

Seismic Hazard Analysis of the North and Adjacent Areas of Ningxia in the Next Few Years

Xinhua Cai

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

Received: Jun. 3rd, 2019; accepted: Jun. 17th, 2019; published: Jun. 24th, 2019

Abstract

In this paper, the structural risk of strong earthquakes and the characteristics of seismic activities of earthquakes with $M_s \geq 5.0$ since 1950 in the North and adjacent areas of Ningxia are analyzed, and the region and activity intensity of strong earthquakes in the future are given. In addition, by analyzing the generalized foreshock characteristics and seismicity parameter anomalies in this region in the near future, the areas of earthquakes with $M_s \geq 6.0$ in the Northern Ningxia and adjacent areas in the future can be obtained. It is hoped that this study can provide a reference for earthquake prediction and tracking in this region.

Keywords

North and Adjacent Areas of Ningxia, Generalized Foreshocks, Seismicity Parameters, Predict

宁夏北部及邻区未来几年地震危险性分析

蔡新华

宁夏地震局, 宁夏 银川
Email: 28769949@qq.com

收稿日期: 2019年6月3日; 录用日期: 2019年6月17日; 发布日期: 2019年6月24日

摘要

本文对宁夏北部及邻区强震构造危险性和宁夏北部及邻区1950年以来5级以上地震活动特征进行分析, 给出了未来强震的区域和活动强度。并通过分析近期该区域存在的广义前震特征和地震活动性参数异常,

得到未来宁夏北部及邻区发生6级以上地震的区域, 希望本文的研究为该区域的地震预测及跟踪提供参考。

关键词

宁夏北部及邻区, 广义前震, 地震活动性参数, 预测

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

银川以北至宁蒙交界地区是宁夏社会和经济建设的重要区域, 银川以北至宁蒙交界地区被列为2006~2020年全国地震重点监视防御区。该区域自1991年9月14日内蒙古阿拉善左旗5.0级地震后平静了23年7个月, 于2015年4月15日发生了内蒙古阿拉善左旗5.8级地震和2017年6月3日内蒙古阿拉善左旗5.0级地震。根据以往震例, 该区域未来几年内5.0级以上地震存在连续发生的可能, 甚至不排除发生6~7级地震的可能。2015年4月15日内蒙古阿拉善左旗5.8级地震发生后, 需要对该区域未来中强以上地震趋势进一步进行多角度分析。

2. 宁夏北部及邻区强震构造危险性分析

宁夏地处青藏地块、华北地块和阿拉善地块的交接部位, 受多种动力学因素的制约, 分布有多条控制现今强震活动的活动断层, 以牛首山为界, 南部属于祁连山断裂带的部分, 以北则属于华北地块的鄂尔多斯地台西缘断裂带的部分。由于宁夏北部长期受青藏块体北东向的推挤作用和阿拉善地块之间强烈的相互作用影响, 造成该区地质构造十分复杂, 地震活动十分强烈。上溯1000年来, 宁夏北部及邻区(37.5°~40.7°N, 103.5°~107.7°E)地区发生过8次6级以上地震, 包括1次8级大地震。与历史地震相对照, 该区现今地震活动具有继承性, 无论频度和强度仍然显示出较高的活动水平, 自1950年以来共发生 $M_s \geq 5.0$ 地震27次。2015年4月15日内蒙古阿左旗5.8级地震发生在宁夏以北华北地块的鄂尔多斯西北缘, 而2017年6月3日内蒙古阿左旗5.0级地震发生在祁连山地震带。

宁夏北部及邻区7级以上地震都与几条主要活动断裂带息息相关。如贺兰山东麓断裂带和香山-天景山断裂带等均发生过7级以上地震, 大多数6级地震也是沿几条主要的活动断裂带分布。另外, 根据近几十年野外地质调查发现, 宁夏境内的几条主要活动断裂带上揭露出多期7级以上古地震事件, 进一步说明活动断裂与强地震的依存关系。第四纪盆地是易发生强地震的场所。银川盆地和吉兰泰盆地是本区两个活动强烈的拉张型断陷盆地。

银川盆地历史上强震非常活跃, 曾发生过1739年银川-平罗8级大震。位于盆地南端的吴忠、灵武地区, 自1921年以来发生过8次5级地震。在中卫和中宁的压陷型盆地, 历史上曾分别发生过1709年中卫南7 1/2级和1561年中宁7 1/4级。

宁夏城市活动断层探测及地震危险性评价工作走在了全国前列, 对研究区主要活动断裂第四纪以来的活动性研究成果为地震危险地点的判定提供了重要依据。根据银川市活动断层探测与地震危险性评价结果, 未来200年(2006年以后), 贺兰山东麓断裂北段发生特征地震的危险程度很低, 贺兰山东麓断裂南段复发特征地震的可能性为中等, 银川隐伏断裂北段发生特征地震的可能性低, 黄河断裂南段特征地

震的复发危险程度高，存在发生 7 级地震的可能。

根据 M7 专项工作组(M7 专项工作组, 2012) [1]对南北地震带北段中长期大地震危险性研究成果，即南北地震带北段历史与史前地震破裂区展布及大地震空区判定结果，未来可能发生强震的空段有 6 个，宁夏北部及邻近地区强震空段为磴口 - 五原地震空段、同心 - 灵武地震空段。

依据地震行业科研专项《2016~2025 年中国大陆地震危险区预测》研究成果，未来 7 年宁夏北部及邻区存在 3 个强震危险区，分别为鄂尔多斯西北缘、香山天景山断裂东南段 - 黄河灵武断裂南段和天桥沟黄羊川断裂 - 老虎山断裂。

3. 宁夏北部及邻区 1950 年以来 5 级以上地震活动特征

从图 1 可以看出，宁夏北部及邻区 1950 年以来 5 级以上地震可以分为 4 个活跃时段，分别为：1952~1962 年、1971~1976 年、1984~1991 年和 2015~2017 年，分别持续 10、5、7 和 2 年，最后一个活跃时段时间最短，根据前 3 个活跃时段的持续时间，第 4 个活跃时段有可能持续几年，但不应超过第 1 活跃时段 5 级以上余震持续时间(8 年)；3 个平静时段分别为：1962~1971、1976~1984 和 1991~2017 年，持续时间分别为 9、8 和 24 年，最后 1 个平静时段最长。

从图 2(a)可以看出，1952~1954 年宁夏北部及邻区的 5 级以上地震主要分布在主震——1954 年 7 月 31 日 7.0 级地震余震区内(以震中为中心，南北距离 80 km，东西 40 km 的矩形内)。1955~1957 年宁夏北部及邻区没有 5 级以上地震发生(图 1)，1958~1962 年宁夏北部及邻区的 5 级以上地震依然主要分布在 1954 年 7 月 31 日 7.0 级地震余震区内，同时在外围出现了 4 个响应区，宁夏北部及邻区有 3 个响应区(图 2(b))。

从图 3(a)和图 3(b)可以看出，第 2、3 活跃时段宁夏吴忠 - 灵武响应区都发生了 5 级以上地震，内蒙古巴音木仁地区第 2 活跃时段也发生了 5 级以上地震，第 3 活跃时段在内蒙古阿拉善左旗发生了 3 次 5 级地震，位于 1954 年民勤 7.0 级地震响应区之间；1991 年之后宁夏北部及邻区 5 级以上地震活动平静 26 年之后，2015 年 4 月 15 日内蒙古阿拉善左旗发生 5.8 级地震，之后在 1954 年民勤 7.0 级地震余震区 5 级地震平静 56 年后 2017 年 6 月 3 日发生了 5.0 级地震，第 4 活跃时段的 2 次 5 级以上地震依然发生在 1954 年民勤 7.0 级地震的响应区内(图 4)，因此可以判断第 4 活跃时段 5 级以上地震活动地点有可能维持目前的格局。

综合以上分析，可以推断未来几年宁夏北部及邻区 5 级以上地震活动有可能继续活跃，但强度不超过 6 级，地点有可能继续发生在 1954 年民勤 7.0 级地震的余震区和响应区内或者在内蒙古阿拉善左旗地区。

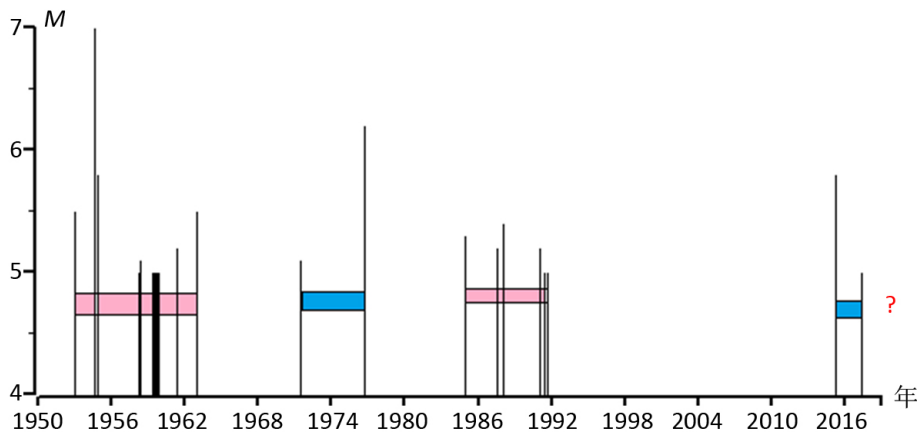


Figure 1. M - t map of earthquakes with $M_s \geq 5.0$ in northern Ningxia and adjacent areas from 1950 to 2018

图 1. 1950~2018 年宁夏北部及邻区 5 级以上地震 M - t 图

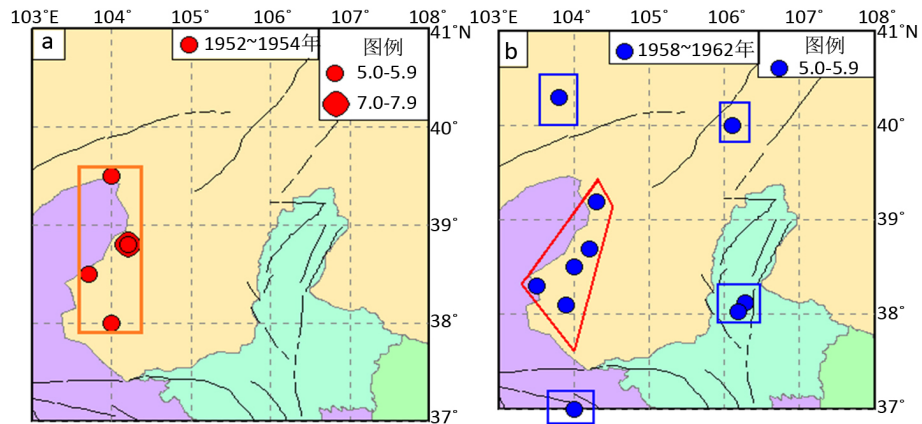


Figure 2. Distribution of earthquakes with $M_S \geq 5.0$ in northern Ningxia and adjacent areas from 1952 to 1962

图 2. 1952~1962 年宁夏北部及邻区 5 级以上地震分布图

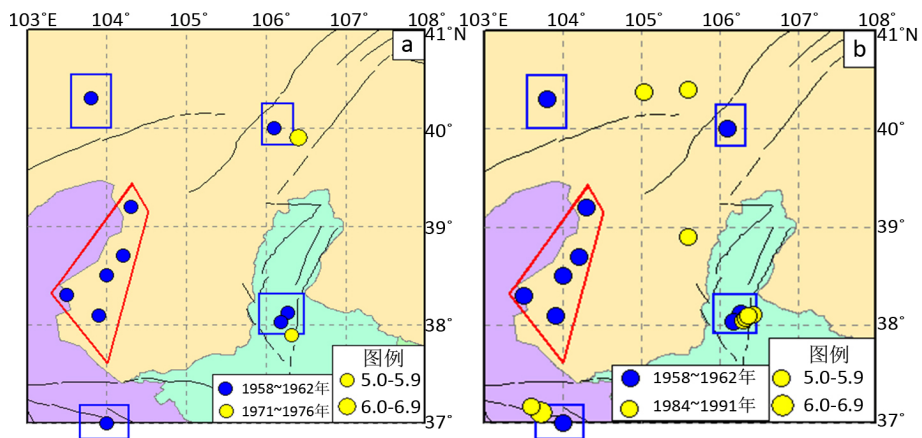


Figure 3. Distribution of earthquakes with $M_S \geq 5.0$ in northern Ningxia and adjacent areas from 1971 to 1991

图 3. 1971~1991 年宁夏北部及邻区 5 级以上地震分布图

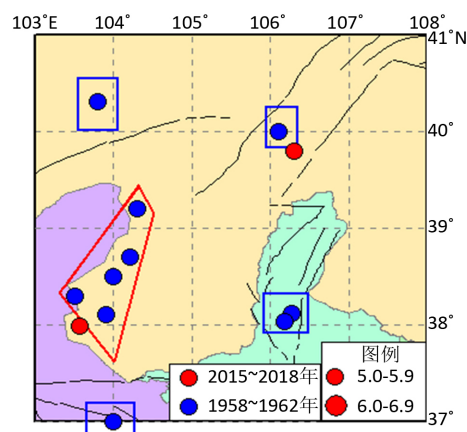


Figure 4. Distribution of earthquakes with $M_S \geq 5.0$ in northern Ningxia and adjacent areas from 2015 to 2018

图 4. 2015~2018 年宁夏北部及邻区 5 级以上地震分布图

4. 近期宁夏北部及邻区存在的广义前震特征

通过分析 2015 年 5 月以来宁夏北部及邻区 $M_L \geq 3.0$ 地震活动情况, 发现 2015 年 5 月以来甘肃民勤至阿拉善左旗一带形成了北东向的较大范围 $M_L \geq 3.0$ 地震围空区, 长轴约 240 km (图 5)。该空区的存在表明未来在空区内部及边缘有发生 6 级左右地震的可能。

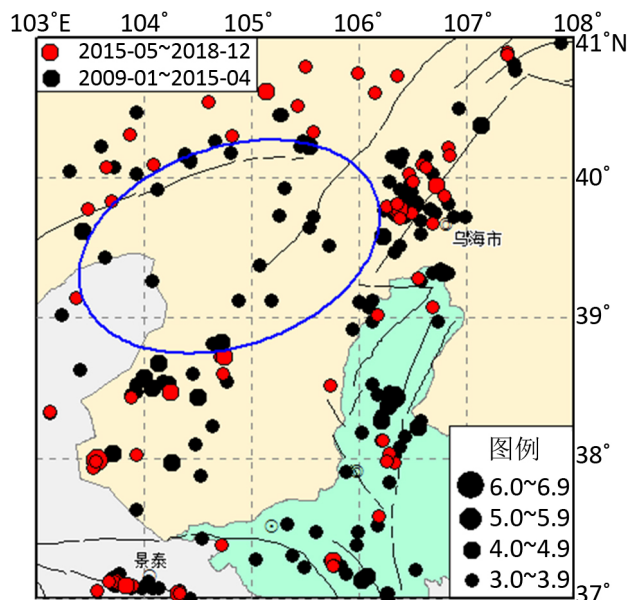


Figure 5. Distribution of earthquakes with $M_L \geq 3.0$ in northern Ningxia and adjacent areas since 2009

图 5. 2009 年以来宁夏北部及邻区的 $M_L \geq 3.0$ 地震分布

5. 近期宁夏北部及邻区存在的地震活动性参数异常

地震活动性参数是指采用地震的时空强等信息根据统计模型回归得到的参数值, 其与地质构造、岩石力学性质、地下介质物性以及震源机制等有密切的关系。研究地震活动性参数的时空变化对于了解研究区的构造环境、应力环境等有重要的科学意义。以下给出了一些重要的地震活动性参数异常分析结果。

1) 沿主要断裂带的 b 值空间扫描图像

特定岩体内构造应力的大小与破裂产生地震的震级—频度关系为 $\lg N(M) = a - bM$, 式中 N 为震级 $M \geq M_{\min}$ (最小完整性震级) 的地震累积频度, a 、 b 为经验常数。由于应力的高低与震级—频度关系中的 b 值成反比 (Scholz, 1968; Urbancic *et al.*, 1992) [2] [3], 因此可以根据低 b 值的空间分布来揭示和推断活动断裂带不同段落现今应力积累的相对水平, 描绘出活动断裂带上的高应力积累区或闭锁段落 (Wiemer, 1997; Wyss *et al.*, 2000) [4] [5]。

利用全国正式目录, 选取 1970 年以来宁夏及邻近地区 ($34^\circ \sim 41.3^\circ \text{N}$, $103.5^\circ \sim 109^\circ \text{E}$) 记录的弱震资料, 将研究区以 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 划分网格, 固定每个单元的搜索地震数, 并计算相应的最小完整性震级, 然后利用震级—频度关系基于最大似然估计法计算每个单元格内的 b 值, 得到宁夏及邻区沿主要断裂带的 b 值空间分布图像 (图 6)。结果显示: 鄂尔多斯西北缘存在高应力集中区。

2) 地震加速矩释放时空扫描图像

蒋长胜等 (2009) [6] 用“破裂时间分析”方程中的幂指数 m 作为描述震前加速矩释放程度的参量, 结

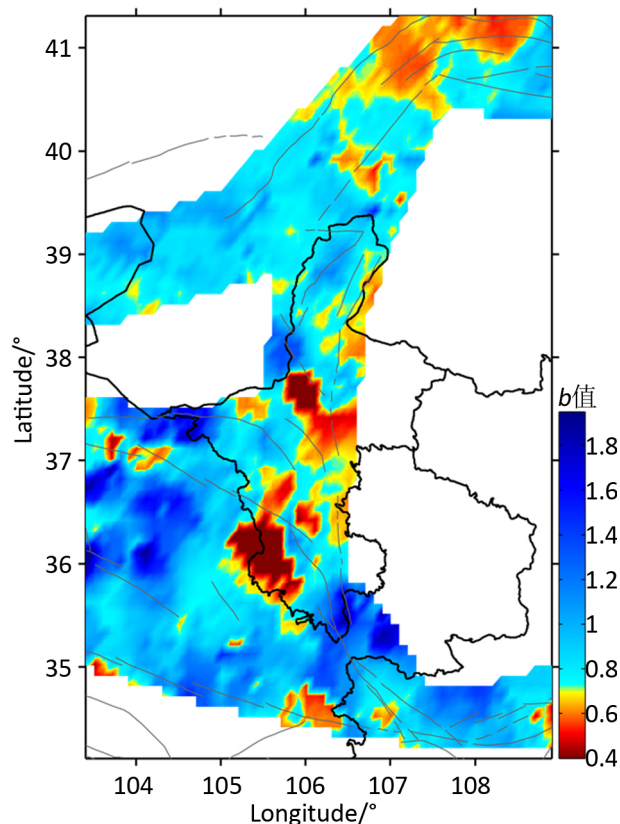


Figure 6. *b* value space scan of Ningxia and adjacent areas (since 1970)

图 6. 宁夏及邻区 *b* 值空间扫描图(1970 年以来)

果表明地震前可观测到 m 值逐渐减小, 即加速特征逐渐明显的过程, 并且出现 AMR 现象的空间区域与震中位置似有较好的对应。

利用宁夏及邻区近 5 年来 $M_L 2.0$ 以上地震资料, 取空间扫描半径为 60 km, 得到该区域地震矩加速释放模型参数 m 值空间分布图像(图 7)。结果显示, 内蒙古阿拉善右旗和内蒙古磴口 - 杭锦后旗一带存在地震矩加速释放低 m 值异常区。

3) A 值平面扫描图像

地震空间集中度 C 值反应了地震在空间上的集中程度, 地震危险度 D 值反应了地震在时间上的丛集程度, 地震强度因子 M_f 值反应了地震活动增强的程度, 它们分别反应了地震在时、空、强方面的震兆。为综合考虑地震活动的时、空、强特征, 王伟教授(1986) [7] 定义地震活动因子 A 值为 C 、 D 、 M_f 值的线性组合。 A 值异常场区与未来地震有较好的相关性, 统计 1971 年以来的预报效能, R 大于 0.207, 通过 R 检验。选取宁夏及邻区 $M_L 2.5$ 以上地震, 以时间尺度 1 年、步长 0.5° 和窗长 1° 进行 A 值空间滑动扫描, 取大于 0.40 为异常值。从图 8 可以看出异常区为内蒙古乌海 - 磴口和宁夏银川周围一带。

4) 区域 P_g 波速度横向变化

利用宁夏测震台网记录的 1970 年以来的 P_g 波到时数据, 得到了宁夏及邻区 P_g 波速度横向变化图像(图 9)。其中, 蓝色代表高速区, 红色代表低速区, 白色圆圈为 1970 年以来发生于宁夏及邻区的 5.0 级以上地震。速度成像结果显示: 除黄河断裂南段 - 灵武断裂呈现为高速区外, 其它断裂带上则以低速为主; 1970 年以来 5 级以上地震多发生于高、低速的转换地带。

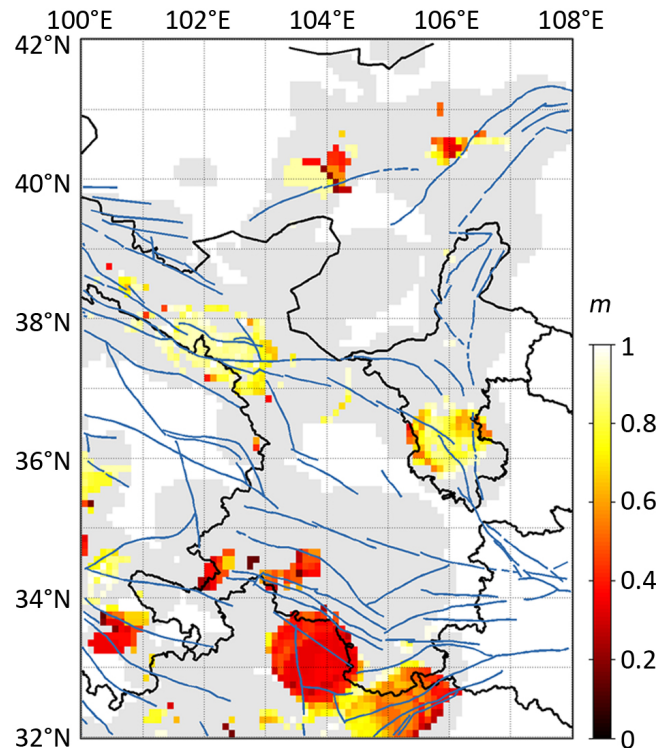


Figure 7. Feature m -value spatial distribution of acceleration release of seismic moment in Ningxia and adjacent regions
图 7. 宁夏及邻区地震矩加速释放特征 m 值空间分布

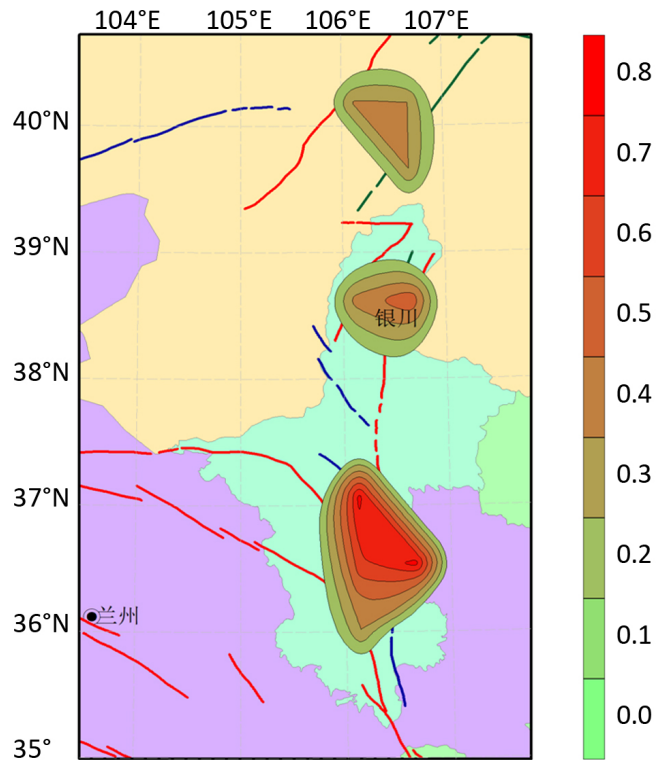


Figure 8. Abnormal distribution of A value (2017.10~2018.10)
图 8. A 值异常分布(2017.10~2018.10)

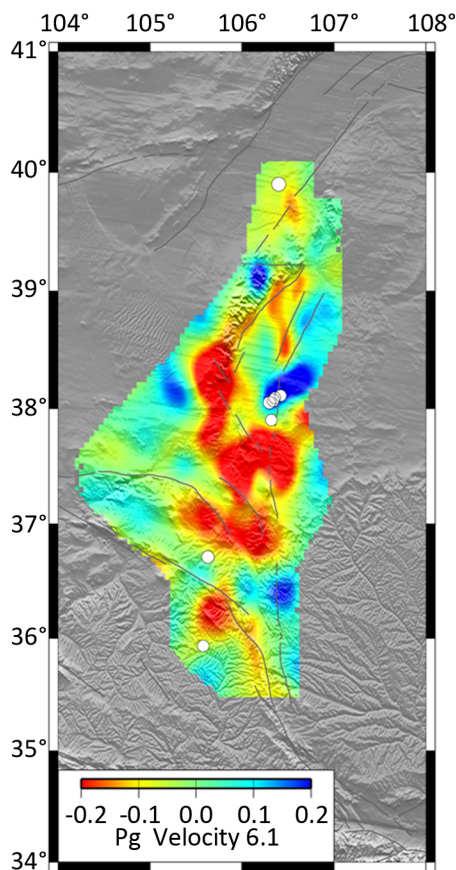


Figure 9. Horizontal variation diagram of P_g wave speed in Ningxia and adjacent regions
图 9. 宁夏及邻区 P_g 波速度横向变化图

基于地震易发生于高、低速区的过渡带和坚固体孕震模式(梅世蓉, 1995) [8]——高速体(坚固体)的存在是高应力集中的重要条件, 宁夏吴忠 - 灵武以北的高速区及其周围很可能是未来地震孕育区域。

5) 视应力空间分布

视应力常被用来研究震源区的应力水平, 以及了解地震发生过程中的构造应力释放水平, 即地震视应力越高, 震源区的应力水平就越高。研究(王琼等, 2005; 秦嘉政等, 2006) [9] [10]发现, 视应力与震级之间存在一定的依赖关系。因此为尽量消除视应力与震级之间的相关性, 特引入差视应力概念, 即指实际计算得到的视应力与理论视应力的差值。理论视应力可根据视应力与震级的线性关系得到。

选取 2009 年以来宁夏测震台网记录的 $M_L 2.5$ 以上地震, 依次截取波形, 扣除仪器响应, 采用 Brune 圆盘模型, 计算每个中小地震的视应力值, 拟合视应力与震级标度关系, 视应力值扣除震级影响后即即为差视应力值。最后以 10 km 为扫描半径、 0.1° 为扫描步长进行空间扫描, 得到差视应力空间分布图(图 10)。结果显示, 在宁夏石嘴山 - 银川、青铜峡 - 吴忠为未来可能发生中等地震的区域。

6) 地震分形维度 D 值

地震活动性的分形特性指的是地震在时间和空间分布的随机自相似结构, 其可以使用分形维度 D 值来表示, 根据 D 值的大小可确定地震在空间是随机分布还是聚集分布的(Ogata, 1988, Hirata, 1989) [11] [12]。分形维度也可以用来定量描述某一断层系统地震活动的差异程度以及地震地表破裂的复杂程度, 这时 D 主要受应力场分布、地质、力学及构造差异等因素的控制。分形维度值为判断一个地区是否处于稳

定状态提供了十分重要的信息。分形维度值的任何变化都意味着地区系统状态的改变。因此研究余震区的地震分形维度对于认识地震地表破裂的复杂性以及判断余震活动趋势具有重要的意义。

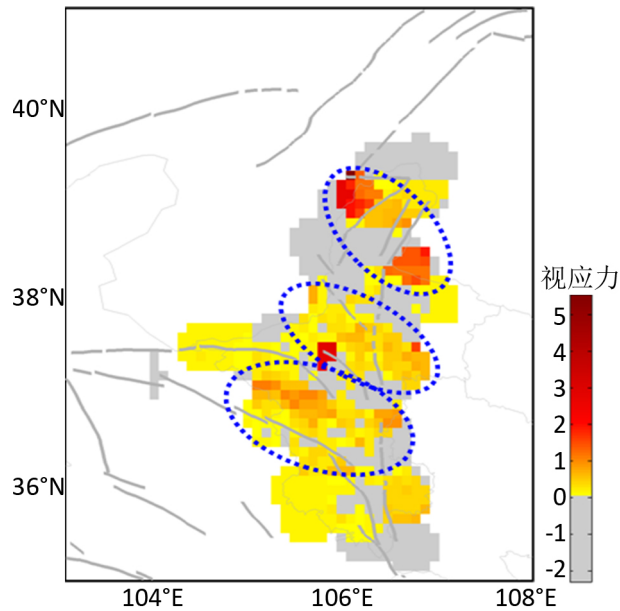


Figure 10. Abnormal distribution of high apparent stress
图 10. 视应力高值异常分布

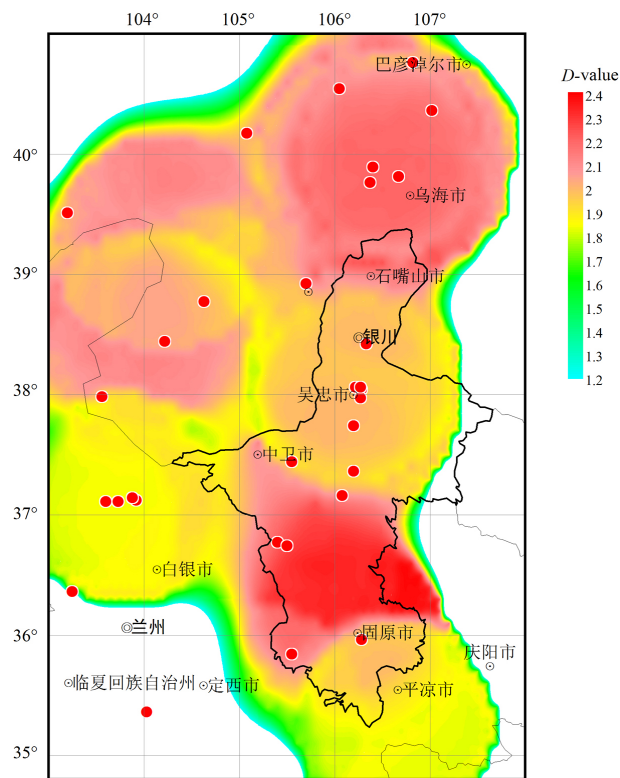


Figure 11. *D* value space scan of Ningxia and adjacent areas (since 1970)
图 11. 宁夏及邻区 *D* 值空间扫描图(1970 年以来)

通过计算 1970 年以来宁夏及邻区(103.5°~107.7°E, 35.0°~40.7°E) $M_L \geq 3.0$ 地震的 D 值(图 11), 从图中可以看出, 1970 年以来宁夏及邻区的 D 值偏高, 各个区域的特征不同: 宁夏中北部地区、甘肃景泰地区和内蒙古阿拉善左旗 5 级以上地震发生在 D 值 1.9 左右的区域; 宁夏南部和内蒙古乌海一带的 5 级以上地震的 5 级以上地震发生在 D 值大于 2.1 的区域。以上特征对今后判定危险区提供了一定的参考。

6. 结论与讨论

通过前面的背景分析, 得到了以下结论: 可以推断未来几年宁夏北部及邻区 5 级以上地震活动有可能继续活跃, 但强度不超过 6 级, 地点有可能继续发生在 1954 年民勤 7.0 级地震的余震区和响应区内或者在内蒙古阿拉善左旗地区。2015 年 5 月以来甘肃民勤至阿拉善左旗一带存在北东向的 $M_L \geq 3.0$ 地震围空区(长轴约 240 km, 图 7), 该空区的存在表明未来在空区内部及边缘有发生 6 级左右地震的可能。该空区内部和边缘包含了 1954 年民勤 7.0 级地震的余震区和 2 个响应区, 因此该区域未来发生 6 级以上地震的可能性较大。再结合宁夏北部及邻区近几年的地震活动性参数异常, 得到以下结论:

1) 内蒙古乌海至磴口一带为未来宁夏及邻区发生 6 级以上地震的危险区域, 其异常指标最多, 有 $M_L \geq 3.0$ 地震空区、地震矩加速释放低 m 值异常区、 A 值平面扫描异常区、 P_g 波速度横向变化和分形维度 D 值异常, 采用的异常分析绝大多数出现了异常, 仅 b 值和视应力的空间分布图像未出现异常, 因此需重点跟踪该区域的震情发展。

2) 1954 年 7 月 31 日内蒙古腾格里沙漠北 7.0 级地震的余震区未来几年也有发生 6 级以上地震的危险, 其异常指标有 $M_L \geq 3.0$ 地震空区和分形维度 D 值异常, 因此对该区域的震情发展需进一步跟踪。

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] M7 专项工作组. 中国大陆大地震中-长期危险性研究[M]. 北京: 地震出版社, 2012.
- [2] Scholz, C.H. (1968) The Frequency-Magnitude Relation to Micro-Fracturing in Rock and Its Relation to Earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **58**, 399-415.
- [3] Urbancic, T.I., Trifu, C.I., Long, J.-M. and Young, R.-P. (1992) Space-Time Correlation of b Values with Stress Release. *Pure and Applied Geophysics*, **139**, 449-462. <https://doi.org/10.1007/BF00879946>
- [4] Wiemer, S. and Wyss, M. (1997) Mapping the Frequency-Magnitude Distribution in Asperities: An Improved Technique to Calculate Recurrence Times? *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **102**, 15115-15128. <https://doi.org/10.1029/97JB00726>
- [5] Wyss, M., Schorlemmer, D. and Wiemer, S. (2000) Mapping Asperities by Minima of Local Recurrence Time: San Jacinto Elsinore Fault Zones. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **105**, 7829-7844. <https://doi.org/10.1029/1999JB900347>
- [6] 蒋长胜, 吴忠良. 强震前的“加速矩释放”(AMR)现象: 对一个有争议的地震前兆的回溯性震例研究[J]. 地球物理学报, 2009, 52(3): 691-702.
- [7] 王炜. 华北几次大震前的地震空间集中度 C 值的异常变化[J]. 地震研究, 1986, 9(2): 147-158.
- [8] 梅世蓉. 地震前兆场物理模式与前兆时空分布机制研究(一)———固体孕震模式的由来与证据[J]. 地震学报, 1995, 17(3), 273-282.
- [9] 王琼, 陈学忠, 王林瑛. 岫岩地震序列视应力变化及其预测意义[J]. 地震, 2005, 25(2): 91-97.
- [10] 秦嘉政, 钱晓东. 云南地区地震视应力的时间和空间分布研究[J]. 地震学报, 2006, 28(3): 221-229.
- [11] Ogamat, Y. (1988) Statistical Models for Earthquake Occurrences and Residual Analysis for Point Processes. *Journal*

of the American Statistical Association, **83**, 9-27. <https://doi.org/10.1080/01621459.1988.10478560>

- [12] Hirata, T. (1989) A Correlation between the *b*-Value and the Fractal Dimension of Earthquake. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **94**, 7507-7514. <https://doi.org/10.1029/1999JB900347>

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ag@hanspub.org