

以徐州为例初探城市社会因素 地震易损性分析*

王立功

(国家地震局地质研究所)

摘要

徐州是我国震害预测试点城市之一。影响城市震害的主要因素是城市所处的地质背景——地质因素和城市现状——社会因素。本文以现场调查资料为基础，以宏观震害经验为依据，考虑建筑物结构类型、建筑质量、建筑密度、人口、空旷场地、道路和危险工业等社会因素，运用多因素易损性(vulnerability)分析法，完成了徐州市社会因素地震易损性分析，指出了该市抗震的薄弱环节和薄弱地区，为抗震防灾提供了依据。

地震易损性分析的结果是地震易损性分析图，总的易损性指数 M 是编制易损性分析图的依据。在总的易损性指数 M 中，建筑物易损性指数 b 占60—70%，其为建筑物易损性趋势矩阵 A 乘以建筑物组成矩阵 B 的转置矩阵 B^T 所得矩阵 C 的迹。

引言

城市是社会和经济中心，震害问题尤为突出。国外1960—1980年25次破坏性地震，有15次发生在城市附近，受灾城市25个，倒塌房屋32万多栋，死亡15万多人，仅美国两次地震三个城市经济损失即达100多亿美元。地震设防可减轻灾害，智利康塞普西翁市1940年九度地震死亡40000人，自1939年后采取抗震措施，1960年地震仍为九度，仅死亡500人，1940年后的建筑物损失很小^[1]。

影响城市震害的社会因素主要有建筑物结构类型、建筑质量、建筑密度、人口、空旷场地、道路、危险性工业及生命线工程(另文专论)等，这些因素的地震易损性及其空间分布、组合状态，决定了不同地段的震害差异。以一定的面积为单元将城市划分成若干网格，用多因素易损性分析法求得每个网格各因素总易损性指数。易损性指数的空间分布很大程度上反映城市未来的震害分布，与城市地质因素地震易损性分析^[2,3]相结合，组成的城市震害预测图，将较全面的反映震害分布规律，是制订城市抗震防灾规划和震前应急措施的主要依据。

笔者1981—1983年承担徐州市震害预测课题，以下就该市社会因素调查及其易损性分析谈些想法和做法，为地震社会学提供一点素材。

本文1983年12月10日收到，1984年9月3日收到修改稿。

* 蔡灵铎同志参加部分调查工作。

一、城市社会因素调查

徐州古名彭城，汉唐时代盛极一时，宋代起黄河作患，多次动移，清代复原址至今。解放后发展迅速，是我国工业门类较齐全的大城市之一，现有人口84万，市区面积30—40平方公里。社会因素调查为其建筑物分布连片部分，面积23.25平方公里，以500米×500米为单元划分为93个网格。查明每个网格建筑物结构类型、建筑质量、建筑密度、夜间人口数、危险性工业等。

(一) 建筑物和人口调查

纵观徐州市建筑物分布状况，大致可分为以平房、老房为主的住宅、商业、党政机关区（老城区），以厂房、新房为主的厂矿、营房区（新发展区），及两者的过渡区。选取彭城路、矿山路、段庄三个网格代表三种情况作试点调查，查明徐州市不同类型建筑物共26种，按主要承重结构和抗震能力归并为九类，即全框架房屋（a）、钢筋混凝土柱房屋（b）、砖柱房屋（c）、内框架房屋（d）、多层砖混房屋（e）、砖木楼（f）、一类平房（g₁）、二类平房（g₂）、三类平房（g₃）。每类建筑物的建筑质量分好（Q₁）、中（Q₂）、差（Q₃）三等，平房与类别相当（表1）。

表1 建筑物易损性分析调查表
Table 1 Investigation of building vulnerability analysis

占地面 积 (M ²)	结构与 质量	全框架 (a)			钢筋混 凝土柱 (b)			砖 柱 (c)			内框架 (d)			多层砖混 (e)			砖木楼 (f)			平房 (g ₁₋₃)				
		Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₁	Q ₂	Q ₃		
地点																								
中山北路102#		695		80													92	240			85	104		
成功巷 12#											540	300		285				300	120	300	120	280		
中枢街73#								158	204	100								103		420	140			

据试点经验，建筑物和人口可采用抽样调查，抽样应考虑到：1) 代表性，建筑物的组成与网格中建筑物总的组成一致。建筑物组成单一的网格一般有1—2个样点即可，建筑物组成复杂的网格采样点可达3—4个；2) 取样点应有明显的地面标志，四周应有自然街巷或围墙为界，以便调查人员现场识别；3) 取样面积与网格中建筑物分布面积有关，一般应为分布面积的20—30%，建筑物组成特别单一的网格，取样面积可小于20%，建筑物组成很复杂的网格，取样面积可大于30%；4) 取样点人口与网格中总人口的比例应与取样面积的比例一致，否则推算的人口数将有较大的出入，为此往往用增加取样点或增减宿舍楼来调整。

全市共抽样193个，占分析区建筑物总分布面积的22.5%。按此比例推算出分析区建筑物总占地面积679.4万平方米，其中平房占地面积337.9万平方米，占49.7%；砖木楼房占地面积270.1万平方米，占40%；多层砖混、内框架、砖柱、钢筋混凝土柱及全框架等房屋314.5万平方米，占46.3%。建筑密度大于80%的占49.5%，80—70%的占21.5%，小于70%的占29%。人口密度每平方公里4万人以上的地段占19.4%，4—2万人的地段

占 23.7%，小于 2 万人的地段占 57.0%。

(二) 其他因素的调查

空旷场地、道路在现场踏勘的基础上于一万分之一的徐州市地形图上量取，危险性工业按单位逐个调查登记(表 2)。

表 2 徐州市社会因素汇总表(部分)
Table 2 Part of collection of social factors in Xuzhou

网格号	边长大于 40 米 空旷场地面积 (米 ²)	宽度大于 5 米道路面积(米 ²)		建筑密度(%)	危险性工业等级	人口
		宽度大于 5 米	宽度大于 15 米			
1	121000	3600	0	44.8	0	574
2	28000	6300	0	79.7	0.5	387
3	100000	12600	0	51.7	2	1293
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
57	3200	2500	0	96.4	1	12546
58	-1600	7160	4000	94.5	0	17293
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

以网格为单位，空旷场地面积大于 25000 平方米的占 41%，25000—10000 平方米的占 29%，小于 10000 平方米的占 30%。具有危险性工业的网格，按危险性强、中、弱等级记为 2, 1, 0.5。

二、城市社会因素地震易损性分析

(一) 社会因素地震易损性

1. 建筑物的地震易损性

建筑物地震易损性首先与其结构类型有关，1975 年的海城地震、未加设防的辽南城乡建筑物破坏就是很好的一例，其宏观震害按建筑物主要承重结构破坏程度分五等：基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏和倒塌。按此标准统计 VII、VIII 度条件下海城、营口、鞍山等城镇的 401 栋房屋(不包括平房)的震害资料和安阳市北关小区房屋震害预测¹⁾(图 1)，全框架(a)、钢筋混凝土柱(b)、砖柱(c)、内框架(d)、多层砖混(e)等不同结构类型房屋，其基本完好—轻微破坏、严重破坏—倒塌呈比较一致的规律性变化，相应的震害百分数大致反映了不同结构类型建筑物的抗震性能。

不同结构类型建筑物震害差异在秘鲁的阿雷基帕市亦有表现，据统计该市五类建筑物中，震害严重的是土墙建筑，最轻的是钢筋混凝土柱建筑，单层砖石墙等建筑震害居中^[5]。同一结构类型建筑物抗震能力与建筑质量有关，建筑质量的好、中、差反映抗震能力的强、中、弱，徐州市各类房屋建筑质量划分主要依据该市房屋抗震加固鉴定标准。

1) 杨玉成，豫北安阳小区现有房屋震害预测报告集，8—98, 1983 年。

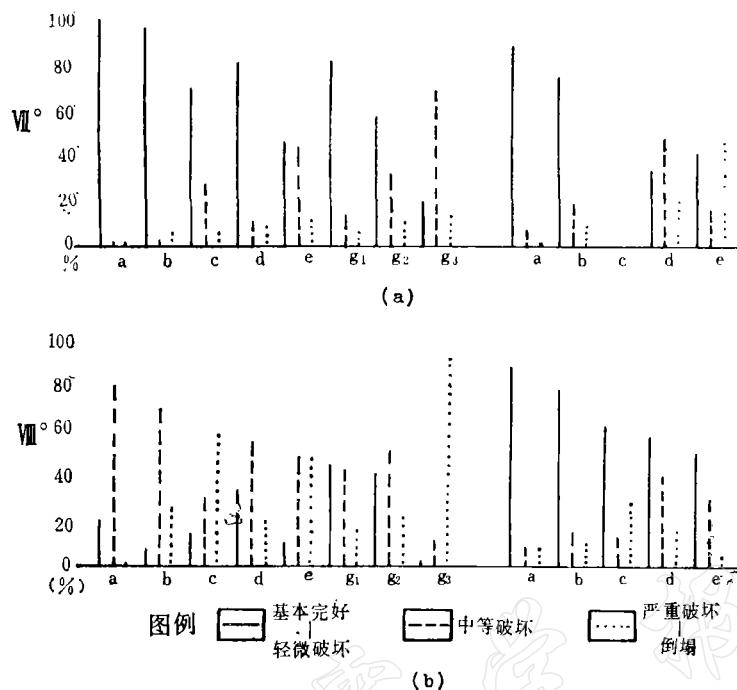


图 1 建筑物结构类型与震害

Fig. 1 The structural type of buildings and earthquake hazards

建筑物地震易损性与其抗震能力有关，不同结构类型抗震能力的横向变化和不同建筑质量抗震能力的纵向变化，构成建筑物易损性趋势矩阵 A（表 3）。

表 3 徐州市建筑物易损性趋势矩阵 A

Table 3 tendency matrix A of building vulnerability analysis in Xuzhou.

结构类型及代号 建筑质量及代号	全框架 (a)	钢筋混凝土柱 (b)	砖柱 (c)	内框架 (d)	多层砖混 (e)	砖木楼 (f)	平房 (g ₁₋₃)
好 (Q ₁)	10	13	20	16	30	40	20
中 (Q ₂)	12	16	30	20	40	55	70
差 (Q ₃)	15	20	40	30	50	70	100

矩阵元素值与徐州市建筑物抗震加固经验基本一致，在 VII 度条件下：10—20 基本完好；20—40 轻微破坏，不需加固；40—60 中等破坏，要加固；60—80 严重破坏，80—100 倒塌，无加固价值。

建筑密度也影响震害。旧金山市有砖石和混凝土外墙的木架房屋 2800 栋，这类房屋建筑密度与预测的“1906”型地震灾害有明显的对应关系，在面积 5 英亩的网格中，该类房屋的栋数 >10, 10-6, 5-1, 0 对应的震害程度严重、很重、中等、轻微¹⁾。日本评点法震害

1) Mader, G. G., Microzonation and land use planning, 中美地震小区划讨论会会议录, P4. 1—4. 12, 1981.

预测, 500 米×500 米网格木结构房屋愈多、震害愈重.

2. 其他因素的地震易损性

人口 城市人口的高度集中, 是酿成震害的重要因素, 人口的年龄构成、活动状态、分布密度直接关系到地震时人员伤亡大小.

空旷场地 空旷场地指可作为避难场所的地面, 有无空旷场地直接影响到临震避难、震时逃难和震后救难, 邢台、海城、唐山等地震都发生过震时逃到屋外、因无空旷场地而被埋的情景. 场地太小, 抗震棚密集, 一处起火连累大片, 造成次生灾害.

道路 道路的有无、宽窄、连通情况等直接影响到震后救灾, 如伤员的抢救、火灾的扑灭等.

危险性工业 危险性工业是地震次生灾害源, 其易损性主要取决于产生灾害的威力大小与性质(燃、爆、污染)、数量、存放形式(库存、分散于车间)、环境(空旷地、厂矿区、居民区)等有关.

(二) 社会因素地震易损性分析图

1. 易损性指数

城市社会因素易损性指数是各自地震易损性的表示, 各因素的地震易损性取自其对震害的影响程度. 若将影响程度划为强、中、弱、无等级, 并以数字 3, 2, 1, 0 代替, 则各因素对震害的综合影响可以数字的迭加代替强、中、弱、无概念的迭加.

在影响城市震害诸社会因素中, 建筑物是主导因素, 经验认为, 建筑物结构类型和建筑质量的易损性指数应占总易损性指数的 60—70%, 人口因素易损性指数占 10—15%, 其他因素易损性指数仅占 15—30%.

建筑物易损性指数. 调查所得每个网格各类建筑物占地面积与建筑质量构成建筑物组成矩阵, 建筑物组成即建筑物占地面积与网格面积比值的集合. 建筑物易损性指数系建筑物易损性趋势矩阵 A 与组成矩阵 B 对应元素乘积之和, 亦即矩阵 A 与矩阵 B 的转置

表 4 建筑物组成矩阵 B_n

Table 4 Buildings composition matrix B_n

建筑质量	结构类型 a	b	c	d	e	f	g
Q_1	0	0	0.005	0.004	0.024	0	0.146
Q_2	0	0	0	0	0.066	0	0.051
Q_3	0	0	0.010	0	0	0.052	0.098

矩阵相乘、所得矩阵 C 的对角线元素之和. 如某网格 n 组成矩阵 B_n (表 4).

$$C = A \cdot B_n^T = \begin{pmatrix} 10 & 13 & 20 & 16 & 30 & 40 & 20 \\ 12 & 16 & 30 & 20 & 40 & 55 & 70 \\ 15 & 20 & 40 & 30 & 50 & 70 & 100 \end{pmatrix} \times$$

$$\times \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0.005 & 0 & 0.010 \\ 0.004 & 0 & 0 \\ 0.024 & 0.066 & 0 \\ 0 & 0 & 0.052 \\ 0.146 & 0.051 & 0.098 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3.80 & \times & \times \\ \times & 6.21 & \times \\ \times & \times & 13.84 \end{pmatrix}$$

建筑物易损性指数 $b_n = 3.80 + 6.21 + 13.84 = 23.85$

依此求得全部网格建筑物易损性指数 b 值。

以建筑物易损性指数为准,考虑各因素的易损性指数在总易损性指数中所占的比例,规定人口因素易损性指数最大值不超过 4,其他因素易损性指数最大值不超过 2。按徐州市实际情况,以网格为单位,人口数 0—1500,建筑密度 50%—100%,空旷场地面积 10^5 —0 平方米,道路面积 10^4 —0 平方米,分别对应的易损性指数 $P = 0—4$, $d = 0—2$, $q = 0—2$, $r = 0—2$ 。危险性工业危险性等级 2, 1, 0.5, 0 即对应的易损性指数 g 值。

上述网格 n 中人口数 13138 人,建筑密度 86.2%,空旷场地面积 11900 平方米,道路面积 12480 平方米,危险性工业等级 0, 分别对应的易损性指数值 $P = 3.5$, $d = 1.4$, $q = 1.7$, $r = 0$, $g = 0$ 。与建筑物易损性指数 $b = 23.85$ 相加,得网格 n 总易损性指数值 $M = 30.45$ 。

2. 易损性分析图

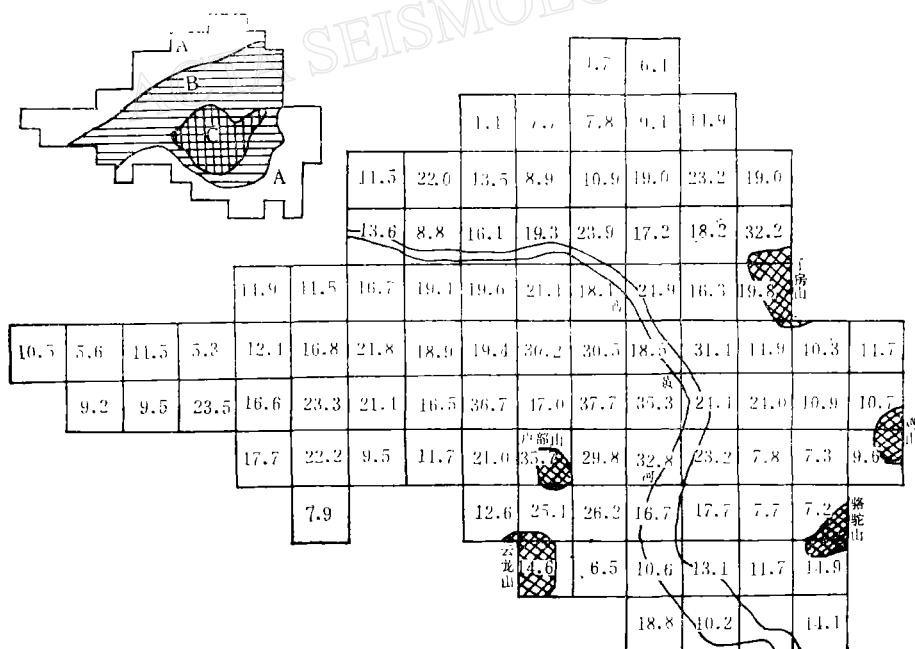


图 2 徐州市社会因素地震易损性分析略图 [A 为易损性较弱区(14—15); B 为易损性中等区(15—25); C 为易损性较强区(25—45.5)]

Fig. 2 Concise map of the social factors for seismic vulnerability analysis in Xuzhou

徐州市社会因素地震易损性分析图由 93 个易损性分析单元组成, 93 个总易损性指数 M 值变化范围 1.4—45.5, 主要集中于 5—35, 分为 A、B、C 三级:

A 级 M 值 1.4—15, 是社会因素易损性较弱的单元, 共 44 个网格, 占分析区面积的 47%, 主要分布在城区的外围, 特别是西北郊和东南郊。

B 级 M 值 15—25, 是社会因素易损性中等的单元, 共 36 个网格, 占分析区面积的 39%, 呈东北—西南向带状分布于大庆路至段庄一带。

C 级 M 值 25—45.5, 是社会因素易损性较强的单元, 共 13 个网格, 占分析区面积的 14%, 分布范围东起废黄河, 西至中山南路, 南起和平路, 北至淮海东路, 即主要为老城区所在(图 2)。

社会因素是城市地震灾害的主体, 地质因素起影响作用, 因此社会因素易损性较弱的地区, 亦将是未来地震灾害轻微区。同样社会因素易损性中等、较强地区将是未来震害中等、严重区, 在一定程度上为城市抗震防灾指明了方向。

三、结语

地震易损性分析在城市社会因素方面的应用是初步尝试, 国内外很少见这方面的工
作, 通过徐州市的实践, 初步取得以下几点认识:

① 本文所涉及到的社会因素是城市社会因素的大部分, 建筑物的地震易损性偏重于宏观烈度震害经验, 结合人口、建筑密度、空旷场地、道路、危险性工业等因素的综合分析, 取得了一幅城市社会因素地震易损性分析图, 为城市型震害预测探索了一条新路。

② 徐州市社会因素地震易损性分析, 指出了该市抗震的薄弱环节是老旧、简易平房和砖木楼房, 这类房屋在 VII 度条件下大部分严重破坏和倒塌。老城区建筑密度大, 老旧简易平房和砖木楼房多, 人口密集、空旷场地少, 是该市抗震的薄弱地区。

③ 城市社会因素调查是易损性分析的重要部分, 情况复杂、工作量大。经试点, 认为抽样调查基本满足分析的需要, 但问题不少, 仍需不断实践和提高。

徐州市建委孟昭林、汪耀祖, 徐州市房管局李学贤、张开新等 30 多位同志协助调查, 表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 林 泉, 地球的震撼, 6—83, 地震出版社, 1982.
- [2] 王立功, 地震易损性分析——地震小区划的一种新方法, 地震, 5, 13—19, 1981.
- [3] 王立功, 唐山东矿区地震易损性分析, 地震地质, 4, 3, 63—72, 1982.
- [4] Kuroiwa, J., Simplified Microzonational Method for urban planning, Third International Earthquake Microzonation Conference proceedings, 753—764, 3, 1982.

PRELIMINARY ATTEMPT OF APPLICATION OF SEISMIC VULNERABILITY ANALYSIS TO URBAN SOCIAL FACTORS, WITH XUZHOU AS EXAMPLE

WANG LIGONG

(Institute of Geology, State Seismologic Bureau)

Abstract

Xuzhou is one of the cities chosen for urban earthquake hazards prediction in China. The main factors causing urban earthquake hazards are the urban geologic background and the present urban situation. In this paper we take spot coverage data and macroscopic earthquake hazards as bases, and take the social factors, such as structure type, building quality, building density, population, open space and road conditions, into account. With the help of the method of vulnerability analysis for multiple factors we have completed the vulnerability analysis of the urban social factors for Xuzhou. From the results obtained in the present study we indicate the weak points and places in the urban earthquake preparedness work, try to provide a basis for improving earthquake preparedness so as to mitigate natural calamities.

The result of the seismic vulnerability analysis is presented as a map of seismic vulnerability analysis. The total index M is the base for compiling a map of vulnerability analysis. Of the total vulnerability index M , the building (structure type, building quality) vulnerability index b makes up 60—70 per cent, it is the trace of matrix C which the building vulnerability tendency matrix A times the building composition matrix B^T .