

陕西中南部的视应力场研究

王卫东¹, 张永志¹, 邵广周¹, 刘国华¹, 邹志伟², 狄秀玲²

(1. 长安大学地质工程与测绘工程学院 陕西 西安 710054 2. 陕西省地震局 陕西 西安 710068)

摘要: 利用西安数字地震台网的宽频带数字地震记录, 计算了陕西中、南部地震的视应力水平, 并讨论了泾阳 5.2 级地震前后地震视应力的时间变化特征及视应力与震级的关系。

关键词: 视应力 地震矩 西安数字地震台网

中图分类号: P3172. +7 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2004)04-0343-04

0 引言

地震资料应用于东亚大陆的地球动力学模型研究, 已在应力方向、状态和来源等方面得到了很多重要结果, 但应力的分布仍是一个尚待解决的问题。目前常用的方法是估计视应力^[1], 作为区域背景应力水平^[2], 其定义为

$$\sigma_{\text{app}} = \mu \frac{E_s}{M_0} \quad (1)$$

式中 μ 为介质剪切模量, E_s 是地震波辐射能量, M_0 是地震矩。

在传统地震学中, E_s 和 M_0 只能从震级出发, 通过理论或经验公式换算得到, 因此计算结果并不相互独立, 不能很好体现其应有的物理意义。20 世纪 80 年代以来, 随着数字地震学的发展, 采用数字地震资料计算地震矩已成为一项可行的工作。Choy 等^[3] 根据美国国家地震信息中心(NEIC)的宽频带辐射能量测定结果和哈佛矩心矩张量(CMT)的测定结果, 讨论了全球地震视应力的分布, 吴忠良等^[4] 研究了中国西部地震视应力的空间分布。Newman^[5] 将视应力看作海啸的一个判据。Pulido^[6] 等根据震源破裂过程的数字地震成像结果, 通过地震能量和视应力的时间变化, 估计决定地震破裂性质的动力学参数。

陕西渭河断陷盆地是历史强震区。1998 年 1 月 5 日泾阳 M_L 5.2 地震后, 地震活动水平有所增强, 又发生 2002 年 2 月宝鸡 3.6 级、2003 年 4 月石泉 4.7 级地震。本文通过计算陕西中南部地震视应力分布, 讨论泾阳 5.2 级地震前后地震视应力的变化特征及视应力与震级的关系, 以期对这一地区的地震预测提供依据。

1 计算方法

本文采用数字地震资料, 通过数字地震波形计算标量地震矩, 采用震级换算计算能量, 从而计算陕西中南部地震的视应力分布。

根据 Moya 等^[8] 提出的计算地震震源谱的方法, 即通过求解震源谱的低频幅值 Ω_0 来计算每个地震的标量地震矩, 计算公式为^[9]

$$M_0 = \frac{4\pi\rho v_{p,s}^3 \Omega_0 R}{0.85} \quad (2)$$

式中, ρ 为介质密度, R 为震源距, $v_{p,s}$ 为 P 波或 S 波的波速, M_0 为地震矩。采用圆盘位错模式, 地震波远场位移谱的公式为

$$v^{P,S}(\omega) = \frac{M_0}{4\pi\rho v_{P,S}^3 R} \cdot S^{P,S}(\omega) \cdot B_{P,S} \cdot p \cdot g \cdot H(\omega) \cdot e^{-\frac{\omega R}{2QV_{P,S}}} \quad (3)$$

式中, $B_{P,S}$ 为P波或S波的辐射图型因子, 计算中取其在震源球上的平均值为0.6 $e^{-\frac{\omega R}{2QV_{P,S}}}$ 为传播路径衰减; Q 为介质品质因子 $H(\omega)$ 为仪器频率响应 p 为入射波振幅在水平方向和垂直方向的分配比例系数 g 为自由表面的影响系数; $S^{P,S}(\omega)$ 为波谱的形状函数。为简化计 取 $p = 1/2$ $g = 2$ 这样 $p \cdot g \cdot B_{P,S} = 0.85$ 。

对数字地震记录的 P 、 S 波的波谱, 经仪器频率响应及传播路径衰减校正后, 可测定其地震波谱三要素^[10] 低频幅值 Ω_0 、拐角频率 f_0 和高频衰减率 γ , 进而根据公式(2)计算标量地震矩。

计算地震波辐射能量时, 采用如下公式:

$$\left. \begin{aligned} \lg E_s &= 11.8 + 1.5M_s \\ \lg M_s &= 1.13M_L - 1.08 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

根据式(1)、(2)、(4), 可以计算地震的视应力值。

2 资料处理

本文采用西安数字地震台网的数字地震记录。使用地震波形资料时, 选择波形清晰、背景噪音小的垂直向记录进行分析。共处理 1997 年 6 月 - 1999 年 12 月的 39 个地震, 震级范围为 $1.6 \leq M_L \leq 5.2$ 。波谱分析程序是自行编制的。台站参数见表 1, 台站与震中分布见图 1。

表 1 西安数字地震台网台站参数表

仪器类型	经纬度		海拔 /m	台基岩性
	λ_E	φ_N		
蓝田	109.29°	34.17°	1300	花岗岩
乾县	108.22°	34.57°	885	石灰岩
周至	108.32°	34.06°	610	片麻岩
华阴	110.17°	34.52°	960	花岗岩
合阳	110.06°	35.41°	1160	砂岩
大孔	109.43°	35.06°	1010	石灰岩
子午	108.92°	34.03°	630	花岗岩

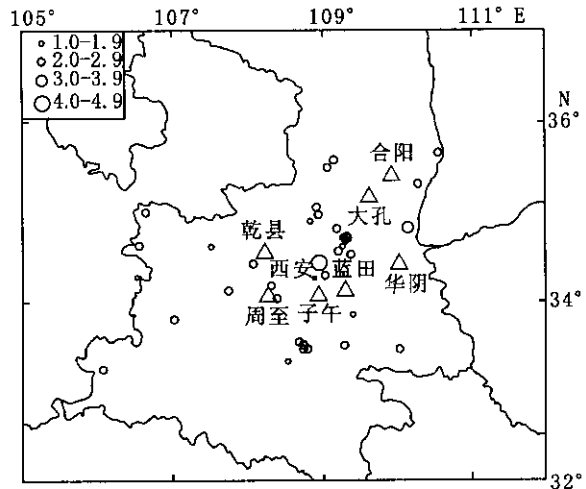
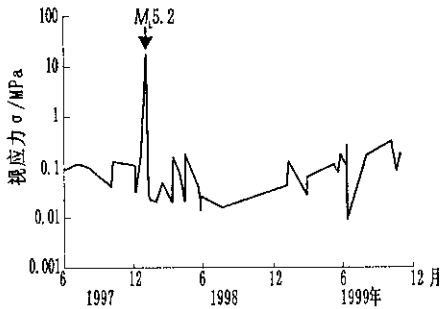


图 1 陕西中、南部台站与地震震中分布图

Fig. 1 Distribution of seismic stations and epicenters in the middle and southern parts of Shaanxi province.

3 结果分析

图 2 给出了陕西地区地震视应力随时间的变化。由图可见, 自 1999 年 6 月起视应力总体处于上升的趋势; 在 1997 年 12 月 4 日至 24 日出现了突跳, 随后在 1998 年 1 月 5 日发生了



泾阳 5.2 级地震, 其视应力为

17.84 Mpa, 远远高于其前后地震的视应力水平; 泾阳 5.2 级地震后视应力急速下降, 逐渐恢复到震前的水平。这一过程说明在泾阳地震前存在应力逐步积累的过程, 当应力集中到一定程度发生了主破裂, 释放部分能量, 应力降低, 回到稳定状态。这一结果与滑动弱活化模式^[11-12] 所描述的过程是一致的。1998 年 7 月 11 日临猗 5.0 级地震后, 视应力降至较低的水平, 而后呈现出线性积累的趋势, 可能与 2000 年 4 月 27 日内乡 4.7 级地震的应力积累有关。

经计算, 关中地区的平均视应力值为 0.55 MPa, 与吴忠良等^[4] 研究得到的中国大陆地震视应力的平均值为 0.8 MPa 比较接近。

图 2 陕西中、南部地震视应力随时间变化图

Fig. 2 Variation of the apparent stress in the middle and southern parts of Shaanxi province.

图3是泾阳5.2级地震前后视应力与震级的关系图(不含泾阳5.2级地震)。由图可见,地震视应力有随震级增加而增大的趋势,但泾阳5.2级地震前地震的视应力值总体上看高于泾阳地震后地震的视应力值。

4 讨论和结论

(1)在传统地震学中,计算地震波辐射能量 E_s 和地震矩 M_0 时均采用震级换算方法,但两者的计算结果并不相互独立,因而无法得到满意的视应力计算结果。本文采用宽频带数字地震波形资料计算地震矩,使两者相互独立,提高了计算结果的可靠程度。

(2)通过对陕西地区地震视应力的计算,发现泾阳5.2级地震经历了一定的前期视应力积累—震前突跳—主震异常高值—震后逐渐恢复的过程,与滑动弱化模式较为吻合。1998年7月11日临猗5.0级地震后,视应力降至较低的水平,而后又呈现出线性积累的趋势,这可能与2000年4月27日内乡4.7级地震的应力积累有关。

(3)计算所得陕西地区的视应力平均值为0.55 MPa,与吴忠良等研究得到的中国大陆地震视应力的平均值为0.8 MPa比较接近。

本文采用震级换算方法计算地震波辐射能量 E_s ,其计算方法和精度还有待进一步提高,资料也有待更多的积累。

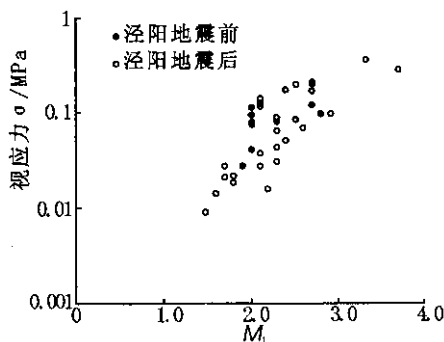


图3 泾阳5.2级地震前后视应力与震级关系图

Fig. 3 Relationship between the apparent stress and magnitudes before and after the Jingyang M_L 5.2 earthquake.

[参考文献]

- [1] Wyss M , Brune J N. Seismic moment , stress , and source dimensions for earthquakes in California - Nevada region[J]. J Geophys. Res. , 1968 , 73 : 4681 - 4694.
- [2] McGarr A. On relating apparent stress to the stress causing earthquake fault slip[J]. J. Geophys. Res. , 1999 , 104 : 25595 - 25610.
- [3] Choy G L , Boatwright J L. Global patterns of radiated seismic energy and apparent stress[J]. J Geophys Res , 1995 , 100 : 18205 - 18228.
- [4] 吴忠良 , 黄静 , 林碧苍. 中国西部地震视应力的空间分布[J]. 地震学报 2002 , 24(3) : 293 - 301.
- [5] Newman A V , Okal E A. Teleseismic estimations of radiated seismic energy : The E/M_0 discriminant for Tsunami earthquakes[J]. J. Geophys. Res. , 1998 , 102 : 26885 - 26898.
- [6] Pulido N , Irikura K. Estimation of dynamic rupture parameters from the radiated seismic energy and apparent stress[J]. Geophys. Res. Lett. , 2000 , 27 : 3945 - 3948.
- [7] 王卫东. 泾阳4.8级地震的构造背景[J]. 西北地震学报 2002 , 24(2) : 145 - 149.
- [8] Moya C A , Aguirre J , Irikura K. Inversion of source parameters and site effects from strong ground motions records using genetic algorithms[J]. Bull. Seism. Soc. Amer. , 2000 , 90(4) : 977 - 992.
- [9] Brune J N. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquake[J]. J. Geophys. Res. , 1970 , 75 : 4997 - 5009.
- [10] 王卫东 , 王平. 泾阳4.8级地震的震源参数和震源机制[J]. 地震学报 , 1998 , 20(6) : 656 - 658.
- [11] 张国民 , 傅征祥 , 桂燮泰, 等. 地震预报引论[M]. 北京 : 地震出版社 , 2001. 366 - 372.
- [12] 蒋海昆 , 张流 , 周永胜, 等. 基于高温高压岩石破裂实验结果对中强地震前震中附近区域部分地震学现象的初步解释[J]. 西北地震学报 2002 , 24(2) : 111 - 122.

STUDY ON APPARENT STRESS IN THE MIDDLE AND SOUTHERN PARTS OF SHAANXI PROVINCE

WANG Wei-dong¹, ZHANG Yong-zhi¹, SHAO Guang-zhou¹,
LIU Guo-hua¹, ZOU Zhi-wei¹, DI Xiu-ling²

(1. School of Geological Engineering and Surveying Engineering, Chang 'an University, Xi 'an 710054, China 2. Seismological Bureau of Shaanxi Province, Xi 'an 710068, China)

Abstract Using the digital seismic data recorded by xi 'an digital seismic network, the average value of apparent stresses of earthquakes in the middle and southern parts of Shaanxi province are calculated. The variation of the apparent stress before and after Jingyang M_L5.2 earthquake and the relationship between apparent stress and magnitudes are then discussed.

Key words : Apparent stress ; Seismic moment ; Xi 'an digital seismic network

(上接 342 页)

APPLICATION OF CORRELATION DETECTION TO ELF SIGNAL DETECTION

WANG Lan-wei¹, ZHAO Jia-liu², WANG Zi-ying¹, WANG Yan-qiong²
(1. Institute of Crustal Dynamics, CEA, Beijing 100085, China ;
2. Center for Analysis and Prediction, CEA Beijing 100036, China)

Abstract The application of correlation detection method to testing the signal amplitude of Extremely Low Frequency(ELF) with some software in research of ELF Electro-magnetic Receiver is introduced. The theoretical calculate result and practical observation results at two stations are given also.

Key word Extremely Low Frequency ; Signal detection ; Correlation detection ; Signal amplitude