

福建永安—晋江断裂带东南段地震动力环境分析*

林松建, 黄宗林

(福建省地震局, 福建 福州 350003)

摘要: 通过对永安—晋江断裂带东南段所在地区的震源机制解和构造应力场、大地形变观测、地壳三维 P 波速度结构等资料进行分析, 得到: (1) 地震动力主要来自于福建东南海中, 地震动力作用与菲律宾海板块对台湾岛弧作用密切相关; (2) 构造应力场主压应力轴方向大致与北西向的永安—晋江断裂带展布方向一致, 地震动力波前峰大致位于泉州湾地区, 动力作用方向自泉州湾向西北呈扇形散开; (3) 永安—晋江断裂带东南段主要以拉张走滑运动为主, 因此断裂带容易发生正断、走滑型地震。

关键词: 永安—晋江断裂带; 震源机制解; GPS 观测

中图分类号: P315.727

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2013)03-0299-07

0 引言

北西向永安—晋江断裂带东南段位于福建东部沿海地区中部, 在断裂带展布区内发生过多次破坏性地震, 如 1907 年 10 月 15 日泉州 5 级地震和 1934 年 5 月 21 日南安、安溪交界 5 $\frac{3}{4}$ 级地震, 这 2 次破坏性地震均有早期地震台仪器记录, 这些地震的发生与该断裂带活动具有一定的关联性, 断裂带东南段展布区内现今地震活动弱, 距离最后一次破坏性地震发生已有 70 多年, 存在发生破坏性地震的可能。

卓秀榕和陈光桐 (1983)、林松建等 (2009) 利用地震震源机制解分析了福建地区构造应力场及主压应力轴方向, 讨论了主压应力轴方向迹线分布特征, 并认为产生这种应力轴方向迹线分布的动力来自东南方向; 周硕愚等 (2000) 主要根据 GPS、跨断层及水准测量, 并结合震源机制, 讨论了福建地区地壳运动特征和强震动力来源; 史彝华等 (2006) 根据震源机制解、大地测量资料及地震活动性, 认为福建地区地震动力与台湾及台湾海峡相衔接, 主要受台湾岛弧碰撞带的影响。以上研究均从大的背景上分析了福建地区地震动力来于东南方向, 与台湾岛弧碰撞带动力作用直接相关或密切相关。

本文通过对震源机制解、大地测量和地壳介质速度结构特征等资料进行分析, 给出断裂带局部及周围动力环境、断裂带力学运动特征。结合断裂带的地质调查与探测工作, 合理评估断裂发震或控震特点及发震能力。

1 地震构造应力场分析

现代构造应力场是驱动地壳断裂构造活动并孕育发生地震的基本原因, 不同走向的断裂活动的性质及其发生地震的震源力学特性, 反映了区构造应力场的特征。因此根据地震的震源机制解分析反推地震发生地区的现代构造应力场是目前常用的有效方法。

1.1 单个地震的震源机制解

本次工作收集了 26 次地震震源机制解结果 (林松建等, 2009), 同时补充测定了 4 次地震震源机制解 (表 1、图 1)。

单个地震震源机制解的 P、B、T 轴并不等同于构造应力场的最大、中等、主张应力轴, 但地震是在区域构造应力场作用下发生的, 大量的单个地震震源机制解结果, 可以描绘出现代构造应力场的轮廓, 这些地震的断层错动方式在反映应力场作用方面具有一定的代表性。由震源机制解得到的 3 个主应力轴空间方向, 可以判定地震发生

* 收稿日期: 2012-07-17.

基金项目: 福建省政府项目“福建省主要断裂调查与前兆流动监测”资助.

的断层运动性质和水平向最大主应力方向（崔效锋等, 2005），这样得到的水平向最大主应力轴方位见图 2。

表 1 及图 1 显示，研究区内 30 个震源机制解应力主轴 P、T 轴方向较离散，但也存在优势方向，水平最大主应力的优势方位为 SE – NW。P 轴的仰角

较离散，而 T 轴的仰角一般小于 30°。断层运动性质主要以走滑或正断为主，共有 27 次地震，而逆断层或逆走滑型断层活动很少，只有 3 次。因此本区断层活动呈现多样性，主要以走滑和正断层活动为主。这些结论与鄢家全等（1979）、汪素云和许忠淮（1985）研究成果基本一致。

表 1 单个地震的震源机制解参数
Tab. 1 Focal mechanism solutions parameters of earthquakes

年 – 月 – 日	时:分	λ_E /(°)	φ_N /(°)	深度 /km	震级 (M_L)	节平面 A/(°)			节平面 B/(°)			P 轴/(°)		T 轴/(°)		B 轴/(°)	
						走向	倾角	滑动角	走向	倾角	滑动角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角
1992 – 09 – 29	18:28	118.23	25.07	13	3.0	35	75	– 109	87	24	– 40	281	56	139	28	40	18
1998 – 08 – 04	10:22	117.96	24.33	11	3.0	18	30	– 142	74	72	– 65	16	56	145	23	246	24
1998 – 08 – 10	18:47	117.25	24.73	7	2.3	133	29	– 147	13	75	– 65	133	54	264	26	6	24
1999 – 08 – 05	10:30	119.17	25.17	14	3.6	17	61	– 12	113	80	– 151	338	28	242	12	131	59
1999 – 08 – 05	20:07	119.3	24.62	11	4.8	90	85	– 179	180	89	– 5	135	4	225	2	345	85
1999 – 08 – 10	05:31	118.02	24.98	8	2.8	133	29	– 147	13	75	– 65	133	54	264	26	6	24
1999 – 08 – 20	10:35	119.32	24.82	13	3.6	81	90	– 171	171	81	0	126	7	36	6	263	81
1999 – 08 – 27	12:40	117.63	24.90	16	3.0	54	88	21	145	69	178	281	14	187	16	49	69
1999 – 10 – 26	16:30	119.38	25.85	13	2.3	93	47	– 90	93	43	– 90	177	88	3	2	273	0
2000 – 07 – 06	07:28	117.53	25.72	9	2.8	82	23	– 93	85	67	– 89	358	68	174	22	265	1
2000 – 07 – 24	01:07	118.03	25.37	19	2.4	4	88	– 170	94	80	– 2	139	8	229	6	352	80
2000 – 10 – 13	02:15	117.95	24.57	28	3.1	5	84	10	94	80	174	319	3	49	11	215	79
2001 – 04 – 01	00:55	117.80	25.10	28	3.1	86	63	– 38	157	57	– 147	304	45	211	3	117	45
2001 – 05 – 16	21:20	117.03	25.48	10	3.1	70	89	179	160	89	1	115	0	25	2	218	88
2001 – 08 – 06	15:09	118.70	23.97		4.2	41	66	– 11	126	80	– 155	261	24	356	10	106	64
2001 – 11 – 24	09:10	118.82	25.87	10	3.4	12	67	– 39	120	54	– 151	331	44	68	8	166	45
2002 – 03 – 12	05:23	118.70	24.52	29	3.8	63	72	– 131	134	44	– 26	111	47	2	17	258	38
2002 – 03 – 20	04:29	118.22	24.42	19	2.6	84	42	– 104	103	50	– 77	72	80	184	4	275	10
2002 – 06 – 27	20:37	118.93	25.48	23	3.5	90	44	22	163	75	132	223	19	114	44	330	40
2003 – 02 – 27	17:22	117.58	25.23	8	3.0	0	46	– 32	114	67	– 131	338	50	232	13	132	38
2003 – 03 – 18	15:42	117.58	25.23	7	3.6	5	81	– 179	95	89	– 9	140	7	49	6	281	81
2003 – 07 – 03	18:41	117.25	25.23	21	3.5	164	78	– 56	91	35	– 159	288	46	48	25	156	33
2004 – 03 – 04	16:25	117.60	25.23	7	3.6	5	68	9	91	82	158	140	9	46	22	252	66
2004 – 05 – 30	16:24	118.85	24.08		4.5	109	48	48	163	56	127	227	4	130	60	320	30
2004 – 11 – 10	07:59	118.25	24.62	20	3.5	65	72	– 32	166	59	– 159	22	35	118	8	219	53
2005 – 07 – 27	06:05	119.10	25.62	28	3.1	88	87	– 173	178	83	– 3	133	7	43	3	290	82
2006 – 01 – 18	01:22	117.75	25.38	10	3.6	110	60	– 112	149	36	– 57	158	67	36	13	302	19
2007 – 04 – 24	04:30	117.40	24 – 52	19	3.3	142	55	– 86	135	35	– 95	247	80	49	10	140	3
2007 – 06 – 12	05:06	117.62	24.93	21	4.1	124	53	– 115	162	44	– 60	154	69	52	5	320	20
2007 – 08 – 29	07:28	117.77	25.48	15	4.6	167	59	82	2	32	103	83	14	234	75	351	7

从图1和图2大致可以看出,地震构造应力场水平向主压应力轴方向在断裂带两侧的差异,表现在断裂带北侧随着与断裂带距离的增加,至福州、福清附近,方向渐渐转为北北西或近南北方向(柯龙生,林世敏,1994),而断裂带南侧,同样随距离的增加,自厦门以南至闽粤交界的沿海

地区,方向渐渐转为近东西方向(林纪曾等,1980,1991)。中国东部地区主压应力轴方位迹线像一把大扇子向东展开(鄢家全等,1979),这种分布特征是由西向东动力作用产生的结果;与之相反的,福建东部沿海地区主压应力轴方向迹线像一把小扇子向西展开,这是自东南向西北动力作用产生的结果。

1.2 小震综合节面解分析

由多个地震求得的综合节面解,可以判断地震所发生地区的构造应力场特征。为此笔者收集4组小震综合节面解结果列于表2(林松建等,2009)。从表2中可见,研究区平均P轴和T轴均为水平方向,P轴方位为NW-SE向,T轴方位为NE-SW向。

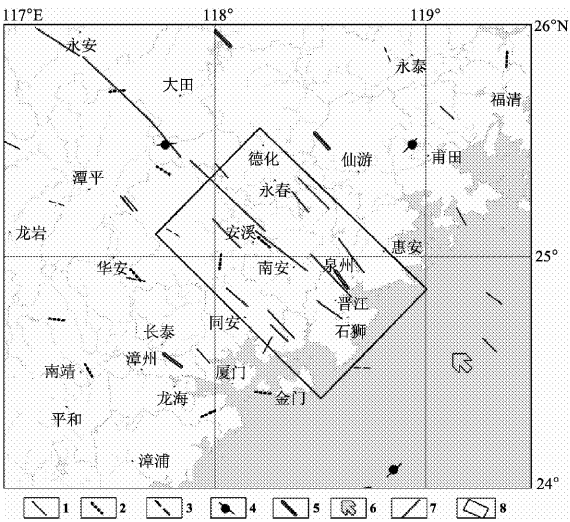
表2 小震综合节面解

Tab. 2 Composite nodal plan solutions of the small earthquakes

序号	中心位置 (φ_N, λ_E)/(°)	P轴/(°)		T轴/(°)		N轴/(°)		矛盾比
		Az	Pl	Az	Pl	Az	Pl	
1	(24.56, 117.79)	126	2	228	1	320	88	0.28
2	(24.91, 118.59)	145	5	235	5	11	83	0.31
3	(25.50, 118.51)	318	3	48	3	185	86	0.24
4	(25.97, 118.04)	316	23	225	3	129	67	0.26

图1 单个地震震源机制解

Fig. 1 Focal mechanism solution of each earthquake



1—走滑型地震; 2—正断型地震; 3—正走滑型地震; 4—逆断型或逆走滑型地震; 5—小震综合节面解; 6—主压应力场方向; 7—永安晋江断裂带展布; 8—断裂调查区范围

图2 地震构造应力场水平向主压应力轴方位分布图

Fig. 2 The azimuths distribution of the principal compressive stress axis of seismic tectonic stress field in horizontal direction

1.3 地震构造应力场综述

通过对单个地震震源机制解的研究和小震综合节面解,认为泉州地区的现代构造应力场与区域构造应力场特征基本一致。现代构造应力场P轴为NW-SE方向,P轴仰角较离散;T轴为NE-SW方向,T轴仰角一般较小。因此北西向的永安—晋江断裂带容易发生正断走滑性质的地震。

北西向永安—晋江断裂带位于福建沿海构造应力场主压应力轴扇形展开的中轴线上,随着与断裂带距离增加,构造应力场主压应力轴方向慢慢散开,仅从主压应力场方向迹线看,福建沿海地区好像受到台湾海峡中部点力源的作用,而泉州湾地区刚好位于动力作用波前峰位置,动力作用方向自泉州湾向西北呈扇形散开。

2 地壳P波速度分布特征

陈祥熊等(2009)收集了1990~2006年福建

区域地震观测台网记录到的 7 108 个地震的 22 050 个 P 波到时数据,应用层析成像方法反演了福建—台湾地区的三维速度结构。根据对解的分辨率和可靠性分析,所得结果相当可靠,但对反演结果的构造解释几乎没有。通过分析北西向永安—晋江断裂带东南段地壳 P 波速度分布特征,有助于进一步了解断裂带展布地区的深部构造和动力作用环境。

通过反演得到 15 km 深度 P 波速度分布 (图 3),从图 3 可见,福建沿海地区有 2 块深蓝色的高速区,高速区之间的鞍部正好是永安—晋江断裂带展布和通过的地方,一般在高、低速区交界部位是地震孕育和发生的场所,15 km 左右是泉州地区地震震源深度的优势深度 (林松建等,2010),因此断裂带通过的地区具有地震发生的危险性。

从图 4 看出,泉州地区深部主要表现为高速异常,只是浅部中上地壳表现为低速凹槽,断裂带经过地区的速度结构深浅不同分布差异,同时结

合地表地质调查结果,断裂展布区内未发现深断裂证据,因此认为断裂带没有延伸至下地壳,而断裂部位的低速凹槽可能是在福建沿海整体挤压作用下的局部拉张引起的 (林松建等,2009)。

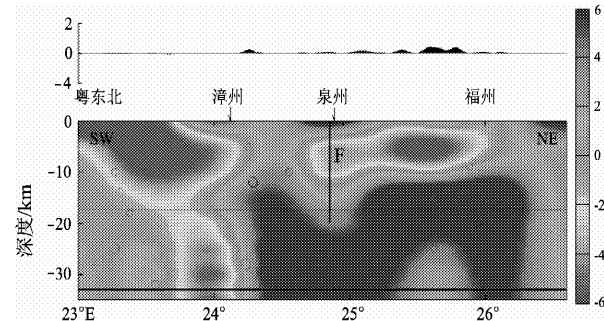


图 4 福建沿海 P 波速度扰动垂直剖面图
(黑色直线 F 为断裂带位置)

Fig. 4 The vertical profile graph of P wave velocity perturbation along Fujian Coast (black line F is the location of the fault)

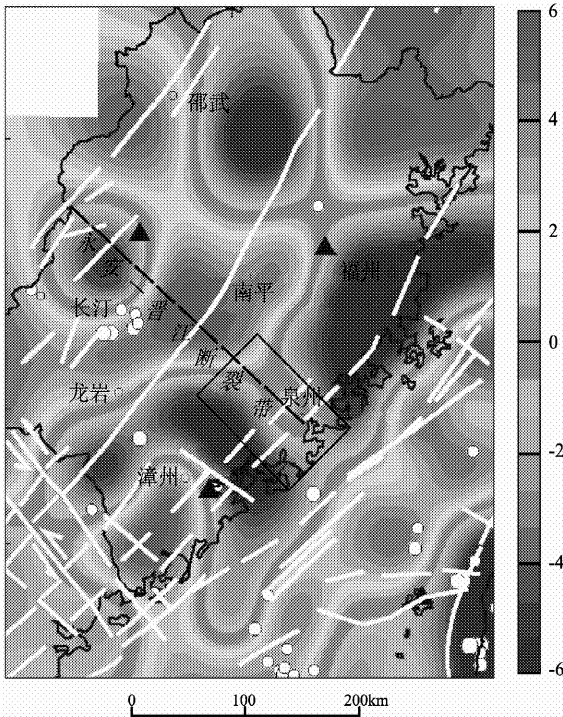


图 3 福建及台湾海峡 15 km 深度 P 波速度扰动平面图 (黑色矩形框为调查区范围)

Fig. 3 The plane graph of P wave velocity perturbations at 15 km depth in Fujian and Taiwan Strait (black rectangle is the range of survey area)

3 GPS 观测结果分析

福建省自 1994 年就开始 GPS 观测,对这些 GPS 观测资料分析已有许多研究成果,下面介绍最新的 GPS 观测结果 (由福建省地震局预报中心吴绍祖工程师提供),结合周硕愚等 (2000) 的研究成果讨论永安—晋江断裂带东南段及调查区地震动力背景。

使用目前正在运行的福州 (FUZH)、莆田 (PUTI)、泉州 (QUZH)、永春 (YONC)、厦门 (XIAM)、东山 (DOSH)、龙岩 (LYAN)、南平 (NANP) 8 个 GPS 基准站,同时使用了台湾桃园 (TWTF) 基准站 2004 ~ 2008 年的观测数据,数据处理结果见图 5。

由图 5a 可以看出,闽台 GPS 观测站大约以 30 mm/a 的速度向 ES 方向运动,各测点的速度矢量指向基本平行、模量大致相等,反映了整体向 ES 方向运动的特征。

在重心基准下 (扣除块体的整体运动),2004 ~ 2008 年闽台 GPS 观测站运动速率如表 3,矢量如图 5b 所示。其中泉州 GPS 基准站运动速度最大为 2.10 mm/a。

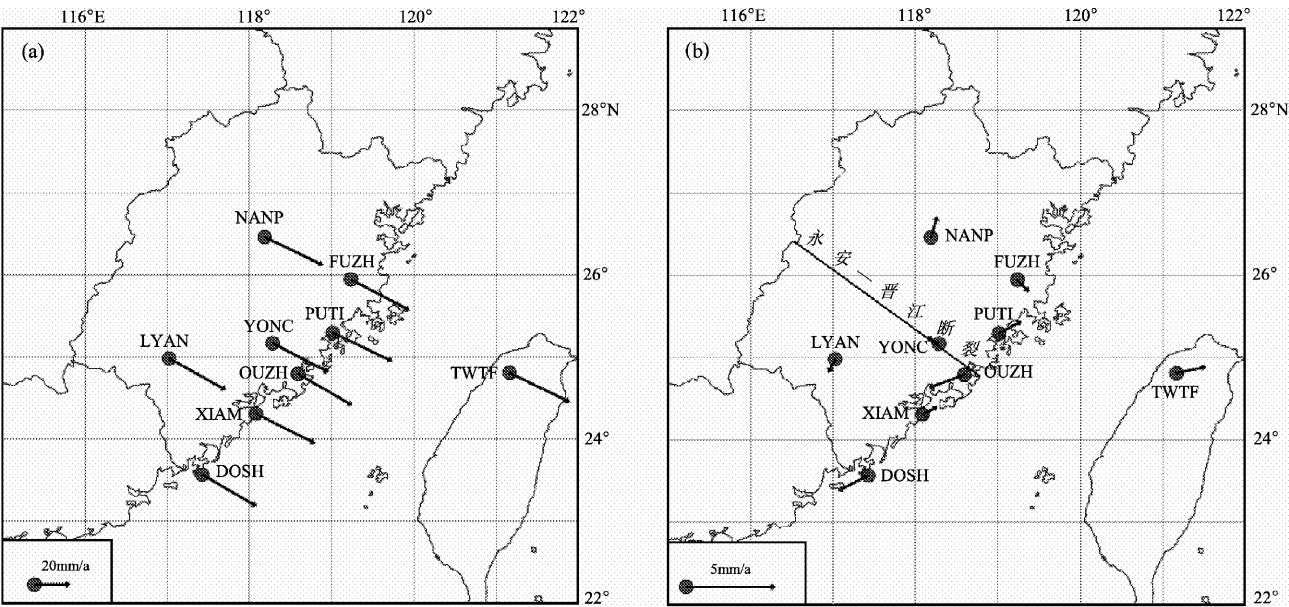


图5 2004~2008年闽台GPS观测站运动矢量图
(a)在ITRF2000全球框架下；(b)重心基准下（扣除块体的整体运动）

Fig. 5 Movement vector graph of GPS observation stations in Fujian-Taiwan area between 2004 and 2008
(a) under the global frame of ITRF200; (b) under the gravity center benchmark (deduction of the overall movement of the block)

表3 2004~2008年重心基准下闽台地区GPS观测站年运动速率（单位：mm/a）
Tab. 3 Movement velocity of GPS observation stations in Fujian-Taiwan area under the gravity center benchmark between 2004 and 2008 (unit: mm/a)

站名	福州	莆田	泉州	永春	厦门	东山	龙岩	南平	桃园
代码	FUZH	PUTI	QUZH	YONC	XIAM	DOSH	LYAN	NANP	TWTF
速度	0.90	1.40	2.10	0.76	0.95	1.87	0.83	1.20	1.67

图5b以福建省8个GPS测站与台湾桃园站为整体，大致扣除了整体均匀向ES方向的运动，展现了研究区内部的相对运动，从图上可看出，福建地区8个测站运动大致以永安—晋江断裂带为轴线，断裂带北侧向北东方向运动，而断裂带南侧向西南方向运动，总体上两侧运动呈张性特征，这种运动特征在有GPS观测资料以来是基本稳定的（周硕愚，2000）。

4 地震动力环境分析

(1) 从GPS观测结果看，福建地区在NW-SE方向上，既存在着大陆指向海洋的矢量方向整体一致的较均匀的运动，又存在着海洋指向大陆的矢量方向呈扇形展开的不均匀运动，前者的平

均年速度比后者大10倍以上，前者可能体现了印度板块碰撞导致的侧向运动传递对中国大陆东南沿海的作用，后者可能体现了菲律宾海板块对台湾岛东侧仰冲推挤对东南沿海产生的影响；前者的速度场比较均匀，而后者的速度场则相当不均匀。因此从台湾海峡指向大陆的不均匀运动为强震的孕育与发生提供动力条件（卓秀榕，陈光桐，1983；林松建等，2009；周硕愚2000）。

(2) 从震源机制解结果看，福建地区地震构造应力场P轴方向大致为NW-SE方向，构造应力场P轴迹线大致以永安—晋江断裂带为轴向北西方向扇形张开（图2），与GPS观测结果基本一致，这些资料表明福建地区的动力来源主要来自台湾海峡指向大陆的作用力（卓秀榕，陈光桐，1983；林松建等，2009；周硕愚等，2000）。

(3) 永安—晋江断裂带东南段所处的区位是福建沿海地区地壳 P 波速度较大的地区, 断裂带经过地区刚好为 P 波速度低速凹槽, 同时结合震源机制解结果和大地测量资料分析, 永安—晋江断裂带东南段处于福建沿海挤压背景下, 断裂带展布区局部处于拉张运动状态。

5 认识与结论

通过对永安—晋江断裂带东南段所在地区的震源机制解及构造应力场特征、地壳波度三维结构、大地测量资料分析工作, 大致可以得到以下认识:

(1) 永安—晋江断裂带东南段地震动力主要来自于其东南海中, 地震动力作用与菲律宾海板块对台湾岛弧作用密切相关。

(2) 构造应力场主压应力轴方向大致与北西向的永安—晋江断裂带展布方向一致, 地震动力作用波前峰大致位于泉州湾地区, 动力作用方向自泉州湾向西北呈扇形状散开。

(3) 北西向的永安—晋江断裂带东南段主要以拉张走滑运动为主, 因此断裂带容易发生正断走滑性质地震。

本文得到陈祥熊研究员的指导和帮助, 在此表示感谢。

参考文献:

- 陈祥熊, 李祖宁, 林树, 等. 2009. 福建—台湾地区三维速度结构反演、区域地震活动性及深部构造解释[C]//海峡两岸防震减灾学术研讨会论文集: 134-147. 福州: 福建省地震学会.
- 崔效锋, 谢富仁, 赵建涛. 2005. 中国及邻区震源机制解分区特征[J]. 地震地质, 27(2): 298-307.
- 柯龙生, 林世敏. 1994. 台湾海峡及其西边地区正常地震动态及危险性特征[J]. 台湾海峡, 13(2): 190-197.
- 林纪曾, 蒋维强, 李幼铭, 等. 1991. 粤东、闽南沿海小震震源参数的研究[J]. 地震学报, 13(4): 420-429.
- 林纪曾, 梁国昭, 赵毅, 等. 1980. 东南沿海地区的震源机制与构造应力场[J]. 地震学报, 2(3): 245-257.
- 林松建, 陈为伟, 郑师春. 2010. 福建地区地震震源深度特征的统计分析[J]. 地震, 30(1): 82-89.
- 林松建, 丁学仁, 陈为伟, 等. 2009. 福建地区震源机制解与现代构造应力场[J]. 大地测量与地球动力学, 29(5): 27-32.
- 林松建, 黄宗林, 吴绍祖. 2009. 福建永安—晋江断裂带东南段地震活动及动力环境分析[C]//海峡两岸防震减灾学术研讨会论文集. 福州: 福建省地震学会.
- 史舜华, 周峥嵘, 鲍挺, 等. 2006. 福建及沿海地区地震活动力源探讨[J]. 地震, 26(2): 104-112.
- 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.
- 鄢家全, 时振梁, 汪素云, 等. 1979. 中国及邻区现代构造应力场的区域特征[J]. 地震学报, 1(1): 9-24.
- 周颂恩, 帅平, 郭逢英, 等. 2000. 中国福建及其边缘海域现时地壳运动定量研究——GPS、断层形变和水准等测量与震源机制结果的综合分析[J]. 地震学报, 22(1): 66-72.
- 卓秀榕, 陈光桐. 1983. 闽台震源机制和区域应力场[J]. 地震学报, 5(4): 397-411.

Analysis for the Earthquake Dynamic Environment of Southeast Segment of Yong'an-Jinjiang Faults in Fujian

LIN Song-jian, HUANG Zong-lin

(*Earthquake Administration of Fujian Province, Fuzhou 350003, Fujian, China*)

Abstract

Analyzing the data of the focal mechanism solutions, the tectonic stress field, the geodetic deformation observation and the 3D P-wave crust velocity structure in the area of southeastern of Yong'an-Jinjiang Fault, the followings results were obtained: (1) The earthquake dynamic in Fujian coast mainly comes from South-East Sea of Fujian region, and the earthquake dynamic effect is closely related to the effect of Philippines plate on Taiwan arc. (2) The direction of principal compressive stress axis in tectonic stress field is consistent with that of Yong'an-Jinjiang Fault zone in NW-direction. The wave front of earthquake dynamic is located at Quanzhou Bay region, and the direction of earthquake dynamic effect spread out from Quanzhou Bay to its northwestern area as a fan-shape. (3) The main movement of southeastern segment of Yong'an-Jinjiang Fault zone is extensional strike-slip, so it is regard as the area of easily occurrence of the normal or strike-slip type earthquakes in the fault zone.

Key words: Yong'an-Jinjiang Fault zone; focal mechanism solution; GPS observation