

DOI: 10.16652/j.issn.1004-373x.2023.05.025

引用格式: 张蔚, 武家辉, 张华, 等. 基于 AHP-CRITIC 法与评分卡模型的 RE-CCHP 系统综合性能评价[J]. 现代电子技术, 2023, 46(5): 139-144.

# 基于 AHP-CRITIC 法与评分卡模型的 RE-CCHP 系统综合性能评价

张蔚<sup>1</sup>, 武家辉<sup>1</sup>, 张华<sup>2</sup>, 杨健<sup>2</sup>

(1. 新疆大学 可再生能源发电与并网控制教育部工程研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830017;

2. 中广核新能源投资(深圳)有限公司新疆分公司, 新疆 乌鲁木齐 841100)

**摘要:** 随着“碳达峰, 碳中和”工作的推进, 我国将大力实施可再生能源替代行动, 将可再生能源与传统的冷热电联供系统结合成为未来能源发展的新趋势。但是新能源发电具有的不确定性、波动性, 使得系统能源利用率降低且增加了运营成本, 同时现有的评价指标和方法尚不完善, 文中首先以能耗性、环境性、可靠性、经济性和社会性为目标建立综合评价体系, 分别采用层次分析法和 CRITIC 法计算指标的主客观权重, 提出一种通过动态组合赋权法构建评分卡模型的综合评价方法。选取新疆某地区建筑作为研究对象, 建立评分卡模型对不同的系统方案进行打分排序, 并通过灵敏度计算验证该评价方法的可行性。研究结果将为我国可再生能源冷热电联供系统的建设与评估提供一定价值。

**关键词:** 可再生能源; 冷热电联供; 综合评价; 层次分析法; CRITIC 法; 动态组合赋权; 评分卡模型; 灵敏度计算

**中图分类号:** TN99-34; TK01<sup>9</sup>

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-373X(2023)05-0139-06

## Comprehensive performance evaluation of RE-CCHP system based on AHP-CRITIC method and scorecard model

ZHANG Wei<sup>1</sup>, WU Jiahui<sup>1</sup>, ZHANG Hua<sup>2</sup>, YANG Jian<sup>2</sup>

(1. Engineering Research Center of Renewable Energy Generation and Grid Connection Control, Ministry of Education, Xinjiang University, Urumqi 830017, China;

2. Xinjiang Branch of CGN New Energy Investment (Shenzhen) Co., Ltd., Urumqi 841100, China)

**Abstract:** With the promotion of "carbon peak and carbon neutrality", China will vigorously implement the alternative action of renewable energy, and the combination of renewable energy and traditional combined cooling, heating and power (CCHP) system will become a new trend of future energy development. However, the uncertainty and volatility of new energy power generation can reduce the energy utilization rate of the system and increase the operating cost. At the same time, the existing evaluation indexes and methods of the system are not perfect. A comprehensive evaluation system with energy consumption, environment, reliability, economy and sociality as the objectives is established. The analytic hierarchy process (AHP) and CRITIC method are used to calculate the subjective and objective weight of the indexes respectively, and a comprehensive evaluation method to construct the scorecard model by means of dynamic combination weighting method is proposed. The buildings in a certain region of Xinjiang were selected as the research object, and the scorecard model was established to rank different system schemes, and the feasibility of the evaluation method was verified by means of the sensitivity calculation. The research results will provide some value for the construction and evaluation of renewable energy CCHP (RE-CCHP) system of in China.

**Keywords:** renewable energy; CCHP; comprehensive evaluation; AHP; CRITIC method; dynamic combination weighting; scorecard model; sensitivity calculation

## 0 引言

随着温室效应、气候变暖、冰川融化等环境问题的

不断发生, 人们逐渐意识到环境保护的重要性, 而煤、石油等化石燃料的大肆利用是造成环境问题的重要因素。

随着可再生能源、储能等技术的快速发展, 能源行业已

收稿日期: 2022-08-02

修回日期: 2022-08-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(52167016); 新疆维吾尔自治区自然科学基金(2020D01C068)

进入多元化时代。目前,构建一体化能源系统已成为创建洁净、高效、安全、低碳的现代能源系统的重要途径。为实现双碳目标,多种能源形式相结合的能源结构越来越受到人们的认可和重视,将太阳能、风能等可再生能源与传统冷热电联供系统(Combined Cooling Heating and Power, CCHP)相结合,形成含可再生能源的冷热电联产系统(Renewable Energy-combined Cooling Heating and power, RE-CCHP)已成为近年来人们关注的焦点之一。

目前,国内外学者对于综合能源系统的建模、调度、运行优化以及评价等问题均有大量研究。文献[1]以运行费用最小和CO<sub>2</sub>排放最小为目标,建立CCHP型微网的优化模型,提出误差场景整体生成与缩减的场景获得方法。文献[2]以经济成本最低和碳排放量最小为目标,建立了考虑碳目标约束和需求侧响应的综合能源系统日前优化调度模型。以上文献主要研究CCHP系统模型以及优化调度等方面。

对于综合能源系统的评价需从多方面考虑,学者主要研究的方向大多是考虑其经济性、节能性、环保性以及可靠性,或仅从单一的某方面去考虑。文献[3]从产品单耗、综合能效和可再生能源利用率几项指标对综合能源系统的价值进行评估。文献[4]针对区域综合能源系统建立了包含政府、电网、投资运营商、用户利益关系的综合效益评价指标体系。对于评价方法,文献[5]提出一种基于博弈论的综合权重并用于模糊综合评价模型,对能源互联网背景下的综合能源系统进行评价。文献[6]将层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)与模糊综合评价相结合,实现综合能源系统的综合评价。文献[7]将AHP-熵权法与TOPSIS评价法相结合,进而选择系统最优方案。为避免单一评价方法带来的较强主观性或者客观性,现有的研究大多采用多种评价方法相结合的方式,使评价结果更具准确性,但在权重分配和排序方法上仍存在模糊性,在对RE-CCHP系统综合性能评价时需要进一步的研究。

综合上述研究,本文提出以能耗性、环保性、可靠性、经济性和社会效益为目标,建立RE-CCHP系统的综合评价指标体系,采用层次分析法与CRITIC权重法<sup>[8]</sup>相结合的方法对指标权重进行计算,并采用动态组合赋权法合理分配权重。以我国西部地区某楼宇式RE-CCHP系统为案例,建立其评分卡模型<sup>[9]</sup>,并对该模型进行灵敏度计算,确定评价体系及方法的合理性与可行性。

1 RE-CCHP系统基本架构

与传统的能源供应系统相比,RE-CCHP系统具有多样化和动态性的特点。多能源系统主要通过各种能源的

互补和协调,为建筑提供可靠的冷、热、电负荷供应。它不仅实现了能源的梯级利用,而且有效地减少了环境污染。RE-CCHP系统所涉及的设备容量以及价格如表1所示。

表1 RE-CCHP系统内主要设备参数

参数	燃气锅炉	燃气轮机	光伏发电设备	风电机组	吸收式制冷机	电制冰机
单位容量/kW	200	110	10	10	500	130
单位价格/万元	10	80	13	18	190	3

RE-CCHP系统是由发电系统、余热利用系统和辅助系统构成的,除了天然气涡轮机(或内燃机)发电系统外,它还包含太阳能和风能等可再生能源,并提供包括冷、热和电在内的各种能源供应。发出的余热通过电制冰机、热交换器、吸收式制冷机满足用户的冷、热负荷需求。发电系统和余热利用系统是该系统的核心组成部分,系统的结构示意图如图1所示。

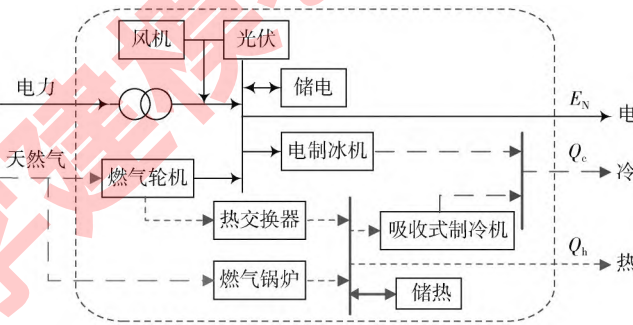


图1 RE-CCHP系统示意图

2 RE-CCHP系统指标体系建立

根据RE-CCHP系统的特点,基于科学性、全面性、客观性、实用性的原则,建立了RE-CCHP系统的综合评价指标体系。本文从能耗性、环境性、可靠性、经济性、社会性五个方面建立了共15个指标,如表2所示。

3 基于AHP-CRITIC的动态组合赋权与评分卡模型的综合评价

3.1 基于AHP计算主观权重

层次分析法是一种通过决策者对各元素进行主观分析的赋权法,将元素划分层次,按每层元素的重要程度建立判断矩阵。过程如下:

1) 本文采用常用的1~9级比较标度构建判断矩阵对指标重要性进行评价。按照标度原则,建立判断矩阵:

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & \cdots & C_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{n1} & \cdots & C_{nn} \end{bmatrix}$$

(1)

2) 计算主观权重

通过归一化过程计算指标j的权重系数为:

$$W_i = \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n C_{ij}}}{\sum_{j=1}^n \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n C_{ij}}}{n}} \quad (2)$$

式中： $W_i$ 为矩阵特征向量； $C_{ij}$ 为矩阵元素。

表 2 RE-CCHP 系统评价指标体系

属性层	指标层	指标类型
能耗性	$X_1$ 综合能源利用率/%	效益型
	$X_2$ 烟效率/%	效益型
	$X_3$ 新能源消纳/%	效益型
环境性	$X_4$ CO <sub>2</sub> 排放/(g·kW·h)	成本型
	$X_5$ NO <sub>x</sub> 排放/(g·kW·h)	成本型
	$X_6$ 噪声/无	成本型
可靠性	$X_7$ 系统平均失能时间/h	成本型
	$X_8$ 系统供电可靠率/%	效益型
	$X_9$ 网络损耗/%	成本型
经济性	$X_{10}$ 初投资/万元	成本型
	$X_{11}$ 运行成本/(元/kW·h)	成本型
	$X_{12}$ 投资回收期/年	成本型
	$X_{13}$ 系统使用寿命/年	效益型
社会性	$X_{14}$ 社会接受度	效益型
	$X_{15}$ 社会效益	效益型

3) 矩阵一致性检验

为了保证得到的指标权重的合理性,避免冲突情况,需要进行一致性检验。如果测试通过,则取特征向量(经过归一化后)作为权重向量,否则需要重构判断矩阵。

计算判断矩阵的检验系数 CR,比较 CR 和 0.1 的大小,如果 CR<0.1,即通过一致性检验。

$$CR = CI/RI < 0.1 \quad (3)$$

$$CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) \quad (4)$$

式中:CI为偏离一致性指标; $\lambda_{\max}$ 为最大特征根; $n$ 为判断矩阵的阶;RI为随机一致性指标。

3.2 基于 CRITIC 法计算客观权重

CRITIC 法是一种通过指标的差异性和冲突性,客观评价指标权重的方法,它是对熵权法的改进,在考虑指标间差异的同时兼顾了指标间的关联,其具体计算过程如下所述。

1) 指标归一化处理

考虑到指标中含有效益型和成本型指标,对最终评价结果的作用趋势不同,故利用向量归一化法对指标进行无量纲化:

$$x_{ij}^* = \begin{cases} x_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2} & \text{(a)} \\ \sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2} / (x_{ij} - 1) & \text{(b)} \end{cases} \quad (5)$$

其中:式 5(a)为效益型指标公式;式 5(b)为成本型指标公式; $x_{ij}$ 为各指标的初始值; $x_{ij}^*$ 为指标归一化的值。

2) 计算客观权重

步骤 1:计算指标的信息量与冲突量,公式为:

$$s_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=0}^n (X_{ij} - \bar{X}_{ij})^2} \quad (6)$$

$$\rho_{ij} = \text{cov}(x'_i, x'_j) / (s_i s_j) \quad (7)$$

式中: $s_i$ 为指标  $i$  标准化后的标准差; $\bar{X}_{ij}$ 为  $X_{ij}$  的平均值; $\rho_{ij}$ 为指标  $i$  与指标  $j$  之间的相关系数。

步骤 2:第  $j$  个指标所包含的信息量  $E_j$  的计算公式为:

$$E_j = \xi_j \sum_{i=1}^n (1 - \rho_{ij}) \quad (8)$$

式中  $E_j$  越大,则该指标所占权重就越大。

步骤 3:根据求得的信息量,计算第  $j$  个指标的客观权重  $\sigma_j$ ,计算公式为:

$$\sigma_j = E_j / \sum_{j=1}^n E_j \quad (9)$$

3.3 基于动态组合赋权法计算综合权重

本文采用动态组合赋权的方法对决策指标进行组合赋权,该方法可通过动态调整让主观和客观权重达到平衡,具体公式为:

$$\omega_i = \alpha a_i + (1 - \alpha) b_i \quad (10)$$

式中: $\alpha$ 为动态组合因子, $\alpha \in [0, 1]$ ;  $a_i, b_i$ 分别为第  $i$  个指标的主观权重和客观权重; $\omega_i$ 为综合权重。

通过动态调节  $\alpha$  值大小实现主观和客观的动态平衡,当指标数据精度较低时,提高  $\alpha$  的值;指标数据精度较高时,降低  $\alpha$  的值。

3.4 基于评分卡模型的综合评价

仅根据组合权重无法评估各指标的优良程度和不同系统的优劣性。因此本文将评分卡模型引入评估工作,计算不同系统下指标的实际得分以及系统的综合得分。评分卡模型通常会形成一个比较直观的评分卡,其建立的过程如下:

1) 评分卡模型表达式

通过构建自变量和因变量的函数关系,将评分卡与逻辑回归模型相结合,假设第  $i$  个元素的得分为  $\text{Score}_i$ ,则评分卡模型的表达式为:

$$\text{Score}_i = b_1 x_{i1} + b_2 x_{i2} + \cdots + b_r x_{ir} = \mathbf{B}^T \mathbf{g} \mathbf{X}_i \quad (11)$$

式中: $\mathbf{B}^T$ 为综合权重向量; $\mathbf{X}_i$ 为第  $i$  个指标值向量。

运用逻辑回归模型对数据进行分析,逻辑函数为:

$$f(z) = \frac{e^z}{1 + e^z}, \quad z \in (-\infty, +\infty) \quad (12)$$

通过式(11)和式(12),使用逻辑函数将评分卡模型



与归一化指标值结合,可得到:

$$p = f(\text{Score}_i) = \frac{e^{\text{Score}_i}}{1 + e^{\text{Score}_i}} \quad (13)$$

将  $\text{Score}_i$  化简为  $z$ , 则式(13)化简为:

$$p = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad (14)$$

其中  $z = \mathbf{B}^T \cdot \mathbf{X}_i$ , 转换式子得到:

$$\ln \frac{p}{1-p} = z \quad (15)$$

## 2) 评分卡主标尺的设定

评分卡主标尺分值的线性表达式为:

$$\text{Score} = A + B \times \ln \text{odd} \quad (16)$$

$$\text{odd} = \frac{p}{1-p} \quad (17)$$

式中:  $A, B$  为常数;  $\text{odd}$  为指标经归一化处理后的值。将  $\text{odd}$  为  $\theta_1$  时对应的响应评分设置为  $Q_1$ , 将  $\text{odd}$  为  $\theta_2$  时对应的响应评分设置为  $Q_2$ 。计算得出  $A, B$  的值, 即可对指标和系统进行打分评价。

## 3) 构建评分卡

基于逻辑回归模型和各指标权重构建评分卡, 逻辑回归模型计算公式如下:

$$\ln \frac{p}{1-p} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \cdots + \beta_r x_r \quad (18)$$

式中  $\beta_i$  为回归方程系数, 运用极大似然估计法计算模型的回归系数。代入式(16), 得到最后的得分为:

$$\text{Score} = A - B \{ \beta_0 + \beta_1 x_1 + \cdots + \beta_r x_r \} \quad (19)$$

$$\text{Score} = A - B \{ \beta_0 + (\beta_1 \omega_1) \delta_1 + \cdots + (\beta_r \omega_r) \delta_r \} \quad (20)$$

式中:  $\omega_i$  为第  $i$  个变量的权重值;  $\delta_i$  为第  $i$  个变量的取值。

## 4 案例分析

在国内, 许多城市已经广泛应用 CCHP 系统, 如上海、北京、深圳等地, 主要应用于学校、医院、酒店等建筑与园区。西部地区由于海拔较高, 气候干旱等自然条件, 部分地区风速高于 4.4 m/s, 有效风速时间高于 2 050 h, 年日照小时数高达 3 500 h, 年光照强度约为 6 800~8 400 MJ/m<sup>2</sup>。

### 4.1 建筑概况

本文选取我国西部某地区的一座楼宇式综合能源项目作为研究对象。该建筑是一座 15 层楼的酒店, 分为地下 3 层、地上 12 层, 建筑总面积约为 23 000 m<sup>2</sup>, 酒店主要区域包括大堂、客房、餐厅、会议室以及公共区域。建筑的各区域具体面积以及平均每天的供能时间如表 3 所示。

使用 DeST 软件对该建筑的  $E_N, Q_c, Q_h$  负荷进行模拟仿真, 得到该建筑的月均负荷量, 如图 2 所示。

表 3 建筑面积划分及供能时间

区域类型	区域面积/m <sup>2</sup>	平均每日供能时间/h
大堂	750	24
客房	15 000	22
餐厅	900	12
会议室	800	9
公共区域	5 300	17

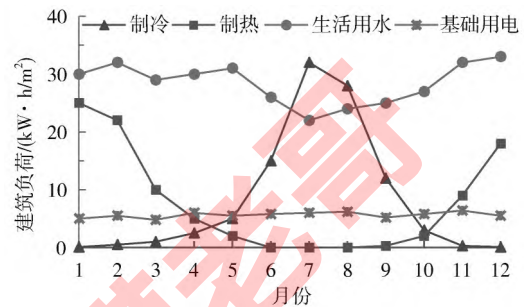


图 2 建筑单位面积月均负荷

该系统发出的电能仅用于基础设施的供电, 基础用电负荷较稳定。由于气温的变化, 人们对冷热的需求量不同, 所以建筑的制冷、制热负荷随月份有较大变化。不同的季节对热水均有需求, 所以生活用水的负荷变化不大。

### 4.2 指标权重计算

首先运用 AHP 计算指标的主观权重, 建立目标层对准则层的判断矩阵  $R$  为:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1/2 & 4 & 5 \\ 1/3 & 1 & 1/4 & 2 & 3 \\ 2 & 4 & 1 & 5 & 6 \\ 1/4 & 1/2 & 1/5 & 1 & 2 \\ 1/5 & 1/3 & 1/6 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

一致性检验后, 得到的权重矢量为:

$$\omega(R) = [0.292\ 9, 0.129\ 1, 0.444, 0.081\ 5, 0.052\ 5]$$

其次, 建立各准则层对指标层的判断矩阵分别为:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 3 \\ 1/5 & 1 & 1/3 \\ 1/3 & 3 & 1 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 1/2 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 \\ 1/2 & 1 & 3 \\ 1/4 & 1/3 & 1 \end{bmatrix},$$

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}, E = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 \\ 3 & 1 \end{bmatrix}.$$

一致性检验后, 得到准则层对指标层的权重矢量分别为:

$$\omega(A) = [0.637, 0.104\ 7, 0.258\ 3]$$

$$\omega(B) = [0.539\ 6, 0.297, 0.163\ 4]$$

$$\omega(C) = [0.558\ 4, 0.319\ 6, 0.122]$$

$\omega(D) = [0.227\ 4, 0.423\ 1, 0.227\ 4, 0.122\ 2]$   
 $\omega(E) = [0.25, 0.75]$   
最终得到指标体系的主观权重为:(0.186 6, 0.030 7, 0.075 7, 0.069 7, 0.038 3, 0.021 1, 0.247 9, 0.141 9, 0.054 2, 0.018 5, 0.034 5, 0.018 5, 0.010 0, 0.013 1, 0.039 4)。

采用CRITIC法计算指标的客观权重,由式(9)~式(12)计算得出客观权重依次为:(0.047, 0.032, 0.078, 0.042, 0.09, 0.032, 0.05, 0.023, 0.047, 0.123, 0.144, 0.125, 0.05, 0.05, 0.068)。

采用动态组合赋权法进行综合权重的计算,通过调节动态组合因子的大小可实现RE-CCHP系统评价的多目标动态平衡,结果如图3所示。

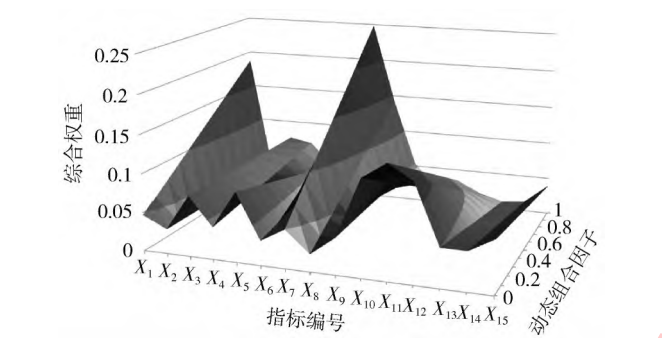


图3 多目标动态平衡结果

由图3可知,综合权重的结果随着动态组合因子呈线性变化关系,当 $\alpha$ 为0.5时,主客观因素达到最平衡状态,评估结果最为可信,最后得到的综合权重如表4所示。

表4 RE-CCHP系统评价体系权重分配

指标	权重	指标	权重	指标	权重
$X_1$	0.116 8	$X_6$	0.026 5	$X_{11}$	0.089 2
$X_2$	0.031 3	$X_7$	0.149 0	$X_{12}$	0.071 8
$X_3$	0.076 8	$X_8$	0.082 5	$X_{13}$	0.030 0
$X_4$	0.055 8	$X_9$	0.050 6	$X_{14}$	0.031 6
$X_5$	0.064 2	$X_{10}$	0.070 8	$X_{15}$	0.053 7

由结果可知,RE-CCHP系统的平均失能时间指标、综合能源利用率指标、NO<sub>x</sub>排放指标、运行成本指标和社会效益指标分别为可靠性、能耗性、环境性、经济性和社会性五个属性中权重最高的指标,需要重点分析。

4.3 综合评价结果

利用评分卡模型对系统进行综合评价,分别计算CCHP系统和RE-CCHP系统各项指标的具体分值,如图4所示。

结合综合指标权重求得系统各指标的分值分配与系统的总得分,形成的综合能源系统评分卡如表5所示。

CCHP系统和RE-CCHP系统的最终得分分别为79.940 6和84.498 0,即RE-CCHP系统的综合性能优于

CCHP系统的综合性能。由图4的各项指标得分对比可知,RE-CCHP系统的评价指标中,系统平均失能时间、系统供电可靠率、初投资、运行成本和投资回收期这几项指标得分均低于CCHP系统,其他指标得分均高于CCHP系统。可见当可再生能源接入CCHP系统后,由于风光的不确定性和多能源互补的不稳定性,降低了系统的可靠性,且RE-CCHP系统为了实现较高的能源利用和较好的环保性能,从而降低了系统的经济性。所以在今后的综合能源项目建设中需要更加重视RE-CCHP系统的可靠性与经济性。

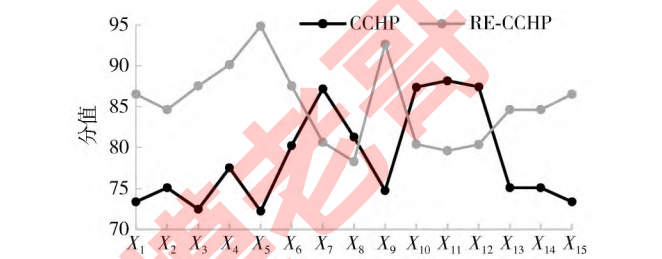


图4 综合能源系统各指标得分

表5 综合能源系统评分卡

指标	CCHP	RE-CCHP
$X_1$	8.567 3	10.106 2
$X_2$	2.352 6	2.652 3
$X_3$	5.566 9	6.725 3
$X_4$	4.327 9	5.031 7
$X_5$	4.634 6	6.085 9
$X_6$	2.130 4	2.324 7
$X_7$	12.988 4	12.013 0
$X_8$	6.702 0	6.454 6
$X_9$	3.781 6	4.685 0
$X_{10}$	6.185 6	5.690 7
$X_{11}$	7.868 2	7.105 0
$X_{12}$	6.275 7	5.768 3
$X_{13}$	2.251 0	2.537 7
$X_{14}$	2.369 8	2.671 7
$X_{15}$	3.938 4	4.645 8
总分	79.940 6	84.498 0

4.4 灵敏度分析

灵敏度分析是指在一定范围内调整评价指标的数值,观察综合评价值的变化情况。从15个二级指标中选取4个权重较大、易影响评价结果的指标做灵敏度分析,分别选取CO<sub>2</sub>排放、系统平均失能时间、综合能源利用率和运行成本这4个指标,将它们的指标值在±50%之间变化。通过计算得到灵敏度分析变化曲线如图5所示,曲线的斜率可以反映出该指标对评价结果的影响。

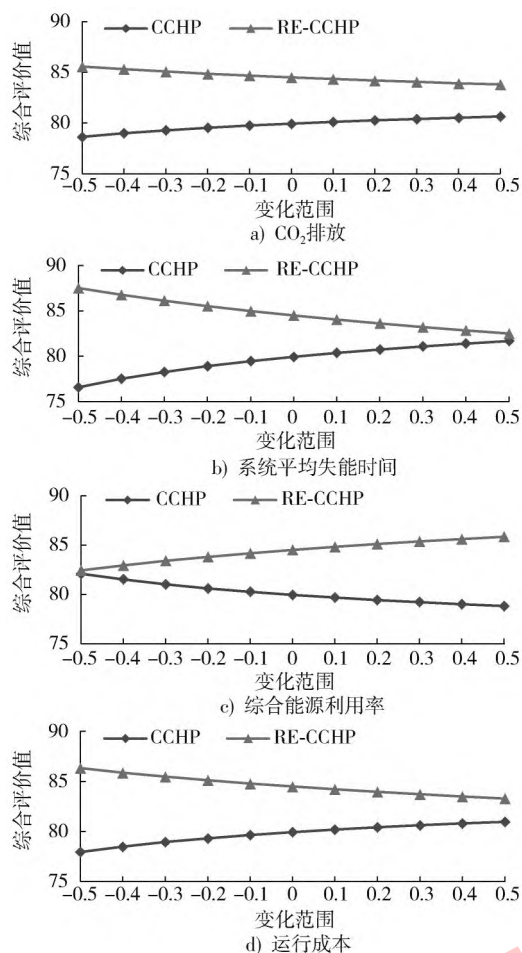


图5 单指标灵敏度分析变化曲线

观察分析图5可知,在选取的4个指标的灵敏度变化曲线中,系统平均失能时间指标的斜率绝对值最大,则该指标的变化对综合评价值的影响最大。RE-CCHP系统的评价值从87.537 3逐渐降低至82.514 2,CCHP系统的评价值从76.591 7逐渐提高至81.691 3,但是在变化范围内并没有对评价结果产生影响。由此通过灵敏度计算可以得出该评价方法的稳定性好、鲁棒性强,评分不易受指标值的波动而产生较大变化。

## 5 结 语

本文提出一种基于AHP-CRITIC组合赋权法对RE-CCHP系统进行综合性能评价,以CCHP系统为参照对象,建立了考虑能耗性、环保性、可靠性、经济性和社会性的指标体系,引入评分卡模型对系统进行综合评价。以西部地区某建筑为案例进行分析,得到以下结论:

1) 采用基于动态组合赋权的AHP-CRITIC法计算

指标的权重,从结果可知,RE-CCHP系统的可靠性指标最为突出,其次是能耗性指标,社会性指标较不重要。

2) 通过评分卡模型计算出CCHP系统和RE-CCHP系统的各指标分值与系统性能分值,分析可知,RE-CCHP系统的经济性与可靠性略差,其他方面均优于CCHP系统,且整体性能优于CCHP系统。

3) 通过灵敏度计算分析得出,本文使用的评价方法具有良好的稳定性,证实了运用评分卡模型进行综合评估的合理性与可用性。

## 参 考 文 献

- [1] 张靠社,冯培基,张刚,等.考虑源荷不确定性的CCHP型微网多目标优化调度[J].电力系统保护与控制,2021,49(17):18-27.
- [2] 丁雨昊,吕干云,刘永卫,等.考虑碳排放目标约束和需求侧响应的综合能源系统日前优化调度[J].南方电网技术,2022,16(8):1-11.
- [3] 周欢,黄龙琼,伍人剑,等.基于绿色经济综合能源系统价值评价方法[J].电力系统自动化,2020,44(2):36-42.
- [4] 黄伟,郭兆蕊,华亮亮.多主体利益协调的区域综合能源系统综合评价[J].电力建设,2019,40(4):81-89.
- [5] 董文杰,田廓,陈云斐,等.能源互联网下基于博弈与证据理论的综合能源系统评价方法研究[J].智慧电力,2020,48(7):73-80.
- [6] 夏翔,方建亮,谢颖捷,等.基于层次分析与灰色模糊综合评价的多能互补工程项目综合效益评估[J].济南大学学报(自然科学版),2020,34(1):76-84.
- [7] DAI H B, WANG J S, LI G, et al. A multi-criteria comprehensive evaluation method for distributed energy system [J]. Energy procedia, 2019, 158: 3748-3753.
- [8] 罗宁,贺琳琳,高华,等.基于改进的AHP-CRITIC组合赋权与可拓评估模型的配电网综合评价方法[J].电力系统保护与控制,2021,49(16):86-96.
- [9] 耿俊成,张小斐,袁少光,等.基于逻辑回归模型的电力客户停电敏感度评分卡研究与实现[J].电力需求侧管理,2018,20(3):46-50.
- [10] 钱嘉欣,武家辉,姚磊,等.基于能值分析和多目标决策法的CCHP-PV-Wind系统综合性能评估研究[J].电力系统保护与控制,2021,49(2):130-139.
- [11] 姜媛媛,张泓磊,张振振,等.基于博弈论综合法的城市供电系统安全评价[J].现代电子技术,2020,43(9):141-145.
- [12] 萨妮耶·麦合木提,王海云,王维庆,等.基于可再生能源的CCHP系统综合性能研究[J].太阳能学报,2020,41(8):129-136.
- [13] 严嘉伦,林俊光,楼可炜,等.基于AHP-变异系数法的楼宇型综合能源系统评价体系[J].热力发电,2019,48(12):25-30.
- [14] 屈小云,吴鸣,李奇,等.多能互补综合能源系统综合评价研究进展综述[J].中国电力,2021,54(11):153-163.

作者简介:张 蔚(1997—),女,江苏淮安人,硕士研究生,研究方向为综合能源系统性能评价。

武家辉(1988—),女,江苏徐州人,博士,副教授,研究方向为新型电力系统稳定与控制。