

# 中国大陆地震风险分析模型研究( )： 生命易损性模型 \*

刘吉夫<sup>1)</sup> 陈 颤<sup>2)</sup> 史培军<sup>1)</sup> 陈 晋<sup>1)</sup>

(1) 北京师范大学减灾与应急管理研究院, 地表过程与资源生态国家重点实验室, 100875, 北京;  
2) 中国地震局, 100036, 北京)

**摘要** 通过比较研究前人的工作成果, 采用陈颤等人提出的宏观易损性分析思路, 完善了该分析方法的人口和 GDP 分配方案, 同时考虑了前人忽略了的人员死亡率为 0 时的特殊情况, 在收集大量灾害性地震资料的基础上, 拟合出了新的地震生命易损性模型。通过和云南省县级尺度上建筑物易损性分类清单法预测结果相对比, 证明本文建立的地震生命易损性模型是合理可行的, 在地震灾害损失预测和地震应急工作中都具有实际应用价值。

**关键词** 中国大陆; 地震风险; 灾害损失; 生命易损性模型

地震生命易损性研究无论在地震灾害损失预测, 还是在地震应急中, 都是一项十分重要的研究内容。在地震灾害损失预测中, 根据生命易损性预测结果可以为区域中长期发展规划提供参考资料; 在地震应急中, 在各方面人员伤亡信息尚未完全汇总的情况下, 根据生命易损性初步预测的人员死亡数量, 就可以在地震发生后的短短几分钟内, 为应急决策指挥和抢险救灾争取宝贵的时间。

地震生命易损性研究在现阶段显得更为重要。随着我国社会经济迅速发展, 地震应急的重要性日益显现。一个明显的趋势是, 国家要求各级政府和企业制定相应的地震应急预案, 用以科学、快速、高效地指导和应对地震灾害应急工作。但是, 启动地震应急预案的应急响应级别是需要根据地震发生时人员死亡数量和经济损失等指标来确定的, 而人员死亡数是最直观的指标。因此, 能否在地震发生时提供相对准确的人员死亡数量预测结果是生命易损性研究须解决的关键问题。

目前地震生命易损性研究主要沿 2 个方向开展。一是美国 FEMA 根据建筑物分类清单法统计的建筑物——人员死亡率<sup>[1-2]</sup>, 该方法对于一个区域来说, 结果比较可靠, 但是该方法需要一个地区详细的建筑设施分类清单, 资料获取难度大, 获取周期长, 而且可更新程度很差, 适合于为中长期规划作参考的地震灾害损失预测研究, 但不适合于地震应急。我国地震科学家结合中国地震的实际情况, 发展和完善了该方法, 研究了许多生命易损性模型并在一些地区得到了很好的应用<sup>[3-4]</sup>。二是陈颤等人<sup>[5-6]</sup>在执行联合国“国际减轻自然

灾害十年”计划中根据人口——GDP 等资料发展起来的宏观易损性研究方法。该方法采用人口和 GDP 指标代替繁琐和具体的建筑物分类清单, 资料获取容易, 不仅大大简化了资料获取周期, 而且易于更新。但是该方法在数据处理中仅仅简单地把地震死亡人口集中分配在震中烈度上(最高烈度), 产生了很大的不确定性, 而且与现实情况不符。在现实情况中, 死亡人员是分布在各个烈度区的。另外, 该方法没有考虑地震中“零死亡”对模型的影响。因此, 本文通过收集大量地震资料, 改善了该方法中传统的按照地震震中烈度进行人口、GDP 分配方式, 按照地震实际影响场来分配人口和 GDP, 同时考虑了生命损失率为 0 时的情况, 从而建立了更加接近地震实情的地震生命易损性模型, 能满足各种地震应急和地震灾害损失预测的实际需求。

## 1 地震灾害资料的收集

本文系统收集了 1989 年以来凡是正式开展了地震现场震害调查和损失评估的中国大陆地震的灾害损失资料(包括以文件形式正式上报给中国地震局的《2001—2004 年地震损失评估报告》)。

资料包括 1989—2004 年共 207 个灾害性地震的损失评估报告<sup>[7-9]</sup>, 分别从上报的地震灾评资料、国家和地震所在省(市、自治区)统计年鉴中收集整理了地震发生时(当年)各烈度区所涉及的区县人口、GDP、土地面积等。这些灾害性地震的分布如图 1 所示。

从 207 个灾害性地震中筛选出烈度为 度区以上的地震共 157 个, 这些地震烈度区涉及全国 21 个省

\* 科技部“十一五”科技支撑计划课题资助项目(2006BAK01A07; 2008BAK49B0402)

收稿日期: 2008-12-01

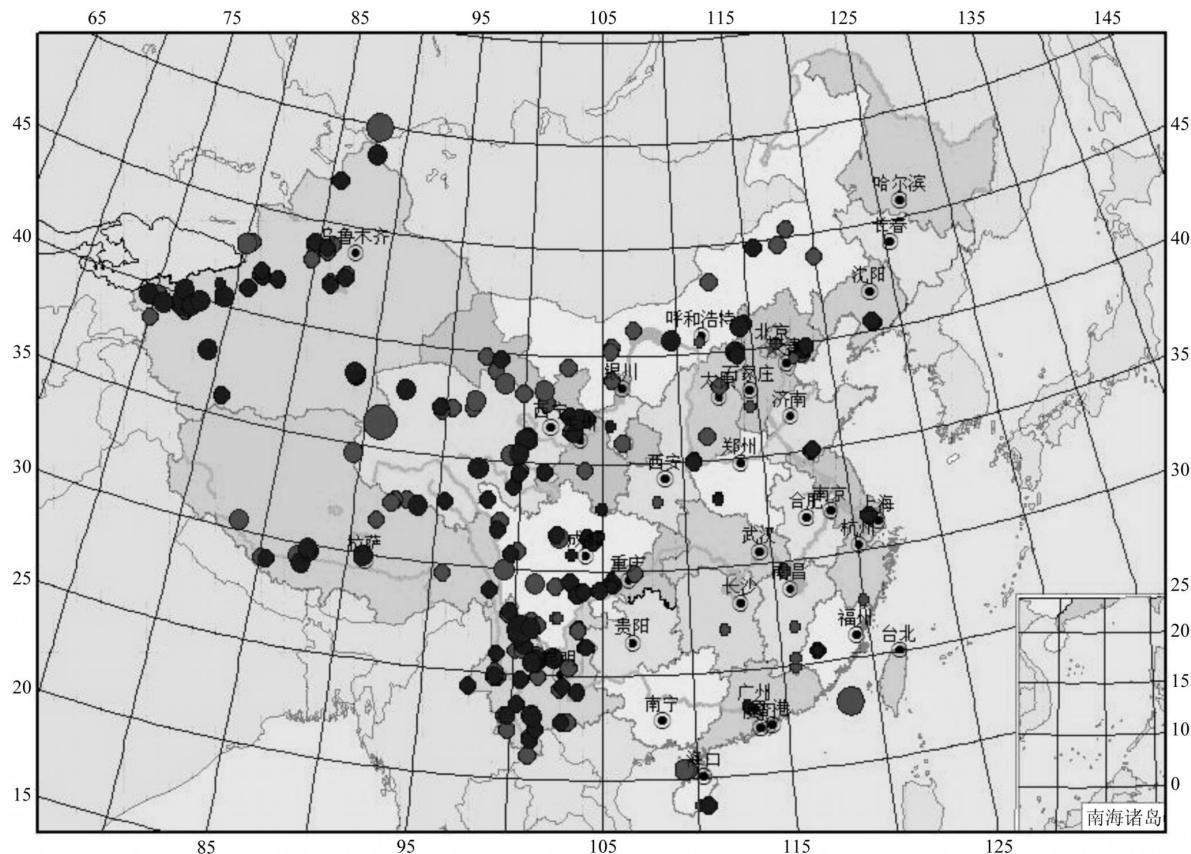


图1 1989—2004年发生在中国大陆的207个具有灾害记录的地震分布

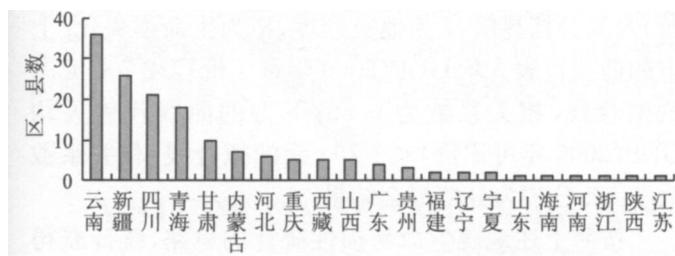


图2 1989—2004年发生在中国大陆的157个烈度度及以上的地震的行政区分布

246个区县(图2).

## 2 地震灾害资料的处理

2.1 地震等震线图的配准和数字化 对筛选出来的157个地震的等震线图逐一扫描,在Map Info环境下对等震线图进行配准并对度区以上地震等震线数字化,结果如图3所示。这样可以很容易得到一次地震各个烈度区的面积和分布范围,给下一步的人员死亡数据分配打下基础。

2.2 人口和GDP数据的分配 以往的GDP和人口资料都是分配在地震宏观震中烈度(最高烈度)的,这和实际的地震情况会有较大差别,因为实际地震都具有地震影响场的(如图3)。本文采取一种更加贴近地震实情的新的分配方式,即以实际烈度区作为分配单

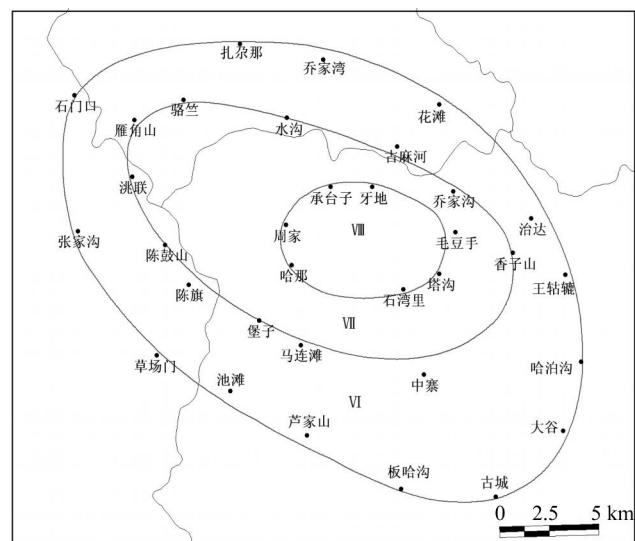


图3 2003年11月13日甘肃岷县-临潭-卓尼间Ms5.2级地震数字化等震线图

元。具体做法是,根据收集整理的地震发生时(年)各烈度区所涉及的区县人口、GDP土地面积等368组数据,按照各烈度区所占各区县的面积比换算得到分烈度区的人口和GDP数值。根据实际地震灾评资料重新分配各烈度区的人员死亡数量(表1)。最后,对每一地震的烈度分区,计算得到了该烈度区生命损失比。

表 1 2003 年 10 月 25 日甘肃民乐-山丹 6.1 级地震各烈度区死亡人数

烈度	面积 / km <sup>2</sup>	人口数 / 万人	死亡人数 / 人
154.15	0.946	8	
953.28	4.695	1	
2117.00	11.512	1	

### 3 地震生命易损性模型的建立

以人口密度、按 2000 年不变价格计算的人均 GDP 和单位面积 GDP 等 3 个指标为参数,研究地震烈度与地震生命损失率和影响情况,以确定地震生命易损性的最佳分类指标。通过多种方案的分析对比,从分类指标的客观性和合理性与结果的科学性考虑,最终确定采用以 2000 年不变价格表示的人均 GDP(以“人均 GDP2000”表示)作为地震生命易损性的分类指标。以人均 GDP2000 为 2700 元(国家扶贫开发工作重点县划分标准)为分类阈值,将所有统计数据分为 2 组,分别按如下关系式进行回归统计,确定生命损失率与地震烈度的关系(图 4):

$$R_{MDf} = C \cdot A \cdot I^B, \quad (1)$$

式中  $R_{MDf}$  代表生命损失率,  $I$  为地震烈度,  $A$ 、 $B$  为系数,  $C$  为修正系数。

该统计关系对于地震烈度区人员死亡率不为 0 的数据具有很好的回归结果。但是地震烈度区人员死亡率为 0 的数据是客观存在的,因此,在以往生命易损性研究中剔除这些数据进行统计分析所得到的生命易损性模型是有缺陷的。修正系数  $C$  是为了得到合理的统计结果而设计的。

$C$  值的确定可以采用概率的方法。假设一个地震烈度区发生人员死亡事件与否是随机的,那么,可以假

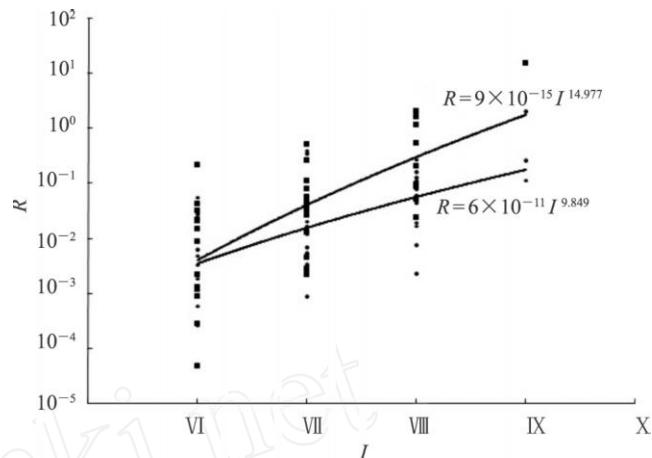


图 4 地震生命损失率与地震烈度的关系

设每次发生死亡的概率为  $P_1$ , 则不发生死亡的概率为  $1 - P_1$ , 发生死亡事件时, 生命损失率为  $n_1$ , 不发生死亡事件时, 生命损失率为  $n_0$ 。显然,  $n_0 = 0$ , 而  $n_1$  可由传统的剔除地震烈度区人员死亡事件为 0 的数据后进行易损性回归所得到的结果, 即  $n_1 = A \cdot I^B$ 。于是, 依据全概率定理, 生命损失率的期望值为  $R = P_1 n_1 + C n_0$ 。即  $C$  值为生命损失率不为 0 的地震烈度区发生的概率。根据实际资料统计, 可得到  $C = 0.264$ 。

图 4 中符号及数字代表人均 GDP(2000 年可比价)及其分档界限,  $I$  为地震烈度,  $R$  为生命损失比。上方的曲线代表人均 GDP(2000 年可比价) 2700 元时的拟合线, 相关系数为 0.55; 下方的曲线代表人均 GDP(2000 年可比价) < 2700 元的拟合线, 相关系数为 0.59。公式为分档拟合结果。

按照上述地震生命易损性统计的思路, 统计获得的系数取值以及不同地震烈度下的地震生命易损性矩阵见表 2。

表 2 地震生命易损性模型参数

人均 GDP/ 元 (2000 年不变价)	不同地震烈度时生命损失比				易损性统计参数	
					A	B
2700	$4.06 \times 10^{-5}$	0.000409	0.00302	0.0176	$9 \times 10^{-15}$	14.98
< 2700	$2.76 \times 10^{-5}$	0.000126	0.000471	0.0015	$6 \times 10^{-11}$	9.85

### 4 模型验证

根据云南省 2003 年分县、市人口、GDP 等社会经济指标, 利用式(1)采用确定性方法(即认为地震危险性概率为 100%)预测了云南地震生命损失结果。并与孙柏涛等 2005 年在云南省以县为单元独立开展的基于建筑物易损性分类清单法预测的生命损失结果相比较。

图 5 表明: 根据本文建立的地震生命易损性模型预测的生命损失结果虽然总体比建筑物易损性分类清单法预测的结果偏小, 但二者总体上显示出良好的线性可比性。说明本文建立的地震生命易损性模型是具有实际应用前景的。

### 5 结论

本文根据陈颤等人提出的宏观易损性研究思路,

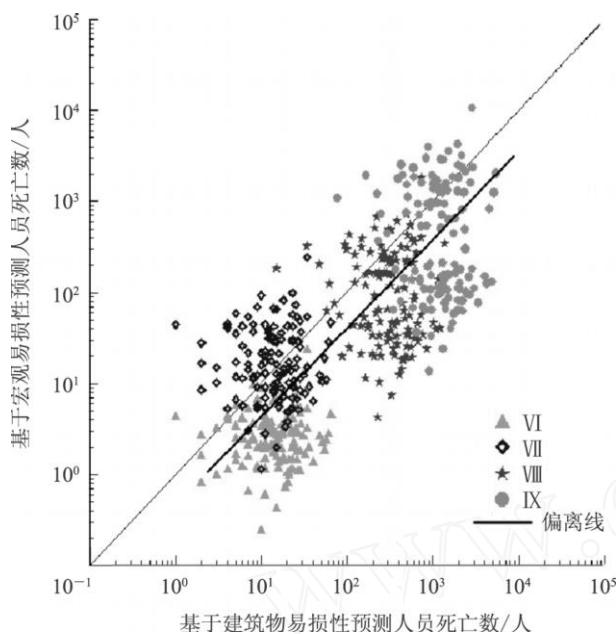


图5 云南省县级尺度基于建筑物易损性和本文生命易损性人员死亡预测结果对比

收集了大量中国大陆灾害性地震数据,采用符合实际地震影响场的人口、GDP分配方法,同时考虑了生命损失率为0时的情况,拟合出了更加贴近实际地震情况的地震生命易损性模型。通过在县级尺度上和建筑物易损性分类清单法的计算结果相比较,证明了本文建立的地震生命易损性模型在时间和空间上的普适性问题。对于国家或地区的减灾战略规划和突发事件应

急处置都能发挥很好的作用。

陈棋福、王晓青和孙柏涛研究员提供了相关计算结果,特致感谢。

## 6 参考文献

- [1] ATC(Applied Technology Council). Earthquake damage evaluation data for California (ATC-13) [M]. Redwood City, California: Applied Technology Commission, 1985
- [2] Whitman R V. Damage probability matrices for prototype buildings [R]. Massachusetts Institute of Technology Department of Civil Engineering Research Report R73-57. Cambridge: Massachusetts, 1973
- [3] 傅征祥,李革平. 地震生命损失研究[M]. 北京:地震出版社, 1993
- [4] 赵振东,郑向远. 地震人员伤亡的研究与进展[J]. 自然灾害学报, 2000, 9(1): 93-99
- [5] 陈颤,刘杰,陈棋福,等. 地震危险性分析和震害预测[M]. 北京:地震出版社, 1999
- [6] Chen Yong, Chen Qifu, Chen Ling. Vulnerability analysis in earthquake loss estimate [J], Natural Hazards, 2001(16): 1-16
- [7] 国家地震局,国家统计局. 中国大陆地震灾害损失评估汇编(1990—1995年) [M]. 北京:地震出版社, 1996
- [8] 中国地震局监测预报司. 中国大陆地震灾害损失评估汇编(1996—2000年) [M]. 北京:地震出版, 2001
- [9] 楼宝堂. 中国古今地震灾情总汇(公元前2221年至公元1994年) [M]. 北京:地震出版社, 1996

## A STUDY ON SEISMIC RISK ASSESSMENT IN MAINLAND CHINA( ): LIFE VULNERABILITY MODEL

LIU Jifu<sup>1)</sup> CHEN Yong<sup>2)</sup> SHI Peijun<sup>1)</sup> CHEN Jin<sup>1)</sup>

(1) Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, 100875, Beijing, China;  
 2) China Earthquake Administration, 100036, Beijing, China)

**Abstract** Through a comparative study results of the work of our predecessors, Chen Yong, who used the Macro Vulnerability Analysis (MVA), and on the basis of collection of a large number of seismic disasters data, improve the analysis of the population and GDP allocation scheme, taking into account the cause of the mortality rate 0 neglected by predecessors, finally fitting out a new model of the seismic life vulnerability. It proved that the establishment of this seismic life vulnerability model is reasonably practicable by compared to predicted results of building vulnerability categorized list in county scale in Yunnan Province, and has practical applications value in the loss of earthquake prediction and earthquake disaster emergency work at present.

**Key words** mainland China; seismic risk; loss of disaster; life vulnerability model