

郭培兰, 龙政强. 2012年11月广西柳州北3级地震序列地震活动特征分析[J]. 华南地震, 2016, 36(2): 25-31. [GUO Peilan, LONG Zhengqiang. Analysis of Seismic Activity Characteristics of the M 3.0 Earthquake Sequence in Northern Liuzhou of Guangxi in November 2012[J]. South China Journal of Seismology, 2016, 36(2): 25-31.]

2012年11月广西柳州北3级地震序列 地震活动特征分析

郭培兰, 龙政强

(广西壮族自治区地震局, 南宁 530022)

摘要: 2012年10月29日至2013年3月20日, 在广西桂北地区发生了柳州北显著序列活动, 共记录地震38次, 其中 M_L 2~2.9级3次, 3.0~3.9级3次。对此次地震序列的震害特点、宏观异常现象、地质构造位置、空间分布范围、震源机制解、应力降、波速比、震区3级地震成组活动特点以及区域地震活动水平进行分析, 认为柳州北地震序列属于高应力背景下的地震活动, 是区域地震活动增强的延续, 对2013年2月20日平果4.5级地震的发生具有一定的前兆意义。分析结果对正确了解此次地震序列的特征、成因、正确判断未来地震趋势具有较高的帮助作用。

关键词: 地震序列; 震源机制解; 应力降; 震源深度; 柳州北

中图分类号: P315.7

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662(2016)02-0025-07

DOI: 10.13512/j.hndz.2016.02.005

Analysis of Seismic Activity Characteristics of the $M3.0$ Earthquake Sequence in Northern Liuzhou of Guangxi in November 2012

GUO Peilan, LONG Zhengqiang

(Earthquake administration of the Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530022, China)

Abstract: From October 29th, 2012 to March 20th, 2013, The northern Liuzhou significant sequence activities occurred in northern Guangxi. There are 38 earthquakes been recorded, among of them, 3 events with M_L range from 2.0 to 2.9, 3 events with M_L 3.0. The paper analyzed the earthquake damage characteristics, the macroscopic anomaly, geological tectonic location, spatial distribution range, focal mechanism solution, stress drop, wave velocity ratio, and the level of regional seismic activity for the earthquake sequence. The results show that the northern Liuzhou earthquake sequence belongs to the earthquake activity with high background and is a

收稿日期: 2015-02-28

基金项目: 广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻 12426001)

作者简介: 郭培兰(1974-), 女, 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.

continuation of the enhancement regional seismic activity, which has certain precursory significance for the Pingguo M4.5 earthquake on February 20th, 2013.

Keywords: Seismic sequence; Focal mechanism solution; Stress drop; Depth of focus; Northern Liuzhou

0 引言

2012 年 10 月 29 日至 2013 年 3 月 20 日, 在广西桂北地区发生了柳州北显著地震序列活动, 共记录地震 38 次, 其中 2~2.9 级 3 次, 3.0~3.9 级 3 次, 3 级以上地震分别为 2012 年 11 月 2 日 3.0 级、2013 年 1 月 12 日 3.4 级、2013 年 3 月 1 日 3.5 级(本报告如无特殊说明所有震级均为 M_L 震级), 2.0 级以上余震分布呈北东向, 2012 年 11 月 2 日的 3.0 级地震是柳州市 3 级地震平静 20 年以来(1992 年 9 月 10 日象州 3.0 级地震)以来最大的地震。据史料记载^[1], 震区周围 200 km 范围(北纬 23.43°~25.23°, 东经 108.39°~110.37°)共发生 M_S 5.0 级以上破坏性地震 4 次, 11 月 2 日 3.0 级地震 30 公里周围共发生 M_S 4.0 级以上地震仅 1 次, 即 1604 年广西柳城 M_S 4.0 级地震, 震区附近地震活动水平不是很高。此次地震序列表现出震源浅、烈度大、持续时间长等特点, 对震中区社会秩序、经济建设和人们生活造成了严重的威胁和影响。了解柳州北 3 级地震序列震区地质构造背景, 分析 3 级地震序列的震害特征、序列参数、波速比、应力降及区域地震活动水平等特征, 可以更好地了解柳州北 3 级地震序列所处应力水平, 对于判断地震序列的成因机制、前兆意义、震后趋势判断、提高地震应急响应能力、正确决策具有较好的帮助作用。

1 烈度分布及震害

据现场科学考察报告, 地震现场工作组开展柳北区长塘、沙塘、白露、钢城等乡镇及街道办的大部分村庄和社区现场调查, 详细了解了震区的震情灾情, 对震区及其周边的 119 个现场调查点进行调查。2012 年 11 月 2 日柳州北 3.0 级地震前除钢城街道办福利社区个别居民反映地震前鸡出现狂躁不安的现象外, 震区范围内未发现其他异常现象。2012 年 11 月 2 日 13 时 3 分 3.0 级地震发生时, 柳北区长塘镇中西部、钢城街道办、雀儿山街道办、锦绣街道办北部、城中区河东街

道办西部等地的村、屯、社区居民均感到地面震动, 其中长塘镇香兰村等地居民震感强烈, 有部分居民因恐惧而仓皇往屋外出逃, 震动时间 2~4 s。柳北区长塘镇中西部、钢城街道办、雀儿山街道办、锦绣街道办北部和城中区河东街道办西部等地居民普遍听到有强烈地声, 地声似爆炸声、山石滚落声、高墙倒塌声等, 地声的声音由地下往上传, 并感觉有南北方向和近东西向的振动。Ⅵ度区和Ⅴ度区等烈度线呈现长轴为北西向的椭圆状, 各烈度区的范围及区内宏观烈度考察情况如下: Ⅵ度区等烈度线长轴约 2.0 km, 短轴 1.1 km, 主要包括柳北区长塘镇香兰村至城屯、新村屯等部分地区。Ⅴ度区等烈度线长轴约 10.5 km, 短轴 5.5 km, 主要包括柳北区长塘镇香兰村、长塘村、青茅村、黄土村、鹧鸪江村西, 柳北区钢城街道办、雀儿山街道办、锦绣街道办、城中区河东街道办等部分地区。根据烈度区划分标志, 划出了 2012 年 11 月 2 日柳州北 3.0 级地震宏观烈度的Ⅵ度区和Ⅴ度区, 如图 1 所示。

2 震区地质构造背景

根据现场调查, 震区地貌可分为两类, 一类为海拔 120 m 以上, 海拔 500 m 以下的丘陵地貌, 另一类是海拔 100 m 左右的侵蚀-溶蚀平原地貌, 其中侵蚀-溶蚀平原地貌区大部为第四系所覆盖, 其占震区面积的 75%~85%, 集中分布于震区的中部和南部; 震区的民居建筑结构类型以砖混结构为主, 部分砖木结构。震区内第四系土层以残积粘土为主, 夹有风化壳铁锰结核。前第四系地层自新至老有三叠系、二叠系和石炭系, 震区岩性以灰岩、白云岩、泥灰岩、砂岩以及泥岩为主, 震中区岩性主要为下石炭系泥灰岩、砂岩和泥岩。区域上, 2012 年 11 月 2 日 3.0 级地震震中位于“山”字形的河池-宜州断裂带和桂林-南宁断裂带的交汇部位附近, 距离上述两条断裂带约 12 km。从图 2 看, 震中区发育的断裂主要有 NEE 向的杨柳断裂和 NE 向的白马断裂以及切错杨柳断裂的 NW 向断裂。杨柳断裂自古灵、杨柳, 至大井, 长

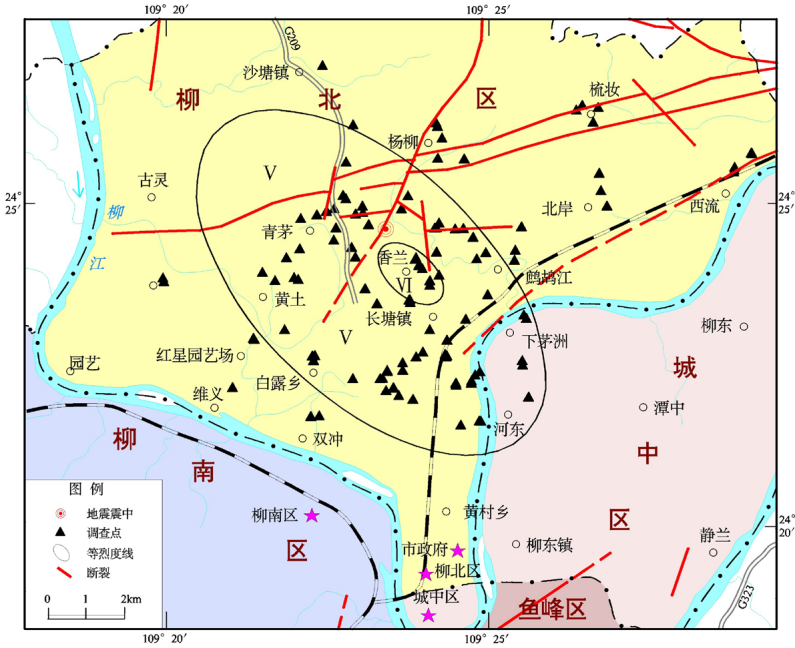


图1 2012年11月2日柳州北3.0级地震等烈度线图

Fig.1 The iso-intensity map of the M3.0 earthquake on November 2nd, 2012 in northern Liuzhou

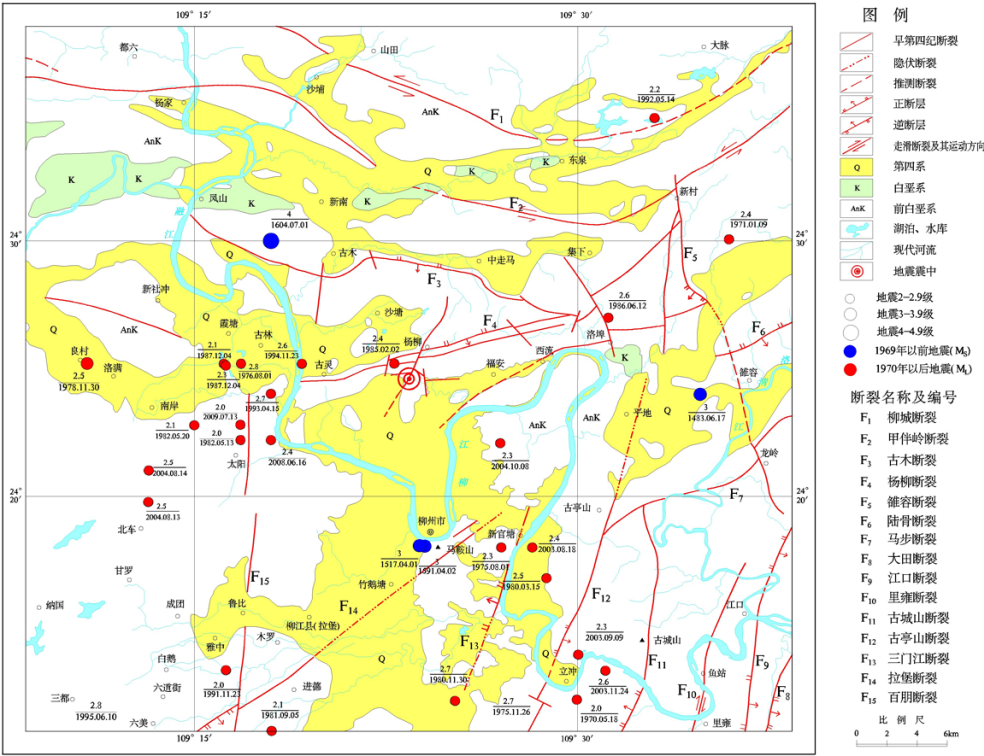


图2 2012年11月2日柳州北3.0级地震震区附近构造图

Fig.2 The structural map near the M3.0 earthquake on November 2nd, 2012 in northern Liuzhou

约 19 km。走向北东 20°~30°，倾向南，逆断层性质。断裂形成机制为纵弯褶皱作用下的伴生断裂，为地壳表层次构造。在沙塘南，可见灰黄色砂岩逆冲至灰黑色泥岩之上，断层走向南东 94°，倾向南，断裂上盘发育拖曳褶皱，取断层泥样，年龄

为 22.725 ± 1.932 万年，表明断裂在晚更新世以来已无明显活动。根据以上现象和数据，表明该断裂为中更新世活动断裂。至于 NE 向的白马断裂以及切错杨柳断裂的 NW 向断裂，目前还没有开展相关研究，也没有测年资料。

3 震源机制与地震主破裂面

震中 200 km 范围内选取了 17 个台站, 离震中最近的龙潭台和古亭山台约 13 km, 相邻的台站张角在 30°~70°, 台站分布合理。利用 17 个台站记录资料, 采用 P 波初动符号求解了 3 次 M_L 3.0 级地震的震源机制。3 次 3.0 级以上地震的震源机制解比较相似(图 3、表 1), P 轴方位 300 左右, 仰角较小在 2°~5°, 与广西西北部构造应力场方向相一致^[2-3]。两个节面均为北东向, 倾角 40°~50°, 错动方式为逆冲方式, 与震中区北东向的断裂比

较一致。震源机制解结果表明柳州北震群是在统一应力场作用下的区域应力场增强背景下发生的构造地震。从图 2 看, 震中区构造复杂, 有三组方向断裂在震中区附近交汇: NEE 向杨柳断裂和 NE 向白马断裂以及切错杨柳断裂的 NW 向断裂, 三组方向断裂都具备发震构造的条件。从震源机制解结果, NEE 向杨柳断裂和 NE 向白马断裂可能是地震主破裂面, 2.0 级以上余震分布也呈北东向, 但Ⅵ度区和Ⅴ度区的长轴方向为北西向, 与震源机制解的两个节面不一致, 所以具体是哪组方向断裂引发本次地震有待进一步研究。

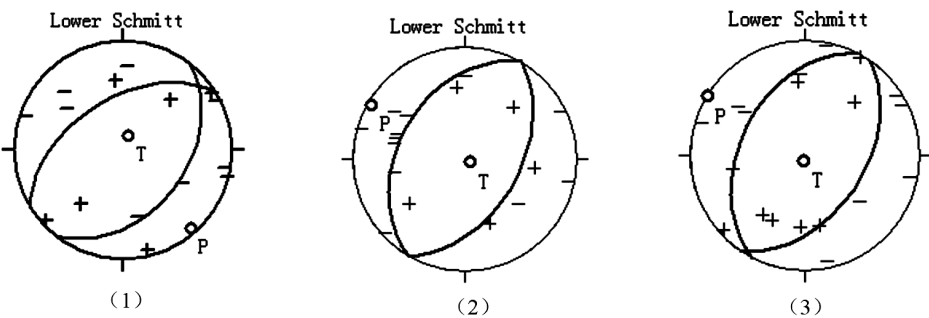


图 3 柳州北地震序列 M_L 3.0 地震震源机制(具体参数参见表 1)

Fig.3 The earthquake focal mechanism of earthquakes with M_L 3.0 of northern Liuzhou earthquake sequence

表 1 柳州北地震序列 M_L 3.0 地震震源机制

Table 1 The earthquake focal mechanism of earthquakes with M_L 3.0 of northern Liuzhou earthquake sequence

序号	地震日期	震级	深度/ km	节面 I			节面 II			P 轴		T 轴		B 轴		矛盾符号比	类型
				走向	倾角	滑动角	走向	倾角	滑动角	方位	倾角	方位	倾角	方位	倾角		
1	2012-11-02	3.0	7	58	51	103	218	41	75	139	5	23	79	230	10	0.067	逆断
2	2013-01-12	3.4	6	30	40	90	210	50	90	300	5	120	85	30	0	0.056	逆断
3	2013-03-01	3.5	8	27	43	85	214	47	94	301	2	183	86	31	3	0.105	逆断

4 地震序列活动特征分析

4.1 3 级地震成组发生

柳州北地震序列发生在广西桂北弱震区^[4], 其 80 km 范围具有比较相似的地质构造环境, 属于岩溶地区, 所以该地区的孕震方式, 震后衰减规律具有较强的可比性, 震区附近 3 级左右地震具有成组活动特点, 1970—2013 年, 震区附近共发生 6 组成组活动的 3 级左右地震(表 2)。6 组地震中时间间隔最短 16 min, 如 1974 年 6 月 20 日 18 时 00 分柳江 3.0 级地震及 1974 年 6 月 20 日 18 时 16 分柳江 2.7 级地震, 时间间隔最长 71 d, 如 2012 年 11 月 2 日柳州 3.0 级地震及 2013 年 1 月 12 日柳州 3.4 级地震; 6 组地震中空间间隔最近 2 km, 最

远 46 km; 第四组及第六组有 3 个震级相近的地震。以上六组地震发生后约 1 年时间内(除第四组地震外)广西及北部湾发生了破坏性地震。

4.2 小震活动增强

图 4 是 2011 至 2013 年广西及邻区 3.0 级以上地震 $M-T$ 图及蠕变图。2011 年 6 月至 2012 年 12 月蠕变曲线明显加速, $M-T$ 图密集^[5-7], 在蠕变曲线加速过程中在桂东北弱震区发生了 2012 年 5 月 20 日平南 3.0 级地震及 2012 年 11 月柳州北地震序列, 柳州北 3.0 级地震后 3 个半月发生了 2013 年 2 月 20 日平果 4.5 级地震, 平果 4.5 级地震是 2005 年 10 月 27 日平果 4.4 级地震以来广西陆地区最大的地震。柳州北地震序列在区域地震活动

表 2 柳州北震群附近 3 级左右地震具有成组活动分布表

Table 2 Distribution table of group activity of M_L 3.0 earthquakes near northern Liuzhou earthquake

分组	第一次地震	第二次地震	时间间隔	空间间隔/km	中强地震
第一组	1974-06-20 柳江 3.0 级	1974-06-20 柳江 2.7 级	16 min	3	1974-11-24 灵山 4.5 级
第二组	1976-08-01 柳江 2.8 级	1976-08-19 鹿寨 2.8 级	18 d	42	1977-10-19 平果 M_s 5.0 级
第三组	1983-06-24 融安 3.4 级	1983-07-28 融安 3.0 级	34 d	26	1983-12-5 天峨 M_s 4.6 级
第四组	1989-07-06 融安 3.1 级	1989-07-08 融安 3.5 级 1989-08-15 柳城 3.0 级	40 d	16	无
第五组	1993-04-15 柳江 2.7 级	1993-06-12 柳江 2.9 级	58 d	46	1994-12-31 北部湾 M_s 6.1 级
第六组	2012-11-02 柳州 3.0 级	2013-01-12 柳州北 3.1 级 2013-03-01 柳州北 3.5 级	71 d	2	2013-02-20 平果 M_s 4.5 级

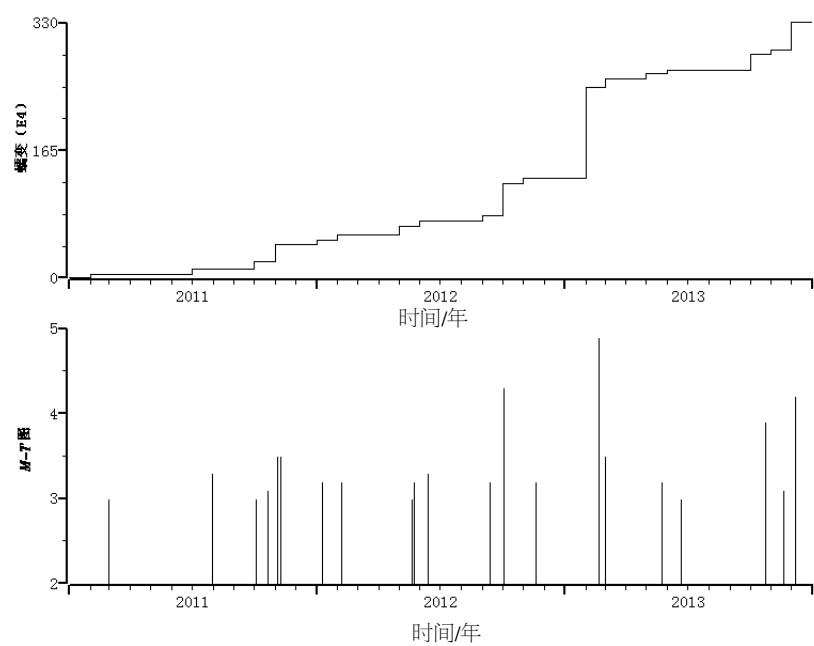


图 4 广西及邻区蠕变曲线图及 $M-T$ 图

Fig.4 The creep curve diagram and $M-T$ diagram in Guangxi and its adjacent area

增强过程中发生，是区域地震活动增强的延续，在此期间广西及邻区的区域应力场逐渐增强，然后发生了 2013 年 2 月 20 日平果 4.5 级地震。

4.3 序列参数特征

由于孕震条件和震源体的物理状态不同，所发生的地震有其各自不同的特征，分属于不同的类型。地震序列参数与序列的持续时间有关，这是序列时间分布特征的反映，分析序列参数的变化，也可以了解区域的应力水平^[8]。序列参数 U 值^[9]：反映震群能量释放的均匀程度。一个地震序列中释放 90% 的应变能需要的最短时间与全序列持续时间之比， $U>0.5$ ，判断为前兆震群。序列参数 k 值：震群归一化信息熵 K 值是描述地震序列能量分配均匀程度的一个统计量。序列参数 ρ 值：表征序列在时间上的丛集程度。 ρ 值 <0.55 ，判断为前兆震

群。分别计算了三个时间段的 U 值、 k 值、 ρ 值 (表 3)， U 值分别为 0.83、0.79、0.84， U 值较高，远大于 0.5，表明序列能量释放比较均匀，震级相差不大的地震较多且随时间变化不大。 K 值分别为 0.255 4、0.367 8、0.598 3，随着时间推移， K 值越来越大，表明序列中地震能量分布越来越接近均匀，说明能量衰减较慢。值分别为 1.022 1、0.657 3、0.669 6，随着时间推移， ρ 值越来越小，表明震群中地震能量差不多震级的地震越来越来丛集。

4.4 波速比

采用 $S-P<10$ s 最少 5 个台的 T_p 、 T_{s-p} ，剔除明显偏离和达曲线的台站数据，根据不同的记录台站数，选择达到 99% 置信度的地震进行分析和讨论^[10]。计算了桂北地区 2007 年 8 月至 2014 年 6 月

表 3 柳州北震群参数

Table 3 Earthquake swarm parameter of northern Liuzhou

序号	起算时间	结束时间	U 值	$K5$ 值	ρ 值
1	2012-11-01	2012-12-05	0.83	0.255 4	1.022 1
2	2012-11-01	2013-01-30	0.79	0.367 8	0.657 3
3	2012-11-01	2013-03-23	0.84	0.598 3	0.669 6

(包括柳州北震群)共 40 个地震的波速比^[11-12],波速比值介于 1.584 和 1.732 之间,均值为 1.653 (图 5)。2011 年 11 月 20 日至 2014 年 9 月 30 日,波速比呈现如下变化,先出现波速比低值,2011 年 11 月至 2013 年 2 月波速比基本在均值 1.653 以下,持续时间约 1 年半,柳州北震群发生在波速比低值过程,然后于 2013 年 2 月 20 日发生平果

4.5 级地震,平果地震后出现波速比高值,2013 年 3 月至 2014 年 9 月波速比基本在均值 1.653 以上。波速比在平果 4.5 级地震发生之前,具有明显的下降过程,在平果 4.5 级地震发生之后,波速比在一定时间后恢复上升,也即扩容期间波速比降低,震后波速比回升,柳州北震群是在区域应力增强过程中发生。

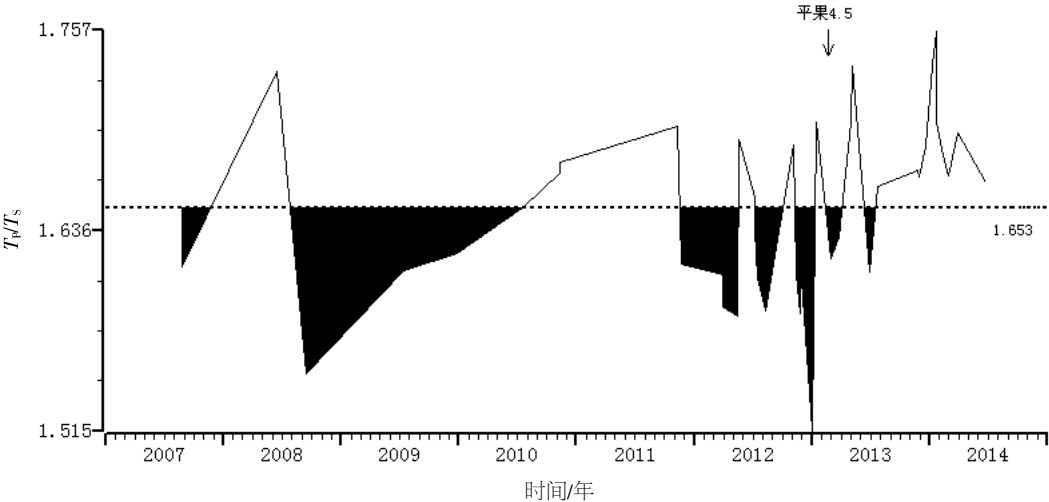


图 5 桂北地区波速比

Fig.5 The wave velocity ratio in northern Guangxi

4.5 应力降

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。根据现有震例,一般情况下,大震前小震应力升高,大震后的应力降低;震级相当的小震相比较,大震前的震源尺度较小,大震后的震源尺度增大^[13-14]。柳州北地震序列持续时间从 2012 年 10 月 29 日至 2013 年 3 月 20 日,在延续期间发生了 2013 年 2 月 20 日平果 4.5 级地震,我们分析平果 4.5 级地震前后柳州北地震序列应力降的变化,选取 2012 年 11 月至 2013 年 11 月间柳州北地震

序列震中区 60 km 为半径范围内的 $M_L \geq 2.0$ 以上地震,并对其应力降进行对比(表 4)。从表 4 中可以看出,对于震级相当的小震,平果 4.5 级地震前应力降明显大于平果 4.5 级地震后应力降,平果 4.5 级地震前震源尺度小于平果 4.5 级地震后震源尺度,这一结果与已有震例研究结果基本一致。如 2013 年 1 月 12 日 3.4 级地震应力降大于 2013 年 3 月 1 日是 3.5 级地震的应力降,震源尺度相反。2012 年 11 月 13 日的 2.0 级地震及 2012 年 11 月 24 日 2.0 级地震的应力降远大于 2013 年 3 月 23 日 2.0 级地震,震源尺度相反。

5 结语

(1) 柳州北 3 级地震序列具有低频次、低震级、震害大的特点,持续时间较长, 2012 年 11

表 4 平果 4.5 级地震前及震后应力降表

Table 4 The stress drop before and after the Pingguo M4.5 earthquake

时段	发震时间	震中位置		深度/km	震级/ M_L	参考地名	应力降/MPa	震源尺度/m
		纬度/ $^{\circ}$	经度/ $^{\circ}$					
震前	2012-11-02 13:03:29.8	24.41	109.41	8	3.0	广西柳州	0.389	307
	2012-11-13 07:26:51.4	24.41	109.40	7	2.0	广西柳州	0.118	203
	2012-11-24 03:32:44.7	24.38	109.41	6	2.0	广西柳州	0.141	183
	2013-01-12 06:32:19.3	24.38	109.41	6	3.4	广西柳州	2.295	297
震后	2013-03-01 13:42:59.3	24.40	109.40	8	3.5	广西柳州	1.581	288
	2013-03-23 05:30:02.7	24.38	109.41	7	2.0	广西柳州	0.076	227
	2013-05-04 02:05:22.1	24.75	109.61	6	2.3	广西鹿寨	0.051	525
	2013-11-25 19:50:39.2	24.88	109.36	7	2.3	广西融安	0.106	252

月 2 日的 3.0 级地震打破了柳州市自 1992 年 9 月 10 日象州 3.0 级地震后，持续 20 年的 3 级地震平静。震区震感强烈、能听到强烈地声、震前有宏观异常现象。震中烈度达到Ⅵ度，震中区主要发育有 NEE 向的杨柳断裂和 NE 向的白马断裂以及切错杨柳断裂的 NW 向断裂，具体是哪组方向断裂引发本次地震有待进一步研究。

(2) 震区附近 3 级左右地震具有成组活动特点，同时是在区域地震活动增强过程中发生，是区域地震活动增强的延续。柳州北地震序列发生在波速比低值过程，平果 4.5 级地震前后，柳州北地震序列附近的小震应力降及震源尺度出现明显变化，对于震级相当的地震在 4.5 级地震前应力降较大、震源尺度较小，4.5 级地震后应力降较小、震源尺度较大。柳州北地震序列对于 2013 年 2 月 20 日平果 4.5 级地震的发生具有一定的前兆意义。

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.

[3] 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.

[4] 郭培兰，陆丽娟，阎春恒. 桂北弱震区地震活动特征分析[J]. 华南地震，2012，32（3）：21-30.

[5] 郭培兰. 广西中等地震前地震活动明显增强异常特征分析[J]. 华南地震，2010，31（1）：29-36.

[6] 许绍燮，陆远忠，朱传镇，等. 地震预报方法实用化研究文集-地震学专辑[M]. 北京：学术书刊出版社，1989.

[7] 郭培兰. 广西中等地震前地震活动明显增强异常特征分析[J]. 华南地震，2010，31（1）：29-36.

[8] 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.

[9] 王炜，庄昆元，宋俊高. 测震学分析预报方法[M]. 北京：地震出版社，1997.

[10] 黎明晓，刘杰. 云南地区地震序列的波速比(V_P/V_S)异常研究[J]. 地震，2006，26（1）：26-34.

[11] 杨选，康英，林向东. 新丰江 2012 年 02 月 16 日 M_L 5.2 级地震前的波速比变化及地震类型探讨[J]. 华南地震，2012，32（增刊）：64-72

[12] 张晖，高立新，韩晓明. 内蒙古东部地区波速比变化特征研究[J]. 地震工程学报，2013，35（4）：921-927

[13] 张国民，傅征祥，桂燮泰，等. 地震预报引论[M]. 北京：科学出版社，2001.

[14] 胡先明，杜瑶. 用响应比波速比监测预测瀑布沟水库诱发地震[J]. 华南地震，2014，34（2）：11-18.