

王树忠,贾昊东. 2013 年内蒙古通辽 5.3 级地震震源断层三维特征反演[J]. 华北地震科学, 2017, 35(4): 70-74.

2013 年内蒙古通辽 5.3 级地震震源 断层三维特征反演

王树忠, 贾昊东

(内蒙古自治区地震局乌加河地震台, 内蒙古 巴彦淖尔 015329)

摘要:采用 Hyposat 定位方法对 2013 年 4 月 22 日 17 时 11 分发生的内蒙古通辽(122.4°E, 42.9°N)5.3 级地震及其周边区域以往地震进行初步定位,再使用双差定位方法对该区域进行二次精确定位,从而得到该地区 1976 年以来小震较为精确的震源深度以及震中位置。利用得到的定位结果反演了主震的震源断层面参数;同时利用 cap 方法计算通辽 5.3 级地震的震源机制解,结合震源断层参数推断该地区地壳应力场及地质构造。结果显示,2013 年通辽科左后旗地震,与养畜牧隐伏断裂活动有关。

关键词:通辽 5.3 级地震;中小地震;震源机制;震源断层面反演;区域应力场

中图分类号:P315.3

文献标志码:A

文章编号:1003-1375(2017)04-0070-05

doi:10.3969/j.issn.1003-1375.2017.04.013

0 引言

2011 年日本 9.0 级地震和 2013 年鄂霍次克海 8.2 级深震后,我国华北和东北地区地震形势产生了新的变化,构成了新的格局。就目前的地震活动现状而言,环渤海及周边地区成为我国东部中等以上地震活动的主题区域。辽蒙交界地区内有松辽盆地、蒙辽交界断裂系、郯庐断裂带中段、老震区等众多地震地质单元,地质构造复杂,新构造运动强烈。

辽蒙交界区域地质构造属新华夏系构造带,地处燕山山地与大兴安岭山地的复合部位,即松辽沉降带西部沉降中心,NNE 向嫩江破碎带南支天山口—八里罕断裂的东盘;南侧的西辽河纬向断裂,在该县的西部与 NNW 向的胡虎尔河断裂,NNE 向的嫩江破碎带相交错断;北部的乌力吉木仁断裂,其西端与胡虎尔河断裂相交,其东段与嫩江破碎带相切;东部有 NE 向的双泡子断裂,其西端与西辽河断裂斜交。地区内断裂十分发育,互相交切成为若干断块,这些断裂具有间歇性发育的特点。这些“多”字型或“歹”字型的构造格局,成为有利于应力集中和积累的特殊部位,构成了辽蒙地区断裂带及所发生地震的分布格架。所以近几年来,国家始终把辽蒙交界地区做为地震重点监视防御区之一。本研究围

绕 2013 年 4 月 22 日 17 时 11 分内蒙古通辽市科左后旗发生的 5.3 级地震,反演辽蒙交界地区震源断层,并分析其地壳应力场。

1 资料的选取

为了更好地对内蒙古通辽市科左后旗 5.3 级地震进行分析,文章选取了发生在辽蒙交界地区,东经 118°~125°、北纬 42°~45°区域内,1976 年 1 月 1 日至 2014 年 11 月 30 日的所有地震,共计 2 200 条记录为基础资料(图 1)。

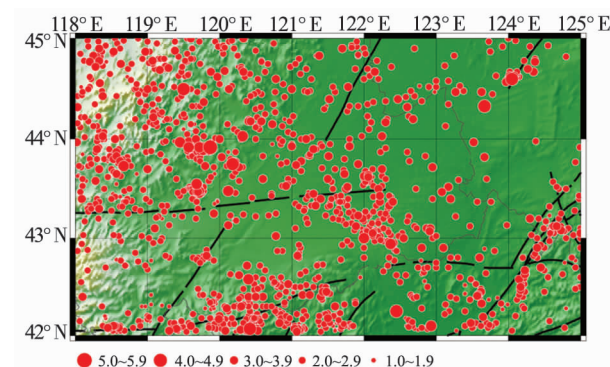


图 1 辽蒙交界地区地震基础资料图

收稿日期:2017-04-28

作者简介:王树忠(1970—),男,内蒙古包头人,工程师,主要从事地震监测工作. E-mail: wangshuzhong123@126.com

2 Hyposat 初步定位

Hyposat 方法采用 Geiger 法的基本思路,把走时 T 在初值 (x,y,z) 附近作泰勒展开并取一级近似为:

$$T'=T+\frac{\partial T}{\partial x}(x'-x)+\frac{\partial T}{\partial y}(y'-y)+\frac{\partial T}{\partial z}(z'-z) \quad (1)$$

其中: T 为实际走时, T' 是相对于 (x,y,z) 附近一点的 (x',y',z') 的走时。将观测方程组降维,并

利用奇异值分解最小二乘法对其进行求解。
经过 Hyposat 初步定位(主要是将单台确定的地震全删除)后,地震数由原来的 2 200 余条精简到 1 199 条;再次进行双差定位将少于 3 个台站定位的地震删除(由于内蒙古东部地区台站较为稀疏,又通过反复试验对比发现从地震数量和质量考虑台站数大于等于 3 时效果为佳),再次精简到 1 136 条。得到的结果更真实可靠(表 1)。

表 1 两次定位前后对比

	发震时刻	纬度/°N	经度/°E	深度/km	震级 M	参考地名
原始数据	1980-03-04 06:07:14.3	44.133	118.567	/	1.7	内蒙古巴林右旗
	1980-04-14 16:32:01.0	43.833	120.600	/	2.3	内蒙古阿鲁科尔沁
	1980-05-09 13:21:01.5	42.200	120.500	/	2.8	内蒙古奈曼旗
	1980-05-10 07:20:54.4	42.667	118.167	/	2.6	内蒙古喀拉沁旗
	1980-06-19 11:47:04.9	44.500	121.450	/	1.8	内蒙古扎鲁特旗
	1980-08-02 15:33:58.8	42.133	119.383	/	2.5	内蒙古喀拉沁旗
	1980-12-31 08:09:43.4	42.200	120.600	/	3.2	内蒙古敖汉旗
	发震时刻	纬度/°N	经度/°E	深度/km	水平误差/km	深度误差/km
Hyposat 定位	1980-03-04 06:07:14.3	44.133	118.567	194.1	30.244	-9.99
	1980-04-14 16:32:01.0	43.833	120.600	53.8	11.241	-9.99
	1980-05-09 13:21:01.5	42.200	120.500	0.0	4.703	-9.99
	1980-05-10 07:20:54.4	42.667	118.167	23.0	0.367	0.04
	1980-06-19 11:47:04.9	44.500	121.450	10.0	10.619	0.00
	1980-08-02 15:33:58.8	42.133	119.383	10.0	45.621	-9.99
	1980-12-31 08:09:43.4	42.200	120.600	0.0	2.535	-9.99
	发震时刻	纬度/°N	经度/°E	深度/km		
双差定位	1980-04-14 16:32:01.0	42.922 461	122.383 186	20.027		
	1980-05-09 13:21:01.5	42.937 551	122.372 087	16.301		
	1980-05-10 07:20:54.4	42.924 505	122.362 220	13.835		
	1980-06-19 11:47:04.9	42.924 218	122.386 132	19.300		
	1980-08-02 15:33:58.8	42.938 720	122.403 566	18.643		
	1980-12-31 08:09:43.4	42.927 172	122.370 715	13.027		
	1980-03-04 06:07:14.3	42.921 261	122.366 452	17.040		

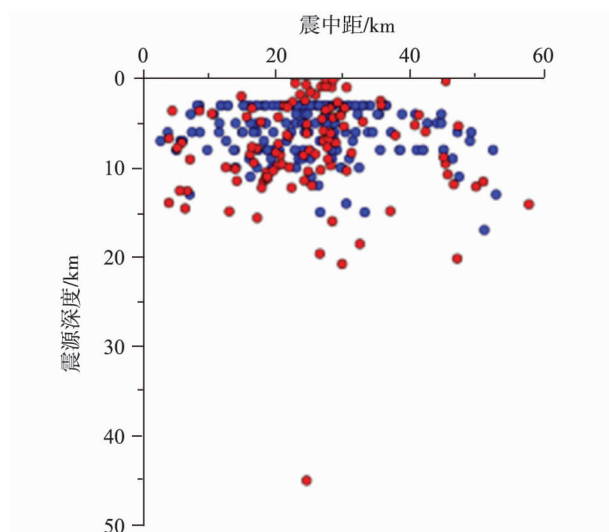
3 双差精定位

利用双差地震定位法对 2013 年 4 月 22 日内蒙古通辽市科左后旗 5.3 级地震附近,辽蒙交界地区 1976—2014 年发生的中小地震进行重新定位,重新定位后的地震表现为丛集分布,基本位于地壳中上部和中地壳层。震源深度的确定一直以来是地震定位中的一个难题,本文研究 2013 年内蒙古通辽 5.3 级地震附近 $(118^{\circ}\sim 125^{\circ}\text{E}, 42^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N})$ 区域内的 1 199 条地震中,533 条地震没有震源深度记录,占

地震总数的 44.5%,严重影响了该地区地壳应力场的分析。因此在该地区进行双差地震定位之前先对原始数据进行初次定位,经过 Hyposat 定位后震源深度数据计算完整,达到了 100%,但准确性较差。以 1980 年定位台站数在 3 个以上的地震目录为例,将未定位、Hyposat 初次定位以及双差定位所得到的数据进行对比(表 1)。原始数据中 1980 年地震目录中没有震源深度的信息,而经过 Hyposat 定位后得到了震源深度,经过双差定位后震源深度参数更为精确。由图 2 可以明显地看到,经过 Hy-

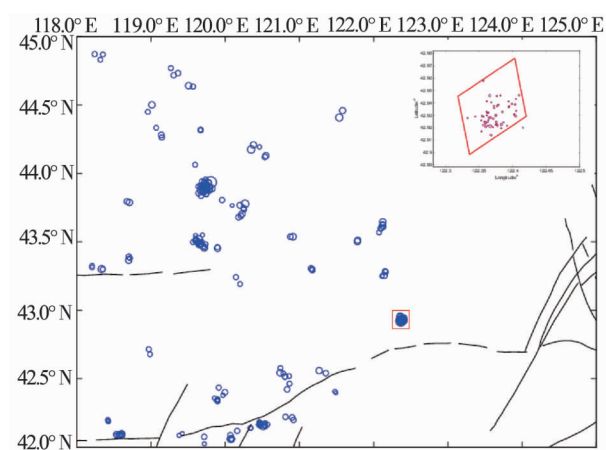
posat 与双差定位 2 次定位后所得的震源深度更为准确,地震更为丛集。

研究区域内的地震,通过双差地震定位法精确定位后地震的震源深度范围是 0~25 km(图 2),相对于双差定位前 5~10 km 的深度范围更加合理。与王新岭等^[1]用 PTD 方法测定巴林右旗 5.9 级地震震源深度 20 km,以及中国东部的地震震源深度集中分布在 5~24 km 的计算较为吻合。



注:红色圆点代表经过 Hyposat 和双差 2 次定位后得到的震源深度结果;蓝色圆点表示只用 Hyposat 定位方法进行定位的震源深度结果

图 2 通辽 5.3 级地震震群经过双差定位与未经过双差定位震源深度对比图



注:右上角方框内容为图中标注蓝点的放大,表示通辽 5.3 级地震的余震震中分布图。

图 3 Hyposat、双差定位后震中分布图

图 1 为利用原始地震资料所绘制出的震中分布图,图 3 为经过 2 次定位后所得到的震中分布图。

绘制图 1、图 3 中的区域均为(东经 118°~125°,北纬 42°~45°)区域相同、所用地震资料相同,通过 2 图的对比,很明显地看出重新定位后的地震数据所绘制出来的震中分布图,空间方面更加丛集。

4 CAP 方法计算通辽 5.3 级地震震源机制解

CAP 方法反演震源机制解主要是通过计算给定震源机制解的理论波形与实际观测波形进行对比,不断变换震源参数,拟合最好的机制解为最终的反演结果^[2]。利用 CAP 方法反演 2013 年 4 月 22 日内蒙古通辽 5.3 级地震得到震源机制解的 2 个节面。断层面节面 1 的参数为:走向 310°、倾角 75°、滑动角 7°;节面 2 的参数为:走向 219°、倾角 84°、滑动角 163°,地震震源是走滑型(图 4),反演震级为 $M_w 4.94$ (与中国地震局地球物理研究所韩立波博士计算的震源机制解结果基本相同,其中走向、倾角等略有不同,断层面基本一致)。对不同深度的反演结果进行对比,并拟合出不同深度误差变化的关系(图 5),不难看出最佳震源深度为 9 km。

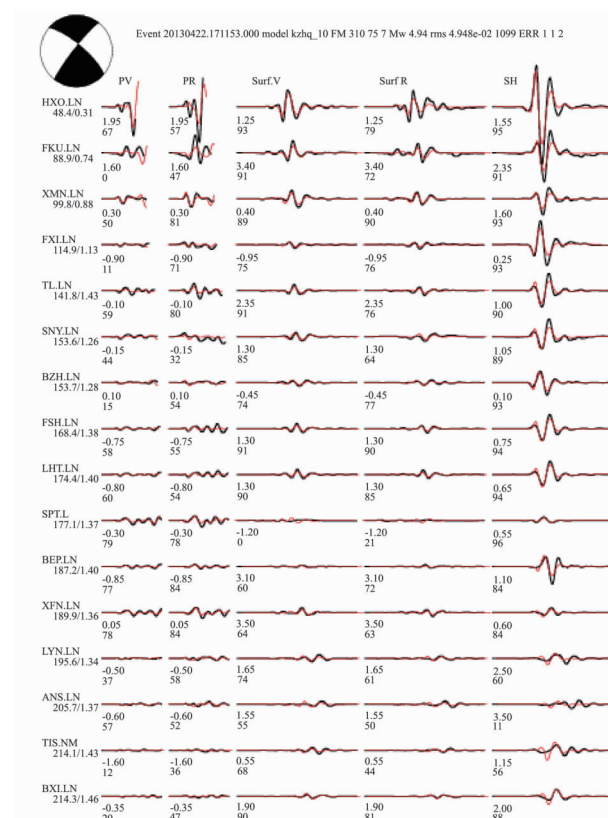


图 4 CAP 方法反演的震源机制解、台站、反演误差、相互关系示意图

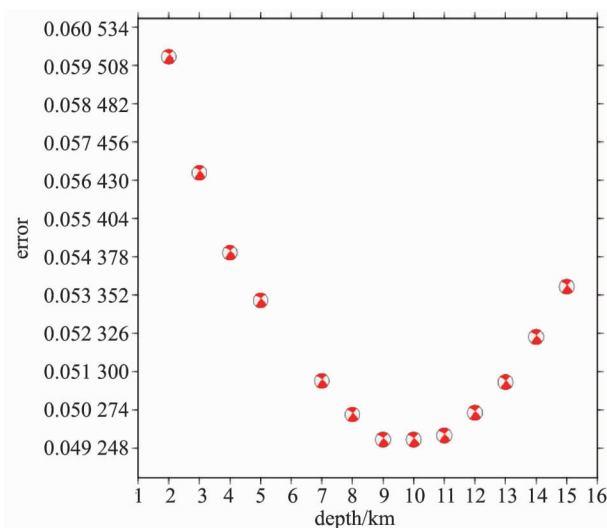


图 5 不同深度误差和震源机制随不同震源深度的变化图

5 利用现代小震和区域应力场确定大震断层参数

利用万永革等^[3]在唐山 7.8 级地震震源断层求解中采用的模拟退火算法和高斯—牛顿法联合求解的方法,即首先采用模拟退火算法得到全局搜索初始解,然后采用高斯—牛顿法对解进一步优化,不仅可以获得最佳解,还可以求得解的误差范围,从而对解进行评价。

2013 年 4 月 22 日内蒙古通辽市科左后旗 5.3 地震发生后,该地区小震活动仍然很活跃。利用这些小震资料反演该地震的震源断层,分析其附近区域中、小地震的发生是否与该地震有关,是否是该地震震源断层或者两侧岩体的继承性活动。如果存在同一个地震震源侧面或两侧岩体的继承性活动,说明该地区的小震活动对中强地震有指示意义。

利用 G-S 算法以及最小二乘拟合参数得到震源断层为走向 $47.249\ 1^\circ$, 倾角 $75.888\ 2^\circ$ 的断层,断层面的 4 个顶点坐标见表 2 所示。根据裴惠娟等^[4]给出的 2013 年 4 月 22 日内蒙古通辽 5.3 级地震的位置与周边活动断裂分布图,可知文章计算的震源断层与此次地震周边养畜牧隐伏断裂分布较为吻合。图 6 为 1976 年以来通辽地震周边中小地震震源深度发震频率图。从图 6 可以看出,该地区大部分地震均与计算得到的震源断层有关,大致发生在 $10\sim 20\text{ km}$ 左右,与 2013 年 4 月 22 日通辽 5.3 级地震震源深度基本吻合。该区域中小地震垂向较集中,基本上集中在所求震源断层面上(图 7c);且大部分中小地震均集中在所求断层附近,并且基本上以断层为中心两边呈现对称分布(图 7d)。

表 2 震源断层面的 4 个顶点

纬度/(°N)	经度/(°E)	深度/km
42.923 5	122.345 5	11.569 1
42.907 0	122.366 3	21.503 2
42.935 2	122.408 0	21.503 2
42.951 7	122.387 1	11.569 1

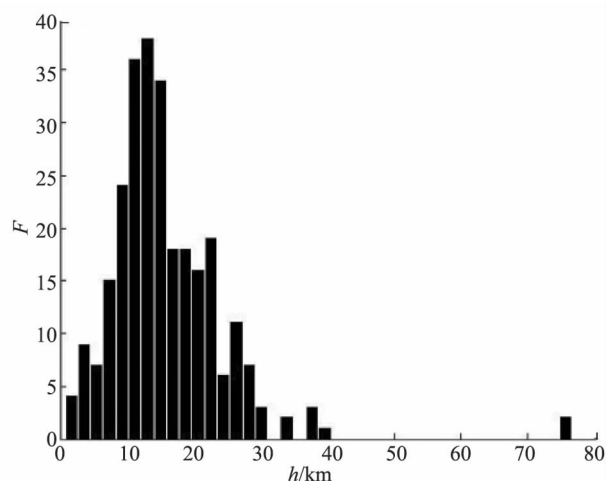


图 6 震源深度发震频率图

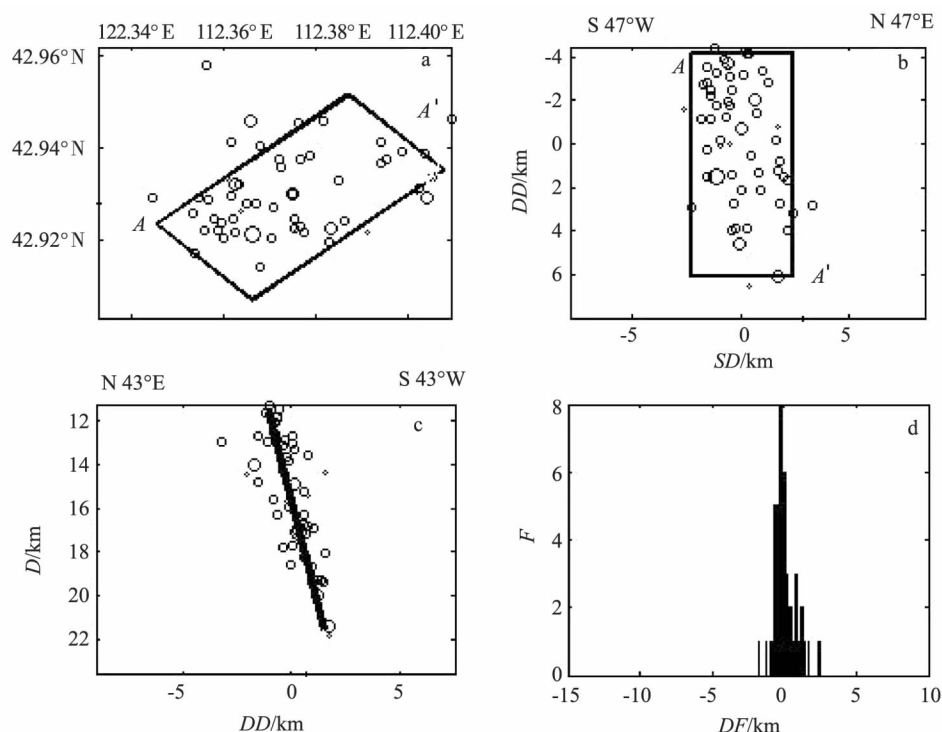
6 结论与讨论

本文利用双差地震精定位方法、CAP 方法、震源断层拟合方法反演了 2013 年 4 月 22 日内蒙古通辽科左后旗 5.3 级地震附近地区中、小地震,获得了准确可靠的结果。从计算结果看,该区域中小地震震源具有以下特征。

1) 震源较浅。文章通过双差地震精定位与震源断层拟合所得到的震源深度结果基本一致。自 1976 年以来,2013 年 4 月 22 日内蒙古通辽 5.3 级地震附近区域中小地震震源深度主要集中在 $8\sim 20\text{ km}$ (图 6),个别 1~2 个地震在 30 km 以上,可能与该地区资料较差、计算错误有关,属于上地壳脆性层内发生的地震。

2) 位置集中。采用双差地震精确定位,对内蒙古辽蒙交界地区地震进行定位后,发现 1976 年以来的小震震源空间位置向 2013 年 4 月 22 日内蒙古通辽 5.3 级地震附近聚集。根据这一结果,研究了该地区震源深度、震源断层,但由于对该地区的研究较少,可以佐证的例子较少,今后还需对该地区做进一步的分析研究。

3) 震源断层面比较一致。从震源断层拟合结果以及对 2013 年 4 月 22 日内蒙古通辽 5.3 级地震震源机制解来看,附近区域内 1976 年以来所发生的中小地震,与通辽 5.3 级地震基本处于同一个震源



注: D 、 SD 、 DD 、 DF 分别表示震源深度,以及震源深度在水平、垂直的投影和不同震源深度小震发生频度。小震分布在水平面(图 a)、断层面(图 b)和垂直与断层面的横断面(图 c)上的投影,小震距离断层面距离的分布(图 d)。圆圈表示精定位小震,粗线表示断层面辩解。 AA' 为断层上边界端点。

图 7 震源断层反演的基础资料信息

断层面上。从而可以推断,通辽 5.3 级地震前期该地区附近中小地震频发与该地震有关。密切关注内蒙古东部地区的中小地震,是判断内蒙古东部地区中强地震是否发生的重要依据。

利用模拟退火方法与高斯—牛顿法联合求解的方法,使用辽蒙交界地区 1976 年以来中小地震资料,反演 2013 年 4 月 22 日内蒙古通辽科左后旗

参考文献:

- [1] 王新岭, 张国民, 马宏生, 等. 用 PTD 方法测定巴林左旗 5.9 级地震震源深度[J]. 地震, 2004, 24(4): 51-56.
- [2] 韩立波, 蒋长胜. 2011 年 6 月 8 日新疆托克逊 $M_s5.3$ 地震震源机制解反演[J]. 地震学报, 2012, 34(3): 415-422.
- [3] 万永革, 沈正康, 刁桂苓, 等. 利用小震分布和区域应力场确定大震断层面参数方法及其在唐山地震序列中的应用[J]. 地球物理学报, 2008, 51(3): 793-804.
- [4] 裴惠娟, 韩晓明, 张帆, 等. 内蒙古通辽 5.3 级地震序列特征及发震背景分析[J]. 地震工程学报, 2015, 37(1): 242-247.

3-D Characteristics Inversion of Hypocenter Fault-plane of the 2013 Tongliao $M5.3$ Earthquake

WANG Shu-zhong, JIA Hao-dong

(Wujiuhe Seismic Station, Inner Mongolia Bayannur 015329, China)

Abstract: On April 22, 2013 17:11, an $M5.3$ earthquake occurred in Inner Mongolia Tongliao city (122.4°E , 42.9°N). The earthquake and earthquakes before and after the earthquake in the source region are firstly located using the Hyposat and then relocated using the double difference fine positioning inversion method. On basis of the relocated accurate epicenters, the parameters of the source fault of the $M5.3$ earthquake are inverted; at the same time, the focal mechanism solution of the earthquake is calculated using the CAP method which is used to infer the crustal stress field and geological structure in the region combining with the source fault parameters. The results show that the earthquake is related to the activity of the Yangxumu buried fault.

Key words: Tongliao $M5.3$ earthquake; moderate and small earthquakes; focal mechanism; source fault plane inversion; regional tectonic stress field