

文章编号: 1672-9315(2011)06-0854-06

汶川地震断裂带数字地震台网建设与应用*

王锦山^{1,2}, 王力², 彭华³, 张延新⁴

(1. 中国科学院力学研究所, 北京 100190; 2. 河北科技师范学院 外国语学院, 河北 秦皇岛 066004;
3. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 4. 燕山大学 外国语学院, 河北 秦皇岛 066004)

摘要: 为了提高对“5.12”大地震灾害监视和预警的能力,了解地震孕育、发生及发展,研究汶川地震发震机理、地震复发周期和余震的迁移规律,“龙门山断裂带地震台网”建设,在震后迅速展开。该台网于2008-06-02开始正式传输地震数据,为灾后重建选址、地震科学钻探选址提供了可靠数据,同时也为研究龙门山断裂带余震分布情况、余震的迁移方向以及判断断层活动状况提供了科学依据。本文从台网选址、台网设计与建设、台网运行与管理、监测效能等方面介绍了台网的建设与应用。

关键词: 科学深钻; WFSD; 地震监测; 台网建设

中图分类号: P 65 **文献标志码:** A

0 引言

“5.12”汶川特大地震是我国继1976年唐山大地震之后,30 a来损失最惨重、援救最困难的一次强烈地震^[1]。国家科技支撑计划项目《汶川地震断裂带科学钻探》(简称WFSD)是世界上最快回应大地震的地震断裂科学深钻项目,备受国际同行关注。大地震后,在地震断裂带上开展科学深钻,是地震快速反应、取得第一手资料、研究地震发震机理的最直接的手段。自上世纪末陆续启动的大陆科学深钻及其深井底部进行的长期观测等项目,被誉为伸入地球内部的“望远镜”,是促进固体地球及其相关科学技术发展的重大科研项目。其意义不仅在于采取岩石圈地壳岩心进行测试研究,并且利用钻孔深井设置仪器,在无地面干扰背景环境下进行长期观测,直接得到来自地球内部的客观真实信息,使岩石圈地壳变动和地球深部构造研究更加科学化。从长远看,深井长期观测研究成果不仅会推动地球科学的发展,同时为解决人类社会所面临的环境、资源、灾害等问题开拓了崭新的研究途径^[2]。

为了提高对“5.12”大地震灾害监视和预警的能力,了解地震孕育、发生及发展,研究汶川地震发震机理、地震复发周期和余震的迁移规律,WFSD项目《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》课题迅速实施了“汶川地震断裂带(龙门山断裂带)地震台网”建设,并作为井中科学探测的辅助探测。该台网是龙门山断裂带综合地应力监测站的重要组成部分。“5.12”汶川大地震后,先后在龙门山断裂带附近建立了11个数字地震台站,组成台网,开展龙门山断裂带地震监测工作。台网于2008-06-02开始正式传输地震数据,为灾后重建选址、地震科学钻探选址提供了可靠数据,同时也为研究龙门山断裂带余震分布情况、余震的迁移方向以及判断断层活动状况提供了科学依据^[3]。

1 地质背景

龙门山地震断裂带位于人口密集的成都平原西缘,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,北东被秦岭构造带所截,南西与康滇地轴相接,为我国西部地槽

* 收稿日期: 2011-06-25

基金项目: 国家科技支撑计划项目(WFSD); 河北科技师范博士科研启动基金资助项目(2009YB002)

通讯作者: 王锦山(1968-),男,河北唐山人,教授,博士,主要从事地质力学与超前地质预报方面的教学与研究工作。

区与东部地台区接壤地带。地理上,是北起广元,南达天全,长约500 km,宽约50~80 km的狭长地带。

龙门山逆掩推覆带属青藏高原的东缘,是于中生代和新生代在扬子克拉通西缘因构造活动引发而成的逆冲推覆带。从印支期开始,龙门山开始由北向南的推覆造山活动,喜山期则遭受更加强烈的挤压作用,早期的构造被变形改造,地层遭受强烈的多期次构造变形。现今龙门山前构造格局由一系列NE向的往南东方向逆冲的推覆构造带组成^[4]。

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,它们分别是:汶川-茂汶断裂(后山断裂)、北川-映秀断裂(中央断裂)、安县-灌县断裂(前山断裂)。

此次汶川地震的发生及龙门山向东南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。这一板块间的相对运动导致了亚洲大陆内部大规模的构造变形,造成了青藏高原的地壳缩短、地貌隆升和向东挤出。由于青藏高原在向东北方向运动的过程中在四川盆地一带遭到华南活动地块的强烈阻挡,使得应力在龙门山推覆构造带上高度积累,以至于沿北川-映秀断裂(中央断裂)突然发生错动,产生8.0级强烈地震^[5]。

2 台网选址

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。11个数字地震台均为地面基岩台站。各台站均采用24位数字地震信号采集、实时数据传输、实时监控、计算机处理及计算机网络等新技术。整个观测系统采用了先进的数字观测技术,具有宽频带、大动态、高分辨率等特点,可获得高精度的地震波形数据,为地震分析预报、地震工程和地震科研提供准确、可靠的地震监测基础资料。

地震台站选址要选择在基岩出露或覆盖层浅,背景噪声低,通信、交通、安全性等较好,且符合当地规划的地点^[6]。由于当时震情紧急,地震台网基站的选址、建设采取了边施工边监测的方法,最初是将地震计架设在临时的基岩平台上,安装后即开始进行地震监测。随后永久台站的建设均按相关规定建设在背景噪声低、干扰少、接地线电阻小于4Ω的地方,经过多次实地勘察后,最后选定11处地点作为永久台址(表1)。

表1 龙门山断裂带数字地震台网地理位置及参数

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

台站缩写	台站名称	地理位置			地震计型号	频带类型	台站基岩岩性	数据传输方式
		经度/(°)	纬度/(°)	高程/m				
WCX	汶川	103.48	31.34	1 258.0	FSS-3M	短周期	灰岩	CDMA
SPX	松潘	103.73	32.36	2 558.9	FSS-3M	短周期	灰岩	CDMA
BKZ	碧口镇	105.23	32.77	676.1	FSS-3M	短周期	灰岩	CDMA
JMG	剑门关	105.55	32.24	660.8	FSS-3M	短周期	砾岩	CDMA
BJM	八角庙	103.69	31.15	1 090.8	FSS-3M	短周期	土层	光纤传输 DNN
YPG	阳平关	106.09	32.99	595.1	FSS-3M	短周期	灰岩	CDMA
DAZ	大安镇	106.31	33.05	655.5	FSS-3M	短周期	花岗岩	CDMA
HWZ	汉旺镇	104.18	31.46	710.1	FSS-3M	短周期	土层	CDMA
XLZ	西来镇	103.51	30.29	519.7	FSS-3M	短周期	土层	CDMA
ZC	纸厂	103.70	31.15	1 164.4	BBVS-120	宽频	土层	CDMA
HJP	黄金坪	103.68	31.15	1 108.6	FSS-3M	短周期	灰岩	GPRS

3 龙门山断裂带地震台网技术系统

3.1 龙门山断裂带地震台网组成

龙门山断裂带数字地震台网系统由各台站、网络传输系统和台网中心组成,台站又包括数据采集单元(含地震计、地震数据采集器、GPS接收器、台站状态监视单元等设备)、台站供电单元、综合避雷单元、数据传输设备等。所有的观测手段均无人值守、实时监测,监测信号直传发送到台网中心^[7]。台网数据传输方式如图1~4所示。

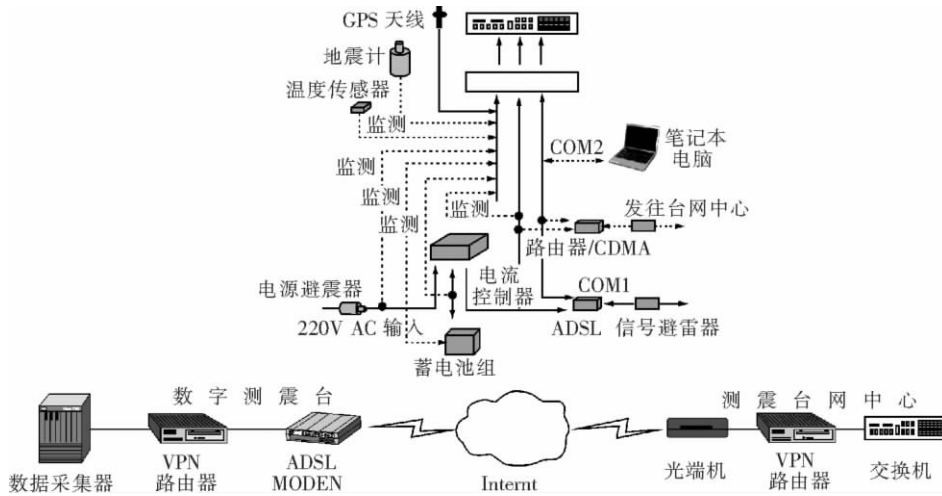


图1 地震台站 ADSL 链路传输网络结构

Fig. 1 Network structure of seismic stations ADSL link transmission

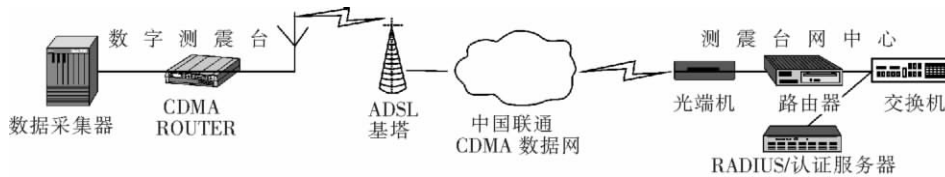


图2 地震台站 CDMA 链路传输网络结构

Fig. 2 Network structure of seismic stations CDMA link transmission

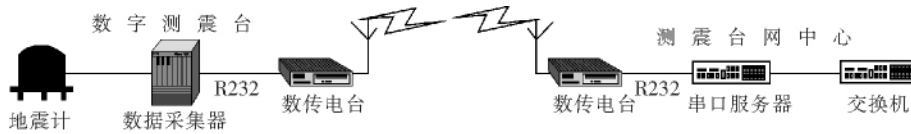


图3 超短波信道传输网络结构

Fig. 3 Network structure of ultrashort wave channel transmission



图4 SDH 链路传输网络结构

Fig. 4 Network structure of SDH link transmission

3.2 龙门山断裂带地震台网设备选型

1) 地震计。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) ,其他10个台站均采用了短周期三分向地震计(频带范围在2 s ~50 Hz)。

2) 数据采集器。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量的装置。龙门山断裂带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。它采用24位A/D转换器。该转换器适用于数字地震台网中的高分率、动态范围大于130 dB的地震数据采集器,技术上达到了国际先进水平。

3) 通信设备。地震台站至台网中心除了八角庙台站(BJM)采用DDN专线传输(传输速率9 600 bps) ,其他各台站均采用中国联通公司提供的CDMA无线传输(带宽25 kC ,传输速率为4 800 bps)。

4) 供电设备。由于大部分台站建设在野外,一般不具备接通交流电的条件,所以对各台站采用了市

电供电和太阳能光伏电源配合蓄电池供电的方式。

5) 软件处理系统。台网中心的作用是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,通过对地震数据的人机处理以确定地震三要素:震中、震时、震级。台网中心服务器安装的数据交换软件 EDSP - DX、实时数据处理系统 EDSP - RTP、交互分析软件 EDSP - IAS,主要用于设置、监测和处理各台站发送回来的地震数据。其中,数据交换软件 EDSP - DX 的主要功能是通过网络接收客户端发送来的实时波形数据、触发信息、定位结果、台站状态信息、网络通信信息、系统运行信息;实时数据处理系统 EDSP - RTP 是为数字遥测地震台网设计的专用处理软件,在台网中心完成实时数据接收、存储、事件检测和自动处理任务;交互分析软件 EDSP - IAS 的主要功能是交互分析地震震相、地震数据复核,通过人机交互的方式分析确定地震震相数据,利用分析得到的震相数据,采用多种地震定位方法计算震中位置参数。

4 龙门山台网运行效能

龙门山地震断裂带数字台网自 2008 年 6 月投入运行以来,已成功监测到各类天然地震和人工地震近万次,其中监测到陕西北强($M_L 1.5$)极微小地震和西藏、云南等地远震多次,并成功监测到 2009 - 05 - 25 朝鲜核试验地震波形。

表 2 龙门山数字台网与国家地震局台网中心定位结果对比($M_L \geq 4.0$)

Tab. 2 Compared positioning results ($M_L \geq 4.0$) of Longmenshan digital seismic network with the State Seismological Bureau network center

台网名称	发震日期	发震时刻	纬度/(°)	经度/(°)	震级	地点
龙门山台网	2009 - 05 - 14	23:49:29	32.369	104.778	4.5	四川省绵阳市平武县
国家台网数据中心	2009 - 05 - 14	23:49:28	32.300	104.800	4.2	四川省绵阳市平武县
龙门山台网	2009 - 06 - 30	02:03:51	31.307	104.112	5.4	四川省绵竹市
国家台网数据中心	2009 - 06 - 30	02:03:50	31.500	104.000	5.6	四川省什邡市绵竹市交界
龙门山台网	2009 - 06 - 30	13:40:23	31.519	103.939	4.4	四川省什邡市
国家台网数据中心	2009 - 06 - 30	13:40:24	31.500	104.000	4.3	四川省什邡市绵竹市交界
龙门山台网	2009 - 06 - 30	15:22:23	31.461	104.181	4.9	四川省绵竹市
国家台网数据中心	2009 - 06 - 30	15:22:19	31.500	104.000	5.0	四川省什邡市绵竹市交界
龙门山台网	2009 - 07 - 17	22:35:42	31.228	104.260	4.5	四川省绵竹市
国家台网数据中心	2009 - 07 - 17	22:35:41	31.400	103.900	4.5	四川省彭州市什邡市交界
龙门山台网	2009 - 08 - 01	05:54:38	31.774	104.029	4.5	四川省阿坝藏族羌族自治州茂县
国家台网数据中心	2009 - 08 - 01	05:54:38	31.800	104.100	4.1	四川省阿坝藏族羌族自治州茂县
龙门山台网	2009 - 08 - 04	06:18:12	31.136	103.648	4.3	四川省都江堰市
国家台网数据中心	2009 - 08 - 04	06:18:13	31.200	103.600	4.0	四川省都江堰市

表 2 是龙门山地震断裂带数字台网监测数据与国家地震局台网数据中心监测数据的对比,从中可以分析龙门山数字台网的监测效能^[8-11]。

5 结论与展望

1) 龙门山断裂带数字地震台网从设计、建设到运行经历了 3 a 多时间的运行检验,记录了大量宝贵的震后地震数据资料,为分析预报地震和开展地震相关研究提供了可靠数据,为地震灾区防震减灾、灾后恢复重建工作发挥了应有的作用。

2) 龙门山台网地震监测,作为《汶川地震断裂带科学钻探》项目中《井中科学探测》和《地震断裂带的应力环境、应变能的分布及其与地震关系》两课题的辅助探测手段,其台网直接建设在发震断裂带上,是对发震断裂带余震的实时探测,其数据更加及时、具体、准确,其灵敏度、精度更高,与井中探测进行对照,其研究结果更加可信。

3) 从龙门山台网与国家地震局台网监测数据对比,可以得出结论:龙门山台网监测效能可靠,可以满足地震活动监测和地震预报的需要。

4) 地震监测要多种途径、方式、手段并用,相互对比、补充、验证,才能达到预测预报的效果。龙门山台网的监测结果是对国家台网监测结果的补充与验证。

5) 近年研究表明,通过对现今小震震源位置群体特征和震源机制的研究,可以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式。大量地震的震源位置和震源机制解,既可以描述震源断层的空间取向和应力场的状态,也能够用来探讨大范围的构造应力场的作用。因此,利用数字地震台网的高精度资料去研究已经发生大震的震源构造是一条可行的途径。

6) 国家应加强数字地震台网的建设,扩大数字地震台网建设的范围,增加台网的密度,使地震监测更加及时、准确。

参考文献 References

- [1] 周荣军,赖敏,余桦,等.汶川 Ms8.0 地震四川及邻区数字强震台网记录[J].岩石力学与工程学报,2010,29(9):1850-1858.
ZHOU Rong-jun, LAI Min, YU Hua, et al. Strong motion records of Wenchuan Ms8.0 earthquake from digital strong earthquake networks in Sichuan and its neighbouring regions[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 29(9): 1850-1858.
- [2] 徐纪人,赵志新,许志琴,等.大陆科学钻探与深井地球物理长期观测研究最新进展[J].地质通报,2004,23(8):721-727.
XU Ji-ren, ZHAO Zhi-xin, XU Zhi-qin, et al. New progress in continental scientific drilling and long-term geophysical observations in deep boreholes[J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(8): 721-727.
- [3] 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.
- [4] 杨国华,李延兴,韩月萍,等.由GPS观测结果推导中国大陆现今水平应变场[J].地震学报,2002,24(4):337-347.
YANG Guo-hua, LI Yan-xing, HAN Yue-ping, et al. Current horizontal strain field in Chinese mainland derived from GPS data[J]. Acta Seismologica Sinica, 2002, 24(4): 337-347.
- [5] 王连捷,崔军文,周春景,等.汶川5.12地震震源机理的数值模拟[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.
- [6] 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 Xiu-min, JIANG Jing-jie. Analysis of the volume strain data from the Shandan in-situ stress monitoring station[J]. Journal of Geomechanics, 2008, 14(2): 97-108.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] John Langbein. Computer algorithm for analyzing and processing borehole strainmeter data[J]. Computers & Geosciences, 2010, 6(5): 611-619.
- [10] 万永革,周公威,郭燕平.中国数字地震台网记录的昆仑山口西地震的球型自由振荡[J].地震,2005,25(1):31-40.
WAN Yong-ge, ZHOU Gong-wei, GUO Yan-ping. Spherical mode of the earth free oscillation excited by the earthquake in the west to the Kunlun mountain pass recorded by China digital seismograph network[J]. Earthquake, 2005, 25(1): 31-40.

- [11] 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 M7.6 in 1976 [J]. Journal of Seismological Research 2008, 31(1): 1-6.

Construction and application of digital seismic network in Wenchuan earthquake fault

WANG Jin-shan^{1 2}, WANG Li², PENG Hua³, ZHANG Yan-xin⁴

(1. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 2. College of Foreign Languages, Hebei Normal University of Science & Technology, Qinhuangdao Hebei 066004, China; 3. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China; 4. College of Foreign Languages, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: In order to improve the monitoring and early warning capacity of "5.12" large earthquake, to know the inoculation, the occurrence and the development of the earthquakes, to research the generating mechanism of strong earthquakes, the earthquake recurrence interval and the regulation of aftershocks migration, the construction of seismic network in Longmenshan Fault Zone developed rapidly after the large earthquake. The data transmission began on Jun, 2, 2008 from this network, it provided the reliability data for reconstruction and the earthquake scientific drilling site selection after the disaster, at the same time it also provided the scientific basis for researching the aftershocks distribution, the migration direction and judging the fault activities in Longmenshan Seismic Belt. From the aspects of network site selecting, network designing and constructing, network operating and managing, monitoring efficiency etc., this paper introduces the construction and application of the network.

Key words: scientific deep drilling; WFSD; seismic monitoring; construction of networks*

* Corresponding author: WANG Jin-shan, Professor, Beijing 100190, P. R. China, Tel: 0086-13780584508, E-mail: wjswgybkd@163.com