维普资讯 http://www.cqvip.com

第30卷 第3期
2008年9月

西北地震学报
NORTHWESTERN SEISMOLOGICAL JOURNAL

Vol. 30 No. 3
Sept., 2008

山东及近邻区地震烈度衰减关系探讨

苗庆杰[1,2]，许 萍[2]

（1. 中国科学技术大学，安徽 合肥 230026；2. 山东省地震局，山东 济南 250014）

摘 要：利用山东及近邻区34个地震的70条等震线数据，通过最小二乘法回归分析得到了山东及近邻区地震烈度衰减关系；同时根据地形与地质构造特征将山东及近邻区分为土层覆盖区和基岩出露区，分别拟合出了各自的地震烈度衰减关系。

关键词：地震烈度；衰减；等震线；山东及近邻区

中图分类号：P315.9 **文献标识码**：A **文章编号**：1000-0844(2008)03-0282-06

Study on the Formula of Seismic Intensity Attenuation in Shandong and Its Adjacent Areas

MIAO Qing-jie[1,2], XU Ping[2]

(1. *University of Science and Technology of China, Hefei* 230026, *China*;
2. *Earthquake Administration of Shandong Province, Jinan* 250014, *China*)

Abstract: The formula of seismic intensity attenuation for Shangdong and its adjacent areas is fitted by using 70 isoseismal lines from 34 earthquakes in this region. Meanwhile based on the difference of landform and geological structure characteristic, the region is divided into soil covered area and bedrock exposed area, the individual formula of seismic intensity attenuation for both areas are fitted also.

Key words: Seismic intensity; Attenuation; Isoseismal line; Shandong and its adjacent areas

0 引言

在地震区划和工程地震危险性分析中，地震烈度衰减关系式是不可缺少的主要依据之一。由于地震烈度衰减具有明显的地区性和方向性，因此不同地区应使用适合本区特点的衰减关系。魏光兴等[1]、华爱军等[2]曾使用山东地区及其附近的地震等烈度线资料研究给出过山东地区和胶东半岛及其海域的烈度衰减关系式。汪素云等[3]在重新评定鲁南地区地震烈度区划项目中曾选取了山东、河北、江苏、辽宁地区具有等震线资料的10个地震，以其回归分析得到的地震烈度衰减公式用于鲁南地区。最近十几年来山东相继发生了一些显著有感地震和破坏性地震，并且地震的宏观考察资料相对翔实，增加上述资料可以使所选取的等烈度线资料更能反映山东及近邻区的区域性特点。因此本文选取山东及近邻区有可靠等震线的地震资料，进行该地区地震烈度衰减关系的统计研究。

同一个地区内不同的地质构造单元也会造成烈度衰减规律的差别[4-6]。在已往地震烈度衰减规律的统计研究中，这种地质条件的影响未引起足够的重视，常把地质背景不同的所有资料混合使用，这种大区域平均的作法掩盖了因不同地形地质背景引起的烈度衰减规律的差别。区分这些差别具有实际意义。本文根据山东及近邻区地质构造背景不同的客观情况，分为土层覆盖区和基岩出露区，分别进行了统计分析。分区统计结果证实了土层覆盖区和基岩出露区的烈度衰减规律有一定的差异。

1 资料的选取与处理

山东内陆及其附近海域是中国东部地震活动较多的区域，其地震史料丰富，记载时间较连续。历史

收稿日期：2007-12-07
基金项目：山东省自然科学基金项目(Y2005E02)
作者简介：苗庆杰(1980-)，男(汉族)，山东定陶人，主要从事地震科研项目管理、地震学及工程地震研究.

维普资讯 http://www.cqvip.com

上曾发生过郯城8½级特大地震和多次7级以上强震,但现代地震多以中小地震为主。本文选取山东及近邻区的地震,起止时间为1937年至2006年。等烈度线资料来源于《中国近代地震目录(公元1912—1990年,$M_S \geq 4.7$)》[7]、《山东省历史地震目录》、《山东地区现代有感地震考察》[8]和山东省自1995年到2006年的地震考察报告。将所收集到的所有资料进行筛选,最后选出$M_S \geq 3.0$的34个地震,其震中分布如图1。这些地震都有非常详细的宏观调查资料,得到的等震线比用历史地震资料推测的要可靠得多,且全部为主震的等震线。

在所选的34个地震中,共量得70条可靠等震线的数据,如表1所示。其中属于土层覆盖区有17个地震41条等震线,属于基岩出露区有17个地震29条等震线。

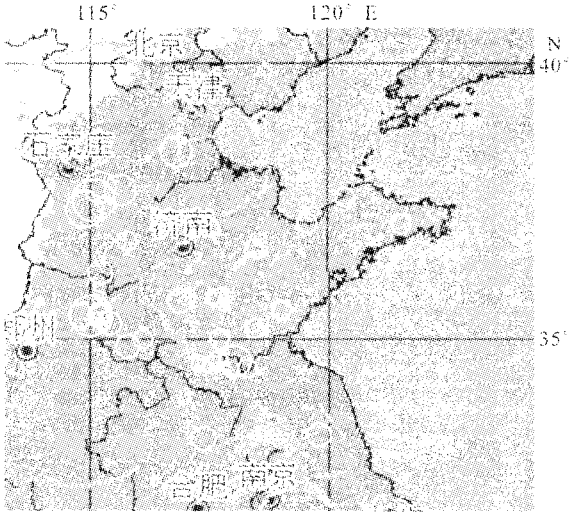

图1　山东及近邻区地形和所选震例震中分布图

Fig. 1　The landform and chosen earthquake epicentres in Shandong and its adjacent areas.

表1　山东及近邻区地震烈度衰减数据表

编号	日期	震中位置 北纬	震中位置 东经	地名	深度/km	震级/M_S	震中烈度/I_0	烈度/I	长半轴R_a/km	短半轴R_b/km	所在区域
1	1937-08-01	35°24′	115°6′	菏泽		7	IX	VI VII VIII IX	248 54 17 8	165 33 13 5	W
2	1966-03-08	37°21′	114° 55′	河北隆尧	8	6.8	IX +	V VI VII VIII IX	233 93 40 20 17	207 47 27 13 7	W
3	1966-03-22	37°30′	115°06′	河北宁晋	9	7.2	X	V VI VII VIII IX X	386 236 121 73 30 8	321 186 64 43 20 5	W
4	1967-12-03	37°43′	115°13′	河北束鹿	25	5.7	VII	VI VII	16 8	12 5	W
5	1968-04-02	36°12′	115°12′	冠县		4.8	V	V	26	19	W
6	1969-07-18	38°12′	119°24′	渤海		7.4		V VI VII	300 171 90	270 154 86	E
7	1970-08-10	35°42′	116°53′	曲阜	12	4.6	VI	VI V IV	23 65 113	11 33 65	E
8	1970-12-12	36°45′	115°45′	临清	30	3.8	V	V IV	5 15	4 14	W
9	1973-12-31	38°24′	116°48′	河北河间	19	5.3	VI	V VI	55 13	43 10	W
10	1974-11-18	35°00′	117°44′	苍山	17	3.1	V	V IV	8 16	5 11	E
11	1976-11-02	33°10′	119°50′	江苏盐城		4.6	V	IV V	63 26	37 17	W

维普资讯 http://www.cqvip.com

续表1

编号	日期	震中位置 北纬	震中位置 东经	地名	深度/km	震级/M_S	震中烈度/I_o	烈度/I	长半轴R_a/km	短半轴R_b/km	所在区域
12	1977-07-09	34°52′	115°48′	成武	25	4.8	V	VI V	5 26	3 18	W
13	1978-06-05	35°27′	114°08′	河南新乡		4.5	V+	V	25	11	W
14	1979-03-02	33°11′	117°25′	安徽固镇	11	4.9	VI	V VI	12 7	7 4	W
15	1980-12-15	34°37′	117°41′	枣庄	11	3.8	V+	V	8	6	E
16	1981-11-09	37°40′	114°99′	河北隆尧	20	5.8	VI	VI	10	4	W
17	1981-12-23	35°17′	115°25′	菏泽	19	4.1	VI	VI V	6 21	4 15	W
18	1982-01-20	37°02′	117°32′	邹平	26	3.7	IV	IV	15	11	E
19	1982-03-26	37°05′	121°34′	乳山	10	3.7	V	V	11	7	E
20	1983-11-07	35°17′	115°17′	菏泽	12	5.9	VII+	IV V VI VII	272 136 68 12	220 80 24 6	W
21	1985-05-08	36°38′	118°27′	益都	15	3.6	IV+	IV	23	18	E
22	1985-06-25	35°43′	117°40′	新泰	14	3.6	V	IV V	33 11	21 7	E
23	1985-07-11	35°43′	117°43′	新泰	17	3.3	IV+	IV	30	19	E
24	1989-05-28	35°19′	118°48′	莒南	26	3.9	V	V IV	7 68	4 56	E
25	1990-08-01	34°54′	117°56′	苍山	12	3.9	V	V IV	8 48	3 35	E
26	1991-02-06	37°07′	119°56′	莱州	6	3.2	V	V IV	3 8	2 5	E
27	1995-09-20	34°57′	118°06′	苍山	12	5.2		VI V	14 45	3 35	E
28	2001-04-14	35°55′	119°00′	五莲		3.2	IV+	IV	11	8	E
29	2002-08-09	35°00′	116°12′	单县成武		3.1	V	V IV	5 18	3 10	W
30	2003-04-27	35°44′	115°20′	莘县		3.4		IV	6	3	W
31	2003-08-18	37°54′	120°36′	长岛	8	3.7	IV+	IV	21	13	E
32	2005-01-18	36°48′	121°25′	乳山		3.8	VI	V IV	9 30	5 18	E
33	2005-06-10	34°45′	118°27′	郯城		3.9	V	V IV	11 25	6 15	E
34	2006-04-09	35°44′	115°23′	莘县		4.1		V IV	10 34	5 22	W

注:W代表土层覆盖区,E代表基岩出露区

对所选取的资料量取每条等震线的长、短半轴R_a和R_b,通过二元回归分析分别得出烈度随震级及等震线长、短半轴的变化关系。

计算地震烈度衰减的公式很多,本文采用目前国际通用,也是我国最常用的衰减公式进行拟合,即

$$I = a_0 + a_1 M + a_2 \ln(R + H) \qquad (1)$$

式中I为烈度;a_0、a_1、a_2为回归系数;M为面波震级;R为距离(km),在回归计算中即为等震线的长、短轴的半径;H为回归参数,它的选取原则是取一系列值进行计算,取使得烈度I的标准差最小的值作为最终采用的结果。

2 主要结果及分析

2.1 山东及近邻区地震烈度衰减关系

本文利用所选用山东及其邻区全部34个地震70条等震线(表1),依据式(1)使用最小二乘法进行拟合,得到山东及近邻区的烈度衰减公式如下:

长轴:$I = 5.276\,5 + 1.153\,6M - 1.414\,2\ln(R + 20)$

$\sigma = 0.48$

短轴:$I = 4.024\,3 + 1.139\,2M - 1.238\,1\ln(R + 11)$

$\sigma = 0.47$

2.2 不同区域统计回归结果

考虑到地区构造及地质条件对地震烈度衰减的

维普资讯 http://www.cqvip.com

影响[4-6],本文分别依据土层覆盖区和基岩出露区中的地震数据拟合出了各区域的地震烈度衰减关系。

土层覆盖区:

长轴:$I = 3.413\,6 + 1.287\,6M - 1.229\,3\ln(R + 10)$

$\sigma = 0.51$

短轴:$I = 2.659\,0 + 1.265\,0M - 1.137\,9\ln(R + 6)$

$\sigma = 0.51$

基岩出露区:

长轴:$I = 6.405\,0 + 0.959\,0M - 1.414\,0\ln(R + 28)$

$\sigma = 0.37$

短轴:$I = 4.505\,0 + 0.955\,2M - 1.101\,6\ln(R + 13)$

$\sigma = 0.36$

图2给出了土层覆盖区,基岩出露区的长轴和短轴的对比图。

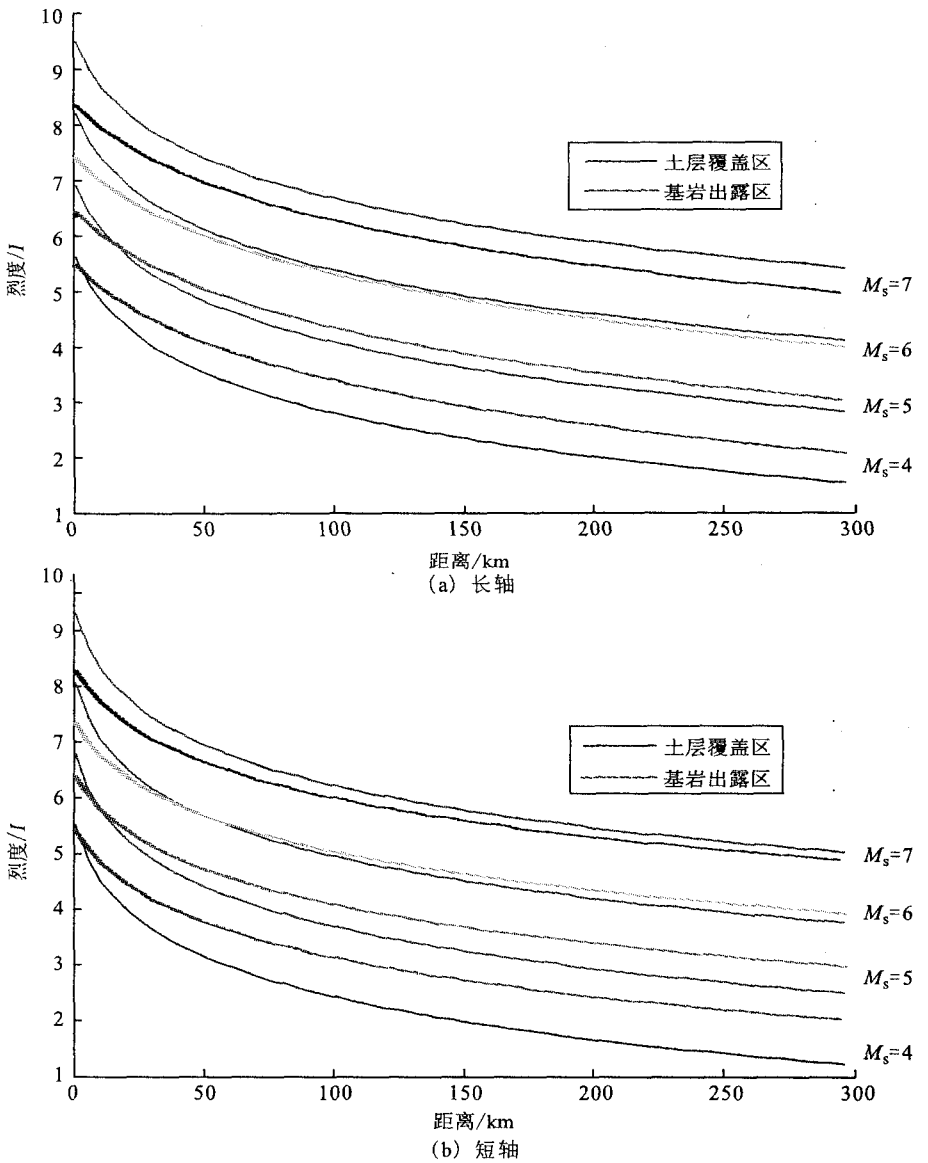

图2　土层覆盖区,基岩出露区地震烈度衰减关系对比

Fig. 2　Comparison of the formula of seismic intensity attenuation for soil covered area and bedrock exposed area.

由图2可见,在极震区土层覆盖区的烈度要比基岩出露区的烈度大,随着震中距的增大土层覆盖区比基岩出露区的烈度衰减得快。分析造成这种差别的原因是在极震区由于土层覆盖层区的地基松软,使得建筑物的破坏加重,造成烈度偏高;随着震中距的增大,由于土层覆盖层对地震波能量的吸收作用相对于基岩层强,而使得其烈度衰减速率较快。这与其他学者[9]得到的结果一致。

2.3　与前人所得结果的比较

魏光兴等[1]根据山东、河北、江苏、安徽、河南及渤海地区14个地震,37条烈度等震线资料,统计回归得到的山东地区地震烈度衰减关系为

维普资讯 http://www.cqvip.com

长轴:$I = 4.182 + 1.398M - 1.532\ln(R + 20)$

$\sigma = 0.44$

短轴:$I = 1.220 + 1.450M - 1.113\ln(R + 4)$

$\sigma = 0.44$

汪素云等[3]选取了山东、河北、江苏、辽宁地区具有等震线资料的10个地震,回归得到的地震烈度衰减公式为

长轴:$I = 3.164 + 1.496M - 1.483\ln(R + 15)$

$\sigma = 0.41$

短轴:$I = 1.514 + 1.501M - 1.251\ln(R + 7)$

$\sigma = 0.37$

图3给出了本文结果与已有的山东地区地震烈度衰减关系的对比。由于本文所选取的震例震中全部位于山东及其近邻区内,且增加了最近十几年来在本区所发生的一些显著有感地震和破坏性地震,因此更接近本区实际。由图3可见,在震级较大时本文所得到的烈度与前人结果基本一致,但震级较小时本文得到的衰减关系得到的烈度相对偏高,且从总体上看本文烈度衰减速率较慢。通过分析认为,形成这种现象的原因可能是本文采用的山东地震烈度资料数据中有较多的基岩出露区,他们使用的资料中更多的是华北平原区的地震,属于土层覆盖区,由于土层区对地震波能量的吸收作用强,其地震的烈度衰减较基岩出露区更快一些。

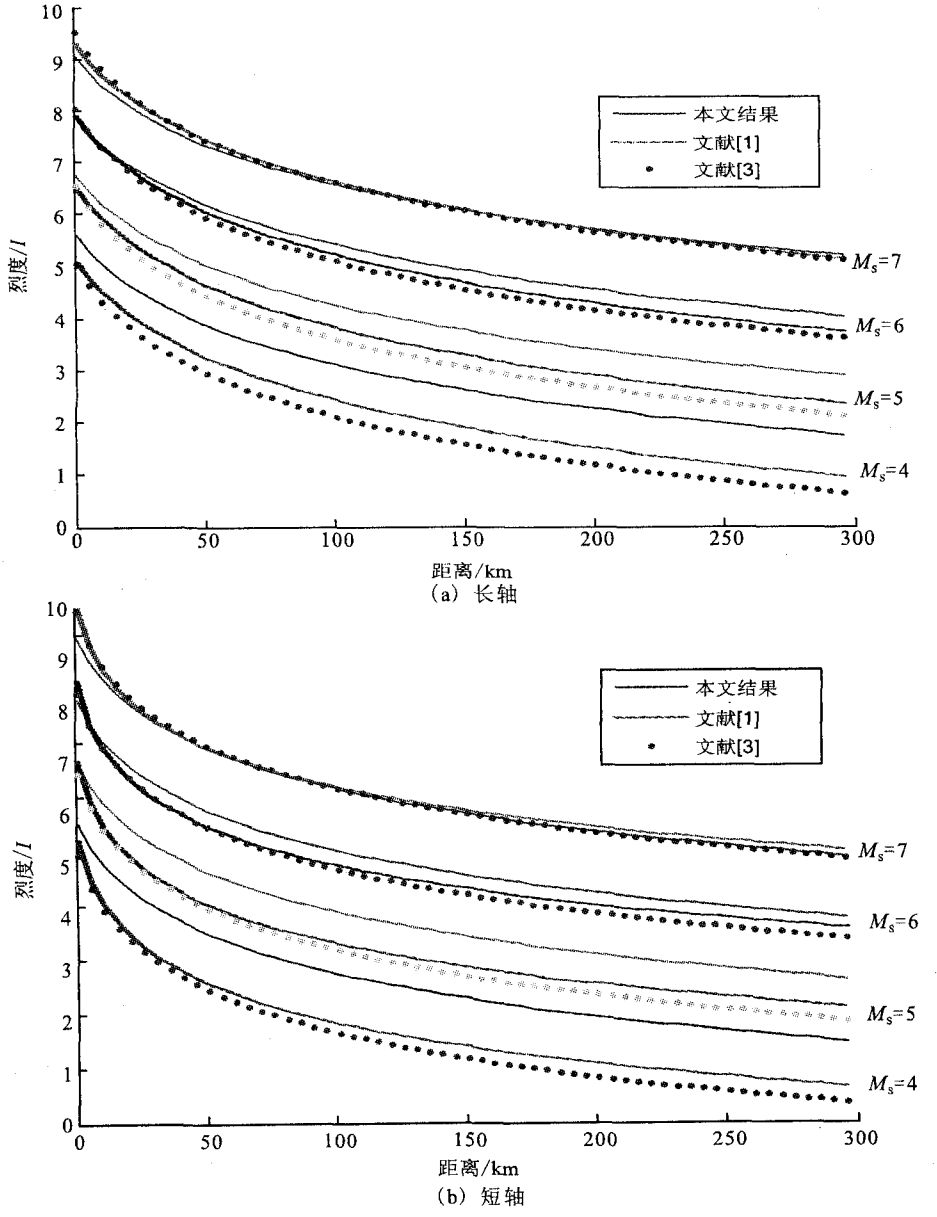

图3 本文得到的烈度衰减关系与文献[1、3]的比较

Fig. 3 Comparison of the seismic intensity attenuation relationship among this paper and other results[1,3].

维普资讯 http://www.cqvip.com

由以上结果可知,本文得到的地震烈度衰减公式标准差小,相关系数大,由于采用的震例多且所选范围不大,更为符合山东及近邻区的区域性特点。

3　结论与讨论

(1) 本文使用山东及近邻区34个地震等震线资料,统计拟合得到山东及近邻区的地震烈度衰减关系式:

长轴:$I = 5.276\,5 + 1.153\,6M - 1.414\,2\ln(R + 20)$

$\sigma = 0.48$

短轴:$I = 4.024\,3 + 1.139\,2M - 1.238\,1\ln(R + 11)$

$\sigma = 0.47$

该关系式拟合结果标准差小,相关系数大,使用了较多的本区地震且所选取的范围小,应该更为符合山东及近邻区的区域性特点。

(2) 对山东及近邻区等震线进行土层覆盖区和基岩出露区划分,并用各区的等震线作统计分析,分别得出了山东及近邻区土层覆盖区和基岩出露区的地震烈度衰减公式。结果表明在极震区,震级较高时土层覆盖区震中烈度高、基岩出露区震中烈度低;但随着震中距的增大,土层覆盖区烈度衰减较基岩出露区烈度衰减快。区分两者烈度衰减的差异,对开展山东及近邻区烈度区划及工程场地的地震危险性评估具有重要意义。

(3) 本文得到的地震烈度衰减关系与前人所做结果的对比表明,在震级较大时,本文所得到的烈度与前人结果基本一致,但震级较小时,本文得到的衰减关系得到的烈度相对偏高;从总体上看本文烈度衰减速率较慢。其原因可能是本文采用了较多的山东内陆基岩出露区的地震烈度资料数据,他们使用的资料中更多的是华北平原土层覆盖区的地震,由于土层区对地震波能量的吸收作用强,其地震的烈度衰减较基岩出露区更快一些。此外,这是否还与本文使用的资料中有一些较低震级的烈度资料有关,尚需进一步探讨。

本项工作得到周翠英研究员、傅容珊教授的悉心指导,同时得到梁凯利主任和周彦文同志的帮助,在此一并表示衷心感谢。

[参考文献]

[1] 魏光兴,华爱军,蒋海昆,等. 山东地区地震烈度衰减关系[J]. 东北地震研究,1991,7(4):66-71.

[2] 华爱军,魏光兴,蒋海昆. 胶东及其北部沿海地震烈度衰减关系[J]. 地震学刊,1993,13(4):26-29.

[3] 江素云,武宦英. 鲁南地区地震动参数的衰减关系[J]. 中国地震,1988,4(3):182-186.

[4] 孙崇绍. 西北黄土地区河谷城市地震动参数小区研究[J]. 西北地震学报,2007,29(1):3-11.

[5] 袁丽侠. 海原大地震极震区内烈度衰减异常探讨[J]. 防灾减灾工程学报,2004,24(4):441-445.

[6] 孙平善,廖振鹏. 平原和山区地震烈度衰减规律的比较[J]. 地震工程与工程振动,1990,10(1):35-40.

[7] 中国地震局震害防御司编. 中国近代地震目录(公元1912年-1990年,$M_S \geqslant 4.7$)[M]. 北京:中国科技出版社,1999.

[8] 魏光兴,等. 山东地区现代有感地震考察[M]. 北京:地震出版社,1998.

[9] 唐丽华,李锰,王海涛. 伽师—巴楚地区中强地震加速衰减关系研究[J]. 西北地震学报,2007, 29(4):377-384.