

控制与决策

Control and Decision

基于突发事件相似度和区间一致性的复杂偏好大群体应急决策方法

陈可, 黄燕霞, 徐选华

引用本文:

陈可, 黄燕霞, 徐选华. 基于突发事件相似度和区间一致性的复杂偏好大群体应急决策方法[J]. *控制与决策*, 2020, 35(9): 2215–2224.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.1686>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[异质信息环境下基于案例推理的应急决策方法](#)

Emergency decision-making method based on case-based reasoning in heterogeneous information environment

控制与决策. 2020, 35(8): 1966–1976 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.1602>

[基于分众模式的多部门大群体应急决策方法](#)

Multi-department large group emergency decision making method based on crowd sourcing

控制与决策. 2019, 34(4): 871–879 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2017.1226>

[基于累积前景理论的大群体风险型动态应急决策方法](#)

Method of dynamic emergency decision for risk type of large group based on cumulative prospect theory

控制与决策. 2017, 32(11): 1957–1965 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2016.1218>

[基于属性多粒度的双层权重大群体决策方法](#)

Two-layer weight large group decision-making method based on multi-granularity attributes

控制与决策. 2016, 31(10): 1908–1914 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2015.1089>

[考虑应急方案总体优势度的决策方法](#)

Decision method for emergency alternative with considering total superiority degree

控制与决策. 2015(7): 1239–1244 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2014.0661>

基于突发事件相似度和区间一致性的复杂偏好 大群体应急决策方法

陈 可[†], 黄燕霞, 徐选华

(中南大学 商学院, 长沙 410083)

摘 要: 针对突发事件演化情景难以预测的问题,沿用基于相似案例分析的决策范式,提出一种突发事件事故等级生成方法.首先,运用案例库的规范化指标输入目标案例筛选出若干个参考案例,将参考案例的事故等级作为目标事件演化等级参考标准,当目标事件平均演化等级达到重大突发事件以上时启动大群体应急决策;其次,针对大群体犹豫模糊决策偏好矩阵存在一致性区间的问题,考虑区间一致性的均值和稳态,提出一种新的专家赋权方法;最后,通过案例表明所提出方法的有效性.

关键词: 突发事件相似度; 区间一致性; 大群体; 复杂偏好; 应急决策

中图分类号: C934

文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2018.1686

引用格式: 陈可,黄燕霞,徐选华.基于突发事件相似度和区间一致性的复杂偏好大群体应急决策方法[J].控制与决策,2020,35(9):2215-2224.

Complex preference large group emergency decision method based on emergencies similarity and interval consistency

CHEN Ke[†], HUANG Yan-xia, XU Xuan-hua

(School of Business, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: In order to solve the difficult-to-prediction problem of emergency event evolutionary scenario, the decision paradigm based on similar case analysis is used to propose a method for generating severity degree of emergency events. Firstly, the standardized indexes are used to input the target case for finding similar cases, and filter out several similar cases as reference cases. The severity degree of reference cases is used to acquire the severity degree of the target event. Large-scale group emergency decision-making process is initiated when the average evolution level exceeds level 2. Then, aiming at the problem of the consistency interval existing in a hesitant fuzzy preference matrix, this paper proposes a new method considering the average value and steady state of interval consistency to distribute experts' weight. Finally, an example is given to illustrate the effectiveness of the proposed method.

Keywords: emergencies similarity; interval consistency; large group; complex preference; emergence decision-making

0 引 言

近年来,各类突发事件的频发造成了重大的人员伤亡和财产损失.突发事件具有发生信息不完全性、应对时间紧迫性、发展演化复杂性、危害巨大不可控等特点^[1-3],给应急决策带来重大挑战.2013年6月3日,吉林宝源丰禽业有限公司发生火灾,导致氨气爆炸泄漏,酿成121人死亡、76人受伤.2015年8月12日,天津港火灾爆炸事故,造成165人遇难、8人失踪、798人受伤.随着网络的普及和发展,频频发生的重、特大突发事件在社交媒体平台被广泛传播,受到社会各界和专家学者的关注,突发事件应急决策逐渐成为研究热点.

目前,对于突发事件的应急决策方法主要包括多属性决策、大群体决策、案例推理(CBR)技术、情景构建、博弈论等.其中:多属性决策从多个属性维度对方案的可行性进行评估^[4];大群体决策方法根据事件的特点和控制要求,聚集多名专家进行决策,使决策更科学、更全面^[5];CBR是对案例相似性研究的典型方法,其基本思想在于相似案例由于事件自身条件的相似,其发展演化态势也会相似.由于突发事件的紧迫性,事件发生后需要尽快制定应急方案,降低事件的不良影响.通过CBR技术借鉴历史案例的处置经验,能极大提高应急决策效率.将3个方法综合运用于突发事件应急决策,对事件的有效应对具有积极意

收稿日期: 2018-12-10; 修回日期: 2019-07-01.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71671189); 国家自然科学基金重点项目(71790615).

[†]通讯作者. E-mail: chenke_doc@126.com.

义^[6]. 另一方面, 国家行政学院自2009年开始着手建立国家应急管理案例数据库建设项目, 收录国内典型突发事件, 说明相似案例分析在应急决策中的重要参考作用. 张英菊等^[7]建立3层架构模型解决了属性值缺失情况下CBR应急方案生成方法, 并检验了该方法在台风突发事件应急处置中的有效性; 封超等^[8]结合基本遗传算法和粒子群优化算法, 完善了CBR突发事件属性特征权重的计算方法; 李永海等^[9]提出了一种考虑相似案例应急方案实施效果的广义不确定型多属性决策方法; 郑晶等^[10]结合历史实施效果和当前实施效果, 提出了基于证据推理的考虑方案总体优势度的应急决策方法. 上述研究既证实CBR在处置突发事件上的有效性, 也在很大程度上丰富和完善了CBR. 但已有研究往往只提取一个相似度最大的案例作为应急决策的依据, 且对于案例相似度的计算多数只考虑事故主体的指标相似度, 这就容易导致对历史数据挖掘和使用不充分的现象; 另一方面, 直接利用历史案例的应急决策方法忽略了随着社会的发展、技术手段的进步、公共配备水平的提高, 一些应急处理方法已经过时的客观事实. 针对上述问题, 本文将与应急事件演化息息相关的外部环境因素补充到案例相似度的计算指标中, 拟采用CBR寻找相似案例作为参考案例, 以此获得目标事件演化态势, 为专家迅速掌握事件发展演化信息, 做出科学决策奠定基础.

当突发事件事故等级达到2级(等级划分参照《生产安全事故报告和调查处理条例》)以上时, 需要启动大群体应急决策, 避免由于专家个人认知水平、风险偏好差异和专家间的利益关系造成的决策失误, 实现更加科学的决策, 最大程度降低决策风险. 由于突发事件事发突然, 决策时间短, 决策压力大, 在决策过程中, 专家很难给出精确的评估意见. 因此, 用语言值的形式来表达专家的观点会更接近专家的实际想法, 降低信息的不精确程度^[11-14]. 传统的语言值评估方法由专家给出一个语言术语, 不能体现专家的犹豫, 针对这个现象, Xia等^[15]提出了犹豫模糊语言术语集. 为解决传统离散的语言值造成的决策信息的不精确, 拟采用犹豫模糊语言术语集的二元语义形式来表示专家的评估信息^[16-18]. 大群体决策的突出特点是专家人数多, 因而需要克服的重大问题就是信息融合前对专家进行赋权. 专家的赋权主要依据专家自身的理性程度、其所给评估信息的准确性和可靠性两大方面. 前景理论和一致性指标是衡量专家自身理性程度的重要依据^[18-19]. 对专家准确性和可靠性的衡量方法主要有: 采用社会网络方法获得专家的置信水平; 计算专家间/专家与聚集间/专家与群体间

的共识水平、相似度和冲突度等^[20]. 其中, 一致性指标通过比较专家所给评估矩阵的一致性水平与完全一致性的偏差来衡量专家的有限理性. 而对于用专家一致性指标赋权的研究相对较少, 已有研究大多只考虑专家的平均一致性, 以此作为专家有限理性的度量依据, 没有考虑专家用犹豫模糊集进行评价时存在区间一致性的问题^[21-22], 因此也忽视了一致性指标除了能表现专家理性, 也能表现其稳态的事实.

基于上述分析, 本文将通过相似案例分析推测突发事件的事故等级, 为专家提供事件基本决策依据. 特别地, 当突发事件事故等级达到2级以上时, 需要召集大群体专家集思广益, 保障决策的科学合理性. 此外, 针对专家存在区间一致性的问题, 结合平均一致性和一致性标准差指标, 作为度量专家有限理性和稳态的依据, 在不改变专家原始偏好矩阵的条件下给出一种新的专家赋权方式, 依据专家理性设置权重, 降低突发事件应急决策的风险.

1 方法基础

1.1 犹豫模糊二元语义

二元语义是运用二元组 (s_g, α) 来表示语言评价信息的方法. 其中: s_g 是语言评价集 $S = \{s_g | g = 0, 1, \dots, \tau\}$ 中的语言术语; α 是符号转换值, 表示专家所给评价值 β 与 s_g 之间的偏差, $\alpha \in [-0.5, 0.5)$.

定义1^[23] 一对一转化函数 Δ 可将评估数值 β 转化为等效的二元语义信息, 转化过程为

$$\Delta(\beta) = (s_g, \alpha) = \begin{cases} s_g, & g = \text{round}(\beta); \\ \alpha = \beta - g, & \alpha \in [0.5, 0.5). \end{cases} \quad (1)$$

其中 $\text{round}(\cdot)$ 是四舍五入函数. 特别地, 当 $\alpha = 0$ 时, $(s_g, 0) = s_g$, 二元语义可以用普通的语言术语表示.

定义2^[24] 逆函数 Δ^{-1} 能将二元语义转化为对应的数值 β , 即

$$\Delta^{-1}(s_g, \alpha) = g + \alpha = \beta. \quad (2)$$

由于突发事件带来的应急决策压力和事件本身信息不完备, 专家很难给出具体的评估意见, 容易在几个评分值之间徘徊. 基于此, Xia等^[15]提出了犹豫模糊集, 其表达式为 $E = \{(x, h_E(x)) | x \in X\}$, 并定义犹豫模糊元素为 $h = h_E(x) = \{r_1, r_2, \dots, r_{\#h}\}$, 其中 $\#h$ 代表集合中的元素个数. 结合犹豫模糊元素的表示, 可将犹豫模糊二元语义集中的元素表示为

$$h_E(x) = \{(\gamma_1, \alpha_1), (\gamma_2, \alpha_2), \dots, (\gamma_{\#h}, \alpha_{\#h})\}.$$

设 $X = \{x_l\} = \{x_1, x_2, \dots, x_P\} (P \geq 2)$ 是一个

有限的方案集; $V = (v_{lt})_{P \times P}, \forall l, t = \{1, 2, \dots, P\}$, 是专家对方案进行两两比较后给出的语言偏好评价矩阵, 其中 v_{lt} 是方案 x_l 相对于方案 x_t 的优劣程度.

定义3^[25] 在语言偏好关系矩阵 $V = (v_{lt})_{P \times P}$ 中, 如果 $v_{lt} = \text{Neg}(v_{tl})(l, t = 1, 2, \dots, P)$, 则矩阵 V 是一个互惠矩阵.

1.2 突发事件关键指标相似度计算

突发事件的关键指标是指对突发事件的演化起到决定性作用的几个重要影响因素, 因此, 不同类别的突发事件对应的关键指标也会存在差异. Fan等^[26]将评价指标按照表现形式分为I~VI六类, 分别是: I符号型、II数值型、III区间数型、IV模糊语言型、V随机数型、VI文本型. 其相似度计算如下.

1) 符号型指标相似度

$$\text{sim}(c_r^*, c_r^h) = \begin{cases} 1, & c_r^* = c_r^h; \\ 0, & c_r^* \neq c_r^h. \end{cases} \quad (3)$$

其中: c_r^* 表示事件 z^* 的第 r 个关键指标, c_r^h 表示事件 z^h 的第 r 个关键指标 ($h = 1, 2, \dots, p$), 下同.

2) 数值型指标相似度

$$\text{sim}(c_r^*, c_r^h) = \frac{\sqrt{(c_r^* - c_r^h)^2}}{\max \sqrt{(c_r^* - c_r^h)^2}}. \quad (4)$$

3) 区间型指标相似度. 对于区间型指标, 需要先对区间进行规范化处理, 再计算相似度. 设历史事件的指标区间为 $c_r^h = [c_r^{h-}, c_r^{h+}]$. 其中: c_r^{h-} 为指标值的下限, c_r^{h+} 为指标值的上限. 规范化后表示为 $\overline{c_r^h} = [\overline{c_r^{h-}}, \overline{c_r^{h+}}]$. 其中

$$\overline{c_r^{h+}} = \frac{\max c_r^+ - c_r^{h+}}{\max c_r^+ - \min c_r^-}, \quad \overline{c_r^{h-}} = \frac{\max c_r^+ - c_r^{h-}}{\max c_r^+ - \min c_r^-}.$$

有 $c_r^+ = \max\{c_r^{h+}, c_r^{*+}\} (h = 1, 2, \dots, p)$, 是在所有历史事件和目标事件中对于指标 r 的取值上限值的最大值. 其相似度为

$$\text{sim}(c_r^*, c_r^h) = 1 - \frac{|\overline{c_r^{*+}} - \overline{c_r^{h+}}| + |\overline{c_r^{*-}} - \overline{c_r^{h-}}|}{2}. \quad (5)$$

4) 模糊语言型指标相似度. 对于模糊语言类的评价值, 由于无法直接计算, 需要将其转化为三角模糊数再进行相似度的计算. 指标 r 的模糊评估语言转化公式为

$$\tilde{d}_{hr}^g = (d_{hr}^a, d_{hr}^b, d_{hr}^c) = \left(\max \left(\frac{g-1}{\tau}, 0 \right), \frac{g}{\tau}, \min \left(\frac{g+1}{\tau}, 1 \right) \right),$$

其中 d_{hr}^a 表示在标度为 τ 的语言术语集中, 事件 z^* 的第 r 个关键指标的模糊语言评价值对应第 g 个语言变量时, 将其转化为对应三角模糊数的下限值.

例如, 当专家用7标度语言 $S = \{s_0, s_1, \dots, s_6\}$

对指标进行评估时, s_0 对应的三角模糊数为

$$\tilde{d}^0 = (d_0^a, d_0^b, d_0^c) = \left(\max \left(\frac{0-1}{6}, 0 \right), \frac{0}{6}, \min \left(\frac{0+1}{6}, 1 \right) \right) = (0, 0, 0.17).$$

此时, 模糊语言变量的相似度计算可表示为

$$\text{sim} = 1 - \frac{(|d_{hr}^a - d_{*r}^a| + |d_{hr}^b - d_{*r}^b| + |d_{hr}^c - d_{*r}^c|)}{3}. \quad (6)$$

1.3 区间一致性计算

区间一致性的计算步骤如下.

首先假设由专家给出对 P 个方案的偏好矩阵 $v = v_{lt}, \forall l, t = \{1, 2, \dots, P\}$, 具体形式如下.

$$(v_{lt})_{P \times P} = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1P} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2P} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{P1} & v_{P2} & \dots & v_{PP} \end{bmatrix}.$$

其中: $v_{lt} = \{v_{lt}^r\} = \{v_{lt}^1, v_{lt}^2, \dots, v_{lt}^{\#v_{lt}}\}$, $\#v_{lt}$ 表示偏好项 v_{lt} 中的元素个数.

在偏好项 v_{lt} 中任取一个语言变量 v_{lt}^r , 令 $v_{lt}^r = L_{lt}$ 构成每一偏好项都仅含单一语言术语的偏好矩阵, 在该矩阵中 $v_{lt} = L_{lt}$. 为保证一次只提取出一个元素, 引入取值系数 $x_{lt}^r, x_{lt}^r \in \{0, 1\}$ 且 $\sum_{r=1}^{\#v_{lt}} x_{lt}^r = 1$, 满足

$$x_{lt}^r = \begin{cases} 0, & L_{lt} \neq v_{lt}^r; \\ 1, & L_{lt} = v_{lt}^r. \end{cases} \quad (7)$$

其他元素的提取同理, 最终构成单值偏好项组合矩阵形式为

$$(v_{lt})_{P \times P} = \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} & \dots & L_{1P} \\ L_{21} & L_{22} & \dots & L_{2P} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ L_{P1} & L_{P2} & \dots & L_{PP} \end{bmatrix}.$$

定义4^[21] 当二元语义偏好关系矩阵满足 $\Delta^{-1}(L_{lt}) + \Delta^{-1}(L_{ty}) - \Delta^{-1}(L_{ly}) = \tau/2$ 时, 该矩阵满足完全加性一致性. 令 $\varepsilon_{lty} = \Delta^{-1}(L_{lt}) + \Delta^{-1}(L_{ty}) - \Delta^{-1}(L_{ly}) - \tau/2$, 则 ε_{lty} 为专家偏好矩阵一致性与完全一致性间的偏差值.

定义5^[21] 结合曼哈顿距离 (Manhattan distance) 的一致性计算公式为

$$\text{CI} = 1 - \frac{2}{3\tau P(P-1)(P-2)} \sum_{l,t,y=1}^P |\varepsilon_{lty}|. \quad (8)$$

采用犹豫模糊语言术语集来评价时, 一个术语集中同时存在若干个语言变量, 当选取不同的语言变量

作为偏好项时,构成不同的偏好关系矩阵,偏好矩阵间的一致性取值存在差异,从而形成一致性区间.结合式(7)和(8)建立模型,求得一致性取值情况^[21]为

$$\begin{aligned}
 & CI = \\
 & 1 - \frac{2}{3\tau P(P-1)(P-2)} \sum_{l,t,y=1}^P \left| l_{lt} + l_{ty} - l_{ly} - \frac{\tau}{2} \right|; \\
 & \text{s.t. } v_{lt} = \sum_{r=1}^{\#V_{lt}} (x_{lt}^r \times \Delta^{-1}(V_{lt}^r)), \\
 & \sum_{r=1}^{\#V_{lt}} x_{lt}^r = 1, \\
 & x_{lt}^r = 0 \text{ or } 1. \tag{9}
 \end{aligned}$$

假设存在偏好矩阵

$$V' = \begin{bmatrix} \{s_4\} & \{s_3, s_4\} & \{s_1, s_2, s_3\} & \{s_4\} \\ \{s_5, s_4\} & \{s_4\} & \{s_2, s_3\} & \{s_6, s_7\} \\ \{s_7, s_6, s_5\} & \{s_6, s_5\} & \{s_4\} & \{s_4, s_5\} \\ \{s_4\} & \{s_2, s_1\} & \{s_4, s_3\} & \{s_4\}. \end{bmatrix}$$

对 $v'_{13} = \{s_1, s_2, s_3\}$ 提取某一语言值,当 $L_{13} = v'_{13} = s_2$ 时,有 $\{x_{13}^1 = 0, x_{13}^2 = 1, x_{13}^3 = 0\}$.

本例中, v'_{12} 、 v'_{13} 、 v'_{14} 、 v'_{23} 、 v'_{24} 、 v'_{34} 的取值个数分别为2、3、1、2、2、2,按照上述一致性模型,可得 $2 \times 3 \times 1 \times 2 \times 2 \times 2 = 48$ 个一致性值.其中:取值最大为 $BCI = 0.9167$,最小值 $WCI = 0.7500$,构成区间 $[0.7500, 0.9167]$,即所有组合形式的偏好矩阵形成的一致性取值都在这个区间内.

2 方法原理

2.1 问题描述

设历史案例集合 $Z = \{z^h\} = \{z^1, z^2, \dots, z^p\}$, 目标案例为 z^* , 事件相似度评价指标集合 $C = \{c_r\} = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$, 对应的评价指标权重集合 $\vartheta = \{\vartheta_r\} = \{\vartheta_1, \vartheta_2, \dots, \vartheta_q\}$. 首先对突发事件通过相似案例检索构建突发事件演化等级情景,对于演化等级在重大级别及以上的突发事件,需要立即召集各应急救援部门的专家组成大群体专家组进行应急方案的选取. 设应急部门 $B = \{b_\sigma\} = \{b_1, b_2, \dots, b_\sigma\}$; 专家集合 $E = \{e_i\} = \{e_1, e_2, \dots, e_M\}$, 对应的专家权重 $W = \{w_i\} = \{w_1, w_2, \dots, w_M\}$; 应急方案属性集合 $U = \{u_j\} = \{u_1, u_2, \dots, u_N\}$, 对应的属性权重 $\lambda = \{\lambda_j\} = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N\}$. 大群体专家应急决策组织成立后,通过融合专家所给的评估信息即可得到最终的方案排序,获得最优的应急决策方案.

本文主要解决的问题是:根据与重特大突发事件的几个相似历史事件推演突发事件的演化情景确定演化等级,一定程度上克服由于突发事件演化情景

无法预测而造成的决策失误.考虑专家所给偏好矩阵存在一致性区间,结合平均一致性和标准差,本文给出一种新的专家赋权方法,降低非理性专家对决策结果的贡献度.

2.2 决策过程与方法

决策过程由两部分(8个步骤)组成:1)通过计算突发事件与历史案例的相似度得到参考案例,依据参考案例推断出目标事件的事等级,在获取事故演化等级信息的情况下,专家可以对备选方案进行更合理的评估;2)在融合专家评估信息前,给出基于区间一致性的专家赋权方法,以保证备选方案选择的正确性.

1) 相似事件的提取.

对于相似事件的筛选主要分为以下3步:

step 1: 按照评价指标输入目标事件,关键指标的选择是根据突发事件的特点和类别确定的.

step 2: 计算各关键指标下目标事件与历史事件的指标相似度.

step 3: 利用指标权重获得目标事件与历史案例的综合相似度,提取相似度高于设定阈值的历史案例为参考案例.

综上,首先构建目标事件与历史事件的指标相似度体系并给出相似度计算方法,如图1所示.

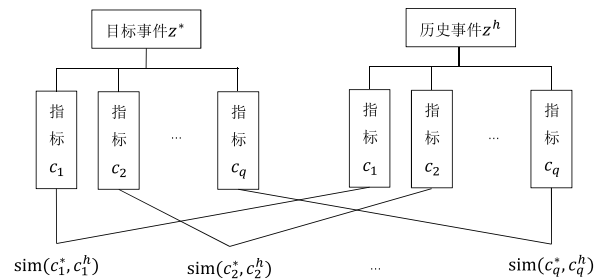


图1 目标事件与历史事件的相似度评价指标体系

图1中,历史事件 z^h 各评价指标的取值为 $c^h = \{c_1^h, c_2^h, \dots, c_q^h\}$, 目标突发事件 z^* 各评价指标取值 $c^* = \{c_1^*, c_2^*, \dots, c_q^*\}$, 两事件的相似度为

$$\text{sim}(z^*, z^p) = \sum_{r=1}^q \vartheta_r \cdot \text{sim}(c_r^*, c_r^h). \tag{10}$$

设相似度阈值为 θ , 当 $\text{sim}(z^*, z^p) > \theta$ 时,认为该历史案例为有效的相似案例,将其作为参考案例并提取该历史事件的演化等级作为目标事件演化等级判定的参考依据.

2) 专家权重分配和方案选择.

一致性是对偏好矩阵评估值之间冲突程度的描述,一致性水平越高,冲突程度越低,专家越理性,赋予专家的权值越大.考虑到同一专家存在多个一致

性的取值,可将平均一致性取值作为专家权重大小的决定依据. 接下来,求解一致性区间的标准差,用标准差来描述专家的稳态,并将其作为一种决策风险. 标准差越大,专家的意见越飘忽不定,一致性取值越离散,稳态越低,专家的决策风险越高. 基于上述分析,将平均一致性指标与标准差指标相结合,可以同时衡量专家的理性程度和稳定度,更好地为专家赋权提供依据. 另一方面,平均一致性±标准差所形成的新区间可以表示为一致性取值的集中分布区间,用该区间值作为约束条件构建最小化标准差模型即可求解专家权重. 具体步骤如下.

step 4: 求解专家的平均一致性. 设专家 e_i 所给偏好矩阵的一致性取值 $CI_i = \{CI_i^o | o = 1, 2, \dots, \#h\}$, 该矩阵的平均一致性指标用 ACI_i 表示,有

$$ACI_i = \frac{1}{\#h} \sum_{o=1}^{\#h} CI_i^o. \quad (11)$$

step 5: 求解一致性取值的标准差. 求解标准差首先要比较各一致性取值与平均一致性的方差,再将方差转换为与平均一致性同一数量级的标准差 AD_i ,即

$$AD_i = \sqrt{\sum_{o=1}^{\#h} (CI_i^o - ACI_i)^2 / \#h}. \quad (12)$$

step 6: 获得专家间的权重倍数区间. 首先,求解一致性集中分布区间,即获得平均一致性加减标准差的区间 $[ACI_i - AD_i, ACI_i + AD_i]$. 然后,假设另一专家 e_k 的一致性集中分布区间分别为 $[ACI_k - AD_k, ACI_k + AD_k]$,两个专家权重倍数区间可由二者的区间上、下限获得. 专家 e_k 的一致性区间上限与专家 e_i 的一致性区间下限的比值为其最大倍数关系;同理,专家 e_k 的一致性区间下限与专家 e_i 的一致性区间上限的比值是其最小倍数关系,可表述为

$$\frac{ACI_i - AD_i}{ACI_k + AD_k} w_k \prec w_i \prec \frac{ACI_i + AD_i}{ACI_k - AD_k} w_k. \quad (13)$$

step 7: 建立最小化标准差模型,求解专家权重. 以专家的权重倍数关系作为赋权约束条件,在此基础上,最小化一致性标准差求解最稳定的权重分配状态,有

$$\begin{aligned} & \min AD; \\ & \text{s.t. } AD = \sum_{i=1}^M w_i AD_i, \\ & \frac{ACI_i - AD_i}{ACI_k + AD_k} w_k \prec w_i \prec \frac{ACI_i + AD_i}{ACI_k - AD_k} w_i, \\ & \sum_{i=1}^M w_i = 1, \\ & w_i \geq 0. \end{aligned} \quad (14)$$

step 8: 方案选择. 在获得专家 e_i 的权重 w_i 和专家 e_i 在属性 u_j 下的偏好矩阵 $V^{e_i-u_j}$ 后,首先以部门为单位汇总部门内的专家偏好以获得部门偏好矩阵 $V^{b^o-u_j} = \sum_{i=1} w_i V^{e_i-u_j}$;其次,假设参与决策的各部门所给意见的重要性相等,即他们的权重相等,求得在属性下的群偏好矩阵 $V^{u_j} = \frac{1}{\sigma} \sum V^{b^o-u_j}$;再次,代入属性权重以获得综合群偏好矩阵 $V = \sum_{\lambda=1}^N \lambda_j V^{u_j}$;进而对第 l 行进行求和以获得方案 x_l 的综合偏好得分;最后,按照得分对方案进行排序,选择最佳应急方案.

3 案例分析与方法对比

3.1 案例背景

2015年8月12日22时50分,天津港瑞海公司危险品仓库发生特大火灾爆炸事故,消防部门立即展开救援. 由于对现场的实际情况掌握不充分,救援方案制定失误,导致大量消防士兵在火灾爆炸中死伤. 2015年8月13日10时,现场救援被暂停,最高指挥部门指出需要在掌握事故现场基本情况的基础上,进一步实现对事故的有效控制. 基于此次爆炸事件的紧迫性、复杂性和巨大危害性,在收集相关信息后,消防部门 b^1 、公安部门 b^2 、电信部门 b^3 和环保部门 b^4 ,这4个部门紧急成立应急决策指挥中心,每个部门各派出5名专家组成决策大群体进行应急决策,迅速制定4个应急备选方案,分别为:

方案 x_1 : 向北京、河北消防总队发出救援需求,派遣2架无人侦察机,30辆消防执勤车,17个化学灾害事故救援处置编队;

方案 x_2 : 向北京、河北消防总队发出救援需求,派遣4架无人侦察机,50辆消防执勤车,13个化学灾害事故救援处置编队;

方案 x_3 : 向北京、河北、辽宁和江苏消防总队发出救援需求,派遣4架无人侦察机,40辆消防执勤车,15个化学灾害事故救援处置编队;

方案 x_4 : 向北京、河北、辽宁和江苏消防总队发出救援需求,派遣2架无人侦察机,45辆消防执勤车,15个化学灾害事故救援处置编队.

3.2 决策步骤

火灾爆炸事故的应急决策中,既要防止由于低估事故严重度和危害性带来的决策失误,也要避免由于过度高估而造成的应急资源损失和浪费. 因此,需要结合相似案例的发展演化情况对事件的事故等级做一个基础判断,进而进行应急方案的选择.

step 1: 火灾爆炸事件发生后,根据突发事件的

类别和具体特征确定相似案例的事故评价关键指标. 参考《国家突发事件分类与编码规范》, 以及各类火灾爆炸事故的新闻报道、事故调查报告和相关文献, 总结确定本文的事故评价指标分别为: c_1 建筑物类别、 c_2 建筑内人员的数量(单位: 个)、 c_3 周围 200 m 建筑密度(单位: ‰)、 c_4 周围 500 m 居民分布(单位: 人/km²)、 c_5 危险货物数量(单位: 万吨)、 c_6 易燃物等级、 c_7 从业人员安全知识水平、 c_8 抢险救灾条件(交通条件和基础公共设施条件)、 c_9 天气状况、 c_{10} 应急预案的制定与演练、 c_{11} 事故发生后的

通知、 c_{12} 人员自主疏散条件. 指标 c_1 、 c_2 、 c_5 、 c_6 是与爆炸主体密切相关的事件信息, 其余指标是随时间变化的、与事件的影响范围和控制相关的客观环境信息. 对于模糊语言类的评价指标采用 7 标度语言进行评价, 代表的意义分别为: s_0 很差、 s_1 差、 s_2 较差、 s_3 一般、 s_4 较好、 s_5 好、 s_6 很好. 根据评价指标对目标案例发展演化态势的影响程度大小, 对指标进行赋权, 由专家给定的指标对应权值为: $\vartheta_c = \{0.07, 0.1, 0.07, 0.07, 0.15, 0.12, 0.07, 0.07, 0.07, 0.07, 0.07, 0.07\}$, 具体的指标数值如表 1 所示.

表 1 目标事件与历史事件的关键指标值

指标	z^*	z^1	z^2	z^3	z^4	z^5	z^6
c_1	2G02	2G02	2G02	2G03	2G02	2G02	2G02
c_2	[100, 120]	[20, 30]	[65, 80]	[35, 50]	[150, 180]	[70, 80]	[50, 65]
c_3	0.43	0.38	0.41	0.29	0.37	0.42	0.37
c_4	5.6	2.7	6	13.1	10	4.9	4
c_5	[1, 1.2]	[0.5, 0.6]	[0.7, 0.8]	[0.15, 0.25]	[0.65, 0.8]	[0.85, 1]	[0.7, 0.8]
c_6	[1, 2]	[2, 3]	[2, 3]	[2, 4]	[2, 3]	[1, 3]	[1, 3]
c_7	差	较差	较差	较差	一般	一般	较差
c_8	较好	一般	一般	较好	一般	较好	一般
c_9	有利	有利	一般	有利	有利	有利	有利
c_{10}	差	较差	较差	一般	较好	较差	较差
c_{11}	[5, 10]	[5, 8]	[8, 10]	[3, 5]	[3, 5]	[4, 7]	[7, 9]
c_{12}	较好	较差	一般	好	较好	一般	较好

step 2 和 step 3: 由式 (3)~(6) 和 (10) 计算可得相似度 $\text{sim}(z^1, z^*) = 0.634$, $\text{sim}(z^2, z^*) = 0.809$, $\text{sim}(z^3, z^*) = 0.497$, $\text{sim}(z^4, z^*) = 0.705$, $\text{sim}(z^5, z^*) = 0.856$, $\text{sim}(z^6, z^*) = 0.820$. 设相似度阈值为 0.8, 筛选出可以作为参考的相似案例为 z^2 、 z^5 、 z^6 , 对应的事故等级分别为 2 级、1 级、1 级. 进一步, 将 3 个历史案例的相似度归一化作为目标事件的演化概率, 则其概率分别为 $PI^2 = 0.326$, $PI^5 = 0.33$, $PI^6 = 0.344$, 最终求得火灾爆炸突发事件的演化等级为 1.326 级, 达到重、特大突发事件.

与此同时, 由专家共同决定、产生应急决策方案的 4 个属性分别为: u_1 救援速度、 u_2 人员伤亡、 u_3 环境污染、 u_4 衍生灾害. 对于每个属性, 专家以九标度二元语言 $S = \{s_0, s_1, \dots, s_8\}$ 的形式给出应急方案偏好矩阵, 这 9 个标度语义分别表示 {非常差, 很差, 差, 稍差, 一般, 稍好, 好, 很好, 非常好}. 由于篇幅限制, 仅以部门 b^1 的权重分配为例.

部门 b^1 的专家 e_1 给出属性 u_1 下的偏好矩阵为

$$V^{e_1-u_1} = \begin{bmatrix} \{(s_4, 0)\} & \{(s_3, 0)\} \\ \{(s_5, 0)\} & \{(s_4, 0)\} \\ \{(s_6, 0)\} & \{(s_6, 0)\} \\ \{(s_6, 0), (s_5, 0), (s_3, 0)\} & \{(s_3, 0)\} \end{bmatrix} \rightarrow$$

$$\leftarrow \begin{bmatrix} \{(s_2, 0)\} & \{(s_2, 0), (s_3, 0), (s_5, 0)\} \\ \{(s_2, 0)\} & \{(s_6, 0)\} \\ \{(s_4, 0)\} & \{(s_5, 0), (s_6, 0)\} \\ \{(s_3, 0), (s_2, 0)\} & \{(s_4, 0)\} \end{bmatrix}$$

特别地, 因为 $\alpha_i = 0$, 将其简写成如下形式:

$$V^{e_1-u_1} = \begin{bmatrix} \{s_4\} & \{s_3\} & \{s_2\} & \{s_2, s_3, s_5\} \\ \{s_5\} & \{s_4\} & \{s_2\} & \{s_5\} \\ \{s_6\} & \{s_6\} & \{s_4\} & \{s_5, s_6\} \\ \{s_6, s_5, s_3\} & \{s_3\} & \{s_3, s_2\} & \{s_4\} \end{bmatrix}$$

部门 b^1 的专家 e_1 给出其余 3 个属性下的偏好矩阵可简写为

$$V^{e_1-u_2} = \begin{bmatrix} \{s_4\} & \{s_2, s_3, s_4\} & \{s_2\} & \{s_3\} \\ \{s_6, s_5, s_4\} & \{s_4\} & \{s_2\} & \{s_5, s_6\} \\ \{s_6\} & \{s_6\} & \{s_4\} & \{s_4\} \\ \{s_5\} & \{s_3, s_2\} & \{s_4\} & \{s_4\} \end{bmatrix},$$

$$V^{e_1-u_3} = \begin{bmatrix} \{s_4\} & \{s_5, s_6\} & \{s_2\} & \{s_3\} \\ \{s_3, s_2\} & \{s_4\} & \{s_3\} & \{s_5\} \\ \{s_6\} & \{s_6\} & \{s_4\} & \{s_5, s_6, s_7\} \\ \{s_5\} & \{s_3\} & \{s_3, s_2, s_1\} & \{s_4\} \end{bmatrix}$$

$$V^{e_1-u_4} =$$

$$\begin{bmatrix} \{s_4\} & \{s_5\} & \{s_1, s_2, s_3\} & \{s_3\} \\ \{s_3\} & \{s_4\} & \{s_3\} & \{s_5, s_6\} \\ \{s_7, s_6, s_5\} & \{s_6\} & \{s_4\} & \{s_5\} \\ \{s_5\} & \{s_3, s_2\} & \{s_3\} & \{s_4\} \end{bmatrix}.$$

step 4: 由式(10)分别求解4个偏好矩阵的平均一致性,有

$$ACI_{e_1-u_1} = 0.8681, ACI_{e_1-u_2} = 0.8542,$$

$$ACI_{e_1-u_3} = 0.8403, ACI_{e_1-u_4} = 0.8403.$$

step 5: 按照式(11),求解各偏好矩阵的标准差,有

$$AD_{e_1-u_1} = 0.0286, AD_{e_1-u_2} = 0.0208,$$

$$AD_{e_1-u_3} = 0.0286, AD_{e_1-u_4} = 0.0286.$$

由上所得,专家 e_1 的平均一致性和平均标准差计算如下:

$$ACI_{e_1} = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 ACI_{e_1-u_j} = 0.8507,$$

$$AD_{e_1} = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 AD_{e_1-u_j} = 0.0267.$$

将二者结合可获得专家 e_1 的一致性集中分布区间

$$CI_{e_1} = [ACI_{e_1} - AD_{e_1}, ACI_{e_1} + AD_{e_1}] = [0.8240, 0.8774].$$

区间下限可视为专家的最劣一致性取值,上限可视为专家的最优一致性取值.

同理,可计算得出部门 b^1 中其余专家的平均一致性、标准差和一致性集中分布区间分别为

$$ACI_{e_2} = 0.9374, ACI_{e_3} = 0.8029,$$

$$ACI_{e_4} = 0.9053, ACI_{e_5} = 0.9374;$$

$$AD_{e_2} = 0.0196, AD_{e_3} = 0.0402,$$

$$AD_{e_4} = 0.0354, AD_{e_5} = 0.0326;$$

$$CI_{e_2} = [0.9178, 0.9570], CI_{e_3} = [0.7627, 0.8431],$$

$$CI_{e_4} = [0.8699, 0.9407], CI_{e_5} = [0.9048, 0.9700].$$

step 6 和 step 7: 求解专家权值的倍数关系,构建最小化标准差模型.按照第2.2节的描述,分别求解部门 b^1 中5个专家的权重倍数关系,将其作为优化模型的约束条件.对部门 b^1 构建的优化模型为

$$\begin{aligned} \min AD &= 0.0267w_{1-1} + 0.0196w_{1-2} + \\ & 0.0402w_{1-3} + 0.0354w_{1-4} + \\ & 0.0326w_{1-5}; \\ \text{s.t. } w_{1-2} \frac{0.8240}{0.9570} &\leq w_{1-1} \leq w_{1-2} \frac{0.8774}{0.9178}, \end{aligned}$$

$$w_{1-3} \frac{0.8240}{0.8431} \leq w_{1-1} \leq w_{1-3} \frac{0.8774}{0.7627},$$

$$w_{1-4} \frac{0.8240}{0.9407} \leq w_{1-1} \leq w_{1-4} \frac{0.8774}{0.8699},$$

$$w_{1-5} \frac{0.8240}{0.9700} \leq w_{1-1} \leq w_{1-5} \frac{0.8774}{0.9058},$$

$$w_{1-1} + w_{1-2} + w_{1-3} + w_{1-4} + w_{1-5} = 1,$$

$$w_{1-1}, w_{1-2}, w_{1-3}, w_{1-4}, w_{1-5} \geq 0.$$

利用 lingo 求得部门 b^1 中专家的最佳权重分配为: $w_{1-1} = 0.1979, w_{1-2} = 0.2298, w_{1-3} = 0.1720, w_{1-4} = 0.1962, w_{1-5} = 0.2041$.

部门 b^1 的其余4个专家在属性 u_1 上的偏好矩阵如下:

$$V^{e_2-u_1} =$$

$$\begin{bmatrix} \{s_4\} & \{s_3\} & \{s_2, s_3\} & \{s_4\} \\ \{s_5\} & \{s_4\} & \{s_2, s_3, s_4\} & \{s_5\} \\ \{s_6, s_5\} & \{s_6, s_5, s_4\} & \{s_4\} & \{s_7\} \\ \{s_4\} & \{s_3\} & \{s_2\} & \{s_4\} \end{bmatrix},$$

$$V^{e_3-u_1} =$$

$$\begin{bmatrix} \{s_4\} & \{s_5, s_6\} & \{s_2\} & \{s_3\} \\ \{s_3, s_2\} & \{s_4\} & \{s_3\} & \{s_5, s_6, s_7\} \\ \{s_6\} & \{s_5\} & \{s_4\} & \{s_5\} \\ \{s_5\} & \{s_3, s_2, s_1\} & \{s_3\} & \{s_4\} \end{bmatrix},$$

$$V^{e_4-u_1} =$$

$$\begin{bmatrix} \{s_4\} & \{s_3\} & \{s_2, s_3\} & \{s_3\} \\ \{s_5\} & \{s_4\} & \{s_2, s_3\} & \{s_5, s_6\} \\ \{s_6, s_5\} & \{s_6, s_5\} & \{s_4\} & \{s_6\} \\ \{s_5\} & \{s_3, s_2\} & \{s_2\} & \{s_4\} \end{bmatrix},$$

$$V^{e_5-u_1} =$$

$$\begin{bmatrix} \{s_4\} & \{s_3\} & \{s_1\} & \{s_3, s_4, s_5\} \\ \{s_5\} & \{s_4\} & \{s_2\} & \{s_4\} \\ \{s_7\} & \{s_5\} & \{s_4\} & \{s_5, s_6\} \\ \{s_5, s_4, s_3\} & \{s_4\} & \{s_3, s_2\} & \{s_4\} \end{bmatrix}.$$

运用文献[27]的聚合算子并代入专家权重,得部门 b^1 在属性 u_1 下的综合偏好矩阵 $V^{b^1-u_1}$ 如表2所示.

由于上述综合偏好矩阵中各偏好评估项中的语言变量发生的概率是一样的,对其求取均值后得到简版综合偏好关系矩阵与用加权平均算子获得的结果相同,故用该方法获得属性 u_1 下部门 b^1 的偏好关系矩阵为 $V^{b^1-u_1}$. 由于各部门在应急决策过程中都发挥着重要作用,假设各部门对决策结果的贡献度都是一样的,即各部门的权值相等,用均值法求得属性 u_1 下的群偏好矩阵为

表2 部门 b^1 在属性 u_1 下的综合偏好矩阵

	x_1	x_2	x_3	x_4
x_1	$(s_4, 0)$	$(s_3, 0.344), (s_4, -0.484)$	$(s_2, -0.020\ 41)$ $(s_2, 0.221\ 9)$	$(s_3, 0.031\ 9), (s_3, 0.229\ 8), (s_4, -0.374\ 4)$ $(s_3, 0.236), (s_3, 0.433\ 9), (s_3, 0.440\ 1)$ $(s_2, -0.007\ 9), (s_2, 0.025\ 7), (s_4, -0.170\ 3), (s_4, -0.362), (s_4, 0.033\ 8)$
x_2	$(s_5, -0.344), (s_4, 0.484)$	$(s_4, 0)$	$(s_2, 0.172), (s_2, 0.401\ 8)$ $(s_2, 0.368\ 2), (s_3, -0.368\ 4)$ $(s_3, -0.172\ 2), (s_3, -0.402)$	$(s_5, -0.204\ 1), (s_5, -0.032\ 1)$ $(s_5, 0.164\ 1), (s_5, 0.139\ 9)$ $(s_5, -0.007\ 9), (s_5, 0.336\ 1)$
x_3	$(s_6, 0.204\ 1)$ $(s_6, -0.025\ 7)$ $(s_6, 0.007\ 9), (s_6, -0.221\ 9)$	$(s_6, -0.172), (s_6, -0.401\ 8)$ $(s_6, -0.368\ 2), (s_5, 0.368\ 4)$ $(s_5, 0.172\ 2), (s_5, 0.402)$	$(s_4, 0)$	$(s_6, -0.146\ 3)$ $(s_6, -0.344\ 2)$ $(s_6, -0.140\ 1), (s_6, 0.057\ 8)$
x_4	$(s_5, -0.031\ 9), (s_5, -0.229\ 8), (s_4, 0.374\ 4)$ $(s_5, -0.236), (s_5, -0.433\ 9), (s_5, -0.440\ 1)$ $(s_4, 0.170\ 3), (s_4, 0.362), (s_4, -0.033\ 8)$	$(s_3, 0.204\ 1), (s_3, 0.032\ 1)$ $(s_3, -0.164\ 1), (s_3, -0.139\ 9)$ $(s_3, 0.007\ 9), (s_3, -0.336\ 1)$	$(s_2, 0.344\ 2)$ $(s_2, 0.146\ 3)$ $(s_2, 0.140\ 1), (s_2, -0.057\ 8)$	$(s_4, 0)$

$$V^{b^1-u_1} = \begin{bmatrix} \{(s_4, 0)\} & \{(s_3, 0.43)\} & \{(s_3, -0.280\ 0)\} & \{(s_4, -0.416\ 4)\} \\ \{(s_5, -0.43)\} & \{(s_4, 0)\} & \{(s_2, 0.490\ 0)\} & \{(s_4, 0.431\ 9)\} \\ \{(s_6, -0.012\ 9)\} & \{(s_5, 0.394\ 1)\} & \{(s_4, 0)\} & \{(s_6, -0.416\ 6)\} \\ \{(s_5, -0.492)\} & \{(s_3, -0.070)\} & \{(s_2, 0.416\ 6)\} & \{(s_4, 0)\} \end{bmatrix} \rightarrow \leftarrow \begin{bmatrix} \{(s_2, 0.012\ 9)\} & \{(s_3, 0.492)\} \\ \{(s_3, -0.394\ 1)\} & \{(s_5, 0.070)\} \\ \{(s_4, 0)\} & \{(s_5, 0.426\ 9)\} \\ \{(s_3, -0.426\ 9)\} & \{(s_4, 0)\} \end{bmatrix}$$

由于各部门在应急过程中都发挥着重要作用,假设各部门对决策结果的贡献度都是一样的,即各部门的权值相等.用均值法求得属性 u_1 下的群偏好矩阵 $V^{u_1} = \frac{1}{\sigma} \sum V_{lt}^{b^{\sigma}-u_1}$,即

$$V^{u_1} = \begin{bmatrix} \{(s_4, 0)\} & \{(s_3, 0.142)\} \\ \{(s_5, -0.142\ 1)\} & \{(s_4, 0)\} \\ \{(s_6, 0.006\ 7)\} & \{(s_6, -0.437\ 9)\} \\ \{(s_5, -0.199\ 8)\} & \{(s_3, -0.098\ 5)\} \end{bmatrix} \rightarrow \leftarrow \begin{bmatrix} \{(s_2, -0.027\ 1)\} & \{(s_3, 0.199\ 8)\} \\ \{(s_2, 0.437\ 9)\} & \{(s_5, 0.985)\} \\ \{(s_4, 0)\} & \{(s_6, -0.445)\} \\ \{(s_2, 0.444\ 9)\} & \{(s_4, 0)\} \end{bmatrix}$$

专家给定4个属性的权值分别为 $\lambda = \{0.3, 0.3, 0.2, 0.2\}$,对这4个属性下的群偏好矩阵加权平均,得到最终的综合偏好矩阵为

$$V = \begin{bmatrix} \{(s_4, 0)\} & \{(s_4, -0.101\ 4)\} \\ \{(s_4, 0.101\ 4)\} & \{(s_4, 0)\} \\ \{(s_5, 0.280\ 0)\} & \{(s_6, -0.490\ 0)\} \\ \{(s_4, 0.416\ 4)\} & \{(s_4, -0.431\ 9)\} \end{bmatrix} \rightarrow$$

step 8: 对偏好矩阵的每一行求和得到方案的最终评分值方案 x_1 的最终得分值: $x_1 = 4 + 3.898\ 6 + 2.72 + 3.583\ 6 = 14.200\ 2$,同理计算可得 $x_2 = 15.023\ 3, x_3 = 19.963\ 4, x_4 = 14.401\ 1$.最终方案排序结果为: $x_3 \succ x_2 \succ x_4 \succ x_1$.即选择方案 x_3 :向北京、河北、辽宁和江苏消防总队发出救援需求,派遣4架无人侦察机,40辆消防执勤车,15个化学灾害事故救援处置编队,作为天津大爆炸的救援方案.

3.3 方法分析

为说明本文所提出方法的有效性与合理性,对专家的权值赋予方法进行简单分析.由上可得部门 b^1 中5个专家的权值关联指标取值,如表3所示.根据专家偏好矩阵计算所得专家一致性取值情况如表4所示.

表3 部门 b^1 各专家的权值关联指标取值

	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5
ACI	0.8507	0.9374	0.8029	0.9053	0.9374
AD	0.0267	0.0196	0.0402	0.0355	0.0326
w	0.1979	0.2298	0.1720	0.1962	0.2041

由表3可知,5个专家的权值排序为 $w_2 \succ w_5 \succ w_1 \succ w_4 \succ w_3$.由表4可知专家的一致性取值波动情况.比较专家 e_2 和专家 e_5 ,虽然二者平均一致性取值相等,理性程度相当,但从表4不难看出专家 e_2 的一致性取值更为离散,波动幅度较大.因此,标准差越大的,表明其偏好信息越离散,专家的稳定性越低,赋

表4 部门 b^1 各专家偏好矩阵一致性取值

	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5
u_1	(0.833 3, 0.875,	(0.916 7, 0.916 7,	(0.875, 0.833 3,	(0.958 3, 0.916 7, 0.916 7,	(0.958 3, 0.916 7,
	0.833 3, 0.875,	0.916 7, 0.958 3,	0.833 3, 0.791 7,	0.875, 0.916 7, 0.875,	0.958 3, 0.875,
	0.875, 0.916 7)	0.916 7, 0.958 3)	0.791 7, 0.75)	0.833 3, 0.87 5)	0.916 7, 1)
u_2	(0.875, 0.833 3,	(0.916 7, 0.958 3,	(0.875, 0.916 7, 0.875,	(0.958 3, 0.916 7,	(0.958 3, 0.958 3,
	0.833 3, 0.875,	0.916 7, 0.958 3,	0.791 7, 0.875, 0.791 7,	0.916 7, 0.916 7,	0.916 7, 0.958 3,
	0.833 3, 0.875)	0.958 3, 0.958 3)	0.833 3, 0.833 3)	0.916 7, 1)	0.958 3, 1)
u_3	(0.875, 0.833 3,	(0.916 7, 0.916 7	(0.791 7, 0.833 3,	(0.916 7, 0.875,	(0.916 7, 0.958 3,
	0.875, 0.833 3,	0.916 7, 0.958 3,	0.75, 0.791 7,	0.916 7, 0.875,	0.916 7, 0.875,
	0.791 7, 0.833 3)	0.916 7, 0.958 3)	0.708 3, 0.75)	0.833 3, 0.875)	0.916 7, 0.875)
u_4	(0.833 3, 0.791 7,	(0.916 7, 0.958 3,	(0.791 7, 0.833 3,	(0.916 7, 0.958 3, 0.916 7, 0.958 3,	(0.916 7, 0.875,
	0.875, 0.833 3,	0.916 7, 0.958 3,	0.75, 0.791 7,	0.958 3, 0.958 3, 0.916 7, 0.958 3,	0.958 3, 0.958 3,
	0.875, 0.833 3)	0.958 3, 0.958 3)	0.708 3, 0.75)	0.958 3, 0.958 3, 0.875, 1)	0.958 3, 1)

予权值也越小. 所以, $w_2 > w_5$ 符合上述规律, 是合理的. 比较专家 e_2 和 e_3 的权值, 专家 e_2 的平均一致性水平高于 e_3 , 其所给评估信息间的冲突程度远低于 e_3 , 说明 e_2 更为理性, 所给信息也更为可靠. 从赋权情况来看, 符合规律平均一致性越大, 方差越小, 权重越大; 平均一致性越小, 方差越大, 权重越小. 所以, 本文的方法是合理的.

4 结论

本文给出了一种基于突发事件相似度和区间一致性复杂偏好的突发事件大群体应急决策方法. 通过相似案例分析方法, 从参考案例推测突发事件的事故等级, 帮助专家更好地了解突发事件的基本情况. 当事故等级达到2级以上时, 需要召集大群体专家集思广益, 进行科学决策; 进而提出基于区间一致性的考虑专家有限理性和稳定性的新权重分配方法, 以保证信息融合前形成方案的科学合理性. 在进一步的研究中, 对于相似案例方法将综合考虑不同指标之间的相关性及指标的结构, 以提高由案例推演事故等级的有效性. 对于专家的权重分配, 结合其动态变化使权重分布更加合理.

参考文献(References)

[1] 徐选华, 杜志娇, 陈晓红, 等. 保护少数意见的冲突型大群体应急决策方法[J]. 管理科学学报, 2017, 20(11): 10-23.
(Xu X H, Du Z J, Chen X H, et al. Conflict large-group emergency decision-making method while protecting minority opinions[J]. Journal of Management Sciences in China, 2017, 20(11): 10-23.)

[2] 张明红, 余廉, 耿波. 基于情景的结构化突发事件相似程度研究[J]. 中国管理科学, 2017, 25(1): 151-159.

(Zhang M H, She L, Geng B. Research on the similarity of the structured emergency events based on scenario[J]. Chinese Journal of Management Science, 2017, 25(1): 151-159.)

[3] 李永海, 樊治平, 袁媛. 考虑应急方案实施效果的突发事件应急方案生成方法[J]. 控制与决策, 2014, 29(2): 275-280.
(Li Y H, Fan Z P, Yuan Y. Method for generating emergency alternative with considering implementation effects of emergency alternatives[J]. Control and Decision, 2014, 29(2): 275-280.)

[4] 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 multi-attributes and multi-schemes large group decision making[J]. Journal of Systems Engineering, 2008, 23(2): 137-141.)

[5] 徐选华, 杨玉珊. 基于累积前景理论的大群体风险型动态应急决策方法[J]. 控制与决策, 2017, 32(11): 1957-1965.
(Xu X H, Yang Y S. Method of dynamic emergency decision for risk type of large group based on cumulative prospect theory[J]. Control and Decision, 2017, 32(11): 1957-1965.)

[6] 余廉, 黄超. 我国突发事件案例库建设评价分析[J]. 电子科技大学学报: 社会科学版, 2015, 17(6): 24-31.
(She L, Huang C. Construction and evaluation of the emergency case base[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China: Social Sciences Edition, 2015, 17(6): 24-31.)

[7] 张英菊, 仲秋雁, 叶鑫, 等. 基于案例推理的应急辅助决策方法研究[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(4): 1412-1415.
(Zhang Y J, Zhong Q Y, Ye X, et al. Research on method of emergency aid decision-making based on CBR[J]. Application Research of Computers, 2009, 26(4): 1412-1415.)

- [8] 封超, 杨乃定, 桂维民, 等. 基于案例推理的突发事件应急方案生成方法[J]. 控制与决策, 2016, 31(8): 1526-1530.
(Feng C, Yang N D, Gui W M, et al. Method for generating emergency alternative based on case-based reasoning[J]. Control and Decision, 2016, 31(8): 1526-1530.)
- [9] 李永海, 樊治平, 李铭洋. 解决广义不确定型决策问题的案例决策方法[J]. 系统工程学报, 2014, 29(1): 21-29.
(Li Y H, Fan Z P, Li M Y. Case-based decision analysis method for general uncertain decision making problem[J]. Journal of Systems Engineering, 2014, 29(1): 21-29.)
- [10] 郑晶, 王应明, 叶歆. 考虑应急方案总体优势度的决策方法[J]. 控制与决策, 2015, 30(7): 1239-1244.
(Zheng J, Wang Y M, Ye X. Decision method for emergency alternative with considering total superiority degree[J]. Control and Decision, 2015, 30(7): 1239-1244.)
- [11] Liao H C, Yang L Y, Xu Z S. Two new approaches based on ELECTRE II to solve the multiple criteria decision making problems with hesitant fuzzy linguistic term sets[J]. Applied Soft Computing, 2018, 63: 223-234.
- [12] Rodriguez R M, Martinez L, Herrera F. Hesitant fuzzy linguistic term sets for decision making[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2012, 20(1): 109-119.
- [13] Zhou W, Xu Z. Generalized asymmetric linguistic term set and its application to qualitative decision making involving risk appetites[J]. European Journal of Operational Research, 2016, 254(2): 610-621.
- [14] Zhang L, Wang Y, Zhao X. A new emergency decision support methodology based on multi-source knowledge in 2-tuple linguistic model[J]. Knowledge-Based Systems, 2018, 144: 77-87.
- [15] Xia M, Xu Z. Hesitant fuzzy information aggregation in decision making[J]. International Journal of Approximate Reasoning, 2011, 52(3): 395-407.
- [16] Liu B, Shen Y, Chen Y, et al. A two-layer weight determination method for complex multi-attribute large-group decision-making experts in a linguistic environment[J]. Information Fusion, 2015, 23(C): 156-165.
- [17] Errera F, Martinez L. A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2000, 8(6): 746-752.
- [18] Feng X, Zhang L, Wei C, et al. The consistency measures and priority weights of hesitant fuzzy linguistic preference relations[J]. Applied Soft Computing, 2018, 65: 79-90.
- [19] 李艳玲, 吴建伟, 朱焯行. 基于判断矩阵一致性程度的专家权重确定方法[J]. 计算机与现代化, 2017, 262(6): 20-24.
(Li Y L, Wu J W, Zhu Y H. A method for determining expert's weight based on consistency of judgment matrix[J]. Computer and Modernization, 2017, 262(6): 20-24.)
- [20] Xu X H, Du Z J, Chen X H. Consensus model for multi-criteria large-group emergency decision making considering non-cooperative behaviors and minority opinions[J]. Decision Support Systems, 2015, 79(C): 150-160.
- [21] Li C C, Rodríguez R M, Herrera F, et al. Consistency of hesitant fuzzy linguistic preference relations: An interval consistency index[J]. Information Sciences, 2017, 432: 347-361.
- [22] Zhang Z, Kou X, Dong Q. Additive consistency analysis and improvement for hesitant fuzzy preference relations[J]. Expert Systems with Applications, 2018, 98: 118-128.
- [23] Herrera F, Martínez L, Herrera F. A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for Computing with Words[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 1999, 8(6): 746-752.
- [24] Ju Y, Wang A, You T, et al. Emergency alternative evaluation and selection based on ANP, DEMATEL, and TL-TOPSIS[J]. Natural Hazards, 2015, 75(2): 347-379.
- [25] Dong Y, Li C C, Chiclana F, et al. Average-case consistency measurement and analysis of interval-valued reciprocal preference relations[J]. Knowledge-Based Systems, 2016, 114: 108-117.
- [26] Fan Z P, Li Y H, Wang X, et al. Hybrid similarity measure for case retrieval in CBR and its application to emergency response towards gas explosion[J]. Expert Systems with Applications, 2014, 41(5): 2526-2534.
- [27] Zhou W, Xu Z. Group consistency and group decision making under uncertain probabilistic hesitant fuzzy preference environment[J]. Information Sciences, 2017, 414(2): 276-288.

作者简介

陈可(1970—), 女, 副教授, 博士, 从事决策理论与方法、信息系统与决策支持系统等研究, E-mail: chenke_doc@126.com;

黄燕霞(1995—), 女, 硕士生, 从事大数据决策理论与方法、应急管理决策、风险分析与管理的研究, E-mail: yxhuang@csu.edu.cn;

徐选华(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 从事大数据决策理论与方法、信息系统与决策支持系统、应急管理决策、风险分析与管理等研究, E-mail: xuxh@csu.edu.cn.

(责任编辑: 李君玲)