

# 天水市建筑场地地面脉动特征

郑铁生

(兰州地震研究所)

## 摘 要

通过对天水市建筑场地地面脉动的观测与分析,说明地面脉动幅值受多种因素的影响,并随地形地貌的改变而变化。水平向脉动明显地有一个卓越方向,水平振动的卓越方向在整体上受场地周围的地形所约束,局部场地条件只具有次要的影响。地面脉动频谱特性一般是在大区域范围内才能反应出变化来,且受区域地质和新构造运动的情况所控制,地面脉动的特征是局部地形地貌对谱型的影响迭加在区域背景上的结果。

地面脉动与强震时地面运动特征的对比及二者的相关性是今后研究场地地面运动的重要问题。

按场地地面脉动的卓越周期和谱型将测区场地作了区段划分。

天水市建筑场地地面脉动的研究,是为了该市的建筑场地抗震区划工作而进行的。目的是:试图通过地面脉动的分析,研究脉动特征与场地条件的关系,从而进行建筑场地抗震性能某些方面的预测。目前尽管对脉动与强震地面运动间的关系有不同的看法,但此法仍不失为场地抗震区划中的重要手段之一。

1979年在水市进行了脉动观测\*,观测范围西起师家崖、窝驼村经市区东止十里铺,面积约12平方公里,共36个观测点。布点时分别考虑了地形地貌等因素,以及场地土质的差异(见天水市测点位置)。

观测使用的仪器为701型拾震器、701-5型晶体管放大器、SC-11-16型示波器。拾震器自振周期为0.85~1.00秒,仪器使用前后在中国科学院工程力学所强震观测中心进行了整机标定,性能稳定,整机放大倍数为10—12万左右,通频带1—40赫兹左右。

天水市内人口密集,工业集中,干扰因素较多,主要表现为各种机械振动、交通车辆的干扰,其它如风力、水流等自然因素对各点的脉动也有不同程度的影响。为了排除这些干扰,选择了风力小的季节(8~10月),当观测点附近无强烈的干扰源时进行记录。天水的脉动观测皆在白昼进行的,在少数点上通过夜间观测与白昼对比,个别点上也曾用二年前的

\*参加地面脉动观测的还有孙崇绍、黄祖影、张树清同志。

脉动观测资料(包括白昼与夜间的观测)进行对比,以兹作为分析的基础。

如对比观测中,发现(01)、(06)、(20)三个观测点频谱中高频成分系与其邻近的工厂机械振动有关,并非是场地地面的真实频谱,这样就可以在分析与使用中剔除了干扰的部分。

## 一、地面脉动的振动幅值

各测点地面脉动(三分向)幅值见(表1)。

天水市各测点地面脉动(三分向)幅值表

表1

观测点	所处地貌单元	垂直振幅( $\mu$ )	水平振幅		观测点	所处地貌单元	垂直振幅( $\mu$ )	水平振幅	
			东西向( $\mu$ )	南北向( $\mu$ )				东西向( $\mu$ )	南北向( $\mu$ )
01	漫滩	0.094	0.23	0.131	19	I阶	1.100	0.181	0.430
02	洪积扇	0.030	0.045	0.050	20	I阶	1.104	—	0.130
03	洪积扇	0.090	—	0.080	21	洪积扇	0.090	0.127	0.190
04	I阶	0.240	0.060	0.274	22	洪积扇	0.099	0.090	0.068
05	洪积扇	0.029	0.056	0.063	23	洪积扇	0.082	0.082	0.052
06	洪积扇	0.104	0.140	0.165	24	洪积扇	0.101	0.141	0.155
07	II阶	0.115	0.082	0.095	25	漫滩	0.104	0.094	0.102
08	洪积扇	0.117	0.120	0.124	26	I阶	0.243	0.099	0.200
09	洪积扇	0.155	0.110	0.830	27	洪积扇	0.153	—	0.533
10	洪积扇	0.120	0.082	0.177	28	I阶	0.144	0.028	0.870
11	基岩	0.085	0.037	0.026	29	漫滩	0.124	0.105	0.112
12	I阶	0.163	—	0.380	30	(南北向)人工填沟	0.154	0.082	0.076
13	洪积扇	0.130	0.118	0.199	31	黄土梁顶	0.067	0.070	0.067
14	洪积扇	0.119	0.230	0.180	32	II阶	0.217	0.115	0.188
15	洪积扇	0.071	—	0.185	33	(梁状)II阶	0.079	0.409	0.163
16	洪积扇	0.130	0.145	0.290	34	洪积扇	0.048	0.052	0.087
17	漫滩	0.100	0.109	0.140	35	II阶	0.041	0.067	0.082
18	漫滩	0.110	0.140	0.37	36	II阶	0.047	0.055	0.070

各测点脉动的振动幅值差别较大,垂直向小于水平向振幅值者居多。垂直振幅范围由0.029( $\mu$ )~0.243( $\mu$ ),一般以0.08~0.12( $\mu$ )居多;水平向振幅中南北向分量振动幅值范围为0.026~0.87( $\mu$ ),一般0.18( $\mu$ )以上者居多;东西向分量则在0.023~0.41( $\mu$ )之间,一般以0.056~0.141( $\mu$ )居多。脉动的幅值差异与测点所处的场地条件有一定的关系:

1. 地形低的地段与地形相对较高的地段相比,前者垂直振幅大,如I级阶地上的测点(4)、(12)、(20)、(26)、(28)和漫滩上的测点(17)、(18)、(25)、(29),以及洪积扇前缘部位,都较II、III级阶地及扇地中部、后缘部位幅值高。

2. 水平向振动有明显的方向性

测区场地位于东西向藉河狭长河谷之内,观测结果表明,河谷场地的水平振动的南北分量较东西分量幅值大,河谷内场地各地貌单元在整体上都显出这种趋势。这种南北向分量的明显性,反映出场地受河谷整体地形的振动性质所控制。

由于受河谷整体地形的约束作用,地面脉动水平振动所表现出来的方向性,也会在强震地面运动中有所反映。因此,在测区震害调查中记载东西向房屋比南北向房屋损坏为多\*,不是偶然性的。

测区内也有些测点其水平向振动中东西向分量大于南北向分量,如测点(33)的石马坪Ⅲ级阶地是在古滑坡体(第三纪地层的滑坡)上形成的阶地,东西两侧为深沟切割,形成南北向长、东西向狭窄的梁状。深沟侧的(14)、(23)、(22)等观测点亦分别如此。

上述的局部现象只有当其沟壁属于陡直的情况下才出现这种方向的改变,而当其侧方是缓降的坡时,方向仍符合于整体的水平振动方向,如测点(5)就属该类型。

3. 洪积扇地轴向沿线,水平振动中南北向分量幅值较其侧向观测点幅值高,如罗玉沟轴向点(13)、(16)相对扇地右侧点(15)、(14)、(21)幅值高,(应说明一点:现今的罗玉沟渠道系清末时期人工改道而成,改道前系经天水北关、二中西侧至果园一线入藉河)这只作为一个幅值异常的显示。对洪积扇地轴和其两侧作更多的对比观测,是今后需进一步探测的问题,这牵涉到宏观定性认识中有关较陡的扇轴地段倾向侧下方的松散砾石在强震时是否会产生位移。

4. 土质类型和土层在总厚度上的差别,在振幅值上没显示出成线性关系(见土层厚度与振幅关系图),这可能是测区内总土层厚度较薄(测区土层厚度不超过14米),且各点土层厚度相差较小之故。

地面脉动振动幅值受多种因素影响,较为复杂,其中土层厚度、土的性质、个别土层的层次、地下水对土的性能的改变等等,都对脉动的性能有所影响,很难从单一的厚度这一项因素辨出。只有将某一定量差的不同厚度的同类土对比,同厚度的不同类别土质(加之不同层次的夹层)与不同厚度土层对比,才能分辨出影响因素。不过,大多数情况下某一地段点上的脉动振幅只能是该点土层、土质及其它因素综合反应的结果。当然用这种综合反应结果以区别场地中不同位置的差异用在抗震工程场地区划中,仍然不失为区别场地差异性的、可应用的一种手段。仍是在定量分析中有价值的区分方法。

因此,在今后的研究工作中应细致地从多种影响因素中找出其主要影响因素。例如把地下水的影响合并为土质的刚度去考虑,就可剔除一项土质和水的关系,再从多层软硬土质和地形(包括基底地形)分别去了解影响程度,以分析出一、二个起主导作用的因素来。这将对定量分析提供更有价值的依据。

## 二、地面脉动频谱特征

观测得到的三分向记录,是用快速富氏变换法(FFT)\*\*进行谐波分析的。\*

1. 在谱型上,垂直分量与水平分量近似,故为简便起见,只通过垂直分量的频谱特征来研究天水市的地面脉动特征。在垂直向的谱型中都有明显的峰点,一般可归纳如下型式:

(1) 中间有一峰点明显,两侧存在一个或二个一级的峰点(见富氏谱图)。

(2) 中间一峰点明显突出,频带较窄,两侧次一级峰值很低。

(3) 中间二峰突出,其一峰值稍低于另一峰值,两者相距很近,而一级峰值很低或稍

\* 张诚、周光、王振声,天水地区1920年、1936年地震烈度调查报告,1960.

\*\* (FFT)快速富氏变换法程序,邵世勤、何掘如同志编制。

为突起。

(4) 依次或间差起伏，其一峰点相对突出，频带相对上述各型式频带中稍有增宽。

2. 地面脉动的频率看来有明显的区域特征，天水市测点富氏谱都有明显的峰点，大都具有相近的频率，部分次一级峰点也都在一定的频率范围内显示出来。

根据地面脉动观测分析结果，天水市场地地面脉动卓越周期分布在0.27~0.60秒之间，其中绝大多数为0.34秒；0.27秒的多位于滑坡和其前沿位置；0.60秒的只有二个，分别位于低洼地带和高阶地的前沿。

3. 部分土质对脉动的振动频率的影响没有反应出来，如分别测定的新第三系粘土岩、第四系砂砾石、土层，其卓越周期大都相同，皆为0.34秒左右。

就整个天水市测区来看，地面脉动具有0.27~0.38秒的卓越周期。

地面脉动频谱特性一般不能在小范围场地内看出变化，而是在一个较大区域内有所反应，这说明脉动受区域地质构造和新构造运动的现有的特征所控制。就局部场地而言，局部因素如孤突山梁、洼地以及山梁、陡壁脚下或前沿等位置使频谱中频率、谱型皆能发生改变，是局部的条件影响迭加在区域背景条件上的结果，或附加的局部地形差异的干扰所致。

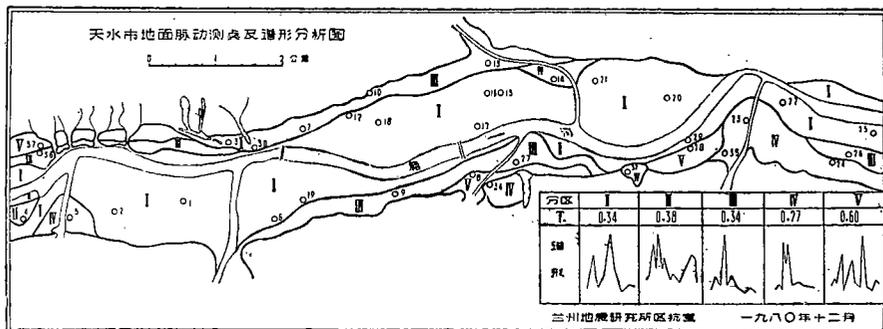
按照上述场地地面脉动的卓越周期和谱型将测区场地划为V个区段（见天水市地面脉动测点及谱型分析图）。

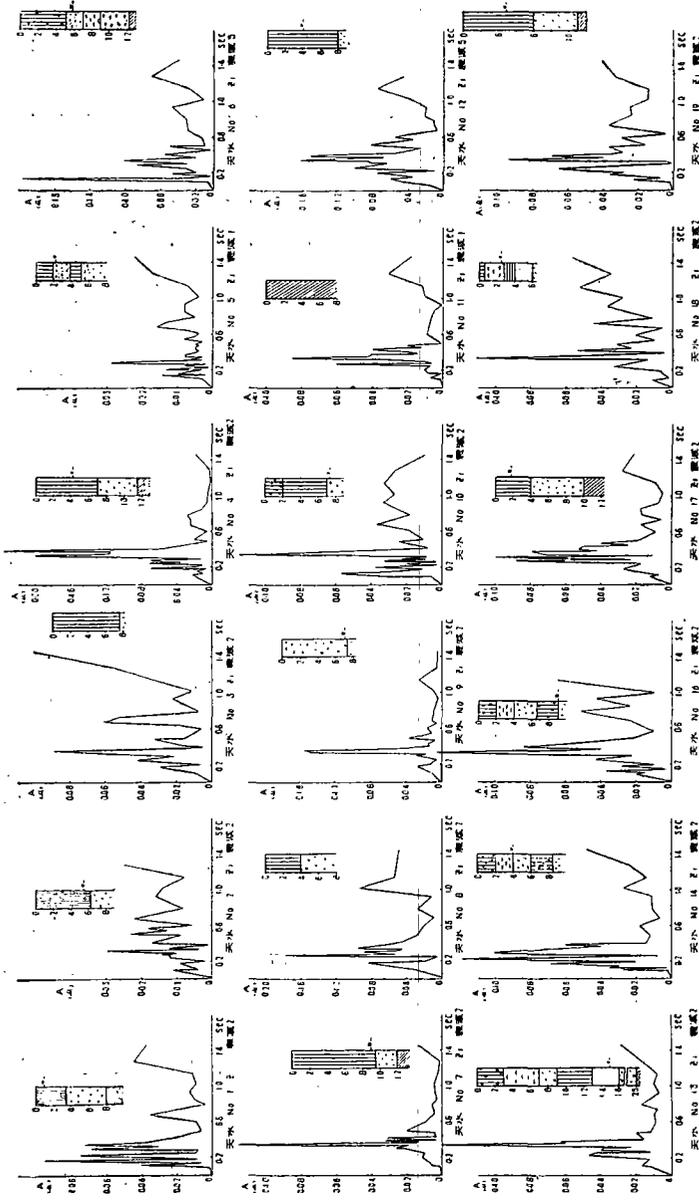
至于强震时场地振动的频谱特征如何，目前在测区尚无实际材料可以说明，考虑土的应力-应变间的非线性关系，估计将会发生变化，不只是强度，而且振动频谱亦能发生改变。从地面脉动的谱型估计强震时地面运动特征，将是今后研究场地地面脉动特征中的重要问题。

#### 4. 值得注意的一个问题

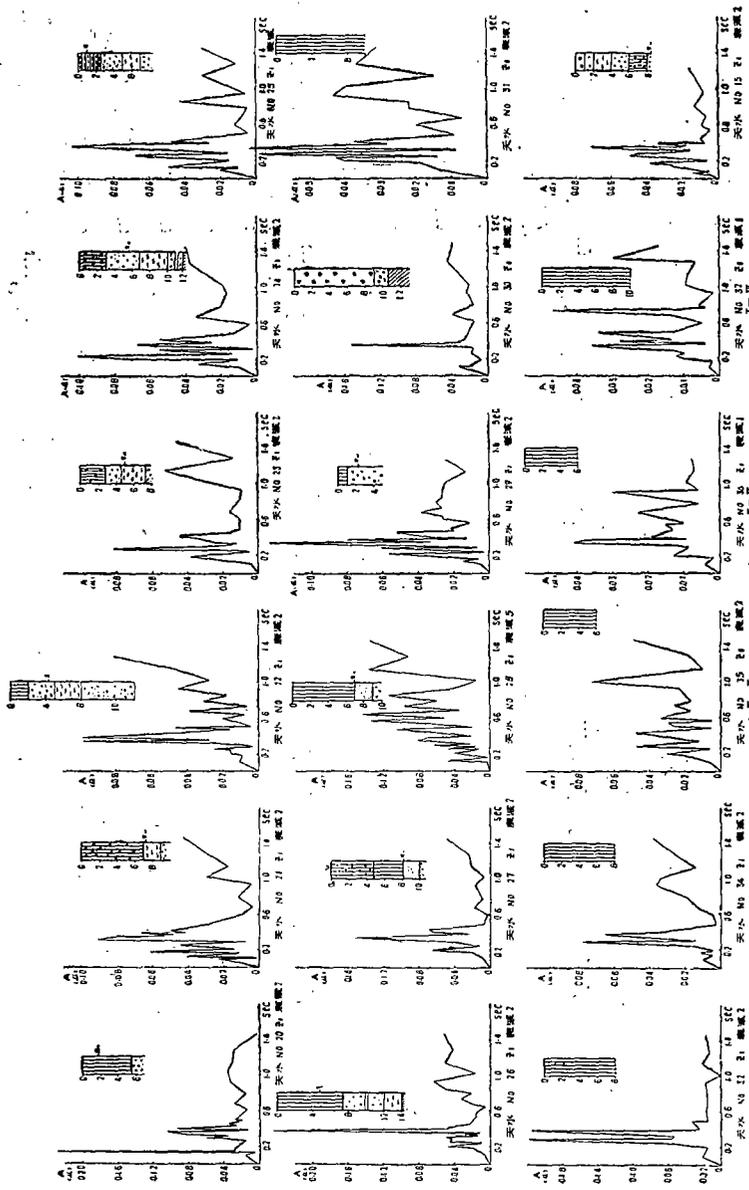
综合前述的场地中的影响因素，地面脉动的幅值与频谱特性是场地中各种因素的综合反应结果，其中地形的影响明显地突出，正如在观测脉动时要距建筑物有一定的距离，越高大的建筑物则应离得更远一些一样，这个道理同样适用于局部变化的地形中（如陡直的沟渠、填沟、陡竖的壁下和前沿，以及孤梁和坎坷不平的地段等），这些局部地形既能影响水平振动的不同方向分量振幅值的改变，亦能影响频谱特性的改变。所以在脉动观测中应分别观测之，以避免使局部代替整体，在分析中造成混淆，对场地安全造成危害。同时，观测中亦应对影响地段范围及宽度加以确定，这对今后无论是实际使用或规律的研究逐渐过渡到量化，都无疑是有价值的据。

（本文1981年7月29日收到）

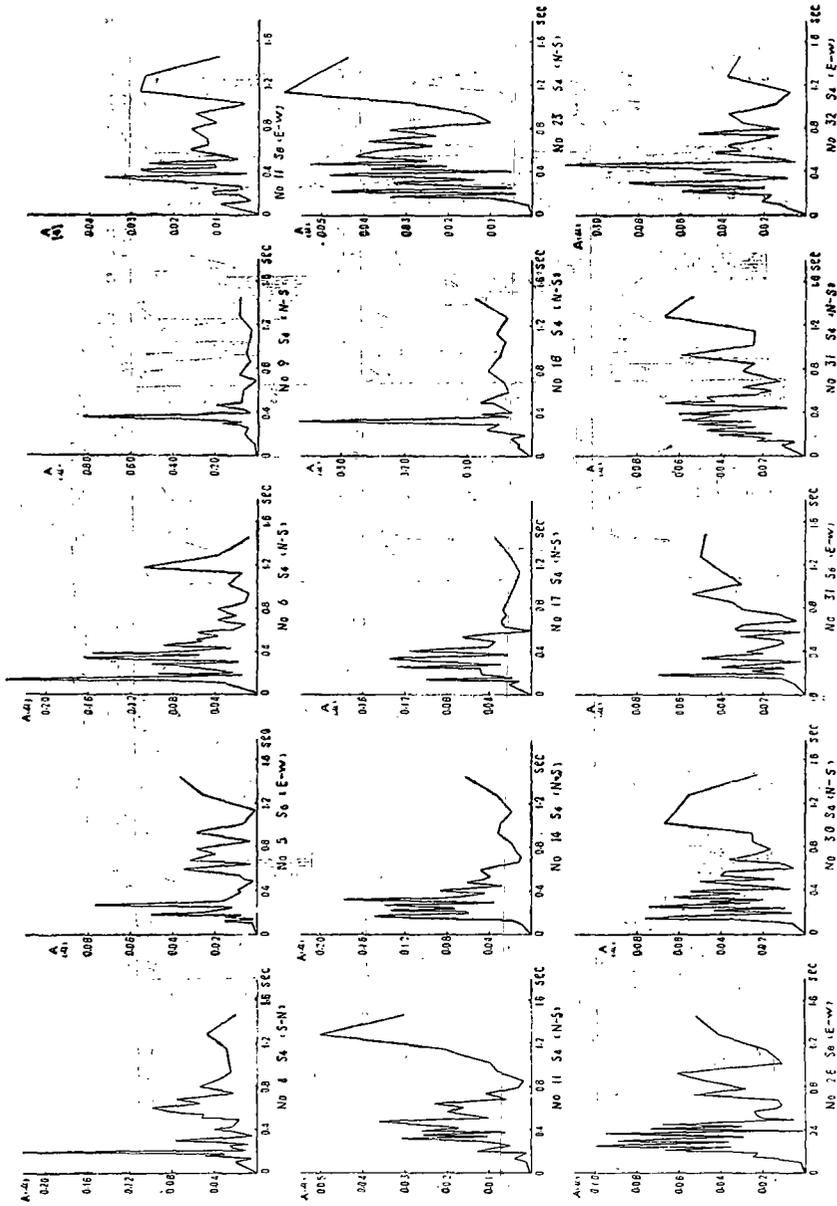




天水市地脉动高氏谱曲线



天水市地脉动霍氏谱曲线



天水市地脉动葛氏瑞曲线



## 参 考 文 献

- [1] 金井清, 常时微动, 建筑学报, 胡聿贤译, 1966.
- [2] 首培焦等, 有关地面脉动研究的几点看法, 中国科学院工力所研究报告, 1981.
- [3] 孙崇绍, 兰州市地面脉动特征, 西北地震学报, Vol. 3, №. 1, 1981.
- [4] 陈丙午, 场地土层的动力特性及其对地震力的影响, 西北地震学报, Vol. 1, №. 1, 1976.

CHARACTERISTICS OF GROUND MICROTREMORS OF THE  
CONSTRUCTIVE SITES OF TIANSHUI CITY.

Zheng Tie-sheng

(Lanzhou Seismological Institute)

Abstract

Through the observation and analysis of the ground microtremors of Tianshui city, it is shown that there are many factors which influence the amplitude of microtremors. The amplitude of the microtremors changes with the topographical and geomorphological conditions. The horizontal microtremors evidently appear to have a predominate direction, which is constrained by the surrounding topography and geomorphology as a whole, and the effects of the local site conditions on it is secondary.

Some variations of the spectrum characteristic of the ground microtremors appear only in the large area, and the spectrum character is constrained by the situation of the area geology and new tectonic motion. The resulting spectrum characteristic of the microtremors are the superposition of the effects of the local site conditions and the influences of the area background.

The relationship between the characteristics of the ground microtremors and the strong earthquake ground motions is an important research theme on the study of field earthquake ground motion in future.

According to the predominate period and aspect of the spectra of ground microtremors, We have divided Tianshui city into some microzones.