

郑培玲、邢康、王明亮等, 2016, 河南范县及邻区地震精定位及震源机制解分析, 中国地震, 32(4), 710~717。

河南范县及邻区地震精定位 及震源机制解分析

郑培玲 邢康 王明亮 贾潔昭 何重阳 高家乙

河南省地震局, 郑州市东新区正光路 10 号 450016

摘要 选取河南范县及邻区 2008 年 1 月~2015 年 9 月 $M_L \geq 2.0$ 地震 78 个, 用双差定位法进行重新定位。结果显示, 重定位的震中主要沿聊城-兰考断裂带呈 NE 向分布, 较此前更集中。重定位后的震源深度 82% 位于 7~8km, 也比此前更集中。在此基础上, 用 CAP 方法研究了该地区 2008 年以来 $M_L \geq 3.0$ 地震的震源机制解。结果显示, 节面 I 的 14 个地震中有 11 个地震震中分布呈 NE 向, 这与用双差法重新定位后的震中分布方向一致。此外, 这 14 个地震中有 9 个地震的 P 轴方位在 $50^\circ \sim 100^\circ$, 均值为 75° , 这与华北地区主压应力方向基本一致。综合分析认为, 该区域的地震活动与聊城-兰考断裂有关。

关键词: 范县 地震精定位 聊城-兰考断裂 震源机制解

[文章编号] 1001-4683(2016)04-0710-08 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

在河南范县和山东鄄城交界、聊城-兰考断裂(以下简称聊兰断裂)附近地区, 2015 年 1 月 18 日发生了 $M_L 4.2$ 地震, 这是该区自 2011 年 10 月 13 日发生 $M_L 4.1$ 地震后再次发生的 $M_L 4.2$ 地震。以河南范县为中心, 半径 100km 范围内, 历史上曾发生过 5.5 级以上地震 11 次, 其中最大地震为 1937 年 8 月 1 日山东菏泽 7.0 级地震, 时间最近的为 1983 年 11 月 7 日山东菏泽的 5.9 级地震。近年来, 聊兰断裂带中段(即菏泽北至范县段)的中、小地震活动呈增强趋势, 尤其是河南范县与山东鄄城交界地区, 1997 年以来, 应变能释放明显加速, 形成了明显的中小地震活动集中区, 特别是自 2008 年以来, 共发生 $M_L \geq 2.0$ 地震 98 次, 其中 $M_L \geq 3.0$ 地震 26 次, 最大地震为 2015 年 1 月 18 日 $M_L 4.2$ 地震, 该地震是该地区平静 3 年多以来的又一次 4 级以上地震, 显示该地区地震活动增强。地震定位结果是地震活动性以及活动构造研究的重要基础资料, 构造应力场是地震孕育发生的力学背景, 是地震动力学的重要研究内容, 对研究区开展地震定位和构造应力场研究, 特别是近年来开展的地震精定位分析, 对于认识区内地震活动、断层构造以及地震孕育发生的力学环境有重要意义。因此, 本文用双差定位方法, 重新对范县及邻区的地震重新进行定位, 并结合 CAP 方法反演的震源机制解, 以分析该区域的地震活动趋势。

[收稿日期] 2016-03-20; [修定日期] 2016-09-26

[项目类别] 河南省地震局科研基金资助

[作者简介] 郑培玲, 女, 1973 年生, 工程师, 主要从事测震台网监测和分析预报工作。E-mail: 408038346@qq.com

1 双差定位方法介绍

双差定位法(Waldhauser et al,2000)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。双差定位法是利用相邻地震的走时残差来推算震源位置的一种相对定位方法。其思路是:地震事件两两组对后,通过计算两事件之间的震相延时来确定其相对位置,从而在很大程度上消除了由于地壳速度结构横向不均匀引起的定位误差。

多人曾用双差定位法开展过小震精定位研究(吕子强等,2008;李亚军等,2008;于湘伟等,2010;张广伟等,2011;王俊等,2011;董春丽等,2013),均取得了丰富成果。但近年来并无对该区地震重新定位研究,特别是2015年1月18日发生 $M_L4.2$ 地震后。因此,本文用此方法研究范县及邻区的地震活动趋势。

2 资料选取

本文选取了河南范县与山东鄄城交界地区($35.4^\circ \sim 36.0^\circ N, 115.1^\circ \sim 115.7^\circ E$)2008年1月~2015年9月的80个 $M_L \geq 2.0$ 地震,因为地震集中在山东和河南的交界处,为了获得更好的定位效果,在重新定位中,选取河南、山东和河北3个省级地震台网的数据,用双差定位法进行重新定位,双差定位对震源所在处的速度模型的变化甚为敏感,本文采用水平分层的速度模型,将地壳模型分为7层(表1),用华北地区常采用的平均波速比1.71。

表 1 本文所用进行重新定位的地壳速度模型(P波)

深度/km	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	40.0
速度值/ $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$	5.0	6.0	6.3	6.2	6.6	6.5	6.9	8.1

本次计算参与定位的台站共16个,包括河南地震台网11个台站、山东地震台网3个台站以及河北地震台网2个台站。最大震中距为300km,对每个地震都有4个或以上台站的观测数据,以避免计算中出现欠定方程。

3 双差定位结果分析

对所选80个地震分别用单纯定位法和双差定位法进行计算,在双差定位前,将所选地震的观测台站数 ≥ 4 、震源间距 $< 10\text{km}$ 、距观测台站300km范围内的地震走时进行两两组合。经过对各种控制参数的层层筛选,精定位后得到78个地震结果(表2),图1给出了双差定位与台网原始定位的震中分布对比。

由图1(b)可以看出,重新定位后的地震震中更集中,地震与断层的关系更密切,主要沿聊兰断裂带呈NE向分布(图1(b)),与断层走向一致。而原台网地震定位结果相对离散(图1(a)),虽有优势方向,但是不如精定位结果明显。另外,原台网定位震源深度为3~22km,在6~10km深度上相对比较集中(图2(a))。双差定位后的震源深度为5~10km(图2(b)),82%的地震震源深度为7~8km,深度分布较原始定位结果明显集中。

表 2

原始定位结果与双差定位后的结果

发震日期 (年-月-日)	发震时刻 (时:分:秒)	震级 M_L	原始定位震中		精定位震中		原始深度 /km	精定位深度 /km
			N/(°)	E/(°)	N/(°)	E/(°)		
2008-03-20	17:07:19.53	3.3	35.72	115.45	35.69	115.43	8	8
2008-03-28	03:24:52.71	2.3	35.74	115.49	35.71	115.41	4	7
2008-04-02	18:14:39.05	3.1	35.75	115.49	35.73	115.48	6	8
2008-04-05	04:35:13.46	3.5	35.75	115.50	35.73	115.48	8	7
2008-04-10	02:05:51.53	2.1	35.73	115.48	35.72	115.48	8	8
2008-04-22	08:56:10.66	2.8	35.79	115.53	35.73	115.47	6	6
2008-04-24	14:01:13.48	2.0	35.78	115.52	35.73	115.49	9	7
2008-05-01	04:47:53.02	2.1	35.76	115.51	35.73	115.47	8	10
2008-05-07	18:29:51.68	2.5	35.71	115.46	35.68	115.42	6	7
2008-05-08	07:29:04.52	3.1	35.74	115.51	35.72	115.48	6	7
2008-05-08	07:45:12.18	2.7	35.74	115.50	35.72	115.47	3	7
2008-05-24	07:46:55.96	2.1	35.71	115.48	35.72	115.47	7	7
2008-06-22	23:38:46.34	2.3	35.68	115.47	35.68	115.45	5	8
2008-06-24	21:33:19.58	2.2	35.69	115.45	35.69	115.42	8	7
2008-08-02	00:15:59.36	2.5	35.69	115.45	35.68	115.42	7	7
2008-08-20	23:33:07.32	2.7	35.70	115.49	35.68	115.44	6	7
2008-08-24	10:44:36.40	2.2	35.61	115.39	35.68	115.42	7	7
2008-08-26	14:49:01.18	2.5	35.73	115.51	35.72	115.48	6	7
2008-08-27	15:38:52.30	3.6	35.74	115.47	35.73	115.45	8	9
2008-09-15	06:45:32.83	2.6	35.75	115.49	35.73	115.46	7	8
2008-09-22	17:35:58.30	2.5	35.74	115.51	35.72	115.48	3	8
2008-09-24	12:20:16.74	3.3	35.74	115.49	35.73	115.47	7	8
2008-12-07	15:35:12.40	2.8	35.75	115.51	35.73	115.47	6	8
2009-02-11	07:53:09.27	2.3	35.70	115.48	35.68	115.45	6	9
2009-03-11	15:52:55.08	2.3	35.68	115.46	35.68	115.45	6	8
2009-03-21	18:41:39.04	3.0	35.74	115.45	35.73	115.46	7	8
2009-06-15	11:57:54.33	2.2	35.75	115.44	35.73	115.46	6	7
2009-06-23	22:27:42.49	2.4	35.69	115.44	35.68	115.45	9	8
2009-08-03	15:14:22.54	2.3	35.72	115.44	35.70	115.44	8	8
2009-08-04	13:45:56.14	3.1	35.71	115.37	35.70	115.38	8	7
2009-10-27	04:12:51.30	2.6	35.69	115.37	35.70	115.37	13	9
2010-01-15	08:06:49.53	3.7	35.71	115.44	35.70	115.43	7	8
2010-02-11	17:16:42.63	4.2	35.72	115.36	35.69	115.38	8	6
2010-03-25	00:57:12.38	2.2	35.71	115.45	35.69	115.46	6	7
2010-03-28	04:21:15.08	3.7	35.71	115.46	35.70	115.44	6	9
2011-01-20	18:36:23.63	2.1	35.67	115.43	35.68	115.44	6	9
2011-01-24	08:00:59.83	2.5	35.72	115.42	35.70	115.43	7	7
2011-01-27	03:24:34.51	3.2	35.73	115.49	35.72	115.49	6	7
2011-02-20	21:30:28.18	3.0	35.74	115.48	35.73	115.49	7	7
2011-04-09	08:24:19.25	3.3	35.79	115.26	35.72	115.29	8	6

续表 2

发震日期 (年-月-日)	发震时刻 (时:分:秒)	震级 M_L	原始定位震中		精定位震中		原始深度 /km	精定位深度 /km
			N/(°)	E/(°)	N/(°)	E/(°)		
2011-05-09	14:14:19.44	2.5	35.76	115.45	35.72	115.48	7	7
2011-05-15	03:49:16.23	2.3	35.69	115.45	35.68	115.46	8	7
2011-05-16	17:07:58.48	2.7	35.76	115.46	35.73	115.47	9	7
2011-08-14	04:43:17.27	2.6	35.74	115.47	35.73	115.47	9	7
2011-10-13	05:05:56.18	2.4	35.69	115.44	35.68	115.44	4	9
2011-10-13	12:27:53.55	4.1	35.75	115.49	35.73	115.47	10	8
2011-10-23	13:02:19.78	2.3	35.75	115.44	35.74	115.46	5	9
2011-11-16	07:47:09.39	3.4	35.79	115.38	35.78	115.40	5	5
2011-11-18	02:16:05.47	2.9	35.69	115.42	35.68	115.42	9	7
2012-01-17	13:30:44.64	3.1	35.69	115.42	35.68	115.42	7	7
2012-01-17	04:52:33.13	2.8	35.70	115.42	35.68	115.43	7	7
2012-01-17	05:24:38.43	2.5	35.69	115.42	35.68	115.43	6	7
2012-03-16	06:34:58.05	2.2	35.70	115.43	35.68	115.43	8	7
2012-03-21	05:49:08.39	2.3	35.68	115.45	35.68	115.46	8	8
2012-04-12	05:25:52.80	2.9	35.71	115.45	35.70	115.46	6	8
2012-04-20	15:07:10.11	2.7	35.79	115.34	35.77	115.38	8	5
2012-06-23	00:31:59.79	2.3	35.67	115.42	35.68	115.44	7	7
2012-07-31	00:50:57.79	2.4	35.69	115.44	35.68	115.45	9	8
2012-08-14	07:41:52.60	2.3	35.67	115.44	35.68	115.45	6	7
2013-01-23	13:48:29.12	2.0	35.66	115.43	35.68	115.45	10	8
2013-01-23	01:24:42.73	2.5	35.71	115.44	35.72	115.46	9	7
2013-01-28	06:46:28.19	2.2	35.75	115.47	35.72	115.48	10	7
2013-02-10	22:58:33.82	2.7	35.73	115.46	35.72	115.46	9	7
2013-02-20	11:06:00.76	2.2	35.74	115.44	35.71	115.45	6	7
2013-10-27	17:55:41.04	2.6	35.69	115.43	35.68	115.44	10	8
2014-02-19	11:04:20.06	2.3	35.75	115.45	35.71	115.45	8	8
2014-03-28	17:55:05.60	2.0	35.75	115.45	35.73	115.46	5	7
2014-06-26	08:05:57.31	2.1	35.70	115.44	35.68	115.45	5	8
2014-07-11	15:13:43.74	2.6	35.63	115.27	35.65	115.34	21	6
2014-08-04	06:32:30.47	2.8	35.75	115.35	35.70	115.37	15	7
2014-08-05	07:57:33.31	2.6	35.69	115.44	35.68	115.46	21	7
2014-08-05	05:55:29.18	2.1	35.70	115.42	35.68	115.45	24	8
2014-08-05	17:24:08.97	2.3	35.67	115.41	35.68	115.45	22	8
2014-08-05	17:25:23.18	3.2	35.69	115.45	35.68	115.45	4	8
2014-10-27	17:27:18.45	2.3	35.68	115.43	35.68	115.45	7	8
2015-01-18	04:26:22.24	3.0	35.69	115.35	35.70	115.38	3	8
2015-01-18	09:36:45.92	2.5	35.64	115.40	35.68	115.42	6	7
2015-01-18	11:01:24.38	4.3	35.71	115.41	35.68	115.42	6	8

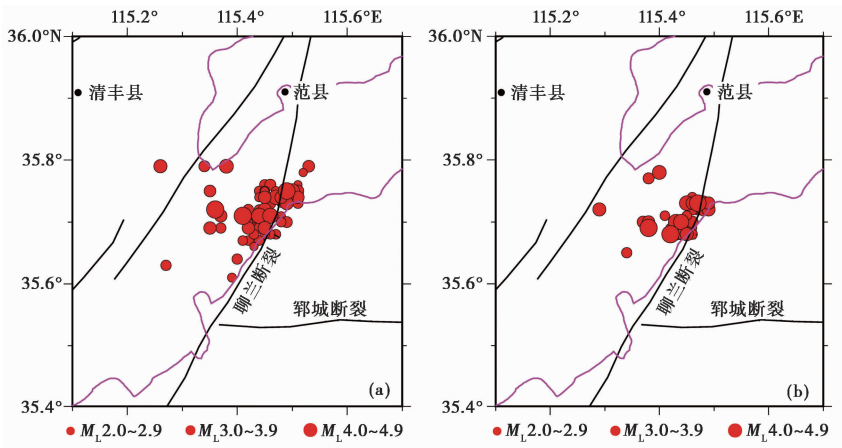


图1 台网原始定位(a)与双差定位(b)的震中分布

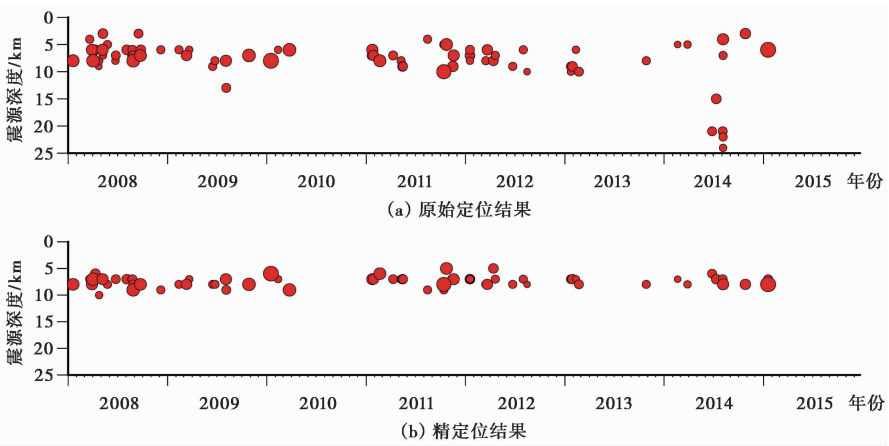


图2 原始定位和精定位后的震源深度分布

4 震源机制解分析

本文用 CAP 方法 (Zhao et al, 1994; Zhu et al, 1996) 反演了范县及邻区 2008 年以来 $M_L \geq 3.0$ 的 14 个地震的震源机制解。CAP 方法是一种体波与面波联合反演方法,其结果对速度模型和地壳横向变化的依赖性相对较小。很多学者用 CAP 方法开展了大量的研究工作 (郑勇等, 2009; 宋美琴等, 2013; 李晓峰等, 2013; 张辉等, 2010), 结果证明用此方法可得到可靠的震源机制解。震源机制解对于震源过程研究和地震预测研究有重要意义,是研究现代构造应力场的基础资料之一,通过震源机制研究,可以分析地震发生的力学过程,推断地震的主要成因 (赵翠萍等, 2008; 王勤彩等, 2009)。

据重新定位结果可以看出,范县及邻区中小地震集中增强活动的主要原因可能是因局部构造活动所致。为了分析该区域地震活动趋势,分析了该区域 ($35.4^\circ \sim 36.0^\circ \text{N}$, $115.1^\circ \sim 115.7^\circ \text{E}$) 2008 年以来 $M_L \geq 3.0$ 地震的震源机制解。

范县及附近地区地震发生在聊兰断裂附近,聊兰断裂带由一系列规模不等的 NNE—NE 向断裂组成,是华北平原拗陷区和鲁西隆起区的分界断裂,在航磁和重力异常图上显示为梯

度带,它南起兰考,向 NNE 向延伸,经东明、鄄城、范县、聊城,向北至广饶,全长约 270km。本文用 CAP 方法计算了 14 个地震的震源机制解(表 3、图 3),表 3 给出了 P 轴的方位为 $22^{\circ} \sim 138^{\circ}$,简单平均值为 72° 。从 14 个地震的震源机制解 P 轴方位时序变化特征图 3(b),可以看出,14 个地震中有 9 个地震 P 轴方位为 $50^{\circ} \sim 100^{\circ}$,均值为 75° ,占地震总数的 64%,根据许忠淮等(1983、1989)、万永革(2011)等对华北地区构造应力场的研究,认为其地震应力场的优势分布与主压应力轴同向,约为 $72^{\circ} \sim 88^{\circ}$,主压应力方向为 NE 向,与节面 I 参数比较接近。该地震集中分布区的发震构造为东濮凹陷,属下第三系盆地, NNE 和 NE 走向的聊兰断裂和长垣断裂控制该构造的发展,其中聊兰断裂为全新世活动断裂并具有右旋走滑的性质,构造运动比较活跃,因此认为,聊兰断裂带的构造运动是该地区地震活动的主要诱因。

表 3 $M_L \geq 3.0$ 地震的震源机制解

序号	发震日期 (年-月-日)	发震时刻 (时:分:秒)	震级 M_L	深度 /km	震中位置		节面 I			节面 II			P 轴		T 轴	
					北	东	走	倾	滑 动	走	倾	滑 动	方	仰	方	仰
					纬 /($^{\circ}$)	经 /($^{\circ}$)	向 /($^{\circ}$)	角 /($^{\circ}$)	角 /($^{\circ}$)	向 /($^{\circ}$)	角 /($^{\circ}$)	角 /($^{\circ}$)	位 /($^{\circ}$)	角 /($^{\circ}$)	位 /($^{\circ}$)	角 /($^{\circ}$)
1	2008-03-28	18:14:40	3	8	35.73	115.48	222	61	125	98	44	44	259	30	163	9
2	2008-04-02	4:35:12	3.6	7	35.73	115.48	44	40	167	310	77	20	74	66	176	5
3	2008-08-26	15:38:53	3.7	9	35.73	115.45	32	62	0	302	90	152	122	62	350	19
4	2008-09-22	12:20:18	3.5	8	35.73	115.47	52	68	-33	155	59	-154	202	51	11	38
5	2010-01-15	17:16:43	4.2	6	35.69	115.38	243	67	-6	151	84	-156	256	66	109	20
6	2010-03-25	4:21:15	3.7	9	35.70	115.44	40	52	162	122	75	39.4	138	48	246	15
7	2011-01-24	3:24:34	3.3	7	35.72	115.49	221	50	-24	314	66	-171	23	64	175	22
8	2011-01-27	21:30:28	3.4	7	35.73	115.49	125	70	154	224	65	22	270	57	175	2
9	2011-02-20	8:24:19	3.4	6	35.72	115.29	139	48	17	37	77	136	204	45	94	18
10	2011-10-13	12:27:53	4.3	8	35.73	115.47	249	40	43	148	48	165	260	45	12	19
11	2011-10-23	7:47:09	3.2	5	35.78	115.40	222	42	41	99	64	124	262	30	165	12
12	2011-11-18	13:30:45	3.2	7	35.68	115.42	50	50	-19	140	71	180	230	71	3.4	13
13	2014-08-05	17:25:23	3	8	35.68	115.45	106	40	134	241	82	82	242	7	338	36
14	2015-01-18	11:01:24	4.4	8	35.68	115.42	246	65	170	152	80	25	260	63	16	10

5 结论

对范县及邻区中小地震用双差定位法重新定位并用 CAP 方法反演了其震源机制解。结果表明:

(1) 与原始结果相比,重新定位后的地震震中更集中,主要地震集中分布区域变小,沿聊兰断裂带呈 NE 向分布,与断层走向一致,大部分地震集中收敛到聊兰断裂以西的坳陷区内,与断层的关系更显密切。重新定位后的震源深度有 82% 为 7~8km,深度分布也较集中。

(2) 用 CAP 方法反演的地震震源机制解结果显示,节面 I 走向为 NE 向,这与精定位后的震中分布方向一致,同时,节面 I 的优势倾角约为 53° ,震源错动类型大多表现为走滑型。

(3) 根据本文获得的该地区的震源机制解,结合震区的地质构造和精定位后的震中分布

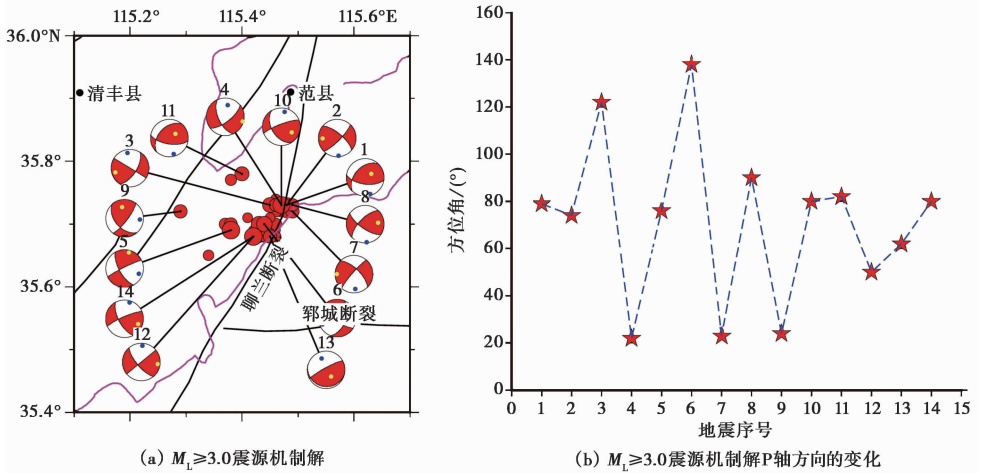


图3 $M_L \geq 3.0$ 震源机制解及P轴方向变化

(图1)综合来看,该区震源机制解的节面I指示了相应的发震断层,与震源区内聊兰断裂带相对应。此外,14个地震中有9个地震的P轴方位为 $50^\circ \sim 100^\circ$,均值为 75° 的占地震总数的64%,这与华北地区主压应力方向基本一致。鉴于聊兰带的断裂规模和历史上曾发生过强震的现实,推测该区域的地震应与聊兰断裂活动相关。

参考文献

- 董春丽、李乐、赵晋泉等,2013,临汾地区的小震精定位分析,地震地质,35(4),874~882。
- 吕子强、肖兰喜、许萍,2008,濮阳地震集中区地震精定位及其预测意义,华北地震科学,26(2),12~15。
- 李亚军、李永红、胡旭辉等,2008,长岛附近地区小震精定位及地震趋势分析,华北地震科学,26(2),22~26。
- 李晓峰、裴惠娟、徐辉等,2013,2013年7月22日岷县漳县6.6级地震震源机制解,地震工程学报,35(3),459~462。
- 宋美琴、李华焜、韩立波等,2013,用CAP方法反演2010年6月5日山西阳曲 $M_s 4.6$ 地震震源机制解,地震工程学报,35(3),692~697。
- 王俊、吴晶、孙业君等,2011,江苏及周缘地区地震精定位与构造意义分析,地震地磁观测与研究,32(2),6~12。
- 王勤彩、陈章立、郑斯华,2009,汶川大地震余震序列震源机制的空间分段特征,科学通报,54(16),2348~2354。
- 万永革,2011,中国现代构造应力场,世界地震译丛,3,18~29。
- 许忠淮、阎明、赵仲和,1983,由多个小地震推断的华北地区构造应力场的方向,地震学报,5(3),268~279。
- 许忠淮、汪素云、黄雨蕊等,1989,由大量的地震资料推断的中国大陆构造应力场,地球物理学报,32(6),636~647。
- 于湘伟、张怀、陈运泰,2010,华北地区地震重新定位结果分析,大地测量与地球动力学,30(2),29~33。
- 张广伟、雷建设、谢富仁等,2011,华北地区小震精定位及构造意义,地震学报,33(6),699~714。
- 郑勇、马宏生、吕坚等,2009,汶川地震强余震($M \geq 5.6$)的震源机制解及其与发震构造的关系,中国科学(D辑),39(4),413~426。
- 张辉、徐辉、姚军等,2010,祁连山中东段基于CAP方法的中小地震震源机制研究,山西地震,(1),25~29。
- 赵翠萍、陈章立、郑斯华等,2008,伽师震源区中等强度地震矩张量反演及其应力场特征,地球物理学报,51(3),782~792。
- Waldhauser F, Ellsworth W, 2000, A double-difference earthquake locationalgorithm: method and application to the northern Hayward fault California, Bull Seism Soc Am, 90(6), 1353~1368。
- Zhao L S, Helmberger D V, 1994, Source estimation from broadband regional seismograms, Bull Seism Soc Am, 84(1), 91~104。
- Zhu L P, Helmberger D V, 1996, Advancement in source estimation techniques using broadband regional seismograms, Bull Seism Soc Am, 86(5), 1634~1641。

The earthquake precise locating and focal mechanism solution in Fanxian county, Henan Province and its adjacent regions

Zheng Peiling Xing Kang Wang Mingliang Jia Luozhao He Chongyang Gao Jiayi

Earthquake Administration of Henan Province, Zhengzhou 450016, China

Abstract 78 digital seismic events ($M_L \geq 2.0$) recorded by the Henan Digital Seismic Network in Fanxian County and its adjacent regions from January 2008 to September 2015 were screened out through the double difference earthquake location method for precise relocating. Compared to previous location, which is showed in the results, the relocated relative position of seismic source is more concentrated. The earthquakes which are closely associated with fault distributed along Liaocheng-Lankao fault zone in NE direction. In addition, 82% earthquakes are concentrated at 7~8km, which are more concentrated than before. On this basis, the CAP method is used to study the focal mechanism solution of $M_L \geq 3.0$ earthquake in the region since 2008. The results are as follows; 11 of 14 earthquakes' strike, which is along NE in pitch surface one, is in accordance with precisely positioned distribution direction of the epicenter. 9 of 14 earthquakes' azimuth of P axis are between 50 and 100 degree and its average value is about 75 degree, which is accordance with the direction of compressional stress in North China. It is therefore concluded that there is a certain correlation between Liaocheng-Lankao fault and the earthquake activities in this region.

Key words: Fanxian Country; Earthquake precise locating; Liaocheng-Lankao fault; Focal mechanism solution