

文章编号: 1001-0920(2013)02-0241-06

基于正负靶心的多目标灰靶决策模型

罗 党

(华北水利水电学院 数学与信息科学学院, 郑州 450011)

摘 要: 考虑实际决策环境的不确定性和复杂性, 提出一种具有多目标、多指标、多局势的灰靶决策模型. 首先, 将各局势在相应目标下的各指标集结为目标综合评价价值, 从而简化复杂的多层决策问题; 然后, 集成各局势到正负靶心的空间投影距离, 提出一种新的综合靶心距, 并以综合靶心距最小化准则为目标函数构建非线性优化模型来求解最优的目标权重; 最后, 以某种产品的零部件绿色供应商的选择为例, 验证了基于正负靶心的多目标灰靶决策模型的有效性和实用性.

关键词: 灰色系统; 区间灰数; 正负靶心; 多目标灰靶决策

中图分类号: N941.5

文献标志码: A

Multi-objective grey target decision model based on positive and negative clouts

LUO Dang

(School of Mathematics and Information Science, North China University of Water-Conservancy and Electric Power, Zhengzhou 450011, China. E-mail: iamld99@163.com)

Abstract: Considering the uncertainty and complexity in actual decision-making environments, a grey target decision-making model with multi-objective, multi-index and multi-target situation is proposed. Firstly, the target evaluation values under corresponding situations are assembled as a combined effect value, which simplifies the complex multi-levers decision-making problem. Then, a new comprehensive target-eyes distance is proposed, which integrates the distance between the different situations to the positive and negative clouts. A non-linear optimization model is constructed to solve the optimal objective weights while taking the minimization of the comprehensive target-eyes distance as the objective function. Finally, an example of the green parts of a product supplier selection is studied to verify the effectiveness and practicality of the multi-objective grey target decision model based on the positive and negative clouts.

Key words: grey system; interval grey number; positive and negative clouts; multi-objective grey target decision

0 引 言

在社会、经济活动中, 普遍存在着大量的多目标决策问题. 近年来, 多指标决策问题已成为国内外专家学者研究和探讨的热点, 并形成了丰富的学术成果. 灰靶决策是采用灰色系统理论^[1]解决多目标决策问题的主要方法, 多用于解决生产过程中的技术评估和项目选择问题. 灰靶决策的主要思想^[1-3]是在没有标准模式的条件下, 对指标集进行测度变换得到统一量纲的欧氏空间, 即灰靶, 所有决策对象都在该灰靶上分布. 在灰靶中找到一个靶心作为标准模式, 然后将灰靶中诸决策点与靶心点进行比较, 求出不同的靶心

距, 通过比较靶心距来确定排序.

近年来, 众多学者从不同角度对经典灰靶决策方法^[1]进行了理论研究. 文献[4]利用效用函数研究了灰信息下的决策, 提出了灰效用函数的概念, 给出了灰效用函数存在的公理体系; 文献[5]在灰靶决策模型中引入“奖优罚劣”变换算子和指标权重, 利用“奖优罚劣”变换算子来统一量纲, 建立了加权灰靶决策模型; 文献[6]研究了区间数的距离及其性质, 在此基础上进一步研究了决策矩阵为区间数的灰靶决策问题, 建立了区间数多指标灰靶决策模型; 文献[7]研究了传统的灰靶极性变换的不相容问题, 通过构造一

收稿日期: 2011-09-25; 修回日期: 2012-02-09.

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(71271086); 河南省哲学社会科学规划项目(2011GJJ019); 河南省科技厅软科学规划项目(112400450187); 河南省教育厅自然科学研究计划项目(2011A110011).

作者简介: 罗党(1959-), 男, 教授, 博士, 从事灰色系统理论与决策分析等研究.

定义 3 对于区间灰数 $a(\otimes) \in [a, \bar{a}]$ 和 $b(\otimes) \in [b, \bar{b}]$, 记 $l_a = \bar{a} - a$, $l_b = \bar{b} - b$, 则称

$$p(a(\otimes) \geq b(\otimes)) = \frac{\min\{l_a + l_b, \max(\bar{a} - \bar{b}, 0)\}}{l_a + l_b}$$

为 $a(\otimes) \geq b(\otimes)$ 的可能度.

假设有 m 个区间灰数进行两两比较, 可得到一个 $m \times m$ 阶的可能度矩阵. 因为该矩阵为模糊互补判断矩阵, 所以对区间灰数的大小排序便可转化为求解可能度矩阵的排序向量. 可以利用如下公式^[14]:

$$g_j = \frac{1}{m(m-1)} \left(\sum_{k=1}^m p_{jk} + \frac{m}{2} - 1 \right)$$

得到可能度矩阵的排序向量 $g = (g_1, g_2, \dots, g_m)$, 再根据 g_j ($j = 1, 2, \dots, m$) 对区间灰数的大小进行排序.

1.3 多目标灰靶决策模型的建立

1.3.1 多目标下的多指标集结

由于多目标灰靶决策模型具有多目标、多指标、多局势的复杂结构, 在进行多目标分析之前, 决策者需将局势 (a_i, b_j) 在目标 k 下的各指标集结为目标 k 下的综合评价价值 r_{ij}^k , 从而简化复杂的决策问题, 以便进一步作出灰靶决策.

设局势 (a_i, b_j) 在目标 k 下的各指标权重向量为

$$\omega_k = (\omega_{k1}, \omega_{k2}, \dots, \omega_{kt}), \sum_{i=1}^t \omega_{ki} = 1, 0 \leq \omega_{ki} \leq 1,$$

则在目标 k 下的 t 个评价指标可按如下方式集结为综合评价价值 r_{ij}^k :

$$r_{ij}^k(\otimes) = \omega_{k1} r_{ij}^{k1}(\otimes) + \omega_{k2} r_{ij}^{k2}(\otimes) + \dots + \omega_{kt} r_{ij}^{kt}(\otimes). \quad (3)$$

若指标权重向量 ω_k 已知, 则直接代入上式便可计算局势集 S 在目标 k 下的一致效果测度矩阵

$$R^k = (r_{ij}^k(\otimes))_{n \times m} = \begin{bmatrix} r_{11}^k(\otimes) & r_{12}^k(\otimes) & \dots & r_{1m}^k(\otimes) \\ r_{21}^k(\otimes) & r_{22}^k(\otimes) & \dots & r_{2m}^k(\otimes) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1}^k(\otimes) & r_{n2}^k(\otimes) & \dots & r_{nm}^k(\otimes) \end{bmatrix}. \quad (4)$$

若指标权重向量 ω_k 未知, 则还需通过一定方法或手段获得权重信息, 如主观赋权法、客观赋权法或组合赋权法. 在实际应用中, 需根据特定的情况确定适当的赋权方法, 在此不再一一介绍.

1.3.2 正负靶心灰靶决策

定义 4 设 ω_k 为目标 k 的决策权重, 则称 $r_{ij}(\otimes) = \omega_1 r_{ij}^1(\otimes) + \omega_2 r_{ij}^2(\otimes) + \dots + \omega_k r_{ij}^k(\otimes)$ 为局势 s_{ij} 的综合效果测度. 综合效果测度矩阵可表示为

$$R = (r_{ij}(\otimes))_{n \times m} =$$

$$\begin{bmatrix} r_{11}(\otimes) & r_{12}(\otimes) & \dots & r_{1m}(\otimes) \\ r_{21}(\otimes) & r_{22}(\otimes) & \dots & r_{2m}(\otimes) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1}(\otimes) & r_{n2}(\otimes) & \dots & r_{nm}(\otimes) \end{bmatrix}. \quad (5)$$

定义 5 若 $\max_{1 \leq j \leq m} \{r_{ij}\} = r_{i_0j}$, 则称 b_{j_0} 为事件 a_i 的最优对策; 若 $\max_{1 \leq i \leq n} r_{i_0j}$, 则称 a_{i_0} 为与对策 b_j 相对应的最优事件; 若 $\max_{1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m} \{r_{ij}\} = r_{i_0j_0}$, 则称 $r_{i_0j_0}$ 为最优局势.

定义 6 若 $r_+^k = \max\{(r_{ij} + \bar{r}_{ij})/2 | 1 \leq i \leq n\}$, 其对应的决策值记为 $[r_+^k, \bar{r}_+^k]$, 则称

$$r_+ = \{r_+^1(\otimes), r_+^2(\otimes), \dots, r_+^k(\otimes)\} = \{[r_{i_01}^+, \bar{r}_{i_01}^+], [r_{i_02}^+, \bar{r}_{i_02}^+], \dots, [r_{i_0k}^+, \bar{r}_{i_0k}^+]\}$$

为灰靶决策的最优效果向量, 称为正靶心.

定义 7 若 $r_-^k = \min\{(r_{ij} + \bar{r}_{ij})/2 | 1 \leq i \leq n\}$, 其所对应的决策值记为 $[r_-^k, \bar{r}_-^k]$, 则称

$$r_- = \{r_-^1(\otimes), r_-^2(\otimes), \dots, r_-^k(\otimes)\} = \{[r_{i_11}^-, \bar{r}_{i_11}^-], [r_{i_22}^-, \bar{r}_{i_22}^-], \dots, [r_{i_kk}^-, \bar{r}_{i_kk}^-]\}$$

为灰靶决策的最劣效果向量, 称为负靶心.

记 r_{ij}^+ 和 r_{ij}^- 分别为局势 (a_i, b_j) 到正靶心、负靶心的距离, 即

$$r_{ij}^+ = d(r_{ij}, r_+) = \omega_1 [|r_{ij}^1 - r_+^1| + |\bar{r}_{ij}^1 - \bar{r}_+^1|] + \dots + \omega_k [|r_{ij}^k - r_+^k| + |\bar{r}_{ij}^k - \bar{r}_+^k|],$$

$$r_{ij}^- = d(r_{ij}, r_-) = \omega_1 [|r_{ij}^1 - r_-^1| + |\bar{r}_{ij}^1 - \bar{r}_-^1|] + \dots + \omega_k [|r_{ij}^k - r_-^k| + |\bar{r}_{ij}^k - \bar{r}_-^k|];$$

r^0 为正负靶心间的距离, 即

$$r^0 = d(r_+, r_-) = \omega_1 [|r_+^1 - r_-^1| + |\bar{r}_+^1 - \bar{r}_-^1|] + \dots + \omega_k [|r_+^k - r_-^k| + |\bar{r}_+^k - \bar{r}_-^k|].$$

局势 (a_i, b_j) 的评价向量总是介于正负靶心之间, 对于事件 a_i 而言, 局势 b_j 到正靶心的距离 $r_{ij}^+ \leq r^0$, 到负靶心的距离 $r_{ij}^- \leq r^0$, 局势点 (a_i, b_j) 与正靶心 r_+ 、负靶心 r_- 为空间内的 3 个点, 故其共线或围成三角形. 因此, 可以利用局势 (a_i, b_j) 到正靶心距离 r_{ij}^+ 在正负靶心之间连线上的投影 r_{ij}^* 的大小来获取在事件 a_i 的最优对策, 即投影 r_{ij}^* 越大, 所对应的对策越优. 由余弦定理可知

$$(r_{ij}^+)^2 + (r_{ij}^0)^2 - 2r_{ij}^+ r_{ij}^0 \cos \theta = (r_{ij}^-)^2,$$

所以

$$r_{ij}^* = r_{ij}^+ \cos \theta = \frac{(r_{ij}^+)^2 + (r_{ij}^0)^2 - (r_{ij}^-)^2}{2r_{ij}^0}. \quad (6)$$

在特殊情况下会出现局势 (a_i, b_{j1}) 和 (a_i, b_{j2}) 在正负靶心间连线上的投影相同的情况, 因此单凭投影来决策最优对策有时不能完全确定, 不能区分在事件 a_i 下局势 b_{j1} 和 b_{j2} 的优势. 为此, 还需考虑局势 (a_i, b_j) 到正靶心的距离, 显然距离越小, 相应的决策越优. 因此, 应综合考虑局势 (a_i, b_j) 到正负靶心间连线上的投影 r_{ij}^* 和到正靶心的距离 r_{ij}^+ , 即设局势 (a_i, b_j) 到正负靶心的综合距离为

$$r_{ij}^0 = \frac{r_{ij}^*}{r_{ij}^* + r_{ij}^+}.$$

在目标权重已知的情况下, 可以直接计算 r_{ij}^0 , 并依此对局势进行排序. 下面考虑目标权重未知的情形下, 如何建立模型求解最优的权重向量.

1.3.3 目标权重的优化

若目标权重序列 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_k)$ 未知, 则该序列为灰内涵序列, 可以定义灰熵

$$H_{\otimes}(\omega) = - \sum_{s=1}^k \omega_s \ln \omega_s. \quad (7)$$

根据极大熵原理, 应调整 $\omega_s (s = 1, 2, \dots, k)$ 使得序列 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_k)$ 不确定性尽量减小, 即应使得 $H_{\otimes}(\omega)$ 极大化. 同时, 考虑各局势的效果测度与正靶心的接近性, 令正负靶心的综合距离最小化, 得到优化模型

$$\begin{cases} \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m r_{ij}^0, \\ \max H_{\otimes}(\omega) = - \sum_{s=1}^k \omega_s \ln \omega_s, \\ \omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_k = 1, \\ \omega_s \geq 0, s = 1, 2, \dots, k. \end{cases}$$

上述多目标优化问题可以转化为以下单目标优化问题:

$$\begin{cases} \min \left\{ \lambda \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m r_{ij}^0 + (1 - \lambda) \sum_{i=1}^k \omega_i \ln \omega_i \right\}, \\ \omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_k = 1, \\ 0 \leq \omega_s \leq 1, s = 1, 2, \dots, k, \\ 0 \leq \lambda \leq 1. \end{cases}$$

考虑到优化目标函数的公平竞争, 一般取 $\lambda = 0.5$. 在运筹学软件的辅助下可以方便地得到最优权重序列, 然后计算正负靶心的综合距离 r_{ij}^0 . 按区间灰数两两比较的方法, 对于事件 a_i 的局势 (a_i, b_j) , $j = 1, 2, \dots, m$, 比较 $r_{i1}^0, r_{i2}^0, \dots, r_{im}^0$ 的大小, r_{ij}^0 越小, 其对应的对策越好.

1.4 多目标灰靶决策的步骤

综上所述, 多目标灰靶决策的步骤如下:

Step 1: 根据事件集 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 和对策

集 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$ 构造局势集

$$S = \{s_{ij} = (a_i, b_j) | a_i \in A, b_j \in B\};$$

Step 2: 确定决策目标和指标体系;

Step 3: 分别计算 k 个目标下 t 个指标的一致效果测度矩阵;

Step 4: 计算局势集 S 在目标 k 下综合效果测度矩阵;

Step 5: 计算各局势的综合效果测度矩阵;

Step 6: 利用区间灰数排序方法确定最优局势.

2 应用实例

随着全球环境污染问题的日益严重, 绿色管理方式越来越为企业所重视. 绿色供应链管理是一种在整个供应链中综合考虑环境影响和资源效率的现代管理模式, 它对提高企业竞争力, 解决环境问题以及实施国家可持续发展战略具有十分重要的作用. 在建立绿色供应链的过程中, 一个关键环节是选择合适的绿色供应商. 供应商的选择实质上是一个复杂的多指标决策问题^[15-16], 决策指标的复杂性、决策者知识水平、认识能力、个人偏好等诸多不确定因素决定了实际决策过程不可避免地出现偏差, 从而使得决策本身具有灰色不确定性. 下面以某种产品零部件绿色供应商选择为例, 说明本文提出的多目标灰靶决策模型的实用性.

某公司计划采购一种产品零部件, 拟从初步确定的 4 个备选供应商 A_1, A_2, A_3, A_4 中选择最好的一个作为该产品零部件的供应商. 本文在充分调研和征求专家意见的基础上, 将绿色供应商选择问题的决策目标总结为产品竞争力、供应商企业竞争力、绿色化程度和合作支持力 4 个维度. 产品竞争力目标包括产品价格、质量和性能 3 个指标. 其中: 价格表现为区间灰数, 由采购人员根据经验对市场行情的估计给出; 质量用产品的合格率表示; 性能用合格产品的故障率表示. 企业竞争力目标包括员工素质、财务状况、技术水平和管理水平 4 个指标. 其中: 员工素质用企业内部中高级职称人数的比重表示; 财务状况采用资金流动比率表示; 技术水平和水平为定性指标, 具体数值由专家组的打分给出. 绿色化程度目标包括能源消耗度、资源回收利用率 and 环境影响度 3 个指标, 其中能源消耗度和环境影响度为定性指标, 具体数值由专家组的打分给出. 合作支持力目标包括战略相合度、商业信誉、交货准时率和顾客满意度 4 个指标, 其中战略相合度和商业信誉为定性指标, 具体数值由专家组的打分给出. 4 个备选绿色供应商的原始数据 (效果评价) 如表 2 所示, 其中部分指标的取值为实数, 在计算过程中被视为特殊的区间灰数.

表 2 绿色供应商选择的指标体系及效果评价

目标	指标	备选绿色供应商			
		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
产品竞争力	产品价格/元	[22, 25]	[25, 28]	[23, 26]	[24, 27]
	产品质量/%	91	98	95	88
	产品性能/%	8.9	5.6	7.3	9.4
企业竞争力	员工素质/%	26	31	32	23
	财务状况/%	160	200	180	190
	技术水平/分	[0.77, 0.84]	[0.85, 0.92]	[0.84, 0.88]	[0.75, 0.81]
	管理水平/分	[0.81, 0.86]	[0.89, 0.94]	[0.82, 0.87]	[0.78, 0.83]
绿色化程度	能源消耗度/分	[0.35, 0.45]	[0.25, 0.35]	[0.3, 0.4]	[0.3, 0.35]
	资源回收利用率/%	33	35	36	31
	环境影响度/分	[0.25, 0.3]	[0.15, 0.25]	[0.2, 0.3]	[0.2, 0.25]
合作支持力	战略相合度/分	[0.65, 0.71]	[0.7, 0.75]	[0.75, 0.79]	[0.78, 0.82]
	商业信誉/分	[0.85, 0.92]	[0.95, 0.98]	[0.84, 0.9]	[0.85, 0.91]
	交货准时率/%	90	95	85	95
	顾客满意度/分	[0.8, 0.85]	[0.87, 0.94]	[0.83, 0.88]	[0.82, 0.87]

Step 1: 建立事件集、对策集和局势集. 本例为单事件灰靶决策问题, 事件集 $A = \{a_1\}$, 其中 a_1 代表绿色供应商选择; 对策集 $B = \{b_1, b_2, b_3, b_4\}$, 其中 b_1, b_2, b_3, b_4 分别代表 4 个备选供应商; 由事件 A 和对策集 B 可构造局势集 $S = \{s_{1j} = (a_1, b_j) | j = 1, 2, 3, 4\}$.

Step 2: 确定决策目标和指标体系. 确定产品竞争力、供应商企业竞争力、绿色化程度和合作支持力为决策目标, 产品价格、产品质量等 14 个指标为决策指标.

Step 3: 分别计算 $k(k = 1, 2, 3, 4)$ 目标 t 个指标下一致效果测度矩阵

$$R^{1t} = \begin{bmatrix} [0.5, 1] & 0.3 & 0.132 \\ [0, 0.5] & 1 & 1 \\ [0.333, 0.833] & 0.7 & 0.553 \\ [0.167, 0.667] & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$R^{2t} = \begin{bmatrix} 0.333 & 0 & [0.118, 0.529] & [0.188, 0.5] \\ 0.889 & 0.6 & [0.589, 1] & [0.688, 1] \\ 1 & 1 & [0.529, 0.765] & [0.25, 0.563] \\ 0 & 0.8 & [0, 0.353] & [0, 0.313] \end{bmatrix},$$

$$R^{3t} = \begin{bmatrix} [0, 0.5] & 0 & [0, 0.333] \\ [0.5, 1] & 1 & [0.333, 1] \\ [0.25, 0.75] & 2.5 & [0, 0.667] \\ [0.5, 0.75] & 0.083 & [0.333, 0.667] \end{bmatrix},$$

$$R^{4t} = \begin{bmatrix} [0, 0.353] & [0.071, 0.571] & 0.5 & [0, 0.357] \\ [0.294, 0.588] & [0.786, 1] & 1 & [0.5, 1] \\ [0.588, 0.824] & [0, 0.429] & 0 & [0.214, 0.571] \\ [0.765, 1] & [0.071, 0.5] & 0.5 & [0.143, 0.5] \end{bmatrix}.$$

Step 4: 计算局势集 S 在目标 k 下的综合一致效果测度矩阵. 首先按客观赋权法^[4]计算 $k(k = 1, 2, 3, 4)$ 目标下的 t 个指标的权重

$$\omega_{11} = 0.4032, \omega_{12} = 0.3060, \omega_{13} = 0.2908;$$

$$\omega_{21} = 0.3136, \omega_{22} = 0.4576,$$

$$\omega_{23} = 0.1569, \omega_{24} = 0.0719;$$

$$\omega_{31} = 0.3663, \omega_{32} = 0.3484, \omega_{33} = 0.2853;$$

$$\omega_{41} = 0.2387, \omega_{42} = 0.0821,$$

$$\omega_{43} = 0.4560, \omega_{44} = 0.2232.$$

然后按线性加权的方式对上述 t 个指标下一致效果测度进行集结, 得局势集 S 在目标 k 下的综合一致效果测度矩阵

$$R^k = \begin{bmatrix} [0.320, 0.525] & [0.228, 0.315] \\ [0.590, 0.795] & [0.878, 0.965] \\ [0.509, 0.713] & [0.689, 0.749] \\ [0.068, 0.273] & [0.366, 0.444] \\ [0.139, 0.418] & [0.234, 0.439] \\ [0.557, 0.930] & [0.702, 0.902] \\ [0.440, 0.813] & [0.188, 0.359] \\ [0.278, 0.465] & [0.448, 0.619] \end{bmatrix}.$$

Step 5: 计算各局势的综合效果测度矩阵. 首先计算各目标的权重

$$\omega_1 = 0.3725, \omega_2 = 0.1384,$$

$$\omega_3 = 0.3176, \omega_4 = 0.1716.$$

从而, 根据式 $r_{ij}(\otimes) = \sum_{k=1}^s \omega_k r_{ij}^k(\otimes)$ 可得局势 a_1 绿色供应商选择的综合效果测度矩阵为

$$R = (r_{ij}(\otimes))_{1 \times 4} = \begin{bmatrix} [0.2351, 0.4470] \\ [0.6388, 0.8799] \\ [0.4568, 0.6892] \\ [0.2414, 0.4170] \end{bmatrix}^T.$$

Step 6: 利用区间灰数排序方法确定最优局势. 将 4 个对策的综合效果测度区间灰数进行两两比较, 得到可能度计算排序向量为

$$g = (g_1, g_2, g_3, g_4) = (0.0898, 0.2836, 0.2222, 0.0833).$$

因为 $g_2 > g_3 > g_1 > g_4$, 所以绿色供应商 A_2 最优, 企业决策者可优先考虑与供应商 A_2 合作.

3 结 论

本文研究了决策信息为区间灰数的多层次、多目标灰靶决策问题, 同时考虑各局势的效果测度与正理想效果值的接近性和目标权重本身的不确定性, 建立了目标权重的优化模型. 根据区间数的可能度对每个事件的最优局势进行排序, 该模型的计算易于在计算机上实现. 此方法为解决决策信息为区间灰数的多目标灰靶决策问题提供了一种科学、实用的决策方法. 在事先给出各方案的隶属函数的条件下, 还可以利用模糊数学方法对多目标灰靶决策模型作进一步研究.

参考文献(References)

- [1] 邓聚龙. 灰色理论基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002: 422-454.
(Deng J L. A text book of grey system theory[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2002: 422-454.)
- [2] 刘思峰, 党耀国, 方志耕, 等. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 253-256.
(Liu S F, Dang Y G, Fang Z G, et al. Grey system theory and its application[M]. Beijing: Science Press, 2010: 253-256.)
- [3] 罗党. 灰色决策问题分析方法[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2005: 44-47.
(Luo D. Analysis method for grey decision-making problems[M]. Zhengzhou: Yellow River Water Conservation Press, 2005: 44-47.)
- [4] 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. Study on the grey utility theory for grey target decision[J]. J of Huazhong University of Science and Technology, 1997, 25(3): 89-91.)
- [5] 党耀国, 刘国峰, 王建平, 等. 多指标加权灰靶的决策模型[J]. 统计与决策, 2004(3): 29-30.
(Dang Y G, Liu G F, Wang J P, et al. A multiple attribute decision model with weighted grey target[J]. Statistics and Decision, 2004(3): 29-30.)
- [6] 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 of China, 2005, 7(8): 31-35.)
- [7] 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.)
- [8] 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(10): 2634-2635.
(Wang Z X, Dang Y G, Yang H. Improvements on decision method of grey target[J]. Systems Engineering and Electronics, 2009, 31(11): 2654-2656.)
- [9] 宋捷, 党耀国, 王正新. 正负靶心灰靶决策模型[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(10): 1822-1826.
(Song J, Dang Y G, Wang Z X. 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.)
- [10] 卜广志, 张宇文. 基于三参数区间数的灰色模糊综合评判[J]. 系统工程与电子技术, 2001, 23(9): 43-62.
(Bu G Z, Zhang Y W. Grey fuzzy comprehensive evaluation method based on interval numbers of three parameters[J]. Systems Engineering and Electronics, 2001, 23(9): 43-62.)
- [11] 胡启洲, 张卫华, 于莉. 三参数区间数研究及其在决策分析中的应用[J]. 中国工程科学, 2007, 9(3): 47-51.
(Hu Q Z, Zhang W H, Yu L. The research and application of interval numbers of three parameters[J]. Engineering Science, 2007, 9(3): 47-51.)
- [12] 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.)
- [13] 徐泽水. 不确定多属性决策方法及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 105-160.
(Xu Z S. Uncertain multiple attribute decision making: Methods and application[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004: 105-160.)
- [14] 徐泽水. 模糊互补判断矩阵排序的一种算法[J]. 系统工程学报, 2001, 16(4): 311-314.
(Xu Z S. Algorithm for priority of fuzzy complementary judgement matrix[J]. J of Systems Engineering, 2001, 16(4): 311-314.)
- [15] Verma R. An analysis of the supplier selection process[J]. Management Science, 1998, 26(6): 739-750.
- [16] 邹平, 袁亦男. 基于EAHP和GRAP的供应商选择[J]. 系统工程理论与实践, 2009, 29(3): 69-75.
(Zou P, Yuan Y N. Supplier selection based on EAHP/GRAP[J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2009, 29(3): 69-75.)