

The Influence of Observation Systems on the Research of Microseismic Source Localization

Dongjiao Ji Yaolong Yang

Shaanxi Earthquake Agency, Xi'an, Shaanxi, 710068, China

Abstract

The improvement of source positioning accuracy has always been a challenge that has been explored. There are many factors that affect the accuracy of microseismic source positioning, such as model selection, source positioning methods, and observation systems. The paper adopts the grid positioning method to study the impact of observation systems on source positioning under several different geophone arrangements. Through comparison, it is concluded that the ground well observation system can improve the accuracy of positioning and has certain practical value.

Keywords

observation system; source location; grid search; positioning accuracy

观测系统对微地震震源定位研究的影响

姬东姣 杨耀龙

陕西省地震局, 中国·陕西 西安 710068

摘要

震源定位精确度的提高是一直在探究的难题, 影响微地震震源定位精度的因素很多, 如模型的选择、震源定位方法及观测系统等。论文采用网格定位方法, 研究了儿种不同的检波器的布置方式下观测系统对震源定位的影响, 通过比较得出地面—井中观测系统可以提高定位的精度, 具有一定的实用价值。

关键词

观测系统; 震源定位; 网格搜索; 定位精度

1 引言

通过对微震信号的收集、分析、研究, 我们能够更好地了解油藏的特征, 从而更准确地预测压裂效果、观察裂缝发展状态, 并且能够更好地估计微震的震源位置及其相关参数。

一般来说, 地震检波器是一种固定的仪器, 可以安装在地面或地下, 用于检测微震震源, 如含油气储层、水力压裂等复杂结构下的断裂岩层, 它们需要携带多种复杂物性参数, 以便更好地检测出地震信号。

2 地震震源定位研究现状

微地震震源定位技术有很多不同的方法, 大体上可以分为线性定位方法和非线性定位方法, 线性定位方法在基础上发展出了初至定位法、主事件定位法和双差定位法等^[1]。

初至定位法又可以分为相对定位法以及绝对定位法两

种, 目前使用最多的定位方法是相对定位方法。Aster 和 Scott (1993) 提出的相对定位方法, 可以有效地识别重复的天然地震信号, 它需要两个或更多的事件来确定位置, 其中一个事件的精度更高, 能量更强, 这样可以有效地减少速度模型等误差对位置的影响。通过观察波形的相似性, 可以有效地定位能量较弱的事件。双差定位方法主要是计算出相邻两个地震事件间的理论走时的差和观测走时差, 从而计算两者的差值, 得出残差并确定其相对位置^[2]。白玲、张天中 (2014) 将双差定位法延伸到了区域地震和远震^[3]。尹战军、张帆、郝美仙等 (2018) 则选用了双差定位方法对内蒙古自治区地震事件进行了重新精确定位。

非线性定位法是通过采用全局搜索技术, 可以有效地确定震源位置, 从而避免陷入局部最优解的困境。王云宏 (2016) 提出了一种新的微震快速网格搜索定位法, 可以有效地搜索目标函数的最优解, 大幅提升了搜索的效率和准确性^[4]。谭玉阳 (2017) 通过改进的目标函数和搜索算法有效地计算出震源的径向距离和深度。姜天琪 (2019) 提出一种新的微震震源定位反演算法, 它可以有效地抵消初始迭代值的不当影响, 从而提高定位算法的精度^[5]。

【作者简介】姬东姣 (1995-), 女, 中国陕西西安人, 在读硕士, 助理工程师, 从事地震及地质灾害研究。

3 研究方法

在地震波传播的过程中，检波器所接收到的从任意一点发出并经过地层的传播时间总和为 Δt_i ，地震波在经过各地层时相交于某一交点，地层的交点坐标假设为 (x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}) ，其中 i 代表接收地震波的检波器等级， j 代表地震波传播通过的地层数， v_i 代表纵波或横波在各地层中传播的速度， t_0 和 t_i 分别代表微地震事件的发震时刻和检波器接收的初至时间。于是地震波的传播时间可以表示为：

$$\Delta t_i = \frac{[(x_i - x_{i1})^2 + (y_i - y_{i1})^2 + (z_i - z_{i1})^2]^{\frac{1}{2}}}{v_1} + \frac{[(x_{i1} - x_{i2})^2 + (y_{i1} - y_{i2})^2 + (z_{i1} - z_{i2})^2]^{\frac{1}{2}}}{v_2} + \dots + \frac{[(x_{in} - x_0)^2 + (y_{in} - y_0)^2 + (z_{in} - z_0)^2]^{\frac{1}{2}}}{v_n} \quad (1)$$

在从理论角度，看微地震事件的发震时刻与地震波通过地层的时间之和即为检波器接收到的旅行时间：

$$t_i = \Delta t_i + t_0 \quad (2)$$

在论文中，我们通过网格搜索的方式，对目标区域进行反演定位。一方面，我们将其划分成一个个网格，并从中筛选出一个作为参考；另一方面，利用计算机对该网格内的点进行精度测试；如果测试结果不够准确，就会对其进行进一步缩减，重新计算，直至达到所设定的精度。但是，一旦测试结果无法达到所设定的精度，就会调整网格，再次开展搜索，直至获得更加可靠的定位结果^[6]。使用网格搜索类定位算法，我们不仅能够避免对初始信号的捕捉，还能够利用更高精度的速度模型来解决微地震地面监测中的信噪比问题，这样就能够显著提高微地震定位的准确性^[7]。

4 不同观测系统下地震定位结果

反演定位过程中影响着定位精度因素有很多，检波器的布置方式是其中之一。论文中用四种不同的观测方式，对检波器的布置方式与反演定位精度之间的关系进行研究，分别是：地面单方向观测系统，井中垂直观测系统，地面十字观测系统和地面—井中观测系统。

首先建立一个范围为 $200\text{m} \times 200\text{m} \times 200\text{m}$ 的三维地震监测模型，网格间距为 10m ，共有个点，可以得到模型上所有网格点的空间坐。计算出所有网格点的走时库。检波器坐标设为 $(X1, Y1, Z1)$ ，在模型内设置五个震源点。通过检波器坐标、震源点坐标和地层速度求出震源点走时，再将走时数据带到走时库反演求得这些震源点的理论坐标，最后对比理论坐标与真实坐标的差别。

在图 1 中，所有均匀介质地质模型内的微地震震源的位置都是随机设置的并且是一致的，震源坐标分别为 $(80.0, 50.0, 70.0)$ $(80.0, 60.0, 40.0)$ $(90.0, 50.0, 90.0)$ $(90.0, 60.0, 100.0)$ 以及 $(100.0, 50.0, 110.0)$ 。在所用模型内纵波的传播速度也是一样的，假设在模型中共有三套平行的地层，地层的纵波速度自上而下分别为 1800m/s 、 2000m/s 和 2200m/s 。

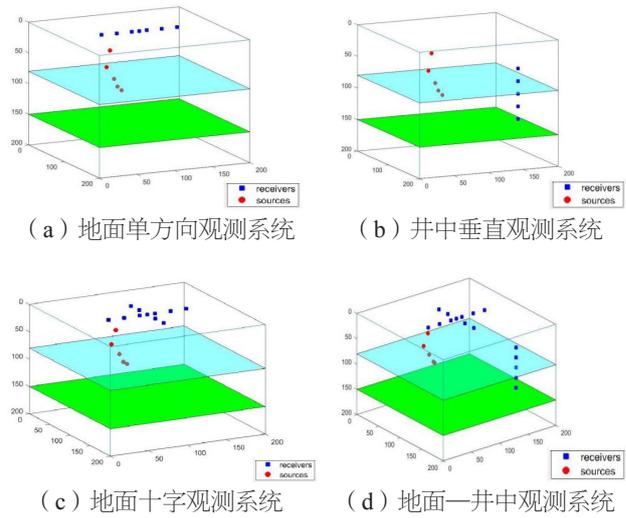


图 1 不同系统与震源分布图

检波器坐标如表 1 所示。

表 1 检波器坐标

地面单方向检波器坐标				井中垂直检波器坐标			
检波器级数	X (m)	Y (m)	Z (m)	检波器级数	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	50	100	0	1	160	160	50
2	70	100	0	2	160	160	70
3	90	100	0	3	160	160	90
4	100	100	0	4	160	160	110
5	110	100	0	5	160	160	130
6	130	100	0				
7	150	100	0				
地面十字检波器坐标				地面—井中检波器坐标			
检波器级数	X (m)	Y (m)	Z (m)	检波器级数	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	50	100	0	1	50	100	0
2	70	100	0	2	70	100	0
3	90	100	0	3	90	100	0
4	100	100	0	4	100	100	0
5	110	100	0	5	110	100	0
6	130	100	0	6	130	100	0
7	150	100	0	7	150	100	0
8	100	80	0	8	100	80	0
9	100	60	0	9	100	60	0
10	100	120	0	10	100	120	0
11	100	140	0	11	100	140	0
				12	160	160	50
				13	160	160	70
				14	160	160	90

用三维逐段迭代法正演得到的纵波记录进行微地震反演定位，通过计算，得到在各个观测系统下反演的结果，计算得到反演误差，如表 2 所示。

表 2 不同观测系统下的误差

观测系统	事件号	X 误差 (m)	Y 误差 (m)	Z 误差 (m)	观测系统	事件号	X 误差 (m)	Y 误差 (m)	Z 误差 (m)
地面单向观测	1	0.30	3.00	0.20	井中垂直观测	1	8.80	5.90	0.20
	2	0.70	8.20	8.80		2	8.10	3.90	0.40
	3	0.50	8.30	3.30		3	5.20	9.30	0.10
	4	0.30	2.00	2.30		4	2.00	5.50	0.20
	5	0.40	8.80	3.40		5	2.50	4.50	0.10
地面十字观测	1	0.30	0.60	1.40	地面一井中观测	1	0.10	0.20	0.10
	2	0.70	0.30	5.80		2	0.10	0.10	0.30
	3	0.40	0.30	2.60		3	0.10	0.10	0.10
	4	0.30	0.30	3.80		4	0.10	0.20	0.10
	5	0.30	0.40	2.30		5	0.20	0.20	0.20

由表 2 可得出：地面单向观测系统，X 坐标的反演误差较小，Y 与 Z 坐标的误差较大，是因为检测器的布设沿 X 方向，没有在 Y 和 Z 方向上布置检波器；井中垂直观测系统 Z 方向的反演误差较小，而 X 和 Y 坐标的反演误差较大，因为在 X 和 Y 方向上没有布置检波器来约束反演定位的精度。地面十字型观测系统 X、Y 和 Z 坐标的反演误差明显小于上述两种，但 Z 方向的误差明显大于 X 和 Y 方向。地面一井中观测系统的 3 个坐标方向的误差均最小。通过四种不同的观测系统的误差对比分析可得，地一井中观测系统比其他三个系统有着明显优势，可以作为最佳观测系统。

5 结论

在地震监测定位时，在地下介质模型等其他条件相同时，选用地面一井中观测系统在三维地震定位中产生的误差最小。在实际微地震监测工作中，可以根据监测目的和成本选择合理的检波器布置方式，同时在进行压裂工作前需要提前做好噪声调查等前期工作。

参考文献

- [1] 达姝瑾,李学贵,董宏丽,等.微地震震源定位方法综述[J].吉林大学学报(地球科学版),2020,50(4):1228-1239.
- [2] 张秋暉.地震波场正演与反演方法研究[D].北京:中国石油大学(北京),2018.
- [3] 白玲,张天中.远震双差定位法及其在青藏高原地区几个震群中的应用[C]//2014年中国地球科学联合学术年会——专题12:强震机理,孕育环境与地震活动性分析论文集,2014.
- [4] 王云宏.基于DIRECT算法的微震震源快速网格搜索定位方法研究[J].地球物理学进展,2016,31(4):1700-1708.
- [5] 姜天琪,裴烁瑾.基于网格搜索-牛顿迭代法的微震震源定位算法[J].矿业科学学报,2019,4(6):480-488.
- [6] 王纪程.基于网格剖分的微地震地面监测定位技术研究[D].长春:吉林大学,2018.
- [7] 宋维琪,杨晓东.解域约束下的微地震事件网格搜索法、遗传算法联合反演[J].石油地球物理勘探,2011,46(2):259-266.