

文章编号: 1001-0920(2016)01-0099-06

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2014.1604

基于前景理论的应急方案动态调整方法

王亮¹, 王应明¹, 胡勃兴²

(1. 福州大学 经济与管理学院, 福州 350116; 2. 解放军空军西安飞行学院 第一训练旅, 西安 710306)

摘要: 针对突发事件的动态性及信息的不确定性等特征, 提出基于前景理论的应急方案动态调整方法. 首先, 对突发事件的问题进行描述, 并提出需要解决的问题; 然后, 根据前景理论中价值函数及权重函数的思想, 对方案动态调整的方法及过程进行阐述; 最后, 通过案例分析, 验证了所提出方法的可行性和有效性.

关键词: 应急决策; 突发事件; 前景理论; 动态调整

中图分类号: C934

文献标志码: A

Dynamic adjusting method of emergency alternatives based on prospect theory

WANG Liang¹, WANG Ying-ming¹, HU Bo-xing²

(1. School of Economics & Management, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China; 2. The First Training Brigade, Air Force Xi'an Flight Academy of PLA, Xi'an 710306, China. Correspondent: WANG Ying-ming, E-mail: msymwang@hotmail.com)

Abstract: With respect to the features of dynamicality and uncertainty of emergency events, a prospect-theory-based method for dynamic adjustment of emergency alternatives is proposed. The problems of emergency event are firstly described, and the problems needed to be solved are presented. And, the method and processes for dynamic adjustment of emergency alternatives are elaborated, according to the idea of value function and weighting function of prospect theory. Finally, a numerical example is provided to illustrate the feasibility and effectiveness of the proposed method.

Keywords: emergency decision making; emergency event; prospect theory; dynamic adjustment

0 引言

突发事件是指突然发生, 造成或者可能造成严重社会危害, 需要采取应急处置措施予以应对的自然灾害、事故灾难、公共卫生事件和社会安全事件^[1]. 据不完全统计, 我国每年由于各类突发事件的频繁发生, 造成约上百万人死于非命, 并造成数以亿计的经济损失, 严重阻碍了人类社会的发展步伐. 因此, 当突发事件发生时, 如何及时有效地对事故进行响应, 最小化事故造成的损失和影响, 已引起国内外学者的关注^[2-12]. Liu等^[2]针对应急响应中的风险决策问题, 提出了基于累积前景理论的风险决策方法; Zhao等^[3]针对应急决策中信息不充分、不确定及动态性等特点, 提出了基于案例推演的群决策支持方法; Liu等^[4]针对风险决策问题中动态演变及多方案等特征, 提出了基于故障树的分析方法; 陈兴等^[5]针对部门之间的协

同、动态应急响应等问题, 提出了基于多阶段多目标多部门的应急决策方法; 姜艳萍等^[6]针对突发事件的应急风险决策问题, 提出了一种应急决策方案的动态调整方法; 刘洋等^[7]针对突发事件的演变性、多状态性以及结果的多样性等情况, 提出了基于多属性风险决策的应急响应方法; 李仕峰等^[8]针对突发事件的应急方案选择问题, 提出了一种考虑决策者行为因素的混合多属性风险决策方法; 徐选华等^[9]针对冲突性特点和难以形成高一一致性决策方案的问题, 在分析应急群体决策产生冲突原因的基础上, 构建了应急决策冲突消解协调框架, 并提出了应急决策群体冲突测度方法及冲突消解模型和方法; 樊治平等^[10]针对应急方案对突发事件发展演变存在干预的情况, 提出了一种基于前景理论的应急响应风险决策方法; 王亮等^[11]针对突发情景动态发展、复杂多变等特点, 提出了基于前

收稿日期: 2014-10-21; 修回日期: 2015-01-19.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71371053); 高等学校博士学科点专项科研项目(20123514110012); 教育部人文社会科学研究青年项目(14YJC630056); 福建省自然科学基金项目(2014J01264).

作者简介: 王亮(1987—), 男, 博士生, 从事应急决策、决策理论与方法的研究; 王应明(1964—), 男, 教授, 博士生导师, 从事决策理论与方法等研究.

景理论的动态参考点风险决策方法;李永海等^[12]针对缺乏有效应急预案的突发事件应急响应问题,提出了一种考虑应急方案实施效果的突发事件应急方案生成方法.

一些研究成果表明,动态调整应急方案的方法已经被提出,然而现有的方法没有在动态调整方案的过程中对决策者的心理因素进行考虑^[3-7],而有些研究对决策者的心理因素进行了考虑,却没将动态调整应急方案的情形考虑在内^[2,10].针对以上不足,本文在考虑突发事件的演变性和动态性等特点以及现实应急响应活动的基础上,将决策者的心理因素和方案的动态调整进行结合,提出了基于前景理论的应急方案动态调整方法.

1 问题描述

当某突发事件发生时,由于其发展具有一定的演变性和动态性,决策者在第一时间 t_1 时刻接到该报

警信息,由于事发突然、信息不全等实际情况,决策者获取事故现场的相关信息,只能通过报警人对事故现场的粗略描述,以及自身的阅历和处理相关事故的累积经验对事故现场可能出现的状况和达到的级别进行预测,根据预测的结果第一时间启动相应等级的预案进行应急响应;当此预案执行一段时间到达 t_{r+1} ($t_r < t_{r+1}, r = 1, 2, \dots$)时刻时,决策者对事故现场及已造成的损失情况有了较为全面的了解,并依据方案在 t_{r+1} 时刻的执行效果,决定下一步的应对措施.本文需要解决的问题是:若 t_1 时刻启动的应急方案不能完全有效地对突发情景进行控制,且情景演变的趋势在逐渐升级和恶化,则 t_{r+1} 时刻决策者根据最新掌握的事态信息对方案进行及时、有效地调整,最小化突发事件造成的损失和影响.

图1展示了本文所需解决问题的思路.下面给出本文将要用到的相关符号.

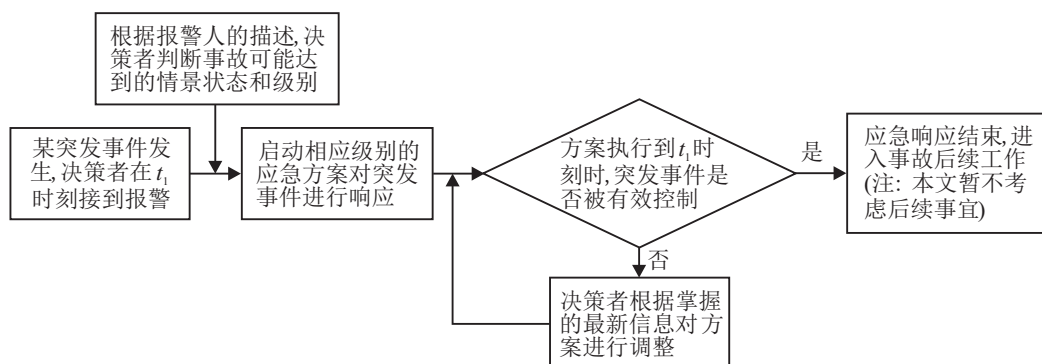


图1 突发事件方案动态调整过程

$A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ 表示某突发情景发生后可能出现的全部情景所组成的集合,其中 A_j 代表第 j 个突发事件可能引起的情景, $j = 1, 2, \dots, n$.

$S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$ 表示用于应对突发事件的备选方案集合,其中 S_i 代表第 i 个用于备选的应急响应预案或方案(下文简称方案), $i = 1, 2, \dots, m$.若某突发事件发生时不采取任何措施,则可将此理解为备选方案集的特殊方案,即集合 S 的空集 $\emptyset \subseteq S$.

$C = (C_1, C_2, \dots, C_m)$ 表示不同备选方案所需的成本投入.通常方案 S_i 的成本主要包含设备、物资及人员成本等.为了简化问题描述和计算,本文已针对所有成本进行综合处理,用 C_i 表示启动方案 S_i 的总成本, $i = 1, 2, \dots, m$.

$D = (D_1, D_2, \dots, D_n)$. D_j 表示情景 A_j 出现后造成的人员伤亡数量.由于突发情景易受环境等外部因素的影响,其所造成的损失也带有动态性和不确定性,故针对 D_j 采用区间值进行表示,即 $D_j = [D_j^L, D_j^H]$, $D_j^H \geq D_j^L \geq 0, j = 1, 2, \dots, n$.

$M = (M_1, M_2, \dots, M_n)$. M_j 表示情景 A_j 出现

后造成的财产损失数量,类似地, M_j 也采用区间数值形式进行表示,即 $M_j = [M_j^L, M_j^H]$, $M_j^H \geq M_j^L \geq 0, j = 1, 2, \dots, n$.

D^R, M^R, C^R 分别表示决策者心理预期的人员伤亡、财产损失和方案投入成本.当某突发事件发生时,决策者通过报警人对事故现场的粗略描述以及自身的阅历和处理相关事故的累积经验对 D_j 、 M_j 和 C_j 形成相应的心理参考点(或称心理预期).若实际的损失和成本投入大于相应的心理预期,则决策者内心感受为“损失”,反之感受为“收益”.

$P = [P_{ij}]_{m \times n}$ 表示概率矩阵,其中 P_{ij} 表示在情景 A_j 出现时启动方案 S_i ,情景 A_j 能够被控制住的概率.通常概率矩阵可由定性或定量方法获得,如通过对历史类似事件的统计分析或由相关经验丰富的领域专家(决策者)主观判断获得,也可采用贝叶斯理论^[13]、事件树分析^[14]等方法获得.如果方案 S_i 为空集,即“某突发事件发生后不采取任何应急响应措施”时,则 P_{ij} 为某突发事件在不受任何人为因素的干扰情况下,在情景 A_j 出现后,能够被环境等其他非

人为因素控制住的概率. 其中: $0 \leq P_{ij} \leq 1, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$.

$w = (w_1, w_2)$ 表示人员伤亡和财产损失的权重 (重要性程度). 权重 $w = (w_1, w_2)$ 一般由决策者直接给出, 且满足 $w_1 + w_2 = 1, 0 \leq w_1, w_2 \leq 1$.

2 原理与方法介绍

当某突发事件发生时, 及时有效地控制事态的发展, 最小化生命、财产损失是应急响应的基本出发点和首要任务. 所以, 当出现某突发情景时, 决策者如何在第一时间内及时有效地作出响应, 为成功处置突发事件打下坚实的基础显得十分重要.

根据文章第 2 部分“问题描述”中“本文需要解决的问题”可知, t_1 时刻所启动的应急方案的执行效果直接影响到 t_{r+1} 时刻决策者的进一步措施, 此处不再赘述. 下面主要对 t_{r+1} 时刻的方案调整所运用的原理和方法进行介绍.

2.1 t_{r+1} 时刻的方案调整方法介绍

2.1.1 情景综合价值及方案成本价值的计算

根据前景理论中参考点的思想^[15-17], 在 t_{r+1} 时刻, 决策者根据最新掌握的事态信息, 对事故进一步可能造成的人员伤亡、财产损失及方案的投入成本形成新的心理参考点. 根据新的心理参考点, 分别计算不同情景 A_j 的人员伤亡数量 D_j 、方案 S_i 的综合成本 C_i 及财产损失数 M_j , 针对各新的心理参考点的损益值, 即

$$\tilde{d}_j = D_j - D^R = [D_j^L - D^R, D_j^H - D^R] = [d_j^L, d_j^H], j = 1, 2, \dots, n; \quad (1)$$

$$\tilde{e}_j = M_j - M^R = [M_j^L - M^R, M_j^H - M^R] = [e_j^L, e_j^H], j = 1, 2, \dots, n; \quad (2)$$

$$t_i = C_i - C^R, i = 1, 2, \dots, m. \quad (3)$$

由式 (1) 和 (2) 可知, $\tilde{d}_j = [d_j^L, d_j^H]$ 和 $\tilde{e}_j = [e_j^L, e_j^H]$ 为区间数. 若 $e_j^H < 0, d_j^H < 0$, 则表明情景 A_j 导致的财产损失数、人员伤亡数低于决策者的心理参考点, 此时决策者感受为“收益”; 相反的, 若 $e_j^L > 0, d_j^L > 0$, 则决策者感受为“损失”; 当 $e_j^L \leq 0 \leq e_j^H, d_j^L \leq 0 \leq d_j^H$ 时, 表示针对财产损失和人员伤亡, 情景 A_j 导致的损失可能高于或低于决策者的心理参考点, 则决策者感受为相应的状态, 即“损失”或“收益”. 式 (3) 表明, 当 $t_i > 0$ 时, 决策者心理感受为“损失”; 相反的, 当 $t_i \leq 0$ 时, 决策者心理感受为“收益”. 然后, 针对人员伤亡和财产损失, 分别计算情景 A_j 对于它们的价值. 设 d_j 和 e_j 分别为区间 $[d_j^L, d_j^H]$ 和 $[e_j^L, e_j^H]$ 内的随机变量, $f_{1j}(d_j)$ 和 $f_{2j}(e_j)$ 分别为人员伤亡 d_j 和财产损失 e_j 的概率密度函数. 根据概率论与数理统计的知识, 并参考已有的相关文献^[2,10-11,20], 本文考虑

$f_{1j}(d_j)$ 和 $f_{2j}(e_j)$ 呈均匀分布或正态分布. 因此, 情景 A_j 对于人员伤亡和财产损失的价值可分别由下两式获得.

情景 A_j 对于人员伤亡的价值

$$v_{1j} = \begin{cases} \int_{d_j^L}^{d_j^H} v_1^-(d_j) f_{1j}(d_j) d(d_j), & d_j^L > 0; \\ \int_{d_j^L}^0 v_1^+(d_j) f_{1j}(d_j) d(d_j) + \int_0^{d_j^H} v_1^-(d_j) f_{1j}(d_j) d(d_j), & d_j^L \leq 0 \leq d_j^H, j = 1, 2, \dots, n; \\ \int_{d_j^L}^{d_j^H} v_1^+(d_j) f_{1j}(d_j) d(d_j), & d_j^H < 0. \end{cases} \quad (4)$$

情景 A_j 对于财产损失的价值

$$v_{2j} = \begin{cases} \int_{e_j^L}^{e_j^H} v_2^-(e_j) f_{2j}(e_j) d(e_j), & e_j^L > 0; \\ \int_{e_j^L}^0 v_2^+(e_j) f_{2j}(e_j) d(e_j) + \int_0^{e_j^H} v_2^-(e_j) f_{2j}(e_j) d(e_j), & e_j^L \leq 0 \leq e_j^H, j = 1, 2, \dots, n; \\ \int_{e_j^L}^{e_j^H} v_2^+(e_j) f_{2j}(e_j) d(e_j), & e_j^H < 0. \end{cases} \quad (5)$$

式 (4) 和 (5) 中, $v_k^{+(-)}(*)$ 分别表示针对人员伤亡和财产损失, 决策者心理感受的正、负价值. 其中: $k = 1, 2$; $*$ 代表随机变量 d_j 或 $e_j, j = 1, 2, \dots, n$. 根据前景理论价值函数的思想^[16-19], $v_k^{+(-)}(*)$ 的计算公式为

$$\begin{cases} v_k^+ (*) = (-*)^\alpha, * \leq 0, k = 1, 2; \\ v_k^- (*) = -\lambda(*)^\beta, * > 0, k = 1, 2. \end{cases} \quad (6)$$

类似的, 方案 S_i 的成本价值计算公式为

$$v_i^C = \begin{cases} (-t_i)^\alpha, & t_i \leq 0, i = 1, 2, \dots, m; \\ -\lambda(t_i)^\beta, & t_i > 0, i = 1, 2, \dots, m. \end{cases} \quad (7)$$

由于本文针对所有成本已进行综合处理, 式 (7) 中方案 S_i 的成本价值 v_i^C 也是其成本的前景值.

式 (6) 和 (7) 中, 参数 α 和 $\beta (0 \leq \alpha, \beta \leq 1)$ 分别表示决策者对待风险的态度是追求还是规避以及价值函数的凹凸程度. α 和 β 越大, 其价值函数的凹凸程度越明显, 这说明决策者的价值感受越迟钝, 越愿意追求风险; 参数 λ 表示针对人员伤亡和财产损失的损失规避系数, λ 越大表明决策者的损失规避程度越大, $\lambda > 1$ 表示相对于“收益”, 决策者对“损失”更加敏感. 根据文献 [15-19], 本文取参数 $\alpha = 0.89, \beta = 0.92$ 和 $\lambda = 2.25$.

为了消除量纲之间的差异, 对 v_{1j}, v_{2j} 和 v_i^C 进行规范化, 分别用 $\tilde{v}_{1j}, \tilde{v}_{2j}$ 和 \tilde{v}_i^C 表示, 其规范化公式分

别如下:

$$\tilde{v}_{kj} = \frac{v_{kj}}{|v_k|_{\max}}, j = 1, 2, \dots, n, k = 1, 2; \quad (8)$$

$$\tilde{v}_i^C = \frac{v_i^C}{|v^C|_{\max}}, i = 1, 2, \dots, m. \quad (9)$$

其中: $|v_k|_{\max} = \max\{|v_{kj}|\}$, $k = 1, 2, j = 1, 2, \dots, n$; $|v^C|_{\max} = \max\{|v_i^C|\}$, $i = 1, 2, \dots, m$. 由式(8)和(9)可知, $0 \leq |\tilde{v}_{kj}|, |\tilde{v}_i^C| \leq 1, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n, k = 1, 2$.

通过式(8)规范化以后的人员伤亡价值 \tilde{v}_{1j} 和财产损失价值 \tilde{v}_{2j} , 可得情景 A_j 的综合价值为

$$v_j = \sum_{k=1}^2 w_k \tilde{v}_{kj}, j = 1, 2, \dots, n. \quad (10)$$

w_1 和 w_2 分别表示人员伤亡和财产损失的权重(重要性程度), 一般由决策者直接给出.

2.1.2 不同情景权重的计算

根据前景理论中权重函数的思想^[16-19], 首先将 v_j 由小到大进行排序, 得到以下排序结果: $v_{(n)} \leq v_{(n-1)} \leq \dots \leq v_{(h+1)} \leq 0 \leq v_{(h)} \leq v_{(h-1)} \leq \dots \leq v_{(1)}$, 其中下标数由大到小进行变化, $v_{(t)}$ 表示 v_j 排序中排在第 t 位的情景综合价值, 如果 $t \leq h$, 则 $v_{(t)} \geq 0$; 同理, 如果 $t \geq h+1$, 则 $v_{(t)} \leq 0$. 记与 $v_{(t)}$ 相对应的突发情景为 $A_{(t)}$, $A_{(t)} \in A$; 令 $p_{i(t)}$ 表示启动方案 S_i 后, 情景 $A_{(t)}$ 出现时能被控制住概率, 若 $A_{(t)} = A_j$, 则 $p_{i(t)} = p_{ij}$ ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; t = 1, 2, \dots, n$). 然后, 根据前景理论中权重函数的思想^[16-19], 决策者采用方案 S_i 控制住情景 $A_{(t)}$ 的重要性程度或权重表达为

$$\pi_{i(t)} = \begin{cases} \omega^+ \left(\sum_{j=t}^h p_{i(j)} \right) - \omega^+ \left(\sum_{j=t+1}^h p_{i(j)} \right), & 1 \leq t \leq h-1; \\ \omega^- \left(\sum_{j=t}^n p_{i(j)} \right) - \omega^- \left(\sum_{j=t+1}^n p_{i(j)} \right), & h+1 \leq t \leq n-1, \\ i = 1, 2, \dots, m. \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} \pi_{i(h)} = \omega^+(p_{i(h)}), i = 1, 2, \dots, m; \\ \pi_{i(n)} = \omega^-(p_{i(n)}), i = 1, 2, \dots, m. \end{cases} \quad (12)$$

其中函数 $\omega^{+(-)}(\cdot)$ 分别为“收益”和“损失”的权重函数. 根据文献^[16-19], 函数 $\omega^+(\cdot)$ 和 $\omega^-(\cdot)$ 分别为

$$\omega^+(p) = p^\gamma / (p^\gamma + (1-p)^\gamma)^{1/\gamma}, \quad (13)$$

$$\omega^-(p) = p^\delta / (p^\delta + (1-p)^\delta)^{1/\delta}. \quad (14)$$

本文取 γ 和 δ 的值分别为 $\gamma = 0.61, \delta = 0.69$ ^[16-19].

2.1.3 方案综合前景值的计算

根据情景综合价值 $\{v_{(1)}, v_{(2)}, \dots, v_{(n)}\}$ 、方案成本价值 v_i^C 以及情景权重 $\{\pi_{i(1)}, \pi_{i(2)}, \dots, \pi_{i(n)}\}$, 可以

得到不同方案 S_i 的期望前景值 EX_i , 计算公式如下:

$$EX_i = \sum_{t=1}^n v_{(t)} \pi_{i(t)}, i = 1, 2, \dots, m. \quad (15)$$

为了消除不同量纲之间的差异, 对不同方案 S_i 所得到的期望前景值 EX_i 进行规范化, 公式如下:

$$\overline{EX}_i = \frac{EX_i}{|EX|_{\max}}, i = 1, 2, \dots, m. \quad (16)$$

其中: $|EX|_{\max} = \max\{|EX_i|\}$, $0 \leq |\overline{EX}_i| \leq 1, i = 1, 2, \dots, m$.

经过以上步骤, 方案 S_i 的综合前景值可由以下公式获得:

$$Q_i = \varphi_1 \overline{EX}_i + \varphi_2 \tilde{v}_i^C, i = 1, 2, \dots, m. \quad (17)$$

其中: φ_1 和 φ_2 分别表示不确定性的“收益”或“损失”权重及确定性成本价值的权重, 满足 $0 \leq \varphi_1, \varphi_2 \leq 1, \varphi_1 + \varphi_2 = 1$, 通常由决策者来确定. 由于突发事件一旦发生, 或多或少都会造成一定的损失和影响. 因此 Q_i 越小, 方案 S_i 越优.

3 案例分析

以我国西南某地区应对堰塞湖抢险救灾为背景来说明本文所提方法的可行性和有效性.

西南某地发生地震, 由于地震造成山体滑坡、崩塌等地质灾害导致河流被堵, 形成堰塞湖, 严重威胁到上下游人员的生命和财产安全, 需要立即对险情进行处置, 以避免造成大量人员伤亡和财产损失. 以下为问题描述.

备选应急预案.

S_1 : 将堰塞湖上下游最危险区域的群众转移至安全地带, 并通知有潜在危险区域的群众做好撤离准备, 同时采用小批量多次爆破与人工开挖泄流槽相结合, 以满足堰塞湖体内洪水下泄的要求. 该方案成本 (C_1) 为 100 万元.

S_2 : 在方案 S_1 的基础上, 加大上下游水库、水电站的联合调度, 最大限度地减小堰塞湖压力. 该方案成本 (C_2) 为 150 万元.

S_3 : 在疏散群众的基础上, 调动大型、重型机械设备以及实施大规模爆破处理等, 降低堰塞湖坝体内水位和积蓄水, 尽可能降低库容减小溃坝风险. 该方案成本 (C_3) 为 200 万元.

S_4 : 在疏散群众的基础上, 加大上下游水库、水电站的联合调度, 同时调动大型、重型机械设备以及实施大规模爆破处理等, 降低堰塞湖坝体内水位和积蓄水, 尽可能降低库容减小溃坝风险. 该方案成本 (C_4) 为 250 万元.

经过水文、地质和气象等领域的专家分析可知, 堰塞湖在未来 72 h 内有可能出现以下 4 种情景.

A_1 : 堰塞湖坝体不会溃坝, 若此情景发生, 可能造成的人员伤亡数为 5~10 人, 经济损失为 50~100

万元。

A_2 : 堰塞湖坝体 1/3 溃坝, 若此情景发生, 可能造成的人员伤亡数为 100~200 人, 经济损失为 500~800 万元。

A_3 : 堰塞湖坝体 1/2 溃坝, 若此情景发生, 可能造成的人员伤亡数为 500~1000 人, 经济损失为 1000~2000 万元。

A_4 : 堰塞湖坝体全部溃坝, 若此情景发生, 可能造成的人员伤亡数为 5000~8000 人, 经济损失为 3000~5000 万元 (注: 本案例的相关数据改编自某地区应对堰塞湖险情)。

$w = (0.6, 0.4)$ 表示人员伤亡和财产损失的权重 (重要性程度)。在不同方案 S_i 的作用下, 情景 A_j 出现后被控制住的概率由处置堰塞湖险情经验丰富的专家通过对堰塞湖历史资料的分析 and 判断给出, 如表 1 所示。

表 1 采用不同方案, 各情景发生后被控制住的概率

P_{ij}	A_1	A_2	A_3	A_4
S_1	0.35	0.30	0.20	0.10
S_2	0.38	0.35	0.23	0.15
S_3	0.385	0.36	0.24	0.20
S_4	0.39	0.365	0.245	0.25

表 1 中, 若采用方案 S_1 , 则出现情景 A_1 后, 被控制住的概率为 0.35; 出现情景 A_2 后, 被控制住的概率为 0.30; 出现情景 A_3 后, 被控制住的概率为 0.20; 出现情景 A_4 后, 被控制住的概率为 0.10 (注: 因在相关应急方案的作用下, 本文暂不考虑情景之间的演进及情景跳跃的概率)。

下面运用本文所提方法对堰塞湖排险减灾的方案选择进行应用。

1) t_1 时刻的应急响应。西南某地发生地震, 由于地震造成山体崩塌形成堰塞湖, 决策者在 t_1 时刻收到该紧急消息, 并对堰塞湖坝体等相关信息进行初步了解后, 决策者判断该堰塞湖可能达到的情景级别为 A_2 , 并立即启动方案 S_2 进行响应; 当事态发展到 t_2 ($t_1 < t_2, r = 1$) 时, 决策者对堰塞湖总体情况有了较为全面的了解, 发现 t_1 时刻所启动的方案不能有效地缓解堰塞湖的险情, 并且随着余震、天气等外在因素的不断变化, 险情有进一步加剧的趋势, 此时方案 S_2 不能完全有效地控制险情, 决策者需对应急方案做进一步调整。决策者判断 t_2 时刻堰塞湖险情可能造成损失的心理参考点分别为 $D^R = 800$ 、 $M^R = 3000$ 、 $C^R = 300$ 。下面给出决策者在 t_2 时刻的调整方法 (注: 为了便于问题描述, 本文仅考虑 $r = 1$ 时的方案调整。若实际的突发事件不能通过一次方案调整而得到有效缓解和控制时, 则可以根据事态的具体发展情况进行多次调整, 直至事故得到有效控制为止)。

2) t_2 时刻的方案调整。首先, 根据式 (1) 和 (2) 计

算 \tilde{d}_j 和 \tilde{e}_j ; 在此基础上, 通过式 (4)~(6) 计算 v_{kj} , 本文考虑 d_j 和 e_j 同为均匀分布, 即 $f_{1j}(d_j) = 1/(d_j^H - d_j^L)$, $f_{2j}(e_j) = 1/(e_j^H - e_j^L)$; 根据式 (8) 对 v_{kj} 进行规范化得到 \tilde{v}_{kj} , 其中: $k = 1, 2; j = 1, 2, \dots, 4$ 。以上计算结果如表 2 所示。

表 2 \tilde{d}_j, \tilde{e}_j 及 v_{kj} 和 \tilde{v}_{kj} 的计算结果

	A_1	A_2	A_3	A_4
\tilde{d}_j	[-795, -790]	[-700, -600]	[-300, 200]	[4200, 7200]
\tilde{e}_j	[-2950, -2900]	[-2500, -2200]	[-2000, -1000]	[0, 2000]
v_{1j}	380.285 1	318.750 5	-10.506 2	-6415.276 3
v_{2j}	1215.770 2	1000.510 2	669.765 1	-1275.936 0
\tilde{v}_{1j}	0.059 3	0.049 7	-0.001 6	-1.000 0
\tilde{v}_{2j}	0.952 8	0.784 1	0.524 9	-1.000 0

根据式 (10), 情景 $A_1 \sim A_4$ 的综合价值分别为 $v_1 = 0.4167, v_2 = 0.3435, v_3 = 0.2090, v_4 = -1$ 。根据式 (11) 和 (12) 计算 $\pi_{i(t)}$, 其中: $i = 1, 2, \dots, 4; t = 1, 2, \dots, 4$ 。计算结果如表 3 所示。

表 3 $\pi_{i(t)}$ 计算结果

$\pi_{i(t)}$	A_1	A_2	A_3	A_4
S_1	0.281 9	0.320 5	0.350 7	0.192 2
S_2	0.246 4	0.363 3	0.385 1	0.254 7
S_3	0.232 1	0.370 5	0.396 4	0.312 8
S_4	0.224 1	0.374 0	0.402 0	0.368 3

根据式 (13) 计算 EX_i ; 根据式 (7) 计算 v_i^C ; 根据式 (9) 和 (14) 分别对 v_i^C 和 EX_i 进行规范化; 根据式 (15) 计算 Q_i 。其中: $i = 1, 2, \dots, 4; \varphi_1 = 0.6, \varphi_2 = 0.4$ 。计算结果如表 4 所示。

表 4 EX_i, v_i^C 和 Q_i 的计算结果

	EX_i	v_i^C	\overline{EX}_i	\overline{v}_i^C	Q_i
S_1	0.108 6	111.664 9	1.000 0	1.000 0	1.000 0
S_2	0.053 2	86.441 3	0.490 2	0.774 1	0.603 8
S_3	-0.006 0	60.256 0	-0.055 1	0.539 2	0.182 8
S_4	-0.062 4	32.515 0	-0.575 0	0.291 2	-0.228 5

由表 4 可知: $0 < Q_3 < Q_2 < Q_1$, 这说明决策者认为方案的投入成本及其所造成的损失优于决策者的心理参考, 且方案 S_3 优于 S_2, S_2 优于 S_1 , 即 $S_3 \succ S_2 \succ S_1; Q_4 < 0$, 这说明决策者认为方案 S_4 的投入成本及其所造成的损失劣于决策者的心理期望。综合分析, 在 t_2 时刻调整的最佳选择方案为 S_3 (注: 在 t_2 时刻的调整方案与西南某地应对堰塞湖险情采取的应对方案一致, 这也验证了本文方法的合理性和有效性)。

4 结 论

本文将决策者的心理因素和突发事件的特征进行综合考虑, 针对突发事件的发展特点以及所采取方案的执行效果动态调整应急方案, 这不仅结合了事物发展的规律, 也充分考虑了决策者的心理因素, 这种决策方式更贴近应急决策的现实情况, 也容易被决策者所接受。最后, 通过我国西南某地堰塞湖险情处置的案例验证了所提出方法的合理性和有效性。

将决策者的心理因素考虑在应急决策过程中是一项很有意义的研究课题, 本文的研究对处理当前频发的突发性事件具有一定的参考价值. 根据突发事件的特点, 应急决策方案的动态调整等问题以及决策者的心理因素在应急决策过程中的作用应该是今后研究的重要方向和热点问题.

参考文献(References)

- [1] 全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国突发事件应对法[Z]. 北京: 中华人民共和国国务院公报, 2007, 30: 16-23.
(Emergency response law of PRC[Z]. Beijing: Gazette of the State Council of the People's Republic of China, 2007, 30: 16-23.)
- [2] Yang Liu, Zhi-Ping Fan, Yao Zhang. Risk decision analysis in emergency response: A method based on cumulative prospect theory[J]. Computers & Operations Research, 2014, 42: 75-82.
- [3] Zhao J, Jin T, Shen H. A case-based evolutionary group decision support method for emergency response[C]. Intelligence and Security Informatics. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007: 94-104.
- [4] Liu Y, Fan Z P, Yuan Y, et al. A FTA-based method for risk decision-making in emergency response[J]. Computers & Operations Research, 2014, 42: 49-57.
- [5] 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, 30(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, 30(11): 1977-1985.)
- [6] 姜艳萍, 樊治平, 苏明明. 应急决策方案的动态调整方法研究[J]. 中国管理科学, 2011, 19(5): 104-108.
(Jiang Y P, Fan Z P, Su M M. Study on the dynamic adjusting method for emergency decision[J]. Chinese J of Management Science, 2011, 19(5): 104-108.)
- [7] 刘洋, 樊治平, 袁媛. 突发事件应急响应的多属性风险决策方法研究[J]. 运筹与管理, 2013, 22(1): 23-28.
(Liu Y, Fan Z P, Yuan Y. Multiple Attributes Risk Decision Making Method for Emergency Response[J]. Operations Research and Management Science, 2013, 22(1): 23-28.)
- [8] 李仕峰, 杨乃定, 张云翌. 突发事件下选择应急方案的风险决策方法[J]. 控制与决策, 2013, 28(12): 1859-1863.
(Li S F, Yang N D, Zhang Y Y. Risk decision analysis method for emergency plan selection[J]. Control and Decision, 2013, 28(12): 1859-1863.)
- [9] 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.)
- [10] 樊治平, 刘洋, 沈荣鉴. 基于前景理论的突发事件应急响应的风险决策方法[J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(5): 977-984.
(Fan Z P, Liu Y, Shen R J. Risk decision analysis method for emergency response based on prospect theory[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2012, 32(5): 977-984.)
- [11] 王亮, 王应明. 基于前景理论的动态参考点应急决策方法研究[J]. 中国管理科学, 2013, 21(S1): 132-140.
(Wang L, Wang Y M. Study on the emergency decision method of dynamic reference point based on prospect theory[J]. Chinese J of Management Science, 2013, 21(S1): 132-140.)
- [12] 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.)
- [13] Bernardo J M, Smith A. Bayesian theory[M]. New York: John Wiley & Sons Ltd. 2009: 38-40.
- [14] Andrews J D, Dunnett S J. Event-tree analysis using binary decision diagrams[J]. IEEE Trans on Reliability, 2000, 49(2): 230-238.
- [15] Kahneman D, Tversky A. Prospect theory: An analysis of decision under risk[J]. Econometrica, 1979, 47(2): 263-291.
- [16] Tversky A, Kahneman D. Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty[J]. J of Risk and Uncertainty, 1992, 5(4): 297-323.
- [17] Bleichrodt H, Schmidt U, Zank H. Additive utility in prospect theory[J]. Management Science, 2009, 55(5): 863-873.
- [18] Abdellaoui M. Parameter-free elicitation of utility and probability weighting functions[J]. Management Science, 2000, 46(11): 1497-1512.
- [19] Abdellaoui M, Bleichrodt H, Paraschiv C. Loss aversion under prospect theory: A parameter-free measurement[J]. Management Science, 2007, 53(10): 1659-1674.
- [20] Yager R R, Detyniecki M, Bouchon-Meunier B. A context-dependent method for ordering fuzzy numbers using probabilities[J]. Information Sciences, 2001, 138(1): 237-255.