

考虑决策者心理行为的灰色多属性群体决策方法

罗 党^{1†}, 张慧慧¹, 孙德才²

(1. 华北水利水电大学 数学与统计学院, 郑州 450046; 2. 华北水利水电大学 管理与经济学院, 郑州 450046)

摘要: 针对决策者在实际决策过程中表现出参照依赖和损失规避的现象, 提出一种考虑决策者心理行为的灰色多属性群体决策方法. 首先, 利用“奖优罚劣”变换算子对原始决策信息进行规范化处理, 以充分反映“奖优罚劣”思想; 其次, 依据决策群体信息, 计算两两方案关于属性相比较时收益和损失的优势度, 整合得备选方案的全局优势度; 再次, 根据极大熵准则和群体意见一致性原则构建决策者权重优化模型, 求出备选方案的综合价值并对其进行排序择优; 最后, 通过案例分析表明本文方法的可行性、合理性和实用性.

关键词: 多属性群体决策; 心理行为; 区间灰数; TODIM 方法; 极大熵准则; 变换算子

中图分类号: N941.5; S423

文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2019.1621

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Grey Multi-attribute Group Decision Making Method with Consideration of Psychological Behavior of Decision Makers

LUO Dang^{1†}, ZHANG Hui-hui¹, SUN De-cai²

(1. School of Mathematics and Statistics, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450046, China; 2. School of Management and Economics, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450046, China)

Abstract: Aiming at the fact of reference dependence and loss averse of decision makers in the actual decision making process, a grey multi-attribute group decision making method with consider the psychological behavior of decision makers is proposed. First, to fully reflect the idea of “rewarding the good and punishing the bad”, the original decision information is normalized by using the “rewarding the good and punishing the bad” transformation operator. Then, the global priority of alternatives is obtained by calculating the priority of benefit-loss value of each alternative relative to other alternatives about attributes under decision makers. Furthermore, to calculate the comprehensive value of alternatives and rank them, a weight model of decision makers is constructed according to the maximum entropy and group’s consistency. Finally, a case analysis is given to show the feasibility, rationality and practicability of the proposed method.

Keywords: Multi-attribute Group Decision; Psychological Behavior; Interval Grey Number; TODIM Method; The Maximum Entropy; Transformation Operator

0 引言

根据实际情况和预定目标确定应采取的行动称为决策. 决策活动不仅是各类管理活动的重要组成部分, 而且贯穿于人们的工作、学习和生活过程的始终^[1]. 从具有多个属性的有限方案中找出满足一定目标的最优方案是多属性决策, 具有广泛的理论和实际背景.

目前, 关于多属性决策方法的研究已取得丰硕成果, 被广泛应用于供应商选择^[2]、人员选择^[3]、风险投资^[4]、供应链管理^[5]和冰凌灾害^[6]等方面. 但

大多数决策方法都是建立在期望效用理论的基础上, 即假设决策者是完全理性的. 然而在实际决策过程中, 决策者的心理行为是有限理性的, 并不总是追求效用最大化, 而是表现为参照依赖和损失规避^[7-9]. 此时运用期望效用理论就不能准确地描述决策者在实际过程中的心理行为, 从而影响决策结果的准确性^[10-11].

基于此, 刘宁元^[7-8]在考虑决策者参照依赖和损失规避心理行为基础上, 计算每个方案在各属性下的收益 - 损失值和备选方案的总体感知价值, 进而对

收稿日期: 2019-11-21; 修回日期: 2020-03-13.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51979106); 河南省科技攻关计划项目 (182102310014); 河南省高等学校重点科研项目 (18A630030, 18A630032); 河南省研究生教育优质课程建设项目 (灰色系统理论: HNYJS2015KC02).

†通讯作者. E-mail: iamld99@163.com.

备选方案进行排序择优; 张晓等^[12] 考虑决策者对两两方案比较的后悔和欣喜的心理反映, 依据后悔理论的思想, 给出考虑后悔规避的风险型多属性决策方法; Li 等^[13] 在决策过程中考虑决策者的心理认知行为, 将前景理论与灰色熵原理相结合, 提出一种基于前景理论的动态多属性决策方法.

以上多属性决策研究虽考虑了决策者的心理行为, 但在实际决策问题中, 由于单个决策者所需社会条件难以充分具备, 以及受个人经验、知识和能力的限制, 往往需要集中不同领域专家的智慧, 充分利用成员们不同的教育程度、经验和背景, 提供更完整的信息, 形成更多的可行性方案, 提高决策结果的针对性和科学性.

基于此, 钟磊等^[14] 针对属性值为区间语言信息的群决策问题, 提出一种考虑决策者心理行为的区间二元语义动态多属性群决策方法; Wang 等^[15] 在考虑决策者后悔厌恶心理行为基础上, 提出一个二元组语言通用模型来处理属性值为语言形式和数值形式的多属性群体决策问题; 马庆功等^[16] 针对属性指标值为犹豫模糊信息且属性权重完全未知的多属性群决策问题, 提出一种基于前景理论的犹豫模糊多属性群决策方法.

在多属性群体决策中, 准确而定量的信息是理想状态, 然而在现实管理决策问题中, 由于实际问题的多样性、不确定性和人类认识的局限性, 决策者在决策过程中往往难以给出确切的属性值, 而且用单个实数表示属性值也难以描述事物本身所包含的内涵, 一般选取允许信息在一定范围内变化的区间灰数来表示. 因此, 群体行为下考虑决策者心理行为的区间灰数型多属性决策方法是值得研究的方向.

鉴于此, 本文针对属性值为区间灰数的多属性群体决策问题, 考虑决策者在实际决策过程中参照依赖和损失规避的心理行为, 首先对原始决策信息规范化处理. 然后, 依据 TODIM 方法^[17] 思想, 计算方案关于属性的收益 - 损失优势度和备选方案的全局优势度. 再由极大熵原理和群体一致性原则求解群体决策中决策者权重, 计算备选方案的综合价值并对其进行排序择优. 最后, 应用该方法对尼泊尔震后临时存储中心的建立进行排序, 分析河南省十个地市受旱灾影响程度情况, 结果验证了本文方法的可行性和合理性.

1 预备知识

把只知道取值范围而不知其确切值的数称为灰数. 在应用中, 灰数指在某一个区间或某个一般的数

集内取值的不确定数. 通常用记号 “ \otimes ” 表示.

定义 1 既有上界 \bar{a} 又有下界 \underline{a} 的灰数称为区间灰数, 记作 $a(\otimes) \in [\underline{a}, \bar{a}]$, 且 $\underline{a} \leq \bar{a}$.

定义 2 设 $a(\otimes), b(\otimes)$ 为区间灰数, 则

$$\begin{aligned} a(\otimes) + b(\otimes) &\in [\underline{a} + \underline{b}, \bar{a} + \bar{b}], \\ a(\otimes) - b(\otimes) &\in [\underline{a} - \bar{b}, \bar{a} - \underline{b}]. \end{aligned}$$

称 $d(a(\otimes), b(\otimes)) = |\underline{a} - \underline{b}| + |\bar{a} - \bar{b}|$ 为两灰数间距离.

定义 3 已知区间灰数 $a(\otimes) \in [\underline{a}, \bar{a}]$, 令

$$E(a(\otimes)) = (\underline{a} + \bar{a})/2, \quad L(a(\otimes)) = \bar{a} - \underline{a}.$$

由文献 [18] 知两区间灰数的大小比较方法为:

当 $E(a(\otimes)) \neq E(b(\otimes))$ 时:

若 $E(a(\otimes)) > E(b(\otimes))$, 则 $a(\otimes) > b(\otimes)$; 若 $E(a(\otimes)) < E(b(\otimes))$, 则 $a(\otimes) < b(\otimes)$;

当 $E(a(\otimes)) = E(b(\otimes))$ 时:

若 $L(a(\otimes)) > L(b(\otimes))$, 则 $a(\otimes) < b(\otimes)$; 若 $L(a(\otimes)) = L(b(\otimes))$, 则 $a(\otimes) = b(\otimes)$; 若 $L(a(\otimes)) < L(b(\otimes))$, 则 $a(\otimes) > b(\otimes)$.

2 考虑决策者心理行为的灰色多属性群体决策方法

2.1 问题描述

针对某一区间灰数型多属性群体决策问题, 有 m 个备选方案 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$, n 个属性 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ 和 p 个决策者 $D = \{d_1, d_2, \dots, d_p\}$. 属性权重向量为 $W = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$, ω_j 为属性 c_j 的权重或重要程度, 满足 $\omega_j \geq 0$ 且 $\sum_{j=1}^n \omega_j = 1$. 决策者权重向量是 $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p\}$, λ_k 为决策者 d_k 的权重或重要程度, 满足 $\lambda_k \geq 0$ 且 $\sum_{k=1}^p \lambda_k = 1$.

用区间灰数 $a_{ij}^k(\otimes)$ 表示决策者 d_k 下方案 s_i 关于属性 c_j 的效果评价, 记为 $a_{ij}^k(\otimes) = [\underline{a}_{ij}^k, \bar{a}_{ij}^k]$. 记决策者 d_k 下方案 s_i 关于属性 c_j 的效果样本矩阵为 $A^k = (a_{ij}^k(\otimes))_{m \times n \times p}$, 规范化后的效果评价矩阵为 $R^k = (r_{ij}^k(\otimes))_{m \times n \times p}$.

本文要解决的问题是: 如何依据属性权重向量 W 和决策矩阵 A^k , 在考虑决策者参照依赖和损失规避的心理行为下, 求出决策者权重向量 λ^* , 并求出所有备选方案的排序结果. 下面是该方法的具体过程.

2.2 决策矩阵及其规范化

对于区间灰数多属性群体决策问题, 由于属性量纲不同, 需要对原始数据进行初始化处理. 而常用的初始化方法如均值化变换、始点零像化变换、初值化变换等, 都存在只奖不罚的不足. 为避免上述不足, 本文借鉴奖优罚劣的思想, 采取将大于平均水平的评价对象赋以 $[0, 1]$; 而对小于平均值情况, 赋以

[-1,0] 的值, 生成奖优罚劣的 [-1,1] 线性变换算子^[19].

定义 4 令 $z_j^k = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^m (\underline{a}_{ij}^k + \bar{a}_{ij}^k)$,

对效益型属性有

$$[\underline{b}_{ij}^k, \bar{b}_{ij}^k] = \left[\frac{\underline{a}_{ij}^k - z_j^k}{z_j^k}, \frac{\bar{a}_{ij}^k - z_j^k}{z_j^k} \right] \quad (1)$$

对成本型属性有

$$[\underline{b}_{ij}^k, \bar{b}_{ij}^k] = \left[\frac{z_j^k - \bar{a}_{ij}^k}{z_j^k}, \frac{z_j^k - \underline{a}_{ij}^k}{z_j^k} \right] \quad (2)$$

变换后的矩阵记为 $B^k = (b_{ij}^k(\otimes))_{m \times n \times p}$. 此时的 \underline{b}_{ij}^k 有可能小于 -1, \bar{b}_{ij}^k 有可能大于 1, 我们用变换

$$r_{ij}^k = \frac{\underline{b}_{ij}^k}{\max_j (|\underline{b}_{ij}^k|, |\bar{b}_{ij}^k|)}, \bar{r}_{ij}^k = \frac{\bar{b}_{ij}^k}{\max_j (|\underline{b}_{ij}^k|, |\bar{b}_{ij}^k|)} \quad (3)$$

将矩阵规范化, 得到规范化决策矩阵 $(r_{ij}^k(\otimes))_{m \times n \times p}$. 其中, $r_{ij}^k(\otimes) = [r_{ij}^k, \bar{r}_{ij}^k] \in [-1, 1]$, 表示第 k 个决策者在方案 s_i 下关于属性 c_j 的规范化效果评价价值.

2.3 计算两两方案相比较的优势度

依据 TODIM 方法的基本思想, 针对决策者的心理行为特征, 计算决策者 d_k 下, 方案 s_i 和方案 s_l 关于属性 c_j 相比较时收益和损失的优势度.

首先, 计算决策者 d_k 下, 方案 s_i 和方案 s_l 在属性 c_j 下的距离 $d(r_{ij}^k, r_{lj}^k)$

$$= \begin{cases} |r_{ij}^k - r_{lj}^k| + |\bar{r}_{ij}^k - \bar{r}_{lj}^k|, & r_{ij}^k - r_{lj}^k > 0, \\ 0, & r_{ij}^k - r_{lj}^k = 0. \\ -(|r_{ij}^k - r_{lj}^k| + |\bar{r}_{ij}^k - \bar{r}_{lj}^k|), & r_{ij}^k - r_{lj}^k < 0. \end{cases} \quad (4)$$

显然, $|d(r_{ij}^k, r_{lj}^k)|$ 越大, r_{ij}^k 与 r_{lj}^k 之间的相离程度就越大. 特别地, 当 $d(r_{ij}^k, r_{lj}^k) = 0$ 时, r_{ij}^k 与 r_{lj}^k 相等.

进一步地, 计算在第 k 个决策者下, 方案 s_i 和方案 s_l 关于属性 c_j 相比较时收益和损失的优势度.

$$\delta^k(s_i, s_l) = \sum_{j=1}^n \phi_j^k(s_i, s_l) \omega_j \quad (5)$$

其中,

$$\phi_j^k(s_i, s_l) = \begin{cases} \sqrt{\frac{d(r_{ij}^k, r_{lj}^k) \omega_{jr}}{\sum_{j=1}^n \omega_{jr}}}, & r_{ij}^k - r_{lj}^k > 0, \\ 0, & r_{ij}^k - r_{lj}^k = 0, \\ -\frac{1}{\theta} \sqrt{\frac{-d(r_{ij}^k, r_{lj}^k) \sum_{j=1}^n \omega_{jr}}{\omega_{jr}}}, & r_{ij}^k - r_{lj}^k < 0. \end{cases}$$

式中, $\omega_{jr} = \omega_j / \omega_r$, $\omega_r = \max\{\omega_j | j = 1, 2, \dots, n\}$, 表示属性 c_j 相对于参考属性 c_r 的相对权重, $\theta (\theta > 0)$ 为面对损失的衰减系数, 由决策者根据具体情况确定. 当 $\theta < 1$ 时决策者面对损失时的值被缩小, 即决策者是风险规避的, 且 θ 越小决策者的损失规避程度越高; 当 $\theta > 1$ 时决策者面对损失时的值被扩大,

此时决策者是风险偏好的. 一般地, $\theta = 0.88$, 表明决策者是风险规避型.

在此基础上, 建立决策者对收益和损失的优势度矩阵 $\delta^k = (\delta^k(s_i, s_l))_{m \times m \times p}$, 计算决策者 d_k 下, 备选方案 s_i 的优势度 $\delta^k(s_i)$:

$$\delta^k(s_i) = \sum_{l=1}^m \delta^k(s_i, s_l) \quad (i, l = 1, 2, \dots, m)$$

最后, 通过标准化得决策者 d_k 下方方案 s_i 的全局优势度 $\xi(s_i^k)$, 即

$$\xi(s_i^k) = \frac{\delta^k(s_i) - \min_{1 \leq i \leq m} \{\delta^k(s_i)\}}{\max_{1 \leq i \leq m} \{\delta^k(s_i)\} - \min_{1 \leq i \leq m} \{\delta^k(s_i)\}} \quad (6)$$

2.4 决策者权重的确定

在群体决策问题中, 满足决策者意见一致性的结果往往是最可靠的. 又备选方案在引入决策者权重后的综合指标值为 $V_i = \sum_{k=1}^p \xi(s_i^k) \lambda_k$, 群体综合指标均值为 $\bar{V}_i = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p \xi(s_i^k)$, 由两值偏差最小得决策者评价一致性的优化目标 M_1 :

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p \left[\xi(s_i^k) \lambda_k - \frac{1}{p} \xi(s_i^k) \right]^2 \quad (7)$$

$$s.t. \sum_{k=1}^p \lambda_k = 1, 0 \leq \lambda_k \leq 1$$

但是一味地追求决策者意见一致性而忽略部分决策者有意义的不同意见, 会使决策结果不合理, 甚至发生失真. 为此, 我们根据决策问题本身的信息对决策者权重进行赋值. 定义 $I = - \sum_{k=1}^p \lambda_k \ln \lambda_k$ 为决策者权重向量的熵, 用于度量决策者权重均衡程度. 根据极大熵准则知熵越大不确定性越小, 由此我们得优化目标 M_2 :

$$\max I = - \sum_{k=1}^p \lambda_k \ln \lambda_k \quad (8)$$

$$s.t. \sum_{k=1}^p \lambda_k = 1, 0 \leq \lambda_k \leq 1$$

由决策者对意见一致性原理和极大熵准则的不同偏好程度得优化模型 $M^{[20]}$:

$$\min \mu \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p [\xi(s_i^k) \lambda_k - \xi(s_i^k) / p]^2 + (1 - \mu) \sum_{k=1}^p \lambda_k \ln \lambda_k \quad (9)$$

$$s.t. \sum_{k=1}^p \lambda_k = 1, 0 \leq \lambda_k \leq 1$$

其中, $0 \leq \mu \leq 1$ 为决策者对两个目标的偏好系数. 一般取 μ 为 0.5, 表示决策者对两个目标的偏好相同. 运用 Lingo 11.0 对上式进行求解, 得到群体决策中各

决策者的权重向量集为 $\lambda^* = (\lambda_1^*, \lambda_2^*, \dots, \lambda_p^*)$.

定理 1 优化模型 M 最优解存在.

证明 由于模型 M 为二次线性规划问题, 根据目标函数和约束条件的实际意义可知该模型可行域存在且有界. 又因为任意可行域有界的单目标规划在其可行域上达到最优, 所以模型存在最优解. \square

2.5 方案综合价值的计算与备选方案排序择优

集结各决策者的信息为群体信息, 得备选方案 s_i 的综合价值

$$\xi(s_i) = \sum_{k=1}^p \xi(s_i^k) \lambda_k^* \quad (10)$$

根据备选方案的综合价值对方案进行排序, 综合价值 $\xi(s_i)$ 越大, 方案越优.

考虑决策者心理行为的区间灰数型多属性群体决策方法不仅反映了决策者的心理行为和风险态度, 符合实际决策过程中决策者心理问题, 而且在分析决策者权重时, 兼顾了群体决策信息的一致性问题 and 信息分布特征, 具有一定的应用背景和实用价值, 为群决策的研究提供了一定的理论基础.

2.6 决策步骤

综上所述, 考虑决策者心理行为的灰色多属性群体决策方法的步骤如下:

step 1: 根据 (1)-(3) 式, 对原始效果评价数据利用“奖优罚劣”算子进行规范化处理;

step 2: 由式 (4)-(7) 计算决策者下两两方案关于属性的优势度以及备选方案的全局优势度;

step 3: 由式 (8)-(10) 计算群体决策中各决策者的权重向量集;

step 4: 集结决策者信息, 根据式 (11) 计算备选方案的综合价值并对其排序择优.

3 案例分析与对比分析

3.1 尼泊尔震后临时存储中心的建立

2015 年 4 月 25 日, 尼泊尔发生 8.1 级地震. 为方便接收、运送和储存救济物品, 拟打算在 Dolakha 等六个地区建立临时储存中心, 记六个地区为 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_6\}$. 但是临时储存中心的建立面临缺乏叉车等设备的挑战, 需对六个储存中心的建设方案进行排序^[21]. 综合调查后, 尼泊尔成立了一个由四个人道主义组织 $D = \{d_1, d_2, d_3, d_4\}$ 组成的委员会, 考虑开放空间的可用性、道路可达性、安全性等八个属性 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_8\}$. 其中 $W = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_8\} = \{0.147, 0.147, 0.129, 0.112, 0.129, 0.076, 0.130, 0.129\}$.

step 1: 利用“奖优罚劣”算子对文献 [21] 中原

始效果评价数据进行规范化处理, 得到规范化决策矩阵;

step 2: 考虑决策者是风险规避型, 即 $\theta = 0.88$. 通过式 (4)-(7) 计算决策者 d_k 下地区 s_i 的全局优势度矩阵, 得表 1;

表 1 决策者 d_k 下地区 s_i 的全局优势度矩阵

	d_1	d_2	d_3	d_4
Dolakha	0.326	0.369	0.476	0.421
Gorkha	0.659	0.684	0.795	0.749
Kathmandu	1	1	1	0.967
Makwanpur	0.955	0.967	0.988	1
Okhaldunga	0	0	0	0
Sindhupalchok	0.298	0.336	0.429	0.404

step 3: 考虑决策者对意见一致性和极大熵准则的不同偏好程度, 确定决策者的权重向量集. 这里取 $\mu = 0.5$, 表示决策者对两个目标函数的偏好程度相同. 得优化模型 M :

$$\begin{aligned} \min & 1.271(\lambda_1 - 0.25)^2 + 1.326(\lambda_2 - 0.25)^2 \\ & + 1.509(\lambda_3 - 0.25)^2 + 1.419(\lambda_4 - 0.25)^2 \\ & + 0.5(\lambda_1 \ln \lambda_1 + \lambda_2 \ln \lambda_2 + \lambda_3 \ln \lambda_3 + \lambda_4 \ln \lambda_4) \quad (11) \end{aligned}$$

$$s.t. \quad \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 = 1$$

$$0 \leq \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4 \leq 1.$$

通过 Lingo 11.0 计算得到群体决策中决策者的权重向量为: $\lambda^* = (0.25, 0.25, 0.25, 0.25)$;

step 4: 根据式 (11) 得各地区的综合价值:

$$\begin{aligned} \xi(s_1) &= 0.3981, \quad \xi(s_2) = 0.7221, \quad \xi(s_3) = 0.9917, \\ \xi(s_4) &= 0.9776, \quad \xi(s_5) = 0, \quad \xi(s_6) = 0.3665. \end{aligned}$$

得六个地区的排序结果为: $s_3 \succ s_4 \succ s_2 \succ s_1 \succ s_6 \succ s_5$, 即首先对 Kathmandu 建立储存中心, 再是 Makwanpur、Gorkha、Dolakha、Sindhupalchok, 最后是 Okhaldhunga. 运用本文方法所得结果与文献 [21] 中结果一致, 表明本文方法是可行有效的.

3.2 对比分析

3.2.1 参数的敏感性分析

本文方法是带有参数 θ (决策者面对损失的衰减系数) 和 μ (决策者对目标函数的偏好系数) 的一种考虑决策者心理行为的灰色多属性群体决策方法. 针对不同的衰减系数 θ 和偏好系数 μ , 可得到不同的全局优势度矩阵, 从而得到不同的综合价值, 即引起排序结果变化. 本部分主要是通过改变参数值的大小, 分别计算方案最终排序结果的变化情况.

1) 决策者面对损失的衰减系数 θ

分别取 θ 为 0.1, 0.5, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0, 计算基于 θ 的不同取值下方案的排序结果, 结果如表 2 所示.

从表 2 的敏感性分析结果可以看出, 决策者面对损失的衰减系数 θ 的变化不会引起方案排序的变化. 即 θ 的取值对方案排序结果不敏感.

2) 决策者对优化目标的偏好系数 μ

分别取 μ 为 0, 0.5, 1.0, 计算基于 μ 的不同取值下方案的排序结果, 结果如表 2 所示.

由表 2 可知, 决策者对优化目标的偏好系数 μ 的变化对各地区的综合价值没有影响, 不会引起方案排序的变化.

表 2 不同参数取值下方案排序结果

参数值	方案的排序
$\theta = 0.1$	$s_3 \succ s_4 \succ s_2 \succ s_1 \succ s_6 \succ s_5$
$\theta = 0.5$	$s_3 \succ s_4 \succ s_2 \succ s_1 \succ s_6 \succ s_5$
$\theta = 0.8$	$s_3 \succ s_4 \succ s_2 \succ s_1 \succ s_6 \succ s_5$
$\theta = 1.0$	$s_3 \succ s_4 \succ s_2 \succ s_1 \succ s_6 \succ s_5$
$\theta = 1.5$	$s_3 \succ s_4 \succ s_2 \succ s_1 \succ s_6 \succ s_5$
$\theta = 2.0$	$s_3 \succ s_4 \succ s_2 \succ s_1 \succ s_6 \succ s_5$
$\mu = 0$	$s_3 \succ s_4 \succ s_2 \succ s_1 \succ s_6 \succ s_5$
$\mu = 0.5$	$s_3 \succ s_4 \succ s_2 \succ s_1 \succ s_6 \succ s_5$
$\mu = 1.0$	$s_3 \succ s_4 \succ s_2 \succ s_1 \succ s_6 \succ s_5$

从参数的敏感性分析结果可知, 参数 θ 和 μ 的变化均不会引起方案排序的变化, 说明本文方法是稳健的. 一般取 $\theta = 0.88, \mu = 0.5$, 表示决策者面对损失是风险规避型且对优化目标的偏好程度相同.

3.2.2 与现有方法的对比分析

为了进一步说明本文方法的有效性, 这里应用文献 [22] 提出的基于前景理论的群体灰靶决策方法来求解上述案例. 求得各地区的综合前景值为:

$$\xi(s_1) = -0.246, \xi(s_2) = 0.276, \xi(s_3) = 0.757, \xi(s_4) = 0.804, \xi(s_5) = -0.823, \xi(s_6) = -0.129.$$

排序结果为: $s_4 \succ s_3 \succ s_2 \succ s_6 \succ s_1 \succ s_5$.

由对比分析可知: 本文方法认为先对 Kathmandu 建立储存中心, 再是 Makwanpur, 而文献 [22] 认为应先对 Makwanpur 建立储存中心, 再是 Kathmandu. 但两种方法均认为最后对 Okhaldhunga 建立储存中心. 原因是两种决策方法在决策过程中均考虑了决策者的心理行为, 且各决策者面临收益和损失时具有不同的反应函数. 两种排序结果不同的主要原因是: 基于前景理论的群决策方法直接依据指标值和各决策者期望值计算指标的前景价值函数值, 没有对数据进行规范化处理. 而本文方法首先对原始数据进行处理, 以使数据充分体现奖优罚劣

的思想, 再对方案进行排序择优; 此外, 本文方法比文献 [22] 方法更加符合现实情况. 因为文献 [22] 的损失感知价值函数为

$$v_{ij}^- = -\lambda(-d_{ij})^\beta,$$

本文方法的损失感知优势度函数为

$$\phi_{ij}^- = -\frac{1}{\theta} \sqrt[\theta]{\frac{-d_{ij} \sum_{j=1}^n \omega_{jr}}{\omega_{jr}}}.$$

在不考虑参数 λ 和 θ 取值且 $\beta = 1$ 情况下, 有 $|v_{ij}^-| \leq |\phi_{ij}^-|$. 这说明在决策过程中, 当面对相同损失时, 本文方法的决策者比文献 [22] 方法的决策者要敏感, 这更符合实际决策过程. 进一步说明了本文方法的优越性和适用性.

3.3 河南省十地市受旱灾影响程度分析

干旱灾害是全球范围内频繁发生的一种自然灾害, 具有发生频率高、影响范围广、持续时间长、产生危害大等特点^[23]. 随着我国社会经济的快速发展和水资源供需矛盾的日益突出, 干旱灾害对我国农业系统产生的威胁也日趋严重, 农业干旱已成为我国社会经济可持续发展的重要制约因素. 河南省是我国重要的粮食生产基地, 但受季风性气候影响, 旱灾频发, 对粮食生产构成极大威胁. 根据历史旱灾数据, 分析旱灾影响程度, 在灾害发生时采取合理有效的措施, 减少经济损失和人员伤亡, 一直是干旱灾害风险管理战略的主要目标, 也是灾害研究与管理的努力方向.

为分析历史上河南省十个地市受旱灾影响程度, 专家 $D = \{d_1, d_2, d_3\}$ 选择 3 个有代表性的典型大旱年进行分析. 典型年的选择原则主要有: 受旱范围大; 持续时间长 (发生连年旱), 灾害严重; 资料比较系统^[24]. 根据以上原则, 专家 1 选择 1959 至 1961 年三年连续大旱, 专家 2 选择 1965 至 1966 年连续两年大旱, 专家 3 选择 1985 至 1988 年连续四年大旱三个典型大旱年对河南省安阳、新乡等十个地市进行旱灾分析. 数据来源于文献 [24].

step 1: 首先考虑受灾面积和成灾面积两个属性, 利用“奖优罚劣”算子对原始效果评价价值数据进行规范化处理, 得到规范化决策矩阵;

step 2: 由规范化矩阵, 通过式 (4)-(7) 计算专家 d_k 下地市 s_i 的全局优势度矩阵, 得表 3;

表 3 专家 d_k 下地区 s_i 的全局优势度矩阵

	安阳	新乡	洛阳	开封	商丘	许昌	周口	驻马店	信阳	南阳
专家 1	0.000	0.132	0.412	0.596	0.265	0.959	1.000	0.235	0.127	0.832
专家 2	1.000	0.446	0.562	0.031	0.000	0.350	0.216	0.666	0.739	0.094
专家 3	0.457	0.550	0.311	0.211	0.479	0.000	0.868	1.000	0.372	0.668

step 3: 由式 (8)-(10) 得优化模型 M :

$$\begin{aligned} \min & 1.648(\lambda_1 - 0.333)^2 + 1.342(\lambda_2 - 0.333)^2 \\ & + 1.610(\lambda_3 - 0.333)^2 + 0.5(\lambda_1 \ln \lambda_1 \\ & + \lambda_2 \ln \lambda_2 + \lambda_3 \ln \lambda_3) \\ \text{s.t.} & \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1 \\ & 0 \leq \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \leq 1; \end{aligned} \quad (12)$$

step 4: 集结三个专家的信息, 根据式 (11) 得河南省十个地市的综合价值, 如表 4 所示.

同理, 从受灾、成灾面积占耕地面积的百分比这两个属性考虑. 通过对原始数据进行奖优罚劣处理, 计算专家 d_k 下地市 s_i 的全局优势度矩阵, 得河南省十个地市的综合价值, 如表 4 所示.

表 4 综合价值

	安阳	新乡	洛阳	开封	商丘	许昌	周口	驻马店	信阳	南阳
受灾、成灾面积属性	0.486	0.376	0.428	0.279	0.248	0.436	0.695	0.634	0.413	0.531
占耕地面积百分比属性	0.688	0.602	0.458	0.358	0.163	0.461	0.599	0.626	0.430	0.193

由上述结果知, 在三个典型大旱年中, 当考虑受灾和成灾面积两个属性时, 十地市的综合价值由大到小依次为: 周口、驻马店、南阳、安阳、洛阳、许昌、信阳、新乡、开封、商丘, 表明周口、驻马店、南阳和安阳在干旱灾害中更容易出现大面积干旱情况. 由考虑受灾、成灾面积占耕地面积百分比两个属性的结果知安阳、驻马店、新乡和周口在干旱灾害中受灾、成灾面积占耕地面积比重更大. 此外, 在三次大旱中, 驻马店、周口和安阳的总受灾面积分别为 361.9, 338.2, 269.1 万 hm^2 , 总成灾面积为 232, 208, 179.8 万 hm^2 , 占河南省总受灾面积和总成灾面积的 41.95% 和 40.02%, 由此可知驻马店、周口和安阳在干旱灾害中最容易造成农业经济损失, 影响粮食生产安全和社会经济发展. 政府应增加对旱灾严重区域水利建设的投入, 改造扩建灌溉工程, 提高灌溉能力, 加强抗旱救灾工作, 这对减轻旱灾损失具有一定的理论意义和现实价值.

4 结论

本文针对决策者在实际决策过程中表现出参照依赖和损失规避的现象, 提出考虑决策者心理行为的区间灰数型多属性群体决策方法. 该方法利用“奖优罚劣”变换算子对原始决策信息进行规范化处理. 并依据 TODIM 方法和决策者信息, 计算方案关于属性的收益和损失优势度, 求出备选方案的综合价值并对其排序择优. 最后, 应用本文方法分析尼泊尔震后临时储存中心的建立和河南省十地市受旱灾影响情况, 结果表明了本文方法的可行性和合理性. 通过与现有方法相比, 进一步说明了本文方法具有较强的可操作性和实用性, 且更符合决策者的心理行为. 该方法不仅扩展了多属性群体决策的应用范围, 而且为解决实际问题提供了一种新的思路.

参考文献 (References)

- [1] Liu S F, Yang Y J, Jeffrey F. Grey Data Analysis: Methods, Models and Applications[M]. Singapore: Springer, 2017.
- [2] Liu A, Xiao Y, Lu H, et al. A fuzzy three-stage multi-attribute decision-making approach based on customer needs for sustainable supplier selection[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 118043.
- [3] Ye J. Multiple attribute decision-making method based on linguistic cubic variables[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2018, 34(04): 2351-2361.
- [4] Gong K, Chen C. Multiple-attribute decision making based on equivalence consistency under probabilistic linguistic dual hesitant fuzzy environment[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2019, 85: 393-401.
- [5] Mi C, Xiao L, Liu S, et al. A multiple-attribute decision-making method based on the mean value of grey number weight optimisation and its application in supply-chain management[J]. Grey Systems: Theory and Application, 2017, 7(02): 297-307.
- [6] 罗党, 李诗. 基于“离合”思想的混合型灰色多属性决策方法 [J]. 控制与决策, 2016, 31(07): 1305-1310. (Luo D, Li S. Hybrid grey multiple attribute decision-making method based on “clutch” thought[J]. Control and Decision, 2016, 31(07): 1305-1310.)
- [7] 刘宁元. 考虑决策者心理行为的直觉语言多属性决策方法 [J]. 运筹与管理, 2019, 28(07): 11-16. (Liu N Y. Multiple Attribute Decision-making Method of Intuitionistic Linguistic Considering Psychological Behavior of Decision-maker[J]. Operations Research and Management Science, 2019, 28(07): 11-16.)
- [8] 刘宁元. 考虑决策者心理行为的三角直觉模糊数多属性决策方法 [J]. 兰州文理学院学报 (自然科学版), 2018, 32(03): 1-7. (LIU N Y. Triangular intuitionistic fuzzy multipl attribute decision-making method with consideration of psychological behavior of decision maker[J]. Journal of Lanzhou University of Arts and Science (Natural Science

- Edition), 2018, 32(03): 1-7.)
- [9] Wang W, Liu X, Chen X, et al. Risk assessment based on hybrid FMEA framework by considering decision maker's psychological behavior character[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2019, 136: 516-527.
- [10] 余高峰, 李登峰, 刘文奇. 考虑决策者心理行为特征的激励型变权决策方法研究 [J]. *系统工程理论与实践*, 2017, 37(05): 1304-1312.
(Yu G F, Li D F, Liu W Q. Method for incentive type variable weight decision making considering decision maker's psychological behavior character[J]. *Systems Engineering-Theory and Practice*, 2017, 37(05): 1304-1312.)
- [11] 陈晓红, 李慧, 谭春桥. 考虑不同心理行为偏好的混合随机多属性决策 [J]. *系统工程理论与实践*, 2018, 38(06): 1545-1556.
(Chen X H, Li H, Tan C Q. A hybrid stochastic multi-attribute decision-making method considering different psychological behavior[J]. *Systems Engineering Theory and Practice*, 2018, 38(06): 1545-1556.)
- [12] Zhang X, Liang H, Fang F, et al. A method for risky multiple attribute decision making considering regret and rejoicing of the decision maker[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2018, 124: 422-434.
- [13] Li Y, Zhang D X. Dynamic multi-attribute decision-making method with three-parameter interval grey number based on the prospect theory[J]. *Grey Systems: Theory and Application*, 2018, 8(04): 424-435.
- [14] 钟磊, 王应明. 考虑心理行为的区间二元语义动态群决策方法 [J/OL]. *计算机工程与应用*: 1-8[2020-01-07]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2127.TP.20191205.1629.018.html>.
(Zhong L, Wang Y M. Dynamic group decision making method of interval 2-tuple linguistic information considering psychological behavior[J/OL]. *Computer Engineering and Applications*: 1-8[2020-01-07]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2127.TP.20191205.1629.018.html>.)
- [15] Wang Z, Wang Y, Wang L. Tri-level multi-attribute group decision making based on regret theory in multi-granular linguistic contexts[J]. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 2018, 35(1): 793-806.
- [16] 马庆功. 基于前景理论的犹豫模糊多属性群决策方法 [J]. *计算机工程与应用*, 2015, 51(24): 249-253.
(Ma Q G. Hesitant fuzzy multi-attribute group decision-making method based on prospect theory[J]. *Computer Engineering and Application*, 2015, 51(24): 249-253.)
- [17] Gomes L, Lima M. TODIM: Basics and application to multi-criteria ranking of projects with environmental impacts[J]. *Foundations of Computing and Decision Sciences*, 1992(16): 113-127.
- [18] 樊治平, 陈发动, 张晓. 考虑决策者心理行为的区间数多属性决策方法 [J]. *东北大学学报 (自然科学版)*, 2011, 32(01): 136-139.
(Fan Z P, Chen F D, Zhang X. Method for interval multiple attribute decision-making considering decision-maker's psychological behavior[J]. *Journal of Northeastern University (Natural Science)*, 2011, 32(01): 136-139.)
- [19] 刘勇, Jeffrey Forrest, 刘思峰. 基于“奖优罚劣”线性变换算子的区间数多目标灰色局势决策方法 [J]. *统计与信息论坛*, 2012, 27(04): 22-26.
(Liu Y, Jeffrey F, Liu S F. Multi-objective grey situation decision making model and application with interval numbers based on linear transformation operator with rewarding good and punishing bad[J]. *Statistics and Information Forum*, 2012, 27(04): 22-26.)
- [20] 闫书丽, 刘思峰, 吴利丰. 一种基于前景理论的三参数区间灰数型群体灰靶决策方法 [J]. *控制与决策*, 2015, 30(01): 105-109.
(Yan S L, Liu S F, Wu L F. A group grey target decision making method with three parameter interval grey number based on prospect theory[J]. *Control and Decision*, 2015, 30(01): 105-109.)
- [21] Rajali M, Shinya H. Fuzzy multi-attribute group decision making to identify the order of establishing temporary logistics hubs during disaster response[J]. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 2019, <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-02-2018-0013>
- [22] 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(04): 673-678.
(Yan S L, Liu S F. Group grey target decision making based on prospect theory[J]. *Control and Decision*, 2014, 29(04): 673-678.)
- [23] 陈海涛, 徐冬梅, 王文川, 邱林. 河南省农业干旱风险分析关键技术研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2017: 1-11.
(Chen H, Xu D, Wang W, et al. Study on the Key Technology of Agricultural Drought Risk Analysis in Henan Province[M]. Beijing: Science Press, 2017: 1-11.)
- [24] 河南省水利厅水旱灾害专著编辑委员会. 河南水旱灾害 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1998: 181-207.
(Department of Water Conservancy of Henan Province. Flood and drought disasters in Henan Province[M]. Zhengzhou: Yellow River Water Resources Press, 1998: 181-207.)

作者简介

罗党(1958-), 男, 教授, 博士生导师, 从事灰色系统理论与决策分析等研究, E-mail: iamld99@163.com;

张慧慧(1992-), 女, 硕士生, 从事灰色系统理论与决策分析的研究, E-mail: zhanghuihuishi99@163.com.

孙德才(1981-), 男, 博士生, 从事灰色系统理论与决策分析的研究, E-mail: dcsun@stu.ncwu.edu.cn.