

配电网供电区域分类综合评价模型研究

孙为兵，顾明宏，吴志坚，陈 浩，陈正华

(扬州供电公司，江苏 扬州 225009)

摘 要：各类供电区域的规划建设标准不同，供电区域分类结果直接影响配电网规划、运检等全寿命周期效益，为此提出了全面、系统、量化的配电网供电区域分类综合评价模型。首先，从区域发展水平和用电发展水平两方面分析影响供电区域分类的关键因素，从中选取 8 个关键指标，建立评价指标体系；其次，采用德尔菲法设定评价判据，继而采用线性拟合方法得出指标评分函数；最后，综合采用优序法和层次分析法确定指标权重，从而形成具有普遍适应性和实用性的供电区域分类综合评价模型。算例结果验证了该综合评价模型能够准确定位供电区域类别，为后续采取差异化的规划、运检等策略和制定相适应的方案提供了依据。

关键词：配电网；供电区域；综合评价模型；德尔菲法；线性拟合；优序法；层次分析法

0 引言

配电网供电区域分类是配电网规划和运检的一项基础性工作，对供电区域进行科学合理分类，有助于因地制宜采取差异化的规划、运检策略和制定相适应的方案，兼顾可靠性和经济性的要求，提高配电网全寿命周期效益。

国外、国内电网公司都对配电网供电区域分类提出了要求，英国、法国等先进国家更侧重于从电网方面考虑区域分类，未考虑经济社会发展的因素；而国内国网、南网两大电网公司各自发布的配电网规划技术导则区域分类要求考虑功能定位、经济发达程度、用电水平、负荷特性、用户重要程度等因素相关，但仅给出了负荷密度的量化指标，其它方面指标普遍是原则性的要求。考虑到国家电网公司经营区域范围较广，存在一定的区域差异和经济差异，上述指标在具体执行时容易造成理解上的偏差。目前，国内外尚未有全面、系统、量化的配电网供电区域分类标准。为此，本文提出了适用于配电网供电区域分类的、涵盖的区域发展水平和用电发展水平两方面因素的综合评价模型。

1 供电区域评价指标体系

本研究主要评价对象是供电区域。供电区域是指依据变电站的位置、区域负荷密度和运行管理的需要，将配电网分成若干个相对独立的分区。

从国外、国内的供电区域的分类要求看，供电区域主要受制于区域发展水平和用电发展水平两方

面因素。将区域发展水平和用电发展水平作为评价指标体系一级指标。

在区域发展水平方面，主要包含行政级别、人口密度、GDP 水平等三类指标；在用电水平方面，主要包含负荷密度、用电增长率、用电特性等三类指标。同时，还要兼顾考虑发展，每类指标可根据需要再分为历史值（或当年值）、规划值（或预测值）。据此设计二级指标 13 个。

供电区域评价指标体系初步框架如图 1 所示。

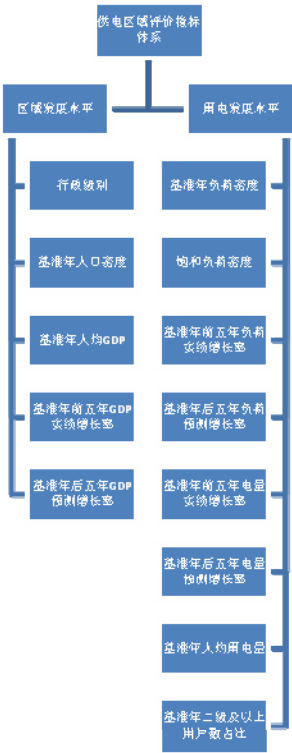


图 1 供电区域评价指标体系初步框架图

通过 40 名专家或资深配电网规划从业人员访谈和问卷调查,对图 1 所示的指标体系初步框架进行修正,删除重复或不确定指标 5 个,最终确定了由 2 个一级指标、8 个二级指标组成的供电区域评价指标体系(如图 2)。从数据挖掘角度考虑,这个体系基本包括了反应供电区域的不同侧面。

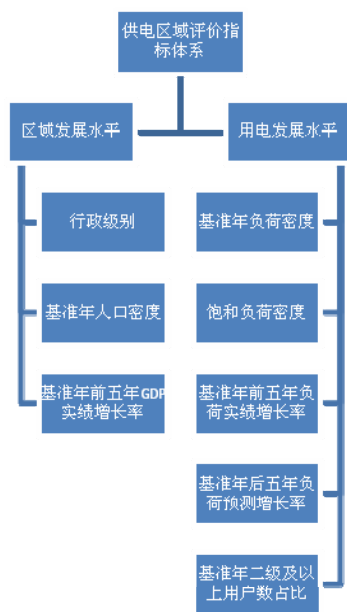


图 2 供电区域评价指标体系

2 指标评分函数

通过指标评分,可以直观比较不同供电区域的指标特征,有助于明确划分供电区域的类别。

根据指标值与分数之间不同对应关系,可将评价指标分为:

- 1) 正指标。随着指标值的增大其分数增高,该类指标定义为正指标。
- 2) 负指标。随着指标值的减小其分数增高,该类指标定义为负指标。
- 3) 区间指标。对于定性指标,根据指标所处区间赋予固定分数,该类指标定义为区间指标。

对照上述定义,供电区域评价指标体系的 8 个二级指标分为正指标 7 个和区间指标 1 个。本研究采用德尔菲法设定指标评价判据,见表 1、2。

表 1 区间指标评价判据

二级指标 (B1-行政级别)	数值
城市中心区域、国家级园区	100
城市一般区域、省级园区	90
县城区、市级园区	80
农村	70

表 2 正指标评价判据

二级指标	数值					
	0	60	70	80	90	100
B2-基准年人口密度/(万人/km ²)	0	0.01	0.05	0.1	0.5	1
B3-基准年前五年 GDP 实绩增长率/%	/	0	2	8	/	10
B4-基准年负荷密度/(MW/km ²)	0	0.1	1	6	15	30
B5-饱和负荷密度/(兆瓦/平方公里)	0	0.1	1	6	15	30
B6-基准年前五年负荷实绩增长率/%	/	0	8	10	/	20
B7-基准年后五年负荷实绩增长率/%	/	0	8	10	/	20
B8-基准年二级及以上用户数占比/%	0	/	/	/	0.05	0.1

离散的评价判据不能很好地反映指标得分的变化情况,不同指标评分的查值不够理想。本研究采用线性拟合方法对评价判据进行处理,得出指标评分函数。由于篇幅所限,在此以二级指标“基准年负荷密度”为例,见公式(1),其中, x 代表指标值(兆瓦/平方公里), y 代表分数。

$$y = \begin{cases} 100 & x \geq 30 \\ 0.667x + 79.995 & 15 \leq x < 30 \\ 1.111x + 73.334 & 6 \leq x < 15 \\ 2x + 68 & 1 \leq x < 6 \\ 11.111x + 58.889 & 0.1 \leq x < 1 \\ 0 & x < 0.1 \end{cases} \quad (1)$$

3 指标权重与综合评价模型

3.1 指标权重

指标权重的设定是综合评价模型的重要环节,关系到整个评价模型的准确性。本研究综合采用优序法和层次分析法确定指标权重。

采用《系统工程》评价方法——优序法进行指标权重首轮赋值。优序法是通过邀请多名专家对多个指标进行两两对比,分别给出指标对应分值。评分规则:若 A 指标针对评估目标比 B 指标优,则评分为 1;若 A 指标针对评估目标比 B 指标劣,则评分为 0;若 A 指标针对评估目标比 B 方案,优劣相当,则评分为 0.5。通过对多名专家指标优序值的汇总和分析,分别计算各个指标的总优序数,并按总优序数大小评定其优劣顺序。该评价方法既能处理定量问题,又能处理定性问题。通过对 40 名专家或资深配电网规划从业人员填写的配电网供电区域分类二级指标权重优序表进行汇总统计,得出二级指标权重优序汇总如表 3 所示。

表 3 二级指标权重优序汇总表

二级指标	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
B1	/	36	38	35.5	35.5	36	35.5	32.5
B2	4	/	36	4	20	18.5	18.5	4
B3	2	4	/	3.5	4	3.5	3	18
B4	4.5	36	36.5	/	34.5	36	33.5	34.5
B5	4.5	20	36	5.5	/	34	5.5	33.5
B6	4	21.5	36.5	4	6	/	35.5	18.5
B7	4.5	21.5	37	6.5	34.5	4.5	/	20
B8	7.5	36	22	5.5	6.5	21.5	20	/

根据公式 (2)，计算得出优序排序及权重赋值，如表 4 所示。

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n B_{ij}}{\frac{n \times (n-1)}{2} \times N_y} \quad (2)$$

式中： W_i 为第 i 个二级指标对应的权重值；

$\sum_{j=1}^n B_{ij}$ 为第 i 个二级指标相对于其他指标的优序值

之和， $i \neq j$ ； N_y 为优序样本总数； n 为二级指标总数。

表 4 二级指标优序排序及权重赋值表

二级指标	优序值	权重赋值
B1-行政级别	249	0.222
B4-基准年负荷密度/(MW/km ²)	215.5	0.193
B5-饱和负荷密度/(MW/km ²)	139	0.124
B7-基准年后五年负荷实绩增长率/%	128.5	0.115
B6-基准年前五年负荷实绩增长率/%	127	0.113
B8-基准年二级及以上用户数占比/%	118	0.105
B2-基准年人口密度/(万人/km ²)	105	0.094
B3-基准年前五年 GDP 实绩增长率/%	38	0.034

由表 4 可求得两个一级指标：A1-区域发展水平和 A2-用电发展水平对应的权重分别为 0.35 和 0.65。

为确保指标权重的合理性，采用层次分析法对二级指标权重进行第二轮赋值，并校验首轮赋值权重。以某一样本判断矩阵为例，二级指标判断矩阵如表 5 所示。

经层次分析法计算，并经过归一化处理，得到 (B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8) 的权重为 (0.284, 0.079, 0.030, 0.241, 0.096, 0.075, 0.116, 0.079)，与首轮赋值基本保持一致。

表 5 二级指标判断矩阵

二级指标	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
B1	1	3	7	1	4	5	3	4
B2	1/3	1	3	1/3	1	1	1	1/2
B3	1/7	1/3	1	1/7	1/3	1/3	1/4	1/2
B4	1	3	7	1	4	3	1	4
B5	1/4	1	3	1/4	1	2	1/2	2
B6	1/5	1	3	1/3	1/2	1	1	1
B7	1/3	1	4	1	2	1	1	1
B8	1/4	2	2	1/4	1/2	1	1	1

一致性指标：

$$C_1 = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{8.911 - 8}{8 - 1} = 0.130$$

经查表得知， $n=8$ 时一致性指标 $R_1=1.41$ ，

由此计算一致性比率：

$$C_R = \frac{C_1}{R_1} = \frac{0.130}{1.41} = 0.0923 < 0.1$$

因此表 5 判断矩阵具有满意一致性，其对应权重赋值也具有 consistency。

通过对所有 $C_R < 0.1$ 的样本判断矩阵对应的权重进行算术平均，求得第二轮二级指标权重 (B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8) 赋值为 (0.218, 0.092, 0.054, 0.211, 0.116, 0.103, 0.107, 0.099)。

将两轮次权重赋值取算术平均值，得到最终一级指标 (A1, A2) 的权重为 (0.357, 0.643)；二级指标 (B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8) 的权重值为 (0.220, 0.093, 0.044, 0.202, 0.120, 0.108, 0.111, 0.102)。

3.2 综合评价模型

根据上述指标评分函数和对应权重值，建立供电电网供电区域分类综合评价模型。

综合评价模型的数学表达式如下：

$$\begin{cases} S = \sum_{i=1}^n S_i W_i \\ \sum_{i=1}^n W_i = 1 \\ 0 \leq S_i \leq 100 \\ 0 \leq W_i \leq 1 \end{cases} \quad (3)$$

式中， S_i 、 W_i 分别是第 i 个指标的评分和权

重, S是对该区域的评估总分。

3.3 供电区域分类

通过综合评价模型, 对每个供电区域进行评分, 根据评分划分供电区域类别, 对应国网《配电网规划设计技术导则》划定的 A+、A、B、C、D、E 六类供电区域。供电区域评分与其分类对应关系如表 6 所示。

表 6 供电区域评分与其分类对应关系表

供电区域评分	供电区域类别
$S \geq 95$	A+
$95 > S \geq 90$	A
$90 > S \geq 85$	B
$85 > S \geq 75$	C
$75 > S \geq 40$	D
$40 > S \geq 0$	E

4 算例分析

本研究选取江苏省苏南、苏中和苏北三类区域的 5 个典型城市的中心城区、一般城区、县城区和农村区域共计 57 个供电区域。通过对 57 个供电区域基础资料收集、汇总和分析, 采用综合评价模型逐一进行评分, 并根据表 6 进行供电区域分类, 分类结果如表 7 所示。

表 7 供电区域分类结果表

供电区域	数量
A+	0
A	6
B	19
C	7
D	25
E	0

以扬州一流配电网试点建设区域为例, 采用综合评价模型进行评分, 城市试点区域(中心城区)得分为 92 分, 划分为 A 类供电区域; 农村试点区域(公道镇)得分为 67 分, 划分为 D 类供电区域。上述区域均按照各自区域分类采用差异化的建设标准, 建设完成高可靠性的一流配电网。

供电区域分类结果与典型城市配电网规划供电区域定位具有较好的吻合性, 一定程度上验证了本研究所构建的综合评价模型的有效性。

5 结论与展望

本研究在国网供电区域分类原则的基础上进行了细化和量化, 结合优序法和层次分析法对指标进

行权重赋值, 建立了涵盖区域发展水平和用电发展水平两方面因素的综合评价模型。该评价模型具备较好的操作性和准确性, 能够有效地对各类供电区域进行评分, 并根据分值所在区间对应国网 A+、A、B、C、D、E 六类供电区域进行供电区域分类, 为后续采取差异化的规划、运检等策略和制定相适应的方案提供了依据。

本研究仅是一项尝试性工作, 还有许多需要日后进一步完善的研究工作, 如: 考虑地域差异, 添加地域权重因子; 指标评分函数和权重的优化以及模型软件化等。通过后续研究工作的开展, 将进一步提升该评价模型的准确性和适用性。

参考文献:

- [1] 国家电网公司. Q/GDW1738-2012 配电网规划设计技术导则[S].北京: 国家电网公司, 2013.
- [2] 南方电网公司. Q/CSG10012-2005 中国南方电网城市配电网技术导则[S].广州: 南方电网公司, 2006.
- [3] 严广乐, 张宁, 刘媛华. 系统工程[M].北京: 机械工业出版社, 2008. 175-176.
- [4] 韩震焱, 黄志伟, 葛少云, 等. 城市配电网综合评价体系[J].电网技术, 2012, 36(8): 95-99.
- [5] 王道平, 王煦. 基于 AHP/熵值法的钢铁企业绿色供应商选择指标权重研究[J].软科学, 2010, 24(8): 117-122.

作者简介:

孙为兵(1980-), 男, 江苏扬州人, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为配电网规划、电力市场、智能变电站设计, E-mail: 88543578@QQ.com;

顾明宏(1963-), 男, 江苏扬州人, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为电网规划、配电网规划;

吴志坚(1979-), 男, 江苏扬州人, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为电网规划、配电网规划;

陈浩(1975-), 男, 江苏扬州人, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为电网规划、配电网规划;

陈正华(1978-), 男, 江苏扬州人, 本科, 工程师, 研究方向为配电网规划。