

龙湖地区地面脉动特性分析

牟崇元 尹永年 吴淑筠 钟贻军

(广东省地震局)

提要 本文对龙湖地区地面脉动的测试结果, 给出该地区的土层剪切波速度 V_s , 第四纪复盖层厚度 H , 进行分析研究, 求得了本地区地面脉动卓越周期 T 的统计计算式: $T=1.8H/V_s$, 应用这个计算式, 根据实测的地面脉动卓越周期、剪切波速度的数据, 推算第四纪复盖层厚度, 得到了比较满意的结果。

本文的统计计算式与日本学者金井清提出的计算公式 $T=4H/V_s$, 有相同的比例关系, 但有明显差别的比例常数。文中对此及一些有关问题进行了简要的定性讨论。

综合分析结果, 我们认为, 地面脉动的卓越周期与场地土的动力特性密切相关, 而且有可能反应小区域范围场地土层的动力性质。

关键词 地面脉动 卓越周期 土层动力特性

场地脉动是场地土层对各种外来干扰的一种微幅振动响应。由于它每时每刻都存在, 也称为常时微动。地面脉动则是这种常时微动在地表点上的观测记录。土层作为场地脉动的传播介质, 则在脉动记录中应包含有反映土层动力特性的信息。过去, 国内外许多研究者对场地脉动进行了不少研究。从研究脉动干扰源、脉动特性, 到寻找地面脉动与场地土动力特性的关系, 寻找地面脉动与强震记录之间的对应关系, 致力于开发地面脉动在地震工程中的应用等等。本文对汕头市龙湖乡附近地区的地面脉动特性进行分析, 研究地面脉动卓越周期与场地土动力特性之间的关系。

一、测试概况

1. 场地的工程地质条件

本次测试的场地以龙湖乡为中心及其周围地区。龙湖乡位于广东省汕头市东北隅, 地处韩江三角洲平原南部, 属海陆相交互沉积平原。地势平坦。北部地区是海积台地, 南部地区是海滩沼泽地。第四纪复盖层厚度大约在30~60米之间, 由南向北逐渐增厚。其基底全部为燕山期花岗岩。

2. 测试系统及数据处理方法

振动测试系统由固有周期为1秒的动圈式拾振器、直流放大器和模拟磁带记录器组成。部分测试采用光线示波记录器记录。放大器设有两种积分常数。使用10Hz积分的常数时,

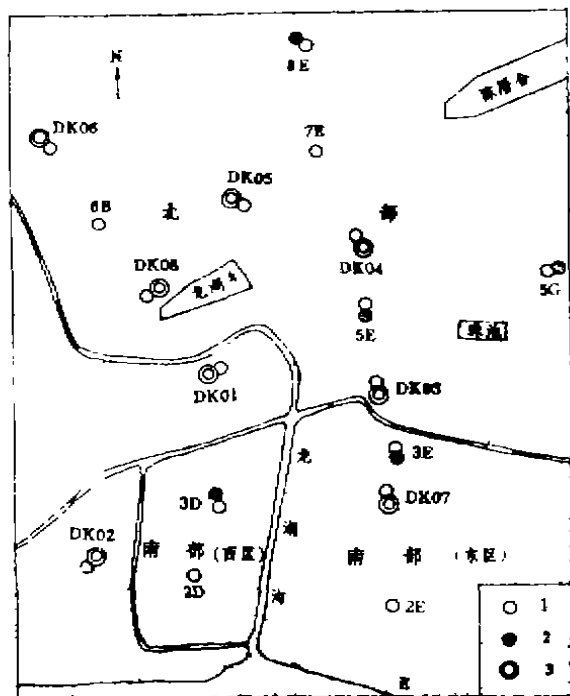


图1 测点布置图

Fig.1 Arrangements of surveying point

1. 脉动观测点; 2. 钻孔; 3. 波速测试钻孔

最近的测距约250米。面上的测点尽量选在有已知剪切波速度或复盖层厚度的孔位附近。具体点位见图1。观测工作于1985年7月至9月期间逐点进行, 每一点的观测时间是任意选择的。

二、测试结果及分析

场地脉动是场地土层对各种干扰的综合响应。其主要干扰源是工场机械及交通车辆等。它们是杂乱无章、无规则地运转的。因此可近似地认为干扰源是一种有限带宽的白噪音, 即在我们研究的带宽内, 为白谱源。在这种假定下, 地面脉动记录的谱密度曲线(或频度曲线)峰点对应的周期, 即为地面脉动的卓越周期。按此方法, 本地区地面脉动的测试结果汇总于表1中, EE测线上部分测点的功率谱密度曲

观测1~10Hz的振动速度量。使用0.5Hz积分的常数时, 观测1~20Hz的振动位移量。模拟磁带记录的数据, 采用HP5423A结构动态分析仪进行处理, 求出功率谱密度(P.S.D)曲线。光线示波器的记录, 取其大于2分钟的时间段, 求出频度曲线。以功率谱密度曲线峰点或频度曲线峰点对应的周期, 作为地面脉动的卓越周期。

3. 测点布置及观测

本次地面脉动的观测点遍布龙湖乡周围4(南北)×3(东西)km²的地区。在中部偏东布置了一条南北向的EE测线。线上的测点是不等距的, 最远测点距离约650米。

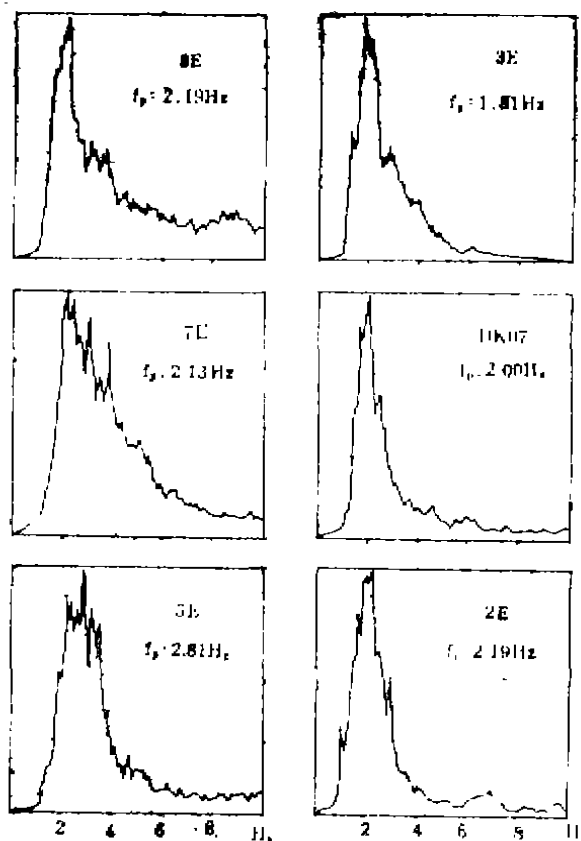


图2 地面脉动典型功率谱密度曲线

Fig. 2 Curve of typical power spectrum density of microtremor on ground

线绘于图2。

表1. 龙湖地区地面脉动测试结果

Table 1 Surveying result of microtremor observed in Longhu area

点 位	实 测 数 据			(1.0~10.0Hz频段) 卓越周期 (秒)
	南北向周期值 (秒)	东西向周期值 (秒)	相对误差 %	
DK01	0.36	0.32	-11	0.36
DK02	0.32	0.32	0	0.32
DK03	0.40	0.44	10	0.44
DK04	0.32	0.40	-20	0.40
DK05	0.40	0.40	0	0.40
DK06	0.36	0.32	-11	0.36
DK07	0.50	0.56	12	0.50
DK08	0.42			0.42
8 E	0.46	0.46	0	0.46
7 E	0.47	0.50	6	0.47
5 E	0.36	0.35	-3	0.36
3 E	0.55			0.55
2 E	0.46	0.57	24	0.46
5 G	0.52	0.52	0	0.52
2 D	0.59	0.64	8	0.59
3 D	0.62	0.62	0	0.62
6 B	0.48	0.46	4	0.46

根据钻孔提供的工程地质资料, 见表2和图3(a)。其中基底是取强风化花岗岩的顶

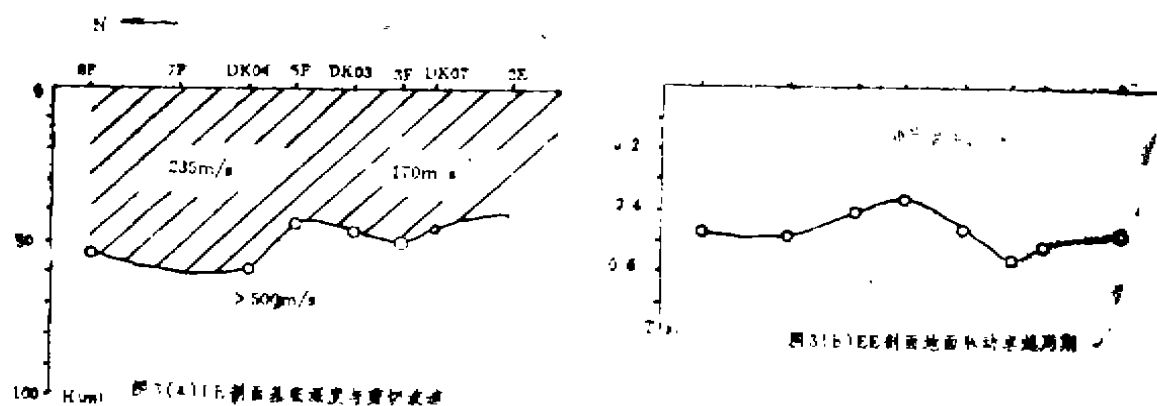


图3 EE剖面基底深度与剪切波速及地面脉动卓越周期比较

Fig. 3 Comparison between the basement depth of EE profile, shear wave and the prominent period of microtremor on ground

a. 基底深度与剪切波速; b. 地面脉动卓越周期

表2. 工程地质数据及基底深度推算值
Table 2 Engineering geological data and calculating value of the basement depth

点 号	工 程 地 质 数 据				推 算 值		
	实测基深 (米)	基底波到时 t_H (秒)	平均波速 V_s (米/秒)	T/t_H	推算基深 (米)	误 差 (米)	相对误差 (%)
DK01	39.9	0.191	209	1.88	41.8	1.9	4.8
DK02	41.7	0.180	232	1.78	41.2	-0.5	-1.2
DK04	58.0	0.231	255	1.73	56.7	-1.3	-2.2
DK05	57.0	0.234	240	1.71	53.3	-3.7	-6.5
DK06	47.2	0.200	236	1.80	47.2	0	0
DK03	45.9	0.252	182	1.75	44.5	-1.4	-3.1
DK07	43.8	0.264	165	1.89	45.8	2.3	5.3
8 E	53.0				59.6	6.6	12.5
5 E	43.0				47.0	4.0	9.3
3 E	49.0				51.9	2.9	5.9
5 G	62.0				67.9	5.9	9.5
DK08	(45.5)*		203		47.4		
7 E	(57)				60.0		
2 E	(40)				43.0		
3 D	(36)				58.6		
2 D	31				55.7		
6 B	(45.5)				59.5		

* : 括号中的数值由等时线图求得

面,即第四纪的复盖厚度。在图3 b中可以看到,在EE剖面上,各测点卓越周期曲线的变化形状与基底深度的变化形状是十分相似。差别仅在于在南部地区(DK03~2E)由于波速变小,周期变大了。将地面脉动的卓越周期与工程地质资料进行对比后,可以认为,地面脉动卓越周期不仅与基底深度有关,而且与剪切波速有关。即与基底深度成正比,与剪切波速成反比。表2中 T/t_H 项,表示地面脉动卓越周期 T 与基底剪切波到时 t_H 之比。在7个有波速测试的钻孔中,此比值均在1.71~1.89之间。说明两者具有较好的线性关系。由此,我们取

$$T = at_H = a \frac{H}{V_s} \quad (1)$$

式中, H 是基底深度, V_s 为上层剪切波的平均速度。

由实测的地面脉动卓越周期 T ,以及用板击法测定的基底剪切波到时 t_H ,共18组数据,用最小二乘法求得系数 a 为: $a=1.3$;标准差 $S=0.04$;相关系数 $R=0.79$ 。

相关系数值0.79大于相关系数检验表中 $N=18$, $\alpha=0.01$ 的值0.59,说明上述统计关系是在0.01水平上显著相关的。图4给出了实测数据的散点图与回归直线。

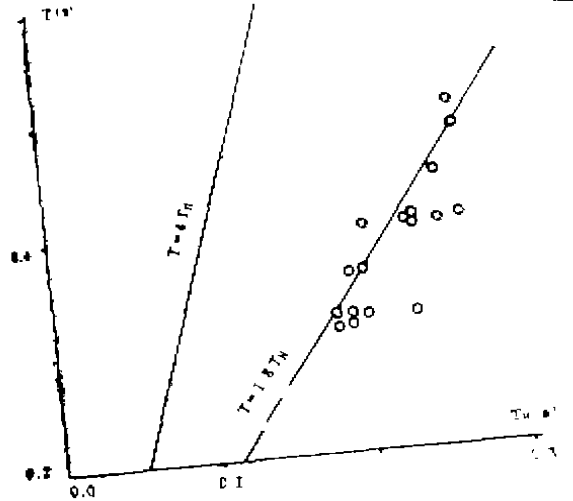


图4 观测值散点与回归直线

Fig. 4 The of surveying value and regressive straight line

上述分析表明，地面脉动卓越周期与土层的动力性质有密切的关系。本文的卓越周期统计计算式(1)与日本学者金井清提出的计算公式， $T = 4H/V_s$ ，有相同的比例关系 $T \propto H/V_s$ ，但有明显差别

应用计算式(1)及本地区求得的比例常数 $a=1.8$ ，由平均波速值，推算各点的基底深度。计算中有波速数据的点位，采用实测波速值，无实测波速的点位，采用地区平均值。北部地区取235米/秒，南部东区取170米/秒。计算结果列于表2。从表中可以看出，除少数测点外，推算的大多数基底深度与工程钻孔实测的基底深度基本一致，得到了比较满意的结果。

三、卓越周期与土层动力特性的关系

表3. 卓越周期计算值与实测值的比较

Table 3 Comparison between the calculating value of prominent period and the observed value

点位	实 测 值 (秒)	计 算 值 (秒)			
		本 文 $T = 1.8H/V_s$	$T = 4H/V_s$	$T = 4 \sum \frac{H_i}{V_i}$	$T = 2\pi/\omega$
DK01	0.36	0.34	0.62	0.75	0.62
DK02	0.32	0.32	0.59	0.71	0.59
DK03	0.44	0.45	0.82	1.00	0.80
DK04	04.0	0.41	0.83	0.94	0.87
DK05	04.0	0.43	0.83	0.91	0.87
DK06	03.6	0.36	0.69	0.80	0.72
DK07	0.50	0.48	0.91	1.06	0.92

表中： $\omega = 3 (\sum V_i^2 H) / H^3$

界条件等有与实际不相符的地方。例如，假定场地脉动的干扰源是由基底下面输入，在地表采用同相反射的边界条件等。我们为为，场地脉动的干扰源主要来自工场机械与运输车辆，即

从地表往下传播,这一点金井清在1966年发表的《常时微动》^[12]一文中,也提出了相同的看法。当在计算模型中加上适当的约束条件后,土层的固有周期将会变小,有可能减小金井清提出的卓越周期计算公式中的系数值,将缩小与本文求得的统计系数的差别。另外,由于各地区地形及地质构造的差别,对不同的地区,有可能有不同的比例常数。

地面脉动的卓越周期有可能反映观测点附近小区域范围的土层特性,例如DK04(58米,260米/秒)、DK05(57米,240米/秒)、DK03(45.9米,182米/秒)、DK07(43.8米,165米/秒)。它们的卓越周期分别为0.40、0.40、0.44、0.50秒。前两测点的土层厚度大于后两测点,而卓越周期是后者大于前者。这反映了前两测点的波速大于后两测点。5E、5G等测点由于没有该点的波速实测数据,采用大面积的平均值,其误差也稍稍增大。2D测点得出了完全错误的计算结果。这是由于该点位于南部西区,是一片沼泽地,估计其波速还要小于南部东区,由于没有实测数值,采用了南部东区的平均波速值,造成计算值明显偏大。按(1)式计算,南部西区的平均波速约为95米/秒。各测点间的卓越周期数值虽然差别不大,但不应勿视,它有可能反映小区域土层特性的变化,至于能分辨的最小范围是多少?还有待于更多实验数据的总结与进一步摸索。

四、卓越周期与观测时间及地点的关系

本次观测工作,前后相隔约四十天,各测点的观测既没有同时进行,也没有一个紧接一个地连续进行。每一点的观测时间都是任意选择的。测试结果规律性良好。图5表示地面脉动卓越周期值随时间变化的情况(文献^[12])。这表明场地脉动的频率特性是相对稳定的。干扰源的频率特性也是相对稳定的。越是繁华地区,车水马龙,则干扰源越接近白噪音,而且

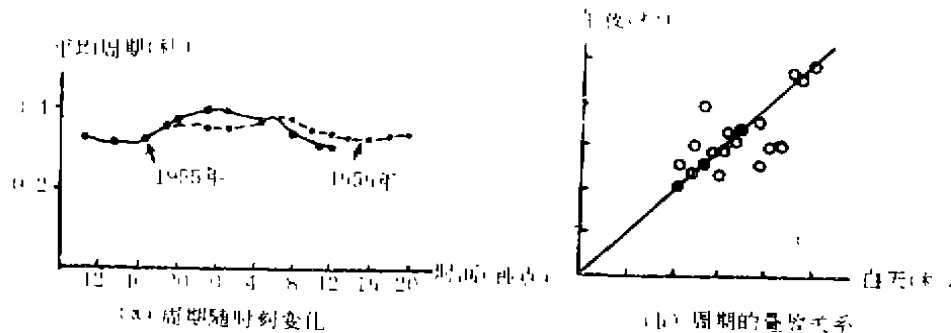


图5 脉动周期随时间的变化

Fig. 5 Microtremor Period with time variation

能更充分激起土层的振动响应,有利于观测与分析。当然要尽量避免单一机械或单一车辆运行的干扰,它们可能影响到干扰源的白谱性质。

从表1列出的结果看,南北与东西两个互相垂直的方向,测得的最大谱峰值对应的周期基本是一致的。相对误差在10%左右的占76%,相对误差超过20%,有显著差别的只占少

数。其中 2 E 和 3 E 测点位于河堤与池埂的交汇处，显然受到地形条件的影响。观测点应选择比较开阔的地址。

五、结 语

地面脉动的卓越周期与场地土的动力特性是密切相关的，它正比于第四纪复盖层的厚度，与土层的剪切波速度成反比。本地区的统计比例常数 $a=1.8$ ，这与现有的大多数卓越周期计算公式有相同的比例关系，但比例常数有明显差别。

从本地区的测试结果来看，地面脉动卓越周期有可能反映小区域范围土层的动力性质。

地面脉动频率特性是相对稳定的，因此观测时间可随意选择。观测地点应选择比较开阔的地址，以减少互相垂直的两个方向卓越周期的误差。

本地区求出的统计规律与现有公式之间的差别，具体地说，就是比例常数的明显差别，有待在更广泛范围的资料来验证。造成这种差别的原因也有待进一步分析与研究。

参 考 文 献

- 〔1〕金井清著，胡聿贤译，常时微动，科学技术参考资料，No. 6, 1973.
- 〔2〕苗培杰、刘曾武、朱镜清，地震波在工程中的应用，科学出版社，1982.
- 〔3〕符圣聪、周锡元，土层地震反应的分析方法，建研院抗震所资料，1983.
- 〔4〕Dobry, R., Oweis, I and Burgua, A., Simplified Procedures for Estimating the Fundamental Period of soil Profile, Bulletin of seismological Society of America, V. 66, No. 4, 1976.
- 〔5〕K. Kanai, T. Tanaka and S. Yoshigawa, On Microtremors IX (Multiple Reflection Problem), Bulletin of the Earthquake Research Institute, V. 43, 1965.

ANALYSIS OF MICROTREMOR OBSERVED IN LONGHU AREA

Mou chong-yuan Yin yong-nian

Wu shu-jun Zhong yi-jun

(Seismological Bureau of Guangdong Province)

[Abstract] This paper analysis microtremor observed in Longhu area by means of relating them to the shear-wave velocities (V_s) and the thicknesses (H) of soil layers deposited in Quaternary, and gives a statistic formula about the prominent period of microtremor in the area as follow:

$T=1.8H/V_s$. Then by the formula, thicknesses of soil layers of Quaternary can be predicted according to the prominent periods of microtremors (T) and the shear-wave velocities (V_s). The result is very satisfying.

The above formula has the same expression with $T=4H/V_s$ (which has been given by K. Kanai). But their statistic constants are obviously different.

Through being synthesizely analysed, it is considered that the prominent period of microtremor is closely relating to the dynamic character of field soil and even to some extent, represents the dynamic character of field soil layer in the region of microzation.

[Key words] Microtremor on ground, Prominent period, Dynamic character of soil

=====

地电自动测量系统国产化研究成果通过评委验收

地电自动测量系统国产化研究成果(简称C—ATS)验收评议会于11月9日在广东省河源市新丰江地震中心台圆满结束。会议开了2天,会前测试小组用了2天时间对C—ATS系统进行了技术指标测试。参加会议的有国家地震局科学基金会办公室、科技司、分析预报中心、地球物理研究所、兰州地震研究所、河北、四川、广东省地震局等单位派出的专家代表11名、河源市科委、地震办领导代表地方政府到会祝贺。所在地台站代表列席了会议。

专家组成员认真听取和审定了课题项目的研究报告、黄子洞地电台试用报告和测试组对该系统详细测试报告,并作了认真的讨论和全面的审议。评委一致同意C—ATS系统作为研究成果通过验收。

C—ATS是ATS的替代产品,是国产化产品。ATS曾获国家地震局1987年度科技进步三等奖,具有较高的自动化程度和观测精度,性能可靠,具有广泛的应用前景等优点,但ATS全部由进口部件组装,价格较高,难以普遍推广。笔者从评议会获悉,C—ATS成果主要性能达到或接近ATS水平,由于采用国产化产品,其造价只有ATS的35%,为广泛推广应用提供了条件,达到了预期研究目标。

专家组认为C—ATS的软件功能有新的开发,优于ATS。从现有资料看,C—ATS性能可靠,故障少,观测精度与ATS相近。C—ATS的自动化程度高,便于台站人员管理和维护等是本系统的优点,这在国内地电观测中也是处于“领先地位的”。为了使C—ATS系统尽快投入正式地电观测,与会代表提出了宝贵的合理化建议,如仪器有必要常规测试和异地试验等。

在总结发言时,国家地震局科学基金会办公室吴宁远主任关于如何广开思路实现地震前兆的有效观测,合理使用科学基金等问题提出了自己的看法并广泛征求代表们的意见。

会议期间,就黄子洞台准备搬迁的新址场地条件等问题,广东省地震局何熙平副局长热情邀请与会专家进行实地勘察,并诚恳听取了专家们的意见。

(陆积顺)