于海英, 温燕林, 冯策. 上海徐汇区 M_L1.9 有感地震分析[J]. 地震科学进展, 2021, 51(2): 59-65, 75. doi:10.3969/j.issn.2096-7780.2021.02.002
Yu Haiying, Wen Yanlin, Feng Ce. Analysis of the M_L1.9 earthquake in Xuhui District, Shanghai[J]. Progress in Earthquake Sciences, 2021, 51(2): 59-65, 75. doi:10.3969/j.issn.2096-7780.2021.02.002

上海徐汇区 M_L1.9 有感地震分析*

于海英[1, 2)※] 温燕林[1, 2)] 冯 策[1, 2)]

1) 上海市地震局, 上海 200062
2) 上海佘山地球物理国家野外科学观测研究站, 上海 200062

摘要 2012 年 4 月 2 日上海徐汇区发生 M_L1.9 地震, 位于徐汇区、闵行区和浦东新区等地区部分房屋有晃动, 部分人群有感。本文分析了上海有感地震的原因, 在此基础上从地震精确定位、震源深度、地震烈度、地震发生时间以及人口密度和社会影响等对该次地震的有感原因进行了详细的分析。由于目前地震还不能准确预报, 而地震的发生有很大的随机性, 因此, 提高民众防震减灾意识尤为重要。

关键词 上海徐汇; 有感地震; 地震定位
中图分类号: P315 **文献标识码**: A **文章编号**: 2096-7780(2021)02-0059-07
doi: 10.3969/j.issn.2096-7780.2021.02.002

Analysis of the M_L1.9 earthquake in Xuhui District, Shanghai

Yu Haiying[1, 2)], Wen Yanlin[1, 2)], Feng Ce[1, 2)]

1) Shanghai Earthquake Agency, Shanghai 200062, China
2) Shanghai Sheshan National Geophysical Observatory and Research Station, Shanghai 200062, China

Abstract The April 2nd, 2012, M_L1.9 Xuhui earthquake of Shanghai occurred. Many buildings of Xuhui, Minhang and Pudong were shaken and hundreds of thousands of people in Shanghai felt this earthquake. We analyzed the felt earthquake of Shanghai, and then the basis of this. We elaborated the reason of this felt earthquake from the following several aspects: earthquake location, earthquake depth and intensity, origin time and population density and social influence. At last, we point out that the occurrence of earthquake is random because the earthquakes can not be accurately predicted. Therefore, it is particularly important to raise the public's awareness of earthquake preparedness and disaster reduction.

Keywords Xuhui, Shanghai; felt earthquake; earthquake location

引言

地震是人类面临的最严重的自然灾害之一。地球上每天都在发生地震, 全世界每年平均发生有感地震 5 万多次, 5 级以上地震近千次, 7 级以上地震约 18 次, 8 级以上地震约 1—2 次。我国是一个地震灾害严重的国家, 具有地震频度高、强度大、震源浅、分布广等特点。地震对人民生命财产安全带来极大威胁, 是名副其实的灾害之首。20 世纪以来, 我国

* 收稿日期: 2020-05-28; 采用日期: 2020-12-09。
基金项目: 上海佘山地球物理国家野外科学观测研究站开放基金课题《华东地区地壳上地幔三维速度结构的远震 P 波层析成像研究》(2020K07)资助。
※ 通信作者: 于海英(1970-), 女, 高级工程师, 主要从事数字地震学研究工作。E-mail: 6168658@qq.com。

因地震造成的死亡人数占全部因自然灾害死亡人数的 50% 以上，1920 年的海源 *M*8.5 大地震中罹难人数超过 28 万，1976 年的唐山 *M*7.7 地震中罹难人数超过了 24 万。2008 年 5 月 12 日，四川汶川 *M*8.0 强震，再次给人民群众的生命财产带来重大损失。2011 年 3 月 11 日，发生在日本的 *M*9.0 大地震，震中位于日本宫城县以东太平洋海域，震源深度 20 km，此次地震造成将近 2 万人的死亡，引发的巨大海啸对日本东北部造成毁灭性破坏，并引发福岛第一核电站核泄漏。由于地震的危害性极大，而目前地震不能准确预报，因此，地震科学研究之路任重道远。

1 上海有感地震

据记载，上海地区有感地震数量较少，时间分布极不均匀，历史上多则 1 年（1855 年）受到 6 次地震波及，少则数十年也没有一次有感地震记载[1]。在地震的频度和强度方面，海域地震大于陆地地震，陆地地震除 4 次有破坏外，绝大部分只是不同程度的有感。上海历史上发生的最大地震为 1624 年松江的 4½ 级地震，该地震的最大烈度为Ⅵ度。上海及其邻近地区，曾被视为少震和弱震区，不过上海每年都能感觉到地震的冲击，这种有感地震来自以下 3 个方面。

1.1 较远大地震传播到上海有感

这些有感地震主要来自台湾地区的 6.5 级以上地震及日本部分强震。如 1994 年 9 月 16 日台湾海峡 7.3 级地震，1999 年 9 月 21 日台湾南投 7.6 级地震和 2002 年 3 月 31 日台湾花莲 7.5 级地震发生时，致上海 10 层以上的高层居民强烈有感。显然，过去由于上海市高层、超高层不多而未能引起关注的台湾地震，未来仍将会对上海有明显影响。2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级地震和 2011 年 3 月 11 日日本 9.0 级大地震，上海很多高层有明显震感。

1.2 上海周边地区的有感地震

进入 20 世纪 70 年代以后，地震频度和强度却有所提高，先后发生很多次有感地震（表 1[2]）。

表 1 1970 年以来上海周边地区有感地震列表

Table 1 The list of earthquakes felt around Shanghai since 1970

时间（年-月-日）	纬度/°N	经度/°E	震级（M_S）	地名有感范围
1971-12-30	31.20	122.50	4.9	长江口上海东部局部有感
1974-04-22	31.45	119.32	5.5	江苏溧阳上海西部有感
1975-09-02	32.90	121.80	5.3	南黄海上海北部有感
1979-07-09	31.45	119.25	6.0	江苏溧阳上海大范围有感
1984-05-21	32.52	121.60	5.6	南黄海上海强烈有感
1984-05-21	32.48	121.60	6.2	南黄海上海强烈有感，崇明有破坏
1987-02-17	33.58	120.53	5.0	江苏射阳上海局部有感
1990-02-10	31.68	121.00	5.1	江苏常熟太仓上海强烈有感，嘉定有破坏
1996-11-09	31.83	123.01	6.1	长江口以东海域上海强烈有感
2012-07-20	31.169	121.463	4.9	江苏扬州宝应上海局部有感

1.3 上海陆地上发生的小地震

上海测震台网每年平均监测到的小地震约 4—5 次，这是地壳运动产生能量的正常释放。2009 年 11 月 7 日 17 时 03 分在上海松江地区发生 *M*2.5 地震，震中位于（31.0°N，121.1°E），深度 13 km。松江大学城、天马山、小昆山等地的居民有轻微震感。震中区附近部分居民感觉到了房屋的轻微震动。2012 年 4 月 2 日发生在上海市徐汇区 *M*1.2 地震，摇动了徐汇、闵行、浦东、卢湾区等部分房屋，惊动了成千上万的市民。图 1 为上海监视区 1970 年 1 月 1 日—2012 年 9 月 30 日发生的所有地震震中分布图。

“十五”测震项目建成之后，目前上海地震台网共有固定台站 34 个，其中包括上海台阵的 16 个子台，图 2 为上海台网和上海台阵分布图。

2 2012 年 4 月 2 日上海小地震介绍

据上海地震台网测定（地震速报结果）：2012 年 4 月 2 日 23 时 27 分 51.9 秒，在上海市闵行区发生 *M*1.2 地震，震中位于（31.1°N，121.5°E）。图 3 和图 4 分别为上海台网记录到的波形图和离震中最近台站

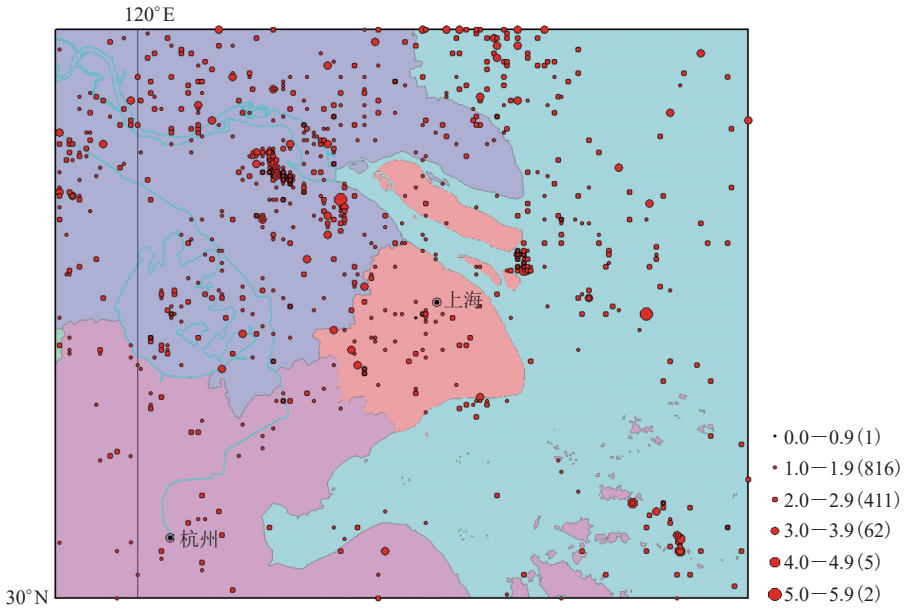


图 1　上海监视区地震震中分布图（1970-01-01—2012-09-30）

Fig. 1　Distribution of earthquake epicentersin Shanghai monitoring area（1970-01-01—2012-09-30）

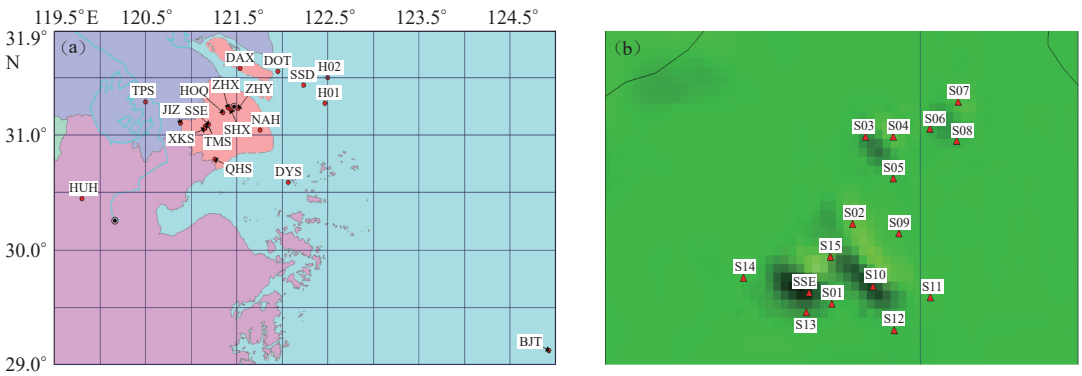


图 2　上海台网（a）和上海台阵（b）分布图

Fig. 2　Distribution map of Shanghai network（a）and array（b）

的波形图。此次地震很多居民称，感受到了楼房的震动，且震感明显。

3　有感地震原因分析

为何震级只有 *M*1.2，会有这么多人有感呢？

在地震科学中，衡量地震大小有两把尺子——震级和烈度。震级是表示地震本身大小的量，反映的是地震能量释放的多少。烈度是地震时人的感觉，地震所造成自然环境的变化和建筑物的破坏程度，来作为判断地震强烈程度的一种宏观判据[3]。一次地震，震级只有一个，而不同地区烈度有很大不同，距离震中越近的通常烈度越大。地震是否有感和有感的程度，与地震的震级（震源）、震中距和震源深度（传播路径）以及当地的环境（场地条件等）有关。

3.1　地震精确定位后的结果

地震结束后，本人利用上海及周边地震台站的数据，利用较多的台站和更多的震相数据对该地震进行了精确定位。表 2 为定位结果，图 5 为震中分布图，可以明显看出，速报结果和精确定位结果存在一定的差别，其中发震时刻相差 0.68 s，震中位置相差 2.4 km，深度相差 3 km，M_L 震级相差 0.1 级。根据精确定位的结果，最终该地震确定震中位置为上海徐汇区。

3.2　震源深度浅和强震记录的峰值加速度大

震源深度是将震源看作一个点，此点到地面垂直距离称为震源深度。目前震源深度是地震学中最难准确测定的参数之一，各种方法对于震源深度的

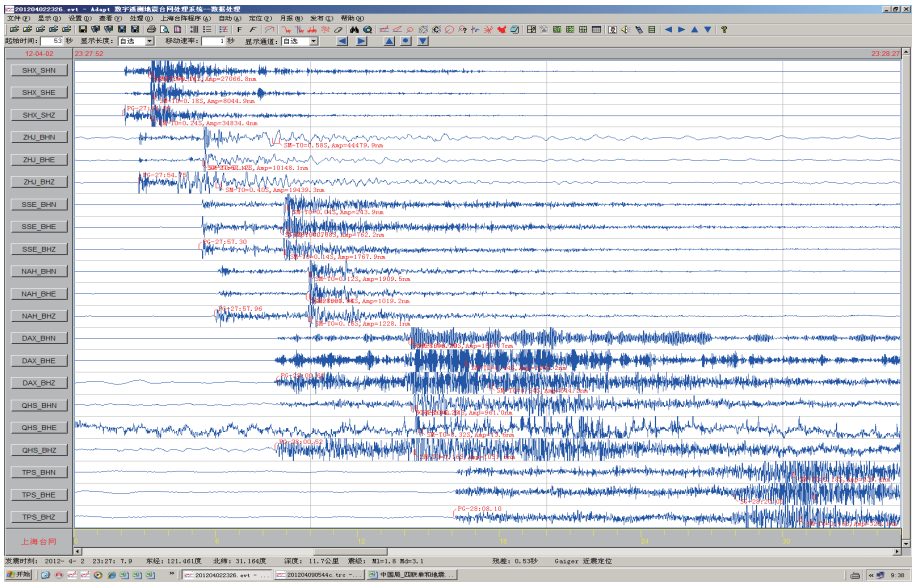


图 3 上海地震台网的波形记录

Fig. 3 Waveform record of Shanghai earthquake network

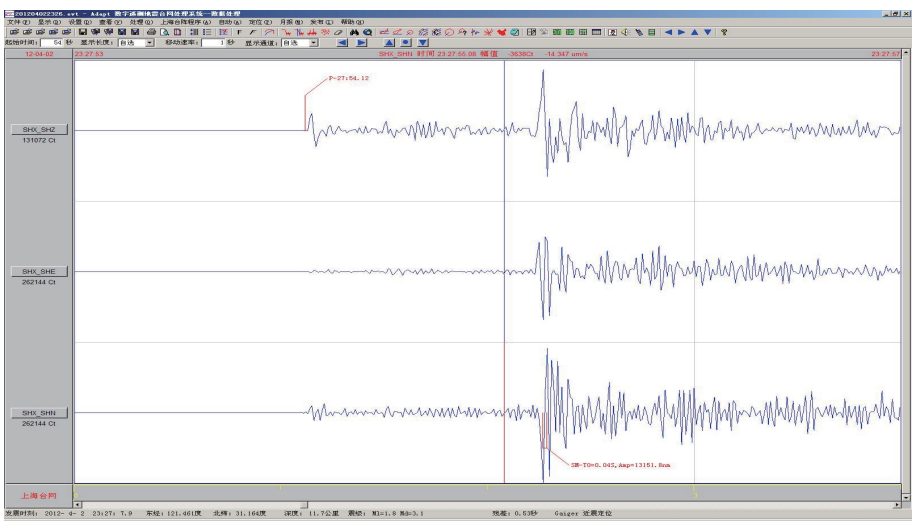


图 4 最近台站上戏台（SHX）的波形记录

Fig. 4 Waveform record of the SHX station on the nearest station

表 2 地震速报结果和精确定位结果的比较

Table 2 Comparison of the results of earthquake quick and accurate location

定位结果	发震时刻 年-月-日 时:分:秒	纬度/°N	经度/°E	深度/km	震级(M_L)	发震地点
速报结果	2012-04-02 23:27:51.9	31.150	121.450	10	2.0	上海市闵行区
精确定位结果	2012-04-02 23:27:52.58	31.169	121.463	7	1.9	上海市徐汇区

估计都具有相当程度的不确定性，影响着人们对震源过程的认识，各种因素对震源深度的影响是非线性的。震源深度受震中距或台站距离、到时残差和速度模型（地震模型）等多种因素的影响[4]。地球上大部分地震发生在地壳（33 km）内。地震精确定位结果显示，该震源深度为 7 km，震级 M_L1.9。由于震源深度较浅，震级较小，破坏面积不大，但震源区的烈度却相对较大（图 6），世博台和徐汇台加速度峰值达到

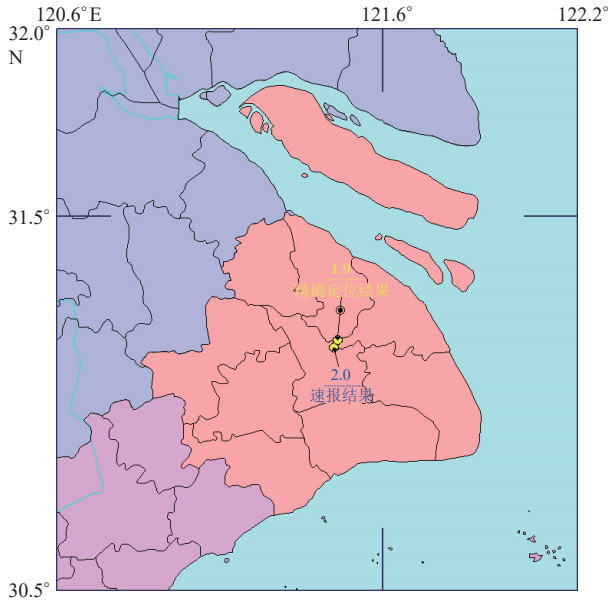


图 5　速报结果与精确定位结果分布图

Fig. 5　Distribution map of quick report results and accurate results

了 50 mm/s^2，震中区域的加速度峰值在 40 mm/s^2 左右，烈度相当大，所以震源附近的居民会感觉很明显，而其他离震源稍远一点的上海的强震台站记录到的加速度峰值都在 10 mm/s^2 左右，人们已经感觉不到地震动了。

3.3　地震的时频分析

台站所记地震波的频率与震源性质、传播介质和台站场地条件等因素有关系。图 7 为该次地震最近台站（SHX）记录的波形和时频分析图像，SHX 台站距离地震位置大约 8 km，可以看出该地震波形频率分布范围很大，0—50 Hz 范围内均有分布。Sg 波的能量明显大于 Pg 的能量，在 10 Hz、25 Hz 和 40 Hz 左右，能量比较大，地震有感范围比较大。

3.4　地震的震源机制解

震源机制主要给出地震断层的错动方式和作用力方向等。图 8 为使用 CAP 方法计算的该次地震的震源机制解。由震源机制解图可以看出，该地震为明显的正断层，由于地震震级较小，初步认为该地震是由地下较小的正断裂所致。

3.5　地震发震时间晚和上海人口密度大

该次地震发生在半夜 11 时 27 分，已是夜深人静，很多人都已进入梦乡，在如此安静的环境下，人们对地震的感觉也会相当灵敏，所以有更多的市民感觉到这次地震。

同时，由于该地震发生在闵行和徐汇交界地区，位于市中心，高楼林立，该区又属于上海人口密度较大的区域，也有很多结构不稳固的老房子，所以，当地震发生时，会有更多的人感觉到此次地震。

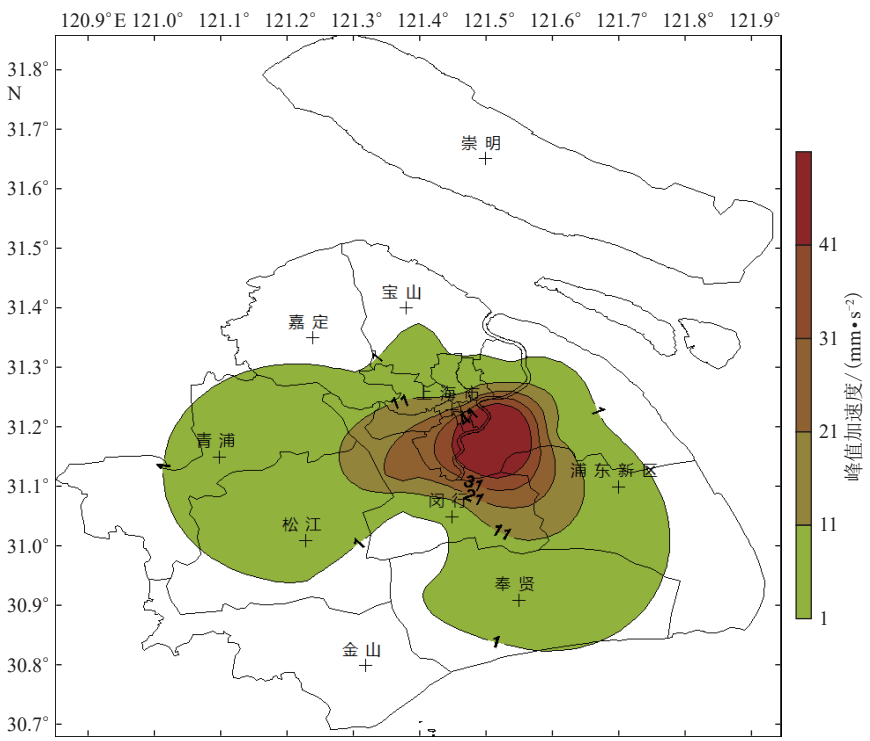


图 6　地震峰值加速度分布图

Fig. 6　Distribution map of peak ground acceleration

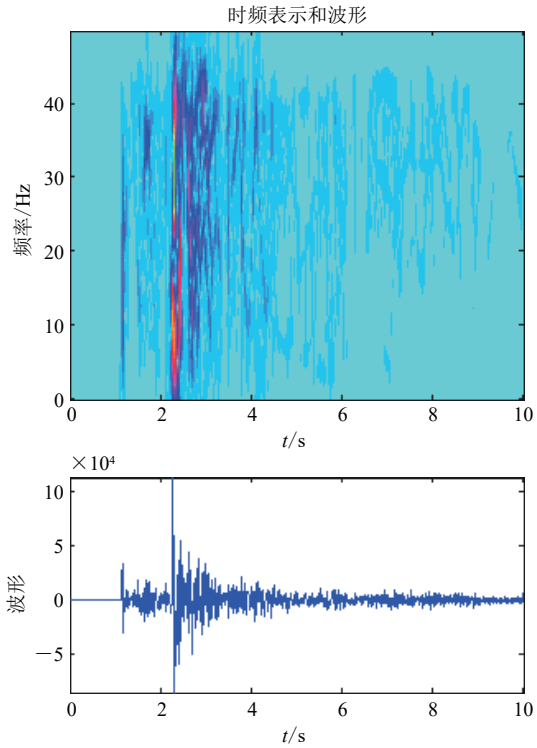


图 7 SHX 地震时频分析图

Fig. 7 Earthquake time-domain analysis of the SHX station

3.6 新媒体的社会影响力大

当今社会是一个信息网络高度发达的社会，微博和博客的飞速发展，信息的公布和传播尤为透明。地震发生后，上海市地震局在第一时间发布了地震参数的微博，同时很多居民在微博和博客中发布了自己的感觉，这可能也是该地震社会影响大的另一个原因。

4 结论和讨论

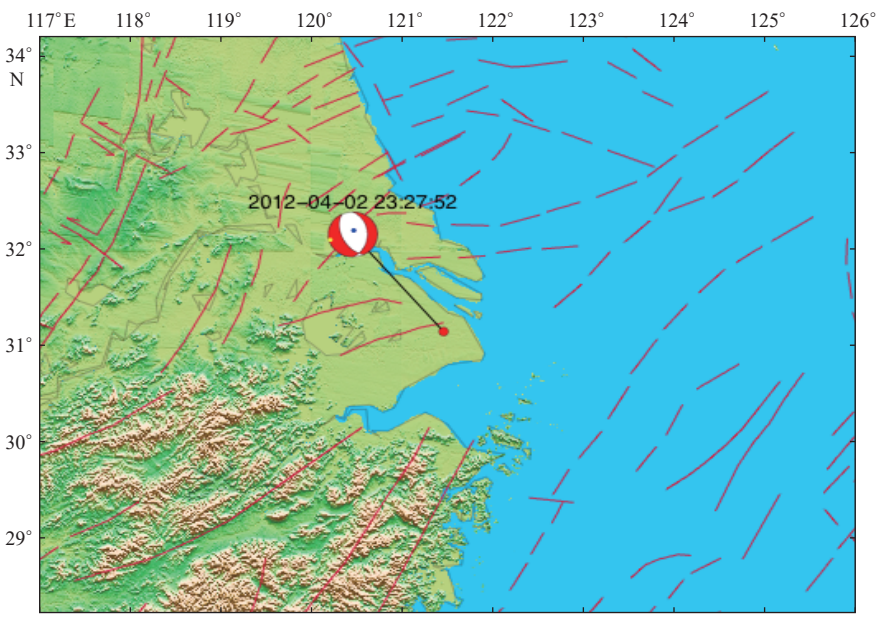
本文从精确定位、震源深度、地震烈度、地震的时频分析、震源机制解、地震发生时间和人口密度及网络等方面分析了发生在上海徐汇区 M_L1.9 地震有感的原因，防范于未然：

（1）在地震还不能准确预报的今天，地震的发生有很大的不可预见性，上海历史上也发生过很多有感地震；

（2）上海不仅只受远强震和周边中强地震长波影响有感，而且陆地上也会发生有感地震；

（3）上海作为人口密度最大的城市之一，发生有感地震后不要惊慌，按照地震常识做好地震防御尤为重要。

文中地震资料均来自上海测震台网。



断层面1：走向＝0.0°，倾角＝40.0°，滑动角＝－69.0°
断层面2：走向＝153.4°，倾角＝53.1°，滑动角＝－106.7°

图 8 地震的震源机制解

Fig. 8 The source mechanism solution of earthquake

(下转第 75 页)