

蒙古国地区背景地震危险性分析^①

徐伟进, 高孟潭

(中国地震局地球物理研究所, 北京 100081)

摘要:根据蒙古国及其周边地区的背景地震目录($M \leq 6.0$),采用空间光滑地震活动性的方法研究了蒙古国地区背景地震危险性水平,给出了蒙古国50年超越概率10%的峰值加速度分布图。结果表明蒙古国大部分地区背景地震危险性水平为0.05 g,部分地区高达0.1~0.15 g,意味着蒙古国地区背景地震危险性高,在进行地震危险性分析和地震区划时应充分考虑背景地震活动,采用不同起始震级的地震活动性模型计算得到的地震危险性水平具有较大的空间差异,因此在采用空间光滑地震活动性模型进行地震危险性分析时应采用多个模型加权平均的方法,平衡地震频度和地震震级的影响。

关键词: 蒙古国; 背景地震; 地震危险性分析; 空间光滑地震活动性模型

中图分类号: P315.911

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2014)02-0256-05

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2014.02.0256

A Study on Hazards of Background Seismicity in Mongolia

XU Wei-jin, GAO Meng-tan

(Institute of Geophysics, CEA, Beijing 100081, China)

Abstract: In this article, we calculate seismic hazards from background seismicity by using a spatially smoothed seismicity model for Mongolia, and we obtain a peak ground acceleration (PGA) map for 10% probability of exceedance in 50 y. We propose two seismicity models to calculate seismic hazard maps for 10% probability of exceedance in 50 y. The results show that the seismic activity model and the seismic hazard results, both calculated by using the instrumental seismic catalog ($M \geq 3.0$), can reflect contemporary seismic activity levels and seismic hazard levels of the Mongolia area. In addition, the seismic activity model and the seismic hazard results, both of which are calculated by using historical earthquake data ($M \geq 5.0$), can quite well represent the seismic hazard level of moderate earthquakes in Mongolia. The two seismic hazard maps both show that the background seismic hazard level is 0.05 g in most areas of Mongolia and that the values of this parameter are high, at 0.1~0.15 g, in other areas, which indicates a background of high seismic hazards in Mongolia. Therefore, it is highly necessary to completely consider the impacts of background seismicity when implementing seismic hazard analysis and seismic hazard mapping for Mongolia. Moreover, we compare two seismicity models. The results also illustrate significant spatial differences between the seismicity models with different minimum complete magnitudes. Therefore, when adopting a spatially smoothed seismicity model to analyze seismic hazards for Mongolia, the weighted average of several different models should be considered to balance the impacts of earthquake occurrences and magnitudes.

① 收稿日期: 2013-11-14

基金项目: 国家国际科技合作项目(S2011ZR0188)

作者简介: 徐伟进(1982—),男,博士,助理研究员,从事地震活动性及概率地震危险性分析方法研究。Email: wjxuwin@163.com

Key words: Mongolia; background earthquake; seismic hazard analysis; spatially smoothed seismicity model

0 引言

蒙古国是一个地震活动十分剧烈的国家,自1900年以来共发生了30余次7.0级以上地震,其中包括4次8.0级以上地震^①。蒙古国地震科研工作者在地震危险性分析方面做了一些重要的工作^[1-4],其研究区主要集中在蒙古国首都乌兰巴托地区,采用的资料大都以地质资料为主,对于以地震目录为基础的 Background 地震危险性分析的工作比较少见。本文主要对蒙古国的 Background 地震危险性做分析,将蒙古国震级小于6.0级的地震看作 Background 地震,这些地震往往发生在活动断裂未知的地区,在这些地区划分潜在震源区具有较大的不确定性。对于那些发生过6.0级以上地震的地区,地震复发周期长达数百年甚至更长,需要用到地震学和大地测量等数据分析地震的复发周期,采用的地震危险性分析方法一般为 Cornell^[5]提出的基于划分点、线、面源的方法。

由于对地震构造认识的局限性, Frankel^[6-7]在美国中东部地震区划中使用了空间光滑地震活动性的方法,这一方法最显著的特点是不根据地震构造来划分潜在震源区,而是直接将地震目录资料进行空间光滑,用光滑得到的地震活动性模型进行地震

危险性计算^[8]。Frankel 的方法对于那些地震地质认识较为局限或者地震活动较弱的地区有很好的适用性。本文中我们采用这一方法计算了蒙古国及其周边地区 Background 地震危险性,给出了50年超越概率10%下的地震动峰值加速度分布图。

1 研究区域及资料

文中研究区域为蒙古国及其周边地区(图1),采用中蒙两国地震工作者共同收集整理的地震目录数据。根据徐伟进等^[9]对蒙古国及周边地区地震目录的分析结果,我们选取了完整可靠的地震目录来计算地震危险性。选取的两套地震目录为1977年以来 $M \geq 3.5$ 地震目录和1945年以来 $M \geq 5.0$ 地震目录。文中采用 Gardner 和 Knopoff^[10]的方法进行了余震删除,使地震的发生在时间上尽量符合泊松模型。

根据谢卓娟的研究方法^[11],并结合蒙古国地震活动性分布和地质构造,我们划分了10个地震区(图1中灰色阴影区,编号为 A_n),分别计算了每个地震区内的 b 值,深度、相关距离等参数(表1)。对于处在10个研究区外的地区 A_0 的活动性参数采用整个蒙古国地区的地震目录计算求得。



图1 蒙古国地震空间分布及地震区划分

Fig. 1 Distribution of earthquakes($M \geq 3.5$) reported in the Mongolia's seismic catalog and the study seismic zones(gray areas)

① Ulziibat M A Munkhsaikhan, D Mungunsuren. Seismicity and seismotectonic of Mongolia. 2007, Presentation.

表 1 各个地震区活动性参数

Table 1 The seismicity parameters for each seismic zone

地震区编号	地震数 /个	震级上限 /M	b 值	相关距离/km		深度/km
				X 方向	Y 方向	
Δ1	139	6.0	1.148	17	9	15
Δ2	79	6.0	0.816	37	25	15
Δ3	116	6.0	1.131	19	31	15
A4	91	6.0	1.041	15	19	15
A5	231	6.0	0.970	41	27	15
A6	91	6.0	0.969	20	25	15
A7	75	6.0	1.086	49	21	15
Δ8	117	6.0	0.991	11	19	15
Δ9	66	6.0	1.042	39	21	15
A10	167	6.0	0.822	49	25	15
A0	1926	6.0	0.962	30	30	15

2 模型

本研究中,根据蒙古国 1977 年以来 $M \geq 3.5$ 和 1945 年以来 $M \geq 5.0$ 的地震记录,考虑不同震级地震对地震危险性影响的差异,我们建立了 2 个地震活动性模型。将研究区域划分为 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 的网格,统计每个网格中大于等于起算震级 m_0 的地震频数 n_i ,然后通过光滑函数将网格中的地震光滑到其它空间格点中,从而得到光滑后每个网格中的地震活动率 $\tilde{n}_i$ 。

2.1 模型 1

使用 1977 年以来 $M \geq 3.5$ 的地震记录,采用 Frankel 高斯空间光滑法^[6]:

$$\tilde{n}_i = \frac{\sum_j n_j e^{-\Delta_{ij}^2/c^2}}{\sum_j e^{-\Delta_{ij}^2/c^2}}$$

其中 $\tilde{n}_i$ 为第 i 个网格进行光滑后的地震事件数日; Δ_{ij} 为第 i 个网格与第 j 个网格的距离; c 为相关距离。一般取 i 网格周围 $3c$ 距离内网格的数据来计算 $\tilde{n}_i$ 。在高斯光滑中,相关距离 c 的选择非常重要,在先前的研究中往往是根据地震的定位误差来确定 c 值^[12-16], c 值的确定具有很大的主观性和不确定性^[14]。特别是在地震目录较多的地区 c 的选择具有空间统计意义,单纯使用地震定位误差可能不够充分。我们将在考虑地震误差的前提下,使用空间核密度估计中的交叉验证法来求取相关距离 c ^[17]。表 1 中第 5、6 列为计算得到的 10 个地震区 X 方向和 Y 方向的光滑带宽(即相关距离)。

图 2 为采用上述光滑方法根据 $M \geq 3.5$ 地震计算得到的地震活动性模型。该模型反映了当前蒙古国中小地震活动的空间分布特征,地震活动率较高的区域基本沿着目前地震活动较为活跃的断层展

布。然而对于历史上曾经发生过强震,目前小地震活动较弱的地区来说,这一地震活动性模型并不能反映这些地区的地震危险性水平。如蒙古国的 Bolnay 和 Tsetserleg 地区在 1905 年分别发生 8.7 级和 8.4 级地震,然而这两个地区目前地震活动较弱,因此模型 1 中这两个地区地震活动率较低。强震的复发周期往往长达数百年或者更长,这类地震的地震危险性分析需要用到地质学及大地测量学等方面的资料去估计其复发周期。本文主要研究蒙古国背景地震的危险性水平,对于大地震地震危险性的研究不在本文的讨论范围之内。

2.2 模型 2

模型 2 为蒙古国地区 1945 年以来 $M \geq 5.0$ 地震,同样采用广义高斯空间光滑函数。模型 2 中由于地震样本较少,无法采用上文介绍的交叉验证法计算相关距离,故这一模型中相关距离统一取值为 50 km。

图 3 为采用 $M \geq 5.0$ 以上地震计算得到的地震活动性模型,主要反映了 1945 年以来蒙古国及其周边地区中强地震的空间分布特征。模型 2 与模型 1 相比,地震活动率相对较高的区域具有一定的相似性,说明了在中小地震较活跃的地区中强地震也较多。但二者在空间几何展布和空间强度分布上还是具有一定的差异。模型 2 中地震分布更为集中,地震活动性模型主要反映了发生过中强地震地区的地震危险性水平。这意味着在空间光滑地震活动性模型研究中采用单一的地震活动性模型是不能完全反映地震空间分布特征的。

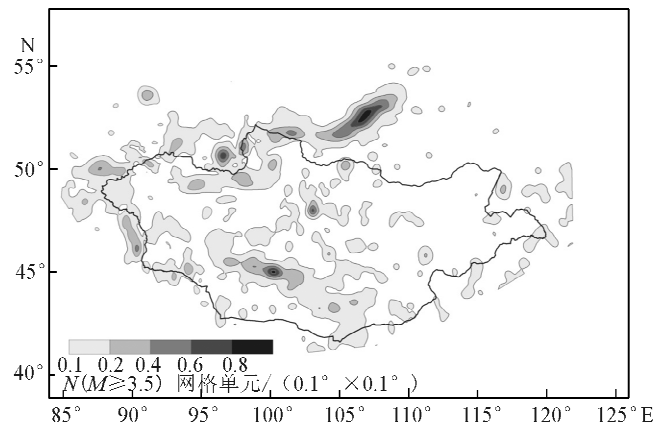


图 2 根据 $M \geq 3.5$ 地震目录计算得到的蒙古国地震活动性模型

Fig. 2 Seismicity model of Mongolia calculated from earthquakes with magnitude greater than or equal to M3.5

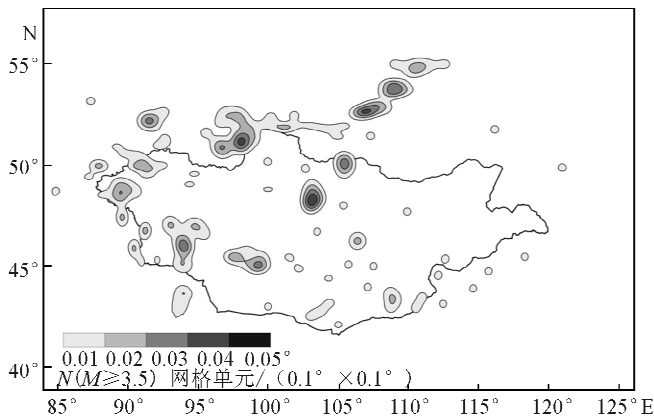


图3 根据 $M \geq 5.0$ 地震目录计算得到的蒙古国地震活动性模型

Fig. 3 Seismicity model of Mongolia calculated from earthquakes with magnitude greater than or equal to $M5.0$

3 地震危险性计算结果分析

对于某一场点,计算场点处地震动参数值 u 超过给定地震动参数值 u_0 的年发生率为^[18]

$$\lambda(u > u_0) = \sum_j n_i(m_0) \int_{m_0}^u \int_r P(u > u_0 | m, r) p_i(m) p_i(r) dr dm$$

其中 m_0 为起算震级; $n_i(m_0)$ 为第 i 个潜源区 $m \geq m_0$ 的地震年发生率; $p_i(m)$ 为震级的概率密度函数; $p_i(r)$ 为场点到潜源之间距离的概率密度函数; $P(u > u_0 | m, r)$ 为在距离场点 r 处,震级为 m 的地震产生的地震动值 u 超过给定值 u_0 的概率, $P(u > u_0 | m, r)$ 中的 u 值是根据衰减关系计算得到的。本文中使用的衰减关系为中国西部衰减关系模型^[19]。

由于本研究直接使用空间格点计算地震危险性,则上式可简写为

$$\lambda(u > u_0) = \sum_i n_i(m_0) \int_{m_0}^u P(u > u_0 | m, r) p_i(m) dm$$

其中 r_i 为空间格点到计算场点的距离。

图4为根据地震活动性模型1计算得到的蒙古国及其周边地区50年超越概率10%的PGA分布图(简称PGA1)。从图中可以看出蒙古国境内绝大部分地区背景地震危险性处在0.05 g水平。地震危险性水平大于等于0.1 g的地区大都分布在中部及西部地区,沿目前地震活动相对较强的活动断裂展布。事实上在地震危险性水平较高的地区往往发育有出露地表的活断层,采用地质学方法原则划分潜在震源区以分析这些地区的地震危险性水平往往具有较大的不确定性,此法更为合适。在那些活

动断层未知或者少有活动断层发育的地区,根据地质学采用地震目录进行空间光滑的方法具有很大的优势。

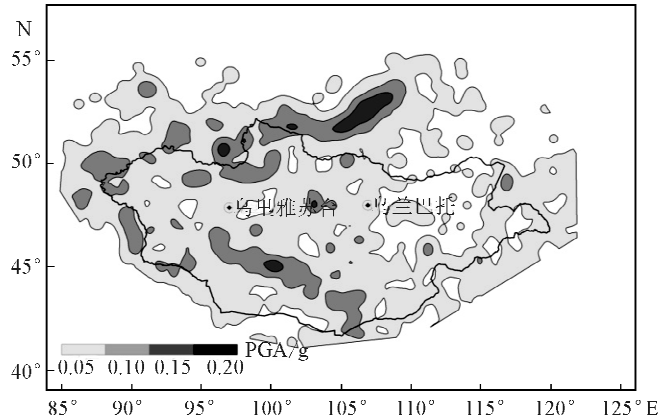


图4 根据地震活动性模型1计算得到的峰值加速度分布图

Fig. 4 Peak ground acceleration map form seismicity model 1

图5为根据模型2计算得到的蒙古国及其周边地区50年超越概率10%的PGA分布图(简称PGA2)。与PGA1相比,PGA2中PGA为0.15 g的地区显著增加。这意味在发生过中强地震的地区其地震危险性水平要高于小震频发的地区,符合地震科研工作者对地震危险性的认识。此外PGA2中PGA为0.05 g的地区较PGA1有所减少,这是由于地震活动性模型2中采用的地震目录起始震级更高,地震分布更为集中。PGA2主要反映了蒙古国地区中强地震的地震危险性水平。

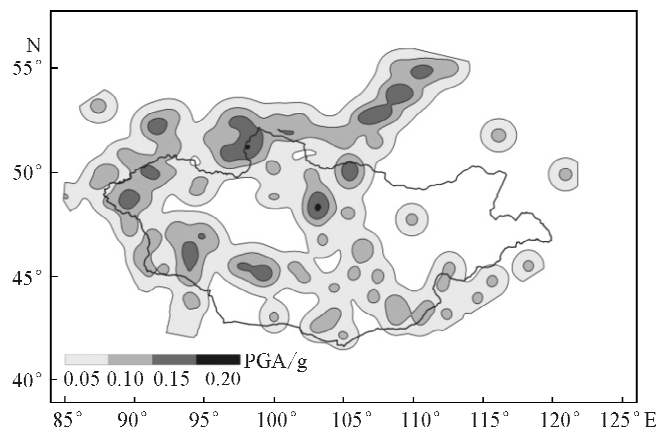


图5 根据地震活动性模型2计算得到的峰值加速度分布图

Fig. 5 Peak ground acceleration map form seismicity model 2

4 结论与讨论

本文采用 Frankel 的方法^[6],根据蒙古国及其

周边的地震目录,对蒙古国地区背景地震危险性水平做了研究。结果表明蒙古国大部分地区的背景地震危险性水平为 0.05 g(50 年超越概率为 10%),局部地区为高达 0.1 g 甚至 0.15 g。这表明蒙古国地区的背景地震危险性水平较高,在对蒙古国地区进行地震危险性分析时应充分考虑背景地震活动对地震危险性水平的贡献。

本文研究结果表明在采用空间光滑活动性模型进行背景地震危险性分析时,不同起始震级的地震活动性模型得到的地震危险性水平具有较大的空间差异。因此在采用这一方法时应采用多个地震活动性模型进行加权平均的方法,平衡考虑地震数目和地震震级的关系。

研究表明,对于那些远离活动断裂或者活动断裂未知的地区,若具有良好的地震记录,那么采用空间光滑地震目录进行地震危险性计算是一种简单可行的方法,避免了因潜在震源区划分的不确定性对地震危险性结果的影响。这对于蒙古国中东部地区尤其适用。即使对于那些活动断裂已知的地区,采用该方法也可以极大简化地震危险性分析的步骤。

参考文献(References)

- [1] Schlupp A, T Dugarmaa, M Ulziibat, et al. Seismic Hazard at Ulaanbaatar and its Vicinity(Mongolia)[C]//2001 Fall Meeting. San Francisco, California: American Geophysical Union, 2001.
- [2] Dugarmaa T, Schlupp A, Adija M, et al. Seismic Map of Mongolia and Site Effect Microzoning at the Capital, Ulaanbaatar [C]//2002 Fall Meeting. San Francisco, California: American Geophysical Union, 2002.
- [3] Imaeva V S, O P Smekalina, A L Stromb, et al. Seismic-hazard Assessment for Ulaanbaatar(Mongolia) on the Basis of Seismogeological Studies[J]. Russian Geology and Geophysics, 2002, 53(9): 906-915.
- [4] Schlupp A, Dugarmaa T, Ulziibat M, et al. Probabilistic Seismic Hazard Assessment in Mongolia. Amplification Frequency Microzoning at Ulaanbaatar[C]//2004 Fall Meeting. San Francisco, California: American Geophysical Union, 2004.
- [5] Cornell C A. Engineering Seismic Risk Analysis[J]. Bull Seism Soc Am, 1968, 58: 1583-1606.
- [6] Frankel A. Mapping Seismic Hazard in the Central and Eastern United States[J]. Seism Res Lett, 1995, 66: 8-21.
- [7] Frankel A C, Mueller T Barnhard, E Leyendecker, et al. USGS National Seismic Hazard Maps[J]. Earthquake Spectra, 2000, 16: 1-20.
- [8] Cao T, M D Petersen, M S Reichle. Seismic Hazard Estimate From Background Seismicity in Southern California[J]. Bull Seism Soc Am, 1996, 86: 1372-1381.
- [9] 徐伟进, 高孟潭, 李宗超. 蒙古国及其周边地区地震目录初步分析[J]. 震灾防御技术, 2014, (接受待刊).
XU Wei-jin, GAO Meng-tan, LI Zong-chao. A Preliminary Analysis of the Seismic Catalogs Reported in Mongolia and Surrounding Area[J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 2014, (accepted and in press). (in Chinese)
- [10] Gardner J K, L Knopoff. Is the Sequence of Earthquakes in Southern California, with Aftershocks Removed, Poissonian [J]. Bull Seism Soc Am, 1974, 64(5): 1363-1367.
- [11] 谢卓娟, 吕悦军, 张立方. 中小地震定量分析在地震区带划分中的应用——以龙门山地震带及邻区为例[J]. 西北地震学报, 2012, 34(3): 277-283.
XIE Zhuo-juan, LV Yue-jun, ZHANG Li-fang. Application of the Quantitative Analysis of Moderate-small Earthquake for the Division of the Seismic Zones——Taking Longmenshan Seismic Belt and Its Adjacent as an Example[J]. Northwestern Seismological Journal, 2012, 34(3): 277-283. (in Chinese)
- [12] Lapajne J K, B Š ket Motnikar, B Zabukovec, et al. Spatially Smoothed Seismicity Modelling of Seismic Hazard in Slovenia [J]. J Seism, 1997, 1: 73-85.
- [13] Lapajne J, Barbara S ket Motnikar, Polona Zupancic. Probabilistic Seismic Hazard Assessment Methodology for Distributed Seismicity[J]. Bull Seism Soc Am, 2003, 93: 2502-2515.
- [14] Frankel A C, Charles Mueller, Theodore Barnhard, et al. National Seismic-Hazard Maps; Documentation June 1996[R]. U S Geol Surv Open-File Rep, 1996: 96-532.
- [15] Frankel A D, M D Petersen, C S Mueller, et al. Documentation for the 2002 Update of the National Seismic Hazard Maps [R]. U S Geol Surv Open-File Rept, 2002: 2-420.
- [16] Petersen Mark D, Arthur D Frankel, Stephen C Harmsen, et al. Documentation for the 2008 Update of the United States National Seismic Hazard Maps[R]. U S Geol Surv Open-File Rept, 2008: 2008-1128.
- [17] 徐伟进, 高孟潭. 空间光滑地震活动性模型中光滑函数的比较研究[J]. 地震学报, 2012, 34(2): 244-256.
XU Wei-jin, Gao Meng-tan. Comparison of the Smoothing Function in the Analysis of Spatially Smoothed Seismicity[J]. Acta Seismologica Sinica, 2012, 34(2): 244-256. (in Chinese)
- [18] Reiter L. Earthquake Hazard Analysis: Issues and Insights [M]. New York: Columbia U Press, 1990: 254.
- [19] 汪素云, 俞吉祥. 中国分区地震动衰减关系的确定[J]. 中国地震, 2000, 16(2): 99-106.
WANG Su-yun, YU Yan-xiang, Gao A-jia, et al. Development of Attenuation Relations for Ground Motion in China [J]. Earthquake Research in China, 2000, 16(2): 99-106. (in Chinese)