

基于 GIS 的建筑物震害预测系统的开发与应用*

翟永梅¹, 陈刚², 欧阳倩雯³

(1. 同济大学 上海防灾救灾研究所, 上海 200092; 2. 同济大学 土木工程学院, 上海 200092;
3. 苏州龙湖基业房地产有限公司, 苏州 215000)

摘要: 以上海市浦东新区潍坊街道为实验区, 基于 ArcGIS 软件平台, 开发了建筑物震害预测系统。该系统分为 3 个组件: 震害矩阵统计工具、震害预测工具箱、建造年代及震害结果赋值工具, 将建筑物的属性数据、建筑物易损性模型和震害预测结果嵌入 GIS 平台, 实现了震害预测的批量化和自动化, 以及预测结果的交互可视化。另外还将开发的建筑物震害预测系统应用于实验区, 所得结论与以前项目研究成果对比一致, 验证了该系统的可靠性, 得出的震害预测结果, 可以辅助城市抗震防灾规划的决策。

关键词: 震害预测; GIS; 系统开发; 震害矩阵

中图分类号: P315-39

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2015)01-0143-05

0 引言

地震灾害是目前人类所面临的最严峻的自然灾害之一, 其具有突发性和毁灭性, 一次破坏性地震可能造成大量的建筑物倒塌及各种次生灾害, 引发人员伤亡、财产损失、生产停顿、城市机能瘫痪等一系列问题(王飞, 蒋建群, 2005)。

地理信息系统(Geographic Information System)是一种具有集中、存储、分析和显示地理参考信息功能的计算机系统。它引入了空间概念, 能以直观交互的方式分析和存储建筑物震害预测数据。城市建筑物具有类型多样、功能各异、基数庞大等地理空间特点, 因此, 应用 GIS 技术对城市建筑物的抗震信息实施空间、动态分析, 具有显著的效率优势, 同时裨益于抗震防灾规划和震后应急救援、损失快速评估等相关工作(钟德理, 2004)。

我国抗震防灾中 GIS 技术应用较晚, 中国地震局工程力学研究所在 1995 年利用 GIS 构建了中国华北部分地区的地震信息系统, 并在此基础上编制了基于 GIS 的太原—临汾地震区划, 利用 GIS 识别潜在震源区(汤爱平等, 1999)。近几年政府相关部门对 GIS 在城市防震减灾中的应用研究更加重视, 泉州、汕头、合肥等城市建立了基于 GIS 的城市防震减灾信息管理系统和辅助决策系统(周锡元, 陈一平, 1986)。

笔者以上海市浦东新区潍坊街道为实验区, 基于 ArcGIS 软件平台, 开发了建筑物震害预测系统。该系统利用 GIS 平台强大的空间数据分析能力, 对原始图层数据进行预处理和智能判别, 使其关键属性得到补充完善以满足震害预测的基本要求; 利用 GIS 平台的图形显示功能, 实现直观具象的震害结果展示和输出, 同时支持对象查询、选择和信息识别等人机交互操作。本文所用数据来源于上海市测绘院浦东分院。

1 系统框架设计及功能实现

该系统以 ArcGIS 软件平台为主要工作环境, 关联两个外部工具, 总框架流程如图 1 所示, 可分

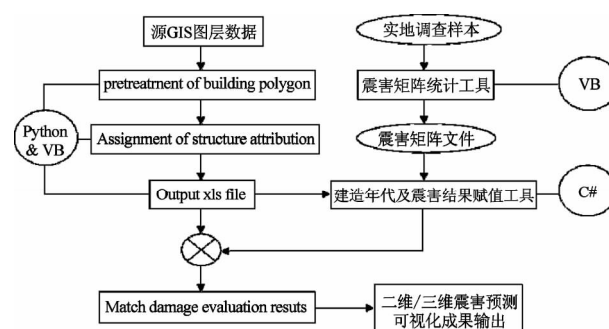


图1 建筑物震害预测系统框架

Fig. 1 The system framework of earthquake damage evaluation of buildings

* 收稿日期: 2014-07-25.

基金项目: 国家自然科学基金项目(51178351)资助.

为 3 个组件：震害矩阵统计工具、震害预测工具箱、建造年代及震害结果赋值工具。

1.1 震害矩阵统计工具

震害矩阵统计工具的主要功能是建立工作区的震害矩阵数据。该工具嵌入了结构易损性分析模型，以实地调查样本为输入，通过简单交互实现数据的批量计算和统计分析，最终生成一个独立的工程文件。其中包含所有样本的参数信息和分析结果，分列各结构类别建筑物的震害矩阵，以及按年代分布统计的震害指数和震害结果。以往的城市震害预测，往往只考虑结构类别一个维度来赋予建筑物震害预期（周光全等，2010）。而实际上建筑物的抗震能力与建造年代呈现明显的关联性，因此本文将建筑物的建造年代信息纳入考虑，增加一个维度，提高预测的精度（胡少卿，2007）。该工程文件将作为数据源输入到建造年代及震害结果赋值工具中。

该工具将各类建筑分为多层砌体房屋、钢筋混凝土房屋、内框架和底层框架砌体房屋、单层工业厂房和单层空旷房屋、老旧民房、重要建筑六个结构类别，分别建立易损性分析模型。

1.2 震害预测工具箱

GIS 建筑物图层文件中要素属性的完整性是进行后续建筑物震害预测工作的基础。属性赋值工作主要包括建筑物结构类别和建造年代两大部分。ArcGIS 震害预测工具箱主要实现建筑物结构类别的完善以及与外部程序工具的数据对接，分为 4 个子模块（图 2）。

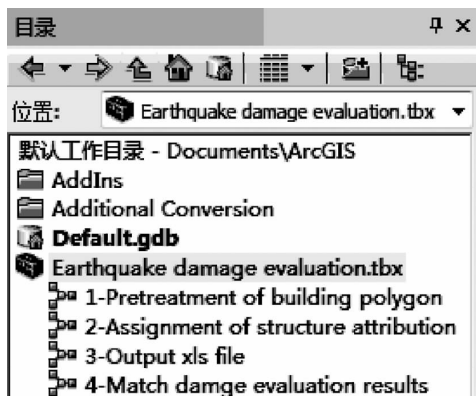


图 2 Earthquake damage evaluation 工具箱

Fig. 2 The toolbox of Earthquake damage evaluation

实验区的原始 GIS 图层中含有 26 个字段，而其中绝大多数字段对震害预测是无意义的。在所有建筑物要素中，只有约 40% 含有结构类别属性，

且只含多层砌体和钢筋混凝土两种结构，缺失严重，无法直接进行震害预测工作。

Pretreatment of building polygon 模块主要完成图层文件的前处理工作，包括删除多余字段信息，计算建筑物要素总面积，甄别学校、高层建筑等重要建筑并定义其属性字段。经此模块处理后，重要建筑得到了定义，但仍有近半数的建筑物结构类别属性缺失。该模块使用了 ArcToolbox 中数据管理工具的字段处理等功能，同时也在 ArcGIS 开发环境下采用 PYTHON_9.3 和 VB 脚本语言编写了部分代码来实现重分类等操作（刘伟，2012）。

经过 Pretreatment of building polygon 模块处理的图层文件，STRUCTURE 属性字段的缺失率约为 48.87%，仍占有较大比值。为进一步完善结构类别属性字段，开发 Assignment of structure attribution 模块，该模块使用了 ArcToolbox 叠加分析中的空间连接工具。空间连接是指基于两个要素类中要素之间的空间关系将属性从一个要素类传递到另一个要素类（韦强，2012）。只要找到指定的空间关系或匹配选项，就会将连接要素的属性添加到目标要素中。在建筑物图层文件中，具有相交关系的要素可以认为是从属于同一建筑体，具有相同的结构类别属性。除根据面要素间的相交相邻关系实现属性迁移外，本模块还将根据建筑物的名称、用途、面积、层数等信息进行综合筛选和模糊分类，完善要素的结构类别属性。

经过该模块处理的图层数据，结构类别字段的完整度可以接近百分之百，以实验区处理前后对比为例说明：图 3 为处理前后对比图，处理前结构类别字段未赋值的要素数量众多，结构类别单一；经模块处理后，基本所有像元都获得有效定义，结构类别丰富多样。

Output xls file 模块将处理过的图层文件属性表写入（*.xls）文件。由于 GIS 图层的属性数据为 dbf 格式，其他的外部软件无法读写。因此本文用 python 编写了脚本程序，把图层属性导出到 ArcGIS 默认路径下（王卫东等，2011），供建造年代及震害赋值工具调用。

Match damage evaluation results 模块主要功能是为图层文件和建造年代及震害结果赋值工具的输出文件创建连接，获取震害预测结果以及建造年代属性值。同时梳理数据格式，为最终二维及三维震害结果的可视化展示提供基础。处理完成后的图层属性包含了非常完整直观的信息（图 4）。



图 3 结构类别分布

(a) 原始数据; (b) 模块处理后

Fig. 3 Distribution of structural classes

(a) original data; (b) after module bundles

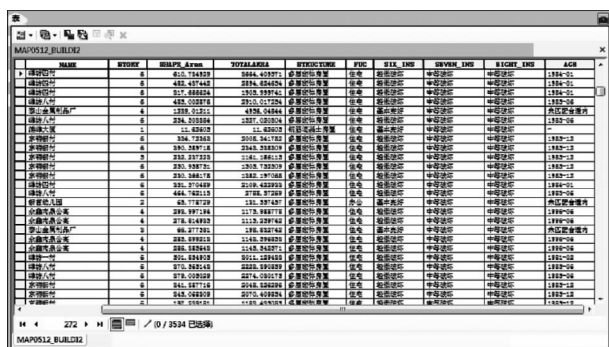


图4 经系统处理后的建筑物图层属性表

Fig. 4 The attribute table of buildings layer after the system processing

1.3 建造年代及震害结果赋值工具

建筑物要素的结构类别等属性经过 ArcGIS 震害预测工具箱中各模块的处理已得到了补充完善,要进行后续的精确震害预测工作还需要补充建筑物的建造年代属性。如果仅仅依靠传统的人工普查录入等手段,要覆盖一个区域乃至一个城市成

千上万的建筑无疑将耗费巨大的人力物力，难以实施。

本系统使用 C# 语言开发了建造年代及震害赋值工具,应用网络爬虫技术来完善建筑物的建筑年代信息。网络爬虫是搜索引擎的重要组成部分,是一种完全不依赖用户干预而进行有策略的网页访问的技术 (Cho, 2001)。

该工具以 ArcGIS 工具箱输出的属性文件为数据源,读取其中的建筑物名称,以此为检索主题,从一个初始链接出发,漫游网络,对链接页面中内容和主题(即建筑物的建造年代)的相关性做出评估,同时也利用网页链式结构来评价和传递母网页的重要性。相关性和重要性高的网页会被列入待爬行队列中优先访问,而与主题无关的链接会被舍弃。当访问的网页中含有该建筑物的建造年代信息时,判定任务完成,将数据写入 ArcGIS 软件默认路径下的属性文件中(王占一, 2012)。

建造年代赋值完成后,选择由震害矩阵统计工具生成的工程文件,即可根据每个建筑物的建造年代和结构类别,完成震害结果的赋值。

2 应用实例分析

2.1 系统可靠性验证

上海市浦东新区潍坊街道的建筑结构类型丰富、年代分布跨度大,涵盖了上海市大部分房屋建筑的结构类型,具有较强的代表性。

本文按照相关规范要求进行建筑物抽样,有效样本累计面积约为实验区建筑物总面积的8%。应用本文所开发的建筑物震害预测系统进行样本计算分析及震害矩阵统计。对比上海防灾救灾研究所(1993)、中国地震局工程力学研究所(2003)两次覆盖该实验区的建筑物震害预测研究成果,发现本文的预测结果和2003年的研究结论基本一致,略优于1993年的结论,原因在于新建建筑的抗震性能普遍要优于既有的老旧建筑,同时,本系统在原有方法基础之上,又增加了建造年代信息,提高了建筑信息的维度,使预测结果更客观准确。因此,可以认为系统所采用的易损性分析方法准确可靠。

2.2 系统可视化结果

本文所开发的建筑物震害预测系统集成于 Arc-

GIS 平台, 具有强大的制图及图像显示功能, 根据系统分析所得的实验区震害指数计算结果, 绘制了实验区二维、三维震害预测图 (冷小鹏, 2012)。

其中二维震害预测图用平均震害指数来表征某一区域建筑物总体的抗震性能水平 (图 5)。震害指数是评价某个结构或构件在受到地震作用后的破坏状态的无量纲指数, 是对建筑结构的地震破坏状态进行定量评估的重要方法。平均震害指数则指所有房屋的震害指数的总平均值 (周光全, 2011)。

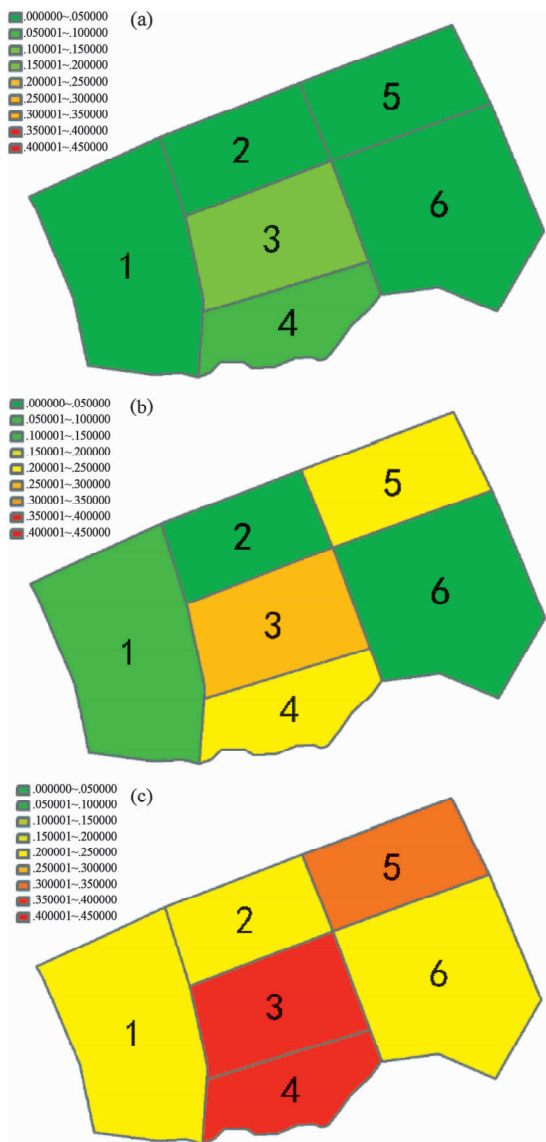


图 5 二维震害预测图

(a) VI 度震害; (b) VII 度震害; (c) VIII 度震害

Fig. 5 Charts of two-dimensional earthquake damage prediction

(a) VI earthquake damage; (b) VII earthquake damage;
(c) VIII earthquake damage

二维建筑震害图反映了较为宏观的区域建筑物抗震性能, 不能反映各种建筑类型的破坏情况。根据建筑物震害预测系统生成的各级震害结果字段, 使用 ArcGIS 软件中的 ArcScene 组件生成三维场景模型, 直观展示各建筑震害预测结果 (图 6)。三维震害预测图反映了建筑物的结构类别、建筑功能以及建造年代等属性对其抗震性能的影响。实验区内有大量的多层砌体住宅房屋, 而在三维图中这些房屋因建造年代和用途的差异而呈现不

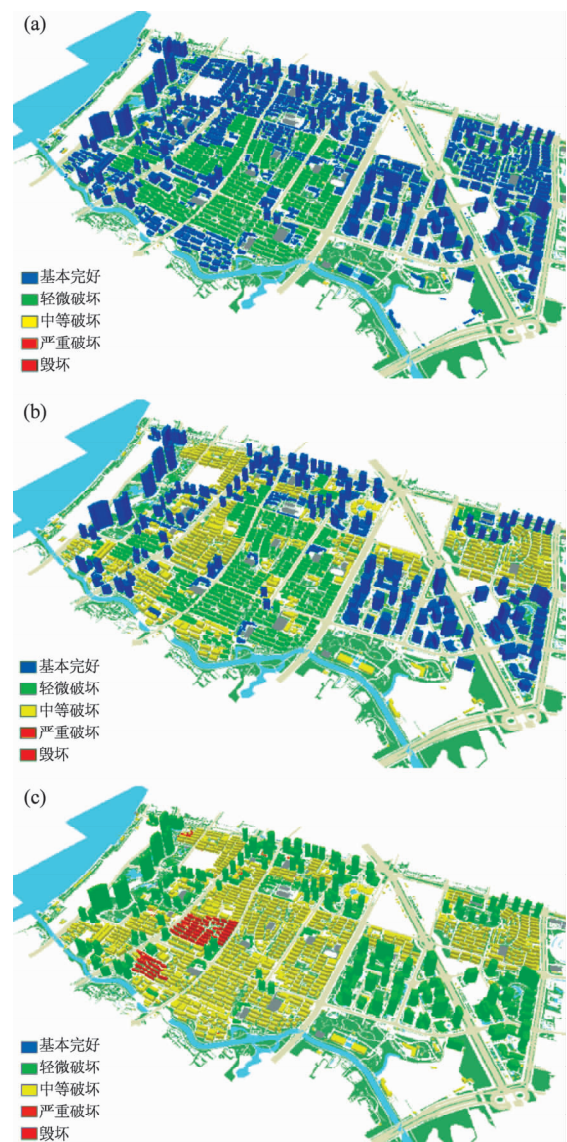


图 6 三维震害预测图

(a) VI 度震害; (b) VII 度震害; (c) VIII 度震害

Fig. 6 Charts of three-dimensional earthquake damage prediction

(a) VI earthquake damage; (b) VII earthquake damage;
(c) VIII earthquake damage

同的破坏状态，较之以往群体震害预测中仅以结构类别预测破坏结果在精度上有很大地提高。

3 结论

本文以 ArcGIS 软件平台为基础，结合实际应用需要及源数据的格式特点，设计了震害预测系统，介绍了各功能区块间的联系，并分别展开介绍了各模块程序的设计思路、实现方法与功能。

根据该预测结果，有关部门可以有针对性地对抗震薄弱区域的建筑物进行加固，提高这些地区建筑物的整体抗震能力，也可以为未来区域内避震疏散场地及设施的规划建设提供依据。

参考文献：

- 胡少卿. 2007. 建筑物的群体震害预测方法研究及基础设施经济损失预测方法探讨[D]. 哈尔滨:中国地震局工程力学研究所.
- 冷小鹏. 2012. 基于 G/S 模式的三维地质灾害信息管理平台研究[D]. 成都:成都理工大学.
- 刘伟. 2012. 基于移动 GIS 的应急救援指挥系统的设计与实现[D]. 沈阳:中国科学院研究生院(沈阳计算技术研究所).

- 上海防灾救灾研究所. 1993. 上海市震害预测研究报告[R]. 上海:上海防灾救灾研究所.
- 汤爱平, 董莹, 文爱花. 1999. GIS 在城市防震减灾研究中的应用综述[J]. 自然灾害学报, (2): 67-72.
- 王飞, 蒋建群. 2005. 城市地震灾害综合易损性分析方法探讨[J]. 地震研究, 28(1): 95-101.
- 王卫东, 曾科, 方理刚. 2011. 基于地理处理服务的滑坡敏感性区划研究[J]. 中南大学学报, (7): 2086-2094.
- 王占一. 2012. Web 文本挖掘中若干问题的研究[D]. 北京:北京邮电大学.
- 韦强. 2012. 县级林地保护利用规划林地落界数据处理方法[J]. 林业调查规划, (6): 10-14.
- 中国地震局工程力学研究所. 2003. 上海市浦东新区震害预测报告[R]. 哈尔滨:中国地震局工程力学研究所.
- 钟德理. 2004. 基于 GIS 的城市建筑物震害预测研究[D]. 北京:中国海洋大学.
- 周光全, 卢永坤, 非明伦, 等. 2010. 地震灾害损失初步评估方法研究[J]. 地震研究, 33(2): 208-215.
- 周光全. 2011. 云南地区简易房屋的震害指数研究[J]. 地震研究, 34(1): 88-95.
- 周锡元, 陈一平. 1986. 城市抗震防灾规划的研究与实践[A]//中国工程抗震研究四十年[C]. 北京:地震出版社, 166-171.
- Cho J. 2001. Crawling the web: Discovery and Maintenance of Large-scale Web Data[D]. L. A.: Stanford University.

Development and Application of Earthquake Damage Evaluation System of Buildings Based on GIS

ZHAI Yong-mei¹, CHEN Gang², OUYANG Qian-wen³

(1. Shanghai Institute of Disaster Prevention and Relief, Tongji University, Shanghai 20092, China)

(2. College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

(3. Longfor Real Estate Co., Ltd. in Suzhou, Suzhou 215000, China)

Abstract

Taking the Weifang Street of Shanghai Pudong New Area as the experimentation area, based on the ArcGIS software platform, we developed an Earthquake Damage Prediction System of Buildings. The system consists of three components: the statistical tool of damage matrix, the toolbox of damage prediction, the assignment tool of construction years and seismic damage results, and embeds the attribute data of the buildings, the building vulnerability models and earthquake damage prediction results in GIS platform to realize automation and visualization of the prediction result. In addition, the developed Earthquake Damage Prediction System of Buildings was applied in experimentation area. The conclusion is consisted with the previous research project, which demonstrates the reliability of the system. The damage prediction results contribute to assist the decisions of urban earthquake disaster planning.

Key words: earthquake damage prediction; GIS; system development; earthquake damage matrix