

## 基于类别加权算子的环形灰靶决策

郭三党<sup>1,2</sup>, 刘思峰<sup>1</sup>, 方志耕<sup>1</sup>

(1. 南京航空航天大学 经济与管理学院, 南京 210016; 2. 河南农业大学 信息与管理科学学院, 郑州 450002)

**摘要:** 针对现有灰靶决策方法只有一个靶, 不能科学解决评价信息疏密程度不一致的决策问题, 通过有序增量法将决策者评价信息按信息的差异性分成不同的组别, 并给出类别加权算子的定义. 在此基础上, 定义一个靶心多个靶环的环形灰靶, 并将类别权重赋予相应的环形灰靶, 建立基于类别加权算子的环形灰靶决策方法. 该方法更接近现实灰靶, 且通过对方案评价信息的环内和环间信息的二次集结, 使得评价结果更为实用合理. 最后以一个应急案例进行了验证.

**关键词:** 类别加权算子; 环形灰靶; 群体决策; 关联度; 突发事件

**中图分类号:** N945

**文献标志码:** A

## Annular grey target decision model based on category weighted operator

GUO San-dang<sup>1,2</sup>, LIU Si-feng<sup>1</sup>, FANG Zhi-geng<sup>1</sup>

(1. College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;

2. College of Information and Management Science, He'nan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China.

Correspondent: GUO San-dang, Email: guosandang@163.com)

**Abstract:** An annular grey target decision method is proposed based on the category weighted operator in view of that the existing grey target decision method can't scientifically solve the decision problem of the evaluation information being weaved inconsistent. In the light of the information difference, the evaluate information of decision makers is divided into different categories by means of the orderly incremental method, and the weighted vector weights can be obtained by using the nonlinear programming model. Then a bull's-eye multiple target circular gray target is defined and the corresponding circular grey target is given to weight categories. The evaluation results are made more reasonable and practical through the secondary rally of program evaluation information between rings and ring. Finally, a case of emergency is given to verify the proposed method.

**Keywords:** category weighted operator; annular grey target; group decision-making; degree of incidence; emergency

## 0 引言

邓聚龙教授<sup>[1]</sup>最早提出了灰靶决策方法. 灰靶决策方法的主要思想是找到一个靶心, 求出决策点到靶心的靶心距, 根据靶心距对方案进行排序. 随着众多学者对灰靶决策方法研究的深入, 灰靶决策已逐渐成为解决决策问题的一种常用方法, 在众多领域中有着广泛的应用. 文献[2-3]将灰靶决策方法应用于军事方面; 文献[4]将灰靶理论用于企业财务研究; 文献[5]用灰靶决策方法评价电网模拟建设方案. 关于灰靶决策理论的研究, 早期的文献大都研究一个靶心的灰靶决策. 文献[6]利用欧氏距离定义了靶心距, 在此基础上建立了 $s$ 维球形灰靶; 文献[7]构建了

不同属性指标初始化算子, 建立了区间数多指标灰靶决策模型; 文献[8]考虑到各指标间的相关性、不同量纲和不同的重要程度, 利用加权马氏距离建立了改进的灰靶决策方法; 文献[9]构造了不同目标类型的一致效果测度函数, 提出了一种新的多目标加权灰靶决策模型. 后来有学者将靶心分为正负靶心, 考虑中靶和脱靶两种情况. 文献[10]提出了强“奖优罚劣”算子, 通过建立优化模型求解指标的权重, 构建了基于正负靶心的多指标灰靶决策模型; 文献[11]将理想最优和理想最劣方案分别定义为灰靶的正负靶心, 提出了正负靶心灰靶决策模型; 文献[12]定义了各方案到正负理想方案的正负靶心距, 并根据各方案的综合靶

收稿日期: 2014-12-13; 修回日期: 2015-03-31.

基金项目: 国家社科基金重大项目(10zd&014); 江苏省研究生培养创新工程; 中央高校基本科研业务费专项资金项目(CXLX12-0177).

作者简介: 郭三党(1973-), 女, 讲师, 博士生, 从事供应链管理、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.

心距对方案进行排序;文献[13]基于多层次、多目标的决策问题,建立了基于正负靶心的多目标灰靶决策模型;文献[14]针对权重信息部分已知且属性值为区间数的多目标决策问题,设计正负理想靶心,提出一种基于前景理论的区间数多目标灰靶决策方法;文献[15]以决策者期望灰靶为参考点定义前景价值函数,提出一种基于前景理论的群体灰靶决策方法.

纵观灰靶决策的相关文献,无论是应用研究还是理论研究,无论是单靶心还是双靶心,无论是仅考虑中靶还是既考虑中靶又考虑脱靶的灰靶决策,都是针对一个靶心,仅考虑一个靶,没有考虑各决策信息之间的疏密差异程度,这种简单化处理往往直接影响到决策结果的科学性.评价信息很多时候都是不均匀的,评价信息越一致,评价数据集中度越高,评价信息越不一致,评价数据就越分散,在信息综合评价时应考虑到这种现象.鉴于此,本文对原有的灰靶决策方法进行改进,考虑群体决策中决策者评价信息的差异程度定义类别加权算子,建立具有多个靶的环形灰靶决策方法.本文的决策方法弥补了灰靶决策中没有对灰靶进行分割,仅有一个灰靶区间的不足,进一步完善了灰靶决策方法.最后通过一个应急案例验证了所提出方法的合理性.

## 1 决策问题及方法

设一决策问题,有  $m$  个专家参与的决策者集合为  $S = (s_1, s_2, \dots, s_m)$ , 方案集为  $O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$ , 决策者  $i$  对方案  $j$  的评价为  $x_{ij}$ , 则评价矩阵为

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

**定义 1** [16] 设参考序列为  $X_0 = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n))$ , 系统行为序列为  $X_1 = (x_1(1), x_1(2), \dots, x_1(n))$ ,  $\dots$ ,  $X_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n))$ ,  $\dots$ ,  $X_m = (x_m(1), x_m(2), \dots, x_m(n))$ . 令

$$r(x_0(j), x_i(j)) = \frac{\min_i \min_j |x_0(j) - x_i(j)| + \rho \max_i \max_j |x_0(j) - x_i(j)|}{|x_0(j) - x_i(j)| + \rho \max_i \max_j |x_0(j) - x_i(j)|}, \quad (2)$$

称

$$r(X_0, X_i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n r(x_0(j), x_i(j)) \quad (3)$$

为  $X_0$  与  $X_i$  的灰色关联度.  $\rho$  为分辨系数, 一般取  $\rho = 0.5$ .

设序列  $X_i, X_j$  ( $1 \leq i, j \leq m$ ) 的关联度为  $r_{i,j}$ , 则

可得序列两两之间的实对称阵关联度矩阵  $R$  为

$$R = \begin{bmatrix} 1 & r_{1,2} & \cdots & r_{1,m} \\ r_{2,1} & 1 & \cdots & r_{2,m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m,1} & r_{m,2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

求矩阵的最大特征值, 得到对应的特征向量为  $\sigma = (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m)^T$ , 设专家的权重向量为  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)^T$ , 且  $\sum_{i=1}^m \omega_i = 1$ , 则专家  $i$  的权重为

$$w_i = \sigma_i / \sum_{i=1}^m \sigma_i. \quad (5)$$

**定义 2** 设  $x_j^+ = \max\{x_{ij}\}$ ,  $1 \leq i \leq m, j = 1, 2, \dots, n$ , 称

$$x^+ = [x_1^+, x_2^+, \dots, x_n^+] \quad (6)$$

为灰靶决策的最优效果向量, 称为正靶心.

以正靶心为参考序列, 由定义 1 可求得各专家的评价与正靶心的关联度.

**定义 3** [17] 对于某一需要分类的数据集  $A = [a_1, a_2, \dots, a_m]$ ,  $A_1, A_2, \dots, A_q$  为  $A$  的非空子集, 若满足: 1)  $A_i \cap A_j = \varphi, i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, q$ ; 2)  $A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_q = A$ . 则称  $A_1, A_2, \dots, A_q$  为  $A$  的一个划分.

**定义 4** [18] 对于数据集  $A$  中的数据, 按由大到小的顺序排列, 得到有序数组  $B = [b_1, b_2, \dots, b_m]$ , 称  $\{\Delta_t | \Delta_t = b_t - b_{t+1}, t = 1, 2, \dots, m-1\}$  为  $A$  的有序增量集,  $\Delta_t$  为  $A$  的有序增量.

**定义 5** [19] 给定分组个数  $q$  ( $2 \leq q \leq m$ ), 按由大到小的顺序依次选取前  $q-1$  个最大的有序增量  $\Delta_t$ , 在产生  $q-1$  个  $\Delta_t$  的数据之间进行分割, 则  $B'_1, B'_2, \dots, B'_q$  即为数据集  $A$  的一个  $q$  组有序聚类.

**定义 6** [20] 对于数据集  $A = [a_1, a_2, \dots, a_m]$ , 设  $DWA: R^n \rightarrow R$ , 若

$$DWA_\eta(a_1, a_2, \dots, a_m) = \sum_{k=1}^q \eta_k \times \Lambda(B'_k), \quad (7)$$

其中:  $B'_1, B'_2, \dots, B'_q$  为数据集  $A$  序化后的  $q$  组聚类;  $\eta = [\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_q]$  为类别加权向量,  $\eta_k \in [0, 1], \sum_{k=1}^q \eta_k = 1$ ,  $\Lambda$  为某一信息集结算子, 可以是 WAA, OWA, AA, Min, Max 等集结算子. 则称 DWA 为类别加权平均算子.

设第  $k$  组的数据个数为  $n_k, 1 \leq n_k \leq n-1$ , 则  $\sum_{k=1}^q n_k = m$ . 第  $k$  组中专家的归一化权重为

$$\omega_i^k = \omega_i / \sum_{i=1}^{n_k} \omega_i, 1 \leq i < n_k, 1 \leq k \leq q; \quad (8)$$

第  $k$  组专家对方案  $j$  的评价信息集结为

$$v_j^k = \sum_{i=1}^{n_k} \omega_i^k \times x_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (9)$$

### 2 类别加权向量的确定

设序化后的数据集为  $B'_1, B'_2, \dots, B'_q$ , 计算类别加权向量的熵值和“类别偏好”  $\lambda$ . 熵值代表了集结信息的过程中权重包含信息的程度, “类别偏好”体现了信息类别的重视程度, 相应的标度参考见表 1.

表 1 “类别偏好”标度参考表

$\lambda$	说明
0.1	非常重视关联度高的专家
0.3	比较重视关联度高的专家
0.5	同等重视所有专家
0.7	比较重视关联度低的专家
0.9	非常重视关联度低的专家
0.2, 0.4, 0.6, 0.8	对应以上两相邻判断的中间情况

合理地确定类别加权向量  $\eta = (\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_q)$ , 才能得到科学的评价结果. 权重的大小表明对某类信息的重视程度, 在事先给定“类别偏好”  $\lambda$  的情况下, 由下列非线性规划求类别权重向量<sup>[20]</sup>:

$$\begin{aligned} & \max \left\{ - \sum_{k=1}^q \eta_k \ln \eta_k \right\}; \\ & \text{s.t. } \lambda = \sum_{k=1}^q \frac{q-k}{q-1} \eta_k; \\ & \sum_{k=1}^q \eta_k = 1, \quad 0 \leq \eta_k \leq 1. \end{aligned} \quad (10)$$

**定义 7** 对于  $A$  的一个有序划分  $B'_1, B'_2, \dots, B'_q$ , 当  $1 \leq k \leq q-1$  时, 设  $y_k = \min\{B'_i\}, i = 1, 2, \dots, n_k, z_k = \max\{B'_i\}, i = 1, 2, \dots, n_k$ ; 令  $h_k = \mu y_k + (1-\mu)z_{k+1} (1 \leq k \leq q-1), h_0 = 1, h_k = y_k/2 (k = q)$ . 称

$$S^q = \{h, \eta | (h_0 \geq d_1 \geq h_1, h_2 > d_2 \geq h_3, \dots, h_{q-1} > d_q \geq h_q), (\eta = \eta_1, \eta_2, \dots, \eta_q)\} \quad (11)$$

为  $q$  组环形决策灰靶, 称  $h_{k-1} - h_k (1 \leq k \leq q)$  为环形灰靶的环距,  $\eta_k$  为环形灰靶的权重.

由上述灰靶的定义可以看出, 该环形灰靶以  $h_0$  为靶心,  $h_{k-1} < d_k \leq h_k (1 \leq k \leq q)$  为第  $k$  组环形灰靶, 第  $k$  组环形灰靶的权重为  $\eta_k, k = 1, 2, \dots, q$ . 此灰靶更接近于现实靶, 意义更易理解.

采用算术加权平均算子, 得方案的总的靶心距为

$$\begin{aligned} f_j &= \sum_{k=1}^q \eta_k \times v_j^k = \sum_{k=1}^q \eta_k \sum_{i=1}^{n_k} \omega_i^k \times x_{ij}, \\ & \quad j = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (12)$$

可以看出, 改进后的灰靶决策方法综合考虑了各专家间的信息的疏密不一致性对决策效果的影响, 最终的评价信息是对信息的二次集结, 评价效果更加稳定、科学.

### 3 决策步骤

综上所述, 本文决策步骤如下.

**Step 1:** 根据问题构造评价值的样本矩阵, 计算专家两两之间的关联度, 求得权重向量;

**Step 2:** 求方案的理想点(靶心), 然后求各专家的评价值与理想点的关联度, 用增量排序法将专家分组;

**Step 3:** 求分组后的类别加权向量, 计算环形灰靶区间及环形灰靶的权重;

**Step 4:** 将方案总的信息进行集结, 求得综合靶心距并对方案进行排序.

### 4 案例分析

由于各种突发事件频繁出现, 各地方政府都加强了应急预案的管理. 由于事件的复杂性, 应急预案往往需要多个决策者参与设计以便合理选择方案. 假设某商场火灾的人员逃离应急预案为:  $o_1$  为迅速撤离到离商场较近的区域;  $o_2$  为直接撤离到离商场较远的区域;  $o_3$  为找卫生间等不易着火的地方躲避;  $o_4$  为找商场防毒面具带上再撤离火灾区域;  $o_5$  为到卫生间往身上泼点水再撤离火灾区域. 有 10 个专家对方案进行评估, 得出的评价效果矩阵  $X$  为

$$X = \begin{bmatrix} 5.0 & 4.0 & 8.0 & 6.2 & 7.0 \\ 3.5 & 6.0 & 8.0 & 6.6 & 3.2 \\ 9.0 & 5.0 & 2.9 & 6.5 & 9.0 \\ 5.2 & 6.7 & 6.6 & 3.8 & 3.1 \\ 6.0 & 7.5 & 3.1 & 6.4 & 5.5 \\ 7.0 & 4.3 & 7.0 & 6.6 & 8.5 \\ 7.2 & 7.8 & 7.5 & 2.9 & 5.1 \\ 5.8 & 3.6 & 3.4 & 3.3 & 7.6 \\ 3.4 & 6.2 & 7.2 & 6.4 & 5.5 \\ 6.6 & 6.8 & 6.6 & 3.6 & 4.5 \end{bmatrix}.$$

**Step 1:** 计算专家两两之间的关联度, 得到对称矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} 1.0000 & 0.6027 & 0.5446 & 0.5202 & 0.6017 \\ 0.6027 & 1.0000 & 0.6339 & 0.5832 & 0.7011 \\ 0.5446 & 0.6339 & 1.0000 & 0.6496 & 0.6566 \\ 0.5202 & 0.5832 & 0.6496 & 1.0000 & 0.6618 \\ 0.6017 & 0.7011 & 0.6566 & 0.6618 & 1.0000 \\ 0.5545 & 0.5579 & 0.6808 & 0.5712 & 0.5932 \\ 0.5587 & 0.6059 & 0.5641 & 0.5581 & 0.6002 \\ 0.7469 & 0.5690 & 0.5822 & 0.5427 & 0.5968 \\ 0.6155 & 0.7527 & 0.5553 & 0.5233 & 0.5889 \\ 0.5513 & 0.5827 & 0.5846 & 0.5416 & 0.5504 \end{bmatrix} \rightarrow$$

0.5545	0.5587	0.7469	0.6155	0.5513
0.5579	0.6059	0.5690	0.7527	0.5827
0.6808	0.5641	0.5822	0.5553	0.5846
0.5712	0.5581	0.5427	0.5233	0.5416
0.5932	0.6002	0.5968	0.5889	0.5504
1.0000	0.5826	0.6685	0.5352	0.6249
0.5826	1.0000	0.5539	0.5378	0.6535
0.6685	0.5539	1.0000	0.5608	0.6259
0.5352	0.5378	0.5608	1.0000	0.5163
0.6249	0.6535	0.6259	0.5163	1.0000

采用 Matlab 计算得到最大特征值为 6.3523, 对应的特征向量为  $Z = [0.3134, 0.328, 0.3216, 0.3058, 0.3269, 0.3172, 0.3089, 0.3212, 0.3078, 0.3098]$ , 由此得各专家权重为  $\omega = (0.0991, 0.1040, 0.1017, 0.0967, 0.1034, 0.1003, 0.0977, 0.1016, 0.0974, 0.0980)$ .

Step2: 求得评价效果值的正靶心为  $x^+ = [9.0,$

7.8, 8.0, 6.6, 9.0], 各专家对方案的评价与理想点的关联度为  $A = [0.7671, 0.6106, 0.8456, 0.7802, 0.7737, 0.8264, 0.7936, 0.7878, 0.5386, 0.8296]$ , 按由大到小排序后指标的关联度为  $B = [0.8456, 0.8296, 0.8264, 0.7936, 0.7878, 0.7802, 0.7737, 0.7671, 0.6106, 0.5386]$ , 增量值为  $\Delta_t = [0.016, 0.0032, 0.0328, 0.0058, 0.0076, 0.0065, 0.0066, 0.1565, 0.072]$ . 将专家分为 3 组, 可以看出最大的两个增量值为  $\Delta_3 = 0.0328, \Delta_8 = 0.1565$ , 所以分组结果为  $B'_1 = \{S_3, S_6, S_{10}\}, B'_2 = \{S_1, S_4, S_5, S_7, S_8\}, B'_3 = \{S_2, S_9\}$ . 求得各组专家的归一化权重为  $\omega^1 = (0.3390, 0.3344, 0.3266), \omega^2 = (0.1988, 0.1940, 0.2074, 0.1960, 0.2038), \omega^3 = (0.5164, 0.4836)$ .

Step3: 求分组权重. 根据非线性规划 (10), 求得  $\lambda$  取不同值时各组的权重如表 2 所示.

Step4: 求综合靶心距. 由式 (12) 求得各方案的综合靶心距如表 3 所示.

表 2  $\lambda$  取不同值时各组权重

	$\lambda$								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
$\eta_1$	0.0263	0.0819	0.1540	0.2384	0.3333	0.4384	0.5540	0.6819	0.8263
$\eta_2$	0.1474	0.2363	0.2921	0.3233	0.3333	0.3233	0.2921	0.2363	0.1474
$\eta_3$	0.8263	0.6819	0.5540	0.4384	0.3333	0.2384	0.1540	0.0819	0.0263

表 3 各方案的综合靶心距

方案	$\lambda$								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
$o_1$	3.9115	4.3519	4.7805	5.2007	5.6126	6.0931	6.4188	6.8094	7.1881
$o_2$	6.0501	5.9930	5.9292	5.8608	5.7872	5.7122	5.6321	5.5473	5.4557
$o_3$	7.1251	6.7467	6.4293	6.1578	5.9244	5.7310	5.5758	5.4664	5.4560
$o_4$	6.1895	5.9645	5.7887	5.6500	5.5420	5.4666	5.4219	5.4143	5.4180
$o_5$	4.5944	4.8863	5.1827	5.4829	5.7853	6.0199	6.4030	6.7168	7.0351
最优方案	$o_1$	$o_1$	$o_1$	$o_1$	$o_4$	$o_4$	$o_4$	$o_4$	$o_4$

由表 3 可以看出,  $\lambda$  的取值不同, 各方案的排序不完全一致. 当重视与正理想点关联度大的决策者或同等重视决策者时, 方案  $o_1$  最优; 当重视与理想点关联度小的决策者时, 方案  $o_4$  最优.

若信息不进行二次集结, 用文献 [13] 的基于正负靶心的灰靶决策方法计算, 则结果为  $\delta_1 = 0.4679, \delta_2 = 0.5075, \delta_3 = 0.4993, \delta_4 = 0.5549, \delta_5 = 0.4871$ , 方案的最优排序为  $o_1 \succ o_5 \succ o_3 \succ o_2 \succ o_4$ , 方案 1 最优. 最优方案与本文中  $\lambda$  取值较小时的结论一致, 但各个方案的总体排序不完全一致. 与本文的结果相比较, 文献 [13] 的信息是单次集结, 评价结果只有一种, 信息没有充分利用. 而本文先根据评价信息进行分组, 然后对组内信息进行集结, 再对组间信息进行集结, 组间信息集结时根据  $\lambda$  的取值不同有不同的结果. 本文的方法更能反映总的评价信息, 使评价结果更加科学.

### 5 结 论

考虑到决策者的群体差异性 & 评价信息的不均

匀性, 本文对灰靶决策方法进行了改进. 考虑决策者评价信息的疏密程度, 提出了环形灰靶, 并提出了相应的类别加权算子, 将类别权重赋予环形灰靶. 弥补了灰靶决策中没有对灰靶进行分割, 仅有一个灰靶区间的不足, 为灰靶决策方法开辟了一个新的思路. 本文提出的决策方法是对决策者评价信息的环内信息及环间信息的二次集结, 能利用更多的决策信息, 使得决策结果更为科学实用. 该方法不仅可以用于群体决策, 还可以用于多属性决策. 本文的评价值仅以实数数据为例进行了说明, 也可以从区间数、区间灰数、模糊数等多方面进行考虑.

### 参考文献(References)

[1] 邓聚龙. 灰预测与决策[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002: 56-61.  
(Deng J L. Grey prediction and grey decision[M]. Wuhan: Press of Huazhong University of Science & Technology, 2002: 56-61.)

- [2] 田厚建, 吴强, 刘炳琪. 灰靶——军事决策模型的广义解[J]. 军事运筹与系统工程, 1997, 12(2): 18-20.  
(Tian H J, Wu Q, Liu B Q. Grey target the generalized solution of military decision model[J]. Military Operations Research and Systems Engineering, 1997, 12(2): 18-20.)
- [3] 解志坚, 薄玉成, 解仁奇, 等. 战技指标对武器系统效能影响程度的灰色量化[J]. 系统工程与电子技术, 2005, 27(11): 1924-1926.  
(Xie Z J, Bo Y C, Xie R Q, et al. Grey quantitative method about the affection degree of tactics and technology performance indices to the effectiveness of weapon systems[J]. System Engineering and Electronics, 2005, 27(11): 1924-1926.)
- [4] Feng Jianyou, Zhang Hua. Grey target model appraising firms financial status based on altman coefficients[J]. The J of Grey System, 2002, 5(3): 274-276.
- [5] 王敬敏, 孙艳复, 康俊杰. 基于区间数的多指标灰靶模型在智能电网评价中的应用[J]. 华东电力, 2010, 38(6): 1495-1497.  
(Wang J M, Sun Y F, Kang J J. Application of interval and multi-grey target model in smart grid evaluation[J]. East China Electric Power, 2010, 38(6): 1495-1497.)
- [6] Liu S F, Lin Y. Grey information: Theory and practical applications[M]. London: Springer, 2006: 89-92.
- [7] 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.)
- [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(7): 2634-2636.  
(Wang Z X, Dang Y G, Yang H. Improvements on decision method of grey target[J]. System Engineering and Electronics, 2009, 31(7): 2634-2636.)
- [9] 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(4): 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(4): 31-35.)
- [10] 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, 32(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]. System Engineering and Electronics, 2010, 32(6): 1229-1233.)
- [11] 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.)
- [12] 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.
- [13] 罗党. 基于正负靶心的多目标灰靶决策模型[J]. 控制与决策, 2013, 28(2): 241-246.  
(Luo D. Multi-objective grey target decision model based on positive and negative clouts[J]. Control and Decision, 2013, 28(2): 241-246.)
- [14] 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 J, Liu S F, et al. Multi-objective grey target decision-making based on prospect theory[J]. Control and Decision, 2013, 28(3): 345-350.)
- [15] 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.)
- [16] 刘思峰. 灰色系统理论及其应用[M]. 第5版. 北京: 科学出版社, 2009: 70-71.  
(Liu S F. Grey system theory and application[M]. 5th ed. Beijing: Science Press, 2009: 70-71.)
- [17] 易平涛, 郭亚军, 张丹宁. 密度加权平均中间算子及其在多属性决策中的应用[J]. 控制与决策, 2007, 22(5): 515-524.  
(Yi P T, Guo Y J, Zhang D N. Density weighted averaging middle operator and application in multiattribute decision making[J]. Control and Decision, 2007, 22(5): 515-524.)
- [18] 张发明, 郭亚军, 易平涛. 基于密度算子的多阶段群体评价信息集结方法及其应用[J]. 控制与决策, 2010, 25(7): 993-997.  
(Zhang F M, Guo Y J, Yi P T. Multi-phase group evaluation information aggregation method based on density operator and its application[J]. Control and Decision, 2010, 25(7): 993-997.)
- [19] 张发明, 郭亚军, 易平涛. 基于二维密度加权算子的群体评价信息集结方法[J]. 系统管理学报, 2009, 18(4): 397-401.  
(Zhang F M, Guo Y J, Yi P T. A method of group evaluation information aggregation based on two-dimensional density operator[J]. J of Systems & Management, 2009, 18(4): 397-401.)
- [20] 张发明, 闻琴, 汪红林. 二维区间密度加权算子及其应用[J]. 应用泛函分析学报, 2014, 16(2): 97-104.  
(Zhang F M, Wen Q, Wang H L. Two-dimensional interval density weighted operator and its application[J]. Acta Analysis Functionalis Applicata, 2014, 16(2): 97-104.)