

危福泉, 蔡宗文, 焦双健, 魏巍, 黄宏生, 付再扬, 黄天洲, 陈琳. 2008. 基于人口统计数据的区域震害快速评估方法. 地震学报, 30(5): 518-524.

Wei Fuquan, Cai Zongwen, Jiao Shuangjian, Wei Wei, Huang Hongsheng, Fu Zaiyang, Huang Tianzhou, Chen Lin. 2008. A fast approach to regional hazard evaluation based on population statistical data. *Acta Seismologica Sinica*, 30 (5): 518-524.

基于人口统计数据的区域震害 快速评估方法^{*}

危福泉^{1),*} 蔡宗文¹⁾ 焦双健²⁾ 魏 翩²⁾
黄宏生¹⁾ 付再扬¹⁾ 黄天洲¹⁾ 陈 琳¹⁾

1) 中国福州 350003 福建省地震局

2) 中国青岛 266071 青岛海洋大学

摘要 在进行大规模城乡震害预测工作中, 需要使用与传统预测方式不同的新模型及新方法, 以便实现震害快速预测。利用容易得到的人口统计数据中的人口及建筑抽样信息, 通过建筑物分类, 在已有的城市建筑震害基础上采用类比方法进行建筑物易损性分析, 给出了人口数据及灾害损失的关系模型。利用该模型建立福建省区域范围的建筑物不同结构平均易损性矩阵, 按经济条件给出结构不同年代易损性矩阵调整系数, 并建立地震灾害快速评估系统。应用结果表明, 基于人口统计数据方法进行城乡区域尺度的地震震害评估模型, 具有投入少、数据自动预测、定期更新且易于获取等优点。

关键词 人口数据 震害评估模型 易损性矩阵 经济损失 人员伤亡

文章编号: 0253-3782(2008)05-0518-07 中图分类号: P315.9 文献标识码: A

A fast approach to regional hazard evaluation based on population statistical data

Wei Fuquan^{1),*} Cai Zongwen¹⁾ Jiao Shuangjian²⁾ Wei Wei²⁾
Huang Hongsheng¹⁾ Fu Zaiyang¹⁾ Huang Tianzhou¹⁾ Chen Lin¹⁾

1) Earthquake Administration of Fujian Province, Fuzhou 350003, China

2) Ocean University of Qingdao, Qingdao 266071, China

Abstract: For the purpose of fast prediction of potential urban earthquake hazard, it is important to develop some new models and methods. As the base of hazard evaluation system, the building vulnerability analysis is generally carried out through statistics of single-building structure prediction or constructional analogy. In regional hazard prediction for a large area, constructional analogy

* 基金项目 福建省重点科技攻关项目(2003Y039)和福建省“十五”重点项目(105-3)资助。

收稿日期 2008-01-03 收到初稿, 2008-07-09 决定采用修改稿。

† 通讯作者 e-mail: fuquan_wei@263.net

method is more practical. In this paper, we develop a model that is capable of hazard evaluation by inputting data of population, building construction type, and building vulnerable analysis. Result of our case study shows that the method we developed is in advantage of automatic data processing, easy accessing and renewing.

Key words: population data; hazard evaluation model; vulnerability matrix; economic loss; casualty

引言

地震灾害总是伴随着巨大的生命和财产的损失而发生。随着城市化的加速发展，人口不断地由农村向城镇地区集中，使地震灾害造成的损失有不断增大的趋势(陈颤等, 2001, 1999)。地震发生之后，快速地对地震灾害的损失做出评估，对地震应急救援具有重要指导意义。如何快速有效地进行地震灾害损失评估，国内外地震专家做了深入的研究，开展了大量的城市震害预测和震灾快速评估研究，建立了一系列基于城市大规模单体及群体调查的地震应急灾害损失评估模型(陈颤等, 2001; 危福泉等, 2005; 潘华等, 2004; 郭增建, 陈鑫连, 1991)。但是，基于城市的震害研究投入大，系统数据更新不易，难于在全国范围内大规模开展。破坏性地震波及半径通常要达到100多公里或更大的范围，以城市为单元的灾情快速评估有其不可避免的局限性(蔡宗文等, 2006, 2007)。

与传统以建筑物单体为统计单元震害评估方法不同，本文将主要利用容易得到的人口普查数据中的人口及建筑物抽样数据，在已有的城市建筑物震害预测的基础上，通过建筑物分类、易损性分析，给出人口统计数据及灾害损失的关系模型，建立了地震震害快速评估系统。这是借鉴全国开展震害预测和震灾工作的经验，基于对人口普查数据的分析提出的一种震害评估模型。它充分利用了目前已经完成的福建省城市震害预测研究工作的成果以及人口普查数据，对不同建筑物进行分类，各种类别建筑物易损性通过类比原则建立，各预测单元的建筑物易损性初值，对于经济条件及建设年代加上适当的调整参数进行区域震害预测及快速评估计算。对福建省区域震害进行预测与快速评估的结果表明，本模型具有投入少，计算速度快，数据可定期更新且易于获取等优点。

1 区域震害快速评估模型

1.1 建筑物分类

建筑物分类，是进行地震灾害快速评估的基础。在第五次人口普查数据中有关建筑物的抽样统计数据为：本户住房建筑面积(按居民户的10%抽查)，住房用途，住房建成时间，建筑层数(根据不同层数对结构要求的特点设计)，以及住房外墙墙体材料(结构)等。考虑到建国以来几个重要建筑规范出台的时间，对时段进行了如下划分：1979年以前，1980—1989年，1990年以后。考虑到城市建设管理部门统计数据以及人口普查统计资料是经常性的统计源，其数据便于得到及时更新，因此，为了地震灾害预测所用到的建筑物的数据和这些统计资料的分类相协调，根据年代与建筑规范的关系，列出了建筑物分类数据形式表格(表1)。

表 1 建筑物分类数据形式表格
Table 1 Data form of building classification

结构类型	1979 年以前			1980—1989 年			1990 年以后		
	平房	2 层—6 层 楼房	7 层以上 楼房	平房	2 层—6 层 楼房	7 层以上 楼房	平房	2 层—6 层 楼房	7 层以上 楼房
钢混									
砖石									
竹草木									
其它									

1.2 区域建筑物易损性分析

建筑物的易损性是与地震动参数相关的建筑物破坏状态的度量。表达建筑物易损性方式是用不同烈度(VI、VII、VIII、IX、X 度)值条件下，建筑物不同破坏程度(完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏、倒塌)的百分比(建筑面积百分比)。

通过建筑物抽样，详细分析计算每个样本建筑的易损性，并进行统计计算后，得到的建筑物群体易损性有较高的可信度。但对于大规模的群体建筑物来说，可以通过类比方法进行建筑物易损性分析。首先，建立类比的原则，对可做类比的结果进行调整，得到新的结果，作为预测单元的建筑物易损性初值。使用该初值加上适当的调整参数进行区域震害预测及快速评估计算。经济条件的差别将会影响到建筑物的抗震能力，如设防措施以及抗震设计的落实要靠一定的经济实力。发达地区的建设投入远高于落后地区的建设投入，因而应考虑经济条件的差异对建筑物易损性的影响。本文主要根据人口数据统计资料中的建筑物抽样数据特点，按照各类地区已有的建筑物易损性结果，对不同结构类型给出平均易损性矩阵，计算出地区经济条件及建设年代影响调整值。

1.3 区域震害快速评估模型

1.3.1 建筑物震害计算

房屋建筑震害是指地震后因破坏而不能使用的建筑面积，可以用下式计算某预测单元建筑物发生 j 类型地震震害的面积数：

$$A_{sj}(I) = V_{sj}(I) \cdot T_s \quad (1)$$

式中， $V_{sj}(I)$ 为预测单元对应于烈度 I 值发生第 s 类建筑易损性矩阵中对应破坏类别 j 的百分比； T_s 为 s 类建筑的总面积(单位： m^2)。

在式(1)的基础上，再把各种破坏的建筑面积数相加，即可得到预测单元各类建筑破坏面积数：

$$A_s(I) = \sum_{j=1}^m A_{sj}(I) \quad (2)$$

式中， m 为计算用的破坏程度类型， s 为预测单元的建筑物分类。

1.3.2 经济损失预测

经济损失预测考虑建筑物破坏引起的直接经济损失，用下式表示(尹之潜，1995)：

$$L(I) = \sum_{s=1} \sum_{j=1} b_s(j) \beta_s(j) + \sum_{s=1} \sum_{j=1} Q_s(j) W_s \quad (3)$$

式中， j 为震害等级，分 5 级(完好、轻微、中等、严重、毁坏)； s 为建筑物类型； $b_s(j)$ 为 s 类建筑物发生 j 类破坏时损失比，即破坏修复或重建费用与建筑物总价值之比； $\beta_s(j)$ 为发

生 j 级破坏的 s 类建筑物总价值，即每平方米造价与该类建筑物面积 $A_{sj}(I)$ 的乘积； $Q_s(j)$ 为 s 类建筑物发生 j 级破坏时的室内财产损失比，即室内资产损失值与室内总资产之比值； W_s 为 s 类建筑室内资产总值。

1.3.3 人员伤亡预测

人员伤亡预测内容包括：在给定地震条件下，受灾地区人员伤亡数、重伤人数以及需要安置的灾民人数等。由于预测伤亡人数涉及诸多不确定性因素，主要使用的模型（尹之潜等，1990）如下：

死亡人数

$$M_d(I) = c\eta(A_1 r_{d_1} + A_2 r_{d_2} + A_3 r_{d_3}) \quad (4)$$

重伤人数

$$M_h(I) = c\eta(A_1 r_{h_1} + A_2 r_{h_2} + A_3 r_{h_3}) \quad (5)$$

式中， c 为地震时人员在室内的百分数； A_1 为毁坏房屋的面积， A_2 为严重破坏房屋的面积， A_3 为中等破坏时房屋的面积； η 为房屋内的人员密度（单位： $\text{人}/\text{m}^2$ ）； r_{d_1} ， r_{h_1} 分别是毁坏房屋内的死亡率和重伤率； r_{d_2} ， r_{h_2} 分别是严重破坏房屋内的死亡率和重伤率； r_{d_3} ， r_{h_3} 分别是中等破坏房屋内的死亡率和重伤率。

在预测时，可分为白天和黑夜，设白天地震时人员在室内的百分数为 40%，而黑夜地震时人员在室内的百分数为 100%。需要安置的灾民人数预测（尹之潜，1995）

$$M(I) = \frac{1}{a} \left(A_1 + A_2 + \frac{7}{10} A_3 \right) - M_d(I) \quad (6)$$

式中， a 为人均居住面积； A_1 ， A_2 ， A_3 分别是毁坏、严重破坏以及中等破坏的房屋面积； $M_d(I)$ 为预测区烈度值为 I 时的死亡人数。

2 福建区域震害快速评估方法参数及应用

2.1 不同结构建筑物平均易损性矩阵^①

建筑物易损性分析是震害评估系统建设的基础，而震害预测建筑物易损性分析则主要采用单体结构预测统计或结构类比方法。在区域震害预测中，由于区域面积更大，采用类比方法更具可操作性。通过对福建省已开展的城市震害预测研究（泉州、南安、漳州、福州、厦门、永安、长乐、福清、龙岩、莆田、晋江、石狮），本文参考了全国其它地区情况对已有各种结构的建筑物易损性研究，通过统计分析，给出了福建区域各种不同结构建筑物的平均易损性矩阵（表 2—表 5）。

表 2 钢筋混凝土房屋易损性矩阵
Table 2 Vulnerability matrix for reinforced concrete structure

震害等级	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	毁坏
Ⅵ	0.97	0.03	0	0	0
Ⅶ	0.93	0.06	0.01	0	0
Ⅷ	0.47	0.43	0.09	0.01	0
Ⅸ	0.03	0.42	0.39	0.14	0.02
Ⅹ	0	0.03	0.19	0.55	0.23

^① 危福泉，黄宏生，蔡宗文.《福建中尺度区域地震灾害评估报告》及《福建丘陵盆地区建筑物易损性分析初步研究报告》.

表 3 砖混房屋易损性矩阵

Table 3 Vulnerability matrix for masonry structure

震害等级	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	毁坏
VI	0.84	0.14	0.02	0.00	0.00
VII	0.28	0.66	0.05	0.01	0.00
VIII	0.046	0.28	0.62	0.044	0.01
IX	0.01	0.05	0.27	0.60	0.07
X	0.00	0.00	0.09	0.38	0.53

表 4 木竹草房屋平均易损性矩阵

Table 4 Average vulnerability matrix for wood-bamboo grass structure

震害等级	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	毁坏
VI	0.45	0.51	0.04	0	0
VII	0.18	0.45	0.31	0.06	0
VIII	0	0.22	0.51	0.22	0.05
IX	0	0	0.24	0.42	0.34
X	0	0	0.08	0.34	0.58

表 5 其它结构平均易损性矩阵

Table 5 Average vulnerability matrix for other structures

震害等级	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	毁坏
VI	0.53	0.42	0.05	0	0
VII	0.14	0.41	0.42	0.03	0
VIII	0	0.16	0.54	0.28	0.02
IX	0	0.04	0.25	0.49	0.22
X	0	0	0.03	0.25	0.72

2.2 不同经济条件的平均易损性影响调整

由于经济水平不断地发展以及建筑质量要求的提高，建筑结构及质量也不断地提升。建筑抗震性能，与经济条件好坏具有一定的关系。通过对已有同类建筑物易损性矩阵，利用经济条件综合分类分析比较，给出了不同经济条件下的平均易损性影响调整矩阵 ϵ_e 。不同时段的建筑物可参照不同经济条件下给出的影响调整值 ϵ_e （表 6、表 7）。

表 6 平均易损性调整值 ϵ_{eg} （经济条件较好地区）

Table 6 Average adjustment value to vulnerability (for areas with good economic condition)

震害等级	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	毁坏
VI	+0.010	-0.010	0	0	0
VII	+0.015	-0.015	0	0	0
VIII	+0.040	-0.020	-0.020	0	0
IX	+0.010	+0.030	-0.030	-0.010	0
X	0	+0.010	+0.050	-0.050	-0.010

2.3 应用实例

基于以上模型研究结果，福建省地震局开展了福建中尺度区域震害快速评估系统建设工作。该系统是在电子地图的图件上实现的，以城市的行政区、乡镇为工作单元，当给定

表 7 平均易损性调整值 ϵ_{ad} (经济条件较差地区)

Table 7 Average adjustment value to vulnerability (for areas with poor economic condition)

震害等级	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	毁坏
VI	-0.010	0.010	0	0	0
VII	-0.025	0.015	0.010	0	0
VIII	-0.040	0.020	0.010	0.010	0
IX	-0.010	-0.030	0.030	0.010	0
X	0	0	-0.010	-0.030	0.040

一个地震参数的情况下，采取人口增长率、建筑面积增长统计数据自动更新数据，通过居民地面积分配人口建筑物数据。按照人口数据与震害预测模型，可以快速地预测各单元建筑物震害、经济损失与人员伤亡情况。该系统基于 WebGIS 技术，融合多媒体等计算机技术，将上述各项工作基础资料、数据、计算模块集成为一体，形成信息系统。它具有动态更新，空间分析、定量计算可视化功能(蔡宗文等, 2006)。

为检验本系统模型计算的实际效果，利用系统对 1997 年 5 月 31 日福建省永安西南 5.2 级地震进行对比分析，输入地震的参数采用实际地震参数，采

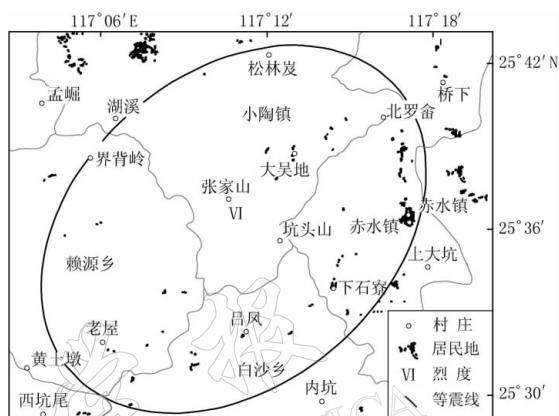


图 1 基于 WebGIS 系统的永安 5.2 级地震影响场分布图

Fig. 1 Earthquake effect map of the Yongan M5.2 quake based on WebGIS system

用上述的模型参数，参考实际震害的破坏损失比及当时建筑物造价等资料，计算出地震影响场(图 1)和地震损失情况(表 8) (中国地震局监测预报司编, 2001)。

对图 1 与图 2 及表 8 分析结果表明，采用本模型之方法可行，结果可靠。

3 结论

从以上分析及区域应用结果表明，利用人口统计数据的人口及建筑物抽样信息进行区域地震震害评估方法思路明确，方法可行，可以得出如下结论：

1) 采用人口统计数据的人口数据及建筑物统计信息及易损性矩阵类比方法进行区域震害评估，具有投入少，结果可靠，是一种快速可行的方案。

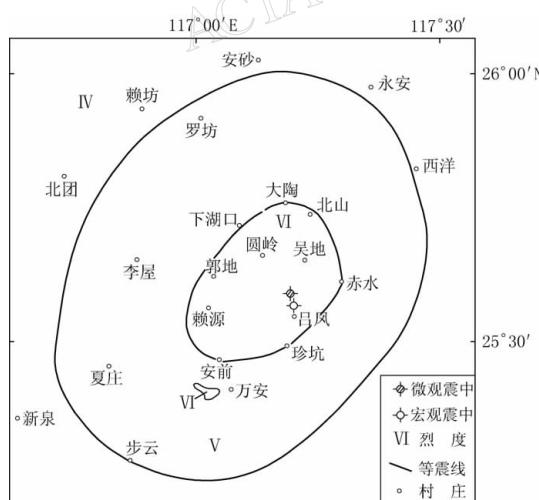


图 2 现场调查烈度分布图(中国地震局监测预报司, 2001)

Fig. 2 Seismic intensity map based on field investigation

表 8 模型计算结果与现场调查经济损失(不包括生命线等)对比表

Table 8 Comparison between the calculated and investigated economic losses

地区	死亡人数	模型计算经济损失/万元	现场调查经济损失/万元	计算值与现场结果之比值
永安市	0	1776	2005	0.89
漳平市	0	740	1162	0.64
连城县	0	662	1289	0.51
新罗区	0	507	215	2.36
总计	0	3685	4670(4325)	0.79(0.85)

注：模型计算 VI 度影响场的震害，括号内的数字为现场调查 VI 度的经济损失。

- 2) 采用类比方法得到的平均易损性矩阵可以反映建筑物震害平均情况。
- 3) 利用本文人口统计数据与震害预测模型，可方便地实现基于人口统计数据的震害预测管理信息系统。
- 4) 模型数据易于更新，保证了系统的生命力，使得模型易于在其它地区推广应用。

参 考 文 献

- 蔡宗文, 危福泉, 方伟, 郑韶鹏, 陈琳, 张艺峰. 2006. 基于 WebGIS 的区域震害快速评估系统设计与实现[J]. 地震地质, **28**(3): 463-469.
- 蔡宗文, 危福泉, 方瑞峰, 郑韶鹏, 陈琳, 付萍. 2007. 基于居民地分布的震害快速评估方法[J]. 中国地震, **23**(4): 410-415.
- 陈颙, 米宏亮, 陈棋福. 2001. 地震灾害: 从工程灾害到社会灾害[C]//新世纪地震工程与防震减灾. 北京: 地震出版社: 28-36.
- 陈颙, 刘杰, 陈棋福. 1999. 地震危险性分析和震害预测[M]. 北京: 地震出版社: 1-155.
- 郭增建, 陈鑫连. 1991. 城市地震对策[M]. 北京: 地震出版社: 100-120.
- 潘华, 赵凤新, 高孟潭. 2004. 城市地震影响特征分析[J]. 地震学报, **26**(3): 203-204.
- 危福泉, 刘高焕, 姚新, 蔡宗文, 洪伟. 2005. 地震灾害预测和应急模拟系统的设计与应用: 以永安市城市应急系统为例[J]. 地理研究, **24**(5): 749-756.
- 尹之潜. 1995. 地震灾害损失预测方法[M]. 北京: 地震出版社: 1-101.
- 尹之潜, 李树桢, 杨淑文, 赵直. 1990. 震害与地震损失的估计方法[J]. 地震工程与工程震动, **10**(1): 93-106.
- 中国地震局监测预报司. 2001. 中国大陆地震灾害损失评估汇编(1996—2000)[M]. 北京: 地震出版社: 124-132.