

# 基于 GERT 网络的救灾人员动态优化配置模型研究\*

陈万明, 裴玲玲, 杨保华, 王正新  
(南京航空航天大学 经济与管理学院, 南京 210016)

**摘要:**针对应急抢险过程中救灾人员紧急需求和动态到达时间的建模问题,运用 GERT 网络分析方法,建立应急人员动态优化配置模型,分析了人员的动态到达对 GERT 网络中事件演化概率转移的影响,给出了基于 GERT 网络的应急人员动态优化配置模型的求解算法。结果表明,研究提出的模型和算法能够有效解决应急救灾人员动态优化配置问题,为灾害发展态势的预测及应急人员的储备和动员提供了研究方法和研究思路。

**关键词:**突发事件;资源配置;GERT 网络;救灾人员

**中图分类号:**F406

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-6693(2015)05-0125-06

中国是世界上因各类自然灾害损失最严重的国家之一,有集中了全国近一半的人口、3/4 国内生产总值、占 65% 以上的国土面积不同程度的受着洪水和旱灾的威胁。近年来,我国地震、洪水、冰冻等自然灾害频发,传统的“分地区、分部门、分灾种”的应急救灾的人、财、物等资源配置方式难以有效地应对日益增多的灾害突发事件的处置要求。如何利用全社会力量,建立专兼结合、储备合理、统筹协调、运行高效的救灾应急资源配置机制,已成为迫在眉睫的热点问题。

在灾害应急管理的研究中,抢险救灾资源的动态优化配置问题一直是学术界关注的重要问题。国外相关成果覆盖了:①自然灾害应急管理机制的研究,如突发应急反应机制<sup>[1]</sup>、灾害冲击分散机制<sup>[2]</sup>、应急管理信息系统<sup>[3]</sup>等。②救灾相关资源库存储备研究,如应急储备的成本研究<sup>[4]</sup>,对地区救灾资源储备和配备方式的研究<sup>[5]</sup>。③应急物流的研究,如动态救灾应急物流需求的管理模式<sup>[6]</sup>,应急物品供应链协调机制构建和评估<sup>[7]</sup>等。国内学者王倩<sup>[8]</sup>构建了基于网络服务的灾害信息共享模型(WSDISM)。王成敏等人<sup>[9]</sup>用系统动力学的方法对应急资源的动员潜力释放链进行了建模和仿真。李旭<sup>[10]</sup>以系统动力学模型为框架,提出了以预测平均值和预测误差标准差为基础确定订货量的库存控制策略。谭小群等人<sup>[11]</sup>从组织机构、资源保障及技术支撑等方面探讨了跨区域应急协调机制的实现途径。

近年来的国内外关于灾害应急资源配置等方面已有很丰富的成果,从思路和方法上也为今后的研究提供了很好的借鉴。但是,我国的专业应急救灾人员十分短缺,难以满足实际需要,其配置约束条件与一般应急救灾资源是不同的;另外,国内外文献对救灾人员动态需求缺乏定量预测,因此在理论和应用层面上都存在着亟需进一步研究解决的重要问题。针对这两个方面的研究不足,本文运用 GERT 网络分析方法,建立以抢险救灾结束期望时间最短和方差波动最小为优化目标的非线性动态规划模型,并给出该模型的求解步骤和算法,以期在一定程度上解决应急救灾人员的动态配置问题。

## 1 灾害演化 GERT 网络模型构建

GERT 网络是一种描述网络中多个活动节点之间逻辑联系的随机分析技术,为人们研究随机不确定系统分析和建模问题提供了一种有效方法,目前该方法已被广泛应用于资源规划、应急计划、产品开发等领域<sup>[12-16]</sup>。由于灾害事件具有突发性、复杂性和不确定性的特点,这种特征可以通过 GERT 网络加以描述,因此可以构建基于灾害演化的 GERT 网络模型,并用相关的参数对灾害的演化状态进行量化描述。

GERT 网络模型一般是由节点、箭线和流等 3 个要素构成。节点是网络的连接点,通常被用来表示活动;箭

\* 收稿日期:2014-08-04 修回日期:2015-04-17 网络出版时间:2015-05-15 12:45

资助项目:国家社科基金(No. 12BGL064);中国博士后科学基金资助项目(No. 2013M540448)

作者简介:陈万明,男,教授,博导,研究方向为人力资源管理与应急管理,E-mail:13505181341@163.com

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20150515.1245.025.html

线通常由有向线段的形式表示,含义是两个节点之间的逻辑关系;流则体现参数或节点之间的相互制约关系。图 1 表征了 GERT 网络的一个基本单元,其中  $U^U$  表示从节点  $i$  到节点  $j$  的流,  $p_{ij}^U$  表示由节点  $i$  到  $j$  实现的概率,  $T_{ij}^U$  和  $C_{ij}^U$  则分别用来表示时间成本和费用。

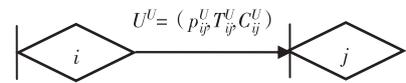


图 1 GERT 网络的基本构成单元

本文分别采用箭线和异或型节点表示应急救灾事件及连接要素,则应急救灾过程 GERT 网络的基本单元和递进单元的结构关系分别可用图 2 和图 3 来表示。在图 2 和图 3 中,网络箭线  $(t, j)$  的传递矩母函数记为  $W_{t,j}$ ,网络箭线  $(t, j)$  的状态转移概率记为  $P_{t,j}$ ,若应急救灾失败则记为  $F$ 。

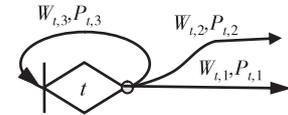


图 2 应急救灾过程 GERT 网络基本单元

通过以上分析,容易发现,在救灾人员参与应急抢险的动态过程可以通过上述包含基本单元(图 2)和递进单元(图 3)的 GERT 网络结构加以表示,因而,任一灾害演化与救援过程中的人员动态配置问题,可以通过建立相应的 GERT 网络模型描述事态的演化过程。

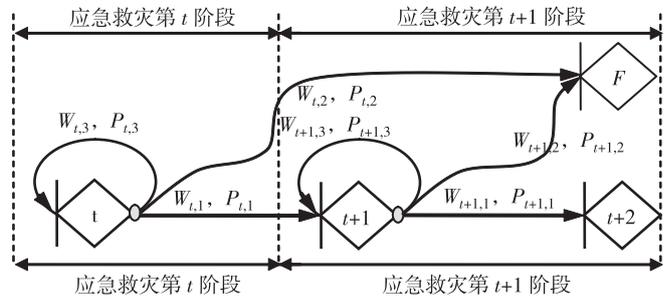


图 3 应急救灾过程 GERT 网络递进单元

## 2 基于 GERT 网络的救灾人员动态配置模型构建

### 2.1 应急救灾人员的动态到达分析

设灾害事件演化在第  $t$  个单位时间中可利用的救灾人员数量为  $r(t)$ ;分配给 GERT 网络中节点  $i$  的应急人员为  $r_i^t$ ,  $t$  个单位时间内累计应急救灾人员数量为  $\text{sum}(t)$ ,因此,有  $\sum_i r_i^t = r(t)$ ,  $\text{sum}(t) = \sum_{i=1}^t r(i)$ 。救灾人员数量随时间变化的具体形式可采用复合函数  $r(t) = at^b e^{-at}$  加以表示<sup>[17]</sup>,用来描述灾害演化过程中应急救灾人员依时间的变化规律,本文沿用文献[17]采用的参数取值规则,即  $b=1.6, c=-0.22$ ,未知参数  $a$  的大小需要根据可调用的救灾人员总数最大值  $R$  而定。

在突发灾害事件演化 GERT 网络中,由于救灾人员和其他资源的投入,灾害事件节点的状态也处于不断的变化之中,本文采用 Logistic 函数描述这种状态转移过程:

$$p_{i,j}^t(r) = \frac{1}{p_{i,j}^m + (1/p_{i,j}^{t-1} - p_{i,j}^m) e^{-0.5R_i^t(r)}}, \tag{1}$$

其中,  $t$  表示灾害演化时间,  $R_i^t(r)$  表示  $t$  时刻配置在事件节点  $i$  的救灾人员数量,当  $t=1$  时,  $p_{i,j}^{t-1} = p_{i,j}^0$ ,表示灾害节点  $i$  第  $j$  个分支的初始概率值,  $p_{i,j}^t(r)$  和  $p_{i,j}^m$  分别表示在救灾人员参与下的灾害节点  $i$  第  $j$  个分支的期望概率值和期望概率的最优值。

**定理 1** 若记  $\text{sum}(t) = \sum_{i=1}^t r(i) = \sum_{i=1}^t ai^b e^{-ai}$  为  $t$  时刻已经获得的应急救灾人员的累计数量,则灾害事件的概率转移可用下式表示:

$$p_{i,j}^t(r) = \frac{1}{p_{i,j}^m + (p_{i,j}^0 - p_{i,j}^m) e^{-0.5\text{sum}_i^t(r)}}. \tag{2}$$

证明

$$\begin{aligned} p_{i,j}^t(r) &= \frac{1}{p_{i,j}^m + (1/p_{i,j}^{t-1} - p_{i,j}^m) e^{-0.5R_i^t(r)}} = \frac{1}{p_{i,j}^m + (1/p_{i,j}^{t-2} - p_{i,j}^m) e^{-0.5(R_i^{t-1}(r) + R_i^t(r))}} = \\ &= \frac{1}{p_{i,j}^m + (p_{i,j}^0 - p_{i,j}^m) e^{-0.5(R_i^1(r) + \dots + R_i^{t-1}(r) + R_i^t(r))}} = \frac{1}{p_{i,j}^m + (p_{i,j}^0 - p_{i,j}^m) e^{-0.5\text{sum}_i^t(r)}}. \end{aligned} \tag{3}$$

证毕

**定理 2** 应急救灾人员作用下灾害事件的转移关系具有边际递减性。

**证明** 对  $p_{i,j}^t(r)$  关于应急救灾人员数量  $r$  求偏导  $\frac{\partial}{\partial r} x_{i,j}^t(r)$  和  $\frac{\partial^2}{\partial r^2} p_{i,j}^t(r)$ , 显然有  $\frac{\partial^2}{\partial r^2} x_{i,j}^t(r) < 0$ 。 证毕

由此可见,该定理说明了当应急救灾人员累计数量达到某一数值后,在救灾人员参与下的灾害事件转移概率的将会逐渐递减,概率转移关系在总体上具有边际递减的特性。

### 2.2 应急救灾人员的配置的优化模型构建

用  $E_i^0$  表示突发事件演化 GERT 网络中节点  $i$  的期望结束时间的上限,用  $V_i^0$  表示突发事件演化 GERT 网络中节点  $i$  的期望结束时间方差的上限,用  $E_i^t$  表示在  $t$  时刻灾害事件 GERT 网络中节点  $i$  的结束时间,用  $E_i$  表示灾害事件 GERT 网络中节点  $i$  的最终结束时间,则显然有  $E_i = \sum_t E_i^t$ ,同理可以获得方差的关系式  $V_i = \sum_t V_i^t$ ; 因此,只要最小化 GERT 网络中的期望目标函数  $\min \sum_i |E_i^0 - E_i|$  和方差目标函数  $\min \sum_i |V_i^0 - V_i|$ ,就可以得到同时满足救灾结束时间最短和波动最小的应急救灾人员最优网络节点分配方案。因此,灾害事件情境演化  $T$  个单位时间内的应急救灾人员的分配问题可表述为下面的优化问题:

$$\begin{aligned} & \min \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T |E_i(0) - E_i(t)|, \\ & \min \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T |V_i(0) - V_i(t)|, \\ & \text{s. t. } \begin{cases} E_i(t) = f(r_{i,t}), i = 1, 2, \dots, n, \\ V_i(t) = g(r_{i,t}), i = 1, 2, \dots, n, \\ \sum_{t=1}^T r_{i,t} = x_i, i = 1, 2, \dots, n, \\ \sum_{i=1}^n r_{i,t} = at^b e^{-ct}, \\ r_{i,t} \geq 0, t = 1, 2, \dots, T, \\ r_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n. \end{cases} \end{aligned} \tag{4}$$

### 2.3 求解

模型往往是非线性优化问题,因此,可以借助 LINGO、Matlab、智能算法等多目标近似算法进行求解。本文提出的 GERT 网络救灾人员动态优化配置模型,即(4)式,可以通过以下 4 个步骤进行求解:

- 第 1 步,由救援指挥决策人员对灾害事件演化过程作定性评估,建立灾害演化 GERT 网络;
- 第 2 步,构建灾害 GERT 网络中活动参数的设定模型,获得活动参数的分布;
- 第 3 步,通过等价传递函数的反演获得应急救灾过程结束的期望时间函数和方差函数;
- 第 4 步,按照(4)式构建非线性优化模型,借助 LINGO、Matlab 或智能算法等求解救灾人员在各节点上的最优分配方案。

## 3 案例研究

某区域因洪水爆发引起了突发水污染灾害事件<sup>[16]</sup>,该突发水污染事件需要专业应急救灾人员进行处置。整个处置过程可分为污染范围控制和污染水体治理两个阶段,对第一阶段的处置会有 3 种不同的演化方向:1)若污染范围控制成功,救援过程则由第一阶段进入第二阶段即水体治理阶段;2)若尚未完全控制污染物的扩散,救援过程将继续停留在第一阶段,即自环过程;3)若完全没有控制甚至加剧了污染物的扩散,则第一阶段的应急处置失败。与第一阶段类似,对第二阶段处置也会有 3 种不同演化方向,即处置完毕、自环和失败。根据以上分析,笔者建立了该次突发水污染灾害事件的救灾过程 GERT 网络,如图 4 所示。其中, $L_1$  和  $L_2$  分别表示第一和二阶段的节点, $L_3$  表示顺利完成对此次污染事件的处置节点, $F$  则表示处置失败节点。

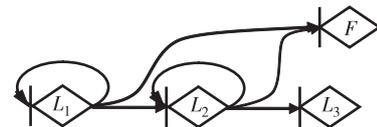


图 4 某次水污染灾害事件的救灾过程 GERT 网络

取各节点处事件处置过程的时间分布函数为:

$$g_{ij}(x, r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\bar{\sigma}_{ij}}} e^{-\frac{(x-\bar{\mu}_{ij})^2}{2\bar{\sigma}_{ij}^2}} \tag{5}$$

其中  $\bar{\sigma}_{ij} = \sigma_{ij} + 1 - e^{-r(t)}$ ,  $\bar{\mu}_{ij} = \mu_{ij} - \ln[1 + r(t)]$ 。则矩母函数为:

$$M_X(s) = e^{\bar{\mu}_{ij} s + \frac{1}{2} s^2 \bar{\sigma}_{ij}^2} \tag{6}$$

构造  $L_1 \sim L_3$  闭合回路,  $M_E(s)$  为:

$$M_E(s) = \frac{[1 - p_{13}(r_1) - p_{23}(r_2) + p_{13}(r_1)p_{23}(r_2)] \cdot e^{\bar{\mu}_{11} s + \frac{1}{2} s^2 \bar{\sigma}_{11}^2 + \bar{\mu}_{21} s + \frac{1}{2} s^2 \bar{\sigma}_{21}^2}}{1 - p_{13}(r_1) \cdot e^{\bar{\mu}_{13} s + \frac{1}{2} s^2 \bar{\sigma}_{13}^2} - p_{23}(r_2) \cdot e^{\bar{\mu}_{23} s + \frac{1}{2} s^2 \bar{\sigma}_{23}^2} + p_{13}(r_1)p_{23}(r_2) \cdot e^{\bar{\mu}_{13} s + \frac{1}{2} s^2 \bar{\sigma}_{13}^2 + \bar{\mu}_{23} s + \frac{1}{2} s^2 \bar{\sigma}_{23}^2}} \tag{7}$$

其中,  $p_{i,1}$ ,  $p_{i,2}$  和  $p_{i,3}$  分别表示应急处置向下一阶段转移、向失败节点  $F$  转移和自环的概率。

假设在灾害演化的 8 个单位时间内,可能获得的应急人员总量为 20 个单位。根据应急人员的到达规律  $r(t) = at^{1.6} e^{-0.22t}$  可知  $a = 0.708$ 。根据拉普拉斯等概率思想,在初始时刻事件之间的转移概率有  $p_{1,j} = p_{2,j} = 1/3, j = 1, 2, 3$  则资源作用下转移概率的变化规律为  $p_{i,j}^t(r) = \frac{1}{p_{i,j}^m + (3 - p_{i,j}^m) e^{-0.5 \text{sum}_i^t(r)}}$ 。对该应急事件,在应急资源的作用下,人们对  $p_{1,1}$  和  $p_{2,1}$  的最优主观期望为  $p_{1,1} = p_{2,1} = 0.8$ , 则有  $p_{1,1}^t(r) = p_{2,1}^t(r) = \frac{4}{5 + 7e^{-0.5 \text{sum}_i^t(r)}}$ ; 同样,人们对  $p_{1,2} p_{1,3}$  和  $p_{2,2} p_{2,3}$  的最优主观期望为  $p_{1,2} = p_{1,3} = p_{2,2} = p_{2,3} = 0.1$ , 则有

$$p_{i,j}^t(r) = p_{i,j}^m = \frac{1}{10 - 7e^{-0.5 \text{sum}_i^t(r)}} (i = 1, 2, j = 2, 3) \tag{8}$$

求解  $L_1 \sim L_3$  期望时间为:

$$E(t) = \frac{\partial M_E(s)}{\partial s} \Big|_{s=0} = \bar{\mu}_{11}(r_1) + \bar{\mu}_{21}(r_2) + \frac{x_{13}(r_1) \cdot \bar{\mu}_{13}(r_1)}{1 - x_{13}(r_1)} + \frac{x_{23}(r_2) \cdot \bar{\mu}_{23}(r_2)}{1 - x_{23}(r_2)} \tag{9}$$

求解  $L_1 \sim L_3$  时间方差为:

$$V(t) = E(t^2) - (E(t))^2 = [\bar{\sigma}_{11}(r_1)^2 + \bar{\sigma}_{21}(r_2)^2] + \frac{x_{13}(r_1) \bar{\sigma}_{13}(r_1)^2}{1 - x_{13}(r_1)} + \frac{\bar{\mu}_{13}^2 x_{13}(r_1)}{[1 - x_{13}(r_1)]^2} + \frac{x_{23}(r_2) \bar{\sigma}_{23}(r_2)^2}{1 - x_{23}(r_2)} + \frac{\bar{\mu}_{23}^2 x_{23}(r_2)}{[1 - x_{23}(r_2)]^2} \tag{10}$$

为简化计算,令  $\bar{\mu}_{11}(r_1) = 2, \bar{\mu}_{21}(r_2) = 1, \bar{\mu}_{13}(r_1) = 3, \bar{\mu}_{23}(r_2) = 4; \bar{\sigma}_{11}(r_1) = \bar{\sigma}_{21}(r_2) = \bar{\sigma}_{13}(r_1) = \bar{\sigma}_{23}(r_2) = 0.5$ ;

$$E(t) = 3 + \frac{3p_{13}(r_1)}{1 - p_{13}(r_1)} + \frac{4p_{23}(r_2)}{1 - p_{23}(r_2)} \tag{11}$$

$$V(t) = 2 + \frac{p_{13}(r_1)(1 - p_{13}(r_1)) + 36p_{13}(r_1)}{4(1 - p_{13}(r_1))^2} + \frac{p_{23}(r_2)(1 - p_{23}(r_2)) + 64p_{23}(r_2)}{4(1 - p_{23}(r_2))^2} \tag{12}$$

建立如下的优化函数,获得人员的动态分配方案:

$$\begin{aligned} & \min \sum_{i=1}^8 E(t), \\ & \min \sum_{i=1}^8 V(t), \\ \text{s. t. } & \begin{cases} E(j) = 3 + \frac{3p_{13}(r_1^j)}{1 - p_{13}(r_1^j)} + \frac{4p_{23}(r_2^j)}{1 - p_{23}(r_2^j)}; j = 1, \dots, 8, \\ V(j) = 2 + \frac{p_{13}(r_1^j)(1 - p_{13}(r_1^j)) + 36p_{13}(r_1^j)}{4(1 - p_{13}(r_1^j))^2} + \\ \frac{p_{23}(r_2^j)(1 - p_{23}(r_2^j)) + 64p_{23}(r_2^j)}{4(1 - p_{23}(r_2^j))^2}; j = 1, \dots, 8, \\ p_{i,3}^j(r) = \frac{1}{10 + (1/p_{i,3}^{j-1} - 10)e^{-0.5r_1^j}}; i = 1, 2, \\ p_{i,3}^0 = 1/3; i = 1, 2, \\ r_1^j + r_2^j = 0.708j^{1.6} e^{-0.22j}; j = 1, 2, \dots, 8, \\ r_i^j \geq 0; i = 1, 2, j = 1, 2, \dots, 8. \end{cases} \end{aligned} \tag{13}$$

由于救灾结束时间变量的期望和方差对实际决策都具有重要的参考价值,且难以区分它们的重要性,因此,

本文将这两个目标视为同等重要,在求解过程中赋予这两个目标相同权重。运用 Matlab 优化工具箱,求解上述非线性规划模型的结果(图 5),最优的期望结束时间为 3.78,方差 5.16。从求解结果来看,结束时间的波动(标准差为 2.27)较大,这与灾害事件的应急管理和应急决策相关。事实上,造成最优目标波动的主要问题在于信息的不完备(应急资源的逐步到达)。因此,在灾害的应急管理中,应尽可能掌握较多的有用信息,降低救灾结束时间的波动幅度和救灾过程的不确定性,更为充分地发挥应急救援人员的作用。此外,除扩充专业救灾队伍外,也应加强对重点地区社会民众开展救灾知识和技能的培训,预储各类救灾人才,使得其数量、质量和配置能适应应急之需。

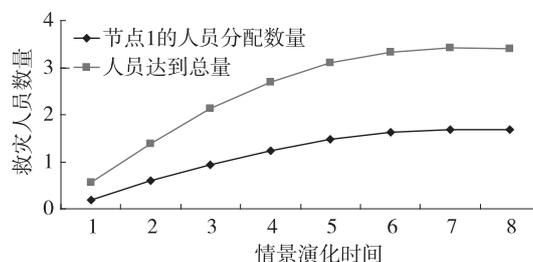


图 5 节点 1 处资源动态分配数量

## 4 结束语

针对灾害应急处理过程中的人员配置问题,本文结合灾害自身演化和救灾人员作用,构建了基于 GERT 网络的救灾人员优化配置模型,给出了求解算法,并通过实际案例验证了模型的有效性。本文提出的新方法对于缓解我国专业救灾人员供给、储备的不足的问题具有重要的实际价值。值得注意的是,我国自然灾害影响区域广,影响因素复杂,如何运用跨学科理论和方法判别采用何种方法对社会化救灾人员储备需求进行定量预测,同时对救灾人员不同储备数量、种类等在不同地区的配置效果进行比较分析等问题,将是笔者进一步深入研究的问题。

### 参考文献:

- [1] Trevor H, Christopher R M. Improving supply chain disaster preparedness: a decision process for secure site location [J]. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2005, 35(3): 195-207.
- [2] Özdamar L. A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities [J]. *European Journal of Operational Research*, 2007, 179(2): 93-1177.
- [3] Ignacio A, Paloma D. End-user oriented strategies to facilitate multi-organizational adoption of emergency management information systems [J]. *Information Processing & Management*, 2010, 46(1): 11-21.
- [4] Fiedrich F, Gehbauer U R. Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters [J]. *Safety Science*, 2000, 45(35): 41-57.
- [5] François G. Self-insurance against natural disasters [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2008, 33(5): 209-223.
- [6] Sheu J B. Dynamic relief-demand management for emergency logistics operations under large-scale disasters [J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2010, 46(1): 1-17.
- [7] Burcu B, Benita M B, et al. Coordination in humanitarian relief chains: practices, challenge sand opportunities [J]. *International Journal of Production Economics*, 2010, 26(1): 22-34.
- [8] 王倩. 我国自然灾害管理体制与灾害信息共享模型研究 [D]. 北京: 中国地质大学博士论文, 2010.
- [9] 王成敏, 孔昭君. 基于系统动力学的动员潜力释放链运行机理研究 [J]. *公共管理学报*, 2010, 14(2): 96-107.
- [10] Wang C M, Kong Z J. Study on the mechanism of releasing economic mobilization potential chain of emergency resource based on system dynamics [J]. *Journal of Public Management*, 2010, 14(2): 96-107.
- [11] 李旭. 社会系统动力学 [M]. 上海: 复旦大学出版社, 2009.
- [12] Li X. Social system dynamics [M]. Shanghai: Fudan University Press, 2009.
- [13] 谭小群, 陈国华. 跨区域突发事件应急协调机制实现途径探究 [J]. *防灾科技学院学报*, 2009, 11(4): 76-80.
- [14] Tan X Q, Chen G H. The ways to achieve coordination mechanism in cross-regional emergencies [J]. *Journal of Institute of Disaster Prevention Science and Technology*, 2009, 11(4): 76-80.
- [15] 方志耕, 杨保华. 基于 Bayes 推理的灾害演化 GERT 网络模型研究 [J]. *中国管理科学*, 2009, 17(2): 102-107.
- [16] Fang Z G, Yang B H. The GERT network model study of disaster evolution based on Bayes inference [J]. *Chinese Journal of Maagement Science*, 2009, 17(2): 102-107.
- [17] 阮爱清, 刘思峰. 灰色 GERT 网络及基于顾客需求的灰数估计精度 [J]. *系统工程*, 2007, 25(12): 100-104.
- [18] Ruan A Q, Liu S F. Grey graphical evaluation review technique network and its estimation precision of grey numbers based on clients [J]. *Systems Engineering*, 2007, 25

- (12):100-104.
- [14] 方志耕, 龚正, 黄西林. 公路军事交通运输勤务综合演习项目 GERT 网络模型研究与分析[J]. 系统工程理论与实践, 2000, 20(4):132-135.
- Fang Z G, Gong Z, Huang X L. Research on random network model for synthetic manoeuvre projection of military traffic transportation service by highway[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2000, 20(4):132-135.
- [15] 吴艳霞, 胡海青, 申团营. 企业技术创新项目群风险与周期评估的组合 GERT 网络模型研究[J]. 管理工程学报, 2007, 21(2):55-59.
- Wu Y X, Hu H Q, Shen T Y. Make up GERT net model research of project group risk and period reviewing on bringing forth new ideas of enterprise technology [J]. Journal of Engineering Management, 2007, 21(2):55-59.
- [16] 杨保华, 方志耕, 刘思峰. 基于 GERT 网络的应急抢险过程资源优化配置模型研究[J]. 管理学报, 2011, 8(12):1879-1883.
- Yang B H, Fang Z G, Liu S F. Optimal resources allocation model for emergency rescue process based on the GERT network[J]. Chinese Journal of Management, 2011, 8(12):1879-1883.
- [17] Buzna L, Peters K, Ammoser H. Efficient response to cascading disaster spreading[J]. Physics Review E, 2007, 75(12):561-567.

## Study on the Dynamic Optimization Model for Relief Workers Allocation Based on GERT Network

CHEN Wanming, PEI Lingling, YANG Baohua, WANG Zhengxin

(College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** For the practical modeling problem of emergency relief worker demand and dynamic time of arrival in the process of emergency rescue, the GERT network method is employed to establish an emergency personnel dynamic optimization allocation model. The effect of dynamic time of relief workers' arrival to the transition probability of event evolution in the GERT network is also analyzed. The algorithm for solving the optimal allocation of emergency personnel is proposed based on the GERT network. The results show that, the model and algorithm proposed in this paper can effectively solve the dynamic optimization problem of emergency rescue workers, and provide the research method and ideas for prediction of the development trend and the disaster emergency personnel reserve and mobilization.

**Key words:** emergencies; resources allocation; GERT network; relief worker

(责任编辑 游中胜)