

组合赋权法在电能质量模糊综合评价中的应用

李连结, 姚建刚, 龙立波, 院晓涛, 李会杰

(湖南大学电气与信息工程学院, 湖南省长沙市 410082)

摘要: 为了提高电能质量模糊综合评价的客观性、科学性, 提出了主观赋权法与客观赋权法相结合的组合赋权法来确定电能质量各技术性指标的权重, 该方法克服了单一赋权法的不足。为了便于实际应用, 减少计算量, 提出了序列综合-G1 法来确定权重, 然后用该方法对公共连接点的电能质量进行模糊综合评价。计算结果表明: 组合赋权法得到的各指标权重更客观、全面, 从而使评估结果更科学、准确。

关键词: 电能质量; 模糊综合评价; 组合赋权; 序列综合-G1 法; 电力系统

中图分类号: TM73; TP18

0 引言

随着电力市场的建立, 电能已转化为由电力部门向电力用户提供电力供应及辅助服务的特殊商品。由于电能商品的特殊性和质量指标的多样性, 使电能商品的质量指标难以统一量化和评价, 难以实现真正意义上的“优质优价”。因此, 合理评估电能质量是建立公平电力市场的先决条件之一。

近年来, 国内一些学者对电能质量评估进行了研究^[1-6]。文献[3]用海明距离贴近度对模糊关系的刻画不够细致, 最大隶属度原则掩盖了介于 2 个隶属度之间的差别, 严重时可能会导致判断偏差太大^[5]。文献[4]在对不同分项指标归一量化过程中, 如果基准值选取不当, 会对电能质量评估结果的准确性有很大影响^[6]。文献[5]权重的选取是基于经验而非科学推理。文献[1]和文献[6]分别运用层次分析法(AHP)和专家打分法确定权重, 权重的确定对专家存在不同程度的依赖性。文献[2]先运用 AHP 确定权重, 然后对所得权重加以修正, 虽具有一定的科学性和客观性, 但由于 AHP 计算量大, 数据量大时难以达到一致性^[7]。

本文考虑到单一赋权对赋权结果的影响, 提出电能质量内涵性权重和结构性权重的概念, 利用组合赋权法求得电能质量各技术性指标的综合权重, 并用模糊综合评价方法对电能质量进行综合评估。

1 组合赋权法的提出

赋权方法可分为主观赋权法和客观赋权法两大类。由于主观赋权法在赋权时主要是依靠专家对指标重要性的了解来对指标赋予权重, 例如 Delphi 法

和专家排序法, 虽然在赋权的过程中采用了不同的技术, 在一定程度上减少了赋权的主观性, 但这样的权重对专家仍存在不同程度的依赖。客观赋权法则是通过数理计算来获得指标的信息权重, 例如因子分析法和相关系数法等, 虽然避免了人为因素和主观因素的影响, 但赋权结果未能客观反映指标的实际重要程度, 有时其赋权结果与客观实际存在一定的差距。因此采用单一方式定权, 容易受赋权方法的影响而造成偏倚^[8], 所以本文采用组合赋权的方法进行赋权。主观赋权通过征询有关专家的意见, 然后进行统计综合而定权。这种方法确定的权重大小取决于指标在电能质量中的意义或自身的内涵, 在此可称其为内涵性权重。但是考虑到对一些特定的电能质量监测单元进行评估时指标权重的大小除了与其概念本身的内涵有关外, 还与指标的变动性有关, 即与其计量数据的结构和变化态势有关。如果数据的离散程度小, 甚至各评估单元的数据大小相等, 则该指标对整体评价的实际作用会较小或为 0; 反之, 如果数据的离散程度大, 则该指标的作用较大, 权重也增大。据此确定的权重可称为数据结构性权重^[9]。这样, 电能质量评价指标权重就包括内涵性权重与结构性权重 2 个方面, 本文即采用主观赋权法与客观赋权法相结合的组合赋权法。

2 用 G1 法确定各指标的内涵性权重

目前内涵性权重的确定广泛应用 AHP^[10-11]。AHP 中计算权重比较经典的方法是特征值法, 但其计算复杂, 若设被比较的元素个数为 n , 当 n 较大时, 仅建立判断矩阵就要进行 $n(n-1)/2$ 次两两比较元素的比较判断, 较难达到一致。虽然该方法为减少计算量引入了简易算法, 如乘积方根法、列和求

逆法等,但其计算量依然相当大^[8]。为此,本文采用一种无需一致性检验的方法——G1法。

G1法通过对AHP进行改进,避开了AHP中的缺点。该方法具有以下特点^[12]:①不用构造判断矩阵,无需一致性检验;②计算量较AHP成倍减少;③方法简便、直观,便于使用;④对同一层次中元素个数没有限制;⑤具有保序性。

其原理及计算步骤如下。

2.1 确定序关系

定义1 若评价指标 X_i 相对某评价准则(或目标)的重要程度大于(或不小于) X_j ,记为 $X_i \succ X_j$ 。

定义2 若评价指标 $X_1, X_2, \dots, X_m$ 相对于某评价准则(或目标)具有关系式 $X_i \succ X_j \succ \dots \succ X_k (i, j, k=1, 2, \dots, m)$ 时,则称评价指标之间按“ $\succ$ ”确定了序关系。对于评价指标集 $\{X_1, X_2, \dots, X_m\}$,可以按照下述步骤建立序关系:指标集中选出 m 个指标中最重要或最不重要的一个指标,标记为 X_i ;余下的 $m-1$ 个指标中选出最重要或最不重要的一个指标,标记为 X_j ;……;在余下的 $m-(k-1)$ 个指标中选出最重要或最不重要的一个指标,标记为 X_n ;……;将余下的一个指标标记为 X_k 。这样,就可以确定一个惟一的序关系,然后需要做的就是确定相邻指标之间的重要程度。

2.2 确定相邻指标之间的相对重要程度

相邻指标 X_{k-1} 与 X_k 之间的重要程度之比可以用 $r_k = W_{k-1,1} / W_{k,1}$ 来表示,式中 $W_{k,1}$ 为第 k 个指标的权重, $k = m, m-1, \dots, 3, 2$,这样,就可以依照前数个指标之间的序关系,计算出各指标之间的相对重要度。 r_k 首先由各个专家独自判定,然后取其平均值。对于指标数量较大时,可以取最次要指标 $r_m = 1$ 。其中, r_k 的取值可以参考表1。

表1 比例标度及含义
Table 1 Exponential scale and its meaning

r_k	说明
1.0	指标 X_{k-1} 与指标 X_k 具有同样重要性
1.1	指标 X_{k-1} 与指标 X_k 之比介于同样重要和稍微重要之间
1.2	指标 X_{k-1} 比 X_k 稍微重要
1.3	指标 X_{k-1} 与指标 X_k 之比介于稍微重要和明显重要之间
1.4	指标 X_{k-1} 比 X_k 明显重要
1.5	指标 X_{k-1} 与指标 X_k 之比介于明显重要和强烈重要之间
1.6	指标 X_{k-1} 比 X_k 强烈重要
1.7	指标 X_{k-1} 与指标 X_k 之比介于强烈重要和极端重要之间
1.8	指标 X_{k-1} 比 X_k 极端重要

显然有:

$$r_{k-1} \geq \frac{1}{r_k} \quad k = m, m-1, \dots, 3, 2 \quad (1)$$

$$W_{m,1} = \left(1 + \sum_{k=2}^m \prod_{i=k}^m r_i\right)^{-1} \quad (2)$$

$$W_{k-1,1} = r_k W_{k,1} \quad k = m, m-1, \dots, 3, 2 \quad (3)$$

$W_1 = (W_{1,1}, W_{2,1}, \dots, W_{m,1})$ 为各指标的内涵性权重向量。

3 用序列综合法确定各指标的结构性权重

数据结构性权重的计算方法有因子分析法、回归系数法、序列综合法等。因子分析法和回归系数法虽然具有较高的精确度,但这2种方法有赖于大量完整的调查资料,计算过程复杂,难以推广应用。序列综合法则具有简单实用的特点,能较好地反映数据结构及其离散性。其原理和计算步骤如下。

设有 S 个样本(电能质量评价单元),其指标因素为 $X_i (i=1, 2, \dots, m)$,序列综合因素为 $Y_j (j=1, 2, \dots, n, \text{在此取 } j=2)$,符合条件的计算值为 $Z_j (j=1, 2, \dots, n)$,则每一评价指标的权重 $W_{i,2}$ 的确定方法如表2所示^[9]。

表2 序列综合法权重计算
Table 2 Weight calculation with sequence synthesis method

指标	Y_1		Y_2		序列加合	权重值
	Z_1	Y_1	Z_2	Y_2	$Y_1 + Y_2$	$W_{i,2}$
X_1						$W_{1,2}$
X_2						$W_{2,2}$
$\vdots$						$\vdots$
X_m						$W_{m,2}$

序列综合法的综合因素 Y_j 可多可少,在此采用下列2个因素:①根据指标最大值 $X_{i\max}$ 超过样本平均值 $\bar{X}_i$ 的倍数 Z_1 确定 Y_1 的序列,超出越多,序列值越大。②根据所有样本的指标值 X_i 超过其平均值 $\bar{X}_i$ 的样本个数 Z_2 确定 Y_2 的序列值,个数越多,序列值越大。这2种序列值若分别用 $Y_{1,i}, Y_{2,i}$ 表示,则 $Y_{1,i} + Y_{2,i}$ 越大,说明被统计的指标对电能质量综合评价的影响越大,即权重越大;反之,则越小。所以,各指标的数据结构性权重计算公式为:

$$W_{i,2} = \frac{Y_{1,i} + Y_{2,i}}{\sum_{i=1}^m (Y_{1,i} + Y_{2,i})} \quad (4)$$

4 综合权重的确定

在得到各指标的内涵性权重向量 $W_1 = (W_{1,1}, W_{2,1}, \dots, W_{m,1})$ 和结构性权重向量 $W_2 = (W_{1,2}, W_{2,2}, \dots, W_{m,2})$ 之后,根据下式即可求得指标的最终权重值:

$$W_i = \frac{W_{i,1} W_{i,2}}{\sum_{j=1}^m W_{j,1} W_{j,2}} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

其权重向量为 $W = (W_1, W_2, \dots, W_m)$ 。

5 电能质量技术性分项指标的确定及其模糊模型

5.1 电能质量技术性分项指标的确定

根据国家 6 项电能质量标准并结合我国电能质量现状,将电能质量分 2 级评价,提出电能质量待评分分项指标,如表 3 所示^[13-14]。电能质量评价可以用 5 级模糊评价结果集合{优质,良好,合格,较差,很差}来描述。

表 3 待评分各分项指标
Table 3 Evaluation indexes

变量	一级指标	二级指标
X_1	平均偏差	电压偏差
X_2	持续时间	
X_3	平均波动幅度	电压波动
X_4	波动次数	
X_5	闪变水平	电压闪变
X_6	总谐波畸变率	谐波畸变
X_7	奇次谐波电压含有率	
X_8	偶次谐波电压含有率	
X_9	持续时间	
X_{10}	不平衡度	三相不平衡
X_{11}	持续时间	
X_{12}	平均偏差	频率偏差
X_{13}	持续时间	
X_{14}	凹陷幅度	电压暂降
X_{15}	持续时间	
X_{16}	间断次数	电压短间断

5.2 电压偏差指标

电压偏差指标由电压偏差百分比和持续时间 2 个因素决定。{电压偏差很小}的隶属度为^[3]:

$$\mu_{VDM}(\Delta U) = \begin{cases} 0 & \Delta U \leq -U_2 \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin\left(\frac{\pi}{U_2 - U_1} \left(\Delta U - \frac{U_1 + U_2}{2}\right)\right) & -U_2 < \Delta U < -U_1 \\ 1 & -U_1 \leq \Delta U \leq U_1 \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin\left(\frac{\pi}{U_2 - U_1} \left(\Delta U - \frac{U_1 + U_2}{2}\right)\right) & U_1 < \Delta U < U_2 \\ 0 & \Delta U \geq U_2 \end{cases} \quad (6)$$

式中: μ_{VDM} 为电压偏差的隶属度; ΔU 为电压偏差的百分比; U_1, U_2 为常数,需结合实际问题确定。

该电压偏差持续时间属于模糊集{持续时间很短}的隶属度为:

$$\mu_{VDT}(\Delta T) = \begin{cases} 1 & T_{\Delta U} \leq T_{\Delta U_0} \\ e^{-k_{t1}(T_{\Delta U} - T_{\Delta U_0})} & T_{\Delta U} > T_{\Delta U_0}, k_{t1} > 0 \end{cases} \quad (7)$$

式中: μ_{VDT} 为电压偏差持续时间的隶属度; $\Delta T, T_{\Delta U}$

分别为电压偏差百分比和相应的持续时间; $k_{t1}, T_{\Delta U_0}$ 为常数,需结合实际问题确定。

5.3 其他电压指标

电压波动和闪变指标、电压波形畸变指标、三相电压不平衡、电压暂降、电压短间断指标的隶属度等具有相同的形式,这里仅以电压波动和闪变指标为例。波动幅度百分比属于{波动很小}的隶属度和持续时间属于{持续时间很短}的隶属度分别为:

$$\mu_{VFM}(\delta U) = \begin{cases} 1 & 0 \leq \delta U \leq U_5 \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin\left(\frac{\pi}{U_6 - U_5} \left(\delta U - \frac{U_5 + U_6}{2}\right)\right) & U_5 < \delta U < U_6 \\ 0 & \delta U \geq U_6 \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu_{VFT}(T_{\delta U}) = \begin{cases} 1 & T_{\delta U} \leq T_{\delta U_0} \\ e^{-k_{t2}(T_{\delta U} - T_{\delta U_0})} & T_{\delta U} > T_{\delta U_0}, k_{t2} > 0 \end{cases} \quad (9)$$

式中: $\delta U, T_{\delta U}$ 分别为电压波动百分比和相应的持续时间; $U_5, U_6, k_{t2}, T_{\delta U_0}$ 为常数,需结合实际问题确定。

5.4 可靠性指标

供电可靠性 I_R 取值范围为 $[0, 1]$,一般都接近 1。它对停电时间的反应不灵敏。所以隶属函数应设计成在 $I_R = 1$ 附近较灵敏,可用如下函数表示:

$$\mu_R(I_R) = (I_R)^P \quad I_R \in [0, 1]; P = 1, 2, 3 \dots \quad (10)$$

6 模糊综合评价

通过计算各指标的隶属度,可得到如下模糊综合评价矩阵:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{R}_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mu_{1,1} & \cdots & \mu_{1,m} \\ \vdots & & \vdots \\ \mu_{n,1} & \cdots & \mu_{n,m} \end{bmatrix} \quad (11)$$

式中: n 为指标数; m 为质量等级数; $\mathbf{R}_i$ 为第 i 项指标的单因素评价。

将 μ_{ij} 进行归一化处理:

$$\mu'_{i,j} = \frac{\mu_{i,j}}{\sum_{k=1}^n \mu_{k,j}} \quad (12)$$

评价结果为: $\mathbf{B} = \mathbf{W}\mathbf{R}$ 。其中: $\mathbf{W}$ 为综合权重矢量, $\mathbf{W} = (W_1, W_2, \dots, W_m)$; $\mathbf{B}$ 为模糊综合评价结果向量,它表明了该评价点电能质量的总体情况对各等级模糊子集的隶属程度。

计算出评价结果向量 $\mathbf{B}$ 之后,再进行加权平均。然后对评估对象优劣排序,判断电能质量等级。

7 实例应用分析

据进行分析,结果如表 4 所示。

下面对某地区某时间段 3 条 10 kV 母线实测数

表 4 待评数据组
Table 4 Illustrative power quality evaluation

序号	X_1	X_2	X_3	X_4 /次	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16} /次
1	1	6	2	3	0.3	1.6	1.7	0.9	3.7	0.5	5	1	1.5	0	0	0
2	6	10	11	8	0.8	3.3	2.8	1.2	10	1.3	8	1	1.5	0	0	0
3	0.8	3	1.2	2	0.1	0.8	0.6	0.3	2	0.2	1	1	1.5	0	0	0

注: $X_1, X_2, X_3, X_6, \dots, X_{15}$ 以百分比表示。

计算步骤如下:

1)以电能质量二级评价为例,根据 G1 法综合一些专家的意见,对评价指标建立如下序关系:

频率偏差>谐波畸变>短时间中断>电压波动>闪变>电压偏差>电压暂降>三相不平衡

2)各个专家独自判定然后取其平均值,确定指标之间的相对重要程度: $r_2=1.8, r_3=1.7, r_4=1.2, r_5=1, r_6=1.2, r_7=1.2, r_8=1.2$ 。

3)根据式(2)、式(3)可得: $W_{11}=0.342\ 84, W_{21}=0.190\ 47, W_{31}=0.112\ 04, W_{41}=0.093\ 36, W_{51}=0.093\ 36, W_{61}=0.066\ 69, W_{71}=0.055\ 57, W_{81}=0.052\ 5$ 。 W_{11} 为步骤 1 确定的序关系所对应的指标内涵性权重,如 W_{11} 为频率偏差的内涵性权重。即二级指标内涵性加权向量为 $W_1=(0.342\ 84, 0.190\ 47, 0.112\ 04, 0.093\ 36, 0.093\ 36, 0.066\ 69, 0.055\ 57, 0.052\ 5)$ 。

4)同理,可求得电能质量一级指标的内涵性加权向量分别为: $W_{1,1}'=(0.642\ 9, 0.357\ 1), W_{2,1}'=(0.262\ 7, 0.141\ 1, 0.141\ 1, 0.455\ 1), W_{3,1}'=(1), W_{4,1}'=(0.357\ 1, 0.642\ 9), W_{5,1}'=(1), W_{6,1}'=(0.642\ 9, 0.357\ 1), W_{7,1}'=(0.5, 0.5), W_{8,1}'=(0.357\ 1, 0.642\ 9)$ 。

5)采用序列综合法对表 4 的电压偏差一级指标数据进行分析,结果如表 5 所示,所以电压偏差一级指标结构性加权向量 $W_{6,2}'=(0.6, 0.4)$,同理, $W_{1,2}'=(0.5, 0.5), W_{2,2}'=(0.235\ 2, 0.176\ 5, 0.294\ 1, 0.294\ 1), W_{3,2}'=(1), W_{4,2}'=(0.6, 0.4), W_{5,2}'=(1), W_{7,2}'=(0.5, 0.5), W_{8,2}'=(0.5, 0.5)$ 。

6)根据式(5)可得待评一级指标权重向量: $W_1'=(0.642\ 9, 0.357\ 1), W_2'=(0.235\ 8, 0.095\ 0, 0.158\ 4, 0.510\ 7), W_3'=(1), W_4'=(0.454\ 5, 0.545\ 5), W_5'=(1), W_6'=(0.729\ 8, 0.270\ 2), W_7'=(0.500\ 0, 0.500\ 0), W_8'=(0.357\ 1, 0.642\ 9)$ 。

7)将表 4 数据代入隶属度函数,可以得到相应的隶属度。对一级指标隶属度数列通过步骤 6 所得到的权重向量进行加权平均后可得到相应的二级指标隶属度。采用序列综合法对电能质量二级指标隶属度分析可得到二级指标结构性加权向量 W_2 为:

$W_2=(0.033, 0.15, 0.033, 0.2, 0.183, 0.167, 0.033, 0.2)$ 。

表 5 序列综合法权重计算——电压偏差
Table 5 Weight calculation with sequence synthesis method—the windage of voltage

指标	Y_1		Y_2		序列加合 Y_1+Y_2	权重值 $W_{6,2}'$
	Z_1	Y_1	Z_2	Y_2		
X_1	1.300	2	1	1	3	0.6
X_2	0.587	1	1	1	2	0.4

8)根据式(5)可得电能质量二级指标权重向量: $W=(0.109\ 9, 0.278\ 2, 0.036\ 0, 0.181\ 9, 0.166\ 3, 0.108\ 0, 0.017\ 5, 0.102\ 1)$ 。

9)从表 4 数据可以看出,由于整个电网频率相同,频率指标可比性差,对整体评价作用较小,所以其综合权重 $W_1=0.109\ 9$,小于其内涵性权重 $W_{11}=0.342\ 8$ 。因此,结合序列综合法与 G1 法确定权重的方法既能反映电能质量各指标的实际重要程度,又具有客观性,能对电能质量做出准确客观的评估。二级评判后的结果为:母线 1(0.224 6, 0.551 3, 0.113 9, 0.064 3, 0.045 9),母线 2(0.063 7, 0.084 8, 0.254 2, 0.453 1, 0.144 2),母线 3(0.497 4, 0.276 8, 0.125 3, 0.037 1, 0.063 4)。

10)对二级评判结果进行加权平均处理,用 1, 2, 3, 4, 5 分别代表“优质”、“良好”、“合格”、“较差”、“很差”,对评判结果加权平均得: $V_1=2.155\ 6, V_2=3.529\ 3, V_3=1.892\ 3$ 。 V_3 介于 1 和 2 之间,更接近于 2。所以母线 3 的电能质量水平介于“优质”与“良好”之间,且更接近于“良好”。母线 1 的电能质量水平介于“良好”与“合格”之间,更接近于“良好”,但低于母线 3 的电能质量水平。母线 2 的电能质量水平介于“合格”与“较差”之间。

8 结语

由以上计算结果看出,组合赋权法可以克服单一赋权法的缺点,得出比较科学的权重系数。该方法适合于评价因素多、规模大的评价问题,特别适应于当前区域内大量线路之间横向的电能质量评估或单一线路不同时间段纵向的电能质量评估。

本文中所有的计算过程都已编成 VB 程序,该程序已投入工程实际应用。经实践证明该方法是可行的,并具有准确实用、计算结果明确、易于推广等特点,基本适应目前电力市场下电能质量的评价水平和要求。

参考文献

- [1] 赵霞,赵成勇,贾秀芳,等.基于可变权重的电能质量模糊综合评价.电网技术,2005,29(6):11-16.
ZHAO Xia, ZHAO Chengyong, JIA Xiufang, et al. Fuzzy synthetic evaluation of power quality based on changeable weight. Power System Technology, 2005, 29(6): 11-16.
- [2] 谭家茂,黄少先.基于模糊理论的电能质量综合评价方法研究.继电器,2006,34(3):55-59.
TAN Jiamao, HUANG Shaoxian. Research on synthetic evaluation method of power quality based on fuzzy theory. Relay, 2006, 34(3): 55-59.
- [3] 贾清泉,宋家骅,兰华,等.电能质量及其模糊方法评价.电网技术,2000,24(6):46-49.
JIA Qingquan, SONG Jiahua, LAN Hua, et al. Power quality and fuzzy method evaluation. Power System Technology, 2000, 24(6): 46-49.
- [4] 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价.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. Journal of Hunan University: Natural Science, 2003, 30(1): 66-70.
- [5] 唐会智,彭建春.基于模糊理论的电能质量综合量化指标研究.电网技术,2003,27(12):85-88.
TANG Huizhi, PENG Jianchun. Research on synthetic and quantified appraisal index of power quality based on fuzzy theory. Power System Technology, 2003, 27(12): 85-88.
- [6] 陈磊,徐永海.浅谈电能质量评估的方法.电力电气,2005,24(1):58-61.
CHEN Lei, XU Yonghai. The discussion of the method of power quality evaluation. Power Electric, 2005, 24(1): 58-61.
- [7] 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.中国安全科学学报,2006,16(1):30-33.
LIU Jian, ZHENG Shuangzhong, DENG Yunfeng, et al. The calculation of the weights of evaluating indices for meeting an emergency based on G1 method. Chinese Safe Science College

- Journal, 2006, 16(1): 30-33.
- [8] 倪少凯.七种确定评估指标权重方法的比较.华南预防医学,2002,28(6):54-62.
NI Shaokai. The compare of seven sorts of the calculation of evaluating indices weights. South China Journal of Preventive Medicine, 2002, 28(6): 54-62.
- [9] 齐鑫山.序列综合-专家咨询:生态农业综合排序评价法的应用.农村生态环境,1994,10(2):33-37.
QI Xinshan. Sequence synthesis-expert consultation: application of integrated collating evaluation of ecological agriculture. Rural Eco-Environment, 1994, 10(2): 33-37.
- [10] 李祚泳,丁晶,彭荔红.环境质量评价原理与方法.北京:化学工业出版社,2004.
LI Zuoyong, DING Jing, PENG Lihong. Theory and methods of evaluations for environment quality. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.
- [11] 后定丕,王战军.非线性评估的理论探索与应用.合肥:中国科学技术大学出版社,2001.
HOU Dingpei, WANG Zhanjun. The application and theory study of nonlinear evaluation. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2001.
- [12] 郭亚军.综合评价理论与方法.北京:科学出版社,2002.
GUO Yajun. The theories and methods of synthetic evaluation. Beijing: Science Press, 2002.
- [13] 国家电力公司发输电运营部.电力工业技术监督标准汇编(电能质量监督).北京:中国电力出版社,2003.
State Grid Generate & Transmit Electricity Business Department. Electric technical intendant criterion compilation of power industry (the power quality intendant). Beijing: China Electric Power Press, 2003.
- [14] 翁利民,陈灵欣,靳剑锋.电能质量的性能指标与改善方法.电力电容器,2004,9(6):9-14.
WENG Limin, CHEN Lingxin, JIN Jianfeng. Performance criterion and improvement measure of power energy quality. Power Capacitor, 2004, 9(6): 9-14.

李连结(1981—),男,硕士研究生,主要从事电能质量分析与控制及电力市场等方面的研究工作。E-mail: lilianjie1981@126.com

姚建刚(1952—),男,教授,博士生导师,研究方向为电力市场、配电系统自动化和新型输电方式。

龙立波(1975—),男,硕士研究生,主要从事电力市场与负荷预测等方面的研究。

Application of Combination Weighing Method in Fuzzy Synthetic Evaluation of Power Quality

LI Lianjie, YAO Jiangang, LONG Libo, YUAN Xiaotao, LI Huijie
(Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: To obtain a more objective and scientific result of power quality (PQ) fuzzy synthetic evaluation, this paper presents a combined weighing method to determine weights of PQ indices. The new method integrates advantages of both objective weighing and subjective weighing and remedies the defects of single-weighing. For more applications, a sequence synthesis-G1 technique is also put forward to evaluate PQ levels of the point of common coupling (PCC). Calculated results show that the proposed method with more objective and sufficient weights of PQ indices leads to a more scientific and accurate evaluation.

Key words: power quality; fuzzy synthetic evaluation; combination weighing; sequence synthesis-G1 technique; power systems