

基于组合赋权的可拓云模型评价方法

陈湘瑜

(浙江万里学院物流与电子商务学院, 浙江 宁波 315100)

摘要: 针对评价过程中存在的不确定性和模糊随机性等问题,为获得相对客观全面的评价结果,设计一种优于单一评价方法的组合赋权和可拓云模型结合评价方法模型。为最大程度减少主观因素影响,采用三角模糊层次分析法和熵权法分别计算主客观指标权重,然后利用博弈论方法确定组合权重。最后采用基于物元可拓理论的可拓云计算评价方法,解决评价中存在的离散问题并通过实例验证该模型对评价问题的可行性。研究表明,基于组合赋权的可拓云模型在评价问题中的应用是有效的。

关键词: 组合赋权;可拓云模型;云相似度;评价

中图分类号: C934 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)14-0042-08

在管理过程中,由于评价对象、评价视角和评价层级的差异,因此,评价对象的特性、评价活动的目标与基点、评价依据的价值评判准则和评价矢量的尺度等各不相同。现有的评价手段主要有层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)、模糊综合评价法和数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)法等。同时,各种评估手段的相继问世,使得评估的理论体系日趋成熟。但是,现有的评估手段在实践中都有各自的局限。比如,在模糊综合评判法中,对隶属度的判断和综合算法的研究还不够深入;对于影响因素众多、规模庞大的情况,AHP很难处理;数据包络分析法是一种有效的方法,它在处理投入产出等方面存在一定的困难。云模型是李德毅和刘常昱^[1]首先将模糊与随机相融合,建立的一种从定性到量化的统一模式,这种方法建立在模糊数学与随机统计学基础之上,既能用数学的数值性质来表示定性与量化的性质,又能考虑到问题本身的模糊与不确定性。物元评价法已经被广泛地运用到了工程学科中。近些年,许多学者又将灰色理论与模糊理论与物元法进行了有机地融合,分别建立了“灰元”与“模糊元”,并以“灰元”与“模糊元”为基础构建了一种新的评价模式,并获得了一些实际结果^[2]。在评估方法方面,胡涛等^[3]首先将云建模技术应用到物元分析中,构建了一种可以同时定性定量两方面融合的云建模技术。甘浪雄等^[4]将云与可拓建模相融合,考虑

到领航人所处的环境风险评估具有随机、模糊特性,构建规范的典型模式云,通过分析被评估对象与常规模式云的相关程度,提出基于可信度的评估方法,实现对领航人的安全评估。在实际应用中,贺思乐等^[5]使用可拓云模型方法解决了围岩评价过程中因为等级分界与数据获取而产生的不确定性问题;黄洪等^[6]将可拓云模型引入公路洪灾风险评价中,解决指标取值存在的模糊性问题;谢庆等^[7]构建标准化的云物元模型,通过计算待评物元与标准云之间的云关联度,从而达到对油纸绝缘阀侧管套结构性能的精确评价,并通过算例分析,证明所提出的分析模型是可行的。本文以云计算理论为指导,将云模型的不确定性与物元理论定性定量分析的优势有机地结合起来,实现评估问题的定性定量表达的相互映射,构建面向复杂系统的可拓云模型评估新技术。

在已有文献基础上,本文拟将物元可拓与云模型方法引入到评估问题中,利用三角模糊 AHP 及熵权法来求解主、客观指标权重,再利用博弈论方法确定各指标的综合权值,降低人为干扰。在此基础上,以物元可拓为基础,建立考虑不确定性和随机性的可拓云模型评价方法。并以实际应用为例,对所提出的方法进行了验证。

1 基础理论

1.1 云模型

云模型既可以体现自然语言中的不确定性,又可以体现随机和模糊的联系,从而实现定性和量化的相

收稿日期: 2024-03-15

作者简介: 陈湘瑜(2000—),女,浙江绍兴人,硕士研究生,研究方向为港口物流与供应链管理。

互关系^[5]。云模型理论指出,决策者在做出决策或评估时,其观点并非一成不变,具有相当程度的模糊性与不确定性。这样,在实际应用中,就可以使用云模型对评估信息进行描述与处理。云模型包含 3 个数字特征,分别为期望 E_x 、熵 E_n 与超熵 He ^[6]。期望 E_x 是在一个定义域中表示定性概念的点;熵 E_n 表示定性概念的不确定性和随机性,对云的离散度进行了可视化的刻画;超熵 He 反映云凝聚程度。

设一个集 $U=\{x\}$,称作一个域,即一个域 U 上的一个定义,若 $x \in U$ 是一个单维的随机实现,则 x 在 C 上的隶属度 $\mu(x)$ 是一个趋向于稳定的随机数字,即

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

1.2 可拓云理论

可拓元理论是以可拓元作为基本单元,通过构造可拓模型,将可扩事物、特征和对应的值组成的 3 元组作为基本元,用 $R=(N,c,v)$ 表示。其中, N 为事物,即可拓元; c 为特征的名,也就是事元; v 为 N 对 c 的取值,也就是关系元^[7]。如果某物的特征元素数量很多,则可将其表示为 n 维物元:

$$R = \begin{bmatrix} N, & c_1, & v_1, \\ & c_2, & v_2, \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n, & v_n, \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N, & c_1, & v_1(N), \\ & c_2, & v_2(N), \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n, & v_n(N), \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: R 为多维物元, R 的分可拓元 $R_i=(N_i, c_i, v_i)$, 其中 $i=1,2,\dots,n$ 。

可拓云模型将可拓模型与云模型有机地融合

在一起,用期望 E_x 、熵 E_n 、超熵 He 代替事物特征值 N ,构建可拓云模型。其中,期望 E_x 为评估指数分级的具体数值;熵 E_n 是指在获得样本的情况下,对评价体系进行随机分析,并对其进行模糊化描述;超熵 He 是用来刻画评估目标的不确定度,它的大小代表评估目标的离散性,能更好地刻画各个评估指标的随机和模糊特性。

2 基于组合赋权的可拓云模型评价方法

针对指标较多的评价问题,传统评价方法往往是定量或定性单一评价,无法全面反映评价过程的随机性与模糊性。因此,本文提出一种基于组合赋权的可拓云模型评价法,将组合赋权与物元可拓云模型相结合,利用三角模糊层次分析法和熵权法主客观结合再用博弈论组合赋权确定指标权重,从而减少在评估时的主观性,使得评估结果更具科学合理性。物元可拓理论与云模型相融合的可拓云模型,在自身不确定推理方面的优势下,将评价中具有模糊性、难以量化的因素通过云模型进行量化,有效弥补物元理论评估中将事物当作定值描述的弊端,使评价过程更加客观并具有说服力。基于组合赋权的可拓云模型评价流程如图 1 所示。

基于组合赋权的可拓云模型评价方法可分为以下步骤:将三角模糊数与层次分析法结合对指标进行主观赋权;采用熵值原理使用熵权法计算指标的客观权重;使用博弈论进行组合赋权,最终确定权重组合向量;构建待评可拓云模型,通过对评价等级标准云和评价等级指标综合云的建立,来进行相似性的计算和评价等级的判定。最终,按照最大

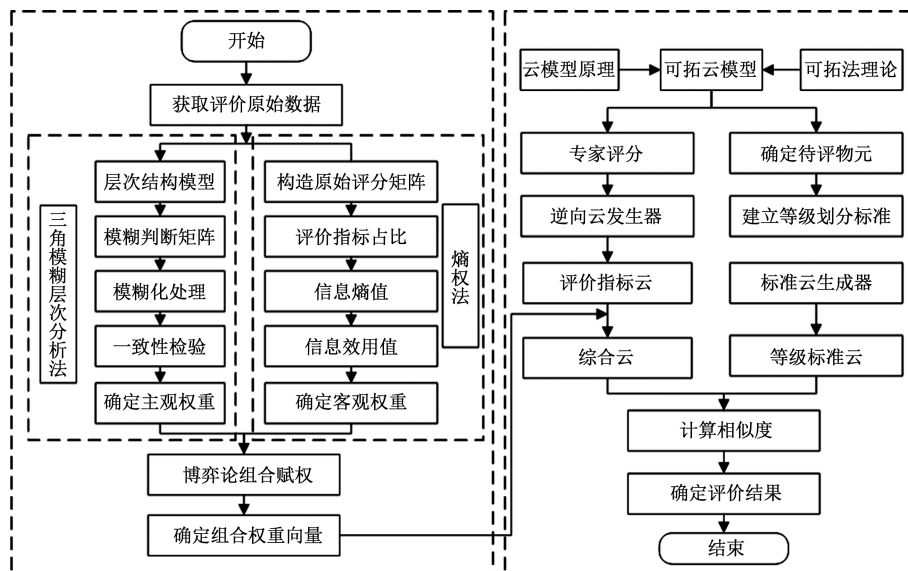


图 1 可拓云模型评价流程

相似度原则,对评估等级进行客观地划分,并在此基础上,给出了改善措施。

2.1 三角模糊层次分析法主观赋权

三角模糊层次分析法是将三角模糊数与层次分析法进行结合,从而更好地实现对事物的决策^[8],具体步骤如下:

(1)建立三角模糊判断矩阵。

将各个层级的指标进行成对的比对,再利用尺度将其量化,形成三角模糊判断矩阵。专家对两个指标重要性的判断结果,通过三角模糊数 (l, m, u) 进行量化表达。这里, l 和 u 代表了判断的模糊度,而中位数 m 的数值是根据 $0.1 \sim 0.9$ 的标度来决定的,如表1所示。

表1 隶属度函数

标度	含义
0.5	同等重要
0.6	稍微重要
0.7	明显重要
0.8	重要得多
0.9	极端重要
0.1, 0.2, 0.3, 0.4	若元素 a_i 与元素 a_j 相比较得到判断 r_{ij} ,则两元素相比较得到的判断为 $r_{ji}=1-r_{ij}$

根据三角模糊数构成的模糊判断矩阵为 $A = (a_{ij})_{n \times n}$,如式(3)所示。

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

为消除专家评价不同对结果所造成的影响,需要对矩阵进行模糊化处理。设三角函数 $M(l, m, u)$ 的期望值 $E(M)$ 定义为式(4):

$$E(M) = [(1-\lambda)l + m + \lambda u]/2, 0 \leq \lambda \leq 1 \quad (4)$$

式中: l, m, u 分别为评价指标相对重要度的模糊区间上界、中界和下界; λ 为模糊化系数,本文取 $\lambda=0.5$ 。

(2)矩阵一致性检验。

一致性检验是指根据三角模糊互补判断矩阵,对于某上一层指标而言,与之对应的本层次指标重要性次序的权重计算过程^[9]。计算公式为

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

式中:CI为一致性指标值; $\lambda_{\max}$ 为矩阵的最大特征根; n 为指标个数;CR为一致性比率;表2取值表示随机一致性指标RI。当 $n=1, 2$ 时, $RI=0$,基本认

表2 随机一致性指标RI的取值

n	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.45

为一、二阶判断矩阵满足一致性检验;当 $n \geq 3$ 时,则需要一致性检验。

(3)指标权重计算。

设 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 为满足一致性检验的三角模糊判断矩阵,其中三角模糊数表示为 $a_{ij} = (a_{lij}, a_{mij}, a_{uij})$ 。用式(7)可求出三角模糊数权重向量 $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T$:

$$W_i = \left(\frac{\sum_{j=1}^n a_{lij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{lij}}, \frac{\sum_{j=1}^n a_{mij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{mij}}, \frac{\sum_{j=1}^n a_{uij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{uij}} \right), i \in N \quad (7)$$

最后根据式(4)将三角模糊数权重转化成实数权重,并通过归一化处理确定最终权重。

2.2 熵权法客观赋权

熵权法采用熵值原理计算指标的客观权重,具体步骤如下^[10-11]。

(1)原始数据矩阵构造。

设有评价指标 n 个,评价对象 m 个,组成原始数据矩阵为

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中:第 i 个评价对象的第 j 个评价指标的实际数值由 x_{ij} 表示。

(2)评价指标比重。

计算第 j 个评价指标中,第 i 个评价对象的指标比重为

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (9)$$

因此,建立评价指标数据的比重矩阵为

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ p_{m1} & p_{m2} & \cdots & p_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

(3)评价指标的信息熵值。

第 j 个评价指标的信息熵 e_j 定义为

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (11)$$

(4)评价指标的信息效用值。

第 j 个评价指标的信息效用 d_j 定义为

$$d_j = 1 - e_j \quad (12)$$

(5)评价指标权重。

运算获取评价指标的客观权重 w_j 为

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (13)$$

2.3 博弈论组合赋权

博弈论可以综合考虑主、客观权重,通过各主、客观权重间的偏差最小化,实现最优的权重组合^[12],具体过程如下。

将主观权重与客观权重分别记为 $w_1 = (w_{11}, w_{12}, \dots, w_{1n})$, $w_2 = (w_{21}, w_{22}, \dots, w_{2n})$, 并进行线性组合,如式(14)所示:

$$w = \alpha_1 w_1^T + \alpha_2 w_2^T \quad (14)$$

式中: α_1 、 α_2 分别为主、客观权重的组合系数。

根据博弈论原理,采用极小化偏差计算组合系数,如式(15)所示:

$$\min(\|w - w_1^T\|_2 + \|w - w_2^T\|_2) = \min(\|\alpha_1 w_1^T + \alpha_2 w_2^T - w_1^T\|_2 + \|\alpha_1 w_1^T + \alpha_2 w_2^T - w_2^T\|_2) \quad (15)$$

式中: $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$ 。

通过求解该模型,根据微分原理^[13]:

$$\begin{cases} \alpha_1 w_1 w_1^T + \alpha_2 w_1 w_2^T = w_1 w_1^T \\ \alpha_2 w_2 w_1^T + \alpha_2 w_2 w_2^T = w_2 w_2^T \end{cases} \quad (16)$$

对应的线性方程为

$$\begin{bmatrix} w_1 w_1^T & w_1 w_2^T \\ w_2 w_1^T & w_2 w_2^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 w_1^T \\ w_2 w_2^T \end{bmatrix} \quad (17)$$

根据式(17)求得组合系数,然后根据式(18)将组合系数进行归一化处理:

$$\alpha_i^* = \frac{\alpha_i}{\sum_{k=1}^2 \alpha_k} \quad (18)$$

根据式(19)得到评价指标的最终组合权重为

$$w^* = \alpha_1^* w_1^T + \alpha_2^* w_2^T \quad (19)$$

2.4 基于组合赋权的可拓云模型

可拓云模型的事物特征值 N 用云模型中的期望 Ex 、熵 En 、超熵 He 取代,构造可拓云模型,具体步骤如下所示^[14]。

(1)待评可拓云模型。

可拓云模型表示为

$$R = \begin{pmatrix} N & c_1 & (Ex_1, En_1, He_1) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ c_n & (Ex_n, En_n, He_n) \end{pmatrix} \quad (20)$$

式中: R 为评价的等级划分; c_n 为各评价指标的得分值; Ex_n 、 En_n 、 He_n 分别为各评价等级对评价指标的云描述。

(2)评价等级标准云。

云模型将指标评价论域 U 划分成 L 个子区间,其中第 i 个子区间为 $[l_i^{\min}, l_i^{\max}]$, 该子区间对应的评价标准云的数字特征为 (Ex_i, En_i, He_i) , 计算公式如下所示:

$$\begin{cases} Ex_i = (l_i^{\max} + l_i^{\min})/2 \\ En_i = (l_i^{\max} - l_i^{\min})/6 \\ He_i = k \end{cases} \quad (21)$$

式中: Ex_i 、 En_i 、 He_i 分别为第 i 个区间标准云的期望、熵、超熵; k 为常数,需根据实际模糊阈值进行调整,本文取 $k = En_i/10$ 。

将评语集确定为很差、较差、一般、良好、优秀,评语集各子区间对应的标准云数字特征如表 3 所示,评价等级的标准云图如图 2 所示。

(3)评价等级指标云。

由 I 位专家对 m 个评价指标评分,形成指标评价矩阵 Z ,其中 Z_{ij} 为第 i 个专家对第 j 个指标的评价值,通过式(22)计算得到指标评价云 $C_j(Ex_j, En_j, He_j)$ 。

$$\begin{cases} Ex_j = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I z_{ij} \\ En_j = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I |z_{ij} - Ex_j| \\ He_j = \sqrt{|S_j^2 - En_j^2|} \end{cases} \quad (22)$$

表 3 评价等级数字特征

等级	区间	Ex	En	He
很差(I)	[0,20]	10	3.333 3	0.333 3
较差(II)	[20,40]	30	3.333 3	0.333 3
一般(III)	[40,60]	50	3.333 3	0.333 3
良好(IV)	[60,80]	70	3.333 3	0.333 3
优秀(V)	[80,100]	90	3.333 3	0.333 3

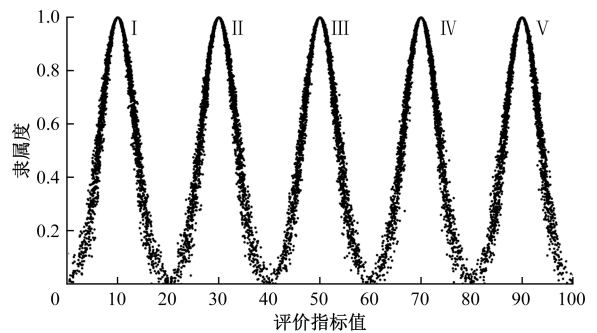


图 2 评价等级标准云图

式中: $S_j^2 = \frac{1}{I-1} \sum_{i=1}^I (z_{ij} - E_{xj})^2$ 为第 j 个指标的专家评分的方差。

(4) 评价指标综合云。

评价指标的综合云计算公式为

$$\begin{cases} E_x = \frac{Ex_1w_1 + Ex_2w_2 + \dots + Ex_nw_n}{w_1 + w_2 + \dots + w_n} \\ E_n = \frac{En_1w_1^2 + En_2w_2^2 + \dots + En_nw_n^2}{w_1^2 + w_2^2 + \dots + w_n^2} \\ He = \frac{He_1w_1^2 + He_2w_2^2 + \dots + He_nw_n^2}{w_1^2 + w_2^2 + \dots + w_n^2} \end{cases} \quad (23)$$

式中: $w_1, w_2, \dots, w_n$ 为指标的组权重。

(5) 相似度的计算及评价等级的确定。

设 V_1, V_2 分别为两朵评价云, 其对应的云特征值分别表示为 $V_1 (Ex_1, En_1, He_1), V_2 (Ex_2, En_2, He_2)$, 其相似度 $V(V_1, V_2)$ 可由式(24)得到, 并在最大相似度原则基础上, 确定客观评价等级。

$$V = (V_1, V_2) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2\mu} - \mu \quad (24)$$

式中: μ 和 β 的计算公式如下:

$$\mu = \int_{-\infty}^{\beta} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt \quad (25)$$

$$\beta = \frac{|Ex_2 - Ex_1|}{\sqrt{En_1^2 + He_1^2} + \sqrt{En_2^2 + He_2^2}} \quad (26)$$

(6) 评价结果确定。

在以上评价基础上, 利用正态云产生和标准云模型的云比较, 对合成云图进行评估, 并给出改进措施。

3 算例分析

3.1 算例背景

某制造企业为应对市场日益激烈的竞争以及客户的需求, 该企业进行了服务化创新, 初步实现了向服务型制造企业的战略转型。为检验服务化创新成果, 该企业高层管理人员决定对企业的服务化创新进行绩效评价。现筛选出两个在服务化创新中较为关键的指标作为一级指标, 即服务创新过程绩效(A_1)、服务创新产出绩效(A_2), 并确定二、三级指标, 建立制造企业服务化创新绩效评价指标体系^[15-16], 结果如表4所示。

表4 评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标
服务创新过程绩效(A_1)	外部关系交互(B_1)	供应商参与程度(C_1)
		获取顾客知识能力(C_2)
		与其他企业服务创新部门交流频率(C_3)
		与高校、研究机构关系密切程度(C_4)
		服务创新人员接触国内外相关领域程度(C_5)
		是否由于服务创新产生新的伙伴关系(C_6)
	企业内部行为(B_2)	企业管理层人员对服务创新重视程度(C_7)
		企业对服务创新部门投入(C_8)
		服务创新部门人员占比率(C_9)
		非服务创新部门对服务创新的积极性(C_{10})
		企业对营造服务创新氛围的重视程度(C_{11})
		企业各部门间对于服务创新交流频率(C_{12})
服务创新产出绩效(A_2)	财务方面(B_3)	是否形成新的商业模式(C_{13})
		服务创新所导致的销售量的增长(C_{14})
		服务创新所导致的销售量的增长(C_{15})
	市场方面(B_4)	服务创新的投资回报率(C_{16})
		客户开发率(C_{17})
		客户满意程度(C_{18})
		客户保持率(C_{19})
		市场占有率(C_{20})

3.2 评价指标权重确定

3.2.1 主观权重确定

根据三角模糊层次分析理论, 结合 0.1~0.9 标度法对评价指标体系中的三级指标中的 $C_1 \sim C_6$ 指标进行成对的重要性比较, 从而构造出三角模糊判断矩阵, 构造结果如表5所示。

根据式(5)和式(6), 计算出表5中矩阵的 $\lambda_{\max} = 6.0306$, $CI = 0.0061$, $RI = 1.24$, 则一致性比例 $CR = 0.0049 < 0.1$ 满足了一致性检验。然后根据式(7)可以计算出 $C_1 \sim C_6$ 的权重分别为 0.0947、0.2498、0.1278、0.2221、0.12278、0.1778。

同样, 通过构造其他层次之间的三角模糊评判矩阵, 可以获得每一种评估指数的权值, 再按照每一层对上一层次的影响力加权, 就可以算出这一层与上面的关系, 得出各个评估指数的最后加权值, 最后得出一个评估指数的最后加权值, 得出最终如表6所示的结果。

3.2.2 客观权重确定

通过邀请 5 位专家对评价指标体系中的 20 个

表5 $C_1 \sim C_6$ 评价指标的三角模糊判断矩阵

指标	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
C_1	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.05, 0.1, 0.15)	(0.3, 0.35, 0.4)	(0.1, 0.15, 0.2)	(0.3, 0.35, 0.4)	(0.2, 0.25, 0.3)
C_2	(0.85, 0.9, 0.95)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.8, 0.85, 0.9)	(0.6, 0.65, 0.7)	(0.8, 0.85, 0.9)	(0.7, 0.75, 0.8)
C_3	(0.6, 0.65, 0.7)	(0.1, 0.15, 0.2)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.15, 0.2, 0.25)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.25, 0.3, 0.35)
C_4	(0.8, 0.85, 0.9)	(0.3, 0.35, 0.4)	(0.75, 0.8, 0.85)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.75, 0.8, 0.85)	(0.65, 0.7, 0.75)
C_5	(0.6, 0.65, 0.7)	(0.1, 0.15, 0.2)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.15, 0.2, 0.25)	(0.5, 0.5, 0.5)	(0.25, 0.3, 0.35)
C_6	(0.7, 0.75, 0.8)	(0.2, 0.25, 0.3)	(0.65, 0.7, 0.75)	(0.25, 0.3, 0.35)	(0.65, 0.7, 0.75)	(0.5, 0.5, 0.5)

评价指标进行重要度评分,分值为 0~10 分,分值越大代表重要程度越高,从而形成了评价指标矩阵。结合熵权理论计算出评价指标的客观权重,结果如表 7 所示。

3.2.3 组合权重确定

基于博弈论对评价指标的主、客观权重进行线性组合加权,得到主客观的组合系数分别为 0.333 3 和 0.666 7,各指标组合权重确定如表 8 所示。

表 6 评价指标的最终主客观权重

一级指标	一级权重	二级指标	二级权重	三级指标	三级权重	主客观权重
C ₁	0.624 8	B ₁	0.375 2	C ₁	0.094 7	0.022 2
				C ₂	0.249 8	0.058 6
				C ₃	0.127 8	0.030 0
				C ₄	0.222 1	0.052 1
				C ₅	0.127 8	0.030 0
				C ₆	0.177 8	0.041 7
		B ₂	0.6248	C ₇	0.249 8	0.097 5
				C ₈	0.222 1	0.086 7
				C ₉	0.100 1	0.039 0
				C ₁₀	0.100 1	0.039 0
				C ₁₁	0.194 4	0.075 9
				C ₁₂	0.133 5	0.052 1
C ₂	0.375 2	B ₃	0.325 2	C ₁₃	0.380 9	0.046 5
				C ₁₄	0.156 5	0.019 1
				C ₁₅	0.206 4	0.025 2
				C ₁₆	0.256 2	0.031 3
		B ₄	0.674 8	C ₁₇	0.200 0	0.050 6
				C ₁₈	0.262 6	0.066 5
				C ₁₉	0.337 4	0.085 4
				C ₂₀	0.200 0	0.050 6

表 7 评价指标的客观权重

评价指标	信息熵值	信息效用值	客观权重
C ₁	0.994 9	0.005 1	0.047 7
C ₂	0.997 9	0.002 1	0.019 5
C ₃	0.992 4	0.007 6	0.071 1
C ₄	0.990 6	0.009 4	0.088 2
C ₅	0.996 3	0.003 7	0.035 0
C ₆	0.996 1	0.003 9	0.036 5
C ₇	0.997 9	0.002 1	0.019 5
C ₈	0.998 5	0.001 5	0.014 4
C ₉	0.996 6	0.003 4	0.032 0
C ₁₀	0.997 2	0.002 8	0.026 6
C ₁₁	0.994 9	0.005 1	0.048 0
C ₁₂	0.994 4	0.005 6	0.052 2
C ₁₃	0.977 2	0.022 8	0.213 8
C ₁₄	0.997 2	0.002 8	0.026 6
C ₁₅	0.990 2	0.009 8	0.091 9
C ₁₆	0.994 3	0.005 7	0.053 4
C ₁₇	0.997 2	0.002 8	0.026 6
C ₁₈	0.997 2	0.002 8	0.026 6
C ₁₉	0.996 9	0.003 1	0.028 8
C ₂₀	0.995 6	0.004 4	0.041 6

3.3 评价结果确定

邀请 5 位专家根据制造企业服务化创新绩效评价的实际情况,按照表 3 中的等级区间对各指标进行打分,然后计算出每个三级评价指标的云模型数字特征,结果如表 9 所示。

基于表 9 中的运算结果,对每个指数的数值特性进行了计算,由此获得了每个二级指标和一级指标的数值特性,并按照公式(24)~式(26)来计算评估云模型的相似程度,确定各指标的具体等级,结果如表 10 所示。

表 8 评价指标的组合权重

评价指标	主客观权重	客观权重	组合权重
C ₁	0.022 2	0.047 7	0.039 2
C ₂	0.058 6	0.019 5	0.032 5
C ₃	0.030 0	0.071 1	0.057 4
C ₄	0.052 1	0.088 2	0.076 2
C ₅	0.030 0	0.035 0	0.033 3
C ₆	0.041 7	0.036 5	0.038 2
C ₇	0.097 5	0.019 5	0.045 5
C ₈	0.086 7	0.014 4	0.038 5
C ₉	0.039 0	0.032 0	0.034 3
C ₁₀	0.039 0	0.026 6	0.030 7
C ₁₁	0.075 9	0.048 0	0.057 3
C ₁₂	0.052 1	0.052 2	0.052 2
C ₁₃	0.046 5	0.213 8	0.158 0
C ₁₄	0.019 1	0.026 6	0.024 1
C ₁₅	0.025 2	0.091 9	0.069 7
C ₁₆	0.031 3	0.053 4	0.046 0
C ₁₇	0.050 6	0.026 6	0.034 6
C ₁₈	0.066 5	0.026 6	0.039 9
C ₁₉	0.085 4	0.028 8	0.047 7
C ₂₀	0.050 6	0.041 6	0.044 6

表 9 评价指标打分值

评价 指标	专家 1	专家 2	专家 3	专家 4	专家 5	(Ex,En,He)
C ₁	78	65	72	70	68	(70.6,4.411 7,2.082 6)
C ₂	55	50	58	56	53	(54.4,2.907 7,0.919 4)
C ₃	55	57	50	60	53	(55.0,3.509 3,1.478 2)
C ₄	55	58	58	55	55	(56.2,1.804 8,0.746 5)
C ₅	38	36	38	37	38	(37.4,0.902 4,0.119 6)
C ₆	58	50	56	53	55	(54.4,2.907 7,0.919 4)
C ₇	77	75	72	76	70	(74.0,3.008 0,0.740 1)
C ₈	88	86	85	90	83	(86.4,2.606 9,0.710 0)
C ₉	75	70	73	75	77	(74.0,2.506 6,0.846 6)
C ₁₀	58	50	55	53	48	(52.8,3.810 1,1.087 8)
C ₁₁	88	90	87	88	85	(87.6,1.604 2,0.852 3)
C ₁₂	68	70	73	78	75	(72.8,3.810 1,1.087 8)
C ₁₃	78	75	70	76	68	(73.4,4.411 7,1.289 5)
C ₁₄	89	88	90	85	88	(88.0,1.504 0,1.112 7)
C ₁₅	78	77	75	78	73	(76.2,2.205 8,0.407 1)
C ₁₆	55	58	57	58	55	(56.6,1.604 2,0.523 1)
C ₁₇	88	85	80	83	88	(84.8,3.308 7,0.867 3)
C ₁₈	90	92	90	88	86	(89.2,2.205 8,0.578 2)
C ₁₉	88	85	83	88	87	(86.2,2.205 8,0.407 1)
C ₂₀	75	77	79	73	75	(75.8,2.205 8,0.578 2)

表10 各指标的评价等级结果

评价指标	云模型数字特征	很差	较差	一般	良好	优秀	评价结果
B_1	(54.67,2.740 6,1.044 3)	0.000 0	0.000 1	0.376 9	0.011 0	0.000 0	一般
B_2	(74.60,2.891 0,0.887 4)	0.000 0	0.000 0	0.000 1	0.389 1	0.011 8	良好
B_3	(73.55,2.431 4,0.833 1)	0.000 0	0.000 0	0.000 1	0.463 4	0.004 1	良好
B_4	(84.00,2.481 6,0.607 7)	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.013 3	0.246 4	优秀
A_1	(64.63,2.815 8,0.965 9)	0.000 0	0.000 0	0.015 6	0.321 4	0.000 0	良好
A_2	(78.78,2.456 5,0.720 4)	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.105 6	0.043 6	良好

由表10可以看出,二级指标中外部关系交互(B_1)等级为一般,企业内部行为(B_2)和财务方面(B_3)等级均为良好,市场方面(B_4)等级为优秀;一级指标服务创新过程绩效(A_1)和服务创新产生绩效(A_2)均为良好。

结合表9中各评价指标的专家打分值,根据式(23)计算制造企业服务化创新绩效的评价云模型数字特征为(70.600 0,3.227 0,0.994 8),通过正态云生成与标准云模型的对比(图3),并计算与标准云的相似度情况,如表11所示。

由图3可知,制造企业服务化创新绩效综合评价云图大致处于横坐标60~80的区间,云滴集中分布于良好的标准云图之间;由表11可知,最大相似度为0.898 7,即制造企业服务化创新绩效的综合评价云与良好的标准云最为相似。综上所述,制造企业服务化创新绩效综合评价等级为良好。

综上,针对该企业外部关系交互方面存在的缺陷,提出以下建议:首先,提高供应商的参与度,并与其紧密协作,为企业提供更多的优化机遇,从而降低产品寿命期内的总体库存成本;其次,加强对顾客知识获取的能力,全面地掌握与客户有关的数据;最后,不断加强与学术界领域的交流,如委托高校培养相关管理人员等。

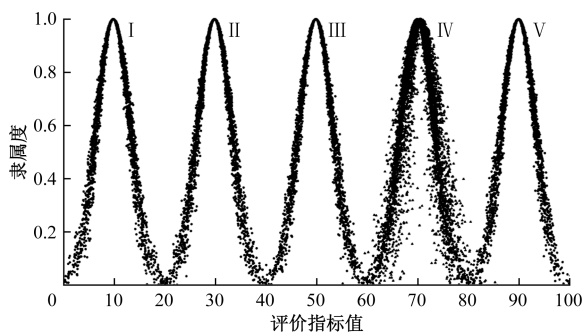


图3 综合评价云图

表11 评价云与标准云的相似度

评价等级	很差	较差	一般	良好	优秀
相似度	0.000 0	0.000 0	0.001 7	0.898 7	0.002 9

4 结论

由三角模糊层次分析法、熵权法确定评价指标的主客观权重,然后利用博弈论确定组合权重的组合赋权法一定程度上消除了单一赋权的局限性,使得评价指标的权重更加科学、合理。对于传统的可拓模型,各个评估指标的极限值或度量值通常用一个固定值 V 来描述,忽视了其自身的随机、模糊特性,易导致局部信息缺失。云模型可利用特定的数学表述精确地将随机与模糊相结合,从而达到评价过程中兼具不确定性推理特征与定性描述和定量数据的目的。可拓云模型能真正地体现指标之间的模糊性、随机性和不确定性,提高了评估的精度,实现了在评价过程中,通过定性和定量的互相转化,科学、合理地描述评价体系的不确定性。

参考文献

- [1] 李德毅,刘常昱.论正态云模型的普适性[J].中国科学工程,2004,6(8):29-34.
- [2] 邵立周,唐红.基于灰白化权函数的装备维修科研绩效评估[J].海军工程大学学报,2003,15(6):54-59.
- [3] 胡涛,王树宗,杨建军.基于云模型的物元综合评估方法[J].海军工程大学学报,2006(1):85-88.
- [4] 甘浪雄,程小东,王晨.基于云物元理论的引航环境风险评价模型研究[J].安全与环境学报,2018,18(2):418-422.
- [5] 贺思乐,靳春玲,祁英弟,等.基于RS-可拓云模型的水工隧洞围岩安全评价[J].水电能源科学,2020,38(7):138-141.
- [6] 黄淇,牟风云,张用川,等.基于可拓云模型的重庆中心城区公路洪灾风险评价[J].水土保持通报,2022,42(3):157-165.
- [7] 谢庆,齐晨晨,肖朝轩,等.基于可拓云模型与综合赋权的油纸绝缘阀侧套管状态评估[J].高压电器,2023,59(7):136-144.
- [8] 刘俊,李云飞,雷亦敏,等.基于三角模糊层次分析法的农产品滞销风险等级决策评价[J].数学的实践与认识,2019,49(15):299-305.
- [9] 王韦霞.三角模糊层次分析法在教师绩效评价体系的应用[J].西昌学院学报(自然科学版),2019,33(4):43-47.

- [10] 黎松龄, 陈宁, 陈颖, 等. 基于模糊理论和熵权法的电网调度员实操评价[J]. 制造业自动化, 2023, 45(8): 188-193.
- [11] 刘玮, 周华任, 黄春艳. 基于灰色-熵权法的合成旅装备战斗力评估[J]. 计算机仿真, 2023, 40(4): 26-30.
- [12] 王其虎, 熊淦麟, 叶义成, 等. 基于博弈论-可拓云模型的尾矿库溃坝后果评价[J]. 矿业研究与开发, 2023, 43(11): 137-142.
- [13] 苏广全, 吕海深, 朱永华, 等. 基于博弈论组合赋权的洪水风险评价——以武威地区为例[J]. 干旱区研究, 2022, 39(3): 801-809.
- [14] 邢斐, 李莎莎, 崔铁军. 基于PSR-可拓云模型的井工煤矿区生态安全评价[J]. 水土保持通报, 2023, 43(2): 341-349.
- [15] 梁永康, 杨水利. 制造企业服务化绩效评价指标体系研究[J]. 运筹与管理, 2018, 27(9): 176-180.
- [16] 刘如月, 杨惠馨. 制造企业的用户整合对服务创新绩效的影响[J]. 管理科学, 2020, 33(2): 33-49.

Evaluation Method of Topable Cloud Model Based on Combination Assignment

CHEN Xiangyu

(School of Logistics and E-commerce, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315100, Zhejiang, China)

Abstract: In view of the problems of uncertainty and fuzzy randomness in the evaluation process, in order to obtain relatively objective and comprehensive evaluation results, a model of combined evaluation method of combination assignment and topable cloud model is designed which is superior to the single evaluation method. In order to minimize the influence of subjective factors, the triangular fuzzy hierarchical analysis method and entropy weighting method are used to calculate the weights of subjective and objective indexes respectively, and then the game theory method is used to determine the combination weights. The topable cloud computing evaluation method based on the theory of object element topability is able to address the random factors in the evaluation and effectively solve the discrete problems in the evaluation. Thus, it increases the accuracy of the evaluation results and realizes the scientific and reasonable description of the uncertainty of the evaluation system through the mutual transformation of qualitative and quantitative in the evaluation process. Finally, the feasibility of the model for the evaluation problem is verified by examples. The research results show that the application of the combinatorial-assignment-based topological cloud model to the evaluation problem is effective.

Keywords: combinatorial assignment; topologizable cloud models; cloud similarity; evaluation