

基于改进层次分析法的配网初始规划设计评价方法

钟天成, 高捷, 陈佳明, 董杰, 孔琳玲

(国网绍兴供电公司经济技术研究所, 浙江 绍兴 312000)

摘要: 配网初始规划设计评价结果的准确性容易受到指标权重计算结果的影响。研究一种基于改进层次分析法的配网初始规划设计评价方法。通过计算累计贡献率选出大于85%的评价指标, 构成三层指标体系。引入均衡因子, 对层次分析法计算的指标权重进行改进。结合指标权重, 利用加权秩和比法计算概率单位值, 即配网初始规划效果评分。对照档次划分标准, 确定配网初始规划效果档次。结果表明: 方案1和方案4的效果达到优秀水平, 设计最为合理, 可以采纳。

关键词: 改进层次分析法; 配网初始规划; 指标选择; 加权秩和比法; 效果评价方法

中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1003-7241(2025)01-0032-04

Evaluation Method of Initial Planning and Design of Distribution Network Based on Improved Analytic Hierarchy Process

ZHONG Tian-cheng, GAO Jie, CHEN Jia-ming, DONG Jie, KONG Lin-ling

(State Grid Shaoxing Economic Research Institute, Shaoxing 312000 China)

Abstract: The accuracy of the evaluation result of initial planning and design of distribution network is easily affected by the calculation result of index weight. An evaluation method of initial planning design of distribution network based on improved analytic hierarchy process (AHP) is studied. By calculating the cumulative contribution rate, more than 85% of the evaluation indicators are selected to form a three-tier index system. The equilibrium factor is introduced to improve the index weight of analytic hierarchy process. Combined with the index weight, the weighted rank sum ratio method is used to calculate the probability unit value, namely, the initial planning effect score of the distribution network. According to grade division standard, it determines the initial planning effect grade of distribution network. The results show that the effect of scheme 1 and Scheme 4 reaches excellent level, the design is the most reasonable and can be adopted.

Keywords: improved analytic hierarchy process; initial distribution network planning; index selection; weighted rank sum ratio method; effect evaluation method

0 引言

电力从发电站生产到用户终端, 需要经过多个环节, 其中配电环节是重要环节。配电根据需求将电力分配给用户。配电的实现基于配电网, 因此配电网的规划和建设一直是电力公司工作的重中之重^[1]。然而, 随着配电网规模的增大, 配电网结构越来越复杂, 这给其规划带来了很大的阻碍和挑战。合理的配网规划能够有效提高供电的可靠性和稳定性。为了能够实现合理的配网规划, 初始规划设计必不可少, 其作用是根据要求收集相关资料, 完成初始规划方案设计^[2]。在完成配网规划方案设计后, 还需要进行进一步的效果模拟评估, 为了保证设计方案的合理性, 确保在设计方案实施后能够达到预期效果^[3]。

目前, 了解配电网规划效果主要有两种方式: 一种是通过数值模拟方法, 另一种是通过评价方法。前者通过

收集的基础资料建立目标模型, 然后模拟该模型运行的过程, 以此获得运行过程中的效果指标, 得出规划效果。简单地说, 是对配电网规划方案进行事先模拟, 提前看到运行效果。这些方法更为直观, 但是需要保证收集基础资料的准确性和全面性, 否则模拟出来的效果并不准确。后者是通过收集能够反映规划效果的指标数据, 然后计算指标权重, 最后得出效果评分完成效果评价。该方法相比较前一种方式数据比较容易获得, 工作量小, 但是评价结果的准确性很容易受到指标权重计算结果的影响。

基于前人研究经验, 针对其不足, 研究一种基于改进层次分析法的配网初始规划设计评价方法。以期充分了解配网规划的合理性, 保证配网规划达到预期效果。

1 配网初始规划设计评价模型设计

配网初始规划是配网规划方案实施前的重要设计步骤。通过该步骤得到初步设计方案。为了解决方案存在

*基金项目: 国家自然科学基金项目 (51777197)

收稿日期: 2023-11-16

缺陷,方便进行调整、优化和改进,进行配网初始规划设计评价十分重要^[4]。本研究在以往评估方法研究的基础上,在权重计算环节上进行优化,提出一种改进层次方法,以此来提高评估结果的准确性。

1.1 评价指标选择

评价模型的构建是以评价指标作为基础,因此选择适合的评价指标对于保证评价模型的工作质量至关重要。评价指标的选择需要经过初选与复选两个环节。初选主要是在参考指标选取原则(全面性、代表性、可比性、独立性)的基础上,从相关资料中尽可能全面地提取、归纳和总结^[5]。初选的评价指标较多,为实现指标精简,还需要进行指标主成分提取,使得复选的评价指标更加精炼。具体过程如下:

步骤1:假设有 m 个评价对象,每个评价对象具有 n 个评价指标。由此构建指标样本集合,记为 $R=\{R_{ij}\}_{m \times n}$ 。 r_{ij} 是第 i 个评价对象的第 j 个评价指标。

步骤2:对 $R=\{R_{ij}\}_{m \times n}$ 进行如下变换,变换公式如下:

$$\hat{r}_{ij} = \frac{r_{ij} - \frac{\sum_{i=1}^m r_{ij}}{m}}{a_j} \quad (1)$$

其中,

$$a_j = \frac{\sum_{i=1}^m \left(r_{ij} - \frac{\sum_{i=1}^m r_{ij}}{m} \right)^2}{m} \quad (2)$$

式中, \hat{r}_{ij} 代表标准化变换后的指标; r_{ij} 代表原始指标; a_j 代表第 j 个评价指标的方差。

步骤3:计算指标间的关联程度,计算公式如下:

$$b_{jk}(i) = \frac{\sum_{i=1}^m |\hat{r}_{ij} - \hat{r}_{ik}|}{m-1} \quad (3)$$

式中, $b_{jk}(i)$ 代表第 i 个评价对象的第 j 个和第 k 个评价指标之间关联程度; \hat{r}_{ik} 代表标准化后的评价指标^[6]。

步骤4:由 $b_{jk}(i)$ 构成矩阵 $B=[b_{jk}(i)]_{m \times n}$ 。

步骤5:计算 $B=[b_{jk}(i)]_{m \times n}$ 的特征值,计算结果记为 c_1, c_2, \dots, c_m 。

步骤6:将 c_1, c_2, \dots, c_m 转换为对应的特征向量,记为 d_1, d_2, \dots, d_m 。

步骤7:计算特征值的贡献率。计算公式如下:

$$D_j = \frac{c_j}{\sum_{j=1}^n c_j} \quad (4)$$

步骤8:计算累计贡献率 F_j 。计算公式如下:

$$F_j = \frac{D_j}{\sum_{i=1}^m D_{ij}} \quad (5)$$

式中, D_{ij} 代表第 i 个评价对象的第 j 个特征值的贡献率。

步骤9:选取 F_j 大于85%作为主成分,得到少量有代表性的主要指标,完成评价指标选择^[7]。

最后对选出的指标进行聚类,完成指标分类。将每类指标的聚类中心作为二级指标,将每个类别中的指标作为三级指标,将配网初始规划效果作为一级指标,由此构建评价指标三层体系^[8]。

1.2 改进层次分析法计算指标权重

由上述指标选取过程中累计贡献率的计算可知,每个评价指标所能反映的配网初始规划效果的信息量并不对等^[9]。对此,本章节对选出的每个指标进行赋权,实现对其信息量包含程度的量化。本研究在层次分析法计算权重的基础上引入均衡因子,实现层次分析法的改进^[10-11]。改进层次分析法计算指标权重的具体过程如下:

步骤1:基于选出的指标构建层次结构模型。

步骤2:对指标进行归一化处理。

步骤3:建立判断矩阵 P 。矩阵表达式如下:

$$P = [p_{ij}]_{l \times l} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1l} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2l} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{l1} & p_{l2} & \dots & p_{ll} \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中, l 代表指标数量; p_{ij} 代表指标 i 相对于指标 j 的相对重要性量化值,它由专家及专业工作人员参照下述量化取值标准表给出,如表1所示^[12]。

表1 指标相对重要性量化标准表

量化值	相对重要性含义
1	指标 i 与 j 同等重要
3	指标 i 比 j 稍微重要
6	指标 i 比 j 明显重要
7	指标 i 比 j 强烈重要
9	指标 i 比 j 极端重要
2/4/6/8	以上相邻判断的中间值
倒数	指标 i 与 j 之间的相对重要程度相反

步骤4:对上述建立的 P 进行一致性验证。验证过程分为两步:

(1) 计算 P 一致性指标 E ,计算公式如下:

$$E = \frac{\beta_{\max} - l}{l - 1} \quad (7)$$

式中, β_{\max} 代表 P 的特征极大值。

(2) 计算一致性比例 L ,计算公式如下:

$$L = \frac{E}{U} \quad (8)$$

式中, U 代表平均随机一致性指标。

当计算出的 L 小于0.1,检验通过,否则需要调整判断矩阵^[13]。

步骤5:根据检验通过的 P ,计算指标权重,计算公式如下:

$$w_i = \frac{\left(\prod_{j=1}^n P_{ij}\right)^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^n \left(\prod_{j=1}^n P_{ij}\right)^{\frac{1}{n}}} \quad (9)$$

式中, w_i 代表第 i 个指标的权重。

步骤6:引入均衡因子,对 w_i 进行改进。计算公式如下:

$$\hat{w}_i = \frac{w_i P_{ij}^{\delta-1}}{\sum_{j=1}^n w_i P_{ij}^{\delta-1}} \quad (10)$$

式中, δ 代表均衡因子; \hat{w}_i 代表改进后的第 i 个指标的权重。

经过改进后的指标权重更符合实际指标的分布特征,能够有效降低后续配网初始规划效果评分运输中误差的累积,提高计算结果的准确性。

1.3 配网初始规划效果评分

基于上述计算出的评价指标权重,采用秩和比法计算配网初始规划效果评分。具体过程如下:

步骤1:将 m 个评价对象的 l 个评价指标排成一个 m 行 l 列的初始数据表。

步骤2:给 m 个评价对象进行编秩。编秩如下:

$$\begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1l} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2l} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{m1} & h_{m2} & \dots & h_{ml} \end{bmatrix}, j=1,2,\dots,m; i=1,2,\dots,l \quad (11)$$

式中, h_{ji} 代表第 j 行第 i 列的秩次。

步骤3:计算各行的加权秩和比。计算公式如下:

$$Y_j = \frac{\sum_{i=1}^l w_i \cdot h_{ji}}{m} \quad (12)$$

式中, Y_j 代表加权秩和比。

步骤4:按照升序的排序,对 Y_j 进行排序。

步骤5:根据 Y_j 计算累积频率,记为 R_j 。

步骤6:对照《百分数与概率单位对照表》,得出 R_j 对应的概率单位值,记为 \hat{R}_j 。概率单位值是所要求的配网初始规划效果评分值。

步骤7:根据 \hat{R}_j 进行分档排序,按照标准得出对应的配网初始规划效果档次。具体划分标准如表2所示。

表2 配网初始规划效果划分档次

分档	概率单位值范围
优秀	概率单位值 ≥ 0.75
良好	$0.30 \leq$ 概率单位值 < 0.75
一般	$0.15 \leq$ 概率单位值 < 0.30
差	概率单位值 ≤ 0.15

经过三个环节,完成配网初始规划设计评价。

2 实例应用

以4个配网初始规划方案为评价对象,利用所研究方法对其进行效果评价,测试方法应用性。

2.1 评价指标选择结果

通过计算初始指标的累计贡献率,选出配网初始规划效果的评价指标,并组成鱼骨图,如图1所示。

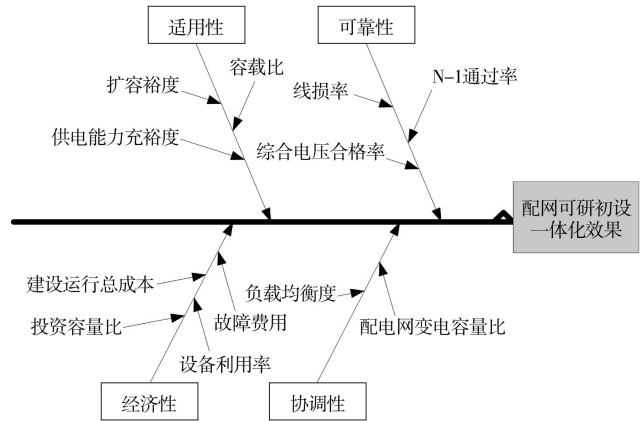


图1 评价指标选择结果

2.2 指标权重计算结果

计算4个配网初始规划方案的评价指标的权重,计算结果如表3和表4所示。

表3 二级评价指标权重

二级指标	适用性	可靠性	经济性	协调性
初始规划方案1	3.554 5	3.200 2	4.821 5	3.897 8
初始规划方案2	2.546 2	3.580 1	5.565 5	4.375 0
初始规划方案3	6.542 2	4.586 2	5.741 3	5.264 1
初始规划方案4	4.562 0	2.851 0	4.754 5	3.888 2

表4 三级评价指标权重

三级评价	初始规划方案1	初始规划方案2	初始规划方案3	初始规划方案4
扩容裕度	1.548 2	0.652 3	0.752 2	1.565 2
供电能力充裕度	1.855 6	0.546 5	1.546 5	2.565 2
容载比	0.978 5	1.546 5	1.201 0	2.254 8
线损率	1.455 2	2.355 2	2.365 8	2.010 1
综合电压合格率	2.823 0	0.548 8	0.785 2	2.255 8
N-1通过率	2.552 2	0.482 0	0.978 2	2.788 5
建设运行总成本	1.745 2	0.336 2	0.325 5	3.552 0
投资容量比	1.546 5	0.042 2	0.632 2	1.552 2
故障费用	2.014 5	0.114 5	0.145 8	2.456 2
设备利用率	2.320 2	0.352 0	1.122 2	1.785 2
配电网变电容量比	0.546 5	0.412 2	0.565 2	3.255 2
负载均衡度	0.658 2	0.522 0	0.415 2	2.441 4

2.3 评价结果

基于章节1.3秩和比法计算4个评价对象的累计频率,结果如图2所示。

根据累计频率得出对应的概率单位值,完成效果档

次的划分,结果如图3所示。

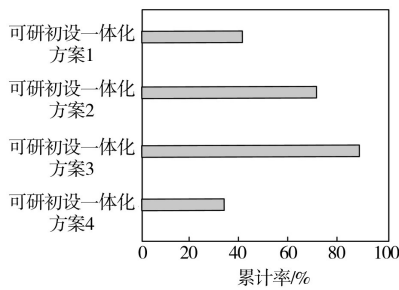


图2 三个评价对象的累计频率对比图

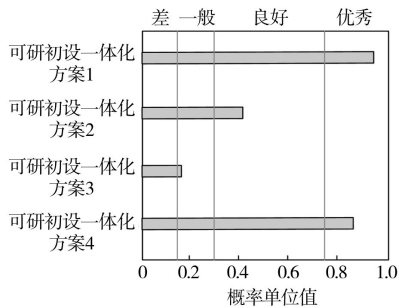


图3 概率单位值及对应的效果档次

从图3中可以看出,初始规划方案1和初始规划方案4的概率单位值均在0.75以上,说明其效果达到了优秀水平;初始规划方案2的概率单位值处在0.30~0.75之间,说明其效果达到良好水平;初始规划方案3的概率单位值处在0.15~0.30之间,说明其效果一般。由此可知,初始规划方案1和初始规划方案4设计最为合理,可以采纳。

3 结束语

为保证配电网规划的合理性,及时发现设计问题,及时进行调整,了解配网初始规划效果必不可少。为此,进行基于改进层次分析法的配网初始规划设计评价方法研究。该研究通过对传统层次分析法进行改进,使得权重更为合理,最后结合加权秩和比法,计算得出效果评分,完成配网初始规划设计评价研究。将研究的评估方法应用于四个实例当中,测试方法的应用性能,得出四个方案中有两个方案达到最高水平,证明评价方法的有效性。

参考文献:

- [1] 李正天,叶雨晴,王子璇,等.基于柔性多状态开关互联的微配网一体化规划及运行评估[J].电工技术学报,2021,36(S2):487-495,516.
- [2] 崔玉,朱东升,胡潇月,等.基于改进模糊层次分析法的二次设备差异化改造方案评价[J].河海大学学报(自然科学版),2020,48(3):276-283.
- [3] 胡迎迎,李强,张琳娜,等.基于模糊层次分析法-TOPSIS的多元化储能典型场景适用性评估[J].电测与仪表,2024,61(6):126-132.
- [4] 罗宁,贺墨琳,高华,等.基于改进的AHP-CRITIC组合赋权与可拓评估模型的配电网综合评价方法[J].电力系统保护与控制,2021,49(16):86-96.
- [5] 张卫东,张小斐,胡州明,等.基于改进熵权模糊层次分析法的输电线路质量评价模型[J].电子器件,2021,44(2):462-467.
- [6] 邱冬,王秀茹,张科,等.主动配电网馈线自动化动作效果评估方法[J].哈尔滨理工大学学报,2021,26(2):83-90.
- [7] 马杰,李秋燕,丁岩,等.含高渗透率可再生能源的配电网灵活性评价指标体系及计算方法[J].电力系统及其自动化学报,2020,32(9):99-104,112.
- [8] 贺心达,吕林,许立雄,等.基于激励惩罚机制和变权法的配电网每日运行效能评价方法[J].电力系统保护与控制,2021,49(3):10-19.
- [9] 肖峻,李航,王博,等.分布式电源接入城市配电网的综合匹配评价方法[J].电力系统自动化,2020,44(15):44-51.
- [10] 董力通,樊伟,陈英华,等.配电网资产综合绩效影响因素分析及评价方法[J].科学技术与工程,2021,21(14):5804-5812.
- [11] 唐娜娜,唐旭军.基于景观质量评价的桂林漓江风景区生态优化设计[J].森林工程,2024,40(3):66-75.
- [12] 熊宁,朱文广,钟士元,等.基于非线性映射与核主成分分析的区域配电网综合评价方法[J].现代电力,2020,37(5):463-469.
- [13] 刘玉文.配网调度与抢修一体化管控系统设计[J].自动化技术与应用,2022,41(8):89-92.

作者简介:钟天成(1984-),男,硕士,高级工程师,研究方向:配电网经营管理服务。

(上接第19页)

[6] 王玲,孙波.非线性模拟量检测的多点定标方法[J].仪表技术与传感器,2010(4):108-110.

[7] 黄健,黄明亚,张继伟,等.调节阀动作误差测试装置[J].阀门,2015(6):24-25.

[8] 西门子股份有限公司.产品支持:SIMATIC IC S7-300 S7-300模块数据[EB/OL].[2017-8-21].<https://support.industry.siemens.com/cs/document/8859629/simatic-s7-300-s7-300%E6%A8%A1%E5%9D%97%E6%95%B0%E6%8D%AE?dti=0&lc=zh-CN>.2020.

[9] 刘巧珍,栾松,陈燕光.最小二乘法在PLC模拟量测量系统标定中的应用[J].测控技术,2007(5):85-87.

作者简介:姚沛嵩(1980-),男,硕士,高级工程师,研究方向:工业控制安全、航天发射场地面设备技术改造与质量管理工作。