

# 保定市群体建筑震害预测研究\*

孟紫阳<sup>1</sup>, 赵慧乾<sup>2</sup>, 郭明珠<sup>2</sup>

(1. 机械工业第六设计研究院有限公司, 河南 郑州 450007; 2. 北京工业大学 建筑工程学院, 北京 100124)

**摘要:**采用震害因子法对保定市区的群体建筑进行震害预测研究, 给出了保定市区遭受不同震级地震时的预测结果和各分区破坏状态, 并在地理信息系统中显示, 其结果可为保定市抗震防灾提供重要依据。

**关键词:**群体建筑; 震害预测; 震害因子; 地理信息系统

**中图分类号:** P315.9      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-0666(2013)02-0202-05

## 0 引言

历次地震的灾害统计数据表明, 建筑物发生倒塌或严重破坏是造成人员伤亡和经济损失的重要原因。科学、快速的对城市已有建筑物进行震害预测, 能为城市的抗震改造以及震后应急救援提供重要的指导信息, 从而有效的减轻地震灾害损失。根据《地震灾害预测及其信息管理系统技术规范》(GB/T 19428-2003)的规定, 城市一般建筑物抽样率宜占该类建筑总面积的8%~11%, 如采用传统的单体震害预测方法(崔红玉等, 2001)调查每栋房屋的结构特性参数, 势必耗费大量的人力、物力, 不仅造成巨大的前期现场调查工作量, 也给后期数据提炼与计算带来困难。近年来, 不少学者提出了一些群体震害预测方法, 如震害类比法(王志涛等, 2008; 李静, 陈健云, 2011)、支持向量机法(刘勇健等, 2008)、熵权法(陈健云等, 2009)、震害因子法等。震害因子法采用易于现场调查的多个震害因子, 对建筑物在不同设定地震下的震害进行预测, 方法简便易行。本文采用震害因子法对保定市区群体建筑进

行震害预测。

## 1 震害因子法

震害因子法(仝永德, 2008; 高杰等, 2007)通过对历史震害数据的归纳总结, 将影响震害的多个因素定义为震害因子, 用 $d$ 表示。建筑物的破坏度指数 $D$ 表示为

$$D = w \prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^T d_{ij}^{m_{ij}} \quad (1)$$

式中,  $w$ 为地震动峰值加速度 $A$ 的折算系数,  $A$ 与烈度的关系及 $w$ 取值见表1;  $m_{ij}$ 为幂指数, 当第 $i$ 个震害因子的实际情况符合第 $j$ 分类时取1, 其余取0。  $N$ 为参与震害预测的因子个数, 本文取9;  $T$ 为对应第 $i$ 个震害因子取值分类的类别数;  $d_{ij}$ 为符合第 $j$ 项分类的第 $i$ 个震害因子, 取值见表2。

通过对以往震害的统计分析, 可以确定破坏度指数 $D$ 与震害等级对应的范围(表3), 将计算得到的 $D$ 值与范围表相对照, 判定建筑物的震害情况。

表1 峰值加速度 $A$ 、烈度和 $w$ 对应关系

Tab. 1 Correspondence between peak ground acceleration  $A$ , intensity and  $w$

峰值加速度 $A/\text{gal}$	$0.05 \leq A < 0.1$	$0.1 \leq A < 0.2$	$0.2 \leq A < 0.3$	$0.3 \leq A < 0.4$	$A \geq 0.4$
烈度	VI	VII	VIII	IX	X
$w$	0.4	0.8	1.6	2.4	3.2

\* 收稿日期: 2012-07-22.

表 2 建筑物震害因子取值表  
Tab. 2 Corresponding values of earthquake damage factor

编号	震害因子	取值分类和 $d_y$ 值
1	设防烈度	Ⅵ度以下 (3.0); Ⅵ度 (2.0); Ⅶ度 (1.0); Ⅷ度 (0.5); Ⅸ度 (0.25); Ⅹ度以上 (0.15)
2	设防标准	甲类: 为重大建筑工程和地震时可能发生严重次生灾害的建筑 (0.4); 乙类: 为地震时使用功能不能中断或需很快恢复的建筑 (0.7); 丙类: 为一般的工业与民用建筑 (1.0); 丁类: 为抗震次要建筑 (1.5); 戊类: 为没有抗震设计和措施的建筑 (2.0)
3	场地环境	有利地段: 指稳定基岩, 坚硬土或开阔、平坦、密实、均匀的中硬土等 (1.0); 不利地段: 指软弱土, 液化土, 河岸和边坡, 非岩质的陡坡、不均匀的土层等 (1.8); 危险地段: 指地震时可能发生滑坡、崩塌、地陷、地裂、泥石流等以及跨断层地带 (2.8)
4	场地类别	I 类 (0.8 / 0.7); II 类 (1.0); III 类 (1.2 / 1.4); IV 类 (1.5 / 1.7)
5	结构类型	砖混结构 (1.0); 钢混结构 (0.8); 高层结构, 包括框架、框架—抗震墙、板柱抗震墙、框架核心筒、抗震墙、筒中筒等结构形式 (0.7); 其他结构 (1.6)
6	层数	1~2 层, 主要指老旧房屋 (1.5); 3~5 层 (1.2); 6~8 层 (1.0); 9~10 层 (0.9); 10 层以上 (0.8)
7	建造年代	1970 年以前 (1.8); 1970~1979 年 (1.4); 1980~1989 年 (1.2); 1990~1999 年 (1.0); 2000 年以后 (0.9)
8	规则程度	均规则 (1.0); 平面不规则 (1.5); 立面不规则 (1.6); 均不规则 (2.0)
9	使用状况	一般 (1.0); 差 (1.3); 有缺陷 (1.7)

注: 括号内为  $d_y$  在各取值分类下的值; 在场地环境因子中, 括号内/前的值为低于 7 层的建筑取值, /后为 7 层及以上建筑的取值。

表 3 破坏度指数  $D$  与震害等级对应表  
Tab. 3 Correspondence between damage index  $D$  and seismic damage level

震害状态	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	毁坏
破坏度指数 $D$	$0 \leq D < 0.5$	$0.5 \leq D < 1.0$	$1.0 \leq D < 2.0$	$2.0 \leq D < 4.0$	$D \geq 4.0$

2 房屋调查和震害结果分析

2.1 房屋调查概况

保定市市区抗震设防烈度为 7 度, 研究区面积约为 110 km<sup>2</sup>。为了便于调查, 将保定市市区划分为 24 个分区, 根据《地震灾害预测及其信息管理系统技术规范》(GB/T 19428 - 2003) 规定, 将保定市群体建筑分为 4 种结构类型, 共抽样调查建筑 3 175 栋, 调查建筑面积 6. 623 7 × 10<sup>6</sup> m<sup>2</sup> (表 4)。

2.2 震害预测结果及分析

用震害因子法对保定市市区调查建筑物数据进行计算分析。首先, 在 EXCEL 表格中录入抽查建筑的震害因子信息。然后, 用 MATLAB 读取数据, 分别对各类型房屋在不同烈度下的震害进行计算。最后, 统计出各分区内建筑物在不同烈度下的破坏栋数和面积, 从而得出保定各结构类型 (表 5)

表 4 各结构调查类型房屋面积、栋数调查情况

Tab. 4 Investigation situation of the area and the number of buildings in various types structure

结构类型	抽查栋数	栋数比 (%)	抽查面积 / × 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>	所占面积比 (%)
多层砖混	1665	52.44	337.33	50.93
多层钢混	182	5.73	75.94	11.46
高层结构	173	5.45	233.13	35.20
单层房屋	1155	36.38	15.97	2.41

和房屋群体 (表 6) 震害矩阵。

由表 5、表 6 的震害结果, 可得各类结构的平均抗震能力指数分布 (图 1) 和房屋总体平均震害指数分布 (图 2)。为了对保定市群体建筑物的震害分布情况有一个直观的了解, 将各分区的在不同烈度下的破坏状态分布情况通过 ARCGIS 软件显现出来, 见图 3。

表 5 各类建筑物震害矩阵

Tab. 5 Earthquake damage matrix of buildings in various types

分类	烈度	栋数	按栋数(%)					建筑面积 / $\times 10^4 \text{ m}^2$	按面积(%)				
			基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	毁坏		基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	毁坏
多层砖混	VI	1 665	25.23	36.46	34.11	4.20	0.00	337.33	47.45	43.75	7.69	1.11	0.00
	VII		0.00	25.23	36.46	34.11	4.20		0.00	47.45	43.75	7.69	1.11
	VIII		0.00	0.00	25.23	36.46	38.32		0.00	0.00	47.45	43.75	8.80
	IX		0.00	0.00	0.18	46.85	52.97		0.00	0.00	0.36	75.21	24.43
	X		0.00	0.00	0.00	25.23	74.77		0.00	0.00	0.00	47.45	52.55
多层钢混	VI	182	75.82	24.18	0.00	0.00	0.00	75.94	73.45	26.55	0.00	0.00	0.00
	VII		4.40	71.43	24.18	0.00	0.00		4.21	69.24	26.55	0.00	0.00
	VIII		0.00	4.40	71.43	24.18	0.00		0.00	4.21	69.24	26.55	0.00
	IX		0.00	0.00	15.38	76.92	7.69		0.00	0.00	14.80	74.36	10.84
	X		0.00	0.00	4.40	71.43	24.18		0.00	0.00	4.21	69.24	26.55
高层结构	VI	173	97.69	2.31	0.00	0.00	0.00	233.13	98.00	2.00	0.00	0.00	0.00
	VII		6.94	90.75	2.31	0.00	0.00		6.93	91.08	2.00	0.00	0.00
	VIII		0.00	6.94	90.75	2.31	0.00		0.00	6.93	91.08	2.00	0.00
	IX		0.00	0.00	93.64	5.78	0.58		0.00	0.00	95.66	4.01	0.32
	X		0.00	0.00	6.94	90.75	2.31		0.00	0.00	6.93	91.08	2.00
单层房屋	VI	1 155	0.00	2.94	70.65	26.23	0.17	15.97	0.00	4.98	70.93	23.47	0.63
	VII		0.00	0.00	2.94	70.65	26.41		0.00	0.00	4.98	70.93	24.10
	VIII		0.00	0.00	0.00	2.94	97.06		0.00	0.00	0.00	4.98	95.02
	IX		0.00	0.00	0.00	0.69	99.31		0.00	0.00	0.00	1.52	98.48
	X		0.00	0.00	0.00	0.00	100.0		0.00	0.00	0.00	0.00	100.0

表 6 房屋群体震害矩阵

Tab. 6 Earthquake damage matrix of group buildings

烈度	总的按栋数比(%)					总的按面积比(%)				
	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	毁坏	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	毁坏
VI	22.90	21.70	43.59	11.75	0.06	67.08	26.15	5.63	1.13	0.02
VII	0.63	22.27	21.70	43.59	11.81	2.92	64.16	26.15	5.63	1.15
VIII	0.00	0.63	22.27	21.70	55.40	0.00	2.92	64.16	26.15	6.78
IX	0.00	0.00	6.08	29.54	64.38	0.00	0.00	35.55	48.28	16.17
X	0.00	0.00	0.63	22.27	77.10	0.00	0.00	2.92	64.16	32.92
合计	总栋数:3 175 栋					总面积:662.37 $\times 10^4 \text{ m}^2$				

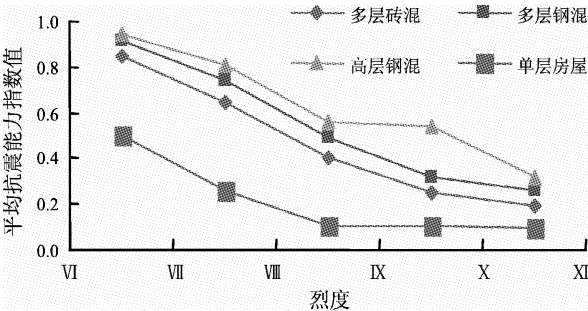


图 1 各类结构平均抗震能力指数分布

Fig. 1 Average seismic capacity index distribution of buildings in various types structure

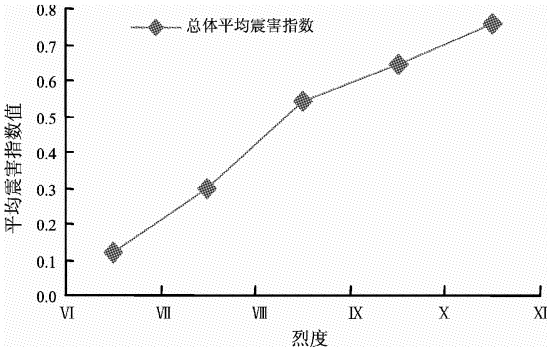


图 2 总体平均震害指数分布

Fig. 2 The overall average damage index distribution

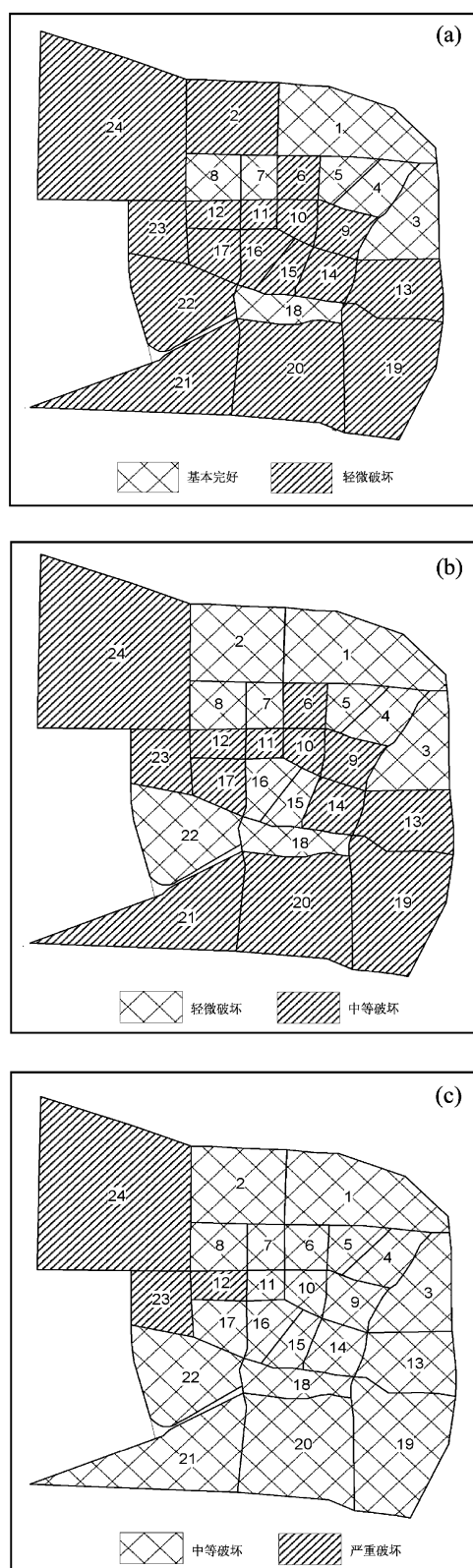


图3 各分区破坏状态分布

(a) 小震; (b) 中震; (c) 大震

Fig. 3 Damage state distribution of all district

(a) small earthquake; (b) middle earthquake;

(c) large earthquake

(1) 结合表5和图1可以看出, 高层结构抗震能力最强, 多层钢混其次, 单层房屋最差。单层房屋抗震能力指数在小震下为0.5, 中震下为0.26, 大震下为0.11, 抗震能力较差。

(2) 由图2可以看出, 保定市群体建筑的平均震害指数在小震下为0.12, 属于基本完好偏轻微破坏状态; 中震下为0.30, 属于轻微破坏; 大震下为0.54, 属于中等破坏状态, 表明保定群体建筑具有的较好抗震能力, 基本满足三水准设防目标。

(3) 由表6可以看出, 保定市区在遭遇中震的情况下仅有6.78%的房屋出现严重及以上破坏, 符合设计规范“中震可修”的理念。出现少量的破坏严重及倒塌的状态, 主要是位于城乡结合处以及一些沿街1~2层的老旧砖混结构房屋, 这些应为抗震加固的重点。

### 3 结论

(1) 本文采用的震害因子方法在操作上简单易行, 与传统方法相比简化了群体建筑物震害预测的工作量, 误差在工程允许范围之内, 可满足新时期城市群体建筑物震害预测的需要。

(2) 震害预测是城市抗震防灾的前提和主要内容, 做好群体建筑震害预测, 可为保定市抗震防灾提供重要依据。

### 参考文献:

- 陈健云, 毕可为, 温瑞智. 2009. 一种适于震后快速评估的群体易损性分析方法[J]. 震灾防御技术, 4(2): 174-181.
- 崔玉红, 邱虎, 聂永安, 等. 2001. 国内外单体建筑物震害预测方法研究述评[J]. 地震研究, 24(2): 175-182.
- 高杰, 冯启民, 张海东. 2007. 城市群体建筑物震害模拟方法研究[J]. 震灾防御技术, 2(2): 193-200.
- 李静, 陈健云. 2011. 城市群体建筑物震害类比预测方法研究及应用[J]. 工程管理学报, 25(2): 152-156.
- 刘勇健, 刘义建, 张伯友. 2008. 基于粗糙集—支持向量机的震害预测模型及应用[J]. 地震研究, 31(3): 289-295.
- 全永德. 2008. 城市震害预测信息管理系统研究[D]. 青岛: 中国海洋大学.
- 王志涛, 苏经宇, 马东辉, 等. 2008. 群体建筑物震害特征类比预测方法与应用[J]. 北京工业大学学报, 34(8): 842-847.
- GB/T 19428-2003, 地震灾害预测及其信息管理系统技术规范[S].

## Research on Seismic Damage Prediction of the Building Complex in Baoding

MENG Zi-yang<sup>1</sup>, ZHAO Hui-qian<sup>2</sup>, GUO Ming-zhu<sup>2</sup>

(1. SIPPR Engineering Group CO., LTD, Zhengzhou 450007, Henan, China)

(2. The College of Architecture and Civil Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

### Abstract

We do the research on the seismic damage prediction of the group buildings in Baoding by the damage factor method. The prediction results and the damage state of each partition in Baoding were given and was shown in the geographic information system. when Baoding city suffered the earthquake in different magnitude. The results can provide an important basis for the earthquake resistance and disaster in Baoding.

**Key words:** building complex; seismic damage prediction; earthquake damage factor; geographic information system