

长岛附近地区小震精定位及地震趋势分析*

李亚军¹, 李永红¹, 胡旭辉¹, 许萍¹, 李瑞红², 石玉燕¹

(1. 山东省地震局, 山东 济南 250014;

2. 呼伦贝尔市地震局, 内蒙古 呼伦贝尔 021008)

摘要: 对长岛附近地区($N35.8^{\circ} \sim 38.7^{\circ}$, $E119.4^{\circ} \sim 122.9^{\circ}$)2000 年以来数字记录的中小地震进行了双差定位, 对重新定位结果的时空特征进行分析。发现双差定位后的地震与断层关系更为密切; 中小地震深度具有分区差异, 长岛附近较浅(平均 6km), 1548 年 7 级震源区附近较深(平均 13km)。结合长岛附近地区中等地震活动特点和地震活动性参数时序变化, 综合分析长岛附近地区的地震趋势。

关键词: 地震趋势; 双差定位; 长岛附近地区

中图分类号: 315.63 文献标识码: A

0 引言

胶东半岛北部沿海具有发生中强地震的地质构造背景, 其中规模最大的是蓬莱—威海断裂带。蓬莱—威海断裂带属于胶东隆起区的北部边缘, 是一条 NWW 向的超壳断裂, 全长 225km, 第四纪以来活动明显, 活动性质为左旋走滑。历史上多次发生破坏性地震, 最大的地震为 1548 年 7 级强震。现代以中小地震活动为主, 并有小震群活动。2007 年 7 月以来, 在蓬莱、长岛、牟平、文登附近发生多次地震和小震序列, 小震活动显著增强, 未来地震趋势备受关注。尤其是 11 月 18 日长岛附近发生的 $M4.0$ 级有感地震, 位于贯穿胶东半岛的西北向 3 级地震条带内。本文试图依据长岛附近地区经双差定位后的地震目录, 结合地震学其它资料, 对该区地震趋势进行分析, 判断该区及其附近未来发生中强震的危险性。

1 方法介绍

双差定位方法是地震相对定位方法中的一种。该方法是由主事件定位方法发展而来, 但其不同之处是不依赖主事件位置, 而是将每两个地震组成一个地震对, 建立观测走时差方程, 把时空丛集的一群地震的中心作为主地震, 求解走时方程组, 得到各地震对的相对位置(相对于中心的位置), 然后再还原

为绝对位置(地理位置)。这样可大大拓宽待定事件的空间范围。同时运用波形相关技术对走时差读数进行校正, 精度可达几毫秒, 定位误差可控制在几十米的量级上。双差定位方法适用于地震在空间上丛集的情况, 特别是震群序列, 使用此方法效果更好。在区域台网分布较好、地震记录质量较高(数字或模拟记录)时也可使用^[1]。

日本学者林能成(2000)^[2] 把该方法称为改进的主事件定位法, 曾用该方法对伊豆半岛东方沿海的震群重新进行定位, 并推测岩脉的发育过程。Waldhauser 和 Ellsworth(2000)^[3] 把这一方法称为双重残差定位法(double difference), 并应用于加州北海沃德断层上, 重新定位的地震勾画出了断层带地震活动的精细结构。白玲、张天中(2003)^[4] 等称该方法为多重相对定位方法, 并以该方法对 1996 年 12 月的顺义 4.5 级震群进行了重新定位, 原定位结果中 10 次 $M \geq 3.0$ 级地震分布在 $0.12^{\circ} \times 0.10^{\circ}$ 的空间分布范围内, 重新定位后这 10 次地震的分布范围缩小至 $0.04^{\circ} \times 0.03^{\circ}$ 。胡新亮等使用该方法进行了唐山部分余震和怀来震群的重新定位, 新定位的地震与断层吻合较原来的地震要好得多。

2 资料情况及使用参数

长岛地区, 即研究区范围如图 1 所示, 双差定位选取资料范围为图 1a 四边形阴影区所示, 大体为

* 收稿日期: 2007-12-01

基金项目: 山东省自然科学基金(Y2005E02)项目与地震科学联合基金(C0828)共同资助。

作者简介: 李亚军(1982—), 女(汉族), 山东济南人, 山东省地震局助理工程师, 主要从事地震监测与研究工作。

37.28° ~ 38.37°N, 120.11° ~ 121.62°E 围限区域。该区域 2000 年 5 月至 2007 年 7 月长岛地区共记录到中、小地震 64 次(图 1a), 本文震级标度为近震震级。主要对这部分区域的地震资料进行双差定位。

参考山东地区其它地区的情况^[4], 取水平速度模型, 将长岛地区的地壳速度模型分为 8 层(表 1), 波速比采用华北地区常用的 1.71。

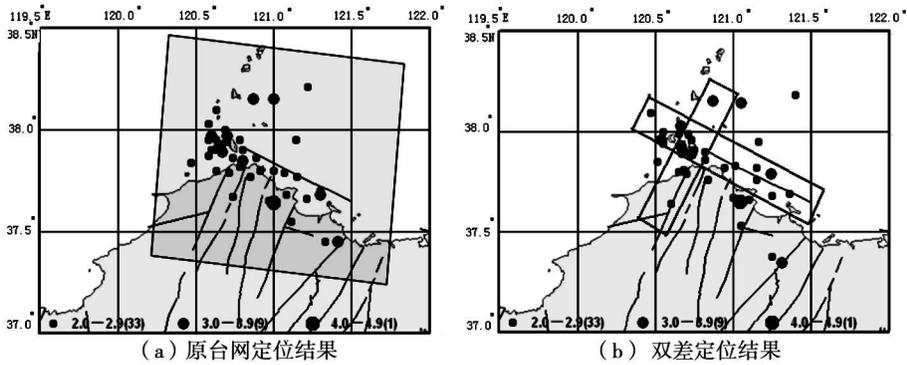


图 1 研究区域范围及地震分布($M \geq 1.3$ 级)图

表 1 本文精定位使用的地壳速度模型表

深度 (km)	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	40.0
速度值 (km/s)	5.0	6.0	6.3	6.2	6.6	6.5	6.9	8.1

采用“到时数据的最小权限、事件对与台站之间的距离、对震源的分离距离”等参数约束, 精定位后得到 55 个地震结果(表 2), 图 1b 为精定位后地震的分布情况。双差定位的残差为 0.84, 重新定位后震源位置的平均误差为在纬度方向为 0.045km, 在经度方向为 0.037km, 在深度方向为 0.048km。

表 2 本文双差定位与原台网定位地震基本参数的比较表

序号	发震时间		双差定位结果			原台网定位结果			备注
	年月日时分	震级	北纬 (°′)	东经 (°′)	深度 (km)	北纬 (°′)	东经 (°′)	深度 (km)	
1	200005140541	2.5	3759	12042	8	3758	12036	10	
2	200006272048	3.0	3758	12032	7	3758	12035	10	
3	200008152341	1.9	3759	12048	3	3801	12049		
4	200008172221	1.5	3759	12048	1	3759	12044		
5	200011041227	2.1	3748	12039	8	3748	12037	21	
6	200106081208	2.2	3759	12039	5	3800	12041	10	
7	200109220105	2.1	3757	12109	15	3757	12108	14	
8	200110192109	2.5	3756	12033	4	3757	12034	11	
9	200110230701	2.5	3752	12049	19	3752	12053	15	
10	200111071833	2.8	3740	12105	24	3741	12104	23	
11	200111081049	1.3	3743	12109	18	3744	12109	10	
12	200111081049	1.3	3743	12109	18	3744	12109	10	
13	200111191204	1.7	3753	12052	8	3753	12051	10	
14	200111201342	2.0	3754	12049	8	3754	12048	10	
15	2001112180127	2.0	3746	12109	15	3746	12109	10	
16	200207282021	2.3	3741	12121	4	3742	12118		

续表 2

序号	发震时间		双差定位结果			原台网定位结果			备注
	年月日时分	震级	北纬 ($^{\circ}$)	东经 ($^{\circ}$)	深度 (km)	北纬 ($^{\circ}$)	东经 ($^{\circ}$)	深度 (km)	
17	200207300901	3.1	3753	12043	4	3753	12040		
18	200207300945	2.4	3754	12039	2	3754	12036		
19	200207300952	2.2	3756	12039	8	3752	12034	8	
20	200210061048	2.3	3750	12100	4	3748	12100	10	
21	200211150218	1.8	3747	12124	19	3747	12122	21	
22	200302220004	2.8	3758	12043	2	3757	12038		
23	200302230311	3.5	3802	12039	4	3758	12041	12	
24	200305071934	3.7	3747	12114	10	3741	12118	32	
25	200308141733	2.9	3753	12040	3	3754	12037		
26	200308180033	3.9	3756	12039	1	3755	12039		
27	200308180050	2.8	3755	12040	3	3756	12040		
28	200310181359	2.8	3755	12039	16	3756	12041	29	
29	200404200534	1.6	3744	12110	4	3746	12109		
30	200405150710	2.3	3748	12041	13	3747	12042	19	
31	200405161425	2.4	3747	12041	1	3749	12047		
32	200405161435	2.2	3749	12040	3	3752	12044		
33	200411060307	1.7	3740	12119	19	3738	12115	24	
34	200412171622	1.7	3753	12040	1	3753	12039		
35	200412181818	1.7	3755	12040	2	3755	12043		
36	200412200701	2.5	3749	12109	14	3747	12104	21	
37	200412291703	2.2	3751	12030	24	3750	12028	29	
38	200501020326	2.9	3805	12028		3806	12038		
39	200501251135	2.9	3811	12124	5	3813	12113		
40	200510182123	2.0	3738	12035	7	3740	12044		
41	200510250224	2.0	3746	12050	2	3746	12051		
42	200511221809	2.7	3800	12033	3	3802	12035		
43	200511290007	2.4	3741	12115	16	3740	12112	12	
44	200512180829	3.6	3808	12103	2	3809	12100		
45	200607172119	1.9	3737	12033	9	3737	12033	11	
46	200610220406	2.2	3755	12045	6	3757	12047		
47	200701272035	2.6	3740	12100	15	3739	12058	16	
48	200704270139	2.3	3749	12056	15	3748	12054	15	
49	200707102320	4.3	3739	12102	20	3738	12100	28	
50	200707102322	3.2	3721	12118	3	3727	12125		
51	200707102334	2.3	3723	12115	3	3727	12120		
52	200707140400	2.9	3732	12103	3	3733	12107		
53	200710180827	3.3	3809	12052	7	3809	12052	8	
54	200710180913	1.7	3805	12051	9	3805	12051	10	
55	200710181139	1.8	3808	12048	7	3808	12052	9	

3 双差定位结果及其分析

3.1 空间分布

由图 1b 可以看出, 与原台网的定位结果相比, 重新定位后的地震震中集中性增强, 主要地震集中分布区域变小, 地震与断层的关系更为密切, 且沿蓬莱—威海断裂西部延长线性分布趋势明显可见, 另外一些地震则是分布在沿北东方向的几组断层上。而原台网定位结果地震弥散分布, 这种趋势不明显。另外从图 1b 中可以看出长岛多数地震大体是按两条标识的走向分布, 形成地震条带。

3.2 深度分布

原台网定位和双差定位的深度比较见图 2, 从图 2 (b) 可以看出, 原台网定位震源深度在 10km 左

右比较集中, 部分地震比较随机地分布在 10km 以下, 10 ~ 30km 范围内都有分布。双差定位后的震源深度分为两部分, 一部分在区域的左边, 地震绝大多数分布在 10km 以上, 在 5 ~ 10km 范围内比较密集, 平均为 6km。从地理位置看, 这部分地震主要是分布在长岛的南北长山岛和砣矶、黑山岛等附近区域内, 可能反映长岛附近地震破裂深度较浅, 不易积累较高应变能, 因此显示小震群频发、小地震密集现象。另外一部分地震位于右侧, 深度普遍较深, 大约都在 12km 以下, 平均为 13km。地理位置在蓬莱及其以北海域, 该区 1548 年曾发生过 7 级强震, 它们可能属于 7 级强震震源范围内中小地震的长期活动区。推测 7 级地震震源深度可能在 12km 以下。

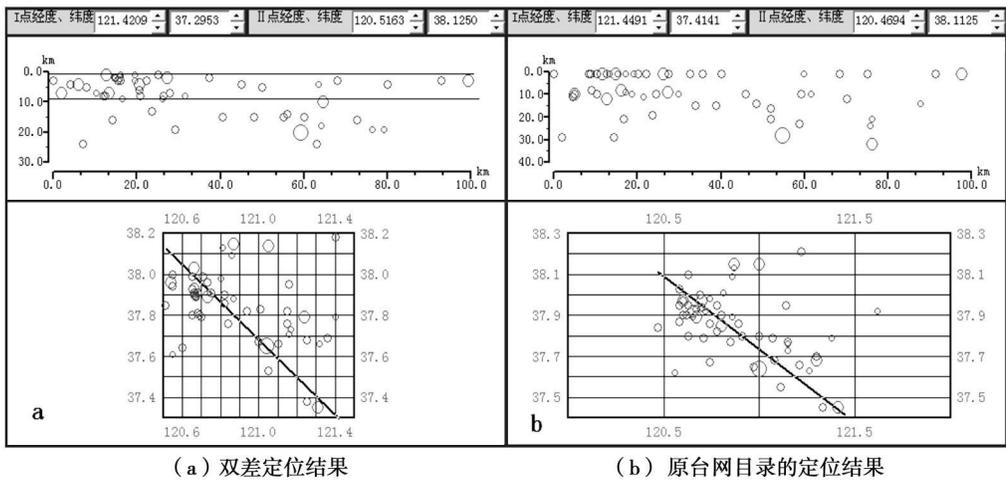


图 2 原台网定位和双差定位地震深度的比较图

4 地震活动情况分析

4.1 该区应变释放和中等地震活动特点

为了对该区地震活动趋势进一步作出分析, 对图 1 所示区域 (37.0° ~ 38.5°N, 119.5° ~ 122.0°E) 1970 年以来的地震活动进行了简单分析。图 3 为研究区 $M \geq 3.6$ 级地震 $M-T$ 图和地震应变能释放曲线, 由图 3 看出, 该区应变能释放速率均匀, 没有明显加速, 也没有明显应变积累现象。由 $M-T$ 图看出该区中等地震有以下特点:

① 现代地震强度低

1970 年以来该区未发生过 $M \geq 5.0$ 级地震, 最大地震为 1970 年 8 月 10 日的 4.9 地震, 其次为 1997 年 9 月 17 日的 4.8 级地震。

② 3.6 级以上中等地震有成组活动特点

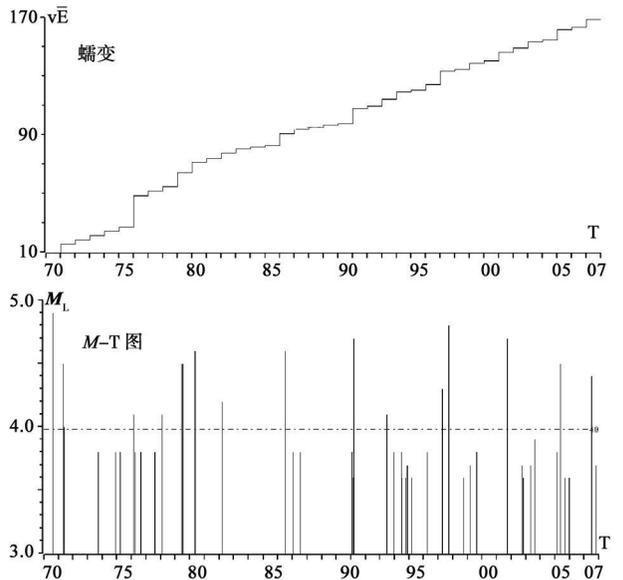


图 3 长岛附近地区地震应变能释放曲线和 $M \geq 3.6$ 级地震 $M-T$ 图

1980年以来,该区已有7组集中活动过程,每一组的活动时间一般为1~2年不等。当前正处于新的一组中等地震活动过程中,自2007年7月开始,持续时间尚不足半年。据以往各组活动时间类比推测,当前这一组活动过程还会持续半年至1年半左右时间。

③中等地震活跃过程中可能会有 $M \geq 4.5$ 级地震

由图3还可以看出,在每组中等地震活动过程中,一般会发生 $M \geq 4.5$ 级地震,7组中仅一组例外,最大为4.1级,其它组里均有4.5级及其以上地震,最大为4.9级。当前这一组最大地震为4.4级,因此估计在这一组活动过程中还会发生更大一些地震,但发生5级以上地震可能性不大。

4.2 地震活动性参数变化

计算了该区 $M \geq 2.0$ 级地震20余项活动性参数,对于该区现代中等地震,有些活动性参数在其之前表现出某些异常,如b值、AC值、缺震等。b值、AC值一般表现为高值异常(图4a、b);地震视应变和缺震显示为低值异常(图4c、d)。本区绝大部分 $M \geq 4.5$ 级震前上述参数有异常反映。但从目前看,该区这些映震效果较好的参数均未出现异常。

5 结论

参考文献:

- [1] 白玲,张天中.多重相对定位法和波形相关校正及其应用[J].地震学报,2003,25(6),591-599.
- [2] 林能成.群地震を伴うグイク成長程[D].日本东京大学,博士论文,2000,1-147.
- [3] Waldhauser F, Ellsworth W L. A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the North2ern Hayward Fault, California[J]. Bull Seism Soc Amer, 2000, 90, 1353-1368.
- [4] 张碧秀,汤永安.沂沭断裂带地壳结构特征[J].中国地震,1988,4(3),16-2.

Fine positioning for the small earthquakes near Changdao area and analysis of earthquake tendency

LI Ya-jun¹, LI Yong-hong¹, HU Xu-hui¹, XU Ping¹, LI Rui-hong², SHI Yu-yan¹

(1. Earthquake Administration of Shandong province, Jinan 250014 China;

2. Earthquake Administration of Hulunbeier city, Hulunbeier 021008, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: The moderate and small earthquakes in Chang Dao area ($35.8^{\circ} \sim 38.7^{\circ} N$, $119.4^{\circ} \sim 122.9^{\circ} E$) since 2000 are relocated with double difference method. Through analysis to the results, we find that the relocated earthquakes are relevant much closer with faults. The depth of moderate and small earthquakes have regional difference, which is shallower near Changdao (6km in average), but is deeper near the source region of $M_s 7$ event in 1548 (13km in average). Combined with seismicity, the earthquake tendency of Changdao area is analyzed.

Key words: earthquake tendency; double difference location; area near Changdao

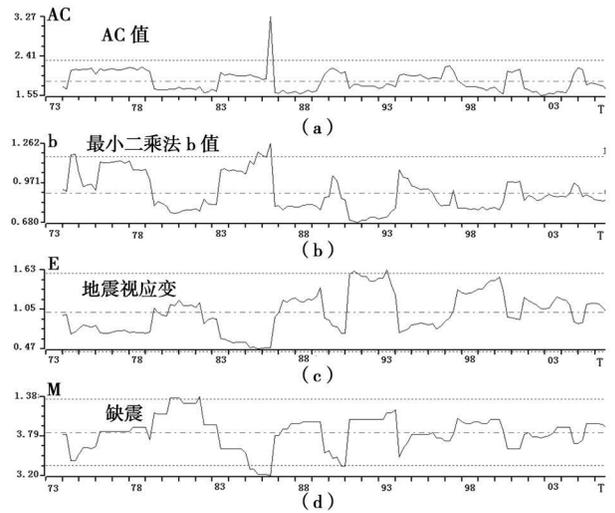


图4 长岛附近地区部分地震活动性参数时序变化图

(1)与传统定位结果相比,该区55个地震双差定位深度普遍变浅,震中与断层关系显得更为密切,更符合该区地质构造特征。

(2)虽然近期长岛附近的中小地震活动比较频繁,发生多次地震序列,但深度较浅,不易积累较高能量,孕育中强地震的可能性不大。

(3)根据该区中等地震活动特点和中小地震活动性参数变化分析,该区没有中强以上地震孕育的异常迹象。