

中文引用格式:卫耀文,戴宏,赵舒宁. 基于前景理论和区间数的应急物流供应商评价[J]. 中国安全科学学报,2025,35(2):236-243.

英文引用格式:WEI Yaowen, DAI Hong, ZHAO Shuning. Evaluation of emergency logistics suppliers based on prospect theory and interval numbers [J]. China Safety Science Journal, 2025, 35(2): 236-243.

基于前景理论和区间数的应急物流供应商评价*

卫耀文, 戴宏** 副教授, 赵舒宁

(太原理工大学 经济与管理学院, 山西 太原 030024)

中图分类号: X913.3

文献标志码: A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2025.02.0534

资助项目: 山西省科技战略研究专项(202304031401039)。

【摘要】 为有效评价应急物流供应商的优劣,从供应商评价出发,结合前景理论和区间数提出应急物流供应商评价方法。首先,根据应急物流的特点,从快速响应能力、成本控制能力、产品质量、交货服务、企业内外部条件和柔性需求6个维度构建应急物流供应商评价指标体系;然后,在应急物流供应商评价中引入区间数,提出基于前景理论和区间数的评价方法,利用Jaccard相似系数定义区间数相似度,将与剩余方案相似度之和的最大值对应方案的属性评价价值作为该属性的价值函数参考点,并利用离差最大化理论构造基于区间数相似度的多属性决策权重优化模型,得到属性赋权;最后,将价值函数归一化来扩大方案区分度,根据得到的权重函数和价值函数计算各方案的前景价值,并进行方案优劣排序。研究表明:文中评价方法计算的最优与最劣供应商前景价值差值为0.3838,而以统计推断原理计算的前景价值差值为0.0856,两者相差0.2982,表明该评价方法扩大了方案间的区分度,能够帮助决策者实现有效决策。

【关键词】 前景理论; 区间数; 应急物流; 供应商评价; 参考点; 相似度

Evaluation of emergency logistics suppliers based on prospect theory and interval numbers

WEI Yaowen, DAI Hong, ZHAO Shuning

(School of Economics and Management, Taiyuan University of Technology,
Taiyuan Shanxi 030024, China)

Abstract: To effectively evaluate the performance of emergency logistics suppliers, a method for evaluating emergency logistics suppliers was proposed based on supplier evaluation, incorporating prospect theory and interval numbers. Firstly, based on the characteristics of emergency logistics, an evaluation index system for emergency logistics suppliers was proposed from six dimensions: rapid response capability, cost control capability, product quality, delivery service, internal and external conditions of the enterprise, and flexible demand. Then, interval numbers were introduced into the evaluation of emergency logistics suppliers, and an evaluation method based on prospect theory and interval numbers was proposed. The Jaccard similarity coefficient was used to define the similarity of interval number. The maximum sum of similarity with the remaining solutions was used to determine the reference point of the value function for

* 文章编号:1003-3033(2025)02-0236-08; 收稿日期:2024-09-23; 修稿日期:2024-11-25

** 通信作者:戴宏(1974—),女,山西太原人,博士,副教授,主要从事信息管理与决策优化等方面的研究。E-mail: daihong@tyut.edu.cn。

the attribute evaluation value of the corresponding solution. The deviation maximization theory was used to construct a multi-attribute decision weight optimization model based on interval number similarity, from which attribute weights were obtained. Finally, the value function was normalized to expand the scheme discrimination. The prospect value of each scheme was calculated based on the obtained weight function and value function, and the advantages and disadvantages of the scheme were ranked. The research results indicate that the difference in prospect values between the optimal and worst suppliers calculated using the evaluation method is 0.383 8, while the prospect value difference calculated using statistical inference principles is 0.085 6. The difference of 0.298 2 shows that the proposed evaluation method expands the differentiation between options, helping decision-makers achieve effective decisions.

Keywords: emergency logistic; prospect theory; supplier evaluation; number of intervals; reference point; similarity

0 引言

应急物流是指以提供突发性自然灾害、突发性公共卫生事件等突发性事件所需应急物资为目的,以追求时间效益最大化和灾害损失最小化为目标的特种物流活动^[1]。应急物流供应商需要快速及时地将应急物资送达灾区,以保障受灾地区人们基本的生活需求。为最大程度上减少突发事件带来的影响和损失,决策者需要科学有效地评价应急物流供应商,实现应急物流供应商的优劣排序,而应急物流供应商的评价选择是一个复杂的多属性决策问题,其评价信息具有一定不确定性^[2]。根据不同属性评价选择合理有效的评价方法,对应急物流供应商的决策至关重要。

现有研究对属性评价值为准确数、模糊语义和语言术语集的应急物流供应商提出不同的评价方法,如陕振沛等^[3]将灰色系统理论与改进的逼近理想解排序法(Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS)相结合,构建了一种新的相对贴近度形式进行备选应急物流供应商的排序和择优。黄国平等^[4]运用云模型量化指标决策云和加权云对应急物流供应商的模糊定性评价语义,采用 TOPSIS 法确定了最优备选方案。郭子雪等^[5]提出了一种基于概率语言术语集改进的交互式多准则决策法(Tomada de Decisao Interativa e Multicritevio, TODIM)的应急物流供应商评价方法。在实际决策过程中,决策者的风险态度影响着决策结果。考虑到人们有限理性的心理特征,将行为决策理论引入到区间数多属性决策过程中,如前景理论^[6]、后悔理论^[7]和失望理论^[8]等。KAHNEMAN 等^[9]提出的前景理论同时考虑了决策者面对收益风险规避和面对损失风险偏好的特点,引入决策者

心理行为进行分析决策。在前景价值计算过程中,价值函数的关键是参考点的选取,决策者对收益和损失的感受以参考点为标准。从参考点角度来看,余德建等^[10]以正负理想点为参考点计算多属性决策的前景价值;江文奇^[11]基于统计推断原理确定方案准则值的期望值参考点来计算前景价值。现有的评价方法没有解决评价值为区间数的应急物流供应商评价问题,而且在前景理论的参考点选取上受到主观因素的影响。以正负理想点作为参考点,需要分别计算前景价值求和得到综合前景价值,而决策者面对收益和损失的敏感程度不同。以统计推断为参考点计算前景价值,需要确定数据的分布情况,受主观因素影响较大。

鉴于此,笔者拟综合考虑决策者的有限理性和区间数的不确定性,利用前景理论和区间数综合评价应急物流供应商;利用 Jaccard 相似系数定义区间数相似度,将与其余备选方案相似度之和最大的属性值作为每个属性前景价值函数的参考点;利用离差最大化原理,构造基于区间数相似度的多属性决策权重优化模型求解得到属性赋权,计算各个方案的前景价值实现方案的排序择优,以期提高评价结果的客观性,实现应急物流供应商的有效评价。

1 应急物流供应商评价指标体系

构建应急物流供应商评价指标体系首先要保障时间效益的最大化,同时要满足损失最小化的目标。根据应急物流突发性和弱经济性的特点,参照文献^[5]中应急物流供应商评价指标体系的优点,考虑应急物流综合能力和应急物资质量、成本等因素,构建具有代表性的应急物流供应商评价指标体系,包括6个一级指标,同时选取二级指标,具体指标体系见表1。

表1 应急物流供应商评价指标体系

Table 1 Emergency logistics supplier evaluation index system

目标层	一级指标	二级指标
应急物流供应商评价指标体系	快速响应能力 C_1	物资供给能力
		物资生产能力
		物资储备能力
	成本控制能力 C_2	运输成本
		产品成本
		库存成本
	产品质量 C_3	产品耐用度
		产品合格率
		产品退货率
	交货服务 C_4	交货时间
		订单完成率
		按时交货率
	企业内外部条件 C_5	地理位置
		信息化水平
	柔性需求 C_6	数量柔性
		时间柔性
		产品柔性

对所选指标作进一步说明:

1) 快速响应能力。该指标主要评价供应商对突发状况的响应能力,专家根据物资供给时间长短、物资生产速度快慢和物资储备库房大小打分,时间越短、速度越快、储备库房越大,快速响应能力越强,评分越高。

2) 成本控制能力。该指标是指政府向供应商购买应急物资时每单位产品支付的费用,将不同应急物流供应商的报价与市面价格对比,对应急物流供应商的价格控制能力打分。价格越低,成本控制能力越强,评分越高。

3) 产品质量。该指标用来评价供应商提供的应急物资是否满足使用需求的情况,专家根据产品质量的3个方面对应急物流供应商打分,产品耐用度越高、合格率越高、退货率越低,评分越高。

4) 交货服务。该指标主要评价供应商实际交货情况,专家根据各供应商交货时间长短、订单完成率和按时交货率进行评分。交货时间越短、订单完成率越高、按时交货率越高,评分越高。

5) 企业内外部条件。该指标是对供应商综合实力的评价,供应商的地理位置以与应急物流目的地的距离远近为评分标准,信息化水平以供应商的智能产品覆盖率为评分标准。距离越近、智能产品覆盖率越高,评分越高。

6) 柔性需求。该指标用来评价供应商应对需

求变化的能力,专家根据不同供应商的3种柔性大小对其柔性需求打分,柔性越高,供应商应对需求变化的能力越强,评分越高。

2 应急物流供应商评价方法

考虑到应急物流的特殊性,针对应急物流供应商评价时决策者的有限理性的心理特征和评价信息的不确定性,提出一种基于前景理论和区间数的评价方法评价供应商,求出最优供应商。

2.1 前景理论

前景理论是由 KAHNEMAN 等^[9]于1979年提出的,用于描述决策者在面对风险和不确定性条件下的行为决策理论,其中,前景价值由价值函数和权重函数共同决定,即:

$$V = \sum_{j=1}^n v(\Delta x_j) \pi(p_j) \quad (1)$$

式中: V 为前景价值; $v(\Delta x_j)$ 为价值函数 ($j = 1, 2, \dots, n$); Δx_j 为决策方案第 j 个属性值 x_j 与参考点 x_0 的差值, $\Delta x_j = x_j - x_0, x_0$ 为参考点; $\pi(p_j)$ 为权重函数; p_j 为决策评价价值 x_j 发生的概率。

价值函数是衡量决策方案相对于参考点的收益或损失的价值,即:

$$v(\Delta x_j) = \begin{cases} (\Delta x_j)^\alpha, & \Delta x_j \geq 0 \\ -\lambda(-\Delta x_j)^\beta, & \Delta x_j < 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: α 和 β 分别为决策者面临收益和损失的风险态度系数,且 $0 < \alpha, \beta < 1$, α 和 β 越靠近1,决策者越偏好冒险; λ 为损失规避系数, $\lambda > 1$ 表示决策者对面临损失更敏感。 $\Delta x_j \geq 0$ 表示决策者面临收益, $\Delta x_j < 0$ 表示决策者面临损失。

决策者面临收益和损失时的决策权重函数不同,面临收益和损失的决策权重函数分别为:

$$\begin{cases} \pi^+(p_j) = \frac{p_j^\gamma}{[p_j^\gamma + (1-p_j)^\gamma]^{\frac{1}{\gamma}}}, & \Delta x_j \geq 0 \\ \pi^-(p_j) = \frac{p_j^\delta}{[p_j^\delta + (1-p_j)^\delta]^{\frac{1}{\delta}}}, & \Delta x_j < 0 \end{cases} \quad (3)$$

式中: $\pi^+(p_j)$ 为面对收益时的决策权重; $\pi^-(p_j)$ 为面对损失时的决策权重; γ, δ 分别为决策者对收益和损失的态度。根据以往经验,取 $\alpha = \beta = 0.88, \lambda = 2.25, \gamma = 0.61, \delta = 0.69$ ^[12]。

价值函数具有如下2个重要特征:①决策者面对收益是风险规避的,面对损失是风险偏好的;②决策者对损失比收益更敏感。

2.2 区间数

定义1:记 $\bar{a} = [a^L, a^U] = \{a \mid a^L \leq a \leq a^U\}$, 称 \bar{a} 为一个区间数^[13]。当 $a^L = a^U$ 时, \bar{a} 退化为一个实数; a^L 为该区间数的左端点; a^U 为该区间数的右端点。若 $\bar{a} = [a^L, a^U]$ 满足 $0 < a^L \leq a^U < 1$, 则称 \bar{a} 为一个标准型区间数。

设任意2个区间数 $\bar{a} = [a^L, a^U]$, $\bar{b} = [b^L, b^U]$, 若 $a^U \leq b^L$ 或 $b^U \leq a^L$, 则区间数 \bar{a} 与 \bar{b} 的交集 $\bar{a} \cap \bar{b} = 0$, \bar{a} 与 \bar{b} 的并集 $\bar{a} \cup \bar{b} = [a^L, a^U] \cup [b^L, b^U]$ 。若 $a^U > b^L$ 且 $b^U > a^L$, 则 \bar{a} 与 \bar{b} 的交集 $\bar{a} \cap \bar{b} = [\max\{a^L, b^L\}, \min\{a^U, b^U\}]$, \bar{a} 与 \bar{b} 的并集 $\bar{a} \cup \bar{b} = [\min\{a^L, b^L\}, \max\{a^U, b^U\}]$ 。

定义2^[14]:设任意2个区间数 $\bar{a} = [a^L, a^U]$, $\bar{b} = [b^L, b^U]$, 则区间数 \bar{a} 与 \bar{b} 的欧氏距离为:

$$d(\bar{a}, \bar{b}) = \sqrt{\frac{(a^L - b^L)^2 + (a^U - b^U)^2}{2}} \quad (4)$$

定义3^[15]:设任意2个区间数 $\bar{a} = [a^L, a^U]$, $\bar{b} = [b^L, b^U]$, 令 $l_{\bar{a}} = a^U - a^L$, $l_{\bar{b}} = b^U - b^L$, 区间数的可能度公式为:

$$P(\bar{a} \geq \bar{b}) = \min\left\{\max\left(\frac{a^U - b^L}{l_{\bar{a}} + l_{\bar{b}}}, 0\right), 1\right\} \quad (5)$$

若 $P(\bar{a} \geq \bar{b}) > 0.5$, 则认为 $\bar{a} > \bar{b}$, 否则 $\bar{a} < \bar{b}$ 。若 $\bar{a} = \bar{b}$ 时, $P(\bar{a} \geq \bar{b}) = 0.5$ 。

2.3 区间数相似度

对于任意2个集合 M, N , 其 Jaccard 相似系数如下:

$$J(M, N) = \frac{|M \cap N|}{|M \cup N|} \quad (6)$$

集合 M, N 交集的部分越多, Jaccard 相似系数越大, M, N 相似度越高。类似地, 若任意2个区间数交集的部分越多, 这2个区间数越相似。

定义4:设任意2个区间数 $\bar{a} = [a^L, a^U]$, $\bar{b} = [b^L, b^U]$, $l_{\bar{a} \cap \bar{b}}$ 为 \bar{a} 与 \bar{b} 的交集长度, $l_{\bar{a} \cup \bar{b}}$ 为 \bar{a} 与 \bar{b} 的并集长度, 区间数 \bar{a} 和 \bar{b} 的相似度为:

$$s(\bar{a}, \bar{b}) = \frac{l_{\bar{a} \cap \bar{b}}}{l_{\bar{a} \cup \bar{b}}} \quad (7)$$

$0 \leq s(\bar{a}, \bar{b}) \leq 1$, $s(\bar{a}, \bar{b})$ 越大, \bar{a} 与 \bar{b} 越相似。特别地, 当 $s(\bar{a}, \bar{b}) = 1$, $\bar{a} = \bar{b}$, 即区间数 \bar{a} 与 \bar{b} 完全相同。对于区间数 $\bar{a} = [a^L, a^U]$ 和 $\bar{b} = [b^L, b^U]$, 若 $a^U \leq b^L$ 或 $b^U \leq a^L$, $l_{\bar{a} \cap \bar{b}} = 0$, $s(\bar{a}, \bar{b}) = 0$ 。若 $a^U > b^L$ 且 $b^U > a^L$, $l_{\bar{a} \cap \bar{b}} = \min\{a^U, b^U\} - \max\{a^L, b^L\}$, $l_{\bar{a} \cup \bar{b}} = \max\{a^U, b^U\} - \min\{a^L, b^L\}$, $s(\bar{a}, \bar{b}) =$

$$\frac{\min\{a^U, b^U\} - \max\{a^L, b^L\}}{\max\{a^U, b^U\} - \min\{a^L, b^L\}}。$$

定义5:设由标准型区间数序列构成的方案 $A = \{\bar{a}_1, \bar{a}_2, \dots, \bar{a}_n\}$, $B = \{\bar{b}_1, \bar{b}_2, \dots, \bar{b}_n\}$, $\bar{a}_i = [a_i^L, a_i^U]$, $\bar{b}_i = [b_i^L, b_i^U]$, 方案 A 与 B 的相似度为:

$$S(A, B) = \frac{\sum_{i=1}^n s(\bar{a}_i, \bar{b}_i)}{n} \quad (8)$$

2.4 基于前景理论和区间数的评价方法

1) 区间数标准化处理。在决策过程中, 为了统一不同属性值间的不可公度性, 用下式把区间型决策矩阵 \tilde{A} 变换为标准型区间数决策矩阵 $\tilde{R} = (\tilde{r}_{ij})_{m \times n}$, 其中, $\tilde{r}_{ij} = [r_{ij}^L, r_{ij}^U]$ 为标准型区间数。具体公式如下。

对于效益型属性值:

$$\begin{cases} r_{ij}^L = a_{ij}^L / \sqrt{\sum_{i=1}^m (a_{ij}^U)^2} \\ r_{ij}^U = a_{ij}^U / \sqrt{\sum_{i=1}^m (a_{ij}^L)^2} \end{cases} \quad (9)$$

对于成本型属性值:

$$\begin{cases} r_{ij}^L = (1/a_{ij}^U) / \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{a_{ij}^L}\right)^2} \\ r_{ij}^U = (1/a_{ij}^L) / \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{a_{ij}^U}\right)^2} \end{cases} \quad (10)$$

2) 参考点确定。由于应急物流的突发性和不可预知的特点, 指标评价值的分布情况无法确定, 不能通过评价信息的分布情况来确定期望值参考点。计算各个决策方案同一属性下的属性值相似度, 与剩余备选方案相似度之和最大的方案能最大程度代表某一属性下各个备选方案的区间数范围, 将其作为参考点, 能够较好地体现决策者面临收益与损失的程度。

在标准型区间数决策矩阵 \tilde{R} 中, 对于第 j 个属性 C_j , 方案 $A_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 与其他供选方案 $A_k (k = 1, 2, \dots, m, k \neq i)$ 的相似度总和为:

$$s_i(C_j) = \sum_{k=1, k \neq i}^m s(\tilde{r}_{ij}, \tilde{r}_{kj}) \quad (11)$$

式中 $s_i(C_j)$ 表示对于属性 C_j , 方案 A_i 与其他供选方案的区间数相似度之和。

根据 $s_i(C_j)$ 的大小确定前景价值参考点。 $s_i(C_j)$ 值越大, 该方案的属性区间数 \tilde{r}_{ij} 与剩余供选方案的属性区间数 \tilde{r}_{kj} 相似度之和越高, 说明这一方案的属性值越能代表该属性下各方案的整体属性大

小。对于第 j 个属性 C_j , 当 $s_i(C_j)$ 最大时, 记

$$s_u(C_j) = \max_i \{s_i(C_j)\} \quad (12)$$

将与剩余方案相似度之和最大的 $s_i(C_j)$ 对应的属性指标值 \tilde{r}_{ij} 作为第 j 个属性的前景价值函数的参考点。

3) 决策权重确定。对于多属性决策问题中属性权重的确定, 现有研究主要包括: 熵权法^[16]、离差最大化^[17]和正态分布^[18]等。离差最大化赋权算法是按照某一准则的离差占所有准则总离差的比重进行赋权, 即属性值离差越大, 赋予该属性的权重就越大。从区间数相似度角度考虑, 相似度大小反映了属性值间的差异程度, 决定了属性权重的大小。借鉴离差最大赋权算法的有关理论, 在统一指标值间的不可公度性后, 若所有备选方案在同一属性下指标值的相似度之和越小(即指标值差异越大), 对决策结果的影响越大, 则赋予该属性的权重越大; 反之, 若所有备选方案在同一属性下指标值的相似度之和越大(即指标值差异越小), 对决策结果的影响越小, 则对该属性赋予的权重越小。

假设基于属性间相似度的属性赋权向量为 $\mathbf{W} = (w_1, w_2, \dots, w_n)$, n 为属性个数, 满足约束条件 $\sum_{j=1}^n w_j = 1$, w_j 为第 j 个属性的权重。权重向量 \mathbf{W} 使得所有方案的差异最大化, 即每个属性下不同方案的相似度之和最小。根据计算出的不同方案区间数相似度, 构造基于区间数相似度的多属性决策权重优化模型如下:

$$\min F(\mathbf{W}) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \sum_{k=1, k \neq i}^m s(\tilde{r}_{ij}, \tilde{r}_{kj}) w_j \quad (13)$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} \sum_{j=1}^n w_j = 1 \\ 0 < w_j < 1, \\ w_j^L \leq w_j \leq w_j^U, \end{cases}$$

式中 w_j^L, w_j^U 分别为不确定信息下 w_j 的下限和上限。

利用 Lingo 软件求解该模型, 得到最优属性权重 w_j 。

对于属性权重未知的多属性决策问题, 将求出的属性权重信息通过下式引入到前景理论的权重函数中, 得到各个属性对应的决策权重值。

$$\begin{cases} \pi^+(w_j) = \frac{w_j^\gamma}{[w_j^\gamma + (1-w_j)^\gamma]^{\frac{1}{\gamma}}}, \Delta x_j \geq 0 \\ \pi^-(w_j) = \frac{w_j^\delta}{[w_j^\delta + (1-w_j)^\delta]^{\frac{1}{\delta}}}, \Delta x_j < 0 \end{cases} \quad (14)$$

4) 价值函数归一化。各决策方案的价值函数 $v^+(\tilde{r}_{ij})$ 、 $v^-(\tilde{r}_{ij})$, 计算如下:

$$\begin{cases} v^+(\tilde{r}_{ij}) = (d(\tilde{r}_{ij}, \tilde{r}_{uj}))^\alpha, \tilde{r}_{ij} \geq \tilde{r}_{uj}; \\ v^-(\tilde{r}_{ij}) = -\lambda (d(\tilde{r}_{ij}, \tilde{r}_{uj}))^\beta, \tilde{r}_{ij} < \tilde{r}_{uj}. \end{cases} \quad (15)$$

式中 \tilde{r}_{uj} 为第 j 个属性的参考点。

在前景理论中, 决策者的损失厌恶系数 $\lambda > 1$, 前景价值参考点的确定影响着价值函数值的大小。参考点设置过大, 扩大了决策者面临损失的负价值函数值; 参考点设置过小, 扩大了正价值函数值。价值函数归一化可以将收益或损失的价值函数值限制在区间 $[-1, 1]$ 内^[19], 可以很好地解决价值函数值偏小的问题。为消除可能影响决策结果的不同维度, 使决策更加合理, 采用价值函数归一化方法将价值 $v^+(\tilde{r}_{ij})$ 、 $v^-(\tilde{r}_{ij})$ 转换为 $\bar{v}^+(\tilde{r}_{ij})$ 、 $\bar{v}^-(\tilde{r}_{ij})$ 。具体公式如下:

$$\begin{cases} \bar{v}^+(\tilde{r}_{ij}) = \frac{v^+(\tilde{r}_{ij})}{\max_{1 \leq i \leq m} |v(\tilde{r}_{ij})|} \\ \bar{v}^-(\tilde{r}_{ij}) = \frac{v^-(\tilde{r}_{ij})}{\max_{1 \leq i \leq m} |v(\tilde{r}_{ij})|} \end{cases} \quad (16)$$

5) 前景价值计算。根据式(14)确定各价值函数对应的决策权重函数 $\pi^+(w_j)$ 、 $\pi^-(w_j)$, 并按下式计算各供应商 A_i 的前景价值:

$$V_i = \sum_{j=1}^n \bar{v}^+(\tilde{r}_{ij}) \pi^+(w_j) + \sum_{j=1}^n \bar{v}^-(\tilde{r}_{ij}) \pi^-(w_j) \quad (17)$$

根据各个供应商的前景价值, 对供应商排序。前景价值越大, 供应商的前景越好, 供应商越优。

3 应急物流供应商评价算例分析

3.1 供应商评价算例分析

以某个应急物流供应商的选择问题为例, 有 5 个应急物流供应商可供选择, 用 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_5\}$ 表示。评价应急物流供应商的属性指标有 6 个, 分别为快速响应能力 C_1 、成本控制能力 C_2 、产品质量 C_3 、交货服务 C_4 、企业内外部条件 C_5 和柔性需求 C_6 , 用 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_6\}$ 表示。评价小组由 5 位该领域专家组成, 评分范围为 1~10 分, 5 位专家对这 5 个应急物流供应商的属性指标评分结果去掉一个最高分和一个最低分, 组成该指标的区间数评价, 所得决策矩阵见表 2。

上述 6 项指标均为效益型指标。

步骤 1: 按式(9)、式(10)将表 2 的区间型决策

矩阵 $\tilde{A} = (\tilde{a}_{ij})_{m \times n}$ 转化为标准型决策矩阵 $\tilde{R} = (\tilde{r}_{ij})_{m \times n}$, 见表3。

步骤2: 根据表3的标准型决策矩阵, 利用式(7)计算不同属性下各供应商指标的相似度矩阵分别见表4—表9。

步骤3: 由于已知的属性权重范围为 $0.16 \leq w_1 \leq 0.2, 0.14 \leq w_2 \leq 0.16, 0.15 \leq w_3 \leq 0.18, 0.13 \leq$

表2 决策矩阵

Table 2 Decision matrix

评价值	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
A_1	[5,6]	[6,8]	[6,7]	[4,6]	[7,8]	[8,10]
A_2	[6,8]	[5,7]	[8,9]	[7,8]	[4,7]	[7,8]
A_3	[5,7]	[6,7]	[8,10]	[7,9]	[5,7]	[6,7]
A_4	[8,10]	[5,6]	[4,7]	[5,7]	[6,8]	[4,7]
A_5	[8,10]	[6,8]	[5,6]	[6,9]	[7,8]	[5,8]

表3 标准型决策矩阵

Table 3 Standard decision matrix

评价值	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
A_1	[0.268, 0.410]	[0.371, 0.636]	[0.338, 0.489]	[0.227, 0.454]	[0.411, 0.605]	[0.443, 0.725]
A_2	[0.321, 0.547]	[0.309, 0.557]	[0.451, 0.629]	[0.397, 0.605]	[0.235, 0.529]	[0.388, 0.580]
A_3	[0.268, 0.479]	[0.371, 0.557]	[0.451, 0.698]	[0.397, 0.680]	[0.294, 0.529]	[0.332, 0.508]
A_4	[0.428, 0.684]	[0.309, 0.477]	[0.225, 0.489]	[0.284, 0.529]	[0.352, 0.605]	[0.222, 0.508]
A_5	[0.428, 0.684]	[0.371, 0.636]	[0.282, 0.419]	[0.340, 0.680]	[0.411, 0.605]	[0.277, 0.580]

表4 属性 C_1 下各供应商的相似度矩阵Table 4 Similarity matrix of suppliers under attribute C_1

相似度	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
A_1	1	0.319	0.676	0	0
A_2	0.319	1	0.563	0.327	0.327
A_3	0.676	0.563	1	0.121	0.121
A_4	0	0.327	0.121	1	1
A_5	0	0.327	0.121	1	1

表7 属性 C_4 下各供应商的相似度矩阵Table 7 Similarity matrix of suppliers under attribute C_4

相似度	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
A_1	1	0.150	0.125	0.562	0.250
A_2	0.150	1	0.733	0.412	0.611
A_3	0.125	0.733	1	0.333	0.833
A_4	0.562	0.412	0.333	1	0.476
A_5	0.250	0.611	0.833	0.476	1

表5 属性 C_2 下各供应商的相似度矩阵Table 5 Similarity matrix of suppliers under attribute C_2

相似度	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
A_1	1	0.568	0.701	0.326	1
A_2	0.568	1	0.751	0.679	0.568
A_3	0.701	0.751	1	0.430	0.701
A_4	0.326	0.679	0.430	1	0.326
A_5	1	0.568	0.701	0.326	1

表8 属性 C_5 下各供应商的相似度矩阵Table 8 Similarity matrix of suppliers under attribute C_5

相似度	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
A_1	1	0.319	0.380	0.767	1
A_2	0.319	1	0.800	0.478	0.319
A_3	0.380	0.800	1	0.568	0.380
A_4	0.767	0.478	0.568	1	0.767
A_5	1	0.319	0.380	0.767	1

表6 属性 C_3 下各供应商的相似度矩阵Table 6 Similarity matrix of suppliers under attribute C_3

相似度	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
A_1	1	0.131	0.106	0.572	0.391
A_2	0.131	1	0.718	0.095	0
A_3	0.106	0.718	1	0.081	0
A_4	0.572	0.095	0.081	1	0.521
A_5	0.391	0	0	0.521	1

表9 属性 C_6 下各供应商的相似度矩阵Table 9 Similarity matrix of suppliers under attribute C_6

相似度	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
A_1	1	0.406	0.165	0.128	0.306
A_2	0.406	1	0.484	0.335	0.635
A_3	0.165	0.484	1	0.613	0.578
A_4	0.128	0.335	0.613	1	0.643
A_5	0.306	0.635	0.578	0.643	1

$w_4 \leq 0.17, 0.14 \leq w_5 \leq 0.18, 0.11 \leq w_6 \leq 0.19$ 。代入式(13)求解, 得到 $w_1 = 0.2, w_2 = 0.14, w_3 = 0.18, w_4 = 0.15, w_5 = 0.14, w_6 = 0.19$ 。

步骤4: 对于各个属性 C_j , 将与剩余备选供应商的相似度和 $s_i(C_j)$ 的最大值 $s_u(C_j)$ 对应的指标

值 \tilde{r}_{ij} 作为该属性的参考点, 得到的各属性参考点 \tilde{r}_{ij} 为: 属性 C_1 的参考点 $\tilde{r}_{21} = [0.321, 0.547]$, 属性 C_2 的参考点 $\tilde{r}_{12} = [0.371, 0.636]$, 属性 C_3 的参考点 $\tilde{r}_{43} = [0.225, 0.489]$, 属性 C_4 的参考点 $\tilde{r}_{54} = [0.340, 0.680]$, 属性 C_5 的参考点 $\tilde{r}_{45} = [0.352,$

0.605], 属性 C_6 的参考点 $\bar{r}_{56} = [0.277, 0.580]$ 。

步骤 5: 根据式 (15)、式 (16) 计算各供应商在不同属性下的归一化价值矩阵见表 10。

表 10 归一化价值矩阵

Table 10 Normalized value matrix

价值函数值	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
A_1	-1	0	0.171	-1	0.097	1
A_2	0	-0.395	0.769	-0.176	-1	0.297
A_3	-0.397	-0.261	1	0.032	-0.514	-0.476
A_4	0.597	-1	0	-0.452	0	-0.476
A_5	0.597	0	-0.257	0	0.097	0

步骤 6: 根据式 (14) 计算各个价值函数值对应的权重函数值见表 11。

表 11 权重矩阵

Table 11 Weight matrix

权重	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
A_1	0.257	0.219	0.248	0.217	0.219	0.254
A_2	0.261	0.208	0.248	0.217	0.208	0.254
A_3	0.257	0.208	0.248	0.227	0.208	0.249
A_4	0.261	0.208	0.248	0.217	0.219	0.249
A_5	0.261	0.219	0.241	0.227	0.219	0.254

利用式 (17) 计算出各供应商的前景价值: $V_1 = -0.1559$, $V_2 = -0.0621$, $V_3 = -0.1269$, $V_4 = -0.2690$, $V_5 = 0.1148$ 。根据各个供应商的前景价值大小, 得到排序结果 $V_5 > V_2 > V_3 > V_1 > V_4$, 即 A_5 为最佳应急物流供应商。

3.2 比较分析

为进一步验证所提方法的合理性, 从参考点选取角度来分析说明。作为对比, 将所提方法与文献 [10-11] 的方法计算出的供应商的前景价值比较, 具体如图 1。由图 1 可知: 文献 [10] 方法的排序结果为 $V_5 > V_3 > V_4 > V_2 > V_1$, 最优供应商与所提方法的排序结果相同, 其余供应商的排序不同。主要原因是以正理想点作为参考点决策者面临着极端情况的损失, 以负理想点作为参考点决策者面临着极

端情况的收益。考虑到前景理论中决策者面对损失比面对收益更加敏感, 选取比正负理想点更适中的参考点能够减少风险态度不同对排序结果的影响, 更能体现实际决策过程中决策者选取参考点的情景。文献 [11] 的方法是利用统计推断原理, 以各准则下的期望值为参考点得到的排序结果为 $V_5 > V_2 > V_3 > V_1 > V_4$, 与所提方法结果相同, 说明所提方法适用于多属性决策中属性值为区间数的应急物流供应商评价。同时, 该方法计算各供应商的前景价值比文献 [11] 中的方法更有区分度。当决策者面临评价信息分布情况无法确定的情况时, 本文方法计算得到的更大方案区分度能够帮助决策者在面临应急物流供应商评价时作出科学有效的决策。

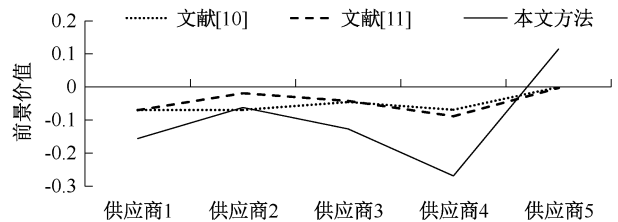


图 1 不同方法前景价值比较

Fig. 1 Comparison of prospect values for different methods

4 结论

1) 将多个准确数组合为区间数表示不同专家对应急物流供应商的评价, 提出基于前景理论和区间数的评价方法, 帮助解决属性评价值为区间数的应急物流供应商评价问题。

2) 运用本评价方法评价 5 个应急物流供应商, 计算得到的方案排序与以统计推断原理计算的结果一致, 而且最优与最劣供应商前景价值差值为 0.3838, 而以统计推断原理计算的差值为 0.0856, 两者相差 0.2982, 说明该方法扩大了方案区分度。

3) 文中采用客观赋权法研究应急物流供应商属性权重, 而在实际决策中专家的权重也会影响决策的结果, 未来需要深入研究。

参考文献

[1] 欧忠文, 王会云, 姜大立, 等. 应急物流[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2004, 27(3): 164-167.
OU Zhongwen, WANG Huiyun, JIANG Dali, et al. Emergency logistics[J]. Journal of Chongqing University: Natural Science, 2004, 27(3): 164-167.

[2] 商丽媛, 谭清美. 基于灰熵模型的应急物流供应商评价[J]. 统计与决策, 2013, 29(3): 45-47.

[3] 陕振沛, 郭亚丹, 宁宝权, 等. 基于组合赋权灰色关联改进 TOPSIS 法的应急物流供应商评价[J]. 数学的实践与认识, 2019, 49(8): 71-78.

- SHAN Zhenpei, GUO Yadan, NING Baoquan, et al. Evaluation of emergency logistics providers based on combined weighting-grey correlation improved TOPSIS method[J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2019,49(8):71-78.
- [4] 黄国平, 雷皓翔. 基于云-TOPSIS法的应急物流供应商综合评价[J]. *中国安全科学学报*, 2024,34(2):217-224.
- HUANG Guoping, LEI Haoxiang. Comprehensive evaluation of emergency logistics suppliers based on cloud TOPSIS method[J]. *China Safety Science Journal*, 2024,34(2):217-224.
- [5] 郭子雪, 杨雅旭, 贺泽芳. 基于概率语言术语集改进 TODIM 法的应急物流供应商评价研究[J]. *运筹与管理*, 2022, 31(6):196-203.
- GUO Zixue, YANG Yaxu, HE Zefang. Evaluation of emergency logistics suppliers based on the improved TODIM method based on probabilistic linguistic term sets[J]. *Operations Research and Management Science*, 2022,31(6):196-203.
- [6] 马珍珍, 邱苑华. 不确定性视角下考虑“双预期”的动态多属性决策方法[J]. *系统科学与数学*, 2023,43(2):310-322.
- MA Zhenzhen, QIU Wanhua. Double expectation-based dynamic multi-attribute decision-making method from uncertainty perspective[J]. *Journal of Systems Science and Mathematical Science*, 2023,43(2):310-322.
- [7] 陈千庆, 孙开畅. 考虑后悔理论与灰色关联分析的水利工程多属性群决策方法[J]. *水电能源科学*, 2023,41(6):154-157,68.
- CHEN Qianqing, SUN Kaichang. Multi-attribute group decision-making method for hydraulic engineering considering regret theory and grey relational analysis[J]. *Water Resources and Power*, 2023,41(6):154-157,68.
- [8] 曹萍萍, 郑瑾, 刘小, 等. 考虑决策者期望和失望-欣喜感知的风险型多属性群决策方法[J]. *系统科学与数学*, 2023,43(4):1 021-1 038.
- CAO Pingping, ZHENG Jin, LIU Xiao, et al. Multiple attribute risk group decision making method considering expectations and disappointment-elation of decision makers[J]. *Journal of Systems Science and Mathematical Science*, 2023,43(4):1 021-1 038.
- [9] KAHNEMAN D, TVERSKY A. Prospect theory: an analysis of decisions under risk[J]. *Econometrica*, 1979, 47(2):263-291.
- [10] 余德建, 吴应宇, 贺小容, 等. 基于前景理论的信息不完全的区间型多属性决策方法[J]. *软科学*, 2011,25(3):140-144.
- YU Dejian, WU Yingyu, HE Xiaorong, et al. Interval multi-attribute decision making method based on prospect theory with incomplete information[J]. *Soft Science*, 2011,25(3):140-144.
- [11] 江文奇. 基于前景理论和统计推断的区间数多准则决策方法[J]. *控制与决策*, 2015,30(2):375-379.
- JIANG Wenqi. Interval multi-criteria decision-making approach based on prospect theory and statistic deduction[J]. *Control and Decision*, 2015,30(2):375-379.
- [12] TVERSKY A, KAHNEMAN D. Advances in prospect theory: cumulative representation of uncertainty[J]. *Journal of Risk and Uncertainty*, 1992, 5(4):297-323.
- [13] 徐泽水. 不确定多属性决策方法及应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2004:38-73.
- [14] DYMOVA L, SEVASTJANOV P, TIKHONENKO A. A direct interval extension of TOPSIS method[J]. *Expert Systems with Applications* 2013, 40(12):4 841-4 847.
- [15] 李德清, 曾文艺, 尹乾. 区间数排序方法综述[J]. *北京师范大学学报:自然科学版*, 2020,56(4):483-492.
- LI Deqing, ZENG Wenyi, YIN Qian. Ranking interval numbers: a review[J]. *Journal of Beijing Normal University: Natural Science*, 2020,56(4):483-492.
- [16] 孙爱民. 基于熵权法的区间数多指标决策方法及应用[J]. *数学的实践与认识*, 2020,50(7):171-179.
- SUN Aimin. Interval number multiple index decision making method based on entropy weight method and its application[J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2020,50(7):171-179.
- [17] 黄智力, 罗键. 属性值为区间数的决策对象相对相似规划模型[J]. *系统工程理论与实践*, 2019, 39(3):766-775.
- HUANG Zhili, LUO Jian. Relative similarity programming model for decision making objects with multiple criteria values as interval number[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2019,39(3):766-775.
- [18] PENG Xindong, YANG Yong. Algorithms for interval-valued fuzzy soft sets in stochastic multi-criteria decision making based on regret theory and prospect theory with combined weight[J]. *Applied Soft Computing*, 2017, 54:415-430.
- [19] ZHU Jianjun, MA Zhenzhen, WANG Hehua, et al. Risk decision-making method using interval numbers and its application based on the prospect value with multiple reference points[J]. *Information Sciences: An International Journal*, 2017, 385: 415-437.

作者简介: 卫耀文 (1999—),男,山西运城人,硕士研究生,主要研究方向为风险管理与优化决策。E-mail:wyw2022388@163.com。

