

基于地震学资料探讨 2013 年岷县 漳县 6.6 级地震发震构造^①

张元生^{1,2}, 冯红武¹, 陈继锋¹, 刘白云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创新基地, 甘肃 兰州 730000)

摘要:应用速度和 Q 值成像方法以及小震精定位方法获得了 2013 年岷县漳县 6.6 级地震震源区的深部结构和余震序列的空间分布图像。结果表明:发震断层为一隐伏断裂,走向 NW,倾向 SW,逆冲兼左旋走滑,在地表距临潭—宕昌断裂岷县段约 20 km,在深部可能与临潭—宕昌断裂交汇在一起,向南组成一条 NW 向的断裂带。2003 年 11 月 13 日岷县 $M_s5.2$ 、2004 年 9 月 7 日岷县—卓尼 $M_s5.0$ 和本次 $M_s6.6$ 地震的发震断层可能属同一发震断层,位于漳县南部块体的西南边缘;该块体为次级块体(三角形),近几年来块体西南边界强震活跃,其它两边平静。

关键词: 岷县漳县 6.6 级地震;余震分布;发震断层

中图分类号: P315.22

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2013)03-0419-06

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2013.03.0419

Study on Seismogenic Structure of 2013 M_s6.6 Earthquake with Seismological Data

ZHANG Yuan-sheng^{1,2}, FENG Hong-wu¹, CHEN Ji-feng¹, LIU Bai-yu¹

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

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

Abstract: Velocity and Q value tomography, in addition to precise positioning methods of small earthquakes, were used to obtain the deep structure of seismic source area and spatial distribution images of aftershocks. The data of velocity and Q value imaging consist of two parts. The first includes the observation data from a high-density portable seismic array consisting of 150 stations with a reporting period of November 2009 to November 2011 in the area of 32.2–36°N, 102.8–107.1°E. The second includes data from a fixed network during the period of 1970–2010. From these datasets, we selected 6 334 seismic events recorded by at least 8 stations and conducted velocity and Q value inversion calculation. We applied the three-dimensional grid search method to aftershock relocation, in which 746 seismic events met with S–P arrival time differences detected by at least three stations. Finally, we obtained the relocation results of 400 seismic events, and we applied the same method to relocation of the M_s5.2 earthquake occurring on November 13, 2003, and the M_s5.0 earthquake occurring on September 7, 2004. We set the P1 profile perpendicular to the direction to research in the deep distribution of the seismogenic fault. The profile P1 crosscut the Lintan–Tanchang fault and the M_s6.6 earthquake.

① 收稿日期:2013-08-26; 中国地震局兰州地震研究所论著编号:LC2013057

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地震科技发展基金野外站基金(2013Y01)

作者简介:张元生(1965—),男(汉族),贵州湄潭人,研究员,主要从事地震学与卫星遥感应用方面的研究工作. E-mail: zhangys@gssb.gov.cn.

seismic source area. We obtained the velocity profile, Q value profile, and aftershock distribution, which were combined with the focal mechanism solutions of these three earthquakes and the distribution of smaller earthquakes recorded since instrumental record have been kept. The results show that the seismogenic fault of Minxian—Zhangxian $M_s 6.6$ earthquake is a buried fault with a NW strike direction, SW dip direction, and a dip angle steeper in the shallow region. In addition, the fault is thrust and sinistral strike-slip, and its exposure at the surface is 20 km from Minxian section of the Lintan—Tanchang fault. The seismogenic fault and the Minxian section of the Lintan—Tanchang fault may have met at a deep level to form a fault zone to the south with a NW dip direction. The seismogenic faults of the Minxian $M_s 5.2$, Minxian—Zhuoni $M_s 5.0$, and Minxian—Zhangxian $M_s 6.6$ earthquakes may belong to the same fault. The seismogenic fault of the Minxian—Zhangxian $M_s 6.6$ earthquake is located in the suture parts of two secondary blocks. The east block is relatively stable, and the west block moves eastward and is blocked by the east block to form the extrusion area. The Q value of the extrusion area is lower and shows velocity uplift. In the Earth's crust of the west block, the Q value is lower, which provides eastward movement of west block with more favorable conditions. The occurrence region for earthquakes of $M_s \geq 5$ has included three events since 2003 with seismogenic faults at least 20 km from the Lintan—Tanchang fault; the dip direction is contrary. The seismogenic fault is located in the southwestern edge of Zhangxian's southern block, which is a secondary block (triangle) with a stable internal region. Three strong earthquakes occurred in western boundary of this block, which is conducive to the strain energy accumulation of the eastern region and the northern edge, which is the north rim fracture of western Qinling. The eastern region and northern boundary will likely be main regions of seismic activity of the southeast area of Gansu for the next several years.

Key words: Minxian—Zhangxian 6.6 magnitude earthquake; aftershocks distributions; seismogenic fault

0 引言

2013年7月22日甘肃省定西市岷县漳县交界地区发生 $M_s 6.6$ 地震,地震位于西秦岭北缘断裂带和迭部—白龙江断裂带之间的临潭—宕昌断裂的东北侧,余震序列分布与极震区长轴方向基本一致,近平行于临潭—宕昌断裂的岷县段。这次地震并未在地表造成明显的破裂,给探讨其发震构造特征及其性质带来了很大难度。为了认识本次 6.6 级地震的发震断层,我们利用甘东南流动台阵和甘肃省固定台网记录的地震波走时资料,应用地震层析成像方法获得本区的 P 波速度结构和 Q 值结构;在此基础上应用网格搜索定位方法^[1]对岷县漳县地震序列进行精确定位。对这三种结果进行综合分析可以更清楚地认识本次地震的发震构造特征。

1 数据整理

1.1 速度和 Q 值剖面数据

应用甘东南流动台阵(150个台站组成)观测资

料和甘肃及周边省区地震台网记录资料,进行三维速度反演获得该区三维速度结构^[2-6]。台阵资料的观测时段为 2009 年 11 月至 2011 年 11 月,区域范围为 $32.2 \sim 36^\circ \text{N}$, $102.8 \sim 107.1^\circ \text{E}$;固定台网的观测资料时间段为 1970 年至 2010 年,区域为甘肃及周边省区,不同时期的台站累计达 57 个。挑选出至少有 8 个台站记录到的地震 6 334 个参与速度反演计算,在获得三维速度结构基础上,对台阵记录近震的 P 波和 S 波波形资料进行三维 Q 值成像^[7-8],获得了 Q 值结构数据。 Q 值与速度都是地球介质的重要基本物理参数。速度是指振动波的传播快慢程度,是介质弹性常数和密度的函数,即不同密度的地层(构造)或区域可以通过速度表现出来。 Q 值反映的是振动波在传播过程的衰减强弱, Q 值小衰减强、反之弱,与热力学参数存在密切的关系,是表征介质对振动波能量吸收强弱的物理参数,不同的物质结构及其状态可以通过 Q 值反映出来。

1.2 余震序列重定位数据

在三维速度模型的基础上,我们应用三维网格搜索法对岷县漳县地震的余震序列进行重新定位,满足至少具有 3 个台站的 S-P 记录的地震事件

746 次,同时也对 2003 年 11 月 13 日岷县 $M_s5.2$ 和 2004 年 9 月 7 日岷县卓尼 $M_s5.0$ 地震进行了重定位,定位结果如图 1 所示,其余震的空间展布可以较

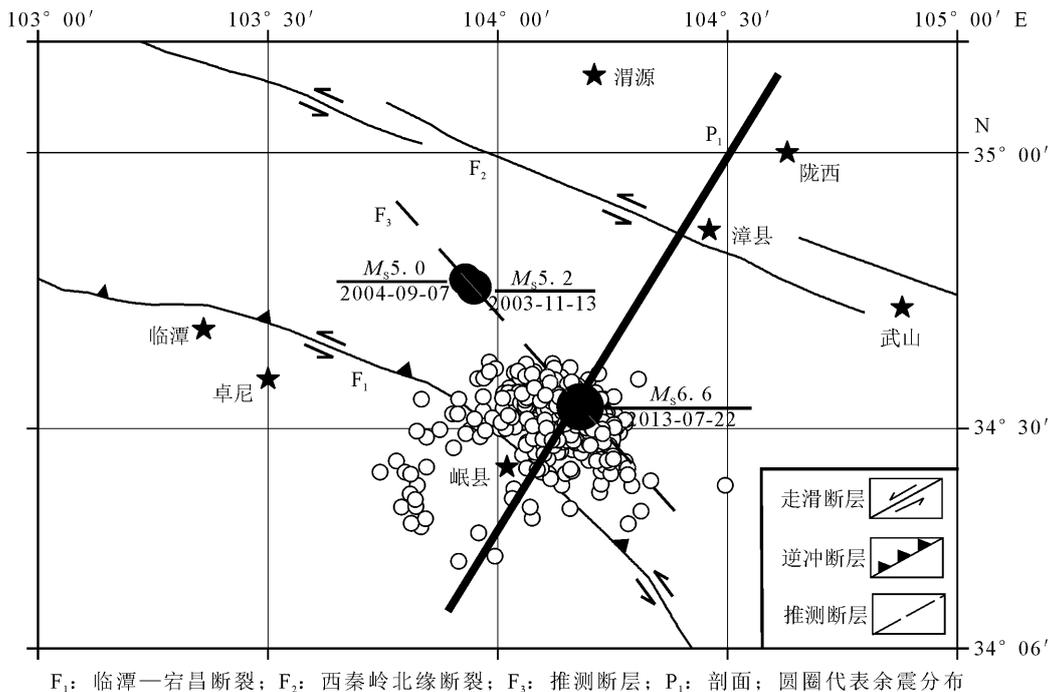


图 1 岷县漳县地震区地质构造和震中分布

Fig. 1 Geologic structure and the distribution of epicenters in Minxian-Zhangxian seismic area

真实的反映地震断层的性质。

2 结果分析

为了研究本次地震的发震构造和力学机制,跨过震源区切了一条剖面(图 1 中 P_1),剖面两个端点的经纬度分别为:南端点(34.19°N,103.9°E)、北端点(35.17°N,104.66°E),剖面长约 130 km。剖面横切临潭-宕昌断裂(F_1)和西秦岭北缘断裂(F_2),并横穿岷县漳县地震震源区,形成速度与地震序列剖面 and Q 值与地震序列剖面。

从速度与地震序列剖面中(图 2),可以看出临潭-宕昌断裂(F_1)与西秦岭北缘断裂(F_2)在上地

壳速度结构中反映明显。在剖面的 10~55 km 距离范围速度横向存在明显的起伏性变化,分别在 30 km 和 50 km 下方存在高速侵入体,约呈 45°角,地震发生在快速隆起与快速下降的过渡区域;在 80~100 km 距离范围速度横向差异明显,是一个低速区,是西秦岭北缘断裂(F_2)穿过的地区,宽约 20 km,两侧速度变化剧烈,这是走滑断裂的表现;在 55~80 km 的区段速度变化较为缓慢,说明该区比较稳定。整个剖面中速度变化明显的区段为 10~55 km 和 80~100 km,这两个区段都有活动断裂穿过,但在 10~55 km 区段速度变化复杂,总体表现

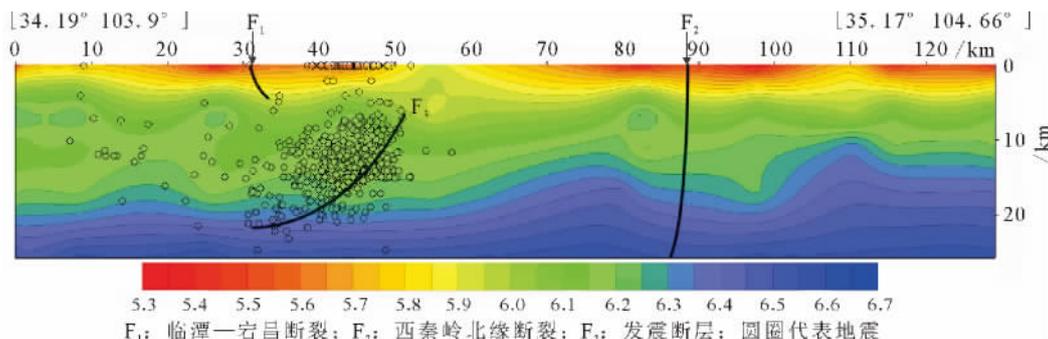


图 2 穿过岷县漳县地震震源区的 P 波速度剖面

Fig. 2 P wave velocity profile across Minxian-Zhangxian seismic source area

为地震区以西的块体向东运动,受阻于东块体,构成NW向的挤压区域,这次地震就发生在这一区域。

在Q值与地震序列剖面中(图3),与速度剖面中表现出来的特征基本一致。以频率为6 Hz的P波和S波Q值为例,Q值特征为:一是在剖面大于55 km的区域里存在Q值横向不连续区,其位于80~100 km区段深,西秦岭北缘断裂(F_2)通过该区

域;25~55 km深部是低Q值区域,随深度增加Q值减小,呈负梯度变化,临潭—宕昌断裂(F_1)位于这一低Q值区,这次6.6级地震发生在其低Q值区或边缘,低Q值对地震波能量的吸收和散射作用较强,介质可能存在相变、破碎或高温等;在0~25 km区段深部约15 km以下存在低Q值,可能表征介质较软,为块体向东运动提供更有利的条件。

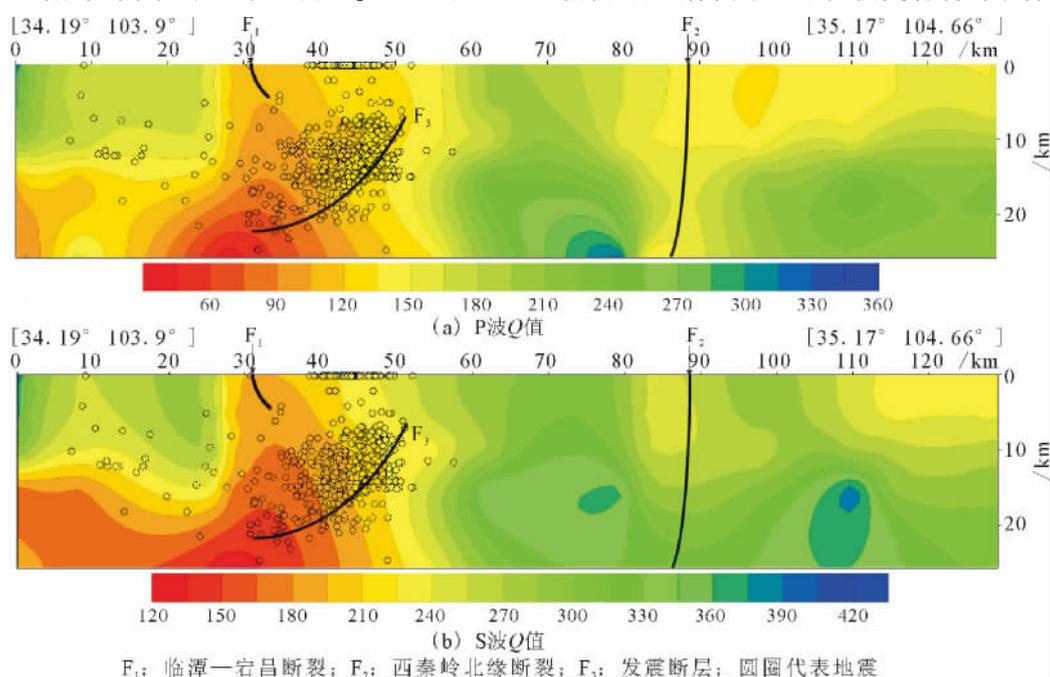


图3 穿过岷县漳县地震震源区的Q值剖面

Fig. 3 Profiles of Q value across Minxian-Zhangxian seismic source area.

根据2003年11月13日岷县 $M_S 5.2$ 、2004年9月7日岷县—卓尼 $M_S 5.0$ 和2013年7月22日岷县漳县 $M_S 6.6$ 地震的震源机制解^[8-11](表1),经过地震重定位,岷县 $M_S 5.2$ 和岷县—卓尼 $M_S 5.0$ 两次地震的震中位置比较接近,震源深度位于上地壳底部和中地壳顶部,震中距临潭—宕昌断裂约20 km,岷县漳县 $M_S 6.6$ 地震震源深度位于上地壳底部,震中距临潭—宕昌断裂约15 km,距前两次地震震中约32 km。 F_3 在地表距临潭—宕昌断裂岷县段约20 km。这3次地震的发震断层走向分别为 330° 、 325° 和 320° ,其走向基本相同,接近于NW向,可能属同一条断层。临潭—宕昌断裂在不同的区段其断层性质存在一定差异,在岷县段走向为NW,而临潭

段走向接近EW向,总之这3次强震的发震断层的走向与临潭—宕昌主断裂的走向存在一定的偏差。

根据有仪器记录以来的小震分布(图4)情况,在岷县—漳县之间存在一弱震区,其弱震呈随机分布,区域为三角形,三条边分别为武山—岷县申都、岷县申都—临潭冶力关、西秦岭北缘断裂带漳县段。该区域可能为一稳定区域(块体)。在这个区域2003年以来发生的5级以上地震都位于块体的西南边界(岷县申都—临潭冶力关),该边界的走向与这3次地震的发震断层走向(震源机制解)一致。受青藏块体向东运动的作用,该次级块体的西南边界为挤压型边界,发生在该边界的地震,以逆冲兼左旋走滑为主。

表1 震源机制解

Table 1 Solution of focal mechanism

| 发震日期 | 地名 | 纬度/(°) | 经度/(°) | 深度/km | 发震断层节面/(°) | 倾角/(°) | 滑动角/(°) | 来源 |
|------------|------|--------|--------|-------|------------|--------|---------|--------------|
| 2003-11-13 | 岷县 | 34.75 | 103.94 | 20 | 330 | 27 | 67 | CCDSN |
| 2004-09-07 | 岷县卓尼 | 34.75 | 103.94 | 15 | 325 | 28 | 96 | 中国数字台网中心 |
| 2013-07-22 | 岷县漳县 | 34.54 | 104.19 | 13 | 320 | 51 | 62 | 中国地震局地球物理研究所 |

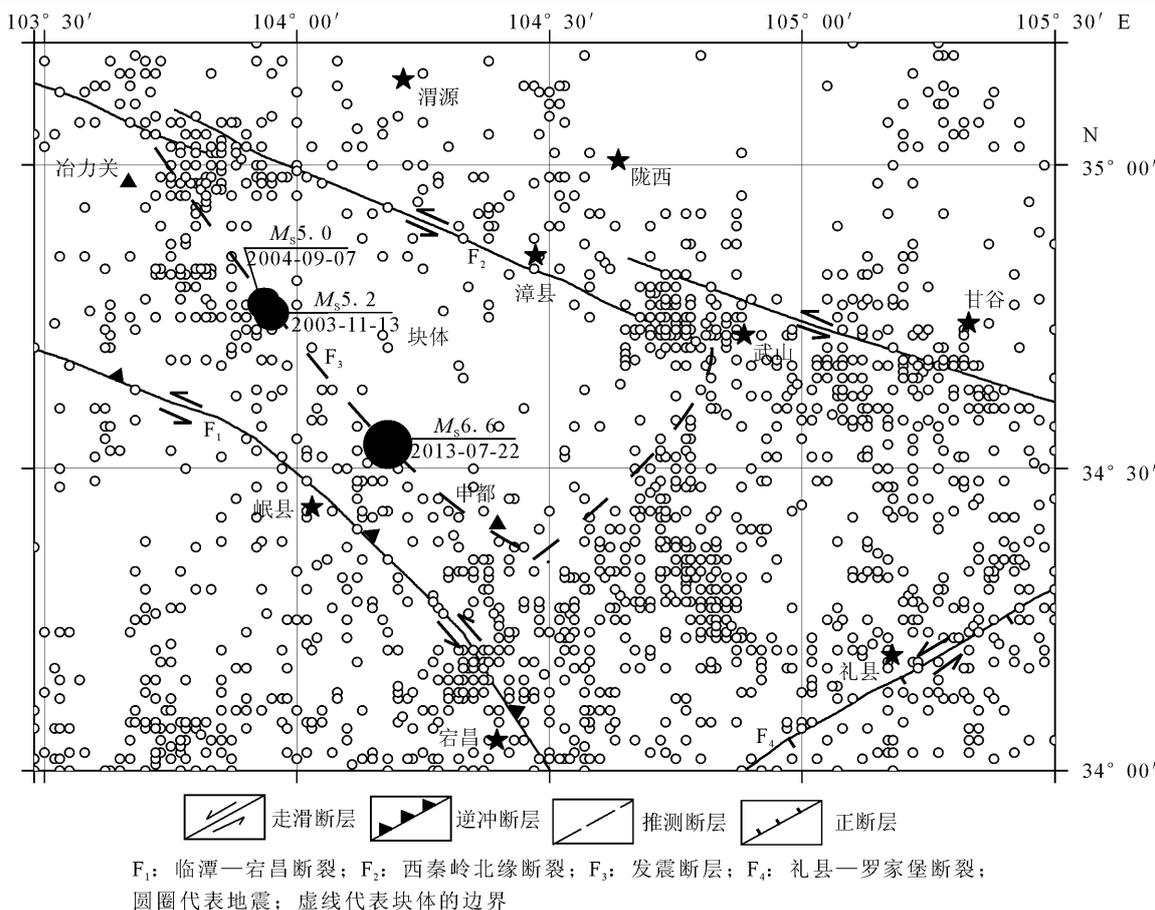


图 4 有仪器记录以来的地震震中分布

Fig. 4 Distribution of epicenters since the instrumental record were used

3 结论与讨论

根据震源机制解、余震序列空间分布、震源区的速度和 Q 值结构、以及小震空间分布,基本可以得到以下主要结论。

(1) 岷县漳县 6.6 级地震的发震断层的走向 NNW,倾向 SW,倾角浅部陡、深部缓,为逆冲兼左旋型断层。发震断层在深部与临潭—宕昌断裂交汇。

(2) 2003 年岷县 5.2 级、2004 年岷县卓尼 5.0 级和 2013 年岷县漳县 6.6 级地震的发震断层走向约为 330° ,即北偏西 30° ,基本上属同一条断裂(见图 1 中 F_3 断裂)。

(3) 岷县漳县地震发震断裂位于两个次级块体的缝合部位,东块体相对稳定,西块体向东运动,受阻于东块体,形成挤压区,在挤压区形成低 Q 值区,速度存在隆起。在西块体下方中地壳存在低 Q 值,可能为西块体向东运动提供了更有利的条件。

(4) 2003 年以来该区域共发生 3 次 5 级以上地震,其发震断裂在空间上距临潭—宕昌主断裂约 20

km,该发震断层(F_3)位于漳县南部块体的西南边缘。该块体为次级块体(三角形),块体内部稳定,西边界 3 次强震的发生有利于东部区域和北边界(西秦岭北缘断裂)的应变能积累,未来几年可能是甘东南地区的地震活动的主要区域。

参考文献(References)

[1] 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)

[2] 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, 1998, 20 (2) : 8-15. (in Chinese)

[3] 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, 2003, 25(2):170-174. (in Chinese)
- [4] 张元生,周民都,荣代璐,等. 祁连山东中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)
- [5] 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)
- [6] 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)
- [7] 惠少兴. 三维 Q 值层析成像[D]. 兰州:中国地震局兰州地震研究所,2012.
- Hui S X. Three-dimensional Q Tomography [D]. Lanzhou: Lanzhou Institute of Seismology, CEA, 2012. (in Chinese)
- [8] 高见. 甘东南地区三维 Q 值研究[D]. 兰州:中国地震局兰州地震研究所,2013.
- Gao J. Study on Three-dimensional Q Value in the Southeast of Gansu Province[D]. Lanzhou: Lanzhou Institute of Seismology, CEA, 2013. (in Chinese)
- [9] 郑文俊,刘小凤,赵广堃,等. 2003年11月13日甘肃岷县 $M_S5.2$ 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 $M_S5.2$ Earthquake in Gansu Province, on Nov. 13, 2003[J]. Northwestern Seismological Journal, 2005, 27(1):61-65. (in Chinese)
- [10] 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 $M5.0$ Earthquake on Sep. 7, 2004 [J]. Northwestern Seismological Journal, 2006, 29(4):50-55. (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)