

企业应用

低碳背景下混合多属性企业综合绩效评价方法

张倩生, 陈绮敏

(广东外语外贸大学数学与统计学院, 广州 510006)

摘要: 低碳评价是一项全面评估企业环保行为和绩效的过程, 有助于塑造企业积极的环保形象并增强其社会责任感。在低碳经济背景下, 企业绩效评估不仅涉及定量指标, 还包括定性指标。通过构建混合多属性绩效评估指标体系, 针对低碳企业评估的不确定性指标, 用梯形模糊数来刻画非定量数据, 并用模糊熵权法确定各指标的权重, 再通过多指标加权集结计算企业的综合绩效评价, 最后根据模糊可信均值和方差来评估企业低碳绩效发展水平的优劣。

关键词: 低碳经济; 企业绩效评价; 梯形模糊数; 熵权法

中图分类号: F222; F224 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)05-0235-07

在当前技术革新中, 除了人工智能、云计算、区块链等数字技术外, 低碳技术也成为推动经济增长的关键力量。国家“碳达峰、碳中和”目标的提出, 凸显了发展低碳产业的紧迫性。低碳产业的发展, 既能缓解能源短缺和环境问题, 也是顺应经济趋势、应对国际压力、抓住发展机遇的重要举措。企业作为市场主体, 在推动低碳经济发展中扮演着关键角色。对企业进行低碳评价, 可以全面评估其环保行为和绩效^[1], 帮助企业了解自身环保状况, 发现问题并提出改进措施。盛光华等^[2]指出, 企业的实质性环保行为能显著提升消费者的认同感。通过评价企业可明确自身的环保优势和劣势, 制定合理的经营策略, 并赢得政府和行业的支持。

传统企业评价主要以财务维度为主, 但在低碳经济的背景下, 需要重新构建新的评价标准。李艳萍^[3]提出了对现行财务评价体系的改进建议, 强调企业在设定财务管理目标时, 应更加重视节能减排的重要性, 有助于引导企业在追求经济效益的同时也关注环境保护和资源节约。王诗琪^[4]分析了国内电力上市公司财务绩效评价体系的缺陷, 并构建了融入低碳指标的新体系。这一新体系不仅考虑了企业的财务表现, 还考虑了企业的低碳发展表现, 从而更全面地反映企业的绩效。朱祥祎^[5]则从更广泛的角度出发, 建立了一个综合考量经济、环境和社会效益的能源企业评价体系, 通过合理评估能源企业的绩效和其社会影

响力, 可以有效促进企业向可持续发展方向转型, 并提升其市场竞争力和社会责任意识。

然而, 企业评价面临诸多挑战, 尤其是对于小型企业, 评价需要投入大量的人力和物力。由于指标信息的不确定性和人类认知的局限性及模糊性, 使得企业的某些指标属性难以用精确数度量, 可能表现为区间值、模糊值、评级语言^[6]等形式。为了应对这些不完备数据或缺失数据, 本文引入模糊数来有效刻画企业低碳评估过程中的不确定性。尽管, 周莹等^[7]将多属性融合决策中的不同类混合评价信息统一转化为梯形模糊数, 并对其进行了无量纲化处理, 但各指标属性的权重确定具有较大的主观性。周雨婷等^[8]针对直觉模糊多属性动态决策, 利用层次分析法和离差最大化法来对指标的主客观权重组合赋权。邹树梁和武良鹏^[9]通过基于属性的可靠度、离差最大化及决策者对属性的重视程度来给混合指标赋权, 但对多属性指标的赋权过程和计算较为复杂。

刘惠萍等^[10]提出了多投入多产出的低碳企业效率评估方法。谢志祥等^[11]也提出了低碳经济发展绩效评价方法及影响因素, 但涉及的绩效评估指标都是精确数量指标, 不能处理多个不确定属性指标的综合评价。因此, 本文从低碳经济发展的角度出发, 对企业的多维度绩效指标深入探讨, 并用梯形模糊数来表示低碳企业绩效评估中的区间和评级语言等不确定指标数据, 进而基于模糊可信熵和

收稿日期: 2024-09-10

基金项目: 国家自然科学基金(12171103); 广东省自然科学基金(2023A1515011354)

作者简介: 张倩生(1975—), 男, 江西吉安人, 博士, 教授, 硕士研究生导师, 研究方向为技术经济决策; 陈绮敏(2000—), 女, 广东普宁人, 硕士研究生, 研究方向为经济统计。

熵权法来确定企业模糊评价指标的最佳权重,最后根据多指标加权集结平均算子来计算各企业的综合绩效得分,为企业低碳绩效优劣评价提供一个新的弹性分析框架。

1 企业绩效评价指标选取

企业绩效评价对于引导企业经营管理活动具有重要作用,科学合理的低碳绩效评价直接关系到企业的投资和减排政策的实施。传统企业绩效评价主要通过企业的盈利能力、资产状况和债务风险等财务指标来衡量企业的经济效益。然而,在“双碳”战略背景下,传统的财务绩效指标已经不足以全面评估企业的绩效,有必要考虑低碳企业的非量化定性评价指标的作用,如企业的创新能力、环境治理能力、绿色发展水平、碳排放强度、信用评级等,这些定性指标虽然难以用精确数来刻画,但它们对低碳企业评估又不可或缺,能为绩效评估提供更全面和多层次的视角。

在选取低碳企业的绩效评估指标时,参考文献[12]的相关指标构建方法,从企业可持续发展能力、低碳能力、偿债能力、盈利能力和技术创新能力多个维度来构建一个全面弹性的低碳企业评价指标体系(表 1),其中企业的可持续发展能力是通过 ESG(environmental, social, and governance, 环境、社会和治理) 评级来刻画,ESG 评级能够提供财务信息以外的绿色属性信息,可衡量低碳企业的环境社会治理能力。另外,企业碳排放强度和能源消耗强度这些不确定指标可用区间值来评估,而企业评价涉及的信用评级和 ESG 评级语言指标则可用模糊数来刻画。下文根据这些定性和定量混合指标来科学评价多个低碳企业的综合绩效。

表 1 低碳企业绩效评价指标体系

一级指标	二级指标	单位	指标类型	指标属性
可持续发展能力	ESG 评级 C_1	—	定性指标	正向
	碳排放强度 C_2	万 t/百万元	区间值	负向
低碳能力	能源消耗强度 C_3	万 t/百万元	区间值	负向
	企业信用评级 C_4	—	定性指标	正向
偿债能力	流动比率 C_5	%	精确值	正向
	总资产报酬率 C_6	%	精确值	正向
盈利能力	净资产收益率 C_7	%	精确值	正向
	专利授权数 C_8	件	精确值	正向
技术创新能力	研发投入 C_9	元	精确值	正向

2 低碳企业混合多属性评价决策模型

2.1 建立多指标评价决策矩阵

假设有 m 个低碳企业待评价对象 $\{A_1, A_2, \dots,$

$A_m\}$, 低碳企业绩效评估涉及多个混合属性指标 (C_1, C_2, \dots, C_n), 并设企业 i 在指标 j 下的属性评估值为 r_{ij} , 其中 r_{ij} 的数据形式可能是实数、区间数、模糊数^[13]、评级语言。因此,构建如下的低碳企业绩效多属性评价决策矩阵 $D = [r_{ij}]_{m \times n}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$ 。

由于低碳企业评价指标既有定量的也有定性的,为了避免在转化过程中丢失信息,并尽可能保留原始精确评价指标数据,而将定性指标数据评级语言 r_{ij} 转化为对应的梯形模糊数形式 $(a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij})$, 满足 $a_{ij} \leq b_{ij} \leq c_{ij} \leq d_{ij}$; 且将不确定区间评价值 $[x_{ij}^L, x_{ij}^U]$ 也统一转化为梯形模糊数 $r_{ij} = (x_{ij}^L, x_{ij}^L, x_{ij}^U, x_{ij}^U)$ 。若低碳企业绩效评价指标层的 n 个指标,经过上面统一指标属性后可分成两类:一类是含有 l 个模糊指标的定性指标,另一类是含有 $(n - l)$ 个精确指标的定量指标;原有的低碳企业混合指标评估决策矩阵 $D = [r_{ij}]_{m \times n}$ 也可划分为模糊指标评价决策矩阵 D_1 和精确指标评价决策矩阵 D_2 。

低碳企业关于 l 个模糊指标的绩效评价矩阵 D_1 如下:

$$D_1 = \begin{matrix} & C_1 & \cdots & C_p & \cdots & C_l \\ \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1p} & \cdots & r_{1l} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ r_{i1} & \cdots & r_{ip} & \cdots & r_{il} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mp} & \cdots & r_{ml} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

式中: r_{ip} 为第 i 个企业关于第 p ($1 \leq p \leq l$) 个定性指标的模糊评价值。

低碳企业关于 $n - l$ 个精确指标的绩效评价矩阵 D_2 如下:

$$D_2 = \begin{matrix} & C_{l+1} & \cdots & C_q & \cdots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} r_{1l+1} & \cdots & r_{1q} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ r_{il+1} & \cdots & r_{iq} & \cdots & r_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ r_{ml+1} & \cdots & r_{mq} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (2)$$

式中: r_{iq} 为第 i 个企业关于第 q ($l+1 \leq q \leq n$) 个定量指标的精确评价值。

2.2 规范化处理

在上述混合多属性绩效评价决策问题中,评估指标既包括成本型也包括效益型属性。为了消除不同物理量纲对决策结果的影响,需要对上述低碳企业评价决策矩阵进行规范化处理,即分别针对成本型和效益型指标进行正规范化处理。

2.2.1 模糊指标评价决策矩阵的规范化处理

如果经过转换后的梯形模糊数取值范围为(0, 1), 则无须进行规范化处理, 否则对于评价矩阵 D_1 中的模糊评估值 $r_{ip} = (a_{ip}, b_{ip}, c_{ip}, d_{ip})$, ($p = 1, 2, \dots, l$), 可按照式(3)得到规范化的模糊数 $\tilde{r}_{ip} = (\tilde{a}_{ip}, \tilde{b}_{ip}, \tilde{c}_{ip}, \tilde{d}_{ip})$:

$$\tilde{r}_{ip} = \begin{cases} \left(\frac{a_{ip}}{\max_{1 \leq i \leq m} d_{ip}}, \frac{b_{ip}}{\max_{1 \leq i \leq m} d_{ip}}, \frac{c_{ip}}{\max_{1 \leq i \leq m} d_{ip}}, \frac{d_{ip}}{\max_{1 \leq i \leq m} d_{ip}} \right), & j \text{ 为收益型指标} \\ \left(\frac{\min_{1 \leq i \leq m} a_{ip}}{d_{ip}}, \frac{\min_{1 \leq i \leq m} a_{ip}}{c_{ip}}, \frac{\min_{1 \leq i \leq m} a_{ip}}{b_{ip}}, \frac{\min_{1 \leq i \leq m} a_{ip}}{a_{ip}} \right), & j \text{ 为成本型指标} \end{cases} \quad (3)$$

无论是成本型指标还是收益型指标, 规范化后仍然可以保持梯形模糊数的形式, 即满足 $\tilde{a}_{ip} \leq \tilde{b}_{ip} \leq \tilde{c}_{ip} \leq \tilde{d}_{ip}$ 。

2.2.2 精确指标评价决策矩阵的规范化处理

对于评价矩阵 D_2 中的精确评估值 r_{iq} ($q = l+1, l+2, \dots, n$), 可按照式(4)、式(5)规范化。

正向(效益型)指标:

$$r'_{iq} = \frac{r_{iq} - \min_{1 \leq i \leq m} r_{iq}}{\max_{1 \leq i \leq m} r_{iq} - \min_{1 \leq i \leq m} r_{iq}} \quad (4)$$

负向(成本型)指标:

$$r'_{iq} = \frac{\max_{1 \leq i \leq m} r_{iq} - r_{iq}}{\max_{1 \leq i \leq m} r_{iq} - \min_{1 \leq i \leq m} r_{iq}} \quad (5)$$

2.3 企业混合多指标属性权重的确定

2.3.1 计算指标熵值

在多属性指标决策分析中, 指标变量的熵值越低, 表明其不确定性越小, 提供的决策信息量越大, 在决策过程中应赋予更高的权重。反之, 对于数据不确定信息熵越大的指标, 应赋予较小的权重, 以确保决策权重分配的合理性。

不妨设规范化后的模糊评估矩阵为 $\tilde{D}_1 = [\tilde{r}_{ip}]_{m \times l}$, 其中 $\tilde{r}_{ip} = (\tilde{a}_{ip}, \tilde{b}_{ip}, \tilde{c}_{ip}, \tilde{d}_{ip})$ 表示第 i 个低碳企业评价对象关于第 p 个模糊指标的规范化评估值。

对于模糊数 $\tilde{r}_{ip} = (\tilde{a}_{ip}, \tilde{b}_{ip}, \tilde{c}_{ip}, \tilde{d}_{ip})$ 可计算其对应的可信熵值 $H(\tilde{r}_{ip})$ ^[14]:

$$H(\tilde{r}_{ip}) = \frac{\tilde{b}_{ip} - \tilde{a}_{ip} + \tilde{d}_{ip} - \tilde{c}_{ip}}{2} + (\tilde{c}_{ip} - \tilde{b}_{ip}) \ln 2 \quad (6)$$

接着对上面的可信熵进行标准化处理可得到标准化熵值:

$$\bar{H}(\tilde{r}_{ip}) = \frac{H(\tilde{r}_{ip})}{\max_{1 \leq i \leq m} H(\tilde{r}_{ip})}, \quad p = 1, 2, \dots, l \quad (7)$$

式中: $\bar{H}(\tilde{r}_{ip})$ 代表第 i 个企业在第 p 个模糊指标下的标准化熵值, 熵值越大, 说明不确定性程度越大。

假设规范化后的低碳企业关于精确指标评价矩阵为 $D'_2 = [r'_{iq}]_{m \times (n-l)}$, 其中 r'_{iq} 为第 i 个企业评价对象关于第 q 个精确指标的正规化评估值。

先对第 i 个企业关于指标 q 下的精确评估值进行标准化, 即

$$\gamma_{iq} = \frac{r'_{iq}}{\sum_{i=1}^m r'_{iq}}, \quad q = l+1, l+2, \dots, n \quad (8)$$

再按照式(9)计算第 q 个精确指标变量的信息熵 e_q 。

$$e_q = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m \gamma_{iq} \ln \gamma_{iq} \quad (9)$$

2.3.2 计算混合指标权重

若 $w = (w_1, w_2, \dots, w_l)^T$ 表示模糊评价指标的权重向量, 其中 w_p 表示模糊指标 C_p 的权重, 第 p ($p = 1, 2, \dots, l$) 个模糊数指标的权重可由式(10)给出。

$$w_p = \frac{1 - \sum_{i=1}^m \bar{H}(\tilde{r}_{ip})}{\sum_{p=1}^l \left[1 - \sum_{i=1}^m \bar{H}(\tilde{r}_{ip}) \right]} \quad (10)$$

若 $(w_{l+1}, \dots, w_q, \dots, w_n)$ 表示精确评价指标的权重, w_q 表示指标 C_q 的权重, 第 q ($q = l+1, l+2, \dots, n$) 个精确指标的权重可由式(11)给出。

$$w_q = \frac{1 - e_q}{\sum_{q=l+1}^n (1 - e_q)} \quad (11)$$

由于上述权重分别针对不同类型的指标属性, 进而可将它们规范化得到各指标 j 的全局权重 \bar{w}_j ($j = 1, 2, \dots, n$)。

$$\bar{w}_j = \frac{w_j}{\sum_{p=1}^l w_p + \sum_{q=l+1}^n w_q} \quad (12)$$

且满足 $\bar{w}_j \in [0, 1]$, $\sum_{j=1}^n \bar{w}_j = 1$ 。

2.4 低碳企业绩效评估排序

对于规范化后第 i 个企业关于模糊指标 C_p ($p = 1, 2, \dots, l$) 的评估值为 $\tilde{r}_{ip} = (\tilde{a}_{ip}, \tilde{b}_{ip}, \tilde{c}_{ip}, \tilde{d}_{ip})$, 则第 i 个企业关于所有 l 个模糊指标的加权集结算术平均值为

$$\tilde{s}(A_i) = \sum_{p=1}^l \bar{w}_p \tilde{r}_{ip} = \left(\sum_{p=1}^l \bar{w}_p \tilde{a}_{ip}, \sum_{p=1}^l \bar{w}_p \tilde{b}_{ip}, \sum_{p=1}^l \bar{w}_p \tilde{c}_{ip}, \sum_{p=1}^l \bar{w}_p \tilde{d}_{ip} \right) \quad (13)$$

由于 $\bar{s}(A_i)$ 为第 i 个低碳企业的模糊数综合评价价值,可计算其可信均值^[14]为

$$E[\bar{s}(A_i)] = \frac{\bar{s}_{i1} + \bar{s}_{i2} + \bar{s}_{i3} + \bar{s}_{i4}}{4} \quad (14)$$

式中: $\bar{s}_{i1} = \sum_{p=1}^l \bar{w}_p \bar{a}_{ip}$; $\bar{s}_{i2} = \sum_{p=1}^l \bar{w}_p \bar{b}_{ip}$; $\bar{s}_{i3} = \sum_{p=1}^l \bar{w}_p \bar{c}_{ip}$;
 $\bar{s}_{i4} = \sum_{p=1}^l \bar{w}_p \bar{d}_{ip}$ 。

而第 i 个企业 A_i 关于所有 $(n-l)$ 个精确指标 $C_q (q = l+1, l+2, \dots, n)$ 的加权综合评价值为

$$s'(A_i) = \sum_{q=l+1}^n \bar{w}_q r'_{iq} \quad (15)$$

则第 i 个企业 A_i 关于所有混合属性指标的综合绩效得分为

$$S(A_i) = E[\bar{s}(A_i)] + s'(A_i) \quad (16)$$

为比较两个低碳企业评价对象 A_i, A_j 的绩效优先顺序,可按如下方法排序:①若 $S(A_i) > S(A_j)$, 则 $A_i > A_j$; ②若 $S(A_i) = S(A_j)$, 当 $V[\bar{s}(A_i)] < V[\bar{s}(A_j)]$, 则 $A_i > A_j$; 当 $V[\bar{s}(A_i)] = V[\bar{s}(A_j)]$, 则 $A_i = A_j$ 。其中 $V[\bar{s}(A_i)]$ 为模糊数 $\bar{s}(A_i)$ 的可信方差^[15],可按式(17)计算:

$$V[\bar{s}(A_i)] = \frac{1}{48} [6\theta^2 + 3\theta(3\beta + \alpha) + 4\beta^2 + 3\alpha\beta + \alpha^2] \quad (17)$$

式中: $\beta = \max\{\bar{s}_{i2} - \bar{s}_{i1}, \bar{s}_{i4} - \bar{s}_{i3}\}$; $\alpha = \min\{\bar{s}_{i2} - \bar{s}_{i1}, \bar{s}_{i4} - \bar{s}_{i3}\}$; $\theta = \bar{s}_{i3} - \bar{s}_{i2}$ 。

上述算法表明:低碳企业模糊多指标综合评价值的可信均值越大,企业方案绩效越优;在可信均值相同的条件下,低碳企业模糊多指标综合评价值的方差越小,则企业绩效排序越优。

3 低碳企业绩效评估实证分析

由于上市企业的碳排放数据披露水平参差不齐,且电力、建材、石化和煤炭等行业企业的碳排放总量几乎占据了其他所有行业碳排放总和的大部分比例,因此选择 2023 年能够披露相关碳排放强度和能源消耗强度数据的建材行业 5 家企业为样本进行综合绩效评估分析,这 5 家企业分别为北新建材 (A_1)、海螺水泥 (A_2)、中材科技 (A_3)、宁夏建材 (A_4) 和福莱特 (A_5)。进而选取 ESG 评级 (C_1)、碳排放强度 (C_2)、能源消耗强度 (C_3)、企业信用评级 (C_4)、流动比率 (C_5)、总资产报酬率 (C_6)、净资产报酬率 (C_7)、专利授权数 (C_8) 和研发投入 (C_9) 这 9 个指标对这 5 家低碳企业进行评价,具体数据^①见表 2。

(1) 根据 ESG 评级表 3 和信用评级表 4 将表 2 中各低碳企业的 ESG 评级 (C_1)、信用评级 (C_4) 这些定性指标值等价转化为对应的梯形模糊数^[13],另外将区间变量指标 C_2 和 C_3 的数据也拓展为梯形模糊数,则这 5 家低碳企业关于所有不确定指标的模糊评价见表 5。

接着运用式(3)对表 5 中的模糊指标数据进行规范化处理得到表 6。

表 2 各低碳上市企业的混合指标数据

指标	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
C_1	A	A	BBB	A	AA
C_2	[154,161.7]	[1 303.39,1 368.56]	[98.75,103.69]	[724.64,760.87]	[25.80,27.09]
C_3	[61.30,64.45]	[178.09,186.99]	[13.18,13.84]	[95.35,100.12]	[129.14,135.60]
C_4	AAA	AAA	AAA	AA	AA
C_5	219	339	111	189	183
C_6	15.6	4.26	4.3	2.8	7.3
C_7	11.9	5.29	9.1	4.0	15.2
C_8	227	278	301	88	22
C_9	951 508 472.79	1 859 553 239	143 167 600.75	180 200 000	750 492.7

表 3 ESG 评级对应的梯形模糊数

等级	C	B	BB	BBB	A	AA	AAA
模糊数	(0,0,0.1,0.2)	(0.1, 0.2, 0.2, 0.3)	(0.2, 0.3, 0.4, 0.5)	(0.4, 0.5, 0.5, 0.6)	(0.5, 0.6, 0.7, 0.8)	(0.7, 0.8, 0.8, 0.9)	(0.8, 0.9, 1.0,1.0)

①财务数据和专利授权数来自各家企业 2023 年披露的年报;企业的信用评级来自中诚信评级机构(9 个级别:AAA、AA、A、BBB、BB、B、CCC、CC、C);碳排放强度和能源消耗强度来自企业的社会责任披露报告;ESG 评级来自 Wind 数据库(AAA、AA、A、BBB、BB、B、C)。

表4 信用评级对应的梯形模糊数

等级	C	CC	CCC	B	BB	BBB	A	AA	AAA
模糊数	(0, 0, 0.1, 0.1)	(0.1, 0.1, 0.2, 0.2)	(0.2, 0.2, 0.3, 0.3)	(0.4, 0.4, 0.5, 0.5)	(0.5, 0.5, 0.6, 0.6)	(0.6, 0.6, 0.7, 0.7)	(0.7, 0.7, 0.8, 0.8)	(0.8, 0.8, 0.9, 0.9)	(0.9, 0.9, 1.0, 1.0)

表5 低碳企业绩效模糊评价

指标	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
C ₁	(0.5, 0.6, 0.7, 0.8)	(0.5, 0.6, 0.7, 0.8)	(0.4, 0.5, 0.5, 0.6)	(0.5, 0.6, 0.7, 0.8)	(0.7, 0.8, 0.8, 0.9)
C ₂	(154, 154, 161.7, 161.7)	(1 303.39, 1 303.39, 1 368.56, 1 368.56)	(98.75, 98.75, 103.69, 103.69)	(724.64, 724.64, 760.87, 760.87)	(25.8, 25.8, 27.09, 27.09)
C ₃	(61.38, 61.38, 64.45, 64.45)	(178.09, 178.09, 186.99, 186.99)	(13.18, 13.18, 13.84, 13.84)	(95.35, 95.35, 100.12, 100.12)	(129.14, 129.14, 135.60, 135.60)
C ₄	(0.9, 0.9, 1.0, 1.0)	(0.9, 0.9, 1.0, 1.0)	(0.9, 0.9, 1.0, 1.0)	(0.8, 0.8, 0.9, 0.9)	(0.8, 0.8, 0.9, 0.9)

表6 低碳企业绩效的模糊指标规范化评价

指标	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
C ₁	(0.5, 0.6, 0.7, 0.8)	(0.5, 0.6, 0.7, 0.8)	(0.4, 0.5, 0.5, 0.6)	(0.5, 0.6, 0.7, 0.8)	(0.7, 0.8, 0.8, 0.9)
C ₂	(0.16, 0.16, 0.17, 0.17)	(0.018 9, 0.018 9, 0.019 8, 0.019 8)	(0.25, 0.25, 0.26, 0.26)	(0.034, 0.034, 0.036, 0.036)	(0.95, 0.95, 1, 1)
C ₃	(0.204, 0.204, 0.215, 0.215)	(0.07, 0.07, 0.074, 0.074)	(0.95, 0.95, 1, 1)	(0.13, 0.13, 0.14, 0.14)	(0.097, 0.097, 0.1, 0.1)
C ₄	(0.9, 0.9, 1.0, 1.0)	(0.9, 0.9, 1.0, 1.0)	(0.9, 0.9, 1.0, 1.0)	(0.8, 0.8, 0.9, 0.9)	(0.8, 0.8, 0.9, 0.9)

(2)运用式(4)、式(5)将低碳企业的精确评价指标 C₅ ~ C₉ 进行规范化处理得到规范化绩效评价决策表(表7)。

(3)由式(6)~式(12)可计算出各评价指标的熵值和权重,结果见表8。

(4)根据式(13)计算出各低碳企业关于所有模糊指标的综合评价价值:

$$\begin{aligned} \bar{s}(A_1) &= (0.324 1, 0.365 1, 0.389 9, 0.410 9); \\ \bar{s}(A_2) &= (0.316 1, 0.337 1, 0.381 4, 0.402 4); \\ \bar{s}(A_3) &= (0.329 0, 0.350 5, 0.375 8, 0.396 8); \\ \bar{s}(A_4) &= (0.295 3, 0.316 3, 0.361 0, 0.382 5); \\ \bar{s}(A_5) &= (0.360 0, 0.381 0, 0.405 6, 0.426 6)。 \end{aligned}$$

根据式(14)可计算得各企业关于模糊评价指

表7 低碳企业绩效精确指标数据规范化评价表

指标	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
C ₅	0.473 7	1	0	0.342 1	0.315 8
C ₆	1	0.114 1	0.117 2	0	0.351 6
C ₇	0.705 4	0.115 2	0.455 4	0	1
C ₈	0.735 5	0.917 6	1	0.236 6	0
C ₉	0.470 3	1	0	0.021 6	0.263 9

表8 低碳企业绩效评价指标的熵值和对应的权重

指标	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉
熵值	-3.629 0	-0.452 0	-0.559 6	-4.000 0	0.833 3	0.625 1	0.742 9	0.798 8	0.582 5
权重	0.210 0	0.026 0	0.032 5	0.231 5	0.058 8	0.132 3	0.090 8	0.071 0	0.147 2

标的可信均值得分:

$$\begin{aligned} E[\bar{s}(A_1)] &= 0.372 5; E[\bar{s}(A_2)] = 0.359 3; \\ E[\bar{s}(A_3)] &= 0.363 0; E[\bar{s}(A_4)] = 0.338 8; \\ E[\bar{s}(A_5)] &= 0.393 3。 \end{aligned}$$

再由式(15)计算出各低碳企业关于所有精确指标的综合评价价值:

$$\begin{aligned} s'(A_1) &= 0.345 65; s'(A_2) = 0.296 65; \\ s'(A_3) &= 0.127 75; s'(A_4) = 0.040 1; s'(A_5) = \\ &0.194 65。 \end{aligned}$$

最终根据式(16),计算得各企业关于混合指标的加权得分,见表9。

根据前面排序方法,可得各企业低碳绩效表现为 A₁ > A₂ > A₅ > A₃ > A₄。

4 低碳企业混合多属性评估决策比较分析

为了阐明本文提出的低碳企业混合多属性决策评价方法的优越性,运用已有相关混合多属性决策方法来对相同的低碳企业样本数据进行绩效评价。已有文献针对各指标的赋权方法和本文的混合指标赋权方法不一样,通过不同方法对备选低碳企业的综合绩效表现评价结果见表10。

表 9 低碳企业综合评价得分

企业	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
得分	0.718 15	0.655 95	0.490 75	0.378 90	0.587 95

表 10 不同赋权方法下的企业绩效综合得分与排名比较

企业	本文方法		文献[8]的方法		文献[9]的方法	
	排名	综合得分	排名	综合得分	排名	综合得分
A ₁	0.718 15	1	0.567 6	1	0.589 4	1
A ₂	0.655 95	2	0.501 9	2	0.527 8	2
A ₃	0.490 75	4	0.420 0	4	0.464 9	4
A ₄	0.378 90	5	0.158 2	5	0.231 8	5
A ₅	0.587 95	3	0.463 4	3	0.504 7	3

从表 10 可知,本文方法跟上述已有相关的混合属性决策方法^[8-9]评价的各低碳企业的综合绩效优先关系表现保持一致,均是 $A_1 > A_2 > A_5 > A_3 > A_4$ 。但文献[8]的决策模型是结合层次分析法(AHP)和离差最大化法来确定各指标属性权重;在运用层次分析法确定主观权重时需要决策专家对各属性间的相对重要性进行评估并据此构建优先判断矩阵,这反映了决策者对不同属性的主观评价和偏好,具有较大的主观性。而且在利用离差最大化法确定客观权重时,也需要决策者计算每个属性与其他属性之间的离差,并基于这些计算结果来确定各指标权重,当低碳企业混合评价指标较多时,将极大地增加计算的复杂性。另外,文献[9]决策过程中采用一种综合考虑属性可靠度、属性影响度和决策者重视程度的多维度权重赋值方法。它是通过首先计算各指标属性的可靠度,接着分析同一属性下不同方案间的内部差异来量化属性的影响度,再利用直觉梯形模糊数之间的距离度量来评估决策者对各属性的主观重视程度,最后通过投影模型将这 3 个维度的权重有效地集成从而形成综合指标权重,这些无疑增加了多指标混合决策的复杂性。

而本文只是根据备选低碳企业的各指标属性数据的不确定性信息熵来客观确定各评价指标的权重,

相比于文献[8-9]依赖主观经验来确定权重的方法更为科学合理,因为客观的模糊混合指标熵权确定方法减少了人为偏差,而且决策过程步骤简单,计算复杂度低,这体现了本文提出的模糊混合多属性企业绩效评估方法的优越性和实用性,可为不确定多属性评估决策问题提供一种新的有效工具。

为了进一步说明本文所提模糊混合多指标决策方法的普适性和弹性,可将表 2 中所有低碳企业的混合指标数据转化成清晰数据(表 11),然后跟其他传统精确指标数据下的混合多属性决策方法结果进行比较分析。

先将表 11 中的低碳企业混合指标数据集按其正向和负向指标分别进行标准化处理,接着运用熵权-TOPSIS(逼近理想解排序法)决策方法^[16],通过计算各评价决策指标的精确熵值来确定各精确指标的权重,进而计算各备选企业方案与正、负理想方案的距离和相对接近度,可对各低碳企业的综合绩效进行优先排序,详细的企业绩效评估对比结果见表 12。

由表 12 可知,通过熵权-TOPOSIS 获得的低碳企业综合绩效表现是 $A_1 > A_2 > A_3 > A_5 > A_4$, 这跟本文提出的混合决策方法评估的低碳企业绩效优先顺序基本一致,而且低碳企业 A₁ 均有最优的绩效表现。但是文献[16-20]提出的熵权-TOPOSIS 方法只适合于处理精确指标下的多属性权重确定和决策问题,而本文提出的模糊多指标混合绩效评

表 12 运用熵权-TOPSIS 方法和本文方法的低碳企业绩效评估结果对比

企业	正理想解距离	负理想解距离	相对接近度	排名	本文方法
A ₁	0.117	0.274	0.701	1	1
A ₂	0.213	0.252	0.542	2	2
A ₃	0.256	0.208	0.448	3	5
A ₄	0.314	0.076	0.195	5	3
A ₅	0.248	0.175	0.414	4	4

表 11 清晰化的低碳企业多属性评估指标数据

指标	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
C ₁	0.65	0.65	0.5	0.65	0.8
C ₂	157.85	1335.975	101.22	742.755	26.445
C ₃	62.875	182.54	13.51	97.735	132.37
C ₄	0.95	0.95	0.95	0.85	0.85
C ₅	219	339	111	189	183
C ₆	15.6	4.26	4.3	2.8	7.3
C ₇	11.9	5.29	9.1	4.0	15.2
C ₈	227	278	301	88	22
C ₉	951 508 472.79	1 859 553 239	143 167 600.75	180 200 000	750 492.7

估方法既适合于精确完备指标下的多指标决策,又能处理模糊不确定环境下的混合多指标评估决策,这进一步凸显了本文方法的优越性和灵活弹性。

5 结论

在“双碳”目标背景下,传统的企业绩效评价体系已无法完全满足低碳经济发展的需求,需要对已有的评价指标体系进行调整扩充,并将低碳能力和可持续发展能力纳入考量,这将激励企业更加积极地承担其社会责任,以响应国家绿色发展策略。本文通过提出一种综合评价低碳企业绩效的新方法,使用模糊数评估企业的不确定性指标,并结合模糊指标可信熵权法和精确指标的信息熵来确定权重,该方法能弹性处理卷入复杂多属性混合指标或存在样本数据缺失的低碳企业多属性评价问题,未来还将进一步探究不确定环境下企业全要素生产率 and 低碳绩效的动态评估方法。

参考文献

- [1] 金童童,陈哲昂,李霞,等. 信息披露不充分背景下的企业环境绩效评估研究:基于模糊集的静态非径向 DEA 模型[J]. 系统科学与数学, 2024(5): 1-19.
- [2] 盛光华,龚思羽,岳蓓蓓. 企业环保行为如何提升消费者响应? 基于消费者企业认同感和漂绿感知的双重中介模型[J]. 财经论丛, 2019(7): 85-94.
- [3] 李艳萍. 低碳经济背景下企业财务评价体系[J]. 知识经济, 2019(25): 67-69.
- [4] 王琦琪. 低碳经济下电力企业财务绩效评价体系构建[J]. 中国农业会计, 2020(1): 38-40.
- [5] 朱祥祎. 数字经济与低碳视角下能源企业效益评价体系研究[J]. 现代工业经济和信息化, 2023, 13(11): 199-201.
- [6] 叶梦依,陈岚辉,何望琳,等. 基于组合赋权-云模型的毕达哥拉斯模糊语言综合评价方法研究[J]. 科技和产业, 2024, 24(9): 176-182.
- [7] 周莹,李伟伟,宫诚举,等. 混合评价信息的改进融合方法及应用[J]. 统计与决策, 2019, 35(17): 82-85.
- [8] 周雨婷,叶国菊,刘尉,等. 基于组合赋权的直觉模糊多属性动态决策方法[J]. 西华大学学报, 2022, 41(1): 90-95.
- [9] 邹树梁,武良鹏. 混合多属性决策问题中的权重研究[J]. 运筹与管理, 2017, 26(1): 76-81.
- [10] 刘惠萍,寇钰惠,程珂昕. 低碳企业投资效率评估与改善研究[J]. 中国资产评估, 2020(11): 23-33.
- [11] 谢志祥,秦耀辰,沈威,等. 中国低碳经济发展绩效评价及影响因素[J]. 经济地理, 2017, 37(3): 1-9.
- [12] 董雅静. 高质量发展背景下国有企业绩效评价指标体系探索[J]. 航空财会, 2023, 5(2): 30-33.
- [13] ALIABADI M M, POURHASAN A, MOHAMMAD-FAM I. Risk modelling of a hydrogen gasholder using Fuzzy Bayesian Network[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2020, 45(1): 1177-1186.
- [14] MEHLAWAT M K. Credibilistic mean-entropy models for multi-period portfolio selection with multi-choice aspiration levels[J]. Information Sciences, 2016, 345: 9-26.
- [15] PAHADE J K, JHA M. Credibilistic variance and skewness of trapezoidal fuzzy variable and mean-variance-skewness model for portfolio selection[J]. Results in Applied Mathematics, 2021, 11: 1-12.
- [16] 郭冲. 基于熵权 TOPSIS 的国家级新区高质量发展综合评价研究:以 19 个国家级新区为例[J]. 科技和产业, 2023, 23(16): 37-43.
- [17] QIAO Z Q, XU X, WANG X R, et al. Comprehensive evaluation of urban renewal based on entropy and TOPSIS method[J]. Journal of Contemporary Urban Affairs, 2025, 9(1): 1-15.
- [18] CAO X, WEI C, XIE D. Evaluation of scale management suitability based on the entropy-TOPSIS method[J]. Land, 2021, 10(4): 416.
- [19] WANG J, WANG Z, FU Z, et al. Spatial-temporal evaluation and prediction of water resources carrying capacity in the xiangjiang river basin using county units and entropy weight TOPSIS-BP neural network[J]. Sustainability, 2024, 16(18): 8184.
- [20] 孟敬,夏沛. 基于熵权法和逼近理想解排序法的新能源发电项目投资决策评价[J]. 科技和产业, 2023, 23(22): 142-147.

Comprehensive Performance Evaluation Method for Mixed Multi-attribute Enterprises under Low-carbon Background

ZHANG Qiansheng, CHEN Qimin

(School of Mathematics and Statistics, Guangdong University of Foreign Studies, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Low-carbon evaluation is a process of comprehensively assessing the environmental behavior and performance of enterprises, which helps to shape their positive environmental image and enhance their sense of social responsibility. In the context of low carbon economy, enterprise performance assessment involves not only quantitative indicators but also qualitative indicators. By constructing a hybrid multi-attribute performance evaluation index system, the uncertainty data of non-quantitative indicators of low-carbon enterprises were evaluated by trapezoidal fuzzy numbers, and the fuzzy entropy weighting method was used to determine the weights of the indicators, and then the multi-criteria weighted aggregation method was used to calculate the comprehensive performance evaluation value of the enterprise. Finally, the enterprise's low-carbon development level can be ranked according to the fuzzy credibilistic mean and variance of performance.

Keywords: low-carbon economy; enterprise performance evaluation; trapezoidal fuzzy number; entropy weight method