

江苏南部地区现今震源机制和应力场特征*

孙业君^{1,2}, 刘红桂¹, 江昊琳¹, 詹小艳¹, 王俊菲¹, 丁 焱¹, 叶碧文¹

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

摘要: 利用2000年3月至2014年4月江苏及邻区数字地震波形资料, 采用P波、S波初动和振幅比求解方法计算了江苏南部地区123次中小地震震源机制解。分析震源机制解特征表明, 研究区中小地震震源类型以走滑型为主, 其次为正断层类型, P、T轴优势方向分别为NEE—SWW和NNW—SSE向。依据盆地和断裂发育、历史及现代中小地震分布、震源机制等特征将研究区划分为A区和B区。采用Gphart方法分别反演了这两个区域应力张量, 结果显示: A区最大主应力方位角为78°, 倾角为23°, 最小主应力方位角为340°, 倾角为17°; B区最大主应力方位角为60°, 倾角为25°, 最小主应力方位角为330°, 倾角为1°。两个分区应力场结果的差异显示了局部应力场的不均匀性, 体现了局部地区地质条件、构造活动等差异性。各分区应力场特征与区内的中强地震震源机制特征较为一致, 这在一定程度也佐证了反演结果的可靠性。

关键词: 江苏南部地区; 震源机制; 应力场特征; Gphart应力张量法

中图分类号: P315.72

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2015)02-0203-08

0 引言

研究某一区域构造应力场对认识该区应力结构、特征及分析地震活动性具有重要意义。岩石圈内真实构造应力的计算和测量都是非常困难的, 但可以利用其它的一些地球物理观测资料反演出构造应力的某些特征(郑建常等, 2013)。其中, 通过地震的震源机制解资料研究区域构造应力场是一种较为有效的方法。国内外学者已经发展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, Xu, 1981; Michael, 1984; Gephart, Forsyth, 1984; Gephart, 1990; 许忠淮, 1985; 杜兴信, 邵辉成, 1999; 崔效锋, 谢富仁, 2006; 钟继茂, 程万正, 2006)。随着我国数字地震台网的广泛应用及时间的推移, 积累的数字地震资料越来越多, 区域中小地震震源机制的结果也颇具规模, 这使得利用中小地震震源机制资料研究应力场成为可能。一些学者针对不同的区域开展了构造应力场的研究(康英等, 2008; 李瑞莎等, 2008; 张红艳等, 2009, 2014; 刘泽民等, 2011; 李莹甄等, 2011; 林向东等, 2011; 王熠熙, 张辉, 2013; 郑建常等, 2013; 郭祥云等, 2014)。

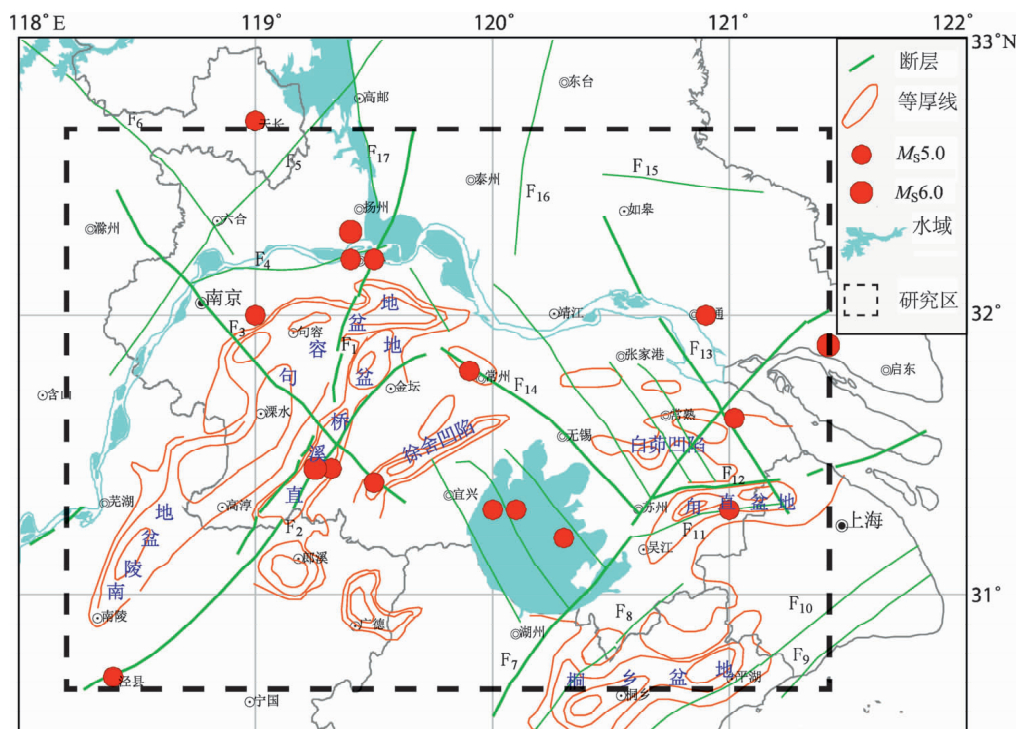
大地构造位置上, 江苏南部地区主要位于扬子断块内的苏南台褶带(黄耘等, 2011), 区域内中强地震活动强烈, 但现代中小地震活动频次不高。针对该区域地震震源机制及应力场特征研究工作开展相对较少, 但也有部分研究对此有所涉及。张绍治等(1989)分析了1973~1987年苏鲁皖地区43个中小地震震源机制解特征, 苏南地区最大主应力的优势方位为NEE向, 最大与最小主应力轴的仰角一般小于30°, 其中P轴平均值为27.3°, T轴为20.4°, 中间主应力轴一般大于50°。徐鸣洁等(1996)利用1980~1991年江苏及邻区地震的P波初动计算了平均节面解, 应力场主压应力方向为NEE—SWW, 主张应力方向为NNW—SSE; 周翠英等(2005)利用1970~2001年华东地区143次震源机制解资料统计分析了现代构造应力场特征, 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。以上研究中使用的资料多为数字化观测之前的资料, 且资料数量较少(位于本文研究区内震源机制解数量不超过10个), 应力场特征也主要基于统计得出。因此, 有必要对江苏南部地区开展震源机制及应力场特征的系统研究。

* 收稿日期: 2015-01-29.

基金项目: 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项目(2014020122)和江苏省地震局青年基金重点项目(201402)联合资助。

本文利用数字化观测以来积累的中小地震波形资料,采用 P 波、SV 波和 SH 波的初动及振幅比求解方法 (Snook *et al.*, 1984, 1989) 计算了 2000 年 3 月至 2014 年 4 月江苏南部地区 123 次中

小地震震源机制解,并利用所得震源机制解,采用 Gephart 和 Forsyth (1984) 的应力张量反演方法分 2 个区域,分别计算了每个研究区应力张量,进而讨论了应力场特征。



F₁: 茅东断裂; F₂: 南渡—金坛断裂; F₃: 南京—湖熟断裂; F₄: 焦山—幕府山断裂; F₅: 滁河断裂; F₆: 施官集断裂;
F₇: 湖州—苏州断裂; F₈: 马金—乌镇断裂; F₉: 南汇—平湖断裂; F₁₀: 松江—嘉善断裂; F₁₁: 吴江—千灯断裂;
F₁₂: 昆山—嘉定断裂; F₁₃: 太仓—奉贤断裂; F₁₄: 苏锡常断裂; F₁₅: 拼茶河断裂;
F₁₆: 东台—泰兴断裂; F₁₇: 无锡—宿迁断裂

图 1 研究区历史地震、断裂和盆地分布图

Fig. 1 The distribution of historical earthquakes, faults and basins in the study area

1 构造背景

研究区位于苏南隆起的北部,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(胡连英等,1997)。茅东断裂(F₁)、苏锡常断裂(F₁₄)、湖州—苏州断裂(F₇)及太仓—奉贤断裂(F₁₃)等为研究区域内重要的发震构造,直溪桥盆地和句容盆地发育于茅东断裂(F₁)东西两侧,且被南京—湖熟断裂(F₃)所切割;甬直盆地发育于苏锡常断裂(F₁₄)和太仓—奉贤断裂(F₁₃)之间^①。研究区主要发育

着 NNE—NE 向、NW 向两组活动断裂,徐舍凹陷西部区域断裂走向主要以 NNE—NE 向为主, NW 向有所切割,而东部区域断裂走向主要以 NW 向为主,少数为 NE 向(图 1)。

研究区是江苏陆地中强地震最为活跃的区域,有记载以来江苏陆地共发生 $M \geq 5$ 地震 19 次,该区域有 14 次,其中 $M \geq 6$ 地震 2 次,分别是 1624 年 2 月 10 日扬州 6.0 级和 1979 年 7 月 9 日溧阳 6.0 级地震,这两次 6.0 级地震也是有记载以来江苏陆地所发生的最大地震。开展现代化观测之后,研究区先后发生了 1974 年溧阳 5.5 级、1979 年溧阳 6.0 级和 1990 年常熟 5.1 级地震。

① 江苏省地震工程研究院. 2004. 沪宁高速公路(江苏段)扩建工程场地地震安全性评价工作报告(JSE2004A024)。

2 计算方法及资料处理

2.1 计算方法

P 波、SV 波和 SH 波的初动及振幅比求解方法是利用双力偶点源模型, 采用 3 个独立震源机制参数的网格尝试法, 计算一系列 P 波、SV 波和 SH 波的初动方向以及 SV/P、SH/P 或 SV/SH 振幅比的理论值, 将其与实际观测值逐一对比, 求取满足小于设定的矛盾数据上限的震源机制解, 选择其中拥有矛盾符号数最少和振幅比残差最小的机制解作为最佳解 (Snoke *et al.*, 1984, 1989)。

Gephart 应力张量反演方法用断层滑动方向与最大剪应力方向间的残差最小, 即辅助轴的最小转动值使得断层面解与理论计算的断层面解最近时, 获得最优应力模型, 得到主应力方向 (Gephart, Forsyth, 1984; Gephart, 1990)。其基本假定是: (1) 在一定时空范围内, 研究区内的应力场是均匀的; (2) 断层滑动方向与断层面上最大剪应力方向一致。应力张量是一个对称的二阶张量, 一般用 6 个独立参数来描述, 由于只有偏应力张量才能产生剪应力, 因此, 在只考虑构造应力张量的偏应力张量 (对角线和为零) 和人为规定八面体剪应力大小的情况下, 断层面上的剪应力方向只依赖于 4 个参量, 即 3 个主应力方向和 1 个应力比值 R , $R = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\sigma_3 - \sigma_1)$, 其中 σ_1 , σ_2 , σ_3 分别为最大、中间和最小主应力, R 的变化范围为 0 ~ 1, 其大小反映了中等主应力的相对大小。上述 4 个应力参数的任何一种组合都可作为一个应力模型, 与观测数据拟合最好的模型则为最优模型。

2.2 资料及处理

江苏数字地震台网经历了“九五”、“十五”期间的改造和建设,目前共有 41 个观测台站,遍布全省,台站平均台距为 40~50 km,苏南地区平均台距约 20~30 km,同时共享山东、安徽、浙江及上海区域地震台网 30 个台站的记录数据。目前已经积累了一定规模的数字地震波形资料。

图2给出了研究区及外围台站分布,共有57个台站,台站密度较大,且分布较为均匀。研究区地震监测能力相对较高。为了增大方位角范围,本文除了使用了共享的邻省台站资料外,还进一

步收集了安徽省、浙江省和上海市的一些波形资料,良好的台站分布及波形记录状况为准确的计算震源机制解奠定了基础。

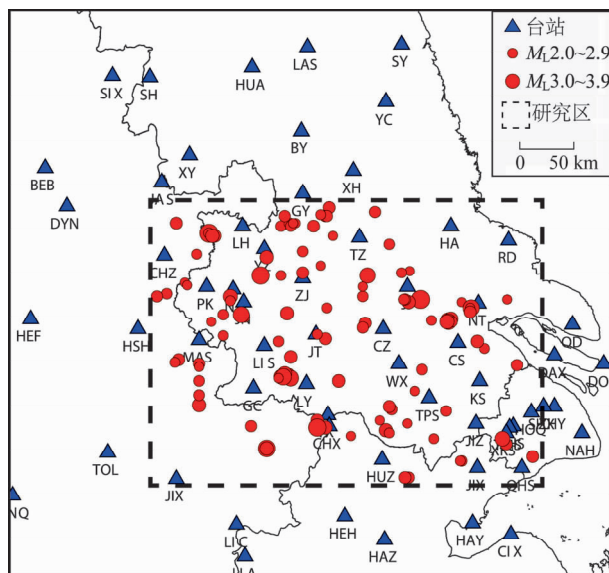


图2 研究区地震及台站分布

Fig. 2 The distribution of earthquakes and stations in the study area

震源机制解反演过程中,使用的速度模型分为6层,每层的顶界面深度分别为0、5、10、15、20、25 km,对应的层速度分别为3.70、5.44、6.03、6.34、6.52、7.02 km/s(黄耘等,2011)。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;再分别在垂直向、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1~2 s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,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。在本文震源机制解计算过程中,S波识别是难点也是关键所在。为了说明S波的分析过程,笔者给出了2014年3月10日18时10分47秒丹阳 $M_L 2.1$ 地震波形资料处理实例。由于篇幅有限,只列出了金坛台(JT)垂直向、径向和切向资料,并分别标出了SV波和SH波初

动, 初动均向下 (图 3), 从图中可以看出丹阳 $M_L 2.1$ 地震的 S 波初动比较好的识别, 这也保证了震源机制解的可靠性。

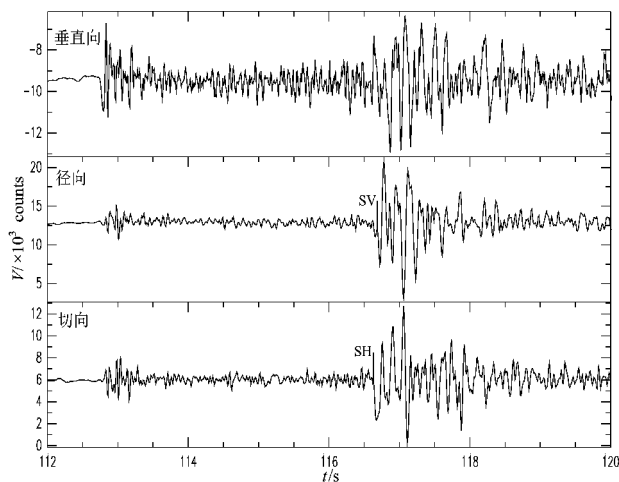


图 3 2014 年 3 月 10 日丹阳 $M_L 2.1$ 地震
金坛 (JT) 台波形数据

Fig. 3 The waveform data of Danyang $M_L 2.1$ on
Mar. 10, 2014 at Jintan Station

3 震源机制解结果及特征

通过以上计算方法, 共得到 2000 年 3 月至 2014 年 4 月研究区 123 次地震震源机制解, 其中 $M_L 2.0 \sim 2.9$ 地震 108 次, $M_L 3.0 \sim 3.9$ 地震 15 次。根据地震破裂的方式, 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) 3 个主要类型以及 NS 型 (正断层为主兼走滑型)、TS 型 (逆断层为主兼走滑型) 等复合类型。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, 123 次地震震源机制中, NF 或 NS 型 21 次, TF 或 TS 型 15 次, SS 型为 87 次。可见, 研究区域内主要以走滑型错动为主, 倾滑型错动比例较小。

在地震震源机制解基础上, 笔者给出了江苏南部地区地震震源机制解的节面和力轴参数玫瑰图 (图 4)。因为中小地震无法区分层面和辅助面, 故在统计中同等看待, 合在一起进行分析。由图 4 可见, 研究区两个节面的总体走向以 NE—SW 和 NW—SE 为主, 倾角主要集中在 $60^\circ \sim 90^\circ$, 高倾角特征明显; 滑动角主要集中在 $-30^\circ \sim 0^\circ$,

$0^\circ \sim 30^\circ$ 和 $-150^\circ \sim -180^\circ$, $150^\circ \sim 180^\circ$ 附近, 在 -40° 和 -100° 左右也有分布, 根据滑动角分析震源力学作用方式, 主要呈现为走向滑动为主, 其次为正倾滑动, 而逆倾滑动相对较少; P 轴方位角主要集中在 240° 和 270° 左右, 以 NEE—SWW 向为优势方向, 倾角集中在 $0^\circ \sim 40^\circ$; T 轴方位角则集中在 $150^\circ \sim 180^\circ$ 和 $330^\circ \sim 360^\circ$ 之间, 主要呈 NNW—SSE 向, 倾角多数小于 30° 。

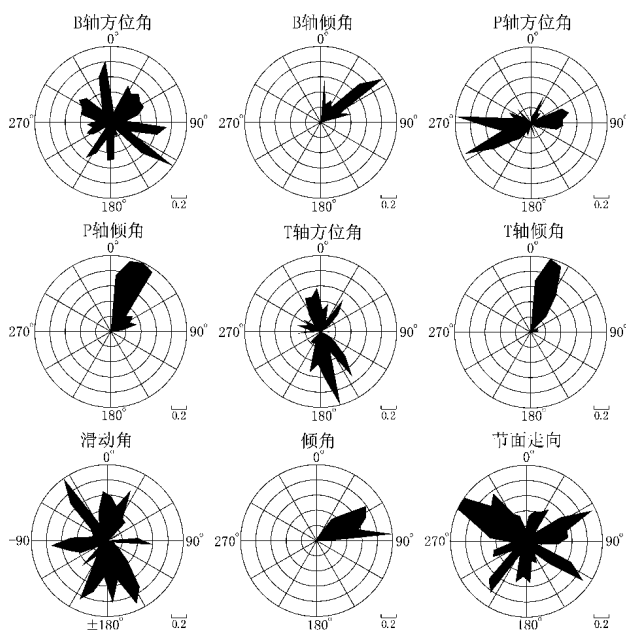


图 4 震源机制解应力轴参数玫瑰图

Fig. 4 Rose diagrams of the stress axis parameters
from focal mechanism solutions

进一步查看地震震源机制 P, T 轴方位空间分布特征, 由图 5 可见, P 轴方位整体上呈 NE 至近 EW 向, T 轴则呈 NW 至近 NS 向, 但在不同区域也存在差异性。茅东断裂两侧盆地及以西地区 P 轴方位较为一致, 主要呈 NE 至近 EW, T 轴呈 NW 至近 NS; 太仓—奉贤断裂附近地区 P, T 轴方位较为凌乱; 湖州—苏州断裂两侧区域 P 轴方位主要集中在 NE 向, 有部分为 NW 向。

4 应力张量结果分析

根据研究区断裂和盆地发育、历史及现代中小地震空间分布、震源机制等特征将研究区分为 A 和 B 两个区。A 区主要包括了茅东断裂及两侧发育的句容盆地和直溪桥盆地, 区内断裂主要以

NNE—NE 向为主；B 区主要包括白茆凹陷、角直盆地及桐乡盆地，发育着太仓—丰贤断裂、吴江—千灯断裂、苏锡常断裂等断裂，区内断裂主要以 NW 向为主（图 6）。

利用图 6 中划分的 A 区和 B 区中的震源机制解作为输入数据，采用 Gephart 应力张量方法，反演得到了 2 个分区的应力场结果（图 7 和表 1）。由应力方向看，A 区和 B 区的最大主应力 σ_1 方位角分别为 78° 和 60° ，主要呈现出 NEE—SWW 向，最小主应力 σ_3 方位角分别为 340° 和 330° ，呈 NNW—SSE

向。从应力结构来看，两个分区的中等主应力 σ_2 倾角分别为 60° 和 65° ，应力轴相对较直立，最大主应力 σ_1 和最小主应力 σ_3 倾角分别为 23° ， 17° 和 25° ， 1° ，应力轴较水平。2 个区域的 R 值均为 0.7。A 区和 B 区拟合残差角分别为 8° 和 10° ，表明两个分区具有相对均匀的应力场，其中，B 区应力场非均匀性特征更为显著。2 个分区的应力场反演结果总体表明研究区构造应力场以水平作用为主，震源错动方式以走滑型错动为主。B 区相对 A 区逆时针偏转 18° ，体现了局部应力场的不均匀性。

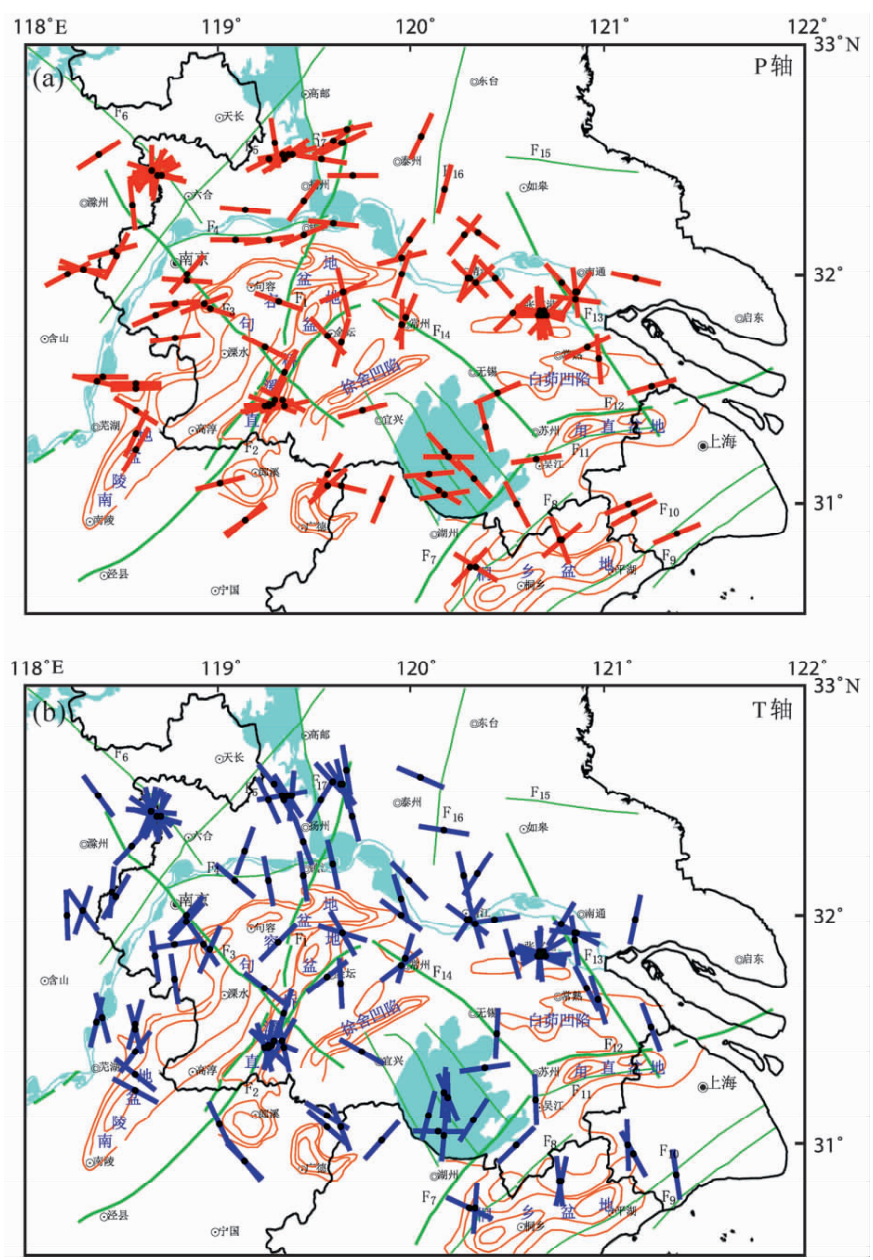


图 5 P (a)、T (b) 轴方位空间分布

Fig. 5 The spatial distribution of the direction of P (a) and T (b) axis

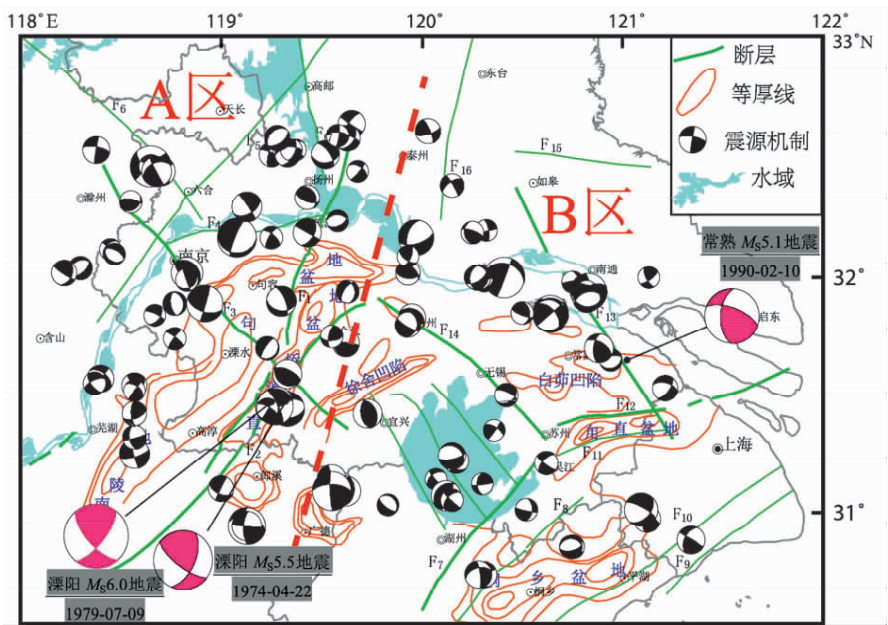


图 6 震源机制及分区示意图 (玫红色为中强地震震源机制解)

Fig. 6 The schematic map of the focal mechanism and its partition (the focal mechanism solution of moderate and strong earthquakes showed as rose red)

表 1 应力张量结果

Tab. 1 The results of the stress tensor

| 区域名称 | σ_1 | | σ_2 | | σ_3 | | R | 拟合残差角/ $^\circ$ | 震源机制解数量 |
|------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----|-----------------|---------|
| | Az/ ($^\circ$) | PL/ ($^\circ$) | Az/ ($^\circ$) | PL/ ($^\circ$) | Az/ ($^\circ$) | PL/ ($^\circ$) | | | |
| A 区 | 78 | 23 | 217 | 60 | 340 | 17 | 0.7 | 8 | 65 |
| B 区 | 60 | 25 | 237 | 65 | 330 | 1 | 0.7 | 10 | 58 |

一个地区的小震震源机制解具有一定的随机性和独立性, 但一个地区较大地震的破裂方式与该地区的应力场具有较好一致性, 可以利用较大地震震源机制解的挤压和拉张力特征来推断一个地区应力场构造特征。1970 年以来研究区先后发生了 1974 年溧阳 5.5 级、1979 年溧阳 6.0 级和 1990 年常熟 5.1 级地震, 笔者收集了这 3 次地震震源机制解 (Chung *et al.*, 1995; 张肇诚, 2000), 并绘于图 6 中, 3 次地震均以走滑型错动为主, P, T 轴方位角分别为 253 $^\circ$ 和 349 $^\circ$, 89 $^\circ$ 和 357 $^\circ$, 54 $^\circ$ 和 150 $^\circ$ 。由此可见, 溧阳 5.5 级和 6.0 级地震 P 轴方位为 NEE 向, 而常熟 5.1 级地震 P 轴方位更接近 NE 向, 这与反演所得的应力场结果比较一致, 这在一定程度上佐证了应力场反演结果的可靠性。

汪素云和许忠淮 (1985)、许忠淮等 (1989)、张绍治等 (1989)、徐鸣洁等 (1996)、周翠英等

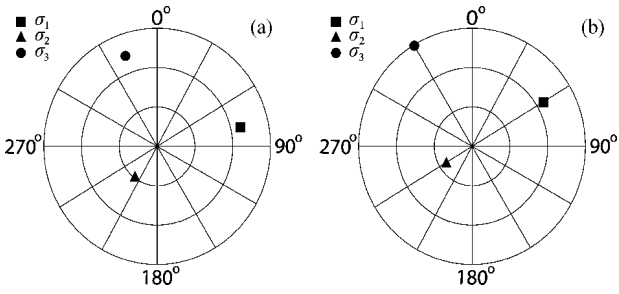


图 7 江苏南部 A 区 (a) 和 B 区 (b) 应力张量
Fig. 7 The stress tensor of the A (a) and B (b) regions in southern Jiangsu area

(2005)、谢富仁等 (2004, 2011) 和 Wan (2010) 利用不同的资料对应力场进行了研究, 所得到结果中不同程度的涉及到本文研究区, 给出的该区应力场方向主要以 NE、NEE 和近 EW 向为主。其中, Wan (2010) 利用震源机制解资料、断层滑动数据等反演得到的中国现代构造应力场中的 N32 $^\circ$ 、

E119°和N32°、E121°;两个区的 σ_1 、 σ_2 和 σ_3 方位角分别为252°、34°、160°和240°、29°、150°;倾角分别为12°、74°、9°和5°、84°、3°。本文中2个分区的应力场反演结果与上述学者的研究结果较为一致。

5 结论

本文利用台站相对较为密集的江苏省及周边省份数字地震台网记录的地震波形资料,采用P波、SV波和SH波的初动及振幅比求解方法得到了江苏南部地区2000年3月至2014年4月123次地震震源机制解,并根据Gephart应力张量方法分2个区反演了应力场,得到了如下初步结论:

(1) 研究区内123次地震震源机制解中,NF或NS型21次,TF或TS型15次,SS型为87次。可见,研究区内主要走滑型错动为主,倾滑型错动比例较小。

(2) 震源机制应力轴参数统计结果显示,两个节面的总体走向以NE—SW和NW—SE为主,倾角主要表现为高倾角特征,与研究区内断层特征较为一致;P轴方位角以NEE—SWW向为优势方向;T轴方位角则主要呈NNW—SSE向,P,T轴倾角多数分布在30°以内。表明研究区为以NEE—SWW向主压,NNW—SSE向主张的应力格局,作用力以水平作用为主。

(3) A区和B区的最大主应力 σ_1 方位角分别为78°和60°,最小主应力 σ_3 方位角分别为340°和330°。两个分区的中等主应力 σ_2 倾角分别为60°和65°,最大主应力 σ_1 和最小主应力 σ_3 倾角分别为23°、25°和17°,1°。A区和B区应力张量结果的差异性表明了局部应力场的非均匀性。局部应力场虽然受控于大区域应力场,但由于局部地区地质条件、介质结构非均匀性(范小平等,2009a,b,2011,2013)以及构造活动等因素均存在一定的差异性,不可避免的造成局部与大区域应力场特征的差异。

利用不断积累的数字地震资料反演得到应力场有助于进一步了解局部应力场的特征,对揭示该地区强震孕育、发生的力学机制具有重要意义。尽管中小地震的发生具有很强的随机性,本文的计算结果也不可避免地存在一些微小的误差,但在求取多个中小地震震源机制解的基础上,利用应力场反演方法反演出的研究区应力场空间特征还是较为可信的。

在本文成文过程中,得到了江苏省地震局黄耘研究员、范小平副研究员、王俊工程师,安徽省地震局刘泽民高级工程师,云南省地震局赵小艳助理研究员和四川省地震局阮祥工程师的指导和帮助,数字地震波形由江苏、安徽、浙江和上海数字地震台网提供,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[J]. 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[J]. 地震学报,21(4):354-360.
- 范小平,李清河,杨从杰,等. 2009a. 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,等. 2009b. 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,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,杨从杰,李清河,等. 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.
- 郭祥云,陈学忠,王生文,等. 2014. 川滇地区中小地震震源机制解及构造应力场的研究[J]. 地震工程学报,36(3):599-607.
- 胡连英,徐学思,孙寿成,等. 1997. 溧阳地震与茅东断裂带[M]. 北京:地震出版社.
- 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[J]. 地球物理学报,54(10):2549-2559.
- 康英,杨选,陈杏,等. 2008. 广东及邻区的应力场反演[J]. 地震学报,30(1):59-66.
- 李瑞莎,崔效锋,刁桂苓,等. 2008. 华北北部地区现今应力场时空变化特征研究[J]. 地震学报,30(6):570-580.
- 李莹甄,沈军,聂晓红,等. 2011. 乌鲁木齐地区现今构造应力场综合分析[J]. 地震学报,33(1):15-27.
- 林向东,徐平,葛洪魁,等. 2011. 小江断裂中段及其邻近地区应力场时间变化分析[J]. 地震学报,33(6):755-762.
- 刘泽民,刘东旺,李玲利,等. 2011. 利用多个震源机制解求东大别地区平均应力场[J]. 地震学报,33(5):605-613.
- 汪素云,许忠淮. 1985. 中国东部大陆的地震构造应力场[J]. 地震学报,7(1):17-32.
- 王耀熙,张辉. 2013. 利用多个震源机制解求祁连山西段平均应力场方向[J]. 地震工程学报,35(2):289-295.
- 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[J]. 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[J]. 国际地震动态,(1):4-12.
- 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[J]. 中国地震,12(4):383-388.
- 许忠淮,汪素云,黄雨蕊,等. 1989. 由大量的地震资料推断的我国大陆构造应力场[J]. 地球物理学报,32(6):636-647.
- 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[J]. 地震学报,7(4):349-361.
- 张红艳,谢富仁,崔效锋,等. 2014. 北天山中东段活动断层滑动与现代构造应力场[J]. 中国地震,30(1):13-22.

- 张红艳,谢富仁,荆振杰. 2009. 京西北盆岭构造区现代构造应力场的非均匀特征[J]. 地球物理学报, 52(12): 3061–3071.
- 张绍治,吴少武,刘仲方. 1989. 江苏地区现代构造应力场特征[J]. 江苏地质, (2): 3–9.
- 张肇诚. 2000. 中国震例(1989—1991)[M]. 北京: 地震出版社.
- 郑建常,王鹏,李冬梅,等. 2013. 使用小震震源机制解研究山东地区背景应力场[J]. 地震学报, 35(6): 773–784.
- 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[J]. 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[J]. 地震地质, 27(2): 273–288.
- Angelier J. . 1979. Determination of the Mean Principal Direction of Stresses for a Given Fault Population [J]. Tectonophysics, 56(4): 17–26.
- Chung W. Y. , Wei B. Z. , Brantley B. J. . 1995. Faulting Mechanism of the Liyang, China, Earthquake of 1974 and 1979 from Regional and Teleseismic Waveform—Evidence of Tectonic Inversion under a Fault-Bounded Basin[J]. BSSA, 85(2): 560–570.
- Ellsworth W. L., Xu Z. H. . 1980. Determination of the Stress Tensor from Focal Mechanism data[J]. EOS, Transactions American Geophysical Union, 61(46): 1117.
- 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[J]. Journal of Geophysical Research, 89(B11): 9305–9320.
- Gephart J. W. . 1990. FMSI: A Fortran Program for Inverting Fault/Slip/Shear and Earthquake Focal Mechanism Data to Obtain the Regional Stress Tensor[J]. Computer & Geosciences, 16(7): 953–989.
- Michael A. J. . 1984. Determination of Stress from Slip Data: Faults and Folds [J]. Journal of Geophysical Research, 89(B13): 11517–11526.
- Snoke J. A. , Munsey J. W. , Teague A. G. , *et al.* . 1984. A Program for Focal Mechanism Determination by Combined Use of Polarity and SV2P Amplitude Ratio Data[J]. Earthquake Notes, 55(3): 15–20.
- Snoke J. A. . 1989. Earthquake Mechanism [A]//James D E. Encyclopedia of Geophysics [C]. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 239–245.
- Wan Y. G. . 2010. Contemporary Tectonic Stress Field in China [J]. 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[J]. Journal of Geophysical Research, 97(B8): 11703–11728.

Characteristics of Focal Mechanisms and Stress Field of Southern Jiangsu Area

SUN Ye-Jun^{1,2}, LIU Hong-gui¹, JIANG Hao-lin¹, ZHAN Xiao-yan¹,
WANG Jun-fei¹, DING Ye¹, YE Bi-wen¹

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

(2. Southeast University, Nanjing 211100, Jiangsu, China)

Abstract

Using the digital seismic waveform data in Jiangsu and its adjacent area during Mar. , 2000 and Apr. , 2014, we calculated the focal mechanisms of 123 moderate and small earthquakes in southern Jiangsu area by the method of amplitude ratio of P wave and S wave. The characteristics of the focal mechanism solution shows that the main type of the small and moderate earthquake in the study area is strike-slip type, secondly for normal fault type, and the predominant orientations of P and T axes are NEE—SWW and NNW—SSE respectively. On the basis of the development of basin and faults, the distribution of historical and modern earthquakes and the characteristics of focal mechanism etc. , we divided the study area into A and B regions and inverted the stress tensor of the two regions by Gphart method. The result shows that the azimuth and dip of maximum principal stress is 78° and 23° in A region, is 60° and 25° in B region respectively, and the azimuth and dip of minimum principal stress is 340° and 17° in A region, is 330° and 1° in B region respectively. The differences of stress field in the two regions showed the heterogeneity of the regional stress field, which reflected the differences of geological conditions and the tectonic activity etc. . The characteristics of stress field in the two regions were coincident with focal mechanism of the modern-strong earthquake in the study area, which proved the reliability of the inversion results.

Key words: the southern Jiangsu area; focal mechanism; characteristics of stress field; Gphart stress tensor method