

郑山锁, 张睿明, 相泽辉, 等. 基于家庭决策的震后应急庇护物需求研究[J]. 灾害学, 2018, 33(4): 184–190. [ZHENG Shansuo, ZHANG Ruiming, XIANG Zehui, et al. Research on the demand model of post-earthquake emergency shelters based on family decision[J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(4): 184–190. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2018.04.032.]

## 基于家庭决策的震后应急庇护物需求研究<sup>\*</sup>

郑山锁<sup>1</sup>, 张睿明<sup>1</sup>, 相泽辉<sup>1</sup>, 龙立<sup>1</sup>, 王斌<sup>2</sup>, 郑捷<sup>1</sup>

(1. 西安建筑科技大学 土木工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 西安工业大学 建筑工程学院, 陕西 西安 710032)

**摘 要:** 确定应急庇护物的需求人数是抗震救灾工作中的重要一环。基于较为成熟的家庭决策模拟分析, 综合考虑工程因素与家庭社会经济属性因素, 提出适应我国国情的震后应急庇护物需求模型。通过易损性指数对震后建筑物进行损伤评估后, 该模型在分析过程中以单个家庭作为基本单位, 采用多因素合理指标来量化居民离开住所意愿和应急庇护物需求意愿, 并通过相关资料统计和专家调查方法对各影响因素及其子因素进行参数赋值, 从而建立相应计算公式, 进而通过课题组所开发的中国地震灾害损失评估系统软件(CEDLAS), 分析获得了西安市灞桥区的应急庇护物需求人数预测数据。提出的理论方法可为政府震前避难场所规划及物资准备与震后避难人员安置及物资发放提供理论依据。

**关键词:** 地震灾害; 应急庇护物需求; 家庭决策; 家庭社会经济属性; 易损性; 灞桥区

**中图分类号:** X43; P208; X913.4; TU984.11 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2018)04-0184-07

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2018.04.032

历次强震后都伴随着一个亟待解决的问题: 灾区居民的临时安置与物资的及时供应。该问题的合理规划不仅有益减少间接人员伤亡, 同时也可以缓解政府在随后灾区恢复期间的经济压力。解决这一问题需要估算震后避难人口数量, 而目前国内现有的地震避难人口预测模型大多数是以总人口作为避难人口或基于建筑物的震害经验所建立的<sup>[1]</sup>, 往往忽视了居民在灾害中对应急庇护物的需求与选择等相关问题(这里所讨论的应急庇护物是指具有临时居住性的公共庇护物)。文献[2]所模拟的庇护物模型认为: 在仅考虑房屋不可居住性情况下, 震后家庭应急庇护物需求数目不及真实情况的五分之一。这说明一系列复杂的社会经济等非结构因素亦影响着震后应急庇护物需求, 然而这种影响不易定量表述。鉴于震后应急庇护物需求人口的确定对于抗震救灾工作意义重大, 进行该类研究势在必行。

近些年, 学术界对于地震等灾害造成的人员疏散与安置问题进行的大量研究, 取得了许多成果。Fothergill A 等<sup>[3]</sup>总结美国近 20 年贫穷与灾害相关文献, 从多方面阐述社会各阶层人群的灾害反应, 认为社会地位和收入对于震后的应急反应、恢复重建

及生理心理等方面有明显影响; 美国联邦紧急措施署 FEMA 开发的软件 HAZUS-MH 以 Perkins J B<sup>[4]</sup>提出的庇护物模型为基础, 提出了可通过输入多个家庭参数从而得到无家可归家庭数目与短期应急庇护物需求人数的应急庇护物模型; Chien S W<sup>[5]</sup>通过 1999 年 9 月 21 日我国台湾省南投县集集镇 7.6 级地震后居民对于庇护物的寻求行为, 以及对台北地区居民进行的模拟调查, 从而修正 HAZUS-MH 软件相关默认值, 以期得到更加符合台湾地区居民实际情况的模型。而后台湾地震工程研究中心在软件语言及架构方式方面进行了进一步研发, 形成 TELES 系统; 欧洲 SYNER-G 项目<sup>[6]</sup>在 Chang S E<sup>[7]</sup>提出的应急庇护物模型的思路基础之上, 结合欧洲实际情况对模型进行修正, 不仅考虑到非独立各因素之间的相关系数, 而且确定出适宜欧洲情况的社会经济因素; 汪建等<sup>[8]</sup>借鉴日本在地震避难方面的经验和成果, 提出了综合考虑工程因素和人因条件的地震应急避难场所需求分析模型。

鉴于上述情况, 故本文基于课题组所开发的中国地震灾害损失评估系统软件(CEDLAS)的结构易损性分析, 采取适宜我国国情的社会经济因素进行家庭决策模拟分析, 从而建立一个用于估算震后受

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2018-03-22 修回日期: 2018-05-26

基金项目: 国家科技支撑计划(2013BAJ08B03); 国家自然科学基金(51678475); 陕西省重点研发计划(2017ZDXM-SF-093); 陕西省教育厅产业化项目(2017JC15)

第一作者简介: 郑山锁(1960-), 男, 陕西渭南人, 博士生导师, 教授, 主要从事城市地震灾害损失与风险评估理论及系统开发研究。E-mail: zhengshansuo@263.net

灾区应急庇护物需求人数的模型。这些对我国政府关于应急庇护物及其他救援物资的震前储备和震后发放等具体抗震救灾工作具有重要意义。

## 1 家庭决策影响因素

居民的灾后避难行为是通过分析自然灾害对灾区产生的物理影响和社会影响所得出的。关于自然灾害对社会产生的影响程度,一般通过社会经济因素来表征,但不易量化确定。故 Cutter S L<sup>[9]</sup>、Mitchell J K 等<sup>[10]</sup>社会学者退而采用民众特征属性来描述这种影响。根据行为理论,家庭往往是疏散活动和交通行为的决策主体,个人的行为会受到其他家庭成员的制约<sup>[11]</sup>。鉴于个人的经济条件与思想教育等属性并不能真实地反映家庭实际状况,而且同一社区内每户家庭的情况差异较大,故本文采用单个家庭作为基本单位来反映民众的特征属性。通过对相关文献的统计调查,得到不同被引用因素的名称及其引用频数(图 1)。

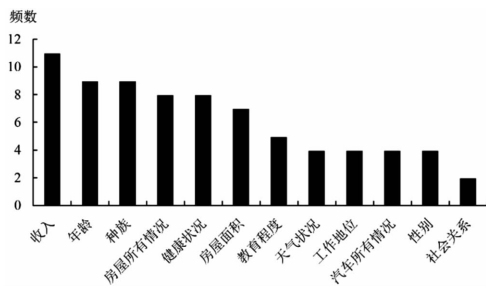


图 1 不同被引用因素的名称及其引用频数

基于上述思路,可将影响居民震后庇护物需求行为因素分为两类:①震后房屋受损导致结构的不可居住性,即工程因素,主要考虑结构的抗震性能;②在房屋具备可居住性前提下,影响居民应急庇护物需求的家庭社会经济属性,即家庭社会经济因素。结合我国国情,根据影响的性质和结果可将家庭社会经济属性细分为以下两类。

### 1.1 影响居民离开住所的家庭社会经济属性因素

(1)家庭受教育程度:此值取家庭成员中所接受的最高教育程度。总体来说,在房屋结构损坏程度相同情况下,受教育程度较高者比受教育程度较低者,其具备更清醒的认识,盲从心理较小,对新式媒介具有较强掌握能力,能够通过多种途径获取灾区最新资讯,从而避免受到谣言影响,具备良好判断能力。因此,受教育程度不同家庭在房屋损坏程度相同情形下会产生不同的庇护物需求。比如受教育程度越高者,面临大震时所了解到的地震灾害严重性越充分,选择离开住所的可能性就越大;而当面临中小震时,面对发生大强度余震谣言,反而更倾向于留下。

(2)家庭成员结构:家庭在决定是否离开住所时会特殊年龄段成员给予考虑。一般来说,为保证年龄小于 16 岁或大于 65 岁的特殊成员生命安全,家庭会更倾向于离开住所;但若家庭结构均为年龄

大于 65 岁的成员,考虑到自理能力较差,行动不方便等因素,其离开住所意愿较低;若家庭无特殊年龄段成员,其离开住所意愿受家庭成员结构因素影响较小,离开意愿受其他因素影响较大。

(3)天气状况:震后天气状况亦是影响居民离开住所意愿的另一原因。若地震发生时天气状况良好,因气候适宜,对健康影响较小,居民离开意愿较高;若地震发生时天气恶劣,离开住所反而可能导致家庭成员出现健康问题,故此时居民离开意愿相对较低。

(4)房屋所有权:分为房屋所有者与租住者两种情况。房屋所有者房屋归属感更强,离开意愿较低;而对于租住者来说,其可携带较少的自身财物离开住所所以寻求更安全住所,因而离开意愿较高。

(5)行政要求:地震发生后,基于某些原因考量,政府可能会强制要求某区域居民离开住所。此因素仅由政府决定,故不参与权重赋值。

由于上述因素所占比例较大且相互独立,在相关文献中反复提及,简单实用,故仅列出上述五类因素。其中,除行政要求外剩余四类对居民是否离开住所影响程度不同。各因素  $\omega^{im}$  下所分级对应的互斥子因素代表不同情况的影响,其  $\omega^{el}$  权重赋值越大代表离开意愿越大,反之则越小。为避免和降低主观性,邀请了 7 位有经验的专家通过专家调查问卷对两类家庭社会属性的各因素及子因素赋值,结合相关文献归整后得出各因素权重赋值(表 1)。其中家庭受教育程度的各互斥子因素赋值,依据所发生地震烈度是否高于本地区基本设防烈度有两组取值。如地震造成的实际烈度高于基本设防烈度则取后者,反之取前者。

表 1 影响居民离开住所的各因素及互斥子因素的权重赋值

$\omega^{im}$	互斥子因素描述	$\omega^{el}$
家庭成员结构 (0.4)	成员年龄均 >65	0.2
	成员年龄均位于 16 ~ 65	0.4
	存在家庭成员年龄 < 16	0.8
	存在家庭成员年龄 > 65	0.8
家庭受教育水平 (0.3)	小学及以下	0.8/0.4
	初高中	0.6/0.5
	大学	0.5/0.6
	硕士及以上	0.4/0.7
房屋所有权 (0.2)	屋主	0.4
	租客	0.8
天气状况 (0.1)	天气恶劣	0.2
	天气较差	0.3
	天气良好	0.7

### 1.2 影响居民寻求庇护物的家庭社会经济属性因素

(1)家庭月收入:收入较高家庭离开住所后可选择性较大,如居住在旅店或离开灾区,而收入较低家庭出于经济方面考虑则更多选择公共避难场所的应急庇护物。故家庭收入越低,其寻求应急庇护物意愿越高;反之则意愿越低。建议将家庭月收入因素分为 <4 000 元、4 000 元 ≤ 月收入 < 7 000 元、7 000 元 ≤ 月收入 < 10 000 元、10 000 元 ≤ 月收入 <

15 000 元、月收入 $\geq 15\,000$  元,共 5 个层次。

(2)家庭社会关系:此因素用来表征家庭成员社会地位。家庭成员社会地位较高者,其可获取资源较多,可自己寻求临时住所,故应急庇护物寻求意愿较低;相反则寻求意愿较高。由于家庭社会地位通常与家庭财富状况相关,因此可依据家庭财产在当地所处层次进行划分。故将社会地位分为三类:

高(前 5%)、较高(前 5%~20%)、普通(剩余 80%)。

(3)家庭亲戚朋友情况:地震后,家庭亲戚朋友较多者可寻求亲朋好友帮助,应急庇护物寻求意愿低;相反则寻求意愿较高。根据亲戚朋友数目将其分为三类:多( $\geq 50$  人)、一般(10~50 人)、少( $<10$  人)。

(4)汽车拥有情况:此因素用来表征居民自主选择住所的交通可达性。汽车拥有家庭达到自主决定的临时住所可能较大,并且车辆本身也可充当临时住所,故这种情况下应急庇护物寻求意愿较低;相反则寻求意愿较高。

上述四种因素中收入所占权重明显高于其他因素。参考相关文献,以及专家调查问卷的结果,不同应急庇护物寻求因素 $\varphi^{im}$ 及互斥子因素 $\varphi^{el}$ 的权重因子具体赋值如表 2 所示。

表 2 影响居民寻求庇护物的各因素及互斥子因素的权重赋值

$\varphi^{im}$	互斥子因素描述	$\varphi^{el}$
家庭月收入/元 (0.4)	$<4000$	0.9
	4000~7000	0.7
	7000~10000	0.5
	10000~15000	0.3
	$\geq 15000$	0.1
家庭社会关系 (0.2)	高	0.2
	较高	0.5
	普通	0.8
亲戚朋友数量 (0.2)	多	0.2
	一般	0.5
	少	0.8
汽车拥有情况 (0.2)	拥有	0.5
	不拥有	0.7

## 2 庇护物需求模型

由于诸如山体滑坡、泥石流等次生地质灾害不易量化,这里仅考虑了地震作用对建筑物破坏状态的影响。根据国家标准《GB/T 24335-2009 建筑物地震破坏等级划分》<sup>[12]</sup>,建筑结构在地震作用下会造成不同的破坏,其中结构破坏状态分为五类:基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏及倒塌。参考我国地震烈度表<sup>[13]</sup>,给出不同破坏状态对应的震害指数(表 3),其中包括震害指数上下限及平均值。通过本课题组所开发的 CEDLAS 软件进行结构易损性分析,得到灾区建筑物的具体破坏状态后,家庭模拟决策分析首先应

明确灾区的无家可归人员数量,然后在此基础上筛选可通过家庭途径自主寻找住所的部分人员,从而得到真正需要寻求政府安置的应急庇护物需求人员。上述逻辑过程经简化得到图 2 所示的居民家庭决策模拟流程框图以模拟实际情况。图 2 中各步骤“是”、“否”并不是真正意义上的是否,而带有一定的概率属性。图中两个虚线范围表示“居民是否有意愿离开”及“是否有其他选择”这两步受到多个家庭社会经济因素的影响。

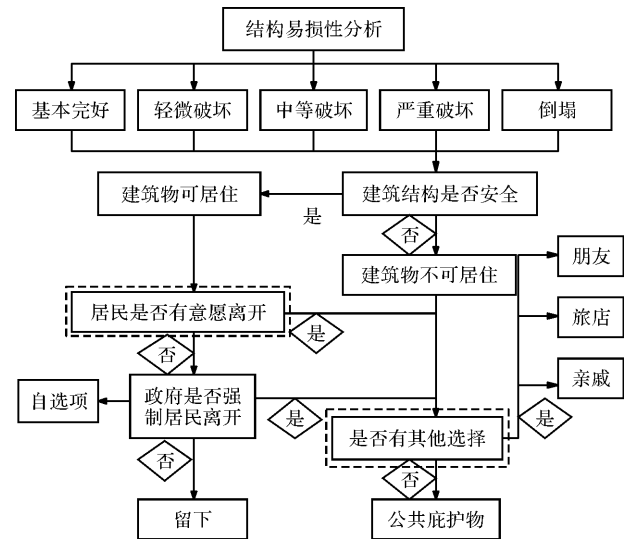


图 2 居民家庭决策模拟流程框图

表 3 破坏状态及相应的震害指数范围及平均值

震害指数	破坏状态				
	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	倒塌
上下限/%	[0, 10]	[10, 30]	[30, 55]	[55, 85]	[85, 100]
平均值/%	5	20	42.5	70	92.5

## 3 结构易损性分析

结构易损性是用来表征在遭受不同强度地震动的作用下,结构在不同极限破坏状态(LS, Limit States)的概率<sup>[14]</sup>。其从概率意义上定量反映结构抗震性能,为预测震后区域结构破坏状态,以及进行庇护物需求人数提供技术支持。胡少卿通过震害资料普查建立了具体预测区的建筑物易损性矩阵,并得到了基于建筑物易损性分类的群体震害预测方法<sup>[15]</sup>,但由于震后统计数据得到的经验易损性存在基础数据少、适用性差、不连续和主观性强等固有缺陷<sup>[16]</sup>,故本课题组采用解析易损性进行分析。解析地震易损性曲线的建立是以各类典型结构作为城市区域相应建筑结构的主要代表模型,并考虑建筑高度、抗震设防烈度、龄期及抗震设计规范等结构主要参数的影响。

### 3.1 地震易损性指数

为进一步评估结构的地震损伤,本文借鉴基于易损性分析获得的结构破坏状态失效概率,计算得到单体结构震害指数的数学期望并以此来定义结构的“易损性指数”(VI, Vulnerability Index)<sup>[17]</sup>:

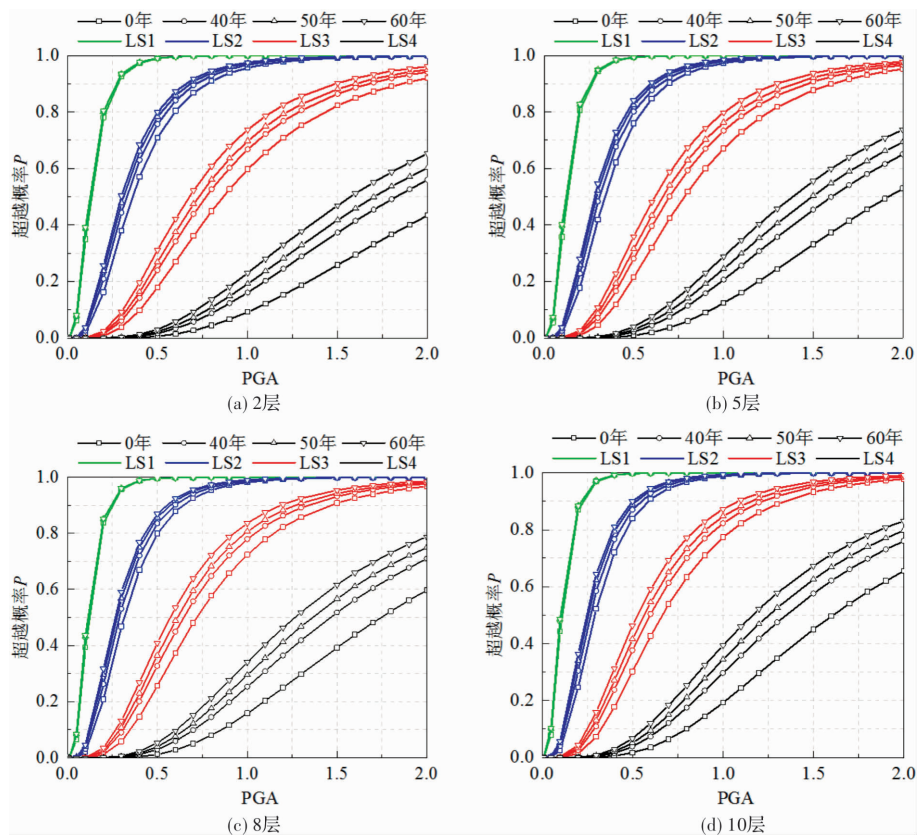


图3 设防烈度为Ⅷ度(0.20g)的不同层数与服役龄期下 RC 框架结构地震易损性曲线

表4 不同类型结构在不同破坏状态下的人员死亡率

类别	基本完好 $R_{11}/\%$	轻微破坏 $R_{12}/\%$	中等破坏 $R_{13}/\%$	严重破坏 $R_{14}/\%$	倒塌 $R_{15}/\%$
土坯、石、及无抗震构造措施的砌体结构	0	0	0.01	1	5.0
有抗震构造措施砌体结构	0	0	0.001	0.5	3.0
钢筋混凝土结构	0	0	0.001	0.5	3.0
钢结构	0	0	0.001	0.5	3.0
钢与混凝土组合结构	0	0	0.05	1	5.0

$$VI = \sum_{k=1}^5 DF_k \times P(DS_k | PGA) \quad (1)$$

式中:  $DF_k$  ( $k=1, \dots, 5$ ) 为基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏及毁坏 5 种破坏状态所对应的震害指数, 本文暂取平均值。PGA 为地面峰值加速度,  $P(DS_k | PGA)$  为结构的发生第  $k$  类破坏状态的概率。

由此概念可定量评估该结构的地震损伤, 并基于课题组考虑了建筑高度、抗震设防烈度、龄期及抗震设计规范的差异, 根据实验数据计算所得到的 7 210 条解析地震易损性曲线, 可以得到建筑物的易损性指数。图 3 给出设防烈度为Ⅷ度(0.20 g)在役典型 RC 框架结构按不同层数与不同服役龄期所绘制的地震易损性曲线。

## 4 家庭决策分析

### 4.1 无家可归人员计算

#### 4.1.1 由结构安全性而导致的无家可归

对于某栋建筑物, 若房屋破坏状态为严重破坏与倒塌 ( $VI \geq 55\%$ ), 家庭势必会做出离开住所

决定。即该建筑物不可居住, 应当疏散整栋建筑物的所有居民。故这种情况下的无家可归人员数目  $N_1$  及相应情况下无家可归家庭总数目  $N'_1$ , 分别按下式计算:

$$N_1 = \left\{ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{m_i \times \alpha_i} n_{ij} \times (1 - R_{ik}) \mid VI \geq 55\% \right\}; \quad (2)$$

$$N'_1 = \left\{ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{m_i \times \alpha_i} 1 \mid VI \geq 55\% \right\}. \quad (3)$$

式中:  $m$  为评估区内的建筑物总栋数,  $m_i$  为第  $i$  栋建筑物总户数;  $\alpha_i$  为第  $i$  栋建筑住户入住率, 暂取 0.55;  $n_{ij}$  为第  $i$  栋第  $j$  户家庭成员数;  $R_{ik}$  为第  $i$  栋建筑第  $k$  类破坏状态下人员死亡率, 依据本课题组的研究按不同结构类型分类, 取值如表 4 所示。

#### 4.1.2 由家庭社会经济属性而导致的无家可归

在房屋具备可居住性条件, 但处于中等破坏状态时, 居民可能由于其他因素离开住所, 这取决于影响居民是否离开住所的家庭社会经济因素。通过对家庭属性信息调研, 可得到不同家庭的离开住所意愿指数  $\omega$ , 输出结果在 0~1 之间。居民离开住所意愿越强则  $\omega$  越趋于 1, 反之则  $\omega$  越趋于 0。计算公式如下:



$$\omega = \sum_{k=1}^4 \omega_k \quad (4)$$

式中:  $\omega$  为居民家庭离开意愿指数;  $\omega_k$  为第  $k$  类因素影响指数 ( $0 \leq \omega_k \leq 1$ ), 按下式计算:

$$\omega_k = \omega_k^{im} \times \omega_k^{el} \quad (5)$$

式中:  $\omega_k^{im}$  为第  $k$  类因素的权重因子 ( $\sum \omega_k^{im} = 1$ ), 用来表征某类因素对居民离开意愿影响程度;  $\omega_k^{el}$  为某类因素的互斥子因素权重因子 ( $0 \leq \omega_k^{el} \leq 1$ )。上述因子取值见表 1。

考虑是否存在行政命令, 按两种不同情况计算:

(1) 当居民意愿指数达到一定程度 ( $\omega_{ij} \geq W$ , 本文暂取 60%) 时, 所导致的无家可归人员数目  $N_2$  及相应情况下无家可归家庭总数目  $N'_2$  可分别按下式计算:

$$N_2 = \left\{ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{m_i \times \alpha_i} n_{ij} \times (1 - R_{ik}) \mid 30\% \leq VI \leq 55\%, \omega_{ij} \geq W \right\}; \quad (6)$$

$$N'_2 = \left\{ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{m_i \times \alpha_i} 1 \mid 30\% \leq VI \leq 55\%, \omega_{ij} \geq W \right\} \quad (7)$$

式中:  $\omega_{ij}$  为第  $i$  栋建筑物第  $j$  户家庭离开意愿指数, 按式(3)计算。其他符号含义同上文。

(2) 当存在政府行政指令等外部因素时, 居民不得不离开, 则无家可归人员数目  $N_2$  及相应情况下无家可归家庭总数目  $N'_2$  可分别按下式计算:

$$N_2 = \left\{ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{m_i \times \alpha_i} n_{ij} \times (1 - R_{ik}) \mid 30\% \leq VI \leq 55\% \right\}; \quad (8)$$

$$N'_2 = \left\{ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{m_i \times \alpha_i} 1 \mid 30\% \leq VI \leq 55\% \right\} \quad (9)$$

#### 4.1.3 无家可归总人数和总户数

综上, 无家可归人员总数目  $N_{DP}$  及无家可归家庭总数目  $N'_{DP}$  可分别按下式计算:

$$N_{DP} = \sum_{i=1}^2 N_i; \quad (10)$$

$$N'_{DP} = \sum_{i=1}^2 N'_i \quad (11)$$

#### 4.2 确定应急庇护物需求人员

与上一步类似, 通过家庭属性信息调研可得到不同家庭对应急庇护物的需求意愿指数  $\varphi$ , 输出结果在 0~1 之间。计算公式如下:

$$\varphi = \sum_{k=1}^4 \varphi_k \quad (12)$$

式中:  $\varphi$  为居民家庭应急庇护物寻求意愿指数 ( $0 \leq \varphi \leq 1$ )。居民寻求应急庇护物意愿越强则  $\varphi$  越趋于 1, 反之则  $\varphi$  越趋于 0;  $\varphi_k$  为第  $k$  类因素影响指数 ( $0 \leq \varphi_k \leq 1$ ), 共 4 类因素, 按下式计算:

$$\varphi_k = \varphi_k^{im} \times \varphi_k^{el} \quad (13)$$

式中:  $\varphi_k^{im}$  为某类因素的权重因子 ( $\sum \varphi_k^{im} = 1$ ), 用来表征某类因素对居民寻求应急庇护物意愿的影响程度;  $\varphi_k^{el}$  为某类因素中的互斥子因素权重因子 ( $0 \leq \varphi_k^{el} \leq 1$ )。上述因子取值见表 2。

综上, 应急庇护物需求人数  $N_{SN}$  可按下式计算:

$$N_{SN} = \sum_{j=1}^{N'_{DP}} n_j \times \varphi_j \quad (14)$$

式中: 为无家可归家庭中第  $j$  户家庭人数;  $\varphi_j$  为无家可归家庭中第  $j$  户家庭应急庇护物需求意愿指数。

## 5 示范应用分析

本文以西安市灞桥区为例研究震后应急庇护物的需求人数。该区抗震基本设防烈度为 VIII, 常住人口 60 万左右。根据课题组的数据采集, 共获取灞桥区 61 625 栋建筑物的相关数据, 其中通过普查获取建筑物数据 28 969 栋, 通过抽查获取建筑物数据 32 656 栋。利用本课题组所研发的 CEDLAS 软件, 根据历史资料统计, 选取 1556 年华县 8  $\frac{1}{4}$  大地震, 震中位置 34.5°N、109.7°E, 震源深度 14 km, 震中距 75 km 进行示范应用。因主要发震构造为华南山前断裂、渭河断裂及渭南塬前断裂, 极震区的地震烈度为 XI。灞桥区位于华县的西南方向, 距离震中 75 km 左右, 据历史资料统计, 华县地震造成的灞桥区实际烈度为 IX, 高于本地区基本设防烈度。图 4 所示为地震峰值加速度分布图。结合灞桥区所采集并建立的建筑物和家庭信息基础数据库, 对该区的建筑物破坏状态与应急庇护物进行需求人数进行预测, 结果如图 5、表 5 和表 6 所示。

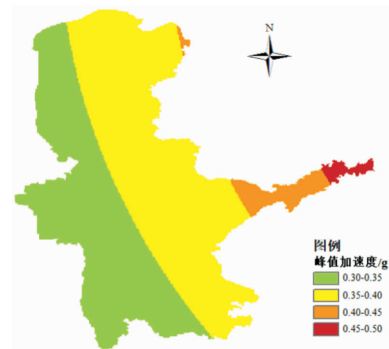


图 4 华县 8  $\frac{1}{4}$  级地震下灞桥区峰值加速度分布图

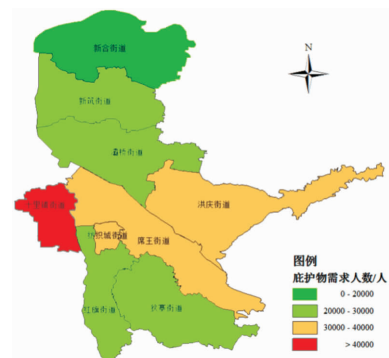


图 5 华县 8  $\frac{1}{4}$  级地震下灞桥区庇护物需求人员分布图

由表 5 可知, 在华县特大地震作用下, 灞桥区约 60% 的建筑物发生中等破坏, 约 30% 的建筑物发生严重破坏, 并出现少量倒塌, 但总体倒塌率小于 5%。因结构形式 (建筑材料) 与体系的不同, 故其破坏状态差异较大。总的来说, 相比砌

表 5 灞桥区建筑物破坏状态统计结果

材料形式	结构体系	基本完好/%	轻微破坏/%	中等破坏/%	严重破坏/%	倒塌/%
RC 结构	RC 框架结构	0/0	0/0	95.73/98.6	4.27/1.4	0/0
	RC 抗震墙结构	0/0	45.28/13.18	54.72/86.82	0/0	0/0
钢结构	钢框架结构	0/0	21.74/67.59	78.26/32.41	0/0	0/0
	钢排架结构厂房	0/0	0/0	92.86/98.3	7.14/1.7	0/0
砖砌体结构	有抗震构造措施	0/0	0/0	88.51/63.16	11.49/36.84	0/0
	无抗震构造措施	0/0	0/0	0/0	98.99/98.96	1.01/1.04
	底部框架-抗震墙	0/0	2.34/15.27	64.47/56.31	33.19/28.43	0/0
	大开间	0/0	0/0	10.53/16.84	72.81/59.76	16.67/23.41
土坯结构	土坯砌体结构	0/0	0/0	0/0	22.46/21.88	77.54/78.12
合计		0/0	0.37/3.61	67.69/60.69	28.41/34.95	3.53/0.75

注: 表中数据表示为灞桥区建筑物发生五种破坏状态所占比例(建筑物栋数的百分比/建筑面积的百分比)。

表 6 西安市灞桥区各街道办无家可归及庇护物需求人数预测

街道办名称	常住人口	结构安全性导致无家可归		家庭属性导致无家可归		应急庇护物需求人数	
	$N_{RP}$	$N_1$	$N_1/N_{RP}$	$N_2$	$N_2/N_{RP}$	$N_{SN}$	$N_{SN}/N_{RP}$
新合街道	42896	13010	30.33%	15742	36.70%	18688	43.57%
新筑街道	54191	16490	30.43%	19952	36.82%	23688	43.71%
灞桥街道	52557	16897	32.15%	20445	38.90%	24273	46.18%
洪庆街道	67703	21333	31.51%	25812	38.13%	30645	45.26%
席王街道	72599	22549	31.06%	27284	37.58%	32392	44.62%
十里铺街道	100867	28596	28.35%	34601	34.30%	41078	40.72%
狄寨街道	59737	18972	31.76%	22956	38.43%	27253	45.62%
纺织城街道	92435	27806	30.08%	33645	36.40%	39943	43.21%
红旗街道	52139	15693	30.10%	18988	36.42%	22543	43.24%
合计	595124	181346	30.47%	219425	36.87%	260503	43.77%

体及土坯结构, RC 结构与钢结构的抗震性能相对较好, 破坏状态主要集中在中等破坏和轻微破坏范围, 基本无倒塌情况, 其中 RC 抗震墙结构与钢框架结构基本未出现严重破坏情况。砌体及土坯结构中, 有抗震构造措施砌体结构与底部框架-抗震墙砌体结构因其抗震措施较为完善, 震害相对较轻, 破坏状态以中等破坏为主。相反, 由于材料与构造缺陷, 土坯砌体结构 70% 以上发生倒塌; 无抗震构造措施砌体结构与部分大开间砌体结构因抗震措施缺少或缺失, 故严重破坏所占比例较大, 一些建造年代久远的房屋, 甚至出现倒塌。基于上述分析, 灞桥区建筑物破坏状态评估和统计结果与建筑物实际技术情况基本相符。

从表 6 可知, 该区由于结构安全性导致的无家可归人数占常住人口的 30.47%, 家庭属性导致的无家可归占 36.87%, 应急庇护物的需求人数 43.77%, 因建筑物类型与人口密度分布不同, 各街道办的相应比例有一定差异。由图 5 可以看出灞桥区的庇护物需求人员分布状况。虽然预测数据大于《北京市地震应急避难场所规划》所推荐的 30% 常住人口比例(Ⅷ度设防区按Ⅷ度地震进行规划), 但鉴于华县地震造成的灞桥区实际烈度高于本地区基本设防烈度, 属于罕遇地震。由此可判断, 该模型具有一定的合理性和可行性。通过数据对比可见, 家庭社会经济因素对于震后的无家可归人数及真实庇护物需求人数有很大影响, 不可忽视。

6 结语

(1) 本文揭示了影响居民震后庇护物需求的因素不仅包含房屋可居住性, 亦包含家庭社会经济属性, 并确定了符合我国国情与人民生活习惯的家庭社会经济属性影响因素。

(2) 以家庭属性为基础, 考虑影响居民震后行为的多种社会经济因素, 结合居民家庭决策模拟分析, 建立了震后应急庇护物需求模型。

(3) 模型以取值为 0~1 的居民离开意愿指数和应急庇护物需求指数分别表征居民离开住所行为和无可归家庭寻求公共庇护物行为, 从而较好的解决了这两个多因素影响指标的量化问题。

(4) 基于课题组考虑多参数因素建立的典型结构所获得的解析易损性曲线库, 采用易损性指数并参考我国规范, 给出不同破坏状态对应的震害指数, 以此评估震后结构损伤程度。

(5) 基于课题组开发的“中国地震灾害损失评估系统(CEDLAS)”, 通过采集并建立评估区域相关基础数据库, 对西安市灞桥区进行示范应用。

(6) 通过对比表明该模型有较高的可靠度, 研究成果可以对特定区域的地震灾害进行公共庇护物需求分析评估。其评估结果可直接用来应急救援, 为政府风险管理提供理论依据。

## 参考文献:

- [1] 陈志芬, 周健, 王家卓, 等. 应急避难场所规划中避难人口预测的简便方法——以地震灾害为例[J]. 城市规划, 2016, 40(9): 105–112.
- [2] Mileti D, Noji E. Disasters by Design: A Reassessment of Natural Hazards in the United States [M]. Washington D. C.: Joseph Henry Press, 1999.
- [3] Fothergill A, Peek L A. Poverty and disasters in the United States: A review of recent sociological findings[J]. Natural hazards, 2004, 32(1): 89–110.
- [4] Perkins J B. Shaken awake: estimates of uninhabitable dwelling units and peak shelter populations in future earthquakes affecting the San Francisco Bay region [M]. Oakland, Calif.: Association of Bay Area Governments, 1996.
- [5] CHIEN S W, CHEN L C, CHANG S Y, et al. Development of an after earthquake disaster shelter evaluation model[J]. Journal of the Chinese institute of engineers, 2002, 25(5): 591–596.
- [6] Pitalakis K, Taucer F, Kakderi K. Systemic Seismic Vulnerability and Risk Analysis for Buildings, Lifeline Networks and Infrastructures Safety Gain [EB/OL]. [2018–05–25] <http://www.vce.at/SYNER-G/files/dissemination/d-eliverables.html>.
- [7] CHANG S E, Pasion C, Yavari S, et al. Social impacts of lifeline losses: modeling displaced populations and health care functionality [C]// TCLEE 2009: Lifeline Earthquake Engineering in a Multihazard Environment. ASCE conference proceedings, 2009: 563–572.
- [8] 汪建, 赵来军, 王珂, 等. 地震应急避难场所建设的需求与人因分析[J]. 工业工程, 2013, 16(1): 9–13, 24.
- [9] Cutter S L, Boruff B J, Shirley W L. Social vulnerability to environmental hazards[J]. Social science quarterly, 2003, 84(2): 242–261.
- [10] Mitchell J K. Crucibles of Hazard: Mega-Cities and Disasters in Transition [M]. Tokyo: United Nations University Press, 1999.
- [11] 周钱. 基于家庭决策的交通行为和预测研究[D]. 北京: 清华大学土木工程系, 2008.
- [12] GB/T 24335–2009 建(构)筑物地震破坏等级划分[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [13] GB/T 17742–2008 中国地震烈度表[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [14] 郑山锁, 张艺欣, 秦卿, 等. RC 框架核心筒结构的地震易损性研究[J]. 振动与冲击, 2016, 35(23): 106–113.
- [15] 胡少卿, 孙柏涛, 王东明. 基于建筑物易损性分类的群体震害预测方法研究[J]. 地震工程与工程振动, 2010, 30(3): 96–101.
- [16] 郑山锁, 相泽辉, 郑捷, 等. 我国建筑物地震保险制度及保险费率厘定研究[J]. 灾害学, 2016, 31(3): 1–7, 19.
- [17] 于晓辉, 吕大刚, 范峰. 基于易损性指数的钢筋混凝土框架结构地震损伤评估[J]. 工程力学, 2017, 34(1): 69–75, 100.

## Research on the Demand Model of Post-earthquake Emergency Shelters Based on Family Decision

ZHENG Shansuo<sup>1</sup>, ZHANG Ruiming<sup>1</sup>, XIANG Zehui<sup>1</sup>, LONG Li<sup>1</sup>, WANG Bin<sup>2</sup> and ZHENG Jie<sup>1</sup>

(1. School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;

2. School of Civil and Architecture Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China)

**Abstract:** The determination of human quantities of emergency shelters demand is the key of relief work in earthquake. Based on the relatively mature simulation analysis of family decision, we put forward the post-earthquake emergency shelters demand model adapted to China's national conditions, which considered all engineering factors and socio-economic attributes of family. After damage assessment of the post-earthquake buildings through the vulnerability index, the model which used the single family as the basic unit in the analysis process, adopted rational indicators of multi-factors to quantify the residents' willingness to leave their homes and seek emergency shelters. According to relevant data statistics and expert investigation method, the parameters values were assigned to influencing factors as well as their sub-factors to set up the calculation formula. Based on the China Earthquake Disaster Loss Assessment System Software (CEDLAS) developed by our research group, the predicted human quantities of emergency shelters demand of Baqiao District in Xi'an were obtained. The research method of this paper can provide the theoretical reference for pre-earthquake preparation of emergency shelters and goods and materials as well as post-earthquake arrangement of sheltering people and required goods and materials.

**Key words:** seismic hazard; emergency shelters demand; family decision; socio-economic attributes of family; vulnerability; Baqiao District