

孙业君、黄耘、江昊琳等, 2015, 茅山断裂带及邻区地震震源机制解计算及应力场反演, 中国地震, 31(4), 605~615。

· 研究论文 ·

茅山断裂带及邻区地震震源 机制解计算及应力场反演

孙业君 黄耘 江昊琳 詹小艳 叶碧文 丁烨

江苏省地震局, 南京市卫岗 3 号 210014

摘要 利用 2001 年 1 月~2014 年 4 月江苏及邻区数字地震波形资料, 采用 P 波、S 波初动和振幅比联合求解方法计算了茅山断裂带及邻区 149 次中小地震震源机制解。震源机制解特征分析表明, 研究区中小地震震源类型以走滑型为主, 兼有一定比例的正断层类型, 而逆冲型相对较少, P、T 轴优势方向分别为 NEE-SWW、NNW-SSE 向。利用 149 次地震的震源机制解, 采用自助线性应力反演 (LSIB) 方法反演了研究区应力张量。结果显示, 最大主应力 S_1 方位角为 254.2° , 俯角为 2.6° , 最小主应力 S_3 方位角为 163.9° , 俯角为 9.5° 。为了进一步印证所得应力张量的可靠性, 又利用 1970 年以来 $M_L \geq 3.5$ 地震震源机制解再次反演, 所得结果中最大主应力 S_1 方位角为 252.4° , 俯角为 8.4° , 最小主应力 S_3 方位角为 160.4° , 俯角为 12° 。2 份不同的震源机制解资料反演所得应力张量十分接近。应力张量结果表明, 茅山断裂带及邻区处于以 NEE-SWW 向水平压应力和 NNW-SSE 向水平张应力为主的现代构造应力场中。

关键词: 震源机制解 应力张量 茅山断裂带

[文章编号] 1001-4683(2015)04-0605-11 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

地震的孕育和发生除与深部介质结构有关(范小平等, 2009a、2009b、2011)外, 与区域作用力的方式、震源区内断面的几何学和力学性质等亦密切相关(徐锡伟等, 2002)。研究小震震源机制解有助于了解断层的构造特性及震源区的应力状态, 是理解中强震孕育过程的重要途径。

20 世纪 80 年代以来, 一些学者 (Kisslinger et al, 1981; Snoke et al, 1984; 梁尚鸿等, 1984) 提出了利用 P 波、S 波振幅比资料反演中小地震震源机制解的方法, 进一步发展了震源机制解的求解技术。Snoke 在 2002 年国际地震学和地球内部物理学协会 (International Association of Seismology and Physics of the Earth) 百年纪念时推出的利用 P 波、SV 波、SH 波

[收稿日期] 2014-10-27; [修定日期] 2015-02-27

[项目类别] 中国地震局地震科技星火计划项目 (XH15020Y)、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)、江苏省地震局青年基金重点项目 (201402) 联合资助

[作者简介] 孙业君, 男, 1979 年生, 高级工程师, 主要从事数字地震学与地震预测等研究工作。E-mail: syj_4116@126.com

的初动和振幅比联合计算震源机制解的程序,由于其广泛的实用性而受到了诸多学者的关注(于海英等,2003;刘杰等,2004;胡新亮等,2004;刘丽芳等,2009;屠泓为等,2012;孙长虹等,2012)。Snoko方法在P波初动方向数据基础上加入SH波、SV波初动方向和SV/P、SH/P或SV/SH振幅比数据后,能使震源机制解得到更有效的约束,提高了解的可信度(孙长虹等,2012)。该方法也成为目前较为常用的中小地震震源机制求解方法。

单次地震震源机制解中的P、T、B轴方向只与该地震的释放应力有关系,而不能表征实际的构造应力方向(许忠淮,1985),而多个地震的P、T、B轴方向却可反映某区域构造应力场的平均最大、中等和最小主压应力方向。国内外学者已经提出了多种经典的利用震源机制解资料反演应力场方法(Angelier,1979;Ellsworth et al, 1980;Michael,1984、1987a、1987b;Gephart et al, 1984;Gephart,1990;许忠淮,1985;杜兴信等,1999;崔效锋等,2006;钟继茂等,2006),这些方法的共同之处是以多个断层面作为反演资料,因而能剔除局部介质的不均匀性,突出区域应力场信息,较单个地震更能代表应力分析结果。

本文利用2001年1月~2014年4月江苏及邻近省市数字地震台网的地震波形资料,采用P波、S波初动和振幅比联合求解的方法(Snoko et al, 1984;Snoko,1989)计算了茅山断裂带及附近地区中小地震的震源机制解,并利用震源机制解资料,采用自助线性应力反演(Linear Stress Inversion with Bootstrapping)方法(Michael,1984、1987a、1987b、1991;Michael et al, 1990)反演了研究区应力张量。

1 构造背景

研究区位于中国东部地区,主要受太平洋板块向欧亚板块俯冲而形成的方位为 70° 的挤压

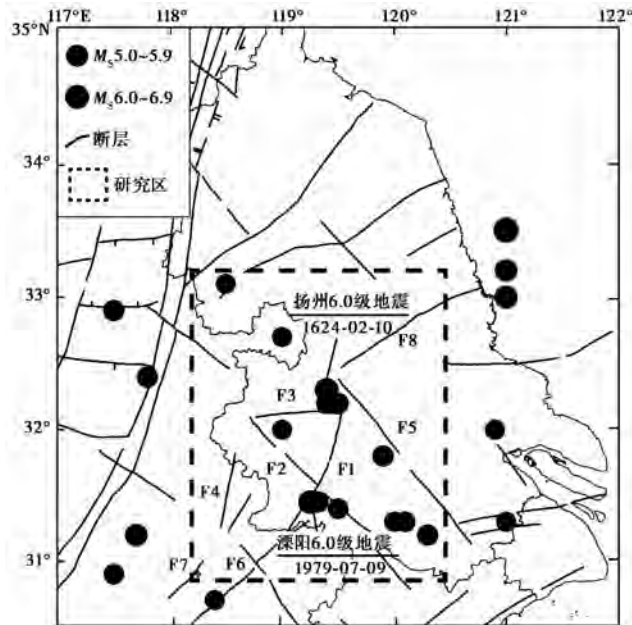


图1 研究区及外围历史地震及断裂分布

F1 茅东断裂;F2 板桥-南渡断裂;F3 焦山-幕府山断裂;F4 马鞍山-芜湖断裂;
F5 无锡-宿迁断裂;F6 江南断裂;F7 小丹阳-南陵断裂;F8 陈家堡-小海断裂

应力以及从贝加尔经大华北直到琉球海沟的大范围的方位为 170° 的引张应力场的共同控制, 地震发生类型多为右旋走滑型或右旋走滑正断层型地震(徐纪人等, 2006a、2006b、2007)。

茅山断裂带及附近地区位于苏南隆起的北部(图 1), 区内构造复杂, 发育数条切割深度达下地壳的大断裂, 且沿断裂发育了多个古近纪盆地。其中茅山断裂带是该区域最为大型的断裂, 对该地区构造活动有控制作用。该断裂带北起金坛市石门塘, 向 SSW 经金坛致和、陶家洼, 溧阳竹箐煤矿、曹山林场、芳山林场、溧水陆家、高淳种桃山、茨山头, 继而进入安徽郑村和宣城的敬亭山东麓。该断裂是由一系列相互平行且呈阶梯状错落的断层组成, 其长度约 134km, 总体走向 NNE, 倾向 SE, 倾角 $35^\circ \sim 85^\circ$, 局部向 NW 陡倾。地震地质、测量及物探资料均显示茅山东缘断裂属第四纪晚更新世活动断裂。断裂对中、新生代地层和构造的形成和发展具明显的控制作用, 在地貌上构成了不同地貌单元的分界线, 为丘陵山区与平原区的分界断裂。断裂带东西两侧为句容盆地和直溪桥盆地, 且被 NW 走向的板桥-南渡断裂所切割(胡连英等, 1997)。另外, 研究区还包括 NW 走向的无锡-苏州断裂、NE 走向的陈家堡-小海断裂等。

江苏陆地有记载以来共发生 $M_s \geq 5.0$ 地震 19 次, 其中茅山断裂带及附近地区(图 1 中的虚线框内)共 12 次, 包括 2 次 6 级地震, 分别是 1624 年 2 月 10 日扬州 6.0 级、1979 年 7 月 9 日溧阳 6.0 级地震, 这 2 次 6.0 级地震是有记载以来江苏陆地所发生的最大地震, 可见, 茅山断裂带及其附近地区是江苏陆地中强地震最为活跃的区域。1970 年以来该区域共记录到 $M_L \geq 3.0$ 的中小地震 124 次, 中小地震的发生与局部构造关系明显。

2 方法及资料处理

2.1 震源机制计算方法

本文采用 focmec 程序(Snoke et al, 1984; Snoke, 1989), 使用 P 波、S 波的初动方向以及振幅比联合搜索震源机制解。在震源球极坐标系中, 双力偶震源辐射的远场地震波位移在观测点 $P(\gamma, \theta, \phi)$ 处的分量为(笠原庆一, 1984)

$$\begin{aligned} u_\gamma &= \frac{1}{4\pi\rho} \cdot \frac{1}{v_p^3} \cdot \frac{1}{\gamma} \dot{M} \left[t - \frac{\gamma}{v_p} \right] \sin^2\theta \cdot \sin 2\phi \\ u_\theta &= \frac{1}{4\pi\rho} \cdot \frac{1}{v_s^3} \cdot \frac{1}{\gamma} \dot{M} \left[t - \frac{\gamma}{v_s} \right] \sin\theta \cdot \cos\theta \cdot \sin 2\phi \\ u_\phi &= \frac{1}{4\pi\rho} \cdot \frac{1}{v_s^3} \cdot \frac{1}{\gamma} \dot{M} \left[t - \frac{\gamma}{v_s} \right] \sin\theta \cdot \cos 2\theta \end{aligned} \quad (1)$$

式中, ρ 为岩石密度; v_p 和 v_s 分别为 P 波、S 波传播速度; γ 为表达位移的点至震源的距离; t 为时间, $t=0$ 为力矩开始作用的时间(即断层开始错动的时间); \dot{M} 为双力偶中一个力偶强度随时间变化的微商; u_γ 为 P 波的表达式; u_θ 、 u_ϕ 分别为 SV、SH 波的表达式。

根据 P、S 波辐射花样的固有特征: 愈靠近节面, P 波的振幅越接近零, 初动方向愈难以辨认, 断层面和辅助面 45° 夹角处最大; S 波在节面附近能量最大, 振幅最大, 在断层面和辅助面 45° 夹角处最小(屠泓为等, 2006)。由此可看出, 震源球面上分布的初动方向数据只能显示该点应处在 P 波的正象限或负象限, 但不能提供节面与此观测点间的角距离的信息。震源球面上某点观测到的波的振幅大小含有节面距该点远近的信息, 因而振幅数据比初动

震源机制反演过程中,我们首先计算台站的方位角、离源角和出射角;其次根据地震与台站间的方位角,对水平记录的 2 个方向进行旋转,得到径向和切向分量;最后分别在垂直向、径向和切向上,读取 P 波、SV 波与 SH 波振幅,主要读取初动及初动后 1~2s 内的最大振幅。为了保证计算结果的稳定性及可靠性,尽量选取初动清晰的所有台站的 P、S 波初动资料,同时量取近台直达 P、S 波初动的振幅,尽可能从地震波形资料中获取更多的震源信息,以对震源机制解加以限制。实际计算过程中, $M_L 2.0$ 地震一般会用到 10 个 P 波初动、5 个 SH 初动和振幅、3 个 SV 波的初动和振幅数据。

Snook 方法虽然已经得到了众多研究者的认可(刘杰等,2004;屠泓为等,2006;孙长虹等,2012),但在实用中也存在一些困难,主要是直达 S 波的识别和结构影响的校正。这是因为对于近震而言,确定初至 S 波振幅常常比较困难,特别是当使用垂直向的 SV 波初动振幅时,测量更困难些。从实际操作来看,P 波、SH 波受自由表面反射影响较小,SV 波受影响较大(特别是在出射角大于全反射角时)。因此,在实际计算过程中设定矛盾数时,P 波、SH 波矛盾符号应尽可能小,而 SV 波的则应相对宽泛一些。另外,振幅比受介质影响程度比较大,因此从约束机制解上看,初动比振幅比的矛盾数要少。

3 震源机制结果及分析

通过以上计算方法,共得到研究区 2001~2014 年 149 次地震的震源机制解,其中 $M_L 2.0\sim 2.9$ 地震 129 次, $M_L 3.0\sim 3.9$ 地震 17 次, $M_L \geq 4.0$ 地震 3 次。震级最大的为 2012 年 7 月 20 日高邮-宝应 4.9 级地震。不同的地震破裂方式显示了不同的应力状态。根据破裂方式的不同,地震可以分为 NF 型(正断层型)、TF 型(逆冲断层型)和 SS 型(走滑断层型)等 3 个主要类型以及 NS 型(正断层为主兼走滑型)、TS 型(逆冲断层为主兼走滑型)等复合类型。本文根据 Zoback(1992)研究全球应力场的分类标准进行了震源机制解的分类,统计结果显示(表 1),149 次地震的震源机制中,NF 或 NS 型为 30 次,TF 或 TS 型为 18 次,SS 型为 101 次。可见,研究区域内主要以走滑型地震为主,正断层型也占一定比例,逆断层型相对较少。将分类结果绘于图 3 中,可以看出各类型的分布较为离散,未见集中分布。

表 1 震源机制解类型统计表

类型	个数	比例/%
NF 或 NS	30	20
TF 或 TS	18	12
SS 型	101	68
合计	149	100

基于所得震源机制解,给出了 P、T 轴参数玫瑰图(图 4)。由图 4 可见,震源机制 P 轴方位一致性较好,以 NEE-SWW 为优势方向,T 轴的优势方向则主要集中在 NNW-SSE 向。研究区呈现出 NEE-SWW 向主压、NNW-SSE 向主张的应力格局。

4 应力场特征分析

为了进一步分析研究区应力场特征,我们利用 149 次地震的震源机制解作为输入数据,采用自助线性应力反演(LSIB)方法(Michael,1984、1987a、1987b、1991;Michael et al,1990)反演了应力张量。自助线性应力反演(LSIB)方法不仅可以确定最佳应力张量,而且采用自助(bootstrap)方法通过重复采样模拟原始数据来估计最佳解的置信度,反演过程是在 2000

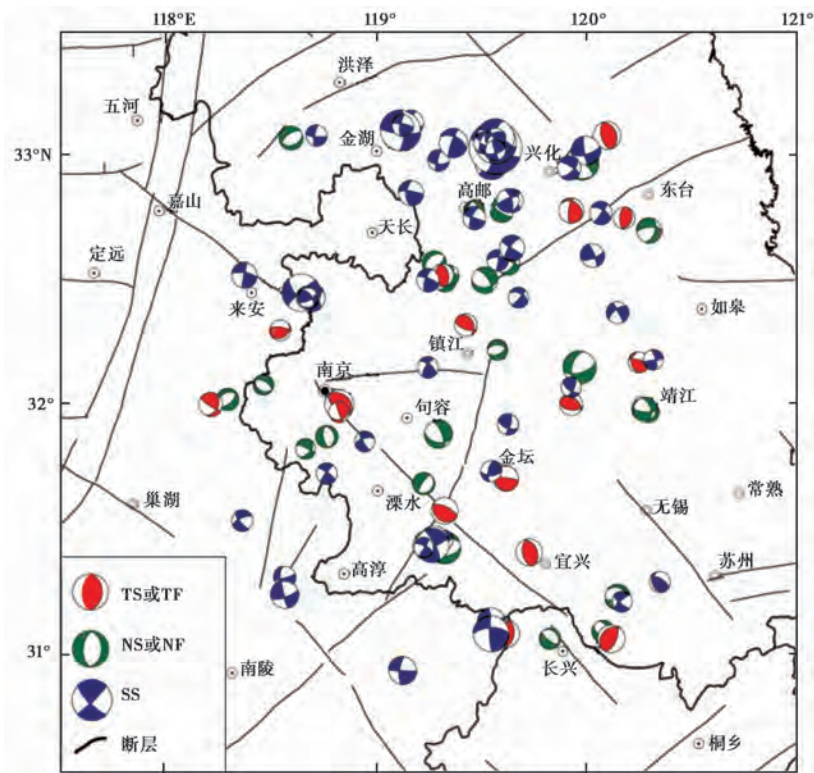


图3 茅山断裂带及附近地区地震震源机制解空间分布

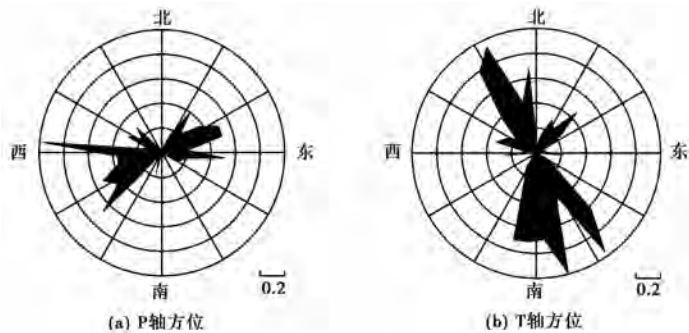


图4 震源机制解应力轴参数玫瑰图

次重复采样迭代条件下进行,置信度为 95%,结果如图 5(a)所示。结果显示,研究区最大主应力 S_1 方位角为 254.2° ,俯角为 2.6° ;最小主应力 S_3 方位角为 163.9° ,俯角为 9.5° ;中间主应力 S_2 方位角为 347.7° ,俯角为 80.4° 。

区域内较大地震更为明显地受控于区域应力场,较大地震震源机制从一定程度上反映了区域应力场特征。本文进一步收集整理了研究区 1970 年以来 22 次 $M_L \geq 3.5$ 地震震源机制解(图 6),这 22 次地震的时间跨度为 1972~2013 年,最大地震为 1979 年 7 月 9 日溧阳 6.0 级地震,其中还包括了 1974 年 4 月 22 日溧阳 5.5 级地震和 2012 年 7 月 20 日高邮-宝应

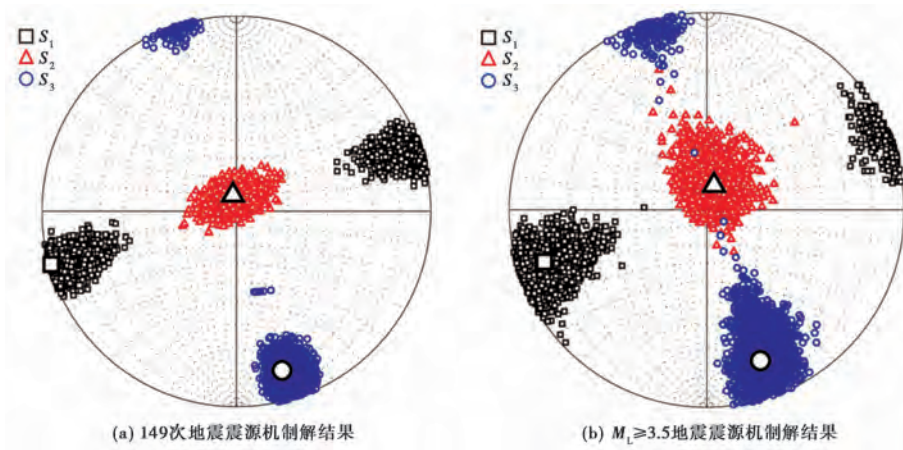
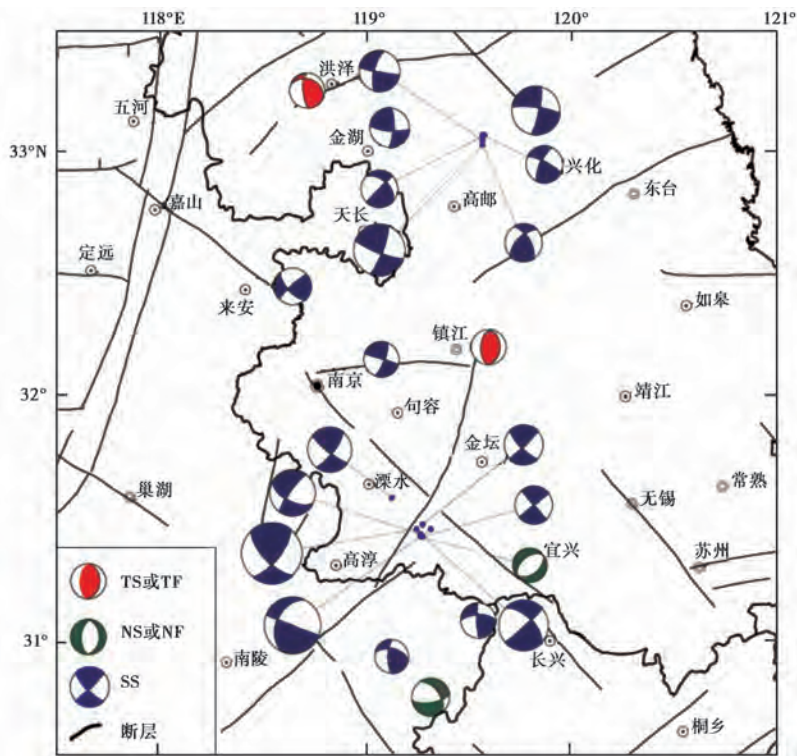


图5 茅山断裂带及附近地区应力张量



4.9级等地震。统计结果表明,22次地震的震源机制解中,SS型18次,TF或TS型2次,NF或NS型2次。利用22次 $M_L \geq 3.5$ 地震震源机制解,采用自助线性应力反演(LSIB)方法再次反演了研究区应力张量(图5(b))。结果显示,最大主应力 S_1 方位角为 252.4° ,俯角为 8.4° ;最小主应力 S_3 方位角为 160.4° ,俯角为 12° ;中间主应力 S_2 方位角为 16.4° ,俯角为 75.3° 。

表 2 应力张量结果

资料	σ_1		σ_2		σ_3	
	方位角/(°)	俯角/(°)	方位角/(°)	俯角/(°)	方位角/(°)	俯角/(°)
149 次地震震源机制解	254.2	2.6	347.7	80.4	163.9	9.5
22 次 $M_L \geq 3.5$ 地震震源机制解	252.4	8.4	16.4	75.3	160.4	12.0

比较 2 组不同震源机制解资料的反演结果可以看出(表 2),最大和最小主应力方位角分别相差 1.8° 、 3.5° ,最大和最小主应力俯角分别相差 5.8° 、 2.5° ,中等主应力方位角相差 28.7° ,而俯角相差 5.1° 。可见,2 组不同震源机制解资料得到的应力张量结果十分接近,这也在一定程度上印证了所得应力张量结果的可靠性。

由应力方向看,研究区最大主应力呈 NEE-SWW 向,而最小主应力呈 SSE-NNW 向。从应力结构看,研究区中间主应力俯角大,近直立,而最大、最小主应力俯角小,近水平。应力张量反演结果表明,茅山断裂带及附近地区处于 NEE-SWW 向水平压应力和 SSE-NNW 向水平张应力为主的现代构造应力场中。

张绍治等(1989)分析了 1973~1987 年苏、鲁、皖地区 43 个中小地震的震源机制解特征后发现,苏南地区最大主应力的优势方位为 NEE 向,最大与最小主应力轴的仰角一般小于 30° ,其中 P 轴平均值为 27.3° ,T 轴平均值为 20.4° ,中间主应力轴一般大于 50° 。徐鸣洁等(1996)利用 1980~1991 年江苏及邻区地震的 P 波初动计算了平均节面解,并发现应力场主压应力方向为 NEE-SWW 向,主张应力为 NNW-SSE 向;周翠英等(2005)利用 1970~2001 年华东地区 143 次地震的震源机制解资料统计分析了现代构造应力场特征后认为,华东地区现今处在 NEE 向(80° 左右)主压、NNW 向(350° 左右)主张应力场的控制下,主应力作用方式以水平和近水平为主。另外,汪素云等(1985)、许忠淮等(1989)、谢富仁等(2004、2011)、徐纪人等(2006a、2006b、2007)和 Wan(2010)等利用不同的资料对中国大陆应力场进行研究,所得结果不同程度上对本文研究区有所涉及,给出的应力场方向主要以 NE、NEE 和近 EW 向为主。

比较以往及本文的研究可以发现,前者使用的资料时间较早(多为数字化观测之前的资料),资料数量较少(位于本文研究区内地震的震源机制解数量不超过 10 个),研究范围较大,应力场特征也主要基于统计得出。而本文重点针对茅山断裂带及附近地区开展研究,在获得研究区多次震源机制解的基础上,系统地反演了应力张量,给出了应力轴的具体参数,这对我们进一步了解该区域作用力的方式,认识地震孕育和发生的过程提供了依据。

5 结论

本文利用江苏及邻区数字地震台网记录的地震波形资料,采用 P 波、S 波初动和振幅比联合求解的方法计算了茅山断裂带及邻区 2001 年 1 月~2014 年 4 月 149 次中小地震的震源机制解,分析了震源机制特征,并采用自助线性应力反演(LSIB)方法反演了研究区应力张量,得到了如下结论:

(1)茅山断裂带及邻区 149 次地震的震源机制中,NF 或 NS 型 30 次,TF 或 TS 型 18 次,SS 型为 101 次。研究区域内主要以走滑型错动为主,倾滑型错动比例较小。震源机制 P、T

轴方位一致性较好,分别呈 NEE-SWW、NNW-SSE 向。

(2)用 149 次地震的震源机制解反演所得的应力张量结果显示,研究区最大主应力 S_1 方位角为 254.2° ,俯角为 2.6° ;最小主应力 S_3 方位角为 163.9° ,俯角为 9.5° ;中间主应力 S_2 方位角为 347.7° ,俯角为 80.4° 。为了进一步印证所得应力张量的可靠性,又利用 1970 年以来 $M_L \geq 3.5$ 地震的震源机制解进行了反演,结果与利用 149 次中小地震的震源机制解所得结果十分接近。

(3)应力张量结果显示,茅山断裂带及附近地区处于以 NEE-SWW 向水平压应力和 SSE-NNW 向水平张应力为主的现代构造应力场中。

致谢:在本文成文过程中得到了刘红桂研究员,刘泽民、屠泓为副研究员,阮祥、赵小艳助理研究员的指导和帮助;数字地震波形由江苏及邻近省市数字地震台网提供,审稿人提出诸多建设性的修改意见,在此一并表示感谢!

参考文献

- 崔效锋、谢富仁,2006,川滇地区现代构造应力场分区及动力学意义,地震学报,28(5),451~461。
- 杜兴信、邵辉成,1999,由震源机制解反演中国大陆现代构造应力场,地震学报,21(4),354~360。
- 范小平、李清河、杨从杰,2009a,S 波包络时间差影响因素的数值分析,地震学报,31(4),367~376。
- 范小平、李清河、杨从杰,2009b,长白山天池火山区介质非均匀性,地球物理学报,52(10),2580~2587。
- 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,地球物理学报,54(5),1215~1221。
- 胡连英、徐学思、孙寿成等,1997,溧阳地震与茅东断裂带,北京:地震出版社。
- 胡新亮、刁桂苓、马瑾等,2004,利用数字地震记录的 P、S 振幅比资料测定小震震源机制解的可靠性分析,地震地质,26(2),347~354。
- 黄耘、李清河、张元生等,2011,郯庐断裂带鲁苏皖段及邻区地壳速度结构,地球物理学报,54(10),2549~2559。
- 笠原庆一,1984,地震力学,北京:地震出版社。
- 梁尚鸿、李幼铭、束沛镒等,1984,利用区域地震台网 P、S 振幅比资料测定小震震源参数,地球物理学报,27(3),249~256。
- 刘杰、郑斯华、康英等,2004,利用 P 波和 S 波的初动和振幅比计算中小地震的震源机制解,地震,24(1),19~26。
- 刘丽芳、毛慧玲、苏有锦等,2009,利用 P 波、S 波初动和振幅比计算 2000 年姚安 $M_s 6.5$ 地震序列震源机制解,地震研究,32(1),26~30。
- 倪红玉、刘泽民、沈小七等,2011,利用 FOCMEC 方法计算震源机制解的影响因素分析——以九江-瑞昌 $M_s 5.7$ 地震为例,华北地震科学,29(3),1~7。
- 孙长虹、许丰、杨玉波等,2012,2003 年青海德令哈 6.7 级地震序列的震源机制解及其构造含义,地球物理学报,55(10),3338~3346。
- 屠泓为、王海涛、赵翠萍,2006,用 P 波 S 波初动和振幅比计算新疆伽师 2 次强地震震源机制解,内陆地震,20(2),131~138。
- 屠泓为、赵燕杰、文勇等,2012,地震的震源机制解的计算和分析,地球物理学进展,27(1),68~74。
- 汪素云、许忠淮,1985,中国东部大陆的地震构造应力场,地震学报,7(1),17~32。
- 谢富仁、崔效锋、赵建涛等,2004,中国大陆及邻区现代构造应力场分区,地球物理学报,47(4),654~662。
- 谢富仁、张红艳、崔效锋等,2011,中国大陆构造应力场与强震活动,国际地震动态,(1),4~12。
- 徐纪人、赵志新,2006a,苏鲁-大别造山带及其周围现代地壳应力场与构造运动区域特征,地质学报,80(12),1952~1961。
- 徐纪人、赵志新,2006b,中国岩石圈应力场与构造运动区域特征,中国地质,33(4),782~792。
- 徐纪人、赵志新,2007,苏鲁-大别造山带岩石圈应力场、构造运动特征以及超高压变质带折返机制的研究,岩石学报,23(12),3317~3324。
- 徐鸣洁、姜永基、周翠英,1996,江苏及邻区现代应力场空间分布特征分析,中国地震,12(4),383~388。

- 徐锡伟、吴为民、张先康等,2002,首都圈地区地壳最新构造变动与地震,北京:科学出版社。
- 许忠淮,1985,用滑动方向拟合法反演唐山余震区的平均应力场,地震学报,7(4),349~361。
- 许忠淮、汪素云、黄雨蕊等,1989,由大量的地震资料推断的中国大陆构造应力场,地球物理学报,32(6),636~647。
- 于海英、朱元清、郭育,2003,使用 SV/P、SH/P 和 SV/SH 振幅比确定震源机制解,地震研究,26(4),355~360。
- 张绍治、吴少武,1989,江苏地区现代构造应力场特征,江苏地质,2,3~9。
- 钟继茂、程万正,2006,由多个地震震源机制解求川滇地区平均应力场方向,地震学报,28(4),337~346。
- 周翠英、王铮铮、蒋海昆等,2005,华东地区现代地壳应力场及地震断层错动性质,地震地质,27(2),273~288。
- Angelier J,1979,Determination of the mean principal direction of stresses for a given fault population,Tectonophysics,56(4),17~26.
- Ellsworth W L, Xu Z H,1980, Determination of the stress tensor from focal mechanism data, Eos, Transactions American Geophysical Union,61(46),1117.
- Gephart J W,1990,FMSI: A Fortran program for inverting fault/slip and earthquake focal mechanism data to obtain the regional stress tensor, Computer & Geosciences,16(7),953~989.
- Gephart J W, Forsyth D W,1984, An improved method for determining the regional stress tensor using focal mechanism data: Application to the San Fernando earthquake sequence, Journal of Geophysical Research,89(B11),9305~9320.
- Kisslinger C, Bowman J R, Koch K,1981, Procedures for computing focal mechanisms from local (SV/P) z data, Bulletin of the Seismological Society of America,71(6),1719~1730.
- Michael A J,1984, Determination of stress from slip data: Faults and folds, Journal of Geophysical Research,89,11517~11526.
- Michael A J,1987a, Stress rotation during the Coalinga aftershock sequence, Journal of Geophysical Research,92,7963~7979.
- Michael A J,1987b, Use of focal mechanisms to determine stress: A control study, Journal of Geophysical Research,92,357~368.
- Michael A J,1991, Spatial variations of stress within the 1987 Whittier Narrows, California, aftershock sequence: new techniques and results, Journal of Geophysical Research,96,6303~6319.
- Michael A J, Ellsworth W L, Oppenheimer D,1990, Coseismic stress changes induced by the 1989 Loma Prieta, California earthquake, Geophysical Research Letters,17,1441~1444.
- Snoke J A,1989, Earthquake mechanism // James D E, Encyclopedia of Geophysics, 239~245, New York: Van Nostrand Reinhold Company.
- Snoke J A, Munsey J W, Teague A G, et al,1984, A program for focal mechanism determination by combined use of polarity and SV-P amplitude ratio data, Earthquake Notes,55(3),15~20.
- Wan Y G,2010, Contemporary tectonic stress field in China, Earthquake Science,23(4),377~386.
- Zoback M L,1992, First- and second-order patterns of stress in the lithosphere: the world stress map project, Journal of Geophysical Research,97(B8),11703~11728.

The calculation of the focal mechanism and the stress field inversion in the Maoshan fault zone and its adjacent area

Sun Yejun Huang Yun Jiang Haolin Zhan Xiaoyan Ye Biwen Ding Ye

Earthquake Administration of Jiangsu Province, Nanjing 210014, China

Abstract Using the digital earthquake data in Jiangsu Province and its adjacent area from January 2001 to April 2014, the paper studies the focal mechanism of 149 small and moderate earthquake cases in the Maoshan fault zone and its adjacent area with the combination of motion with amplitude ratio of P-wave and S-wave. The analysis of the characteristics of the focal mechanism solution shows that the type of the small and moderate earthquake in the study area is dominated by the strike-slip type with some normal fault type. The thrust earthquake is comparatively rare. The predominant orientation of P and T axes is NEE-SWW and NNW-SSE direction respectively. With the LSIB method, the stress tensor in the study area is inverted with the focal mechanism of 149 earthquake cases. The results indicate that the maximum principal compressive stress orientation angle S_1 is 254.2° , the angle of depression is 2.6° . The minimum principal compressive stress orientation angle S_3 is 163.9° , the angle of depression is 9.5° . In order to prove the reliability of the stress tensor, we use the focal mechanism solution of $M_L \geq 3.5$ since 1970 to invert. The maximum principal compressive stress orientation angle S_1 is 252.4° , the angle of depression is 8.4° . The minimum principal compressive stress orientation angle S_3 is 160.4° , the angle of depression is 12° . The stress tensor inverted by the data of the two focal mechanism solution is very close. The solution of stress tensor indicates the Maoshan fault zone and its adjacent area is mainly under a modern tectonic stress field of NEE-SWW direction horizontal compressive stress and NNW-SSE direction horizontal tensile stress.

Key words: Focal mechanism solution Stress tensor Maoshan fault zone