



# Preliminary Discussion on Site Effect of Strong Earthquake Stations in Lushan M6.1 Earthquake

Xueliang Chen<sup>1,\*</sup>, Kelin Chen<sup>2</sup>, Mingjie Chi<sup>1</sup>, Tiefei Li<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geophysics, China Earthquake Administration

<sup>2</sup> Guilin university of technology

\*Corresponding author. Email: [xueliang\\_chen@aliyun.com](mailto:xueliang_chen@aliyun.com)

## ABSTRACT

The Lushan M6.1 earthquake is used to study the site effect. Based on the traditional HVSR method, taking the site where the station is located as the research object, SH wave and SV wave are inversely extracted from strong earthquake records, and their H/V spectral ratios are carried out respectively. The results are compared with the traditional HVSR method. The results show that the SH wave and SV spectral ratio method can better determine the site predominant frequency, while the site amplification of SH wave and SV wave is lower than that of the traditional HVSR method. The calculation method of  $H_R$ VSR is proposed, and the limitation of underestimated site effect in HVSR results is preliminarily corrected. The site effects of 61 stations are preliminarily obtained, which lays a foundation for further research.

**Keywords:** site effects, Lushan earthquake, HVSR, SH wave, SV wave.

## 芦山 M6.1 地震中强震台址场地效应初步探讨

陈学良<sup>1,\*</sup>, 陈科霖<sup>2</sup>, 迟明杰<sup>1</sup>, 李铁飞<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 中国地震局地球物理研究所

<sup>2</sup> 桂林理工大学

\*通讯作者. 电子邮箱: [xueliang\\_chen@aliyun.com](mailto:xueliang_chen@aliyun.com)

## 摘要

利用芦山 M6.1 地震对场地效应进行研究, 在传统 HVSR 方法的基础上, 以台站所在的场地为研究对象, 通过强震记录反向提取出 SH 波、SV 波, 并分别对其进行 H/V 谱比。将其结果与传统 HVSR 法进行对比, 结果表明, SH 波、SV 波谱比法同传统 HVSR 谱比都能较好的确定场地卓越频率, 而 SH 波、SV 波的场地放大低于传统 HVSR 的结果。提出  $H_R$ VSR 的计算方法, 对 HVSR 结果低估场地效应的局限性进行了初步的修正。并初步得到了 61 个台站的场地效应, 为进一步的研究奠定了基础。

**关键字:** 场地效应, 芦山地震, HVSR, SH 波, SV 波



$\lambda_e, \lambda_s$  分别表示震中台站台站经度。  $\Delta$  表示大圆弧,BAZ 表示的是反方向角。

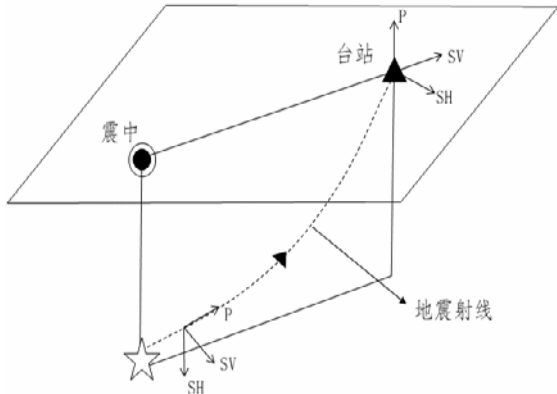


图 2 SH 波, SV 波传播方向

### 2.2 SH 波、SV 波的传播

地震波的传播可简化为图 2 所示, 为了跟《定量地震学》(Aki1986 等) 中的公式保持一致, 需要将图 1 中的 SH 波方向逆向。如图所示, 震源, 震中, 台站, 三点组成一个与地表垂直的平面, 水平方向上垂直于该平面向内的方向, 也就是所谓的平面的法线方向 (相当如入平面), 为 SH 的正方向; 震源, 震中, 台站三点形成的竖直平面上, 震中与台站连线矢量的距离增大的方向, 与 P 波 (传播方向) 垂直的水平方向为 SV 波传播方向, 通过强震仪的 NS 分量、EW 分量与反方向角的关系, 我们可以提取出 SH 波、SV 波:

$$SV = Ns \times \cos(Baz) + Ew \times \sin(Baz) \quad (6)$$

$$SH = Ns \times \sin(Baz) - Ew \times \cos(Baz) \quad (7)$$

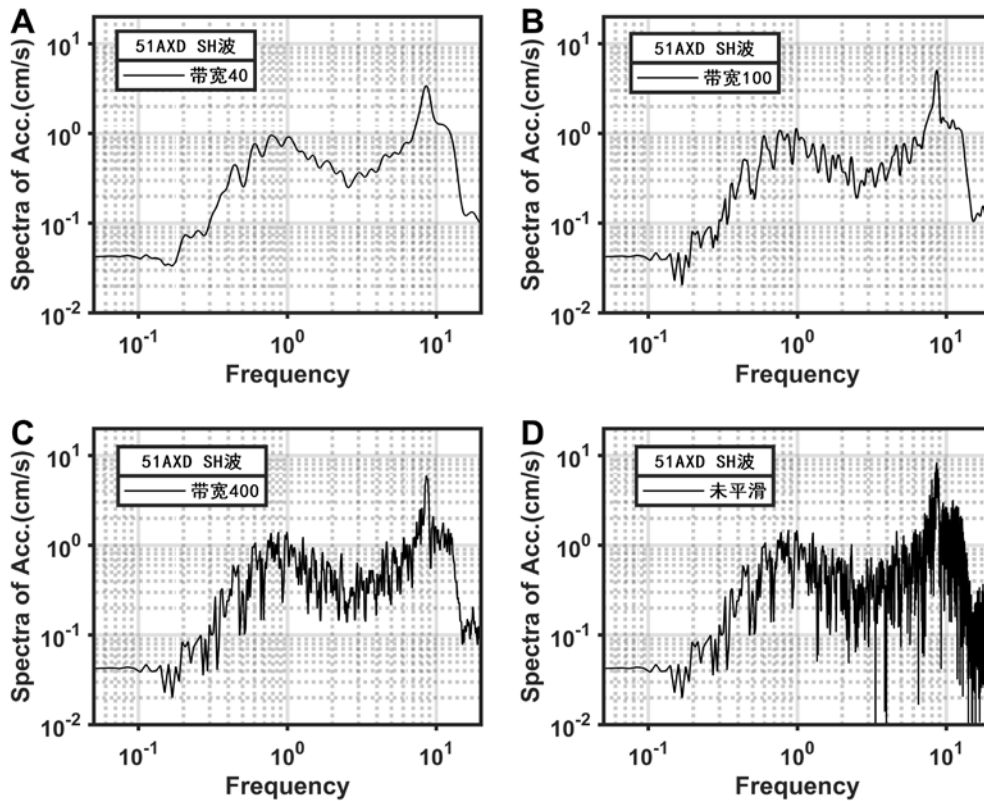


图 3 傅里叶频谱平滑效果图

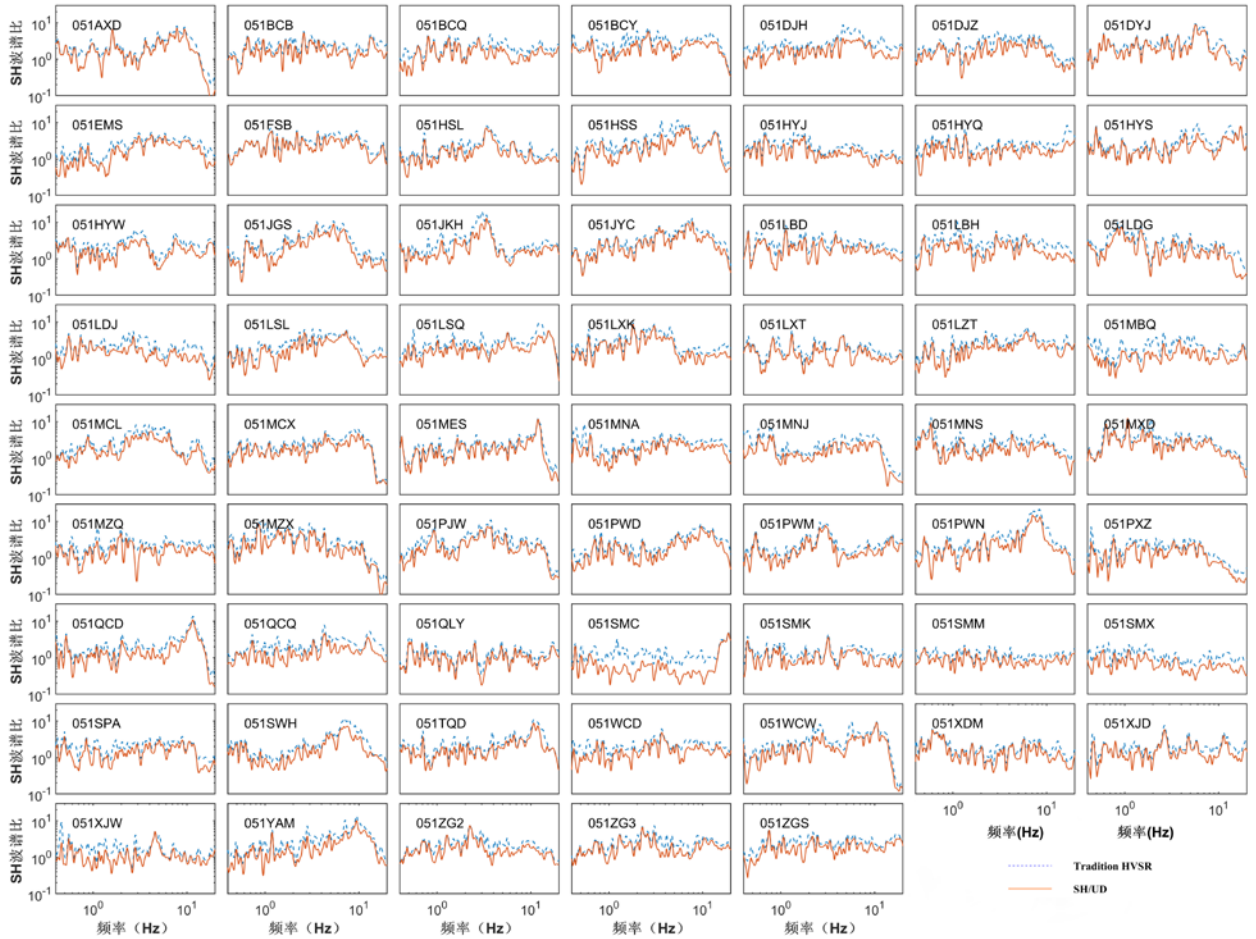


图4 SH/V法与HVSR法计算的场地反应

### 2.3 HVSR 谱比

本文首先使用传统 HVSR 法对场地效应值进行评估, 公式如下:

$$HVSR_j = \frac{\sqrt{Sa_{ew-j} Sa_{ns-j}}}{Sa_{UDj}} \quad (8)$$

其中  $Sa_{ew-j}$  和  $Sa_{ns-j}$  分别为该地震下第  $j$  个台站的 NS 与 EW 方向的傅里叶加速度谱值,  $Sa_{UDj}$  表示强震记录中竖直方向的加速度记录。

### 2.4 $H_RVSR$ 谱比

强震仪接收加速度地震动记录的 NS 分量, EW 分量与 SH 波, SV 波的引起的振动方向是不一致的, 我们将 SH 波、SV 波分别对场地的影响与传统的 HVSR 结果进行对比。同时提出了  $H_RVSR$  谱比法对场地反应进行进一步的估计

$$\left(\frac{SH}{V}\right)_j = \frac{Sa_{SHj}}{Sa_{UDj}} \quad (9)$$

$$\left(\frac{SV}{V}\right)_j = \frac{Sa_{SVj}}{Sa_{UDj}} \quad (10)$$

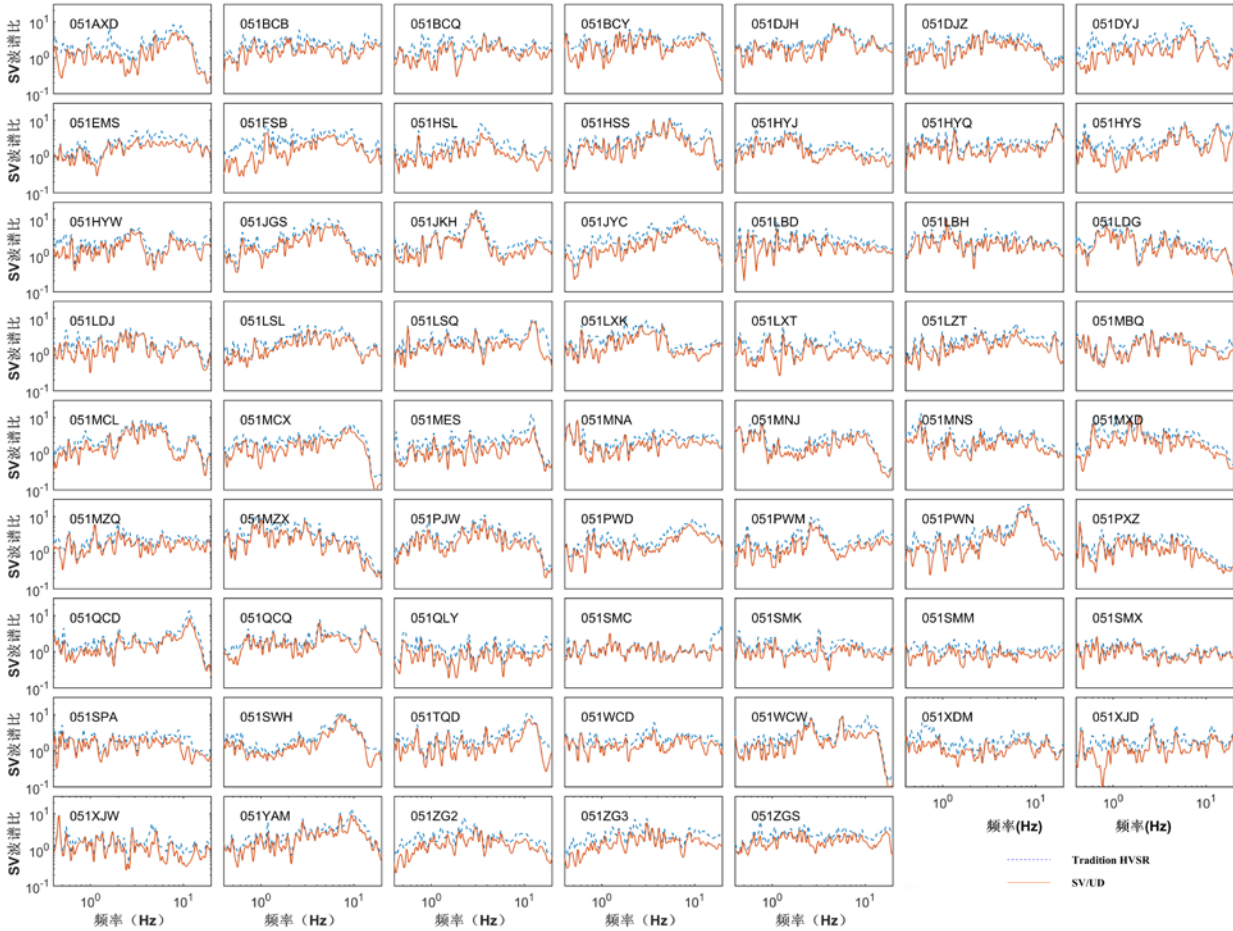


图5 SV/V法与HVSR法计算的场地反应

$$HRVSR_j = \frac{\sqrt{Sa_{SH-j} Sa_{SV-j}}}{Sa_{UDj}} \quad (11)$$

其中  $Sa_{SHj}$  和  $Sa_{SVj}$  分别为该地震下第  $j$  个台站的 SH 波与 SV 波的傅里叶加速度谱值。

### 3 强震记录

#### 3.1 记录选取

2022年6月1日17时,四川省芦山县发生次6.1级地震,国家强震数字台网有大量强震仪被触发,累计获得了61组较为完整的三分量强震记录。本文选

用该61组强震动记录,对61个台站所在地区的场地效应进行估计。图1给出了震中以及台站位置的平面展布图。

#### 3.2 记录处理

从记录提取出SH波与SV波之后,对SH波,SV波以及UD方向记录分别减均值,去线性趋势。截止频率的选择通常存在争议,为了使傅里叶信号谱比达到最好的效果,通过比较噪声傅里叶谱与信号傅里叶谱的规律,最终本文采用0.4-20Hz的四阶butterworth非因果滤波器进行双向滤波处理<sup>[13]</sup>,以防止高低频噪声对信号的影响。由于傅里叶频谱的结果仍有过多毛刺,影响对放大结果的判断,为了使场地

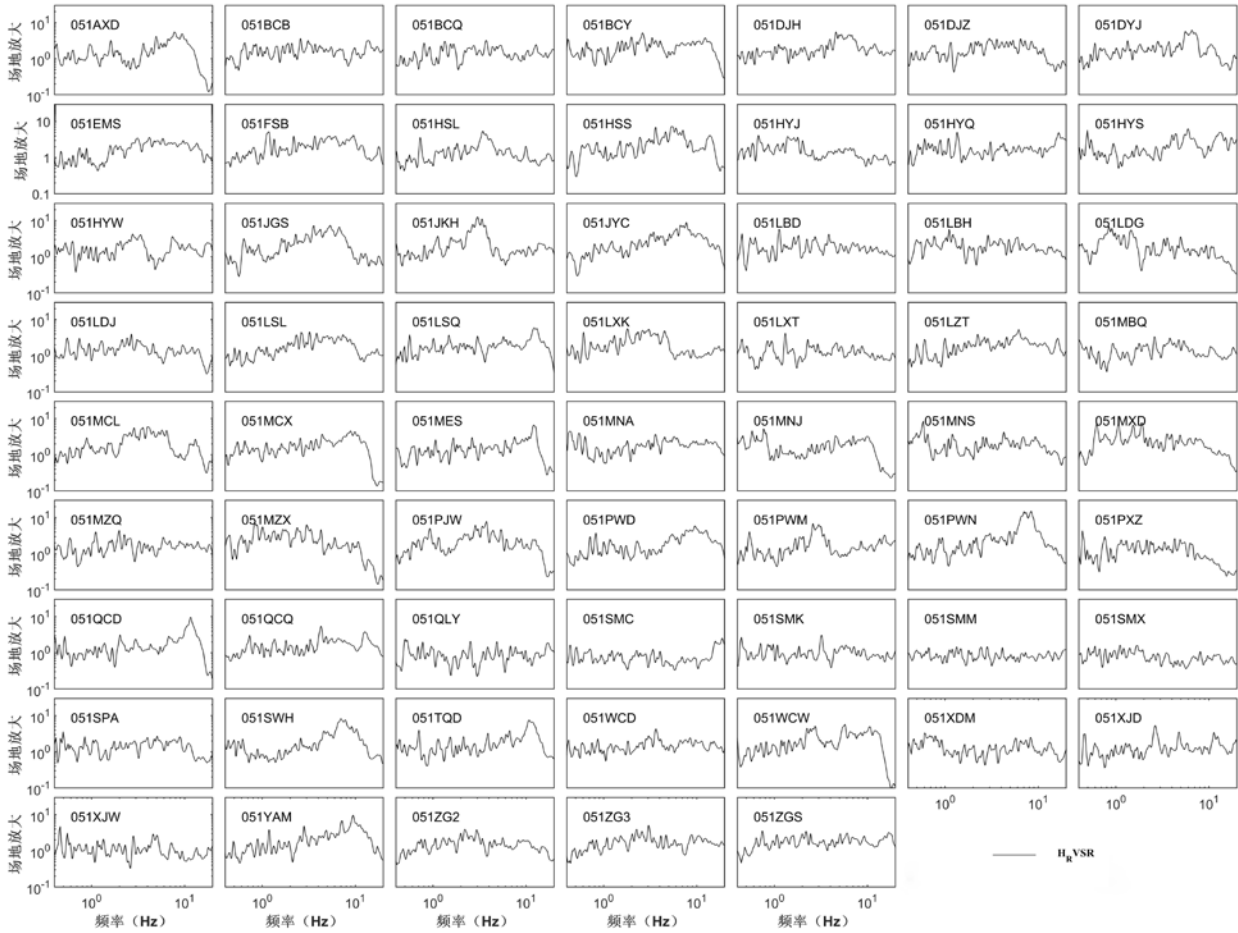


图 6  $H_R$  VSR 法得到的场地效应结果

的卓越频率更加明显,在不损伤信号的情况下,使用 Konno-ohmachi 的滤波器平滑<sup>[12]</sup>,具体公式如下:

$$W(f, f_c) = \left( \frac{\sin \left( b \log_{10} \left( \frac{f}{f_c} \right) \right)}{b \log_{10} \left( \frac{f}{f_c} \right)} \right)^4 \quad (12)$$

Butterworth 滤波后的结果如图 3 (D)。由图 3 可知, Konno-ohmachi 的滤波器的带宽  $b$  决定了平滑函数的平滑函数。经反复对比测试,最大限度的保留原信号,本文最终选用带宽为 120 的 Kohmachi 函数对地震动记录进行平滑处理。在这种情况下,毛刺被有

效去除,误差在合理范围内。

## 4 计算结果

### 4.1 SH 波, SV 波放大结果

通过上述两种谱比法对 2022 年 6 月 1 日芦山县 6.1 级地震期间各个固定台站强震动记录进行计算,图 4,图 5 分别展示的 SH 波、SV 波与传统的 HVSR 法的对比结果。

可以明显看出,SH 波与 SV 波放大比不同,是因为 SH 波与 SV 波的偏振现象。并且可以明显看出通过 SH 波、SV 波求得的场地放大比普遍小于传统 HVSR 法的场地放大比,假设竖向分量不放大,原因

可能是传统 HVSR 法采用了地震波水平分量的全部能量, 存在波形被其他能量污染的因素众多。

#### 4.2 场地卓越频率

从图 4, 图 5 中可以看出, 传统 HVSR 法的场地放大曲线同 SH 波, SV 波的场地放大曲线的形状较为吻合。这证明了 SH 波的放大曲线与 SV 波的放大曲线同 HVSR 曲线一样都能较好的表示场地卓越频率。

#### 4.3 各个台站的场地反应

图 6 为  $H_RVSR$  法对 61 个台站的初步估计结果,  $H_RVSR$  谱比法在中低频段稍大于 HVSR, 初步修正了 HVSR 低估场地效应的弊端, 其适用性有待我们进一步的研究。

### 5 结论

本文将 2022 年 6 月 1 日 6.1 级芦山地震中获得强震动记录的 61 个台站所在的场地为研究对象, 从强震动记录中反向提取出 SH 波与 SV 波进行 H/V 计算, 并与 HVSR 法得到的结果进行对比, 同时提出  $H_RVSR$  谱比法的计算方法, 得出了以下结论:

初步得到了 61 个台站的场地放大值, 其近场情况下存在中低频段内竖向分量大于水平向的现象。

通过使用传统 HVSR 法与 SH 波、SV 波的 H/V 结果可以得出发现。传统 HVSR 法与 SH/V, SV/V 的曲线较为吻合, SH/V 曲线, SV/V 曲线可以准确的评估场地卓越频率。传统 HVSR 法评估场地放大的结果大于单分量 SH 波、SV 波谱比的结果。

### 致谢

感谢中国地震局工程力学研究所为本研究提供数据支持。

### 参考文献

- [1] Wood H O. Distribution of apparent intensity in San Francisco [R] Lawson A C . Report of the State Earthquake Investigation Commission , Carnegie Institute of Washington, 1908: 220-227.
- [2] Borchardt R D. 1970. Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay [ J]. Bull Seism Soc Amer, 60: 29 ~ 61.
- [3] Borchardt R D, Gibbs F J. 1976. Effects of local geological conditions in the region on ground motions and intensities of the 1906 earthquakes [J]. Bull Seism Soc Amer, 66: 467 ~ 500.
- [4] Andrews D J. 1982. Separation of source and propagation spectra of seven Mammoth Lakes aftershocks[A]. Proceedings of Workshop, Dynamic characteristics of faulting, 1981. U. S Geol Sur Open File Rep, 82 ~ 591.
- [5] 章文波, 谢礼立, 郭明珠. 利用强震记录分析场地的地震反应[J]. 地震学报, 2001(06): 604-614672.
- [6] Nakamura Y. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on ground surface, QR Railway Tech., Res. Inst. 1989; 30(1):25-33
- [7] Yamazaki F., Ansary M. A., 1997. Horizontal-to-vertical spectrum ratio of earthquake ground motion for site characterization. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 26(7): 671-689.
- [8] Wen KL, Chang TM, Lin CM. Identification of nonlinear site response using the HVSR method. Terr. Atmos. Ocean. Sci. 2006; 17(3):533-546.

- [9] Nagashima F, Matsushima S, Kawase H, Sanchez-Sesma FJ, Hayakawa T, Satoh T. et al. Application of Horizontal-to-Vertical Spectral Ratios of Earthquake Ground Motions to Identify Subsurface Structures at and around the K-NET Site in Tohoku. Japan. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 2014; 104(5):2288–2302
- [10] 任叶飞,温瑞智,山中浩明,鹿嶋俊英.运用广义反演法研究汶川地震场地效应[J]. *土木工程学报*, 2013,46(S2):146-151. DOI:10.15951/j.tmgcxb.2013.s2.005.
- [11] 荣棉水,李小军,王振明,吕悦军.HVSR 方法用于地震作用下场地效应分析的适用性研究[J]. *地球物理学报*, 2016,59(08):2878-2891.
- [12] K. Konno & T. Ohmachi., 1998 Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor. *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol.88, No.1, 228-241.
- [13] 周宝峰. 强震观测中的关键技术研究[D].中国地震局工程力学研究所, 2012.

**Open Access** This chapter is licensed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits any noncommercial use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license and indicate if changes were made.

The images or other third party material in this chapter are included in the chapter's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the chapter's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder.

