

马晓静, 康英, 杨选, 等. 结合波形互相关的双差定位方法在广西北流—广东化州 5.2 级地震序列中的应用 [J]. 华南地震, 2020, 40 (2): 32-36.
[MA Xiaojing, KANG Ying, YANG Xuan. Application of Double-difference Relocation Method Using Waveform Cross-correlation on Beiliu-Huazhou M_s 5.2 Earthquake Sequence [J]. South China journal of seismology, 2020, 40 (2): 32-36]

结合波形互相关的双差定位方法在 广西北流—广东化州 5.2 级地震序列中的应用

马晓静^{1,2,3}, 康英^{1,2,3}, 杨选^{1,2,3}

(1. 广东省地震局, 广州 510070; 2. 中国地震局地震监测与减灾技术重点实验室, 广州 510070;
3. 广东省地震预警与重大工程安全诊断重点实验室, 广州 510070)

摘要: 基于广东地震台网记录的地震观测报告和连续波形数据, 应用双差地震定位算法, 对 2019 年 10 月 12 日广西北流—广东化州 M_s 5.2 地震序列进行重新精确定位。重新定位后结合震源分布和震源机制解发现: 发震断层沿 NWW 方向展布, 跨度约 3.5 km, 破裂深度 4~10 km。震后 25 h 内的余震基本沿断层方向分布, 有部分沿破裂面向深处发展。之后的余震有向地表、向北东向发展的趋势, 根据震源深度剖面分布判断断层的倾角约 75°。与震源机制解的断层形态基本一致。

关键词: 双差定位; 波形互相关; 余震分布; 广西北流地震

中图分类号: P315.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2020) 02-0032-05

DOI: 10.13512/j.hndz.2020.02.05

Application of Double-difference Relocation Method Using Waveform Cross-correlation on Beiliu—Huazhou M_s 5.2 Earthquake Sequence

MA Xiaojing^{1,2,3}, KANG Ying^{1,2,3}, YANG Xuan^{1,2,3}

(1. Guangdong Earthquake Agency, Guangzhou 510070, China; 2. Key Laboratory of Earthquake Monitoring and Disaster Mitigation Technology, CEA, Guangzhou 510070, China; 3. Key Laboratory of Earthquake Early Warning and Safety Diagnosis of Major Project, Guangzhou 510070, China)

Abstract: Based on the catalog data and continuous waveform data recorded by Guangdong Digital Seismic Network, the Beiliu—Huazhou M_s 5.2 earthquake sequence from 12th Oct, 2019 were relocated with double difference algorithm. According to the hypocenter distribution and focal mechanism, the fault distributes along the NWW direction, and spans about 3.5 km wide with a rupture depth range of 4~10 km. Aftershocks within 25 hours after the main shock distributed basically along the fault strike and mostly developed toward the deeper part. Aftershocks later developed toward the surface and northeast, and the dip of the fault was about 75 degree according to the profile, consistent with the focal mechanism solution.

Keywords: Double difference location; Waveform cross-correlation; Aftershock distribution; Beiliu earthquake

收稿日期: 2020-02-10

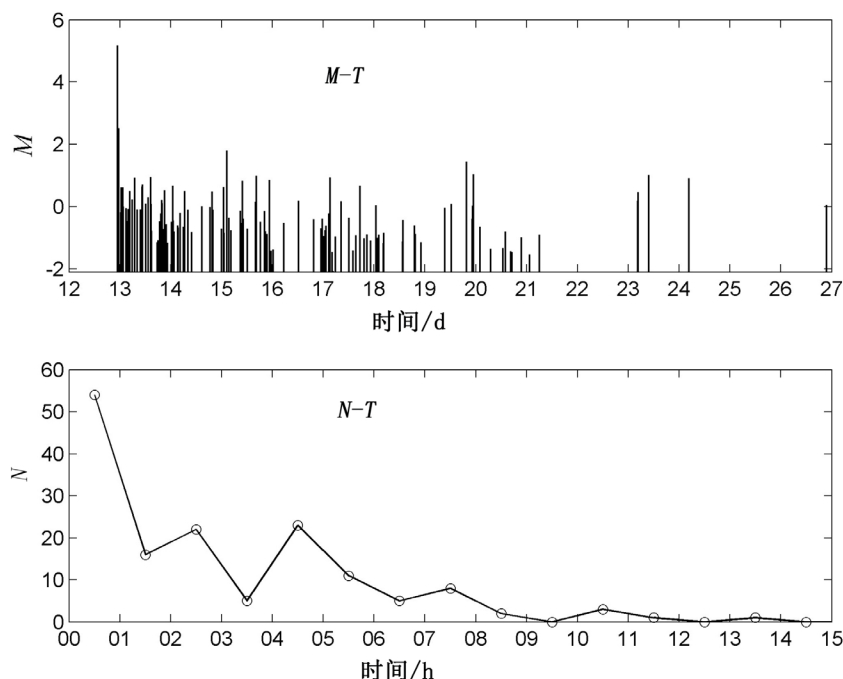
基金项目: 地震科技星火计划 (XH19032Y)

作者简介: 马晓静 (1987-), 女, 硕士, 工程师, 主要从事地震监测工作。

E-mail: 531680042@qq.com

本文采用广东地震台网 10 月 12 日到 26 日的观测数据,选取在 3 个以上地震台有记录的余震事件,包括 151 个地震的观测报告数据和三分量波形数据。其中包括 1 次 M_s 5.0~5.9, 1 次 M_L 4.0~4.9, 1 次 M_L 2.0~2.9, 5 次 M_L 1.0~1.9, 39 次 M_L 0.0~0.9, 73 次 M_L -0.9~-0.0, 31 次 M_L -1 级以下地震。从地震序列的 $M-T$ 图和 $N-T$ 图(图 2)可以看出,主震后 24 h 内的余震活动频次最高,

除 22:55 的前震和主震外,在 23:31 还发生了 1.6 和 2.5 级的双震。之后在 15 日和 17 日分别发生 M_L 1.8 和 M_L 0.9 余震后,活动频次有两次短暂上升,随后逐渐减弱。从时间分布来看,地震序列总体呈显著衰减趋势,衰减过程中伴随较大余震的发生会出现短时间内余震频次增强,为一个较完整的主余震序列。



$N-T$ 图中的横坐标为距第一个地震发生的时间

图 2 震级和每日发震个数的时序图

Fig.2 Magnitude-time plot and daily number of the earthquake sequence

对记录到的 151 个地震事件,编目报告共包含 1638 条 P 和 S 震相,其中 P 震相 754 条, S 震相 884 条。采用 hypoDD 方法对事件进行走时差计算,根据震相报告记录,选取震中距在 200 km 以内的震相到时,组成 P 波事件对 2647, S 波事件对 3075。

在预处理过程中,首先对波形数据进行去倾斜、去均值,然后通过坐标变换将 E 、 N 分量数据转换为径向 (R) 和切向 (T) 数据。计算中发现,对于信噪比低的波形,互相关时容易产生错误的高互相关系数,所以又进一步筛选出信噪比大于 1.5 的台站记录。进一步人工检查去除波形质量较差的台站。利用垂直和切向分量波形数据分别对 P 波与 S 波段作互相关分析。考虑到该序列事件的震级绝大部分在 M_L 1.0 以下,震相的频率和噪声频率有较多重叠的部分,

经过试验,决定采用频段较高的巴特沃斯滤波,既可以滤除大部分噪声,又可以保留尽可能多的事件信息。对台站垂直向记录的波形作 3~20 Hz 带通滤波, P 波窗长取 P_g 起始至到时后 1 s 段波形,时移 0.2 s。对 T 分量波形作 2~12 Hz 带通滤波, S 波窗长取 S_g 起始至到时后 1.5 s,时移 0.4 s。计算得到互相关系数在 0.7 以上的 P 波到时差数据 3970 条, S 波 5056 条。对互相关系数相对较低或到时差较大的波形对,再进行一次人工筛查,以尽可能确认互相关数据的可靠性。图 3 给出了 13 日 00:38 和 07:05 发生的两个地震在信宜台的互相关结果,图中为滤波处理并按照走时差对齐后的波形, P 波段互相关系数 0.92, S 波段相关系数 0.75, P 和 S 震相的走时差分别为 -0.01 s 和 -0.09 s。

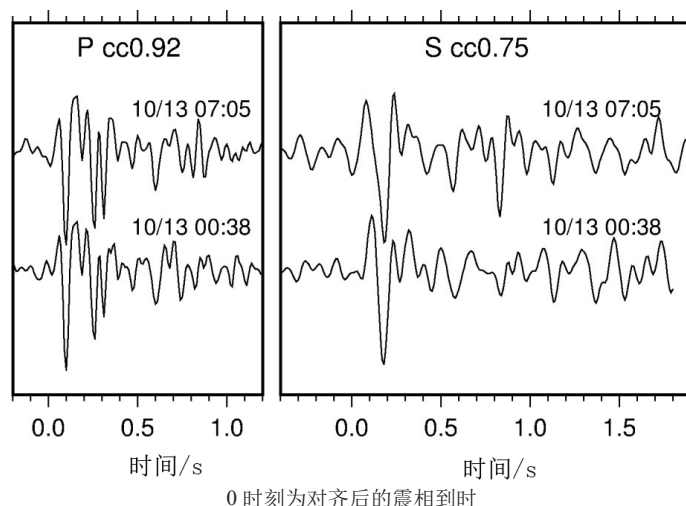


图3 广东信宜台(XNY)记录到的两个地震的P波与S波波形互相关结果

Fig.3 Waveform of the P and S for two earthquakes recorded by XNY

联合使用P波和S波目录震相走时差和波形互相关走时差进行双差定位。对于目录震相P波和S波的走时差数据的先验权重分别为1和0.75,对波形互相关的P波走时差数据权重设为互相关系数,S波走时差权重设为互相关系数的平方。

为了保证重定位的精度,经过反复调整参数,当互相关和观测震相数大于9的时候,才将事件联系在一起形成群组。以台网目录给的数据作为定位初值,使用共轭梯度算法,根据华南地区的地壳速度模型进行定位^[5],最终得到109个事件的重新定位结果。

重新定位后整个序列呈北西方向展布,震中分布优势方向为NWW走向。主震震中位置

为 22.155°N , 110.545°E ,震源深度7.6 km,前震位置 22.160°N , 110.529°E ,深度7.6 km。从图4重新定位后的序列分布图来看,主震双震和35 min后的 $M_L 2.5$ 最大余震双震基本处于同一条线AA'上,沿NWW-SEE方向展布约3.5 km,余震双震深度较深一些。大部分余震分布在AA'的北东侧,且余震分布呈现明显的时空变化:在水平方向上看,前震和主震几乎同时分别在AA'的西侧和东侧发生,早期余震发生在AA'附近区域,后期余震有向北向西方向移动的趋势;在垂直剖面上看,序列沿BB'剖面的倾角约为 75° ,余震有沿北东方向、向地表迁移的趋势,最小震源深度约4 km。余震震源深度主要分布在6~9 km,平均深度7.5 km。

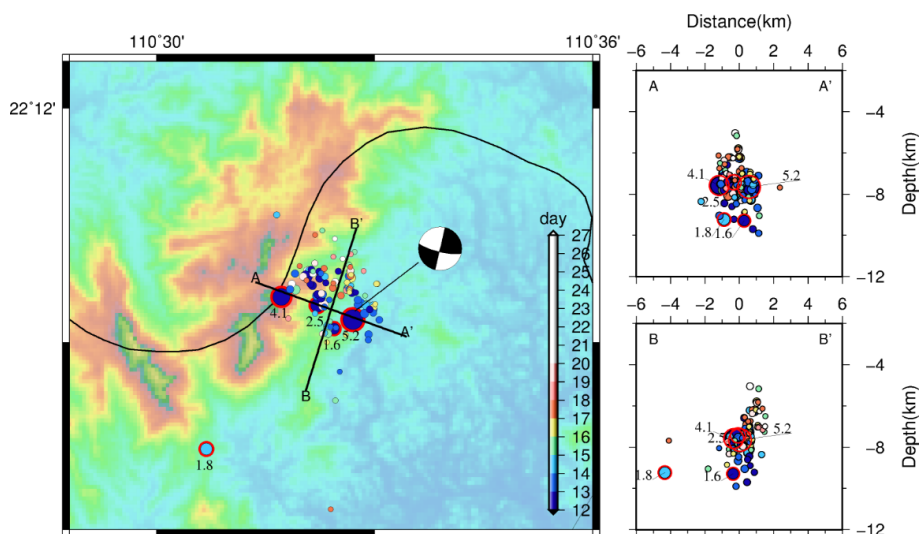
地震位置的圆圈大小与震级成正比,颜色表示地震发生的日期。红色轮廓的圆圈表示 M_L 大于1.5级的地震,且备注有震级。

图4 序列重新定位后的震中分布和沿AA'、BB'两个剖面的垂直分布。

Fig.4 Distribution of the relocated epicenters and hypocenters along AA' and BB' profiles

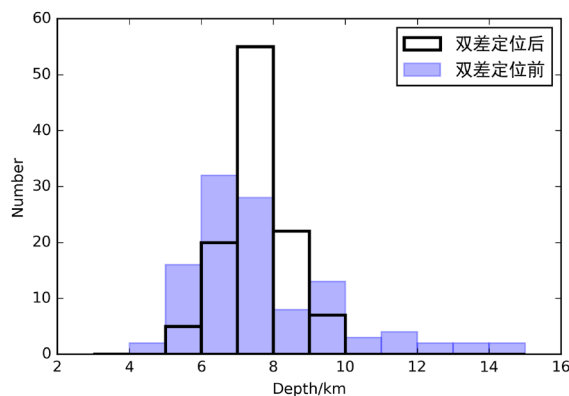


图5 双差定位前后的震源深度分布。

Fig.5 Distribution of the depths of earthquakes before and after the relocation

2 结论和讨论

通过查阅文献资料我们发现,前人曾对十九世纪中、末期桂东南和粤西交界地域发生过的破坏性地震进行过研究,发现在粤桂交界的都安—宾阳—高州断裂带上发生过多级五级以上地震,并通过构造带的展布和地震序列分布,认为其中1890年8月29日的5 $\frac{3}{4}$ 级地震,发生在都安—宾阳—高州断裂带中段(分别用图1中红色圆圈和蓝色实线段表示)^[6]。本次地震的震中位置与之十分接近。

根据双差定位结果,我们认为发震断层沿NWW-SEE方向分布。破裂由前震开始,1.8 s后沿断层方向扩展到主震,跨度约3.5 km,破裂深度7.6 km。震后25 h内(包括震后35 min发生的包含最大余震的双震事件)的余震也基本沿断层方向分布。这期间的余震还有沿破裂面向深处发展的迹象。之后的余震有向地表、向东北向发展的趋势,整体沿BB'剖面的倾角约75°。

地震发生后,中国地震台网中心、中国地震局地球物理研究所、中国地震局地震预测所等采用不同的方法和资料计算了主震的震源机制解,万永革课题组^[7]整理了这些结果并计算出与所有测定震源机制的差别平方最小的“中心震源机制解”:节面I的走向103.12°,倾角77.50°,滑动角-179.92°,节面II的走向13.10°,倾角89.92°,滑动角-12.50°,为一右旋走滑断层,震源机制球见图4,值得注意的是由于双震事件,其震源机制反演结果应该是双震的综合反演结果。节面I的产状与定位结果和文献[6]中的卫星影像中地震构造带走向(图1)都比较符合。值得注意的是,从地质构造上看,都安—宾阳—

高州断裂是一组活动十分显著的左旋—剪切性活动断裂^[6],而震源机制解表明为右旋走滑,有一些矛盾的地方。考虑到该区域还有一组活动较强烈的右旋剪切—引张性的信宜—廉江北东向断裂带,属于断裂交叉部位,地质构造比较复杂,还需要更进一步的现场考察才能得到更好的解释。

综上所述,我们认为此次 M_s 5.2级震的发震断层属于都安—宾阳—高州断裂带的一段,破裂由前震开始,1.8 s后沿断层方向扩展到主震,跨度约3.5 km,断层为NWW走向,倾角约75°,震源机制上表明为走滑破裂,总体看双震破裂深度在7.5 km左右,发震后序列有先较深到9 km后变浅到4 km的趋势。

参考文献:

- [1] Waldhauser F, Ellsworth W L. A double-difference earthquake location algorithm: method and application to the Northern Hayward Fault, California[J]. Bull. Seismol. Soc. Am., 2000, 90(6): 1353-1368.
- [2] 黄媛, 杨建思, 张天中. 2003年新疆巴楚—伽师地震序列的双差法重新定位研究[J]. 地球物理学报, 2006, 49(1): 162-169.
- [3] 王清东, 朱良保, 苏有锦, 等. 2012年9月7日彝良地震及余震序列双差定位研究[J]. 地球物理学报, 2015, 58(09): 3205-3221.
- [4] 陈贵美, 康英, 杨选. 广东“十五”数字测震台网地震监测能力分析[J]. 华南地震, 2011, 31(3): 70-77.
- [5] 范玉兰, 林纪曾, 胡瑞贺, 等. 华南地区近震走时表的研制[J]. 华南地震, 1990, 10(2): 1-16.
- [6] 毛定一. 对1890年8月29日地震震中的讨论[J]. 华南地震, 1984, 4(1): 83-87.
- [7] 防灾科技学院地球科学学院万永革研究员课题组. 2019年10月12日广西北流5.2级地震的震源机制中心解 [EB/OL]. (2019-10-13)[2020-01-10]. <https://mp.weixin.qq.com/s/ODueSMjIEQvbytiCiYc14bw>.