

张洪艳、张广伟、王晓山等,2015,2013 年吉林前郭 5.8 级震群精定位及发震构造分析,中国地震,31(3),518~528。

# 2013 年吉林前郭 5.8 级震群 精定位及发震构造分析

张洪艳<sup>1)</sup> 张广伟<sup>2)</sup> 王晓山<sup>3)</sup> 盛俭<sup>1)</sup> 卢燕红<sup>1)</sup> 张宇<sup>1)</sup>

1) 吉林省地震局,长春净月大街 5788 号 130117

2) 中国地震局地壳应力研究所,北京海淀区安宁北里 1 号 100085

3) 河北省地震局,石家庄槐中路 262 号 050021

**摘要** 利用吉林区域数字地震台网和流动台网的观测数据,采用 HypoDD 方法精确定位了 2013 年 10 月 31 日~12 月 10 日发生在吉林前郭地区 343 次地震事件的震源位置。重新定位结果显示,地震序列优势分布方向为 NW 向,平行于查干泡-道字井断裂北支。重新定位后的震源分布更趋集中在断裂带附近,且深度多集中在 6~14km 范围内,表明研究区的孕震层主要集中在中上地壳,与该区的地下介质性质关联明显。以同样的方法修正了 5.5 级和 5.8 级地震序列的震中位置和震源深度,重定位后 2 次序列的优势方向、优势深度和破裂长度均存在明显差异。基于震源机制解及震源深度剖面图初步推测此次地震的发震构造应为 NNW 向的查干泡-道字井断裂。

**关键词:** 双差定位 地震序列 吉林前郭 发震构造

[文章编号] 1001-4683(2015)03-0518-11 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

2013 年 10 月 31 日~11 月 23 日,吉林省前郭县陆续发生了 5.5、5.0、5.3、5.8、5.0 级地震,5 次地震均发生在 NE 向扶余-肇东断裂与 NNW 向查干泡-道字井断裂交汇部位,本次地震序列中强震均有成对发生的特点,与该区域 2006 年 3 月 31 日(图 1,蓝色圆)发生的 5.1 级地震震中的最近距离仅 8km。

10 月 31 日 5.5 级地震发生后,吉林省和黑龙江省地震局在震中附近共布设 9 个流动观测台站(图 1),从 11 月 1 日起,流动台的架设工作陆续完成,并将数据实时传输至吉林省地震局台网中心。架设的流动台对震区形成较好的监测覆盖,同时积累了较为丰富的序列观测资料。

地震序列是对地震现象的客观描述,因而震区内地震定位的精确性会直接影响我们对相关震源参数的认识(万永革等,2008),继而也会影响对地震活动趋势的研判。震源绝对定位的误差主要来源于震相判读误差以及速度模型的误差(陈棋福等,2001),目前地震台

[收稿日期] 2014-02-26; [修定日期] 2015-08-16

[项目类别] 中国地震局监测司测震台网青年骨干培养专项(20140307)、中国地震局监测预测科研三结合课题(150704)、国家自然科学基金青年项目(41404071)、吉林省地震局合同制科研课题(201521、201518)、吉林省科技发展计划资助项目(20140623010TC)联合资助

[作者简介] 张洪艳,女,1979 年生,硕士,工程师,主要从事地震编目及相关研究。E-mail: 56617347@qq.com

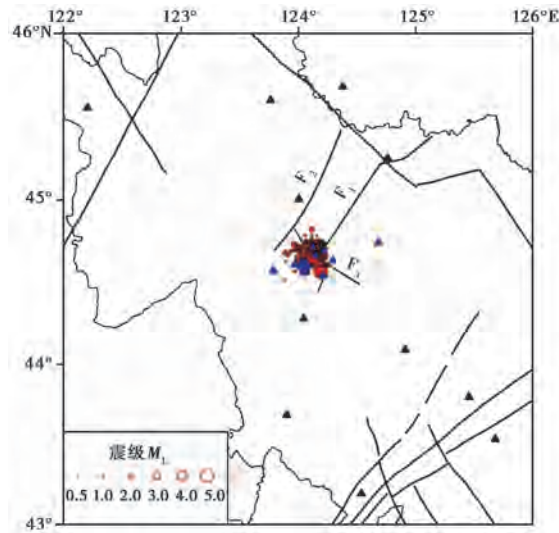


图 1 研究区地震、台站与构造分布

蓝色三角为流动台,黑色三角为固定台,黑色线表示断裂;蓝色圆为 2006 年 3 月 31 日前郭地震  
 $F_1$  为扶余-肇东断裂,  $F_2$  为克山-大安断裂,  $F_3$  为查干泡-道字井断裂

网常用的定位方法为绝对定位法,所采用的速度模型为全球平均速度模型,因其忽略了区域速度模型的横向不均匀性而直接影响了定位结果的准确性,降低了地震参数的精度。而相对定位法则较好地改善了由于速度模型的不确定性而带来的误差,从而可获取比绝对定位方法更精确的结果。目前,相对定位法中应用较多的是双差定位法,该方法在国内外被广泛采用,并取得了诸如地震活动与发震构造关系(刘巧霞等,2012)、改善速度模型(赵旭等,2009;孙安辉等,2011)、地震序列分析(张广伟等 2013;杨智娴等,2011)、隐伏活动构造探测(Courboulex et al, 2003; Schoff et al, 2002; 朱艾斓等,2005a、2005b)等多方面成果。

本文依据研究区域的固定台和流动台所记录的震相数据,采用双差定位法对前郭序列重新定位,以获取高质量的序列数据,并根据重新定位的结果对该区的地震分布和发震构造进行讨论。

## 1 方法

采用由 Waldhauser 等(2000)提出的双差定位法对地震序列进行重定位。双差法利用信号的走时差修定震源位置,这主要基于 2 个地震震源之间的距离远小于事件到台站的距离,从而认为震源区到台站间的射线路径几乎相同(张广伟等,2011),此时,在某台观测到的 2 次事件的走时差来自于事件之间的空间偏移,从而有效地降低了定位结果对速度模型的依赖性。

在双差法中,相对位置的确定是由双差(2 个近距离地震  $i$  和  $j$  到同一台站  $k$  的走时残差之差)来确定的,如下式

$$\frac{\partial t_k^i}{\partial m} \Delta m^i - \frac{\partial t_k^j}{\partial m} \Delta m^j = dr_k^{ij} \quad (1)$$

其中,  $dr_k^{ij}$  为双差, 可表示为

$$dr_k^{ij} = (t_k^i - t_k^j)^{\text{obs}} - (t_k^i - t_k^j)^{\text{cal}} \quad (2)$$

角标 cal 和 obs 分别代表理论走时和观测走时。 $t_k^i$  和  $t_k^j$  分别为 2 个近距离地震  $i$  和  $j$  到同一台站  $k$  的走时。 $\Delta m^i$  和  $\Delta m^j$  为第  $i$ 、 $j$  个事件的震源参数  $(x^i, y^i, z^i, \tau^i)^T$  的改变量, 通过多次迭代获得修正后的震源相对位置。

## 2 资料及参数选取

### 2.1 资料

10 月 31 日前郭 5.5 级地震发生后, 吉林省地震局和黑龙江省地震局在前郭和乾安地区围绕震中 50km 之内陆续布设 9 个临时观测站, 最远台 2204 与震区相距较远, 约 48km, 其余应急流动台的台间距在 15km 左右, 9 个流动台形成了临时的小型观测台阵, 对震区形成了比较好的监控。吉林台网利用省内台、周边共享台站以及流动台, 共同处理此次地震序列。截至 2013 年 12 月 10 日 20 时, 45 个数字化台和 9 个流动台共监测到多台和单台事件 782 次, 震级为 -0.7~5.8, 其中多台可定位事件 525 次, 单台事件 257 次。本研究中, 为了提高震相数据的可靠性和可用性, 尽量减小人为判读误差, 针对此次序列的 525 次多台可定位事件采用常规定位方法重新定位, 对震相数据以及残差进一步复核。经过严格数据筛选, 最终选用 12 个固定台和 9 个流动台记录的 343 次地震事件(图 1), 被 4 个及以上台站记录的共 6550 条震相数据, 其中包括 2388 条 P 波和 2497 条 S 波到时数据。

图 1 中所示扶余-肇东断裂及查干泡-道字井断裂的位置是根据“松原市活断层探测与地震危险性评价”项目所收集的三维石油地震剖面资料, 并进行浅层人工地震探测及联合钻孔剖面探测后进行了修正的。研究区内的断裂以 NNW、NE 向为主, 其中 NE 向断裂规模最大, 对研究区内基底起着主控作用, 同时, 卫星影像显示 NE 向断裂具右旋分量, 与 NW 向断裂存在共轭关系, 但从活动性角度来看, NW 向的断裂构造较新, 活动性较强。

由图 1 可见, 地震序列密集分布在查干泡-道字井断裂与扶余-肇东断裂交汇处, 主要在查干泡-道字井断裂两侧扩展, 密集区长轴约 28km, 短轴约 26km, 呈椭圆形展布。应急流动台在震区附近密集分布, 综合利用震源区附近近台与远台相结合, 既对空间位置有较好的校正, 也有利于进一步提高震源深度的精度。

### 2.2 参数选取

双差定位法主要采用走时残差之差修定震源位置, 从而有效地降低因对研究区地壳结构了解不精细而引起的误差, 也可以较好地消除速度横向不均匀性的影响。同时, 双差定位采用的速度模型为水平分层, 因而震源处的速度对定位结果有一定的影响, 所以速度模型的选取很重要。本文选用的一维速度模型如表 1 所示, 该速度模型结合了人工地震(刘洋等 2008)、层析成像(刘殿秘等, 2007)、垂直反射地震技术(杨宝俊等, 2003)等资料综合得出。

双差法采用绝对到时残差之差修定地震位置。因此在定位前, 利用选用的一维速度模

表 1 速度模型参数表

深度/km	P 波速度/km·s <sup>-1</sup>
0	4.85
3	5.60
5	6.10
10	6.30
25	6.70
35	7.80

型,采用 HYPODD 中计算走时的方法计算出理论走时,将所得理论走时与观测走时相减,获取定位中所需要的绝对走时残差。本文最终选用残差为 $\pm 5\text{s}$ ,震中距在 200km 范围内的到时资料,经过筛选后的 P、S 波数据如图 2 所示,该数据质量较好,能较好地满足重定位的需求。

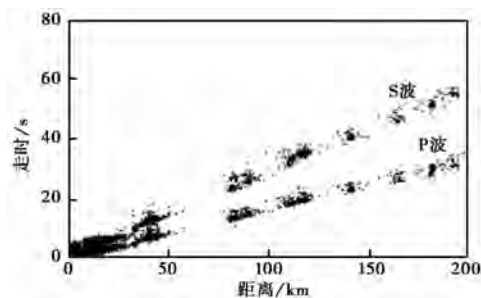


图 2 筛选后的 P、S 波的时距曲线

由于 P 波的拾取精度相比 S 波较高,因此将 P 波和 S 波的权重分别设为 1 和 0.5。为了充分利用地震资料获取更多的重定位数据,本文将初始确定事件对的搜索半径设为 10km,共有 341 个事件可以进行配对并参与重新定位。采用共轭梯度法求解,3 轮迭代中分别采用标准差的 10、5、3 倍作为截断值,经过反复迭代,最终得到稳定解。

### 3 结果及分析

重定位后,共获得 336 个地震事件的基本参数。地震序列产生的结果中,走时残差得到了较大的改善,定位前走时残差在 0.060~0.956s 之间波动,定位后走时残差在 0.002~0.095s 间波动,重定位后走时残差精度得到较大幅度的提高,均值为 0.13s。

图 3、4 给出重定位前、后地震序列震中分布平面图以及沿不同剖面的震源深度分布图,图中可以清晰地看出重定位前、后震源位置的明显差异。定位前震中和深度分布较为分散,均未呈现出明显的优势方向,地震弥散地分布在扶余-肇东断裂和查干泡-道字井断裂交汇部位,深度在 0~20km 内的水平层状现象较为明显,5 次 5 级地震的震源深度主要集中在 4~14km 范围内。重定位后的地震主要集中在查干泡-道字井断裂北支东侧,震中分布的优势长轴走向为北偏西 30°左右,与查干泡-道字井断裂北支走向一致,条带状更加明显。震源深度剖面图显示,沿震中分布的优势长轴走向(A-B 剖面),地震主要集中在 5~15km 范围内,5 次 5 级地震的震源深度主要集中在 8~15km 范围内,表明该区的发展层较浅,主要集中在中上地壳;垂直震中分布的优势长轴走向剖面(C-D 剖面)反映了沿断层倾向的震源分布特征,倾向北东的断层倾角较大,而倾向北西的断层倾角较缓。

本次地震附近的主要断层有 3 条,分别为查干泡-道字井断裂、扶余-肇东断裂、克山-大安断裂。查干泡-道字井断裂走向 NNW,倾向 NE。重定位前 NE 和 NW 向为地震序列的优势方向,从修正后的断层分布图可以看到,震区附近构造主要是 NE-NNE 向的扶余-肇东断裂及 NNW 向的查干泡-道字井断裂,查干泡-道字井断裂被扶余-肇东断裂左旋错开。重定位后的结果显示,地震序列主要集中分布在查干泡-道字井断裂的东侧,沿着 NW 向的破裂比 EW 向破裂更加充分,初步推测此次地震 NNW 向查干泡-道字井断裂起主控作用,与 NE 向

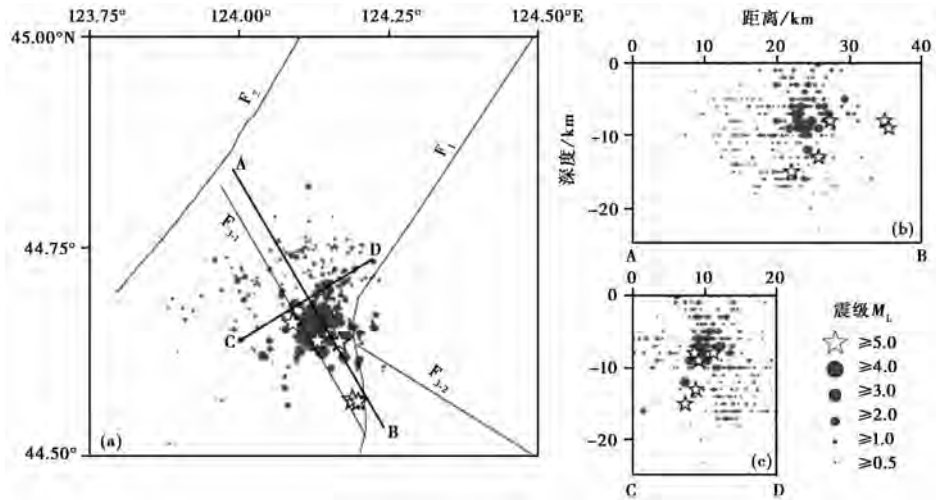


图3 重定位前地震序列平面图(a)和AB剖面(b)、CD剖面(c)的震源深度分布  
五星为  $M_s 5$  以上地震;  $F_1$  扶余-肇东断裂,  $F_2$  克山-大安断裂,  
 $F_{3.1}$  为查干泡-道字井断裂北支,  $F_{3.2}$  为查干泡-道字井断裂南支

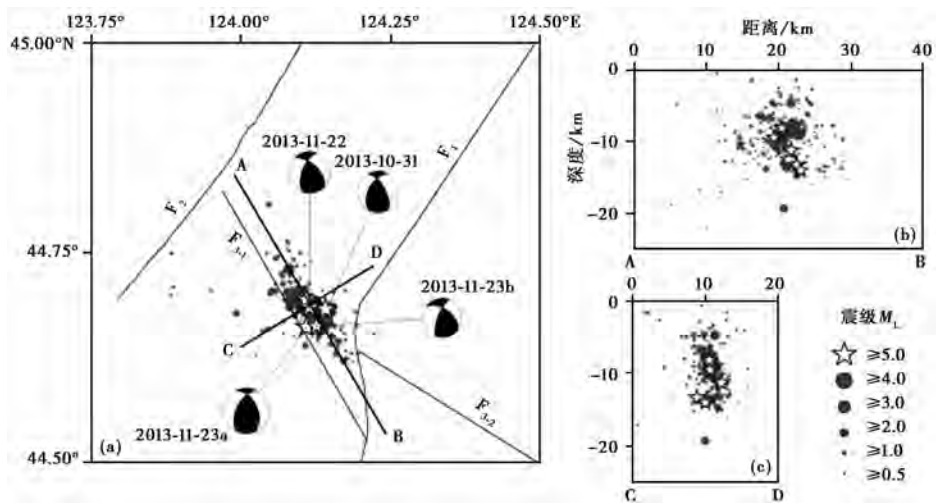


图4 重定位后地震序列平面图(a)和AB剖面(b)、CD剖面(c)的震源深度以及震源机制分布  
五星为  $M_s 5$  以上地震;  $F_1$  扶余-肇东断裂,  $F_2$  克山-大安断裂,  
 $F_{3.1}$  为查干泡-道字井断裂北支,  $F_{3.2}$  为查干泡-道字井断裂南支

的扶余-肇东断裂一起控制着此次地震序列的发展形态。

#### 4 5.5 和 5.8 级地震序列的对比分析

2013年10月31日发生5.5、5.0级地震,相隔22天后,11月22、23日分别发生5.3、5.8、5.0级地震,2次序列间隔时间较长,地震频度和强度均有明显不同。地震序列在时空方面的变化暗含震源破裂的相关信息,因此,依据地震序列的时空变化图像并结合震源参数、地质以及相关的地球物理资料研究震源处的发震构造,是目前广大地震学者较关注的问题(吕

坚等 2008；郑勇等 2009；龙思胜等,2004；Ratehkovski et al, 2004)。为了探寻 5.5 和 5.8 级地震序列的异同,本研究采用同样的定位方法针对 2 次序列重新定位,最终获得 5.5 级序列 154 次和 5.8 级 181 次事件的精定位结果。通过重定位前后地震序列分布对比,并结合几次强震的震源机制解来判别 2 次序列断层的破裂方式和地震的构造含义,可为震情趋势判断提供必要的依据。

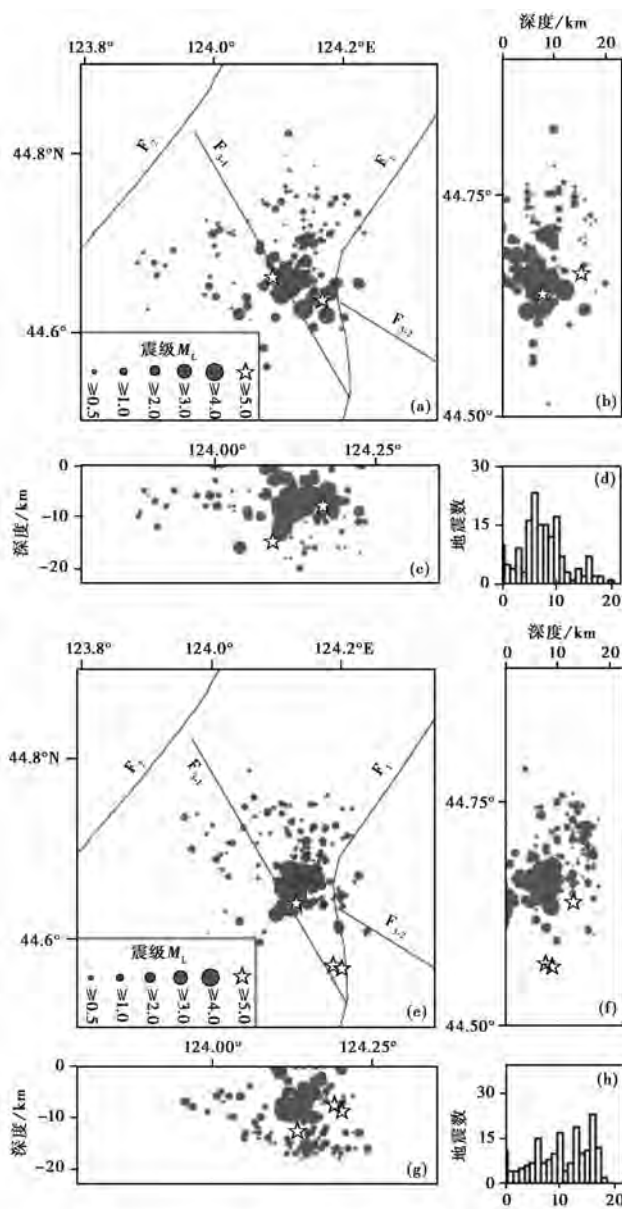


图 5 5.5 级 (a)~(d) 和 5.8 级 (e)~(h) 地震序列重定位前平面分布 (a)、(e)；深度纬度向 (b)、(f) 和经度向侧面图 (c)、(g) 以及频度图 (d)、(h)

五星为  $M_s \geq 5.0$  地震； $F_1$  扶余-肇东断裂， $F_2$  克山-大安断裂， $F_{3.1}$  为查干泡-道字井断裂北支， $F_{3.2}$  为查干泡-道字井断裂南支

2 次序列重定位前的平面图(图 5)显示,小震在查干泡-道字井断裂北支二侧分散地分布,其中断裂东侧的地震活动强度优于西侧,另外,5.8 级序列从时间进程上看,地震从西向东的迁移性较显著,5.8 级序列中地震的密集区主要在断裂的东侧。2 次序列在时间和空间上呈现出震中整体向查干泡-道字井断裂北支东侧迁移,方向由 NWW 向 NW 向过渡,经纬向深度的剖面图显示,5.5、5.8 级序列的震源深度主要集中在 0~10km 和 5~18km,分层现象显著。

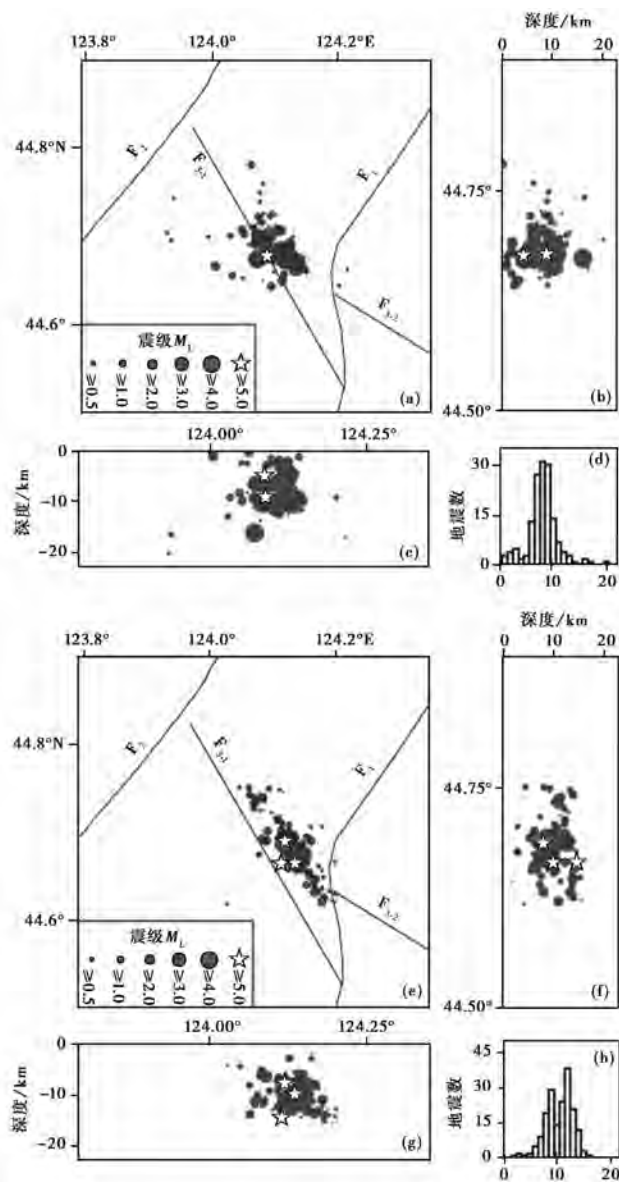


图 6 5.5 级(a)~(d)和 5.8 级(e)~(h)地震序列重定位后平面分布(a)、(e);  
深度纬度向(b)、(f)和经度向侧面图(c)、(g)以及频度图(d)、(h)

五星代表 5 级以上震;  $F_1$  扶余-肇东断裂,  $F_2$  克山-大安断裂,  
 $F_{3,1}$  为查干泡-道字井断裂北支,  $F_{3,2}$  为查干泡-道字井断裂南支

重定位后的平面图和经纬向剖面图(图 6)显示 2 次地震序列的衰减、频度、强度以及余震分布区的形状均有较大差别。5.5 级序列的平面图显示 2 次主震均位于断裂带上,其余地震分布在断裂带两侧,其中东侧地震密集度强于西侧,主体优势方向为 NWW。而 5.8 级序列的平面图则显示 3 次主震与余震均一致地分布在断裂东侧,条带状明显,呈 NW 向展布,与查干泡-道字井断裂北支走向一致。同时,注意到 5.8 级序列在空间位置上向扶余-肇东断裂带靠拢,而 5.5 级序列则主要集中在查干泡-道字井断裂北支中段。可见查干泡-道字井断裂北支两侧地震活动强度、密度有较大不同,表明断裂两侧构造特征差异较大,断裂东侧为此次地震能量的主要释放区。从剖面图上可以看出,5.5 级序列以簇状分布为主,震源深度较浅,频度图更直观地展示出 5.5 级序列深度集中在 6~12km; 而 5.8 级地震序列分布具有显著差异,其破裂方式以双侧破裂为主,且沿断裂 NE 向震源有明显加深趋势,这可能表征靠近扶余-肇东断裂发震层有所加深。

震后中国地震局地球物理研究所韩立波博士(2013)给出 4 次 5 级地震的地震矩张量反演结果(表 2), 4 次 5 级地震均位于含走滑分量的逆冲型断层上; Global CMT(2013) 仅给出 11 月 23 日 5.8 级地震的震源机制,结果也表明 5.8 级地震位于走滑分量的逆冲型断层上。松原  $M_s \geq 5.0$  震群发生在松辽盆地内部,处于松辽盆地中央凹陷带与东南隆起带相交接的部位,在这种不同地质单元的交接位置容易产生能量的积累而成为孕震的有利环境(李传友等,1999); 从深部结果看,太平洋板块俯冲至中国东北大陆下约 600km(Lei et al, 2005), 太平洋板块的俯冲是东北地区深震活动的重要动力来源,2011 年日本  $M_w$  9.0 巨震引发 SEE 向同震位移(Ozawa et al, 2011), 可能是造成 2011 年以来东北地区地震活动频度增加的重要原因。吉林松原  $M_s \geq 5.0$  震群震源深度都较浅,人工地震测深结果显示,松辽盆地位于莫霍面上隆区,地幔上隆引起地幔流体的入侵,在存有储集空间的中地壳形成低速-高导层(卫平生等,2008; 印长海等,2013), 中地壳的低速-高导层会沿断裂面等薄弱带上侵,这也许是触发地震的重要因素。结合重定位后震源位置及震源机制反演结果,本研究初步推测此次地震的发震构造可能为 NNW 向查干泡-道字井断裂,后续我们将收集震区地震地质、地球物理和科学考察等资料进行深入研究,以进一步揭示前郭震群的发震机理。

表 2 震源机制解结果

发震时间	震级 $M_s$	断层面	走向 /(°)	倾角 /(°)	滑动角 /(°)	矩心深度 /km	断层类型	数据来源
10 月 31 日	5.5	节面 I	330	60	50	8	含走滑分量的逆冲型	韩立波, 2013
		节面 II	209	48	138			
11 月 22 日	5.3	节面 I	200	60	140	5	含走滑分量的逆冲型	韩立波, 2013
		节面 II	313	56	37			
11 月 23 日	5.8	节面 I	210	80	150	12	含走滑分量的逆冲型	韩立波, 2013
		节面 II	306	61	12			
11 月 23 日	5.8	节面 I	335	49	51	12	含走滑分量的逆冲型	Global CMT, 2013
		节面 II	206	54	126			
11 月 23 日	5.0	节面 I	200	70	140	10	含走滑分量的逆冲型	韩立波, 2013
		节面 II	306	53	25			



## 5 结语

利用固定台和流动台观测资料,采用双差定位法对吉林前郭 2013 年 10 月 31 日~12 月 10 日地震序列重新定位,同时采用同样的方法对 5.5 级和 5.8 级地震序列重新定位,获得了整个地震序列以及 2 次分序列的精定位结果。

整个序列的定位结果显示震中位置和震源深度均有较大改善。定位后的震中分布和震源深度改善了定位前的弥散形态和分层现象,定位后整个序列的优势长轴走向为北偏西  $30^\circ$  左右,与查干泡-道字井断裂北支走向一致,密集区的扩展长度达 21km,震源深度的优势范围为 5~15km。同时,震源深度剖面图显示倾向 NE 的断层倾角较大,而倾向 NW 的断层倾角较缓。

5.5 和 5.8 级地震序列重定位的结果显示,2 次序列的地震频度、震源深度、震中分布的条带形状以及扩展方向等均有明显不同。2 次序列均沿查干泡-道字井断裂北支扩展,经纬向剖面图显示,5.5 级序列以簇状分布为主,震源较浅,优势深度为 6~12km;而 5.8 级序列分布具有显著差异,其破裂方式以双侧破裂为主,优势深度为 8~14km。结合震源机制解、地质等相关资料初步推测,2 次地震序列的发震构造为 NNW 向的查干泡-道字井断裂。其中,5.8 级序列沿断裂分布的长度约 19km,5.5 级序列沿断裂分布的长度约 10km,卢显(2007)指出余震沿断层方向分布的长度能较好地反映地震的破裂长度,可见 5.8 级序列的破裂长度明显大于 5.5 级序列。

整个序列以及 2 次序列的重定位结果显示,查干泡-道字井断裂北支两侧的地震活动强度、震中分布的优势方向和密度等差异较大,断裂东侧地震的频度、强度明显优于西侧,这间接反映出断裂两侧的构造特征差异较大。震区的查干泡-道字井断裂北支为此次地震的主控断裂,其与共轭的扶余-肇东断裂一起控制着此次地震的发展态势。

**致谢:**感谢吉林省地震局和黑龙江省地震局应急流动观测站为本研究提供了宝贵的监测数据;感谢吉林省地震局台网中心编目组整理出宝贵的序列资料;感谢中国地震局地球物理研究所韩立波博士提供的震源机制解资料;感谢北京市地震局武敏捷在程序方面提供的帮助;感谢审稿专家提出了宝贵的修改意见。

## 参考文献

- 陈棋福、张跃勤、周静,2001,数字观测时代的全球三维结构与地震定位研究,地震,21(2),29~40。
- 李传友、汪一鹏、张良怀等,1999,吉林省松原地区 1119 年 6 $\frac{3}{4}$ 级地震的发震构造条件,中国地震,15(3),237~246。
- 刘殿秘、韩立国、翁爱华等,2007,松辽盆地西北边界部分地球物理特征,地球物理学进展,22(6),1722~1727。
- 刘巧霞、杨卓欣、莘海亮等,2012,玉树  $M_s$ 7.1 地震部分余震重新定位及发震构造分析,地球物理学报,55(1),146~154。
- 刘洋、刘财、杨定俊等,2008,松辽盆地北部纵波速度区域特征分析及深层油气问题,地球物理学进展,23(3),785~792。
- 龙思胜,2004,2001 年四川雅江 6.0 级地震序列的破裂特征及发震构造,中国地震,20(1),1~11。
- 卢显、周龙泉,2011,2007 年宁洱 6.4 级地震序列精定位,地震地质,33(3),560~567。
- 吕坚、郑勇、倪四道等,2008,2005 年 11 月 26 日九江-瑞昌  $M_s$ 5.7、 $M_s$ 4.8 地震的震源机制解与发震构造研究,地球物理学报,51(1),162~168。
- 孙安辉、陈祺福、陈颢等,2011,天山东北部地震的重新定位和一维地壳速度模型的改善,中国地震,27(3),235~247。
- 万永革、沈正康、刁桂苓等,2008,利用小震分布和区域应力场确定大震断层参数方法及其在唐山地震序列中的应用,地球物理学报,51(3),569~583。
- 卫平生、张景廉、张虎权等,2008,松辽盆地深部地壳构造特征与无机油生成模式,地球物理学进展,23(5),1507~

- 1513。
- 杨宝俊、李勤学、唐建人等, 2003, 松辽盆地反射地震莫霍面的形态、三瞬处理结果及其地质解释, *地球物理学报*, **46**(3), 398~402。
- 杨智娴、Brian W S、陈运泰等, 2011, 1999 年海城-岫岩地震序列的精准定位, *地震学报*, **33**(3), 271~278。
- 印长海、杨步增、崔永强, 2013, 松辽盆地深层天然气运移通道研究, *化工矿产地质*, **35**(2), 84~90。
- 张广伟、雷建设、谢富仁等, 2011, 华北地区小震精定位及构造意义, *地震学报*, **33**(6), 699~714。
- 张广伟、雷建设, 2013, 四川芦山 7.0 级强震及其余震序列重定位, *地球物理学报*, **56**(5), 1764~1771。
- 赵旭、李强、刘瑞丰等, 2009, 三峡库区地震精定位中确定速度模型的方法, *地震地磁观测与研究*, **30**(3), 27~35。
- 郑勇、马宏生、吕坚, 2009, 汶川地震强余震 ( $M_s \geq 5.6$ ) 的震源机制解及其与发震构造的关系, *中国科学: D 辑*, **39**(4), 23~36。
- 朱艾斓、徐锡伟、胡平等, 2005a, 首都圈地区小震重新定位及其在地震构造研究中的应用, *地质论评*, **51**(3), 268~274。
- 朱艾斓、徐锡伟、周永胜等, 2005b, 川西地区小震重新定位及其活动构造意义, *地球物理学报*, **48**(3), 629~636。
- 韩立波, 2013, <http://www.cea-igp.ac.cn/tpxw/267987.shtml>。
- Courboux F, Larruque C, Deschamps A, et al, 2003, An unknown active fault revealed by microseismicity in the south-east of France, *Geophys Res Lett*, **30**(15), 1021~1024。
- Global CMT, 2013, <http://www.globalecm.org/cgi-bin/globalecm-cgi-bin/CMT4/form?itype=yym&yr=2013&mo=10&day=30&oyr=2013&omo=11&oday=25&jyr=2013&jday=1&ojyr=2013&ojday=50&otype=nd&nday=50&lmw=0&umw=10&lms=0&ums=10&lmb=0&umb=10&llat=38&ulat=55&llon=118&ulon=135&lhd=0&uhd=50&lts=-9999&uts=9999&lpe1=0&upe1=90&lpe2=0&upe2=90&list=0>。
- Lei J, Zhao D, 2005, P-wave tomography and origin of the Changbai intraplate volcano in Northeast Asia, *Tectonophysics*, **397**(3), 281~295。
- Ozawa S, Nishimura T, Suito H, et al, 2011, Coseismic and postseismic slip of the 2011 magnitude -9 Tohoku-Oki earthquake, *Nature*, **475**(7356), 373~376。
- Ratehkovski N A, Wiemer S, Harisen R A, 2004, Seismotectonics of the Central Denali Fault, Alaska, and the 2002 Denali Fault earthquake sequence, *Bull Seism Soc Am*, **94**(6B), S156~S174。
- Schoff D P, Bokelmann G H R, Beruza G C, et al, 2002, High-resolution image of Calaveras Fault seismicity, *J Geophys Res*, **107**(B9): ESE 5-1-ESE 5~16。
- Waldhauser F, Ellsworth W I, 2000, A double difference earthquake location algorithm: method and application to the North Hayward Fault, California, *Bull Seism Soc Am*, **90**(6), 1353~1368。

## Relocations of Qianguo earthquake sequence and its seismotectonic analysis

Zhang Hongyan<sup>1)</sup> Zhang Guangwei<sup>2)</sup> Wang Xiaoshan<sup>3)</sup> Sheng Jian<sup>1)</sup>  
Lu Yanhong<sup>1)</sup> Zhang Yu<sup>1)</sup>

1) Earthquake Administration of Jilin Province, Changchun 130117, China

2) Institute of Crustal Dynamics, China Earthquake Administration, Beijing 100085, China

3) Earthquake Administration of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China

**Abstract** Combining the data recorded by the mobile observation instruments and digital observation station, we relocated the 343 earthquakes occurred in Qianguo, Jilin Province between October 31 ~ December 10, 2013 with double-difference location algorithm, and finally obtained 336 relocated earthquakes. Our result shows that the advantage distribution direction is NW paralleled to the northern segment of Chaganpao-Daozijing fault zone. The relocated earthquake sequence are more concentrated on obvious strip around the fault, while most of them occur at the depth of 6 ~ 14km. This shows that the seismogenic layer in this region is in the mid-upper crust contacting significantly with the regional underground media. The earthquake location and depths about the  $M_s$ 5.5 and  $M_s$ 5.8 earthquake sequences have been improved with the same way. It shows significant differences on advantage direction, advantage depths and rupture length of the two relocated earthquake sequences. The seismotectonics of the earthquake sequence is in NNW for the Chaganpao-Daozijing fault through the focal mechanism solution and relocated profile map.

**Key words:** Double-difference location algorithm Earthquake sequence Jilin Qianguo Seismotectonics