

基于改进主成分分析的低压配电网供电所综合评价方法

朱 蕾, 蒋 浩

(东南大学电气工程学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 低压配电网供电所特性评估是供电企业发展和低压配电网投资的决策基础与依据。文中提出一种基于改进主成分分析的低压配电网供电所综合评价方法, 结合传统主成分分析法和层次分析法的优点, 建立了综合评价指标体系, 并以A市132个供电所为具体研究对象, 计算供电所经济效益性、供电可靠性、协调适应性3个方面的量化评价分数指标。再利用系统聚类方法对得分进行聚类, 探究供电所在不同特性上的发展现状, 并结合2015—2016年2年的数据进行纵向对比, 经计算分析可见, 基于改进主成分分析的综合评价方法对低压配电网供电所的评价是切实有效的, 对后续发展起指导作用。

关键词: 改进主成分分析; 层次分析法; 综合评价方法; 系统聚类

中图分类号: TM71

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2018)04-0038-07

0 引言

随着社会经济的发展, 配电系统的建设、运行和管理已进入“精细化”阶段, 配电系统是城市现代化建设的重要基础设施, 建设和改造投资巨大。目前配网系统运行中暴露的问题越来越多, 尤其是面对后续大量建设资金的持续投入, 配电系统的运行和管理者不再满足于对一些基本数据的掌握, 而是需要挖掘更深层次的配电系统相关信息, 从经济性、安全性、供电可靠性、系统协调性、发展适应性等多方面掌握量化指标, 以实现不同地区配电系统间的横向量化比较, 系统改造建设前后的纵向量化分析, 进而提高系统建设和运行的经济性以及供电可靠性。实现配电系统科学、全面的量化分析和评价是提升配电系统建设、运行和管理水平的一项基础性工作^[1-3]。

目前已有诸多学者对电网的综合评价方法进行研究, 主要有两大类: 主观评价方法和客观评价方法。其中, 主观评价方法有层次分析法、德尔菲法等, 客观评价方法有主成分分析法、因子分析法、聚类分析法等^[4-6]。文献[7]利用数据包络分析方法, 分析电网投资项目费用、效益的构成及其对评价结果的影响; 文献[8]采用层次分析法建立配电网建设项目投资决策评价指标体系并确定最优投资方案; 文献[9]根据农网自身特点, 结合专家经验, 对河南省县市的农村电网投资效益进行综合评估; 文献[10]运用模糊数学综合评价法进行电网投资效益后评价; 文献[11]利用主成分分析进行微观剖析和系统聚类分析, 建立了一套县域电网评价体

系; 文献[12]建立了智能电网运行效果评价指标体系, 综合运用相关分析法、变异系数法和层次分析法对运行效果指标赋权, 运用灰色系统预测对运行效果发展潜力进行分析, 选用灰色聚类方法对运行效果进行综合评价; 文献[13]以主成分聚类分析法为理论基础, 对智能电网评估指标体系中的多元评价指标进行标准化、降维和去相关性处理, 利用主成分因子载荷矩阵进行聚类分析, 运用综合主成分评价函数定量考察特定区域智能电网建设发展水平; 文献[14]采用主成分分析对电网运行的薄弱环节进行识别; 文献[15—16]基于主成分分析综合评价智能电网建设, 并结合综合主成分评价函数给出评价结果。

虽然上述研究在不同程度上减少了专家法的主观性, 但是单一使用某种方法仍然缺乏完备性与客观性。本文在现有层次分析法和主成分分析法的基础上, 提出一种改进主成分分析法, 结合相关指标建立评价体系, 对各个供电所的发展现状进行打分, 进而对各供电所现状进行评估。

1 传统分析方法

1.1 主成分分析法原理

主成分分析法 (principal components analysis, PCA) 是一种客观的多指标评价方法, 评价过程中给出了指标包含信息量的权数, 它的评价分值主要依赖各指标间的相关性确定, 从而客观地反映被评价对象的现实关系。

主成分分析法具体步骤如下:

(1) 原始数据标准化。假设原始数据指标个数为 n , 根据其自身性质可以分为正向型指标、逆向型

指标和中间型指标 3 种类型,为了排除量纲差异的影响,采用 Z-Score 法对样本的原始数据进行标准化处理。

(2) 计算相关矩阵。根据标准化处理后的数据矩阵,计算相关系数矩阵 R :

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, $r_{ij}(i, j = 1, 2, \dots, n)$ 计算公式为:

$$r_{ij} = r_{ji} = \frac{\sum_{k=1}^n (X_{ki} \cdot X_{kj})}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (X_{ki})^2 \sum_{k=1}^n (X_{kj})^2}} \quad (2)$$

(3) 计算特征值及各主成分。设前面得到的协方差矩阵为 R , λ 为矩阵的特征值向量,由特征方程 $|R - \lambda I| = 0$ 即可求得 n 个非负特征根 $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_n > 0$,进而可得到 n 个单位化特征向量,则 n 个特征向量对应原变量的 n 个主成分,它们构成一个正交矩阵,记为 α :

$$\alpha = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \cdots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \cdots & \alpha_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \cdots & \alpha_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

(4) 计算方差贡献率,选择主成分。为方便计算,只需选取若干重要的主成分。方差是主成分选取的依据,因此根据各主成分方差所占比例定义主成分的方差贡献率。若 λ_i 为相关矩阵的第 i 个特征值,则 $\lambda_i / \sum_{j=1}^n \lambda_j$ 表示第 i 个主成分 Z_i 的贡献率。贡献率同样表示主成分对原始样本的信息反映程度,贡献率越大,则反映的样本信息越多。定义主成分的累计贡献率为前 r 个主成分贡献率之和,即:

$$Q_r = \sum_{i=1}^r \lambda_i / \sum_{j=1}^n \lambda_j \quad (4)$$

累积贡献率表明了前 r 个主成分所代表的样本信息总和。 Q_r 超过一定阈值(通常取 80%,也可根据主成分特征根大于 1 判定)时,表明前 r 个主成分所代表的样本信息量已满足需求,只需选取这 r 个主成分即可。

(5) 计算综合得分。主成分选取之后,可对各原始样本进行综合评价。将求得的 r 个主成分加权求和,权值取各主成分的方差贡献率,那么第 i 个样本的最终得分为:

$$V_i = \sum_{k=1}^n b_k Z_{ki} \quad (5)$$

式中: b_k 为第 k 个主成分的方差贡献率; Z_{ki} 为第 i 个主成分的因子分值。

1.2 层次分析法原理

层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)将复杂问题分解为若干彼此相关的较为简单的层次结构,根据知识经验人为对每层各个元素间的相对重要性做出判断,使评判分析层次化、数量化。

层次分析法具体实施步骤如下:

(1) 建立层次模型。将数据指标根据性质,特点划分为不同层次。

(2) 建立判断矩阵。对从属于上一层次的所有因素通过成对比较及 1—9 比较尺度构造矩阵。

(3) 权向量计算。对判断矩阵进行特征根求解,确定其最大特征根并得到其对应特征向量,将此特征向量归一化后即可得到对应的权重。

(4) 一致性校验。对步骤(2)中判断矩阵的逻辑性进行校验。通过校验,则权向量即为归一化处理后的特征向量;未通过校验,则需要对判断矩阵进行重新构造。

(5) 组合权向量计算及一致性校验。求解最底层相对于最高层的组合权向量,重复步骤(4)进行校验。

2 改进主成分分析法

2.1 传统评价方法的优缺点分析

主成分分析法充分依赖样本的客观信息,忽视了重要性权对评价指标的主观价值判断,容易影响评价的正确性和公正性。

层次分析法将评价对象层次条理化,在构造判断矩阵时过于依靠专家经验,忽略了客观数据所反映的指标间相互关系。

结合使用上述两种评价方法,充分发挥两者的优势,可以实现主客观方法的统一互补,满足低压配电网供电所综合评价的实际需求。

2.2 改进主成分分析法评价模型

文中提出一种改进主成分分析评价方法,具体步骤如下:

(1) 确定评价指标并计算权重系数。根据层次分析模型建立指标评价体系,计算指标权重并进行一致性校验。

(2) 指标方向的调整。根据指标的性质,采用 Z-score 法对原始数据进行标准化。

(3) 指标的加权处理。将标准化数据乘以层次

分析法求得各指标相应权重:

$$x_{ij}^* = \omega_i x_i \quad (6)$$

式中: x_{ij}^* 为加权后用于主成分分析的数据; ω_i 为层次分析法求得各指标权重; x_i 为原始数据。

(4) 对加权数据 x_{ij}^* 进行主成分分析。计算相关矩阵 R , 计算特征值及各主成分, 计算方差贡献率, 选择所需主成分, 并计算各供电所最终得分。

3 算例分析

3.1 算例基本描述

采集某市 132 个供电所近 2 年相关指标数据, 包括供电量、售电量、线损率、联络率、户均容量、抢修工单、10 kV 线路停电次数、10 kV 线路停电时间、台区停电次数, 并对数据进行标准化。

3.2 计算步骤

采用层次分析法进行权重计算时, 首先定义一级指标, 分别为经济性效益性、协调适应性、供电可靠性 3 个指标, 再将 9 个原始指标按照一级指标细分为二级指标, 具体如表 1 所示。

表 1 层次分析法指标级别

Tab.1 The analytic hierarchy process index level

一级指标	二级指标
经济效益性 A_1	供电量 B_1
	售电量 B_2
	线损率 B_3
协调适应性 A_2	联络率 B_4
	户均容量 B_5
供电可靠性 A_3	抢修工单 B_6
	10 kV 线路停电次数 B_7
	10 kV 线路停电时间 B_8
	台区停电次数 B_9

按照 1—9 标度法构造出判断矩阵为:

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 0.5 \\ 0.5 & 1 & 0.5 \\ 2 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

通过求解上述判断矩阵 G , 可得最大特征值 $\lambda_{\max} = 3.053 6$, 经检验该判断矩阵符合一致性要求, 判断矩阵最大特征值所对应的特征向量标准化后即为相应指标的权重值。此时 A_1, A_2, A_3 的权重值分别为 0.310 8, 0.195 8, 0.493 4。

同理, 可求出 $B_1—B_9$ 的权重, 分别为: 0.089 4, 0.081 2, 0.164 8, 0.106 9, 0.071 7, 0.156 8, 0.118 5, 0.118 5, 0.092 2。

结合公式 (6), 将层次分析法求出的指标权重与原始数据的标准化值相乘, 得出新的数据。此处

受篇幅所限, 以 8 个供电所为例, 原始数据和改进后的数据分别见表 2, 表 3。

表 2 部分供电所原始指标数据

Tab.2 Part of the power substation original index data

指标	供电所 1	供电所 2	供电所 3	供电所 4
供电量 $\times 10^4 / (\text{kW} \cdot \text{h})$	2103	3235	3004	3526
售电量 $\times 10^4 / (\text{kW} \cdot \text{h})$	2020	3086	2869	3357
线损率 / %	3.94	4.60	4.49	4.79
联络率 / %	60.86	75.23	93.31	88.90
户均容量 $/(\text{kV} \cdot \text{A})$	5.51	4.64	5.38	6.52
抢修工单 / 条	50	109	134	314
10 kV 线路停电次数	20	22	17	23
10 kV 线路停电时间 / h	101.51	124.76	120.17	98.90
台区停电次数	94	82	74	51
指标	供电所 5	供电所 6	供电所 7	供电所 8
供电量 $\times 10^4 / (\text{kW} \cdot \text{h})$	2816	2173	2608	2946
售电量 $\times 10^4 / (\text{kW} \cdot \text{h})$	2667	2166	2436	2807
线损率 / %	5.29	0.32	6.59	4.71
联络率 / %	66.67	100	100	86
户均容量 $/(\text{kV} \cdot \text{A})$	5.3	6.05	5.17	5.6
抢修工单 / 条	102	150	296	150
10 kV 线路停电次数	19	18	17	26
10 kV 线路停电时间 / h	104.23	35.65	91.69	92.5
台区停电次数	107	53	63	50

表 3 基于层次分析法改进后的数据

Tab.3 Improved data based on AHP

指标	供电所 1	供电所 2	供电所 3	供电所 4
供电量	-0.126 8	0.078 7	0.036 8	0.131 6
售电量	-0.117 6	0.073 5	0.034 6	0.122 1
线损率	0.036 5	-0.023 8	-0.013 6	-0.040 9
联络率	0.129 5	0.061 9	0.033 3	-0.172 7
户均容量	0.005 6	-0.039 3	0.072 9	-0.061 7
抢修工单	-0.031 1	-0.164 6	-0.138 0	-0.015 8
10 kV 线路停电次数	-0.124 5	-0.056 8	-0.010 2	0.113 4
10 kV 线路停电时间	-0.187 1	-0.068 9	0.075 4	0.040 7
台区停电次数	-0.032 4	-0.112 8	0.128 4	0.146 3
指标	供电所 5	供电所 6	供电所 7	供电所 8
供电量	0.002 6	-0.114 1	-0.035 1	0.026 2
售电量	-0.002 0	-0.09 1	-0.043 1	0.023 5
线损率	-0.086 6	0.368 0	-0.205 7	-0.034 1
联络率	0.067 0	0.015 0	-0.152 1	0.015 0
户均容量	0.028 0	0.050 5	0.072 9	-0.129 5
抢修工单	-0.046 3	0.348 5	0.026 2	0.021 0
10 kV 线路停电次数	-0.196 6	0.103 5	0.049 4	0.121 7
10 kV 线路停电时间	-0.134 3	0.128 2	0.128 2	0.017 8
台区停电次数	-0.050 2	0.012 3	-0.068 1	-0.023 5

以表 3 为例, 针对该市 132 座供电所原始数据, 重复步骤 (2), 将得到的结果作为主成分分析法的

初始值,结合 1.1 节所述原理,求得初始特征值的方差以及方差累积贡献率,如表 4 所示。

表 4 主成分的特征分布值

特征值号	初始特征值			提取平方和载入		
	方差	方差贡献率/%	累积贡献率/%	方差	方差贡献率/%	累积贡献率/%
1	3.492	37.932	37.932	3.492	37.932	37.932
2	1.798	21.247	59.179	1.798	21.247	59.179
3	1.072	11.645	70.823	1.072	11.645	70.823
4	0.738	8.017	78.840			
5	0.673	7.310	86.150			
6	0.534	5.801	91.951			
7	0.408	4.432	96.483			
8	0.332	3.606	99.989			
9	0.001	0.011	100.000			

由表 4 可知,前 3 个主成分的特征根大于 1,且累积贡献率已超过 70%,故提取前 3 个主成分来表征原先的 9 个指标,实现了指标变量的降维,132 个供电所的主成分因子载荷矩阵如表 5 所示。

表 5 132 个供电所主成分上的因子载荷矩阵

评价指标	第一主成分因子载荷	第二主成分因子载荷	第三主成分因子载荷
供电量	0.942	0.062	-0.218
售电量	0.946	0.054	-0.183
线损率	0.740	-0.147	0.488
联络率	0.317	0.121	0.620
户均容量	0.149	0.539	0.652
抢修工单	-0.345	-0.760	0.202
10 kV 线路停电次数	-0.219	0.719	-0.111
10 kV 线路停电时间	0.134	-0.672	-0.146
台区停电次数	-0.324	0.714	-0.227

根据 $|cov(F_i, z_j)| > 0.5$ 的判别规则,第一主成分的因子载荷可将供电量、售电量、线损率 3 个指标归为一类,第二主成分的因子载荷可将抢修工单、10 kV 线路停电次数、10 kV 线路停电时间和台区停电次数 4 个指标归为一类,第三主成分的因子载荷可将联络率、户均容量 2 个指标归为一类。第一主成分的 3 个指标反映配电网的经济效益情况,第二主成分的 4 个指标反映配电网的供电可靠性现状,第三主成分的 2 个指标反映配电网的协调适应性水平。

结合表 4,表 5,根据得分系数矩阵计算各供电

所 2015 年在经济效益、供电可靠性、协调适应性 3 方面的得分和综合主成分评价值,结果如表 6 所示,受篇幅限制,只列部分供电所的评价结果。

表 6 部分供电所的主成分评价函数值

供电所编号	第一主成分评价值	第二主成分评价值	第三主成分评价值	综合主成分评分值
1	0.83	0.85	1.09	45.30
4	1.36	1.61	2.57	83.10
9	0.17	1.89	0.42	11.80
31	0.64	-0.11	2.01	35.30
38	0.77	0.24	-0.36	-13.60
51	0.42	-0.28	0.17	1.26
55	1.18	0.15	0.98	37.90
81	-0.32	-1.33	-0.20	-28.50
92	-0.45	1.52	0.18	-19.83
109	-1.25	0.10	-1.03	-45.70

3.3 现状评价与分析

从表 6 可以看出各供电所在 3 个主成分上的评分值以及综合得分,4 号供电所总现状最优,1 号、31 号、55 号供电所目前发展现状处于中间水平,81 号、109 号发展较为落后。其中,针对第一主成分评价值而言,4 号、55 号 2 个供电所得分较高,经济效益性较好,1 号、31 号、51 号、38 号经济效益性次之,9 号、81 号、92 号、109 号经济效益性相对较差。针对第二主成分评价值而言,4 号、9 号 2 个供电所供电得分较高,可靠性最优,1 号次之,81 号供电所的供电可靠性有待提高。针对第三主成分评价值而言,4 号、31 号 2 个供电所得分最高,协调适应性最优,其中 109 号供电所需加强协调适应性建设。

根据 2015 年 132 个供电所各主成分的得分,结合系统聚类分析,得到 2015 年各供电所经济效益性、供电可靠性、协调适应性区域等级分布图,具体见图 1—3。

同理,根据 2016 年 132 个供电所各主成分的得分,结合系统聚类分析,得到 2016 年各供电所经济效益性、供电可靠性、协调适应性区域等级分布图,具体见图 4—6。

综合分析图 1—6 的相关信息,可以得出近 2 年各供电所在经济效益性、供电可靠性和协调适应性三方面不同等级的分类情况,见表 7。

从经济效益性来看,该市各供电所呈良好发展趋势。处于“A”等级的供电所数量缓慢增长,处于“B”等级的供电所数量增长较为明显,处于“C”、“D”等级供电所的数量下降,可以看出该市 2016 年

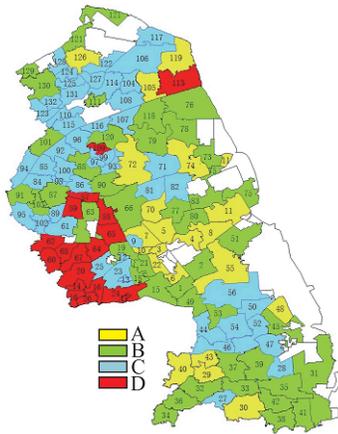


图 1 2015 年各供电所经济效益性区域等级分布
Fig.1 Distribution of economic benefits of substations in 2015

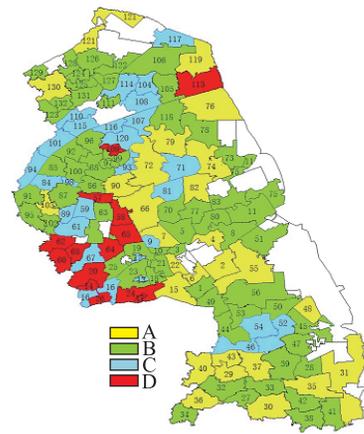


图 4 2016 年各供电所经济效益性区域等级分布
Fig.4 Distribution of economic benefits of substations in 2016

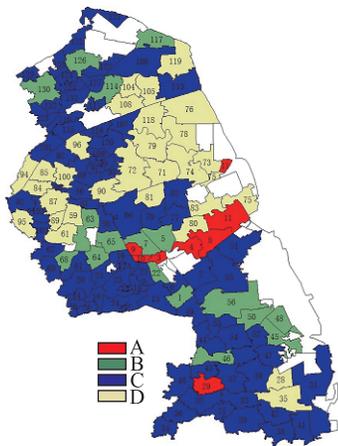


图 2 2015 年各供电所供电可靠性区域等级分布图
Fig.2 Distribution of power supply reliability of substations in 2015

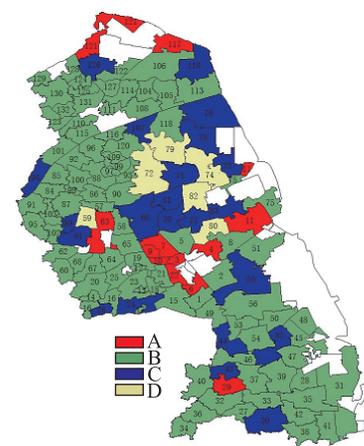


图 5 2016 年各供电所供电可靠性区域等级分布
Fig.5 Distribution of power supply reliability of substations in 2016

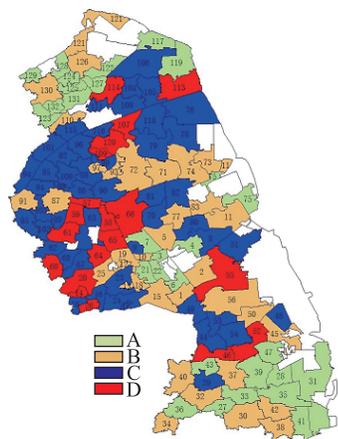


图 3 2015 年各供电所协调适应性区域等级分布
Fig.3 Distribution of coordination adaptability of substations in 2015

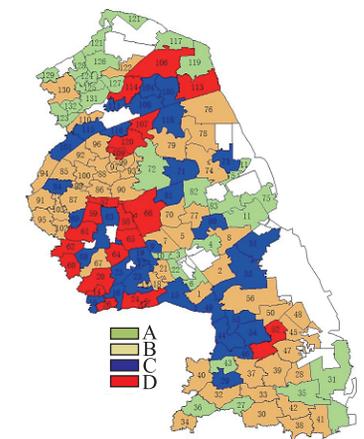


图 6 2016 年各供电所协调适应性区域等级分布
Fig.6 Distribution of coordination adaptability of substations in 2016

重点投资建设“C”、“D”等级供电所,并取得一定成果。

从供电可靠性来看,该市供电所的供电可靠性

呈上升趋势。等级为“A”、“B”的供电所数量增加,等级为“D”的供电所数量下降。从图表中可以看出,2015—2016年该市重点投资建设可靠性处于

表 7 2015—2016 年各主成分不同等级供电所个数对比
Tab.7 Comparison of the number of primary components of different grades of substations in 2015 and 2016

等级	年份	经济效益性	供电可靠性	协调适应性
A	2015	22	8	29
	2016	28	13	27
B	2015	43	17	35
	2016	62	91	52
C	2015	50	78	48
	2016	28	22	32
D	2015	17	29	20
	2016	14	6	21

“C”、“D”等级的供电所,并取得显著成效。

从协调适应性来看,各供电所协调适应性缓慢提高。处于“B”等级的供电所数量增长较为明显,“A”、“C”供电所的数量有所下降,可以看出该市重点投资建设处于“C”等级的供电所,改造后大部分供电所处于“B”等级,说明该市对于供电所经济效益性的投资效果较显著。

4 结语

文中基于主成分分析法和层次分析法理论,提出一种改进主成分分析法综合评价模型,并针对 A 市 132 座供电所现状进行研究,得出以下结论:

(1) 改进主成分分析法结合传统的主成分分析法和层次分析法的优点,既考虑指标间的相互关系,很好地反映评价对象的客观因素,又包含对于评价对象的主观认识,满足低压配电网供电所综合评价的实际需求。

(2) 将改进主成分分析法和聚类分析相结合,通过对 132 个供电所的 3 个主成分得分及综合得分进行计算,并根据每一部分的得分进行系统聚类,聚类结果可以反映各个供电所在经济效益性、供电可靠性以及协调适应性方面的发展水平。结合 2015—2016 年 2 年的数据进行对比,发现该市供电所各方面的发展状况都有了很大的改善和进步。

参考文献:

[1] 王成山, 罗凤章. 配电系统综合评价理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
WANG Chengshan, LUO Fengzhang. Comprehensive evaluation theory and method of distribution system[M]. Beijing: Science Press, 2012.

[2] 易强红. 配电网投资分配决策模型研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2015.
YI Qianghong. Research on allocation decision model of distribution network investment[D]. Chongqing: Chongqing University, 2015.

[3] 段 成. 电网投资效益后评价理论及决策支持系统的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2012.
DUAN Cheng. Research on evaluation theory and decision support system after the investment efficiency of power grid [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2012.

[4] 刘胜利, 曹 阳, 冯跃亮, 等. 配电网投资效益评价与决策模型研究及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(2): 119-125.
LIU Shengli, CAO Yang, FENG Yue liang, et al. Research and application of investment benefit evaluation and decision model of distribution network [J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(2): 119-125.

[5] 乔 怡. 输电网优化规划及其方案综合决策方法的研究[D]. 吉林: 东北电力大学, 2010.
QIAO Yi. Research on optimization planning of transmission network and integrated decision-making methods of programme [D]. Jilin: Northeast Electric Power University, 2010.

[6] 涂 笑. 电网投资评价系统的技术研究与实现[D]. 北京: 华北电力大学, 2012.
TU Xiao. Technical research and implementation of investment evaluation system of power grid [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2012.

[7] 黄 磊. 基于数据包络分析的配电网建设评估方法研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2007.
HUANG Lei. Research on the evaluation method of distribution network construction based on data envelopment analysis [D]. Chongqing: Chongqing University, 2007.

[8] 汤亚芳. 基于层次分析法的配电网建设项目投资决策评价方法[J]. 现代机械, 2014(6): 75-79.
TANG Yafang. Evaluation method of investment decision of power grid construction project based on analytic hierarchy process [J]. Modern Machinery, 2014(6): 75-79.

[9] 张 亮. 农村电网投资效益综合评估[D]. 郑州: 郑州大学, 2009.
ZHANG Liang. Comprehensive evaluation of investment benefit of rural power grid [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2009.

[10] 陈毓晖, 林 韩, 蔡金铤, 等. 基于模糊聚类分析的电网分区研究[J]. 电力与电工, 2012(3): 1-5, 29.
CHEN Yuhui, LIN Han, CAI Jinding, et al. Research on power grid zoning based on fuzzy cluster analysis [J]. Power and Electrician, 2012(3): 1-5, 29.

[11] 孙义豪, 李秋燕, 丁 岩, 等. 基于主成分分析及系统聚类的县域电网综合评价方法[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(8): 30-36.
SUN Yihao, LI Qiuyan, DING Yan, et al. Based on principal component analysis and system clustering of county power network comprehensive evaluation method [J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(8): 30-36.

[12] 黄 飞. 智能电网发展水平的综合评价研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2016.
HUANG Fei. Comprehensive evaluation of the development level of smart grid [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2016.

- ity, 2016.
- [13] 高新华, 严正. 基于主成分聚类分析的智能电网建设综合评价[J]. 电网技术, 2013, 37(8): 2238-2243.
GAO Xinhua, YAN Zheng. Comprehensive evaluation of smart grid construction based on cluster analysis of principal components[J]. Power System Technology, 2013, 37(8): 2238-2243.
- [14] 唐保国, 宋述停, 兰俊美, 等. 基于主成分分析的电网运行薄弱环节识别[J]. 陕西电力, 2014, 42(10): 59-62.
TANG Baoguo, SONG Shuting, LAN Junmei, et al. Identification of weak links in power grid based on principal component analysis[J]. Shaanxi Electric Power, 2014, 42(10): 59-62.
- [15] 周宝玉. 基于改进主成分分析的电网分区方案评价模型的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2015.
ZHOU Baoyu. Research on evaluation model of power grid partitioning scheme based on improved principal component analysis [D]. Beijing: North China Power University, 2015.
- [16] 胡勇. 聚类分析结果评价方法研究[D]. 包头: 内蒙古科技大学, 2014.
HU Yong. Evaluation method of cluster analysis results [D]. Baotou: Inner Mongolia University of Science and Technology, 2014.

作者简介:



朱 蕾

朱 蕾(1992—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为配电网投资有效性分析;

蒋 浩(1978—), 男, 副教授, 主要研究方向为电力系统自动化、电力企业运营分析等。

Comprehensive Evaluation Method Based on Improved Principal Component Analysis of Low Voltage Distribution Network Power Substations

ZHU Lei, JIANG Hao

(School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: The effective evaluation of the characteristics of power supply for low voltage distribution network is the basis and basis for the development of power supply enterprises and the decision making of low-voltage distribution network. In this paper, we put forward a kind of based on improved principal component analysis of low voltage distribution network power substation comprehensive evaluation method, combining with the advantages of traditional principal component analysis and analytic hierarchy process, established index evaluation system, and can reflect 132 power supply in economic efficiency, power supply reliability and the superiority of coordination on the adaptive nature of the three scores. Recycling system clustering method to score, to explore the different power supply in different characteristics on the development of the status quo, combined with the data from 2015, 2016 two years longitudinal comparison, through the example analysis and calculation, based on improved principal component analysis of the comprehensive evaluation method of low voltage distribution network evaluation and subsequent development of power substation is practical and effective.

Key words: modified principal component analysis; power substation; comprehensive evaluation method; hierarchical clustering

(编辑 胡昊明)