

# 中国东部和西部地区水平向基岩 加速度反应谱衰减关系<sup>1</sup>

俞言祥 汪素云

(中国地震局地球物理研究所, 北京 100081)

**摘要** 把美国西部地区作为参考区, 采用我国地震动参数区划图工作时所使用的美国西部地区强震资料建立参考区水平向基岩短周期加速度反应谱衰减关系; 采用美国南加州地区数字宽频带记录建立参考区水平向基岩长周期加速度反应谱衰减关系。与由丰富的等震线资料统计得出的我国东部地区和西部地区的地震烈度衰减关系一起, 用转换方法分别得到了我国东部和西部地区水平向基岩加速度反应谱衰减关系。对该衰减关系在重大工程地震安全性评价工作中的应用提出了建议。

**关键词:** 反应谱 衰减关系 地震安全性评价

## 引言

建立地震动参数衰减关系是地震区划和重大工程场地地震安全性评价工作的重要环节。在有较多强震记录的地区一般采用经验方法建立地震动参数衰减关系。在缺少强震记录的我国, 一般采用胡聿贤等提出的转换方法建立地震动参数衰减关系 (Hu and Zhang, 1983; 胡聿贤、张敏政, 1984)。转换方法需要建立本区的地震烈度衰减关系和参考地区的地震烈度、地震动衰减关系, 再通过转换步骤得到本区的地震动参数衰减关系。

目前我国许多工程场地地震安全性评价工作还在直接使用霍俊荣得到的我国分区地震动参数衰减关系 (霍俊荣, 1989), 或是由霍俊荣得到的美国西部地区的地震动参数衰减关系 (霍俊荣, 1989) 作为参考地区衰减关系, 与场址所在地区的烈度衰减关系一起, 转换得到场址区的地震动参数衰减关系。但是, 这类衰减关系有几点需要改进: (1) 霍俊荣所使用的强震记录截止到 1986 年, 自那以后又在美国西部地区多次地震中获得了大批资料, 包括 1989 年 Loma Prieta 地震、1992 年 Landers 地震、1994 年 Northridge 地震等具有较大影响的强震记录; (2) 用模拟式强震记录得到的加速度反应谱衰减关系在长周期段 (周期  $T > 3s$ ) 是不可

1 国家自然科学基金项目 (40374017)、国际科技合作重点项目 (2004DFA06000)、中国地震局“十五”重点项目“地震安全性评价与结构抗震研究”资助。中国地震局地球物理研究所论著号 06AC2025

[收稿日期] 2006-06-12

[作者简介] 俞言祥, 男, 生于 1964 年。博士, 研究员。主要从事地震动特性研究、地震安全性评价等工作。

E-mail: yuyx@cea-igp.ac.cn

靠的，此类衰减关系在大震级时反应谱曲线的长周期段随周期下降很快，甚至快于低震级的反应谱，这与大地震具有更多长周期分量的观测事实是不相符的，因此，需要寻找具有可靠长周期信息的新型资料来作为建立长周期反应谱衰减关系的基础数据。在中国地震动参数区划图编制工作中，作者利用大量等震线资料建立了我国东部和西部地区的地震烈度衰减关系，用美国西部的最新强震记录建立了参考区基岩有效峰值加速度衰减关系，用转换方法得到了我国东部和西部地区的基岩有效峰值加速度衰减关系（汪素云等，2000）。为了满足工程场地地震安全性评价工作的需要，本文采用我国地震动参数区划图编制工作时所使用的美国西部地区强震资料建立参考区水平向基岩短周期加速度反应谱衰减关系，采用美国南加州地区数字宽频带记录建立参考区水平向基岩长周期加速度反应谱衰减关系，综合得到参考区水平向基岩加速度反应谱衰减关系，用转换方法分别得到我国东部和西部地区的加速度反应谱衰减关系。

## 1 基础资料

用转换方法获得本区的加速度反应谱衰减关系，需要建立参考地区的地震烈度和加速度反应谱衰减关系以及本区的地震烈度衰减关系。本文以美国西部地区作为参考地区，主要是考虑到美国西部不但有大量的强震记录，也有丰富的地震烈度资料，符合选择参考地区的条件，而且在我国地震动参数区划图编制工作中，也论证过美国与中国所采用的烈度标度大致是一致的，即分别统计了美国及中国地震震级与震中烈度之间的关系，经过对回归系数的  $t$  检验，美国与中国的震级与震中烈度的关系以及中国各区之间的回归系数均在 0.01 显著性水平上无显著性差异<sup>1</sup>。

### 1.1 美国西部地区水平向基岩加速度反应谱衰减关系

考虑到模拟式强震记录不适合于研究长周期地震动特性（Hu and Yu, 2000; 俞言祥, 2002），本文用美国西部地区的强震记录统计短周期加速度反应谱衰减关系，用美国南加州地区的宽频带数字记录统计长周期加速度反应谱衰减关系。

衰减模型如下式所示：

$$\lg Sa = c_1 + c_2 M + c_4 \lg [R + c_5 \exp(c_6 M)] \quad (1)$$

式中  $Sa$  代表加速度反应谱或峰值加速度，单位为  $\text{cm/s}^2$ ； $M$  为面波震级； $R$  是震中距，单位  $\text{km}$ ； $c_1, c_2, c_4, c_5$  和  $c_6$  是回归系数。

将加速度反应谱衰减关系的短周期段与长周期段在周期  $T=1.5\text{s}$  处相接，即  $T=0.04—1.2\text{s}$  用短周期反应谱衰减关系， $T=1.5—6\text{s}$  用长周期反应谱衰减关系，得到了美国西部地区的水平向基岩加速度反应谱衰减关系（阻尼比  $\zeta_5=5\%$ ）。以式（1）中的系数  $c_1, c_2, c_4, c_5$  和  $c_6$  表示（见表 1），表中  $\sigma_{\lg Sa}$  为标准差。

震中距  $R=10\text{km}, 50\text{km}, 100\text{km}$  和  $200\text{km}$  的反应谱衰减关系曲线见图 1（震级  $M=5, 6, 7, 8$ ）。

### 1.2 美国西部地区地震烈度衰减关系

美国西部地震烈度衰减关系选用了 Chandra（1979）对美国圣安德烈斯地区 1906—1966

1 汪素云、高阿甲、俞言祥，1999. 中国分区地震动衰减关系的确定. 中国地震局“九五”重点项目子专题报告 (95-05-03-04-03).

年间的 10 次地震的等震线资料研究结果, 并根据 Gutenberg and Richter (1956) 的美国加州震级与震中烈度的关系式, 将 Chandra 公式中的震中烈度换算成震级  $M$ 。烈度衰减关系为:

$$I = 0.514 + 1.500M - 0.00659R - 2.014 \log(R + 10) \sigma = 0.274 \quad (2)$$

式中  $M$  为震级;  $R$  为震中距, 单位 km;  $\sigma$  是标准差。

### 1.3 中国东部和西部地区地震烈度衰减关系

大致以东经  $105^\circ$  为界, 将中国分为东部和西部两个区。仅选用了有近代地震仪器测定震级的地震, 舍弃了由震中烈度换算出震级的历史地震。共选取了发生在我国境内的 258 个 5.0 级以上地震的等震线图, 所选用的等震线共计 719 条。

表 1 美国西部水平向基岩加速度反应谱衰减关系系数 (临界阻尼比 5%)

Table 1 Coefficients of attenuation relations of acceleration response spectra for western U.S. ( $\zeta=0.05$ )

周期 $T(s)$	$c_1$	$c_2$	$c_4$	$c_5$	$c_6$	$\sigma_{lg Sa}$
PGA	1.297	0.566	-1.723	1.046	0.451	0.240
0.04	1.387	0.557	-1.728	1.046	0.451	0.225
0.05	1.410	0.558	-1.733	1.046	0.451	0.223
0.07	1.556	0.556	-1.775	1.046	0.451	0.224
0.10	1.829	0.544	-1.820	1.046	0.451	0.229
0.12	1.782	0.551	-1.796	1.046	0.451	0.242
0.14	1.781	0.556	-1.796	1.046	0.451	0.253
0.16	1.759	0.566	-1.805	1.046	0.451	0.245
0.18	1.655	0.578	-1.784	1.046	0.451	0.248
0.20	1.589	0.573	-1.721	1.046	0.451	0.261
0.24	1.440	0.581	-1.668	1.046	0.451	0.260
0.26	1.393	0.591	-1.685	1.046	0.451	0.263
0.30	1.486	0.565	-1.649	1.046	0.451	0.282
0.34	1.365	0.593	-1.676	1.046	0.451	0.309
0.36	1.293	0.598	-1.660	1.046	0.451	0.320
0.40	1.147	0.610	-1.641	1.046	0.451	0.325
0.44	0.992	0.619	-1.607	1.046	0.451	0.333
0.50	0.692	0.655	-1.605	1.046	0.451	0.338
0.60	0.383	0.670	-1.521	1.046	0.451	0.357
0.70	0.088	0.719	-1.569	1.046	0.451	0.372
0.80	-0.052	0.727	-1.554	1.046	0.451	0.380
1.00	-0.408	0.770	-1.562	1.046	0.451	0.388
1.20	-0.577	0.784	-1.573	1.046	0.451	0.381
1.50	-1.148	0.850	-1.592	1.046	0.451	0.336
1.70	-1.357	0.859	-1.553	1.046	0.451	0.330
2.00	-1.559	0.860	-1.503	1.046	0.451	0.327

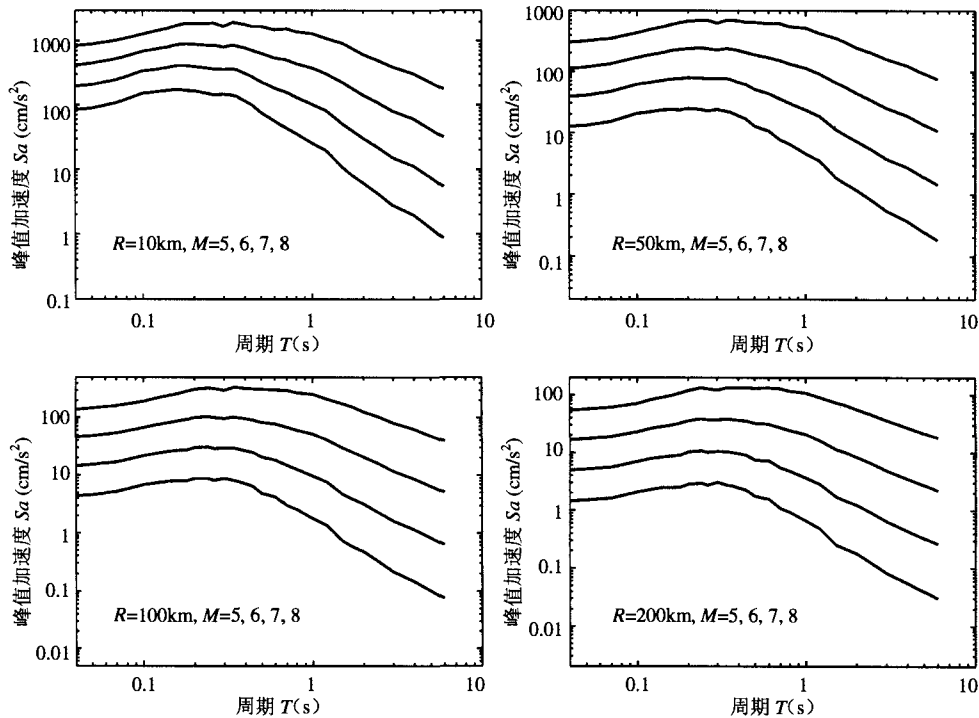


图1 美国西部水平向基岩加速度反应谱衰减关系  
( $R=10\text{km}$ 、 $50\text{km}$ 、 $100\text{km}$ 和 $200\text{km}$ ， $M=5$ 、 $6$ 、 $7$ 、 $8$ ， $\zeta=5\%$ )

Fig. 1 Attenuation relation curves for horizontal acceleration response spectra in western U.S.

( $R=10\text{km}$ ,  $50\text{km}$ ,  $100\text{km}$ ,  $200\text{km}$ ,  $M=5$ ,  $6$ ,  $7$ ,  $8$ ,  $\zeta=5\%$ )

由于中国的地震等震线内圈一般为椭圆形，因此，地震烈度衰减模型也选为椭圆模型。考虑到椭圆模型衰减曲线的起始点应是重合的（即长轴与短轴衰减关系的震中烈度应相同），并且在远场发震构造的影响已经消失，烈度等震线趋于圆形，长、短轴衰减曲线也趋于重合，因此，在回归分析烈度衰减关系时，采用了椭圆长、短轴联合衰减模型（陈达生等，1989），以保证长、短轴在  $R=0$  时烈度相等，而中间距离仍保持长、短轴烈度的差别，同时在远场也使等震线成圆形。

考虑到烈度在极震区内的每一点都具有同一震中烈度值，为了使衰减曲线达到这样的要求，在极震区内不同距离上适当增补一些数据点。另外，为了体现远场区发震构造影响消失，等震线形状趋于圆形的特点，取有感范围的半径作为远场控制点（汪素云等，1993）。

经回归分析，中国东部的烈度衰减关系为（汪素云等，2000）：

$$\begin{cases} I_a = 5.019 + 1.446M - 4.136 \lg(R + 24) \\ I_b = 2.240 + 1.446M - 3.070 \lg(R + 9) \end{cases} \quad \sigma = 0.517 \quad (3)$$

其中， $I_a$ 和 $I_b$ 分别是长、短轴方向的烈度； $M$ 是震级； $R$ 是距离，单位  $\text{km}$ ； $\sigma$ 是标准差。

中国西部的烈度衰减关系为（汪素云等，2000）：

$$\begin{cases} I_a = 5.253 + 1.398M - 4.164 \lg(R + 26) \\ I_b = 2.019 + 1.398M - 2.943 \lg(R + 8) \end{cases} \quad \sigma = 0.632 \quad (4)$$

式中参数的意义与式（3）相同。

## 2 结果

在建立了参考地区的地震烈度和加速度反应谱衰减关系以及中国东部和西部地区的地震烈度衰减关系后,用转换方法(Hu and Zhang, 1983; 胡聿贤, 张敏政, 1984)可以得到中国东部和西部地区水平向基岩加速度反应谱衰减关系。

表 2 中国东部地区水平向基岩加速度峰值和反应谱衰减关系系数(长轴)  
Table 2 Coefficients of attenuation relations of acceleration response spectra for eastern China (Along major axis,  $\zeta=0.05$ )

周期 $T(s)$	$c_1$	$c_2$	$c_4$	$c_5$	$c_6$	$\sigma_{lgSa}$
PGA	2.027	0.548	-1.902	1.700	0.425	0.240
0.040	2.115	0.539	-1.907	1.700	0.425	0.225
0.050	2.139	0.540	-1.912	1.700	0.425	0.223
0.070	2.296	0.538	-1.957	1.700	0.425	0.224
0.100	2.575	0.526	-2.004	1.700	0.425	0.229
0.120	2.525	0.533	-1.979	1.700	0.425	0.242
0.140	2.526	0.538	-1.979	1.700	0.425	0.253
0.160	2.511	0.548	-1.990	1.700	0.425	0.245
0.180	2.407	0.559	-1.969	1.700	0.425	0.248
0.200	2.322	0.555	-1.901	1.700	0.425	0.261
0.240	2.163	0.562	-1.845	1.700	0.425	0.260
0.260	2.125	0.572	-1.865	1.700	0.425	0.263
0.300	2.196	0.547	-1.823	1.700	0.425	0.282
0.340	2.096	0.574	-1.855	1.700	0.425	0.309
0.360	2.022	0.579	-1.839	1.700	0.425	0.320
0.400	1.876	0.591	-1.820	1.700	0.425	0.325
0.440	1.716	0.600	-1.784	1.700	0.425	0.333
0.500	1.433	0.635	-1.786	1.700	0.425	0.338
0.600	1.108	0.649	-1.698	1.700	0.425	0.357
0.700	0.849	0.697	-1.755	1.700	0.425	0.372
0.800	0.709	0.705	-1.740	1.700	0.425	0.380
1.000	0.375	0.747	-1.753	1.700	0.425	0.388
1.200	0.216	0.760	-1.766	1.700	0.425	0.381
1.500	-0.319	0.824	-1.794	1.700	0.425	0.336
1.700	-0.534	0.833	-1.753	1.700	0.425	0.330
2.000	-0.749	0.834	-1.700	1.700	0.425	0.327
2.400	-1.008	0.857	-1.700	1.700	0.425	0.322
3.000	-1.327	0.882	-1.697	1.700	0.425	0.306
4.000	-1.531	0.901	-1.726	1.700	0.425	0.307
5.000	-1.858	0.913	-1.673	1.700	0.425	0.324
6.000	-2.127	0.924	-1.631	1.700	0.425	0.328

表 3 中国东部地区水平向基岩加速度峰值和反应谱衰减关系系数（短轴）  
 Table 3 Coefficients of attenuation relations of acceleration response spectra  
 for eastern China (Along minor axis,  $\zeta=0.05$ )

周期 $T(s)$	$c_1$	$c_2$	$c_4$	$c_5$	$c_6$	$\sigma_{lgSa}$
PGA	1.035	0.519	-1.465	0.381	0.525	0.240
0.040	1.120	0.510	-1.468	0.381	0.525	0.225
0.050	1.142	0.511	-1.472	0.381	0.525	0.223
0.070	1.275	0.509	-1.507	0.381	0.525	0.224
0.100	1.530	0.496	-1.543	0.381	0.525	0.229
0.120	1.493	0.503	-1.524	0.381	0.525	0.242
0.140	1.494	0.508	-1.524	0.381	0.525	0.253
0.160	1.474	0.518	-1.532	0.381	0.525	0.245
0.180	1.381	0.530	-1.516	0.381	0.525	0.248
0.200	1.331	0.526	-1.464	0.381	0.525	0.261
0.240	1.200	0.535	-1.421	0.381	0.525	0.260
0.260	1.153	0.544	-1.436	0.381	0.525	0.263
0.300	1.245	0.520	-1.404	0.381	0.525	0.282
0.340	1.128	0.546	-1.428	0.381	0.525	0.309
0.360	1.063	0.552	-1.416	0.381	0.525	0.320
0.400	0.927	0.564	-1.401	0.381	0.525	0.325
0.440	0.786	0.573	-1.374	0.381	0.525	0.333
0.500	0.501	0.608	-1.375	0.381	0.525	0.338
0.600	0.222	0.624	-1.307	0.381	0.525	0.357
0.700	-0.066	0.671	-1.351	0.381	0.525	0.372
0.800	-0.199	0.679	-1.339	0.381	0.525	0.380
1.000	-0.539	0.720	-1.349	0.381	0.525	0.388
1.200	-0.706	0.734	-1.359	0.381	0.525	0.381
1.500	-1.255	0.798	-1.380	0.381	0.525	0.336
1.700	-1.449	0.807	-1.349	0.381	0.525	0.330
2.000	-1.636	0.809	-1.308	0.381	0.525	0.327
2.400	-1.895	0.831	-1.308	0.381	0.525	0.322
3.000	-2.213	0.857	-1.306	0.381	0.525	0.306
4.000	-2.432	0.875	-1.328	0.381	0.525	0.307
5.000	-2.731	0.888	-1.287	0.381	0.525	0.324
6.000	-2.979	0.899	-1.254	0.381	0.525	0.328

表 4 中国西部地区水平向基岩加速度峰值和反应谱衰减关系系数 (长轴)

Table 4 Coefficients of attenuation relations of acceleration response spectra for western China (Along major axis,  $\zeta=0.05$ )

周期 $T(s)$	$c_1$	$c_2$	$c_4$	$c_5$	$c_6$	$\sigma_{lgSa}$
PGA	2.206	0.532	-1.954	2.018	0.406	0.240
0.040	2.294	0.524	-1.959	2.018	0.406	0.225
0.050	2.319	0.525	-1.965	2.018	0.406	0.223
0.070	2.480	0.523	-2.011	2.018	0.406	0.224
0.100	2.764	0.512	-2.060	2.018	0.406	0.229
0.120	2.712	0.518	-2.034	2.018	0.406	0.242
0.140	2.713	0.523	-2.034	2.018	0.406	0.253
0.160	2.699	0.532	-2.045	2.018	0.406	0.245
0.180	2.593	0.544	-2.023	2.018	0.406	0.248
0.200	2.501	0.539	-1.953	2.018	0.406	0.261
0.240	2.336	0.546	-1.895	2.018	0.406	0.260
0.260	2.300	0.556	-1.914	2.018	0.406	0.263
0.300	2.367	0.531	-1.872	2.018	0.406	0.282
0.340	2.269	0.558	-1.905	2.018	0.406	0.309
0.360	2.194	0.562	-1.887	2.018	0.406	0.320
0.400	2.046	0.574	-1.867	2.018	0.406	0.325
0.440	1.883	0.582	-1.830	2.018	0.406	0.333
0.500	1.599	0.616	-1.831	2.018	0.406	0.338
0.600	1.265	0.630	-1.740	2.018	0.406	0.357
0.700	1.011	0.676	-1.797	2.018	0.406	0.372
0.800	0.869	0.683	-1.781	2.018	0.406	0.380
1.000	0.536	0.724	-1.793	2.018	0.406	0.388
1.200	0.378	0.737	-1.807	2.018	0.406	0.381
1.500	-0.155	0.799	-1.833	2.018	0.406	0.336
1.700	-0.375	0.807	-1.791	2.018	0.406	0.330
2.000	-0.595	0.808	-1.736	2.018	0.406	0.327
2.400	-0.854	0.830	-1.735	2.018	0.406	0.322
3.000	-1.174	0.854	-1.732	2.018	0.406	0.306
4.000	-1.375	0.873	-1.761	2.018	0.406	0.307
5.000	-1.707	0.884	-1.706	2.018	0.406	0.324
6.000	-1.982	0.895	-1.661	2.018	0.406	0.328

表 5 中国西部地区水平向基岩加速度峰值和反应谱衰减关系系数（短轴）  
 Table 5 Coefficients of attenuation relations of acceleration response spectra  
 for western China (Along minor axis,  $\zeta=0.05$ )

周期 $T(s)$	$c_1$	$c_2$	$c_4$	$c_5$	$c_6$	$\sigma_{lgSa}$
PGA	1.010	0.501	-1.441	0.340	0.521	0.240
0.040	1.095	0.492	-1.444	0.340	0.521	0.225
0.050	1.117	0.493	-1.448	0.340	0.521	0.223
0.070	1.249	0.490	-1.483	0.340	0.521	0.224
0.100	1.504	0.478	-1.519	0.340	0.521	0.229
0.120	1.467	0.485	-1.499	0.340	0.521	0.242
0.140	1.468	0.490	-1.500	0.340	0.521	0.253
0.160	1.447	0.499	-1.508	0.340	0.521	0.245
0.180	1.355	0.511	-1.491	0.340	0.521	0.248
0.200	1.306	0.507	-1.439	0.340	0.521	0.261
0.240	1.176	0.516	-1.397	0.340	0.521	0.260
0.260	1.128	0.525	-1.411	0.340	0.521	0.263
0.300	1.221	0.501	-1.380	0.340	0.521	0.282
0.340	1.104	0.527	-1.404	0.340	0.521	0.309
0.360	1.038	0.532	-1.391	0.340	0.521	0.320
0.400	0.903	0.543	-1.376	0.340	0.521	0.325
0.440	0.762	0.552	-1.349	0.340	0.521	0.333
0.500	0.478	0.586	-1.349	0.340	0.521	0.338
0.600	0.200	0.602	-1.282	0.340	0.521	0.357
0.700	-0.089	0.647	-1.324	0.340	0.521	0.372
0.800	-0.221	0.654	-1.312	0.340	0.521	0.380
1.000	-0.562	0.695	-1.321	0.340	0.521	0.388
1.200	-0.729	0.708	-1.331	0.340	0.521	0.381
1.500	-1.278	0.769	-1.350	0.340	0.521	0.336
1.700	-1.472	0.778	-1.319	0.340	0.521	0.330
2.000	-1.658	0.780	-1.278	0.340	0.521	0.327
2.400	-1.917	0.802	-1.278	0.340	0.521	0.322
3.000	-2.235	0.826	-1.275	0.340	0.521	0.306
4.000	-2.454	0.844	-1.297	0.340	0.521	0.307
5.000	-2.753	0.856	-1.256	0.340	0.521	0.324
6.000	-3.000	0.867	-1.223	0.340	0.521	0.328

中国东部和西部地区水平向基岩加速度反应谱衰减关系模拟采用式 (1)，标准差则采用了参考地区的标准差 (胡聿贤, 1999)。衰减关系的标准差应当反映地震动参数固有的离散性，



而通过数学转换产生的标准差则可能远远偏离地震动参数的离散规律,导致不可接受的结果。已有的研究结果也表明,美国、日本、意大利等地的地震动标准差相差不大,一般为 $\sigma_{lgY}=0.2-0.3$ 。

表 2 至表 5 分别为转换得到的中国东部和西部地区水平向基岩加速度反应谱衰减关系系数。

中国东部和西部地区的水平向基岩加速度反应谱衰减关系曲线分别见图 2 和图 3 ( $R=10\text{km}$ 、 $50\text{km}$ 、 $200\text{km}$ ,  $M=5, 6, 7, 8$ )。

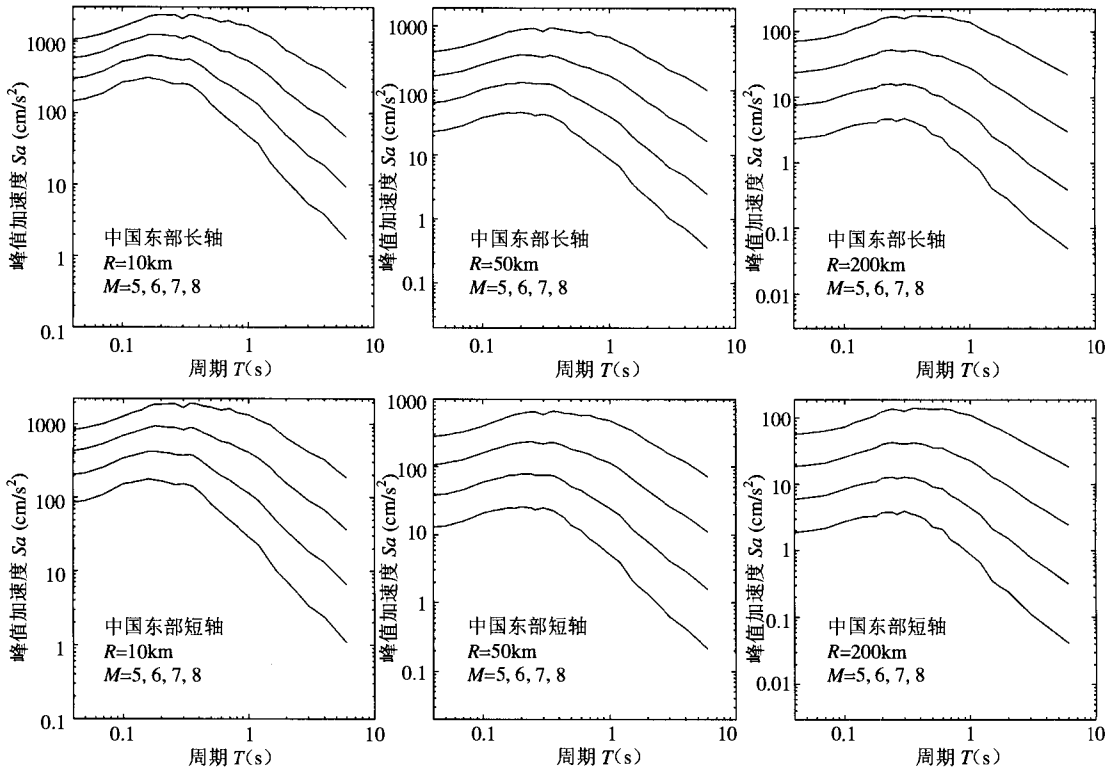


图 2 中国东部地区水平向基岩加速度反应谱衰减关系

( $R=10\text{km}$ 、 $50\text{km}$ 、 $200\text{km}$ ,  $M=5, 6, 7, 8$ ,  $\zeta=5\%$ )

Fig. 2 Attenuation relation curves for horizontal acceleration response spectra in eastern China ( $R=10\text{km}$ ,  $50\text{km}$ ,  $200\text{km}$ ,  $M=5, 6, 7, 8$ ,  $\zeta=5\%$ )

### 3 结论与讨论

本文用转换方法得到了中国东部和西部地区水平向基岩加速度反应谱衰减关系,可以用于一些地区部分工程场地地震安全性评价工作中。但在使用中应注意以下问题。

(1) 本文的衰减关系不适用于地震危险性受大震近场潜在震源区控制的地区使用,例如在北京等存在近场高震级潜在震源区的地区,地震危险性分析结果可能偏高。在统计地震动参数衰减关系时,由于所使用的强震记录多分布于中等震级( $M=6-7$ )和中等距离( $R=30-100\text{km}$ ),大震、小震与近场记录都较少。在这种情况下,不同的研究者使用不同的衰减关系模型时,在中等震级与中等距离时的结果相差不大,但在大震、小震与近场时,在很大程

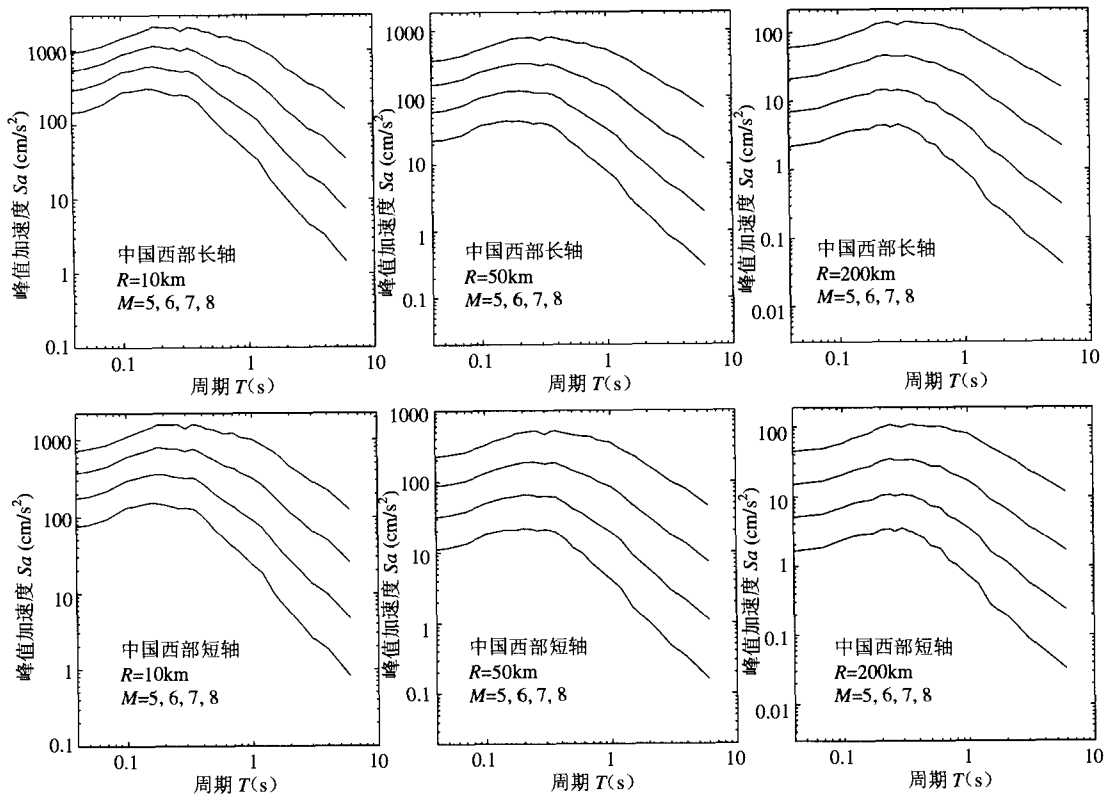


图 3 中国西部地区水平向基岩加速度反应谱衰减关系

( $R=10\text{km}$ 、 $50\text{km}$ 、 $200\text{km}$ ,  $M=5$ 、 $6$ 、 $7$ 、 $8$ ,  $\zeta=5\%$ )

Fig. 3 Attenuation relation curves for horizontal acceleration response spectra in western China ( $R=10\text{km}$ ,  $50\text{km}$ ,  $200\text{km}$ ,  $M=5$ ,  $6$ ,  $7$ ,  $8$ ,  $\zeta=5\%$ )

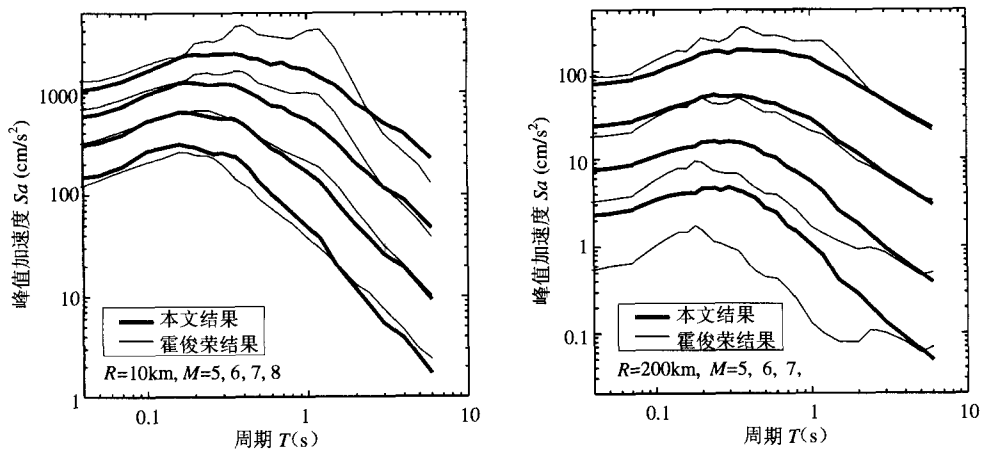


图 4 本文衰减关系与霍俊荣衰减关系的对比 ( $R=10\text{km}$ 、 $200\text{km}$ ,  $M=5$ 、 $6$ 、 $7$ 、 $8$ ,  $\zeta=5\%$ )

Fig. 4 Comparison of attenuation relation curves between this study and Huo's, 1989

( $R=10\text{km}$ ,  $200\text{km}$ ,  $M=5$ ,  $6$ ,  $7$ ,  $8$ ,  $\zeta=5\%$ )

度上是一种外推结果,与衰减关系模型有很大的相关性。由于高频地震动存在大震和近场饱和的特性,因此在这种情况下应采用能较好地反映大震近场饱和特征的地震动衰减关系模型。

(2) 地震动衰减有很强的地域性,本文只将中国分成了东部和西部两个大区,只反映了这两个地区地震动衰减的一般特性,显然并不适合于衰减特性较特殊的地区使用。衰减关系统计确定中,所考虑的区域范围大小和强震资料多少是控制地震动衰减关系合理性和适用性的两个矛盾性因素(李小军,2006)。在资料允许的情况下,可将区域适当缩小以反映地震动衰减的地区特征。作者将另文发表我国多个地区考虑了大震近场饱和的地震动参数衰减关系。

将本文得到的中国东部地区加速度反应谱衰减关系(长轴)与霍俊荣(1989)的华北地区衰减关系(长轴,  $R=10\text{km}$ 、 $200\text{km}$ ,  $M=5, 6, 7, 8$ )对比,见图4。可以看出,与霍俊荣的衰减关系相比,在近场( $R=10\text{km}$ ),霍俊荣衰减关系高震级的反应谱随周期的增大而快速下降,而在远场( $R=200\text{km}$ ),霍俊荣的衰减关系中,低震级的反应谱随周期的增大反而上翘。造成这种现象的原因在于,霍俊荣使用的资料是模拟记录,在记录校正时由于使用了高通滤波器而将长周期成份滤除,造成了对高震级长周期成份的低估。而小震级记录的信噪比很低,长周期噪声占主宰地位,造成了低震级时长周期反应谱上翘。与霍俊荣的衰减关系相比,本文由于使用了具有可靠长周期成份的数字宽频带记录,所得到的长周期加速度反应谱衰减关系更为合理。同时,本文的衰减关系也无周期  $T=1\text{s}$  附近的异常突起,反应谱也更加光滑。

## 参考文献

- 陈达生,刘汉兴,1989.地震烈度椭圆衰减关系.华北地震科学,7(3):31—42.
- 胡聿贤,张敏政,1984.缺乏强震观测资料地区地震动参数的估算方法.地震工程与工程振动,4(1):1—11.
- 胡聿贤主编,1999.地震安全性评价技术教程.北京:地震出版社,313—318.
- 霍俊荣,1989.近场强地面运动衰减规律的研究.国家地震局工程力学所博士学位论文.
- 李小军,2006.工程场地地震安全性评价工作及 Related 技术问题.震灾防御技术,1(1):15—24.
- 汪素云,时振梁,1993.有感半径与震级的关系及其应用.见:国家地震局震害防御司编,中国地震区划文集.北京:地震出版社,179—184.
- 汪素云,俞言祥,高阿甲,阎秀杰,2000.中国分区地震动衰减关系的确定.中国地震,16(2):99—106.
- 俞言祥,2002.长周期地震动衰减关系研究.中国地震局地球物理研究所博士学位论文.
- Chandra U., 1979. Attenuation of intensities in the United States. Bull. Seism. Soc. Amer., 69(6): 2003—2024.
- Gutenberg B., Richter C.F., 1956. Earthquake magnitude, intensity, energy, and acceleration. Bull. Seism. Soc. Amer., 46(2): 105—145.
- Hu Y.X., Yu Y.X., 2000. A combine approach of evaluation of long-period design spectrum. In: Proc. 12th World Conference on Earthquake Engineering, Paper ID 0680.
- Hu Y.X., Zhang M.Z., 1983. Attenuation of ground motion for regions with no ground motion data. In: Proc. 4th Canadian Conf. on Earthq. Engng., Vancouver, Canada, 485—494.

## Attenuation Relations for Horizontal Peak Ground Acceleration and Response Spectrum in Eastern and Western China

Yu Yanxiang and Wang Suyun

(Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China)

**Abstract** By taking the western part of North America as the reference region, the attenuation relations for horizontal peak ground acceleration and response spectrum in eastern and western China are developed using transform method. The attenuation relations for horizontal peak ground acceleration and short-period response spectrum for the western part of North America are derived based on the strong motion database, while the relations for long-period response spectrum are based on digital broad-band records. The seismic intensity attenuation relations in eastern and western China are established by regression analysis on isoseismal data. Some issues associated with the application of the attenuation relations are discussed.

**Key words:** Response spectrum; Attenuation relation; Seismic safety evaluation

### 地震安全性评价工程师资格考试大纲已审定通过

根据《地震安全性评价工程师制度暂行规定》和《地震安全性评价工程师资格考试实施办法》，为了做好全国注册地震安全性评价工程师执业资格考试工作，中国地震局组织编制了《一级地震安全性评价工程师资格考试大纲》和《二级地震安全性评价工程师资格考试大纲》，现已经人事部组织审定通过，并予以印发公布。

《一级地震安全性评价工程师资格考试大纲》和《二级地震安全性评价工程师资格考试大纲》是注册地震安全性评价工程师资格考试的指导性文件。一级和二级考试大纲各分三部分：地震安全性评价法律法规及相关知识、地震安全性评价管理与实务、地震安全性评价案例分析，其内容和范围是根据地震安全性评价工作对主要技术负责人的要求确定的。随着地震安全性评价工作的发展，今后将不断更新修改和完善。

(本刊讯)