

常时微动测试在汶川地震甘肃灾区 建筑结构震害调查中的应用

吴志坚¹, 车爱兰², 王兰民¹, 陈龙珠², 刑爱国²

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 上海交通大学, 上海 200030)

摘要:为了调查2008年5月12日汶川 $M_s8.0$ 大地震所造成的建筑结构震害和次生地质灾害特点并研究其破坏机理, 本文开展了对甘肃灾区部分典型场地和房屋的常时微动测试与分析研究。结果表明不同震害程度房屋的常时微动测试结果与其实际破坏情况有着良好的一致性。

关键词: 汶川大地震; 震害考察; 房屋结构; 常时微动测试; 甘肃灾区

中图分类号: P315.9 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2009)01-0086-05

Application of Micro Tremor Observation on Disaster Investigation of the 2008 Wenchuan Earthquake for Building Structures in the Quake-hit Areas of Gansu Province

WU Zhi-jian¹, CHE Ai-lan², WANG Lan-min¹, CHEN Long-zhu², XING Ai-guo²

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China; 2. Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: In order to investigate the damage characteristics and mechanism of buildings and secondary disasters, which caused by the Wenchuan $M_s8.0$ great earthquake on May 12, 2008, the field investigation was carried on in the earthquake disaster area of Gansu province after the event. The micro tremor measurements were surveyed on some building structures. It is proved that the test results are well agree with the structural damages.

Key words: Wenchuan great earthquake; Earthquake damage investigation; Building structure; Micro tremor observation; Disaster area in Gansu province

0 引言

2008年5月12日四川汶川 $M_s8.0$ 特大地震造成了巨大的人员伤亡和经济损失, 甘肃省是受灾仅次于四川省的省份。为了开展震后房屋结构以及地震诱发地质灾害的特点和破坏机理的调查, 更好地服务于灾后重建工作, 甘肃省地震局和上海交通大学联合组成了汶川 $M_s8.0$ 地震甘肃灾区地震科学考察队, 于2008年6月3日至9日对甘肃省灾区进行了现场地震科学考察。本次科学考察是在甘肃省地震局前期震害损失评估的基础上, 选择典型村镇和房屋、次生地质灾害点作为重点调查目标。由于

汶川地震后主震和余震的大量强震记录的校正和处理工作的滞后性, 为了尽早开展场地地震反应和房屋破坏的影响机理的研究, 本次科学考察应用了地微动的观测手段。其中房屋调查包括结构类型、受震破坏特征及其主要原因分析, 房屋场地和顶层地脉动测试, 受损形态拍照留存等; 次生地质灾害调查包括岩体类型、受震破坏特征及其主要原因分析, 场地地脉动测试, 受损形态拍照留存等。

常时微动测试是获取场地土层宏观动力特征的重要手段, 是确定场地卓越周期和结构动力特性的

收稿日期: 2008-12-18

基金项目: 中国地震局地震预测研究所基本科研业务费资助项目; 中国科学院西部行动计划(二期)项目课题(KZCX2-XB2-10); 冻土工程国家重点实验室开放基金课题(SKLFSE200801); 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2009022。

作者简介: 吴志坚(1974-), 男(汉族), 安徽太湖人, 博士, 副研究员, 主要从事岩土工程地震与冻土工程等方面的研究工作。

一种简单快捷方法。它通过观测地面或建筑结构的常时微动信号,利用快速傅里叶变换(FFT)将观测到的微动信号转到频域中进行分析,得到场地的卓越周期等参数,再由此进行工程分析和评估^[1]。常时微动在工程抗震和防震减灾中具有很大的应用价值^[2-5],其卓越周期是场地土类型划分和场地土类别划分、震害预测及建筑场地选址与评价、地震小区划、重要建筑和精密设施场地的工程抗震评价、分析计算的重要依据之一^[6-8]。另外,利用台阵记录的地面脉动数据,还可反演地表下部土层的波速结构特征^[9]。

在本次科考工作中,我们选择甘肃省陇南市武都区的典型结构房屋做了常时微动的测试工作。

1 常时微动现场测试与数据处理

1.1 测试仪器与数据采集

本次测试使用的微动仪是便携式地震仪(SPC-35F;VSE-15D型速度仪,分辨率 16 Bit、日本东京测振制造)(图 1)。微动仪包括三个部分:地微动测试系统(主要包括检波器(拾震器)、放大器、数据采集与记录、时域与频域分析、成果输出等几个部分)和电源。其中,检波器频带范围为 0~70 Hz。表 1 为常时微动测试仪的主要测试指标。

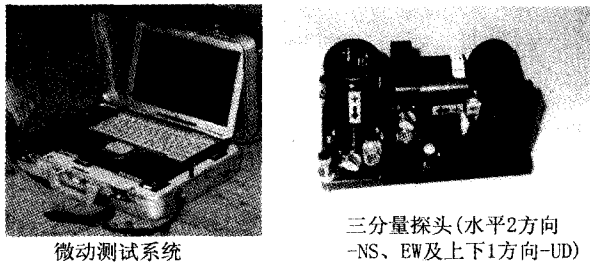


图 1 常时微动测试中使用的微动仪

Fig. 1 Micro motion instrument.

表 1 常时微动测试仪的主要测试指标

型号	携带用地震仪(SPC-35F;VSE-15D型速度仪)
生产厂家	日本东京测振制造
振动测定	速度: 100×10^{-5} m/s 及 10×10^{-5} m/s ² 种,分辨率 10×10^{-8} m/s;频率范围 0.1~70 Hz
	加速度: 0.1 m/s ² 及 1.0 m/s ² 2 种,分辨率 1.0×10^{-5} m/s ² ;频率范围 0.1~70 Hz
	位移: 100×10^{-6} m 及 10×10^{-6} m 的 2 种,分辨率 0.01×10^{-6} m,频率范围 0.1~70 Hz
频率	1 000 Hz, 500 Hz, 200 Hz, 100 Hz, 50 Hz, 20 Hz, 10 Hz, 5 Hz, 1 Hz 共 9 种

在地表或建筑物内进行表层微动测定时,应尽可能选在平坦场地,尽量排除测点附近人为活动、各种动力源的干扰。将三个检波器固定在一个特制的

铁板上,以确定的勘测点为基准点,其中 CH1 指向指南针的 N 方向,以保证 NS 速度探头始终处于南北方向。分别测试场地东西向(EW)、南北向(NS)和垂直向(UD)三个方向的微动信号。采集记录长度为 5 分钟,采样步长 0.01 s,总采样点为 30 000 个。

1.2 结构的常时微动测试

本次科考建筑结构的常时微动测试场点分别是陇南市武都区人大办公楼(四层砖混结构建筑)、武都区交通局办公楼(三层砖混结构建筑)和武都区政府办公楼(六层框架结构建筑)的一楼及顶层,共 6 个测试点。

1.3 常时微动测试的数据处理方法

图 2 为本次测试采集到的典型数据示例。常时微动测试数据的分析方法为傅里叶谱分析法:从 5 分钟的观测数据中选出 5 组比较稳定的时间带,每

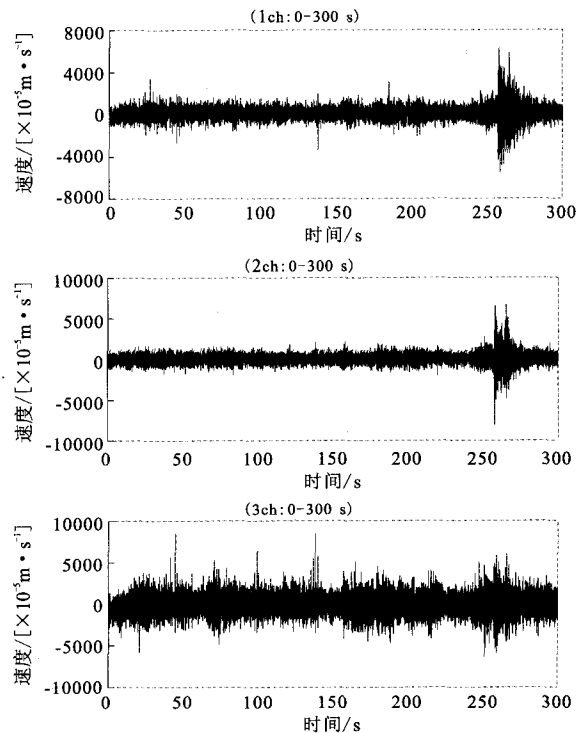


图 2 常时微动测试采集典型数据示例 (武都区人大底层)

Fig. 2 Examples of the collected data of micro tremor observation at the bottom of building which belong to the People's Congress of Wudu District.

个时间带包含 2 048 个数据,进行快速傅里叶分析(FFT),得到水平 2 成分(H)与上下 1 成分(V)的傅里叶谱。对观测数据的傅里叶谱加汉宁窗口 10 次,进行平滑化(Band=约 0.1 Hz)之后,对 5 组傅里叶

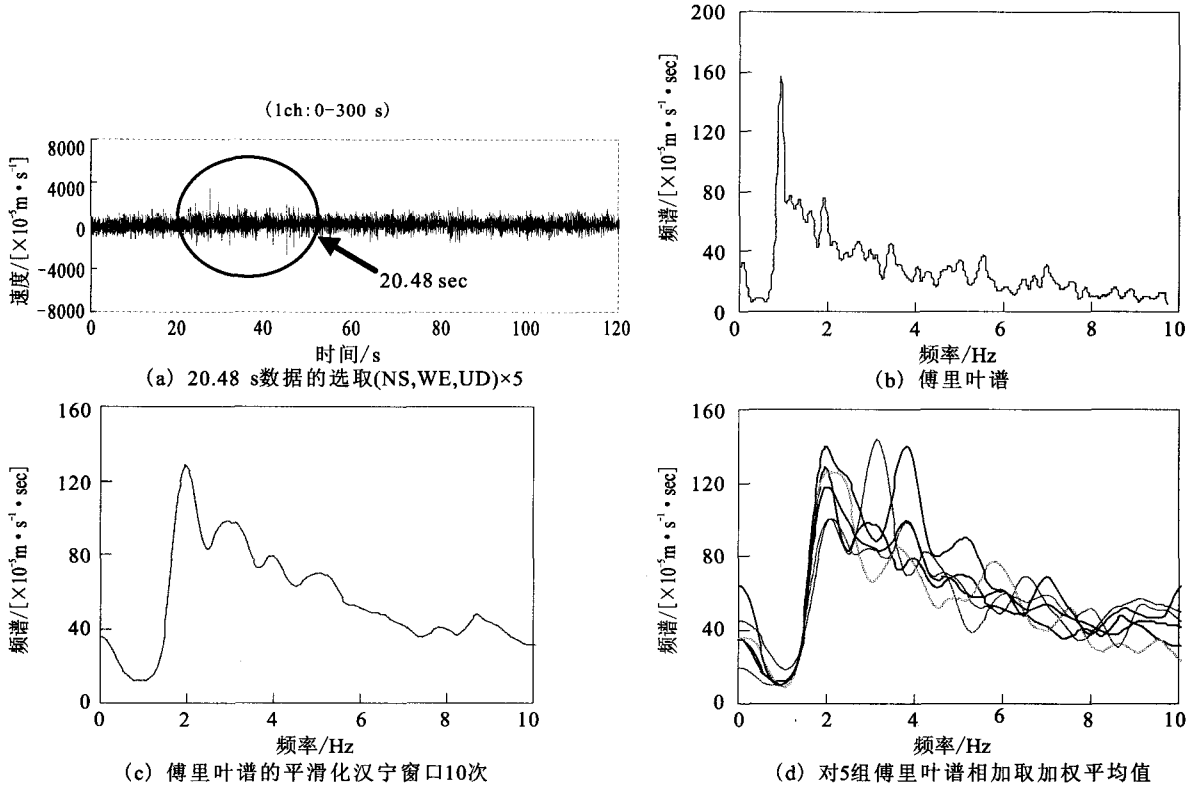


图3 傅里叶谱分析法

Fig. 3 The method of Fourier analysis.

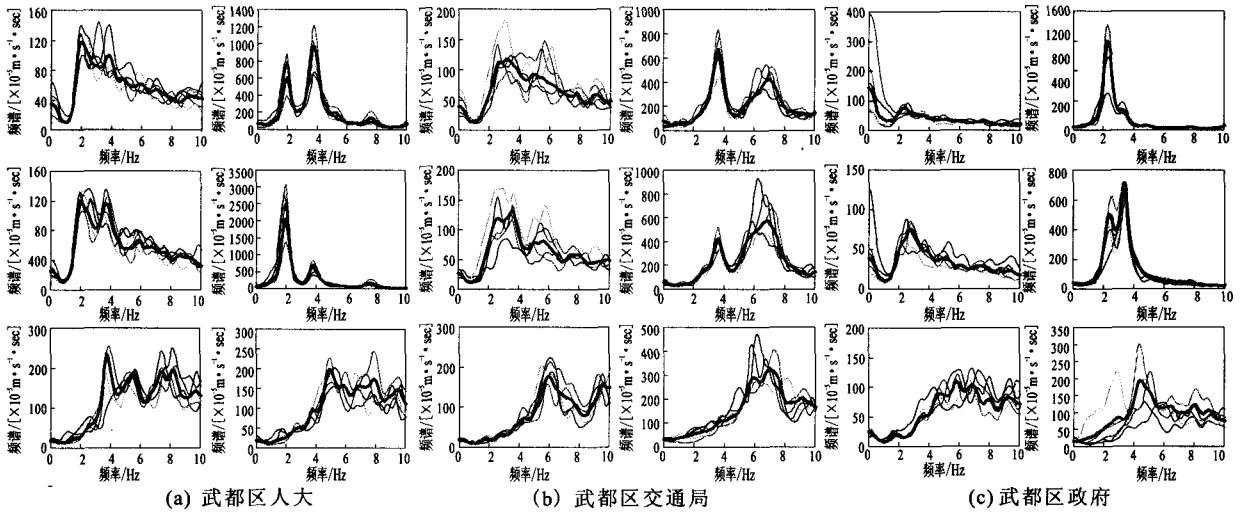


图4 各建筑物的底、顶层三方向微动频谱(图左为底层,右图为顶层,从上到下依次为长轴、短轴和垂直三个方向的微动频谱)

Fig. 4 The frequency spectrums of micro motion in three directions recorded at top and bottom of buildings.

谱相加取平均值($\frac{\sqrt{NS \cdot EW}}{UD}$)作为该地点的傅里叶谱(图3)。

2 结构常时微动测试的数据分析处理

2.1 结构卓越频率(周期)的确定

将检波器(三分量)水平置于建筑结构的底层及顶层,分别测试结构的长轴方向、短轴方向和垂直地面方向的三个方向的微动信号。图4为各建筑物底层和顶层的三方向(长轴、短轴、垂直)微动频谱。将图中的各建筑物底层和顶层平均频谱曲线叠加后得到建筑物的各阶卓越频率(图5)。如图4、5所示,

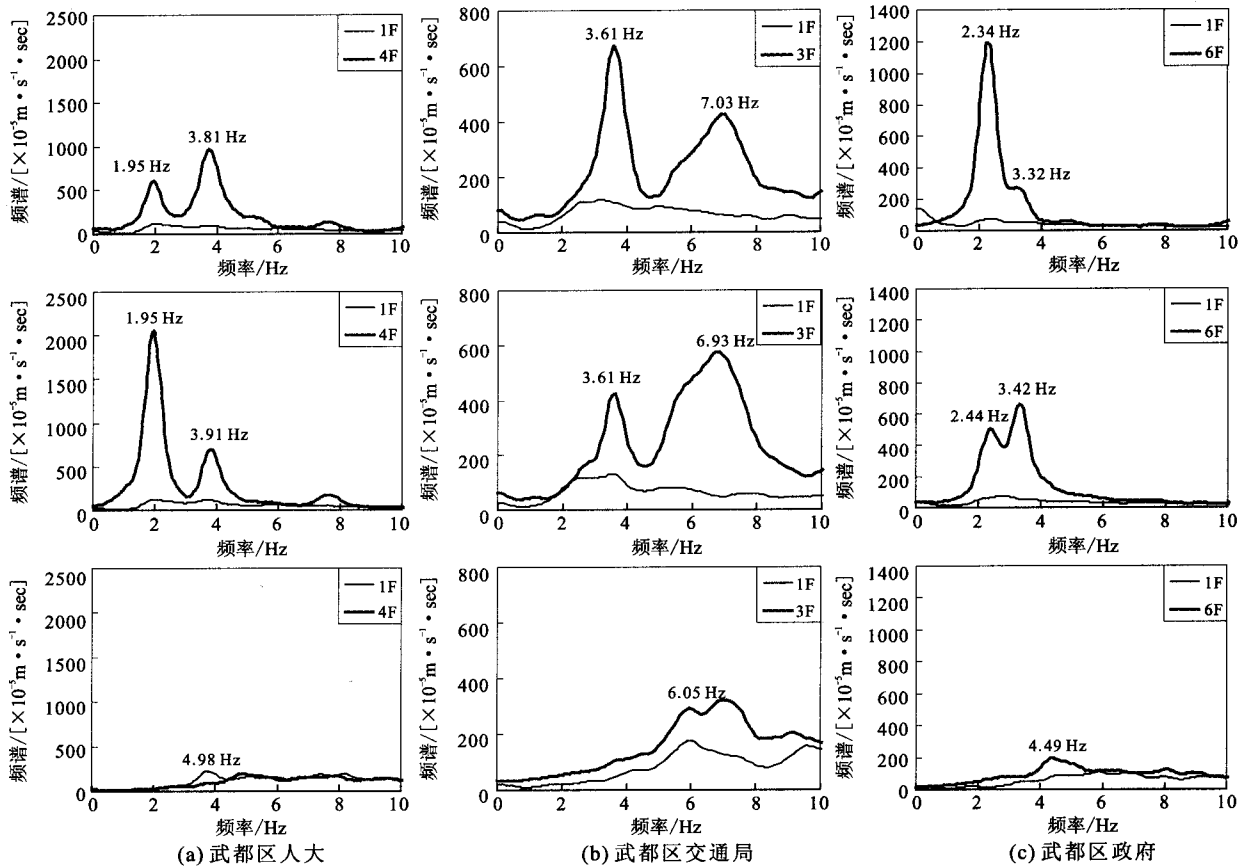


图 5 各建筑结构底层和顶层平均频谱曲线叠加(从上到下依次为长轴、短轴和垂直三个方向)

Fig. 5 Average spectrum curves in the long axis, short axis and vertical axis recorded at top and bottom of buildings.

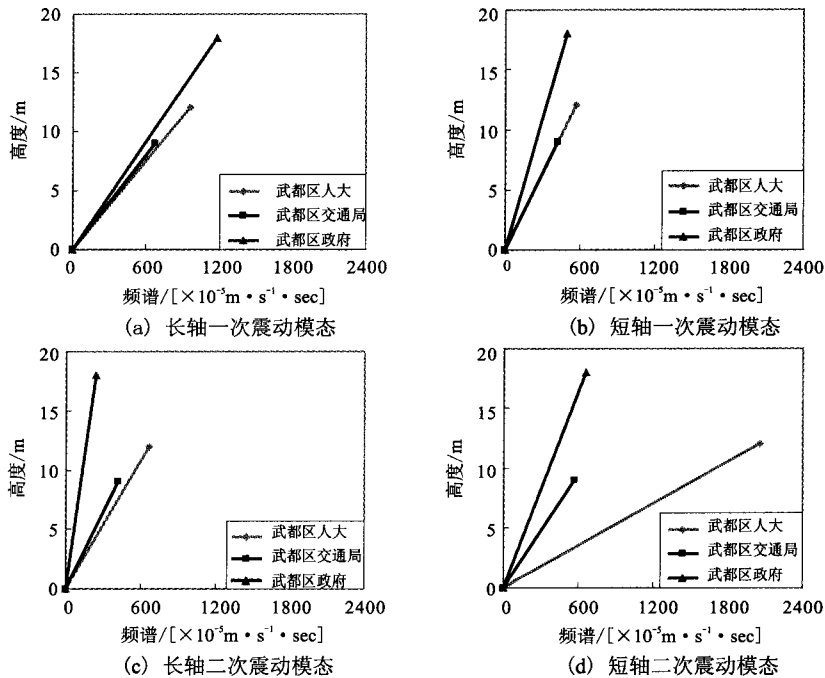


图 6 建筑结构底层及顶层的长轴、短轴两个方向的动响应模式

Fig. 6 Dynamic response modes for bottom and top of structures in long and short axis.

常时微动测试可以较好地把握建筑结构的1、2次特征值。武都区人大的一次固有频率为1.95 Hz,二次固有频率为3.8 Hz;武都区交通局的一次固有频率为3.6 Hz,二次固有频率为7.0 Hz;武都区政府的一次固有频率为2.3 Hz,二次固有频率为3.3 Hz。

2.2 结构动响应模态的确定

将图5建筑物的震动频谱中的1、2次卓越响应分别按结构高度方向排列,得到结构底层及顶层的长轴、短轴两个方向的动响应模态(图6)。根据现场测试结果分析,得到各建筑结构的一次和二次振动模态。结果显示,各结构的一次模态长轴方向的响应大于短轴方向。无论是一次模态还是二次模态,其响应程度从大到小依次为武都区人大、武都区交通局、武都区政府。可以认为,建筑结构受损程度越大,其刚度折减越大,动态响应也越大。也就是说各建筑结构常时微动的观测结果与各自受汶川地震的破坏状况相符。

3 结论

通过对汶川地震甘肃省灾区部分典型建筑结构的现场常时微动测试结果的数据分析和处理,可以得到以下结论:

(1) 常时微动测试可以较好地把握建筑结构的一、二次模态特征值。武都区人大的一、二次固有频率分别为1.95 Hz、3.8 Hz;武都区交通局的一、二次固有频率分别为3.6 Hz、7.0 Hz;武都区政府的一、二次固有频率分别为2.3 Hz、3.3 Hz。

(2) 常时微动测试可以较好地把握建筑结构长轴、短轴两个方向的动响应模态。测试结果显示,各建筑结构的一次模态长轴方向的响应大于短轴方

向。无论是一次模态还是二次模态,其响应从大到小依次为武都区人大、武都区交通局、武都区政府,测试结果与建筑结构受汶川地震破坏状况相符。

致谢:感谢中国地震局兰州地震研究所葛伟鹏硕士、王恒知硕士和上海交通大学马宏旺副教授、刘玮博士以及甘肃省地震局武都地震台苏永刚台长等工作人员在现场工作中给予的大力协助。

【参考文献】

- [1] Che Ailan, Iwatate Takahiro, Ge Xiurun. Study on the applicability of frequency spectrum of micro-tremor and dynamic characteristics of surface ground in Asia area[J]. Journal of Zhejiang University(SCIENCE), 2006, 7(11): 1856-1863.
- [2] 陶夏新,刘曾武,郭明珠,等. 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, 2001, 21(4): 18-23.
- [3] 彭远黔,路正,李雪英,等. 场地脉动卓越周期在工程抗震中的应用[J]. 华北地震科学, 2000, 18(4): 61-68.
- [4] 郭明珠,谢礼立,高尔根,等. 利用地脉动进行场地反应分析研究综述[J]. 世界地震工程, 1999, 15(3): 14-19.
- [5] 蒋通. 脉动的研究及其在地震工程中的应用[J]. 世界地震工程, 1997, 13(4): 41-46.
- [6] 中华人民共和国行业标准编写组. CSCS74:95 场地微振动测量技术规程[S]. 北京:中国计划出版社, 1996.
- [7] 冶金工业部建筑研究总院工程抗震研究室. 九国抗震设计规范汇编[M]. 北京:地震出版社, 1982.
- [8] 林宗元. 岩土工程勘察设计手册[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社, 1996.
- [9] 吴志坚,王兰民,孙军杰,等. 青藏高原典型多年冻土地面脉动特征[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(11): 2316-2323.
- [10] 孙崇绍,石玉成. 甘肃省河西地区高层建筑动力特性脉动观测研究[J]. 西北地震学报, 2000, 22(3): 224-231.
- [11] 李亚荣,荣代潞,何新社. 用微震台网对2006年兰州 $M_s 2.5$ 地震定位和震源机制研究[J]. 西北地震学报, 2006, 28(4): 355-359.