

万永芳, 陈大庆. 粤闽交界及其近海地区地震活动分析[J]. 华南地震, 2014, 34 (4): 20-26. [WAN Yongfang, CHEN Daqing. Seismic Activity Analysis of the Junction Area of Guangdong and Fujian and Its Offshore Areas[J]. South china journal of seismology, 2014, 34(4): 20-26.]

粤闽交界及其近海地区地震活动分析

万永芳, 陈大庆

(广东省地震局, 广东 广州 510070)

摘要: 结合东南沿海地区的地质构造背景、地震活动特点, 研究粤闽交界及其近海地区($N 22.80^{\circ} \sim 24.00^{\circ}$ 、 $E 116.50^{\circ} \sim 118.00^{\circ}$)地震活动特征, 结果表明此区域: ① 具备中强地震活动的构造背景; ② 现代小地震呈北东方向密集成带分布在南澎列岛附近, 与北东向滨海断裂的方向一致; ③ 6级以上地震序列类型多属主余型; ④ 1971年有小震记录以来, 一直存在背景性的 $M_L 2$ 级左右地震活动; $M_L 4$ 级以上地震活动成丛分布特征明显; 中等地震($M_L 4 \sim 5$ 级)的发生与本区小震活动增强之间无明显关联; 当出现年平均 b 值低于平均值、且较上一年 b 值下降幅度 ≥ 0.5 时, 可能预示本区进入 $M_L 4$ 级地震活跃时段, 东南沿海地震带在未来1~2年内可能有中强或以上地震发生; $M_L 4.5$ 级以上地震前, 应变能释放曲线存在加速变化。

关键词: 地震活动性; 平静时段; 活跃时段; 东南沿海地震带

中图分类号: P315.956 文献标志码: A 文章编号: 1001-8662 (2014) 04-0020-07

DOI: 10.13512/j.hndz.2014.04.04

Seismic Activity Analysis of the Junction Area of Guangdong and Fujian and Its Offshore Areas

WAN Yongfang, CHEN Daqing

(Earthquake Administration of Guangdong Province, Guangzhou 510070, China)

Abstract: Based on the tectonic background and seismic activity feature in the southeast coastal areas, the paper studies the characteristics of seismic activity in the junction area of Guangdong and Fujian and its offshore areas ($N 22.80^{\circ} \sim 24.00^{\circ}$, $E 116.50^{\circ} \sim 118.00^{\circ}$). The results show that: this area has tectonic setting for moderate and strong earthquake activity; modern small earthquakes were concentrated into the band with north east direction and located in the vicinity of Nanpeng island; the sequence type of earthquakes with $M \geq 6$ which can be determined belong to mainshock-aftershock type with foreshock. When small earthquake ever recorded, there has been seismic activity with $M_L 2$ earthquakes. The seismic activities of earthquakes with $M \geq 4$ have since 1971 the characteristic of clumps distribution. There is no significant association between the increment of small seismicity in the area and the occurrence of moderate earthquakes. When the annual average b value is lower than the average value with the decrease amplitude ≥ 0.5 comparing to the previous year, this may indicate that this area is in a active period of earthquakes with $M_L \geq 4$, and there may be moderate-strong

收稿日期: 2014-6-23

基金项目: 广东省科技厅项目(2013B020200010)

作者简介: 万永芳 (1973-), 女, 高级工程师, 主要从事地震预报研究。

E-mail: 375842316@qq.com.

earthquake occurring in the southeast coastal seismic belt in the next 1–2 years. Before the $M_L 4.5$ earthquakes, there is acceleration variations in release curve of strain energy exist.

Keywords: Seismic activity; Quiet periods; Active periods; The southeast coastal seismic belt

0 引言

粤闽交界及近海地区既是沿海经济发达地区,也是现今小地震密集频发的区域。研究此区域的地震活动特征对地震监测预报、中小有感地震的快速处置、序列性质的判定以及后续活动趋势的估计有积极意义。

本文结合东南沿海地区地质构造及地震活动特征,选用 1971 年以来记录相对完整的广东省台网地震目录,分析粤闽交界及近海地区 ($N 22.80^\circ \sim 24.00^\circ$ 、 $E 116.50^\circ \sim 118.00^\circ$) 地震活动特征。根据序列 $N-M$ 图获得有效震级下限为 $M_L 2.1$ 级,为保证计算结果的可靠性,文中所用到的地震目录均为 $\geq M_L 2.1$ 级地震(注:文中震级前未标注 M_L 的均指 M_S 震级)。

1 构造背景

东南沿海地区是我国华南块体地震活动相对频繁的区域,位于欧亚板块的东南边缘地带,是菲律宾海板块与欧亚板块俯冲、碰撞的近前缘地带,存在晚更新世活动断裂,具备发生强震的构造条件^[1-2]。东南沿海地区活动断裂按方向可分为北东系、北西系和东西系。北东向断裂带主要形

成于燕山期,新构造运动以来仍有继承性活动,规模大,常常是大地构造和新构造单元的分界线,以右旋为主,是该区主要的控震构造。

粤闽交界及近海地区处于东南沿海地震带的中段,是华南、南海与台湾地块的交接地带,中新世以来,受台湾岛弧俯冲碰撞带的影响,新构造活动较为强烈^[3]。北东向强活动滨海断裂带横贯本区,地壳深部结构研究表明:滨海断裂带是华南陆区正常型陆壳与海区减薄型陆壳的分界断裂^[4-7]。它既是一条具有漫长而复杂发育历史的老断裂带,也是一条新生代重新复活的新构造断裂带,控制着粤闽沿海的地震分布。

2 东南沿海地区地震特征

要研究粤闽交界及近海的地震活动,就离不开东南沿海大区域的地震活动背景,首先对东南沿海地区的地震特征进行分析。东南沿海地区大致包括广东、福建、广西、海南陆区和沿海地区,以及湖南和江西南部。

2.1 5 级以上地震活动特点

5 级以上地震震中分布图 1 和地震时序图 2 分析显示:地震按北东、北西、东西断裂组成的构

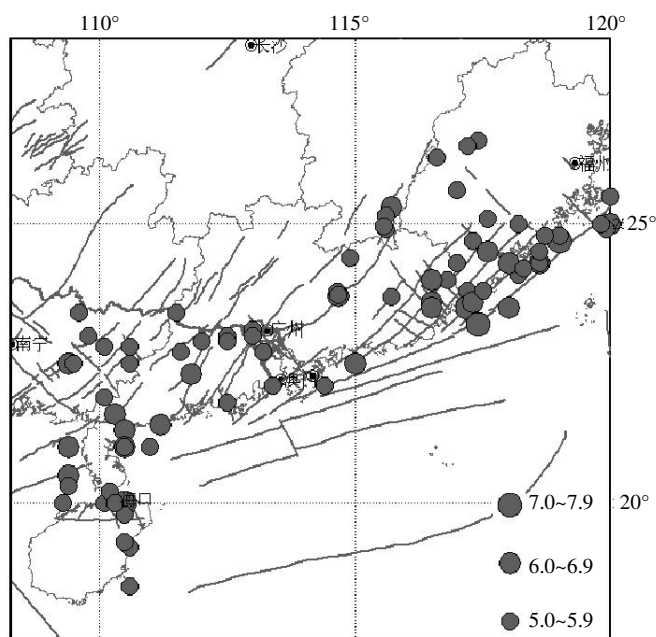


图 1 东南沿海地区 $M \geq 5.0$ 级地震分布图

Fig.1 The distribution map of earthquakes with $M \geq 5.0$ in the southeast coastal areas

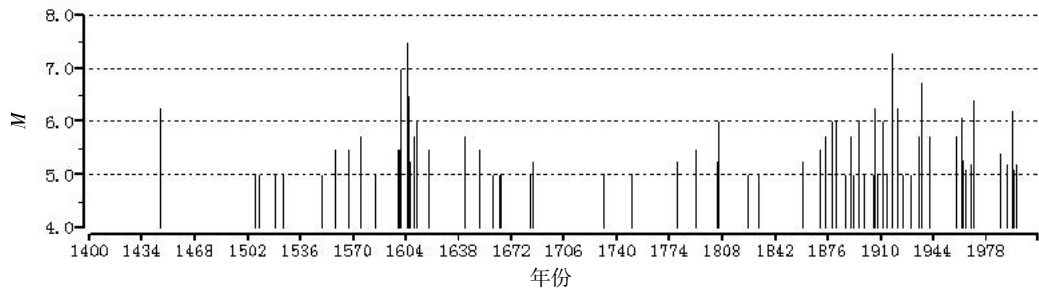


图 2 东南沿海地区 $M \geq 5.0$ 级地震时序图

Fig.2 The sequence diagram of earthquakes with $M \geq 5.0$ in the southeast coastal areas

造格架成带状分布，尤以沿北东向断裂呈条带状分布的地震为多；地震活动的强度、密度由沿海向内陆逐渐减弱；地震的成丛分布明显；地震的发生存在重复性，但新生性是主流。

2.2 6 级以上地震活动特点

分析粤闽交界及近海地区的地震活动特征离不开东南沿海地区地震活动的大背景。东南沿海地区 1067 年以来发生 6 级以上地震 26 次(含余震)，其中 7 级以上地震 4 次，最大地震为 1604 年福建泉州、1605 年海南琼山的 $7\frac{1}{2}$ 级。地震分布(图 1)显示，地震主要集中于粤东闽南交界及近海(东区)和粤桂琼交界及近海(西区)两个区域，

其中东区地震较西区多发。这主要受地质环境的控制，粤闽及近海区域北东向和北西向的活动断裂分布密集且多组构造交汇于此。

根据文献[1]、[8]，结合历史地震考证信息，对上述 26 次 6 级以上地震的 19 个地震序列进行归类，具体情况见表 1(表中为空的部分表示无从考证)。1962 年河源 6.1 级地震为水库诱发地震，不列入统计样本。18 个地震序列中：16 个能确定序列类型，包括 13 个主余型、2 个孤立型、1 个双震型；主余型序列中有前震的比例达到 54%；4 次 ≥ 7 级地震均为主余型序列。

属于原地重复地震的有两组，一组为福建漳州 1185 年 $6\frac{1}{2}$ 级地震和 1445 年 $6\frac{1}{4}$ 级地震，两震

表 1 东南沿海 6 级以上地震序列类型统计表

Table 1 The sequence type statistics table of earthquakes with $M \geq 6.0$ in the southeast coastal areas

序号	发震时间	纬度/(°)	经度/(°)	震级 M_s	地点	烈度	震源深度/km	地震序列类型
1	1067-11	23.60	116.50	$6\frac{3}{4}$	广东潮州	IX		有前震主余型
2	1185-06-08	24.30	118.00	$6\frac{1}{2}$	福建漳州	VIII		无前震主余型
3	1445-12-12	24.50	117.60	$6\frac{1}{4}$	福建漳州	VIII		无前震主余型
4	1600-09-29	23.50	117.20	7	广东南澳	IX		有前震主余型
5	1604-12-29	24.70	119.20	$7\frac{1}{2}$	福建泉州海外			有前震主余型
6	1605-07-13	20.00	110.50	$7\frac{1}{2}$	海南琼山	X	15	无前震主余型
7	1611-09-09	21.40	111.20	6	广东电白南海域		15±5	孤立型
8	1806-01-11	25.30	115.70	6	江西会昌	VIII		孤立型
9	1875-06-08	25.00	106.40	$6\frac{1}{2}$	广西凌云北			无前震主余型
10	1878-11-23	23.50	118.00	$6\frac{1}{4}$	福建东山海外			
11	1895-08-30	23.50	116.00	6	广东揭阳	VIII		有前震主余型
12	1906-03-28	24.50	119.00	$6\frac{1}{4}$	福建金门海外			有前震主余型
13	1911-05-14	22.50	115.00	6	广东红海湾			有前震主余型
14	1918-02-13	23.50	117.20	7.3	广东南澳	X	15	有前震主余型
15	1931-09-21	20.00	114.10	$6\frac{3}{4}$	南海西沙北			
16	1936-04-01	22.50	109.40	$6\frac{3}{4}$	广西灵山	IX	7	无前震主余型
17	1962-03-19	23.72	114.67	6.1	广东河源(水库诱发)	VIII	5	有前震主余型
18	1969-07-26	22.32	111.80	6.4	广东阳江	VIII	5	无前震主余型
19	1994-12-31	20.43	109.35	6.1	北部湾		7	有前震双震型
	1995-01-10	20.48	109.35	6.2			11	

时间间隔约 260 年、震级差为 $\frac{1}{4}$; 另一组为广东南澳 1600 年 7 级地震和 1918 年 7.3 级地震, 两震时间间隔约 320 年、震级差为 0.3。

3 粤闽交界及近海地区地震特征

3.1 历史强震序列及空间分布特征

据统计, 本区 1067 年以来发生 7 级以上地震 2 次, 地点均为南澳; 6~7 级地震 4 次, 其中两次为 1918 年南澳 7.3 级地震的余震, 另两次分别为 1067 年广东潮州 $6\frac{3}{4}$ 级地震和 1878 年福建东山海外 $6\frac{1}{4}$ 级地震。这 4 个地震序列除 1 个无法确定类型外, 另 3 个地震序列均属于有前震主余型。

破坏性地震震中是识别发震构造和划分潜在震源区的重要依据^[9-10], 近年来地球物理、地震地质、强震调查以及文献考证等综合方法研究表明, 1918 年南澳 7.3 级地震与其 2 次 6 级以上强余震震中位置在南澎列岛附近^[11], 这正是现今小地震密集频发的区域。

3.2 地震时间序列及空间分布特征

1971 年以来 $M_L \geq 2.1$ 级地震震中分布显示, 在空间分布上存在集中与分散的不均匀性特点, 地震呈北东方向密集成带分布在南澎列岛附近, 与北东向滨海断裂的方向一致, 而南澳岛附近的地震相对不多(图 3)。

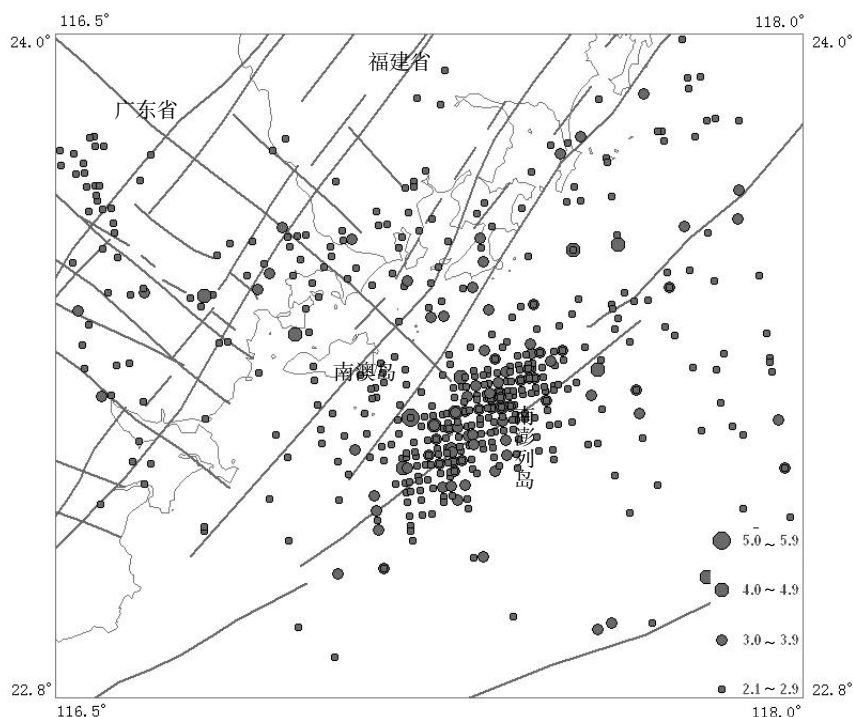


图 3 粤闽交界及近海地区 1971~2010 年地震震中分布图

Fig.3 The distribution map of earthquakes epicenter in the junction area of Guangdong and Fujian and its offshore areas from 1971 to 2010

1971 年以来粤闽交界及近海地区的地震活动以小地震为主(M_L 2~3 级), 期间仅发生过 1 次 M_L 5.0 级地震、2 次 M_L 4.6~4.9 级地震和 9 次 M_L 4.0~4.5 级地震。地震的 $M-T$ 图(图 4)显示, $M_L \geq 4.0$ 级地震活动在时间分布上具有活跃与平静的交替性, 存在成丛分布, 1971~1981 年(11 年)、1993~2000 年(8 年)都有一个明显的丛集现象。第一次丛集的时间间隔为 11 年(1982~1992 年), 2001 年至今(10 年)尚无新的丛集出现。 $M_L \geq 3.5$ 级地震的 $M-T$ 图(图 4)显示, 同样具有成丛分布的特征,

但与 $M_L \geq 4.0$ 级地震的丛集分布、时间间隔略有差别, 表现为丛集分布的时间略长, 丛集之间间隔的时间略短。

近 20 多年, 粤闽交界及近海地震活动的成丛分布与丛集间隔的时间同东南沿海地震带的活动幕与平静幕的时间大致吻合。东南沿海地震带 1986~1999 年处于第 8 个活动幕^[1], 期间发生多次 4.9 级以上地震, 包括, 1994、1995 年北部湾的 6.1、6.2 级地震; 1997 年 5 月 31 日福建永安 5.2 级地震; 1998 年 4 月 16 日广西环江 4.9 级地震和

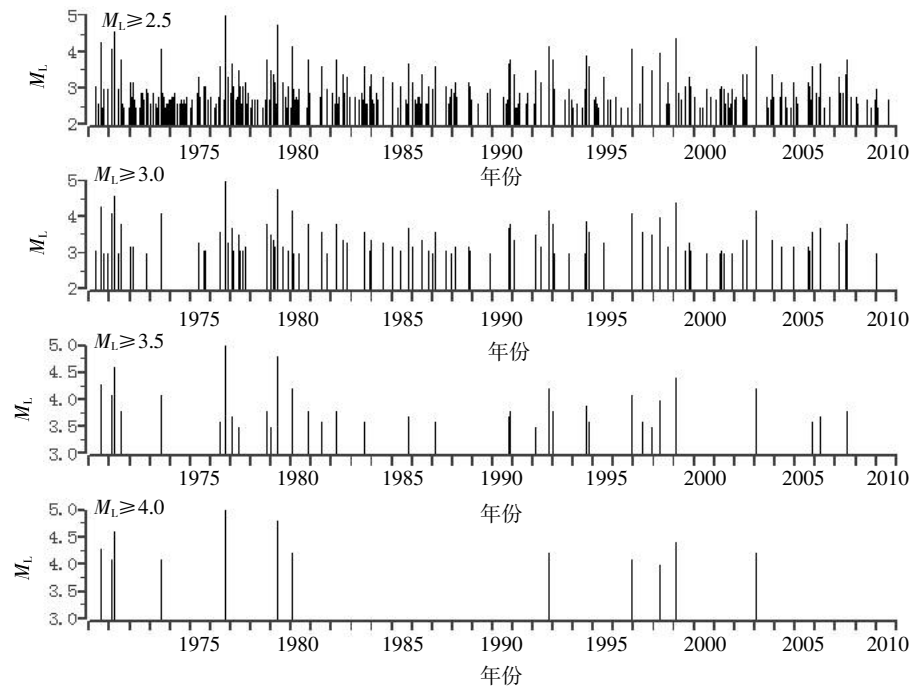


图 4 粤闽交界及近海地区地震时序图

Fig.4 The sequence diagram of earthquakes in the junction area of Guangdong and Fujian and its offshore areas

1999 年 5 月 17 日海南万宁 4.9 级地震。2000 年起东南沿海地震带进入第 8 个平静幕，至今没有发生过 5.0 级以上地震，这也是平静时段的特征之一。

3.3 地震活动频度特征

由频度统计结果可见(图 5)， $M_L \geq 2.5$ 级地震平均年频次约为 10 次，最高年频次为 1974 年 26

次； $M_L \geq 3.0$ 级地震平均年频次约为 3 次，最高年频次为 1980 年 8 次； $M_L \geq 3.5$ 级地震平均年频次约为 1 次，最高年频次为 1972 年、1980 年和 1993 年都为 3 次； $M_L \geq 4.0$ 级地震平均 3 年多发生一次，记录到的最高年频次为 1972 年 2 次。分析显示，不同震级分段所获得的地震活动最高频次的年份(1972、1974、1980、1993 年)均出现在地

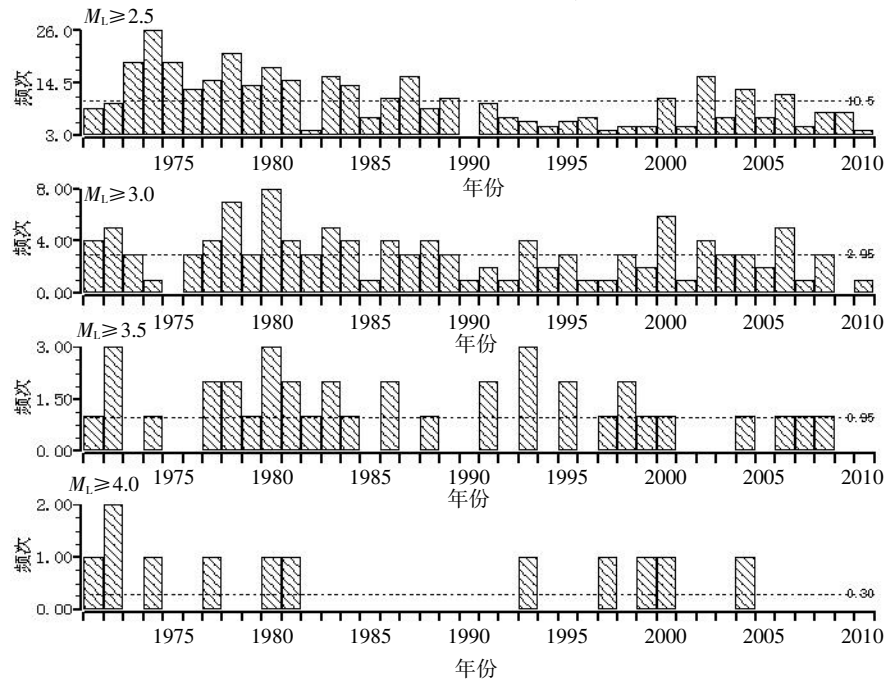


图 5 粤闽交界及近海地区地震活动年频度图

Fig.5 The frequency chart of earthquake activity in the junction area of Guangdong and Fujian and its offshore areas

震活跃丛集期内。

本区相同时段的 M_L 2.1~2.9 级、 M_L 3.0~3.9 级地震、 M_L 4.0~5.0 级地震的频次不存在同步增强或减弱的关系,显示相同时段地震震级结构的差异性。进一步分析发现,在区域内 12 次 M_L 4.0 级以上地震中,仅 2 次地震前记录到小震频繁活动的现象,其中包括 1 次 M_L 5.0 级地震;区域内多次小震活动明显增强后,本区并无中等或以上地震发生,显示区域内中地震的发生与小震活跃之间无明显联系。

3.4 地震年 b 值时序分布特征

采用最大似然法计算 b 值,结果表明:年平均 b 值为 0.98,最大值为 2001 年的 1.55,最小值为 1972 年 0.51;1971~1981 年、1993~2000 年 M_L 4.0 级以上地震丛集时段的年平均 b 值分别为 0.83、0.85;1982~1992 年、2001 年至今(2010 年)地震平静时段的年平均 b 值分别为 1.09、1.13(图 6)。

1971~1981 年地震丛集时段 b 值在低值波动,1982 年进入平静时段, b 值呈现波浪式上升,

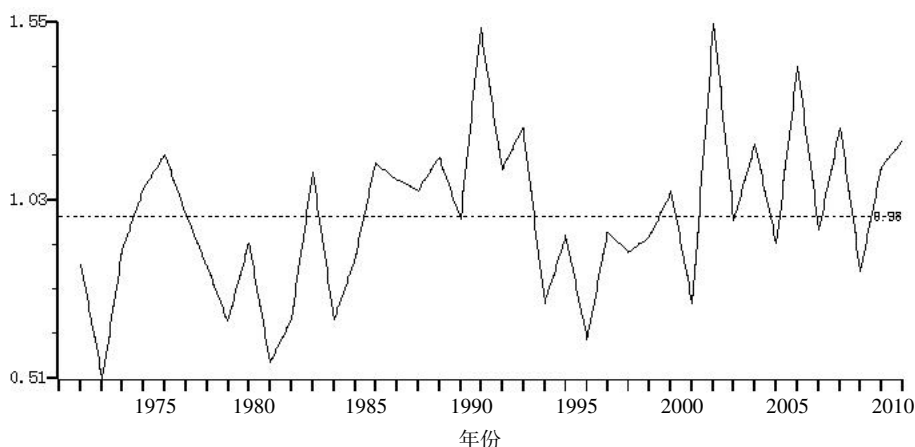


图 6 粤闽交界及近海地区年 b 值变化曲线

Fig.6 The variation curve of annual average b value in the junction area of Guangdong and Fujian and its offshore areas

1990 年达到峰值后转为下降。1993 年地震丛集时段开始时 b 值为 0.73,较前 1 年下降 0.52,之后 b 值一直处于低值。

3.5 地震应变能释放特征

应变能释放曲线显示(图 7),区内仅有的 3 次 M_L 4.5 级以上地震(即 1972 年 4 月 6 日的 M_L 4.6

级、1977 年 9 月 15 日 M_L 5.0 级和 1980 年 5 月 8 日 M_L 4.8 级地震)之前,地震应变能释放均出现加速变化,斜率值较大,1977 年是应变能释放最大的一年;曲线斜率几次大的跳变是由几次 M_L 4.0 级以上地震决定。

1971~1981 年地震活跃时段,蠕变曲线呈现非线性的幂指数分布,显示区域范围内地壳构造活

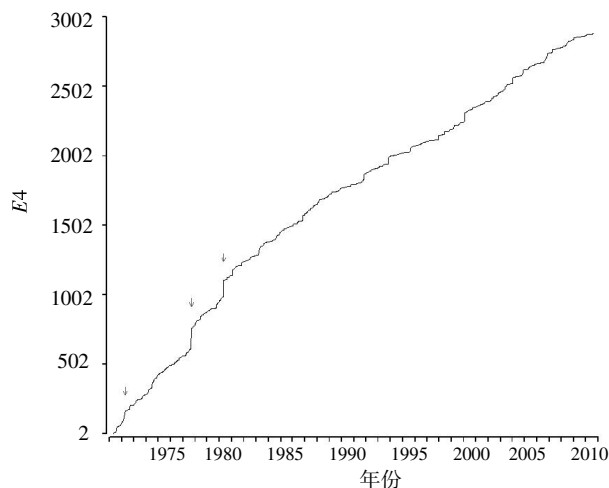


图 7 粤闽交界及近海地区蠕变曲线

Fig.7 The creep curve in the junction area of Guangdong and Fujian and its offshore areas

动的非稳态特征。1993~2000 年 M_L 3.5~4.9 级地震多发、小地震平静, 应变能释放整体偏低, 蠕变曲线斜率稳定。1982~1992 年、2001 年至今处于地震活动相对平静时段, 应变能释放均匀, 蠕变曲线斜率值偏小, 区域范围地壳构造活动相对平稳、处于能量积累状态。

4 结语

东南沿海地区的 5 级以上地震主要分布在粤闽交界及近海和粤桂琼交界及近海地区, 且成丛分布明显; 6 级以上地震序列研究表明, 主余型、多震型和孤立型所占比例分别为 81%、6% 和 13%, 主震(包括多震型的第一个强震)前出现前震的序列占 50%。粤闽交界及近海地区, 6 级以上地震能确定序列类型的均属于主余型^[12]。

南澎列岛及附近海域位于北东向的滨海断裂(为 7 级地震的控震构造)与北西向的黄岗水断裂(活动于晚更新世)的交汇地带, 在构造单元上处于滨海岛链隆起带与海峡沉降带交接近, 存在较强的活动性。历史上 6 次 6 级以上地震(含余震)震中位于此处, 同时也是现代小地震密集地带, 分析认为具备中强地震活动的构造背景。

1971 年以来粤闽交界及近海地区中小地震一直相对活跃, 最大地震为 1977 年的 M_L 5.0 级, 无强地震发生。区域内中等地震(M_L 4~5 级)的发生与本区小震活动增强之间无明显关联。 M_L 4 级以上地震活动成丛分布特征明显, 且丛集分布的时间有逐渐缩短的迹象, 丛集地震活动的强度有逐渐减弱的迹象, 目前已接近上一次丛集间隔的时间。

粤闽交界及近海地区, 地震年 b 值时序分布特征显示, 当出现年平均 b 值低于平均值时, 且较上一年 b 值下降幅度 ≥ 0.5 时, 可能预示本区进入活跃时段, 东南沿海地震带在未来 1~2 年内可能有中强或以上地震发生。反之, 当 b 值高于平均值, 且较上一年 b 值上升幅度 ≥ 0.5 时, 可能预示本区进入平静时段。应变能释放曲线显示, M_L 4.5 级以上地震前, 存在加速变化, 斜率值增大。

参考文献:

- [1] 魏柏林, 冯绚敏, 陈定国, 等. 东南沿海地震活动特征 [M]. 北京:地震出版社, 2001.
- [2] 张培震, 邓起东, 张国民, 等. 中国大陆的强震活动与活动地块[J]. 中国科学 (D 辑), 2003, 33 (增刊): 12-20.

- [3] 刘以宣. 华南沿海区域断裂构造分析 [M]. 北京: 地震出版社, 1981.
- [4] 姚伯初, 曾维军, 陈艺中, 等. 南海北部陆缘东部的地壳结构[J]. 地球物理学报, 1994, 37 (1): 27-35.
- [5] Yan P, Zhou D, Liu Z S. A crustal structure profile across the northern continental margin of the South China Sea [J]. Tectonophysics, 2001, 338: 1-21.
- [6] 赵岩, 张毅祥, 姜绍仁, 等. 南海北部地球物理特征及地壳结构[J]. 热带海洋学报, 1996, 15 (2): 37-44.
- [7] 阎贫, 刘海龄. 南海北部陆缘地壳结构探测结果分析 [J]. 热带海洋学报, 2002, 21 (2): 1-12.
- [8] 陈定国. 1918 年南澳地震的震中位置[J]. 华南地震, 1986, 6 (3): 14-19.
- [9] 国家质量技术监督局, 国家标准化管理委员会, GB 17741-2005 工程场地地震安全性评价[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [10] 卢寿德. 工程场地地震安全性评价 (GB 17741-2005) 宣贯教材[M]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [11] 潘华, 鄢家全, 张志中, 等. 1918 年南澳 7.3 级地震与强余震之参数复核[J]. 震灾防御技术, 2009, 4 (1): 40-48.
- [12] 郭斌, 王斌, 张月辉. 苏北-南黄海盆地地震构造基本特征[J]. 华北地震科学, 2013, 31 (1): 38-44.