

利用地震矩张量反演汾渭断裂系现今运动学特征

王卫东 张兴忠 王 平

(陕西省地震局, 西安 710068)

摘要 探讨了利用地震矩张量反演断裂形变带运动学参数的方法, 将其应用于汾渭断裂带现今运动学特征的研究. 结果表明, 汾渭断裂带的运动呈 $N22^{\circ}W$ 方向拉伸, $N68^{\circ}E$ 方向压缩. 其平均拉伸位移速率为 0.15 mm/a .

主题词 地震矩张量反演 断裂带 汾渭地震构造带 断层活动性 应变速率

1 引言

利用地震活动资料反演区域构造应力场和断裂形变带的运动学特征在理论研究及实际应用方面均已取得重要进展^[1~3]. 但是由于资料所限, 有的研究仅着眼于较大区域的长期运动学特征, 有的研究应用的理论还不完善. 本文遵循 Molnar(1984)和 Jackson(1988)给出的基本思想和方法, 探讨了地震矩与断裂形变带的平均应变的关系, 进而给出主应变率及应变率主方向的计算方法. 应用该方法对汾渭断裂带现今运动学特征进行了研究.

2 基本思想

地震矩是描述震源的物理参量, 蕴含着断裂错动信息. Kostrov(1974)证明, 因地震位错造成一个震源体的平均应变率为:

$$\epsilon_{ij} = \frac{1}{2\mu VT} \sum_{n=1}^N M_{ij}^n \quad (1)$$

式中 ϵ_{ij} 为断裂带平均应变率, μ 是剪切模量, V 和 T 分别表示断裂形变带的体积和时域, M_{ij}^n 表示断裂形变带内第 n 个地震的矩在 i 平面 j 方向的分量. 公式(1)适用于断裂形变带本身相对于某一块体为静态(Jackson)的情形. 在较短时域内, 内陆块体的旋转可以忽略, 则可以满足公式(1)的条件.

矩张量 M_{ij} 可通过震源断层面解和地震矩予以确定, 即

$$M_{ij} = M_0(\vec{n}_i \vec{b}_j + \vec{n}_j \vec{b}_i) \quad (2)$$

其中 M_0 为地震矩, $\vec{n}_i$ 和 $\vec{b}_j$ 分别表示断层面单位法向量和单位滑动向量. 在国外震源断层面解多用节面走向、倾向和滑动角(rake)表示, 这和我们国内有所不同. 因此, 我们给出断层面几

何参数 φ (走向)、 δ (倾向) 与 λ (滑动角) 间的关系:

$$\cos \lambda = \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 \cos \delta_2 - \cos \varphi_1 \sin \varphi_2 \sin \delta_2$$

(3)

式中下标 1 和 2 分别表示断层面和辅助面. 本文取北(x)东(y)下(z)坐标系.

在(3)式的基础上, 可进一步求解主应变率和应变率主方向, 其方程为:

$$\left. \begin{aligned} (\epsilon_{11} - \epsilon) l + \epsilon_{12} m + \epsilon_{13} n &= 0 \\ \epsilon_{21} l + (\epsilon_{22} - \epsilon) m + \epsilon_{23} n &= 0 \\ \epsilon_{31} l + \epsilon_{32} m + (\epsilon_{33} - \epsilon) n &= 0 \end{aligned} \right\}$$

, 有

(4)

式中 ϵ 为主应变率, l , m 和 n 分别代表应变率主方向. 可用求特征值的方法求解方程(4). 对于一个较大区域, 可以近似地视其为弹性各向同性, 从而视应变率主方向为应力主方向.

3 汾渭断裂带的运动学特征

汾渭断裂带北起大同, 南至西安~咸阳一带, 绵延 700 多公里. 自有记录以来该断裂上的地震活动经历了 4 个活跃期. 1815 年至今为第四地震活动期. 本文取 1965~1989 年的强震活动序列. 这一时期汾渭断裂带的地震活动经历了活动和平静两种状态, , 跨越应变能的积累和释放过程^[4]. 而且由于全国地震台网的建立, 使我们可以获取精度较高、较为可靠的震源机制解.

汾渭断裂带自 1965 年至 1989 年共发生 5 级以上地震(包括强余震)12 次, 各次地震的震源机制解见表 1. 从表 1 可以看出这些地震的断层错动方式以右旋为主, 但强余震的滑动角与主震不尽相同. 从空间分布看, 大同、太原地区地震相对集中, 且似乎有从南向北迁移的趋势, 见图 1. 表 1 还列出了利用公式(3)和震源机制解计算得出的滑动角.

表 1 汾渭断裂带 1965 年至 1989 年强震震源机制 *

序号	发震时间	地点	震级 (M)	地震矩(M_0) ($\times 10^{17} \text{N} \cdot \text{m}$)	断层面走向	断层面倾角	滑动角
1	1965-01-13	山西垣曲	5.5	3.16 **	21°	65°	100.8°
2	1965-01-15	山西垣曲	5.1	1.24 **	10°	71°	8.0°
3	1967-12-18	山西蒲县	5.4	2.50 **	175°	80°	93.0°
4	1971-06-05	山西和顺	5.2	1.99 **	142°	39°	66.4°
5	1971-06-05	山西和顺	5.2	1.99 **	142°	85°	90.8°
6	1979-06-19	山西介休	5.1	1.24 **	38°	20°	115.4°
7	1980-03-09	山西平遥	5.0	0.98 **	26°	85°	90.9°
8	1989-10-18	山西大同	5.7	5.08	22.2°	79.2°	167.8°
9	1989-10-19	山西大同	6.1	10.4	20.95°	76.3°	193.4°
10	1989-10-19	山西大同	5.6	6.20	198.8°	62.1°	186.4°
11	1989-10-19	山西大同	5.1	1.24 **	27.5°	83.5°	74.2°
12	1989-10-23	山西大同	5.2	1.99 **	12°	80°	63.1°

* 表中所列数据取自文献[5]、[6]和[7], 其中 10, 11, 12 三次地震为大同 6.1 级地震的强余震.

** 该地震矩是采用马宗晋等给出的 M_0 - M 统计公式(1993)推算得出的.

根据已有的地质、地震资料, 我们取汾渭断裂带长度为 700 km, 宽 300 km, 震源体厚度为 20 km, 岩石剪切模量 $\mu=3.3 \times 10^6 \text{N/cm}^2$. 时域 T 取为本研究段内第一个地震与最后一个地

震的时间间隔, 即 $T=25$ 年. 应用公式(4)计算出了汾渭断裂带主应变率和应变率主方向. 计算结果见表 2. 表 2 中采用了方位角和俯角表达方式. 从表 2 中可以看出, 有两个主应变率的俯角分别为 5.8° 和 5.0° , 表明其近似为水平方向, 另一主应变率的俯角为 82.3° , 近似为垂直方向.

表 2 主应变率和应变率主方向		
主应变率 ($\times 10^{-10} \text{a}$)	方位角	俯角
-3.41	68.2°	5.8°
0.75	26.8°	82.3°
2.65	337.7°	5.0°

表 2 的结果表明, 汾渭断裂带的主张应变轴为 $N22^{\circ}W$, 主压应变轴为 $N68^{\circ}E$, 其平均拉伸位移率为 0.15 mm/a . 这与马宗晋等根据地质资料研究的结果是一致的^[8]. 上述结果表明, 鄂尔多斯地块正经历着逆时针旋转运动. 另外, 和其它研究结果相比较^[8,9], 由地震矩估算的断裂形变带运动速率小于根据地质资料得到的平均运动速率, 表明地壳块体引起的应变能积累未能得到充分的释放, 因此, 发生地震的可能性仍较大.

4 结语

利用地震矩反演断裂带的运动学参数是近 20 年来发展起来的科研思路和方法, 它的计算精度主要受 M_0 的影响 (Molnar, 1984; Jackson, 1988). 实际上, 震源机制解的精度, 断裂形变带的空间尺度的选择及时域的确定等, 对平均应变率和断层带的运动学参数均有一定影响. 随着震源机制资料的积累及精度的提高, 会得到更多、更精确的研究结果.

本研究工作得到苏刚研究员的指导, 特此致谢.

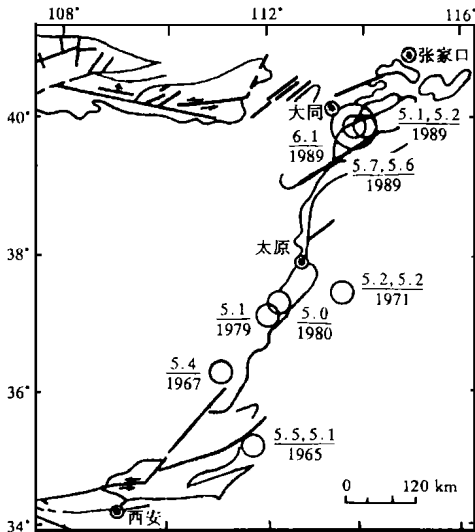


图 1 汾渭断裂带 1965 年以来 5 级以上地震震中分布图

Fig. 1 Distribution of $M_s \geq 5$ earthquakes since 1965 along Fen-wei fault belt.

参考文献

1 汪素云, 许忠淮. 中国东部大陆的地震构造应力. 地震学报, 1985, 7(1): 17~31.

2 Molnar P and Deng Qidong. Faulting associated with large earthquakes and average rate of deformation in Central and Eastern Asia. J G R 1984, 89(BT): 6203~6227.

3 Jackson J and M ckenzie D. The relationship between plate and seismic tensors and rates of active deformation in Mediterranean and Middle East. Geoph J 1988, 93: 45~73.

4 马宗晋, 等. 中国九大地震. 北京: 地震出版社, 1982.

5 张诚, 等. 中国地震震源机制. 北京: 学术书刊出版社, 1990.

6 方韶东, 陈培善. 用地震波形资料反演中国大陆六个中强地震的矩张量和震源机制. 地震学报, 1993, 15(3): 261~268.

7 房明山, 等. 大同-阳高震群多波分析及震群特征. 地震地磁观测与研究, 1992, 13(3): 55~65.

8 马宗晋. 山西临汾地震与系统减灾. 北京: 地震出版社, 1993.

9 徐锡伟, 邓超东. 1303 年洪洞地震的地震构造. 见: 马宗晋主编, 山西临汾地震研究与系统减灾. 北京: 地震出版社, 1993. 149~158.

INVERSION OF THE PRESENT KINEMATICS CHARACTERISTICS OF FEN-WEI FAULT ZONE FROM SEISMIC MOMENT TENSOR

WANG Weidong ZHANG Xingzhong WANG Ping

(*Seismological Bureau of Shaanxi Province, Xi'an 710068*)

Abstract

In this paper, the theory and method for inversing the kinematics parameters of a fault zone are discussed, and applying them, the present kinetic characteristics of Fen-wei fault zone are studied. The results show that Fen-wei fault zone extends in the direction of $N22^{\circ}W$ and is compressed in the direction of $N68^{\circ}E$. The mean extending rate is 0.15 mm/a.

Key words Inversion of seismic moment tensor, Fracture zone, Fen-wei seismotectonic zone, Fault activity, Strain rate

上接(69)页

SOME CHARACTERISTICS OF SEISMICITY IN GANSU REGION AND ITS SIGNIFICANCE

WANG Zhouyuan JI Fengying

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Lanzhou 730000*)

Abstract

About 32 months quasi-periodicity was clearly shown in activity of $M_s \geq 3.0$ earthquakes in Gansu region. The great shocks with $M_s \geq 6.0$ in and near the region occurred near the valley of annual frequency curve of $M_s \geq 3.0$ earthquakes. Since 1980, moderate shocks in Gansu region migrated regularly and steadily in groups from west to east along the northern edge of Qinghai-Xizang block. The migrations show clearly that seismicity in current period has been at a low ebb now, and may enter on a quiet phase in about the year 2002. There will be a seismic activity of $M_s \geq 5.5$ at about the end of the year 1998 in the Gansu region and its vicinity. That the moderate events of $M_s \geq 5.0$ occurred at the west end of northern edge of Qinghai-Xizang block is a signal of the beginning of active process of strong-moderate earthquakes in Gansu region.

Key words Gansu, Seismicity feature, Qinghai-Xizang plateau, Seismic period