

DOI:10.19651/j.cnki.emt.1802326

基于改进 AHP 的配电网规划评价体系研究

王伟 刘宇 夏荣臻

(国网辽宁省电力有限公司沈阳供电公司 沈阳 110003)

摘要:如何在多个配电网规划方案中选择出最优方案,对于电力系统合理规划及保障电力系统安全运行有重要意义。提出了考虑微电网接入的配电网规划评价指标体系,采用改进的层次分析法(AHP)方法对配电网规划方案进行指标权重计算,并采用考虑指标权重的加权求和法求取方案最终评分。改进的 AHP 方法包括采集多个专家意见并根据各个专家经验的不同构造加权平均判断矩阵;对一致性检验方法进行改进以提高计算结果的一致性。最后通过算例分析,采用所提出的评价方法,对4种规划方案进行了综合评分,评分结果为方案1得0.285分,方案2得0.196分,方案3得0.307分,方案4得0.212分,该评价结果与专家评估结果相一致,验证了该方法在配电网规划评价上的科学性和合理性。

关键词:改进 AHP;权重;配电网;规划

中图分类号: TM715;TN0 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 470

Research on the evaluation system of distribution network planning based on improved AHP

Wang Wei Liu Yu Xia Rongzhen

(State Grid Liaoning Electric Power CO., LTD. Shenyang Power Supply Company, Liaoning Shenyang 110003, China)

Abstract: It is of great significance to the reasonable power system planning and guarantee the safe operation of the power system that determine the distribution network planning. This paper puts forward the evaluation index system of power distribution network planning considering micro grid access. Distribution network planning scheme for the calculation of index weight through the improved AHP method, and the final plan evaluation using the weighted sum method. Collecting multiple expert opinion and according to the different structure of the expert experience weighted average of the judgment matrix and improving the consistency check method is the AHP improved thoughts. Finally, through the case analysis, using the proposed evaluation method and comprehensive score of 4 kinds of planning. Grading result is the plan 1, 2, 3, 4 respectively scored 0.285, 0.196, 0.307, 0.212. The evaluation result and expert evaluation result are consistent, and this method was verified in the scientific nature and rationality of evaluation on power distribution network planning.

Keywords: improved analytic hierarchy process; weight; distribution network; planning

0 引言

配电网规划用于电网的建设和改造,合理的配电网规划能够满足用户用电需求,保证电能质量,有助于电网的稳定运行并提高电力运行的经济性^[1-3]。

针对配电网规划评价的研究越来越深入,近年来,越来越多的学者对其进行了关注。文献[4]构建了适用于高压配电网的评价指标体系,提出了德尔菲法改进的层次分析法用于评价各级指标,并采用判断矩阵法综合评价法获得最终规划评分,算例仿真验证了该方法具有的指导意义。文献[5]构建了配电网智能化规划评价指标体系,包括基础

建设指标和绩效指标,采用层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)和模糊综合评价法相结合的方法,对城市配电网智能化规划项目进行评价,并验证了评价指标体系的可行性。文献[6]提出了一套配电网规划评价指标体系和评价方法,对于配电网规划十分有效,并能针对不同阶段的规划方案进行评价。文献[7]提出了采用系统动力学构建规划方案评价指标体系,并采用熵权法确定指标权重,将所提出的评价模型应用于配电网规划中,验证了该方法的有效性。文献[8]提出包括目标层、主体层、需求层、属性层和指标层的软件定义网络(software defined network, SDN)规划评价指标体系,并提出了协同群决策的综合评价模型,

算例仿真验证了该方法的合理性和有效性。虽然针对配电网规划的研究越来越深入,但是上述研究多针对传统配电网的规划,本文提出了考虑微电网接入的配电网规划评价指标体系,并对 AHP 方法进行了改进,提升指标评价的有效性,并采用考虑指标权重的综合评分方法对规划方案进行评分,获得方案的最终评分,为电网的规划建设提供了指导性建议。

1 考虑微电网的配电网规划评价指标体系

1.1 配电网规划评价指标体系

配电网规划综合评价指标体系建立的合理与否,对于

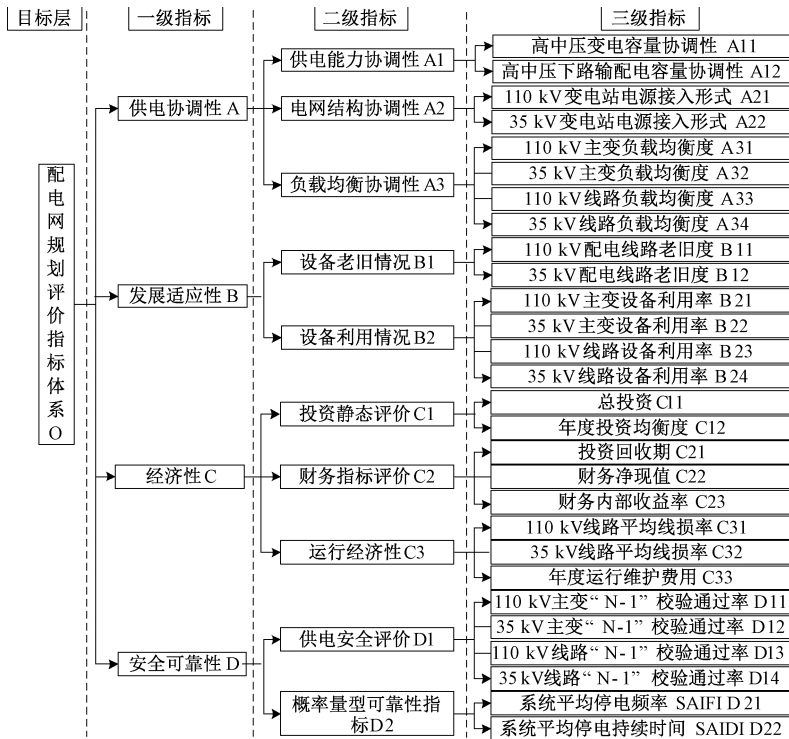


图 1 配电网规划评价指标体系

配电网用于连接电源和用户,其能否协调发展,对于提高配电网的协调性具有重要作用,其中的供电协调性包括供电能力协调性,电网结构协调性,负载均衡协调性^[11]。对于供电能力的协调性,主要是高压和中压配电网的协调性。期望的供电协调性指高压和中压的容量比为 1,越接近 1 则协调性越好。电网结构协调是实现电网稳定运行的保障。负载均衡可以减少线损实现电网优化运行,当电网局部负载过重或过轻都会使电网失稳,电网负载均衡度越好,则电网安全性越好。基于负荷预测进行的配电网规划,所规划的配电网要能适应电网的发展,配电网规划时。配电网经济性评价有助于制定合理的决策,提高项目的效益。安全可靠评价指的是设备或电网在有限时间内实现指定的任务。

1.2 微电网规划评价体系

在现代化智能电网的建设中,微电网的建设为电网的

评价的准确性具有重要影响,所以在评价配电网规划的效果时,首先要建立一套科学且完善的指标体系^[9-10]。构建评价指标的时候需要遵守的原则如下:1)指标体系具有全面性,指标体系能够全面反应出系统性能;2)指标之间具有独立性,各个指标之间不具重复,相互独立;3)一致性,所有指标都是为评价配电网规划为目标;4)可测性,确定的指标都能使用数据来表示;5)可比性,各个指标根据对评价目标的贡献程度不同,具有不同的重要程度。基于上述指标构建原则,查阅大量文献并咨询电力领域多名专家意见,构建一套配电网评价指标体系,包括了协调性,适应性,经济性,可靠性等方面,如图 1 所示。

发展做出了巨大贡献,随着微电网建设进程的加快,在分析配电网规划评价效益时,需考虑微电网综合效益,对微电网规划进行评价^[12]。通过查阅相关资料及咨询相关领域专家意见,构建微电网效益评价指标体系。将本文构建的微电网评价指标体系加入到上文配电网评价指标体系中,构成考虑微电网的配电网规划评价体系。微电网的效益主要包括环境效益、供电可靠性、线路损耗、分布式能源的利用率,所以构建微电网评价指标体系时需考虑以上指标^[12]。

从节能环保效益来讲,微电网的电源包括风力发电,光伏发电,燃料电池等,其中可再生能源占总发电量的百分比越大则表示其贡献越大,同时微电网的建设降低了废气的排放,所以其节能环保效益需要考虑的指标:微电网发电比例和 CO₂、SO₂、NO_x 排放量^[13]。从建设成本和运行效益来讲。微电网的建设与运行成本所需考虑的因素

如下:1)系统使用期总成本;2)燃料费用;3)微电网运行维护费用;4)停电损失成本;5)排污治理与赔偿成本;6)设备残值。从供电可靠性来讲,微电网接入配电网后,给电力系统的安全稳定运行带来了新挑战,当电网发生故障后,电网会选择合适的微电网接入配电网,来保障电网的稳定运行。所以,确定影响微电网运行稳定性的指标包括平均停电频率指标、系统停电持续时间指标、系统最大停电时间指标和系统电量不足指标。

2 改进的 AHP 算法

2.1 AHP 算法

AHP 是 20 世纪 70 年代提出的分析方法,主要包含四个步骤:构建层次模型,建立判断矩阵,求取各层指标权重,求取合成权重^[14]。

1)将问题以层次模型进行描述,将问题分解为目标层 A,准则层 B,方案层 C,如表 1 所示。

表 1 层次分析模型

目标层	A			
准则层	B ₁	B ₂	...	B _m
方案层	C ₁	C ₂	...	C _m

2)根据层次结构建立判断矩阵。将同一层次元素,参考专家意见根据重要性将元素进行两两比较,设某层共有 n 个元素: X_1, X_2, \dots, X_n , 构建一个 n 阶判断矩阵为 $Q = (q_{ij})_{n \times n}$, 其中 q_{ij} 表示元素 X_i 与 X_j 关于上层某一元素的重要性之比,判断矩阵 $Q = (q_{ij})_{n \times n}$ 是一个正互反矩阵^[15]。

3)求取判断矩阵的最大特征值,并对其进行归一化处理后,根据其对上层的贡献程度进行排序。

4)一致性检验。若正互反阵 $Q = (q_{ij})_{n \times n}$, 满足 $q_{ij} \cdot q_{jk} = q_{ik}; i, j, k = 1, 2, \dots, n$, 则 Q 是完全一致阵。

Saaty 提出一致性指标 (consistency index, CI) 方法,最大非零特征值 λ_{\max} 的 CI 值求取方法为:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

CI 越趋近 0, 说明一致性越好, 若 $CI < 0.1$, 则说明判断矩阵具有一致性, 若 $CI \geq 0.1$ 重新构造判断矩阵, 随机指标 (random index, RI) 值如表 2 所示。

表 2 平均随机一致性指标

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

一致性比率 (consistency rate, CR) 求取方法为:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

第 $k-1$ 层 m 个元素的权重为:

$$\boldsymbol{\varepsilon}^{(k-1)} = (\boldsymbol{\varepsilon}_1^{(k-1)}, \boldsymbol{\varepsilon}_2^{(k-1)}, \dots, \boldsymbol{\varepsilon}_m^{(k-1)})^T \quad (3)$$

则 k 层的 n 个元素第 j 个元素权重为:

$$\boldsymbol{p}_j^{(k)} = (p_{1j}^{(k)}, p_{2j}^{(k)}, \dots, p_{nj}^{(k)})^T, j = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

则 k 层元素合成权重为:

$$\boldsymbol{\varepsilon}^{(k)} = \boldsymbol{p}^{(k)} \boldsymbol{\varepsilon}^{(k-1)} \quad (5)$$

$$\boldsymbol{\varepsilon} i^{(k)} = \sum_{j=1}^m p_{ij}^{(k)} \boldsymbol{\varepsilon}_j^{(k-1)}, i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

第 k 层的一致性检验指标 ji 算法如下:

$$CI^{(k)} = (CI_1^{(k)}, CI_2^{(k)}, \dots, CI_n^{(k)}) \boldsymbol{\omega}^{(k-1)} \quad (7)$$

$$RI^{(k)} = (RI_1^{(k)}, RI_1^{(k)}, \dots, RI_n^{(k)}) \boldsymbol{\omega}^{(k-1)} \quad (8)$$

$$CR^{(k)} = \frac{CI^{(k)}}{RI^{(k)}} \quad (9)$$

2.2 AHP 算法改进

1)基于加权平均判断矩阵的改造

选定评定专家, 根据需要决策问题, 每位专家根据自己的经验给出意见, 由于专家的经验不同, 对每位专家进行权重赋值, 所有专家的权重和为 1, 由于各个专家权重不同, 对每位专家构建的判断矩阵进行加权平均获得最终的判断矩阵^[15]。加权平均判断矩阵的构造如下: 令 $\{P_1, P_2, \dots, P_k, \dots, P_n\}$ 为根据 n 个专家意见构造的判断矩阵。其中, $P_k = (p_{ij}^{(k)}), (k = 1, 2, \dots, n), p_{ij}^{(k)}$ 是第 k 个判断矩阵的元素。第 k 个专家权重记作 a_k , 且 $a_1 + a_2 + \dots + a_n = 1$ 。 n 个判断矩阵的加权平均判断矩阵为:

$$\bar{P} = (p_{ij}) = \left[\sum_{k=1}^n a_k \cdot p_{ij}^{(k)} \right] \quad (10)$$

通过对 n 个专家构建的判断矩阵进行加权平均, 根据每个点的贡献不同, 使构建的新矩阵更具权威性, 更能体现出专家群的意见。

2)改进一致性检验

当层次单排序后要进行完全一致性和次序一致性检验。完全一致性矩阵定义为 A 中的元素满 $a_{ij} = a_{ik} \cdot a_{kj}, k = 1, 2, \dots, n$ 。当 $\lambda_{\max} = n$ 时, 确定判断矩阵完全一致。

在实际应用中, $\lambda_{\max} = n$, 则 $CR = \frac{\lambda_{\max} - n}{(n - 1)RI} < 0.1$, 认为

A 满足次序一致性。传统的 AHP 判断矩阵采用 1~9 标度法, 容易引起错误判断, 且 1~9 标度法的判断结果只能用 1/9~9 之间的数表示。为了克服 1~9 标度的缺陷, 采用本文所提方法代替 1~9 标度, 如表 3 所示。当判断极限时, $a^8 = 9, a = 1.316 1$ 。根据如此标度方法, 构建的判断矩阵比传统的判断矩阵构建方法具有更高的一致性。如此构建的判断矩阵, 能提高决策者对比的准确性, 提高决策效率。改进的 AHP 算法如图 2 所示。

2.3 方案评分策略

指标 A 包含的指标值 $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$, 该指标的判断矩阵记作:

$$C = \{c_{ij}\}_{n \times n} \quad (11)$$

求取 A 指标的评分, 根据传统 AHP 的求取方法求取

表 3 指标取值范围

重要性	A : B
A 与 B 同等重要	1
A 比 B 稍微重要	a
A 比 B 重要	a^2
A 比 B 明显重要	a^4
A 比 B 强烈重要	a^6
A 比 B 极端重要	a^8

分; ω_i 为对应权重。递推关系表示为:

$$F = \begin{pmatrix} F^{(1)} \\ F^{(2)} \\ \vdots \\ F^{(n)} \end{pmatrix} = (f_1, f_2, \dots, f_m) \cdot \begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \vdots \\ \omega_m \end{pmatrix} = f \cdot \omega \quad (15)$$

式中: F 是上一层评分; f 为下一层指标; w 为权重。

3 算例仿真

3.1 实验仿真

为了验证本文所提方法的有效性,采用该方法进行了仿真实验。本文选取福建省福州市某县的配电网规划作为案例进行分析。该地区包括 6 个 110 kV 变电站,16 个 35 kV 变电站,1 个 220 kV 变电站为电源。110 kV 变电站中 5 台负载率大于 80%。从该地区的负载情况可以看出,为提升供电可靠性,急需进行规划改造。为此,本文提出了 4 种改造方案,对 4 种配电网规划进行评价对比,得出最优方案。根据本文建立的评价指标体系,建立判断矩阵,判断矩阵赋值,判断矩阵优化,权重求解,以及一致性检验等过程。最终获得各个指标的权重值如表 4 所示。并根据 3.3 节的方法对规划方案进行综合评分,评分结果如表 5 所示,图 3 所示为对应的评分示意图。

表 4 指标权重

一级指标		二级指标	
指标	权重	指标	权重
A	0.262	A1	0.286
		A2	0.412
		A3	0.302
B	0.292	B1	0.390
		B2	0.610
		C1	0.428
C	0.118	C2	0.286
		C3	0.286
		D1	0.624
D	0.328	D2	0.376

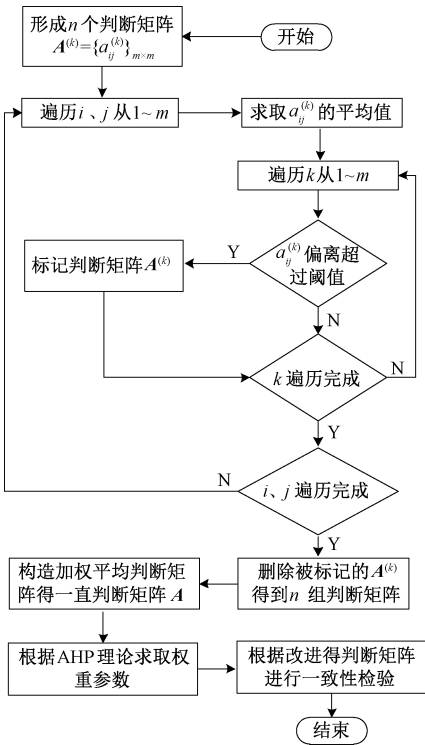


图 2 改进的 AHP 流程

C 的最大特征值及特征向量,记作:

$$F^{(k)} = \sum_{i=1}^m f_i^{(k)} \omega_i$$

$$f_i = (f_i^{(1)}, f_i^{(2)}, \dots, f_i^{(n)})^T \quad (12)$$

其中, i 表示 A 的第 i 项评价指标。将同属一个上层指标的所有指标记作:

$$f = (f_1, f_2, \dots, f_m) = \begin{pmatrix} f_1^{(1)} & f_2^{(1)} & \dots & f_m^{(1)} \\ f_1^{(2)} & f_2^{(2)} & \dots & f_m^{(2)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_1^{(n)} & f_2^{(n)} & \dots & f_m^{(n)} \end{pmatrix} \quad (13)$$

由底层向上层逐层递推直至目标层。

$$F^{(k)} = \sum_{i=1}^m f_i^{(k)} \omega_i \quad (14)$$

式中: $F^{(k)}$ 为上一层评分; $f_i^{(k)}$ 是处于 $F^{(k)}$ 下层的第 i 项评

表 5 综合评分

评价对象	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4
总目标	0.285	0.196	0.307	0.212
供电协调性	0.271	0.203	0.335	0.202
发展适应性	0.300	0.217	0.276	0.294
经济性	0.339	0.302	0.128	0.281
安全可靠	0.264	0.128	0.405	0.195

3.2 结果分析

将本文构建的配电网规划评价指标体系应用于福建

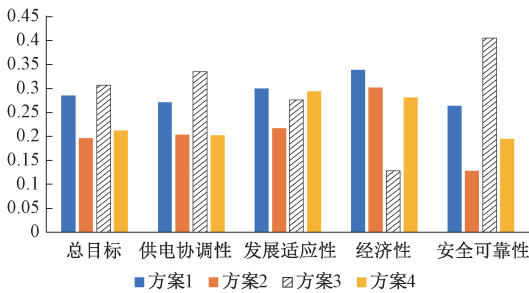


图 3 综合评价示意图

省某县的指标评价当中,获得各项指标的权重值。并采用本文提出的评价方法,对 4 种规划方案进行了综合评分,评分结果为方案 1 得 0.285 分,方案 2 得 0.196 分,方案 3 得 0.307 分,方案 4 得 0.212 分。通过对比可知,对 4 种方案得分进行排序:方案 3>方案 1>方案 4>方案 2,且方案 3 比方案 2 和方案 4 的评分具有很大的提高。进一步地,通过对其余一级指标的评分对比中可以看出,方案 1~4 在各自的规划当中,在供电协调性,发展适应性,经济型和安全性上都具有各自的优势。通过综合分析,在对配电网进行改造时,优先选取方案 3。上述评分结果与实际工程得到的结果相吻合,验证了本文所提方法的有效性。

4 结 论

本文提出了考虑微电网接入的配电网规划评价指标体系,采用改进的 AHP 方法对配电网规划方案进行指标权重计算,并采用考虑指标权重的加权求和法求取方案最终评分,提高了结果判断的科学性。通过算例仿真,采用所提的改进 AHP 方法对 4 种规划方案进行评分,仿真结果与咨询相关领域专家意见一致,验证了该方法在配电网规划评价上的科学性和合理性。

本文构建了考虑微电网接入的配电网规划评价的评价指标体系,弥补了以往评价体系单一的问题。为了改善传统 AHP 方法评价的主观性较强的缺点,采用新的加权平均判断矩阵构造方法,并对一致性判断矩阵进行了改进,从而使算法的合理性和一致性得到了提高,引入权重因子的评分方法,根据配电网规划各项指标权重不同获取方案评分。

如何构建更全面的适应当代智能电网发展的评价指标体系及更科学合理的评价方法是需要进一步探索的方向。

参考文献

- [1] 韩震焘,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.
- [2] 吴桂联,张林垚,胡臻达.中低压配电网整体规划方案综合评估[J].电力建设,2015,36(11):64-69.
- [3] 宋人杰,毛月蓉,刘耀伟,等.基于组合赋权的城市配电网模糊综合评价方法[J].科技通报,2018,34(3):148-154.
- [4] 羌丁建,寿挺,朱铁铭,等.高压配电网规划评价指标体系与综合评价模型[J].电力系统保护与控制,2013,41(21):52-57.
- [5] 杨丽君,王硕,卢志刚.配电网智能化规划评价指标[J].电网技术,2012,36(12):83-87.
- [6] 陈光华,杜栋,庞庆华,等.基于可靠性的配电网规划评估体系[J].电力科学与技术学报,2013,28(1):63-68,74.
- [7] 顾洁,秦玥,包海龙,等.基于熵权与系统动力学的配电网规划动态综合评价[J].电力系统保护与控制,2013,41(1):76-83.
- [8] 曾博,李英姿,张建华,等.电力市场新格局下智能配电网规划的综合评价模型及方法[J].电网技术,2016,40(11):3309-3316.
- [9] 李妍,王洁,王少荣,等.计及新能源特性的配电网评估指标及其隶属度函数的研究[J].电力系统保护与控制,2018,46(8):43-49.
- [10] 李响,胡天彤,牛赛,等.一流配电网全寿命周期评价体系研究[J].电力系统保护与控制,2018,46(9):80-85.
- [11] 李琳玮,方兵,陈明帆,等.含微网的配电网多目标优化规划研究[J].电网与清洁能源,2018,34(2):116-122.
- [12] 杨琦,马世英,唐晓骏,等.微电网规划评价指标体系构建与应用[J].电力系统自动化,2012,36(9):13-17.
- [13] 卢志刚,周雷,杨丽君,等.微电网规划评价指标体系研究[J].电工电能新技术,2014,33(9):25-29.
- [14] 李国正,谭南林,张建斌.基于改进型 AHP 的地铁列车设备重要度分析[J].电子测量与仪器学报,2012,26(6):503-507.
- [15] 韩霞,郭易鑫,王晖南,等.基于 AHP 的电力运行信息安全管理风险评估的研究[J].国外电子测量技术,2018,37(5):32-37.

作者简介

王炜,硕士,高级工程师,主要研究方向为电力系统、电网规划。

E-mail:3495847775@qq.com