第32卷 第1期
2010年3月

西北地震学报
NORTHWESTERN SEISMOLOGICAL JOURNAL

Vol. 32 No. 1
March, 2010

甘肃省地震烈度衰减关系研究

周中红，何少林，陈文凯
（中国地震局兰州地震研究所，甘肃 兰州 730000）

摘 要：选取了甘肃省内1950－2004年间主震震级 $M\geqslant 5.0$、震中烈度 $I_0\geqslant V$ 的地震20次，回归分析得出了适合本地区特点的地震烈度衰减关系，并与目前甘肃省广泛使用的西部地区地震烈度衰减关系进行了比较和分析。

关键词：回归分析；烈度衰减；甘肃地区
中图分类号：P315.9　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000－0844(2010)01－0072－04

Study on the Attenuation Relationship of Seismic Intensity in Gansu Province

ZHOU Zhou-hong, HE Shao-lin, CHEN Wen-kai
(*Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou* 730000, *China*)

Abstract: For the purpose of acquiring the intensity attenuation relationship fitted the Gansu province, in this paper, 20 earthquakes occurred from 1950－2004 in Gansu province are selected, the host shake's magnitude of which were all greater than or equal to 5.0 and the epicenter intensity were greater than or equal to V. On the basis of above materials, the attenuation relationship of this area was achieved and some analysis and comparison were made between the attenuation relationship of Gansu area and the existing results of western of China.

Key words: Regression analysis; Attenuation of earthquake intensity; Gansu province

0 引言

甘肃省地震局在“十五”期间建设完成“甘肃地震应急指挥技术系统”，并于2007年12月通过中国地震局的验收，投入正常使用。该系统在进行震害快速评估过程中首先需要依据本地区地震烈度衰减关系给出震区的不同烈度分布及影响范围，进而依据地震烈度分布快速估算地震灾害损失，最终提出地震应急决策和救援方案，供抗震救灾指挥部决策使用。因此地震烈度衰减关系的合理性至关重要。目前对甘肃地区地震烈度衰减规律研究工作开展较少，可依据的公开研究结果很难查到，因此，“甘肃地震应急指挥技术系统”地震影响场与重灾区快速判断模块中的烈度衰减关系采用大范围的中国西部烈度衰减关系[①]。中国西部烈度衰减关系研究中采用的震例资料包括了云南、四川、西藏、新疆及甘青宁区域，范围较大，而实际地震烈度衰减关系由于不同地区震源特性、传播介质和场地条件的不同，存在较强的地区性差异。因此实际运行中“甘肃地震应急指挥技术系统”给出的震害损失与实际情况有一定的偏差，直接影响了地震应急辅助决策和救援方案的合理性。因此研究适合本省区域的地震烈度衰减关系对完善甘肃地震应急指挥技术系统非常必要，同时在地震工程等其他领域也有广泛的应用意义。

1 震例资料的选取

收稿日期：2008-07-31
基金项目：中国地震局“十五”重点项目“甘肃省区域抗震救灾指挥部”；甘肃省地震局青年地震科学基金(2008263)；中国地震局兰州地震研究所论著编号：LC2010017
作者简介：周中红(1975－)，女(汉族)，甘肃临夏人，在读硕士，主要从事震害评估方法研究工作.
① 中国地震局. 国家“十五”项目－中国数字地震观测网络应急分析软件：区域震害评估系统文档资料. 2008.

在用烈度等震线数据拟合烈度衰减关系时,选用的地震样本要求震级 M 和烈度 I 都应是独立测定的。因此,本文在利用等震线资料拟合研究区的烈度衰减关系时选取了 1950 年至 2004 年间主震震级 $M\geqslant 5.0$、震中烈度 $I_0\geqslant$ Ⅴ 的地震 20 次,共计等震线 50 条,选用的地震数据见表 1,地震震级和烈度分布见表 2。选取的震例资料主要来自于甘肃省地震资料目录[1]以及地震现场考察报告。这些地震的震级是根据近代仪器测定的,等震线也是根据现场调查资料给出的,具有较好的可靠性。

表 1　等震线参数

序号	发震时间	地点	震级 /M	烈度 /I	长轴 /km	短轴 /km
1	1954-02-11	山丹	7.25	Ⅸ	35	17
				Ⅷ	57.6	41.4
2	1954-07-31	民勤	7.0	Ⅸ	40	12
				Ⅷ	85	38
				Ⅶ	135	80
3	1960-02-03	舟曲	5.3	Ⅵ	133.3	30.4
				Ⅴ	212.5	87.5
4	1961-10-01	岷县	5.7	Ⅶ	21	7
				Ⅵ	43	28
5	1974-09-23	玛曲	5.6	Ⅶ	15	7
				Ⅵ	65	50
				Ⅴ	105	90
				Ⅳ	240	200
6	1984-01-06	武威	5.3	Ⅵ	22.5	11
				Ⅴ	76	42
7	1985-06-24	宕昌	5.0	Ⅴ	35	17
				Ⅳ	190	82
8	1987-01-08	迭部	5.9	Ⅶ	29	12.5
				Ⅵ	80	32
				Ⅴ	174	99.4
9	1987-10-25	礼县江口	5.1	Ⅵ	6	1.5
				Ⅴ	42	22
				Ⅳ	77	62
10	1988-11-22	肃南	5.7	Ⅵ	15	7.5
				Ⅴ	95	72.5
11	1990-10-20	天祝－景泰	6.2	Ⅷ	9.5	2.5
				Ⅶ	27	11
				Ⅵ	45	22
12	1992-01-12	嘉峪关	5.4	Ⅵ	12	9
				Ⅴ	57	43
13	1995-07-22	永登	5.8	Ⅷ	13.2	5.8
				Ⅶ	24.8	15
				Ⅵ	43.6	36.8
14	1996-06-01	天祝－古浪	5.4	Ⅵ	21	18
				Ⅴ	41	40
15	2000-06-06	景泰	5.9	Ⅷ	6	2
				Ⅶ	11	10
16	2001-07-11	肃南祁青	5.3	Ⅵ	13	9
				Ⅴ	25	15.5
17	2002-12-14	玉门	5.9	Ⅶ	23	13
				Ⅵ	63	35
				Ⅴ	121	62
18	2003-11-13	民乐－山丹	6.1	Ⅷ	18	6.8
				Ⅶ	39	25
				Ⅵ	69	49
19	2003-11-13	岷县－临潭－卓尼	5.2	Ⅷ	4	2.7
				Ⅶ	9.8	4.8
				Ⅵ	14	8.8
20	2004-09-07	岷县－卓尼	5	Ⅶ	11.8	8.1
				Ⅵ	26.2	19.2

表 2　地震震级和烈度(≥ Ⅴ)分布

震级范围 M_S	地震次数	烈度值≥ Ⅴ 的等震线条数					合计
		Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ	Ⅸ	
5.0～5.4	9	7	8	2	1	/	18
5.5～6.4	9	4	8	8	4	/	24
6.5～7.5	2	/	/	1	2	2	5
合计	20	11	16	11	7	2	47

2　烈度衰减关系的模型确定及拟合结果

2.1　椭圆衰减关系模型

地震烈度在地面的衰减图像会呈现出一定的几何图像。由于受发震构造和场地的影响,近场等震线一般或呈椭圆形,或呈共轭椭圆形;在远场等震线则逐渐变为圆形[2]。为了考虑地震烈度沿发震构造不同方向衰减规律的差异特点,通常采用沿长轴方向和短轴方向分别统计分析其衰减关系。从实际震例发现,甘肃省的绝大部分 5 级以上地震的等震线均呈椭圆或近椭圆形,故本文采用椭圆长短轴衰减模型进行拟合,回归模型中长、短轴的衰减方程形式为

沿长轴方向:

$$I_a = A_1 + B_1 M + C_1 \ln(R_a + R_{0a}) + \varepsilon_a \quad (1)$$

沿短轴方向:

$$I_b = A_2 + B_2 M + C_2 \ln(R_b + R_{0b}) + \varepsilon_b \quad (2)$$

式中系数 A_1、B_1、C_1 及 A_2、B_2、C_2 均为回归常数;R_{0a} 及 R_{0b} 分别为长轴、短轴两个方向烈度衰减的近场距离饱和因子,为预设常数;ε_a、ε_b 为回归分析中表示不确定性的随机变量,通常假定为对数正态分布,其均值为零,标准差分别为 σ_a、σ_b。从物理意义上讲,第二项表示震级对烈度分布的影响,第三项表示地震波射线路径和场地因素对烈度的影响。

2.2　甘肃地震烈度衰减关系的确定

应用表 1 的相关数据,根据公式(1)、(2)进行回归。R_{0a}、R_{0b} 的选取通常可通过回归搜索过程中使衰减公式中 σ 为最小的原则确定,同时 R_{0a}、R_{0b} 的预设值还要尽量使得长短轴的震中烈度相等并满足震

中烈度与震级的关系表达式，除此之外 R_{0a}、R_{0b}的值还要满足极震区 R_a、R_b 的比例关系、并且在近场相同震中距的地方沿长轴方向的烈度值始终保持大于短轴方向的烈度值。

依据以上原则，首先根据自 1927 年以来甘肃省主震震级≥ 5 的震例拟合出了震中烈度 I_0 与震级 M 的关系式

$$I_0 = 1.45M - 1.24 \quad \sigma = 0.63, \quad r = 0.81 \tag{3}$$

并依据表 1 的数据统计得出了极震区的长短轴之比的平均值

$$\text{Average}(R_a/R_b) = 2.34 \tag{4}$$

同时，在近场、远场依据相关文献[3]进行了补点，最终得到甘肃地区的地震烈度衰减公式：

沿长轴方向：

$$I_a = 4.864 + 1.464M - 1.783\ln(R_a + 22)$$
$$\sigma_a = 0.521 \tag{5}$$

沿短轴方向：

$$I_b = 3.032 + 1.321M - 1.343\ln(R_b + 9)$$
$$\sigma_b = 0.520 \tag{6}$$

由烈度数据所得的甘肃地震烈度沿长轴方向和短轴方向的衰减曲线如图 1 所示。虽然数据点相对较离散，但 $M=5.0$、6.0、7.0 时的曲线能够较明显地区分 $M5.0\sim5.9$、$M6.0\sim6.9$ 及 $M>7$ 的数据点，说明所得的衰减关系与实际资料吻合较好。

图 2 为甘肃地震烈度的长短轴衰减曲线，从图中可以看出，长轴和短轴方向的衰减曲线在 $R=0$ 处的差值较小(二者之差在 0.03～0.48 之间)，在远场也是趋于重合的，说明该模型是较合理的。

3 与西部地震烈度衰减关系的比较

在《中国地震烈度区划图》(1990)[6]中，给出了中国西部地区的烈度衰减关系：

长轴方向：

$$I_a = 5.643 + 1.538M - 2.109\ln(R_a + 25)$$
$$\sigma_a = 0.64 \tag{7}$$

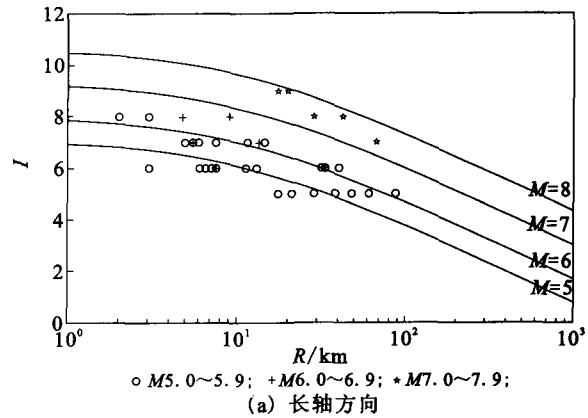
短轴方向：

$$I_b = 2.941 + 1.363M - 1.494\ln(R_b + 7)$$
$$\sigma_b = 0.61 \tag{8}$$

汪素云等[3]沿用中国地震烈度区划图的做法，采用椭圆长短轴的联合衰减模型，选用包括云川藏、甘青宁、新疆在内的西部地区 190 个震例，统计得出了新的中国西部地区的烈度衰减关系：

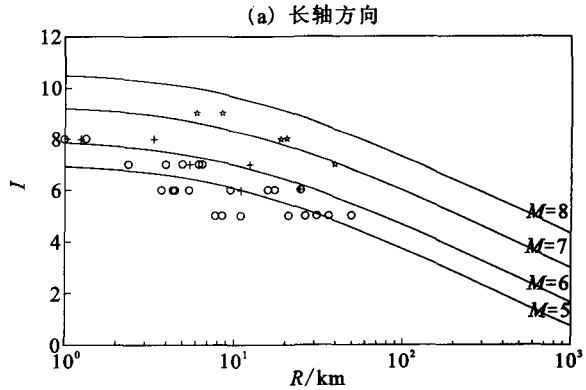
长轴方向：

$$I_a = 5.253 + 1.398M - 4.164\log(R_a + 26)$$



○ $M5.0\sim5.9$；+ $M6.0\sim6.9$；* $M7.0\sim7.9$；

(a) 长轴方向



○ $M5.0\sim5.9$；+ $M6.0\sim6.9$；* $M7.0\sim7.9$；

(b) 短轴方向

图 1 甘肃地震烈度的衰减曲线

Fig. 1 The curves of seismic intensity attenuation in Gansu province.

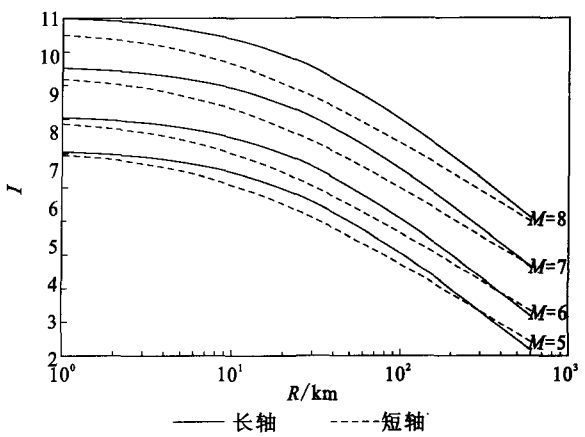


图 2 甘肃地震烈度的长短轴衰减曲线对比

Fig. 2 Cimparison between the major and minor axis curves of seismic intensity attenuation in Gansu province.

$$\sigma_a = 0.632 \tag{9}$$

短轴方向：

$$I_b = 2.019 + 1.398M - 2.943\log(R_b + 8)$$
$$\sigma_b = 0.632 \tag{10}$$

图 3 给出了本文与上述烈度衰减关系在长轴方

向的曲线。通过比较发现，在小于 10 km 左右的近场范围内，本文的烈度值与中国西部基本一致，均高于汪素云等人给出的烈度值；在近 60 km 的范围以内汪素云等给出的烈度值相对偏低，对 7～8 级地震尤为明显。除此之外，在 100 km 以内三种不同的衰减曲线差别不是太大，超过 100 km 差别逐渐明显，其中衰减最快的是第三代中国西部的衰减关系，最慢的是本文给出的衰减关系。由于其它两种衰减曲线均包含了云川藏、甘青宁、新疆部分的资料，特殊地形等的影响不可忽视。本文所选取的震例资料均在甘肃境内，发震地区地形大部分相对平坦，加之甘肃地区覆盖层不同的影响，烈度衰减较缓。因此本文给出的地震烈度衰减关系更符合甘肃的实际情况。

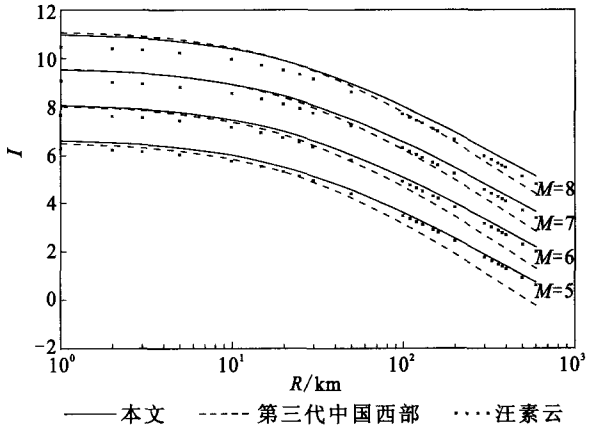


图 3　与中国西部地震烈度衰减关系曲线长轴方向的对比

Fig. 3　Comparison of the intensity attenuation curves among Gansu and other for Western China.

4　结语

由于烈度衰减规律的地域差异，对甘肃地区进行相对独立的地震烈度衰减关系的研究是必要的。本文选取了 1950 年至 2004 年间甘肃地区主震震级 $M\geqslant 5.0$、震中烈度 $I_0\geqslant 5$ 的地震 20 次，采用椭圆衰减模型建立了适合本地区特点的地震烈度衰减关系，其结果可应用于甘肃地震应急指挥技术系统中的震害快速评估模块中，也可用于甘肃地区地震工程等领域。

随着未来甘肃地区地震烈度资料的积累，本文给出的地震烈度衰减规律还可进一步进行完善研究。

本工作曾得到李佐唐、张苏平、高安泰老师的帮助，在此表示感谢。

[参考文献]

[1] 国家地震局兰州地震研究所. 甘肃省地震资料汇编[M]. 北京：地震出版社，1989.

[2] 陈达生、刘汉兴. 地震烈度椭圆衰减关系[J]. 华北地震科学，1989，7(3)：31-42.

[3] 汪素云，俞言祥，高阿甲，等. 中国分区地震动衰减关系的确定[J]. 中国地震，2000，16(2)：99-106.

[4] 董治平，赵仪全，幕文斋，等. 1954 年山丹 7¼级地震概述[J]. 西北地震学报，2005，27(1)：19-26.

[5] 时振梁，主编. 中国地震考察[M]. 北京：地震出版社，1987.

[6] 国家地震局. 中国地震烈度区划(1990)说明书[M]. 北京：地震出版社，1990.

[7] 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.

[8] 刘洪春，戴华光，李龙海，等. 对 1954 年民勤 7 级地震的初步研究[J]. 西北地震学报，2000，22(3)：232-235.

[9] 张肇成，罗兰格，李海华，等. 中国震例(1981－1985)[M]. 北京：地震出版社，1990.

[10] 张肇成，郑大林，徐京华，等. 中国震例(1986－1988)[M]. 北京：地震出版社，1999.

[11] 张肇成，郑大林，徐京华，等. 中国震例(1989－1991)[M]. 北京：地震出版社，2000.

[12] 陈棋福，郑大林，刘桂萍，等. 中国震例(1995－1996)[M]. 北京：地震出版社，2002.

[13] 王书明，林长佑，陈军营. 景泰 5.9 级地震后大地电磁跟踪监测研究[J]. 西北地震学报，2001，23(3)：297-300.

[14] 袁道阳，刘小龙，马尔曼，等. 2001 年 7 月 11 日甘肃省肃南县祁青 5.3 级地震的基本特征[J]. 西北地震学报，2003，25(1)：89-92.

[15] 陈永明，赵广堃，马尔曼，等. 2002 年玉门 5.9 级地震的震害特征及发震断裂[J]. 中国地震，2003，19(4)：431-436.

[16] 郑文俊，刘小凤，赵广堃，等. 2003 年 11 月 13 日甘肃岷县 M_S5.2 地震基本特征[J]. 西北地震学报，2005，27(1)：61-65.

[17] 石玉成，马尔曼，何文贵，等. 2003 年甘肃民乐－山丹 6.1、5.8 级地震震害特点及启示[J]. 世界地震工程，2006，22(3)：95-101.

[18] 何文贵，周志宇，马尔曼，等. 岷县－卓尼 5.0 级地震的基本特征和地质背景研究[J]. 地震研究，2006，29(4)：373-378.

[19] 马尔曼，石玉成，高晓明，等. 2003 年民乐－山丹 6.1、5.8 级地震灾害损失评估[J]. 西北地震学报，2007，29(1)：64-68.

[20] 苗庆杰，许萍. 山东及近邻区地震烈度衰减关系探讨[J]. 西北地震学报，2008，30(3)：282-287.

[21] 陈永明，袁道阳，何文贵，等. 兰州兴隆山北缘断裂新活动特征的初步研究[J]. 西北地震学报，2009，31(1)：66-70.