

9-3-2020

Research on rural power system comprehensive evaluation system based on game theory combination weights

Mengyu JIA

The Electrical Engineering College , Guizhou University, Guiyang 550025 , China

Meng LI

Economic and Technological Research Institute, State Grid Henan Electric Power Co , Ltd , Zhengzhou 455000 ,China

Song HAN

The Electrical Engineering College , Guizhou University, Guiyang 550025 , China

Qiuyan LI

Economic and Technological Research Institute, State Grid Henan Electric Power Co , Ltd , Zhengzhou 455000 ,China

Follow this and additional works at: <https://jepst.researchcommons.org/journal>

Recommended Citation

JIA, Mengyu; LI, Meng; HAN, Song; and LI, Qiuyan (2020) "Research on rural power system comprehensive evaluation system based on game theory combination weights," *Journal of Electric Power Science and Technology*. Vol. 35: Iss. 2, Article 9.

DOI: 10.19781/j.issn.16739140.2020.02.009

Available at: <https://jepst.researchcommons.org/journal/vol35/iss2/9>

This Article is brought to you for free and open access by Journal of Electric Power Science and Technology. It has been accepted for inclusion in Journal of Electric Power Science and Technology by an authorized editor of Journal of Electric Power Science and Technology.

基于博弈论组合赋权的农村电网 综合评价体系研究

贾梦雨¹, 李 锰², 韩 松¹, 李秋燕²

(1. 贵州大学电气工程学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 国网河南省电力有限公司经济技术研究院, 河南 郑州 455000)

摘 要:随着农村电网升级改造的深入和农村居民生活水平的不断提升,农村电网的电网结构、运行水平、负荷种类和负荷运行特征都已经发生了明显的变化,传统农村电网综合评价指标体系和评价方法已不能满足当前农村电网的需求。该文提出一种计及分布式电源接入和负荷运行特性的农村电网综合评价体系。首先构建涵盖源—网—荷等反应农村电网结构和运行特点的综合评价指标体系,然后对现有的单一农村电网评价方法进行全面梳理,提出基于博弈论的组合赋权法,并进行层次化指标的权重计算,为体现评价体系的适应性,选择中国不同地区农村电网进行横向对比,以验证算法的有效性。在乡村振兴的国家战略背景下,该文提出的农村电网综合评价体系具有较强的实用性,能够为农村电网的投资提供参考依据。

关 键 词:博弈论组合赋权;分布式能源;可调控负荷;评价体系

DOI:10.19781/j.issn.1673-9140.2020.02.009 中图分类号:TM727 文章编号:1673-9140(2020)02-0069-07

Research on rural power system comprehensive evaluation system based on game theory combination weights

JIA Mengyu¹, LI Meng², HAN Song¹, LI Qiuyan²

(1. The Electrical Engineering College, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Economic and Technological Research Institute, State Grid Henan Electric Power Co., Ltd., Zhengzhou 455000, China)

Abstract: With the continuous upgrading of rural power grids and rising living standards of rural residents, the power grid structure, operating level, load types and load operating characteristics of rural power grids have undergone significant changes. The traditional rural power grid comprehensive evaluation index system and evaluation methods have been unable to meet the current needs of rural power grids. This paper presents a comprehensive evaluation system for rural power network that takes into account the characteristics of distributed power access and load operation. Firstly, a comprehensive evaluation index system covering the structure and operation characteristics of source-grid-load reaction rural power grids is constructed. Then, the existing evaluation methods of single rural power grids are comprehensively reviewed, and a combinatorial weighting method based on game theory is proposed. In order to reflect the adaptability of the evaluation system, we choose the horizontal contrast between different regions in our country to verify the validity of the algorithm. Under the national strategic background of rural rejuvenation, the

comprehensive evaluation system of rural power system proposed in this paper has strong practicality and can provide a reference for rural power grid investment.

Key words: game theory combination weighting; distributed energy; adjustable load; evaluation system

2016年国家发改委颁发《关于“十三五”期间实施新一轮农村电网改造升级工程意见的通知》，提出农网发展应积极适应农业生产和农村消费需求，改善城乡电网发展不平衡，协调电能替代、分布式能源接入以及可调控负荷增加的问题^[1]。为应对上述“十三五”期间农网改造和负荷种类多样化的农网发展需求，迫切需要引入新的评价体系来量化农网指标的变化；其次，在乡村振兴战略下，光伏扶贫和终端电能替代对农网的安全稳定运行带来重要影响，也需要引入新的评价方法进行科学合理的分析。

目前，对农村电网综合评价体系的研究主要集中在2个方面：

1)评价指标分析方面。文献[2]提出以可靠性、优质性等特点分别对中低压台区与10 kV干线提出相应指标体系，包括供电质量、停电时间、电压合格率、新能源消纳和供电半径合格率等指标；文献[3]基于负荷预测以及电网一致性需求，提出供电安全、可靠性、经济性、适应性和协调性等5个一级指标、14个二级指标的配电网评价体系，并结合实例进行综合评分以衡量评价效果；文献[4]列出理论线损率、容载比、“N-1”通过率、负载率和输变电设备状态等与配电网相关的21个相关指标，从项目指标和管理指标出发，形成对配电网投资的综合决策模型；文献[5]基于配电网自身的特征，从供电质量、供电能力可靠性、经济性和负荷裕度等5个二级指标、11个三级指标出发，得到中压配网的综合评价体系。

2)评价方法的选择方面。文献[6]列举出德尔斐法、层次分析法、鱼骨图分析法，通过对比每一种赋权方法优缺点，选取鱼骨法、德尔斐法的组合赋权法进行配电网综合评价赋权计算；文献[7]利用博弈论组合赋权，将层次分析法、熵权法和神经网络算法进行权重优化，得到最优的权重向量，提高结果的科学性；文献[8]介绍了博弈论方法在电力预测与评估的作用，尤其是对于多集群、多样本数据的贴合性。

现有的农网评价体系主要是针对集中式农网自上而下进行分析，没有考虑分布式电源和可调控负荷对电网运行指标的影响，在此背景下，该文从评价

指标构建和评价方法选择2个方面提出适应性较强的农村电网综合评价体系。首先，计及扶贫光伏的规模化发展和各种具有一定调控能力的新型负荷接入，构建含源—网—荷运行特性指标的农村电网综合评价指标体系，然后，针对各种单一评价方法存在的弊端，引入基于博弈论的组合赋权法，确定各个指标的权重，最后，结合不同地区的电网评价分析对提出的综合评价方法进行验证。

1 农网综合评价体系的建立

基于科学性、完备性和适应性原则，建立考虑分布式电源接入以及用户侧负荷的农网综合评价体系，如表1所示。该文将评价体系的指标分为3个层次^[9-11]。

表1 农网综合评价体系

Table 1 Comprehensive evaluation system of rural power network

一级指标	二级指标	三级指标
电源	分布式电源	分布式电源渗透率
		分布式电源利用率
		清洁能源发电率
	供电质量	综合线损率
		供电可靠性
		综合电压合格率
电网	供电能力	主变“N-1”通过率
		10 kV线路联络率
		10 kV线路“N-1”通过率
		主变重载率
		线路重载率
		高压线路截面合格率
		中压线路截面合格率
低压线路截面合格率		
负荷	可调控负荷	节能型配变比例
		分布式电源用户比例
		新能源用户容量比例
		电动汽车、三轮车比例 空调等可调控负荷比例

一级指标分别为电源、电网和负荷 3 类。其中电源侧重于分布式电源接入,目的是在电力改革、光伏扶贫背景下对农网的源侧进行改造升级,主体将会是分布式能源设备;电网侧从供电质量、供电能力和电网设备 3 个方面进行阐述,侧重于电网运行指标的量测,通过对农网现状指标的分析,目的是找出当前农网的优势和不足;负荷侧包括不可调控和可调控负荷 2 类,侧重研究分布式能源下负荷波动以及农村可调控负荷设备。建立的农网综合评价体系见表 1;相应的农网综合评价流程如图 1 所示,也即该文提出的基于博弈论组合赋权的农村电网综合评价基本思路。

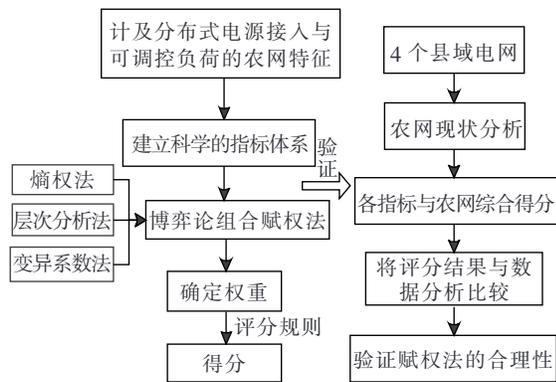


图 1 农网综合评价流程

Figure 1 Rural network evaluation and investment process

2 农网综合评价计算模型

2.1 赋权方法概述

目前,农村电网综合评价方法可以分为主观赋权法和客观赋权法。主观赋权法来源于专家的实践经验,包括层次分析法、专家调查法等;客观赋权法的原始数据是由各指标在评价中的实际数据组成,因而客观性较强,包含熵权法、变异系数法等。为降低单一评价法的片面性,该文引入博弈论^[8,12]进行多种评价权重的再分配。

博弈论是研究公式化激励结构间相互作用的决策方法,尤其是针对集群的实际与预测行为,并通过不同参与者的权力分配与竞争得到最优的收益^[8]。而本文则是采用博弈论来优化层次分析法、熵权法和变异系数法的权重结果,进而得到最优权重向量。该方法目的是求出多种评价方法在评价过程中所占

的比重,以科学的比例分配来平衡单一评价方法的主导作用。

2.2 基于博弈论的组合赋权方法

设定评价过程中采用 m 种赋权方法,并得到 m 种权重向量为 $\mathbf{g}_k = [\mathbf{g}_{k1} \ \mathbf{g}_{k2} \ \cdots \ \mathbf{g}_{kn}]$, 其中 $k = 1, 2, \dots, m$, 进一步构造一个基础组合向量 $\{\mathbf{g}_{k1}, \mathbf{g}_{k2}, \dots, \mathbf{g}_{km}\}$, 则 m 个权重向量的线性组合为组合博弈论赋权法, 记为

$$\mathbf{g} = \sum_{k=1}^m \alpha_k \mathbf{g}_k^T \quad (1)$$

式中 α_k 为组合权重系数(目标解); \mathbf{g} 为其中一种可能的向量。通过对可能向量集的赋权, 建立权重集合, 从中找到最优的权重向量。

该文采用博弈集结模型, 其主要思想: 在不同赋权方法之间找到一个平衡点, 尽可能地降低权重的偏差。推导的数学模型为

$$\min \left\| \sum_{j=1}^m \alpha_j (\mathbf{g}_j^T - \mathbf{g}_i^T) \right\|^2, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

式(2)目标是将基准向量集与不同方法得到的权重向量偏差最小化, 通过上述模型, 得到综合评价结果, 提高可信度。根据最优化理论推导出最小化偏差的条件为

$$\sum_{j=1}^m \alpha_j \mathbf{g}_j \mathbf{g}_j^T = \mathbf{g}_i \mathbf{g}_i^T \quad (3)$$

其中, $i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, m$ 。

矩阵形式为

$$\begin{bmatrix} \mathbf{g}_1 \\ \mathbf{g}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{g}_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{g}_1 \mathbf{g}_1^T \\ \mathbf{g}_2 \mathbf{g}_2^T \\ \vdots \\ \mathbf{g}_m \mathbf{g}_m^T \end{bmatrix} \quad (4)$$

3 算例分析

为验证该文构建的农网综合评价体系和评价方法的有效性, 特选取 4 个地区的农网运行数据进行实例分析, 其中, A 地区为江苏省某县域, B 和 C 地区为河南省某 2 个县域, D 地区为甘肃省某县域, 农网的原始数据如表 2 所示。

将 4 个地区的数据进行对比可以发现, A 地区农网发展各项指标都比较完善, 主要依靠东部经济发展带动电网发展, 经济优势较大, 但是分布式电源接入规模较小, 电动汽车、电动三轮车占比较高; B

和C地区在分布式电源比例和电网运行可靠性方面比A地区略低,随着未来农网用户负荷增长以及可调控负荷的增加,主变和线路承载能力以及运维能力都将会面临较大考验;D地区电网运行水平较差,主要与西部自然环境有关,但可以看出分布电源所占比重相比于中东部比例较高,得益于国家对西部扶持的政策,“十三五”期间农网的负荷将会有大幅提升,主变负载率将会大幅提升,容载比下降,同时随着西部经济的发展,空调、电动汽车等可调控负荷也会大幅增加。

采用层次分析法计算农网评价的二级指标权重 $w_i=[0.108\ 6\ 0.351\ 1\ 0.351\ 1\ 0.189\ 1]$,通过对二级指标权重分析,说明现阶段农网仍以电网设备、电网运行和供电质量这3个方面为评价重点,但随着分布式能源接入以及电动三轮车等可调控负荷增加,未来农网评价体系将会涵盖源—网—荷3层,指标构建也将更加细化。

当式(2)偏差 $\min=0$ 时,求解式(4),得到层次分析法、熵权法和变异系数法3种方法的组合权重

表2 多地区电网指标值

Table 2 Multi-regional grid index value

三级指标	电网指标值			
	A	B	C	D
分布式电源渗透率	0.008	0.010	0.009	0.100
分布式电源利用率	0.008	0.010	0.010	0.090
清洁能源发电率	0.009	0.010	0.009	0.010
综合线损率	5.41	6.30	4.97	9.58
供电可靠率	98.83	97.43	99.72	90.39
综合电压合格率	99.54	97.16	98.24	86.25
主变“N-1”通过率	50.2	48.3	40.2	32.2
10 kV 线路联络率	87.61	65.50	70.10	45.80
10 kV 线路“N-1”通过率	81.8	63.1	58.5	36.8
主变重载率	24.00	31.78	35.78	50.00
线路重载率	5.20	4.89	20.50	31.00
高压线路截面合格率	100.00	99.80	99.50	99.10
中压线路截面合格率	85.1	75.8	80.4	60.5
低压线路截面合格率	90.5	82.1	78.6	51.2
节能型配变比例	51.00	29.16	46.12	19.17
分布式电源用户比例	0.010	0.015	0.012	0.080
新能源用户容量比例	0.008	0.010	0.009	0.050
电动汽车、三轮车比例	0.10	0.08	0.09	0.05
空调等可调控负荷比例	0.16	0.10	0.14	0.06

系数分别为 $\alpha_1=[0.354\ 8\ -3.427\ 9\ 4.209\ 2]$, $\alpha_2=[-1.264\ 2\ 1.914\ 2.324\ 4]$, $\alpha_3=[0.572\ 7\ 1.624\ 4\ -1.5261]$ 。

基于式(1),求得博弈论组合赋权法中各二级指标权重(按表格顺序编号为1~19),如表3所示;单一和组合评价法的权重比较如图2所示。

表3 多种赋权方法权重计算值

Table 3 The calculation value of weight for a variety of weighting

三级指标	权重计算值			
	层次分析法	熵权法	变异系数法	博弈论组合赋权
分布式电源渗透率	0.259 9	0.523 0	0.541 7	0.579 5
分布式电源利用率	0.327 5	0.475 9	0.458 2	0.413 5
清洁能源发电率	0.412 6	0.001 1	0.000 1	0.143 0
综合线损率	0.297 1	0.938 9	0.524 1	0.616 5
供电可靠率	0.540 0	0.019 4	0.150 8	0.194 6
综合电压合格率	0.162 9	0.041 7	0.325 1	0.189 3
主变“N-1”通过率	0.130 8	0.030 7	0.043 8	0.063 9
10 kV 线路联络率	0.099 6	0.053 4	0.115 5	0.106 7
10 kV 线路“N-1”通过率	0.099 6	0.078 6	0.151 9	0.138 8
主变重载率	0.225 3	0.074 2	0.101 8	0.135 0
线路重载率	0.194 9	0.564 0	0.266 8	0.478 3
高压线路截面合格率	0.079 6	0.000 0	0.000 0	0.015 2
中压线路截面合格率	0.068 3	0.016 5	0.050 0	0.047 4
低压线路截面合格率	0.050 6	0.043 4	0.132 9	0.100 8
节能型配变比例	0.051 2	0.139 2	0.137 2	0.154 9
分布式电源用户比例	0.347 7	0.485 9	0.503 9	0.483 2
新能源用户容量比例	0.377 1	0.411 1	0.281 1	0.432 8
电动汽车、三轮车比例	0.120 7	0.034 1	0.064 4	0.074 5
空调等可控负荷比例	0.154 5	0.069 0	0.150 5	0.116 0

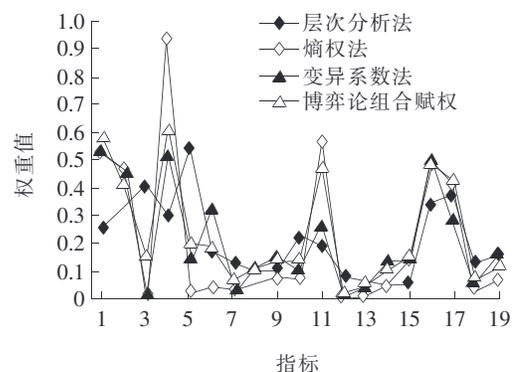


图2 单一和组合评价法的权重比较

Figure 2 The weight comparison chart for multiple methods

通过对表 3、图 2 的分析得到:

①层次分析法主观波动性较大,与博弈论结果并非完全一致,但熵权法和变异系数法结果与博弈论组合赋权权重值趋势完全一致,说明博弈论可用于权重的计算;

②基于博弈论组合赋权计算的权重值全部介于 3 种单一评价权重结果之间,并借助组合权重系数改善了主观法权重结果的高频次极端值跨度大的问题,同时柔性化了客观评价的结果,考虑外部因素带来的主观影响,使评价结果更加准确合理,最大程度的避免了单一评价的主导作用。

基于表 2 电网的原始数据,依据参考文献[7]、[13]中各二级指标的评分规则,得到 4 个地区原始数据的三级指标得分和基于不同评价方法的二级指标得分^[14],分别如表 4、5 所示。为更加直观反映出地区指标的差异性,电源侧和负荷侧各指标的评分结果分别如图 3、4 所示。为进一步分析 4 个地区农网分布式电源和可调控负荷发展状况,将表 4 中电网侧与负荷侧各类指标评分单独进行分析:

表 4 基于原始数据的三级指标得分

Table 4 Three-level scores based on raw data

三级指标	得分			
	A	B	C	D
分布式电源渗透	50	70	60	70
分布式电源利用	50	70	70	60
清洁能源发电率	60	70	60	70
综合线损率	92	85	95	70
供电可靠率	85	80	92	75
综合电压合格率	90	75	80	50
主变“N-1”	45	42	38	32
10 kV 线路联络率	85	66	70	50
10 kV 线路“N-1”	80	63	60	40
主变重载率	40	35	34	20
线路重载率	80	80	55	38
高压线路截面	100	100	100	100
中压线路截面	85	75	80	60
低压线路截面	90	82	78	51
节能型配变比例	80	55	75	45
分布式电源用户	60	70	65	55
新能源用户容量	30	50	40	80
电动汽车、三轮车等	60	50	55	45
空调等可调控负荷	65	45	60	35

表 5 基于 4 种方法的二级指标得分

Table 5 Two-level index score based on four methods

方法	二级指标	得分			
		A	B	C	D
层次分析法	分布式电源	54.13	70.00	63.28	66.73
	供电质量	87.89	80.67	90.94	69.44
	供电能力	69.34	61.87	57.51	42.00
	可控负荷	49.46	56.18	53.59	60.13
熵权法	分布式电源	50.01	70.00	64.76	65.24
	供电质量	91.78	84.49	94.32	69.26
	供电能力	76.74	69.93	58.31	39.18
	可控负荷	48.02	59.38	54.04	63.56
变异系数法	分布式电源	50.00	70.00	64.58	65.42
	供电质量	90.29	81.00	89.67	64.25
	供电能力	76.54	66.13	61.65	41.38
	可控负荷	52.31	59.32	56.57	58.37
博弈论组合赋权	分布式电源	58.24	79.53	72.30	75.39
	供电质量	91.30	82.17	91.62	67.22
	供电能力	93.73	83.32	73.91	50.28
	可控负荷	24.99	30.59	28.37	42.04

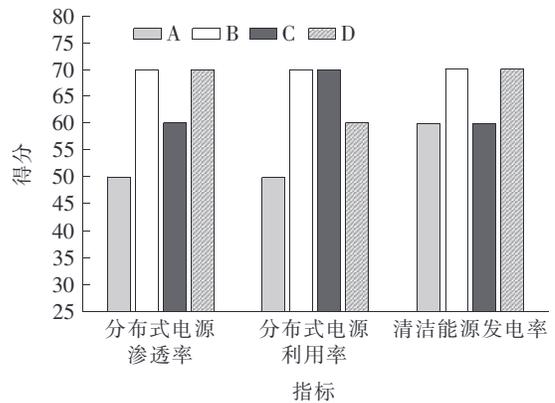


图 3 电源侧各指标评分

Figure 3 The index score at power side

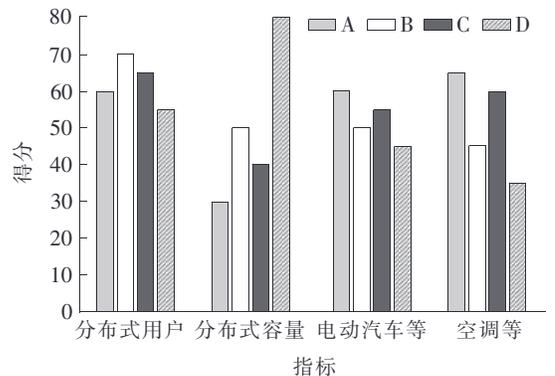


图 4 负荷侧各指标评分

Figure 4 The index score at load side

1) 电源侧。

从单一的分布式电源指标得出:①A地区在分布式电源建设方面较为薄弱,主要得益于西电东输,外部输入型供电已能满足该地区电能需求;②D地区电源侧各指标得分均较高,得益于国家西部乡村振兴策略的实施;③B和C地区的分布式电源利用率较高,说明这2个地区的新能源发电依赖度高。

2) 负荷侧。

从单一的负荷指标得出:①A地区在可调控负荷方面评分较高,得益于经济水平带动负荷增长;②B和C地区分布式电源的比例较高,在用户数量占比具有优势;③D地区在光伏扶贫等政策的带动下,分布式电源发电量占比较高,受限于经济发展水平,可调控负荷较小。

为验证提出的基于博弈论组合赋权评级方法的有效性,该文将利用博弈论组合赋权方法得到的综合评价结果与层次分析法、熵权法和变异系数法进行对比,得出三级指标的对比结果(表5);4个地区综合评价结果的对比如表6所示。

通过对表5、6的分析得出:①在各地区单指标评分方面,层次分析法过于主观,易出现极高分或极低分的评分,熵权法和变异系数法受限于原始数据较少,会出现高低不均的得分,与实际电网水平稍有偏差;②在评价总得分方面,A地区农网具有较好水平,D地区水平最差,与之前对4个地区的数据分析结果一致。综上所述,博弈论组合赋权法计算结果正确,同时降低了完全主观和客观造成的数据偏高或偏低的概率。

表6 4个地区综合评价得分

Table 6 Comprehensive evaluation score in four areas

方法	得分			
	A	B	C	D
层次分析法	79.44	78.27	69.13	57.75
熵权法	73.68	73.05	70.84	60.18
变异系数法	73.90	65.48	71.84	50.23
博弈论组合赋权法	76.01	72.53	71.34	57.39

4 结语

在乡村振兴战略以及国家光伏扶贫背景下,该文以分布式电源接入的农网为基础,充分考虑未来农网负荷调控能力渐强的特点,提出涵盖源—网—荷等农网结构的综合评价体系,包含4个二级指标、19个三级指标。为克服单一赋权法的片面性,该文采用博弈论组合赋权法求得最优权重向量,结合指标评分规则对各指标进行评分,并通过4个县域农网实例验证了方法的科学性。该文的创新性是将可调控负荷列入了评价体系中,并给出了各三级指标的评分以及农网的综合评分,为将来农网投资方向提供了有益的参考。

参考文献:

- [1] 国家发改委. 关于“十三五”期间实施新一轮农村电网改造升级工程意见的通知(国办发[2016]9号)[EB/OL]. www.pkulaw.cn/fulltext_form.aspx?Db=chl&Enco, 2016-02-16.
- [2] 屈梦然, 庞成宇, 王泉, 等. 基于博弈论与理想灰关联投影法的电能质量综合评估[J]. 智慧电力, 2018, 46(6): 55-60.
QU Mengran, PANG Chengyu, WANG Quan, et al. Integrated evaluation of power quality based on game theory and ideal grey relational projection method [J]. Smart Power, 2018, 46(6): 55-60.
- [3] 肖俊, 崔艳妍, 王建民, 等. 配电网规划的综合指标体系[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(15): 36-40.
XIAO Jun, CUI Yanyan, WANG Jianmin, et al. A hierarchical performance assessment method on the distribution network planning [J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(15): 36-40.
- [4] 李娟, 李晓辉, 刘树勇, 等. 基于理想解法和灰色关联度的配电网投资效益评价[J]. 华东电力, 2012, 40(1): 13-17.
LI Juan, LI Xiaohui, LIU Shuyong, et al. Investment benefit evaluation for distribution network based on TOPSIS and grey correlation degree [J]. East China Electric Power, 2012, 40(1): 13-17.

- [5] 金辉,于音波. 基于层次分析法的中压配电网评价[J]. 供用电,2011,28(2):30-33.
JIN Hui, YU Yinbo. MV distribution network evaluation based on analytic hierarchy process[J]. Distribution & Utilization,2011,28(2):30-33.
- [6] 韩震焱. 城市配电网综合评价体系的研究[D]. 天津:天津大学,2011.
- [7] 周建国,王潇炜. 基于博弈论和灰色关联度的区域电力市场运营效果评价指标体系[J]. 电网技术,2007,31(10):69-73.
ZHOU Jianguo, WANG Xiaowei. Game theory and gray incidence degree based appraisal index system for operation effect of regional electricity market[J]. Power System Technology,2007,31(10):69-73.
- [8] 卢强,陈来军,梅生伟. 博弈论在电力系统中典型应用及若干展望[J]. 中国电机工程学报,2014,34(29):5009-5017.
LU Qiang, CHEN Laijun, MEI Shengwei. Typical applications and prospects of game theory in power system [J]. Proceedings of the CSEE,2014,34(29):5009-5017.
- [9] 雷庆生,鄢晶,柴继勇,等. 县域配电网规划差异化评价体系与评分方法[J]. 电力科学与技术学报,2017,32(4):125-131.
LEI Qingsheng, YAN Jing, CHAI Jiyong, et al. Differentiated evaluation system and grading method in county distribution network planning[J]. Journal of Electric Power Science and Technology,2017,32(4):125-131.
- [10] 刘旭娜,魏俊,张文涛,等. 基于信息熵和模糊分析法的配电网投资效益评估及决策[J]. 电力系统保护与控制,2019,47(12):48-56.
LIU Xuna, WEI Jun, ZHANG Wentao, et al. Investment benefits evaluation and decision for distribution network based on information entropy and fuzzy analysis method[J]. Power System Protection and Control,2019,47(12):48-56.
- [11] 韩松,陈湫林. 含设备利用率因子的配电网滚动规划后评价模型[J]. 电网与清洁能源,2017,33(6):20-26.
HAN Song, CHEN Qiulin. A coefficient of equipment utilization based post-evaluation model for distribution system rolling planning[J]. Power System and Clean energy,2017,36(6):20-26.
- [12] 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.
GU Jie, QIN Yue, BAO Hailong, et al. Comprehensive and dynamic evaluation of the distribution network planning based on entropy weight and system dynamics [J]. Power System Protection and Control,2013,41(1):76-83.
- [13] 崔凯,史梓男,赵娟. 配电网评价指标体系研究[J]. 电力建设,2013,34(2):18-21.
CUI Kai, SHI Zinan, ZHAO Juan. Research on evaluation system of power distribution network[J]. Electric Power Construction,2013,34(2):18-21.
- [14] 吴争,崔文婷,龙禹,等. 配电网投资效果后评价及投资合理性分析[J]. 电力系统及其自动化学报,2016,28(12):96-102.
WU Zheng, CUI Wenting, LONG Yu, et al. Post-evaluation and rationality analysis of distribution network investment[J]. Proceedings of the CSU-EPSA,2016,28(12):96-102.