efficiency evaluation method for integrated energy system based on AHP[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2018, 33(4): 121-128.
- [16] 唐志国,曹智,何宁辉.卷积神经网络迁移学习在局部放电类型诊断中的应用[J].高压电器,2022,58(4):158-164.
TANG Zhiguo, CAO Zhi, HE Ninghui. Application of convolutional neural network transfer learning in partial discharge type diagnosis[J]. High Voltage Apparatus, 2022, 58(4): 158-164.
- [17] 周明,宋旭帆,涂京,等.基于非侵入式负荷监测的居民用电行为分析[J].电网技术,2018,42(10):3268-3276.
ZHOU Ming, SONG Xufan, TU Jing, et al. Residential electricity consumption behavior analysis based on non-intrusive load monitoring[J]. Power System Technology, 2018, 42(10): 3268-3276.
- [18] 郝露茜,吴军,王智冬,等.电力系统源-网-荷-储协调水平综合评价方法研究[J].智慧电力,2021,49(3):12-18.
HAO Luxi, WU Jun, WANG Zhidong, et al. Research on comprehensive evaluation method of source-grid-load-storage coordination level in power system [J]. Smart Power, 2021, 49(3): 12-18.
- [19] 王轲,钟海旺,余南鹏,等.基于 seq2seq 和 Attention 机制的居民用户非侵入式负荷分解[J].中国电机工程学报,2019,39(1):75-83+322.
WANG Ke, ZHONG Haiwang, YU Nanpeng, et al. Nonintrusive load monitoring based on sequence-to-sequence model with attention mechanism[J]. Proceedings of The CSEE, 2019, 39(1): 75-83+322.
- [20] 舒国栋,贺平平,马瑞.考虑风光预测精度特性的多时间尺度机组组合方法[J].电力工程技术,2020,39(3):78-83.
SHU Guodong, HE Pingping, MA Rui. Multi-time scale unit combination method considering precision characteristics of wind power and solar power forecasting [J]. Electric Power Engineering Technology, 2020, 39(3): 78-83.