

澜沧-耿马地震强余震的近场地面运动特性

王培德 王 鸣 周家玉 瞿 江 倪晓希 倪江川 陈运泰

(国家地震局地球物理研究所)

吴 大 铭

(美国宾厄姆顿纽约州立大学地球科学系)

摘 要

利用 4 台 DCS-302 宽频带大动态范围三分向数字磁带记录地震仪观测了澜沧-耿马地震部分余震的近场地面运动,所记录到的强余震包括 11 月 27 日 $M_s6.3$ 级和 11 月 30 日的 $M_s6.7$ 级地震,记录的水平向最大加速度为 $0.2g$ 。本文利用所获得的数据和最小二乘法导出了适合我国滇西南地质构造条件,土层上水平向最大峰值加速度衰减的经验公式为:

$$\lg A_{\max} = 2.39 + 0.36M_s - 1.95 \lg(D + 10)。$$

利用地震记录的傅氏谱和反应谱研究了地面运动的频率特性,并对地面运动垂直向和水平向峰值加速度之比与场地的关系进行了讨论。

一、前 言

我国云南西部地区位于西藏高原东侧,在地质构造上属三江褶皱系和冈底斯念青唐古拉褶皱系。该区分布有金沙江-红河、澜沧江、怒江等深大断裂。莫霍界面的深度在 37 至 40km 左右。大量近南北走向的山脉是该区地貌的主要特征。山区中分布着大小不等的断陷盆地,这些断陷盆地亦称为坝子,是云南西部工农业发展的主要地区。这一地区又是我国著名的地震活动区之一。近十几年来发生了 1976 年 5 月 29 日龙陵 $M_s7.3$, $M_s7.4$ 级和 1988 年 11 月 6 日的澜沧-耿马 $M_s7.6$, $M_s7.2$ 级强烈地震。云南西部地区的区域应力场受印度板块向欧亚板块挤压运动的影响,以南北向压应力为主,大部分地震的震源机制为右旋走滑型。由于这一地区的地质构造、地貌、区域应力场和地震的震源机制与我国其他地区的不同,因而有必要研究该地区的地面运动特性。从 1988 年 11 月 11 日开始,国家地震局地球物理研究所强地面运动研究组在这一地区架设了小孔径的流动台网对余震进行观测并获得大量的余震近场地面运动记录^[1],本文介绍了野外观测情况以及初步分析的结果,包括垂直向与水平向峰值加速度之比与场地条件的关系,水平向峰值加速度衰减规律,地震动的频率特性和几个强震记录的反应谱。

二、观测与数据

为近场观测所架设的流动台网由 4 台 DCS-302 数字磁带记录地震仪和 2 台 DTR-700 模拟磁带记录地震仪组成,DCS-302 是由美国 Terra Technology Corp. 制造的三

分向数字地震仪^[4],与同一厂家生产的 SSA-302 三分向伺服加速计配合使用。拾震器在工作时按垂直、东西和南北三个方向安装。用木桩在土质地面或用乳胶在水泥地面上固定。加速度摆的频率响应范围为 0—100Hz。摆体检测到的加速度经转换成电信号后送入 DCS-302 数字地震仪。信号经截止频率为 30Hz 的 5 阶 Butterworth 低通滤波器滤波后由模—数转换电路变成数字量。该地震仪的采样率为 100s^{-1} , 字长为 12 位二进制数, 具有 $\times 100$, $\times 25$, $\times 5$, $\times 1$ 四挡自动量程转换, 总动态范围 112db, 最大量程为一个重力加速度 ($1g$), 分辨率为 $5.0 \times 10^{-6}g$ 。自动触发记录, 触发阈值按工作要求和工作环境设定。记录时间为地震动信号满足触发阈值的时间再加 15s。由于信号数字化以后的处理不再形成任何畸变, 因而可以认为 5 阶 Butterworth 低通滤波器的频率特性就是整个记录系统的频率特性。DTR-700 地震仪为短周期地震仪, 主要用于确定地震波各震相的到时, 因未使用其记录研究地面运动状态, 就不再对其特性进行介绍。

DCS-302 数字地震仪在下列几个地点记录了部分余震的近场强地面运动: 木戛、富邦、哈果马、茨竹河与竹塘。DTR-700 地震仪的观测点为茨竹河与战马坡, DCS-302 台站, $M_s 7.6$ 级主震和 $M_s 6.7$ 、 $M_s 6.3$ 级两个强余震的震中位置如图 1 所示。下面对这几个台站的场地条件和地理位置分别加以说明:

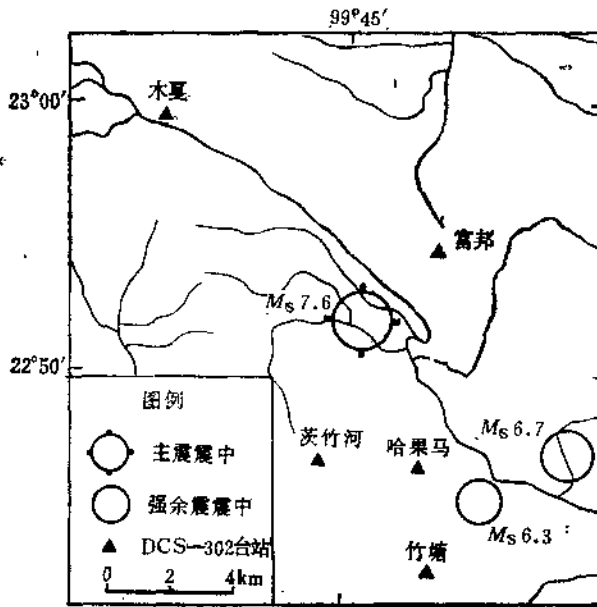


图 1 澜沧-耿马地震中 $M_s 7.6$ 级主震, $M_s 6.7$, $M_s 6.3$ 级强余震和 DCS-302 地震仪的位置图

木戛台位于木戛乡所在地, 木戛坝子的西北部。仪器安放在木戛乡邮电所两层楼房底部, 水泥地面。记录点距黑河河谷几十米, 估计其下部有相当厚的沉积层。在遭受这次地震主震袭击时, 该建筑物受到严重破坏, 上层结构部分倒塌, 下层墙体开裂。该站的地理坐标为北纬 $22^{\circ}59.078'$, 东经 $99^{\circ}38.386'$ 。

富邦台架设在富邦敬老院的一座砖木结构的平房内, 水泥地面。敬老院位于一座山梁的一侧, 该处基岩上覆盖有数米厚度的土层。主震使这个房屋造成中等程度的破坏, 屋

顶瓦片跌落,墙体开裂。该站的地理坐标是北纬 $22^{\circ}54.227'$, 东经 $99^{\circ}47.980'$ 。

哈果马台安放在哈果马小学的教室内。房屋建立在小坝子边缘的冲积扇上, 结构类型为木结构的平房, 水泥地面。主震造成中等程度的破坏, 屋顶掉瓦, 墙体产生裂缝。台站地理坐标是北纬 $22^{\circ}46.286'$, 东经 $99^{\circ}48.477'$ 。

茨竹河台位于北纬 $22^{\circ}46.070'$, 东经 $99^{\circ}43.880'$ 。仪器安置在茨竹河道班带混凝土构造柱砖墙承重的平房内, 水泥地面。该平房建在山坡之上, 估计有数米厚的土层。主震使这座平房受到严重破坏, 构造柱和墙体均出现较大裂缝。

竹塘台设置在竹塘乡电影院内, 电影院是一座大跨度砖木结构建筑, 周围是农田, 因为是在坝子内部, 估计有相当厚的沉积层, 这次地震中竹塘镇为 VIII 度烈度区内的低烈度异常点, 建筑物并没有受到严重的破坏, 仅部分墙体开裂及表面抹灰脱落。该台站的地理坐标是北纬 $22^{\circ}42.818'$, 东经 $99^{\circ}48.360'$ 。

表 1 澜沧-耿马地震近场记录中几个大于 5 级地震的震源参数¹⁾

地震日期	发震时刻 时-分-秒	震中位置		震中地区	深度 (km)	震级 (M_s)
		北纬	东经			
1988.11.15	18-28-13.7	$23^{\circ}13'$	$99^{\circ}35'$	沧源	10	6.1
1988.11.17	21-14-47.1	$23^{\circ}28'$	$99^{\circ}28'$	耿马	11	5.0
1988.11.19	2-21-43.7	$23^{\circ}17'$	$99^{\circ}33'$	沧源	15	5.3
1988.11.27	12-17-53.4	$22^{\circ}41'$	$99^{\circ}48'$	澜沧	12	6.3
1988.11.30	16-13-26.8	$22^{\circ}43'$	$99^{\circ}50'$	澜沧	11	6.7
1988.12.08	23-32-46.0	$23^{\circ}26'$	$99^{\circ}28'$	耿马	5	5.3
1988.12.19	19-06-53.2	$23^{\circ}20'$	$99^{\circ}20'$	沧源	10	5.5

1) 据云南省地震局昆明遥测台网《澜沧-耿马地震序列目录》。

表 2 澜沧-耿马地震序列中二个强余震近场加速度记录情况表

日期	发震时刻 时-分	震级 (M_s)	记录台站	震中距 (km)	持续时间 (s)	最大加速度 (cm/s^2)		
						垂直向	东西向	南北向
11.27	12-17	6.3	富邦	17.8	21	45.1	44.6	32.2
			木戛	33.2	30	14.4	25.5	20.6
			哈果马	3.6	17	90.6	207.0	129.7
11.30	16-13	6.7	富邦	12.9	18	202.5	104.7	105.2
			木戛	40.5	27	48.5	47.4	60.9

野外观测时间至 12 月 20 日为止, 40 天内共获得记录千余条, 其中业经昆明地震传输台网确定震中位置和震级的地震有 510 个, 593 条记录。其中 $M_s \geq 3.5$ 级的地震 40 个, 64 条记录。大于 5 级的地震 7 个, 14 条记录。在观测期间有 3 台仪器得到 11 月 27 日 $M_s 6.3$ 级地震, 2 台仪器得到 11 月 30 日 $M_s 6.7$ 级地震的完整记录。表 1 为 7 个 5

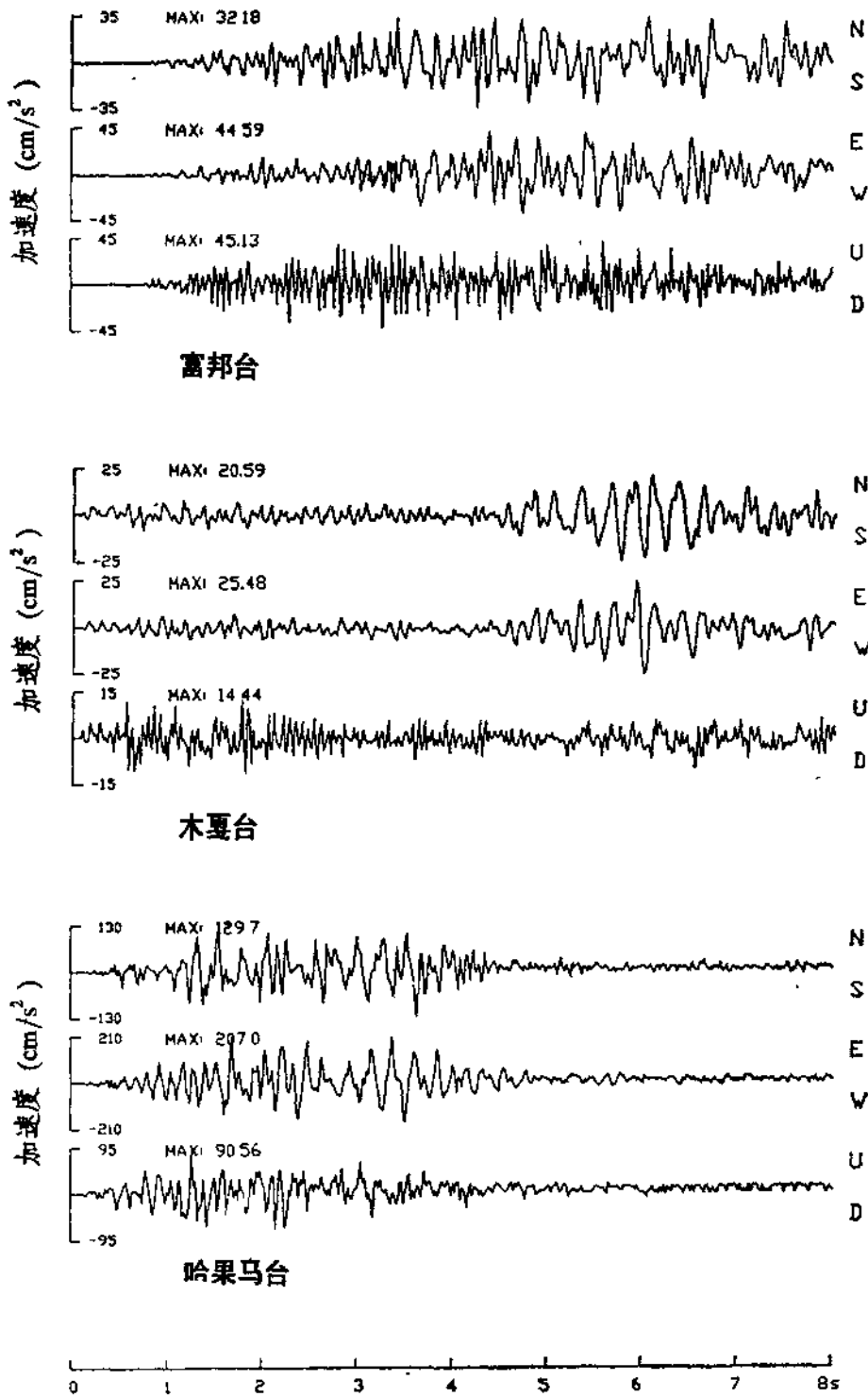


图2 富邦台、木夏台和哈果马台记录的 $M_s 6.3$ 级地震的加速度图

级以上地震的震源参数, DCS-302 记录到的 $M_s 6.3, 6.7$ 级地震的近场加速度值如表 2 所示。图 2 为富邦、木夏和哈果马台记录的 $M_s 6.3$ 级地震的加速度图。

三、垂直向与水平向加速度峰值比

得到比较准确的震中距是进行本文研究工作的基础。在澜沧-耿马地震序列中可供利用的资料有：(1) 云南省地震局昆明遥测台网《澜沧-耿马地震序列目录》中公布的震中位置；(2) DCS-302 台站所记录的 S-P 到时差。由于该目录中所列震中精度一般为 2 级, 误差为 10km, 对于近场研究而言, 精度仍不足。流动台网记录的到时个数偏少, 不够用以确定震源位置。本文先用该目录中的震中坐标与台站坐标计算震中距, 再利用各台记录的到时差进行校验, 如有较大偏差则用 S-P 到时差与该目录中所列深度重新计算, 虚波速度取 8km/s。计算表明对大部分地震, 该目录中的坐标偏差不大。对于振幅比和加速度衰减研究, 本文选取了近场记录中 40 个 $M_s \geq 3.5$ 级地震的 64 条记录, 其震中距和震级分布如图 3 所示, 震级均为昆明遥测台网发表的目录中所列的面波震级 M_s 。

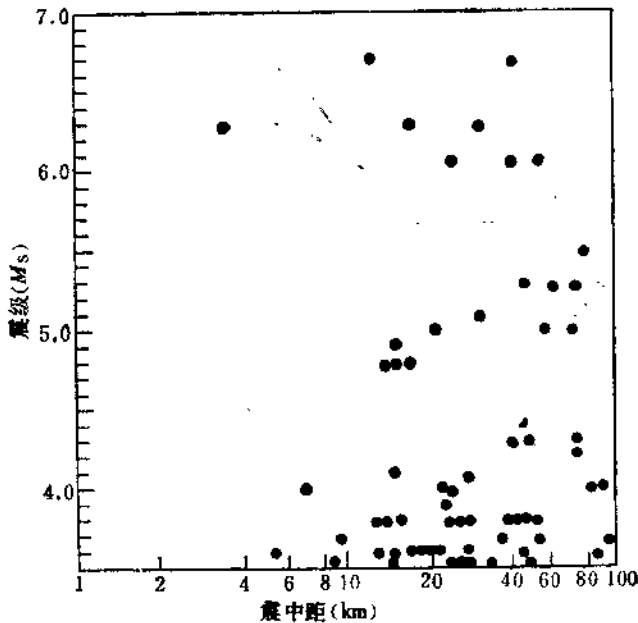


图 3 澜沧-耿马地震近场观测所得数据的震中距和震级分布

平均来说, 地震地面运动垂直向峰值加速度 a_v 为水平向峰值加速度 a_h 的 $1/2-1/3$, 且在加速度最大值不超过 $0.5g$ 时 a_v 小于 a_h 。我们注意到富邦记录的 11 月 30 日 $M_s 6.7$ 级地震的垂直向最大加速度大约为水平向最大加速度的二倍。水平向最大加速度约为 $0.1g$, 垂直向的最大值已超过 $0.2g$ 。这一异常现象促使我们对所获得的资料进行较为系统的整理和研究。图 4 所列为哈果马、富邦、木戛和竹塘台记录的垂直向和水平向峰值加速度之比与震中距的关系。可见随震中距的减小, 振幅比的离散性增加。最明显的特征是振幅比似与记录台站的位置与场地条件有关, 哈果马台的振幅比都在 0.5 以下, 而富邦台的全部大于 0.5, 最大的超过 2.0。由于资料还不够丰富, 难以得到明确的振

幅比与场地条件关系的结论，但至少可以提出在某些地理位置和场地条件下地震动的垂直向最大加速度有可能超过水平向最大加速度，我们希望在将来进行地震观测时能够积累更多的资料，为抗震设计考虑这一问题提供充分依据。

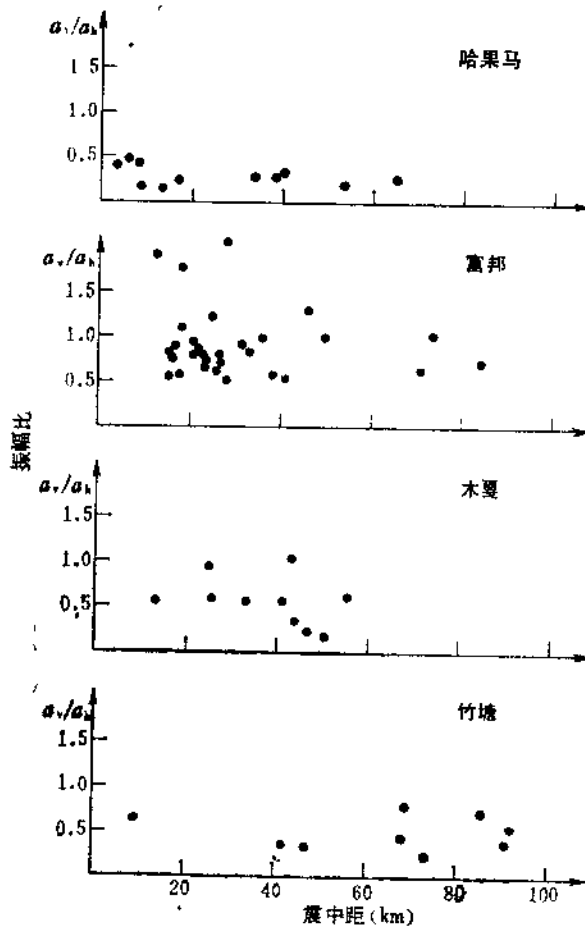


图 4 澜沧-耿马地震近场观测记录的垂直向和水平向峰值加速度之比与震中距的关系

四、加速度衰减曲线

从图 3 可见这次余震观测所获得的记录数据多，分布好，且记录仪器的特性一致，震级也全部是在同一台网内确定的，因而有可能获得较为接近实际的衰减关系。在广泛使用数字地震仪记录地震的强地面运动之前，大量资料是依靠模拟记录地震仪取得的，当地面运动的强度不够时资料的精度不高。DCS-302 的记录精度可达 $5.0 \times 10^{-6}g$ ，相当于 $5.0 \times 10^{-3}Gal$ ，即使记录到的地震地面运动的加速度只有 $1Gal$ 也有足够的精度和分辨率。记录的优良特性有可能扩大计算加速度衰减曲线可使用资料的范围。本文工作选取地震震级的下限为 $M_s 3.5$ 级。

本文所采用的水平向峰值加速度衰减的形式^[3]为：

$$\lg A_{\max} = C_1 + C_2 M + C_3 \lg(D + R_0) \quad (1)$$

其中 A_{\max} 为水平向峰值加速度, 右边第二项表示震级对加速度的贡献, M 为震级; 右边第三项为距离对加速度的影响, D 为震中距。 C_1, C_2, C_3, R_0 为待定系数。

以各观测值形成观测方程组, 用多元回归方法进行计算^[4], 以得到各待定系数的最小二乘解。一般认为 R_0 代表深度的影响, 计算时取 5, 10, 15, ..., 30 等值, 用试错法取回归计算中残差最小之值。这样回归计算所需确定的参数就只有三个。在上述 64 条记录中, 哈果马台有 12 条, 富邦台 30 条, 木夏台 10 条, 竹塘台 9 条, 它们都可以单独用来确定对每个台而言的衰减曲线。经试算, 各台所得的衰减关系没有很大的区别, 并表明 $R_0 = 10\text{km}$ 是该参数的最优值。如果只把台基条件简单地分为基岩和土层两类, 那么则认为上述各台都是建立在土层上的, 这可以解释几个台站的衰减关系相近的现象。

在上述试算的基础上, 利用所记录的 $M_s \geq 3.5$ 级地震的全部 64 条记录, 用多元回归方法, 得到各待定系数及其置信区间为: $C_1 = 2.39 \pm 0.24, C_2 = 0.36 \pm 0.03, C_3 = -1.95 \pm 0.14$ 。残方差 $\sigma = 0.25$, 回归结果可通过显著水平为 0.05 的 F 检验。

最后, 我们得到适合于滇西南地质构造条件的, 土层上的水平向最大峰值加速度衰减的经验公式为:

$$\lg A_{\max} = 2.39 + 0.36 M_s - 1.95 \lg(D + 10) \quad (2)$$

其中 A_{\max} 的单位 cm/s^2 , M_s 为面波震级, D 的单位 km 。数据与衰减曲线如图 5 所示。如用自然对数表示则为:

$$\ln A_{\max} = 5.50 + 0.83 M_s - 1.95 \ln(D + 10) \quad (3)$$

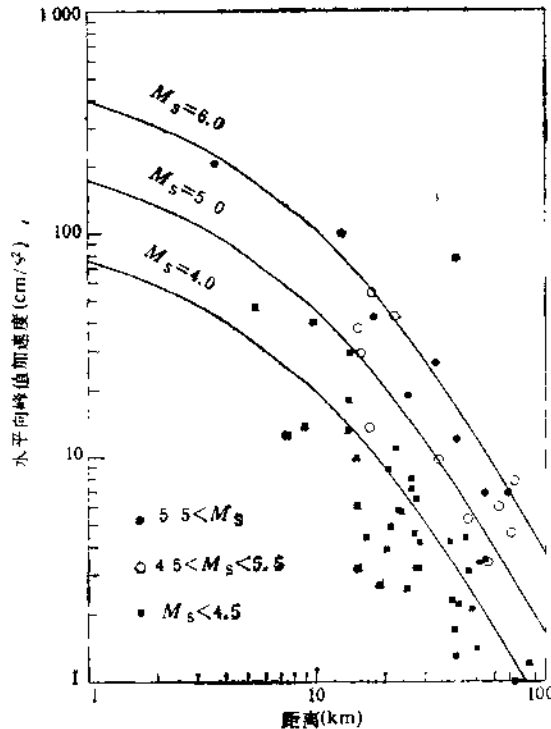


图 5 近场水平向峰值加速度衰减曲线

五、地震动的频率特性

反映强震造成地面运动特性的另一重要方面是其频率特性。研究澜沧-耿马地震强余震的地面运动频率特性包括富氏谱和反应谱两个内容。为了保持原记录所有的信息,对于记录尽量少作预处理,在我们的工作中只删去由于摆体安装不平衡而产生的直流分量,即一般强地面运动记录处理中称之为的基线矫正。本文第一节曾提到 DCS-302 的频率范围是 0—30Hz,以 5 阶 Butterworth 滤波器的频率响应为整个记录系统的频率响应,

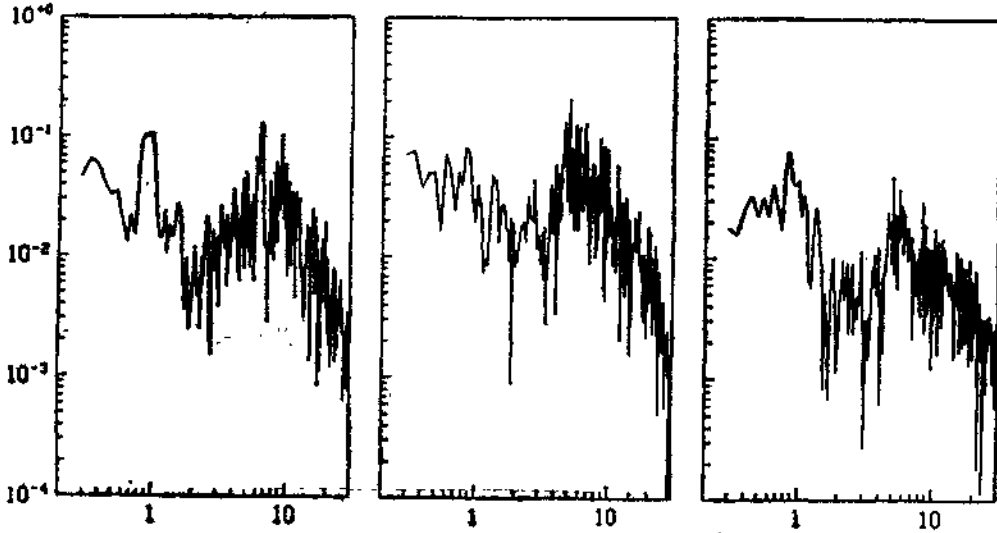


图 6 哈果马台记录的 11 月 15 日 18 时 28 分 $M_s 6.1$ 级地震的加速度谱
由左至右分别为南北、东西和垂直向,单位为 (cm/s^2)

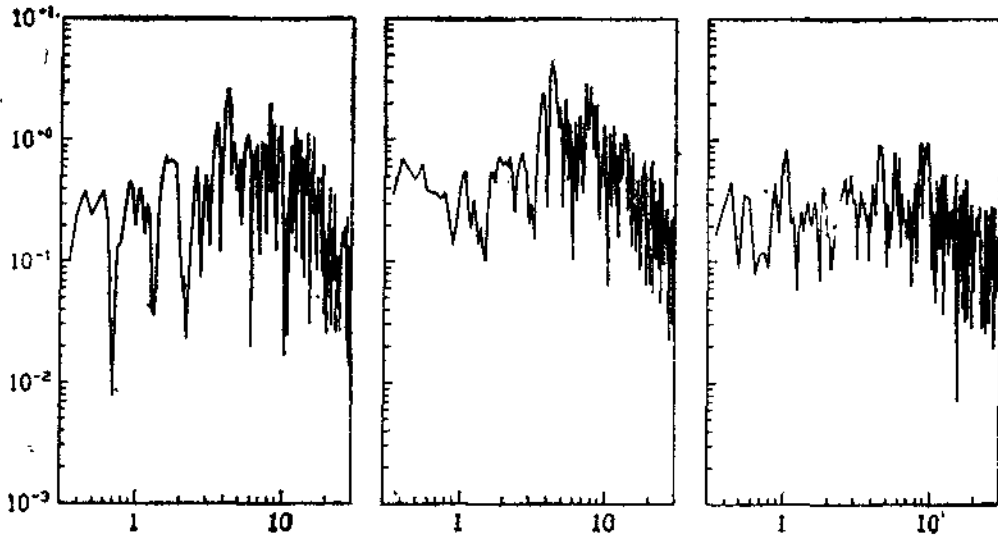


图 7 哈果马台记录的 11 月 27 日 12 时 17 分 $M_s 6.3$ 级地震的加速度谱
注同图 6

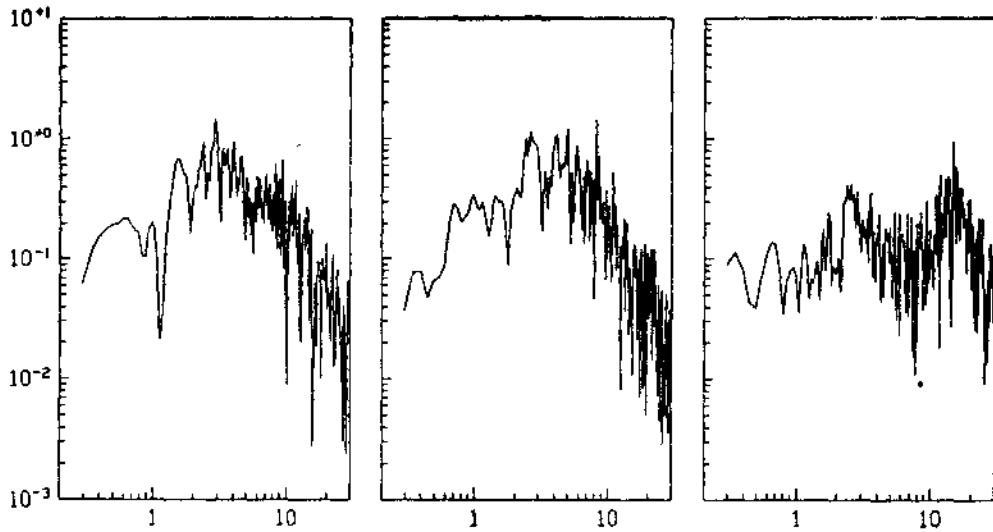


图8 木夏台记录的11月30日16时13分 $M_s 6.7$ 级地震的加速度谱

注同图6

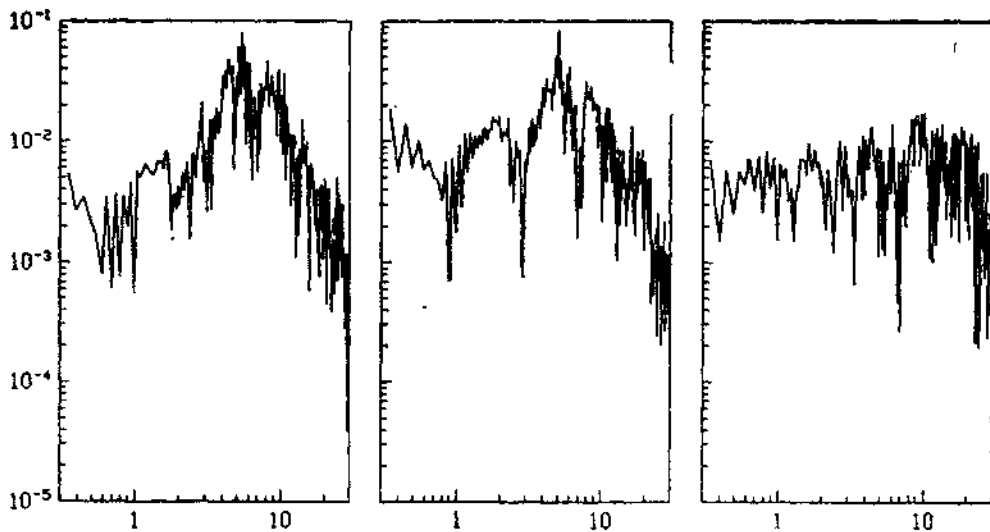


图9 竹塘台记录的12月19日19时07分 $M_s 5.5$ 级地震的加速度谱

注同图6

这样的频率响应范围比通常用的模拟记录强震仪的要宽一些,系统的频率响应曲线在0—30Hz 之间是相当平坦的,对具有这种频率响应特性系统的记录再做频响矫正就不必要了。记录仪器的高频性能,主要是 20Hz 以上频段比模拟记录强震仪好,有利于研究地面运动的高频特性。

我们选择了在哈果马、富邦、木夏和竹塘台所获得的 14 条 $M_s \geq 5.0$ 的地震记录,用快速傅里叶变换 (FFT) 的方法求得其频谱。FFT 变换的数字为 2048 点,相当于 20.48 秒的记录长度,如原始资料长度不够剩余点补零。为了比较大小地震的场地响应,在哈果

马和竹塘的记录中选择了两个4级以下的地震记录做了相同的处理。图6为哈果马台记录的11月15日18时28分 M_s 6.1级地震的加速度谱。图7为哈果马台记录的11月27日12时17分 M_s 6.3级地震的加速度谱。图8为木戛台记录的11月30日16时13分 M_s 6.7级地震的加速谱。图9为竹塘台记录的12月19日19时07分 M_s 5.5级地震的加速度谱。尽管记录系统的频率特性很好,但由于FFT变换的性质,数据截断和补零的影响,频谱在5s以上周期的频谱部分可信度不高,因此频谱图给出的频率范围是0.3—30Hz,对于加速度记录而言这样的频率范围已足够反应地面运动的特性。从这些频谱图上可以见到一个或两个峰值即优势频率。地面运动优势频率不同,对不同建筑结构的影响也不相同。澜沧-耿马地震近场记录的频谱大约有两类,一类具有二个峰值,即高频(几个赫兹)和低频部分(低于1Hz)均有一个峰值,典型的如图6所示,这种频谱一般表示地面运动含有相当多低频成分。另一类则只有在高频段出现一个峰值,说明以高频震动为主,典型的频谱如图8。表3为16条地震记录频谱的优势频率。

表3 澜沧-耿马地震部分余震近场记录的优势频率

记录场地	发震时刻		震级 (M_s)	震中距 (km)	优势频率 (Hz)		
	月-日	时-分			南北向	东西向	垂直向
哈果马	11-27	12-17	6.3	3.6	4.5	5.0	10.0
	11-15	18-28	6.1	54.4	0.9 6.2	0.9 5.2	0.8 6.0
	11-19	2-22	5.3	62.2	1.6 9.0	1.4 8.0	1.3 6.0
	11-19	9-37	5.1	34.2	0.9 9.0	0.4 7.0	0.8 7.0
	11-27	12-29	3.6	5.4	8.0	8.0	10.0
富邦	11-30	16-13	6.7	12.9	4.1	3.2	14.0
	11-27	12-17	6.3	17.8	1.0 4.0	2.0 3.5	14.0
	11-19	2-22	5.3	45.9	3.0	3.0	6.5
	11-19	9-37	5.1	22.0	3.0	3.0	6.0
	11-17	21-15	5.0	71.0	4.1	4.1	5.0
木戛	11-30	16-13	6.7	40.5	3.0	3.0	15.0
	11-27	12-17	6.3	33.2	4.0	1.0 5.0	15.0
	11-15	18-28	6.1	25.2	0.9 5.0	0.8 6.0	0.8 7.0
竹塘	12-19	19-07	5.5	68.7	5.0	5.0	10.0
	12-08	23-33	5.3	73.4	5.0	5.0	5.0
	12-06	12-02	3.7	9.7	8.5	5.0	12.0

从表3可见一般的地震动频谱变化规律在澜沧-耿马强余震观测中仍然存在;在场条件和震中距不变的情况下,地震震级增大,频谱的低频成分增加;场条件和地震震级相同的情况下,震中距增加,低频成分增加。但由于情况复杂,数据量还不够,难以得到一个较为简单的描写这种关系的数学表达式。我们在这里仅就观测所得到的现象作一些说明,十几公里以内的6级以上地震的近场地面运动的频谱在从零点几个赫兹至几个赫兹都较为强烈,5级以上震中距20km以上地震是否产生较为强烈的长周期振动,则与场地条件有关。竹塘台记录的优势频率是5Hz,且缺乏低频震动。富邦和木戛地区地震动

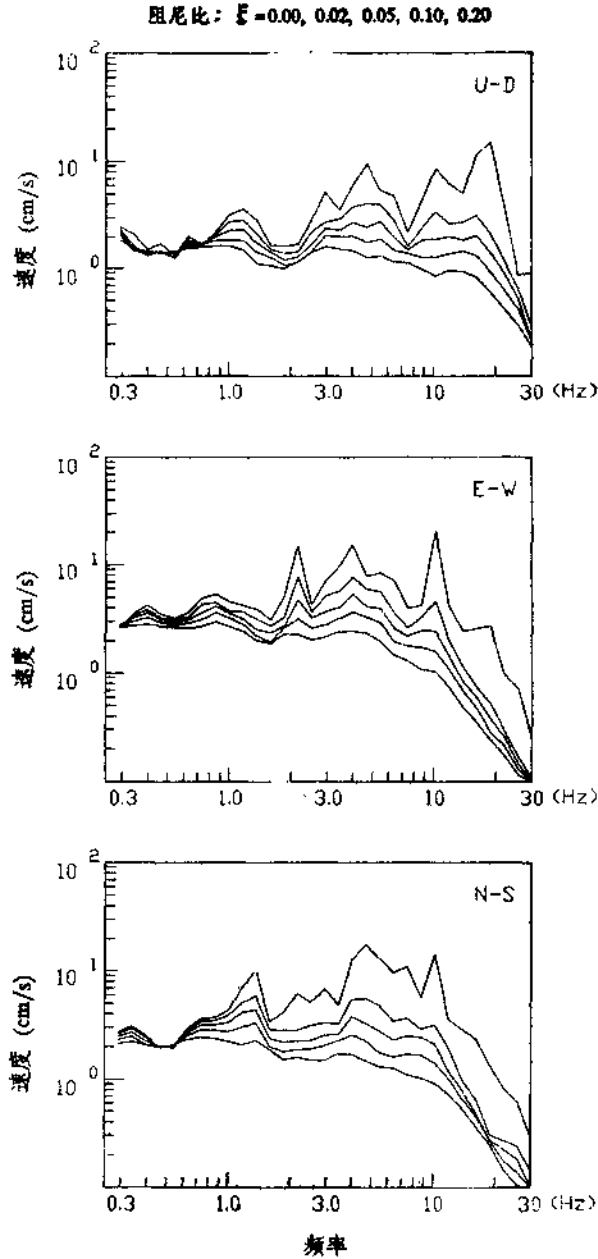


图 10 富邦台记录的 11 月 27 日 $M_s 6.3$ 级地震的反应谱
由上至下分别为垂直、东西和南北向

的优势频率要低于竹塘,一般在 3—4 Hz 之间。哈果马附近的地震动除了 in 高频端有一峰值外, 1 Hz 以下的震动要比其它地区更明显一些。在这里需要注意的是, $M_s 6.3$ 和 $M_s 6.7$ 级两个强余震在几个记录台站造成的垂直向震动的优势频率远远高于水平向的优势频率, 垂直向分量都在 10 Hz 以上, 甚至高达 14—15 Hz。一种可能的解释是入射的 P 波和 SV 波在近地面的介质层中多次反射和折射, 互相叠加与干涉增加了高频震动的成分。

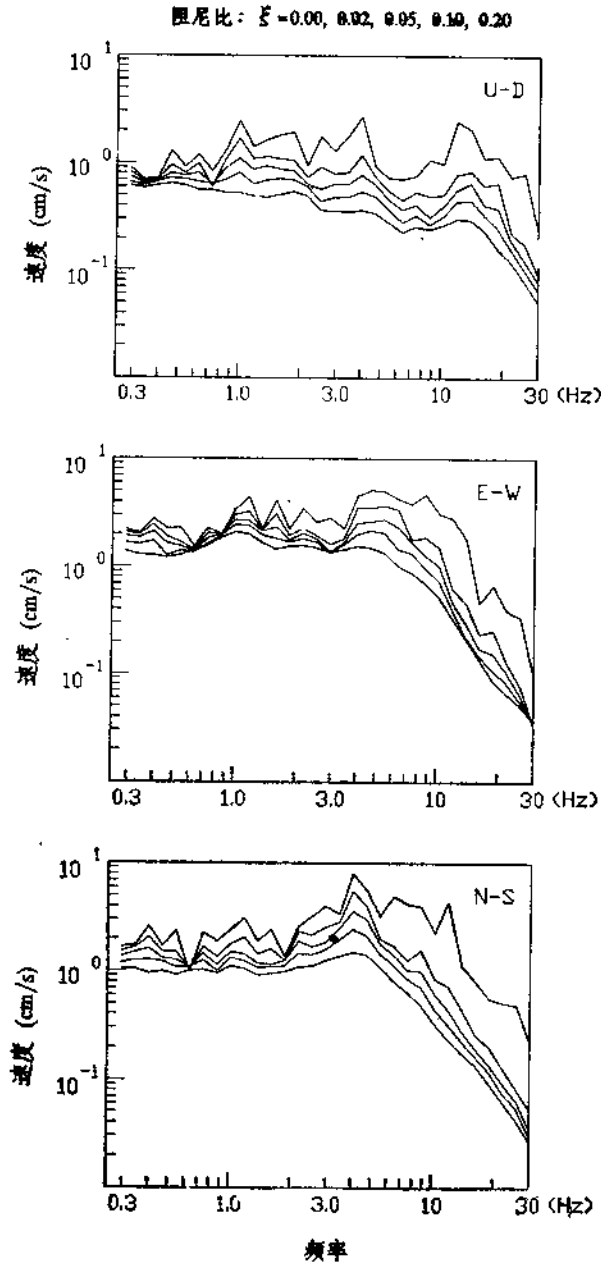


图 11 木夏台记录的 11 月 27 日 $M_s 6.3$ 级地震的反应谱
注同图 10

考虑地震工程学的需要，我们计算了表 2 所列 5 个强余震记录的反应谱。反应谱可从非奇次二阶常系数微分方程

$$\ddot{y}(t) + 2\xi\omega\dot{y}(t) + \omega^2y(t) = -\ddot{x}(t)$$

的解 $y(t)$ 中获得，其中 ω 为系统的自振频率， ξ 为阻尼比， $\ddot{x}(t)$ 即观测的地面运动加速度。

由于所记录的为数字量，且采样密度很高，求解方程用精确法^[4]进行，计算步长采用

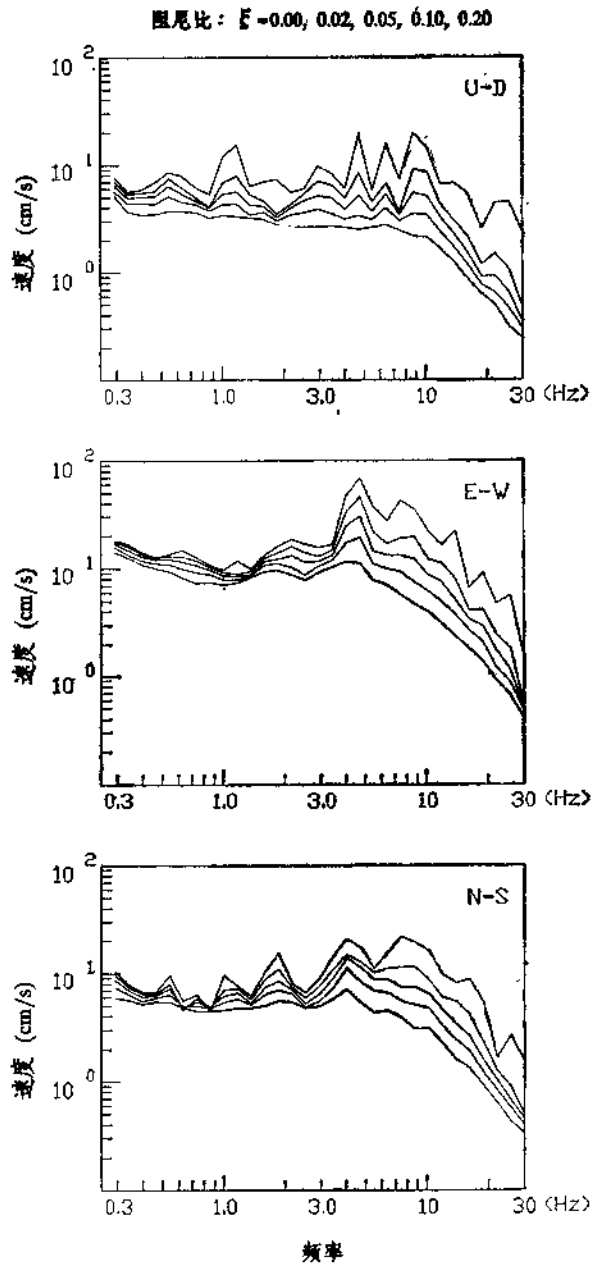


图 12 哈果马台记录的 11 月 27 日 $M_s 6.3$ 级地震的反应谱
注同图 10

原始数据的采样间隔,即 $0.01s$ 。

反应谱按原记录的三个分量分别计算, 阻尼比取 $0.00, 0.02, 0.05, 0.10, 0.2$ 五个数值, 频率范围取 0.25 至 30Hz , 在 31 个按对数尺度均匀分布的频率值上计算。

考虑计算机的容量和对反应谱精确度的要求, 凡记录长度超过 $20s$ 的, 取 $20s$; 不足 $20s$ 的取实际记录长度。由于这几个地震记录在 S 波到达 $10s$ 以后地面运动就已衰减到

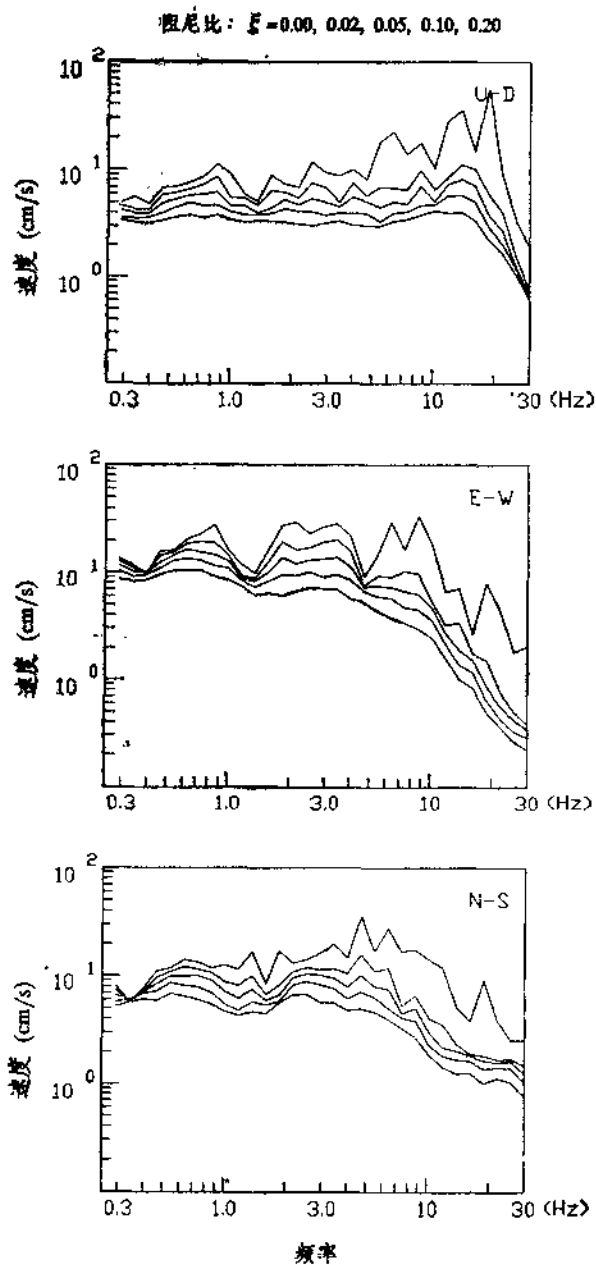


图 13 富邦台记录的 11 月 30 日 $M_s 6.7$ 级地震的反应谱
注同图 10

相当小的程度, 这样处理已足以保证所需要的准确性。

图 10—14 为计算所得反应谱, 所画谱线是速度谱, 纵坐标为速度值。需要指出的是本文计算所得的反应谱较目前常用的反应谱在高频端有更多的成分, 这与频谱分析所观察到的现象一致, 其原因可能有两个: (1) 近震源记录, 地震动的高频成分较少受到衰减; (2) 宽频带的记录系统, 有利于真实地记录地面运动状态。我们希望这些数据能引

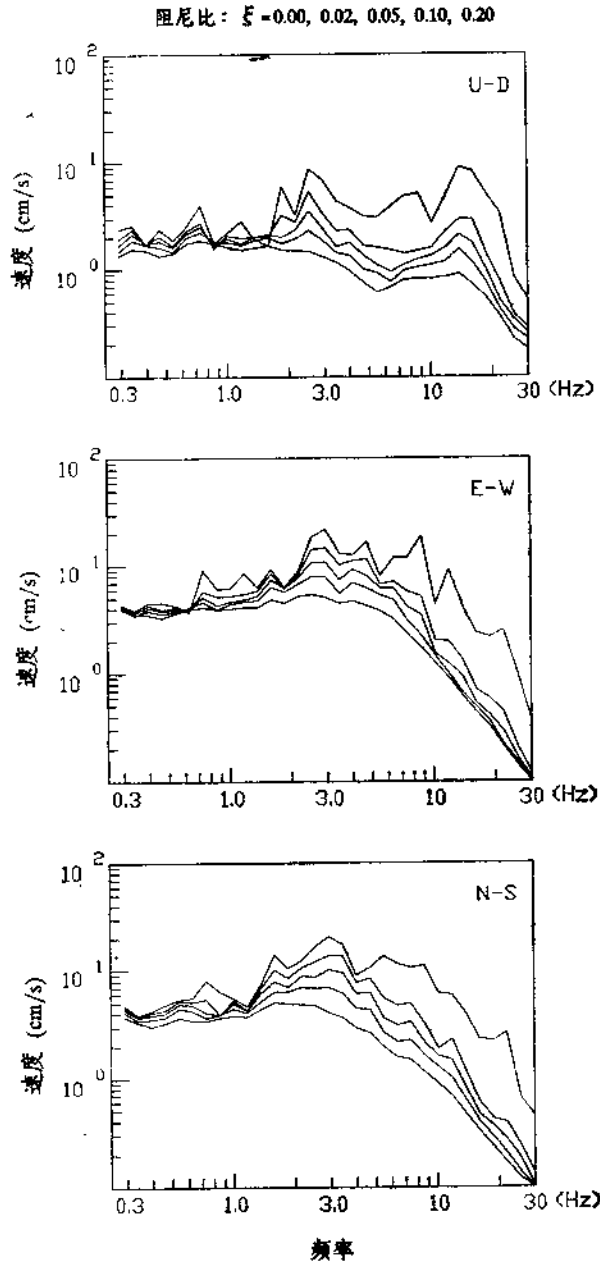


图 14 木夏合记录的 11 月 30 日 $M_s 6.7$ 级地震的反应谱
注同图 10

起地震工程界对地震近场地面运动高频成分的关注。

作者在进行野外观测工作中,曾得到云南省地震局江葵、刘祖荫同志的大力支持和帮助,特表谢忱。

参 考 文 献

- [1] Chen, Y. T. and Wu, F. T., 1989, Lancang-Gengma earthquake: A preliminary report on the November 6, 1988, event and its aftershocks, EOS, Vol. 70, No. 49, 1527.
- [2] 王培德, 1981, 一种新型的数字磁带记录地震仪——DCS-302型地震仪, 地震科学研究, 第3卷, 62—64。
- [3] 胡聿贤, 1988, 地震工程学, 地震出版社, 194—196。
- [4] 中国科学院计算中心概率统计组, 1979, 概率统计计算, 科学出版社, 77—142。
- [5] 谢礼立、于双久, 1982, 强震观测与分析原理, 地震出版社, 214—233。

NEAR-FIELD GROUND MOTION CHARACTERISTICS OF STRONG AFTERSHOCKS OF THE LANCANG-GENGMA EARTHQUAKES

Wang Peide Wang Ming Zhou Jiayu Qu Jiang

Ni Xiaoxi Ni Jiangchuan Chen Yuntai

(Institute of Geophysics, State Seismological Bureau)

Francis T. Wu

(Department of Geological Sciences, State University of New York, Binghamton, USA)

ABSTRACT

Four sets of DCS-302 broadband, wide dynamic range, three component digital cassette recording seismograph are used to near-field seismic observation of aftershocks of the 1988 Lancang-Gengma earthquakes in Yunnan Province. Two major aftershocks with $M_s=6.3$ and $M_s=6.7$ have been recorded. The maximum horizontal acceleration is $0.2g$. The least squares method is applied to the data obtained to fit the empirical horizontal peak acceleration attenuation, and the following formular is obtained:

$$\lg A_{\max} = 2.39 + 0.36M_s - 1.95 \lg(D + 10)$$

This formular is suitable to soil ground in south-west Yunnan Province. Ground motion frequency characteristics have been studied by Fourier analysis and response spectrum calculation. Discussion also concerntrated on the relationship between site condition and the ratio of vertical peak acceleration to horizontal peak acceleration.