

基于多属性特征信息的用户电压暂降治理需求画像

贾俊青,张一帆,潘大志,梁帅,杨洋

(内蒙古电力(集团)有限责任公司 内蒙古电力科学研究院分公司,内蒙古 呼和浩特 010020)

摘要:在现代电网中电压暂降问题日益突出的背景下,精准识别用户电压暂降治理需求,对于指导用户电压暂降治理精准投资决策和帮助电网公司明确优质供电增值服务对象具有重要工程意义。首先,以多属性用户数据为基础,兼顾用户电压暂降治理需求与电力公司服务意愿,建立了包含用户电压暂降过程特征与服务特征的电压暂降治理需求画像标签体系,全面描述电力用户与供电公司之间的供需关系;其次,利用模糊C均值聚类算法进行用户群体画像,实现用户群体特征刻画和分类;然后,基于熵权法计算用户二维指标综合评分,刻画用户电压暂降治理需求并明确电力公司优质服务对象群体;最后,基于我国某市配电网的107家企业用户数据,验证了所提方法的合理性和有效性。

关键词:电压暂降;用户画像;数据驱动;需求识别

中图分类号:TM71 **文献标识码:**A **DOI:**10.19457/j.1001-2095.dqed24350

Users' Profile of Demand of Voltage Sag Control Based on Multi-attribute Feature Information

JIA Junqing, ZHANG Yifan, PAN Dazhi, LIANG Shuai, YANG Yang

(Inner Mongolia Power Research Institute Branch, Inner Mongolia Power(Group) Co., Ltd., Hohhot 010020, Nei Monggol, China)

Abstract: Under the background of the increasingly prominent voltage sag problem in modern power grids, it is of great engineering significance to accurately identify the users' profile of demand of voltage sag control for guiding users' precise investment decisions for voltage sag control and helping power grid companies to identify the objects of premium power supply value-added services. Based on the multi-attribute user data, taking into account the users' demand of voltage sag control and the service willingness of the power companies, a voltage sag demand portrait label system including the users' voltage sag process characteristics and service characteristics was established, which comprehensively describes the supply and demand relationship between power users and power companies. Secondly, the fuzzy C-means clustering algorithm was used to make user group portraits in order to realize the characterization and classification of user group characteristics. Then, based on the entropy weight method, the comprehensive score of the users' two-dimensional indicators was calculated to describe the users' voltage sag control demand and clarify the premium user group of power companies. Finally, based on the user data of 107 enterprises in the distribution network of a city in my country, the rationality and effectiveness of the method proposed were verified.

Key words: voltage sag; users' profile; data-driven; demand identification

精密制造业的快速发展使得微电子、电力电子等敏感设备在电网中大量出现,并呈现高渗透、分散化态势。这些敏感设备容易受到电压暂降影响而运行故障,导致工业过程跳停,影响企业正常生产,甚至造成巨大经济损失。用户往往将责任归咎于电力公司,认为其有义务免费提升

电能质量,抱怨心理严重,电力获得感不足^[1]。2018年5月,国家能源局发布的《用户“获得电力”优质服务情况重点综合监管工作方案》提出了优化营商环境,提高“获得电力”指标的指示要求。电力公司为增强用户电力获得感,就必须针对用户差异性电力需求,提供针对性优质电力及

基金项目:内蒙古电力(集团)有限责任公司科技项目(2021-55)

作者简介:贾俊青(1974—),男,本科,高级工程师,Email:dky_jjq@163.com

服务。而精准识别用户电压暂降治理需求、明确优质服务对象是电力公司优质电力服务顺利开展的重要前提^[2-3]。

当前针对电能质量需求识别已有不少研究,但主要集中在电能质量问题的整体需求刻画上,完全针对电压暂降治理需求的研究还有待深入开展。文献[4-6]基于电能质量监测数据,考虑用户用电行为与电能质量,建立了较为完整的用户电能质量需求画像标签体系,实现了对用户电能质量需求的全面识别。但由于指标体系综合考虑了稳态电能质量问题和暂态电能质量问题,识别结果无法精确到用户的具体电能质量需求类别。文献[7]将调节因子用于S变换方法的改进,提升了电压暂降特征提取的准确率。文献[8]提出了基于改进FP-Growth算法的数据挖掘方法对电压暂降事件进行关联规则挖掘。文献[9]在此基础上进行了改进,基于多维关联信息,提出了电压暂降治理需求识别模型,但未考虑电力公司对用户的服务意愿。综上所述,当前针对用户电能质量需求识别的研究仅从用户角度考虑,在增值服务推进过程中,不但要考虑用户电压暂降治理需求,还需考虑电力公司服务意愿,才能准确定位优质服务对象。

用户画像主要用于解决刻画用户特征,在解决用户需求识别问题上也具有重要应用价值。针对用户画像的研究主要分为两类:一类是架构型研究,基于用户用电特性分析,建立多层面的指标评价模型^[10-13];另一类是对用户画像分类模型的研究,主要基于网荷多源数据提取表征用户用电行为的特征集,利用聚类算法实现用户用电特征刻画,进而构建标签化的用户画像模型^[14-15]。但当前用户画像主要应用于用户用电行为特征刻画方面,在电压暂降治理需求刻画方面的应用研究还未开展。

基于以上分析,本文首先以多属性用户数据为基础,从用户电压暂降治理需求与电力公司服务意愿入手,建立了包含用户电压暂降过程特征与服务特征的电压暂降治理需求画像标签体系,全面描述电力用户与供电公司之间的需求关系;其次,利用模糊C均值聚类算法进行用户群体画像,实现用户群体特征刻画和分类;再次,基于熵权法计算用户二维指标综合评分,刻画用户电压暂降治理需求并明确电力公司优质服务对象;最后,基于我国某市配电网的107家企业用户数据,验证了所提方法的合理性和有效性。

1 用户电压暂降治理需求画像

1.1 用户电压暂降治理需求画像构建框架

电压暂降治理需求识别通过收集用户信息、电能质量监测数据等多属性数据,以标签形式建立多层次、多视角、立体化的电力用户全景画像框架^[16]。通过多维标签数据,为电力公司优质电力服务精准营销提供依据。

图1为电力用户画像构建框架。如图1所示,构建电力用户画像包括4个步骤:

1)电力用户数据采集。通过电压暂降监测系统、营销系统、用户走访等多渠道全面收集电力用户多属性用电数据,为深入挖掘用户特征提供基础。

2)数据预处理。由于原始数据中包含噪声、杂糅数据等无用数据,需通过数据清洗、数据变换等方式从海量用户数据中提取有效数据,并进行规范化。

3)用户画像标签提取。用户画像的核心在于给用户打标签,基于多属性用户数据,综合考虑用户需求及行为特征,提取用户画像标签,将用户标签分为基本属性、电压暂降、信用交易、诉求信息4个维度,并在每个维度下进行标签细分,形成多层次的个体画像标签体系。

4)用户群体画像与应用。通过聚类分析,形成用户群体画像,从而实现用户分类、市场细分^[17]。完成用户画像后,电网公司能够结合不同用户群体需求程度与服务特征,执行精准营销策

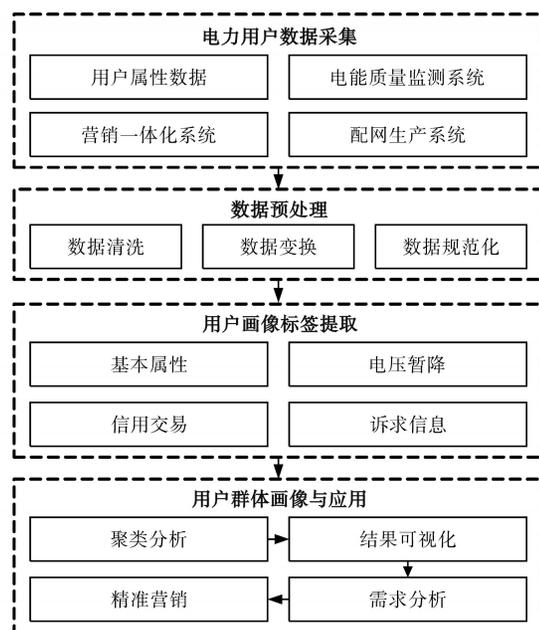


图1 电力用户画像构建框架

Fig.1 Power user portrait construction framework

略,推进电能质量增值服务,满足用户用电需求,提升用户用电满意度和电网公司竞争力。

1.2 用户电压暂降治理需求画像标签体系

电压暂降问题在电网中是难以避免的,电力公司也在采取措施进行电压暂降治理,以提供符合国家标准的电能。但部分用户对电能质量存在更高的要求,因此需要额外的有偿电压暂降治理服务。双方签署优质电力服务合同时,电力公司也需考量用户的履约能力,保证合同顺利履行。

因此,本文将用户画像理论与电压暂降治理需求识别相结合,考虑用户电压暂降治理需求的同时,兼顾电力公司服务意愿,建立了用户电压暂降治理需求画像标签体系,如表1所示。用户电压暂降治理需求受用户基本属性、用户过程特征、优质供电服务特征等影响,可以分为体现电力公司服务意愿的服务特征 X 和刻画电压暂降治理需求的过程特征 Y 。其中,用户服务特征包括基本属性 A 、信用交易 B 两类标签,用户过程特征包括诉求信息 C 和电压暂降 D 两类标签。

表1 用户电压暂降治理需求画像标签体系

Tab.1 Users' profile of demand of voltage sag control label system

特征	标签类别	基础标签
服务特征 X	基本属性标签 A	行业代码 A_1
		电压等级 A_2
		合同容量 A_3
		年利润 A_4
信用交易标签 B	电费回收准时率 B_1	
	购电增长率 B_2	
过程特征 Y	诉求信息标签 C	诉求内容偏好 C_1
		诉求强度 C_2
	电压暂降标签 D	年均中断次数 D_1
		敏感过程容量 D_2
		过程免疫时间 D_3
中断经济损失 D_4		

1.2.1 基本属性

用户基本属性标签包括行业代码、电压等级、合同容量和年利润,此类数据可以通过用户调研和营销系统获得。

行业代码 A_1 代表工业用户所处行业的特性,间接反映了用户电压暂降治理需求。对于精密制造业,如仪器制造、半导体行业,电力扰动对此类企业生产造成影响和经济损失较大,因此电压暂降治理需求较为强烈;而对于普通行业企业,其对受电压暂降影响程度低,对电压暂降治理服

务的需求也较弱。

电压等级 A_2 是反映工业用户用电规模以及电压暂降治理成本的重要指标,低压、中压、高压分别赋值为0,0.5,1。电压等级可侧面反映用户用电水平高低,通常电压等级较高的用户,需要分摊更多的治理费用,此类用户对于集体治理方案的选择就会优于个体治理方案。

合同容量 A_3 和年利润 A_4 反映了用户的收入能力,该值越大,用户的经济状况越优,越有能力按时履行合同,有助于电力公司相关业务人员判断其对定制电力服务费用的接受程度。

1.2.2 信用交易

信用交易是反映电力公司服务意愿的重要标签,信用状况越好,表明用户违约风险越小,越能够履行有偿电能质量治理服务合同。

电费回收是客户信用状况中最为重要的指标。电力用户及时缴纳电费、履行合同,则具备较好的信用状况。电力公司可通过对评估用户信用状况,确定对不同用户的服务策略。本文采用电费回收准时率 B_1 作为其指标:

$$B_1 = \begin{cases} \frac{a-x}{a} & x < a \\ 0 & x \geq a \end{cases} \quad (1)$$

式中: x 为客户近3 a累计滞纳金与应收电费的比值; a 为供电商指定的常数值,一般取0.5。

购电增长率 B_2 为统计周期内用户平均购电容量增长率,能够通过用户用电情况间接反映用户当年发展态势。

1.2.3 诉求信息

用户诉求信息标签能够直接体现用户电压暂降治理需求及强度,要推进优质供电及相关增值服务,提升用电满意度,就需要收集调研用户的诉求信息。对于诉求内容偏好 C_1 这种非数值型标签在分析时可对不同诉求内容赋值,若用户诉求与电压暂降相关,则赋值为0,若为其他诉求,则赋值为1。诉求强度 C_2 可通过统计一段时间内用户投诉及建议频率或用户调研来判别。

1.2.4 电压暂降

电压暂降作为最重要的电能质量扰动现象之一,对敏感用户造成巨大影响,每年由它造成的经济损失在用户电能质量经济损失中占比最高。电压暂降刻画标签包括年均中断次数 D_1 、敏感过程容量 D_2 、过程免疫时间 D_3 和中断经济损失 D_4 。

年均中断次数 D_1 为用户年遭受电压暂降影响导致生产过程中断的次数。

敏感过程容量 D_2 为用户敏感设备总容量,主要包含可编程逻辑控制器、个人计算机、可调速驱动器、交流接触器等国内外公认的典型敏感负荷。一方面,敏感过程容量与治理成本成正比,容量越高,治理成本越大。另一方面,敏感过程容量直接决定用户受电压暂降影响的程度和范围,容量越高,受影响后果越严重。因此 D_2 是考量用户电压暂降治理需求的重要指标。

过程免疫时间 (process immunity time, PIT) D_3 为工业过程受到给定幅值电压暂降时起,至其物理参数越限的时间^[18],是反映工业过程对电压暂降抵御能力的指标。过程免疫时间越短,说明工业过程电压暂降抵御能力越弱,则电能质量需求越强。本文以用户最敏感工业过程的 PIT 作为统计标签。

中断经济损失 D_4 为用户遭受电压暂降导致工业过程中断的单个经济损失。用户对电能质量问题最直观的感受,是生产过程中断造成的经济损失。而由电压暂降和短时中断造成的经济损失在用户电能质量损失中占比最高,因此将其作为反映用户电压暂降治理需求的指标之一。中断经济损失越大,则用户需求越强。此类标签信息可通过用户走访调研获得。

2 用户群体画像

2.1 模糊 C 均值聚类算法原理

模糊 C 均值聚类算法 (fuzzy C-means, FCM) 是一种基于目标函数划分的聚类算法,可以对每个对象和每个簇赋予一个权值,指明对象属于该簇的程度,能够避免硬聚类现象,提供了更为灵活的聚类结果。

FCM 主要原理是使被划分到同一簇的对象间相似度最大,不同簇对象间的相似度最小。通过计算各待聚类数据样本与各聚类中心的隶属度,将其划分为特征明显分离的簇,实现数据样本聚类。对每个样本和每个簇类都赋予一个权值,通过聚类距离判别样本属于该簇类的程度,通过多次迭代,使得各聚类样本簇内距离最小、类间距离最大。

设待聚类的 m 个样本集合为 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$, 其中每个样本 x_i 有 n 个特征指标,设其为 $x_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}]^T$ 。若要将 X 分为 C 类,每个子集可

以表示为 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_K\}$, 则聚类损失函数如下式所示:

$$\begin{cases} \min (J) = \sum_i^K \sum_j^N u_{ij}^b \|x_i - c_j\|^2 \\ \text{s.t.} \sum_i^K u_{ij} = 1 \end{cases} \quad (2)$$

式中: J 为 FCM 的价值函数; b 为加权系数,用于调整隶属度指标在优化目标中的影响程度,一般取值为 2; u_{ij} 为第 i 个样本属于第 j 个聚类的隶属度; x_i 为第 i 个样本,维度为 n ; c_j 为第 j 个簇的聚类中心,维度为 n ; $\|*\|$ 表示样本与聚类中心间的距离。

为求解该优化问题,采用拉格朗日乘子法将等式约束引入目标函数中,将条件极值转化为无条件极值,得到下式:

$$J' = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^N u_{ij}^m \|x_i - c_j\|^2 + \sum_{i=1}^K \lambda_i (\sum_{j=1}^N u_{ij} - 1) \quad (3)$$

式中: λ_i 为第 i 个样本的拉格朗日乘子。

对 c_j 和隶属度 u_{ij}^m 求偏导数:

$$\begin{cases} \frac{\partial J'}{\partial u_{ij}} = m \|x_i - c_j\|^2 u_{ij}^{m-1} + \lambda_i = 0 \\ \frac{\partial J'}{\partial c_j} = \sum_{i=1}^N [-2u_{ij}^m (x_i - c_j)] = 0 \end{cases} \quad (4)$$

模糊 C 均值聚类算法通过不断迭代计算隶属度和聚类中心,直到达到最优。由式(4)可得隶属度和聚类中心的表达式,分别如下式所示:

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{j=1}^K \left(\frac{\|x_i - c_j\|}{\|x_i - c_j\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (5)$$

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i u_{ij}^m)}{\sum_{i=1}^N u_{ij}^m} \quad (6)$$

按式(5)、式(6)对隶属度系数和聚类中心迭代,直至达到 FCM 的收敛条件,收敛条件为

$$\max_{ij} \left\{ |u_{ij}^{(T+1)} - u_{ij}^T| \right\} < \varepsilon \quad (7)$$

式中: T 为迭代次数; ε 为误差阈值。

2.2 用户群体画像构建

群体用户画像研究是在构建个体用户画像的基础上,通过特征属性归纳或相似度计算进行聚类,形成不同的用户群体,实现用户分类。基于此,将用户与资源精准匹配,开展差异化优质服务,满足用户电压暂降治理需求。本文利用模糊 C 均值算法进行用户聚类,实现用户群体画像,其构建流程如图 2 所示。

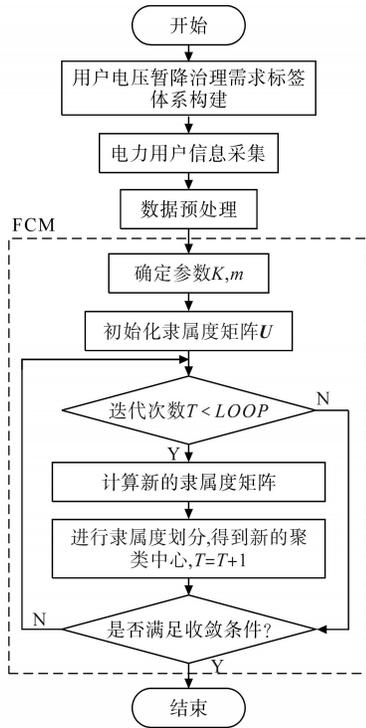


图2 用户群体画像构建流程

Fig.2 Users' group portraits construction process

3 电压暂降治理需求识别

3.1 数据处理

由于各类指标量化方法存在较大差异,为统一量纲,使用户特征刻画结果更客观科学,需对数据进行归一化处理。经过数据处理后,所有指标值都在[0, 1]范围内,且值越大,指标越优。

评价指标为正指标时,即指标值越大越好,标准化公式为

$$b_{ik}^* = \frac{b_{ik} - \min_k b_{ik}}{\max_k b_{ik} - \min_k b_{ik}} \quad (8)$$

评价指标为负指标时,即指标值越小越好,标准化公式为

$$b_{ik}^* = \frac{\max_k b_{ik} - b_{ik}}{\max_k b_{ik} - \min_k b_{ik}} \quad (9)$$

式中: b_{ik}^* 为标准化后指标值; $\max_k b_{ik}$, $\min_k b_{ik}$ 分别为标准化前指标的最大值和最小值。

3.2 指标权重计算

熵是用来衡量事物不确定性的概念。信息量越大,不确定性越小,其权重应越大。根据熵的特性,可以采用熵值法确定指标的权重。通过熵值法得到各指标信息熵,信息熵越小,信息

无序度越低,其信息效用值越大,相应指标权重越大^[19]。由熵值法确定指标权重时,原始信息来源于建立的决策矩阵,在此基础上得到指标权重^[20]。

设第*i*个评估样本的第*k*个指标值为 b_{ik} ,则形成评估矩阵 $B = [b_{ik}]_{m \times n}$ 。采用熵值法确定指标权重计算过程如下^[21]:

依据数据处理后的标准化决策矩阵,求第*i*个评估样本第*k*个指标的特征比重:

$$p_{ik} = \frac{b_{ik}^*}{\sum_{i=1}^m b_{ik}^*} \quad (10)$$

求得第*k*个指标的熵值为

$$e_{ik} = \frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m p_{ik} \ln p_{ik} \quad (11)$$

当 $p_{ik}=0$ 时, $\ln p_{ik}$ 取值为0。

求得第*k*个指标的差异系数:

$$g_k = 1 - e_k \quad (12)$$

则第*k*个指标的权重为

$$w_k = \frac{g_k}{\sum_{k=1}^n g_k} \quad (13)$$

3.3 综合分值计算

确定用户指标权重后,即可分别计算每个用户的服务特征评分 X_{com} 与过程特征总评分 Y_{com} :

$$X_{com} = \sum_{a=1}^8 w_a X_a \quad (14)$$

$$Y_{com} = \sum_{d=1}^4 w_d Y_d \quad (15)$$

式中: X_a, Y_d 分别为用户服务特征与过程特征的分指标。

X_{com} 越大,表示用户对于电力公司来说越优质,可服务程度越高; Y_{com} 越小,说明用户电压暂降治理需求越强。

4 案例分析

本文通过电力营销系统、电能质量监测系统、设备测试数据,调研当地电力营业厅等渠道,获取多属性用户信息,系统梳理表征用户用电特点的标签数据,提取用电行为特征,进行聚类分析与用户电压暂降治理需求识别。

4.1 数据收集及处理

本文对我国某市配电网进行实地调研,随着高新技术产业的落户,该区域接入了大量电压暂降敏感设备,存在较多对电力扰动极为敏感的工

业过程。该区域工业用户行业分布广泛,主要包含半导体制造业、精细化工、电子通信业、生物医药等127家高新技术企业。依据第1节中用户电压暂降治理需求画像标签体系,进行数据收集,并进行归一化处理。

4.2 聚类分析

聚类分析与应用主要包括两部分:1)根据指标数据,对电力用户作聚类分群;2)结合电能质量提升业务,对每类用户群体进行特征分析,即用用户群体画像,基于此进行差异性增值服务设计。

在4.1节中,已经对采集的用户数据进行预处理。利用模糊C均值聚类进行聚类分析,聚类结果如图3所示。

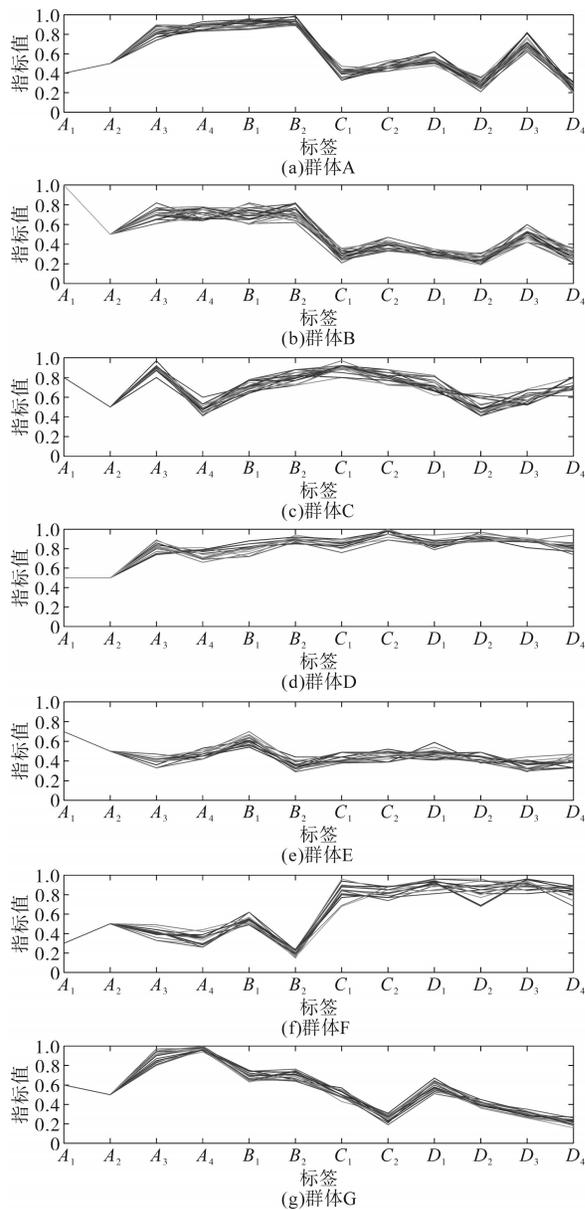


图3 电力用户群体聚类结果

Fig.3 Clustering results of power user groups

通过聚类结果可知,7类用户群体特征分离度较高,不同类别间用户指标曲线差异性特征明显。每个类别中用户都有高度集中的共性特征,聚类效果较好,可反映此类用户的典型特点。且未出现某一类别过多、另一类别过少的失衡现象。

由用户画像可以精炼出刻画用户特性的标签,对每类用户群体共同特征进行描述。群体A主要为半导体行业,合同容量和年利润均较高,经济实力较强;电费回收准时率和购电增长率高,信用程度良好;电压暂降诉求较强,用户工业过程电压暂降耐受能力较弱,受电压暂降影响及造成经济损失高。群体D用户信用交易指标均较高,企业经济状况良好,虽然对电压暂降的治理需求并不强烈,但是电力公司愿意开展服务的用户群体。群体F主要由轻工食品业组成,用户年利润较低,电费回收准时率和购电增长率均较低,发展状况与信用程度一般;对电压暂降诉求偏好一般,诉求强度也较低;电压暂降敏感度低,受影响程度低,造成经济损失也较低。7类电力用户群体画像特征如图4所示。

4.3 电压暂降治理需求识别

以7类用户群体聚类中心作为典型用户分析其电压暂降治理需求,7个典型用户综合评分如表2所示。由表2可知,A类用户、B类用户与F类用户均对电压暂降均具有迫切需求,并且经济实力与信用状况均良好,是电力公司开展有偿电压暂降治理服务的重要目标群体。C类用户与D类用户电压暂降水平较为良好,虽然治理需求并不迫切,但其服务特征指标良好,是电力公司愿意提供服务的用户。E类用户电压暂降水平较差,存在电压暂降治理需求,但其信用状况和经济实力较差,不是电力公司愿意提供服务的目标群体。F类用户对电压暂降没有迫切需求,电力公司也不愿意为其提供有偿治理服务。

表2 电力用户综合评分

Tab.2 Comprehensive rating of power users

用户	指标	
	X_{com}	Y_{com}
A类	0.774	0.461
B类	0.695	0.352
C类	0.678	0.704
D类	0.735	0.878
E类	0.482	0.423
F类	0.384	0.854
G类	0.764	0.215

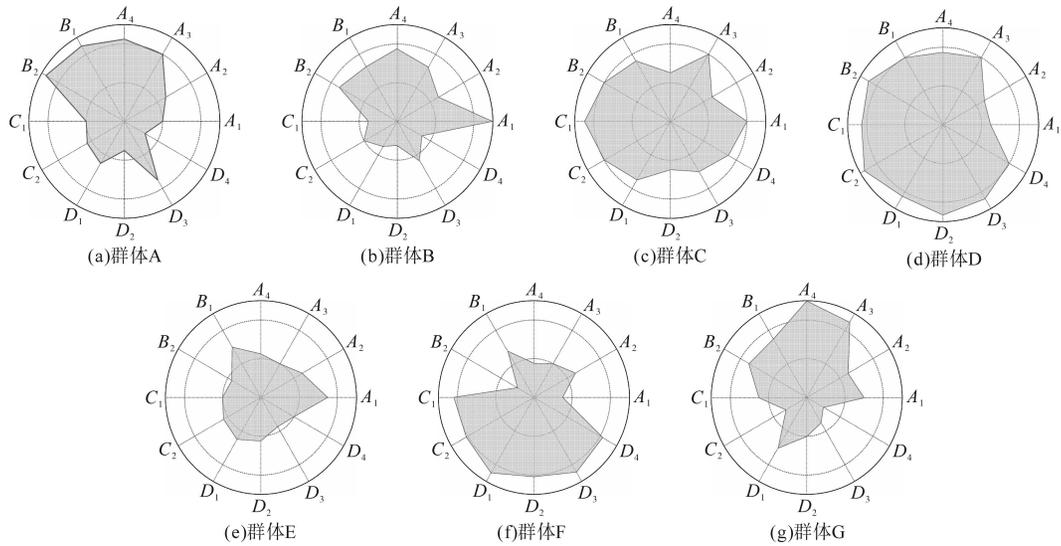


图4 电力用户群体特征

Fig.4 Characteristics of power user groups

5 结论

本文将用户画像理论与用户电压暂降治理需求识别相结合,构建了用户电压暂降治理需求识别标签体系,利用模糊C聚类算法进行群体用户画像,通过实际算例验证,可以得到以下结论:

1)将大数据背景下的用户画像理论应用于电能质量治理领域,基于多属性用户数据,从用户电压暂降治理需求与电力公司服务意愿入手,建立了包含用户电压暂降过程特征与服务特征的电压暂降治理需求画像标签体系,全面描述了电力用户与供电公司之间的需求关系,实现了用户电压暂降治理需求和服务特征的量化计算和定性分析。

2)利用C均值聚类实现用户群体画像,获得各类用户群体典型特征,帮助电网公司实现用户划分,为实现用户和资源精准匹配,开展差异化优质电力服务,提高用户满意度与公司竞争力提供了依据。

参考文献

- [1] 汪颖,周杨,肖先勇,等.电压暂降问题研究现状及面临的挑战[J].供用电,2018,35(2):2-9.
WANG Ying,ZHOU Yang,XIAO Xianyong,et al. Research status and challenges of voltage sag issue[J]. Distribution & Utilization, 2018, 35(2): 2-9.
- [2] 刘敦楠,孟雅儒.考虑非价格因素的售电公司竞争力分析[J].电力系统自动化,2017,41(23):53-60.
LIU Dunnan,MENG Yaru. Analysis on competitiveness of electricity retailers considering non-price factor[J]. Automation of

Electric Power Systems, 2017, 41(23): 53-60.

- [3] 熊文涛,刘亭,雍龙泉.一种新的多准则分类方法及其在电能质量综合评估中的应用[J].科学技术与工程,2013,13(20):5944-5949.
XIONG Wentao,LIU Ting,YONG Longquan. A new multicriteria sorting procedure for the power quality evaluation problems [J]. Science Technology and Engineering, 2013, 13(20): 5944-5949.
- [4] 汪颖,喻梦洁,卢宏,等.基于最大互信息的干扰源类型识别及电能质量需求画像技术[J].电力系统自动化,2022,46(9):171-181.
WANG Ying,YU Mengjie,LU Hong,et al. Interference source type identification and power quality demand portrait technology based on maximum mutual information[J]. Automation of Electric Power Systems, 2022, 46(9): 171-181.
- [5] 栾乐,马智远,莫文雄,等.综合考虑供用电双方需求的优质电力用户分类方法[J].电力科学与技术学报,2021,36(6):171-181.
LUAN Le,MA Zhiyuan,MO Wenxiong,et al. A premium user classification method considering the demand of both power company and electricity user[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2021, 36(6): 171-181.
- [6] 马智远,莫文雄,许中,等.用户供电质量需求识别与优质供电增值服务策略[J].四川电力技术,2020,43(2):24-32.
MA Zhiyuan,MO Wenxiong,XU Zhong,et al. User power supply quality demand identification and strategy for value-added service of premium power supply[J]. Sichuan Electric Power Technology, 2020, 43(2): 24-32.
- [7] 刘海涛,叶筱怡,吕干云,等.引入调节因子改进S变换电压暂降源识别[J].电气传动,2021,51(18):59-64.
LIU Haitao,YE Xiaoyi,LÜ Ganyun,et al. Modified S-transform voltage sag source identification by introducing regulation factor [J]. Electric Drive, 2021, 51(18): 59-64.
- [8] 林焱,林芳,黄道姗,等.基于改进FP-Growth和AHP算法的

- 电压暂降影响度分析[J]. 电气传动, 2022, 52(6): 59-64, 80.
LIN Yan, LIN Fang, HUANG Daoshan, et al. Analysis of voltage sag influence based on improved FP-Growth and AHP algorithm[J]. Electric Drive, 2022, 52(6): 59-64, 80.
- [9] 汪颖, 王曼, 陈韵竹, 等. 基于多维关联信息的电压暂降治理需求识别[J]. 电网技术, 2022, 46(11): 4391-4402.
WANG Ying, WANG Man, CHEN Yunzhu, et al. Identify the mitigation demand against voltage sag based on multidimensional related information[J]. 电网技术, 2022, 46(11): 4391-4402.
- [10] WANG Y, CHEN Q, KANG C, et al. Clustering of electricity consumption behavior dynamics toward big data applications [J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2016, 7(5): 2437-2447.
- [11] WANG Y, CHEN Q, GAN D, et al. Deep learning-based socio-demographic information identification from smart meter data [J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2019, 10(3): 2593-2602.
- [12] LIN Lihua, GUAN Shiyu. Power marketing big data precision user profile[C]//2019 International Conference on Virtual Reality and Intelligent Systems(ICVRIS), 2019: 117-120.
- [13] DING W, YANG T, WANG B, et al. Review of power user profile research for power sale side release [C]//2021 IEEE Sustainable Power and Energy Conference(ISPEC), 2021: 2406-2411.
- [14] 王毅, 张宁, 康重庆, 等. 电力用户行为模型: 基本概念与研究框架[J]. 电工技术学报, 2019, 34(10): 2056-2068.
WANG Yi, ZHANG Ning, KANG Chongqing, et al. Electrical consumer behavior model: basic concept and research framework[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2019, 34(10): 2056-2068.
- [15] 徐涛, 黄莉, 李敏蕾, 等. 基于多维细粒度行为数据的居民用户画像方法研究[J]. 电力需求侧管理, 2019, 21(3): 47-52, 58.
XU Tao, HUANG Li, LI Minlei, et al. Research on portrait method of residential users based on multi-dimensional fine-grained behavior data[J]. Power Demand Side Management, 2019, 21(3): 47-52, 58.
- [16] 张小龙. 大数据环境下用户用电行为分析的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2017.
ZHANG Xiaolong. Research on user power consumption behavior analysis in big data environment[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2017.
- [17] 王春叶. 基于数据挖掘的电力客户细分研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2009.
WANG Chunye. Research on power customer segmentation based on data mining[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2009.
- [18] CIGRE/CIREN Joint Working Group C4.127. Economic framework for power quality[R]. Paris, France: CIGRE, 2011.
- [19] 孙涛. 基于熵值法和改进的理想点法的建设项目多目标综合优化[D]. 重庆: 重庆大学, 2010.
SUN Tao. Multi-objective synthesis optimization of construction projects based on entropy method and the improved TOPSIS method[D]. Chongqing: Chongqing University, 2010.
- [20] 刘俊华, 罗隆福, 张志文, 等. 一种考虑排序稳定分析的电能质量综合评估新方法[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(1): 70-76.
LIU Junhua, LUO Longfu, ZHANG Zhiwen, et al. A new method for power quality comprehensive evaluation considering the analysis of sequence stability[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(1): 70-76.
- [21] 周谏, 任海军, 李健, 等. 层次结构下的中长期电力负荷变权组合预测方法[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(16): 47-52.
ZHOU Quan, REN Haijun, LI Jian, et al. Variable weight combination method for mid-long term power load forecasting based on hierarchical structure[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(16): 47-52.

收稿日期: 2022-05-03

修改稿日期: 2022-06-17