

文章编号:1000-582X(2006)07-0041-05

10 kV 配电网网架结构模式优选的综合赋权法*

郑贺伟¹, 俞集辉¹, 孙渝江²

(1. 重庆大学 电气工程学院 高电压与电工新技术教育部重点实验室, 重庆 400030;
2. 重庆市电力公司, 重庆 400015)

摘要:为了更科学地确定10 kV配电网最优化的接线模式,提出网架模式规划的综合赋权法.在分析10 kV配电网典型结构基础上,将综合赋权法应用于10 kV配电网网架模式规划,依据主、客观赋权法得出的权系数,得出综合指标权系数,再进行最优化计算,形成该方法的实施步骤.用此方法对配电网网架结构模式进行优选,能更全面、更准确地比较不同网架模式的优劣,同时大幅降低了计算量,避免了多目标函数处理上的困难.通过实例分析,证实了用该方法选择10 kV配电网网架模式的合理性和实用性.

关键词:配电网;接线模式;多目标规划

中图分类号:TM41

文献标识码:A

据统计,我国约80%的发电量在城市电网内销纳的,其中又有70%是通过10 kV公用配电网输送给用户的,可见城市配电网是面对用户的最重要和最终的环节.要保证对用户供电的优质、经济和可靠,必须合理地选择10 kV配电网的结构模式^[1].要判断某一地区采用哪种网架模式最合理,就必须对不同网架模式进行技术经济比较,以得出该地区的最优网架模式.

1 10 kV 配电网网架模式及其规划方法的研究现状

1.1 10 kV 配电网网架模式的类型

在中国,10 kV配电网采用接线方式主要有以下几种:1)放射型接线;2)环型接线;3)双电源双“T”型接线;4)三电源环型接线^[1].放射型接线方式结构简单,便于新增及发展负荷,投资较低,缺点是用户只有一个电源,不满足城市配电网“N-1”的安全准则.环型接线方式的突出优点是当环网中任意一段电缆故障时,可以倒送电,可靠性很高,但投资较大.双电源双“T”型接线的特点是电缆沿街道并行敷设,可以沿线落点,每一个配电变压器可以从两回电缆取得电源.电缆发生故障时,允许有较长的时间寻找故障点和处理

故障.三电源环型接线的特点是供电可靠性极高,但因需增加大量线路走廊,在城市网络资源有限的情况下不易实施,投资也相当大.

1.2 网架模式规划方法研究现状

目前,配电网网架模式规划的方法可大致分为3类:

1)传统的逐步扩展法.该方法为电网规划部门的常用方法,主要以满足经济要求为目标,即主要根据经济性来选择网架模式,而将可靠性分析作为一种后校验计算.这种方法无法获得经济性、可靠性以及其它属性的综合最优方案.

2)以可靠性为主要目标的规划方法.在欧美发达国家多采用这种方法.如文献[2]提出了一种以提高可靠性为目标,同时考虑电力设备成本最小化的方法.这类方法在我国用得较少,一般仅用于网架的局部扩展,不适于网架的整体规划.

3)满足一定可靠性要求的规划方法(可靠性指标为其约束条件).如文献[3]通过列出不同方案的供电成本曲线图(横坐标为可靠性,纵坐标为供电成本),得出在满足一定可靠性要求条件下的最优网架模式的规划方法.但该方法不能灵活地处理规划方案经济性和可靠性之间的关系,无法获得最佳的综合效益方案.

* 收稿日期:2006-03-13

作者简介:郑贺伟(1978-),男,四川内江人,重庆大学硕士,主要从事配电网规划的研究.

以上3种规划方法都在某种程度上达到了决策者对网架模式某一方面的要求,但一些缺陷表现明显,在最优化计算时,存在计算量太大,目标函数不易处理的问题。

由上可见,配电网网架模式的规划方法还应进一步的研究,需要更全面的技术经济比较内容,需要多属性多目标的综合分析方法。

2 网架模式规划内容的研究

在进行网架模式的技术经济比较时,不仅要考虑当前的效益和技术指标,还必须考虑城市规划和未来配网升级的因素,应全面地评价网架结构的优劣。按综合分析考虑,应从以下4个方面进行技术经济比较。

1) 技术性. 选择网架模式时,对技术性方面的考虑主要指可靠性的高低、电压质量的优劣、电力电量是否平衡以及备用电量是否充沛。其中可靠性是最主要的因素。

2) 经济性. 选择网架模式时,对经济性方面的考虑,主要指供电成本的多少。

3) 可实施性. 选择网架模式时,可实施性方面主要考虑哪种模式更容易规划,更便于远近结合(既节能,又更便于新接入负荷和负荷的增加等),更便于实施(更节约线路走廊资源,占地面积更小、更满足市政的要求等)。

4) 可发展性. 选择网架模式时,可发展性主要考虑哪种模式更便于管理、运行、维护、操作和检修,更便于今后自动化升级及配网自动化改造,更利于提高工作效率。

按照上面的网架模式技术经济比较的内容,采用哪种方法从这4个属性进行多目标网架模式规划将是文中研究的核心和关键。在此笔者提出一种新的网架模式规划方法——综合赋权法。

3 10 kV 配电网结构模式优化的综合赋权法

3.1 综合赋权法

赋权法是综合分析方法中的一种,主要包括主观赋权法和客观赋权法。主观赋权法是根据专家自己的经验和对实际的判断主观给出的评价指标的权系数的方法。这类方法的主要缺点是主观随意性较大。客观赋权法的原始数据来自于评价矩阵的实际数据,切断了权系数主观性的来源,使权系数具有绝对的客观性。这

类方法的突出优点是权系数的客观性强,但也存在一个不可避免的缺陷,就是确定的权系数有时与实际相悖^[4]。

综合赋权法是基于主、客观赋权法求出权系数,通过综合分析,得出综合指标权系数,再进行最优化计算的一种方法^[5],是一种更为科学的综合分析方法。

3.2 属性决策矩阵

设 $J = \{J_1, J_2, \dots, J_m\}$ 为多属性决策问题的决策方案集; $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ 为属性集; $Q = (Q_1, Q_2, \dots, Q_n)^T$ 为指标的加权向量,且满足 $Q_j > 0 (j = 1, 2, \dots, n)$, $\sum_{j=1}^n Q_j = 1$ 。方案 J_i 对属性 S_j 的属性值为 $a_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$, 由这些属性值构成的矩阵 $A = (a_{ij})_{m \times n}$ 称为“决策矩阵”。

需对决策矩阵 A 进行规范化处理,以消除不同属性间量纲的影响^[4], 设规范化的决策矩阵为 $B = (b_{ij})_{m \times n}$

对效益型属性(其值越大越好), 令

$$b_{ij} = \frac{a_{ij} - a_j^{\min}}{a_j^{\max} - a_j^{\min}}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

式中 a_j^{\max} 和 a_j^{\min} 分别为属性 S_j 的最大值和最小值。

对成本型属性(其值越小越好), 令

$$b_{ij} = \frac{a_j^{\max} - a_{ij}}{a_j^{\max} - a_j^{\min}}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

式中 a_j^{\max} 和 a_j^{\min} 意义同式(1)。

显然,由式(1)和式(2)知, $0 \leq b_{ij} \leq 1$ 。

对 10 kV 配电网结构模式优化而言,属性集 S 包含 4 个属性:技术性、经济性、可实施性和可发展性。

1) 技术性. 以可靠性作为技术性的属性值。对几种不同的接线方式,考虑其中每个元件出现的平均年故障率及每个元件出现故障时受影响的用户数和平均修复时间,同时考虑每一方案可以转移负荷的情况,计算平均用电有效度:

$$A_{SAI} = \frac{\text{用户用电小时数}}{\text{用户需电小时数}} = \frac{N_{\text{总}} \times 8760 - \sum t_i N_i}{N_{\text{总}} \times 8760},$$

其中: $N_{\text{总}}$ 表示系统中总用户数; N_i 表示故障时受影响的用户数; t_i 表示元件 i 的平均年停运时间。再根据平均用电有效度来确定不同方案的可靠性高低,即把平均用电有效度 A_{SAI} 作为技术性的属性值。

2) 经济性. 把单位负荷年费用 F_n 作为经济性的属性值:

$$F_n = \frac{\text{配电方案年费用}}{\text{等效负荷}} = \frac{F_{nj}}{P_n}$$

由单位负荷年费用来判定其经济性优劣。

配电方案的运行年费用由两部分组成:变电所运行年费用 F_m 和线路运行年费用 F_n 。 F_m 主要包括:变压器综合投资、配电装置综合投资和一年中变压器的电能损耗费及检修费用。可参照电力工业采用的“最小年费用法”^[6]进行计算。 F_n 主要包括:线路投资费和一年中线路的电能损耗及检修、维护费。可采用“现值转年法”^[7]进行计算。

等效负荷 P_n 的计算公式如下所示:

$$P_n = \sum_i P_i \theta_i$$

其中: P_i 表示第 i 个负荷密度的大小; θ_i 表示第 i 个负荷密度在所有负荷密度中所占有的比值。

3) 可实施性和可发展性。对实施性和可发展性这2个属性,因为难于得到具体数值,应效仿经济学的方法,采用专家评分的机制,由专家制定出不同评分级别,根据实际情况,对不同方案评出相应分数。专家评出的分数将作为可实施性和可发展性的属性值。

由4个属性的属性值,得出决策矩阵 A ,再以公式(1)和(2)对决策矩阵 A 进行处理,就可得出规范化的决策矩阵 B 。

3.3 综合赋权法最优权系数模型

由主观赋权法得出的属性权重向量记为 $Q' = (Q'_1, Q'_2, \dots, Q'_n)^T$,且满足 $0 \leq Q'_j \leq 1, \sum_{j=1}^n Q'_j = 1$;由客观赋权法得出的属性权重向量记为 $Q'' = (Q''_1, Q''_2, \dots, Q''_n)^T$,且满足 $0 \leq Q''_j \leq 1, \sum_{j=1}^n Q''_j = 1$ 。设 α, β 分别表示 Q' 和 Q'' 的重要程度,称为程度因子。且 $0 \leq \alpha \leq 1, 0 \leq \beta \leq 1, \alpha + \beta = 1$ 。将主观权重和客观权重进行综合,令

$$Q = \alpha Q' + \beta Q'' \quad (3)$$

所得即为综合赋权法确定的权重。

把评价目标值定为其方案到理想点的距离,可采用误差平方和来描述决策方案的评价目标值

$$d_i = \sum_{j=1}^n (b_j^* - b_{ij})^2 Q_j^2 \quad (4)$$

其中: $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n, b_j^*$ 表示各方案中第 j 项属性中各方案的最大值。

距离理想点的偏差越小越好,即是说评价目标值越小表明该方案越优化。为此,可构造如下最优化

模型:

$$Z = \min(d_1, d_2, \dots, d_m),$$

$$d_i = \sum_{j=1}^n (b_j^* - b_{ij})^2 Q_j^2,$$

$$Q = \alpha Q' + \beta Q'',$$

$$\text{s. t. } \alpha + \beta = 1,$$

$$\alpha \geq 0, \beta \geq 0,$$

其中:目标函数为 $Z = \min(d_1, d_2, \dots, d_m)$;决策变量为 α 和 β ;已知量为 b_j^*, b_{ij} (由各方案属性值求出), Q' (由主观赋权法求出) 和 Q'' (由客观赋权法求出)。

此最优化模型的最优解为:

$$\alpha = \frac{c_{22} - c_{12}}{c_{11} + c_{22} - 2c_{12}} \quad (5)$$

$$\beta = \frac{c_{11} - c_{12}}{c_{11} + c_{22} - 2c_{12}} \quad (6)$$

其中:

$$c_{11} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_j^* - b_{ij})^2 Q_j'^2,$$

$$c_{22} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_j^* - b_{ij})^2 Q_j''^2,$$

$$c_{12} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_j^* - b_{ij})^2 Q_j' Q_j''.$$

4 网架结构模式优选的综合赋权法实施步骤

基于综合赋权法和10 kV 配网网架模式技术经济比较的分析,可得出采用综合赋权法进行10 kV 配网网架模式规划的步骤:

1) 建立最优化计算的数学模型。

2) 求出不同网架模式方案的各属性值的大小。根据各属性值的大小得出决策矩阵。

3) 根据公式(1)和公式(2)对决策矩阵规范化。

4) 根据规范化了的决策矩阵,用主观赋权法求出主观权值,用均方根客观赋权法得出客观权值。主观权值和客观权值是计算综合权系数的基础数据,它们将和程度因子一起来确定综合权系数。

5) 由主观权值和客观权值以及各属性值大小求出程度因子。在求出了主观权值和客观权值之后,还不能直接求出综合权系数。因为各个权值的重要程度不一样,不能主观地认为主观权值和客观权值各取一半就是综合权系数,而应根据公式(5)和公式(6)求出程度因子 α 和 β ,以得出科学的综合权系数。

6) 根据公式(3),用主观权值和客观权值以及程度因子这些数据求出各属性的综合权系数。

7) 运用公式(4) 计算出不同网架模式方案的评价目标值。

8) 比较各不同网架模式方案的评价目标值, 得出最优方案。由前面对综合赋权法分析知, 评价目标值越小, 该评价目标值所对应的方案就越优化。即评价目标值最小的网架模式方案是该地区的最优方案, 该地区采用该方案提出的网架模式最为合理。

其流程图如图 1 所示。

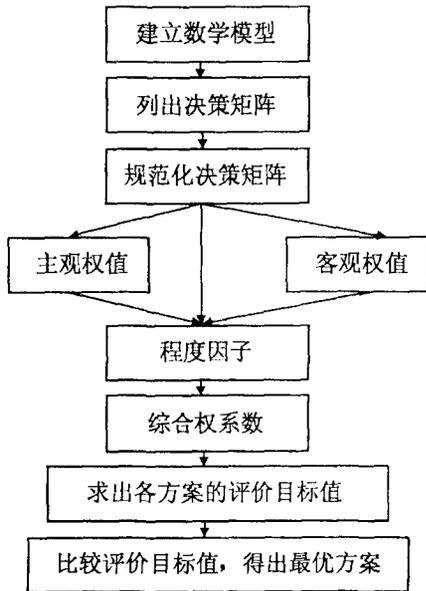


图 1 计算流程图

5 实例计算

现有一新建小区, 其 10 kV 配电网的网架模式待定, 有放射型、环型和三电源环型接线这 3 种结构可供选择。3 种方案的相关数据如表 1 所示, 其中 J_1, J_2 和 J_3 分别表示放射型, 环型和三电源环型接线这 3 种方案; S_1, S_2, S_3 和 S_4 分别表示经济性, 技术性, 可实施性和可发展性这 4 个属性。 S_1 是不同接线模式的单位负荷年费用(单位是万元/MW), S_2 是 3 种方案的不同用电有效度 A_{SA1} (数据取自相同接线模式和相同负荷的已建小区), S_3 和 S_4 是可实施性和可发展性的专家评分数值(满分为 10 分); S_1 是成本型属性, S_2, S_3 和 S_4 是效益型属性。

表 1 各方案属性值有关信息

方案	S_1	S_2	S_3	S_4
J_1	15	0.999 5	8	6
J_2	18	0.999 8	7	9
J_3	20	0.999 9	5	9

该地区配电网最优结构模式可采用综合权值法来分析。

首先建立最优化数学模型如下:

$$Z = \min(d_1, d_2, d_3),$$

$$d_i = \sum_{j=1}^3 (b_j^* - b_{ij})^2 Q_j^2,$$

$$Q = \alpha Q' + \beta Q'',$$

$$\text{s. t. } \alpha + \beta = 1,$$

$$\alpha \geq 0, \beta \geq 0.$$

由表 1 可得出属性决策矩阵 A 如下所示:

$$A = \begin{bmatrix} 15 & 0.999 5 & 8 & 6 \\ 18 & 0.999 8 & 7 & 9 \\ 20 & 0.999 9 & 5 & 9 \end{bmatrix}.$$

根据公式(1)和公式(2), 将决策矩阵 A 中的各元素规范化后, 可得出规范化的决策矩阵 B 如下所示:

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0.4 & 0.75 & 0.66 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

根据专家的主观信息得出主观权向量为 Q' (0.4, 0.4, 0.05, 0.15), 根据文献[4]运用均方根客观赋权法得出客观权向量 Q'' (0.24, 0.25, 0.24, 0.27)。

根据公式(5)和公式(6)解最优化数学模型求出:

$$\alpha = 0.825, \beta = 0.175.$$

则由公式(3)求出的综合权向量为:

$$Q = (0.372, 0.373 8, 0.083 2, 0.171)^T.$$

将权重代入公式(4), 可得出 3 个方案的评价目标值如下:

$$d_1 = 0.167 6, d_2 = 0.059 3, d_3 = 0.145 3$$

比较 d_1, d_2 和 d_3 , 得 $d_2 < d_1 < d_3$, 有 $Z = d_2$, 即方案 2 离最优点的偏差最小, 可见在该地区采用方案 2 (环式接线) 是最合适的。

由本例可知, 将综合赋权法应用于配电网网架模式选择时, 可以对一个地区的网架模式做出最优化预测, 为该区域的电力规划给予决策指导。

6 结论

引入赋权法, 形成了 10 kV 配网网架结构模式优选的综合赋权法, 建立了适合 10 kV 配网技术经济比较的一些属性的评分规则和实施步骤。算例分析反映出该方法的主要特点:

1) 从可靠性、经济性、可实施性和可规化性 4 个

方面来综合分析,能更全面地比较不同网架模式的优劣.

2)在10 kV 配电网网架规划中引入了主客观综合权值,并建立了相应的数学模型,使10 kV 配电网网架模式的多目标规划更加全面、准确.

3)可实施性和可发展性这2个属性值的确定规则采用了经济学上的专家评分机制,它们的加入使网架模式的多目标规划成为可能,同时大幅降低了计算量,避免了多目标函数处理上的困难.

该方法不仅可用于某一地区10 kV 配电网网架模式的预测,还可对已建成地区10 kV 配电网网架模式进行检验.可以预见,通过大量的检验计算,可总结出一些规律性的原则,如在某一负荷密度下应采用哪种网架模式是最合理的.这些原则将对以后新建区域10 kV 配电网网架结构的确定有较强的指导作用.

参考文献:

- [1] 陈章潮. 城市电网规划与改造[M]. 北京:中国电力出版社,1999.
- [2] AGRARUAL S K, TORRE W V. Development of Reliability Targets for Planning Transmission Facilities Using Probabilistic Techniques; a Utility Approach[J]. IEEE Transaction on Power Systems,1997,12(2):704-706.
- [3] 葛少云. 城市高压配电网接线模式比较研究[J]. 电力自动化设备,2004,24(2):33-38.
- [4] 王明涛. 多指标综合评价中权数确定的离差,均方根决策方法[J]. 中国软科学,1999,(8):100-103.
- [5] 徐泽水,达庆利. 多属性决策的组合赋权方法研究[J]. 中国管理科学,2002,10(2):84-86.
- [6] 牛辉. 电网扩展规划的可靠性和经济性研究综述[J]. 电力系统自动化,2000,22(21):34-39.
- [7] 康庆平. 城市电网改造技术[M]. 北京:中国电力出版社,1999.

Application of Comprehensive Weight Method to Choosing the Connection Mode of 10 kV Distribution Network

ZHENG He-wei¹, YU Ji-hui¹, SUN Yu-jiang²

- (1. Key Laboratory of High Voltage Engineering and Electrical New Technology, Ministry of Education, Electrical Engineering College of Chongqing University, Chongqing 400030, China;
2. Chongqing Electric Power Corporation, Chongqing 400015, China)

Abstract: In order to find the most appropriate connection mode of 10 kV distribution network, a new approach is put forward, in which the comprehensive weight method is applied to power system planning. At first, the main kinds of connection mode of 10 kV distribution network are introduced, then, basing on the information of subjective weights and objective weights, the performing process of the new approach is presented. It can choose the most appropriate connection mode of 10 kV distribution network sufficiently and can be calculated easily. At last, the validity and practicability of this new approach is testified with a sample.

Key words: distribution network; connection mode; multiple-object decision

(编辑 李胜春)