

# 自贡西山公园山脊场地地形和土层 效应数值模拟<sup>1</sup>

杨宇<sup>1, 2)</sup> 李小军<sup>1)</sup> 贺秋梅<sup>1)</sup>

1) 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081

2) 环境保护部核与辐射安全中心, 北京 100082

**摘要** 利用自贡地形影响强震动观测台阵在汶川地震中获得的强震动记录, 以位于山脚下基岩上的台站为参考点, 采用传统谱比法对场地放大效应进行了初步分析; 同时用显式有限元-有限差分方法模拟了自贡西山公园山脊场地地形和土层的地震动效应, 并进行了数值模拟结果与强震动观测结果的对比分析。结果表明: 上覆土层对地震动的放大作用相对于地形变化的放大作用更为明显; 地形对地震动水平分量的放大效应要明显于对竖直分量的放大效应; 采用二维模型对上覆土层的模拟与观测结果较吻合, 对于基岩介质部分的模拟在低频范围内也能反映山脊地形对地震动的影响。

**关键词:** 场地效应 山脊地形 数值模拟 传统谱比法 汶川地震

## 引言

场地条件对地震动影响的研究是地震工程和岩土工程领域具有重要理论意义和工程应用价值的研究课题。近 100 年来, 人们通过破坏性地震的震害调查认识到了这一问题的存在, 并通过强震记录的对比分析证实了场地条件对震害和地震动的影响。较早开展场地条件对震害影响研究的学者是美国人 Wood。他对 1906 年美国旧金山大地震震中区附近的震害做了详细现场调查, 发现建在不同场地上的建筑震害差异很大。其后发生的多次地震的震害均显示出了类似的现象。1923 年日本关东大地震, 人们调查发现建在软弱地基上的建筑物震害比建在坚硬基岩上的建筑物震害要重好几倍。1985 年 9 月 19 日, 距墨西哥城 400km 以外的墨指根洲的海岸附近发生了  $M_s 8.1$  级地震, 墨西哥城遭受到严重破坏, 其震害程度不仅极大地超过周围地区, 而且比震中附近的海岸区还严重, 这主要是由于该城局部地质构造的影响而造成的, 墨西哥城坐落在一个很深的盆形软粘土层上, 长周期地震波和横向非均匀软土的相互作用造成了长周期结构物的严重破坏。我国从 60 年代也开始了场地条件对地震动的影响研究(周锡元, 1965; 胡聿贤等, 1980)。1970 年云南通海地震发生在通海、建水、峨山三县交界

1 基金项目 公益性行业科研专项(201108003)资助

[收稿日期] 2011-08-18

[作者简介] 杨宇, 女, 生于 1978 年。中国地震局地球物理研究所博士研究生。主要从事地震波动的数值模拟方法研究。  
E-mail: alanayang1949@126.com

的山区里, 震级为 7.7 级, 震中烈度达 X 度强, 有不少村庄位于局部孤立突出的地形上 (如孤立的小山包或山梁顶部), 它们的震害和平地上同类场地的村庄相比, 一般均较重。1974 年 5 月 11 日云南永善-大关地震 (震级 7.1), 距离震中 18km、坐落于弧突山梁之上的芦永湾六队受地震破坏比较严重且差异明显, 其中弧突形势最明显的端部破坏最重, 烈度高达 IX 度; 而弧突形势不明显的鞍部破坏较轻, 烈度仅为 VII 度。1976 年唐山地震中亦有类似的例子, 如位于迁西县景忠山顶部的庙宇式建筑大多严重破坏和倒塌, 可评为 IX 度; 而位于山脚周围的 7 个村庄的烈度, 普遍都是 VI 度, 在高差相差约 300m 的山顶与山底, 烈度可相差 3 度之多。唐山地震中在盆地地区也出现了许多震害异常区, 这些盆地地区的震害分布特点是从盆地边缘到盆地中心房屋倒塌率高, 并在盆地中心形成了一个震害异常区。

在上述震害资料中, 都能发现由于局部场地条件对地震动的影响而加重建筑结构震害的现象, 震害较重的场地多为复杂局部场地, 这说明复杂局部场地条件对地震动的影响不容忽视。因此, 研究场地条件对地震动的影响成为了地震工程学中的重要课题之一。对它的研究可使人们更清楚地了解局部场地地质条件和地形如何影响地震动, 其研究结果对于预测一个地区的地震震害, 选择工程厂址, 进行抗震设计等实际问题具有重要意义。

虽然汶川地震造成了严重的生命伤亡和财产损失, 但值得庆幸的是在汶川地震中我们获得了许多有用的地震资料, 其中包括地形影响强震动观测台阵得到的加速度记录, 这为场地条件对地震动影响问题的深入研究提供了很好的契机。

## 1 场地效应分析方法介绍

评估场地条件对地震动的影响主要有两种方法: 经验法和理论法。经验法直接从实际地震记录或者利用仪器测量获得的数据进行统计分析, 主要有传统谱比 (RSM) (Borcherdt, 1970)、线性反演法 (GIT) (Andrews, 1986)、参考事件法 (Moya 等, 2003)、水平/垂直谱比法 (HVSr) (Field 等, 1985) 等; 理论法则是建立力学模型计算分析场地效应, 主要方法有解析法和数值法。

### 1.1 经验法

经验法可以使人们从实际地震记录中获得场地反应, 而且经验法不需要场地土介质甚至是地形的具体参数。传统谱比法有清晰的物理基础, 应用于密集的、局部的台阵记录分析效果较好 (欧阳行艳等, 2008)。基于自贡西山公园强震动观测台阵的布置特点, 本文选用传统谱比法对强震动加速度记录做初步分析, 所以这里只简单介绍传统谱比法。

假设某个场地的地震动记录主要包含震源特性、地震波传播路径以及局部场地效应三方面的信息, 即:

$$U_{ij}(f) = S_i(f)Z_j(f)P_{ij}(f) \quad (1)$$

式中,  $U_{ij}(f)$  为第  $j$  个台站记录到的第  $i$  个震源的运动观测谱;  $S_i(f)$  为第  $i$  个震源的谱;  $Z_j(f)$  为第  $j$  个台站所在场地的场地影响函数;  $P_{ij}(f)$  代表波动从第  $i$  个震源传播到第  $j$  个台站中传播路径对波传播的影响。

如果选择一个参考台站  $R$ , 那么相邻台站与该参考台站记录到的地震动谱的比值为:

$$\frac{U_{ij}(f)}{U_{iR}(f)} = \frac{S_i(f)Z_j(f)P_{ij}(f)}{S_i(f)Z_R(f)P_{iR}(f)} \quad (2)$$

假设这 2 个台站之间的距离相对震源离台站的距离是个小值, 可以合理地认为:

$$P_{ij}(f) \approx P_{iR}(f) \quad (3)$$

则由式 (2) 和式 (3) 可得:

$$\frac{Z_j(f)}{Z_R(f)} = \frac{U_{ij}(f)}{U_{iR}(f)} \quad (4)$$

由此, 就可以得到观测台站  $j$  相对于参考台站  $R$  的场地地震效应。

如果选择的参考台站的场地为理想的均匀弹性半空间场地, 此时  $Z_R(f) = 1$ , 则:

$$Z_j(f) = \frac{U_{ij}(f)}{U_{iR}(f)} \quad (5)$$

## 1.2 理论法

局部场地对地震动的影响在本质上是波动的传播折射与散射问题, 该问题的理论分析方法可以分为: 解析法和数值法。解析法主要有分离变量法、波函数展开法、正交函数法、Fourier 变换法和 Weiner-Hopf 法等。解析法适用于研究均匀、线弹性介质中波的传播问题, 而不规则地形对地震波的散射问题, 由于介质力学模型的复杂性, 只有在若干假定的前提下, 对简单的力学模型在简单平面波入射下的地震反应获得解析解。但由于解析解简化过多, 所得的地震反应往往与实际相差较大。而在计算机飞速发展的今天, 分析这类问题通常采用数值分析的方法。数值模拟方法早期主要有有限元法、有限差分法以及边界元法等, 近年来研究人员在这些方法的基础上, 还发展了有限元-边界元、有限元-有限差分、离散波速法-有限元-有限差分等混合的方法。这些方法的发展使得人们可以对复杂的场地建立模型进行模拟, 从而更加深入地分析研究场地条件如何影响地震动, 为地震工程提供选址及设计的依据。

基于自贡西山公园台阵布置的特点, 本文将采用结合透射人工边界 (廖振鹏, 2002) 的显式有限元-有限差分法 (李小军等, 1992; Xiao-Jun Li 等, 1995) 进行数值模拟计算, 并与强震动加速度观测值及传统谱比法结果进行比较分析。

## 2 自贡地形对台阵数据的影响及分析

2007 年自贡地形影响台阵建成并开展观测运行, 主要是为了观测场地不规则地形对地表地震动放大在空间分布上的非均匀性影响。观测台阵位于四川省自贡市西山公园内, 观测对象为山脊地形。西山公园位于自贡市城市中心区西缘, 地处自流井凹陷区内, 总体构造形态为一个复式向斜, 由一系列北东向背斜和向斜组成。地形台阵基本沿着该山脊地形的轴线布设, 图 1 是台站分布剖面示意图, 台站的具体位置和场地条件如表 1 所示。

自贡地形影响强震动观测台阵中, 除了台站 S0 所在场地上有覆盖土层外, 其他台站均位于基岩上。在汶川地震中, 台阵获得了较为完整的主震记录, 图 2 给出了台站 S0—S7 全部 8 个台站 3 个方向的地震动加速度记录, 图中 EW 为东西向分量; NS 为南北向分量; UD 为竖向分量。处于覆盖土层场地上的台站 S0 的地震动记录的获取, 为利用该台阵记录研究场地地形影响的同时, 也为研究场地局部土层条件对地震动的影响提供了资料。

表 1 台站位置和场地条件

Table 1 Station position and site condition

序号	台站名称	放置位置	经度 (°)	纬度 (°)	高程 (m)	岩性
1	S0	地表	104.74568	29.3398	345	土层
2	S1	地表	104.7452	29.3396	345	基岩
3	S2	地表	104.745	29.33993	367	基岩
4	S3	地表	104.744	29.33967	385	基岩
5	S4	地表	104.7436	29.34025	392	基岩
6	S5	地表	104.7426	29.34012	390	基岩
7	S6	地表	104.7422	29.3404	417	基岩
8	S7	地表	104.74193	29.34083	397	基岩

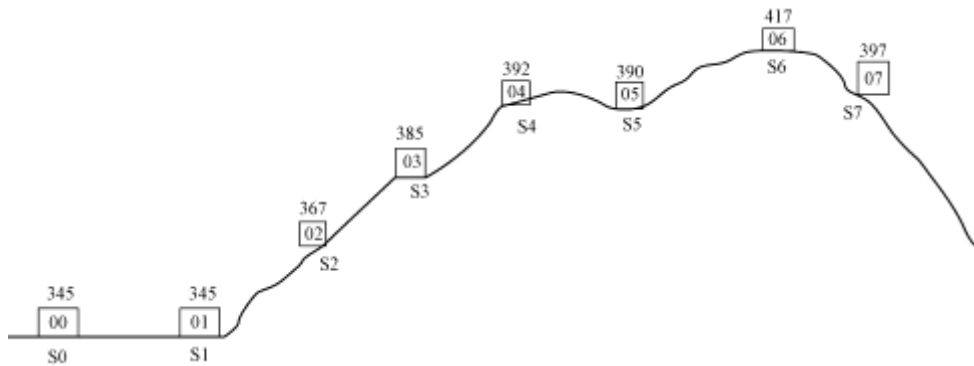


图 1 台阵布置剖面示意图

Fig. 1 Schematic profile of station arrangement

为了分析场地的放大效应，需要选择一个台站作为参考点。虽然台站 S0 位于水平地表，但是台站 S0 并不宜作为场地影响的参考点，因为台站 S0 位于覆盖土层上而不是基岩上，台站 S0 记录到的地震动虽然没有明显受场地地形影响，但受场地土层的影响显著，因此，台站 S0 并不适合作为地形影响分析的参考点。台站 S1—S7 均位于基岩场地上，可以认为场地地形的变化才是影响它们记录到的地震动的主要因素。台站 S1 位于山脚的基岩场地上，其他台站都位于山坡和山顶的基岩场地上，选则山脚的台站 S1 作为参考点。虽然得到的不是相对自由场的放大系数，但是山坡上的观测点相对于山脚的观测点的放大系数也能反映场地地形的影响作用。综合考虑上述台站分布的特点，本文选用台站 S1 作为地震动记录分析的参考点。

基于自贡地形影响强震动观测台阵汶川地震的主震记录，将台站 S1 作为参考台站，采用传统谱比法分析该场地其他各个台站相对于台站 S1 的相对放大效应。观测点 3 个方向的频谱曲线和相对放大效应曲线如图 3 所示。

从图 3 可以看出，台站 S0 的 NS 方向和 EW 方向的频谱曲线在 6—8Hz 之间有较大的振幅，可以认为观测点 S0 所在场地的卓越频率在 6—8Hz 之间；相对台站 S1 而言，台站 S0 的地震动加速度的水平分量（NS 方向和 EW 方向）在 6—8Hz 之间有明显的放大，放大系数的

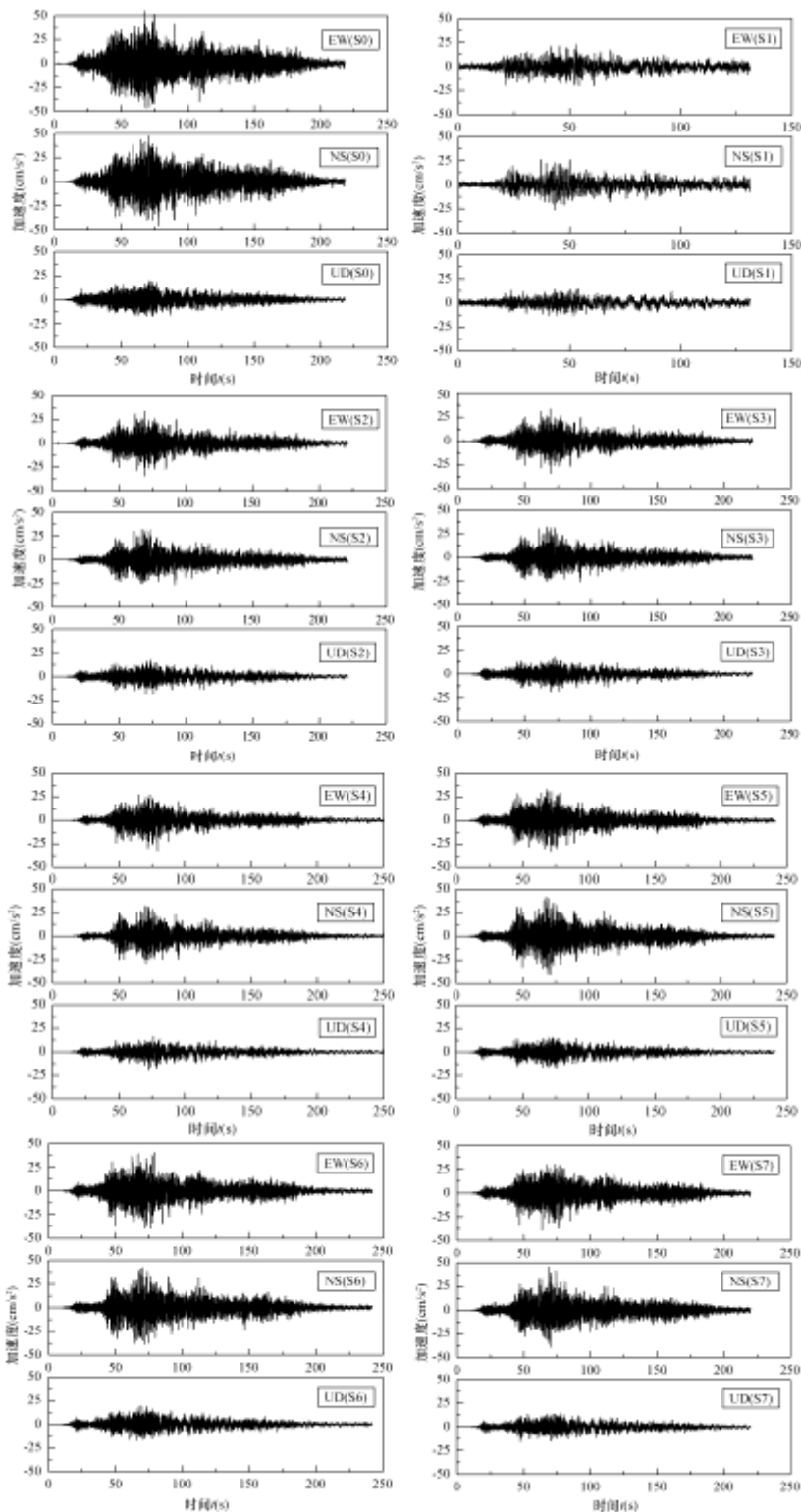


图 2 汶川地震站台阵地震动加速度记录

Fig. 2 Acceleration records obtained by strong motion array in Wenchuan earthquake

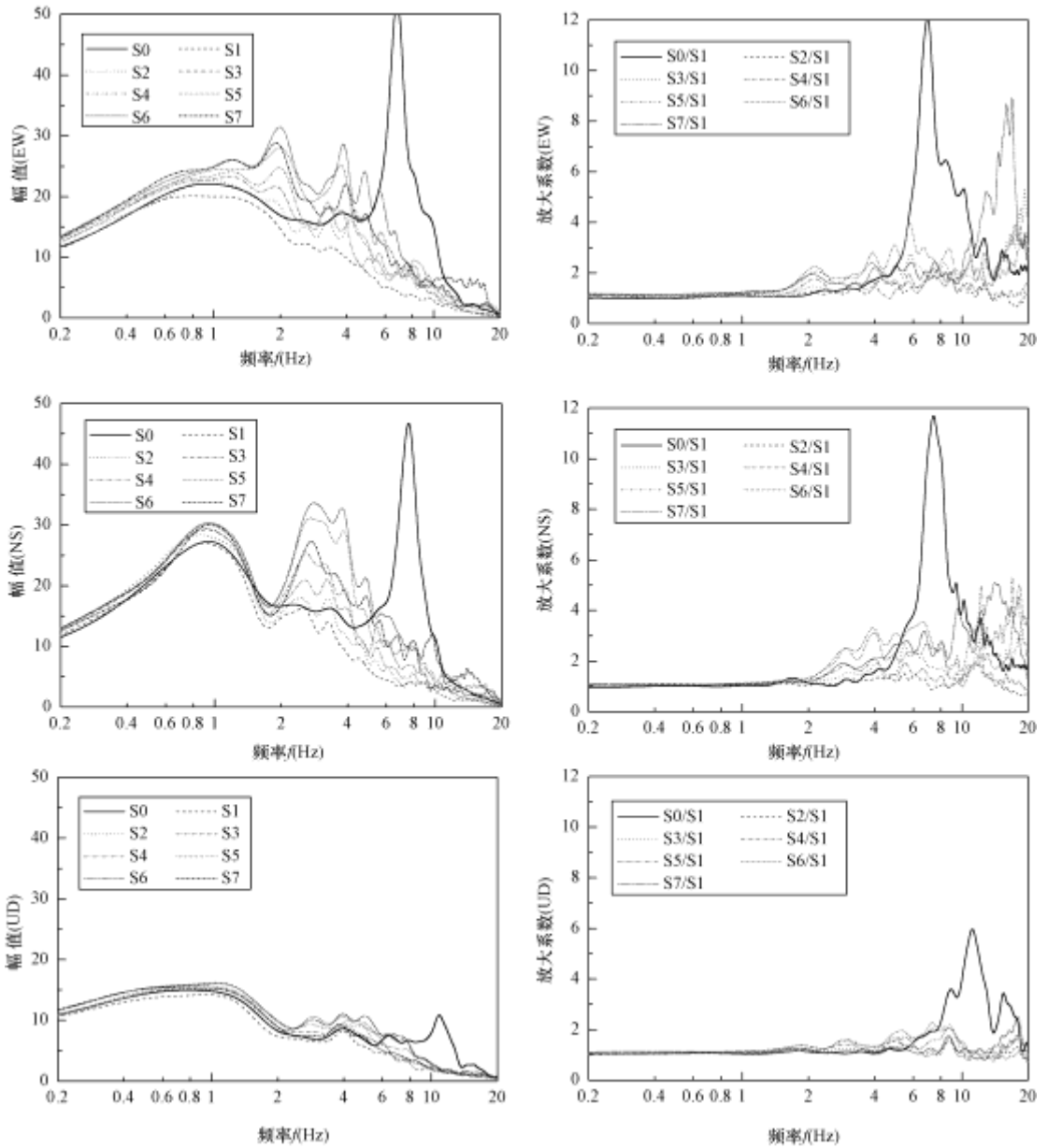


图 3 观测点地震动频谱曲线和相对观测点 S1 的放大系数曲线

Fig. 3 Spectrum curve and magnification factor curve relative to S1

最大值可以达到 12 左右，竖向分量（UD 方向）的放大主要发生在 10—12Hz 范围内，最大值达到 6 左右。台站 S0 的放大效应明显大于其它观测点，这也验证了之前在选取参考点时的推断，台站 S0 记录到的地震动是场地土层和地形变化共同作用的结果，且台站 S0 所在场地的土层对地震动响应的放大效应明显大于山脊地形的放大效应。台站 S0—S7 在频率 1.4Hz 以下时，地震动加速度水平分量的相对放大系数都接近于 1；当频率大于 1.4Hz 以后，水平分量的放大效应随频率的增大而逐渐明显；NS 方向和 EW 方向的放大系数曲线比较接近，

说明该场地对地震动 2 个水平分量 NS 和 EW 的影响基本相同；地震动加速度的竖向分量的相对放大系数在 4Hz 以下基本上都在 1 附近，大于 4Hz 以后，竖向分量的放大系数有所增大，但是相对水平分量的放大系数而言还是比较小的，说明不管是场地土层还是山脊地形，对水平分量的放大效应要明显大于对竖向分量的放大效应。台站 S1—S7 是沿着山脊从下向上布置的，台站 S2—S7 相对台站 S1 的放大系数都大于 1，且放大系数基本上是符合沿着山脊自下而上逐渐增大的趋势，说明该山脊地形从山脚往上，随着场地高程的增大，其场地的放大效应也逐渐增强。

### 3 数值模拟

本文采用结合透射人工边界（廖振鹏，2002）的显式有限元-有限差分方法（李小军等，1992；Xiao-Jun Li 等，1995）进行数值模拟计算。如何建立计算模型是计算分析涉及的首要问题，在现有资料的基础上根据自贡地形影响台阵沿山脊地形的轴线方向架设台站的情况，建立了如图 4 所示的二维模型。用该模型数值模拟的结果与上文中得出的传统谱比法的结果进行比较分析，探讨这样相对简化的二维场地模型是否可以反映自贡西山公园的山脊地形场地效应。

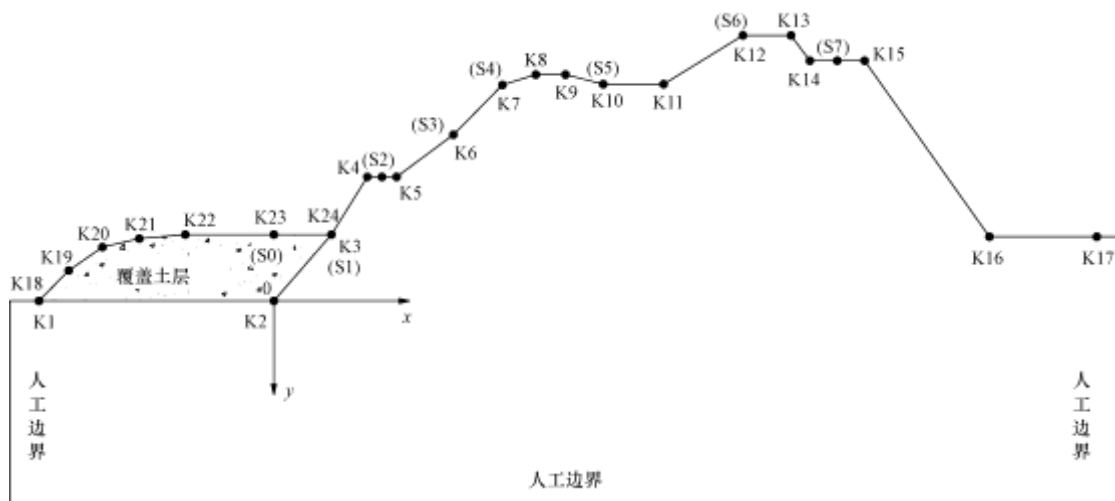


图 4 计算模型示意图

Fig. 4 Schematic diagram of calculation model

由于现有资料中没有台阵的钻孔资料，建立计算模型时台站所处的场地参数取值没有直接的依据，所以本文在数值计算中的参数取值（特别是台站 S0 所在的场地土层参数）参考了四川地区场地参数的统计值，表 2 给出了统计值的部分结果。

表 2 四川地区场地参数统计值

Table 2 Statistical value of site parameters in Sichuan

土 层			基 岩		
距离地表距离 (m)	波速 (m/s)	密度	距离地表距离 (m)	波速 (m/s)	密度
1	176.34	1.80	15	607.92	1.93
2	218.59	1.82	20	669.62	1.95

续表

土 层			基 岩		
距离地表距离 (m)	波速 (m/s)	密度	距离地表距离 (m)	波速 (m/s)	密度
3	249.65	1.83	25	721	1.96
4	272.49	1.83	30	765	1.98
5	287.26	1.84	34	796	1.99
6	298.41	1.84	36	802.5	1.99
7	306.38	1.84	40	817.5	1.99
8	319.43	1.85	46	840	2
9	336.49	1.85	50	852	2
10	342.1	1.85	54	863	2.01
11	353.63	1.86	60	880.5	2.01
12	362.05	1.86	64	889.5	2.01
13	366.12	1.86	70	901	2.02
14	367.73	1.86	73	967	2.04

考虑到现有资料中并没有给出台站 S0 所处位置覆盖土层的厚度, 本文利用经验公式  $f = V_s / 4h$  来确定土层厚度。从表 2 中可以判断土层的剪切波速  $V_s$  大概在 200m/s—400m/s 的范围内, 从图 3 可知台站 S0 所处场地覆盖土层的卓越频率在 6—8Hz 之间, 这里取  $f=7\text{Hz}$ , 由此可以大致推断土层厚度在 7m—14m 左右, 本文选取台站 S0 所在点的土层厚度为 12m。

计算模型中地形控制点坐标如表 3 所示, 观测点坐标如表 4 所示。因为建立的计算模型中有不均匀介质(覆盖土层)存在, 所以控制点分为 2 个部分: 控制点 K1—K17 控制基岩表面的变化; 控制点 K18—K24 控制覆盖土层表面的变化。观测台站大部分与地形控制点重合, 只有观测点 S2 和 S7 落在 2 个地形控制点之间。计算模型的网格尺寸划分根据控制点略有不同, 基岩表面控制点 K4—K5、K8—K13、K14—K15 之间网格尺寸  $\Delta x = 5\text{m}$ , 其余控制点之间的  $\Delta x = 4\text{m}$ , 整个基岩部分的竖向网格划分  $\Delta y = 4\text{m}$ ; 覆盖土层部分的网格尺寸  $\Delta x = 4\text{m}$ 、 $\Delta y = 4\text{m}$ , 对于土质地表不规则部分不能划分为四边形单元的, 在基岩表面及土层控制点划分好的基础上连接成三角形单元。

表 3 地形控制点坐标

Table 3 Coordinates of terrain control points

基岩	控制点	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
	X 坐标 (m)	-300	0	48	80	110	178	218	230	280
	Y 坐标 (m)	0	0	-12	-34	-34	-52	-59	-61	-61
	控制点	K10	K11	K12	K13	K14	K15	K16	K17	
	X 坐标 (m)	315	330	365	400	416	436	480	520	
	Y 坐标 (m)	-57	-57	-84	-84	-64	-64	-30	-30	
覆盖土层	控制点	K18	K19	K20	K21	K22	K23	K24		
	X 坐标 (m)	-300	-280	-260	-240	-200	0	48		
	Y 坐标 (m)	0	-2	-4	-8	-12	-12	-12		



表 4 观测点坐标

Table 4 Coordinates of observation points

观测点	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
x 坐标 (m)	0	48	85	178	218	315	365	426
y 坐标 (m)	-12	-12	-34	-52	-59	-57	-84	-64

数值计算时的参数选取参考表 2 中的统计值, 土层的横波波速取为 300m/s, 基岩的横波波速取为 800m/s, 土层的密度取为 1.84, 基岩的密度取为 2.0。地震动输入为垂直入射的脉冲形式 SH 波 (如图 5 所示), 因为数值模拟的结果是与观测值的谱放大系数来比较的, 本文的谱放大系数可以看作是传递函数的比值, 从传递函数原理上来讲, 受输入波的影响不大, 特别是对于弹性分析模型问题, 主要是由场地条件决定的, 所以本文的输入使用了相对比较简单脉冲时程, 取瑞利阻尼系数  $\alpha=0$ 、 $\beta=0.001$ 。为了与上文的传统谱比法结果进行比较分析, 数值计算也选 S1 作为参考点, 用 S0—S7 的结果与 S1 做谱比得到相对放大系数曲线, 结果如图 6 所示。

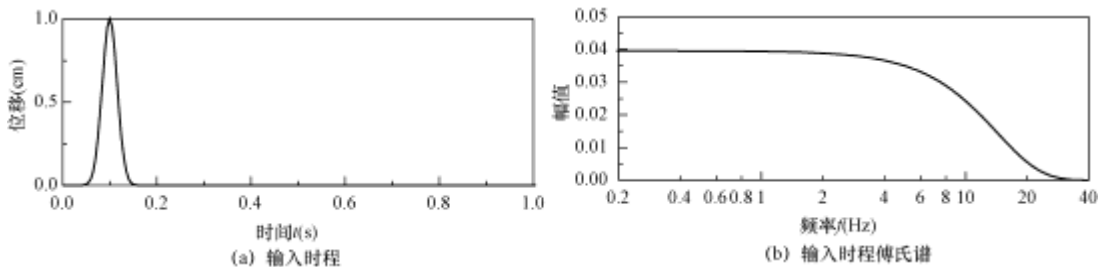


图 5 输入时程及其傅氏谱

Fig. 5 Input time history and its Fourier spectrum

图 6 中选用了强震动加速度记录 NS 方向的放大系数曲线与数值计算的结果进行比较。之所以选用 NS 方向分量, 是参考了自贡台阵的布台资料, 台阵布置基本上是自西向东方向的, 建立二维数值计算模型取剖面时, 基本是按照自西向东方向切取的剖面, 该剖面的出平面运动方向大致上可以认为与南北向一致, 所以选取传统谱比法得到的加速度 NS 方向的放大系数曲线与数值计算结果做比较分析。

从图 6 中可以看出, 数值计算得到的观测点 S0 所在场地的放大曲线与传统谱比法的结果, 无论在曲线变化趋势还是曲线幅值上都是比较接近的, 说明数值计算选取的土层参数具有一定的合理性, 同时表明 S0 点强震动记录 6—8Hz 之间频率成分丰富的主要原因还是场地土层的影响。对于 S2—S7 基岩场地的计算结果, 可以看出数值计算基本上能反映场地地形变化引起的地震动变化的趋势; 对于小于 3Hz 的部分, 数值模拟计算结果与传统谱比法的计算结果比较接近; 对于大于 3Hz 的部分, S2 和 S4 的数值计算曲线与传统谱比法的结果较为相似, 但是 S3、S5、S6 和 S7 四个台站的数值计算结果与传统谱比法的结果差别较大, 但曲线趋势一致。虽然 S2—S7 观测台站场地被视为基岩场地, 但实际上其地表存在风化岩层, 地下岩层结构存在不均匀性, 这可能是观测结果与计算结果差异较大的原因。另外可能还与场地波速值选取以及二维模型近似模拟山脊地形而产生的误差有关。

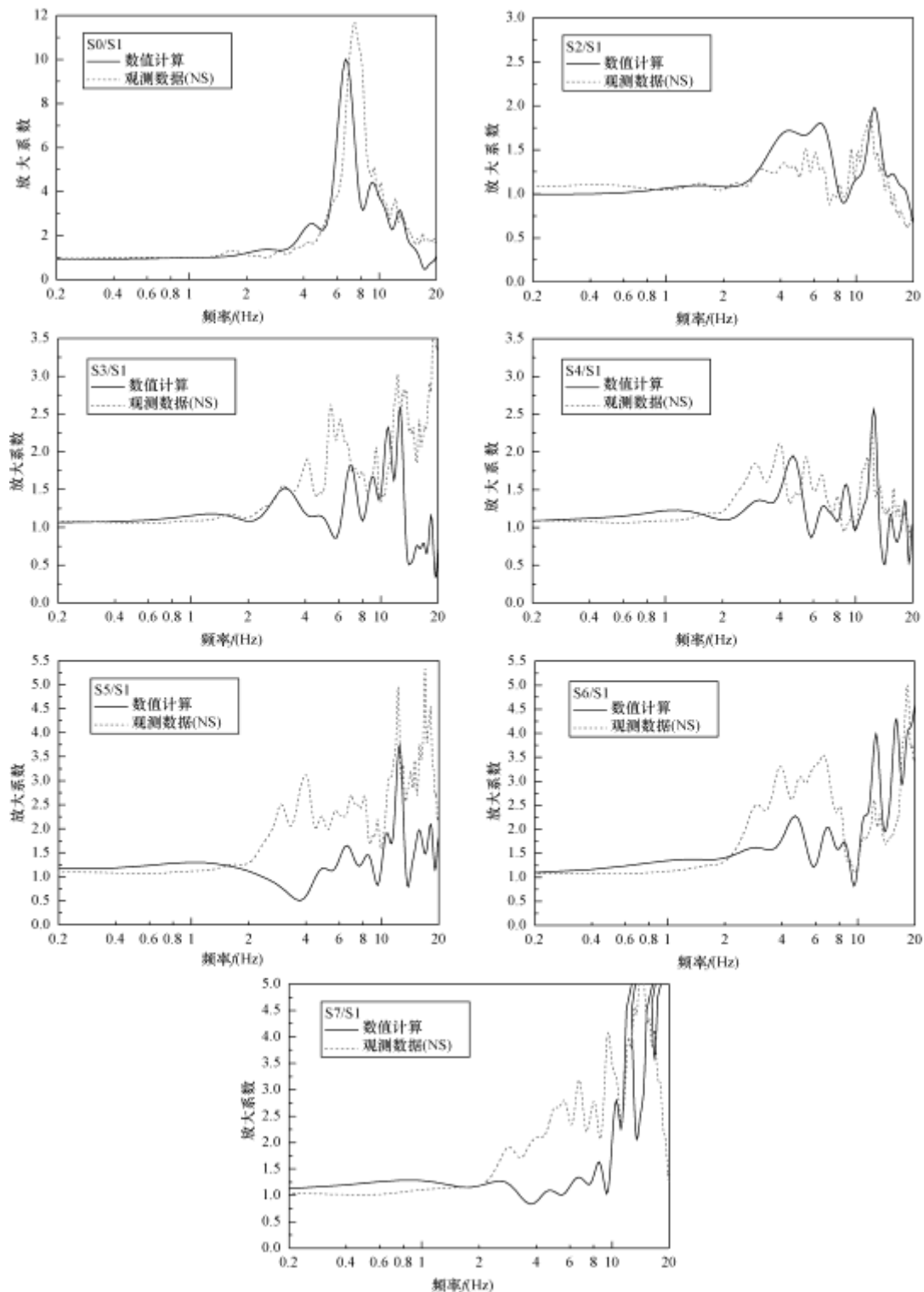


图 6 数值计算与观测结果对比

Fig. 6 Comparison result of numerical simulation and observed value

从以上分析结果看,建立二维数值计算模型,在一定程度上是可以反映山脊地形和场地土层对地震动的影响。但模型参数选取直接影响数值模拟的效果,要得到更为准确的模拟结果,需要获取场地岩层及土层的详细参数;而要获得高频部分较为准确的场地反应特征,则需要建立更为复杂的模型,如三维场地模型等。

## 4 结论

本文针对自贡地形影响强震动观测台阵在汶川地震中获得的强震动记录,采用传统谱比法对场地的地震动影响效应进行了分析;同时用有限元-有限差分方法模拟分析了自贡西山公园山脊地形和场地土层对地震动的影响,并对数值模拟结果与观测结果进行了对比分析,探讨了建立模型对计算结果的影响。取得了以下主要研究结果:

(1) 坐落于山脚处场地土层观测点 S0 得到的地震动卓越频率在 6—8Hz 左右,虽然 S0 位于较平坦的场地上,但其地震动在其卓越频率附近的放大效应明显大于其它观测点,可见场地土层对地震动的放大作用相较于地形变化的放大作用更为明显。这一现象在汶川地震的震害现象中亦常见。

(2) 场地地形对地震动水平分量 NS 和 EW 的影响基本相同,地形对水平分量的放大效应要明显于对垂直分量的放大效应;不论是水平分量还是垂直分量,在频率小于 1.4Hz 时,放大系数均在 1 附近,说明在该频率段场地地形的放大效应不明显;而当频率大于 1.4Hz 时,各观测点随着频率的增大其放大系数都有不同程度的增大,放大效应明显;随着观测点高程的增大,场地放大系数的峰值也有增大的趋势,说明随着山脊高度的增加,场地放大效应也逐步增强。

(3) 比较数值模拟结果和观测结果,可以看到建立的二维场地模型对场地土层的模拟与观测结果比较吻合;对于山坡和山顶基岩观测点地震动的模拟在低频范围内(小于 3Hz)也能较好地反映山脊地形对地震动的影响,在大于 3Hz 以后,也能较好地模拟对地震动影响的趋势。要进一步获得更准确的高频部分的场地影响观测结果的解释,还需更加详细了解地形和岩层情况、有更详细的场地参数以及建立更复杂的模型。

## 参考文献

- 胡聿贤,孙平善,章在墉等,1980. 场地条件对震害和地震动的影响. 地震工程与工程振动, (1): 35—41.
- 廖振鹏,2002. 工程波动理论导论(第二版). 北京: 科学出版社.
- 李小军,廖振鹏,杜修力,1992. 有阻尼体系动力问题的一种显式差分算法. 地震工程与工程振动, 12 (4): 74—80.
- 欧阳行艳,章文波,2008. 利用强震记录进行场地反应分析研究综述. 世界地震工程, 24 (3): 118—126.
- 周锡元,1965. 土质条件对建筑物所受地震荷载的影响. 见: 中国科学院工程力学研究所地震工程研究报告集(第二集). 北京: 科学出版社.
- Andrews D.J., 1986. Objective determination of source parameters and similarity of earthquakes of different size. In: Das, S. Boatwright, J. and Scholz, C.H. (eds.), Earthquake Source Mechanics. Washington, D.C.: AGU, 259—267.
- Borcherdt R.D., 1970. Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay. BSSA, 60 (1): 29—61.
- Field E.H., Jacob K.H., 1985. A comparison and test of various site-response estimation techniques, including three

that are not reference-site dependent. *BSSA*, **85** (4): 1127—1143.

Moya A., Irikura K., Loh C.H., et al., 2003. Estimation of site effects and  $Q$  factor using a reference event. *BSSA*, **93** (4): 1730—1745.

Xiao-Jun Li, Zhen-Peng Liao, Hui-Min Guan, 1995. An explicit finite element-finite difference method for analyzing the effect of visco-elastic local topography on the earthquake motion. *ACTA Seismologica Sinica*, **8** (3): 447—456.

## Numerical Simulation for Site Effect of Ridge Terrain and Overlaying Soil in Zigong Xishan Park

Yang Yu, Li Xiaojun and He Qiumei

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

**Abstract** Site amplification was analyzed for the ridge terrain of Zigong Xishan park using the strong motion record obtained in Wenchuan earthquake by traditional spectral ratio method. The reference seismic station of spectral ratio was located near the foot of the ridge. Ground motion response of the ridge terrain in Zigong Xishan park was simulated by the explicit finite element-finite difference method. The results of numerical simulation were compared with the observed values of strong motion records, which shows that this numerical simulation model could reflect the ridge terrain basically. Numerical modeling results showed these conclusions as follows. Amplification action of the overlaying soil to seismic acceleration was more obvious than that of the topographic change. Horizontal component of the seismic ground motion was amplified by topography variation more evidently than vertical component. The two-dimensional model built in this paper could well simulate the ground motion on overlaying soil and the results coincided well with the observation results. Simulation for bedrock could reflect the ground motion response of the ridge terrain in low frequency range.

**Key words:** Site effect; Ridge; Numeric simulation; Traditional spectral ratio; Wenchuan earthquake