

# 基于主成分分析法和模糊综合评价法的配电网评估

肖颖涛, 王化全, 俞海峰, 胡晓侠, 柴贤东

(国网安徽省电力公司阜阳供电公司, 阜阳 236000)

**摘要:** [目的]对配电网的全面评估需要综合考虑其安全性、经济性、可靠性、适应性和优质性。[方法]为了更合理客观地对配电网进行评估,从这5个方面建立了一套科学合理的配电网评价体系,应用主成分分析法提取配电网指标数据之间隐含的内在联系,使所求出的各指标权重客观合理,应用模糊综合评价法对整个配电网状况进行更为全面准确的评估,其中对实际数据评分结果的区间进行划分,并统一了模糊综合评价法中的定量类指标的评价等级标准。[结果]从而解决了模糊综合评价法无法处理大量定量类指标数据的问题,降低了计算复杂度,同时保持了评估结果准确性。[结论]最终使得对配电网的评估更加真实合理可靠。对江西配电网的算例分析结果表明文章的评估方法是科学有效的。

**关键词:** 配电网; 评价指标体系; 主成分分析; 模糊综合评价

中图分类号: TM7; TM715

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2019)03-0105-08

## Evaluation of Distribution Network Status Based on Principal Component Analysis and Correspondence Analysis

XIAO Yingtao, WANG Huaquan, YU Haifeng, HU Xiaoxia, CHAI Xiandong

(State Grid Anhui Power Company Fuyang Power Supply Company, Fuyang 23600, China)

**Abstract:** [Introduction] In order to evaluate the distribution network more reasonably and objectively. [Method] This paper established a scientific and reasonable evaluation system of distribution network from these five aspects, and extracted the implicit data of distribution network indicators by principal component analysis. The internal relationship made the weight of each index objectively and reasonably calculated. Fuzzy comprehensive evaluation method was applied to evaluate the whole distribution network situation more comprehensively and accurately, in which the interval of actual data scoring results was divided and the evaluation grade standard of quantitative index in the fuzzy comprehensive evaluation method was unified. [Result] So as to solve the problem, fuzzy comprehensive evaluation method can not deal with a large number of quantitative index data, which reduced the computational complexity, while maintaining the accuracy of the evaluation results. [Conclusion] We demonstrate the evaluation of distribution network more real, reasonable and reliable. The example analysis of Jiangxi distribution network shows that the evaluation method is scientific and effective.

**Key words:** distribution network; evaluation index system; principal component analysis; fuzzy comprehensive evaluation

配电网的建设与发展是电网发展的重要部分,而如何能够建立合理的评价体系科学合理地评价配电网,对于分析其发展现状,加强宏观调控,减少建设的盲目性具有非常重要的意义。

本文从配电网评价方法入手,认真研究总结了之前文献所用到的方法。就权重计算部分而言,传统的配电网评价指标体系不够完善,所使用的权重算法如层次分析法、德尔菲法等主观性较强,利用隶属度函数值与权重相乘的评分方法对配电网现状评判不够精准,这些都不利于对配电网进行科学合理有效的规划。因此,本文应用主成分分析法,通过充分提取客观数据得到权重值,从而规避了主观

因素干扰,充分体现了指标数据之间隐含的内在联系。在评价方法方面,本文利用模糊综合评价法对配电网作综合评价时,通过对实际数据评分结果的区间划分,为该评价方法中的定量类指标制定了统一的评价等级标准,从而解决了模糊综合评价法无法处理大量定量类指标数据的问题,降低了计算的复杂度并保持了评估结果的准确性。综合应用层次分析法与模糊综合评价法使得最终所得结果更加科学、更加真实可靠。

## 1 配电网评价指标体系

为了客观、合理、全面地评估配电网,必须从多个层面设立一整套指标以实现准确定量评价的目的。因此,本文建立了一个包含安全性、经济性、可靠性、适应性、优质性在内的配电网评价指标体系,以便能够全面反映配电网的技术经济水平,引导配电网科学合理发展<sup>[1-8]</sup>。

### 1.1 安全性

安全性是指以安全为目标,配电网避免发生大规模停电以及事故发生后电网自愈的能力。从 $N-1$ 通过率、线路单线或单变、重过载、线路联络等方面选取相关指标,可以较为全面地评价配电网的安全性,安全性评价指标体系如图1所示。

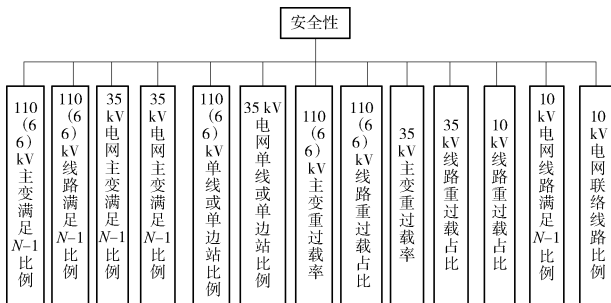


图1 安全性评价指标

Fig. 1 Safety evaluation index

### 1.2 经济性

经济性是指配电网的规划是否科学,负荷分配及供电半径安排合理与否。从线路截面、综合线损率、供电半径、低压线路、负载率等方面选取相关指标,可以较为全面地评价配电网的经济性,经济性评价指标体系如图2所示。

### 1.3 可靠性

可靠性是指配电网向用户持续供电的能力、设备使用年限超标和电缆化率情况。从设备运行年

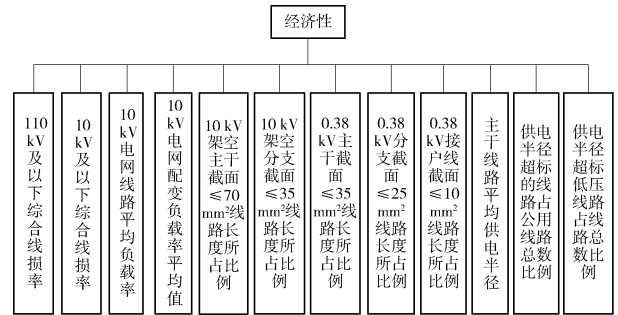


图2 经济性评价指标

Fig. 2 Economic evaluation index

限、线路电缆化率、线路运行年限、供电可靠率等方面选取相关指标,可以较为全面地评价配电网的可靠性,可靠性评价指标体系如图3所示。

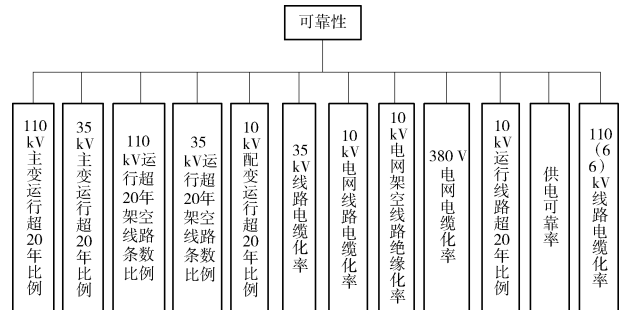


图3 可靠性评价指标

Fig. 3 Reliability evaluation index

### 1.4 适应性

适应性是指电网随负荷发展而提供相应的裕度、扩建能力。从出线路间隔率选取相关指标,可以较为全面地评价配电网的适应性,适应性评价指标体系如图4所示。

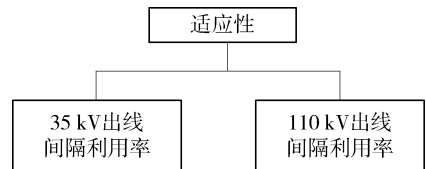


图4 适应性评价指标

Fig. 4 Adaptive evaluation index

### 1.5 优质性

优质性是指保障用户的供电能力高低及电能质量的好坏。从容载比、高损配变、综合电压合格率等方面选取相关指标,可以较为全面地评价配电网的优质性,优质性评价指标体系如图5所示。

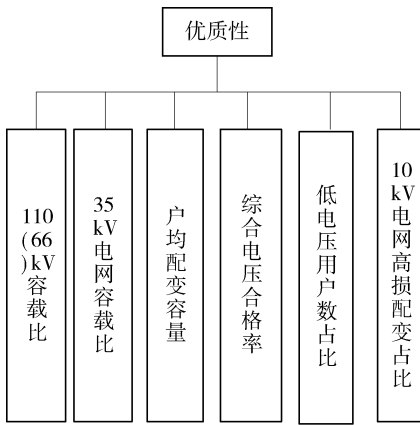


图5 优质性评价指标

Fig. 5 Quality evaluation index

## 2 基于主成分分析法和模糊综合评价法的评价模型

### 2.1 权重计算

应用主成分分析法对海量指标数据进行分析可以避免主观因素影响,使所得权重更加真实可靠,本文根据主成分分析法得到的方差及累计贡献率表和因子载荷矩阵表的相关数据,计算各指标在安全性、经济性、可靠性、适应性、优质性中所占的权重。计算步骤如下<sup>[9-15]</sup>:

1) 将因子载荷矩阵表中的载荷数分别除以方差及累计贡献率表中对应主成分特征根的开方值,得到各指标在各主成分线性组合中的系数。

2) 方差及累计贡献率表中“初始特征值”的“方差%”表示各主成分方差贡献率,方差贡献率越大则该主成分的重要性越强。因此,方差贡献率可以看成是不同主成分的权重。由于原有指标基本上可以用选出来的主成分代替,因此,指标系数可以视为以选出主成分的方差贡献率为权重,对指标在这两个主成分线性组合中的系数进行加权平均。因此,利用计算步骤1)中计算出来的每个指标的系数乘以对应主成分的方差贡献率,再除以方差贡献率的总和,即可得到各指标的权重。

3) 对所得权重作归一化处理。

### 2.2 评价等级标准的统一

由于选取的评价配电网的指标种类较多,数据量大,单位不尽相同,且指标的最优值选取区间呈现不同趋势,因此,为了便于各指标评价等级标准设定,本文对各指标数据作去量纲处理,并通过式

(1)、(2)和(3)将递增、递减和过渡这三种形式的指标统一用递增形式表示,从而减少了计算量。

将评分区间设定为 $[p, 100]$ ( $p$ 可以为任意正整数),对于递增型指标,指标实际值转换到评分区间的计算式为:

$$f_1(x_1) = p + (100 - p) \frac{x_1 - x_{1\min}}{x_{1\max} - x_{1\min}} \quad (1)$$

$$x_1 \in (x_{1\min}, x_{1\max})$$

式中: $f_1(x_1)$ 为递增型指标评分值; $x_{1\min}$ 为递增型指标的实测最小值; $x_{1\max}$ 为递增型指标的实测最大值。

对于递减型指标,指标实际值转换到评分区间的计算式为:

$$f_2(x_2) = p + (100 - p) \frac{x_{2\max} - x_2}{x_{2\max} - x_{2\min}} \quad (2)$$

$$x_2 \in (x_{2\min}, x_{2\max})$$

式中: $f_2(x_2)$ 为递减型指标评分值; $x_{2\min}$ 为递减型指标的实测最小值; $x_{2\max}$ 为递减型指标的实测最大值。

对于过渡型指标,首先根据专家意见以及历史数据确定该类型指标的最优区间为 $(a, b)$ ,最优区间内的指标数据评分值为100,而最优区间之外的指标数据可以分别按式(1)和(2)进行计算,即

$$f_3(x_3) = \begin{cases} p + (100 - p) \frac{x_3 - x_{3\min}}{\alpha - x_{3\min}} & x_3 \in (x_{3\min}, \alpha) \\ 100 & x_3 \in (a, b) \\ p + (100 - p) \frac{x_{3\max} - x_3}{x_{3\max} - b} & x_3 \in (b, x_{3\max}) \end{cases} \quad (3)$$

式中: $f_3(x_3)$ 为过渡型指标评分值; $x_{3\min}$ 为过渡型指标的实测最小值; $x_{3\max}$ 为过渡型指标的实测最大值。

针对配电网评价体系中的安全性、经济性、可靠性、适应性、优质性分别按式(4)进行综合评分,即

$$F_{B_j}(x) = \sum_{k=1} w_{kj} f_i^{(C_k)}(x_i)$$

$$k = 1, 2, 3, \dots; j = 1, 2, \dots, 5; i = 1, 2, 3 \quad (4)$$

式中: $F_{B_j}(x)$ 为配电网指标体系中第 $B_j$ 类的综合评分; $f_i^{(C_k)}(x_i)$ 为指标 $C_k$ 的评分值。

利用这种评分方式可以将所有指标的实测值转换进统一的评分区间 $[p, 100]$ ,因此在制定定量类

模糊综合评价的指标评价等级标准时可以将所有指标的评价等级标准设定成统一的分数区间段,使模糊综合评价法可以用于处理大量定量类指标数据。

### 2.3 配电网评价

本文采用多级模糊评价法从安全性、经济性、可靠性、适应性、优质性这5个方面对配电网的隶属等级状况进行综合评判,从而实现对配电网的整体状况进行评价。评价步骤如下:

1)集合设定。令待评价对象为对象集合  $P$ ; 确定与  $P$  相关的各种指标进而建立评价因子集即指标集合  $U$ ; 选定可能得出的各种评价结果的集合建立评价等级集合  $V$ 。

2)隶属度关系矩阵  $R$  的建立。依据评价等级集合  $V$  中的各等级对  $U$  中的每个指标进行隶属程度评判,假设  $U$  中的子指标  $u_i$  对应评价等级隶属度子集为  $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$ , 其中  $r_{ij}$  表示  $u_i$  对集合  $V$  中评价等级及其对应的数值  $v_j$  的隶属程度,且  $r_{i1} + r_{i2} + \dots + r_{ij} + \dots + r_{im} = 1$ 。  $m$  个评价等级隶属度子集构成隶属度关系矩阵  $R$ , 即

$$R = \begin{pmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_i \\ \vdots \\ R_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{i1} & r_{i2} & \dots & r_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{pmatrix} \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_i \\ \vdots \\ u_m \end{matrix} \quad (5)$$

$v_1 \quad v_2 \quad \dots \quad v_n$

假设子指标  $u_i$  的实测值为  $x$ , 评价等级为  $v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_j, \dots, v_n$ ;  $y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_j, \dots, y_n$  分别表示各等级的界值,且  $y_1 < y_2 < \dots < y_i < \dots < y_j < \dots < y_n$ , 则式(5)中指标的隶属度函数  $r_{ij}$  可以分别应用式(6)、(7)和(8)所示的线性分布函数计算。

$$r_{i1} = \begin{cases} 1 & x \leq y_1 \\ \frac{y_2 - x}{y_2 - y_1} & y_1 < x < y_2 \\ 0 & x \geq y_2 \end{cases} \quad (6)$$

$$r_{i2} = \begin{cases} 1 - r_{i1} & y_1 < x < y_2 \\ \frac{y_3 - x}{y_3 - y_2} & y_2 < x < y_3 \\ 0 & x \leq y_1 \text{ 或 } x \geq y_3 \end{cases} \quad (7)$$

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 - r_{ij-1} & y_{j-1} < x < y_j \\ \frac{y_{j+1} - x}{y_{j+1} - y_j} & y_j < x < y_{j+1} \\ 0 & x \leq y_{j-1} \text{ 或 } x \geq y_{j+1} \end{cases} \quad (8)$$

3)权重向量  $W$  的建立。应用主成分分析法计算出  $u_i$  相应的权重  $w_i$ , 借以反映各子指标  $u_i$  对  $P$  的重要性程度。权重向量设为  $W = (w_1, w_2, \dots, w_i, \dots, w_m)$ 。

4)评价结果向量  $B$  的建立。应用能够充分体现隶属度关系矩阵  $R$  和权重向量  $W$  作用的合成运算得到评价结果向量  $B$ , 即:

$$B = WR = (w_1, w_2, \dots, w_i, \dots, w_m) \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{i1} & r_{i2} & \dots & r_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{pmatrix} = (b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n) \quad (9)$$

依据最大隶属度原则,取  $B$  中最大值所对应的评价等级作为评价结果。

基于主成分分析法和模糊综合评价法的配电网评估流程图如图6所示。

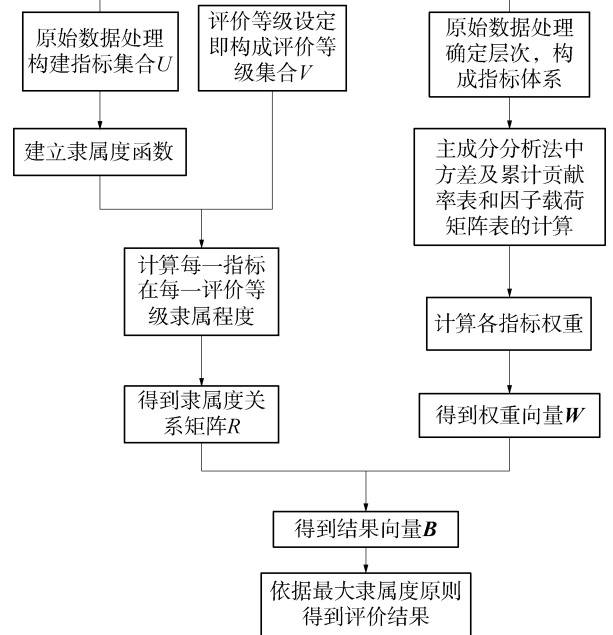


图6 基于主成分分析法和模糊综合评价法的配电网评估流程  
Fig. 6 Evaluation process of distribution network based on principal component analysis and fuzzy comprehensive evaluation method

### 3 算例分析

本文以江西省 106 个县域电网作为评估算例。

#### 3.1 权重的确定

以经济性为例, 将江西省 106 个县域电网的相关经济性指标数据进行主成分分析。得到经济性的方差及累计贡献率如表 1 所示。

表 1 经济性指标的方差及累计贡献率

Tab. 1 The variance of economic indicators and the cumulative contribution rate

序号	初始特征值			提取平方和载入			旋转平方和载入		
	合计	方差占 比/%	累积/ %	合计	方差占 比/%	累积/ %	合计	方差占 比/%	累积/ %
1	2.415	20.123	20.123	2.415	20.123	20.123	2.020	16.836	16.836
2	1.753	14.611	34.733	1.753	14.611	34.733	1.850	15.414	32.250
3	1.477	12.310	47.044	1.477	12.310	47.044	1.495	12.456	44.706
4	1.180	9.836	56.879	1.180	9.836	56.879	1.337	11.144	55.851
5	1.013	8.442	65.321	1.013	8.442	65.321	1.136	9.471	65.321
6	0.912	7.597	72.918	—	—	—	—	—	—
7	0.808	6.736	79.654	—	—	—	—	—	—
8	0.607	5.055	84.710	—	—	—	—	—	—
9	0.554	4.614	89.324	—	—	—	—	—	—
10	0.482	4.017	93.341	—	—	—	—	—	—
11	0.463	3.860	97.201	—	—	—	—	—	—
12	0.336	2.799	100.00	—	—	—	—	—	—

由表 1 可知, 依据主成分分析法提取出的这 5 个主成分的累积方差贡献率占总方差的 65.321%, 因此, 这五个主成分能比较全面地反映经济性代表的信息。经济性的主成分因子载荷矩阵如表 2 所示。

表 2 经济性主成分因子载荷矩阵

Tab. 2 Economic principal component factor load matrix

序号	经济性评价指标	成份				
		1	2	3	4	5
1	110 kV 及以下综合线损率/%	0.493	-0.617	-0.044	0.173	0.220
2	10 kV 及以下综合线损率/%	0.386	-0.623	-0.326	0.180	0.128
3	10 kV 电网线路平均负载率/%	-0.154	0.137	0.042	0.537	0.757
4	10 kV 电网配变负载率平均值/%	-0.513	0.248	0.028	0.341	0.040

表 2(续) 经济性主成分因子载荷矩阵

Tab. 2(Cont.) Economic principal component factor load matrix

序号	经济性评价指标	成份				
		1	2	3	4	5
5	10 kV 架空主干截面 ≤70 mm <sup>2</sup> 线路长度所占比例/%	0.622	-0.069	-0.077	0.156	-0.159
6	10 kV 架空分支截面 ≤35 mm <sup>2</sup> 线路长度所占比例/%	0.609	0.293	-0.310	0.106	-0.110
7	0.38 kV 主干截面 ≤35 mm <sup>2</sup> 线路长度所占比例/%	0.557	0.498	-0.216	0.241	-0.061
8	0.38 kV 分支截面 ≤25 mm <sup>2</sup> 线路长度所占比例/%	0.551	0.571	0.121	0.139	-0.016
9	0.38 kV 接户线截面 ≤10 mm <sup>2</sup> 线路长度所占比例/%	0.297	0.346	0.415	-0.424	0.429
10	主干线路平均供电半径/km	0.175	-0.045	0.755	0.276	-0.219
11	供电半径超标的线路占公用线路总数比例/%	0.299	-0.337	0.678	0.121	-0.077
12	供电半径超标低压线路占线路总数比例/%	0.397	-0.071	0.001	-0.574	0.307

根据 2.1 主成分分析法的权重计算方法算出的经济性各指标的权重如表 3 所示。

表 3 经济性 B1 各指标权重

Tab. 3 Economic B1 weight of each index

指标名称	指标权重
110 kV 及以下综合线损率 C1/%	0.028
10 kV 及以下综合线损率 C2/%	0.028
10 kV 电网线路平均负载率 C3/%	0.124
10 kV 电网配变负载率平均值 C4/%	0.002
10 kV 架空主干截面 ≤70 mm <sup>2</sup> 线路长度所占比例 C5/%	0.073
10 kV 架空分支截面 ≤35 mm <sup>2</sup> 线路长度所占比例 C6/%	0.089
0.38 kV 主干截面 ≤35 mm <sup>2</sup> 线路长度所占比例 C7/%	0.136
0.38 kV 分支截面 ≤25 mm <sup>2</sup> 线路长度所占比例 C8/%	0.176
0.38 kV 接户线截面 ≤10 mm <sup>2</sup> 线路长度所占比例 C9/%	0.129
主干线路平均供电半径 C10/km	0.112
供电半径超标的线路占公用线路总数比例 C11/%	0.083
供电半径超标低压线路占线路总数比例 C12/%	0.019

同理, 可分别算出安全性、可靠性、优质性以及适应性各指标在各自方面所占的权重。分别如表 4~表 7 所示。

表4 安全性 B2 各指标权重

Tab. 4 Safety B2 the weight of each index

指标名称	指标权重
110(66) kV 主变满足 $N-1$ 比例 C13/%	0.107
110(66) kV 线路满足 $N-1$ 比例 C14/%	0.124
35 kV 电网主变满足 $N-1$ 比例 C15/%	0.121
35 kV 电网线路满足 $N-1$ 比例 C16/%	0.123
110(66) kV 单线或单变站比例 C17/%	0.013
35kV 电网单线或单变站比例 C18/%	0.020
110(66) kV 主变重过载率 C19/%	0.017
110(66) kV 线路重过载占比 C20/%	0.041
35 kV 主变重过载率 C21/%	0.068
35 kV 线路重过载占比 C22/%	0.113
10 kV 线路重过载占比 C23/%	0.056
10 kV 电网线路满足 $N-1$ 比例 C24/%	0.094
10 kV 电网联络线路比例 C25/%	0.102

表5 可靠性 B3 各指标权重

Tab. 5 Reliability B3 weight of each index

指标名称	指标权重
110(66) kV 主变运行超过 20 年比例 C26/%	0.120
35 kV 主变运行超过 20 年比例 C27/%	0.137
110 kV 运行超 20 年架空线路条数比例 C28/%	0.082
35 kV 运行超 20 年线路架空条数比例 C29/%	0.093
10 kV 配变运行超 20 年比例 C30/%	0.045
35 kV 线路电缆化率 C31/%	0.132
10 kV 电网线路电缆化率 C32/%	0.101
10 kV 电网架空线路绝缘化率 C33/%	0.009
380 V 电网电缆化率 C34/%	0.006
10 kV 运行线路超 20 年比例 C35/%	0.078
供电可靠率 C36/%	0.131
110(66) kV 线路电缆化率 C37/%	0.067

表6 优质性 B4 各指标权重

Tab. 6 Quality B4 weight of each index

指标名称	指标权重
110(66) kV 容载比 C38	0.283
35 kV 电网容载比 C39	0.353
户均配变容量 C40/kVA	0.124
综合电压合格率 C41/%	0.219
低电压用户数占比 C42/%	0.019
10 kV 电网高损配变占比 C43/%	0.003

表7 适应性 B5 各指标权重

Tab. 7 Index weight of adaptive B5

指标名称	指标权重
110 kV 出线间隔利用率 C44	0.5
35 kV 出线间隔利用率 C45	0.5

再次利用主成分分析法,对经济性等 5 个方面的得分数据进行主成分分析,得到这 5 个方面在配电网综合得分中所占的权重,如表 8 所示。

表8 5 个方面所占的权重

Tab. 8 5 aspects of the weight

指标名称	指标权重
安全性 B1	0.312
经济性 B2	0.176
可靠性 B3	0.291
适应性 B4	0.166
优质性 B5	0.055

### 3.2 综合效益评价

根据江西配电网建设的实际情况,将其评价等级设定为优秀、良好、一般这三类,即  $V = \{\text{优秀、良好、一般}\}$ 。依据实际情况计算得到每个指标的评价等级界限,因此将评价等级标准统一设定为  $V = \{85、80、75\}$ ,将江西配电网的实际数据经过式(1)、式(2)、式(3)转换后带入隶属度函数式式(6)、式(7)、式(8)中计算隶属度关系矩阵  $R_{B1} \sim R_{B5}$  的元素,依据式(9)进行综合评价<sup>[16-19]</sup>。

#### 1) 经济性综合评价

$$W_{B1} = (0.028, 0.028, 0.124, 0.002, 0.073, 0.089, 0.136, 0.176, 0.129, 0.112, 0.083, 0.019)$$

$$W_{B1} = (0.028, 0.028, 0.124, 0.002, 0.073, 0.089, 0.136, 0.176, 0.129, 0.112, 0.083, 0.019)$$

$$R_{B1} = \begin{pmatrix} 0.625 & 0.225 & 0.150 \\ 0.325 & 0.45 & 0.225 \\ 0.5 & 0.225 & 0.275 \\ 0.575 & 0.2 & 0.225 \\ 0.65 & 0.175 & 0.175 \\ 0.525 & 0.3 & 0.175 \\ 0.6 & 0.225 & 0.175 \\ 0.5 & 0.275 & 0.225 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0.36 & 0.36 & 0.28 \\ 0.72 & 0.28 & 0 \\ 0.48 & 0.24 & 0.28 \end{pmatrix}$$

$$B_{B1} = (0.566, 0.260, 0.174)$$

由此可知,该配电网的经济性指标对于评价等级“优秀”、“良好”和“一般”的隶属程度分别是 0.566, 0.260 和 0.174。依据最大隶属度原则可

知,该配电网的经济性等级为优秀。

#### 2) 安全性综合评价

同理可知由此可知,该配电网的安全性指标对于评价等级“优秀”、“良好”和“一般”的隶属程度分别是0.567,0.38和0.053。依据最大隶属度原则可知,该配电网的安全性等级为优秀。

#### 3) 可靠性综合评价

同理可知,该配电网的可靠性指标对于评价等级“优秀”的隶属程度是0.616,对于评价等级“良好”的隶属程度是0.281,对于评价等级“一般”的隶属程度是0.103。改为:由此可知,该配电网的可靠性指标对于评价等级“优秀”、“良好”和“一般”的隶属程度分别是0.616,0.281和0.103。依据最大隶属度原则可知,该配电网的可靠性等级为优秀。

#### 4) 优质性综合评价

同理可知,该配电网的优质性指标对于评价等级“优秀”、“良好”和“一般”的隶属程度分别是0.544,0.293和0.163。依据最大隶属度原则可知,该配电网的优质性等级为优秀。

#### 5) 适应性综合评价

同理可知,该配电网的可靠性指标对于评价等级“优秀”、“良好”和“一般”的隶属程度分别是0.59,0.239和0.171。依据最大隶属度原则可知,该配电网的适应性等级为优秀。

#### 6) 整体综合评价

将江西配电网的实际数据经过式(4)转换后带入隶属度函数式(6)、(7)、(8)中计算隶属度关系矩阵 $R_A$ 的元素,依据式(9)进行整体综合评价。

$$W_A = (0.312, 0.176, 0.291, 0.166, 0.055)$$

$$R_A = \begin{pmatrix} 0.529 & 0.306 & 0.165 \\ 0.634 & 0.218 & 0.148 \\ 0.652 & 0.309 & 0.039 \\ 0.598 & 0.312 & 0.09 \\ 0.496 & 0.407 & 0.097 \end{pmatrix}$$

$$B_A = (0.593, 0.298, 0.109)$$

由此可知,该配电网的整体状况对于评价等级“优秀”、“良好”和“一般”的隶属程度分别是0.593,0.298和0.109。依据最大隶属度原则可知,该配电网整体状况评价等级为优秀。

以上分析表明,江西电网在5大类指标方面对于评价等级“优秀”的隶属程度排序为:可靠性、适

应性、安全性、经济性、优质性,最终所得的评价结果也与江西电网的实际情况是吻合。等级“优秀”的隶属度排序越高,说明该配电网的此种性质越好。通过最终的评价结果可以发现,可靠性隶属度最高,说明江西配电网向用户持续供电的能力较强。而优质性隶属度最低,说明江西配电网需要在电能质量方面加大建设力度。其他三个性质排序为:适应性、经济性、安全性质,说明江西配电网的适应性较强,即电网随负荷发展而提供相应的裕度、扩建能力较强,而安全性较弱一些,即以安全为目标,配电网避免发生大规模停电以及事故发生后电网自愈的能力,因此,江西配电网今后也需要在安全性上面较强建设,使得整个网架结构更加坚强。对于经济性来说,总体适中,今后在保持的基础上也要继续加强,使得江西配电网更加经济可靠。

## 4 结论

本文提出了一种综合利用主成分分析法和模糊综合评价法的配电网评估方法,可以依据所建立的配电网评价体系从安全性、经济性、可靠性、适应性和优质性5个方面对配电网的进行全面准确的评估。权重计算引入层次分析法,通过充分提取客观数据得到权重值,从而规避了主观因素干扰,充分体现了指标数据之间隐含的内在联系。在评价方面引入了模糊综合评价法,为其中的定量类指标提出了一种统一的评价等级标准,从而在保持评估结果准确的情况下使模糊综合评价法可以用于处理大量定量类指标数据。最终的算例分析表明了本文所提出的评估方法对于配电网评估是科学有效的。对于指标体系作相应的适当调整,这种评估方法可以适用于各类配电网的评估。

#### 参考文献:

- [1] 孙岩. 配电网综合评价方法及应用 [D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
- [2] 李玉婷. 配电网规划成效评价指标体系的研究及应用 [D]. 南昌: 南昌大学, 2015.
- [3] 刘小龙. 配电网规划运行评价系统的构建与应用研究 [D]. 保定: 华北电力大学, 2016.
- [4] 冯新龙, 孙岩, 林声宏, 等. 配电网综合评价指标体系及评估方法 [J]. 广东电力, 2013, 26(11): 20-25+53.  
FENG X L, SUN Y, LIN S H, et al. Comprehensive evaluation index system of distribution network and evaluation method

- [J]. Guangdong Electric Power, 2013, 26(11): 20-25+53.
- [5] 肖峻, 崔艳妍, 王建民, 等. 配电网规划的综合评价指标体系与方法[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(15): 36-40.  
XIAO J, CUI Y Y, WANG J M, et al. Comprehensive evaluation index system and method of distribution network planning [J]. Automation of Electric Power System, 2008, 32(15): 36-40.
- [6] 林捷, 王云柳, 黄辉, 等. 自动电压控制下的地区电网电压无功运行状态评估指标体系[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(13): 123-129.  
LIN J, WANG Y L, HUANG H, et al. An index system for voltage and reactive power operation status evaluation in regional power grid under automatic voltage control [J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(13): 123-129.
- [7] 黄飞, 宋璇坤, 周晖, 等. 基于效果与基础互动的电网智能化水平综合评价指标体系研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(11): 142-148.  
HUANG F, SONG X K, ZHOU H, et al. Research on comprehensive evaluation index system of grid's intelligence level based on interaction between effect and basis [J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(11): 142-148.
- [8] 田梁玉, 唐忠, 焦婷, 等. 基于多目标评判法的微电网经济性指标研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(19): 122-127.  
TIAN L Y, TANG Z, JIAO T, et al. Economic indicators research of microgrid based on multi-objective evaluation method [J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(19): 122-127.
- [9] 聂宏展, 聂耸, 乔怡, 等. 基于主成分分析法的输电网规划方案综合决策[J]. 电网技术, 2010, 34(6): 134-138.  
NIE H Z, NIE S, QIAO Y, et al. Comprehensive decision-making of alternative transmission network planning based on principal component analysis [J]. Power System Technology, 2010, 34(6): 134-138.
- [10] 吴耀文, 马溪原, 孙元章, 等. 微网高渗透率接入后的综合经济效益评估与分析[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(13): 49-54.  
WU Y W, MA X Y, SUN Y Z, et al. Overall economic evaluation and analysis of accession of microgrids with high penetration [J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(13): 49-54.
- [11] 黄飞, 宋璇坤, 周晖, 等. 基于效果与基础互动的电网智能化水平综合评价指标体系研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(11): 142-148.  
HUANG F, SONG X K, ZHOU H, et al. Research on comprehensive evaluation index system of grid's intelligence level based on interaction between effect and basis [J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(11): 142-148.
- [12] 张海瑞, 韩冬, 刘玉娇, 等. 基于反熵权法的智能电网评价[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(11): 24-29.  
ZHANG H R, HAN D, LIU Y J, et al. Smart grid evaluation based on anti-entropy weight method [J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(11): 24-29.
- [13] 崔凯, 史梓男, 赵娟. 配电网评价指标体系研究[J]. 电力建设, 2013, 34(2): 18-21.  
CUI K, SHI Z N, ZHAO J. Research on evaluation system of power distribution network [J]. Electric Power Construction, 2013, 34(2): 18-21.
- [14] LUO F Z, WANG C S, XIAO J, et al. Rapid evaluation method for power supply capability of urban distribution system based on  $n-1$  contingency analysis of main-transformers [J]. International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2010, 32(10): 1063-1068.
- [15] 郭晨崧, 徐笑, 唐晟. 基于AHP和熵权法的中压配电网项目投资效益综合评价方法[J]. 南方能源建设, 2016, 3(增刊1): 9-13.  
GUO C Y, XU X, TANG S. Comprehensive evaluation for medium-voltage distribution system construction based on AHP and entropy weight method [J]. Southern energy construction, 2016, 3(Supp. 1): 9-13.
- [16] 赵杰辉, 葛少云, 刘自发. 基于主成分分析的径向基函数神经网络在电力系统负荷预测中的应用[J]. 电网技术, 2004, 28(5): 35-37+40.  
ZHAO J H, GE S Y, LIU Z F. Application of radical basic function network based on principal component analysis in load forecasting [J]. Power System Technology, 2004, 28(5): 35-37+40.
- [17] 张欣. 分布式光伏发电项目综合效益评价研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2014.
- [18] 全吉, 黄剑眉, 张水波, 等. 基于风险链和模糊影响图的风险定性评估方法—以某海外EPC电力工程为例[J]. 南方能源建设, 2016, 3(1): 63-69.  
QUAN J, HUANG J M, ZHANG S B, et al. Method of risk qualitative assessment based on risk chain and fuzzy influence diagrams [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(1): 63-69.
- [19] 闫永梅, 任畅翔, 毛天, 等. 基于项目群的电网科技项目评价方法研究[J]. 南方能源建设, 2016, 3(2): 42-46.

---

#### 作者简介:



XIAO Y T

肖颖涛(通信作者)

1976-, 男, 安徽利辛人, 高级工程师, 硕士, 研究方向: 输电线路电气设计 (e-mail)xyt9306xyt@126.com。