

doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2020.0005.016

# 震后关键救灾设施中断特征推演模型\*

周愉峰

(重庆工商大学 重庆市发展信息管理工程技术研究中心,重庆,400067)

**摘要:**为了预测震后关键救灾设施的运行状态,为抢险救灾提供决策参考,研究了关键救灾设施中断特征的量化推演问题;在地震灾害演化机理建模的基础上,采用图解评审技术(Graph Evaluation and Review Technique, GERT),构建了震后关键救灾设施中断的演化模型;提出了求解 GERT 随机网络的数值计算方法。通过逐步加入最新信息,修正 GERT 随机网络的活动情景和活动参数,优化推演结果;以汶川地震都江堰灾区为例,推演了区域内医疗设施功能中断的演变过程,预测了医疗设施功能中断的概率、持续时间及其方差范围;决策者可根据推演结果采取有针对性的应对措施,也可根据设施中断参数,进一步优化应急物流网络规划决策。

**关键词:**GERT;设施中断;地震灾害;设施失效;情景推演

**中图分类号:**X43

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-058X(2020)05-0101-07

## 0 引言

医院、采供血机构、应急物资储备库等关键救灾设施,是震后应急救援系统的关键节点。关键救灾设施的可靠运行,对抢险救灾具有非常重要的价值<sup>[1-2]</sup>。这些设施并非一直完全可靠而不中断。实际上,大规模地震及其次生、衍生灾害,很可能导致救灾设施部分中断甚至完全失效,进而导致灾区应急救援能力受限。快速有效评估设施中断概率、持续时间等特征参数,对于震后应急物流网络优化设计、应急救援措施制定等具有重大价值。

以往有研究者指出,应在物流系统规划设计阶段,考虑设施的中断风险,构建可靠的物流网络<sup>[3]</sup>。例如,Cui 等<sup>[4]</sup>研究了具有位置相关性中断风险的

可靠性设施选址问题,建立了针对离散优化的混合整数规划模型与连续优化的连续近似模型(Continuum Approximation, CA)。Li 等<sup>[5]</sup>研究了具有不同中断风险,含有一个后备设施的可靠性  $p$ -中值模型与无容量限制的固定费用选址模型。Lu 等<sup>[6]</sup>研究了具有相关中断风险的最坏情景鲁棒优化模型。An 等<sup>[7]</sup>研究了可靠性  $p$ -中值问题的两阶段鲁棒优化模型与算法。Santiv  nez 等<sup>[8]</sup>研究了考虑服务水平与可靠性的有容量限制的设施选址问题。Poudel 等<sup>[9]</sup>研究了生物燃料供应链网络中考虑设施可靠性的多商品选址问题。这些文献主要针对常规设施,没有研究应急网络的规划问题。文献[10]和文献[11]将中断风险理论引入地震等自然灾害应急领域,研究了应急物流系统优化中的可靠性选址问题。但上述文献仅将中断风险视为环

收稿日期:2019-12-20;修回日期:2020-01-20。

\* 基金项目:重庆市社科规划项目资助(2016BS034);教育部人文社会科学研究项目资助(15XJC630009);重庆市基础科学与前沿技术研究项目资助(CSTC2017JCYJAX0130);重庆市教委人文社会科学研究项目资助(18SKGH063);重庆市教委科学技术研究项目资助(KJQN201900812)。

作者简介:周愉峰(1984—),男,湖南双峰人,副教授,博士,硕士生导师,从事应急物流与应急管理研究。

境变量,一般将其处理成概率参数。震后关键救灾设施如何中断,其特征参数如何推演与预测等问题没有在该类文献中得到研究<sup>[12]</sup>。

还有一类文献研究了地震等自然灾害的演变机理或扩散路径问题。研究者们基于不同理论视角与多种方法构建了灾害的演变模型。李健行等<sup>[13]</sup>提出了基于轨迹交叉理论的突发事件致因分析方法,利用尖点突变模型建立了灾害事故的演化模式与演变路径模型。魏一鸣等<sup>[14]</sup>针对洪水灾害,基于复杂自适应系统理论,采用 Swarm 软件建立了洪水灾害的时空演化模型。李勇建等<sup>[15]</sup>采用多案例分析法,从 5 个维度对震后次生灾害的演变进行了结构化描述,并基于随机 Petri 网模型预测了地震堰塞湖事件的次生灾害发生概率。薛晔等<sup>[16]</sup>提出从相关性、力的合成和风险矩阵 3 个方面分析灾害事件的耦合效应,研究了耦合效应及耦合灾害风险的形成机理,认为防灾减灾的关键在于尽可能切断“强耦合”效应的产生路径,促进“强耦合”效应向“零耦合”或“弱耦合”效应转化。周愉峰等<sup>[17]</sup>考虑地震原生及次生灾害的耦合,提出应在地震灾害演变建模过程中,根据实际情况更新信息,动态修正和优化情景集合,建立了基于情景推演的地震灾害演化的动态 GERT 网络模型。谢自莉等<sup>[18]</sup>基于系统动力学建立了城市地震中次生灾害的演化过程模型,可应用该模型预测不同防灾抗灾输入参数下的城市地震损失情况。马祖军等<sup>[19]</sup>研究了基于贝叶斯网络的城市地震次生灾害演化机理分析模型,通过变化关键节点的取值,可以预测不同次生灾害的发生概率。陈雪龙等<sup>[20]</sup>给出了突发事件情景要素的形式化描述方法,提出了解决不确定情景信息生成的基于粒计算的突发事件情景层次模型。荣莉莉等<sup>[21]</sup>基承灾体视角,提出一种基于元胞自动机的灾害后果推演模型。华敏等<sup>[22]</sup>结合动态贝叶斯和 GERT 网络对自然灾害导致的罐区多米诺效应形成机制和演化规律进行了建模和分析。这些文献对研究灾害关键救灾设施的中断机理具有启发意义和参考价值,但没有直接解答如何推演与预测关键救灾设施中断特征参数的问题。

鉴于此,在地震灾害演化机理建模的基础上,基于 GERT 随机网络,进一步量化推演大规模地震

后,关键救灾设施中断的概率、持续时间、方差等特征参数,为抢险救灾提供决策借鉴。

## 1 基于 GERT 随机网络的中断特征推演模型构建

GERT 是一种随机网络建模方法,它通过节点和枝线,来描述网络中各项活动的状态及其转移概率。GERT 随机网络的节点分为“互斥”、“兼有”与“汇合”3 种类型,可根据系统演变的实际情况,选择合适的网络节点对事件加以描述。

在大规模地震灾害事件中,关键救灾设施表现为血站、医院、应急物资储备库、应急指挥中心、应急避难场所等重要的应急救援或指挥节点。这些设施(节点)的中断(失效)或者部分中断将导致应急救援网络效能下降。关键救灾设施的中断,是由地震原生及其次生灾害演变导致的。建筑物、人员与设备是救灾设施有效运行的基础。建筑物倒塌、人员死亡、设备损毁都可能造成关键救灾设施中断或者部分中断。

以医院等医疗设施为例,结合 GERT 网络的建模原理,构建震后关键救灾设施中断演化的动态 GERT 网络模型。采用文献[17]的情景修正方法,在贫信息起步的基础上,根据信息更新情况,逐步添加信息,修正网络模型的活动情景集和活动参数,逐步优化推演结果与动态决策方案。GERT 随机网络的建模过程描述如下。

大规模地震的爆发具有突发性和不可预测性。在地震爆发后的极短时刻  $t_0$  内,系统处于贫信息阶段。此时,交通、生命线状态、人员伤亡等信息处于未知状态。震后  $t_0$  时刻,决策者可以利用的已知信息仅有:发生时间、建筑物抗震能力、建筑物密度、人口密度、天气信息、地质构造等。此外,地震烈度、关键救灾设施布局规划、抗震能力等信息也可以大致估计。为给抢险救灾工作开展提供初步的决策依据,需要根据初始信息,提炼情景集,构建  $t_0$  时刻灾害演变与关键救灾设施中断的 GERT 网络,以便决策者快速响应救灾需求。以汶川地震都江堰灾区为例,说明  $t_0$  时刻医疗设施功能中断演化的 GERT 网络模型的构建(图 1)。

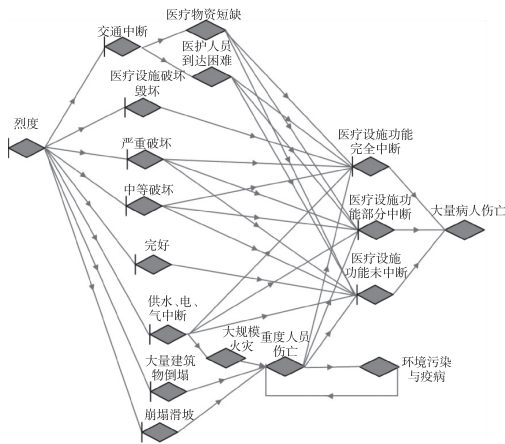


图 1  $t_0$  时刻都江堰灾区医疗设施功能中断演化的 GERT 网络模型

Fig. 1 The GERT network of evolution of medical facility disruptions in Dujiangyan at time  $t_0$

地震灾害的演变情景集合需要根据输入因素的不同进行调整,构建符合特定情景的 GERT 网络模型。例如,受地质构造与降水的影响,北川灾区的灾变网络可能会涉及堰塞湖等次生与衍生灾害的演化(图 2)。

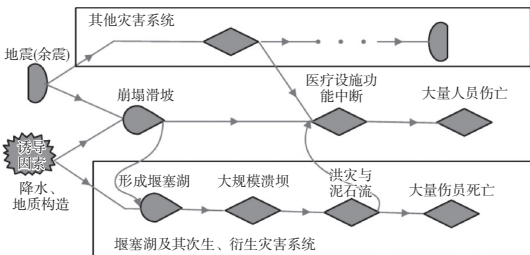


图 2  $t_0$  时刻北川灾区堰塞湖及其次生衍生灾害演化 GERT 网络示意图

Fig. 2 The GERT network of evolution of barrier lakes and its secondary or derivative disasters in Beichuan at time  $t_0$

在系统演化过程中,一些关键信息会由未知状态转变为已知或者部分已知。通过更新信息,修正情景集合,进一步推演  $t_1$  时刻的 GERT 网络图。以地震爆发后 8 h( $t_1$  时刻)的都江堰灾区为例。最新的灾情信息有:国家领导于当晚 20 时抵达都江堰,现场指挥抗震救灾;22 时 15 分国家应急救灾二级响应等级提升为一级响应;未来两日天气为中雨,温度  $16\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;通讯在短时间部分中断后恢复正常;由于出城车辆暴增,加之前往汶川灾区的各种救援车辆导致境内交通拥挤,但是并未出现交通中断,境内交通基本正常(尽管都汶公路完全中断)并且未来交通中断的概率极小;都江堰全城停电,成都电业局有 8 个工作组前往抢修变电站,变电站

一旦修好,可以保证都江堰 1/3 到 2/3 的电力恢复;境内未发生严重火灾;目前已有大量民宅发生垮塌和较为严重的人员伤亡;中国地震台网专家发布判断,未来发生 6 级左右余震的可能性加大。加入上述最新信息到网络模型,得到  $t_1$  时刻都江堰灾区地震灾害医疗设施中断演化 GERT 网络模型(图 3)。

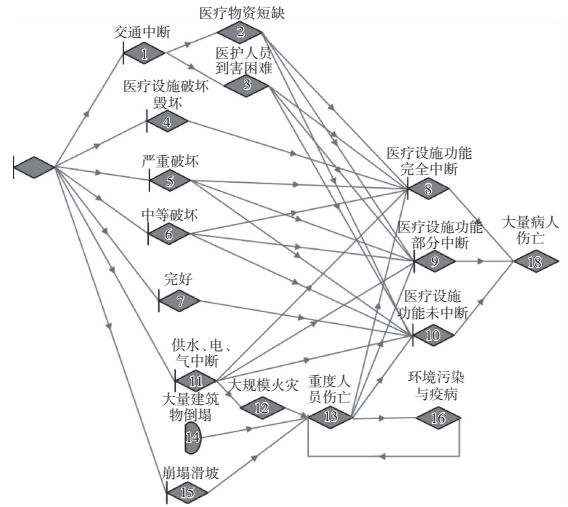


图 3  $t_1$  时刻都江堰灾区医疗设施功能中断演化的 GERT 网络示意图

Fig. 3 The GERT network of evolution of medical facility disruptions in Dujiangyan at time  $t_1$

依此类推,可以得到地震爆发 72 h( $t_2$  时刻)都江堰灾区的医疗设施功能中断演化 GERT 网络模型(见图 4)。 $t_2$  时刻的最新信息有:供电恢复;境内过半建筑物倒塌;境内未发生严重火灾;未来发生破坏性余震的概率不大;已发生重度人员伤亡;尚未发生严重大众心理恐慌和严重的社会公共安全事件;灾区防疫工作展开,防疫人员已开始灾区进行消毒。

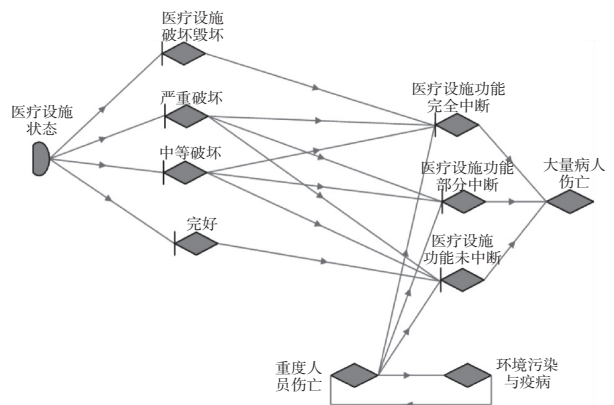


图 4  $t_2$  时刻都江堰灾区医疗设施功能中断演化的 GERT 网络示意图

Fig. 4 The GERT network of evolution of medical facility disruptions in Dujiangyan at time  $t_2$

## 2 GERT 随机网络模型的数值计算方法

采用流程图理论的矩母函数和梅森公式,基于数值解析法求解 GERT 网络模型<sup>[9]</sup>。对于随机变量时间  $t$  和任意实数  $s$ , 随机变量  $t$  的矩母函数  $M_i(s)$  为

$$M_i(s) = E(e^{st}) = \begin{cases} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{st} f(t) dt, t \text{ 为离散随机变量} \\ \sum e^{st} P(t), t \text{ 为离散随机变量} \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $f(t)$  和  $P(t)$  分别为  $t$  的概率密度函数和概率分布函数。网络图中, 支线的传递系数  $W_{ij}(s)$  是支线概率  $P_{ij}$  与  $M_i(s)$  的乘积, 其计算公式如下。

$$W_{ij}(s) = M_i(s) P_{ij} \quad (2)$$

任意两个节点间的等效传递系数  $W_E(s)$  可通过式(3)计算:

$$W_E(s) = \frac{\sum_i (path_i) [1 + \sum_m (-1)^m (m \text{ 阶回路不触及路线 } i)]}{1 + \sum_m (-1)^m (m \text{ 阶回路})} \quad (3)$$

由此, 可求得两节点间的转移概率  $P_E$ 、预期时

间  $E(t)$  及其分布方差  $V(t)$ , 分别见式(4)一式(7)。

$$P_E = W_E(s) / M_E(s) = W_E(0) \quad (4)$$

$$E(t) = \frac{dM_E(s)}{ds} \Big|_{s=0} \quad (5)$$

$$E(t^2) = \frac{d^2 M_E(s)}{ds^2} \Big|_{s=0} \quad (6)$$

$$V(t) = E(t^2) - E(t)^2 \quad (7)$$

## 3 仿真分析与研究

以汶川地震都江堰灾区  $t_1$  时刻的 GERT 网络模型(图 3) 为例说明所建动态推理模型的应用。GERT 随机网络中各项活动的概率可通过历史数据与贝叶斯网络推理获得。各项活动持续时间的分布可通过历史数据与专家知识获取。各参数取值见表 1。

首先, 采用式(7) 和式(8), 分别计算活动参数服从均匀分布或正态分布的矩母函数。然后, 依次应用式(2)一式(6) 计算 GERE 随机网络中各个关键节点的发生概率、持续时间及其方差。得到两种政策力度下的若干关键节点的推演结果(表 2)。

$$M_{(t)}(s) = \frac{e^{sb} - e^{sa}}{(b-a)s} \quad (7)$$

$$M_{(t)}(s) = e^{\mu s + \frac{1}{2} \sigma^2 s^2} \quad (8)$$

表 1 GERT 网络活动参数

Table 1 Activity parameters of the GERT network

活 动	政策力度(弱)	分布类型	参数/d	政策力度(强)	分布类型	参数/d
(0,1)	0.1	常数	0	0.05	常数	[0,1]
(1,2)	0.67	正态	(1.8,0.3)	0.5	正态	(1.25,0.24)
(1,3)	0.67	正态	(1.2,0.2)	0.2	正态	(1,0.15)
(0,4)	0.192	均匀	[0 0.5]	0.192	均匀	[0 0.5]
(0,5)	0.168	均匀	[0 0.5]	0.168	均匀	[0 0.5]
(0,6)	0.176	均匀	[0 0.5]	0.176	均匀	[0 0.5]
(0,7)	0.264	常数	0	0.414	常数	0
(2,8)	0.1	正态	(1.9,0.12)	0.05	正态	(1.5,0.1)
(2,9)	0.8	正态	(9.52,6.25)	0.85	正态	(8.10,5.75)
(2,10)	0.1	常数	0	0.1	常数	0
(3,8)	0.1	正态	(1.5,0.15)	0.05	正态	(1.2,0.12)
(3,9)	0.8	正态	(9.52,6.25)	0.85	正态	(8.62,5.52)
(3,10)	0.1	常数	0	0.1	常数	0
(4,8)	1	常数	21	1	常数	21
(5,8)	0.8	常数	21	0.8	常数	21
(5,9)	0.2	常数	21	0.2	常数	21

续表(表 1)

活 动	政策力度(弱)	分布类型	参数/d	政策力度(强)	分布类型	参数/d
(5,10)	0	常数	0	0	常数	0
(6,8)	0.5	常数	21	0.5	正态	(13.62,7.36)
(6,9)	0.3	常数	21	0.3	常数	(15.73,8.21)
(6,10)	0.2	常数	0	0.2	常数	0
(7,10)	1	常数	0	1	常数	0
(0,11)	0.1	均匀	[0.5,3]	0.05	均匀	[0.5,1.5]
(11,8)	0.2	正态	(2.5,0.2)	0.1	正态	(1.5,0.15)
(11,9)	0.5	正态	(5,0.4)	0.5	正态	(4,0.3)
(11,10)	0.3	常数	0	0.4	常数	0
(11,12)	0.5	均匀	[0.1,1.5]	0.33	均匀	[0.1,0.8]
(12,13)	0.3	均匀	[0.1,2]	0.1	均匀	[0.1,1]
(13,8)	0.1	正态	(12,7.4)	0.1	正态	(10,6.3)
(13,9)	0.2	正态	(7,0.9)	0.1	正态	(6,0.5)
(13,10)	0.7	常数	0	0.8	常数	0
(13,16)	0.33	均匀	[12,21]	0.1	均匀	[12,21]
(16,13)	0.33	均匀	[12,40]	0.1	均匀	[12,30]
(14,13)	1	均匀	[0,3]	1	均匀	[0,3]
(0,15)	0.1	正态	(7.2,0.52)	0.05	正态	(5.3,0.46)
(15,13)	0.3	正态	(7.2,0.52)	0.1	正态	(5.3,0.46)
(8,18)	0.4	正态	(12.3,8.4)	0.2	正态	(4.75,0.57)
(9,18)	0.2	正态	(8.6,5.7)	0.1	正态	(3.25,0.42)
(10,18)	0.1	正态	(3.1,0.4)	0.05	正态	(2.3,0.36)

表 2 GERT 随机网络的推演结果

Table 2 Deduction results of the GERT random network

活 动	政策力度(弱)			政策力度(强)		
	概率/%	时间/d	方差/d	概率/%	时间/d	方差/d
(0,8)	40.10	19.884 1	27.743 4	37.00	19.368 3	15.821 8
(0,9)	24.29	13.822 9	49.359 1	13.10	13.573 7	37.677 6
(0,10)	34.05	1.896 0	52.807 4	44.07	0.180 1	1.345 8
(0,18)	28.31	23.339 7	167.585 0	13.16	16.441 1	103.058 9

结果表明,医疗设施功能完全中断的概率比较大(在政策力度强和弱的情况下,概率分别为 37%, 40.10%)。医疗设施功能完全有效运转的概率分别只有 44.07% (政策力度强)与 34.05% (政策力度弱)。因此,在未来 20 d 左右的时间内,本地医院功能难以完全发挥功能,应采用各种方式将伤员送出灾区,接受异地治疗。

#### 4 结束语

构建了震后关键救灾设施中断特征参数预测

的 GERT 随机网络模型。并以汶川地震都江堰灾区为例,推演了区域内医疗设施功能中断的演变过程,预测了医疗设施功能中断的概率、持续时间及其方差范围。决策者可根据推演结果采取有针对性的应对措施。

本文构建的 GERT 模型为互斥型网络。下一步研究可以考虑各关键节点之间的耦合关系,建立不同耦合状态下的 GERT 网络模型,更加科学、准确地推演系统的演变过程。也可以根据模型推演结果,考虑设施中断特征,对应急物流网络进行可靠优化。

## 参考文献(References):

- [1] 周愉峰,李志,刘思峰. 基于随机  $p$ -鲁棒优化的国家血液战略储备库选址-库存模型[J]. 中国管理科学, 2018, 26(10):52—63  
ZHOU Y F, LI Z, LIU S F. Location-inventory Model of National Strategic Blood Reserves Based on  $P$ -Robust Stochastic Optimization Method [J]. Chinese Journal of Management Sciences, 2018, 26(10): 52—63 (in Chinese)
- [2] REINA D G, CAMP T, MUNJAL A, et al. Evolutionary Deployment and Local Search-Based Movements of 0th Responders in Disaster Scenarios[J]. Future Generation Computer Systems, 2018, 88: 61—78
- [3] SHEN Z J M, ZHAN R L, ZHANG J. The Reliable Facility Location Problem: Formulations, Heuristics, and Approximation Algorithms [J]. INFORMS Journal on Computing, 2011, 23(3): 470—482
- [4] CUI T, OUYANG Y, SHEN Z J M. Reliable Facility Location Design under the Risk of Disruptions [J]. Operations Research, 2010, 58(4-part-1): 998—1011
- [5] LI Q, ZENG B, SAVACHKIN A. Reliable Facility Location Design under Disruptions [J]. Computers & Operations Research, 2013, 40(4): 901—909
- [6] LU M, RAN L, SHEN Z J M. Reliable Facility Location Design under Uncertain Correlated Disruptions [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2015, 17(4): 445—455
- [7] AN Y, ZENG B, ZHANG Y, et al. Reliable  $P$ -Median Facility Location Problem: Two-Stage Robust Models and Algorithms [J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2014, 64: 54—72
- [8] SANTIVÁÑEZ J A, CARLO H J. Reliable Capacitated Facility Location Problem with Service Levels [J]. EURO Journal on Transportation and Logistics, 2018, 7(4): 315—341
- [9] POUDEL S, MARUFUZZAMAN M, QUDDUS M, et al. Designing a Reliable and Congested Multi-modal Facility Location Problem for Biofuel Supply Chain Network [J]. Energies, 2018, 11(7): 1682
- [10] 李志, 李政祥, 周愉峰, 等. 考虑中断情景与防御的应急物资储备库 LIP 模型 [J]. 中国安全科学学报, 2018, 28(3): 90—95  
LI Z, LI Z X, ZHOU Y F, et al. A LIP Model Considering Disruption Scenarios and Fortification for Relief Supplies Reserve Bases [J]. China Safety Science Journal, 2018, 28(3): 90—95 (in Chinese)
- [11] 周愉峰, 马祖军, 王恪铭. 应急物资储备库的可靠性  $P$ -中位选址模型 [J]. 管理评论, 2015, 27(5): 198—208  
ZHOU Y F, MA Z J, WANG K M. A Reliability  $P$ -Median Location Model for Relief Supplies Reserve Bases [J]. Management Review, 2015, 27(5): 198—208 (in Chinese)
- [12] PENG P, SNYDER L V, LIM A, et al. Reliable Logistics Networks Design with Facility Disruptions [J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2011, 45(8): 1190—1211
- [13] 李健行, 夏登友, 武旭鹏. 非常规突发灾害事故的演化机理与演变路径分析 [J]. 安全与环境工程, 2014, 21(6): 166—170  
LI J X, XIA D Y, WU X P. Analysis of the Evolution Mechanism and Evolution Path of Unconventional Emergency Disaster Accidents [J]. Safety and Environmental Engineering, 2014, 21(6): 166—170 (in Chinese)
- [14] 魏一鸣, 张林鹏, 范英. 基于 Swarm 的洪水灾害演化模拟研究 [J]. 管理科学学报, 2002, 5(6): 39—46  
WEI Y M, ZHANG L P, FAN Y. Swarm Based Study on Complexity in Flood Disaster [J]. Journal of Management Sciences in China, 2002, 5(6): 39—46 (in Chinese)
- [15] 李勇建, 王循庆, 乔晓娇. 基于随机 Petri 网的震后次生灾害演化模型研究 [J]. 运筹与管理, 2014, 23(4): 264—273  
LI Y J, WANG X Q, QIAO X J. Modeling Evolution of Seismic Secondary Disasters with Stochastic Petri Nets [J]. Operations Research and Management Science, 2014, 23(4): 264—273 (in Chinese)
- [16] 薛晔, 刘耀龙, 张涛涛. 耦合灾害风险的形成机理研究 [J]. 自然灾害学报, 2013, 22(2): 44—50  
XUE Y, LIU Y L, ZHANG T T. Research on Formation Mechanism of Coupled Disaster Risk [J]. Journal of Natural Disasters, 2013, 22(2): 44—50 (in Chinese)
- [17] 周愉峰, 马祖军. 基于情景推演的地震灾害演化动态 GERT 网络模型 [J]. 自然灾害学报, 2013, 22(3): 68—75  
ZHOU Y F, MA Z J. Scenario Inference-based Dynamic GERT Network Model for Evolution of Earthquake Disasters [J]. Journal of Natural Disasters, 2013, 22(3): 68—75 (in Chinese)
- [18] 谢自莉, 马祖军. 城市地震次生灾害演化机理分析及仿真研究 [J]. 自然灾害学报, 2012, 21(3): 155—163  
XIE Z L, MA Z J. Analysis and Simulation of Evolution Mechanism of Urban Seismic Secondary Disasters [J].

- Journal of Natural Disasters, 2012, 21 (3) : 155—163 (in Chinese)
- [19] 马祖军, 谢自莉. 基于贝叶斯网络的城市地震次生灾害演化机理分析[J]. 灾害学, 2012, 27(4) : 1—5+24  
MA Z J, XIE Z L. Evolution Mechanism of Earthquake-Induced Urban Disasters Based on Bayesian Networks [J]. Journal of Catastrophology, 2012, 27(4) : 1—5+24 (in Chinese)
- [20] 陈雪龙, 卢丹, 代鹏. 基于粒计算的非常规突发事件情景层次模型[J]. 中国管理科学, 2017, 25(1) : 129—138  
CHEN X L, LU D, DAI P. Hierarchical Scenario Model of Unconventional Emergency Based on Granular Computing[J]. Chinese Journal of Management Sciences, 2017, 25(1) : 129—138 (in Chinese)
- [21] 荣莉莉, 周培亨, 张荣. 一种基于一维元胞自动机的灾害后果推演模型[J]. 运筹与管理, 2015, 24(3) : 158—164  
RONG L L, ZHOU P H, ZHANG R. A Consequence Deduction Model of Emergency Based on One-Dimensional Cellular Automata [J]. Operations Research and Management Science, 2015, 24(3) : 158—164 (in Chinese)
- [22] 华敏, 蒋代, 潘旭海, 等. NaTech事件中泄漏致多米诺效应风险分析[J]. 南京工业大学学报(自然科学版), 2019, 41(5) : 561—569  
HUA M, JIANG D, PAN X H, et al. Risk Analysis of Domino Effect of Leakage in NaTech Events [J]. Journal of Nanjing Tech University (Natural Science Edition), 2019, 41(5) : 561—569 (in Chinese)

## An Extrapolation Model of Disruption Characteristics of Critical Relief Facilities Post-earthquake

ZHOU Yu-feng

(Chongqing Engineering Technology Research Center for Information Management in Development, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

**Abstract:** In order to predict the operation status of critical relief facilities (CRFs) post-earthquake, and provide decision-making references for emergency relief, the quantitative deduction problem of disruption characteristics of CRFs was studied based on the modeling of earthquake disaster evolution mechanism. The GERT method was used to formulate the evolution model of CRFs post-earthquake. A numerical method for GERT random network was proposed. By adding the latest information step by step, the activity scenarios and parameters of GERT random network were modified to optimize the deduction results. Finally, a simulation study is carried out for regional medical facilities in disaster area of Dujiangyan in Wenchuan earthquake. The probability, duration and variance of disruptions of medical facilities were predicted. The targeted response measures can be taken based on the deduction results. It can also be used to optimize the decision of the emergency logistics network planning according to disruption parameters of CRFs.

**Key words:** GERT; facility disruption; earthquake disaster; facility failure; scenario inference

责任编辑: 罗姗姗

引用本文/Cite this paper:

周愉峰. 震后关键救灾设施中断特征推演模型[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2020, 37(5) : 101—107

ZHOU Y F. An Extrapolation Model of Disruption Characteristics of Critical Relief Facilities Post-earthquake [J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2020, 37(5) : 101—107