

# 基于GIS的地震时空统计分析

王岚 李茹\* 张明钰

西安测绘总站

DOI:10.12238/gmsm.v7i8.1944

**[摘要]** 本文以川渝地区作为研究区域,以1990—2008年此地区的地震时空数据作为数据源,分析该时期内研究区域地震现象的时空动态变化。本文基于GIS分别从空间统计、密度、震级频率等角度分析研究区地震数据的空间特性。研究发现,地震点的空间分布主要集中在龙门山断裂带上,且具有很显著的聚集特性,而强震后地震频率会急剧增大。地震频率的对数和地震震级之间呈线性关系;具有相同地震频率的区域数量与其频率之间表现为幂律关系且呈现重尾特性;区域平均最大震级与区域地震频率之间的关系服从异速生长尺度规律。

**[关键词]** 地震数据; GIS; 时空统计分析

中图分类号: P315 文献标识码: A

## GIS-based spatio-temporal statistical analysis of earthquakes

Lan Wang Ru Li\* Mingyu Zhang

Xi'an Division of Surveying and Mapping

**[Abstract]** This paper takes the Sichuan and Chongqing regions as the study area, and uses the seismic spatial and temporal data of this region from 1990 to 2008 as the data source to analyze the spatial and temporal dynamics of the seismic phenomena in the study area during this period. Based on this paper, the spatial characteristics of seismic data in the study area are analyzed from the perspectives of spatial statistics, density, and magnitude frequency, respectively. It is found that the spatial distribution of seismic points is mainly concentrated on the Longmenshan Fracture Zone and has a very significant aggregation characteristic, while the seismic frequency will increase dramatically after a strong earthquake. The logarithm of seismic frequency is linearly related to the magnitude of earthquakes; the number of regions with the same seismic frequency shows a power-law relationship with its frequency and has a heavy-tailed characteristic; the relationship between the average maximum magnitude of the region and the seismic frequency of the region obeys the law of anisotropic growth scale.

**[Key words]** seismic data; GIS; spatio-temporal statistical analysis

### 引言

地震是全球范围内造成危害最严重且影响最深远的一种地质灾害,在较短时间内产生的地震现象并无特定规律,但我们可以通过对大量地震数据的统计分析,来得到特定时期内研究区域地震现象的时空动态变化,尤其是强震过后,由于震中位置所处的断裂带发生错动而导致的地震波应力场的变化,使得非震中范围的其他地区地震活动加强。因此,研究地震事件时空分布的统计规律需要从一种全新的角度进行研究,利用GIS方法可以从更加宏观且全面的角度对其内部的结构与功能进行剖析<sup>[1]</sup>,以探究地震事件形成的内在联系,因此从GIS的角度研究地震的时空分布规律是十分必要<sup>[2]</sup>。

地理信息系统(Geographic Information Systems,简称GIS)

的GIS理论已经发展的较为成熟,并已经普遍用于环境生态、石油勘探、地震灾害评估和军事等很多领域<sup>[3]</sup>。并且GIS中所包含的空间统计分析、密度分析、网络分析技术可以一次处理很大的数据量,这对地震频发的区域也提供了一种新的研究途径。利用GIS方法,以川渝地区地震数据作为研究对象,考虑研究区的地层岩性特征和地震的震级、频率、位置、时间,构建该区域的地震时空网络,探究地震频发区域内地震数据的时空复杂性,有助于进一步认知构造运动的动态和地震数据的时空规律,加快对地震发生机理的研究,从而更好更有效的控制地震灾害。

在国内,自20世纪后期GIS技术在地质灾害研究领域得到广泛应用。GIS中分析功能:如叠加分析、缓冲区分析、空间统计

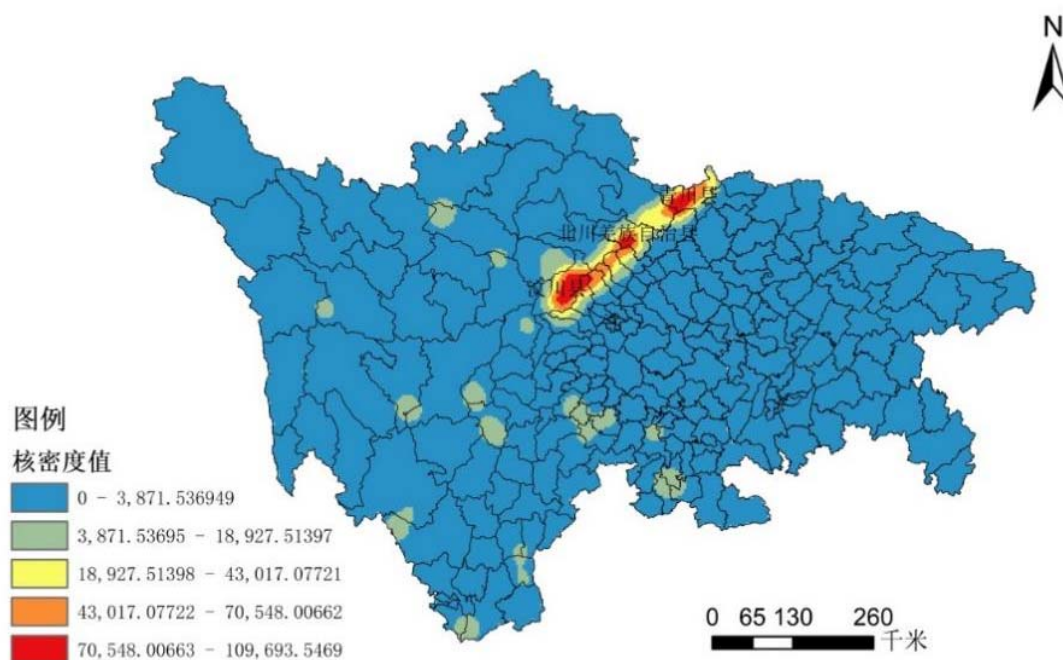


图1 川渝地区行政区划下的地震点核密度图

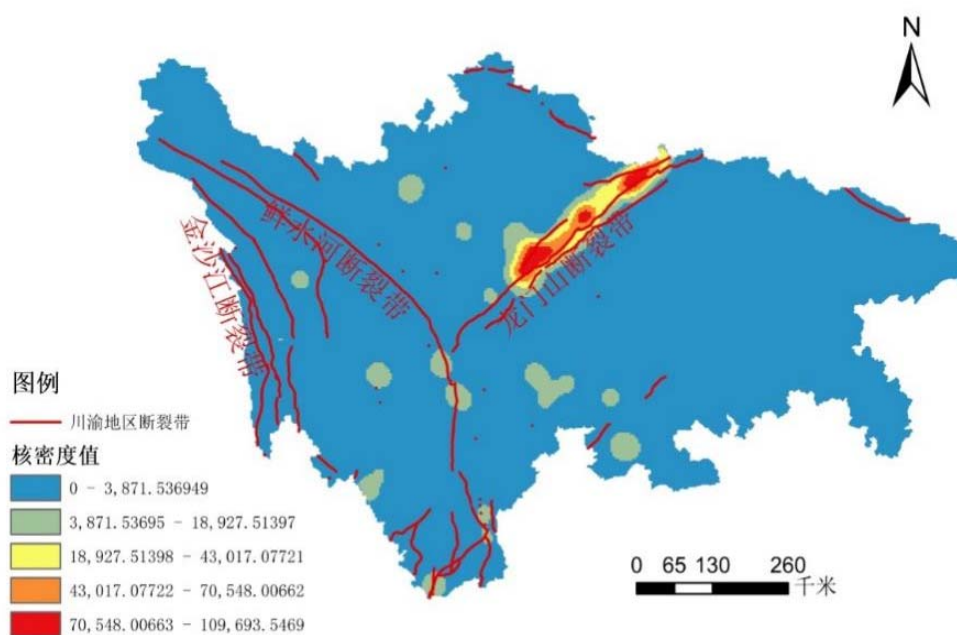


图2 川渝地区地震点核密度与断裂带分布关系图

分析、层次分析法等数字建模方法已成为地质灾害研究与评估的发展趋势之一<sup>[4]</sup>。目前,基于GIS的地震数据分析主要从以下几个方面展开研究:一是利用空间统计分析来研究地震数据的统计规律<sup>[5]</sup>;二是利用空间密度分析和聚类分析来研究地震点的聚集或分散情况<sup>[6]</sup>;三是利用层次分析法来构建地震灾害的

影响因素进行风险评估。

本文着重从空间统计分析与空间密度分析方面入手,全面整体地研究地震数据的空间密度特征以及震级、时间、区域分别与地震频率之间的统计关系,从而得出大地震前后研究区域的时空变化特征。

## 1 研究区概况

川渝地区东部是长江中下游平原,西部则是青藏高原,故而其地势呈现出西高东低的态势,区域内的主要地貌类型按照面积占比由大到小可以分为山地(77%)、盆地和丘陵(14%)、平原(5%)、高原(4%)五大类。西部地区海拔较高,平均海拔在4000m以上,主要地貌类型为山地和高原;东部地区则截然不同,海拔较低,大多分布于500~3000m之间,主要地貌类型包括盆地和丘陵。四川省的主要地貌类型为山地,其地貌形态大致可分为三个地貌区:即西北地区的川西北高原、西南地区的川西南山地、东部地区的四川盆地。研究区内的重庆市大致分为三个地貌区,分别为重庆东部的中山区、中部的平行岭谷区和西北部的方山丘陵区。

## 2 地震时空统计分析模型

### 2.1 地震点密度分析

本文采用核密度估计法对川渝地区1990年1月1日~2008年12月31日内的地震点进行统计分析,利用ArcGIS软件中的Spatial Analyst工具下的密度分析模块,搜索半径设置为默认值,即输出空间参考中输出范围的宽度或高度的最小值除以30,Population字段设置为点数据中的字段震级ML,即每一要素只按照震级大小进行计数。除此之外,设置核密度估计法下处理点要素的环境,导入处理范围为川渝地区行政边界,且栅格分析中的掩膜也为川渝地区行政边界,以此,即可完成对川渝地区整个区域内的地震点数据进行核密度分析的可视化。

初步设置完成后,使用重分类的方法,将生成的地震点核密度图分成5个等级,并制作红黄蓝色彩映射表对重分类后的地震点核密度专题图进行分级渲染,该映射表中蓝、黄、红各颜色代表核密度逐渐变大。为了获得整个川渝地区地震点的空间聚集规律,分别利用川渝地区县市行政区划图和断裂带分布的专题图作为底图,并定义核区域为比较明显的圈层结构,并且中心密度超过第一等级的区域且未达到第三等级密度的区域作为次级核或集聚中心,在此方法中核覆盖面积代表核最外圈层的大小。

采用川渝地区县市的行政区划图为底图进行研究时,其地震点核密度分析的结果如图1所示。对图1进行分析可知:川渝地区地震点空间分布的核中心主要集中在四川省的汶川县、北川县、青川县这三个地方。

其次,根据图2中核密度与四川省断裂带的分布关系可见,龙门山断裂带是川渝地区大型地震发生的主要区域。龙门山断裂带西部为川西高原,而东部为四川盆地,龙门山断裂带两侧地貌的不同是地质灾害频发的主要原因之一。其次,从板块方面来说,从侏罗纪时代以来,印度洋板块和亚欧大陆板块两大板块的不断冲突,造成青藏高原不断抬升且向东缓慢移动,但是四川盆地的基底是比较坚硬的岩石,对青藏高原的缓慢东移具有抵抗作用,两者不断碰撞,就造成了该断裂带上地震活动分布比较集中。

### 2.2 震级-频率分析

Gutenberg and Richter (1994) 在研究南加州地区及全球历史地震频率时,发现地震的震级与其频率的对数之间存在线性关系,并得到了其函数关系式如1-1所示:

$$\log_{10}N=a+b(8-M) \quad (1-1)$$

因此,震级与频率(G-R)关系式为:

$$\log_{10}N=a-bM \quad (1-2)$$

这是一个经验公式,其中,M为地震震级,N为地震频率,a和b均可通过最小二乘法求得。a值反映了研究区内某一时间范围内的地震活动强度,b值是反映了地震灾害的危险系数,可以抽象为大、小地震之间的比例关系,b值的大小通过最大似然法求取(Aki, 1965)。在对某研究区进行地震数据的统计之后,人们发现地震频率的对数和地震震级之间呈线性关系。研究显示G-R关系式在地震活动性研究和危险评价预测方面都具有良好效果,一般G-R关系模型中所有的震级( $M \leq M_{max}$ )与频率之间的关系都是幂律分布。

G-R关系中b值对于研究区域内地震的活跃水平和区域的地质构造都有重要的意义。结合本文的研究数据,对川渝地区1990年1月1日~2008年12月31日所有地震点的震级数据进行统计,得到表1,部分震级与频率的对应表,从表中可以直观地看出频率随震级的增大而减小。另外,根据G-R关系式,求得川渝地区地震发生频率的对数与震级进行比较来判断地震的震级与频率是否符合幂律分布。根据我们得到的数据,利用最小二乘法确定G-R关系中a、b的值,从而得到川渝地区震级-频率的函数关系式。

表1 川渝地区震级-频率表

震级(M)	2	3	4	5	6	7	8
频率(N)	4717	953	143	12	3	1	1
$\log_{10}N$	3.67	2.98	2.16	1.08	0.47	0	0

川渝地区地震震级与地震频率之间的关系,结果表明,研究区内的震级-频率分布关系遵循Gutenberg-Richter定律,即G-R关系式。Gutenberg和Richter发现震级和频率之间的关系满足 $\log_{10}N=a-bM$ 。我们可以看出震级越小的地震频率会更大,即震级越小的地震越容易频繁发生,而震级大的地震很少发生。从1990年1月1日~2008年12月31日,共有16次地震记录,其震级都等于或大于6.0ML,但是震级为小于6.0ML的地震超过四万为44075次。对于川渝地区的地震数据记录,其震级-频率的分布函数大致如公式(1-3)所示:

$$\log_{10}N=5.21-0.77M \quad (1-3)$$

### 2.3 区域-频率分析

为了进一步统计分析川渝地区内区域与频率的关系,可以计算在不同地震频率下的区域数量,这里的区域代表川渝地区地震记录里每个震中的参考地点,如北川,青川,平武和绵竹等县。在统计分析软件中设置横坐标x轴表示川渝地区发生地震的频率,如170、42、23...等数据,而纵坐标y轴表示在产生某一特

定频率下的区域的数量,如1、2、3...等数据,从而统计川渝地区地震频率与区域数量之间的关系。统计结果如图3所示,从图中可以看出区域数量与地震频率之间的关系遵循幂律分布。而且,这种幂律分布特征表现出很明显的重尾现象。与正态分布相比,具有大量地震的极端事件实际上更频繁地发生。我们可以用不可忽略的概率得到一个非常大的地震频率值。此外,对于川渝地区地震数据集进行统计分析发现,在研究区内共有54个区域(约占全区域的12.89%)发生了100多次地震,而这54个区域发生地震总频率数为40581次。所以,本文得出川渝地区是一个发生地震的高频地区,而且大部分地震事件发生在该区域内的少数区域。

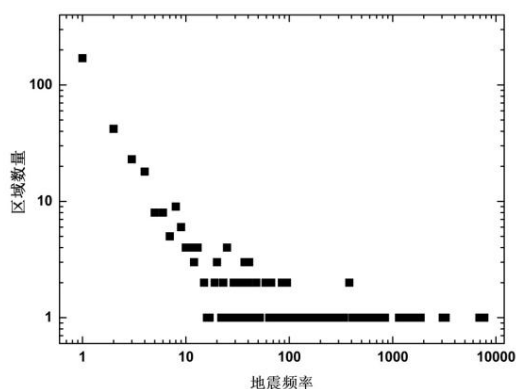


图3 区域数量与地震频率的分布关系图

### 3 结论

本文利用空间核密度分析方法发现川渝地区地震点的空间分布主要集中在龙门山断裂带,在空间上具有很显著的聚集特

性;从时间分布上来看,川渝地区的地震频率在“5.12”汶川大地震之前一直保持为较低的状态,每天仅仅发生一两地震,在强烈大地震发生后,地震能量不断地释放导致地震频率急剧增大。并且,发现了其他的一些统计特征:地震频率的对数和地震震级之间呈线性关系,即震级越大频率反之会越小;具有相同地震频率的区域数量与其频率之间表现为幂律关系且呈现重尾特性,这表明川渝地区是一个发生地震的高频地区,在研究区范围内经常发生地震事件,而且大部分地震事件发生在少数区域。

### 参考文献

- [1]甘芬芳.基于GIS的川渝地区地震分形研究[D].重庆:西南大学,2015.
- [2]谢周敏.地震活动的网络拓扑结构和网络动力学行为[J].震灾防御技术,2011,6(01):1-17.
- [3]陈述彭,鲁学军,周成虎.地理信息系统导论[M].北京:科学出版社,1999.
- [4]高文静.深度探讨GIS地质灾害研究与应用现状[J].科技创新导报,2008,(12):72.
- [5]姜岩,黄腾,李佳.基于GIS的云南地区地震与断裂带相关性分析[J].长沙大学学报,2015,29(02):23-25.
- [6]黄腾,刘显凡,姜岩.1990年以来四川地区地震空间分布特征分析[J].城市地理,2016,(02):65.

### 作者简介:

王岚(1995-),女,陕西汉中,本科,助理工程师,主要从事工作为测绘工程、摄影测量与遥感。