

用微震台网对 2006 年兰州 $M_S 2.5$ 地震 定位和震源机制研究

李亚荣^{1,2}, 荣代潞^{1,2}, 何新社²

(1. 中国地震局地震预测研究所兰州科技创新基地, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要:利用兰州临时微震台网的数字记录对 2006 年 4 月 19 日兰州 $M_S 2.5$ 地震进行了定位和震源机制反演, 用 P 波初动和矩张量反演方法得出的震源机制具有较好的一致性。结合该地区的地震分布对可能的发震断层进行了讨论。

关键词:兰州; 微震; 地震定位; 矩张量反演; 震源机制

中图分类号: P315.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2006)04-0355-05

Using the Microquake Network in Study on Locating and Source Mechanism of Lanzhou $M_S 2.5$ Earthquake in 2006

LI Ya-rong^{1,2}, RONG Dai-lu^{1,2}, HE Xin-she²

(1. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou 730000, China;

2. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Locating and source mechanism inverting of Lanzhou $M_S 2.5$ earthquake on April 19, 2006 are done using the records of Lanzhou temporary digital microquake network. The source mechanism solutions obtained by using two methods (the initial motion of P wave and moment tensor inverting) show identically. Combining with the earthquake distribution in Lanzhou area, the possible seismogenic fault is primary discussed.

Key words: Lanzhou; Microquake; Earthquake locating; Moment tensor inverting; Source mechanism

0 前言

2006 年 4 月 19 日 13 时 31 分在兰州市安宁区发生了一次 $M_S 2.5$ 地震, 市区部分居民有感。众所周知, 构造地震通常反映了断层的存在和活动。通过地震定位和震源机制解等震源参数的研究, 可以研究断层的存在和活动性。这次地震是近几年来发生在兰州市区的较大的一次地震, 对本次地震参数的研究对兰州市及附近地区的地震危险性预测和防震减灾, 特别是对正在进行的兰州市活断层探测研究有十分重要的意义。进行这种讨论要求对地震的

定位达到一定的精度, 并且可以作出地震的震源机制参数。

本文利用“十五”期间在兰州市周围布设的临时数字地震台网和兰州地区原有的两个数字地震台站的记录, 对这次地震进行定位并用两种方法(P 波初动方法和矩张量反演方法)求解震源机制, 在此基础上结合这一地区的断层构造, 对可能的发震断裂进行了初步讨论。

1 方法

收稿日期: 2006-06-01

基金项目: 中国地震局“十五”项目《兰州市城市活断层探测》; 国家自然科学基金项目(40574026); 兰州地震研究所论著编号: LC20060040

作者简介: 李亚荣(1954—)女(汉族), 甘肃天水人, 高级工程师, 主要从事地震学研究。

地震定位是地震学中一个经典的课题。地震的定位精度与很多因素有关,如:授时精度、震相读取精度、地壳速度结构、台站布局、采用的定位算法及程序等。由于高科技手段在地震监测中的应用和地震记录仪器的数字化,地震的定位精度在很大程度上取决于台站的布局 and 地壳速度结构的了解。本次地震发生在兰州市地区临时微震监测台网内,台网的所有台站对本次地震都获得了很好的记录。另外,对于地壳速度结构也有比较深入的研究,因此对这次地震的定位可以达到很高的精度。

地震的震源机制参数包括断层面解、发震应力场以及断层错动情况等内容。求解震源机制传统的方法是利用周围分布的台站记录的 P 波初动符号分布。在记录台站有比较好的分布的条件下,利用这种方法也可以得到可靠的结果。

在地震学中震源特性更一般地可用地震矩张量来表示。近些年来由于数字地震记录的普及和地震学理论的发展,应用矩张量反演得到震源机制已经成为一种常用的方法,矩张量反演的理论和实际应用程序得到很大的发展。

地震矩张量是 Gilbert 引入的描述震源的一个重要的物理量^[1],是一个普遍概念,描述了各类震源。对于构造地震来说,其岩石(断裂)的破裂(错动)可以用无矩双力偶表示。这种剪切位错源只是矩张量描述的震源的一种。用矩张量表示震源,无须对地震破裂过程的细节作任何先验的假定,也不必预先假定断层的存在。地震矩张量反演方法已有不少作者作过介绍并应用^[2-3]。下面作一简单说明。

当震源线度远小于所研究的地震波的波长时,位于 ξ 的点源在 r 处产生的位移为

$$u_i(r, t) = g_{ij,k}(r, t; \xi, r) * m_{jk}(\xi, t) \quad (1)$$

其中 $g_{ij,k}$ 即为 Green 函数,它表示给定介质模型对位于 ξ 的集中力的响应; m_{jk} 表示点源的矩率张量; $*$ 表示褶积。如果选源点为坐标原点,上式可写作

$$u_i(t) = g_{jk}(t) * m_{jk}(t) \quad (2)$$

对于观测资料 $d_i(t)$,我们可以将其记作

$$d_i(t) = \xi_{ij,k}(t) * m_{jk}(t) * I(t) \quad (3)$$

这里 $d_i(t)$ 可以是位移,或速度,或加速度; $I(t)$ 为仪器响应。定义总的仪器响应为

$$e_{ij,k}(t) = \xi_{ij,k}(t) * I(t) \quad (4)$$

对于矩率张量 $m_{jk}(t)$,可以将其依赖于时间的部分设为 $s_{jk}(t)$,则有

$$m_{jk}(t) = a_{jk} s_{jk}(t) \quad (5)$$

a_{jk} 为其峰值。对于中小地震,震源尺度不大,其远场时间函数通常可以假定为一简单的脉冲函数(例如梯形脉冲函数),且对于每一分量有相等的值。这样

$$m_{jk}(t) = a_{jk} s(t) \quad (6)$$

因而观测资料 $d_i(t)$ 可以写为

$$d_i(t) = \xi_{ij,k}(t) * s(t) a_{jk} \quad (7)$$

上式说明,在震源时间函数假定为已知的前提下,未知数的数目已减少到 6 个。用计算出来的理论地震图(即 Green 函数与震源时间函数的褶积)与实际观测资料相比较时,可以实现最小二乘意义上的矩张量反演。

2 资料和方法

2.1 资料

资料选取兰州临时微震数字台网的 7 个台,甘肃数字台网的安宁台和国家数字台网的观象台,共 9 个台的记录(图 1)。地震的记录波形如图 2(垂直向记录),其中横坐标为时间,一共 20 s 的记录,纵坐标为 count。图中英文字母为台站代码。

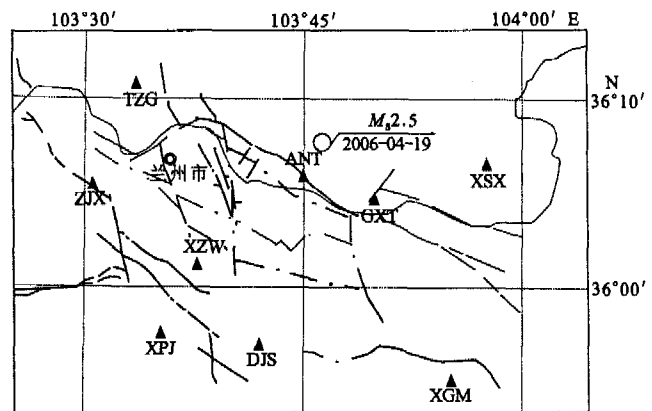


图 1 兰州数字台站分布和震中位置

Fig. 1 Distribution of the epicenter and digital seismic stations in Lanzhou.

2.2 地壳速度模型

由于监测和研究的需要,多年来一些作者对甘肃的地壳速度模型进行过许多研究。例如王周元等^[4]使用的地壳模型(表 1),经多年使用能很好地反映甘肃地区的地壳速度结构。

表 1 文献[4]的地壳速度模型

P 波速度/[km · s ⁻¹]	速度分层/km
5.06	0.0
5.90	1.1
6.06	6.9
6.51	21.0
8.17	51.9

$$V_P/V_S=1.73$$

许康生等^[5]利用表 2 的速度模型计算了甘肃地区的格林函数。

我们在这些速度模型的基础上,做上下 5% 的变动,考察定位结果的误差 RMS(平均残差)、ERH

(平面定位误差)和 ERZ(深度定位误差),选取误差最小的模型作为定位和下面反演矩张量的速度模型(表 3)。

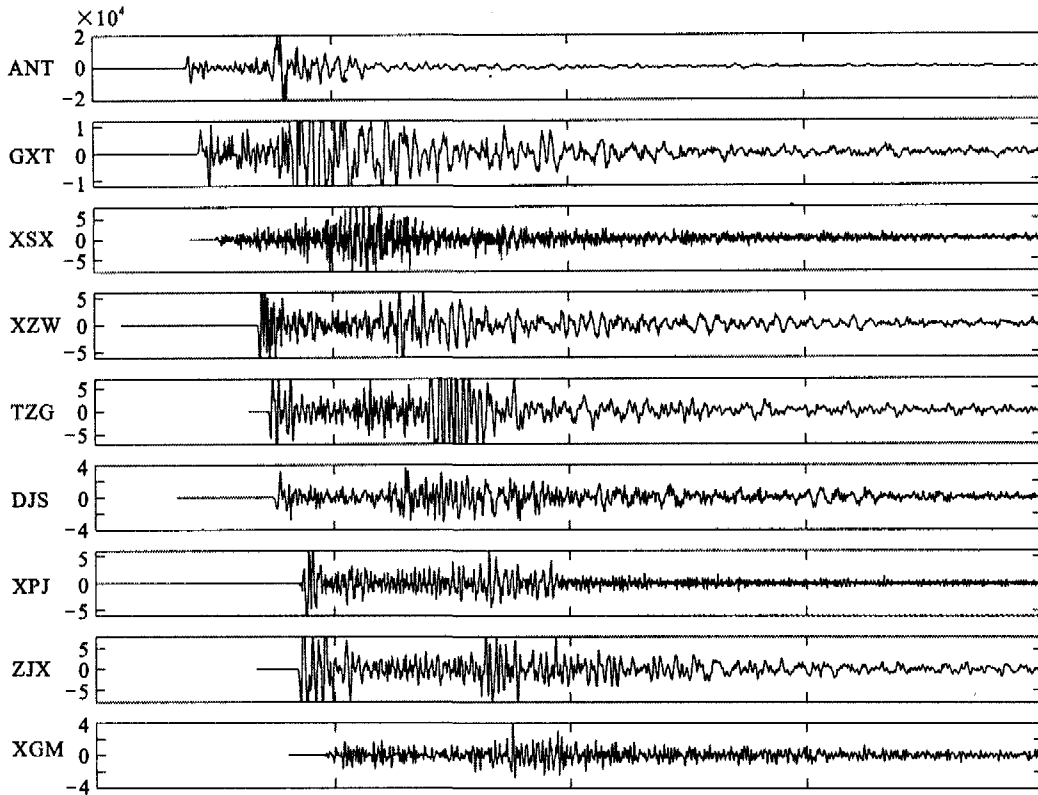


图 2 兰州 9 个台站的垂直向记录

Fig. 2 Vertical records of 9 stations in Lanzhou.

表 2 文献[5]的地壳速度模型

层序	层厚 /km	P 波速度 /[km · s ⁻¹]	S 波速度 /[km · s ⁻¹]	密度 /[g · cm ⁻³]
1	5	5.11	3.15	2.42
2	15	6.09	3.51	2.59
3	10	6.27	3.63	2.65
4	22	6.48	3.73	2.71

表 3 本文使用的速度模型

P 波速度/[km · s ⁻¹]	速度分层/km
4.57	0.0
5.31	1.1
5.45	6.9
5.86	21.0
7.35	51.9

$V_P/V_S=1.73$

2.3 方法

为了求解本次地震的震源机制,首先用传统的 P 波初动符号方法反演断层面解。由于震级较小,距离较远的台站的 P 波初动记录不清楚,我们仅利用兰州市临时台网的 7 个台站和甘肃省数字台网的安宁台,永登台和国家基本数字台网的兰州观象台

的记录。对于兰州市临时台网中新建的 7 个台站,我们利用远震记录对 P 波初动方向进行了校正。

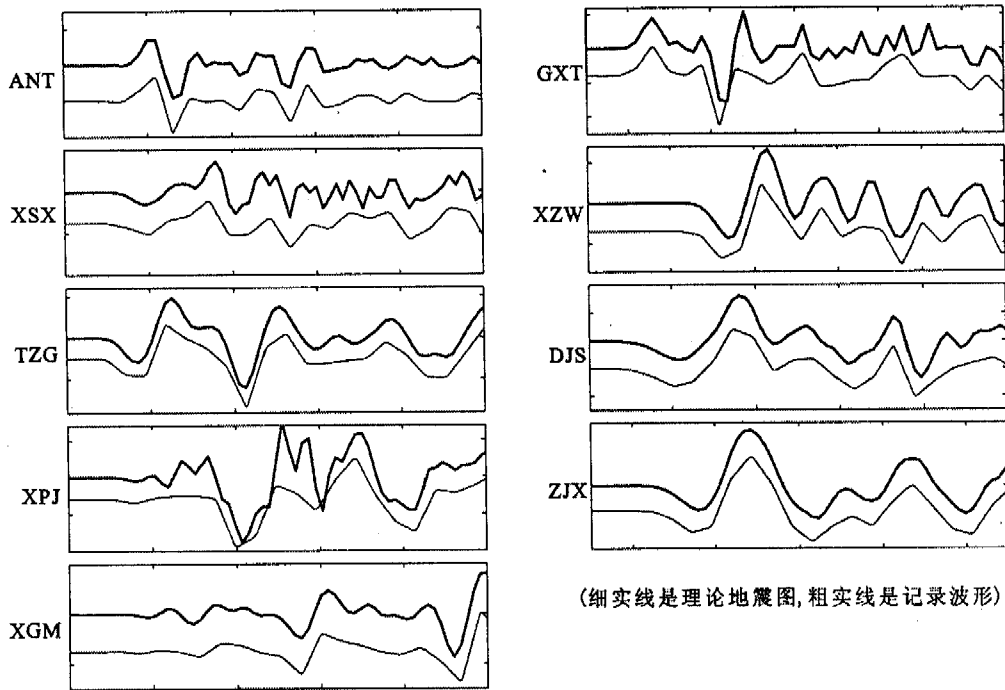
在进行矩张量反演时,首先根据地壳速度结构和震中距以及其他一些参数计算各台的格林函数,与假定的梯形脉冲震源时间函数进行褶积可以得到各台的理论地震图;与实际地震波记录拟合,选择拟合较好的波段进行反演即可得到矩张量解。我们选择直达 P 波开始的一段波形进行反演,9 个台的垂直向波形与理论地震图的拟合图形如图 3 所示。考虑到记录仪器的频率响应在所研究的波段是平坦的,所以没有进行仪器校正。

3 定位和震源机制解结果

(1) 本次地震的位置和定位误差如表 4。

(2) 用 P 波初动得出的断层面解如表 5。相应的乌尔夫网如图 4。

(3) 反演得出的矩张量解和相应的最佳双力偶解如图 5 所示。相应的断层面参数如表 6。



(细实线是理论地震图,粗实线是记录波形)

图 3 兰州 9 个台站的垂直向理论地震图和观测图的拟合

Fig. 3 Fitting of the vertical theoretical seismic curves and the observation records from 9 stations in Lanzhou.

表 4 地震位置和定位误差

发震日期	发震时间	震中位置		震源深度 /km	定位误差		
		纬度	经度		RMS/s	ERH/km	ERZ/km
2006-04-19	13:31:43.91	36°7.75'	103°46.4'	14.18	0.20	0.7	0.9

表 5 由 P 波初动得到的断层面解

节面 A			节面 B			P 轴		T 轴		N 轴		矛盾比
走向	倾角	滑动角	走向	倾角	滑动角	方位角	仰角	方位角	仰角	方位角	仰角	
328°	60°	48°	209°	50°	139°	86°	6°	184°	54°	352°	36°	0.0

表 6 矩张量反演得出的断层面

断层 I			断层 II			P 轴		T 轴		B 轴	
走向	倾角	滑动角	走向	倾角	滑动角	方位角	仰角	方位角	仰角	方位角	仰角
336°	61°	46°	219°	51°	141°	96°	6°	193°	52°	1°	38°

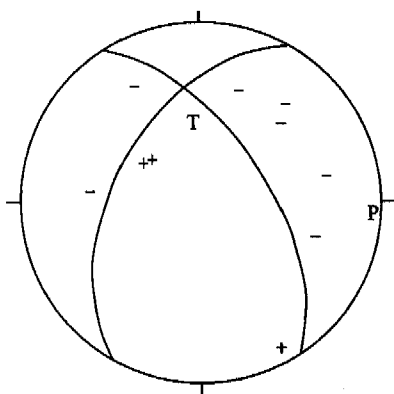


图 4 用 P 波初动作出的断层面解

Fig. 4 Fault plan solution using the initial motion of P wave.

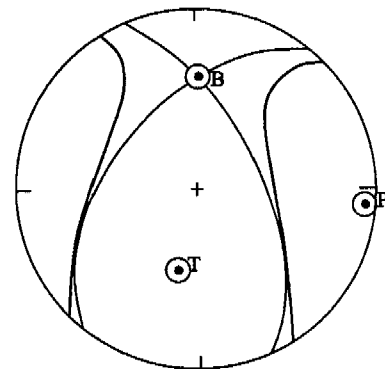


图 5 矩张量解和相应的最佳双力偶解

Fig. 5 Moment tensor and the corresponding best double couple.

4 结论和初步讨论

(1) 利用兰州临时数字地震台网和甘肃数字台网、国家基本数字台网的部分台站的记录对2006年4月19日兰州 $M_s2.5$ 地震进行了定位,并用两种方法(P波初动方法和矩张量反演方法)求得了震源机制解。结果表明,两种方法求得的震源机制解大体相同。我们认为本次地震的定位结果和两种方法反演的震源机制解的结果都有较大的可靠性,这主要是因为所选用的台站有很好的布局并得到了质量高的记录,以及使用了较好的速度模型。

(2) 只有矩张量的快速变化才能辐射地震波,即大多数的地震是上升时间很短的快速变化过程,对于中小地震尤其如此。所以反演过程中假设了时间函数为一个简单的脉冲函数。

(3) P波初动和矩张量反演中无论是哪一种方法,从方法本身尚不能判断得出的两个断层面中哪一个断层面是实际的发震断层。通常发震断层的确定可以由震源机制解结合震源区地质考察的断裂分布等方法来确定。为了对发震断裂作一初步探讨,我们作出兰州地区的地震和已知断裂^①分布图(图6)。地震中包括了1980年以来经过重新定位的地震和近两年来兰州地区微震监测台网监测到的地震,五角星为2006年4月19日发生的本次地震。可以看到,反演得出的本次地震的两个节面与震中附近的断裂的走向都不一致。但是注意到,本次地震和所监测到的地震形成了一个大致北西向的线性分布,这是否表明有未发现的断裂存在,尚需做进一步的考察研究。

致谢:甘肃省地震局监测中心和兰州观象台提供了本次地震的部分台站记录,致衷心感谢。

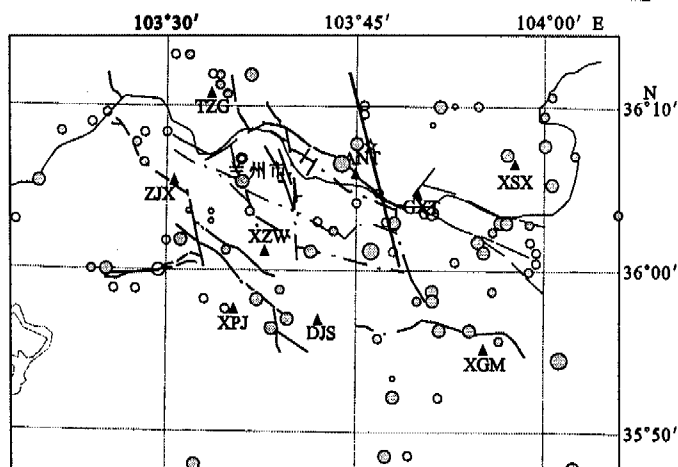


图6 兰州地区的微震震中和断裂分布

Fig. 6 The epicenters of microquake and distribution of faults in Lanzhou area.

[参考文献]

- [1] Gilbert F. Excitation of the normal modes of the earth by earthquake source[J]. Geophys. J. R. Astr. Soc., 1970, 22: 223-226.
- [2] 倪江川,陈运泰,陈祥熊.地震矩张量及其反演[J].地震地磁观测与研究,1991, 12(5):1-7.
- [3] 许力生,陈运泰.从全球长周期波形资料反演2001年11月14日昆仑山口地震时空破裂过程[J].地震学报,2004,26(增刊): 9-20.
- [4] 王周元.甘肃地区地壳分层结构[J].西北地震学报,1984, 6(3):84-91.
- [5] 许康生,李英.兰州数字地震台网的格林函数库与快速矩张量反演研究[J].地震地磁观测与研究,2004,25(增刊):103-110.

① 袁道阳.兰州市城市活断层探测课题研究报告.兰州地震研究所,2006.