

文章编号: 2095-2163(2020)03-0085-06

中图分类号: TM715

文献标志码: A

基于改进 AHP 和 CRITIC 法的配电网规划方案综合评估

王鑫, 任丽佳, 张菁

(上海工程技术大学 电子电气工程学院, 上海 201620)

摘要: 针对当前配电网可靠性评估过程中决策因素的不确定性和权重难以量化问题,在配电网网架结构层面提出了一种改进 AHP 和基于指标相关性的 CRITIC 指标确定法相结合的智能配电网规划方案评价方法。该方法首先基于配电网网架结构层面建立可靠性评价指标体系,利用改进的层次分析法与 CRITIC 法计算各评价指标的主客观权重,并采用最小二乘法计算得到综合权重。该方法综合考虑了主客观权重对规划方案的影响,避免了单一观点的局限性,并有效地利用了各指标的数据信息。通过算例分析表明,本文提出的评价方法能有效地评判配电网网架结构层面各决策方案的合理性。

关键词: 可靠性评估; 网架结构; 改进 AHP; CRITIC; 最小二乘法

Comprehensive evaluation of distribution network planning based on improved AHP and CRITIC methods

WANG Xin, REN Lijia, ZHANG Jing

(School of Electronic and Electrical Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

[Abstract] Aiming at the problem of uncertainty and difficult quantitative weight of decision factors in the current reliability assessment process of distribution networks, at the level of distribution network structure, an evaluation method of intelligent distribution network planning scheme combining improved AHP and CRITIC index determination method based on index correlation is proposed. In the research, a reliability evaluation index system is established based on the grid structure of the distribution network, the improved analytic hierarchy process and CRITIC method are used to calculate the subjective and objective weights of each evaluation index, the comprehensive weight is calculated using the least squares method. This method comprehensively considers the impact of subjective and objective weights on the planning scheme, avoids the limitations of a single point of view, and data information of each indicator is effectively used. The simulation analysis shows that the evaluation method proposed in this paper can effectively judge the rationality of various decision-making schemes at the structural level of the distribution network grid.

[Key words] reliability evaluation; grid structure; improved AHP; CRITIC; least square method

0 引言

随着近年来智能电网的快速发展,智能配电网已成为电力系统中的重要组成部分,为应对对供电质量、可靠性等不断提高的需求,对智能配电网的规划评价必不可少^[1-3]。通过智能配电网规划评价可以在满足用户需求的同时,结合信息需求、网架结构等因素,对各种规划方案进行综合评估。现阶段的综合评估中,针对配电网的规划方案大多考虑的都是基于配电系统层面的影响因素,对网架结构层面的规划方案考虑较少,本文基于网架结构层面考虑影响配电系统供电可靠性的各影响因素,构建相应的指标体系,并结合主观和客观权重对配电网规划方案进行综合评估。

目前,中国在配电网规划评价方面的研究取得了一定的突破,在现阶段智能配电网评估中采用一定方式对指标或备选方案权重进行计算,进而确定

各方案的优先级,该方面有如下研究:文献[4]提出一种基于区间层次分析法的权重求解算法,合理地处理了决策因素的不确定性和专家判断的模糊性。文献[5]在故障停电风险决策中,利用模糊层次分析法对配电网进行评估,将指标体系中一些较为模糊的指标进行定量分析。文献[6]综合了 AHP 和线性规划(LP)提出了基于价值的规划决策方法,合理地给出了综合利益最大化决策方案。当前对配电网的评估研究通常只针对单个指标性能,对配电网综合性能考虑较少,故对配电网规划方案进行合理有效的综合评价便成为了亟待解决的重要问题。

配电网规划方案的综合评估方法主要有层次分析法、模糊综合评价法、熵权法等,但目前规划评价方法还存在一定局限性,在实际应用过程中会出现明显缺陷。文献[7]通过层次分析法-熵权法对配

作者简介: 王鑫(1995-),男,硕士研究生,主要研究方向:配电网可靠性、安全性研究;任丽佳(1978-),女,博士,讲师,主要研究方向:电力设备在线监测技术、状态检测及输电线路动态增容研究;张菁(1969-),女,副教授,主要研究方向:电气工程及其自动化、电气控制与应用、图像识别等。

收稿日期: 2019-11-26

电网可靠性指标的主客观权重计算,提升了综合权重下的合理性,但忽略了在运用 AHP 对主观权重计算时对一致性的校验较为复杂的问题。文献[8]提出一种综合改进的 TOPSIS 法和德尔菲—熵权法的综合决策方案,解决了规划方案中主观权重过大的问题,但其指标量化的方法难以在实际应用中实现。文献[9]提出一种适用于高压配电网规划特点的评价指标体系,但在配电网其它电压体系中具有一定的局限性。目前,对配电网规划方案综合评估研究主要集中在对各指标体系的性能计算中,基于主客观去分析指标体系的性能。

本文针对当前配电网可靠性评估过程中决策因素的不确定性和权重难以量化问题,基于指标相关性的 CRITIC 指标确定法和改进层次分析法相结合的智能配电网规划方案评价方法,提出一种包含配电网网架结构层面指标的评价体系。对不同配电网的规划方案进行综合评估,结合网架结构层面的指标,并通过实际案例对比分析该方法的有效性。

1 配电网可靠性评价指标体系

1.1 配电网评价指标体系架构

当前配电网可靠性评估规划方案通常基于影响系统可靠性的因素来考虑,对系统中其他层面诸如网架结构层面的研究考虑较少。现对配电网规划方案指标的考虑主要集中在可靠性、经济性、适应性等方面,但在网架结构层面规划缺乏全面性,且对不确定性因素考虑较少,不宜直接将其应用到网架结构层面的配电网规划方案中。本文根据在网架结构层面中影响配电网可靠性的各种影响因素和不确定性因素,建立了网架结构层面的配电网评价指标体系,共分为4个评价层级,如图1所示。

图1中的指标体系是围绕着决策目标网架结构综合评估体系 G 建立的,其中用户端可靠性 A 、网架合理性 B 、抗干扰性 C 、经济性 D 构成与决策目标 G 直接相关的下一层子属性。同理,指标配电系统充裕性 A_1 、通讯系统可靠性 A_2 同样为构成上一层级用户端可靠性 A 相关的下一层子属性。图1所示的指标体系中各指标呈树状结构,实际中有时会出现网状结构。

为弥补传统配电网规划方案在网架结构层面中的不全面性以及不确定性因素考虑较少的问题,在尽可能满足全面性、客观性和易求取性的原则下,图1给出的指标体系中包含了传统方案中的各项指标,并做出了以下三点的变动:

(1) 针对可靠性的评价中,综合了网架结构层面指标后还考虑到了用户端的负荷点供电可靠性和

将通信系统的可靠性因素加入,使得规划中对可靠性的考虑更加多元化。

(2) 基于网架结构层面,深入研究网架结构的合理性,考虑了网架的接线模式及供电线路的因素。

(3) 针对网架结构在故障时抗干扰能力的不确定性,新增了在故障发生时带来的不确定性影响的转供能力、备用电源数及故障修复时间等指标。

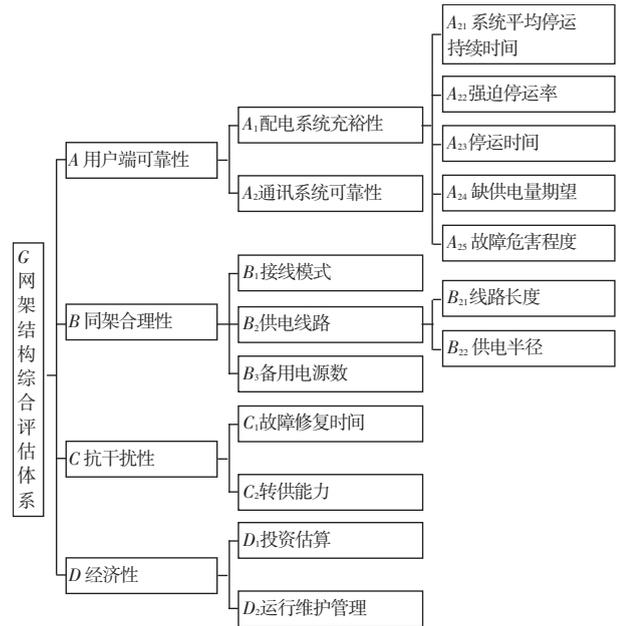


图1 网架结构层面配电网规划方案指标体系

Fig. 1 Index system of distribution network planning scheme at grid structure level

1.2 单项指标及其计算方法

1.2.1 可靠性指标

可靠性指标反映的是配电网对用户端持续供电能力的评价指标,可靠性越高,供电能力就越强。基于网架结构层面的配电网可靠性指标除了常用的关于负荷点的可靠性指标外,还包括了配电系统充裕性指标以及通信系统可靠性指标。

电网充裕性问题也是可靠性评估过程中必不可少的一部分,并对系统充裕性指标进行定量分析。为对配电系统供电能力的评估,这里引用了电量不足期望值指标 $EENS$ 。数学公式具体如下:

$$EENS = \frac{8760}{T} \sum_{i \in S} C_i t_i, \quad (1)$$

其中, $EENS$ 为电量不足期望值指标; T 是统计时间; S 是切负荷状态的集合; C_i 是切负荷状态下供电量; t_i 是切负荷状态持续时间。

为考虑系统的故障危害程度,这里引用严重程度指标。数学公式具体如下:

$$BPECI = EENS/L, \quad (2)$$

$$SI = BPECI \times 60, \quad (3)$$

其中, $BPECI$ 为系统消电量指标; L 为系统的年最大负荷; SI 为严重度指标, 也称系统分, 即为全年运行于最大负荷方式下全系统停电 1 min, 描述了系统故障的严重程度。

基于开放体系的并高度集成的通信系统是实现智能电网的重要技术手段, 也是智能电网的基础^[10]。为解决城市配电网通讯节点大和节点分布广的特点, 这里引入了固有可用性和装有备用电源比例指标, 以实现规划的多方面综合评估。

通讯系统的固有可用性 A_i 定义为设备的平均故障间隔时间同总时间的比值, 即:

$$A_i = MTBF / (MTBF + MTTR). \quad (4)$$

其中, $MTBF$ 为系统或设备的平均故障间隔时间, $MTTR$ 为系统或设备的平均先修复时间。

1.2.2 网架合理性指标

网架合理性指标描述了在网架结构选择和规划过程中需要考虑的优劣性问题, 包括了网架接线模式指标以及线路供电半径指标。

配电网网架构建中选择不同的接线模式, 对整个配电系统的可靠性影响程度不同。常用的接线模式主要有辐射型接线模式、环式接线模式以及分段和联络接线模式三种。对各接线模式之间的优劣性对比分析, 得到接线模式指标下各模式的重要程度, 进而考虑网架的合理性。

线路供电半径指标主要考虑电压等级以及用户终端密集度, 指从点电源点开始到其供电的最远负荷点之间的线路距离。在供电线路上, 供电电压等级越高, 对应的供电半径也就越大, 呈递增趋势, 同时在供电的用户终端随着负载量的增加, 供电半径缩小, 呈递减趋势。

1.2.3 抗干扰性指标

这里新增抗干扰性指标, 针对在智能配电网出现故障时系统抗干扰能力的强弱问题, 引入了故障修复时间和转供能力这两个指标来衡量。

随着智能配电网运行过程中各种故障对系统的可靠性产生影响, 备用电源的构建对故障恢复起着显著效果, 为可靠性的提升起着重要作用, 但同时会造成经济成本的增长, 需要妥善考虑可靠性与经济性的合理规划。在故障发生后, 变电站的负荷转供能力也在应对故障发生中起着重要作用, 不同的转供能力在安全约束条件下, 对因故障影响而失电的重要负荷有着不同的恢复速度, 进而促使其它负荷的供电的恢复。

1.2.4 经济性指标

经济性指标体现的是在考虑网架结构的配电网规划过程中追求更高性价比的规划方案, 主要考虑网架结构的构建应需追求较低的经济成本、较高的可靠性的特征。本文主要引用投资估算和运行管理维护费用两个指标, 对所规划的网架结构经济性进行描述。在运行管理维护费用中, 主要分为年运行维护费用和年传输维护费用。

年运行维护费用 C_{op} 为:

$$C_{op} = r_{op} C_{ic}, \quad (5)$$

其中, r_{op} 为年运行维护费率, 取 1.8%^[11]; C_{ic} 为总工程造价。

年传输损耗费用 C_{tr} 为:

$$C_{tr} = \frac{\sigma P_{av} S h}{10}. \quad (6)$$

其中, σ 为网损率; P_{av} 为平均负荷; S 为售电价格; h 为一年内用电小时数。这里, 假设平均负荷率为 0.7, 且售电价格为 0.65 元/(kW·h)。

2 主、客观权重计算

2.1 基于改进 AHP 的主观权重计算

AHP 是一种将定性和定量分析相结合的、系统化、层次化的分析方法, 具有对定量数据的需求而少、方便实用等优点^[12]。但当利用 AHP 对主观权重计算时, 常会出现因判断矩阵不满足一致性检验而无法做出决策的问题, 影响实际的评价过程。本文采用改进 AHP 解决上述问题^[13], 即先利用标度构造法确定判断矩阵, 然后按照重要程度不减的方式对所给定的 n 个指标进行排序, 对相邻的 2 个指标重要程度比较得到一个标度, 这样得到的判断矩阵均可满足一致性要求, 并不再需要检验。

构建判断矩阵, 采用上文的成对比较法和九级标度法为判断矩阵的要素赋值^[14], 即根据对比得到各指标间的标度值, 再根据重要程度的传递性得到判断矩阵中的其他元素, 由此得到的判断矩阵为:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & t_1 & t_1 t_2 & \cdots & \prod_{i=1}^{n-1} t_i \\ \frac{1}{t_1} & 1 & t_2 & \cdots & \prod_{i=2}^{n-1} t_i \\ \frac{1}{t_1 t_2} & \frac{1}{t_2} & 1 & \cdots & \prod_{i=3}^{n-1} t_i \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{\prod_{i=1}^{n-1} t_i} & \frac{1}{\prod_{i=2}^{n-1} t_i} & \frac{1}{\prod_{i=3}^{n-1} t_i} & \cdots & 1 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

其中,判断矩阵 $R = [r_{ij}]$ 满足如下条件: $r_{ij} > 0$; $r_{ii} = 1$; $r_{ij} = 1/r_{ji}$; $r_{ij} = r_{ik}r_{kj}$ 。式中, r_{ij} 为第 i 个指标相对于第 j 个指标的标度值。

不同于传统常用的 AHP 中常出现的不满足判断矩阵一致性检验这一问题,改进后的 AHP 判断矩阵满足一致性,可直接进行计算。所给各指标的主观权重均可由下式求得^[15]:

$$\alpha_i = \left(\prod_{j=1}^n r_{ij} \right)^{1/n} / \sum_{i=1}^n \left(\prod_{j=1}^n r_{ij} \right)^{1/n} \quad (8)$$

其中, α_i 是第 i 项指标的权重值; $\prod_{j=1}^n r_{ij}$ 是判断矩阵 R 在第 i 行所有元素的乘积。

2.2 基于 CRITIC 法的客观权重计算

CRITIC 法是一种基于指标相关性的客观权重计算方法。该算法在确定权重时,除了指标自身信息量外还需要考虑指标之间相关性的大小,以及同一指标针对不同样本取值的差异性大小,使得计算结果更加地客观合理。

确立评价指标需先建立评价矩阵,设在 m 个方案中共有 n 个指标,则评价矩阵为:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

使用 CRITIC 法对客观权重计算,首先需对指标进行同向化处理。在评价指标中会出现正向和负向指标,如备用电源数等属于正向指标,传输损耗费用等属于负向指标,2 种指标同时存在会对指标体系的计算量增加,这就需要将 2 种指标同向化处理,转换成同向计算,本文将负向指标转换成正向指标,转换方式如式(10)所示:

$$x'_{ij} = \frac{1}{p + \max |X_i| + x_{ij}}, \quad (10)$$

其中, $\max |X_i|$ 为第 i 个指标的最大值; p 为协调系数,这里取 0.1。经过同向化转换,评价矩阵 X 正向化到 X' 。

正向化得到矩阵 X' 后,因矩阵中评价指标的各含义不同,单位不同,还需对其进行无量纲化处理,处理方式如式(11)所示:

$$x''_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m (x'_{ij})^2}} \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (11)$$

在考虑同一指标对不同样本取值的差异性大小评价中,一般用标准差来度量,即通过对各指标间的

相关系数为依据,构造反映指标间冲突性的量化表达式。经无量纲化处理后得到标准矩阵 X'' , 再求得各指标间的标准差 s_i 和相关系数 ρ_{ij} , 如式(12)所示:

$$s_i = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m x''_{ij} - \bar{x}''_{i^2}}, \quad (12)$$

$$\rho_{ij} = \text{cov} X''_i X''_j / s_i s_j, \quad (13)$$

其中, \bar{x}''_{i^2} 为第 i 个指标的均值; $\text{cov} X''_i X''_j$ 为标准矩阵 X'' 第 i 行与第 j 行的协方差。然后对指标所含信息量计算,令 C_i 代表第 i 个评价指标所包含的信息量,需用到的数学公式为:

$$C_i = s_i \sum_{j=1}^n 1 - \rho_{ij}, \quad (14)$$

其中, $\sum_{j=1}^n 1 - \rho_{ij}$ 为第 i 个指标与其他指标冲突性得到量化显示。信息量 C_i 与指标重要性呈正比关系,随信息量的增大,指标也就越重要。所以第 i 个指标的客观权重 β_i 改进计算公式为:

$$\beta_i = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^n C_i}. \quad (15)$$

2.3 综合权重的确定

经过上述对主观和客观权重的计算,得到了各指标的主观权重向量 α_i 和客观向量 β_i , 假定综合权重为 ω_i , 为使指标综合权重 λ_i 更好地贴近 α_i 和 β_i , 这里选用最小二乘法对所得的主观和客观权重进行组合优化,进而求取综合权重,目标函数为:

$$\min F(\lambda_i) = \sum_{m=1}^k \sum_{n=1}^{15} \left\{ [(\lambda_i - \alpha_i) x''_{ij}]^2 + [(\lambda_i - \beta_i) x''_{ij}]^2 \right\}, \quad (16)$$

约束条件为:

$$\sum_{i=1}^n \omega_i = 1, \omega_i \geq 0. \quad (17)$$

然后使用拉格朗日乘法求解上式,可得各指标综合权重值 λ_i 。

3 算例分析

为验证所提配电网供电可靠性评估方法的有效性,本案例以上海某地区配电网规划作为研究对象,该地区由于 110(35)kV 变电站较少,造成部分地区供电范围大,供电区域交错,且因基建站点缺乏和分布不均,以及电缆通道所限,造成部分地区由区外变电站长距离供电,影响供电可靠性,由此形成 3 个方案属性见表 1。3 个方案各有优劣,需全面考虑各方案之间因素的变动对系统的供电可靠性的影响,得到最优方案。以下按照决策步骤实现对各方案之间

主客观的权重计算,并最终求得综合后的各方案权重,进而验证所提决策方法的有效性。

表1 方案属性决策表

Tab. 1 Scheme attribute decision table

方案属性		方案1	方案2	方案3
用户配电网系统 端可靠 性	系统平均停运 持续时间	0.033 65	0.029 65	0.024 33
	充裕性			
	强迫停运率	7.13	5.34	3.56
	停运时间	2.903 7	2.558 7	2.098 6
通信系统 可靠性	缺供电量期望	0.605 6	0.533 6	0.437 7
	故障危害程度	1.07	0.81	0.53
	固有可用性	58 000	65 000	83 000
网架 合理性	接线模式	辐射型	分段和 联络型	分段和 联络型
	供电线路 长度	32.7	34.6	37.1
抗干扰性 经济 性	供电半径	16	18	20
	备用电源数	0	1	2
运行维护管理 费	故障修复时间	2.903 7	2.514 8	2.514 8
	转供能力	0.00%	33.33%	66.67%
	投资估算	1 175	1 367	1 597
	运行维护管理费	583.67	614.23	647.56

3.1 主观权重计算

根据上一节所述步骤,采用改进层次分析法对各项因素的主观权重进行计算。在配电网规划无特殊约束条件下,参考文献中的指标评价结果及专家意见,得到各项指标重要性排序为:备用电源数>转供能力>停运时间>接线模式>故障危害程度>强迫停运率>故障修复时间>缺供电量期望>投资估算>供电半径>线路长度>固有可用性>系统年平均停电次数>系统平均停运持续时间>运行维护管理费。

确定指标间的标度值,由专家进行打分有以下评判: $r_{12} = 1.2, r_{23} = 1.6, r_{34} = 1.4, r_{45} = 1.6, r_{56} = 1.2, r_{67} = 1.2, r_{78} = 1.6, r_{89} = 1.4, r_{910} = 1.4, r_{1011} = 1.2, r_{1112} = 1.6, r_{1213} = 1.4, r_{1314} = 1.2, r_{1415} = 1.6$, 由重要程度的传递性,按前文所提计算方法,得到矩阵中其它元素的数值,其中判断矩阵如下所示:

Tab. 2 Objective weight calculation of CRITIC method

评价指标	权重	评价指标	权重	评价指标	权重
系统年平均停电次数	0.102 9	故障危害程度	0.067 3	备用电源数	0.017 8
系统平均停运持续时间	0.023 3	固有可用性	0.032 1	故障修复时间	0.071 6
强迫停运率	0.029	接线模式	0.127 5	转供能力	0.138 2
停运时间	0.134 7	线路长度	BEITA	投资估算	0.025 7
缺供电量期望	0.017 9	供电半径	0.134 5	运行维护管理费	0.068 5

3.3 综合权重计算

确定主观权重 α_i 和客观权重 β_i 后,采用最小二

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 1.2 & 1.92 & \dots & 100.32 \\ \frac{1}{1.2} & 1 & 1.6 & \dots & 83.53 \\ \frac{1}{1.92} & \frac{1}{1.6} & 1 & \dots & 52.21 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{100.32} & \frac{1}{83.53} & \frac{1}{52.21} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (18)$$

由判断矩阵 R 计算各指标的主观权重,有:

$$\alpha = [0.261, 0.220, 0.141, 0.103, 0.066, 0.056, 0.047, 0.030, 0.022, 0.016, 0.014, 0.009, 0.006, 0.005, 0.004]$$

向量元素依次对应备用电源数、转供能力、停运时间、接线模式、故障危害程度、强迫停运率、故障修复时间、缺供电量期望、投资估算、供电半径、线路长度、固有可用性、系统年平均停电次数、系统平均停运持续时间、运行维护管理费。

但在不同的配电网条件下,各影响因素的重要程度改变,需对各指标进行重新排列。如在偏远贫困地区,对经济性指标的考虑应更为注重,主观权重更高,其它指标优先程度保持不变。

3.2 客观权重计算

根据方案属性决策表数据,利用 CRITIC 法建立评价矩阵,并进行同化处理,将故障危害程度、投资估算、停运时间、强迫停运率、故障修复时间、缺供电量期望、线路长度、系统年平均停电次数、系统平均停运持续时间、运行维护管理等指标转换为正向指标,再对矩阵进行无量纲化处理,得到标准矩阵 X'' 为:

$$X'' = \begin{bmatrix} 0.532 & 0.572 & 0.624 \\ 0.539 & 0.573 & 0.618 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0.592 & 0.577 & 0.563 \end{bmatrix} \quad (19)$$

根据 CRITIC 法,分别计算各指标的信息量 G_i 和客观权重 β_i , 最终结果见表 2。

表2 CRITIC 法的客观权重计算

乘法对综合权重进行计算,将求得的 α_i 和 β_i 代入式 (16),使用拉格朗日乘数法求解,有下式:

$$\min F(\lambda_i) = \sum_{m=1}^3 \sum_{n=1}^{15} \{ [(\lambda_i - \alpha_i) x''_{ij}]^2 + [(\lambda_i - \beta_i) x''_{ij}]^2 \} + \gamma \left(\sum_{n=1}^{15} \lambda_i - 1 \right).$$

其中, γ 为拉格朗日乘子。经计算可得各指标综合权重见表3。

表3 指标综合权重计算

Tab. 3 Calculation of indicator comprehensive weight

评价指标	权重	评价指标	权重	评价指标	权重
系统年平均停电次数	0.006	故障危害程度	0.084	备用电源数	0.266
系统平均停运持续时间	0.005	固有可用性	0.009	故障修复时间	0.038
强迫停运率	0.052	接线模式	0.123	转供能力	0.224
停运时间	0.091	线路长度	0.014	投资估算	0.039
缺供电量期望	0.026	供电半径	0.016	运行维护管理费	0.004

根据表3求得的各项指标综合权重,与相应的指标标准化相乘后累加可得各方案的权重,再对比不同方案的权重大小可得到各方案的优劣程度,各配电网综合评估方案结果见表4。

表4 不同方案配电网可靠性综合评估结果

Tab. 4 Results of comprehensive assessment of reliability of distribution network in different scenarios

方案	方案一	方案二	方案三
权重	0.489 971	0.535 142	0.666 723

由表4可知,采用改进层次分析法和CRITIC法分别对3种方案各项指标的主观和客观权重进行计算,并使用最小二乘法求得综合后的方案优劣排序为方案三>方案二>方案一。方案一虽具有经济性优势,但其接线模式采用辐射型接线,供电可靠性较方案二和方案三更低。虽然方案二和方案三都选择分段和联络接线模式,但方案三的备用电源数和转供能力均高于方案二,故方案三的综合可靠性更高,因此在工程实施前的网络构建时,往往会选择方案三作为规划方案。因此通过这种改进层次分析法和CRITIC法的综合评估算法,同时结合提出的配电网网架结构层面指标的评价体系,可以更全面合理地评估不同网络结构的可靠性。

4 结束语

本文提出了基于指标相关性的CRITIC指标确定法和改进层次分析法相结合的智能配电网规划方案评价方法,并提出了一种包含配电网网架结构层面指标的评价体系,最后通过实际案例对比分析该方法的有效性。算例结果表明,所提的综合评估方法充分地考虑了主观和客观权重,综合权重更贴近理想的解,综合评价的结果更好。不同于常考虑的配电网评估指标,在考虑网架结构层面后,使得对配电网规划方

案考虑得更为全面,更符合实际工程需求。

案考虑得更为全面,更符合实际工程需求。

参考文献

- [1] 薛振宇,胡航海,宋毅,等. 基于大数据分析的县公司综合评价策略[J]. 电力自动化设备,2017,37(9):199.
- [2] 杜琳,孙亮,陈厚合. 计及电转气规划的综合能源系统运行多指标评价[J]. 电力自动化设备,2017,37(6):110.
- [3] 刘自发,韦涛,李梦渔,等. 基于改进层次分析法的交、直流微电网综合评估[J]. 电力自动化设备,2016,36(3):60.
- [4] 肖俊,王成山,周敏. 基于区间层次分析法的城市电网规划综合评判决策[J]. 中国电机工程学报,2004,24(4):50.
- [5] 徐铭铭,曹文思,姚森,等. 基于模糊层次分析法的配电网重复多发性停电风险评估[J]. 电力自动化设备,2018,38(10):19.
- [6] SHEEHAN M, BRACE C, WILLIAMS S, et al. Optimal allocation of resources to distribution investments using the analytic hierarchy process to balance the impacts of investments on safety, customer interruption costs, levelized annual revenue requirement, contribution to margin and other considerations [C]// 2000 Power Engineering Society Summer Meeting (Cat. No.00CH37134). Seattle, USA:IEEE,2000,3:1311.
- [7] 黄廷城,叶琳浩,张勇军. 基于AHP-熵权法的配电网用电可靠性综合评估[J]. 广东电力,2018,31(1):44.
- [8] 朱天瞳,丁坚勇,郑旭. 基于改进TOPSIS法和德尔菲-熵权综合权重的电网规划方案综合决策方法[J]. 电力系统保护与控制,2018,46(12):91.
- [9] 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(21):52.
- [10] 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.
- [11] 吴峻,武迪,朱金大,等. 多端柔性直流配电网接地方式设计[J]. 中国电机工程学报,2017,37(9):2551.
- [12] 李娜娜,何正友. 主客观权重相结合的电能质量综合评估[J]. 电网技术,2009,33(6):55-61.
- [13] 邓红雷,戴栋,李述文. 基于层次分析-熵权组合的架空输电线路综合运行风险评估[J]. 电力系统保护与控制,2017,45(1):28.
- [14] 赵书强,汤善发. 基于改进层次分析法、CRITIC法与逼近理想解排序法的输电网规划方案综合评价[J]. 电力自动化设备,2019,39(3):143.
- [15] 张立军,张潇. 基于改进CRITIC法的加权聚类方法[J]. 统计与决策,2015(22):65.