

文章编号: 1006-6616 (2011) 01-0027-14

龙门山断裂带 WFSD 数字地震台网 监测能力及动态范围分析

马秀敏^{1,2}, 彭 华^{1,2}, 姜景捷^{1,2}, 彭立国¹

(1. 国土资源部 新构造运动与地质灾害重点实验室, 北京 100081;

2. 中国地质科学院 地质力学研究所, 北京 100081)

摘 要: 5.12 汶川特大地震后, 为了监测地震的发展趋势, 探讨大范围的构造应力场作用, 在龙门山断裂带上及时布设临时数字地震台网。数字台网由 11 个数字地震台组成, 遍布龙门山断裂带的北东缘和南西端。为了分析 WFSD 数字地震台网监测能力及其动态范围, 随机抽取一定数量台站观测数据, 通过傅立叶变换和功率谱密度分析, 获得台基地动噪声均值, 进而分析观测系统的动态范围和台网监测能力。根据计算结果与记录的大量微震对比研究, 表明在龙门山断裂带上, WFSD 数字地震台网具有监测 M_L 1.5 级微地震的能力, 且与中国地震局台网中心发布的地震结果基本吻合。因此, WFSD 数字地震台网可为龙门山断裂带变形机制研究提供基础的观测资料。

关键词: 龙门山断裂带; WFSD; 数字地震台网; 监测能力; 动态范围

中图分类号: P315.6

文献标识码: A

0 引言

2008 年 5 月 12 日, 中国四川省汶川县发生了 8.0 级特大地震, 造成了巨大的人员伤亡和经济损失, 震感波及全国^[1]。地震导致大量房屋倒塌, 并诱发了强烈的山崩、滑坡、塌方和泥石流等次生地质灾害, 造成近 8 万人死亡, 37 万多人受伤, 4500 多万人流离失所, 导致上万亿元的财产损失。我国地球科学工作者心系祖国和人民, 为减少地质灾害开展了全方位的调查研究工作^[2-5]。大地震后的快速钻探是研究地震机制和捕捉余震直接信息的有效方法之一, 已为世界地学界所公认^[6]。2008 年 8 月, 在许志琴院士的倡导下, 国家科技支撑“汶川断裂带科学钻探”项目在龙门山地震断裂带上迅速展开, 从而揭开了我国对地震快速反应、地震发震机理的研究序幕。国内外的一些研究表明, 通过对现今小震震源位置群体特征和震源机制的研究, 可得出历史大震震源断裂的位置及其构造应力场作用下的运动方

收稿日期: 2010-10-25

基金项目: 科技支撑计划项目“汶川地震断裂带科学钻探”——“井中科学探测”课题“地震断裂带的应力环境、应变能的分布及其与地震关系”课题和地调项目(1212010916064)联合资助。

作者简介: 马秀敏(1978-), 男, 助理研究员, 主要从事地震地质、地应力测量、地壳稳定性调查与评价、地质灾害、围岩稳定性等方面的研究工作。E-mail: maxiumin2@163.com

2 地质背景

龙门山地震破裂带位于人口密集的四川省成都盆地西缘，是四川盆地的西北界；北西与松潘—甘孜褶皱系为邻，南东与扬子地台—四川盆地接壤，北东为秦岭构造带所截，南西与康滇地轴相接，为我国西部地槽区与东部地台区接壤地带，是北起广元，南达天全，长约 500 km，宽为 50~80 km 的狭长地带。龙门山中段是指界于北川和都江堰之间的部分，以后山带出露彭灌杂岩和前山带发育飞来峰群为显著特征^[11]。龙门山推覆构造的主体由 3 条近于平行的北东—南西向的区域性大断裂构成，分别为汶川—茂县断裂（后山断裂）、映秀—北川断裂（中央断裂）和灌县—江油断裂（前山断裂）。

2008 年 5.12 汶川特大地震发生以及龙门山向南东方向推覆的动力来源是印度板块与欧亚大陆碰撞及其向北的推挤的结果（见图 2）^[10]。这一板块间相对运动导致了亚洲大陆内部大规模的构造变形，造成了青藏高原地体向东挤出、地貌隆升。但龙门山断裂带的地壳水平位移速率极低^[2,12]，而与刚性的阿拉善地块、鄂尔多斯地块和扬子地块接壤的整个青藏高原北缘和东缘，GPS 测量均显示水平位移速率为低值（小于 3 mm/a），而汶川 8.0 级特大地震就发生在青藏高原的东缘——龙门山断裂带上。汶川地震究竟在什么样的应力环境下产生？其发震成因机制如何？这些问题需要通过诸如数字微地震台网地震观测、科学钻探、地应力监测等等多种渠道去探索。

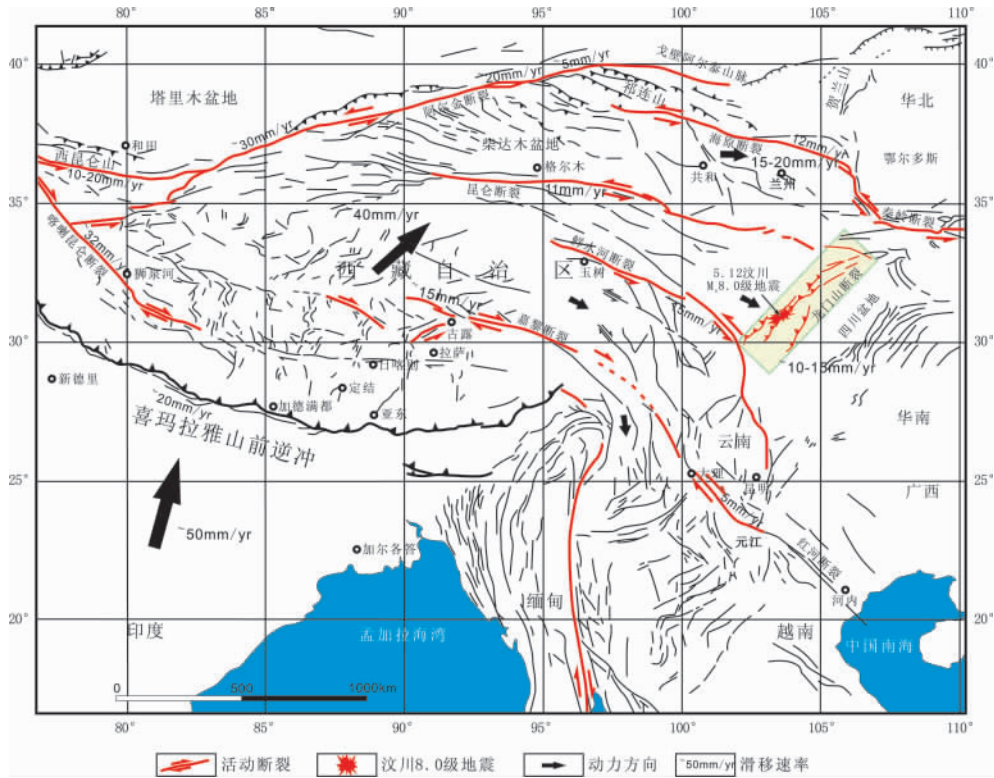


图 2 龙门山断裂带地质构造背景

Fig. 2 Geotectonic background in Longmenshan fault zone

3 台网概述及部署

龙门山断裂带数字地震台网由 1 个数据处理中心和 11 个数字地震台站组成（见表 1），台网东西约 110 km，南北约 120 km。地震台站主要分布在龙门山的东北缘和西南端（见图 3）。数字地震台站由地震计、数据采集器、通信设备和供电系统组成。地震发生后，大安台站首先于 2008 年 6 月建成并传回地震数据（见图 4）。

表 1 龙门山断裂带数字地震台网位置及相应参数

Table 1 Location and corresponding parameters of the digital seismic network in Longmenshan fault zone

台站编号	台站名称	地理位置			地震计型号	频带类型	响应参数			台站基岩	数据传输方式
		经度 / (°)	纬度 / (°)	高程 / m			灵敏度 (UD)	灵敏度 (EW)	灵敏度 (SN)		
WCX	汶川	103.48	31.34	1258.0	FSS-3M	短周期	2052.84	2033.79	2047.56	灰岩	CDMA
SPX	松潘	103.73	32.36	2558.9	FSS-3M	短周期	2008.33	2043.66	2037.42	灰岩	CDMA
BKZ	碧口镇	105.23	32.77	676.1	FSS-3M	短周期	2033.17	2051.27	2029.15	灰岩	CDMA
JMG	剑门关	105.55	32.24	660.8	FSS-3M	短周期	2055.03	2022.71	2038.20	砾岩	CDMA
BJM	八角庙	103.69	31.15	1090.8	FSS-3M	短周期	2055.03	2022.71	2038.20	土层	DDN
YPG	阳平关	106.09	32.99	595.1	FSS-3M	短周期	2007.96	2024.12	2007.53	灰岩	CDMA
DAZ	大安镇	106.31	33.05	655.5	FSS-3M	短周期	2038.59	2006.97	2059.41	花岗岩	CDMA
HWZ	汉旺镇	104.18	31.46	710.1	FSS-3M	短周期	2040.00	2040.00	2040.00	土层	CDMA
XLZ	西来镇	103.51	30.29	519.7	FSS-3M	短周期	2043.09	2020.35	2044.23	土层	CDMA
ZC	纸厂	103.70	31.15	1164.4	BBVS-420	宽频	2020.10	1991.40	2012.90	土层	CDMA
HJP	黄金坪	103.68	31.15	1108.6	FSS-3M	短周期	2036.30	2047.20	2031.70	灰岩	GPRS

① 地震计是将地面运动直接转换成电压型的设备。在龙门山断裂带地震台网中除了纸厂台站（ZC）采用三分向一体安装的宽频带地震计（频带范围在 120 s ~ 60 Hz）外，其他 10 个台站均采用了短周期三分量地震计（频带范围在 2 s ~ 50 Hz）。

② 数据采集器是将地震计输出的模拟电压量转换为数字化电压量的装置。龙门山断裂带数字地震台网均采用北京港震公司生产的 EDAS-24 型低功耗地震数据采集器，它具有 24 位 A/D 转换器、分辨率高、动态范围大的特点，其动态范围大于 130 dB（采样率为 50Hz 时）。

③ 通信设备：地震台站至台网中心的八角庙台站（BJM）采用 DDN 专线传输，传输速率 9600 bps；其它各台站均采用 CDMA 无线传输，带宽 25 KC，传输速率为 4800 bps。

④ 供电系统：由于大部分台站放置在野外，附近没有接交流电的条件，所以对各台站的供电采用了市电、太阳能 + 蓄电池相结合 2 种供电方式。

⑤ 台网中心系统：具有对多路地震波形数据收集、地震台站数据采集器监管、地震事件检测、地震波形数据记录及地震事件处理等功能。

综合上述，整个数字地震观测网络采用了先进的数字观测技术，具有宽频带、动态范围大、分辨率高等特点，可获得高精度的地震波形数据。从运行的实践看，对龙门山断裂带附

近地区的微小地震以及 $<1000\text{ km}$ 的 $M_L > 4.0$ 的中远震，地震波记录清晰。

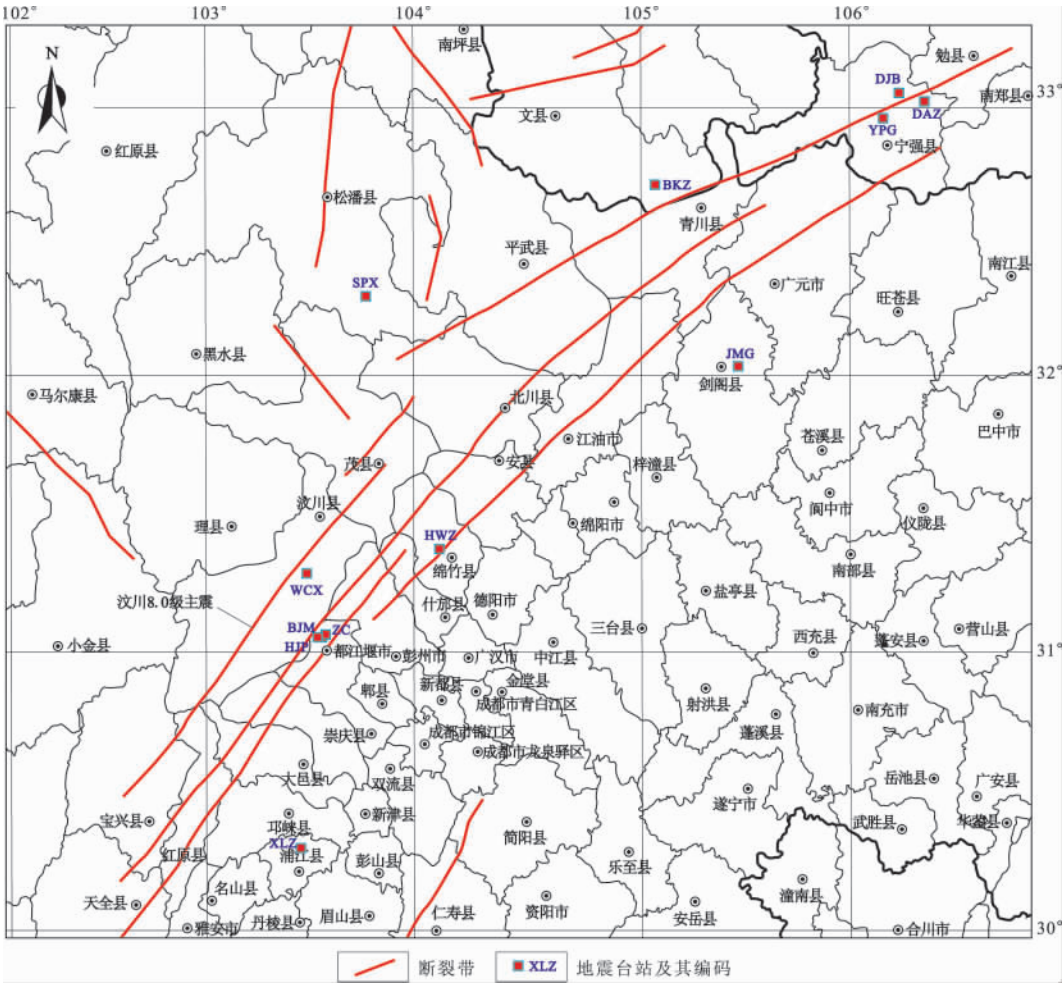


图 3 龙门山断裂带数字地震台站分布

Fig. 3 Distributions of the digital seismic stations in Longmenshan fault zone



图 4 大安地震台站

Fig. 4 The Da'an digital seismic station

4 地震台站台基背景噪声分析

WFSD 台网是要真实地记录龙门山地区地震引起的地面运动过程,为项目研究震后余震的发生发展趋势、震后断层活动、震后地面运动提供充分和完善的基础数据。其任务是监测震区乃至整个龙门山地区的微震及小震,进行定位和震源机制分析,以确定震后区内所发生地震的空间分布和震源的力学机制。台网对区内地震的观测和监控能力对项目研究十分重要,需要对台网的监测能力进行分析。因此,台网部署完成后,对龙门山断裂带上所有台站进行了台基背景噪声分析,以此为基础计算各个台站观测动态范围和地震监控能力,并进一步结合台网实际记录的地震事件进行了检验。

影响台网地震监控能力及观测动态范围的主要因素有:地震台观测系统观测灵敏度、台基背景噪声、仪器动态范围等^[13]。选择 2009 年 4 月的台站记录,在日常观测数据中随机选取 10 天,将每天的观测数据分为 6 个观测时段,从每个观测时段中抽取 60 s 连续记录。在选取数据时尽量避开了地震、标定和其他偶然干扰(如车辆、爆破、工业生产振动和电磁等人为干扰以及起风、下雨、气压骤变等天气干扰),共选取 360000 点数据(相当于 1 个小时的数据),组合为分析样本。

功率谱密度计算采用经典谱估计的周期图法,它把随机信号 $f(x)$ 的 N 点观测数据视为能量有限信号,直接取 $f(x)$ 的傅立叶变换,得 $F(u)$:

$$F(u) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) e^{j(-2\pi ux/N)} = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) (\cos 2\pi ux/N - j \sin 2\pi ux/N) \quad (1)$$

然后再取其幅值的平方作为对 $f(x)$ 真实的功率谱 $P(u)$ 的估计^[14]。

$$P(u) = |F(u)|^2 \quad (2)$$

台站台基地动噪声有效值 RMS 与功率谱有如下关系:

$$RMS = \sqrt{2 \times PSD \times f_c \times RBW} \quad (3)$$

式中: PSD ——功率谱密度; f_c ——分度倍频程中心频率; RBW ——相对带宽。

相对带宽 RBW 由下式计算:

$$RBW = (f_u - f_d) / f_c \quad (4)$$

式中: f_u ——分度倍频程上限频率; f_d ——分度倍频程下限频率。

台站分析样本功率谱的具体计算步骤如下:

- ① 去直流偏移;
- ② 将 Counts 转换为速度;
- ③ 采用窗函数抑制频谱泄漏;
- ④ 傅立叶变换;
- ⑤ 扣除仪器响应,最后得到功率谱密度函数。

计算过程利用北京港震公司提供的 Noise_psd 011 噪声功率谱密度测定程序对样本进行分析,得到各台站 1/3 倍频程 (1 ~ 20 Hz) 频带内的台基地平均噪声功率谱密度值 (见图 5) 和地动噪声的 RMS 值 (UD 向) (见表 2)。龙门山活动断裂带数字地震台网所有台站的台基背景噪声均在 10^{-8} m/s 数量级上,最优的达到了 1.548×10^{-8} m/s。

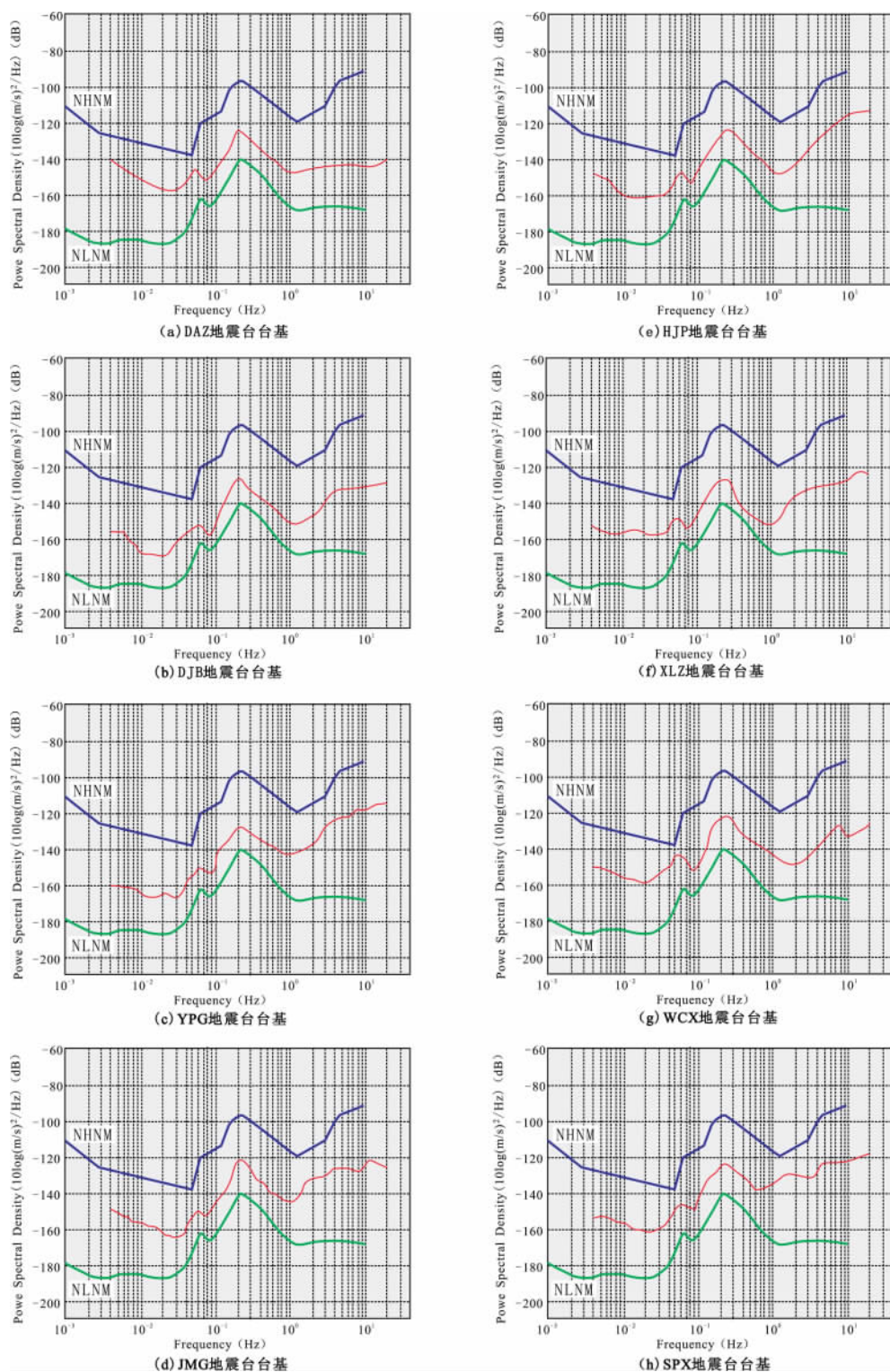


图 5 各子台台基地动噪声功率谱密度图

Fig. 5 Noise power spectral density maps of the sub-station bases

表 2 龙门山断裂带数字地震台网子台背景噪声

Table 2 Sub-station background noise of the digital seismic network in Longmenshan fault zone

台站名称	$RMS/(10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})$	台站名称	$RMS/(10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})$
大安镇	4.344675	黄金坪	1.933275
代家坝	3.955031	西来镇	8.619639
阳平关	1.589951	汶川县	1.547802
剑门关	5.829935	岷江乡	4.335328

5 台站观测动态范围分析

台站观测的动态范围反映了台站记录大地震事件完整波形的能力。数字地震记录受观测仪器、传输方式和场地脉动噪声的影响，而模拟地震台站信号在传输过程中易受到干扰，观测动态范围一般在 45 dB 左右^[13]。数字台站采用数字化传输，主要是线路带宽对采样率的限制和影响，在带宽允许的条件下，考虑到数字地震台站根据本地区地动噪声不同，如使用 24 位数据采集器，观测动态范围可达到 90 ~ 130 dB。

目前常用的地震数据采集器为 24 位，量程为 $\pm 2^{23}$ (± 8388607)，本身的动态范围达到 138.4 dB。考虑到台站台基地动噪声的影响，台站观测的有效动态范围为：

$$D = 20\log \frac{R}{RMS \times S \times \sqrt{2}P} \quad (5)$$

式中： R ——EDAS-24IP 地震数据采集器量程， 2^{23} counts； RMS ——台站台基地动噪声有效值，m/s； S ——系统灵敏度，counts/ $\mu\text{m/s}$ ； P ——数采的量程修正值（1.33）； $\sqrt{2}$ 为有效因子。

本文中 8 个典型观测台站的动态范围全部接近或超过 100 dB，最优的达到了 114 dB，完全符合规范要求（见表 3）。由于各台站台基背景噪声水平中等，在取得较好观测动态范围的情况下，台网仍保持了较高的系统观测灵敏度。

表 3 龙门山断裂带数字地震台网各子台站观测动态范围

Table 3 The sub-station observation dynamic ranges of the digital seismic network in Longmenshan fault zone

台站名称	使用观测仪器	动态范围/dB	台站名称	使用观测仪器	动态范围/dB
大安镇	FSS-3M + EDAS-24IP	102.17	黄金坪	FSS-3M + EDAS-24IP	109.20
代家坝	FSS-3M + EDAS-24IP	102.98	西来镇	FSS-3M + EDAS-24IP	96.21
阳平关	FSS-3M + EDAS-24IP	110.90	汶川县	FSS-3M + EDAS-24IP	111.13
剑门关	FSS-3M + EDAS-24IP	99.61	岷江乡	FSS-3M + EDAS-24IP	102.18

6 台网监控能力分析

台网的监测能力取决于各地震台的布置位置、密度、台址背景噪声、所用仪器的频带和仪器响应灵敏度设置的高低。选择优良的台基，尽量安装在基岩和洞中，避开地表杂波和气象因素及人类活动的干扰，合理地搭配仪器频带范围和响应灵敏度，才能有效地发挥数字地震仪的动态范围，做到既能较清晰记录微小地震，又能使完整记录较大地震的能力得到延伸^[15]。通过以上各台的背景噪声值与动态范围的分析，本文抽取样本计算了台网监测地震

的下限范围, 其上限范围需要根据震中距的增大、台网记录不限幅地震的能力而定。

6.1 样本计算

台网地震监控能力通常是指对微小地震的监测能力, 主要取决于地震计的响应灵敏度、观测动态范围和台基地动噪声平均水平^[13]。

由于地动噪声的存在, 地震仪分辨小于噪声的信号是困难的, 尽管目前已有各种从噪声中提取信号的技术, 但由于噪声的随机性和不确定性, 目前地震研究一般不用小于噪声的信号。因此, 安装现代高灵敏地震仪的台站, 台网对微小地震的监测能力主要取决与台基地动噪声水平。

本文仍然使用上述计算台基地动噪声水平时的样本, 选取东西和南北向数据滤去直流分量后, 计算地动噪声幅值的有效值; 然后将 2 个水平向的地动噪声有效值进行平均, 再扩大 6 倍, 作为能识别 S 震相的阈值, 此时 P 震相也能较为清晰地分辨, 这样就使得对地震记录有足够充分的分辨率。

根据 S 波最大振幅确定近震震级的计算公式, 用量规函数反推单台控制距离 (震中距 Δ)。取 4 个以上台站监测某一震级地区的相关区域, 确定台网的监控能力。具体计算方法为:

根据短周期地震仪近震震级公式:

$$M_L = \lg A\mu + R(\Delta) + S \quad (6)$$

将 $A\mu = \frac{V_{NS} \times T_{NS} + V_{EW} \times T_{EW}}{2 \times 2\pi}$ 代入 (6) 式, 可将短周期地震仪近震震级公式改写为:

$$R(\Delta) = M_L - \lg \left(\frac{V_{NS} \times T_{NS} + V_{EW} \times T_{EW}}{2 \times 2\pi} \right) - S \quad (7)$$

式中: V_{NS} ——南北向 S 波最大速度振幅值, μm ; T_{NS} ——南北向 S 波最大速度振幅的周期值; V_{EW} ——东西向 S 波最大速度振幅值, μm ; T_{EW} ——东西向最大速度振幅的周期值; $R(\Delta)$ ——量规函数, 其物理意义是地震波随距离的衰减; S ——台站改正值, 一般情况下取 0。

通过上述公式计算出台网中每个子台可检测某一震级地震的最大距离 (见表 4)。以各台站为圆心, 以各台站检测到同一震级的最大距离为半径画圆, 有 4 个或 4 个以上台站的圆弧包围的区域就是台网对某一震级的地震能够控制的监测范围。将不同震级的监测范围叠加起来, 就反映出整个台网的监控能力。依据上述理论, 对龙门山断裂带数字 WFSD 地震监测台网的监控范围进行了计算和划分, 结果表明在整个龙门山断裂带上, 具有监测 $M_L 1.5$ 级地震的能力 (见图 6)。

但应强调的是, 此方法在计算中的设定条件和实际地动噪声水平间有一定差异, 地震监测还受各种环境和人为干扰因素影响, 加上地震计的动态影响, 所以获得结果只能粗略地反映台网对地震的控制范围, 与实际监测可能有一定差异。

6.2 监测结果检验

龙门山地震断裂带数字台网在 2008 年 6 月至 2009 年 8 月计 14 个月的运行期间, 记录了数千个 $M_L 1.5 \sim M_L 6.0$ 级地震, 其中 2009 年 3 月 25 日 8:00 汶川台记录到草坡 $M_L 1.5$ 级地震波形 (见图 7)。

本文对龙门山地震断裂带数字台网地震记录波形及定位结果与国家地震局台网数据中心定位结果进行了对比, 结果见表 5。从表 5 中可见: 两个台网地震三要素定位基本吻合, 所

以龙门山地震断裂带数字台网能够满足地震活动监测和地震预报的需要。

表 4 台站水平向最大噪声位移和不同震级对应的震中距

Table 4 The maximum noise displacement of stations level direction and corresponding epicentral distance of different magnitude

台站名	水平向背景 噪声位移/ μm	$M_L = 1.5$ 级	$M_L = 2.0$ 级	$M_L = 2.5$ 级	$M_L = 3.0$ 级	$M_L = 3.5$ 级	$M_L = 4.0$ 级
		Δ/km	Δ/km	Δ/km	Δ/km	Δ/km	Δ/km
大安镇	0.00161	89.3	150.8	254.5	429.6	725.0	> 1000
代家坝	0.00203	80.3	135.6	228.9	386.3	651.9	> 1000
阳平关	0.00149	92.5	156.2	263.7	445.0	751.0	> 1000
剑门关	0.00103	109.2	184.3	311.1	525.0	886.1	> 1000
黄金坪	0.00124	100.5	169.6	286.3	483.2	815.5	> 1000
西来镇	0.00125	100.0	168.7	284.8	480.7	811.2	> 1000
汶川县	0.00143	94.3	159.1	268.5	453.2	764.9	> 1000
岷江乡	0.00117	103.2	174.3	294.1	496.4	837.8	> 1000

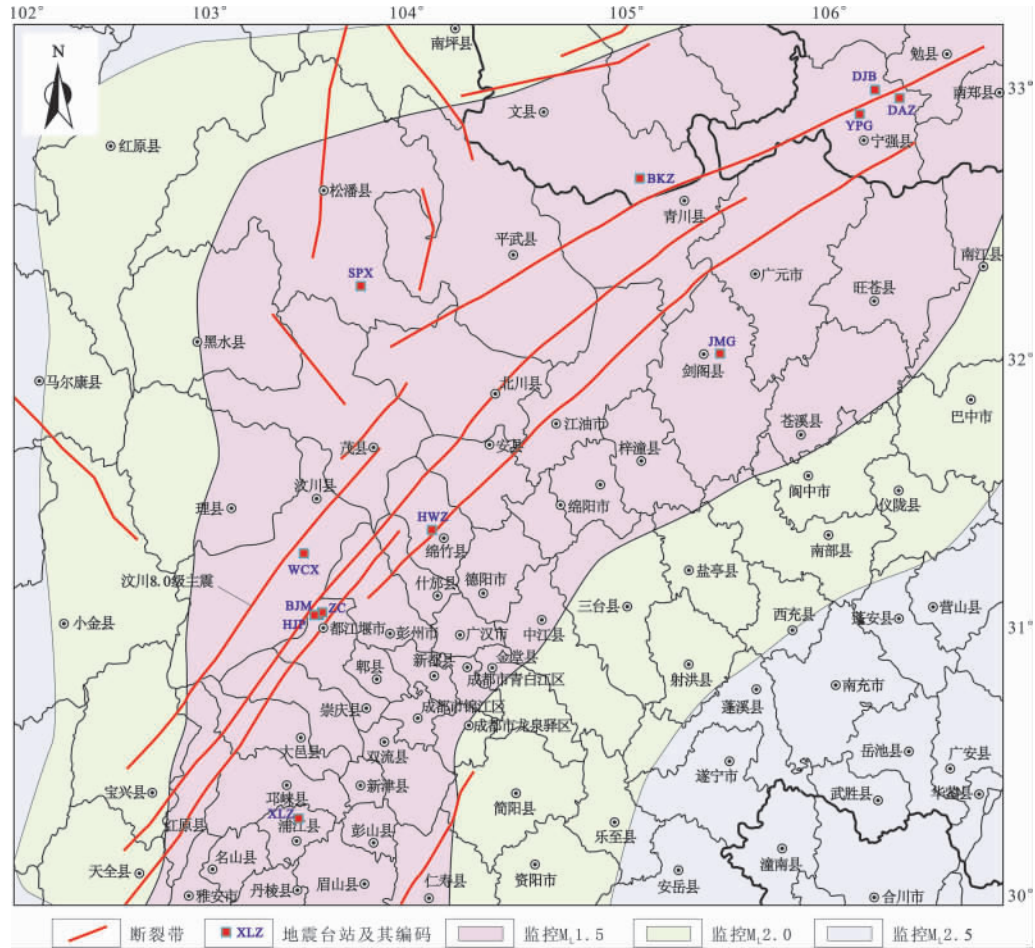
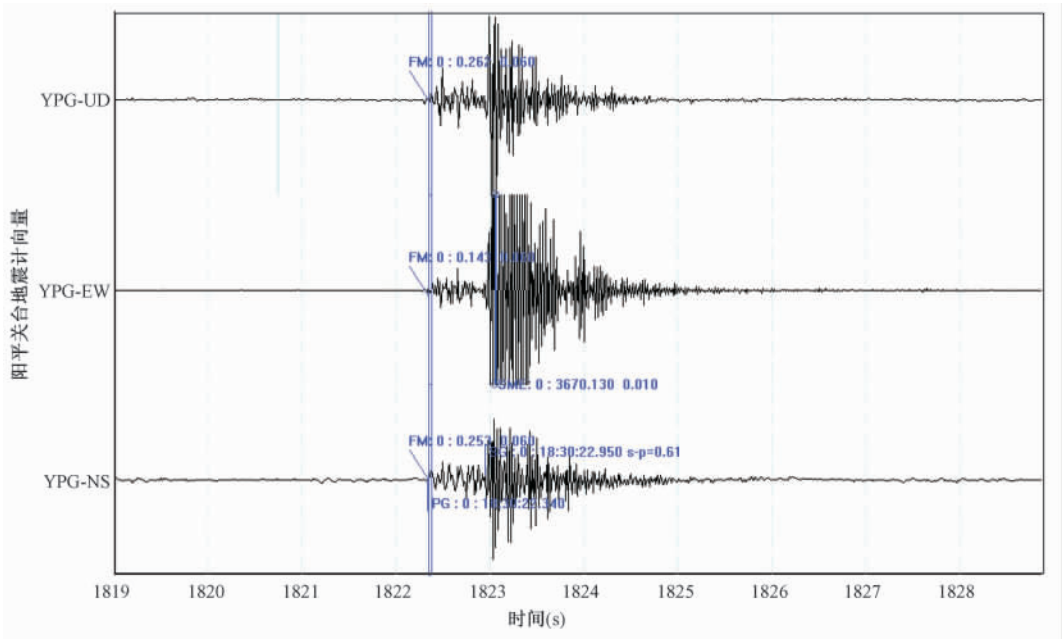


图 6 龙门山断裂带数字地震台网监测能力示意图

Fig. 6 Monitoring capacity of digital seismic network in the Longmenshan fault zone



UD—上下向分量；EW—东西向分量；NS—南北向分量

图 7 汶川台记录的草坡 M_L 1.5 级地震波形 (20 km) (2009 年 3 月 25 日 8: 48)

Fig. 7 The recorded earthquake waveform (M_L 1.5) of Caopo station at Wenchuan

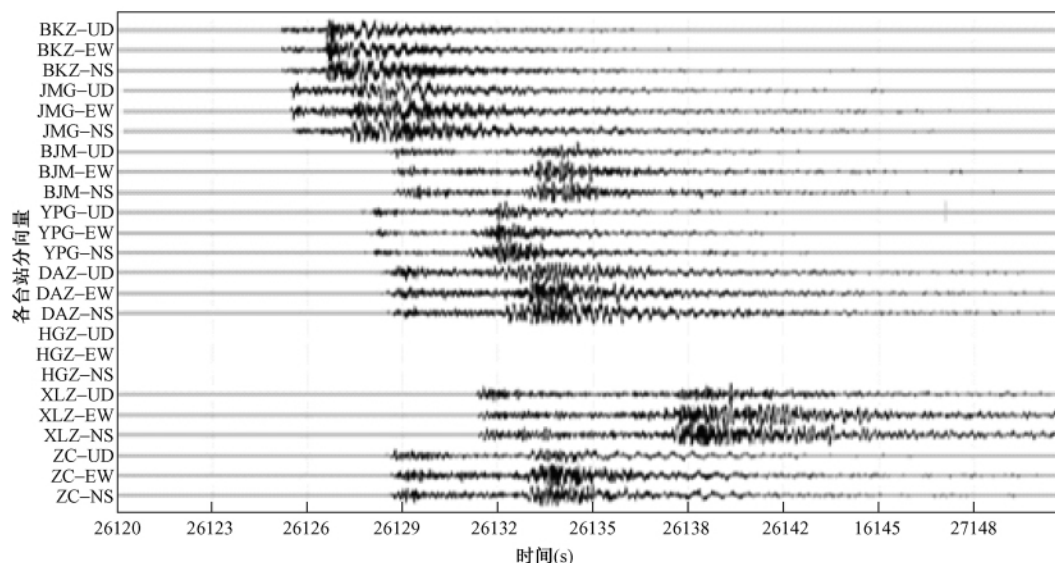
表 5 2009 年 5 月 ~ 2009 年 8 月龙门山数字台网与国家地震局台网中心定位结果对比

Table 5 Compared positioning results ($M_L \geq 4.0$) of the Longmenshan digital seismic network to the State Seismological Bureau network center on May to August , 2009

台网	发震日期	发震时刻	纬度	经度	震级	地点	评价
龙门山台网 国家地震局	2009-05-14	23: 49: 29	32. 369	104. 778	4. 5	绵阳市平武县	基本 吻合
		23: 49: 28	32. 3	104. 8	4. 2	绵阳市平武县	
龙门山台网 国家地震局	2009-06-30	02: 03: 51	31. 307	104. 112	5. 4	四川省绵竹市	基本 吻合
		02: 03: 50	31. 5	104. 0	5. 6	德阳市什邡市、绵竹市交界	
龙门山台网 国家地震局	2009-06-30	13: 40: 23	31. 519	103. 939	4. 4	德阳市什邡市	吻合
		13: 40: 24	31. 5	104. 0	4. 3	德阳市什邡市、绵竹市交界	
龙门山台网 国家地震局	2009-06-30	15: 22: 23	31. 461	104. 181	4. 9	绵竹市	吻合
		15: 22: 19	31. 5	104. 0	5. 0	德阳市什邡市、绵竹市交界	
龙门台网 国家地震局	2009-07-17	22: 35: 42	31. 228	104. 260	4. 5	绵竹市	基本 吻合
		22: 35: 41	31. 4	103. 9	4. 5	彭州市、德阳市什邡市交界	
龙门山台网 国家地震局	2009-08-01	05: 54: 38	31. 774	104. 029	4. 5	阿坝藏族羌族自治州茂县	基本 吻合
		05: 54: 38	31. 8	104. 1	4. 1	阿坝藏族羌族自治州茂县	
龙门山台网 国家地震局	2009-08-04	06: 18: 12	31. 136	103. 648	4. 3	成都市都江堰市	基本 吻合
		06: 18: 13	31. 2	103. 6	4. 0	成都市都江堰市	

注: $M_L \geq 4.0$

龙门山地震断裂带数字台网所记录的地震波形完整,震相容易分辨,如:四川省平武县 $M_L 4.2$ 级地震波形(见图8)。



UD—上下向分量; EW—东西向分量; NS—南北向分量

图8 2009年5月14日四川平武县 $M_L 4.2$ 级地震波形

Fig. 8 The $M_L 4.2$ seismic waveform on May 14, 2009 at Pingwu County, Sichuan Province

WFSD 数字地震台网建成后,通过后期实践检验,具有布局合理、宽频带、动态范围大、精度高等特点。该数字地震台网将会提高 WFSD 项目辅助观测地震技术水平,对加快特大地震机理及发震机制研究有着重要作用。

7 结论

(1) 通过对龙门山断裂带地震观测样本分析,获得各台站 $1/3$ 倍频程 ($1 \sim 20$ Hz) 频带内的台基地平均噪声功率谱密度值和地动噪声的 RMS 值 (UD 向)。表明各台站的台基背景噪声均在 10^{-8} m/s 数量级上,最优的达到了 1.548×10^{-8} m/s。

(2) 所有观测台站的动态范围全部接近或超过 100 dB,最优的达到了 114 dB,完全符合规范要求。由于各台站台基背景噪声水平中等,在取得较好观测动态范围的情况下,台网保持了较高的系统观测灵敏度。

(3) 在整个龙门山断裂带上,龙门山断裂带 WFSD 数字地震监测台网具有监测 $M_L 1.5$ 级地震的能力。

(4) 利用 WFSD 数字台网地震数据记录进行定位和定级,其结果与中国地震局台网中心发布的结果基本吻合。

致谢: WFSD 数字地震台网建设,得到四川、陕西两省有关市、县、镇领导的支持及相关机构同仁的帮助,在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] 彭华, 马秀敏, 姜景捷. 山丹地应力监测站体应变仪的地震效应 [J]. 地质力学学报, 2008, 14 (2): 97~108.
PENG Hua, MA Xiumin, JIANG Jingjie. Analysis of the volume strain data from the Shandan in-situ stress Monitoring Station [J]. Journal of Geomechanics, 2008, 14 (2): 97~108.
- [2] 张永双, 石菊松, 孙萍, 等. 汶川地震内外动力耦合及灾害实例 [J]. 地质力学学报, 2009, 15 (2): 131~141.
ZHANG Yong-shuang, SHI Ju-shong, SUN Ping, et al. Coupling between endogenic and exogenic geological processes in the Wenchuan earthquake and example analysis of geo-hazards [J]. Journal of Geomechanics, 2009, 15 (2): 131~141.
- [3] 谭成轩, 孙叶, 吴树仁, 等. 5.12 汶川 M_s 8.0 大地震后关于我国区域地壳稳定性评价的思考 [J]. 地质力学学报, 2009, 15 (2): 142~150.
TAN Cheng-xuan, SUN Ye, WU Shu-ren, et al. A consideration on regional crustal stability assessment after Ms 8.0 Wenchuan strong earthquake in China [J]. Journal of Geomechanics, 2009, 15 (2): 142~150.
- [4] 王连捷, 崔军文, 周春景, 等. 汶川 5.12 地震发震机理的数值模拟 [J]. 地质力学学报, 2009, 15 (2): 105~113.
WANG Lian-jie, CUI Jun-wen, ZHOU Chun-jing, et al. Numerical modeling for Wenchuan earthquake mechanism [J]. Journal of Geomechanics, 2009, 15 (2): 105~113.
- [5] 姚鑫, 张永双. 基于差分干涉雷达的汶川地震同震形变特点 [J]. 地质力学学报, 2009, 15 (2): 151~161.
YAO Xin, ZHANG Yong-shuang. Co-seismic Deformation of "5.12" Wenchuan earthquake based on D-INSAR [J]. Journal of Geomechanics, 2009, 15 (2): 151~161.
- [6] 许志琴, 李海兵, 吴忠良. 汶川地震和科学钻探 [J]. 地质学报, 2008, 82 (12): 1613~1622.
XU Zhi-qin, LI Hai-bing, WU Zhong-liang. Wenchuan earthquake and scientific drilling [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82 (12): 1613~1622.
- [7] 张宏志, 刁桂苓, 陈祺福. 1976 年唐山 7.8 级地震震区现今地震震源机制分析 [J]. 地震研究, 2008, 31 (1): 1~6.
ZHANG Hong-zhi, DIAO Gui-ling, CHEN Qi-fu. Focal mechanism analysis of the recent earthquakes in Tangshan seismic region of M 7.6 in 1976 [J]. Journal of Seismological Research, 2008, 31 (1): 1~6.
- [8] 张永双, 雷伟志, 石菊松, 等. 四川 5.12 地震次生地质灾害的基本特征初析 [J]. 地质力学学报, 2008, 14 (2): 110~116.
ZHANG Yong-shuang, LEI Wei-zhi, SHI Ju-song, et al. General characteristics of 5.12 earthquake induced geo-hazards in Sichuan [J]. Journal of Geomechanics, 2008, 14 (2): 110~116.
- [9] 王连捷, 周春景, 孙东生, 等. 汶川 5.12 地震引起的库仑应力变化及其对周边地震活动的影响 [J]. 地质力学学报, 2008, 14 (3): 193~200.
WANG Lian-jie, ZHOU Chun-jing, SUN Dong-sheng. Coulomb stress changes caused by Wenchuan earthquake and its influence on seismic activity in the adjacent area [J]. Journal of Geomechanics, 2008, 14 (3): 193~200.
- [10] 彭华, 马秀敏, 姜景捷. 龙门山北端青川断层附近应力测量与断层稳定性 [J]. 地质力学学报, 2009, 15 (2): 114~130.
PENG Hua, MA Xiu-min, JIANG Jing-jie. Stability and stress measurement near the Qingchuan fault in the northern Longmen Mountains [J]. Journal of Geomechanics, 2009, 15 (2): 114~130.
- [11] 刘树根, 田小彬, 李智武. 龙门山中段构造特征与汶川地震 [J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2008, 35 (4): 388~397.
LIU Shu-gen, TIAN Xiao-bin, LI Zhi-wu. Structural features of the central Longmen Mountains and the Wenchuan earthquake in Sichuan, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2008, 35 (4): 388~397.
- [12] Zhang P Z, Shen Z, Wang M, et al. Continuous deformation of the Tibetan Plateau from Global Positioning System data [J]. Geology, 2004, 32: 809~812.

- [13] 李涌, 张艺, 戴仕贵. 阿坝州数字地震台网的动态范围与台网监控能力计算 [J]. 四川地震, 2007, 4: 37 ~ 41.
LI Yong, ZHANG Yi, DAI Shi-gui. Dynamic range and monitoring ability computation results of the Digital Seismic Network of Aba Prefecture [J]. Earthquake Research in Sichuan, 2007, 4: 37 ~ 41.
- [14] 邵玉平, 王翠芳, 宋澄. 地震台网勘选数据的自动化处理 [J]. 四川地震, 2008, 1: 9 ~ 12.
SHAO Yu-ping, WANG Cui-fang, SONG Cheng. The automation of site survey data processing for seismic network [J]. Earthquake Research in Sichuan, 2008, 1: 9 ~ 12.
- [15] 唐明帅, 段天山. “十五”新疆数字地震台网建设 [J]. 地震地磁观测与研究, 2007, 28 (6): 58 ~ 62.
TANG Ming-shuai, DUAN Tian-shan. An introduction of “the Tenth Five-year Plan” digital earthquake network construction in Xinjiang [J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 2007, 28 (6): 58 ~ 62.

ANALYSIS UPON DYNAMIC RANGE AND MONITORING CAPABILITY OF WFSD DIGITAL SEISMIC NETWORK OF THE LONGMENSHAN FAULT ZONE

MA Xiu-min^{1,2}, PENG Hua^{1,2}, JIANG Jing-jie^{1,2}, PENG Li-guo²

(1. Key Lab of Neotectonic Movement and Geohazards, Ministry of Land and Resources, Beijing 100081, China;

2. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: After the 5.12 earthquake in Wenchuan, the temporary digital seismic network has been layout in time in Longmenshan fault zone in order to monitor earthquake trends and probe into the large-scale tectonic stress field activity. Digital seismic network is made of 11 digital seismic instruments, and which are arranged at north eastern margin and southwestern side of Longmenshan fault zone. A certain number of data from observation stations are randomly selected in order to analyze the monitoring capability and dynamic range of WFSD digital seismic network. The dynamic noises of station base are acquired through the Fourier Transform and power spectral density analysis. And then, the dynamic range of observing systems and monitoring capacity of network are analyzed. WFSD digital seismic network has a monitoring $M_L 1.5$ micro-seismic capacity in Longmenshan fault zone based on Comparing the computing results with the record of a large number of micro-seismic. And it basically accorded with the results of that by Seismological Bureau Networks Center of China. Therefore, WFSD digital seismic network can provide a basic observing datum for the deformation mechanism research of Longmenshan fault zone.

Key words: Longmenshan fault; Wenchuan earthquake Fault Science Drilling; digital seismic network; monitoring capability; dynamic range