

突发事件情景概率估计的主客观信息集成方法

□于超 刘洋 樊治平 [东北大学 沈阳 110819]

[摘要] 如何在突发事件发生之初,采用科学的方法估计不同情景发生的概率是正确选择应急决策方案的前提和关键。针对突发事件情景概率估计问题,提出了一种主客观信息集成方法。首先,采用相似度计算方法确定同类历史案例与当前突发事件的相似度,并依据相似度筛选得到相似历史案例,通过统计相似案例灾害情景确定当前突发事件各可能情景发生的客观概率;然后,采用线性加权方法对专家主观判断给出的情景概率信息进行集结得到当前突发事件各情景发生的主观概率;进一步地,通过集成客观和主观概率信息确定突发事件各情景发生的概率;最后,通过一个算例说明了本文提出方法的可行性与有效性。

[关键词] 应急响应; 风险决策; 概率估计; 主客观集成

[中图分类号] F224.13

[文献标识码] A

[文章编号] 1008-8105(2012)03-0054-06

引言

近年来,各类突发事件频发,造成了巨大的人员伤亡、财产损失和生态环境退化。由于突发事件的发展演变通常具有高度的不确定性,可能导致多种不同灾害情景的出现^[1,2],所以针对突发事件应急响应的决策问题常常带有高度的风险和不确定性。目前,一些学者将应急响应描述为风险型决策问题,并提出了用于突发事件应急响应的风险型决策方法^[3~9]。需要注意的是,成功应用这些基于风险型决策的应急响应决策方法的前提和关键是,如何在突发事件刚刚发生或出现征兆时,通过科学的分析方法,估计突发事件发展演变导致不同情景出现的概率。这也是一个具有理论和实际价值的科学研究问题。

目前,针对突发事件情景概率估计的研究几乎未见报道,但是可以看到针对其他背景的概率估计问题的相关研究成果。例如,Winkler和Poses在病人存活概率预测中,采用专家主观估计的方法,由专家给出主观判断并对专家意见赋权集结,进而得到估计结果^[10];Gigerenzer和Hoffrage对相同年龄和身

体状况的妇女中乳腺癌的发病情况进行了调查,并应用频率估计方法估计了乳腺癌的发病概率^[11];Hastie和Tibshirani针对多叉分枝检索表中类别概率估计问题,提出了一种用于概率估计的耦合模型^[12];Renooij提出了一种用于概率估计的冒险假设方法,并分析了该方法的使用条件及优缺点^[13]。但是,已有的概率估计方法没有考虑到突发事件情景概率估计问题所面临的时间紧迫和信息不完全或不确定等复杂特征,不能直接用来解决突发事件情景概率估计问题。需要指出的是,针对突发事件情景概率的估计需要同时考虑历史同类突发事件的情景信息和专家的主观判断信息。这是因为,一方面,历史案例可以为当前突发事件情景概率的估计提供大量的历史信息,如历史突发事件发生时的状态特征、发展演变过程的影响因素和发展演变的最终情景等;另一方面,由于历史突发事件在外部环境、情景特征和干扰措施等方面常常与当前突发事件不完全相同,且可能存在部分突发事件情景特征或影响因素信息难以获取或缺失的情况,所以针对突发事件情景概率的估计还需要借助专家的主观判断信息。基于此,本文给出一种突发事件情景概率估计的主客

[收稿日期] 2012-04-30

[基金项目] 国家自然科学基金项目(90924016, 71001020和71071029),中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(N100406012)

[作者简介] 于超(1987-)女,东北大学工商管理学院博士研究生;刘洋(1978-)男,博士,东北大学工商管理学院教师;樊治平(1961-)男,东北大学工商管理学院教授,博士生导师。

观信息集成方法。

一、问题的描述

以下的符号用来表示突发事件情景概率估计问题中的集和量。

- $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$: 当前突发事件可能出现的情景的集合, 其中 S_j 表示第 j 个情景, $j = 1, 2, \dots, n$ 。

- $C = \{C_1, C_2, \dots, C_d\}$: 同类突发事件历史案例集合, 其中 C_q 表示第 q 个同类历史案例, $q = 1, 2, \dots, d$ 。

- $V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}$: 当前突发事件的特征集合, 其中 V_i 表示第 i 个突发事件的特征(或外部环境影响因素), $i = 1, 2, \dots, m$ 。在突发事件情景概率估计问题中, 常常采用不同的信息形式对突发事件的特征进行描述, 采用的描述信息的形式主要包括: 精确数值信息、区间数值信息、模糊语言信息和符号型信息。若 V^1 、 V^2 、 V^3 和 V^4 分别表示采用精确数值信息、区间数值信息、模糊语言信息和符号型信息进行描述的属性特征集合, 则有 $V^1 \cup V^2 \cup V^3 \cup V^4 = V$, 且 $V^a \cap V^b = \emptyset$, $a, b = 1, 2, 3, 4$, $a \neq b$ 。相应地, 令 I^1 、 I^2 、 I^3 和 I^4 分别表示特征集合 V^1 、 V^2 、 V^3 和 V^4 中各特征的下标集合, 则有 $I^1 \cup I^2 \cup I^3 \cup I^4 = \{1, 2, \dots, m\}$, 且 $I^a \cap I^b = \emptyset$, $a, b = 1, 2, 3, 4$, $a \neq b$ 。

- $v = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$: 当前突发事件的特征值向量, 其中 v_i 表示当前突发事件在特征 V_i 上的结果, $i = 1, 2, \dots, m$ 。若 $i \in I^1$, 则 v_i 为精确数值信息形式, 记为 $v_i = \dot{v}_i$; 若 $i \in I^2$, 则 v_i 为区间数值信息形式, 记为 $v_i = \tilde{v}_i = [v_i^L, v_i^U]$, $v_i^L \leq v_i^U$; 若 $i \in I^3$, 则 v_i 为模糊语言信息形式, 记为 $v_i = \hat{v}_i$, 如果采用五粒度语言对突发事件的特征值进行描述, 则有 $v_i = \hat{v}_i \in \{s_0 \text{ (Low)}, s_1 \text{ (Middle Low)}, s_2 \text{ (Middle)}, s_3 \text{ (Middle High)}, s_4 \text{ (High)}\}$; 若 $i \in I^4$, 则 v_i 为符号型信息形式, 记为 $v_i = \bar{v}$, 例如针对高层建筑火灾燃烧物特征进行评价时 $v_i = \bar{v} \in \{\text{易燃物品, 易燃液体, 易燃易爆气体}\}$ 。

- $\Theta^q = (\gamma_1^q, \gamma_2^q, \dots, \gamma_m^q)$: 历史案例 C_q 的特征指示向量, 其中 γ_i^q 为案例 C_q 针对特征 V_i 的指示信息, 若同类历史案例 C_q 针对特征 V_i 的历史记录信息缺失, 则 $\gamma_i^q = 0$; 否则, $\gamma_i^q = 1$, $i \in \{1, 2, \dots, m\}$, $q \in \{1, 2, \dots, d\}$ 。

- $v^q = \{v_1^q, v_2^q, \dots, v_m^q\}$: 历史案例 C_q 的特征值向量, 其中 v_i^q 表示案例 C_q 在特征 V_i 上的结果, 若 $\gamma_i^q = 0$, 则案例 C_q 针对特征 V_i 的历史记录信息缺失, 记为 $v_i^q = \phi$; 若 $\gamma_i^q = 1$, 则当 $i \in I^1$ 时, v_i^q 为精确数值信息, 记为 $v_i^q = \dot{v}_i^q$; 当 $i \in I^2$ 时, v_i^q 为区间数值信息, 记为 $v_i^q = \tilde{v}_i^q$; 当 $i \in I^3$ 时, v_i^q 为模糊语言信息, 记为 $v_i^q = \hat{v}_i^q$; 当 $i \in I^4$ 时, v_i^q 为符号型信息, 记为 $v_i^q = \bar{v}_i^q$, $i \in \{1, 2, \dots, m\}$, $q \in \{1, 2, \dots, d\}$ 。

- $w = (w_1, w_2, \dots, w_m)$: 突发事件特征的权重向量, 其中 w_i 表示特征 V_i 对于辨识突发事件情景、评估突发事件情景发生概率的重要性程度, 且满足 $\sum_{i=1}^m w_i = 1$, $w_i \geq 0$, $i = 1, 2, \dots, m$ 。

- $E = \{E_1, E_2, \dots, E_t\}$: 参与情景概率评估的专家集合, 其中 E_r 表示第 r 位专家, $r = 1, 2, \dots, t$ 。

- $P_r = (p_{r1}, p_{r2}, \dots, p_{rn})$: 专家 E_r 给出的主观概率判断向量, 其中 p_{rj} 表示专家 E_r 认为当前突发事件可能发展演变出现情景 S_j 的概率, 满足 $p_{rj} \geq 0$, $\sum_{j=1}^n p_{rj} = 1$, $j = 1, 2, \dots, n$, $r = 1, 2, \dots, t$ 。

- $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_t)$: 参与情景概率评估的专家权重向量, 其中 ω_r 表示专家 E_r 的判断对于情景概率估计的重要性程度, $\sum_{r=1}^t \omega_r = 1$, $\omega_r \geq 0$, $r = 1, 2, \dots, t$ 。 ω 通常可由决策者根据专家的资历和经验主观给出。

本文要解决的问题是, 如何根据 v 、 Θ^q 、 v^q 、 w 、 P_r 和 ω 等信息, 估计突发事件各情景发生概率。

二、原理与方法

为了解决上文中描述的突发事件情景概率估计问题, 本文给出一种主客观信息集成方法。下面给出方法的具体描述。

(一) 客观概率估计方法

首先, 计算历史案例与当前突发事件针对不同特征的相似度。设 $\text{sim}(v_i^q, v_i)$ 为同类历史事件 C_q 与当前突发事件针对特征 V_i 的相似度, 其计算公式为:

$$(1) \text{ 若 } i \in I^1, \text{ 则}$$

$$\text{sim}(\dot{v}_i^q, \dot{v}_i) = \begin{cases} 1 - \frac{|\dot{v}_i^q - \dot{v}_i|}{|\dot{v}_i^{\max} - \dot{v}_i^{\min}|} & \gamma_i^q = 1 \\ 0 & \gamma_i^q = 0 \end{cases},$$

$$i \in I^1; \quad q = 1, 2, \dots, d \quad (1)$$

其中, $\hat{v}_i^{\max}$ 和 $\hat{v}_i^{\min}$ 分别表示各同类历史突发事件针对特征 V_i 的最大值和最小值, 即

$$\hat{v}_i^{\max} = \max\{\hat{v}_i^q | q=1, 2, \dots, d, \gamma_i^q = 1\} \quad \text{和}$$

$$\hat{v}_i^{\min} = \min\{\hat{v}_i^q | q=1, 2, \dots, d, \gamma_i^q = 1\}, \quad i \in I^1.$$

(2) 若 $i \in I^2$, 则

$$\text{sim}(\hat{v}_i^q, \hat{v}_i) = \begin{cases} 1 - \sqrt{\frac{1}{2} \left[\left(\frac{\hat{v}_i^L - \hat{v}_i^{qL}}{\hat{v}_i^{\max L} - \hat{v}_i^{\min L}} \right)^2 + \left(\frac{\hat{v}_i^U - \hat{v}_i^{qU}}{\hat{v}_i^{\max U} - \hat{v}_i^{\min U}} \right)^2 \right]} & \gamma_i^q = 1, \\ 0 & \gamma_i^q = 0 \end{cases}$$

$$i \in I^2; \quad q=1, 2, \dots, d \quad (2)$$

其中, $\hat{v}_i^{\max L} = \max\{\hat{v}_i^{qL} | q=1, 2, \dots, d, \gamma_i^q = 1\}$,
 $\hat{v}_i^{\min L} = \min\{\hat{v}_i^{qL} | q=1, 2, \dots, d, \gamma_i^q = 1\}$;
 $\hat{v}_i^{\max U} = \max\{\hat{v}_i^{qU} | q=1, 2, \dots, d, \gamma_i^q = 1\}$,
 $\hat{v}_i^{\min U} = \min\{\hat{v}_i^{qU} | q=1, 2, \dots, d, \gamma_i^q = 1\}$ 。

(3) 若 $i \in I^3$, 则

$$\text{sim}(\hat{v}_i^q, \hat{v}_i) = \begin{cases} 1 - \sqrt{\frac{1}{3} [(\hat{v}_i^{q1} - \hat{v}_i^1)^2 + (\hat{v}_i^{q2} - \hat{v}_i^2)^2 + (\hat{v}_i^{q3} - \hat{v}_i^3)^2]} & \gamma_i^q = 1, \\ 0 & \gamma_i^q = 0 \end{cases}$$

$$i \in I^3; \quad q=1, 2, \dots, d \quad (3)$$

其中, $(\hat{v}_i^1, \hat{v}_i^2, \hat{v}_i^3)$ 和 $(\hat{v}_i^{q1}, \hat{v}_i^{q2}, \hat{v}_i^{q3})$ 分别为依据语言评价信息 $\hat{v}_i$ 和 $\hat{v}_i^q$ 转化得到的三角模糊数信息, 依据文献[14] $(\hat{v}_i^1, \hat{v}_i^2, \hat{v}_i^3)$ 的计算公式可以表示为

$$(\hat{v}_i^1, \hat{v}_i^2, \hat{v}_i^3) = (\max(g-1/T, 0), g/T, \min(g+1/T, 1)) \quad (4)$$

公式(4)中, T 为所选取的语言评价信息集的粒度, g 为 $\hat{v}_i$ 所对应的语言评价信息的下标, $g \in \{0, 1, 2, \dots, T\}$ 。若以五粒度语言评价信息集为例, 则 $T=4$, 相应的语言信息所转化的三角模糊数信息: s_0 (Low) 转化为 $(0, 0, 0.25)$; s_1 (Middle Low) 转化为 $(0, 0.25, 0.5)$; s_2 (Middle) 转化为 $(0.25, 0.5, 0.75)$; s_3 (Middle High) 转化为 $(0.5, 0.75, 1)$; s_4 (High) 转化为 $(0.75, 1, 1)$ 。

(4) 若 $i \in I^4$, 则

$$\text{sim}(\hat{v}_i^q, \hat{v}_i) = \begin{cases} 1 & \gamma_i^q = 1 \text{ and } \hat{v}_i^q = \hat{v}_i, \\ 0 & \gamma_i^q = 0 \text{ or } \hat{v}_i^q \neq \hat{v}_i, \end{cases}$$

$$i \in I^4; \quad q=1, 2, \dots, d \quad (5)$$

然后, 依据公式(1)~(5)计算得到的 $\text{sim}(\hat{v}_i^q, \hat{v}_i)$, 可计算历史案例 C_q 与当前突发事件的全局相似度 sim^q , 其计算公式如下:

$$\text{sim}^q = \sum_{i=1}^m w_i \text{sim}(\hat{v}_i^q, \hat{v}_i), \quad q=1, 2, \dots, d \quad (6)$$

进一步地, 为了从较多或大量同类历史案例中筛选出与当前突发事件相似的案例, 由专家组或决策者主观给出用于案例筛选的相似度阈值

ε ($0 \leq \varepsilon \leq 1$), 并规定相似度低于 ε 的历史案例将被剔除, 则可得相似历史案例集合, 记为 $C^s = \{C_1^s, C_2^s, \dots, C_f^s\}$, 其中 C_k^s 表示第 k 个相似案例, $k=1, 2, \dots, f$ 。记 $s_j^{C_k^s} = (s_1^{C_k^s}, s_2^{C_k^s}, \dots, s_n^{C_k^s})$ 为相似历史案例 C_k^s 的情景指示向量, 若历史案例 C_k^s 出现的情景为 S_j , 则 $s_j^{C_k^s} = 1$; 否则 $s_j^{C_k^s} = 0$ 。记 f_j 为相似案例中情景 S_j 发生的频数, 则 f_j 可以通过如下公式计算:

$$f_j = \sum_{k=1}^f s_j^{C_k^s}, \quad j=1, 2, \dots, n \quad (7)$$

记 $p^1 = (p_1^1, p_2^1, \dots, p_n^1)$ 为当前突发事件情景的客观概率估计向量, 其中 p_j^1 表示通过历史案例统计得到的情景 S_j 发生的概率。 p_j^1 可以通过如下公式估算:

$$p_j^1 = \frac{f_j}{f}, \quad j=1, 2, \dots, n \quad (8)$$

通过公式(8)可以看出, $0 \leq p_j^1 \leq 1, j=1, 2, \dots, n$,

且满足 $\sum_{j=1}^n p_j^1 = 1$ 。

(二) 主观概率估计方法

目前, 依据专家主观判断进行状态或情景概率估计的研究^[15~18]已得到的国内外一些学者的关注, 并取得了一些研究成果。本文采用将专家群体主观判断信息进行线性加权集结的方法计算主观情景概率。依据专家权重向量 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_t)$ 对专家主观概率判断向量 $P_r = (p_{r1}, p_{r2}, \dots, p_{rn})$ 进行集结, 得到主观概率估计向量 $p^2 = (p_1^2, p_2^2, \dots, p_n^2)$, 其中 p_j^2 表示依据专家群体主观判断信息估计得到的当前突发事件发展演变成情景 S_j 的概率, 其计算公式为

$$p_j^2 = \sum_{r=1}^t \omega_r p_{rj}, \quad j=1, 2, \dots, n \quad (9)$$

由公式(9)可以看出, $0 \leq p_j^2 \leq 1, \sum_{j=1}^n p_j^2 = 1, j=1, 2, \dots, n$ 。

(三) 主客观集成方法

记 $\tilde{\omega} = (\alpha, \beta)$ 为主客观概率信息权重向量, 其中, α 表示客观概率估计信息的重要性程度, β 表示主观概率估计信息的重要性程度, 满足 $\alpha, \beta \geq 0, \alpha + \beta = 1$ 。通常 $\tilde{\omega}$ 可由决策者根据相似突发事件的发生频率、相似历史案例的数量、专家的总体资历和经验水平主观给出。记 $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ 为通过集成主客观概率估计信息得到的当前突发事件情景概率估计向量, 其中 p_j 表示通过集成主客观概率估

计信息得到的当前突发事件发展演变出现情景 S_j 的概率，其计算公式为

$$p_j = \alpha p_j^1 + \beta p_j^2, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

通过公式(10)可知， $0 \leq p_j \leq 1$ ， $\sum_{j=1}^n p_j = 1$ ， $j = 1, 2, \dots, n$ 。

三、算例

以东北某市的一起高层建筑火灾为例，对本文提出方法的计算过程及潜在应用进行说明。

2011年冬，东北某市一栋高层建筑突然起火。火灾发生后，市政府紧急召开会议，召集应急管理、消防、建筑等方面8位相关专家 $E = \{E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, E_6, E_7, E_8\}$ ，对影响火灾发展演变的因素或特征进行归纳和整理，采用专家评价的方式确定了特征对火灾情景识别和概率判断的重要性程度，并对各特征的常用描述形式进行了界定，相关信息如表1所示。另一方面，现场的消防部门通过实地勘测和专家主观评价得到了当前火灾针对不同特征的信息，并通过调取数据库中的信息搜集到了国内外48起类似高层建筑的相关资料，当前火灾特征信息和国内一起类似火灾的信息如表2所示。目前考虑火灾可能造成三种可能的情景，即大火(S_1)、中火(S_2)和小火(S_3)，决策者要求所邀请的专家根据自身的经验，通过主观判断给出当前火灾结果为大火(S_1)、中火(S_2)和小火(S_3)的主观判断概率，如表3所示。决策者根据所邀请专家的经验给出了参与情景概率评估的专家权重向量 $\omega = (0.2, 0.1, 0.1, 0.2, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1)$ 。下面给出使用本文所提出方法对当前火灾可能导致各情景概率进行估计的计算过程。

表1 城市高层建筑火灾特征信息表

特征集合	特征名称	权重	特征说明
V^1 : 精确数值信息特征集合	温度	0.0451	精确数值（单位：摄氏度）
	风力	0.0711	精确数值（单位：级）
V^2 : 区间数值信息特征集合	消防救援人员预计到达时间	0.0550	区间数（单位：小时）
V^3 : 模糊语言信息特征集合	火势大小	0.1094	大，较大，中，较小，小
	火点高度	0.1560	高，较高，一般，较低，低

(续表)

	周围建筑密集程度	0.0475	高，较高，一般，较低，低
	能见度	0.0270	高，较高，一般，较低，低
	人员密集程度	0.1137	高，较高，一般，较低，低
	疏散通道畅通程度	0.0962	高，较高，一般，较低，低
	消防设施完备程度	0.0852	高，较高，一般，较低，低
	燃烧物	0.0908	易燃物品，易燃液体，易燃易爆气体
V^4 : 符号型信息特征集合	周围材料类型	0.0862	易燃物品，易燃液体，易燃易爆气体，不耐热材料，耐热防火材料
	有无降水	0.0168	有，无

表2 突发事件特征信息

特征名称	特征类型	同类历史案例	当前火灾
火势大小	模糊语言信息	大	大
燃烧物	符号型信息	易燃物品	易燃物品
火点高度	模糊语言信息	较高	高
周围材料类型	符号型信息	易燃物品	易燃物品
周围建筑密集程度	模糊语言信息	高	高
温度	精确数值信息	ϕ	-22℃
风力	精确数值信息	ϕ	三级
有无降水	符号型信息	无	无
能见度	模糊语言信息	低	低
人员密集程度	模糊语言信息	一般	较低
疏散通道畅通程度	模糊语言信息	高	高
消防设施完备程度	模糊语言信息	高	高
消防救援人员预计到达时间	区间数值信息	[0.12,0.21]h	[0.1,0.16]h

表3 专家主观判断概率信息

	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7	E_8
S_1	0.7	0.6	0.5	0.6	0.5	0.8	0.6	0.7
S_2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.1	0.2	0.2
S_3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1

首先，采用公式(1)~(5)计算历史案例与当前突发事件在各个特征上的相似度。

其次，采用公式(6)计算当前火灾与历史案例的全局相似度，依据表4所列信息，该案例全局相似度计算如下：

$$\text{sim}^q = \sum_{i=1}^m w_i \text{sim}(v_i^q, v_i) = 0.82144$$

表4 当前火灾与历史案例间的特征相似度

特征名称	特征相似度
火势大小	1
燃烧物	1
火点高度	0.7959
周围材料类型	1
周围建筑密集程度	1
温度	0
风力	0
有无降水	1
能见度	1
人员密集程度	0.75
疏散通道畅通程度	1
消防设施完备程度	1
消防救援人员预计到达时间	0.9619

然后,通过观察历史案例的相似度并与专家进行商议,决策者确定历史案例筛选的全局相似度阈值为0.8,进而剔除8个全局相似度小于0.8的历史案例,得到40个相似历史案例,记为 $C^s = \{C_1^s, C_2^s, \dots, C_{40}^s\}$ 。在40个相似历史案例中有30起的最终情景为大火,即 $f_1 = 30$; 8起的最终情景为中火,即 $f_2 = 8$; 2起的最终情景为小火,即 $f_3 = 2$ 。由公式(8)可得当前火灾情景客观概率估计向量为 $P^1 = (0.75, 0.2, 0.05)$ 。进一步地,采用公式(9)对表4中的专家主观情景概率判断信息进行集结,得到当前火灾情景主观概率估计向量为 $P^2 = (0.63, 0.25, 0.12)$ 。在此基础上,决策者确定主客观概率权重向量为 $\tilde{\omega} = (\alpha, \beta) = (0.5, 0.5)$ 。通过公式(10)计算得到当前火灾情景概率估计向量为 $p = (0.69, 0.225, 0.085)$ 。依据该概率估计的结果,决策者可以较为准确地做出针对当前火灾的扑火策略、扑火兵力调度、人员撤离和急救资源调度等相关决策。

四、结论

本文针对突发事件情景概率估计问题,提出了一种主客观信息集成方法。在该方法中,依据历史案例情景信息的全局相似度对历史案例进行筛选得到相似历史案例,并通过相似历史案例情景的统计确定客观情景概率估计向量,通过集结专家主观概

率判断信息得到主观情景概率估计向量,在此基础上通过集成主客观概率估计向量,确定情景概率估计向量。本文的方法逻辑清晰、计算简单等特点,具有一定的理论价值和实际应用价值。

参考文献

- [1] 姜卉, 黄均. 罕见重大突发事件应急实时决策中的情景演变 [J]. 华东科技大学学报(社会科学版), 2009, 23(1): 104-108.
- [2] 范维澄. 国家突发公共事件应急管理中科学问题的思考和建议 [J]. 中国科学基金, 2007(2): 71-76.
- [3] CHEN K, BLONG R, JACOBSON C. MCE-RISK: integrating multicriteria evaluation and GIS for risk decision-making in natural hazards [J]. Environmental Modelling & Software, 2001, 16(4): 387-397.
- [4] HAMALAINEN R, LINDSTEDT M, SINKKO K. Multiattribute risk analysis in nuclear emergency management [J]. Risk Analysis, 2000, 20(4): 455-467.
- [5] 徐志新, 奚树人, 曲静原. 核事故应急决策的多属性效用分析方法 [J]. 清华大学学报(自然科学版), 2008, 48(3): 448-451.
- [6] 杨文国, 黄钧, 池宏, 祁明亮. 信息缺失下的应急方案选择模型及算法研究 [J]. 中国管理科学, 2007, 15(Special issue): 729-732.
- [7] TAMURA H, YAMAMOTO K, TOMIYAMA S, HATONO I. Modeling and analysis of decision making problem for mitigating natural disaster risks [J]. European Journal of Operational Research, 2000, 122(2): 461-468.
- [8] SHERALI H D, DESAI E, GLICKMAN T S. Optimal allocation of risk-reduction resources in event trees [J]. Management Science, 2008, 54(7): 1313-1321.
- [9] SHERALI H D, DALKIRAN E, GLICKMAN T S. Selecting optimal alternatives and risk reduction strategies in decision trees [J]. Operations Research, 2011, 59(3): 631-647.
- [10] WINKLER R L, POSES R M. Evaluating and combining physicians' probabilities of survival in an intensive care unit [J]. Management Science, 1993, 39(12): 1526-1543.
- [11] GIGERENZER G, HOFFRAGE U. How to improve Bayesian reasoning without instruction: Frequency formats [J]. Psychological Review, 1995, 102: 684-704.
- [12] HASTIE T, TIBSHIRANI R. Classification by pairwise coupling [J]. The Annals of Statistics, 1998, 26(1): 451-471.
- [13] RENOOIJ S. Probability elicitation for belief networks: Issues to consider [J]. The Knowledge Engineering

Review, 2001, 16(3): 255-269.

[14] 刘洋, 樊治平. 具有多种形式信息的指派问题的求解方法[J]. 系统工程, 2008, 26(5): 73-79.

[15] JIANG Y P, FAN Z P, MA J. A method for group decision making with multi-granularity linguistic assessment information[J]. Information Sciences, 2008, 178: 1098-1109.

[16] HUBER G P. Methods for quantifying subjective probabilities and multi-attribute utilities [J]. Decision Sciences,

1974, 5(3): 430-458.

[17] RANASINGHE M, RUSSELL A D. Elicitation of subjective probabilities for economic risk analysis: An investigation [J]. Construction Management and Economics, 1993, 11(5): 326-340.

[18] 夏良玉, 罗东坤, 代由进. 煤层气开发项目风险评估方法[J]. 天然气工业, 2012, 32(3): 1-4.

Subjective and Objective Data Integration Method for Estimating Probabilities of Emergency Scenario

YU Chao LIU Yang FAN Zhi-ping

(Northeastern University Shenyang 110819 China)

Abstract How to estimate the probabilities of different scenarios scientifically in the beginning of emergency is a premise and key problem for emergency decision making. This paper proposes a method for estimating scenario probabilities by combining the subjective and objective data. In this method, firstly, the history cases are screened according to the calculated similarity degree between history cases and the current emergency event. Then, the objective scenario probabilities are calculated according to the statistics of scenario of similar cases. Furthermore, the subjective scenario probabilities are estimated according to the weighted average result of expert judgments. Moreover, scenario probabilities are obtained by integrating the subjective and objective scenario probabilities. Finally, a numerical example is used to illustrate the feasibility and significance of the proposed method.

Key words emergency response; risk decision-making; probability estimation; subjective and objective data integration

编辑 何 婧

(上接第53页)

Index Evaluation System and Spatial Pattern of Social Vulnerability to Natural Disasters

TANG Ling LIU Yi-jun

(Chinese Academy of Sciences Beijing 100190 China)

Abstract Social vulnerability to natural disasters is a hotspot question in natural disaster emergency management. Based on population, economic, the social structure and disaster fragile vulnerability, the index evaluation system of social vulnerability to natural disasters is built. This article makes comprehensive evaluation of spatial pattern on 31 provinces through the use of GIS and spatial autocorrelation analysis method. The results indicate that different levels of social vulnerability perform different characteristics; lower vulnerable place is mainly distributed in the coastal areas and the high vulnerable place located in the western region; the spatial distribution of social vulnerability indices has obvious characters of agglomeration and spatial autocorrelation.

Key words social vulnerability to natural disasters; index evaluation system; spatial correlation

编辑 何 婧