



赣南及邻区地震活动特征分析

赖智华, 邓月圆, 罗叶美, 钟智东, 余志成

Analysis of seismicity characteristics in southern Jiangxi and neighboring areas

Lai Zhihua, Deng Yueyuan, Luo Yemei, Zhong Zhidong, and Yu Zhicheng

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.19987/j.dzqxjz.2023-032>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

吴忠—灵武地区地震活动性与强震危险性分析

The earthquake activity and strong earthquake risk analysis of Wuzhong–Lingwu region
地震科学进展. 2020(10): 1–12

华蓥山断裂带地震活动特征分析

Analysis on seismicity characteristics of Huayingshan fault zone
地震科学进展. 2021(10): 461–466

郯庐断裂带中南段断层形变累积率长期变化特征

Long-term variation of fault deformation rate in the central–south segment of the Tanlu fracture zone
地震科学进展. 2018(12): 22–28

海域地震区划关键技术研究项目及研究进展

Project plan and research progress on key technologies of seismic zoning in sea areas
地震科学进展. 2020(1): 2–19

华北地震活动韵律性及近期活动阶段分析

Rhythmic characteristics of seismic activity in North China and analysis of recent activity stages
地震科学进展. 2020(2): 16–22

吉尔吉斯地震活动性及监测台网研究

Research on Kyrgyzstan seismic activity and monitoring network
地震科学进展. 2021(2): 65–71



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

赖智华, 邓月圆, 罗叶美, 等. 赣南及邻区地震活动特征分析 [J]. 地震科学进展, 2023, 53(12): 567-575. doi:10.19987/j.dzcxjz.2023-032

Lai Z H, Deng Y Y, Luo Y M, et al. Analysis of seismicity characteristics in southern Jiangxi and neighboring areas[J]. Progress in Earthquake Sciences, 2023, 53(12): 567-575. doi:10.19987/j.dzcxjz.2023-032

赣南及邻区地震活动特征分析*

赖智华^{1)*} 邓月圆²⁾ 罗叶美²⁾ 钟智东²⁾ 余志成²⁾

1) 江西省赣州地震台, 江西赣州 341000

2) 赣州地震监测中心站, 江西赣州 341000

摘要 通过江西赣南及邻区(23.66°N~27.20°N, 113.50°E~118.84°E)中等地震时、空、强和地震活动频度、 b 值、应变能释放特征分析。结果表明,该地区具有中强地震活动背景,现代小地震呈现密集成带分布特点。中强以上地震序列以主余震型和震群型地震为主。1971年以来地震活动持续活跃, $M_L \geq 4.0$ 地震呈现明显的群聚性质,主要表现为地震活动的空间和时间集中现象; $M_L \geq 3.5$ 地震活动具有周期性特征,包括高活跃期、平静期和发生破坏性地震事件; b 值一直低于年平均值时,中强以上地震活跃;在中强地震活跃之前,应变能释放曲线的速率呈现出加速变化的趋势。本研究结果为该地区预测地震的时、空、强提供了一些重要的参考信息,有助于对该地区的地震活动情况进行密切观测。

关键词 地震活动性; 平静时段; 活跃时段

中图分类号: P315.5 文献标识码: A 文章编号: 2096-7780(2023)12-0567-09

doi: 10.19987/j.dzcxjz.2023-032

Analysis of seismicity characteristics in southern Jiangxi and neighboring areas

Lai Zhihua¹⁾, Deng Yueyuan²⁾, Luo Yemei²⁾, Zhong Zhidong²⁾, Yu Zhicheng²⁾

1) Ganzhou Seismic Station of Jiangxi Province, Jiangxi Ganzhou 341000, China

2) Ganzhou Earthquake Monitoring Center Station, Jiangxi Ganzhou 341000, China

Abstract In this paper, the characteristics of time, space, strong and activity frequency, b value, strain energy release of moderate earthquakes in southern Jiangxi and neighboring areas (23.66°N~27.20°N, 113.50°E~118.84°E) are analyzed. The results show that, the region has the background of moderate and strong seismicity, and modern small earthquakes are distributed in dense belts. The main aftershock type and swarm type are the main earthquake sequences above moderate strength. Since 1971, seismic activity has continued to be active, with earthquakes of $M_L \geq 4.0$ exhibiting obvious clustering property, mainly manifested by the spatial and temporal concentration of seismic activity; The seismicity of $M_L \geq 3.5$ earthquakes has periodic characteristics, including the high active period, the quiet period and the occurrence of destructive earthquake events; When the b value is always lower than the annual average value, the moderate and strong earthquakes are active; The rate of strain energy release curve shows an accelerating trend before moderate earthquakes are active. The results of this study provide some important reference information for predicting the time, space and intensity of earthquakes in this region, which helps to closely observe the seismic activity in the region.

Keywords seismic activity; quiet period; active period

* 收稿日期: 2023-03-20; 采用日期: 2023-06-16。

* 通信作者: 赖智华(1978-), 男, 工程师, 主要从事地震监测工作。E-mail: 504728048@qq.com。



0 引言

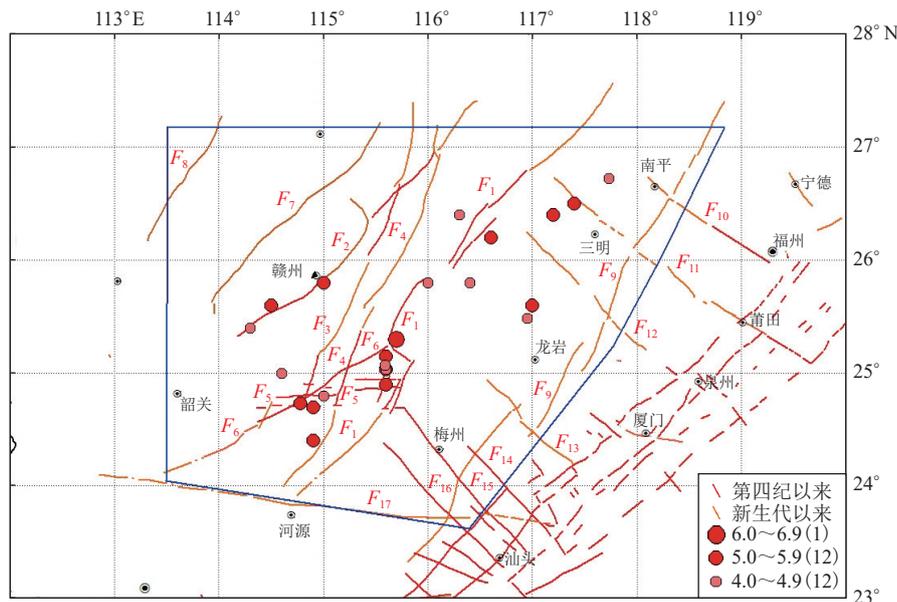
江西赣南及邻区位于东南沿海地震带东区,是现今小地震密集频发的区域^[1-3]。自1980年以来,发生过5次破坏性地震,分别为1982年2月江西龙南5.0级、1987年8月江西寻乌5.5级、1992年11月福建龙岩4.7级、1997年5月福建永安5.2级和2007年3月福建顺昌4.9级。其中,1987年江西寻乌5.5级地震是影响最为严重的一次^[4],导致2人死亡,87人受伤,1099座房屋倒塌,4461座房屋成为危房,42921座房屋受到中等或轻度破坏,775座牛栏和厕所坍塌,部分公路桥梁也受损,共计造成直接经济损失3625万元^[5]。本文主要通过对赣南及邻区1971年以来2218次2.0级以上地震(剔除余震)的地震序列、时间序列、空间分布、地震频度、*b*值和应变能释放特征来研究该地区地震活动特征,有助于对该地区地震发生机理的认识,提升地震监测预报的准确性和精度。特别对该地区地震序列的序列性质判定,可为预测未来地震活动趋势提供重要参考,为中小规模有感地震的快速处置提供科学依据。因此,对该地区地震活动特征的研究具有积极的学术意义和实践价值。

1 区域地震活动背景

江西赣南及邻区地质构造呈现出复杂的断裂

带,其中以石城—寻乌、政和—海丰、全南—寻乌断裂带为主要控制因素^[6],这些断裂带纵横交织,是由多个构造事件相互作用所形成的。历史上,该区域的破坏性地震主要沿着这些断裂带分布(图1),其中江西会昌地区1806年发生的6.0级地震是该区域历史上最大的地震事件。尤其是石城—寻乌断裂带,横跨江西省石城、瑞金、会昌、寻乌等地,被认为是该地区最具活跃性的断裂带之一,该断裂带的地震活动特征表现出较强的强度和丛集性,历史上发生多次破坏性地震,如1562年瑞金4.7级、1804年寻乌5.2级、1806年会昌6.0级、1926年石城4.7级、1941年寻乌5.7级、1962年河源6.1级、1987年寻乌5.5级地震,现今寻乌—会昌、石城—瑞金中小地震频繁活动;政和—海丰断裂带展布方向为北东向,跨越福建政和、尤溪、大田,经漳平、和溪等地,南延至广东大埔、海丰等地,该断裂带在历史上发生过多次5级以上地震,如1067年尤溪5.2级、1832年平秋5级、1940年永定5.0级、1968年华安5.2级地震等,1971年以来相继发生了1992年福建龙岩4.7级、1997年福建永安5.2级和2007年福建顺昌4.7级、4.6级等破坏性地震^[4]。

福建龙岩、华安和大田等地区仍存在小震活动,这些震源均位于全南—寻乌断裂带上。全南—寻乌断裂带主要分布于南岭山脉,覆盖了全南、龙南、定南和寻乌等地,它是南岭纬向构造带的主体部分,具



*F*₁ 河源—邵武断裂; *F*₂ 大余—赣州—兴国断裂; *F*₃ 龙南—于都—乐安断裂; *F*₄ 定南—宁都—宜黄断裂; *F*₅ 全南—寻乌断裂; *F*₆ 全南—安远—周田断裂; *F*₇ 遂川—万安断裂; *F*₈ 茶陵—临武断裂; *F*₉ 政和—海丰断裂; *F*₁₀ 闽江断裂; *F*₁₁ 沙县—南日岛断裂; *F*₁₂ 永安—晋江断裂; *F*₁₃ 上杭—云霄断裂; *F*₁₄ 大埔—饶平断裂; *F*₁₅ 梅州—潮安断裂; *F*₁₆ 兴宁—汕头断裂; *F*₁₇ 佛冈—丰良断裂

图1 赣南及邻区1535—2007年中强地震分布图

Fig. 1 Distribution map of moderate and strong earthquakes in southern Jiangxi and neighbouring areas from 1535 to 2007

有较强的地震活动性和聚集性特征。在历史上, 该断裂带曾多次发生破坏性地震, 其中包括 1577 年定南 4.7 级、1847 年定南 5.0 级、1907 年定南 4.7 级、1982 年龙南 5.0 级和 1987 年寻乌 5.5 级地震^[4]。这些地震都发生在该断裂带与北北东或北东向断裂的相交或切割部位。目前, 该断裂带仍然表现出较高的地震活动性, 中小地震频繁发生。

地震活动的分布与历史地震活动高度一致, 受主干断裂的控制, 表明地震的分布是受到区域构造背景和地质特征的影响。其中, 1987 年江西寻乌 5.5 级地震和 1982 年龙南 5.0 级地震的发震构造与主干断裂相关, 这揭示了主干断裂是地震发生的重要控制因素。政和一海丰断裂带自 1971 年以来也发生了多次破坏性地震, 如 1992 年福建连城 4.7 级、1997 年福建永安 5.2 级和 2007 年福建顺昌 4.7 级、4.6 级等^[4], 这些地震也与主干断裂有着密切的关联。

2 赣南及邻区地震特征

2.1 中等地震序列及空间分布特征

自 1971 年以来, 本地区共发生了 3 次 5 级以上地震事件, 分别位于江西省龙南市、寻乌县和福建省永安市。3 次地震序列中有 2 次为主余震型, 1 次为震群型。此外, 本地区还发生了 5 次 4.5~5 级地震, 分布在福建省永安市、龙岩市、顺昌县、广东省丰顺县和江西省龙南市。在这 5 次地震序列中, 主余震型地震发生了 2 次, 震群型地震发生了 2 次, 孤立型地震发生了 1 次。另外, 3 级以上的地震共发生了 43 次, 主要分布在福建漳平和江西寻乌地区。在这 43 次地震序列中, 孤立型地震发生了 17 次, 占 39.5%; 主余震型地震发生了 15 次, 占 34.9%; 震群型地震发生了 10 次, 占 23.3%; 还有 1 次为前主余震型地震, 占 2.3%(表 1)。

表 1 赣南及邻区 1974—2020 年 $M \geq 3.0$ 地震序列类型表

Table 1 Types of $M \geq 3.0$ earthquake sequences in southern Jiangxi and neighbouring areas from 1974 to 2020

序号	发震时刻(年-月-日时:分)	北纬/ $^{\circ}$	东经/ $^{\circ}$	震级(M)	参考震中	地震序列类型
1	1974-08-09 09:30:00	24.90	116.90	3.1	福建永定	孤立型
2	1976-11-16 00:26:00	25.90	117.20	3.1	福建永安	孤立型
3	1978-06-27 15:40:00	26.50	115.85	3.9	江西宁都	主余型(最大余震 2.0)
4	1978-11-30 08:07:00	25.70	117.60	3.1	福建大田	孤立型
5	1979-01-07 01:59:00	24.70	115.10	3.4	江西定南	主余型(最大余震 2.5)
6	1979-03-22 19:59:00	24.90	115.70	3.1	江西寻乌	震群型(次大地震 2.6)
7	1979-06-07 11:40:54	24.50	116.30	3.7	广东蕉岭	孤立型
8	1981-12-29 12:26:00	25.60	117.10	3.3	福建连城	震群型
9	1982-02-25 08:39:00	24.73	114.78	5.0	江西龙南	主余型(最大余震 3.7)
10	1983-05-12 01:01:00	25.00	115.84	3.9	江西寻乌	孤立型
11	1984-12-19 07:45:00	26.60	117.80	3.1	福建沙县	孤立型
12	1985-07-04 04:08:00	24.80	114.80	3.4	江西龙南	震群型(次大地震 3.1)
13	1986-01-08 08:31:00	24.90	115.70	3.1	江西寻乌	孤立型
14	1987-08-02 17:07:00	25.03	115.60	5.5	江西寻乌	震群型(次大地震 4.9)
15	1988-09-18 07:34:00	25.90	116.42	3.3	福建长汀	主余型
16	1990-10-28 14:25:00	24.92	115.22	3.1	江西安远	主余型(最大余震 0.6)
17	1991-08-16 20:10:00	25.60	114.30	3.1	江西崇义	孤立型
18	1992-11-26 18:47:00	25.48	116.95	4.7	福建龙岩	主余型
19	1992-12-22 12:55:27	25.37	113.53	3.2	广东乐昌	孤立型
20	1992-12-22 12:55:29	25.40	113.50	3.7	湖南汝城	孤立型
21	1994-05-24 19:17:00	25.58	117.18	4.3	福建漳平	震群型
22	1995-01-24 21:47:53	25.05	115.50	3.8	江西寻乌	前主余型(最大前震 1.9, 最大余震 1.9)

续表 1

序号	发震时刻(年-月-日时:分)	北纬/ $^{\circ}$	东经/ $^{\circ}$	震级(M)	参考震中	地震序列类型
23	1995-08-04 02:01:26	23.82	115.70	3.4	广东五华	震群型(次大地震3.6)
24	1995-11-12 13:43:17	23.87	116.05	4.2	广东丰顺	孤立型
25	1997-05-31 14:51:01	25.58	117.18	5.2	福建永安	主余型
26	1997-07-31 16:54:21	24.62	116.50	3.3	广东梅州	主余型(最大余震2.0)
27	1997-07-31 16:54:21	24.63	116.57	3.1	福建永定	孤立型
28	1998-07-03 19:47:19	25.57	117.17	3.0	福建漳平	震群型
29	1999-04-15 02:41:00	26.90	115.83	3.4	江西永丰	主余型(最大余震1.4)
30	2001-06-13 09:49:23	25.57	117.20	3.0	福建漳平	震群型
31	2003-03-18 15:42:17	25.23	117.58	3.0	福建漳平	主余型
32	2003-12-04 07:18:28	25.37	115.78	3.7	江西会昌	孤立型
33	2003-12-24 13:01:18	24.78	115.78	3.0	广东平远	孤立型
34	2004-03-04 16:25:15	25.23	117.60	3.1	福建漳平	主余型
35	2005-09-21 05:50:11	24.78	115.75	3.3	江西寻乌	主余型(最大余震1.4)
36	2006-01-18 01:22:00	25.38	117.75	3.0	福建永春	孤立型
37	2007-03-13 10:22:59	26.72	117.73	4.5	福建顺昌	震群型
38	2012-04-28 00:41:15	25.03	115.67	3.1	江西寻乌	主余型(最大余震0.7)
39	2016-10-28 15:55:00	24.11	114.59	3.0	广东连平	主余型
40	2016-10-31 16:26:18	24.69	116.17	3.4	广东蕉岭	孤立型
41	2017-11-06 14:22:11	24.82	115.62	3.2	江西寻乌	主余型(最大余震1.7)
42	2018-01-01 22:37:15	24.80	115.62	3.1	江西寻乌	震群型(次大地震2.4)
43	2020-08-12 15:30:34	25.91	114.27	3.2	江西上犹	孤立型

此数据表明,本地区地震序列中,孤立型地震比较常见,其次为主余型地震,震群型地震则较少,从地震级别分布来看,震群型地震主要出现在3级左右和4.5~5.0地震,而孤立型和主余震型地震在地震震级分布较为均匀。

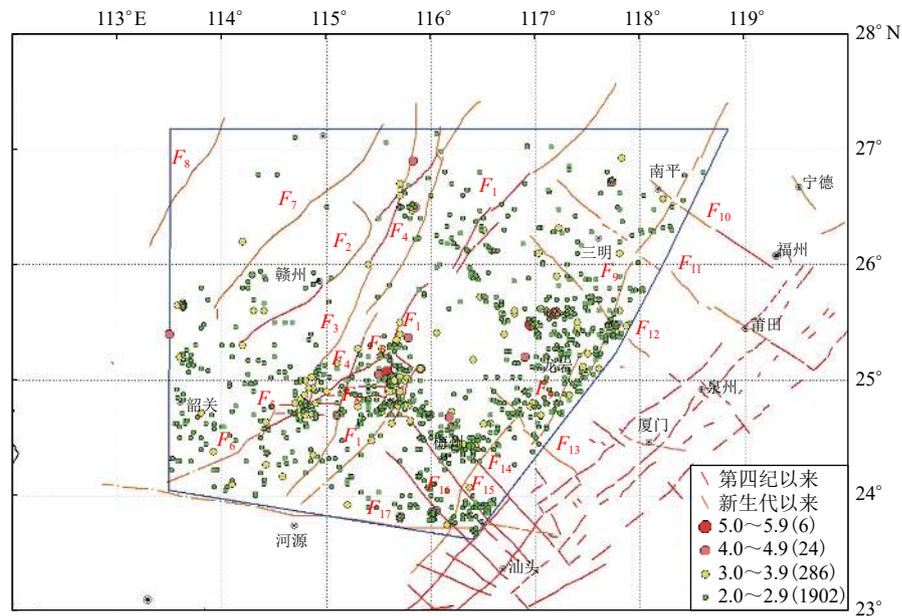
2.2 地震时间序列及空间分布特征

自1971年以来,江西赣南及邻区的地震活动呈现出空间分布不均匀性特征,地震活动在某些地区频繁,其他地区相对稀少。地震密集成带主要沿北北东、北东方向和北西方向分布,与区域内主要断裂带分布一致。密集成带主要位于广东梅州至福建龙岩附近、广东梅州至江西寻乌附近,这些地区的地震活动与北东向福建政和—广东海丰断裂、北西向广东梅州—江西寻乌断裂密切相关。同时,另一条密集成带主要分布在江西三南(龙南、定南、全南)至寻乌、会昌、石城附近,这些地区的地震活动与北东向全南—寻乌断裂、北北东向石城—寻乌断裂有很强的关联。值得注意的是,石城—寻乌断裂带中部瑞金附近

地震相对较少(图2),揭示了该区域断裂活动的差异。

1971年以来,赣南及邻区的地震活动主要以小地震为主,震级大多在 $M_L 2.0 \sim 3.0$ 之间,但也发生了6次 $M_L 5.0 \sim 5.9$ 地震、24次 $M_L 4.0 \sim 4.9$ 地震。通过 $M-T$ 图(图3)的分析发现, $M_L \geq 4.0$ 地震活动在时间上表现出较为明显的阶段性特征和丛集现象,在1978—1987年(10年)、1992—1999年(8年)、2003—2007年(5年)这3个时间段内,地震活动明显增强,出现频次较高。而在这些活跃期之间,地震活动相对平静,较大震级地震的发生频次较低。

$M_L \geq 3.5$ 地震活动在时间上表现出了一种周期性变化规律,其特征为在活跃时段内至少会发生一次 $M_L \geq 4.0$ 地震(图3)。例如,在1978—1979年(2年)活跃期间共发生4次 $M_L \geq 3.5$ 地震,包括3次 $M_L \geq 4.0$ 地震;在1984—1985年(2年)活跃期间共发生9次 $M_L \geq 3.5$ 地震,包括1次 $M_L \geq 4.0$ 地震;在1994—1995年(2年)活跃期间共发生13次 $M_L \geq 3.5$ 地震,



F_1 河源—邵武断裂; F_2 大余—赣州—兴国断裂; F_3 龙南—于都—乐安断裂; F_4 定南—宁都—宜黄断裂; F_5 全南—寻乌断裂; F_6 全南—安远—周田断裂; F_7 遂川—万安断裂; F_8 茶陵—临武断裂; F_9 政和—海丰断裂; F_{10} 闽江断裂; F_{11} 沙县—南日岛断裂; F_{12} 永安—晋江断裂; F_{13} 上杭—云霄断裂; F_{14} 大埔—饶平断裂; F_{15} 梅州—潮安断裂; F_{16} 兴宁—汕头断裂; F_{17} 佛冈—丰良断裂

图 2 赣南及邻区 1971—2023 年 $M_L \geq 2.0$ 地震分布图

Fig. 2 Distribution map of $M_L \geq 2.0$ earthquakes in southern Jiangxi and neighbouring areas from 1971 to 2023

包括 7 次 $M_L \geq 4.0$ 地震。值得注意的是, 在这些活跃时段之后, 往往会有一个相对平静期, 然后再次发生破坏性地震。如 1982 年 2 月江西龙南 5.0 级、1987 年 8 月江西寻乌 5.5 级、1997 年 5 月福建永安 5.2 级等破坏性地震发生前都经历了活跃到平静时段。

总的来说, 赣南及邻区地震活动表现出明显的空间不均匀性特征, 与主要的构造断裂分布密切相关。地震活动在时间上呈现出阶段性特征和丛集现象, 反映出地震活动具有一定的周期性。在活跃时段, 地震活动增强, 中等地震发生频次较高; 在相对平静时段之后, 可能会发生破坏性地震。这些特征和规律有助于我们更好地认识赣南及邻区的地震活动特点, 为地震监测预警和防灾减灾工作提供重要依据。

2.3 地震活动频度特征

根据频度统计结果(图 4), 江西赣南及邻区 $M_L \geq 2.5$ 地震平均每年发生 17 次, 1997 年的最高年频次达到 133 次; $M_L \geq 3.0$ 地震平均每年发生 6 次, 1997 年最高年频次为 58 次; $M_L \geq 3.5$ 地震平均每年发生 5 次, 1997 年最高年频次为 12 次; $M_L \geq 4.0$ 地震平均每 2 年发生 1 次, 最高年频次分别出现在 1987 年和 1994 年, 每年发生 4 次。相比邻省湖南省地震活动水平较高, 湖南省记录 $M_L \geq 3.0$ 近代地震仅 15 次(1960—2016 年)^[7]。

通过频度统计数据突显了赣南及邻区地震活动的显著特征。研究发现, 不同震级分段下的地震活动频次最高年份(例如 1987 年、1994 年、1997 年)均出现在地震活动丛集期, 揭示了该地区中强度地震的发生与中小地震活动密切相关。

2.4 地震年 b 值时序分布特征

利用中国地震台网正式目录, 本区 1971 年以来的 $M_L \geq 2.5$ 地震资料, 采用 Utsu (1965) 提出的最大似然法计算 b 值^[8]。最大似然法是一种统计方法, 可以根据地震目录中的地震震级数据, 估算出 b 值, 其公式为:

$$b = \frac{\log_{10} e}{\bar{M} - (M_0 - \Delta M / 2)}$$

式中, \bar{M} 是平均震级, M_0 是计算所用截止的震级, ΔM 是震级间隔^[9-11]。实际地震记录中, 取 $\Delta M = 0.1$ 。研究发现, 年平均 b 值为 1.10, 最大值是 2010 年的 2.895, 最小值是 1993 年的 0.498。为了验证 b 值计算结果的合理性和正确性, 我们将计算得到的 b 值与汤兰荣等^[4]计算出的赣南及邻区平均 b 值进行了比较, 发现结果具有较高的一致性。此外, 我们还分析了地震目录的完整性, 确保数据质量满足计算要求。

为了更好地理解 b 值与地震活动的关系, 我们还对比分析了不同时段的地震活动和 b 值变化。地震丛集时段的低 b 值可能与区域内的地应力累积有

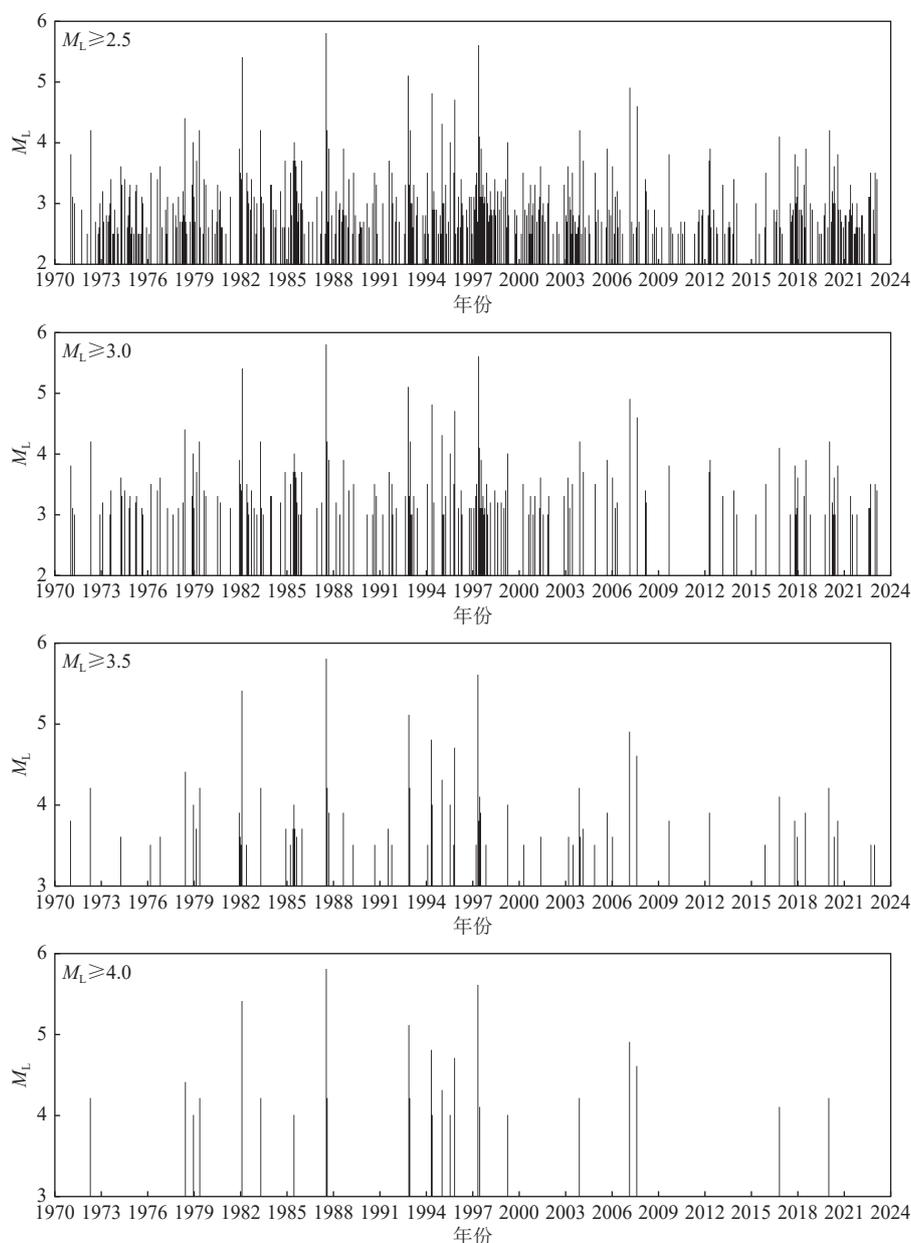


图3 赣南及邻区地震时序图

Fig. 3 Seismic sequence diagram of southern Jiangxi and neighboring areas

关, 这些时段的地震活动较为频繁且具有破坏性, 例如 1978—1987 年、1992—1999 年、2003—2007 年 $M_L \geq 4.0$ 地震丛集时段的年平均 b 值分别为 0.892、0.973、0.957, b 值相对较低, 同时在这些时段发生了一些破坏性地震, 如 1982 年江西龙南 5.0 级、1987 年江西寻乌 5.5 级、1992 年福建连城 4.7 级、1997 年福建永安 5.2 级、2007 年福建顺昌 4.9 级等^[4]。由此可见, 在地震丛集时段, 低 b 值与较频繁且具有破坏性的地震活动之间有一定联系。同时, 2000—2002 年、2008—2015 年地震平静时段, 年平均 b 值分别为 1.488、1.449(图 5), b 值相对较高, 同时地震活动

相对较低。由此可见, 在地震平静时期, 较高的 b 值可能与地应力释放较强有关。这些研究结果表明, 江西赣南及邻区地震活动的 b 值呈现出明显的时空变化规律, 反映出区域地应力状态和地震活动的动力学特征。

2.5 地震应变能释放特征

在地震活跃时段(1982—2007 年)之前, 该区域的地震应变能释放的速率呈现出加速变化的趋势, 表现为曲线斜率值较大。这一时段内该地区共发生 5 次 4.5 级以上地震, 分别为 1982 年江西龙南 5.0 级、1987 年江西寻乌 5.5 级、1992 年福建连城 4.7 级、

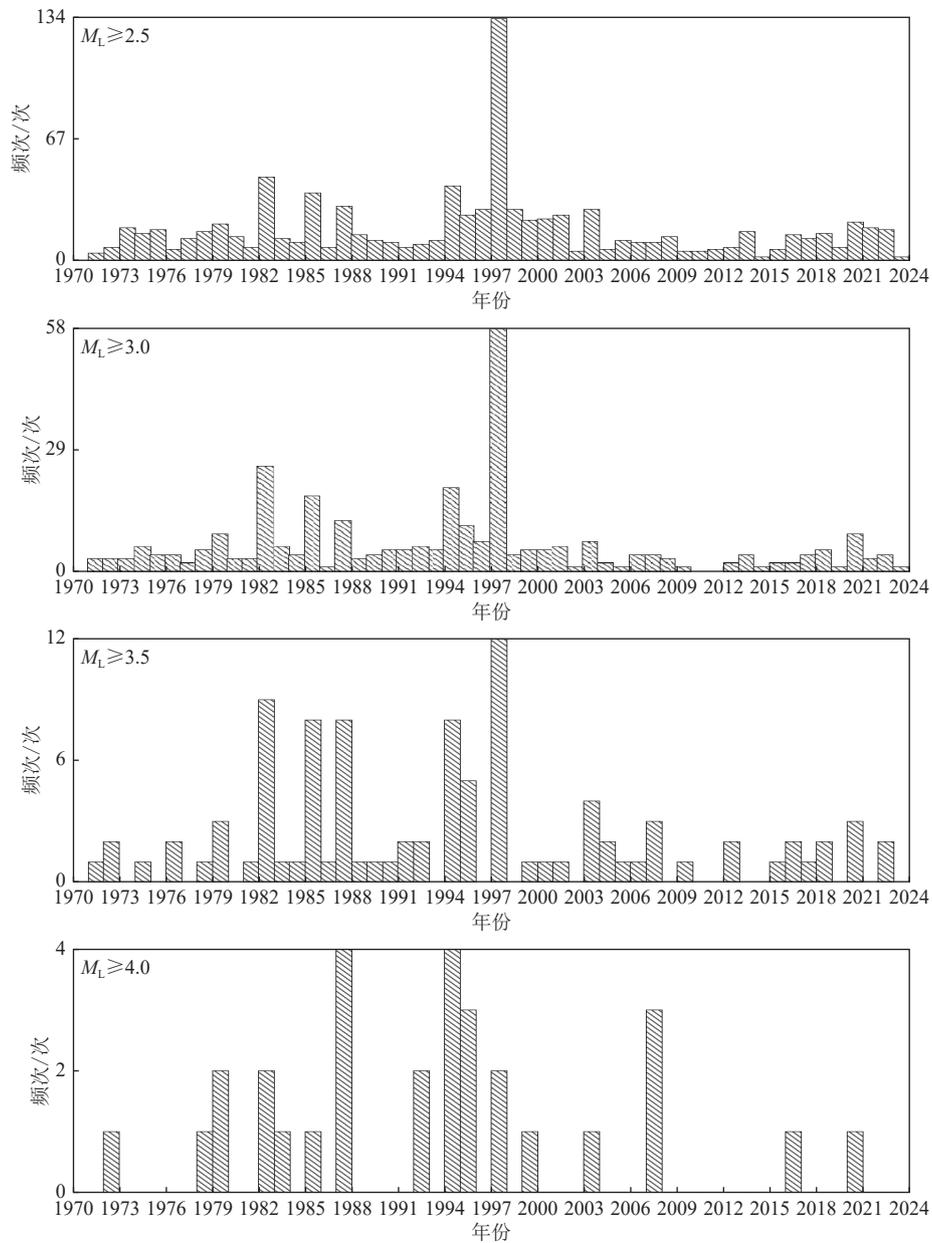


图 4 赣南及邻区地震活动年频图

Fig. 4 Annual frequency map of seismic activity in southern Jiangxi and neighboring areas

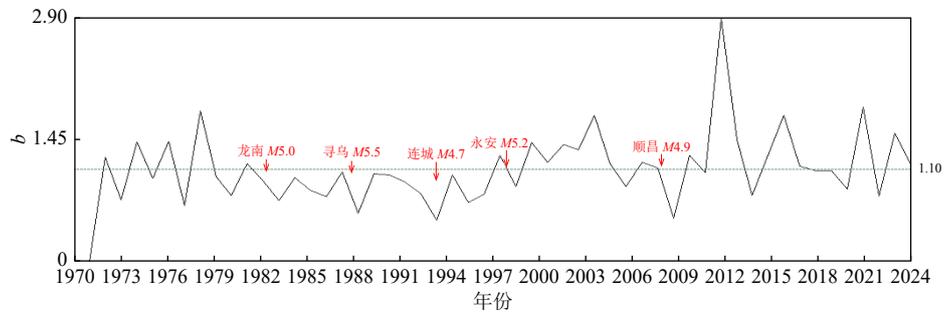


图 5 赣南及邻区地震年 b 值变化曲线

Fig. 5 Annual b value variation curve of earthquakes in southern Jiangxi and neighboring areas

1997年福建永安5.2级、2007年福建顺昌4.9级破坏性地震^[4]。其中2007年是地震应变能释放最为剧烈的一年。曲线斜率多次发生较大的跳变,主要是由这5次地震所引起的^[9]。

在1982—2007年地震活跃时段内,该地区的蠕变曲线表现出了复杂的非线性幂指数分布特征,反映了该区域地壳构造活动的不稳定性和复杂性。本文采用古登堡-里希特的简化经验公式,根据震级计算地震释放出来的能量(能量单位:J),可以计算出

地震释放的应变能,公式如下:

$$\log E = 4.8 + 1.5M_s$$

实际计算中,我们提取研究区域内所有地震的震级(M)和发震时刻,利用公式将地震震级转化为地震应变能(E),对每个地震计算其发生时刻至时段结束的累积应变能,根据时间顺序将累积应变能绘制成应变能释放曲线图,用于分析地震应变能释放的变化趋势(图6)^[12-14]。

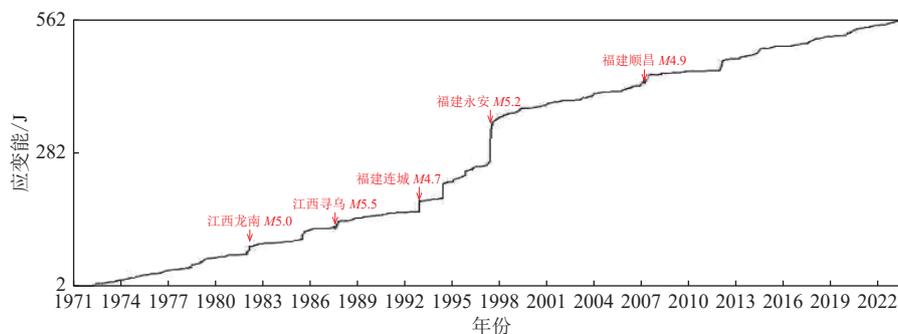


图6 赣南及邻区蠕变曲线

Fig. 6 Creep curve of southern Jiangxi and neighboring areas

相比之下,在1971—1981年、2008年至今这两个时段地震活动相对平静,应变能释放较为均匀,蠕变曲线的斜率值偏小,地壳构造活动相对平稳,处于能量积累状态。

3 结语

本研究表明,江西赣南及邻区中强地震的分布具有显著的空间分布特征。中强以上地震序列主要表现为主余震型和震群型地震。3级以上地震序列中,孤立型、主余震型、震群型、前主余震型地震所占比例分别为39.5%、34.8%、23.2%、2.3%。

江西赣南及邻区自1971年以来地震活动持续活跃, $M_L \geq 4.0$ 地震呈现出明显的群聚性质,表现为地

震活动的空间和时间集中现象。 $M_L \geq 3.5$ 地震活动具有周期性特征,包括周期性的高活跃期、平静期再到发生破坏性地震事件。

江西赣南及邻区 b 值一直低于年平均值时,中强以上地震活跃。在地震活跃时段之前,应变能释放曲线的速率呈现出加速变化的趋势,而在相对平静的地震活动时段内,地震应变能释放较为均匀。

综上所述,江西赣南及邻区的地震活动特征与地应力等因素密切相关。本研究的结果为预测地震的时间和空间提供了一些重要的参考信息,有助于对该地区的地震活动情况进行密切监测。未来可进一步关注地震活动与地壳构造活动的关系,以提高地震预测的准确性。

参考文献

- [1] 吕坚, 谢彩妹, 龙泊宇, 等. 东南沿海地震带近期地震形势探讨[J]. 华南地震, 2004, 24(3): 32-41
Lü J, Xie C M, Long P Y, et al. Discussion on recent earthquake situation of the Southeastern Coastal Seismic Belt[J]. South China Journal of Seismology, 2004, 24(3): 32-41
- [2] 郭雨帆, 董非非, 汪建, 等. 江西地区重复地震识别及其在数字地震台网定位评价中的再应用[J]. 高原地震, 2022, 34(2): 27-33
Guo Y F, Dong F F, Wang J, et al. Recognition of repeating earthquakes in Jiangxi area and its reapplication in location evaluation of digital seismic networks[J]. Plateau Earthquake Research, 2022, 34(2): 27-33

- [3] 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 D Q, Shao Y, Tan Z G, 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
- [4] 汤兰荣, 曾新福, 郭雨帆, 等. 赣南及邻区视应力时空特征分析 [J]. 大地测量与地球动力学, 2022, 42(7): 675-679
Tang L R, Zeng X F, Guo Y F, et al. Analysis of temporal and spatial characteristics of apparent stress in Southern Jiangxi and its adjacent area [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2022, 42(7): 675-679
- [5] 赵平顺. 1987 年寻乌 5.5 级地震事件的回顾与启示 [J]. 华南地震, 2002, 22(4): 89-93
Zhao P S. Review and inspiration of the Xunwu earthquake with $M_s 5.5$ in 1987 [J]. South China Journal of Seismology, 2002, 22(4): 89-93
- [6] 董非非, 邓辉, 郑斌, 等. “重复地震”在江西省及邻区测震台网定位精度评价中的应用 [J]. 华北地震科学, 2016, 34(2): 73-78
Dong F F, Deng H, Zheng B, et al. Location accuracy estimation of the Digital Seismic Network of Jiangxi Province and its adjacent areas using repeating events [J]. North China Earthquake Sciences, 2016, 34(2): 73-78
- [7] 童琼, 童迎世. 湖南地震活动概况 [J]. 高原地震, 2021, 33(3): 26-32
Tong Q, Tong Y S. Basic characteristics of seismic activity in Hunan [J]. Plateau Earthquake Research, 2021, 33(3): 26-32
- [8] 李世杰, 吕悦军, 刘静伟. 古登堡-里希特定律中的 b 值统计样本量研究 [J]. 震灾防御技术, 2018, 13(3): 636-645
Li S J, Lü Y J, Liu J W. The study of sample size on b -value statistics in the Gutenberg-Richter's law [J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 2018, 13(3): 636-645
- [9] 李世杰, 师娅芳, 罗丹琴. 强震前 b 值的变化特征 [J]. 贵州科学, 2021, 39(1): 64-67
Li S J, Shi Y F, Luo D Q. Variation characteristics of b value before strong earthquakes [J]. Guizhou Science, 2021, 39(1): 64-67
- [10] 杜航, 王俊, 朱音杰, 等. 2020 年河北唐山 $M_s 5.1$ 地震 b 值时空变化特征 [J]. 华北地震科学, 2021, 39(3): 92-98
Du H, Wang J, Zhu Y J, et al. Temporal and spatial variation characteristics of b value of Tangshan $M_s 5.1$ earthquake in 2020 [J]. North China Earthquake Sciences, 2021, 39(3): 92-98
- [11] 陈洁. 强震之前 b 值时空变化特征及其对地震预测的意义 [D]. 北京: 应急管理部国家自然灾害防治研究院, 2021
Chen J. Spatial and temporal variation characteristics of b -value before strong earthquakes and their significance for earthquake prediction [D]. Beijing: National Institute of Natural Hazards of the Ministry of Emergency Management, 2021
- [12] 孙亮亮, 陶方宇, 尹天杰, 等. 基于应变能释放的霍山“震情窗”研究分析 [J]. 科技资讯, 2020, 18(34): 66-68
Sun L L, Tao F Y, Yin T J, et al. Research and analysis of Huoshan's "Seismic Window" based on strain energy release [J]. Science and Technology Information, 2020, 18(34): 66-68
- [13] 石玉燕, 钟普浴, 李贵明, 等. 根据历史地震和应变能积累释放过程分析山东地区近期地震活动趋势 [J]. 华北地震科学, 2005, 23(2): 50-53
Shi Y Y, Zhong P Y, Li G M, et al. Study on the recent tendency of earthquake activities in Shandong area based on history earthquakes and the accumulation and release of strain [J]. North China Earthquake Sciences, 2005, 23(2): 50-53
- [14] 潘洁, 张伟峰, 孙亮亮, 等. 基于应变能释放的大华北地震活动预测 [J]. 科技资讯, 2021, 19(2): 75-78
Pan J, Zhang W F, Sun L L, et al. Prediction of seismic activity in North China based on strain energy release [J]. Science and Technology Information, 2021, 19(2): 75-78