

李冬梅,郑建常,苑争一. 2025. 华北地区地震风险概率预测及预报效能检验[J]. 地震研究, 48(2): 281–288, doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2025.0030.

Li D M, Zheng J C, Yuan Z Y. et al. 2025. Probabilistic prediction of the earthquake risk in North China and test of forecast efficiency [J]. *Journal of Seismological Research*, 48(2): 281–288, doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2025.0030.

华北地区地震风险概率预测及预报效能检验^{*}

李冬梅¹, 郑建常¹, 苑争一²

(1. 山东省地震局, 山东 济南 250014; 2. 中国地震台网中心, 北京 100045)

摘要: 基于中国地震台网记录到的地震目录, 应用时间相依的地震复发间隔混合概率模型, 开展华北地区中小地震的中、短期概率预测研究, 计算并绘制未来3个月、半年、1年内华北地区发生3、4级以上中小地震的概率分布云图。检验结果显示, 3、4级以上中小地震基本都发生在此前给出的地震风险概率相对高的区域。研究认为, 该方法在日常地震分析工作中应用效果较好, 可为震情趋势分析判定提供强有力支撑依据。基于2021年和2022年华北地区地震风险概率预测结果, 应用 Molchan 图表法检验该预测模型的预报效能, 显示其有较好的预测能力, 可以合理有效地估算地震的发生概率。

关键词: 混合概率模型; 地震预报; Molchan 检验; 效能评价; 华北地区

中图分类号: P315.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2025)02-0281-08

doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2025.0030

0 引言

地震风险概率预测是一种有效的地震短临预测方法, 这种短临预测结果相比于确定性的预测更具科学性, 能够更直观地展示各地区地震发生的危险性, 有利于防震减灾工作决策部署。我国地震工作者针对历史强震复发行为开展了大量的研究工作(王芑等, 2022; 邓世广, 2022; 刘月等, 2023)。一些学者采用多种概率预测模型进行地震危险性研究, 探讨不同构造区域的中长期地震概率。例如邓世广等(2019)基于泊松分布的危险区背景地震概率预测和各学科单项预测方法的历史预测效能, 采用贝叶斯定理计算得到短期或年度地震危险综合概率预测结果。郭文峰等(2022)采用综合概率法得到山西地区基于多种单项预测方法的地震综合概率模型。徐伟进等(2023)基于布朗过程时间模型, 计算了不同情况下中国大

陆地震震源区时间相依的地震发生概率。

中国大陆中等地震活动兼具丛集性和周期性的特征, 一些地震学家提出了时间相依的地震复发间隔混合概率模型, 可以更加合理地估算地震的发生概率。这一方法在不同地区得到了广泛应用, 如苏有锦和李忠华(2011)结合间隔时间分布统计特征和概率预测模型构建了云南地区6级以上强震的概率预测模型; Chan等(2013)建立时间相依的特征地震模型开展中国台湾花莲地区的地震危险性分析研究; 李昌珑等(2016)总结了时间相依的概率地震危险性分析的研究历史、发展现状, 以及在我国的发展和应用前景; 郭星(2015)针对具有明确分段的特征断层源, 从震级的不确定性出发, 在弹性回跳理论的基础上提出了强震复发的随机特征滑动模型, 并根据应力积累速率恒定的假设, 提出震级和地震发生率都是时间相依的模型, 并用于鲜水河北西段地震构造区。

通常概率预测研究关注的多是大震、破坏性

^{*} 收稿日期: 2024-07-02.

基金项目: 山东省地震局科研基金项目(JJ1805Y); 国家重点研发计划(2018YFE0109700-02).

第一作者简介: 李冬梅(1987-), 硕士, 工程师, 主要从事地震学和地震综合预测研究. E-mail: Ldmqsd@yeah.net.

地震的发生概率。郑建中(1983)研究认为:地震发生的概率分布函数不仅对大地震的研究及预报有一定意义,对中小地震活动研究也同样适用。对于中国大陆东部地区而言,相对于5级以上破坏性地震,3、4级中小地震发生频率高,特别是2015年3月14日安徽阜阳4.3级、2020年2月18日山东长清4.1级地震等,通常在一定范围内显著有感,往往会造成较大的社会影响。所以在我国东部地区对地震预测震级广度要求更高,开展中小地震的中、短期概率预测对于满足社会公共需求具有重要的现实意义,能够进一步推动震情监视和短临跟踪工作,提升地震预测预报水平,有较显著的实用价值和社会效益。

本文基于时间相依的地震复发间隔混合概率模型,开展华北地区中小地震的中、短期概率预测研究。通过计算得到华北地区地震风险概率预测结果,产出动态的年尺度或短期地震风险概率云图。为了更加科学地评价该方法的预报效能,基于2021、2022年华北地区地震风险概率预测结果和地震活动实况,应用Molchan图表法对其进行效能检验。

1 理论与方法

前人针对历史强震风险概率计算开展了大量的研究工作(Nishenko, Buland, 1987; 闻学泽, 1998)。在特定时间范围内,地震的发生受到确定性和随机性双重因素的制约,很难确定性地预测在给定时段内是否一定会发生地震,采用概率表示发生地震的可能性是一种更加合理的选择(闻学泽, 1998)。假设某断裂段的地震复发间隔分布概率密度函数为 $f(T)$,由 $f(T)$ 计算自从上次地震发生以来的离逝时间 T_e 增加的发震条件概率 P_e , ΔT 为预测时段,目标地震在 T_e 未发生,其在 T_e 和 $T_e + \Delta T$ 之间发生的条件概率为:

$$P_c(T_e \leq T_e + \Delta T \mid T > T_e) = \frac{\int_0^{T_e + \Delta T} f(T) dT - \int_0^{T_e} f(T) dT}{1 - \int_0^{T_e} f(T) dT} \quad (1)$$

进行时间相依的地震风险概率计算时,需要建立构造地震的原地复发间隔概率密度函数。

从理论上讲,可以根据研究断裂段过去的地震复发间隔资料建立起式(1)中的概率密度函数,并估算出分布参数。但是对于任一断裂段而言,地震复发间隔样本不能满足概率分布建模的需求。所以要寻找符合地震复发行行为的通用复发间隔分布。

我国大陆中强地震的活动特点兼具丛集性和周期性。为了同时描述地震活动的丛集性和周期性,建立了一种由对数正态分布和指数分布混合的概率密度函数:

$$f(\tau) = a \left(\frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi} \tau} e^{-\frac{(\ln(\tau) - \mu)^2}{2\sigma^2}} \right) + (1 - a) \lambda e^{-\lambda \tau} \quad (2)$$

式中: $\tau = T/T_{ave}$,且 $\tau > 0$; a 为背景地震与丛集地震的相对权重。利用不同震级的归一化复发间隔数据来估算概率密度函数的相关参数,并利用式(1)来计算地震在未来不同时间的发生概率。

2 数据与资料

基于日常震情跟踪工作需要,本文以华北地区($30^\circ \sim 42^\circ N$, $107^\circ \sim 124^\circ E$)为研究区域,使用计算资料范围均向外各扩展 1° ,即使用资料范围为($29^\circ \sim 43^\circ N$, $106^\circ \sim 125^\circ E$)。为实现华北地区地震风险概率云图化计算,对研究区域进行空间网格扫描,设置网格大小为 0.2° ,每个格点以一定半径检索地震目录,最小检索半径为50 km,满足计算要求的最小地震事件数为10。若该范围内未检索到足够地震,则以10 km为步长扩大检索半径,最大检索半径为100 km。逐点计算每个格点未来指定时段内给定震级地震的发生概率。

本文利用中国地震台网中心产出的1970年以来华北地区的 $M_L \geq 3$ 地震数据资料,进行地震复发间隔统计。并基于统计结果,采用式(2)进行概率密度函数拟合。进一步利用概率密度函数,按照式(1)计算未来一段时间内特定震级地震的发生概率。从现代小震活动来看,华北地区平均每年发生4.0级以上地震14.1次,发生3.0级以上地震约114.1次。将上述方法应用于日常地震分析工作中,可滚动产出华北地区地震风险概率云图。

3 结果与分析

3.1 中短期预测结果分析

以2021年10月14日为起始点，对华北地区发生3、4级地震风险概率进行空间扫描计算，绘制风险概率云图，如图1所示，图中实心圆表示截至2022年10月14日的地震活动实况，其中蓝色、红色实心圆分别为在对应预测时段内华北地区实际发生的3、4级以上地震。预测意见为唐山老震区、晋冀蒙交界、河北南部、冀鲁豫交界、南黄海及山西断裂带发生4级以上地震的风险较高，山西断裂带、辽南、渤海海域、南黄海及蒙

中地区有较高的概率发生3级以上地震。据中国地震台网测定，1年时间研究范围内实际地震发生情况见图中实心圆，其中 $M_L 5.0 \sim 5.9$ 为1次， $M_L 4.0 \sim 4.9$ 为11次， $M_L 3.0 \sim 3.9$ 为96次。对华北地区4级以上地震活动实况分析可知，2021年11月17日江苏大丰海域 $M_S 5.0$ 、2022年2月6日河北威县 $M_L 4.1$ 和5月21日河北卢龙 $M_L 4.1$ 地震均发生在地震风险概率较高区域内。但是2021年12月22日江苏天宁 $M_L 4.7$ 和2022年5月2日山东青州 $M_L 4.1$ 地震存在漏报。从华北地区3级地震活动情况看，这些地震几乎都发生在地震风险概率相对高的区域或预测区域边缘，风险概率高异常点也都发生了预期地震。

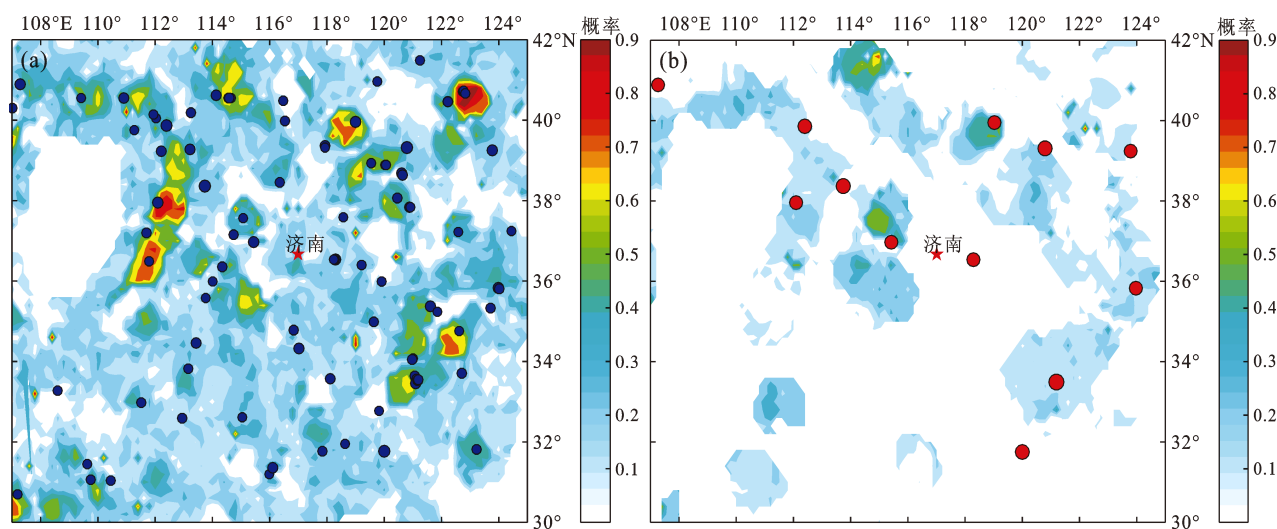


图1 华北地区1年期3级以上(a)和4级以上(b)地震风险概率与地震实况

Fig. 1 Probability of the $M_L \geq 3.0$ (a) and $M_L \geq 4.0$ (b) earthquakes in North China in the following one year and the actually happened earthquakes

同样以2021年10月14日为起始点，计算并绘制未来半年内华北地区发生3、4级以上地震风险概率分布，结果如图2所示，图中实心圆表示截至2022年4月14日的地震活动实况。预测意见为河北南部、唐山老震区、冀鲁豫交界、晋冀蒙交界、山西断裂带及南黄海地区发生4级以上地震的风险较高，辽南、山西带、唐山老震区、河北平原带、南黄海及蒙中地区有较高的概率发生3级地震。同样可见，半年来华北地区实际发生的3、4级以上地震基本分布在当时计算结果的高风险概率区。对华北地区4级地震活动情况分析可知，2021年11月17日江苏大丰海域

$M_S 5.0$ 、2022年2月6日河北威县 $M_L 4.1$ 、2022年2月20日山西古交 $M_L 4.1$ 地震均发生在地震风险概率较高区域内，但在唐山老震区和晋冀蒙交界地区存在个别虚报现象。华北地区实际发生的3级以上地震与概率预测分布对应相对较好，华北地区3级地震基本都落在风险概率较高区域。唐山老震区、河北平原带及辽南地区均发生了预期地震，如图2a所示，2021年11月25日河北宁晋 $M_L 3.0$ 、2021年12月22日河北任泽 $M_L 3.3$ 、2022年2月24日河北丰南 $M_L 3.6$ 、3月7日和4月3日辽宁海城 $M_L 3.0$ 地震等均发生在计算出的地震风险概率较高区域内。

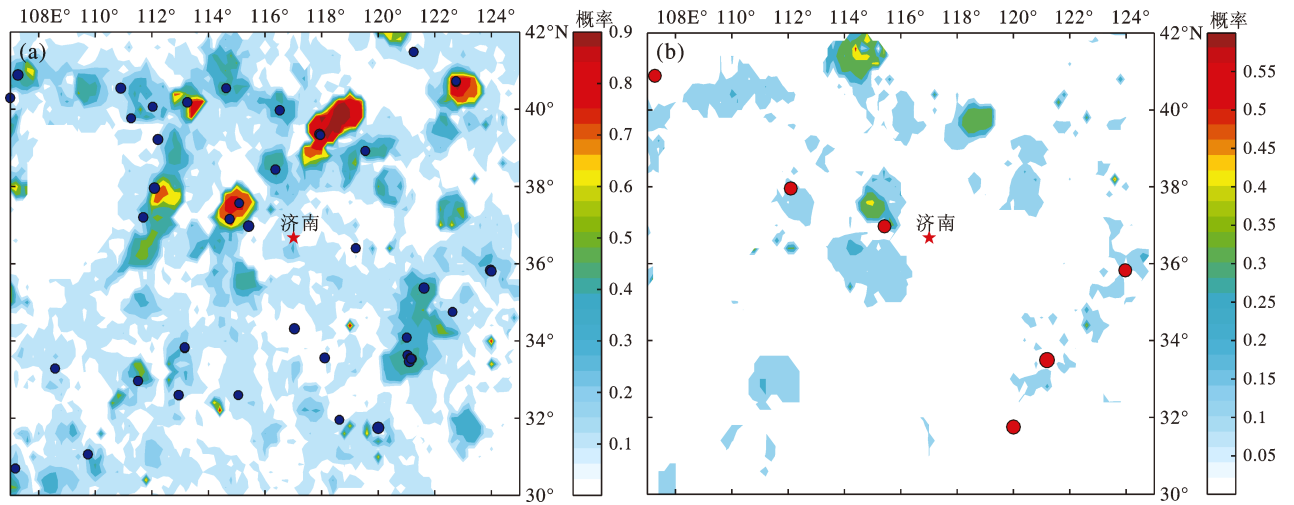


图2 华北地区半年期3级以上 (a) 和4级以上 (b) 地震风险概率与地震实况
Fig. 2 Probability of the $M_L \geq 3.0$ (a) and $M_L \geq 4.0$ (b) earthquakes in North China
in the following six months and the actually happened earthquakes

3.2 短期预测结果分析

利用该方法开展华北地区地震活动的短期预测,以2022年2月为起点,计算华北地区未来3个月发生3、4级以上地震风险概率,结果如图3所示,图中实心圆表示截至2022年5月的地震活动情况。预测意见为唐山老震区、冀鲁豫交界、晋冀蒙交界地区、渤海发生4级地震的风险相对较高,山西断裂带、河北平原带、唐山老震区、南黄海及燕渤带有较高的概率发生3级地震。对华北地区未来3个月4级地震活动实况分析可知,2022年2月20日山西古交 $M_L 4.1$ 和同年5月11日渤海海

域 $M_L 4.8$ 地震均发生在地震风险概率相对较高区域内,2022年5月2日山东青州 $M_L 4.1$ 地震漏报,此次地震发生在鲁中隆起区,属于发生于少震、弱震区的显著地震事件,所以该区域出现漏报问题。在河北平原带和晋冀蒙交界地区存在虚报现象。3个月内华北地区实际发生的3级地震与概率预测分布对应相对较好,3级以上地震基本都落在风险概率较高区域。在山西断裂带、燕渤带、环渤海及辽南地区均发生了预期地震,如图3a所示,2022年2月14日山西汾阳 $M_L 3.4$ 、2月20日山西古交 $M_L 4.1$ 、2022年3月25日渤海 $M_L 3.1$ 、3月

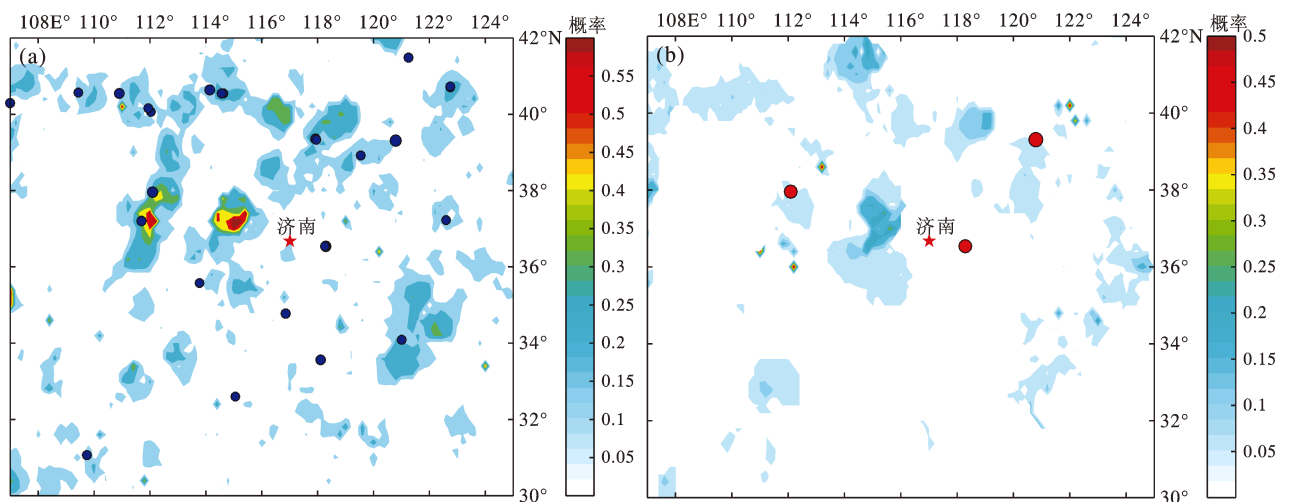


图3 华北地区3个月期3级以上 (a) 和4级以上 (b) 地震风险概率与地震实况
Fig. 3 Probability of the $M_L \geq 3.0$ (a) and $M_L \geq 4.0$ (b) earthquakes in North China
in the following three months and the actually happened earthquakes

7 日和 4 月 3 日辽宁海城 $M_L3.0$ 地震等均发生在地震风险概率较高区域内或预测区域边缘。基于时间相依模型的地震风险概率预测的短期预测结果较好。

综上所述，从震情跟踪预测实践结果看，基于时间相依的地震风险概率预测与实际发生的地震对应较好，显示该方法有较好的预测能力，能合理有效地估算未来地震的发生概率，为震情跟踪研判工作提供有力支撑。

4 预报效能检验

仅从简单的震例总结不能准确量化反映预报效能。漏报率、时空占有率等也应考虑在内。为了更加科学地检验该方法预测效能，使用 Molchan 图表法对其进行定量评估。Molchan 图表法主要是针对预测地震发生与实际发生地震差异度的检验，该方法在 R 值检验的基础上，将指标的预报效能图形化，被较广泛地应用于确定性和概率性预测的统计检验和效能评估（Molchan，1997，2010）。Molchan 图表法主要使用异常的时空占有率 τ 和漏报概率 ν 两个变量来进行评价统计，对于某一空间展布的预测变量，随着异常判定阈值的降低，预测区域的空间占有率逐渐增大，同时漏报率逐渐降低，二者的变化构成 Molchan 检验曲线，在最高报准率（ $\nu \rightarrow 0$ ）下异常时空占有率最低（ $\tau \rightarrow 0$ ）即对应最佳的预测效能。地震预报效能是指概率增益梯形曲线与纵、横坐标所围成的面积，面积越小，预报效能越好，另一方面，还需考察“报准数” h 所对应的显著性水平 α 和概率增益 $Gain$ ，显著性水平 α 越低、概率增益 $Gain$ 越大时，预测效果越好。应用 Molchan 图表

法检验该预测模型的预报效能，图 4 是华北地区发生 4 级以上地震 3 个月窗长的概率风险 Molchan 检验结果图，显示模型对应的最佳预测结果的 R 值评分为 0.83，结果优于 $\alpha = 1.0\%$ 的显著性，对应的概率增益是 6.02，综合评价认为预测结果总体上很好。表 1 从显著性水平、概率增益（ $Gain$ ）等值线以及漏报率（ τ ， ν ）曲线向左包围的面积等方面汇总整理了 2021 年不同预报时长华北地区 3、4 级以上模型 Molchan 检验结果。从表 1 可见，地震风险概率方法在地震中短期预测中均具有较好的预报效能。目前已将上述方法应用于山东省地震局日常分析工作中，每月滚动产出华北地区地震风险概率短期预测结果。表 2 为 2022 年度实际预测结果的 Molchan 检验情况，可以看出 12 个月的 3、4 级以上地震的短期预测均能通过效能

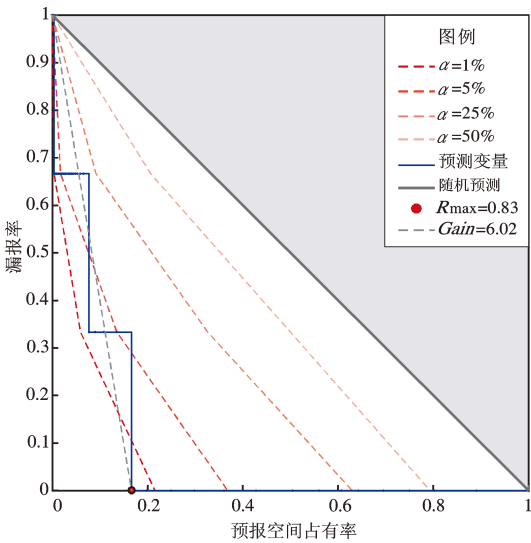


图 4 华北地区 Molchan 检验结果示意图
Fig. 4 Schematic diagram of the Molchan test results in North China

表 1 2021 年度华北地区地震风险概率模型 Molchan 检验结果

Tab. 1 Results from the Molchan test of the probability model in North China in 2021

华北地区	预报时长/月	Molchan 曲线面积	最佳预测结果的 R 值评分	R_0	概率增益 $Gain$	显著性水 α
3 级以上地震	3	0.073 369	0.762 68	0.206	5.41	1%
	6	0.061 213	0.768 17	0.112	4.6	1%
	12	0.048 668	0.795 37	0.057	5.27	1%
4 级以上地震	3	0.073 093	0.819 2	0.572	5.53	1%
	6	0.097 062	0.711 87	0.444	9.08	1%
	12	0.091 187	0.708 73	0.323	3.43	1%

表 2 2022 年度华北地区风险概率模型 Molchan 检验结果
Tab. 2 Results from the Molchan test of the probability model in North China in 2022

华北地区	月份	Molchan 曲线面积	最佳预测结果的 R 值评分	R_0	概率增益 $Gain$	显著性水平 α
3 级以上 地震	1	0.053 193	0.739 82	0.206	6.7	1%
	2	0.065 389	0.763 74	0.158	4.23	1%
	3	0.077 8	0.714 17	0.175	6.51	1%
	4	0.071 051	0.777 09	0.127	4.49	1%
	5	0.057 953	0.807 02	0.138	5.18	1%
	6	0.059 325	0.789 59	0.157	4.75	1%
	7	0.059 767	0.796 21	0.211	14.07	1%
	8	0.056 36	0.785 8	0.315	4.62	1%
	9	0.043 195	0.823 02	0.195	5.65	1%
	10	0.052 2	0.824 82	0.177	5.71	1%
	11	0.058 424	0.821 93	0.154	5.62	1%
	12	0.064 264	0.825 82	0.225	5.74	1%
4 级以上 地震	1	0.053 248	0.897 2	0.589	9.73	25%
	2	0.073 093	0.819 2	0.572	5.53	1%
	3	0.097 918	0.862 78	0.487	7.29	1%
	4	0.115 72	0.754 31	0.556	4.07	25%
	5	0.129 61	0.764 54	0.572	4.25	25%
	6	0.100 69	0.898 9	0.487	9.89	25%
	7	0.058 68	0.934 8	0.487	15.34	25%
	8	0.081 092	0.808 07	0.556	5.21	1%
	9	0.054 849	0.902 2	0.475	10.23	1%
	10	0.046 157	0.923 14	0.516	13.01	1%
	11	0.081 641	0.833 87	0.556	6.02	1%
	12	0.156 53	0.843 07	0.487	6.37	25%

检验，其中 3 级以上小震活动更频繁，因此基于大量统计样本的 3 级以上地震的预报效能要明显优于 4 级以上地震。综上所述，风险概率方法的 Molchan 检验效果较好，有较好的预报效能，对地震发生的时间和地点有一定的指示意义，可以将其作为中短期异常指标进行日常跟踪。

5 结论

在特定时间范围内，地震的发生受到确定性和随机性双重因素的制约，采用风险概率表示发生地震的可能性是一种合理的选择，能表述地震发生的不确定性和准确描述发生地震的风险概率。

本文应用时间相依模型的地震风险概率模型和 Molchan 图表法对华北地区进行地震风险预测和预报效能检验，得到以下结论：

(1) 从华北地区中小地震跟踪预测实际结果看，地震风险概率预测与实际发生的地震对应较好，3、4 级以上中小地震基本都发生在地震风险概率相对高的区域或预测区域边缘，表明基于时间相依模型的地震风险概率预测是一种有效的地震预测方法。这种基于概率的地震预测结果相比于确定性的预测更具科学性，能更直观地展示各地区地震发生的危险性，该方法在日常地震会商中应用效果较好，可为判定危险区提供佐证。

(2) 应用 Molchan 图表法检验地震风险概率预测模型的预报效能, 预测结果均通过效能检验, 显示有较好的预测能力, 该方法可以应用于华北地区, 能合理有效地估算地震发生的概率, 可以将其作为中短期异常指标进行日常跟踪, 为震情分析研判提供支撑。另外, 开展华北地区中小地震的中、短期概率预测对于满足社会公共需求具有重要的现实意义。

(3) 本文研究是建立在中小地震活动具有随机性特征且有大量统计样本基础上的。华北地区中小地震频繁发生, 可使统计预测结果得到充分检验, 进而不断完善理论、修正模型, 为破坏性地震的概率预测提供更多参考。对于大地震的概率预测, 尤其是对于中国大陆东部少震省份, 统计样本相对较少, 随机性特征并不显著, 结果难以用云图形式表示, 更适宜按照构造区划分进行计算。

参考文献:

- 邓世广, 周龙泉, 马亚伟, 等. 2019. 基于贝叶斯定理的地震危险性概率预测研究[J]. 中国地震, 35(1): 1-13.
- Deng S G, Zhou L Q, Ma Y W, *et al.* 2019. Research on probability prediction of earthquake risk based on Bayesian theorem[J]. Earthquake Research in China, 35(1): 1-13. (in Chinese)
- 邓世广. 2022. 中国大陆中强地震复发间隔的概率分布研究[J]. 地震科学进展, 52(4): 161-167.
- Deng S G. 2022. Distribution research of recurrence interval for moderate - strong earthquake in the mainland of China[J]. Progress in Earthquake Sciences, 52(4): 161-167. (in Chinese)
- 郭文峰, 刘瑞春, 王霞, 等. 2022. 山西地区地震综合概率预测模型及回溯性检验[J]. 地震地磁观测与研究, 43(3): 1-9.
- Guo W F, Liu R C, Wang X, *et al.* 2022. Comprehensive probability prediction model and retrospective test of earthquakes in Shanxi region[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 43(3): 1-9. (in Chinese)
- 郭星. 2015. 强震复发的随机特征滑动模型及其应用方法研究[J]. 国际地震动态, 43(2): 45-47.
- Guo X. 2015. Study on random characteristic sliding model of strong earthquake recurrence and its application[J]. Recent Developments in World Seismology, 43(2): 45-47. (in Chinese)
- 李昌珑, 高孟潭, 徐伟进, 等. 2016. 时间相依的概率地震危险性分析研究现状及其在我国的发展前景[J]. 中国地震, 32(1): 1-10.
- Li C L, Gao M T, Xu W, *et al.* 2016. Progress and prospect in China on time - dependent probabilistic seismic hazard analysis[J]. Earthquake Research in China, 32(1): 1-10. (in Chinese)
- 刘月, 田勤俭, 张永仙, 等. 2023. 于田地区强震前加卸载响应比异常及强震复发间隔[J]. 地球物理学报, 66(2): 616-625.
- Liu Y, Tian Q J, Zhang Y X, *et al.* 2023. Load - Unload Response Ratio anomalies before the Yutian strong earthquakes and its earthquake recurrence interval estimation[J]. Chinese Journal of Geophysics, 66(2): 616-625. (in Chinese)
- 苏有锦, 李忠华. 2011. 云南地区6级以上强震时间分布特征及其概率预测模型研究[J]. 地震研究, 34(1): 1-7.
- Su Y J, Li Z H. 2011. Interval distribution and probability model of the strong earthquakes with $M \geq 6.0$ in Yunnan[J]. Journal of Seismological Research, 34(1): 1-7. (in Chinese)
- 王芃, 邵志刚, 刘晓霞, 等. 2022. 中国陆区活动地块边界带主要断层10年尺度强震发生概率[J]. 地球物理学报, 65(10): 3829-3843.
- Wang P, Shao Z G, Liu X X, *et al.* 2022. Ten - year probability of strong earthquake on major faults in boundaries of active blocks in Chinese continent[J]. Chinese Journal of Geophysics, 65(10): 3829-3843. (in Chinese)
- 徐伟进, 吴健, 高孟潭. 2023. 中国大陆基于BPT模型的时间相依地震危险性分析[J]. 地球物理学报, 66(12): 5005-5018.
- Xu W J, Wu J, Gao M T. *et al.* 2023. Time - dependent seismic hazard analysis in Chinese mainland based on BPT model[J]. Chinese Journal of Geophysics, 66(12): 5005-5018. (in Chinese)
- 郑建中. 1983. 中国大地震的发生方式、时间间隔及概率分布[J]. 地震研究, 6(S1): 439-447.
- Zheng J Z. 1983. The occurrence mode, time interval and probability distribution of large earthquakes in China[J]. Journal Seismological of Research, 6(S1): 439-447. (in Chinese)
- Chan C H, Wu Y M, Cheng C T, *et al.* 2013. Time-dependent probabilistic seismic hazard assessment and its application to Hualien City, Taiwan[J]. Natural Hazards and Earth System Sciences, 13(5): 1143-1158.
- Molchan G M. 1997. Earthquake prediction as a decision making problem[J]. Pure and Appl Geophys, 149(1): 233-247.
- Molchan G M. 2010. Space - time earthquake prediction: the error diagrams[J]. Pure and Appl Geophys, 167: 907-917.
- Nishenko S P, Buland R. 1987. A generic recurrence interval distribution for earthquake forecasting[J]. Bull Seism Soc Amer, 77(4): 1382-1399.

Probabilistic Prediction of the Earthquake Risk in North China and Test of Forecast Efficiency

LI Dongmei¹, ZHENG Jianchang¹, YUAN Zhengyi²

(1. *Shandong Earthquake Agency, Jinan 250014, Shandong, China*)

(2. *China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China*)

Abstract

Earthquake risk probability analysis is an effective means to quantify the seismic hazard. On the basis of the earthquake catalog produced by China Earthquake Networks Center, we use the time – dependent mixed probabilistic prediction model of seismic recurrence interval to predict the probability of small- and medium-scale earthquakes in short and medium term in North China. Then we calculate the probability of 3 – magnitude and 4 – magnitude earthquakes in the following 3 months, 6 months, and 12 months in North China and further draw the cloud map of the probability. We find that the 3 – magnitude and 4 – magnitude earthquakes occur in the earthquake risk zones with relatively high probability we predicted. This proves that the prediction model is effective for earthquake prediction in our daily consultation and can help analyze and judge the earthquake trend in North China. Based on the predicted earthquake risk probability in North China in 2021 and 2022, we use the Molchan chart to test this prediction model, and find that it is effective for estimating the probability of earthquake occurrence and for monitoring and tracking the earthquake trend.

Keywords: mixed probability model; earthquake prediction; the Molchan test; efficiency evaluation; North China