

昆明城市电网供电能力模糊评估

孙士云¹, 刘宗宾², 胡泽江¹, 孙涛¹, 刘振松¹, 张静芳¹, 朱文涛², 韩武²
(1. 昆明理工大学 电力工程学院, 云南 昆明 650051; 2. 昆明供电局, 云南 昆明 650011)

摘要: 基于传统的供电能力评估方法得出的定性的结论, 不能用量化的指标反映电网实际的供电能力水平, 所以本课题引入了模糊的处理方法, 这种方法不仅能得到各个影响因素的模糊量化结论, 而且能对整个城市电网的整体供电能力进行模糊评估, 具有很大的优越性. 本文基于模糊理论对昆明城市电网的供电能力进行了评估. 得到了供电能力的量化结论, 为电网的运行方式制定和生产技术改造提出了相应的建议.

关键词: 城市电网; 供电能力; 模糊理论

中图分类号: TM727.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2008)01-0065-04

Fuzzy Evaluation on Power Supply Capability of Kunming Power Grid

SUN Shi-yun¹, LIU Zong-bin², HU Ze-jiang², SUN Tao¹, LIU Zheng-song¹,
ZHANG Jing-fang¹, ZHU Wen-tao¹, HAN Wu²

(1. Faculty of Electric Power Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China;
2. Kunming Power Supply Bureau, Kunming 650011, China)

Abstract: Qualitative results from the traditional method of evaluating power supply capability are not enough to quantify the actual capability. Therefore fuzzy method, which is quite superior for its ability to get fuzzy quantified results of each influence factor and an appraisal of the power supply, is introduced in this paper. An evaluation of the power supply capability of Kunming city grid is then carried out to obtain quantified results. Finally, advices on layout and improvement of power grid are put forward.

Key words: city power grid; power supply capability; fuzzy theory

0 引言

对供电能力的分析是从反映供电能力状况的各个因素出发, 对每个因素用配网运行的约束条件进行检验. 满足约束条件的线路越多, 则说明供电能力越好, 但不能给出一个量的评价标准. 对于影响供电能力的各个因素, 不能给出严格的界限来评定其好与坏、优与劣等, 因此具有模糊性. 所以本文引入了模糊^[1-3]的处理方法, 这种方法不仅能得到各个影响因素的模糊量化结论, 而且能对整个城市电网的整体供电能力进行模糊评估, 具有很大的优越性. 通过选取合理的隶属函数, 对昆明城市电网的供电能力^[4-7]优劣程度进行了量的评价.

1 评估模型

城市高压电网供电能力优劣性评价首先应该确定影响电网供电能力的主要影响因素. 而对于各个因

收稿日期: 2007-09-12. 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(项目编号: 90610024, 50347026, 50467002); 云南省科技攻关项目(项目编号: 2003GG10); 云南省自然科学基金项目(项目编号: 2005F0005Z, 2002E0025M, 2004E0020M).

第一作者简介: 孙士云(1981~), 女, 助教, 主要研究方向: 交直流系统动态行为分析.

E-mail: sunshiyun81@yahoo.com.cn

素来说,不能给出严格的界限来评定其优与劣、好与坏,例如,就线路负载率而言,若两回线路负载率分别为78%和80%,不能就明确地认定负载率为79%的线路属于正常而负载率为80%的线路就是重载线路.同样,同一个变电站的所有5回出线中,有3回线路负载率为介于60%~75%之间,而剩余2回介于80%~90%之间,很难就此判定这个变电站的线路负载率处于正常范围之内.由于在实际工程中,模糊性确实广泛存在,所以在进行供电能力评估的工作中,不可避免地引入模糊的处理方法.首先可以通过模糊分析得到各因素的量化的、模糊化的结论.考虑到整体评估对电网改建的重要指导意义,本课题针对各因素在电网供电能力中的影响程度,从宏观角度上给出城市电网供电能力的整体水平量化结论.通常,在分析研究电网的实际状况下,同时结合专家的经验,选取线损率、电压合格率、变压器负载率、线路负载率、设备运行年限、N-1校验指标等作为评估因素.

1.1 评估因素的模糊处理

通过模糊分析得到各因素的量化的模糊结论的基本步骤如下:

- (1) 确定模糊事件因素 W 水平“良好”和因素 W 水平“不好”的隶属度函数,本文统一选取梯形或者半梯形曲线;
- (2) 把因素 W 分成一系列的小区间,根据该因素的实际计算或统计数据,计算出该因素位于各个小区间的频数和频率;
- (3) 分别计算各小区间的因素 W 水平“良好”与“不好”的平均隶属度值,对于该因素水平“一般”的隶属度计算方法为:如果某区间的因素 W 水平“良好”和“不好”的平均隶属度分别为 $\tilde{\mu}_C$ 和 $\tilde{\mu}_B$,那么该区间内因素 W 水平“一般”的隶属度 $\tilde{\mu}_M$ 应取为 $[1 - \tilde{\mu}_C]$ 和 $[1 - \tilde{\mu}_B]$ 的交运算值.
- (4) 根据模糊语言变量“良好”、“一般”和“不好”的隶属度值大小确定该因素对供电能力的影响程度.

1.2 整体模糊评估

本文针对各个因素在配电网供电能力中的影响程度,进行综合评估.模糊综合评估不同于经典的综合评判能够用一些简单的数值来表示,然后用总分法(求和)或加权平均的方法来得出一个总分而进行排序择优来完成.对影响城网供电能力各个评估因素的分析计算,得到了各个因素量化的模糊结论后,通过建立评判对象的因素集和评语集,利用专家评定或其他方法生成评判矩阵以及合理的模糊算子等步骤来完成,从宏观角度上给出城区配电网供电能力的整体水平量化的结论.评估流程如图1所示.

图1中,模糊综合评估算法如下:

- (1) 构造评估因素集 $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$;
- (2) 构造评语集 $d = \{\text{良好}(d_1), \text{一般}(d_2), \text{不好}(d_3)\}$;
- (3) 利用上述各个因素的模糊分析结果确定各因素的评判集 $D_i = (a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}) (i = 1, \dots, n)$; a_{i1} 表示第 i 个评估因素对应评语集元素 c_1 的隶属度值;
- (4) 构造矩阵:

$$\tilde{T} = (D_1, D_2, \dots, D_n)^T = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} \end{bmatrix}$$

称此矩阵为城市电网供电能力的模糊评判矩阵(fuzzy judge matrix);

- (5) 根据专家经验确定各评估因素的权重,表示为集合 $\tilde{A} = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$;
- (6) 通过对模糊集最大-最小复合可以得到评估结果为:

$$\tilde{B} = [b_1, b_2, b_3] = \tilde{A} \circ \tilde{T}$$

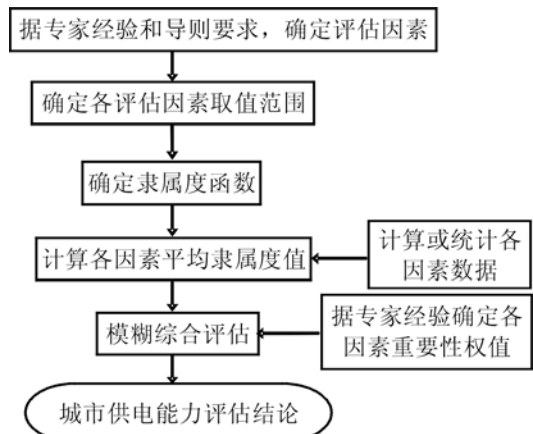


图1 城市电网综合供电能力模糊评估流程图
Fig.1 Flow chart of power supply evaluation in city network

2 昆明城市电网供电能力评估

2.1 评估因素的选取

城市高压电网供电能力优劣性评价首先应该确定影响电网供电能力的主要影响因素.通过对昆明城市目前高压配电网的实际状况的研究,同时结合专家的经验,选取了以下一些评价因素:

- (1)从网络的运行效率方面考虑,选取线损率(A).
- (2)从供电质量方面考虑,选择电压合格率(B).
- (3)从配电网的利用率方面考虑,选择主干线负载率(C).
- (4)从变电容量的利用率方面考虑,选择变压器负载率(D).
- (5)从网络的转带能力和安全性方面考虑,选择电网 $N-1$ 校验合格率(E).
- (6)从配电网的持续发展的方面考虑选择变压器运行年限(F)和线路运行年限(G).

上述列出的评估因素基本能够反映目前网络的运行状况.其中 A 、 B 、 C 、 D 四个因素是分析典型日最大负荷运行方式下数据进行潮流计算得到的.因素 E 通过对电网 $N-1$ 校验计算分析得到.

2.2 评估因素的模糊描述

本文中选用“良好”、“一般”和“不好”来作为描述线损率、电压合格率、线路负载率、变压器负载率、 $N-1$ 校验不能转带的负荷率、变压器运行年限和线路运行年限的模糊语言变量.

2.3 隶属度函数的确定

评估因素“良好”的取值范围及其隶属度曲线

首先确定评估因素的取值范围,参考《城市中低压配电网改造技术导则》和《城市电力网规划设计导则》,同时结合专家经验和知识,昆明高压电网评估因素水平“良好”的取值范围如下:

- (1)线损率: $\leq 1\%$, 隶属度为 1; $\geq 3\%$, 隶属度为 0.
- (2)电压合格率: 100%, 隶属度为 1; $\leq 95\%$ 和 $\geq 105\%$, 隶属度为 0.
- (3)变压器负载率: 100%, 隶属度为 0; 65% ~ 70%, 隶属度为 1; $\leq 30\%$, 隶属度为 0.
- (4)线路负载率: 100%, 隶属度为 0; 50% ~ 60%, 隶属度为 1; 0%, 隶属度为 0.
- (5) $N-1$ 校验合格率: $< 85\%$, 隶属度为 0; $> 90\%$, 隶属度为 1.
- (6)变压器运行年限: ≤ 3 年, 隶属度为 1; ≥ 13 年, 隶属度为 0.
- (7)线路运行年限: ≤ 3 年, 隶属度为 1; ≥ 20 年, 隶属度为 0.

上述高压配电网各因素的评价范围的选择基本上能够反映整个城市电网的实际运行状况.通过上述各因素评价范围的选择,同时结合专家的经验 and 知识,认为梯形或半梯形曲线能比较好地反映实际数据的变化状况.因此,本文统一选取梯形或者半梯形曲线作为高压网络评估因素的隶属度函数曲线,以线损率为例进行说明,线损率“好”和“不好”的隶属度函数曲线分别如图 2,图 3 所示.

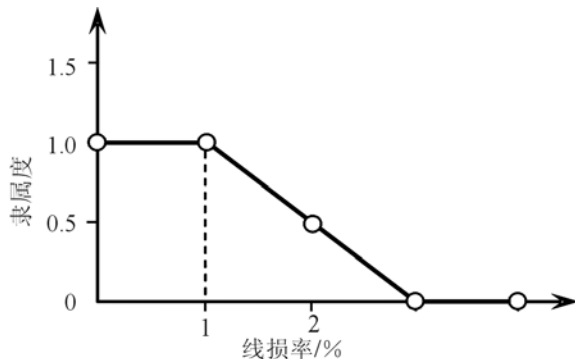


图2 线损率水平“良好”隶属度函数曲线

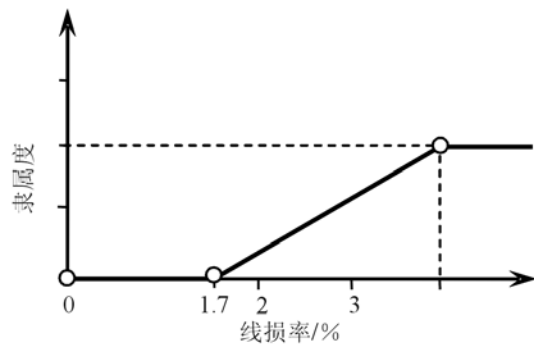


图3 线损率水平“不好”隶属度函数曲线

Fig.2 Subjection function curve of line load rate as good

Fig.3 Subjection function curve of line load rate as not good

根据图2和图3,线损率水平“良好”隶属度函数 $\tilde{\mu}_G$ 和水平“不好”隶属度函数 $\tilde{\mu}_B$ 如式(1),(2):

$$\mu_G(x) = \begin{cases} 1 & 0 < x \leq 1 \\ \frac{3-x}{2} & 1 < x \leq 3 \\ 0 & x > 3 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_B(x) = \begin{cases} 0 & 0 < x \leq 1.7 \\ \frac{x-1.7}{2.3} & 1.7 < x \leq 4 \\ 1 & x > 4 \end{cases} \quad (2)$$

由(1)、(2)式和电网线损率计算结果可以得到如下频数和频率分布表1.

表1中,各小区间内 μ_G 的计算方法如式(3)(μ_B 的计算类似):

$$\mu_G(s_2 \leq x < s_1) = \int_{s_1}^{s_2} \mu_G(x) dx / \int_{s_1}^{s_2} dx \quad (3)$$

由表1中各区间的频率值和隶属度值可以得到线损率水平“良好”、“一般”与“不好”的概率为:

$$P(G) = 1 \times 0 + 0.75 \times 1 + 0.25 \times 0 + 0 \times 0 + 0 \times 0 = 0.75$$

$$P(B) = 0 \times 0 + 0 \times 1 + 0.348 \times 0 + 0.783 \times 0 + 1 \times 0 = 0$$

$$P(M) = 0 \times 0 + 0.25 \times 1 + 0.652 \times 0 + 0.217 \times 0 + 0 \times 0 = 0.25$$

由上述结果可知,昆明电网线损率水平“良好”、“一般”与“不好”的概率分别为:

$$P(G) = 0.750, P(M) = 0.250, P(B) = 0.00$$

可见昆明城市电网的线损率水平良好,表明昆明供电局综合性管理水平较高.

2.4 昆明城市电网整体供电能力模糊评估

至此为止,昆明高压电网供电能力的主要问题已经进行了详细的分析,对于该电网的几个影响供电能力的因素均得到了量化的模糊结论.但不足之处是不能够从宏观角度上给出昆明城市高压电网供电能力的整体水平量化结论.考虑到整体评估对电网改建的重要指导意义,本文针对上述各个因素在电网供电能力的影响程度,进行合理的综合评估,由于所研究的各个因素均有模糊性,故综合评估结论也必然是模糊的.

昆明高压电网的供电能力和以下因素有关:线损率、电压合格率、变压器负载率、线路负载率、 $N-1$ 校验合格率、变压器运行年限、线路运行年限.

构造因素集:

$E = \{ \text{线损率}(e_1), \text{电压合格率}(e_2), \text{变压器负载率}(e_3), \text{线路负载率}(e_4), N-1 \text{校验合格率}(e_5), \text{变压器运行年限}(e_6), \text{线路运行年限}(e_7) \}$

以及评语集:

$D = \{ \text{良好}(d_1), \text{一般}(d_2), \text{不好}(d_3) \};$

利用上述各个因素的模糊处理结果确定各因素的评判集 $D_i = (a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}) (i = 1, 2, 3, \dots, n)$:

$$D_1 = (0.750, 0.250, 0.000); \quad D_2 = (0.670, 0.216, 0.330); \quad D_3 = (0.303, 0.209, 0.696);$$

$$D_4 = (0.366, 0.617, 0.231); \quad D_5 = (0.483, 0.483, 0.517); \quad D_6 = (0.490, 0.156, 0.509);$$

$$D_7 = (0.575, 0.338, 0.426).$$

由此可构成昆明城市电网供电能力的模糊评判矩阵 \tilde{R} :

表1 线损率频数和频率分布表

Tab.1 Distribution of frequency of network loss rate

线损率区间/%	频数	频率	μ_G	μ_M	μ_B
[0~1]	0	0	1	0	0
[1~2]	1	1	0.75	0.25	0
[2~3]	0	0	0.25	0.652	0.348
[3~4]	0	0	0	0.217	0.783
$x > 4$	0	0	0	0	1

$$\tilde{T} = (D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6, D_7)^T = \begin{bmatrix} 0.750 & 0.250 & 0.000 \\ 0.670 & 0.216 & 0.330 \\ 0.303 & 0.209 & 0.696 \\ 0.366 & 0.617 & 0.231 \\ 0.483 & 0.483 & 0.517 \\ 0.409 & 0.156 & 0.509 \\ 0.575 & 0.338 & 0.426 \end{bmatrix}$$

但评估时,因对影响昆明高压电网供电能力的因素有所侧重,所以对每个因素还有一个相应的权重,通过对实际数据的分析,同时参考专家经验,取昆明电网各因素的重要性权重如表2.

表2 评估因素权重

Tab.2 Weight of evaluation factors

因素	线损率	电压合格率	变压器负载率	线路负载率	$N-1$ 校验分析	变压器运行年限	线路运行年限
权重	0.08	0.12	0.25	0.3	0.1	0.07	0.08

表示成模糊集合 \tilde{A} :

$$\tilde{A} = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) = (0.08, 0.12, 0.25, 0.3, 0.1, 0.07, 0.08)$$

故对城区供电能力评估结果为:

$$\tilde{B} = [b_1, b_2, b_3] = \tilde{A} \circ \tilde{T} = (0.3, 0.3, 0.25)$$

归一化处理得到:

$$\hat{B} = \left(\frac{0.3}{0.85}, \frac{0.3}{0.85}, \frac{0.25}{0.85} \right) = (0.353, 0.353, 0.294)$$

至此,即可得到昆明高压电网的供电能力评估结论:在35.3%的程度上供电能力良好,在35.3%的程度上供电能力一般,在29.4%的程度上供电能力不好.总体情况以供电能力基本满足要求占优,到目前为止,昆明电网整体供电能力水平反映良好,但是随着昆明经济的发展,负荷水平的不断增长,供电能力将会慢慢满足不了负荷增长的需求,特别因个别因素小部分设备的运行参数的影响,昆明城市高压配电网还有待改善.

3 结论

1) 昆明高压电网的供电能力和以下因素有关:线损率、电压合格率、变压器负载率、线路负载率、 $N-1$ 校验合格率、变压器运行年限、线路运行年限.

2) 昆明高压电网的供电能力评估结论:在35.3%的程度上供电能力良好,在35.3%的程度上供电能力一般,在29.4%的程度上供电能力不好.总体情况以供电能力基本满足要求占优.

3) 通过对昆明城网高压网络分析,建立了模糊理论的评价模型,对城网供电能力的各项指标和整体进行了模糊评估,量化了电网的总体供电能力.

参考文献:

- [1] 余贻鑫,王成山. 城网规划计算机辅助决策系统[J]. 电力系统自动化,2000,24(15):59-62.
- [2] 邓佑满,菜乐,赵大溥. 提高配电网可恢复供电能力的算法[J]. 电力系统自动化,2002,26(11):19-22.
- [3] 黄伟,张建华,文俊,等. 配电网络供电能力评估系统及方案设计[J]. 现代电力,2001,18(4):64-68.
- [4] Van Laarhoven P J M, Pedrycz W. A Fuzzy extension of Saaty's priority theory[J]. Fuzzy Sets and Systems,1983, 11.
- [5] 侯佑华,张强,于海,等. 蒙西电网供电能力的分析研究[J]. 内蒙古电力技术,2001,19(2):1-4.
- [6] Lee C C. Fuzzy Logic Control Systems Trans on Systems[J]. IEEE. Man and Fuzzy Logic Controller—Part Cybernetics, 1990, 20(2).
- [7] Yager R R. Multi criteria Decisions with Soft Information Application Mathematics of Fuzzy Set and Possibility (I and II)[J]. Fuzzy Mathematics, 1982,(3).