

# 安宁河及邛海周边地区地脉动特征分析\*

李平<sup>1,2</sup>, 薄景山<sup>1,2</sup>, 孙有为<sup>2</sup>, 张宇东<sup>2</sup>, 李孝波<sup>1</sup>, 赵金鑫<sup>1</sup>, 万卫<sup>1</sup>

(1. 中国地震局工程力学研究所, 黑龙江 哈尔滨 150080; 2. 防灾科技学院, 河北 三河 065201)

**摘要:**根据地脉动测试获得的安宁河和邛海周边地区45个场点的地脉动数据,采用谱分析方法对所测得的数据进行处理。结合场地条件对地脉动谱曲线进行分析总结,得到了该区地脉动频谱特性,给出了不同场地条件下的场地地脉动卓越周期建议值,所得结果可以为西昌市防震减灾规划提供场地背景资料和分析依据,也可西昌市以后的工程场地选址、场地类别划分和结构抗震设计等提供参考。

**关键词:**西昌市;地脉动;卓越周期;谱分析方法

**中图分类号:** P315.9

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2013)01-0081-05

## 0 引言

地脉动是地面上一种稳定的非重复性随机波动,由场地周围风、海浪等自然震源和机器振动源、交通工具等人工震源所产生。通常情况下地脉动具有频率低、振幅小等特点。地脉动不同的频幅和历时变化,既能反映场地土层特征,又能反映工程场地的动力特性,因此地脉动是一种对工程场地研究有丰富内涵的地球物理信息。自从Omori于1908年发表了《论地脉动》后,在日本著名学者金井清大力推动下,地脉动已成为工程场地动力性能评价的一种技术手段,引起了国际的关注,掀起了地脉动研究的热潮。我国地脉动的研究始于20世纪60年代,经过几十年的研究,黄蕾等(2009),简文彬等(2002),许建聪等(2003,2004),高广运等(2000)在该领域研究取得了大量的成果,在震害分析、工程建筑设计、场地选择、场地类别划分和场地评价等工作中得到了广泛应用。

## 1 测区的场地条件与测点布设

地脉动法作为一种方便、高效和经济的方法,在场地动力测试中发挥着重要的作用。在编制西

昌市防震减灾规划过程中,为了研究分析安宁河河谷和邛海盆地地区场地特性,对该区进行了地脉动测试,共布设地脉动测点45个,其分布如图1所示,取得了大量的测试数据。笔者以实测的地脉动数据和场地土作为研究对象,分析得到测区的地脉动信号的频谱特性和卓越周期特征。

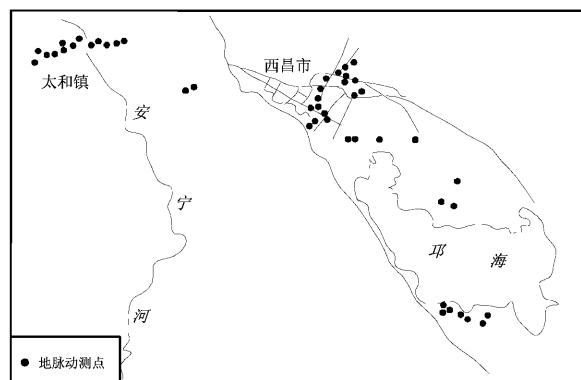


图1 测点布设示意图

Fig. 1 Schematic diagram of arrangement of measuring points

依据西昌市防震减灾规划资料<sup>①</sup>,项目规划区可以大致划分为基岩山区、安宁河河谷平原区和邛海盆地3个较大的工程地质单元。依据工程地质单元分区,测点分别布设在除基岩山区外其它两个较大的工程地质单元场地内,基岩山区主要

\* 收稿日期: 2012-02-06.

基金项目: 中国地震局教师科研基金(20110108),国家自然科学基金项目(50978237),地震行业科研专项(201008006)和中央高校基本科研业务专项资金(ZY20110102)联合资助。

① 防灾科技学院. 2010. 西昌市防震减灾规划报告集.

分布在西昌市周边的山区内,很少作为工程建设场地,考虑其工程应用价值,因此没有在该区布设测点。测点尽量布设在有钻孔资料或其附近地区,以便于测试数据后期处理分析。

安宁河河谷平原区包括安宁河 I 级阶地和河漫滩两个亚区,该区形成于全新世,场地开阔平坦,二元地层结构,上部地层 2 m 左右,以粉土、粘性土和砂土等为主,结构较松散;其下为厚达数十米的砂砾卵石层,质地坚硬,场地稳定性好,承载力高,是颇为良好的建筑场地,也是西昌市未来发展的主要规划用地区。由于该区地层结构较简单,并沿着安宁河流向分布,布设一条横切安宁河的测线即可反应出该区场地特性,共布设测点 15 个。

邛海盆地区的工程场地条件较为复杂,主要由西昌冲洪积台地、邛海洪泛平原区和邛海湖滨平原区 3 个亚区组成,考虑到其各个亚区工程场地条件不同的影响,分别在各个亚区布置控制测点。西昌冲洪积台地主要分布在邛海盆地北部边缘地带,西昌市老城区位于此,由东西河、官坝河等河流冲洪积而成,为晚更新世及其之前的冲洪积地层 ( $Q_2^{pl-3}$ ),由卵砾碎石混砂及粘性土等组成,大致呈灰紫色,卵砾成分以紫红色砂岩、泥岩等中硬岩,磨圆较好,以圆形和亚圆形为主,分选性差,大小混杂;地层结构密实,选择有代表性的场地布设了 10 个控制测点。邛海洪泛平原区主要分布在冲积台地和湖滨平原之间,该区为西昌市近几年主要的发展用地区,为山洪碎屑堆积,表层形成于晚全新世 ( $Q_{3apl}^4$ ),厚度大致在 30 m 左右;地层结构较松散,为一套紫红色含粘土砂砾石、粉土、粉砂质粘性土混卵砾碎屑。该地层的岩性和厚度变化较大,稳定性较差;中下层形成于晚更新世及其之前,由冲洪积碎屑组成,厚度数十米至数百米,结构较密实,在该区共布设 10 个控制测点。邛海湖滨平原区主要沿邛海北岸呈带状分布,为全新世晚期的湖相沉积 ( $Q_{3l}^4$ ) 和河湖相堆积 ( $Q_{3(1+al)}^4$ ),为一套灰~深灰色粉质粘土、粉土、粉细砂夹淤泥质薄层或透镜体;土体结构较松散,含水量高,具有高压压缩低承载的特点,共布设 10 个控制测点。

## 2 地脉动的测试与数据处理

安宁河及邛海周边地区地脉动现场测试采用美国 SigLab 数据采集仪和中国地震局工程力学研

究所研制的 941-B 动圈式传感器及其配套的放大器,其传感器的灵敏度是  $0.33 \text{ v} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ ,每个测点使用 3 个传感器,按南北、东西和上下 3 个正交方向布置,采样频率 51 Hz,采样点  $\geq 512$  个。试验共获得 45 组地脉动测试数据,由于篇幅有限,只给出每个工程地质单元、每个亚区一个测点的东西向地脉动图,如图 2 所示。

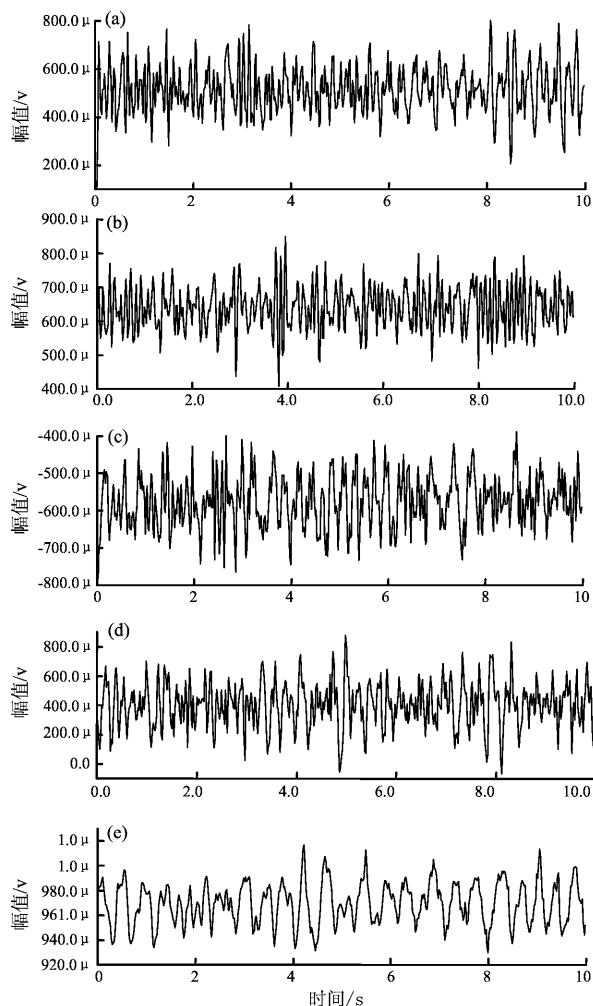


图 2 地脉动信号时程曲线

(a) 安宁河阶地; (b) 安宁河河漫滩; (c) 州第一医院附近; (d) 阳光家园小区; (e) 小渔村

Fig. 2 Time-history curve of ground micro-tremor signals

(a) the terrace of Anning river; (b) the flood plain of Anning river; (c) nearby the first hospital in Liangshan prefecture; (d) Sunshine Homes Residential Area; (e) Xiaoyu Village

目前,地脉动数据分析的方法有直接谱分析法、相对于参考点的谱比法和单点谱比法,3 种方法各有其适用范围及优缺点(陶夏新等,

2001；郭明珠，任凤华，2005)。经综合分析，笔者在采用直接谱分析法来处理数据。频谱分析使用快速傅立叶变换方法进行计算，得到傅立叶谱计算结果及相应频谱曲线，并采用平滑窗对频谱曲线进行平滑处理，由于篇幅有限，只给出每个工程地质单元、每个亚区一个测点的地脉动信号时程曲线所对应的谱曲线图，如图 3 所示。通过分析地脉动傅立叶谱曲线来研究西昌市地脉动特性和场地卓越周期特征，具体数据处理计算方法参考大崎顺彦(2008)的研究。

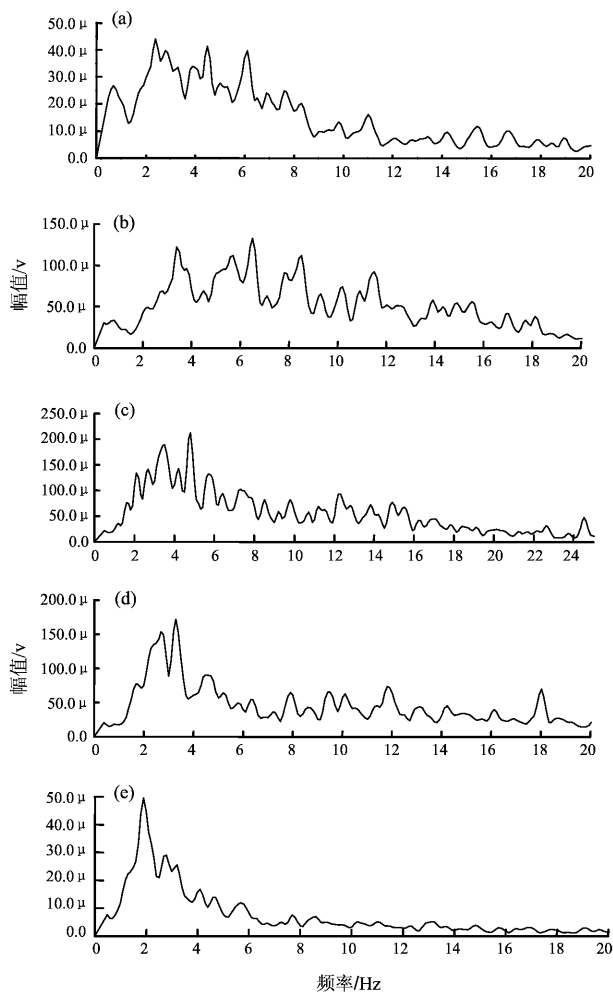


图 3 地脉动信号频谱分析结果

(a) 安宁河阶地；(b) 安宁河河漫滩；(c) 州第一医院附近；(d) 阳光家园小区；(e) 小渔村

Fig. 3 Results of spectral analysis of ground micro-tremor signals

(a) the terrace of Anning river; (b) the flood plain of Anning river; (c) nearby the first hospital in Liangshan prefecture; (d) Sunshine Homes Residential Area; (e) Xiaoyu Village

3 地脉动频谱特性分析

根据所得到的数据处理结果和已有的研究成果（黄蕾等，2009；简文彬等，2002；许建聪等，2004，2003；高广运等，2000），结合安宁河及邛海周边地区场地条件以及相应的钻孔数据，对安宁河及邛海周边地区各工程地质单元区的地脉动频谱曲线频谱特性进行了分析总结，具体结果如下。

安宁河平原区的地脉动傅立叶谱谱形主要以多峰形态为主。谱曲线特点是有两个以上峰，如图 3a、c 所示，其峰值大小相当，峰值较明显，一般情况下前两个峰值较明显或主峰突出，谱面积大，能量分散，其余峰值与主峰比值在 0.5 ~ 1 之间。但是安宁河阶地亚区和安宁河高漫滩亚区稍有不同，前者峰值集中出现在 2 ~ 6 Hz 之间，而后者峰值集中出现在 3 ~ 8 Hz 之间，并向高频方向移动。这种谱形的场地特征一般是土层存在不同程度硬夹层，夹层的位置及厚度与谱曲线不同峰值的周期位置及峰值形态的宽窄高低有密切关系。安宁河阶地和高漫滩谱形稍有不同可能是由于安宁河阶地上部有 2 m 左右以粉土、粘性土和砂土等为主的较松软的地层结构，该地层对低频有明显的放大效果，导致该亚区谱形峰值集中区域向低频方向偏移。由于硬夹层的影响，作抗震设计时对于这类场地一般应该考虑频谱曲线中前两、三个最大峰值所对应的周期及相应高阶振型可能产生的影响。

邛海盆地区由于工程场地较复杂，各个亚区的地脉动谱形各有不同，西昌冲洪积台地亚区与邛海洪泛平原亚区地脉动谱形相似，以双峰形为主，主峰较明显，主峰后是形成有多峰组成的平台，谱面积较大，峰值振幅比在 0.5 ~ 1 之间，不同的是邛海洪泛平原亚区峰值向低频偏移，峰值集中在 2 ~ 4 Hz（图 3c），而西昌冲洪积台地亚区谱曲线峰值集中在 2 ~ 5 Hz（图 3d），这种谱形的场地土层是存在软土层下部存在刚度、厚度都较大的砂砾卵石等硬土层。由于上部软土层放大了低频分量，抑制了地震波中的高频分量，使地面运动的谱值出现较长周期的高峰，而下部硬土层增加了波在传递过程中多次反射，使之出现较多的波峰。邛海湖滨平原亚区主要以单峰形为主，

谱曲线有一个明显的主峰,如图 3d 所示,峰值明显,谱峰尖锐,频道较窄,谱面积较小,能量主要集中在 2 Hz 附近,其他峰值很小,与主峰振幅比小于 0.5 (图 3e),该亚区主要由细颗粒的粉土、砂质粘性土、砂类土等构成,剪切波速随深度递增,没有或少见硬夹层,其峰值位置及带宽一般随覆盖层厚度的增加向低频方向移动。

## 4 场地地脉动卓越周期分析

根据 45 组地脉动测试数据的处理结果,对安宁河及邛海周边地区地脉动卓越周期特征进行了分析研究,场地地脉动卓越周期参考场地微振动测量技术规程 (CECS74-95),按下述方法确定,当三分量的卓越周期基本相同时,取三者的平均值为该场地卓越周期的建议值;当三分量的卓越周期不同时,以水平向的卓越周期为建议值;对于多个谱峰取主峰最高的谱峰为本场地的卓越周期的建议值。由于地脉动卓越周期的变化与场地土层构造密切相关,与场地工程地质条件的变化相对应,所以按不同工程地质条件给出了安宁河及邛海周边地区场地地脉动卓越周期的建议值。

经统计分析安宁河河谷平原区场地地脉动卓越周期  $T_0$  的均值为 0.28 s,  $T_0$  小于 0.2 s 有 1 点,占总数的 6.7%;  $T_0$  为 0.2 ~ 0.35 s 的有 13 点,占总数的 86.6%;  $T_0$  大于 0.30 s 的有 1 点,占总数的 6.7%。邛海盆地区由于各个亚区的地脉动谱形特性差异较大,所以该区的场地卓越周期按照各个亚区给出。冲积台地亚区场地地脉动卓越周期  $T_0$  的均值为 0.26 s,  $T_0$  小于 0.20 s 有 1 点,占总数的 10%,  $T_0$  为 0.20 ~ 0.30 s 的有 8 点,占总数的 80%,  $T_0$  大于 0.35 s 的有 1 点,占总数的 10%;邛海洪泛平原区场地地脉动卓越周期  $T_0$  的均值为 0.31 s,卓越周期  $T_0$  小于 0.25 s 有 1 点,占总数的 10%,  $T_0$  为 0.25 ~ 0.40 s 的有 7 点,占总数的 70%,  $T_0$  大于 0.40 s 的有 2 点,占总数的

20%;邛海湖滨平原亚区场地地脉动卓越周期  $T_0$  的均值为 0.53 s,卓越周期  $T_0$  小于 0.45 s 有 1 点,占总数的 10%,  $T_0$  为 0.45 ~ 0.60 的有 8 点,占总数的 80%,  $T_0$  大于 0.60 s 的有 1 点,占总数的 10%。

## 5 结论

笔者采用直接谱分析法对安宁河及邛海周边地区地脉动的测试数据进行了处理,结合工程场地条件对处理结果进行了综合分析,归纳总结得到了安宁河及邛海周边地区场地地脉动的频谱特征。经分析安宁河及邛海周边地区场地地脉动卓越周期建议值分别是安宁河谷平原区为 0.28 s,冲积台地亚区为 0.26 s,邛海洪泛平原区为 0.31 s,邛海湖滨平原亚区为 0.53 s。该结果可为西昌市防震减灾规划编制提供场地的背景资料和分析依据,也为以后该市工程结构抗震设计、场地选择和场地类别划分等提供基础性资料。

## 参考文献:

- 大崎顺彦. 2008. 地震动的谱分析入门[M]. 北京:地震出版社.
- 高广运,吴世明,周健,等. 2000. 场地卓越周期的讨论与测定[J]. 工程勘察, (5): 29-31.
- 郭明珠,任风华. 2005. 工程场地动力特性分析的地脉动法[J]. 世界地震工程, 21(4): 139-142.
- 黄雷,方云,严绍军,等. 2009. 地脉动测试测定场地的卓越周期[J]. 水利与建筑工程学报, 7(1): 122-137.
- 简文彬,李哲生,黄真萍,等. 2002. 福建沿海地区地微动的谱结构特征[J]. 工程地质学报, 10(2): 216-219.
- 陶夏新,刘曾武,郭明珠,等. 2001. 工程场地条件评定中的地脉动研究[J]. 地震工程与工程振动, 24(4): 18-23.
- 许建聪,简文彬. 2003. 地脉动在泉州市区地基土层场地评价中的应用[J]. 长安大学学报(地球科学版), 25(1): 47-51.
- 许建聪,简文彬,尚岳全,等. 2004. 地脉动在福州市区地基土层场地评价中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 23(17): 3 014-3 020.
- CECS74-95, 场地微振动测量技术规程[S].

## Characteristics Analysis of Ground Micro-tremor in Surrounding Area of Anning River and Qionghai Lake

LI Ping<sup>1,2</sup>, BO Jing-shan<sup>1,2</sup>, SUN You-wei<sup>2</sup>, ZHANG YU-dong<sup>2</sup>,

LI Xiao-bo<sup>1</sup>, ZHAO Jin-xin<sup>1</sup>, WAN Wei<sup>1</sup>

(1. *Institute of Engineering Mechanics, CEA, Harbin 150080, Heilongjiang, China*)

(2. *Institute of Disaster Prevention, Sanhe 065201, Hebei, China*)

### Abstract

According to the ground micro-tremor test, we obtained ground micro-tremor data recorded by 45 measuring points in surrounding area of Anning River and Qionghai Lake, and processed the data by spectral analysis. We analyzed and summarized the characteristic of spectral curve of ground micro-tremor, obtained spectrum characteristics of ground micro-tremor, and gave the advised values of predominant period of site ground micro-tremor in study area according to different site conditions. The results not only provided the site background information and analysis basis in the planning of Xichang seismic disaster prevention and mitigation, but also provided meaningful references for the engineering site selection, site type classification and structural seismic design in Xichang in future.

**Key words:** Xichang city; ground micro-tremor; predominant period; spectral analysis method