

张磊. 面向地震灾情时序变化的应急救援物资需求动态预测研究[J]. 灾害学, 2018, 33(4): 161–164. [ZHANG Lei. Research on Dynamic Demand Prediction of Emergency Relief Materials Oriented to the Temporal and Spatial Change of Earthquake Disaster Losses[J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(4): 161–164. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2018.04.031.]

面向地震灾情时序变化的应急救援物资 需求动态预测研究^{*}

张磊

(民政部国家减灾中心, 北京 100124)

摘要: 对应急救援物资需求进行高效、精准动态预测, 是保障受灾群众基本生活、提高灾害应急救助效率的重要技术保障, 也是灾害科学研究领域的热点问题。在深入分析地震应急救援及物资需求特点的基础上, 提出了“基于时序变化的救灾物资需求预测模型”, 针对受灾人口的年龄分布对物资需求量的影响进行分析, 建立向量模型来描述人口结构对生活类救灾物资的影响。综合考虑受灾群众的心理和家庭观念等因素, 分析了“不考虑家庭规模”、“典型农村留守人员组成的家庭为主体”、“普通三口之家为主体”等家庭组成, 对三种情境下的应急救援物资需求进行了模拟。通过分析生活类物资和取暖御寒类物资的需求变化与受灾人口的变化之间的关系。最后通过实际案例, 证明了针对饮用水和帐篷等救援物资动态需求预测模型的合理性。

关键词: 地震灾害; 时序变化; 应急救援; 应急物资; 需求动态预测

中图分类号: X43; TP701 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2018)03-0161-04

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2018.03.031

地震灾害在全球范围内多发频发, 严重威胁人民群众生命财产安全。据国际紧急事件数据库(Emergency Events Database, EM-DAT)的国际灾害数据库(The International Disaster Database)不完全统计, 1994–2013年, 全球地震灾害致死人口占有因灾死亡人口的55%, 达到750 000人, 超过洪涝、飓风、旱灾、火山喷发、火灾、地质灾害等其他灾害致死人口总和; 地震灾害造成的经济损失占有自然灾害经济损失的31%, 达到7 870亿美元(<http://www.emdat.be>, 2016)。能否高效、精准地预测应急救援物资需求并在第一时间送至灾害发生地点, 往往直接影响受灾人员的伤残率和死亡率, 并与受灾群众的生活基本保障和生活质量密切相关^[1]; 而破坏性地震灾害的突发性、不确定性等特点, 给灾后食品、药品、帐篷等应急救援物资的高效运送和发放带来较大挑战。

地震应急救援物资主要包括: 保障受灾群众基本生活的物资, 如帐篷、食品、药品、应急灯等; 工作物资, 如应急救援人员所使用的专业性技术装备; 特殊物资, 如针对少数特殊群体所需的特定物资。应急物资需求具有紧迫性强, 一旦供应不足可能危害生命安全等特点^[2]。应急救援物资需求的动态预测是个复杂的科学问题, 灾害类型、受灾程度、受灾人口数量、受灾人口构成、受灾群众心理等多种因素均不同程度影响其动态预测。近年来, 国内外学者在该领域开展了探索性研究工作。吴雪莲利用粗糙集理论的案例推理

预测模型和基于遗传优化神经网络的预测模型, 分别对不同情境下的应急救援物资需求作了预测^[3]; 李丽丽等采用灰色模型, 开展地震应急物资需求预测研究^[4]; 刘昭利用BP神经网络计算总伤亡人口的预测值, 建立基于时间和灾区库存救灾物资需求的推演模型^[5]; 张磊等对城市应急资源优化配置模型和典型选址方法进行研究^[6]; 喻慧基于K-means范例推理和反馈补偿K-means方法开展救援物资需求预测^[7-8]。经过文献梳理和初步分析, 目前国内外应急救援物资需求预测研究的针对性不足, 亟需加强对地震灾害影响的不确定性、承灾体复杂性以及需求多样性的深入分析。在深入分析地震应急救援及物资需求特点的基础上, 提出了“基于时序变化的救灾物资需求预测模型”, 针对受灾人口的年龄分布对物资需求量的影响进行分析, 建立向量模型来描述人口结构对生活类应急救援物资的影响, 并以饮用水、救灾帐篷等常见的应急救援物资进行模拟以验证模型的有效性。

1 地震应急救援及物资需求特点分析

1.1 地震应急救援特点分析

(1) 不确定性。地震灾害的发生时间、发生地点、造成的人员伤亡和经济损失具有很强的不确定性, 导致地震发生后短时内的应急救援具有极强的

^{*} 收稿日期: 2018-01-22 修回日期: 2018-04-16

基金项目: 国家质检公益性行业科研专项项目(201510211)

作者简介: 张磊(1979-), 男, 山东泰安人, 助理研究员, 主要从事综合减灾与灾害风险研究. E-mail: zhanglei@ndrcc.gov.cn

不确定型。因此,震后短时间内往往难以精确界定所需救援物资的种类和数量,往往需要根据灾情的时序变化,动态匹配相应的应急救援物资。

(2)复杂性。地震应急救援受震区构造环境等自然条件的制约,同时也受到震区经济社会、基础设施、行政管理等诸多因素的影响。地震灾害应急救援物资,则受到地震的破坏性、灾区的地理环境、社会经济条件、救灾效率、社会公众参与程度、受灾群众心理等多种复杂因素的耦合影响^[9-12]。

1.2 应急救援物资需求特点分析

国内外地震应急救援的诸多实践表明,震后不同阶段的应急救援工作内容存在较大差别^[11],一般可根据灾情发展过程、应急救援的工作重点等,按照灾后1 d(24 h)内、灾后1~3 d(72 h)、灾后3~7 d、灾后7 d以后等4个时间段开展应急救援物资需求分析。

灾后1 d是灾害应急救援最具挑战性的阶段,主要任务是营救被埋压人员^[12],灾害现场信息短时间内比较匮乏、信息获取难度大、信息具有很强的不完备性,往往难以精准预测物资需求。该阶段的应急救援物资预测多依据历史数据、决策者经验和地震强度等开展,具有一定的不确定性;同时,受灾群众对应急救援物资的需求、特别是对医疗救援物资的需求最为迫切。灾后1~3 d是应急救援最关键的阶段,其主要任务是救治受伤人员,灾害现场受灾信息获取能力大幅提升,可以获取初步的受灾人员和受伤人员统计数据;该阶段的应急救援物资需求预测部分可依靠实时统计数据估算,大批的生活类物资运抵灾区,亟需根据已有物资动态估算新的生活类物资需求;同时,该阶段可能发现更多的受伤人员,医药类物资的需求往往急剧上升。灾后3~7 d,生活类物资的需求量基本稳定,但是供应量仍在动态变化,亟需根据已有物资量、受灾人口开展物资满足度分析,并根据需要调整救援物资供应和发放数量;灾害发生第7 d以后,主要任务是安置受灾群众生活,受灾人员和受伤人员数量变化幅度较小,灾情基本稳定,灾情统计信息数量和质量大幅提升,对救灾物资需求的预测有了较为可靠的依据;同时,随着基础设施的逐渐恢复,外界物资的供应基本通畅,生活类物资的供给逐步稳定、可靠。灾害发生21 d之后,受灾人员数量相对稳定,应急救援物资需求

也趋于稳定,应急救援物资的供应进入稳定的供应阶段,每天的供应数量相对固定。

2 应急救援物资动态需求模型

应急救援物资需求与灾害类型、灾情程度、受灾人口数量、现有物资储备等因素密切相关。救援物资需求预测在地震发生初期以历史数据、专家经验为主,预测模型为辅,灾情发生2 d后,灾情信息及救援物资需求信息逐渐稳定,预测模型逐步修正,根据预测模型推演灾情物资的动态需求精度不断提高,可信度提高。由此,提出基于时序变化的救灾物资需求预测模型的技术路线图,如图1所示。

2.1 受灾人口与应急救援物资需求的关系

应急救援物资(特别是灾后需求量较大的生活类救援物资)需求和受灾人口数量密切相关。其中,食品类物资属于短期消耗性物资,需要根据受灾人口数量每天按照一定比例供应和补给;取暖御寒类物资短期内可以看作是无消耗的,其供应量在供给受灾人口总数的某一比例值后呈现相对固定的状态。

救援物资的需求量不仅与受灾人口的数量有关,还与受灾人口的组成有关。受灾人口组成包括年龄、性别、家庭结构等。不同的受灾人口组成对物资的需求种类和需求量有所不同。在工作实践中,如仅仅按照受灾人口数量进行应急救援物资的分配,可能会出现救援物资短缺或者供应过量的情况,难以保障救援物资的高效、合理使用。以饮用水供应为例,不同年龄、不同性别的人对饮用水的需求往往存在差别,需要区别对待。

2.1.1 人口年龄结构对物资需求的影响

年龄是受灾人口组成的重要指标之一。一般而言,老人每日需求量与平均需求量相同,儿童的需求量低于平均需求量,而青壮年的需求量大于平均需求量。假设每人平均需求量为每日2 L,每位青壮年饮用水需求量为每日2.5 L;每个儿童饮用水需求为每日1.8 L。选择三种类型的人口结构,开展饮用水需求量预测。*A*表示不考虑人口结构的情况;*B*表示典型的农村家庭情况,即青壮年外出打工,老人和儿童留守;*C*为典型的劳动力集

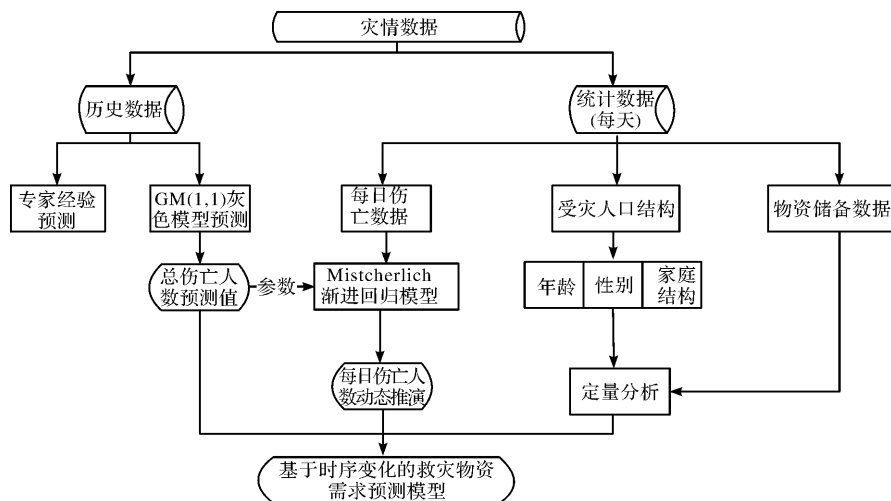


图1 应急救援物资动态需求预测技术路线图

中情况,青壮年比重大,老人儿童的人数少。三种情况下的人口结构和对应的物资需求量计算公式如下:

$$W = a_1 \times 2 \times Q \times \beta + a_2 \times 2.5 \times Q \times \beta + a_3 \times 1.8 \times Q \times \beta. \quad (1)$$

式中: W 为饮用水每日需求量, Q 为产生需求的总受灾人数, a_1 、 a_2 、 a_3 表示三个年龄段分别占总人口的比例, β 为季节系数,可根据灾害发生的时间进行调整,正常情况下,饮用水的季节系数取 $\beta = 1$ 。夏季需水量较大时,为保证受灾人员不脱水,改值可适当增大,例如 $\beta = 1.1 \sim 1.3$ 。具体结果如表 1 所示。

表 1 三种情况下人口结构与对应物资需求量

人口结构	A	B	C
老人比例 $a_1/\%$	/	40	20
青壮年比例 $a_2/\%$	/	20	60
儿童比例 $a_3/\%$	/	40	20
饮用水每日需求量 W/L	$2Q\beta$	$2.02Q\beta$	$2.26Q\beta$

由此,可以建立一个向量模型来描述人口结构对生活类物资的影响进行描述。假设向量 $A = (a_1, a_2, a_3)$ 表示三个年龄段分别占总人口的比例,向量 $B_i = (b_1, b_2, b_3)$ 表示三个年龄段单位人口对物资 i 的需求量与平均需求量的比值,则可以定义这样一个参数:

$$\mu_i = A * B_i^T. \quad (2)$$

它可以表示为考虑了不同年龄段对物资 i 需求差异后对物资需求的一个修正系数。2.1.2 家庭组成形式对物资需求的影响

家庭的组成形式也会对灾区的应急物资需求带来一定的影响,尤其是像帐篷这样以家庭为单位共用的物资。根据民政部发布的《救灾帐篷》行业标准^[13],常用的救灾帐篷有 8 m^2 、 12 m^2 、 36 m^2 单(棉)帐篷等。对于普通单(棉)帐篷,假设每人按照 2 m^2 的使用面积,那么 8 m^2 的帐篷适合 3~4 人的家庭, 12 m^2 适合 5~6 人的家庭规模。

在救灾工作实践中,受灾群众的心理和家庭观念等多种因素的综合影响,大多数受灾群众希望与亲人共用一顶帐篷,部分受灾群众不愿意与外人共用一顶帐篷。那么若只给某灾区分配 8 m^2 的帐篷,对于较大的家庭来说将出现拥挤或必须拆散居住的情况;若只分配 12 m^2 的帐篷,对于 3~4 人的家庭来说,多余的空间则难以充分利用。因此,考虑灾区的家庭组成情况,尽可能的根据需分配合适规格的帐篷,应急物资的利用率将得到提高。假设灾区家庭的组成结构主要有三种:①2 位青年、1 个儿童的 3 口之家;②2 位老人、2 个儿童的 4 口之家;③2 位老人、2 位青年和 1 个儿童的 5 口之家。前两种情况每户使用一顶 8 m^2 的帐篷即可满足,而后一种情况则需要一顶 12 m^2 的帐篷或两顶 8 m^2 的帐篷。

因此,可划分三种情境进行考虑, a 表示不考虑家庭规模的情况, b 表示典型农村留守人员组成的家庭为主体的情况, c 表示以普通三口之家为主体的情况。分别假设三种类型家庭组成所占的比例(见表 2),估算对应应急帐篷的需求情况。

不考虑家庭规模情况下,仅 8 m^2 帐篷时,帐篷需求量计算公式如下:

$$T_1 = Q \div 3. \quad (3)$$

不考虑家庭规模情况下,仅 12 m^2 帐篷,帐篷需求量计算公式如下:

$$T_2 = Q \div 5. \quad (4)$$

不考虑家庭规模情况下,兼有两种帐篷,帐篷需求量计算公式如下:

$$T_1 = Q \div 4. \quad (5)$$

考虑家庭规模情况时,仅 8 m^2 帐篷时,帐篷需求量计算公式如下:

$$T_1 = k_1 \times Q \div 3 + k_2 \times Q \div 4 + k_3 \times Q \div 5 \times 2. \quad (6)$$

考虑家庭规模情况时,仅 12 m^2 帐篷,帐篷需求量计算公式如下:

$$T_2 = k_1 \times Q \div 3 + k_2 \times Q \div 4 + k_3 \times Q \div 5. \quad (7)$$

考虑家庭规模情况时,兼有两种帐篷,帐篷需求量计算公式如下:

$$T_1 = k_1 \times Q \div 3 + k_2 \times Q \div 4. \quad (8)$$

$$T_2 = k_3 \times Q \div 5. \quad (9)$$

其中 T_1 为 8 m^2 帐篷需求量, T_2 为 12 m^2 帐篷需求量, Q 为产生需求的总受灾人数, k_1 、 k_2 、 k_3 表示三种家庭组成结构的比例占总家庭数量的比例。

表 2 三种情况下不同帐篷的需求量

	a	b	c
各种家庭形式的比例 %	① k_1	② k_2	③ k_3
	/	/	/
仅 8 m^2 帐篷	$0.333 Q$	$0.348 Q$	$0.33 Q$
仅 12 m^2 帐篷	$0.2 Q$	$0.228 Q$	$0.29 Q$
兼有两种帐篷	$0.25 Q$	$8 \text{ m}^2: 0.108 Q$ $12 \text{ m}^2: 0.12 Q$	$8 \text{ m}^2: 0.25 Q$ $12 \text{ m}^2: 0.04 Q$

不考虑灾区居民的家庭组成情况 a 时,预测方法最简单,按照人数进行平均即可,但是造成了帐篷的浪费; b 、 c 两种情况下,由于考虑了受灾家庭的组成,预测得到的所需的帐篷数量将比不考虑家庭结构时的估算值要大,那是由于家庭规模与帐篷可容纳的人数并不一定相等,如三口之家也必须使用一个可以容纳 4 个人的帐篷,导致了帐篷的利用不够充分,需求量增大。

(1) 各受灾点的家庭组成情况不明时,可以考虑组合多种规格的帐篷送往灾区,受灾点可以依据实际情况进行分配和调整,提高帐篷的利用率。

(2) 如能够评估受灾点的各种家庭规模所占比例时,尽量按照家庭规模比例分配对应规格的帐篷,提高帐篷的利用率。

2.2 物资动态需求动态预测

生活类物资和取暖御寒类物资的需求变化与受灾人口的变化具有密切的关系,且不同的阶段物资需求不同。假设每阶段已准备的应急物资的数量满足该阶段的需求,并在对应阶段开始之前送达灾区。生活类物资的动态数量与受灾人口数量变化一致,取暖御寒类物资的需求是最终累计受灾人口乘以一定的比例。而某一阶段的物资需求应该是本阶段的总需求减去上一阶段已经满足的需求。

3 基于灾情推演的应急救援物资动态需求模型案例

本文利用一个假定案例开展应急救援物资的动态需求分析,其相关数据根据历史数据进行合理假设得到,用于验证模型预测技术方法和精度。假设某地发生 7.5 级地震,地震时间为 6 月份某天的 23:00,该受灾县的灾区总人口数量约为 10 万人,其中老人约占 20%,儿童约占 10%。不同应急阶段媒体报道受灾人数分别为 10 000 人、20 000 人、50 000 人、80 000 人,计算两类物资需求量随灾情的变化情况。由于地震发生在 6 月份,对饮用水的需求可以适当增加,饮用水的季节系数取 $\beta = 1.1$,计算得到各个阶段每日饮用水需求量和新增帐篷需求量如表 3 所示。

表 3 案例预测的各应急阶段对不同救援物资的需求量

应急阶段	受灾人数	每日饮用水需求量/L	新增帐篷需求量/(5 人/顶)
1	10 000	25 630	2000
2	20 000	51 260	2000
3	50 000	128 150	4000
4	80 000	205 040	6000

4 结论

本文根据地震发生后地震灾情在时间和空间上的变化,详细分析了受灾人口数量、年龄分布、受灾人员构成、家庭组成、受灾群众心理等对应

应急救援物资需求的影响,结合灾区人口构成特征,构建了针对饮用水和帐篷的物资动态需求预测模型,提出了完善现有应急救援物资需求预测精度的初步方案。下一步,将重点研究基于应急救援物资供给能力和灾情变化的精准、动态需求预测技术。

参考文献:

- [1] 阎俊爱,郭艺源.非常规突发事件救援物资输送的路径优化研究[J].灾害学,2016,31(1):193-200.
- [2] 王婧,王海军.应急救援中应急物资需求紧迫性分级研究[J].计算机工程与应用,2013,5:4-7.
- [3] 吴雪莲.自然灾害应急物资需求预测方法研究[D].北京:中国科学技术大学,2012:1-47.
- [4] 李丽丽,张军,曾波.基于新陈代谢的大规模地震应急救援物资需求预测研究[J].世界科技研究与发展,2013,35(3):430-433.
- [5] 刘昭.救灾物资的需求推演及调度研究[D].北京:北京邮电大学,2015:1-72.
- [6] 张磊,翁迅,陈琨.城市应急服务设施选址规划模型研究[J].物流技术,2010,29(7):89-91.
- [7] 喻慧,张明,喻珏.基于 K-means 范例推理的救援物资需求预测[J].中国民航大学学报,2017,2:55-59.
- [8] 喻慧,张明,喻珏.基于反馈补偿 K-means 救援物资需求预测[J].航空计算技术,2016,5:52-56.
- [9] 章熙海,万群,吴珍云,等.地震应急救援能力城乡差异性评价指标研究[J].灾害学,2017,32(3):164-170.
- [10] 陈方超,管俊阳,王道重,等.突发事件应急救援物资需求预测的方法研究[J].交通信息与安全,2014,4:155-159.
- [11] 王海鹰,孙刚,欧阳春,等.地震应急期关键时间阶段划分研究[J].灾害学,2013,28(3):166-169.
- [12] 高建国.地震应急期的分期[J].灾害学,2004(1):13-17.
- [13] 民政部.MZ/T 011-2010 救灾帐篷第 1-5 部分[Z].北京:全国减灾救灾标准化技术委员会,2010.

Research on Dynamic Demand Prediction of Emergency Relief Materials Oriented to the Temporal and Spatial Change of Earthquake Disaster Losses

ZHANG Lei

(National Disaster Reduction Centre of China, Beijing 100124, China)

Abstract: The efficient and accurate dynamic forecasting of emergency relief supplies is an important technical guarantee to ensure the basic life of the affected people and to improve the efficiency of disaster emergency rescue. And it is also a hot issue in the field of disaster science research. The prediction model of disaster relief demand based on time series change was proposed, based on the in-depth analysis of the characteristics of earthquake emergency rescue and relief demand. Establish a vector model to describe the impact of population structure on life-related relief supplies by analyzing the impact of the age distribution of the affected population on the demand for relief. Taking into account factors such as the psychological condition of the affected people and the family philosophy, we analyze the family composition of the family size without consideration, typical rural stay-at-home personnel consisting of families, and ordinary family of three as the mainstay, under three scenarios. And the demand for emergency relief materials under the three situations is simulated. By analyzing the relationship between changes in demand for supplies of life-related materials and warm supplies and changes in the population affected by disasters, a cumulative disaster-to-disaster statistics model for each stage of emergency response is given. Finally, through actual cases, it is proved that the prediction model of dynamic demand for drinking water and tent is reasonable.

Key words: earthquake disaster; sequential variation; emergency rescue; emergency relief materials; dynamic prediction