

江苏及邻近地区地震视应力特征研究^{*}

孙业君^{1,2}, 刘红桂¹, 江昊琳¹, 詹小艳¹, 居海华¹, 杨云¹

(1. 江苏省地震局, 江苏 南京 210014; 2. 东南大学 软件学院, 江苏 南京 211100)

摘要: 采用江苏省数字地震台网记录的地震波形资料, 利用震源位移谱低频水平与拐角频率计算了 2000 ~ 2010 年江苏及邻近地区 561 个 $M_L \geq 1.5$ 中小地震视应力值。结果显示, 江苏及邻近地区的地震视应力平均值为 0.91 MPa, 与中国大陆的平均水平相当。视应力与震级无明显的线性关系, 在震级相对较大时表现出一定的高震级对应高视应力的特点。视应力高值地区主要集中在江苏中部至南黄海海域, 次高值集中分布在郯庐断裂带中南段的苏鲁交界地区、安徽段固镇至定远附近地区和肥东、巢湖一带, 反映了以上地区较高的地震活动水平及地壳应力状态。不同区域 $M_L 2$ 震级档视应力的差异性基本反映了区域地质环境、构造活动等特征的差异。

关键词: 视应力; 震源位移谱; 低频水平; 拐角频率; 江苏及邻近地区

中图分类号: P315.727

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2015)01-0035-07

0 前言

利用地震资料来研究地壳的应力状态, 已越来越引起地震学家们的兴趣。然而, 在弹性力学框架下, 由地震资料得到应力的值, 原则上是不可能的。但是, 在一些合理假设的前提下, 由地震资料可以得到关于应力大小的某种有物理意义的估计, 其中一个常用的估计是视应力 (Wyss, Brunne, 1968; Wyss, 1970a, 1970b)。视应力与引起地震滑动的平均应力水平之间可以通过地震波辐射效率联系在一起, 这一概念近年来已得到越来越多的野外实验和观测结果的证实 (McGarr, 1999)。Choy 和 Boatwright (1995) 根据美国国家地震信息中心 (NEIC) 的宽频带辐射能量和哈佛矩心矩张量 (CMT) 测定结果, 讨论了全球地震视应力的分布, 得到全球地震视应力的平均值为 0.5 MPa。吴忠良等 (2002) 采用 NEIC 的宽频带辐射能量和 CMT 的测定结果计算了中国大陆地震的视应力分布, 发现中国大陆地震的视应力略高于全球平均水平, 其中青藏高原东缘的视应力比其邻近地区高一倍以上。Newman 和 Okal (1998) 研究发现可以将视应力作为海啸地震的一个判据。

地震视应力的计算关键为地震辐射能量与地震矩的计算。秦嘉政和钱晓东 (2006) 利用地面运动峰值速度与地震波能量之间的经验关系式计算了云南地区 2002 年 6 月至 2003 年 7 月的中小地震视应力值。黄福明和易志刚 (2000) 利用地震能量、地震矩与震级的经验关系式计算了中国 $M \geq 4.5$ 地震的视应变值。这两种方法均是建立在经验公式的基础上, 其结果可能存在一定的偏差。

本文利用 2000 年以来江苏数字地震台网记录到的近震波形资料, 采用刘红桂等 (2006, 2007) 提出的中小地震视应力的数学公式计算了江苏及邻近地区中小地震的视应力值, 讨论了视应力与震级之间的关系, 进而分析研究区域内视应力空间分布特征。

1 计算方法

地震视应力的定义为 (Wyss, Brunne, 1968; Wyss, 1970a, 1970b)

$$\sigma_{app} = \eta \langle \sigma \rangle = \mu \frac{E_s}{M_0} \quad (1)$$

式中, σ_{app} 为视应力, η 为地震效率, $\langle \sigma \rangle$ 为平均

^{*} 收稿日期: 2014-01-05.

基金项目: 中国地震局地震科技星火计划项目 (XH15020Y)、江苏省社会发展科技计划项目 (BS2005069)、江苏省科技支撑-社会发展项目 (BE2011814)、中国地震局震情跟踪青年课题项目 (2014020122) 和江苏省地震局青年基金重点项目 (201402) 联合资助。

应力, μ 为震源区介质剪切模量, E_s 是地震辐射能量, M_0 为地震矩。

Eric 和 Chael (1987) 的研究表明, 中小地震的震源位移谱很好地符合 Brune (1970) 的 ω^2 模型, 而与 ω^3 模型偏差很大。根据 ω^2 模型, 地震事件的震源位移振幅谱可由震源谱的低频水平 Ω_0 和拐角频率 f_c 表示为

$$S(f) = \frac{\Omega_0}{1 + (f/f_c)^2}. \quad (2)$$

因此, 中小地震的视应力值可以通过其震源位移谱低频水平 Ω_0 与拐角频率 f_c 来计算, 具体的表达式为 (刘红桂等, 2006, 2007)

$$\sigma_a = \frac{2\mu R_{\theta\phi} \Omega_0 (\pi f_c)^3}{\beta^2}. \quad (3)$$

式中, σ_a 为地震视应力; β 为 S 波速度, 根据江苏省地震局 (1987) 的地球物理研究结果, 本文计算时取地壳 S 波平均速度 $\beta = 3.5 \times 10^3$ m/s; μ 为震源区介质剪切模量, 实际计算时取 $\mu = 3.0 \times 10^{10}$ Pa (Choy, Boatwright, 1995); $R_{\theta\phi}$ 为 S 波的辐射图型因子, 实际计算时取 $R_{\theta\phi} = \sqrt{2/5}$ (Andrews, 1986)。

为了得到各次地震的视应力, 整个计算过程分为三步 (刘红桂等, 2006、2007):

第一步, 采用成熟的方法 (刘红桂等, 2004; 刘杰等, 2003) 计算研究地区的介质衰减特征及台站的场地响应, 具体结果见杨云 (2007)。介质几何扩散特征 (R_{01} 、 R_{02}) 及非弹性衰减特征表达式为

$$\begin{cases} R_{01} = 44.9 \text{ km} & R_{02} = 75.9 \text{ km}, \\ Q(f) = 208.9 f^{0.623}. \end{cases} \quad (4)$$

第二步, 利用第一步得到的结果对每一条地震波形记录进行校正, 得到各记录的校正位移谱, 并利用遗传算法反演 ω^2 模型中的震源位移谱低频水平 Ω_0 与拐角频率 f_c 。

第三步根据式 (3) 计算各次地震的视应力值。

2 资料选取及处理

本文的研究范围为 ($31^\circ \sim 35^\circ \text{N}$, $117^\circ \sim 122^\circ$

E)。选取了 2000 ~ 2010 年江苏省数字地震台网记录到的发生在江苏及邻区的 $M_L \geq 1.5$ 中小地震, 这些地震的波形数据采样时间为 0.02 s。台站位置与各地震的震中分布见图 1。

选取地震波形资料的原则是: (1) 每一个地震至少有如图 1 所示的 3 个以上台站的波形记录, (2) 每条地震波形记录的信噪比不小于 2。

计算中使用的数据是每条波形记录中的 S 波数据。S 波数据截取方法 (Atkinson, Mereu, 1992): 为了保证所选取的资料包含剪切波所有重要的震相信息, 对于每一条速度记录, 选取资料时均以可辨识的首个 S 波到时为起点, 所取资料窗长应包括整个 S 波能量的 90%。为了获得稳定可靠的傅里叶谱估计, 计算时采用延迟窗技术 (Eric, Chael, 1987), 把整个资料窗分成若干个小段, 每一小段数据为 256 个点, 并以 128 个点为滑动窗长, 在每段数据的两端加入 5% 边辨的汉宁窗, 然后进行快速傅里叶变换。为了剔除噪声的影响, 取 P 波到时的 256 个数据点作为背景噪声信息, 同样在两端加入 5% 边辨的汉宁窗, 并进行快速傅里叶变换, 在频域中由信号谱减去噪声谱从而得到 S 波的谱信息。

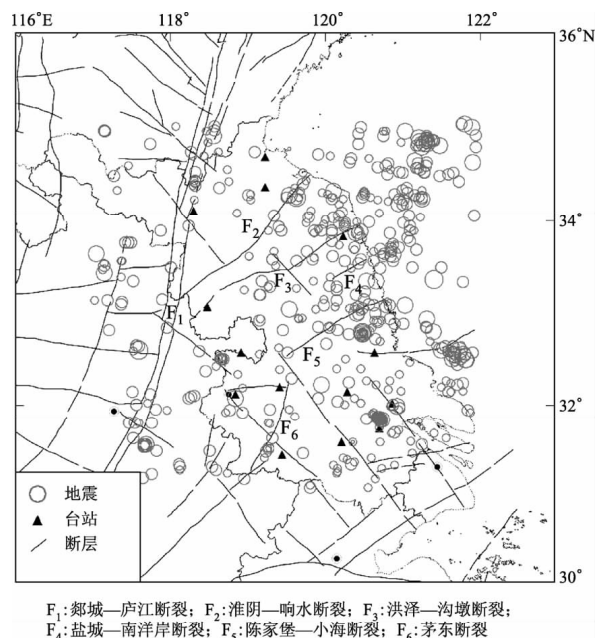


图 1 江苏及邻区地震震中、台站位置分布及地质构造示意图

Fig. 1 Schematic diagram of geologic structure and the distribution of earthquake epicenter and the location of seismic stations in Jiangsu and its adjacent areas

3 计算结果及分析

本文中所有物理量的单位均转换成了 SI 单位制, 最终计算得到江苏及邻近地区 561 个中小地震视应力值, 视应力值主要集中在 $0.01 \sim 10$ MPa, 占 98% 以上, 最大为 15.07 MPa, 最小为 0.0003 MPa, 平均值为 0.91 MPa。由于计算方法中不能给出震源位移谱低频水平 Ω_0 与拐角频率 f_c 的估计偏差, 因此, 本文所给出的视应力值也无法给出偏差估计。

图 2 给出了江苏及邻近地区中小地震视应力值与其震级的对应情况。总体具有地震震级越大视应力值越大的趋势特点, 但两者线性关系不明显。值得注意的是绝大多数 $M_L \leq 2.0$ 地震视应力低于 0.05 MPa, 而 $M_L \geq 3.0$ 地震的视应力集中在 0.1 MPa 以上, $M_L \geq 4.0$ 地震的视应力值也较高, 都高于 3 MPa。

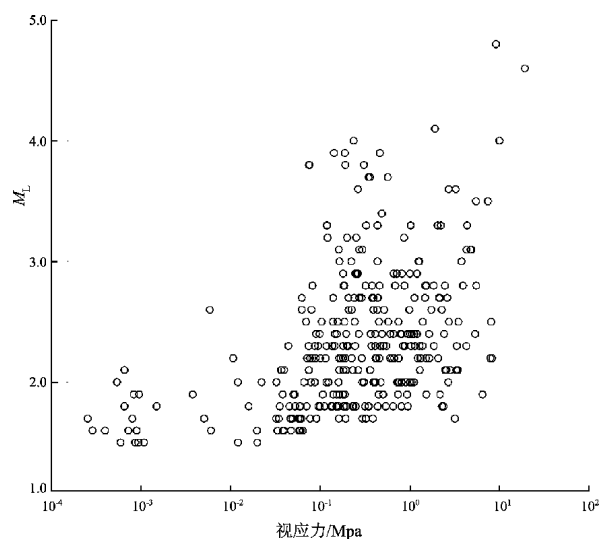


图 2 地震视应力及其震级关系

Fig. 2 Relation between the earthquake apparent stress and its M_L

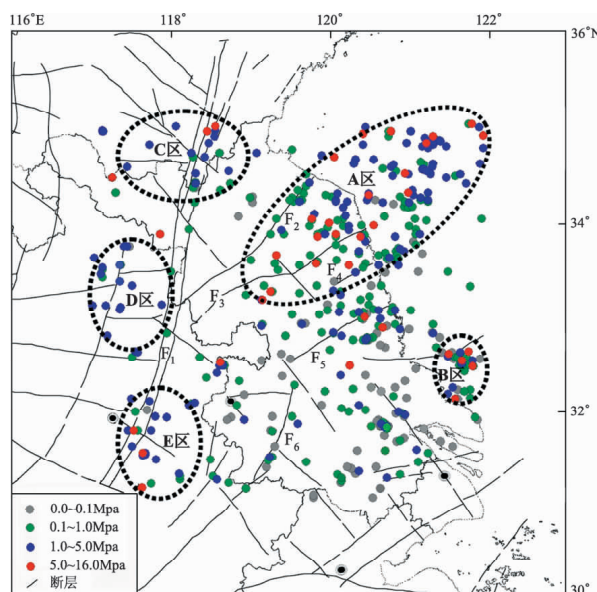
国内很多学者 (刘红桂等, 2006; 程万正等, 2006; 李芳等, 2006; 王琼等, 2005) 对中小地震视应力值与其震级之间的相关性已经开展相关研究。刘红桂等 (2006) 研究云南地区 4 个地震序列的视应力值过程中发现视应力与地震震级没有显著相关关系。程万正等 (2006) 研究结果表明四川地区地震视应力与震级 M_L 大体成正比, 地震视应力值与震级的分布, 鉴于数据分布较宽, 不

是一一对应关系。李芳等 (2006), 王琼等 (2005) 研究发现视应力与震级存在一定的相关性, 曲线表现为指数形态, 视应力与震级关系具有显著的分段性, 在一定震级区间内存在较好的线性相关, 而大于一定震级两者不存在线性相关。本文研究结果和以上学者的研究结果均显示, 实际计算得到的中小地震视应力与其震级之间的关系较为复杂, 不同地区、不同震级档表现出了不同的相关关系。

4 视应力空间分布特征

4.1 视应力总体空间分布特征

为了更直观体现视应力的真实性, 我们把视应力值分为 4 档: $0 \sim 0.1$ MPa、 $0.1 \sim 1.0$ MPa、 $1 \sim 5$ MPa 和 $5 \sim 10$ MPa。不同视应力值档用不同的颜色表示 (震级大小未表示出来), 这样可以更直观和客观表示视应力高低分布 (图 3)。从图 3 可以看出, 视应力 $5 \sim 10$ MPa 高值主要分布在苏中至南黄海海域 (A 区), 该区域内分布有多条北东东向断裂, 如淮阴—响水断裂, 洪泽—沟墩断裂, 盐城—南洋岸断裂, 陈家堡—小海断裂等。该区历史上多次发生过中强以上地震, 最大地震为



F₁: 郯城—庐江断裂; F₂: 淮阴—响水断裂; F₃: 洪泽—沟墩断裂; F₄: 盐城—南洋岸断裂; F₅: 陈家堡—小海断裂; F₆: 茅东断裂

图 3 江苏地区地震视应力空间分布图

Fig. 3 Spatial distribution of the earthquake apparent stress in Jiangsu area

1846 年的 7.0 级地震,该地区一直以来是江苏地区中等地震活动的主体地区。另外,5~10 MPa 视应力值在 1984 年 5 月 21 日黄海 6.2 级地震震中附近(B 区)也有集中分布,该地震是 1970 年以来华东地区中强震后余震序列最为发育的一次,目前中等地震仍时有发生。视应力值在 1~5 MPa 之间地震除了在苏中至南黄海海域有分布外,在苏鲁交界地区(C 区)、安徽固镇至定远附近地区(D 区)和肥东、巢湖一带(E 区)均有较为集中分布。其中 2005 年 6 月 10 日郯城 $M_L4.3$ 地震和 2006 年 7 月 26 日定远 $M_L4.7$ 地震视应力值达到了 10 MPa 左右。值得重视的是以上地区均位于郯庐断裂带中南段附近地区。

以上视应力较高值区域的表现有些不同,苏中至南黄海海域地震发生频次最高,各震级档均有分布,视应力分布情况也最为复杂;沿郯庐断裂带分布的几个高值区域除个别地震视应力较小外,多数分布在 1~5 MPa 之间。视应力高值区域反映了该地区地质构造的活跃程度,同时也反映了地震活动水平及其地壳应力状态。

4.2 M_L2 震级档视应力特征

为了尽量避免地震震级的影响,重点分析研究区域内占据主体的 $M_L2.0 \sim 2.9$ 视应力结果,这样可以更直观的显示不同地区地震视应力差异,以此分析地震积累应力的不同。 $M_L2.0 \sim 2.9$ 地震共 279 次,空间分布较为分散,其中以苏中沿岸至黄海海域最为集中。地震的视应力值分布在 0.03~7.9 MPa 之间,其中 0.03~0.9 MPa, 1.0~3.9 MPa,

4.0~7.9 MPa 分别为 145 次、103 次和 31 次,可以看出, M_L2 震级档地震视应力值大于 1 MPa 和小于 1 MPa 的地震数量基本相当。图 4 给出了视应力值大于 2 MPa 的等值线区域,可以看出,高视应力值主要分布在郯庐断裂带安徽段南段、郯庐断裂带江苏段及以西地区和黄海南部至长江口附近地区。另外,苏中沿岸至南黄海海域也有小片高视应力值分布。笔者结合地质构造、地震活动等情况对 M_L2 震级档地震视应力空间分布特征予以初步解释:

(1) 郯庐断裂带安徽段地震整体活动水平基本相当,但南段地震的视应力值明显高于北段,显示出南段地壳应力水平高于北段,2009 年 4 月 6 日肥东 $M_L4.1$ 地震的发生也表明了该地区应力水平较高。该区域处于大别碰撞带、下扬子块体和华北块体交汇部位,区域受力状态较为复杂,历史上发生过 1585 年 3 月 6 日巢县南 5.8 级和 1673 年 3 月 29 日合肥 5.0 级地震。郯庐断裂带在该段落走向从 NNE 向转为 NE 向,倾向由原来的 NW 向转为 SE 向,断面近直立,并显示早期压扭性为主,后期张扭性为主(万桂梅等, 2009)。

(2) 郯庐断裂带江苏段及以西地区地震频次较低,但在 M_L2 震级档的视应力值最高,反映了该区域积累的应力水平较高。该区域历史地震和现代小震活动水平均较低,李家灵和晁洪太(1994)认为该段地震活动较弱的原因是断层可能处于活动闭锁状态。龚伟等(2010)根据 GPS 观测资料分析认为郯庐断裂带的整体活动性质在江苏段发生转变,江苏段整体表现为拉张性质,是北部左旋压扭运动向南部右旋拉张运动的过渡区,在整个郯庐断裂带中,该段属于复杂过渡区。

(3) 黄海南部至长江口附近地区位于扬子断块南端,南邻华南断褶系,处于勿南沙隆起地区,分布有栟茶河断裂、南通—嘉定断裂等。视应力高值区域主要覆盖了 1984 年 5 月 21 日黄海 6.2 级地震区,2010 年 7 月 9 日、19 日黄海 $M_L4.2$ 及 $M_L4.6$ 地震的发生也反映了老震区应力水平仍处于较高水平。

(4) 另外值得关注的是苏中至黄海海域,该区域位于苏北—南黄海盆地内,地质构造复杂,有北东向的淮阴—响水断裂、洪泽—沟墩断裂、盐城—南洋岸断裂等。从图 3 中可以看出,该区域现代小震活动水平较高,各震级档均有分布,是

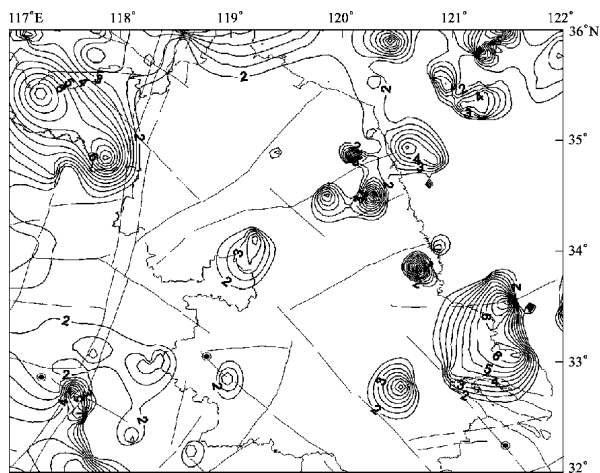


图 4 江苏地区 M_L2 震级档地震视应力空间分布图

Fig. 4 Spatial distribution of apparent stress of $M_L2 \sim 2.9$ earthquakes in Jiangsu area

视应力高值区域之一。但 $M_L 2$ 震级档的视应力值处于中等水平,仅有个别地震视应力值超过 4 MPa,表明该区域应力积累水平不高。孙业君等(2014)研究表明该地区尾波 Q 值较低,反映了该区域介质的非均匀程度相对较高,介质相对破碎,不利于积累能量。

5 结论与讨论

本文利用 2000 ~ 2010 年江苏数字地震台网记录到的近震波形资料,采用刘红桂等(2006, 2007)提出的计算中小地震视应力的数学公式计算了江苏及邻近地区中小地震的视应力值,分析了视应力与震级之间的关系,并讨论了研究区域内视应力空间分布特征。初步结论如下:(1)江苏及邻区平均视应力为 0.91 MPa,与吴忠良等(2002)研究所得的中国大陆平均视应力水平为 0.8 MPa 基本相当。视应力与震级不存在明显的线性关系,但在震级相对较大时表现出一定的高震级对应高视应力的特点。(2)视应力高值地区主要集中在分布在苏中至南黄海海域,次高值集中分布在郯庐断裂带中南段的苏鲁交界地区、安徽固镇至定远附近地区和肥东、巢湖一带,基本反映了高视应力区域较高的地震活动水平及其地壳应力状态。(3) $M_L 2$ 震级档地震视应力空间结果显示,郯庐断裂带安徽段南段、江苏段及以西地区和黄海南部至长江口地区视应力高值特征明显。

国内学者(秦嘉政,钱晓东,2006;刘红桂等,2007;吴晶,顾瑾萍,2004)指出,高视应力异常和未来发生中强或大地震有对应关系。秦嘉政和钱晓东(2006)发现 2003 年大姚 $M_s 6.2$ 余震序列视应力值在 8 月 10 日左右出现了较高值,之后于 10 月 16 日再次发生 $M_s 6.1$ 地震,且较高视应力集中在主震附近。刘红桂等(2007)研究云南地区视应力后指出,超过 1 MPa 的地震视应力和后续中强地震有较好对应关系。吴晶和顾瑾萍(2004)计算了 2000 年 6 月 6 日甘肃景泰 $M_s 5.9$ 地震前后周围小地震视应力,结果显示震前视应力出现高值异常。若将相对高视应力分布区作为未来强震危险性的估计指标之一,则苏中至南黄海海域、郯庐断裂带中南段的苏鲁交界地区、安徽固镇至定远附近地区和肥东、巢湖一带存在发生中强震的可能。在这些相对高视应力分布区近

几年中小震活动的频度和强度均有所升高,中小地震的活动异常也是地震危险的佐证之一。

视应力是否随地震大小变化依然是学术界争议颇大的一个问题,一部分学者认为折合能量即地震辐射能量 E_s 和标量地震矩 M_0 的比是随地震大小系统地变化的(Abercrombie, 1995; Mayeda, Walter, 1996; Prejean, Ellsworth, 2001; Mori *et al.*, 2003),另一部分学者认为不会变化(Choy, Boatwright, 1995; Ide, Beroza, 2001; Ide *et al.*, 2003; Baltay *et al.*, 2010)。争议持续的一个主要因素是辐射能量和地震矩的精确获取很难,因为地震波受震源辐射花样、破裂方向,传播路径的衰减(范小平等,2009, 2011)、散射(范小平等,2009, 2013),场地效应等众多因素的影响。

本文在撰写过程中得到了江苏省地震局郑江蓉研究员,王俊工程师、四川省地震局阮祥、云南省地震局赵小艳工程师的帮助,地震波形资料由江苏数字地震台网提供,在此一并表示感谢!

参考文献:

- 程万正,陈学忠,乔慧珍. 2006. 四川地震辐射能量和视应力的研究[J]. 地球物理学进展, 21(3): 692 - 699.
- 范小平,李清河,杨从杰,等. 2011. 长白山天池火山区介质速度非均匀性谱结构[J]. 地球物理学报, 54(5): 1215 - 1221.
- 范小平,李清河,杨从杰. 2009. S 波包络时间差影响因素的数值分析[J]. 地震学报, 31(4): 367 - 376.
- 范小平,李清河,杨从杰. 2009. 长白山天池火山区介质非均匀性[J]. 地球物理学报, 52(10): 2580 - 2587.
- 范小平,杨从杰,李清河. 2013. 介质非均匀性参数对散射波包络的影响[J]. 地球物理学进展, 28(2): 687 - 694.
- 龚伟,曾佐勋,王杰,等. 2010. 郯庐断裂带江苏段第四纪活动性研究[J]. 地震研究, 33(1): 86 - 92.
- 黄福明,易志刚. 2000. 地震视应变场的演化与强震发生地区的关系[J]. 地震学报, 22(6): 577 - 587.
- 江苏省地震局. 1987. 江苏地震志[M]. 北京:地震出版社.
- 李芳,李宇彤,刘友富. 2006. 视应力方法在震群性质判定中的应用研究[J]. 地震, 6(4): 45 - 51.
- 李家灵,晁洪太. 1994. 郯庐活断层的分段及其大震危险性分析[J]. 地震地质, 16(2): 121 - 126.
- 刘红桂,刘杰,丁页岭,等. 2006. 地震视应力在云南地震序列中的前兆特征[J]. 地震学报, 28(5): 462 - 471.
- 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.
- 刘杰,郑斯华,黄玉龙. 2003. 利用遗传算法反演非弹性衰减系数、震源参数和场地响应[J]. 地震学报, 25(2): 211 - 218.

- 秦嘉政,钱晓东. 2006. 云南地区地震视应力的时间和空间分布研究[J]. 地震学报, 28(3): 221 – 229.
- 孙业君,黄耘,王斌,等. 2014. 江苏地区尾波 Q 值特征研究[J]. 地震, 34(1): 24 – 33.
- 万桂梅,汤良杰,金文正,等. 2009. 郯庐断裂带研究进展及存在问题探讨[J]. 地质论评, 55(2): 251 – 259.
- 王琮,陈学忠,王林瑛. 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.
- 吴晶,顾瑾萍. 2004. 甘肃景泰 $M_s 5.9$ 地震前后小地震视应力计算讨论[J]. 地震, 24(1): 170 – 174.
- 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.
- 杨云. 2007. 江苏地区介质衰减及台站场地响应特征研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学.
- Abercrombie R. . 1995. Earthquake Source Scaling Relationships from 1 to 5 M_L Using Seismograms Recorded at 2.5 km depth [J]. J. G. R. , 100(12): 24015 – 24036, doi: 10. 1029/95JB02397.
- Andrews D. J. . 1986. Objective Determination of Source Parameters and Similarity of Earthquakes of Different Size [J]. Geophysical Monographs, 37(6): 259 – 267.
- Atkinson G. M. , Mereu R. F. . 1992. The Shape of Ground Motion Attenuation Curves in Southeastern Canada [J]. Bull. Seism. Soc. Amer. , 82(5): 2014 – 2031.
- Baltay A. , Prieto G. , Beroza G. C. . 2010. Radiated Seismic Energy from Coda Measurements and No Scaling in Apparent Stress with Seismic Moment [J]. J. Geophys. Res. , 115 (B8), doi: 10. 1029/2009JB006736.
- Brune J. N. . 1970. Tectonic Stress and the Spectra of Seismic Shear Waves from Earthquake [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.
- Eric P. , Chael E. P. . 1987. Spectral Scaling of Earthquakes in the Miramichi Region of New Brunswick [J]. Bull. Seism. Soc. Amer. , 77(2): 347 – 365.
- Ide S. , Beroza G. C. , Prejean S. G. . 2003. Apparent Break in Earthquake Scaling due to Path and Site Effects on Deep Borehole Recordings [J]. J. Geophys. Res. , 108(B5), doi: 10. 1029/2001JB001617.
- Ide S. , Beroza G. C. . 2001. Does Apparent Stress Vary with Earthquake Size [J]. Geophys. Res. Lett. , 28 (17): 3349 – 3352, doi: 10. 1029/2001GL013106.
- Mayeda K. , Walter W. R. , 1996. Moment, Energy, Stress drop, and Source Spectra of Western United States Earthquakes from Regional coda Envelopes [J]. J. Geophys. Res. , 101(B5): 11195 – 11208, doi: 10. 1029/96JB00112.
- McGarr A. . 1999. On Relating Apparent Stress to the Stress Causing Earthquake Fault Slip [J]. J. Geophys. Res. , 104 (B2): 3003 – 3011.
- Mori J. , Abercrombie R. E. , Kanamori H. . 2003. Stress Drops and Radiated Energies of Aftershocks of the 1994 Northridge, California Earthquake [J]. J. Geophys. Res. , 108 (B11): 2545, doi: 10. 1029/2001JB000474.
- Newman A. V. , Okal E. A. . 1998. Teleseismic Estimates of Radiated Seismic Energy: The E/Mo Discriminant for Tsunami Earthquakes [J]. J. Geophys. Res. , 103(B11): 26885 – 26898.
- Prejean S. , Ellsworth W. L. . 2001. Observations of Earthquake Source Parameters at 2 km depth in the Long Valley Caldera, Eastern California [J]. Bull. Seism. Soc. Am. , 91(2): 165 – 177.
- Wyss M. , Brunne J. N. . 1968. Seismic Moment, Stress, and Source Dimensions for Earthquakes in the California-Nevada Region [J]. J. Geophys. Res. , 73: 4681 – 4694.
- Wyss M. . 1970a. Stress Estimates for South American Shallow and Deep Earthquake [J]. J. Geophys. Res. , 75(8): 1529 – 1544.
- Wyss M. . 1970b. Apparent Stresses Estimates of Earthquakes on Ridges Compared to Apparent Stresses of Earthquakes in Trenches [J]. Geophys. J. R. astr. Soc. , 19(5): 479 – 484.

Research on the Characteristics of Earthquake Apparent Stress in Jiangsu and its Adjacent Area

SUN Ye-Jun^{1,2}, LIU Hong-gui¹, JIANG Hao-lin¹, ZHAN Xiao-yan¹, JU Hai-hua¹, YANG Yun¹

(1. *Earthquake Administration of Jiangsu Province, Nanjing 210014, Jiangsu, China*)

(2. *Software Institute of Southeast University, Nanjing 210014, Jiangsu, China*)

Abstract

Based on the earthquake data recorded by Jiangsu Digital Seismic Network, we calculate apparent stress value of 561 $M_L \geq 1.5$ medium and small earthquakes in Jiangsu and its adjacent area from 2000 to 2010 by using low frequency level of source displacement spectra and corner frequency. The results shows that the average value of apparent stress of the earthquake is 0.91 MPa in Jiangsu and its adjacent area, and which is the same as the average value in China mainland. There is not obvious linear relation between apparent stress and magnitude, however, it shows that the large magnitude corresponds to the high apparent stress when the magnitude is relative large. The high value area of apparent stress is mainly concentrated from central Jiangsu to the south Yellow Sea, and the sub-high value area of apparent stress is mainly distributed at the junction of Jiangsu and Shandong Provinces, the area around Guzhen-Dingyuan of Anhui segment and the area of Feidong and Chaohu in the south middle segment of Tanlu Fault zone, which reflects the earthquake activity and the crustal stress state is higher in these areas. The difference of apparent stress of $M_L 2 \sim 2.9$ earthquakes in different areas basically reflects the diversity of regional geological environment and tectonic activity etc. .

Key words: apparent stress; source displacement spectra; low frequency level; corner frequency; Jiangsu and its adjacent area