

曾宪伟, 马禾青, 任雪梅, 等. 银川地区 M_L 4 级地震活动特征研究[J]. 华南地震, 2014, 34 (2): 49–55. [ZENG Xianwei, MA Heqing, REN Xuemei, et al. Characteristic Research of Seismic Activity of M_L 4 Earthquakes in Yinchuan Region[J]. South china journal of seismology, 2014, 34(2): 49–55.]

银川地区 M_L 4 级地震活动特征研究

曾宪伟, 马禾青, 任雪梅, 谭俊林, 罗国富

(宁夏回族自治区地震局, 银川 750001)

摘要: 1970 年以来银川地区 M_L 4 级地震在时间上丛集发生, 分别从主震震前小震与震后余震分布特征、余震序列参数计算和震源机制解的角度, 研究了以上地震的活动特征。结果显示: 每次地震的发生均具有一定的独立性; 可计算余震参数的地震序列为非前兆震群, 这一点与实际相符; 震源机制解显示几次地震的发震断层主要属于银川隐伏断裂, 并可能与该断裂附近的一系列次级断裂有关。分析认为几次地震的发生可能是局部应力调整的结果, 与未来该区域是否发生大震关系不大, 同时可以推测未来该区域依旧可能发生类似震级的有感地震。

关键词: 震源机制; 余震序列; 银川地区; 时间丛集; 银川隐伏断裂

中图分类号: P314.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2014) 02-0049-07

DOI: 10.13512/j.hndz.2014.02.007

Characteristic Research of Seismic Activity of M_L 4 Earthquakes in Yinchuan Region

ZENG Xianwei, MA Heqing, REN Xuemei, TAN Junlin, LUO Guofu

(Earthquake Administration of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750001, China)

Abstract: The characteristic of M_L 4 earthquakes in Yinchuan region since 1970 is time clustering. The paper analyzes the activity characteristic of earthquakes from three aspects, that are distribution characteristic of small earthquakes before the main earthquake and aftershocks, parameters of aftershock sequence, and focal mechanism of the earthquakes. The results show that: every earthquake has certain independence when occurring; the two calculable earthquake sequences are non precursory earthquake swarm, that is consistent with the actual; seismogenic faults of the several earthquakes showed by focal mechanism belong to Yinchuan buried fault, and it may be related to a series of minor faults near the buried fault. Then, the authors conclude that local stress adjustment may cause several earthquakes occurring, and there is no relationship between the several earthquakes and the big earthquake occurring in the region in the future. At the same time, the authors can speculate about a possibility of felt earthquakes with similar magnitude still occurring in the region in the future.

Keywords: Yinchuan region; Aftershock sequence; Focal mechanism; Time clustering; Yinchuan buried fault

收稿日期: 2013-12-12

基金项目: 地震科技星火计划 (XH12054Y)、地震行业科研专项 (201208009)

作者简介: 曾宪伟 (1982-), 男, 工程师, 主要从事地震活动性、震源机制与区域构造应力场以及地震波速度横向变化方面的研究。

E-mail: zeng_xw@126.com.

0 引言

银川断陷盆地所处的大地构造位置位于鄂尔多斯块体和阿拉善块体两个稳定地块之间,属于环绕鄂尔多斯块体断陷盆地的一部分,为相对活动的地壳块体。在区域构造上被东侧近南北向的黄河断裂和西侧北北东向的贺兰山东麓断裂所围限,盆地内发育有银川-平罗和芦花台断裂等两条规模较大的隐伏断裂和一系列次级断裂。本文研究区域银川地区恰好位于盆地中部,其发育了这些断裂带的主体部分(图1)。该地区历史强震活跃,自有文字记载以来,曾发生1143年银川 $6\frac{1}{2}$ 级、1477年银川 $6\frac{1}{2}$ 级地震和1739年银川-平罗8级大震及多次5级地震。该地区最后一次破坏性地震为1921年银川5.5级地震,至今5级地震平静92年。虽然自1921年银川5.5级地震后银川地区再无破坏性地震发生,但该地区 M_L 4级地震时有发生。自1970年宁夏弱震台网建设以来,该地区共记录 M_L 4级地震9次,均沿银川盆地内北北东向发育的断裂

分布,时间上则成丛发生(图2)。这些地震震级虽然不大,但由于盆地的放大效应^[1,2],银川地区震感强烈。因此,本文拟研究1970年以来银川地区发生的9次 M_L 4级地震的活动特征,以期对该地区地震形势分析和判定提供一定的参考价值。

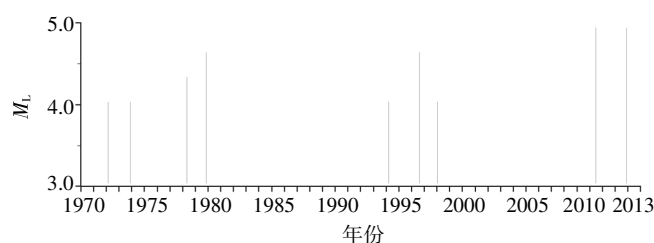


图2 银川地区9次 M_L 4级地震 M_L - T 图

Fig.2 M_L - T diagram of 9 M_L 4 earthquakes in Yinchuan region

1 银川地区 M_L 4级地震概况

自1970年宁夏弱震台网建设以来,银川地区(银川市、贺兰县和永宁县)共记录 M_L 4级地震9次(图1),包括 M_L 4.0级地震4次, M_L 4.3级地震1次, M_L 4.6级地震2次和 M_L 4.9级地震2次。从图1震中分布图可以看出,地震主要发生于银川市和永宁县,大致沿银川隐伏断裂北北东向展布,比较均匀地分布在南北约30 km的狭长范围内。结合9次地震发生的先后顺序(从图1中序号a到序号i),地震基本以填空的方式发生于银川隐伏断裂附近。仅有1972年2月18日银川 M_L 4.0级地震震中位置向西偏离银川隐伏断裂位于芦花台隐伏断裂东侧。

图2为银川地区9次 M_L 4级地震 M_L - T 图,将1972—1979年、1994—1998年、2010—2012年划分为三个地震活跃时段,可以明显看出,1970年以来该地区 M_L 4级地震在时间上的丛集特征,成丛时间间隔比较均匀,为12~14年。从成丛期间地震强度看,前两次地震丛集期间发生的最大地震均为 M_L 4.6,而最后一次丛集地震为两次 M_L 4.9级地震,活动强度要强得多。因此,虽然第三次丛集持续时间截至目前仅3年,比前两次丛集持续时间(分别为8年和4年)都要短,但第三次丛集期间地震活动要强得多,这或许在某种程度上意味着第三次丛集期已经结束,并预示着该地区开始了新一轮的 M_L 4级地震平静时期。

2 特征分析

2.1 震前与震后时空分布特征

由于9次 M_L 4级地震沿北北东向分布,长度

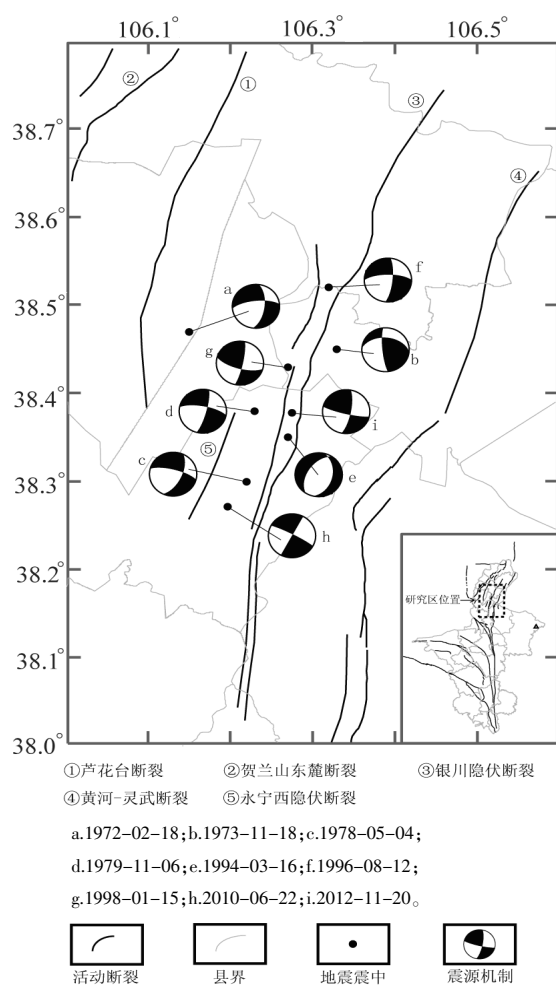


图1 银川地区9次 M_L 4级地震分布

Fig.1 Distribution of 9 M_L 4 earthquakes in Yinchuan region

约 30 km, 与盆地内的银川隐伏断裂走向一致, 考虑到已经探知^[9]的银川隐伏断裂长度约 80 km(图 1), 因此, 为了更清楚地展现地震前后一段时间内及其附近区域的地震活动情况, 本文将每次地震的震前与震后的空间范围延伸到整个银川隐伏断裂带上, 而时间范围则根据每次地震的发生时间, 并考虑时间范围互不重叠的情况下, 保证至

少使用震前半年和震后 1 年的资料。由此, 本文给出的每次事件的时空研究范围有所不同。针对每次事件不同的空间研究范围和时间研究范围, 采用宁夏正式地震目录, 绘制了相应的地震分布图和 M_L - T 图 (图3~11), 图中空心圈表示地震震前发生的地震, 实心圈表示震后发生的地震。

分析之前, 需要对银川地区不同时段的地震

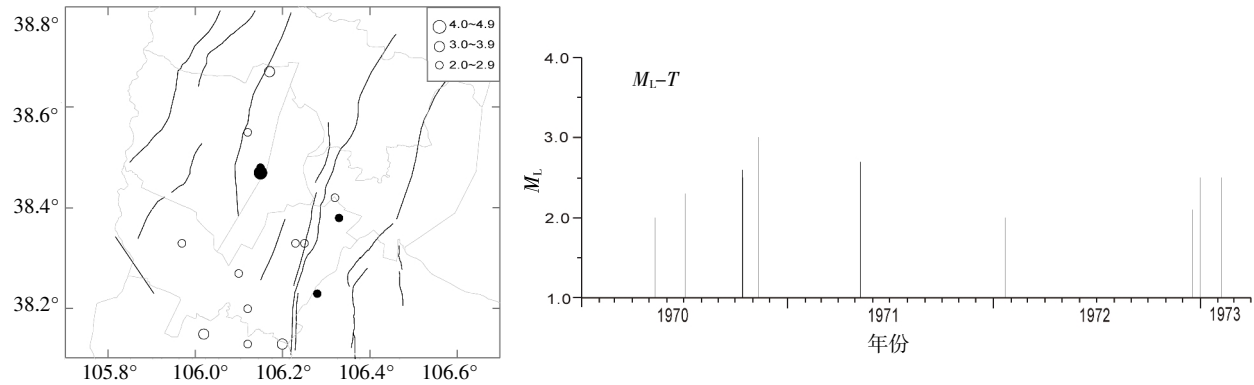


图 3 1972 年 2 月 18 日 银川盆地 M_L 4.0 地震震前 2 年和震后 1 年震中区附近地震分布及相应的 M_L - T 图
Fig.3 Earthquake distribution and M_L - T diagram near the epicentral area 2 years before and 1 year after the M_L 4.0 earthquake occurring in February 18, 1972 in Yinchuan basin

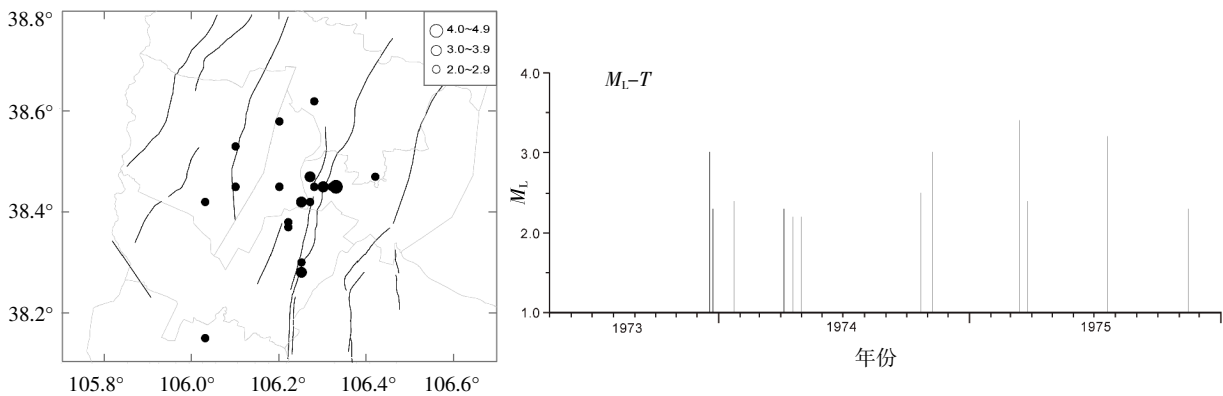


图 4 1973 年 11 月 18 日 银川盆地 M_L 4.0 地震震前半年和震后 2 年震中区附近地震分布及相应的 M_L - T 图
Fig.4 Earthquake distribution and M_L - T diagram near the epicentral area half a year before and 2 years after the M_L 4.0 earthquake occurring in November 18, 1973 in Yinchuan basin

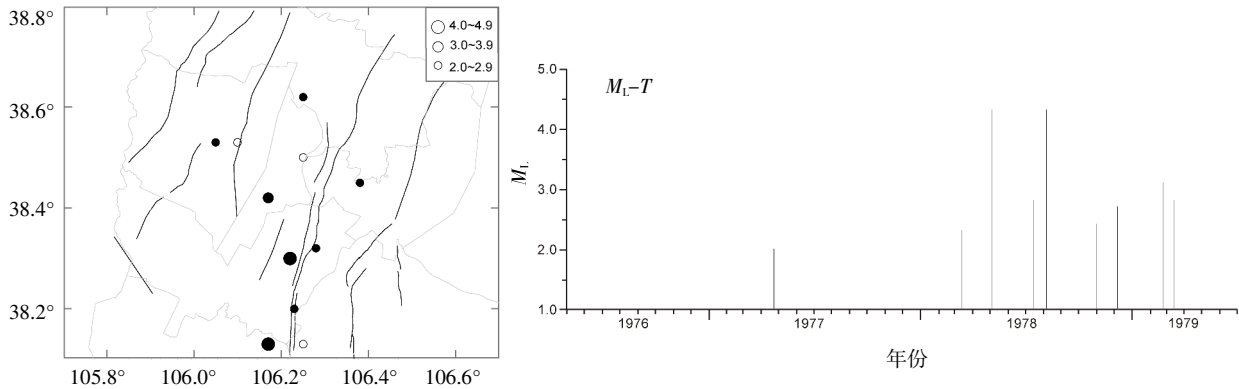


图 5 1978 年 5 月 4 日 银川盆地 M_L 4.3 地震震前 2 年和震后 1 年震中区附近地震分布及相应的 M_L - T 图
Fig.5 Earthquake distribution and M_L - T diagram near the epicentral area 2 years before and 1 year after the M_L 4.3 earthquake occurring in May 4, 1978 in Yinchuan basin

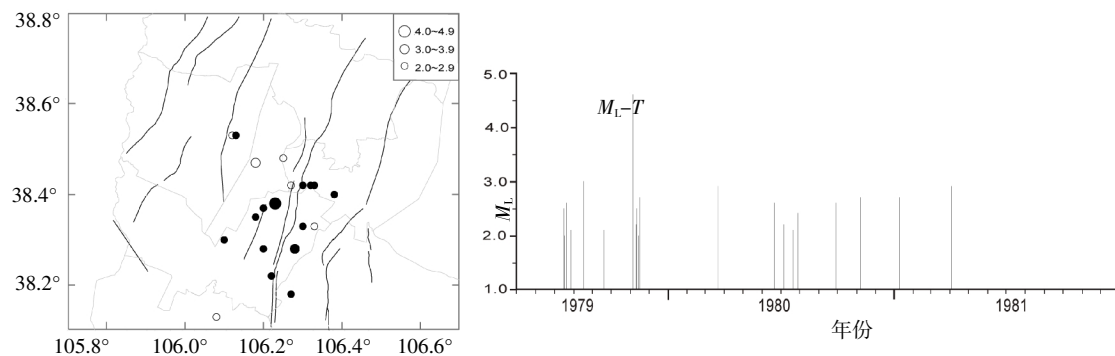


图 6 1979 年 11 月 6 日银川盆地 M_L 4.6 级地震震前半年和震后 2 年震中区附近地震分布及相应的 M_L - T 图

Fig.4 Earthquake distribution and M_L - T diagram near the epicentral area half a year before and 2 years after the M_L 4.6 earthquake occurring in November 6, 1979 in Yinchuan basin

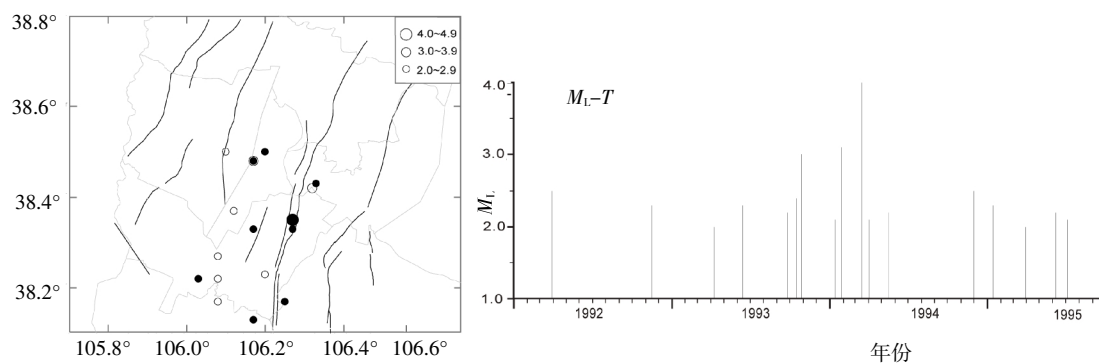


图 7 1994 年 3 月 16 日银川盆地 M_L 4.0 级地震震前 2 年和震后 1 年半震中区附近地震分布及相应的 M_L - T 图

Fig.7 Earthquake distribution and M_L - T diagram near the epicentral area 2 years before and one and half a year after the M_L 4.0 earthquake occurring in March 16, 1994 in Yinchuan basin

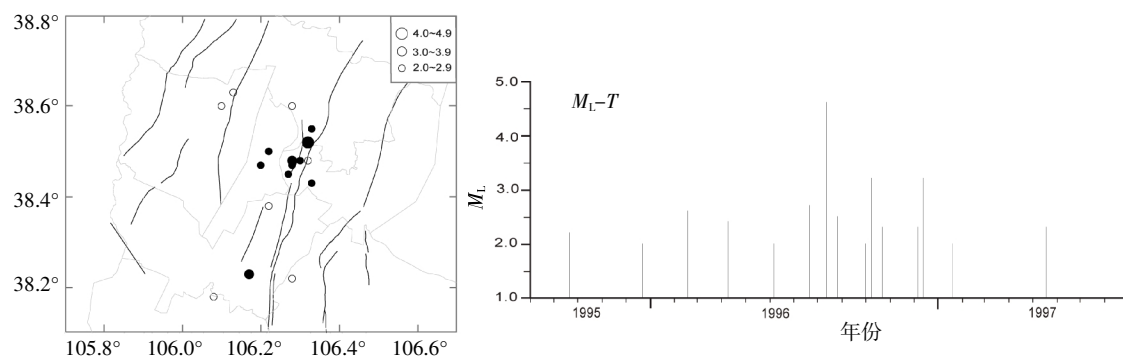


图 8 1996 年 8 月 12 日银川盆地 M_L 4.6 级地震震前 1 年和震后 1 年震中区附近地震分布及相应的 M_L - T 图

Fig.8 Earthquake distribution and M_L - T diagram near the epicentral area a years before and 1 year after the M_L 4.6 earthquake occurring in August 12, 1996 in Yinchuan basin

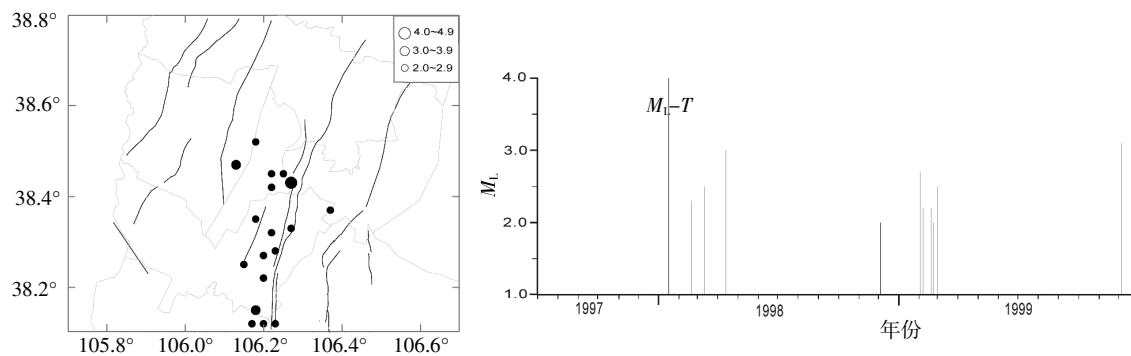


图 9 1998 年 11 月 5 日银川盆地 M_L 4.0 级地震震前半年和震后 2 年震中区附近地震分布及相应的 M_L - T 图

Fig.9 Earthquake distribution and M_L - T diagram near the epicentral area half a year before and 2 years after the magnitude M_L 4.0 earthquake occurring in November 5, 1998 in Yinchuan basin

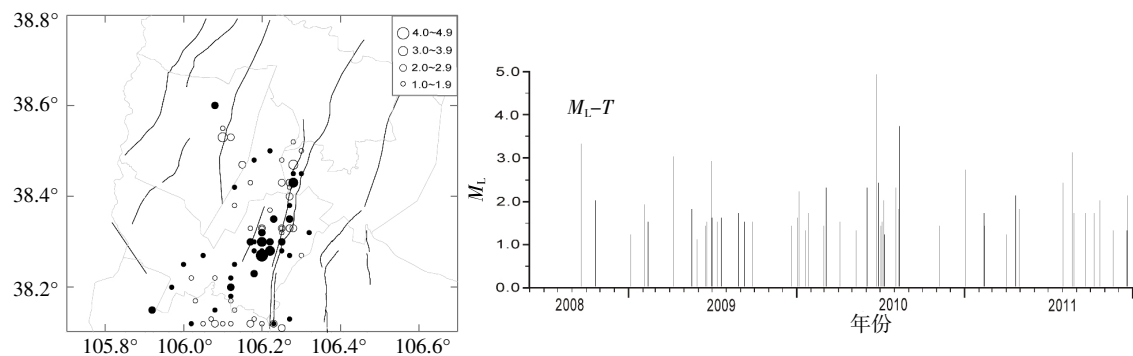


图 10 2010 年 6 月 22 日银川盆地 M_L 4.9 级地震震前 2 年和震后 1 年半震中区附近地震分布及相应的 M_L - T 图

Fig.10 Earthquake distribution and M_L - T diagram near the epicentral area 2 years before and one and half a year after the M_L 4.9 earthquake occurring in June 22, 2010 in Yinchuan basin

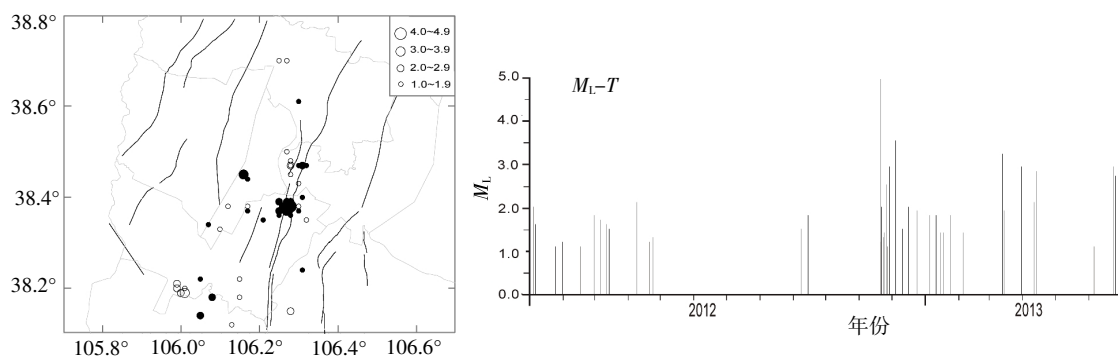


图 11 2012 年 11 月 20 日银川盆地 M_L 4.9 级地震震前 1 年和震后 1 年半震中区附近地震分布及相应的 M_L - T 图

Fig.11 Earthquake distribution and M_L - T diagram near the epicentral area 1 year before and one and half a year after the M_L 4.9 earthquake occurring in November 20, 2012 in Yinchuan basin

监控能力简要说明一下: 2008 年之前, 宁夏地区布设地震台站较少, 尤其是 2003 年之前模拟测震台站运行期间, 银川地区 M_L 2.0 级以下地震基本无法交出震中位置; 宁夏“十五”期间数字化测震台站增设至 13 个, 同时将邻省测震台站并入宁夏台网, 该地区地震监控能力明显提升; 从 9 次事件的 M_L - T 图(图 3~11)可以看出, 该地区 1970 年以来 M_L 2.0 级以上地震基本可以交出震中。因此, 为了具有可比性, 分析时主要针对 M_L 2.0 以上地震进行分析。再结合 M_L - T 图形态变化, 此处重点分析震前半年和震后 3 个月的地震发展情况。

(1) 震前半年, 主震震中区附近存在 M_L 2 级以上地震不发生、发生一次(后文简称单发)和发生多次(后文简称多发)三种情况, 每种情况对应的 M_L 4 级地震分别为 2 次、3 次和 4 次; 对于单发和多发的情况, 震前的小震基本发生于主震周围区域, 与主震位置有一定的距离, 与主震发生时间间隔为 1~6 个月不等; 4 次多发的情况中, 震前小震均未出现空间集中现象, 3 次震前小震也未出现时间集中现象, 1979 年 M_L 4.6 级地震前小震出现了时间集中现象。

(2) 震后 3 个月, 多数地震的震中区附近发

育有 M_L 2 级以上余震, 且余震强度发展存在起伏; 1972 年 M_L 4.0 级地震后无 M_L 2 级以上余震发生, 1978 年 M_L 4.3 级地震后 3 个月在该地震南 20 km 处发生了青铜峡 M_L 4.3 级地震。

2.2 余震序列参数研究

不同的方法选取的余震序列时空范围不同^[4~6]。本文从陈凌等^[6]提出的余震空间尺度与断层长度的关系出发, 并考虑到 I 类定位精度 ≤ 5 km 和 II 类定位精度 ≤ 15 km 以及余震序列主要沿断层走向北北东向展布的实际情况, 结合 C-S 法^[4]删除余震的时间窗(22~42 d)和实际的 M_L - T 图(图 3~11), 笔者将余震序列垂直于断层方向的空间尺度定为 II 类定位误差最大值 15 km, 沿断层方向的空间尺度定为 20 km, 划定在一椭圆范围内, 时间尺度扩展为 3 个月。需要说明的是此处余震序列分析采用的时空尺度较 2.1 中要小。

首先统计每次主震的最大余震、最大余震与主震震级差、最大余震与主震时间间隔和最大余震与主震间距离。表 1 中结果显示, 除两次地震无余震记录之外, 其余 7 次地震最大余震与主震震级差分布在 0.9~2.1 范围内, 比较分散; 最大余

震与主震时间间隔从 1~55 d 不等, 跨度较大; 最大余震与主震间距离分布也无优势分布。因此, 每次主震后最大余震的分布特点不尽相同, 似乎每次事件的独立性比较强。

考虑到余震序列记录的完整性, 本文仅计算 2010 和 2012 年两次 $M_L4.9$ 级地震的余震序列 b 值^[7]、

h 值^[8]、 U 值^[9]和 K 值^[10](表 2)。地震序列参数计算结果显示两次地震综合判定均为非前兆震群, 这与实际情况也相符。

2.3 主震震源机制分析

宁夏及邻区地下主要动力源为青藏块体北东

表 1 1970 年以来银川地区 9 次 $M_L\geq 4.0$ 级地震最大余震统计情况

Table 1 Statistics of the biggest aftershock of 9 earthquakes with $M_L\geq 4.0$ in Yinchuan region since 1970					
日期	震级/ M_L	最大余震/ M_L	最大余震与主震震级差	最大余震与主震时间间隔/d	最大余震与主震距离/km
1972-02-18	4.0	无			
1973-11-18	4.0	3.1	0.9	1	0
1978-05-04	4.3	无			
1979-11-06	4.6	2.7	1.9	10	13
1994-03-16	4.0	2.1	1.9	17	9
1996-08-12	4.6	2.5	2.1	13	6.5
1998-01-15	4.0	2.5	1.5	55	2.7
2010-06-22	4.9	3.7	1.2	51	2
2012-11-20	4.9	3.5	1.4	14	13

表 2 银川地区 2 次 $M_L\geq 4.0$ 级地震序列参数计算结果

Table 2 Calculation result of earthquake sequence parameters of 2 earthquakes with $M_L\geq 4.0$ in Yinchuan region						
日期	震级/ M_L	b 值 (及判据)	h 值 (及判据)	U 值 (及判据)	K 值 (及判据)	综合判定结果
2010-06-22	4.9	0.483 2	1.2	0.845 5	0.044 7	非前兆震群
		($b\leq 0.65$ 为非前兆震群)	($h\geq 1$ 为非前兆震群)	($U>0.5$ 为前兆震群)	($K\leq 0.7$ 为非前兆震群)	
2012-11-20	4.9	0.520 1	1.0	0.084 1	0.024 8	非前兆震群
		($b\leq 0.65$ 为非前兆震群)	($h\geq 1$ 为非前兆震群)	($U\leq 0.5$ 为非前兆震群)	($K\leq 0.7$ 为非前兆震群)	

向推挤作用。在该作用力下, 鄂尔多斯块体东移并逆时针旋转, 在银川盆地形成东西向拉张与南北向断层的右旋走滑。已有研究结果^[3,11-14]证明了这一点。银川盆地东西两侧各分布有一条活动断裂, 东界为近南北向的黄河-灵武断裂, 西界由贺兰山东麓北北东向断裂所控制, 前者表现为高角度西倾的右旋走滑兼正断属性, 后者表现为高角度南东倾的正断属性。盆地内发育有西倾的银川隐伏断裂和东倾的芦花台隐伏断裂两条规模较大的北北东向断裂和一系列次级断裂(图 1), 并都表现为右旋走滑兼正断属性。

1972—1998 年银川地区 7 次 M_L 4 级地震的震源机制解采用李孟銮等^[15]和赵知军等^[16]的计算结果, 2010 和 2012 年两次 M_L 4.9 级地震震源机制解采用 CAP 方法^[17,18]反演得到, 反演结果显示震源机制解在一定深度范围内比较稳定。其中 1972 年 2 月 18 日银川 M_L 4.0 级地震震中位置偏离银川隐伏断裂发生于芦花台隐伏断裂东侧, 该地震震源机

制解显示发震断层为正走滑错动, 走向近南北, 倾向东, 倾角 60°, 均与芦花台隐伏断裂的属性一致。图 1 中其余 8 次地震的震源机制解结果显示, 发震断层走向均为北北东向; 震源错动类型有 4 种, 走滑错动类型 1 次, 正断错动类型 1 次, 逆走滑错动类型 3 次, 正走滑错动类型 3 次; 走滑方向均表现为右旋走滑; 断层倾角均较大。以上震源机制反映的震源断层走向、倾角、右旋滑动方向、走滑错动类型和带正断分量均与银川隐伏断裂存在较好的一致性, 由此也说明几次地震同属规模较大的银川隐伏断裂的可能性, 而错动类型中带有逆冲分量, 且地震震级不大, 或许与银川隐伏断裂附近发育的一系列次级断裂有关。

3 结论与讨论

针对 1970 年以来银川地区丛集发生的 M_L 4 级地震, 笔者通过开展主震震前小震与震后余震分布特征、余震序列参数计算和震源机制解方面的

研究,对这些地震的活动特征有了一些初步认识:

(1) 1970 年以来该地区 M_L 4 级地震在时间上 3 次丛集,成丛时间间隔比较均匀,为 12~14 年;而成丛持续时间不等,前两次分别为 8 年和 4 年,最后一次截至目前持续时间仅 3 年;由于最后一次丛集地震为两次 M_L 4.9 级地震,活动强度较强,或许意味着此次丛集地震已经结束。

(2) 综合来看,银川地区 9 次 M_L 4 级地震的震前和震后时空分布特征不尽相同,震前震中区附近有的有地震记录,有的无地震记录,有的余震发育,有的余震不发育。由此说明,9 次地震的震前时空分布状态之间没有共性存在,震后同样没有共性存在,即每次地震的发生均具有一定的独立性,发震特点各不相同,这也从侧面反映了几次地震的发生是局部应力调整的结果,而非应力一直处于累积状态。因此,银川盆地 M_L 4 级地震的发生对该区域是否会发生大震没有震兆意义,这一点也为 M_L 4 级地震发生后的地震趋势判定提供了依据。

(3) 考虑到余震序列记录的完整性,本文仅计算了最后两次 M_L 4.9 级地震的余震序列参数,结果均显示为非前兆震群,这一点与实际情况相符。

(4) 主震震源机制解结果显示几次地震的发震断层主要属于银川隐伏断裂,同时存在与该断裂附近的一系列次级断裂有关的可能性。

综上所述可知,随着时间的推移,银川隐伏断裂依旧可能发生 M_L 4 级有感地震,而发震方式可能为断裂带上填充的方式,并且对该区域是否会发生大震没有震兆意义,这点认识也为该区域再次发生 M_L 4 级地震后的地震趋势判定提供了依据。本文得到的认识尚浅,如果要推测更多的可能,则需要积累更多的资料和做进一步的细致工作。

参考文献:

- [1] 何开明,孟广魁,班铁,等.用地脉动研究银川沉积地层的地震波放大特性[J].西北地震学报,1999,21(4):383-388.
- [2] 景立平,卓旭场,王祥建.复杂场地对地震波传播的影响[J].地震工程与工程震动,2005,25(6):16-23.
- [3] 柴炽章,孟广魁,马贵仁.银川市活动断层探测与地震危险性评价[M].北京:科学出版社,2011.
- [4] Console R, Gasparini, C, Simoni B De, et al. Preambolo al Catalogo Sismico Nazionale (CSN), I criteri di informazione del CSN[J]. Pnali Geofis., 1979, 32: 37-77.
- [5] Keilis-Borok V I, Knopoff L. Bursts of aftershock of strong earthquakes[J]. Nature, 1980, 283 (P5744): 259-263.
- [6] 陈凌,刘杰,陈颢,等.地震活动性分析中余震的删除[J].地球物理学报,1998,41(增刊):244-252.
- [7] 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.
- [8] 刘正荣,孔昭磷.地震频度衰减与地震预报[J].地震研究,1986,9(1):1-12.
- [9] 陆远忠,宋俊高,戴维乐.一个判断震情的指标——震群的 U 值[J].地震学报,1984,6(增刊):509-523.
- [10] 朱传镇,王林瑛.震群信息熵异常与地震预报[C]//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.北京:学术书刊出版社,1989.
- [11] 张维歧,廖玉华,潘祖寿,等.初论贺兰山前洪积扇断层陡坎[J].地震地质,1982,4(2):32-34.
- [12] 廖玉华,潘祖寿.宁夏红果子沟长城错动新知[J].地震地质,1982,4(2):77-79.
- [13] 廖玉华,柴炽章,张文孝,等.灵武断裂晚第四纪活动特征及位移速率[J].中国地震,2000,16(2):158-165.
- [14] 柴炽章,廖玉华,张文孝,等.灵武断裂晚第四纪古地震及其破裂特征[J].地震地质,2001,23(1):15-23.
- [15] 李孟奎,赵知军.宁夏地区现代构造应力场及其与地震活动的关系[J].地震研究,1986,9(3):299-314.
- [16] 赵知军,刘秀景.宁夏及邻区地震活动带与小区域构造应力场[J].地震地质,1990,12(1):31-46.
- [17] Zhao L S, Helmberger D V. 1994. Source estimation from broadband regional seismograms [J]. Bull. Seis. Soc. Amer., 84 (1): 91-104.
- [18] Zhu L P, Helmberger D V. 1996. Advancement in source estimation techniques using broadband regional seismograms[J]. Bull. Seis. Soc. Amer., 86 (5): 1634-1641.