

1976年8月松潘地震强震与 脉动频谱特性的分析

林 学 文

(兰州地震研究所)

摘 要

地面脉动与地震地面运动之间有没有关系？是什么关系？众说不一。1976年松潘地震记录提供了探讨这一问题的条件。我们对台址进行了各种工作之后，得出的结论是：（1）地震地面运动加速度和富氏谱峰值随震级而增大；脉动幅值及谱幅值随测点高程及地表沉积层厚度而加大。（2）同一地区脉动和不同序列地震记录的幅值及谱幅值的最大值，均有一定方向性。（3）同一序列地震谱曲线特征极为相似。（4）一层穿斗木架房屋结构对地面脉动频谱特性没有影响；而后者在前者的谱曲线上有明显反应。

结论：从1976年松潘地震文县台址的资料分析来看，地面脉动频谱特性在地震地面加速度谱形态或特征方面关系不明显。

一、前 言

1976年初全国地震趋势会商会上曾提出了“在甘、青、川交界地区将有发生六级以上地震背景的可能性”的预报意见，原兰州地震大队分别在甘肃省的迭部和文县架设了两个强震流动台。在流动台架好后的第三天，即1976年8月16日，就在四川省北部的松潘—平武地区发生了一次震级（ M_s ）

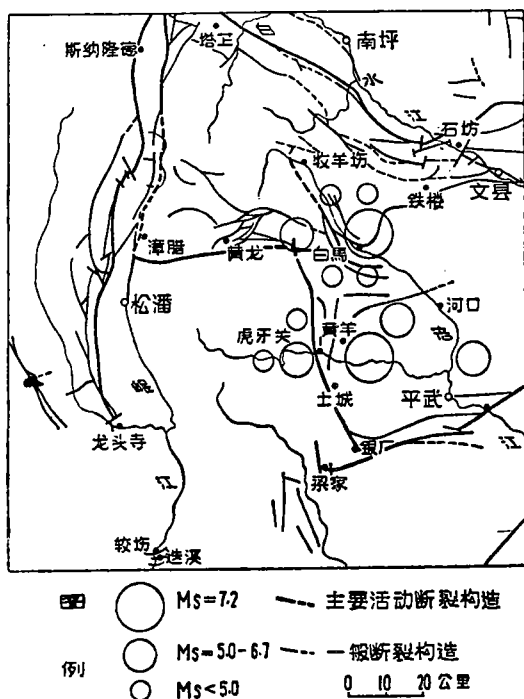


图1 松潘—平武地区构造及震中分布图

为7.2的强烈地震。截至9月2日先后收到地震记录十一次,共三十三条线。其后于1979年5月22日又收到一次震级(M_s)为4.4的地震记录。各次地震的震中位置及发震时刻与参数,见图1和表1。

表1

文县强震台强震记录目录

地震序号	震级 (M_s)	发震时间		震中位置		震源深** (公里)	震中距** (公里)	震源距** (公里)
		年、月、日	时、分、秒	北纬(度)	东经(度)			
1*	7.2	1976.8.16	22.06'46.6"	32.8	104.3	24	39	46
2*	5.0	16	22.56'37"	32.5	104.6		49	
8	4.1	16	23.09'51.9"	32.9	104.2		46	
4	4.9	16	23.26'10"	32.7	104.3	10	45	46
5	4.1	8.19	03.59'5.8"	32.8	104.1		56	
6*	5.9	19	20.49'45.1"	32.9	104.3	15	36	39
7*	6.7	8.22	05.49'52.5"	32.6	104.4	21	47	51
8*	4.7	22	21.19'52"	32.7	104.2	15	53	55
9*	7.2	8.23	11.30'05.7"	32.5	104.3	23	60	64
10*	5.1	9.1	09.06'51"	32.5	104.1	22	73	76
11	3.7	9.2	16.28'47"	32.5	104.0	15	80	81
12	4.4	1979.5.22	05.32'01.4"	32.6	104.1	10	64	65

注: 1. 加“*”者的地震参数引自国家地震局地球物理所编《中国地震台网观测报告》(1976、地震出版社)余为本所资料。

2. “*”者为本所及作者计算资料。

二、地震区地质概况及台址概述

1. 地震区地质概况: 震区位于青藏高原东部、四川盆地北部的地貌单元梯度带上。该区处于康藏万字型构造的东缘、秦岭纬向构造带的南缘和龙门山北东向构造带西南缘,是多组构造的交汇区,断裂构造发育,全区大体可分为:

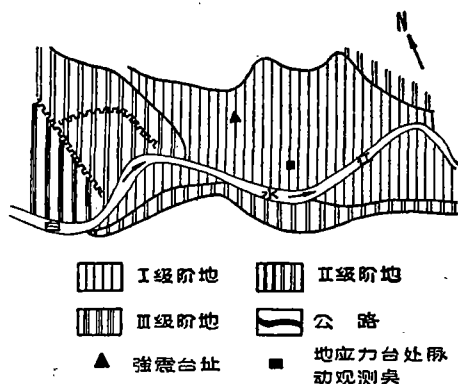


图2 文县地貌单元示意图

(1) 南北向构造带 是区内主要构造之一,由岷江断裂带和虎牙断裂带组成。

(2) 东西向构造带 为贯穿全区的主要构造线,是秦岭东西向复杂构造带西段的南翼,在其与南北构造带交接处,发育有一系列弧形构造,自北向南分别有文县弧、白马弧、银厂弧、较场弧,其规模依次减小。

(3) 北东向构造带 分布于本区东南即龙门山构造带(详见图1)。

1976年松潘地震序列主要分布在北纬 $32^{\circ}30' - 33^{\circ}00'$ 、东经 $104^{\circ}00' - 104^{\circ}45'$ 范围内,相当于虎牙断裂的北段与雪山断裂

东段及白马弧一带。虎牙断裂带以西为一套上古生界石灰岩、砂岩、页岩及三迭系灰岩、砂岩和板岩。虎牙断裂带以东,主要为前震旦系砂岩、板岩或千枚状板岩及部分灰岩和板岩。

区域内除沟谷之外,基岩裸露,高山峻岭区及陡立山峰多系石灰岩分布区。而页岩和板岩分布区,由于岩石构造裂隙极为发育,风化严重,则多为低缓山区。砂岩分布区则介于前二者之间。

2.文县强震台址概述 文县强震流动台址位于城内文县一中院内。文县在地貌单元上位于白水江左岸的河谷阶地上。右岸山势陡峻,基岩出露,河谷阶地不发育,地形比高可达1000米左右,左岸山势较缓,发育有四级河谷阶地,强震台即架于其一级河谷阶地的后缘(见图2、图3)。

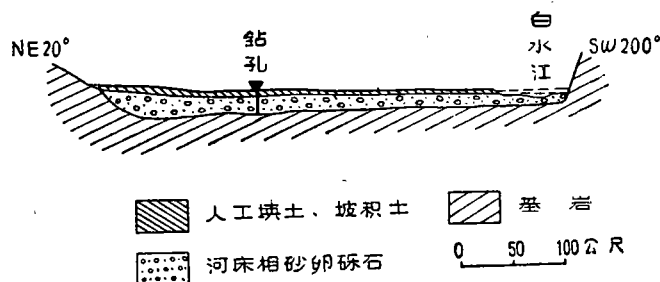


图3 白水江文县处河谷横剖面图

为了弄清该台址复盖层的厚度及物质组成,曾在台址附近九米处打了一个钻孔,终孔深为21.73米(见图4*)。

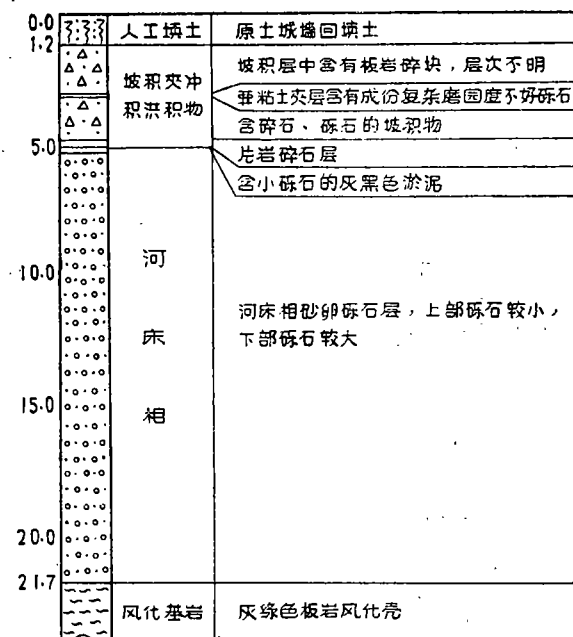


图4 文县强震台址钻孔柱状图

* 图2—4的资料主要由马秋华同志提供。

三、脉 动 观 测

为了探讨地震时地面运动与常态下地面脉动的频谱特性关系, 我们首先对文县强震台址进行了常态下地面脉动的观测。

在正常状态下一地区的脉动频谱特性反映了该地区从基岩到表层沉积层的厚度、物质组成、结构及其物性特征[4][5][6][7][8]。由于各处沉积盖层的上述情况不同, 所以当地震波通过时在地表反映出的频谱特性及其常态下地面脉动的频谱特性也不相同。对于某一特定地点而言, 脉动的卓越周期是不变的, 但其幅值随干扰源的变化而异, 即一个地区脉动的频谱特征是不变的[4]。因此, 当地表复盖层的情况相同时, 其常态下地面脉动的频谱特性才能相同。但是, 自然界中完全相同的事物是没有的。在文县这样特定场地条件下的台址, 获得了十二个地震记录, 特别是震中距很近, 这为我们开展地震地面运动与脉动频谱特征的研究提供了极为宝贵的资料。

脉动观测使用的仪器是Sc16型光线示波器, 配用701—5型测震放大器和701型拾震器。强震观测使用的仪器是RDZ₁₋₁₂₋₀₀型强震加速度仪。仪器的技术性能指标见表Ⅱ。

表Ⅱ—1 RDZ₁₋₁₂₋₀₀型强震仪主要技术参数

拾震器自振频率(赫兹):	4.0—4.5
拾震器阻尼常数	10~12
拾震器耦合系数(伏·秒/米):	> 57
振子自振频率(赫兹):	120
振子阻尼常数	0.7
线性频段(赫兹):	0.5—35
线道灵敏度(毫米/伽):	0.1—2 可调
量 程(伽):	1—1000
触发灵敏度(伽):	1
触发延时(秒):	0.2—0.25
电 源	直流24伏

表Ⅱ—2 SC16型光线记录示波器技术参数

701拾震器自振周期(秒):	0.85±0.02
频率范围(赫兹):	1—20<±10%
最大被测位移(毫米):	±0.6
振子(400)工作范围(赫兹):	0—200
灵敏度(毫米/毫安):	72×10 ⁻⁴
线性最大振幅(毫米):	±100±8%
阻尼系数	0.7±0.1
701—5型放大器位移I电压增益(赫兹):	> 620(10)
位移I幅频特性(赫兹):	10—100
	下降<5%
时标误差	<±2.5%

表Ⅲ 脉动观测条件

测点序号	观测日期	观测条件	注
1	1979.4.7	15.30': 河漫滩人造田	高于河面2米 距河100米远
2	1979.4.4	16.30': 强震台址附近自由地面	较上点高12米
3	1979.4.4	17.00': 强震台地面	"
4	1979.4.4	17.30': 强震台屋顶(一层穿斗木架房)	"
5	1979.4.5	00.40': 强震台屋顶(一层穿斗木架房)	"

四、地震地面运动与地面脉动富氏谱分析

地震地面运动的原始资料主要引用于何韞如、邵世勤等编著的《松潘强震记录的谱分析》，对1979年地震记录用上述同样方法进行了处理。常态下地面脉动的数字化结果直接进行了富氏谱计算，见表Ⅳ。

表Ⅳ 强震与脉动数据表

观测类别	原序号	垂直向				水平向(120°)				水平方(30°)			
		a _{max}		A(f) _{max}		a _{max}		A(f) _{max}		a _{max}		A(f) _{max}	
		(gal)	(Sec)	(cm/Sec)	(Hz)	(gal)	(Sec)	(cm/Sec)	(Hz)	(gal)	(Sec)	(cm/Sec)	(Hz)
强震 (加速度)	1	121.0	9.914	33.0	14.4	148.7	10.048	87.0	7.8	134.7	8.519	54.2	7.8
	5	20.0	2.198	5.0	12.2	37.9	6.002	8.4	9.5	28.6	5.446	7.95	8.7
	7	91.8	4.531	23.2	14.6	93.3	7.761	36.0	8.6	83.6	7.462	23.2	8.8
	9	46.0	7.738	16.0	13.5	89.6	5.064	30.5	8.2	65.0	4.952	22.0	6.6
	10	11.6	2.309	3.2	13.1	16.2	1.028	4.7	7.5	13.5	2.300	4.4	11.5
	12	7.89	0.69	0.86	20.7	10.0	0.58	0.6	12.5	13.5	3.24	0.6	10.35
脉动 (位移)		A _{max}		A(f) _{max}		A _{max}		A(f) _{max}		A _{max}		A(f) _{max}	
		(μ)	(Sec)	(cm/Sec)	(Hz)	(μ)	(Sec)	(cm/Sec)	(Hz)	(μ)	(Sec)	(cm/Sec)	(Hz)
	1	0.024	8.40	1.67	8.79	0.088	2.65	3.69	7.23	0.053	2.37	4.08	2.14
	2	0.97	3.30	5.12	15.23	5.00	7.69	13.20	4.78	1.44	5.15	3.87	15.14
	3	0.75	6.04	3.54	1.95	3.54	5.41	14.20	1.96	2.75	9.75	3.58	1.465
	4	17.50	9.65	8.05	7.13	46.2	10.04	12.11	8.45	23.1	9.80	5.83	6.64
	5	0.125	2.87	2.97	6.54	0.59	7.71	4.84	2.44	0.36	1.43	8.56	6.54

注：均系半幅值。

1. 地震地面运动的频谱特性 从表Ⅳ可以看出，在震中距39—73公里，震级(M_s)4.4—7.2范围内，地震地面运动的加速度值随震级增高而增大，其峰值位置亦相应延迟；富氏谱的峰值亦随震级而增大，且一般垂直向均较水平向峰值小、频率高(图5)。1976年地震的加速度最大值和谱幅值的最大值均表现为水平向的顺河向大于其他两个分向，1976年地震加速度最大值出现在水平向的顺河向，其谱幅值的最大值则出现在垂河向。从谱峰值出现的位置来看，1976年地震的垂直向均在12.2—14.6Hz之间，水平向均在6.6—11.5Hz之间；而1979年地震垂直向为20.7Hz，水平向分别为10.35Hz和12.5Hz。这充分反映了1976年和1979年地震频谱的差异性，说明二者可能不是同一地震序列，同时也表明同一地震序列中各

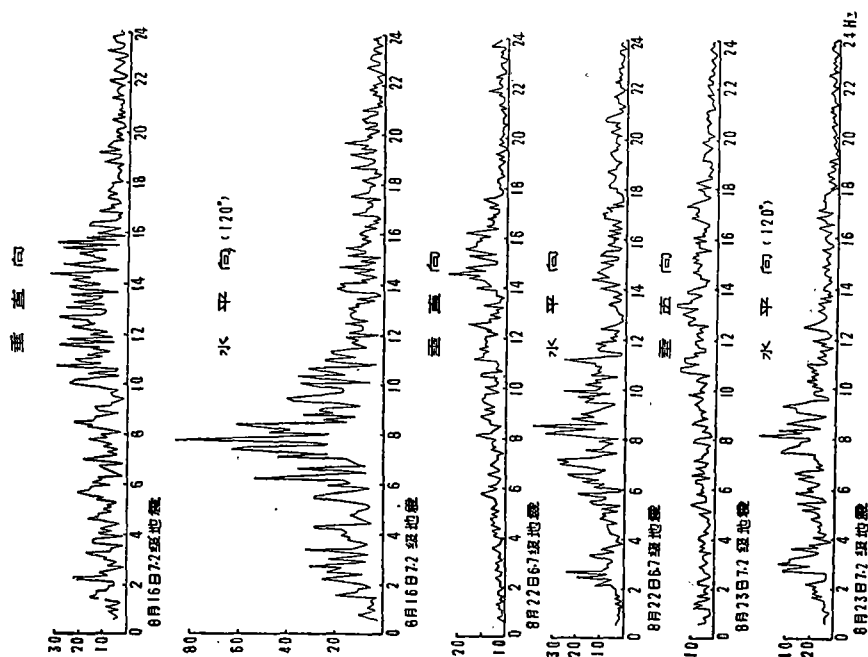


图 5 (1) 1976 年松潘地震文县强震记录富氏谱

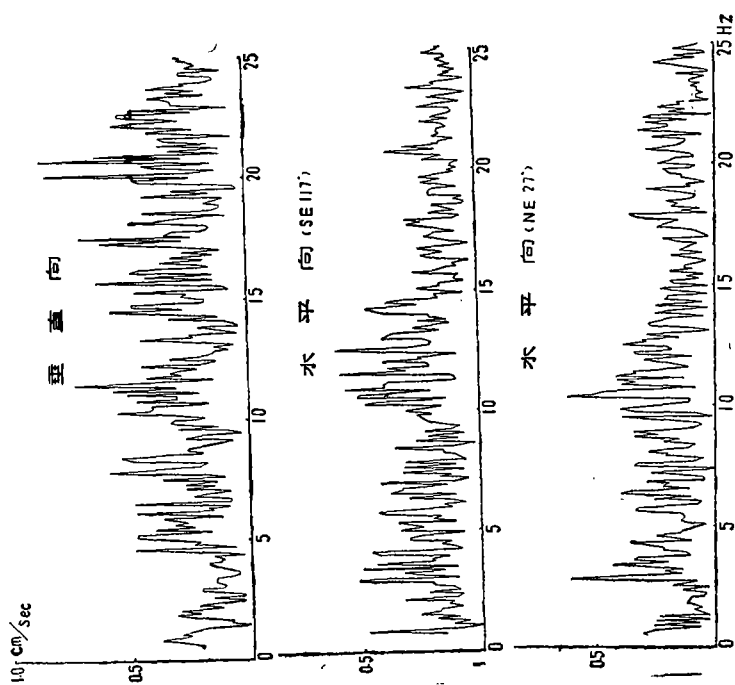


图 5 (2) 1979 年 5 月 22 日 4.4 级地震文县强震记录富氏谱

地震频谱特性的相似性。表 V 列出了各次地震垂直向与水平向加速度之比。可以看出这些地震的垂直分量比较高。同时也可以看出, 在 10 号以前的五个地震中水平分量的顺河向加速度值最大, 但 12 号地震则为水平向的垂河向分量最大。从其震中与强震台址的相对位置来看, 台址位于震中区的东北方向, 文县段白水江河谷的方向和体波中 S 波的剪切方向近于一致, 从地震波传播的介质条件来说, 可以认为是相同的; 在场地条件的影响方面也完全相同。但是表现出的最大加速度值的方向及频谱特征却不相同, 说明地震波的频谱特性与震源及发震的物理过程有关。

表 V 各次地震垂直向与水平向加速度比值

地震序号	1	5	7	9	10	12	平
震级 (Ms)	7.2	5.9	6.7	7.2	5.1	4.4	均
垂直向/顺河向	0.814	0.528	0.984	0.513	0.716	0.789	0.724
垂直向/垂河向	0.898	0.699	1.098	0.708	0.859	0.584	0.808

2. 地面脉动的频谱特性 (1) 地面脉动幅值随地面高程和表层沉积厚度的增加而加大。如脉动的 1、2 号测点高差为 12 米, 但幅值相差很大 (见表 VI)。

(2) 地面脉动的幅值及谱幅值的峰值水平向均大于垂直向, 水平向中的顺河向大于垂河向, 表现出明显的方向性。从谱峰值出现的位置来看, 垂直向较水平向的频率更高。

表 VI 高程和沉积层厚度对脉动幅值的影响

测点号	垂直向	水平向	
	A _{max} (μ)	顺河向 A _{max} (μ)	垂河向 A _{max} (μ)
1	0.024	0.088	0.053
2	0.97	5.00	1.44

(3) 强震台自由地面比地应力台处自由地面脉动谱曲线峰值更为突出。强震台自由地面脉动三个分向的谱峰值均在 15.0—15.2 Hz 之间。对于垂直向与水平向的垂河向来说是其第一卓越频率的区间, 但对水平向的顺河向来说, 则是第二卓越频率区间, 其第一卓越频率为 4.8 Hz, 这恰是垂直向与垂河向的第二卓越频率 (见图 6), 应力台垂直向和水平顺河向卓越频率是 7.23—8.79 Hz, 而水平垂河向是 2.14 Hz。

(4) 强震台址处地面脉动的垂直向、特别是水平向的顺河向峰值比较突出, 均在 1.9 Hz 处, 水平向的垂河向其峰值是 1.5 Hz, 两个水平向的第二卓越频率为 13.1 Hz, 但垂直向不明显, (见图 7)。

(5) 强震台屋顶脉动各分向的幅值均较台址及自由地面的脉动幅值大, 且峰值出现的时间较迟; 除水平向的顺河向接近于自由地面谱峰值外, 其他两个分向较自由地面大, 峰值的卓越频率亦较台址处高, 但较自由地面 (顺河向的第一卓越频率 4.8 Hz 除外) 低, 而屋顶及自由地面脉动各向的频率关系均呈: 顺河向 (12.1 Hz、14.2 Hz) > 垂直向 (8.05 Hz、3.54 Hz) > 垂河向 (5.58 Hz、3.58 Hz)。

午夜较白天观测的位移最大值和谱峰值均小, 卓越频率稍低。从谱曲线来看, 两个观测结果的垂直向和水平向的垂河向峰值均位于 6.5—7.5 Hz 之间, 而顺河向的第二卓越率亦在此附近 (8.5—9.0 Hz); 顺河向的第一卓越频率为 1.5—2.4 Hz, 这正是垂河向第二卓越频率的区间, 但在垂直向则不甚明显。这恰与台址地面脉动的第一卓越频率相一致, 说明地面脉动对一层穿斗木架房屋脉动频谱特征的影响。另外, 在 18.9—19.2 Hz 处有一个共同明显峰

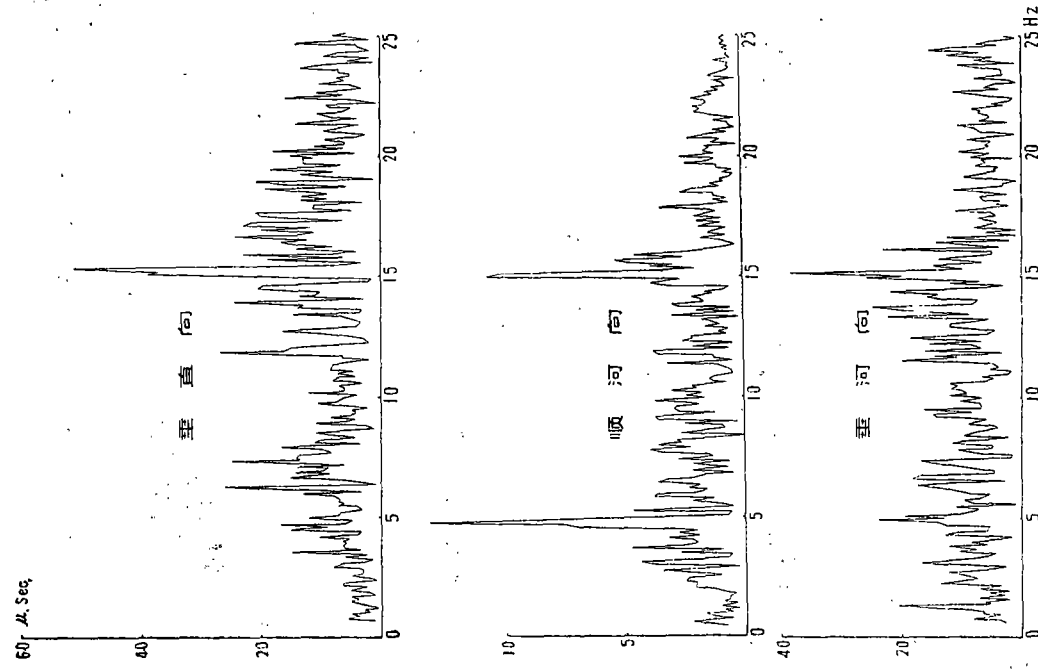


图 6 (1) 文县一中自由地面脉动记录富氏谱

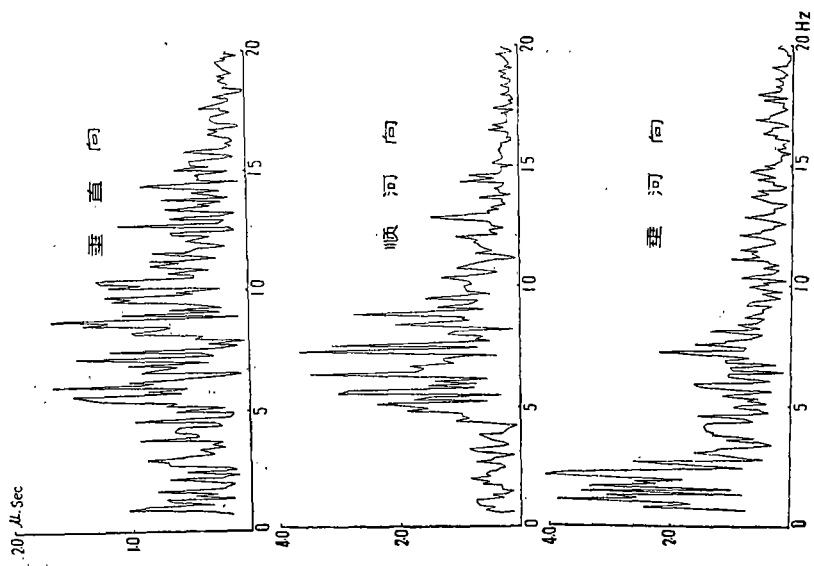


图 6 (2) 文县地应力台脉动记录富氏谱

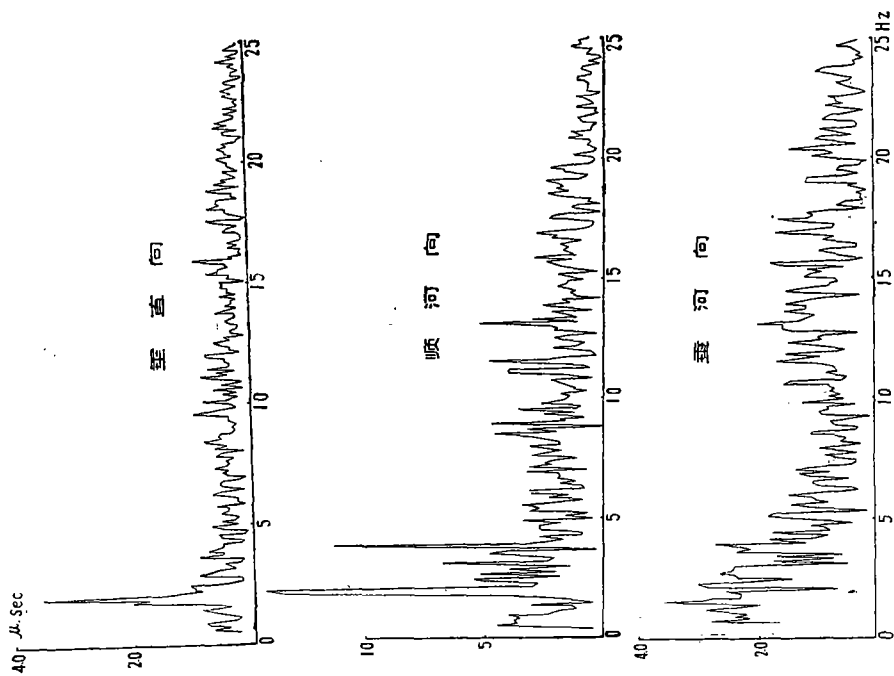


图7 文县一中地震台室内地面脉动记录富氏谱

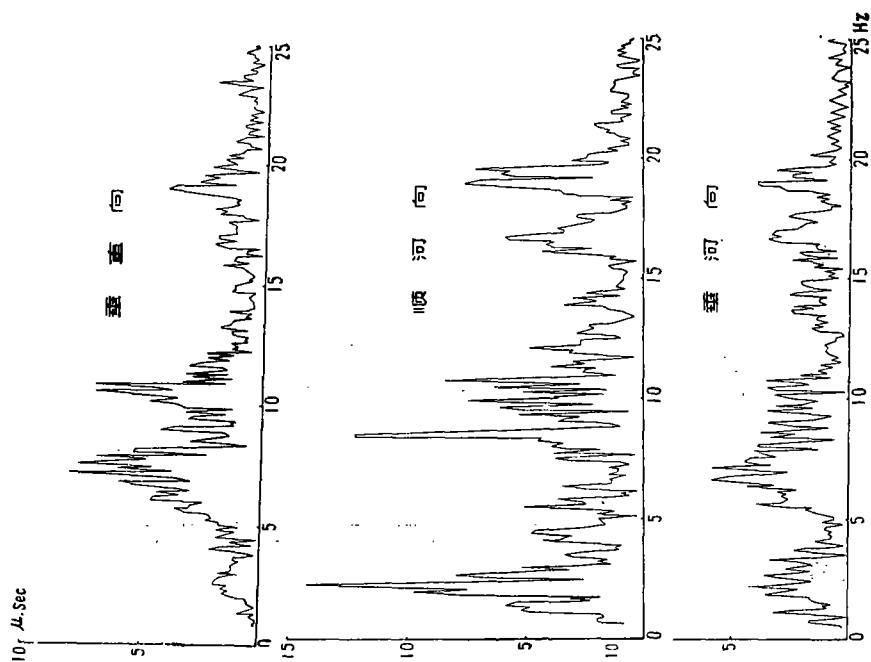


图8 (1)文县一中地震台屋顶脉动记录富氏谱(4月4日)

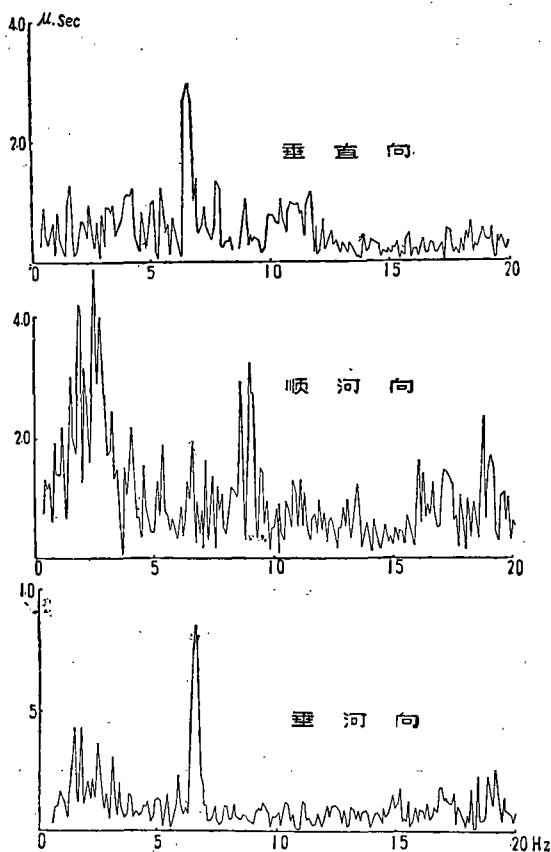


图8 (2)文县一中地震台屋顶脉动记录
富氏谱(4月5日)

值区间,但午夜观测结果中垂直向不明显。上述结果充分反映了结构脉动频谱特性的再现(图8)。

结 论

通过上述的讨论和分析,可以得出:

1.地震地面运动的加速度和富氏谱的峰值均随震级的增高而增大,而且加速度峰值后延,谱峰值频率增高。

2.1976年和1979年地震的频谱特性差异很大,可能是不同地震序列。因此可以认为同一台址的强震记录是判别地震序列和震源机制异同的一种方法。

3.地面脉动的幅值及谱幅值均随测点高程或地表沉积层的厚度增加而增大。

4.一层穿斗架房屋结构对室内地面脉动的频谱特性没有影响,而地面脉动的频谱特性在结构的谱曲线上有明显的反应,并表现出良好的结构频谱特征的再现性。

5.在同一地区的地面脉动和不同顺

序的地震,其幅值及谱幅值的最大值均有一定的方向性。

6.地面脉动的频谱特性在地震地面加速度的谱形态上有显示,但不在造成地震破坏的主频段范围内。

(本文1980年9月20日收到)

参 考 文 献

- [1]何韞如、邵世勤等编著,《松潘强震记录的谱分析》地震出版社,1979。
- [2]河角広编,《地震灾害》,共立出版株式会社。
- [3]岡本舜三著,《耐震工学》,オーム社。
- [4]入仓孝次郎,杂微动の性质と地基构造,第4回日本地震工学シンポジウム1975。
- [5]小林启美、长桥纯男,地震基盤における地震动の性质,第4回日本地震工学シンポジウム1975。
- [6]太田 裕,镜味 洋史,工藤一嘉,1~5 Sec,微动につむて一八戸における观测とそ

•一九七六年松潘地震两次(Ms)7.2地震的震中距不是65公里和79公里,而分别是39公里和60公里(表1)。

の工学意味一, 第4回日本地震工学シンポジウム 1975。

〔7〕坂尻直巳等, せせ長周期の微動観測と地震工学への適用(1)一八戸市における预备観測一, 地震, 第2辑第27卷第4号。

〔8〕成瀬慈慈等, せせ長周期の微動観測と地震工学への適用(2)一微動の卓越周期と地下构造の关系一, 地震, 第2辑第29卷第1号。

ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF SPECTRA OF THE
STRONG GROUND MOTION AND MICROTREMORS
—AUGUST 1976 SONGPAN EARTHQUAKE

Lin Xue-win

(The Seismological Institute of Lanzhou)

Abstract

Does any relation between microtremors and ground motion induced by the earthquake exist? And what is the relation like? There are different answers by different researches. The Songpan earthquake in 1976 supplied the chance to discuss this problem. From the investigation we obtain the following conclusions: (1) Both the acceleration and the maximum amplitude of Fourier spectrum of ground surface motion induced by earthquake increase with the earthquake magnitude increasing, and both the amplitude of microtremors and its Fourier spectra increase with the altitude of observation site and the thickness of alluvial stratum increasing. (2) The amplitude of microtremors and the surface motion induced by different series of earthquake in the same site appears to have certain direction. (3) The characteristics of the Fourier spectra of the same series of earthquake are exactly alike. (4) The old style wooden house of one storey does not affect the spectrum of microtremors, but the site condition obviously affects the Fourier spectrum of the microtremors of the wooden house.

By these analyses it is concluded that there is no obvious relation between spectra of ground microtremors and ground surface motion induced by the earthquake.