

2004年6月甘肃临泽震群地震精确定位

莘海亮¹, 张元生^{1,2}, 郭晓^{1,2}, 李稳¹

(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)

摘要:利用“双差地震定位法”对2004年6月甘肃临泽发生的地震震群进行了精确定位, 结合地质构造资料讨论了本次震群的发震构造。结果表明: 该震群震中沿着榆木山北缘断裂呈NNW向分布, 震源深度优势分布于10~25 km, 平均深度为16.3 km; 发震断裂为榆木山北缘断裂东段局部断裂, 走向NNW, 倾向SW, 倾角约为60°。

关键词: 临泽震群; 地震精确定位; 双差地震定位法

中图分类号: P315.61

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2008)01-0071-04

Accurate Locating of Linze Earthquake Swarm Occurred in June, 2004

XIN Hai-liang¹, ZHANG Yuan-sheng^{1,2}, GUO Xiao^{1,2}, LI Wen¹

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China;

2. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The Linze earthquake swarm in Gansu province in Jun. 2004 are relocated using the double-difference earthquake location genetic algorithm, the seismogenic structure is discussed with the data of geological structure. The results show that the distribution of hypocenters stretches along the north edge of Yumushan fault in NNW direction, the focus depths of the earthquake swarm are mainly distributed in 10~25 km, and the average is 16.3 km. The seismogenic structure is the east section of the fault, whose strike is NNW, the dip direction is SW, and the dip is about 60°.

Key words: Linze earthquake swarm; Accurate seismic location; Double-difference earthquake location algorithm

0 引言

精确的地震空间位置是地震活动构造、地球内部结构、地震安全评估等工作的基础, 因此地震定位一直是地震学一个最基础的研究课题。随着数字化地震观测技术的发展, 地震定位结果的精度得到了较好的提高。

2004年6月甘肃临泽发生了一系列地震, 从2004年6月3日21时开始截至6月30日8时共发生96个地震, 其中12个3级以上地震, 6个4级以上地震。这次震群的强度和密集程度在这一地区的

地震史上是罕见的, 并被初步判断为前兆型震群, 但是后来在该地区预期的中强地震并未发生。前人对该次震群进行了研究, 计算了震群前的两种地震学参数——尾波Q值和地震空间相关长度, 得到了两种参数随时间的变化进程^[1]。本文拟采用精度相对较高的“双差地震定位法”对本次震群重新进行精确定位, 将所得结果进行分析, 并在此基础上分析探讨此次震群活动的空间分布特征及其与发震构造的关系。

1 研究方法

收稿日期: 2007-07-13

基金项目: 地震科学联合基金(A07138); 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2008002

作者简介: 莘海亮(1982—), 男(汉族), 河北张家口人, 硕士研究生, 研究方向为地震精确定位与地壳三维速度结构。

常用的地震定位方法主要分为绝对定位方法(如 Geiger 法)与相对定位方法(如主事件定位法、双差地震定位法等)。台网的分布、可用以定位的震相、地震波到时读数的精确度、对地壳结构掌握的精细程度等诸多因素都会影响地震定位的精度。

双差地震定位法由 Waldhauser 和 Ellsworth^[2]提出,使用两个地震的走时差的观测值与理论计算值的残差(“双差”)确定其相对位置:

$$\frac{\partial t_k^i}{\partial m} \Delta m^i - \frac{\partial t_k^j}{\partial m} \Delta m^j = dr_k^{ij} \quad (1)$$

式中 dr_k^{ij} 是“双差”

$$dr_k^{ij} = (t_k^i - t_k^j)^{\text{obs}} - (t_k^i - t_k^j)^{\text{cal}} \quad (2)$$

即第 i 个地震至第 k 个地震台的地震波的走时 t_k^i 与第 j 个地震至第 k 个地震台的地震波的走时 t_k^j 之差的观测值 $(t_k^i - t_k^j)^{\text{obs}}$ 与理论计算值 $(t_k^i - t_k^j)^{\text{cal}}$ 的残差。 $\Delta m^i = (\Delta x^i, \Delta y^i, \Delta z^i, \Delta \tau^i)^T$ 是第 i 个地震的震源参数 $(x^i, y^i, z^i, \tau^i)^T$ 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。将由所有地震($i, j = 1, 2, \dots, N$, 所有台站($k = 1, 2, \dots$))得到的形如式(1)的方程用矩阵形式表示,便得到下列方程:

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

其中, G 是一个 $M \times 4N$ (M 是双差的观测数, N 是地震数)的偏微商矩阵; d 是双差数据矢量; m 是长度为 $4N$ ($\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta \tau$)^T 的矢量,含有待定震源参数的变化; W 是对每个方程加权的对角矩阵。计算时引入一个表示所有的地震经重新定位后其平均“位移”为零的约束条件:

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

以阻尼最小二乘法求解方程(3),此时问题归结为

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

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

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

对于数目不是很大的地震丛集,可以用奇异值分解法得到方程(5)的解为

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

式中, U 和 V 分别为矩阵 G 的两个正交奇异矢量矩阵; Λ 是由 G 的奇异值构成的对角线矩阵。在实际计算中我们采用共扼梯度法求解方程(5),得到阻尼最小二乘解,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]。

双差地震定位法是一种比绝对定位方法精度高的相对定位方法,适用于比主事件法空间跨度大的地震事件群体。不少学者已将其成功地运用于我国各地区地震的精确定位^[3-6]。

2 资料选取

对于此次震群,本文研究区域为 $38.92^\circ - 39.13^\circ N, 99.93^\circ - 100.13^\circ E$,使用甘肃省数字地震观测台网和国家基本观测台网记录到的地震数据。从 2004 年 1 月 1 日至 2004 年 12 月 31 日共发生地震 61 次,资料选取时台站的震中 ≤ 400 km,每个地震的记录台站数 ≥ 4 个,符合条件的地震事件共有 50 个,其中包含 0.0~1.9 级 12 个,2.0~2.9 级 25 个,3.0~3.9 级 8 个,4.0~4.9 级 5 个。原始序列目录中有部分地震没有给出震源深度。所用台站分布如图 1。

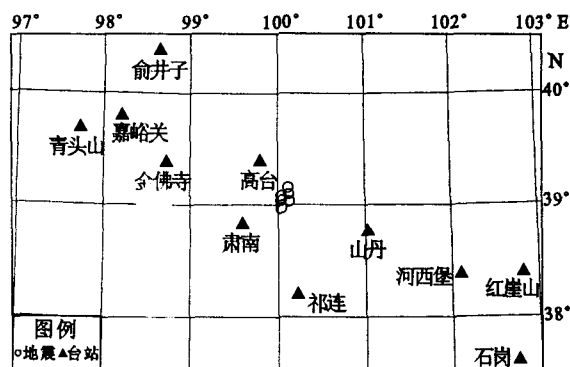


图 1 台站分布图

Fig. 1 Distribution of seismic stations.

“双差地震定位法”作为相对地震定位方法中的一种,影响其定位精度的不是地震到台站整条路径上的速度结构,而是地震震源附近的速度结构。该方法要求地震之间的距离要足够近,使得地震之间的走时差在几秒的量级上,所以速度模型的精细程度对于定位结果精度影响很大。本文依据该区的三维速度结构图像结果^[7],经过对震群附近每一层的速度分别求取平均值,得到了所使用的 6 层速度模型(表 1):波速比为泊松介质($V_P/V_S = 1.732$);莫霍面深度为 50 km,下界面 P 波速度为 8.17 km/s。

3 计算与结果分析

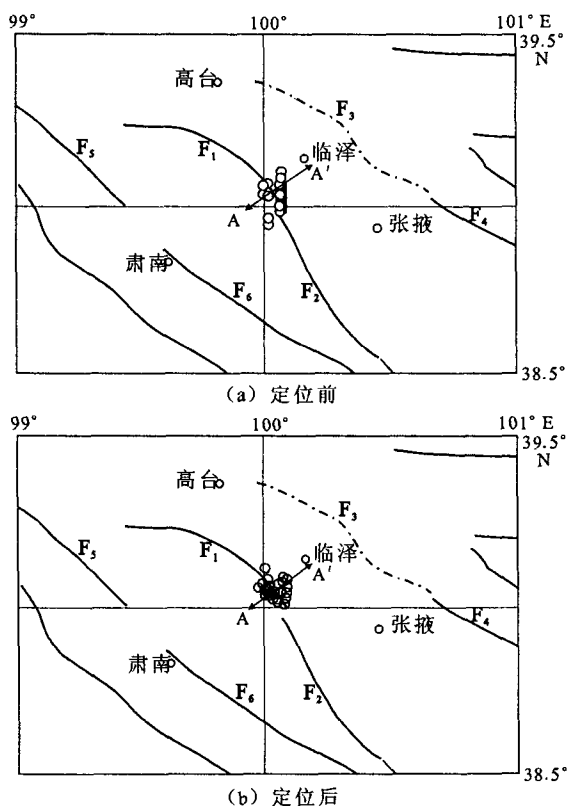
由于本次震群地震之间的相关性比较好,所以用奇异值分解法来解方程。对 50 个地震进行重新定位,最终得到 39 个地震的基本参数,均方根残差由定位前的 1.65 s 降为 0.58 s;震源位置的测定误差(2 倍标准偏差)在 EW 方向平均为 0.23 km,在

NS 方向平均为 0.22 km,在竖直方向平均为 0.48 km。

表 1 重新定位用的速度模型

深度/km	层厚/km	P 波速度/[$\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$]
5	5	5.15
10	5	5.95
15	5	6.20
20	5	6.25
25	5	6.35
50	25	6.72

与定位前相比,定位结果更加明显的显示出该次震群集中分布于榆木山北缘断裂东段,震中分布呈现出比较明显的 NNW 向的线性展布特征(图 2)。



F_1 :榆木山北缘断裂; F_2 :榆木山东缘断裂;
 F_3 :龙首山南缘断裂(西段); F_4 :龙首山南缘
 断裂(东段); F_5 :佛洞庙—红崖子断裂;
 F_6 :北祁连山前断裂(民乐段); A—A' 剖面

图 2 震中、断裂及剖面分布图

Fig. 2 Distribution of epicenters, faults and profile sections before and after relocating.

对该次震群作深度分布直方图(图 3),定位前初始地震目录有 20% 的地震未给出深度值,定位后震源深度全部分布于 5~30 km,平均深度为 16.3 km,优势分布于 10~25 km,约占原始地震的 84%,也就是说此次震群主要是在 10~25 km 的层面上

发生的。

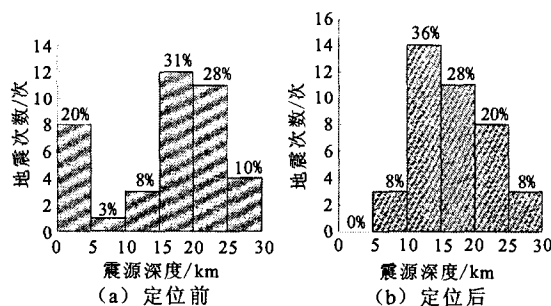


图 3 震源深度直方图

Fig. 3 Histogram of focal depths before and after earthquake relocating.

为了更好的分析地震与构造的关系,我们垂直于断裂方向做 A—A' 剖面(图 4),可以看出震源分布于 F_1 断裂处;相对于定位前,定位后显示震源深度呈“楔形”状分布,大约分布在 10 km 范围的条带内,具有 SW 向的特征,因此可以推测此段 F_1 断裂具有 SW 向的倾向,同时也可以得出其倾角约为 60° 。

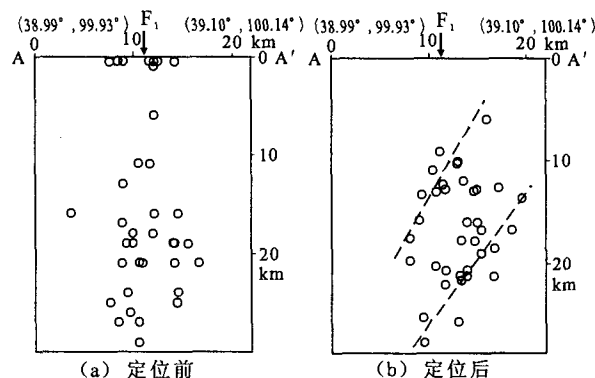


图 4 地震沿 A—A' 剖面分布图

Fig. 4 Distribution of earthquake along A—A' profile section before and after relocating.

结合地质资料^[8],根据本文计算结果,分析认为此次地震震群正好位于河西走廊过渡带内断裂隆起边缘与民乐盆地的交汇部位,是在受到南部祁连山构造带的 NE 向挤压作用,南部块体最前缘逆冲断裂最新活动的结果;发震构造主要为榆木山北缘断裂东段。同时定位后地震剖面分布图可以表明榆木山北缘断裂东缘走向为 NNW,倾向 SW,倾角约为 60° ,与地质资料结果较为吻合。

4 结论与讨论

(1) 利用“双差地震定位法”对 2004 年 6 月甘肃临泽发生的地震震群进行了精确定位,结果显示均方根残差由初始的 1.65 s 降为 0.58 s,震源位置

的测定误差(2倍标准偏差)在EW方向平均为0.23 km,在NS方向平均为0.22 km,在竖直方向平均为0.48 km。震源优势分布于10~25 km,平均深度为16.3 km,定位结果精度总体较定位前得到很大提高。

(2) 震中定位结果特别是深度定位结果很好地解释了此次震群的发震构造特征,认为该震群发震构造为榆木山北缘断裂东段,该处断裂具有逆冲性质,走向NNW,倾向SW,倾角约为 60° ,很好的验证了地质资料。

(3) 部分地震未给出定位结果,其原因可能是:①在参数范围内没有成对的地震;②每个地震的震相数小于最小观察数;③成对地震共同台站记录到的震相数小于最小观察数;④由于数据质量等原因使得方程多次迭代后得不到解。

随着我国地震台网的逐步加密,数字台网的逐步增加,这为“双差地震定位法”更好的应用打下了基础,该方法在确定中小地震的发震断层时将会发挥更好的应用价值。

[参考文献]

- [1] 韩晓明,荣代璐. 2004年6月甘肃临泽震群前的地震学参数变化研究[J]. 高原地震, 2006, 18(3):1-7.
- [2] Waldhauser F, Ellsworth W L. A double-difference earthquake location algorithm: method and application to the Northern Hayward fault, California. 2000[J]. Bull. Seism. Soc. Amer., 2000, 90(6):1353-1368.
- [3] 杨智娟,陈运泰,郑月军. 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[J]. 中国科学(D辑), 2003, 33(增刊): 129-134.
- [4] 荣代璐,李亚荣. 2002年玉门5.9级地震序列精确定位和发震构造研究[J]. 地震研究, 2005, 28(3):239-243.
- [5] 李志海,王海涛,赵翠萍. 2003年新疆石河子5.4级地震序列重新定位及发震断层与机制分析[J]. 地震研究, 2006, 29(2): 109-113.
- [6] 王海涛,李志海,赵翠萍,等. 新疆北天山地区 $M_s \geq 2.0$ 地震震源参数的重新测定[J]. 中国地震, 2007, 23(1):47-55.
- [7] 李清河,张元生,涂毅敏. 祁连山—河西走廊地壳速度结构及速度与电性的联合解释[J]. 地球物理学报, 1998, 41(2):197-209.
- [8] 国家地震局地质研究所,国家地震局兰州地震研究所. 祁连山—河西走廊活动断裂带[M]. 北京:地震出版社, 1993.