

张晓雪, 赵晗萍, 王方萍, 等. 基于情景分析的地震人员死亡快速评估[J]. 灾害学, 2018, 33(4): 197–203. [ZHANG Xiaoxue, ZHAO Hanping, WANG Fangping, et al. Rapid assessment of seismic fatality based on scenario analysis [J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(4): 197–203. doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2018.04.034.]

## 基于情景分析的地震人员死亡快速评估<sup>\*</sup>

张晓雪<sup>1,2,3</sup>, 赵晗萍<sup>1,2,3</sup>, 王方萍<sup>1,2,3</sup>, 王 晗<sup>1,2,3</sup>, 周 健<sup>4</sup>

(1. 北京师范大学 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 2. 北京师范大学 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875; 3. 北京师范大学 地理科学学部, 北京 100875; 4. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081)

**摘 要:**震后人员死亡快速评估对地震应急响应启动十分重要。基于震级、烈度和发震时间三个影响地震人员死亡的主要因素, 构建三级地震应急基础情景; 考虑地震人员死亡评估过程的不确定性, 以我国 1970–2015 年 183 次破坏性地震为样本, 运用信息扩散理论估算各地震应急基础情景下人员死亡率期望值及死亡率区间概率值, 基于地震烈度分布图与人口密度数据评估受灾人口, 进而建立基于情景分析的地震人员死亡快速评估模型; 在此基础上, 利用该模型对近几年发生的地震进行死亡人数及区间评估, 验证模型的精度, 并选取两个较为典型的模型进行精度对比, 结果表明基于情景分析的地震人员死亡快速评估模型精度更高, 且死亡人数区间评估形式使模型适用性更强, 能够为震后应急响应启动提供理论依据。

**关键词:**地震; 死亡率; 快速评估; 情景分析; 信息扩散; 不确定性

**中图分类号:** X43; P315.9   **文献标志码:** A   **文章编号:** 1000–811X(2018)04–0197–07

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2018.04.034

震后伴随着道路损毁、通信中断等问题, 无法及时展开现场调查<sup>[1–2]</sup>, 因此利用第一时间获取的有效信息进行人员死亡快速评估是启动应急响应的核心依据。但影响地震人员死亡评估的因素众多且之间关系复杂<sup>[3]</sup>, 很难得到准确的评估结果, 利用震后有限信息快速评估人员死亡并刻画其结果的不确定性则是解决这一问题的关键路径。目前, 地震人员死亡快速评估的方法主要有基于建筑损失的分析模型、半分析模型和基于地震参数的经验模型<sup>[4–5]</sup>。

建筑的损毁将直接影响是地震人员死亡, 但由于建筑数据的复杂性及难获取性<sup>[6]</sup>, 使得震后无法及时利用分析模型和半分析模型展开地震人员死亡快速评估<sup>[7–8]</sup>。经验模型恰巧弥补了这一问题, 其通过地震数据拟合分析, 建立地震参数与人员死亡之间的关系, 是地震人员死亡快速评估的常用模型<sup>[9]</sup>。早在 1951 年, Kawasumi 通过对日本历史地震资料的分析, 对人员伤亡估计做了初步研究<sup>[10]</sup>。近些年, Samardjieva 等通过分析 20 世纪发生在全世界范围内的强震, 以人口密度为划

分标准, 提出了全球尺度的基于震级和烈度的地震人员死亡评估模型<sup>[11]</sup>; Badal 等在 Samardjieva 的研究基础上, 考虑人员死亡率, 提出了地震人员伤亡定量评估模型<sup>[12]</sup>; Kishor 等通过重建地震案例场景, 基于烈度区人口分布, 运用最优化方法建立了基于烈度的人员死亡率模型<sup>[13]</sup>, 并针对全世界的地震案例进行了研究分析<sup>[14]</sup>。然而地震的影响具有较强区域性, 因此国内学者利用我国地震历史数据展开了相关研究, 陈棋福等<sup>[6]</sup>分析我国 1980–2000 年的地震案例, 以人口密度为划分标准得到了地震人员死亡和震级之间的经验公式; 李晓杰等<sup>[15]</sup>利用我国 1970–2008 年的 128 次地震资料, 基于 HUZAS 的全球地震快速评估系统的伤亡回归模型, 建立了中国区域的地震伤亡评估模型; 施伟华等<sup>[16]</sup>整理分析了云南省 1992–2010 年的地震资料, 得到了震级、烈度与死亡人数之间关系模型。总结国内外地震人员死亡快速评估经验模型, 其具有快速高效的特点, 但大多数经验模型依赖于单个或多个参数进行回归分析, 忽略了评估过程中的不可控因素, 因此基于特定

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2018–02–05   修回日期: 2018–04–30

基金项目: 国家自然科学基金项目“灾害应急供应链中不确定与干扰下牛鞭效应风险弱化研究”(41471424)

第一作者简介: 张晓雪(1995–), 女, 黑龙江肇州人, 硕士研究生, 主要从事灾害损失评估及灾害风险决策方面研究。

E-mail: zhangxiaoxue@mail.bnu.edu.cn

通讯作者: 赵晗萍(1977–), 女, 河北乐亭人, 副教授, 博士, 主要从事风险管理及灾害风险决策与对策方面研究。

E-mail: zhaohanping@bnu.edu.cn

形式的经验模型针对样本量较少、分布不均匀或样本年代久远进行拟合时,评估结果会存在忽略极端事件的情况,且目前针对模型评估结果的不确定性研究也相对欠缺。

本研究针对震后无法获取房屋建筑损失数据时,充分考虑地震灾害特征、参数科学性、震后数据有效性。选取震级和发震时间,结合各地区建筑抗震设防烈度与震中烈度关系,构建三级地震应急基础情景。基于此利用信息扩散理论评估各应急基础情景的死亡率期望值,建立基于情景分析的地震人员死亡快速评估模型,并刻画评估结果的不确定性。最后利用近几年的历史震例验证模型精度和可靠性,并选取了两个样本数据、模型参数均不相同的经验模型进行精度对比。

## 1 数据与方法

### 1.1 数据来源

收集我国 1970–2015 年间 183 次造成人员伤亡的破坏性地震数据(数据内容包括:震级、发震时间、震中烈度、震中经纬度、震源深度、死亡人数、受灾人数),其中死亡人数和受灾人数信息来源于 EM-DAT(<http://www.emdat.be/>),地震参数信息来源于 PAGER(<https://www.pager.com/>),并结合地震局每年发布的《中国大陆地震灾害损失评述》完善、校正样本信息。收集的历史地震点分布如图 1 所示。

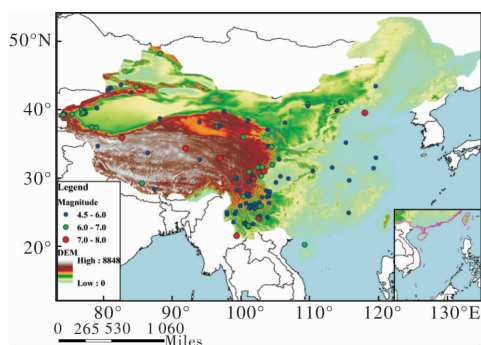


图 1 中国大陆 1970–2015 年历史地震样本分布图

### 1.2 地震应急基础情景设定

地震参数是地震人员死亡的主要影响因素。

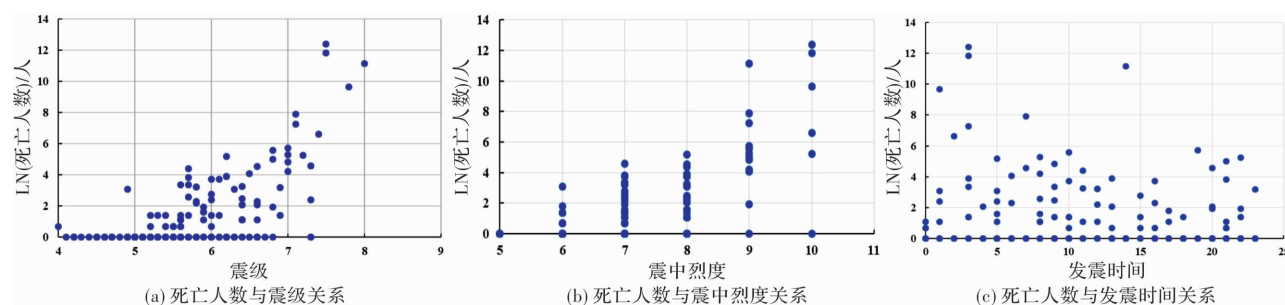


图 2 死亡人数与地震参数之间的关系

一般来讲,震级越大,震中烈度也越高,破坏性就越大,灾害规模或建筑破坏等级就越高,其造成的死亡人数越多,经济损失越严重<sup>[17-18]</sup>。除此之外,发震时间也是影响地震人员的主要参数之一,发震时间决定了人员在室率、人口暴露度以及室内人员的逃生反应速度<sup>[19]</sup>。地震发生在深夜或是凌晨,人们均处于睡眠状态,无法第一时间采取保护或是逃生措施,人的行为能力较弱,且夜间的人员在室率最高,因此地震发生在夜间会造成大量人员死亡<sup>[20]</sup>。利用收集整理历史地震数据,选取震级、震中烈度和发震时间进行定性分析,分析结果如图 2 所示,震级和死亡人数之间存在近似线性关系如图 2a 所示,随着震级增大,死亡人数增加;而震中烈度与死亡人数之间有较明显的映射关系,如图 2b 所示,震中烈度越大,死亡人数越多;死亡人数与发震时刻之间关系较为模糊,如图 2c 所示,但是通过分析可发现在 21:00–06:00 的夜间人员休息时间段内死亡人数极端值。

利用地震人员死亡的主要影响参数结合我国《地震应急预案》中的地震事件划分原则<sup>[21]</sup>,将地震事件按震级大小分为  $4.5 \leq M < 6$ 、 $6 \leq M < 7$  和  $7 \leq M \leq 8$  三个级别,由于震后无法第一时间获取建筑损毁信息,因此在震级分级基础上,考虑震中烈度和震中区域设防烈度之间的关系,根据震级  $M$  与震中烈度  $I_0$  关系的经验公式<sup>[22]</sup>:  $M = 0.58I_0 + 1.5$ ,计算可知当震级大于 6 时,震中烈度大于 7.75,然而我国历史地震中发生在设防烈度大于 8 度的区域的案例较少,因此不考虑当震级大于 6 时震中烈度 < 震中设防烈度的情况。在震级和震中烈度分级基础上,考虑不同时间段人员在室率对地震人员死亡影响,将发震时间分为夜间 21:00–05:59 和白天 06:00–20:59 两个时间段<sup>[23]</sup>。按上诉条件构建基于震级、烈度和发震时间的三级地震应急基础情景分析框架(图 3)。

### 1.3 基于情景分析的地震死亡评估模型

将破坏性历史地震样本数据按地震应急基础情景分析框架进行划分,多数情景下的地震样本数属于小样本。由于小样本的信息量小且具有模糊不确定性,无法利用数理统计方法处理小样本<sup>[24]</sup>,因此本研究选用信息扩散理论处理样本数据,求取各情景的地震人员死亡率期望值,死亡率定义为死亡人数与受灾人数之比。

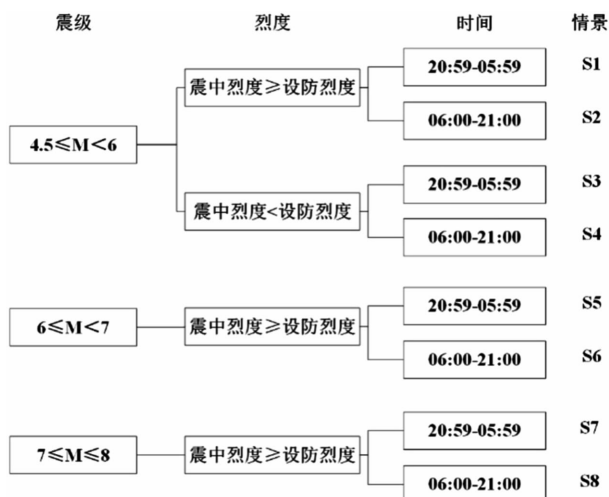


图3 地震应急基础情景分析框架

首先,假设在某一情景下地震人员死亡率的实际观测值样本集合为:

$$X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_m\} \quad (1)$$

式中:  $x_i$  是观测样本点,  $m$  为观测样本总数。

根据每一情景下观测点的精度以及实际情况进行论域范围选取。设  $U$  为  $X$  集合中每个实际观测值样本的信息扩散论域范围集合:

$$U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\} \quad (2)$$

式中:  $u_j$  是位于区间  $[u_1, u_n]$  固定间隔离散得到的任意离散实数值,  $n$  为离散点总数。

将样本集合  $X$  中的每一个单值观测样本值  $x_i$  依照正态信息扩散公式(3)进行正态信息扩散,将其携带的信息扩散到论域中的所有点上:

$$f(x) = \frac{1}{h\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x_i - u_j)^2}{2h^2}\right], \quad i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

式中:  $h$  是信息扩散系数,根据样本的大小取不同的值。其解析表达式如下:

$$h = \begin{cases} 0.8146 \times (b-a), & m=5; \\ 0.5690 \times (b-a), & m=6; \\ 0.4560 \times (b-a), & m=7; \\ 0.3860 \times (b-a), & m=8; \\ 0.3362 \times (b-a), & m=9; \\ 0.2986 \times (b-a), & m=10; \\ 2.68516 \times (b-a), & m \geq 11. \end{cases} \quad (4)$$

式中:  $a = \min(x_i, i=1, 2, \dots, m)$ ,  $b = \max(x_i, i=1, 2, \dots, m)$ 。

$$C_i = \sum_{j=1}^n f_i(u_j), i=1, 2, \dots, m. \quad (5)$$

则样本  $x_i$  的归一化信息分布为:

$$\mu_i(u_j) = \frac{f_i(u_j)}{C_i}, i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

通过公式(6)将单值样本点  $x$  变成了一个以  $\mu_i(u_j)$  为隶属函数的模糊子集。令:

$$q(u_j) = \sum_{i=1}^m \mu_{x_i}(u_j), j=1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

$$Q = \sum_{j=1}^n q(u_j), j=1, 2, \dots, n. \quad (8)$$

可知:

$$p(u_j) = \frac{q(u_j)}{Q}, j=1, 2, \dots, n. \quad (9)$$

通过公式(9)计算所有样本落在论域  $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$  上的频率值,将其作为各论域值的概率估计值。因此期望死亡率表达式如下。

$$\bar{R}_s = \sum_{j=1}^n p(u_j) \times u_j, j=1, 2, \dots, n; s=1, 2, \dots, 8. \quad (10)$$

式中:  $\bar{R}_s$  为地震基础情景框架下不同情景死亡率期望值。

震后基于中国地震局快速发布的震级、震中地理坐标以及震源机制解等相关参数<sup>[25]</sup>,利用GIS技术与地震烈度椭圆衰减模型<sup>[26-27]</sup>相结合快速评估出带方向性的地震烈度分布,获取各烈度区的面积,并与人口密度栅格数据进行叠加分析,计算各烈度下的受灾人口,地震灾害受灾人口评估模型计算过程如下:

$$V = \sum_{i=5}^{I_{\max}} \sum_{j=1}^{J_{\max}} k A_{ij} P_{ij}. \quad (11)$$

式中:  $V$  为一次地震受灾总人口数;  $A_{ij}$  为  $i$  烈度区对应第  $j$  个栅格的受灾面积;  $P_{ij}$  为  $i$  烈度区对应第  $j$  个栅格的人口密度;  $I_{\max}$  为一次地震最大烈度;  $J_{\max}$  为烈度所对应的栅格个数的最大值;  $k$  是根据国家减灾中心快速评估的震害程度表提供的受灾人口比值<sup>[28]</sup>。 $k$  取值如下:

$$k = \begin{cases} 0.8 \leq k < 1, & i > 8; \\ 0.5 \leq k < 0.8, & 7 < i \leq 8; \\ 0.3 \leq k < 0.5, & 6 \leq i \leq 7; \\ 0 \leq k < 0.3, & 5 \leq i \leq 6. \end{cases} \quad (12)$$

选取目前使用最广的人口密度分组 ( $P < 25$ ,  $25 \leq P < 50$ ,  $50 \leq P < 100$ ,  $100 \leq P < 200$  和  $P \geq 200$  人/ $\text{km}^2$ )<sup>[10]</sup> 验证受灾人口比  $k$  的取值。随机各情景下近几年发生的 4~5 个地震灾害事件进行受灾人口验证,对每次震害事件不同烈度区人口进行统计分析发现,当  $P < 25$  人/ $\text{km}^2$  时,受灾人数近似等于各烈度覆盖的人口总数,此时取  $k=1$ ; 当  $25 \leq P < 100$  人/ $\text{km}^2$  时各烈度区的受灾人数比例取最小值,实验各案例的受灾人数 90% 以上与实际受灾人数为同一数量级; 当  $P \geq 100$  人/ $\text{km}^2$  时各烈度区的受灾人数比例取最大值,计算案例的受灾人数均与实际受灾人数为同一数量级。通过实验得到受灾人口比值  $K$  的取值与人口密度的近似关系如表 1 所示。

表1 人口密度  $P$  与  $K$  值之间关系

人口密度 $P$ /(人/ $\text{km}^2$ )	$P < 25$	$25 \leq P < 50$	$50 \leq P < 100$	$P \geq 100$
$K$ 取值	1	最小值	最小值	最大值

通过上述分析,利用情景人员死亡率期望值与受灾人口评估地震人员死亡:

$$D = \bar{R}_s \times V, s=1, 2, \dots, 8. \quad (13)$$

式中： $D$  表示死亡人数； $\bar{R}_s$  为情景  $S$  的死亡率期望值； $V$  为地震受灾总人数。

## 2 模型精度及适用性验证

### 2.1 情景死亡率期望值分析

表 2 为 1970–2015 年间情景  $S1$  下的历史破坏性地震案例，构成的死亡率样本矩阵为  $X = \{2.459 \times 10^{-4}, 2.758 \times 10^{-4}, 0.757 \times 10^{-4}, 0, 0.141 \times 10^{-4}, 0.023 \times 10^{-4}, 0.000 \times 10^{-4}, 0.001 \times 10^{-4}, 1.886 \times 10^{-4}, 0\}$ ，根据死亡率样本矩阵的最大最小值和精度需求，选取论域最小值为 0，最大值为  $2.950 \times 10^{-4}$ ，间隔值为  $0.050 \times 10^{-4}$ ，即论域  $U = \{0, 0.050 \times 10^{-4}, 0.100 \times 10^{-4}, 0.150 \times 10^{-4}, \dots, 2.950 \times 10^{-4}\}$ ，根据正态扩散公式(3)将死亡率样本  $X$  所携带的信息扩散到论域  $U$  上，按公式(5)~(6)对样本信息进行归一化处理，获取各样本的离散化信息，在此基础上，利用公式(7)~(9)对各信息点进行加权计算，得到各论域的概率值，按公式(10)将每个论域点与其概率值相乘并累加计算死亡率期望值，得到情景  $S1$  的死亡率期望值为  $0.839 \times 10^{-4}$ 。

将收集的地震历史样本数据按地震应急基础情景进行分级后，利用各情景下的样本数据结合死亡率评估模型，按照情景  $S1$  计算过程选取论域范围及区间值，计算各情景死亡率期望值。各情景下样本数据量分布及死亡率期望值(表 3)。

### 2.2 情景死亡率不确定性分析

地震死亡人数的评估往往受到多种因素制约，目前的研究侧重方向不尽相同。每一次地震的地质环境、房屋建筑脆弱性以及人员易损性等众多影响因素均不相同，因此很难通过历史数据拟合得到较为精确的评估结果。因此本研究利用信息扩散理论的特点，将离散化的论阈按事件严重程度平均划分为 6 个级别<sup>[29]</sup>，根据概率计算公式

$$P(u_m < u \leq u_n) = \sum_{k=m}^n p(u_k)$$
，计算得到不同死亡率区间的概率估计值(表 4)。

### 2.3 模型精度及适用性分析

选取近几年发生的破坏性地震进行模型的精度验证，并将受灾人口和死亡人口评估结果与实际上报结果对比。受灾人口评估结果与误差如图 4 所示，模型计算的受灾人数与实际上报受灾人数均为同一数量级，且评估结果误差均小于 30%，符合国家减灾委、民政部减灾中心对灾情快速评估误差要求。

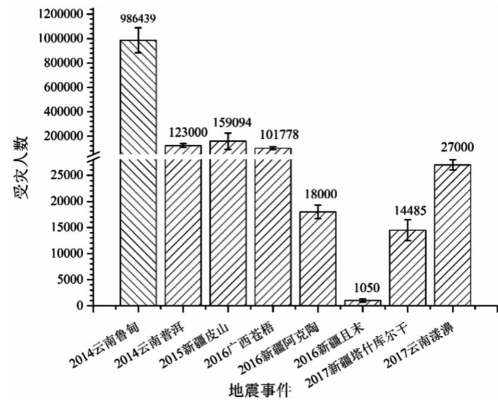


图 4 地震受灾人口评估结果

在模型评估的基础之上，选取两个样本年代、数据量以及函数形式均不相同的地震人员死亡评估模型，与本文提出的基于情景分析的地震人员死亡快速评估模型对比，各方法评估结果如图 5 所示。模型评估的地震死亡人数均与实际上报死亡人数均为同一数量级；方法一<sup>[30]</sup>是刘金龙等提出的以震中烈度为主要参数，以震级和平均人口密度作为辅助参数的地震人员死亡预测模型，该模型评估结果中存在偏差较大案例，分析其原因，笔者认为该方法选用了受灾区域平均人口密度，而不是按单元统计，未考虑人口分布问题，针对人口密度差异较大区域会出现计算结果偏差较大；方法二<sup>[31]</sup>为肖先光提出的以地震烈度和人口密度作为参数的地震人员死亡拟合公式，该方法整体评估结果较好，但其对云南鲁甸这种死亡率较高的极端事件评估结果较差。与传统的拟合方法相比，本文提出的基于情景分析的地震人员死亡快速评估模型适用性广，精确度高，更适合中国地区的地震死亡人口快速评估。

表 2 1970–2015 年情景  $S1$  地震案例

时间		震中位置	震级	死亡人数/人	受灾人数/人	死亡率
年月日	时分秒					
1983-11-07	05:09:45	山东菏泽	5.9	46	187000	$2.459 \times 10^{-4}$
1989-10-18	03:10:40	山西大同	5.8	29	105140	$2.758 \times 10^{-4}$
1989-11-20	03:18:42	重庆江北	5.2	4	52800	$0.757 \times 10^{-4}$
2011-11-01	00:21:28	新疆伊宁	5.6	0	143000	0
2008-08-20	05:35:00	云南盈江	5.0	5	355395	$0.141 \times 10^{-4}$
2010-01-31	05:36:00	四川遂宁	5	1	437000	$0.023 \times 10^{-4}$
1992-11-30	01:38:00	四川石渠	5.4	0	27000	0
1996-09-25	03:24:00	云南丽江	5.7	1	7690000	$0.001 \times 10^{-4}$
2001-05-24	21:10:43	云南宁蒗	5.8	2	10605	$1.886 \times 10^{-4}$
2012-12-07	22:08:00	新疆若羌	5.1	0	29751	$0.000 \times 10^{-4}$

表 3 各情景死亡率期望值

情景 S	样本量	死亡率期望值
S1	10	$0.839 \times 10^{-4}$
S2	32	$0.606 \times 10^{-4}$
S3	33	$0.144 \times 10^{-4}$
S4	50	$0.091 \times 10^{-4}$
S5	19	$4.324 \times 10^{-4}$
S6	27	$0.795 \times 10^{-4}$
S7	5	$30.000 \times 10^{-4}$
S8	7	$10.000 \times 10^{-4}$

尽管模型评估的地震人员死亡的期望值结果相对较好,但是由于地震人员死亡评估存在着诸多不确定性因素,因此任何评估模型都很难得到准确的评估结果。本研究考虑到地震应急响应的启动是根据地震死亡人数区间进行划分,因此在获取地震死亡人数评估值同时对地震死亡人数区间概率值进行评估,利用死亡率评估模型估算的死亡率区间计算地震死亡人数高概率区间,如表 5 所示。针对 2014 年云南鲁甸和 2017 年新疆塔什库尔干两次地震,基于情景分析的地震人员死亡期望值与高概率死亡区间评估均与实际上报死亡人数存在偏差。在此考虑情景死亡率极端事件情况,

2014 年云南鲁甸地震死亡人数在[582, 680]之间的概率为 0.071,2017 年新疆塔什库尔干地震死亡人数在[8, 10]之间的概率为 0.026。模型的死亡人数区间评估能够考虑到地震人员死亡率较大但发生概率较小的极端事件,人员死亡区间不确定性的评估似的基于情景分析的地震人员死亡评估模型具有更好的适用性。

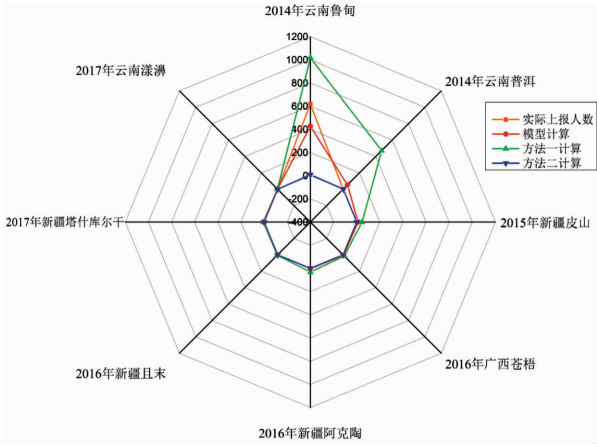


图 5 地震人员死亡评估结果

表 4 死亡率区间概率分布

$S_1$	$p$	$S_2$	$p$	$S_3$	$p$	$S_4$	$p$
$[0, 0.5 \times 10^{-4})$	0.450	$[0, 0.9 \times 10^{-4})$	0.816	$[0, 0.99 \times 10^{-4})$	0.730	$[0, 0.145 \times 10^{-4})$	0.871
$[0.5 \times 10^{-4}, 1 \times 10^{-4})$	0.252	$[0.9 \times 10^{-4}, 1.8 \times 10^{-4})$	0.144	$[0.99 \times 10^{-4}, 2.09 \times 10^{-4})$	0.093	$[0.145 \times 10^{-4}, 0.290 \times 10^{-4})$	0.017
$[1.0 \times 10^{-4}, 1.5 \times 10^{-4})$	0.091	$[1.8 \times 10^{-4}, 2.7 \times 10^{-4})$	0.009	$[2.09 \times 10^{-4}, 3.19 \times 10^{-4})$	0.088	$[0.290 \times 10^{-4}, 0.435 \times 10^{-4})$	0.057
$[1.5 \times 10^{-4}, 2.0 \times 10^{-4})$	0.058	$[2.7 \times 10^{-4}, 3.6 \times 10^{-4})$	0.002	$[3.19 \times 10^{-4}, 4.29 \times 10^{-4})$	0.046	$[0.435 \times 10^{-4}, 0.580 \times 10^{-4})$	0.023
$[2.0 \times 10^{-4}, 2.5 \times 10^{-4})$	0.075	$[3.6 \times 10^{-4}, 4.5 \times 10^{-4})$	0.004	$[4.29 \times 10^{-4}, 5.39 \times 10^{-4})$	0.017	$[0.580 \times 10^{-4}, 0.725 \times 10^{-4})$	0.016
$[2.5 \times 10^{-4}, 3.0 \times 10^{-4}]$	0.074	$[4.5 \times 10^{-4}, 5.4 \times 10^{-4}]$	0.025	$[5.39 \times 10^{-4}, 6.49 \times 10^{-4}]$	0.026	$[0.725 \times 10^{-4}, 0.855 \times 10^{-4}]$	0.016
$S_5$	$p$	$S_6$	$p$	$S_7$	$p$	$S_8$	$p$
$[0, 5 \times 10^{-4})$	0.725	$[0, 9 \times 10^{-4})$	0.817	$[0, 30 \times 10^{-4})$	0.709	$[0, 20 \times 10^{-4})$	0.840
$[5 \times 10^{-4}, 10 \times 10^{-4})$	0.208	$[0.9 \times 10^{-4}, 1.9 \times 10^{-4})$	0.055	$[30 \times 10^{-4}, 60 \times 10^{-4})$	0.122	$[20 \times 10^{-4}, 40 \times 10^{-4})$	0.050
$[10 \times 10^{-4}, 15 \times 10^{-4})$	0.016	$[1.9 \times 10^{-4}, 2.9 \times 10^{-4})$	0.055	$[60 \times 10^{-4}, 90 \times 10^{-4})$	0.035	$[40 \times 10^{-4}, 60 \times 10^{-4})$	0.071
$[15 \times 10^{-4}, 20 \times 10^{-4})$	0.003	$[2.9 \times 10^{-4}, 3.9 \times 10^{-4})$	0.001	$[90 \times 10^{-4}, 120 \times 10^{-4})$	0.023	$[60 \times 10^{-4}, 80 \times 10^{-4})$	0.002
$[20 \times 10^{-4}, 25 \times 10^{-4})$	0.017	$[3.9 \times 10^{-4}, 4.9 \times 10^{-4})$	0.001	$[120 \times 10^{-4}, 150 \times 10^{-4})$	0.110	$[80 \times 10^{-4}, 100 \times 10^{-4})$	0.002
$[25 \times 10^{-4}, 30 \times 10^{-4}]$	0.031	$[4.9 \times 10^{-4}, 5.9 \times 10^{-4})$	0.071	$[150 \times 10^{-4}, 180 \times 10^{-4})$	0.001	$[100 \times 10^{-4}, 120 \times 10^{-4}]$	0.035

表 5 地震人员死亡区间

震害事件		死亡人数/人			
时间	区域	实际上报/人	模型计算/人	模型计算死亡人数区间	概率
2014	云南鲁甸	617	427	$[0, 88)$	0.817
2014	云南普洱	1	53	$[0, 61)$	0.725
2015	新疆皮山	3	12	$[0, 14)$	0.817
2016	广西苍梧	0	6	$[0, 2)$	0.871
2016	新疆阿克陶	0	1	$[0, 9)$	0.725
2016	新疆且末	0	0	$[0, 1)$	0.871
2017	新疆塔什库尔干	8	1	$[0, 1)$	0.730
2017	云南漾濞	0	2	$[0, 1)$	0.871



### 3 结论与讨论

本文针对震后无法获取房屋建筑损失数据时,收集的历史地震灾害数据,选用震级、震中烈度与设防烈度之间关系以及发震时间,基于情景分析方法构建三级地震应急基础情景,考虑历史地震样本数据少的问题及评估结果的不确定性,选用信息扩散理论估算各情景死亡率期望值和死亡率区间概率值。最后利用近几年发生的地震灾害事件验证模型精度,模型评估的受灾人口与实际上报误差均小于30%,符合国家减灾委、民政部减灾中心提出的地震快速评估误差要求,评估死亡人数与实际上报死亡人数基本在同一数量级,且模型人员死亡区间评估能够有效覆盖高概率死亡率的地震案例,评估精度高于传统经验模型。基于目前的基础后续主要从以下几方面完善该研究:

(1)震后房屋建筑的损毁情况是影响人员死亡和经济损失的主要原因,后续的研究将完善房屋建筑结构数据的收集,在地震应急基础情景构建和受灾人口计算过程中考虑建筑易损性,优化地震人员死亡快速评估模型;

(2)随着遥感及无人机技术的发展,可采用不同时间分辨率不同空间分辨率多源数据进行震后损失评估,利用区域实时灾情评估结果,检验更新地震应急基础情景的后验分布,研究震后实时动态人员死亡评估技术。

### 参考文献:

- [1] YUAN Y, WANG D. Path selection model and algorithm for emergency logistics management[J]. Computers & Industrial Engineering, 2009, 56(3): 1081–1094.
- [2] Kongar I, Esposito S, Giovannazzi S. Post, earthquake assessment and management for infrastructure systems; learning from the Canterbury (New Zealand) and L' Aquila (Italy) earthquakes[J]. Bulletin of Earthquake Engineering, 2015: 1–32.
- [3] Susan M Briggs, 马莉, 林方昭, 等. 地震伤亡率的影响因素[J]. 中国输血杂志, 2008, 21(8): 643–644.
- [4] 张文路, 蒋欢军. 地震人员伤亡评估方法与模型研究综述[J]. 结构工程师, 2016, 32(3): 181–191.
- [5] Federal Emergency Management Agency (FEMA), Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures, FEMA 440[R], Washington, DC, United States: Applied Technology Council, 2005.
- [6] CHEN Q F, Hongliang M I, HUANG J. A Simplified Approach to Earthquake Risk in Mainland China[J]. Pure & Applied Geophysics, 2005, 162(6/7): 1255–1269.
- [7] 李媛媛, 翁文国, 张小乐, 等. 云南地区地震死亡人数快速估算——以鲁甸 6.5 级地震为例[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2015, 55(3): 368–372.
- [8] 王晓青, 丁香, 王龙, 等. 四川汶川 8 级大地震灾害损失快速评估研究[J]. 地震学报, 2009, 31(2): 205–211.
- [9] 李媛媛, 苏国峰, 翁文国, 等. 地震人员伤亡评估方法研究[J]. 灾害学, 2015, 29(2): 223–227.
- [10] Kawasumi, H. Measures of earthquake danger and expectancy of maximum intensity throughout Japan as inferred from the seismic activity in historical times[J]. Earthquake, Res. Inst. 1951, 29: 469–482.
- [11] Samardjieva E. Estimation of the expected number of casualties caused by strong earthquakes [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 2002, 92(6): 2310–2322.
- [12] Badal J, Vázquez, Prada M, Álvaro González. Preliminary quantitative assessment of earthquake casualties and damages[J]. Natural Hazards, 2005, 34(3): 353–374.
- [13] Jaiswal K, Wald D J, Hearne M. Estimating Casualties for Large Earthquakes Worldwide Using an Empirical Approach [M]. U. s. geological Survey, 2009.
- [14] Jaiswal K, Wald D. An empirical model for global earthquake fatality estimation [J]. Earthquake Spectra, 2010, 26(26): 1017–1037.
- [15] 李晓杰, 姜立新, 杨天青. 强震人员损失回归预测方法[J]. 地震工程学报, 2012, 34(1): 44–49.
- [16] 施伟华, 陈坤华, 谢英情, 等. 云南地震灾害人员伤亡预测方法研究[J]. 地震研究, 2012, 35(3): 387–392.
- [17] Oike K. A discussion on the relation between the magnitude and the number of the dead by earthquakes [C]//Proc. of the Int. Seminar on Earthquake. Prediction and Hazard Mitigation Technology. Tsukuba, 1991: 333–341.
- [18] Nichols J M, Beavers J E. Development and calibration of an earthquake fatality function [J]. Earthquake Spectra, 2003, 19(3): 605–633.
- [19] 程家喻. 地震发生时间对人员伤亡影响的概率[J]. 灾害学, 1993(2): 13–16.
- [20] 傅征祥. 地震生命损失研究[M]. 北京: 地震出版社, 1993.
- [21] 国家地震应急预案[EB/OL]. (2012–08–28) [2017–09–12]. [http://www.gov.cn/yjgl/2012/09/21/content\\_2230337.htm](http://www.gov.cn/yjgl/2012/09/21/content_2230337.htm).
- [22] GB/T17742–2008 中国地震烈度表[S]. 北京: 标准出版社, 2008.
- [23] 杨杰英, 李永强, 刘丽芳, 等. 地震三要素对地震伤亡人数的影响分析[J]. 地震研究, 2007, 30(2): 182–187.
- [24] 黄崇福. 自然灾害风险分析与管理[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 215–223.
- [25] 王德才, 倪四道, 李俊. 地震烈度快速评估研究现状与分析[J]. 地球物理学进展, 2013, 28(4): 1772–1784.
- [26] 汪素云, 俞言祥. 中国分区地震动衰减关系的确定[J]. 中国地震, 2000, 16(2): 99–106.
- [27] 吴立新, 李志锋, 王植, 等. 地震灾情快速评估方法应用: 以玉树地震为例[J]. 科技导报, 2010, 28(24): 38–43.
- [28] 范一大, 杨思全, 王磊, 等. 汶川地震应急监测评估方法研究[J]. 遥感学报, 2008, 12(6): 858–864.
- [29] Alem D, Clark A, Moreno A. Stochastic network models for logistics planning in disaster relief [J]. European Journal of Operational Research, 2016, 255(1): 187–206.
- [30] 刘金龙, 林均岐. 基于震中烈度的地震人员伤亡评估方法研究[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(5): 113–119.
- [31] 肖光先. 震后灾害损失快速评估[J]. 灾害学, 1991, 6(4): 16–21.

## Rapid Assessment of Seismic Fatality Based on Scenario Analysis

ZHANG Xiaoxue<sup>1,2,3</sup>, ZHAO Hanping<sup>1,2,3</sup>, WANG Fangping<sup>1,2,3</sup>, WANG Han<sup>1,2,3</sup> and ZHOU Jian<sup>4</sup>

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes And Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Ministry of Education, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Faculty of Geography Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 4. Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100875, China)

**Abstract:** The rapid assessment of seismic fatality is very vital for earthquake emergency respond. This paper constructing a three-stage earthquake emergency basic scenario based on the magnitude, intensity and the initial time of earthquake. Firstly, 183 destructive earthquakes in China from 1970 to 2015 was selected. After that, the mortality rate expectation and the probability of the mortality rate interval of earthquake in different scenarios were estimated through the information diffusion theory. During the whole process, the uncertainty was considered. Secondly, the affected population was assessed with the distribution of seismic intensity and the population density, then the rapid assessment model of seismic fatality based on scenario analysis is established. Apart from that, the earthquakes happened in recent years were selected to verify the accuracy of the model. Finally, two typical models were selected to compare the precision of the model. The result shows that the rapid assessment model of seismic fatality based on scenarios analysis has higher accuracy and better applicability. This study can provide theoretical basis for emergency response of post-earthquake.

**Key words:** earthquake; mortality rates; rapid assessment; scenario analysis; information diffusion; uncertainty

## 《灾害学》杂志入编北京大学图书馆《中文核心期刊要目总览》2017 版

《灾害学》编辑部于 2018 年 9 月 7 日接到北京大学图书馆《中文核心期刊要目总览》2017 版编委会的通知,《灾害学》入编《中文核心期刊要目总览》2017 年版之“环境科学”类核心期刊。

《中文核心期刊要目总览》收录的期刊俗称“中文核心期刊”。它采用定量评价和定性评审相结合的方法。定量评价指标体系采用了被摘量(全文、摘要)、被摘率(全文、摘要)、被引量、他引量(期刊、博士论文、会议)、影响因子、他引影响因子、5 年影响因子、5 年他引影响因子、特征因子、论文影响分析、论文被引指数、互引指数、获奖或被重要检索工具收录、基金论文比(国家级、省部级)、Web 下载量、Web 下载率共 16 个评价指标,选作评价指标统计源的数据库及文摘刊物达 49 种,统计到的文献数量共计 93 亿余篇次,涉及期刊 13953 种。参加核心期刊评审的学科专家近 8 千位。经过定量筛选和专家定性评审,从我国正在出版的中文期刊中评选出 1981 种核心期刊。

《中文核心期刊要目总览》主要为图书情报界、出版界等需要对期刊进行评价的用户提供参考。

目前《灾害学》杂志已进入国内四大核心期刊评价体系的核心期刊行列,除刚进入的《中文核心期刊要目总览》2017 版(中文核心期刊)以外,还是中国科学院文献情报中心的“中国科学引文数据库(CSCD)”来源期刊、中国科学技术信息研究所“中国科技论文统计源期刊”(中国科技核心期刊)、武汉大学图书馆中国学术评价研究中心的“RCCSE 中国核心学术期刊”。

《灾害学》杂志这些荣誉的取得,离不开主管主办单位陕西省地震局及各协办单位的大力支持,离不开编委会各位编委和审稿专家的支持和帮助,更离不开广大作者和读者的信任、关心和支持。《灾害学》杂志入编《中文核心期刊要目总览》2017 版,将极大的提升《灾害学》杂志在灾害研究领域的学术地位。

《灾害学》编辑部将一如既往的为广大作者朋友提供最好的服务,让《灾害学》这一良好的平台更好地为我国的防灾减灾事业做出贡献。

《灾害学》编辑部

北京大学图书馆  
PEKING UNIVERSITY LIBRARY

《中文核心期刊要目总览》入编通知

《灾害学》主编:

我们谨此郑重通知:依据文献计量学的方法和标准,经研究人员对相关文献的检索、统计和分析,以及学科专家评审,贵刊《灾害学》入编《中文核心期刊要目总览》2017 年版(即第 6 版)之“环境科学”类核心期刊。该刊由北京大学图书馆出版,书中载《中国图书馆分类法》的学科体系,列出了 18 个学科核心期刊,并逐一列出了核心期刊进行了收录。著录项目包括:题名、并列题名、主办单位、创刊时间、出版周期、学科分类号、ISSN 号、CN 号、邮发代号、编辑地址、库藏编码、电话、网址、电子邮箱、内容简介等。

对核心期刊的工作,是运用科学方法对各种期刊在一定时期内刊载论文的学术水平和学术影响力进行综合评价的一种科学活动。研究工作量大,北京地区几十所高校图书馆、中国科学院文献情报中心、中国图书馆学会图书馆分会、中国人民大学图书馆研究中心、中国学术期刊(光盘版)电子杂志社、中国科学技术信息研究所、北京万方数据股份有限公司、国家图书馆、中国社会科学院图书馆等单位的首席专家和期刊工作专家参加了研究。

项目组对核心期刊的评价理论、评价方法等问题进行了深入研究,进一步改进了核心期刊评价方法,使之更趋科学合理,力求使评价结果更符合实际。对于核心期刊的评价仍采用定量评价和定性评审相结合的方法。定量评价指标体系采用了被摘量(全文、摘要)、被摘率(全文、摘要)、被引量、他引量(期刊、博士论文、会议)、影响因子、他引影响因子、5 年影响因子、5 年他引影响因子、特征因子、论文影响分析、论文被引指数、互引指数、获奖或被重要检索工具收录、基金论文比(国家级、省部级)、Web 下载量、Web 下载率 16 个评价指标,选作评价指标统计源的数据库及文摘刊物达 49 种,统计到的文献数量共计 93 亿余篇次,涉及期刊 13953 种。参加核心期刊评审的学科专家近 8 千位,经过定量筛选和专家定性评审,从我国正在出版的中文期刊中评选出 1981 种核心期刊。

需要特别指出的是,该研究成果只是一种参考工具书,主要是为图书情报界、出版界等需要对期刊进行评价的用户提供参考,例如为各图书馆部门的中外期刊采购和读者导读服务提供多考据等,不应作为评价标准,谨此说明。

编辑  
摘要

《中文核心期刊要目总览》2017 年版编委会  
原:张作