

# 2013 年甘肃岷县漳县 $M_s6.6$ 地震及其余震序列重定位<sup>①</sup>

冯红武<sup>1</sup>, 张元生<sup>1,2</sup>, 刘旭宙<sup>1,2</sup>, 陈继锋<sup>1</sup>, 姚海东<sup>1</sup>, 张 璇<sup>1</sup>

(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创新基地, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:**使用甘东南地区三维速度模型, 利用三维网格搜索法和双差地震定位法对 2013 年 7 月 22 日甘肃岷县漳县  $M_s6.6$  地震及其震后三天的余震序列进行了精确定位, 结合地质构造资料对本次地震的发震构造进行了初步研究。其结果显示: 主震的震中位置为  $34.54^\circ\text{N}, 104.189^\circ\text{E}$ , 震源深度 13.5 km; 余震震中呈 NW 或 NWW 方向分布, 与临潭—宕昌断裂的走向基本吻合, 主要分布于 5~20 km 的深度, 震中在深度剖面上呈 SW 向; 发震断裂为倾向 SW 的隐伏断层, 位于临潭—宕昌断裂 NE 方向, 距临潭—宕昌断裂约 20 km。

**关键词:** 岷县漳县地震; 地震定位; 发震断裂; 余震序列

中图分类号: P316.63

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2013)03-0443-06

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2013.03.0443

## Relocation of Mainshock and Aftershocks of the 2013 Minxian—Zhangxian $M_s6.6$ Earthquake in Gansu

FENG Hong-wu<sup>1</sup>, ZHANG Yuan-sheng<sup>1,2</sup>, LIU Xu-zhou<sup>1,2</sup>,

CHEN Ji-feng<sup>1</sup>, YAO Hai-dong<sup>1</sup>, ZHANG Xuan<sup>1</sup>

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

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

**Abstract:** A 3-D velocity model of the southeast Gansu Province region, including the 3-D grid searching algorithm and double difference method, was used to examine the relocation the Minxian—Zhangxian  $M_s6.6$  earthquake occurring on July 22, 2013, and its aftershocks from July 22 to July 25. The grid search method was used to determine earthquake location and the S—P arrival time of 400 seismic events, which agreed with data detected by at least three stations. Of these events, 336 were used to calculate double-difference location, and 261 were used to obtain the relocation results. After relocation, the average estimation errors of the source location were 1498 m in the E—W direction, 1385.2 m in the N—S direction, and 2 492.3 m in the vertical direction. On the basis of these calculation results, the seismogenic structure was compared with the data of geological structure, and the results showed that the mainshock was relocated to  $34.54^\circ\text{N}, 104.189^\circ\text{E}$ , with a focal depth of 13.5 km. The aftershocks were distributed mainly between the Lintan—Tanchang fault and the northern edge of the West Qinling fault; several were distributed in the southwestern region of the Lintan fault. The distribution of the aftershocks was in the NW or NWW direction, which is essentially consistent with the strike of Lintan—Tanchang fault, although the dominant distribution was not obvious. Therefore, we examined the  $A-A'$  profile

① 收稿日期: 2013-07-31; 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2013059

基金项目: 中国地震局兰州地震研究所地震科技发展基金野外站基金(2013Y01); 国家自然科学基金项目(40874029)

作者简介: 冯红武(1985—), 男(汉族), 陕西韩城人, 在读硕士研究生, 主要从事地震学研究。E-mail: gsfenghw@126.com

通讯作者: 张元生(1965—), 男(汉族), 贵州湄潭人, 研究员, 主要从事卫星遥感应用与地震学方面的研究工作。

perpendicular to the direction to research the relationship between the distribution of earthquakes and fracture structure and determined that this profile crosscuts the Lintan—Tanchang fault. We obtained similar results using the 3-D grid searching algorithm and the double difference method, which revealed that the focus depths are mainly distributed in 0~10 km before relocation, and the average depth was 6 km. In contrast, the focus depths of the aftershocks were distributed mainly in 5~20 km after relocation, which indicates that the aftershock sequence occurred mainly in the upper and lower crust. The distribution of the earthquake was in the SW direction, thus, we speculate that the dip direction of the seismogenic fault was SW, and the deep distribution is deeper. The focus depths determined by the 3-D grid-searching algorithm can reach to 25 km, whereas those determined by the double difference method were deeper at a maximum of 30 km. The Lintan—Tanchang fault, with a NW—NWW strike and a SW dip of  $50^{\circ}$ — $70^{\circ}$ , is in closest proximity to the earthquake swarm and is located between the East Kunlun fault and the northern edge of West Qinling fault. The transition fracture of the structural change and the geologic structure of the transition zone are complex and provide the regional geological background. The seismic profile A—A' shows that the basic characteristics of the seismogenic fault, with a SW dip direction, differ from those of the Lintan—Tanchang fault such that their exposures at the surface are 20 km apart. Therefore, we believe that Fault  $F_3$  is a seismogenic fault. However, other characteristics of Fault  $F_3$  are unclear and need to be developed through active fault detection research.

**Key words:** Minxian—Zhangxian earthquake; earthquake location; seismogenic fault; aftershock sequence

## 0 引言

地震定位是根据台站对地震波记录的到时数据确定地震的震源位置及发震时刻,是地震学中最经典、最基本的问题之一,对于研究地震活动构造、地球内部结构和震源几何构造等具有重要意义。台网的布局、可用以定位的震相、地震波到时读数的精度、地壳速度模型等诸多因素都会影响地震定位的精度<sup>[1-2]</sup>。目前大多数地震定位方法使用一维地壳速度模型进行地震定位,这限制了定位的精度。为此我们采用研究区三维地壳速度模型进行地震定位研究。

北京时间 2013 年 7 月 22 日 7 时 45 分,甘肃省定西市岷县、漳县交界发生  $M_s 6.6$  地震,这次地震发生在新构造活动强烈的青藏块体东北缘的甘肃东南部(简称甘东南)地区,区内存在多组活动断裂、地震活动频繁,是我国主要的地震区之一。此次地震发生在临潭—宕昌断裂的东侧,沿该断裂曾多次发生地震<sup>[3-4]</sup>。截止 2013 年 7 月 25 日 19 时,共记录到 700 多次余震,其中最大余震 5.7 级。本文基于甘东南地区三维速度结构模型,采用三维网格搜索法<sup>[5]</sup>和双差定位法<sup>[6]</sup>对主震和余震序列进行重定位,将这两种定位方法的结果结合起来,分析探讨岷

县漳县地震的发震机理、余震的空间分布特征及其与发震构造的关系。

## 1 数据及定位计算

### 1.1 定位速度模型

2009 年 11 月中国地震局地质研究所和中国地震局兰州地震研究所合作在甘东南地区架设了 150 个台站的流动台阵。我们利用该台阵和邻省数字地震台网所记录的大量高精度区域到时资料,采用多震相地震走时层析成像方法<sup>[7-10]</sup>,反演得到甘东南地区三维 P 波速度结构。甘东南地区三维速度模型块体数为  $22 \times 24 \times 6$ ,边缘块体较大,中间较小,研究区范围块体平面大小为  $15 \text{ km} \times 15 \text{ km}$ ,深度方向界面分别为 5 km, 10 km, 15 km, 25 km, 35 km, Moho 面。基于甘东南地区三维速度模型,我们采用三维网格搜索法对岷县漳县地震序列进行重定位,双差定位采用的水平分层速度模型是在该三维速度模型的基础上获得的,如表 1 所示。

表 1 双差定位所用的一维地壳速度模型

Table 1 Velocity model used for the double-difference earthquake location

层	1	2	3	4	5	6
深度/km	0~5	5~10	10~15	15~25	25~35	35~65
速度/( $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ )	5.9	6.1	6.2	6.3	6.5	6.8

### 1.2 数据选取及定位计算

对于此次地震序列, 本文使用甘肃、宁夏、四川以及青海 4 个数字测震台网中的 35 个台站记录的震相数据 ( $34.20^{\circ} \sim 34.80^{\circ}N, 103.60^{\circ} \sim 104.40^{\circ}E$ ), 数据时间段为 2013 年 7 月 22 日 7 时至 2013 年 7 月 25 日 19 时。应用三维网格搜索法进行地震定位时, 满足至少具有 3 个台站的 S-P 到时差的地震

事件 400 个, 对这 400 个地震事件进行重定位计算。计算过程中不考虑发震时刻和仪器的钟差, 提高了原始资料的精度, 并能减少待求参量, 对解的不唯一性有所改善, 最后获得了这 400 个地震事件的重定位结果(图 1)。震源参数的水平位置误差绝对值小于 0.5 km, 深度误差绝对值小于 1 km。

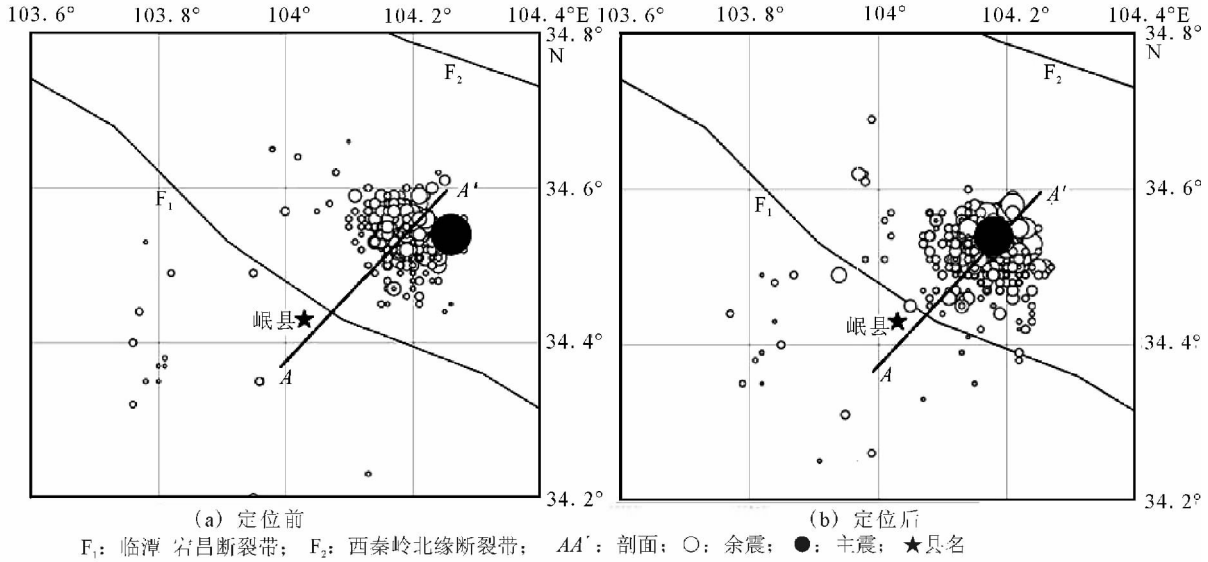


图 1 网格搜索法重新定位前(a)后(b)震中分布图

Fig.1 Distribution of epicenters before(a) and after(b) relocation by Grid search algorithm

可以参与双差定位计算的地震 336 次, 最终获得其中 261 次地震的精确定位基本参数, 如图 2 所示。重新定位后, 震源位置的估算误差在 EW 方向平均为 1 498 m, 在 NS 方向平均为 1 385.2 m, 在垂直方向平均为 2 492.3 m。

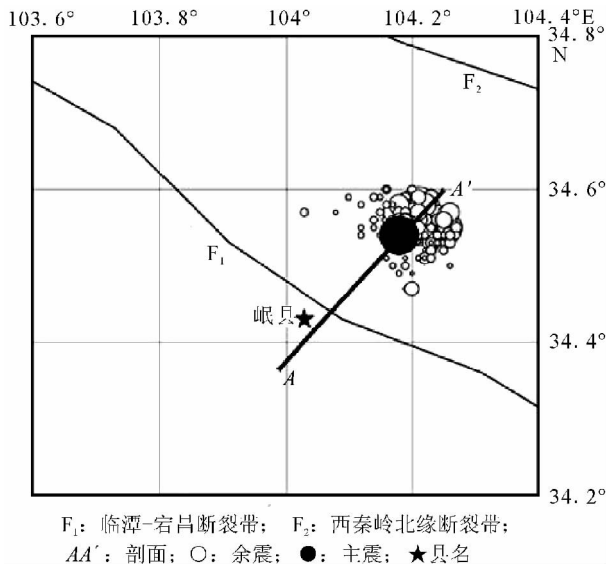


图 2 双差定位法重新定位后震中分布图

Fig.2 Distribution of epicenters after relocation by double-difference method

## 2 结果分析

### 2.1 地震震中分布

从地震的震中分布图来看(图 1、图 2), 大部分的地震并没有沿着临潭-宕昌断裂( $F_1$ )分布, 而是处于临潭-宕昌断裂( $F_1$ )和西秦岭北缘断裂( $F_2$ )之间, 少部分处于临潭-宕昌断裂的西南侧。两种方法定位结果表明, 重定位后地震的平面分布有一定的变化, 主要表现为: 主震的震中位置为  $34.54^{\circ}N, 104.189^{\circ}E$ , 震源深度 13.5 km; 这次地震距离临潭-宕昌断裂( $F_1$ )最近, 该断裂主要以 NW-NWW 方向为主, 而余震震中分布呈 NW 和 NWW 方向, 但分布不是很明显, 基本与临潭-宕昌断裂的走向吻合。

### 2.2 地震深度分布

为了更好的研究地震分布与断裂构造的关系, 直观反映断层在深部展布的情况, 我们垂直于断裂方向做  $AA'$  剖面(图 1)。剖面两端点经纬度分别为  $A(34.38^{\circ}N, 103.97^{\circ}E)$  和  $A'(34.59^{\circ}N, 104.27^{\circ}E)$ , 投影宽度 60 km, 剖面横切临潭-宕昌断裂。由地震的分布结合地质相关的断裂资料推测发震断层及

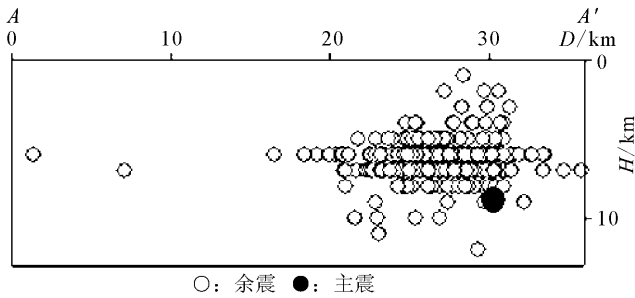
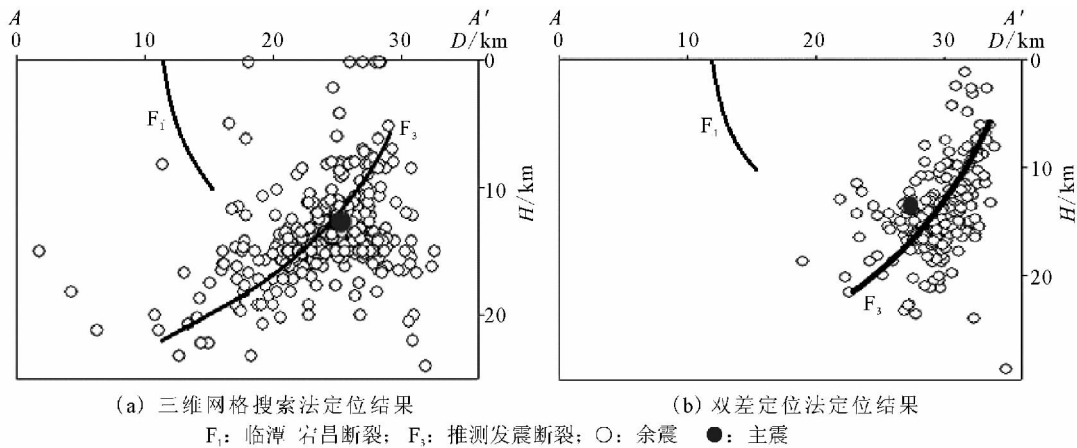


图3 定位前地震沿AA'剖面分布图

Fig. 3 Distribution of earthquake along A-A' profile section before relocation

附近断层在深部的展布<sup>[3-4]</sup>,重定位前震源深度主要分布于0~10 km(图3),平均深度为6 km;重定位后地震多分布于5~20 km深度,说明此次余震序列主要发生在中、上地壳,余震序列在深度剖面上具有SW向的特征,因此可以推断F<sub>3</sub>断裂具有SW向的倾向。两种方法定位结果都表明发震断层在深部的展布呈SW向,发震断层倾向SW;三维网格搜索定位的部分地震震源深度可达25 km,而双差定位的震源深度较深,可达30 km,但都表明F<sub>3</sub>断裂可能在深部展布较深(图4)。



(a) 三维网格搜索法定位结果

(b) 双差定位法定位结果

F<sub>1</sub>: 临潭-宕昌断裂; F<sub>3</sub>: 推测发震断裂; ○: 余震 ●: 主震

图4 定位后地震沿AA'剖面分布图

Fig. 4 Distribution of earthquake along A-A' profile section after relocation

### 3 结论与讨论

本文在甘东南地区三维速度模型的基础上,采用三维网格搜索法和双差地震定位法对2013年7月22日发生的甘肃岷县漳县地震序列进行重定位,分析结果可以得到以下初步结论:

(1) 重定位后,主震的震中位置为34.54°N, 104.189°E,震源深度13.5 km;余震的空间展布方向表现为NW或NWW方向,但分布方向不明显,与临潭-宕昌断裂的走向基本吻合。

(2) 两种方法定位结果都表明:余震主要分布于5~20 km的深度,在深度剖面上呈SW向特征,可推测发震断层有SW向的倾向;部分余震震源深度较深,该发震断层可能是深部断裂;发震断层位于临潭-宕昌断裂NE方向,距临潭-宕昌断裂约20 km。

(3) 结合本区域的地质资料<sup>[11-12]</sup>,根据本文的计算结果,我们认为此次地震发生在甘东南地区南北向构造带与昆仑-秦岭深大断裂的交汇部位,也是东昆仑断裂带与西秦岭北缘断裂带的构造转换

区,区内构造复杂,这为岷县漳县地震的发生提供了区域地质背景。重定位后的地震剖面图(图3)表明发震断层(F<sub>3</sub>)倾向SW。而临潭-宕昌断裂是由数条规模不等、相互平行或斜列的断裂组合而成,断裂的总体性质是以向北逆冲为主,略具左旋走滑分量,断裂呈NWW-NW向展布,倾向NE,倾角50~70°,可见两者的断层特征不一致。

以上结果是通过震后3天多时间的数据得出来的初步认识。随着余震数目增多,另外加上震区流动台的数据,将为进一步研究此次地震的发震机理及其与发震构造的关系提供条件,将有待于我们进一步地研究。

### 参考文献(References)

- [1] Pavlis G L. Appraising Earthquake Hypocenter Location Errors: A Complete, Practical Approach for Single-event Locations[J]. Bull. Seism. Soc. Am., 1986, 76: 1699-1717.
- [2] Gombert J S, K M Shedlock, S W Roecker. The Effect of S-wave Arrival Times on the Accuracy of Hypocenter Estimation [J]. Bull. Seism. Soc. Am., 1990, 80: 1605-1628.

- [3] 郑文俊,刘小凤,赵广堃,等. 2003 年 11 月 13 日甘肃岷县  $M_s 5.2$  地震基本特征[J]. 西北地震学报,2006,27(1):61-65.  
Zheng W J, Liu X F, Zhao G K, et al. Principal features of Minxian  $M_s 5.2$  Earthquake in Gansu Province, on Nov. 13, 2003[J]. Northwestern Seismological Journal, 2006, 27(1): 61-65. (in Chinese)
- [4] 何文贵,周志宇,马尔曼,等. 岷县—卓尼 5.0 级地震的基本特征和地质背景研究[J]. 西北地震学报,2006,29(4):50-55.  
He W G, Zhou Z Y, Ma E M, et al. Basic Features and Geological Background of the Minxian—Zhuoni  $M 5.0$  Earthquake on Sep. 7, 2004[J]. Northwestern Seismological Journal, 2006, 29(4): 50-55. (in Chinese)
- [5] 高见,张元生,郭飏等. 甘东南流动台阵微震监测结果[J]. 地震工程学报,2013,35(1):177-182.  
Gao J, Zhang Y S, Guo B, et al. Microearthquake Location Determined by Portable Seismic Array Data in southeast Gansu Province[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(1): 177-182. (in Chinese)
- [6] Waldhauser F, Ellsworth W L. A Double-difference Earthquake Location Algorithm; Method and Application to the Northern Hayward Fault, California[J]. Bull. Seism. Soc. Am., 2000, 90(6): 1353-1368.
- [7] 张元生,李清河,徐果明. 联合利用走时与波形反演技术研究地壳三维速度结构(I)—理论与方法[J]. 西北地震学报,1998,20(2):8-15.  
Zhang Y S, Li Q H, Xu G M. Combined Inversion Technique to Study 3 Crustal Velocity Structure by Using Seismic Wave Travel Time and Wave Form (I) Theory and Method[J]. Northwestern Seismological Journal(in Chinese), 1998, 20(2): 8-15. (in Chinese)
- [8] 张元生,李清河,刘耀炜等. 地震层析成像软件[J]. 西北地震学报,2003,25(2):170-174.  
Zhang Y S, Li Q H, Liu Y W, et al. The Seismic Tomography Software[J]. Northwestern Seismological Journal(in Chinese), 2003, 25(2): 170-174. (in Chinese)
- [9] 张元生,周民都,荣代潞等. 祁连山中东段地区三维速度结构研究[J]. 地震学报,2003,26(2):247-255.  
Zhang Y S, Zhou M D, Rong D L, et al. 3D Velocity Structure in the Central Eastern Part of Qilinshan[J]. Acta Seismologica Sinica, 2003, 26(2): 247-255. (in Chinese)
- [10] 李清河,张元生,So Gu Kim. 朝鲜半岛南部三维地壳速度结构成像[J]. 地球物理学报,2007,50(4):1073-1081.  
Li Q H, Zhang Y S, So Gu Kim. 3-D Crustal Velocity Tomography in the Southern Korean Peninsula[J]. Chinese J. Geophys., 2007, 50(4): 1073-1081. (in Chinese)
- [11] 张辉,王熠熙,冯建刚. 甘东南地区地壳介质各向异性特征[J]. 西北地震学报,2011,33(2):111-116.  
Zhang H, Wang Y X, Feng J G. Seismic Anisotropy in the Crust in Southeastern Area of Gansu Province[J]. Northwestern Seismological Journal, 2011, 33(2): 111-116. (in Chinese)
- [12] 惠少兴,张元生,李顺成.  $t-D$  地震定位方法研究[J]. 西北地震学报,2012,34(1):10-13.  
Hui S X, Zhang Y S, Li S C. Study on the  $t-D$  Earthquake Location Method[J]. Northwestern Seismological Journal. 2011, 33(2): 111-116. (in Chinese)