

文章编号: 1001-0920(2012)07-1037-05

## 基于冲突主体不确定证据融合的灰靶决策方法

朱建军<sup>1</sup>, 张丽丽<sup>1</sup>, 梁燕华<sup>2</sup>, 李 鹏<sup>1</sup>

(1. 南京航空航天大学 经济与管理学院, 南京 210016; 2. 西北工业大学 管理学院, 西安 710072)

**摘要:** 研究基于冲突利益主体不完全确定权重信息情景下的群决策方法. 把不完全确定的权重信息作为证据, 建立了所有证据之间的距离最小测算模型, 提出了不完全确定权重数值上、下限范围估计模型; 为解决冲突证据的融合问题, 提出了基于证据相似性的证据协调加权因子; 建立了基于灰靶决策的靶心距分布范围确定模型, 以排定方案优劣顺序. 最后基于该方法探讨了某棕地开发方案的评价应用.

**关键词:** 群决策; 冲突; 证据融合; 靶心距; 棕地开发

中图分类号: C934

文献标识码: A

## Grey target decision method based on uncertain evidence aggregation under conflict interest participants

ZHU Jian-jun<sup>1</sup>, ZHANG Li-li<sup>1</sup>, LIANG Yan-hua<sup>2</sup>, LI Peng<sup>1</sup>

(1. College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016; 2. College of Management, Northwestern Polytechnic University, Xi'an 710072, China. Correspondent: ZHU Jian-jun, E-mail: zhujianjun@nuaa.edu.cn)

**Abstract:** A aggregation method of incomplete weight information on criteria under conflict group is suggested. Firstly, a minimum evidence distance calculation model among all evidence is proposed when the weight of criteria is taken as evidence. Then the upper and lower weight values under the incomplete information are estimated based on the minimum evidence distance. Furthermore, the weight factor of evidence aggregation is defined to solve the problem of conflict evidence aggregation. The extension method on grey target decision is suggested, which estimates the possible target distribution range of each alternative. Finally, the alternative evaluation on brown-field redevelopment is discussed.

**Key words:** group decision making; conflict; evidence aggregation; target distance; brown-field development

### 1 引 言

在决策过程中, 决策者往往难以直接给出全面、合理而又得到群体公认的指标及权重数值. 由于各自的知识结构、价值取向、利益等差异, 导致决策者对决策问题的指标属性有不同的关注; 对某些指标的重要性程度不甚了解, 或者不愿发表看法; 在常用书面调查问卷中, 由于各种不可获知的理由经常存在问卷中信息不完全情况, 通常视为不合格问卷, 有其合理性但可能忽略了有用信息. 本文提炼出一类指标存在冲突性和不完全性的决策问题, 具有以下特点: 1) 由于决策者的利益冲突, 决策者考虑的指标及权重数值存在冲突性. 如某项目开发过程中, 开发商注重财务指标和经济指标, 政府注重社会效益和公平性,

老百姓关注环境指标和就业带动等. 由于利益和价值取向的差别, 各利益方一般强调并力争所注重指标实现; 2) 由于群体决策过程要求协调一致, 各方并不能完全只考虑本方利益, 指标综合与兼顾便成为群协调的必要条件.

从现有文献看, 不完全信息决策问题得到了广泛关注, 可将不完全信息决策问题分成两类, 一类是以决策矩阵为框架的不完全信息问题, 表现为决策指标权重、决策属性取值的不确定性, 常有区间数<sup>[1]</sup>、模糊数<sup>[2]</sup>、语言变量<sup>[3-4]</sup>、随机变量<sup>[5]</sup>等形式. 另一类不完全性体现在问题解决的整体框架上, 如文献[6]提出用灰色系统理论和灰色数学方法处理灰信息, [7]提出了未确知信息的处理方法, [8]提出了处理不精确

收稿日期: 2011-11-16; 修回日期: 2011-04-16.

基金项目: 国家自然科学基金项目(70701017, 70971064, 71171112); 南京航空航天大学科研业务费专项基金项目(NS2010209); 南京航空航天大学青年科技创新基金项目(NR2012008).

作者简介: 朱建军(1976-), 男, 教授, 博士生导师, 从事群决策理论与方法、灰色系统理论等研究; 张丽丽(1986-), 女, 硕士生, 从事企业信用评价理论方法、群决策理论方法的研究.

问题的粗糙集理论, [9]利用集对分析来描述不确定性. 从本质上看, 第1类不完全性大多是由于决策者内在知识结构和经验的不完全, 或者是决策问题过于复杂导致的, 这种复杂性构建于经典的决策框架之中, 而且方法的决策建模在很大程度上可以参照现有的决策框架, 重点需要解决的是协调决策有效性和决策柔性问题. 第2类方法的解决思路截然不同, 并不是简单的基于经典决策框架基础上的不确定性扩展, 而是无固定的处理模式, 各种方法也有各自的适应性.

在复杂问题决策中, 本文提及的不完全信息情况广泛存在, 而指标的冲突性和群体的协调要求, 成为这种决策问题的两难选择. 据作者掌握的资料, 相关文献报道较少. 在现有基础上, 考虑到证据理论具有处理不完全一致和不确定信息的能力, 把具有冲突利益主体给出的权重信息作为证据, 提出了基于灰靶决策模型的方案排序方法, 目的是为更精细、合理地进行不确定性决策作出一些探索.

## 2 主要方法及结果

### 2.1 问题描述

考虑到利益的冲突性和指标的不完全性, 将  $n$  个利益方关于  $m$  个指标权重的信息冲突决策问题归纳为表1的形式. 为了考虑问题的简单性, 设决策者关于备选方案  $A_{1,2,\dots,k}$  的特征信息以决策矩阵形式表示. 表1中,  $w_{ij}(i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m)$  表示第  $i$  个专家给出指标  $j$  的权重信息; “\*”表示残缺信息, 记为  $w_{st}, s \in (1, 2, \dots, n), t \in (1, 2, \dots, m)$ . 如何基于这种不完全信息状态下来推测指标真实的权重, 从而科学合理地排定方案的顺序, 是这类问题的关注重点.

表 1 利益群体关于指标权重的冲突信息

指标	$c_1$	$c_2$	$\dots$	$\dots$	$c_m$
1	$w_{11}$	$w_{12}$	$\dots$	*	$w_{1m}$
$\vdots$	$\vdots$	*	$\ddots$	$\vdots$	*
$n$	*	$w_{n2}$	$\dots$	$\dots$	$w_{nm}$

这类问题无法采用现有方法加以解决: 1) 由于信息的不完全性和冲突性, 无法用加权方法求得群体关于某指标的权重数值, 而群体决策又要求能达成某种一致, 这种问题本质的冲突性和决策要求的一致性加大了研究难度; 2) 信息不完全是问题复杂性的体现, 客观地讲, 不完全的权重信息实质上是客观存在的, 要充分利用专家给出的已知信息合理推测未知信息, 但又难以通过专家信息之间关联度来推测不完全权重分布.

本文解决此类问题的思路如下: 尽管存在利益方的冲突性, 但为了达到群体决策的一致性, 合理有效

地协调各利益方, 要求在群体信息最大一致程度的基础上, 依据证据理论的框架来推测不完全的信息. 由于冲突性和不完全性的存在, 不能采用确定的决策模型, 提出采用灰靶决策模型进行方案优劣排序, 通过方案的不确定性靶心距的测算, 最终排定方案的优劣.

### 2.2 基于证据距离的残缺信息分布估测模型

定义 1<sup>[10]</sup> 设  $m_j$  和  $m_k$  是识别框架  $\theta$  下的两个基本概率分配 (BPA), 则  $m_j$  和  $m_k$  的距离可表示为

$$d_{\text{BPA}(m_j, m_k)} = \sqrt{\frac{1}{2}(\|m_j\|^2 + \|m_k\|^2 - 2\langle m_j, m_k \rangle)}. \quad (1)$$

其中

$$\langle m_j, m_k \rangle = \sum_{r=1}^{2^N} \sum_{s=1}^{2^N} m_j(D_r) m_k(D_s) \frac{|D_r \cap D_s|}{|D_r \cup D_s|},$$

$$\|m\|^2 = \langle m, m \rangle.$$

对决策者给出的关于权重信息的证据, 所有证据之间的总距离可表示为

$$d_{\text{all}} = \sum_{k=1, k > j}^n \sum_{j=1}^n d_{\text{BPA}(m_j, m_k)} = \sum_{k=1, k > j}^n \sum_{j=1}^n \sqrt{\frac{1}{2}(\|m_j\|^2 + \|m_k\|^2 - 2\langle m_j, m_k \rangle)}. \quad (2)$$

从证据距离的计算方法(式(2))来看, 即使存在权重的不完全信息, 所有专家提供权重信息的证据距离也是可以计算出来的. 但是, 这种距离的估算把不完全的信息归纳到不可知状态, 具有很大的不确定性. 实际上, 表面上具有极强的不完全性, 但本质上仍受一些决策的限制, 即不管群体的看法如何, 最终都应尽可能达到协调.

对决策者没给出的残缺元素  $w_{st}$ , 本质上是客观存在的, 只不过是信息的不确定性原因导致了暂时缺失. 从群决策角度, 在假设专家意见客观的基础上, 为寻求最大程度一致性, 建立了基于残缺信息估算的证据距离最小可能分布模型 P1, 以此, 得到了所有证据(两两之间)距离最小数值(有  $d^L \leq d_{\text{all}}$ ), 即

$$(P1)$$

$$d^L = \min \sum_{j, k=1, k > j}^n d_{\text{BPA}(m_j, m_k)} = \sum_{k=1, k > j}^n \sum_{j=1}^n \sqrt{\frac{1}{2}(\|m_j\|^2 + \|m_k\|^2 - 2\langle m_j, m_k \rangle)},$$

$$\text{s.t. } \sum_{j=1}^n w_{jk} = 1, k = 1, 2, \dots, m; \quad (3)$$

$$w_{st} \geq \xi, s \in (1, 2, \dots, n), t \in (1, 2, \dots, m). \quad (4)$$

P1 中, 式(3)表示权重归一化; 式(4)表示残缺权重取值约束, 可根据实际情况设置,  $\xi \geq 0$ .

设上述模型求出证据距离最小值为  $d^L$ . 为适当考虑决策环境不确定性, 冲突利益群体不完全权重  $w_{st}$  的大小分布估计如下:

(P2)

$$\begin{aligned} & \min w_{st}. \\ \text{s.t.} & \sum_{k=1, k>j}^n \sum_{j=1}^n \sqrt{\frac{1}{2}(\|\mathbf{m}_j\|^2 + \|\mathbf{m}_k\|^2 - 2\langle \mathbf{m}_j, \mathbf{m}_k \rangle)} \leq \\ & d^L(1 + \varepsilon); \\ & \sum_{j=1}^n w_{jk} = 1, k = 1, 2, \dots, m; \\ & w_{st} \geq \xi, s \in (1, \dots, n), t \in (1, \dots, m). \end{aligned}$$

(P3)

$$\begin{aligned} & \max w_{st}. \\ \text{s.t.} & \sum_{k=1, k>j}^n \sum_{j=1}^n \sqrt{\frac{1}{2}(\|\mathbf{m}_j\|^2 + \|\mathbf{m}_k\|^2 - 2\langle \mathbf{m}_j, \mathbf{m}_k \rangle)} \leq \\ & d^L(1 + \varepsilon); \\ & \sum_{j=1}^n w_{jk} = 1, k = 1, 2, \dots, m; \\ & w_{st} \geq \xi, s \in (1, 2, \dots, n), t \in (1, 2, \dots, m). \end{aligned}$$

其中  $\varepsilon$  为调节因子, 目的是为了减少不确定性带来的决策风险, 数值越大, 精度越低, 反之亦然. 通过 P2 和 P3, 可得到各专家没有给出权重信息部分的估计, 记为  $[w_{st}^L, w_{st}^U]$ .

由于冲突利益群体给出的权重数值极有可能具有很大的对立性, 考虑到通常证据理论难以解决高度冲突性的证据融合问题, 即使从群体最小证据距离角度也难保证群体意见达到证据融合的要求. 对此, 利用得到的权重估计数值, 计算证据之间的距离, 将其作为高度冲突性证据协调依据. 文献 [11] 提出了基于证据距离的冲突性协调方法, 但是由于残缺部分的权重估计是区间数值, 某条证据与其他证据之间的距离也具有不确定性. 本文建立基于权重区间估计的证据  $i(i = 1, 2, \dots, n)$  与其他证据之间距离的测算模型, 即

(P4)

$$\begin{aligned} d_i^L/d_i^U = \min / \max d_i &= \sum_{k=1, k \neq i}^n d_{\text{BPA}(m_i, m_k)} = \\ & \sum_{k=1, k \neq i}^n \sqrt{\frac{1}{2}(\|\mathbf{m}_i\|^2 + \|\mathbf{m}_k\|^2 - 2\langle \mathbf{m}_i, \mathbf{m}_k \rangle)}. \\ \text{s.t.} & \sum_{j=1}^n w_{jk} = 1, k = 1, 2, \dots, m; \\ & w_{st}^U \geq w_{st} \geq w_{st}^L, \\ & s \in (1, 2, \dots, n), t \in (1, 2, \dots, m). \end{aligned}$$

通过 P4, 得到证据  $i$  与其他证据之间的距离范

围, 记作  $[d_i^L, d_i^U]$ . 为简单起见, 用其均值作为该条证据的加权距离数值, 即有

$$\bar{d}_i = (d_i^L + d_i^U)/2. \tag{5}$$

**定义 2** 称  $\lambda_i = \beta_i / \sum_{i=1}^n \beta_i (i = 1, 2, \dots, n)$  为证据  $i$  的折扣加权因子, 其中证据  $i$  的支持度可以表示为  $\beta_i = n - 1 - \bar{d}_i$ .

$\beta_i$  越大, 表示某条证据 (专家给出的权重) 与其他专家具有越大的相似性, 从群体决策角度来看, 这样的证据应该被赋予相对较大的权重; 反之亦然.

对于第  $i$  条证据, 基于折扣因子进行修正 (区分是否残缺信息), 即

$$\begin{aligned} w'_{ij} &= w_{ij} \times \lambda_i, \\ w'_{it} &= [w_{it}^L, w_{it}^U] \lambda_i = [w_{it}^L \lambda_i, w_{it}^U \lambda_i]. \end{aligned} \tag{6}$$

式 (6) 中区间数的乘法公式来自文献 [6]. 通过式 (6) 的修正, 各冲突性证据得到了一定程度的修正, 目的是避免群体的过度冲突而难以达成一致.

至此, 通过证据理论的方法, 结合群体决策的一致度要求, 对决策者给出的不完全信息给出了估算, 在没有更确定的信息基础上, 这样的推算是可行的、必要的.

**定义 3**<sup>[10]</sup> 设得到的残缺部分权重基本概率分配满足  $m_i(A_i)^L \leq m_i(A_i) \leq m_i(A_i)^U, i = 1, 2, \dots, m$ , 有

$$\begin{aligned} & [m_1 \oplus m_2 \oplus \dots \oplus m_m](C) = \\ & \begin{cases} 0, C = \emptyset; \\ [m(C)^L, m(C)^U], C \neq \emptyset. \end{cases} \end{aligned} \tag{7}$$

其中

$$\begin{aligned} & m(C)^L/m(C)^U = \\ & \min / \max [m_1 \oplus m_2 \oplus \dots \oplus m_m](C) = \\ & \frac{\sum_{A_{j1}^1 \cap \dots \cap A_{jn}^n = C} m_1(A_{j1}^1) \dots m_n(A_{jn}^n)}{1 - \sum_{A_{j1}^1 \cap \dots \cap A_{jn}^n = \emptyset} m_1(A_{j1}^1) \dots m_n(A_{jn}^n)}; \\ \text{s.t.} & \sum m_i(A_j^i) = 1, \\ & m_i(A_j^i)^L \leq m_i(A_j^i) \leq m_i(A_j^i)^U. \end{aligned}$$

在式 (7) 中, 将组合得到的信息作为指标权重, 本文认为从指标的兼顾性角度, 应有附加条件, 即  $m(C) \geq \eta, \eta$  为决策者认可的最小数值. 由此, 得到权重信息的区间范围  $w_i = [w_i^L, w_i^U]$ .

### 2.3 考虑不确定权重信息的灰靶决策模型

上文针对残缺的证据信息, 基于群体决策的最大一致性角度 (最小的证据距离), 得到了残缺部分的基

本概率分配函数的区间分布数值, 并采用文献 [10] 提供的区间数概率分配函数的信息融合方法进行了集结. 然而, 指标权重的不确定性, 进一步加大了方案的选择难度.

考虑到灰靶决策具有较好的区分度、意义清晰和应用简便的特点, 本文建立了基于灰靶决策思想的靶心距估算模型, 通过分析靶心距离的大小, 选择最为合适的方案. 考虑到决策矩阵指标度量单位的差异, 先进行效果一致度测量分析 (见文献 [12]). 设得到标准化矩阵为  $r_{ij}$ , 下文阐述靶心距估算模型. 灰靶决策的效果向量和靶心距定义见文献 [6].

**定义 4** 称

$$R^s = \{r^{(1)}, r^{(2)}, \dots, r^{(s)} | w_1(r^{(1)} - r_0^{(1)})^2 + \dots + w_s(r^{(s)} - r_0^{(s)})^2 \leq R^2\} \quad (8)$$

为以  $r_0 = (r_0^{(1)}, r_0^{(2)}, \dots, r_0^{(s)})$  为靶心,  $R$  为半径  $s$  维球形灰靶, 称  $r_0 = (r_0^{(1)}, r_0^{(2)}, \dots, r_0^{(s)})$  为最优效果向量.

**定义 5** 设  $r_1 = (r_1^{(1)}, r_1^{(2)}, \dots, r_1^{(s)}) \in R$ , 称

$$|r_1 - r_0| = [w_1(r_1^{(1)} - r_0^{(1)})^2 + \dots + w_s(r_1^{(s)} - r_0^{(s)})^2]^{1/2} \quad (9)$$

为向量  $r_1$  的靶心距. 靶心距的数值反映了局势效果向量的优劣.

考虑到权重数值的不确定性, 建立估计某方案靶心距范围的模型如下:

$$\begin{aligned} \text{(P5)} \quad \min \quad & z_i^L = |r_i - r_0| = \\ & [w_1(r_i^{(1)} - r_0^{(1)})^2 + \dots + w_m(r_i^{(m)} - r_0^{(m)})^2]^{1/2}. \\ \text{s.t.} \quad & \sum_j^m w_j = 1; \\ & w_j^U \geq w_j \geq w_j^L, \quad j = 1, 2, \dots, m. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(P6)} \quad \max \quad & z_i^U = |r_i - r_0| = \\ & [w_1(r_i^{(1)} - r_0^{(1)})^2 + \dots + w_m(r_i^{(m)} - r_0^{(m)})^2]^{1/2}. \\ \text{s.t.} \quad & \sum_j^m w_j = 1; \\ & w_j^U \geq w_j \geq w_j^L, \quad j = 1, 2, \dots, m. \end{aligned}$$

对方案  $i$  而言, 其靶心距表示成  $[z_i^L, z_i^U]$ , 数值越大, 表示该方案离最优方案距离越远, 对应方案越劣; 反之亦然. 为了更明确地表示方案优劣, 可通过区间数排序方法获得方案之间的排序.

由于复杂决策过程中存在很大的风险性, 这种靶心距的数值范围估算实质上向决策者明示了风险的存在. 实际上, 任何具有不确定性的决策问题, 得到结果必定具有风险性. 本文方法步骤归纳如下:

Step 1: 按 P1 计算所有证据的最小距离;

Step 2: 按 P2 和 P3 估算残缺信息的基本概率分

配函数;

Step 3: 按 P4 计算某证据与其他证据之间的证据距离, 把证据上下限分布距离的均值作为消除高度冲突证据的权系数;

Step 4: 对区间概率分配函数的证据, 进行证据体的融合, 得到指标属性权重;

Step 5: 按 P5 和 P6 计算方案靶心距可能范围;

Step 6: 按区间数比较方法排定方案优劣顺序.

### 3 案例分析

棕地是指因存在一定程度污染已经废弃的或因污染而没有得到充分利用的土地及地上建筑物, 棕地再开发是一个复杂的系统工程, 涉及众多利益相关者和影响因素, 政府、土地所有者、开发商、周边居民等都和棕地开发相连, 任何利益相关者的不平衡都会导致棕地开发失败, 应该综合考虑各方利益以调动多方利益者积极性, 争取共赢并推动开发治理的顺利开展. 某地有一个体积为 3 万余立方米的棕地, 由于国家土地政策变更, 商业用地日益紧俏, 关键是日益严重的生态灾难, 当地政府部门决定将其进行治理修复. 为了民主合理地选择开发方案, 政府部门采取了广泛的社会意见征集, 经过整理、归纳后, 得到了 5 种可能开发方案, 分别为: 1) 绿化用地, 建立市民休闲广场; 2) 绿化用地, 建设一个绿色生态植物公园; 3) 住宅商业用地, 开发建设商品房; 4) 商业用地, 建设一大型购物超市; 5) 商业用地, 作为某高新技术企业的总部.

为评价出这块棕地适合开发的类型和具体方案, 相关责任机构明确了该棕地的污染状况及利益相关者后, 选择了 8 位各方代表举行听证会. 关键分歧在于考虑的影响因素, 表 2 是经过观点提炼整理后的代表看法, 数字部分表示该决策者明显的支持观点, 空缺部分为没有涉及的观点, 但无法确认是否认为其不重要. 表 3 是开发方案总体评分数值.

表 2 棕地治理开发整体方案评价指标的权重

NO.	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$
1	0.35	*	*	0.1	*	0.12	0.1
2	0.3	0.15	*	0.2	*	*	*
3	*	0.1	0.25	0.15	0.15	*	0.2
4	*	0.2	0.3	*	0.1	0.1	0.1
5	*	0.2	0.4	*	*	*	0.15
6	0.15	0.3	*	0.15	0.1	*	0.2
7	0.25	*	0.1	0.3	*	0.2	*
8	0.1	0.1	*	*	0.3	0.2	*

表 3 棕地治理开发整体方案的决策矩阵

NO.	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$
$A_1$	85	2.1	169	0.87	76	67	90
$A_2$	90	1.6	200	0.66	67	44	74
$A_3$	75	2	178	0.60	78	80	65
$A_4$	60	2.2	210	0.80	33	54	80
$A_5$	56	3.2	160	0.68	45	70	89

指标简要说明如下:  $C_1$  为改善环境质量指标, 百分制得到, 效益型指标;  $C_2$  为投资回报水平, 定量指标, 测度方案可能投资回报率, 效益型指标;  $C_3$  为治理开发成本, 定量成本型指标, 据各方案预算成本获得;  $C_4$  为社会附加效益, 比例指标, 表示该方案带动的社会效益占当地经济指标比例, 效益型指标;  $C_5$  为技术难度, 数值越大表示用该技术治理失败的可能性越大, 成本型指标;  $C_6$  为治理开发风险(二次污染), 成本型指标, 基于百分制得到;  $C_7$  为治理技术水平及新颖度, 效益型指标, 百分制。

Step 1: 设  $\xi = 0.05$ , 求解模型 P1, 得所有证据体最小距离  $d^L = 5.96$ 。

Step 2: 估算残缺信息的概率分配函数, 设调节因子  $\varepsilon$  取值为 5%, 从计算结果来看(略), 残缺信息按照 P2 得到的下限和上限的区间范围较大, 表明决策的不确定性程度将很大。在这种情况下, 为适当减少不确定性, 取 P1 的结果作为残缺信息概率分配函数的下限, 将 P3 的结果作为上限。这种决策情景对应的管理内涵是, 重视估计决策者对指标权重的可能支持程度, 而忽略可能不支持程度。

Step 3: 证据权系数计算。由 P4 和定义 2, 各证据的折扣加权因子为

$$\lambda_1 = 0.127, \lambda_2 = 0.129, \lambda_3 = 0.13, \lambda_4 = 0.129,$$

$$\lambda_5 = 0.121, \lambda_6 = 0.122, \lambda_7 = 0.121, \lambda_8 = 0.121.$$

Step 4: 基于区间数概率融合方法进行证据集成, 得到 7 个指标的区间数权重为  $w_1 = [0.18, 0.57]$ ,  $w_2 = [0.05, 0.34]$ ,  $w_3 = [0.17, 0.57]$ ,  $w_4 = [0.05, 0.39]$ ,  $w_5 = [0.05, 0.2]$ ,  $w_6 = [0.05, 0.09]$ ,  $w_7 = [0.05, 0.23]$ 。

Step 5: 各方案可能的靶心距离。采用文献 [12] 中的方法对表 3 进行处理, 设指标  $C_1 \sim C_7$  的效果临界值分别取为 56, 1.6, 210, 0.6, 78, 80 和 65, 得到效果标准化矩阵  $r_{ij}$ , 求解模型 P5 和 P6, 可得各方案靶心距可能分布范围为  $z_1 = [0.3, 0.59]$ ,  $z_2 = [0.24, 0.6]$ ,  $z_3 = [0.58, 0.83]$ ,  $z_4 = [0.6, 0.86]$ ,  $z_5 = [0.48, 0.79]$ 。

Step 6: 基于区间数比较大小的方案优劣结果, 针对各方案的区间数靶心距, 根据文献 [13] 的方法, 建立可能度矩阵, 进一步可得  $P_1 = 1.08$ ,  $P_2 = 1.33$ ,  $P_3 = 3.525$ ,  $P_4 = 3.72$ ,  $P_5 = 2.845$ 。

各方案的优劣排序为方案 1 最优, 其他依次为方案 2, 方案 5, 方案 3, 方案 4 最差。

## 4 结 论

针对复杂群决策过程中的一类指标权重冲突的决策问题, 提出了基于证据理论和灰靶决策的方法。通过决策者提供的关于指标权重信息, 计算证据信息之间的最小可能距离; 在群体决策最大可能一致性的

目标下, 建立不完全权重的数值估算模型, 在考虑证据之间冲突性的同时进行证据可靠性折扣计算, 进而提出了通过靶心距离估算的扩展灰靶决策方法。本文方法的思想易于理解, 可操作性强, 可广泛应用于复杂环境下的决策。不足之处在于, 当规模巨大时, 计算工作较大, 需借助于软件实现。此外, 能否基于决策者有限信息分析造成冲突性的原因并提出针对性的解决方案是需要解决的问题。

## 参考文献(References)

- [1] Wang Z J, Li K W, Wang W Z. An approach to multiattribute decision making with interval-valued intuitionistic fuzzy assessments and incomplete weights[J]. *Information Sciences*, 2009, 179(s17): 3026-3040.
- [2] Wang Y J, Hsuan-Shih L. Generalizing TOPSIS for fuzzy multiple-criteria group decision-making[J]. *Computers and Mathematics with Applications*, 2007, 53(11): 1762-1772.
- [3] Xu Z S. A method for multiple attribute decision making with incomplete weight information in linguistic setting[J]. *Knowledge-Based Systems*, 2007, 20(8): 719-725.
- [4] Li D F, Sun T. Fuzzy linear programming approach to multi-attribute decision-making with linguistic variables and incomplete information[J]. *Advances in Complex Systems*, 2007, 10(4): 505-525.
- [5] Lahdelma R. Prospect theory and stochastic multicriteria acceptability analysis(SMAA)[J]. *Omega*, 2009, 37(5): 961-971.
- [6] 刘思峰, 党耀国, 方志耕. 灰色系统理论方法与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008.  
(Liu S F, Dang Y G, Fang Z G. The gray system theory and application[M]. Beijing: Science Press, 2008.)
- [7] 王光远. 未确知信息及其数学处理[J]. 哈尔滨建筑工程学院院报, 1990, 23(4): 1-9.  
(Wang G Y. Unascertained information and its mathematical treatment[J]. *J of Harbin University of Civil Engineering and Architecture*, 1990, 23(4): 1-9.)
- [8] Pawlak Z. Vagueness and uncertainty: A rough set perspective[J]. *Computational Intelligence*, 1995, 11(2): 227-232.
- [9] 赵克勤. 集对分析及其初步应用[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2000.  
(Zhao K Q. Set pair analysis and its preliminary application[M]. Hangzhou: Zhejiang Press of Science and Technology, 2000.)
- [10] Wang Y M, Yang J B, Xu D L, et al. On the combination and normalization of interval-valued belief structures[J]. *Information Sciences*, 2007, 177(5): 1230-1247.