

蔡宗文, 危福泉, 方宏芳, 张来泉, 方伟, 陈琳, 张永固, 郑韶鹏, 2009. 基于行政村分布的漳州市城乡震害快速评估系统实现. 震灾防御技术, 4 (3): 328—334.

# 基于行政村分布的漳州市城乡 震害快速评估系统实现<sup>1</sup>

蔡宗文<sup>1)</sup> 危福泉<sup>2)</sup> 方宏芳<sup>3)</sup> 张来泉<sup>3)</sup>  
方伟<sup>1)</sup> 陈琳<sup>2)</sup> 张永固<sup>1)</sup> 郑韶鹏<sup>1)</sup>

1) 厦门地震勘测研究中心, 厦门 361021

2) 福建省地震局, 福州 350003

3) 漳州市地震局, 漳州 363000

**摘要** 地震灾害总是伴随着巨大的生命和财产损失, 本文在传统的震害预测模型的基础上, 提出了基于人口统计资料进行震害预测的模型及方法, 并针对漳州市丘陵盆地广泛分布的特点, 提出了以行政村为单元的震害快速评估方法。开展了基于 WebGIS 漳州市城乡震害快速评估系统建设, 经过模拟 1997 年 5 月 31 日永安西南 5.2 级地震和 2007 年 3 月 13 日顺昌 4.9 级地震, 与实际地震震害进行了对比研究。模拟结果表明, 采用行政村震害计算模型设计的漳州市城乡震害快速评估系统具有较好的效果。

**关键词:** 行政村分布 震害快速评估系统 模拟地震

## 前言

地震灾害总是伴随着巨大的生命和财产损失, 随着经济和人口城市化趋势的不断发展, 地震灾害造成的损失有越来越大的趋势(陈颀等, 2001; 1997)。我国是世界上地震灾害比较严重的国家之一, 每年都发生大小不等的有感地震数 10 次, 特别是 2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级特大地震, 给我国造成极大的损失。福建省在过去的 10 多年来, 已开展了包括漳州市在内的多个城市震害预测和震灾快速评估研究, 并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。但是, 基于城市的震害研究还存在投入太大, 系统数据更新难, 不易在全国范围内大规模开展。而破坏性地震波及半径通常总要达到 100 多公里的范围。面对这样一个大的区域, 以城市为单元的灾情快速评估有其不可避免的局限性。本文主要作者自 2003 年开始在传统的震害预测模型的基础上, 提出了基于人口统计资料的震害预测模型及方法(危福泉等, 2008; 蔡宗文等, 2006)。应用实践证明, 基于人口数据的震害评估方法,

1 基金项目 地震科技联合基金(105087)、漳州市科技计划项目(Z07012)资助

[收稿日期] 2009-05-18

[作者简介] 蔡宗文, 男, 生于 1970 年。副院长/高级工程师。1992 年毕业于北京大学地震地质学专业, 理学学士。主要从事工程地震研究及信息技术开发。Email: caisinfo@126.com

具有快速（全省区域 1—2 分钟）、可行及较为可靠的结果（蔡宗文等，2006；2007）。

在广大农村地区特别是山区，建筑物分布较为分散，而人口密度与建筑物的分布密切相关。当破坏性地震影响范围较小时，有效而准确地估算出地震震害的破坏情况，已成为当前震害评估的基本要求。对于丘陵盆地广泛分布的福建漳州地区，尤其是在居民分布较为分散的广大农村地区特别是山区，为了充分利用以乡镇为单元的人口普查数据，本文提出了以行政村分布为基础，按所对应行政村的数量比例对整个乡镇的人口资料、建筑物资料进行分配，进行基于人口资料的区域地震震害预测模型及数据的震害快速评估。同时在计算时，利用 GIS 技术读取出行政村及其在整个乡镇居民地所占比例，采用第四代地震动区划图推荐的中国东部地震动衰减关系式进行地震影响场计算，判断落入对应烈度区域的村庄人口及建筑物，根据震害预测模型（尹之潜等，1990；1995）进行地震灾害损失计算。经过模拟地震与实际地震震例的研究对比，证明该方法具有较高的可比性。

## 1 基于行政村分布的评估模型

### 1.1 基于人口数据区域震害快速评估方法

建筑物分类，是进行地震灾害快速评估的基础。由于人口普查统计资料是经常性的统计源，其数据可及时更新，而基于人口数据的区域震害快速评估模型直接采用了第五次人口普查数据中有关建筑物的统计数据，其具体数据包括：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、住房外墙墙体材料等（如钢混、砖混、砖石、木竹草及其它结构）。因此，按建筑年代的不同可将建筑物划分为 3 个时段：1979 年以前；1980—1989 年；1990 年以后。

在各类建筑物易损性矩阵中，城市以街道为单元，农村以乡镇为单元，并按照建筑结构分类及建设年代建立类比原则。对福建省区域在“九五”和“十五”期间进行的 13 个城市及部分农村进行的传统易损性分析方法中（如：对多层砌体房屋采用的易损性分析方法中，以墙体的抗剪强度作为砌体结构抗震能力的主要标志，采用楼层单位面积的平均抗剪强度作为砌体结构的易损性指标；对高层建筑易损性分析方法中，包括弹塑性地震动时程反应分析方法、Pushover 等效分析方法和逐步简化的 Pushover 方法等）得到的建筑物易损性结果，分别按不同结构类型区分城市和农村，并进行加权平均得出平均易损性矩阵。确定不同地区城市及农村的经济条件、建筑年代影响的调整矩阵，从而得出各统计单元的建筑物易损性矩阵<sup>1</sup>（危福泉等，2008）。在进行震害快速评估时，可利用人口数据及灾害损失的关系模型，进行震害快速计算（蔡宗文等，2006；2007）。

### 1.2 基于行政村分布的震害快速评估方法

#### 1.2.1 人口及建筑物数据的获取

人口数据及建筑背景资料是进行地震灾害快速评估的基础数据。对于人口分布较为分散的广大农村地区特别是山区，为了充分利用以乡镇为单元的人口普查数据，提出了以行政村分布为基础，按行政村个数比例对整个乡镇的人口资料、建筑物资料进行分配，进行基于人口资料的区域地震震害预测模型，并对数据进行震害快速评估。在计算时，利用 GIS 技术读取不同行政村的个数（为了不低估乡镇或街道办事处所在地人口的密度，假设 1 个乡镇或街道办事处所在地的人口是一般行政村的 4 倍）及在整个乡镇所占的比例，采用第四代地震动区划图推荐的中国东部地震动衰减关系式进行地震影响场计算，判断落入对应烈度区域的行政村的人口及建筑物，根据震害预测模型进行地震灾害损失计算。不同结构建筑物面积取值按不同年代建筑物的平均增长率增

1 危福泉，黄建发，蔡宗文等，2008. 福建丘陵盆地建筑物易损性研究与减灾示范（福建省重点项目：2003Y039）。

长: 1979 年以前及 1980—1989 年的建筑为负增长; 1990 年以后的建筑面积为正增长。

### 1.2.2 建筑物易损性数据的取值

建筑物易损性分析是震害评估系统建设的关键, 对于漳州市的城市及农村不同乡镇分别按各类不同结构及建筑年限进行类比, 并在平均易损性矩阵(区分城市及农村)的基础上, 按当地的经济条件、财富水平及建筑建设年代, 加上经济易损性调整矩阵及建设年代易损性矩阵。基于行政村模型的建筑物易损性矩阵直接采用所处的乡镇的各种不同烈度下不同结构物的易损性矩阵。各类建筑物易损性矩阵是与城市以街道、农村以乡镇为单元的福建省区域范围数据类比计算而获得的, 从而确保与统计源数据的一致, 并避免重复投资。对于漳州市城区及龙海市区的各类建筑物易损性直接采用“九五”和“十五”的城市地震震害调查结果。但随着经济的发展和建筑质量及抗震水平的提高, 建筑物易损性矩阵也将随着时间的推移而有所变化。为此, 在进行系统建设时提供了不同地区、不同年代及不同建筑物的易损性矩阵维护功能, 对不同建筑建设成本、室内财产均可根据当地经济条件进行维护。

## 2 评估系统功能设计

基于 WebGIS 的漳州市城乡震害快速评估系统的总体架构采用 B/S 结构, 即由表示层、服务层和数据层组成的三层体系网络架构, 包括后台数据库、应用服务器(地图服务器)+WEB 服务器、客户端组成, 其中客户层和服务层中间用网络防火墙隔开。这种体系结构使得数据和应用完全独立, 可保证数据的安全性、一致性和应用无关性。本系统具备系统核心计算、矢量图形叠加、矢量图形属性数据动态更新、分布图形动态更新等功能, 在服务器端实现地图的发布和动态数据的管理, 在客户端采用动态网页设计 ASP 与数据库管理技术, 包含有基础数据管理及维护、震害快速评估、重点监视目标及危险源的地震影响评估、评估报告管理及系统辅助管理等功能模块。

## 3 系统的关键技术

### 3.1 基于组件的 ASP 下动态服务调用技术

ASP 是目前一种广为应用的用来快速构建动态 WEB 站点的编程语言, 默认的内置开发语言是 VBScript, 由于 ASP 和微软 Windows 系列操作系统的结合非常好, 使得 ASP 已成为 NT 开发平台上面进行 WEB 开发的首选语言和环境。使用完全封装的 ActiveX DLL 会比完全适用 ASP 脚本语言的执行速度要快很多, 尤其是在大运算量的时候更为明显。采用 ActiveX DLL 来开发 WEB 程序, 要比单纯使用 ASP 优越得多, 而 ActiveX DLL 则可以充分利用 VB 里面所有的特性。

### 3.2 基于 ArcObject 的 ArcIMS 动态矢量信息发布技术

本项目采用 ArcObject(简称 AO)和 VB6.0 相结合的开发方式, 实现了地震数据的动态信息写入, 利用 DLL 动态链接库组件开发技术, 构建 WEB 信息动态发布。利用客户端浏览器对服务器端 DLL 的调用服务, 实现震害信息动态计算及发布地图信息的即时更新。基于 AO 组件的动态矢量信息发布技术的应用, 将进一步简化基于 ArcIMS 系统设计的复杂性, 提高系统的执行效率。

### 3.3 地震影响场动态生成技术

根据输入的地震参数: 地震的发震地点、发震时间、震中经度、震中纬度、地震震级、长轴方向等, 利用椭圆模型可得到地震影响场, 并以矢量数据文件格式(Shape)表现出来。

此计算过程由外部模块实现，使用 VB 开发，解决了在计算过程中进行地理坐标反变换的问题，保证了地震影响场计算模块与 ArcGIS IMS 的无缝结合。

### 3.4 以行政村为单元的人口预测模式

在进行震害预测时，如何准确确定各个行政村的人口及建筑物分布是进行震害损失评估的关键。为了便于计算，在对乡镇人口及建筑人口分布进行统计时，采用落入烈度圈内的行政村个数作为比例，但为了不低估乡镇所在地的人口较高密度，一般按一个乡镇所在地相当于 4 个行政村。在进行震害评估时，直接采用人口与数据快速评估模型，保证了系统可以快速给出计算结果，也进一步确保了评估结果的准确有效。

### 3.5 基础数据动态预测技术

随着经济的发展，城市与农村人口及建筑在不断变化着，可以根据年代及乡镇不同，对不同建筑及人口加入反映当地状况的增长率，使人口及建筑数据根据年代的不同具有自动预测能力，降低系统维护成本，提高系统数据及系统本身的生命力。

## 4 模拟地震实例分析

### 4.1 模拟地震位置选择

由于地震是一个小概率事件，在漳州市甚至在福建省尚缺少具有足够数量的强地震实际破坏损失调查资料，为了进一步验证本系统的使用效果以及系统的可靠性。我们选择了近年来发生在福建永安西南 5.2 级地震以及顺昌 4.9 级地震作为对比的模拟地震，经过对比研究发现平和县与云霄县境内交界处也为丘陵地区，分别与上述 2 个地震发生的地理环境相近，经济情况相似，人口密度相仿，在设置发震时间时，分别设置对应对比地震的发震时刻，以确保所计算的结果具有对比性。

### 4.2 模拟永安西南地震实例

1997 年 5 月 31 日在永安西南发生的 5.2 级地震，其震害主要分布在永安市小陶镇，直接经济损失达 4670 万元。地震参数采用模拟地震震中位置及震级大小按发生的地震作为输入，发震时间取上述地震发生的时间，通过前述模型参数，以行政村为单元进行震害快速评估计算，具体结果见图 1 和表 1。

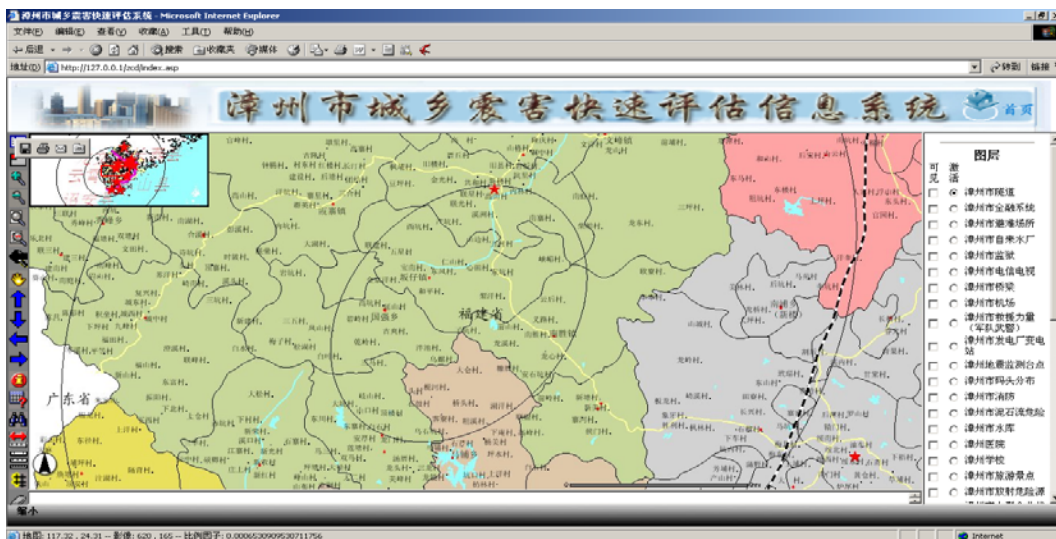


图 1 模拟永安 5.2 级地震快速评估震中示意图

Fig.1 Simulated epicenter of Yong'an M5.2 earthquake

表 1 模拟永安 5.2 级地震 1997 年时漳州市地震震害报告

Table 1 Report on life and property loss caused by simulated Yongan M5.2 earthquake

名称	影响人口 (人数)	经济损失 (万元)	无家可归 (人数)	重伤 (人数)	死亡 (人数)
平和县	110000	4700	1000	0	0
云霄县	7800	400	100	0	0
约计	118000	5000	1100	0	0

### 4.3 模拟顺昌地震计算实例

2007 年 3 月 13 日在福建省顺昌发生的 4.9 级地震, 其震源深度约 10km。震中距顺昌县城约 15km, 位于南平市以西约 45km。中心位于福建省南平市顺昌县郑坊乡。直接经济损失为 951.73 万元。具体的模拟结果见图 2 和表 2。

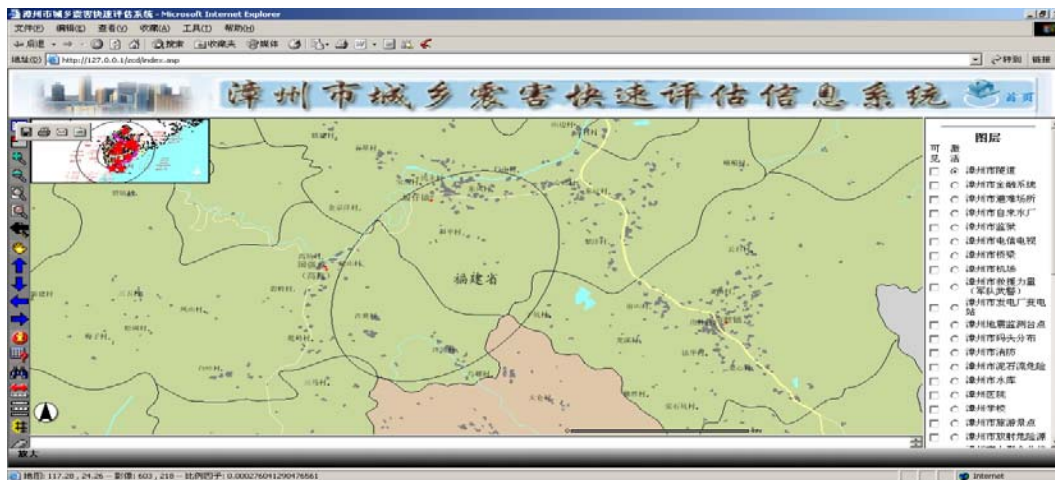


图 2 模拟顺昌 4.9 级地震快速评估示意图

Fig.2 Simulated epicenter of Shunchang M4.9 earthquake

表 2 模拟顺昌 4.9 级地震 2007 年时漳州市平和县地震震害报告

Table 2 Report on life and property loss caused by simulated Shunchang M4.9 earthquake

名称	影响人口 (人数)	经济损失 (万元)	无家可归 (人数)	重伤 (人数)	死亡 (人数)	破坏指数
坂仔镇	21000	800	200	0	0	0.051
国强乡	2700	100	30	0	0	0.062
约计	23000	900	230	0	0	
实际调查	—	951	—	0	0	—

从上述 2 个模拟地震分析结果可以看出, 基于行政模型设计的地震灾害评估系统, 如模拟永安地震比例为  $5000/4670=107\%$ ; 模拟顺昌地震比例为  $900/951=95\%$ 。其评估结果与实际地震评估具有较好的一致性, 说明采用行政村为单元设计的漳州市震害快速评估系统, 计算结果较为准确, 计算方法可靠有效。

## 5 结论

本项目将 WebGIS 技术引入到漳州市城乡震害快速评估系统中, 其充分利用了人口统计数据与震害预测模型, 同时采用以行政村为计算单元, 实现了漳州市城乡震害快速评估。经过模拟地震与实际地震震例对比, 具有较好的可比性。该系统具有以下主要特点:

(1) 充分利用人口统计数据与震害预测模型, 采用以行政村为计算单元, 实现了漳州市城乡震害快速评估。

(2) 与一般城市灾害预测系统不同, 该系统不仅可以对城市进行震害快速评估, 同时对于农村以及人口分布不均的山区, 在一般性破坏地震情况下也具有较好效果。

(3) 可以在 1 分钟内快速给出震害评估结果, 也可以给出生命线、重点监视目标及危险源的地震影响情况。

(4) 系统采用 WebGIS 方式, 实现了地震震害信息共享。

(5) 数据动态更新、系统模型参数(如建筑成本、易损性矩阵)都可以维护, 且可重用。系统动态预测模式的引入, 可保证系统数据的动态更新能力, 提高系统的生命力。

(6) 系统的开放性设计, 可方便地把本系统移植到其他地市的城乡震害快速评估系统中, 适合全国推广使用。

值得指出的是, 由于地震是小概率事件, 系统的实际运行效果还有待于大地震的进一步检验。

## 参考文献

- 蔡宗文, 危福泉, 方瑞峰等, 2007. 基于居民地分布的震害快速评估方法. 中国地震, **23** (4): 410—415.
- 蔡宗文, 危福泉, 方伟等, 2006. 基于 WebGIS 的区域震害快速评估系统设计与实现. 地震地质, **28** (3): 463—469.
- 陈颀, 米宏亮, 陈棋福, 2001. 地震灾害: 从工程灾害到社会灾害. 见: 新世纪地震工程与防震减灾. 北京: 地震出版社, 28—36.
- 陈颀, 刘杰, 陈棋福等, 1997. 地震危险性分析和震害预测. 北京: 地震出版社.
- 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.
- 尹之潜, 李树桢, 杨淑文等, 1990. 震害与地震损失的估计方法. 地震工程与工程震动, **10** (1): 93—106.
- 尹之潜, 1995. 地震灾害损失预测方法. 北京: 地震出版社.

# The Fast Loss Evaluation System Based on Village Unit

## —A Case Study of Zhangzhou City

Cai Zongwen<sup>1)</sup>, Wei Fuquan<sup>2)</sup>, Fang Hongfang<sup>1)</sup>, Zhang Laiquan<sup>3)</sup>, Fang Wei<sup>1)</sup>,  
Chen Lin<sup>2)</sup>, Zhang Yonggu<sup>1)</sup> and Zheng Shaopeng<sup>1)</sup>

1) Xiamen Research Center of Seismology Survey, Xiamen 361021, China

2) Seismological Bureau of Fujian Province, Fuzhou 350007, China

3) Seismological Bureau of Zhangzhou City, Zhangzhou 363000, China

**Abstract** By using the traditional quick predicting model and population statistics, this paper puts forward a fast loss evaluation approach, which is based on the administrative village unit, with the analysis of the features of broad area of hills and basins in Zhangzhou city area. Taking Zhangzhou as an example, a fast loss evaluation system based on WebGIS has been constructed. Using this system we stimulated earthquake of magnitude 5.2 in the South-east Yongan city on May31, 1997 and earthquake of magnitude 4.9 in Shunchang city on March 13, 2007. Through comparison of simulated results to that of damage survey on-site, we conclude out that this fast loss evaluation system is useful in practice.

**Key words:** Administrative village unit; Fast loss evaluation system; Simulated earthquake