

基于加权秩和比法的电能质量综合评估

付学谦, 陈皓勇

(华南理工大学 电力学院, 广东 广州 510640)

摘要: 针对现有电能质量综合评估方法受人为因素影响较大和评估模型较为复杂的问题, 提出了基于加权秩和比的电能质量综合评估方法。采用熵值法计算各评估指标的权重。当各评估指标的权重相同时, 计算各评估对象的秩和比; 当评估指标的权重不同时, 计算各评估对象的加权秩和比。利用秩和比或加权秩和比计算各评估对象的概率单位, 将概率单位作为自变量代入线性回归方程进行计算, 根据计算结果对评估对象进行电能质量的优劣排序和分档。分别采用所提方法、理想解法和基于突变决策理论的方法对某风电场的母线进行电能质量评估并将评估结果进行对比, 对比结果表明, 所提方法可对各母线的电能质量优劣进行正确的排序和分档。

关键词: 电能质量; 秩和比; 综合评估; 质量评估; 权重; 加权秩和比; 熵值法

中图分类号: TM 732

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2015.01.019

0 引言

光伏、风电、小水电等分布式电源和冲击负荷会不定期接入和退出配电网, 晶闸管整流、变频装置、电弧炉、洗衣机、空调器等电力设备都会造成电网电能质量问题^[1-3]。我国现有的 7 项电能质量标准分别对电压偏差、频率偏差、电压三相不平衡、电压波动与闪变、谐波、间谐波^[4]、暂时过电压和瞬态过电压的指标值进行了限定^[5]。

电能质量是一个具有多指标的综合体, 单个评估指标内涵单一, 单纯地判断各单项指标是否合格, 并不能够反映电能质量的整体状况^[6]。电能质量综合评估可以客观、全面地反映电能整体性能, 得到电能质量的综合量化指标, 为供电方和用户提供参考。作为电力市场环境全面考核电能质量和修正电价的依据, 电能质量综合评估对建立公平的电力市场竞争环境以及电能质量评估管理体系具有重要意义^[7]。电能质量的治理以电能质量的合理评估为前提, 电能质量综合评估应对电能质量治理具有可引导性, 可以根据电能质量综合评估结果对电能质量治理工作进行优先排序。

目前电能质量综合评估方法有自组织特征映射网络法、数据包络分析法、基于概率统计和矢量代数的电能质量评估方法、模糊综合评估法、基于突变决策的评估方法、理想解法^[8-13]等。文献^[5]对模糊综合评估法、人工神经网络、基于概率统计和矢量代数的电能质量评估方法的缺陷进行了论述。基于突变决

策的电能质量综合评估不需要确定指标的权重, 最终量化为各种重要性排序的平均值, 因此重要的指标在决策评估过程中起到的作用与其他指标相同。

秩和比 RSR(Rank Sum Ration)法与理想解法计算结果具有高度相关性, 被广泛应用于医疗卫生领域的质量综合评估。在电能质量综合评估中, 仅仅定性指出各个指标的重要性是不够的, 必须使其量化和准确。对于电能质量指标的权重系数, 一般采用专家打分法, 即主观赋权。对于电能质量等级的数目, 以及各个等级的界限值通常是人为设定的。为了克服人为因素影响较大和评估模型较为复杂的缺点, 本文采用基于加权 RSR 法综合评估电能质量, 在确定电能质量指标权重时采用熵值法, 在评估矩阵基础上通过客观运算形成权重。对于电能质量等级的数目和各个等级的界限值由计算结果情况客观确定。加权 RSR 法的评估模型计算数据为各个电能质量指标的秩, 简化了评估模型。采用加权 RSR 法不但使得电能质量综合评估工作在电力市场环境下简单易行, 而且提高了评估的客观性。

1 加权 RSR 法

1.1 基本原理

RSR 法^[14-15]是一种有效的多指标评估方法。该综合评估方法是我国统计学家田凤调教授于 1988 年提出的, 在医疗卫生领域的多指标综合评估、统计预测预报、统计质量控制等方面应用广泛。RSR 综合评估法的基本原理是: 在一个矩阵中, 通过秩转换获得无量纲统计量 RSR; 在此基础上, 运用参数统计分析的概念与方法研究 RSR 的分布; 并以 RSR 值对评估对象的优劣直接排序或分档排序, 从而对评估对象作出综合评估。计算的 RSR 越大, 评估对象

收稿日期: 2014-01-10; 修回日期: 2014-10-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51177049); 国家优秀青年科学基金资助项目(51322702)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51177049) and China National Funds for Excellent Young Scientists(51322702)

越优。RSR 评估方法具有以下 4 个优点:

- a. 计算简单,对资料无特殊要求,易于推广;
- b. 参与计算的是秩次,可以消除异常值的干扰,解决指标值为 0 时的困惑;
- c. RSR 值没有量纲,综合能力强,可以替代一些专用综合指数;
- d. 该方法融合参数统计和非参数统计,可与其他许多数理统计方法互相沟通、移植和嫁接。

1.2 适用性分析

电能质量综合评估就是在分析单项指标的基础上,把部分或全部电能质量问题以及某项电能质量的多个特征量按属性合成一个有机的整体,进而得到其考核值的过程,结果的表现形式可以是电能质量的综合指标或等级^[16]。电能质量等级界限值具有一定的随机性和模糊性^[17],即电能质量综合评估按照结果分为综合指标量化评估和等级评估。量化评估是将各个电能质量指标进行数值化计算,评估结果是具体的数值。对于等级评估,一是要确定电能质量等级的数目和界限值,二是判断评估对象所处的等级。在电能质量综合评估中采用加权 RSR 法既可以得到综合指标具体数值 RSR,又可以对评估结果分档进行等级评估。电能质量指标的编秩很方便,确定了指标属于成本型或效益型就可以进行编秩。例如频率偏差、电压偏差和三相不平衡率等指标量均为成本型指标,从大到小编秩。编秩时,参照指标间相关分析和国际标准。基于加权 RSR 的电能质量综合评估方法与传统电能质量综合评估方法主要有以下 3 个方面的区别。

a. 电能质量等级的数目不是主观给定的,根据标准正态离差分档,分档数目根据计算结果进行确定,各档方差一致为最佳分档。

b. 各个电能质量等级的界限值不是主观给定的,由分档数对应的概率单位 P_{rob}^i 临界值通过回归方程计算 RSR(加权 RSR)临界值 $\delta_{\text{RSR}i}(\delta_{\text{WRSR}i})$ 确定。参照合理分档数表确定等级界限值,可以解决电能质量等级界限值的随机性和模糊性问题。

c. 具有自我检验功能,需要进行方差一致性检验。在方差一致的前提下,再作统计检验,要求所得的 RSR 线性回归方程具有显著统计学意义。

1.3 评估步骤

a. 编秩。设评估对象有 m 个,指标有 n 个,第 i 个评估对象的第 j 个指标值为 b_{ij} ,则构成评估矩阵 $\mathbf{B}=(b_{ij})_{m \times n}$,对该矩阵编出每个指标各评估对象的秩,其中效益型指标从小到大编秩,成本型指标从大到小编秩,同一指标数据相同者编平均秩。得到的秩矩阵记为 $\mathbf{R}=(R_{ij})_{m \times n}$ 。效益型指标是指从专业知识的角

度看,其数值越高越好的指标,反之,指标数值越低越好的指标为成本型指标。

b. 计算第 i 个评估对象的 RSR,记为 $\delta_{\text{RSR}i}$ 。

$$\delta_{\text{RSR}i} = \frac{1}{mn} \sum_{j=1}^n R_{ij} \quad (1)$$

当各评估指标的权重不同时,计算第 i 个评估对象的加权 RSR,记为 $\delta_{\text{WRSR}i}$,其计算公式为:

$$\delta_{\text{WRSR}i} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n w_j R_{ij} \quad (2)$$

c. 计算概率单位。编制 RSR(或加权 RSR)频率分布表,列出各组频数 f_i ,计算各组累计频数 $\sum f_i$ 。确定各组 RSR(或加权 RSR)的秩次范围 R 和平均秩次 \bar{R} 。计算向下累计频率 $p_i = \bar{R}/m$,最后一个累计频率按 $1-1/(4m)$ 估计,将 p_i 转化为第 i 个评估对象的概率单位 $P_{\text{rob}i}$,其值为百分率 p_i 对应的标准正态离差加 5。

$$P_{\text{rob}i} = u(p_i) + 5 \quad (3)$$

其中, $u()$ 表示标准正态离差函数。

常用的百分率与概率单位的对照表如表 1 所示,表中第 1 行和第 1 列对应值的和为百分率值,交叉处为相应的概率单位。

表 1 百分率与概率单位对照表
Table 1 Percentage and corresponding probit

百分数	概率单位(百分率不大于 99%)									
	0	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%
0	—	2.67	2.95	3.12	3.25	3.36	3.45	3.52	3.59	3.66
10%	3.72	3.77	3.83	3.87	3.92	3.96	4.01	4.05	4.08	4.12
20%	4.16	4.19	4.23	4.26	4.29	4.33	4.36	4.39	4.42	4.45
30%	4.48	4.50	4.53	4.56	4.59	4.61	4.64	4.67	4.69	4.72
40%	4.75	4.77	4.80	4.82	4.85	4.87	4.90	4.92	4.95	4.97
50%	5.00	5.03	5.05	5.08	5.10	5.13	5.15	5.18	5.20	5.23
60%	5.25	5.28	5.31	5.33	5.36	5.39	5.41	5.44	5.47	5.50
70%	5.52	5.55	5.58	5.61	5.64	5.67	5.71	5.74	5.77	5.81
80%	5.84	5.88	5.92	5.95	5.99	6.04	6.08	6.13	6.18	6.23
90%	6.28	6.34	6.41	6.48	6.55	6.64	6.75	6.88	7.05	7.33
百分数	概率单位(百分率不小于 99%)									
	0	0.1%	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	0.7%	0.8%	0.9%
99%	7.33	7.37	7.41	7.46	7.51	7.58	7.65	7.75	7.88	8.09

d. 计算直线回归方程;以累计频率所对应的概率单位 $P_{\text{rob}i}$ 为自变量,以第 i 个评估对象通过回归分析计算的 RSR(加权 RSR)估计值 $\delta_{\text{RSR}i}(\delta_{\text{WRSR}i})$ 为因变量,计算直线回归方程,即 $\delta_{\text{RSR}i} = a + bP_{\text{rob}i}$ 或 $\delta_{\text{WRSR}i} = c + dP_{\text{rob}i}$,其中 a 、 b 、 c 和 d 为系数。

e. 分档排序。根据回归方程推算所对应的 $\delta_{\text{RSR}i}$ (或 $\delta_{\text{WRSR}i}$),对评估对象进行分档排序。

分档的依据是标准正态离差,其分别对应的概率单位 $P_{\text{rob}i}$ 值如表 2 所示。根据各档方差一致为最佳分档的原则,根据实际情况确定具体分档数。确定分档数后,根据其对应的概率单位 $P_{\text{rob}i}$ 临界值按

表 2 常用分档情况下的概率单位的临界值

Table 2 Critical probit values for different commonly-used grade numbers

分档数	P_{ndit}
3	4,6
4	3.5,5,6,5
5	3.2,4.4,5.6,6.8
6	3,4,5.6,7
7	2.86,3.72,4.57,5.44,6.28,7.14

照回归方程推算对应的 δ_{RSRfit} (或 δ_{WRSRfit}), 从而对评估对象进行分档排序。

2 指标权重

本文采用熵值法求解评估矩阵 $\mathbf{B} = (b_{ij})_{m \times n}$ 。指标权重的计算步骤^[18-20]如下。

a. 采用标准 0-1 变换将各项指标进行标准化处理。

当指标为效益型时, 标准化公式为:

$$b_{ij}^* = \frac{b_{ij} - \min_j b_{ij}}{\max_j b_{ij} - \min_j b_{ij}} \quad i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n \quad (4)$$

当指标为成本型时, 标准化公式为:

$$b_{ij}^* = \frac{\max_j b_{ij} - b_{ij}}{\max_j b_{ij} - \min_j b_{ij}} \quad i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n \quad (5)$$

b. 依据标准化决策矩阵, 求第 j 个指标第 i 个评估样本的特征比重, 其中 $0 < p_{ij} < 1$ 。

$$p_{ij} = \frac{b_{ij}^*}{\sum_{i=1}^m b_{ij}^*} \quad (6)$$

c. 第 j 个指标的熵值为:

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad j=1, 2, \dots, n \quad (7)$$

对于特殊情况当 $p_{ij}=0$, 取 $\ln p_{ij}=0$ 。

d. 第 j 个指标的变异系数为:

$$g_j = 1 - e_j \quad j=1, 2, \dots, n \quad (8)$$

e. 第 j 个指标的熵权重为:

$$w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^n g_j} \quad j=1, 2, \dots, n \quad (9)$$

3 算例

某风电场^[21]各母线处观测的电能质量监测数据如表 3 所示。

各指标量均为成本型指标, 根据式(5)进行标准化处理。熵值法计算得到的指标权重向量为 $\mathbf{w} = [0.126304, 0.153005635, 0.161241634, 0.18104985, 0.212929, 0.165469005]^T$, 编秩和加权 RSR 的计算结果如表 4 所示。

表 3 电能质量监测数据

Table 3 Measured power quality data

母线	频率 偏差/Hz	电压 偏差/%	电压 波动/%	电压 闪变	谐波 电压/%	三相不平 衡/%
1	0.09	2.53	0.96	0.22	1.12	0.88
2	0.04	1.66	1.05	0.34	1.26	1.07
3	0.19	3.85	1.41	0.47	1.18	0.83
4	0.11	2.01	0.85	0.38	0.82	0.58
5	0.07	3.18	1.27	0.53	1.35	1.23

表 4 编秩结果和加权秩和比

Table 4 Ranking results and weighted RSRs

母线	秩						加权 RSR
	频率 偏差	电压 偏差	电压 波动	电压 闪变	谐波 电压	三相不 平衡	
1	3	3	4	5	4	3	0.7473
2	5	5	3	4	2	2	0.6723
3	1	1	1	2	3	4	0.4207
4	2	4	5	3	5	5	0.8212
5	4	2	2	1	1	1	0.3386

查看表 1 将百分率换算为概率单位, 通过 regress 语句计算回归方程, 得到估计值 $\delta_{\text{WRSRfit}} = -0.5083 + 0.2080P_{\text{ndit}}$, 计算结果如表 5 所示, 其中待评估母线条数 $m=5$ 。

表 5 加权秩和比分布

Table 5 Weighted RSR distribution

母线	δ_{WRSR}	f_i	$\sum f_i$	R	\bar{R}	\bar{R}/m	P_{ndit}	δ_{WRSRfit}
5	0.3386	1	1	1	1	0.20	4.16	0.3565
3	0.4207	1	2	2	2	0.40	4.75	0.4789
2	0.6723	1	3	3	3	0.60	5.25	0.5843
1	0.7473	1	4	4	4	0.80	5.84	0.7066
4	0.8212	1	5	5	5	0.95	6.64	0.8737

采用加权 RSR 法综合评估电能质量, 回归方程计算的加权 RSR 估计值 δ_{WRSRfit} 大的评估对象电能质量更优。加权 RSR 法、理想解法^[13]和突变理论^[12]对本算例的评估结果如表 6 所示。

表 6 各母线的电能质量综合评估值

Table 6 Results of comprehensive power quality evaluation for buses by three methods

母线	电能质量综合评估值		
	加权 RSR 法	理想解法	突变理论
1	0.7066	0.6140	0.8303
2	0.5843	0.4658	0.8105
3	0.4789	0.2891	0.4577
4	0.8737	0.7744	0.8995
5	0.3565	0.1921	0.4960

3 种评估方法都可以得到综合指标数值, 对评估对象的电能质量优劣情况进行优先排序。加权 RSR 法与理想解法得出的评估结果相同, 从优到劣排序为母线 4>母线 1>母线 2>母线 3>母线 5。应用突变决策理论得到的排序为母线 4>母线 1>母线 2>母线 5>母线 3, 与前 2 种方法相比只有电能质量最

差的母线 5 和母线 3 优劣排序不同。这种差异形成的原因是加权 RSR 法和理想解法中考虑了电能质量指标权重,而突变决策评估结果未对指标赋权。加权 RSR 法除了对评估对象的电能质量情况进行优劣排序,还可以对评估对象进行科学分档,确定电能质量的等级数目和评估对象所处的等级。

根据分档方差一致为最佳分档的理论,将电能质量分为 5 个等级:优质、良好、合格、较差、很差。根据分档界限值和计算的 $\delta_{WRSR_{fit}}$ 确定评估对象的电能质量等级。查看表 2,可知对于 5 个等级的临界 P_{robst} 值为 3.2、4.4、5.6、6.8。按照回归方程推算对应的加权 RSR 临界值,计算结果如表 7 所示。本次评估的 5 条母线,母线 4 电能质量优质,母线 1、2 电能质量合格,母线 3 电能质量较差,母线 5 电能质量很差。

表 7 母线电能质量等级划分

Table 7 Power quality grade for different buses

等级	P_{robst}	加权 RSR	分档排序结果
优质	≥ 6.8	≥ 0.84764	母线 4
良好	[5.6, 6.8)	[0.708 08, 0.847 64)	
合格	[4.4, 5.6)	[0.568 52, 0.708 08)	母线 1、2
较差	[3.2, 4.4)	[0.428 96, 0.568 52)	母线 3
很差	< 3.2	$< 0.428 96$	母线 5

4 结论

在电能质量综合评估问题中,本文建立了一种基于加权 RSR 法的电能质量综合评估新方法。在确定各电能质量评估指标权重时避免了多因素权重确定的主观性,电能质量问题的严重程度可以量化为被评估对象的加权 RSR 估计值。基于加权 RSR 法的电能质量评估不仅可以对电能质量排序,还可以从统计学的角度进行分档,确定电能质量等级,并通过常用分档情况下的概率单位临界值对电能质量等级界限值进行了量化。采用 RSR 法评估电能质量用的好与不好的关键是指标编秩是否恰如其分及符合实际和国家标准,且需要合理区分指标的属性。

参考文献:

[1] 杨洪耕,肖先勇,刘俊勇. 电能质量问题的研究和技术进展(一): 电能质量一般概念[J]. 电力自动化设备,2003,23(10):1-4.
YANG Honggeng,XIAO Xianyong,LIU Junyong. Issue and technology assessment on power quality,part 1:general concepts on power quality[J]. Electric Power Automation Equipment,2003,23(10):1-4.

[2] SHIN Y J,POWERS E I,GRAD Y. Power quality indices for transient disturbances[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2006,21(1):253-261.

[3] SAIED M M. An approach to the assessment of voltage quality based on a modified power acceptability curve[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2007,22(1):613-618.

[4] 林海雪. 公用电网谐波国家标准介绍[J]. 供用电,2010,27(6):

8-11,33.

LIN Haixue. Introduction of national interharmonic standard in public network[J]. Distribution & Utilization,2010,27(6):8-11,33.

[5] 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.

[6] VANNOY D B,MCGRANAGHAN M F,HALPIN S M,et al. Roadmap for power-quality standards development[J]. IEEE Transactions on Industry Applications,2007,43(2):412-421.

[7] 刘颖英,戴平,徐永海,等. 电能质量综合评估方法比较[J]. 电力自动化设备,2008,28(12):93-97,100.
LIU Yingying,DAI Ping,XU Yonghai,et al. Comparison of power quality comprehensive evaluation methods[J]. Electric Power Automation Equipment,2008,28(12):93-97,100.

[8] 付学谦,陈皓勇,蔡润庆. 基于自组织特征映射网络的电能质量综合评估[J]. 华南理工大学学报:自然科学版,2014,42(6):7-11.
FU Xueqian,CHEN Haoyong,CAI Runqing. Comprehensive evaluation of power quality based on self-organizing feature mapping networks[J]. Journal of South China University of Technology:Natural Science Edition,2014,42(6):7-11.

[9] 付学谦,陈皓勇,刘国特,等. 分布式电源电能质量综合评估方法[J]. 中国电机工程学报,2014,34(25):4270-4276.
FU Xueqian,CHEN Haoyong,LIU Guote,et al. Power quality comprehensive evaluation method for distributed generation[J]. Proceedings of the CSEE,2014,34(25):4270-4276.

[10] 江辉,彭建春,欧亚平,等. 基于概率统计和矢量代数的电能质量归一量化与评估[J]. 湖南大学学报:自然科学版,2003,30(1):66-70.
JIANG Hui,PENG Jianchun,OU Yaping,et al. Power quality unitary quantification and evaluation based on probability and vector algebra[J]. Journal of Hunan University:Natural Sciences,2003,30(1):66-70.

[11] 李连结,姚建刚,龙立波,等. 组合赋权法在电能质量模糊综合评估中的应用[J]. 电力系统自动化,2007,31(4):56-60.
LI Lianjie,YAO Jiangan,LONG Libo,et al. Application of combination weighing method in fuzzy synthetic evaluation[J]. Automation of Electric Power Systems,2007,31(4):56-60.

[12] 曾正,杨欢,赵荣祥. 基于突变决策的分布式发电系统电能质量综合评估[J]. 电力系统自动化,2011,35(21):52-57.
ZENG Zheng,YANG Huan,ZHAO Rongxiang. A catastrophe decision theory based power quality comprehensive evaluation method for distributed generation system[J]. Automation of Electric Power Systems,2011,35(21):52-57.

[13] 付学谦,陈皓勇. 基于理想解法的电能质量综合评估[J]. 电力自动化设备,2014,34(4):26-30.
FU Xueqian,CHEN Haoyong. Comprehensive power quality evaluation based on TOPSIS approach[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(4):26-30.

[14] FU Xueqian,CHEN Haoyong,CAI Runqing,et al. Optimal allocation and adaptive VAR control of PV-DG in distribution networks[J]. Applied Energy,2015,137:173-182.

[15] 林佩贤,王维,钟倩红,等. 应用 EXCEL 实现秩和比法的计算及其评价[J]. 数理医药学杂志,2009,22(2):183-186.
LIN Peixian,WANG Wei,ZHONG Qianhong,et al. Computation and evaluation of actualizing RSR in EXCEL[J]. Journal of Mathematical Medicine,2009,22(2):183-186.

[16] 陶顺,肖湘宁. 电力系统电能质量评估体系架构[J]. 电工技术

- 学报,2010,25(4):171-175.
- TAO Shun,XIAO Xiangning. Infrastructure of the power quality assessment system of power systems[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2010,25(4):171-175.
- [17] 丁立,贾秀芳,赵成勇,等. 基于可拓学的电能质量综合评价[J]. 电力自动化设备,2007,27(12):44-47,52.
- DING Li,JIA Xiufang,ZHAO Chengyong,et al. Synthetic evaluation of power quality based on extenics[J]. Electric Power Automation Equipment,2007,27(12):44-47,52.
- [18] FU Xueqian,CHEN Haoyong,JIN Xiaoming. Study on effectiveness evaluation of the siting of DG based on a TOPSIS method-based approach[C]//2013 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference. Hongkong,China:IEEE,2013:1-6.
- [19] 胡文锦,武志刚,张尧,等. 风电场电能质量分析与评估[J]. 电力系统及其自动化学报,2009,21(4):82-87.
- HU Wenjin,WU Zhigang,ZHANG Yao. Analysis and evaluation on the electric power quality of the wind farm[J]. Proceedings of the CSU-EPSSA,2009,21(4):82-87.
- [20] 乔家君. 改进的熵值法在河南省可持续发展能力评估中的应用[J]. 资源科学,2004,26(1):113-119.
- QIAO Jiajun. Application of improved entropy method in Henan sustainable development evaluation[J]. Resources Science,2004,26(1):113-119.
- [21] 陈华友. 熵值法及其在确定组合预测权重系数中的应用[J]. 安徽大学学报:自然科学版,2003,27(4):1-6.
- CHEN Huayou. Entropy method and application to determine weights of combination forecasting[J]. Journal of Anhui University:Natural Science Edition,2003,27(4):1-6.

作者简介:



付学谦

付学谦(1985—),男,河北保定人,博士研究生,主要研究方向为电能质量,电力系统分析、运行与控制(**E-mail**:fuxueqian@ncepu.edu.cn);

陈皓勇(1975—),男,湖南岳阳人,教授,博士研究生导师,博士,通讯作者,主要研究方向为电力市场、电力系统优化规划与运行(**E-mail**:eehychen@scut.edu.cn)。

Comprehensive power quality evaluation based on weighted rank sum ration method

FU Xueqian,CHEN Haoyong

(School of Electric Power,South China University of Technology,Guangzhou 510640,China)

Abstract: In order to avoid the complex models and human factors,a method based on weighted RSR (Rank Sum Ration) is proposed for the comprehensive power quality evaluation. The entropy method is applied to calculate the weight of each evaluation index. For each object to be evaluated,the weighted RSR is calculated when the weights are different,otherwise the RSR is calculated. The probit of each object is calculated with the weighted RSR or RSR,which,as an independent variable,is substitute in the linear regression equation. The objects are sorted and graded according to the calculated results of the equation for power quality evaluation. The power quality of a wind farm is evaluated for its buses by the propose method,the TOPSIS(Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution) and the catastrophe decision theory respectively. The comparison of results among three methods shows that,the proposed method sorts and grades the buses properly according to the power quality.

Key words: power quality; rank sum ration; comprehensive evaluation; quality evaluation; weight; weighted rank sum ration; entropy method