

Characteristic of Seismic Activity of Earthquakes with $M_L \geq 3.0$ before Earthquakes with $M \geq 5.0$ in Wuzhong-Lingwu of Ningxia

Xinhua Cai, Xuemei Ren

Earthquake Administration of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan Ningxia
Email: 28769949@qq.com

Received: Aug. 20th, 2019; accepted: Sep. 2nd, 2019; published: Sep. 9th, 2019

Abstract

Based on analysis of characteristics of earthquakes with $M_L \geq 3.0$ before earthquakes with $M_L \geq 5.0$ in Wuzhong-Lingwu of Ningxia since 1970, the rule and quantification index of seismic activity of earthquakes with $M_L \geq 3.0$ before these earthquakes with $M \geq 5.0$ in the region are obtained, and this index was used to check activity of earthquakes with $M_L \geq 3.0$ in other time in the region. The results show that this index is suitable for determining the occurrence of earthquakes with $M \geq 5.0$ in the region. The research of this paper would provide important reference for seismic determine and earthquake prediction in this area.

Keywords

Foreshock, Generalized Foreshocks, Quantification Index, Concentration

宁夏吴忠 - 灵武地区5级以上地震前的 $M_L \geq 3.0$ 级地震活动特征

蔡新华, 任雪梅

宁夏回族自治区地震局, 宁夏 银川
Email: 28769949@qq.com

收稿日期: 2019年8月20日; 录用日期: 2019年9月2日; 发布日期: 2019年9月9日

摘要

本文通过对宁夏吴忠 - 灵武地区1970年以来几次5级以上地震前的 $M_L \geq 3.0$ 级地震活动特征进行分析, 得出了该区域5级以上地震发生前的 $M_L \geq 3.0$ 级地震活动规律和定量化指标, 并应用该指标检查了该区域其它时段的 $M_L \geq 3.0$ 级地震活动情况。结果表明, 该指标适合应用于判定该区域5级以上地震的发生, 本文的研究可为今后该区域的震情判定和地震预测提供重要的参考。

关键词

前震, 广义前震, 定量化指标, 集中

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

宁夏吴忠 - 灵武地区是宁夏北部重要的经济和文化中心, 也是 1950 年以来宁夏中强地震最活跃的地区(马禾青等, 2006), 1950 年以来该区域共发生 7 次 5 级以上地震。这一地区的 5 级以上地震也是宁夏学者研究最多和较深入的[1]-[6], 以上学者对 1971~1988 年的 5 次 5 级以上地震都作了较为深入的震例总结和研究, 1984 年 11 月 23 日灵武 5.3 级地震前宁夏回族自治区地震局作了较好的中期和短期预报[1]。任雪梅等(2017) [7]的研究中总结了该区域 5 级以上地震的前震和广义前震特征, 本文从地震前震和广义前震的角度提取了该区域的 5 级以上地震前 $M_L \geq 3.0$ 级地震活动的定量化指标, 并应用该指标对其它时段的 $M_L \geq 3.0$ 级地震活动情况进行了检验, 期望得到量化的预测指标, 对该区域今后的震情判定提供参考。

2. 研究对象

本文采用宁夏地震目录[8]和宁夏弱震目录 NXNX2, 主要由于全国弱震目录 China2 中 1971 年 6 月 28 日吴忠 5.1 级地震、1984 年 11 月 23 日灵武 5.3 级地震和 1987 年 8 月 10 日灵武 5.5 级地震前的 $M_L \geq 3.0$ 级地震资料有缺失, 因此本文采用宁夏地震目录和宁夏弱震目录 NXNX2。1950 年以来宁夏及邻区共发生 5.0 级地震 7 次, 表 1 给出了这 7 次地震的参数, 由于 1962 年 12 月 7 日和 18 日两次 5.5 级地震前弱震资料不全, 因此研究时段从 1970 年开始。1988 年 1 月 4 日灵武 5.5 级地震和 1988 年 1 月 10 日灵武 5.0 级地震为双震, 可视为一次地震事件, 因此本文仅分析 1988 年 1 月 4 日灵武 5.5 级地震前的 $M_L \geq 3.0$ 级地震活动特征。

3. 前震和广义地震的特征

3.1. 1971 年 6 月 28 日吴忠 5.1 级地震的前震

从图 1 可以看出, 1971 年 6 月 28 日吴忠 5.1 级地震前半年吴忠 - 灵武地区 $M_L \geq 3.0$ 级地震分布在主震方向呈北东向分布, 共发生 12 次 $M_L \geq 3.0$ 级地震, 4 次 $M_L \geq 4.0$ 级地震; 随着主震发生的临近, 震中区 $M_L \geq 3.0$ 级地震发生的时间间隔越来越小, 地震震级越来越大; 4 月 8 日发生的吴忠 $M_L 4.2$ 级地震后

该区域 $M_L \geq 3.0$ 级地震平静了 2 个月, 6 月 10 日发生了最大震级为 M_L 4.2 级地震的前兆性震群, 6 月 28 日就发生了主震, 该震群中的 3 次 $M_L \geq 4.0$ 级地震是 28 日 5.1 级地震的信号震([9]即前震)。

Table 1. Parameters of $M \geq 5.0$ earthquakes in Lingwu-Wuzhong of Ningxia since 1970

表 1. 1970 年以来宁夏灵武 - 吴忠地区发生的 5.0 级以上地震及参数

序号	年月日	纬度	经度	震级	地点
1	1963/12/7	38.12	106.27	5.5	灵武 - 吴忠
2	1963/12/18	38.03	106.18	5.5	灵武 - 吴忠
3	1971/6/28	37.75	106.20	5.1	宁夏吴忠
4	1984/11/23	38.07	106.22	5.3	宁夏灵武
5	1987/8/10	38.05	106.28	5.5	宁夏灵武
6	1988/1/4	38.07	106.27	5.5	宁夏灵武
	1988/1/10	37.98	106.27	5.0	宁夏灵武

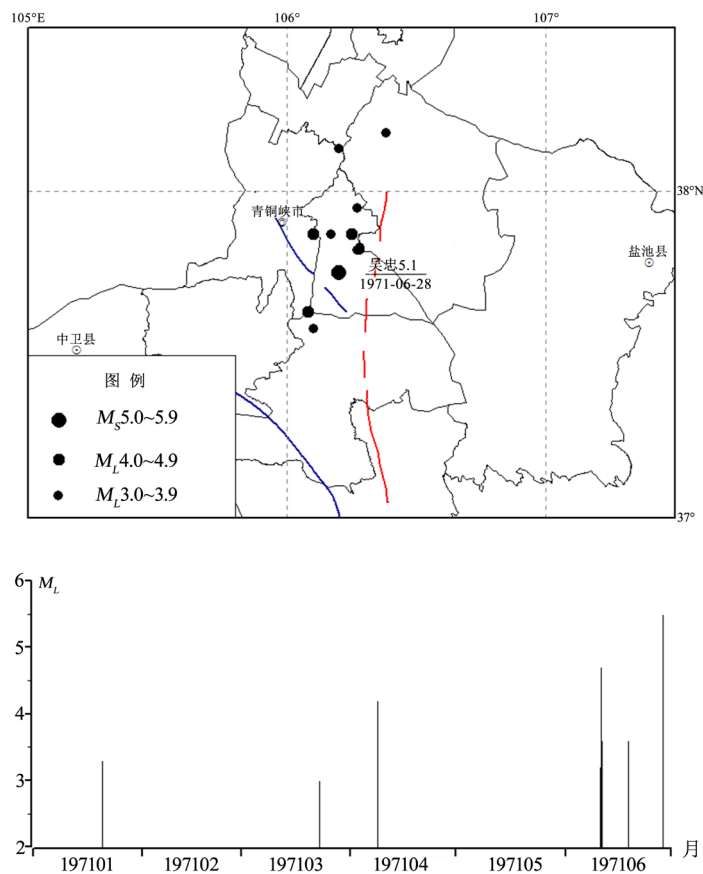


Figure 1. Epicentre distribution and M - t map of earthquakes with $M_L \geq 3.0$ in Wuzhong and Lingwu from January 1-June 28, 1971

图 1. 1971 年 1 月 1 日至 6 月 28 日吴忠 - 灵武地区的 $M_L \geq 3.0$ 级地震震中分布和 M - t 图

3.2. 1984 年 11 月 23 日灵武 5.3 级地震的前震

1982 年 7 月至 12 月吴忠 - 灵武地区 $M_L \geq 3.0$ 级地震分布较分散, 1983 年该区域没有发生 $M_L \geq 3.0$

级地震(图 2(a)), 1984 年 1 月 1 日至 11 月 23 日 $M_L \geq 3.0$ 级地震向主震震中聚集, 主要分布在距离主震 20 km 范围内(图 2(b)), 因此以该时段开始统计地震前兆异常。从 1984 年 1 月至 11 月 23 日主震前起, 震中区共发生 8 次 $M_L \geq 3.0$ 级地震, 2 次 $M_L \geq 4.0$ 级地震; 随着主震发生的临近, 震中区 $M_L \geq 3.0$ 级地震发生的时间间隔越来越小, 地震震级越来越大; 10 月 26 日 M_L 4.4 级地震和 11 月 23 日 M_L 4.8 级地震是该 5.3 级地震的前震, 11 月 23 日 M_L 4.8 级地震距离主震仅 3 km, 发生后 6 秒就发生了主震。

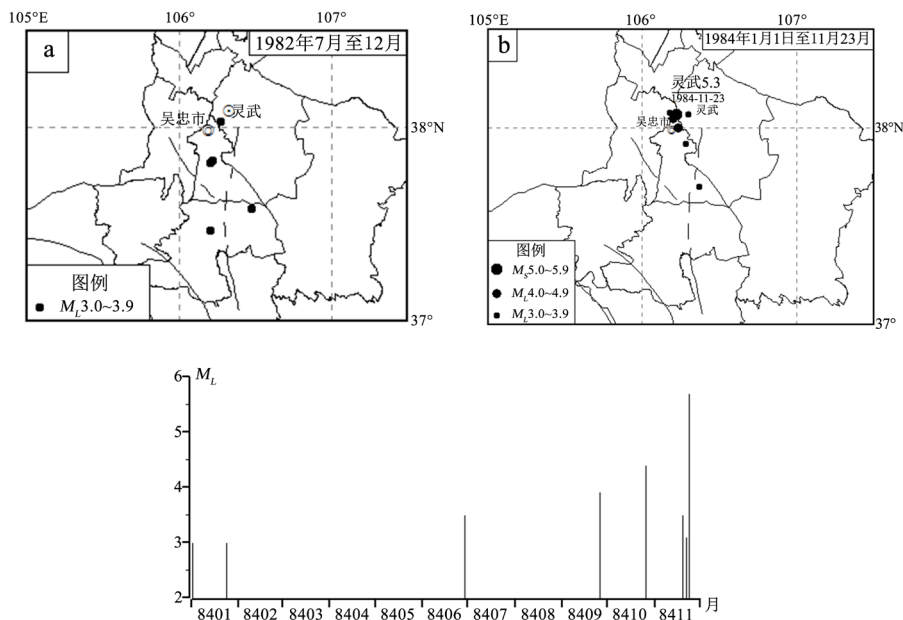


Figure 2. Epicentre distribution and M - t map of earthquakes with $M_L \geq 3.0$ in Wuzhong and Lingwu before the 5.3 Lingwu earthquake on November 23, 1984

图 2. 1984 年 11 月 23 日灵武 5.3 级地震前吴忠 - 灵武地区的 $M_L \geq 3.0$ 级地震震中分布图和 M - t 图

3.3. 1987 年 8 月 10 日灵武 5.5 级地震的前震

1986 年 1 月至 6 月吴忠 - 灵武地区 $M_L \geq 3.0$ 级地震分布较分散, 仅发生了 3 次 $M_L \geq 3.0$ 级地震; 1986 年 6 月 29 日至 11 月 13 日该区域没有发生 $M_L \geq 3.0$ 级地震(图 3(a)); 1986 年 11 月 14 日至 1987 年 8 月 10 日 $M_L \geq 3.0$ 级地震震中较集中, 主要分布在距离主震 16 km 范围内, 因此以 1986 年 11 月开始统计分析(图 3(b))。1986 年 11 月至 1987 年 8 月主震前起, 震中区共发生 7 次 $M_L \geq 3.0$ 级地震, 1 次 $M_L \geq 4.0$ 级地震; 主震前 $M_L \geq 3.0$ 级地震主要发生在两个时段: 1986 年 11 月和 1987 年 6 月至 8 月, 1986 年 11 月发生 3 次 $M_L \geq 3.0$ 级地震后, 并未发生 5.0 级地震, $M_L \geq 3.0$ 级地震平静 7 个月后又发生了 4 次 $M_L \geq 3.0$ 级地震, 1 次 $M_L \geq 4.0$ 级地震, 7 月 4 日 M_L 4.0 级地震发生后一个月发生了主震, 因此 7 月 4 日 M_L 4.0 级地震是该地震的前震。

3.4. 1988 年 1 月 4 日灵武 5.5 级地震的前震

吴忠 - 灵武地区 1987 年 8 月 10 日灵武 5.5 级地震后两个月内发生 $M_L \geq 3.0$ 级余震 15 次(图 4), 而 1987 年 10 月 1 日至 1988 年 1 月 4 日灵武 5.5 级地震之前没有发生 $M_L \geq 3.0$ 级地震, 而该区域其它的 5 级以上地震后 2~5 个月内都有 $M_L \geq 3.0$ 级余震发生(表 2), 因此这 3 个月没有发生 $M_L \geq 3.0$ 级地震是 1988 年 1 月 4 日灵武 5.5 级地震的震前异常, 该特征为今后判定该地区 5.0 级地震后半年内会不会再次发生 5.0 级以上地震提供了参考。

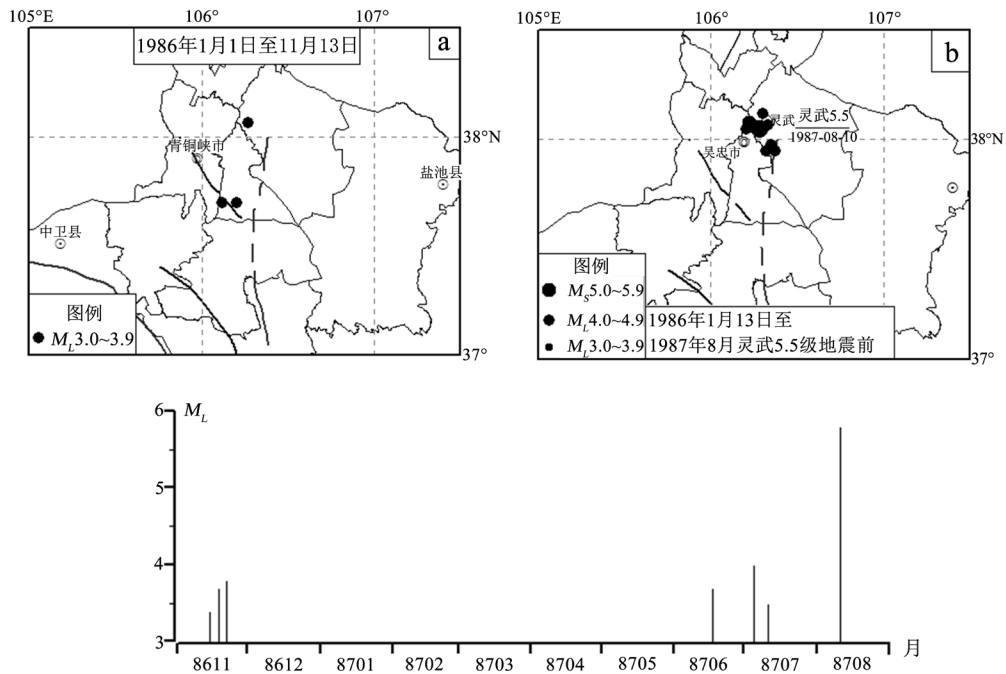


Figure 3. Epicentre distribution and $M-t$ map of earthquakes with $M_L \geq 3.0$ in Wuzhong and Lingwu before the 5.5 Lingwu earthquake on August 10, 1987

图 3. 1987 年 08 月 10 日灵武 5.5 级地震前吴忠 - 灵武地区的 $M_L \geq 3.0$ 级地震震中分布图和 $M-t$ 图

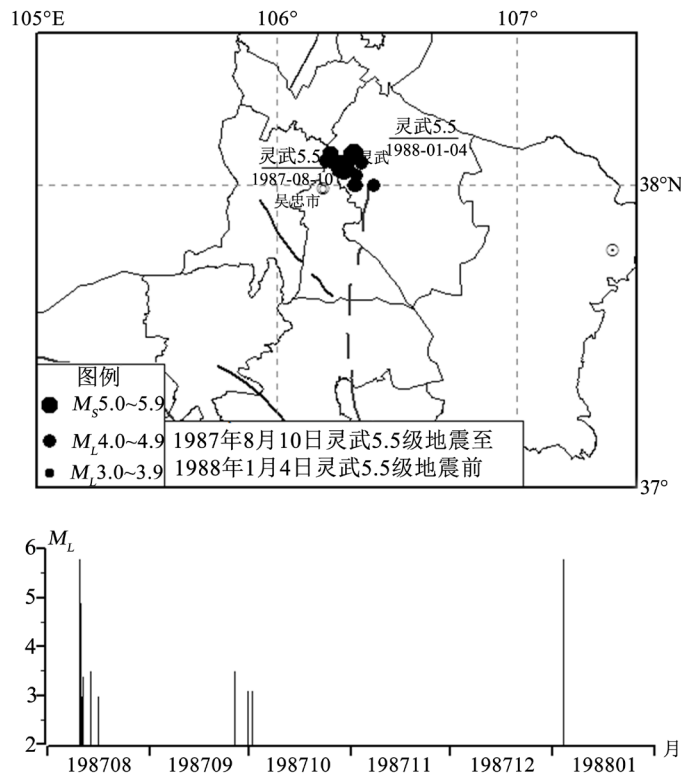


Figure 4. Epicentre distribution and $M-t$ map of earthquakes with $M_L \geq 3.0$ in Wuzhong and Lingwu before the 5.5 Lingwu earthquake on January 4, 1988

图 4. 1988 年 01 月 4 日灵武 5.5 级地震前吴忠 - 灵武地区的 $M_L \geq 3.0$ 级地震震中分布图和 $M-t$ 图

Table 2. Number of aftershocks ($M_L \geq 3.0$) after $M \geq 5.0$ earthquakes in Lingwu-Wuzhong of Ningxia since 1970
表 2. 1970 年以来吴忠 - 灵武 5.0 级以上地震后的余震($M_L \geq 3.0$)数目

序号	年月日	地点 / 震级	主震后 2 个月内	2~5 个月
1	1971/6/28	宁夏吴忠 5.1	14	1
2	1984/11/23	宁夏灵武 5.3	4	5
3	1987/8/10	宁夏灵武 5.5	15	0
4	1988/1/4	宁夏灵武 5.5	8	7

3.5. 小结

从以上震例可以总结出以下几点:

1) 吴忠 - 灵武地区 5.0 级地震前存在震中区 $M_L \geq 3.0$ 级地震的集中发生, 即显著的广义前震, 随着主震发生的临近, 震中区 $M_L \geq 3.0$ 级地震发生的时间间隔越来越小, 地震震级越来越大, 该现象出现的时间为 6~11 个月。

2) 1971 年吴忠 - 灵武 5.1 级地震、1984 年灵武 5.3 级地震和 1987 年灵武 5.5 级地震前震中区 $M_L \geq 3.0$ 级地震的半年频次分别为 12、4.4 和 4.6, 主震前 2 个月都发生了 $M_L \geq 4.0$ 级地震, $M_L \geq 4.0$ 级地震的发生是信号震(前震), 出现的数目为 1~4。

简而言之, 在吴忠 - 灵武地区半年内 $M_L \geq 3.0$ 级地震集中发生在 20 km 范围内, $M_L \geq 3.0$ 级地震达到 4 次以上, 且有 $M_L \geq 4.0$ 级地震发生, 2 个月内 5 级以上地震发生的可能性较大。

4. 1965 年以来吴忠 - 灵武地区 $M_L \geq 3.0$ 级地震活动增强时段

从以上分析可以看出, 当吴忠 - 灵武地区 $M_L \geq 3.0$ 级地震活动出现集中发生后, 该区域发生 5 级以上地震的可能性增大。为了检查该结论, 绘制了 1965 年以来吴忠 - 灵武地区 $M_L \geq 3.0$ 级地震半年频次图(删除余震), 剔除 5 级以上地震发生后半年内频次大于 4 的时段(因为 5 级以上地震余震衰减的时间一般为半年), 半年频次大于 5 次的有 5 次(图 5)。分别绘制了这 5 次时段的 $M_L \geq 3.0$ 级地震震中分布图(图 6), 具体分析如下:

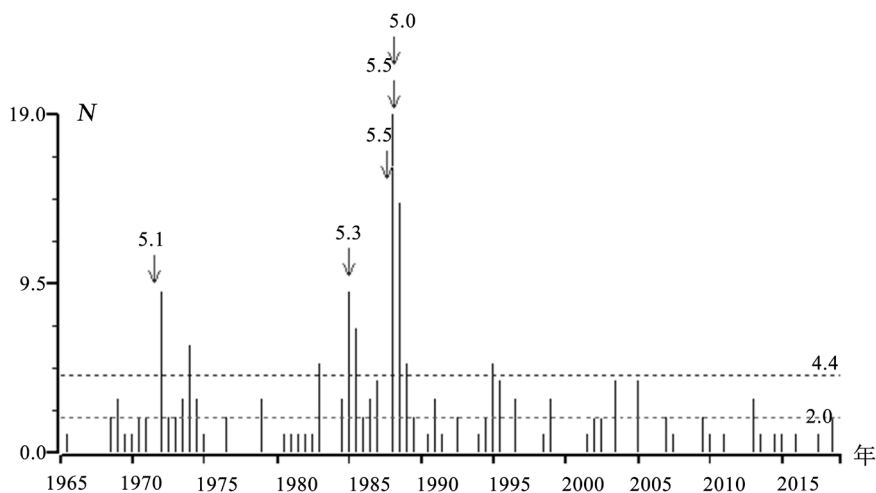


Figure 5. Half-year frequency map of earthquakes with $M_L \geq 3.0$ in Wuzhong and Lingwu since 1965 (after removing aftershocks)

图 5. 1965 年以来吴忠 - 灵武地区的 $M_L \geq 3.0$ 级地震半年频次图(删除余震)

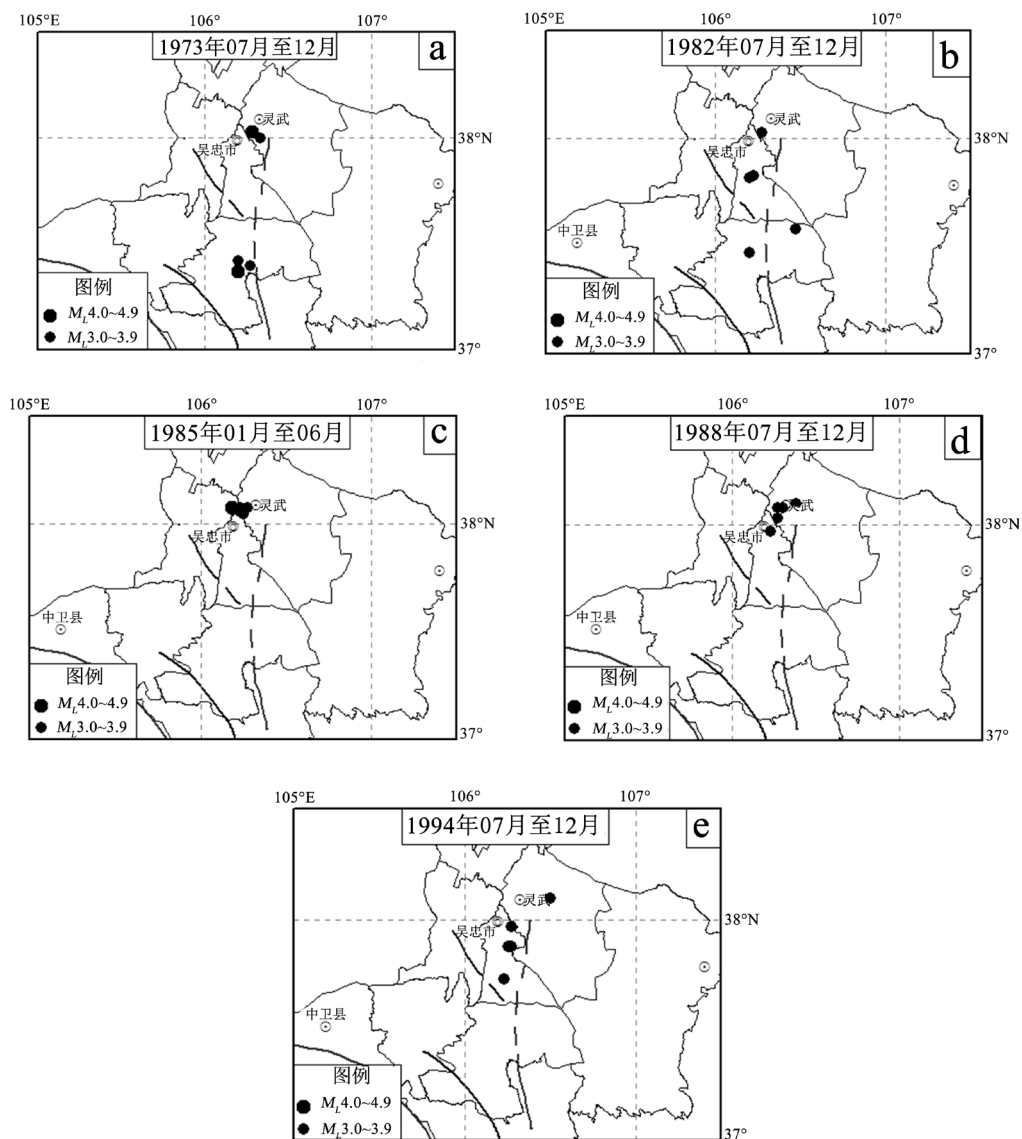


Figure 6. Epicentre distribution of in a period with higher frequency in half a year 5 earthquakes with $M_L \geq 3.0$ in Wuzhong and Lingwu since 1965

图 6. 1965 年以来吴忠 - 灵武地区 5 次 $M_L \geq 3.0$ 级地震半年频次较高时段的震中分布图

从图 6 可以看出, 图 6 中的图 6(a)、图 6(b)和图 6(e)图中的 $M_L \geq 3.0$ 级地震半年频次都大于等于 5 次, 但 $M_L \geq 3.0$ 级地震震中分布不集中, 较分散, 且后两个时段没有发生 $M_L \geq 4.0$ 级地震, 不符合以上条件; 1985 年 1 月至 6 月吴忠 - 灵武地区 $M_L \geq 3.0$ 级地震发生了 7 次, 其中有 6 次发生在 1985 年 1~月, 这 6 次 $M_L \geq 3.0$ 级地震是 1984 年 11 月 23 日灵武 5.3 级地震的余震, 因此该时段可以排除在外; 从图 7 可以看出, 1988 年 1 月灵武地区发生了 2 个 5 级以上地震, 余震衰减时间比一般 5 级以上地震的时间长, 1988 年 8 月至 12 月该区域发生的 $M_L \geq 3.0$ 级地震应属于余震, 因此 1988 年 7 月至 12 月的 $M_L \geq 3.0$ 级地震较高频次是由余震活动造成的, 不属于异常。综合以上分析, 这 5 个时段的 $M_L \geq 3.0$ 级地震高频次活动都不符合前 3 次 5 级以上地震发生前 $M_L \geq 3.0$ 级地震集中发生的情况, 这 5 个时段的高频次后都没有发生 5 级以上地震, 因此表明应用以上分析得到 $M_L \geq 3.0$ 级地震集中活动的定量化指标判定该区域 5 级以上地震的发生是十分准确的。

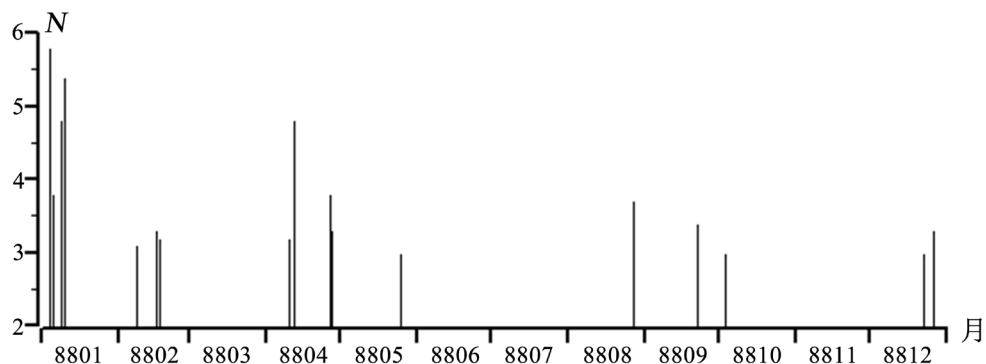


Figure 7. M-t map of the 5.5 Lingwu earthquake on January 4, 1988 and the 5.0 earthquake on January 10, 1988
图 7. 1988 年 1 月 4 日灵武 5.5 级和 1 月 10 日 5.0 级地震的 M-t 图

5. 结论

综合以上分析, 可以得到以下几点:

1) 1965 年以来吴忠 - 灵武地区 5.0 级地震前震中区存在 6~11 个月的 $M_L \geq 3.0$ 级地震的集中发生, 随着主震发生的临近, 震中区 $M_L \geq 3.0$ 级地震发生的时间间隔越来越小, 地震震级越来越大。

2) 量化的指标: 吴忠 - 灵武地区半年内 $M_L \geq 3.0$ 级地震集中发生在 20 km 范围内, $M_L \geq 3.0$ 级地震达到 4 次以上, 且有 $M_L \geq 4.0$ 级地震发生, 2 个月内 5 级以上地震发生的可能性较大。

6. 讨论

1) 通过对 1965 年以来吴忠 - 灵武地区 $M_L \geq 3.0$ 级地震半年频次大于 4 次以上时段的分析得出, 除了前几次 5 级以上地震前 $M_L \geq 3.0$ 级地震活动符合以上量化指标外, 其它时段的 $M_L \geq 3.0$ 级地震活动都不符合以上指标, 表明该指标对于今后该区域判定发生 5 级以上地震具有重要的参考价值。

2) 1995 年至今吴忠 - 灵武地区 $M_L \geq 3.0$ 级地震半年频次大于 4 次没出现过, 因此以上结论有待于在今后该地区地震活动增强时进一步跟踪验证。

基金项目

宁夏回族自治区重点研发计划(科技惠民)“内蒙古阿拉善左旗 5.8 级地震后宁夏北部及邻区地震危险性分析”(项目编号: 2016KJHM135)资助。

参考文献

- [1] 杨明芝, 马禾青, 廖玉华. 宁夏地震活动与研究[M]. 北京: 地震出版社, 2007.
- [2] 马禾青, 任雪梅, 金春华, 盛菊琴. 2003-2004 年吴忠、灵武地区地震活动性分析[J]. 地震研究, 2006, 29(2): 114-117.
- [3] 赵卫明, 李根起, 任庆维. 1987 年 8 月 10 日宁夏回族自治区灵武 5.5 级地震[M]//张肇诚, 主编. 中国震例(1986-1988). 北京: 地震出版社, 1999.
- [4] 赵卫明, 李根起, 任庆维. 1988 年 1 月 4 日宁夏回族自治区灵武 5.5 级地震[M]//张肇诚, 主编. 中国震例(1986-1988). 北京: 地震出版社, 1999.
- [5] 张文孝. 1971 年 6 月 28 日宁夏回族自治区吴忠 5.1 级地震[M]//张肇诚, 主编. 中国震例(1966-1975). 北京: 地震出版社, 1988.
- [6] 张文孝. 1984 年 11 月 23 日宁夏回族自治区灵武 5.3 级地震[M]//张肇诚, 主编. 中国震例(1981-1985). 北京: 地震出版社, 1990.
- [7] 任雪梅, 焦德成, 蔡新华. 宁夏及邻区 $M_S \geq 5.0$ 地震的前震和广义前震特征分析[J]. 中国地震, 2017, 33(1):

91-100.

- [8] 宁夏回族自治区地震局汇编. 宁夏地震目录[M]. 银川: 宁夏人民出版社, 1982.
- [9] 任雪梅, 盛菊琴, 蔡新华. 宁夏及邻区震群的前兆性分析[J]. 中国地震, 2016, 32(4): 738-746.