

重庆及邻区震后烈度分布评估模型构建^①

秦娟¹, 蔡辉腾², 李光³, 王宏超¹

(1. 重庆市地震局, 重庆 401147; 2. 福建省地震局, 福建 福州 350003; 3. 安徽省地震局, 安徽 合肥 230031)

摘要:选取重庆及邻区作为研究区域, 将典型历史地震震例的等震线图数字化, 通过回归分析分别构建了基于烈度衰减关系的烈度分布评估模型、基于等震线长短轴半径的“王景来”烈度分布评估模型和基于面积的烈度分布评估模型。最后利用算例验证了上述三种模型的适用性。震后烈度分布评估模型对于震后灾害损失评估有重要的意义。

关键词: 重庆及邻区; 回归分析; 烈度分布评估模型

中图分类号: P315.911

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2013)02-0394-07

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2013.02.0394

Study on Model Building of Post-earthquake Intensity in Chongqing and Its Adjacent Areas

QIN Juan¹, CAI Hui-teng², LI Guang³, Wang Hong-chao¹

(1. Earthquake Administration of Chongqing Municipality, Chongqing 401147, China;

2. Earthquake Administration of Fujian Province, Fuzhou Fujian 350003, China;

3. Earthquake Administration of Anhui Province, Hefei Anhui 230031, China)

Abstract: After an earthquake, the earthquake disaster rapid assessment team needs very detailed information, such as an intensity distribution map. If we can study several kinds of different intensity distribution evaluation models in support of the emergency database and compare the difference between disaster evaluation results from different models, the final result will have greater credibility. In this study, the research area of focus was Chongqing and its adjacent areas. The research analyzed 19 earthquakes since 1960, collected and digitized 19 seismic intensity isoseismal maps, and acquired a total of 46 isoseismal data sets, including long axis, short axis, and total area, for a data total of 141. In accordance with the characteristics of historical isoseismals, the isoseismals were processed as ovals. In this study, the researcher looked at the epicenter distribution of earthquakes in Chongqing and the vicinity, the intensity data, and the distribution of seismic magnitude and intensity. Through regression analysis, an intensity distribution evaluation model was developed on the basis of the seismic intensity attenuation relationship, and the results from the model were compared with those from other models, which yielded a figure representing the comparison. The attenuation relationship of the earthquake in Chongqing and its adjacent area was compared with Suyun Wang, in China's eastern region; Jianqi Lu, in a moderate earthquake area, and Jiancheng Lei, in Sichuan Basin. To make the seismic intensity attenuation curve closer to the actual situation with respect to far-field and near-field intensity, additional measures were needed to improve the distribution of the data. Hence, the author developed intensity distribution evaluation models based on the length of the prolate axis and the minor axis, and

① 收稿日期: 2012-03-20

作者简介: 秦娟(1979-), 女, 工程师, 河北邯郸人, 硕士研究生, 主要从事地震活动性、工程地震、地震应急研究工作。Email: qj5550@163.com.

area statistics. The author developed different fitting curves for (1) magnitude V long shaft fitting, (2) magnitude V short axial fitting, (3) magnitude VI long shaft fitting, and (4) magnitude VI short axial fitting. Comparisons were made with one magnitude degree above the intensity area, for the intensity I relationship, and for the length of shaft radius ratio. Last, the author used the examples to verify the above three kinds of models. The model based on the attenuation relationship and the model based on "Wang Jinglai" give intensity in two mutually perpendicular directions with distance attenuation, and the model based on the area is the seismic intensity distribution on the surface. The former two models are one-dimensional, and the third is two-dimensional. If an earthquake of grade IV or V happened in Chongqing and its adjacent areas, the author calculated three kinds of intensity distribution evaluation models, getting long and short axis radii. The first two models' calculation results were more closely matched and so are deemed the best by the author. Because the sample size is small, we will expand the research area in the next study to include a destructive earthquake region. Furthermore, we will include methods of data correction in the earthquake disaster loss assessment process in order to more closely approximate the true mean variance regression relationship. The shape of the intensity distribution curve was very significant for the earthquake disaster loss assessment.

Key words: Chongqing and its adjacent areas; Regression analysis; Intensity distribution evaluation model

0 引言

地震发生后凭借现有技术条件可以很快得出地震的三要素,但进行地震灾害快速评估还需要更详细的信息,比如烈度分布图。目前进行震后烈度分布预测主要是利用已经总结出的一些地区的地震烈度衰减关系,绘制出等震线图,从而得出震后烈度分布的粗略情况。考虑到我国领土辽阔,不同地区的烈度衰减情况不完全相同,仅仅通过有限的几种烈度分布评估模型来进行地震灾害评估是不足的。如果能够研究出几种不同的烈度分布评估模型,以烈度分布图为基础,在应急数据库的支持下通过空间叠加估算出地震的灾害损失(包括人员伤亡和财产损失),并对不同模型得出的有差异性的灾害评估结果进行比较,根据该地区的烈度破坏特点进行适当的取舍和平均,则结果将具有更大的可信度^[1],对震后政府应急指挥将有重要意义。

地震等震线的形状千变万化,它由很多因素来决定,但绝大多数是呈椭圆形。对于重庆及邻区,我们将根据历史地震等震线的特点视为椭圆形^[2]。

本次研究的目的在于利用重庆及邻区已有的历史地震等震线资料,建立适合重庆及邻区的震后烈度分布评估模型。其做法首先是将重庆及邻区的历史地震等震线图数字化,得到不同烈度下影响场长、短轴半径和烈度圈的面积数据,再通过回归分析分别构建基于烈度衰减关系的烈度分布评估模型、基

于等震线长短轴半径的“王景来”烈度分布评估模型^[3]和基于面积的烈度分布评估模型^[1],最后利用算例计算三种模型的长短轴半径,并比较优劣性。

1 研究区域及数据

对重庆及邻区自 1960 年至今的 19 个地震资料进行了收集整理(图 1),对 19 幅地震烈度等震线图进行数字化处理,共 46 条烈度等震线数据。量取各烈度圈外包线的长度,得到各烈度圈长、短轴长度、面积共计 141 个数据。烈度资料见表 1,地震震级和烈度分布见表 2。

重庆及邻区是典型的中强地震活动区,本文选取地震基于以下原则:

- (1) 发生在长江中游地震带内重庆及附近地区,符合该地区的地震地质环境;
- (2) 地震震级和烈度都是独立测定的,因此仅选用了近代仪器测定震级的地震;
- (3) 对于缺乏宏观实地调查资料、部分等震线资料用虚线勾画的地震,选用上要十分慎重。

2 烈度分布评估模型构建

2.1 基于烈度衰减关系的模型

2.1.1 地震烈度衰减模型

该地区地震烈度线图多呈椭圆形,因此本文采用以下椭圆模型进行烈度的回归分析:

$$I = B_1 + B_2 M + B_3 \lg(R + R_0) + \epsilon \quad (1)$$

这是目前国际通用也是我国常用的衰减公式, I 为地震烈度; M 为震级; R_0 为长、短轴两个方向烈度衰减的近场饱和因子, 本文长、短轴近场饱和项分别取 15 km 、 7 km ^[5]; R 是烈度为 I 的椭圆等震线的长半

轴和短半轴长度; B_1 、 B_2 、 B_3 为回归系数; ε 为回归分析中表示不确定性的随机变量, 通常假定为正态分布, 其均值为零; 标准差为 σ 。

表 1 烈度资料一览表
Table 1 Intensity data list

序号	时间	震级 /M	烈度 /I	长轴 /km	短轴 /km	I 度以上烈度区 总面积/km ²	震源深度/km	参考地点
1	1961-03-08	4.9	7	9.6	6.6	35.37	14	湖北宜都
			6	40	30.4	687.9		
			5	104.8	80	4719		
			4	190.4	141	21074.4		
2	1964-09-05	4.9	7	15.6	11.2	83.85	9	湖北勋县
			6	35.6	28.8	729.4		
			5	66.6	53.4	2601		
			4	117.8	95.6	8769		
3	1979-05-22	5.1	7	16.2	6.4	78.7	16	湖北秭归
			6	29.8	19.4	407.9		
			5	49.2	36.4	1269		
			6	5.6	3.4	14.95		
4	1982-03-11	4.4	5	12.4	7.2	70.08	4	湖北勋西
			4	19	13.6	202.84		
			3	27.6	20.6	892.64		
			7	5.8	3.8	17.5		
5	1985-03-29	4.8	6	10.8	5.8	40	7	四川自贡
			5	18.2	13.4	176.5		
			6	5.3	3.26	10.48		
			5	13.93	8.3	76.13		
6	1987-07-02	4.5	4	24	12.74	197.7	15	重庆石柱
			5	19.7	10.29	157.7		
			4	54	27.43	1207		
			7	4	2	8.83		
7	1989-06-02	4.4	6	18	10.5	133.2	10	重庆巫溪
			5	44.4	25.6	852.3		
			6	7.83	3.67	20.77		
			5	15.3	9.3	108		
8	1989-11-20	5.4	7	4.71	2.59	9.39	5	重庆荣昌
			6	21.88	8.94	148.3		
			5	3.66	1.24	15.73		
			7	3.5	2	7.546		
9	1995-12-26	4.5	6	8.7	5.8	56.13	21	重庆荣昌
			5	1.2	0.6	0.358		
			6	4	3.4	10.09		
			7	1.2	0.6	0.358		
10	1996-02-28	5.4	6	5.67	1.67	6.941	13	重庆荣昌
			5	1.73	0.8	4.538		
			4	10.27	5.3	56.64		
			6	2.4	1.2	8.233		
11	1997-02-25	4.3	5	9.2	5.1	137.6	5	四川宜宾
			6	12.1	4.3	161.1		
			5	25.3	12.9	1017		
			7	5.38	2.69	11.93		
12	1997-08-13	5.2	6	24.6	12.3	240.4	10	四川隧宁
			5	57.69	33.46	1642		
			6	11.64	5.7	22.3		
			5	27	18.67	221.8		
13	1999-08-17	5	6	11.64	5.7	22.3	10	重庆荣昌
			5	27	18.67	221.8		
			6	11.64	5.7	22.3		
			5	27	18.67	221.8		
14	2001-06-23	4.9	6	5.67	1.67	6.941	15.4	重庆荣昌
			5	1.73	0.8	4.538		
			4	10.27	5.3	56.64		
			6	2.4	1.2	8.233		
15	2003-01-02	4	5	9.2	5.1	137.6	5	四川宜宾
			6	12.1	4.3	161.1		
			5	25.3	12.9	1017		
			7	5.38	2.69	11.93		
16	2004-06-17	4.5	6	24.6	12.3	240.4	10	四川隧宁
			5	57.69	33.46	1642		
			6	11.64	5.7	22.3		
			5	27	18.67	221.8		
17	2009-08-08	4	6	11.64	5.7	22.3	10	重庆荣昌
			5	27	18.67	221.8		
			6	11.64	5.7	22.3		
			5	27	18.67	221.8		
18	2010-01-31	5	6	11.64	5.7	22.3	10	重庆荣昌
			5	27	18.67	221.8		
			6	11.64	5.7	22.3		
			5	27	18.67	221.8		
19	2010-02-22	4.2	6	11.64	5.7	22.3	10	重庆荣昌
			5	27	18.67	221.8		
			6	11.64	5.7	22.3		
			5	27	18.67	221.8		

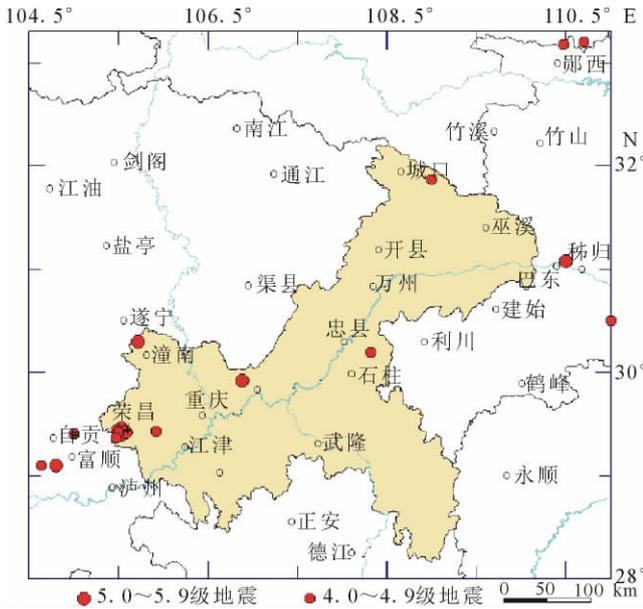


图 1 重庆及邻区地震震中分布图

Fig. 1 Epicenter distribution of earthquakes in Chongqing and its adjacent areas.

表 2 地震震级和烈度分布

Table 2 Distribution of seismic magnitude and intensity

震级范围 /M	地震 次数	烈度值≥IV等震线条数				合计
		IV	V	VI	VII	
4.0~4.9	13	5	12	11	3	31
5.0~5.9	6	/	3	6	6	15
合计	19	5	15	17	9	46

2.1.2 沿长、短轴烈度衰减

为了使地震烈度衰减曲线在远场和近场的烈度能够更接近真实情况,本文采用补点的措施以改善数据的分布情况。在通常情况下,烈度在极震区内是饱和的,在远场等震线形状趋于圆形。为了使衰减曲线达到这样的要求,常需对等震线数据进行近远场补点。近场补点仅在震中烈度Ⅶ度及以上和最内圈等震线半径>5 km 情况下进行^[4];远场补点取有感范围的半径和有感烈度值作为远场控制点。在这里,近场补点中最内控制点的烈度值由本地区震级-震中烈度关系式确定;远场补点以远场衰减曲线近于圆形为止。本文取有感烈度Ⅲ~Ⅳ度的平均值 3.5 度作为远场控制点,采用的震级(M)-震中烈度(I₀)计算公式(式(2))及有感半径(R/km)公式(式(3)、(4))均取自文献^[5],通过四川盆地地震资料统计得出。

$$I_0 = 0.6276 + 1.1722M \quad (2)$$

$$\log_{10}R = 0.6494 + 0.4967M \quad M \leq 5 \quad (3)$$

$$\log_{10}R = -0.0365 + 0.3760M \quad M \geq 5 \quad (4)$$

用最小二乘法回归拟合得出烈度衰减关系如下(σ为均方差)。

$$\text{长轴 } I = 6.0038 + 1.1291M - 4.1162\lg(R + 15)$$

$$\sigma = 0.3360 \quad (5)$$

$$\text{短轴 } I = 3.6467 + 1.1346M - 3.0391\lg(R + 7)$$

$$\sigma = 0.3052 \quad (6)$$

通过回归计算(表 3),补点结果标准差比不补点小,从数值层面上可见补过点的样本要优。

表 3 衰减关系回归结果

Table 3 Regression results of attenuation relation

补点	长短轴	B ₁	B ₂	B ₃	σ
近远场补点	长轴	6.0038	1.1291	-4.1162	0.3360
	短轴	3.6467	1.1346	-3.0391	0.3052
不补点	长轴	5.4423	1.0087	-3.2573	0.3681
	短轴	3.5434	1.0548	-2.5882	0.3710

2.1.3 与前人所得结果对比

将本文统计得到的重庆及邻区地震烈度衰减关系与汪素云等^[6]的中国东部地区、卢建旗等^[7]的中强地震活动区、雷建成等^[8]的四川盆地地区地震烈度衰减关系进行对比,如图 2 所示。

(1) 汪素云等中国东部地区烈度衰减关系:

$$\text{长轴 } I = 5.019 + 1.446M - 4.136\lg(R_a + 24)$$

$$\sigma = 0.577$$

$$\text{短轴 } I = 2.240 + 1.446M - 3.070\lg(R_b + 9)$$

$$\sigma = 0.493$$

(2) 卢建旗等对中强地震活动区烈度衰减关系:

$$\text{长轴 } I = 5.841 + 1.071M - 3.657\lg(R_a + 15)$$

$$\sigma = 0.520$$

$$\text{短轴 } I = 3.944 + 1.071M - 2.845\lg(R_b + 7)$$

$$\sigma = 0.520$$

(3) 雷建成等四川盆地地区烈度衰减关系:

$$\text{长轴 } I = 4.0293 + 1.3003M - 3.6404\lg(R_a + 10)$$

$$\sigma = 0.45$$

$$\text{短轴 } I = 2.3816 + 1.3003M - 2.8573\lg(R_b + 5)$$

$$\sigma = 0.45$$

从图 2 可以看出:

(1) 总体趋势上,在 M=5、6 时,长轴、短轴拟合曲线与其它 3 条衰减关系接近。M=3、4 时,四条曲线离散较大。

(2) 衰减曲线的曲率即衰减的快慢,本文结果和其它 3 条基本持平,这与一个地区地震烈度衰减的快慢主要由该地区场地条件决定的论断是相吻合的。

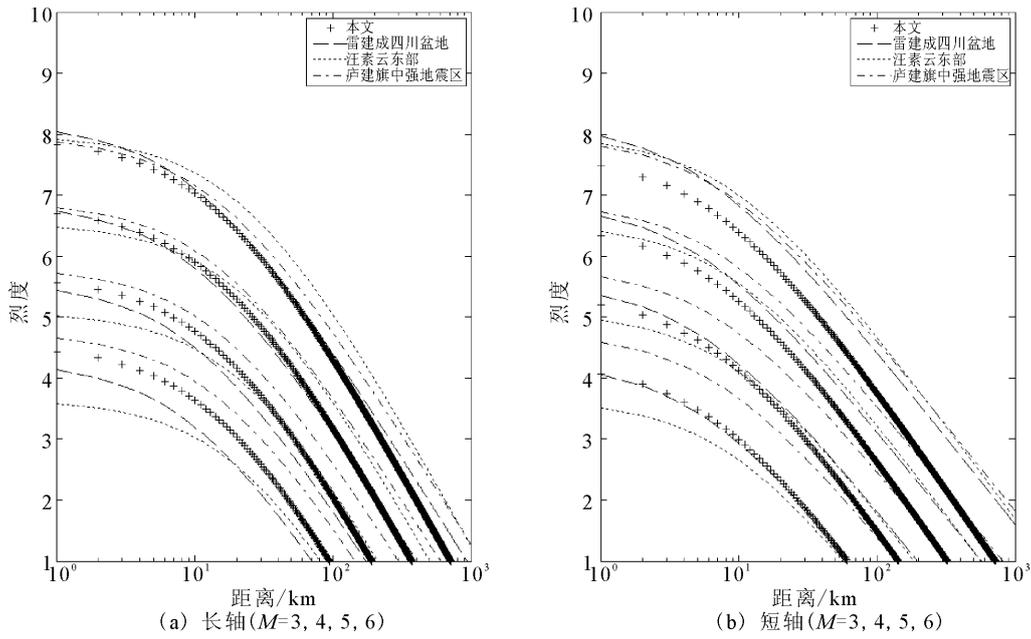


图2 烈度衰减关系对比

Fig. 2 Comparison of intensity attenuation relations.

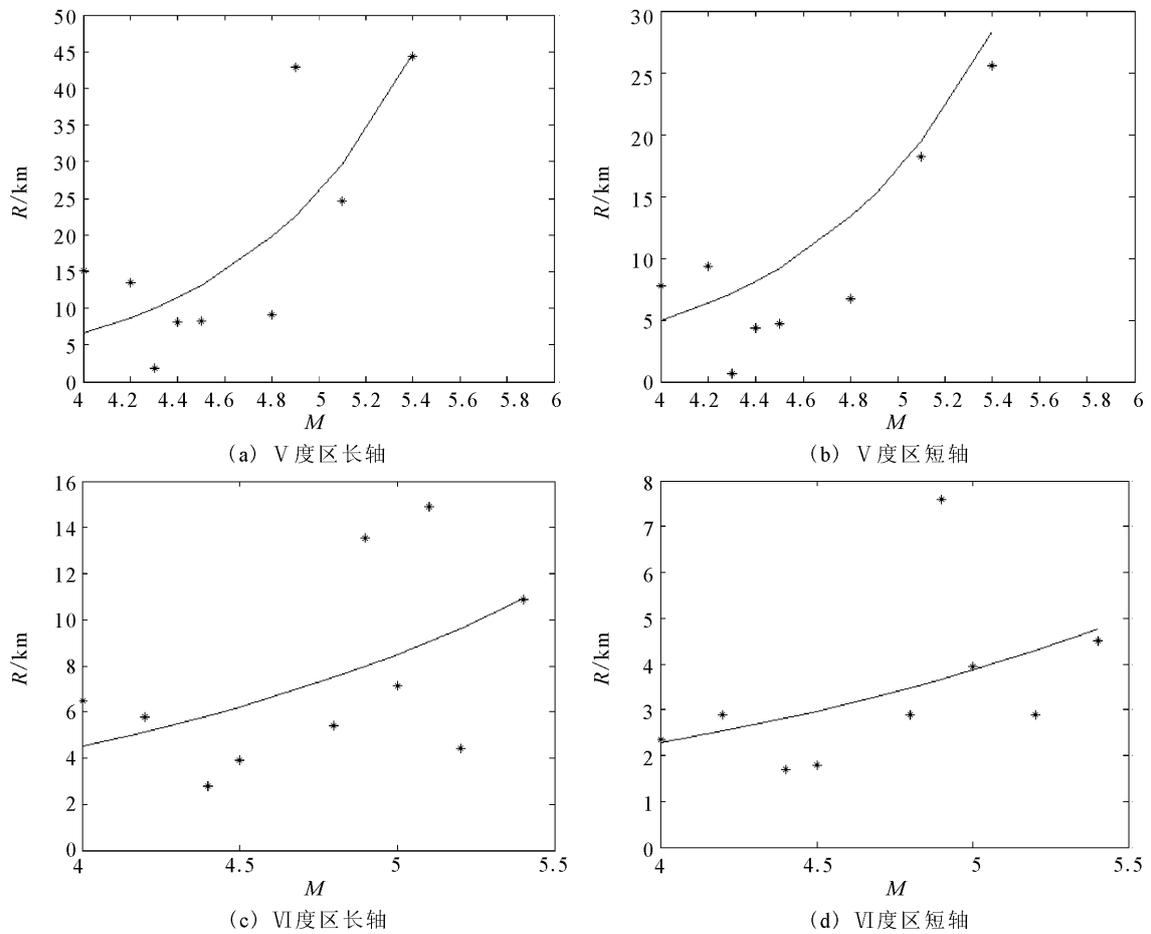


图3 不同烈度区长短轴拟合曲线

Fig. 3 The fitting curves of long and short axes of intensity zones for different magnitudes.

2.2 基于“王景来”烈度分布的模型

本次研究的模型来自王景来^[3]等,为指数模型: $y = ae^{bx}$ 。虽受到数据在震级轴上分布在较为狭窄的区域内的限制,但是在该区域及相邻的区域中,模型仍有良好的效果。拟和结果见表 4 和图 3。

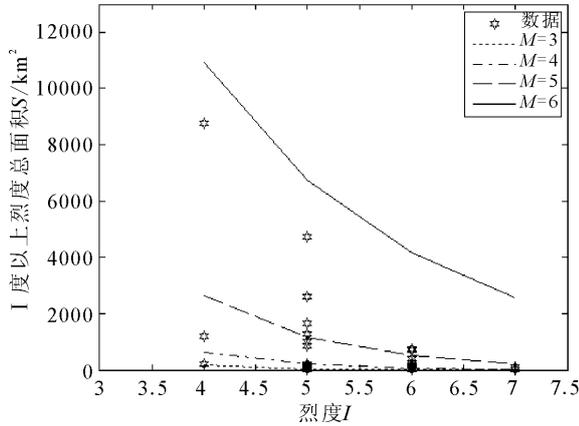


图 4 I 度以上烈度区总面积与烈度 I 的关系
Fig. 4 Relationship between the total area above I intensity and I.

表 4 拟和结果
Table 4 Fitting result

	长轴	短轴
V 度区拟合结果	$y = 0.0289 \exp(1.3595x)$	$y = 0.0333 \exp(1.2492x)$
VI 度区拟合结果	$y = 0.3689 \exp(0.6273x)$	$y = 0.2794 \exp(0.5252x)$

2.3 基于面积的模型

2.3.1 烈度面积分布规律

通过 I 度以上烈度区总面积和震级的关系的分析,可以得出 I 度以上烈度区总面积与震级和烈度成指数关系,利用以下关系式对面积关系进行回归:

表 6 烈度分布评估模型长短轴半径

Table 6 The radius of long and short axis used in the intensity distribution evaluation model

震级/M	烈度/I	基于本文烈度衰减关系	基于“王景来”模型	基于面积模型
5	VI	$R_l = 8.6 \text{ km}, R_s = 3.1 \text{ km}$	$R_l = 8.5 \text{ km}, R_s = 3.9 \text{ km}$	$R_l = 16.9 \text{ km}, R_s = 9.4 \text{ km}$
	V	$R_l = 26.2 \text{ km}, R_s = 13.3 \text{ km}$	$R_l = 25.9 \text{ km}, R_s = 17.2 \text{ km}$	$R_l = 25.6 \text{ km}, R_s = 14.2 \text{ km}$
4	V	$R_l = 6.9 \text{ km}, R_s = 2.2 \text{ km}$	$R_l = 6.6 \text{ km}, R_s = 4.9 \text{ km}$	$R_l = 10.6 \text{ km}, R_s = 5.9 \text{ km}$

4 结论

本文通过将重庆及邻区的历史地震等震线图数字化,得到了不同烈度下影响场长、短轴半径和烈度圈的面积数据,分别构建了三种烈度分布评估模型,最后通过算例计算了三种模型的长短轴半径。可以看到,前两种一维模型的计算结果是接近的,后一种二维模型的计算结果与前两种模型计算结果相差较大,究其原因可能是因为模型并非标准的椭圆。因此建议在实际应用时,采用一维模型进行震后烈度

$$S = \exp(a_1 + a_2 * I + a_3 * I * M)^{[9]} \quad (7)$$

其中,S 是 I 度以上烈度区总面积;M 是震级; a_1, a_2, a_3 是回归系数。

通过数据拟和回归得到以下关系,如图 4:

$$S = \exp(11.2291 - 2.6111 * I + 0.3548 * I * M) \quad (8)$$

2.3.2 地震烈度内圈等震线长短轴比值

取重庆地区地震的最内圈等震线的长轴及短轴半径,求其比值,并对长、短轴半径比值进行简单的统计计算,见表 5。可知长轴与短轴长度比值的均值为 1.79。

表 5 极震区长短轴半径比值对比

Table 5 Comparison of the ratio of length for long and short axis of intensity zone

样本数	平均数	最大比值	均方差
47	1.79	3.40	0.21

3 算例

基于烈度衰减关系的烈度分布评估模型和基于“王景来”烈度分布评估模型均体现了烈度在两个相互垂直的方向上随距离的衰减情况,而基于面积的烈度分布评估模型则体现的是地震烈度在地表的分布情况。前两个规律是一维空间上表达地震的烈度分布,后者是二维空间上表达地震的烈度分布。

假设重庆及邻区发生了一个 4 级或 5 级地震,通过 3 种烈度分布评估模型计算,得到长短轴半径如表 6。由于重庆及邻区是典型的中强地震活动区,建模时数据点分布集中,只有在 4~5.5 级时上述的 3 种模型才有较高的精度。

分布评估模型的构建。由于样本量不多,我们将在下一步研究中扩大研究区域比如具有破坏性地震区域进行论证,用回归关系的均方差 σ 探讨在震后灾害损失评估过程中修正数据以更接近真实的方法。震后烈度分布评估模型对于震后灾害损失评估有重要的意义。

[参考文献]

[1] 张建福,成小平,姜立新,等. 基于面积统计的震后烈度评估

- [J]. 自然灾害学报, 2005, 14(1): 76-81.
ZHANG Jian-fu, CHENG Xiao-ping, JIANG Li-xin, et al. Estimation of Post-earthquake Intensity Based on Area Statistics [J]. Journal of Natural Disasters, 2005, 14(1): 76-81.
- [2] 丁仁杰, 李克昌. 重庆地震研究[M]. 北京: 地震出版社, 2004.
DING Ren-jie, LI Ke-chang. Earthquake Research in Chongqing[M]. Beijing: Seismological Press, 2004.
- [3] 王景来, 宋志峰. 地震灾害快速评估模型[J]. 地震研究, 2001, 24(2): 162-167.
WANG Jing-lai, SONG Zhi-feng. Model for Fast Seismic Disaster Assessment[J]. Journal of Seismological Research, 2001, 24(2): 162-167.
- [4] 俞言祥, 汪素云. 青藏高原东北地区水平向基岩加速度峰值与反应谱衰减关系[J]. 地震学报, 2004, 26(6): 591-600.
YU Yan-xiang, WANG Su-yun. Attenuation Relations for Horizontal Peak Ground Acceleration and Response Spectrum in Northeastern Tibetan Plateau Region[J]. Acta Seismologica Sinica, 2004, 26(6): 591-600.
- [5] 雷建成, 高孟潭, 俞言祥. 西南地区近代地震的震中烈度与有感半径的统计研究[J]. 震灾防御技术, 2006, 1(2): 137-145.
LEI Jian-cheng, GAO Meng-tan, YU Yan-xiang. The Statistical Study on Near-epicenter Intensity and Sensible Radius of Recent Earthquakes in Southwest China [J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 2006, 1(2): 137-145.
- [6] 汪素云, 俞言祥. 中国分区地震动衰减关系的确定[J]. 中国地震, 2000, 2(16): 99-106.
WANG Su-yun, YU Yan-xiang. Development of Attenuation Relations for Ground Motion in China [J]. Earthquake Research in China, 2000, 2(16): 99-106.
- [7] 卢建旗, 李山有, 李伟. 中强地震活动区地震动衰减关系的确定[J]. 世界地震工程, 2009, 25(4): 33-43.
LU Jian-qi, LI Shan-you, LI Wei. Study on Ground Motion Attenuation Relationship of Moderate Earthquake Risk Areas [J]. World Information On Earthquake Engineering, 2009, 25(4): 33-43.
- [8] 雷建成, 高孟潭, 俞言祥. 四川及邻区地震动衰减关系[J]. 地震学报, 2007, 29(5): 500-511.
LEI Jian-cheng, GAO Meng-tan, YU Yan-xiang. Seismic Motion Attenuation Relations in Sichuan and Adjacent Areas [J]. Acta Seismologica Sinica, 2007, 29(5): 500-511.
- [9] 孙继浩, 帅向华. 川滇及其邻区中强地震烈度衰减关系适用性研究[J]. 地震工程与工程震动, 2011, 31(1): 11-18.
SUN Ji-hao, SHUAI Xiang-hua. Study on Moderate-strong Seismic Intensity Attenuation Relations in Sichuan - Yunnan and Its Adjacent Areas [J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2011, 31(1): 11-18.
- [10] 李英民, 蔡辉腾, 韩军, 等. 重庆及邻近地区地震烈度衰减关系研究[J]. 防灾及减灾工程学报, 2007, 27(1): 17-22.
LI Ying-min, CAI Hui-teng, HAN Jun. Study on Attenuation Relation of Seismic Intensity in Chongqing and Its Adjacent Areas [J]. Journal of Disaster Prevent and Mitigation Engineering, 2007, 27(1): 17-22.
- [11] 霍俊荣. 近场强地面运动衰减规律的研究[D]. 哈尔滨: 国家地震局工程力学研究所, 1989.
HUO Jun-rong. Study on Attenuation of Near Field Strong Ground Motion [D]. Mechanical Engineering Inst of the State Bureau of Seismology, 1989.
- [12] 石树中, 沈建文. 上海及邻区地震烈度衰减规律研究[J]. 防灾及减灾工程学报, 2003, 23(1): 50-54.
SHI Shu-zhong, SHEN Jian-wen. A Study of Seismic Intensity Attenuation Law in Vicinity of Shanghai [J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2003, 23(1): 50-54.
- [13] 葛智渊, 李东平. 基于的浙江省地震快速评估模型构建研究[J]. 华北地震科学, 2009, 27(3): 12-16.
GE Zhi-yuan, LI Dong-ping. Study on Model Building for Fast Seismic Disaster Assessment Based on GIS [J]. North China Earthquake Sciences, 2009, 27(3): 12-16.
- [14] 姚凯, 孙崇绍, 朱珊珊, 等. 2008年汶川地震后的三次强余震地表峰值加速度衰减场研究[J]. 西北地震学报, 2012, 34(1): 99-104.
YAO Kai, SUN Chong-shao, ZHU Shan-shan, et al. Study on PGA Attenuation of Three Strong Aftershocks of 2008 Wenchuan Earthquake [J]. Northwestern Seismological Journal, 2012, 34(1): 99-104.
- [15] 刘双庆, 聂永安, 高武平, 等. Matlab在天津市强震动台网烈度速报中的应用[J]. 西北地震学报, 2012, 34(4): 405-412.
LIU Shuang-qing, NIE Yong-an, GAO Wu-ping, et al. Application of Matlab Software on Intensity Rapid Report of Tianjin Strong Motion Network [J]. Northwestern Seismological Journal, 2012, 34(4): 405-412.