

# 濮阳地震集中区地震精定位及其预测意义<sup>\*</sup>

吕子强<sup>1</sup>, 肖兰喜<sup>2</sup>, 许 萍<sup>2</sup>

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 山东省地震局, 山东 济南 250014)

**摘要:** 运用双差定位方法对濮阳地震集中区进行地震精定位, 利用重新定位后地震的三维空间分布, 对山东鄆城、河南濮阳交界地区出现的中小地震集中增强过程进行分析, 并结合该区地震构造背景和投入开发油田的分布情况, 对该集中区的地震活动成因进行综合分析。最后讨论了该区地震重新定位对于未来地震趋势判断的实际意义。

**关键词:** 双差定位方法; 地震集中区; 地震构造背景

**中图分类号:** P315.63      **文献标识码:** A

## 0 引言

山东鄆城、河南濮阳交界出现的 2 级以上中小地震集中增强过程, 一直是该区近几年备受关注的地震学异常之一。该异常自 1997 年开始, 经历了两次增强过程, 第一次是 1997 年下半年至 1999 年上半年, 频度增高, 应变能释放加速, 在此期间分别于 1998 年 12 月和 1999 年 5 月在区内发生了两次 4.0 级地震; 第二次增强过程开始于 2002 年, M-T、N-T 以及应变能曲线均有明显显示, 在这期间分别于 2003 年 4 月 27 日、2005 年 4 月 27 日和 2006 年 4 月 9 日发生了 4.0、4.3 和 4.7 级中等地震。经过 2006 年下半年短暂平静后, 自 2006 年 12 月 19 日又开始活动, 2007 年又发生多次 3 级地震, 从应变能释放曲线来看, 属于第二次增强过程的持续。

中原油田属于复杂断块油田, 于 1979 年 7 月 1 日正式投入开发, 在油气储量逐渐降低的情况下, 为确保油气产量减少到最低限度, 油田采取一系列加压注水措施, 导致地层压力增大, 注水达到近 4000m 深度。自 1997 年 7 月开始的鄆城、濮阳交界的地震集中增强活动区恰位于中原油田的主开采区的采油区内, 地震集中活动是否与油田强压注水有关, 值得研究。本文试图通过地震精定位, 进一步了解集中区地震活动的三维空间分布特征, 分析地震活动与断裂构造活动以及采油活动的关系, 进而探讨该区地震集中活动的成因, 为冀鲁豫交界未来地震活动

趋势判断提供依据。

## 1 地震精定位方法

随着大量数字化台网的建设和观测技术的提高, 地震定位技术随之快速发展, 也大大提高了地震定位的精确程度。在应用数字地震资料定位的诸多方法中, 相对定位方法占据了更大的优势, 其中由 Waldhauser 和 Ellsworth 博士<sup>[1]</sup>于 2000 年提出的双差定位法在国内已得到广泛应用, 并收到比较理想的效果。尤其对于震源位置相对集中的一系列地震或地震序列, 该方法具有独到优势。

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。当震中分布比较密集, 地震对震源之间的距离远小于它们到台站之间的距离以及波传播路径上的速度不均匀体的线形尺度时, 则可以认为每次地震到同一台站具有相同的射线路径, 从而减小了由于地壳速度模型的不均匀性和介质的各向异性引起的误差<sup>[2,3]</sup>。

双差定位法可以应用于空间跨度很大的地震丛集, 在定位过程中, 对靠近丛集矩心的地震有很好的定位效果, 但对于相对丛集矩形较远的地震会存在向矩形偏移的迹象。另外, 双差定位法还会出现丛集矩形整体偏移的可能, 可以通过增删地震记录, 改变台站分布, 速度结构和初始定位等手段来获得更理想的结果。

\* 收稿日期: 2007-12-20

作者简介: 吕子强(1982—), 男(汉族), 辽宁庄河人, 中国地震局兰州地震研究所研究生, 主要从事数字地震学方面的研究。

## 2 资料选取

利用双差定位法对鲁西地区有数字记录资料以来的 2000 年 1 月至 2007 年 8 月发生的地震进行了重新定位。重新定位选择的研究区范围为山东鄄城与河南濮阳交界及其附近地区 ( $35.5^{\circ} \sim 36.0^{\circ} \text{N}$ ,  $115.1^{\circ} \sim 115.7^{\circ} \text{E}$ ), 地震样本总数为 48 个, 震级范围为  $M_L 2.1 \sim 4.7$ 。

因为地震主要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, 选取参与定位的台站共 14 个, 其中山东 11 个, 河南选取了更接近地震集中区的濮阳、清丰、浚县 3 个台站。从而达到比较好的定位效果。所选台站距离地震震中距的最大距离为 300km, 每个地震的观测台站数  $\geq 4$ , 以避免计算中出现欠定方程。

双差定位对震源所在处的速度模型的变化甚为敏感, 重新定位采用水平分层的速度模型, 将地壳模型分为 7 层, 波速比采用  $1.71^4$ 。

## 3 数据处理

首先利用 ph2dt 程序对数据进行预处理, 选取符合设定参数的地震, 尽可能选出更多的地震对和强连接的地震数。然后利用 hypodd 程序对数据进行进一步处理, 通过反复的迭代运算过程得到稳定的解。如果得不到理想的效果, 有必要返回到 ph2dt 程序生成一个新的偏差走时集文件, 进行重新数据处理。为了更有利于数据间的结合运用, 建议在 ph2dt 程序处理时选取较大范围, 产生更多的地震对, 已便于 hypodd 程序得到更合理稳定的结果。

## 4 双差定位结果

用双差定位法对范围内的 48 次地震进行重定位后, 得到 38 个地震定位结果 (表 1、图 1)。定位的双差均方根残差从 0.9s 降低到 0.6s, 重新定位后震源位置的测定误差 (2 倍标准偏差) 为: 在 E-W 方向平均为 0.62km, 在 N-S 方向平均为 1.12km, 在深度方向平均为 1.02km。进一步分析地位后的震源位置分布有以下特点。

### 4.1 震中分布有序与断层关系密切

该地震集中区的地震构造背景为东濮凹陷, 属下第三系盆地, 在其发展过程中, 主要受北北东和北东走向断裂控制, 即聊兰断裂、黄河断裂、长垣断裂三组基底断裂 (图 1)。还存在一些更次一级的盖层

断裂。由图 1 可以看出, 与原台网定位地震的空间分布 (图 1(a)) 相比, 重新定位后, 地震震中分布更加有序, 与断裂的关系也更加密切 (图 1(b))。

其中一部分地震仍分布于聊兰带主干断裂上, 另约有 3/4 的地震分布于聊兰主干断裂以西的拗陷区内的一些盖层断裂上。原台网定位结果聊兰带以西大部分地震沿 NW 向分布, 而重新定位后的聊兰带以西的地震震中则主要沿所在黄河断裂呈 NNE 向分布, 与断裂走向一致, 尤其是 3 级以上地震 (图 1)。

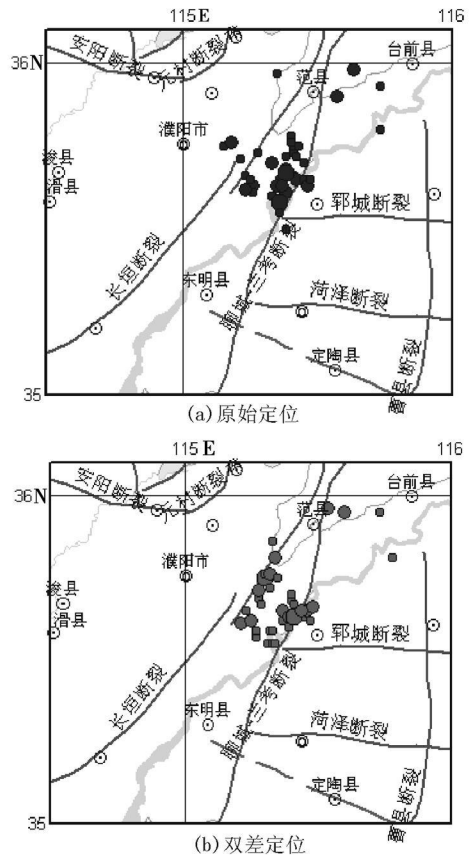


图 1 双差定位与原始定位的震中分布比较图

### 4.2 震源深度收敛并变浅

重新定位的地震参数与原台网定位参数对比, 震源深度有明显的收敛。统计结果表明, 对于原始定位, 给出震源深度的地震为 30 个, 平均深度为 14.8km。重新定位后震源深度平均值为 11.6km。原始定位的震源深度基本上分布在 10~30km, 重新定位后, 地震的震源深度分布在 15km 以上的占 81.6%, 10km 以上的占 55.2%, 而原台网定位在 10km 以上的仅占 11.1%。其中 2 级地震平均震源深度为 11.2km, 3 级地震平均震源深度为 12.4km (图 2, 表 1)。

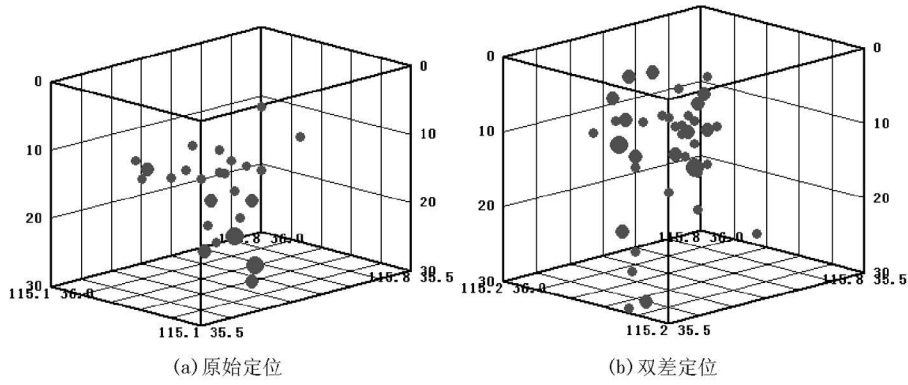


图2 双差定位与原始定位的震源深度三维震源分布图

表1 双差定位后与原台网定位结果比较表

发震时间 年-月-日:时:分:秒	震级 ( $M_L$ )	双差定位结果			台网原始定位结果		
		北纬( $^{\circ}$ )	东经( $^{\circ}$ )	深度/km	北纬( $^{\circ}$ )	东经( $^{\circ}$ )	深度/km
2001-09-11-01:42:13	2.6	35.88	114.98	15.6	35.95	115.13	6.1
2002-09-08-23:29:12	2.4	35.59	115.32	1.4	35.50	115.38	
2002-10-10-03:01:48	3.2	35.76	115.32	22.3	35.70	115.33	
2002-10-30-20:22:33	2.9	35.60	115.39	18.3	35.65	115.47	
2002-11-21-16:54:58	2.7	35.59	115.33	6.2	35.72	115.42	12.0
2003-04-27-14:52:37	4.0	35.81	115.34	5.1	35.63	115.26	15.0
2003-05-13-20:34:45	2.6	35.65	115.23	30.2	35.65	115.36	15.0
2003-05-20-12:53:29	2.4	35.55	115.33	8.4	35.66	115.23	7.5
2003-05-21-12:54:38	2.9	35.67	115.29	6.8	35.61	115.26	21.0
2003-06-28-14:51:16	2.8	35.72	115.32	13.1	35.73	115.41	14.0
2003-07-05-23:29:56	2.6	35.95	115.73	14.3	35.80	115.73	13.3
2003-07-08-09:02:07	2.4	35.81	115.78	28.1	35.93	115.73	10.9
2003-07-20-18:49:13	2.3	35.55	115.34	12.0	35.60	115.33	18.3
2003-07-27-21:45:41	2.5	35.86	115.33	10.4	35.78	115.40	22.8
2003-08-06-19:28:51	2.1	35.59	115.27	4.5	35.71	115.21	12.6
2003-08-21-16:10:02	2.8	35.62	115.37	11.0	35.75	115.41	14.7
2003-09-30-04:40:59	2.2	35.57	115.27	14.3	35.65	115.25	12.0
2003-10-21-21:09:55	2.8	35.69	115.28	26.2	35.65	115.45	13.0
2003-10-22-21:17:13	2.8	35.55	115.31	4.4	35.75	115.15	12.1
2003-12-27-11:42:02	2.2	35.76	115.30	7.3	35.73	115.28	12.4
2004-06-07-07:10:19	2.8	35.68	115.40	8.6	35.66	115.41	12.6
2004-08-05-02:58:07	3.7	35.61	115.21	9.4	35.76	115.18	11.2
2004-11-19-00:47:25	3.4	35.62	115.25	29.4	35.65	115.42	17.6
2005-01-26-09:08:59	3.0	35.65	115.44	5.3	35.63	115.46	
2005-04-27-02:31:07	3.2	35.65	115.37	11.8	35.61	115.38	28.0
2005-04-27-10:26:47	4.3	35.63	115.41	13.2	35.58	115.36	25.0
2005-04-27-10:31:53	2.5	35.62	115.47	8.4	35.55	115.36	
2005-10-01-07:36:01	2.6	35.63	115.45	13.1	35.70	115.45	13.0
2005-11-02-04:49:27	2.7	35.70	115.40	7.5	35.75	115.43	
2005-11-04-18:16:54	2.4	35.66	115.48	2.3	35.76	115.40	
2005-12-04-08:59:55	2.3	35.67	115.41	9.6	35.72	115.38	10.0
2005-12-05-13:56:00	3.1	35.65	115.46	4.0	35.68	115.38	
2006-01-29-12:24:08	3.4	35.71	115.28	6.9	35.62	115.23	22.0
2006-04-09-17:23:54	4.7	35.75	115.30	10.6	35.67	115.38	22.5
2006-12-19-13:49:45	3.1	35.63	115.39	8.2	35.67	115.42	
2007-04-08-20:46:31	3.9	35.96	115.54	6.4	35.98	115.63	
2007-04-08-20:57:52	3.0	35.95	115.60	6.1	35.90	115.57	
2007-06-07-21:12:55	2.2	35.75	115.35	25.2	35.97	115.35	14.0
2007-07-12-12:34:36	3.4	35.66	115.48	9.0	35.63	115.37	

### 4.3 重新定位后地震集中区的空间展布与油田采油区关系密切

在濮阳境内投入开发的油田有濮城油田、文明寨油田、卫城油田、文中油田、文东油田、文南油田、马寨油田、古云集油田、胡状集油田、庆祖集油田。将重新定位后的地震震中分布与这些油田的分布相比较, 看出地震集中区的空间展布与采油区密切相关。除了东部位于聊兰带的那一部分地震, 其西部拗陷区内的地震分布主要分布在两片采油区内, 其展布方向也与采油区的空间展布方向一致(图 3)。

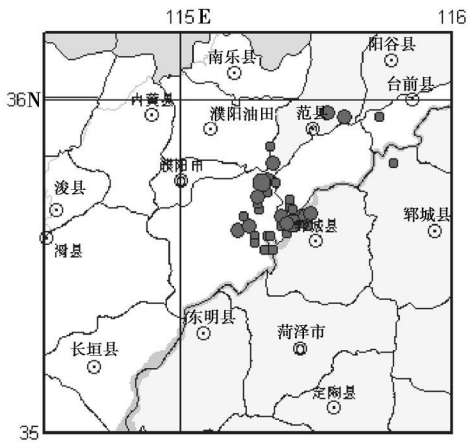


图 3 濮城油田与地震精定位震中分布图

通过上述分析可以得知, 重新定位后的地震有以下特点: ①深度显著变浅, 一部分(接近 30%)地震震震深度在 6km 及其以上, 接近基底断裂深度; ②大部分地震位于拗陷内的基底断裂上; ③震中位置与油田采油区关系密切, 位于采油区内。另经濮阳地震局了解, 中原油田自上世纪 80 年代末期就加大了采油注水量, 最高年份高达 4500 万吨以上, 至今注水量还保持在 300 万吨左右。长期的加压注水, 有可能导致该区局部应力环境的改变, 也有可能对局部浅层乃至基底断层活动产生润滑和触发作用, 因而导致中小地震活动增加。

鉴于重新定位后地震展现的特点和上述看法, 综合分析认为: 濮阳集中区中小地震集中增强活动的主要原因是局部构造活动的结果, 濮城油田的空间分布和油田采油加压注水的长期效应可能是主要诱因。如果该结论成立, 推测在现中小地震集中区内, 未来的地震强度不会太高。但考虑到聊兰带主干断裂上也有地震集中, 也不能排除油田作业和拗陷区地震活动对其产生的影响, 鉴于聊兰带的断裂规模和历史上发生过强震的现实, 因此对聊兰带主干断裂上的地震活动也要密切关注尤其要关注全带性的地震活动的增强现象。

本文所引用的关于濮阳地区地质构造和油田资料均来自郭德科研究员提供的有关资料, 并且得到了周翠英研究员的支持和帮助, 对此深表谢意。

## 5 关于该区地震精定位意义的讨论

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 张爱民, 李强. 双差定位法在三峡库区地震定位中的应用 [J]. 大地测量与地球动力学, 2006, 3: 73-77.
- [3] 杨智娴, 陈运泰, 郑月军, 等. 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, 2003, 33(增刊): 129-134.
- [4] 张碧秀, 汤永安. 沂沭断裂带地壳结构特征 [J]. 中国地震, 1988, 4(3): 16-22.

## Fine positioning for the earthquakes in Puyang concentrating area and its significance in earthquake prediction

LU Zi-qiang<sup>1</sup>, XIAO Lan-xi<sup>2</sup>, XU Ping<sup>2</sup>

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

2. Earthquake Administration of Shandong Province, Jinan 250014, China)

**Abstract:** The earthquakes in Puyang concentrating area are fine repositioned with Double-Difference Method. The concentrating and enhancing process of medium and small earthquakes in Shandong Juancheng and Henan Puyang is analyzed with the repositioning results. Combined with the seismotectonics and oil field distribution, the cause of seismic activity in the concentrating area is discussed. The results show that the relocation of earthquake has is significant to the prediction of earthquake tendency.

**Key words:** Double-difference locationing approach; concentrating area of earthquakes; seismotectonic background