

2018年云南通海 M_s 5.0 地震前视应力时空特征^{*}

彭关灵, 赵小艳, 刘自凤, 孔德育

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

摘要: 利用云南数字地震台网资料, 计算了2008年1月1日至2018年8月13日, 2018年云南通海 M_s 5.0 地震震中100 km范围内 $3.0 \leq M_L < 5.0$ 地震的震源参数, 得到参数间的定标律关系。为了扣除震级对视应力的影响, 采用规范化视应力, 获得了规范化视应力时间进程及空间分布图像。结果显示: 地震视应力与震级、地震矩的皮尔逊相关系数分别为0.63, 0.37, 视应力与地震矩的相关性不显著; 视应力标度率特征符合区域构造特征。通海 M_s 5.0 地震前15.6个月, 视应力和规范化视应力均出现高值异常, 距离震中46 km, 出现高值异常区域, 说明该区域高视应力值对5级以上地震具有一定指示意义。

关键词: 通海地震; 地震视应力; 地震危险性; 震源参数

中图分类号: P315.727

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2018)04-0487-07

0 引言

地震孕育过程研究的一个基本问题是震源区周边的应力调整过程, 即对其空间分布和时间演变特征进行分析, 以及对其作为前兆现象的特征进行提取。但由于多方面的原因, 目前难以对应力分布情况和应力水平做出一个直接的测量或估计。地震视应力定义为单位地震矩或单位面积断层上的单位错动释放的地震波能量, 是震源辐射地震波能力的一种量度, 可作为震源区绝对应力水平的下限估计 (Wu, 2001; 吴忠良等, 2002)。近年来, 地震视应力逐渐被应用于断裂带应力状态分析与地震趋势判定。易桂喜等 (2011) 计算了2018年汶川8.0级地震前研究区的地震视应力, 结果显示龙门山断裂带中北段的绵竹—茂县段与江油—平武段地震视应力较高, 这2个地段也是汶川主震破裂的中心部分和地面严重破坏的地段。李艳娥等 (2012) 研究了2007年6月3日云南宁洱6.4级地震前视应力时空变化特征, 结果显示地震前震中周边存在视应力高值异常区域。刘红桂等 (2007) 计算1999年7月—2005年4月云南地区中小地震视应力, 分析发现云南地区中小地震

的视应力值超过0.9 MPa, 可以作为预测该地区未来可能发生中强地震的一个参考指标。

2018年8月13日1时44分云南通海发生 M_s 5.0 地震, 8月14日3时50分该地再次发生 M_s 5.0 地震。2次地震的震中位置相同, 且距1970年通海7.8级地震震中约31 km, 引起了社会各界及灾区群众的广泛关注。本文利用云南数字地震台网观测波形资料, 测定了2008年1月1日至2018年8月13日, 通海 M_s 5.0 地震震中100 km范围内的中小地震的震源参数, 分析震源参数的定标律关系以及地震视应力值的时空变化特征, 探讨通海地震前异常变化。

1 研究区构造背景

2018年云南通海 M_s 5.0 地震发生在川滇菱形块体南端, 距震中约100 km范围内主要发育有NW向的红河断裂、楚雄—建水断裂和曲江断裂, 以及近SN向的元谋—绿汁江断裂、汤郎—易门断裂、普渡河断裂和小江断裂南段等主要活动断裂, 是几条大断裂交汇位置, 构造复杂。震区邻近断裂有曲江—石屏断裂带的次级断裂玉江断裂、小江断裂带西支南段的次级断裂明星—二街断裂

^{*} 收稿日期: 2018-08-24.

基金项目: 中国地震局震情跟踪项目 (2017010117) 和云南省地震局青年基金项目 (201609) 共同资助.

(图1)。小江断裂带形成于古生代并定形于中生代, 向下至少深切至下地壳 (Mouslopoulou *et al.*, 2007)。新生代早期以来, 随着川滇活动块体的形成及其朝 SE—SSE 的主动滑移运动 (Tapponnier *et al.*, 1982; 张培震等, 2003), 小江断裂带成为该块体东边界的南段 (或东南边界), 呈现以西盘为主动盘的强烈左旋走滑运动。该断裂带华宁以北平均左旋滑动速率 $8 \sim 10 \text{ mm/a}$, 如此高速率的活动性使得小江断裂带成为云南地区最强烈的地震发生带, 500 多年来, 已发生 $M \geq 6$ 地震 16 次, 其中 $M \geq 7$ 地震 4 次、 $M \geq 8$ 地震 1 次 (闻学泽等, 2011)。曲江断裂带形成于古生代, 新生代以来由于川滇块体 SSE 向的挤出运动, 表现出以右旋走滑为主、兼挤压逆冲的运动特征 (Wang, 1998; 刘祖荫等, 1999), 现代右旋水平滑动/剪切变形总速率约为 4.5 mm/a 。高速率的活动性使得该断裂带成为云南地区第二个最活动的强震发生带 (闻学泽等, 2011)。1970 年通海 7.8 级地震就发生于该断裂带。本次通海 $M_s 5.0$ 地震与该区的强烈构造活动密切相关。

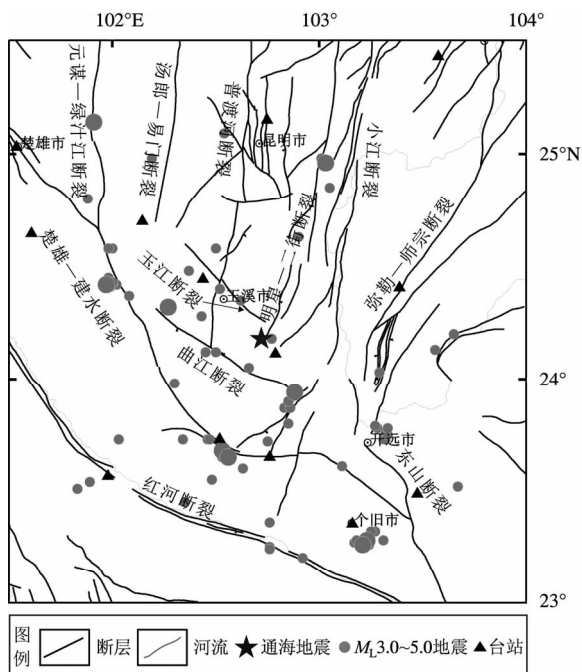


图1 2008年1月1日—2018年8月13日滇南地区 $3.0 \leq M_L \leq 5.0$ 震中分布及构造图

Fig. 1 Distribution of $3.0 \leq M_L \leq 5.0$ earthquakes from Jan. 1, 2008 to Aug. 13, 2018 and active tectonics in the southern Yunnan

2 资料选取与计算方法

2.1 资料选取

由于介质几何扩散、非弹性衰减、台站响应、仪器响应和震源辐射花样等因素的影响, 由波形数据计算震源参数的结果存在不确定性 (杨志高, 张晓东, 2010)。另外, 地震视应力计算结果与地震台站布局密切相关。通海地震震中 200 km 范围内有 20 个固定地震台, 形成了密集且包围较好的观测台网, 为震源参数计算提供了丰富的地震波形和观测报告数据, 且波形数据信噪比较高。

利用云南地震台网数字波形资料, 在近震源条件下, 选用震中距在 200 km 以内的台站, 根据各台站记录到的波形情况, 选取信噪比较高、记录较清晰的波形数据, 计算了 2008 年 1 月 1 日—2018 年 8 月 13 日共 85 个 $3.0 \leq M_L < 5.0$ 地震的震源参数 (图 1)。在进行震源谱计算时, 选取 S 波波段 $1.0 \sim 20.0 \text{ Hz}$ 范围内的波形进行分析。选取 P 波到时前 256 个数据点为背景噪声数据 (刘红桂等, 2004), 在频率域中, 由信号谱减去噪声谱得到 S 波的谱信息。

2.2 计算方法

在频率域, 台站 j 记录到的地震 i 的观测位移 $U_{ij}(f)$ 可表示为 (赵翠萍等, 2011):

$$U_{ij}(f) = [S_i(f) \Phi P_{ij}(f) L_j(f) + N_j(f)] I_j(f) Sur_j \quad (1)$$

式中: f 为频率; $S_i(f)$ 即为地震 i 的震源谱; Φ 为震源辐射图形因子; $P_{ij}(f)$ 为地震波从震源 i 到台站 j 的传播路径效应项, 描述地震波在传播过程中的衰减, 其中包括了地震波的几何扩散和非弹性衰减; $L_j(f)$ 为台站 j 的局部场地效应, 描述台站附近近地表地层介质对地震波动的放大作用; $N_j(f)$ 为台站 j 记录的噪音; $I_j(f)$ 为台站 j 的仪器响应函数; Sur_j 为地表自由表面效应, 描述地震波入射地表自由表面时的反射特征。

理论上 SH 波入射地表时, 只产生反射的 SH 波, 反射波的位移与入射波的位移相等, 记录的 SH 波位移正好为入射波位移的 2 倍, 即对地表台站的 SH 波记录, 式 (1) 中的 $Sur_j = 2$, 而对井下摆记录 $Sur_j = 1$ 。消除噪音项 $N_j(f)$ 、仪器项 $I_j(f)$ 后, $U_{ij}(f)$ 表示为:

$$U_{ij}(f) = S_i(f) \Phi P_{ij}(f) L_j(f) \quad (2)$$

由式(2)可知: 要由地震记录 $U_{ij}(f)$ 获得震源谱 $S_i(f)$, 必须消除公式右侧其他各项的影响; $P_{ij}(f)$ 项与台站-震源的传播路径及频率有关; $L_j(f)$ 与各个台站具体的场地及频率有关。在用观测数据拟合震源谱并计算震源参数时, 由于路径、场地等影响之间的相互耦合及不确定性, 本文不考虑场地的影响。在近震源条件下, 震中距较小, 可以忽略非弹性衰减的影响(陈学忠, 李艳娥, 2007), 对于 $P_{ij}(f)$ 项的几何扩散, 本文采用 Atkinson (1992) 提出的三段几何扩散模型进行校正。

视应力 (σ_{app}) 定义为:

$$\sigma_{app} = \mu \frac{E_s}{M_0} \quad (3)$$

式中: E_s 为地震波的辐射能量; M_0 为地震矩; μ 为震源区的介质剪切模量(对于地壳介质, μ 取 3×10^4 MPa) (Wyss, Brune, 1968; Choy, Boatwright, 1995; Wu, 2001)。地震矩表示为:

$$M_0 = \mu AD \quad (4)$$

式中: A 是断层面积; D 是平均错距。把式(4)代入式(3), 可得:

$$\sigma_{app} = \frac{E_s}{AD} \quad (5)$$

所以, 视应力表示单位断层面发生平均错动所辐射的地震波能量。

对中小地震, 震源谱符合 Brune 圆盘模型 (Brune, 1970), 震源谱可表示为:

$$\Omega(f) = \frac{\Omega_0}{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2} \quad (6)$$

式中: Ω_0 为震源谱的零频极限值; f_c 为拐角频率。

将地震震源谱与理论震源谱进行拟合, 即可得到相应的震源谱参数, 进而得到震源参数 Ω_0 , f_c 。

根据上述方法分别求得每个台站的地震矩 M_0 、地震波辐射能量 E_s 及地震视应力 σ_{app} , 再由各台站的值求其平均值。为了消除个别台站的异常高值对平均值的影响, 采用 Archuleta (1982) 的方法:

$$x = \exp \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln x_i \right) \quad (7)$$

式中: x_i 为各台站的地震矩或地震能量或地震视应力; N 为台站数。

3 结果分析

3.1 震源参数标度关系

通过分析 85 个 $3.0 \leq M_L < 5.0$ 地震的震源参数, 得到震源参数之间的标度关系, 如图 2, 3 所示。

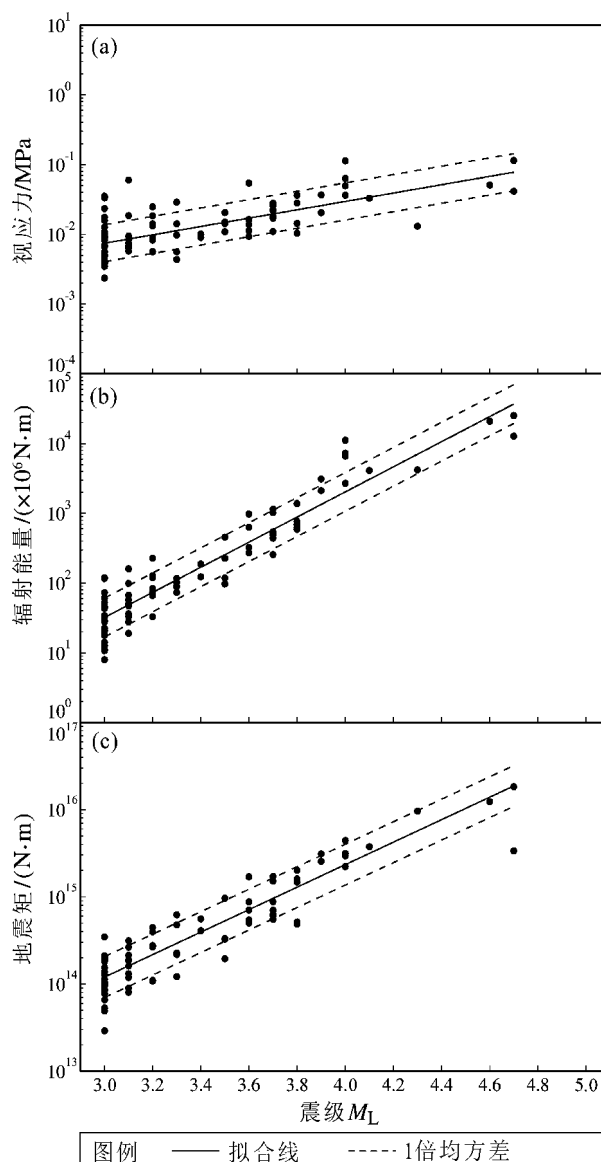


图2 视应力 (a)、辐射能量 (b) 和地震矩 (c) 与震级之间的定标关系

Fig. 2 The scaling law between apparent stress (a), earthquake energy (b), seismic moment (c) and magnitude

视应力与震级之间的拟合关系式为:

$$\lg \sigma_{\text{app}} = 0.599 M_L - 3.924 \quad (8)$$

$$\rho = 0.63$$

辐射能量与震级之间的拟合关系式为:

$$\lg E_S = 1.801 M_L - 3.897 \quad (9)$$

$$\rho = 0.73$$

地震矩与震级之间的拟合关系式为:

$$\lg M_0 = 1.290 M_L - 1.792 \quad (10)$$

$$\rho = 0.74$$

视应力与地震矩之间的拟合关系式为:

$$\lg \sigma_{\text{app}} = 0.323 \lg M_0 - 2.722 \quad (11)$$

$$\rho = 0.37$$

拐角频率与地震矩之间的拟合关系式为:

$$\lg f_c = 0.225 \lg M_0 + 0.493 \quad (12)$$

$$\rho = -0.41$$

式中: ρ 表示皮尔逊相关系数, 当 $\rho = 1$ 时, 为完全正相关; 当 $\rho = -1$ 时, 为完全负相关; 相关系数的绝对值越大, 相关性越强; 相关系数越接近于 0, 相关性越弱。

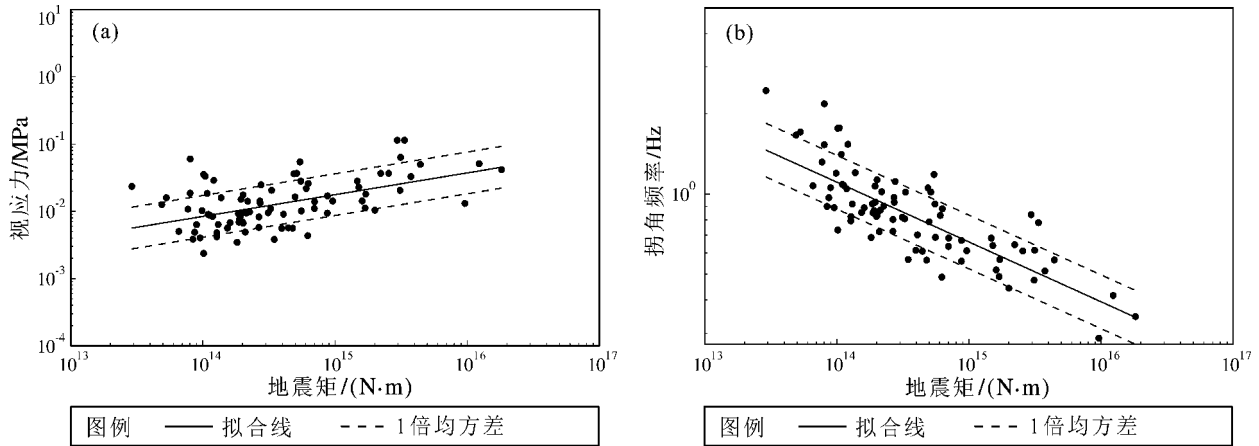


图3 视应力 (a) 和拐角频率 (b) 与地震矩之间的关系

Fig. 3 Relationship between apparent stress (a) and corner frequency (b) and seismic moment

由图2、图3可见, 震源参数间拟合线性趋势明显。视应力与震级之间 $\rho = 0.63$, 表明视应力与震级的相关性较强。视应力与地震矩之间 $\rho = 0.37$, 表明视应力与地震矩的相关性不显著。

吴忠良 (2001) 针对 1987 年 1 月—1998 年 12 月全球走滑型和非走滑型浅源地震, 给出了能量和地震矩之比与地震矩的关系。结果显示, 尽管数据离散很大, 仍能看出走滑型地震的能量与地震矩之比基本保持不变, 并略有上升, 而非走滑型地震的能量与地震矩之比呈明显的下降趋势。本次研究与第一种情况相符, 这也符合研究区域的构造特征。

3.2 视应力时间变化特征

由于视应力与震级的相关性较高。当研究样本的震级范围变大, 不采取任何震级校正措施研究视应力的时空分布时, 可能得到的是地震辐射

能量的时空特征而不是视应力水平。另外, 视应力与震级的拟合结果也显示视应力受地震大小影响较明显, 大地震视应力高, 小地震视应力低。因此, 扣除震级影响还原真实的视应力水平是后续研究的关键。为了扣除震级对视应力分析的影响, 本文采用以下公式:

$$\sigma_{\text{nor}} = \sigma_{\text{app}} - \sigma_{\text{fit}} \quad (13)$$

式中: σ_{nor} 为规范化视应力; σ_{app} 为上述理论和方法计算得到的视应力; σ_{fit} 为视应力与震级的标度关系式得到的视应力。

视应力滑动平均值和规范化视应力滑动平均值时间进程如图4所示, 以窗长为 10 个值, 步长为 1 个值, 10 个值求平均值进行滑动。从图4a, b 中可以看出, 2018 年通海地震前都出现过视应力高值异常 (图4中红色椭圆位置), 时间间隔为

15.6 个月，本次高值也是研究区自 2008 年以来最高值。

把 2008 年 1 月 1 日以来，研究区 $4.0 \leq M_L < 5.0$ 地震视应力值列于表 1 中，表中显示，同震级比较，2017 年 5 月 1 日 $M_L4.0$ 地震视应力值明显较高。

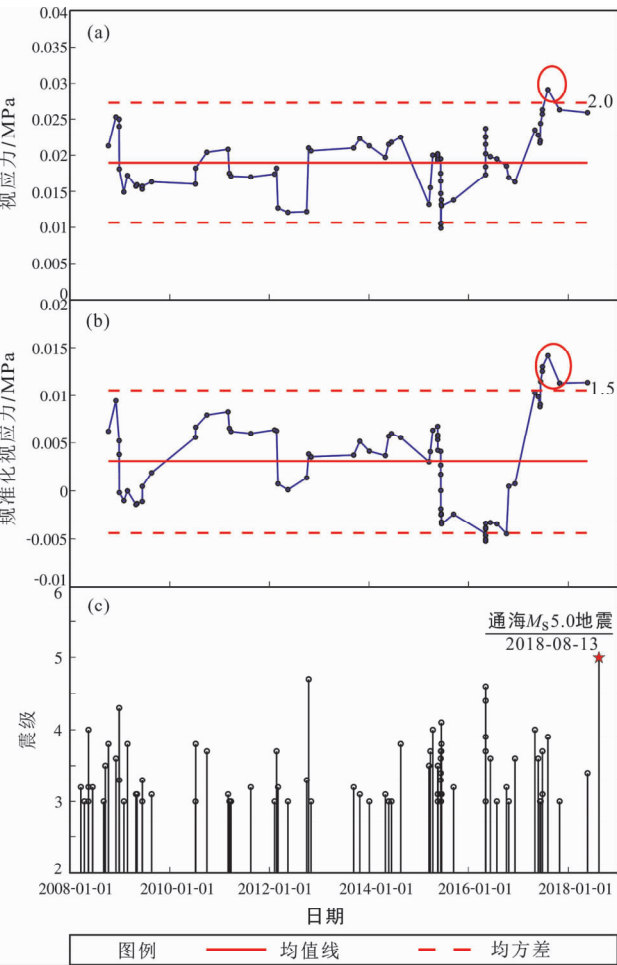


图 4 2008 年 1 月 1 日—2018 年 8 月 13 日研究区 $3.0 \leq M_L < 5.0$ 地震视应力 (a)、规范化视应力 (b) 滑动平均时间进程图以及 $M-T$ 图 (c)

Fig. 4 The Temporal process based on apparent stress (a), normalized apparent stress (b) values moving average from $3.0 \leq M_L < 5.0$ earthquakes in the research area and the $M-T$ diagram (c)

3.3 视应力空间分布特征

图 5 为 2008 年 1 月 1 日—2018 年 8 月 13 日通海 $M_s5.0$ 地震震中 100 km 范围内 $3.0 \leq M_L < 5.0$ 地震的规范化视应力空间分布。蓝色实心圆点代表地震震中，依据发震时间先后编号，序号对应

表 1，震中附近分别标出该地震的震级与视应力值。其中，插值方法采用自然邻近网格化法。

从图 5 可以看出，汤郎—易门断裂以西，普渡河断裂南段以西，曲江断裂以南，为视应力高值区域。其中，受 2017 年 5 月 1 日峨山 $M_L4.0$ 地震的影响，出现以该地震震中为中心的高值异常区域，异常区域位于曲江断裂西段。高值异常区域

表 1 2008 年 1 月 1 日—2018 年 8 月 13 日研究区 $4.0 \leq M_L < 5.0$ 地震震中 100 km 范围内地震视应力统计表

Tab. 1 Apparent stress statistics of $4.0 \leq M_L < 5.0$ earthquakes in the research area from Jan. 1, 2008 to Aug. 13, 2018

序号	发震日期	震中位置/ (°)		M_L	视应力/ MPa
		φ_N	λ_E		
1	2008-05-14	23.68	102.53	4.0	0.063 356
2	2008-05-14	23.65	102.56	4.0	0.036 426
3	2008-12-26	24.96	103.03	4.3	0.013 067
4	2012-10-15	25.14	101.91	4.7	0.113 950
5	2015-04-13	23.94	102.88	4.0	0.049 611
6	2015-06-14	24.42	101.97	4.1	0.032 732
7	2016-05-04	23.28	103.23	4.6	0.050 964
8	2016-05-04	23.26	103.21	4.7	0.041 527
9	2017-05-01	24.32	102.27	4.0	0.113 497

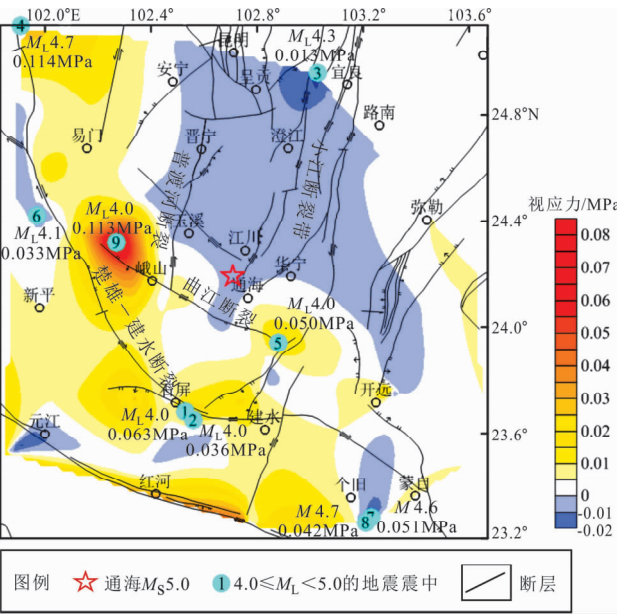


图 5 2018 通海地震前规范化视应力空间分布

Fig. 5 The spatial distribution of the normalized apparent stress before the Tonghai $M_s5.0$ earthquake in 2018

中心距离 2018 年通海地震震中 46 km。由于视应力在一定程度上可显示区域应力水平的大小,从图 5 可看出,近 NS 向展布的小江断裂带所在区域应力水平不高,而 NW—SE 展布的多条断裂所在区域则应力水平较高,体现了不同构造区的应力状态,通海 5.0 级地震发生在应力变化梯度高的位置。

4 结论与讨论

本文计算了 2008 年 1 月 1 日至 2018 年 8 月 13 日,2018 年通海 $M_s 5.0$ 地震震中 100 km 范围内的 $3.0 \leq M_L < 5.0$ 地震的震源参数。通过分析震源参数间的定标律关系、规范化视应力的时间变化和空间分布特征,获得的结论如下:

(1) 地震视应力与震级的皮尔逊相关系数为 0.63,呈正相关关系,地震视应力与地震矩的相关系数为 0.37,相关性不显著;视应力标度率特征符合区域构造特征。

(2) 2018 年通海地震震前 15.6 个月,视应力和规范化视应力均出现高值异常。距离通海地震震中 46 km 处,出现高值异常区域。

(3) 研究区的中小地震的视应力高值异常点,对 5 级以上地震的发生具有一定指示意义。地震视应力为震源区绝对应力水平的下限估计 (Wu, 2001; 吴忠良等, 2002)。视应力值越高,震源区应力水平越高 (吴忠良等, 2002; 陈学忠等, 2003; 王琼等, 2005; 乔慧珍等, 2006; 李艳娥等, 2012)。视应力的异常变化,可能反映了震源区周边应力场的调整变化,通海 $M_s 5.0$ 地震恰好发生在应力场的调整过程之中。

(4) 本文视应力标度率特征可能主要与区域构造特征有关。Choy 和 Boatwright (1995) 认为视应力与发震区域、断层类型相关;杨志高和张晓东 (2010) 认为视应力的标度率与滑动类型、破裂过程和介质强度等有关,视应力随地震矩的变化不显著;Aki (1967) 提出地震的自相似观点,认为地震视应力不随地震矩变化而变化;也有很多研究认为视应力随地震矩的增加而增加 (Abercrombie, 1995; Mayeda, Walter, 1996; Izutani, Kanamori, 2001; Takahashi, 2005; Mayeda *et al.*, 2005)。

(5) 通海 5.0 级地震发生在应力变化梯度高的位置,是否表明应力梯度变化大的位置是中强地震危险性高的地带?需做进一步深入的研究。

本文在撰写过程中,徐甫坤博士提供了视应力计算程序,付虹研究员给予了悉心指导,在此向他们表示衷心感谢。

参考文献:

- 陈学忠,李艳娥. 2007. 2006 年 7 月 4 日河北文安 $M_s 5.1$ 地震前震中周围地区小震视应力随时间的变化[J]. 中国地震, 23(4): 327-336.
- 陈学忠,王小平,王林瑛,等. 2003. 地震视应力用于震后趋势快速判定的可能性[J]. 国际地震动态, (7): 1-4.
- 李艳娥,陈学忠,付虹. 2012. 2007 年云南宁洱 $M_s 6.4$ 地震前滇西南地区震源参数时空变化特征[J]. 地震, 32(1): 28-39.
- 刘红桂,缪发军,吴晶. 2004. 场地响应、震源参数与介质衰减的同时反演[J]. 地震, 24(4): 27-36.
- 刘红桂,王培玲,杨彩霞,等. 2007. 地震视应力在地震预测中的应用[J]. 地震学报, 29(4): 437-445.
- 刘祖荫,皇甫岗,金志林. 1999. 一九七〇年通海地震[M]. 北京:地震出版社, 1-257.
- 乔慧珍,程万正,陈学忠. 2006. 安宁河—则木河断裂带地震视应力研究[J]. 地震研究, 29(2): 125-130.
- 王琼,陈学忠,王琳瑛. 2005. 岫岩地震序列视应力变化及其预测意义[J]. 地震, 25(2): 91-97.
- 闻学泽,杜方,龙峰,等. 2011. 小江和曲江—石屏断裂系统的构造动力学与强震序列的关联性[J]. 中国科学:地球科学, 41(5): 713-724.
- 吴忠良,黄静,林碧苍. 2002. 中国西部地震视应力的空间分布[J]. 地震学报, 24(3): 293-301.
- 吴忠良. 2001. 由宽频带辐射能量目录和地震矩目录给出的视应力及其地震学意义[J]. 中国地震, 17(1): 8-15.
- 杨志高,张晓东. 2010. 紫坪铺水库地区蓄水前后视应力标度率变化研究[J]. 地球物理学报, 53(12): 2861-2868.
- 易桂喜,闻学泽,辛华,等. 2011. 2008 年汶川 $M_s 8.0$ 地震前龙门山—岷山构造带的地震活动性参数与地震视应力分布[J]. 地球物理学报, 54(6): 1490-1500.
- 张培震,邓起东,张国民,等. 2003. 中国大陆的强震活动与活动地块[J]. 中国科学:地球科学, 33(增刊 1): 12-20.
- 赵翠萍,陈章立,华卫,等. 2011. 中国大陆主要地震活动区中小地震震源参数研究[J]. 地球物理学报, 54(6): 1478-1489.
- Abercrombie R E. 1995. Earthquake source scaling relationships from -1 to 5 M_L Using seismograms recorded at 2.5 km depth[J]. J Geophys Res, 100(B12): 24-24.
- Aki K. 1967. Scaling law of seismic spectrum[J]. J Geophys Res, 72(4): 1217-1231.
- Atkinson G M. 1992. The shape of ground motion attenuation curves in southeastern Canada[J]. Bulletin of the Seismological Society of A-

- merica, 82(5):2014–2031.
- Brune J N. 1970. Tectonic stress and the spectra of seismic waves from earthquakes[J]. J Geophys Res, 75(26):4997–5009.
- Choy G L, Boatwright J L. 1995. Global patterns of radiated seismic energy and apparent stress[J]. J Geophys Res, 100(B9):18205–18228.
- Izutani Y, Kanamori H. 2001. Scale – dependence of seismic energy – to – moment ratio for strike – slip earthquakes in Japan[J]. Geophys Res Lett, 28(20):4007–4010.
- Mayeda K, Gök R, Walter W R, *et al.* 2005. Evidence for non – constant energy/moment scaling from coda – derived source spectra[J]. Geophys Res Lett, 32(10):153–174.
- Mayeda K, Walter W R. 1996. Moment, energy, stress drop, and source spectra of western United State earthquakes from regional coda envelopes[J]. J Geophys Res, 101(B5):11195–11208.
- Mouslopoulou V, Nicol A, Little T A, *et al.* 2007. Displacement transfer between intersecting regional strike – slip and extensional fault systems[J]. Journal of Structural Geology, 29(1):100–116.
- Takahashi T. 2005. Scale dependence of apparent stress for earthquakes along the subducting Pacific plate in the northeastern Honshu, Japan[J]. Bull Seism Soc Am, 95(4):1334–1345.
- Tapponnier P, Peltzer G, Le Dain A Y, *et al.* 1982. Propagating extrusion tectonics in Asia: New insights from simple experiments with plasticine[J]. Geology, 10(10):611.
- Wang E. 1998. Late Cenozoic Xianshuihe/Xiaojiang and Red River fault systems of southwestern Sichuan and central Yunnan, China[J]. Special Paper of the Geological Society of America, 327:1–108.
- Wu Z L. 2001. Scaling of apparent stress from broadband radiated energy catalogue and seismic moment catalogue and its focal mechanism dependence[J]. Earth Planets Space, 53(10):943–948.
- Wyss M, Brune J N. 1968. Seismic moment, stress, and source dimensions for earthquakes in the California – Nevada region[J]. Journal of Geophysical Research, 73(14):4681–4694.

Temporal and Spatial Characteristics of Apparent Stress before Yunnan Tonghai $M_s5.0$ Earthquake in 2018

PENG Guanling, ZHAO Xiaoyan, LIU Zifeng, KONG Deyu
(Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract

Based on data of the Yunnan Digital Seismic Network, we calculated the focal parameters of $3.0 \leq M_L < 5.0$ earthquakes within a 100 km radius of the epicenter from Jan. 1, 2008 to Aug. 13, 2018, and obtained several scaling law among the parameters. In order to deduct the effect of magnitude on apparent stress, we obtain the image of temporal process and spatial distribution by using the normalized apparent stress. The results show that the Pearson correlation coefficients between apparent stress and magnitude and seismic moment are 0.63 and 0.37, respectively, which may indicate that the correlation between apparent stress and seismic moment is not significant, and the characteristics of apparent stress scale rate conform to regional tectonic characteristics. During the 15.6 months before the Tonghai $M_s5.0$ earthquake on Aug. 13, 2018, both of the apparent stress and normalized apparent stress appeared high value anomalies. The high value anomaly area appeared 46 km away from the epicenter, which indicated that the high apparent stress value in this area showed certain indication significance for the occurrence of $M \geq 5.0$ earthquakes.

Keywords: Tonghai $M_s5.0$ earthquake; apparent stress; earthquake risk; focal parameters