

柳建, 周冬瑞, 汪小厉, 等. 2024年安徽肥东 M_s 4.7地震序列视应力特征研究[J]. 华南地震, 2024, 44(S1): 10–14. [LIU Jian, ZHOU Dongrui, WANG Xiaoli, et al. Study on Apparent Stress Characteristics of the Feidong M_s 4.7 Earthquake Sequence in Anhui Province in 2024[J]. South China journal of seismology, 2024, 44(S1): 10–14]

2024年安徽肥东 M_s 4.7地震序列视应力特征研究

柳建¹, 周冬瑞¹, 汪小厉¹, 李玲利^{1, 2}, 韩成成¹, 庞若男¹

(1. 安徽省地震局, 合肥 230031; 2. 地下结构探测与震灾风险防范安徽省重点实验室(筹), 合肥 230031)

Study on Apparent Stress Characteristics of the Feidong M_s 4.7 Earthquake Sequence in Anhui Province in 2024

LIU Jian¹, ZHOU Dongrui¹, WANG Xiaoli¹, LI Lingli^{1, 2},
HAN Chengcheng¹, PANG Ruonan¹

(1. Anhui Earthquake Agency, Hefei 230031, China; 2. Anhui Province Key Laboratory of Subsurface Exploration and Earthquake Hazard Risk Prevention (in Prep.), Hefei 2310031, China)

关键词: 肥东 M_s 4.7地震; 地震序列; 视应力

Keywords: Feidong M_s 4.7 earthquake; Earthquake sequence; Apparent stress

中图分类号: P315

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2024)S1-0010-05

DOI: 10.13512/j.hndz.2024.S1.05

0 研究背景

安徽省肥东县位于郯庐断裂带南段, 郯庐断裂带是大陆东部最为重要的深大活动断裂, 自安徽、江苏、山东三省, 往东北入渤海, 总长度超过2400 km, 宽度在20~200 km之间。郯庐断裂带合肥盆地段长约200 km, 发育于合肥盆地与张八岭隆起交界部位, 控制盆、山分异。受第三纪以来区域挤压作用影响, 合肥盆地内中生代地层(白垩系红色砂岩)在郯庐断裂带附近抬升剥蚀, 局部地段可见白垩系出露至地表。断裂沿线总体为第四系覆盖, 厚度10~40 m, 仅肥东梁园附近厚达100 m, 形成第四系沉降中心, 新构造活动相对突出^[1]。其附近发生过1831年凤台和1917年霍山6¼级强震活动, 五河、定远、巢县等地历史上曾发生5级以上破坏性地震, 近年来, 梁园盆地一带发

生多次具有显著社会影响的中小地震, 尽管震级不大, 却在合肥市产生了较大的地面震动和社会关注度。

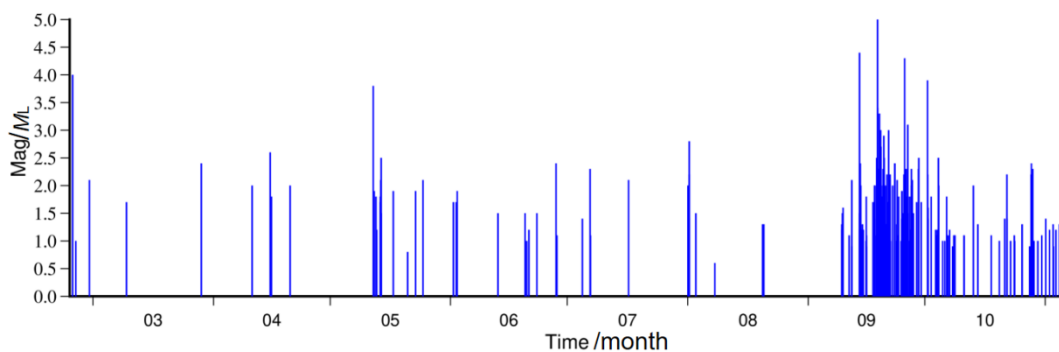
1 研究内容

利用2024年肥东 M_s 4.7地震序列中可计算视应力值的32个 $M_L \geq 2.0$ 地震的数字波形资料, 计算得到其视应力和差视应力, 进而讨论视应力变化特征以及视应力与震级的关系, 从视应力值变化特征的角度给出强余震判定依据^[2]。2024年2月24日至11月6日, 除9月18日肥东 M_s 4.7主震外, 共记录 $M_L \geq 0$ 地震331次, 图1为肥东 M_s 4.7地震序列 $M-t$ 图, 其中 $M_L 0 \sim 0.9$ 地震28次, $M_L 1.0 \sim 1.9$ 地震225次, $M_L 2.0 \sim 2.9$ 地震65次, $M_L 3.0 \sim 3.9$ 地震10次, $M_L 4.0 \sim 4.9$ 地震3次, 最大地震为2024年9月18日发生的 M_s 4.7地震。

收稿日期: 2024-10-10

作者简介: 柳建(1989-), 男, 学士, 工程师, 主要从事地震预报工作。

E-mail: 392115190@qq.com

图1 2024年肥东 $M_s4.7$ 地震序列 $M-t$ 图Fig.1 $M-t$ diagram of the Feidong $M_s4.7$ earthquake sequence in 2024

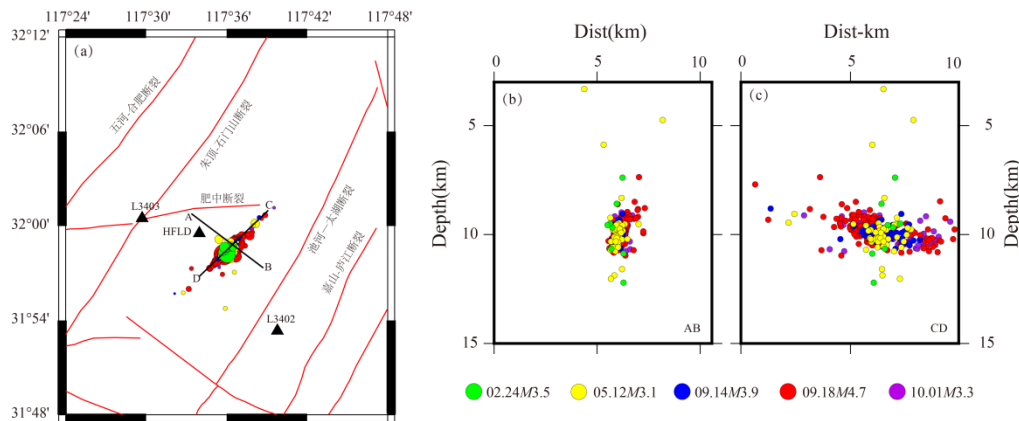
获取2009年以来肥东 $M_L \geq 2.0$ 地震的数字波形资料, 计算了从2009—2023年肥东地区的视应力和差视应力背景值, 结合2024年肥东 $M_s4.7$ 地震序列视应力值和差视应力值, 开展了分析工作。

为了保证数字波形的质量, 确保视应力和差视应力计算值准确可靠, 本次研究选择的波形满足下面3个条件: ①肥东 $M_s4.7$ 地震序列中 $M_L \geq 2.0$ 且震中距小于等150 km; ②记录清晰、信噪比较高; ③至少有10个台站记录。同时做了此次肥东 $M_s4.7$ 地震序列的精定位。

2 研究结果

2.1 精定位结果

采用双差定位方法(Waldhauser and Ellsworth, 2000)对肥东 $M_s4.7$ 级地震序列进行精确定位, 最终获得332次地震重新定位结果(图2)。结果显示序列整体呈现NE向分布, 与庐庐断裂带走向基本一致。

图2 2024年肥东 $M_s4.7$ 地震序列精定位结果Fig.2 The precise positioning results of the Feidong $M_s4.7$ earthquake sequence in 2024

2.2 视应力计算结果

据安徽局地震台网测定资料, 本次2024年肥东 $M_s4.7$ 地震序列中, 在 $M_L 2.0$ 以上地震波形资料中, 满足上述条件的地震有32个, 计算出 $M_L 2.0 \sim 2.9$ 地震共计19个, $M_L 3.0 \sim 3.9$ 地震9个, $M_L 4.0 \sim 4.9$ 以上地震3个, $M_L 5.0$ 以上1个, 表1是2024年

肥东 $M_s4.7$ 前后地震序列 $M_L \geq 2.0$ 视应力值和差视应力计算结果。其中 $M_L 2.0 \sim 2.9$ 平均视应力为0.693 bar、平均差视应力为-0.200 bar, $M_L 3.0 \sim 3.9$ 平均视应力为1.580 bar、平均差视应力为0.249 bar, $M_L 4.0 \sim 4.9$ 平均视应力为6.926 bar、平均差视应力为0.762 bar, $M_L 5.0$ 以上平均视应力为18.761 bar、平均差视应力为1.239 bar。

表 1 2024 年肥东 $M_s4.7$ 地震序列 $M_L \geq 2.0$ 余震视应力值计算结果
Table 1 Calculation results of the apparent stress values of the aftershocks with $M_L \geq 2.0$ of Feidong
 $M_s4.7$ earthquake sequence in 2024

序号	发震时间	$\varphi_N/(^{\circ})$	$\lambda_E/(^{\circ})$	M_L	震源深度/km	视应力/bar	差视应力/bar
1	2024-02-24T18:13:06	31.98	117.60	4.0	10	7.610	0.634
2	2024-02-29T02:00:40	31.99	117.59	2.1	10	0.455	-0.411
3	2024-03-28T20:53:51	31.99	117.58	2.5	8	0.376	-0.191
4	2024-04-15T14:26:54	31.99	117.58	2.6	5	0.969	-0.136
5	2024-04-20T17:18:38	31.98	117.59	2.0	9	0.427	-0.466
6	2024-05-12T02:32:00	31.99	117.60	3.7	15	2.591	0.469
7	2024-05-14T01:17:23	31.98	117.59	2.1	8	0.269	-0.411
8	2024-05-14T02:44:46	31.99	117.59	2.5	9	0.482	-0.191
9	2024-05-24T21:50:11	31.98	117.60	2.1	10	0.405	-0.411
10	2024-06-28T02:39:01	31.99	117.59	2.4	10	0.451	-0.246
11	2024-08-01T09:59:45	31.96	117.6	2.7	10	2.680	-0.081
12	2024-09-14T05:12:11	31.99	117.61	4.4	10	5.104	0.854
13	2024-09-18T14:24:47	31.99	117.59	3.2	13	1.530	0.194
14	2024-09-18T20:08:16	31.98	117.6	5.1	12	18.761	1.239
15	2024-09-18T20:58:59	31.98	117.6	3.3	11	2.268	0.249
16	2024-09-19T07:58:34	31.98	117.61	3.3	12	0.963	0.249
17	2024-09-19T15:44:00	31.99	117.6	2.9	12	0.487	0.029
18	2024-09-19T17:25:54	31.98	117.6	2.7	10	0.528	-0.081
19	2024-09-20T06:10:26	31.98	117.58	2.3	10	0.295	-0.301
20	2024-09-20T10:46:36	31.99	117.61	2.9	10	0.557	0.029
21	2024-09-20T13:46:16	31.99	117.61	2.5	11	0.619	-0.191
22	2024-09-21T16:14:07	31.99	117.6	3.0	9	1.494	0.084
23	2024-09-23T06:40:03	31.99	117.59	2.5	11	1.034	-0.191
24	2024-09-25T19:29:13	32.00	117.59	4.3	12	8.063	0.799
25	2024-09-25T19:53:13	31.99	117.61	3.1	10	1.107	0.139
26	2024-09-25T19:58:56	31.99	117.61	3.2	10	0.955	0.194
27	2024-09-26T15:04:16	31.99	117.61	3.0	11	0.720	0.084
28	2024-10-01T16:34:53	31.97	117.61	3.9	10	2.593	0.579
29	2024-10-04T12:21:25	31.99	117.60	2.5	12	0.661	-0.191
30	2024-10-28T10:32:21	31.99	117.61	2.4	14	0.317	-0.246
31	2024-11-05T15:55:54	31.98	117.6	2.6	12	0.762	-0.136
32	2024-11-06T15:32:34	32.11	117.39	2.9	11	1.388	0.029

表 2 是 2009—2023 年 12 月肥东 $M_L \geq 2.0$ 历史地震序列的视应力和差视应力背景值。从满足条件的 24 个地震中，计算出 $M_L 2.0 \sim 2.9$ 共计 19 个， $M_L 3.0 \sim 3.9$ 地震 4 个， $M_L 4.0 \sim 4.9$ 以上地震 1 个。其中 $M_L 2.0 \sim 2.9$ 平均视应力为 0.694 bar、平均差视应力为 -0.255 bar， $M_L 3.0 \sim 3.9$ 平均视应力为 2.812 bar、

平均差视应力为 0.235 bar， $M_L 4.0 \sim 4.9$ 平均视应力为 3.796 bar、平均差视应力为 0.634 bar。

差视应力是扣除震级影响的视应力值，可近似反映研究区应力大小。从肥东区域差视应力背景均值与肥东 $M_s 4.7$ 地震序列差视应力均值结果来看，两者大小基本一致。

表2 2009-04—2023-12肥东 $M_L\geq 2.0$ 历史地震序列背景视应力值计算结果

Table 2 Calculation results of background apparent stress values for historical earthquake sequences with $M_L\geq 2.0$ in Feidong from April 2009 to December 2023

序号	发震时间	$\varphi_N/(^{\circ})$	$\lambda_E/(^{\circ})$	M_L	震源深度 /km	视应力 /bar	差视应力 /bar
1	2009-04-06T22:22:38	31.97	117.48	4.0	7	3.796	0.634
2	2009-04-08T10:56:00	31.97	117.50	2.6	9	0.618	-0.136
3	2009-04-09T19:32:45	31.97	117.48	2.3	8	0.624	-0.301
4	2009-04-24T21:36:32	31.93	117.50	2.1	9	0.234	-0.411
5	2009-07-08T17:25:23	31.95	117.48	2.6	8	0.446	-0.136
6	2010-08-18T03:41:09	32.17	117.70	2.3	8	0.400	-0.301
7	2013-02-19T10:11:32	31.99	117.59	3.0	6	1.402	0.084
8	2013-04-09T21:23:23	32.03	117.38	2.3	5	0.584	-0.301
9	2013-07-30T02:14:06	32.03	117.38	2.6	6	1.702	-0.136
10	2014-02-20T09:20:04	32.03	117.68	2.0	5	0.468	-0.466
11	2014-07-25T00:48:54	31.99	117.47	3.7	6	5.750	0.469
12	2015-08-01T01:27:17	31.97	117.55	2.4	5	0.796	-0.246
13	2015-11-16T16:47:01	31.98	117.55	2.3	6	0.381	-0.301
14	2015-12-21T05:19:05	31.81	117.59	3.1	5	1.045	0.139
15	2017-02-15T15:43:12	32.10	117.57	2.6	5	0.968	-0.136
16	2017-05-18T20:59:44	32.03	117.40	2.8	4	1.295	-0.026
17	2019-03-15T05:46:57	32.10	117.59	2.4	6	0.613	-0.246
18	2020-02-04T14:01:20	31.93	117.63	3.3	7	3.052	0.249
19	2020-03-14T15:38:19	32.02	117.39	2.3	6	0.698	-0.301
20	2022-05-30T22:57:04	31.76	117.86	2.1	8	0.395	-0.411
21	2022-08-21T20:23:34	31.75	117.86	2.3	9	0.485	-0.301
22	2022-08-28T21:40:09	31.76	117.86	2.6	10	0.795	-0.136
23	2022-10-17T06:14:18	32.07	117.55	2.3	9	0.832	-0.301
24	2023-12-07T06:12:31	31.59	117.38	2.4	9	0.851	-0.246

2.3 视应力随时间变化特征

研究产出了2009年以来肥东区域地震视应力与时间关系图(图3左),可以看出,2024年9月18日,肥东地区视应力出现了最高值。视应力高值反映其震源区应力水平较高。

从2024年以前肥东区域视应力背景值来看,肥东2009年后,肥东地区出现3次视应力高值,分别是2009年4月6日肥东 $M_L4.0(M_s3.5)$ 视应力高值,后出现一系列余震,应力得到了释放,其后2014年7月25日肥东 $M_L3.7(M_s3.1)$ 地震,打破了该区域的应力平衡,最后是2020年2月4日肥东 $M_L3.3(M_s2.6)$ 地震时,其释放了大量应力,并在之后的时间里,地下应力恢复到了正常水平。

研究产出了2024年以来肥东区域地震视应力与时间关系图(图3右),可以看出,2024年2月24日肥东 $M_L4.0(M_s3.5)$ 视应力出现高值,后恢复到正常值,5月12日肥东 $M_L3.7(M_s3.1)$ 视应力出现高值,随之呈现下降后上升,在9月18日肥东 $M_L5.1(M_s4.7)$ 视应力出现了最高值,释放了大量应力,并在之后的时间里,下降并在9月25日出现上升后波动下降,视应力恢复正常值。可以看出,视应力时间变化为早期快速调整,后续逐渐变化到区域的视应力均值水平,这类变化表明对于震源区在地震发生前的短时间内,区域首先出现局部应力不断挤压增强,并随后维持相对高值应力水平的“闭锁”状态,直到强地震的发生^[4]。

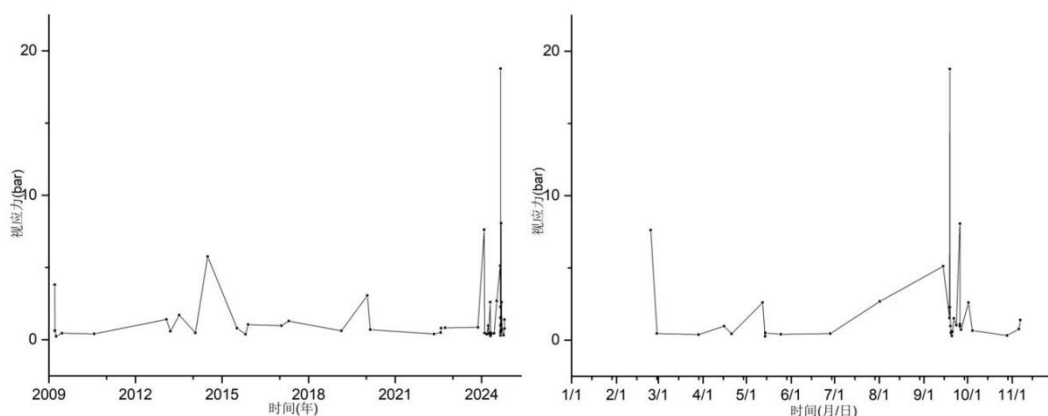


图3 2009年以来(左)、2024年2月24日以来(右)肥东地区 $M_L \geq 2.0$ 以上地震视应力时序图

Fig.3 Time series of apparent stress for earthquakes with $M_L \geq 2.0$ and above in Feidong area since 2009(left) and since February 24, 2024(right)

2.4 视应力与震级关系

一般来说,随着震级的增大,视应力值也有升高的趋势;相反,震级越小,视应力值越低,视应力与震级变化趋势线基本一致。去除震级对视应力的影响,产出了2009年以来肥东地区的震级与视应力的关系拟合图(图4),标注了2024年肥东 $M_S 3.0(M_L 3.6)$ 以上地震视应力,黄色表示9月18日肥东 $M_S 4.7$ 主震之前 $M_S 3.0$ 以上地震,绿色表示9月18日肥东 $M_S 4.7$ 主震之后 $M_S 3.0$ 以上地震,结合2009年肥东地区背景视应力值,从2009年以来肥东地区的震级与视应力的关系拟合图来看,肥东 $M_S 4.7$ 主震前后 $M_S 3.0$ 级地震的视应力值拟和结果良好,均分布在震级拟合关系附近,整体的视应力值和震级呈现正相关性^[4]。

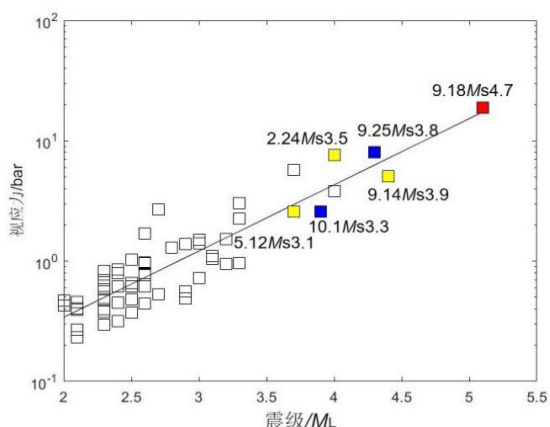


图4 2024年9月18日肥东 $M_S 4.7$ 序列视应力与震级关系图

Fig.4 The relationship between apparent stress and magnitude of Feidong $M_S 4.7$ earthquake sequence on September 18, 2024

3 结语

从精定位结果来看,结果显示序列整体呈现NE向分布,与庐庐断裂带走向基本一致。

从2009年肥东地区出现的多次高视应力结果来看,2024年9月18日肥东 $M_S 4.7$ 地震视应力值最高,地震序列丰富。结合肥东地震序列的视应力发展,分析表明,肥东区域的视应力值呈现出明显的先上升后下降的变化过程,在下降过程中发生地震;从肥东区域差视应力背景均值与肥东 $M_S 4.7$ 地震序列差视应力均值计算结果来看,两者基本一致。由于视应力可用于反映震源区应力水平^[5],因此,分析认为,目前随着肥东序列视应力值恢复正常,震源区应力水平逐渐恢复和稳定,肥东原震区出现更大地震的可能性不大。

参考文献

- [1] 杜长洲,孙亚力,张立明,等. 合肥盆地自垩纪地层及盆地演化[J]. 安徽地质, 2007, 17(4): 242.
- [2] 陈学忠,李艳娥. 2006年7月4日河北文安 $M_S 5.1$ 地震前震中周围地区小震视应力随时间的变化[J]. 中国地震, 2007, 23(4): 327-336.
- [3] 胡维云,刘文邦. 2016年门源 $M_S 6.4$ 地震序列视应力特征研究[J]. 地震地磁观测与研究, 2023, 44(6): 11-13.
- [4] 周少辉,蒋海昆,曲均浩,等. 2014年云南景谷6.6级地震序列震源参数研究[J]. 地震工程学报, 2020, 42(6): 1565-1572.
- [5] 倪红玉,刘泽民,洪德全,等. 秦岭一大别东段应力状态研究[J]. 地震, 2019, 39(3): 138-148.