

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.220552

基于改进的 AHP-CRITIC-MARCOS 配电网 设备风险评估方法

王敏, 邹婕, 王惠琳, 左方林

(河海大学能源与电气学院, 江苏 南京 211100)

摘要: 实现配电网设备风险的准确评估对提高配电网的可靠性有着重要意义。针对在不同权重下同时考虑多种风险因素的评估问题, 提出了一种基于改进的 AHP-CRITIC-MARCOS 配电网设备风险评估方法。首先, 针对配电网设备风险问题选取合适的评估指标。其次, 用改进的 AHP 方法结合 CRITIC 方法计算各指标的主客观综合权重。最后, 利用多准则决策中的 MARCOS 方法计算待评估配电网设备的效用函数, 并根据其对各设备的风险程度进行排序。通过算例验证了所提方法的有效性, 结果可以用于设备升级改造的精准选择以及提升配电网的可靠性。

关键词: 主客观权重; 多准则决策; 改进 AHP-CRITIC 方法; MARCOS 方法; 配电网设备风险评估

Improved AHP-CRITIC-MARCOS-based risk assessment method for distribution network equipment

WANG Min, ZOU Jie, WANG Huilin, ZUO Fanglin

(College of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, China)

Abstract: Realizing the accurate risk assessment of distribution network equipment is of great significance in improving reliability. There is an evaluation problem of considering multiple risk factors under different weights. Thus this paper proposes a risk assessment method based on an improved AHP-CRITIC-MARCOS method. First, it selects appropriate evaluation indicators for the risk of the equipment. Second, the improved AHP method combined with CRITIC method is used to calculate the subjective and objective comprehensive weight of each index. Finally, the utility function of the distribution network equipment to be evaluated is calculated using the MARCOS method in multi criteria decision-making, and the risk degree of each equipment is ranked accordingly. The effectiveness of the proposed method is verified by an example. The results can be used to accurately select equipment upgrading and improve the reliability of a distribution network.

This work is supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 51777058).

Key words: subjective and objective weight; MCDM; improved AHP-CRITIC method; MARCOS method; risk assessment of distribution network equipment

0 引言

作为网络的主要组成部分, 配电网设备的稳定运行和良好维护是实现配电网可靠运行的基础^[1]。近年来, 配电网设备的数量与种类迅速增加, 配电网的网络结构日趋复杂, 运行方式更加多变, 面临的风险问题也越来越多^[2]。结合多种因素对配电设备进行准确的风险评估, 合理安排风险设备的升级改造次序, 实现配电网安全可靠运行, 已成为各供

电公司亟需解决的关键问题。

配电网设备的风评估涉及众多指标因素, 属于一项多准则综合评价问题^[3]。文献[4]将设备的风险因素分为设备自身因素、运行因素等内部因素以及气象因素、意外破坏等外部因素。文献[5]考虑了气候变化因素对配电网的风险影响, 文献[6]分析了网架结构对配电网的风险影响。文献[7]从配电网的实时风险和网架结构两个方面分别选取多种风险指标, 文献[8]从可靠性, 安全性、经济性和环保性 4 个维度建立指标体系。然而风险评估的各指标间往往存在一定的相关性, 上述文献并未考虑到这一方

基金项目: 国家自然科学基金项目资助(51777058)

面或者只用简单的对数合成方法来处理。

为了在风险评估的过程中合理确定各指标的权重, 文献[3]和文献[9]均采用层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)进行评价, 该方法可以很好地分析主观权重的问题, 但这仅仅基于专家的主观评判, 在准确性上仍存在局限性。文献[10]利用基于指标相关性的指标权重确定方法(criteria importance though intercriteria correlation, CRITIC)对造成配电网设备风险问题的各因素进行了客观上的权重计算, 但在该文献中, 只计及客观因素时得到的各指标权重差异并不十分明显。因此为了得到更加准确的指标权重, 应将客观权重与主观权重综合考虑^[11]。有学者提出将改进的 AHP 方法或 AHW 方法与 CRITIC 方法相结合形成主客观赋权方法^[12-13], 既可以充分参考专家的主观意见, 又可以考虑到各指标间的相关性, 从而更加准确合理地进行风险评估^[14]。

得到各指标的权重后, 在风险评估的最后阶段, 如何利用现有信息对各设备的风险程度进行排序是重中之重^[15]。除了传统的简单加权法, 文献[16]使用灰色关联法分析备选方案与理想解的关系从而进行排序。在多准则决策方法的应用中, 文献[17]采用多属性理想现实比较分析法(multi attribute ideal real comparative analysis, MAIRCA), 通过理想决策矩阵与现实决策矩阵之间的差距对风险等级进行排序。文献[18]采用逼近理想解排序法(technique for order preference by similarity to ideal solution, TOPSIS), 计算备选方案与理想解的贴近程度, 进一步提高了准确性, 但是 TOPSIS 方法却无法考虑到距离的相对重要性。实际上, 文献[19]提出了一种新的多准则决策方法, 即基于折中方案的备选方案排序法(measurement of alternatives and ranking according to compromise solution, MARCOS), 并运用在对医疗供应商的选择中, 其后文献[20]还将该方法运用在了研究道路交通风险的问题上, 并用三角模糊数对该方法进行了拓展。除此之外, 该方法还被应用在大坝的安全风险识别^[21]以及海上风电选址^[22], 用来确定各危害的重要性优先顺序以及追求最大效益, 但目前还没有在配电网设备风险评估领域中得到应用。MARCOS 方法与 TOPSIS 原理相似, 都是根据理想和负理想备选方案之间的关系进行排序和选择, 但是 MARCOS 方法更加简单且运行稳定可靠^[19-20], 因此本文使用 MARCOS 方法对各风险设备进行排序。

本文首先采用改进后的 AHP 方法计算评估指标的客观权重, 利用 CRITIC 方法计算相应的主观

权重, 再将两者结合得到主客观综合权重。然后再利用 MARCOS 方法对配电网的各风险设备进行综合的风险评估, 并根据效用函数值给出了风险排序。最后, 算例结合实际情况表明了所提出方法的有效性。

1 主客观结合的评估指标综合权重

1.1 基于改进 AHP 方法的主观权重计算

设备评估所使用的风险指标可从供电能力、网架结构、可靠性和电能质量等方面进行选取, 在根据实际情况合理选取指标后, 即需要对评估指标进行主客观相结合的权重分析。使用 AHP 法进行权重计算时, 一般需要对判断矩阵作一致性检验, 但往往会出现一致性检验无法通过的问题, 对此本文采用改进的 AHP 法进行主观权重的计算^[23]。通过收集专家意见, 评判各个评估指标之间的相对重要性, 依照标度值表中的对应数据来构建判断矩阵。首先, 收集专家对各个风险指标相对重要性的评判意见, 对给出的 n 个评价指标 c_1 到 c_n 进行两两比较, 并依据评估指标的重要性, 按照重要程度进行排名, 使其结果为 $c_1 \geq c_2 \geq \dots \geq c_n$ 。每两个相邻的指标作为一组, 按照表 1 给出两者之间的标度值, 记为 t_i , 再利用式(1)计算矩阵中的其他元素, 最终得到判断矩阵 R , 通过这样的方法得到的矩阵就是完全一致的, 且计算量大大减小, 便于应用。

利用改进 AHP 法建立的判断矩阵 R 中, 各元素应满足如下条件: $r_{ij} > 0$; $r_{ji} = 1/r_{ij}$; $r_{ii} = 1$; $r_{ij} = r_{ik}r_{kj}$, $i, j, k = 1, 2, \dots, n$ 。其中 r_{ij} 表示第 i 个元素与第 j 个元素相比较的标度值, 其含义如表 1 所示。

$$R = \begin{bmatrix} 1 & t_1 & t_1 t_2 & \dots & \prod_{i=1}^{n-1} t_i \\ \frac{1}{t_1} & 1 & t_2 & \dots & \prod_{i=2}^{n-1} t_i \\ \frac{1}{t_1 t_2} & \frac{1}{t_2} & 1 & \dots & \prod_{i=3}^{n-1} t_i \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{\prod_{i=1}^{n-1} t_i} & \frac{1}{\prod_{i=2}^{n-1} t_i} & \frac{1}{\prod_{i=3}^{n-1} t_i} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

可由矩阵 R 直接计算出各项评价指标的主观权重值, 如式(2)所示。

$$\alpha_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n r_{ij}} / \sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n r_{ij}} \quad (2)$$

式中: α_i 为第 i 项指标的权重值; $\prod_{j=1}^n r_{ij}$ 表示矩阵 R 中第 i 行所有元素的乘积。

表 1 标度值含义

Table 1 Meaning of scale values

标度	含义
1	2 个因素同等重要
1.2	因素 i 比因素 j 稍微重要
1.4	因素 i 比因素 j 强烈重要
1.6	因素 i 比因素 j 明显重要
1.8	因素 i 比因素 j 绝对重要
以上标度的倒数	因素 i 与因素 j 比较得到 r_{ij} , 则因素 j 与因素 i 比较得到 $r_{ji}=1/r_{ij}$

1.2 基于 CRITIC 方法的客观权重计算

为了克服主观权重的局限性, 还需要在评估指标的权重之中加入客观权重。CRITIC 方法是一种根据指标的信息量来确定指标权重的方法, 该方法既考虑到了方案之间的对比度, 也考虑到了各指标之间的冲突性。而评估配电网设备的各个评价指标之间往往具有一定的相关性, 为了表现出这种关系, 本文采用 CRITIC 方法计算客观权重。

假设共有 m 个方案, 每个方案有 n 个指标, 则评价矩阵 X 可用式(3)表示, 矩阵中的元素对应某一方案在对应指标下评价。

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (3)$$

以下所述步骤通过 CRITIC 方法计算客观权重。

1.2.1 指标同向化处理

在确定风险评估指标时, 可能会出现一些负向指标, 例如设备“ $N-1$ ”情况等, 这种情况下该指标取值越大风险程度越低, 而负载率等正向指标越大则风险程度越高。

当这两种指标同时存在时, 就会增加计算的难度, 因此为了方便计算, 在必要时需要进行指标的同向化, 转换方式如式(4)所示。

$$x'_{ij} = \frac{1}{\lambda + \max |X_i| + x_{ij}} \quad (4)$$

式中: x_{ij} 为对应的指标值; x'_{ij} 为经过同向化处理的指标值; $\max |X_i|$ 表示第 i 个指标的最大值; λ 为协调系数, 一般设置为 0.1。经过上述处理后, 可以获得正向化之后的评价矩阵 X' 。

1.2.2 指标标准化处理

由于在进行评价时, 矩阵 X' 中的各项指标含

义、单位均不相同, 因此需要将各指标值转换到同一标准下, 处理方式如式(5)所示。

$$x''_{ij} = \frac{x'_{ij} - \min(x'_{ij})}{\max(x'_{ij}) - \min(x'_{ij})} \quad (5)$$

式中, x''_{ij} 为经过标准化处理的指标值。

1.2.3 指标客观权重计算

CRITIC 方法用指标的标准差来表示方案之间的对比度, 即通过不同方案下同一指标间的差距来体现, 用指标之间的相关系数来量化这一冲突性。通过标准矩阵 X'' , 可获得每个指标的标准差 σ_i 和指标之间的相关系数 ρ_{ij} , 处理方式如式(6)和式(7)所示。

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (x''_{ij} - \bar{x}_i'')^2}, \quad i=1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$\rho_{ij} = \text{cov}(X_i'', X_j'') / (\sigma_i \sigma_j), \quad i=1, 2, \dots, n \quad (7)$$

式中: \bar{x}_i'' 表示第 i 个指标的均值; $\text{cov}(X_i'', X_j'')$ 表示标准矩阵 X'' 中第 i 个指标与第 j 个指标的协方差。

再通过指标的标准差和指标之间的相关系数计算每个指标中包含的信息量 G_i , 如式(8)所示。

$$G_i = \sigma_i \sum_{j=1}^n (1 - \rho_{ij}) \quad i=1, 2, \dots, n \quad (8)$$

G_i 越大, 即表示第 i 个指标中包含的信息量越大, 该指标的相对重要程度越高。再根据该值计算第 i 个指标的客观权重 β_i , 处理方式如式(9)所示。

$$\beta_i = \frac{G_i}{\sum_{j=1}^n G_j} \quad (9)$$

1.3 综合权重的确定

主观权重向量 α 和客观权重向量 β 可分别通过改进 AHP 法及 CRITIC 法获得, 综合权重则由这两种权重共同构成, 利用它们之间的互补性即可全面地体现评价过程中各指标的权重。为了使指标的综合权重 ω_i 尽可能地接近 α_i 和 β_i , 在不偏重其中任意一项的情况下, 可以使用最小鉴别信息原理^[18]来获得综合权重 ω_i , 目标函数为

$$\begin{cases} \min J(\omega) = \sum_{i=1}^n (\omega_i \ln \frac{\omega_i}{\alpha_i} + \omega_i \ln \frac{\omega_i}{\beta_i}) \\ \text{s.t.} \sum_{i=1}^n \omega_i = 1, \omega_i \geq 0 \quad i=1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (10)$$

求解此优化模型, 得到综合权重如式(11)所示。

$$\omega_i = \frac{\sqrt{\alpha_i \beta_i}}{\sum_{j=1}^n \sqrt{\alpha_j \beta_j}} \quad (11)$$

综合权重向量为

$$\omega = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n]^T \quad (12)$$

2 基于 MARCOS 方法的配电网设备风险排序

虽然得到了各指标的权重值,可以通过简单加权对各设备的风险进行评估,但是这种单纯的线性求和方法难以保证判断结果的准确性,为了提高风险评估的可靠性,本文采用 MARCOS 方法。

MARCOS 方法是由文献[19]首先提出的一种多准则决策方法。该算法在定义备选方案和理想解、负理想解关系的基础上,确定给出的各个备选方案的效用函数,并根据效用函数值进行折衷排序。效用函数则代表了备选方案相对于理想和负理想解决方案的效用程度。最好的备选方案是最接近理想参考点,同时距离负理想参考点最远的方案,在本文中,理想参考点即代表风险值最高的方案。通过以下步骤执行 MARCOS 方法,其中 AI 代表风险评估最靠前的方案,AAI 代表风险评估最靠后的方案。

步骤 1: 形成初始评价矩阵,包括一组 n 个标准和 m 个备选方案。通过收集专家根据标准评估备选方案给出的评分得到。

步骤 2: 通过在初始评价矩阵中引入理想解(AI)和负理想解(AAI)来进行扩展,形成扩展矩阵 X_k 。

$$X_k = \begin{matrix} AAI & \begin{bmatrix} x_{aa1} & x_{aa2} & \cdots & x_{aan} \\ A_1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ A_2 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_m & x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \\ AI & x_{ai1} & x_{ai2} & \cdots & x_{ain} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (13)$$

负理想解(AAI)是具有最差特性的方案,而理想解(AI)是具有最佳特性的方案。根据不同标准的性质,AAI 和 AI 通过应用方程式(14)和式(15)进行定义。

$$AAI = \begin{cases} \min_i x_{ij}, j \in B \\ \max_i x_{ij}, j \in C \end{cases} \quad (14)$$

$$AI = \begin{cases} \max_i x_{ij}, j \in B \\ \min_i x_{ij}, j \in C \end{cases} \quad (15)$$

式中: B 代表一组最大化标准,即希望该标准的评分越高越好; C 代表一组最小化标准,即希望该标准的评分越低越好。

接着将扩展后的初始评价矩阵进行规范化处

理。处理方式如式(16)和式(17)所示。

$$n_{ij} = \frac{x_{ai}}{x_{ij}}, j \in C \quad (16)$$

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{ai}}, j \in B \quad (17)$$

式中: n_{ij} 代表规范化处理后所得矩阵中的元素; x_{ai} 和 x_{ij} 代表扩展矩阵中的元素。

步骤 3: 确定加权矩阵 $V = [v_{ij}]_{m \times n}$, 将规范化矩阵各元素 n_{ij} 与各指标的权重系数 w_j 相乘得到加权矩阵中的各元素,其中权重系数即为上文计算所得的综合权重。

$$v_{ij} = n_{ij} \times w_j \quad (18)$$

步骤 4: 计算备选方案 K_i 相对于理想解(AI)和负理想解(AAI)的效用度。

$$K_i^+ = \frac{S_i}{S_{ai}} \quad (19)$$

$$K_i^- = \frac{S_i}{S_{aai}} \quad (20)$$

式中: S_i 表示加权矩阵 V 中第 i 行元素的和,即式(21); S_{ai} 表示加权矩阵 V 中第 ai 行元素的和; S_{aai} 表示加权矩阵 V 中第 aai 行元素的和。

$$S_i = \sum_{j=1}^n v_{ij} \quad (21)$$

步骤 5: 确定备选方案 $f(K_i)$ 的效用函数,处理方式如式(22)所示。

$$f(K_i) = \frac{K_i^+ + K_i^-}{1 + \frac{1 - f(K_i^+)}{f(K_i^+)} + \frac{1 - f(K_i^-)}{f(K_i^-)}} \quad (22)$$

式中: $f(K_i^+)$ 表示与理想解相关的效用函数; $f(K_i^-)$ 表示与负理想解相关的效用函数。

利用式(23)和式(24)确定与理想解(AI)和负理想解(AAI)有关的效用函数。

$$f(K_i^+) = \frac{K_i^-}{K_i^+ + K_i^-} \quad (23)$$

$$f(K_i^-) = \frac{K_i^+}{K_i^+ + K_i^-} \quad (24)$$

步骤 6: 根据效用函数的值对备选方案进行排序。

3 算法流程

结合上文所描述的方法,本文的配电网设备风险评估流程如图 1 所示。

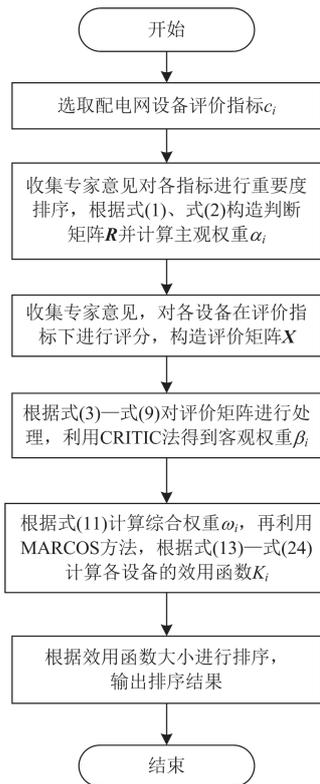


图1 配电网设备风险评估流程

Fig. 1 Risk assessment process of distribution network equipment

4 算例分析

本文利用文献[10]中的数据, 以东北地区某市某城区中压配电网待升级改造的配电设备为研究对象, 对该区域中面临风险的 15 台 66 kV 变电站主变压器和 36 条 10 kV 线路进行风险评估。文献[10]中选择将新增负荷、设备负载率、设备老旧程度、供电负荷重要程度、供电半径超过限度和电压降越限度作为设备的风险评估指标, 并基于梯级组合评分法对各设备在不同评估指标下进行评分, 分别用 0、2、4、6、8、10 来表示各情况的严重程度, 分数的递增代表了严重程度的递增。

在得到存在风险问题设备的评分后, 根据式(1)一式(9), 利用改进 AHP 方法和 CRITIC 方法分别计算各指标的主观权重 α_i 和客观权重值 β_i , 再根据式(11)计算得到相应指标的综合权重 ω_i 。使用文献[10]中给出的数据计算所得的 CRITIC 客观权重值如表 2 所示。

利用改进 AHP 法计算主观权重, 通过收集专家意见, 确定上述各评价指标的重要性排序为: 供电负荷重要程度 > 设备负载率 > 新增负荷 > 设备老旧

表 2 基于 CRITIC 的客观权重

Table 2 Objective weight based on CRITIC

评价指标	权重值
新增负荷	0.1479
设备负载率	0.1514
设备老旧程度	0.1994
供电负荷重要程度	0.1471
供电半径超过限度	0.1849
电压降越限度	0.1693

程度 > 供电半径超过限度 > 电压降越限度。再根据表 1 给出的标度值数据, 将主观评判下评价指标的各专家意见假定: $r_{12} = 1.8, r_{23} = 1.6, r_{34} = 1.4, r_{45} = 1.2, r_{56} = 1.2$, 再根据式(1)可得评价矩阵 R 。

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 1.8 & 2.88 & 4.032 & 4.8384 & 5.8061 \\ 0.5556 & 1 & 1.6 & 2.24 & 2.688 & 3.2256 \\ 0.3472 & 0.625 & 1 & 1.4 & 1.68 & 2.016 \\ 0.2480 & 0.4464 & 0.7143 & 1 & 1.2 & 1.44 \\ 0.2067 & 0.3720 & 0.5952 & 0.8333 & 1 & 1.2 \\ 0.1722 & 0.3100 & 0.4960 & 0.6944 & 0.8333 & 1 \end{bmatrix}$$

利用式(5)可以求得各评价指标的主观权重:

$$\alpha_1 = 0.3953, \alpha_2 = 0.2196, \alpha_3 = 0.1373, \alpha_4 = 0.0980, \alpha_5 = 0.0817, \alpha_6 = 0.0681。$$

再利用表 2 中的数据结合主观权重和式(11)计算综合权重, 可得综合权重值 $\omega = [0.3684, 0.2105, 0.1287, 0.1237, 0.0958, 0.0729]^T$ 。

计算出各指标因素的权重后, 由于 MARCOS 算法中有归一化环节, 所以评分中的 0 取值为 0.001 参与计算, 按照式(13)一式(27)分别计算各设备的效用函数作为风险评估值。选取各设备中效用函数值排名前十的结果, 如表 3 所示。

由表 3 可得, 利用 MARCOS 方法进行评估后所得到的结果是: 排名前三的风险设备分别为农业线、大桥线和天保线, 风险评估值分别为 0.7846、0.7468、0.6864。利用加权法基于所得到的综合权重进行评估后得到的结果是: 排名前三的分别为农业线、大桥线、天保线, 加权和分别为 7.0194、6.5488、5.972。利用原理相似的 TOPSIS 法, 基于所得到的综合权重进行评估, 并将其相对贴进度作为风险评估值, 所得到的结果是: 排名前三的分别为农业线、大桥线、城内线, 风险评估值分别为 0.0436、0.0358、0.0339。MARCOS 方法所得的结果对比后两种方法中的结果可知, 西奶甲线和乌林乙线的排名明显上升, 说明这些设备在 MARCOS 方法中的效用函数值更大, 即在这种情况下更接近于理想解。在 TOPSIS 方法中, 车站线和城内线的排名在西奶甲线

表 3 多种方法评估对比

Table 3 Comparison of various evaluation methods

排名	MARCOS 方法		加权法		TOPSIS 方法	
	设备名称	风险评估值	设备名称	风险评估值	设备名称	风险评估值
1	农业线	0.7846	农业线	7.0194	农业线	0.0436
2	大桥线	0.7468	大桥线	6.5488	大桥线	0.0358
3	天保线	0.6864	天保线	5.9720	城内线	0.0339
4	西奶甲线	0.6559	城内线	5.8498	车站线	0.0339
5	城内线	0.6378	车站线	5.8498	西奶甲线	0.0334
6	车站线	0.6378	西奶甲线	5.8120	天岗变 1 号	0.0312
7	乌林乙线	0.6144	天岗变 1 号	5.4188	天岗变 2 号	0.0312
8	天岗变 1 号	0.6014	天岗变 2 号	5.4188	天保线	0.0310
9	天岗变 2 号	0.6014	乌林乙线	5.3910	乌林乙线	0.0309
10	天七南线	0.5525	西奶乙线	4.7304	二井甲线	0.0273

与乌林乙线两设备之前。结合评分表进行分析可知, 西奶甲线和乌林乙线虽然在新增负荷和设备负载率上的评分没有前两者高, 但设备老旧程度的评分比前两者高出两倍之多, 且面临着电压降越限度这一风险问题, 需要在改造升级设备时纳入考虑的范围中, 因此也说明了通过 MARCOS 方法所得风险排名的可靠性。

同时, 在所有方法所得到的结果中, 风险最高的设备均为农业线和大桥线。通过评分表分析得出, 农业线面临着严重的新增负荷和设备过载问题, 而大桥线除了设备过载问题外, 与其相连的负载重要程度也很高, 说明亟需采取维修或换新升级等改造措施。

将 MARCOS 方法和 TOPSIS 方法进行对比, 具体结果见附录 A。由对比结果可知, 新龙线和物流乙线在 TOPSIS 方法中的排名差距较远, 分别为第 14 名和第 33 名。从两者的评分来看, 新龙线的供电半径超限度情况严重, 而物流乙线的新增负荷、设备负载率与负荷重要程度等情况比起新龙线来说较为严重, 且均为占有权重较高的评价指标, 两者排名相差应该不会很大, 这在 MARCOS 方法中得到了体现, 城内线和庆岭线的排名分别为第 24 名和第 25 名。TOPSIS 方法中忽略了距离的相对重要性, 而 MARCOS 方法克服了这一缺点且更加简单方便^[24], 通过结果对比, 也说明了本文所提出方法的可靠性和实用性。

5 结论与展望

本文针对配电网设备风险评估问题, 利用改进

的 AHP-CRITIC 方法结合 MARCOS 方法对各设备的风险程度进行排序, 主要结论如下:

1) 利用改进的 AHP-CRITIC 方法可以充分考虑评估指标主客观两方面的重要性, 既能参考专家的丰富经验, 也可以充分利用原始数据, 同时还可以根据特殊情况改变各指标的相对重要性, 使得评估指标的权重判断更加灵活。

2) 利用 MARCOS 方法计算各个设备的效用函数, 并根据效用函数值的大小对存在风险问题的各个设备进行排序。MARCOS 方法将参考点排序法与比值法相融合, 相比于 TOPSIS 方法更加稳定可靠。

随着新型电力系统的发展, 电网对于安全稳定性的要求越来越高, 电力设备面临的风险问题更加复杂, 风险因素更加繁多, 因此本文所提出的评估方法还需要在参与评估的指标上进一步细化, 从而进一步提高风险评估的准确性和实用性。

附录 A

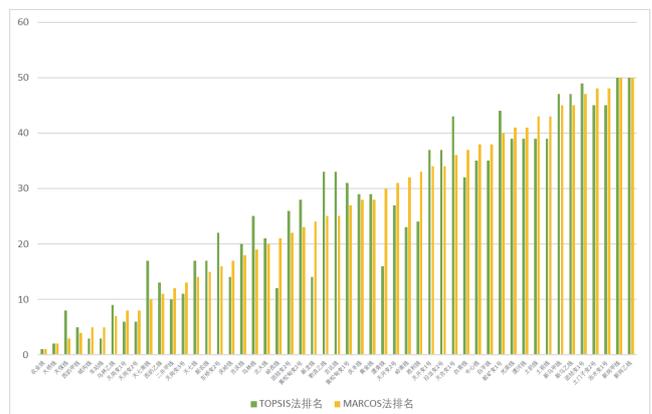


图 A1 TOPSIS 方法和 MARCOS 方法的排名结果

Fig. A1 Comparison of TOPSIS method and MARCOS method

表 A1 设备各项指标的评分

Table A1 Individual evaluation index score of equipment

设备名称	新增负荷	设备负载率	老旧程度	负荷重要程度	供电半径超限度	电压降越限度
天岗变 1 号	8	8	4	6	0	0
天岗变 2 号	8	8	4	6	0	0
天岗变 3 号	6	6	2	6	0	0
黄松甸变 1 号	4	2	4	4	0	0
黄松甸变 2 号	4	2	4	4	2	0
团结变 1 号	2	2	4	2	0	0
团结变 2 号	4	4	4	4	0	0
东桥变 2 号	4	6	6	4	0	0
天开变 1 号	2	2	6	2	2	0
天开变 2 号	4	4	6	2	0	0
蛟矿变 1 号	2	2	4	2	2	0
天吉变 1 号	2	2	6	2	0	0
拉法变 2 号	2	2	6	2	2	0
土门子变 2 号	0	0	8	2	0	0
池水变 1 号	0	0	8	2	0	0
城内线	10	10	2	6	0	0
农业线	10	10	6	6	4	4
车站线	10	10	2	6	0	0
大桥线	8	8	6	8	0	2
西奶甲线	8	8	6	6	0	2
二井甲线	6	8	6	4	0	0
吉庆线	6	6	8	2	0	0
乌林乙线	8	6	6	6	0	2
西奶乙线	4	6	6	6	0	0
天保线	6	6	8	8	0	0
新农线	4	4	6	4	4	2
乌林线	4	4	6	4	0	0
北大线	2	4	8	2	4	4
物流乙线	2	2	6	4	0	0
新马甲线	0	2	6	2	0	0
新岗甲线	0	2	4	2	0	0
新岗乙线	0	2	4	2	0	0
新马乙线	0	2	6	2	0	0
吉达线	2	2	6	4	0	0
天七南线	2	2	8	8	0	0
牛心线	0	0	6	2	4	2
光荣线	0	0	6	2	2	2
庆岭线	0	0	6	4	8	6
庆丰线	0	0	6	4	4	2
白平线	0	0	6	2	4	2
白育线	0	0	6	2	2	4
黄金线	0	0	6	4	4	2
岭南线	0	0	6	2	6	6
岭西线	0	0	8	2	10	6
天七线	0	0	4	8	4	2
漂河线	0	0	6	2	2	2
胜利线	0	0	4	2	8	4
新龙线	0	0	6	2	10	6
土奶线	0	0	6	2	2	2
土前线	0	0	6	2	2	2
漂青线	0	0	4	2	10	6

参考文献

- [1] 赵晓龙, 方恒福, 王罡, 等. 面向弹性配电网防灾减灾的组件重要度评估方法[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(16): 28-36.
ZHAO Xiaolong, FANG Hengfu, WANG Gang, et al. Component importance indices evaluation considering disaster prevention and mitigation in resilient distribution systems[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(16): 28-36.
- [2] 王辉, 郝丽丽, 黄梅, 等. 基于历史故障信息的配电网设备故障概率建模[J]. 电力自动化设备, 2020, 40(3): 76-84.
WANG Hui, HAO Lili, HUANG Mei, et al. Failure probability model of distribution network equipment based on historical fault information[J]. Electric Power Automation Equipment, 2020, 40(3): 76-84.
- [3] 徐铭铭, 曹文思, 姚森, 等. 基于模糊层次分析法的配电网重复多发性停电风险评估[J]. 电力自动化设备, 2018, 38(10): 19-25, 31.
XU Mingming, CAO Wensi, YAO Sen, et al. Risk assessment of repeated multiple blackouts for distribution network based on fuzzy AHP[J]. Electric Power Automation Equipment, 2018, 38(10): 19-25, 31.
- [4] 赵会茹, 李娜娜, 郭森, 等. 配电网设备故障停电风险实时评估[J]. 电力自动化设备, 2014, 34(11): 89-94.
ZHAO Huiru, LI Nana, GUO Sen, et al. Real-time risk assessment on equipment failure outage of distribution network[J]. Electric Power Automation Equipment, 2014, 34(11): 89-94.
- [5] YANG Yi, TANG Wenhui, LIU Yang, et al. Quantitative resilience assessment for power transmission systems under typhoon weather[J]. IEEE Access, 2018, 6: 40747-40756.
- [6] HUANG Junhui, GE Shaoyun, HAN Jun, et al. A diagnostic method for distribution networks based on power supply safety standards[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1(1): 63-70.
- [7] 林子钊, 潘凯岩, 周名煜, 等. 考虑实时和潜在因素的城市配电网风险评估模型和方法[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(4): 48-55.
LIN Zizhao, PAN Kaiyan, ZHOU Mingyu, et al. Risk assessment model and method of urban distribution network considering real-time and potential factors[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(4): 48-55.
- [8] 孙黎霞, 王中一, 戴洪, 等. 计及网络结构的配电网健康状态评估方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2022, 50(4): 64-74.
SUN Lixia, WANG Zhongyi, DAI Hong, et al. The health state assessment method of a smart distribution network considering network structure[J]. Power System Protection and Control, 2022, 50(4): 64-74.
- [9] 张璞, 张波, 王建, 等. 计及主设备时变状态的变电站短时风险评估方法[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(14): 73-81.
ZHANG Pu, ZHANG Bo, WANG Jian, et al. Short-term risk assessment for a power substation considering the time-varying operation conditions of power equipment[J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(14): 73-81.
- [10] 肖白, 李攀攀, 姜卓, 等. 基于梯级组合评分的农村电网精益化改造方法[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(3): 220-228.
XIAO Bai, LI Panpan, JIANG Zhuo, et al. Lean transformation method of rural electric power grid based on cascaded combination scoring[J]. Automation of Electric Power Systems, 2020, 44(3): 220-228.
- [11] 罗志刚, 韦钢, 朱兰, 等. 含分布式电源的城市配电网交直流改造方案综合决策[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(11): 87-94.
LUO Zhigang, WEI Gang, ZHU Lan, et al. Comprehensive decision on AC/DC transformation scheme of urban distribution network with distributed generator[J]. Automation of Electric Power Systems, 2020, 44(11): 87-94.
- [12] 汤旻安, 张凯越, 许希元. 基于启发式规则与 AHP-CRITIC 算法的配电网故障恢复策略[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(14): 2-9.
TANG Min'an, ZHANG Kaiyue, XU Xiyuan. Service restoration strategy of a distribution network based on heuristic rules and the AHP-CRITIC algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(14): 2-9.
- [13] 罗宁, 贺墨琳, 高华, 等. 基于改进的 AHP-CRITIC 组合赋权与可拓评估模型的配电网综合评价方法[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(16): 86-96.
LUO Ning, HE Molin, GAO Hua, et al. Comprehensive evaluation method for a distribution network based on improved AHP-CRITIC combination weighting and an extension evaluation model[J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(16): 86-96.
- [14] 肖勇, 陆文升, 李云涛, 等. 城市配电网发展形态指标体系及其评估方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(1): 62-71.
XIAO Yong, LU Wensheng, LI Yuntao, et al. Research on index system and its evaluation methods of urban

- distribution network development form[J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(1): 62-71.
- [15] 肖辅盛, 高适, 邓超志, 等. 一种基于检修风险收益的输变电设备检修优先级排序方法[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(22): 110-116.
XIAO Fusheng, GAO Shi, DENG Chaozhi, et al. Maintenance prioritization method of transmission and transformation equipment based on maintenance risk return[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(22): 110-116.
- [16] CHEN Wenhui. Quantitative decision-making model for distribution system restoration[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2010, 25(1): 313-321.
- [17] HADIAN S, SHAHIRI T E, FAN PHAM Q B. Multi attributive ideal-real comparative analysis (MAIRCA) method for evaluating flood susceptibility in a temperate mediterranean climate[J]. Hydrological Sciences Journal, 2022, 67(3): 401-418.
- [18] 赵书强, 汤善发. 基于改进层次分析法、CRITIC 法与逼近理想解排序法的输电网规划方案综合评价[J]. 电力自动化设备, 2019, 39(3): 143-148, 162.
ZHAO Shuqiang, TANG Shanfa. Comprehensive evaluation of transmission network planning scheme based on improved analytic hierarchy process, CRITIC method and TOPSIS[J]. Electric Power Automation Equipment, 2019, 39(3): 143-148, 162.
- [19] STEVIC Z, PAMUCAR D, PSUKA A, et al. Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: measurement of alternatives and ranking according to compromise solution (MARCOS)[J]. Computers & Industrial Engineering, 2020, 140: 1-15.
- [20] STANKOVIC M, STEVIC Z, DAS D K, et al. A new fuzzy MARCOS method for road traffic risk analysis[J]. Mathematics, 2020, 8(3): 1-17.
- [21] CELIK E, GUL M. Hazard identification, risk assessment and control for DAM construction safety using an integrated BWM and MARCOS approach under interval type-2 fuzzy sets environment[J]. Automation in Construction, 2021, 127: 1-12.
- [22] DEVECI M, ÖZCAN E, JOHN R. Offshore wind farm site selection using interval rough numbers based best-worst method and MARCOS[J]. Applied Soft Computing, 2021, 109: 1-28.
- [23] 李娜娜, 何正友. 主客观权重相结合的电能质量综合评估[J]. 电网技术, 2009, 33(6): 55-61.
LI Nana, HE Zhengyou. Power quality comprehensive evaluation combining subjective weight with objective weight[J]. Power System Technology, 2009, 33(6): 55-61.
- [24] 刘杰, 戴雨剑, 范龙文, 等. 考虑海量可再生能源接入的区域配电网综合态势评估方法[J]. 南方电网技术, 2022, 16(6): 65-74.
LIU Jie, DAI Yujian, FAN Longwen, et al. Comprehensive situation assessment method of regional distribution network considering massive renewable energy access[J]. Southern Power System Technology, 2022, 16(6): 65-74.

收稿日期: 2022-04-18; 修回日期: 2022-07-14

作者简介:

王敏(1974—), 女, 通信作者, 博士, 副教授, 研究方向为分布式发电、电力系统规划与可靠性; E-mail: wangmin@hhu.edu.cn

邹婕(1999—), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统可靠性; E-mail: 912588557@qq.com

王惠琳(1999—), 女, 硕士研究生, 研究方向为配电网三相不平衡治理。E-mail: 1902116237@qq.com

(编辑 魏小丽)