第38卷第4期
2010年4月
同济大学学报(自然科学版)
JOURNAL OF TONGJI UNIVERSITY(NATURAL SCIENCE)
Vol.38 No.4
Apr. 2010

文章编号：0253-374X(2010)04-0619-06 DOI:10.3969/j.issn.0253-374x.2010.04.028

面向非常规突发事件的应对方案序贯决策

杨继君[1,2]，吴启迪[1,3]，程 艳[3]，许维胜[3]
（1.同济大学 经济与管理学院，上海 200092；2.广西行政学院 公共管理教研部，广西 南宁 530023；
3.同济大学 电子与信息工程学院，上海 201804）

摘要：针对非常规突发事件具有突发性和不可预测性等特点，在借助救灾专家判断偏好的基础上，应急决策者需要根据阶段性的处理结果和突发事件的演化趋势动态地调整救援方案.首先构建数学模型，详细分析动态博弈框架下应急管理中应急决策者与突发事件之间的序贯博弈过程.通过有限次序贯博弈获取未来应急资源的需求信息，形成资源调度的最优方案，为应急决策人员在突发事件爆发后应急救援资源的调度提供决策支持.最后通过具体的算例分析，探讨了运用序贯博弈模型生成最佳调度预案的方法.

关键词：突发事件；序贯博弈；应急预案
中图分类号：TP 399 **文献标识码**：A

Contingency Plans of Unconventional Emergency Based on Sequential Decision-making

YANG Jijun[1,2]，*WU Qidi*[1,3]，*CHENG Yan*[3]，*XU Weisheng*[3]
（1.School of Economics & Management，Tongji University，Shanghai 200092，China；2. Department of Public Administration，Guangxi Institute of Administration，Nanning 530023，China；3. School of Electronics and Information Engineering，Tongji University，Shanghai 201804，China）

Abstract：A mathematical model is established on the basis of the dynamic games. Then the process of sequential games between decision maker and emergency is analyzed in detail. The information about the future demand of resources is got through finitely sequential games in order to bring forth the optimal scheduling plans of resources and to provide support for the decision-making when an emergency bursts out. Finally，the method of how to use the model of sequential games to generate the best scheduling plans is given by a specific example.

Key words：emergency；sequential games；contingency plans

中国工业化进程的迅猛发展，社会经济生活日益繁荣.然而，繁荣背后的潜在事故隐患越来越多，各种灾害频频发生，危害程度越来越大，例如2003年的SARS、2008年的南方大雪灾和“5·12”汶川大地震等非常规突发事件，简称突发事件[1].这类突发事件的共同特点是：其爆发具有突发性和不可预测性；危机的发展具有高度的动态性和不确定性；所造成的结果具有深度危害性.如何应对这类突发事件，做好应急管理工作是政府在新时期面临的一项艰巨任务.

目前将博弈论运用到突发事件管理中的研究比较少. Shetty和Gupta[2-3]通过建立多灾点的非合作博弈模型探讨公平合理调度资源的方案，但是该模型是建立在完全信息的基础之上的，这与实际情况不太相符.杨继君等[4]提出基于多种运输方式的合作博弈调度模型和算法，但该研究仅针对微观层面上救灾活动，对宏观上如何应对突发事件没有涉及.姚杰等[5]建立了应急决策者与突发事件的动态博弈模型，以期望成本最小而选择最优方案，可这与处理突发事件的弱经济性明显有出入，并且确定的方案不满足动态调整要求.笔者在现有工作的基础上，在动态博弈的框架下提出了一种简单而有效的应急资源调度模型——序贯博弈模型，通过有限次序贯博弈获取未来应急资源的需求信息，形成资源调度的最优方案，为应急决策人员在突发事件爆发后应急救援资源的调度提供决策支持.

1 基于序贯博弈的应急决策分析

突发事件发生后，一方面表现为对应急资源需

收稿日期：2009-01-05
基金项目：国家自然科学基金资助项目(70871091)
作者简介：杨继君(1973—)，男，工程师，管理学博士，主要研究方向为应急管理、博弈论和供应链.E-mail:peteryang810@163.com
吴启迪(1947—)，女，教授，博士生导师，主要研究方向为智能控制.E-mail:qidi@tongji.edu.cn

求的紧迫性，另一方面整个社会的应急资源具有稀缺性，二者存在矛盾和冲突，这样在理论上为博弈论解决该问题提供了可能，因为博弈论是研究竞争与冲突条件下决策分析的科学，广泛用于各领域的资源优化配置[6-9].

1.1　序贯博弈的基本概念

局中人决策有先后顺序的动态博弈，统称为序贯博弈[10]. 序贯博弈使用序贯理性(sequential rationality)假设[11-12]，即在给定的信念下，局中人的策略必须是序贯理性的. 可以认为，局中人要根据他们对未来可能结果的权衡，决定当前的行动策略. 将(δ,μ)记为序贯博弈的一个状态，其中，δ 为所有局中人的策略组合，μ 为给定博弈达到信息集 h 的情况下，局中人在该信息集上的概率分布.

定义 1　状态(δ,μ)如果满足：对所有的信息集 h，给定后验概率 $\mu(h)$，没有任何局中人 $i(h)$想偏离 $\delta_{i(h)}$，即对所有可行策略 $\delta'_{i(h)}$，有

$$P_{i(h)}(\delta|h,\mu(h)) \geqslant P_{i(h)}((\delta'_{i(h)},\delta_{-i(h)})|h,\mu(h)) \tag{1}$$

那么称(δ,μ)是序贯理性的. 其中，$P_{i(h)}$为局中人 i 的收益函数.

1.2　应急管理中序贯决策过程分析

应急管理中的序贯博弈问题有如下几个主要特征：①突发事件是动态发展变化的，它随着救灾方案的实施而由一种状态向另一种状态转化；②突发事件的信息不断完善，从模糊到清晰，从不完全到完全；③在信息不完全的条件下所制定的应急资源调度方案能够便于在信息完全时刻作及时调整；④应急决策者是根据突发事件所处状态和阶段性的救灾成果对信念进行修改而生成新的应急资源调度方案. 应急决策者与突发事件的序贯博弈过程如图 1 所示. 图中，t_0 为突发事件时刻；t_1，t_2，t_3 为决策时刻；T_0，T_1，T_2 为突发事件演化阶段.

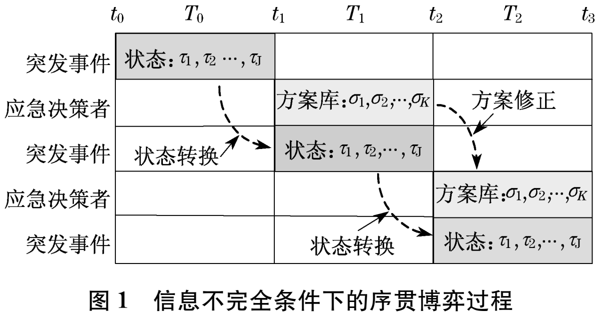

图 1　信息不完全条件下的序贯博弈过程

Fig.1　Process of sequential games with incomplete information

应急资源调度序贯博弈中的 2 个局中人为突发事件和应急决策者. 以图 1 所示来说明信息不完全条件下的序贯博弈决策过程.

(1) 从 $t_0\rightarrow t_1$ 为 T_0 阶段，突发事件首先爆发并选择自己的状态，造成一定的人员伤亡和财产损失.

(2) 从 $t_1\rightarrow t_2$ 为 T_1 阶段，应急决策者在 t_1 时刻根据观察到的突发事件状况来判断其状态的概率(先验概率)，由于信息处于极度缺失状态，因此应急决策者同时借助历史数据和专家判断等手段来修正突发事件所处的状态判断概率(后验概率)，然后依据期望效用最大化原则从预案库中选择最优的应急资源调度方案进行救灾.

(3) 在 T_1 阶段，突发事件随着应急决策者所采取的救援方案实施的结果及其自身演化规律，从原来的状态演化为新的状态.

(4) 从 $t_2\rightarrow t_3$ 为 T_2 阶段，应急决策者对阶段性救灾成果进行评估，并根据已掌握的新的信息和专家判断对突发事件所处状态的信念进行推断或修正. 采用贝叶斯公式计算突发事件状态判断的后验概率，然后依据期望效用最大化原则选择新的最优应急资源调度方案进行救灾. $t_2\rightarrow t_3$ 为新的救灾方案实施时间段.

(5) 在 T_2 阶段，随着新救灾方案的实施，突发事件向另一状态演化，应急决策者又实施新的救灾方案，直到突发事件得到有效控制为止.

1.3　序贯博弈中对应急决策者的要求

毫无疑问，应对突发事件的主体是以政府为主导的社会整体. 政府凭借其自身的公信力和强制力，调用一切人、财、物和信息等资源，对其权限内出现的突发事件作出迅速决策并进行有组织地救援行动，这样才能达到较好的救灾效果. 但如何高效协调地调用一切应急资源，实施快速救灾是目前迫切需要解决的问题.

笔者认为解决上述问题最为有效的办法(特别是在当前的中国)是从应对突发事件的决策者入手，实行政府领导一把手到位救灾机制，成立以政府一把手为核心和相关应急专家、部门等共同组成的应急决策工作组(图 2)，这样有利于实施全局统一的指挥调度、人力和应急物资的全局调配和保障，及时有效地进行应急救援行动，最大限度地降低突发事件对社会正常秩序的冲击，尽可能地减少人员伤亡和财产损失.

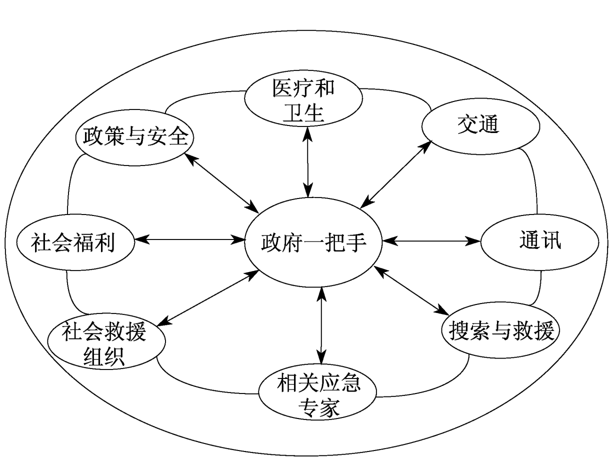

图 2　应急决策小组构成

Fig.2　Emergency decision-making group

突发事件的紧急救援通常会给应急决策者造成高度压力.为了使应急决策者应对这种挑战,必须对决策模式进行创新,提高应急决策者的决策能力.

(1) 更新处理突发事件决策观念,提高应急决策者的意志力.

(2) 培养迅速决策的能力.这些决策能力包括快速判断、快速反应、快速决策、快速行动和快速修正的综合能力.

(3) 提高问题识别能力,但避免过度分析.在分析和把握突发事件处理的主要变量下,应急决策者应该把资源优先使用到急需解决的问题上.同时,应急决策者应该避免优柔寡断、过度分析的倾向.

2　应急资源调度序贯博弈模型

2.1　局中人 N

在突发事件应急管理中,规定为“应急决策者”与“突发事件” 2 个局中人之间的动态博弈.把地方政府、中央政府、社会团体和个人统一归为 1 个局中人即应急决策者,而把自然灾害、公共卫生事件、事故灾害和社会安全事件等统归为“突发事件”,记为 $N=\{1,2\}$,其中,1 表示突发事件,2 表示应急决策者.

2.2　信息集 $h(x)$

信息集是当局中人作出行动决策前所观察到或了解的东西,也就是在此时获得的信息集合.在不完全信息序贯博弈中,对每一个信息集,在该集具有行动的局中人关于博弈达到信息集中的哪个决策结必须有 1 个信念,信息集用 $h(x)$表示,其中 x 为信息集上的决策结.在突发事件应急管理中,由于突发事件的不可预测性和突发性,应急决策者只能在信息不完全的条件下作出应对突发事件的决策,快速调度应急资源.

2.3　行动策略 σ

行动策略就是指局中人在每一个决策结上所采取的行动.在突发事件应急管理中,假设突发事件有 J 种可能的类型即危机状态,从 J 种状态选择 1 种作为行动方案,应急决策者根据突发事件所处的状态及其阶段性的救灾成果来推断其状态或修改其状态的先验概率分布而作出判断,然后从 K 个方案中选择最优资源调度方案并加以实施.

2.4　博弈收益函数 P

在突发事件应急管理博弈过程中,假定突发事件与应急决策者之间进行的是一场零和的序贯博弈即 $P_1+P_2=0$.这样在突发事件应急管理序贯博弈中只要单独研究应急决策者的效用函数就够了(效用函数的下标由此省略).规定在 t 阶段应急决策者的收益函数是突发事件状态 $\tau_{tj}(j=1,2,\cdots,J)$、行动方案 $\sigma_{tk}(k=1,2,\cdots,K)$和应急资源成本 c_{tk}构成的复合函数,其中突发事件状态由突发事件种类、级别、阶段和响应时间等属性来确定,这样应急决策者的收益函数可表示为 $P_t(t,\tau_{tj},\sigma_{tk},c_{tk})$.另外,由于信息的不完全性,应急决策者必须借助救灾专家的判断确定最佳方案.考虑到应急决策小组中不同专家对方案库中的救灾方案存在不同的主观偏好影响,此处用权重 W_t 来表示,即

$$W_t=(w_{1,tk},w_{2,tk},\cdots,w_{v,tk},\cdots,w_{V,tk})$$

$$\sum_{v=1}^{V}w_{v,tk}=1\quad v=1,2,\cdots,V \tag{2}$$

式中:$w_{v,tk}$表示第 v 个专家对 t 阶段的第 k 个方案选择的主观偏好影响.假设每个专家对救援方案决策的效用函数为 $P_v(t,\tau_{tj},\sigma_{tk},c_{tk})$,考虑到专家对救援方案的影响程度,但又不使问题研究复杂化,在此假定各应急专家对方案的偏好影响直接转化为对效用函数的影响,那么改进的效用函数为 $P_v(t,\tau_{tj},\sigma_{tk},c_{tk},w_{v,tk})$可用下式表示:

$$P_v(t,\tau_{tj},\sigma_{tk},c_{tk},w_{v,tk})=w_{v,tk}P_v(t,\tau_{tj},\sigma_{tk},c_{tk}) \tag{3}$$

为不失一般性,收益函数的设计满足的原则为:①规定救灾方案是与调往灾区的资源量成一一对应关系的,故在某一阶段所采取的救灾方案的效用与提供给灾区的资源量 q_{tjk}成正比.②效用函数与各专家对所选方案的主观偏好影响 w_{tk}成正比.③收益函数与所选方案的救灾资源的成本 c_{tk}成反比.

故按上述原则定义的收益函数 P_v 为

$$P_v=\theta_t w_{v,tk}q_{tjk}/c_{tk} \tag{4}$$

式中：q_{tjk}为突发事件所处状态为τ_{tj}时，采用方案σ_{tk}所提供给灾区的救灾资源量；θ_t为刻画资源需求冲突的系数，分3种情况取值：①若灾区资源需求量大于实际提供量时，说明灾区灾情没有得到有效控制，故$\theta_t<0$，此时所采用救灾方案的效用为负，且资源缺口越大，$|\theta_t|$取值越大，救灾效果越差.②若灾区资源需求量小于实际提供量时，$\theta_t>0$，且随着资源的盈余越多，则θ_t取值越来越小，因为当实际提供给灾区的资源量大于灾区资源需求量时，存在资源浪费情况，故效用会递减.③若灾区资源需求量刚好等于实际提供量，说明所采取的救援方案最为有效，θ_t取比较大的正数，一方面说明灾情得到有效控制，另一方面又不存在资源浪费，故此时的效用最大.V个专家的期望总收益构成应急决策者的效用P_t，为

$$P_t=\sum_{v=1}^{V}P_v(t,\tau_{tj},\sigma_{tk},c_{t,k},w_{v,tk}) \tag{5}$$

2.5 博弈模型

在t阶段，应急决策者采取行动方案σ_{tk}而最大化自己的期望收益，则期望收益函数为

$$P_t=\sum_{j=1}^{J}P_t\mu(\tau_j|I_j) \tag{6}$$

式中：$\mu(\tau_i|I_j)$为后验概率.当新信息I_j出现时，已知条件概率$\mu(I_j|\tau_j)$，则突发事件处于j状态(记为τ_j)的后验概率可以根据如下贝叶斯公式求取：

$$\mu(\tau_j|I_j)=\frac{\mu(I_j|\tau_j)\mu(\tau_j)}{\sum_{j=1}^{J}\mu(I_j|\tau_j)\mu(\tau_j)} \tag{7}$$

式中：$\mu(\tau_j)$为突发事件处于j状态的先验概率.

在突发事件发生后，应急决策者根据突发事件所处状态、阶段性的救灾成果及综合权衡专家对救灾方案的主观偏好影响的基础上选取最优调度策略，达成救灾目标，其模型$G(t)$表示为在t阶段应急决策者和突发事件之间的零和二人序贯博弈

$$G(t)=\{t,N,(\sigma_k)_{k\in K},P_t\} \tag{8}$$

2.6 博弈目标

应急决策者对应急资源调度的目标是在满足灾区对救援物资需求的情况下，使整个过程的救灾效用最大化.目标函数定义如下：

$$P=\max\sum_{t=1}^{T}P_t \quad t=1,2,\cdots,T \tag{9}$$

3 算例分析

设某省的一个地区发生了地震，有2种可能的状态，即τ_1一般，τ_2严重.该省内有1个省级应急救援中心，另外，在临近该省的附近有2个国家级救援中心.应急决策小组中有2位应急专家提供决策支持，假定他们对方案选择的影响程度(w)相同，即$w_1=w_2=0.5$.整个救灾过程最多由2个阶段完成，具体博弈过程如图3所示，其中，末端结点的数字为应急决策者的收益.第1阶段，由省内的救援中心实施救援，只有1种救援方案即省内的该救援中心实施救援，记为σ_1.若该突发事件处于τ_2状态则救灾工作需要进入第2阶段，即需要省外的国家级救援中心的支援.在第2阶段救援方案有2种，即：①1个国家级救援中心加入灾区的救援行动，由2个救援中心共同展开救援工作，记为σ_2；②2个国家级救援中心都加入灾区的救援行动，由3个救援中心共同展开救援工作，记为σ_3.

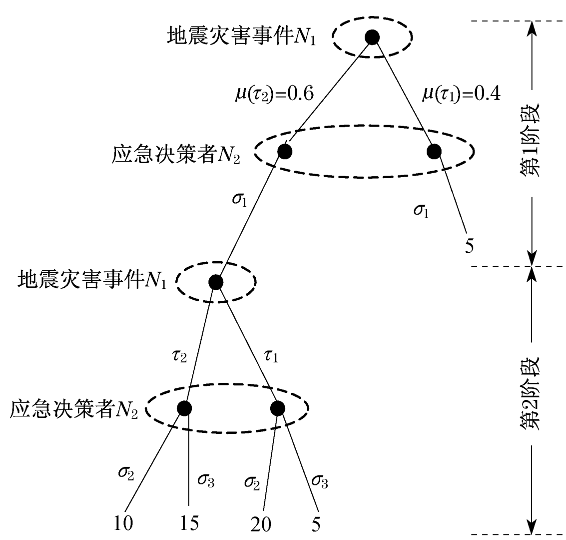

图3 两阶段动态序贯博弈过程

Fig.3 Process of 2-stage dynamic sequential games

3.1 第1阶段

从图3可以得知：应急决策者对突发事件爆发后所处状态判断分别为：①处于状态τ_1的概率为$\mu(\tau_1)=0.4$；②处于状态τ_2的概率为$\mu(\tau_2)=0.6$.在第1阶段，由于突发事件的突然爆发，应急决策者获取突发事件的信息是有限的，因此应急决策者需要借助专家的经验判断来修正对突发事件所处状态的判断.假设专家1判断的准确程度为0.8，即专家判断突发事件处于i状态(记为e_i)时，突发事件实际处于i状态(记为τ_i)的概率为0.8；专家2判断的准确程度为0.7.从而他们各自的条件概率分别如下：

对专家1而言

$$\begin{cases}\mu_1(e_1 \mid \tau_1)=0.8, & \mu_1(e_2 \mid \tau_1)=0.2\\ \mu_1(e_1 \mid \tau_2)=0.2, & \mu_1(e_2 \mid \tau_2)=0.8\end{cases}$$

对专家 2 而言

$$\begin{cases}\mu_2(e_1 \mid \tau_1)=0.7, & \mu_2(e_2 \mid \tau_1)=0.3\\ \mu_2(e_1 \mid \tau_2)=0.3, & \mu_2(e_2 \mid \tau_2)=0.7\end{cases}$$

根据贝叶斯公式，首先按照专家 1 的判断计算后验概率，分 2 种情况讨论.

(1) 专家 1 判断突发事件处于 e_1 状态下，应急决策者对灾害状态判断的后验概率为

$$\mu_1(\tau_1 \mid e_1)=\frac{\mu_1(e_1 \mid \tau_1)\mu(\tau_1)}{\mu_1(e_1 \mid \tau_1)\mu(\tau_1)+\mu_1(e_1 \mid \tau_2)\mu(\tau_2)}\approx 0.73$$

$$\mu_1(\tau_2 \mid e_1)=1-0.73=0.27$$

(2) 专家 1 判断突发事件处于 e_2 状态下，应急决策者对灾害状态判断的后验概率为

$$\mu_1(\tau_1 \mid e_2)\approx 0.14$$

$$\mu_1(\tau_2 \mid e_2)=1-0.14=0.86$$

同理可以计算专家 2 判断的后验概率

$$\mu_2(\tau_1 \mid e_1)\approx 0.61,\quad \mu_2(\tau_2 \mid e_1)=0.39$$

$$\mu_2(\tau_1 \mid e_2)\approx 0.22,\quad \mu_2(\tau_2 \mid e_2)=0.78$$

由上面的计算结果可知：①若 2 位专家判断突发事件处于 e_1 状态，由于有 $\mu_1(\tau_1 \mid e_1)>\mu_1(\tau_2 \mid e_1)$ 和 $\mu_2(\tau_1 \mid e_1)>\mu_2(\tau_2 \mid e_1)$，则采用方案 σ_1 就能够把灾害控制住，救灾行动不需要进入第 2 阶段，即只需要动用省内的救援中心展开救援行动就可以了. ②若 2 位专家判断突发事件处于 e_2 状态，由于有 $\mu_1(\tau_2 \mid e_2)>\mu_1(\tau_1 \mid e_2)$ 和 $\mu_2(\tau_2 \mid e_2)>\mu_2(\tau_1 \mid e_2)$，则在第 1 阶段启动方案 σ_1 实施救援工作外，应急决策者需要马上向省外的国家级救援中心求助. 在这种情况下，救灾行动需要进入第 2 阶段，即国家级救援中心参与救援活动.

3.2　第 2 阶段

当救灾工作进入第 2 阶段之前，随着方案 σ_1 的执行和关于灾害状况的信息不断收集，应急决策者会对突发事件的状态进行判断或修正. 此时第 1 阶段关于突发事件状态综合判断的概率就作为第 2 阶段的先验概率，即

$$\mu(\tau_1)=w_1\,\mu_1(\tau_1 \mid e_2)+w_2\,\mu_2(\tau_1 \mid e_2)=0.5\times 0.14+0.5\times 0.22=0.18$$

$$\mu(\tau_2)=1-0.18=0.82$$

若此时收集到有利于突发事件状态 τ_i 出现的新信息为 I_i，专家 1 给定的条件概率分别假设为

$$\begin{cases}\mu_1(I_1 \mid \tau_1)=0.90, & \mu_1(I_2 \mid \tau_1)=0.10\\ \mu_1(I_1 \mid \tau_2)=0.10, & \mu_1(I_2 \mid \tau_2)=0.80\end{cases}$$

专家 2 给定的条件概率分别假设为

$$\begin{cases}\mu_2(I_1 \mid \tau_1)=0.80, & \mu_2(I_2 \mid \tau_1)=0.20\\ \mu_2(I_1 \mid \tau_2)=0.15, & \mu_2(I_2 \mid \tau_2)=0.70\end{cases}$$

根据专家 1 给定的条件概率计算其后验概率为

$$\mu_1(\tau_1 \mid I_1)=0.66,\quad \mu_1(\tau_2 \mid I_1)=1-0.66=0.34$$

$$\mu_1(\tau_1 \mid I_2)=0.03,\quad \mu_1(\tau_2 \mid I_2)=1-0.03=0.97$$

从上面的计算结果可知：①若专家 1 此时收集到的信息为 I_1，在该阶段突发事件处于状态 τ_1 时实施方案 σ_2 和 σ_3 的效用分别为 20，5，突发事件处于状态 τ_2 时实施方案 σ_2 和 σ_3 的效用分别为 10，15，则实施方案 σ_2 和 σ_3 的期望效用 $P_{1\sigma_2}$，$P_{1\sigma_3}$ 分别为 $P_{1\sigma_2}=0.66\times 20+0.34\times 10=16.6$，$P_{1\sigma_3}=8.4$. 由于 $P_{1\sigma_2}=16.6>P_{1\sigma_3}=8.4$，所以专家 1 建议在第 2 阶段应该采用方案 σ_2 即向省外的任意一个国家级救援中心求助救援，由 2 个救援中心共同救灾. ②若专家 1 此时收集到的信息为 I_2，在该阶段突发事件处于状态 τ_1 时实施方案 σ_2 和 σ_3 的效用分别为 20，5，突发事件处于状态 τ_2 时实施方案 σ_2 和 σ_3 的效用分别为 10，15，则实施方案 σ_2 和 σ_3 的期望效用分别为 $P_{1\sigma_2}=0.03\times 20+0.97\times 10=10.3$，$P_{1\sigma_3}=14.7$. 由于 $P_{1\sigma_2}=10.3<P_{1\sigma_3}=14.7$，所以专家 1 建议在第 2 阶段应该采用方案 σ_3，即向省外的 2 个国家级救援中心同时求助救援，由 3 个救援中心共同救灾.

同理根据专家 2 给定的条件概率计算其后验概率为 $\mu_2(\tau_1 \mid I_1)\approx 0.54$，$\mu_2(\tau_2 \mid I_1)=0.46$；$\mu_2(\tau_1 \mid I_2)\approx 0.06$，$\mu_2(\tau_2 \mid I_2)=0.94$.

针对专家 2 计算的后验概率可得：①若专家 2 此时收集到的信息为 I_1，实施方案 σ_2 和 σ_3 的期望效用分别为 $P_{2\sigma_2}=0.54\times 20+0.46\times 10=15.4$，$P_{2\sigma_3}=9.6$. 由于 $P_{2\sigma_2}=15.4>P_{2\sigma_3}=9.6$，所以专家 2 同样建议在第 2 阶段应该采用方案 σ_2，即向省外的任意 1 个国家级救援中心求助救援，由 2 个救援中心共同救灾. ②若专家 2 此时收集到的信息为 I_2，实施方案 σ_2 和 σ_3 的期望效用分别为 $P_{2\sigma_2}=0.06\times 20+0.94\times 10=10.8$，$P_{2\sigma_3}=14.4$. 由于 $P_{2\sigma_2}=10.8<P_{2\sigma_3}=14.4$，所以专家 2 同样建议在第 2 阶段应该采用方案 σ_3，即向省外的 2 个国家级救援中心同时求助救援，由 3 个救援中心共同救灾.

在第 2 阶段，应急决策者在综合 2 个专家的建议基础上可得到如下救援方案：

(1) 若应急决策者此时收集到的信息为 I_1 时，借助专家判断，应急决策者应该采用方案 σ_2，即向省外的任意 1 个国家级救援中心求助救援，由 2 个救援中心共同救灾，此时的期望收益最大，即 $P=$

$w_1 P_{1\sigma_2} + w_2 P_{2\sigma_2} = 16.$

(2) 若应急决策者此时收集到的信息为 I_2 时,借助专家判断,应急决策者应该采用方案 σ_3,即向省外的2个国家级救援中心同时求助救援,由3个救援中心共同救灾,此时的期望收益最大,即 $P = w_1 P_{1\sigma_2} + w_2 P_{2\sigma_2} = 14.55.$

综上所述,在本例中,利用序贯博弈模型生成的调度预案如下:

(1) 如果应急决策者借助专家的知识判断突发事件在第1阶段处于 $e_1(\tau_1)$ 状态,则只要立刻实施方案 σ_1 即启动省内的救灾中心进行救援就可以了.

(2) 如果应急决策者借助专家的知识判断突发事件在第1阶段处于 $e_2(\tau_2)$ 状态,除立刻实施方案 σ_1 外,应急决策者应尽快收集突发事件相关信息,如果此时收集到的信息为 I_1,则马上启动方案 σ_2 即向1个国家级救援中心求助救援,否则启动方案 σ_3 即同时向2个国家级救援中心求助救援.

4 结语

由于突发事件的突发性、不可预测性和动态演化性等一系列特点导致应急决策者对其相关信息的掌握是不完全的.基于上述情况,在引入救灾专家判断偏好的基础上,建立了应急决策者和突发事件之间的序贯博弈模型.通过算例分析,该博弈模型充分体现了应急决策者在突发事件管理过程中根据阶段性的处置结果和所掌握的信息动态调整救灾方案的要求,具有一定的实际应用价值.

参考文献:

[1] 计雷,池红,陈安.突发事件应急管理[M].北京:高等教育出版社,2006.
JI Lei, CHI Hong, CHEN An. Emergency management [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.

[2] Shetty R, Gupta U. An automated decision support system based on game theoretic optimization for emergency management in urban [J]. Journal of Homeland Security and Emergency Management, 2007, 4(2): 1.

[3] Shetty R. An event driven single game solution for resource allocation in a multi-crisis environment[D]. Tampa: University of South Florida, 2004.

[4] 杨继君,吴启迪,程艳.面向非常规突发事件的应急资源合作博弈调度[J].系统工程,2008,26(9):21.
YANG Jijun, WU Qidi, CHENG Yan. Cooperative game scheduling of relief resources for unconventional emergency [J]. Systems Engineering, 2008, 26(9): 21.

[5] 姚杰,计雷,池宏.突发事件应急管理中的动态博弈分析[J].管理评论,2005,17(3):46.
YAO Jie, JI Lei, CHI Hong. Dynamic games analysis of emergency management [J]. Management Review, 2005, 17(3): 46.

[6] 李志洁,程春田.一种基于序贯博弈的网络资源分配策略[J].软件学报,2006,17(11):2373.
LI Zhijie, CHENG Chuntian. A sequential game-based resource allocation strategy in grid environment [J]. Journal of Software, 2006, 17(11): 2373.

[7] 吴舟,赵春晖.基于博弈论的交叉优化公平调度算法[J].哈尔滨工程大学学报,2008,29(4):213.
WU Zhou, ZHAO Chunhui. Cross optimizing a fair access scheduling algorithm based on game theory [J]. Journal of Harbin Engineering University, 2008, 29(4): 213.

[8] Heikkinen T. A potential game approach to distributed power control and scheduling [J]. Computer Network, 2006, 50(13): 2295.

[9] Nicole Adler. Competition in a deregulated air transportation market[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 129(2): 337.

[10] 王则柯.博弈论教程[M].北京:中国人民大学出版社,2005.
WANG Zeke. Introduction to game theory[M]. Beijing: Renmin University of China Press, 2005.

[11] Kreps D, Wilson R. Sequential equilibrium[J]. Econometrica, 1982, 50(4): 863.

[12] Gerardi D, Myerson R B. Sequential equilibria in Bayesian games with communication[J]. Games and Economic Behavior, 2007, 60: 104.