

郑萍, 张慧, 沈繁奎. 2000年以来华南 $M_L \geq 5$ 级地震前的地震活动特征[J]. 华南地震, 2018, 38(1): 101–107. [ZHENG Ping, ZHANG Hui, SHEN Fanluan. The Earthquake Activity Characteristics Before the Earthquakes with $M_L \geq 5$ Since 2000 in South China[J]. South China journal of seismology, 2018, 38(1): 101–107.]

2000年以来华南 $M_L \geq 5$ 级地震前的地震活动特征

郑 萍, 张 慧, 沈繁奎
(海南省地震局, 海口 570203)

摘要: 分析了华南地区2000年以来8次 $M_L \geq 5$ 级地震事件前的地震活动现象, 按水库区和非水库区探讨了中强地震前的异常特征, 前者表现为震中的地震增强, 后者为区域的地震平静。通过研究, 按已知地点信息和未知地点信息提出了地震预测的对策。

关键词: $M_L \geq 5$ 级地震; 地震活动特征; 地震预测; 华南

中图分类号: P315.2

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662(2018)01-0107-07

DOI: 10.13512/j.hndz.2018.01.014

The Earthquake Activity Characteristics Before the Earthquakes with $M_L \geq 5$ Since 2000 in South China

ZHENG Ping, ZHANG Hui, SHEN Fanluan
(Hainan Earthquake Agency, Haikou 570203, China)

Abstract: This paper analyzes the earthquake activity before 8 earthquake with $M_L \geq 5$ since 2000 in South China Area, and discusses the anomaly characteristics before the moderate-strong earthquake for reservoir area and non reservoir area, the former is earthquake strengthen in epicenter area but the latter is earthquake quiet in zone area. By the research, this paper puts forward the suggestion that countermeasures of earthquake forecast for known and unknown location information.

Keywords: Earthquakes with $M_L \geq 5$; Earthquake activity characteristics; Earthquake forecast; South China

收稿日期: 2017-12-08

作者简介: 郑 萍(1965-), 女, 助理工程师, 主要从事地震监测工作。

通信作者: 沈繁奎(1962-), 男, 研究员, 主要从事地震预报和地震对策研究。

E-mail: shenfanluan@163.com.

0 引言

1 地震目录

2000 年以来, 华南及沿海地区共发生 $M_L \geq 5$ 级地震 9 次, 最大为 2015 年贵州剑河 M_L 5.8 级地震。作者曾对 1975—1999 年华南 19 次中强地震前的增强-平静特征作过研究^[1], 目前, 对华南 2000 年之后的中强地震有些研究^[2-6], 但与作者的研究视角不尽相同, 系统分析研究中强地震前区域地震活动特征尚不多见。本文分析总结了 2000 年以来华南 5 级地震前的区域地震活动异常现象, 补充和完善华南中强地震前的增强-平静特征, 为地震中短期预测预报工作提供参考和借鉴。

本文采用中国地震台网中心发布的全国地震月报正式目录, 使用 SuperSeis 软件进行地震目录的挑选及计算绘图。通过地震目录的完整性分析和监测能力计算, 确定地震目录使用的震级下限为 M_L 2.0 级。

研究的目标地震为华南地区 2000 年以来的 8 次 $M_L \geq 5$ 级地震事件(表 1), 2007 年 3 月 13 日福建顺昌的 M_L 5.1、 M_L 5.0 级地震属于双震, 计为 1 次地震事件。

表 1 华南地区 2000 年以来 $M_L \geq 5$ 级地震事件
Table 1 The earthquakes with $M_L \geq 5$ since 2000 in South China Area

序号	地震时间/ 年-月-日	震级/ M_L	震中位置		发震地点
			纬度/(°)	经度/(°)	
1	2004-09-17	5.2	21.77	111.87	广东阳江
2	2005-04-04	5.0	22.48	118.62	台湾海峡南部
3	2007-03-13	5.1、5.0	26.72	117.73	福建顺昌
4	2012-02-16	5.1	23.95	114.50	广东河源
5	2013-02-22	5.0	23.90	114.48	广东河源
6	2013-09-04	5.2	25.63	118.75	福建仙游
7	2015-03-30	5.8	26.58	108.83	贵州剑河
8	2016-07-31	5.6	24.08	111.53	广西苍梧

2 震前地震活动现象

2.1 广东阳江 M_L 5.2 级地震

仪器记录以来, 广东阳江地区发生的最大地震为 1969 年 7 月 26 日 M_s 6.4 级地震, 间隔 17 年后, 1986 年 1 月 28 日发生 M_s 5.0 级地震, 之后间隔 18 年, 又发生 2004 年 9 月 17 日 M_L 5.2 级地

震, 该地区的地震活动较为频繁, 是华南地区的一个地震窝。

从 1990 年至 2004 年阳江 M_L 5.2 级地震发生, 震中周围半径 50 km 范围内的 $M_L \geq 3$ 级地震序列上看, 中长期时间尺度上该区的地震活动存在明显的增强-平静过程, $M_L \geq 3$ 级地震平静长达 13 个月(图 1)。

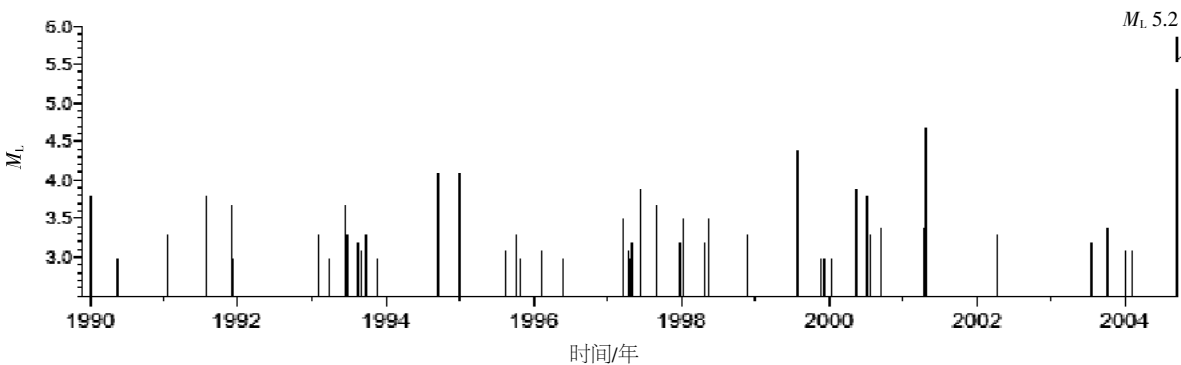


图 1 阳江震中 50 km 半径范围内 $M_L \geq 3$ 级地震序列
Fig.1 The earthquake sequence with $M_L \geq 3$ in the Yangjiang epicenter area within a radius of 50 km

从 2003 年至 2004 年阳江 M_L 5.2 级地震发生,震中外围半径 270 km 范围内的 $M_L \geq 2$ 级地震 $M-t$ 时序上看,中短期时间尺度上区域地震活动存在 M_L 3 级地震相对密集活跃 $M_L \geq 2$ 级地震显著平静

的过程(图 2)。显著平静出现在 2004 年 7 月份,平静时间持续 32 d,打破平静的地震为 2004 年 8 月 2 日阳江 M_L 2.8 级地震,距 M_L 5.2 级地震发生 46 d。

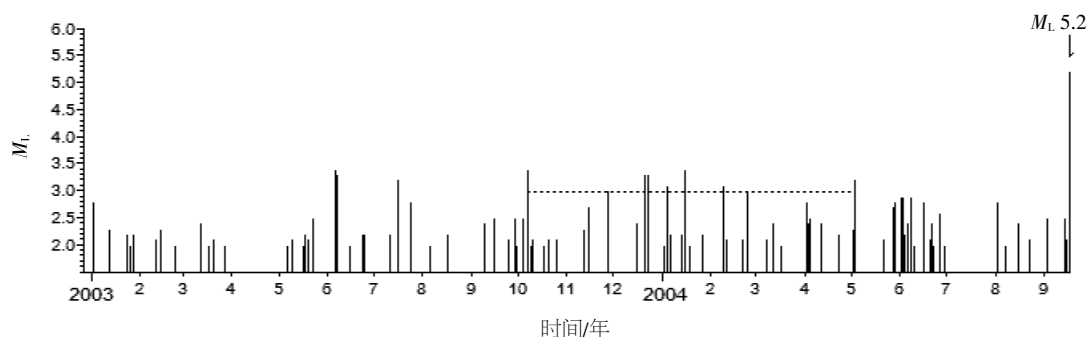


图 2 阳江震中 270 km 半径范围内 $M_L \geq 2$ 级地震 $M-t$ 图

Fig.2 $M-t$ chart of earthquakes with $M_L \geq 2$ in the Yangjiang epicenter area within a radius of 270 km

2.2 台湾海峡南部 M_L 5.0 级地震

仪器记录以来,台湾海峡南部地区发生的最大地震为 1994 年 9 月 16 日 M_S 7.3 级地震,间隔 5 年后,1999 年 12 月 27 日发生 M_L 5.2 级地震,之后间隔 5 年,发生 2005 年 4 月 4 日 M_L 5.0 级地震,之后间隔 10 年,又发生 2015 年 2 月 5 日 M_L

4.9 级地震(震群),该地区也成为华南地区的一个地震窝。

2005 年 4 月 4 日台湾海峡南部 M_L 5.0 级地震发生前,震中周围半径 50 km 范围内的 $M_L \geq 3$ 级地震出现长达 12 个月的平静(图 3),但平静前地震活动没有出现显著增强,而是 1999 年 M_L 5.2 级地震后的衰减过程。

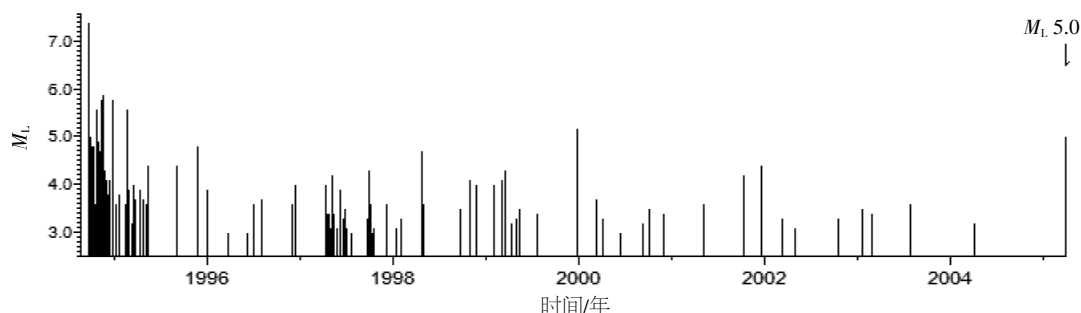


图 3 台湾海峡南部震中 50 km 半径范围内 $M_L \geq 3$ 级地震序列

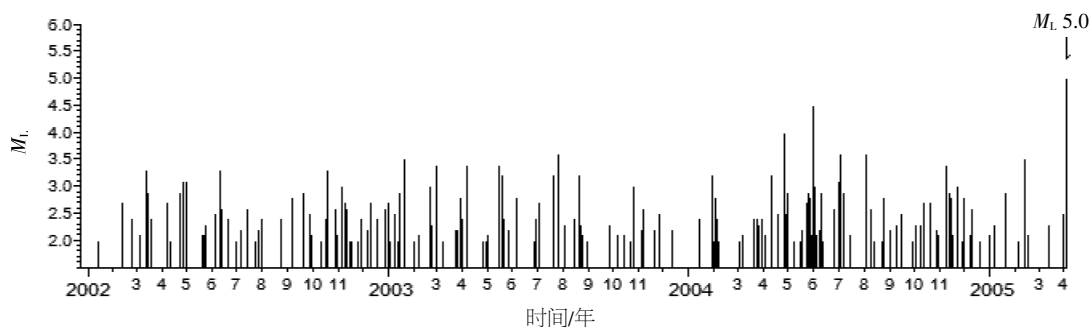
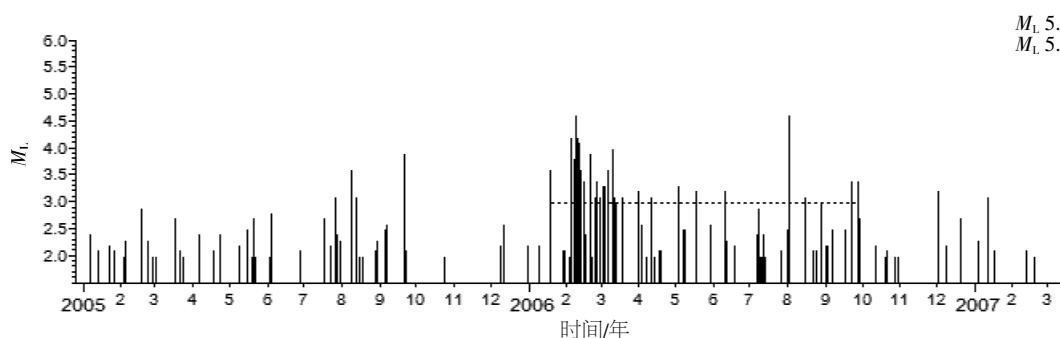
Fig.3 The earthquake sequence with $M_L \geq 3$ in the Taiwan straits south epicenter area within a radius of 50 km

从 2002 年至 2005 年台湾海峡南部 M_L 5.0 级地震发生,震中外围半径 200 km 范围内的 $M_L \geq 2$ 级地震 $M-t$ 时序上看,中期时间尺度上区域地震活动存在增强的现象,中短期时间尺度上呈现出地震相对密集活跃-准平静的过程(图 4)。准平静出现在 2005 年 2~3 月份,准平静时间 42 d,打破准平静的地震为 2005 年 3 月 31 日台湾海峡南部 M_L 2.5 级地震,距 M_L 5.0 级地震发生 4 d。

2.3 福建顺昌 M_L 5.1、 M_L 5.0 级地震

仪器记录以来,福建顺昌地区除了 2007 年 3 月 13 日发生 M_L 5.1、 M_L 5.0 双震外,该地区没有发生过其他 $M_L \geq 4$ 级地震,为华南的少震、弱震区。

从 2005 年至 2007 年顺昌 M_L 5.1 级地震发生,震中外围半径 310 km 范围内的 $M_L \geq 2$ 级地震 $M-t$ 时序上看,中短期时间尺度上区域地震活动存在增强、 $M_L \geq 3$ 级地震活跃 $M_L \geq 2$ 级地震显著平静的过程(图 5)。显著平静出现在 2006 年 11 月份,平静时间持续 31 d,打破平静的地震为 2006 年 12 月 1 日浙江珊溪(水库) M_L 3.2 级地震,距顺昌 M_L 5.1 级地震发生 102 d。2007 年 1 月 17 日至 2 月 11 日出现第二次显著平静,平静时间持续 26 d,打破平静的地震为 2007 年 2 月 12 日福建南平 M_L 2.1 级地震,距顺昌 M_L 5.1 级地震发生 29 d,震中相距 98 km。

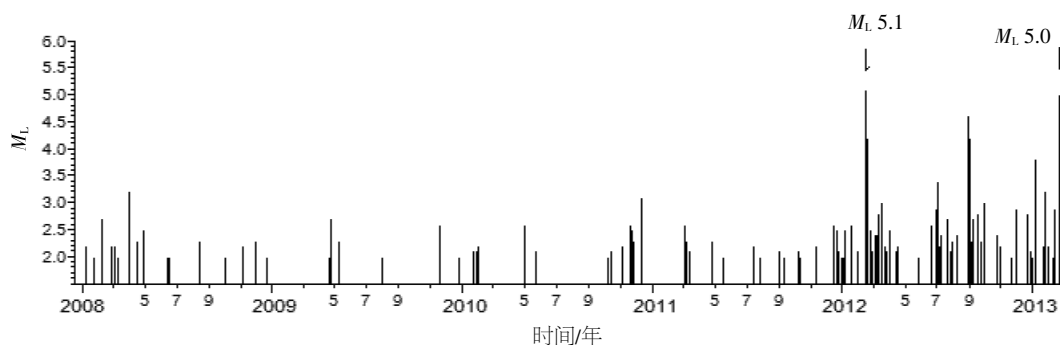
图4 台湾海峡南部震中 200 km 半径范围内 $M_L \geq 2$ 级地震 $M-t$ 图Fig.4 $M-t$ chart of earthquakes with $M_L \geq 2$ in the Taiwan straits south epicenter area within a radius of 200 km图5 顺昌震中 310 km 半径范围内 $M_L \geq 2$ 级地震 $M-t$ 图Fig.5 $M-t$ chart of earthquakes with $M_L \geq 2$ in the Shunchang epicenter area within a radius of 310 km

2.4 广东河源 $M_L 5.1$ 级地震和 $M_L 5.0$ 级地震

1962 年 3 月 19 日广东河源发生 $M_s 6.1$ 级地震, 该地震为我国水库诱发的最大地震, 其早期的地震活动与水库蓄水明显相关, 后期的地震活动主要受区域构造应力作用影响, 如 1999 年 8 月 20 日的 $M_L 5.1$ 级地震。该地区地震活动较为频繁, 且位于华南地区的中部, 其 $M_L \geq 3$ 级地震密集活动和 $M_L \geq 4$ 级地震对华南中强地震活跃有一定的

时间指示意义, 是华南地震活动的一个窗口。

2012 年河源 $M_L 5.1$ 级地震前, 震中周围半径 50 km 范围内的 $M_L \geq 4$ 级地震出现长达 9 年的平静, $M_L \geq 3$ 级地震相继出现长达 32 个月和 14 个月的平静; 河源 2012 年 $M_L 5.1$ 级和 2013 年 $M_L 5.0$ 级地震前, 中短时间尺度上震中周围半径 50 km 范围内的 $M_L \geq 2$ 级地震, 均出现地震(丛)时间间隔逐步缩短和地震活动增强丛集的现象(图 6)。

图6 河源震中 50 km 半径范围内 $M_L \geq 2$ 级地震序列Fig.6 The earthquake sequence with $M_L \geq 2$ in the Heyuan epicenter area within a radius of 50 km

河源 2012 年 $M_L 5.1$ 级和 2013 年 $M_L 5.0$ 级地震前, 中短时间尺度上震中周围半径 310 km 范围内的地震活动, 存在 $M_L \geq 3$ 级地震密集活跃的现象, 2013 年 $M_L 5.0$ 级地震前有增强的过程(图 7)。

2.5 福建仙游 $M_L 5.2$ 级地震

已有研究认为, 2013 年 9 月 4 日福建仙游 $M_L 5.2$ 级地震及其震前的地震序列活动与附近的金钟水库蓄水有关^[7], 属于水库地震。金钟水库 2010

年 5 月开始蓄水, 仙游地区 2012 年开始地震丛集(震群)活动, 之前 $M_L \geq 3$ 级地震零散活动, 且活动水平不超过 $M_L 3.5$ 级。

从 2012 年至 2013 年仙游 $M_L 5.2$ 级地震发生, 震中周围半径 50 km 范围内的 $M_L \geq 2$ 级地震序列

上看, 地震成丛现象明显, 震前中短时间尺度上出现 $M_L \geq 2$ 级地震长达 5 个多月的平静(图 8), 震前 1 个月内接连发生 8 月 3 日 $M_L 4.2$ 级、8 月 9 日 $M_L 3.1$ 、 $M_L 3.5$ 级和 8 月 19 日 $M_L 3.8$ 级地震, 但却没有 $M_L \leq 3.0$ 级地震。

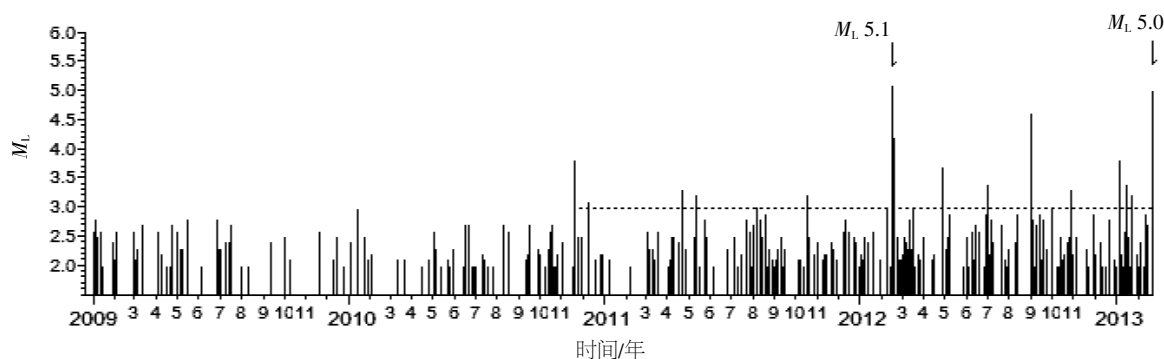


图 7 河源震中 310 km 半径范围内 $M_L \geq 2$ 级地震 $M-t$ 图

Fig.7 $M-t$ chart of earthquakes with $M_L \geq 2$ in the Heyuan epicenter area within a radius of 310 km

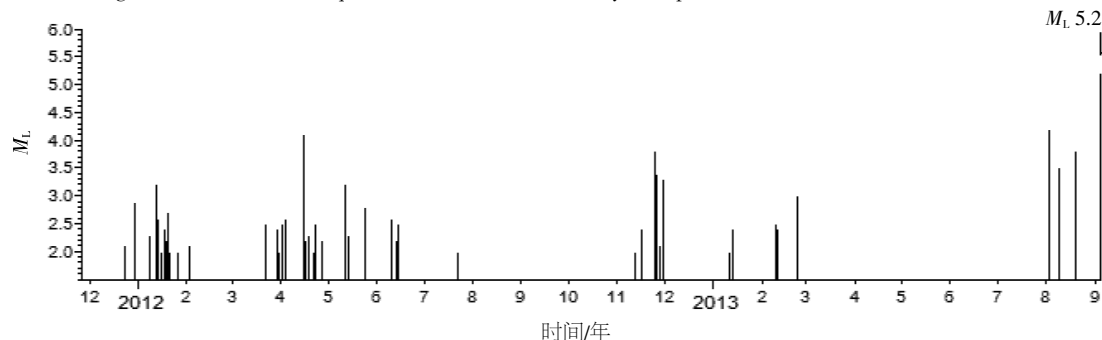


图 8 仙游震中 50 km 半径范围内 $M_L \geq 2$ 级地震序列

Fig.8 The earthquake sequence with $M_L \geq 2$ in the Xianyou epicenter area within a radius of 50 km

2013 年仙游 $M_L 5.2$ 级地震发生前, 中短时间尺度上震中周围半径 200 km 范围内的地震活动出现增强的过程(图 9), 但没有出现异常平静的现象。

2.6 贵州剑河 $M_L 5.8$ 级地震

剑河 $M_L 5.8$ 级地震震中周围半径 50 km 范围内, 历史上没有记载过中强地震, 仪器记录地震也不多, 2015 年剑河 $M_L 5.8$ 级地震前, 该地区发

生的 $M_L \geq 3$ 级地震屈指可数, 分别为: 2006 年 12 月 30 日 $M_L 3.3$ 级地震、2007 年 6 月 18 日 $M_L 3.1$ 级地震、7 月 14 日 $M_L 3.9$ 级地震, 2009 年 1 月 8 日 $M_L 3.1$ 级地震、10 月 24 日 $M_L 3.6$ 级地震, 2015 年 3 月 23 日 $M_L 3.8$ 级地震。有成组(对)发生且震级升的现象, 有研究认为其 2006 年至 2007 年的地震为三板溪水库的诱发地震^[8]。

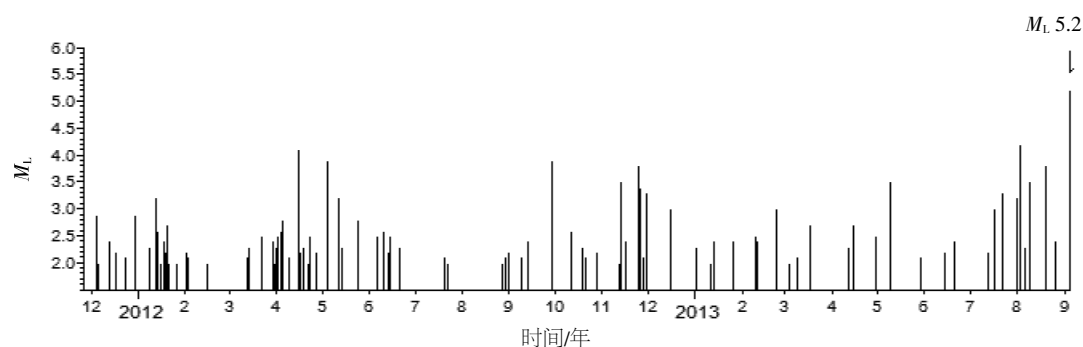


图 9 仙游震中 200 km 半径范围内 $M_L \geq 2$ 级地震 $M-t$ 图

Fig.9 $M-t$ chart of earthquakes with $M_L \geq 2$ in the Xianyou epicenter area within a radius of 200 km

2015 年剑河 M_L 5.8 级地震前, 中短时间尺度上震中周围半径 210 km 范围内的 $M_L \geq 2$ 级地震活动突出特点是平静, 平静持续时间长达近 12 个月(图 10), 平静被 2015 年 3 月 23 日剑河 M_L 3.8 级地震所打破, 距剑河 M_L 5.8 级地震发生 10 d。而震前中期区域地震活动没有出现增强现象, 但有相对丛集的特征。

2.7 广西苍梧 M_L 5.6 级地震

苍梧 M_L 5.6 级地震震中周围半径 50 km 范围内, 历史上没有记载过中强地震, 仪器记录地震也很少, 除了 2016 年苍梧 M_L 5.6 级地震之外, 该地区发生的 $M_L \geq 3$ 级地震仅有 1 次, 即 1978 年 M_L 3.0 级地震, 该地区属于少震、弱震区。

2016 年苍梧 M_L 5.6 级地震前, 震中周围半径 250 km 范围内, 中长时间尺度上区域地震活动出现增强的现象, 中短时间尺度上呈现 $M_L \geq 2.6$ 级地震相对密集活跃 $M_L \geq 2.0$ 级地震显著平静的过程(图 11), 显著平静出现在 2015 年 9 月 15 日至 2016 年 1 月 5 日, 持续平静时间 113 天, 打破平静的地震为 2016 年 12 月 6 日桂林 M_L 2.7 级地震, 距苍梧 M_L 5.6 级地震发生 206 d。显著平静打破至苍梧 M_L 5.6 级地震发生前, 区域发生的最大地震为 2016 年 3 月 7 日昭平 M_L 3.0 级地震, 震中相距 82 km。5 月 28 日广东德庆(与苍梧 M_L 5.6 级地震震中相距 60 km) M_L 2.2 级地震之后, 区域出现第二次显著平静, 平静时间持续 63 d, 直到苍梧 M_L 5.6 级地震发生。

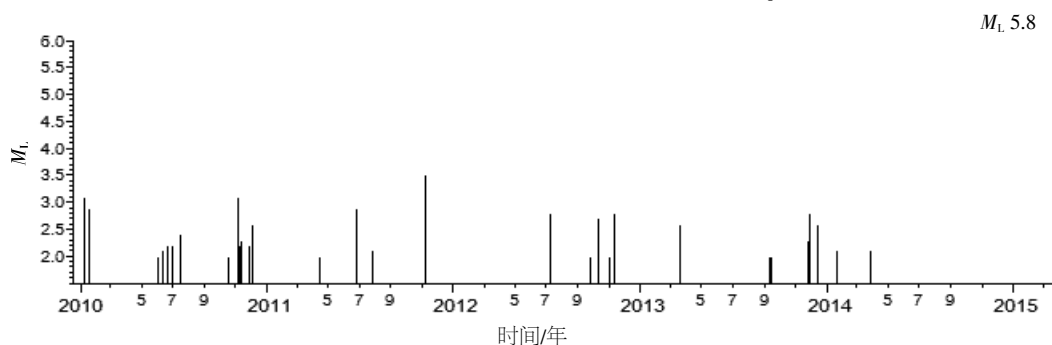


图 10 剑河震中 210 km 半径范围内 $M_L \geq 2$ 级地震 $M-t$ 图

Fig.10 $M-t$ chart of earthquakes with $M_L \geq 2$ in the Jianhe epicenter area within a radius of 210 km

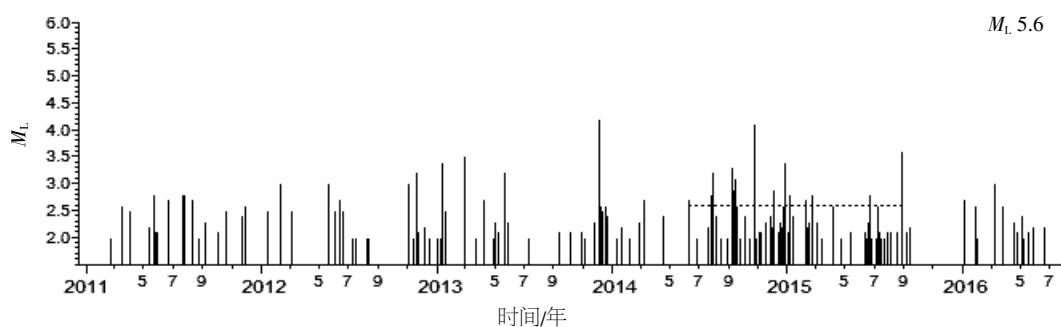


图 11 苍梧震中 250 km 半径范围内 $M_L \geq 2$ 级地震 $M-t$ 图

Fig.11 $M-t$ chart of earthquakes with $M_L \geq 2$ in the Cangwu epicenter area within a radius of 250 km

3 震前地震活动异常特征

3.1 异常特征总结

将上述华南地区 8 次 $M_L \geq 5$ 级地震事件前的地震活动现象按照震中(周围半径 50 km 内)和区域(周围半径至少 200 km 内)进行分析, 震前地震活动异常特征不尽相同(表 2), 说明地震孕育发生的复杂性和地震活动异常的不规律性, 华南中强地震前的增强-平静特征需要重新认识。

广东河源、福建仙游和贵州剑河处于大型水库地区, 且均有由于蓄水而诱发地震活动的经历, 说明这些地区在水的作用下介质变得相对脆弱, 对于区域应力变化反应比较敏感, 其地震时间成丛活动明显。 $M_L \geq 5$ 级地震前, 中期表现为区域地震活动密集活跃或增强、震中超长平静的特征, 短期震中呈现增强的特点。

广东阳江、台湾海峡南部、福建顺昌和广西苍梧为与水库作用无关的地区, 中强地震的孕育

发生需要更强的能量积聚过程。 $M_L\geq 5$ 级地震前,中期表现为区域地震活动增强-密集活跃的过程,短期区域呈现显著平静的特点。这些地区中强地震前的增强-平静特征依然存在和明显。

中强地震前,区域地震活动表现出的增强、密集活跃、丛集等现象,是区域应力作用增强或起伏增强的表现,这些现象主要出现在震前中期-中短期(几年-半年)时段;区域地震活动呈现显著平静或者震中超长平静后的增强活动,是区域能量积聚汇集的表现,出现在震前短期(三个月)时段

表 2 华南地区 $M_L\geq 5$ 级地震事件前地震活动特征

Table 2 The earthquake activity characteristics before the earthquakes with $M_L\geq 5$ in South China area

序号	地震时间/ 年-月-日	震级/ M_L	发震地点	震前地震活动异常特征	
				中期	短期
1	2004-09-17	5.2	广东阳江	震中增强-超长平静 区域密集活跃	区域显著平静
2	2005-04-04	5.0	台湾海峡南部	震中超长平静 区域增强-密集活跃	区域准平静
3	2007-03-13	5.1	福建顺昌	区域增强-密集活跃	区域显著平静
4	2012-02-16	5.1	广东河源	震中超长平静 区域密集活跃	震中增强丛集
5	2013-02-22	5.0	广东河源	区域密集活跃	震中增强丛集
6	2013-09-04	5.2	福建仙游	震中丛集-超长平静 区域丛集-增强	震中增强丛集
7	2015-03-30	5.8	贵州剑河	区域丛集-超长平静	震中增强
8	2016-07-31	5.6	广西苍梧	区域增强-密集活跃	区域显著平静

3.2 地震预测应用

从上述华南地区 8 次 $M_L\geq 5$ 级地震事件看,可以划分为两种情况:一是有地点信息的,即发生过强震、余震丰富且持续时间长的或水库地区已诱发地震的;二是没有地点信息的,如福建顺昌和广西苍梧的地震。按照此两种情况研究地震预测的应用和对策。

对于有地点信息的情况,首先关注震中(周围半径 50 km 内)的超长平静现象,发生过强震的(阳江、台湾海峡南部、河源)注意 $M_L\geq 3.0$ 级地震持续 1 年以上的平静,发生过诱发地震的(仙游、剑河)注意 $M_L\geq 2.0$ 级地震持续 5 个月以上的平静,属于续发地震的(河源 2012 年 M_L 5.1 级地震后的 2013 年 M_L 5.0 级地震)则不出现超长平静;其次关注区域(周围半径至少 200 km 内)的增强、密集活跃、丛集、超长平静等现象,区域尺度的选取要在突出异常特征的情况下尽可能扩大范围;在前面中期地震活动的背景下,关注震前的短期地震活动异常现象,属于水库地区的(河源、仙游、剑河)注意震中地震增强(丛),属于非水库地区的(阳江、台湾海峡南部)注意区域显著平静,即 $M_L\geq 2.0$ 级地震持续 30 d 以上的平静或准平静。

对于没有地点信息的情况,首先关注大范围的显著平静现象,即区域方圆半径在 250 km 以上、 $M_L\geq 2.0$ 级地震持续 30 d 以上的平静;其次考

察显著平静之前的地震增强-密集活跃过程;在前面中期地震活动的背景下,关注显著平静之后的短期地震活动行为,重点是打破平静的地震及显著平静打破后的增强地震及二次平静现象,后续中强地震发生在二次平静区域内、打破平静或显著平静后增强的地震附近。

参考文献:

[1] 沈繁奎,符干,袁锡文,等. 华南中强震前区域区域地震活动增强平静特征[J]. 华南地震,2003,23(3):11-15.

[2] 叶秀薇,杨马陵,叶东华,等. 2004 年 9 月 17 日阳江 4.9 级地震概述[J]. 华南地震,2005,25(3):69-77.

[3] 林松建,张颖,林琛. 2007 年 3 月 13 日福建顺昌 M_L 4.9 、 M_L 4.7 地震研究 [J]. 地震地磁观测与研究,2012,33(3):32-36.

[4] 刘特培,刘吉平,李键梅,等. 2012 年河源 M 4.8 级地震活动特征及预测研究[J]. 华南地震,2012,32(2):20-36.

[5] 袁丽文,李强. 福建仙游地震序列活动特征研究[J]. 防灾减灾学报,2016,32(2):97-100.

[6] 王尚彦,梁操,欧品智. 贵州剑河 5.5 级地震研究[J]. 贵州科学,2015,33(4):17-21.

[7] 邱毅,李军,康兰池,等. 福建仙游地震序列的震源机制解[J]. 中国地震,2014,30(2):280-288.

[8] 曾新平,王梅. 贵州三板溪水库诱发地震活动特征分析 [J]. 大地测量与地球动力学,2007,27(Supp.):19-23.