

宁蒗—盐源 5.7 级地震数字强震动台网 记录及初步分析*

李世成, 林国良, 崔建文, 刘琼仙, 张彦琪, 张 潜

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

摘要: 简要介绍了西南强震动台网对“6·24”宁蒗—盐源 5.7 级地震的记录获取及其初步处理情况; 根据强震动记录计算了地震动谱烈度, 对谱烈度与宏观烈度的地面分布进行了比较; 并对此次地震的相对持时与能量持时、峰值加速度衰减、地震动主频随距离的变化等问题进行了初步计算分析。结果表明: 由各台站强震动记录计算的谱烈度而修正得到的仪器烈度值与该处的宏观烈度均吻合, 但谱烈度等值线长轴方向与宏观烈度长轴方向相差约 20° ; 地面峰值加速度的衰减快慢随震中距远近而呈现差异; 三分向加速度反应谱的主频, 其垂向的衰减比水平向的衰减要慢; 地面地震动持时长短受诸多因素影响, 除震源距外, 场地条件的影响有时更显著。

关键词: 宁蒗—盐源地震; 强震动记录; 峰值加速度; 谱烈度; 能量持时

中图分类号: P315.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2013)04-0502-06

0 引言

2012 年 6 月 24 日 15 时 59 分 32 秒, 云南省宁蒗县与四川省盐源县交界处发生 5.7 级地震, 微观震中为 (27.44°N , 100.67°E), 震源深度 11 km。断层错动面走向 307° , 倾向 37° , 滑动角 -130° (云南防震减灾网, 2012)。西南强震动台网中心共接收到震中附近及周边 9 个固定台的主震事件 (云南省境内 7 个台、四川省境内 2 个台), 获取了 27 道地面地震动加速度时程记录, 最大地震动峰值为离震中最近的泸沽湖台记录到的 96.3 Gal。这些记录, 不仅为现场地震震害快评及救灾决策提供了参考依据, 还为研究此次地震的地面峰值加速度、谱烈度及其分布和地震动的峰值、持时、频谱等特征以及它们与地震宏观烈度之间的关系等提供了基本数据。

1 地质构造环境

震区地处扬子准地台丽江台缘褶皱带内的永宁—永胜台褶束与松潘—甘孜褶皱系中甸褶皱带内的三坝褶皱束的交界地区。震区构造复杂, 发育的主要活动构造有北西向的龙蟠—乔后断裂 (F_1)、永宁断裂 (F_3)、宁蒗断裂 (F_4), 北东向的小金河—丽江断裂 (F_2) 以及近南北向的程海

断裂 (F_5) 三组活动断裂以及永宁第四纪单断型构造盆地。宁蒗—盐源 5.7 级地震的微观震中位于永宁盆地东南边缘 (图 1)。

2 观测台站及获取记录

2.1 观测仪器及台站简况

获取宁蒗—盐源地震记录的强震动记录器包括美国 kinemetrics 公司生产的 ETNA 型和瑞士 Syscom 公司生产的 MR-2002 型数字记录器; 其外接的拾震器为我国威波瑞公司的 SLJ-100 型力平衡式加速度计 (周雍年, 2011, Li *et al.*, 2008)。

在获得主震记录的 9 个强震动台站中, 金官镇台与九河乡台台址为基岩, 其余 7 个台址为土层 (图 1、表 2)。

2.2 观测台站记录获取情况

9 个台站获取的地震加速度记录共 27 条。对这些记录进行噪声滤波、零基线调整和校正处理 (Boore, 1999, 2005)。处理后的加速度峰值列于表 1。图 2 给出了 3 个典型的记录图。

此次获取强震动记录距离震中最近的台站为盐源泸沽湖台, 震中距 16 km, 最大峰值加速度 96.3 Gal; 最远台站为丽江市九河乡台, 震中距 127 km, 最大峰值加速度 3.4 Gal。

* 收稿日期: 2012-10-22.

基金项目: 地震行业科研专项“地震紧急处置关键技术及在快速轨道交通工程中的应用”(201108003) 资助。

表1 宁蒗—盐源5.7级地震强震台站及记录情况

Tab. 1 The recordings of Ninglang-Yanyuan *M*5.7 earthquake recorded by strong motion observation stations

台站	场地	记录器	震中距 /km	最大加速度/ $\text{cm} \cdot \text{s}^{-2}$			峰值频率/Hz		
				东西	北南	垂直	东西	北南	垂直
盐源泸沽湖	土层	MR2002	16	96.3	52.1	45.2	2.8	4.6	3.4
红桥乡	土层	ETNA	36	24.7	54.2	11.1	2.7	1.9	1.3
宁蒗县	土层	ETNA	52	2.6	-4.3	-2.6	1.2	1.2	1.1
木里农机站	土层	MR2002	62.7	6.0	11.5	1.9	7.2	4.6	6.5
小中甸	土层	ETNA	87	-3.1	-3.3	-2.2	1.0	1.0	2.6
丽江龙蟠乡	土层	ETNA	92	-2.9	-2.6	1.4	1.6	1.7	1.9
丽江地震局	土层	ETNA	106	2.0	-1.7	1.6	0.4	0.4	0.9
金官镇	基岩	ETNA	109	-3.5	3.7	1.8	0.7	0.8	0.8
丽江九河乡	基岩	ETNA	127	3.4	-3.4	-1.7	1.3	1.3	1.7

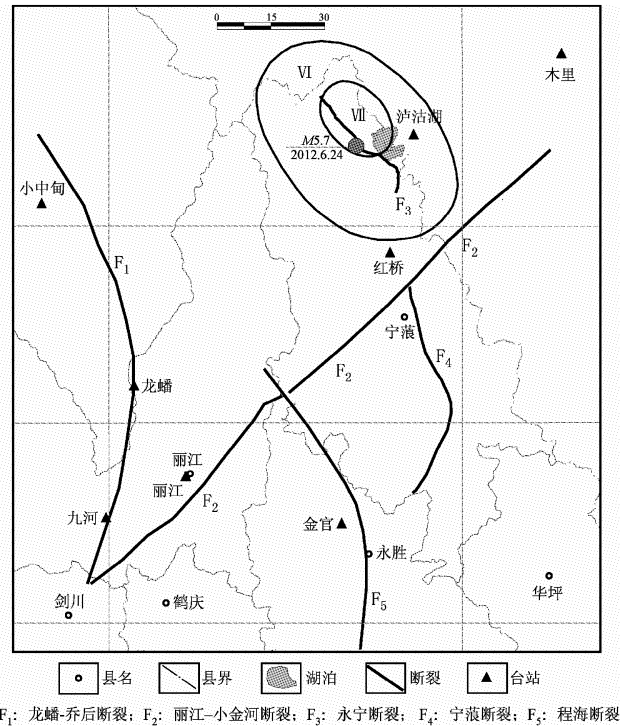


图1 宁蒗—盐源5.7级地震震中、VI度烈度圈及获取记录台分布图

Fig. 1 The distribution of epicenter of Ninglang-Yanyuan *M*5.7 earthquake, VI intensity contour and the strong motion observation stations of obtaining recordings

3 谱烈度及其与宏观烈度对比

3.1 地震谱烈度

豪斯纳定义谱烈度 (Spectrum Intensity) 为 (胡聿贤, 2006)

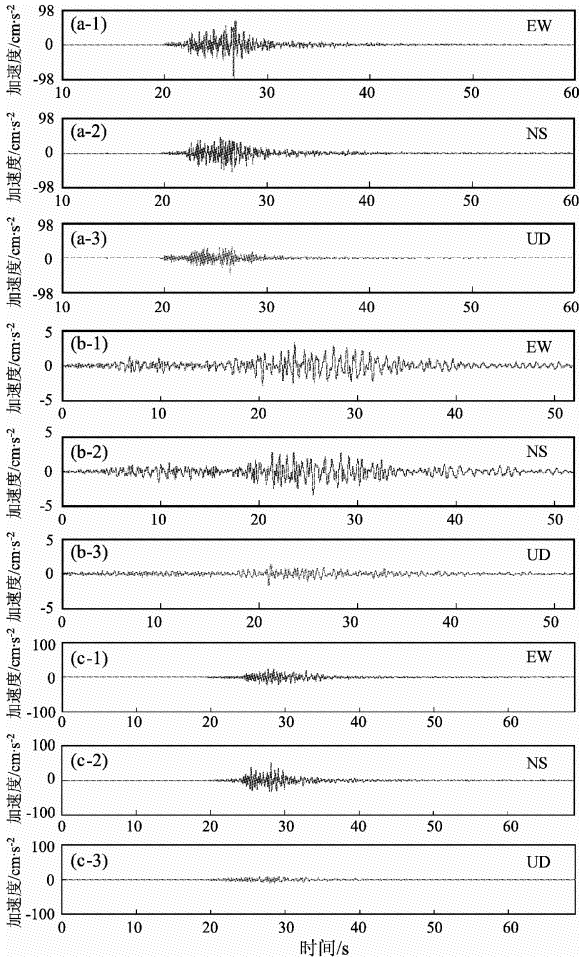


图2 宁蒗—盐源5.7级主震的加速度记录 (a) 泸沽湖台; (b) 红桥乡台; (c) 九河乡台

Fig. 2 The acceleration recordings of Ninglang-Yanyuan *M*5.7 main earthquake (a) Lugu Lake Station; (b) Hongqiao Country Station; (c) Jiuhe Country Station

$$SI_{\zeta} = \int_{0.1}^{2.5} S_v(T, \zeta) dT. \quad (1)$$

式中, S_v 是阻尼为 ζ 时的单质点体系的相对速度反应谱; T 为周期; ζ 常取为 0.2, 相应的谱烈度值为 $SI_{0.2}$ 。

Clough、Nau 和 Hall 也分别对谱烈度计算进行了定义, 其差别只是积分的上、下限取法不同, 即 T 区间段不同 (林淋, 孙景江, 2011)。

3.2 谱烈度值、修正谱烈度值的计算及其与宏观地震烈度的比较分析

考虑到地面运动在水平面内的二维特性, 在计算 Housner 定义的谱烈度 $SI_{0.2}$ 时, 采用 Kazi 等 (2002) 的方法, 即采用加速度记录为加速度水平分量在水平面内不同方向上的合成值, 取计算结果的最大值为记录的 $SI_{0.2}$ 。这样得到各记录点的地震动参数为 20% 阻尼比的谱烈度 $SI_{0.2}$ 及 $\lg(SI_{0.2})$ (表 2)。

王玉石等 (2010a, b) 在对中国西部地区近年来获取的强震动记录进行谱烈度 $SI_{0.2}$ 的计算与分析

中发现, 由谱烈度 $SI_{0.2}$ 计算而得的仪器烈度与震害烈度一致的比例较低。由于局部场地条件对与场地卓越周期相应的地震动频率成分具有明显影响作用, 且场地上记录的加速度反应谱的卓越周期代表了地震动能量的主要集中频段, 应与地震烈度相关性较大, 据此王玉石 (2010a) 提出了根据各台站记录的加速度反应谱的卓越周期进行修正的谱烈度 $SI_{0.2}^m$ 及 $\lg(SI_{0.2}^m)$, 由此计算得到的仪器烈度与震害烈度一致的比例较高, 并回归得出了中国西部地区仪器烈度与修正谱烈度 $SI_{0.2}^m$ 的分档值对应表。

笔者根据此方法, 计算了宁蒗—盐源 5.7 级地震的谱烈度值及修正谱烈度值, 给出各台站处的仪器烈度, 并将宏观地震烈度一并列出进行对比 (表 2)。由表 2 可见, 各台站强震动记录的仪器烈度与该处的宏观烈度均吻合, 即修正谱烈度值对应的仪器烈度与宏观烈度有较好的一致性。由于缺少地震宏观烈度 V 度及其以下的地震等值线资料, 所以对小于 V 度烈度值还不能进行统计细分与对比。

表 2 宁蒗—盐源 5.7 级地震谱烈度值、修正谱烈度值、仪器烈度与宏观烈度

Tab. 2 Spectrum, modified spectrum intensity values, instrumental and macroscopic intensity of Ninglang-Yanyuan M5.7 earthquake

台站名称	$SI_{0.2}$	$\lg(SI_{0.2})$	$\lg(SI_{0.2}^m)$	仪器烈度	宏观烈度	PGA/cm · s ⁻²	SA 卓越周期/s
盐源泸沽湖	7.385 25	0.87	0.87	Ⅵ	Ⅵ	95.4	0.36
红桥乡	2.881 91	0.76	0.46	< Ⅵ	< Ⅵ	54.2	0.53
宁蒗县	0.700 93	-0.15	-0.45	< V	< V	4.3	0.83
木里农机站	0.626 58	-0.20	-0.20	< V	< V	11.5	0.22
小中甸	0.510 25	-0.29	-0.74	< V	< V	3.3	1.0
丽江龙蟠乡	0.289 35	-0.54	-0.84	< V	< V	2.9	0.71
丽江地震局	0.418 74	-0.38	-0.82	< V	< V	2.0	2.5
金官镇	0.752 36	-0.12	-0.57	< V	< V	3.5	1.4
丽江九河乡	0.453 07	-0.34	-0.64	< V	< V	3.4	0.77

地面峰值加速度或峰值速度与烈度间的对应关系的离散性很大 (GB/T17742 - 2008; 李世成等, 2011), 仅根据强震动记录的峰值加速度或峰值速度很难估计所在地域遭受的烈度影响程度。由于谱烈度值是某一阻尼比的单质点体系相对速度反应谱在某一周期区间内时域的积分值, 是一个与地表地震动反应谱直接相关的物理量, 且其强调了地震动与结构自振频率相近部分成份的作用, 因而能较客观地反映了地面地震动反应谱和结构破坏程度之间的关系。

3.3 宏观地震烈度与地震谱烈度分布

根据 9 个强震动台站记录计算得到各台站处的 $SI_{0.2}$ 。采用插值法将各点的谱烈度值绘制成等值线

图 (图 3)。从图 3 可以看出, 宏观地震烈度的长轴方向约为 N40°W, 谱烈度等震线长轴方向大约在 N20°W。造成差异的可能原因是现行的地震烈度等震线主要是以震区不同抗震性能的建筑 (构筑物) 的震害指数进行勾画的, 而谱烈度则是记录处 (自由地面) 场地综合因素作用效应的体现。也就是说, 宏观地震烈度受震源处参数、传播路径、场地条件及建筑抗震性能等的综合控制影响; 而自由场地的地震动时程只包含震源、传播路径和场地条件的影响因素, 而不能反映出建筑 (构筑物) 的抗震性能的影响作用。随着强震动台站密度加大、一些结构台阵的布设, 谱烈度将会更真实地勾画出地表震动及破坏强度的分布。

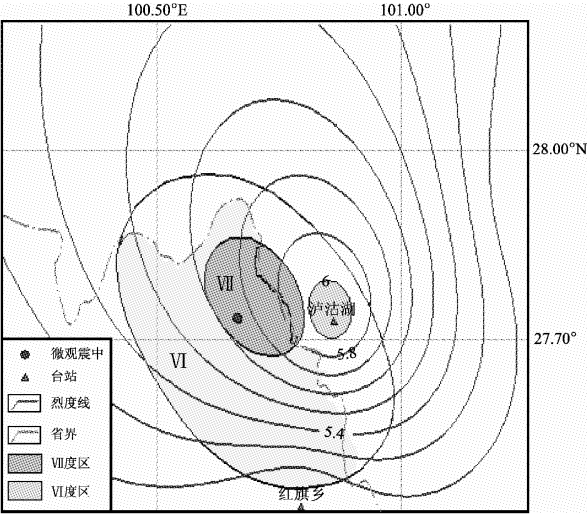


图3 宁蒗—盐源5.7级地震宏观烈度和谱烈度分布图
Fig.3 Distribution of macroscopic intensity and spectrum intensity of Ninglang-Yanyuan M5.7 earthquake

4 地震动其它特征

4.1 地震动峰值衰减与峰值频率随距离的变化

地面地震动强度的衰减，是工程地震学中常常讨论的问题。笔者选取崔建文等（2006）对云南分区地震动衰减关系，和9个台站记录的加速度峰值随距离的衰减关系进行计算（图4）。同时，对9个台站记录的加速度反应谱的卓越周期在地面随距离的变化进行了拟合（图5）。

此次地震在观测区域地表的地震动衰减，以震中距大约50 km为界差异较大。

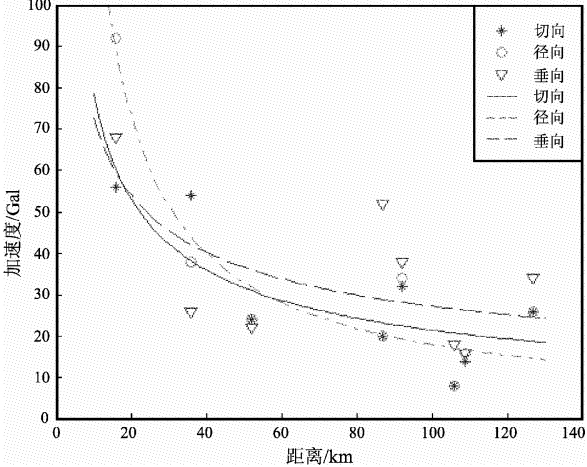


图4 宁蒗—盐源5.7级地震加速度峰值的地面衰减
Fig.4 Ground attenuation of acceleration peak of Ninglang-Yanyuan M5.7 earthquake

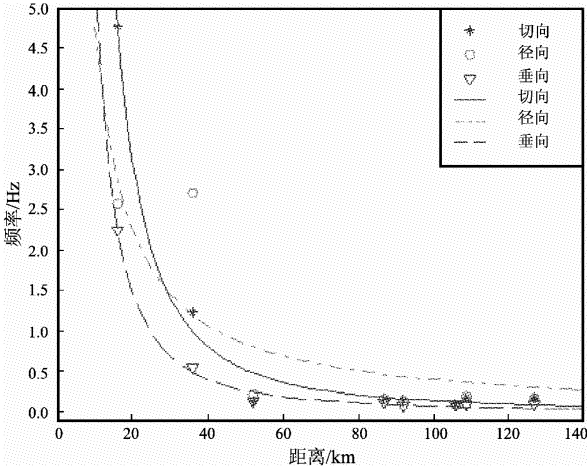


图5 宁蒗—盐源5.7级地震加速度反应谱卓越频率随距离的变化
Fig.5 Predominant frequency of acceleration response spectra of Ninglang-Yanyuan M5.7 earthquake varying with epicentral distance

在50 km界限以内，地面地震动衰减很快；当震中距大于50 km以上时，衰减变得很慢。这反应了观测区内地壳结构及地表场地条件的地域特征（李世成等，2003）。3个方向的加速度反应谱的卓越频率，以径向的随震中距变化相对最快，以垂向的变化最慢。

4.2 地震动持时的统计特征

地震动持时主要取决于整个断裂面破裂所需要的时间，即震源释放能量所持续的时间。本文计算了地震动能量的70%持时、90%持时以及1/5相对持时（表3）（胡聿贤，2006；Husid，1969；Trifunac，Brady，1975；李世成等，2011）。

表3 各台站加速度时程的几种相对持时					
Tab.3 The several relative durations of acceleration time history recorded by each strong motion station					
台站名称	场地	震中距 /km	地震动的相对持时/s		
			70%	90%	1/5
盐源泸沽湖	土层	16	7.4	14.2	9
红桥乡	土层	36	6.6	10.6	10.4
宁蒗县	土层	52	7.5	15.5	12
木里农机站	土层	62.7	8.8	16.9	6
小中甸	土层	87	17.7	32.8	46
丽江龙蟠乡	土层	92	11.5	22.7	27
丽江地震局	土层	106	17.7	26.7	40
金官镇	基岩	109	17.2	26.5	41
丽江九河乡	基岩	127	11.8	29.2	33

由表 3 可看出,此次地震同一台站记录的地震动 70% 能量持时与 90% 能量持时的差值较大,反应了地震的主要能量系集中在相对较短的时间内释放。同时,不同台站记录的这两种能量持时,总体上会随震中距的增加而加长。即震中距越大,其相对能量持时越长,而其地震动加速度峰值则很快衰减变小。但表中也有相悖情况,即震中距相对大的台站记录的加速度峰值却增大,或相对持时反而短。这反应出地面地震动参数(地震动强度、持时、频谱)受诸多因素(震源、传播路径、场地条件)综合作用影响的复杂性,许多问题需待研究。1/5 相对持时反应的是加速度峰值的 1/5 量值首次出现与末次出现之间的时间长度。尽管一个完整的地震动加速度记录具有记录波形连续、规整且幅值变化均匀特征(任叶飞等, 2011),但一些震动脉冲会时常出现在强震动时程记录中,这样可能会使 1/5 相对持时的长短不能正确地反应出地震动主要能量释放的长短。

5 结语

“十五”以来,我国强震动观测台站数量增加很快,获取了大量的近远场强震动记录。这些记录涵盖了不同观测场地和观测对象、不同地震震级范畴。这为研究我国不同大地构造单元上不同观测场地条件或观测对象下的地震动特性提供了较丰富的基础数据。“6·24”宁蒗—盐源 5.7 级地震,西南强震动台网有 9 个固定台获取了主震记录。根据这些记录,笔者对此次地震的地震动的一些特征及谱烈度与宏观烈度的一致性等进行了初步分析,一些问题有待深入研究。

参考文献:

- 崔建文,李世成,高东,等. 2006. 西南分区地震动衰减关系[J]. 地震研究,29(4):386-391.
- 胡聿贤. 2006. 地震工程学(第二版)[M]. 北京:地震出版社.
- 李世成,崔建文,韩新民. 2003. 云南地区地震烈度衰减特征研究[J]. 中国地震,19(3):287-294.
- 李世成,崔建文,张潜,等. 2011. 2009 年姚安 6.0 级地震强震动应急观测的数据处理及其震害启示[J]. 灾害学,26(4):82-88.
- 林淋,孙景江. 2011. 不同地震动参数与地震烈度相关性对比研究[J]. 地震工程与工程振动,31(1):6-10.
- 任叶飞,温瑞智,周宝峰. 2011. 强震动记录编目—以汶川余震流动观测记录为例[J]. 震灾防御技术,6(4):406-415.
- 王玉石,周振华,兰日清. 2010a. 利用修正谱烈度确定我国西部地区仪器烈度的建议方法[J]. 应用基础与工程科学学报,18(sup):2-11.
- 王玉石. 2010b. 地震动强度及其特征分析[D]. 哈尔滨:中国地震局工程力学研究所,36-53.
- 云南防震减灾网. 2012. 姚安 $M_s 6.5$ 地震震源破裂过程研究. (2012-07-16) [2012-07-29]. <http://www.eqyn.com/manage/html/f808181126bebd01126bec4dd00001/yjdzst/index.html>.
- 周雍年. 2011. 强震动观测技术[M]. 北京:地震出版社.
- Boore D M, Bommer J J. 2005. Processing of strong-motion accelerograms: needs, options and consequences[J]. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 25(2):93-115.
- Boore D M, Stephens C D, Joyner W B. 1999. Comments on baseline correction of digital strong motion data: Examples from the 1999 Hector Mine, California, earthquake[J]. BSSA, 92(4):1543-1560.
- GB/T17742-2008, 中国地震烈度表[S].
- Husid R L. 1969. Analisis de Terremotos: Analisis General, Revista del IDIEM[J]. Santiago Chile, 8(1):21-42.
- Kazi R, Karim, Fumio Yamazaki. 2002. Correlation of JMA Instrumental Seismic Intensity with Strong Motion Parameters[J]. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 31(5):1191-1212.
- Li X J, Zhou Z H, Moh Huang, et al. 2008. Preliminary Analysis of Strong Motion Recordings from the Magnitude 8.0 Wenchuan, China, Earthquake of 12 May 2008[J]. Seismological Research Letters, 79(6):844-854.
- Trifunac M D, Brady A G. 1975. On the Correlation of Peak Acceleration of Strong Motion with Earthquake Magnitude Epicentral Distance and Site Condition Proc[D]. US Nat Conf Earthquake Engineering. 43-52.

Strong Motion Records and their Preliminary Analyze of Ninglang-Yanyuan *M*5.7 Earthquake in Digital Strong Motion Network

LI Shi-cheng, LIN Guo-liang, CUI Jian-wen, LIU Qiong-xian, ZHANG Yan-qi, ZHANG Qian
(*Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China*)

Abstract

The strong motion records and their data processing of Ninglang-Yanyuan *M*5.7 earthquake on Jun. 24, 2012 are introduced. Using strong motion records, we calculated the spectrum intensity and compared it with macroscopic intensity on ground distribution. We also preliminary calculated and analyzed the relative duration, energy duration, the attenuation of peak acceleration and the variation of predominant frequency over epicenter distance. The result showed that the instrument intensity corrected by the spectrum intensity which was calculated by strong motion recordings is concordant with the macroscopic intensity; however the long axis directions difference between spectrum intensity counter and macroscopic intensity is about 20°. The speed of ground peak acceleration attenuation varies from the distance of epicenter, and the attenuation of vertical predominant frequency of the three-component acceleration response spectrum was more slowly than that of horizontal. In addition, the duration of ground strong motion was restricted by many factors which include epicenter distance or site conditions at times.

Key words: Ninglang-Yanyuan *M*5.7 earthquake; strong motion records; peak acceleration; spectrum intensity; energy duration