

面向微网规划评价的指标归类量化方法研究

高崇¹, 潘险险¹, 许志恒¹, 张俊潇¹, 黄烨¹, 邓文扬²

(1. 广东电网有限公司电网规划研究中心, 广东 广州 510030;

2. 广州市奔流电力科技有限公司, 广东 广州 510700)

摘要:微电网的有效评价将是微电网规划建设与运行的重要参考依据。从组成架构评价、技术性评价以及效益评价三个方面逐级构建了微电网规划综合评价指标体系。针对微电网规划方案综合评价中评价分量类型众多、值域开放等特点, 根据不同特性的评价分量设计不同的标准化策略, 尤其是一些取值无上下限的指标, 引入反正切、负指数等映射函数, 将评价指标值域合理地映射到 $[-1, 1]$ 区间, 同时使其量化结果可以反映与理想值间的偏差, 形成一套适合当前微电网规划方案综合评价的指标归类量化方法。最后结合层次分析法进行了某典型微电网三种不同规划方案的综合评价。案例结果验证了所述量化方法的有效性。

关键词:微电网; 规划; 综合评价; 归类量化

中图分类号: TM715 **文献标识码:** A **DOI:** 10.19457/j.1001-2095.dqcd24026

Research on the Classification and Quantification Method of Evaluation Factors for Comprehensive Evaluation of Microgrid Planning

GAO Chong¹, PAN Xianxian¹, XU Zhiheng¹, ZHANG Junxiao¹, HUANG Ye¹, DENG Wenyang²

(1. Power System Planning Research Center of Guangdong Power Grid Co., Ltd., Guangzhou 510030,

Guangdong, China; 2. Guangzhou Power Electrical Engineering Technology Co., Ltd., Guangzhou 510700, Guangdong, China)

Abstract: The effective evaluation of microgrid is an important reference for the planning, construction and operation of microgrid. The comprehensive evaluation index system of microgrid planning was constructed step by step from three aspects of composition structure evaluation, technical evaluation and benefit evaluation. In view of the characteristics of the comprehensive evaluation of microgrid planning scheme, such as numerous evaluation component types and open range, different standardization strategies were designed according to the evaluation component of different characteristics, especially for some indicators with maximum and minimum values. Arctangent and negative index mapping functions were introduced to reasonably map the evaluation indicator range to $[-1, 1]$. At the same time, the quantitative results could reflect the deviation between the ideal value, and form a set of index classification quantitative method suitable for the comprehensive evaluation of the current microgrid planning scheme. Finally, three different planning schemes of a typical microgrid were comprehensively evaluated with analysis hierarchy process(AHP). The case results verify the effectiveness of the quantization method.

Key words: microgrid; planning; comprehensive evaluation; classification and quantification

微电网作为分布式电源与大电网之间最有效的桥梁, 是分布式新能源重要的供电网络形式, 将迎来进一步的发展。微电网建设规划需要严谨科学的论证, 规划设计方案的综合评价即是要多角度全方面地评估微电网规划设计的合理性。微电网的有效评价将是微电网规划建设与运行的重要参考依据。

在微电网规划综合评价中关键问题在于:

第一, 评价指标的选取。如何建立一个全面的微电网规划综合评价指标体系是其中的重点和难点。文献[1]从保障能源供电、提高清洁能源消纳和提高电能质量三方面着手, 构建微电网综合评价指标体系。文献[2]构建了考虑经济性、能源利用效率和环境因素的微电网效益综合评价

作者简介:高崇(1983—), 男, 硕士, 高级工程师, Email: 25903257@qq.com

通讯作者:邓文扬(1990—), 男, 博士, 博士后, Email: dwyang@scut.edu.cn

指标体系,提出了一种基于前景理论和多准则折中优化法(visekriterijumska optimizacija I kompromisno resenje, VIKOR)的微电网效益评价方法。文献[3]综合考虑微网、多元负荷对配网投资的影响,构建了一种配网投入产出效益评价指标体系,提出评分法和优选法进行配网投资评价与配网规划项目优选。文献[4]提出了一种基于节点电压灵敏度的微电网电能质量综合动态评价方法。文献[5]研究了从不同角度不确定的量化微电网系统中各个分布式电源的性能,进而评估分布式电源运营商的效益。文献[6]以燃料节约量对微电网运行进行了评价。文献[7]基于供电可靠性、技术经济性以及适应性准则,建立了交、直流微电网综合评估指标体系,并提出各个评价指标的计算模型和量化方法。文献[8]基于最优隶属度的模糊评价方法,提出了一种孤岛微电网运行性能综合评价方法。文献[9]建立了面向园区微电网的综合能源系统的指标评价模型,基于层次分析法-改进熵权法建立VIKOR多准则评价体系。文献[10]提出了一套交直流混合微电网的网络坚强度评估指标体系,基于独立信息熵权-层次分析-主成分分析的分层组合评价模型对网络坚强度进行评估。文献[11]采用网络分析法(analytic network process, ANP)确定微电网建设规划方案各指标的权重,通过追求最大化群体效益和最小化个体遗憾,结合VIKOR完成对备选方案的综合排序和优选。从这些文献来看,微电网的评价多从运行的角度通过供电可靠性、能源利用率、经济性等方面展开,全面性和普适性还不够。而由于微电网定义本身具有一定模糊性,以及微电网标准的缺失,使得现在对规划评价体系的研究较为少见。

第二,指标归类量化方法。微电网规划综合评价因素中既包括定性因素,又有定量因素。如何将不同种类,不同量纲的评价指标进行标准化处理,选择合适的归类量化方法,是需要解决的第二个重要问题,评价指标标准化有很多的方法。文献[10]定义指标原始值与基准值的比值为指标状态,以状态值作为指标标准化后的值参与微电网系统的综合评价。文献[11]采用指标值与指标几何平均值之比的方法实现指标的标准化,该方法无法实现指标映射值域的统一。文献[9]和文献[12]采用min-max标准化实现评价因素的归一化与无量纲化。min-max标准化方法可以实

现多个不同方案间优劣的比较,但该方法的处理结果并不一定契合最优规划方案期望值,综合评价结果受比较方案当前值影响,无法单独给出某一方案的优劣性评价。文献[13]采用模糊综合评价法对微电网规划方案进行评价,采用三角型隶属函数模型确定指标属于好、中、差的隶属度,从而确定指标值。三角型隶属函数指标量化方法基于模糊集的数学思想构建,可以定量给出指标的优良评估,但在极大或极小值处,该方法所得指标值相同,出现指标量化饱和现象,从而无法给出指标的优劣性评价。文献[6]采用功效系数法实现评价指标的标准化,该方法具有与三角型隶属函数量化方法类似的函数映射形式,不同之处在于映射函数另有两个常系数以调节映射关系。文献[14]根据电能质量指标特点,采用柯西分布,提出了一种最优隶属度方法,并结合层次分析法与客观权重对微电网电能质量进行了综合评价。文献[15]提出了基于指标空间距离的微电网性能评价方法,并给出用功率表示的间接指标实用计算式。综合上述文献中指标量化方法的论述,文献[14-15]在指标定量计算中已实现了指标的无量纲化与标准化,该类方法与所解决的问题紧密相关,不易沿用至具有多种不同指标特性类别的问题中。文献[10-11]中的标准化方法无法达成将多种类别指标均标准化至 $[-1, 1]$ 的要求。min-max标准化法、三角型隶属函数法、功效系数法均为线性映射量化方法。由于线性映射函数本质上是从无穷域至无穷域的映射,而在处理无限值域指标的量化时,则需实现从无穷值域到有限值域的映射,因而其必然存在量化饱和的问题。

基于以上原因,本文采用归类量化的思路,即对不同特性的指标类别采用不同的量化手段。为解决传统线性映射量化方法处理无限值域指标时出现的量化饱和问题,及更好地模拟该类指标的主观优劣性评价,引入反正切映射函数与负指数映射函数等非线性映射函数。这类非线性映射函数本质上具有从无穷域映射到有限域的特点,因而在处理无限值域指标量化时可以自然地将指标量化至有限值域 $[-1, 1]$ 。此外,相较于线性映射函数,这类非线性映射函数本身的变化趋势与无线值域指标的主观优劣性评价变化趋势更为贴合。

本文从组成架构评价、技术性评价、以及效益评价三个方面逐级构建了微电网规划综合评

价指标体系。针对微电网综合评价中评价因素类别多、常用评价因素量化方法的不足、定性指标难以量化等问题,提出一套适合当前微电网规划方案综合评价的指标归类量化方法。该归类量化方法具有以下3个特点:1)针对评价指标体系中定量、定性指标类别的多样性,采用指标特性归类量化的思想,针对不同特性的类别采用适合的量化方法处理;2)量化处理方法可体现评价因素的理想值期望,使得综合评价结果更能体现规划方案的优劣性;3)具有独立的量化评价尺度,评价过程不依赖于方案间的相互对比。最后,通过层次分析法完成了微电网规划的定量评价,并进行了实例验证,通过与传统量化方法对比,验证了本文所提方法的有效性。

1 微电网规划综合评价指标体系

微电网的建设一方面为能源系统引入了清洁绿色的可再生能源,在解决社会发展对能源需求的同时,具有极高的环保效益;另一方面微电网的规划建设需要考虑经济效益的需求。因而微电网在规划建设时需要对规划设计方案进行多指标的综合评估,以优化微电网规划设计方案。

微电网规划方案综合评价从微电网规划建

设需求出发,综合考虑解决社会供电需求、经济性与社会效益几方面。以指标尽可能全面、不重叠、易于取得为准则,参照中国电力企业联合会标准 T/CEC106—2016《微电网规划设计评价导则》,结合功能聚合与相关性聚合对初选的指标体系进行结构优化,最后从组成架构、技术性、效益三个评价方面建立了一套可以对孤岛型微电网规划方案评价的指标体系。

根据微电网规划综合评价的评价原则与微电网规划中表征组成架构、技术性、效益相关的指标参数,选择适合孤岛型微电网规划综合评价的指标,这些评价指标包括:微电网电源配置评价、控制系统功能评价、用户供电可靠性评价、能源利用率、储能系统评价、经济效益指标以及社会效益指标。微电网电源配置评价、控制系统功能评价表征了微电网规划的组成架构配置情况;用户供电可靠性评价、能源利用率、储能系统评价是微电网规划结果达成的技术性指标;经济效益指标、社会效益指标表征微电网规划建设产生的两个方面的效益情况。对这些三级微电网评价指标进行进一步的评价因素分解,从而得到与微电网规划方案参数紧密联系的第四级评价分量。

评价指标体系架构如图1所示。

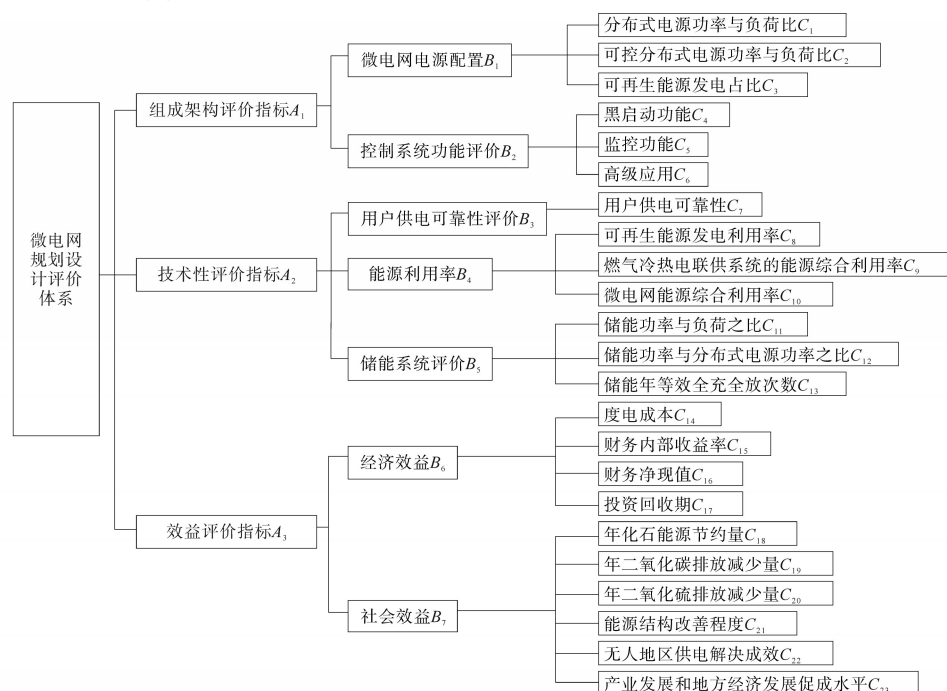


图1 孤岛型微电网规划评估指标体系架构示意图

Fig.1 Evaluation index system for island microgrid planning

从图1可以看出,该指标体系从组成架构、技术性、效益出发,囊括了电源容量规划指标、控制系统配置情况、用电质量情况、经济性指标与环

保性指标。指标体系总共分四层,第四层为评价分量。评价分量的值来源于项目规划方案,从技术需求与效益需求出发确定各评价分量的值。

2 评价因素的归类量化

图1中,微电网规划评价指标体系第四级评价因素为评价指标体系的最后一级,该级包括评价因素 $C_1 \sim C_{23}$ 共23个评价因素。可以看出这些评价因素分别隶属于不同的三级和二级指标,并且既包括定性因素,又有定量因素,且定量因素间存在量纲不统一的问题。如何对这些种类繁多、形式各异的评价因素进行恰当的标准化,将是评价结果是否准确的基础。因次,在进行规划方案评价前需对这些评价因素进行恰当的标准化处理,使得标准化处理后的评价因素无量纲,取值范围为 $[-1, 1]$,同时应能有效反映评价因素的优劣性。

本文采用归类量化的方法,根据不同的指标特点确定分类与量化原则。

2.1 百分率最大寻优

这类指标包括:可控分布式电源功率与负荷比 C_2 、可再生能源发电占比 C_3 、可再生能源发电利用率 C_8 、燃气冷热电联供系统的能源综合利用率 C_9 、微电网能源综合利用率 C_{10} 和储能功率与负荷之比 C_{11} 。这类指标本身为无量纲指标,且取值在 $[0, 1]$ 之间,以最大值为规划寻优目标。故该类指标可直接使用,无需标准化处理。

2.2 无上限最大寻优

这类指标包括:财务内部收益率 C_{15} 、财务净现值 C_{16} 、年化石能源节约量 C_{18} 、年二氧化碳排放减少量 C_{19} 和年二氧化硫排放减少量 C_{20} 。该类指标取值无上、下限,且取值越大越好。反正切函数具有如图2所示的单调函数形态,它使得标准化后的指标值域为 $[-1, 1]$,且在极大、极小值的情况下依然具有指标优劣性区分能力。标准化变换函数如下式所示:

$$f_1(x) = \frac{2}{\pi} \arctan(a_1 x) \quad (1)$$

式中: a_1 为常系数, $a_1 > 0$ 。

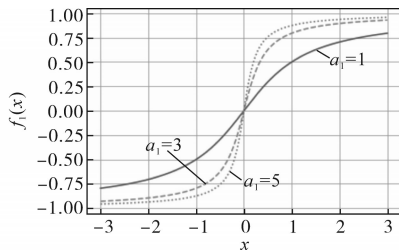


图2 反正切映射函数 $f_1(x)$ 图像

Fig.2 Tangent mapping function $f_1(x)$

通过参数 a_1 可以控制指标差异的敏感度,而 a_1 的计算可以通过某些典型值来确定,典型值通常可选择该指标的理想最优值点或某一具有普遍性的常规值,从而形成更符合指标优劣直观评价的标准化结果。

2.3 正反定性

该类指标包括:黑启动功能 C_4 、监控功能 C_5 、用户供电可靠性 C_7 和无人地区供电解决成效 C_{22} 。该类指标为正、反定性类指标,即达到要求为正例,否则为反例。标准化处理方法:正例时取1,反例取0。如规划方案中控制系统具有黑启动功能则指标取值为1,如无黑启动功能则取值为0。

2.4 等级定性

该类指标包括:高级应用 C_6 、能源结构改善程度 C_{21} 和产业发展和地方经济发展促成水平 C_{23} 。该类指标为分级定性类指标,其特点是具有不同等级的定性评价。如高级应用可分为无、少量、一般、较多、很多5个评价等级,依次给每个等级评分为0,0.25,0.5,0.75,1。

2.5 无上限0下限最小寻优

该类指标包括:分布式电源功率与负荷比 C_1 、储能年等效全充放次数 C_{13} 、度电成本 C_{14} 和投资回收期 C_{17} 。该类指标的特点是无限上且需进行最小寻优的定量指标,指标的理想值均为0。负指数函数具有如图3所示的单调递减函数特性,以负指数函数作为变换函数进行标准化处理,可使指标标准化至 $[0, 1]$,且不存在上限量化饱和问题。标准化变换函数如下式所示:

$$f_2(x) = e^{-a_2 x} \quad (2)$$

式中: a_2 为常系数, $a_2 > 0$ 。

同样可通过参数 a_2 控制指标量化的灵敏度。

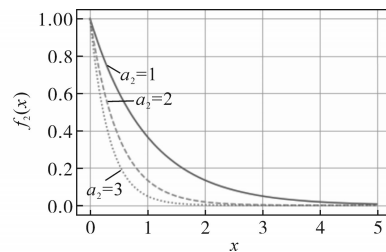


图3 负指数映射函数 $f_2(x)$ 图像

Fig.3 Image of negative exponential mapping function $f_2(x)$

2.6 无上限0下限理想值寻优

该类指标只有分布式电源功率与负荷比 C_1 。该类指标无上限,下限为0,在非零理想值处取得最优值。采用分段负指数函数量化该类指标,量

化变换函数如下式所示:

$$f_3(x) = e^{-a_3|x-b_3|} \quad (3)$$

式中: a_3 为常数, $a_3>0$; b_3 为理想值。

$f_3(x)$ 函数曲线如图4所示。参数 a_3 同样反映了量化结果与指标间的敏感度,其值也通过某些特殊值来确定。该特殊值可选择该指标通常意义下的一般值,其对应的量化指标值根据项目的建设期望决定,当项目对这一指标有较大期望时,该特殊值所对应的量化值取偏小值,反之取偏大值。

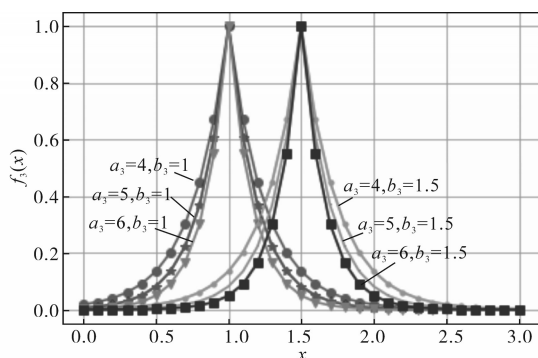


图4 负指数映射函数 $f_3(x)$ 图像

Fig.4 Image of negative exponential mapping function $f_3(x)$

2.7 无上限最大饱和

该类指标只有储能功率与分布式电源功率之比 C_{12} 。该类指标的特点是没有上限值,理论上指标越大越好,但存在某一理想最优值,达到该理想值时量化饱和为1,其量化变换函数如图5所示。对该类指标采用分段连续函数进行量化,标准化变换函数如下式所示:

$$f_4(x) = \begin{cases} a_4 x & x \leq c_4 \\ \frac{2}{\pi} \arctan(b_4 x) & x > c_4 \end{cases} \quad (4)$$

式中: a_4, b_4 为常数, $a_4>0, b_4>0$; c_4 为分段函数交点, $a_4 c_4 < 1$ 。

量化参数 c_4 为理想值饱和点。参数 a_4 确定了量化变换的灵敏度,当 a_4 增大时量化结果更加敏感。参数 b_4 由分段函数连续性确定。 a_4, b_4, c_4 三个参数需满足以下约束:

$$b_4 = \frac{1}{c_4} \tan\left(\frac{\pi}{2} a_4 c_4\right) \quad (5)$$

对于指标 C_{12} 来说,理想饱和点 $c_4=1$,给定理想点 $x=1$ 对应的量化值便可计算出参数 a_4, b_4 的值。

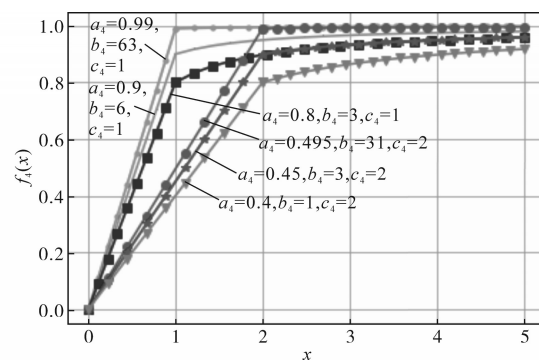


图5 无上限最大饱和类指标量化变换函数 $f_4(x)$ 图像

Fig.5 Image of unlimited maximum saturation index quantization transformation function $f_4(x)$

3 算例分析

结合广东电网有限公司电网规划研究中心项目“多源互补分布式新能源微电网协调规划技术研究”中微电网规划模型,设定场景为偏远地区孤岛型微电网,在分布式电源功率与负荷比相同的条件下设定不同的可再生能源占比来仿真计算微电网的规划设计参数。从中选取三种典型的规划配置方案进行综合评价,并对比了传统三角型隶属函数量化方法与所提出的归类量化方法对微电网规划综合评价结果的影响。

3.1 评价算例

三种规划方案各指标值如表1所示。

表1 典型规划方案

Tab.1 Typical planning scheme

指标	方案一	方案二	方案三	指标	方案一	方案二	方案三
$C_1/\%$	120	120	120	$C_{13}/\text{次}$	24	16	60
$C_2/\%$	30	50	10	$C_{14}/\text{元}$	0.8	0.85	0.82
$C_3/\%$	70	60	90	$C_{15}/\%$	10	8	8
C_4	有	有	有	$C_{16}/\text{亿元}$	1	0.8	0.7
C_5	有	有	有	C_{17}/a	10	12	15
C_6	较多	较多	较多	$C_{18}/\text{千万吨}$	1	0.8	1.2
C_7	满足	满足	满足	$C_{19}/\text{千万吨}$	3	2.4	3.6
$C_8/\%$	95	96	85	$C_{20}/\text{百万吨}$	5	4	6
C_9	0	0	0	C_{21}	良好	良好	良好
$C_{10}/\%$	96.5	97.6	86.5	C_{22}	解决	解决	解决
$C_{11}/\%$	80	60	90	C_{23}	良好	良好	良好
$C_{12}/\%$	66.7	50	75				

从表 1 中可知三个规划方案实例具有不同的可控分布式电源功率与负荷比 C_2 、可再生能源发电占比 C_3 配比,使得这三个实例在环保效益、经济效益、技术指标上均有较大的差异,是指标 C_2 、 C_3 配置为多、中、少的三种典型规划方案实例。

3.2 评价指标量化

分别采用本文所述的归类量化方法与传统的三角型隶属函数量化方法对评价因素进行标

准化量化处理。采用本文所述归类量化方法和传统三角型隶属函数量化所得结果如表 2 所示,其中,由于三角形隶属函数的局限性,本例仅将三角形隶属函数量化方法应用于指标 C_{13} 、 $C_{16} \sim C_{20}$,其余仍沿用本文所述量化方法。从表 2 中可以看出三角型隶属函数量化方法存在量化饱和区,由于指标的理论取值无上、下限,因而这种量化饱和区无法通过修正系数 a, b 而避免。

表 2 评价因素量化值表

Tab.2 Quantitative value table for the evaluation factors

指标	归类量化法				结合三角型隶属函数量化法			
	方案 1	方案 2	方案 3	量化方法	方案 1	方案 2	方案 3	量化方法
C_1	0.8	0.8	0.8	参照 2.6 节, $C_1 = e^{-1.116 x-1 }$	0.8	0.8	0.8	同左
C_2	0.3	0.5	0.1	参照 2.1 节	0.3	0.5	0.1	同左
C_3	0.7	0.6	0.9	参照 2.1 节	0.7	0.6	0.9	同左
C_4	1	1	1	参照 2.3 节	1	1	1	同左
C_5	1	1	1	参照 2.3 节	1	1	1	同左
C_6	0.75	0.75	0.75	参照 2.4 节	0.75	0.75	0.75	同左
C_7	1	1	1	参照 2.3 节	1	1	1	同左
C_8	0.95	0.96	0.85	参照 2.1 节	0.95	0.96	0.85	同左
C_9	0	0	0	参照 2.1 节	0	0	0	同左
C_{10}	0.965	0.976	0.865	参照 2.1 节	0.965	0.976	0.865	同左
C_{11}	0.8	0.6	0.9	参照 2.1 节	0.8	0.6	0.9	同左
C_{12}	0.667	0.5	0.75	$C_{12} = \begin{cases} 0.99x & x \leq c \\ (2/\pi) \arctan(63x) & x > c \end{cases}$	0.667	0.5	0.75	同左
C_{13}	0.8	0.86	0.58	参照 2.5 节, $C_{13} = e^{-0.0092x}$	0	0.65	0	三角型隶属函数量化, $a=1, b=24$
C_{14}	0.6	0.58	0.59	参照 2.5 节, $C_{14} = e^{-0.64x}$	0.6	0.58	0.59	同左
C_{15}	0.5	0.43	0.43	参照 2.2 节, $C_{15} = (2/\pi) \arctan(10x)$	0.5	0.43	0.43	同左
C_{16}	0.5	0.43	0.39	参照 2.2 节, $C_{16} = (2/\pi) \arctan(x)$	1	1	0.875	三角型隶属函数量化, $a=0, b=0.8$
C_{17}	0.5	0.44	0.36	参照 2.5 节, $C_{17} = e^{-0.069x}$	0.82	1	1	三角型隶属函数量化, $a=1, b=12$
C_{18}	0.5	0.43	0.56	参照 2.2 节, $C_{18} = (2/\pi) \arctan(x)$	1	0.8	1	三角型隶属函数量化, $a=0, b=1$
C_{19}	0.5	0.43	0.55	参照 2.2 节, $C_{19} = (2/\pi) \arctan(0.3x)$	1	0.8	1	三角型隶属函数量化, $a=0, b=3$
C_{20}	0.5	0.43	0.56	参照 2.2 节, $C_{20} = (2/\pi) \arctan(0.2x)$	1	0.8	1	三角型隶属函数量化, $a=0, b=5$
C_{21}	0.75	0.75	0.75	参照 2.4 节	0.75	0.75	0.75	同左
C_{22}	1	1	1	参照 2.3 节	1	1	1	同左
C_{23}	0.75	0.75	0.75	参照 2.4 节	0.75	0.75	0.75	同左

3.3 基于层次分析法的指标权重向量计算

根据微电网的要求以及规划建设的侧重点,本文微电网规划方案综合评价指标体系中各指标具有以下重要性优先级: $A_1 \approx A_2 \gg A_3$; $B_1 \gg B_2$, $B_3 \gg B_4 \approx B_5$, $B_7 \gg B_6$; $C_1 \approx C_2 \approx C_3$, $C_4 \gg C_5 \approx C_6$, $C_{10} > C_8 > C_9$, $C_{11} \approx C_{12} \approx C_{13}$, $C_{14} \approx C_{15} \approx C_{16} \approx C_{17}$, $C_{22} > C_{23} > C_{18} \approx C_{19} \approx C_{20} \approx C_{21}$ 。

根据上述指标重要性优先级关系与指标体系中各指标间的因果层次关系(如图 1 所示),构建各指标的判断矩阵。假设对应指标 H 的判断矩阵为 Q ,则对应指标 H 的权重向量 ω_H 通过下式

计算:

$$\begin{cases} \text{s.t. } Q\alpha = \lambda\alpha \\ \beta = \arg \max_{\alpha} (\lambda) \\ \omega_H = \beta / \sum_i \beta_i \end{cases} \quad (6)$$

式中: α 为矩阵 Q 的特征向量; β_i 为特征向量 β 的元素。

3.4 基于层次分析法的微电网规划综合评价结果对比

应用层次分析法计算上述三种方案两种量化方法的评价结果,结合微电网规划指标体

系所示指标间的因果层级关系,假设指标 H 关联的下一层级指标构成向量 G_H ,综合评价结果 Z 按下式计算:

$$\begin{cases} H = \omega_H G_H & H \in \{A_i, B_j\} \\ Z = \omega_Z [A_1 \ A_2 \ A_3]^T \end{cases} \quad (7)$$

式中: ω_Z 为第一层指标 Z 与第二层指标 A_i ($i=1,2,3$)间的关联权重向量。

三种微电网规划设计方案的综合评价结果如表3所示。

表3 层次分析法综合评价结果

Tab.3 Comprehensive evaluation results of analytic hierarchy process

方案	综合评价结果	
	归类量化法	三角型隶属函数数量化法
方案一	80.42	80.12
方案二	81.00	80.92
方案三	79.88	80.14

由于量化过程中只是其中6个指标应用了三角型隶属函数,其他均采用了本文所提的方法,所以,最后通过层次分析法得出的评估值横向表面看似非常接近。但是实际情况如下:

1)采用本文所述的量化方法所得的综合评价结果 Z_{11}, Z_{21}, Z_{31} (Z_{ab} 表示 a 方案 b 轮综合评价结果, $b=1$ 表示采用归类量化方法结合层次分析法进行的综合评价, $b=2$ 表示部分采用三角型隶属函数数量化方法结合层次分析法进行的综合评价)有较大的差值,且评价性能排序为 $Z_{31} < Z_{11} < Z_{21}$,即方案二优于方案一,方案一优于方案三。

2)结合三角型隶属函数数量化方法综合评价结果 Z_{12}, Z_{22}, Z_{32} 值极为接近。且评价性能排序为 $Z_{12} < Z_{32} < Z_{22}$,即方案二优于方案三,方案三优于方案一。

可见,上述两种量化方法最终的综合评价结果最终排序完全是颠覆性的。根据前面给出的三种方案分析可知,三种方案的优劣应该是:方案二优于方案一,方案一优于方案三。因此,本文所提方法最终得到的排序更符合实际。究其原因,规划方案三具有极大的储能年等效全充放次数(60次)及较长的投资回报周期(15 a),然而若采用传统三角形函数模糊量化方法,将会因为量化饱和的影响,使得最终不能有效影响和映射至最终的综合评价结果,使得方案三的评价结果反而高于方案一。

综上所述,本文提出的评价因素归类量化方法克服了传统三角型隶属函数数量化方法带来的

量化饱和的问题,评价结果能够反映规划方案的优劣性。另一方面,从归类量化方法的量化过程可知,归类量化方法的参数完全确定于该指标的理想值与常规值,而不需要通过不同方案间的比来确定,因而可以独立地量化单个规划方案的指标。

4 结论

本文面向微电网规划方案,从组成架构评价、技术性评价、以及效益评价三个方面逐级构建了综合评价指标体系。并针对微电网综合评价中评价因素类别多样、形式各异以及量纲不统一等问题,本文采用分类标准化的思想,针对不同特性的评价分量设计不同的标准化策略,尤其是一些取值无上、下限的指标,通过合理选取反正切映射函数和负指数映射函数,使得指标标准化值域至 $[-1, 1]$,同时映射函数的单调性保证了指标标准化结果的有序性,也解决了传统三角型隶属函数存在的指标标准化饱和的问题。最后,通过层次分析法完成了微电网规划整体评价,通过三个典型的微电网规划方案实例的综合评价对比,验证了本文所提出的归类量化方法的有效性。

参考文献

- [1] 孙建梅,杨迪. 微电网综合评价赋权方法的改进与应用[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(27): 186-191.
SUN Jianmei, YANG Di. Improvement and application of micro-grid comprehensive evaluation method[J]. Science Technology and Engineering, 2019, 19(27): 186-191.
- [2] 梅文明,李美成,张宇威,等. 基于前景理论和VIKOR法的多能源微电网效益评价[J]. 供用电, 2020, 37(3): 71-77.
MEI Wenming, LI Meicheng, ZHANG Yuwei, et al. Benefit evaluation of multi energy microgrid based on prospect theory and VIKOR method[J]. Distribution & Utilization, 2020, 37(3): 71-77.
- [3] 叶斌,王绪利,马静,等. 新电改下考虑微网和多元负荷的配网效益评价研究[J]. 电力工程技术, 2019, 38(3): 108-114.
YE Bin, WANG Xuli, MA Jing, et al. Benefit evaluation of distribution network considering microgrid and multiple loads under new electricity reform[J]. Electric Power Engineering Technology, 2019, 38(3): 108-114.
- [4] 欧阳静,潘国兵,陈金鑫,等. 基于节点电压灵敏度的微电网电能质量综合动态评价方法[J]. 高技术通讯, 2021, 31(2): 199-206.
OUYANG Jing, PAN Guobing, CHEN Jinxin, et al. A comprehensive dynamic evaluation method for microgrid power quality

- based on node voltage sensitivity[J]. Chinese High Technology Letters, 2021, 31(2): 199–206.
- [5] MANSOUREH Zangiabadi, RENE Feuillet, HAMID Lesani, et al. Assessing the performance and benefits of customer distributed generation developers under uncertainties[J]. Energy, 2010, 36(3): 1703–1712.
- [6] MORAD M A, HANY E Z, SAADANY E F. Fuel-saving benefit analysis of islanded microgrid central controllers[J]. Electric Power Systems Research, 2015, 125: 45–54.
- [7] 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): 60–66, 78.
LIU Zifa, WEI Tao, LI Mengyu, et al. Dynamic economic dispatch based on chance-constrained programming for islanded microgrid[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(3): 60–66, 78.
- [8] 洪林, 杨俊华, 曾君, 等. 含风光柴储的孤岛微电网运行性能综合评价方法研究[J]. 电测与仪表, 2017, 54(5): 22–28.
HONG Lin, YANG Junhua, ZENG Jun, et al. Research on a comprehensive evaluation method of the operation performance of standalone micro-grid with PV-wind-diesel-battery hybrid[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2017, 54(5): 22–28.
- [9] 张世翔, 吕帅康. 面向园区微电网的综合能源系统评价方法[J]. 电网技术, 2018, 42(8): 2431–2439.
ZHANG Shixiang, LÜ Shuaikang. Evaluation method of park-level integrated energy system for microgrid[J]. Power System Technology, 2018, 42(8): 2431–2439.
- [10] 朱永强, 王甜婧. 交直流混合微电网网络坚强度评估的指标体系及方法[J]. 电网技术, 2018, 42(2): 455–463.
ZHU Yongqiang, WANG Tianjing. Index system and method for evaluating strength of hybrid AC/DC microgrid[J]. Power System Technology, 2018, 42(2): 455–463.
- [11] 黄雄峰, 翁杰, 张宇娇. 微电网建设规划方案评估与选择[J]. 电工技术学报, 2015, 30(21): 76–81.
HUANG Xiongfeng, WENG Jie, ZHANG Yujiao. Evaluation and selection of microgrid construction planning schemes[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(21): 76–81.
- [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.
YANG Qi, MA Shiyong, TANG Xiaojun, et al. Evaluation index system construction and application of microgrid planning[J]. Automation of Electric Power System, 2012, 36(9): 13–17.
- [13] 孟青. 基于情景分析理论的微电网规划综合评价[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2015.
MENG Jing. A comprehensive evaluation method for microgrid planning based on scenario analysis theory[D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2015.
- [14] 曾君, 徐冬冬, 郭华芳, 等. 面向可再生能源的微电网电能质量特点分析与综合评价方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(19): 10–16.
ZENG Jun, XU Dongdong, GUO Huafang, et al. Renewable energy-oriented micro-grid power quality characteristic analysis and comprehensive evaluation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(19): 10–16.
- [15] 金强, 张红斌, 宋子洋, 等. 微电网规划方案的评价指标计算和空间距离评价方法[J]. 燕山大学学报, 2021, 45(3): 246–253, 261.
JIN Qiang, ZHANG Hongbin, SONG Ziyang, et al. Index calculation and space distance based evaluation for microgrid planning[J]. Journal of Yanshan University, 2021, 45(3): 246–253, 261.

收稿日期: 2021–10–14

修改稿日期: 2021–11–12