

福建及邻区地震序列类型分布特征分析*

林松建, 赵志伟

(福建省地震局, 福建 福州 350003)

摘要: 整理和分析了 1971 ~ 2009 年发生在福建及邻区的 46 组地震序列。结果显示: 福建地区具有较明显的地震序列类型分区特征: 东部沿海地区以孤立型或主余震型地震活动为主, 而西部内陆地区多发生震群型地震; 地震序列类型分布特征可能与福建地区地震动力作用、构造应力场及地震断层运动性质、地层岩性分布特征有关, 同时地震序列类型分布特征也从一个侧面反映了福建地区地震构造运动及动力环境。这些结果对分析福建地区地震活动特征及震后趋势的准确预测有所帮助。

关键词: 地震序列类型; 分布特征; 地震活动; 福建

中图分类号: P315.75

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 0666(2011)04 - 0447 - 06

0 引言

地震序列是指一次较大地震(主震)发生后的一系列地震的时空群集。国内许多学者专门开展了地震序列研究(吴开统等, 1990; 蒋海昆等, 2007), 希望从地震发生的规律中找到地震预报的有效途径。王华林等(1997)、蒋海昆等(2006)以整个中国大陆为研究对象, 给出了中国大陆地震序列类型的分区特征, 并讨论了地震序列类型与震源环境的关系, 即地震序列类型主要受震源区介质状态、地震动力过程和发震断层几何性质等因素影响, 因此各个地区的地震序列类型分布各有特点。针对不同地区的地震序列类型的分布及成因, 地震工作者得到了许多不同的研究成果(陈玉华等, 2001; 周翠英等, 2001; 皇甫岗等, 2007; 张杰等, 2005; 郭和等, 2002; 方炜等, 2004)。

福建及邻区地处中国东南沿海强震活动带, 地震动力作用主要受印度洋板块对喜马拉雅地区碰撞和西太平洋俯冲带菲律宾海板块与台湾岛弧碰撞产生的两个不同方向作用力共同作用的结果。该区历史上曾发生过 1604 年泉州海外 7½ 级地震、1185 年漳州 6½ 级和 1445 年漳州 6¼ 级等多次大地震, 未来仍将有发生大地震的可能。福建地区地震序列分析散见于每一次地震的研究报告及有关文章(彭美凤, 郭文发, 1990, 柯龙生等, 1985,

1994; 林思诚, 2001; 黄向荣等, 2000)。笔者系统分析了 1971 年以来福建地区发生的 $M_L \geq 4.0$ 地震序列及 $M_L \geq 3.0$ 震群型地震序列, 福建东部沿海与西部内陆不同的地震序列类型特征以及震群型地震发生的位置等地理分布特征, 并对序列类型地理分布特征的成因进行了探讨, 这些结果对福建地区地震活动特征的认识及显著地震的后续趋势的快速判定有实际意义。

1 资料选取与地震序列类型划分原则

1.1 地震资料的选取

福建及邻区是指福建陆域及其外延 50 km 的区域范围。地震目录主要使用福建地震台网目录(1971 ~ 2009 年), 同时参考中国地震台网目录。选取对福建影响较大的地震: 震群型地震取 $M_L 3.0$ 以上, 而其它类型地震取 $M_L 4.0$ 以上, 共获得 46 组地震事件, 其中 $M_L 4.0$ 以上地震 38 组(49 次), 地震序列参数列于表 1。

1.2 地震序列类型划分原则

地震序列类型的划分依据研究重点的不同而有所差异, 一般划分为孤立型、主余型、前主余型和震群(多震)型四类(吴开统等, 1990; 陈玉华等, 2001), 划分主要考虑以下 2 条原则:

(1) 最大地震释放的能量 E_m 与整个地震序列释放的总能量之比 $E_m/\Sigma E$;

(2) 最大地震震级与次大地震震级之差 ΔM 。

表 1 地震序列参数表
Tab. 1 Parameters of earthquake sequences

序号	发震时间	地震参数		最大地震	次大地震	序列	参考地名
	年-月-日	$\varphi_N/(^{\circ})$	$\lambda_E/(^{\circ})$	M_L	M_L	类型	
1	1971-08-21	23.3	117.3	4.3	-	孤立	广东南澳海外
2	1972-02-20	23.6	117.6	4.1	-	孤立	东山海域
3	1972-05-24	25.2	116.9	4.2	-	孤立	龙岩
4	1972-09-09	24.1	118.7	4.3	2.3	主余	厦门东南
5	1974-07-15	23.3	117.4	4.1	2.9	主余	广东南澳海外
6	1977-09-15	23.3	117.2	5.0	3.0	主余	广东南澳海外
7	1978-11-23	23.9	118.4	4.2	-	孤立	漳浦海外
8	1979-06-07	24.6	116.2	4.2	2.4	主余	广东蕉岭
9	1980-04-07	27.42	120.73	4.7	-	孤立	浙江苍南海域
10	1980-05-08	23.35	117.62	4.8	3.6	主余	东山海外
11	1981-01-25	23.6	117.7	4.2	-	孤立	东山海外
12	1981-08-27	24.0	118.5	4.3	2.0	孤立	金门海外
13	1983-05-12	25.1	115.9	4.2	3.0	主余	武平
14	1987-08-02	25.03	115.60	5.8	5.2	震群	江西寻乌
15	1988-10-31	25.65	119.48	4.0	-	孤立	福清
16	1992-02-18	25.02	119.67	5.6	2.9	孤立	莆田海域
17	1992-03-03	24.08	118.17	4.8	2.0	孤立	漳浦海外
18	1992-06-02	24.35	117.85	4.1	4.1	双震	龙海
19	1992-11-26	25.48	116.95	5.1	3.2	主余	连城
20	1993-10-21	23.20	117.17	4.2	-	孤立	广东南澳海外
21	1994-05-24	25.58	117.18	4.8	4.4	震群	永安
22	1995-02-25	24.37	118.70	5.6	3.8	主余	晋江海外
23	1996-04-21	26.37	118.67	4.1	2.8	主余	古田
24	1997-05-31	25.58	117.18	5.6	4.1	前震	永安
25	1997-12-11	23.37	117.32	4.1	-	孤立	广东南澳海外
26	1999-04-06	23.50	116.97	4.0	-	孤立	广东饶平
27	1999-08-05	24.82	119.30	4.8	3.6	主余	惠安海外
28	2000-02-12	23.28	117.25	4.4	3.1	前震	广东南澳海外
29	2000-05-27	23.85	118.03	4.6	-	孤立	漳浦海外
30	2003-12-04	25.37	115.78	4.2	-	孤立	江西会昌
31	2004-01-16	23.60	116.78	4.2	1.8	孤立	广东潮州
32	2006-02-09	27.68	120.00	4.6	4.6	震群	浙江文成
33	2007-03-13	26.72	117.73	5.1	5.0	双震	顺昌
34	2007-06-12	24.93	117.62	4.0	2.4	主余	安溪
35	2007-08-29	25.48	117.77	4.9	2.7	孤立	永春
36	2008-03-06	26.37	118.67	4.8	4.7	震群	古田
37	2008-07-05	24.60	117.83	4.8	2.5	孤立	长泰
38	2009-03-23	25.42	119.90	4.3	-	孤立	平潭海域
39	1975-05-04	24.8	117.1	3.2	2.8	震群	龙岩
40	1976-01-18	24.8	117.5	3.3	3.2	震群	华安
41	1979-03-22	24.9	115.7	3.7	3.3	震群	寻乌
42	1981-12-29	25.6	117.2	3.9	3.6	震群	永安
43	1988-09-18	25.9	116.4	3.9	2.9	震群	长汀
44	1999-09-24	26.12	119.43	3.8	3.6	震群	福州
45	1999-11-02	26.37	118.68	3.2	2.8	震群	古田
46	2008-03-09	26.12	116.58	3.4	3.2	震群	宁化

当震级差与能量比出现矛盾时，以能量比为划分标准。

通过对地震目录及地震序列的整理分析，笔者发现福建地区地震序列在空间分布上比较集中，震中密集区半径一般只有几千米至十几千米；孤立型、主震—余震型及双震型地震序列持续时间比较短，一般为几天到半个月，而震群型和前震—主震—余震型地震序列持续时间较长，一般为几天到几个月。

根据上述特征，笔者首先挑选出研究区内所有 4.0 级以上地震，选取主震前 7 天的地震活动为前震序列，而主震后 30 天的地震活动为余震序列；在空间上取震中 20 km 半径范围，这样的时空群集就构成了一个地震事件序列，这样共得到 38 组地震序列。考虑到 3.0 级以上震群地震活动释放的能量较大及对当地影响较大，笔者补充了 8 组 $M_L \geq 3.0$ 以上震群地震序列数据（方炜等 2004；彭美凤，郭文发，1990；柯龙生等，1985；1994；林思诚，2001）。

根据福建地区地震序列特点，笔者将地震序列划分为 5 种类型：

- （1）孤立型序列： $E_m/\Sigma E \geq 99.9\%$ ， $\Delta M \geq 2.2$ ；
 - （2）主震—余震型序列（简称主余型）： $90\% \leq E_m/\Sigma E < 99.9\%$ ， $0.8 < \Delta M < 2.2$ ；
 - （3）前震—主震—余震型序列（简称前震型）：其判别标准与主震—余震型一致，只是在主震前 7 天内有前震序列活动，其震级差为 $0.8 < \Delta M < 2.2$ ；
 - （4）双震型序列：有 2 次震级相近的地震，其余地震震级差 $\Delta M \geq 2.2$ ；
 - （5）震群型序列： $E_m/\Sigma E < 90\%$ ， $\Delta M \leq 0.8$ 。
- 根据以上划分标准，笔者对福建地区 46 组地

震序列进行了归类（表 1）。

2 地震序列类型划分结果分析

2.1 各种地震序列类型的比例关系

福建地区 46 组地震序列类型统计结果见表 2，从表中可看出，孤立型地震序列有 19 次，占 41%；主震—余震型地震序列 11 次，占 24%；震群型序列 12 次，占 26%；这三种地震占总数的 91%，而其它两种地震类型——双震型和前震型各 2 次，所占比例很少，在讨论地震序列类型特征时暂不考虑。

表 2 福建地区 $M_L \geq 4.0$ 地震序列类型统计
Tab. 2 Type of earthquake sequences in Fujian

类型	孤立型	主余型	震群型	双震型	前震型
次数（组）	19	11	12	2	2
百分比（%）	41	24	26	4	4

2.2 地震序列类型分布与地震震级的关系

福建地区地震类型随地震震级分布情况见表 3。从表 3 可看出， $M_L \geq 5.0$ 地震序列共 7 组，主余震型最多，为 3 组，其它类型各 1 组，因此 $M_L \geq 5.0$ 地震序列主要以主余型为主； $4.0 \leq M_L < 5.0$ 地震序列共 31 组，孤立型最多，为 18 组，约占 58%，其次为主余型 8 组，约占 26%，其它类型较少，因此 $4.0 \leq M_L < 5.0$ 地震序列主要以孤立型或主余型为主； $3.0 \leq M_L < 4.0$ 地震只列出了震群型地震，因此没有可比性。从这些分布可知，随着地震震级增大，孤立型地震所占的比例减少，而主余型地震所占的比例增加，这种趋势与其它地区的统计结果基本一致（蒋海昆等，2007）。

表 3 福建地区地震序列类型与震级关系统计

Tab. 3 Relation between the type of earthquake sequences and the main magnitude in Fujian

地震震级	孤立型	主余型	震群型	双震型	前震型	地震序列总数
$M_L \geq 5.0$	1	3	1	1	1	7
$4.0 \leq M_L < 5.0$	18	8	3	1	1	31
$3.0 \leq M_L < 4.0$	—	—	8	—	—	8

2.3 地震序列类型的空间分布

福建地区地震类型大至可分为东部（A 区）和西部（B 区）两个分区，两个区域内的地震序

列数相差不大，而主余型、双震型和前震型地震序列数两区也相差不大，区别在于 A 区孤立型地震序列有 16 组，而 B 区只有 3 组；同时 A 区没

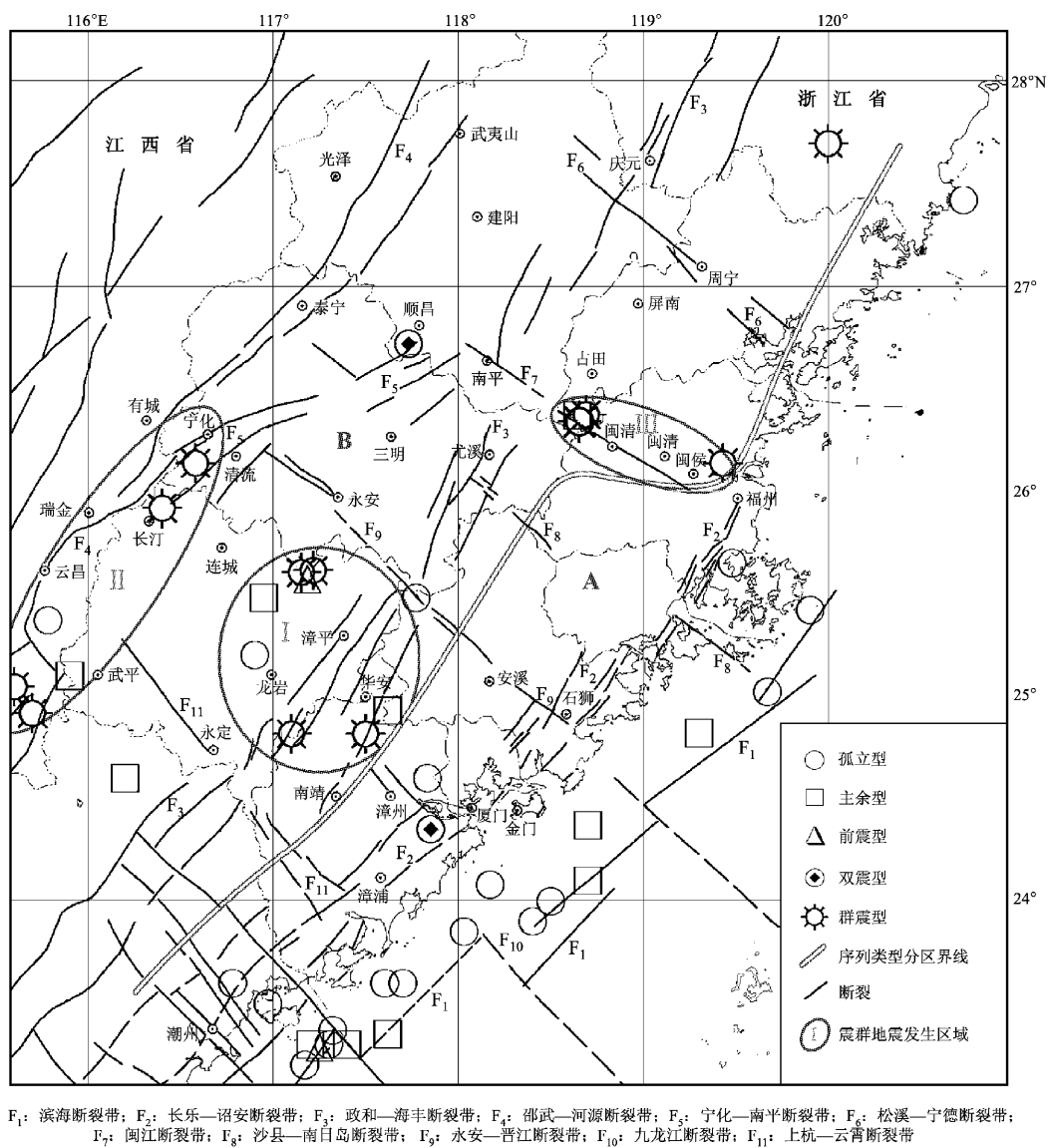


图1 福建及邻区主要构造与地震序列类型分布图

Fig. 1 Distribution of the earthquake sequence types and the main faults in Fujian Province and its vicinity

表4 福建地区地震序列类型分区统计

Tab. 4 Number of the types of earthquake sequence in Fujian region

地区	地震序列总数	孤立型	主余型	震群型	双震型	前震型
福建东部区 (A 区)	24	16	6	0	1	1
福建西部区 (B 区)	22	3	5	12	1	1

有震群型地震序列，而震群型地震全部发生在 B 区，因此福建东部 (A 区) 主要以孤立型或主余型地震为特征，而西部 (B 区) 主要以震群型或主余震型地震活动为特征 (图 1)。表 4 给出了福建地区地震序列类型统计分区结果。

2.4 震群型地震空间分布

1971 年以来福建及邻区发生 $M_L3.0$ 以上震群

型地震 12 次，主要分布在以下 3 个区域 (图 1)：I 区——漳华龙地区 (漳平县—华安县—龙岩市)，发生 4 次震群型地震；II 区——闽赣交界地区，发生 4 次震群型地震；III 区——闽江流域地区，发生 3 次震群型地震。还有 1 次发生在浙江文成。

这三个震群型地震多发地区是福建西部内陆

地震最为频繁的地区，也是地震观测和预报长期以来关注的热点地区，而很少有6.0级以上震群型地震（目前来看，6级以上震群型地震全国只有1次，即1997年1月21日至1998年8月27日新疆伽师强震群），据此可以认为，目前这三个地区发生6级以上地震的可能性较少。

3 地震序列类型分布成因探讨

蒋海昆等（2007）认为，地震序列类型空间分布特征与区域构造运动有关，而福建及邻区地震序列类型分布特征确实与福建地区地震动力作用环境、构造应力场和地震断层运动性质、地层岩性分布及其年代等因素有密切关系。

3.1 地震动力作用

福建及邻区地处中国东南沿海，隔台湾海峡与台湾岛相望。琉球—台湾—菲律宾岛弧是现代强震分布十分频繁的构造活动带，但福建及邻区因地震活动明显降低而有别于板间带。从福建及邻区地震活动特征、GPS及大地测量资料分析，该地区地震动力作用主要受印度板块对喜马拉雅地区碰撞和西太平洋俯冲带中菲律宾海板块与台湾岛弧碰撞产生的2个不同方向作用力共同作用，其中西太平洋俯冲带中菲律宾海板块与台湾岛弧碰撞对福建及邻区的作用力是福建地区地震发生的主要动力（周硕愚等，2000；史舜华等，2006；林松建等，2010），这种自东南向西北的作用力从沿海到内陆迅速减弱，因此福建东部沿海地区地震动力作用强烈，表现为地震序列类型以孤立型为主，没有震群型地震发生。福建内陆地区地震动力作用相对较弱，而且同时受到东南和西北两个方向作用力共同作用，地震序列类型多为震群型，而少见孤立型。

福建地区地震动力环境的不同，造成了福建东、西部地区地下介质、构造应力性质的差异，表现为东部沿海为地震波速度高异常区，而西部内陆为低异常区（陈祥熊等，2009）；东部沿海以挤压运动为主，而西部内陆以拉张运动为主。这样，地震序列类型分布特征又从一个侧面反映了福建地区地震动力作用的环境。

3.2 构造应力场与地震断层运动性质

福建地区构造应力场总体特征为：P轴为北西—南东方向，P轴倾角自沿海到内陆逐渐增大，T

轴为北东—南西方向，T轴倾角一般较小。在这种构造应力场中，地震断层运动性质主要以走滑或正断层性质为主，而逆断层性质地震基本上没有（林松建等，2009）。福建沿海地区主要以发生走滑断层性质的地震为主，而内陆地区正断层性质的地震相对较多，所以福建沿海以挤压走滑运动性质为主的地区多发生孤立型地震，而福建内陆以拉张走滑运动性质为主的地区多发生震群型地震。福建地区地震序列类型的分布特征可能与区内构造运动性质和断层运动性质有关。

3.3 地层岩性分布

福建及邻区地层时代分布的分区明显，总体上表现为东部沿海地层时代较新，而西部地区地层时代较古老，由东到西地层逐渐变老，东西分区大至以政和—海丰断裂带（ F_3 ）为界。东部主要以晚侏罗世—早白垩世陆相火山岩地层为主，其厚度逾万米。西部又可分为闽西北和闽西南2个区，其分界线大至位于宁化—南平断裂带（ F_5 ）。闽西北区为华夏古陆，以晚元古代变质岩地层为主，属地槽型巨厚沉积；闽西南区主要以沉积地层为主，时间跨度较长，从震旦纪至晚白垩纪，其中晚古生代准地台型沉积发育最为完全（福建省地质矿产局，1985）。地层时代的新旧与岩石类型的不同决定了福建及邻区内部介质的连续性和完整性的不同：东部火山岩地层时代新，岩性内部完整性，连续相对较好，而西部沉积岩地层时代老，岩性内部不连续，且岩石较破碎。

福建地区地震震源深度一般较浅，属于地壳中上层地震，震源深度分布大至呈现东南深、西北浅的特征。福建东部沿海震源平均深度为14~20 km，而福建西部内陆平均深度约8~14 km（林松建等，2010）。福建地区地壳内部地层岩性及形成年代不同，对深部介质物理性质和地震序列类型分布有一定的影响（蒋海昆等，2007）。

4 结论

（1）福建地区地震序列类型具有明显的分区特征，大至可以分为东部（A区）和西部（B区）两个不同特征区域，A区以孤立型或主余型地震活动为主，而B区以震群型或主余型地震活动为主。

（2）福建及邻海地震序列类型分布特征由本地区的地震构造运动环境所决定，同时与长期构

造运动形成的区域构造应力场及地震断层运动性质和地层岩性分布特征有关,而地震序列类型分布特征也从一个侧面反映了福建地区的地震构造运动及动力环境。

本文得到福建省地震局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—台湾地区地壳三维速度结构反演、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.
- 陈玉华,马文静,张瑞斌. 2001. 青海及邻区中强地震序列类型及特征研究[J]. 西北地震学报,23(3):250-256.
- 方炜,刘春,张春生. 2004. 鄂尔多斯块体周缘中强地震序列类型及其活动特征[J]. 地震研究,27(3):216-218.
- 福建省地质矿产局. 1985. 福建省区域地质志[M]. 北京:地质出版社.
- 郭和,张启明,董国胜. 2002. 滇西地震序列类型的统计特征分析[J]. 地震研究,25(3):263-266.
- 黄向荣,刘玉森,龙清凤,等. 2000. 福建省地震现场调查报告汇编[R].
- 皇甫岗,秦嘉政,李忠华,等. 2007. 云南地震类型分区特征研究[J]. 地震学报,29(2):142-150.
- 蒋海昆,傅征祥,刘杰,等. 2007. 中国大陆地震序列研究[M]. 北京:地震出版社.
- 蒋海昆,李永莉,曲延军,等. 2006. 中国大陆中强地震序列类型的空

- 间分布特征[J]. 地震学报,8(4):389-398.
- 柯龙生,丁学仁,欧秉松,等. 1985. 福建五次小震群的活动特征[J]. 地震,5(3):39-45.
- 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.
- 林思诚. 2001. 福建省志:地震志[M]. 北京:中国社会科学出版社.
- 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,郑师春,林琛,等. 2010. 福建水口库区地震活动及其动力成因分析[J]. 华南地震,30(3):53-62.
- 彭美凤,郭文发. 1990. 闽、赣地区小震群性质探讨[J]. 华南地震,10(3):34-40.
- 史彝华,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.
- 王华林,周翠英,耿杰. 1997. 大陆及邻区地震序列类型的分区特征和震源环境讨论[J]. 地震,17(1):34-42.
- 吴开统,焦远碧,吕培苓,等. 1990. 地震序列概论[M]. 北京:北京大学出版社.
- 张杰,王行舟,沈小七,等. 2005. 马鞍山市及邻区地震序列类型和分布特征[J]. 地震地磁观测与研究,26(5):56-64.
- 周翠英,侯海峰,华爱军,等. 2001. 山东及其近海区地震序列类型地理分布特征[J]. 华北地震科学,19(3):15-27.
- 周硕愚,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.

Geographic Distribution Feature of the Earthquake-sequence Type in Fujian Province and Its Vicinity

LIN Song-jian, ZHAO Zhi-wei

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

Abstract

The analysis of 46 earthquake sequences from 1971 to 2009 in Fujian Province and its vicinity shows that Fujian can be divided into subareas with kinds of earthquake types; in East Fujian the isolated earthquakes or mainshock-aftershock earthquakes are predominant. In West Fujian the swarm-type earthquakes are predominant. The distribution feature of the earthquake-sequence type in Fujian is decided by the earthquake dynamic force function, tectonic stress field and the kinetic property of faults, and formation lithology distribution in this area. The results are useful for analyzing the seismicity in Fujian area and judging the earthquake type after the main shock.

Key words: earthquake sequence type; distribution feature; seismicity; Fujian