

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

闫书丽^{1,2}, 刘思峰¹, 吴利丰¹

(1. 南京航空航天大学 经济与管理学院, 南京 210016; 2. 河南科技大学 数学与统计学院, 河南 洛阳 471003)

摘要: 考虑决策者关于指标满意域和风险态度对群体决策的影响, 提出基于前景理论的三参数区间灰数型群体灰靶决策方法. 该方法利用“奖优罚劣”的三参数区间灰数线性变换算子对原始决策信息进行规范化处理, 能够充分反映决策值是否中靶. 在此基础上, 以规范化区间的零点作为参考点, 定义前景价值函数. 依据群体一致性和极大熵原理构建决策者权重模型, 根据综合前景值的正负判断方案是否中靶. 最后, 通过实例表明了所提出方法的有效性和优越性.

关键词: 前景理论; 三参数区间灰数; 群体灰靶决策; 价值函数; 决策者权重

中图分类号: N945

文献标志码: A

A group grey target decision making method with three parameter interval grey number based on prospect theory

YAN Shu-li^{1,2}, LIU Si-feng¹, WU Li-feng¹

(1. College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China; 2. School of Mathematics and Statistics, He'nan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China. Correspondent: YAN Shu-li, E-mail: yshuli@126.com)

Abstract: Considering the impact on group decision making from that every decision maker has attitude toward risk and grey targets about attributes, a method of group grey target decision making with three parameter interval grey number based on the prospect theory is proposed. A linear operator with the features of the “rewarding good and punishing bad” about three parameter interval grey number is used to standardize the decision values. The positive or negative sign of the standardized values can reflect adequately whether the attributes’ values hit the bull’s eye or not. A prospect value function is defined by using the dividing point of positive and negative as the reference point. Then, the weight model of decision maker is proposed based on group’s consistency and the maximum entropy, and the project hits bull’s eye or not is judged according to positive or negative of comprehensive prospect values. Finally, the vendor selection case shows the feasibility and superiority of the proposed method.

Keywords: prospect theory; three parameter interval grey number; group grey target decision making; value function; decision makers’ weight

0 引言

灰靶决策是灰色系统理论中解决多指标决策问题的方法之一^[1-2]. 灰靶实际上是满意效果所在的区域, 在靶上设定一个靶心, 距离靶心越近效果越优. 其基本思想是: 在一组序列中找出最理想的数据构建参考序列, 各序列与参考序列构成灰靶, 令参考序列为靶心, 各序列与靶心的距离称为靶心距, 根据靶心距的大小对方案进行排序.

灰靶决策方法已引起众多学者的关注, 得到了

逐步的完善和拓展. 王文平^[3]提出了新的灰效用函数概念, 并探讨了灰靶决策的决策准则和内在机理. 党耀国等^[4]针对区间数指标信息值提出了新的灰靶决策方法, 拓展了灰靶决策理论的应用范围. 陈勇明等^[5]验证了灰靶变换公式与定义间的不相容问题. 王正新等^[6]采用加权马氏距离改进了原有的灰靶决策方法. 宋捷等^[7]提出了基于非线性函数的强“奖优罚劣”算子, 将标准化指标的取值范围扩展到 $[-1, 0]$, 更好地体现了指标值与平均水平的优劣比较. 宋捷等^[8]

收稿日期: 2013-11-25; 修回日期: 2014-02-17.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71111130211, 91324003, 70971064, 71401051, 71171112, 71171113, 71271226); 国家社科基金重大项目(10zd&014); 国家社科重点项目(12AZD102).

作者简介: 闫书丽(1982—), 女, 讲师, 博士, 从事决策分析、灰色系统理论的研究; 刘思峰(1955—), 男, 教授, 博士生导师, 从事灰色系统理论、数量经济学等研究.

和罗党等^[9]分别针对区间灰数、三参数区间灰数决策问题,定义了各方案到正、负理想方案的正、负靶心距,从不同的角度定义了各方案的综合靶心距,进而根据综合靶心距的大小对方案进行排序.目前,灰靶决策模型分为矩形、球形、椭球3种^[10],主要基于被评序列集构建灰靶.刘思峰等^[11]针对具有满意域的决策指标,构建了4种实数型指标效果测度,根据效果测度的正、负反映指标中靶或者脱靶.刘勇等^[12]考虑决策者心理行为,针对区间数决策问题,提出了基于前景理论的多目标灰靶决策方法.

综上,灰靶决策的研究均没有考虑多个决策者参与的情况,在实际决策问题中,往往需要多个决策者的参与,因此关于群体行为下的灰靶决策是值得研究的方向.在实际群决策过程中,各决策者关于各属性都有一个可接受域(满意域、期望灰靶),在评价时,会根据各方案的属性值是否落入灰靶来判断方案是否入选,且各决策者对方案主观上的风险偏好会直接影响决策的结果.Kahneman等^[13]提出的前景理论描述了决策者面临风险时的非理性行为,更加符合实际决策行为模式.目前,将前景理论与灰色决策方法相结合的研究已有一定的进展.文献[14]基于区间灰数信息,结合前景理论提出了新的灰色随机决策方法.文献[15]以正、负理想方案作为参考点,基于灰色关联系数提出了新的前景价值函数,根据综合前景值的大小对方案进行排序.

由于决策信息的不确定性和灰性,决策信息通常以区间灰数形式表示,在区间内取值的灰数,往往取到任何值机会是不等的,此情况下的决策信息为三参数区间灰数,目前已取得了一定的研究成果^[9,16].

鉴于此,针对属性值为三参数区间灰数的群体决策问题,考虑决策者关于属性均有期望灰靶与决策者关于属性是否落入灰靶的不同风险态度,将前景理论与灰靶决策方法相结合,定义新型三参数区间灰数一致效果测度函数和前景价值函数,进而根据各方案下属性前景值、方案前景均值的接近度和极大熵原理构建规划模型,用于解决考虑决策者心理行为的群体灰靶决策问题.所提出的方法根据前景值的正负判断方案是否“中靶”,更加符合人们的决策预期.最后,通过商用大飞机关键部件供应商选择的实例验证了该方法的可行性和优越性.

1 问题描述

设多指标群决策问题有 m 个决策方案,组成决策方案集 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$; n 个评价指标组成指标集 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$; p 个决策者组成决策者集 $D = \{d_1, d_2, \dots, d_p\}$; 第 k 个决策者关于 i 方案下 j 指

标的评价值 $(a_{ij}^k(\otimes))_{mn}$ 为三参数区间灰数的形式; $W = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$ 为指标的权重向量; $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p\}$ 为决策者的权重向量; $G = \{g_1^k(\otimes), g_2^k(\otimes), \dots, g_n^k(\otimes)\}$ 为第 k 个决策者关于各指标的期望灰靶向量,即每个专家对各指标都有一个心理期望灰靶,期望灰靶通常也是一个区间.

2 基于决策者期望灰靶和前景理论的群体灰靶决策方法

2.1 三参数区间灰数

定义1 设灰数 $a(\otimes) = [a^l, a^*, a^u]$ 为三参数区间灰数,其中 $a^l \leq a^* \leq a^u$, a^l 、 a^u 分别为区间数下限、上限, a^* 为在此区间中取值可能性最大的数,称为区间灰数的重心.当 $a^l = a^* = a^u$ 时,三参数区间灰数退化为一个实数;当 a^l 、 a^* 、 a^u 中某两个相同时,三参数区间灰数退化为区间灰数.

定义2 设 $\tilde{a}(\otimes) = [a^l, a^*, a^u]$, $\tilde{b}(\otimes) = [b^l, b^*, b^u]$, 则有

$$\tilde{a}(\otimes) + \tilde{b}(\otimes) = [a^l + b^l, a^* + b^*, a^u + b^u],$$

$$\lambda \tilde{a}(\otimes) = [\lambda a^l, \lambda a^*, \lambda a^u], \lambda > 0.$$

定义3 设 $\tilde{a}(\otimes) = [a^l, a^*, a^u]$, $\tilde{b}(\otimes) = [b^l, b^*, b^u]$, 则称

$$d(\tilde{a}(\otimes), \tilde{b}(\otimes)) =$$

$$\alpha |a^l - b^l| + \beta |a^* - b^*| + (1 - \alpha - \beta) |a^u - b^u| \quad (1)$$

为 $\tilde{a}(\otimes)$ 与 $\tilde{b}(\otimes)$ 之间的距离.其中: $0 \leq \alpha < 0.5$, $0.5 \leq \beta \leq 1$.当 $\tilde{a}$ 、 $\tilde{b}$ 中某一个数退化为实数时,此公式仍然适用.

定义4 设 $\tilde{a}(\otimes) = [a^l, a^*, a^u]$, $\tilde{b}(\otimes) = [b^l, b^*, b^u]$, 当 $a^* > b^*$ 时, $\tilde{a}(\otimes) \succ \tilde{b}(\otimes)$; 当 $a^* = b^*$ 时,若 $l((a^u - a^*) - l((a^* - a^l) > l(b^u - b^*) - l(b^* - b^l))$, 则 $\tilde{a}(\otimes) \succ \tilde{b}(\otimes)$.当 $\tilde{a}(\otimes)$ 、 $\tilde{b}(\otimes)$ 中某一个数退化为实数时,此公式仍然适用.

2.2 基于决策者期望灰靶的奖优罚劣变换算子

为了更好地体现决策信息是否落入决策者的心理期望灰靶之内,提出奖优罚劣的线性变换算子.其基本思想是:决策信息值如果落入或优于决策者期望灰靶,则赋予 $[0, 1]$ 内的标准三参数区间灰数;如果劣于决策者期望灰靶,则赋予 $[-1, 0]$ 内的标准三参数区间灰数.设第 k 个决策者关于指标 c_j 的期望灰靶为 $[u_j^{k-}, u_j^{k+}]$,若指标 c_j 为效益型,则有

$$[b_{ij}^{kl}, b_{ij}^{k*}, b_{ij}^{ku}] = \left[\frac{a_{ij}^{kl} - u_j^{k-}}{\max\{|a_{ij}^{kl} - u_j^{k-}|, |a_{ij}^{ku} - u_j^{k-}|, |u_j^{k+} - u_j^{k-}|\}}, \right.$$

$$\frac{a_{ij}^{k*} - u_j^{k-}}{\max\{|a_{ij}^{kl} - u_j^{k-}|, |a_{ij}^{ku} - u_j^{k-}|, |u_j^{k+} - u_j^{k-}|\}},$$

$$\frac{a_{ij}^{ku} - u_j^{k-}}{\max\{|a_{ij}^{kl} - u_j^{k-}|, |a_{ij}^{ku} - u_j^{k-}|, |u_j^{k+} - u_j^{k-}|\}}]. \quad (2)$$

若指标 c_j 为成本型, 则有

$$[b_{ij}^{kl}, b_{ij}^{k*}, b_{ij}^{ku}] =$$

$$\left[\frac{u_j^{k+} - a_{ij}^{ku}}{\max\{|a_{ij}^{kl} - u_j^{k-}|, |a_{ij}^{ku} - u_j^{k-}|, |u_j^{k+} - u_j^{k-}|\}}, \right.$$

$$\frac{u_j^{k+} - a_{ij}^{k*}}{\max\{|a_{ij}^{kl} - u_j^{k-}|, |a_{ij}^{ku} - u_j^{k-}|, |u_j^{k+} - u_j^{k-}|\}},$$

$$\left. \frac{u_j^{k+} - a_{ij}^{ku}}{\max\{|a_{ij}^{kl} - u_j^{k-}|, |a_{ij}^{ku} - u_j^{k-}|, |u_j^{k+} - u_j^{k-}|\}} \right]. \quad (3)$$

以上变换称为 $[-1, 1]$ 三参数区间灰数线性变换算子, 在中靶情形, $\tilde{b}_{ij}^k(\otimes) \in [0, 1]$; 在脱靶情形, $\tilde{b}_{ij}^k(\otimes) \in [-1, 0]$. 如果 $b_{ij}^{kl} > 0$, 则表明决策信息满足决策者心理预期; 如果 $b_{ij}^{ku} < 0$, 则表明决策信息不满足决策者心理预期; 如果 $b_{ij}^{kl} \leq 0 \leq b_{ij}^{ku}$, 则表明决策信息不确定是否满足决策者预期, 需要与 0 点进行大小比较来判定.

2.3 基于灰靶的前景值

考虑决策者心理行为的前景理论取得了进一步的进展^[13,16]. 规范化后的三参数区间灰数的临界点为 0, 以 0 为参考点, 若规范化信息值优于 0, 则对于决策者而言是面临收益的, 此时决策者是厌恶风险的; 若规范化信息值劣于 0, 则对于决策者而言是面临损失的, 此时决策者是追求风险的. 定义前景效用价值函数为

$$v(\tilde{b}_{ij}^k(\otimes)) = \begin{cases} d(\tilde{b}_{ij}^k(\otimes), 0)^\alpha, & \tilde{b}_{ij}^k(\otimes) \succ 0; \\ -\theta d(\tilde{b}_{ij}^k(\otimes), 0)^\beta, & \tilde{b}_{ij}^k(\otimes) \prec 0. \end{cases} \quad (4)$$

决策者面临收益或损失时的前景权重函数为

$$\pi_{ij}^{\omega_j} = \begin{cases} \frac{(\omega_j)^\gamma}{((\omega_j)^\gamma + (1 - \omega_j)^\gamma)^{\frac{1}{\gamma}}}, & \tilde{b}_{ij}^k(\otimes) \succ 0; \\ \frac{(\omega_j)^\delta}{((\omega_j)^\delta + (1 - \omega_j)^\delta)^{\frac{1}{\delta}}}, & \tilde{b}_{ij}^k(\otimes) \prec 0. \end{cases} \quad (5)$$

参数 γ, δ 主要控制前景权重函数曲线的曲率, 分别表示面临收益或损失时的值. 根据 $v(\tilde{b}_{ij}^k(\otimes))$ 和 $\pi_{ij}^k(\omega_j) (j = 1, 2, \dots, n)$, 决策者 d_k 关于方案 S_i 的前景值为

$$V_i^k(\otimes) = \sum_{j=1}^n v(\tilde{b}_{ij}^k(\otimes)) \pi_{ij}^k(\omega_j). \quad (6)$$

文献[17]表明, 当参数 $\alpha = \beta = 0.88, \lambda = 2.25, \gamma = 0.61, \delta = 0.69$ 时, 与经验数据较为一致.

2.4 专家权重的确定

在群体决策中, 满足决策者意见一致性的结果往往是最可靠的. 按各方案在引入决策者权重后的

综合指标值 $V_i = \sum_{k=1}^p V_i^k \lambda_k$ 与群体综合指标均值 $\bar{V}_i =$

$\frac{1}{p} \sum_{k=1}^p V_i^k$ 偏差最小的原则, 得到决策者评价的一致性. 但若一味追求决策者意见的一致性, 忽略部分决策者有意义的不同意见, 则得到的结果可能会不合理, 甚至发生失真. 为了防止追求意见上的一致而忽略了部分决策者有意义的不同意见对结果的影响, 需要根据决策问题本身含有的信息对决策者权重进行赋值. 信息不全的决策问题权重本身具有一定的不确定性, 计量不确定性的最合适标尺是熵^[18]. 由极大熵准则和决策意见一致性原理建立优化模型 M_1 为

$$\min \mu \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p (\lambda_k V_i^k - \bar{V}_i)^2 + (1 - \mu) \sum_{k=1}^p \lambda_k \ln \lambda_k;$$

$$\text{s.t. } \sum_{k=1}^p \lambda_k = 1, \eta \leq \lambda_k < 1, k = 1, 2, \dots, p. \quad (7)$$

其中: $\lambda_k \geq \eta$ 确保各决策者均参与决策; $\eta > 0$ 为临界值, 其数值建议设为 $\eta = 1/2q$; $0 < \mu < 1$ 为决策者对两个目标的偏好系数.

定理 1 模型 M_1 必有最优解.

证明 由于模型 M_1 为单目标规划问题, 由目标函数和各约束条件的实际意义可知, 该模型可行域存在、有界. 根据最优解存在定理(任意可行域有界的单目标规划一定可以在其可行域上达到最优)^[19]可知, 模型 M_1 必有最优解. $\square$

2.5 决策步骤

Step 1: 由各决策者关于各指标的心理期望灰靶, 按照式(2)和(3)对决策值进行规范化处理.

Step 2: 由式(4)~(6)计算各决策者关于各方案的前景值.

Step 3: 由式(7)计算各决策者权重.

Step 4: 对各决策者的信息集集成群体意见, 方案的综合前景值为

$$V_i = \sum_{k=1}^p V_i^k \lambda_k, i = 1, 2, \dots, m. \quad (8)$$

按照 $V_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 的大小对各方案进行排序. 基于前景理论的三参数区间灰数多属性群体灰靶决策方法有以下特点: 1) 能够充分反映决策者的心理期望灰靶和风险态度, 更加符合实际决策心理问题; 2) 在分析决策者权重时, 兼顾了群体决策信息的一致性和信息分布特征.

3 案例分析

在商用大型飞机某关键零部件国际供应商选择问题中, 有 4 家国际供应商入围. 设供应商集合 $S = \{s_1, s_2, s_3, s_4\}$ 通过质量 c_1 、价格 c_2 (单位: 百万元)、

设计方案 c_3 、竞争力 c_4 四个决策指标进行决策, 指标权重向量为 $W = (0.3, 0.26, 0.23, 0.21)$. 为了决策更加合理全面, 采用多个决策者共同参与决策, 各决策者关于方案属性的评价矩阵为

$$A_1 = \begin{bmatrix} [9.3, 9.5, 9.7] & [13.9, 14.2, 14.5] \\ [9.2, 9.4, 9.8] & [14.7, 15.1, 15.3] \\ [8.8, 9, 9.3] & [13.5, 13.9, 14.2] \\ [9, 9.2, 9.5] & [14.5, 14.7, 15] \end{bmatrix} \rightarrow$$

$$\leftarrow \begin{bmatrix} [9.2, 9.4, 9.8] & [8.7, 9, 9.3] \\ [8.9, 9.2, 9.5] & [9, 9.3, 9.6] \\ [9, 9.4, 9.6] & [8.9, 9.2, 9.6] \\ [9.1, 9.3, 9.7] & [9.1, 9.4, 9.7] \end{bmatrix},$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} [9, 9.3, 9.5] & [14, 14.5, 14.7] \\ [9.3, 9.5, 9.8] & [14.5, 15, 15.2] \\ [8.7, 9, 9.2] & [13.6, 14, 14.3] \\ [8.9, 9.3, 9.6] & [13.8, 14.2, 14.5] \end{bmatrix} \rightarrow$$

$$\leftarrow \begin{bmatrix} [9.2, 9.5, 9.7] & [9, 9.4, 9.5] \\ [8.8, 9, 9.5] & [9.2, 9.6, 9.8] \\ [9.4, 9.6, 9.8] & [8.9, 9.3, 9.6] \\ [9, 9.2, 9.5] & [9.2, 9.5, 9.6] \end{bmatrix},$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} [9.2, 9.4, 9.7] & [13.8, 14.3, 14.6] \\ [9.1, 9.3, 9.6] & [14.5, 14.8, 15] \\ [8.9, 9.1, 9.4] & [13.5, 13.8, 14.1] \\ [8.8, 9.3, 9.5] & [14, 14.5, 14.9] \end{bmatrix} \rightarrow$$

$$\leftarrow \begin{bmatrix} [9.1, 9.4, 9.7] & [9.3, 9.5, 9.8] \\ [8.9, 9.2, 9.5] & [9.2, 9.4, 9.7] \\ [9.3, 9.5, 9.8] & [9, 9.2, 9.5] \\ [9.1, 9.3, 9.6] & [9.1, 9.3, 9.6] \end{bmatrix}.$$

各决策者关于属性的心理期望灰靶向量为

$$G^1 = [[9.3, 9.6] \quad [14.2, 15] \quad [9.3, 9.6] \quad [9.2, 9.5]],$$

$$G^2 = [[9, 9.5] \quad [13.8, 14.7] \quad [9.1, 9.5] \quad [9.4, 9.8]],$$

$$G^3 = [[9, 9.4] \quad [14, 14.5] \quad [9.3, 9.6] \quad [9.3, 9.6]].$$

3.1 计算结果和分析

Step 1: 根据各决策者关于各指标的心理期望灰靶, 按照式 (2) 和 (3) 规范化决策信息值.

Step 2: 由式 (4)~(6) 计算各决策者关于各方案的前景值

$$V^1 = (0.1138, -0.134, 0.0252, 0.0158),$$

$$V^2 = (0.1973, 0.2364, -0.0441, 0.2057),$$

$$V^3 = (0.5648, -0.2296, 0.2125, 0.4031).$$

Step 3: 由式 (7) 计算各决策者权重

$$\lambda = (0.3249, 0.3267, 0.3484).$$

Step 4: 由式 (8) 得到方案的综合前景值

$$V_1 = 0.2982, V_2 = -0.0463,$$

$$V_3 = 0.0678, V_4 = 0.2128.$$

可以看出, $V_2 < 0$, 表示方案 s_2 脱靶, 不符合决策者的期望; $V_1 > 0, V_3 > 0, V_4 > 0$, 表示方案 s_1 、 s_3 、 s_4 均中靶, 由 $\max_{i=1,3,4} V_i = V_1 = 0.2982$, 最终选择方案 s_1 .

3.2 方法比较

不考虑决策者风险态度, 只根据决策者关于各指标的满意期望灰靶, 由常用方案综合属性值公式

$$z_i(\otimes) = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p \omega_j b_{ij}^k(\otimes),$$

$$z_1 = [0.0286, 0.1346, 0.2225],$$

$$z_2 = [0.0319, 0.1254, 0.2857],$$

$$z_3 = [-0.1518, -0.0457, 0.0821],$$

$$z_4 = [-0.1011, 0.0604, 0.1864].$$

可以看出, $z_3 < 0$, 表示方案 s_3 脱靶, 不符合决策者的期望; $z_1 > 0, z_2 > 0, z_4 > 0$, 表示方案 s_1 、 s_2 、 s_4 均中靶, 由 $\max_{i=1,2,4} z_i = z_1 = [0.0286, 0.1346, 0.2225]$, 最终选择方案 s_1 .

由以上结果可知, 基于前景理论的群体灰靶决策方法计算得到方案 s_2 脱靶, 方案 s_1 、 s_3 、 s_4 中靶. 在理性状态下, 只是基于决策者满意期望灰靶的决策方法计算得到方案 s_3 脱靶, 方案 s_1 、 s_2 、 s_4 中靶. 虽然最终选择方案都是 s_1 , 但脱靶方案不同, 方案排序不同. 本文方法不仅考虑了决策者关于指标的满意域, 同时考虑了决策者对于收益和损失的不同风险态度.

4 结 论

考虑到决策者对各个属性有满意域心理, 定义“奖优罚劣”的三参数区间灰数线性变换算子规范化决策信息值, 考虑决策者的风险心理行为, 以规范化区间的零点作为参考点定义三参数区间灰数信息前景价值函数, 求得各专家关于方案的前景矩阵. 根据群体一致性和极大熵原理建立规划模型求得专家权重, 根据方案的综合前景值大小对方案进行排序. 所提出方法充分考虑了专家关于各属性的心理期望灰靶和决策风险态度, 能够反映方案是否落入决策者预期期望灰靶之内, 更加符合实际需求.

参考文献(References)

- [1] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 2002: 171-209.
(Deng J L. The basis of grey theory[M]. Wuhan: Press of Huazhong University of Science and Technology, 2002:

- 171-209.)
- [2] 肖新平, 毛树华. 灰预测与决策方法[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 98-101.
(Xiao X P, Mao S H. The method of grey prediction and decision[M]. Beijing: Science Press, 2013: 98-101.)
- [3] 王文平. 灰靶决策的灰效用理论研究[J]. 华中理工大学学报, 1997, 25(3): 89-91.
(Wang W P. A study of the grey utility theory for grey target decision[J]. J of Huazhong University of Science and Technology, 1997, 25(3): 89-91.)
- [4] 党耀国, 刘思峰, 刘斌. 基于区间数的多指标灰靶决策模型的研究[J]. 中国工程科学, 2005, 7(8): 31-35.
(Dang Y G, Liu S F, Liu B. Study on the multi-attribute decision model of grey target based on interval number[J]. Engineering Science, 2005, 7(8): 31-35.)
- [5] 陈勇明, 谢海英. 邓氏灰靶变换的不相容问题的统计模拟检验[J]. 系统工程与电子技术, 2007, 29(8): 1285-1287.
(Chen Y M, Xie H Y. Test of the inconsistency problem on Deng's grey transformation by simulation[J]. Systems Engineering and Electronics, 2007, 29(8): 1285-1287.)
- [6] 王正新, 党耀国, 杨虎. 改进的多目标灰靶决策方法[J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(11): 2634-2636.
(Wang Z X, Dang Y G, Yang H. Improvements on decision method of grey target[J]. Systems Engineering and Electronics, 2009, 31(11): 2634-2636.)
- [7] 宋捷, 党耀国, 王正新. 基于强“奖优罚劣”算子的多指标灰靶决策模型[J]. 系统工程与电子技术, 2010, 33(6): 1229-1233.
(Song J, Dang Y G, Wang Z X. Multi-attribute decision model of grey target based on majorant operator of “rewarding good and punishing bad”[J]. Systems Engineering and Electronics, 2010, 33(6): 1229-1233.)
- [8] 宋捷, 党耀国, 王正新, 等. 正负靶心灰靶决策模型[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(10): 1822-1827.
(Song J, Dang Y G, Wang Z X, et al. New decision model of grey target with both the positive clout and the negative clout[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2010, 30(10): 1822-1827.)
- [9] Luo D, Wang X. The multi-attribute grey target decision method for attribute value within three-parameter interval grey number[J]. Applied Mathematical Modelling, 2012, 36(5): 1957-1963.
- [10] Liu Si-feng, Lin Yi. Grey information: Theory and practical applications[M]. London: Springer, 2006: 253-256.
- [11] 刘思峰, 袁文峰, 盛克勤. 一种新型多目标智能加权灰靶决策模型[J]. 控制与决策, 2010, 25(8): 1159-1163.
(Liu S F, Yuan W F, Sheng K Q. Multi-attribute intelligent grey target decision model[J]. Control and Decision, 2010, 25(8): 1159-1163.)
- [12] 刘勇, Forrest Jeffrey, 刘思峰, 等. 基于前景理论的多目标灰靶决策方法[J]. 控制与决策, 2013, 28(3): 345-350.
(Liu Y, Forrest Jeffrey, Liu S F, et al. Multi-objective grey target decision-making based on prospect theory[J]. Control and Decision, 2013, 28(3): 345-350.)
- [13] Kahneman D, Tversky A. Prospect theory: An analysis of decision under risk[J]. Econometric, 1979, 47(2): 263-291.
- [14] 王坚强, 周玲. 基于前景理论的灰色随机多准则决策方法[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(9): 1658-1664.
(Wang J Q, Zhou L. Grey-stochastic multi-criteria decision-making approach based on prospect theory[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2010, 30(9): 1658-1664.)
- [15] 王正新, 党耀国, 裴玲玲, 等. 基于累积前景理论的多指标灰关联决策方法[J]. 控制与决策, 2010, 25(2): 232-236.
(Wang Z X, Dang Y G, Pei L L, et al. Multi-index grey relational decision-making based on cumulative prospect theory[J]. Control and Decision, 2010, 25(2): 232-236.)
- [16] 罗党. 三参数区间灰数信息下的决策方法[J]. 系统工程理论与实践, 2009, 29(1): 124-130.
(Luo D. Decision-making methods with three-parameter interval grey number [J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2009, 29(1): 124-130.)
- [17] Krohling R A, de Souza T T M. Combining prospect theory and fuzzy numbers to multi-criteria decision making[J]. Expert Systems with Applications, 2012, 39(13): 11487-11493.
- [18] 邱苑华. 管理决策熵学及其应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2011: 121-147.
(Qiu W H. Entropy of management decision making and its application[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2011: 121-147.)
- [19] Winston W L. Operations research application and algorithms[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006: 144-207.

(责任编辑: 郑晓蕾)