

基于序关系-成功度法的新能源项目全生命周期评价模型

王芯芳¹, 李怡萱², 王聪², 郑凯¹, 卢迅¹

(1.国家能源集团江苏电力有限公司, 江苏 南京 210036; 2.东南大学土木工程学院, 江苏 南京 211189)

摘要: 基于全生命周期理论, 首先通过文献调研和专家访谈构建包含4个一级指标、8个二级指标和7个三级指标的新能源项目全生命周期评价指标体系; 然后将序关系法和成功度法结合, 提出基于序关系-成功度法的全生命周期评价模型; 最后将该模型应用于实际项目, 并与熵值法、层次分析法和模糊综合评价法进行对比验证。研究表明, 本文提出的新能源项目评价方法具有更高的可靠性和有效性, 该模型为新能源项目的管理和发展提供了可行的评价途径, 为提升新能源投资企业的精益管理能力提供了技术支撑。

关键词: 新能源项目; 全生命周期理论; 综合评价; 序关系法; 成功度法

中图分类号: F426.2 文献标识码: A 文章编号: 1002-851X(2023)S2-0131-06

DOI: 10.14181/j.cnki.1002-851x.2023S2131

Life Cycle Assessment Model of New Energy Projects Based on Sequential Relationship-Success Degree Method

WANG Xinfang¹, LI Yixuan², WANG Cong², ZHENG Kai¹, LU Xun¹

(1.National Energy Group Jiangsu Electric Power Co., Nanjing 210036, China; 2.School of Civil Engineering, Southeast University, Nanjing 211189, China)

Abstract: Based on the whole life cycle theory, this paper firstly constructs a whole life cycle evaluation index system for new energy projects, which contains 4 first-level indicators, 8 second-level indicators and 7 third-level indicators through literature research and expert interviews; then it proposes a whole life cycle evaluation model based on the sequential relationship-success method by combining the sequential relationship method and the success degree method; finally, it applies the model to actual projects and compares and verifies it with entropy method, hierarchical analysis method and fuzzy comprehensive evaluation method. analysis method and fuzzy comprehensive evaluation method for comparison and verification. The results show that the new energy project evaluation method proposed in this paper has higher reliability and validity, the model provides a feasible evaluation path for the management and development of new energy projects, and provides technical support for improving the lean management capability of new energy investment enterprises.

Keywords: new energy projects; life cycle theory; comprehensive evaluation; sequential relationship method; success degree method

1 引言

能源是国民经济发展的关键, 直接关系到国家安

作者简介: 王芯芳, 高级会计师, 主要研究方向: 新能源项目审计。

李怡萱, 硕士研究生, 主要研究方向: 新能源项目管理。

全、社会稳定及可持续发展。随着社会发展, 传统能源资源日益减少、能源消耗速度大幅提高, 将难以满足国民经济发展的需要。对此, 太阳能等新能源发展势在必行, 以满足日益增长的能源消费需求。与传统能源项目相比, 新能源项目在资源、经济、技术、环境等方面的不

确定性较大，易导致项目建设和运营的效果与设计目标出现偏差。此外，鉴于新能源项目仍缺乏成熟的评价体系，无法有效指导项目开发实践，开展新能源项目评价研究已成为当务之急。

现有新能源项目评价研究大多聚焦于阶段性分析，不能如实反映项目全过程的实施情况，其评价结果也无法指导新能源项目整体发展，迫切需要构建针对项目全过程的关键评价指标体系。而在指标定权方面，区别于多数研究采用的熵值法和层次分析法，本文采用序关系法进行指标定权。该方法只需专家对同级指标进行定性排序，再对相邻指标进行重要性比值判断，既弥补了传统熵值法仅能对已有数据进行赋权的弊端，也无需进行层次分析法的一致性检验，使得定权程序更加高效。

因此，本文首先通过文献研究，构建包括项目概况、项目过程评价、项目效果和效益评价、项目环境和社会影响评价的综合指标体系；其次，采用序关系法进行指标赋权；然后，结合成功度法进行综合评价；最后，基于光伏项目Y案例，与熵值法、层次分析法和模糊综合评价法对比，验证模型的有效可靠性。

2 模型构建

图1展示了基于序关系-成功度法的新能源项目全生命周期评价模型的构建流程，主要由指标体系构建和评价模型构建两部分组成。

2.1 指标体系构建

本文通过文献调研和专家访谈，选取项目概况、项目过程、项目效果和效益、项目环境和社会影响等4个

方面作为一级指标，以工程建设必要性、可研评价、项目建设准备工作、建设实施评价、项目效果评价、项目效益评价、项目环境、社会影响等8个方面为二级指标。此外，考虑到项目建设实施主要包括进度、质量、安全、竣工验收及其他过程等5个方面，项目效果主要包括技术水平和项目安全可靠性的2个方面，本研究基于专家意见将这7个方面定为三级指标。由此，构建得到的新能源项目全生命周期评价指标体系如表1所示。

表1 全生命周期评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标
A项目概况	A ₁ 工程建设必要性	-
	B ₁ 可研评价	-
	B ₂ 项目建设准备工作评价	-
B项目过程评价	B ₃ 建设实施评价	B ₃₁ 进度控制评价
		B ₃₂ 质量控制评价
		B ₃₃ 安全控制评价
		B ₃₄ 其他过程评价
		B ₃₅ 竣工验收评价
C项目效果和效益评价	C ₁ 项目效果评价	C ₁₁ 技术水平 C ₁₂ 项目安全可靠性的
	C ₂ 经济效益评价	-
D项目环境和社会影响评价	D ₁ 项目环境	-
	D ₂ 社会影响	-

2.2 综合评价方法

2.2.1 序关系法

序关系法是一种无需一致性检验的方法，且在应用中方案数量没有限制。首先邀请专家针对评价目标对

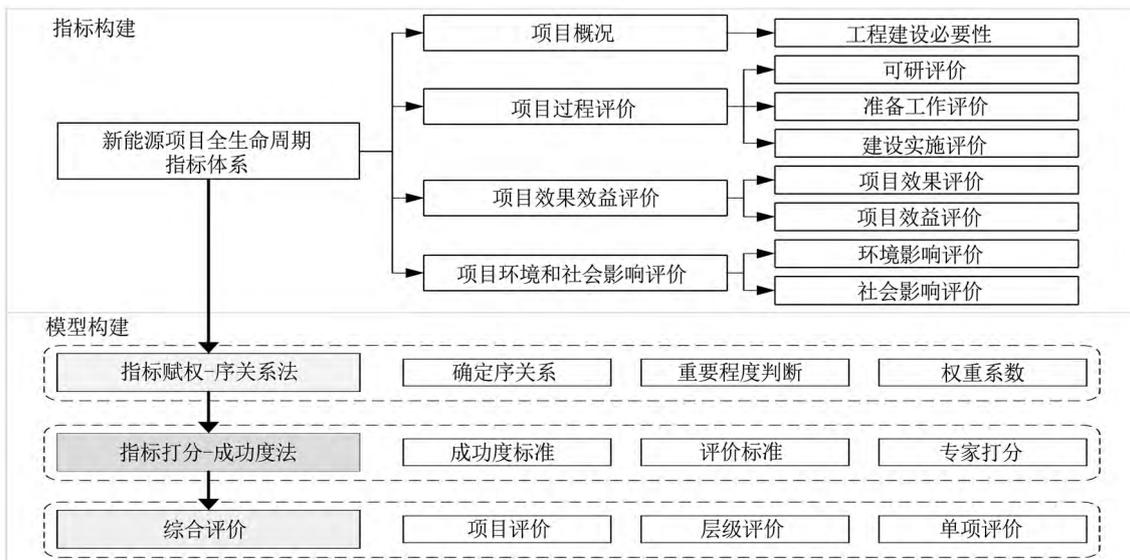


图1 评价方法实现路径

指标的重要度进行排序, 其次判断相邻排序指标, 并对其重要性比值进行赋值, 最后计算各指标权重。具体计算步骤如下所示:

(1) 判断指标的重要程度 (即序关系)

针对评价目标, 若指标 x_i 的关键程度大于 (或不小于) 指标 x_j 时, 则记为 $x_i > x_j$ 。若指标 x_1, x_2, \dots, x_m 对于评价目标具有关系时, 则称指标 x_1, x_2, \dots, x_m 间确立了序关系。 x_i^* 表示 $\{x_i\}$ 此序关系中的第 i 个指标 ($i=1, 2, \dots, m$)。

$$x_1^* > x_2^* > \dots > x_m^* \quad (1)$$

对于评价指标集 $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$, 可按如下步骤建立序关系: ①专家在指标集 $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ 中, 判断最关键的一个指标记为 x_1^* ; ②专家在剩余的 $m-1$ 个指标中, 判断最关键的一个指标记为 x_2^* ; ③以此类推, 专家在余下的 $m-(k-1)$ 个指标中, 判断最关键的一个指标记为 x_k^* ; ④在专家进行 $m-1$ 次选择后, 剩余的最后一个指标记为 x_m^* 。根据上述步骤, 就确定了一个唯一的序关系。记为:

$$x_1^* > x_2^* > \dots > x_m^* \quad (2)$$

(2) 比较判断相邻指标 x_{k-1} 与 x_k 间相对关键程度
相邻指标 x_{k-1} 与 x_k 的相对关键程度比值设为:

$$\frac{w_{k-1}}{w_k} = r_k \quad (k=m, m-1, \dots, 2) \quad (3)$$

其中, r_k 的赋值可参考图2。

r_k	
1.0	指标 x_{k-1} 与 x_k 具有同样重要性
1.2	指标 x_{k-1} 与 x_k 稍微重要
1.4	指标 x_{k-1} 与 x_k 明显重要
1.6	指标 x_{k-1} 与 x_k 强烈重要
1.8	指标 x_{k-1} 与 x_k 极端重要
1.1、1.3、 1.5、1.7	指标之间的重要性比较结果 分别处于上述结果中间

图2 r_k 的赋值参考

若 x_1, x_2, \dots, x_m 具有序关系 $x_1 > x_2 > \dots > x_m$, 则 r_{k-1} 与 r_k 必须满足:

$$r_{k-1} > \frac{1}{r_k} \quad (k=m, m-1, \dots, 2) \quad (4)$$

(3) 计算权重系数 w_k

当 r_k 满足关系式 $r_{k-1} > \frac{1}{r_k} \quad (k=m, m-1, \dots, 2)$, 则

w_m 为:

$$w_m = \left(1 + \prod_{k=2}^m r_k \right)^{-1} \quad (5)$$

$$w_{k-1} = r_k w_k \quad (k=m-1, \dots, 2) \quad (6)$$

2.2.2 成功度法

项目成功度评价是指结合专家经验与各项指标的评价结果, 对项目的成功程度进行定性判断的过程。其应用目的主要是根据项目建设目标设置成功度标准, 分析判断实际建设结果, 找出偏差, 以此评价项目的成功度, 并在此基础上提供发展建议。在进行项目成功度分析时, 首先需要明确项目指标体系, 其次邀请专家对每个指标进行打分, 然后对各单项指标成功度等级 i 和权向量 ω_i 进行合成运算, 最后完成项目各层级的评价和项目总评。成功度指数 θ 计算如下:

$$\theta = \sum_{i=1}^m \omega_i \delta_i \quad (7)$$

其中, δ_i 为各指标专家打分值。

3 案例分析

3.1 案例背景

选取某光伏项目Y作为评价对象, 该项目为6MWp光伏项目EPC工程, 可利用屋顶总面积约74000m², 总建设规模为6MWp, 屋面全部为混凝土屋面。项目拟安装545Wp太阳能光伏组件, 总装机容量6MWp。场址区紧邻大街, 交通非常便利。

3.2 模型构建及评价结果

本次综合评价的基础数据收集主要采取报表收集、表格填报、访谈与实地调研相结合的方式。基础资料来源情况如下: 项目清单及概况资料、可行性研究报告、项目建议书等由设备管理部提供; 项目过程评价资料、设计文件、施工文件、监理报告等由公司设备管理部、财务部、项目设计单位、施工单位、监理单位等提供; 项目效果及效益评价资料、项目经评报告、社会责任报告由评价单位、运维单位、设备管理部等部门提供。

3.2.1 指标定权

(1) 确定一级指标权重

①基于项目相关的数据报表和全过程的资料文件, 专家组对4个一级指标进行打分并确定序关系, 得到: $C > B > D > A$ 。

②计算指标间重要性程度比。基于专家确定的指标序关系, 记排序第一和第二的指标间重要性程度比为 r_1 , 排序第二和第三的指标间重要性程度比为 r_2 , 以此类推。根据专家建议, r_k 取值如表2所示。

③计算不同指标的权重。使用MATLAB软件, 通过公式 (5) 计算得到相应权重, 并基于四舍五入原则优

表2 r_k最终值

	数据
r ₁	1.4
r ₂	1.5
r ₃	1.7

化权重值, 权重取值如表3所示。

表3 一级指标权重

指标	权重	优化后权重
A	0.4048	0.4
B	0.2891	0.3
C	0.1927	0.2
D	-	-

(2) 确定二级指标权重

重复①-③, 计算各一级指标下的二级指标权重。对于三级指标权重, 鉴于各指标的重要程度相同, 因此基于对应二级指标权重, 采取平均值法对7个三级指标进行权重赋值, 最终得到指标体系权重如表4所示。

表4 新能源项目综合评价指标权重

一级指标	二级指标	三级指标
A (0.1)	A ₁ (0.1)	-
B (0.3)	B ₁ (0.1)	-
		-
	B ₃ (0.1)	B ₃₁ (0.02)
		B ₃₂ (0.02)
		B ₃₃ (0.02)
		B ₃₄ (0.02)
B ₃₅ (0.02)		
C (0.4)	C ₁ (0.16)	C ₁₁ (0.08) C ₁₂ (0.08)
	C ₂ (0.24)	-
D (0.2)	D ₁ (0.12)	-
	D ₂ (0.08)	-

3.2.2 指标评价标准

基于成功度法, 将新能源项目划分为成功、基本成功、部分成功、不成功、失败5个等级, 具体评分标准



图3 新能源项目成功度评分标准

见图3。

(1) 工程建设必要性评价标准如图4所示。其中, 前四项评价项目为扣分项, 最后一项“当地相关政策支持”为加分项。

(2) 项目过程评价标准如图5所示。

(3) 项目效果与效益评价标准分为效益评价和效果评价, 具体如图6所示。

(4) 项目环境和社会影响评价主要包括环境影响、污染防治措施、社会面影响等。具体评价标准如图7所示。

3.2.3 项目综合评价

通过专家访谈及调查, 运用新能源项目综合评价模型, 得出该项目的总得分为80.6分, 项目整体表现良好, 综合评价等级为基本成功。各指标具体得分及项目评价总得分见表5。

由表5可知, 在项目概况方面, 工程建设必要性评价得分为90分。该项目的优势在于得到了当地相关政策的支持, 符合当地发展的规划; 不足之处在于, 该项目虽然从地理位置、区域稳定性以及土地地形地质等方面做了明确分析, 但是在土地未来的利用规划方面仍存在改进空间。

在项目过程评价方面, 该项目的评价得分为100分, 具体表现为进度计划完整、计划内容合理、管控措施落实到位、竣工验收组织规范, 整体表现优秀, 可供后续项目参考。

在项目效果和效益评价方面, 其中效果评价获得80分, 不足之处在于该项目的研究报告未明确指出系统衰减率和系统实际效率, 但考虑到该项目电压合格率为99.99%, 安全事故发生次数为0次, 其安全可靠, 因

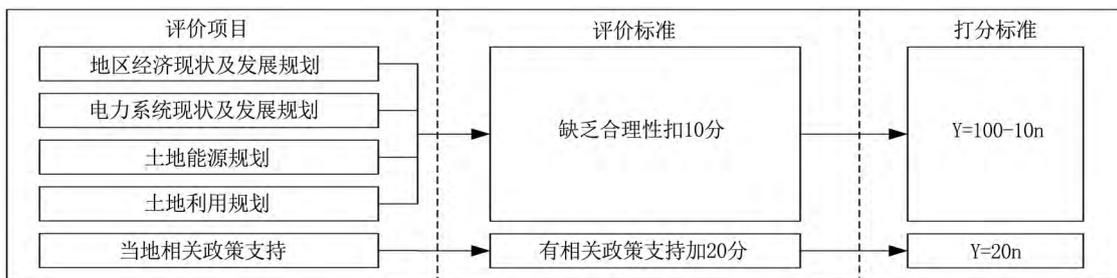


图4 工程建设必要性评价标准

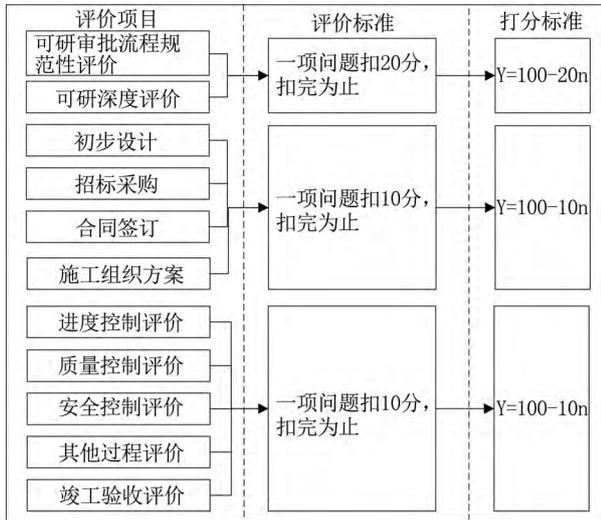


图5 项目过程评价标准

此评分取中位数; 而效益评价只获得60分, 可能归因于该项目投产年限短, 还需控制项目成本, 加强效益。

在项目环境和社会影响评价方面, 项目环境评价得

表5 各指标评价得分

一级指标	二级指标	得分
项目概况		90
项目过程评价	可研评价	100
	项目建设准备工作评价	100
	建设实施评价	100
项目效果和效益评价	项目效果评价	80
	项目效益评价	60
项目环境和社会影响评价	项目环境评价	60
	项目社会评价	90
	总得分	80.6

分为60分, 不足之处在于该项目在大气环境、水环境、噪声环境检测以及污染防治等方面缺少相关控制措施; 而社会影响评价得分为90分, 原因在于该项目在移民安置方面还有待继续加强。

3.3 模型对比与验证

为进一步验证模型有效性, 另外选取熵值法(A)、

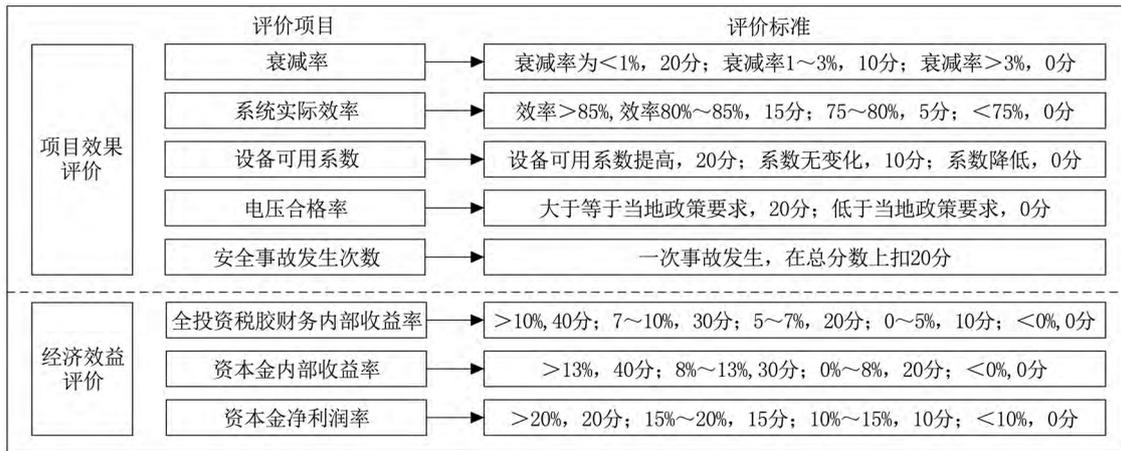


图6 项目效果与效益评价标准

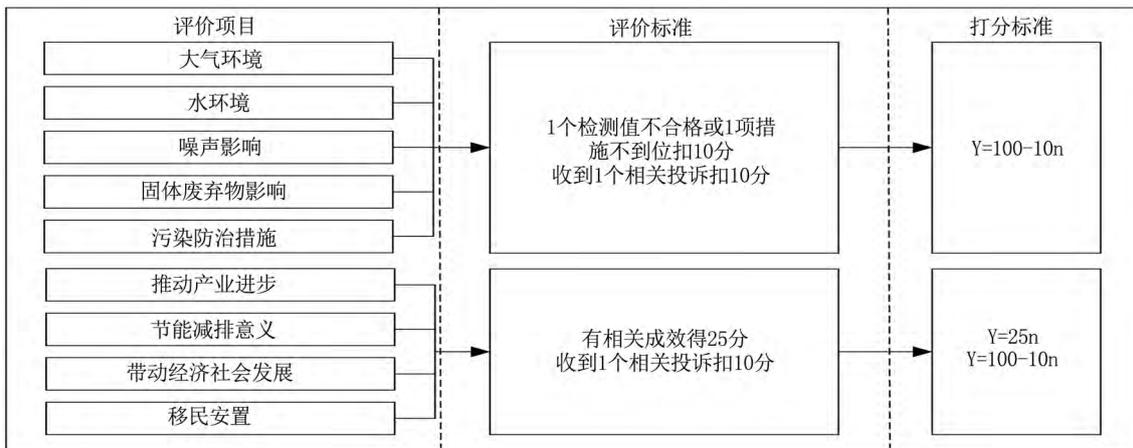


图7 项目环境和社会影响评价标准

表6 多方法评价结果

编号	评价方法	总得分	一级指标得分			
			项目概况	过程评价	效果效益评价	环境社会影响评价
A	熵值法	68.3	-	-	68.3 (100)	-
B	层次分析法	78.2	10.2 (12)	22 (22)	25.8 (38)	20.2 (28)
C	模糊综合评价法	77	80 (100)	90 (100)	68 (100)	85 (100)
D	序关系-成功度法	80.6	9 (10)	30 (30)	27.2 (40)	14.4 (20)

注: 括号内的数值为各种评价方法下各项一级指标的评分最大值。

层次分析法(B)、模糊综合评价法(C)3种评价方法与本文构建的评价模型进行对比,分别对该案例进行评价,评价结果见表6。

由表6可知,模型A的评价总得分为68.3分,模型B的评价总得分为78.2,模型C的评价总得分为77。通过对比分析发现,模型A仅适用于已知数据信息的评价,缺少定性指标评价;模型B主观性大、程序复杂,专家工作量大,可能出现一致性检验不通过导致返工的情况,通用性低;相比之下,模型D要求专家仅需对指标的重要程度和重要程度比进行直接判断,程序更为简单高效,通用性高。而模型C的总得分为77分,与模型D的评价结果相似,但该模型只能识别各指标的从属等级,并不能分析指标评分低的致因。同时,模型B、C的最终得分与模型D的结果相似,也说明本研究构建的模型有效性较高。

4 结 语

本文基于全生命周期理论,依据新能源项目特征,结合专家访谈和文献调研,构建了一套新能源项目全过程的评价指标体系,然后采用序关系法确定指标权重,并集成成功度法,构建了基于序关系-成功度法的新能源项目全生命周期评价模型,得出以下结论:

(1) 构建得到的新能源项目全生命周期评价指标体系具体涵盖了4个一级指标、8个二级指标和7个三级指标,可对新能源项目各方面的性能、效益和影响进行多层次、多方位、多角度的评价;

(2) 构建了新能源项目全生命周期的综合评价模型,该模型的指标权重通过较为先进的序关系法确定,并依据成功度的评分标准将综合评价等级划分为5个等级,为综合评价新能源项目提供了一种切实有效的工具;

(3) 基于实际光伏项目,将新能源项目全生命周期评价模型的评价结果与熵权法、层次分析法、模糊综合评价法等3种常用评价方法进行对比分析,实例验证了该评价模型的有效性和可靠性,并根据评价结果给出了

针对性发展建议。▲

参考文献

- [1] 冯建学.基于全生命周期能耗理论的建筑节能战略研究[D].天津:天津理工大学,2007.
- [2] 李书华.电动汽车全生命周期分析及环境效益评价[D].吉林:吉林大学,2014.
- [3] Pu Y, Wang P, Wang Y, et al. Environmental effects evaluation of photovoltaic power industry in China on life cycle assessment[J].Journal of Cleaner Production, 2021 (278): 123993.
- [4] Bagherian A M, Mehranzamir K. A comprehensive review on renewable energy integration for combined heat and power production[J]. Energy Conversion and Management, 2020 (224): 113454.
- [5] Wen Q, Liu G, Wu W, et al. Multicriteria comprehensive evaluation framework for industrial park-level distributed energy system considering weights uncertainties[J]. Journal of Cleaner Production, 2020 (282): 124530.
- [6] 王学军,郭亚军.基于GI法的判断矩阵的一致性分析[J].中国管理科学,2006(3):65-70.
- [7] 郭亚军,潘德惠.一类决策问题的新算法[J].决策与决策支持系统,1992(3):56-62.
- [8] 郭亚军.综合评价理论与方法[M].北京:科学出版社,2002.
- [9] 胡殿刚,张雪佼,陈乃仕,等.新能源发电项目多维度后评价方法体系研究[J].电力系统保护与控制,2015(4):10-17.
- [10] 张三力.项目后评价[M].北京:清华大学出版社,1998.
- [11] 张红平,叶苏东.基于成功度的公私合作项目绩效评价研究[J].北京交通大学学报(社会科学版),2017(3):22-29.
- [12] 黄雁南.市政建设项目后评价成功度模型研究[D].武汉:华中科技大学管理学院,2006.
- [13] 叶堃晖,刘瑞,申立银.“效益-产量”视角下绿色建筑灰色关联评价模型[J].重庆大学学报,2019(9):106-114.