

沙海军、刘冬英, 2011, 大同及邻区地震网格化相关分析及预测意义, 中国地震 27(4) 403~409。

大同及邻区地震网格化相关分析及预测意义

沙海军 刘冬英

中国地震局地壳应力研究所, 北京市海淀区安宁庄路 1 号 100085

摘要 利用华北地区 1970~2009 年的 $M_L 3.0$ 以上地震资料, 用相关分析方法, 研究了大同及邻区的中小地震空间分布模式及其在该区中强地震前的异常情况。在确定空间范围、时间窗和时间滑动步长后, 将地震的空间分布进行网格化再转化为序列; 对一个时段内及其稍长时段内的地震空间分布进行序列化, 计算两个序列的相关系数并分析相关系数在中强地震前的变化。结果表明, 在以 1989 年大同-阳高 5.9 级地震震中为中心, 取经向和纬向均为 1.6° 的矩形区域, 时段长为 3600 天, 稍长时段取 3700 天, 滑动步长取 100 天的情况下, 1980~2009 年的相关系数的时间序列值基本在 0.94~1.00 之间波动, 但在 1989 年山西大同-阳高 5.9 级、1991 年山西大同 5.8 级与 1999 年山西浑源 5.6 级地震前 2 年均出现过相关系数小于 0.94 的异常现象, 表明地震的空间分布出现明显变化。分析相关系数异常对于中强地震的前兆意义, 得到以下 3 点认识: ①大同及周边地区的中强地震前, 可将中小地震空间分布模式发生的显著变化, 作为 2 年尺度的震兆异常, 为该区中期地震预测提供时间的参考; ②考虑到研究区的限定范围为震中周边 0.8° 以内, 地震时空分布的相关分析结果对于地震地点的预测也是有意义的; ③相关分析可以为识别此类地震空间分布模式的异常变化提供帮助。

关键词: 大同地震 地震时空分布 相关分析异常识别

[文章编号] 1001-4683(2011)04-0403-07 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

山西省大同及周边地区的历史地震活动较强, 历史上曾发生多次 6~7 级地震。从现今地震活动来看, 1989~1999 年间该区发生了 3 次显著的中强地震, 分别是 1989 年大同-阳高 5.9 级、1991 年大同 5.8 级与 1999 年浑源 5.6 级地震。在这 3 次地震前, 均不同程度地出现过地震活动性异常。1985 年后至 1989 年大同-阳高 5.9 级地震之前, 大同地区形成小震活动空区, 1987 年 5 月至震前, 还出现了波速比、低 b 值、小震应力降升高等异常(许绍燮等, 1990; 陈绍绪等, 1991; 韦士忠等, 1992)。1991 年大同 5.8 级地震之前, 大同-阳高老震区在 1990 年 1~3 月形成小震空区, 1990 年 12 月 21 日至震前小震频次显著增高(刘巍等, 1994)。1999 年浑源 5.6 级地震前 9 个月, 大同地区矛盾符号比显著下降(啜永清等,

[收稿日期] 2011-09-01

[项目类别] 中国地震局地壳应力研究所中央级公益性科研院所基本科研业务专项(ZDJ2010-26)和(ZDJ2011-01)资助

[作者简介] 沙海军, 男, 1976 年生, 硕士, 副研究员, 主要从事地震活动性分析等方面的研究。

E-mail: shjshare@163.com

2002a),震前5个多月应县出现4.6级震群活动(啜永清等,2002b)。

目前尚无理想模式来描述中小地震的时空分布。通常来说,中小地震主要沿活动构造分布,在构造活动强烈的地区相对密集,在构造活动弱的地区相对稀疏。在相对较长的时间内,其空间分布可能表现出一定的稳定性。在一些强震的孕育过程中,由于构造应力场的调整作用,所在地区的中小地震活动可能打破原有分布格局,出现异常。但由于地震空间分布的随机性,其异常往往隐藏于正常的活动背景中,致使对异常的识别较为困难。本文拟从中小地震的时空分布出发,探索地震空间分布模式随时间的变化及其与强震活动的关系。

相关分析是研究现象之间是否存在某种依存关系,进而对依存关系的相关方向及相关程度进行探讨,是研究随机变量之间关系的一种统计方法。本文采用该方法,研究了大同及周边地区1970年以来中小地震的空间分布及其在该区中强地震前的异常情况。

1 资料情况

研究所用资料为华北地区1970年1月~2009年12月的 $M_L 3.0$ 以上地震目录,即中国地震台网中心(原中国地震局分析预报中心)的地震月报目录。考虑到20世纪70年代初期的监测能力有限,为保证整个地震目录的完整性,故震级下限确定为 $M_L 3.0$ 。

大同及周边地区1989~1999年间发生的3次显著中强地震中,1989年大同-阳高地震的震级和震中位置来源于《中国近代地震目录(公元1912年—1990年 $M_S \geq 4.7$)》(中国地震局震害防御司,1999),其余2次来源于中国地震台网中心提供的大震速报目录。

2 相关分析方法

本文通过计算两个序列的相关系数,研究两个序列的相关性。假设有序列 X 和 Y

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$$Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$$

根据统计学原理(杨珊,2009),两序列的相关系数为

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

式中 \bar{x} 、 \bar{y} 分别是两个序列的平均值。相关系数 r 的取值范围为 $-1 \sim 1$ 。当 $r=1$,序列 X 和 Y 是线性正相关;当 $r=-1$,序列 X 和 Y 之间是线性负相关; r 的绝对值越接近1,相关度越高。

3 空间分布到序列的转换

由于相关分析的研究对象是两个数据序列,因此,需要将地震的空间分布转化为序列。本文使用网格化方法和等效震级,将地震的空间分布转化为数据序列。

具体做法是将地震分布范围划分为矩形网格组成的区域,每个网格大小为 $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ 。使用等效震级的概念,给出每个网格的等效震级。一个网格内可能发生1次或多次地震,当发生1次时,等效震级等于该次地震的震级;当发生多次地震时,将多次地震的应变释放累加,累积应变释放所对应的地震震级即为等效震级。地震应变释放可表示为地震能

量的平方根,而地震能量的计算公式(Gutenberg et al,1956)为

$$\log E = 11.8 + 1.5M_s, \quad (2)$$

其中 E 为能量,单位为 erg; M_s 为面波震级。

本文所使用地震目录的震级标度为地方性震级 M_L ,而公式(2)中使用的是 M_s 。郭履灿^①通过研究华北地区的地方性震级 M_L 和面波震级 M_s ,得到了华北地区 M_L 和 M_s 的关系式,即 $M_s = 1.13 M_L - 1.08$ 。在计算地震能量时,使用该公式将 M_L 震级转换为 M_s 。

在获得所有网格的等效震级后,将其按照自西向东,再由北向南的顺序排列,即可得到地震空间分布所对应的序列。

4 相关系数时间序列的计算方法

用前述方法,可将地震的空间分布转化为序列。2个时段的地震分布,对应2个序列,2个序列的相关系数,可以间接体现2个地震分布的相关性。当2个时段的地震分布相关系数较高时,可认为其空间分布模式未发生明显变化。

由于研究着重于中短期地震预测,需要研究短期地震分布与长期地震分布在模式上的差异,故把短期地震分布叠加于长期地震分布后,分析其与长期地震分布的相关性。这里假定时间为 t , T 为长期的时间窗长, ΔT 为短期的时间长度,时段 $[t - T - \Delta T, t)$ 与时段 $[t - T - \Delta T, t - \Delta T)$ 的地震空间分布,分别转化为序列后,计算2个序列的相关系数,即可得 t 时的相关系数。计算不同 t 时的相关系数,即可得到相关系数的时间序列。

为了研究1989年大同-阳高5.9级地震前,震区中小地震空间分布模式的变化,以该地震震中(39.92°N 、 113.91°E)为中心,沿东、南、西、北等4个方向,各扩展 R° 来确定空间范围(图1)。

5 计算结果分析

选取不同时间窗长和空间范围,计算相关系数随时间的变化(图2~4)。其中, T 分别取1800天、3600天和5400天, R 分别为 0.8° 、 1.6° 和 3.2° 。经试算,当 ΔT 取值10~140天时,结果基本一致,为平衡计算量, ΔT 取100天。

图2~4显示了时间窗长 T 为1800天、3600天和5400天, R 分别为 0.8° 、 1.6° 和 3.2° 时的相关系数-时间曲线。总体上看,随着 R 和 T 的增长,相关系数的变化范围变窄,趋向于1。

当 R 为 1.6° 或 3.2° 时,无论 T 取何值,在1998年初均出现最小值,源于所取空间范围内发生了张北6.2级地震及其余震,而其余时间的相关系数均在较窄的范围内平稳变化。这表明空间范围较大时,100天的中小地震活动对相关系数的影响不大(图2~4绿色曲线和蓝色曲线)。

当 R 取 0.8° 时, T 为3600天与5400天的相关系数时间曲线(图5)变化基本一致,特别

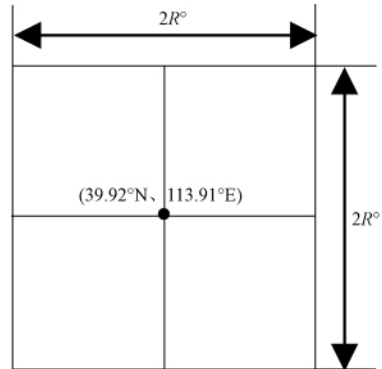


图1 空间范围的确定

① 郭履灿,1971,华北地区的地方性震级 M_L 和面波震级 M_s 经验关系,全国地震工作会议资料,1~10。

是最小的 4 个值在时间点上完全一致,表明二者含有相同的信息。2 条曲线与 T 为 1800 天的相关系数曲线则有明显差别,主要表现在相关系数值和波动程度上,故认为当 T 较小时,不能够形成较为稳定的地震空间分布。因此,应取 R 为 0.8° ,同时 T 为 3600 天时的相关系数时间曲线(图 6)来了解中小地震空间分布的变化。

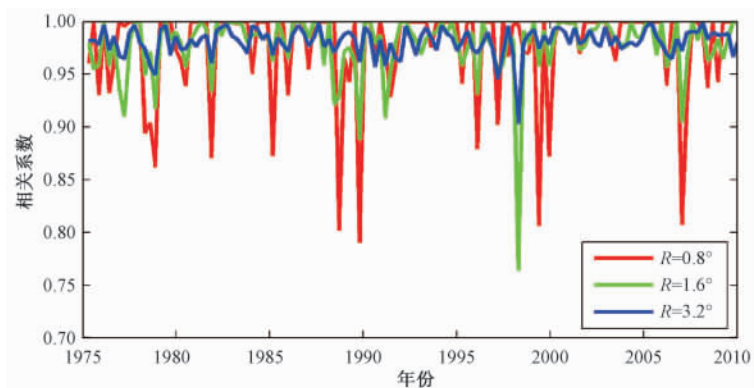


图 2 时间窗长 $T = 1800$ 天的相关系数-时间曲线($R = 0.8^\circ, 1.6^\circ, 3.2^\circ$)

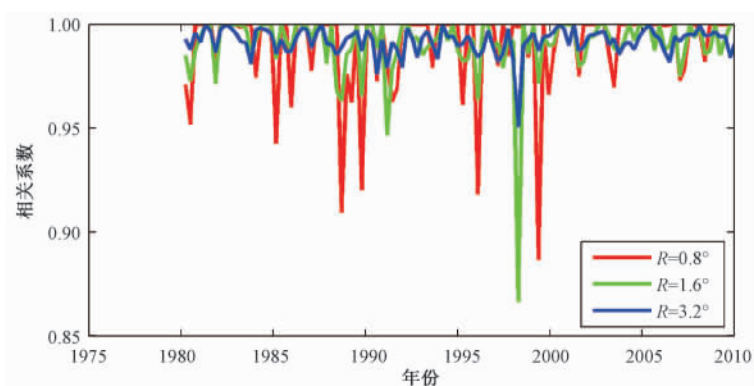


图 3 时间窗长 $T = 3600$ 天的相关系数-时间曲线($R = 0.8^\circ, 1.6^\circ, 3.2^\circ$)

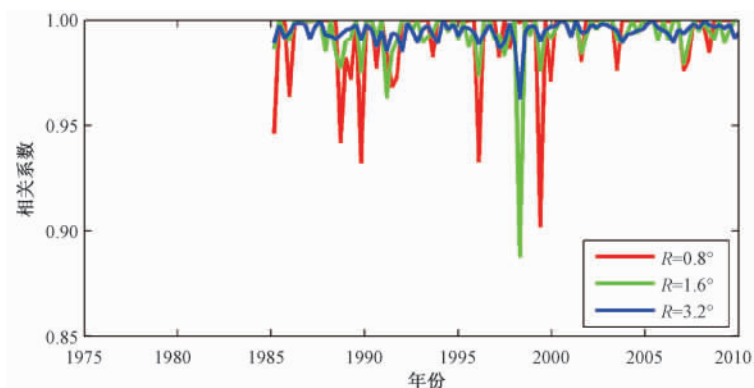


图 4 时间窗长 $T = 5400$ 天的相关系数-时间曲线($R = 0.8^\circ, 1.6^\circ, 3.2^\circ$)

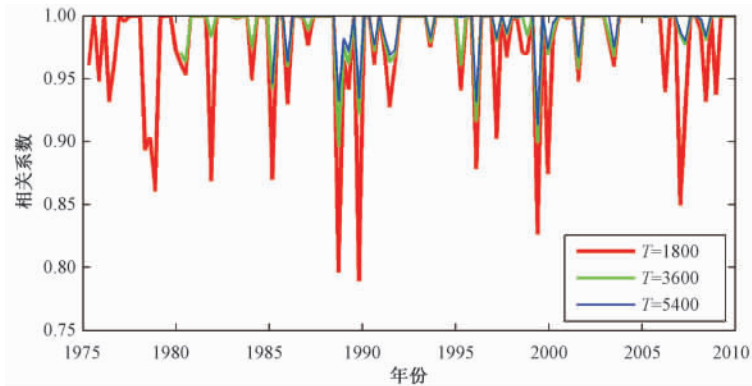


图5 $R = 0.8^\circ$ 时的相关系数-时间曲线 ($T = 1800$ 天、 3600 天、 5400 天)

图6显示了 R 为 0.8° 、 T 为 3600 天时的相关系数时间曲线, 以及所在研究范围内 1970 年以来的 $M_s 5.5$ 以上地震(图7)。可以看出, 1980 ~ 2009 年的相关系数整体上稳定, 基本都在 0.94 ~ 1.00 间波动, 但在 1988 年 9 月的相关系数为 0.91, 此后 1989 年 10 月大同-阳高间发生 $M_s 5.9$ 地震; 1989 年 10 月的相关系数为 0.92, 之后 1991 年 3 月大同发生 $M_s 5.8$ 地震; 1996 年 2 月的相关系数为 0.92, 之后 2 年内研究区域内无 $M_s 5.5$ 以上地震, 而 1998 年 1 月在区域外约 40km 的张北发生 6.2 级地震; 1999 年 5 月的相关系数为 0.89, 之后 1999 年 11 月浑源发生 $M_s 5.6$ 地震。上述表明, 在相关系数明显偏离正常范围后 2 年内, R 为 0.8° 的区域及其附近均发生了 $M_s 5.5$ 以上地震。

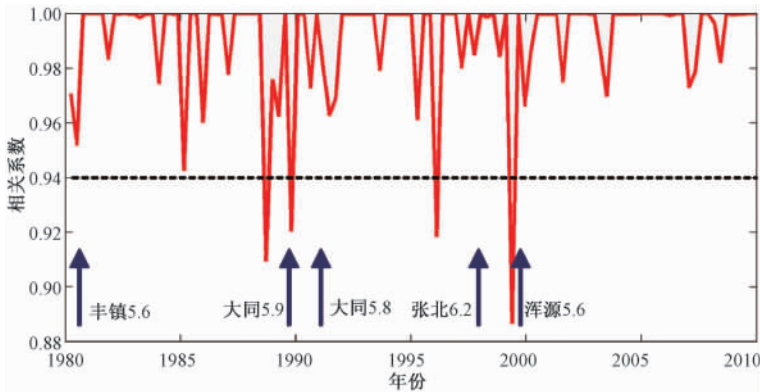
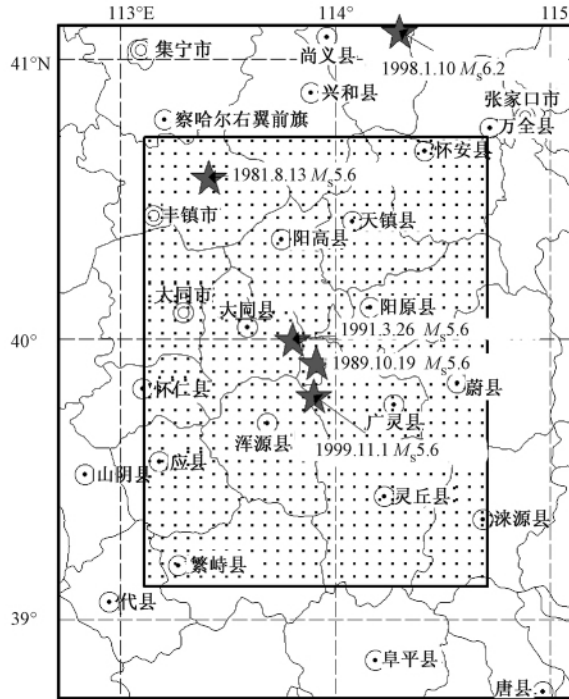


图6 时间窗长 $T = 3600$ 天的相关系数-时间曲线 ($R = 0.8^\circ$)

6 讨论与结语

由图6可以看出, 1980 ~ 2009 年在 1989 年大同-阳高地震震中附近, 中小地震的空间分布总体上相对稳定, 其相关系数在一定范围 (0.94 ~ 1.00) 内波动。而当相关系数明显小于 0.94 时, 之后 2 年内, 在大同或周边地区均发生了 $M_s 5.5$ 以上地震。这表明在中强地震前, 中小地震空间分布格局发生了显著变化, 这种变化可能是该地区中强地震前的一种中期前兆性现象。由于相关系数异常的研究范围是在震中周边 0.8° , 其所对应的中强以上地震发

生在该范围及其附近,因此,地震时空分布的相关分析结果对于地震地点的预测也有一定意义。



五角星表示 $M_s 5.5$ 以上地震; 阴影区范围为 $R = 0.8^\circ$ 的范围; 1998 年 1 月张北 6.2 地震距阴影区约 40km

图 7 $R = 0.8^\circ$ 区域及附近 1970 年以来 $M_s 5.5$ 以上地震震中分布

地震空间分布的相关系数明显偏离正常范围,表明其打破了所在地区长期稳定的地震分布格局。地震空间分布的相关分析,可以了解所在地区的地震分布格局是否被打破,因而可以为识别这种地震空间分布模式的显著变化提供帮助。

1998 年张北 6.2 级地震之前 2 年,即 1996 年 2 月相关系数为 0.92,偏离正常范围,表明大同及周边地区的中小地震空间分布模式发生显著变化。该地震未发生在 R 为 0.8° 的研究范围内,而在研究范围以北约 40km 处,可视为山西带向北的延伸,与大同地震处于同一构造体系内。同一时期内,1996 年 5 月在包头发生 6.4 级地震。因此,大同及周边地区中小地震空间分布模式的显著变动,在一定程度上可能反映所在区域构造应力场的加速变化。

图 6 还显示了 1981 年 8 月丰镇 5.6 级地震的漏报。这可能因资料时间的限制,当 T 取 3600 天时,第一个时间点在 1980 年 3 月,距丰镇 5.6 级地震的时间不足 2 年。其次,图 5 中当 T 取 1800 天(红线)时,1978 年的相关系数也出现异常低值。因此,还需要对 T 的取值做进一步的探讨。

上述研究表明,在大同及周边地区的中强以上地震前,中小地震空间分布模式可能会出现显著变化。其对于大同及周边地区的中强地震具有一定前兆意义,但对其它地区的适用性,还需有更多的震例支持。

参考文献

- 陈绍绪、戴英华,1991,1989年大同地震前兆特征及孕震过程,《华北地震科学》9(4):62~70。
- 啜永清、宋美琴,2002a,山西大同盆地震源机制解矛盾符号比及波速比变化的研究,《山西地震》,(2):1~4。
- 啜永清、张淑亮、李冬梅,2002b,1999年11月1日山西省大同-阳高5.6级地震,见:陈棋福、郑大林、高荣胜,《中国震例(1997~1999)》,北京:地震出版社。
- 刘巍、赵新平、安卫平,1994,大同-阳高两次地震的对比分析,《地震研究》,17(1):24~30。
- 韦士忠、李玉萍,1992,大同地震前后介质 Q 值和小震震源参数的变化,《地震》,(2):30~38。
- 许绍燮、王林瑛、刘玉芬,1990,大同-阳高中强震群前后的地震活动性,《地震》,(4):1~10。
- 杨珊,2009,《统计学原理》,武汉:华中科技大学出版社。
- 中国地震局震害防御司,1999,《中国近代地震目录(公元1912年—1990年 $M_s \geq 4.7$)》,北京:中国科学技术出版社。
- Gutenberg B, Richter C F, 1956, Magnitude and energy earthquakes, *Ann Geofis* 9, 1~15.

Correlation analysis of gridding of medium-small earthquakes in Datong and its surrounding areas and implication for earthquake prediction

Sha Haijun Liu Dongying

Institute of Crustal Dynamics, CEA, Beijing 100085, China

Abstract On the basis of the earthquake ($M_L \geq 3.0$) catalog in North China from 1970 to 2009, the pattern of temporal and spatial distribution of medium-small earthquake in Datong and its surrounding areas is studied by correlation analysis with the focus on its anomaly before moderate and strong earthquakes. With different spatial scales, temporal scales and time steps, the spatial distribution of earthquakes is converted to a series, then the correlation coefficients between the spatial distribution of medium-small earthquakes in a long-term and a longer time are calculated for the analysis of anomaly before moderate and strong earthquakes. In the study region center on the epicenter of the 1989 Datong-Yanggao earthquake ($M_s = 5.9$) within a radius of less than 0.8° , with the time length of 3600 days, the longer time length of 3700 days, and the time step of 100 days, the correlation coefficient from 1980 to 2009 is steady between 0.94 and 1.00, but there was anomaly with the value less than 0.94 in 2 years before the 1989 Datong-Yanggao earthquake ($M_s = 5.9$), the 1991 Datong earthquake ($M_s = 5.8$) and 1999 Hunyuan earthquake ($M_s = 5.6$), which indicates the spatial distribution of medium-small earthquake is much different from the steady background seismicity. The implication for earthquake prediction from the anomaly of correlation coefficient is also discussed with the three conclusions: 1) Before moderate and strong earthquakes in Datong and its surrounding areas, the obvious change of spatial distribution pattern of medium-small earthquake can be a kind of seismic precursor of 2-year time scale for prediction of earthquake's time. 2) As the study region is restricted within a radius of less than 0.8° , the result of correlation analysis is also good for prediction of earthquake's location. 3) The method of correlation analysis in this paper helps recognize the anomaly of spatial distribution of medium-small earthquake.

Key words: Datong earthquake Spatial distribution of earthquakes Correlation analysis Anomaly recognition