

Evaluation Method of Intelligent Substation Secondary Equipment Based on TOPSIS Model

Li Du

Nanjing Quality Supervision and Inspection Institute, Nanjing Jiangsu
Email: getbacker5@sina.cn

Received: Nov. 25th, 2015; accepted: Dec. 8th, 2015; published: Dec. 15th, 2015

Copyright © 2015 by author and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Intelligent substation secondary equipment evaluation system aimed at evaluating status of intelligent substation secondary equipment based on the data in the database and evaluation methods given in expert system. Based on the characters of intelligent monitoring substation operation, standardized decision matrix was built and weight coefficient was calculated. TOPSIS evaluation model was set up so that the assessment results of intelligent substation secondary equipment condition can be acquired according to the assessment classification indexes. By instance analysis and comparison with the fuzzy comprehensive evaluation method, the practicability and accuracy of the evaluation method were proved.

Keywords

Intelligent Substation, The Secondary Equipment Evaluation, TOPSIS Model

基于TOPSIS模型的智能变电站二次设备评估方法

杜力

南京市产品质量监督检验院, 江苏 南京
Email: getbacker5@sina.cn

收稿日期：2015年11月25日；录用日期：2015年12月8日；发布日期：2015年12月15日

摘要

智能变电站二次设备评估系统旨在基于数据库中的数据，根据专家系统中给出的评估方法对智能变电站二次设备的状况进行综合评估。本文根据智能变电站运行监测特征量，构建规范化决策矩阵，计算权重系数，建立TOPSIS评估模型并带入数据，根据评估指标得到智能变电站二次设备的状态评估结果。并根据实例分析，通过与模糊综合评估方法结果相比较，验证了基于TOPSIS模型的智能变电站二次设备评估方法的实用性与准确性。

关键词

智能变电站，二次设备评估，TOPSIS模型

1. 引言

长久以来，电力设备监测都采用定期离线方式，但是离线试验在保证电力系统的安全运行方面有很大的局限性，反映在其不能对二次设备全部运行条件下的各种状态进行反馈，也无法对突发故障进行提前预测。检测技术和各种评估方法的发展，为电力系统二次设备状态评估的研究提供了理论和实践的基础。

目前对于常规站或智能变电站内二次设备的状态监测或评估，主要依赖与二次工作人员现场取样所获得，通过统一输入 PMIS 中的评估系统获得对应的检修策略，进行评估的设备主要局限于继电保护及二次回路，基本评估算法也不够准确，因而在实时性、简洁性、可行性上局限性较大；其次智能变电站内的二次设备在设备的评估样本的采集上有着常规站无法比拟的优势，但目前对于智能变电站内二次设备的状态评估还是参照常规站进行，没有很好的体现出智能站的优势。

将多属性决策方法应用到电力系统可以有效推进电力设备的状态评估的发展。目前多属性决策已经成功应用到变压器、断路器等一次设备的状态估计和二次设备的状态评估中。文献[1]根据设备信息，应用模糊综合评估法实现对超高压二次设备进行评估，并利用马尔科夫预测法建立对继电保护设备的状态预测。文献[2]提出了一种基于 TOPSIS 和 BP 神经网络的变压器状态诊断方法。文献[3]通过改进 TOPSIS 评估法，提出了一种基于熵权 TOPSIS 原理的变压器绝缘套管绝缘状态的评估方法。

本文的研究目的在于实现智能变电站二次设备运行状况的有效评估。利用智能变电站网络通信的优势，获取大量的二次设备的状态特征量，进而采用 TOPSIS 法对原始数据进行充分的分析和利用，根据评估指标得到智能变电站二次设备的状态评估结果[4]，相关评估结果能精确地反映二次设备的运行状况，并通过实例分析验证了该评估方法的可行性。

2. TOPSIS 模型

TOPSIS 法，即优劣解距离法，它是通过规范化决策矩阵，计算最优解和最劣解，根据检测对象与最优解、最劣解之间的距离作为相对接近程度对评价对象的优劣进行排序[5]，并以此作为评估的依据。

“理想解”和“负理想解”是 TOPSIS 模型的两个重要概念。在 TOPSIS 模型中，理想解的各项指标都达到所有备选方案的最优，即最优方案；与此对应，负理想解的各项指标都达到所有备选方案的最劣，即最劣方案。对各备用方案进行排序即通过将备用方案与理想方案和负理想方案进行比较，最优方案即其中某一个与理想解距离最小，而同时与负理想解距离最大的方案，最差方案则与此相反[6]。

TOPSIS 法评估步骤:

1) 首先构建样本指标初始矩阵 X , 包括 n 个监测点样本值 Z_1, Z_2, \dots, Z_n 、 m 个监测指标 S_1, S_2, \dots, S_m 及 k 级评估标准对应的分级指标[7], 记为:

$$X = (f_{ij})_{(n+k)m}, \quad i = 1, 2, \dots, n+k; \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

2) 归一化处理:

$$X_{ij} = f_{ij} / \left(\sum_{i=1}^n f_{ij}^2 \right)^{1/2}, \quad i = 1, 2, \dots, n+k; \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

3) 确定各评价指标权重 W , 得到规范化的加权决策矩阵 Z :

$$W_i = \frac{S_{i(n-1)} / S_i I}{\sum_{i=1}^n (S_{i(n-1)} / S_i I)} \quad (3)$$

其中, n 为标准分级数, $S_{i(n-1)}$ 为 i 因子的第 $n-1$ 级标准值; $S_i I$ 为 i 因子的第 I 级标准值。

$$Z_{ij} = W_j X_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n+k; \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

4) 计算基于各评价指标的最优解和最劣解:

$$r_j^+ = \max_{1 \leq i \leq n} \{Z_{ij}\}, \quad r_j^- = \min_{1 \leq i \leq n} \{Z_{ij}\}, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

5) 分别计算所有样本点与最优解和最劣解的欧式距离 d_i^+ 、 d_i^- :

$$d_i^+ = \left[\sum_{j=1}^m W_j (Z_{ij} - r_j^+)^2 \right]^{1/2}, \quad d_i^- = \left[\sum_{j=1}^m W_j (Z_{ij} - r_j^-)^2 \right]^{1/2}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

6) 计算各样本点的接近度 C :

$$C_i = d_i^- / (d_i^- + d_i^+) \quad (7)$$

其中 d^- 为 d_i^- 的最大值, d^+ 为 d_i^+ 的最小值, $i = 1, 2, \dots, n$ 。

7) 根据各样本点接近度的大小对所有样本点和分级限值样本点顺序进行排列, 基于各样本点和分级样本点所处的相对位置对所有样本进行分级。如果样本位于 1 级标准与 2 级标准之间, 则样本为 2 级, 依此类推可确定各监测点二次设备的综合状态等级。

3. 基于 TOPSIS 模型的智能变电站二次设备评估方法

基于 TOPSIS 模型的智能变电站二次设备评估方法步骤如图 1 所示。

3.1. 特征量指标获取

获取智能变电站每个二次设备特征量样本指标 x_j ($j = 1, 2, \dots, n$)。每个二次设备的特征量样本都包括自身运行状态特征量指标、通信运行状态特征量指标以及传统二次回路监测特征量指标, 若该二次设备不存在对应的特征量指标, 则默认该特征量样本指标为 0, 因而得到的每个设备的样本指标结构相同。

二次设备自身运行状态特征量指标主要包括: 采样异常、出口异常、定值出错、FLASH 擦写次数、扇区健康状况、RAM 出错、看门狗动作、装置的重启次数、插件的巡回诊断信息等; 通信运行状态特征量主要包括: 通信介质、通信报文正确性、网络运行状态、采样值通道状态等; 传统二次回路监测特征量主要包括: 控制回路完整性监视值、二次回路的绝缘状况、二次回路红外测温数据等。

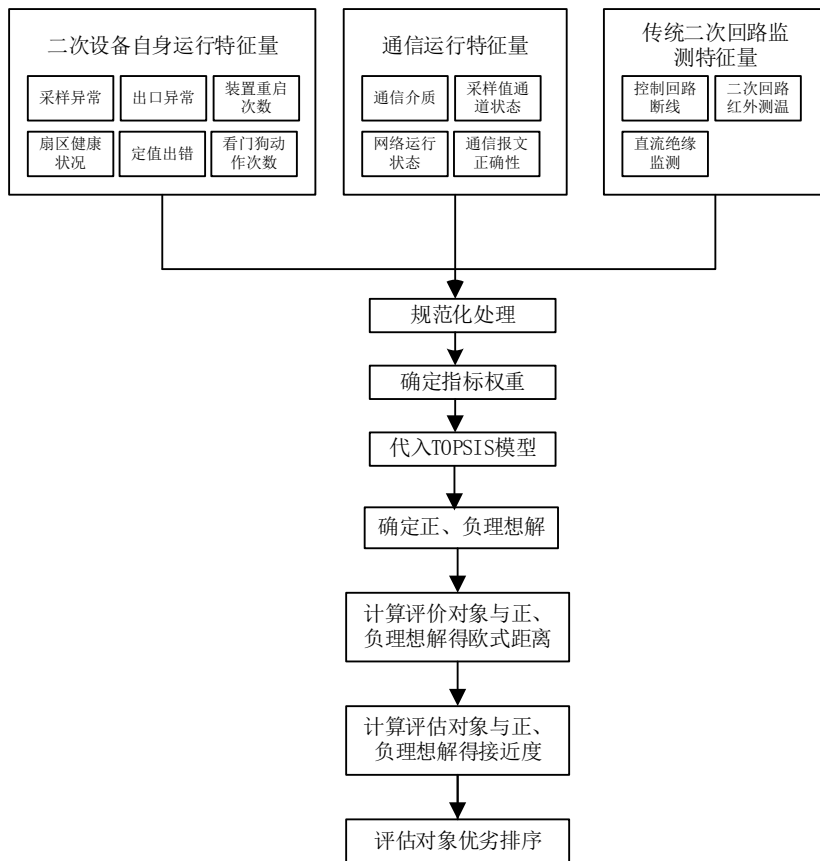


Figure 1. Intelligent substation secondary equipment evaluation steps based on TOPSIS model
图 1. 基于 TOPSIS 模型的智能变电站二次设备评估方法步骤

3.2. 矩阵构建

根据各个二次设备的特征量样本构建初始矩阵 X ，通过向量规范法得到规范化决策矩阵 Y 。

假设智能变电站共有 m 个二次设备，每个设备有步骤 1 所述的 n 个特征量样本指标 $x_j (j=1,2,\dots,n)$ ，则 m 个设备 n 个特征量决策问题的初始化矩阵 $X = [x_{ij}]_{m \times n}$ ，该矩阵由 m 个评估对象(即评估设备)和 n 个评估指标构成。

由于各指标的量纲不同，需要对评估指标进行统一处理，可以通过向量规范化方法得到规范化决策矩阵 $Y = [y_{ij}]_{m \times n}$ ，其中：

$$y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

3.3. 权重确定

确定权重值矩阵，并将权重值矩阵与规范化矩阵 Y 点乘得到规范化加权决策矩阵 Z 。

因为待检测对象的各项指标在评估体系中的权重不尽相同，每项指标的综合权重值都需要计算，以其中的设备 k 为例，由序关系分析法(G1-法)确定主观权重 ω_{kj}^{zu} ($j=1,2,\dots,n$)、由变异系数法确定客观权重 ω_{kj}^{ke} ($j=1,2,\dots,n$)，则综合权重 ω_{kj} ($j=1,2,\dots,n$) 为：

$$w_{kj} = \frac{w_{kj}^{zhu} * w_{kj}^{ke}}{\sum_{j=1}^n (w_{kj}^{zhu} * w_{kj}^{ke})} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

其余 $m-1$ 个设备用同样的方式确定其综合权重向量 $\omega_j (i = 1, 2, \dots, m, i \neq k, j = 1, 2, \dots, n)$ 。从而确定综合权重值矩阵 W ,

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{m1} & w_{m2} & \cdots & w_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

将权重值矩阵与规范化矩阵 Y 点乘从而得到规范化的加权决策矩阵 Z :

$$Z = \begin{bmatrix} w_{11}y_{11} & w_{12}y_{12} & \cdots & w_{1n}y_{1n} \\ w_{21}y_{21} & w_{22}y_{22} & \cdots & w_{2n}y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{m1}y_{m1} & w_{m2}y_{m2} & \cdots & w_{mn}y_{mn} \end{bmatrix} \quad (11)$$

其中序关系分析法(G1-法)确定主观权重 $\omega_{kj}^{zhu} (j = 1, 2, \dots, n)$ 的方法如下:

G1-法是一种无需一致性检验的主观赋权法[8]。在确定评价指标的序关系之前, 首先应明确一个定义: 若评价指标 x_i 相对于某评价目标的重要性程度大于或大于等于 x_j 时, 记为 $x_i > x_j$ 。对于指标集 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 其权重系数的确立过程如下所述。

1) 序关系的确定

- ① 基于某个评价目标, 按照专家意见在给定指标集中选取最重要的一个指标, 记为 X_1 ;
- ② 在余下的 $n-1$ 个指标中, 再选出认为是最重要的一个指标, 记为 X_2 ;
- ③ 按以上原则依次进行下去, 经过 $n-1$ 次, 将最后剩余的一个指标记为 X_n ;
- ④ 经过以上步骤, 就确定了一个序关系, 即 $X_1 > X_2 > \dots > X_n$ 。

2) 确定相邻指标间的相对重要程度[9]

相邻指标的相对重要程度 r_k 可用式 12 表示, 其中 w_k 表示第 k 个指标的权重系数。当指标个数 n 较大时, 可以直接取 $m=1$ 。 r_k 的赋值可参考表 1, 且 r_k 满足 $r_k - 1 > 1/r_k$ 。

$$r_k = \frac{w_{k-1}}{w_k} \quad (k = n, n-1, \dots, 2) \quad (12)$$

Table 1. Reference of r_k assignment

表 1. r_k 赋值参考表

r_k	说明
1.0	指标 x_{k-1} 与指标 x_k 具有同样重要性
1.2	指标 x_{k-1} 比指标 x_k 稍微重要
1.4	指标 x_{k-1} 比指标 x_k 明显重要
1.6	指标 x_{k-1} 比指标 x_k 强烈重要
1.8	指标 x_{k-1} 比指标 x_k 极端重要

3) 计算权重系数 w_i

根据 2) 中得到的 $n-1$ 个相邻指标间的相对重要程度的值, 可求得第 n 个指标的权重系数 w_n , 如式(13)所示, 则其余指标的权重可由式(14)依次计算得到。

$$w_n = \left(1 + \sum_{k=2}^n \sum_{i=k}^n r_i \right)^{-1} \quad (13)$$

$$w_{i-1} = r_i w_i \quad (i = n, n-1, \dots, 2) \quad (14)$$

变异系数法确定客观权重的方法如下:

变异系数法基于直接利用各项指标所包含的数据信息通过计算得到指标权重的客观赋权。采用该方法确定指标权重, 可以较好地反映各指标之间的差异性, 避免在确定指标权重时权重分配均衡化的问题 [10]。假设有 m 个样本点, n 个评价指标集 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 则变异系数法确定权重的步骤如下:

1) 基于已有数据计算各个指标的平均值

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^m x_{ij}}{m} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (15)$$

2) 基于平均值计算各个指标的标准差

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{m-1}} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (16)$$

3) 由上述 1) 和 2) 结果, 计算各个指标的变异系数

$$v_i = \frac{\sigma_i}{\bar{x}_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (17)$$

4) 确定指标权重系数

$$w_i = \frac{v_i}{\sum_{k=1}^n v_k} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (18)$$

3.4. 理想解向量确定

确定正理想解向量 $Z^+ = (z_1^+, z_2^+, \dots, z_n^+)$ 和负理想解向量 $Z^- = (z_1^-, z_2^-, \dots, z_n^-)$, 然后求各样本点与正理想解的欧氏距离 l_i^+ , 与负理想解的欧氏距离 l_i^- , 进而基于该数值计算各样本点的接近度。

效益型指标(即正指标)指数值越大越接近最优:

$$\begin{cases} z_j^+ = \max_i z_{ij} \\ z_j^- = \min_i z_{ij} \end{cases} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (19)$$

成本型指标(即逆指标)指数值越小越接近最优:

$$\begin{cases} z_j^+ = \min_i z_{ij} \\ z_j^- = \max_i z_{ij} \end{cases} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (20)$$

考虑到本文只计算成本型评价因素, 所以 $z_j^- = \max_i z_{ij}$, $z_j^+ = \min_i z_{ij}$ 。

由于 TOPSIS 模型是通过判断各评估对象在欧式空间中与正、负理想解之间的远近来得到待检测对象的优劣程度的。正理想解的确定十分简单,因为本文所选择评价指标都是成本型评价指标,所以当都是 0 时,即为最优解(正理想解),但是负理想解的确定就比较困难了。利用 TOPSIS 评价电能质量时通过增加将电能质量的限制值作为负理想解,可以提高评估准确度。然而,由于二次设备的健康程度并没有一个绝对标准,所以无法直接通过增加一组负理想解来改进 TOPSIS 算法。因此本文只增加一个正理想解,不增加明确的负理想解。

计算各样本点与正理想解的欧氏距离 l_i^+ , 与负理想解的欧氏距离 l_i^-

$$\begin{cases} l_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_{ij} - z_j^+)^2} \\ l_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_{ij} - z_j^-)^2} \end{cases} \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (21)$$

所有待评估对象与正理想解向量的相对贴近程度计算公式如下所示:

$$C_i = \frac{l_i^-}{l_i^- + l_i^+} \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (22)$$

相对贴近程度越靠近 1, 则该评估方案与正理想解的距离越小, 最优方案排列时优势越大。

3.5. 评估对象排序

对相对贴近程度 C_i 进行排列, 数值越大越接近于最优方案, 数值越小则越远离。基于该原则完成对所有待评估对象的排序。对各个设备的等级经过一定加权后得到系统的整体状态。

除了算法本身的问题, 还需要对评估结果进行分级, 从而得到明确的评估结果。本文将其分为良好、正常、注意、异常和严重异常五个等级对指标进行定性评价, 如图 2 所示。

4. 实例分析

本文第 2 节对应用于智能变电站二次设备状态评估的 TOSIS 法进行了说明和改进, 本节将通过实例说明该评价方法的具体过程。

对 n 个评估对象展开综合评估, 评估标准类型为 m 个;

获取二次设备特征量样本指标;

计算评价指标的权重向量 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)$, 确定加权决策矩阵;

将样本数据量化, 根据 TOPSIS 模型获得排序;

根据评估分级指标对获得结果进行分级, 并得到最后结果。

4.1. 权重确定

本文根据实际运行情况, 可以计算得到权重为:

$$\omega = [0.3 \ 0.2 \ 0.18 \ 0.15 \ 0.12 \ 0.05]$$

4.2. 评估模型建立

本文根据某变电站实际二次设备的运行情况, 选取 15 个同功能二次设备进行状态评估, 其中每个评估对象的样本结构完全相同。其中, 包括二次设备的告警信息、拒动/误动情况、各类缺陷信息、使用年限以及二次设备评估标准等相关信息, 其中部分样本信息如表 2 所示。

通过程序可以得到以下结果, 见表 3。

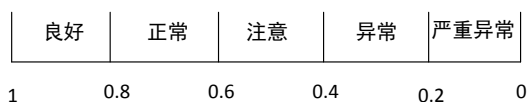


Figure 2. Assess grading index
图 2. 评估分级指标

Table 2. Part of the sample data
表 2. 部分样本数据表

样本	告警	拒动	误动	缺陷	反措落实	使用年限
1	0	0	0	0	1	3
2	0	0	0	1	1	2
3	0	0	0	0	0	3
4	0	0	0	1	0	2
5	1	0	0	1	1	2
6	0	0	0	1	1	4
7	1	0	0	1	0	3
8	1	0	0	0	0	4
9	0	0	1	0	0	5
10	1	1	0	0	0	5
11	0	0	0	0	2	2
12	0	1	0	0	1	2
13	0	0	0	3	4	3
14	0	0	0	3	3	5
15	1	0	0	2	0	4

Table 3. Result of TOPSIS assessment
表 3. TOPSIS 评价结果

评价样本	D+	D-	C	评价结果
	0.0000	0.2916	1.0000	
1	0.0234	0.2860	0.9243	良好
2	0.0362	0.2787	0.8850	良好
3	0.0112	0.2911	0.9629	良好
4	0.0298	0.2840	0.9050	良好
5	0.1390	0.2443	0.6374	正常
6	0.0385	0.2785	0.8786	良好
7	0.1377	0.2501	0.6450	正常
8	0.1350	0.2582	0.6567	正常
9	0.1810	0.2286	0.5582	注意
10	0.1958	0.2160	0.5245	注意
11	0.0418	0.2823	0.8710	良好
12	0.1431	0.2487	0.6347	正常
13	0.1200	0.2654	0.6886	正常
14	0.1080	0.2661	0.7114	正常
15	0.1468	0.2450	0.6253	正常

Table 4. Comparison of assessment results based on various methods
表 4. 各方法评估结果比对

评价样本	TOPSIS 评价法	模糊综合评估法	真实情况
1	良好	良好	良好
2	良好	良好	良好
3	良好	良好	良好
4	良好	良好	良好
5	正常	正常	正常
6	良好	良好	良好
7	正常	良好	正常
8	正常	良好	正常
9	注意	良好	注意
10	注意	正常	异常
11	良好	良好	良好
12	正常	良好	正常
13	正常	良好	正常
14	正常	良好	正常
15	正常	正常	正常

4.3. 模糊综合评估法

文献[11]给出了一种利用模糊算法评估二次设备的健康状况。模糊综合分析的步骤如下：制定评分评价、建立评价因素集、确定权重、建立模糊矩阵和模糊合成运算[11]。由于二次设备故障告警等信息不能直接进行分析，需要通过转换成数量值，然后带入模型进行分析。使用的权重同样可以通过 AHP 方法得到，为方便分析，该处采用 4.1 节得到的权重结果。建模的具体过程可以参考文献[11]，这里不做赘述。下面将利用模糊综合评价法给出上述数据的计算结果，得到检测样本的检测结果，见表 4。

4.4. 评估方法比较

从表 4 可以比较出，TOPSIS 评价得到的结果比模糊综合评价法得到的结果要好很多，尽管 TOPSIS 法中存在个别样本的评价存在一定的误差，但是总体来说是比准确度。而模糊综合评价法的评价结果会有一个较大的误差。

5. 结语

智能变电站二次设备的评估方法包括模糊理论、模糊数学与层次分析法结合、属性识别与层次分析法、遗传投影寻踪等。综合考虑各方法的优缺点，可总结出 TOPSIS 法可以实现对数据的相对最大程度使用[12]，评估结果可以准确反馈不同方案的差异。

本文建立了基于 TOPSIS 模型的智能变电站二次设备评估体系，对数据分布及样本含量，指标多少没有严格限制，数据计算实用性较强，针对不同内容的大小样本均适用。该方法概念简单，应用起来方便、合理、易于理解，计算过程清晰、具有可操作性[13]，在比较过程中还可以使用客观权重。该评估方法同时也能很好的满足智能变电站二次设备样本数据大的特点，通过仿真实例验证了该方法的可行性与实用性。

参考文献 (References)

- [1] 王晓亮. 超高压电网二次设备状态评估方法研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州交通大学, 2013.
- [2] 潘超, 马成廉, 郑玲峰, 等. 一种结合模糊 TOPSIS 法和 BP 神经网络的变压器故障诊断方法[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(9): 20-24.
- [3] 陈金强, 李群湛. 基于熵权 TOPSIS 的变压器套管绝缘状态评估[J]. 绝缘材料, 2014(4): 89-92.
- [4] 徐晋跃. 关于智能变电站一次设备智能化的运行分析[J]. 中小企业管理与科技, 2014(11): 175-176.
- [5] 吕盼, 乔怡, 葛丽婷. 基于熵权 TOPSIS 法的输电网规划综合决策[J]. 华北电力大学学报(自然科学版), 2010, 37(4): 24-28.
- [6] 李正明, 施诗, 潘天红, 等. 基于灰色关联度和理想解法的电能质量综合评估方法[J]. 电力系统保护与控制, 2014(6): 14-19.
- [7] 曹邱林. 水利水电工程专业毕业设计质量控制与成绩评定方法研究[J]. 中国电力教育: 下, 2010(10): 35-37.
- [8] 张晓楠, 袁永博. 基于 CWM 的住宅产业可持续发展评价模型研究[J]. 建筑经济, 2009(S2): 134-137.
- [9] 刘建, 郑双忠, 邓云峰, 等. 基于 G1 法的应急能力评估指标权重的确定[J]. 中国安全科学学报, 2006, 16(1): 30-33.
- [10] 陈亮亮, 马亮, 赵经华. 变异系数权重 TOPSIS 法在节水灌溉方案评价中的应用[J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21(1): 95-96.
- [11] 马博. 750 kV 变电站二次设备智能评估专家系统设计研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州交通大学, 2014.
- [12] 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.
- [13] 张岩, 李双异, 李颖, 等. 多属性决策模型在农用地重点整治项目选址中的应用[J]. 国土资源科技管理, 2013, 30(4): 82-87.