

鄂尔多斯北缘6级地震发生特征及未来趋势研究

任雪梅, 李文君

宁夏回族自治区地震局, 宁夏 银川

收稿日期: 2023年7月12日; 录用日期: 2023年8月18日; 发布日期: 2023年8月30日

摘要

文章结合1970年以来鄂尔多斯地块北缘的 $M_L \geq 4.0$ 级地震活动的平静特征和该区域 $M_L \geq 4.0$ 级地震平静打破后 $M_L \geq 3.0$ 级地震分布特征, 对1920年海原8 1/2级地震后鄂尔多斯地块周缘6级以上地震分布和鄂尔多斯地块北缘6级以上地震的时间分布和空间迁移等特征进行了研究, 结果表明鄂尔多斯地块北缘未来有发生6级以上地震的可能性, 且发生在鄂尔多斯地块北缘的西端的可能性较大。

关键词

鄂尔多斯地块北缘, 平静, 空间迁移, 指示地震

Study on Occurrence Characteristics and Future Trend of Earthquakes with $M_S \geq 6.0$ in the North Margin of Ordos

Xuemei Ren, Wenjun Li

Earthquake Administration of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan Ningxia

Received: Jul. 12th, 2023; accepted: Aug. 18th, 2023; published: Aug. 30th, 2023

Abstract

In this paper, the spatial distribution of earthquakes with $M_S \geq 6.0$ after Haiyuan 8 1/2 earthquake in 1920 around the Periphery of the Ordos Block and the time distribution and spatial migration

of earthquakes with $M_S \geq 6.0$ in the Northern Margin of the Ordos Block were studied. Combined with the analysis of the quiet characteristics of earthquakes with $M_L \geq 4.0$ and the distribution characteristics of earthquakes with $M_L \geq 3.0$ after the break of the calm of earthquakes with $M_L \geq 4.0$ in the Northern Margin of the Ordos Block since 1970. The results show in the Northern Margin of the Ordos Block there is the possibility of an earthquake with $M_S \geq 6.0$ in the future. It is more likely to occur at the Western end of the Northern Margin of Ordos Block.

Keywords

The Northern Margin of the Ordos Block, Calm, Spatial Migration, Indicated Earthquake

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

鄂尔多斯地块紧邻青藏高原的一个重要过渡区, 其构造活动、动力学问题和地震活动性特征一直受到地学工作者的关注[1]-[12]。鄂尔多斯地块的现今水平运动状态可以认为是两种运动的叠加: 一种是鄂尔多斯地块本身的逆时针旋转, 另一种是鄂尔多斯地块与中国东部大陆的整体运动, 二者叠加形成了现今鄂尔多斯地块水平运动状态的宏观表现形式[8]。该地块除西南边界为挤压边界外, 四周被共轭剪切拉张带所围限, 东西缘和南北缘分别为右旋和左旋剪切拉张带[6]。多数研究[5] [8] [9] [11]认为, 鄂尔多斯地块自晚新生代以来的运动稳定, 其主要驱动力是来自青藏地块东北缘 NE 向的挤压力, 同时华南地块和燕山地块对其南北边界存在推挤和阻碍作用。鄂尔多斯地块北缘的新构造运动强烈, 新生代沉积厚度可观, 属典型的断陷盆地, 具有发生强烈地震的构造条件, 历史上曾发生过公元前 7 年和公元 849 年两次河套大地震, 近几十年, 中强地震频频发生[13], 成为华北地区第四个地震活动期破坏性地震的主要活动区域之一[14]。

1920 年 12 月海原 8 1/2 级地震后, 鄂尔多斯地块周缘 6.0 级以上地震的活动格局发生明显转变, 北缘成为新的主体活动地区。1970 年以来地块周缘的应变积累释放表明, 2000 年以来地块周缘能量持续积累, 是 1970 年以来能量积累最长的一个时段, 2015 年阿拉善左旗 5.8 级地震后, 地块周缘的能量出现预释放的迹象[15]。该区域 6 级以上地震已经平静 25 年, 2015 年阿拉善左旗 5.8 级地震的发生是否表明该区域未来有发生 6 级以上的地震的危险? 2020 年鄂尔多斯北缘 $M_L \geq 4.0$ 级地震平静 15 年被连续两次打破, 根据以往震例研究, 未来该区域有发生 6 级以上地震的可能, 这是否意味着新一轮的地震活动开始活跃? 本文将结合以往震例分析, 对该区域未来地震趋势做出分析。

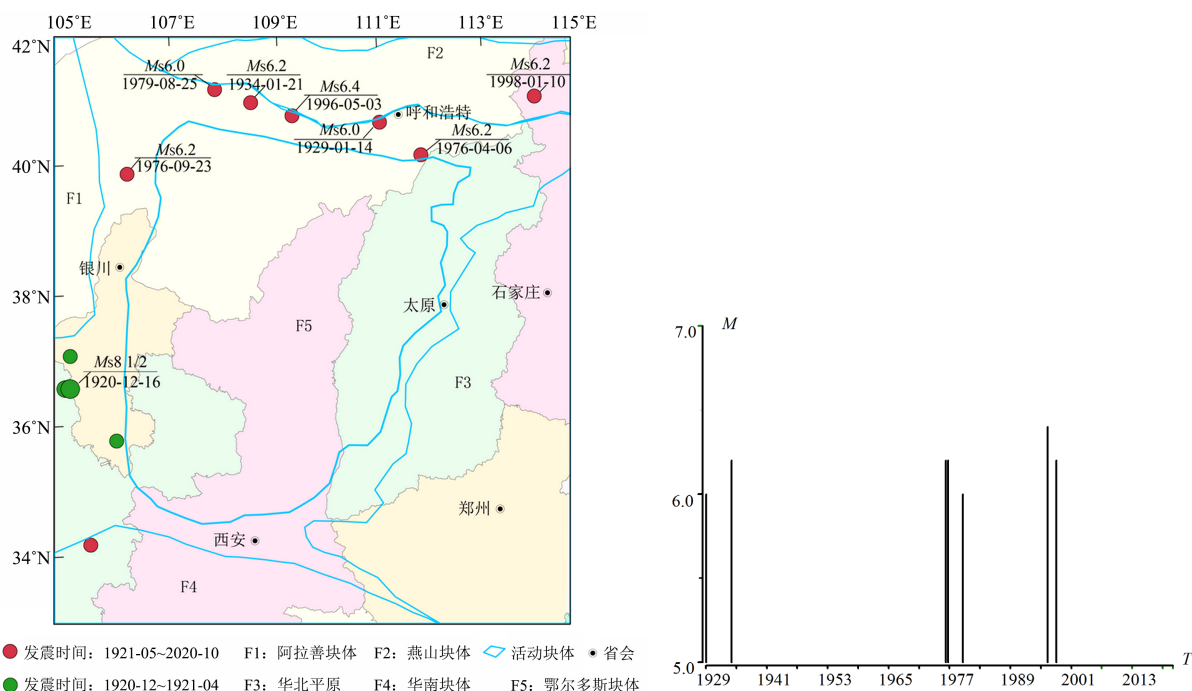
基于以上研究背景, 本文拟结合鄂尔多斯北缘 6 级以上地震前后弱震发生的特征, 分析 6 级地震对邻近的西北缘地区地震活动的影响。

2. 鄂尔多斯北缘 6 级以上地震发生特征

本文使用的《中国强震目录》(1970-01-01~2020-10-31)和《中国弱震目录》(1970-01-01~2020-10-31)由中国地震台网中心提供。对地震目录的最小完整性震级 M_C 的科学评估, 是进行地震活动性和地震危险性分析的重要基础, 1970 年以来鄂尔多斯北缘 $M_L \geq 3.0$ 级地震活动资料记录是完整的。

图 1(左)绘制了研究区周围地块及 1920 年 12 月以来 6 级以上地震震中位置, 从图中可以看出,

1920.12~1921.04 时段即海原 8 1/2 级地震后鄂尔多斯地块西缘连续发生 6.0 级以上余震 4 次, 最大震级达 7.0 级。随后, 鄂尔多斯西缘、南缘和东缘便尚未发生过 6 级以上地震。与之形成鲜明对比的是, 北缘自 1929 年呼和浩特毕克齐 6.0 级地震至 1998 年张北 6.2 级地震发生期间, 该地块北缘及东北缘接连发生 7 次 6.0 级以上地震, 最大地震为 1996 年包头 6.4 级地震。1921 年 5 月至今, 鄂尔多斯地块周缘发生的 7 次 6 级以上地震均位于鄂尔多斯地块北缘, 由此不难得出海原 8 1/2 级地震及其余震发生后北缘成为了鄂尔多斯地块周缘 6 级以上地震活动的主要场所。如图 1(右)所示, 7 次 6 级以上地震分 3 个时段发生, 且成组发生; 前 2 个阶段均发生于鄂尔多斯地块北缘的东段, 随后向西迁移, 第 3 个时段从大约中段偏西的位置(内蒙古包头)开始, 向东迁移至河北张北, 根据前两个时段 6 级以上地震迁移的特点, 未来 6 级以上地震向西迁移的可能性较大。



注: 该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的标准地图号为 GS (2020) 4632 号的标准地图制作, 底图无修改。

Figure 1. Epicenter distribution (left) and M-T map (right) of the active block in the study area and Ordos earthquakes with $M \geq 6$ since December 1920

图 1. 研究区活动地块及 1920 年 12 月以来鄂尔多斯 6 级以上地震震中分布(左)和 $M-t$ 图(右)

3. 鄂尔多斯北缘 $M_L \geq 4.0$ 级地震活动平静现象

从图 2 可以看出, 1970 以来鄂尔多斯地块北缘的 $M_L \geq 4.0$ 级地震存在 4 次平静时段, 平静时间最短的仅有 2.3 年, 最长的为 15 年。1970~1979 年的 2 个平静持续时间较短, 分别为 4.8、2.3 年, 1983~2020 年期间的 2 个平静时间较长, 分别为 13、16、15 年。其中前 3 次鄂尔多斯地块北缘的 $M_L \geq 4.0$ 级地震平静打破后均发生了 $M_L > 4.5$ 级地震, 鉴于该地震对未来 6 级以上地震的发生位置有指示意义, 本文定义该地震为“指示地震”。

从表 1 和图 3 可以看出, 指示地震地震距离未来 6 级以上地震的距离为 33~53 公里, 第 4 次平静打破后目前还未发生 $M_L > 4.5$ 级地震, 因此若未来鄂尔多斯地块北缘发生 $M_L > 4.5$ 级地震, 在该地震附近 50 km 范围内有发生 6 级以上地震的可能。该指示地震前 3 次发生后有 2 次直接发生 6 级以上地震, 发

Table 1. Quiet phenomenon parameters of earthquakes with $M_L \geq 4.0$ before earthquakes with $m \geq 6.0$ in the northern margin of Ordos Basin since 1970

表 1. 1970 年以来鄂尔多斯北缘 6 级以上地震前 $M_L \geq 4.0$ 级地震平静现象参数

时段	$M_L 4.0$ 级地震 平静持续时间 (年)	指示地震 $M_L > 4.5$ 距离与 6 级 地震的时空距离 (天, 公里)	与 6 级地震时 间间隔最小的 $M_L 4.0$ 级地震 (天, 公里)	与 6 级地震距离 最近的 $M_L 4.0$ 级 地震(天, 公里)	平静期的 $M_L \geq 4.0$ 地震个数
1971-08-04~1976-04-06	4.8	286, 53	286, 53	286, 53	2
1977-03-14~1979-08-25	2.3	25, 46	25, 46	25, 46	3
1983-03-07~1996-05-03	13.16	2622, 33	439, 172	2622, 33	5
2005-02-07~2015-03-30	15	?	?	?	2

笔者发现鄂尔多斯地块北缘 1970 年以来的几次 6 级地震前均存在 $M_L \geq 4.0$ 级地震平静现象。

4. 1970 年以来鄂尔多斯北缘 $M_L 4.6 \sim 6.0$ 级地震活动特征

从上小节分析可以看出, 在 1970 年以来 3 次鄂尔多斯地块北缘 $M_L \geq 4.0$ 级地震平静过程中, 均发生了指示地震, 其震级大小分别为 $M_L 4.8$ 、 $M_L 5.0$ 和 $M_L 4.7$ 。图 4 为鄂尔多斯地块北缘(图 3 中的蓝色区域内)1970 年以来 $M_L 4.6 \sim 5.4$ 级地震的 $M-t$ 图和分布图。从图中可以看出, 1970~1984 年 $M_L 4.6 \sim 5.4$ 级地震发生较频繁, 1984 年以后仅发生 4 次, 2003 年 6 月 10 日内蒙古托克托县 $M_L 4.6$ 发生至今, 该区域没有发生 1 次 $M_L \geq 4.6$ 级地震。图 4(右)显示, 1970 年以来 $M_L 4.6 \sim 5.4$ 级地震主要呈丛集分布, 并且和 1970 年以来的 3 个 6 级以上地震的震中距离相近, 未来 $M_L 4.6 \sim 5.4$ 的发生对 6 级以上地震的发生有明确的指示意义。

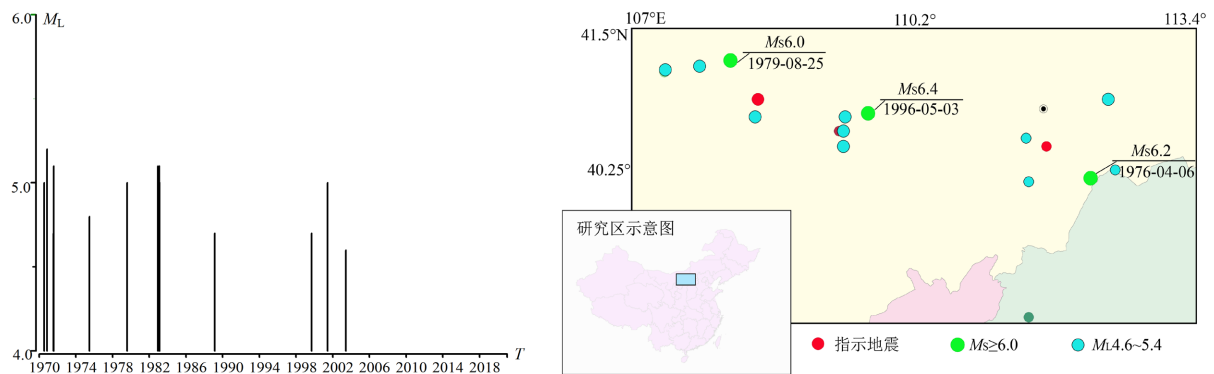


Figure 4. M-T map and distribution map of $M_L 4.6 \sim 6.0$ earthquakes in the northern margin of Ordos since 1970

图 4. 1970 年以来鄂尔多斯北缘 $M_L 4.6 \sim 6.0$ 级地震 $M-t$ 图(删除余震) (左)和分布图(右)

5. 鄂尔多斯北缘 $M_L \geq 4.0$ 级地震活动平静打破后 $M_L \geq 3.0$ 级地震活动特征

从图 5 可以看出, 前 3 次鄂尔多斯地块北缘的 $M_L \geq 4.0$ 级地震平静期 6 级以上地震都发生在指示 $M_L > 4.5$ 级地震附近, 且指示 $M_L > 4.5$ 级地震发生后鄂尔多斯地块北缘的 $M_L \geq 3.0$ 级地震主要集中发生指示地震附近, 因此第 4 次指示地震的发生和指示地震发生后 $M_L \geq 3.0$ 级地震的集中地点对于未来 6 级以上地震的地点有较强的预测意义。在指示地震发生在 $M_L \geq 3.0$ 级的丛集发生地点, 有 2 次和 6 级以上地震发生地点重合, 有 1 次(1979 年 8 月 25 日内蒙古五原 6 级地震前)不重合。第 4 期平静期 $M_L \geq 3.0$ 级的丛集

发生地点为内蒙古乌拉特前旗至包头一带, 但指示 $M_L > 4.5$ 级地震还未发生, 因此未来 6 级以上地震发生的地点具有不确定。

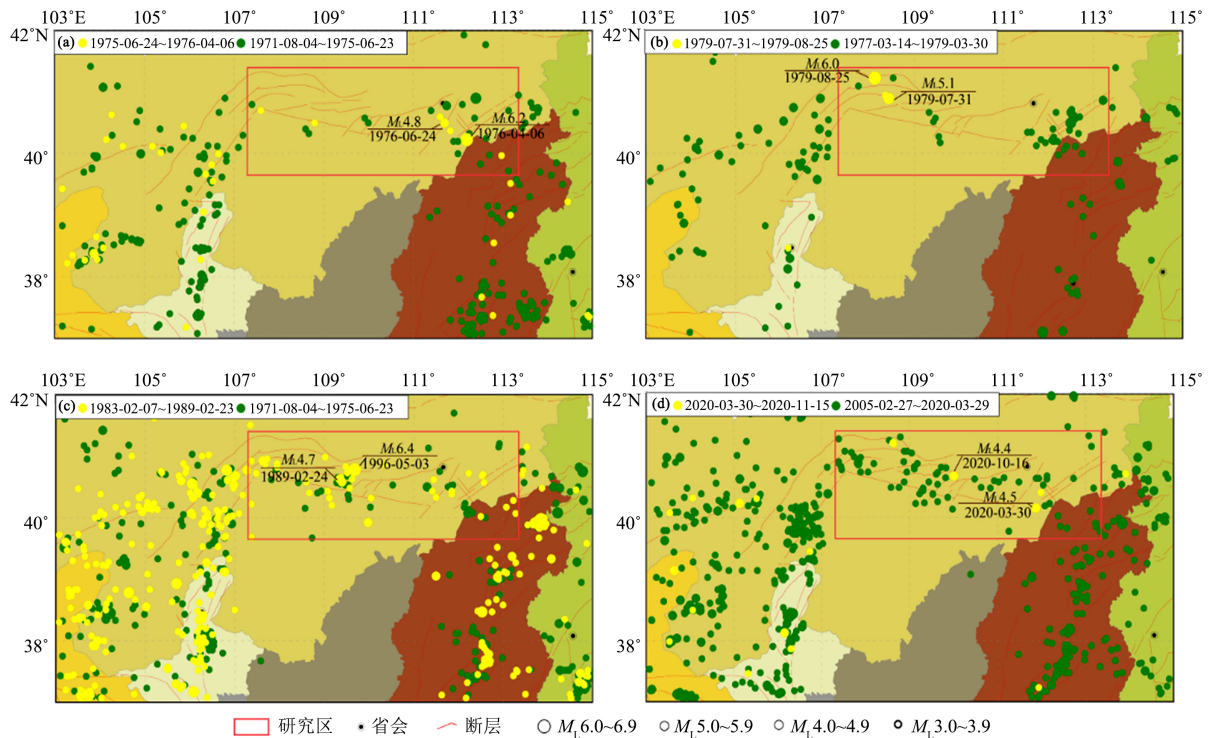


Figure 5. Distribution of $M_L \geq 3.0$ earthquakes in the northern margin of Ordos since 1970

图 5. 1970 年以来鄂尔多斯北缘 $M_L \geq 4.0$ 级地震期 $M_L \geq 3.0$ 级的地震分布

6. 讨论与结论

从以上 1920 年以来鄂尔多斯北缘 6 级地震活动的时间图像看不出未来几年会发生 6 级以上地震的可能, 1929 年以来最长 6 级地震平静时间为 42 年 (1934 年至 1976 年), 最短平静时间为 17 年 (1979 年至 1996 年), 目前 6 级地震平静时间为 25 年; 但从 $M_L > 4.0$ 级地震平静特征来看, 目前处于第 4 平静期, 且平静期为 15 年, 超过以往平静时间, 因此未来发生 6 级以上地震紧迫性也增强; 短期内还未出现第 4 次平静打破后目前还未发生 $M_L > 4.5$ 级地震, 且 $M_L \geq 3.0$ 级地震还未出现集中发生现象, 因此未来需要跟踪 $M_L > 4.5$ 级地震和 $M_L \geq 3.0$ 级地震集中发生的现象, 为该区域 6 级地震的发生做好跟踪研判。

综合以上分析, 我们得到以下结论和认识:

1) 根据鄂尔多斯地块北缘的 6 级以上地震活动特征, 未来该区域有发生 6 级以上地震的可能, 且该地震发震位置向西端迁移的可能性较大。

2) 根据 1970 年鄂尔多斯地块北缘的 $M_L \geq 4.0$ 级地震活动平静特征, 第 4 次平静时段已经被打破, 鉴于第 4 期平静期时间较长, 未来该区域发生 6 级以上地震紧迫性增强, 且发生在鄂尔多斯地块北缘的西端的可能性较大。

3) 鄂尔多斯地块北缘的 $M_L \geq 3.0$ 级地震集中发生的区域是未来 6 级以上地震发生的可能地点。

基金项目

宁夏自然科学基金项目“宁夏及邻区 5 级以上地震的特征和危险性预测研究”(项目编号:

2021AAC03481)资助。

参考文献

- [1] 邓起东. 鄂尔多斯周缘断陷盆地带的构造活动特征及其形成机制[M]. 北京: 地震出版社, 1985.
- [2] 尤惠川. 河套断陷盆地地质构造特征及其成因机制的讨论[J]. 现代地壳运动研究, 1985(91): 88-97.
- [3] 国家地震局“鄂尔多斯周缘活动断裂系”课题组. 鄂尔多斯周缘活动断裂系[M]. 北京: 地震出版社, 1988.
- [4] 徐锡伟, 邓起东, 韩竹君. 霍山山前断裂晚第四纪活动和古地震研究[M]. 北京: 地震出版社, 1993.
- [5] 徐锡伟, 程国良, 马杏垣. 华北及其邻区块体转动模式和动力来源[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 1994, 19(2): 129-138.
- [6] 邓启东, 程绍平, 闵伟, 等. 鄂尔多斯地块新生代构造活动和动力学的讨论[J]. 地质力学学报, 1999, 5(3): 13-20.
- [7] 张培震, 邓启东, 张国民, 等. 中国大陆的强震活动与活动地块[J]. 中国科学: D 辑, 2003, 33(Z): 12-20.
- [8] 陈小斌, 臧绍先, 刘永岗, 等. 鄂尔多斯地块的现今水平运动状态及其与周缘地块的相互作用[J]. 中国科学院研究生院学报, 2005, 22(3): 309-314.
- [9] 李延兴, 张静华, 郭良迁, 等. 鄂尔多斯的逆时针旋转与动力学[J]. 大地测量与地球动力学, 2005, 25(3): 50-56.
- [10] 方盛明, 赵成彬, 柴焯章, 等. 银川断陷盆地地壳结构与构造的地震学证据[J]. 地球物理学报, 2009, 52(7): 1768-1775.
- [11] 陈小斌, 臧绍先, 魏荣强. 稳定的鄂尔多斯地块在整体运动吗? [J]. 地球物理学报, 2011, 54(7): 1750-1757.
- [12] 李彦宝, 冉勇康, 陈立春, 等. 河套断陷带主要活动断裂最新地表破裂事件与历史大地震[J]. 地震地质, 2015, 37(1): 110-125.
- [13] 曹刚. 内蒙古地震研究[M]. 北京: 地震出版社, 2001: 5-6.
- [14] 孙加林. 鄂尔多斯块体北部边缘发生强震的危险性[J]. 西北地震学报, 1985, 7(Z1): 13-23.
- [15] 高立新, 韩晓明, 戴勇, 等. 鄂尔多斯地块的运动特性与现今地震活动性[J]. 大地测量与地球动力学, 2017, 37(4): 349-354.