

场地的脉动评价

林学文

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

本文通过对基本烈度为7°的西宁市地震小区划实际资料的分析及与钻孔剖面等对比,发现地面脉动功率谱与地面运动水平峰值加速度、地面运动反应谱均有较好的对应性。从一定意义上讲,地面脉动能更直接地反映出一定场地条件下第四系复盖层的工程地质性质,所以可作为一种既简便又经济的工程场地评价方法,与其他方法配合使用。

一、概 述

地面脉动是场地环境影响的综合反映,它既包括各种地质因素,又包括周围自然或人为因素所产生的振动。影响地面脉动频谱特性的主要因素是振动源的频谱特性和场地的地质因素,在场地因素中,起主要作用的是第四系复盖层的岩性、厚度、结构及地下水埋深,脉动频谱特性是各种振动讯号通过地表第四系复盖层后的综合反映。对一定范围的场地来说,可以认为这种讯号是相同的^{[1][1]},脉动频谱的变化程度主要反映了不同场点第四系复盖层对输入振动频谱的改造程度。因此,可以利用地面脉动频谱判定场地的相对好坏,并可作为场地类型划分的主要依据之一。文献[1]和1)讨论了地面脉动的频谱特性与第四系复盖层较厚的场地(>100米)之间的关系,本文重点讨论其与第四系复盖层较薄的(<50米)场地的关系。

二、第四系复盖层与场地脉动频谱的关系

根据西宁市具体情况,考虑到未来市区场地利用规划、建筑物抗震设计及加固的需要,按脉动功率谱主频段并结合谱形态,将市区场地划分为五个区(表1)。

在分区时充分注意了卓越频段的区间划分问题,特别是对跨区间的卓越频段,尽量考虑其主要成分的频域位置,再决定归属。在圈定分区边界时,适当地考虑了相邻场点之间的频段区间和场地条件。

1) 林学文,地面脉动在工程场地评价中的应用问题,《全国土工建筑及地基抗震学术讨论会》论文汇编,1986。

表 1

地面脉动功率谱分区

分 区	I	II	III	IV	V
频段范围 (Hz)	<2.5	2.5—<3.5	3.5—<5.0	5.0—<8.0	≥8.0
测点个数	24	27	21	15	12
$\bar{X}$ (Hz)	2.0—2.50	2.61—3.17	4.06—4.67	6.23—6.60	10.21—10.71
σ_n	0.19—0.29	0.35—0.26	0.46—0.48	0.65—0.66	1.89—1.68

利用14个深钻孔剖面与地面脉动功率谱分区进行对比研究（如图1和表2所示）可以发现，除Ⅲ区的No.8孔、Ⅳ区的No.12孔及Ⅴ区的No.14孔外，当表土层厚度在8米以上时，功率谱卓越频段在3.5Hz以下，体现了表土层较厚的振动特点，如Ⅰ、Ⅱ区的五个钻孔。但当表土层厚度小于8米且小于下部砂砾卵石层时，功率谱卓越频段在5.0Hz以上，体现了砂砾卵石层的振动特点，如Ⅴ区的No.3、No.6、No.11孔和Ⅳ区的No.13、No.7孔及Ⅲ区的No.1孔。。在14个深孔中，占对比组总数的79%。

表 2

地面脉动功率谱分区特征对比表

分 区		I		II		III		IV		V						
频 域		(<2.5Hz)		(2.5—3.5Hz)		(3.5—<5.0Hz)		(5.0—<8.0Hz)		(>8.0Hz)						
钻 孔 号		No. 5	No. 10	No. 2	No. 15	No. 4	No. 1	No. 8	No. 13	No. 7	No. 12	No. 14	No. 3	No. 6	No. 11	
表 土 层	厚 (m)	1.45	8.5	13.4	8.0	20.0	8.0	15.5	4.0	1.0	19.0	12.0	2.5	3.0	3.0	
	分类	亚粘土	轻亚粘土	黄土状轻亚粘土	亚粘土	黄土状轻亚粘土	黄土状轻亚粘土	粘土	黄土状轻亚粘土	亚粘土	亚轻亚粘土	粘土	黄土状轻亚粘土	黄土状轻亚粘土	亚粘土	
	$\bar{V}_s$ (m/sec)	220	230	230	170	210	280	230	140	180	230	240	160	245	145	
砾 石 层	厚 (m)	3.2	12.5	30.3	3.7	4.0	11.0	6.5	6.7	4.8	14.7	13.9	1.05	6.2	4.4	
	$\bar{V}_s$ (m/sec)	380	470	460	370	370	410	430	385	400	390	450	340	490	320	
基 岩		$\bar{V}_s$ (m/sec)	430—525	580	500	420—580	490	410	450—530	580	550	465	430—680	440	430—520	410
频谱主频段 (Hz)		2.0—2.5	2.5	2.9—3.7	2.6—2.9	2.8—3.8	4.9	4.0	6.0—6.5	7.5—7.7	6.5—6.8	12.7	10.7	7.8—8.3	10.1—11.2	

进一步分析表2可以发现，No.14孔表土层虽厚达12米，但下部有13.8米的砾石层，它的 $V_s = 260 - 560$ 米/秒， $\bar{V}_s = 450$ 米/秒，与风化基岩 $\bar{V}_s = 430 - 680$ 米/秒比较接近，因此可以理解在表土层下有一个厚度远大于表土层的砾石层，它的讯号特别强，致使12米厚的表土层没有能够改变它的振动频谱特性。No.12孔的情况与此相似。

上述分析表明，地面脉动频谱特性对场地第四系复盖层的物质组成及性状、厚度变化反映都比较灵敏，说明地面脉动作为场地评价一种手段的可靠性与准确程度。

No.2孔表土层厚13.4米，下部的砾石层厚30.3米，其 $V_s = 410 - 510$ 米/秒， $\bar{V}_s = 460$ 米/秒，底部风化基岩 $V_s = 410 - 580$ 米/秒， $\bar{V}_s = 500$ 米/秒。若按No.14和No.12孔的情况，该孔应体现出砾石层的频谱特征，但由于表土层物理力学性质较差，其 $\bar{V}_s = 230$ 米/秒，与砾石层 $\bar{V}_s$ 相差两倍，又加之表土层厚度较大，黄土振动的低频特性得以充分显示，所以体现了表土层的频谱特征。由此可以得出，当下部砂砾卵石层的 $\bar{V}_s$ 比表土层 $\bar{V}_s$ 大100米/秒以上、表土层厚度大于10米时，仍然表现了表土层的频谱特征。

像No.1及No.8孔处在高低频段之间(3.5—5.0Hz),要特别慎重对待,两个钻孔剖面也表明,它们分别具有No.14和No.2孔两者的特点,在这种类型的地区,应结合如钻探,物探等手段作进一步的探查,不宜简单从事。

利用24个物探剖面检验的结果与钻孔剖面对比结果是一致的,其中有17个剖面与脉动分区对应很好,占物探剖面总数的71%,位于Ⅲ区的剖面有4个,均属需进一步作工作才能判定的剖面(表3)。

表3 地面脉动分区与浅层物探剖面对照表

剖面序号	脉动分区	表土厚(m)	砾卵石厚(m)	合计(m)	对应
1	V	14.3	13.8	28.1	✓
2	Ⅱ	12.4	21.0	33.4	
3	I	3.25	4.0	7.25	✓
4	I	8.0	4.0	12.0	✓
5	V	10.6	2.9	13.1	
6	I	10.6	5.7	18.3	✓
7	Ⅳ	5.8	10.1	15.9	✓
8	I	11.3	8.5	19.5	✓
9	V	19.3	19.0	38.9	✓
10	Ⅳ	12.3	8.0	20.3	✓
11	I	4.3	8.7	12.7	
12	I	2.9	7.2	10.1	
13	I	14.8	11.2	26.0	✓
14	I	3.9	7.7	11.6	✓
15	Ⅱ	6.4	8.6	15.0	
16	I	11.7	6.2	17.9	✓
17	I	8.8	13.7	22.5	✓
18	I	16.6	9.5	26.1	✓
19	Ⅱ	14.7	9.5	24.2	
20	Ⅳ	22.0	12.0	34.0	✓
21	Ⅱ	21.3	12.3	33.3	
22	I	11.9	5.1	17.0	✓
23	I	3.9	4.1	8.0	✓
24	Ⅳ	3.3	3.7	7.0	✓

三、脉动功率谱与地面运动反应谱分区及峰值加速度分区的关系

一般情况下可以认为地面脉动的功率谱反映了微幅振动下,场地第四系复盖层表面的振动特性,地震地面运动反应谱则反应了地震过程中在大振幅作用下,场地第四系复盖层表面

反应特征。当假定地震动输入的强度、频谱组成及持时等主要要素在同一场地的一定范围内相同时, 则地震地面运动反应谱的差异反映了基底以上地质体对输入地震波的改造程度, 它与地面脉动功率谱之间具有一定的可比性。

由表4可以看出, 脉动频谱的高频段和低频段分区与地面反应谱分区吻合得比较好。如脉动的Ⅳ、Ⅴ两区($\leq 5.0\text{Hz}$)对应的是地面反应谱Ⅰ区($T_g = 0.25S_{es}$, 即 $< 4.0\text{Hz}$); 脉动的Ⅰ、Ⅱ两区($\leq 3.5\text{Hz}$)对应的是反应谱Ⅱ、Ⅲ区($T_g = 0.35 - 0.5S_{es}$, 即 $2.0 - 2.86\text{Hz}$); 脉动频谱的Ⅲ区($3.5 - \leq 5.0\text{Hz}$)与反应谱分区有些差异, 引起这种结果的原因如前所述, 厚度大于8米且比砂砾卵石层厚度大的表土层, 在谱形态上有明显的反映, 但对那些表土层虽然厚度大于8米, 而下部砂砾卵石层厚度比表土层大且 $\bar{V}_s$ 与风化基岩相近的场点, 则表现了砂砾卵石层的频谱特点(No.14、No.12孔)。正是这些地带表现了脉动与反应谱分区之间的差异(参见图1)。

表4 脉动功率谱与地面运动反应谱分区对比

地震危险水平	反应谱分区		T _g (sec)	α ₀ (gal)	脉 动 频 谱 分 区 (Hz)				
	区	亚区			I	II	III	IV	V
					<2.5	2.5—<3.5	3.5—<5.0	5.0—<8.0	≥8.0
50年 超越概率 10%	I	I	0.25	125				2	8
		I-1	0.35						
	II	II-2		180	1	1			
		II-1	125	1	1	1			
	III	III-1	0.50	180		1	1	1	1
		III-2							
50年 超越概率 2%	I	I	0.25	220				2	8
		I-1	0.35						
	II	II-2		330	1	1			
		II-1	220						
	III	III-1	0.50	330	1	2	2	1	1
		III-2							

引起上述地段评价差异的原因, 可从场地评价两种方法自身特点来分析。在地震地面运动反应计算时, 所用参数如动弹模量 K 、杨氏模量 E 、动剪模量 G 及泊桑比 μ 等, 均由现场实测的 V_p 、 V_s 及 r 按不同土层、不同深度的平均值推导的, 与实测是有一定误差的。输入地震波的底板也是根据 V_s 确定的。这必然会导致与场地实际情况的差异。但是, 地面脉动频谱分析却不产生产生误差的上述诸因素, 它是地面振动特征的直接反映, 因此若从这个角度看, 利用地面脉动频谱特征划分场地类型比利用地面运动反应谱可能更准确些。

从西宁市区的总体情况来看, 两种频谱类型分区对应得比较好, 特别是北川和东川一带。如在大什字一带, 虽然表土层厚仅5米左右, 但由于有两米以上的人工杂填土, 其脉动频谱分区依然位于低频区内, 反应谱分区也与此一致, 当然, 也有对应不好的地区, 如西川大堡子及其西部, 在脉动分区的Ⅰ区内还包括一片Ⅳ、Ⅴ区。根据脉动频谱特征分析, 这一带可能是表土层较薄, 或是其下部砂砾卵石层厚度较大、或厚度虽不大但其 $\bar{V}_s$ 与风化基岩相近。钻孔资料证明, 这一带土层厚仅3—4米, 而下部砂砾卵石层厚度却达14米以上。然而在相应的反应谱分区上这一现象却反映很不充分。

脉动频谱表现的是在某种场地条件下第四系复盖层滤波作用的大小，地震地面运动水平峰值加速度表现的是在该场地条件下第四系复盖层对输入地震动放大作用的大小。例如在地面运动峰值加速度分区图上，低峰值区主要是在河漫滩及复盖层较薄的I级阶地，而这些地区恰是地面脉动的高频区；当复盖层厚度增大时，则向高峰值区移动，在地面脉动分区图上是向低频区移动，因此，西宁市地面脉动频谱分区与地面运动峰值加速度分区吻合得比较好，但当复盖层厚度在30米以上时，峰值加速度又减小，这可能是由于表土层对地震动能量的吸收作用增强所致，这种现象在北川西侧山前一带有明显的显示。随着第四系复盖层厚度增加放大作用逐渐增大，也正是由于第四系复盖层厚度逐渐增大，所以使地面脉动频谱向低频端移动，这就是脉动频谱分区与地面运动峰值加速变分区能够对应得比较好的原因。

四、结 论

综上所述，可以得出如下结论：

- 1.当地表第四系复盖层在50米以内时，地面脉动能很好的反映出场地复盖层的工程地质性质，并与地面运动反应谱对应得很好。
 - 2.当表土层厚度大于8米时，脉动功率谱卓越频段在3.5Hz以下；当表土层厚度大于8米但小于砂砾卵石层厚度时，脉动功率谱卓越频段在5.0Hz以上。
 - 3.当砂砾卵石层与风化基岩的 $\bar{V}_s$ 接近时，虽然表土层厚度与其相近，但却表现了砂砾卵石层的频谱特征；当表土层厚度大于10米且与砂砾卵石层的 $\bar{V}_s$ 相差100米/秒以上时，则表现了表土层的频谱特征。
 - 4.脉动功率谱与地面运动反应谱之间对应比较好。局部差异可能与地面运动反应计算时使用的有关参数来源有关。
 - 5.脉动功率谱分区与地面运动峰值加速度分布吻合得比较好，一般情况下随表土层厚度增加峰值加速度增大，脉动频谱移向低频端。
- 由上述结论可以看出，地面脉动作为场地评价方法之一，不仅有独到之处而且方法简便，经济。在相同情况下，辅之以少量钻探工程就可达到目的，至于特强地面运动情况下的非线性问题尚需进一步研究。

（本文1989年12月19日收到）

参 考 文 献

- 〔1〕 林学文，地面脉动的工程地质意义，西北地震学报，Vol. 9，No. 4，1987.

THE PROBLEM OF EVALUATING SITE BY EARTH TREMOR

Lin Xuewen

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Gansu, China*)

Abstract

In this paper, it is found that power spectrum of earth tremor corresponds to acceleration peak value and response spectrum of ground motion using comparison analyses between the practical data on the seismic microzoning of Xining City, where the basic intensity is 7 degrees, and profiles of borehole is well. Therefore, in this context, the earth tremor can indicate the engineering-geology properties of Quaternary overburden layer under a certain site condition more directly, and the method of evaluating site by earth tremor may be regarded as a simple, convenient, and economic one of evaluating engineering site, used with other methods together.

孤立型中强震和临近大震前震源系统中发 生的中强震的前兆场的区分

郭增建和本文作者按组合模式求得震源前兆场和震级的关系式为

$$R = 10^{0.6M-1.4}$$

式中R为以震中为原点的前兆半径。根据此式我们可求得M=5.5时, R=22 km; M=6.0时, R=40 km; M=6.5时, R=71 km。显然对于中等地震其前兆范围是不大的。然而中强地震的前兆也有两种类型, 一种类型是前兆很少, 前兆范围很小。另一种类型是前兆较多, 且前兆范围很大。我们认为前一种属孤立型中强震前兆, 后一种可能属大震震源系统的中强震前兆。这是因为大震震源系统的应力水平高, 当中强地震发生在该系统中时, 两者的应力场相迭加, 导致异常范围增大。或者该中强地震是大震系统进程中的一个关键部分, 则该中强地震发生前后是反应整个震源系统应力场变化的一种后果。这样这类中强震的发生前后都会导致较大范围的前兆异常。根据上述中强地震的类型, 我们认为, 可以利用中强地震前后前兆异常范围来预测中强地震后是否有更大地震或者没有。

(国家地震局兰州地震研究所 秦保燕)