

# 城市地噪声场的多元分离方法

秦维秉<sup>1</sup> 张双喜<sup>1,2</sup> 李孟奎<sup>1</sup> 张煜<sup>1</sup> 张晨<sup>1</sup> 张朝玉<sup>1</sup>

1 武汉大学测绘学院,湖北 武汉,430079

2 武汉大学地球空间环境与大地测量教育部重点实验室,湖北 武汉,430079

**摘要:**城市地下噪声场由自然地噪声和人文地噪声组成,人文地噪声和自然地噪声的差异主要表现在时空分布的一致性、稳定性和相关性等方面。针对两者的不同特征,提出了噪声分离的三原则,采用多元分离的方法,实现了两类地噪声的有效分离。通过对比测试 4 种标准信号并进行分析,可得出该方法效果好于传统的小波方法的结论。深圳市地噪声场的探测试验表明,多元分离方法能够把地噪声有效分离成人文地噪声和自然地噪声两部分,它们可以分别提炼出地下地质信息。

**关键词:**城市地噪声;自然地噪声;人文地噪声;多元分离技术;小波分解

**中图法分类号:**P207; P315.4 **文献标志码:**A

城市地噪声场(ground noise field)包括自然地噪声场(natural ground noise field)和人文地噪声场(cultural ground noise field)。城市自然地噪声场是指城市区域地球活动的微动背景(micro-tremor ambient noise)。自然地噪声场源包括地震、潮汐、强风及其引起的各种风振等,是传递到城市地下自然振动信息的总和,反映了城市近地表场地的背景噪声,即地下“静”环境。而城市人文地噪声场是指各种人文活动在城区产生的地噪声场的总和,反映了城市化发展过程中衍生的次生地下噪声场。人文地噪声场源包括建筑物、机械、交通、人流等<sup>[1]</sup>,反映了城市近地表地下“动”环境。现代城市建设中,由于大量地面和地下施工,地脉动源成分非常复杂,强度变大。长期来看,会逐渐改变部分区域地下结构,进而改变场地沉积层的共振频率,影响上覆大型建筑安全。随着我国城市化进程加快,人文活动对城市空间的改造过程引起次生的地球物理场<sup>[2]</sup>,可能降低城市地下环境的品质,如何量化地下噪声环境,是城市地球物理学的研究内容。

地噪声研究地下结构的历史悠久,最早可以追溯到 20 世纪 50 年代。Aki 于 1957 年首先提出了利用地噪声提取 Rayleigh 波相速度的空间

自相关方法<sup>[3]</sup>。Henstridge 优化了 Aki 的方法,并扩展了 SPAC(spatial auto-correlation)方法的适用范围<sup>[4]</sup>,但这些方法在当时并没有受到足够的重视,直到 90 年代,才得以发展<sup>[5]</sup>。Apostolidis 等在希腊塞萨洛尼基市进行地脉动台阵实验,得到场地相速度频散曲线,反演出地下速度结构和钻井资料表现一致,证明了该方法的有效性<sup>[6]</sup>。

我国的地噪声研究开始于二十世纪八十年代。1986 年,王振东引进空间自相关法用于分析地脉动台阵观测记录<sup>[7]</sup>。1994 年,杨学林和吴世明探讨了利用地脉动推断地基土质构造的可能性<sup>[8]</sup>。2007 年,何正勤等对地脉动台阵的野外观测方法、仪器设备、数据采集和空间自相关测定相速度及相关的数据处理方法进行了对比研究,证明了该方法的可靠性<sup>[9]</sup>。

近年来,基于地噪声的地下结构探测理论方法和应用在国内外发展较为迅速,但大多数研究集中在地脉动台阵探测地下速度结构的有效性和台阵阵型方面,对地噪声成分考虑较少,特别是忽略了人文噪声的影响。城市地噪声因其幅度较小不易感知,导致城市地下噪声环境的“污染问题”被长期忽视。量化城市地下噪声环境的瓶颈问题

收稿日期:2014-12-21

项目资助:国家 973 计划(2013CB733303);中央高校基本科研业务费专项(2012214020205);地球空间环境与大地测量教育部重点实验室开放基金(12-02-08);2013 年度武汉市属开发型科研单位单位专项(2013BJ002)。

第一作者:秦维秉,硕士,主要从事地震背景噪声研究。wbqin@whu.edu.cn

通讯作者:张双喜,博士,教授。shxzhang@sigg.whu.edu.cn

是自然地噪声和人文地噪声的分离。本文针对自然地噪声场和人文地噪声场的差异性,采用多元分离方法,尝试自然地噪声场和人文地噪声场的分离,并以深圳市地噪声探测试验为例,探讨分离技术的有效性。

## 1 地噪声场的采集试验

### 1.1 地噪声场的采集方法

地下噪声场承载了丰富的地下地质地球物理信息,获取地噪声的方法起源于地微动勘探(microtremor exploration method, MEM)技术<sup>[3,10]</sup>,主要有两种方法,包括横纵谱比法(horizontal-to-vertical spectral ratio, HVSR)和 SPAC 法,这两种方法是场地特征研究中最主要的方法。SPAC 法在近几年应用更加广泛,主要应用于工程地质领域,包括城市地噪声与地震危险的相关性研究,地表的非线性效应与放大效应,场地地脉动的划分等。事实证明,地噪声场的主要成分为 Rayleigh 面波和 Love 面波,可以通过面波分析技术对地下地噪声场进行分析处理。从规则台阵到非规则台阵,有效波长与台阵半径成正比<sup>[6]</sup>,通过增大台阵空间半径,可以实现更大的探测深度。

### 1.2 地噪声数据的采集实验

2012 年 7 月,对深圳市市区和大鹏新区进行地下噪声探测试验。考虑到人文地噪声的可能差异,在深圳市选择 5 个试验点( $P_1 \sim P_5$ )测量地下噪声场。其中, $P_1$  位于龙岗区水头村海滨路附近,间隔有机动车通过,噪声强度一般; $P_2$  位于盐田区梧桐山物业管理有限公司前草地上,毗邻交通枢纽,机动车多,人类活动较强; $P_3$  位于罗湖区仙湖植物园附近仙湖山庄内,观测期间无明显干扰源; $P_4$  位于罗湖区深圳大剧院前广场,处于繁华地带,不仅交通繁忙,同时附近有地铁通过; $P_5$  位于福田区皇岗双拥公园深处草坪,观测期间少量行人活动。选用 WZG-24A 工程地震仪,1 Hz 的速度检波器,采样频率 100 Hz,每段采样长度 3 min 左右,每个观测点采样若干时段。观测前对每台仪器分别进行标定和一致性检验。考虑到探测的深度与台阵的尺寸有关,此次观测根据实际场地条件,布设 3 个或 6 个观测点均匀分布在圆周上,与圆心位置上的另一个观测点构成的观测台阵,充分利用场地条件和仪器的能力,半径  $R$  选择为 10 m 或 15 m。

### 1.3 地噪声的分离原则

分离人文地噪声和自然地噪声基于三条原

则:① 一致性原则。在空间上,自然地噪声场反映区域地下结构的噪声相应特性,表现为稳定性;而人文地噪声表现为局部的、非一致性的分布特征。② 稳定性原则。在时间上,自然地噪声场表现在时间上的可重复性,即可重复观测,而人文地噪声场表现为与人文活动相关,即不可重复性。③ 相关性原则。自然地噪声场通过相对深层传播,频率偏低,存在时空的相关性,而人文地噪声主要在近地表的浅层传播,频率偏高,时空上表现为非相干性。自然地噪声满足上述三原则,而人文地噪声表现为不稳定性和不相关性,多元相关分离技术正是利用了这些特性分离自然地噪声和人文地噪声。

## 2 多元分离方法

传统的一元小波噪声分离方法中,假设信号由有效信号和高斯白噪声组成。由小波变换理论可知,高斯白噪声(和自然地噪声特征相似)的小波变换后系数广泛分布,而有效信号(和人文地噪声特征类似)的能量被压缩到相对少而数值较大的小波系数上,通过阈值处理,高斯白噪声被大幅度去除,重构后即得到有效信号<sup>[11-13]</sup>。但该方法简化了噪声结构,没有涉及多道记录之间噪声的空间相关结构。

为此,我们选择多元分离技术分离城市地下自然地噪声和人文地噪声。多元分离技术由 Aminghafari 等在传统的小波分解方法基础上提出,考虑了不同记录(如地脉动同一台阵不同道)自然噪声结构之间的空间相关性,通过噪声协方差估计值对细节系数进行去相关,以及小波原有的阈值处理,得到更加有效的分离效果,这个新方法在多通道信号分离领域得到广泛的应用<sup>[14]</sup>。本文将地噪声作为观测的信号,自然地噪声作为稳定相关的信号,而人文地噪声作为非稳定不相关的信号处理。

### 2.1 多元分离方法的原理

基于地噪声的台阵观测,收集深圳市地下噪声信息。考虑到自然地噪声场具有稳定随机的性质,在不同记录道之间存在空间相关性,而人文地噪声呈现为非稳定和非相关性。假设  $p$  维地噪声时间序列信号  $\mathbf{X}(t)$  由自然地噪声  $\mathbf{F}_N(t)$  和人文地噪声  $\mathbf{F}_C(t)$  构成:

$$\mathbf{X}(t) = \mathbf{F}_N(t) + \mathbf{F}_C(t) \quad (1)$$

则对于  $1 \leq i \leq p$  (满足  $n$  远大于  $p$ ),任意  $X(t)$  成分可表达为:

$$X^i(t) = F_N^i(t) + F_C^i(t), t = 1, \dots, n \quad (2)$$

针对自然地噪声协方差矩阵  $\mathbf{E}(\mathbf{F}_N^T(t)\mathbf{F}_N(t)) = \mathbf{\Sigma}_N$ , 理论上是正定的, 表征观测信号  $\mathbf{X}(t)$  各维成分的稳定性和空间相关性<sup>[12]</sup>。

多元噪声分离方法的执行步骤具体如下。

1) 选取小波基。本文尝试多个小波基, 包括 db、sym 及 haar 等小波, 比较其多元分离效果。考虑到人文地噪声信号的不连续性, 与 haar 小波基接近, 本文选用 haar 小波基;

2) 对  $p$  维时间序列信号进行多级小波分解, 生成  $J+1$  个矩阵, 其中  $\mathbf{D}_1, \dots, \mathbf{D}_J$  为  $p$  维信号的细节系数,  $\mathbf{A}_J$  为近似系数;

3) 定义  $\mathbf{E}_{F_N}$  为自然噪声协方差矩阵的一个估计量, 然后对其进行奇异值分解(singular value decomposition, SVD):

$$\mathbf{E}_{F_N} = \mathbf{V}\mathbf{A}\mathbf{V}^T \quad (3)$$

式中,  $\mathbf{A} = \text{diag}(\lambda_i, 1 \leq i \leq p)$ , 得到正交矩阵  $\mathbf{V}$ , 把它应用到每一级的细节系数矩阵, 得到  $\mathbf{D}_j\mathbf{V}, 1 \leq j \leq J$ 。最后对第  $i$  列使用单变量阈值  $t_i = \sqrt{2\lambda_i \log(n)}$  处理<sup>[11]</sup>;

4) 利用阈值简化后的细节系数矩阵和近似系数矩阵, 小波逆变换重构得到信号的估计值  $\hat{\mathbf{F}}_C(t)$ , 用  $\mathbf{X}(t)$  原信号减去人文地噪声估计值  $\hat{\mathbf{F}}_C(t)$  即可得自然地噪声估计值  $\hat{\mathbf{F}}_N(t)$ 。

在步骤 3) 中, 阈值将根据自然地噪声方差矩阵估计进行调整。在一维情况下通常采用平均绝对偏差来估计; 多维情况下则采用最小协方差因素估计 (minimum covariance determinant, MCD) 法构建噪声协方差矩阵<sup>[15-16]</sup>。

不同于传统的单元小波信号分离方法, 多元小波方法的关键技术利用的是自然地噪声空间相关的协方差矩阵而非信号本身。即在步骤 3) 中利用正交矩阵  $\mathbf{V}$  改变细节系数  $\mathbf{D}_j$ , 去掉  $p$  维噪声之间的空间相关性, 然后对每一分量分别进行传统单变量的阈值作用。经过小波变换, 观测信号的能

量主要集中在少数大的小波相关系数中, 可知小于该阈值的系数源于自然地噪声。这样就可以实现对原始数据不同地噪声成分的有效分离, Aming-hafari 等证明了该方法的优越性<sup>[14]</sup>。经典的小波方法忽略了地噪声的结构, 直接对每一分量进行阈值分选的处理, 不能有效分离相干噪声成分。

## 2.2 标准信号验证

利用标准的模拟信号进行分析, 对比传统单元小波阈值方法的处理结果, 评估多元分离方法的有效性。选择 Donoho 和 Johnstone<sup>[17]</sup> 设计的 4 种标准测试信号 (Blocks、Bumps、Heavy Sine、Doppler) 来检验本文方法的有效性。这 4 种标准信号几乎涵盖了地震及工程时间序列的信号特征。附加的噪声为多元高斯白噪, 呈空间相关性。假定 4 种信号构成了模拟观测值, 将每组信号进行小波 5 级分解, 分别使用传统小波阈值分离方法和多元分离方法对加噪后的 4 种观测信号进行分离处理。

本文采用三种评价指标——信噪比、均方差及相关系数, 能更加全面、精确地量化评价分离效果, 比较两种方法的优劣。通过计算以上三种指标, 对比如表 1。可以看出, 首先, 多元分离处理后的信号信噪比更大, 全局信噪比是前者的 112%, 提升效果明显; 其次, 多元处理后的均方差显著减小, 全局均方差是传统小波阈值分离法的 73%; 最后, 多元分离处理后的相关系数明显增大, 更接近于 1, 说明分离后更接近于原信号。但是, Heavy Sine 信号是个例外, 其连续性最好、最规则的特征符合经典小波阈值分离的前提条件, 处理平滑效果更好一些, 而多元分离处理方法突出了其不连续性, 处理效果出现小的波动<sup>[14, 18]</sup>。自然地噪声信号不像 Heavy Sine 信号那般平滑和连续, 更加接近 Bumps 的信号特征, 故多元分离方法相对于传统小波阈值法有更好的处理效果。

表 1 模拟信号的三指标的对比

Tab. 1 Comparisons of Three Indicators for Simulation Signals

评价方法	方法	Blocks	Bumps	Heavy Sine	Doppler
信噪比	传统小波阈值	13.276	9.511	21.745	13.493
	小波多元分离	15.005	11.034	19.082	14.340
均方差	传统小波阈值	0.415	0.362	0.064	0.384
	小波多元分离	0.279	0.255	0.118	0.316
相关系数	传统小波阈值	0.946	0.921	0.996	0.977
	小波多元分离	0.964	0.945	0.993	0.981

### 3 实测信号处理分析

#### 3.1 地噪声分离

多元分离方法可以把原始信号分离成有空间相关的稳定随机部分  $F_N(t)$  和不稳定的无相关性部分  $F_C(t)$ 。其中,稳定随机部分可看作自然地噪声,不稳定的无相关性部分可视为人文地噪声,两者都能反映场地情况。通过比较分离前后频散曲线的特征,来评价多元分离方法的处理效果。

小波分离效果依赖于小波基的选择,而最优

小波基的选择一直是小波分析亟待解决的难题。选用 haar 小波对原始 4 通道记录(图 1(a))进行 8 级分解。然后对其细节系数  $D_1$  采用 MCD 法估计的噪声协方差矩阵进行去相关,再利用阈值分离,得到人文地噪声(如图 1(b))。将原始 4 通道记录减去人文地噪声,即得到自然地噪声场(图 1(c))。从波形上观察,人文地噪声表现为不连续的瞬时强振幅,自然地噪声则表现出稳定随机的性质。即使在相对安静的  $P_1$  测试区,人文地噪声的振幅也比自然地噪声的振幅大 3 倍多。

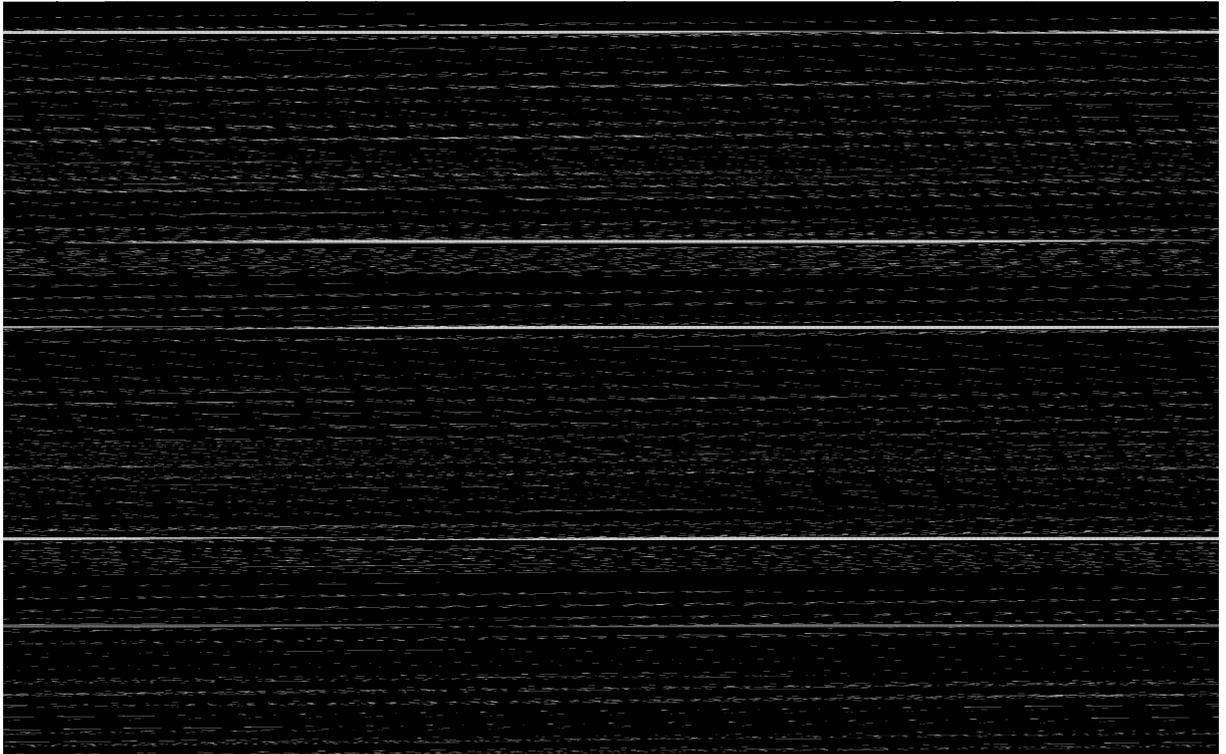


图 1 地脉动台阵原始信号、多元分离出的人文地噪声以及自然地噪声

Fig. 1 Four Traces Original Observations, the Separated Cultural Ground Noise, and the Natural Ground Noise Using Multivariate Separation Method of Micro-tremor Measurement

#### 3.2 自然地噪声与人文地噪声的频散响应

在分离出地下噪声场后,对分离前的原始信号、分离后的自然地噪声和人文地噪声分别进行空间自相关(SPAC)分析,提取频散曲线。首先,检验信号是否为时空域上的稳定随机函数,通过比较同一记录不同时间段(时间)和不同记录同一时间段(空间)功率谱的一致性,得到具有稳定随机性质的有效频率范围。其次,对原始信号和自然地噪声分别进行时间分段,得到若干个时间窗,在有效频率范围内,进行窄带滤波后,计算每站每段记录的自相关系数。最后,利用方位平均后的空间自相关系数计算相速度。

图 2(a)~2(e)分别是  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 、 $P_4$ 、 $P_5$  的

频散曲线对比图。在这 5 处试验点中, $P_1$ 、 $P_5$  处人文地噪声探测地下结构深度浅于自然地噪声, $P_2$ 、 $P_4$  处人文地噪声探测深度深于自然地噪声, $P_3$  处人文地噪声探测深度与自然地噪声接近。结合实际观测环境, $P_2$ 、 $P_4$  点所处环境人类活动十分强烈,局部小范围内人文噪声比较复杂,导致人文地噪声比较发育,传播到更深层。 $P_1$ 、 $P_5$  周围人类活动少,人文地噪声强度弱,只在浅层传播。 $P_3$  处人文噪声源强度处于两者之间。

对比图 1、图 2 和实际观测环境,可以看出,在大多数情况下,多元分离方法利用地脉动多道信号的空间相关性很好地分离了原始记录,获得人文地噪声和自然地噪声信号,两者都能够反映

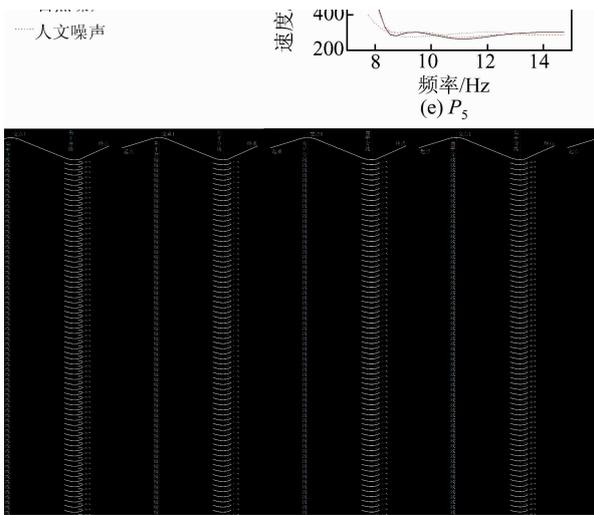


图2 多元分离前后的地脉动信号频散对比图

Fig. 2 Comparison of Dispersion Curves Before and After Separation Using Multivariate Method

地下结构。一般而言,人文地噪声反映的是浅层部分的地下结构情况,即主要显示高频部分频散信息,而自然地噪声传播到更深处,能得到较多低频频散信息。人文地噪声频散结果受到人类活动源的影响。多元分离方法不需要长期观测就可以有效地提取自然地噪声的频散信息,分离出瞬态的人文地噪声信息,具有一定的优越性。

### 3.3 城市地噪声环境分析

在地下噪声场分离以后,可以将人文地噪声与自然地噪声的幅值进行比较,量化城市地下“动”与“静”的环境。基于观测的城市地下噪声信号,分别估计自然地噪声和人文地噪声的水平,可见城市的“静”是相对的。人文地噪声的强度一般是自然地噪声水平的数倍。这个结果有一些启示。首先,城市“动”与“静”是相对的;其次,地下“动”与“静”环境也是可以量化的,有可能作为一种评价城市地下环境健康的指标;再次,在城市发展过程中,我们不仅要注意地面上的环境噪声,也要警惕地下噪声的危害;最后,由于人文地噪声源是可控的,与人们的日常活动有关,因此可以通过监测并减弱人文地噪声来降低地下噪声的危害。关于一个城市的地下噪声环境评价,需要进行长期的观测和分析对比,对于城市地下环境的组成要件需要分别处理和统计。

## 4 结语

针对城市地下噪声的环境特征差异,本文提出了城市地下人文地噪声和自然地噪声的分离原则,即一致性、稳定性和相关性。采用多元分离的

方法有效分离出两类地噪声,标准信号测试表明地噪声的多元分离效果好于传统小波分离方法,深圳市的地下噪声采集试验验证了该方法的有效性。借助城市地噪声,可以量化城市地下噪声环境,通过深圳市的地下噪声场的短期观测和处理,结果表明分离出的两类地噪声具有相似的频散响应特性,但人文地噪声反映更准确的高频信息,人文地噪声的频散结果受到观测场地周边人类活动强度的影响。自然地噪声的频散频率范围更广。人文地噪声的瞬时振幅有时是地下自然噪声强度的数倍之多。

## 参考文献

- [1] Gutenberg B. Microseisms[J]. *Advances in Geophysics*, 1958, 5: 53-92
- [2] Chen Yong, Chen Longsheng, Yu Sheng. Urban Geophysics: A New Discipline of Earth Science[J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2004, 23(4): 1-4(陈颢, 陈龙生, 于晟. 城市地球物理学发展展望[J]. 大地测量与地球动力学, 2004, 23(4): 1-4)
- [3] Aki K. Space and Time Spectra of Stationary Stochastic Waves, with Special Reference to Microtremors[J]. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 1957, 35: 415-457
- [4] Henstridge J D. A Signal Processing Method for Circular Arrays[J]. *Geophysics*, 1979, 44(2): 179-184
- [5] Okada H. Microtremors as an Exploration Method, Geo-exploration Handbook[M]. Japan: Soc. of Exploration Geophysicists of Japan, 1998
- [6] Apostolidis P, Raptakis D, Roumelioti Z, et al. Determination of Swave Velocity Structure Using Microtremors and SPAC Method Applied in Thessaloniki (Greece)[J]. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2004, 24(1): 49-67
- [7] Wang Zhendong. The Spatial Autocorrelation Method of Microtremor and Its Practical Technology[J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 1986, 10(2): 123-133(王振东. 微动的空间自相关法及其实用技术[J]. 物探与化探, 1986, 10(2): 123-133)
- [8] Yang Xuelin, Wu Shiming. About the Micro-tremor and its Engineering Application. China Civil Engineering Society(the 7th Academic Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering)[C]. Xi'an: China Architecture & Building Press, 1994(杨学林, 吴世明. 关于地脉动信号及其工程应用. 中国土木工程学会第七届土力学及基础工程学术会议论文集[C]. 西安: 中国建筑工业出版社, 1994)
- [9] He Zhengqin, Ding Zhifeng, Jia Hui, et al. To De-

- termine the Velocity Structure of Shallow Crust with Surface Wave Information in Microtremors[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2007, 50(2): 492-498(何正勤, 丁志峰, 贾辉, 等. 用微动中的面波信息探测地壳浅部的速度结构[J]. *地球物理学报*, 2007, 50(2): 492-498)
- [10] Aki K. A Note on the Use of Microseisms in Determining the Shallow Structures of the Earth's Crust [J]. *Geophysics*, 1965, 30(4): 665-666
- [11] Donoho D L. De-noising by Softthresholding [J]. *Information Theory, IEEE Transactions on*, 1995, 41(3): 613-627
- [12] Ren Chao, Sha Lei, Lu Xianjian. An Adaptive Wavelet Thresholding Denoising for Deformation Analysis[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2012, 37(7): 873-875(任超, 沙磊, 卢献健. 一种改进小波阈值算法的变形监测数据滤波方法[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2012, 37(7): 873-875)
- [13] Zhang Zhetao, Zhu Jianjun, Kuang Cuilin, et al. A Hybrid Filter Method Based on Wavelet Packet and Its Application [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(4): 471-475(章浙涛, 朱建军, 匡翠林, 等. 一种小波包混合滤波方法及其应用[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2014, 39(4): 471-475)
- [14] Aminghafari M, Cheze N, Poggi J M. Multivariate Denoising Using Wavelets and Principal Component Analysis[J]. *Computational Statistics & Data Analysis*, 2006, 50(9): 2 381-2 398
- [15] Rousseeuw P J. Least Median of Squares Regression[J]. *Journal of the American Statistical Association*, 1984, 79(388): 871-880
- [16] Rousseeuw P J, Driessen K V. A Fast Algorithm for the Minimum Covariance Determinant Estimator [J]. *Technometrics*, 1999, 41(3): 212-223
- [17] Donoho D L, Johnstone J M. Ideal Spatial Adaptation by Wavelet Shrinkage[J]. *Biometrika*, 1994, 81(3): 425-455
- [18] Yang R, Ren M. Wavelet Denoising Using Principal Component Analysis[J]. *Expert Systems with Applications*, 2011, 38(1): 1 073-1 076

## Multivariate Separation of Urban Ground Noise

QIN Weibing<sup>1</sup> ZHANG Shuangxi<sup>1,2</sup> LI Mengkui<sup>1</sup> ZHANG Yu<sup>1</sup>  
ZHANG Chen<sup>1</sup> ZHANG Chaoyu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, Wuhan 430079, China

<sup>2</sup> Key Laboratory of Environment and Geodesy, Ministry of Education, Wuhan University, Wuhan 430079, China

**Abstract:** An urban ground noise field is made up of natural ground noise and cultural ground noise with different temporal and spatial distribution characteristics. In general, the natural ground noise satisfies three features of consistency, stability, and correlation with cultural ground noise appearing as non conformance, instability, and non correlation. Referring to their different characteristics, this paper proposed three principles on the urban ground noise separation and presents a improved method of multivariate separation to effectively separate the two types of noisy fields. We tested four types of standard signals and the results demonstrated superiority of multivariate separation. In addition, exploratory experiments in Shenzhen indicate that the proposed method of multivariate separation can divide urban ground noise signal effectively into two parts, and can be refined underground geological information. By separating the underground noise, we can quantitatively compare the noise level of natural ground noise and cultural ground noise.

**Key words:** urban underground noise; natural ground noise; cultural ground noise; multivariate separation technology; wavelet decomposition

**First author:** QIN Weibing, master, mainly engaged in the study of seismic ambient noise. E-mail: wbqin@whu.edu.cn

**Corresponding author:** ZHANG Shuangxi, PhD, professor. E-mail: shxzhang@sgg.whu.edu.cn

**Foundation support:** The National Basic Research Program of China (973 Program), No. 2013CB733303; the Fundamental Research Funds for the Central Universities, No. 2012214020205; the Open-end Funds of Key Laboratory of Environment and Geodesy, Ministry of Education, No. 12-02-08; the 2013 Special Funds for Development Scientific Research Unit Projects of Wuhan, No. 2013BJ002.