

DOI: 10.11779/CJGE201511011

# 近场地震动峰值加速度及频谱衰减特性研究

贺秋梅<sup>1</sup>, 李小军<sup>1,2</sup>, 董 娣<sup>3</sup>, 李亚琦<sup>1</sup>, 杨 宇<sup>4</sup>

(1. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081; 2. 北京工业大学建筑工程学院, 北京 100124; 3. 重庆市地震局, 重庆 401147;

4. 环境保护部核与辐射安全中心, 北京 100082)

**摘 要:** 计算分析了 333 组震中距小于 40 km 的欧洲及其毗邻地区的近场强震动记录的峰值加速度和 3 种频谱周期参数, 采用回归分析方法, 探讨了场地类别、震级、震中距等因素对近场地震动特性的影响特征, 并统计给出了不同类别场地和震级档的近场地震动峰值加速度和频谱周期的衰减关系。结果表明: 震中距是影响近场强震动峰值加速度和频谱特性的重要因素, 随着震中距的增大近场强震动峰值加速度逐渐减小; 特征周期参数基本上满足随着震中距增大而增大的趋势, 且场地越软这一趋势越明显; 因为近场地震动的复杂性, 场地类别和震级对峰值加速度和特征周期有一定的影响, 但具有不确定性。竖向与水平向地震动的加速度峰值比均值为 0.60, 但约有 1/3 的强地震动记录加速度峰值比大于 2/3; 竖向地震动的特征周期约为水平向地震动的 0.8 倍, 且场地越软该值越小。

**关键词:** 近场; 峰值加速度; 特征周期; 竖向地震动

中图分类号: TU435

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2015)11-2014-10

**作者简介:** 贺秋梅(1978-), 女, 副研究员, 主要研究领域为地震工程。E-mail: heqiumei06@126.com。

## Attenuation characteristics of peak ground acceleration and spectrum of near-field ground motions

HE Qiu-mei<sup>1</sup>, LI Xiao-jun<sup>1,2</sup>, DONG Di<sup>3</sup>, LI Ya-qi<sup>1</sup>, YANG Yu<sup>4</sup>

(1. Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China; 2. College of Architecture and Civil Engineering, Beijing

University of Technology, Beijing 100124, China; 3. Earthquake Administration of Chongqing Municipality, Chongqing 401147, China;

4. Nuclear and Radiation Safety Center, Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, Beijing 100082, China)

**Abstract:** The peak ground acceleration and three kinds of frequency content parameters are calculated and analyzed based on 333 groups of near-field strong motion records collected from earthquakes in Europe and its adjacent areas. The epicentral distance of these strong motion records are less than 40 km. Using the regression analysis method, the influences of site, magnitude and epicentral distance on characteristics of the near-field ground motion are discussed. And the attenuation relationship of the peak ground acceleration and spectrum period of near-field ground motions at different sites and magnitudes is given. The results show that the epicentral distance is an important factor affecting the near field earthquake peak ground acceleration and spectral characteristic. With the increase of the epicentral distance, the peak ground acceleration decreases gradually but the characteristic period increases gradually. The site and magnitude factors have some influence on the peak ground acceleration and characteristic period, but with uncertainty. In the near-field, the average ratio of vertical to horizontal peak ground acceleration is 0.60, but in all records the peak acceleration ratio of about 1/3 vertical ground motion's is larger than 2/3. The characteristic period of vertical ground motion is about 0.8 times that of horizontal ground motion. The softer the site is, the smaller the value is.

**Key words:** near-field; peak ground acceleration; characteristic period; vertical ground motion

## 0 引 言

最近几次大地震,即Kocaeli地震(1999年, Mw7.4)、集集地震(1999年, Mw7.6)和汶川地震(2008年, Mw7.9)等地震灾害展示的近场区工程结构的破坏现象引起地震工程界密切关注。这些地震导致震中区及附近工程结构产生如此严重的破坏,除与近场地震动

的较高强度有关,更与近场区域地震动的频谱的特殊

**基金项目:** 国家自然科学基金青年基金项目(51408560); 国家国际科技合作项目(2012DFG20510); 国家自然科学基金重大研究计划项目(91215301); 国家重点基础研究发展计划(2011CB013601); 北京市属高等学校创新团队建设提升计划

收稿日期: 2014-09-08

性有关系。同时, 在一般情况下, 认为竖向地震动加速度约为水平向的 $1/2\sim 2/3$ , 中国的抗震规范中也以水平向反应谱的 $65\%$ 来考虑竖向设计谱, 而近年来随着强震动观测技术的快速发展, 在近场区域获得到了不少竖向峰值加速度超过水平向的强震动记录<sup>[1]</sup>。因此, 有必要对近场强震动的幅值和频谱特性特别是竖向地震动特性进行更深入的分析。考虑各因素对地震动特性影响的最直接的方法是基于不同场地、不同震级、不同震中距的强震动记录资料, 统计分析给出不同条件下的地震动参数值<sup>[2]</sup>。本文选取欧洲及其毗邻地区的共 333 组地震动记录<sup>[3]</sup>作为研究资料, 地震动记录的时间跨度为 1971 年 2 月 14 日至 1999 年 12 月 31 日, 对近场地震动的峰值加速度与反应谱特征参数进行计算, 统计分析近场强震动的峰值加速度和反应谱特征参数、竖向与水平向地震动参数的比值等, 以更好地了解场地条件、震级等因素对近场区地震动特性的影响规律<sup>[4-5]</sup>。

1 近场强震动记录数据

本文采用的强震动记录来自意大利、希腊、土耳其、法国、亚美尼亚等欧洲及其毗邻地区 (Ambraseys N et al, 2000), 时间跨度为 1971 年 2 月 14 日至 1999

年 12 月 31 日, 共 333 组地震动记录<sup>[6-8]</sup>。采用的每组地震动记录中至少有一条记录的峰值加速度大于  $50\text{ cm/s}^2$ , 震中距为  $0\sim 40\text{ km}$ , 采用面波震级, 且所用记录相应的地震震级较均匀分布于  $4.1\sim 7.0$  级, 场地条件分别为基岩场地、硬土场地和冲积层场地。其中, 基岩场地 (A) 共 109 组, 硬土场地 (B) 共 104 组, 冲积层场地 (C) 共 120 组。表 1 给出了本文所分析的地震动记录按震级、震中距、场地条件的分布情况。中国现行建筑抗震规范 (GB50011—2010) 和欧洲规范 Eurocode8 中场地的划分方法相近, 在土的等效剪切波速范围等方面有细微差别, 但对于了解场地条件对近场区地震动特性影响规律的研究而言, 这些差别对结果不产生影响, 因此本文采用欧洲规范 Eurocode8 的分类方法对地震动记录进行分类。

2 地震动峰值加速度特性及影响因素分析

为了分析震级对近场地震动记录峰值加速度影响规律, 对比相同震中距范围、相同场地、不同震级的强震动记录平均峰值加速度变化规律, 结果见图 1。为了图示方便, 取震中距为统计范围的中心值, 即  $0\sim$

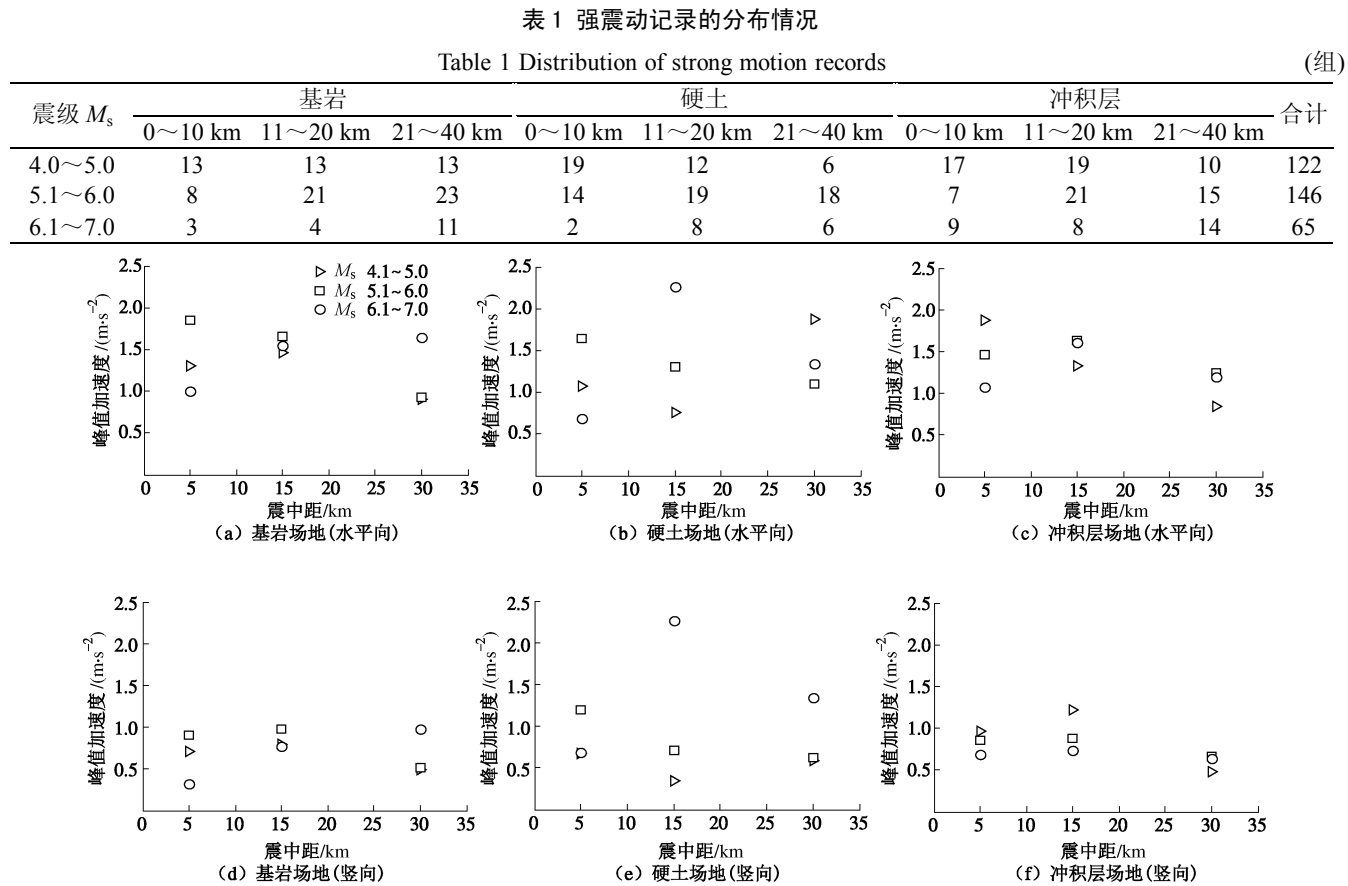


图 1 峰值加速度随震级的变化关系  
Fig. 1 Variation of PGA with magnitude

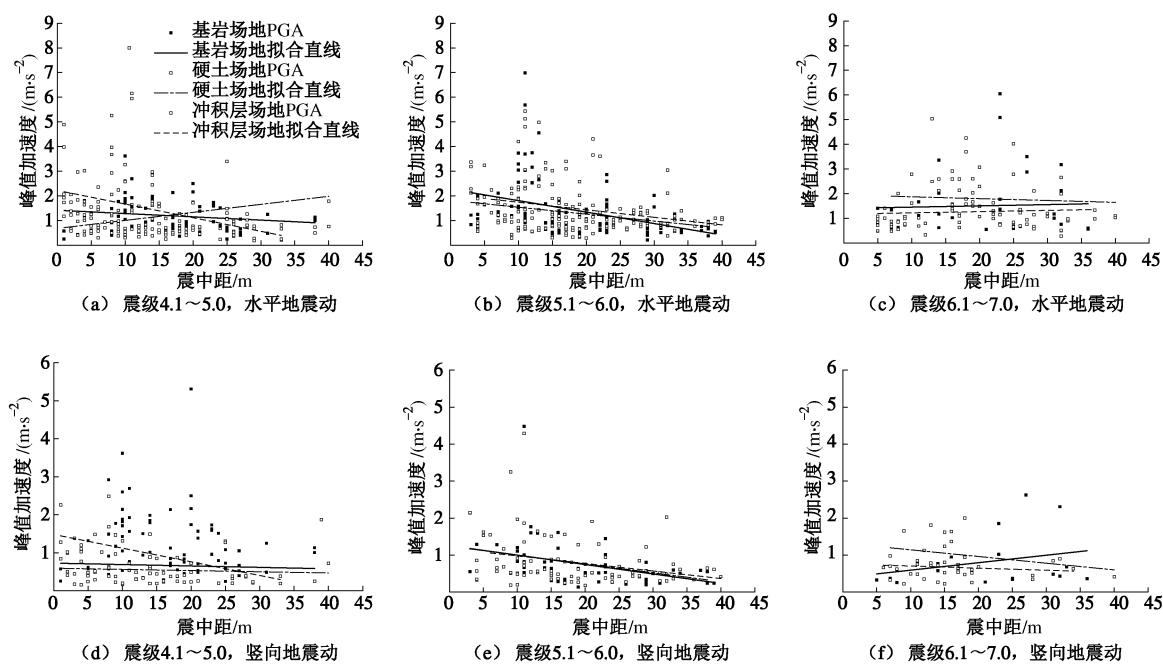


图 2 峰值加速度随震中距的变化关系

Fig. 2 Variations of PGA with epicentral distance

表 2 峰值加速度的统计结果

Table 2 Statistical results of PGA (m/s<sup>2</sup>)

震级 $M_s$	基岩场地			硬土地场			冲积层场地		
	水平 1	水平 2	竖向	水平 1	水平 2	竖向	水平 1	水平 2	竖向
4.1~5.0	1.20	1.25	0.66	1.07	1.13	0.55	1.50	1.32	0.95
5.1~6.0	1.38	1.35	0.76	1.24	1.41	0.82	1.49	1.45	0.80
6.1~7.0	1.41	1.61	0.82	1.63	1.98	0.98	1.34	1.18	0.68

10 km 强震动记录的震中距统一表示为 5 km, 11~20 km 强震动记录的震中距统一表示为 15 km, 21~40 km 强震动记录的震中距统一表示为 30 km。结果显示,除了震中距为 21~40 km 的基岩场地、震中距为 10~20 km 硬土地场水平向和震中距为 10~40 km 硬土地场竖向强震动记录的峰值加速度随震级增大而增大,震级对其它强震动记录峰值加速度的影响规律性并不显著。

综合考虑震中距为 0~40 km 的强震动记录峰值加速度,统计结果如表 2 所示。整体上看,基岩场地和硬土地场的强震动记录符合同一种场地随着震级的增大峰值加速度增大的趋势,而冲积层场地并不满足这一规律。另外,同一震级下峰值加速度随场地变化无明显的变化规律。

对相同震级的强震动记录峰值加速度与震中距的关系进行分析,以期得到峰值加速度随场地和震中距的变化规律。分析中采用以下线性模型对强震动记录数据进行回归:

$$Y=a+bR \quad , \quad (1)$$

式中,  $R$  为震中距 (km),  $a$ ,  $b$  为拟合系数。

不同场地的近场强震动记录峰值加速度随震中距变化的关系曲线如图 2 所示,拟合系数和标准差见表 3。总体上看,峰值加速度随震中距增大而逐渐减小,除了震级 4.1~5.0 的硬土地场及震级 6.1~7.0 的基岩场地强震动记录外其余记录均满足这一规律。在相同震级下,场地对峰值加速度的影响规律并不明显,震级为 5.1~6.0 级的 3 类场地强震动记录峰值加速度随震中距变化趋势很接近。相比而言,水平向地震动峰值加速度的离散性更大一些。

为了得到竖向地震动峰值加速度的特性,将竖向与水平向地震动峰值加速度比进行统计分析,结果如图 3 和表 4 所示。总体上看,竖向与水平向地震动加速度峰值比为 0.60,这符合对地震的竖向运动分量为水平分量的 1/2~2/3 的传统认识。然而,由图 3 可知约有 1/3 的强地震动记录加速度峰值比大于 2/3,而且,在三类场地上都出现了峰值比大于 1 的强震动记录,峰值比最大值甚至达到 2.21。因此,关于特定竖向地震动加速度幅值大小的估计不能简单取值为其水平向地震动加速度幅值的 1/2~2/3,而应对具体的地震动记录进行有针对性的独立分析<sup>[10]</sup>。



表 3 峰值加速度的回归系数和标准差

Table 3 Regression coefficients and standard errors of PGA

震级 $M_s$	回归系数	基岩场地			硬土地地		冲积层场地	
		系数	标准差		系数	标准差	系数	标准差
4.1~5.0	水平向	$a$	1.433	0.218	0.680	0.222	2.221	0.235
		$b$	-0.013	0.012	0.033	0.014	-0.055	0.013
	竖向	$a$	0.725	0.189	0.592	0.113	1.480	0.544
		$b$	-0.004	0.010	-0.003	0.007	-0.036	0.032
5.1~6.0	水平向	$a$	2.271	0.229	1.819	0.164	2.046	0.275
		$b$	-0.046	0.011	-0.028	0.008	-0.031	0.013
	竖向	$a$	1.256	0.200	1.240	0.190	1.182	0.234
		$b$	-0.025	0.009	-0.024	0.010	-0.020	0.011
6.1~7.0	水平向	$a$	1.401	0.538	1.947	0.563	1.172	0.210
		$b$	0.005	0.023	-0.008	0.027	0.005	0.010
	竖向	$a$	0.392	0.408	1.325	0.366	0.762	0.159
		$b$	0.020	0.017	-0.018	0.017	-0.006	0.010

表 4 峰值加速度比的统计结果

Table 4 Statistical results of ratios of peak ground acceleration

震级 $M_s$	基岩场地			硬土地地			冲积层场地		
	最大值	平均值	标准差	最大值	平均值	标准差	最大值	平均值	标准差
4.1~5.0	1.78	0.60	0.32	1.45	0.57	0.25	2.21	0.61	0.35
5.1~6.0	2.15	0.61	0.31	1.89	0.62	0.29	1.54	0.59	0.26
6.1~7.0	1.09	0.58	0.21	1.30	0.62	0.29	1.86	0.60	0.27
平均值	1.67	0.60	0.28	1.55	0.60	0.28	1.87	0.60	0.29

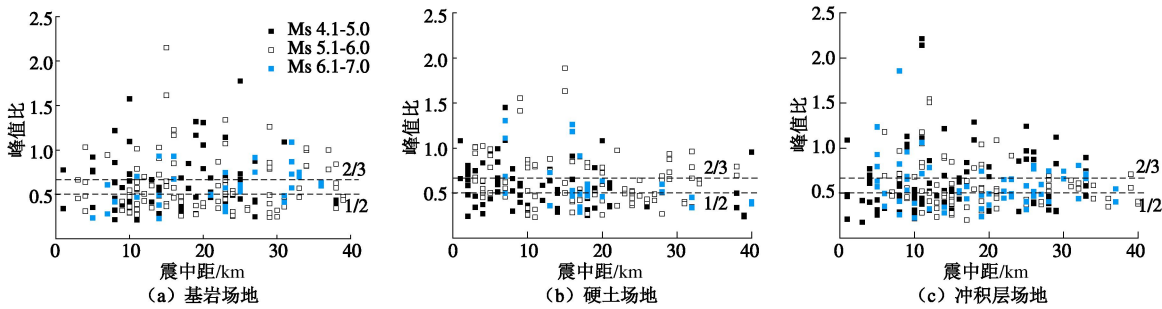


图 3 竖向与水平向地震动加速度峰值比

Fig. 3 Ratios of peak ground acceleration

3 地震动反应谱特征周期特性及影响因素分析

为了探讨研究近场地震动频谱特性,笔者已基于本文研究相同的近场强震动记录资料对地震动反应谱卓越周期 $T_p$ 、平滑化反应谱卓越周期 $T_0$ 、傅氏幅值谱平均周期 $T_m$ 三种特征周期参数进行了初步统计分析,给出了一些定性的研究结果<sup>[6]</sup>。本文将在此基础上,对3种参数的变化规律进行分析,以期得到震级、场地和震中距等对近场区域特征周期参数影响的定量关

系,并结合上一节中对地震动峰值加速度的变化规律的研究结果对近场地震动的幅值和频谱特性有更深入的认识。

3.1 反应谱卓越周期 $T_p$

以5%阻尼比加速度反应谱最大值所对应的周期值作为反应谱卓越周期 $T_p$ <sup>[11-13]</sup>。首先,为了了解震级对 $T_p$ 的影响规律,对比相同震中距范围、相同场地、不同震级的强震动记录的 $T_p$ 变化规律,结果见图4。结果显示,基岩场地和硬土地地上震中距小于20 km的强震动记录及冲积层场地震中距为21~40 km的强震动记录 $T_p$ 随震级增大而增大,而其它数据无明显的规

律。因此，震级对反应谱卓越周期 $T_p$ 的影响规律不显著。

为了了解场地、震中距对反应谱卓越周期 $T_p$ 的影响，对相同震级、不同场地的强震动记录 $T_p$ 与震中距的关系采用式（1）进行线性回归分析，结果如图5所示，拟合系数及标准差见表5。

由图5可以看出，相比于其他两种场地而言，冲积层场地强震动记录 $T_p$ 均随着震中距的增大而逐渐增大的变化趋势较为显著，冲积层场地在各震级档下的强

震动记录 $T_p$ 均满足这一规律，而震级小于6.0级的硬土地及震级小于5.0的基岩场地的强震动记录满足这一规律。相同震级、不同场地条件的强震动记录表明，场地条件对强震动记录 $T_p$ 的影响具有较大的不确定性，本文所分析的震中距小于40 km的强震动记录并不完全符合场地越软 $T_p$ 越大的规律。统计结果表明，不考虑震级及震中距的影响，近场基岩、硬土和冲积层场地竖向与水平向地震动 $T_p$ 的比值分别为0.81，0.72，0.69，场地越软该比值越小<sup>[6]</sup>。

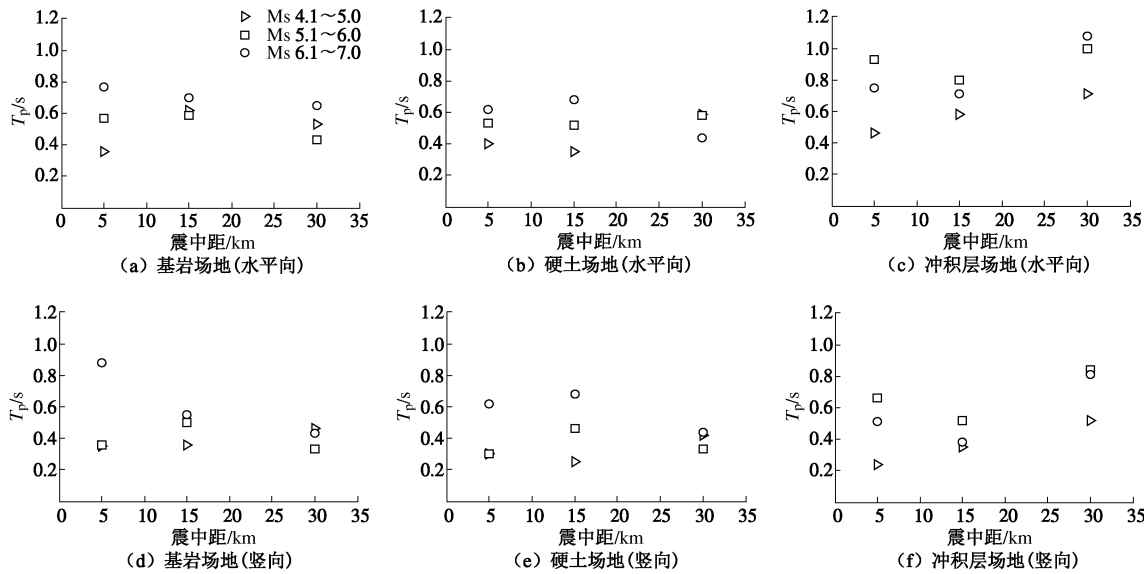


图4  $T_p$  随震级的变化关系

Fig. 4 Variation of  $T_p$  with magnitude

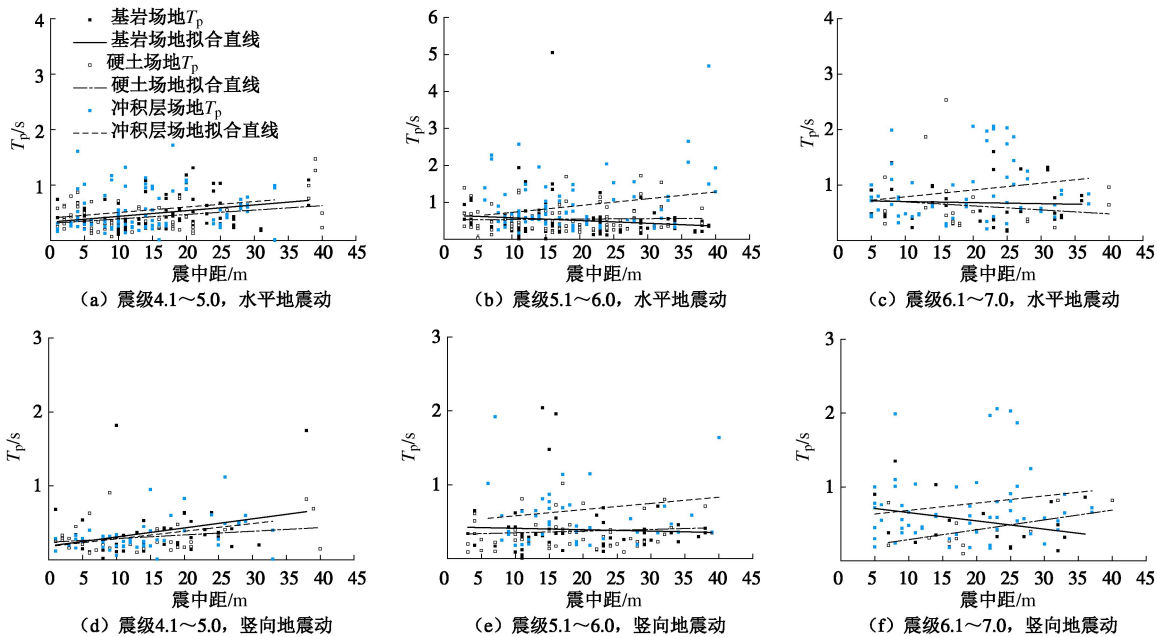


图5  $T_p$  随震中距的变化关系

Fig. 5 Variation of  $T_p$  with epicentral distance

表 5  $T_p$  的回归系数和标准差

Table 5 Regression coefficients and standard errors of  $T_p$

震级 $M_s$	回归系数	基岩场地		硬土地地		冲积层场地		
		系数	标准差	系数	标准差	系数	标准差	
4.1~5.0	水平向	$a$	0.332	0.087	0.308	0.046	0.405	0.082
		$b$	0.010	0.005	0.008	0.003	0.010	0.005
	竖向	$a$	0.186	0.134	0.237	0.050	0.180	0.059
		$b$	0.012	0.007	0.005	0.003	0.010	0.003
5.1~6.0	水平向	$a$	0.657	0.125	0.524	0.075	0.545	0.167
		$b$	-0.007	0.006	0.001	0.004	0.018	0.008
	竖向	$a$	0.430	0.127	0.327	0.068	0.496	0.275
		$b$	-0.002	0.006	0.002	0.003	0.008	0.013
6.1~7.0	水平向	$a$	0.721	0.160	0.768	0.246	0.663	0.151
		$b$	-0.002	0.007	-0.007	0.012	0.012	0.007
	竖向	$a$	0.766	0.189	0.156	0.149	0.586	0.182
		$b$	-0.011	0.008	0.013	0.007	0.010	0.009

3.2 平滑化反应谱卓越周期  $T_0$

因为 $T_p$ 具有较大的随机性, 尤其在地震动反应谱曲线出现多峰值情况下<sup>[6]</sup>。因此, 采用一种等效的反应谱卓越周期 $T_0$ 进行进一步计算, 即地震动主要能量分布周期范围的加权平均周期值, 将不小于1.2PGA的反应谱进行平滑化计算获得<sup>[13-14]</sup>:

$$T_0 = \frac{\sum_i T_i \cdot \ln\left(\frac{S_a(T_i)}{\text{PGA}}\right)}{\sum_i \ln\left(\frac{S_a(T_i)}{\text{PGA}}\right)}, \quad (2)$$

式中,  $T_i$ 为5%阻尼比加速度反应谱等间距离散周期,  $S_a(T_i)$ 为 $T_i$ 对应的谱加速度, PGA为峰值加速度,  $T_i$ 的

取值范围为 $\frac{S_a(T)}{\text{PGA}} > 1.2$ 。

利用上式(2)计算近场强地震记录的 $T_0$ , 对比相同震中距范围、相同场地、不同震级强震动记录 $T_0$ 的变化规律, 结果见图6。3种场地的水平向强震动记录 $T_0$ 随震级的增大而增大的规律明显, 而竖向强震动记录除了硬土地地外, 其它两种场地的 $T_0$ 随震级并没呈现明显的增大趋势。

为了了解场地条件及震中距对平滑化反应谱卓越周期 $T_0$ 的影响, 对相同震级、不同场地的强震动记录 $T_0$ 与震中距的关系采用式(1)进行线性回归分析, 结果如图7所示, 拟合系数及标准差见表6。

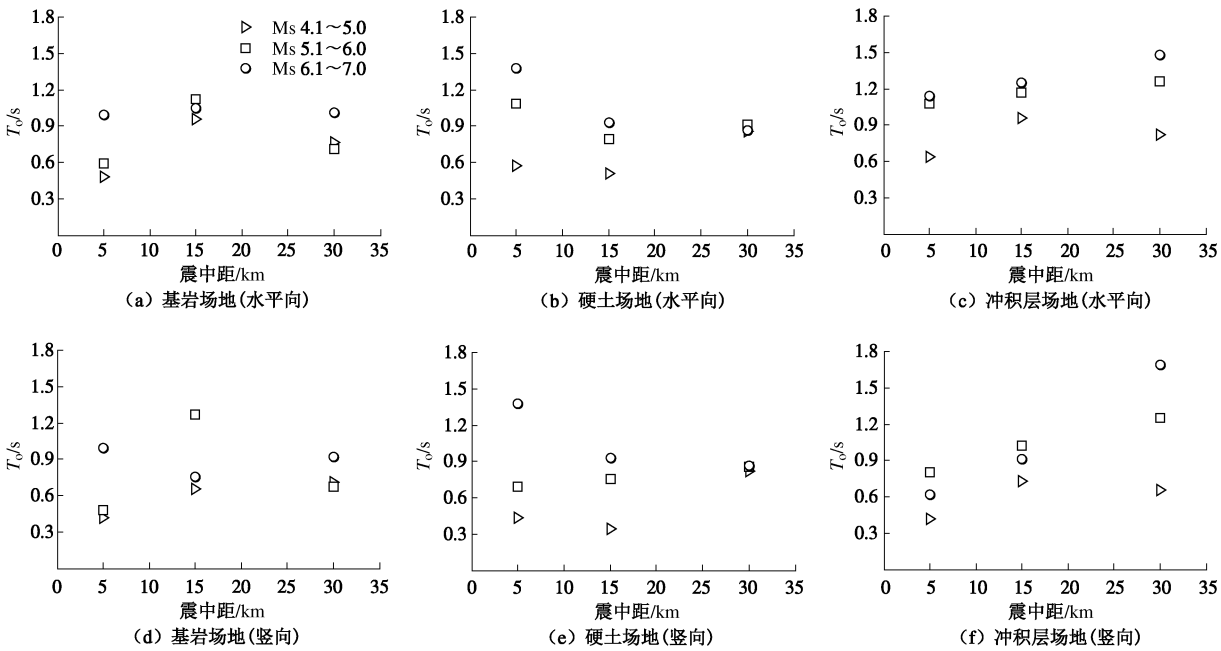


图 6  $T_0$  随震级的变化规律

Fig. 6 Variation of  $T_0$  with magnitude

表 6  $T_0$  的回归系数和标准差  
Table 6 Regression coefficients and standard errors of  $T_0$

震级 $M_s$	回归系数	基岩场地		硬土地场		冲积层场地	
		系数	标准差	系数	标准差	系数	标准差
4.1~5.0	水平向	$a$	0.348	0.155	0.413	0.083	0.600
		$b$	0.024	0.008	0.014	0.005	0.015
	竖向	$a$	0.270	0.157	0.266	0.104	0.374
		$b$	0.020	0.009	0.016	0.006	0.016
5.1~6.0	水平向	$a$	0.945	0.179	0.938	0.131	0.897
		$b$	-0.004	0.008	-0.001	0.007	0.015
	竖向	$a$	0.940	0.287	0.535	0.176	0.671
		$b$	-0.003	0.013	0.014	0.009	0.021
6.1~7.0	水平向	$a$	0.946	0.168	0.768	0.246	1.100
		$b$	0.003	0.007	-0.007	0.012	0.012
	竖向	$a$	0.811	0.241	0.742	0.281	0.447
		$b$	0.004	0.010	0.001	0.013	0.040

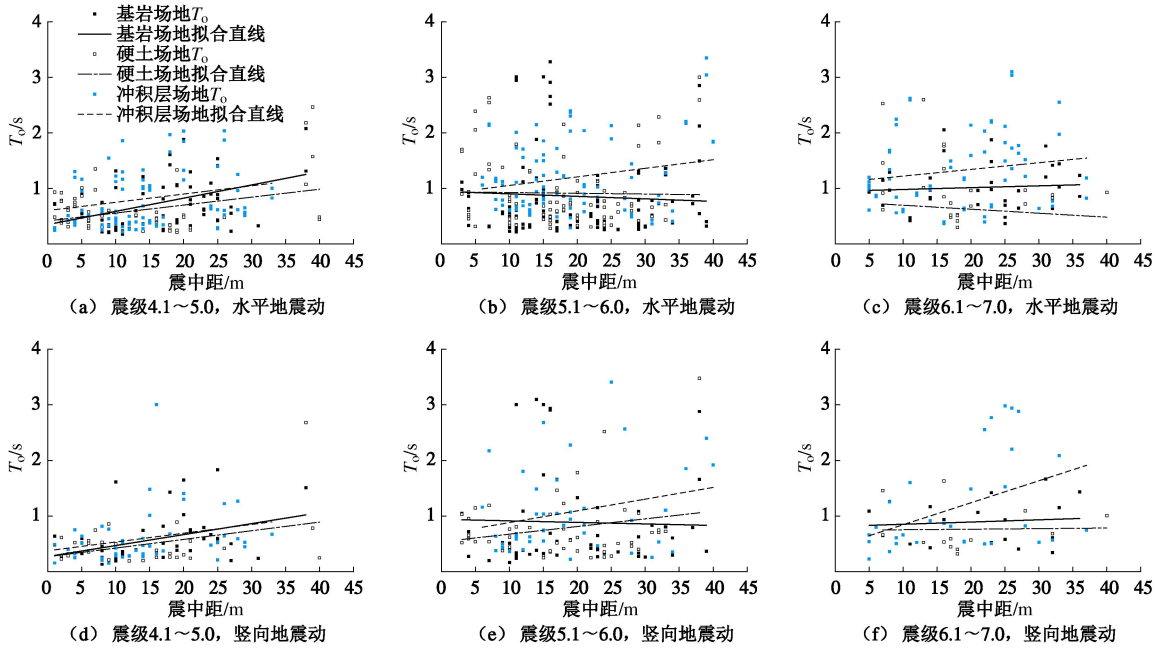


图 7  $T_0$  随震中距的变化关系

Fig. 7 Variation of  $T_0$  with epicentral distance

由图 7 可以看出, 总体上看 3 种场地强震动记录  $T_0$  随着震中距的增大而增大, 而且场地越软增大的趋势越明显, 仅有震级为 5.1~6.0 的基岩场地、震级为 5.1~7.0 的硬土地水平向强震动记录不满足这一规律。相同震级、不同场地条件强震动记录表明, 强震动记录  $T_0$  大小与场地类别无明显规律性。震级为 4.1~5.0 的 3 类场地强震记录  $T_0$  随着震中距的变化趋势较为接近。统计结果表明, 不考虑震级及震中距的影响, 近场基岩、硬土和冲积层场地竖向与水平向地震动  $T_0$  的比例分别为 0.90, 0.83, 0.83<sup>[6]</sup>。

3.3 傅氏幅值谱平均周期  $T_m$

由于傅里叶幅值谱的形状和谱值不受阻尼比等外界因素的影响, 所以和反应谱相比它能更真实地反映地震动的频谱特征<sup>[5]</sup>。因此以傅里叶幅值谱值加权平均得到涵盖地震动更长周期的傅氏幅值谱平均周期  $T_m$  对近场强震动的特征周期进行分析, 傅氏幅值谱平均周期  $T_m$  的计算公式<sup>[14]</sup>为

$$T_m = \frac{\sum_i C_i^2 (1/f_i)}{\sum_i C_i^2} \quad , \quad (3)$$

式中,  $f_i$  为傅氏幅值谱离散频率,  $C_i$  为  $f_i$  对应傅氏谱幅值。由于  $T_m$  的计算值与计算频率范围有关, 本文限



定频率计算范围为0.20~25 Hz。

利用式 (3), 计算强震动记录的傅氏幅值谱平均周期 $T_m$ , 为了了解震级对 $T_m$ 的影响规律, 对比相同震中距范围、相同场地、不同震级的强震动记录的 $T_m$ 变化规律, 结果见图8。结果显示, 除硬土地地震中距小于20 km强震动记录 $T_m$ 随震级增大而增大外, 其它两种场地上的强震动记录并没有很好的体现这一规律。

为了了解场地及震中距对傅氏幅值谱平均周期 $T_m$ 的影响, 对相同震级、不同场地的强震动记录 $T_m$ 与震中距的关系采用式 (1) 进行线性回归分析, 结果如图9所示, 拟合系数及标准差见表7。

由图 9 可以看出, 基岩场地和冲积层场地强震动记录  $T_m$  随着震中距的增大而增大, 而震级大于 5.1 的硬土地强震动记录不满足这一规律。震级为 4.1~5.0 的 3 类场地强震记录的  $T_m$  随着震中距的变化趋势较为接近。总体而言, 冲积层场地强震动记录  $T_m$  比其它两种场地的  $T_m$  大, 而基岩场地和硬土地强震动记录  $T_m$  之间大小关系不明确。统计结果表明, 不考虑震级及震中距的影响, 近场基岩、硬土和冲积层场地竖向与水平向地震动  $T_m$  比值分别为 0.86, 0.77 和 0.76, 该比值随着场地的变软而逐渐变小<sup>[6]</sup>。

表 7  $T_m$  的回归系数和标准差

Table 7 Regression coefficients and standard errors of $T_m$								
震级 $M_s$	回归系数	基岩场地		硬土地		冲积层场地		
		系数	标准差	系数	标准差	系数	标准差	
4.1~5.0	水平向	$a$	0.3710	0.129	0.479	0.075	0.585	0.091
		$b$	0.0220	0.007	0.014	0.005	0.016	0.006
	竖向	$a$	0.2770	0.136	0.340	0.072	0.393	0.084
		$b$	0.0190	0.007	0.012	0.004	0.014	0.005
5.1~6.0	水平向	$a$	0.7010	0.109	1.098	0.105	1.064	0.139
		$b$	0.0030	0.005	-0.008	0.005	0.008	0.007
	竖向	$a$	0.5270	0.167	0.631	0.110	0.842	0.174
		$b$	0.0090	0.008	0.005	0.006	0.008	0.008
6.1~7.0	水平向	$a$	1.0300	0.141	1.396	0.246	1.112	0.155
		$b$	0.0002	0.006	-0.018	0.012	0.008	0.008
	竖向	$a$	0.8900	0.215	0.913	0.211	0.657	0.163
		$b$	0.0005	0.009	-0.004	0.010	0.016	0.008

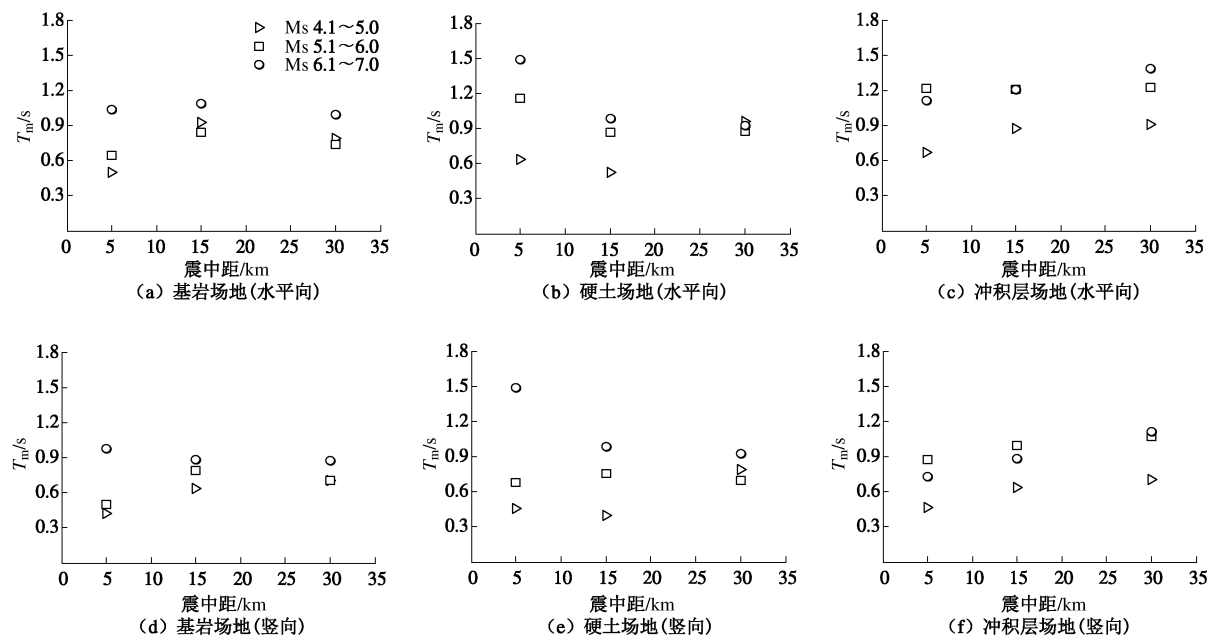
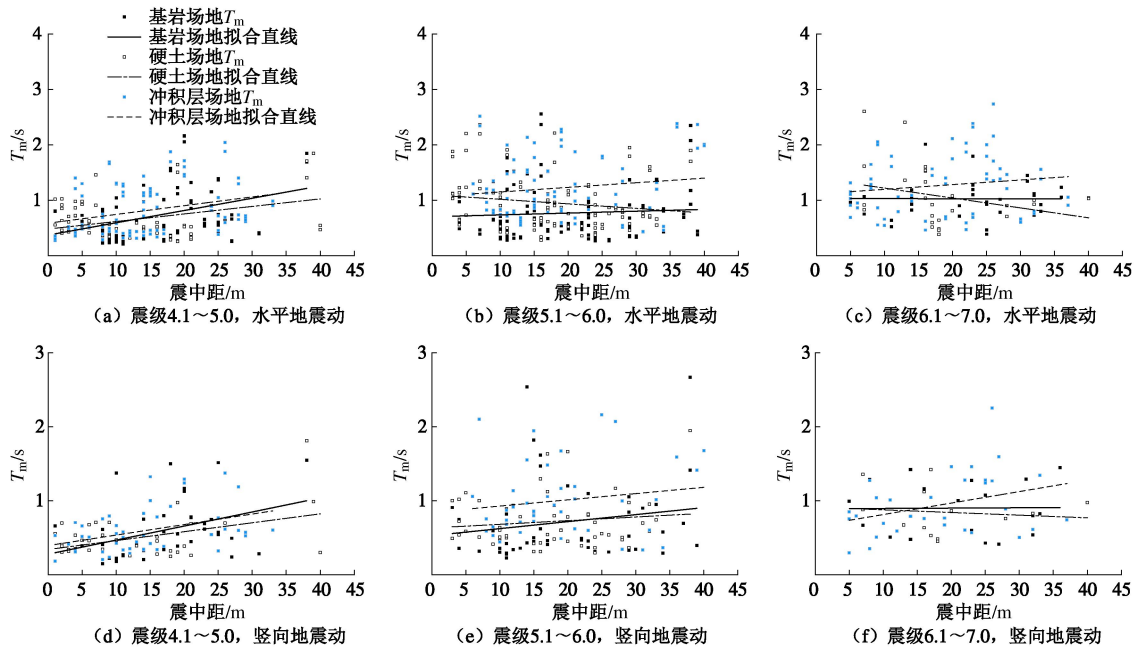


图 8  $T_m$  随震级的变化规律  
Fig. 8 Variations of  $T_m$  with magnitude

图9  $T_m$  随震中距的变化规律Fig. 9 Variation of  $T_m$  with epicentral distance

## 4 结 论

本文基于欧洲及其毗邻地区的333组近场强震动记录(震中距小于40 km),对近场地震动的峰值加速度与反应谱特征参数进行计算,统计分析了近场强震动的峰值加速度和反应谱特征参数、竖向与水平向地震动参数的比值等,得出了以下5点结论。

(1) 震中距对近场强震动记录峰值加速度的影响最大,基本上满足随着震中距增大峰值加速度减小的规律,而震级及场地对峰值加速度的影响并不显著。

(2) 从统计结果看,竖向与水平向地震动加速度峰值比在1/2~2/3的范围内,然而有大约1/3的强震动记录峰值比大约2/3,因此在实际应用中关于特定竖向地震动加速度幅值大小的估计不能简单取值为其水平向地震动加速度幅值的65%,而应对具体的地震动记录进行有针对性的独立分析。

(3) 3种特征周期参数统计结果显示,震中距是影响地震动频谱特性的重要因素,相同震级、相同场地的强震动记录基本上满足随着震中距的增大特征周期参数增大的趋势,同时,冲积层场地相对于基岩和硬土两类较硬场地而言,特征周期参数随震中距增大的趋势明显。

(4) 在近场区域震级对地震动频谱特性的影响不显著,场地条件对特征周期的影响也具有较大的不确定性,本文所分析的震中距小于40 km的强震动记录并不完全符合场地越软特征周期越大的规律。

(5) 总体上看竖向地震动特征周期的离散性较小,竖向地震动的特征周期与水平向地震动相比略小,

比值约为0.80,且3种特征周期参数均显示该比值随着场地的变软而逐渐变小。

值得注意的是本文所收集到的数据有限,而且均来自欧洲数据库,有一定的地域局限性,结论的正确性有待收集更为广泛详实的地震记录进行更为深入的研究分析。

## 参考文献:

- [1] 周正华, 周雍年, 卢滔, 等. 竖向地震动特征研究[J]. 地震工程与工程振动, 2003, **23**(3): 25 - 29. (ZHOU Zheng-hua, ZHOU Yong-nian, LU Tao, et al. Study on characteristics of vertical ground motion[J]. Engineering earthquake and engineering vibration, 2003, **23**(3): 25 - 29. (in Chinese))
- [2] 李小军, 彭青. 不同类别场地地震动参数的计算分析[J]. 地震工程与工程振动, 2001, **21**(1): 29 - 36. (LI Xiao-jun, PENG Qing. Calculation and analysis of earthquake ground motion parameters for different site categories[J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2001, **21**(1): 29~36. (in Chinese))
- [3] AMBRASEYS N, SMIT P, BERARDI R, et al. Berge-thierry: dissemination of european strong-motion data[CD]. European Council, Environment and Climate Research Programme, 2000.
- [4] 徐龙军. 统一抗震设计谱理论及其应用[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006. (XU Long-jun. Theory and applications of uniform seismic design spectrum[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2006. (in Chinese))

- [5] 徐龙军, 谢礼立. 集集地震近断层地震动频谱特征[J]. 地震学报, 2005, 27(6): 656 - 665. (XU Long-jun, XIE Li-li. Characteristics of frequency content of near-fault ground motions during the CHI-CHI earthquake[J]. Acta Seismologica Sinica, 2005, 27(6): 656 - 665. (in Chinese))
- [6] 贺秋梅, 李小军, 董 娣, 等. 近场地震动频谱特征周期研究[J]. 地震地磁观测与研究, 2014(3): 25 - 31. (HE Qiu-mei, LI Xiao-jun, DONG Di, et al. Study on the characteristic period of near field ground motions[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 2014(3): 25 - 31. (in Chinese))
- [7] 贺秋梅. 近场竖向地震动随机特性研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2006. (HE Qiu-mei. Study on randomness of near field vertical ground motion[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2006. (in Chinese))
- [8] 贺秋梅, 闫维明, 董 娣, 等. 震源机制和场地条件对近场强震地面运动特性的影响[J]. 地震研究, 2006, 29(3): 256 - 263. (HE Qiu-mei, YAN Wei-ming, DONG Di, et al. Some effects of ground motion characteristics upon focal mechanism and site classification[J]. Earthquake Search, 2006, 29(3): 256 - 263. (in Chinese))
- [9] 李新乐, 王 瀑, 窦慧娟, 等. 近断层地震动峰值加速度特性研究[J]. 大连民族学院学报, 2006, 3: 73 - 75. (LI Xin-le, WANG Pu, DOU Hui-juan, et al. Study on characteristics of peak ground acceleration for near-fault ground motions[J]. Journal of Dalian Nationalities University, 2006, 3: 73 - 75. (in Chinese))
- [10] 倪永军, 朱 唏. 近断层地震的加速度峰值比和反应谱分析[J]. 北方交通大学学报, 2004, 28(4): 1 - 5. (NI Yong-jun, ZHU Xi. Analysis of acceleration peak ratios and response spectra for near-fault earthquakes[J]. Journal of Northern Jiao Tong University, 2004, 28(4): 1 - 5. (in Chinese))
- [11] SEED H B, IDRIS I M. Characteristics of rock motions during earthquakes[J]. J Soil Mech Found Div, 1969, 95(5): 1199 - 1218.
- [12] IDRIS I M. Earthquake ground motions at soft sites[C]// Proceedings of the 2nd International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics. St Louis, 1991: 2265 - 2272.
- [13] RATHJE E M, ABRAHAMON N A, BRAY J D. Simplified frequency content estimates of earthquake ground motions[J]. J Geotech Eng Div, ASCE, 1998, 124(2): 150 - 159
- [14] RATHJE E M, FARAJ F, RUSSELL S, et al. Empirical relationships for frequency content parameters of earthquake ground motions[J]. Earthquake Spectra, 2004, 20(1): 119 - 144.

## 第九届全国青年岩土力学与工程会议 (第 2 号通知)

2016 年 11 月 4~6 日, 中国 重庆

**会议简介:** 本届会议是继在浙江大学 (1992)、大连理工大学 (1995)、河海大学 (1998)、中科院武汉岩土所 (2001)、西安交通大学 (2004)、同济大学 (2007)、清华大学 (2011)、南昌航空大学 (2013) 召开的前八届会议之后全国青年岩土工程科技工作者的又一次学术盛会。热忱欢迎本领域的专家教授、学者、工程技术人员、博士后、在校研究生积极参与!

**主办单位:** ①中国土木工程学会土力学及岩土工程分会; ②中国力学学会岩土力学专业委员会; ③中国水利学会岩土力学专业委员会; ④中国建筑学会地基基础分会; ⑤中国振动工程学会土动力学专业委员会。

**承办单位:** 重庆交通大学; 重庆大学; 招商局重庆交通科研设计院有限公司。

**会议主题:** 本次会议以“岩土工程灾害与控制”为主题, 对我国近年来岩土力学与岩土工程领域中的相关研究进展进行广泛的学术交流。

会议英文文章征文范围仅限于“岩土工程灾害与控制”; 中文文章征文内容涵盖岩土力学与岩土工程的各研究领域, 包括但不限于以下内容: ①土的本构关系及强度理论; ②土工测

试及仪器; ③岩土工程数值模拟; ④非饱和土与特殊土; ⑤软土工程; ⑥高边坡与危岩; ⑦地下水渗流; ⑧土工合成材料; ⑨库岸再造与防治; ⑩桩基础; ⑪地基处理; ⑫土石坝工程; ⑬航道整治工程; ⑭港口码头工程; ⑮土动力学与地震工程; ⑯环境岩土工程; ⑰岩土工程设计与施工; ⑱地下空间开发与利用; ⑲岩土工程风险与管理; ⑳重大岩土工程实例分析。

**重要日期:** 2015 年 06 月 01 日接受论文全文投稿; 2015 年 11 月 30 日中文稿件提交全文截止; 2015 年 12 月 30 日英文稿件提交全文截止; 2016 年 02 月 29 日通知论文是否录用; 2016 年 03 月 31 日提交修改后论文; 2016 年 11 月 4~6 日: 会议召开。

**联系方式:** 王俊杰教授 (电话: 023-62896924; 13883116938), 梁越副教授 (电话: 023-62459033; 18983369809), 钟祖良副教授 (电话: 13594058380), 朱根桥副主任 (电话: 18008377813), 叶四桥教授 (电话: 13627647292), 黄锋副教授 (电话: 15808075278)。通讯地址: 重庆市南岸区学府大道 66 号, 重庆交通大学国家内河航道整治工程技术研究中心。邮政编码: 400074, 投稿邮箱: nycgge2016@163.com, 会议网址: nycgge2016.cqjtu.edu.cn。

(重庆交通大学 供稿)