

韩晓明、刘芳、张帆等, 2015, 2013 年通辽  $M_s 5.3$  地震及其前震序列判定, 中国地震, 31 (2), 271 ~ 280。

# 2013 年通辽 $M_s 5.3$ 地震及其前震序列判定

韩晓明 刘芳 张帆 倪铭

内蒙古自治区地震局, 呼和浩特市新城区哲里木路 80 号 010010

**摘要** 以 2013 年 4 月 22 日内蒙古通辽  $M_s 5.3$  地震为研究对象, 在序列统计分析的基础上, 通过 HypoDD 双差定位和震源机制求解, 分析了之前的  $M_L 4.4$  地震与  $M_s 5.3$  地震的关系。结果表明, 通辽  $M_s 5.3$  地震是在震中区中小地震长期平静和震前短期活动增强的背景下发生的一次中强地震; 地震精确定位结果显示, 通辽  $M_s 5.3$  地震序列整体呈 NW 向展布, 延伸约 10km,  $M_L \geq 3.0$  余震集中发生于主震南侧约 2km 处;  $M_s 5.3$  主震和  $M_L 4.4$  前震的震中相距约 1.8km, 震源深度分别为 7.208、7.089km, 表明两者的震源位置比较接近, 可能发生于同一断层; 震源机制结果表明, 通辽  $M_s 5.3$  主震的震源机制为走滑型, 余震震源机制类型比较凌乱, 由前期的走滑为主转变为后期的正断层和逆冲型; 3 次较大前震的震源机制解具有一致性, 均为正断层, 一定程度上表现了震中区地壳介质在宏观破裂前存在明显的各向异性, 具体表现为裂隙的定向排列, 这种“一致性”的震兆状态在应力的进一步作用下孕育发生了主震。根据地震序列的时空分布特点和震源机制相似性, 综合判定通辽  $M_s 5.3$  地震应为前震-主震-余震型。

**关键词:** 通辽 5.3 级地震 HypoDD 定位 CAP 震源机制相似性 前震判定

[文章编号] 1001-4683 (2015) 02-0271-10

[中图分类号] P315

[文献标识码] A

## 0 引言

沿  $42^\circ\text{N}$  线呈近 EW 向展布的赤峰-开原断裂是兴蒙造山带和华北地台这 2 个 I 级板块的分界线 (马杏垣, 1987、1989), 该断裂处于岩石圈厚度变异带, 断裂两侧岩石圈厚度差异显著 (卢造勋等, 2005), 也是地震活动性分析中华北块体与东北块体的地理分界 (孟宪森等, 2007)。2013 年 4 月 22 日 17 时 11 分赤峰-开原断裂中段的内蒙古一侧发生通辽  $M_s 5.3$  地震, 宏观震中位于科尔沁左翼后旗甘旗卡镇 ( $42.98^\circ\text{N}, 122.36^\circ\text{E}$ )。2013 年 1 月 21 日该地曾发生  $M_L 4.4$  地震, 它与 4 月 22 日通辽  $M_s 5.3$  地震发震时间相差约 3 个月, 从空间位置差异和时间间隔上可以初步确定其为  $M_s 5.3$  地震的前震; 值得注意的是,  $M_L 4.4$  地震发生后 2 天, 在其东南方向约 170km 处的沈阳灯塔发生 5.1 级地震, 这就产生了  $M_L 4.4$  地震的前震归属问题。根据前震的定义 (陆远忠等, 1985; 朱传镇等, 1996; 陈运泰等, 2000; 王林瑛等, 2005; 蒋海昆等, 2006), 空间位置上的接近要比发震时间间隔上的接近更能体现前震的性质。虽然  $M_L 4.4$  地震与灯塔 5.1 级地震的发震时间仅间隔 2 天, 但考虑到其震中与通辽

[收稿日期] 2015-02-13; [修定日期] 2015-03-13

[项目类别] 中国地震局地震科技星火计划项目 (XH15010Y, XH14012Y) 资助

[作者简介] 韩晓明, 男, 1980 年生, 硕士, 高级工程师, 主要从事数字地震学方法应用与研究。E-mail: hxmpower@126.com

张帆: 通讯作者, E-mail: zhangpoyu@126.com

$M_s5.3$  级地震的震中比较接近, 因此初步认为  $M_L4.4$  地震应该为通辽  $M_s5.3$  地震的直接前震。为了更加确切地判定其前震性质, 本文在地震序列统计分析的基础上, 通过 HypoDD 双差定位给出前震与主震较为精确的空间分布, 考察前震与主震在震源深度上的“同源性”, 通过震源机制求解分析前震序列的震源机制相似性, 并结合地震序列的统计分析, 综合判定 2013 年 1 月 21 日  $M_L4.4$  地震序列与通辽  $M_s5.3$  地震的关系。

## 1 地震概况

### 1.1 地震地质背景

松辽盆地是一个典型的中新生代大陆伸展型断拗复合型盆地, 其形成演化受 2 种动力控制: 一是地壳深部地幔物质的热动力; 二是太平洋板块向亚洲大陆俯冲形成的动力。盆地早期发育主要受第 1 种动力控制, 中、晚期发育主要受第 2 种动力控制。由于 2 种动力性质的改变, 在盆地发展过程中具有张、压两重性(迟元林, 2002; 刘殿秘, 2008)。目前, 松辽盆地仍主要受西太平洋板块西行俯冲的影响而在盆地中部及周缘形成中强地震活动地带。自有历史地震记录以来, 震中方圆 150km 范围内共发生  $M_s \geq 5.0$  地震 8 次, 其中最早记载的地震是 1318 年辽宁阜新 5.0 级地震, 其震中距 2013 年通辽  $M_s5.3$  地震约 41.5km; 在时间、空间上距离最近的是 1942 年 7 月 9 日内蒙古通辽 6.0 级地震, 其震中距 2013 年通辽  $M_s5.3$  地震约 35km(图 1)。

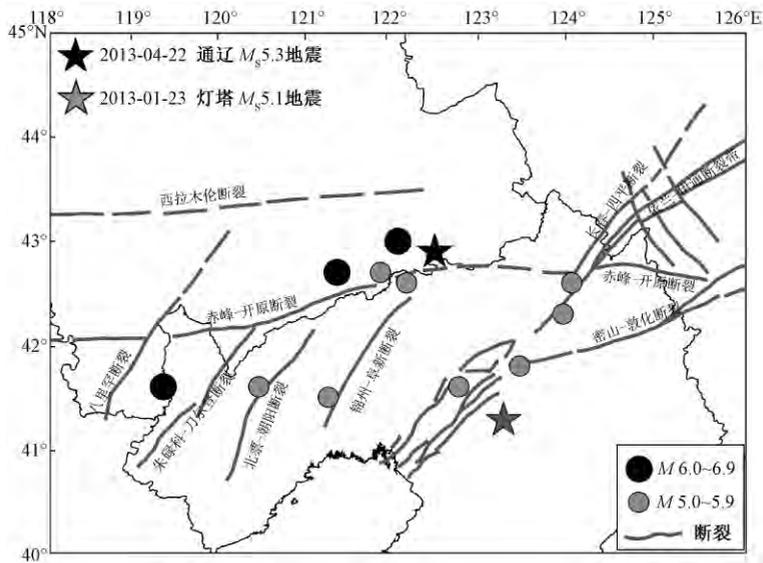


图 1 历史及现代中强地震和断裂构造分布

### 1.2 地震序列

根据中国地震编目系统(<http://10.5.202.22/bianmu/index.jsp>)提供的正式地震目录, 2000 年 1 月 1 日 ~ 2013 年 5 月 14 日, 在通辽  $M_s5.3$  地震的震中区 ( $42.88^\circ \sim 43.08^\circ \text{N}$ ,  $122.25^\circ \sim 122.45^\circ \text{E}$ ) 共记录到 82 次地震, 从其  $M-t$  图(图 2)可以明显看出, 通辽  $M_s5.3$  地震是在地震平静区域内部出现地震活动增强的过程中发生的一次中强地震; 地震活动增强

以来,即2013年1月21日~5月14日,在通辽  $M_s5.3$  级地震震中区记录到地震79次,其中  $M_L5.0\sim5.9$  地震1次、 $M_L4.0\sim4.9$  地震2次、 $M_L3.0\sim3.9$  地震15次、 $M_L2.0\sim2.9$  地震43次、 $M_L1.0\sim1.9$  地震18次。1月21日  $M_L4.4$  ( $M_s3.9$ ) 地震与4月22日  $M_s5.3$  地震时间相隔73天,该时间间隔介于“直接前震”和“广义前震”之间(陆远忠等,1985;梅世蓉等,1993;王林瑛等,2005)。为了精确考察通辽  $M_s5.3$  地震的空间分布形态,下面通过 HypoDD 双差定位对震中区的地震事件进行重新定位。

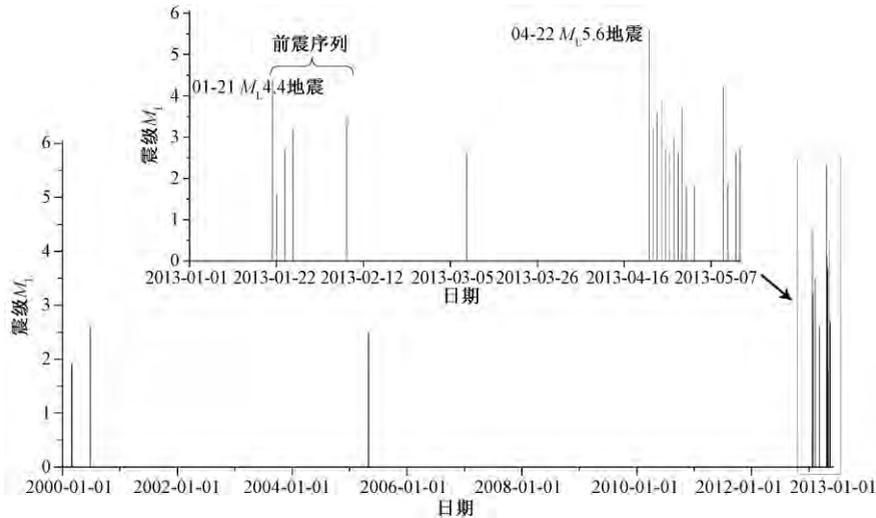


图2 2000年1月1日~2013年5月14日震中区  $M_L \geq 1.5$  地震  $M-t$  图

## 2 地震序列重新定位

卢造勋等(2002)结合人工地震探测资料对东北地区的上地壳和地幔结构进行了深入研究,结果较可靠。因此,本文采用卢造勋等(2002)的层析成像结果构建分层速度结构(表1),根据危自根等(2012)利用接收函数  $H-k$  的叠加分析结果将该区的波速比值设定为1.77。

表1 地震重新定位使用的速度模型

界面深度/km	0	3	13	14	24	33	34	71
P波速度/ $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$	4.51	5.79	6.07	6.35	6.43	6.82	7.77	7.81
S波速度/ $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$	2.54	3.27	3.42	3.58	3.63	3.85	4.38	4.42

为准确地分析余震活动的时空展布形态,运用共轭梯度算法对地震序列进行了 HypoDD 双差定位(Waldhanser et al, 2000; 杨智娴等, 2004; 黄媛等, 2008)。定位结果显示, EW、NS 和 UD 方向的定位误差均值分别为 0.8、0.7、1.1km, 分布范围分别为 0.31~1.29、0.25~1.53、0.34~2.11km, 水平向定位精度明显优于垂直向; 走时残差分布范围为 0.262~0.823s; 重新定位后, 震源深度集中分布于 5.5~7.5km, 从  $A_1 \rightarrow A_2$  的震源深度剖面可以看出, 序列的震源深度整体表现出由 NW 向至 ES 向逐渐增加的趋势(图3(e)), 前震序列6次事件的震源深度为 5.8~8.1km, 震源位置在垂直向的差异不大(图3(d))。重新定位后, 地

震序列整体呈 NW 向展布,延伸约 10km,余震分布于主震两侧,表现出双侧破裂特征;  $M_L \geq 3.0$  余震集中于主震南侧约 2km 处;前震序列中,震级较大的 4 次事件呈带状 NW 向展布,震级较小的 2 次事件明显离散,这可能由较小震级地震事件的定位误差较大所致(图 3 (a))。  $M_S 5.3$  主震与  $M_L 4.4$  前震的震中位置相差约 1.8km,震源深度分别为 7.208、7.089km,表明震源位置比较接近,它们可能发生于同一断层面。

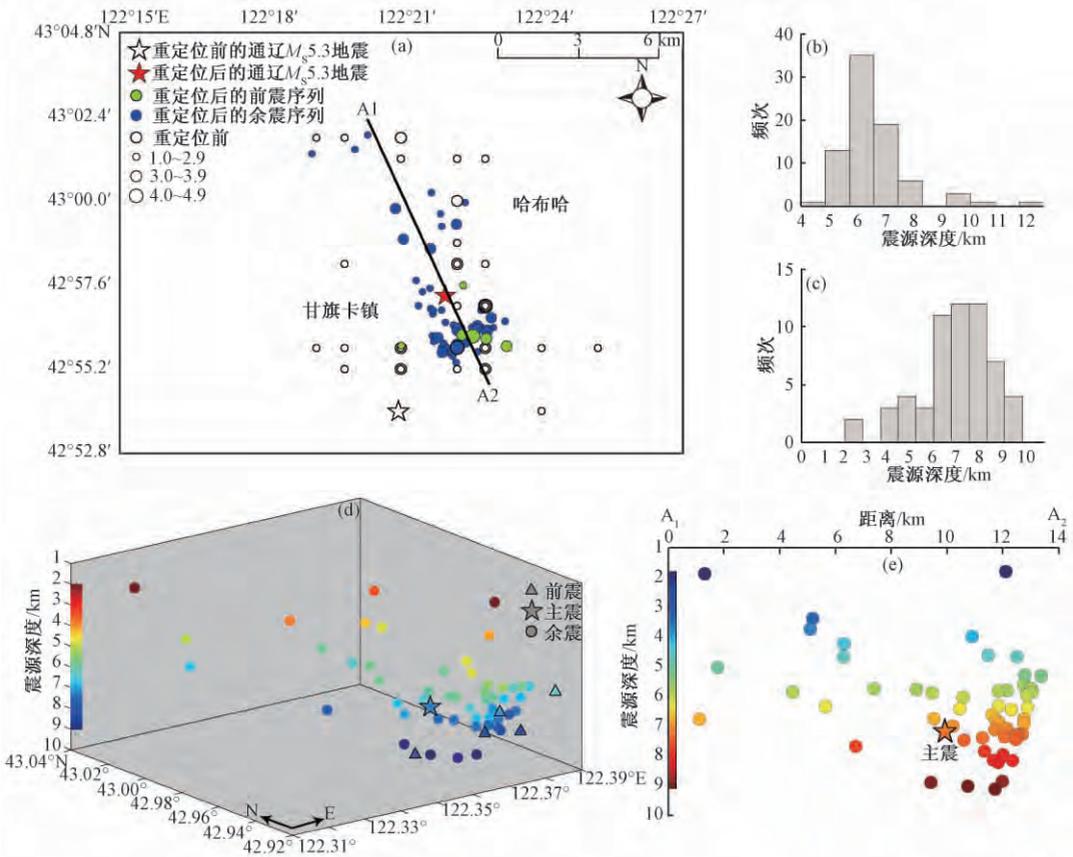


图 3 HypoDD 重新定位后通辽  $M_S 5.3$  地震的前震和余震分布

(a) 精定位前、后地震分布对比; (b) 精定位前深度统计; (c) 精定位后深度统计;  
(d) 精定位后的地震三维分布; (e) 地震序列沿  $A_1-A_2$  方向的震源深度剖面

### 3 震源机制解

岩石力学实验和震源物理研究表明 (Mogi, 1962; Nur, 1972; Anderson et al, 1973; Scholz et al, 1973; Mjachkin et al, 1975), 震源区介质发生非弹性变形并呈现明显的各向异性。这种各向异性可以有多种表现形式,如波形相似、介质内的裂隙呈优势取向排列或定向排列以及震源机制解相近等 (Sobolev, 1984; 崔子健等, 2012)。为进一步判定通辽  $M_S 5.3$  地震的前震序列,以下通过求解震源机制考察前震序列的震源机制相似性。

对于  $M_S 5.3$  主震,采用 CAP 方法 (Cut and Paste, 缩写为 CAP) (Zhu et al, 1996) 进行震

源机制求解;对于前震和余震,采用基于 P 波初动的 P 波、S 波振幅比方法(梁尚鸿等,1984;刘杰等,2004;胡新亮等,2004;张永久等,2007)进行震源机制求解;这 2 种方法对台站分布的依赖性相对较弱(林纪增等,1991;胡新亮等,2004;龙锋等,2010)。

关于 CAP 方法和振幅比方法的比较详细的计算原理可参见文献,此处仅将 2 种方法求解震源机制的整体过程和相关约束原则做如下阐述:①在 CAP 方法求解过程中挑选地震事件的 EVT 格式波形记录。首先将震中距为 150 ~ 500km 的台站所记录波形的仪器响应去除,再将记录波形旋转至径向、切向和垂向后将之分解为 Pnl 和 Snl 两部分,用 4 阶带通滤波分别在 0.05 ~ 0.2、0.05 ~ 0.1Hz 频段内对 Pnl、Snl 的噪声部分进行压制并赋予不同的权重,采用目前应用较广的频率-波数( $F-K$ )方法计算震中距的格林函数并得到合成地震图,然后将理论地震图与实际观测波形进行互相关,最终通过格点搜索方法反演求解震源机制。为减少速度模型及地震定位不甚精确等因素对结果的影响,通过在波形互相关过程中赋予 Pnl 和 Snl 不同权重且对二者采用不同的时移来保证反演结果的精确度。②在振幅比计算过程中,运用层状介质中一点源位错模型计算综合地震图得到 P、S 最大振幅,并对 P、S 最大振幅的比值与观测数据进行拟合来确定震源机制;为保证震源机制解的稳定性和可靠性,实际操作中约定参与计算的台站个数  $\geq 5$ ,精度  $\leq 0.2\text{mm}$ ,记录振幅  $\geq 0.5\text{mm}$  且不限幅,震中距  $\leq 150\text{km}$ ,以此保证 Pn、P<sub>11</sub>、Sn、S<sub>11</sub> 等震相不参与计算。

根据 1970 年至今的地震资料,利用最大曲率方法(Woessner et al,2005)对震中及周边 120km 范围内的  $M_L 1.5 \sim 5.0$  地震的 G-R 关系曲线进行拟合,得到区域最小完整性震级  $M_c = M_L 2.0$ (图 4);2007 年以来内蒙古地震台网开始纳入邻省区的地震台站进行地震定位,目前震中区地震监测能力为  $M_L \geq 1.5$  地震,定位精度为 I 类。

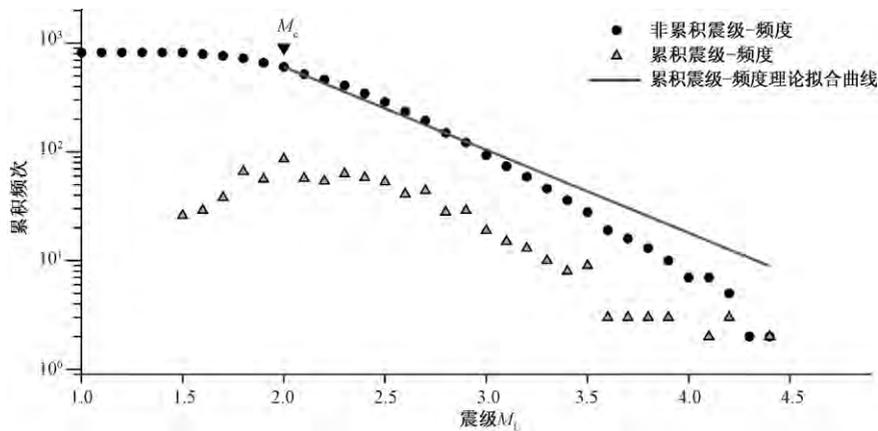


图 4 震中及周边的地震监测能力评估

根据上述原理和方法,选取震中周边信噪比较高、震中距为 150 ~ 500km 的 15 个台站波形记录进行矩张量初步反演(图 5),并选取理论波形和实际观测波形拟合误差较小的 9 个台站重新进行矩张量反演,求得通辽  $M_s 5.3$  地震的震源机制解为:节面 I 走向  $221^\circ$ 、倾角  $85^\circ$ 、滑动角  $152^\circ$ ;节面 II 走向  $314^\circ$ 、倾角  $62^\circ$ 、滑动角  $6^\circ$ ,基本为纯走滑型震源机制,与国内外其他研究结果基本一致(表 2、图 6)。

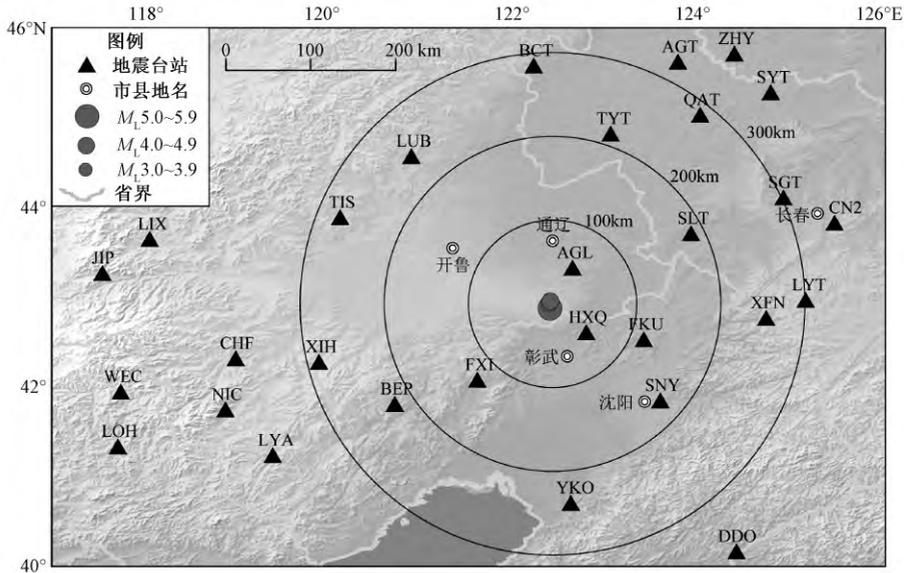


图 5 通辽  $M_s$  5.3 地震及周边地震台站分布

表 2

通辽  $M_s$  5.3 地震的震源机制解

序号	节面 I			节面 II			结果来源
	走向 / (°)	倾角 / (°)	滑动角 / (°)	走向 / (°)	倾角 / (°)	滑动角 / (°)	
1	220	90	178	310	88	0	德国波茨坦地震公告 <sup>①</sup>
2	218	80	154	313	80	11	美国哈佛大学 <sup>②</sup>
3	219	86	162	310	72	4	中国地震局地球物理研究所结果 <sup>③</sup>
4	221	85	152	314	62	6	本文结果

受地震台站的实际分布状况(图 5)所限,对于较小震级的前震和余震很难得到精确的震源机制解,这进而会影响到后期的结果分析。因此,对于  $M_L \geq 3.0$  前震和  $M_s \geq 3.0$  余震,统一利用基于 P 波初动的振幅比方法求解震源机制。结果显示,3 次前震事件均为正断层,特别是  $M_L 3.2$ 、 $M_L 3.5$  地震的震源机制更为一致,节面和力轴参数都比较接近(表 3、图 7)。相对来讲,余震的震源机制类型变化较大,初期的 2 次余震与主震的震源机制类型相似,均以走滑为主;后期的 2 次余震分别为逆冲型和正断层。

关于地震序列的震源机制相似性,陈颀(1978)对前震和余震进行研究后发现,前震在空间上集中、震源机制解也较类似,而余震在空间上离散、震源机制解差异较大,并认为主震前、后岩层或构造的基本结构是否变化是导致震源机制呈现一致性或紊乱性的主要因素。而在外界应力作用保持稳定的条件下,发震构造的基本结构中最能影响震源机制类型的因

① <http://geofon.gfz~potsdam.de/eqinfo/list.php?mode=mt>

② [http://comcat.cr.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usb000gdf1#scientific\\_contributed~solutions](http://comcat.cr.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usb000gdf1#scientific_contributed~solutions)

③ <http://www.cea~igp.ac.cn/tpwx/266848.shtml>

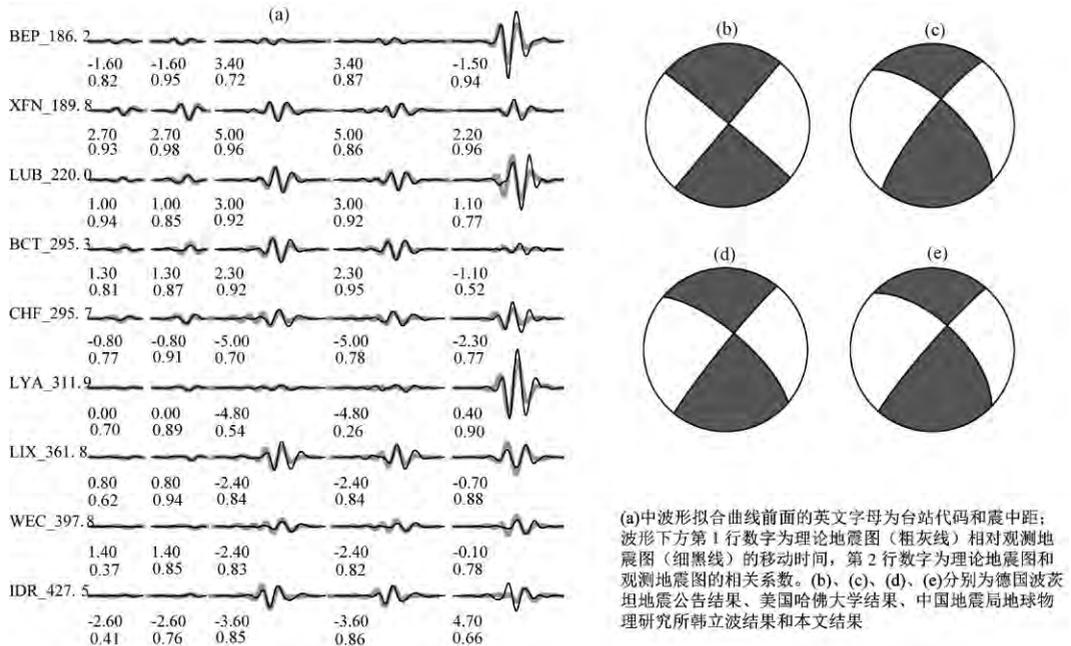


图 6 通辽  $M_s$ 5.3 地震的震源机制解

素是其几何形态,若介质中裂隙展布形态出现定向排列或其他各向异性,则这种规则的几何形态很容易产生相似的震源机制。

表 3 通辽  $M_s$  5.3 地震的前震和余震 ( $M_L \geq 3.0$ ) 震源机制解

序号	日期 (年-月-日)	震中	震级 $M_L$	走向/倾角/滑动角 / ( $^{\circ}$ )		方位/仰角 / ( $^{\circ}$ )			方法
				节面 I	节面 II	P 轴	T 轴	B 轴	
1	2013-01-21	42.93°N, 122.37°E	4.4	21/66/-92	207/24/-85	286/69	113/21	22/2	振幅比
2	2013-01-26	42.93°N, 122.38°E	3.2	223/32/-124	82/64/-71	27/66	157/17	253/17	振幅比
3	2013-02-08	42.93°N, 122.38°E	3.5	230/30/-117	81/64/-75	19/68	160/17	254/13	振幅比
4	2013-04-22	42.98°N, 122.36°E	5.6	221/85/152	314/62/6	271/16	173/23	32/62	CAP
5	2013-04-24	42.93°N, 122.38°E	3.6	75/59/-175	167/86/-31	117/72	215/65	354/31	振幅比
6	2013-04-25	42.97°N, 122.37°E	3.9	73/52/178	342/88/38	111/63	215/65	340/38	振幅比
7	2013-04-30	42.93°N, 122.37°E	3.7	105/56/62	241/43/125	251/24	355/83	88/67	振幅比
8	2013-05-10	42.95°N, 122.38°E	4.2	20/65/-95	189/25/-80	286/70	119/21	18/86	振幅比

## 4 结论和讨论

(1) 通辽  $M_s$  5.3 地震具有一定的特殊性,它并没有表现出前人总结的赤峰-开原断裂北部中强地震具有的爆发突然、序列单调等特点(孟宪森等,2007)。本次  $M_s$ 5.3 地震发生前有典型的前震活动,且余震活动具有一定规模,余震强度和持续时间均超越了以往的统计规律。

(2) 根据 HypoDD 重新定位的结果,通辽  $M_s$  5.3 地震序列整体呈 NW 向分布,震源深度由 NW 至 ES 方向呈现出逐步增加的趋势,序列延伸约 10km,余震分布在主震两侧,呈现双

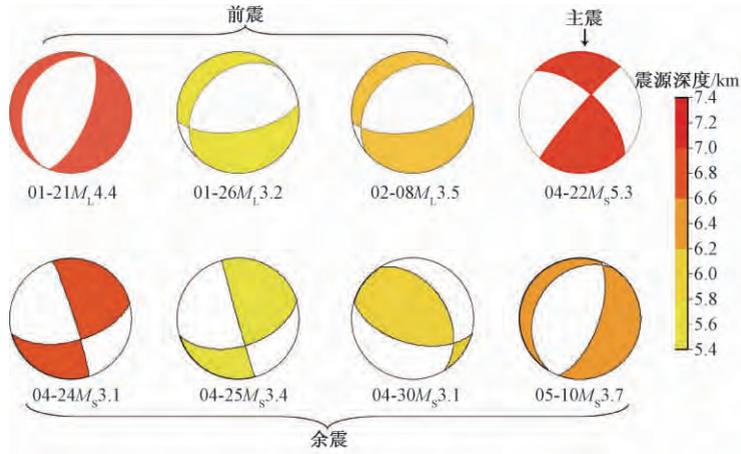


图7 主震、前震和余震的震源机制解

震源深度数据来自 HypoDD 定位结果

侧破裂特征,较大震级的余震( $M_L \geq 3.0$ )则主要分布在主震南侧。前震序列延伸约 1.8km,序列中较大震级的地震呈 NW 向带状分布于主震的东南侧。 $M_S 5.3$  主震与最大前震( $M_L 4.4$ )的震中相距约 1.8km,震源深度分别为 7.208、7.089km,两者的震源位置十分接近,具有一定的“同源”特征。

(3) 分别用基于波形拟合的 CAP 反演方法和基于 P 波初动的振幅比方法求解了  $M_S 5.3$  主震、 $M_L \geq 3.0$  前震和  $M_S \geq 3.0$  余震的震源机制解。 $M_S 5.3$  主震的震源机制为走滑型;余震的震源机制类型变化较大,由前期的走滑为主转变为后期的逆冲型和正断层;前震的震源机制类型比较一致,均为正断层,这种震源机制的一致性进一步明确了其所具有的前震性质。同时应注意到, $M_L 4.4$  前震和后续 2 次前震的 P 轴方位并不一致,夹角约为  $90^\circ$ ,应力轴方位在短期内的变化可能由震源区本身的应力场调整引起,也可能与外围的应力触发有关, $M_L 4.4$  地震之后 2 天,在其震中南部约 170km 处发生灯塔  $M_S 5.1$  地震,灯塔地震的应力触发作用也可能导致上述前震的应力轴方位发生改变,但这只是作者的主观推测,若要准确地揭示其原因,还需要从震中区的库仑应力加卸载作用方面开展研究。

(4) 根据地震序列的时空分布特点和震源机制的相似性,综合判定通过  $M_S 5.3$  地震为前震-主震-余震型。

**致谢:**文中图件由 Matlab 程序设计平台和 GMT 程序包绘制完成,CAP 反演程序来源于美国圣路易斯大学朱露培教授,匿名审稿专家提出了中肯和科学的修改建议,在此表示衷心感谢。

## 参考文献

- 陈颢,1978,用震源机制一致性作为描述地震活动性的新参数,地球物理学报,21(2),142~159。  
 陈运泰、吴忠良、王培德等,2000,数字地震学,83~90,北京:地震出版社。  
 迟元林,2002,松辽盆地深部结构及成盆动力学与油气聚集,北京:石油工业出版社。  
 崔子健、李志雄、陈章立等,2012,判别小震群序列类型的新方法研究——谱振幅相关分析法,地球物理学报,55(5),1718~1724。

- 胡新亮、刁桂苓、马瑾等,2004,利用数字地震记录的 P、S 波振幅比资料测定小震震源机制解的可靠性分析,地震地质,26(2),347~354。
- 黄媛、吴建平、张天中等,2008,汶川 8.0 级大地震及其余震序列重定位研究,中国科学:D 辑,38(10),1242~1249。
- 蒋海昆、李永莉、曲延军等,2006,中国大陆中强地震序列的空间分布特征研究,地震学报,28(4),389~398。
- 梁尚鸿、李幼铭、束沛镒等,1984,利用区域地震台网 P、S 波振幅比资料测定小震震源参数,地球物理学报,27(3),249~257。
- 林纪曾、蒋维强、李幼铭等,1991,粤东、闽南沿海小震震源参数的测定研究,地震学报,13(4),420~429。
- 刘殿秘,2008,松辽盆地及其周围典型盆地部分地球物理特征,博士论文,长春:吉林大学。
- 刘杰、郑斯华、康英等,2004,利用 P 波和 S 波的初动和振幅比计算中小地震的震源机制解,地震,24(1),19~26。
- 龙锋、张永久、闻学泽等,2010,2008 年 8 月 30 日攀枝花-理会 6.1 级地震序列  $M_L \geq 4.0$  事件的震源机制解,地球物理学报,53(12),2852~2860。
- 卢造勋、姜德禄、白云等,2005,东北地区地壳上地幔结构的探测与研究,东北地震研究,21(1),1~8。
- 卢造勋、蒋秀琴、潘科等,2002,中朝地台北缘地区的地震层析成像,地球物理学报,45(3),338~352。
- 陆远忠、陈章立、王碧泉等,1985,地震预报的震学方法,111~150,北京:地震出版社。
- 马杏垣,1987,中国岩石圈动力学纲要,北京:地质出版社。
- 马杏垣,1989,中国岩石圈动力学图集,北京:中国地图出版社。
- 梅世蓉、冯德益,1993,中国地震预报概论,69~73,北京:地震出版社。
- 孟宪森、关玉辉、姜锦华,2007,开原-赤峰断裂两侧地震序列活动的差异,东北地震研究,23(2),22~29。
- 王林瑛、陈佩燕、吴忠良等,2005,前震序列及其识别研究,地震学报,27(2):171~177。
- 危自根、陈凌,2012,东北地区至华北北缘地壳结构的区域差异:地壳厚度与波速比的联合约束,地球物理学报,55(11),3601~3614。
- 杨智娴、陈运泰、郑月军等,2004,双差地震定位法在我国中西部地区地震精确定位中的应用,中国科学:D 辑,26(2),115~120。
- 张永久、程万正,2007,用 P、S 波速度振幅比求小震机制解的可行性研究,中国地震,23(4),366~374。
- 朱传镇、王林瑛,1996,前震活动特征及其识别的研究,地球物理学报,39(1),80~87。
- Anderson D L, Whitcomb J H, 1973, The dilatancy-diffusion model of earthquake prediction, Proc Conf on Tectonic Problems of the San An Areas Fault System, Stanford Univ, 417~426.
- Mjachkin V I, Brace W F, Sobolev G A, et al, 1975, Two models for earthquake forerunners, Pure Appl Geophys, 113, 169~181.
- Mogi K, 1962, Study of elastic shocks caused the fracture of heterogeneous materials and their relation to earthquake phenomena, Bull Earthq Res Inst Univ, Tokyo, 40, 125~173.
- Nur A, 1972, Dilatancy, pore fluids, and premonitory variations of  $t_s/t_p$  travel times, Bull Seism Soc Am, 62(5), 1217~1222.
- Scholz C H, Sykes L R, Aggarwal Y P, 1973, Earthquake prediction: A physical basis, Science, 181, 803~810.
- Sobolev G A, 1984, Physical processes during the earthquake preparation period: Experiment and theory, earthquake prediction, Proceedings of International Symposium on Earthquake Prediction, Unesco, Paris, 281~310.
- Waldhauser F, Ellsworth W L, 2000, A double difference earthquake location algorithm: method and application to the Northern Hayward fault, California, Bull Seism Soc Am, 90(6), 1353~1368.
- Woessner J, Wiemer S, 2005, Assessing the quality of earthquake catalogs: Estimating the magnitude of completeness and its uncertainties, Bull Seism Soc Am, 95(4), 684~698.
- Zhu L P, Donald V H, 1996, Advancement in source estimation techniques using broadband regional seismograms, Bull Seism Soc Am, 86(5), 1634~1641.

## The Tongliao $M_s5.3$ earthquake and its foreshock determination

Han Xiaoming Liu Fang Zhang Fan Ni Ming

Earthquake Administration of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010010, China

**Abstract** The paper took the 2013 Tongliao  $M_s5.3$  earthquake as the research object and analyzed and discussed the relationship between  $M_L4.4$  and  $M_s5.3$  earthquakes on basis of statistical analysis of earthquake sequence and HypoDD location and focal mechanism solutions. The results showed that, the Tongliao  $M_s5.3$  earthquake occurred with the background of long-term quiescence of medium-small earthquakes and short-term enhancement activity in epicentral area. The results of accurate seismic location showed that the Tongliao  $M_s5.3$  earthquake sequence distributes on the NW trending, with an extension of 10km.  $M_L \geq 3.0$  aftershocks concentration occurred southern of main shock. The distance between  $M_s5.3$  and  $M_L4.4$  earthquakes is about 1.8km with focal depths of 7.208km and 7.089km, respectively. Their focal location is very close and they might have occurred on the same fault plane. The results of focal mechanism showed that the Tongliao  $M_s5.3$  earthquake was of a strike-slip type. Focal mechanism of aftershocks were in disorder with time lapse. The type changed from strike-slip to thrust and normal fault. The bigger foreshocks had similar focal mechanism. They were all normal fault, and to some extent exhibited a obvious crustal medium anisotropy in epicentral area before macroscopic fracture. The fracture was directional alignment with stress action enhanced, and the "consistency" of seismic precursor state would gestate the main shock. According to the characteristics of temporal-spatial distribution of earthquake sequence and similarity of focal mechanism, we judge that the Tongliao  $M_s5.3$  earthquake is a foreshock-mainshock-aftershock type.

**Key words:** The Tongliao  $M_s5.3$  earthquake HypoDD location CAP Focal mechanism similarity Foreshock determination