

广西地区中强地震前后环境 应力场的时空演变特征

杨仕升^{1,2}, 李柳英¹, 莫敬业¹,
安琳¹, 李耿民¹, 吴时平¹, 王林¹
(1. 广西壮族自治区地震局, 广西南宁 530022;
2. 广西大学土木建筑工程学院, 广西南宁 530004)

摘要 应用 P 波初动半周期和地震震级资料测定环境应力值的方法, 利用广西台网 30 多年地震观测记录资料, 测算了广西及其邻区大量中、小地震震源处的相对剪切应力强度值. 在此基础上研究了广西地区 8 个中强地震序列主震前后环境应力值的时空变化特征.

关键词 应力场; 环境剪应力; 中强地震; 变化特征

中国分类号: P315.72⁺7 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2003)04-0326-05

0 引言

构造地震是地壳岩层在地应力作用下发生断裂的结果. 人们将断裂力学的研究成果应用于地震预报(陈培善, 秦嘉政等, 1977), 认为环境剪应力 τ_0 的大小对地震的发生起着主导作用. 若测得某一区域的 τ_0 , 了解该区域介质的环境剪应力状态, 掌握其空间分布及随时间变化的特征, 就可圈定中强地震的孕震区并判定其接近破裂失稳扩展(发生地震)的危险性. 本文应用 P 波初动半周期和地震震级资料测定环境应力值的方法, 利用广西台网近 30 年地震观测记录资料, 测算了广西及其邻区 1 500 多个中、小地震震源处的相对剪切应力强度值. 以此为基础研究了近 30 年来发生在广西地区的 8 个中强地震序列主震前后环境剪应力的时间和空间变化特征.

1 计算方法与资料的选取

本文所谓的环境剪应力, 是指中小地震震源处的剪应力强度 τ_0 值; 而环境应力场理解为大范围的环境剪应力的平均值, 即区域剪应力.

1.1 环境剪应力的计算方法

国内外学者经过长期研究, 已经发展了若干种利用地震某些基本参数或震源力学参数测算剪应力 τ_0 的方法, 建立了相应的数学关系式. 但是由于广西地区测震台网台距较大, 几十年来基本上只有短周期地面位移模拟记录, 极少有数字化记录和长周期记录. 因此已有的许多计算方法不能直接引用. 本文根据广西地震记录资料的实际情况, 在前人研究成果的基础上, 探索适合计算中小地震环境剪应力的方法, 得到了合理的结果.^[1,2]

根据 Frankel 和 Kanamori 的研究^[3], P 波初动半周期 T 随震级而减小到一最小值 T_{\min} 之后, 不再随震级减小而变化, 并且证明 T_{\min} 是路径和仪器引起的. 对 T 大得能与 T_{\min} 区分开来的地震来说, 要确定其震源时间函数的半脉冲宽度 T_s , 只需将此地震的 T 减去 T_{\min} , 即

$$T_s = T - T_{\min} \quad (1)$$

T_{\min} 的确定方法是:在广西测震台网 1970~2003 年 4 月 31 日的记录资料中,选取震中距在 120 km、震级范围在 $2.0 \leq M_L \leq 4.5$ 、P 波初动清楚可用的 2 800 多个地震数据,测量出初动半周期,然后作出各台站的地震初动半周期 T 与震级 M_L 的关系图,最后通过比较,找出 17 个测震台站中每个台的 T_{\min} 值。具体方法见文献 [2]。

根据 Boatwright(1980)的研究^[4],由 T_s 可计算震源破裂半径 a

$$a = \frac{T_s \cdot v}{1 - \frac{v}{V_p} \sin \theta} \quad (2)$$

式中 v 是震源破裂扩展速度; V_p 为 P 波传播速度; θ 是震源破裂面法线与地震波射线的夹角。

在计算震源破裂半径 a 时,根据《华南地区近震走时表》(范玉兰、林纪曾等,1988),采用华南地区的平均速度模型: $V_p = 6.01$ km/s; $V_s = 3.55$ km/s; $\nu = 0.9 V_s$, $\theta = 45^\circ$ 。

求出震源破裂半径 a 后,环境剪应力值 τ_0 的计算可采用陈培善、秦嘉政等(1984)导出的关系式^[5]:

$$\lg \tau_0 = \frac{1}{2} M_L - \lg(2a) + 5.03 \quad (3)$$

式中 τ_0 的单位是 Pa; a 的单位是 km; M_L 是近震震级。

陈培善、秦嘉政等在导出以上关系式时,采用的是在频率域中求震源破裂半径 a 的方法或在时间域中求震源破裂半径 a 的方法。本文则利用式(2),通过寻找路径和记录仪器引起的 P 波初动半周期的最小值 T_{\min} 来间接解决。

1.2 资料选取及分析处理

(1) 研究的范围为广西及其邻区,即东经 $104^\circ \sim 113^\circ 30'$,北纬 $19^\circ 30' \sim 26^\circ 30'$ 的范围。

(2) 地震资料主要采用广西测震台网的 17 个台站在 1970~2003 年 4 月 31 日间记录的资料,其中包括发生在广西及其邻区的 8 次中强地震序列。本文除计算这 8 次中强地震序列中 P 波初动清楚的中小地震环境剪应力值外,还计算在震中距 $\Delta \leq 50$ km 的区域内,在主震前记录到的地震环境剪应力值,以分析这 8 个地震序列的环境剪应力特点。

(3) 分析中引用了平均值和标准差。应力平均值代表了某一时间段的应力水平,标准差综合反映了各应力值对平均值的偏离程度。根据前人的研究成果,大量地震求得环境剪应力平均值约为 10 MPa。结合广西的实际计算结果,本文把 $\tau_0 \geq 10$ MPa 地震称为高应力地震,把 $\tau_0 \geq 30$ MPa 的地震称为超高应力地震,区域应力高于 10 MPa 的地区称为高应力区。

本文对于多台记录的同一地震取其均值表示 τ_0 值,共计算出 1 500 多个中小地震震源处的 τ_0 值,在 WINSURF 绘图软件支持下绘制了 8 个中强地震序列的 τ_0 值时空变化图像,并对震源区附近(半径 ≤ 50 km)不同时期的 τ_0 值特征做分析研究。

2 中强地震前后环境剪应力的时间变化特征

表 1 为 8 个中强地震序列环境剪应力的阶段性变化。看出发生在广西及邻区的 8 个中强地震序列,在震前 1 至 3 年震源区一带都有数量不等的高应力地震出现,其中多数在震前 2 至 3 年即出现,如 1982 年富宁地震、1983 年天峨地震、1988 年北部湾地震、1994~1995 年北部湾双强震和 1998 年环江地震等(图 1(a)、图 1(b));少数在震前半年至 1 年才开始出现,如 1972 年邕宁地震、1977 年平果地震和 1993 年大化地震等(图 1(c)、图 1(d))。多数中强地震震前的 τ_0 值在高值(大于 10 MPa)背景下都经历了起伏增强的过程,这是震前环境剪应力变化的一个特点。

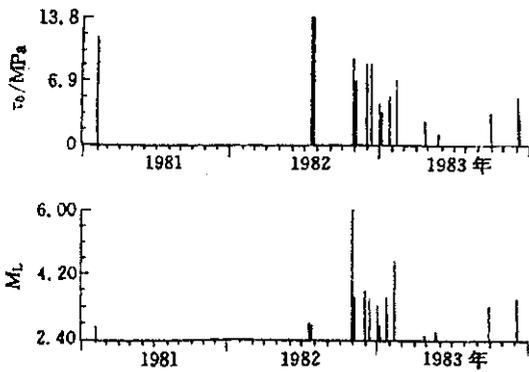
中强地震发生前一年内震源区的环境剪应力平均值(τ_1)比震后一年和转入稳定期后明显高出许多。如 1972 年邕宁地震、1977 年平果地震、1982 年富宁地震、1988 年北部湾地震和 1994~1995 年北部湾双强

震,在震前一年内的 τ_1 值都在15~30 MPa之间,震后一年内则降至5~8 MPa;其余地震在震前一年内 τ_1 值为7~9 MPa,震后一年内也有较大幅度的下降.每次强震后经过若干年的应力调整,震源区的环境剪应力都趋于稳定, τ_1 值都在4 MPa左右(表1).

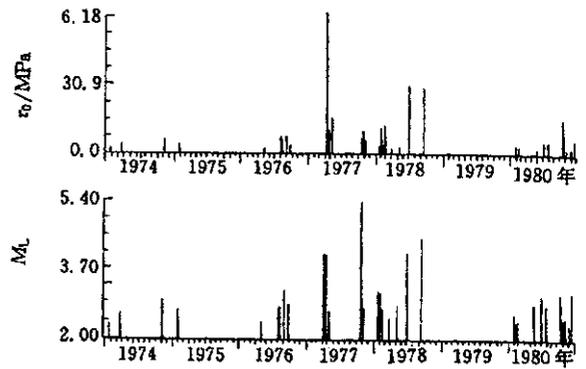
表1 广西地区中强地震序列与环境剪应力值变化

地震序列	震级/ M_L	震前一年内		震后一年内		稳定期	
		平均值 τ_1	标准差 τ_2	平均值 τ_1	标准差 τ_2	平均值 τ_1	标准差 τ_2
1972年邕宁	5.0	21.6	11.2	5.8	2.9	4.6	2.3
1977年平果	5.4	29.4	28.2	8.1	9.2	3.6	3.9
1982年富宁	6.0	19.0	18.6	4.7	2.1	3.8	1.6
1983年天峨	5.0	9.0*	6.5	6.4	7.1	4.2	1.7
1988年北部湾	5.4	13.3*	11.7	8.0	1.9		
1993年大化	4.9	7.9	7.6	3.5	9	3.1	2.2
1994~1995年北部湾	6.3	22.9*	24.7				
	6.4	18.5	17.1	8.1	6.3	4.8	2.3
1998年环江	5.3	6.9	3.9	9.7	9.3		

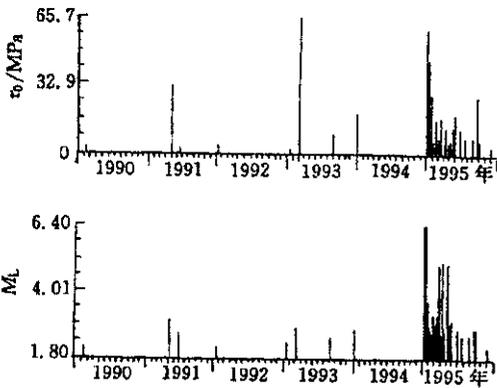
注:带*数值为主震前2到3年内的平均值



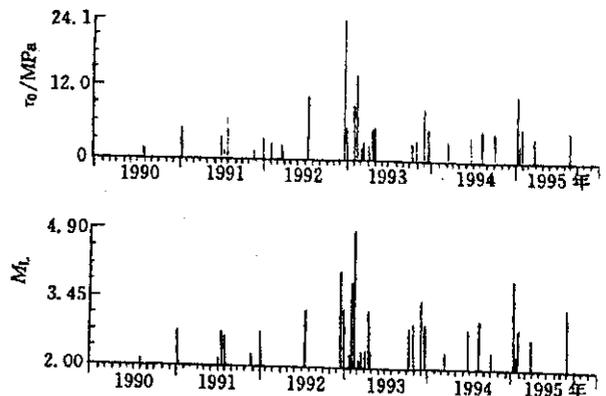
(a)富宁地震序列



(b)平果地震序列



(c)北部湾地震序列



(d)大化地震序列

图1 震源区 τ_0 值与中强地震序列关系

Fig. 1 Relationship between the change of τ_0 value and moderate-strong earthquakes in the source area.

3 中强地震前后环境剪应力的空间分布形态及演变特征

从广西 8 个中强地震前后剪应力等值线的分布图像可以清楚地看到,大多数中强地震之前 1~3 年(如 1972 年邕宁地震、1977 年平果地震、1982 年富宁地震、1983 年天峨地震、1988 年北部湾地震和 1994~1995 年北部湾双强震等),在震源区及其附近有剪应力高值区出现.其范围大小不一,形态各异.有的范围达数十万平方公里,有的范围只与极震区相当;有的成开放形,有的呈封闭状;有的沿中心区域应力升高,有的则降低;有的中心区域应力高达 30 MPa 以上,有的则只有 10 MPa 左右.见图 2(a)、图 3(a)、图 4(a).

多数中强以上地震都不发生在高应力区的中心区域或应力值最高处,而是发生在高应力区的边缘附近或若干高应力区交接部位的应力梯度陡变带上.1972 年邕宁地震、1977 年平果地震和 1988 年北部湾地震等就是比较典型的例子.

中强地震前在震源区附近形成的高应力区,大都在震后半年至一年内消失,在其附近很大范围演变出全新的应力分布格局(图 2(b)、图 3(b)、图 4(b)).

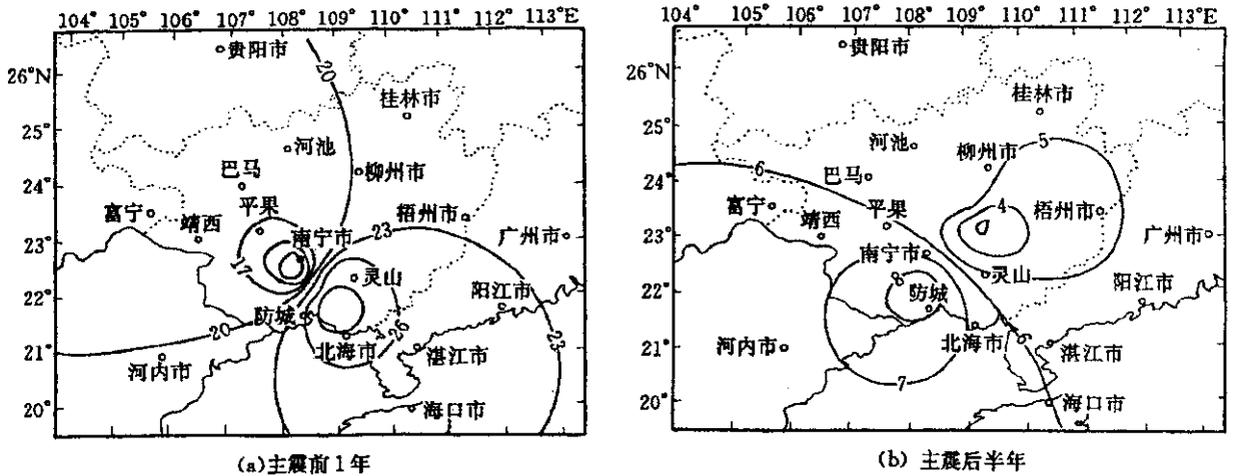


图 2 邕宁地震前后环境剪应力等值线分布(★为 5.0 级地震震中)

Fig. 2 Isogram of ambient shear stress before and after Yongning earthquake.

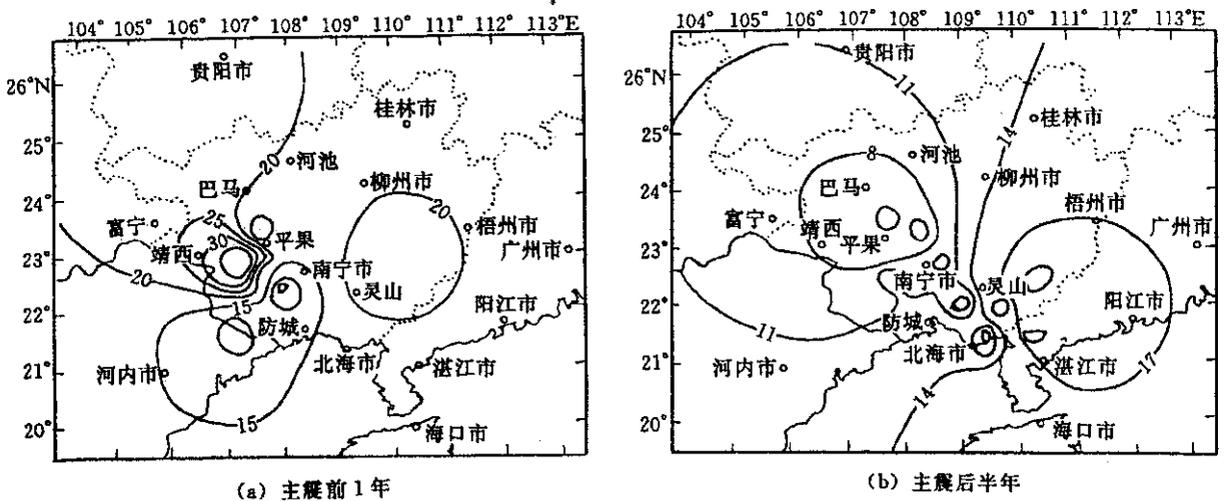


图 3 平果地震主震前后环境剪应力等值线分布(★为 5.4 级地震震中)

Fig. 3 Isogram of ambient shear stress before and after Pingguo earthquake.

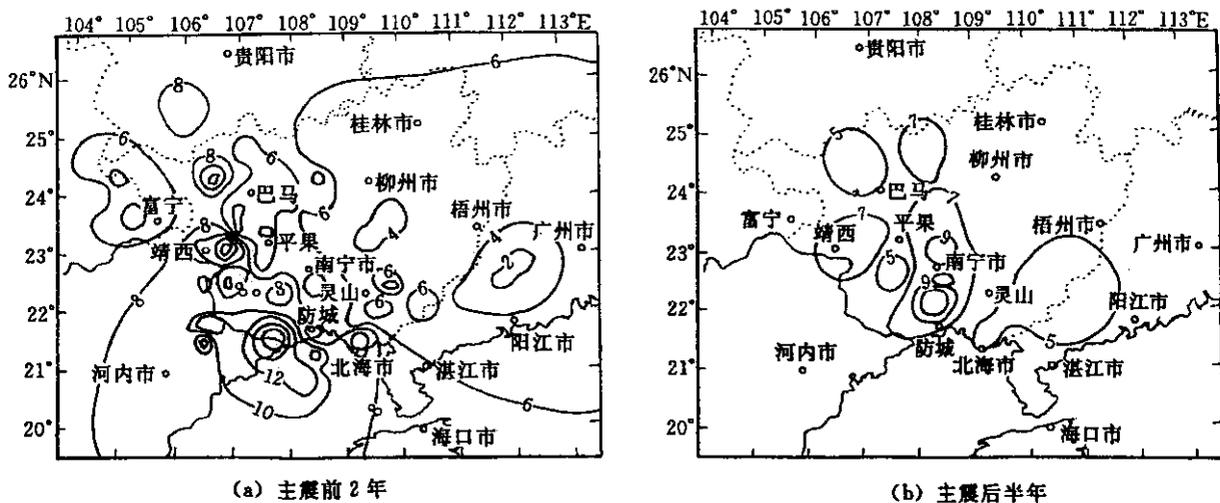


图4 北部湾地震主震前后环境剪应力等值线分布(★和☆分别为5.4级和5.2级地震震中)

Fig. 4 Isogram of ambient shear stress before and after North gulf earthquake.

4 结论和讨论

通过对广西及其邻区8次中强地震序列的环境应力值进行的研究,我们得出结论:

- (1) 中强地震发生前数月或数年内,震源区附近总要出现一些高应力值地震,会形成大小不一、形态各异的高应力区.震前一年的剪应力平均值要比正常值高数倍,而且数值很不稳定,涨落幅度很大.
- (2) 中强地震大都发生在高应力区的附近或若干高应力区交接部位的应力梯度陡变带上,很少发生在高应力区中心部位.
- (3) 中强地震发生后,震源区的平均剪应力比震前显著下降,震源区附近的高应力区也在震后半年至一年内消失,并在广大范围出现全新的应力分布格局.
- (4) 就广西而言,不同地区震前异常期的剪应力平均值存在明显的地区性差异:桂西、桂东南和邻近地区的北部湾海域震前的应力值较高,通常在15~30 MPa之间,桂中、桂北较低,一般低于10 MPa.这种差异,与各地区地震活动的强弱程度吻合,可能反映了不同地区的构造、地壳岩石的物理化学性质和深部条件的差异.中强地震后,经过一段时间的应力调整,当环境剪应力已大体恢复到正常水平,这时各个地区的剪应力平均值皆在3~5 MPa之间.

[参考文献]

[1] 肖尉文. 1982年卢龙地震前后的小震震源参数[J]. 地震学报, 1990, 12(1): 12—14.

[2] 杨仕升, 李柳英. 北部湾6.1和6.2级地震环境应力场研究[J]. 华南地震, 1999, 19(2): 25—31.

[3] Frankel A, Kanamori H. Determination of rupture duration and stress drop for earthquakes in Southern California[J]. Bull. Scism. Soc. Amer., 1983, 73: 1527—1551.

[4] Boatwright J. A special theory for circular seismic sources, Simple estimates of source dimension, dynamic stress drop and radiated seismic energy[J]. Bull. seism. Soc. Amer., 1980, 70: 1—28.

[5] 秦嘉政, 皇甫岗, 王绍晋, 等. 腾腾冲火山活动区的烈度衰减及环境应力场特征[J]. 地震研究, 1997, 20(2): 212—217.

(下转337页)

[参考资料]

- [1] 刘仁义,刘南. 基于 GIS 技术的水利防灾信息系统研究 [J]. 自然灾害学报 2002 ,11(1) 62—67.
- [2] 冯利华. 基于人工神经网络的地震活动性研究 [J]. 西北地震学报 2000 22(4) 402—405.
- [3] 刘海涛,周志华,尹旭日 等. 神经网络在测井资料岩性识别中的应用研究 [J]. 模式识别与人工智能 2000 ,13(2) 227—230.
- [4] 皇甫冉,陈维斌. 通用 BP 神经网络训练系统的实现 [J]. 微计算机应用 2000 21(6) 321—324.
- [5] 姚娜. GIS、MapInfo 与 MapBasic 学习教程 [M]. 北京: 北京大学出版社 2000.

RESEARCH ON GIS AND NEURAL NETWORK APPLING IN MICROZONATION OF SEISMIC GEOLOGICAL DISASTER

ZHANG Su-ping , WANG Lan-min , MA Er-man

(Lanzhou Institute of Seismology , CSB , Gansu Lanzhou 730000 ,China)

Abstract :On the bases of predecessors’s research work and comprehensively analyzing the seismic geology ,topographic features ,active faults and site factors , the microzonation of seismic geological disaster for Jingtai town , Gansu province is down by using the technique of GIS and neural network model. The result shows that the method turns previous qualitative indexes into quantitative one ,and realizes computer drawing figure automatically. The work outcome can be showed accurately and directly.

Key word Neural network model ; Geographical information system ; Microzonation of seismic geological disaster ; Jingtai

(上接 330 页)

EVOLVEMENT CHARACTERS OF AMBIENT STRESS FIELD BEFORE AND AFTER MODERATE-STRONG EARTHQUAKES IN GUANGXI AREA

YANG Shi-sheng^{1, 2} , LI Liu-ying¹ , MO Jing-ye¹

AN Lin¹ , LI Geng-ming¹ , WU Shi-ping¹ , WANG Ling¹

(1. Seismologocal Bureau of Guangxi Autonomous Region , Guangxi Nanning 530022 ,China ;

2. Guangxi University Architectural and Civil Engineering Institute , Guangxi Nanning 530004 ,China)

Abstract :Based on the earthquake record data of Guangxi seismic network in more than 30 years ,the ambient shear stress values around many middle and small earthquake sources in Guangxi and adjacent rigions are determined by using the method of half period in P wave first impulse and magnitude. Evolvment characters of the ambient stress values before and after 8 moderate-strong earthquakes in Guangxi is studied.

Key words : Stress field ; Ambient shear stress ; Moderate-strong earthquake ; Evolvment character