

中文引用格式: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.

英文引用格式: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.

基于云-TOPSIS法的应急物流供应商综合评价*

黄国平 副教授, 雷皓翔**

(湖南工业大学商学院,湖南株洲412007)

中图分类号:X915.4 文献标志码:A DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2024.02.0581

资助项目:湖南省社会科学成果评审委员会项目(XSP20YBC354)。

【摘要】 为实现应急物流降本增效的目标,从供应商层面出发,运用云-逼近理想解排序法(TOPSIS)评价应急物流供应商综合能力;根据应急物流特点,从应急响应能力、物资质量、成本控制、应急响应柔性、企业内外部条件等5方面,构建应急物流供应商综合评价指标体系;借鉴博弈论思想,将用改进熵权法求得的客观权重和用层次分析法(AHP)求得的主观权重作为博弈对手,确定最优组合权重;运用云模型量化指标决策云和加权云对供应商的模糊定性评价语义;采用TOPSIS法构建正负理想解集合,计算备选方案与正负理想解的距离确定相对贴近度,确定最优备选方案。研究表明:指标决策云能准确地将评价语言量化,云-TOPSIS法的评价结果更合理;在供应商相对贴近度排序中,采用云-TOPSIS法计算的最优与最劣者差值为0.3315,而TOPSIS法为0.0882,两者相差0.2433,表明云-TOPSIS法的评价结果区分度更大,能更直观地辅助决策者做出最优选择。

【关键词】 云模型; 逼近理想解排序法(TOPSIS); 应急物流; 供应商; 综合评价

Comprehensive evaluation of emergency logistics suppliers based on cloud TOPSIS method

HUANG Guoping, LEI Haoxiang

(School of Business, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: In order to achieve the goal of cost reduction and efficiency enhancement in emergency logistics, the comprehensive capabilities of emergency logistics suppliers were evaluated from the perspective of suppliers by utilizing the Cloud TOPSIS. Based on the characteristics of emergency logistics, a comprehensive evaluation index system for emergency logistics suppliers was constructed from five aspects: emergency response capability, material quality, cost control, emergency response flexibility, and internal and external conditions of the enterprise. Drawing on the ideas of game theory, the objective weights obtained by the improved entropy weight method and the subjective weights obtained by Analytic Hierarchy Process (AHP) were taken as game opponents to determine the optimal combination of weights. The cloud model was used to solve for the decision-making cloud of indicators and the weighted cloud for the fuzzy qualitative evaluation semantics quantification of suppliers. Finally, using the TOPSIS method, the positive and negative ideal solution sets were constructed, and the relative closeness to these ideal

* 文章编号:1003-3033(2024)02-0217-08; 收稿日期:2023-08-20; 修稿日期:2023-11-21

** 通信作者:雷皓翔(1995—),男,甘肃平凉人,硕士研究生,研究方向为应急物流工程与管理。E-mail:lhxymlx@163.com。

solutions was determined by calculating the distance of alternative solutions, thus identifying the optimal alternative. Research indicates that the Indicator Decision Cloud can accurately quantify evaluative language, and the results of the Cloud-TOPSIS method are more reasonable. In the ranking of suppliers' relative closeness, the difference between the best and worst calculated by the Cloud-TOPSIS method is 0.331 5, while for the TOPSIS method, it is 0.088 2, with a difference of 0.243 3. This suggests that the evaluation results of the Cloud-TOPSIS method have a greater degree of differentiation, which can more intuitively assist decision-makers in making optimal choices.

Keywords: cloud model; technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS); emergency logistics; supplier; comprehensive evaluation

0 引言

近年来,全球范围内的突发性灾害事件层出不穷,灾后救援行动也成为人们关注的热点。灾后救援具有紧急性,第一时间启动应急响应极其重要^[1]。应急物流作为突发事件的一种紧急保障手段,在重大灾害事故处置时越来越受到重视^[2]。但由于突发事件的不可预测性,仅由政府独立完成应急救援工作难度很大。为此,一些学者提出应急物流军民融合^[3]、应急物资政企联合储备^[4]等模式,加强应急物资采购与储备的合作过程^[5],力求在物流成本和应急反应能力之间取得平衡^[6]。但在运用这些模式时都必须解决在物流环节如何实现降本增效的问题,其中,政府选择综合能力强的应急物流供应商至关重要。

现有研究大都在构建应急物流供应商指标体系基础上,运用不同方法评价供应商,然后在多个方案中选取综合能力最强者。EDIZ等^[7]从交货因素、物资质量、采购成本3个维度建立指标体系,采用线性规划模型选取对应急救援后勤支持最优的供应商。韩瑞珠等^[8]构建了成本、时间、质量、柔性、核心竞争力5个维度的指标体系,在引入决策者风险偏好因素基础上,采用模糊层次分析法求解应急物流供应商绩效评价模型。商丽媛等^[9]考虑了环境因素,引入灰熵模型建立评价体系;闫佳丽^[10]利用决策实验室分析法识别构建指标中的重要因素,提出了基于D数和多维偏好分析线性规划决策方法,并通过仿真模拟验证该方法在应急物流供应商评价问题上的可行性;陕振沛等^[11]通过组合赋权法求解指标权重,在灰色系统理论基础上使用改进的逼近理想解排序法(Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS)计算贴近度,并提出应急物流供应商评价方法;叶万红等^[12]构建了灰色关联与改进TOPSIS评价模型;郭子雪等^[13]采

用概率语言术语集标度专家评分,并通过改进交互式多准则决策方法综合评价物流供应商。上述方法都是在考虑各种主观因素和客观因素的基础上评价应急物流供应商综合能力,但评价信息的模糊性与随机性问题仍未得到有效解决。李德毅等^[14]提出云模型,提供了一种新的语言评价量化方法,有效解决了评价信息的模糊性和随机性问题;高志方等^[15]提出将云模型与TOPSIS法结合来解决多准则决策问题,但对于云的合成处理提及较少。

鉴于此,笔者拟综合考虑专家主观评价和客观指标评价因素,采用云模型结合改进TOPSIS法,利用加权云综合评价应急物流供应商;基于博弈论的组合赋权方法,构建云-TOPSIS评价模型,将模糊评价语言量化^[16],从而确定备选方案中综合能力最优的应急物流供应商,以期解决被评对象能力评价中的模糊性与随机性问题,提高评价结果的客观性与全面性。

1 应急物流供应商综合评价指标体系

多数学者在构建应急物流供应商评价体系时以应急物流综合能力为首要目标,兼顾考虑物资质量和成本等因素。构建的应急物流供应商指标主要参照文献[13],并咨询相关领域专家意见,以应急物流供应商综合能力为目标层,准则层(一级指标)包括5个维度,即应急响应能力、物资质量、成本控制、应急响应柔性、企业内外部条件,并进一步细化为19个二级指标。具体指标体系见表1。

表1 应急物流供应商评价指标体系

Tab. 1 Emergency logistics provider evaluation indicator system

一级指标	二级指标	指标属性
应急响应能力 S_1	准时交货率 S_{11}	效益型
	快速生产能力 S_{12}	效益型
	订单完整执行率 S_{13}	效益型
	售后服务 S_{14}	效益型

续表 1

一级指标	二级指标	指标属性
物资质量 S_2	包装质量 S_{21}	效益型
	产品合格率 S_{22}	效益型
	产品故障率 S_{23}	成本型
	质量保证能力 S_{24}	效益型
成本控制 S_3	价格成本 S_{31}	成本型
	订单处理成本 S_{32}	成本型
	库存成本 S_{33}	成本型
	运输成本 S_{34}	成本型
应急响应柔性 S_4	数量柔性 S_{41}	效益型
	时间柔性 S_{42}	效益型
	品种柔性 S_{43}	效益型
内外部条件 S_5	地理位置 S_{51}	效益型
	企业信誉 S_{52}	效益型
	信息化水平 S_{53}	效益型
	发展潜力 S_{54}	效益型

在以上二级物流供应商评价指标体系中,二级指标大部分为定量指标,可通过对应急物流供应商在应急物流事件中的实际表现测量。对其中的定性指标 S_{21} 、 S_{52} 、 S_{53} 、 S_{54} ,由相关领域专家组采用 10 分制评级获取对应指标初始数据值。

2 云-TOPSIS 综合评价流程

在构建应急物流供应商评价指标体系基础上,针对应急物流供应商评价模型中存在评价信息的模糊性与随机性问题,同时,为规避决策者评价偏好、参照依赖等行为,通过基于博弈论组合赋权计算指标权重,采用云模型将语义评估量化,结合 TOPSIS 法计算各方案的贴近度,求出最优备选方案。具体流程如图 1 所示。

2.1 指标权重确定

采用改进熵权法计算客观权重,同时,为克服单一权重计算方法的局限性,采用基于博弈论的组合赋权确定指标综合权重。

1) 改进熵权法。在传统熵权法中,信息熵细微变化可能导致结果出现成倍扩大的现象^[17],为避免熵值 $H_j \rightarrow 0$ 时熵传递信息不一致的情况,在熵权法基础上采用改进熵权法^[18],见下式:

$$b_j = \begin{cases} (1 - \bar{H})b_{0j} + \bar{H}b_{1j}, & H_j < 1 \\ 0, & H_j = 1 \end{cases} \quad (1)$$

$$b_{1j} = \frac{1 + \bar{H} - H_j}{\sum_{k=1, H_k \neq 1}^n (1 + \bar{H} - H_k)} \quad (2)$$

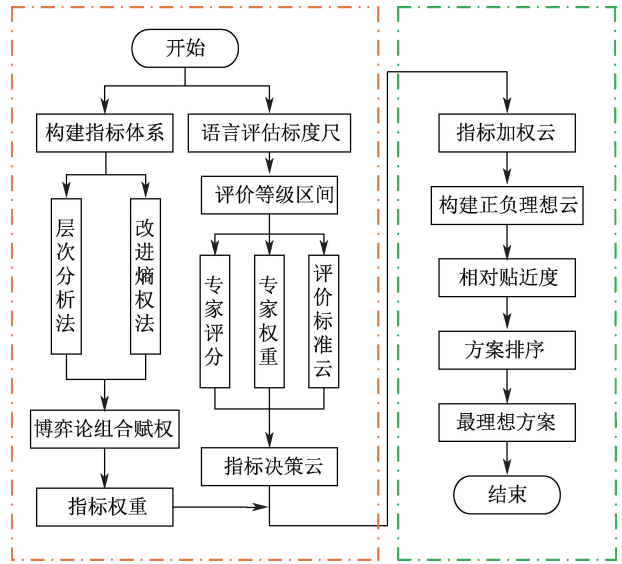


图 1 云-TOPSIS 评价流程

Fig. 1 Cloud TOPSIS Evaluation Process

式中: b_j 为改进熵权法计算的权重; \bar{H} 为所有不为 1 的熵值的平均值; b_{0j} 为传统熵权法计算的权重; b_{1j} 为一次改进后的熵权法权重。

2) 基于博弈论的组合赋权。组合赋权一般通过加法、乘法的方式,将所求的指标权重简单合成,但以这种方式求解的组合权重未能考虑不同方法间存在的冲突,所得结果并非最优组合。因此,借鉴博弈论思想,以 2 种方法求解的权重作为博弈对手,在多次博弈中寻找权重间的利益平衡点,确定最优权重组合。

设 AHP 法求解的指标权重向量为 $\omega_1 = (\omega_{11}, \omega_{12}, \dots, \omega_{1m})$,改进熵权法求解的指标权重向量为 $\omega_2 = (\omega_{21}, \omega_{22}, \dots, \omega_{2m})$ 。则组合权重计算方法见下式:

$$\omega = \alpha_1 \omega_1 + \alpha_2 \omega_2 \quad (3)$$

式中 α_1 和 α_2 为主客观权重系数。根据博弈论原理,寻找权重间的平衡点,使得 ω 与 ω_1 、 ω_2 偏差极小化,目标函数产生的约束条件为:

$$\min (\| \alpha_1 \omega_1^T + \alpha_2 \omega_2^T - \omega_1^T \|_2 + \| \alpha_1 \omega_1^T + \alpha_2 \omega_2^T - \omega_2^T \|_2) \quad (4)$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 = 1 \quad (5)$$

求解该模型在等式约束条件下的极小值。根据微分原理^[19],式(4)和式(5)的最优化一阶导数条件为:

$$\alpha_1 \omega_1 \omega_1^T + \alpha_2 \omega_1 \omega_2^T = \omega_1 \omega_1^T \quad (6)$$

$$\alpha_1 \omega_2 \omega_1^T + \alpha_2 \omega_2 \omega_2^T = \omega_2 \omega_2^T \quad (7)$$

其线性方程组为:

$$\begin{bmatrix} \omega_1 \omega_1^T & \omega_1 \omega_2^T \\ \omega_2 \omega_1^T & \omega_2 \omega_2^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_1 \omega_1^T \\ \omega_2 \omega_2^T \end{bmatrix} \quad (8)$$

求解式(8)可得组合系数 α_1 和 α_2 , 同时进行归一化处理:

$$\alpha_i^* = \frac{\alpha_i}{\sum_{i=1}^2 \alpha_i} \quad (9)$$

组合权重为:

$$\omega^* = \alpha_1^* \omega_1^T + \alpha_2^* \omega_2^T \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^m \omega^* = 1 \quad (11)$$

2.2 指标决策云与加权云求解

设 U 是一个数值论域, C 是与 U 相联系的定性概念, 若定量值 $x \in U$ 是定性概念 C 的一次随机实现, 且 x 对 C 的隶属度 $\mu(x) \in [0, 1]$ 是具有稳定倾向的随机数。即

$$\mu(x): U \rightarrow [0, 1], \forall x \in U, x \rightarrow \mu(x) \quad (12)$$

式中: x 为云滴; $C(x)$ 为 x 在 U 上的分布为云模型。

云模型由 3 个数字特征期望值 E_x 、熵 E_n 、超熵 H_e 共同表达一个定性概念。其中, E_x 表示所有云滴在数据中的重心位置; E_n 表示不确定程度, 即云滴分布的模糊性; H_e 表示熵的不确定性, 反映云滴的凝聚程度。如图 2 所示为正态云分布图, 其 $E_x = 10, E_n = 1, H_e = 0.1$ 。

设 2 朵云为 $C_1(E_{x_1}, E_{n_1}, H_{e_1}), C_2(E_{x_2}, E_{n_2}, H_{e_2})$, 将 $a(C_1, C_2)$ 称为云距离系数;

表 2 评价标准云计算方法

Tab. 2 Evaluation criteria cloud computing approach

语言标度	云模型	E_x	E_n	H_e
差	$C_{-2} = (E_{x_{-2}}, E_{n_{-2}}, H_{e_{-2}})$	X_{\min}	$E_{n_{-1}}/0.618$	$H_{e_{-1}}/0.618$
较差	$C_{-1} = (E_{x_{-1}}, E_{n_{-1}}, H_{e_{-1}})$	$E_{x_0} - 0.382(X_{\max} + X_{\min})/2$	$0.382(X_{\max} - X_{\min})/6$	$H_{e_0}/0.618$
中等	$C_0 = (E_{x_0}, E_{n_0}, H_{e_0})$	$(X_{\max} + X_{\min})/2$	$E_{n_0} = 0.618E_{n_{-1}}$	k
较好	$C_1 = (E_{x_1}, E_{n_1}, H_{e_1})$	$E_{x_0} + 0.382(X_{\max} + X_{\min})/2$	$0.382(X_{\max} - X_{\min})/6$	$H_{e_0}/0.618$
好	$C_2 = (E_{x_2}, E_{n_2}, H_{e_2})$	X_{\max}	$E_{n_1}/0.618$	$H_{e_1}/0.618$

2) 云的集成。设任意 2 朵云 $C_1 = (E_{x_1}, E_{n_1}, H_{e_1}), C_2 = (E_{x_2}, E_{n_2}, H_{e_2})$, 每朵云的重要程度为 w_1, w_2 , 将 2 朵云合成一朵综合云 $C(E_x, E_n, H_e)$ 的过程称为云的集成^[21], 集成后的云 C 的数字特征遵循下式。

$$\begin{cases} E_x = w_1 E_{x_1} + w_2 E_{x_2} \\ E_n = \sqrt{(w_1 E_{n_1})^2 + (w_2 E_{n_2})^2} \\ H_e = \sqrt{(w_1 H_{e_1})^2 + (w_2 H_{e_2})^2} \end{cases} \quad (14)$$

3) 指标加权决策云。设 x_{ij}^k 为专家 T_k 针对方案

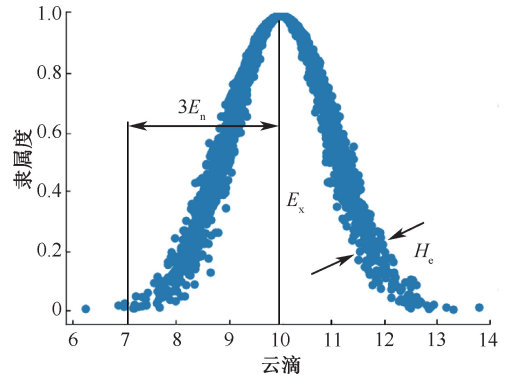


图 2 正态云分布

Fig. 2 Normal cloud distribution map

该系数越小, 表示 2 朵云越接近, 反之越远。其计算过程遵循下式:

$$a(C_1, C_2) = \frac{1}{\sqrt{(E_{x_1} - E_{x_2})^2 + (E_{n_1} - E_{n_2})^2 + (H_{e_1} - H_{e_2})^2}} \quad (13)$$

1) 语言评估标度。在多方案评价时, 一般需要设定语言评估标度尺, 以便专家评价方案中的指标。设论域 U 的双边约束条件为 $U = [X_{\min}, X_{\max}]$, 对应语义集合为 {差, 较差, 中等, 较好, 好}, 分别对应的 5 朵云称为评价标准云。设中心云 $C_0 = (E_{x_0}, E_{n_0}, H_{e_0})$, 对应语义为中等。在中心云左边的云称为半降云, 反应云的定性概念稍差; 右边称为半升云, 反应云的定性概念较好^[20]。5 朵云数字特征计算过程见表 2, 其中, k 为常数, 根据实际模糊阈值调整。

$A_i (1 \leq i \leq m)$ 下指标 $C_j (1 \leq j \leq n)$ 的评分值, 通过表 2 的语言评估标度尺将评分转换为对应云模型。但由于专家认知往往存在差异、偏好, 因此, 在计算决策评价云时可引入专家权重。设第 k 位专家权重为 v_k , 则指标决策评价云 z_{ij} 的数字特征计算过程见下式。

$$\begin{cases} Ex_{ij} = v_1 Ex_{ij}^1 + v_2 Ex_{ij}^2 + \dots + v_k Ex_{ij}^k \\ En_{ij} = \sqrt{(v_1 Ex_{ij}^1)^2 + (v_2 Ex_{ij}^2)^2 + \dots + (v_k Ex_{ij}^k)^2} \\ He_{ij} = \sqrt{(v_1 He_{ij}^1)^2 + (v_2 He_{ij}^2)^2 + \dots + (v_k He_{ij}^k)^2} \end{cases} \quad (15)$$

得到指标决策评价云 z_{ij} 的数字特征后,结合指标权重 ω_j^* 确定指标加权云 r_{ij} 。

$$r_{ij} = \omega_j \times z_{ij} = (\omega_j^* Ex_{ij}, \omega_j^* En_{ij}, \omega_j^* He_{ij}) \quad (16)$$

2.3 云-TOPSIS 评价

TOPSIS 法通过构建正负理想解集合,计算待选方案与正负理想解的欧氏距离确定相对贴近度,从而选择最优方案。结合云-TOPSIS 的思想,构建正负理想云集合,见下式。

$$R^+ = \{r_j^+ \mid \max_{1 \leq i \leq m} r_{ij}\} \quad (17)$$

$$R^- = \{r_j^- \mid \min_{1 \leq i \leq m} r_{ij}\} \quad (18)$$

式中: $\max_i r_{ij}$ 为同一指标中期望 Ex_{ij} 最大的指标加权云,若存在多个期望值相等的情况,选择对应 En_{ij} 和 He_{ij} 最小的; $\min_i r_{ij}$ 表示期望 Ex_{ij} 最小的指标加权云,若期望相等时选择对应 En_{ij} 和 He_{ij} 最小的^[22]。

计算指标加权云与正负理想综合云的距离系数,见下式:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_j^m d^2(r_{ij}, r_j^+)} \quad (19)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_j^m d^2(r_{ij}, r_j^-)} \quad (20)$$

式中 $d(r_{ij}, r_j^+)$, $d(r_{ij}, r_j^-)$ 分别为加权云与正负理想云的云距离系数。

计算待选方案的综合贴近度 U_i :

$$U_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (21)$$

相对贴近度越大,表示备选供应商综合能力越高,反之越低。

3 应急物流供应商综合评价算例

3.1 计算组合权重

选取 4 家应急物流供应商企业作为备选方案,记为 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 。每家企业对应的定量指标数据来源于企业应对自然灾害应急事件的调查数值,定性指标则由专家组对企业实际运营过程评级打分。

效益型指标:

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \min_{1 \leq j \leq m} x_{ij}}{\max_{1 \leq j \leq m} x_{ij} - \min_{1 \leq j \leq m} x_{ij}} \quad (22)$$

成本型指标:

$$x_{ij}^* = 1 - \frac{x_{ij} - \min_{1 \leq j \leq m} x_{ij}}{\max_{1 \leq j \leq m} x_{ij} - \min_{1 \leq j \leq m} x_{ij}} \quad (23)$$

式中: x_{ij} 为初始数据,表示第 i 个样本数的第 j 项指

标; x_{ij}^* 为处理后的数据。

采用层次分析法计算指标主观权重,由专家组分别对各一级指标和二级指标之间的相对重要性进行两两打分,得到其判断矩阵。然后,用 Yaanp 软件求出各二级指标权重的层次总排序,采用改进熵权法计算指标客观权重。最后,根据式(3)一式(10)计算基于博弈论的组合赋权,其中, $\alpha_1^* = 0.5785$, $\alpha_2^* = 0.4215$, 权重计算结果见表 3。

表 3 应急物流供应商指标权重

Tab. 3 Weighting of emergency logistics provider indicators

指标	主观权重	客观权重	组合赋权
S_{11}	0.053 0	0.053 1	0.053 0
S_{12}	0.053 0	0.055 5	0.054 1
S_{13}	0.059 4	0.049 1	0.055 1
S_{14}	0.046 7	0.049 2	0.047 7
S_{21}	0.052 7	0.051 2	0.052 1
S_{22}	0.055 6	0.056 7	0.056 0
S_{23}	0.049 2	0.054 3	0.051 3
S_{24}	0.049 8	0.051 2	0.050 4
S_{31}	0.052 6	0.051 0	0.051 9
S_{32}	0.048 5	0.052 0	0.050 0
S_{33}	0.054 6	0.053 0	0.053 9
S_{34}	0.050 6	0.050 5	0.050 5
S_{41}	0.056 6	0.057 2	0.056 9
S_{42}	0.058 0	0.051 6	0.055 3
S_{43}	0.054 5	0.050 8	0.052 9
S_{51}	0.051 6	0.059 7	0.055 0
S_{52}	0.052 9	0.050 5	0.051 9
S_{53}	0.049 6	0.053 0	0.051 0
S_{54}	0.051 2	0.050 5	0.050 9

具体来看,主观权重中应急响应时间 S_1 和应急柔性 S_4 权重更高,说明专家对应急物流供应商属性更偏好于应急物流自身特性;而熵权法计算的客观权重分布较为均衡。通过基于博弈论的组合赋权均衡主客观权重差距,求得的应急物流供应商指标权重更合理。

3.2 确定方案指标加权云

邀请 6 位专家综合评价文中构建的指标。设论域 $U = [0, 10]$, $k = 0.1$, 根据表 2, 将语言评估标度转化见表 4 的标准评价云,并给出专家组对供应商 A_1 的评价结果,见表 5。

表 4 标准评价云

Tab. 4 Standardized evaluation cloud

语言评估	差	较差	中等	较好	好
云模型	C_{-2}	C_{-1}	C_0	C_1	C_2
Ex	0	3.09	5	6.91	10
En	1.030	0.637	0.393	0.637	1.030
He	0.262	0.162	0.100	0.162	0.262

表5 专家组对供应商 A₁ 的评价结果

Tab. 5 Results of the Group's evaluation of A₁ vendors

专家	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	S ₁₄	...	S ₃₂	S ₃₃	S ₃₄
1	较差	较差	中等	较好	...	中等	中等	较好
2	中等	中等	中等	较好	...	较差	较好	较好
3	中等	较差	较好	好	...	较差	较好	较好
4	较好	中等	较好	中等	...	中等	较好	中等
5	中等	中等	中等	中等	...	较差	中等	较好
6	较好	中等	中等	中等	...	中等	中等	中等

为简化指标决策云的计算过程, 设各专家权重相同, 通过式(14)将专家语言评价云合成得到指标决策云 z_{ij} , 结果见表6。

由表3计算的指标权重结合指标决策云通过式(15)得到指标加权决策云。根据式(16)和式(17)确定各指标的正理想云 r^+ 和负理想云 r^- , 见表7。

表6 供应商指标决策云

Tab. 6 Supplier metrics decision cloud

备选方案	S ₁₁	S ₁₂	...	S ₃₄
A ₁	(5.318, 0.216 1, 0.054 9)	(4.363, 0.199 3, 0.050 7)	...	(6.273, 0.231 6, 0.058 9)
A ₂	(6.788, 0.268 1, 0.068 1)	(7.622, 0.311 5, 0.079 2)	...	(6.470, 0.254 8, 0.064 7)
A ₃	(4.682, 0.216 1, 0.054 9)	(5.318, 0.181 0, 0.046 0)	...	(5.637, 0.199 3, 0.050 7)
A ₄	(5.000, 0.199 3, 0.050 7)	(5.637, 0.199 3, 0.050 7)	...	(4.682, 0.181 0, 0.046 0)

表7 指标加权决策云与正负理想云

Tab. 7 Indicator weighted clouds and positive and negative ideal clouds

备选方案	S ₁₁	S ₁₂	...	S ₃₄
A ₁	(0.282 1, 0.011 5, 0.002 9)	(0.235 9, 0.010 8, 0.002 7)	...	(0.319 4, 0.011 8, 0.003 0)
A ₂	(0.360 1, 0.014 2, 0.003 6)	(0.412 1, 0.016 8, 0.004 3)	...	(0.329 4, 0.013 0, 0.003 3)
A ₃	(0.248 4, 0.011 5, 0.002 9)	(0.287 6, 0.009 8, 0.002 5)	...	(0.287 0, 0.010 1, 0.002 6)
A ₄	(0.265 2, 0.010 6, 0.002 7)	(0.304 8, 0.010 8, 0.002 7)	...	(0.238 4, 0.009 2, 0.002 3)
r^+	(0.360 1, 0.014 2, 0.003 6)	(0.412 1, 0.016 8, 0.004 3)	...	(0.329 4, 0.013 0, 0.003 3)
r^-	(0.248 4, 0.011 5, 0.002 9)	(0.235 9, 0.010 8, 0.002 7)	...	(0.238 4, 0.009 2, 0.002 3)

3.3 计算综合贴近度

将表7中各供应商指标加权决策云与正负理想综合云代入式(18)和式(19)中, 计算后的备选方案指标加权云与正负理想综合云距离系数见表8。通过式(20)计算相对贴近度, 结果发现, A₂ 相对贴近度最高, 达到0.656 8。综合来看, 4家待选供应商贴近度综合排序为 A₂ > A₄ > A₃ > A₁, 4家应急物流供应商综合能力排序亦为如此。

表8 供应商评价结果

Tab. 8 Results of vendors evaluations

备选方案	d_i^+	d_i^-	U_i	综合排序
A ₁	0.448 0	0.216 0	0.325 3	4
A ₂	0.232 6	0.445 0	0.656 8	1
A ₃	0.322 3	0.290 6	0.474 2	3
A ₄	0.290 5	0.291 1	0.500 5	2

为验证该方法的有效性与可行性, 采用传统TOPSIS法结合基于博弈论的组合赋权计算本算例, 得到以上4家供应商的相对贴近度为 $U=(0.473 6, 0.555 8, 0.529 8, 0.484 2)$, 4家待选供应商综合排序为 A₂ > A₃ > A₄ > A₁。与云-TOPSIS法计算结果相

比, 最优和最差供应商排序一致, 但中间2个供应商排序不一致。从相对贴近度来看, 采用云-TOPSIS法的最优与最劣者差值为0.331 5, 而TOPSIS法为0.088 2, 两者相差0.243 3, 差距明显, 表明云-TOPSIS法的评价结果区分度更大, 能更直观地辅助决策者做出最优选择。采用云-TOPSIS法计算的结果分布更加均匀, 受异常值干扰更少。

4 结论

1) 采用基于博弈论的组合赋权法计算各指标的权重, 可以避免单一权重计算方法的局限性, 有利于准确求解评价模型。

2) 引入云模型将定性语言量化, 能够避免评价语言中的模糊性带来的问题, 且在一定程度上消除专家认知差异和喜好偏向, 使评价结果更为准确。

3) 结合云-TOPSIS对供应商综合能力有效排序, 有助于充分挖掘多准则决策问题中不确定性特征, 确定备选方案中综合能力最优者, 评价结果相较于TOPSIS法更为清晰。

参 考 文 献

- [1] 梁瑾璠, 赵晗萍, 张家乐. 应急物资供应链快速构建模式[J]. 中国安全科学学报, 2022, 32(4):135-140.
LIANG Jinfan, ZHAO Hanping, ZHANG Jiale. Rapid construction mode of emergency material supply chain[J]. China Safety Science Journal, 2022, 32(4):135-140.
- [2] 戢晓峰, 杨春丽, 郝京京, 等. 国内外应急物流研究热点对比与展望[J]. 中国安全科学学报, 2021, 31(12):144-152.
JI Xiaofeng, YANG Chunli, HAO Jingjing, et al. Research prospects and hotspot comparison for emergency logistics in China and foreign countries[J]. China Safety Science Journal, 2021, 31(12):144-152.
- [3] 张姣芳, 陈晓和. 我国军民融合应急物流体系建设研究[J]. 中国流通经济, 2011, 25(5):43-47.
ZHANG Jiaofang, CHEN Xiaohe. Study on the emergency logistics system of civil-military integration[J]. China Business and Market, 2011, 25(5):43-47.
- [4] 扈表权, 田军, 冯耕中. 基于期权采购的政企联合储备应急物资模型[J]. 系统工程理论与实践, 2018, 38(8):2 032-2 044.
HU Zhongquan, TIAN Jun, FENG Gengzhong. The model of joint emergency supplies reserves of governments and enterprises based on option procurement[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2018, 38(8):2 032-2 044.
- [5] 李晟, 丰景春, 吴凯丽, 等. 政企联合储备应急物资的合作策略研究[J/OL]. 中国管理科学:1-11[2024-03-12].
<https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2022.0859>.
LI Sheng, FENG Jingchun, WU Kaili, et al. Study on cooperative strategy of government-enterprise joint reserve of emergency supplies[J/OL]. Chinese Journal of Management Science:1-11[2024-03-12]. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2022.0859>.
- [6] 胡婉婷, 丁晶晶, 梁樑. 基于期权代储协议的应急物资政企联合储备模型研究[J/OL]. 中国管理科学:1-12[2023-12-02].
<https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2022.0768>.
HU Wanting, DING Jingjing, LIANG Liang. Joint reserve model of government and enterprise for relief materials based on a delegated reserve contract with option[J/OL]. Chinese Journal of Management Science:1-12[2023-12-02]. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2022.0768>.
- [7] ÖZDAMAR L, EKINCI E, KUCUKYAZICI B. Emergency logistics planning in natural disasters [J]. Annals of Operations Research, 2004, 129: 217-245.
- [8] 韩瑞珠, 曹国, 鲁邦旺. 基于 FAHP 的应急物流外包供应商绩效综合评价[J]. 东南大学学报:自然科学版, 2007,37(增2):348-354.
HAN Ruizhu, CAO Guo, LU Bangwang. performance evaluation for emergency logistic outsourcing vendor based on fuzzy analytical hierarchical process[J]. Journal of Southeast University:Natural Science Edition, 2007,37(S2):348-354.
- [9] 商丽媛, 谭清美. 基于熵模型的应急物流供应商评价[J]. 统计与决策, 2013(3):45-47.
SHANG Liyuan, TAN Qingmei. Emergency logistics supplier evaluation based on grey entropy model[J]. Statistics and Decision, 2013, 29(3):45-47.
- [10] 闫佳丽. 基于 D Number 和 LINMAP 的应急物资供应商评价方法研究[D]. 北京:北京理工大学, 2015.
YAN Jiali. Emergency materials supplier evaluation method research based on D Number and LINMAP[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2015.
- [11] 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.
- [12] 叶万红, 耿娟娟, 徐东胜. 基于矩估计—改进 TOPSIS 模型的应急物流供应商评价[J]. 甘肃科学学报, 2022, 34(3):134-139.
YE Wanhong, GENG Juanjuan, XU Dongsheng. Evaluation of emergency logistics suppliers based on moment estimation and improved TOPSIS model[J]. Journal of Gansu Sciences, 2022, 34(3):134-139.
- [13] 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.
- [14] 李德毅, 孟海军, 史雪梅. 隶属云和隶属云发生器[J]. *计算机研究与发展*, 1995(6):15-20.
LI Deyi, MENG Haijun, SHI Xuemei. Membership cloud and membership cloud generators[J]. *Journal of Computer Research and Development*, 1995(6):15-20.
- [15] 高志方, 杨青, 彭定洪. 基于云模型的 TOPSIS 决策方法研究[J]. *价值工程*, 2013, 32(29):8-10.
GAO Zhifang, YANG Qing, PENG Dinghong. Research on TOPSIS decision-making method based on cloud model[J]. *Value Engineering*, 2013, 32(29):8-10.
- [16] 胡涛, 焦彦维, 王华兵, 等. 基于区间云模型对信息网络的效能评估[J]. *系统工程理论与实践*, 2017, 37(2):478-485.
HU Tao, JIAO Yanwei, WANG Huabing, et al. The efficiency evaluation of information networks based on interval-based cloud model[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2017, 37(2):478-485.
- [17] 董晓旭, 何安瑞, 孙文权, 等. 应用熵权-TOPSIS 法的加热炉炉温在线设定模型[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2017, 49(7):119-124.
DONG Xiaoxu, HE Anrui, SUN Wenquan, et al. On-line temperature setup model of reheating furnace based on entropy weight-topsis method[J]. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2017, 49(7):119-124.
- [18] 李英海, 周建中. 基于改进熵权和 Vague 集的多目标防洪调度决策方法[J]. *水电能源科学*, 2010, 28(6):32-35.
LI Yinghai, ZHOU Jianzhong. Modified entropy method and vague set based multi-objective flood control decision making approach[J]. *Water Resources and Power*, 2010, 28(6):32-35.
- [19] LAI Chengguang, CHEN Xiaohong, CHEN Xiaoyu, et al. A fuzzy comprehensive evaluation model for flood risk based on the combination weight of game theory[J]. *Natural Hazards*, 2015, 77: 1 243-1 259.
- [20] 赵坤, 高建伟, 祁之强, 等. 基于前景理论及云模型风险型多准则决策方法[J]. *控制与决策*, 2015, 30(3):395-402.
ZHAO Kun, GAO Jianwei, QI Zhiqiang, et al. Multi-criteria risky-decision-making approach based on prospect theory and cloud model[J]. *Control and Decision*, 2015, 30(3):395-402.
- [21] 弓晓敏, 于长锐. 基于云模型的改进 TODIM 方案评价方法[J]. *系统工程与电子技术*, 2018, 40(7):1 539-1 547.
GONG Xiaomin, YU Changrui. Improved TODIM approach for alternative evaluation based on cloud mode[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2018, 40(7):1 539-1 547.
- [22] 徐士东, 耿秀丽. 云模型与 TOPSIS 相结合的多属性群决策方法[J]. *计算机应用研究*, 2017, 34(10):2 964-2 967.
XU Shidong, GENG Xiuli. Method of multi-attribute group decision-making by combining cloud model and TOPSIS[J]. *Application Research of Computers*, 2017, 34(10):2 964-2 967.

作者简介: 黄国平 (1970—),男,湖南安仁人,博士,副教授,主要从事应急物流工程与管理方面的研究。E-mail: 348858677@ qq.com。

