

基于退出-委托动态冲突消解机制的应急大群体决策方法

徐选华, 钟香玉, 周艳菊

(中南大学 商学院, 长沙 410083)

摘要: 针对应急决策时间紧迫的特点, 提出一种基于退出-委托动态冲突消解机制的应急大群体决策方法. 首先, 对决策群体进行偏好聚类, 对群体冲突进行测度并判断冲突程度的高低, 在冲突程度过高的情况下进行消解; 然后, 在决策过程中建立退出机制, 使与群体偏好冲突较大的聚集退出决策过程, 利用委托机制使退出决策过程的聚集对后续决策过程仍有影响并通过反馈机制对冲突进行消解. 算例分析验证了所提出方法的合理性和可行性.

关键词: 退出-委托; 冲突消解; 大群体; 决策方法

中图分类号: TP311.52

文献标志码: A

Emergency large group decision method based on exit-commission dynamic conflict eliminating mechanism

XU Xuan-hua, ZHONG Xiang-yu, ZHOU Yan-ju

(School of Business, Central South University, Changsha 410083, China. Correspondent: XU Xuan-hua, E-mail: xuxh@csu.edu.cn)

Abstract: Aiming at the timely characteristic of emergency decision, a method of emergency decision for the large group based on the exit-commission dynamic conflict eliminating mechanism is proposed. Firstly, the decision group is clustered by preference, the group conflict degree is measured, and the conflict degree is judged. The conflict eliminating method is used when the degree is high. Then, an exit mechanism is proposed to make the cluster whose preference is high conflictive with group preference exit the decision-making process. The commission mechanism is used to make the cluster who exits the decision-making process influence the subsequent decision. The feedback mechanism is used to decrease the conflict degree. Finally, a numerical example is given to illustrate the rationality and feasibility of the proposed method.

Keywords: exit-commission; conflict eliminating; large group; decision making method

0 引言

近年来, 突发事件在我国频繁发生, 如2008年南方部分地区的冰冻雨雪灾害、四川汶川5.12地震、2010年的青海玉树地震灾害和2013年的雅安地震等, 这些突发事件在威胁人民生命和财产安全的同时, 也对我国的经济发展和国家安全稳定产生负面影响. 突发事件通常设有现成的预案作为参考, 事件一旦发生, 如何针对事件特点在最短的时间内作出最合理的应急决策就显得非常重要. 文献[1-4]在应急决策方法方面进行了一些研究.

在应急决策过程中, 由于突发事件的复杂性及决策专家个人因素等原因, 决策专家往往无法直接给出方案的序关系值或效用值, 但是比较容易给出方案两

两比较的优劣判断. 所以在应急决策过程中, 决策专家可以根据自己的偏好, 构造对方案两两比较的偏好信息判断矩阵, 然后对个体偏好进行集结形成群体偏好, 最后根据群体偏好对方案进行排序或选优. 从偏好信息判断矩阵中元素的性质来看, 可以将判断矩阵分为互补判断矩阵和互反判断矩阵两种类型. 与互反判断矩阵相比, 互补判断矩阵表示的偏好信息更符合人们的心理特性和决策思维. 近年来, 基于互补判断矩阵的群体决策越来越受到人们的重视^[5-9]. 因此, 本文采用模糊互补判断矩阵来表示决策专家对备选方案的偏好信息.

对突发事件的应急决策具有时限性、信息不完全性和决策负荷约束等特点, 因此需要组织更多的专

收稿日期: 2014-06-27; **修回日期:** 2014-09-19.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71171202, 71171201); 国家创新研究群体科学基金项目(71221061); 中南大学中央高校基本科研业务费专项资金项目(2015zzts150).

作者简介: 徐选华(1962-), 男, 教授, 博士生导师, 从事决策理论与方法、信息系统与决策支持系统等研究; 钟香玉(1989-), 女, 硕士生, 从事决策理论与方法、应急管理 with 决策的研究.

家共同进行决策^[1], 称专家数量超过 11 个的决策群体为大群体^[10]. 通常, 决策专家在知识结构、自身利益和成长背景等方面存在差异, 专家之间会不可避免地产生偏好冲突. 突发事件涉及的专家数量更多、时间更短暂、面对的情况更多变, 因此与常规决策相比, 突发事件应急决策中专家间的冲突程度会更大, 难以形成高一致性的决策方案. 为了保证应急决策结果的有效性, 必须对偏好冲突进行消解, 否则可能会进一步扩大突发事件的危害.

目前针对应急决策冲突消解领域的文献不多^[11-12], 都是以向量的形式来表示决策者对方案的评价, 而对于常规决策问题的冲突消解的研究较多^[13-21]. Cabrerizo 等^[22]在冲突测度过程中同时考虑了决策个体冲突和群体冲突, 并对其同时进行消解; Palomares 等^[23]针对大群体决策提出了一种新的冲突消解方法, 其在消解过程中对决策成员的不合作行为进行监控和管理; Perez 等^[24]通过对异质性决策专家进行分析, 提出了一种针对其异质性进行冲突消解的方法, 在冲突消解过程中对不同权重层次的决策专家给予不同的识别条件. 但是这些研究都是对冲突进行静态消解, 少有文献考虑到在消解过程中决策成员、决策方案等的动态变化. 陈兴等^[25]考虑到在应急决策过程中有决策方案或决策部门变化的情况, 提出了一个动态决策模型; Alonso 等^[26]针对维基百科中用户在决策过程中的动态性提出了一种委托方式. 基于这些研究, 本文针对在应急大群体决策过程中有聚集退出的情况提出一种动态冲突消解决策方法.

受突发事件状态、专家自身原因、决策环境等因素的影响, 参与应急决策的成员聚类形成的聚集对应急方案的偏好信息有可能相差很大, 这可能导致冲突

消解耗费时间过长. 而应急决策时间紧迫, 必须在有限的时间内作出尽可能满意的决策, 就必须考虑建议与群体偏好冲突过大的聚集退出决策过程, 以节省决策时间, 提高决策的有效性. 当有聚集退出决策过程时, 其所给出的偏好信息将会失效, 这会对决策结果产生一定的影响. 现有的对于这种决策主体具有动态性的应急大群体决策问题的研究较少. 基于上述问题, 本文提出一种新的动态冲突消解大群体决策方法. 在对聚集之间的冲突进行测度和判断的基础上, 利用冲突消解的退出、委托及反馈机制对聚集偏好进行调整, 在尽可能短的时间内作出尽可能满意的决策.

1 应急大群体决策偏好动态冲突消解框架

应急决策活动主要分为冲突消解过程和方案选择过程^[14]. 冲突消解过程是一个动态循环过程, 是将群体之间的冲突降到群体所能接受的程度, 通常在群决策过程前由所有决策专家讨论确定一个可接受的阈值 λ , 如果群体冲突小于等于阈值 λ , 则可以直接进入选择过程选择最优方案; 否则需要进入冲突消解过程. 冲突与一致性是互补的, 冲突越大一致性越小, 因此可通过对一致性阈值的确定来得到冲突阈值. Herrera-Viedma 等^[13]对一致性阈值的确定进行了说明, 指出一致性阈值是由所处理问题的重要性决定的. 同时, 为了避免冲突消解过程的循环次数过多而大大消耗应急决策的时间, 应该设定一个最大消解次数 T 来限制冲突消解的时间. 在冲突指数大于阈值的情况下, 判断消解次数 t 是否达到最大消解次数 T , 如果 $t < T$, 则可以进入消解过程对冲突进行消解; 否则, 应该结束冲突消解过程, 进入方案选择过程. 其动态冲突消解框架如图 1 所示.

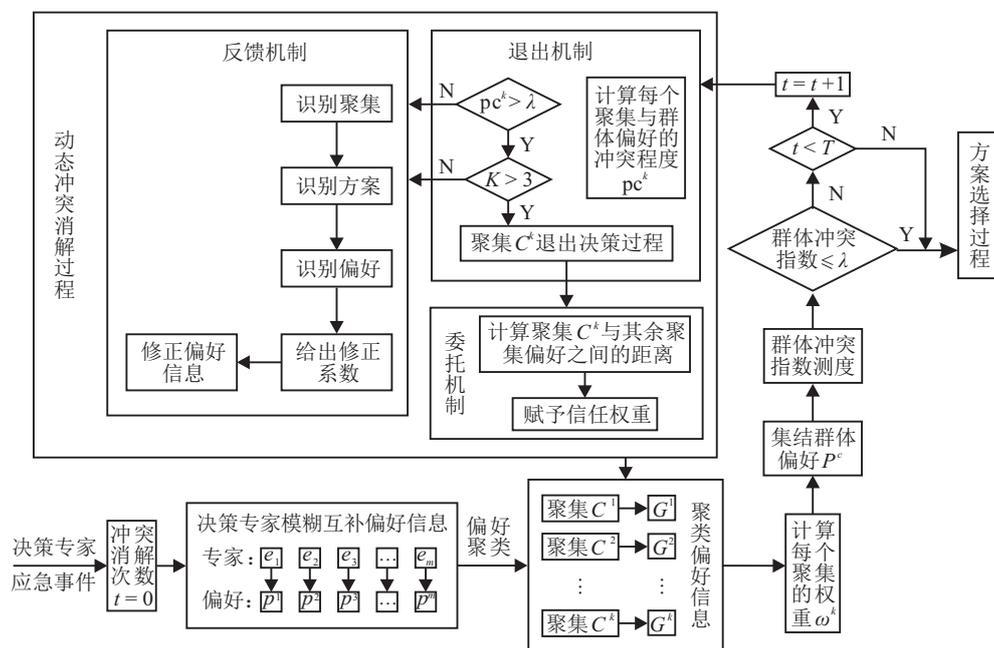


图 1 应急大群体决策偏好动态冲突消解框架

2 应急大群体决策冲突测度

2.1 决策偏好聚类

在应急大群体决策过程中, 设有可供选择的方案集

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, n \geq 2;$$

决策专家群

$$E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}, m \geq 11.$$

决策专家对方案进行评价, 给出相应的模糊互补偏好信息. 决策专家对方案集 X 的模糊偏好信息 P 是关于方案集 $X \times X$ 的模糊集, 其隶属函数为 $\mu_p : X \times X \rightarrow [0, 1]$, 形成模糊偏好信息判断矩阵

$$P^k = (p_{ij}^k).$$

其中: $p_{ij}^k = \mu_{p^k}(x_i, x_j)$ 表示决策专家 e_k 对方案 x_i 与方案 x_j 的偏好程度, $p_{ij}^k = 0.5$ 表示决策专家 e_k 认为方案 x_i 与方案 x_j 同等重要 ($x_i \sim x_j$), $p_{ij}^k > 0.5$ 说明决策专家 e_k 认为方案 x_i 优于方案 x_j ($x_i \succ x_j$), $p_{ij}^k < 0.5$ 说明决策专家 e_k 认为方案 x_j 优于方案 x_i ($x_i \prec x_j$). 同时, 模糊偏好信息判断矩阵 P^k 是互补的, 即

$$p_{ij}^k + p_{ji}^k = 1, \forall i, j \in 1, 2, \dots, n.$$

应急决策常常涉及到大群体决策, 为了简化决策过程, 首先对决策专家的偏好进行聚类, 将其转化成小群体决策, 再对其进行冲突测度. 采用聚类方法^[27]将决策专家聚类成 K 个聚集, 形成群体成员偏好聚集结构. 第 k 个聚集记为 C^k , 第 k 个聚集中的成员数量记为 n_k , 则 $\sum_{k=1}^K n_k = m$, 且 $1 \leq K \leq m$.

由于聚类的标准是两个偏好之间的相聚程度, 处于同一聚集内的决策专家给出的偏好较为接近, 可以认为属于同一聚集内的决策专家权重相同, 因此在集结聚集内的专家偏好时可以采用算术平均算子得到每个聚集的偏好 $G^k = (g_{ij}^k)_{n \times n}$.

2.2 聚集权重与群体偏好

在对决策专家进行聚类后, 将每个聚集看成一个整体, 对其进行冲突测度. 首先计算每个聚集的权重, 为了增强决策的客观性, 本文通过对每个聚集偏好信息的一致性程度的计算来得到每个聚集的初始权重.

利用加性传递性来对聚集偏好一致性进行测量. 对于一个模糊互补偏好信息判断矩阵, 可利用 Tanino^[28]提出的加性传递性计算公式

$$g_{il} = g_{ij} + g_{jl} - 0.5, \forall i, j, l = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

计算出一个估计的模糊偏好信息矩阵. 例如, 利用中间方案 x_j 可以得到偏好值 g_{il} 的估计值

$$eg_{il} = \sum_{j=1; j \neq i, l}^n \frac{g_{ij} + g_{jl} - 0.5}{n - 2}. \quad (2)$$

由式(2)可知, 估计的偏好值 $eg_{il} \in [-0.5, 1.5]$, 为了使得到的估计偏好矩阵仍然是模糊偏好矩阵, 可使最终的估计值 bg_{il} 取 0、1 和 eg_{il} 的中间值, 即

$$bg_{il} = \text{med}(0, 1, eg_{il}).$$

然后可得到偏好矩阵 G 的一致性程度^[29]

$$cd = \frac{\sum_{i, l=1; i \neq l}^n (1 - \varepsilon_{g_{il}})}{n^2 - n}, \quad (3)$$

其中 $\varepsilon_{g_{il}}$ 是指原始偏好值与估计偏好值之间的误差, $\varepsilon_{g_{il}} = |g_{il} - bg_{il}|$. 最后通过下式得到聚集 C^k 的初始权重:

$$\omega^k = \frac{cd^k}{\sum_{k=1}^K cd^k}. \quad (4)$$

加权平均算子集结所有聚集的偏好, 得到群体偏好

$$P^c = \sum_{k=1}^K \omega^k \cdot G^k. \quad (5)$$

2.3 决策大群体冲突测度

决策群体冲突测度是指测量决策中的个体偏好与群体偏好之间的非一致性, 可通过对群体一致性的计算得到. 对于群体一致性的计算可通过两种方式: 一种方式是先根据决策专家给出的偏好信息集结出一个临时的群体偏好, 然后计算决策个体的偏好信息与临时群体偏好信息的差异, 由此得到基于偏好的群体一致性^[15-16]; 另一种方式是根据决策者给出的偏好信息集结出一个方案排序, 同时计算个体专家的方案排序, 然后计算个体专家方案排序与群体方案排序的差异, 得到其基于方案的群体一致性^[21]. 这两种方法都需要先集结得到临时群体偏好或方案排序, 在此基础上计算群体一致性, 而直接根据决策专家的初始偏好信息计算群体一致性则更为精确.

群体一致性可分为 3 个层次, 即两两方案层次的群体一致性、方案层次的群体一致性和偏好信息层次的群体一致性^[14]. 首先对任意两两聚集进行相似性测量得到相似矩阵, 然后将其集结成群体一致性矩阵, 再分别对 3 个不同层次的群体一致性进行计算得到总的群体一致性. 其具体步骤如下.

Step 1: 对于任意两个聚集 $(C^k, C^h) (k < h)$, 得到一个相似矩阵

$$SM^{kh} = (sm_{ij}^{kh}),$$

其中 $sm_{ij}^{kh} = 1 - |g_{ij}^k - g_{ij}^h|$.

Step 2: 然后利用算术平均算子作为集结函数 ϕ 将相似矩阵集结, 得到一致性矩阵

$$CM = (cm_{ij}),$$

其中 $cm_{ij} = \phi(sm_{ij}^{kh}, k < h)$.

Step 3: 在得到一致性矩阵后, 可以计算得到3个不同层次的群体一致性指数:

1) 两两方案层次的群体一致性指数

$$cp_{ij} = cm_{ij}; \quad (6)$$

2) 方案层次的群体一致性指数

$$ca_i = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n cp_{ij}}{n-1}; \quad (7)$$

3) 偏好信息层次的群体一致性指数

$$cr = \frac{\sum_{i=1}^n ca_i}{n}. \quad (8)$$

通过下式可得到决策群体的冲突指数:

$$c = 1 - cr. \quad (9)$$

最后将总的冲突指数与决策之前所确定的阈值 λ 进行比较, 如果 $c \leq \lambda$, 则可以进入选择过程对方案进行排序选优; 否则需将消解次数 t 与最大消解次数 T 进行比较, 如果 $t < T$, 则进入冲突消解过程, 否则进入方案选择过程.

3 应急大群体决策动态冲突消解方法

应急大群体决策动态冲突消解是一个循环迭代的过程. 为了在有限的时间内达到尽可能小的冲突程度, 在决策过程中有必要对某些与群体偏好冲突较大的聚集进行一定的处理, 建议其退出决策过程. 但是, 为了保留其对后续决策过程的影响, 可采用委托机制让其对决策过程中的其余聚集赋予信任权重^[26].

3.1 退出机制

通过距离测量来计算聚集偏好与群体偏好的冲突程度, 即

$$pc^k = \frac{\sum_{i=1}^n ps_i^k}{n}, \quad (10)$$

其中

$$ps_i^k = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n |g_{ij}^k - p_{ij}^c|}{n-1}$$

表示聚集 C^k 与群体对方案 x_i 的偏好之间的冲突程度. 如果 $pc^k > \lambda$, 则需要建议聚集 C^k 退出决策过程, 并进入委托机制, 否则进入反馈机制. 同时, 考虑到应急决策过程中有可能会聚集数量只有2个, 而其意见完全相反的极端情况, 需要采取一定的措施避免这种情况的出现. Weick^[30]指出3人组是群体分析的基本单元, 是避免对立意见出现的最小群体规模. 因此, 本文在退出机制中设定聚集数量不小于3, 这样就可以避免决策过程中对立意见出现的极端情况.

3.2 委托机制

当有聚集退出时, 之前所给出的偏好信息就会失去作用, 通过委托机制对所委托的聚集赋予信任权重来增加所委托聚集的权重, 使其对方案的偏好以另一种方式继续产生作用.

计算将退出的聚集 C^k 与群体中其余聚集 C^h 之间的相近性, 通过计算偏好信息之间的欧氏距离来得到, 即

$$d^{kh} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n (g_{ij}^k - g_{ij}^h)^2}. \quad (11)$$

通过距离的大小可以得到与将退出的聚集 C^k 偏好信息相近度的一个排序

$$N^k = \{C^{h_1}, C^{h_2}, \dots, C^{h_{K-1}}\},$$

这样将退出的聚集可以对与其偏好信息相近的聚集进行委托, 赋予其信任权重 τ^{kh} , 通过 $\omega^{h_{t+1}} = \omega^{h_t} + \omega^{k_t} \tau^{kh}$ 增加所委托聚集的权重. 其中: $\omega^{h_{t+1}}$ 和 ω^{h_t} 分别表示聚集 C^h 第 $t+1$ 和 t 阶段的权重, ω^{k_t} 表示聚集 C^k 第 t 阶段的权重, $\tau^{kh} \in [0, 1]$ 且 $\sum_{h=1, h \neq k}^K \tau^{kh} = 1$.

3.3 反馈机制

当退出的聚集进行委托之后, 再次进行冲突测度, 如果冲突指数仍然过大且无需建议聚集退出决策过程或需要建议聚集退出而聚集数量不大于3时, 则可以进入反馈机制对聚集的偏好信息进行讨论和修正. 反馈机制分为两个阶段: 识别阶段和建议阶段^[14].

1) 识别阶段. 识别阶段分为3个层次, 即识别出需要修正偏好的聚集 C 、识别出需修正的偏好所对应的方案 ALT 和识别出需要修正的偏好 APS .

① 识别聚集: 找出需要接受建议修正其偏好信息的聚集

$$C = \{h | pc^h = \max(pc^k)\}.$$

② 识别方案: 找出上述聚集需修正偏好信息所对应的方案集, 表示为

$$ALT = \{(h, i) | C^h \in C \wedge ca_i < cr\}.$$

③ 识别偏好: 找出上述聚集需要修正的偏好值

$$APS = \{(h, i, j) | (h, i) \in ALT \wedge cp_{ij} < cr\}.$$

2) 建议阶段. 识别出聚集需要修正的偏好之后, 就需要对其提供修正建议. 应急决策专家与应急事件通常没有直接利益关系, 属于利益无冲突群决策, 在决策过程中需考虑对专家个体意见的尊重, 因此在偏好修正时应考虑决策专家聚类形成的聚集坚持自己偏好的主观意愿. 利用如下消解公式为聚集提供修正建议^[11]:

$$g_{ij}^{h(t+1)} = \mu_t \cdot g_{ij}^{h(t)} + (1 - \mu_t) \cdot p_{ij}^c(t).$$

其中： $g_{ij}^h(t+1)$ 表示修正后的偏好； $g_{ij}^h(t)$ 、 $p_{ij}^c(t)$ 分别表示第 t 阶段聚集 C^h 与群体的偏好； μ_t 则表示第 t 阶段聚集 C^h 的偏好修正系数，是指聚集 C^h 坚持自己偏好的主观意愿，由需要修正偏好的聚集根据具体决策问题集体讨论得到，这样可以有效避免偏好修正的随意性，并充分保证了对聚集中决策专家的尊重。

当聚集接受建议修正其偏好时，新产生的偏好信息有可能与之前退出决策过程而对其委托的聚集的偏好信息有很大不同，这时就需要一个信任检验机制来检查他们偏好信息的相近性。同样通过偏好信息之间的欧式距离来计算委托聚集与被委托聚集之间的偏好距离，得到一个新的排序，并通知退出的聚集修改其信任权重。

当群体冲突指数小于等于阈值或消解次数 t 达到最大消解次数 T 时，可以利用如下公式对方案进行排序选优^[9]：

$$O_i = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{j=1}^n \left(p_{ij} + \frac{n}{2} - 1 \right). \quad (12)$$

综上所述，动态冲突消解机制的应急大群体决策方法的步骤如下。

Step 1: 决策专家针对应急事件给出相应的模糊互补偏好信息，并设冲突消解次数 $t = 0$ ；

Step 2: 对所有决策专家偏好进行聚类，得到 K 个聚集，并通过算术平均算子得到每个聚集的偏好；

Step 3: 利用式 (2)~(4) 计算各聚集的权重，并利用式 (5) 集结各聚集偏好，得到群体偏好；

Step 4: 利用式 (6)~(9) 计算群体冲突指数 c ，并将其与阈值 λ 进行比较，当 $c \leq \lambda$ 时，进入 Step 10，否则进入 Step 5；

Step 5: 判断消解次数 t 是否达到最大消解次数 T ，如果 $t < T$ ，则进入 Step 6，否则进入 Step 10；

Step 6: 利用式 (10) 计算每个聚集偏好与群体偏好之间的冲突程度 pc^k ，若 $pc^k > \lambda$ ，则进入 Step 7，否则进入 Step 9；

Step 7: 计算决策过程中的聚集数量 K ，若 $K > 3$ ，则进入 Step 8，否则进入 Step 9；

Step 8: 第 k 个聚集 C^k 退出决策过程，进入委托机制，退出的聚集 C^k 对其余聚集赋予信任权重进行委托，并返回 Step 2；

Step 9: 进入反馈机制，识别出需要修正的偏好，提供修正建议对偏好进行修正，并返回 Step 2；

Step 10: 进入方案选择过程，利用式 (12) 对方案进行排序选优，决策过程结束。

4 算例分析

现以某城市综合大楼火灾处置方案选优为例进

行算例分析，以验证动态冲突消解机制的应急大群体决策方法的实现过程及其有效性。在综合大楼发生火灾后，通过对火灾情况的了解，消防中心可以选择如下方案：

- 1) 出动两辆中低压消防车；
- 2) 出动一辆中低压消防车和一辆登高消防车；
- 3) 出动两辆中低压消防车和一辆消防直升机；
- 4) 出动两辆中低压消防车和一辆云梯消防车。

针对上述火灾所涉及的领域，现聘请 12 位决策专家构成应急决策群体 $E = \{e_1, e_2, \dots, e_{12}\}$ ，针对上述 4 个应急方案 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_4\}$ 作出决策。在决策之前，首先由这 12 位专家根据火灾的具体情况集体讨论确定冲突阈值 $\lambda = 0.16$ 和最大消解次数 $T = 8$ 。下面进行应急决策，具体步骤如下。

4.1 冲突测试

Step 1: 12 位决策专家针对火灾事件给出其对 4 个方案的模糊互补偏好信息，其数据如下：

$$\begin{aligned}
 P^1 &= \begin{bmatrix} 0.5 & 0.9 & 0.9 & 0.8 \\ 0.1 & 0.5 & 0.7 & 0.8 \\ 0.1 & 0.3 & 0.5 & 0.4 \\ 0.2 & 0.2 & 0.6 & 0.5 \end{bmatrix}, \\
 P^2 &= \begin{bmatrix} 0.5 & 0.4 & 0.4 & 0.1 \\ 0.6 & 0.5 & 0.5 & 0.4 \\ 0.6 & 0.5 & 0.5 & 0.7 \\ 0.9 & 0.6 & 0.3 & 0.5 \end{bmatrix}, \\
 P^3 &= \begin{bmatrix} 0.5 & 0.7 & 0.4 & 0.5 \\ 0.3 & 0.5 & 0.1 & 0.2 \\ 0.6 & 0.9 & 0.5 & 0.4 \\ 0.5 & 0.8 & 0.6 & 0.5 \end{bmatrix}, \\
 P^4 &= \begin{bmatrix} 0.5 & 0.3 & 0.7 & 0.8 \\ 0.7 & 0.5 & 0.3 & 0.6 \\ 0.3 & 0.7 & 0.5 & 0.3 \\ 0.2 & 0.4 & 0.7 & 0.5 \end{bmatrix}, \\
 P^5 &= \begin{bmatrix} 0.5 & 0.6 & 0.2 & 0.3 \\ 0.4 & 0.5 & 0.4 & 0.3 \\ 0.8 & 0.6 & 0.5 & 0.4 \\ 0.7 & 0.7 & 0.6 & 0.5 \end{bmatrix}, \\
 P^6 &= \begin{bmatrix} 0.5 & 0.3 & 0.4 & 0.7 \\ 0.7 & 0.5 & 0.7 & 0.1 \\ 0.6 & 0.3 & 0.5 & 0.7 \\ 0.3 & 0.9 & 0.3 & 0.5 \end{bmatrix}, \\
 P^7 &= \begin{bmatrix} 0.5 & 0.2 & 0.6 & 0.6 \\ 0.8 & 0.5 & 0.8 & 0.8 \\ 0.4 & 0.2 & 0.5 & 0.6 \\ 0.4 & 0.2 & 0.4 & 0.5 \end{bmatrix},
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P^8 &= \begin{bmatrix} 0.5 & 0.3 & 0.4 & 0.7 \\ 0.7 & 0.5 & 0.8 & 0.8 \\ 0.6 & 0.2 & 0.5 & 0.4 \\ 0.3 & 0.2 & 0.6 & 0.5 \end{bmatrix}, \\
 P^9 &= \begin{bmatrix} 0.5 & 0.1 & 0.8 & 0.4 \\ 0.9 & 0.5 & 0.6 & 0.6 \\ 0.2 & 0.4 & 0.5 & 0.8 \\ 0.6 & 0.4 & 0.2 & 0.5 \end{bmatrix}, \\
 P^{10} &= \begin{bmatrix} 0.5 & 0.8 & 0.7 & 0.6 \\ 0.2 & 0.5 & 0.4 & 0.8 \\ 0.3 & 0.6 & 0.5 & 0.7 \\ 0.4 & 0.2 & 0.3 & 0.5 \end{bmatrix}, \\
 P^{11} &= \begin{bmatrix} 0.5 & 0.1 & 0.6 & 0.6 \\ 0.9 & 0.5 & 0.6 & 0.4 \\ 0.4 & 0.4 & 0.5 & 0.3 \\ 0.4 & 0.6 & 0.7 & 0.5 \end{bmatrix}, \\
 P^{12} &= \begin{bmatrix} 0.5 & 0.6 & 0.4 & 0.2 \\ 0.4 & 0.5 & 0.3 & 0.7 \\ 0.6 & 0.7 & 0.5 & 0.6 \\ 0.8 & 0.3 & 0.4 & 0.5 \end{bmatrix}.
 \end{aligned}$$

Step 2: 通过偏好聚类方法将 12 位专家聚类成 4 个聚集, 并集结各聚集中专家的偏好, 得到每个聚集的偏好, 如表 1 所示.

表 1 聚类结果及聚集偏好信息

聚集 C^k	成员数 n_k	成员 e_i	聚集偏好 G^k	一致性 指标
C^1	2	e_1, e_{10}	$ \begin{bmatrix} 0.500 & 0.850 & 0.800 & 0.700 \\ 0.150 & 0.500 & 0.550 & 0.800 \\ 0.200 & 0.450 & 0.500 & 0.550 \\ 0.300 & 0.200 & 0.450 & 0.500 \end{bmatrix} $	0.9250
C^2	4	e_2, e_5, e_6, e_{11}	$ \begin{bmatrix} 0.500 & 0.350 & 0.400 & 0.425 \\ 0.650 & 0.500 & 0.550 & 0.300 \\ 0.600 & 0.450 & 0.500 & 0.525 \\ 0.575 & 0.700 & 0.475 & 0.500 \end{bmatrix} $	0.8583
C^3	2	e_3, e_{12}	$ \begin{bmatrix} 0.500 & 0.650 & 0.400 & 0.350 \\ 0.350 & 0.500 & 0.200 & 0.450 \\ 0.600 & 0.800 & 0.500 & 0.500 \\ 0.650 & 0.550 & 0.500 & 0.500 \end{bmatrix} $	0.9000
C^4	4	e_4, e_7, e_8, e_9	$ \begin{bmatrix} 0.500 & 0.225 & 0.625 & 0.625 \\ 0.775 & 0.500 & 0.625 & 0.700 \\ 0.375 & 0.375 & 0.500 & 0.525 \\ 0.375 & 0.300 & 0.475 & 0.500 \end{bmatrix} $	0.8707

Step 3: 利用式 (2)~(4) 计算各聚集的初始权重为 $W = \{0.242, 0.251, 0.252, 0.255\}$, 并集结群体偏好得

$$P^c = \begin{bmatrix} 0.5000 & 0.5147 & 0.5543 & 0.5238 \\ 0.4853 & 0.5000 & 0.4810 & 0.5610 \\ 0.4457 & 0.5190 & 0.5000 & 0.5248 \\ 0.4762 & 0.4390 & 0.4752 & 0.5000 \end{bmatrix}.$$

Step 4: 利用式 (7)~(9) 计算得到各方案的群体一致性指数 $ca_1 = 0.7222, ca_2 = 0.7, ca_3 = 0.8222, ca_4 = 0.8$, 以及群体偏好一致性指数 $cr = 0.7611$, 群体冲突指数 $c = 0.2389 > \lambda = 0.16$, 且消解次数 $t = 0 < T = 8$, 故需要进行冲突消解.

Step 5: 利用式 (10) 计算各聚集与群体偏好冲突程度 $pc^1 = 0.1817, pc^2 = 0.1247, pc^3 = 0.1467, pc^4 = 0.1241$, 其中 $pc^1 > \lambda$. 同时, $K = 4 > 3$, 所以应建议聚集 C^1 退出决策过程, 进入委托机制.

Step 6: 利用式 (11) 计算聚集 C^1 与其余聚集的欧氏距离, 得到相近度排序 $N^k = \{C^4, C^3, C^2\}$, 聚集 C^1 中的决策专家通过讨论对其余聚集赋予信任权重 $\tau^{12} = 0.1, \tau^{13} = 0.3, \tau^{14} = 0.6$.

4.2 冲突消解

Step 1: 重新计算聚集 C^2, C^3 和 C^4 的权重为

$$\begin{aligned}
 \omega^2 &= 0.251 + 0.242 \times 0.1 = 0.2752, \\
 \omega^3 &= 0.252 + 0.242 \times 0.3 = 0.3246, \\
 \omega^4 &= 0.255 + 0.242 \times 0.6 = 0.4002,
 \end{aligned}$$

同时集结群体偏好

$$P^c = \begin{bmatrix} 0.5000 & 0.3974 & 0.4900 & 0.4807 \\ 0.6026 & 0.5000 & 0.4664 & 0.5088 \\ 0.5100 & 0.5336 & 0.5000 & 0.5169 \\ 0.5193 & 0.4912 & 0.4831 & 0.5000 \end{bmatrix}.$$

Step 2: 利用式 (7)~(9) 计算得到各方案的群体一致性指数 $ca_1 = 0.7944, ca_2 = 0.7222, ca_3 = 0.85, ca_4 = 0.8444$, 以及群体偏好一致性指数 $cr = 0.8028$, 群体冲突指数 $c = 0.1972 > \lambda = 0.16$, 且消解次数 $t = 1 < T = 8$, 需进行冲突消解.

Step 3: 利用式 (10) 计算每个聚集偏好与群体偏好之间的冲突程度 $pc^2 = 0.0823, pc^3 = 0.1359, pc^4 = 0.1349$, 所有聚集的 pc 指数都小于 λ , 聚集不需要退出决策过程, 进入反馈机制.

Step 4: 识别出需要修正偏好的聚集、所对应的方案及偏好值, 首先选择最大的 pc 指数所对应的聚集 C^4 来修正其偏好信息, 其需要修正偏好所对应的方案为 x_1 和 x_2 , 需修正的偏好为 $\{(1, 2), (2, 1), (2, 3), (2, 4)\}$, 考虑到对专家个体意见的尊重, 先由聚集 C^4 中的专家集体讨论得到其修正系数 $\mu = 0.2$, 则可得到修正后的偏好信息

$$G^4 = \begin{bmatrix} 0.5000 & 0.3629 & 0.6250 & 0.6250 \\ 0.6371 & 0.5000 & 0.4981 & 0.5470 \\ 0.3750 & 0.5019 & 0.5000 & 0.5250 \\ 0.3750 & 0.4530 & 0.4750 & 0.5000 \end{bmatrix}.$$

4.3 方案选择

Step 1: 重新计算群体冲突指数 $c = 0.158 < \lambda = 0.16$, 冲突消解结束, 进入方案选择过程.

Step 2: 修正偏好后的各聚集权重 $W = \{0.2421, 0.2505, 0.2517, 0.2557\}$ 进行信任检验, 聚集 C^1 再对其余聚集赋予新的信任权重. 首先得到新的距离排序 $N^k = \{C^4, C^3, C^2\}$, 排序没有变化, 信任权重无需改变, 则

$$\omega^2 = 0.2505 + 0.2421 \times 0.1 = 0.27471,$$

$$\omega^3 = 0.2517 + 0.2421 \times 0.3 = 0.32433,$$

$$\omega^4 = 0.2557 + 0.2421 \times 0.6 = 0.40096,$$

群体偏好

$$P^c = \begin{bmatrix} 0.5000 & 0.4525 & 0.4902 & 0.4809 \\ 0.5475 & 0.5000 & 0.4157 & 0.4477 \\ 0.5098 & 0.5843 & 0.5000 & 0.5169 \\ 0.5191 & 0.5523 & 0.4831 & 0.5000 \end{bmatrix},$$

利用式(12)得到方案排序

$$x_3 \succ x_4 \succ x_1 \succ x_2.$$

5 结 论

本文针对应急大群体决策紧迫性的特点, 提出了一种动态冲突消解决策方法. 该方法首先对大群体成员偏好进行聚类形成聚集, 并以聚集为决策单位对其进行冲突消解. 方法中每个聚集的权重都是动态的, 考虑了聚集的偏好一致性指数和委托机制中的信任权重, 同时在冲突消解过程中对一些因与群体偏好冲突过大而退出决策过程的聚集采取委托机制保留其对后续决策的影响. 本文在测度聚集偏好一致性指数时, 没有对一致性指数过低的偏好采取一定的措施来提高其一致性指数; 同时所提出的冲突动态消解方法是基于模糊环境下的模糊互补偏好信息, 应用范围比较狭小, 在以后的研究中可以考虑将其运用于语言环境中或针对一般偏好关系.

参考文献(References)

- [1] Cosgrave J. Decision making in emergencies[J]. Disaster Prevention and Management, 1996, 5(4): 28-35.
- [2] 韩传峰, 王兴广, 孔静静. 非常规突发事件应急决策系统动态作用机理[J]. 软科学, 2009, 23(8): 50-53.
(Han C F, Wang X G, Kong J J. Dynamic mechanism of unconventional emergency decision-making system [J]. Soft Science, 2009, 23(8): 50-53.)
- [3] 李明磊, 王红卫, 祁超, 等. 非常规突发事件应急决策方法研究[J]. 中国安全科学学报, 2012, 22(3): 158-163.
(Li M L, Wang H W, Qi C, et al. Research on unconventional event emergency decision-making methodologies[J]. China Safety Science J, 2012, 22(3): 158-163.)
- [4] 郭文帅, 寇纲, 彭怡, 等. 面向突发事件的模糊多目标应急决策方法[J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(6): 1298-1304.
(Wu W S, Kou G, Peng Y, et al. A fuzzy multi-criteria emergency decision-making method[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2012, 32(6): 1298-1304.)
- [5] Fan Z, Ma J, Zhang Q. An approach to multiple attribute decision making based on fuzzy preference information on alternatives[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2002, 131(1): 101-106.
- [6] 徐泽水. 基于残缺互补判断矩阵的交互式群决策方法[J]. 控制与决策, 2005, 20(8): 913-916.
(Xu Z S. Interactive approach based on incomplete complementary judgement matrices to group decision making[J]. Control and Decision, 2005, 20(8): 913-916.)
- [7] 刘卫锋, 周永卫. 基于残缺互补判断矩阵的一种群决策模型[J]. 运筹与管理, 2013, 22(1): 54-58.
(Liu W F, Zhou Y W. A group decision-making model based on incomplete complementary judgment matrices[J]. Operations Research and Management Science, 2013, 22(1): 54-58.)
- [8] 刘红彬, 蔡建峰. 基于乘性一致性残缺互补判断矩阵的决策方法[J]. 运筹与管理, 2013, 22(2): 111-117.
(Liu H B, Cai J F. Decision making method based on multiplicative consistent incomplete reciprocal judgment matrix[J]. Operations Research and Management Science, 2013, 22(2): 111-117.)
- [9] 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 judgment matrix[J]. J of Systems Engineering, 2001, 16(4): 311-314.)
- [10] 宋光兴, 杨槐. 群决策中的决策行为分析[J]. 学术探索, 2000(3): 48-49.
(Song G X, Yang H. The decision-making behavior of group decision analysis[J]. Academic Exploration, 2000(3): 48-49.)
- [11] 徐选华, 周声海, 汪业凤, 等. 非常规突发事件应急决策冲突消解协调方法[J]. 控制与决策, 2013, 28(8): 1138-1144.
(Xu X H, Zhou S H, Wang Y F, et al. Conflict eliminating coordination method for emergency decision of unconventional outburst incidents[J]. Control and Decision, 2013, 28(8): 1138-1144.)
- [12] Xu X, Huang Z, Chen X. A conflict eliminating coordination method for emergency decision of unexpected incidents[C]. Proc of the 6th Int Conf on Management Science and Engineering Management. London: Springer, 2013: 295-307.

- [13] Herrera-Viedma E, Herrera-Viedma E, Martinez L, et al. A consensus support system model for group decision-making problems with multigranular linguistic preference relations[J]. *IEEE Trans on Fuzzy Systems*, 2005, 13(5): 644-658.
- [14] Herrera-Viedma E, Alonso S, Chiclana F, et al. A consensus model for group decision making with incomplete fuzzy preference relations[J]. *IEEE Trans on Fuzzy Systems*, 2007, 15(5): 863-877.
- [15] Xu Z. An automatic approach to reaching consensus in multiple attribute group decision making[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2009, 56(4): 1369-1374.
- [16] Parreiras R O, Ekel P Y, Martini J S C, et al. A flexible consensus scheme for multicriteria group decision making under linguistic assessments[J]. *Information Sciences*, 2010, 180(7): 1075-1089.
- [17] Wu J, Chiclana F. A social network analysis trust-consensus based approach to group decision-making problems with interval-valued fuzzy reciprocal preference relations[J]. *Knowledge-Based Systems*, 2014, 59: 97-107.
- [18] Xu J, Wu Z, Zhang Y. A consensus based method for multi-criteria group decision making under uncertain linguistic setting[J]. *Group Decision and Negotiation*, 2014, 23(1): 127-148.
- [19] Zhang L, Li T, Xu X. Consensus model for multiple criteria group decision making under intuitionistic fuzzy environment[J]. *Knowledge-Based Systems*, 2014, 57: 127-135.
- [20] Zhang B, Dong Y, Xu Y. Multiple attribute consensus rules with minimum adjustments to support consensus reaching[J]. *Knowledge-Based Systems*, 2014, 67: 35-48.
- [21] Herrera-Viedma E, Herrera F, Chiclana F. A consensus model for multiperson decision making with different preference structures[J]. *IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 2002, 32(3): 394-402.
- [22] Cabrerizo F J, Pérez I J, Herrera-Viedma E. Managing the consensus in group decision making in an unbalanced fuzzy linguistic context with incomplete information[J]. *Knowledge-Based Systems*, 2010, 23(2): 169-181.
- [23] Palomares I, Martinez L, Herrera F. A consensus model to detect and manage noncooperative behaviors in large-scale group decision making[J]. *IEEE Trans on Fuzzy Systems*, 2014, 22(3): 516-530.
- [24] Perez I J, Cabrerizo F J, Alonso S, et al. A new consensus model for group decision making problems with non-homogeneous experts[J]. *IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 2014, 44(4): 494-498.
- [25] 陈兴, 王勇, 吴凌云, 等. 多阶段多目标多部门应急决策模型[J]. *系统工程理论与实践*, 2010(11): 1977-1985. (Chen X, Wang Y, Wu L Y. et al. Emergency decision model with multiple stages, multiple objectives, and multidivisional cooperation[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2010(11): 1977-1985.)
- [26] Alonso S, Pérez I J, Cabrerizo F J, et al. A linguistic consensus model for web 2.0 communities[J]. *Applied Soft Computing*, 2013, 13(1): 149-157.
- [27] 徐选华, 陈晓红. 一种多属性多方案大群体决策方法研究[J]. *系统工程学报*, 2008, 23(2): 137-141. (Xu X H, Chen X H. Research of a kind of method of multi-attributes and multi-schemes large group decision making[J]. *J of Systems Engineering*, 2008, 23(2): 137-141.)
- [28] Tanino T. Fuzzy preference orderings in group decision making[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 1984, 12(2): 117-131.
- [29] Chiclana F, Mata F, Martinez L, et al. Integration of a consistency control module within a consensus model[J]. *Int J of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 2008, 16(1): 35-53.
- [30] Weick K E. *The social psychology of organizing*[M]. MA: Addison-Wesley, 1979: 103-110.

(责任编辑: 齐 霖)