

# 甘肃省河西地区高层建筑动力特性 脉动观测研究<sup>\*</sup>

孙崇绍, 石玉成

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃兰州 730000)

**摘要:** 采用脉动观测方法对甘肃省河西地区的武威皇台大厦、张掖电力大厦和张掖国税大厦 3 栋高层建筑的自振特性进行测试. 在分析 3 栋建筑的自振周期、振型和阻尼比时, 结合对当地场地特性的分析, 指出了河西地区对高层建筑有利的场地条件以及今后在该地区修建高层建筑时应注意的若干问题.

**主题词:** 高层建筑; 脉动观测; 动力特性; 河西走廊

**中图分类号:** P315.9      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-0844(2000)03-0224-08

## 0 引言

高层建筑的动力特性是抗震设计所必需的重要指标. 甘肃省河西地区的大中城市大多位于山前戈壁和山前平原地带. 这些地区地势平坦, 场地条件良好, 但地震烈度较高, 都属于 VII~VIII 度区. 随着该地区国民经济的发展, 高层建筑增长的速度很快. 已建成的高层建筑 (9~22 层) 的结构类型大多为钢筋混凝土框架剪力墙式. 但迄今为止, 这一地区高层建筑的振动特性尚无实测资料. 受甘肃省抗震办公室委托, 作者在武威、张掖二地选取了 3 栋不同层数、不同高度并具有代表性的高层建筑进行了动力特性测试.

## 1 观测方法

本次测试选定的建筑物为武威皇台大厦、张掖电力大厦和张掖国税大厦. 3 栋楼房的结构类型、主要形体指标以及所处的烈度位置、场地条件等列于表 1, 剖面结构见图 1.

测试方法选用脉动观测法<sup>[1, 2]</sup>. 这种方法的最大优点是操作简便, 对建筑物无损. 通过分析可以测定高层楼房的基本周期和振动频率、振型以及相应的阻尼比.

观测时间是 1998 年 12 月 10~12 日上午 9 时至晚间 8 时. 观测时的天气基本晴好 (仅在观测张掖国税大厦时风力为 3 级左右), 气温为  $-8^{\circ}\text{C}$  ~  $-16^{\circ}\text{C}$ .

观测时皇台大厦主体工程已完工, 但门窗、水、暖、电尚未安装, 观测时无施工干扰, 楼内安静; 张掖电力大厦正在进行内部装修, 施工干扰较大; 张掖国税大厦已竣工并交付使用, 因此选定了星期六休息日观测, 以避免过大的干扰. 由于 3 栋楼房都临近交通繁忙的街道, 车辆的干扰不可避免. 所有这些外界的干扰都借助于滤波方法尽量予以排除.

收稿日期: 1999-07-26

<sup>\*</sup> 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2000043

作者简介: 孙崇绍 (1936—), 男 (汉族), 山东济宁人, 研究员, 现主要从事工程地震研究.

表 1 测试楼房的主要指标

| 名称   | 房屋用途 | 结构类型                       | 层数                                 | 平面形状 | 主要尺寸/m              |       |       | 所在区烈度 | 场地类型 |
|------|------|----------------------------|------------------------------------|------|---------------------|-------|-------|-------|------|
|      |      |                            |                                    |      | 长                   | 宽     | 高     |       |      |
| 皇台大厦 | 宾馆   | 主楼: 框架剪力墙<br>大开间<br>裙房: 框架 | 主楼: 地上 24 层<br>地下室: 2 层<br>裙房: 3 层 | 一字   | 75.6<br>(底层, 不包括裙房) | 39.6  | 98.80 | VIII  | I    |
|      |      |                            |                                    |      | 16.6<br>(四层以上)      | 37.0  | —     |       |      |
| 电力大厦 | 办公   | 框架剪力墙                      | 地上: 17 层<br>地下: 1 层<br>侧翼: 15 层    | L 型  | 53.65               | 41.05 | 65.20 | VII   | I    |
| 国税大厦 | 办公   | 框架(电梯间有剪力墙)                | 9 层                                | 一字   | 50.40<br>32.40      | 12.8  | 39.10 | VII   | II   |

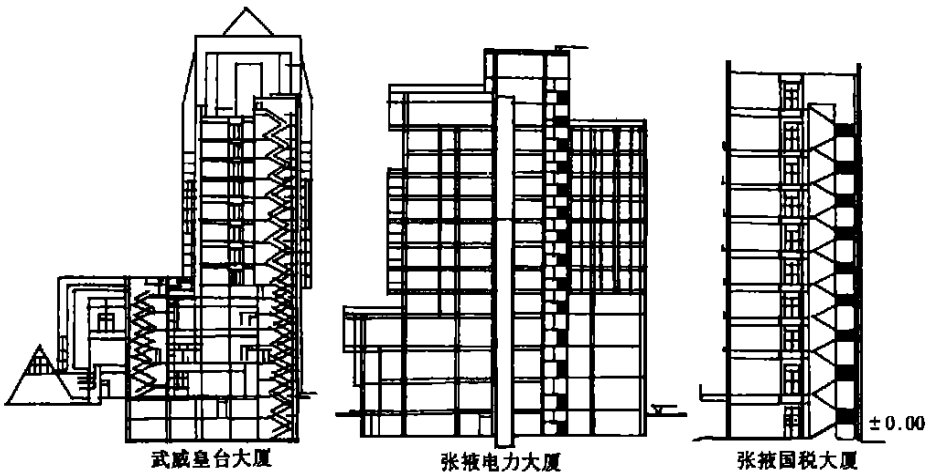


图 1 测试楼房的结构示意图

Fig. 1 Sketch map of Structure of three buildings observed.

观测采用 701-5 型水平向超低频拾震器配以 MR-16 I 型浮点初动仪记录. 分别对 3 栋楼房逐层做了纵横 2 个方向的脉动观测. 记录时间一般为 82 s, 有时连续观测记录 2~3 次, 持续时间达 4 分钟左右. 采样时间间隔最小为 0.01 s, 分析时间隔采样, 滤波后用 0.04 s 作为数据步长, 在 82 s 时间内可取 2048 个样点, 可测的频谱范围为:

上限(褶迭频率):  $\frac{1}{0.04} = 25(\text{Hz})$

下限(基频):  $\frac{1}{81.92} = 0.0122(\text{Hz})$

这样即可获得 0.04~80 s 范围内的频谱信息, 完全可满足高层建筑物振动频谱分析的要求.

由于 MR-16 I 型记录器仅有 4 通道, 故观测时将一拾震器放置在某一固定层位作为计算振幅时的依据, 避免在观测时段内由于环境的变化使得各层的记录不好比较.

同时对每栋楼房外的自由场地也都进行了 3 个方向的脉动观测.

2 测试结果分析

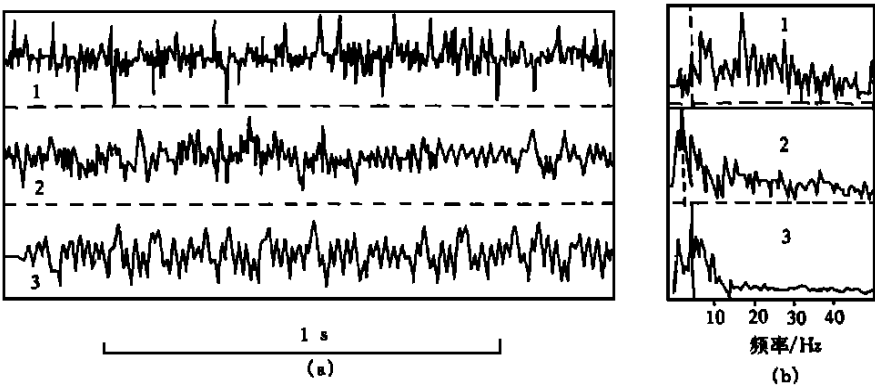
建筑物的脉动是在环境常时微动作用下引起的微小振动. 由于其本身的滤波作用, 场地及

外界微振动对建筑物脉动的频谱成分影响很小. 建筑物的脉动事实上可以近似看作是各态历经的平稳随机过程. 因此, 选取某一时段内的记录, 应用随机振动理论和分析方法, 可以得到建筑物的振动特性参数.

由于实际情况比较复杂, 因此, 对原始记录首先进行了低通滤波预处理, 以去掉由于车辆行驶、楼内施工等引起的高频干扰.

2.1 自振周期的分析

图 2 为楼外自由场地脉动记录的时程曲线(仅取一段)和脉动傅氏谱. 由图可以看出, 场地的自振频率以 5~6 Hz 为主, 符合河西地区的一般规律<sup>[3]</sup>. 这样较高频的振动对高层建筑的频谱分析不会构成实质性的影响.



1 武威皇台大厦; 2 张掖电力大厦; 3 张掖国税大厦

图 2 被测试楼房附近自由场地水平向脉动记录(a)及水平向脉动的傅氏谱(b)

Fig. 2 Records (a) and Fourier spectra of horizontal ground microtremor (b) near by buildings observed.

本文采用傅氏谱及功率谱分析方法. 傅氏谱是直接从记录仪器经低通滤波后求得的, 功率谱可以对自相关函数  $R(\tau)$  进行傅氏变换求得:

$$E(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty R(\tau) \cos \omega \tau \cdot d\tau$$

表 2、表 3 和表 4 分别为 3 栋建筑物逐层测试结果. 由测试结果可见, 各点建筑物的自振周期很接近.

在功率谱或傅氏谱图上都可看到第二振型, 但不是每一测点的分析结果中都可以看到, 更高的振型难以辨认. 第二振型的振动频率大约是基频的 2.5~3 倍.

通过对测试结果的分析, 河西地区的钢筋混凝土框架剪力墙结构的高层建筑的基本自振周期  $T$ 、层数  $N$  和高度  $H$  间的关系可以近似表示为:

$$T = (0.05 \sim 0.06)N,$$
$$T = (0.012 \sim 0.014)H$$

式中: 周期  $T$  的单位为 s, 高度  $H$  的单位为 m.

另外, 从表 2、表 3 和表 4 中可以看出, 被测的 3 栋高层建筑纵横 2 个方向的自振周期稍有不同, 建筑物略具各向异性.

表 2 皇台大厦自振频谱分析结果

| 楼 层 | 横 向    |       |        |       | 纵 向    |       |        |       |
|-----|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
|     | 第一振型   |       | 第二振型   |       | 第一振型   |       | 第二振型   |       |
|     | 频率/ Hz | 周期/ s | 频率/ Hz | 周期/ s | 频率/ Hz | 周期/ s | 频率/ Hz | 周期/ s |
| 24  | 0. 732 | 1. 36 | —      | —     | 0. 830 | 1. 20 | —      | —     |
| 23  | 0. 781 | 1. 28 | 2. 124 | 0. 47 | 0. 928 | 1. 08 | —      | —     |
| 22  | 0. 757 | 1. 32 | —      | —     | 0. 952 | 1. 05 | —      | —     |
| 21  | 9. 757 | 1. 32 | —      | —     | 0. 928 | 1. 08 | —      | —     |
| 20  | 0. 781 | 1. 28 | —      | —     | 0. 952 | 1. 05 | —      | —     |
| 19  | 0. 757 | 1. 32 | —      | —     | 0. 854 | 1. 17 | —      | —     |
| 18  | 0. 757 | 1. 32 | 2. 002 | 0. 50 | 0. 854 | 1. 17 | —      | —     |
| 17  | 0. 781 | 1. 28 | —      | —     | 0. 830 | 1. 20 | —      | —     |
| 16  | 0. 732 | 1. 36 | —      | —     | 0. 781 | 1. 28 | 1. 904 | 0. 53 |
| 15  | 0. 732 | 1. 36 | 1. 929 | 0. 52 | 0. 928 | 1. 08 | —      | —     |
| 14  | 0. 757 | 1. 32 | 1. 733 | 0. 58 | 0. 928 | 1. 08 | 2. 075 | 0. 48 |
| 13  | 0. 732 | 1. 36 | —      | —     | 0. 781 | 1. 28 | 2. 075 | 0. 48 |
| 12  | 0. 757 | 1. 32 | 2. 051 | 0. 49 | 0. 757 | 1. 32 | —      | —     |
| 11  | 0. 732 | 1. 36 | 2. 222 | 0. 45 | 0. 781 | 1. 28 | 1. 831 | 0. 65 |
| 10  | 0. 854 | 1. 17 | 2. 124 | 0. 47 | 0. 781 | 1. 28 | 2. 075 | 0. 48 |
| 9   | 0. 806 | 1. 24 | —      | —     | 0. 781 | 1. 28 | 1. 904 | 0. 53 |
| 8   | 0. 635 | 1. 58 | —      | —     | —      | —     | —      | —     |
| 7   | 0. 575 | 1. 32 | —      | —     | 0. 806 | 1. 24 | —      | —     |
| 6   | 0. 781 | 1. 28 | 2. 222 | 0. 45 | —      | —     | —      | —     |
| 5   | 0. 732 | 1. 36 | —      | —     | —      | —     | —      | —     |
| 4   | —      | —     | —      | —     | —      | —     | —      | —     |
| 3   | —      | —     | —      | —     | —      | —     | —      | —     |
| 2   | —      | —     | —      | —     | 1. 074 | 0. 93 | —      | —     |
| 1   | —      | —     | —      | —     | 0. 854 | 1. 17 | —      | —     |
| 地下室 | —      | —     | —      | —     | —      | —     | —      | —     |
| 平均值 | 0. 754 | 1. 33 | 2. 037 | 0. 49 | 0. 862 | 1. 16 | 1. 98  | 0. 51 |

表 3 电力大厦自振频谱分析结果

| 楼 层 | 横 向                |                    |        |        | 纵 向    |        |        |        |
|-----|--------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|     | 第一振型               |                    | 第二振型   |        | 第一振型   |        | 第二振型   |        |
|     | 频率/ Hz             | 周期/ s              | 频率/ Hz | 周期/ s  | 频率/ Hz | 周期/ s  | 频率/ Hz | 周期/ s  |
| 屋 面 | —                  | —                  | —      | —      | 1. 27  | 0. 787 | —      | —      |
| 17  | 1. 123 ~<br>1. 367 | 0. 890 ~<br>0. 732 | —      | —      | —      | —      | —      | —      |
| 16  | 1. 123             | 0. 890             | —      | —      | 1. 27  | 0. 787 | —      | —      |
| 15  | —                  | —                  | —      | —      | —      | —      | —      | —      |
| 14  | 1. 123             | 0. 890             | 3. 76  | 0. 266 | 1. 27  | 0. 787 | —      | —      |
| 13  | 1. 123             | 0. 890             | —      | —      | 1. 27  | 0. 787 | 4. 30  | 0. 233 |
| 12  | —                  | —                  | —      | —      | 1. 86  | 0. 538 | —      | —      |
| 11  | 1. 172 ~<br>1. 367 | 0. 856 ~<br>0. 732 | 6. 641 | 0. 151 | —      | —      | —      | —      |
| 10  | 1. 172 ~<br>1. 367 | 0. 853 ~<br>0. 732 | 4. 883 | 0. 250 | 1. 27  | 0. 787 | —      | —      |
| 9   | —                  | —                  | —      | —      | 1. 27  | 0. 787 | 4. 39  | 0. 228 |
| 8   | 1. 221             | 0. 819             | —      | —      | 1. 27  | 0. 787 | —      | —      |
| 7   | —                  | —                  | —      | —      | —      | —      | —      | —      |
| 6   | 1. 123             | 0. 890             | —      | —      | 1. 27  | 0. 787 | 4. 20  | 0. 238 |
| 5   | 1. 123             | 0. 890             | 3. 760 | 0. 266 | —      | —      | —      | —      |
| 4   | 1. 123             | 0. 890             | 3. 565 | 0. 281 | 1. 37  | 0. 730 | —      | —      |
| 3   | 1. 367             | 0. 732             | —      | —      | 1. 27  | 0. 787 | 4. 10  | 0. 244 |
| 2   | —                  | —                  | —      | —      | —      | —      | —      | —      |
| 1   | 1. 172             | 0. 853             | —      | —      | 1. 27  | 0. 787 | —      | —      |
| 地下室 | 1. 221             | 0. 819             | —      | —      | 1. 27  | 0. 787 | —      | —      |
| 平均值 | 1. 198             | 0. 835             | 4. 250 | 0. 235 | 1. 28  | 0. 782 | 4. 250 | 0. 235 |

表 4 国税大厦自振频谱分析结果

| 楼 层 | 横 向               |                   |        |       | 纵 向    |        |        |        |
|-----|-------------------|-------------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
|     | 第一振型              |                   | 第二振型   |       | 第一振型   |        | 第二振型   |        |
|     | 频率/ Hz            | 周期/ s             | 频率/ Hz | 周期/ s | 频率/ Hz | 周期/ s  | 频率/ Hz | 周期/ s  |
| 屋 面 | 1. 855            | 0. 539            | —      | —     | 1. 953 | 0. 512 | —      | —      |
| 9   | 1. 855~<br>1. 953 | 0. 539~<br>0. 512 | —      | —     | 1. 855 | 0. 539 | 7. 129 | 0. 140 |
| 8   | —                 | —                 | —      | —     | 1. 855 | 0. 539 | —      | —      |
| 7   | 1. 855            | 0. 539            | —      | —     | 1. 953 | 0. 512 | 7. 031 | 0. 142 |
| 6   | 1. 855            | 0. 539            | —      | —     | 1. 855 | 0. 539 | —      | —      |
| 5   | —                 | —                 | —      | —     | 1. 758 | 0. 569 | 7. 129 | 0. 140 |
| 4   | 1. 758            | 0. 569            | —      | —     | 1. 953 | 0. 512 | 7. 617 | 0. 131 |
| 3   | 1. 953            | 0. 512            | —      | —     | —      | —      | —      | —      |
| 2   | —                 | —                 | —      | —     | —      | —      | —      | —      |
| 1   | —                 | —                 | —      | —     | —      | —      | —      | —      |
| 平均值 | 1. 870            | 0. 535            | —      | —     | 1. 883 | 0. 531 | 7. 227 | 0. 138 |

2.2 振型及变形特征的分析

由于脉动记录具有很大的随机性, 为了避免偶然干扰的影响, 采用记录时段内的均方值(rms)来反映各楼层的脉动位移幅值. 图 3 为 3 栋楼房各层的脉动位移量, 脉动幅值见表 5.

图 3 中振型曲线很不光滑, 这是因为测试总的延续时间较长以及外界环境的不稳定性造成的, 但由图还是可以清楚地看出: (1) 3 栋高层建筑物的脉动幅值随高度增加而急剧放大, 顶部振幅较底部放大 7~10 倍; 房屋底部的脉动振幅比附近自由场地也高出一倍左右. (2) 图 3 中曲线显示的振幅主要反映楼房的第一振型. 高层建筑的振动比较复杂, 其底部以剪切变形为主, 而上部则以弯曲变形为主. 弯曲变形出现在内部结构刚度变化之处, 如武威皇台大厦 21 层以上剪力墙减少了约 40%, 张掖电力大厦 12 层以上剪力墙数目减少了约 34%, 张掖国税大厦 8 层以上框架柱和内隔墙减少, 这些都导致振幅在相应层位上急剧增大, 从而出现弯曲变形. 高振型的振动在图中不易看出.

2.3 阻尼性质的分析

利用脉动方法计算建筑物阻尼比的方法很多, 本文采用高桥浩一郎和杨觉生提出的随机衰减法<sup>[1,2]</sup>. 其基本概念是当某一弹性体系受外界的随机振动的干扰而振动时, 所产生的振动是自由衰减振动与强迫振动之和, 其中强迫振动的平均过程应为 0, 因此将此随机振动过程多次取样其平均过程应为自由衰减振动. 根据此基本原理编制了适用于分析高层建筑阻尼性质的程序, 实际计算时采样次数至少应在 300 次以上方可显示出建筑物的自由衰减振动, 而且, 由于其中有非随机干扰的影响, 并不是每一测层每一条记录都能得到较好的结果.

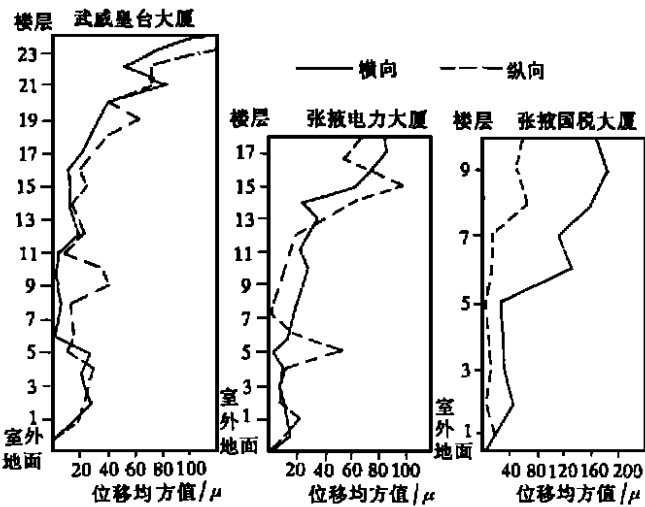


图 3 3 栋楼房脉动位移量(均方值)

Fig. 3 Displacement (rms) in microtremor of the three buildings.

表 5 3 栋楼房各层脉动幅值(rms)

| 楼房名称   | 楼 层         | mm/s <sup>12</sup>                            |     | 楼房名称                                           | 楼 层    | mm/s <sup>12</sup> |                                                |    |
|--------|-------------|-----------------------------------------------|-----|------------------------------------------------|--------|--------------------|------------------------------------------------|----|
|        |             | 横 向                                           | 纵 向 |                                                |        | 横 向                | 纵 向                                            |    |
| 武威皇台大厦 | 24} (电梯水箱间) | 121                                           | 111 | 张掖电力大厦                                         | 屋面     | 89                 | 90                                             |    |
|        |             | 79                                            | 120 |                                                | 17(夹层) | 88                 | —                                              |    |
|        | 22          | 56                                            | 75  |                                                | 16     | 79                 | 79                                             |    |
|        |             | 21                                            | 85  |                                                | 74     | 15                 | 64                                             | 99 |
|        |             |                                               | 20  |                                                | 42     | 44                 | 14                                             | 25 |
|        |             | 19                                            |     |                                                | 96     | 65                 | 13                                             | 36 |
|        |             |                                               | 18  |                                                | —      | 44                 | 12                                             | —  |
|        |             | 17                                            |     |                                                | 23     | 31                 | 11                                             | 23 |
|        |             |                                               | 16  |                                                | 13     | 20                 | 10                                             | 28 |
|        |             | 15                                            |     |                                                | 14     | 25                 | 9                                              | —  |
|        |             |                                               | 14  |                                                | 13     | 14                 | 8                                              | 79 |
|        |             | 13                                            |     |                                                | 53     | 20                 | 7                                              | —  |
|        |             |                                               | 12  |                                                | 19     | 22                 | 6                                              | 13 |
|        |             | 11                                            |     |                                                | 6      | 9                  | 5                                              | 3  |
|        |             |                                               | 10  |                                                | 3      | 35                 | 4                                              | 11 |
|        |             | 9                                             |     |                                                | 139    | 41                 | 3                                              | 7  |
|        |             |                                               | 8   |                                                | 6      | 14                 | 2                                              | —  |
|        |             | 7                                             |     |                                                | —      | —                  | 1                                              | 13 |
|        |             |                                               | 6   |                                                | 2      | 15                 | 地下室                                            | 14 |
|        |             | 5                                             |     |                                                | 26     | 11                 | 室外自由场地   A   <sub>max</sub> = 13 <sup>12</sup> |    |
|        | 4           |                                               | 21  | 29                                             | 张掖国税大厦 | 屋面                 | 170                                            | 59 |
|        |             | 3                                             | 68  | —                                              |        | 9                  | 188                                            | 54 |
|        | 2           |                                               | 26  | 22                                             |        | 8                  | 162                                            | 68 |
|        |             | 1                                             | 14  | 18                                             |        | 7                  | 113                                            | 14 |
|        | 地下室         |                                               | —   | —                                              |        | 6                  | 132                                            | 13 |
|        |             | 室外自由场地   A   <sub>max</sub> = 5 <sup>12</sup> |     |                                                |        | 5                  | 27                                             | 2  |
|        |             |                                               |     | 4                                              |        | 27                 | 83                                             |    |
|        |             |                                               |     | 3                                              |        | 30                 | 10                                             |    |
|        |             |                                               |     | 2                                              |        | 117                | 2                                              |    |
|        |             |                                               |     | 1                                              |        | 13                 | 15                                             |    |
|        |             |                                               |     | 室外自由场地   A   <sub>max</sub> = 19 <sup>12</sup> |        |                    |                                                |    |

表 6 阻尼比值测试结果

| 高层建<br>筑名称 | 横 向      |        | 纵 向 |        |
|------------|----------|--------|-----|--------|
|            | 楼 层      | 阻尼比    | 楼 层 | 阻尼比    |
| 武威皇台大厦     | 24(水箱间)  | 0. 031 | 20  | 0. 041 |
|            | 23(电梯机房) | 0. 044 | —   | —      |
|            | 15       | 0. 037 | 15  | 0. 042 |
|            | 14       | 0. 034 | 14  | 0. 036 |
|            | 13       | 0. 031 | 9   | 0. 029 |
| 张掖电力大厦     | 平均值      | 0. 035 | 平均值 | 0. 037 |
|            | 17(设备层)  | 0. 048 | 16  | 0. 045 |
|            | 16       | 0. 032 | 8   | 0. 045 |
|            | 10       | 0. 023 | 6   | 0. 049 |
|            | 6        | 0. 049 | 3   | 0. 029 |
| 张掖国税大厦     | 平均值      | 0. 041 | 平均值 | 0. 042 |
|            | 8        | 0. 044 | 8   | 0. 037 |
|            | 7        | 0. 045 | 6   | 0. 036 |
|            | 平均值      | 0. 044 | 平均值 | 0. 037 |

阻尼比测试结果见表 6. 图 4 为 3 栋建筑物的一些测点的脉动衰减曲线.

3 河西地区高层建筑在强震作用下的状况分析

(1) 河西走廊是强地震带, 烈度高, 主要的城镇都位于 VII~ VIII 度区的山前戈壁平原或细土平原的过渡带内, 大部分地区场地抗震性能良好. 研究表明, 这里场地的卓越周期为  $0.12 \sim 0.25 \text{ s}^{[3]}$ , 地面反应谱的特征周期多在  $0.2 \sim 0.3 \text{ s}$  范围内, 与高层建筑的自振周期相差很大. 在选择修建高层建筑的场地时, 需注意避开细土平原下部的软土和饱和粉细砂土地带.

(2) 对于高度在 80 m 以上的超高层建筑, 其高振型的影响不可忽视, 有的高振型的振动周期为  $0.2 \sim 0.3 \text{ s}$ , 这就会使对应此振型的地震动的影 响增强. 因此, 对于超高层建筑, 应按抗震规范的要求, 采用适合当地的地震动时程进行动力分析.

(3) 河西地区较老的城市(如张掖、酒泉等)往往座落在山前细土平原的潜水溢出带附近, 城市内部分地带场地土松软, 受地震的影响有发生地基失效的可能, 应特别注意场地选择.

(4) 由振型分析可以看出, 一般高层建筑物的底部以剪切变形为主, 上部以弯曲变形为主, 且弯曲变形产生在结构体系刚度突变的部位. 因此, 对未来高层建筑的结构抗震设计时, 应尽量避免刚度沿高度分布的突然变化.

(5) 本次实测的 3 栋高层建筑的阻尼比都小于 0.05, 而且随建筑物高度的增加, 楼房的阻尼比有减小的趋势. 现行抗震规范中的地震反应谱都是以阻尼比为 0.05 给出的, 因此, 在进行高层建筑(特别是超高层建筑)设计时, 应选用适于该建筑物阻尼性质的反应谱, 或对规范中给出的反应谱予以适当的修正.

4 结论

(1) 采用脉动方法对高层建筑进行无损测试可以较迅速地取得有关建筑物的自振周期、振型特征和阻尼性质. 该方法操作简便、费用低廉, 值得今后进一步推广.

(2) 河西地区 3 栋高层建筑的主要动力特性见表 7.

河西地区框架剪力墙结构的民用高层建筑的自振周期  $T$  与层数  $N$  和高度  $H$  之间有如下 的关系:

$$T = (0.05 \sim 0.06)N$$
$$T = (0.012 \sim 0.014)H$$

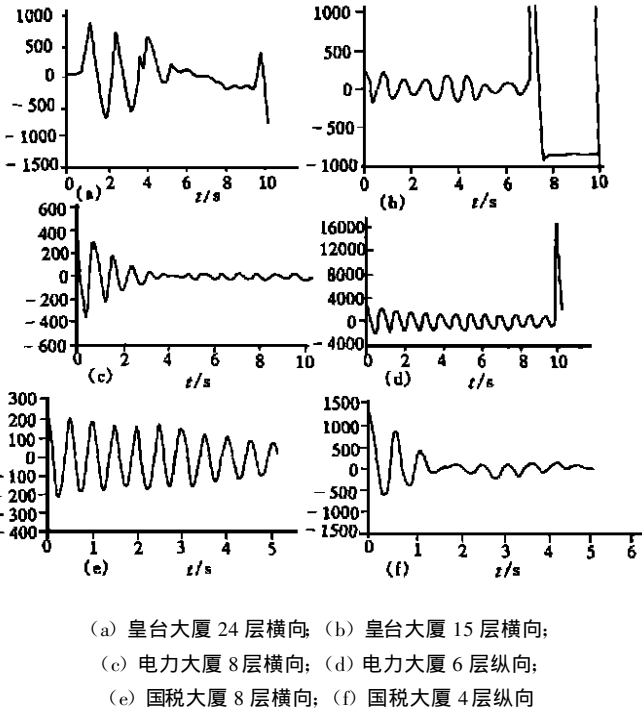


图 4 一些测点的衰减曲线  
Fig. 4 Curves of microtremor attenuation of some observing location.

表 7 3 栋楼房的自振特性测试结果

| 名称     | 自振周期/ s/ 频率/ Hz     |                             |                     |                             | 变形特征<br>(第一振型)    | 阻尼比<br>(第一振型) |       |
|--------|---------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------|---------------|-------|
|        | 横 向                 |                             | 纵 向                 |                             |                   | 横 向           | 纵 向   |
|        | I                   | II                          | I                   | II                          |                   |               |       |
| 武威皇台大厦 | $\frac{1.3}{0.75}$  | $\frac{\sim 0.5}{\sim 2.0}$ | $\frac{1.2}{0.86}$  | $\frac{\sim 0.5}{\sim 2.0}$ | 剪切变形为主<br>上部有弯曲变形 | 0.035         | 0.037 |
| 张掖电力大厦 | $\frac{0.84}{1.20}$ | $\frac{0.24}{4.25}$         | $\frac{0.78}{1.28}$ | $\frac{0.24}{4.25}$         | 剪切变形为主<br>上部有弯曲变形 | 0.041         | 0.042 |
| 张掖国税大厦 | $\frac{0.54}{1.87}$ | —                           | $\frac{0.53}{1.88}$ | $\frac{0.14}{7.23}$         | 剪切变形为主            | 0.044         | 0.037 |

(3) 河西地区主要的中心城市地震烈度虽高, 但总体看来, 场地的抗震性能良好, 对高层建筑的抗震有利. 有些城市的局部地段有较软弱的场地, 应注意建筑场地的选择. 同时, 高层建筑物的阻尼比一般小 0.05, 且有随高度增大而减小的趋势, 在进行高层建筑的抗震设计时应该考虑地震作用因阻尼比减小而增大的情况.

致谢: 甘肃省建委抗震办公室为本项工作提供了经费资助; 甘肃省建筑勘察设计院、张掖地区建筑设计院提供了 3 栋楼房的图纸; 甘肃省建筑勘察设计院莫庸总工程师(教授级高工)对本项工作提出了指导性的意见; 武威地区建筑设计院总工程师李国光高级工程师、张掖地区建筑设计院院长柴世旗高级工程师、主任工程师魏新强对现场测试给予了大力支持. 参加本项工作的还有姚同福、徐晖平、杨青云. 作者在此一并致谢.

[ 参考文献]

[1] 胡聿贤. 地震工程学[ M]. 北京: 地震出版社, 1988. 425—435.  
[2] 尹之潜, 彭克中. 建筑物脉动现象分析[ A]. 见: 地震工程报告集(第一集)[ C]. 北京: 科学出版社, 1962. 122—129.  
[3] 石玉成. 西北地区戈壁砂砾石场地的脉动特征[ J]. 华南地震, 1996, 16(2): 46—52.

THE MICROTREMOR MEASUREMENTS OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF 3 TALL BUILDINGS IN HEXI CORRIDOR OF GANSU PROVINCE

SUN Chong-shao, SHI Yu-cheng  
(Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** The microtremor characteristics of 3 tall buildings in Hexi Corridor, Gansu province are analyzed. The characteristics of their vibration period, damping ratio and mode sharp are analyzed. Considering the site conditions and seismic situation of the region, some main problems which should be taken notice in future aseismic design of tall building in Hexi Corridor are proposed.

**Key words:** Tall building; Microtremor measurement; Dynamic characteristics; Hexi corridor