## 郯庐断裂带安徽段中小地震震源机制 及现代应力场特征₀

倪红玉<sup>1,2</sup>,刘泽民<sup>1</sup>,何 康<sup>1,2</sup>

(1. 安徽省地震局, 安徽 合肥 230031; 2. 蒙城地球物理国家野外科学观测研究站, 安徽 蒙城 233500)

摘要:应用垂直向 P 波和 SV 波振幅比和联合利用 P 波、SV 波和 SH 波的初动和振幅比两种计算震 源机制解的方法,得到郑庐断裂带安徽段及邻近地区 1970 年以来 239 次中小地震的震源机制解; 基于震源机制解,根据力轴张量计算法反演得到郑庐断裂带安徽段及其两个分段的平均构造应力 场,与震源机制参数统计结果一致,表现为近 EW 向的水平挤压和近 NS 向的水平拉张作用;分析 最大主压应力轴σ<sub>1</sub> 的方位角随时间变化特征,结果表明郑庐断裂带安徽段两个分段的σ<sub>1</sub> 的方位 角总体变化趋势一致,均呈现出 1998 年前后由顺时针偏转转折至逆时针偏转。 关键词: 郑庐断裂带安徽段; 震源机制解;构造应力场;振幅比;力轴张量计算法 中图分类号: P315.12 文献标志码: A 文章编号: 1000-0844(2013)03-0677-07 DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2013.03.0677

## Study on Focal Mechanisms of Moderate-small Earthquakes and Characteristics of Recent Tectonic Stress Field in the Anhui Sector of Tanlu Fault Zone

NI Hong-yu<sup>1,2</sup>, LIU Ze-min<sup>1</sup>, HE Kang<sup>1,2</sup>

(1. Earthquake Administration of Anhui Province, Hefei Anhui 230031, China;
 2. Mengcheng National Geophysical Observatory, Mengcheng Anhui 233500, China)

Abstract: The focal mechanisms of 239 moderate and small earthquakes since 1970 in the Anhui sector of Tanlu fault zone were calculated with two methods: using the amplitude ratios of vertical P and SV waves in combination with the first motion of P, SV, and SH waves, and with 93 focal mechanisms in the northern sub-sector and 146 focal mechanisms in the southern sub-sector. Based on these abundant focal mechanisms, we have discussed in detail the earthquake fault types and the characteristics of the modern tectonic stress field in the Anhui sector of Tanlu fault zone. The statistical analysis of the parameters of focal mechanism solutions shows that most moderate and small earthquakes occurring in the Anhui sector of Tanlu fault zone are of the strike-slip type, amounting to 54% of the total. Reverse faulting and normal faulting earthquakes occur less frequently, representing about 26% and 20% of the total, respectively. Azimuth and obliquity distribution of the P axis and the T axis are of obvious advantages, showing that the tectonic stress field in the Anhui sector of Tanlu fault compressed in approximately the EW direction and horizontally dilated in approximately the NS direction. We further inverted the mean tectonic stress field in the Anhui sector of Tanlu fault zone and its sub-

基金项目:中国地震局地震科技星火计划项目(XH13008Y);安徽地震科研基金青年项目(20130704)

作者简介:倪红玉(1982一),女,理学硕士,工程师,主要从事构造应力场反演和地震预报研究工作. E-mail: hyni@mail.ustc.edu.cn

① 收稿日期:2013-05-21

sectors with the force axis tensor computing method, and the results are as follows: in the Anhui sector of Tanlu fault zone, for the azimuth of maximum principal (compressive) stress axis (compression axis),  $\sigma_1$  is 265° and its plunge is 6°; for the azimuth of the minimum principal (extensional) stress axis (tension axis),  $\sigma_3$  is 356° and its plunge is 9°; in the northern sub-sector, for the azimuth of the maximum principal stress axis,  $\sigma_1$  is 260° and its plunge is 4°; for the azimuth of the minimum principal stress axis,  $\sigma_3$  is 350° and its plunge is 2°; in the southern sub-sector, for the azimuth of the maximum principal stress axis,  $\sigma_1$  is 269° and its plunge is 8°; for the azimuth of the minimum principal stress axis,  $\sigma_3$  is 1° and its plunge is 11°. These results indicate that the Anhui sector of Tanlu fault zone and its sub-sectors are horizontally compressed approximately in the EW direction and horizontally dilated approximately in the NS direction, which is in accord with statistical results of focal mechanism parameters. We analyzed the variation curve of the azimuth of maximum principal stress axis ( $\sigma_1$ ) versus time, which shows that the total variation trend of the  $\sigma_1$  azimuth versus time is consistent between two sub-sectors of the Anhui sector of Tanlu fault zone, meaning both show the transition from clockwise deflection to counter-clockwise deflection in about 1998. The  $\sigma$ 1 azimuth of the northern sub-sector experienced continued clockwise deflection from 1988 to 1993, with deflected amplitude amounts to 23°, then the transition showed in 1994; a MS5. 2 earthquake in Cangshan, Shandong in 1995 occurred after the transitions recovered, which is in accord with the variation of the trend of the P axis azimuth obtained by Zhou Cuiying ([Year]), who used the method of composite focal mechanism solutions of moderate and small earthquakes.

Key words: the Anhui sector of Tanlu fault zone; focal mechanisms; tectonic stress field; amptitude ratio; force axis tensor comouting method

### 0 引言

郯庐断裂带斜贯中国东部,总体走向 NNE,绵 延上千公里<sup>[1]</sup>,是一条规模巨大的活动断裂带<sup>[2]</sup>。 从 1957 年的航磁资料确认其存在以来的 50 多年 里,对郯庐断裂带的研究受到了广泛的关注和高度 的重视。本文研究的郯庐带安徽段,北起宿迁,向南 经泗洪、五河、嘉山(明光)、肥东、庐江、太湖、宿松和 黄梅,止于湖北广济附近,范围在  $34^\circ \sim 30^\circ$ N 之间。 该段及两侧的邻近区域历史上曾发生过多次中强以 上地震;现代也曾发生过 1979 年安徽固镇  $M_s5.0$ 地震、2011 年安庆  $M_s4.8$  地震和 2012 年高邮、宝应 交界  $M_s4.9$  地震。

地壳构造应力场是地球动力学研究的核心问题 之一,研究地壳构造应力状态及其时空分布特征,特 别是应力变化的信息,是探讨地震成因、分析发震条 件的重要有效途径之一。在地震学研究中,震源机 制解是研究区域构造应力场最基础的资料和常用的 方法。基于震源机制反演郯庐带安徽段现代应力场 的研究较少,仅文献[3-5]有所涉及,其研究范围较 大,部分资料的时间较早,仅得到了郯庐带安徽段及 邻近地区应力场的总体特征,尚未针对应力场在时

### 间变化上的研究。

随着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。本文利用 1970 年 以来 239 次中小地震记录资料系统计算郯庐带安徽 段及邻区震源机制解,根据刘东旺等<sup>[5]</sup>的分段方法, 将郯庐带安徽段分为北、南两个亚段,采用力轴张量 计算法<sup>[6]</sup>反演研究区及二亚段的平均应力场,并在 时间上滑动,试图分析郯庐带安徽段应力场方位时 空变化特征及其与周边中强地震的关系<sup>[7]</sup>,为该区 震情跟踪工作提供有益的帮助。

### 1 震源机制解资料

1976年以来安徽地震台网观测报告和模拟波 形较完整;自 2000年开始安徽无线传输地震遥测数 字化台网投入运行,地震监测能力大大提高;自 2007年5月开始安徽"十五"数字化地震台网开始 记录,地震台站数量也有一定的增长,共有 24 个测 震台站。根据安徽台网不同时段波形资料的运行情 况,系统整理了郯庐带安徽段及邻近地区 1970— 1975年 $M_L \ge 4.0$ 地震和 1976—1999年 $M_L \ge 3.0$ 地震的观测报告和模拟波形,2000年—2007年5月

#### 第 35 卷 第 3 期

 $M_L \ge 2.7$  地震和 2007 年 6 月-2012 年的  $M_L \ge 2.3$ 地震的数字化地震波资料。

本文采用垂直向 P 波和 SV 波振幅比方法<sup>[8]</sup>和 联合利用 P 波、SV 波和 SH 波的初动和振幅比求解 震源机制的方法(简称 Snoke 方法)<sup>[9-11]</sup>两种方法计 算研究区的震源机制解。在采用垂直向 P 波和 SV 波振幅比方法时,平均每个地震使用了7~8个振幅 比数据,其中方位角分布在 270°到 360°之间的地震 占 70%,少部分边界地震<270°。当数据增、减 1~ 2个时,其 P 轴方位误差在 30°左右,而方位分布> 270°时,P轴方位误差在 10°以内,因此本文的反演 结果总体可靠<sup>[12]</sup>。Snoke 方法与垂直向 P 波和 SV 波振幅比方法相比,增加了 SH 波与 P 波的振幅比 和 SV 波、SH 波的初动数据,对震源机制解的约束 更好。对用垂直向 P 波和 SV 波振幅比方法无法反 演的地震和 2009 年以后的地震均采用 Snoke 方法 反演震源机制,具体计算过程见文献[13]。本文利 用 Snoke 方法反演震源机制解时,初动数据至少 6 个,振幅比数据至少5个,拟合的均方根误差均小于 0.33, 刘杰等[14] 认为本文的反演结果基本可靠。基 于两种方法共计算了郯庐带安徽段及邻近地区自 1970 年以来 239 次 2. 3 《 *M*<sub>L</sub> < 4. 9 地震的震源机制 120° E 114



图 1 郑庐断裂带安徽段及邻区 239 次中一小地震 震源机制解分布图

Fig. 1 The distribution of 239 focal mechanisms of moderatesmall earthquakes in the Anhui sector of Tanlu fault zone and its adjacent area

解,其中北亚段 93 次,南亚段 146 次。地震震中分 布见图 1,其中 NW 向虚线是分段界限,NE 向虚线 是断裂带两侧研究区域界线。地震的时间和震级分 布见表 1。

表 1 1970 年以来郯庐断裂带安徽段及邻区中小 地震震源机制解的时间和震级分布

Table 1Time and magnitude distribution of focal mechanisms<br/>of moderate-small earthquakes in the Anhui sector of<br/>Tanlu fault zone and its adjacent area from 1970

	震级范	震源机制解个数				
日期	${f I}/M_{ m L}$	北亚段	南亚段	安徽段		
1970. 01~1975.12	3.1~4.9	2	3	5		
1976. 01~1999.12	2.3~4.3	55	73	128		
2000.01~2007.04	2.3~4.7	16	32	48		
2007.05~2012.12	2.3~4.2	20	38	58		

# 2 郯庐断裂带安徽段的现代构造应力场特征

在区域应力场作用之下的现代地壳活动控制着 地震的孕育发展过程和发震力学机制(即震源应力 场)。震源应力场并不等于区域构造应力场,可以通 过大量地震震源应力场的统计再现区域构造应力 场<sup>[15-16]</sup>。本文通过对震源机制参数进行统计和力轴 张量计算法<sup>[6]</sup>反演郯庐断裂带安徽段现代应力场特 征及分段特征。

### 2.1 震源力学机制推测的构造应力场

现代构造应力场决定了处在其中的发震断层的 性质:当构造应力场的 P 轴和 T 轴都是水平或接近 水平(即 P 轴和 T 轴的倾角均 <45°)时,断层以走 滑为主;当构造应力场的 P 轴垂直地面或接近垂直 地面(即 P 轴倾角 >45°)时,断层为正断层或倾滑正 断层;当 T 轴垂直于地面或接近垂直(即 T 轴倾角 >45°)时,断层为逆断层或倾滑逆断层<sup>[17]</sup>。在分区 的基础上,对郯庐断裂带安徽段及其两个分区北亚 段和南亚段的震源机制解进行了统计分析(表 2)。 统计结果表明北亚段和南亚段的断层性质较为接 近,郯庐断裂带安徽段及邻区的断层性质总体以走 滑断层为主(54%),逆断层次之(26%);正断层最少 (20%)。

表 2 郯庐断裂带安徽段及邻区断层性质及划分结果

Table 2Division results of fault types in the Anhui sector of<br/>Tanlu fault zone and its adjacent area

	北亚段			南亚段				安徽段	
	正断	逆断	走滑	正断	逆断	走滑	正断	逆断	走滑
地震个数	19	22	52	30	40	76	49	62	158
占总数百分比/%	20	24	56	21	27	52	20	26	54

图 2 为按 10°间隔分别统计得到的郯庐断裂带 安徽段及其两个分段北亚段和南亚段地震震源机制 P、T、B 轴的方位分布。结果显示:北亚段和南亚段 的 P 轴、T 轴方位分布总体较为一致,均具有明显 的优势分布,B 轴方位分布相对杂乱,表明郯庐断裂 带安徽段及其邻区地震主压应力轴和主张应力轴方 位大致呈近 EW 向和近 NS 向的主要分布特征,但 也呈现不同地段、不同时段应力轴方向存在差异的 特征,与华北南部最大主应力方向为近 EW 向的结 果较为一致<sup>[18]</sup>。



图 2 郑庐断裂带安徽段及其分段的 P、T 轴方位分布

Fig. 2 Azimuth distribution of P axis and T axis of the Anhui sector of Tanlu fault zone and its two sub-sectors

为了考察郯庐断裂带安徽段及其邻区的受力情况,根据倾角 $\beta$ 大小,将其作用力划分为:水平力( $\beta$ <10°)、近水平力(10°< $\beta$ <30°)、斜向力(31°< $\beta$ < 60°)、近垂直力(61°< $\beta$ <80°)垂直力( $\beta$ >80°)5种类型。表3为对 P、T 轴倾角的统计结果, $\beta_{\rm P}$ <30°占 55%; $\beta_{\rm P}$ <60°占91%; $\beta_{\rm T}$ <30°占55%; $\beta_{\rm P}$ <60°占88%。平均 P 轴倾角为 $\beta_{\rm P}$ =27°±18°;平均 T 轴倾 角为  $\beta_{\rm T} = 29^{\circ} \pm 20^{\circ}$ 。表明该断裂带现今承受的作用 力以近水平力和斜向力为主,但仍有 9%的 P 轴倾 角和 11%的 T 轴倾角 $>60^{\circ}$ ,说明存在一定的近垂 向作用力。

2.2 平均应力张量反演结果

力轴张量计算法的基本点是,许多地震的震源 机制解近似相同时能给出合理的结果,同时不必考 表 3 郯庐断裂带安徽段及邻区 P、T 轴倾角的统计结果 Table 3 Statistic results of obliquity of P axis and T axis in the Anhui sector of Tanlu fault zone and its adjacent area

轴向	$\beta \!\!<\!\! 10^{\circ}$	$10^{\circ} \leq \beta \leq 30^{\circ}$	31° <b>≤β≤</b> 60°	61° <b>≤β</b> ≤80°	β>80°
P  angle / %	12	43	36	9	0
$T\; \pmb{u}/\%$	11	44	33	11	1

虑震源机制解两个节面中哪个是实际发震断层面。 从图 2 可以看出, 郯庐断裂带安徽段及其邻区震源 机制参数中 P、T 轴的方位角和倾角有明显的优势 分布,适合采用力轴张量计算法反演平均应力场。 本文计算平均应力场的做法是, 首先基于震源机制 解资料, 得到相应应力张量在地理坐标系下的表达 式,并对所有震源机制解的应力张量求平均, 得到平 均应力张量, 然后求解平均应力张量的的本征值和 本征向量, 本征向量即为平均构造应力场的 3 个主 轴。刘泽民等<sup>[19]</sup>利用东大别地区的震源机制解资 料比较了不同相似程度和不同起算震级资料得到的 主轴方向,认为该方法计算结果非常稳定,主轴方位 角的误差小于 5°,倾角的误差小于 10°。

本文基于郯庐断裂带安徽段 239 次地震震源机 制解资料,其中北亚段 93 次,南亚段 146 次,通过研 制的计算区域平均应力张量的计算程序<sup>[19]</sup>,给出研 究区平均应力场的计算结果(图 3、表 4)。结果表明 郯庐断裂带安徽段及其分段北亚段和南亚段的最大 主应力轴( $\sigma_1$ )方位均呈现近东西向(260°~269°)、近 水平(4°~8°),且南亚段方位比北亚段顺时针偏转 约 9°;中等主应力轴( $\sigma_2$ )方位角分别为 142°、110°和 143°,倾角为 76°~86°,近直立;最小主应力轴( $\sigma_3$ ) 方位均呈现近南北向(356°~1°),近水平(2°~11°), 显示郯庐断裂带安徽段及其邻区构造应力场为近 EW 向的水平挤压和近 NS 向的水平拉张作用,与 震源机制参数统计结果一致。



- 图 3 震源机制解 P、T 轴和主应力轴 σ1、σ2、σ3 在下半球吴尔夫网上的投影(空心圆、空心三角形 分别表示 P 轴、T 轴,实心圆、实心正方形和实心三角形分别表示主应力轴 σ1、σ2、σ3)
- Fig. 3 Projection of P, T,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  axes on Wulff net of lower hemisphere(hollow circle and hollow triangle for P,T axes, solid circle, solid square and solid triangle for  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  axes respectively)

表 4 郯庐断裂带安徽段及其二分段的应力场反演结果

Table 4 Results of stress field inversion of the Anhui sector of Tanlu fault zone and its two sub-sect	ctors
--	-------

分区	数据个数一	$\sigma_1$		$\sigma_2$		$\sigma_3$	
		方位角/(°)	倾角/(°)	方位角/(°)	倾角/(°)	方位角/(°)	倾角/(°)
安徽段	239	265	6	142	79	356	9
北亚段	93	260	4	110	86	350	2
南亚段	146	269	8	143	76	1	11

### 3 郑庐断裂带安徽段现代构造应力场随时 间的变化

采用 10 年的震源机制解资料累积,1 年滑动的 方式,利用力轴张量计算法得到郯庐断裂带安徽段 及其分段北亚段和南亚段最大主压应力轴 σ<sub>1</sub> 的方 位角随时间的变化曲线(图 4),标注地震为距研究 区 100 km 范围内的破坏性地震。可以看出,郯庐 断裂带安徽段及其分区北亚段和南亚段最大主压应 力轴  $\sigma_1$ 的方位角的总体趋势较为一致,均呈现出 1998年前后由顺时针偏转转折至逆时针偏转。北 亚段最大主压应力轴方位角从 1988~1993年持续 顺时针偏转,由 247°偏转至 270°,偏转幅度远大于 反演误差,1994年开始转折,转折回升后发生 1995 年苍山  $M_{\rm s}5.2$ 地震,并且同期南亚段最大主压应力 轴方位角偏转幅度较小。周翠英等<sup>[20]</sup>的研究结果 表明:1995 年苍山  $M_{\rm s}$ 5.2 地震前震区附近 P 轴方 位角 1985 年以前基本维持在 70°左右,1986 年开始 P 轴方位从 70°猛增到 100°左右,直到发震,与本文 结果基本一致。1998 年左右安徽段包括北亚段和 南亚段均转折为逆时针偏转,偏转幅度相当,逆时针 偏转期间南亚段发生了 2005 年九江一瑞昌  $M_{\rm s}$ 5.7 和 2011 年安庆  $M_{\rm s}$ 4.8 地震,北亚段发生了 2012 年 高邮、宝应交界  $M_{\rm s}$ 4.9 地震。



- 图4 最大主压应力轴 σ<sub>1</sub> 的方位角随时间 变化曲线
- Fig. 4 Variation curves of azimuth of maximum principal stressaxis  $\sigma_1$

### 4 讨论与结论

本文采用垂直向 P 波和 SV 波振幅比和联合利 用 P 波、SV 波和 SH 波的初动和振幅比两种计算震 源机制解的方法,在郯庐断裂带安徽段及邻近地区 获得了比前人丰富得多的中小地震的震源机制解, 这为分析郯庐断裂带安徽段及其分段的构造应力场 特征奠定了坚实的基础。

通过对震源机制参数统计表明, 郑庐断裂带安 徽段及邻区的断层性质总体以走滑断层为主 (54%)、逆断层次之(26%)、正断层最少(20%), 震 源机制解的 P、T 轴的方位角和倾角具有明显的优 势分布, 表现为近 EW 向的水平挤压和近 NS 向的 水平拉张作用, 与华北南部最大主应力方向为近 EW 向的结果较为一致<sup>[18]</sup>。

基于大量的震源机制解资料,采用力轴张量计 算法反演了郯庐断裂带安徽段及其分区北亚段和南 亚段的平均构造应力场。反演结果与震源机制参数 统计结果一致,也与刘东旺等<sup>[5]</sup>采用系统聚类法得 到的结果一致,均显示该地区的现代构造应力场表 现为近 EW 向的水平挤压和近 NS 向的水平拉张作 用。

分析郯庐断裂带安徽段及邻区的最大主压应力 轴  $\sigma_1$ 的方位角随时间变化曲线,结果表明北亚段和 南亚段最大主压应力轴  $\sigma_1$ 的方位角的总体趋势较 为一致,均呈现出 1998 年前后由顺时针偏转转折至 逆时针偏转。北亚段最大主压应力轴方位角从 1988~1993 年持续顺时针偏转,偏转幅度达 23°, 1994 年开始转折,转折回升后发生 1995 年苍山  $M_{\rm s}5.2$  地震,与周翠英等<sup>[20]</sup>利用小震综合节面解得 到的苍山地震前 P 轴方位的变化趋势一致。

### 参考文献(References)

- [1] Xu J W,Zhu G,Tong W X,et al. Formation and Evolution of the Tancheng-Lujiang Wrench Fault System: A Major Shear System to the Northern of the Pacific Ocean[J]. Tectonophysics,1987, 134(4):273-310.
- [2] 姚大全,刘加灿,翟洪涛,等. 地震韵律研究方法初探——以郯 庐断裂带龙泉山西麓剖面研究为例[J]. 地震研究,2005,28
   (1):49-52.

YAO Da-quan, LIU Jia-can, ZHAI Hong-tao, et al. Preliminary Research Method of Seismic Rhythms—— Taking the Research on the Longquanshan West-foot Profile in the Tancheng — Lujiang Fault Zone as An Example [J]. Journal of Seismological Research, 2005, 28(1):49-52. (in Chinese)

- [3] 魏光兴,刁守中,周翠英. 郑庐带地震活动性研究[M].北京:地 震出版社,1993:110-166.
  Wei G X, Diao S Z, Zhou C Y. Research on Seismic Activity of Tanlu Fault Zone[M]. Beijing: Seismological Press, 1993: 110-166. (in Chinese)
- [4] 夏瑞良,刘东旺. 郑庐断裂带南段的地震活动及应力场特征
  [J]. 福建地震,1995,11(4):13-19.
  XIA Rui-liang, LIU Dong-wang. The Characteristics of the Earthquake Activity and Stress Field in South Tanlu Faults
  [J]. Fujian Earthquake, 1995,11(4):13-19. (in Chinese).
- [5] 刘东旺,夏瑞良,刘泽民,等. 郯庐断裂带安徽段现代地震活动 及应力场特征[J]. 地质科学,2006,41(2):278-290.
  LIU Dong-wang, XIA Rui-liang, LIU Ze-min, et al. Characteristics of Recent Seismic and Stress Field in Anhui sector of the Tanlu Fault Zone[J]. Chinese Jour. Geol., 2006,41(2): 278-290. (in Chinese)
- [6] 钟继茂,程万正.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,2006,28(4): 337-346.

第35卷第3期

ZHONG Jimao, CHENG Wan-zheng. Determination of Directions of the Mean Stress Field in Sichuan — Yunnan Region from A Number of Focal Mechanism Solutions[J]. Acta Seismologica Sinica, 2006, 28(4): 337-346. (in Chinese)

- [7] 高国英,聂晓红,龙海英.近期新疆震源机制解与地震活动特征研究[J].西北地震学报,2012,34(1):57-63.
   GAO Guo-ying, NIE Xiao-hong, LONG Hai-ying. Research on the Characteristics of Recent Focal Mechanism Solution and Seismic Activity in Xinjiang Area[J]. Northwestern Seismological Jouranl, 2012, 34(1):57-63. (in Chinese)
- [8] 梁尚鸿,李幼铭,束沛镒,等.利用区域地震台网 P、S 振幅比资 料测定小震震源参数[J].地球物理学报,1984,27(3):249-256.

LIANG Shang-hong, LI You-ming, SHU Pei-yi, et al. Determined the Focal Mechanism Solution of Micro Earthquakes from Amplitude Ratio of P and S Recorded by Area Seismological Network[J]. Chinese Jour. Geophys., 1984, 27(3) :249-256. (in Chinese)

- [9] Snoke J A, Munsey J W, Teague A G, et al. A Program for Focal Mechanism Determination by Combined Use of Polarity and SV - P Amplitude Ratio Data[J]. Earthquake Notes, 1984, 55(3):15-20.
- [10] Snoke J A. Earthquake Mechanism[G]//James D E. Encyclopedia of Geophysics. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1989;239-245.
- [11] http://www.iris.edu/software/downloads/processing/.
- [12] 胡新亮, 7桂苓, 马瑾, 等.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[J].地震地质, 2004, 26(2): 347-354.

HU Xin-liang, DIAO Gui-ling, MA Jin, et al. Reliability Analysis of Focal Mechanism Solutions of Micro Earthquakes Determined from Amplitude Ratio of  $\overline{P}$  and  $\overline{S}$  Recorded by Digital Seismograph[J]. Seismology and Geology, 2004, 26 (2):347-354. (in Chinese)

- [13] 倪红玉,刘泽民,沈小七,等. 利用 FOCMEC 方法计算震源机 制解的影响因素分析[J]. 华北地震科学,2011,29(3):1-7.
  NI Hong-yu, LIU Ze-min, SHEN Xiao-qi, et al. Analysis on the Factors of Determining the Focal Mechanism Using FOC-MEC Method[J]. North China Earthquake Sciences, 2011, 29(3):1-7. (in Chinese)
- [14] 刘杰,郑斯华,康英,等. 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[J]. 地震,2004,24(1):19-26.
   LIU Jie, ZHENG Si-hua, KANG Ying, et al. The Focal

Mechanism Determinations of Moderate-small Earthquakes Using the First Motion and Amplitude Ratio of  $\overline{P}$  and  $\overline{S}$  Wave [J]. Earthquake, 2004,24(1):19-26. (in Chinese)

[15] 阚荣举,张四昌,晏凤桐,等.我国西南地区现代构造应力场与 现代构造活动特征的探讨[J].地球物理学报,1977,20(2): 96-107.

KAN Rong-ju, ZHANG Si-chang, YAN Feng-tong, et al. Study on the Current Tectonics Stress Field and the Characteristics of Current Tectonic Activity in the Southwest China [J]. Chinese Journal of Geophysics, 1977, 20(2) :96-107. (in Chinese)

- [16] 阮祥,程万正,乔惠珍,等.安宁河一则木河地震带震源参数及应力状态的研究[J].西北地震学报,2011,33(1):46-50.
  RUAN Xiang, CHENG Wan-zheng, QIAO Hui-zhen, et al.
  Research on Source Parameters and Stress State in Anninghe — Zemuhe Earthquake Belt[J]. Northwestern seismological Jouranl, 2011,33(1):46-50. (in Chinese)
- [17] 林向东,徐平,武敏捷,等. 小江断裂中段及邻区构造应力场分布特征[J]. 中国地震,2010,26(2):192-200.
  LIN Xiang-dong, XU Ping, WU Min-jie, et al. Inversion of Stress Field in Middle Section of the Xiaojiang Fault and Its Adjacent Area[J]. Earthquake research in China, 2010,26 (2):192-200. (in Chinese)
- [18] 陈连旺,杨树新,谢富仁.华北块体现今构造应力场及其年变 化特征[G]//中国大陆地壳应力环境研究.北京:地质出版 社,2003:105-117.

CHEN Lian-wan, YANG Shu-xin, XIE Fu-ren. Annual Changes of Tectonic Stress Field In North China Block[G] // The Research on Crustal Stress Environment in China. Beijing: Geological Publishing House, 2003; 105-117. (in Chinese)

- [19] 刘泽民,刘东旺,李玲利,等. 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,2011,33(5):605-613.
   LIU Ze-min, LIU Dong-wang, LI Ling-li, et al. Determination of Mean Stress Field in Eastern Dabie Region from Focal Mechanism Solution Analysis[J]. Acta Seismologica sinica, 2011,33(5):605-613. (in Chinese)
- [20] 周翠英,华爱军,王梅,等.1995 年苍山 5.2 级地震前应力场的动态变化[J].地震地质,1997,19(2):135-140.
  ZHOU Cuiying, HUA Aijun, WANG Mei, et al. Dynamic Changes of Stress Field before the Cangshan M5.2 Earth-quake in 1995[J]. Seismology and Geology, 1997,19(2): 135-140. (in Chinese)