

# 关中地区地震烈度与地震动 参数的衰减规律

狄秀玲 丁韞玉

(陕西省地震局)

## 一、前言

地震烈度及地震动参数的衰减规律是计算工程场地地震动参数的重要环节。不同地区其衰减规律差别较大。本文利用关中及其邻近地区的地震宏观烈度资料研究了关中地区的地震烈度及地震动参数的衰减规律。

## 二、烈度衰减规律

我们选用了20次地震,共57条等震线的长短轴半径数据,利用多元回归分析方法对公式

$$I = A + BM - C \ln(\Delta + R_0) \quad (1)$$

进行拟合,结果为:

长轴:  $I = 6.6490 + 1.3362M - 1.8311 \ln(\Delta A + 40); \quad (2)$

$$\sigma = 0.652。$$

短轴:  $I = 2.4436 + 1.2614M - 1.0539 \ln(\Delta B + 5.0), \quad (3)$

$$\sigma = 0.617。$$

式中I为地震烈度, M为地震震级,  $\Delta A$ 、 $\Delta B$ 分别代表长短轴半径,  $\sigma$ 为标准差。对 $R_0$ 的选取是利用简单的搜索过程,使回归的标准差为最小。

另外,用21次地震的62条等震线的短轴数据对(1)式拟合的结果是:

$$I = 2.3414 + 1.2947M - 1.0711 \ln(\Delta B + 5.0), \quad (4)$$

$$\sigma = 0.628。$$

比较(3)、(4)式可以看出,对于用较多的地震资料共同拟合,其中某一地震的取舍与否对拟合结果影响不太大。

用21次地震的62条等震线的长、短轴数据对公式  $I = P + I_0 - C \ln R - DR \quad (5)$

拟合,得到

长轴:  $I = 1.1003 + I_0 - 0.5497 \ln R - 0.0076R; \quad (6)$

短轴:  $I = 1.5939 + I_0 - 0.8761 \ln R - 0.0051R。 \quad (7)$

将文献[1]中的震中烈度  $I_0$  与震级  $M$  的转换关系式  $I_0 = -1.5 + 1.5M$  代入 (6)、(7) 式, 则

长轴: 
$$I = -0.3997 + 1.5M - 0.5497 \ln R - 0.0076R, \quad (8)$$

$$\sigma = 0.63。$$

短轴: 
$$I = 0.0939 + 1.5M - 0.8761 \ln R - 0.0051R, \quad (9)$$

$$\sigma = 0.58。$$

其中  $R = \sqrt{\Delta^2 + h_0^2}$ ;  $h_0 = 6.0$ 。  $h_0$  是通过实际搜索过程选取的。当  $h_0$  在 6.0 附近变化时, 回归离差达到最小。

我们还将关中地区与辽宁、西南及华北地区的衰减曲线作了比较。图 1 为用公式 (4) 及在辽宁核电站地震危险性分析中应用的衰减公式  $I = 0.3835 + 1.6522M - 1.2302 \ln(\Delta + 5)$  和二滩危险性分析中应用的衰减公式  $I = 7.195 + 1.0743 - 2.075 \ln(\Delta + 10)$  作出的衰减曲线。由图 1 a 可以看出, 当震级较大时, 本文给出的衰减曲线位于下方; 当震级较小时, 则正好相反。但两条曲线的衰减速度相差不大, 这可能是反映了不同地区的震级与震中烈度关系的差异。图 1 b 中的两条曲线有明显差异, 反应了两地区的衰减速度不同, 关中地区的衰减速度较慢。

图 2 为用西南及华北地区的衰减公式  $I = 0.9001 + 1.5M - 1.3522 \ln R$  ( $\sigma = 0.69$ ) 及  $I = 0.2985 + 1.5M - 0.9977 \ln R - 0.0018R$  ( $\sigma = 0.71$ ) 以及本文给出的公式 (9) 作出的衰减曲线。上述两式中  $R = \sqrt{\Delta^2 + 6^2}$ 。由图 2 可以看出, 三条曲线有大致相同的衰减趋势。因为拟合三个公式时, 采用了相同的震中烈度  $I_0$  与震级  $M$  的转换关系式, 因此三条曲线具有几乎相同的起点。

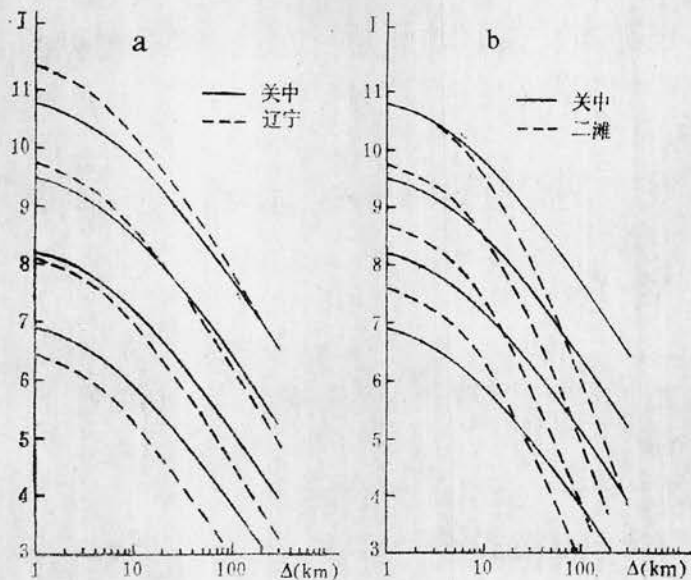


图 1 关中及辽宁、二滩烈度衰减曲线比较

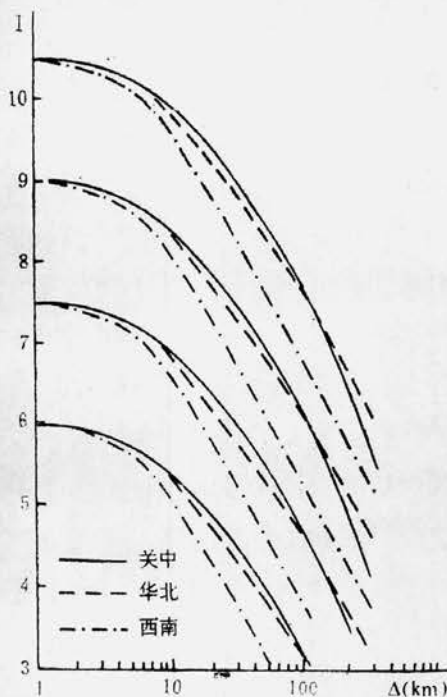


图 2 关中、华北和西南地区烈度衰减曲线比较

### 三、地震动衰减规律

由于关中地区几乎没有强震记录, 不能直接建立地震动参数衰减的经验公式, 因此, 只

能利用该地区的烈度衰减公式,再借助于其它地区的烈度及地震动参数的衰减关系,估算该地区的地震动衰减公式。本文依照文献〔1〕中介绍的烈度距离法(IR法),对关中地区的地震动参数的衰减公式进行了估计。

### 1. 基本思路

设同时具有强震观测资料和宏观烈度资料的地区1,由统计方法分别得出了该地区地震动参数和烈度的如下衰减规律:

$$\ln Y_1 = f_1(M, R) + e_1; \quad (10)$$

$$I_1 = F_1(I_0, R) + E_1. \quad (11)$$

对地震活动区2,由历史等震线资料统计得到烈度衰减规律为

$$I_2 = F_2(I_0, R) + E_2. \quad (12)$$

假定地区1、地区2有大致相同的 $I_0$ 与 $M$ 的转换关系,取为:

$$I_0 = G(M) + E_0, \quad (13)$$

$e_1$ 、 $E_0$ 、 $E_1$ 、 $E_2$ 表示公式的不确定性,均假定为均值等于0的正态随机变量。将(13)式代入(11)式,则

$$M = \phi_1(I_1, R, E_0, E_1). \quad (14)$$

再将(14)式代入(10)式得:

$$\ln Y_1 = f_1[\phi_1(I_1, R, E_0, E_1), R] + e_1. \quad (15)$$

若假定两个地区在相同距离处烈度相等,则地震动参数相等,亦即:

$$I_1(R) = I_2(R),$$

则

$$\ln Y_1(R) = \ln Y_2(R).$$

将(15)式推广到地区2,则有

$$\begin{aligned} \ln Y_2 &= f_1[\phi_1(I_2, R, E_0, E_1), R] + e_1 \\ &= f_1[\phi_1(F_2(G(M) + E_0, R) + E_2, R, E_0, E_1), R] + e_1 \\ &= f_2(M, R) + e_2. \end{aligned} \quad (16)$$

$f_2(M, R)$ 的形式取决于经验公式(10)、(11)、(12)、(13)。 $e_2$ 由 $e_1$ 、 $E_0$ 、 $E_1$ 和 $E_2$ 估计。

### 2. 衰减规律

鉴于美国西部具有丰富的强震观测资料,本文利用文献〔1〕中给出的美国西部烈度经验关系式:

$$\begin{aligned} I &= 0.0580 + 1.5M - 0.8390 \ln R - 0.0091R, \\ R &= \sqrt{\Delta_2 + 6.2}, \sigma = 0.85 \end{aligned} \quad (17)$$

及地震动参数衰减关系(文献〔1〕中表1),采用本文烈度衰减公式(8)、(9),推算出了关中地区的地震动参数衰减规律。结果如表1、表2所示。

关中地区基岩峰值加速度衰减曲线(短轴)与我国华北及美国西部的衰减曲线对比见图3,相应于 $\Delta = 20$ 公里的基岩加速度反应谱对比见图4。



表1 关中地区基岩加速度反应谱和峰值加速度的衰减关系(短轴)

T (sec)	a	b	c	d	$\sigma$
0.0500	-4.2797	0.8673	0.9083	0.0044	0.7341
0.1000	-2.9123	0.6691	0.8075	0.0064	0.6428
0.1500	-2.4533	0.6470	0.8510	0.0058	0.6250
0.2000	-3.5558	0.6478	0.4339	0.0086	0.6840
0.2500	-3.0648	0.6783	0.7419	0.0048	0.7123
0.3000	-3.9539	0.7486	0.6275	0.0053	0.7822
0.3500	-4.5400	0.8864	0.6608	0.0068	0.8403
0.4000	-3.9654	0.8351	0.7627	0.0064	0.7873
0.5000	-5.1436	0.8774	0.5749	0.0063	0.8290
0.6000	-7.1259	1.1000	0.4496	0.0069	0.9397
0.7000	-7.6275	1.1458	0.4611	0.0063	0.9370
0.8000	-7.5932	1.0535	0.3180	0.0077	0.9393
0.9000	-8.4646	1.1926	0.3362	0.0071	1.0767
1.0000	-8.8210	1.2969	0.4680	0.0057	1.1766
1.5000	-10.5263	1.5589	0.6710	0.0009	1.2463
2.0000	-11.9197	1.6672	0.5620	0.0025	1.3622
2.5000	-11.9537	1.4972	0.3120	0.0030	1.3019
3.0000	-12.6451	1.5316	0.2263	0.0036	1.3390
4.0000	-12.8225	1.6061	0.0806	0.0052	1.4746
峰值加速度(g)	-3.7157	0.8038	1.1061	0.0029	0.8297
峰值速度(cm/s)	-0.5305	0.7759	0.6054	0.0037	0.8557

$$\ln Y = a + bM - C \ln R - d \cdot R; R = \sqrt{\Delta^2 + \sigma^2}; \text{ 阻尼比 } 0.05$$

表2 关中地区基岩加速度反应谱和峰值加速度的衰减关系(长轴)

T (sec)	a	b	c	d	$\sigma$
0.0500	-4.5651	0.8673	0.7195	0.0058	0.7478
0.1000	-3.1327	0.6691	0.6620	0.0075	0.6521
0.1500	-2.6712	0.6470	0.7102	0.0069	0.6339
0.2000	-3.7690	0.6478	0.3430	0.0097	0.6922
0.2500	-3.2380	0.6783	0.5943	0.0059	0.7215
0.3000	-4.2032	0.7486	0.4646	0.0066	0.7918
0.3500	-4.8317	0.8864	0.4679	0.0083	0.8528
0.4000	-4.2402	0.8351	0.5809	0.0078	0.7991
0.5000	-5.4323	0.8774	0.3840	0.0077	0.8414
0.6000	-7.4878	1.100	0.2102	0.0087	0.9569
0.7000	-8.0045	1.1458	0.2118	0.0083	0.9556
0.8000	-7.9399	1.0535	0.0887	0.0094	0.9551
0.9000	-8.8570	1.1926	0.0767	0.0091	1.0944
1.0000	-9.2477	1.2969	0.1858	0.0079	1.1957
1.5000	-11.0393	1.5589	0.3317	0.0035	1.2723
2.0000	-12.4683	1.6672	0.1993	0.0052	1.3894
2.5000	-12.4463	1.4972	-0.0138	0.0055	1.3248
3.0000	-13.1491	1.5316	-0.1070	0.0062	1.3623
4.0000	-14.3510	1.6061	-0.2689	0.0079	1.4979
峰值加速度(g)	-3.9802	0.8038	0.9312	0.0042	0.8401
峰值速度(cm/s)	-0.7859	0.7759	0.4366	0.0050	0.8651

$$\ln Y = a + bM - C \ln R - d \cdot R; R = \sqrt{\Delta^2 + \sigma^2}; \text{ 阻尼比 } 0.05$$

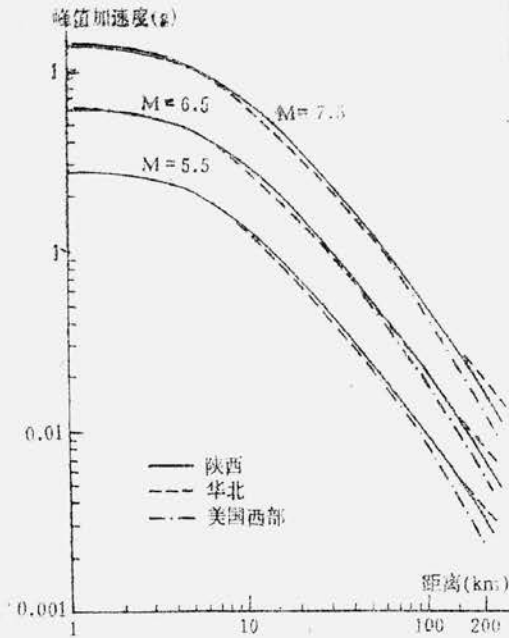


图3 基岩峰值加速度衰减曲线

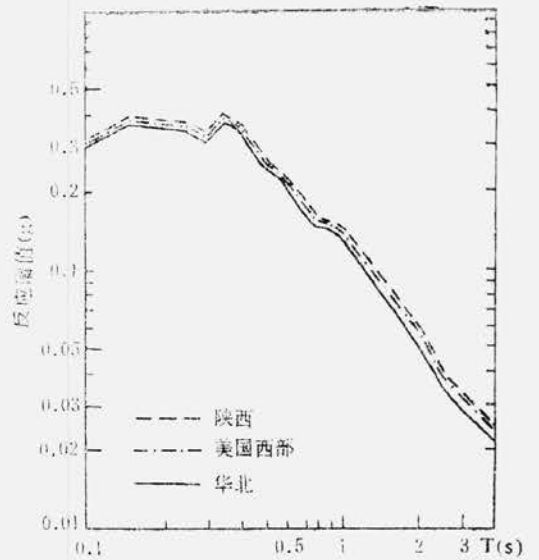


图4 基岩加速度反应谱  
( $\Delta = 20\text{km}$ ,  $M = 6.5$ )

#### 四、结 语

本文给出的关中地区烈度及地震动参数的衰减规律，都是在该地区的宏观烈度资料基础上得出的，基本上反映了该地区的地震地质特性。本文的研究成果，已经在陕西铝厂工程地震及咸阳市地震小区划工作中应用。

#### 参 考 文 献

- [1] 田启文、廖振鹏、孙平善，根据烈度资料估算我国地震动参数衰减规律，地震工程与工程振动，Vol. 6, No. 1, 1986.

### ATTENUATION LAW OF SEISMIC INTENSITY AND GROUND MOTION PARAMETERS IN GUANZHONG REGION

Di Xiuling, Ding Yunyu

(Seismological Bureau of Shaanxi Province, Xi'an, China)