

# 陕西未来15年地震灾害损失预测研究<sup>\*</sup>

邵辉成<sup>1,2</sup>, 刘春<sup>2</sup>, 刘华峰<sup>1</sup>

(1. 西北工业大学 工程力学系, 陕西 西安 710068; 2. 陕西省地震局, 陕西 西安 710068)

**摘要:** 依据人口、GDP及其随时间的增长等基础数据以及全国破坏性地震资料统计建立的易损性矩阵关系, 在陕西及邻近地区地震危险性预测结果的基础上, 利用基于宏观经济指标的地震灾害损失预测方法, 以 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 的网格单元对陕西省未来15年的地震灾害损失进行了预测研究。

**关键词:** 地震灾害; 震害预测; 陕西

**中图分类号:** P315.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2008)04-0036-03

## 0 引言

强烈地震常常以其猝不及防的突发性和巨大的破坏力给社会经济发展、人类生存安全和社会稳定、社会功能等带来严重的危害, 造成巨大的人员伤亡和社会经济损失使其成为群灾之首<sup>[1-4]</sup>。预计在“十一五”期间, 陕西的经济增长将达到11%, 城镇化进程将不断加快。在未来10~15年内, 陕西将规划建设若干个产业各具特色的中等城市并形成以西安市为核心的城市群, 南部的汉江流域走廊, 将形成汉中、安康、商洛3个中等城市, 北部的延安和榆林, 将成为我国重要的能源化工基地。随着新型工业化和城市化的快速发展, 重大工程、大中城市尤其是城市群不断兴起, 陕西省受地震灾害的威胁日益严重<sup>[5-6]</sup>。

本文利用地震危险性、地震易损性、社会财富与人口资料的地震灾害损失综合预测模型, 按照基于人口和宏观经济指标的地震灾害损失综合预测方法, 以未来15年地震危险性预测结果和人口社会经济发展预测结果为基础, 依据近年来全国震例资料统计得到的地震生命易损性矩阵和宏观经济指标的易损性矩阵, 预测未来15年陕西省因地震灾害造成的人员死亡及经济损失。

## 1 计算模型

地震灾害损失主要由地震危险性、地震易损性,

社会价值(财富和人口)决定<sup>[7-9]</sup>, 即: 地震社会灾害损失 = 地震危险性  $\times$  地震易损性  $\times$  社会价值。

### 1.1 地震经济损失概率性预测模型

一定时间域 $T\{T \in (t_s, t_e)\}$ 和空间域 $R$ 内, 地震造成的期望经济损失 $EL(T, R)$ , 可采用如下模型计算<sup>[10]</sup>:

$$EL(T, R) = \sum_{I=6}^9 \int_{t_s}^{t_e} P_1(t, R, I) \cdot F(t, R, I, GDP) \cdot GDP(t, R) dt = \sum_{I=6}^9 P_1(R, I) \cdot EL(T, R, I), \quad (1)$$

式中:  $EL(T, R, I)$ 为时间域 $T$ 和空间域 $R$ 内, 地震烈度为 $I(I = \text{VI、VII、VIII、} \geq \text{IX})$ 时造成的经济损失预测值;  $P_1(t, R, I)$ 为地震烈度 $I$ 在空间域 $R$ 内第 $t$ 年出现的年发生概率值, 在烈度遵从泊松过程的情况下, 其年发生率不随时间变化, 即 $P_1(t, R, I) = P_1(R, I)$ ;  $GDP(t, R)$ 为空间域 $R$ 内第 $t$ 年的社会财富预测值;  $F(t, R, I, GDP)$ 为空间域 $R$ 内第 $t$ 年的社会财富在地震烈度为 $I$ 时的经济损失率。

### 1.2 地震生命损失概率性预测模型

在同样的时空域内, 地震造成的期望生命损失 $ND(T, R)$ 为<sup>[7]</sup>:

$$ND(T, R) = \sum_{I=6}^9 \int_{t_s}^{t_e} P_1(t, R, I) \cdot ND(t, R, I) \cdot S(t, R) dt = \sum_{I=6}^9 P_1(R, I) \cdot ND(T, R, I), \quad (2)$$

式中:  $ND(T, R, I)$ 为时间域 $T$ 和空间域 $R$ 内,

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2007-12-12

基金项目: 国家科技支撑项目专题(2006BAC01B03-04-02); 地震科学联合基金课题(A07110); 陕西省2008抗雪灾应急计划项目(2008kxz03)

作者简介: 邵辉成(1963-), 男, 陕西户县人, 研究员, 主要从事地震预报及相关研究工作. E-mail: shaohc@eqsn.gov.cn

地震烈度为  $I$  时造成的生命损失预测值;  $S(t, R)$  为空间域  $R$  的面积;  $ND(t, R, I)$  为空间域  $R$  内第  $t$  年在烈度为  $I$  时的生命损失预测值。

## 2 参数的确定

### 2.1 地震危险性

地震危险性是一定地区在未来一段时间内可能发生破坏性地震的危险程度。胥广银, 等<sup>[11]</sup>在综合考虑中国地震动参数区划图(2001)潜在震源区划分方案和全国及陕西未来 15 年地震危险性预测结果的基础上, 结合震害预测的要求, 给出了未来 15 年陕西及邻近地区  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  为单元, 50 年超越概率 10% 水平下烈度为 VI、VII、VIII 和 IX 度以上的发生概率预测结果(图 1)。

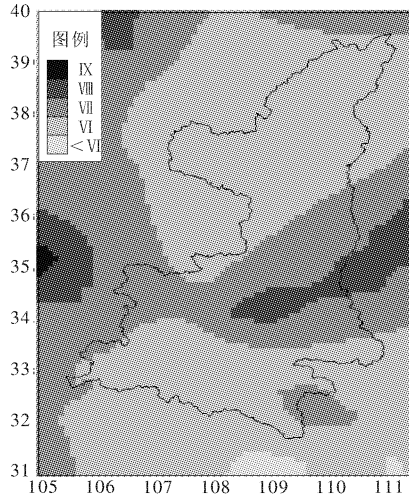


图 1 陕西未来 15 年地震烈度分布图

表 1 以宏观经济指标(GDP)表征的地震经济易损性分析结果

人均 GDP(2000 年 不变价)/万元	不同地震烈度时的 GDP 损失比				易损性统计参数	
	VI	VII	VIII	IX	A	B
$\geq 1$	0.028 7	0.202	1.10	4.88	$4 \times 10^{-12}$	12.67
0.27 ~ 1	0.263	1.27	4.95	16.5	$3 \times 10^{-9}$	10.21
< 0.27	0.468	1.75	5.50	15.1	$1 \times 10^{-7}$	8.57

表 2 以人口数为基础的死亡率 R

人均 GDP(2000 年 不变价)/万元	不同烈度生命损失率				易损性统计参数	
	VI	VII	VIII	IX	A	B
$\geq 0.27$	$4 \times 10^{-5}$	$4.09 \times 10^{-4}$	$3.023 \times 10^{-3}$	$1.763 \times 10^{-2}$	$9 \times 10^{-15}$	14.98
< 0.27	$2.76 \times 10^{-5}$	$1.26 \times 10^{-4}$	$4.71 \times 10^{-4}$	$1.50 \times 10^{-3}$	$6 \times 10^{-11}$	9.85

由于近几十年来陕西破坏性地震震例很少, 本文使用上述结果, 进行预测计算。

### 2.3 社会价值

从陕西各县(区)的政府网站、县(区)介绍和陕西统计年鉴<sup>[14]</sup>以及发展规划等, 系统收集了陕

### 2.2 地震易损性

王晓青等<sup>[12]</sup>系统收集了近 10 多年来大陆 207 个有地震现场灾害详细调查和按照规范评估损失的震例资料(GB/T 18208.3-2000)<sup>[13]</sup>, 包括灾区地震地质、地震影响烈度与地震加速度调查与观测数据、地震灾害调查与科学考察数据、灾区人口与不同类型房屋建筑资料和社会经济指标、防震救灾工作情况等。系统地分析了灾区社会经济指标(人口、GDP)、社会经济指标(如工程结构与财产损失、宏观经济指标等)和生命损失与地震动峰值加速度(或地震烈度)的关系, 建立概率性的分类、分区的地震易损性矩阵。

以 2000 年不变价格计算的人均 GDP 0.27 万元、1.0 万元为分类阈值, 统计得到 GDP 损失率与地震烈度的关系:

$$MDF = C \cdot A \cdot I^B, \quad (3)$$

式中:  $MDF$  为 GDP 损失率;  $I$  为地震烈度;  $A$ 、 $B$  为系数;  $C$  为修正系数。各系数取值以及不同地震烈度下的 GDP 损失率如表 1。同样得到人员死亡率与地震烈度的关系:

$$R = C \cdot A \cdot I^B, \quad (4)$$

式中:  $R$  为地震人员死亡率;  $I$  为地震烈度;  $A$ 、 $B$  为系数;  $C$  为修正系数。修正系数  $C$  是为了得到合理的统计结果而设计的。根据实际资料统计, 可得到  $C = 0.264$ 。

按照上述生命地震易损性统计的思路, 统计获得的系数取值以及不同地震烈度下的地震人员死亡率易损性矩阵见表 2。

西各县(区)的从 2000 ~ 2005 年度人口和社会经济统计数据, 包括县乡行政区属性, 县人口经济统计、县人口经济规划数据、县房屋统计、县房屋建筑规划数据。

### 3 计算结果

在综合考虑陕西未来 15 年人口、经济增长等因素, 将 GDP 归算到 2000 年不变价的前提下, 采用网格法将所有县级行政区的经济数据(GDP)和人口数据按国土面积平均分配到所在区域的  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  网格节点上, 按照公式(1)和公式(2)进行计算, 分别得到陕西未来 15 年经济损失值、经济概率损失值、生命损失值、生命概率损失值, 经济损失期望值, 生命损失期望值(图 2~图 3)。将各格点的计算结果进行累加即可得到全省的预测结果。

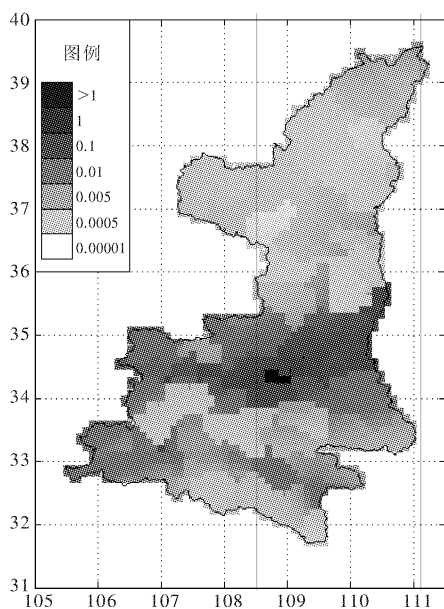


图2 未来 15 年陕西经济损失期望值分布(单位: 亿元)

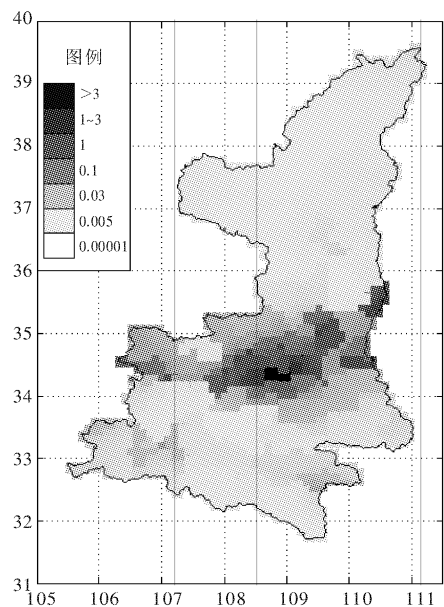


图3 未来 15 年陕西不同地区的生命损失期望值(单位: 人)

在考虑各种不确定性及经济发展的情况下, 预计未来 15 年陕西地震将造成的经济损失在几亿到几十亿(2000 年不变价), 生命损失几人到几十人。

### 4 结论

从计算结果可以看出, 未来 15 年陕西地震灾害损失比较严重, 防震减灾工作任重而道远。

(1)地震灾害损失主要集中在地震危险性相对较高、人口密度大、GDP 值高的关中地区。预计损失最为严重的区域是西安市、咸阳市, 其次是渭南市、宝鸡市, 这些也是确定地震重点监视防御区的重要指标之一<sup>[7,10]</sup>。

(2)本文所使用的易损性模型为全国资料的平均统计结果, 与陕西的具体情况可能存在一定的差异。

(3)易损性关系主要考虑的是直接经济损失, 次生灾害损失可能估计不足。随经济社会的发展, 次生灾害的影响越来越严重, 特别预测灾害相对较少的陕北能源化工基地和汉江流域走廊等, 地震灾害也会显现出来。

**致谢:** 对中国地震局地震预测研究所的王晓青、傅征祥研究员和丁香副研究员的帮助以及陕西省地震局袁志祥高级工程师的鼓励表示感谢!

### 参考文献:

- [1] 马宗晋, 赵阿兴. 中国近 40 年自然灾害总况与减灾对策建议[J]. 灾害学, 1991, 6(1): 19-26.
- [2] 陈颢, 陈运泰, 张国民, 等. “十一五”期间中国重大地震灾害预测预警和防治对策[J]. 灾害学, 2005, 20(1): 1-14.
- [3] 王根龙, 张军慧, 梁永朵. 中国地震灾害现状及地震灾害系统工程研究[J]. 灾害学, 2006, 21(3): 15-19.
- [4] 傅征祥, 刘桂萍, 邵辉成, 等. 中国大陆百年(1901~2001 年)浅源强震活动及生命损失回顾与分析[J]. 地震学报, 2005, 27(4): 367-376.
- [5] 袁志祥, 冯希杰, 任隽, 等. 陕西石泉  $M_L 4.9$  级地震的震害特征[J]. 灾害学, 2003, 18(S0): 82-86.
- [6] 任隽, 袁志祥, 冯希杰, 等. 陕西石泉  $M_L 4.9$  级地震建筑震害分析[J]. 灾害学, 2004, 19(S0): 53-56.
- [7] 王晓青, 张国民, 傅征祥, 等. “2006-2020 年中国地震危险区与地震灾害损失预测研究”项目成果介绍[J]. 国际地震动态, 2006, (9): 88-93.
- [8] 胡聿贤主编, 地震安全性评价技术教程[M]. 北京: 地震出版社, 1999.

(下转第 44 页)