

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.S1.002

基于 Hausdauff 度量的城市配电网网格目标网架综合评价

苏悦平¹, 刘涛¹, 杨海森², 赵青宇²

(1. 广州供电局有限公司, 广州 510620; 2. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: 基于网格的配电网规划方法能够克服城市配电网规模庞大与精细化规划需求的矛盾, 已在近期的城市配电网规划中得到了实际应用。由于网格承载了规划区域远景的目标网架建设, 因此, 对网格目标网架进行科学合理的评估是网格化规划必须首先解决的关键问题。从不同维度提出了配电网网格化划分的评价指标体系, 提出了基于 Hausdauff 度量的层次分析法与理想解逼近排序法相结合的目标网架方案定量评价模型, 克服了传统层次分析法的应用局限。在此基础上, 对广州珠江新城配电网目标网架方案进行了定量评价。

关键词: 配电网; 规划; 网格化; 综合评价

中图分类号: TM611

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2016)S1-0005-04

A Hausdauff Distance Based Method for Target-network Evaluation of Urban Distribution System

SU Yueping¹, LIU Tao¹, YANG Haisen², ZHAO Qingyu²

(1. Guangzhou Power Supply Bureau Co., Ltd., Guangzhou 510620, China;

2. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: The distribution network planning method based on grid meshing can solve the contradiction between large size of urban distribution network and request of fine plan. This method has been applied to practical urban distribution network planning. As meshing has the purpose of completing target-network construction for long-term planning, evaluation for target-network is the priority key step of meshing planning. This article put forward a evaluation index system for evaluating distribution network meshing planning in several dimensions. It is an analytic hierarchy process (AHP) based on Hausdauff Distance, and a target-network planning evaluating model in quantity combined with Technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS). This process overcome the shortcoming of limitation on practice for traditional AHP. On this basis, the target-network planning for Guangzhou Zhujiang new-town is evaluated in quantity.

Key words: distribution power system; planning; grid-division; comprehensive evaluation

由于我国配电网负荷长期持续快速发展, 而传统配电网建设主要面向近期的负荷增长, 缺乏面向远景和持续一贯的目标网架规划, 导致配电网网架

结构混乱、无序、交叉迂回和复杂联络等问题突出。

近期, 国内一些城市配电网逐渐发展出了基于网格的配电网规划方法^[1-3]。该方法通过将规模庞大的配电网划分为多个独立供电区域, 并分别制定每个区域的目标网架及过渡安排, 从而调和城市配电网规模庞大与精细化规划需求的矛盾。该方法已在“十三五”配电网规划及其修编中得到充分应用。

然而, 由于网格是承载目标网架及过渡项目安

收稿日期: 2016-02-11

基金项目: 广州供电局有限公司科技项目“基于网格化的广州配电网改造策略及其适应性研究”(GZHKJ00000032)

作者简介: 苏悦平(1985), 男, 广东广州人, 硕士, 主要从事配电网规划与建设工作(e-mail)suyp@guangzhou.csg.cn。

排的基本载体,因此,如何对网格目标网架进行科学合理的评价,是避免配电网大规模改造而导致建设成本大幅度上升、供电可靠性受到严重影响的关键问题。由于以网格为单元进行配电网建设,必然涉及负荷片区的划分、用户割接、网格改造等各个环节,而且还需要考虑负荷发展情况,确立目标网架的建设安排,以及考虑变电站的供电范围及容载比情况。因此,若仅仅依赖配网规划人员的主观经验,或简单的技术原则进行网格划分,必然难以满足要求。

目前,层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)^[4-5]、模糊评价法^[6-7]等是在工程领域得到常用的综合评价方法。其中,AHP法通过以分层的形式确定逐层指标权重,并根据组合权重确定综合评价指标,因此能够减少主观定权方法的人为偏差,实现客观检验思维标准的一致性。然而,在实际应用中,由于AHP方法的一致性检验是在某一个概率范围内进行的,因此,即使在一致性有效的范围内,如果所构造的判断矩阵不同,也可能会得出不同的综合评价结果。理想解逼近排序法(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS),则有望解决这一问题^[8]。TOPSIS方法在对原始数据矩阵进行归一化后,计算最优和最劣方案呢,并根据待评价方案与两者的数学距离,计算待评价方案与最优方案的接近程度,以此作为评价各个方案优劣的定量依据。

可见,TOPSIS法能够根据备选方案与理想目标的接近程度进行方案排序。以此为基础,结合AHP法在指标定权方面的优势,使用可大幅提高综合评价的有效性。

为此,本文首先建立了可收集、可量化、可比较的城市配电网网格化划分评价指标体系,并采用基于Hausdauff度量的混合AHP-TOPSIS方法对不同目标网架备选方案的优劣进行排序,有效克服AHP方法的应用局限,实现不同网格目标网架组织方案客观、准确的综合比较。在此基础上,对广州珠江新城配电网目标网架方案进行了定量评价。

1 TOPSIS方法简介

TOPSIS法的基本原理,是通过计算各个备选方案与理想最优方案和理想最劣方案的接近度,来对各个备选方案进行排序。若某一备选方案在最接

近理想最优解的同时又离理想最劣解最远,则判定为当前最优方案,否则,则认为是当前最差方案。其中,理想最优解是指各个指标均达到其最优值的方案;理想最劣解则是各个指标均为最差值的方案。

对于一个多属性决策问题,设 m 为待评价方案的数量, n 为评价指标体系的维度,则可以表示为:

$$F = X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: X 为评价指标矩阵, x_{ij} 为方案 x_i 在指标 j 下的取值。

对于上述决策问题,TOPSIS方法的基本步骤包括:

1)对评价指标矩阵 X 进行极性化处理,得到极性一致化矩阵 X^* ;

2)对 X^* 进行归一化处理,得到归一化评价矩阵 Z :

$$Z = (z_{ij})_{m \times n} = \frac{x_{ij}^*}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^{*2}}} \quad (2)$$

3)确定正理想解 Z^+ 和负理想解 Z^- :

$$Z^+ = (\max(z_{i1}), \max(z_{i2}), \cdots, \max(z_{in})) \quad (3)$$

$$Z^- = (\min(z_{i1}), \min(z_{i2}), \cdots, \min(z_{in})) \quad (4)$$

4)计算被评价方案与正理想解 Z^+ 和负理想解 Z^- 的距离;

5)计算各个方案与 Z^+ 的接近度 L_i :

$$L_i = \frac{D_i^+}{D_i^+ + D_i^-} \quad (5)$$

式中: D_i^+ 和 D_i^- 分别为方案 i 与 Z^+ 和 Z^- 的距离。

6)根据接近度比较各个方案。当评判对象为正理想解时, $L_i=1$,当评判对象为负理想解时, $L_i=0$,一般情况下评判对象贴近度 L_i 取值为 $(0, 1)$,反映了评判对象贴近正理想解的程度。

2 基于Hausdauff度量的混合AHP-TOPSIS方法

由TOPSIS方法的原理可知,备选方案与理想解之间的接近程度的度量是必须解决的关键问题。在传统的方法中,一般采用海明距离和欧几里德距

离及其贴近度作为判断接近度的定量依据。然而, 这海明距离和欧几里德距离对很多模糊集分辨率不高, 而且只适合点到点之间距离的度量, 而对于集合到集合之间距离的衡量, 豪斯多夫 (Hausdorff) 度量具有更高的分辨率^[9]。

2.1 Hausdauff 度量

Hausdorff 度量是描述两组点集之间相似程度的一种量度, 它是两个点集之间距离的一种定义形式。设有两组集合 $A = \{a_1, \dots, a_p\}$, $B = \{b_1, \dots, b_q\}$, 则这两个点集合之间的 Hausdorff 距离定义为^[9]:

$$H(A, B) = \max(h(A, B), h(B, A)) \quad (6)$$

式中,

$$h(A, B) = \max(a \in A) \min(b \in B) |a - b| \quad (7)$$

$$h(B, A) = \max(b \in B) \min(a \in A) |b - a| \quad (8)$$

其中, $\|\cdot\|$ 是点集 A 和 B 点集间的距离范式。

式(6)称为双向 Hausdorff 距离; 式(7)中的 $h(A, B)$ 和 $h(B, A)$ 分别称为从 A 集到 B 集和从 B 集到 A 集的单向 Hausdorff 距离, 即 $h(A, B)$ 实际上首先对点集 A 中的每个点 a_i 到距离此点 a_i 最近的 B 集中点 b_j 之间的距离 $\|a_i - b_j\|$ 进行排序, 然后取该距离中的最大值作为 $h(A, B)$ 的值。同理可得 $h(B, A)$ 。

由式(6)可知, 双向 Hausdorff 距离 $H(A, B)$ 是单向距离 $h(A, B)$ 和 $h(B, A)$ 两者中的较大者, 是两个点集间最大不匹配程度的度量。

2.2 基本步骤

1) 计算加权标准化决策矩阵

以 W 表示由 AHP 法确定的指标层层总排序权重向量^[4]:

$$W = [w_1 \quad w_2 \quad \dots \quad w_n] \quad (9)$$

式中: $w_j (j = 1, 2, \dots, n)$ 为第 j 个指标的权重系数。

则将评价矩阵 Z 的列向量与 W 相乘, 可得加权标准化决策矩阵 R :

$$R = (r_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

2) 计算被评价方案与正理想解 Z^+ 和负理想解 Z^- 的 Hausdauff 距离及其接近度 L_i :

$$L_i = \frac{h(R_i, Z^+)}{h(R_i, Z^+) + h(R_i, Z^-)} \quad (11)$$

式中: $h(R_i, Z^+)$ 和 $h(R_i, Z^-)$ 分别为第 i 个方案与正理想解 Z^+ 和负理想解 Z^- 的 Hausdauff 距离。

3) 选取接近度最高的方案作为推荐方案。

3 综合评价指标体系

对于城市配电网的网格划分评价指标体系, 其中各指标的选取必须可收集、可量化、可比较, 从而使评价指标体系具有实际工程意义。此外, 评价指标体系的建立需要满足与评价目的的一致性、直接的可测性、可比性, 以及相互独立性与整体的完备性等。

3.1 评价指标

安全、可靠和经济是电网供电的基本要求。由于电网规划方案一般按照负荷预测水平确定, 而负荷预测具有不确定性, 因此规划电网在满足负荷当前需求的基础上, 还应该满足一定阶段内负荷不同增长模式的要求。可见, 必须从经济性、可靠性、负荷适应性等 3 个方面构建网格划分方案的综合评价指标体系, 其各项指标情况如图 1 所示。

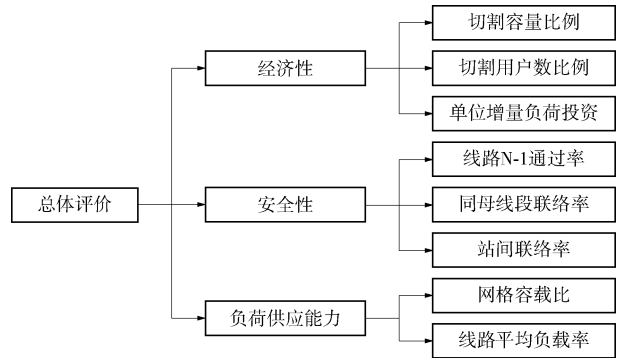


图 1 评价指标体系

Fig. 1 Indices for evaluation

图 1 中, 评价指标体系具有优点如下:

1) 经济性

改造成本集中体现为用户数和容量的切割比例, 反映网格划分所涉及的网架结构优化对原有配电网网架的改变程度。而单位增量负荷投资则主要是网格划分经济性的直接表现。

2) 安全性

在网格划分和目标网架组织阶段,由于线路的地理走向、负荷分布、开关配置等情况难以细化,因此若直接估算供电可靠率指标则难以准确、实用。实际上,线路 $N-1$ 校验情况、线路是否属于同一母线段联络、以及站间联络率等情况与网架结构的可靠性密切相关,是决定目标网架供电可靠率程度的关键管控指标。

3) 负荷适应性

电网规划以负荷预测为基础,负荷预测的不确定性要求电网应该为后续发展留有余地,因此需要对电网适应负荷发展的能力进行评价。电网适应性指标包括:网格容载比和线路平均负载率。网格容载比为该网格供电线路的有效容量之和与该网格负荷之比,这一指标考虑了目标网架接线模式所允许最高线路负载率,因而是网格线路满足未来负荷发展能力的直接体现。而线路平均负载率指标则能够反映在未来负荷发展的情况下,线路的利用率水平。

3.2 指标权重系数

采用AHP方法计算各指标的权重,其结果如表1所示。

表1 各指标的权重系数

Tab. 1 Weight of different indexes

类别	评价指标	权重系数
经济性	切割容量比例	0.132 1
	切割用户数比例	0.167 8
	单位增量负荷投资	0.093 6
可靠性	线路 $N-1$ 通过率	0.281 4
	同母线联络率	0.079 4
	站间联络率	0.064 0
负荷适应性	网格容载比	0.090 1
	线路平均负载率	0.091 6

4 实例分析

以珠江新城片区为例,以饱和年负荷为基础,对A、B和C三种目标网架方案进行定量评价,其指标计算值如表2所示。

对表2的计算值进行归一标准化,其结果如表3所示。利用第2节所述方法计算三个方案的接近度 L_i 和Hausdorff距离,其结果如表4所示。可见,应选择接近度最高的方案A作为目标网架构建方案。

表2 不同方案的评价指标计算值

Tab. 2 Calculation results of different indexes

评价指标	方案A	方案B	方案C
切割容量比例/%	17.72	12.56	13.75
切割用户数比例/%	17.13	12.89	14.63
单位增量负荷投资/ (万元·kW ⁻¹)	5.38	8.48	10.629
线路 $N-1$ 通过率/%	100	100	100
同母线联络率/%	0	0	0
站间联络率/%	90.00	66.67	100.00
网格容载比	1.84	1.52	1.85
线路平均负载率	0.22	0.26	0.22

表3 指标计算值进行归一标准化的结果

Tab. 3 Normalization results of different indexes

评价指标	方案A	方案B	方案C	Z^+	Z^-
切割容量比例	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
切割用户数比例	0.53	0.60	0.60	0.60	0.53
单位增量负荷投资/ (万元·kW ⁻¹)	0.29	0.19	0.94	0.94	0.19
线路 $N-1$ 通过率	0.59	0.55	0.59	0.59	0.55
同母线联络率	0.46	0.83	0.33	0.83	0.33
站间联络率	0.56	0.60	0.57	0.60	0.56
网格容载比	0.59	0.56	0.58	0.59	0.56
线路平均负载率	0.58	0.56	0.60	0.60	0.56

表4 不同方案的接近度和Hausdauff距离

Tab. 4 Nearness and hausdauff distances of different schemes

指标	方案A	方案B	方案C
Z^+	0.815 3	0.803 3	0.830 7
Z^-	0.605 4	0.589 1	0.625 9
接近度	0.571 1	0.543 31	0.535 21

5 结论

本文建立了完整的城市配电网网格目标网架评价指标体系,并提出了基于Hausdauff度量的混合AHP-TOPSIS综合评价方法,建立了综合评价模型。以广州珠江新城配电网网格化方案为例进行了实例分析,结果表明,本文所提方法使不同网格目标网架方案的综合比较更为客观准确,为使制定科学合理的网格划分方案奠定了基础。

参考文献:

- [1] 李健,马彬,张植华,等.基于网格的城市配电网优化规划方法研究[J].南方能源建设,2015,2(3):38-42.

参考文献:

- [1] 赵云飞, 陈金富. 层次分析法及其在电力系统中的应用 [J]. 电力自动化设备, 2004, 24(9): 85-89.
ZHAO Y F, CHEN J F. Analytic hierarchy process and its application in power system [J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(9): 85-89.
- [2] 袁昕. 基于 AHP 的北京城区电网可靠性评价体系研究与应用 [D]. 华北电力大学, 2012.
- [3] 李金芳. 基于 AHP/DEA 的 20 kV 中压配电方案研究及评估 [D]. 华北电力大学, 2009.
- [4] 柳顺, 杜树新. 基于数据包络分析的模糊综合评价方法 [J]. 模糊系统与数学, 2010, 24(2): 93-96.
LIU S, DU S X. Fuzzy comprehensive evaluation based on data envelopment analysis [J]. Fuzzy Systems and Mathematics, 2010, 24(2): 93-96.
- [5] 林济铿, 李童飞, 赵子明, 等. 基于熵权模糊综合评价模型的电力系统黑启动方案评估 [J]. 电网技术, 2012, 36(2): 51-54.
LIN J K, LI T F, ZHAO Z M, et al. Assessment on power system black-start schemes based on entropy-weighted fuzzy comprehensive evaluation model [J]. Power System Technology, 2012, 36(2): 51-54.
- [6] 李志铿, 杨海森, 陈超. 计及转供电概率的配电网可靠性评估 [J]. 南方能源建设, 2014, 1(1): 30-33.
LI Z K, YANG H S, CHEN C. Reliability evaluation for distribution system considering supply probability [J]. Southern Energy Construction, 2014, 1(1): 30-33.
- [7] 梁赞, 冯永青. 基于可信性理论的有源配电网可靠性分析 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(2): 62-65.
LIANG Y, FENG Y Q. Reliability assessment of distribution networks with distributed generators based on credibility theory [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(2): 62-65.
- (责任编辑 高春萌)

(上接第 4 页 Continued from Page 4)

- CHEN X, WANG Z Q. Overview of theory and methods of decision support systems [J]. Control and Decision, 2006, 21(9): 961-968.
- [3] 蒋良孝, 蔡之华. 基于数据仓库的数据挖掘研究 [J]. 计算机技术与自动化, 2003(3): 102-105.
JIANG L X, CAI Z H. The Research of data mining based on data warehouse [J]. Computing Technology and Automation, 2003(3): 102-105.
- [4] 王珊, 王会举, 覃雄派, 等. 架构大数据: 挑战、现状与展望 [J]. 计算机学报, 2011, 34(10): 1741-1752.
WANG S, WANG H J, QIN X P, et al. Architecting big data: challenges, studies and forecasts [J]. Chinese Journal of Computers, 2011, 34(10): 1741-1752.
- [5] 孟小峰, 慈祥. 大数据管理: 概念、技术与挑战 [J]. 计算机研究与发展, 2013, 50(1): 146-169.
Meng X F, C X. Big data management: concepts, technique and challenges [J]. Journal of Computer Research and Development, 2013, 50(1): 146-169.
- (责任编辑 张春文)

(上接第 8 页 Continued from Page 8)

- [2] 张植华, 李健, 林毓, 等. 网格化城市配电网目标网架动态构建方法 [J]. 陕西电力, 2015, 43(2): 23-29.
- [3] 李海涛, 孙波, 王轩. 配电网网格化规划方法及其应用 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2015(S1): 33-37.
- [4] 沈健, 盛佳蓉, 张麟, 等. 基于 AHP 的北京城区电网可靠性评价体系研究与应用 [D]. 北京: 华北电力大学, 2012.
- [5] 李金芳. 基于 AHP/DEA 的 20 kV 中压配电方案研究及评估 [D]. 北京: 华北电力大学, 2009.
- [6] 柳顺. 基于数据包络分析的模糊综合评价方法及其应用 [D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [7] 林济铿, 李童飞, 赵子明, 等. 基于熵权模糊综合评价模型的电力系统黑启动方案评估 [J]. 电网技术, 2012, 36(2): 51-54.
- [8] 龚剑, 胡乃联, 崔翔, 等. 基于 AHP-TOPSIS 评判模型的岩爆倾向性预测 [J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(7): 1442-1448.
- [9] 侯志东, 吴祈宗. 基于 Hausdauff 度量的模糊 TOPSIS 方法研究 [J]. 数学的实践与认识, 2005, 35(3): 233-237.
- (责任编辑 郑文棠)