

城市地震灾害风险评价方法研究

金江军¹, 潘 懋¹, 徐岳仁²

(1. 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871; 2. 中国地震局地震预测研究所, 北京 100036)

摘要:风险管理研究已成为防灾减灾工作从“被动救灾”到“主动预防”转化的热门课题。本文回顾了地震灾害风险评价研究进展,指出了现有评价方法的不足。提出了基于地震小区划的城市地震危险性评价方法、基于城市用地类型的城市地震易损性评价方法以及基于专家打分法的城市防震减灾能力评价方法。最后设计了城市地震灾害风险评价流程,并给出了城市地震灾害风险区划算法。

关键词: 风险评价; 地震小区划; 易损性; 城市用地类型; 防震减灾

中图分类号: P315.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2007)02-0109-05

Research on Method of Urban Earthquake Disaster Risk Assessment

JIN Jiang-jun¹, PAN Mao¹, XU Yue-ren²

(1. College of Earth and Space Science, Peking University, Beijing 100871, China;

2. Institute of Earthquake Prediction, CEA, Beijing 100036, China)

Abstract: The risk management research has become a hot subject in the domain of disaster prevention and mitigation as the works changed from "passively relieve disaster" to "active prevention" in recent years. In this paper, the research progress of the earthquake disaster risk assessment is reviewed, and the shortcomings of some present methods are pointed out also. Then, the method of urban earthquake hazard assessment based on the earthquake microzonation, the method of seismic vulnerability assessment based on urban landuse types, and the method of disaster prevention and mitigation capacity assessment based on expert scoring are presented. At last, the flow of the urban earthquake disaster risk assessment is designed, and its arithmetic is given.

Key words: Risk assessment; Earthquake microzonation; Vulnerability; Urban landuse types; Protecting against and mitigation earthquake disaster

0 前言

中国地震活动频度高、强度大、分布广、震源浅, 50%以上的城市和 70%左右的大中城市位于 7 度及以上地震烈度区内。1996—2005 年, 发生在中国大陆地区的 5 级以上地震有 243 次, 其中 123 次成灾, 受灾人口总计 1 623.9 万, 其中死亡 811 人, 重伤 5 286 人; 直接经济损失 194.92 亿元, 其中发生在城市及附近地区的地震造成的灾害损失占很大部分。我国不少大中城市地下都存在活动断层, 随着城市人口和物质财富的集中度不断提高, 同样一个震级的地震发生在过去和发生在未来, 地震灾害损

失差别是很大的。有人做过分析, 如果 2001 年天津出现 1976 年发生在汉沽的 6.9 级地震, 直接经济损失可能达到 300 亿^[1]。

早在 1994 年制定的“横滨行动战略和计划”中, 联合国就认识到“风险评价”是采取充分和成功减灾政策和措施的必要步骤, 风险评价作为减灾的一个首要原则而受到重视。2004 年, 联合国在其实施的“国际减灾战略”项目中, 针对自然灾害, 对风险进行了权威的定义: 风险是指自然或人为灾害与承灾体的易损性(Vulnerability)之间相互作用而导致一种

收稿日期: 2006-10-26

作者简介: 金江军(1978—), 男(汉族), 博士生, 主要从事城市地质学、灾害地质学、地质信息系统等方面的研究。

有害的结果或预料损失发生的可能性,其数学表达式为“风险=危险性*易损性/防震减灾能力”^[2]。开展城市地震灾害风险评价,有助于政府部门有针对性、分轻重缓急地采取防震减灾措施。

1 地震灾害风险评价研究进展

早在1977年10月美国就通过立法要求在地震易发区开展风险评价^[3]。1984年French提出了要把地震风险分析应用到土地利用规划,通过合理的土地利用来减轻地震灾害损失^[4]。之后Olshansky等人分析了旧金山地区现有和已规划的土地利用模式下的地震风险^[5]。French等研究了如何利用航空遥感图象以及基于多元回归、人工神经网络的量化模型等来分析城市地震易损性空间分布^[6]。Friedemann分析了大都市潜在的地震风险并提出了减灾策略^[7]。1997—1999年,联合国十年减灾委员会秘书处实施了城市地区抗御地震灾害风险评估工具(RADIUS)项目。

在国内,聂高众等认为地震灾害风险是指建立在各地防震减灾能力基础上的未来地震损失估计,并研究了我国未来10~15年地震风险^[8]。和飞等人初步探讨了地震灾害损失预测和期望地震损失分析方法^[9]。国内有的文献把危险性评价等同于灾害风险评价^[10-12]。实际上,危险性只是表示发生地震的可能性,而风险则要考虑地震对经济、社会可能造成的破坏。有的文献没有考虑防震减灾能力。众所周知,地震造成的人员伤亡和直接经济损失在很大程度上取决于防震减灾能力的强弱,我国历史上地震造成的人员伤亡比西方发达国家多得多,原因之一是以以前我国防震减灾能力很弱。

2 城市地震灾害风险评价方法的构成

2.1 城市地震危险性评价方法

由于地震中长期预测预报至今还是一个世界性难题,要想准确地知道某城市未来地震发生时间、震级大小等几乎是不可能的。因此,对于城市地震危险性最简单的办法是利用该城市所处的“地震烈度”来评价。地震烈度越高,城市地震危险性也就越大。另外一种更好的办法是利用“城市地震小区划”成果图。城市地震小区划是对城市范围内可能遭遇的地震动强度及其特点的划分,包括地震动小区划和地震地质灾害小区划,除了考虑潜在震源情况、传播路径的因素外,还根据场地地质活动构造与地貌条件给出场地地震影响场的分布。它不仅要对城市所在

范围内的场地类别和地震时振动轻重程度作出详细划分,指出各小区场地对建筑物抗震的有利或不利程度,指明各小区具体的不利因素以及可能发生的地基失效类型,而且要对城市范围内各小区提出具有概率意义的设计地震动参数等,包括地面运动峰值加速度、峰值速度、地震动持时、场地卓越周期、加速度反应谱等一系列指标。

根据不同场地条件下地震可能造成的损失程度,本文依据城市地震小区划图将不同场地条件划分为5个等级:5级(极高危险性)、4级(高危险性)、3级(中等危险性)、2级(低危险性)、1级(极低危险性)。场地条件越不好,城市地震危险性等级就越高。

2.2 城市地震易损性评价方法

根据国务院颁布的《城市用地分类与规划建设用地标准》(GBJ137-90),我国城市用地类型共分十大类,46中类,73小类。

研究表明,城市地震灾害损失与用地类型关系密切^[4-5]。人口伤亡主要是由于房屋倒塌造成的,一般来说在房屋建筑密集、人口密度大的地方人口伤亡相对较多。也就是说居住用地、公共设施用地、工业用地、特殊用地的人口易损性级别较高。从表1可以看出^[13],房屋建筑和生命线工程(供水、供电、供气、交通、通信)的直接经济损失占很大比例,而房屋建筑主要分布在居住用地、公共设施用地、工业用地,生命线工程主要分布在对外交通用地、道路广场用地、市政公用设施用地。对于象包头这样的工业城市,工矿企业的直接经济损失也相当大,也就是说工业用地的易损性级别很高。

本文根据近十年来我国城市地震灾害损失评估结果将每类用地易损性划分为5个等级:5级(极高易损性)、4级(高易损性)、3级(中等易损性)、2级(低易损性)、1级(极低易损性),如表2所示。表2的人口易损性是根据用地类型的人口密度和建筑情况来定级的,经济易损性则是根据用地类型的破坏特征和资产情况来定级的。

由于目前我国的地震灾害损失并不是按照用地类型来评估的,易损性等级的确定只具有统计意义,因此表2只是示意性的,对于具体城市,还应根据具体情况来确定每个城市用地类型的易损性等级。我国绝大多数城市都已经编制了“城市土地利用现状图”,使得这种评价方法的可操作性很强。不过要想更合理地确定每个城市用地类型的易损性等级,需要尽可能收集国内外城市地震害情资料。由于不同

表 1 1996—2000 年中国部分城市震害损失评估结果

时间	地点	震级/M	人口伤亡/人	直接经济损失/万元
1996-02-3	丽江	7.0	死亡:294;重伤:3 984 轻伤:12 654	建筑:54 444;水利水电:7 600;通信:2 300;交通:1 300;室内财产:3 188; 工业企业设备:3 600;商贸物资:1 800;文教卫生:1 700; 乡镇企业:1 700;市政设施:1 000。(以上为丽江县城数据)
1996-05-03	包头	6.4	死亡:26;重伤:60 轻伤:393	建筑:97 200;室内财产:4 450;供水:13 300;供电:5 100; 交通、通信:5 100;供气、供热:4 600;工矿企业:30 100。 (以上为包头市数据)
1998-01-10	张北	6.2	死亡:49;重伤:362 轻伤:11 077	建筑:57 000;室内财产:5 600;通信:1 300;水利:1 600; 教育系统:2 300;粮食系统:3 000。
1999-01-01	大同	5.6	重伤:10;轻伤:63	建筑:5 134.92;室内财产:272.13;围墙:30;水利、公路:420。 (以上为大同县数据)
2000-01-15	姚安	6.5	死亡:7;重伤:99 轻伤:2 429	建筑:81 204;交通:900;通信:1 036;电力:1 496; 水利:12 326;供水:324;室内财产:4 335。

表 2 不同城市用地类型的地震易损性等级

城市用地大类	城市用地中类	城市用地类型说明	人口易损性等级	经济易损性等级
居住用地	一类居住用地	市政公用设施齐全、布局完整、环境良好,以低层住宅为主的用地	5 级	5 级
	二类居住用地	市政公用设施齐全、布局完整、环境较好,以多、中、高层住宅为主的用地	5 级	5 级
	三类居住用地	市政公用设施比较齐全、布局不完整、环境一般,或住宅与工业等用地有混合交叉的用地	4 级	4 级
	四类居住用地	以简陋住宅为主的用地	5 级	4 级
公共设施用地	行政办公用地	行政、党派和团体等机构用地	5 级	4 级
	商业金融用地	商业、金融业、服务业、旅馆业和市场等用地	5 级	5 级
	文化娱乐用地	新闻出版、文化艺术团体、广播电视、图书展览、游乐等设施用地	5 级	3 级
	体育用地	体育场馆和体育训练基地等用地	4 级	3 级
	医疗卫生用地	医疗保健、卫生防疫、急救设施等用地	5 级	4 级
	教育科研设计用地	高等院校、中等专业学校、科学研究和勘测设计机构等用地	5 级	3 级
	文物古迹用地	具有保护价值的古遗址、古墓葬、古建筑、革命遗址等用地	1 级	2 级
	其它公共设施用地	除以上之外的公共设施用地,如宗教活动场所、社会福利院等用地	4 级	3 级
工业用地	一类工业用地	对居住和公共设施等环境基本无干扰和污染的工业用地	5 级	5 级
	二类工业用地	对居住和公共设施等环境有一定干扰和污染的工业用地	4 级	5 级
	三类工业用地	对居住和公共设施等环境有严重干扰和污染的工业用地	3 级	5 级
仓储用地	普通仓库用地	以库房为主的储存一般货物的普通仓库用地	2 级	4 级
	危险品仓库用地	存放易燃、易爆和剧毒等危险品的专用仓库用地	4 级	5 级
	堆场用地	露天放货物为主的仓库用地	1 级	4 级
对外交通用地	铁路用地	铁路站场和线路等用地	1 级	5 级
	公路用地	高速公路和一、二、三级公路线路及长途客运站等用地(不包括村镇公路用地)	3 级	5 级
	管道运输用地	运输煤炭、石油和天然气等地面管道运输用地	1 级	5 级
	港口用地	海港和河港的陆域部分,包括码头作业区等用地	3 级	5 级
道路广场用地	机场用地	民用及军民合用的机场用地	1 级	5 级
	道路用地	主干路、次干路和支路用地	2 级	4 级
	广场用地	公共活动广场用地,不包括单位内的广场用地	1 级	1 级
市政公用设施用地	社会停车场库用地	公共使用的停车场和停车库用地	1 级	4 级
	供应设施用地	供水、供电、供燃气和供热等设施用地	1 级	5 级
	交通设施用地	公共交通和货运交通等设施用地	2 级	4 级
	环境卫生设施用地	环境卫生设施用地	1 级	2 级
	施工与维修设施用地	房屋建筑、设备安装、市政工程、绿化和地下构筑物等施工及养护维修设施等用地	4 级	3 级
其它市政公用设施用地	殡葬设施用地	殡仪馆、火葬场、骨灰存放处和墓地等设施用地	1 级	1 级
	其它市政公用设施用地	除以上之外的市政公用设施用地,如消防、防洪等设施用地	2 级	4 级
绿地	公共绿地	向公众开放,有一定游憩设施的绿地	1 级	1 级
	生产防护绿地	园林生产绿地和防护绿地	1 级	2 级
特殊用地	军事用地	直接用于军事目的的军事设施用地	3 级	5 级
	外事用地	外国驻华使馆、领事馆及其生活设施等用地	4 级	4 级
	保安用地	监狱、拘留所、劳改场所和安全保卫部门等用地	4 级	3 级
水域和其它用地	水域	江、河、湖、海、水库、苇地、滩涂和渠道等	1 级	1 级
	耕地	种植各种农作物的土地	1 级	2 级
	园地	果园、桑园、茶园、橡胶园等园地	1 级	2 级
	林地	生长乔木、竹类、灌木等林木的土地	1 级	1 级
其它用地	牧草地	生长各种牧草的土地	1 级	1 级
	村镇建设用地	集镇、村庄等农村居住点的各类建设用地	5 级	4 级
	弃置地	由于各种原因未使用或尚不能使用的土地	1 级	1 级
	露天矿用地	各种矿藏的露天开采用地	3 级	2 级

规模、不同经济发展水平城市的用地类型的人口密度、建筑情况、资产情况是不同的,造成的经济损失大小差异很大,因此易损性等级只具有相对意义,即反映受灾体可能的损失程度大小,而不是损失额度的大小。

2.3 城市防震减灾能力评价方法

一般来说,建筑抗震性能好倒塌率就低,被压死、压伤的人口就少;地震监测预报水平高、群防群测开展得好,就可以提前做好防震减灾的准备;如果当地政府经济实力雄厚,防震减灾和灾后重建资金就有保障;编制了防震减灾规划并实施得好,许多损失就可以避免;破坏性地震应急预案编制及时而且可操作性强,则抗震救灾就有条不紊;防震减灾教育和知识普及工作扎实,群众的防震减灾意识和自救互救能力就强;救援队伍专业化程度高,救援技术装备良好、救灾物资贮备充足、所需信息资料完备,抗震救灾工作的效率就高,震后恢复的时间就短;企业和个人地震投保比例高,灾后群众的重建家园能力就相对较强。因此,本文选取“房屋建筑抗震性、地震监测预报水平、防震减灾规划及实施情况、破坏性地震应急预案编制情况、群众防震减灾意识、当地政府年度财政收入水平、当地抗震救援能力、地震灾害保险情况”作为评价指标,采用专家打分法来进行防震减灾能力评价。

由于城市防震减灾工作都是按照行政区划来组织实施的,采用行政区划单元作为防震减灾评价单元,然后将行政单元网格化,同一行政单元的网格的防震减灾能力等级是一样的。在具体评价时,一种方法是分别给出每个指标的得分范围及权重,把每个指标的得分和该指标的权重相乘即是某行政单元的得分。根据每个行政单元的得分情况,将防震减灾能力划分为 5 个等级:5 级(很强)、4 级(强)、3 级(中等)、2 级(弱)、1 级(很弱)。另外一种更简单的办法是请专家直接凭对防震减灾工作综合印象打 5~1 分,分别表示 5 个等级。

3 城市地震灾害风险评价方法研究

城市地震灾害风险评价流程如图 1 所示。首先把城市网格化,网格单元大小根据评价区面积大小和评价精度要求而定。然后根据每个网格单元的地震小区划等级确定该网格单元的危险性等级;根据每个网格单元的用地类型确定该网格单元的易损性等级;采用专家打分法确定每个行政区的防震减灾能力等级。最后根据公式“风险=危险性*易损性/

防震减灾能力”,利用地理信息系统(GIS)的叠加分析功能,对城市地震危险性评价结果图、城市地震易损性评价结果图、城市防震减灾能力评价结果图进行叠加,计算每个网格单元的风险等级。城市地震灾害风险等级分为 5 个等级:5 级(风险极高)、4 级(风险高)、3 级(风险中等)、2 级(风险低)、1 级(风险极低),生成地震灾害风险评价图。

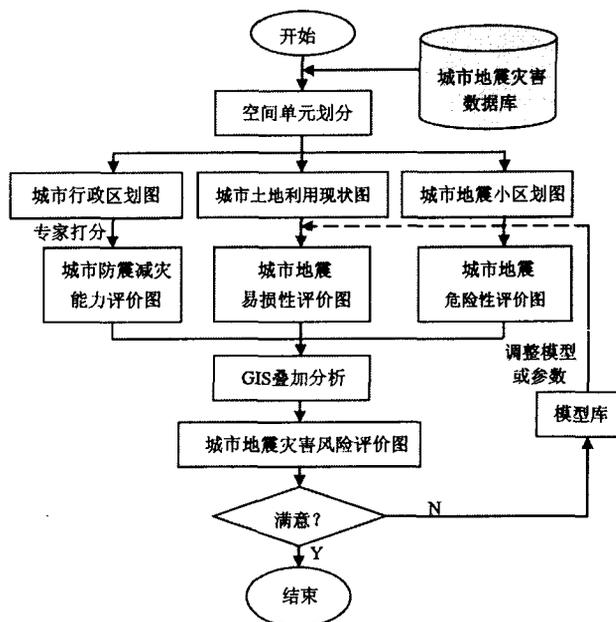


图 1 城市地震灾害风险评价流程

Fig. 1 The flow chart of urban earthquake disaster risk assessment.

通过建立城市地震灾害数据库,可以把城市行政区划图、土地利用现状图、地震小区划图,反映城市人口、经济、社会等方面的数据资料,以及历史地震及灾情资料进行统一管理,以供系统随时调用。由于城市用地类型与地震灾害易损性的关系比较复杂,需要建立模型库,以便把数理统计模型、层次分析模型、模糊综合评判模型、人工神经网络模型等集成到 GIS 中,比较客观地确定每类城市用地的地震灾害易损性等级,减少人为的随意性。

为了方便计算,城市地震危险性、易损性、防震减灾能力等级从 5 级到 1 级分别赋 10, 8, 6, 4, 2, 建立危险性等级矩阵 A , 易损性等级矩阵 B , 设防震减灾能力等级为 C , 则:

$$A = \begin{bmatrix} 10 \\ 8 \\ 6 \\ 4 \\ 2 \end{bmatrix}, \quad B = [10, 8, 6, 4, 2]$$

$$\max\left(\frac{A \times B}{C}\right) = 50, \quad \min\left(\frac{A \times B}{C}\right) = 0.4$$

根据 $\frac{A \times B}{C}$ 的数值分布, 一般认为, 当 $30 \leq \left(\frac{A \times B}{C}\right)_{ij} \leq 50$, 该网格风险等级为 5 级; 当 $18 \leq \left(\frac{A \times B}{C}\right)_{ij} < 30$, 该网格风险等级为 4 级; 当 $12 \leq \left(\frac{A \times B}{C}\right)_{ij} < 18$, 该网格风险等级为 3 级; 当 $6 \leq \left(\frac{A \times B}{C}\right)_{ij} < 12$, 该网格风险等级为 2 级; 当 $\left(\frac{A \times B}{C}\right)_{ij} < 6$, 该网格风险等级为 1 级。相同风险等级的网格进行聚类, 并赋予同一种颜色。风险等级越高颜色越深。

4 应用实例

本文提出的地震灾害风险评价方法在中国河北某市进行了试用。利用该市中心区 64 km^2 范围内的有关数据, 网格单元采用 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ 的规则网格。结果表明, 5 级风险区面积百分比为 7.2%; 4 级风险区面积百分比为 12.4%; 3 级风险区面积百分比为 48.5%; 2 级风险区面积百分比为 23.3%; 1 级风险区面积百分比为 8.6%。

[参考文献]

[1] 崔玉红, 吴国有, 聂永安, 等. 天津市地震经济损失模型和生命

损失模型的预测研究[J]. 地震地质, 2002, 24(3): 412-422.

- [2] 刘燕华, 葛全胜, 吴文祥. 风险管理——新世纪的挑战[M]. 北京: 气象出版社, 2005.
- [3] Hays, Walter W. Reduction of earthquake risk in the United States: Bridging... [J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 1998, 45(2): 176-180.
- [4] French, Steven P, Isaacson, et al. Applying Earthquake Risk Analysis Techniques to Land Use Planning[J]. Journal of the American Planning Association, 1984, 50(4): 509-523.
- [5] Olshansky, Robert B, Yueming Wu. Earthquake risk analysis for Los Angeles County under present and planned land uses [J]. Environment & Planning B: Planning & Design, 2001, 28(3): 419-432.
- [6] French, Steven P, Muthukumar, et al. Advanced technologies for earthquake risk inventories[J]. Journal of Earthquake Engineering, 2006, 10(2): 207-236.
- [7] Friedemann Wenzel. Earthquake risk reduction—obstacles and opportunities[J]. European Review, 2006, 14(2): 221-231.
- [8] 聂高众, 高建国. 中国未来 10~15 年地震灾害的风险评估[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(1): 68-73.
- [9] 和飞, 缪升. 地震灾害风险分析及管理初探[J]. 地震研究, 2002, 25(4): 374-378.
- [10] 冯利华, 程归燕. 基于信息扩散理论的地震风险评价[J]. 地震学刊, 2000, 20(01): 19-22.
- [11] 姚清林, 黄崇福. 地震灾害风险因素和风险评估指标的模糊算法[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(2): 51-58.
- [12] 汪雪泉, 李罡风. 利用信息扩散模式对安徽及华东地区地震的风险分析[J]. 灾害学, 2004, 19(3): 30-33, 38.
- [13] 中国地震局监测预报司. 中国大陆地震灾害损失评估汇编[C]. 北京: 地震出版社, 2001.