

陕西关中地区剪应力分布 及近期地震趋势分析

王亚秀, 李 博, 李少睿

(陕西省地震局, 陕西 西安 710068)

摘要: 根据峰值速度与构造环境剪应力的关系, 利用西安数字化地震台网记录到的小震资料, 初步计算了陕西关中地区的剪应力分布. 结果表明, 关中中部的剪应力值较低, 近期发生较大地震的可能性较小. 但关中北部的韩城、西部的宝鸡—千阳、东部的大荔—华阴一带剪应力值较高, 存在发生 5 级左右地震的背景.

主题词: 陕西; 数字化地震台网; 应力; 地震趋势

中图分类号: P315.71; P315.72⁺7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2000)04-0414-05

0 引言

目前, 我国地震预报基本上是对各类前兆现象的总结, 用的是经验性的预测方法. 这种实用的地震预报方法是我们从事地震预报普遍采用的手段. 虽然有过不少成功的预报震例, 但地震预报更需要有物理基础及对地震发生过程物理机制的研究, 这方面的工作也愈来愈受到国内外的普遍重视.

研究表明, 地震是在剪应力作用下发生的岩石大规模破裂过程, 因此, 环境剪应力是控制地震发生的主要因素. 陈培善等人根据环境应力场确定大震危险区, 经过 3a 的预报检验, 结果发现大约 70% 的地震都发生在事先确定的危险区内.

1998 年 1 月 5 日陕西省泾阳县发生了 4.8 级地震, 该次地震打破了陕西关中十多年无 4 级地震的平静局面, 这次地震既无前震, 又无余震, 衰减规律异常, 使陕西省关中十多年的地震格局发生了变化. 因此, 有必要对这次地震的震源机制、环境应力背景及发震过程进行研究以便为进一步认识泾阳地震后关中地震形势提供力学方面的依据.

1 资料选取及计算

本文用的是西安数字化地震台网正常运行以来的数字化地震记录. 西安数字化台网包括 7 个台站(西安、蓝田、大孔、周至、华阴、合阳、乾县). 该台网是一个宽频带、动态范围达 90 db 的数字化无线遥测台网, 具有实时处理和人机交互处理地震事件的能力. 台网经过 3 个月的试运行, 于 1997 年 11 月通过了验收, 投入正式运行. 正式运行以来, 性能稳定, 正常运行率高.

在 $33^{\circ}30' \sim 36^{\circ}00'N$, $106^{\circ}30' \sim 110^{\circ}30'E$ 范围内选取 1997 年 10 月至 1999 年 12 月的地

震 25 个, 并尽可能选取波形清晰、没有限幅的地震记录. 用每个观测台站记录到的每次地震三分向的 S 波振幅, 除以仪器的灵敏度即可得到各台三分向的峰值速度值, 然后对其进行剪应力计算.

剪应力是利用陈培善根据地震发生的断裂力学模式与震源谱理论导出的速度峰值和构造环境剪应力的关系^[1]来进行计算的. 此关系式为

$$v_p = C \tau_0^{\frac{3}{4}} M_0^{\frac{1}{3}}$$

(1)

式中: v_p 为震源处的速度峰值, C 为常数, τ_0 为剪应力, M_0 为地震矩.

具体计算时, 必须将实际观测值换算成震源处的值, 并考虑速度的衰减模式.

本文采用如下衰减模式:

$$F(r, f) = \frac{1}{r} e^{-\pi f r} / \beta Q$$

(2)

式中: r 是震中距, f 是相应的优势频率, $f = 10^{(-0.4 M_w + 1.8)} / 2$, β 是波速, 取 $\beta = 3.44 \text{ km/s}$, Q 是介质的品质因子, Q 值用的是姜家兰等人根据陕西区域台网记录的小震尾波资料算出的结果^[2](表 1).

表 1 关中地区 Q 值分布

地点	韩城	陇县	宝鸡	泾阳	彬县	周至	西安	平均
Q 值	166	110	123	130	140	149	140	137

关中地区 Q 值在 110~149 之间变化, 平均值为 137.

那么, 观测的速度峰值 v_s 与震源处的速度峰值 v_p 的关系式为

$$v_s = v_p F(r, f) / (2.0 \times 0.6)$$

(3)

式中: (2.0×0.6) 是地面和辐射图形矫正, v_s 为一个观测点三分向的速度峰值, v_p 为一个台站反映一次地震震源处的速度峰值. 取多台 v_p 值的几何平均值(也就是 $\lg v_p$ 的算术平均值)算作一次地震的 v_p 值. 对于 N 次地震, 则

$$\sum_{i=1}^N \lg(v_p)_i / N = \lg C + \frac{3}{4} \sum_{i=1}^N \lg(\tau_0)_i / N + \frac{1}{3} \sum_{i=1}^N \lg M_0 / N$$

(4)

再根据矩震级 M_w 与 τ_0 的统计公式^[3]

$$\lg \tau_0 = 0.15 M_w + 0.1$$

(5)

来处理陕西关中 25 次地震, 平均矩震级为 2.3, 这样由式(5)可求得该组地震的平均剪应力值为 0.45 MPa, 再通过式(4)可求出系数 $C = -11.86$. 最后, 将系数代入式(1), 根据每一次地震震源处的速度峰值 v_p 和地震矩 M_0 可求得每一次地震的环境剪应力 τ_0 值(表 2).

2 结果分析及讨论

计算结果表明, 这组地震的环境剪应力值在 0.2~6.8 MPa 之间变化. 相对来看, 关中北部的韩城、西部的宝鸡—千阳、东部的大荔—华阴一带剪应力值较高($\tau_0 > 5.0 \text{ MPa}$), 关中南部的富平、阎良、乾县等地及北部的宜君、南部的宁陕剪应力值较低($\tau_0 < 1.5 \text{ MPa}$). 这一结果在量级上与对渭河盆地采用平面有限元分析及地质力学材料模拟试验的结果^①相当(图 1). 有限元分析及模拟试验结果的剪应力变化范围为 0.7~2.0 MPa, 剪应力高值区也主要集中在

① 陕西省地质矿产局. 西安地区区域地壳稳定性与地质灾害评价和研究. 1990.

华阴—朝邑、宝鸡—陇县及合阳—韩城一带. 这些地区剪应力值均大于 1.5 MPa. 低值区为关中中部较大范围地区, 其剪应力值均在 1.5 MPa 以下, 与速度峰值计算的剪应力高值区和低值区基本相同.

表 2 地震参数及剪应力计算结果

序号	地震时间	震中位置		深度 h/km	震级		剪应力 τ_0/MPa	剪应力 等级
		φ_{N}	λ_{E}		M_{L}	M_{W}		
01	1997-10-04 14: 58: 32. 8	$34^{\circ}12'$	$108^{\circ}16'$	9. 9	1. 8	2. 2	3. 7	3
02	1997-10-19 19: 45: 51. 5	$35^{\circ}43'$	$110^{\circ}41'$	10. 0	1. 8	2. 2	6. 3	4
03	1997-12-04 12: 43: 28. 6	$34^{\circ}17'$	$107^{\circ}54'$	9. 1	3. 6	3. 4	0. 2	0
04	1998-01-09 07: 10: 20. 7	$34^{\circ}43'$	$109^{\circ}07'$	10. 0	2. 1	2. 4	1. 4	1
05	1998-01-31 13: 18: 59. 9	$34^{\circ}14'$	$107^{\circ}55'$	10. 0	2. 0	2. 3	1. 9	2
06	1998-02-16 21: 25: 01. 0	$34^{\circ}49'$	$106^{\circ}44'$	10. 8	2. 0	2. 3	6. 8	5
07	1998-03-13 14: 28: 20. 5	$34^{\circ}36'$	$107^{\circ}31'$	10. 0	1. 8	2. 2	4. 6	4
08	1998-04-01 11: 03: 56. 4	$34^{\circ}46'$	$109^{\circ}09'$	10. 3	1. 1	1. 7	3. 2	3
09	1998-04-15 00: 37: 48. 6	$34^{\circ}38'$	$109^{\circ}16'$	9. 9	1. 7	2. 1	1. 9	2
10	1998-05-23 15: 03: 18. 9	$35^{\circ}37'$	$109^{\circ}05'$	10. 0	2. 1	2. 4	1. 4	1
11	1998-05-24 17: 18: 47. 0	$34^{\circ}53'$	$108^{\circ}50'$	10. 0	1. 6	2. 0	2. 4	2
12	1998-05-25 05: 35: 08. 9	$34^{\circ}52'$	$109^{\circ}10'$	10. 0	2. 0	2. 3	1. 5	1
13	1998-07-16 15: 54: 44. 4	$34^{\circ}15'$	$109^{\circ}47'$	10. 0	1. 1	1. 7	3. 8	3
14	1998-07-20 17: 36: 52. 1	$33^{\circ}56'$	$106^{\circ}45'$	10. 0	2. 5	2. 6	3. 5	3
15	1999-01-11 09: 34: 38. 8	$33^{\circ}33'$	$108^{\circ}41'$	10. 0	2. 2	2. 4	1. 4	1
16	1999-03-01 09: 10: 04. 0	$33^{\circ}58'$	$109^{\circ}22'$	10. 0	1. 8	2. 2	2. 7	3
17	1999-03-01 16: 12: 17. 0	$33^{\circ}34'$	$109^{\circ}23'$	10. 0	2. 2	2. 4	3. 3	3
18	1999-05-21 23: 06: 17. 4	$34^{\circ}27'$	$108^{\circ}02'$	15. 4	2. 8	2. 9	1. 2	1
19	1999-06-14 04: 46: 26. 2	$34^{\circ}41'$	$109^{\circ}19'$	10. 0	1. 7	2. 1	2. 5	3
20	1999-06-14 04: 28: 35. 0	$34^{\circ}42'$	$109^{\circ}19'$	10. 0	3. 7	3. 5	1. 7	2
21	1999-06-14 04: 00: 07. 8	$34^{\circ}41'$	$109^{\circ}19'$	9. 8	3. 2	3. 1	1. 2	1
22	1999-10-05 23: 54: 01. 0	$34^{\circ}50'$	$110^{\circ}07'$	10. 4	3. 5	3. 3	5. 3	4
23	1999-10-17 02: 23: 23. 31	$34^{\circ}29'$	$109^{\circ}26'$	10. 0	2. 4	2. 6	2. 0	2
24	1999-10-29 10: 38: 51. 3	$35^{\circ}09'$	$110^{\circ}16'$	10. 0	2. 8	2. 9	2. 4	2
25	1999-11-21 07: 55: 02. 3	$35^{\circ}06'$	$110^{\circ}12'$	10. 0	2. 9	3. 0	3. 2	3

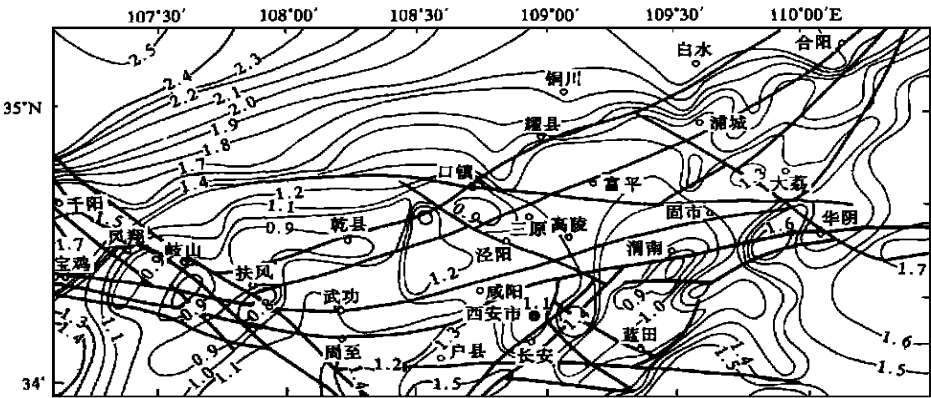


图 1 渭河盆地最大剪应力等值线

Fig. 1 Contours of the maximum shear stress in Weihe basin.

据速度峰值计算的关中地区环境剪应力与地质力学模拟试验的结果在绝对量值上有些差异. 可能是由于利用地质力学模拟试验时, 所建立的计算模型与实际地质条件不可能完全符合, 或边界加力方式与盆地实际受力状况不完全相同, 或峰值速度计算剪应力法所选取的衰减模式不太适合等因素所致. 但大体看来, 用每一种方法所计算的剪应力相对高值区和相对低值区对了解关中地区构造应力状况都有着十分重要的意义. 2 种方法计算的剪应力高值区与低值区基本相同, 高值区均为韩城、宝鸡—千阳、大荔—华阴一带, 低值区均为关中中部地区.

为了做图方便, 将剪应力值 τ_0 换算成等级值 g , 若 $\lg \tau_0 \leq 0, g = 0$; 若 $0 < \lg \tau_0 < 0.2, g = 1$; 若 $0.2 \leq \lg \tau_0 < 0.4, g = 2$, 依次类推, 直到 $g = 9$, 用 g 值做剪应力等级值分布图 (图 2).

根据陈培善等人以前所做的大量工作得出的结果, 应力等级值越高, 发生大地震的危险性越大, 剪应力等级值基本对应地震震级. 王志农对内蒙古几次中强地震震前区域剪应力的计算结果显示了主震前相应区域应力值较高, 震后应力值下降^[4]. 亦证明了区域剪应力值较大的地区具有发生中强地震的危险性.

由口镇-关山断裂、岐山-马召断裂、秦岭北缘断裂及临潼-长安断裂所围限的关中中部地区不存在剪应力高值点, 应力值相对较低, 近期发生较大地震的可能性不大. 1998 年 1 月 5 日泾阳发生的 4.8 级地震就位于该围限区内. 目前该区的剪应力值较低, 可能是由于 4.8 级地震释放了一定的剪应变能, 因此, 泾阳 4.8 级地震后, 其附近地区再发生较大地震的可能性较小.

但是, 应注意关中北部的韩城、西部的宝鸡—千阳、东部的大荔—华阴一带, 按所计算的剪应力等级值来判断, 这些地区存在发生 5 级左右地震的背景.

3 结语

利用速度峰值对关中地区环境剪应力的计算结果使人们对该地区的环境剪应力有一个概括性的认识. 由于地震资料较少, 目前尚不能勾画出环境剪应力等值线图. 还有待于计算资料的积累、丰富, 使结果进一步完善, 在地震预报中发挥更大的作用.

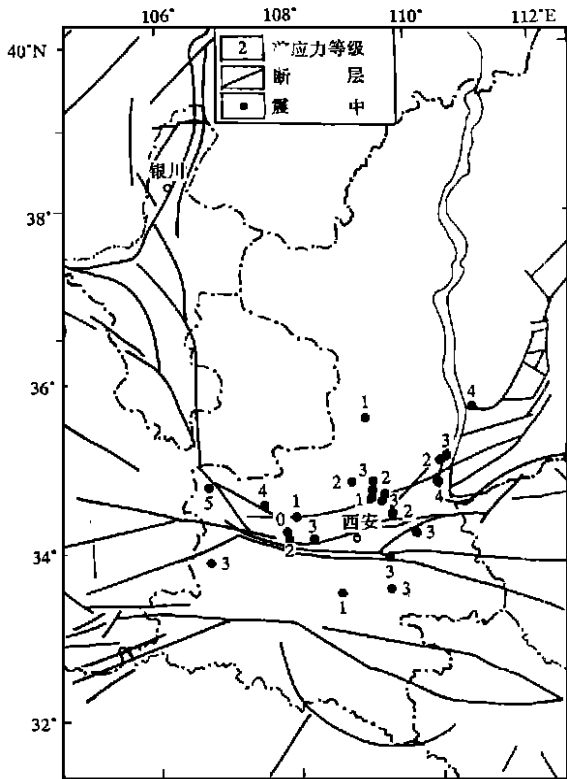


图 2 关中地区构造环境剪应力分布
Fig. 2 Distribution of faults epicenters and shear stress gradation values in Guanzhong area.

[参考文献]

[1] 白彤震, 陈培善. 利用北京数字化台网资料估计首都圈地区的构造环境剪应力[J]. 华南地震, 1998, 18(1): 9—13.
[2] 姜家兰, 张春生. 陕西地区近震的尾波特征[J]. 华北地震科学, 1990, 8(2): 401—411.
[3] 陈培善, 白彤震. 震源参数之间的定量关系[J]. 地震学报, 1991, 13(4): 79—88.
[4] 王志农. 内蒙古几次中强地震的部分震源参数及相应区域的剪切应力[J]. 华北地震科学, 1989, 7(1): 79—87.

THE DISTRIBUTION OF SHEAR STRESS AND AN ANALYSIS ON SHORT-TERM SEISMIC TREND IN GUANZHONG REGION OF SHAANXI PROVINCE

WANG Ya-xiu, LI Bo, LI Shao-rui

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

Abstract: According to the relation between the peak velocity and the tectonic shear stress, a preliminary estimation of shear stress distribution in Guanzhong region of Shaanxi province is made by using data of small earthquakes from Xi'an digital seismic network. The results show that the shear stress level is lower in central area of Guanzhong and the possibility of large earthquake in this area is lower than the other areas. The areas with relatively higher stress level are Hancheng in northern Guanzhong, Baoji-Qianyang in the western part and Dali-Huayin in the eastern part. In these areas, there exists the potential of earthquake with magnitude about 5.

Key words: Shaanxi; Digital seismic network; Stress; Seismic trend

(上接 389 页)

- [1] 吴鸿遥. 损伤力学[M]. 北京: 国防工业出版社, 1990.
- [2] Murakami S. Mechanical modeling of material damage[J]. Journal of Applied Mechanics, June 1988, 49—55.
- [3] Kawamoto T, Ichikawa Y, Kyoya T. Deformation and fracturing behaviour of discontinuous rock mass and damage mechanics theory[A]. Theme/ Feature Paper, Int. J. For Numerical and Analysis Methods In Geomechanics[C]. 1988, 12: 1—30.
- [4] 楼志文. 损伤力学基础[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1991.
- [5] 丁国瑜, 蔡文伯, 于品清, 等. 中国岩石圈动力学概论[M]. 北京: 地质出版社, 1991.
- [6] 唐春安, 傅宇方, 赵文. 震源孕育模式的数值模拟研究[J]. 地震学报, 1998, 19(4): 337—346.
- [7] 牛志仁, 陈党民, 李炳乾. 唐山大地震孕育过程的数值模拟研究[J]. 地震学报, 1998, 19(4): 347—358.

ON SIMULATION OF EARTH STRESS IN JIASHI AREA, XINJIANG, BY DAMAGE MECHANICS MODEL WITH GPS DATA

ZHANG Yong-zhi¹, ZHU Gui-zhi¹, WANG Qi²

(1. *The Second Crustal Deformation Monitoring Center, CSB, Xi'an 710054, China;*

2. *Institute of Seismology, CSB, Wuhan 430071, China*)

Abstract: The effective stress formula of the earth crust having the faults with different direction and size is deduced by geometry damage theory and method, and the theory and method to analyze and compute the uncontinuous faults in the earth crust by geometry damage theory is discussed. At the same time, the earth stress variation in Jiashi area, Xinjiang, is computed by geometry damage theory with GPS data. Comparing the computed results with $M_s > 5.0$ earthquake activities in the region from Jan. 1997 to Dec. 1998, it is seen that modern strong earthquakes in the south of Xinjiang mainly occurred in the region where the stress field variation is very large.

Key words: Stress; Seismic activity; GPS; Xinjiang; Damage theory