

基于属性理论的智能配电网项目后评价 指标体系与方法

宫建锋,党东升,张 斌,徐鹏飞

(国网宁夏电力有限公司 经济技术研究院,宁夏回族自治区 银川 750000)

Post-project index system and method for smart distribution network based on attribute theory

GONG Jianfeng, DANG Dongsheng, ZHANG Bin, XU Pengfei

(Economic Research Institute, State Grid Ningxia Electric Power Co., Ltd., Yinchuan 750000, China)

摘要:近年来,随着泛在电力物联网的提出以及智能配电网的发展,配电网项目备受重视,项目后评价能够及时总结、发现问题,针对性提出改进建议,指导未来项目的过程管理,对于实现闭环、精益管理有重要作用。充分考虑配电网的多维度特征,提出一种基于属性理论的配电网项目后评价方法及其指标体系。考虑实施过程、效果与效益、智能化水平、环境及可持续发展4个方面,建立层次型多维度配电网项目后评价指标体系。根据属性数学的理论,提出了配电网项目综合后评价方法,包括单指标属性测度、指标权重计算以及多属性项目综合后评价方法。算例通过实际工程项目的分析评价,证明本文后评价方法能够找出工程项目存在的问题并分析造成问题的原因,有利于引导公司未来的投资方向与决策,实现精准投资。

关键词:项目后评价;多维度;属性理论;主客观赋权法

Abstract: Recently, with the development of smart distribution network and ubiquitous Internet of Things, the distribution network projects have attracted much attention. Post-evaluation for power grid projects can find the problems, put forward suggestions for improvement and guide the future project process management, which plays an important role to realize the closed-loop and lean management. Considering the multi-dimensional characteristics of power grid, a post-evaluation method with its index system for power grid projects based on attribute theory is put forward. Considering implementation process, effect and benefit, environment and social benefit, sustainability, a hierarchical multi-dimensional grid project post-evaluation index system is established. Based on attribute theory, a post-evaluation method is proposed, including single index attribute measure, the index weight calculation and multi-attribute post-evaluation comprehensive evaluation method. Through the evaluation and analysis of practical engineering projects, case studies prove that this evaluation method can find out the problems existing in the project and analyze the causes of the problems, which is beneficial to guide the company's future investment direction and decision-making, and achieve accurate investment.

Key words: post-project; multiple dimensions; attribute theory; objective and subjective weighting method

0 引言

随着泛在电力物联网以及能源互联网的高速发展,配电网工程项目在各个国家都备受重视^[1-2]。2014年国家发展和改革委员会发布《国家发展改革委关于印发中央政府投资项目后评价管理办法和中央政府投资项目后评价报告编制大纲(试行)的通知》(发改投资[2014]2129号),标志着我国工程项目后评价工作的全面深入开展。同时,随着电力改革的逐步推进和配售电市场有序开放,竞争性市场和体系将逐步形成,配电网企业盈利模

式发生根本转变。配电网企业通过对评价成果的应用,有助于配电网企业在有限资金的情况下,科学合理安排投资建设项目并进行资金分配,把握投资时机,制定配电网精准投资策略。

现有关于配电网评价指标体系^[3]和综合评价方法^[4]的研究,通常只关注于比较不同配电网规划方案的优劣,起到规划决策的作用;或是对配电网长期的运行情况进行宏观评价,指导未来配电网的规划运行。而在评价的侧重方面,通常侧重于考虑安全性和经济性。然而,当今智能配电网的评估需要同时对多个方面、多个维度的指标进行综合评价,将宏观与微观相结合,既从大处着眼,整体上把握评价对象的特点;也从局部探究评价对象的细节,使得评价方法更加丰富、立体与科学。

我国后评价的主要内容通常包括项目的技术后

收稿日期:2020-01-30;修回日期:2020-04-20

基金项目:国家自然科学基金项目(51977211)

This work is supported by National Natural Science Foundation of China(No.51977211)

评价、财务后评价和经济后评价。文献[5]指出还应进一步丰富评价方面和指标,对项目的环境影响后评价、社会影响后评价以及社会效益后评价等等。文献[6]指出,美国作为后评价做得比较好的国家之一,在建设项目后评价方面注重项目中间阶段(或过程)的评价,而不是单一地等到项目结束。文献[7]特别提出,项目后评价的内容应该更加多样化,应由单一性向多样化转变。然而,以上文献在指标体系方面考虑不够周全,很少通过科学地项目后评价来分析项目出现的问题,并提出合理的改进建议。

综上所述,本文提出一种基于属性理论的智能配电网项目后评价方法及其指标体系,充分考虑配电网的多维度特征,基于属性理论对评价对象进行不间断地动态评价。考虑实施过程、效果与效益、智能化水平、环境及可持续发展4个方面,建立全面的层次型多维度配电网项目后评价指标体系。根据属性数学的理论,提出了配电网项目综合后评价方法,包括单指标属性测度、指标权重计算以及多属性项目综合后评价方法。最后,通过实际的8个工程项目对本文提出的项目后评价方法进行验证,并根据项目后评价结果,对各个工程项目所暴露问题提出合理的改进措施。

1 多维度智能配电网工程项目后评价综合指标体系

针对多维度智能配电网项目后评价状态特征,根据SMART准则^[8],综合考虑地区配电网特色,提出智能配电网项目综合后评价指标体系。考虑技术水平、运行效果、财务效益、智能化水平、环境和社会效益、项目可持续性等因素,遵循科学、动态、系统等指标选取原则,提出了层次型多维度配电网项目后评价指标,该指标体系分为3个层次:目标层、分类层和指标层,累积共48个指标。每个层次又包含多个维度指标,目标层主要从实施过程、效果与效益、智能化水平、环境及可持续发展这4个维度进行评价。分层情况如图1所示。

与传统配电网项目相比,智能配电网项目在源、网、荷方面均有较大区别,因此本文在建立项目后评价指标体系过程中充分考虑了智能配电网项目的特点,所提出的指标体系能够有效反映智能配电网项目后评价的效果:① 在源端,大量的可再生分布式电源接入配电网,智能配电网在建设时需要提高对分布式电源的接纳能力,以实现减排环保的效果,在本文所提出的指标体系中,新能源接入水平和环保减排水平等指标能够反映智能配电网项目对分布式电源的消纳能力;② 在网络层面,智能

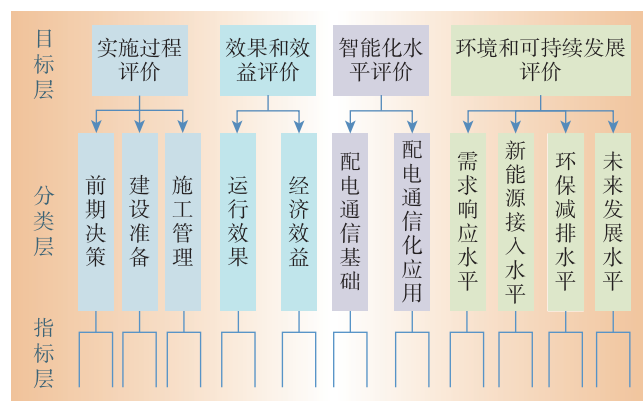


图1 层次型多维度智能配电网项目后评价指标体系

Fig. 1 Hierarchical multi-dimensional grid post-project evaluation index system

配电网项目对系统的自动化水平要求较高,同时要求有较好的通信条件,以便实现自动化应用的快速高效运行,因此在本文的指标体系中,增加智能化水平评价目标,在该目标下,有配电通信基础和配电自动化应用2个分类层指标,能够反映智能配电网的智能化水平;③ 在负荷侧,智能配电网要求能够充分利用可调负荷、可中断负荷、电动汽车等新型灵活负荷响应资源,实现负荷与电网的双向互动,更好地提高对用户的服务质量,因此在本文的指标体系中,增加需求响应水平分类层指标,能够反映该智能配电网项目在负荷侧的互动化与智能化。层次型多维度智能配电网项目后评价具体的指标体系如表1所示。

2 基于属性理论的配电网工程项目后评价方法

配电网项目后评价测度可以分为5个等级:成功、基本成功、一般、基本不成功和不成功^[9-10]。这5个等级对应配电网项目后评价状态空间的5个属性,提出了配电网项目综合后评价方法,包括单指标属性测度、指标权重计算以及多属性综合评价。基于属性理论的配电网项目后评价方法的基本流程是:基于属性测度方法,提出了配电网项目后评价单属性评价准则;将层次分析法和熵权法相结合,提出了指标权重的主客观赋权法^[11-12];结合置信度准则辨识方法,提出配电网项目综合后评价方案。

2.1 单指标属性测度

由于各个评价指标的计算量纲各不相同,因此需要所有指标的量度统一在一个属性测度评价体系内^[9]。指标用 j 表示, j 的取值范围为1—48,表2是在 C_n 属性(从 C_1 到 C_5 分别代表不成功、基本不成功、一般、基本成功和成功这5个评价等级)下,第 j

表1 项目后具体评价指标

Table 1 Post-project evaluation index system

序号	综合指标	分类	三级指标
1	实施过程	前期决策	电力需求预测准确率
2			项目立项变更率
3			项目可研规模调整率
4		建设准备	开工条件落实率
5			投资结余率
6		施工管理	项目按期完成率
7			年度投资计划完成率
8			年度项目工程质量目标完成率
9			年度安全质量目标完成率
10			投产任务完成率
11	效果和效益评价	供电能力	35 kV 容载比
12			35 kV 主变重过载比例
13			35 kV 线路重过载比例
14			中压线路重过载比率
15			中压配变重过载比率
16			中压供电半径合格率
17		网架结构	35 kV 单线单变比例
18			中压线路N-1通过率
19			中压配电网联络率
20			35 kV 主变N-1通过率
21		运行效果	35 kV 线路N-1通过率
22			供电可靠率
23		可靠运行	综合线损率
24			综合电压合格率
25			年度故障跳闸率
26		利用效率	中压配网单位增供负荷
			新建配变容量
27			中压配网单位增供负荷
			新建线路长度
28	经济效益	财务分析	资本金内部收益率
29			投资回收期
30	智能化水平评价	配电通信基础	变电站通信光纤化率
31			电力光纤到户比例
32			变电站光纤通信误码故障率
33		配电自动化应用	配电自动化覆盖率
34			变电站综合自动化率
35			智能电能表覆盖率
36		信息系统集成化程度	
37	环境和可持续发展评价	需求响应水平	负荷控制比例
38			实行动态电价用电量比例
39		未来发展水平	年度网供负荷增长率
40			年度网供电量增长率
41			35 kV 及以下变电容量年增长率
42		节能降耗水平	长度超限线路改造比例
43			高损配变更换比例
44			节能型变电站比例
45		新能源接入水平	分布式电源发电和储能容量比例
46			分布式电源容量并网率
47		环保减排水平	可再生能源发电容量比例
48			电动汽车充电站用电量比例

个指标计算结果的上下限范围,其中 $a_{j,n} - a_{j,n+1}$ 表示第 j 个指标在属性 C_n 下,其计算数值上下限分别为 $a_{j,n}$ 与 $a_{j,n+1}$ 。

单指标属性测度的计算公式如式(1)所示

$$c_{j,n} = \frac{a_{j,n} + a_{j,n+1}}{2}, n = 1, 2, \dots, N-1 \quad (1)$$

$$d_{j,n} = \min(|c_{j,n} - a_{j,n+1}|, |c_{j,n+1} - a_{j,n+1}|), n = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

式中: $c_{j,n}$ 为属性 C_n 第 j 个指标的平均度量值; N 为属性个数,在本文中取值为5; $a_{j,n}$ 、 $a_{j,n+1}$ 分别为第 j 个指标在属性 C_n 下计算数值的上、下限值; $d_{j,n}$ 为第 j 个指标在属性 C_n 下的传递参数。

当 $n = 1$ 时

$$u_{j,n} = \begin{cases} 1 & l_j < a_{j,n+1} - d_{j,n} \\ |l_j - a_{j,n+1} - d_{j,n}| / 2d_{j,n} & a_{j,n+1} - d_{j,n} \leq l_j \leq a_{j,n+1} + d_{j,n} \\ 0 & a_{j,n+1} + d_{j,n} < l_j \end{cases} \quad (3)$$

当 $1 < n < N$ 时

$$u_{j,n} = \begin{cases} 0 & l_j < a_{j,n} - d_{j,n-1} \\ |l_j - a_{j,n} + d_{j,n-1}| / 2d_{j,n-1} & a_{j,n} - d_{j,n-1} \leq l_j \leq a_{j,n} + d_{j,n-1} \\ 1 & a_{j,n} + d_{j,n-1} < l_j \leq a_{j,n+1} - d_{j,n} \\ |l_j - a_{j,n+1} + d_{j,n}| / 2d_{j,n} & a_{j,n+1} - d_{j,n} < l_j \leq a_{j,n+1} + d_{j,n} \\ 0 & a_{j,n+1} + d_{j,n} < l_j \end{cases} \quad (4)$$

当 $n = N$ 时

$$u_{j,n} = \begin{cases} 1 & a_{j,n} + d_{j,n-1} < l_j \\ |l_j - a_{j,n} - d_{j,n-1}| / 2d_{j,n-1} & a_{j,n} - d_{j,n-1} \leq l_j \leq a_{j,n} + d_{j,n-1} \\ 0 & l_j < a_{j,n} - d_{j,n-1} \end{cases} \quad (5)$$

同时, $u_{j,n}$ 应当满足以下约束

$$u_{j,n} \geq 0, \sum_{n=1}^N u_{j,n} = 1 \quad (6)$$

式中: $u_{j,n}$ 为第 j 个指标在 C_n 属性下的单指标属性测度。

表2 单指标属性分级表

Table 2 Single index attribute classification

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
I_1	$a_{11} - a_{12}$	$a_{12} - a_{13}$	$a_{13} - a_{14}$	$a_{14} - a_{15}$	$a_{15} - a_{16}$
I_2	$a_{21} - a_{22}$	$a_{22} - a_{23}$	$a_{23} - a_{24}$	$a_{24} - a_{25}$	$a_{25} - a_{26}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
I_{48}	$a_{481} - a_{482}$	$a_{482} - a_{483}$	$a_{483} - a_{484}$	$a_{484} - a_{485}$	$a_{485} - a_{486}$

2.2 基于主客观赋权法的权重计算

在确定单指标属性测度后,应当确定各个指标的权重,进而获得综合指标属性测度。指标权重是以定量的方式反映各项指标在实现对象预定要求中所起作用大小的比重。确定指标权重不仅可以更真实地反映出对象系统的特点,而且可以使评估工作实现主次有别,抓住主要矛盾。指标权重的确定是配电网项目后评价中难度较大的一项工作,往往需要反复归纳综合才能完成。

为了使确定出的指标权重既考虑专家经验,又结合客观实际,可采用层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)和熵权法(entropy method, EM, 从

客观数据提取指标权重)相结合的方法确定指标权重,即采用层次分析法和熵权法分别确定各分项指标权重后,然后再按一定的百分比确定出最终的指标权重。其表达式为

$$w_j = 0.5w_{\text{AHP}} + 0.5w_{\text{EM}} \quad (7)$$

式中: w_j 为指标 j 的权重向量; w_{AHP} 、 w_{EM} 分别为层次分析法、熵权法确定的指标权重向量。

2.3 多属性项目综合后评价方法

基于单指标属性测度以及指标权重的计算结果,建立多属性项目综合后评价模型,从而获得综合指标属性测度,其表达式为

$$u_n = \sum_{j=1}^J w_j u_{jn} \quad (8)$$

$$\text{其中: } \sum_{n=1}^N u_n = 1 \quad (9)$$

最后基于置信度准则,本文对所获得的综合指标属性测度进行等级评价,设定置信度为 λ , 置信度应当满足 $0.5 < \lambda \leq 1$, 则属性等级评价公式为

$$n_0 = \max \left\{ n \left| \sum_{i=1}^N u_i - \sum_{i=1}^{n-1} u_i \geq \lambda, 1 \leq n \leq N \right. \right\} \quad (10)$$

获得综合指标属性测度后,带入式(10)中计算 n_0 , 获得配电网的供电能力评级 C_{n_0} , 即能评判此时配电网项目后评价是否成功。

具体而言,由于 $\sum_{i=1}^N u_i = 1$, 因此当 $n=1, 2, 3, 4, 5$ 时, $\sum_{i=1}^N u_i - \sum_{i=1}^{n-1} u_i$ 的值分别为 $(1, 1-u_1, 1-u_1-u_2, 1-u_1-u_2-u_3, 1-u_1-u_2-u_3-u_4)$ 。将 $\sum_{i=1}^N u_i - \sum_{i=1}^{n-1} u_i$ 计算的5个值分别与 λ 进行比较:

(1) 当 $1-u_1 < \lambda$ 时, 只有 $n=1$ 满足 $\sum_{i=1}^N u_i - \sum_{i=1}^{n-1} u_i \geq \lambda$, 因此 $n_0 = \max\{1\} = 1$, 即配电网项目后评价结果为不成功;

(2) 当 $1-u_1 \geq \lambda$ 且 $1-u_1-u_2 < \lambda$ 时, $n=1, 2$ 满足 $\sum_{i=1}^N u_i - \sum_{i=1}^{n-1} u_i \geq \lambda$, 因此 $n_0 = \max\{1, 2\} = 2$, 即配电网项目后评价结果为基本不成功;

(3) 当 $1-u_1-u_2 \geq \lambda$ 且 $1-u_1-u_2-u_3 < \lambda$ 时, $n=1, 2, 3$ 满足 $\sum_{i=1}^N u_i - \sum_{i=1}^{n-1} u_i \geq \lambda$, 因此 $n_0 = \max\{1, 2, 3\} = 3$, 即配电网项目后评价结果为一般;

(4) 当 $1-u_1-u_2-u_3 \geq \lambda$ 且 $1-u_1-u_2-u_3-u_4 < \lambda$ 时, $n=1, 2, 3, 4$ 满足 $\sum_{i=1}^N u_i - \sum_{i=1}^{n-1} u_i \geq \lambda$, 因此 $n_0 = \max\{1, 2, 3, 4\} = 4$, 即配电网项目后评价结果为

基本成功;

(5) 当 $1-u_1-u_2-u_3-u_4 \geq \lambda$ 时, $n=1, 2, 3, 4, 5$ 满足 $\sum_{i=1}^N u_i - \sum_{i=1}^{n-1} u_i \geq \lambda$, 因此 $n_0 = \max\{1, 2, 3, 4, 5\} = 5$, 即配电网项目后评价结果为成功。

3 算例验证

为了验证本文所提项目后评价方法的全面性与有效性,本文选取某省8个实际项目,利用实际工程数据作为算例进行综合后评价。本次后评价单体项目电压等级涵盖 10 kV~110 kV, 项目功能涉及 3 大类,“优化网架结构”类项目 3 项,“服务新能源”类项目 1 项,“满足用电需求”类项目 4 项。用本文提出的基于属性理论的项目后评价方法对各个项目进行评价,所得的评价结果如表 3 所示。

表 3 各项目后评价结果

Table 3 Post-project evaluation results

工程名称	成功度评定		
	等级	评分/分	评定结果
CL线路改造工程	A	80.08	成功
CD-LC线路改造工程	B	77.59	基本成功
HH线路改造工程	A	84.20	成功
LS分布式电源规划工程	A	82.97	成功
YFG变电站扩容工程	A	83.85	成功
XJ220变电站新建工程	B	78.10	基本成功
WS110变电站新建工程	A	85.56	成功
XS110变电站扩容工程	A	85.04	成功

由表 3 可知,8 项工程有 6 项评定为成功,其余 2 项为基本成功。其中,CD-LC 线路改造工程、XJ 变电站扩容工程成功度评分较低,没有达到成功的标准。

对于 CD-LC 工程,未能达到成功标准主要原因是项目运行效果指标评分较低。图 2 是 8 个工程项目在 2016 年的运行水平对比图,从图 2 中可以看出,CD-LC 项目的主变最高负载率、主变平均负载率、线路最高负载率以及线路平均负载率,都在 30% 以下,属于轻载运行,表明设备电力输送能力有待提高,工程负荷水平未达到预期目标,需要优化负荷特性,提升设备利用率。

对于 XJ 工程,从实际工程角度出发,评分较低的原因主要有 2 个,一是项目施工管理不足,二是项目运行效果不佳。从项目施工管理角度来讲,XJ 工程前期工作时间不满足标准要求,未取得初设批复就开工建设,开工条件落实率未达 100%,前期进度控制管理有待加强。工程设计变更频繁,项目变更金额在所有工程中最,变更金额占概算投资的占比达到 3.61%。

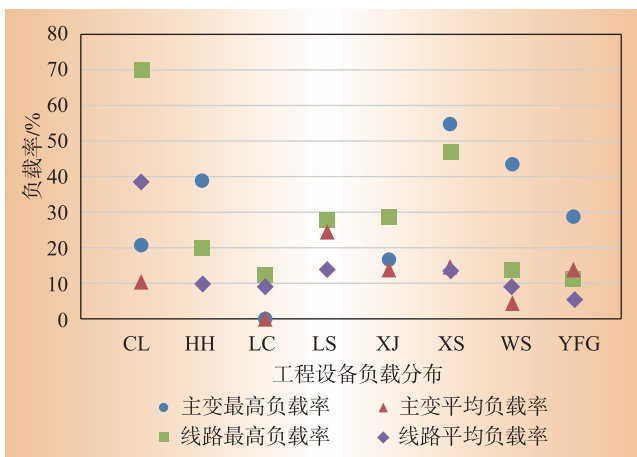


图2 各个工程项目在2016年的运行水平对比图

Fig. 2 Operation level comparisons in 2016

从项目运行效果角度来讲,XJ工程属于满足用电需求工程,由XJ项目工程设备年最大负载率变化趋势(如图3所示)可以看出,变电站平均负载率常年保持在14%,属于轻载运行,而线路负载率连年下降,2016年线路负载率仅为24.25%,因此该项目工程线路输送能力尚未完全开发,造成供电能力浪费,导致评分较低。2016年线路负荷较2015年突降,主要是由于配电网运行方式调整,JW一线/二线转为备用,WS站由就近的TSD站供电,导致2016年LJ一线/二线、JW一线/二线负荷突降。但随着园区内企业的建设,XJ变、LJ一线/二线的负荷将随之发展起来,负荷也将达到预期目标。

虽然XJ项目未能充分发挥其供电能力,但是该工程项目也减少了区域供电半径,供电公司线路投资和配电网线损减少,与此同时大大提高区域配电网的供电电压质量,对于改善民生起到了积极的作用。

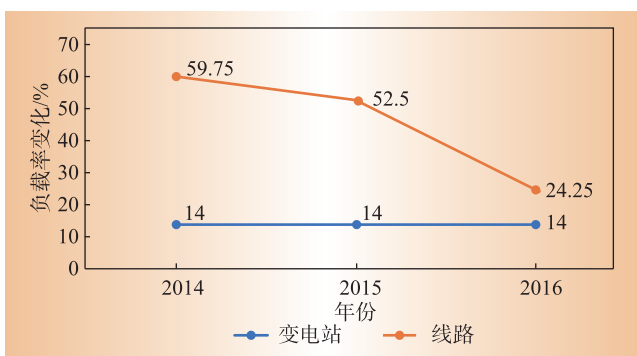


图3 XJ项目设备年最大负载率变化趋势

Fig. 3 Annual maximum load rate change trend of XJ engineering equipment

针对以上2个工程项目出现的问题,提出以下2条措施进行改进。

(1) 2个项目都出现了运行水平较低的问题。针对这一问题,应提升电力需求预测准确度。电力

需求预测往往是由用户报装以及政府部门对地区发展规划相结合,确定预测结果。在目前宏观经济形势下,建议在负荷报装时,尤其是高耗能、重工业的新增负荷,详细研究其负荷特性,提高预测精度,确保工程投运后,负荷按预期达到预测目标。

(2) XJ项目出现了项目施工管理的问题。出现这一问题的原因一方面是设计单位前期勘察设计深度不够,对施工现场的实际情况把握不足;另一方面是设计单位对标准工艺应用理解不够,导致部分施工图标注的施工方法不能完全满足标准工艺要求;此外,国家及国家电网公司新规定的发布、新政策的变化和业主要求也是产生设计变更的重要原因。针对这一问题,建议结合地区实际情况注重土建施工工艺的差异化,如:① 内外墙装饰:综合周边环境及地区市政要求制定工艺;② 电缆沟:转角、防水、防燃、排水等设计充分考虑实际情况;③ 电气线路:设计充分考虑周边建筑、规划用户等,保持与用户的安全距离,与周边市政规划相衔接。

4 结束语

本文从实际工程角度出发,结合项目数据,从前期决策、施工管理、工程投产后运维管理等方面对智能配电网工程进行了全面系统的后评价分析,基于属性理论提出了层次型多维度智能配电网项目后评价指标体系及其评价方法,促使项目决策科学化、合理化,项目管理规范化、程序化,项目效益投资比最大化。

算例通过实际工程项目的分析评价,证明本文后评价方法能够找出工程项目存在的问题并分析造成问题的原因。结合实际工程数据和项目实际进展情况的分析和计算评价,能够全面客观地发现项目存在的问题并进行成功度判定。基于此,可进一步结合政策解读以及未来规划情况,关注投资导向,引导未来的投资决策,实现精准投资。

参考文献:

- [1] 周亚中,付学谦. 农业工程能源互联网发展展望[J]. 电力需求侧管理,2019,21(4):7-11.
ZHOU Yazhong, FU Xueqian. Development prospect of energy Internet in agricultural engineering[J]. Power Demand Side Management, 2019, 21(4):7-11.
- [2] 汤一达,张秀容,付学谦. 欧盟能效目标与经验[J]. 电力需求侧管理,2016,18(3):59-61.

(下转第30页)