

# 吴忠灵武地区地震活动特征与灾害分析

罗国富\*, 罗恒之, 许英才

宁夏回族自治区地震局, 宁夏 银川

收稿日期: 2023年7月11日; 录用日期: 2023年8月14日; 发布日期: 2023年8月23日

## 摘要

吴忠灵武地区中强以上地震活动具有频度高和灾害重的特点。本文以2021年7月至8月灵武3.6级震群为例, 分析震群活动特点, 回溯历史震群对应中强以上地震的震例, 以及基于小震精定位结果, 在吴忠灵武地区形成南北向小震剖面的稀疏段, 结合低b值对该区域的危险性判定, 综合分析认为2021年7月灵武震群已经对应2021年11月18日灵武4.0级地震。

## 关键词

吴忠灵武地区, 地震特征, 地震灾害, 危险性分析

# Seismic Activity Characteristics and Disaster Analysis in Wuzhong-Lingwu Area

Guofu Luo\*, Hengzhi Luo, Yingcai Xu

Earthquake Administration of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan Ningxia

Received: Jul. 11<sup>th</sup>, 2023; accepted: Aug. 14<sup>th</sup>, 2023; published: Aug. 23<sup>rd</sup>, 2023

## Abstract

The seismicity above medium intensity in Wuzhong-Lingwu area is characterized by high frequency and heavy disaster. Taking the Lingwu earthquake cluster of magnitude 3.6 from July to August 2021 as an example, this paper analyzes the activity characteristics of the earthquake cluster, recalls the historical earthquake clusters corresponding to earthquakes above moderate

\*通讯作者。

strength, and forms sparse sections of the north-south small earthquake profile in Wuzhong-Lingwu area, based on the fine location of small earthquakes. According to the comprehensive analysis, the July 2021 Lingwu earthquake cluster has corresponded to the Lingwu 4.0 earthquake on November 18, 2021.

## Keywords

Wuzhong-Lingwu Area, Characteristics of Earthquakes, Earthquake Disaster, Hazard Analysis

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

吴忠灵武地区位于银川盆地的南端, 该区主要发育有黄河活动断裂、银川隐伏断裂、新华桥断裂、崇兴断裂和关马湖断裂以及一些次级活动断裂等, 来自青藏块体 NNE 向的推挤作用、阿拉善块体和鄂尔多斯块体相对阻挡, 为上述这些断裂活动提供了动力源。历史上曾发生 1474 年灵武南 5½ 级地震, 1889 年灵武 5 级地震和 1921 年灵武吴忠 6 级地震, 这些地震给灵武市造成巨大的人员伤亡和财产损失。1960 年以来吴忠灵武地区发生破坏性地震 7 次, 分别为 1962 年宁夏灵武 5.4 级和 5.5 级双震, 1971 年宁夏吴忠 5.1 级地震、1984 年宁夏灵武 5.3 级地震、1987 年宁夏灵武 5.5 级地震和 1988 年宁夏灵武 5.5 级和 5.3 级双震地震。吴忠灵武地区 5 级以上地震已平静近 35 年, 远远超过该区域 5 级以上地震的平均复发周期 (10 年左右), 因此吴忠 - 灵武地区是宁夏发生中强以上地震最紧迫最危险的地区之一, 也是 2020~2030 年全国地震重点监视防御区[1]。马禾青[2]研究吴忠灵武地区 5 次 5 级以上地震震例前的地震活动特点, 指出小震活动显著时空集中增加是 5 级以上地震前的短临信号; 许英才[3] [4]进一步研究吴忠灵武地区前震增强现象, 前震震级递增, 尤其震前两个月出现多次  $M_L 4.0$  级以上标志性, 中小地震活动增强集中在 20~30 km 区域范围内是临震现象。曾宪伟[5]研究吴忠灵武的震源机制解, 表明吴忠市新华桥附近存在发生破坏性地震的可能, 且孕震深度较浅, 地震造成的潜在灾害较大。师海阔[6]和董卫国[7]研究吴忠灵武地区的地震尾波 Q 值异常, 李文君[8]研究吴忠灵武地区波速比异常, 以及赵为明[9] [10]研究吴忠灵武的地震精定位和上地壳速度结构, 这些研究结果为吴忠灵武地区震情跟踪和地震趋势预测提供有价值的参考。本文侧重于研究吴忠灵武地区地震活动灾害, 为政府规划城市发展和地震预警提供强有力的依据, 体现以人为本和谐社会的防震减灾方针。

## 2. 吴忠灵武地区地震特征

### 2.1. 吴忠灵武位置

吴忠灵武地区位于银川盆地位和牛首山地区之间(图 1), 由南向北呈现山区到盆地的转换变化, 地质构造变化特征明显, 其中北西向的牛首山断裂和北东向的黄河 - 灵武断裂是其附近的主要断层, 其中牛首山断裂为逆冲型断裂, 而黄河 - 灵武断裂为右旋走滑兼正断的断裂, 1950 年以来 4.5 以上地震的震源机制解表明其主压应力轴主要以水平向或北东向为主, 呈现为北东向相对挤压而北西向相对扩张, 而且大体以吴忠市为界, 两侧区域的震源机制解存在较明显的差异, 至少存在两种以上的不同区域构造。

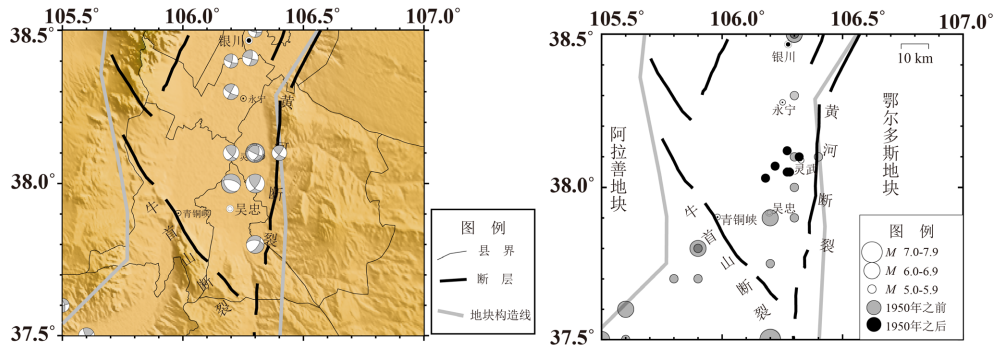


Figure 1. Distribution and focal mechanism of  $M \geq 5$  earthquakes in Wuzhong-Lingwu area

图 1. 吴忠灵武地区 5 级以上地震分布和震源机制解结果

## 2.2. 破坏性地震基本特征

所谓破坏性地震的是指一定时间和一定范围内通常震级为  $M4.7$  级以上地震就具有一定的破坏性。本文主要研究吴忠灵武地区 4.7 级以上破坏性地震，使用的地震资料为中国地震目录[11]、中国地震简目(中国地震简目汇编组, 1988) [12]和中国地震局监测预报司 2023 年组织整编 1900 年以来 5 级以上地震目录为基础，重新梳理了吴忠灵武地区的破坏性地震( $M \geq 4.7$ )目录(表 1)。

Table 1. Destructive earthquakes were recorded in Wuzhong-Lingwu area

表 1. 统计有记录以来吴忠灵武地区破坏性地震

序号	地震时间			位置		震级	震中烈度	参考地名
	年	月	日	纬度	经度			
1	1474	12	11	37.9	106.3	$5\frac{1}{2}$	VII	灵武南
2	1889	09	00	38.1	106.3	$5\frac{1}{4}$	VII	灵武
3	1899	00	00	38.1	106.3	$4\frac{3}{4}$	VI	灵武
4	1921	02	22	38.1	106.3	6	VIII	吴忠灵武间
5	1962	11	06	38.0	106.3	4.8	VI	灵武
6	1962	12	07	38.1	106.3	5.4	VII	灵武西
7	1962	12	18	38.0	106.2	5.5	VII	灵武西
8	1971	06	28	37.9	106.3	5.1	VII	吴忠
9	1984	11	23	38.05	106.30	5.3	VII	灵武
10	1987	08	10	38.11	106.42	5.2	VII	灵武
11	1988	01	4	38.07	106.34	5.5	VII	灵武
12	1988	01	10	38.09	106.36	5.1	VII	灵武

自有记载以来，截止 2022 年 12 月吴忠灵武地区共记录到  $M \geq 4.7$  级的地震 12 次，各震级分档的地震统计数见表 2。统计发现，吴忠灵武地区主要以 5~6 级活动为主，历史上有记载以来最大的地震为 1921

年灵武 6 级地震。破坏性地震主要以主余型和双震型为主，典型的 2 次双震型事件为，1962 年 12 月 7 日灵武发生 5.4 级地震，11 天后，于 1962 年 12 月 18 日灵武又发生 5.5 级地震；另外，1988 年 1 月 4 日灵武发生 5.5 级地震，6 天后，于 1988 年 1 月 10 日灵武又发生 5.1 级地震。目前吴忠灵武地区破坏性地震已经平静 35 年，可能存在发生破坏性地震的背景，因此需要引起重视。

**Table 2.** Statistical table of earthquake frequency

**表 2.** 地震频次统计表

震级	$M_{4.7\sim 4.9}$	$M_{5.0\sim 5.9}$	$M_{6.0\sim 6.9}$	$M_{7.0}$
次数	2	9	1	0

### 2.3. 中小地震活动特征

1970 年以来吴忠灵武地区中小地震在灵武市及其以南十分密集，多数小震密集活动后形成地震震群。吴忠灵武震群往往对应本区域的中强以上地震，但映震效果较差。通常关注该区域的小震突然增多，地震震级是否升级，是否出现  $M_L4$  级以上标志性地震，地震空间是否集中等地震活动特征，下面以 2021 年 7 月灵武震群为例，分析地震活动特征。

### 3. 吴忠灵武地区震群活动

2021 年 7 月 18 日至 8 月 7 日灵武小震突然增多，呈现丛集活动，共记录地震 26 次，其中  $M_L0.0\sim 0.9$  级 4 次， $M_L1.0\sim 1.9$  级 16 次， $M_L2.0\sim 2.9$  级 2 次， $M_L3.0\sim 3.9$  级 4 次，最大地震为 7 月 20 日 02 时 40 分  $M_L3.6$  地震，次大地震分别为 7 月 20 日 03 时  $M_L3.2$  地震，最大地震与次大地震震级差  $\Delta M_L = 0.4$ 。此次灵武小震丛集活动符合震群定义(国家地震局科技监测司[13])，确定为灵武震群事件。

**Table 3.** Correspondence between earthquake clusters and moderate earthquakes in Wuzhong-Lingwu area since 1970

**表 3.** 1970 年以来吴忠灵武地区震群与该区域中强以上地震对应情况

序号	起始时间	次数	最大地震	是否前兆震群	间隔/天	空间间隔/km	对应地震
1	1971-06-10	21	青铜峡 $M_L4.7$	非	18	10	1971-06-28 吴忠 5.1
2	1973-09-25	8	吴忠 $M_L4.3$	非			
3	1984-10-25	11	吴忠 $M_L4.8$	是	31	0	1984-11-23 灵武 5.3
4	1986-11-14	15	吴忠 $M_L3.8$	非	264	10	1987-08-10 灵武 5.3
5	1992-03-09	6	青铜峡 $M_L4.2$	非			
6	1994-11-21	6	吴忠 $M_L3.2$	非			
7	1995-05-21	44	青铜峡 $M_L3.6$	非			
8	2001-02-02	7	吴忠 $M_L2.3$	非			
9	2004-07-30	6	灵武 $M_L4.1$	非			
10	2010-12-17	10	青铜峡 $M_L2.4$	非			

Continued

11	2011-04-21	14	灵武 $M_L$ 2.9	非			
12	2012-09-08	6	青铜峡 $M_L$ 3.0	非			
13	2021-07-18	11	灵武 $M_L$ 3.6	非	123	3	2021-11-18 灵武 4.0

以此次震群中心(106.25°E, 38.02°N)为圆心, 半径 50 km 范围内, 统计 1970 年以来吴忠 - 灵武地区的震群活动与吴忠灵武地区中强以上地震的对应情况(表 3)。1970 年以来共记录到震群 13 次(图 2), 其中 3 次震群后 1 年内对应吴忠 - 灵武地区 5 级以上地震, 有震报准率 23%。根据地震预报效能 R 值评分方法检验:  $R = \text{报对地震数} / \text{应报地震总数} - \text{预报占用时间} / \text{预报研究总时间}$ ,  $R = 0.05$ 。以吴忠 - 灵武震群预报该区域中强以上震例, 报对 3 次, 虚报 10 次, 漏报 1 次(1988 年 1 月 4 日灵武 5.5 级地震), 通过查表可知, 97.5% 置信水平的  $R_0 = 0.556$ ,  $R < R_0$ 。因此灵武地区震群通不过预报效能检验, 震群对吴忠灵武地区 5 级以上地震预测效果较差, 结果对应 2021 年 11 月 18 日灵武 4.0 级地震。

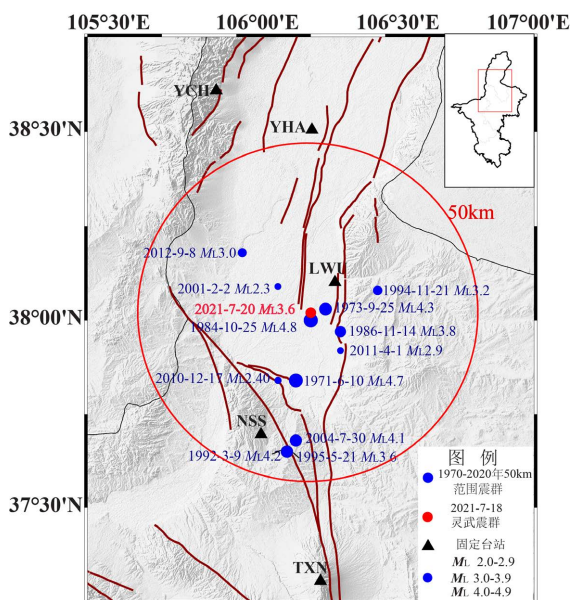


Figure 2. Earthquake swarm events in Wuzhong-Lingwu area since 1970  
图 2. 1970 年以来吴忠灵武地区震群活动事件

#### 4. 吴忠灵武地区 b 值和小震剖面分析

利用 1970 年 1 月至 2022 年 12 月吴忠灵武地区的地震精定位目录, 研究吴忠灵武地区 b 值平面分布图、沿活动断裂的震源深度剖面(图 3(a))和 b 值剖面图(图 3(b))。通过综合分析吴忠灵武地区低 b 值区和震源深度剖面小震稀疏段, 判定中强以上地震的潜在危险性。

图 3 显示, 吴忠灵武地区低 b 值区揭示灵武新华桥武附近存在发生地震的危险性[14], 但强度不大。该区域还存在震源深度剖面的小震稀疏段 3、4 和剖面低 b 值区, 结合吴忠灵武地区古地震和破裂特征[15], 由震级与震源破裂长度的统计关系式, 推断灵武新华桥附近发生最大震级为 5 级左右。2021 年 7 月至 8 月灵武 3.6 级震群发生在小震稀疏段 3 周围, 基于地震空间深度分布, 认为该震群对应了 2021 年 11 月 18 日灵武 4.0 级地震, 后续发生 5 级以上地震的可能性不大。



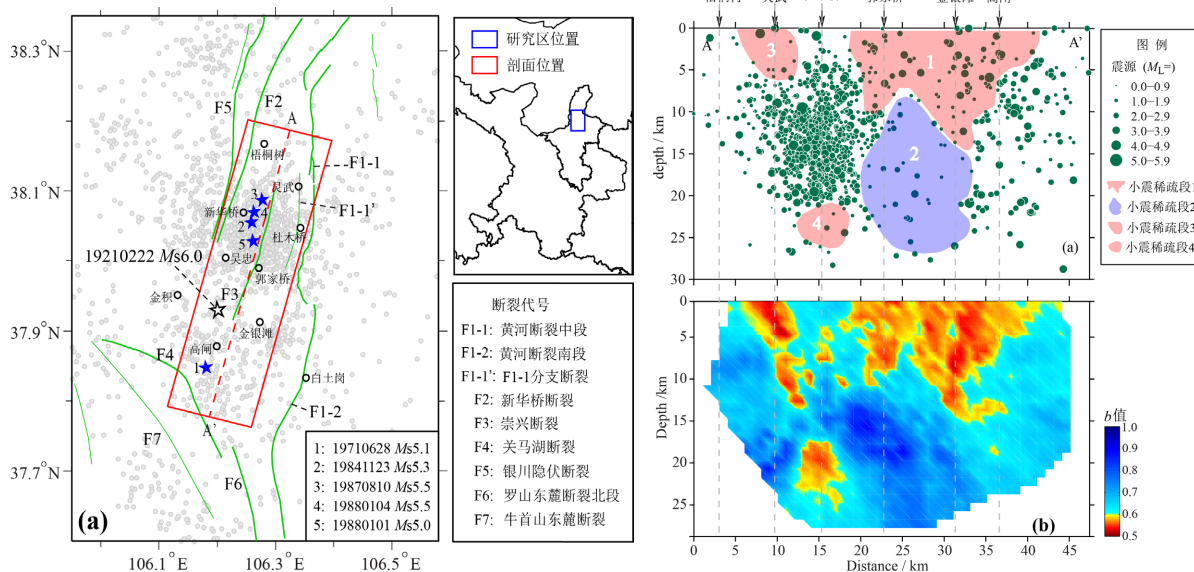


Figure 3. Based on small seismic profile and b value seismic risk region analysis

图 3. 基于小震剖面 and b 值地震危险性区域分析

### 5. 吴忠灵武地震灾害

自 1960 年以来，吴忠灵武地区共发生 5 级以上地震 7 次 6 组(表 4)，这些地震都曾给宁夏人民的生命财产造成过灾害。吴忠灵武地区平均约 10 年左右遇到一次 VI 度的地震灾害。如 1962 年灵武 5.5 级地震后 10 年发生 1971 年吴忠 5.1 级地震，之后 13 年发生 1984 年灵武 5.3 级地震，再之后 13 年发生 1987 年灵武 5.5 级地震。这些地震中，灾害最重为 1987 年 8 月 10 日灵武 5.5 级地震约有 27 万间房屋受到不同程度的破坏和损坏。

Table 4. Devastating earthquake and disaster occurred in Wuzhong-Lingwu area since 1960

表 4. 1960 年以来吴忠灵武地区发生的破坏性地震灾害

序号	时间 (年月日)	震中位置			震级	烈度	震中区震害概况
		$\varphi_N$ (°)	$\lambda_E$ (°)	地点			
1	1962-12-07	38.1	106.3	灵武	5.4	VII	少数破旧房屋倒塌，80%房屋裂缝。
2	1962-12-18	38.0	106.2	灵武	5.5	VII	少数破旧房屋倒塌，一类房屋明显裂缝。
3	1971-06-28	37.9	106.3	吴忠	5.1	VII	房屋普遍受损裂缝，多处喷砂、冒黑水。
4	1984-11-23	38.05	106.30	灵武	5.3	XII <sup>-</sup>	砖基土坯房损坏较多，砖木结构房开裂，地面裂缝。
5	1987-08-10	38.11	106.42	灵武	5.5	XII	约 27 万间房屋受到不同程度的破坏和损坏，倒房 18 间，一人被砸伤，砸死家畜 10 头；发生冒沙和小面积下沉；经济损失约 830 万元。
6	1988-01-04 1988-01-10	38.07 38.09	106.34 106.36	灵武 灵武	5.5 5.1	XII	各类房屋普遍遭受不同程度损伤，墙体开裂折断，少数平房和楼房破坏无法使用，出现喷砂冒水等现象。

注：资料来源为《宁夏地震目录》，部分灾害据宁夏地震局地震考察报告。

## 6. 结论

1) 吴忠灵武地区破坏性地震活动具有频度高、强度低的特点。破坏性地震空间上主要集中在灵武以南,地震类型以主余型和双震型为主,未来几年或者稍长时间灵武新华桥附近存在发生破坏性地震的危险。

2) 2021年7月至8月灵武小震丛集活动,形成灵武3.6级震群,通过对震群参数和震例回溯综合分析,认为该震群对应了2021年11月18日灵武4.0级地震。

3) 利用1970年1月至2022年12月吴忠灵武地区的小震丛集活动的地震精定位,研究沿活动断裂的震源深度剖面,发现小震随深度分布不均匀,存在4个区域的小震稀疏段,这些稀疏段也是低 $b$ 值区。2021年7月至8月震群和2021年11月18日灵武4.0级地震都发生在稀疏段3处,之后,吴忠灵武地震活动相对平静,短时间内发生中强以上地震可能性不大。

## 致 谢

感谢审稿专家和编辑部对本文提出宝贵的修改意见和建议。

## 基金项目

宁夏自然科学基金项目(2021AAC03479; 2021AAC03483)资助。

## 参考文献

- [1] 罗国富,贺永忠,师海阔. 银川盆地有感地震活动特征及其震感强烈原因分析[J]. 防灾减灾学报, 2013, 29(4): 19-24.
- [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] 许英才,曾宪伟. 吴忠-灵武地区地震活动性和强震危险性分析[J]. 地震科学进展, 2020, 50(10): 1-12.
- [4] 许英才,曾宪伟,罗国富. 2021年吴忠-灵武 $M_L3.6$ 震群重新定位及震源机制研究[J]. 地震科学进展, 2022, 52(6): 251-262.
- [5] 曾宪伟,辛海亮,蔡新华,陈春梅. 利用小震震源机制解研究宁夏北部及邻区构造应力场[J]. 防震减灾学报, 2013(4): 25-30.
- [6] 师海阔,许晓庆,杨学峰,等. 利用剖面浅析吴忠-灵武地区 $Q$ 值分布[J]. 防震减灾学报, 2023, 39(2): 41-46.
- [7] 董卫国. 宁夏灵武-吴忠地区地震尾波前兆特性的初步研究[J]. 西北地震学报, 1991, 13(1): 17-23.
- [8] 李文君,曾宪伟,任雪梅,等. 吴忠-灵武地区 $M_S \geq 5.0$ 地震前波速比变化特征分析[J]. 地震地磁观测与研究, 2022, 43(2): 1-9.
- [9] 赵卫明,金延龙,刘秀景,许文俊. 吴忠、灵武地区地震前的精定位和中强地震的发震构造[J]. 内陆地震, 1998, 12(4): 304-311.
- [10] 赵为明,金延龙,刘秀景,许文俊. 吴忠、灵武地区地壳中上部速度结构[J]. 内陆地震, 1998, 12(3): 256-262.
- [11] 国家地震局监测预报司. 中国地震历史强震目录[M]. 北京:地震出版社, 2005.
- [12] 中国地震简目汇编组. 中国地震简目汇编,中国地震目录(B.C.780-A.D.1986  $M \geq 4.7$ ) [M]. 北京:地震出版社, 1988.
- [13] 国家地震局科技监测司. 地震学分析预报方法程式指南[M]. 北京:地震出版社, 1990.
- [14] 曾宪伟,李文君,马翀之,蔡新华. 基于 $b$ 值分析宁夏吴忠-灵武地区强震危险性[J]. 地震研究, 2021, 44(1): 41-48.
- [15] 柴炽章,廖玉华,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.