

陈大庆, 邵 叶, 谭争光, 等. 东南沿海地震带 $M \geq 5$ 级中强地震活动的时空丛集特征[J]. 华南地震, 2020, 40 (4): 10-17. [CHEN Daqing, SHAO Ye, TAN Zhengguang, et al. Spatial-temporal Clustering Characteristics of $M \geq 5$ Moderate and Strong Seismic Activities in the Southeast Coastal Seismic Belt[J]. South China journal of seismology, 2020, 40 (4): 10-17]

东南沿海地震带 $M \geq 5$ 级中强地震活动的 时空丛集特征

陈大庆, 邵 叶, 谭争光, 黄元敏

(广东省地震局, 广州 58000)

摘要: 东南沿海地震带 $M \geq 5$ 级中强地震活动有时空丛集的特征, 有历史记录以来东南沿海地震带经历了 3 个 7 级强震的活动周期, 其中以 1600 年广东南澳 7.0 级、1604 年福建泉州海外 7.5 级、1605 年海南琼山 7.5 级 3 次 7 级地震为主释放的第一强震活动周期与以 1994 年台湾海峡 7.3 级、和 1994、1995 年北部湾 6.1、6.2 级地震为主释放的第三强震活动周期具有较为相似的时空活动特征。在主释放期东南沿海地震带东西端都发生了 6、7 强震并且时间上有呼应的关系。在主释放后主要以 5、6 级中等地震活动为主, 活动的主体地区在东南沿海地震带东段以及中段的粤桂交界地区, 这对目前东南沿海地震带新一轮的 5、6 级地震活动空间主体地区的判断具有指示意义。而以 1918 年广东南澳东 7.3 级地震为主释放的第二活动周期活动则不同, 此次主释放期的强震集中在东南沿海地震带的中到东段。西段未发生时间上有强呼应关系的中强地震, 而随后的调整期地震仍然集中在东西两端, 但相对分散在外围。

关键词: 东南沿海地震带; 中强地震活动; 时空丛集; 强震活动周期; 活动主体地区

中图分类号: P315.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2020) 04-0010-08

DOI: 10.13512/j.hndz.2020.04.02

Spatial-temporal Clustering Characteristics of $M \geq 5$ Moderate and Strong Seismic Activities in the Southeast Coastal Seismic Belt

CHEN Daqing, SHAO Ye, TAN Zhengguang, HUAN Yuanmin

(Guangdong Earthquake Agency, Guangzhou 510075, China)

Abstract: The moderate and strong earthquakes in the southeast coastal seismic belt are characterized by spatial-temporal clustering. Since historical records began, the southeast coastal seismic belt has experienced three active periods of strong earthquakes with $M \geq 7$. The temporal and spatial activity patterns of the first active period, which is mainly released by the Nan'ao $M 7.0$ earthquake in 1600, Quanzhou overseas $M 7.5$ earthquake in 1604, and the Qionghshan $M 7.5$ earthquake in 1605, are similar to the third strong earthquakes period mainly released by the Taiwan Strait $M 7.3$ earthquake in 1994, Beibu Gulf $M 6.1$ and $M 6.2$ earthquakes in 1994 and 1995. In these two periods, the strong earthquakes occurred in the east and west end of the southeast coastal seismic belt during the main release stage and has a corresponding relation in the time. In the post-release stage, the main earthquakes

收稿日期: 2019-10-26

基金项目: 地震科技星火计划攻关项目 (XH201905)

作者简介: 陈大庆 (1977-), 男, 高级工程师, 主要从事地震预测研究。

E-mail: gd_daqing@163.com

are mainly moderate earthquakes with $M5-6$, and the main activity area is the eastern section of the southeast coastal seismic belt and the middle section of Guangdong–Guangxi junction, which has indicative significance for the current judgment of the main area of seismic activity with $M5-6$ in the southeast coastal seismic belt. The second period of activities which is released mainly by the Nan’ao $M7.3$ earthquake in 1918 has different spatial–temporal clustering characteristic. The strong earthquakes in the main release stage are concentrated in the middle–east part of the southeast coastal seismic belt and no moderate–strong earthquakes occurred in the western segment in time, while the earthquakes in the subsequent adjustment stage are still concentrated at the east and west ends, but are relatively scattered in the periphery.

Keywords: The southeast coastal seismic belt; Moderate and strong earthquake activities; Spatial–temporal clustering; Period of strong earthquake activities; The main area of activities

引言

2016 年以来东南沿海地震带 5、6 级地震丛发, 分别于 2016 年 7 月 31 日发生广西苍梧 5.4 级地震、2018 年 11 月 26 日台湾海峡 6.2 级地震、2019 年 10 月 12 日广西北流—广东化州 5.2 级地震。另外 2019 年 11 月 25 日广西靖西的 5.2 级地震也位于东南沿海地震带边缘地区。三年多的时间在东南沿海地震带及边缘区域接连发生 4 次 5、6 级地震。与之形成鲜明对比的是在 2016 年苍梧地震前东南沿海地震带已经有 17 年没有发生 5 级以上地震。这种中强地震或在较短的时间内丛集发生, 或较长时间平静的现象在东南沿海地震带有历史记录以来经常发生。上一个中强地震的丛集时间段, 以 1994 年台湾海峡 7.2 级地震、1994、1995 年北部湾 6.1、6.2 级地震为代表的中强地震主要发生在东南沿海地震带东西两端。而本轮的苍梧地震、广西北流—广东化州地震都发生在东南沿海地震带中段的粤桂交界区域, 两轮丛集时间段内中强地震活动的空间主体地区发生了改变。

对于东南沿海地震带中强地震时空丛集的特征, 前人也进行过较为详细的研究, 魏柏林等^[1]认为东南沿海地震带存在明显的二次大的地震活跃期, 其间隔时间约 300 年, 从序列分布上可以将东南沿海地震带分为 2 个周期, 1400—1710 年为第一活动周期, 1711 年至今为第二活动周期。第二周期在大释放后明显比上一周期衰减时间长, 在剩余释放阶段仍发生多次二十几年尺度的活动周期活跃幕现象。对于 20 世纪以来东南沿海地震带活跃幕的划分, 不同的学者给出了不同方案^[2-7]。本文在前人研究的基础上, 对东南沿海地震带中强地震活动的时空丛集特征进行了研究。

1 东南沿海地震带三个 7 级强震释放周期

图 1 为东南沿海地震带自 1500 年以来 5 级以上地震的时空分布图, 图 2 为时间序列的 $M-T$ 图。以上两类地震活动的分析图分别描述了地震的空间和时间分布特征, 但时空特征是割裂开的。为了更好的分析地震的时间和空间分布之间的关系, 结合东南沿海地震带主要活动构造以及强震活动以北东向分布为主, 大体有沿 114° 东西端对称分布的特征, 选取北东 60° 为投影方向, 中间位置 ($114.00^\circ, 22.15^\circ$) 为原点, 将所有地震投影到此基准线上得到图 3 的沿北东 60° 走向投影的时空分布图 (图 3)。

东南沿海地震带有历史记录以来共发生 5 次 7 级以上地震, 分别是 1600 年广东南澳 7.0 级地震、1604 年福建泉州海外 7.5 级地震、1605 年海南琼山 7.5 级地震、1918 年广东南澳东 7.3 级地震和 1994 年台湾海峡 7.3 级地震 (图 1、图 2、图 3)。前 3 次 7 级地震时间丛集特征非常显著, 在 1600—1605 年短短 5 年的时间内接连发生 3 次 7 级强震。并且东西段在时间上有呼应的关系, 东段先发生 2 次 7 级地震, 随后间隔 7 个月左右的时间在西段也发生了 7 级强震。这一时空对应关系在距今最近的一次 7 级强震周期也得到了验证, 第三周期东段 1994 年台湾海峡 7.3 级地震后仅仅不到 4 个月的时间也在西段的北部湾发生了 6.1、6.2 级双震。三个 7 级释放周期中第一、三 2 个周期都有强震东西段呼应的关系, 并且都是东段发生强震后半年左右的时间西段也紧接着发生强震。而第二次 7 级强震周期在东段 1918 年南澳 7.3 地震后, 西段并没有中强地震呼应, 和另外 2 次 7 级强震活动周期不同的是此次地震

基本可能是原地重发的地震^[8-9], 并且在此次地震的主释放前东段和西段都发生了 6 级左右的地震, 如 1911 年广东海丰外 6.0 级地震、1906 年福建厦门海外 6.25 级地震、1895 年广东揭阳 6.0 级地震、1890 年广西陆川 6.0 级地震, 应力得到部分释放。

根据 3 个 7 级强震释放周期中的地震活动特征, 本文将每个周期分为调整期(主释放期前以 5 级活动为主)、主释放期(6、7 级强震释放阶段)、后释放期(主释放期后以 5 级地震活动为主的阶段, 图 2)。其中第一、三次的 7 级周期整个释放过程较为相像都经历了调整期, 随后是经历了一个 5 级地震活动平静阶段, 接着是东西

两段的主应力释放期发生 6、7 级强震, 主释放期后又经历了一个平静期, 接着以 5 级左右中等地震为主的后释放期。而第二个 7 级活动周期则有所不同, 整个释放过程没有明显的平静阶段, 在主释放期前, 经历了一个 6 级地震为主的预释放期。而且其后释放期前也没有明显的平静期。图 4 为三个 7 级强震释放周期内(包括预释放期、主释放期和后释放期)地震释放能量的对比。第一、三周期东西段能量释放较为均衡。而第二强震周期, 西段能量释放明显偏弱。以下对三个 7 级地震释放周期不同释放阶段时空特征进行对比分析。

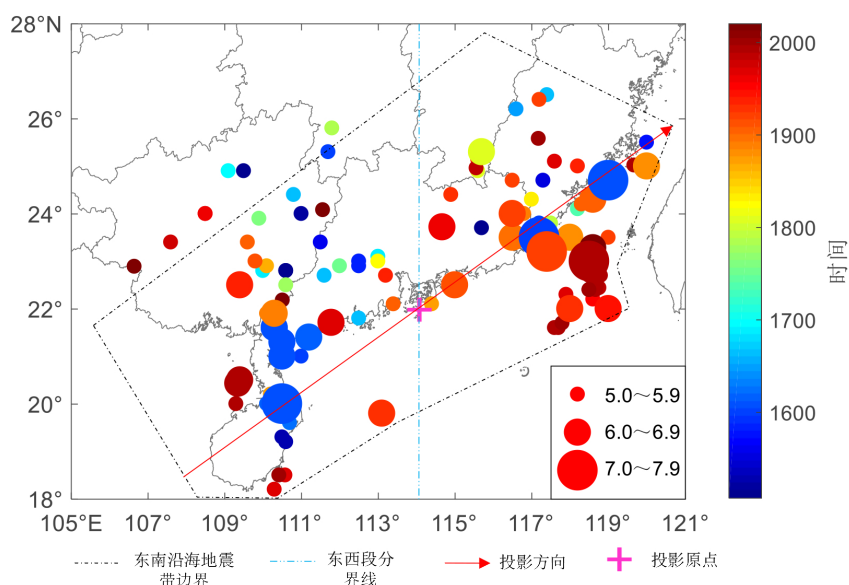


图 1 东南沿海地震带 1500 年以来 5 级以上地震时空分布图

Fig.1 Spatial-temporal distribution of earthquakes with $M \geq 5$ in the southeast coastal seismic belt since 1500

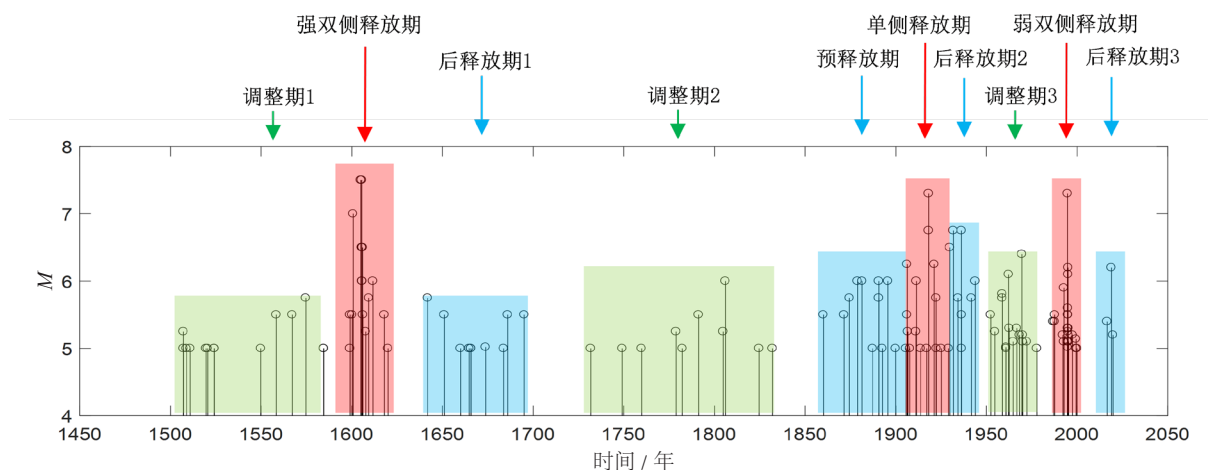


图 2 东南沿海地震带 1500 年以来 5 级以上地震 $M-T$ 图及 3 个 7 级强震释放周期

Fig.2 $M-T$ figure of earthquakes with $M \geq 5$ in the southeast coastal seismic belt since 1500 and three release cycles of strong earthquakes with $M \geq 7$

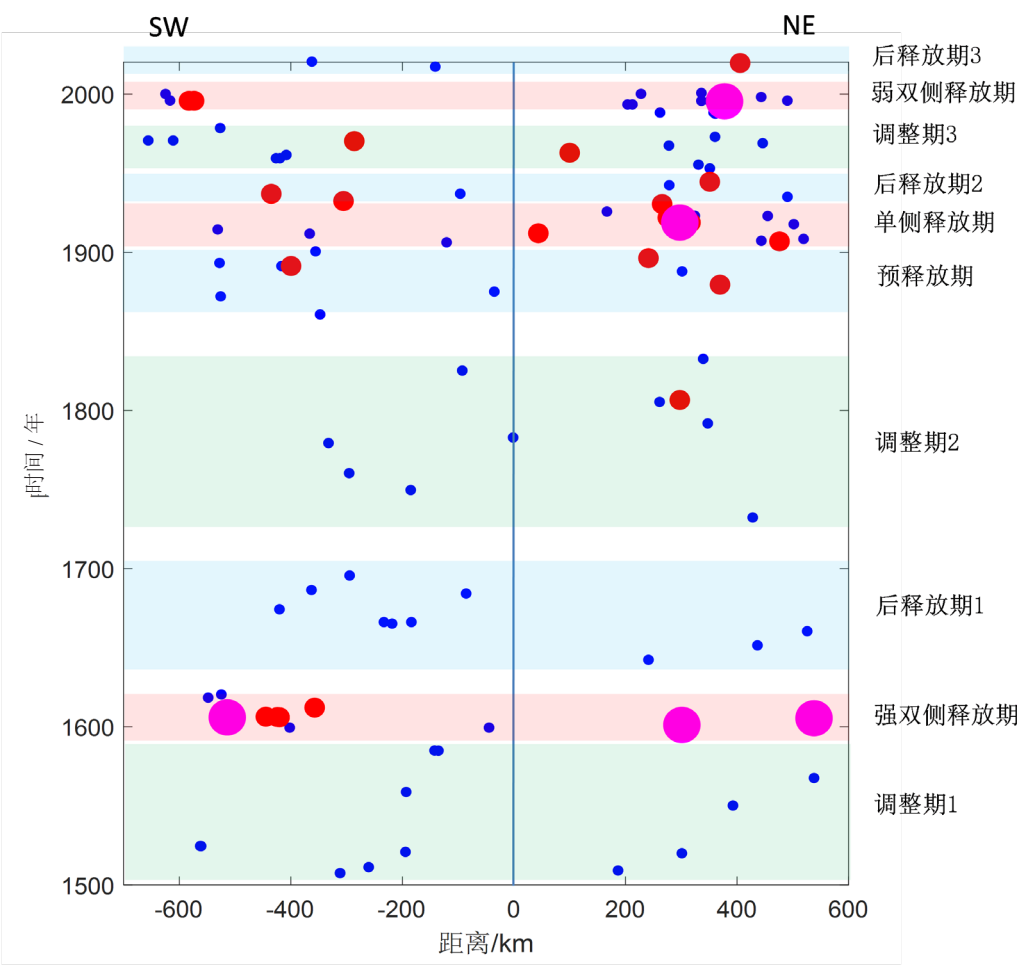


图3 东南沿海地震带 1500 年以来 5 级以上地震沿北东 60° 走向投影时空分布图

Fig.3 Spatial-temporal distribution of earthquakes with $M \geq 5$ in the southeast coastal seismic belt since 1500 projected along NE 60°

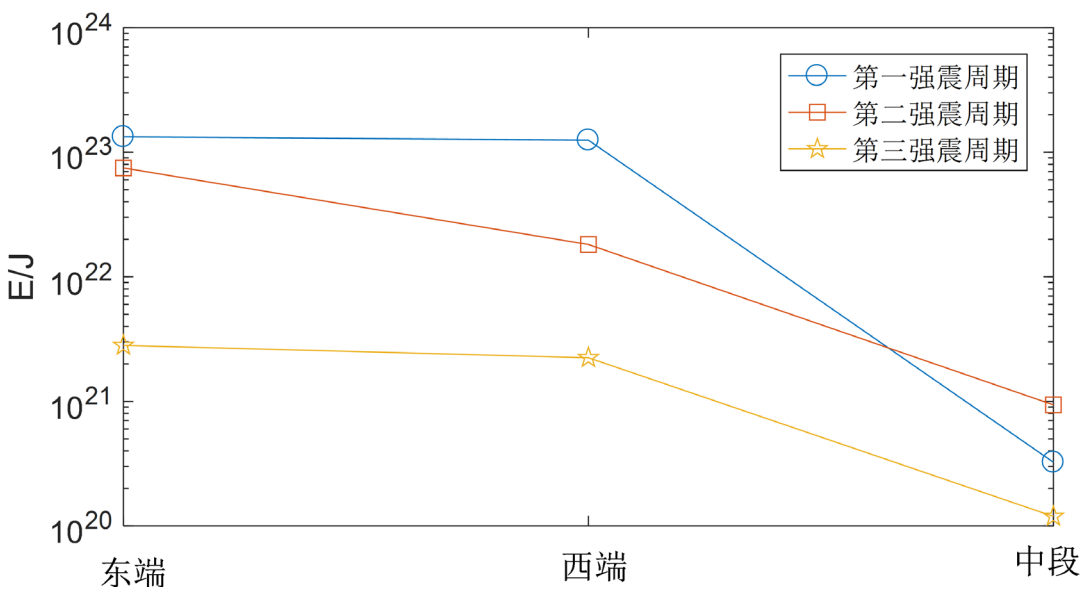


图4 三个 7 级强震释放周期地震能量释放对比

Fig.4 Comparison of seismic energy release of three $M7$ earthquake release cycles

2 三个主释放前调整期时空分布特征的对比分析

按照图 2 中的划分, 东南沿海地震带三次 7 级强震的主释放期前都经历了一段时间的调整期, 调整期内主要发生的是 5 级左右的地震, 但时间长短不一, 前 2 个调整期时间较长, 分别是 77 年和 83 年, 而最近一次的调整期仅仅只有 25 年。3 次调整期内的中等地震在空间分布上主要集中在两个主体地区, 分别是东南沿海地震带中段粤桂交界和东段粤闽赣交界及近海区域 (图 5)。第一个 7 级强震的后释放期和

以上 3 次调整期内的地震活动具有相同的活动主体地区, 图 6 是这 4 个时间段内的 5 级以上地震沿正东西方向 (以 114° 为原点) 投影的时空分布图。其中 114° 以东为粤闽赣交界及近海区域 (图中距离为正的), 以西为东南沿海地震带中段粤桂交界区域 (图中距离为负的区域)。从图中可以看到在东段粤闽赣交界及近海区域, 中强地震的主体迁移方向是由西向东, 而在中段的粤桂交界区域三个调整期内都是由西向东迁移, 但在第一个 7 级强震的后释放期则呈现的是相反由东向西迁移, 这可能和所处的应力状态有关。

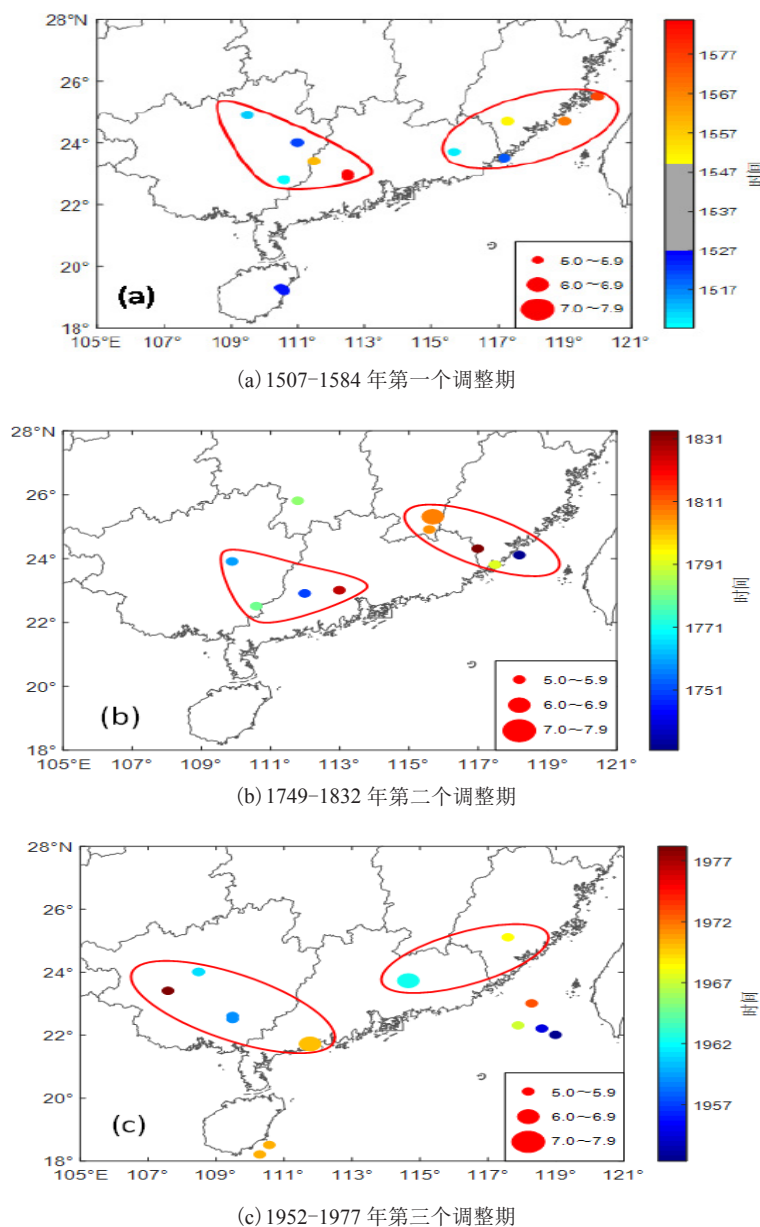


图 5 三个调整期 5 级以上地震时空分布图

Fig.5 Spatial-temporal distribution of earthquakes with $M \geq 5$ in three adjustment stages

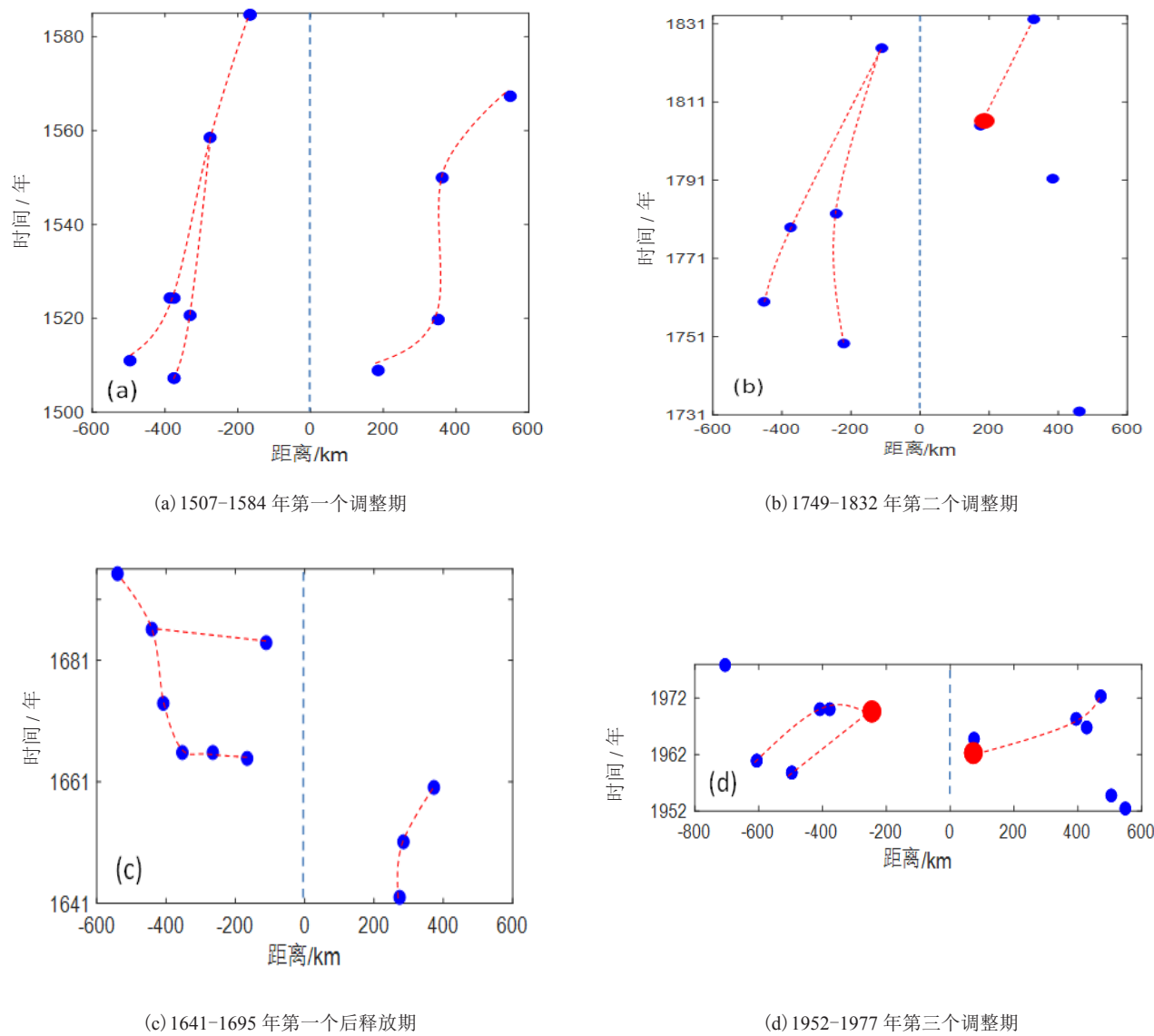


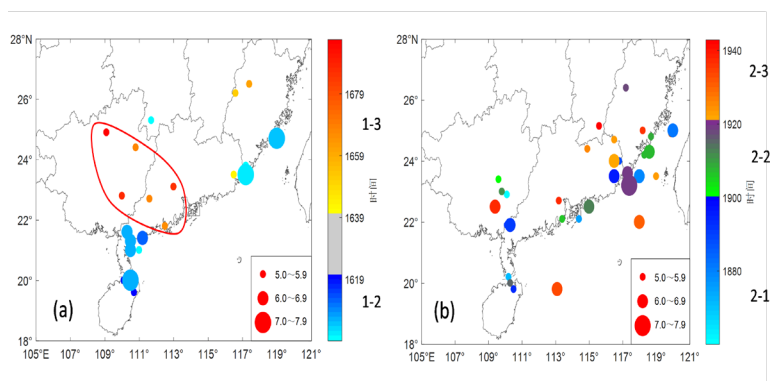
图 6 三个调整期和第一个 7 级强震的后释放期沿正东西向投影的时空分布图

Fig.6 Spatial-temporal distribution of three adjustment stages and the post-release stage of the first active periods of $M7$ earthquake projected along the east-west direction

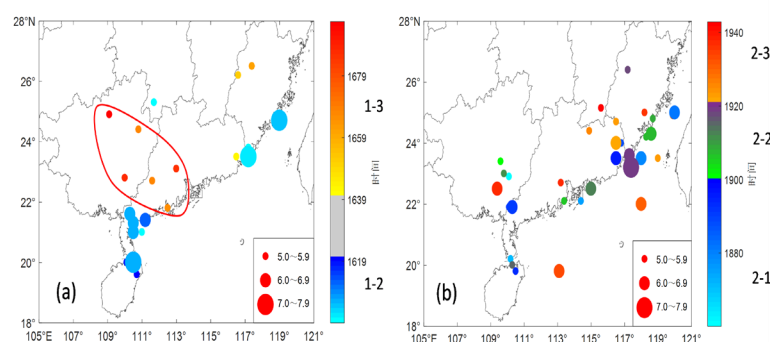
3 三个强震周期的主释放期和后释放期时空特征的对比分析

图 7 是三个 7 级强震主释放期和后释放期的时空分布图，其中第一、三次强震活动周期具有较为相似的活动特征都是东西两段的双侧应力释放。从调整期经过大约 15 年左右的平静期进入 7 级强震的主释放期，在主释放期都是东段先发生 7 级强震，其中第一个周期接连发生了 2 次 7 级强震，随后大约半年左右的时间，西段有呼应强震发生。2 次都是东南沿海地震带东西两段较为完全的应力释放，随后大约经过

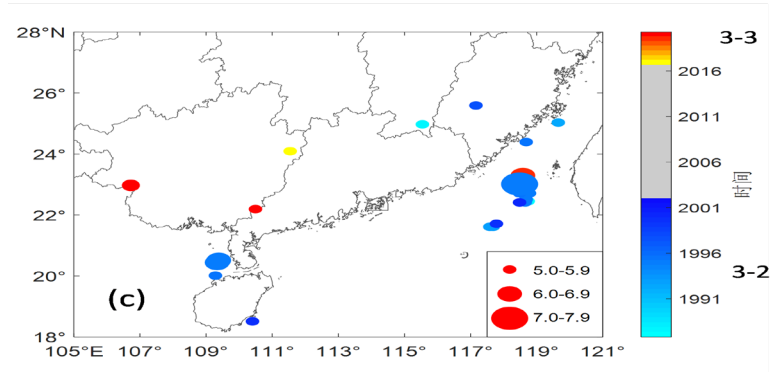
一个 20 年左右的平静期后进入一个 5 级地震为主的后释放期。后释放期内中等地震活动的主体地区是东南沿海地震带中段粤桂交界区域。而第二个 7 级强震的释放周期则呈现的是较为不同的特征，主释放期是东段的单侧应力释放。较为不同的是在主释放期前另外还经历了一个 6 级地震为主的预释放期，主要发生在东南沿海地震带中东段从珠江口到福建近海的北东滨海断裂带上，西段地震活动较弱显示地震活动的非对称性分布。后释放期的 5、6 级地震主要发生在东西段主释放期 6、7 级强震的外围。



(a) 1599-1695 年强双侧释放期及后释放期 1 (1-2 强双侧释放期; 1-3 后释放期 1)



(b) 1860-1943 年单侧释放期及后释放期 2 (2-1 预释放期; 2-2 单侧释放期; 2-3 后释放期 2)



(c) 1986- 至今弱双侧释放期及后释放期 3 (3-2 弱双侧释放期; 3-3 后释放期 3)

图 7 三个 7 级强震释放周期 5 级以上地震时空分布图

Fig.7 Spatial-temporal distribution of earthquakes with $M \geq 5$ in three $M7$ earthquake release cycles

4 结论和探讨

本文在前人研究的基础上对东南沿海地震带 3 个 7 级强震周期内中强地震活动的时空从集特征进行了研究。认为东南沿海地震带东西两段强震在时间上有较好的呼应关系, 推测东西段可能存在动力学关联。从强震的发震时间上看东段可能为主动点, 当东段强震引起的应力释放足于诱发西段强震的时候则会产生这种强震时间上呼应的关系。反之, 则时间上呼应

的关系不强, 主释放期的强震选择在东南沿海地震带中东段滨海断裂带以 6 级左右地震释放。

从 2016 年以来东南沿海地震带进入了新一轮的 5、6 级地震的丛集时间段, 从本文总结的 3 个 7 级强震活动周期的中强地震活动特征来看, 目前处于第三强震周期的后释放阶段。第三释放周期和第一周期有较为相似的活动特征, 都是东西两段较为完全的能量释放。第一周期的后释放期以 5 级左右中等地震为主, 活动的主体地区集中在东南沿海地震带中段粤桂交界

区域。如果本轮地震活动有类似特征的话,则后续东南沿海地震带中段粤桂交界区域仍然是未来 5 级中等地震活动的主体地区。

参考文献

- [1] 魏柏林. 东南沿海地震带的地震迁移特征 [J]. 华南地震, 2000, 20 (03): 45-51.
- [2] 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.
- [3] 彭美凤, 林世敏. 东南沿海地震形势分析 [J]. 地震, 1996, 16 (2): 197-201.
- [4] 冯绚敏, 黄福明, 易志刚, 等. 广东省未来十年强震趋势分析 [J]. 华南地震, 1998, 18 (2): 1-9.
- [5] 任镇寰, 罗振暖, 华卫. 粤闽赣交界地区地震活动若干特征及其大地震形势分析 [J]. 华南地震, 2002, 22 (3): 28-38.
- [6] 秦乃岗. 东南沿海地震带 20 世纪活跃幕划分及活动周期分析 [J]. 地震, 2007, 27 (1): 105-113.
- [7] 陈立德, 付虹, 张翔, 等. 地震力学成因及前兆机理研究——再“读”唐山地震有感 [J]. 地震研究, 2019, 42 (1): 1-10.
- [8] 陈家超, 冯霞英. 中国东南沿海地震带大震重复性和大震减震作用 [J]. 华南地震, 1992, 12 (3): 29-35.
- [9] 陈大庆, 杨雪. 1987 年江西寻乌 5.4 级地震及 1994 年台湾海峡 7.3 级地震前中小地震活动图像特征 [J]. 华南地震, 2019, 39 (S1): 78-82.