

综合能源项目全生命周期投资评价方法

徐佳琪¹, 张旺¹, 王静怡¹, 卢璐¹, 徐佳裕²

(1. 江苏省电力有限公司经济技术研究院 江苏 南京 210008; 2. 东南大学 电气工程学院 江苏 南京 210096)

摘要: 随着“碳中和、碳达峰”计划的推动, 综合能源项目进一步得到发展, 如何对综合能源项目进行投资评价成为不可忽视的问题。针对现有综合能源项目投资评价方法评价角度不全面、评价环节单一的问题, 从全生命周期角度进行综合能源投资项目组件成本收益量化分析, 构建了考虑经济性和社会因素的综合能源投资评价指标体系, 全面地覆盖了综合能源项目投资的效益情况。采用层次分析和熵权法相结合的方法进行项目的综合评价, 具有评价结果客观和评价方式简洁的优点。最后通过案例分析证明了所提出评价方法的准确性和实用性。

关键词: 综合能源; 投资评价; 成本收益量化; 熵权法; 综合评价

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3886.2022.05.006

[中图分类号] TK01+9 [文献标志码] A [文章编号] 1000-3886(2022)05-0019-03

Life-cycle Investment Evaluation Method of Comprehensive Energy Project

Xu Jiaqi¹, Zhang Wang¹, Wang Jingyi¹, Lu Lu¹, Xu Jiayu²

(1. Economic and Technical Research Institute, Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Nanjing Jiangsu 210008, China;

2. School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing Jiangsu 210096, Jiangsu)

Abstract: With the promotion of the “Carbon Neutral, Carbon Peak” plan, comprehensive energy projects have been further developed, and how to evaluate the investment of integrated energy projects has become an issue that can not be ignored. Aiming at the problems of incomplete evaluation angles and single evaluation links in the existing comprehensive energy project investment evaluation methods, a quantitative analysis of the cost and return of comprehensive energy investment project components from the perspective of the entire life cycle was carried out, and a comprehensive energy investment evaluation index system that considered economic and social factors was constructed. The system comprehensively covered the investment benefits of comprehensive energy projects. The comprehensive evaluation of the project was carried out by the combination of analytic hierarchy process and entropy method, which had the advantages of objective evaluation results and simple evaluation methods. Finally, a case analysis proved the accuracy and practicability of the proposed evaluation method.

Keywords: comprehensive energy; investment evaluation; cost-benefit quantification; entropy weight method; comprehensive evaluation

0 引言

随着经济发展和社会进步, 传统能源短缺和环境污染不断恶化的问题日益凸显^[1-2]。近年来, 国家对“碳减排、碳达峰”的不断关注, 如何提高能源利用率、减少环境污染成为问题的焦点。在此背景下, 综合能源系统以其能源效率高、可再生能源消纳高和多元互补的优点受到关注^[3-4]。

综合能源系统的规划和建设带动了能源产业的变革, 对国民经济、人民生活 and 环境保护等带来巨大的效益^[5]。目前, 对于综合能源项目投资评价方面的研究相对较少, 而项目投资评价作为项目投资建设过程中首要的评价能够提升投资的精准性从而获得更高的收益^[6]。

综合能源投资收益量化方面, 文献[7]构建了面向多主体的园区综合能源投资收益量化模型, 分析了不同主体投资收益结果。综合能源评价指标系统构建方面, 文献[8-9]以综合能源系统的技术经济指标、气体排放量和化石能源消耗量等作为指标构建综合能源投资评价体系, 简洁而高效。

但现有研究并未考虑项目的全生命周期, 且评价结果过于主观性。本文从综合能源项目的全生命周期角度出发, 构建项目全

生命周期下的投资收益量化模型, 建立考虑经济和社会因素的综合评价指标体系, 采用层次分析法与熵权法相结合进行综合评价。案例分析验证了所提评价方法的客观性和实用性。

1 综合能源项目投资收益量化模型

1.1 综合能源项目生命周期划分

从综合能源项目的全生命周期考虑, 将综合能源项目生命周期分为资本性投入阶段、运维阶段和退役报废阶段三个阶段, 如图1所示。

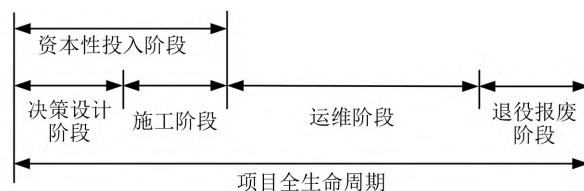


图1 综合能源项目全生命周期划分

综合能源项目的各个阶段都会产生投资成本费用, 而项目前期的资本投入阶段没有收益产生。将综合能源项目分为 n 个组件, 项目各阶段的成本收益为各组件成本收益之和。

1.2 综合能源项目组件成本收益量化模型

从综合能源项目组件生命周期角度分析综合能源项目单个

定稿日期: 2021-07-13

基金项目: 国网江苏电力设计咨询有限公司科技项目(JE202004)

组件的成本和收益,主要从综合能源项目组件的建设期即施工阶段、运营期、报废期考虑。综合能源项目组件的成本和收益模型分别如图2和图3所示。

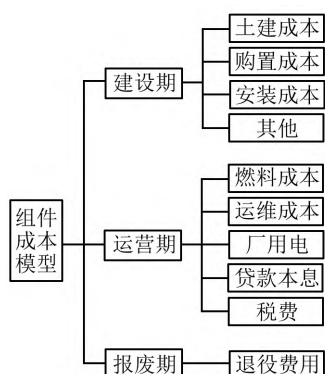


图2 综合能源项目组件成本模型

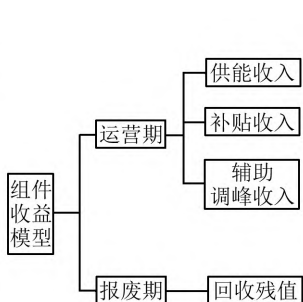


图3 综合能源项目组件收益模型

2 综合能源项目投资评价框架

2.1 综合能源投资评价指标体系

综合能源项目在投资时首先考虑的是项目的经济性问题,其次还要考虑项目的社会效益。本文选取的指标都为定量指标,从而得到相对客观的评价结果。本文从综合能源项目的经济性和社会效益考虑,选取的评价指标体系如图4所示。

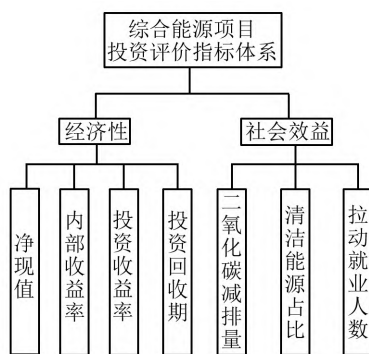


图4 综合能源项目投资评价指标体系

2.2 综合能源项目投资评价方法

对项目进行综合评价的流程如图5所示。首先根据不同项目方案进行综合能源项目投资收益量化分析,得到计算期内每一年的现金流入流出量;其次根据各年的现金流入流出量计算经济性指标和社会效益指标,对评价指标数值进行规范归一化处理;最后采用层次分析法和熵权法结合的方法得到各指标的权重,从而得到最终评价结果。

具体评价步骤如下:

- (1) 根据综合能源项目的全生命周期投资收益量化模型得到不同投资方案各年份的现金流量。
- (2) 根据各年份的现金流量计算不同方案的经济性指标值,同时计算社会效益指标。

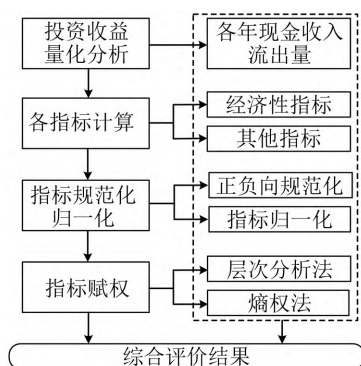


图5 综合能源投资评价流程

(3) 对指标进行规范化和归一化处理。根据指标值越大越好还是越小越好将指标分为正向指标和负向指标,本文建立的指标体系只有投资回收期为负向指标。正负向指标的规范化方法如式(1)所示。

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} & x_{ij} \text{ 为正向指标} \\ \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} & x_{ij} \text{ 为负向指标} \end{cases} \quad (1)$$

式中: x_{ij} 为第 i 个方案的第 j 个指标值; $\min x_{ij}$ 和 $\max x_{ij}$ 分别为所有方案中第 j 个指标的最小值和最大值; p_{ij} 为其规范后的值。

指标规范化后还需进行归一化,如式(2)所示。为了避免指标熵值过大失去意义,采用规范后的指标值加1进行归一化。

$$r_{ij} = (p_{ij} + 1) / \sum_{i=1}^m (p_{ij} + 1) \quad (2)$$

式中: r_{ij} 为 p_{ij} 规范后的值, r_{ij} 形成指标规范化矩阵 R 。

(4) 采用层次分析法和熵权法的主客观结合方法进行指标赋权。采用层次分析法获得一级指标的权重的过程如下:

- ① 指标两两相互比较构造一个判断矩阵 A ,如式(3)所示。

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: a_{ij} 为第 i 个指标对第 j 个指标的相对重要性, $a_{ij} = 1/a_{ji}$ 。

- ② 计算指标权重并归一化得到各指标权重 ω_i ,如式(4)、式(5)所示。

$$\tilde{\omega}_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$\omega_i = \tilde{\omega}_i / \sum_{j=1}^n \tilde{\omega}_j \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

- ③ 对矩阵 A 进行一致性检验,保证判断思维的一致性。本文一级指标只有两个,必然满足一致性检验。

熵权法利用指标信息熵确定权重,指标的熵越小则其变异程度越大,相应的权重也越大。采用熵权法获得二级指标权重。

第 j 个指标的信息熵 e_j 如式(6)所示。

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m r_{ij} \ln r_{ij} \quad (6)$$

式中: m 为方案数。

第 j 个指标的权重 k_j 如式(7)所示。

$$k_j = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^n (1 - e_j) \quad (7)$$

(5) 对综合能源项目进行综合评价,设一级指标权重向量为 $\omega(\omega_1, \omega_2)$,二级指标权重为 $k(k_1, k_2, \dots, k_7)$,则项目最终评价结果如式(8)所示。

$$U_i = \omega_1 \sum_{j=1}^4 (k_j r_{ij}) + \omega_2 \sum_{j=5}^7 (k_j r_{ij}) \quad (8)$$

式中: U_i 为第 i 个方案的最终评分。

3 案例分析

以某园区综合能源投资项目为研究对象,该项目计划配置CCHP系统、燃料电池、光伏发电机组、风力发电机组以及储能设

备,如图 6 所示。现有四种项目实施方案,如表 1 所示。各设备的经济参数和成本收益数据参考自同类项目以及相关文献。计算各方案经济和社会效益指标,计算结果如表 2 所示。

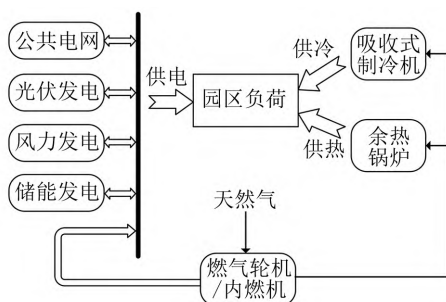


图 6 综合能源项目设备配置情况

表 1 综合能源项目实施方案

编号	系统构成
A ₁	CCHP 系统 2.4 MW + 储能设备 0.2 MW
A ₂	CCHP 系统 2.1 MW + 光伏发电 1.5 MW + 储能设备 0.2 MW
A ₃	CCHP 系统 2.1 MW + 风力机组 1.4 MW + 储能设备 0.2 MW
A ₄	CCHP 系统 2.1 MW + 光伏 0.8 MW + 风力 0.7 MW + 储能设备 0.2 MW

表 2 各方案指标计算值

指标	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
净现值/万元	415.0	418.0	425.0	446.0
内部收益率/(%)	10.4	10.5	10.8	10.8
投资收益率/(%)	12.8	13.1	13.3	13.4
投资回收期/年	11.4	13.0	12.8	12.8
CO ₂ 减排量/t	93.0	664.0	622.0	664.0
清洁能源占比/(%)	0	35.7	37.3	37.7
拉动就业人数/人	6.2	26.1	14.1	22.5

对指标规范归一化后可得指标规范化矩阵 R ,根据式(8)计算可得到二级指标权重的各指标权重分配为 $k = (0.223 \ 0.218 \ 0.221 \ 0.337 \ 0.336 \ 0.335 \ 0.329)$ 。一级指标层次分析获得权重如表 3 所示。计算得到该项目四种方案得分和相对排序,如表 4 所示。

根据结果可见方案四风光气互补系统的综合得分最高。从具体指标上看,相对于其他方案,其清洁能源占比处于最高水平,

表 3 一级指标权重分配

分类	经济性	社会效益	权重
经济性	1	3	0.75
社会效益	1/3	1	0.25

(上接第 18 页)

- [4] 李晓露,单福州,宋燕敏,等.考虑热网约束和碳交易的多区域综合能源系统优化调度[J/OL].电力系统自动化:1-9[2019-04-13].
- [5] 徐业琰,廖清芬,刘涤尘,等.基于综合需求响应和博弈的区域综合能源系统多主体日内联合优化调度[J].电网技术,2019,43(7):2506-2518.
- [6] 陈永龙,朱金大,杨冬梅,等.基于多方利益博弈的园区级综合能源系统经济优化运行技术研究[J].高电压技术,2021,47(1):

表 4 项目综合得分及排序

编号	综合评分	排名
A ₁	0.196	4
A ₂	0.230	2
A ₃	0.199	3
A ₄	0.312	1

充分利用了园区可再生能源。从经济效益上看,清洁能源与天然气系统结合虽然使得投资回收期变长,但长久来看能带来更大的经济效益,而风光气互补系统各指标都处于前列,综合效益最高。

4 结束语

本文从全生命周期角度对综合能源项目投资收益进行了量化分析,在此基础上构建了考虑经济性和社会效益的综合能源项目投资的评价指标体系,同时给出了基于层次分析法和熵权法的综合评价方法。案例应用表明,本文提出的综合能源投资评价方法具有客观性和实用性的优点,对综合能源的投资具有导向作用。

参考文献:

- [1] 张东霞,姚良忠,马文媛.中外智能电网发展战略[J].中国电机工程学报,2013,33(31):1-15.
- [2] 薛斌,唐卓贞.全球能源互联网关键技术进展及展望[J].电气自动化,2017,39(2):79-82.
- [3] 曾鸣,刘英新,周鹏程,等.综合能源系统建模及效益评价体系综述与展望[J].电网技术,2018,42(6):1697-1708.
- [4] 程浩忠,胡泉,王莉,等.区域综合能源系统规划研究综述[J].电力系统自动化,2019,43(7):2-13.
- [5] 贾宏杰,穆云飞,余晓丹.对我国综合能源系统发展的思考[J].电力建设,2015,36(1):16-25.
- [6] 王祺,卢艳超,刘一江,等.面向综合能源系统的投资评价方法研究[J].智慧电力,2020,48(6):20-27.
- [7] 闫湖,黄碧斌,洪博文,等.面向多主体的园区综合能源系统投资收益量化分析[J].中国电力,2020,53(5):122-127;134.
- [8] REN H B,GAO W J,ZHOU W S,et al. Multi-criteria evaluation for the optimal adoption of distributed residential energy systems in Japan[J].Energy Policy,2009,37(12):5484-5493.
- [9] 张涛,朱彤,高乃平,等.分布式冷热电能源系统优化设计及多指标综合评价方法的研究[J].中国电机工程学报,2015,35(14):3706-3713.

【作者简介】徐佳琪(1994—),女,安徽砀山人,硕士,中级经济师,主要从事电网工程造价及工程评审工作。

102-112.

- [7] 林俐,蔡雪瑄.基于风电消纳需求的综合能源服务商源荷协同运行策略[J].电网技术,2019,43(7):2517-2527.

【作者简介】唐涛南(1965—),男,江西抚州人,博士生,高级工程师,研究方向:电力系统分析、调度计划、电力市场。薛建杰(1971—),男,山西万荣人,硕士生,高级工程师,研究方向:调度计划、电力市场和源网荷储协同互动。王凌(1982—),女,河北廊坊人,硕士生,高级工程师,研究方向:调度计划、电力市场和源网荷储协同互动。