

基于双层专家权重确定的风险型大群体决策

耿秀丽[†], 肖子涵, 孙绍荣

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

摘要: 针对风险型大群体决策问题, 考虑专家权重确定的复杂性, 提出基于累积前景理论的决策信息处理和考虑双层专家权重确定的大群体决策方法. 采用二元语义获取并表达专家的评价信息; 基于累积前景理论计算方案的综合前景价值矩阵; 采用双层专家权重确定方法, 第 1 层利用聚类方法对大群体成员价值向量进行聚类, 根据聚类结果确定聚集群权重, 第 2 层利用熵权法获得专家熵权, 二者结合得到专家权重. 通过确定专家权重和综合前景价值矩阵得出最终的决策结果. 最后通过算例表明了所提出方法的可行性和有效性.

关键词: 大群体决策; 二元语义; 专家权重; 累积前景理论; 聚类分析

中图分类号: C934

文献标志码: A

Risky large group decision-marking based on two-lawyer expert weight determination

GENG Xiu-li[†], XIAO Zi-han, SUN Shao-rong

(Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Aiming at the problem of risky large group decision-marking and considering the complexity of experts' weights determination, a large-group decision-making approach based on the cumulative prospect theory and two-lawyer expert weight determination is proposed. The 2-tuple linguistic representation model is used to capture and express the evaluation information of experts. The comprehensive prospect value matrix for alternatives is calculated by using the cumulative prospect theory. A two-lawyer expert weight determination method is proposed. Value vectors of experts are classified by using the clustering method and clusters' weights are confirmed by using the clustering result at the first lawyer. The experts' entropy weights are obtained by using the entropy weight method at the second lawyer. The final experts' weights are got by combining the clusters' weights and the experts' entropy weights. The final decision result is obtained by considering the experts' weights and the comprehensive prospect value matrix. Finally, a practical example is provided to illustrate the effectiveness and feasibility of the proposed approach.

Keywords: large group decision-marking; 2-tuple linguistic; expert weight; cumulative prospect theory; cluster analysis

0 引言

随着社会经济的发展和环境复杂性的加剧, 由于专家或决策者知识的局限, 规划、战略等决策问题需要大量人员共同参与决策过程, 大群体决策问题的研究越来越引起人们的重视. 文献[1]针对大群体决策中评价者意见不一致问题, 采用序关系分析法确定评价者权重, 引入改进的粒子群优化算法对复杂大群体进行评价. 文献[2]针对区间数形式的大群体决策问题, 提出了通过区间数聚类算法获得群体偏好矩阵, 利用诱导有序加权平均算子确定属性的权重, 结

合方案的综合价值得出最优方案的方法. 文献[3]针对多阶段大群体应急决策问题, 利用区间模糊数相似度公式对专家偏好信息进行聚类, 构建相对熵优化模型确定阶段权重, 结合综合群体偏好对方案进行排序. 现有研究较少考虑决策的风险因素以及决策者的心理行为, 认为决策对象评价价值与市场前景等因素没有关系. 实际上, 决策对象各指标在不同市场前景下表现是不同的, 且决策者在行为上是有限理性的, 选择的是让自己满意的方案而并不总是追求效用最大^[4].

收稿日期: 2016-04-28; 修回日期: 2016-06-24.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71301104); 高等学校博士学科点专项科研基金项目(20133120120002); 上海市教育委员会科研创新项目(14YZ088); 上海市一流学科项目(S1201YLXK); 沪江基金项目(A14006).

作者简介: 耿秀丽(1984—), 女, 副教授, 博士, 从事决策理论与应用、产品服务设计理论等研究; 孙绍荣(1954—), 男, 教授, 博士生导师, 从事行为运筹与管理、决策理论与方法等研究.

[†]通讯作者. E-mail: xiuliforever@163.com

前景理论^[5]是基于决策者有限理性的行为决策理论,在其基础上很多行为决策理论被提出来,其中累积前景理论^[6]最为常用,其认为决策者对待收益和损失的风险态度是不同的.文献[7]针对决策者给出了单一与组合指标期望情形的多指标决策问题,依据前景理论构建综合前景价值向量,通过广义优序模糊约束满意问题计算方案满意度进行排序.文献[8]提出了一种基于前景理论的群体灰靶决策方法,以期灰靶为参考点定义前景价值函数,通过决策者权重确定模型结合综合前景值的正负判断方案是否中靶.文献[9]提出了一种云模型与累积前景理论相结合的决策方法,通过改进的云模型构建云前景决策矩阵,计算准则权重系数对决策矩阵进行处理,并对方案进行排序.本文针对风险性大群体决策问题,首先采用累积前景理论将决策矩阵转化为综合前景价值矩阵,然后在综合前景矩阵基础上,考虑专家权重进行大群体决策分析.

由于大群体决策问题比较复杂,专家人数较多,逐一求解专家权重较为繁琐,但决策过程中需要获取专家权重集结多个专家给出的决策信息,专家权重的确定是大群体决策中的关键问题.常用的专家权重确定方法是主观赋权法、客观赋权法和组合赋权法.文献[10]针对大规模群体决策问题,利用基于公理模糊集理论的聚类方法对大群体决策成员进行聚类,根据聚类结果确定决策成员的权重.文献[11]针对复杂多属性大群体决策问题,提出了最小方差法和熵权法相结合的专家权重确定方法.由于大群体决策问题专家众多,利用专家知识背景以及偏好存在相似性的特点,本文提出了双层专家权重确定方法.首先将专家进行聚类,降低权重计算的复杂程度并提高精确性,然后再进一步确定聚集内部的专家权重.第1层采用常用的基于矢量空间的聚类分析方法将专家群体划分为若干聚集,确定聚集群权重.聚集内部的专家权重确定问题实为一般的专家权重问题,在主成分分析法、熵权法、离差及均方差法等方法中,熵权法为常用的专家或属性客观权重确定方法.文献[12]针对决策者主观权重已知,提出了一种通过计算专家个体决策结果与群体决策结果的偏差量并结合熵理论求得专家客观权重的权重调整算法.文献[13]提出了综合熵权法,以属性评价值的熵确定属性客观权重,根据群决策者对于属性的主观偏好值确定属性主观权重.本文在第2层专家权重确定过程中采用熵权法确定聚集内部各专家熵权,聚集群权重和熵权二者相结合即可以得到最终的大群体决策专家权重.

此外,在大群体决策过程中,专家倾向于采用语义评估术语对属性表现值进行评估.传统处理不确定问题的模糊集方法、直觉模糊集方法、基于符号的方法集结和运算后的结果往往不能与事先定义的语义评价信息对应,造成了信息的损失和精度的降低^[14].Herrera等^[15]提出了基于二元语义的模糊语义术语表达模型弥补了上述方法的不足,二元语义模型已经成功地应用在多属性决策分析^[16]和方案选择^[17]等方面.本文采用二元语义模型获取并表达专家对候选方案的评价信息.

本文提出基于双层专家权重确定的大群体决策方法,采用二元语义获取并表达专家对候选方案的评价信息,基于累积前景理论将决策矩阵转化为相对于参照点的损益决策矩阵,并计算方案的综合前景价值矩阵.在价值矩阵的基础上利用基于矢量空间的聚类方法对专家综合前景价值向量进行聚类分析,采用多数原则确定聚集群权重,采用熵权法获得第二层专家权重,通过确定双层专家权重结合前景价值矩阵得出各方案的最终排序结果.最后通过一个算例表明了所提出方法的可行性和有效性.

1 结合二元语义和累积前景理论的专家决策信息分析

在累积前景理论中,参考点的选择很重要.本文以正理想方案为参考点,通过二元语义的逆运算计算各方案到正理想参考点的距离,求出各方案在某一状态下的前景价值矩阵和概率权重矩阵,最后求得综合前景矩阵.

1.1 二元语义的基本概念

令 $S = \{s_i : i = 0, 1, \dots, g\}$ 为一个有序的离散语义术语集合,其中 s_i 代表一个语义评价变量,满足如下条件^[15]:

- 1) 有序性, 如果 $i \geq j, s_i \geq s_j$;
- 2) 存在一个求逆算子, $\text{neg}(s_i) = s_j, j = g - i$;
- 3) 极大化算子, 如果 $s_i \geq s_j, \max(s_i, s_j) = s_i$;
- 4) 极小化算子, 如果 $s_i \leq s_j, \min(s_i, s_j) = s_i$.

定义1^[18] $\beta \in [0, g]$ 为语义术语集 S 经集成后得到的结果, 令 $i = \text{round}(\beta), i \in [0, g]$. β 可由如下函数 Δ 表示为二元语义符号:

$$\Delta[0, g] \rightarrow S \times [0.5, -0.5].$$

$$\Delta(\beta) = (s_i, \alpha_i), \begin{cases} s_i, & i = \text{round}(\beta); \\ \alpha_i = \beta - i, & \alpha_i \in [-0.5, 0.5]. \end{cases}$$

其中: round 为取整算子, α 为符号转移值.

反之, 令 (s_i, α_i) 为一个二元语义信息, 存在如下

Δ^{-1} 函数将该信息转换为一个实数:

$$\Delta^{-1}: S \times [0.5, -0.5] \rightarrow [0, g],$$

$$\Delta^{-1}(s_i, \alpha_i) = i + \alpha_i = \beta.$$

定义2 令一组二元语义序列为 $X = \{(x_1, \alpha_1), \dots, (x_i, \alpha_i), \dots, (x_n, \alpha_n)\}, 1 \leq i \leq n$; 一组实数序列为 $V = (v_1, \dots, v_i, \dots, v_n), 1 \leq i \leq n$; 两个序列的交叉积为 $X \otimes V = \Delta\left(\sum_{i=1}^n v_i \times \Delta^{-1}(s_i, \alpha_i)\right)$.

1.2 累积前景理论

Tversky 等^[19] 在顺序依赖效用理论的基础上提出了累积前景理论, 该理论通过引入容量的概率, 能够很好地解决强势占优和处理具有多个结果的问题. 累积前景理论的核心内容是价值函数和权重函数, 价值函数 $v(x)$ 的具体形式如下:

$$v(x) = \begin{cases} (x)^\alpha, & x \geq 0; \\ -\lambda(x)^\beta, & x < 0. \end{cases} \quad (1)$$

其中: $x \geq 0$ 表示收益, $x < 0$ 表示损失; α 和 β 分别表示收益和损失区域价值幂函数的凹凸程度, $0 < \alpha, \beta < 1$ 表示敏感性递减; λ 为损失规避系数, 若 $\lambda > 1$ 则决策者将对损失更加敏感, 即损失厌恶^[19]. 针对收益和损失的概率权重 $w^+(p)$ 和 $w^-(p)$ 分别为

$$w^+(p) = \frac{p^\gamma}{(p^\gamma + (1 - p^\gamma))^{1/\gamma}}, \quad (2)$$

$$w^-(p) = \frac{p^\delta}{(p^\delta + (1 - p^\delta))^{1/\delta}}. \quad (3)$$

其中: p 为概率; γ 和 δ 为参数, 表示概率权重函数的弯曲程度.

Tversky 等^[6] 利用非线性回归对大量数据进行处理得出, 当 $\alpha = \beta = 0.88, \lambda = 2.25, \gamma = 0.61, \delta = 0.69$ 时, 与经验数据一致性较高.

1.3 综合前景价值矩阵的构建

设群体 Ω 中有 m 个专家, 专家成员集为 $\Omega = \{e_1, \dots, e_i, \dots, e_m\}$. 存在 n 个候选方案 $A = (A_1, \dots, A_j, \dots, A_n)$ 可供选择, 每个专家就 h 个评价指标 $C = (C_1, \dots, C_l, \dots, C_h)$ 对各方案进行评价, 各评价指标属性权重为 $w = (w_1, \dots, w_l, \dots, w_h)$, 且 $\sum_{h=1}^p w_h = 1$. 假设有 t 种市场前景状态 $S = (S_1, \dots, S_k, \dots, S_t)$, 概率分别为 $P = (p_1, \dots, p_k, \dots, p_t)$. 基于二元语义信息和累积前景理论的综合前景价值矩阵的构建步骤如下:

1) 获取每种市场前景状态下, 候选方案的评价信息.

专家分别针对每种市场前景状态对方案进行评

价, 在第 k 种市场前景状态下, 各专家对候选方案 A_j 第 l 个指标的评价用二元语义 x_{il}^k 表示. 采用加权算术平均算子集结 h 个评价指标的评估信息, 专家 e_i 对候选方案 A_j 的评价用二元语义 x_{ij}^k 表示为

$$x_{il}^k = (s_{il}^k, \alpha_{il}^k),$$

$$i = 1, 2, \dots, m, l = 1, 2, \dots, h, k = 1, 2, \dots, t; \quad (4)$$

$$x_{ij}^k = \Delta\left(\sum_{l=1}^h w_l \times \Delta^{-1}(s_{il}^k, \alpha_{il}^k)\right) = (s_{ij}^k, \alpha_{ij}^k). \quad (5)$$

2) 选取参考方案, 计算各候选方案与参考点的距离.

在第 k 种市场前景状态下, 选取方案 A_o^k 为参考点, 专家 e_i 对其评价用 x_{io}^k 表示, $x_{io}^k = (s_{io}^k, \alpha_{io}^k)$, 计算专家 e_i 对候选方案 A_j 和参考方案 A_o^k 评价值的距离为

$$d(x_{ij}^k, x_{io}^k) = \begin{cases} \Delta^{-1}(s_{ij}^k, \alpha_{ij}^k) - \Delta^{-1}(s_{io}^k, \alpha_{io}^k), & \Delta^{-1}(s_{ij}^k, \alpha_{ij}^k) \geq \Delta^{-1}(s_{io}^k, \alpha_{io}^k); \\ \Delta^{-1}(s_{io}^k, \alpha_{io}^k) - \Delta^{-1}(s_{ij}^k, \alpha_{ij}^k), & \Delta^{-1}(s_{ij}^k, \alpha_{ij}^k) < \Delta^{-1}(s_{io}^k, \alpha_{io}^k). \end{cases} \quad (6)$$

3) 构建价值矩阵和概率权重矩阵.

以方案 A_o^k 为参考点, 根据价值函数 v_{ij}^k 和概率权重函数 $\pi_{ij}(p_k)$, 计算第 k 种市场前景下候选方案 A_j 的价值矩阵 $V_{ij}^k = [v_{ij}^k]_{m \times n}$ 和概率权重矩阵 $\Pi_{ij}(p_k) = [\pi_{ij}(p_k)]_{m \times n}$. 本文将前景价值函数和前景权重函数中的参数取为 $\alpha = \beta = 0.88, \lambda = 2.25, \gamma = 0.61, \delta = 0.69$, 有

$$v_{ij}^k = \begin{cases} (d(x_{ij}^k, x_{io}^k))^\alpha, & \Delta^{-1}(s_{ij}^k, \alpha_{ij}^k) \geq \Delta^{-1}(s_{io}^k, \alpha_{io}^k); \\ -\lambda(d(x_{ij}^k, x_{io}^k))^\beta, & \Delta^{-1}(s_{ij}^k, \alpha_{ij}^k) < \Delta^{-1}(s_{io}^k, \alpha_{io}^k). \end{cases} \quad (7)$$

$$\pi_{ij}(p_k) = \begin{cases} \frac{p_k^\gamma}{(p_k^\gamma + (1 - p_k^\gamma))^{1/\gamma}}, & \Delta^{-1}(s_{ij}^k, \alpha_{ij}^k) \geq \Delta^{-1}(s_{io}^k, \alpha_{io}^k); \\ \frac{p_k^\delta}{(p_k^\delta + (1 - p_k^\delta))^{1/\delta}}, & \Delta^{-1}(s_{ij}^k, \alpha_{ij}^k) < \Delta^{-1}(s_{io}^k, \alpha_{io}^k). \end{cases} \quad (8)$$

4) 构建综合前景矩阵.

第 k 种市场前景状态下, A_j 的综合前景值 V_{ij} 为

$$V_{ij} = \sum_{k=1}^t v_{ij}^k \pi_{ij}(p_k),$$

$$i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n. \quad (9)$$

综合前景价值矩阵 V 为 $V = [v_{ij}]_{m \times n}$.

2 考虑双层专家权重的方案排序方法

本文提出了基于双层专家权重确定的大群体决策方法,在价值矩阵的基础上,第1层利用聚类方法对大群体成员价值向量进行聚类,根据聚类结果确定聚集群权重;第2层利用熵权法获得成员专家权重,结合双层权重得出专家 e_i 的最终权重 λ_i .

2.1 基于聚类的专家群体权重确定方法

在大群体决策中,由于不同的专家有偏好和价值取向的差异,经常采用基于聚类分析确定成员权重的方法.

定义3 [20] 两个价值向量 $V_i, V_g (i, g = 1, 2, \dots, m)$ 之间的相关度定义如下:

$$r_{ig}(V_i, V_g) = \frac{(|V_i - \bar{V}_i|) \times (|V_g - \bar{V}_g|)^T}{\|V_i - \bar{V}_i\|_p \times \|V_g - \bar{V}_g\|_q}, \quad (10)$$

$$\bar{V}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{ij}, \quad \bar{V}_g = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{gj}. \quad (11)$$

其中: $\|\cdot\|_p$ 为矢量的 p -范数, $\|\cdot\|_q$ 为矢量的 q -范数, $1 < p < +\infty, 1 < q < +\infty, \frac{1}{p} + \frac{1}{q} = 1$, 本文取 $p = q = 2; 0 \leq r_{ig}(V_i, V_g) \leq 1$. 引入阈值 $\gamma', 0 \leq \gamma' \leq 1$, 用来区分两个向量之间的相聚程度,即两个专家之间的意见接近程度. 设立如下条件:

$$r_{ig}(V_i, V_g) \geq \gamma'. \quad (12)$$

若是则认为它们可以相聚,否则它们不可以相聚.

基于矢量空间的专家聚类算法的步骤如下:

输入: 前景价值矩阵 $V = [v_{ij}]_{m \times n}, v_{ij}$ 表示群体 Ω 中专家 e_i 得出的方案 A_j 前景价值, 向量 $V_i = (v_{i1}, \dots, v_{in})$;

输出: R 个聚集 $D^r, 1 \leq r \leq R$.

Step 1: 初始化 $r = 1$, 令集合 Ω 包含所有 V 中的向量, 对 Ω 中所有向量随机排序, 向量顺序标记为 $1 \sim n$, 按标记顺序从中选取一个向量 V_g , 计算 V_g 与其他向量的相关度 $r_{ig}(V_i, V_g)$.

Step 2: 在满足 $r_{ig}(V_i, V_g) \geq \gamma'$ 的向量 V_i 中选取顺序最前的向量, 与 V_g 构成一个包含 2 个元素的聚集 $D^r, \Omega = \Omega - \{V_g, V_i\}$.

Step 3: 按向量标记顺序选取 D^1 以外的向量 V_x , 分别计算 V_x 与 V_g 和 V_i 的相关度 $r_{ix}(V_i, V_x)$ 和 $r_{gx}(V_g, V_x), 1 \leq x \leq m, x \neq i, g$.

Step 4: 如果 $r_{ix}(V_i, V_x)$ 和 $r_{gx}(V_g, V_x)$ 均大于或等于阈值 γ' , 则将向量 V_x 划入聚集 $D^r, \Omega = \Omega - \{V_x\}$.

Step 5: 当所有 $r_{ix}(V_i, V_x)$ 和 $r_{gx}(V_g, V_x)$ 小于 γ' 时, 返回 Step 1, $r = r + 1$.

Step 6: 当 $\Omega = \emptyset$ 时, 算法结束, $R = r$.

设 m_r 是聚集 D^r 中的前景价值向量数, $\sum_{r=1}^R m_r = m$, 根据多数原则 $w_{m_r} = \theta m_r$, 其中 θ 为比例系数. R 个聚集的权重之和为 1, 即

$$\sum_{r=1}^R m_r w_{m_r} = \sum_{r=1}^R \theta m_r^2 = 1, \quad (13)$$

$$w_{m_r} = \theta m_r = m_r / \sum_{r=1}^R m_r^2. \quad (14)$$

因此, 如果专家 e_i 属于聚集 D^r , 则专家 e_i 所在聚集的群权重 w_{D^r} 为

$$w_{D^r} = m_r w_{m_r} = m_r^2 / \sum_{r=1}^R m_r^2. \quad (15)$$

2.2 基于熵权模型的专家权重确定方法

熵权法广泛应用于决策过程中, 为了提高决策的精度和可靠性, 人们在决策中获得信息的多少和质量具有决定作用, 本文采用客观赋权法中的熵权法确定聚集内的专家权重.

对于综合前景价值矩阵 $V = [v_{ij}]_{m \times n}$, 计算专家 e_i 的决策熵值 E_i 为

$$E_i = -\frac{1}{\ln n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{v_{ij}}{\sum_{j=1}^n v_{ij}} \ln \frac{v_{ij}}{\sum_{j=1}^n v_{ij}} \right). \quad (16)$$

其中 $\sum_{j=1}^n v_{ij} \neq 0$, 当 $\frac{v_{ij}}{\sum_{j=1}^n v_{ij}} = 0$ 时, $\frac{v_{ij}}{\sum_{j=1}^n v_{ij}} \ln \frac{v_{ij}}{\sum_{j=1}^n v_{ij}} = 0$.

专家 e_i 的熵权 η_i 为

$$\eta_i = \frac{1 - E_i}{m - \sum_{i=1}^m E_i}, \quad 0 \leq \eta_i \leq 1, \quad \sum_{i=1}^m \eta_i = 1. \quad (17)$$

2.3 大群体方案排序

本文所提出基于双层专家权重的确定方法结合累积前景理论的风险型大群体决策过程如下.

Step 1: 针对各前景状态, 采用二元语义获取并表达专家对候选方案各属性的评价信息, 根据式 (4) 和 (5) 采用加权算术平均算子集结 h 个评价指标的评估信息.

Step 2: 选取参照方案, 根据式 (6) ~ (9) 计算综合前景价值矩阵 $V = [v_{ij}]_{m \times n}$.

Step 3: 基于聚类分析, 根据式 (10) ~ (15) 计算专家 e_i 所在聚集的群权重 w_{D^r} . 采用熵权模型, 根据式 (16) 和 (17) 计算专家 e_i 的熵权 η_i . 对权重指标进行归一化处理, 专家 e_i 的权重 λ_i 为

$$\lambda_i = w_{D^r} \eta_i / \sum_{r=1}^R \sum_{i=1}^m w_{D^r} \eta_i. \quad (18)$$

Step 4: 计算群体 Ω 对候选方案 A_j 的最终价值向量 U_j , 根据 U_j 中的数据大小进行决策分析, 有

$$U_j = \lambda_i V_{ij}. \tag{19}$$

3 算例分析

某晶体企业依据市场需求和自身内部业务组织流程建立3套备选ERP系统方案 $\{A_1, A_2, A_3\}$, 企业依据3个指标对备选ERP系统方案进行评价: 1) 对企业资金运营状况的改善程度 C_1 ; 2) 企业运营效率的提高程度 C_2 ; 3) 企业未来持续盈利能力 C_3 . 各指标属性权重为 $w = \{0.3, 0.3, 0.4\}$.

晶体企业为了提高决策的科学性和合理性, 组成了24人的专家团队对ERP方案进行评价选择. 公司从企业自身内外环境认为可能面对3种市场前景状态 $\{S_1, S_2, S_3\}$, 分别为好、一般、不好, 3种前景状态概率为 $P = \{0.5, 0.3, 0.2\}$. 采用二元语义处理专家对属性的语义评价. 预先设定的评估语义集合 H 为: $\{S_0 = \text{极差}, S_1 = \text{非常差}, S_2 = \text{差}, S_3 = \text{稍差}, S_4 = \text{一般}, S_5 = \text{稍好}, S_6 = \text{好}, S_7 = \text{非常好}, S_8 = \text{极好}\}$. 根据本文所提出的风险型大群体方案决策方法, 对上述候选方案进行选择, 具体分析过程如下.

Step 1: 依据专家反馈信息, 在不同市场前景状态下, 各候选方案的所有指标评价价值采用式(4)和(5)加权集结后的决策信息矩阵如表1所示.

表1 加权后的决策信息矩阵

		A_1	A_2	A_3
e_1	S_1	$(s_7, 0.1)$	$(s_8, 0.2)$	$(s_7, 0.4)$
	S_2	$(s_5, -0.4)$	$(s_5, 0.4)$	$(s_6, 0.1)$
	S_3	$(s_6, 0.3)$	$(s_6, -0.1)$	$(s_6, 0.1)$
e_2	S_1	$(s_7, -0.4)$	$(s_7, 0.1)$	$(s_7, -0.1)$
	S_2	$(s_6, -0.4)$	$(s_6, 0.1)$	$(s_5, -0.1)$
	S_3	$(s_5, -0.4)$	$(s_4, 0.1)$	$(s_4, -0.1)$
e_3	S_1	$(s_7, 0.3)$	$(s_7, 0.2)$	$(s_8, -0.2)$
	S_2	$(s_6, 0.3)$	$(s_7, 0.2)$	$(s_6, -0.2)$
	S_3	$(s_7, -0.5)$	$(s_7, 0.2)$	$(s_7, -0.2)$
e_4	e_1	$(s_6, -0.1)$	$(s_6, -0.3)$	$(s_6, 0.4)$
	S_2	$(s_5, -0.3)$	$(s_7, -0.1)$	$(s_6, 0.4)$
	S_3	$(s_6, -0.3)$	$(s_6, -0.1)$	$(s_5, 0.4)$
		\vdots		
e_{21}	S_1	$(s_6, -0.3)$	$(s_6, 0.1)$	$(s_7, 0.4)$
	S_2	$(s_6, -0.3)$	$(s_5, 0.1)$	$(s_7, 0.1)$
	S_3	$(s_9, -0.3)$	$(s_8, 0.1)$	$(s_8, -0.4)$
e_{22}	S_1	$(s_6, -0.2)$	$(s_6, 0.4)$	$(s_7, -0.2)$
	S_2	$(s_6, -0.4)$	$(s_6, 0.1)$	$(s_7, -0.2)$
	S_3	$(s_4, 0.3)$	$(s_4, 0.1)$	$(s_4, -0.2)$
e_{23}	S_1	$(s_3, -0.5)$	$(s_3, 0.3)$	$(s_4, 0.1)$
	S_2	$(s_8, -0.3)$	$(s_7, 0.1)$	$(s_7, -0.3)$
e_{24}	S_1	$(s_7, -0.1)$	$(s_5, -0.1)$	$(s_5, 0.4)$
	S_2	$(s_7, -0.1)$	$(s_6, -0.1)$	$(s_6, -0.4)$

Step 2: 选取第 k 种市场前景状态下, 已投入市场的同类产品最优ERP方案 A_o^k 为参考点, 专家 e_i 对其评价价值用 x_{io}^k 表示, $x_{io}^k = (s_{io}^k, \alpha_{io}^k)$. 例如在 S_1 前景状态下, 专家团队对最优ERP方案的指标评价价值集合为

$$x_{io}^1 = \{x_{1o}^1, x_{2o}^1, \dots, x_{24o}^1\} = \{(s_7, -0.5), (s_7, -0.3), \dots, (s_4, 0.2)\}.$$

依据式(6)~(9)计算综合前景价值矩阵 $V = [v_{ij}]_{m \times n}$.

第 k 种市场前景状态下, 候选方案 A_i 的价值矩阵 C_{ij}^k 和概率权重矩阵 $\Pi_{ij}(p_k)$ 如下所示:

$$V_{ij}^1 = \begin{bmatrix} 0.64 & 1.60 & 0.91 \\ -0.30 & 0.45 & 0.24 \\ 0.35 & 0.24 & 0.82 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0.73 & 1.26 & 1.60 \\ -0.29 & 0.73 & 1.43 \\ 2.40 & 0.73 & 1.17 \end{bmatrix}_{24 \times 3},$$

$$\Pi_{ij}(p_1) = \begin{bmatrix} 0.421 & 0.421 & 0.421 \\ 0.454 & 0.421 & 0.421 \\ 0.421 & 0.421 & 0.421 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0.421 & 0.421 & 0.421 \\ 0.454 & 0.421 & 0.421 \\ 0.421 & 0.421 & 0.421 \end{bmatrix}_{24 \times 3},$$

$$V_{ij}^2 = \begin{bmatrix} -0.55 & 0.64 & 1.26 \\ 0.45 & 0.91 & -0.78 \\ 0.24 & 1.09 & -0.78 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -0.55 & 0.35 & 1.01 \\ 0.82 & 0.35 & -0.55 \\ 0.91 & -0.30 & -1.01 \end{bmatrix},$$

$$\Pi_{ij}(p_2) = \begin{bmatrix} 0.328 & 0.318 & 0.318 \\ 0.318 & 0.318 & 0.328 \\ 0.318 & 0.318 & 0.328 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0.328 & 0.318 & 0.318 \\ 0.318 & 0.318 & 0.328 \\ 0.318 & 0.328 & 0.328 \end{bmatrix},$$

$$V_{ij}^3 = \begin{bmatrix} 0.35 & -0.30 & 0.13 \\ 2.00 & 1.60 & 1.43 \\ -0.30 & 0.64 & 0.24 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1.17 & 1.01 & 0.73 \\ 0.00 & 0.35 & 1.01 \\ 2.32 & 1.51 & 1.84 \end{bmatrix},$$

$$\Pi_{ij}(p_3) = \begin{bmatrix} 0.261 & 0.257 & 0.261 \\ 0.261 & 0.261 & 0.261 \\ 0.257 & 0.261 & 0.261 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0.261 & 0.261 & 0.261 \\ 0.261 & 0.261 & 0.261 \\ 0.261 & 0.261 & 0.261 \end{bmatrix}.$$

综合前景价值矩阵 V_{ij} 为

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} 0.18 & 0.80 & 0.82 \\ 0.53 & 0.89 & 0.22 \\ 0.15 & 0.61 & 0.15 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0.43 & 0.90 & 1.18 \\ 0.13 & 0.51 & 0.68 \\ 1.90 & 0.60 & 0.65 \end{bmatrix}.$$

Step 3: 在综合前景矩阵的基础上, 引入阈值 $\gamma' = 0.8$, 依据式(10)~(12)对24个前景价值向量执行聚类算法, 得聚集 $R = 3$. 依据式(13)~(15), 计算聚集群权重 w_{Dr} , 结果如表2所示.

表2 聚类分析结果

聚集 D^r	成员数 m_r	成员 e_i	聚集群权重 W_D^r
D^1	12	$e_1, e_3, e_4, e_5, e_9, e_{10}, e_{12}, e_{13}, e_{14}, e_{15}, e_{20}, e_{24}$	0.61
D^2	9	$e_2, e_6, e_7, e_8, e_{11}, e_{16}, e_{17}, e_{21}, e_{23}$	0.35
D^3	3	e_{18}, e_{19}, e_{22}	0.04

Step 4: 采用熵权模型, 根据式(16)~(18)计算专家 e_i 的熵权 η_i 和权重 λ_i , 结果如表3所示.

表3 专家权重计算结果

成员 e_i	权重 λ_i	成员 e_i	权重 λ_i	成员 e_i	权重 λ_i	成员 e_i	权重 λ_i
e_1	0.045	e_7	0.029	e_{13}	0.072	e_{19}	0.004
e_2	0.022	e_8	0.019	e_{14}	0.009	e_{20}	0.068
e_3	0.072	e_9	0.081	e_{15}	0.084	e_{21}	0.048
e_4	0.054	e_{10}	0.072	e_{16}	0.038	e_{22}	0.002
e_5	0.074	e_{11}	0.044	e_{17}	0.025	e_{23}	0.029
e_6	0.022	e_{12}	0.036	e_{18}	0.004	e_{24}	0.047

Step 5: 依据式(19)计算群体 Ω 中候选方案 A_j 的

最终价值向量 U_j , 根据 U_j 中的数据大小对方案进行排序, 有

$$U_j = \lambda_i V_{ij} = (0.61, 0.54, 0.78).$$

根据以上计算结果, 候选ERP方案最优排序为 $A_3 \succ A_1 \succ A_2$, 得到方案 A_3 为最优ERP方案. 为了将本文方法与传统风险型大群体决策方法进行对比, 采用主观赋权法确定专家权重, $\lambda_i = \{0.012, 0.083, 0.047, \dots, 0.048\}$. 最后对方案进行排序, 计算出最终价值向量 $U_j = \{0.58, 0.70, 0.69\}$, 候选ERP方案最优排序为 $A_2 \succ A_3 \succ A_1$, 即方案 A_2 为最优ERP方案. 由计算结果可知, 决策者直接给出权重的方案评价结果有很大主观性, 不能综合考虑各个方面, 且最终前景价值 U_2 与 U_3 之间的差异并不明显, 不能作为方案 A_2 优于 A_3 的有力证明.

4 结论

本文针对方案评价信息通常是不确定的、模糊的风险型大群体决策问题, 提出了基于双层专家权重确定的大群体决策方法, 所提出方案评价方法包括两个部分:

1) 采用二元语义获取并表达专家的不确定性评价信息, 将二元语义决策矩阵转化为相对于参照点的决策损益矩阵, 基于累积前景理论计算每个方案的指标综合前景值.

2) 在综合前景价值矩阵的基础上, 采用基于向量空间的聚类分析法和熵权法的双层权重确定方法确定专家权重, 最后与价值矩阵合成, 进行决策分析.

通过对某晶体企业ERP方案的评价和最终决策, 验证了本文所提出方法的有效性和可行性. 所提出方案评价方法的优势在于考虑了市场风险因素和决策者的风险态度, 降低了权重计算的复杂程度, 并提高了精确性. 然而, 文中各候选方案的属性权重是预先给出的, 如何合理地确定属性权重并将其运用到多属性大群体决策中仍是一个需要解决的问题.

参考文献(References)

[1] 毛强, 郭亚军, 戚宇. 基于粒子群优化算法的复杂大群体评价方法[J]. 系统工程, 2013, 31(4): 67-71. (Mao Q, Guo Y J, Qi Y. Method based on particle swarm optimization algorithm for complex huge group evaluation[J]. Systems Engineering, 2013, 31(4): 67-71.)

[2] 万树平. 一种具有区间数信息的多属性大群体决策方法[J]. 模式识别与人工智能, 2011, 24(3): 340-345. (Wan S P. A method for multi-attribute large group decision making with interval number information[J]. RP&AI, 2011, 24(3): 340-345.)

[3] 徐选华, 蔡晨光, 陈晓红. 基于区间模糊数的多阶段

- 冲突型大群体应急决策方法[J]. 运筹与管理, 2015, 24(4): 9-15.
(Xu X H, Cai C G, Chen X H. A multi-stage conflict style large group decision-making emergency method based on interval fuzzy number[J]. Operations Research and Management Science, 2015, 24(4): 9-15.)
- [4] 刘作仪, 查勇. 行为运作管理: 一个正在显现的研究领域[J]. 管理科学学报, 2009, 12(4): 64-74.
(Liu Z Y, Cha Y. Behavioral operations management: An emerging research field[J]. J of Management Sciences in China, 2009, 12(4): 64-74.)
- [5] Kahneman D, Tversky A. Prospect theory: An analysis of decision under Risk[J]. *Economica*, 1979, 47(2): 263-291.
- [6] Tversky A, Kahneman D. Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty[J]. *J of Risk and Uncertainty*, 1992(5): 297-323.
- [7] 刘云志, 樊治平. 基于前景理论的具有指标期望的多指标决策方法[J]. 控制与决策, 2015, 30(1): 91-97.
(Liu Y Z, Fan Z P. Multiple attribute decision making considering attribute aspirations: A method based on prospect theory[J]. Control and Decision, 2015, 30(1): 91-97.)
- [8] 闫书丽, 刘思峰. 基于前景理论的群体灰靶决策方法[J]. 控制与决策, 2014, 29(4): 673-678.
(Yan S L, Liu S F. Group grey target decision making based on prospect theory[J]. Control and Decision, 2014, 29(4): 673-678.)
- [9] 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 K, Gao J W, Qi Z Q, et al. Multi-criteria risky-decision-making approach based on prospect theory and cloud Model[J]. Control and Decision, 2015, 30(3): 395-402.)
- [10] 田晓娟, 王利东. 基于AFS理论的大群体决策中决策者权重确定方法[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(15): 61-65.
(Tian X J, Wang L D. Method of determining weights of decision makers for multi—schemes large group decision making based on AFS theory[J]. Science Technology and Engineering, 2015, 15(15): 61-65.)
- [11] Liu B, Shen Y, Chen Y, et al. A two-layer weight determination method for complex multi-attribute large-group decision-making experts in a linguistic environment[J]. *Information Fusion*, 2015, 23(C): 156-165.
- [12] 万俊, 邢焕革, 张晓晖. 基于熵理论的多属性群决策专家权重的调整算法[J]. 控制与决策, 2010, 25(6): 907-910.
(Wan J, Xing H G, Zhang X H. Algorithm of adjusting weights of decision-makers in multi-attribute group decision-making based on entropy theory[J]. Control and Decision, 2010, 25(6): 907-910.)
- [13] 周荣喜, 范福云, 何大义, 等. 多属性群决策中基于数据稳定性与主观偏好的综合熵权法[J]. 控制与决策, 2012, 27(8): 1169-1174.
(Zhou R X, Fan F Y, He D Y, et al. Integrated entropy weight method based on data stability and subjective preference in multi-attribute group decision-making[J]. Control and Decision, 2012, 27(8): 1169-1174.)
- [14] 耿秀丽, 徐士东, 李易林, 等. 考虑产品服务组合效应的产品服务系统方案评价方法[J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21(10): 2798-2806.
(Geng X L, Xu S D, Li Y L, et al. Product service system concept evaluating approach considering combinatorial effect between product and service[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems. 2015, 21(10): 2798-2806.)
- [15] Herrera F, Martiherrera F, Martinez L. A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with Words[J]. *IEEE Trans on Fuzzy Systems*, 2000, 8(6): 746-752.
- [16] Wang S P. 2-tuple linguistic hybrid arithmetic aggregation operators and application to multi-attribute group decision making[J]. *Knowledge-Based Systems*, 2013, 45(6): 31-40.
- [17] Liu H C, Liu L, Wu J. Material selection using an interval 2-tuple linguistic VIKOR method considering subjective and objective weights[J]. *Materials and Design*, 2013, 52(12): 158-167.
- [18] 王坚强, 孙腾, 陈晓红. 基于前景理论的信息不完全的模糊多准则决策方法[J]. 控制与决策, 2009, 24(8): 1198-1202.
(Wang J Q, Sun T, Chen X H. Multi-criteria fuzzy decision-making method based on prospect theory With incomplete information[J]. Control and Decision, 2009, 24(8): 1198-1202.)
- [19] 张尧, 樊治平. 基于累积前景理论的考虑群体参考点的多指标风险决策方法[J]. 运筹与管理, 2013, 22(4): 6-11.
(Zhang Y, Fan Z P. A method for multiple attribute risk decision making considering group reference points based on cumulative prospect theory[J]. Operations Research and Management Science, 2013, 22(4): 6-11.)
- [20] 徐选华, 陈晓红. 基于矢量空间的群体聚类方法研究[J]. 系统工程与电子技术, 2005, 27(6): 1034-1037.
(Xu X H, Chen X H. Research on the group clustering method based on vector space[J]. Systems Engineering and Electronics, 2005, 27(6): 1034-1037.)

(责任编辑: 郑晓蕾)