

$t-D$ 地震定位方法研究

惠少兴¹, 张元生^{1,2}, 李顺成³

- (1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000;
2. 中国地震局地震预测研究所兰州科技创新基地, 甘肃 兰州 730000;
3. 中国地震局地质研究所, 地震动力学国家重点实验室, 北京 100029)

摘要:应用甘东南流动台阵的微震资料进行定位方法研究, 提出了基于全局网格搜索的 $t-D$ 地震定位方法。应用该方法进行地震定位时, 不需要建立速度模型, 其定位结果与常规定位方法相比, 震中位置基本一致, 深度分辨率较高。

关键词: 台阵资料; 地震定位; 方法研究

中图分类号: P315.61 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2012)01-0010-04

Study on the $t-D$ Earthquake Location Method

HUI Shao-xing¹, ZHANG Yuan-sheng^{1,2}, LI Shun-cheng³

- (1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China;
2. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou 730000, China;
3. State Key Laboratory of Earthquake Dynamics, Institute of Geology, CEA, Beijing 100029, China)

Abstract: By the locating method study using the micro-seismic data of portable seismic array observation in the southeast area of Gansu province, a location approach of $t-D$ based on global grid search is proposed. Earthquakes located by this method which do not need to set up velocity model, compared to conventional location method, their positioning are basically same in epicenter location, and have higher resolution in focal depth.

Key words: Array data; Seismic location; Method study

0 前言

地震定位是根据台站对地震波记录的到时数据计算震源位置和发展时刻等参数, 是地震学研究的经典问题之一。近30年来, 随着计算机技术的广泛应用和飞速发展, 数值自动定位方法得到了迅速发展, 并成为目前地震定位的主流方法。同时, 为了更好地研究地震活动构造、地球内部结构以及震源机制等地震学基本问题, 地震科学工作者还在不断改进或提出新的定位方法^[1-6]。

目前, 地震定位方法主要有 Geiger 法、联合定位法、相对定位法、主事件定位法及双重残差定位法等, 这些方法要求给定速度模型。当目标区有人工地震剖面资料或有较精确的速度结构模型情况下,

以上方法可获得精度较高的定位结果。在一般情况下, 较准确地建立一个层状速度模型都比较困难, 建立三维速度模型就更加困难。以上方法的定位结果存在不同程度的误差, 尤其深度误差较大。为此, 我们应用甘东南流动台阵的小震资料进行定位研究, 提出了基于全局网格搜索的 $t-D$ 地震定位方法, 该方法不需预先给定速度模型, 适合于速度结构难以建立、台站较多地区的地震定位。

1 $t-D$ 地震定位方法

1.1 发震时刻 t_0 和波速比 γ 的求取

同一地震的 P_s 和 S_s 波被多个台站记录到, 每个台的到时差为

收稿日期: 2011-11-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(40874029); 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2012011

作者简介: 惠少兴(1987-), 男(汉族), 陕西富平人, 在读硕士研究生, 主要从事地震定位和地球深部介质研究。

$$t_S - t_P = D/v_\varphi \quad (1)$$

式中 t_P 、 t_S 分别为直达 P_g 和 S_g 波的到时; D 为震源距; v_φ 为虚波速度。虚波速度为

$$v_\varphi = \frac{v_S v_P}{v_P - v_S} = \frac{v_P}{\gamma - 1}$$

式中 γ 为波速比, 则公式(1)变为

$$t_S - t_P = (\gamma - 1)(t_P - t_0) \quad (2)$$

式中 t_0 为发震时刻, 令 $\hat{y} = t_S - t_P$, $b = \gamma - 1$, $a = -t_0(\gamma - 1)$, $x = t_P$ 。则 $\hat{y}$ 和 x 存在着线性关系, 式(2)可写成

$$\hat{y} = a + bx \quad (3)$$

应用最小二乘法, a 和 b 满足

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 = \text{极小值}$$

得

$$\begin{cases} b = \frac{l_{xy}}{l_{xx}} \\ a = \bar{y} - b\bar{x} \end{cases} \quad (4)$$

式中

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

$$l_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad l_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

方程 $\hat{y} = a + bx$ 称为回归方程, b 称为回归系数。

相关系数 r_{xy} 反应了变量 x 和 $\hat{y}$ 之间的线性关系的密切程度, 其定义为

$$r_{xy} = \frac{l_{xy}}{\sqrt{l_{xx} l_{yy}}}, \quad \text{其中 } l_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (5)$$



图1 定位前后震中分布图

Fig. 1 Distribution of earthquakes before and after location.

当 $|r_{xy}|$ 越接近 1, 线性相关越大。

在实际数据处理过程中, 对相关系数过小的地震记录进行最大误差淘汰处理。通过拟合可获得波速比 γ 和 t_0 发震时刻。

1.2 地震定位

直达波的走时方程为

$$t = D/v \quad (6)$$

式中 D 为震源距; v 为 P_g 或 S_g 波的波速, 对方程 (6) 两边取自然对数得

$$\ln t = \ln D - \ln v \quad (7)$$

式中 $\ln t$ 和 $\ln D$ 满足斜率为 1 的线性变化关系, 线性拟合的截距即为 $-\ln v$ 。 t 为观测走时, 震源距 D 的计算公式为

$$D = \sqrt{(x_s - x_e)^2 + (y_s - y_e)^2 + (z_s - z_e)^2} \quad (8)$$

x_s, y_s 和 z_s 为台站坐标; x_e, y_e 和 z_e 为震源坐标。采用全局网格搜索法, 每给定一个震源位置 (x_e, y_e, z_e), 可获得一组与 t 数据序列一一对应的 D 数据序列, 利用最小二乘法对 $\ln t$ 和 $\ln D$ 做线性回归, 得到线性相关最大的震源位置 (x_e, y_e, z_e) 参数, 即定位解。

一次地震的 P_g, S_g 震相被越多的台站记录到、

震相判读越准确, 台站远近分布越均匀, 定位的精度就越高。

2 数据处理及地震定位结果

2.1 数据处理

2009 年 11 月, 中国地震局地质研究所和兰州地震研究所共同在甘东南地区架设了野外观测流动台阵, 共架设了七条测线, 150 个流动台站, 平均台站间距约 15 km。资料数据时段为 2009 年 11 月 13 日—2010 年 11 月 1 日, 区域为台阵覆盖地区 ($N 32.56^\circ \sim 35.8^\circ, E 103.36^\circ \sim 106.91^\circ$), 台站含 18 个常规台站和 150 个流动台站。应用甘肃地震台网软件分析定位结果作为定位前数据, 共挑选出至少有 8 个台同时记录到 P_g 和 S_g 到时的地震事件 1 749 个, 淘汰相关系数小于 0.8 的地震事件, 最终得到 1 654 个地震的重新定位结果 (图 1)。

2.2 计算结果分析

由地震定位前、后的定位结果可见, $t-D$ 定位方法对地震震中位置有微调, 与有速度模型的定位结果差异不大。把地震投影到 $105.15^\circ E$ 经线的深度剖面上 (图 2), 有速度模型定位和 $t-D$ 定位结果

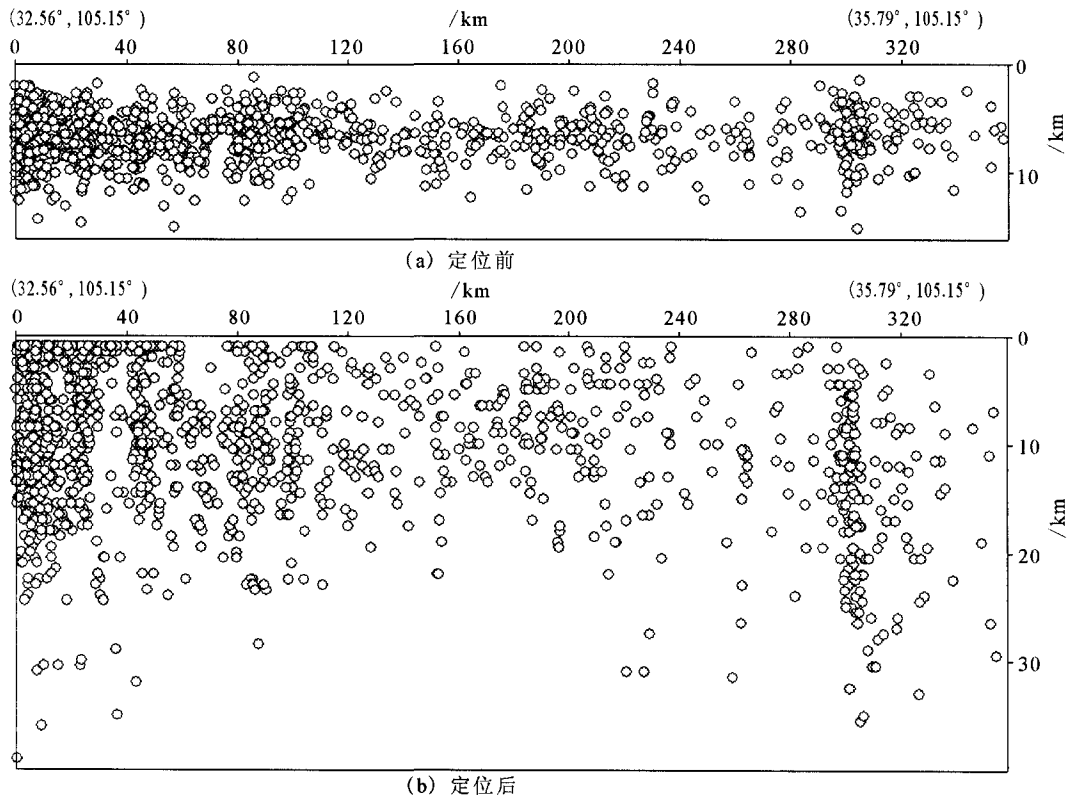


图 2 定位前后震源深度分布图

Fig. 2 Focal depth distribution before and after location.

在深度分布上差异是明显的。定位前震源深度主要分布于 5~12 km 范围,位于上地壳上部, $t-D$ 方法的定位震源深度主要分布在 25 km 以上,位于中、上地壳,这与莘海亮的定位结果基本一致^[5],受地壳介质的非均匀性影响,波速比的变化范围为 1.7 ± 0.06 。

为了研究地震分布与构造的关系,在汶川地震

序列青川地震密集带,作一条垂直于该地震条带的剖面 A-B(图 3),其剖面横跨平武—青川断裂(F_7)。定位前的震源深度主要集中分布在 5~10 km 范围内,无特征分布优势。定位后深度主要分布在 20 km 以上,呈近直立带状分布,这与陈九辉等的定位结果基本一致^[7]。

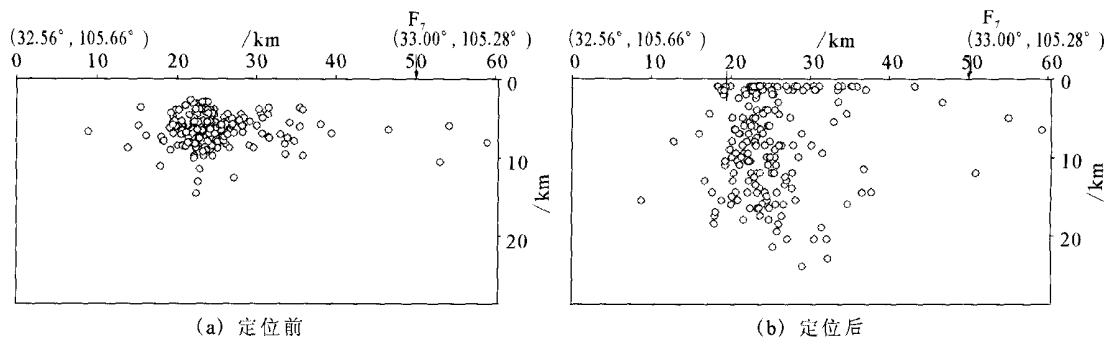


图 3 定位前后沿 A-B 剖面震源深度分布图

Fig. 3 Focal depth distribution along A-B profile before and after location.

3 结论与讨论

(1) 本文应用甘东南流动台阵的微震记录到资料,提出了基于全局网格搜索的 $t-D$ 地震定位方法。与常规定位方法相比,震中位置基本一致,但深度分辨优于常规定位方法。应用该方法进行地震定位时,同时可获得波速比参数。

(2) 该方法不需要速度模型,更适合于地下速度结构研究程度不高的地区。首先应用该方法进行地震定位,在此基础上作速度结构反演和地震位置参数修正,可以得到好的定位结果。

该方法的使用条件是地震记录台站数量较多,记录台站数一般在 6 个以上,各台记录到存在一定的差异,使线性回归系数更稳定。

[参考文献]

- [1] 李稳,张元生. 地震波到时与视出射角联合定位方法研究[J]. 西北地震学报,2009,31(3):34-39.
- [2] 周民都,张元生,张树勋,等. 遗传算法在地震定位中的应用[J]. 西北地震学报,1999,21(2):167-171.
- [3] 梅卫萍,李清河,丁页岭,等. 用双子地震相干函数法对常熟震群进行精确相对定位[J]. 西北地震学报,2007,29(2):123-128.
- [4] 何斌,张元生,计算地震初至波视出射角方法[J]. 西北地震学报,2010,32(1):9-15.
- [5] 莘海亮,刘明军,张元生,等. 甘东南地区地震重新定位研究[J]. 地震学报,2010,33(3):292-299.
- [6] Waldhauser F, Ellsworth W L. A double-difference earthquake location algorithm: method and application to the Northern Hayward fault, California[J]. BSSA, 2000, 90(6): 1353-1368.
- [7] 陈九辉,刘启元,李顺成,等. 汶川 $M_s 8.0$ 地震余震序列重新定位及其地震构造研究[J]. 地球物理学报,2009,52(2):390-397.