

翁钊强, 周坤隆, 林群. 2012 年 02 月 16 日广东东源 M 4.8 级地震序列的精定位及发震构造探讨[J]. 华南地震, 2018, 38(S1): 64–68. [WENG Zhaoqiang, ZHOU Kunlong, LIN Qun. Discussion On the Fine Alignment and Seismogenic Structure of Dongyuan M 4.8 Earthquake Sequence on February 16th, 2012 in Guangdong [J]. South China journal of seismology, 2018, 38(S1): 64–68]

2012 年 02 月 16 日广东东源 M 4.8 级地震序列的精定位及发震构造探讨

翁钊强, 周坤隆, 林 群

(广东省地震局汕头地震台, 广东 汕头 515063)

摘要: 用双差定位方法对 2012 年 2 月 16 日广东东源 M 4.8 级地震序列进行了重新定位, 结果表明: 精定位后均方根残差平均值为 0.03 s, 震源位置估计误差 (2 倍标准偏差) 在 EW 方向上平均为 0.16 km, NS 方向上平均为 0.15 km, 垂直方向上平均为 0.15 km, 定位精度得到很大提高。在地震现场考察结果和等震线图基础上, 根据余震长轴展布方向, 并结合震源机制解的结果, 综合分析认为此次地震的发震构造为北北西向的石角—新港—白田断裂的可能性较大。

关键词: 双差地震定位; 东源地震; 震源机制解; 发震构造

中图分类号: P315 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662(2018)S1-0064-05

DOI: 10.13512/j.hndz.2018.S1.010

Discussion On the Fine Alignment and Seismogenic Structure of Dongyuan M 4.8 Earthquake Sequence on February 16th, 2012 in Guangdong

WENG Zhaoqiang, ZHOU Kunlong, LIN Qun

(Guangdong Earthquake Agency, Guangzhou 510030, China)

Abstract: Double difference location method is adopted on the reposition of Guangdong Dongyuan M 4.8 earthquake sequence on February 16th, 2012, the results show that the precision positioning after root mean square average of 0.03 s residual, source location average estimation error (2 times the standard deviation) is 0.16 km in EW direction, 0.15 km in NS direction, and 0.15 km in perpendicular direction, positioning accuracy is greatly improved. Based on the earthquake field investigation results and map, according to the direction of long axis of the aftershock distribution, combined with the results of focal mechanism solutions, comprehensive analysis suggests the seismogenic structure is the NNW direction which is the Shijiao–Xingang–Baitian fracture. rainfall time, then the greater the strain.

Keywords: Dual differential seismic positioning; Dongyuan earthquake; Source mechanism solution; Seismogenic tectonic

收稿日期: 2018-03-28

作者简介: 翁钊强(1978–), 男, 工程师, 主要从事地震监测与分析工作。

E-mail: 651596602@qq.com.

0 前言

2012年02月16日02时34分,在广东河源市东源县(北纬23.9°,东经114.5°)发生M 4.8级地震。河源市区强烈有感,东莞市、广州市、深圳市、梅州市有震感,广州市部分市民被震醒,

震区位于河源新丰江水库区西北边缘。此次地震的极震区位于河源的西北,震中烈度位于河源的西北向,震中区的地震烈度为VI度,长轴约10 km,近南北走向(图1)。V度区长轴约50 km,地震宏观震中位于114.435°E, 23.909°N,其发震构造的确定仍是一个空白。

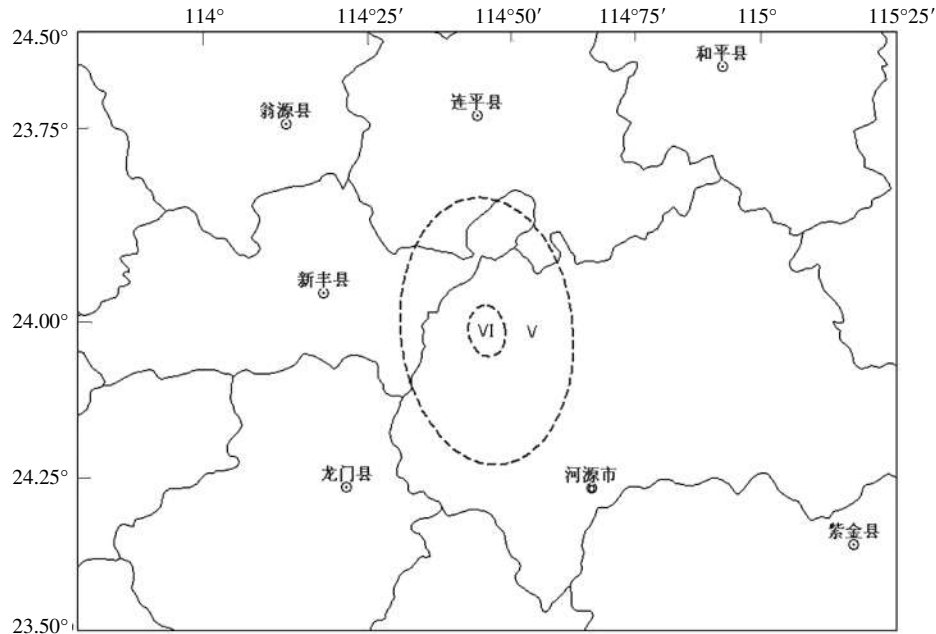


图1 2012年2月16日东源M 4.8级地震的震中区烈度图

Fig.1 The epicenter intensity map of the Dongyuan M 4.8 earthquake on February 16th, 2012

根据广东省区域数字台网记录,截止到2012年4月1日,共记录到余震194次,最大的余震为M 3.5级,初期对该次地震序列的定位使用的是“十五”软件MSDP提供的定位方法,为了获得更可靠的定位结果,本文用近年来人们广泛重视的双差定位法对东源M 4.8级地震序列(震级 $M_L \geq 1.0$,震相数 ≥ 8)进行重新定位,并根据该地区的速度结构特点提出在走时计算中采用速度模型,以获得更加准确的余震空间分布图像。

1 方法简介

本文使用Waldhauser和Ellsworth^[1]提出的双差地震定位法(Double Difference Algorithm)对地震事件作重新定位。双差地震定位法是一种相对定位法,该方法适用于大范围地震的精确定位,且每个事件的定位精度不受定位范围大小的影响,因而优于常用的主事件定位法和台站校正法。其基本原理为:

定义两个地震*i*和*j*到台站*k*的观测走时差和

理论走时差为双重残差,表示为 d_{rk}^{ij} ,则

$$d_{rk}^{ij} = r_k^i - r_k^j = (t_k^i - t_k^j)^{obs} - (t_k^i - t_k^j)^{cal} \quad (1)$$

对地震到时*t*求震源参数的偏导数,联立双重残差就可以确定两个地震*i*和*j*的相对位置。则:

$$\frac{\partial t_k^i}{\partial m} \Delta m^i - \frac{\partial t_k^j}{\partial m} \Delta m^j = dr_k^{ij} \quad (2)$$

上式中, $\Delta m^i = (\Delta x^i, \Delta y^i, \Delta z^i, \Delta \tau^i)^T$,是第*i*个地震震源参数 $(x^i, y^i, z^i, \tau^i)^T$ 的改变量;同理 Δm^j 是第*j*个地震震源参数的改变量。其中, x, y, z 是震源东西、南北和垂直方向的坐标, τ 是发震时刻。

结合一个台站的所有地震对建立方程(2),再将所有台站的方程组成如下形式的线性方程组:

$$WGm = Wd \quad (3)$$

在反演过程中,对所有地震经重新定位的震源参数加上使其平均移动(即矩心)为0的约束条件:

$$\sum_{i=1}^N \Delta m^i = 0 \quad (4)$$

我们可采用阻尼最小二乘法求解方程(3), 此时问题变为:

$$W \begin{bmatrix} G \\ \lambda I \end{bmatrix} m = W \begin{bmatrix} d \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中, λ 是阻尼因子, I 为单位矩阵, 由正则方程可以得到方程组(5)的解为:

$$\hat{m} = (G^T W^{-1} G)^{-1} G^T W^{-1} d \quad (6)$$

对于非病态系统的小地震丛, 可以使用奇异值分解法(SVD)来解方程(5), 即

$$\hat{m} = V \Lambda^{-1} U^T d \quad (7)$$

式中, U 和 V 是加权矩阵 G 的两个正交奇异矢量矩阵, Λ 是 G 的奇异值对角矩阵。

当非病态系统的地震丛较大时, 奇异值分解法是无效的, 此时采用共轭梯度法(LSQR)求方程组(5)的解:

$$\left\| W \begin{bmatrix} G \\ \lambda I \end{bmatrix} m - W \begin{bmatrix} d \\ 0 \end{bmatrix} \right\|_2 = 0 \quad (8)$$

在实际计算中, 我们采用共轭梯度法求解方程(5), 得到阻尼最小二乘法解, 同时将奇异值分解法应用于部分资料以获得有关模型参数的误差、分辨率等信息。

2 速度模型

在地震定位中影响定位精度的因素有地壳结构、定位方法、台网布局、震相数据等。双差地震定位法中震源所在处的地震波速度结构模型精细程度对地震定位精度影响很大, 本文用的是3层的华南速度模型^[2](表1)。

表1 本文所用的地壳速度模型

Table 1 The crustal velocity model used in this paper

地壳厚度/km	V_p (km/s)	V_p/V_s (km/s)
0	6.01	
21.4	6.88	1.69
32.4	7.98	

3 数据处理与重定位结果分析

本文研究资料用的是广东地震台网中心产出的震相观测报告和选定的速度结构, 本文用绝对方法对2012年2月16日广东东源M4.6级地震及其余震序列共543次地震进行了精确定位。为了保证定位结果的可靠性和较高的定位精度, 我们对可定位的地震进行了筛选, 要求参加定位的单

个地震事件最少有4个台站记录到的8个震相数据。同时, 为了保证较高的精度, 尽可能地使用近震源区台站进行定位, 采用S-P≤25 s的P、S震相到时进行分析。在获得绝对定位结果之后, 用双差定位对结果进行精化。在用双差定位方法进行定位时, 对地震的要求必须具有丛集性, 使得不同地震到同一台站具有较为接近的地震传播路径, 从而满足双差定位的特点^[3]。

通过用双差定位方法重新定位, 最终得到349次地震的震源位置, 精定位后均方根残差的平均值为0.03 s。精定位结果给出震源位置的估计误差(2倍标准偏差)在EW方向上平均为0.16 km, 其中小于0.5 km的占参与双差地震定位总数的96%, NS方向上平均为0.15 km, 其中小于0.5 km的占参与双差地震定位总数的97%, 垂直方向上平均为0.15 km, 其中小于0.5 km的占参与双差地震定位总数的98%, 定位精度得到很大提高。

从地震序列震中分布来看(图2), 定位前主震与余震零散分布, 难以确定长轴优势方位, 重新定位后比重新定位前结果更加集中, 优势长轴沿NNW方向展布, 与地震现场考察给出的等震线长轴近NS向展布存在一定差异。

沿余震长轴方向取剖面A-A', 由图3可见, 重新定位后的余震主要集中在宽度约20 km的狭小区域内, 且震源深度集中在地下3~15 km之间, 其中又以5~12 km为优势发震层。

余震在垂向上近直立展布, 说明可能的发震断裂倾角接近90°。这为确定本次地震序列的发震构造提供了精细的地震深部图像和发震断裂位置约束。

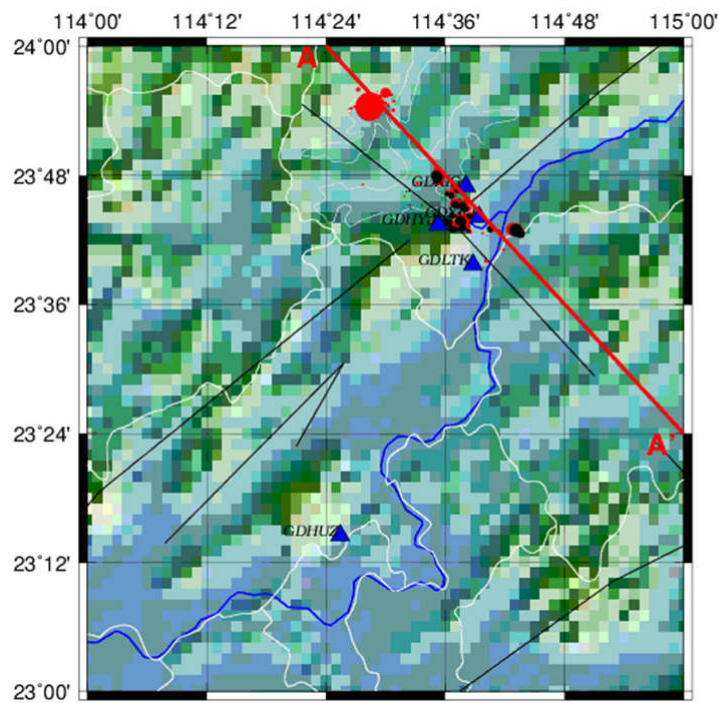
4 震源机制解

为了更准确地判定此次东源地震的发震构造, 在精确定位结果基础上, 开展震源机制解反演工作是日常震后趋势判定、现场地震调查常规的技术思路。根据广东数字台网的波形资料, 选用53个台站的初动求得其4.8级主震的震源机制解(图4)所示。

从震源机制结果来看, 错动类型为走滑兼具少量正断倾滑分量, 其中节面I: 走向349.6°滑动角-24.3°倾角83.7°; 节面II: 走向82.5°滑动角-173.12°倾角65.9°; P轴: 走向303.5°倾角21.47°, T轴: 走向38.4°倾角12.2°。结果显示本次地震为近水平区域应力场作用下的近直立断层的走滑错

动,断层走向为 NNW 向。从震区附近的几条断裂展布来看,其中节面 I 走向与兰屋断裂近南北向略有差异。而与 1969 年 6.1 级地震发震构造(北北西石角—新港—白田断裂)走向基本一致^[4-5]。结合前述

精确定位 A-A' 剖面结果,进一步证实本次地震的发震构造走向为 NNW 向,且产状近直立。因此,精确定位结果与震源机制解综合分析认为此次 4.8 级地震的发震构造为北北西石角—新港—白田断裂。



(红色为广东台网定位结果,黑色为精定位结果)

图 2 广东东源地震序列的震中分布图

Fig.2 The epicenter distribution map of the Dongyuan earthquake sequence in Guangdong

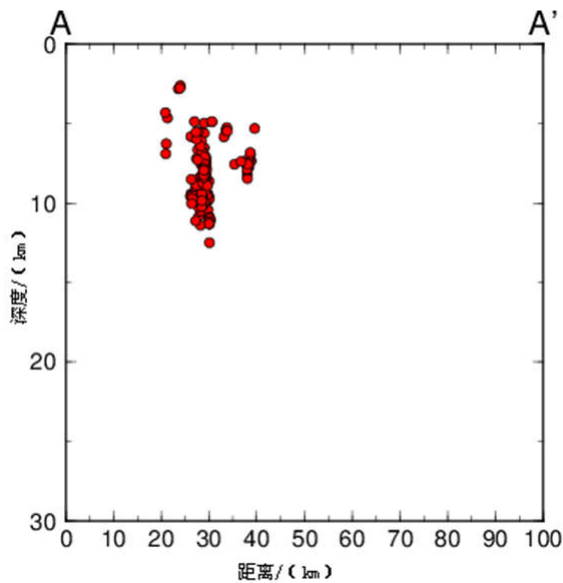


图 3 重新定位后的震源深度剖面图

Fig.3 The depth profile of seismic source after repositioning

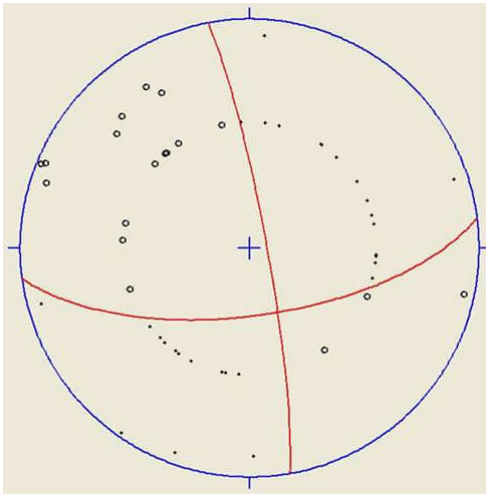


图 4 东源 4.8 级地震的震源机制解

Fig.4 Source mechanism of the Dongyuan M 4.8 earthquake

5 结语

(1) 精定位后均方根残差的平均值为 0.03 s。

精定位结果给出震源位置的估计误差(2 倍标准偏差) 在 EW 方向上平均为 0.16 km, NS 方向上平均为 0.15 km, 垂直方向上平均为 0.15 km, 定位

精度得到很大提高。

(2) 重新定位后比重新定位前结果更加集中, 优势沿 NNW 方向展布。

(3) 结合震源机制解的结果, 认为此次 4.8 级地震的发震构造为北北西石角—新港—白田断裂。

参考文献:

- [1] Waldhauser F, Ellsworth W. A double_difference earthquake location algorithm: method and application to the northern Hayward fault [J]. California Bull. Seism. Soc. Am., 2000, 90(6): 1353–1368.
- [2] 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.
- [3] 王 挺, 陈修吾, 叶佳宁. 基于自动地震速报的地震应急基础信息快速提取模块的研究与实现 [J]. 华南地震, 2016, 36(1): 16–23.
- [4] 郭培兰, 龙政强, 何嘉幸, 等. 2013 年 6 月广西平果 3 级震群地震活动特征分析[J]. 华南地震, 2016, 36(1): 87–96.
- [5] 邓远立, 何 萍. 广东新丰江水库区地震活动 b 值时空分布特征研究[J]. 华南地震, 2016, 36(3): 61–67.