

江苏地区小震精定位及构造意义分析^①

霍祝青, 瞿 旻

(江苏省地震局, 江苏 南京 210014)

摘要:利用双差定位法对江苏地区 2009—2015 年地震记录进行重新定位。结果显示,重新定位后的结果比原有定位精度有了较好的改进,地震序列在空间分布上更加集中;从平面分布上看,重新定位后的地震更加集中于断裂带附近,较多地震呈丛集状出现;从震源深度分布看,研究区内重新定位后地震震源深度有明显收敛,大多集中在 5~20 km,表明研究区孕震层基本位于地壳的中上部。同时通过对江苏省不同时期发生的几个震群地震构造活动进行分析(分析各个地震序列的走向、是否产生新的断裂带、与原有断裂带走向是否一致等问题),认为其具有十分重要的意义。

关键词:双差定位;地震序列;地震构造

中图分类号:P315.2

文献标志码:A

文章编号:1000-0844(2016)05-0802-06

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2016.05.0802

Precise Relocation of Small Earthquakes in the Jiangsu Area and Associated Tectonic Implications

HUO Zhu-qing, QU Min

(Earthquake Administration of Jiangsu Province, Nanjing 210014, Jiangsu, China)

Abstract: For this study, we collected one thousand seismic events that occurred in Jiangsu province from 2009 to 2015. Four earthquake sequences occurred successively in this area: Jianhu earthquake sequence, 2011; Gaoyou earthquake sequence, 2012; Guanyun earthquake sequence, 2013; and Donghai earthquake sequence, 2015. We relocated these earthquakes using a double-difference location algorithm. For this analysis it was crucial to establish a reasonable crustal structure therefore, because the double-difference location result was affected by the horizontal velocity model, a more accurate model was required. This paper references the initial model of crustal velocity in Jiangsu and its adjacent regions established by Huangyun. In order to increase the total number of precise location generation events in different areas, this research divided Jiangsu province into seven small areas, and relocated the earthquakes for each. Because the distribution density of the recording stations is different, the number of earthquakes in each area is different. The results show a significant improvement in the relocation results, and the earthquake sequences were found to be more spatially concentrated. The relocated earthquakes were concentrated in obvious bands around faults, and most of them occurred at depths of 5~20 km, suggesting the seismological layer in the region lies in the mid-upper crust. By analyzing the seismic tectonic activity of these earthquake swarms, we were able to investigate: the trend of each earthquake sequence, whether or not a new fault zone was initiated, and whether the trends of the new fault zones were consistent with the old ones. This is of great significance to future

① 收稿日期:2015-10-14

基金项目:中国地震局三结合资助课题(151005)

作者简介:霍祝青(1979—),男(汉族),工程师,现从事地震监测工作。E-mail:hzqbook@126.com。

studies in this area.

Key words: double-difference location; earthquake sequence; seismotectonic

0 引言

本文收集了江苏省 2009—2015 年先后发生的近千条地震事件,在这一时期内研究区域(30°~36°N,116°~122° E)先后发生了四个地震序列:2011 年建湖震群、2012 年高邮地震、2013 年灌云震群及 2015 年东海震群。对这些地震事件进行重新定位,对研究本地区构造活动有着重要意义。

地震定位是地震学的一个基本问题,分为绝对定位法和相对定位法,而主事件定位方法和双差定位法就是典型的相对定位方法。主事件方法^[1]要求作为主事件地震的震源位置和发震时刻精度较高,定位结果依赖于主事件空间位置和发震时刻的精度;双差定位法可以对较大空间范围内发生的地震同时进行重新定位,不需设主地震事件,所有地震事件相对于地震序列的质心位置定位,不依赖于地震事件的初始位置,避免了主事件定位方法的限制条件。目前双差定位法已广泛应用于实际的地震定位,杨智娴等^[2]、李志海等^[3]及张爱民等^[4]将该方法用于地震序列的精确定位,都取得了较好的结果。

本文采用双差定位法,精确定位发生在江苏地区的地震事件,并深入细致地研究这些地震活动与区域内复杂构造的关系,尤其是其与深部断裂的关系。

1 资料选取范围及速度模型

1.1 资料选取

江苏是长江三角地区地震最为活跃的地区之一,近几十年来该省陆地发生的有影响的地震有 1974 年溧阳 $M_s5.0$ 及 1979 年溧阳 $M_s6.0$ 、1987 年射阳 $M_s5.0$ 、1990 年常熟 $M_s5.1$ 及 2012 年高邮 $M_s4.9$ 地震等。最近几年在该省陆地发生的几次比较有影响的地震序列分别是 2011 年建湖震群、2012 年高邮震群、2013 年灌云震群及 2015 年东海震群。2009—2015 年 30°~36° N、116°~112° E 范围内的上述四个地震序列都在本次地震精定位范围内。

为保证研究时间段内数据的准确性,选用该省台网“十五”数字化改造以来的记录资料。随着经济的快速发展数字地震台网建设的步伐也在不断增大,该省测震台站已经达到 40 多个,在“十五”数字化改造过程中又接收了山东、上海、浙江、安徽等省市 20 多个台站信号,使得其数字地震台网的地震监

能力得到了相当大的提高^[6](图 1)。

1.2 速度模型

地震定位过程中,除了定位方法外,合理的地壳结构模型的建立也是至关重要的。双差定位结果受水平速度模型影响较大,需选用比较精确的速度模型。前人已经在本区域做了大量研究工作^[6-7],本研究参考黄耘等^[5]对江苏及邻区地震重新定位使用的江苏及邻近区域地壳速度初始模型,共 7 层(表 1)。

表 1 研究区一维地壳速度模型

Table 1 One dimension at crustal velocity model in the study area

序号	分层/km	地壳速度/(km·s ⁻¹)
1	0~2	3.7
2	2~5	5.1
3	5~10	5.44
4	10~15	6.03
5	15~20	6.34
6	20~25	6.52
7	25~40	7.02

2 定位结果

2009—2015 年江苏省陆地区域共发生 940 次地震,经重新定位后得到 374 条精定位结果,为原来地震事件总数的 40%。造成百分比较小的主要原因是:(1)研究区内地震数量相对较小;(2)台站相对较少,监测能力受到约束;(3)台站布局不合理,密度和分布在不同时期存在较大差异等。本次精定位结果到时残差平均值为 0.10 s,平均定位误差 E-W、N-S 和 U-D 方向分别为 0.21 km、0.19 km 及 0.82 km。对比台网编目结果,重新定位后(图 2)震源深度有明显收敛,地震序列在空间分布上也更加集中,部分地震有向构造带趋近的变化,较多地震呈丛集状出现。研究区内重新定位后震源深度多集中在 5~20 km 内,表明研究区孕震层基本位于地壳的中上部,其中大部分区域震源深度都在 5~15 km,15~20 km 这一区域主要集中在该省中部地区,其主要与该区域较厚覆盖有关^[8]。从精定位震源深度分布结果看,有少部分地震震源深度较浅,基本处于地表处,可能与爆破或塌陷有关,其中最明显的是 34.5°N,117.5°E 交汇处,即徐州地区,是一个比较大的矿区,常年都有矿震发生。

为提高不同区域内精定位生成事件总数,本研究将该省划分成 7 个小区域,并对每一小区域进行

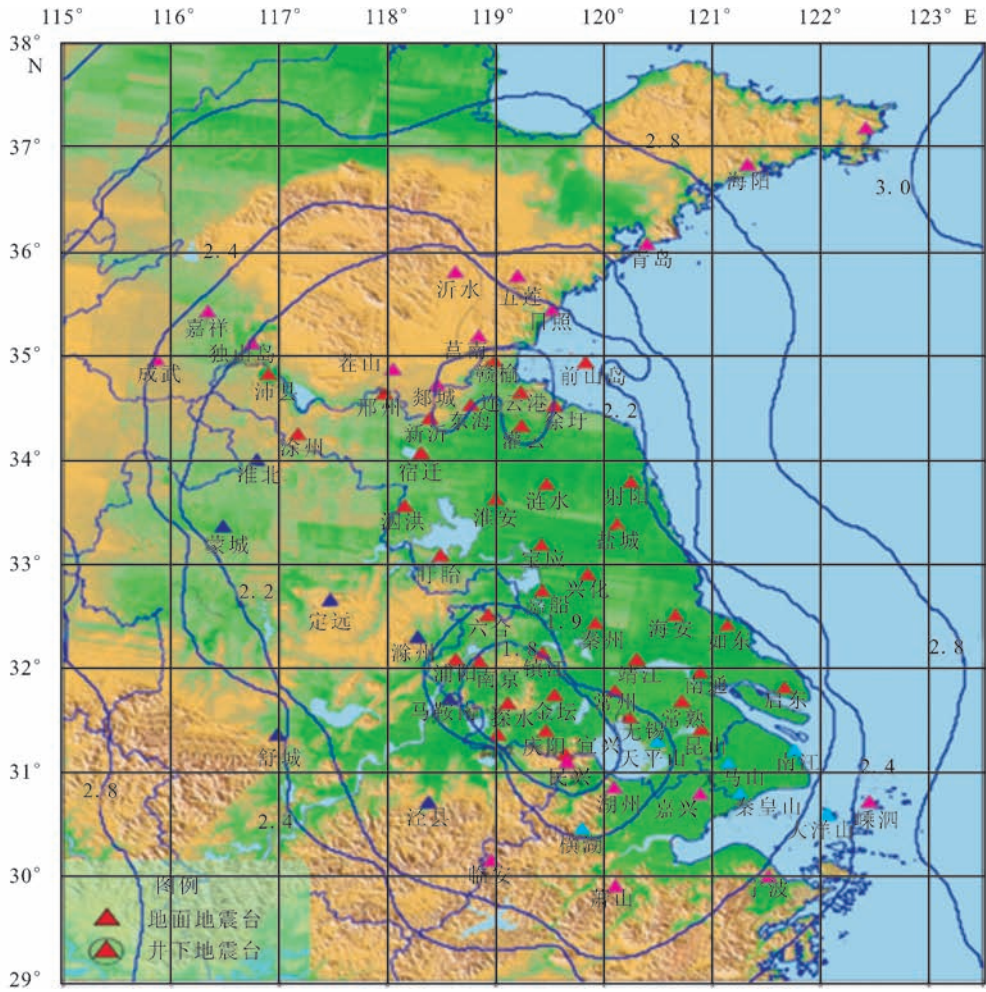


图 1 江苏地震台网监测能力图

Fig.1 Jiangsu seismic network monitoring ability

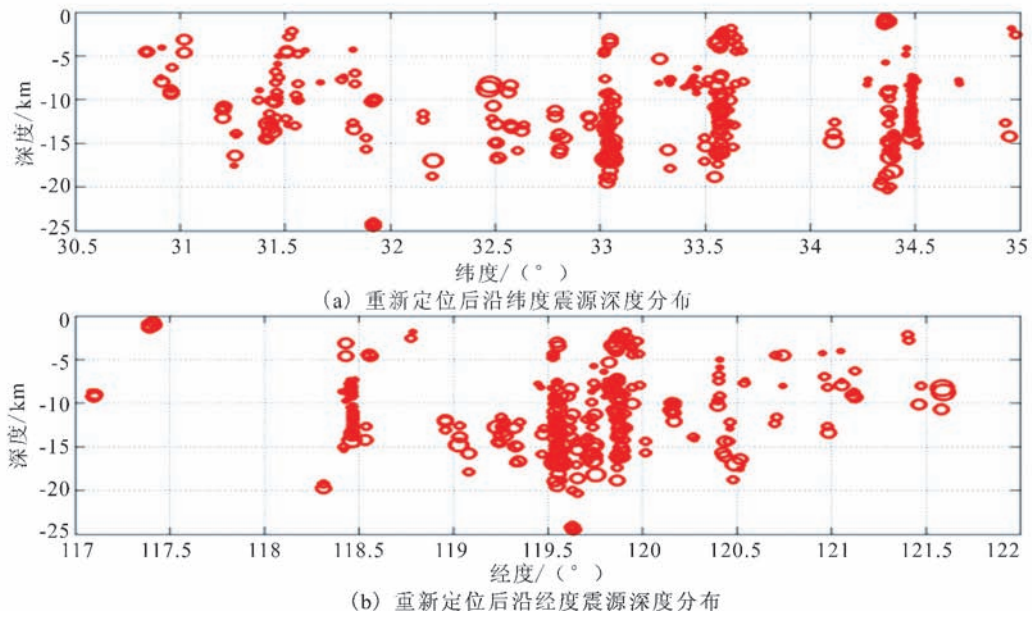


图 2 精定位后沿经纬度震源深度剖面对比

Fig.2 Comparison between focal depth profiles along longitude and latitude after precise relocation

重新定位。由于台站分布密度不同,且每个区域内地震数量也不同,对于地震事件较多的区域,在部分小的区域内增加事件配对的个数,以提高部分区域重新定位的数量(表 2)。表中几个定位百分比较高的地区也是最近几年发生地震事件相对较多的区域,最近几次震群序列也都发生在这几个区域。

3 地震序列活动与构造特征分析

本次研究对最近几年发生的比较有影响的 4 个震群(2011 年建湖震群、2012 年高邮地震、2013 年灌云震群和 2015 年东海震群)进行了精定位,以便对该地区的构造活动进行分析。

表 2 不同区域地震精定位结果

Table 2	The results of precise relocation in different areas			
区域	地震数/个	定位数/个	定位百分比/%	
34°~35°N 118°~121°E	272	137	50.36	
34°~35°N 116°~118°E	46	8	17.39	
33°~34°N 118°~121°E	293	144	49.15	
32°~33°N 118°~122°E	135	30	22.22	
31°~32°N 120°~122°E	109	36	33.03	
31°~32°N 118°~120°E	62	28	45.16	
30°~32°N 119°~122°E	23	9	39.13	

3.1 建湖震群

2010 年 12 月 30 日 6 时 56 分江苏建湖境内(33.57°N,119.88°E)发生 $M_s1.6$ 地震后,在 30 日和 31 日又接连发生 4 次 M_L 2.0 以上地震,2011 年 1 月 1 日 10 时 57 分发生 $M_s2.6$ 地震(33.57°N, 119.85° E),当日 17 时 7 分在 33.57° N,119.86° E 再次发生 $M_s2.9$ 地震(此次地震序列中最大地震)。此次序列中江苏省数字地震台网中心共记录到 135 次地震。对该地震序列进行重新定位后,共获得 66 次精定位结果,震中平均误差:南北向 0.24 km,东西向 0.33 km,垂直向 0.37 km。图 3 为建湖震群精定位震中分布图。

本次地震序列沿北东走向展布和洪泽沟墩断裂、盐城南洋岸断裂走向一致,陡峭且南倾,地震序列发生在断裂发育的扬子准地区,其与区域断裂走向基本一致。

2.2 高邮震群

2012 年 7 月 20 日 20 时 11 分在江苏省扬州市下辖的高邮市与宝应县交界处发生了 $M_s4.9$ 地震,震中位置 33.0°N,119.6°E。本次地震有感范围较大,江苏全省有震感,与江苏交界的安徽部分地区也有震感,其中高邮、宝应、兴化、金湖、建湖、涟水等地震感强烈,南京、扬州、泰州、镇江、淮安、连云港等地

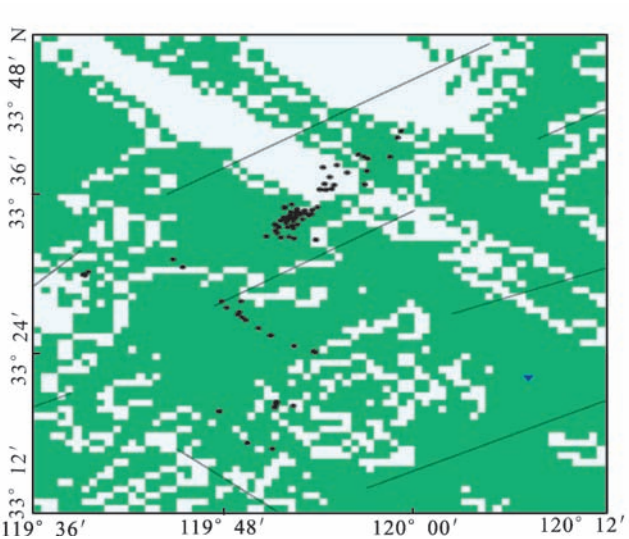


图 3 建湖震群精定位震中分布

Fig.3 Epicenters distribution of Jianhu earthquake swarm after precise relocation

震感明显。地震造成 1 人死亡、3 人轻伤。主震后发生多次余震,其最大余震为 $M_s4.0$,地震序列共有 54 个地震。对本次地震序列进行双差定位共得到 41 个精确定位结果,极震烈度分布区为西南—北东走向,水平夹角 $45^{\circ}\sim60^{\circ}$ 。江苏高邮地震序列地处盐城—南洋岸断裂(NW-EW 走向)与无锡—宿迁断裂(NW-EW 走向)交界附近。由精确定位结果可以确定,该地震序列的产生与盐城—南洋岸断裂相关。图 4 为高邮震群精定位震中分布图。

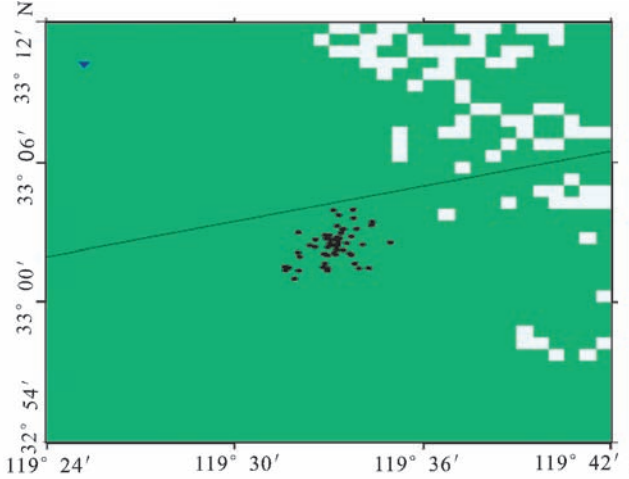


图 4 高邮震群精定位震中分布

Fig.4 Epicenters distribution of Gaoyou earthquake swarm after precise relocation

2.3 灌云震群

2013 年 1 月 19 日江苏灌云发生 $M3.5$ 震群,共记录到 38 次地震,包括部分单台记录,共获得 22 次

精定位结果,震中平均误差为:南北向 0.25 km,东西向 0.33 km,垂直向 0.44 km,震中位置 34.6°N , 119.7°E 。该地震使苏北部分地区有震感,连云港、宿迁、徐州等地有震感。由于本次震群记录到的地震事件相对较少,精定位结果也较少,另外发震区域台站相对较少,所以本次精定位在构造方面也没有太多论述。图 5 为灌云震群精定位震中分布图。

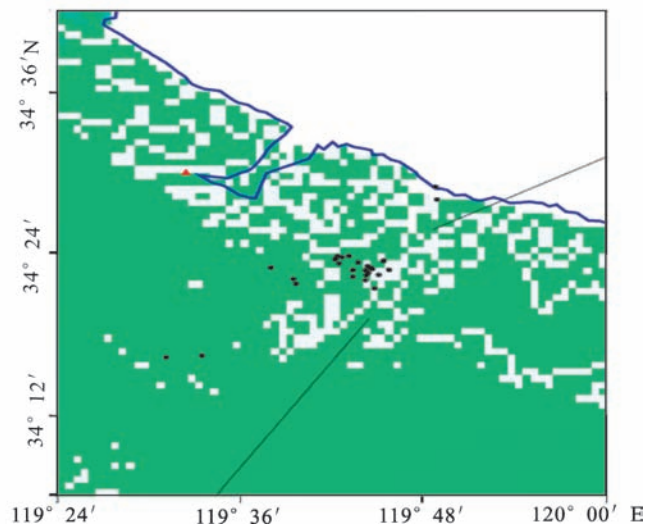


图 5 灌云震群精定位震中分布

Fig.5 Epicenters distribution of Guanyun earthquake swarm after precise relocation

2.4 东海震群

2015 年 2 月 21 日江苏东海发生 $M2.3$ 震群活动,共记录到地震 69 次,取得 48 次精定位结果,震中平均误差:南北向 0.26 km,东西向 0.31 km,垂直向 0.34 km。

虽然此次震群主震震级不高,但活动持续时间较长、小震频次不断。这种情况在研究区比较少见,且此次震群发生在郯庐断裂带上,从区域地震活动特点来看,2012 年以来在其北部的渤海、长岛、山东莱州以及乳山、在其南部的安徽长丰、金寨以及霍山地区,相继发生了多次震群活动;近期郯庐断裂带江苏段附近区域发生多次显著地震事件,显示近期该区域地震活动性显著增强,因此对东海震群进行精确定位分析具有非常重要的意义。

此次震群序列沿 NW-W 走向展布,北倾,且大部分都发生在郯庐断裂带内;而该断裂带则是 NE 走向,两者的走向并不一致,所以此次地震可能会在郯庐断裂带形成一个新的断层面。图 6 为江苏东海震群精定位震中分布图。

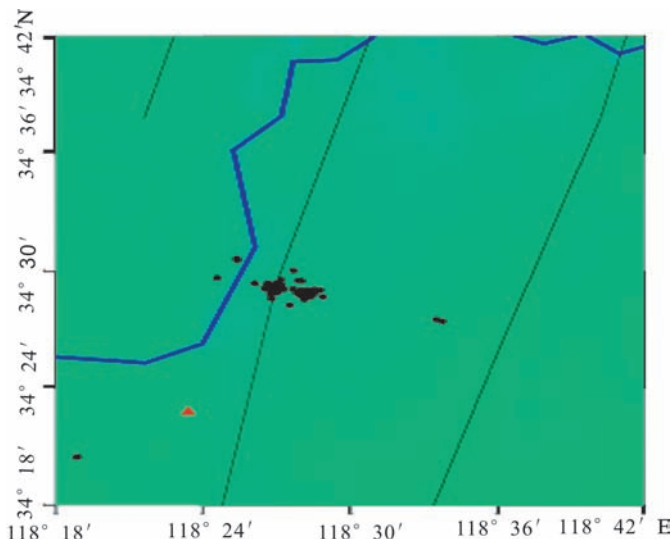


图 6 江苏东海震群精定位震中分布

Fig.6 Epicenters distribution of Donghai earthquake swarm after precise relocation

3 结论

(1) 地震序列经过重新定位后在空间分布上更加集中,且更集中于断裂带附近,较多地震呈丛集状出现。

(2) 研究区内地震序列重新定位后震源深度明显收敛,大多集中在 5~20 km,表明研究区孕震层基本位于地壳的中上部。

(3) 从精定位震源深度分布结果看,有少部分地震震源深度较浅,基本处于地表处,可能是爆破或塌陷,该结论与江苏省徐州有大的矿区相对应。

(4) 双差定位结果表明:重新定位后的结果在震源深度、震中分布、残差、断裂带走向等方面都比原有结果有了明显改善。

参考文献(References)

- [1] Spence W. Relative Epicenter Determination Using P Wave Arrival-time Difference[J]. Bull Seism Soc Amer, 1980, 89: 822-828.
- [2] 杨智娴,陈运泰,张宏志,张北—尚义地震序列的重新定位和发震构造[J].地震学报,2002,24(4):366-377.
YANG Zhi-xian, CHEN Yun-tai, ZHANG Hong-zhi, Relocation and Seismogenic Structure of the 1998 Zhangbei—Shangyi Earthquake Sequence[J]. Acta Seismologica Sinica, 2002, 24(4):366-377. (in Chinese)
- [3] 李志海,赵翠萍,王海涛,等.双差地震定位法在北天山地区地震精确定位中的初步应用[J].内陆地震,2004,18(2):140-153.
LI Zhi-hai, ZHAO Cui-ping, WANG Hai-tao, et al. The Preliminary Application of Dual-difference Earthquake Location Method in Precise Location for the North Tianshan Moun-

tain[J].Inland Earthquake,2004,18(2):140-153.(in Chinese)

[4] 张爱民,李强.双差定位法在三峡库区地震定位中的应用[J].大地测量与地球动力学,2006,26(3):73-77.

ZHANG Ai-min, LI Qiang. Application of Double-difference Location Method to Earthquakes in Three Gorges Reservoir Area[J].Journal of Geodesy and Geodynamics, 2006, 26(3): 73-77.(in Chinese)

[5] 黄耘,李清河,张元生,等.江苏及邻省地震重新定位和构造特征分析[J].地球物理学报,2008,51(1):175-185.

HUANG Yun, LI Qing-he, ZHANG Yuan-sheng, et al. Relocation of Earthquakes in Jiangsu and Neighboring Areas, China and Analysis of Structural Features[J].Chinese Journal of Geophysics, 2008, 51(1): 175-185.(in Chinese)

[6] 瞿旻,戴波,王大伟,等.测震台站综合防雷建设及效能评价[J].地震工程学报 2015,37(2):619-622.

QU Min, DAI Bo, WANG Da-wei, et al. Construction and Evaluation of a Comprehensive Lightning Protection System for Seismic Stations[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2015, 37(2): 619-622.(in Chinese)

[7] 闻则刚,杨马陵,叶秀薇,等.广东省东部地区的 S 波速度结构[J].西北地震学报,2005,27(2):154-157.

WEN Ze-gang, YANG Ma-ling, YE Xue-wei, et al. Shear-wave Velocity Structure in the East Region of Guangdong Province [J].Northwestern Seismological Journal, 2005, 27(2): 154-157. (in Chinese)

[8] 霍祝青,王俊,朱凤梅,等.双差法在江苏及邻域地震事件重新定位中的应用[J].地震地磁观测与研究,2014,35(4):75-78.

HUO Zhu-qing, WANG Jun, ZHU Feng-mei, et al. Application of Double Difference Algorithm for Earthquake Relocaltion in Jiangsu Area and Adjacent Region[J].Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 2014, 35(4): 75-78. (in Chinese)

(上接 782 页)

[9] 张义平,李夕兵,赵国彦,等.爆破震动信号的时频分析[J].岩土工程学报,2005,27(12):1472-1476.

ZHANG Yi-ping, LI Xi-bing, ZHAO Guo-yan, et al. Time-frequency Analysis of Blasting Vibration Signals[J].Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2005, 27(12): 1472-1476. (in Chinese)

[10] 张祖武,姚令侃.土岩界面地震波能量传递与耗散特性研究——以汶川 8.0 级地震为例[J].灾害学,2011,26(1):4-9.

ZHANG Zu-wu, YAO Ling-kan. Seismic Waves Scattering in Rock Interface and Energy Dissipation Characteristics——Taking M8.0 Wenchuan Earthquake as an Example[J].Journal of Catastrophology, 2011, 26(1): 4-9. (in Chinese)

[11] Chen H J, Liu S H. Slope Failure Characteristics and Stabilization Methods[J]. Canadian Geotechnical Journal, 2007, 44(4): 377-391.

[12] 滕光亮,陈永明,石玉成,等.地震作用下节理岩质边坡稳定性影响因素研究[J].地震工程学报, 2013, 35(1): 119-125.

TENG Guang-liang, CHEN Yong-ming, SHI Yu-cheng, et al. A Study on the Influencing Factors of Joint Rock Slope Stability under Earthquake Activity[J].China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(1): 119-125. (in Chinese)

[13] 韩宜康,杨长卫,张建经,等.坡面角度对岩质边坡加速度高程放大效应的影响[J].地震工程学报,2014,36(4):874-880.

HAN Yi-kang, YANG Chang-wei, ZHANG Jian-jing, et al. The Influence of Slope Angle on the Elevation Amplification Effect of Rock Slope Acceleration[J].China Earthquake Engineering Journal, 2014, 36(4): 874-880.(in Chinese)