

DOI:10.12158/j.2096-3203.2019.05.019

基于 TOPSIS 法的充电机运行性能组合赋权评价方法

刘亚丽¹, 王旭东¹, 赵迎春¹, 胡澄², 刘瑜俊²(1. 国网天津市电力公司电力科学研究院, 天津 300392;
2. 东南大学电气工程学院, 江苏 南京 210096)

摘要:随着电动汽车的快速发展,电动汽车充电机性能优劣极大影响了电动汽车用户的充电感受。文中提出了一种基于逼近理想解排序法(TOPSIS)的组合赋权评价方法,可以对电动汽车充电机运行性能进行全面评价。首先,建立充电机状态评价静态指标与动态指标,静态指标为充电机的输出性能、安全性能、电磁兼容性能与其他性能,动态指标为充电机对电网电能质量的影响指标;然后,采用博弈论把主观权重与客观权重整合优化为组合权重,并进行归一化处理;最后,基于 TOPSIS 法计算充电机的运行状态的贴近度,并得出最终评分。文中选取天津市场上3种常见充电机进行了全面评价,结果与其市场表现一致。因此,文中提出的充电机评价方法能够较全面地对充电机性能进行评价,可为电动汽车用户选购充电机提供参考。

关键词:充电机;组合赋权法;TOPSIS法;综合评价

中图分类号:TM910.6

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2019)05-00130-08

0 引言

随着全球能源短缺和环境污染问题的日益严重,世界各国都在发展电动汽车作为应对举措^[1]。因此,近年来电动汽车数量出现了大幅度的增长。充电机作为电动汽车的基础充电设施,用以满足电动汽车充电需求,也随之普及并大量涌入市场。然而,目前市面上的充电机型号繁多复杂,质量和性能参差不齐。同时,充电机在对电动汽车充电时,会对电网电能质量与电动汽车的电池造成一定影响。因此,对充电机进行客观、全面、科学地评价并筛选出优质充电机可实现充电机、电网与电动汽车的共赢^[2-3]。

对于电动汽车充电机及相关充换电设备综合性能的评价,国内外许多学者都开展了相关研究。文献[4]采用各项指标模糊理论评分法,构建充电机评估指标体系,基于充电机对电网稳定性、电池寿命及自身安全3方面,确定各指标重要度,通过层次分析法与熵权法修正,建立综合矩阵权重,对充电机进行综合评价。文献[5]提出了一种基于模糊综合评判和层次分析法的模糊模型来评估充电站的能效,建立7个模糊判断矩阵并计算评估系统中所有指标权重,再根据模糊综合评判法进行充电站的能效评估。文献[6]将充电机性能分为电气性能、经济性能、电磁兼容性能、环境性能及安全性能,建立了一种基于层次分析法和模糊综合评判法

集成的电动汽车充电机性能评价体系。文献[7]构建投影寻踪等级评价模型确定综合评价指标,采用量子粒子群优化算法找到最佳投影方向,根据最佳投影值及其对应的评价等级函数建模对充电桩进行评价。文献[8]从技术、经济、环境和安全4方面确立充电设备评价指标,采用不确定层次分析法构建指标权重区间,运用集值统计分析法处理专家意见,得出充电机评价价值。以上研究对于权重确立的方法多样,但多偏向主观权重,虽然指标体系的建立较为完善,但缺乏考虑充电机充电时对电网电能质量的影响。

基于上述背景,文中在以往研究基础上加以改进,建立了电动汽车充电机的自身静态指标,考虑了充电机接入与电网互动情景,引入了充电机对电网电能质量影响的动态指标,并采用博弈论思想,将层次分析法得出的主观权重与熵权法得出的客观权重优化结合,作为组合权重,再使用逼近理想解排序法(TOPSIS)计算各充电机评价对象的贴近度,确定最终评分。文中采用在天津市调研获得的3种充电机数据作为算例,计算结果表明,该方法对充电机运行状态评价全面合理,比其他方法具有更高的精确性。

1 充电机运行状态指标确立

电动汽车充电机含有整流装置,将电网交流电整流成直流电对动力电池充电,同时给电网带来谐波污染、电压暂降、三相不平衡等负面影响^[9]。因此,在评价充电机运行状态时,不仅需要评价充电机自身静态指标,如输出性能,安全性能等,还需要

收稿日期:2019-03-11;修回日期:2019-04-09

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2017YFA0700300)

评价其与电网互动的动态指标,即充电桩运行对电网电能质量的影响。综上,文中将充电桩运行状态分为静态指标与动态指标。充电桩结构示意图与指标划分如图 1 所示。

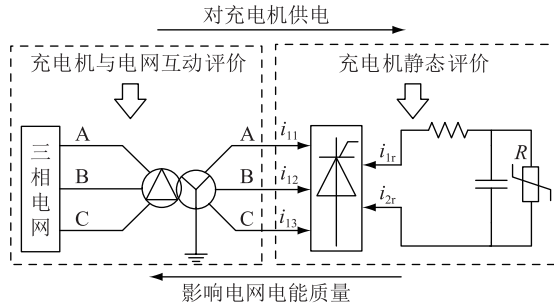


图 1 电动汽车充电桩结构与指标划分
Fig.1 Structure diagram and index division of EV chargers

1.1 充电桩运行状态静态指标

参考《电动汽车非车载传导式充电桩技术条件 (NB/T 33001-2010)》,将充电桩静态指标分为输出性能、安全性能、电磁兼容性能与其他性能,如图 2 所示。部分指标值可通过实验和公式计算得到,其余评价值可通过专家打分求平均值的方法获得。

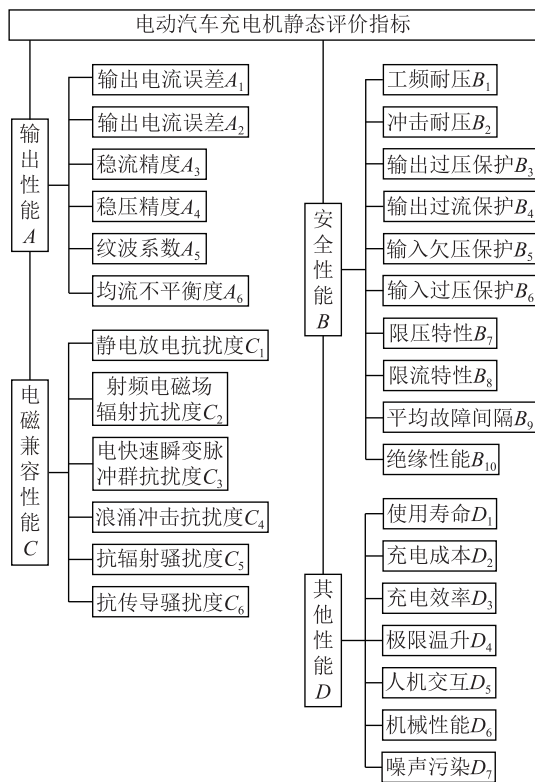


图 2 充电桩运行状态静态指标

Fig.2 Running state static indicators of EV chargers

1.2 充电桩运行状态动态指标

充电桩动态指标为充电桩接入对电网电能质量的影响,如图 3 所示。充电站在工作时往往不止

一台充电桩接入电网,文中分别测试单台接入的电网互动性能和多台接入的电网互动性能值,加权平均后作为被评价对象的指标值。

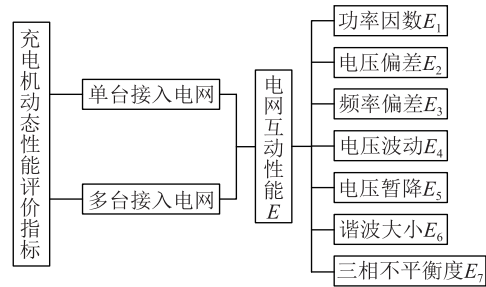


图 3 充电桩运行状态动态指标

Fig.3 Running state dynamic indicators of EV chargers

功率因数 E_1 指标采用功率因数数值作为指标值:

$$\cos\varphi_i = \frac{P_i}{S_i} \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

式中: $\cos\varphi_i$ 为 i 台充电桩接入的功率因数; P_i 为第 i 台充电桩的有功功率; S_i 为第 i 台充电桩的视在功率。电压偏差 E_2 指标计算公式如下:

$$\delta_{U_i} = \frac{|U_i - 220 \angle 0^\circ|}{220} \times 100\% \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

式中: δ_{U_i} 为 i 台充电桩接入电网节点电压的电压偏差; U_i 为 i 台充电桩接入电网节点电压的电压向量值。频率偏差 E_3 指标计算公式为:

$$\delta_{f_i} = \frac{|f_i - 50|}{50} \times 100\% \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

式中: δ_{f_i} 为 i 台充电桩接入电网的频率偏差; f_i 为 i 台充电桩接入电网的频率。电压波动 E_4 指标计算公式为:

$$\varepsilon_{U_i} = \max(U_{i\max} - U_{i\text{avg}}, U_{i\text{avg}} - U_{i\min}) \quad (4)$$

$$U_{i\text{avg}} = \frac{\sum_{k=1}^8 U_{i,k}}{8} \quad k = 1, 2, 3, \dots; i = 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

式中: ε_{U_i} 为 i 台充电桩接入的电压波动; $U_{i\max}$ 与 $U_{i\min}$ 为 i 台充电桩接入的电压最大值和最小值; $U_{i\text{avg}}$ 为 i 台充电桩接入的电压平均值; $U_{i,k}$ 为 i 台充电桩接入的 k 节点电压。

电压暂降或下跌是指供电电压有效值在短时间内突然下降又回升恢复的现象。由多名专家评判得出充电桩运行时的电压暂降表现性能,作为电压暂降 E_5 指标值。

充电桩接入电网产生谐波污染,一直以来都是备受关注的问[10]。对于谐波大小 E_6 指标值,文中用总谐波畸变率作为参考:

$$\nu_{\text{THD}_i} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^m U_{ni}^2}}{U_{1i}} \times 100\% \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

式中： ν_{THD_i} 为*i*台充电桩接入的谐波畸变率； U_{ni} 为*i*台充电桩接入的*n*次谐波有效值； U_{1i} 为*i*台充电桩接入的基波有效值；*m*为最高谐波次数。则谐波大小 E_6 的指标值为：

$$\nu_{\text{THD}} = \sum_{i=1}^6 \mu_i \nu_{\text{THD}_i} \quad (7)$$

式中： ν_{THD} 为谐波大小指标值； μ_i 为*i*台充电桩接入谐波畸变率的重要度，由评价专家给出。文中仅考虑6台以内充电桩同时接入对电网的影响。三相不平衡度 E_7 指标计算公式如下：

$$\lambda_i = \frac{\max(|I_{A,i} - I_{P,i}|, |I_{B,i} - I_{P,i}|, |I_{C,i} - I_{P,i}|)}{I_{P,i}} \quad (8)$$

式中： λ_i 为三相不平衡度； $I_{A,i}, I_{B,i}, I_{C,i}, I_{P,i}$ 分别为*i*台充电桩接入时的A,B,C三相电流与平均电流。

2 指标权重确定方法

文中采用组合赋权法确定权重，结合主客观权重法和客观权重法的优势，用层次分析法得出权重 W_1 ，用熵权法得出权重 W_2 ，再用博弈论对2种权重组合优化，作为最终权重值 W 。

2.1 层次分析法求权重

层次分析方法通过对评价指标和方案进行分层，对于每层的指标通过两两比较构造比较矩阵，再求其最大特征根所对应的特征向量来确定该层各指标权重，通过一致性检验校核其合理性^[11]。层次分析法主要步骤如下：

(1) 建立层次结构模型。根据指标性质，建立目标层、准则层与方案层三层结构。

(2) 构造比较矩阵。对于每一层的指标，建立两两比较矩阵，比较值为两指标的相对重要程度，重要程度取值可参考文献[12]，不再赘述。

(3) 求解最大特征根确定该层权重。对比较矩阵求解其特征根，得出比较矩阵的最大特征根与其对应的特征向量，归一化后即可得到对应权重。

(4) 一致性检验。一致性检验的参考指标参见文献[13]，若满足一致性检验，说明比较矩阵构造合理；否则回到(2)重新构造。

(5) 底层权重计算。计算底层所有因素对于高层相对重要性的权值。这一过程是从最高层次到最低层次依次进行的。

层次分析法是典型的主观权重法，可结合定性

与定量分析确定权重，具有系统性，但存在人为确定重要程度难免受主观影响的缺点。

2.2 熵权法求权重

在信息论中，熵是不确定性的量度。一般来说，某个指标的信息熵 E_j 越小，表明指标值的变异程度越大，提供的信息量越多，在综合评价中所起的作用越大，其权重也越大^[14]，反之亦然。对于电动汽车充电桩指标体系而言，子指标数目较多，且归属类较为模糊，采用熵权法确定权重具有一定的客观性和可操作性，并可以智能筛选出较为重要的指标。熵权法的主要步骤如图4。

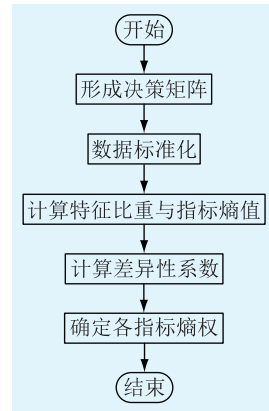


图4 熵权法确定权重流程

Fig.4 The process of determining weights by entropy weight method

熵权法是典型的客观权重法，优点是不受人为影响，计算方法具有客观性，缺点是会过度受到数据的影响而出现有悖于常理的情况。

2.3 组合赋权法

考虑到主观权重法与客观权重法均有一定的优势与劣势，文中将主观权重与客观权重组合优化，以兼并两者的优点。采用博弈论对主观权重与客观权重进行优化来确定组合权重。博弈论(Game Theory)广泛应用于运筹学中，是一种通过博弈协调竞争者之间的行为来实现利益最大化的决策手段^[15-17]。基于博弈论的组合赋权思路是：通过调节权重因子，使得组合权重到每个权重的偏差之和达到最小，则该权重为最优权重。组合赋权法的主要步骤如下：

(1) 权重一致型检验。对于2种不同的权重 W_1 和 W_2 ，需要对其进行权重一致性检验来判断是否可以组合赋权，采用距离函数表示：

$$d(W_1, W_2) = \left[\frac{1}{2} \sum_{j=1}^n (w_{1j} - w_{2j})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

式中： w_{1j} 为第一个权重向量组中第*j*个权重值； w_{2j} 为

第二个权重向量组中第 j 个权重值。

当 $d(\mathbf{W}_1, \mathbf{W}_2) < 0.1$ 时,可认为 \mathbf{W}_1 与 \mathbf{W}_2 较为接近,可以组合赋权。

(2) 形成组合权重。对于 \mathbf{W}_1 和 \mathbf{W}_2 这 2 个向量任意线性组合成一个可能权重集:

$$\mathbf{W}^* = \sum_{i=1}^2 \lambda_i^* \mathbf{W}_i \quad \lambda_i^* \geq 0 \quad (10)$$

式中: \mathbf{W}^* 为一种可能权重集; λ_i^* 为第 i 个权重集的权重因子; \mathbf{W}_i 为第 i 个权重集。

(3) 建立权重优化目标函数。以 \mathbf{W}^* 到 \mathbf{W}_1 和 \mathbf{W}_2 的离差极小化为目标函数:

$$\min \left\| \sum_{i=1}^n \lambda_i^* \mathbf{W}_i^T - \mathbf{W}_j^T \right\|_2 \quad j=1,2 \quad (11)$$

(4) 求解权重因子与最终权重。对式进行微分求导得:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i^* \mathbf{W}_j \cdot \mathbf{W}_i^T = \mathbf{W}_j \cdot \mathbf{W}_j^T \quad (12)$$

将式用线性方程组表示为:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{W}_1 \cdot \mathbf{W}_1^T & \mathbf{W}_1 \cdot \mathbf{W}_2^T \\ \mathbf{W}_2 \cdot \mathbf{W}_1^T & \mathbf{W}_2 \cdot \mathbf{W}_2^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1^* \\ \lambda_2^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{W}_1 \cdot \mathbf{W}_1^T \\ \mathbf{W}_2 \cdot \mathbf{W}_2^T \end{bmatrix} \quad (13)$$

根据式(11)求出 λ_1^*, λ_2^* 后,进行归一化处理:

$$\lambda_i = \frac{\lambda_i^*}{\sum_{i=1}^2 \lambda_i^*} \quad (14)$$

式中: λ_i 为归一化后第 i 个权重集对应的权重因子。最终组合权重为:

$$\mathbf{W} = \sum_{i=1}^2 \lambda_i \mathbf{W}_i \quad (15)$$

3 充电机运行状态评价

3.1 TOPSIS 法评价

TOPSIS 法又称优劣解距离法,由 C.L.Hwang 和 K.Yoon 于 1981 年首次提出^[18-19]。TOPSIS 法根据有限个评价对象与最优目标的接近程度和最差目标的远离程度之和进行排序,给出评价方案的优劣比较。该方法只要求各效用函数具有单调性即可,是多目标决策分析中一种常用的有效方法^[20]。

假设有 m 个评价对象, n 个评价指标, TOPSIS 法评价步骤如下:

(1) 指标无量纲化处理。各指标效用函数具有单调性特点,将指标分为越大越优型指标和越小越优型指标。对于越大越优型指标:

$$v_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (16)$$

对于越小越优型指标:

$$v_{ij} = \frac{\max(x_j) - x_{ij}}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (17)$$

式中: v_{ij} 为第 i 个评价对象第 j 个指标的处理值; x_{ij} 为第 i 个评价对象第 j 个指标的原始值; $\min(x_j)$ 为第 j 个指标的最小值; $\max(x_j)$ 为第 j 个指标的最大值。

(2) 求加权后评价值。将评价矩阵乘以组合权重矩阵得到加权评价矩阵:

$$\begin{pmatrix} f_{11} & \cdots & f_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{m1} & \cdots & f_{mn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_{11} & \cdots & v_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & \cdots & v_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & w_n \end{pmatrix} \quad (18)$$

其中:

$$f_{ij} = v_{ij} w_j \quad (19)$$

式中: w_j 是第 j 个指标的权重; f_{ij} 为第 j 个指标下,第 i 个评价对象的加权评价值。

(3) 寻找最优解和最劣解。寻找到每一列的最优值记为 f_j^* , 每一列的最差值记为 f_j^\wedge , 则 $\mathbf{F}^* = [f_1^*, f_2^*, \dots, f_n^*]$ 为最优解向量, $\mathbf{F}^\wedge = [f_1^\wedge, f_2^\wedge, \dots, f_n^\wedge]$ 为最劣解向量。

(4) 计算欧式距离。计算各评价对象与最优向量和最劣向量的欧式距离:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (f_{ij} - f_j^*)^2} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (20)$$

$$S_i^\wedge = \sqrt{\sum_{j=1}^n (f_{ij} - f_j^\wedge)^2} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (21)$$

式中: S_i^* 为第 i 个评价对象与最优解的欧式距离; S_i^\wedge 为第 i 个评价对象与最劣解的欧式距离。

(5) 计算各评价对象的相对贴近程度。

$$C_i^* = S_i^\wedge / (S_i^* + S_i^\wedge) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (22)$$

式中: C_i^* 为第 i 个评价对象的相对贴近程度。

(6) 对各个评价对象排序。按照贴近程度高低对各个评价对象优劣程度排序,划分等级,给出评价。

3.2 充电机评价流程

首先,通过实验测得电动汽车运行动静态指标及其子指标的数据值或专家评分值。邀请电动汽车与电网相关专业的 15 名专家,分别给静态指标集与动态指标集进行重要程度百分制打分,采用均值法获得静态指标与动态指标的平均分,据此确定静态指标与动态指标的重要程度比例为 $\alpha:\beta$ 。然后,采用层次分析法和熵权法分别求得主观权重 \mathbf{W}_1 和客观权重 \mathbf{W}_2 ,运用博弈论对 \mathbf{W}_1 和 \mathbf{W}_2 组合优化,计算出组合权重 \mathbf{W} 。接着,将电动汽车充电机数据按类型归一化处理,采用 TOPSIS 法计算每个充电机评价对象与最优解和最劣解的欧式距离,再计算其相对贴近程度,即为每个充电机评价对象的得分,评

判其优劣程度,具体流程如图 5 所示。

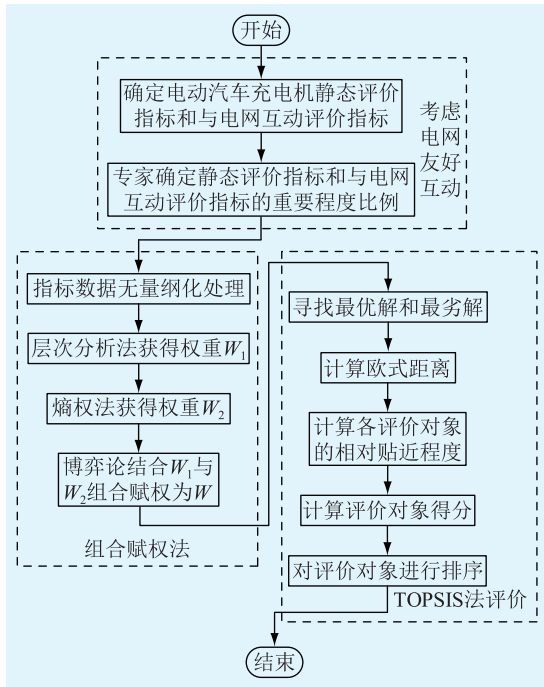


图 5 充电桩运行状态评价流程
Fig.5 The process of EV chargers operation status evaluation

4 算例分析

算例选取天津市场调研的 3 种不同类型充电桩数据,型号分别命名为甲、乙、丙。在价格调查中,价格排序为乙>甲>丙;在市场销量调查中,销量排序为乙>甲>丙;天津当地充电桩生产商对 3 款充电桩的使用情况进行专业测评后,得出结论:甲、乙、丙 3 台充电桩的运行性能均为良好,综合排序乙优于甲,甲优于丙。采用文中方法对 3 种充电桩进行试验,得出甲、乙、丙的部分静态指标原始数据如表 1 所示。

表 1 电动汽车充电桩部分静态指标原始数据
Table 1 Partial static indicators raw data of EV chargers

型号	A ₁ /%	A ₂ /%	A ₃ /%	A ₄ /%	A ₅ /%	A ₆ /%	C ₁
甲	0.6	0.2	0.98	0.07	0.18	4.0	0.9
乙	0.7	0.35	0.75	0.17	0.13	3.0	0.85
丙	0.82	0.3	0.86	0.05	0.176	3.2	0.8

型号	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	D ₃	D ₇ /dB
甲	0.85	0.8	0.85	0.89	0.9	0.93	52
乙	0.9	0.8	0.9	0.85	0.85	0.926	59
丙	0.8	0.85	0.8	0.8	0.85	0.931	55

其余部分静态指标数据根据 5 名专家测试观察给出评分并求均值得出,如表 2 所示。

对于动态指标值,选取 6 台充电桩同时工作作

表 2 电动汽车充电桩部分静态指标专家评分值
Table 2 Expert scores of partial static indicators of EV chargers

型号	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈
甲	10	9.51	9	9	10	10	8.45	6.75
乙	9	8.43	10	10	9	9	8.35	7.29
丙	9	7.54	9.5	9.5	9.2	8.9	8.13	6.32

型号	B ₉	B ₁₀	D ₁	D ₂	D ₄	D ₅	D ₆
甲	8.44	9.21	9.1	7.5	8	9	7.5
乙	8.98	5.89	8.2	7.5	8.5	8.8	8.5
丙	9.06	7.02	8.7	8	8.5	8.4	8.2

为多台工作的典型数据,取 $\mu_1=0.343, \mu_6=0.657$,采用式(1)一式(2)进行动态指标 E₁—E₇ 的计算,其中谐波大小 E₇ 的各次谐波含有率计算结果如图 6 和图 7 所示。

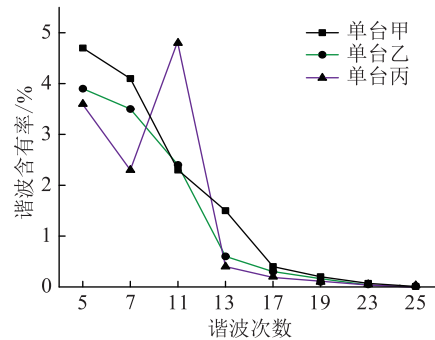


图 6 单台充电桩运行谐波含有率
Fig.6 Harmonic ratio of single charger operation

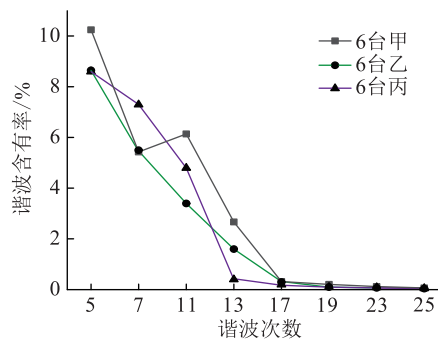


图 7 多台充电桩运行谐波含有率
Fig.7 Harmonic ratio of several chargers operation

动态指标的所有指标原始数据计算值见表 3。

表 3 电动汽车充电桩动态指标原始数据
Table 3 Dynamic indicators raw data of EV chargers

型号	E ₁	E ₂ /%	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆ /%	E ₇ /%
甲	0.95	3.67	0.182	0.81	0.88	4.67	0.723
乙	0.99	4.83	0.123	1.33	0.71	2.72	0.824
丙	0.97	2.43	0.175	1.68	0.51	3.24	1.060

取 $\alpha:\beta=0.7:0.3$, 分别用层次分析法与熵权法计算静态和动态指标下的各指标权重,并用博弈论

对权重进行优化。经计算, λ_1 为 0.752, λ_2 为 0.248。

将静态指标和动态指标下的共 36 个指标按顺序编号, 每个子指标对应的主观权重、客观权重与最终权重计算值如图 8 所示。

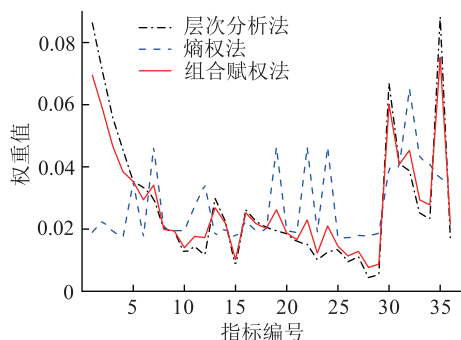


图 8 3 种方法下的各指标权重

Fig.8 Weights of indicators under three methods

运用 TOPSIS 法结合组合赋权, 计算甲、乙、丙 3 种充电机的相对贴近程度, 结果如表 4 所示。在确立权重方面, 为了证明文中采用的组合赋权法相比于单一权重法在评价上的优势, 文中选取了不同获得权重方法, 即用组合赋权法、层次分析求权法、熵权法分别获得 3 组不同的指标权重值, 同时带入 TOPSIS 法计算贴近度得分。在选取指标方面, 为证明文中评价指标选取的合理性, 表 4 也给出了未考虑电网互动指标的组合赋权法 TOPSIS 得分。

表 4 不同权重与指标下的 TOPSIS 法评价得分

Table 4 TOPSIS evaluation scores under different weights and indicators

型号	不同权重下的 TOPSIS 法评价得分			未考虑电网互动指标
	组合赋权法	层次分析法	熵权法	
甲	0.480	0.602	0.475	0.594
乙	0.554	0.507	0.532	0.466
丙	0.448	0.439	0.499	0.384

由表 4 可以看出, 层次分析法作为权重时, 充电机的评价得分为甲>乙>丙; 熵权法为权重时, 充电机的评价排序为乙>丙>甲。2 种权重下的评价结果均与生产商的使用情况测评结果有出入, 因此选用组合赋权法评价更为准确。

在考虑电网互动的情况下, 充电机运行状态评价得分最高的是乙, 为 0.554, 其次是甲, 为 0.480, 最后是丙, 为 0.448, 得分排序与天津当地充电机生产商的测评结果以及市场上甲、乙、丙 3 种充电机价格排序一致; 另一方面, 若在评价过程中不考虑充电机与电网互动的指标, 则评分顺序将变为甲>乙>丙, 与充电机生产商的使用情况测评结果有偏差, 因此, 可以证明文中评价方法能客观判断出充

电机运行性能的优劣情况。

将 TOPSIS 评价方法与模糊层次分析法^[8]以及投影寻踪量子粒子群优化法^[7]分别评价甲、乙、丙 3 种充电机, 得分结果如图 9 所示。可以看出, 3 种方法对于充电机的评价得分略有偏差, 但相差不大。其中, 模糊层次分析法的得分排序为甲、乙、丙; 投影寻踪量子粒子群优化法的得分排序为乙与丙相等, 略大于甲。对比充电机的价格、市场销量、以及生产商的使用情况测评结果, 组合赋权 TOPSIS 法评价结果精确度最高。

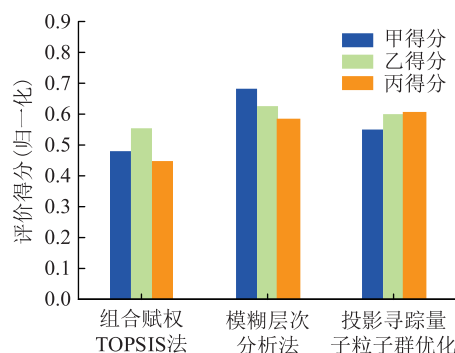


图 9 3 种评价方法结果对比

Fig.9 Result comparison of three evaluation methods

5 结论

文中考虑了电动汽车充电机运行对电网的影响, 建立了一种结合组合赋权法与 TOPSIS 法的电动汽车充电机运行性能评价方法。建立充电运行状态的静态指标和动态指标, 对于动态指标, 同时考虑单台充电机接入和多台充电机接入的子指标值。权重确定方面, 采用博弈论优化层次分析法与熵权法得出 2 种权重, 代入 TOPSIS 法中计算与最优解相对贴近程度, 即为充电机运行状态的评价得分。采用天津市场调研中的甲、乙、丙 3 种充电机实例验证, 结果表明, 该方法可全面地对充电机的运行状态、性能进行评价, 并评判出优劣程度, 较传统方法在指标完善和权重确立方面有很大改进。

本文得到国网天津市电力有限公司科技项目(kj17-1-02)资助, 谨此致谢!

参考文献:

[1] 陈梦涛, 张兆君, 谭风雷, 等. 电动汽车充电站多阶段选址规划[J]. 电力工程技术, 2017, 36(6): 117-121.
CHEN Mengtao, ZHANG Zhaojun, TAN Fenglei, et al. Multi-stage site selection planning for electric vehicle charging station [J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(6): 117-121.

[2] 张晓花, 谢俊, 赵晋泉, 等. 考虑风电和电动汽车等不确定性负荷的电力系统节能减排调度[J]. 高压技术, 2015, 41

- (7):2408-2414.
ZHANG Xiaohua, XIE Jun, ZHAO Jinquan, et al. Energy-saving and emission reduction scheduling for power systems considering uncertainties such as wind power and electric vehicles [J]. High Voltage Engineering, 2015, 41(7): 2408-2414.
- [3] 李晶, 姜久春. 纯电动汽车充电机系统稳定性研究[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(9): 13-17.
LI Jing, JIANG Jiuchun. Research on stability of pure electric vehicle charger system [J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(9): 13-17.
- [4] 杨月新, 车延博, 杨立勋. 电动汽车充电机运行状态多指标综合评估[J]. 电力自动化设备, 2018, 38(3): 72-79.
YANG Yuexin, CHE Yanbo, YANG Lixun. Comprehensive evaluation of multiple indicators of electric vehicle charger operation status [J]. Electric Power Automation Equipment, 2018, 38(3): 72-79.
- [5] LUO H, RUAN J, LI F. A fuzzy evaluation and AHP based method for the energy efficiency evaluation of EV charging station [J]. Journal of Computers, 2014, 9(5): 1185-1192.
- [6] 叶健诚, 董晨, 马彦华, 等. 电动汽车充电机性能评价指标体系研究[J]. 电测与仪表, 2015, 52(21): 91-96.
YE Jiancheng, DONG Chen, MA Yanhua, et al. Research on performance evaluation index system of electric vehicle charger [J]. Electric Measuring and Instrumentation, 2015, 52(21): 91-96.
- [7] 范建磊, 刘君. 电动汽车充电桩综合评价方法研究[J]. 电气应用, 2014, 33(11): 31-35.
FAN Jianlei, LIU Jun. Research on comprehensive evaluation method of electric vehicle charging piles [J]. Electric Apparatus, 2014, 33(11): 31-35.
- [8] 刘锡正. 电动汽车充电设备综合评价指标体系研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2012.
LIU Xizheng. Research on comprehensive evaluation index system of electric vehicle charging equipment [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2012.
- [9] 高赐威, 张亮. 电动汽车充电对电网影响的综述[J]. 电网技术, 2011, 35(2): 127-131.
GAO Ciwei, ZHANG Liang. Overview of the influence of electric vehicle charging on power grid [J]. Power System Technology, 2011, 35(2): 127-131.
- [10] YU T, YAO X P, WANG M, et al. A reactive power evaluation model for EV chargers considering travelling behaviors [C] // Changsha: International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, IEEE, 2015.
- [11] 李鸣慎, 杨帆, 杨夯, 等. 基于层次分析与模糊评判的电动汽车充电站能效评估[J]. 电测与仪表, 2013, 50(9): 69-73.
LI Mingshen, YANG Fan, YANG Hang, et al. Energy efficiency assessment of electric vehicle charging station based on analytic hierarchy process and fuzzy evaluation [J]. Electrical Measurement and Instrumentation, 2013, 50(9): 69-73.
- [12] LIN M C, WANG C C, CHEN M S, et al. Using AHP and TOPSIS approaches in customer-driven product design process [J]. Computers in Industry, 2008, 59(1): 17-31.
- [13] 刘志刚. 基于模糊层次分析法的电动汽车综合效益评价研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2013.
LIU Zhigang. Research on comprehensive benefit evaluation of electric vehicles based on fuzzy analytic hierarchy process [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2013.
- [14] NIE H Z, PAN L, QIAO Y, et al. Comprehensive fuzzy evaluation for transmission network planning scheme based on entropy weight method [J]. Power System Technology, 2009, 33(11): 278-281.
- [15] 山成菊, 董增川, 樊孔明, 等. 组合赋权法在河流健康评价权重计算中的应用[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2012, 40(6): 622-628.
SHAN Chengju, DONG Zengchuan, FAN Kongming, et al. Application of combined weighting method in calculation of river health evaluation weights [J]. Journal of Hohai University, 2012, 40(6): 622-628.
- [16] 马丽川. 电能质量综合评估方法的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2016.
MA Lichuan. Research on comprehensive evaluation method of power quality [D]. Harbin: Harbin University of Science and Technology, 2016.
- [17] 陈彬. 计及户用分布式电源的合作博弈智能用电技术[J]. 电力工程技术, 2017, 36(5): 29-34, 65.
CHEN Bin. Cooperative game intelligent power consumption technology considering household distributed power supply [J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(5): 29-34, 65.
- [18] CHEN TUNG C. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment [J]. Fuzzy Sets and Systems, 2000, 114(1): 1-9.
- [19] DENG H, YEH C H, WILLIS R J. Intercompany comparison using modified TOPSIS with objective weights [J]. Computers and Operations Research, 2000, 27(10): 963-973.
- [20] 胡元潮, 阮江军, 杜志叶, 等. 基于TOPSIS法的变电站一次设备智能化评估[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(12): 22-27.
HU Yuanchao, RUAN Jiangjun, DU Zhiye, et al. Intelligent evaluation of primary equipment in substation based on TOPSIS method [J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(12): 22-27.

作者简介:



刘亚丽

刘亚丽(1984),女,硕士,高级工程师,从事电能质量评估治理、新能源与电动汽车研究工作(E-mail: liuyali_sdu@163.com);

王旭东(1984),男,博士,高级工程师,从事智能配用电技术、电力系统分析研究工作;

赵迎春(1986),男,硕士,高级工程师,从事电动汽车运维技术研究工作。

Evaluation method for the combination weighting of charging machine operating performance based on TOPSIS method

LIU Yali¹, WANG Xudong¹, ZHAO Yingchun¹, HU Cheng², LIU Yujun²

- (1. State Grid Tianjin Electric Power Company Electric Power Research Institute, Tianjin 300010, China;
2. School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: With the development of electric vehicles (EVs), the performance of the chargers has a great influence on the feeling of EVs users. This paper proposes a method based on the combination weighting method and the TOPSIS (technique for order preference by similarity to an ideal solution) method in order to evaluate the operating performance of EV chargers scientifically and reasonably. Firstly, the static and dynamic indicators of the charger performance evaluation are established. Static indicators include the output performance, safety performance, electromagnetic compatibility and other performance of EV chargers. The dynamic indicators are defined as the influence of the chargers on the power quality of the grid. Then, the combined weights are formed with the subjective and objective weights based on Game theory and all the weights are normalized. Finally, the TOPSIS method is used to score the closeness of the operating state of the charger. Three chargers chosen from Tianjin market are used as case study and the evaluation results correspond with the sales. So the proposed method can evaluate the chargers in a comprehensive way and provide a reliable suggestion for the charger consumers.

Keywords: charger; combination weighting method; TOPSIS method; comprehensive evaluation

(编辑 杨卫星)

(上接第 113 页)

Optimization of ultra-short-term wind power predicting model based on MIV-PCA

XU Longbo¹, WANG Wei^{2,3}, DING Yuhan⁴, ZHANG Tao^{2,3}, WANG Shaoyong¹

- (1. Guangdong Electric Power Design Institute, China Energy Engineering Group Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;
2. NARI Group Corporation, Nanjing 210016, China; 3. NARI-TECH Control Systems Co., Ltd., Nanjing 210063, China;
4. School of Electrical and Information Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: In order to solve the problems such as variable redundancy and model complexity in ultra-short-term wind power prediction based on dynamic neural network (DNN), a novel method is proposed by combine the mean impact value (MIV) and principal component analysis (PCA) to optimize the predicting model constructed by DNN method. MIV method calculates the influencing degree from the input variables to the output and obtain the most important input variables to simplify the predicting model. However, its information utilization is low. PCA method extracts the principal components from the rest of the input variables. The information utilization can be greatly improved by adding a small number of principal components to make up for the deficiency of MIV method. It is verified by the data analysis and experiment that the optimized predicting model can assure the high contribution of the input variables and reduce the model complexity, which preserves the important information of the original system greatly, reduces the risk of introducing noise to the model, and makes the predicting result being improved significantly.

Keywords: wind power; ultra-short-term prediction; mean impact value; principal component analysis; model optimization

(编辑 方晶)