

基于熵权TOPSIS模型的负荷密度指标求取研究

负荷密度指标一般可以通过本类负荷密度设置或者参考经验数据库进行获取,但是由于以上方法没有充分考虑各种因素的效果和影响程度,且没有着重分析各影响因素和负荷密度指标之间的复杂、非线性关系,其预测结果误差比较大,必然会导致最后的预测准确度比较低。在此基础上进行深入的研究,运用熵权法和TOPSIS算法相结合,提出了获取各类负荷的饱和负荷密度指标算法模型。

李 平 盖鹏宇 代佰华 刘 迪 庞 波/山东省电力公司滨州供电公司



李 平/高级工程师

城市饱和负荷的规模是根据该地区的自身条件进行总体规划的,结合技术进步趋势,对城市负荷最终发展规模进行基本估计。它是多种影响因素综合作用的结果,主要包括城市发展定位、资源条件、能源消费结构、技术进步和政策法规等。

这些影响因素大体上可进一步分为两类:一类对负荷规模的增长起到促进作用,如城市发展定位;另一类对负荷规模的增长可能有抑制作用,如城市资源约束。事实上,也正是由于这两类因素之间互相作用的平衡,使城市负荷水平逐渐向饱和化方向迈进。从某种意义上讲,城市负荷饱和也是一个城市发展趋于理性和成熟的重要表现。但是以上影响因素中许多因素难以量化,因此给饱和负荷的研究和预测带来了难度。

虽然传统的方法(如本类平均负荷密度的设置、通过现状供电区域调查和负荷曲线类推获得以及参考经验数据库)都可以得到各地块的饱和负荷密度,但是由于传统方法没有充分考虑各

种因素的效果和影响程度,且没有着重分析各影响因素和负荷密度指标之间的复杂、非线性关系,有的只是简单归类后再进行简单修正,其预测结果误差比较大,也必然会导致最后的预测准确度比较低。为了提高配电网空间负荷预测的准确度以及电力系统规划科学水平,减轻规划人员的工作强度,解决传统负荷密度指标法缺乏负荷密度指标理论模型、体系不完整及人为影响大等缺点,本文在此基础上进行了深入的研究,运用熵权法和TOPSIS算法相结合,并对预测结果进行了修正,提出了获取各类负荷的负荷密度指标算法模型。

熵权法基本理论

根据文献[1]对熵权法定义的描述,熵权法是根据被评价对象的指标值构成的判断矩阵来确定指标权重的一种方法,具有较强的客观性,排除了专家意见等容易受主观因素影响的成分。当评价对象在某项指标上的值相差较大时,熵值较小,说明该指标提供的有效信息量较大,该指标的权重也较大;反之,若某项指标的值相差越小,熵值较大,说明该指标提供的信息量较小,该指标的权重也较小。熵权法赋权主要根据各指标传递给决策者的信息量大小来确定其权重,它是一种客观赋权方法。

利用熵权法确定评价对象的评价指标权重步骤如下:

设要分析 nz 个评价对象,每个评价对象有 n 个评价指标,则得到判别矩阵为

关键词/Keywords

负荷密度·
配电网·
熵权·
TOPSIS·

$$X = (x_{ij})_{m \times n} = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

为保证影响因子量值属性不变和消除不同物理量纲的影响, 首先对判断矩阵进行无量纲化处理, 得到标准化矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times n}$ 。式中, r_{ij} 为第 j 个评价对象在第 i 个评价指标上的标准值, $r_{ij} \in [0, 1]$ 。

由标准化矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times n}$ 求影响因子的出现概率 P_{ij} 为

$$P_{ij} = r_{ij} / \sum_{i=1}^m r_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

求第 j 个影响因子输出的熵 E_j 为

$$E_j = -K \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

式中, $K = 1/\ln m$ 。

由 $0 \leq P_{ij} \leq 1$, 所以, $0 \leq K \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \leq \ln m$, 由此可知: $0 \leq E_j \leq 1$ 。

第 j 个影响因子的熵 D_j 定义为

$$D_j = (1 - E_j) / (n - \sum_{j=1}^n E_j) \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

由于负荷密度的各个影响因素对其影响程度不一样, 其相对重要程度也就不一样, 如果不考虑每个因素的权重, 将其平均加权后作为自适应神经模糊推理系统 (ANFIS) 的输入量, 其必然会降低模型的预测准确度, 所以在求取负荷密度时, 需要考虑各因素在“负荷密度求取”这个评价对象中的权重。

熵权主要是根据信息传递给决策者的大小确定每个指标的权重, 它是一种客观权重的方法, 引入熵方法确定每个因素的权重, 利用信息价值系数衡量不同影响因素对负荷密度指标的重要性 (价值系数高, 其重要性更大), 因此可以提高预测准确度。

基于熵权的TOPSIS算法

1. TOPSIS模型原理

TOPSIS法是C.L.Hwang和K.Yoon于1981年首

次提出的, 它是根据有限个评价对象与理想化目标的接近程度进行排序的方法, 并在现有的对象中进行相对优劣的评价; TOPSIS法也是一种逼近于理想解的排序法, 该方法只要求各效用函数具有单调递增 (或递减) 性; 同时TOPSIS法是多目标决策分析中一种常用的有效方法, 又称为优劣解距离法, 近年来已成功应用于电力系统的很多研究中。

2. 基于熵权TOPSIS的基本思路

在进行负荷密度指标的选择时, 不同的影响因素对评价指标的影响程度是不同的, 决策传统TOPSIS法与专家意见调查分析法和层次分析法确定评价指标的权重, 这些方法是主观因素, 不同指标的重要性程度在相同的因素下可能会有不同的影响。

本文运用熵权法来评价熵指标的影响因素, 根据信息熵的原理, 从系统获得信息的数量和质量, 是评估准确性和可靠性的决定因素。所以在评估时, 如果各种指标的熵通过系统的熵进行分析, 可以确定评估的相对重要性, 以便确定权重——熵, 然后客观评价各种因素的影响。熵方法是一种客观权重的方法, 它决定指标权重中包含的信息量大小, 能够克服主观权重方法的缺陷。

3. 基于熵权TOPSIS模型的计算步骤

基于熵权TOPSIS模型的基本计算步骤如下:

1) 设样本集中有 m 个样本, n 个评价指标, 形成目标决策矩阵为

$$B = (x_{ij})_{m \times (n+1)} \quad (5)$$

式中, x_{ij} 为第 i 个样本第 j 个评价指标的取值, $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n+1$ 。

2) 将 B 进行规范化处理, 形成规范化决策矩阵 Z ; 利用熵权法确定的评价指标权重矢量 W 来规范化矩阵 Z , 构造加权规范化决策矩阵 V , 即

$$Z = (z_{ij})_{m \times n} \quad (6)$$

$$V = (v_{ij})_{m \times n} \quad (7)$$

式中, $z_{ij} = x_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}$; $v_{ij} = z_{ij} \omega_j$; $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ 。

3) 根据式 (8) 将取得 Δv^* 的 v_{ij} 构成列矢量 $V_i^*(j)$,

再根据式(5)将取得 $\Delta \bar{v}$ 的 v_{ij} 构成列矢量 $\bar{V}_i(j)$;并将 $V_i^*(j)$ 和 $\bar{V}_i(j)$ 作为优选负荷密度的正理想解和负理想解,即

$$\Delta V^*(j) = \min |v_{ij} - v_{i(n+1)}| \quad (8)$$

$$\Delta \bar{V}(j) = \max |v_{ij} - v_{i(n+1)}| \quad (9)$$

式中, $i=1,2,\dots,m$; $j=1,2,\dots,n$ 。

4) 分别计算加权规范化矩阵 V 中各元素值与正理想解和负理想解的距离 D_i^* 和 $\bar{D}_i$,即

$$D_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n [v_{ij} - v_i^*(j)]^2} \quad (10)$$

$$\bar{D}_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n [v_{ij} - \bar{v}_i(j)]^2} \quad (11)$$

式中, $v_i^*(j)$ 和 $\bar{v}_i(j)$ 分别为矢量 $V_i^*(j)$ 和 $\bar{V}_i(j)$ 的元素; $i=1,2,\dots,m$ 。

5) 计算各样本的相对接近度 C_i^* ,表达式为

$$C_i^* = \frac{\bar{D}_i}{D_i^* + \bar{D}_i} \quad (12)$$

搜寻使 C_i^* 取得最大值的样本 i^* ,将其负荷密度指标 $x_{i^*,(n+1)}$ 作为待评价对象的初选负荷密度指标。

4. 负荷密度指标的修正

为得到其优选负荷密度指标,还需作出进一步修正,本文采取类内相似度方法,步骤如下:

1) 计算加权规范化矩阵 V 中任意两个样本间的欧式距离 E_{ij}^j ,即

$$E_{ij}^j = \sqrt{\sum_{k=1}^n (v_{ik} - v_{jk})^2} \quad (13)$$

式中, $k=1,2,\dots,n$; $i \neq j$ 。

2) 同理得到加权规范化矩阵 V 中待评价对象与样本 i^* 的欧式距离 $E_{i^*}^m$,即

$$E_{i^*}^m = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{i^*j} - v_{mj})^2} \quad (14)$$

3) 在决策矩阵中搜寻使 $E_{ji} - E_{i^*}^m$ 取得最小值的样本 i 和样本 j ,取其负荷密度值 $x_{i,(n+1)}$ 和 $x_{j,(n+1)}$,并计算其负荷密度的修正量 σ ,表达式为

$$\sigma = x_{i,(n+1)} - x_{j,(n+1)} \quad (15)$$

4) 计算待评价对象的负荷密度指标,即

$$I_{LD} = x_{i^*,(n+1)} + \sigma \psi \quad (16)$$

式中, ψ 为符号判别函数。

$$\psi = \begin{cases} 1 & \sum_{j=1}^n (x_{i^*j} - x_{mj}) > 0 \\ 0 & \sum_{j=1}^n (x_{i^*j} - x_{mj}) = 0 \\ -1 & \sum_{j=1}^n (x_{i^*j} - x_{mj}) < 0 \end{cases} \quad (17)$$

基于熵权TOPSIS的预测模型总体流程如下图所示。

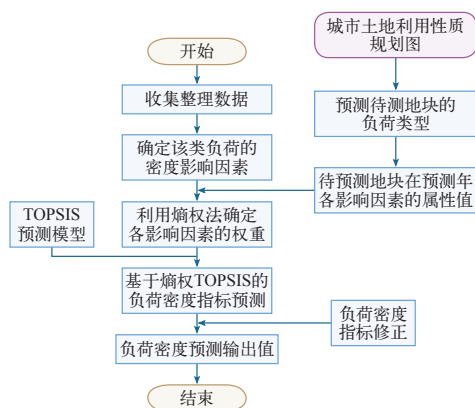


图 基于熵权TOPSIS的负荷密度指标预测流程

典型案例应用

饱和负荷密度的预测方法依据基于熵权TOPSIS的负荷密度指标求取,下面以某区域居民用地负荷密度为例,对上述算法模型进行验证分析。

由上述可知,参照负荷密度指标体系后,以人口密度 A_1 (人/ km^2)、人均收入 A_2 (元)、人均电量 A_3 ($\text{kW} \cdot \text{h}$)以及煤电价格比增长率 A_4 (%)作为ANFIS预测模型的输入量;以负荷密度 C (MW/km^2)作为TOPSIS预测模型的输出量。

结合某区域的情况,收集30个典型居民负荷样本如表1所示。

表1 某区域居住用地用户负荷样本

序号	A_1	A_2	A_3	A_4	C
1	15 581	2 594	561	1.46	10.43
2	15 869	4 437	894	1.00	20.01
3	14 279	2 357	566	1.52	8.22
4	27 587	1 218	476	1.37	10.37
5	17 743	4 557	912	0.95	23.53
6	14 940	1 100	917	2.04	2.30
7	26 378	1 010	483	1.51	9.32

(续)

序号	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	C
8	14 813	2 095	595	1.42	12.44
9	14 450	1 068	926	1.95	2.37
10	28 757	1 143	488	1.60	10.50
		⋮			
29	14 535	4 355	930	0.91	24.88
30	28 755	1 143	488	1.55	10.49

利用式(18)将输入/输出量归一化到[0, 1]区间, 即

$$\bar{x}_i = x_i / |x_{\max}| \quad (18)$$

式中, $x_{\max}$ 为各影响因素值的最大值。

按照公式逐次计算, 即可得到影响因素的嫡值 E_j 及嫡权 D_j , 各判断矩阵、评价指标权重及影响因素综合权重排序如表2所示。

表2 影响因素的嫡权值及排序

名称	嫡权 D_j	排序
A ₁	0.250	2
A ₂	0.448	1
A ₃	0.192	3
A ₄	0.111	4

由表2可以看出: 人均收入对居民小区负荷指标的作用权重最大; 其次为人口密度, 专家的判断与实际情况相符; 再次为人均电量、煤电价格比因素对居民负荷指标的影响程度逐渐降低。这与实际工程中各因素对负荷密度指标的影响程度是一致的。本文算法和模型同样适用于商业及工业等其他类型负荷。

如果对上述输入数据不经嫡权法加权处理, 得到的输出值为8.96 MW/km², 其相对误差为7.69%。由此可见, 引入嫡权法和TOPSIS算法能提高预测准确度, 误差对比如表3所示。

表3 三种方法的误差对比分析

名称	未引入嫡权和改进算法	引入嫡权和TOPSIS算法	引入嫡权TOPSIS和密度修正算法
相对误差(%)	7.69	3.23	2.28

通过以上的分析可以看出: 引入嫡权TOPSIS和负荷密度修正算法, 对负荷密度指标的预测不仅

具备可行性, 而且预测准确度相对其他方法要高。

结束语

负荷密度指标预测涉及的影响因素较多, 常规的预测方法准确度比较低, 本文通过对嫡权法和TOPSIS算法进行改进, 并对预测结果进行修正, 在一定程度上规避了预测结果的不确定性, 通过选取典型区域对该方法进行了论证, 结果比较客观地反映了实际情况, 证明了其科学合理性及可实施性, 具有很大的应用前景。

参考文献

- [1] Willis H L, James E D, Northcote-green. Spatial electric load forecasting: a tutorial review [J]. Proceedings of the IEEE, 1983, 71 (2): 232-253.
- [2] 孙威. 基于负荷密度指标法的配电网空间负荷预测方法研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2010.
- [3] Chow Moyuen, Tram Hahn. Methodology of urban re-development considerations in spatial load forecasting [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1997, 12 (2): 996, 1001.
- [4] 陶文斌, 张粒子, 潘弘, 等. 基于双层贝叶斯分类的空间负荷预测 [J]. 中国电机工程学报, 2007, 27 (7): 13-17.
- [5] Wu Hung-chih, Lu Chan-nan. A data mining approach for spatial modeling in small area load forecast [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2002, 17 (2): 516-521.
- [6] 周淙, 李健, 孙才新, 等. 基于粗糙集和元胞自动机的配电网空间负荷预测 [J]. 中国电机工程学报, 2008, 28 (25): 68-73.
- [7] 王成山, 黄纯华, 葛少云, 等. 一个实用的城市电力负荷密度预测系统 [J]. 电力系统自动化, 1992, 16 (6): 41-46.
- [8] 李洪发, 刘中胜, 王江福. 小区负荷密度指标法在格尔木城区电网负荷预测中的应用 [J]. 青海电力, 2007, 26 (2): 30-33.

(收稿日期: 2015-08-06) **EA**