

DOI: 10.13512/j.hndz.2014.01.002

2010年6月广西凌云-凤山交界 3级震群应力水平分析

郭培兰, 龙政强, 阎春恒, 陆丽娟, 牟剑英
(广西壮族自治区地震局, 广西 南宁 530022)

摘要: 2010年6月28日至8月15日, 在广西凌云与凤山交界持续发生了高密度、高集中、高频率的震群活动, 共记录地震3 071次, 其中 M_L 2~2.9级地震41次, 3级以上地震3次, 最大为7月1日10时27分3.2级地震。对此次震群的空间分布范围、2级以上地震震源机制解P轴优势方向、 b 值特征、应力降等进行了分析研究。结果表明, 此次震群震中集中, 深度较浅, 震源机制解P轴没有形成优势分布, 序列参数 b 值较高, 约为1.21, 应力降主要分布在0.19~2.0 Mpa之间, 认为广西凌云-凤山交界3级震群是属于低应力背景下的地震活动, 不具有前兆震群和前震序列的性质。分析结果对正确了解此次震群的特征、正确判断地震趋势具有一定的帮助作用。

关键词: 震群; 震源机制解; 应力降; 震源深度; 广西凌云-凤山

中图分类号: P315.75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2014) 01-0011-10

Stress Level Analysis of Earthquake Swarm with M_L 3.0 in the Boundary Area of Lingyun and Fengshan in June 2010

GUO Peilan, LONG Zhengqiang, YAN Chunheng, LU Lijuan, MOU Jianying
(Earthquake Administration of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530022, China)

Abstract: From June 28 to April 15 2010, high density, high concentrate, high frequency earthquake swarm occurred in the boundary area of Lingyun and Fengshan in Guangxi, 3 071 earthquakes were recorded, among of them, 41 events with $2.0 \leq M_L \leq 2.9$, 3 events with $M_L \geq 3.0$, the maximum event with M_L 3.2 occurred in 1st July. The paper analyses the space boundary of earthquake swarm, P axis edge direction of earthquake focus mechanism of events with $M_L \geq 2.0$, b value characteristic, stress drop. The results show that: the epicenter of earthquake swarm are concentration; the depth is very shallow; earthquake focus mechanism of P axis position haven't the predominance distribution; b value is very high, which is about 1.21; stress drop value is mainly

收稿日期: 2013-11-12

基金项目: 广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻 1140004-2)及广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻 10123012-21)课题资助

作者简介: 郭培兰, 女, 1974年生, 高级工程师, 主要从事地震编目及地震活动性分析工作。

E-mail: gxgpl@126.com.

distributed between 0.19–2.0 Mpa. We found that M 3.0 earthquake swarm occurred in low stress level in the boundary area of Lingyun and Fengshan, the earthquake swarm don't have the precursory earthquake swarm and the foreshock sequence. These results have some helpful for a proper understanding of the characteristics of the earthquake swarm, and the right judging of the earthquake trend.

Keywords: Earthquake swarm; Focal mechanism solutions; Stress drop; Focal depth; Lingyun and Fengshan in Guangxi

0 引言

2010 年夏天, 广西凌云–风山交界发生一起小震群, 这次震群活动从 6 月 28 日开始, 至 8 月 15 日结束, 共发生 3 071 次地震, 其中 0.0~0.9 级地震 2 372 次, 1.0~1.9 级地震 655 次, 2.0~2.9 级地震 41 次, 3.0~3.9 级地震 3 次, 最大为 7 月 2 日 3.2 级地震, 释放的总能量为 1.32×10^9 J。图 1 是广西凌云–风山交界 3 级震群震中分布图。据史料记载^[1], 震区周围 200 km 范围内共发生 M_s 5 级以上破坏性地震 4 次, 1970 年至此次 3 级地震群发生前, 主震 30 km 范围内 3 级以上地震也仅记录

到 7 次, 最大为 3.2 级地震, 震区地震活动水平不高。类似这样的小震群活动, 在广西的地震观测史上比较少见, 仅在 1977 年冬天发生过广西陆川小震群, 其地震频次约 900 次^[2]。震群发生后的第 2 天, 震区架设了江洲、逻楼两个流动地震台(图 1), 地震信号通过 GPRS 实时传输至位于南宁的广西区域地震台网中心, 两个流动台分别于 6 月 29 日 8 时 47 分及 7 月 2 日 1 时 41 分开始记录, 取得了这次震群的比较完整的微震记录, 为我们分析小震群活动提供了难得的观测数据。利用流动台和固定台站的观测记录, 本文对该次震群的空间分布、震源机制、 b 值、应力降进行分析, 对了

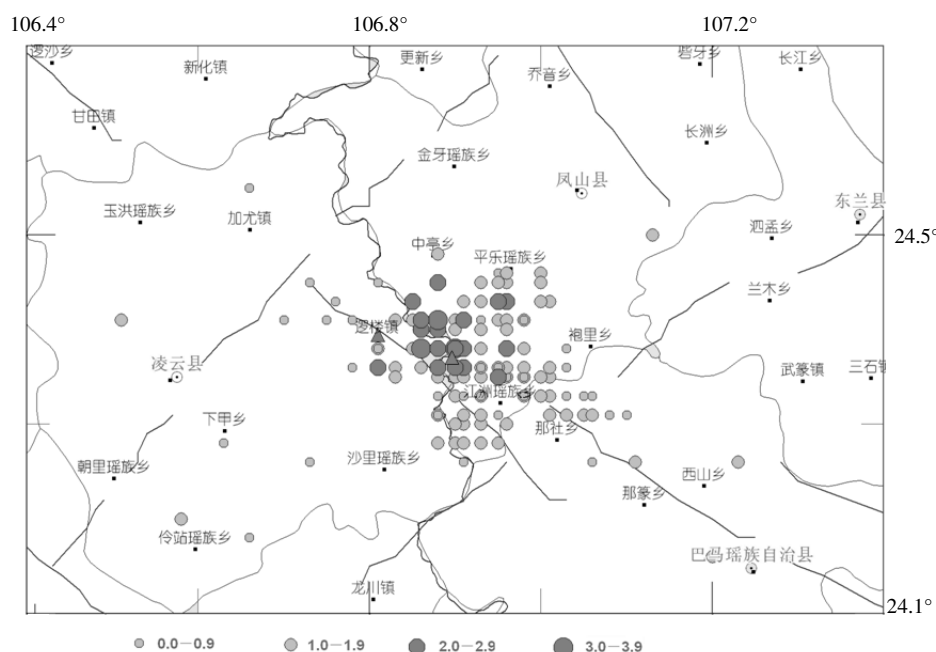


图 1 广西凌云–风山交界 3 级震群震中分布图

Fig.1 Epicenter distribution of earthquakes with M_L 3.0 in the boundary area of Lingyun and Fengshan in Guangxi

解此次震群的成因提供帮助。

1 震害情况及宏观现象

据现场工作调查^①, 6 月 28 日 12 时 41 分发生的凌云县逻楼镇 3.0 级地震, 与震区比邻的风山县江洲乡陇善村等 7 个自然屯的群众听到地下溶

① 广西地震局, 凌云与风山交界 3.0 级震群现场工作汇报, 2010.

洞发出响声,造成375户群众有震感跑出房外。陇善村房子出现轻微裂缝,2个水柜漏水,山上有岩石滚落,陇善村有些几十年没出水的地方冒水。江洲乡相圩村3个村民小组约390户有震感。28日18时20分发生的凤山县江洲乡2.5级地震,凤山县平乐乡仁亭村陇莱屯37户170人感觉震动,地震时,群众恐慌跑出房外,石头从山上滚下,群众生命财产没有受到损害。28日18时39分发生的广西凌云县与凤山县交界2.1级地震、19时55分发生的凌云县逻楼镇2.6级地震、以及20时33分发生广西凌云县与凤山县交界的2.4级地震,震区群众反映也有明显震感。29日2时10分发生的广西凌云县与凤山县交界3.1级地震,群众感觉地震震动比较强烈,河池市凤山县江洲乡有7个村受灾,其中最严重的是陇善村,该村有312户1571人,8个水柜被震裂,水全部漏出;9栋砖混结构房屋有轻微裂缝,陇善村有一所6个年级334名学生的小学,地震造成该学校的一个水柜被震裂。

7月2日10时27分3.2级地震导致震中河池市凤山县江洲乡陇善村八组附近山体三处滚石滑落,其中一处砸伤路过行人3人,其中1人重伤,2人轻伤。7月4日19时45分、20时58分以及7月5日3时24分,原震区凤山县江洲乡分别发生了2.6、2.2、2.5三次2级左右地震,震中陇善村震感较强,陇善村那林屯有山石被震落,房屋无新的裂缝。7月5日9时7分凤山县江洲乡再次发生2.2级地震,造成陇善村那林屯一条横过屯级公路直向公路上方延伸的裂缝加宽,由原来的1~2 cm扩大到3~5 cm,该隐患点威胁4户民房。2010年6月广西凌云-凤山交界3级震群虽然主震震级小,但此次震群造成的危害较大,而且震感强烈,听到地声等宏观现象,这些宏观现象也间接证明凌云-凤山震群震源深度较浅。

2 3级震群应力水平分析

赵根模^[3]从强固区模型和地壳应力分布特点出发,讨论了前震、前兆震群和普通震群在震源深度分布上的差异性。分析中国大陆39组震群震源深度数据,结果表明:普通震群多数分布在强度较低的上地壳;前震和前兆震群比普通震群要深得多,可能达到中下地壳,差别显著。震源越浅,地震活动越可能是处于浅层低应力状态下的地表活动。

国内公开文献中,关于震源机制方法在地震短期(中短期)预报中的研究应用已有相当多的相关报道。如王伟等^[4]认为震源机制是指震源区在地震发生时的力学过程,通过测定震源机制解参数可以了解地震发生的力学机制和震源断层的运动类型。此外,利用P波初动解的P轴取向、转向和初动符号矛盾比亦可用于震情监视和震情判断。P轴取向由紊乱趋于一致,属于中期异常,由此也可以判断震区的应力状态。付虹等^[5]利用云南数字地震台网记录到的地震直达波Pg、Sg振幅资料,计算震源机制解应力主轴与相应的区域构造应力场主轴之间的一致性参数,分析震源机制一致性参数时空分布与强震活动的关系。分析表明,强震发生前3年至数月,强震震源区附近出现多个震源释放应力场与区域应力场一致或接近的中小地震,强震就发生在中小震震源机制一致性参数低值分布区内或其边缘附近。莘海亮等^[6]利用区域地震台网的数字地震波记录资料,由垂直向记录Pg波和Sg波振幅比值,结合部分清晰的P波初动记录资料,计算得到了1985~2008年在豫北及邻区发生的145个中小地震的震源机制解。整体显示中小地震震源机制解种类较多,分布散乱,表明小地震发生具有随机性,华北构造应力场整体的控制作用较弱。

古登堡和里希特在研究世界地震活动时,统计了全球各大地震区6级以上地震的数目,发现地震的震级与频度有以下关系: $\lg N=a-bM$,这就是著名的震级-频度关系式,亦称古登堡公式或G-R关系式。式中 a 和 b 两个参数可根据一定地区、一定时间的地震目录统计估算得到。频度-震级关系式中的斜率 b 值相对稳定,其值通常位于[0.5, 1.5]。 b 值作为一个描述地震相对大小分布的常数,实验表明 b 值与介质的特性有关,其在空间分布上的变化被认为与介质的复杂程度与应力状态有关。 b 值具有明确的物理意义,反映大小地震之间的比例关系, b 值的变化可反映介质的应力状态^[7]。岩石破裂试验表明,当压应力增加时 b 值下降加速,就是说一般情况下应将低 b 值视为异常,也说明了 b 值与岩石所处的应力状态有关,低 b 值,高应力,高 b 值,低应力。

应力降就是地震前后的应力的相对变化。对于接近地表的地方,可以通过一些观测手段来直接测量应力或应力降,然而对于比较深的地方,通过地震来进行应力降的推算则几乎是唯一的方法^①。地震的发生是某一区域应力集中,震源区岩

① 钟雨云,朱新运,周昕,等.浙江省2007年度地震活动趋势研究报告.浙江省地震局,2006.

石介质发生剪切变形，并达到一定程度时发生快速破裂错动，或是原断层的失稳扩展的结果。应力降代表地震瞬间错动时位错面上的应力变化，研究与主震破裂面有关的余震活动的应力降可以掌握震源区区域应力的强弱，可以根据序列中显著地震的应力降水平的变化，为判定序列震情趋势和及时发现具有震兆意义的中小地震提供参考依据^[9]。

因此分析凌云-凤山交界 3 级震群的震源范围、深度特征、震区附近单台振幅比、震源机制解 P 轴走向、震群参数 b 值、小震应力降，可以了解凌云-凤山交界 3 级震群所处应力水平。

2.1 震源分布集中，深度较浅

凌云-凤山交界 3 级震群 0 级以上地震初始定位结果分布，形成震中 长轴 40 km、短轴 22 km 的

空间展布现象，2 级以上地震初始定位结果空间分布明显缩小，分布在 6 月 29 日 3.1 级地震 9 km 范围内，而且没有形成优势分布方向，1.5 级以下地震基本由单台测定，定位结果不太准确，所以造成 0 级以上地震展布范围较大。广西区域台网在桂西北地区分布少，距离凌云凤山震群最近的地震台距震中约 60 km，加之岩溶区地形起伏剧烈，地震波速度纵横向变化、速度结构复杂，虽然增加了两个流动台，但是深度定位结果并不理想。尽管如此，可以根据流动台记录到的到时差对震源的深度和尺度进行一定程度的估计。

位于震中区的江洲台自 6 月 29 日 8 时 47 分开始记录到地震至 8 月 4 日，共记录 2 614 次地震，约 88% 江洲流动台垂直向 S-P 小于 0.29 s(图 2)，江洲台记录的 25 次 $M_L \geq 2.5$ 地震的 S-P 均小于 0.4 s(表 1)，依据华南近震走时表地壳模型^①，

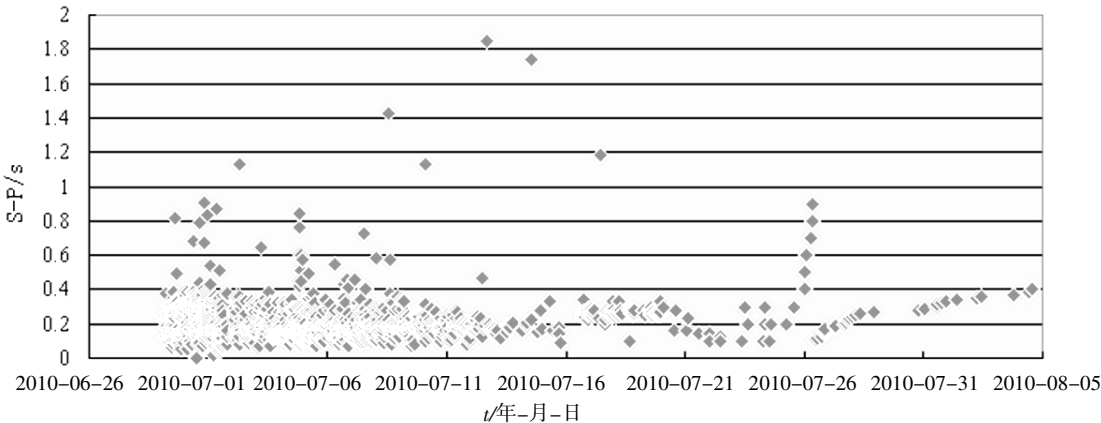


图 2 江洲流动台 S-P 随着时间的变化

Fig.2 S-P time change of Jiangzhou flowing station

表 1 江洲流动台记录到的 25 次 $M_L \geq 2.0$ 地震的 S-P

Table 1 S-P of 25 earthquakes with $M_L \geq 2.0$ recorded by JiangZhou flowing station

序号	日期/年-月-日	时间/时:分:秒	P 波到时	S 波到时	S-P /s	M_L
1	2010-06-28	12-41-20.9				3.0
2	2010-06-28	17-36-39.6				2.0
3	2010-06-28	18-20-22.1				2.4
4	2010-06-28	19-55-02.5				2.6
5	2010-06-28	19-58-32.4				2.6
6	2010-06-28	20-08-37.2				2.3
7	2010-06-28	20-34-03.9				2.4
8	2010-06-28	21-06-02.7				2.3
9	2010-06-28	21-34-02.0				2.2
10	2010-06-28	22-20-33.0				2.5
11	2010-06-28	23-13-19.8				2.5
12	2010-06-29	01-51-28.4				2.6
13	2010-06-29	02-03-14.6				2.2
14	2010-06-29	02-04-09.2				2.2

(转下表)

① 范玉兰，林纪曾，胡瑞贺，等. 华南地区近震走时表. 广东省地震局，1988.

(接上表)

序号	日期/年-月-日	时间/时:分:秒	P 波到时	S 波到时	S-P /s	M_L
15	2010-06-29	02-10-21.8				3.1
16	2010-06-29	03-11-17.2				2.0
17	2010-06-29	04-42-04.9				2.0
18	2010-06-29	06-09-38.4				2.5
19	2010-06-29	06-50-53.5	06:50:53.40	06:50:53.50	0.10	2.3
20	2010-06-29	10-38-13.9	10:38:13.84	10:38:14.09	0.25	2.5
21	2010-06-29	11-22-31.6	11:22:31.59	11:22:31.75	0.16	2.3
22	2010-06-29	13-06-53.2	13:06:53.25	13:06:53.35	0.10	2.3
23	2010-06-30	10-17-22.1	10:17:22.41	10:17:22.69	0.28	2.3
24	2010-06-30	10-36-41.4	10:36:42.21	10:36:42.59	0.38	2.5
25	2010-06-30	13-51-15.7	13:51:15.37	13:51:15.55	0.18	2.8
26	2010-06-30	18-06-30.1	18:06:30.12	18:06:30.49	0.37	2.1
27	2010-06-30	22-12-47.1	22:12:47.03	22:12:47.37	0.34	2.0
28	2010-07-01	10-27-40.4	10:27:40.07	10:27:40.37	0.30	3.2
29	2010-07-01	12-02-21.4	12:02:21.47	12:02:21.63	0.16	2.0
30	2010-07-03	16-51-19.2	16:51:19.26	16:51:19.42	0.16	2.1
31	2010-07-03	17-40-49.8	17:40:50.13	17:40:50.29	0.16	2.0
32	2010-07-04	05-48-56.4	05:48:56.76	05:48:56.89	0.13	2.0
33	2010-07-04	11-53-02.6	11:53:02.98	11:53:03.26	0.28	2.1
34	2010-07-04	14-35-16.8	14:35:16.79	14:35:16.93	0.14	2.1
35	2010-07-04	19-45-52.1	19:45:51.15	19:45:51.27	0.12	2.2
36	2010-07-04	19-51-50.1	19:51:51.72	19:51:51.85	0.13	2.2
37	2010-07-04	20-58-38.0	20:58:39.36	20:58:39.54	0.18	2.2
38	2010-07-05	03-24-53.0	03:24:52.98	03:24:53.15	0.17	2.5
39	2010-07-05	09-07-40.5	09:07:41.11	09:07:41.36	0.25	2.2
40	2010-07-05	10-07-06.4	10:07:06.38	10:07:06.66	0.28	2.2
41	2010-07-06	17-08-29.5	17:08:29.73	17:08:29.89	0.16	2.3
42	2010-07-06	17-35-44.1	17:35:43.62	17:35:43.75	0.13	2.0
43	2010-07-08	22-35-09.2	22:35:09.32	22:35:09.51	0.19	2.1

直达 P 波和 S 波波速分别为 6.01 km/s 和 3.55 km/s, 虚波速度 $V_\phi=8.67$ km/s, 若以震源深度为 0 km 计算, 25 次地震集中分布在半径 3.5 km 的范围内。若假定地震在流动台正下方发生, 震源深度也不会超过 3.5 km。

江洲台记录的 2614 次地震的 S-P 及相应的地

震数如表 2 所列, 可见 58.14%地震的 S-P 的小于 0.19 s、87.59%的小于 0.29 s、98.11%的小于 0.39 s。即总体来看, 58.14%地震的震源深度小于 1.647 3 km、87.59%的小于 2.514 3 km, 98.11%的小于 3.4 km, 以上数据表明凌云-凤山震群震源深度较浅。

表 2 江洲流动台 S-P 统计

Table 2 S-P statistics of Jiangzhou flowing station

S-P 到时差	频次/ N	ΣN	深度/km	百分比/%
<0.10	78	78	<0.867	2.98
0.10~0.19	1442	1520	0.867~1.6473	55.16
0.20~0.29	770	2290	1.734~2.5143	29.45
0.30~0.39	275	2565	2.601~3.3813	10.52
0.40~0.49	17	2582	3.468~4.2483	0.0065
0.50~0.59	8	2590	4.335~5.1153	0.0031
0.60~0.69	7	2597	5.202~5.9823	0.0027
0.70~0.79	4	2601	6.069~6.8493	0.0015
0.80~0.89	5	2606	6.936~7.7163	0.0019
0.90~0.99	2	2608	7.803~8.5833	0.0008
1.0~3.58	6	2614	8.670~31.0386	0.0002

2.4 震源机制分析

距震中约 200 km 共有 16 个台站(图 3), 天峨台、平架台离震中最近约 60 km, 由于在广西西北方向没有台站分布, 所以利用了贵州台网的安顺

台和云南台网的富宁台的震相数据, 除相邻的安顺台和富宁台张角 90° 外, 其余相邻的台站张角均小于 90° , 在 $30^\circ \sim 70^\circ$ 间, 利用清晰可靠的地震波 P 波初动符号, 围绕震中的 5 个以上台站的地震记

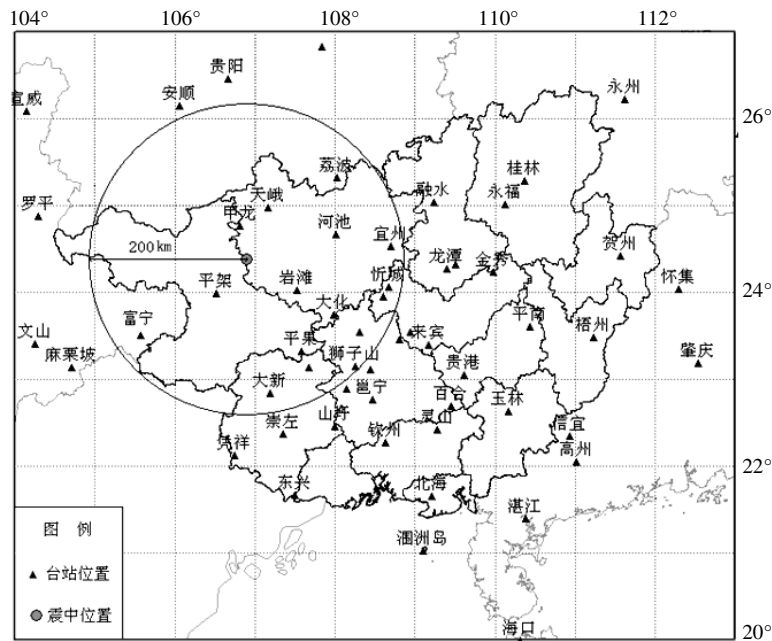


图 3 凌云-凤山交界 3.0 级地震震中及广西地震台站分布

Fig.3 Epicenter distribution of M_L 3.0 earthquakes in the boundary area of Lingyun-Fengshan and earthquake station distribution in Guangxi

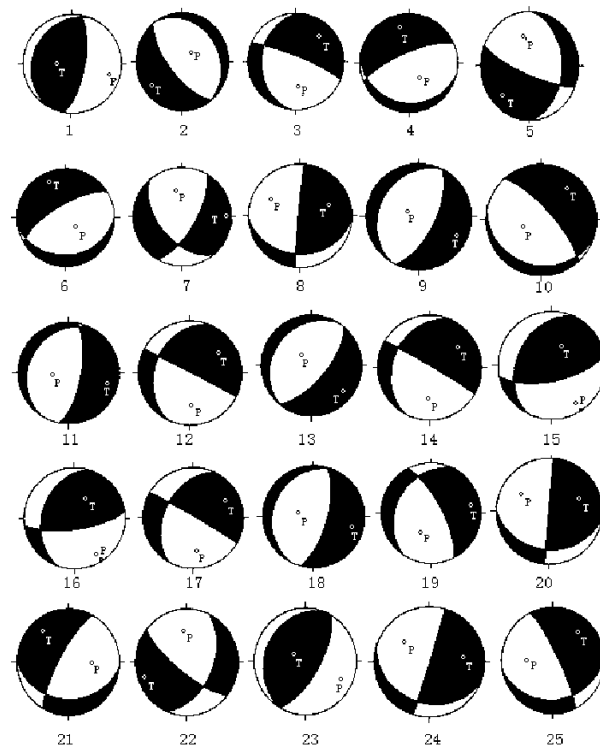


图 4 凌云-凤山震群地震震源机制

Fig.4 Earthquake focus mechanism of earthquake swarm in the boundary area of Lingyun-Fengshan

表 3 凌云-凤山震群 $M_L \geq 2.5$ 地震震源机制
Table 3 Focus mechanism of earthquakes with $M_L \geq 2.5$ in the boundary area of Lingyun and Fengshan

序号	日期 /年-月-日	时间 /H:m	纬度/ $^{\circ}$	经度/ $^{\circ}$	M_L	节面 I		节面 II		P 轴		T 轴		备注
						走向/ $^{\circ}$	倾角/ $^{\circ}$	走向/ $^{\circ}$	倾角/ $^{\circ}$	方位/ $^{\circ}$	倾角/ $^{\circ}$	方位/ $^{\circ}$	倾角/ $^{\circ}$	
1	2010-06-28	12:41	24.38	106.90	3.0	26	22	190	69	105	23	269	66	逆倾滑动
2	2010-06-28	17:36	24.38	106.88	2.0	142	23	321	67	50	68	231	22	正倾滑动
3	2010-06-28	18:02	24.35	106.95	2.4	112	81	6	30	173	47	45	30	正倾滑动
4	2010-06-28	19:55	24.40	106.86	2.6	281	20	67	73	142	60	346	28	正倾滑动
5	2010-06-28	19:58	24.38	106.90	2.6	292	76	180	34	347	49	225	24	正倾滑动
6	2010-06-28	20:08	24.38	106.88	2.3	266	24	59	69	132	65	337	23	正倾滑动
7	2010-06-28	20:34	24.40	106.88	2.4	210	67	320	51	348	46	88	9	正倾滑动
8	2010-06-28	21:06	24.38	106.90	2.3	271	27	5	88	299	37	70	41	走滑
9	2010-06-28	21:34	24.38	106.88	2.2	29	26	206	64	293	71	117	19	正倾滑动
10	2010-06-28	22:02	24.38	106.88	2.5	285	19	138	74	243	60	40	28	正倾滑动
11	2010-06-28	23:13	24.38	106.90	2.5	31	23	190	69	265	65	106	23	正倾滑动
12	2010-06-29	02:03	24.38	106.88	2.2	117	89	24	33	177	38	55	35	走滑
13	2010-06-29	02:04	24.43	106.85	2.2	36	24	220	66	314	68	129	21	正倾滑动
14	2010-06-29	02:01	24.41	106.88	3.1	120	87	26	31	182	40	56	35	走滑
15	2010-06-29	03:11	24.38	106.88	2.0	26	36	258	66	148	17	27	59	逆倾滑动
16	2010-06-29	06:09	24.38	106.88	2.5	18	37	262	72	148	20	30	52	逆倾走滑
17	2010-06-29	06:05	24.40	106.86	2.3	120	87	27	43	175	34	63	29	走滑
18	2010-06-29	10:38	24.38	106.91	2.5	24	22	195	68	279	66	107	23	正倾滑动
19	2010-06-29	11:22	24.38	106.88	2.3	30	32	152	72	208	55	82	22	正倾滑动
20	2010-06-29	13:06	24.38	106.88	2.3	275	28	185	90	300	39	70	39	走滑
21	2010-06-30	10:17	24.36	106.91	2.3	29	76	274	31	88	51	320	26	正倾走滑
22	2010-06-30	13:51	24.38	106.90	2.8	204	48	308	74	355	41	250	16	正倾滑动
23	2010-07-01	10:27	24.38	106.86	3.2	26	23	210	67	117	22	300	68	逆倾滑动
24	2010-07-04	19:45	24.45	106.88	2.6	197	89	290	26	311	41	83	38	走滑
25	2010-07-05	03:24	24.38	106.88	2.5	262	27	154	81	271	48	43	31	走滑

录的垂直向 P_g 、 S_g 波的最大振幅比求解,得到 25 次 M_L 2.0 级地震的震源机制(图 4、表 3)。12 次地震两个节面以北东为主,4 次地震两个节面以北西为主,9 次地震两个节面分别为北东向与北西向,25 次震源机制解中,逆倾 4 个,正倾 15 个,走滑错动 6 个,地震破裂方式以正倾滑动或带有一定走滑分量的正倾滑动为主。震中区共有七条断裂,2 条北西向、5 条北东向,其中 2 条北西向晚更新世以来不活动^①,意味着震群活动不是由于 NW 向断裂活动而产生。2010 年 6 月 28 日 12 时 41 分 3.0 级地震距北西向具有正断性质的岩板断裂较近,但是 3.0 级地震破裂方式逆倾为主,6 月 29 日 3.1 级地震破裂方式为走滑型,7 月 1 日 10 时 27 分 3.2 级地震破裂方式为逆冲型,3.1 级地震及 3.2 级地震在晚更新世以来不活动的北西向断裂附近,3 次 3 级地震不是北东向断裂活动引起,所以估计凌云-凤山震群与构造运动无关;蒋海昆等^[9]在分析 2010 年 6 月广西凌云-凤山交界 3 级震群

活动时,认为凌云-凤山震群活动有流体参与并显示岩溶塌陷特征。以上均说明了凌云-凤山交界 3 级震群是浅层的地表活动。图 4 是这些地震主压应力 P 轴方位的玫瑰花图,P 轴方位主要为 $270^{\circ} \sim 350^{\circ}$ 、仰角较小,与广西西北部构造应力场方向相一致^[10,11]。分布在 $290^{\circ} \sim 330^{\circ}$ 的地震共 12 个,所以 25 次 M_L 2.0 级地震的震源机制解的 P 轴走向

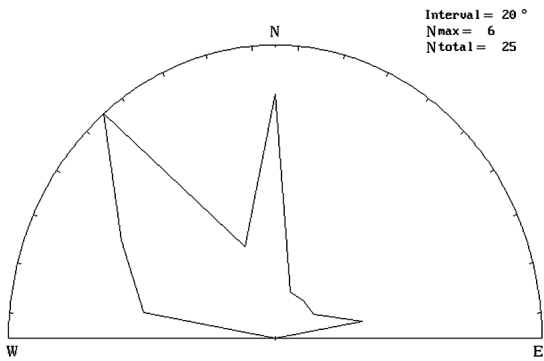


图 5 P 轴方位玫瑰花图
Fig.5 Rose diagram of P axle position

① 李细光, 严小敏, 陆俊宏, 等. “6.28 凌云-凤山群震”震区断裂研究. 广西壮族自治区地震局, 2012.
② 吴时平, 张均洲, 伍丽珍, 等. 广西及其邻近地区震源应力场初析. 广西壮族自治区地震局, 1999.

没有形成优势分布,表明震区没有处于统一的应力场控制下,应力水平不高,后续发生大震的可能性不大。

2.5 b 值特征分析

地震序列的 b 值可以综合反映震源区的介质特性、应力场状态及应变能积累与释放情况,因此计算此次3级震群的 b 值,可以了解序列的应力

状态。由于凌云-凤山交界3级震群地震序列目录时空上相当集中,1.0级以上地震数目较多,且完整可靠,因此 b 值的计算误差较小,可信度高,说明计算此次震群的 b 值时间变化特征是很有意义的。6月28日至7月1日,3级震群 u 值、 F 值、 ρ 值很高,表明序列能量释放比较均匀^[12],震级相差不大的地震较多且随时间变化不大,具有前震序列特征,但 b 值较高,表明序列中较强地

表 6 2010 年 6 月凌云、凤山交界震群地震序列参数

Table 6 Earthquake sequence parameters in the boundary area of Lingyun and Fengshan in June 2010

资料时段	u	F	ρ	k	h	b
06-28~06-28	0.952 4	1.601 9	0.976 8	0.585 8	3.5	0.883 2
06-28~06-29	0.711 3	1.003 2	1.008 2	0.646 3	3.5	1.003 8
06-28~06-30	0.849 7	1.150 0	0.951 2	0.723 0	0.2	1.035 5
06-28~07-01	0.900 7	1.194 3	0.916 2	0.757 2	3.5	1.006 1
06-28~07-02	0.668 0	0.879 9	0.896 4	0.757 2	0.83	1.014 7
06-28~07-03	0.561 2	0.736 9	0.871 3	0.757 2	0.77	1.029 3
06-28~07-04	0.943 9	1.244 9	0.829 1	0.757 2	0.53	1.091 5
06-28~07-05	0.866 1	1.141 2	0.801 5	0.757 2	0.35	1.120 0
06-28~07-06	0.795 3	1.048 4	0.788 8	0.757 2	0.10	1.133 8
06-28~07-07	0.732 3	0.965 6	0.773 0	0.757 2	0.10	1.152 4
06-28~07-08	0.764 6	1.005 5	0.766 8	0.757 2	0.10	1.166 3
06-28~07-09	0.721 1	0.944 3	0.755 2	0.757 2	0.10	1.171 6
06-28~07-10	0.666 7	0.872 1	0.747 5	0.757 2	0.10	1.175 5
06-28~07-11	0.644 7	0.840 5	0.739 3	0.757 2	0.10	1.177 6
06-28~07-12	0.620 4	0.810 2	0.732 4	0.757 2	0.10	1.185 5
06-28~07-13	0.614 8	0.802 9	0.730 8	0.757 2	0.10	1.185 8
06-28~07-14	0.544 1	0.710 3	0.729 3	0.757 2	0.20	1.186 0
06-28~07-15	0.544 1	0.710 3	0.729 3	0.757 2	0.20	1.186 0
06-28~07-16	0.495 5	0.646 3	0.726 3	0.757 2	0.20	1.186 3
06-28~07-17	0.477 6	0.621 3	0.723 0	0.757 2	0.20	1.186 3
06-28~07-18	0.463 4	0.602 4	0.720 0	0.757 2	0.20	1.188 0
06-28~07-19	0.441 5	0.572 7	0.710 8	0.757 2	0.20	1.189 3
06-28~07-20	0.441 5	0.572 7	0.710 8	0.757 2	0.20	1.189 3
06-28~07-21	0.410 2	0.531 8	0.709 3	0.757 2	0.30	1.189 4
06-28~07-22	0.387 1	0.501 8	0.707 9	0.757 2	0.30	1.189 8
06-28~07-23	0.374 9	0.486 0	0.705 1	0.757 2	0.30	1.190 7
06-28~08-17	0.194 5	0.251 4	0.690 4	0.757 2	0.4	1.194 1

震较少(表 6, 图 6)。至 7 月 23 日, u 值、 F 值、 ρ 值有起伏的衰减, b 值逐渐趋于稳定,约为 1.20,表明该震群正常衰减,发生大震的可能性不大。1970~2005 年广西及邻区正常 b 值为 0.71^[13],相比之下,凌云-凤山交界 3 级震群 b 值相对较高,表明震区处于低应力状态。

2.6 应力降

在地球动力学研究中,应力是一个关键性的概念。在线性本构关系的理论框架下,通常难于、

甚至不可能测得绝对应力,而只能得到应力的相对变化。应力降就是地震前后应力的相对变化。对于接近地表的地方,可以通过一些观测手段来直接测量应力或应力降,然而对于比较深的地方,通过地震来进行应力降的推算则几乎是唯一的方法。水库诱发地震与构造地震的应力降差别较大,对水库诱发地震研究发现^[14],水库诱发地震的震源参数明显低于同震级的构造地震的震源参数,这是由于水沿着断裂带下渗,使介质强度降低和非均匀性程度变大,致使岩石破裂错动的速度变大,

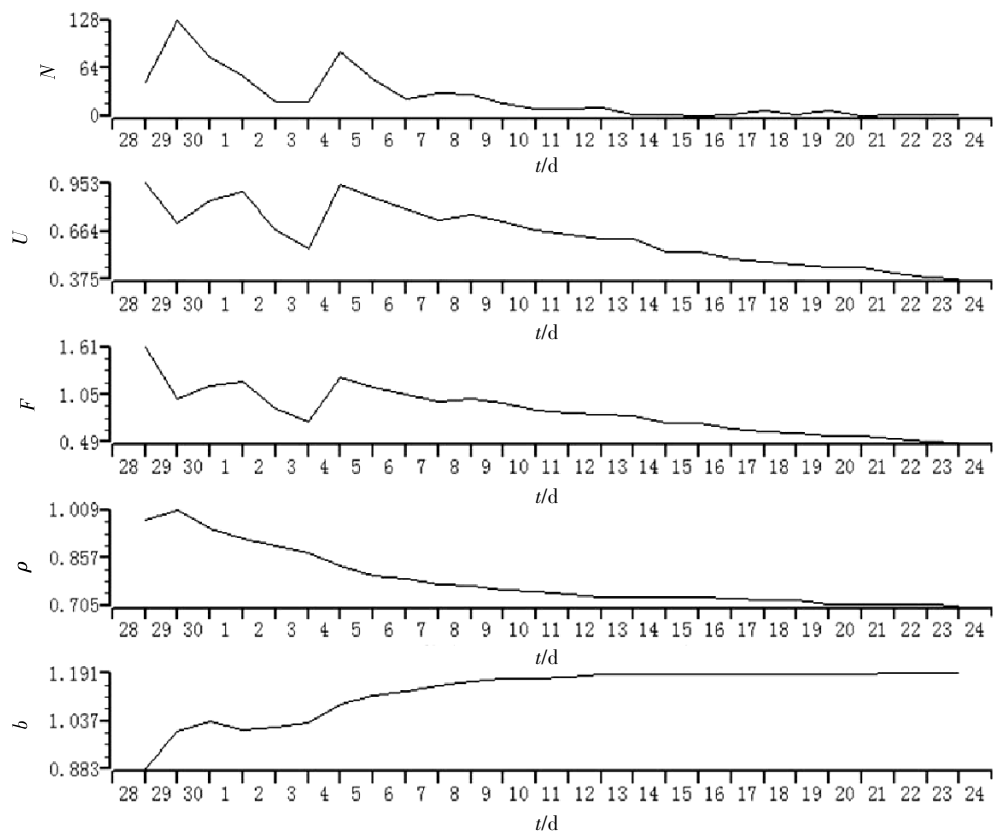


图 6 2010-06-28~2010-07-24 凌云、凤山交界地震序列参数时序曲线

Fig.6 Time series curve of earthquake sequence parameters in the boundary area of Lingyun and Fengshan from June 28 to July 24 in 2010

岩石错动辐射的地震波的高频成分减少，从而使拐角频率变小，震源破裂半径偏大，应力降较小。根据广西数字地震台网记录的数字地震波形资料，分别计算了分布在桂西的与水作用有关的龙滩库区、凌云凤山震群、靖西震群的地震和没有水作用的桂东南地区构造地震的震源参数，求得的广西构造地震资料小震应力降分布在 2.0~20 Mpa，凌云-凤山交界 3 级震群应力降主要分布在 0.19~2.0 Mpa 之间(图 7)，比广西构造地震应力降低一

个数量级，说明属于低应力背景下的地震活动，其成因与水的参与有关。

3 结论与讨论

经过以上分析，广西凌云-凤山交界 3 级震群主要分布在以 3.5 km 为半径的圆形区域内，震源深度也不超过 3.5 km，表明此次震群震中集中，深度较浅。震源机制解主压应力轴没有形成优势

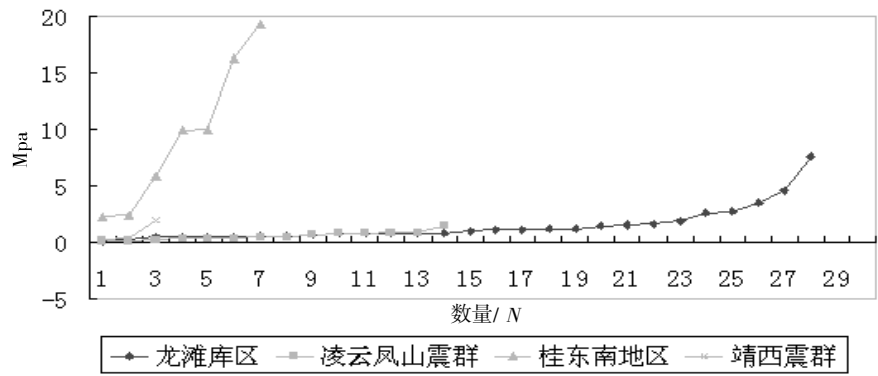


图 7 应力降分布图

Fig.7 Distribution map of stress drop

分布, 序列参数 b 值较高, 约为 1.21, 应力降主要分布在 0.19~2.0 Mpa 之间, 这些数据说明广西凌云-凤山交界 3 级震群是属于低应力背景下的地震活动, 不具有前兆震群和前震序列的性质。

正确了解地震震群的特征, 对于地震趋势的正确判断有一定的帮助作用。

参考文献:

- [1] 莫敬业, 游象照, 吴时平, 等. 广西通志·地震志[M]. 南宁: 广西人民出版社, 1990.
- [2] 李家发, 吴时平, 莫敬业, 等. 广西陆川小震群特征的初步研究[J]. 西北地震学报, 1982, 4 (2): 10-17.
- [3] 赵根模. 前震和普通震群震源深分布的比较[J]. 中国地震, 1990, 6 (4): 57-65.
- [4] 王炜, 庄昆元, 宋俊高, 等. 测震学分析预报方法[M]. 北京: 地震出版社, 1997.
- [5] 付虹, 王绍晋, 李丽, 等. 滇中地区震源机制一致性参数时空分布与强震活动[J]. 地震研究, 2011, 32 (2): 113-118.
- [6] 莘海亮, 方盛明, 樊计昌, 等. 豫北及邻区中小地震震源机制解及应力场反演[J]. 地震研究, 2012, 35 (2): 184-189.
- [7] 王俊, 阮祥, 郑江蓉, 等. 汶川地震序列 b 值的分析研究[J]. 地震地磁观测与研究, 2009, 30 (2): 15-20.
- [8] 王培铃, 马玉虎, 姚家骏, 等. 玉树 7.1 级地震震情跟踪工作的总结分析[J]. 高原地震, 2012, 24 (2): 20-22.
- [9] 蒋海昆, 杨马陵, 孙学军, 等. 暴雨触发局部地震活动的一个典型例子: 2010 年 6 月广西凌云-凤山交界 3 级震群活动[J]. 地球物理学报, 2011, 54 (10): 2607-2619.
- [10] 胡聿明, 时振梁, 张裕明, 等. 地震安全性评价技术教程[M]. 北京: 地震出版社, 1999.
- [11] 李细光, 史水平, 梁结, 等. 广西及其邻区现今构造应力场研究[J]. 地震研究, 2007, 30 (3): 235-240.
- [12] 林邦惠, 李大鹏, 刘杰, 等. 前震和前震序列的研究[J]. 地震学报, 1994, 16 (增刊): 24-38.
- [13] 郭培兰. 广西及邻区中等地震前地震活动性参数时间扫描异常特征[J]. 地震地磁观测与研究, 2006, 27 (1): 2-7.
- [14] 钟羽云, 朱新运, 张震峰. 温州珊溪水库 $M_L 3.9$ 震群震源参数特征[J]. 地震, 2004, 24 (3): 107-114.